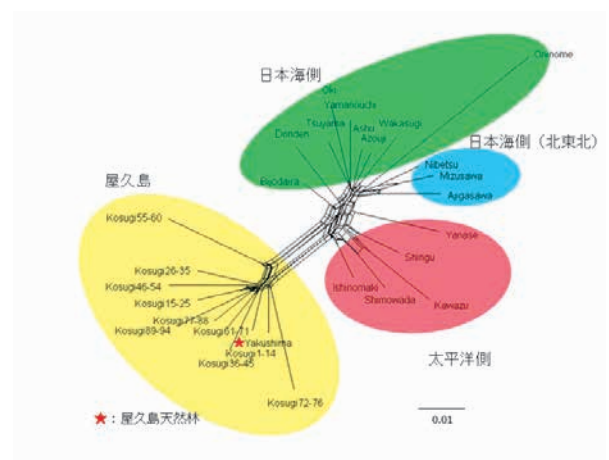


森林総合研究所研究報告

Vol.17 No.2 (No.446)

BULLETIN

of the
Forestry and
Forest Products
Research Institute



June 2018



国立研究開発法人 森林研究・整備機構
森林総合研究所
Forestry and Forest Products Research Institute

The Chief Editor

山中 高史 Takashi YAMANAKA (Principal Research Director, FFPRI)

The Vice-Chief Editor

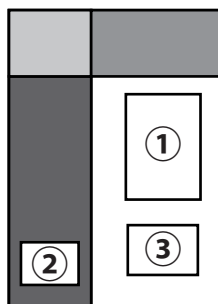
片岡 厚 Yutaka KATAOKA (Public Relations Division, FFPRI)

Editor

青井 秀樹	Hideki AOI (Department of Forest Policy and Economics , FFPRI)
福田 健二	Kenji FUKUDA (Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo)
五十嵐 哲也	Tetsuya IGARASHI (Department of Forest Vegetation, FFPRI)
石塚 成宏	Shigehiro ISHIZUKA (Department of Forest Soils, FFPRI)
松井 直之	Naoyuki MATSUI (Department of Forest Resource Chemistry, FFPRI)
毛利 武	Takeshi MOHRI (Department of Forest Molecular Genetics and Biotechnology, FFPRI)
小南 裕志	Yuji KOMINAMI (Disaster Prevention, Meteorology and Hydrology, FFPRI)
黒川 潮	Ushio KUROKAWA (Kyushu Research Center, FFPRI)
渋谷 龍也	Tatsuya SHIBUSAWA (Department of Wood-based Materials , FFPRI)
小長谷 啓介	Keisuke OBASE (Department of Mushroom Science and Forest Microbiology, FFPRI)
岡 裕泰	Hiroyasu OKA (Forestry Division, Japan International Research Center for Agricultural Sciences)
岡 輝樹	Teruki OKA (Department of Wildlife Biology, FFPRI)
高務 淳	Jun TAKATSUKA (Department of Forest Entomology, FFPRI)
谷口 亨	Toru TANIGUCHI (Forest Tree Breeding Center, FFPRI)
山口 浩和	Hirokazu YAMAGUCHI (Department of Forest Engineering, FFPRI)
矢崎 健一	Kenichi YAZAKI (Department of Plant Ecology, FFPRI)

This journal is indexed in CAB Abstracts.

表紙写真 Photographs in Cover



- ① 中信森林管理署奈良井国有林のヒノキコンテナ苗植栽地(長野県)
Plantation of containerized Hinoki(*Chamaecyparis obtusa*) seedlings at Narai National Forest in Nagano Prefecture.
- ② カラマツ材を使用した木造庁舎(長野県長和町)
Wooden town hall constructed with Japanese Larch (*Larix kaempferi*) at Nagawa Town, Nagano Prefecture
- ③ (本文141～148ページ)
スギの遺伝的地域性識別のためのSNPパネルの開発と利用
Development and utilization of a SNP panel for identification of the geographic origin of *Cryptomeria japonica*

森林総合研究所研究報告 第 17 卷 2 号 (通巻 446 号) 2018. 6

目 次

論 文

台風攪乱から 43 年が経過した縞枯れ林における地上部及び地下部
現存量の変化 (英文)

岩本 宏二郎、鷗川 信、荒木 眞岳、壁谷 大介、
石塚 森吉、梶本 卓也 117

木材腐朽菌 30 株による 4 色素、レマゾールブリリアントブルー R、
Poly R-478、Poly S-119、Azure B の脱色試験
高野 麻理子、服部 力、根田 仁 133

スギの遺伝的地域性識別のための SNP パネルの開発と利用
内山 憲太郎、松本 麻子 141

短 報

札幌市街地周辺におけるエゾシカのスポットライトカウント調査
松浦 友紀子 149

研究資料

次代検定林の成績によるトドマツ精英樹集団からの優良系統の選抜
中田 了五、坂本 庄生、西岡 直樹、花岡 創、来田 和人、
今 博計、石塚 航、黒丸 亮 155

カンボジアにおける森林土壌炭素蓄積に関するデータセット (英文)
鳥山 淳平、今矢 明宏、平井 敬三 175

インドネシア共和国東カリマンタン州の昆虫相ならびにその生態に関する
文献目録
楨原 寛、スギアルト、藤間 剛、ウォロ・ヌルジト、
松本 和馬、前藤 薫、上田 明良、滝 久智 187

事務所内装写真を用いた聞き取り調査に対する対応分析の有用性について
末吉 修三 209

Bulletin of Forestry and Forest Products Research Institute

Vol.17, No.2 (No.446), June 2018

CONTENTS

Original article

- Changes of above- and below-ground biomass forty-three years after a typhoon disturbance in a subalpine wave regeneration forest on Mt. Shimagare
Kojiro IWAMOTO, Shin UGAWA, Masatake G. ARAKI,
Daisuke KABEYA, Moriyoshi ISHIZUKA and
Takuya KAJIMOTO 117
- Decolorization of 4 dyes, Remazol Brilliant Blue R, Poly R-478, Poly S-119, and Azure B by 30 wood-rotting fungi.
Mariko TAKANO, Tsutomu HATTORI and Hitoshi NEDA ... 133
- Development and utilization of a SNP panel for identification of the geographic origin of *Cryptomeria japonica*
Kentaro UCHIYAMA and Asako MATSUMOTO 141

Short communication

- Counting urban sika deer using spotlight in Hokkaido, Japan.
Yukiko MATSUURA 149

Research record

- Selection of superior genotypes from the population of plus trees in *Abies sachalinensis* by the results from progeny trials in Hokkaido
Ryogo NAKADA, Shoki SAKAMOTO, Naoki NISHIOKA,
So HANAOKA, Kazuhito KITA, Hirokazu KON,
Wataru ISHIZUKA and Makoto KUROMARU 155
- Dataset of soil carbon stock in Cambodian forests
Jumpei TORIYAMA, Akihiro IMAYA and Keizo HIRAI 175
- Bibliography of fauna and ecology of insects in East Kalimantan, Indonesia
Hiroshi MAKIHARA, SUGIARTO, Takeshi TOMA,
Woro A. NOERDJITO, Kazuma MATSUMOTO,
Kaoru MAETO, Akira UEDA and Hisatomo TAKI 187
- Availability of correspondence analysis for interviews using photographs of workplace interiors
Shuzo SUEYOSHI 209

論文 (Original article)

Changes of above- and below-ground biomass forty-three years after a typhoon disturbance in a subalpine wave regeneration forest on Mt. Shimagare

Kojiro IWAMOTO^{1)*}, Shin UGAWA²⁾, Masatake G. ARAKI³⁾, Daisuke KABEYA³⁾,
Moriyoshi ISHIZUKA^{4), 5)} and Takuya KAJIMOTO³⁾

Abstract

Understanding post-disturbance reforestation processes could make a valuable contribution towards predicting the impacts of future changes in disturbance regimes on forest ecosystems. In this study, we aimed to estimate biomass dynamics in a wave-regenerated fir forest following blowdown. Three research forest stands at different developmental stages (young, intermediate, and mature; 19, 36, and 59 years-old, respectively) were established in a wave-regenerated *Abies* forest on Mt. Shimagare in central Japan, where a severe large-scale windthrow event occurred during a typhoon landfall in 1959 (Typhoon “Vera”). For each stand, above- and below-ground biomass was estimated using tree census data measured repeatedly from 2001 to 2008 and size-mass allometric equations developed based on the sample trees’ data. Growth patterns were also examined by tree ring analysis. The estimated biomass was the lowest in the young stand, but reached a similar level in both intermediate and mature stands. During the research period, mean height and estimated mass of trees were increasing in all sites but plot biomass were not increasing in the mature site because of mortalities of canopy trees. In the intermediate stand, tree ring analysis showed that post-typhoon seedlings could grow fast and thus a similar biomass accumulated to that in the mature stand, where trees originated from advanced seedlings that existed in high density prior to the disturbance. Compared to mature wave-regenerated fir forest without disturbance, mature forest in this study had lower biomass and the onset of mortality started earlier. These results suggest that typhoon disturbance affect subsequent forest structures and biomass accumulation.

Keywords: biomass dynamics, subalpine coniferous forest, wave-regeneration, typhoon disturbance

1. Introduction

Wave-regeneration is often observed in subalpine fir forests on slopes facing prevailing winds in several global regions, including Japan and northeastern North America (Iwaki and Totsuka 1959, Sprugel 1976, Boyce 1988, Kohyama 1988). Their landscapes are characterized by visible strips of dead trees between living stands, with a sequential arrangement between from smaller- to larger-sized trees down the slope. Wave-regeneration was long regarded as a shifting mosaic steady-state system, where waves of mortality (dead trees) move at a fairly uniform rate followed by continuous regeneration (Sprugel and Bormann 1981). Many studies have described the stand structure and dynamic features of

wave-regenerated forests (e.g. Okubo 1933, Oshima et al. 1958, Sprugel 1976, Tadaki et al. 1977, Kohyama and Fujita 1981, Kimura 1982, Ugawa et al. 2007). Without catastrophic disturbance such as severe blowdown, strips of new dead trees were observed year by year at the edges of mature stands in the windward direction. Several causes of tree mortality at the forest edge have been postulated: needle death by rime ice deposition (Marchand et al. 1986, Boyce 1988, Foster 1988b), desiccation due to winter winds (Hadley and Smith 1986, Maruta and Nakano 1999), desiccation and mechanical damage due to summer winds (Kai 1974, Oka 1983, Kohyama 1988), increased root damage from the swaying of trees in the wind (Marchand et al. 1986), and accelerated death of stressed

Received 16 March 2017, Accepted 7 February 2018

1) Tama Forest Science Garden, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Faculty of Agriculture, Kagoshima University

3) Department of Plant Ecology, FFPRI

4) Forestry and Forest Products Research Institute

5) Japan International Forestry Promotion and Cooperation Center

* Tama Forest Science Garden, FFPRI, 1833-81 Todori, Hachioji, Tokyo, 193-0843 JAPAN; e-mail: kojiro@ffpri.affrc.go.jp

trees by bark beetle infection (Ohtaka et al. 2002). Within a strip of dead trees, vigorous regeneration of seedlings occurs (mostly through the release of formerly suppressed seedlings). Multiple developmental stages of community dynamics can thus be observed in wave-regenerated forests at any one point in time (Oshima et al. 1958, Tadaki et al. 1977, Sprugel 1984, Ugawa et al. 2007). Some studies have estimated changes in stand biomass and productivity with the development of wave-regeneration by establishing experimental plots within various aged stands (or different developmental stages) (Tadaki et al. 1977, Sprugel 1984).

However, the forests in these studies were assumed to be in a shifting-mosaic steady state, which is only in equilibrium when disturbances are sufficiently frequent and small in scale relative to the landscape, and where most dynamic processes are distributed evenly over the whole area (Sprugel and Bormann 1981). Many studies have suggested that the maintenance of wave-regeneration is accompanied by gradual degradations of canopy trees due to continuous stress (e.g. Oshima et al. 1958, Tadaki et al. 1977, Sprugel and Bormann 1981). Such studies have not given consideration to large-scale disturbances, which are caused by low frequency events such as severe windstorm or fire. Tropical cyclones (called "typhoons" in the western North Pacific) often affect forest structure and function in tropical to temperate regions, causing uprooting and defoliation of trees due to strong winds (Chambers et al. 2004, 2007, Lin et al. 2011). For coniferous forests in cool temperate and subalpine regions, cyclones sometimes cause serious damage, such as windthrow of large trees across vast areas (Kimura et al. 1986, Foster 1988a, Yamanaka et al. 1994, Ishizuka et al. 1997, Suzuki et al. 2013). These intensive disturbances can lead to major modification of the forest structure and dynamics.

In 1959, typhoon Vera (known as the Isewan typhoon in Japanese) impacted on an extensive area of forest in central Japan and caused severe windthrow of large sized trees (Morita 1960), including a wave-regenerated forest on Mt. Shimagare (Tanabe 1960, Okuhara 1977, Kimura 1982). In this forest, it was observed that most trees within the mature tree zones were damaged and that the dead tree zone became wider after the typhoon disturbance (Okuhara 1977, Kohyama and Fujita 1981). A few decades later, damaged stands have recovered mainly through natural regrowth, retaining the familiar wave patterns (Kohyama and Fujita 1981, Kimura 1982). More recently, however, it was found that stand structures and age composition were greatly modified from those observed before the disturbance, shifting to smaller and younger trees (Suzuki 2003) and showing greater heterogeneity in spatial distribution of trees (Suzuki et al. 2009, 2013). These patterns were considered to result from differences in the spatial distribution

of advanced seedlings and saplings that were left over after dying of canopy trees by the typhoon disturbance (Suzuki et al. 2013). These structural changes and local heterogeneity may alter the carbon dynamics of wave-regenerated forest, but there is still no information on biomass dynamics following these intense disturbances. Future climate change is predicted to change the frequency and intensity of natural disturbance to forest ecosystems through events such as wind storm and fire (Dale et al. 2001, Pechony and Shindell 2010), so has the potential to reduce net carbon stocks (IPCC 2013).

In this study, we characterize biomass dynamics in a wave-regenerated fir forest following blowdown by typhoon Vera in 1959. We reconstructed the process of biomass dynamics over time and examined influencing factors, focusing on interactions between pre- and post-disturbance stand structures such as seedling density, which were playing a key role in biomass accumulation. We discuss to what extent the potential carbon stocks would differ in disturbed forest from those in non-disturbed stands by comparing published data of biomass accumulation in undisturbed wave-regeneration forests.

2. Materials and methods

2.1 Study site

This study was carried out in the subalpine conifer forest located on the southwestern slope of Mt. Shimagare (36° 4' N, 138° 20' E; 2403m a.s.l.) in the Northern Yatsugatake Mountains of central Japan (Fig. 1). Annual mean air temperature at the study site was about 1.9°C during the study period (2001-2008), estimated from the data recorded at the nearest AMeDAS station at Suwa city (about 20km southwest from the site). Annual precipitation recorded at the station averaged about 1200mm during the period. Snowfall at the site generally occurs from November to March, and snow accumulation continues from early December to late May.

The bedrock at Mt. Shimagare is andesite originating from volcanic eruptions in the mid- to late Pleistocene (Kawachi 1974). The soil is moderately moist and dark brown, falling into the FAO classification of Cambisol (Ugawa et al. 2010), and ground floor is covered with mosses, needle litters and humus. The mineral soil is relatively thin (30-40cm deep), permitting only the development of shallow tree root systems (Oshima et al. 1958). The study forest was dominated by two subalpine *Abies* species, *A. veitchii* Lindley and *A. mariesii* Mast., together with several other species, such as *Picea jezoensis* Carr. var. *hondoensis* (Mayr) Rehder, *Betula ermanii* Cham. and *Sorbus commixta* Hedl. (Oshima et al. 1958).

Before typhoon Vera, Yoshida and Yamanouchi (1955) established a 530m-length belt transect on the study slope. The same transect has been studied repeatedly in four different

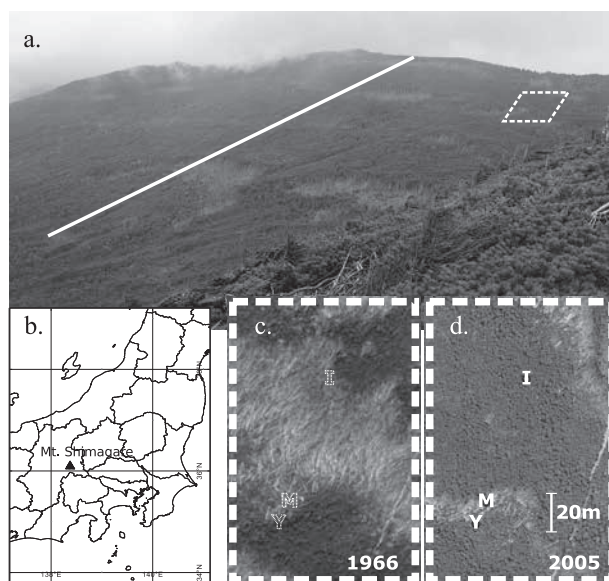


Fig. 1. Location and views of the study site.

(a) study site (dashed line square) on the southwestern slope of Mt. Shimagare, inset in (c) and (d); the solid white line shows the approximate location of the belt transect defined by Yoshida and Yamanouchi (1955). (b) Location of Mt. Shimagare on Honsyu Island, Japan. Aerial photographs around the research stands were taken in 1966 (c) and 2005 (d). Y, I and M in (c) and (d) show the locations of research stands that we settled in this study.

years (1954, 1977, 1987 and 2002) (Yoshida and Yamanouchi 1955, Okuhara 1977, Maeda and Shiratori 1987, Suzuki 2003). Using the data of mean heights in sub-quadrats along the transect published in these studies, we reconstructed a stand profile diagram (Fig. 2) to illustrate how the wave-like forest has shifted along the transect over the period of ca. 40 years following the typhoon disturbance. In 1954, prior to typhoon Vera, the mean tree height increased gradually down the slope within a single wave, then decreased abruptly at the lower edge of the wave (Fig. 2a). In 1977, 18 years after the disturbance, the mean tree height in each wave was smaller (about 10m) than that in 1954 (about 13m) (Fig. 2b). In addition, waves moved up the slope by some 70-90m, and the width of the stripe of dead trees found between waves was observed to be wider (Fig. 2a, b). These structural changes suggested that the typhoon disturbance event had accelerated tree mortality and gap movement (Kohyama and Fujita 1981, Oka 1983). Mean tree heights inside the waves were further reduced (to 7-8m in 1987 and 5m in 2002), while tree heights in the gaps became larger (Fig. 2c, d). Consequently, the forest in this study period is characterized by large irregular canopy openings caused by the typhoon (e.g., Kohyama and Fujita 1981) and by tree size and age structures that differ markedly from those of wave-regenerated forests that have not experienced a major disturbance event.

2.2 Field measurements

2.2.1 Tree census

In 2001, three research stands were selected as representatives of different developmental stages, i.e. young (Y), intermediate (I), and mature (M) stands. The median ages of *Abies* trees were 19 years in stand Y, 36 in stand I and 59 in stand M. Tree ages were estimated by counting the number of tree rings at the soil surface for each sample individual felled in 2002 (see below). Two 5m×5m plots were established in each stand for the purpose of obtaining tree census data. The plots were selected to represent high (h) and low (l) tree densities in each stand.

In each plot, we measured stem diameter at 1.3m height ($D_{1.3}$), height of crown base from the ground (H_B) and tree height (H) for all living trees taller than 1.3m of the two *Abies* species. We also recorded evidence of notable damage, such as stem breakage. For smaller trees ($0.3\text{m} \leq H < 1.3\text{m}$), stem diameters at 0.1m height ($D_{0.1}$), stem diameters at crown base (D_B), H_B and H were measured. For the two plots in stand Y, $D_{0.1}$ measurement were recorded for all trees, regardless of their heights, since many trees were below 1.3m in height and these trees were difficult to divide two layers, when we had measured first time in 2001. The tree census was conducted once a year in early June from 2001 to 2008. In June 2001 data for plot Y_1 was not collected: censuses were complete for all following years.

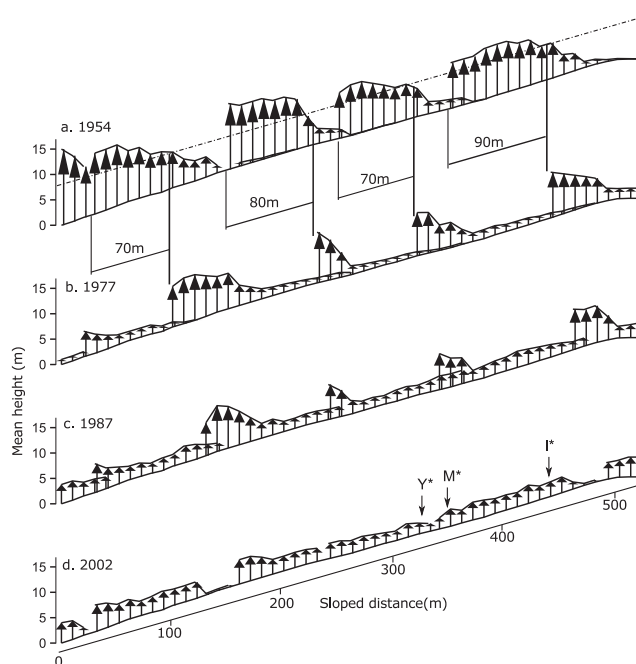


Fig. 2. Changes in mean tree heights along the slope of a wave-regenerated *Abies* dominated forest on Mt. Shimagare from 1954 (before typhoon Vera) to 2002. Data from permanent belt transect along the slope, 530m in length and 10m in width (Yoshida and Yamanouchi 1955, Okuhara 1977, Maeda and Shiratori 1987, Suzuki 2003). Redrawn from Maeda and Shiratori (1987), and data added from Suzuki (2003). Mean tree height in each 10x10m (sloped distances) sequential quadrat shown. Dashed dotted line shows 8m height, showing the boundary of height dependent typhoon disturbance on canopy trees, estimated from a comparison of the stand profiles from 1954 (a) to 1977 (b). Y*, I* and M* show the relative locations of the young, intermediate and mature stands examined in this study.

2.2.2 Tree sampling

In October 2002 and 2003, we sampled 31 trees to establish size-dry mass allometric equations ($n=16$ for *A. veitchii*, $n=15$ for *A. mariesii*; using five or six trees per species in each stand). The height ranges of the sample trees were 0.41–2.92m in stand Y, 2.94–5.95m in stand I and 2.43–7.12m in stand M. The sample trees were felled at ground surface level and four size parameters, $D_{1.3}$, H , H_B , and D_B , were measured. For the smaller sample trees in stand Y, $D_{0.1}$ was measured instead of $D_{1.3}$. Each sample tree in stands I and M was divided into 1-m vertical segments, and the fresh masses of the stem and branches with needles in each segment were measured separately. Stems of sample trees in stand Y were cut into shorter segments (0.125–0.5m in length). In each segment, several branches (with needles) were randomly sampled for determining relative proportion of needles, and stem disks were removed from the lower-most segment. Current branches (i.e. with needles) were removed from older parts of samples and weighed to quantify their fresh masses separately. These samples were taken to the laboratory and needles were removed from each branch samples. All samples (stem,

current branches and needles, older branches and needles) were oven-dried at 70°C for three to seven days until weights remained constant, and the dry/fresh ratio of each component was determined. Using these data, the dry masses of stem (W_S), branches (W_B) and needles (W_N) of each sample tree were calculated.

2.3 Data analysis

To examine the growth patterns of *Abies* trees in each study stand, fluctuations in annual ring widths were analyzed for the stem disks taken at the lowermost section of the sample trees. Annual ring widths were measured in four directions in the cross section.

To estimate the individual- and stand-level biomass of the four tree components (stem, branch, needle, coarse root), we developed nonlinear model equations based on allometric relationships between observed size parameters ($D_{1.3}$ or $D_{0.1}$, H and H_B) and each component dry mass. Details of model selection and fitting method are summarized in the Appendix, and the final models selected are shown in Appendix Table 2. The coefficients of the selected models that we used were

different between the two tree species. Yearly changes in the biomass of each of the tree component within the six study plots were reconstructed using these nonlinear model equations. Here, both of the biomass of undamaged *Abies* trees and those that were affected by shoot damage were estimated using the same prediction formula. The biomass of *Betula* trees which grew only in the high-density, intermediate aged stand (I_h), was ignored due to its relatively minor overall contribution.

Patterns of yearly changes in plot biomass were compared between the two different density plots (high, low) within each stand, using a linear mixed model to test for differences in initial biomass and annual biomass increment on time course data in each plot. The following model was fitted to the data in each stand:

$$\text{Model1: } W = \beta_0 + \beta_1 \text{DENSITY} + \beta_2 \text{YEAR} + \beta_3 \text{DENSITY:YEAR} + R + \varepsilon$$

where the yearly change in total biomass in each plot (W) was given as the linear regression of two factors: YEAR (years from 2001: 0-7) and DENSITY (plot densities: high=0 and low=1), and their interaction DENSITY:YEAR . R indicates random effects of plots. In this model, the coefficients (β_0 , $\beta_0 + \beta_1$) describe the initial biomass, and (β_2 , $\beta_2 + \beta_3$) the annual increments in high and low density plots respectively.

For comparison of biomass differences among the stands, we

fitted another linear model separately to each series of the high and low density plots in the Y, I and M stands.

$$\text{Model2: } W = \beta_0 + \beta_1 \text{STANDY} + \beta_2 \text{STANDM} + \beta_3 \text{YEAR} + \beta_4 \text{STANDY:YEAR} + \beta_5 \text{STANDM:YEAR} + R + \varepsilon$$

where STANDY and STANDM are dummy variables denoting stands.

The two *Abies* species were distinguished in the field measurements and during sampling, but were treated together in the data analysis.

3. Results

3.1 Stand structure change

Table 1 summarizes tree size parameters, stand structure variables and each component biomass obtained in each plot at the beginning (2002) and end of the study period (2008). In 2002, the densities of *Abies* trees ($3.20\text{--}4.68\text{m}^{-2}$) in the high density plots (Y_h , I_h , M_h) were approximately twice those ($1.40\text{--}2.16\text{m}^{-2}$) in each corresponding low density plot (Y_l , I_l , M_l). Of the high density plots, *Abies* density was highest in Y_h and similar between the I_h and M_h plots. The densities decreased in all high density plots and one low density plot (M_l) during the study period, while they remained similar in the other two plots (Y_l and I_l) (Table 1, see also Fig. 3). In stand M, which was located adjacent to a dead tree zone of wave-regeneration, some canopy-layer trees were observed to decline (i.e., crown

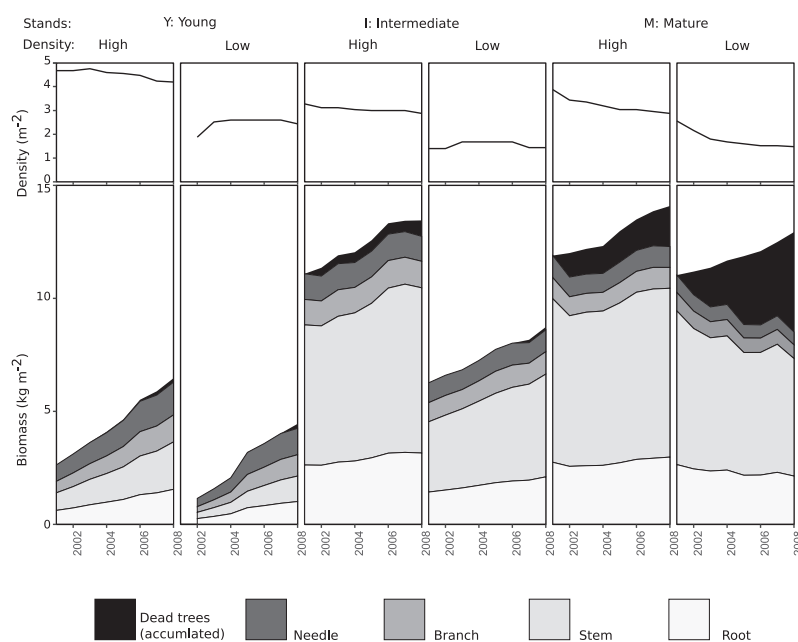


Fig. 3. Changes in the tree density and biomass of each tree component (stem, branch, needle coarse root and accumulated loss with dead trees) for six study plots in the years 2002-2008.

Table 1. Outline of the study plots.

Stand	Y				I				M			
Age (median(range))	18(15-29)				35(32-74)				58(46-66)			
Plot	Y _l		Y _h		I _l		I _h		M _l		M _h	
year	2002	2008	2002	2008	2002	2008	2002	2008	2002	2008	2002	2008
Density (m ⁻²)	1.88	2.44	4.68	4.2	1.4	1.44	3.2	2.96	2.16	1.48	3.44	2.88
Mixture ratio (%)												
Abies mariesii	0.7	0.77	0.71	0.68	0.29	0.25	0.5	0.5	0.52	0.46	0.41	0.4
Abies veitchii	0.3	0.23	0.29	0.32	0.71	0.75	0.48	0.47	0.48	0.54	0.59	0.6
Betula ermanii							0.03	0.03				
Height, H (m), mean	1	1.6	1.3	1.9	2.7	2.8	3	3.3	3.8	3.8	3.1	3.4
(min-max)	0.6-1.7	0.5-3.0	0.4-2.3	0.4-3.4	0.6-5.3	0.5-6.3	0.6-5.5	0.6-6.1	0.7-6.7	0.5-7.0	0.5-6.0	0.4-6.4
Crown length, C(m)												
mean	0.9	1.2	0.9	1	1.3	1.2	1	1	1	0.9	0.8	0.9
(min-max)	0.5-1.6	0.2-2.9	0.1-2.1	0.0-3.1	0.1-3.8	0.0-4.3	0.0-3.2	0.0-3.3	0.0-3.6	0.0-3.2	0.0-2.7	0.0-3.7
C / H, mean	0.87	0.73	0.7	0.5	0.4	0.32	0.29	0.24	0.22	0.26	0.21	0.22
(min-max)	0.74-0.97	0.31-1.00	0.10-0.96	0.01-0.94	0.10-0.73	0.03-0.67	0.03-0.62	0.02-0.53	0.01-1.00	0.01-0.83	0.00-0.53	0.02-0.63
Upper layer (H>1.3m trees in I and M)												
D _{1.3} (cm), mean					5.8	6.8	4.7	5.1	5.3	6.4	4.5	5.1
(min-max)					2.9-11.1	3.5-13.1	1.9-10.5	1.7-11.5	1.7-10.6	2.5-11.6	1.8-8.9	2.0-9.9
H/D _{1.3} , mean					68	67	82	79	90	85	84	81
(min-max)					47-86	49-79	45-143	49-143	60-124	60-111	63-116	60-111
BA _{1.3} (cm ² m ⁻²)					25.4	32.8	48.9	56.4	43.4	34.7	49.4	53.9
Lower layer (0.3m<H≤1.3m trees in I and M, 0.3m<H trees in Y)												
D _{0.1} (cm), mean	2.3	3.5	2.4	3.4	1.9	1.8	2.2	2.1	1.8	2.1	1.7	1.8
(min-max)	0.9-4.8	0.9-9.0	1.0-6.4	1.2-8.4	0.8-2.6	0.9-2.6	1.3-3.6	1.3-3.5	1.0-2.7	1.2-3.5	0.8-2.9	1.0-2.9
H/D _{0.1} , mean	46	48	58	59	56	52	50	48	65	49	58	52
(min-max)	24-70	14-83	26-115	19-143	39-72	32-75	30-72	31-76	48-85	35-69	41-77	43-73
BA _{0.1} (cm ² m ⁻²)	9.1	29.1	25.3	45.7	1.7	1.7	3.1	2.3	1.4	2	2	1.6
Biomass estimated (kg/m ² (%))	1.1(100)	4.2(100)	3.1(100)	6.3(100)	6.6(100)	8.6(100)	11(100)	12.7(100)	10.2(100)	8.5(100)	10.9(100)	12.3(100)
Needle	0.4(32)	1.2(27)	0.8(27)	1.4(23)	0.9(14)	1.0(11)	1.1(10)	1.1(9)	0.7(7)	0.6(7)	0.9(8)	0.9(8)
Branch	0.3(22)	0.9(22)	0.6(19)	1.2(19)	0.9(13)	1.0(12)	1.1(10)	1.2(9)	0.8(8)	0.6(7)	0.8(8)	0.9(8)
Stem	0.3(24)	1.1(27)	0.9(30)	2.1(33)	3.3(50)	4.5(53)	6.2(56)	7.3(57)	6.2(61)	5.2(61)	6.7(61)	7.5(61)
Root	0.3(22)	1.0(24)	0.7(24)	1.5(25)	1.5(23)	2.1(24)	2.6(24)	3.2(25)	2.5(24)	2.1(25)	2.6(23)	3.0(24)

Y, I and M in the stand show young, intermediate and mature stand respectively, Subscript h and l in plot name represent high- and low- density respectively, D_{1.3} and D_{0.1} show stem diameter at 1.3m height and at 0.1m height, BA_{1.3} and BA_{0.1} show basal areas at 1.3m height and at 0.1m height.

Table 2. Regression results of the selected models for annual changes of the biomass estimates in each plot

Model 1:	$W = \beta_0 + \beta_1 \text{ DENSITY} + \beta_2 \text{ YEAR} + \beta_3 \text{ DENSITY:YEAR} + R$								
Factors:	YEAR: years from 2001 (0-7) DENSITY: plot densities High=0 and Low =1 R : Random effects of plots								
Coefficients:									
STAND	β_0	β_1	β_2	β_3	R	SD	residuals SD		
Young	2.53	-1.87	0.54			$1.5e^{-6}$	0.16		
Intermediate	10.86	-4.56	0.32			$1.7e^{-6}$	0.18		
Mature	11.11	-0.55	0.16	-0.46		$3.3e^{-6}$	0.36		
Interpretation of coefficients:									
β_0 and $\beta_0 + \beta_1$: initial biomass in high and low density plots									
β_2 and $\beta_2 + \beta_3$: annual increments in high and low density plots									
Model 2:	$W = \beta_0 + \beta_1 \text{ STANDY} + \beta_2 \text{ STANDM} + \beta_3 \text{ YEAR} + \beta_4 \text{ STANDY:YEAR} + \beta_5 \text{ STANDM:YEAR} + R$								
Factors:	YEAR : years from 2001 (0-7) STANDY : The young stand=1, others=0 STANDM : The mature stand=1, others=0								
Coefficients:									
STAND	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	R	SD	residuals SD
High density	11.01	-8.43		0.29	0.25	-0.11	$2.3e^{-6}$	0.27	
Low density	6.27	-5.68	4.29	0.33	0.23	-0.63	$1.0e^{-6}$	0.24	
Interpretation of coefficients:									
$\beta_0, \beta_0 + \beta_1$ and $\beta_0 + \beta_2$: initial biomass in the stands I, Y and M									
$\beta_3, \beta_3 + \beta_4$ and $\beta_3 + \beta_5$: annual increments in the stands I, Y and M									

dieback) and some died within both study plots (M_l and M_h) during the study period. The mean H , which was highest in stand M and lowest in stand Y , increased in all plots during the study period. The mean crown length $C = H - H_B$ ranged from 0.8m in M_h to 1.3m in I_l and was greater in the low density plot (Y_l , I_l , M_l) than in the corresponding high density plot (Y_h , I_h , M_h) in each stand. Mean C was shortest in M_h among the high density plots. The mean ratios of C to H were largest in stand Y and decreased in order of Y , I , M and was higher in the low density plot than in the corresponding high density plot in each stand. The mean $D_{1.3}$ in the four plots in stand I and M increased during the study period. Mean $D_{1.3}$ values in the two mature plots (M_l , M_h) were similar to those in the two intermediate-age plots (I_l , I_h). The mean ratios of H to $D_{1.3}$ in the four plots in stands I and M ranged from 67 in I_l to 90 in M_l and were smaller in stand I than in stand M . In stand I , $H/D_{1.3}$ ratios were smaller in I_l than in I_h .

3.2 Tree growth patterns

We counted 47-67 annual tree rings for the sample trees in stand M , 33-72 in stand I , and 15-30 in stand Y (Table 1). By calculating from the year when each tree was felled (2002 in the I and M stands, 2003 in the Y stand), the innermost tree rings were formed in the years 1936-1956 in stand M , 1931-1970 in stand I , and 1974-1989 in stand Y . As for stand I , a single tree had 72 rings, while the other nine trees were much younger, with a narrow range of 33-38 rings, indicating that the

sample trees were mostly established at similar period (1965-1970).

Tree ring analysis showed that growth patterns of the sample trees differed among the three stands (Fig. 4). In the stand M , the sample tree diameters increased slowly in their early years (1940-50s), and the growth of some trees increased sharply from 1959 onwards. On the other hand, in the stand I , many of the sample tree diameters increased linearly from their early stages. In the stand Y , diameter growth gradually increased during the trees' initial stages of development. In yearly changes of mean width of tree rings in the stands, monopodial patterns were shown in stand I and M with their peak in 1980 and 1966 respectively (Fig. 4). The peak value of mean width was smaller in stand M than in other two stands. From these patterns, we divided them to three phases, i.e., Phase 1, where ring width fluctuations remain low, Phase 2: where ring width rapidly increase, Phase 3: where they decrease gradually with annual fluctuations. In stand Y , they increased monotonously and were not considered to have reached Phase 3 yet. For comparing the increasing rates of tree ring width in the phase 2 among the stands, a linear mixed effects model that include effects of elapsed years, the stands and their interactions with individual trees as a random effect was fitted on these data. The fixed effects of interactions between elapsed time and stand were not significant ($p > 0.05$). It showed that increasing rates of tree ring width in Phase 2 were not significantly different among stands.

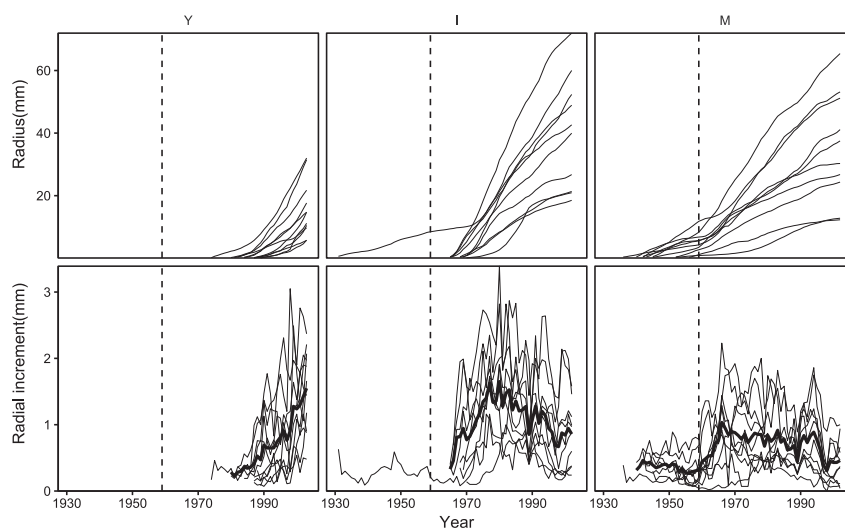


Fig. 4. Changes in radiuses and their annual increments of tree rings at soil surface level for each sample tree of young (Y), intermediate (I) and mature (M) stands.

Bold lines show annual means of radial increments in each stand. Vertical dashed line indicates the year 1959 when typhoon Vera attacked.

3.3 Biomass change

Total and each component biomass increased in all the study plots except M_l during the study period. Biomass was highest in plot I_h , and similar between plots I_h and M_h in 2001 (Fig. 3). According to the model selections from subsets of Model1, the model including the major effects of *DENSITY*, *YEAR* and the interaction effect of *DENSITY:YEAR* was selected for fitting to the stand M data, whereas the effects of *DENSITY:YEAR* were excluded in the model selected for stands Y and I (Table 2). These results indicated that initial biomass was lower in the low density plot than high density plot in each stand, and rates of biomass increment did not differ between the high- and low-density plots in stands Y and I. Consequently, the annual biomass increment in each plot, which were estimated by the parameters of Model1, was $0.54 \text{ kg m}^{-2} \text{ year}^{-1}$ in stand Y, $0.32 \text{ kg m}^{-2} \text{ year}^{-1}$ in stand I, $0.16 \text{ kg m}^{-2} \text{ year}^{-1}$ in plot M_h and $-0.30 \text{ kg m}^{-2} \text{ year}^{-1}$ in plot M_l . As mentioned above, several large canopy-layer trees of the mature stand (M) had declined and died during the study period, which greatly contributed to the continuous reduction of biomass in plot M_l during the study period (Fig. 3). In the results from the model selections from subsets of Model2, the effect *YEAR* and its interactions with stand *STANDY:YEAR*, *STANDM:YEAR* were selected in both sets of the different densities. Biomass increment was largest in stand Y, followed by stands I and M (Table 2).

Each estimate of needle and branches biomass increased rapidly over time in stand Y, whereas they stayed at almost constant levels in the high-density plots in stands I and M during the years 2001 to 2008 (Table 1, Fig. 3). On the other hand, the relative proportion of biomass in stems increased in stands Y and I, with a corresponding decrease in that of needles (Table 1, Fig. 3). When the two plots of different densities were compared for each stand, the estimates of biomass in branches and needles were smaller but their relative proportions were greater in the low-density plot than the high-density plot.

4. Discussion

We compared the temporal trends in aboveground biomass in our study site with the results from three previous studies conducted in wave-regeneration forests (Fig. 5). One site was located in the vicinity of our site, Mt. Shimagare, from which biomass data were obtained before the Typhoon Vera event (Oshima et al. 1958). Other sites were located on Mt. Asahi (about 36 km from our study site), where the typhoon disturbance was not serious (Tadaki et al. 1977), and on Whiteface mountain, North America (Sprugel 1984). These previous studies share a similar pattern, increasing rapidly in young stands (30-40 years), then increasing monotonously

until 60-100 years of age (Fig. 5). Our study results also followed those patterns. However, the biomass estimates in stand M (about $8\text{-}9 \text{ kg m}^{-2}$; M_h , M_l) were smaller than those of the similar-aged (> 60 years) stands in the previous studies. There were comparable amounts with that in stand I, which was about 20 years younger than stand M. We observed the death of several canopy trees in stand M during the research period and many trees had already exhibited symptoms of dieback. Though previous studies noted that mortality of overstory trees in wave-regeneration forests occurs at 80 - 100 years (Oshima et al. 1958, Kohyama and Fujita 1981), the onset of mortality started earlier in stand M, at ca. 60 years old. This reduction of age and tree sizes in mature stands could be related to the typhoon disturbances that had accelerated tree mortality and increased gap movement, as already described in the section 2.1. We could not estimate overall variations in tree sizes on whole areas of the forest from using these results from the limited sample areas. However, recent studies on Mt. Shimagare showed that tree size compositions in mature tree stands were similar to those that we observed (Suzuki 2003 (Fig. 2d), Ugawa et al. 2007). It suggests that the reduction in biomass that we found prevail on the slopes of Mt. Shimagare.

To examine the linkage between the observed patterns in biomass and stand structural change, we superimposed the relative position of each study stand on the diagrams of stand profile (see marks Y^* , I^* , M^* in Fig. 2d) of a nearby transect along wave-regeneration forest (Fig. 1) where past stand structure has been reconstructed repeatedly since 1954 (see Methods). According to the virtual plot location, the current young stand (Y^*) is considered as a formerly intermediate-aged stand when typhoon Vera struck in 1959 (see diagram in 1954; Fig. 2a). Likewise, the intermediate (I^*) and mature (M^*) stands correspond to formerly mature and young (or overmature) stands, respectively. Comparison of the stand profiles from 1954 to 1977 (Fig. 2a, b) indicates that the typhoon windthrow occurred in stands where the mean height of canopy trees exceeded approximately 8 m. Fig. 1c shows that there were still many windthrown trees on the forest floor, and that only the stand I^* was located within a large windthrown area when the aerial photograph taken in 1966, eight years after the typhoon. This evidence suggests that only the stand I^* sustained destructive typhoon damage on canopy-layer trees, whereas the other two sites, M^* and Y^* , escaped serious damage because there were few or no canopy-layer trees ($H > 8\text{m}$) present at that time.

The difference in the magnitude of disturbance by growth stage may also have affected post-disturbance regeneration processes and growth conditions of seedlings. Positive growth response of seedlings often appears due to improved light conditions following windthrow events (Kimura et al. 1986).

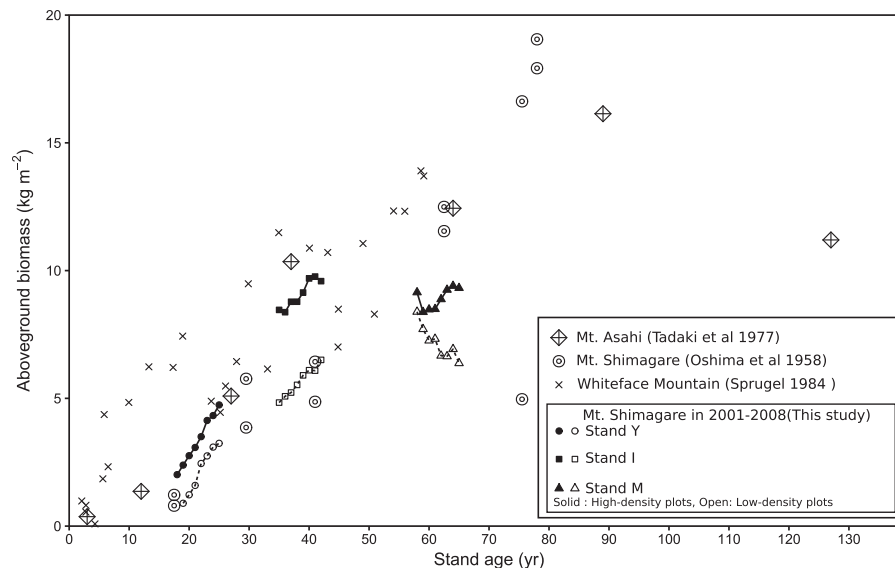


Fig. 5. Relationships between aboveground biomass and stand age of six study plots in wave-regeneration forests on Mt. Shimagare from 2001-2008.

Stand Y: young stand, Stand I: intermediate stand, Stand M: mature stand. Data from three previous studies are also indicated: one in wave-regeneration *Abies* forests on Mt. Asahi (Tadaki et al. 1977), another in pre-disturbance, wave-regeneration fir forests on Mt. Shimagare before typhoon Vera (Oshima et al. 1958) and the other in Whiteface Mountain, USA (Sprugel 1984). For the data of Oshima et al. (1958), the aboveground biomass in each plot was calculated by multiplying aboveground total dry mass of standard-size sample trees and tree density. Note that each stand age was estimated by the number of stem rings at 50cm height in Sprugel (1984), at soil surface in other studies.

The recovery of a subalpine coniferous forests following a windthrow event was dependent on both the release of previously suppressed, advanced seedlings and newly recruited seedlings (Kohyama 1984, Kimura et al. 1986, Yamamoto 1996, Kulakowski and Veblen 2003). The state of the seedling bank varies depending on the condition of the canopy trees and the light conditions (Kohyama 1984). In mature wave-regenerated forests close to dieback zones, seedling populations become established in high densities following gradual changes in light conditions on the forest floor (Kimura 1982). For example, Ugawa et al. (2010) suggested that *Abies* seedlings can establish in mature stands with fewer than 6,000 trees per hectare (>6% relative light intensity). It was shown that seedlings were established approximately 30-70 /m² at young stands in 1958 (Oshima et al. 1958). As mentioned above, the stand M was considered to be a similar young stand at that time (Fig. 2), so it was speculated that the forest in stand M had been grown from such a high densities of seedling community, with large mortalities due to self-thinning. On the other hand, the faster growth of trees in stand I than in stand M (Fig. 4) may result from more favorable light conditions for post-typhoon seedlings. These are found under the condition

of lower seedling densities under the larger canopy openings. In the results from tree-ring analysis, all of the sample trees in site M showed symptoms of suppression, but in site I most sample trees grow rapidly from their initial phase (Fig. 4). Therefore, biomass accumulation largely depended on seedlings that germinated after the typhoon disturbance in stand I, whereas in stand M biomass accumulation relied on more advanced seedlings already recruited there (i.e., pre-typhoon seedlings). In addition, maximum value of mean annual increments was smaller in stand M than in other two stands. This result also supported that the forest in stand M had been grown from higher densities of seedling community than in other stands, considering that tree radial growth were majorly regulated by competition among neighboring trees (Kunstler et al. 2011). These results suggested that stand I growth could achieve a rate of biomass accumulation as high as that of stand M in a shorter period, mainly due to faster individual growth rates. The positive growth response which can be expected after a severe disturbance thus happens only under a particular combination of stand structure and seedling type. To evaluate more large-scale variations in seedling growth response and its contribution to stand-level biomass

accumulation, we must examine other relevant growth factors or inhibitors of seedling establishment processes, such as heterogeneity in seed dispersal, accumulation of windthrown tree boles and competition with tall herbs (Rammig et al. 2006, 2007). Suzuki et al. (2013) examined stand structures in wave-regeneration fir forest close to our study site, showing that a large degree of heterogeneity in tree distribution still existed 45 years after Typhoon Vera, and suggested that differences in the density and spatial distribution of seedlings produced at the time of disturbance persisted and gave rise to the heterogeneity.

The biomass of branches and needles increased rapidly in stand Y, whereas they had near-constant values in stands I and M (Table 2, Fig. 3). The biomass of stems and coarse roots increased perceptibly in all stands. Consequently, the relative biomass proportion of stems and roots increased in all stands during the study period (Fig. 3). The pattern of biomass allocation is similar to those reported in other wave-regeneration subalpine forest studies without wind storm disturbance (Tadaki et al. 1977, Sprugel 1984). The foliage biomass in our study forest, ranging from 0.92-1.17 kg m⁻² (maximum 1.45 kg m⁻² in the young stand Y_b) (Table 2), is nearly equivalent to the estimated range (0.86-1.05 kg m⁻²) and maximum (1.21 kg m⁻²) in a young stand (13 yrs-old) in the wave-regeneration forest on Mt. Shimagare before the Typhoon Vera damage (Oshima et al. 1958). This suggests that the foliage biomass of the typhoon-disturbed forest has already recovered to the same level as before the typhoon, although the total stand biomass has not yet fully recovered (Fig. 5).

5. Conclusion

In this study, we showed that heterogeneity of seedling distributions that were caused by typhoon disturbance affect subsequent forest structures and biomass accumulation. On the other hand, previous studies have shown that the effects of past typhoon disturbance on the forest were confined to the reduction in size of mature trees at the forest edges and in the heterogeneity of spatial tree distributions. From these observations we speculated that biomass on the slopes of Mt. Shimagare had not yet recovered to pre-disturbance levels. As global-scale climate change is likely to influence hurricane formation (Royer et al. 1998, Dale et al. 2001), shifting storm tracks and an increasing probability of stronger typhoons making landfall are predicted around Japan (Murakami et al. 2010, Yasuda et al. 2010). To evaluate precisely the total future changes in overall carbon stocks in this forest ecosystem under any given climate change scenario, further analyses on the interaction between forest structure and biomass changes are necessary, with a particular focus on large-scale spatial heterogeneity (i.e., landscape level) effects.

Acknowledgement

We would like to thank the Nagano Prefectural Government and Japanese Forestry Agency for permission to conduct surveys in Yatsugatake-chubu Sangaku Quasi-National Park. We would also like to thank Fukuda Kenji and Suzuki Kazuo, professor of the university of Tokyo, for helpful advices from the beginnings of the research, Tabuchi Ryuichi, Hasegawa Motohiro and other researchers of FFPRI for the field survey and useful suggestions, Tate Kazuko and Michiru Ohnaka for their help in laboratory work. This research is partially supported by a grant from the Japanese Ministry of the Environment for Global Environment Research.

References

- Boyce, R. L. (1988) Wind direction and fir wave motion. *Can. J. Forest Res.* 18, 461-466.
- Chambers, J., Higuchi, N., Teixeira, L., dos Santos, J., Laurance, S. and Trumbore, S. (2004) Response of tree biomass and wood litter to disturbance in a Central Amazon forest. *Oecologia*, 141, 596-611.
- Chambers, J. Q., Fisher, J. I., Zeng, H., Chapman, E. L., Baker, D. B. and Hurtt, G. C. (2007) Hurricane Katrina's carbon footprint on US Gulf Coast forests. *Science*, 318, 1107-1107.
- Dale, V. H., Joyce, L. A., McNulty, S., Neilson, R. P., Ayres, M. P., Flannigan, M. D., Hanson, P. J., Irland, L. C., Lugo, A. E. and Peterson, C. J. (2001) Climate change and forest disturbances: climate change can affect forests by altering the frequency, intensity, duration, and timing of fire, drought, introduced species, insect and pathogen outbreaks, hurricanes, windstorms, ice storms, or landslides. *BioScience*, 51, 723-734.
- Foster, D. R. (1988a) Species and stand response to catastrophic wind in central New England, USA. *J. Ecol.*, 76, 135-151.
- Foster, J. R. (1988b) The Potential Role of Rime Ice Defoliation in Tree Mortality of Wave- Regenerated Balsam Fir Forests. *J. Ecol.*, 76, 172-180.
- Hadley, J. L. and Smith, W. K. (1986) Wind Effects on Needles of Timberline Conifers: Seasonal Influence on Mortality. *Ecology*, 67, 12-19.
- IPCC (2013) "*Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*". Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Ishizuka, M., Toyooka, H., Osawa, A., Kushima, H., Kanazawa, Y. and Sato, A. (1997) Secondary succession following catastrophic windthrow in a boreal forest in Hokkaido, Japan. *J. Sustain. Forest.*, 6, 367-388.
- Iwaki, H. and Totsuka, T. (1959) Ecological and physiological

- studies on the vegetation of Mt. Shimagare II. On the Crescent-shaped "Dead Trees Strips" in the Yatsugatake and the Chichibu Mountains. *Bot. Mag. Tokyo*, 72, 255-260.
- Kai, K. (1974) Some aspects on the Shimagare phenomenon in the subalpine forests in the Kanto and the Chubu districts, Japan. *Geogr. Rev. Japan*, 47, 709-719.
- Kawachi, S. (1974) Geology of the Tateshinayama district. Geological Survey of Japan, Tokyo.
- Kimura, M. (1982) Changes in population structure, productivity and dry matter allocation with the progress of wave regeneration of *Abies* stands in Japanese subalpine regions. In Waring, R. W. (ed.) "*Carbon Uptake and Allocation in Subalpine Ecosystems as a Key to Management*", Proceedings of an I.U.F.R.O. workshop P. I. 07-00 Ecology of Subalpine zones. Oregon State Univ., 57-63.
- Kimura, M., Kimura, W., Honma, S., Hasuno, T., Sasaki, T. (1986) Analysis of development of a subalpine *Abies* stand based on the growth processes of individual trees. *Ecol. Res.*, 1, 229-248.
- Kohyama, T. (1984) Regeneration and coexistence of two *Abies* species dominating subalpine forests in central Japan. *Oecologia*, 62, 156-161.
- Kohyama, T. (1988) Etiology of "Shimagare" Dieback and Regeneration in Subalpine *Abies* Forests of Japan. *GeoJournal*, 17, 201-208.
- Kohyama, T. and Fujita, N. (1981) Studies on the *Abies* population of Mt. Shimagare. *Bot. Mag. Tokyo*, 94, 55-68.
- Kulakowski, D. and Veblen, T. T. (2003) Subalpine forest development following a blowdown in the Mount Zirkel Wilderness, Colorado. *J. Veg. Sci.*, 14, 653-660.
- Kunstler, G., Albert, C. H., Courbaud, B., Lavergne, S., Thuiller, W., Vieilledent, G., Zimmermann, N. E. and Coomes, D. A. (2011) Effects of competition on tree radial-growth vary in importance but not in intensity along climatic gradients. *J. Ecol.* 99, 300-312.
- Lin, T. -C., Hamburg, S. P., Lin, K. -C., Wang, L. -J., Chang, C. -T., Hsia, Y. -J., Vadeboncoeur, M. A., McMullen, C. M. M. and Liu, C. -P. (2011) Typhoon disturbance and forest dynamics: lessons from a Northwest Pacific subtropical forest. *Ecosystems*, 14, 127-143.
- Maeda, S. and Shiratori, S. (1987) Follow-up survey on Shimagare phenomena, an interim report 2. Gyomu Kenkyu Happyou Shu, Nagano Central Forest Office, 62, 17-25.
- Marchand, P. J., Goulet, F. L. and Harrington, T. C. (1986) Death by attrition: a hypothesis for wave mortality of subalpine *Abies balsamea*. *Can. J. Forest Res.*, 16, 591-596.
- Maruta, E. and Nakano, T. (1999) The effects of environmental stresses on conifers in the subalpine area of the Central Japan. *Jpn J. Ecol.* 49(3), 293-300.
- Morita, S. (1960) Showa-34-nen Taihuu Higai Hakusyo: Rinsan. Ringyo Gijutu, 220, 21-26.
- Murakami, H., Wang, B. and Kitoh, A. (2010) Future change of western north pacific typhoons: Projections by a 20-km-Mesh Global Atmospheric Model. *J. Climate*, 24, 1154-1169.
- Ohtaka, N., Masuya, H., Kaneko, S., Yamaoka, Y. and Ohsawa, M. (2002) Ophiostomatoid fungi associated with bark beetles on *Abies veitchii* in wave-regenerated forests. *J. For. Res.* 7, 145-151.
- Oka, S. (1983) Reconsideration on the distribution of the Shimagare phenomenon in Japan. *J. Geogr.* 92, 1-16.
- Okubo, K. (1933) On Mt. Shimagare. *Jpn J. Forest.*, 15, 652-668.
- Okuhara, T. (1977) Follow-up survey on Shimagare phenomena, an interim report. Gijutsu Kaihatsu Kenkyukai Syu-roku, Nagano Central Forest Office, 52, 29-37.
- Oshima, Y., Kimura, M., Iwaki, H. and Kuroiwa, S. (1958) Ecological and Physiological Studies on the Vegetation of Mt. Shimagare I. Preliminary Survey of the Vegetation of Mt. Shimagare. *Bot. Mag. Tokyo*, 71, 289-301.
- Pechony, O. and Shindell, D. T. (2010) Driving forces of global wildfires over the past millennium and the forthcoming century. *Proc. Nat. A Sci. USA*, 107, 19167-19170.
- Pinheiro, J.C. and Bates, D.M. (2000) Mixed-effects models in S and S-PLUS. Springer Verlag New York, LLC, New York, NY, USA.
- Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D. and R Core Team (2015) nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-122, URL: <http://CRAN.R-project.org/package=nlme>.
- R Core Team (2015) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rammig, A., Fahse, L., Bebi, P. and Bugmann, H. (2007) Wind disturbance in mountain forests: Simulating the impact of management strategies, seed supply, and ungulate browsing on forest succession. *Forest Ecol. Manag.*, 242, 142-154.
- Rammig, A., Fahse, L., Bugmann, H. and Bebi, P. (2006) Forest regeneration after disturbance: A modelling study for the Swiss Alps. *Forest Ecol. Manag.*, 222, 123-136.
- Royer, J. F., Chauvin, F., Timbal, B., Araspin, P. and Grimal, D. (1998) A Gcm Study of the Impact of Greenhouse Gas Increase on the Frequency of Occurrence of Tropical Cyclones. *Climatic Change*, 38, 307-343.
- Sprugel, D. G. (1976) Dynamic structure of wave-regenerated *Abies balsamea* forests in the north-eastern United States. *J. Ecol.*, 64, 889-911.
- Sprugel, D. G. (1984) Density, biomass, productivity, and

nutrient-cycling changes during stand development in wave-regenerated balsam fir forests. *Ecol. Monogr.*, 54, 165-186.

Sprugel, D. G. and Bormann, F. H. (1981) Natural disturbance and the steady state in high-altitude balsam fir forests. *Science* 211, 390-393.

Sugiura, N. (1978) Further analysts of the data by akaike's information criterion and the finite corrections. *Commun. Stat.- Theor. M.*, 7, 13-26.

Suzuki, K. (2003) Follow-up survey on Shimagare phenomena, an interim report 3. Nagano Ringyo Gijutsu Kouryu Happyou Shu, CHUBU Regional Forest Office, 14, 1-4.

Suzuki, S. N., Kachi, N. and Suzuki, J. -I. (2009) Changes in variance components of forest structure along a chronosequence in a wave-regenerated forest. *Ecol. Res.*, 24, 1371-1379.

Suzuki, S. N., Kachi, N. and Suzuki, J. -I. (2013) Spatial variation of local stand structure in an *Abies* forest, 45 years after a large disturbance by the Isewan typhoon. *J. For. Res.*, 18, 139-148.

Tadaki, Y., Sato, A., Sakurai, S., Takeuchi, I. and Teruhiko, K. (1977) Studies on the production structure of forest XVIII.: Structure and primary production in subalpine "Dead Tree Stripes" *Abies* forest near Mt. Asahi. *Jpn J. Ecol.*, 27, 83-90.

Tanabe, K. (1960) Plants of Japan in their environment vol.1 Horizontal & vertical distribution. Hoikusya, Osaka, Japan.

Ugawa, S., Hashimoto, T., Iwamoto, K., Kaneko, S. and Fukuda, K. (2010) Relationship between stand development and establishment of seedlings in subalpine *Abies* forest. *Jpn J. Forest Environ.*, 52, 79-86.

Ugawa, S., Iwamoto, K. and Fukuda, K. (2007) Coexistence of *Abies mariesii* and *Abies veitchii* in a subalpine fir-wave forest. *Can. J. Forest Res.*, 37, 2142-2152.

Valentine, H. T. and Gregoire, T. G. (2001) A switching model of bole taper. *Can. J. Forest Res.*, 31, 1400-1409.

Yamamoto, S. (1996) Gap Regeneration of Major Tree Species in Different Forest Types of Japan. *Vegetatio* 127, 203-213.

Yamanaka, N., Ando, M. and Tamai, S. (1994) Age structure and regeneration process of a subalpine coniferous forest in the south Japanese Alps, Central Japan. *Jpn J. Forest Environ.*, 36, 28-35.

Yasuda, T., Mase, H. and Mori, N. (2010) Projection of future typhoons landing on Japan based on a stochastic typhoon model utilizing AGCM projections. *Hydrological Research Letters*, 4, 65-69.

Yoshida, K. and Yamanouchi, S. (1955) The present state of Mt. Shimagare. *Zourin Gijutsu Kenkyu*, Nagano central forest office, 5, 53-65.

Appendix

We used allometric equations for biomass modeling relating the component of biomass (w) to two predictors, tree diameter (d) and height (h)

$$w = kd^a h^b$$

An extended nonlinear model (Pinheiro and Bates 2000), based on the allometric relationship between the biomass of each component and other measured tree variables (stem diameter and stem length) with group-specific parameters (tree species and/or stands) was developed as follows.

$$\text{for } i=1,2,3, j=1,2, k=1,\dots,6$$

$$W_{ijk} = \exp(\varphi_{1ij}) D_{ijk}^{\varphi_{2ij}} H_{ijk}^{\varphi_{3ij}} + \epsilon_{ijk}$$

$$\Phi_{ij} = \begin{bmatrix} \varphi_{1ij} \\ \varphi_{2ij} \\ \varphi_{3ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} & \beta_{13} & \beta_{14} & \beta_{15} & \beta_{16} \\ \beta_{21} & \beta_{22} & \beta_{23} & \beta_{24} & \beta_{25} & \beta_{26} \\ \beta_{31} & \beta_{32} & \beta_{33} & \beta_{34} & \beta_{35} & \beta_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ SP_j \\ STANDM_i \\ STANDY_i \\ SP_j:STANDM_i \\ SP_j:STANDY_i \end{bmatrix}$$

$$SP_j = \begin{cases} 0, A. mariesii \\ 1, A. veitchii \end{cases}$$

$$STANDY_i = \begin{cases} 1, standY \\ 0, standI \\ 0, standM \end{cases}$$

$$STANDM_i = \begin{cases} 0, standY \\ 0, standI \\ 1, standM \end{cases}$$

$$\text{Var}(\epsilon_{ijk}) = \sigma^2 |(\text{fitted values})|^2$$

where W is an objective variable for the biomass of each component, D and H are explanatory variables denoting stem diameter and stem length (height) respectively. Parameter matrix Φ was assumed to follow a linear model that contains the factor variables of species (SP) and stand ($STANDY$, $STANDM$). Coefficient matrices are shown as β . In our preliminary examination, the within group errors in many of the fitting results showed heteroscedasticity, with a positive relationship to the fitted values. Therefore, we used the fitted values as the variance covariate. Prior to fitting the nonlinear model, we also fitted linear models that were transformed from the nonlinear model by taking the logarithm of both sides. For fitting the nonlinear model, we used the coefficients of the results of fitting the linear model as the initial values. For fitting the extended nonlinear regression model using maximum likelihood, we used R (R Core Team 2015) with the

function *gnls* in the *nlme* library (Pinheiro et al. 2015).

We used diameter at specific height D_S ($D_{1.3}$ of the trees in stands M and I and $D_{0.1}$ in stand Y) or diameter at crown base D_B as the explanatory variable of diameter D , and stem length (heights) H or Crown length $C = H - H_B$ as the explanatory variable of height H . Since the size distribution of trees differed among the study stands and measures of the height of D_S in sample trees also differed among stands, we could not separate the effects of measuring height in D_S in these models from the effect of stand Y. We regard the effect of stand Y as of the difference in measuring heights, not considering topographic and environmental differences between stands. For root biomass, we used diameter at stem base $D_{0.1}$ and $D_{1.3}$ as an explanatory variable and excluded group parameters of species and stands, because of the small sample size. When the model with $D_{1.3}$ was fit to W_R , we excluded variance covariates of fitted values, because heteroscedastic errors were not detected. For fittings to W_B and W_N , we also attempted to fit other variables in D , which is the estimated values of D_B (eD_B) from measured variables D_S , H and H_B . Equations for D_B was derived from fitting the segment model of bole taper (Valentine

and Gregoire 2001) to the tree sample data. D_B were described here using this model:

$$D_B = D_S (C / (H - H_S))^\alpha$$

where α was assumed to follow a linear model that contains the effect of the group variables of species and stands. Comparing the results of the fitted models with different combinations of group effects, the minimum c-AICs was in those models that have different coefficients of α between the trees in stand Y and in other stands, as follows:

$$\alpha = \begin{cases} 0.40 \in \text{stand I and M} (H > 1.3 \text{ m}) \\ 0.31 \in \text{stand Y} (H \leq 1.3 \text{ m}) \end{cases}$$

For model selection, we mainly used the finite collections of AIC (c-AIC, Sugiura 1978). Table A1 shows the fitting results of models, which was selected from all fitted models with different combinations of parameters of species and sites

Table A1. Fitted models

Objective variable	Explanatory variable	Parameters	Data	df	logLik	c-AIC	RSE	R ²
W_S	D_S	<i>STANDY</i>	31	5	-213.8	440	0.19	0.96
W_S	$D_S + H$	<i>SP + STANDY</i>	31	10	-189.7	410.3	0.1	0.99
W_S	$D_S + C$	<i>STANDY</i>	31	7	-204.1	427.1	0.15	0.96
W_B	D_S	<i>SP + STANDY + SP:STANDY</i>	31	9	-191.9	410.4	0.28	0.94
W_B	$D_S + C$	<i>STANDY</i>	31	7	-192.3	403.4	0.37	0.91
W_B	$D_S + H$	<i>SP + STANDY</i>	31	10	-186.2	403.5	0.33	0.95
W_B	D_B		31	3	-193.7	394.3	0.37	0.9
W_B	$D_B + C$		31	4	-190.3	390.2	0.34	0.94
W_B	$D_B + H$	<i>SP</i>	31	7	-183.4	385.8	0.29	0.9
W_B	eD_B		31	3	-193.1	393.2	0.37	0.92
W_B	$eD_B + C$		31	4	-192.2	394	0.36	0.94
W_B	$eD_B + H$	<i>SP</i>	31	7	-182.7	384.4	0.28	0.92
W_N	D_S	<i>SP + STANDY + STANDM</i>	31	9	-192.6	411.8	0.24	0.97
W_N	$D_S + C$	<i>SP + STANDY</i>	31	10	-189	409	0.31	0.91
W_N	$D_S + H$	<i>SP + STANDY</i>	31	10	-186.7	404.4	0.31	0.96
W_N	D_B	<i>SP</i>	31	5	-182.8	378.1	0.23	0.95
W_N	$D_B + C$	<i>SP</i>	31	7	-180.2	379.3	0.22	0.96
W_N	$D_B + H$	<i>SP</i>	31	8	-176.9	376.3	0.11	0.96
W_N	eD_B	<i>SP</i>	31	5	-185.1	382.6	0.25	0.96
W_N	$eD_B + C$	<i>SP</i>	31	7	-181.9	382.7	0.23	0.96
W_N	$eD_B + H$	<i>SP</i>	31	8	-177.3	377.2	0.24	0.97
W_R	$D_{0.1}$		8	3	-42.8	97.6	0.04	0.93
W_R	$D_{1.3}$		6	3	-42.9	97.9	380.4	0.95

Results showing minimum c-AIC within all fitted models with different combinations of parameters for each combination of explanatory variables tested. W_S , W_B , W_N and W_R represent the mass of stem, branch, foliage and root respectively, $D_{1.3}$ and $D_{0.1}$: stem diameter at 1.3m and 0.1m heights, D_S : diameter at specific height, $D_{0.1}$ in the stand Y samples, $D_{1.3}$ in others, D_B : stem diameter at crown base, eD_B : estimated values of D_B , H : tree height, C : length of crown, R^2 : explained variation, *STANDY*, *STANDM*: dummy stand variables, *SP*: dummy species variables (*Abies mariesii* and *A. veitchii*). See Appendix for details.

for every models with different combinations of variables D and H . In the regression on stem mass W_S , the minimum c-AIC are shown in the model with D and H as variables and with group effects SP and $STANDY$ (c-AIC=410.3, RSE=0.10, $R^2=0.99$). In the regressions on both branch mass W_B and needle mass W_N , the minimum c-AICs were detected in the model with D_B and H as variables and with group effects SP (W_B : c-AIC=385.8, RSE=0.29, $R^2=0.90$, W_N : c-AIC=376.3, RSE=0.11, $R^2=0.96$). Similar results were found between the models using eD_B and D_B . The minimum c-AIC was detected in the model with eD_B and H as variables and with group effects of SP (W_B : c-AIC=384.4, RSE=0.28, $R^2=0.92$, W_N : c-AIC=377.2, RSE=0.24, $R^2=0.97$). In the regression on root

mass W_R , the minimum c-AIC was detected in the model with $D_{0.1}$ as a variable (c-AIC=97.6, RSE=0.04, $R^2=0.93$).

The final models that we used as biomass estimators are shown in Table A2. The coefficients of the selected models that we used were different between the two tree species. Yearly changes in the biomass of each sample component within the six study plots were reconstructed using these nonlinear model equations. The biomass of undamaged *Abies* trees and those that were affected by shoot damage were estimated using the same prediction formula. The biomass of *Betula* trees which grew only in the high-density, intermediate aged stand (I_h), was ignored due to its relatively minor overall contribution.

Table A2. The Equations used for biomass estimation.

Equation:	$W = e^{\theta_1} D^{\theta_2} H^{\theta_3}$						
Predictors:	$D_{1.3}, D_{0.1}$: diameters at specific heights, 1.3m or 0.1m						
	H : tree heights						
	H_B : heights to the crown base						
	C : length of crown, $H-H_B$						
	estimation of diameter at crown base from $D_{1.3}, D_{0.1}, C$						
	eD_B : $D_{1.3} (C/(H-1.3))^{0.40}$ $H > 1.3\text{m}$						
	$D_{0.1} (C/(H-0.1))^{0.31}$ $0.3\text{m} < H \leq 1.3\text{m}$						
Parameters:							
Objective	group		D	H	θ_1	θ_2	θ_3
Stem	W_S	$H > 1.3\text{m}$	<i>A. mariesii</i> $D_{1.3}$	H	4.10	1.85	0.59
			<i>A. veitchii</i> $D_{1.3}$	H	4.04	1.93	0.46
	$H \leq 1.3\text{m}$		<i>A. mariesii</i> $D_{0.1}$	H	3.77	1.23	1.22
			<i>A. veitchii</i> $D_{0.1}$	H	3.71	1.31	1.09
Branch	W_B		<i>A. mariesii</i> eD_B	H	2.71	2.74	-0.36
			<i>A. veitchii</i> eD_B	H	2.45	2.15	0.42
Needle	W_N		<i>A. mariesii</i> eD_B	H	3.24	2.56	-0.41
			<i>A. veitchii</i> eD_B	H	3.01	2.11	0.03
Root	W_R	$H > 1.3\text{m}$	$D_{1.3}$	-	2.77	2.53	
		$H \leq 1.3\text{m}$	$D_{0.1}$	-	2.66	2.40	

台風攪乱から 43 年が経過した縞枯れ林における地上部及び 地下部現存量の変化

岩本 宏二郎^{1)*}、鵜川 信²⁾、荒木 眞岳³⁾、壁谷 大介³⁾、石塚 森吉^{4),5)}、梶本 卓也³⁾

要 旨

大規模攪乱後の森林の再生過程を理解することは、気候変動による将来の攪乱規模の増大に対する森林の状態変化の予測に貢献する。本研究では、台風による大規模攪乱を受けた亜高山帯縞枯れ林におけるバイオマスの動態を推定することを目的として調査を行った。1959 年に伊勢湾台風によって大きな被害を受けた北八ヶ岳縞枯山において、森林の発達段階が異なる 3 林分（若齢林、中間、成熟林、それぞれ 19、36、59 年）に調査区を設置した。各調査区において、2001 年から 2008 年に繰り返し測定された毎木調査データと、サンプル木のデータにより、バイオマスが推定された。さらに、年輪解析により成長パターンを検討した。推定されたバイオマスは、若木林区で最も低かったが、中間区と成熟林区の両方で同様のレベルに達した。中間区では、風倒後に成長を開始した実生の成長が早く、前生稚樹に由来する成熟林区と同様のバイオマスになったと考えられた。大規模な攪乱がなかったと考えられる他の縞枯れ林と比較すると、特に成熟林においてバイオマスが減少していた。本調査地においては、攪乱に起因する林分構造や成熟林衰退の若齢化・サイズ減少によって台風攪乱後のバイオマスの回復は遅れているものと考えられた。

キーワード：バイオマス動態、亜高山帯針葉樹林、縞枯れ、台風攪乱

原稿受付：平成 29 年 3 月 16 日 原稿受理：平成 30 年 2 月 7 日

1) 森林総合研究所 多摩森林科学園

2) 鹿児島大学農学部

3) 森林総合研究所 植物生態研究領域

4) 元森林総合研究所

5) 国際緑化推進センター

* 森林総合研究所 多摩森林科学園 〒193-0843 東京都八王子市廿里町 1833-81

論文 (Original article)

木材腐朽菌 30 株による 4 色素、レマゾールブリリアントブルー R、Poly R-478、Poly S-119、Azure B の脱色試験

高野 麻理子^{1)*}、服部 力²⁾、根田 仁³⁾

要旨

パルプ漂白菌の選抜に色素の脱色を利用するため、30 株の木材腐朽菌を、パルプと RBBR, Poly R-478, Poly S-119, Azure B の各色素を含む寒天培地で培養した。その結果、20 株が RBBR 脱色を示し、そのうちの 15 株が Poly R-478 の脱色を示した。さらに、Poly R-478 脱色株のうちの 6 株が Poly S-119 の脱色を示し、そのうちの 3 株が Azure B の脱色を示した。試験管中で、ラッカーゼ (Lac)、マンガンペルオキシダーゼ (MnP)、リグニンペルオキシダーゼ (LiP) の各酵素による RBBR、Poly R-478、Poly S-119、Azure B の脱色試験を行った。RBBR は、Lac、MnP、LiP の全酵素に対し、高い脱色性を示した。Poly R-478 は、Lac では脱色せず、MnP と LiP による脱色を示した。Poly S-119 と Azure B は、Lac と MnP による脱色性が低く、LiP による脱色性が高かった。これらの結果は、RBBR 脱色は、Lac のみを生産する株やリグニン分解酵素活性の低い株をも検出する可能性のあること、Poly S-119 および Azure B の脱色は、LiP 生産株の検出に適することを示した。一方、Poly R-478 の脱色は、RBBR、Poly S-119、Azure B の脱色と比較して、MnP 生産株の選択的な選抜に適すると考えられた。MnP は、未晒しクラフトパルプの漂白に高い効果を示すことが報告されており、パルプ漂白菌の選抜には、Poly R-478 が最も適した色素であると結論した。

キーワード：白色腐朽菌、リグニン分解、色素脱色、バイオブリーチング、スクリーニング

1. 緒言

紙パルプの主要な製造工程では、木材中のリグニンの分解除去に莫大なエネルギーと化学薬品が消費されており、環境負荷の高いことが従来、課題となっている。1990 年代には、製紙工場の廃液からダイオキシンが検出されたことが社会問題となり、無塩素漂白法の開発が急務とされた(尾鍋 1991, 飯塚 1994)。

白色腐朽菌は、木材細胞壁中のリグニンを分解する能力の高いことが知られており、環境に負荷をかけずに難分解性のリグニン分解に利用できる可能性がある。そのため、無塩素漂白法の一環として、白色腐朽菌のリグニン分解能力を、未晒しクラフトパルプの漂白に応用するバイオブリーチングの研究が行われた (Archibald et al. 1997, Kirk and Yang 1979, Tran and Chambers 1987, Paice et al. 1993, Kondo et al. 1996)。バイオブリーチングの研究では、パルプ漂白能力の高い菌株やリグニン分解力の高い菌株のスクリーニングが行われ、白色腐朽菌の代表的な試験株であったカワラタケや *Phanerochaete chrysosporium* より、パルプの漂白能力やリグニン分解能力の高い菌株が選抜された (Hirai et al. 1994, Iimori et al. 1994, Nishida et al. 1988)。

リグニン分解菌の選抜法としては、バーベンダム試験やグアヤコール着色体形成試験など、フェノール性基質の酸化重合による着色帯形成試験が用いられてきた (Hirai et al. 1994, Nishida et al. 1988, Kirk and Kelman 1964)。

一方、白色腐朽菌やリグニン分解酵素 (LPO) による色素の脱色や分解が報告されている。Glenn らは、高分子色素の脱色が、*P. chrysosporium* のリグニン分解活性に依存することを示した (Glenn and Gold 1983)。その後、リグニンペルオキシダーゼ (LiP) によるアゾ色素や複素環系色素の脱色・分解が報告されている (Ollikka et al. 1993)。Azure B 色素は、LiP 活性測定モデル基質であるベラトリルアルコールの代替基質となる可能性が提示されている (Archibald 1992a)。また、レマゾールブリリアントブルー (RBBR) は、ヒラタケの過酸化水素依存性のリグニン分解活性によって脱色することが示された (Vyas and Molitoris 1995)。色素脱色は、白色腐朽菌のリグニン分解活性やリグニン分解酵素活性を検出するため、リグニン分解菌やパルプ漂白菌の選抜に利用できる可能性がある。色素脱色法では、芳香環や複素環を含む発色構造の分解による脱色

原稿受付：平成 29 年 12 月 8 日 原稿受理：平成 30 年 2 月 15 日

1) 森林総合研究所 森林資源化学研究領域

2) 森林総合研究所 きのこ・森林微生物研究領域

3) 森林総合研究所 研究ディレクター

* 森林総合研究所 森林資源化学研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里 1

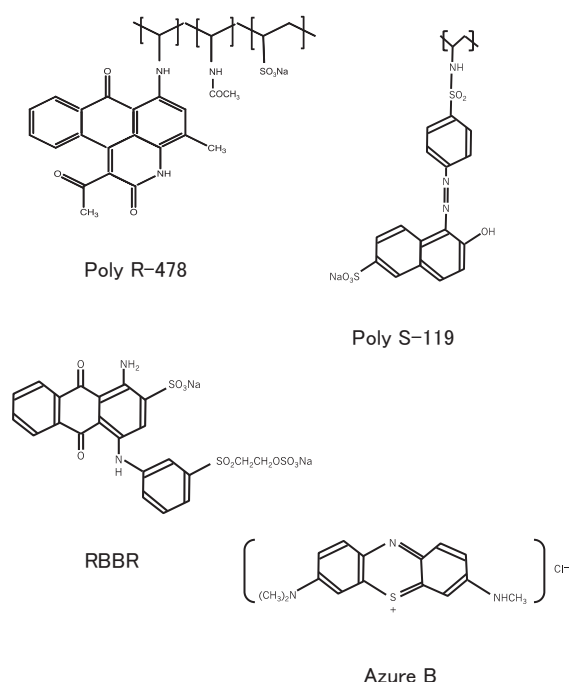


Fig. 1. 色素の化学構造

を検出するという点で、バーベンダム法やグアヤコール着色帯形成法などの、フェノール性基質の重合による着色を検出する従来法と比較して、未晒しクラフトパルプ中の着色構造の分解により近い検出法となる可能性がある。

白色腐朽菌やリグニン分解酵素による脱色が報告された色素は複数あるが、カワラタケ由来のリグニン分解酵素を用いた試験では、Poly R-478、Poly S、Azure B 等の各色素種によって、脱色特性が異なることが報告されている (Archibald 1992a)。

本研究は、パルプ漂白菌の選抜試験に用いる色素を選定するため、白色腐朽菌やリグニン分解酵素による脱色試験が報告された RBBR、Poly R-478、Poly S-119、Azure B の 4 色素を用いて、白色腐朽菌による脱色試験を行った。

以前報告した木材腐朽菌のスクリーニングに関する論文は、本研究結果をもとに、Poly R-478 を用いて、パルプ漂白菌のスクリーニングを行ったものである (Takano et al. 2001)。

2. 実験方法

2.1 菌株

白色腐朽菌は、森林総合研究所腐朽病害研究室および森林総合研究所きのこ研究室より入手した。*P. chrysosporium* VKM F-1767 は、独立行政法人製品評価技術基盤機構バイオテクノロジーセンターより入手した。

2.2 パルプ

広葉樹未晒しクラフトパルプ (Kappa 価: 12.7) (日本製紙 (株) 八代工場製) を用いた。

2.3 色素

レマゾールブリリアントブルー R (RBBR、Aldrich 製)、および、Poly R-478、Poly S-119、Azure B (各色素とも Sigma 製) をそれぞれ 1% の水溶液に調製後、フィルター滅菌して使用した。

2.4 色素脱色プレート試験

滅菌シャーレ (径 90 mm) に、滅菌した精製寒天 (Sigma 製) の 2.5% 溶液 10 ml を入れ、冷却して下層を作成した。次いで、滅菌した上層用培地 (未晒しクラフトパルプ 1.0% と精製寒天 2.5% の水溶液に、フィルター滅菌した各色素を 0.03% 濃度に添加した溶液) 10 ml を下層培地上に注ぎ、冷却して色素脱色試験用のプレートを調製した。

各菌株をポテトデキストロス寒天培地 (PDA) に植菌し、26℃ で培養した。PDA 上に成長した菌糸の先端を直径 6 mm のコルクボーラーで打ち抜き、一片を、色素脱色試験用のプレートの中央に植菌した。室温で 8 日間培養し、色素の脱色を評価した。

2.5 リグニン分解酵素

ラッカーゼ (Lac) は Laccase from *Agaricus bisporus* (Sigma 製) を使用した。マンガネロキシダーゼ (MnP) は、*P. crassa* WD1694 株より、既報に従って生産、採取した (Takano et al. 2004)。リグニンペロキシダーゼ (LiP) 粗酵素は、*P. chrysosporium* VKM F-1767 を Kirk の培地で培養し、濾過した培養液にイオン交換樹脂を加え、酵素を吸着させて採取したものをを用いた (Tien and Kirk 1988)。

2.6 リグニン分解酵素による色素の脱色試験

各リグニン分解酵素による色素の脱色試験は、いずれも 500 μ l の酵素反応液中の色素の可視光領域部のスペクトル変化を、紫外可視分光光度計 UV-2400PC (島津製作所) で記録した。Lac 反応は、各色素を含む酢酸緩衝液 (10mM、pH3.5) に、ラッカーゼを加え、室温で反応させた。LiP 反応は、各色素を含む酢酸緩衝液 (10mM、pH3.5) に LiP 粗酵素を加えた後、過酸化水素を加え、室温で反応させた。LiP 粗酵素は MnP を含む可能性があったが、Mn 非存在下、酢酸緩衝液を用いることで MnP の作用を抑制した。MnP 反応は、色素と MnSO_4 (500 μ M) を含むマロン酸緩衝液 (50mM、pH3.5) に、MnP を加えた後、過酸化水素を加え、室温で反応させた。色素濃度は、RBBR および Poly R-478 は 0.01%、Azure B は 0.001%、Poly S-119 は 0.0015% になるよう反応溶液に添加した。各リグニン分解酵素

活性は、基質に 2, 2' - アジノ - ビス (3- エチルペンソチアゾリン -6- スルホン酸 (ABTS) を用い、酸化によって生じる 414 nm の吸光度の増加を測定した。各酵素反応溶液の酵素量、反応時間、過酸化水素量は、グラフ中 (Fig. 4 ~ 7) に記載した。

3. 結果と考察

50 株の白色腐朽菌を対象に、パルプ寒天培地で RBBR、Poly R-478、Poly S-119、Azure B の各色素の脱色試験を行った。試験結果の例として、WD544 株の色素の脱色結果を Fig. 2 に示した。色素脱色の面積を大中小で評価し、Table 1 に、大 (+++)、中 (++)、小 (+) および、脱色無し (−) として記載した。また、Table 1 の + 表示の例として、RBBR 脱色結果の写真を Fig. 3 に示した。

色素プレート上で各菌株を 8 日間培養した色素の脱色結果を Table 1 に示す。RBBR を脱色した株は、*P. chrysorhiza* WD544、*P. sordida*、*Trametes versicolor* WD1670、*Loweoporus tephroporus* WD1602、*Irpex lacteus* WD760、*Inonotus mikadoi* WD1700、*P. crassa* WD1694、*Coriolus brevis* F148、*Pleurotus pulmonarius* PSCT、*P. pulmonarius* PSCH、*Cerrena unicolor* WD668、*T. hirsute* WD1674、*Cryptoporus volvatus* WD647、*Erythromyces crocicreas* WD1753、*P. pulmonarius* PSCM、*Lentinus edodes* WD662、*Rigidoporus lineatus* WD702、*Perenniporia fraxinea* WD1518、*T. gibbosa* WD1677、*Hydnochaete tabacinoides* WD1687、の 20 株であった。Poly R-478 を脱色した株は、*P. chrysorhiza* WD544、*P. sordida*、*T. versicolor* WD1670、*L. tephroporus* WD1602、*I. lacteus* WD760、*I. mikadoi* WD1700、*P. crassa* WD1694、*C. brevis* F148、*P. pulmonarius*

PSCH、*C. unicolor* WD668、*T. hirsute* WD1674、*C. volvatus* WD647、*E. crocicreas* WD1753、*P. pulmonarius* PSCM、*H. tabacinoides* WD1687、の 16 株であった。Poly S-119 を脱色した株は、*P. chrysorhiza* WD544、*P. sordida*、*T. versicolor* WD1670、*L. tephroporus* WD1602、*I. lacteus* WD760、*I. mikadoi* WD1700、の 6 株であった。Azure B を脱色した株は、*P. chrysorhiza* WD544、*P. sordida*、*T. versicolor* WD1670、の 3 株だった。

Table 1 に示したように、RBBR 脱色株の一部に Poly R-478 の脱色が認められた。また、Poly R-478 脱色株の一部に Poly S-119 の脱色が認められ、Poly S-119 脱色株の一部に Azure B の脱色が認められた。

これらの結果より、白色腐朽菌類のリグニン分解酵素活性による脱色性の最も高い色素は RBBR であり、次いで Poly R-478 であり、Poly S-119 と Azure B は、RBBR や Poly R-478 より脱色性が低いと考えられた。

白色腐朽菌のリグニン分解酵素 (LPO) としては、現在 LiP、MnP、Lac、VP の 4 種類の酵素が知られている (割石 2002)。このうち、Lac はフェノール類を酸化するオキシダーゼである。他の 3 種の酵素は、過酸化水素を必要とするペルオキシダーゼ類である。MnP の基質は Mn (II) であり、これが MnP によって酸化され Mn (III) となり、Mn (III) がフェノール類を酸化する。LiP は、Lac や MnP より高い酸化能力を持ち、フェノール類に加え、ペラトリルアルコール等の非フェノール性芳香族化合物の酸化能力を持つ。VP は、Mn (II) を酸化する MnP の機能と、非フェノール性芳香族化合物を酸化する LiP の機能の両方を持つことが報告されている (割石 2002)。このような触媒機構の違いから、各 LPO は、酸化できる基質に違いがあることが知られている (割石 2002)。

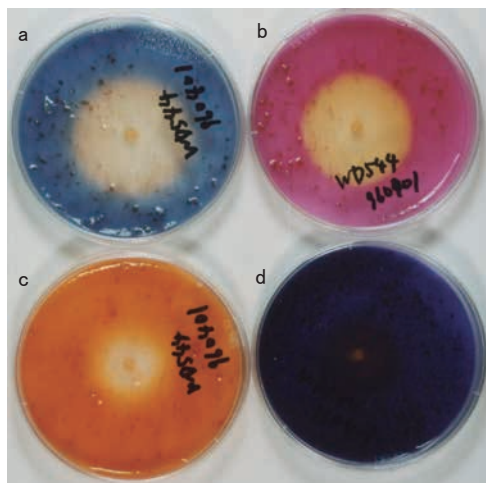


Fig. 2. パルプ寒天培地を用いた色素の脱色試験
試験株 *P. chrysorhiza* WD544 株、培養
10 日間、a, RBBR; b, Poly R-478; c, Poly
S-119; d, Azure B

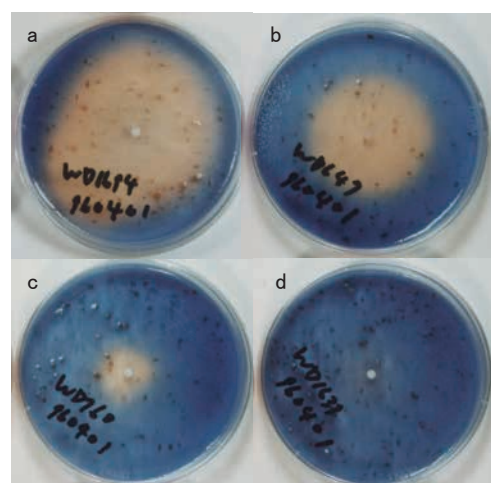


Fig. 3. 白色腐朽菌による RBBR 色素の脱色試験例
a, WD1694 株、+++ (Table 1)、b, WD647
株、++ (Table 1)、c, WD760 株、+ (Table 1)、
d, WD1637、− (Table 1)。

Table 1. パルプ寒天培地を用いた白色腐朽菌の色素脱色試験

Strains			Dyes			
			RBBR	Poly R-478	Poly S-119	Azure B
<i>Phanerochaete</i>	<i>chrysorhiza</i>	WD544	++	++	+	+
<i>Phanerochaete</i>	<i>sordida</i>	60999	++	+	+	+
<i>Trametes</i>	<i>versicolor</i>	WD1670	+++	+++	+	+
<i>Loweporus</i>	<i>tephroporus</i>	WD1602	++	++	+	—
<i>Irpex</i>	<i>lacteus</i>	WD760	+	+	+	—
<i>Inonotus</i>	<i>mikadoi</i>	WD1700	+	+	+	—
<i>Phanerochaete</i>	<i>crassa</i>	WD1694	+++	+++	—	—
<i>Coriolus</i>	<i>brevis</i>	F148	+++	+	—	—
<i>Pleurotus</i>	<i>pulmonarius</i>	PSCT	++	++	—	—
<i>Pleurotus</i>	<i>pulmonarius</i>	PSCH	++	++	—	—
<i>Cerrena</i>	<i>unicolor</i>	WD668	++	++	—	—
<i>Trametes</i>	<i>hirsuta</i>	WD1674	++	+	—	—
<i>Cryptoporus</i>	<i>volvatus</i>	WD647	++	+	—	—
<i>Erythromyces</i>	<i>crocicreas</i>	WD1753	+	+	—	—
<i>Pleurotus</i>	<i>pulmonarius</i>	PSCM	+	+	—	—
<i>Lentinus</i>	<i>edodes</i>	WD662	+	—	—	—
<i>Rigidoporus</i>	<i>lineatus</i>	WD702	+	—	—	—
<i>Perenniporia</i>	<i>fraxinea</i>	WD1518	+	—	—	—
<i>Trametes</i>	<i>gibbosa</i>	WD1677	+	—	—	—
<i>Hydnochaete</i>	<i>tabacinoides</i>	WD1687	+	—	—	—
<i>Ischnoderma</i>	<i>resinosum</i>	WD1637	—	+	—	—
<i>Heterobasidion</i>	<i>insulare</i>	WD651	—	—	—	—
<i>Fomes</i>	<i>fomentarius</i>	WD725	—	—	—	—
<i>Lentinellus</i>	<i>ursinus</i>	WD727	—	—	—	—
<i>Auricularia</i>	<i>mesentrica</i>	WD750	—	—	—	—
<i>Pycnoporus</i>	<i>cinnabarinus</i>	WD1563	—	—	—	—
<i>Abortiporus</i>	<i>biennis</i>	WD1564	—	—	—	—
<i>Xylobolus</i>	<i>annosus</i>	WD1534	—	—	—	—
<i>Ganoderma</i>	<i>australe</i>	WD1614	—	—	—	—
<i>Schizophyllum</i>	<i>commune</i>	WD1638	—	—	—	—

脱色強+++、脱色中++、脱色弱+、脱色無—、(脱色程度の例を Fig. 3 に示した。)

白色腐朽菌の多くはこれらの4種のLPOのうち、1-3種を生産することが知られている(Hatakka 1994)。Table 1の色素脱色結果は、各菌株が生産するLPOの種類や量に違いがあり、それに基づいて異なる試験結果が得られたことを示唆している。

そこで、次に各リグニン分解酵素による色素の脱色を分析するため、経時的に各酵素反応液中の色素の吸光波形を分光光度計で測定した。

Fig. 4は、Lac、MnP、LiPの各酵素反応による、色素RBBRの脱色を、可視光領域のスペクトル変化として測定したものである。RBBRは、Lac、MnP、LiPの各酵素によって反応時間150分以内に明確に可視光領域のスペクトルの吸光度の減少を示した(Fig. 4 A、B、C)。

Fig. 5は、Lac、MnP、LiPの各酵素反応による、色素Poly R-478の脱色に伴う可視光領域のスペクトル変化を経時的に測定したものである。Poly R-478は、Lac (3225 mAbs/min)を用いて24時間反応させても波形に変化が認められなかった(Fig. 5 A)。一方、MnP (3240 mAbs/min)を用いた場合は、反応120分間で波形に変化が生じ始め、19時間および24時間反応後には、極大吸収を示すスペクトル範囲に明確な減少が生じた(Fig. 5 B)。LiP (966 mAbs/min)を用いた場合に

は、反応後30分で、顕著な吸光度の減少が確認された(Fig. 5 C)。これらの結果より、Poly R-478は、脱色性が、Lac、MnP、LiPの各酵素種により段階的に異なることが示唆された。

次に、Poly S-119をLac、MnP、LiPで、酵素反応させた結果をFig. 6に示した。Poly S-119は、Lacで24時間反応させても殆ど波形に変化が生じなかった(Fig. 6 A)。また、MnPにより反応させた場合も、24時間処理後の波形変化は、極大吸収領域に、わずかな吸光度減少が確認されたにとどまった(Fig. 6 B)。一方、LiPを用いた場合は、反応1時間後から、極大吸収領域の吸光度減少が確認され、反応20時間後には、明確な吸光度の減少が確認された(Fig. 6 C)。

上述の実験と同様に、Azure BをLac、MnP、LiPで、酵素反応させた結果をFig. 7に示した。Azure Bは、Lacで24時間反応させても殆ど波形に変化が生じなかった(Fig. 7 A)。Azure BをMnPにより反応させた場合は、極大吸収領域の吸光度の減少がわずかに確認された(Fig. 7 B)。LacやMnPの場合とは対照的に、Azure BをLiPにより反応させた場合は、反応2時間後には、顕著な波形の変化と吸光度の減少が生じた(Fig. 7 C)。

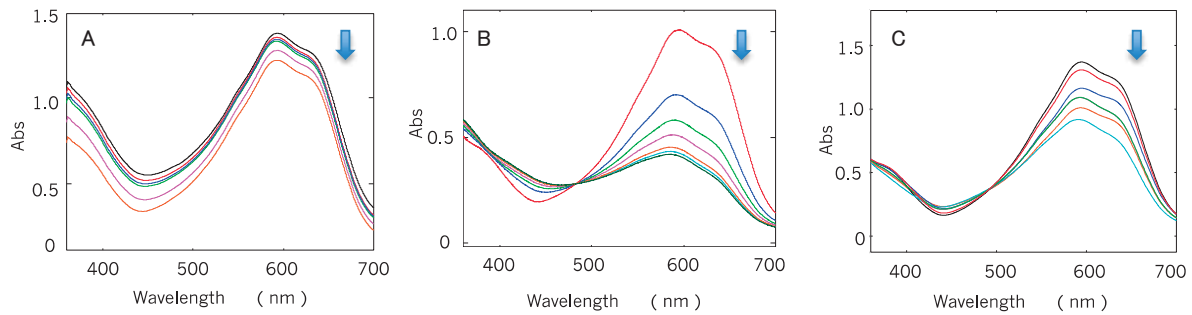


Fig. 4. リグニン分解酵素による RBBR 色素の可視領域スペクトルの変化

A, Lac 活性 3225 mAbs/min、反応時間 0, 30, 60, 90, 120, 150 分；

B, MnP 活性 3240 mAbs/min、反応時間 0, 15, 30, 45, 60, 105, 120 分；1mM H_2O_2 50 μ l を 2 回添加

C, LiP 活性 966 mAbs/min、反応時間 0, 3, 10, 20, 30, 60 分；1mM H_2O_2 10 μ l を 2 回添加

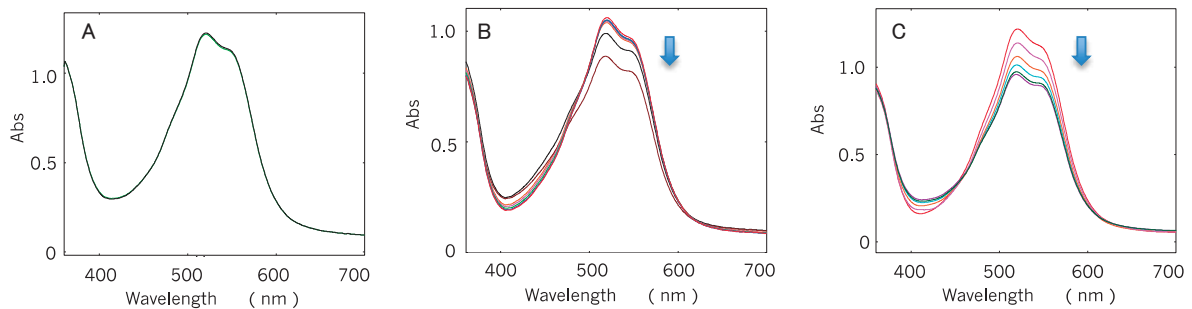


Fig. 5. リグニン分解酵素による Poly R-478 色素の可視領域スペクトルの変化

A, Lac 活性 3225 mAbs/min、反応時間 0, 24 時間；

B, MnP 活性 3240 mAbs/min、反応時間 0, 30, 60, 90, 120 分、19, 24 時間；1mM H_2O_2 10 μ l を 2 回添加

C, LiP 活性 966 mAbs/min、反応時間 0, 5, 9, 14, 18, 30 分；1mM H_2O_2 10 μ l を 2 回添加

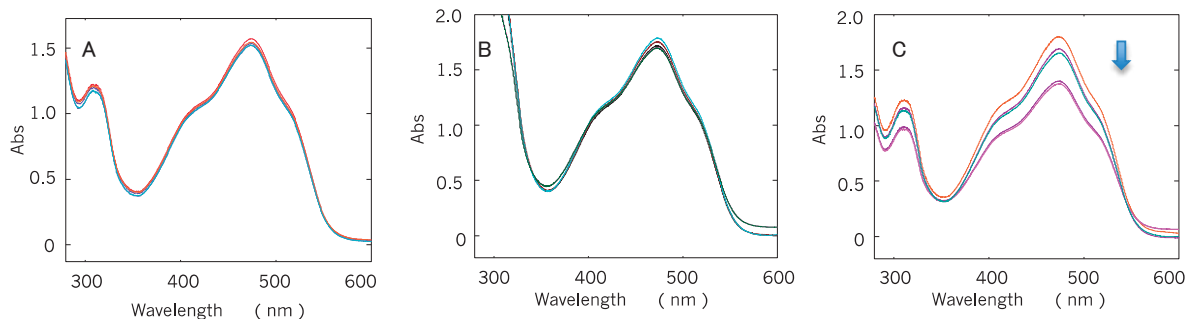


Fig. 6. リグニン分解酵素による Poly S-119 色素の可視領域スペクトルの変化

A, Lac 活性 3126 mAbs/min、反応時間 0, 2, 5, 22, 24 時間；

B, MnP 活性 4900 mAbs/min、反応時間 0, 1, 3, 20, 24 時間；1mM H_2O_2 10 μ l を 2 回添加

C, LiP 活性 1360 mAbs/min、反応時間 0, 1, 3, 20, 24 時間；1mM H_2O_2 10 μ l を 2 回添加

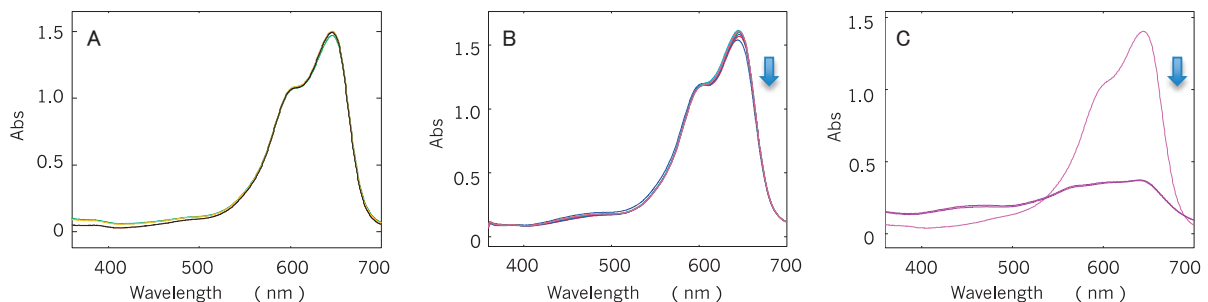


Fig. 7. リグニン分解酵素による Azure B 色素の可視領域スペクトルの変化

A, Lac 活性 3126 mAbs/min、反応時間 0, 2, 5, 22, 24 時間；

B, MnP 活性 3240 mAbs/min、反応時間 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 22 時間；1mM H_2O_2 50 μ l を 1 回添加

C, LiP 活性 680 mAbs/min、反応時間 0, 2, 5 時間；1mM H_2O_2 10 μ l を 2 回添加

RBBR は、Lac、MnP、LiP の全ての酵素に対する脱色性が高かったことから、リグニン分解活性を示すすべての株を選出するのに適していた。しかし、リグニン分解活性の低い株も陽性になる可能性があるため、パルプ漂白菌の選抜には適さないと考えられた。

Poly R-478 は、Lac には陰性の結果を示し、また、MnP と LiP とで、脱色性に相違が認められた。本研究では、*P. crassa* 由来の MnP を使用したが、Poly R-478 は、*P. chrysosporium* および *Bjerkandera* sp. 由来の MnP による脱色も確認されている (Moreira et al. 2001)。

Poly S-119 と Azure B は、Lac と MnP には脱色性が低い一方、LiP には高い脱色性を示したことから、LiP 生産菌の選抜に適すると考えられた。Azure B は、ヴェラトリルアルコールと同程度に LiP を迅速に検出することが報告されている (Archibald 1992a)。

パルプ漂白に作用するリグニン分解酵素種が分析されており、パルプ漂白能力と MnP 活性量とに相関のあることが示された (Hirai et al. 1994)。また、単離した MnP によるパルプ漂白も確認されている (Kondo et al. 1994, Paice et al. 1993)。一方、カワラタケのラッカーゼは、ABTS 存在下ではパルプ漂白に作用するが、酵素単独ではパルプ漂白には寄与しないことが報告された (Bourbonnais et al. 1995, Archibald et al. 1997)。LiP に関しては、*P. chrysosporium* 由来の LiP が、パルプ漂白に寄与することが示されたが (Katagiri et al. 1995)、カワラタケの LiP は、パルプ漂白に作用しないことが報告された (Archibald 1992b)。これらの背景より、パルプ漂白活性の高い株を選抜するには、MnP 活性を指標とすることが効率的であると考えられた。

本研究の結果では、RBBR では、Lac のみを生産する株や、リグニン分解活性の低い株も選抜されるため、パルプ漂白菌の選抜には適さないと考えられた。Poly S-119 および Azure B は、LiP 生産株の選抜には適するが、パルプ漂白との関連性が明らかである MnP 高生産菌の選抜には適さないと考えられた。Poly R-478 は、単離した MnP による脱色が複数の菌由来の MnP で確認されている (Moreira et al. 2001)。また、Poly R-478 を使用した場合は、酵素単独ではパルプ漂白活性を示さないとされた Lac 活性は陰性になるため、RBBR を使用した場合と比較して、MnP 生産株の選択的な選抜に適すると考えられる。

以上の結果より、パルプ漂白菌の選抜には、MnP 活性の検出に適した Poly R-478 が最適であると結論した。

引用文献

- Archibald, F. S. (1992a) A new assay for lignin-type peroxidases employing the dye Azure B. *Applied and Environmental Microbiology*, 58, 3110-3116.
- Archibald, F. S. (1992b) Lignin peroxidase-activity is not important in biological bleaching and delignification of

unbleached kraft pulp by *Trametes versicolor*. *Applied and Environmental Microbiology*, 58, 3101-3109.

- Archibald, F. S., Bourbonnais, R., Jurasek, L., Paice, M. G., and Reid, I. D. (1997) Kraft pulp bleaching and delignification by *Trametes versicolor*. *Journal of Biotechnology*, 53, 215-236.
- Bourbonnais, R., Paice, M. G., Reid, I. D., Lanthier, P. and Yaguchi, M. (1995) Lignin oxidation by laccase isozymes from *trametes-versicolor* and role of the mediator 2,2'-azinobis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonate) in kraft lignin depolymerization. *Applied and Environmental Microbiology*, 61, 1876-1880.
- Glenn, J. K. and Gold, M. H. (1983) Decolorization of several polymeric dyes by the lignin-degrading basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*. *Applied and Environmental Microbiology*, 45, 1741-1747.
- Hatakka, A. (1994) Lignin-modifying enzymes from selected white-rot fungi - production and role in lignin degradation. *Fems Microbiology Reviews*, 13, 125-135.
- Hirai, H., Kondo, R. and Sakai, K. (1994) Screening of lignin-degrading fungi and their ligninolytic enzyme-activities during biological bleaching of kraft pulp. *Mokuzai Gakkaishi*, 40, 980-986.
- Iimori, T., Kaneko, R., Yoshikawa, H., Machida, M., Yoshioka, H. and Murakami, K. (1994) Screening of pulp-bleaching fungi and bleaching activity of newly isolated fungus SKB-1152. *Mokuzai Gakkaishi*, 40, 733-737.
- Katagiri, N., Tsutsumi, Y. and Nishida, T. (1995) Correlation of brightening with cumulative enzyme-activity related to lignin biodegradation during biobleaching of kraft pulp by white-rot fungi in the solid-state fermentation system. *Applied and Environmental Microbiology*, 61, 617-622.
- Kirk, T. K. and Kelman, A. (1964) Color formation on phenol-containing media as related to lignin breakdown by wood-rotting basidiomycetes. *Phytopathology*, 54, 897-and.
- Kirk, T. K. and Yang, H. H. (1979) Partial delignification of unbleached kraft pulp with ligninolytic fungi. *Biotechnology Letters*, 1, 347-352.
- Kondo, R., Harazono, K. and Sakai, K. (1994) Bleaching of hardwood kraft pulp with manganese peroxidase secreted from *Phanerochaete sordida* YK-624. *Applied and Environmental Microbiology*, 60, 4359-4363.
- Kondo, R., Harazono, K., Tsuchikawa, K., Sakai, K., Jeffries, T., and Viikari, L. (1996) Biological bleaching of kraft pulp with lignin-degrading enzymes. *Enzymes For Pulp and Paper Processing*, 655, 228-240.
- 飯塚 堯介 (1994) 無塩素漂白法. *繊維学会誌*, 50, 25-29.

- Moreira, M. T., C. Palma, I. Mielgo, G. Feijoo and J. M. Lema (2001) In vitro degradation of a polymeric dye (poly R-478) by manganese peroxidase. *Biotechnology and Bioengineering*, 75, 362-368.
- Nishida, T., Kashino, Y., Mimura, A. and Takahara Y. (1988) Lignin biodegradation by wood-rotting fungi.1. screening of lignin-degrading fungi. *Mokuzai Gakkaishi*, 34, 530-536.
- Ollikka, P., Alhoniemi, K., Leppanen, V. M., Glumoff, T., Rajola, T. and Suominen I. (1993) Decolorization of azo, triphenyl methane, heterocyclic, and polymeric dyes by lignin peroxidase isoenzymes from *Phanerochaete chrysosporium*. *Applied and Environmental Microbiology*, 59, 4010-4016.
- 尾鍋 史彦 (1991) 紙・パルプ産業におけるダイオキシン問題の現状と将来の展望. 紙パルプ技術協会誌, 45, 462-474.
- Paice, M. G., Reid, I. D., Bourbonnais, R., Archibald, F. S., and Jurasek, L. (1993) Manganese peroxidase, produced by *Trametes versicolor* during pulp bleaching, demethylates and delignifies kraft pulp. *Applied and Environmental Microbiology*, 59, 260-265.
- Takano, M., Nakamura, M., Nishida, A. and Ishihara, M. (2004) Manganese peroxidase from *Phanerochaete crassa* WD1694. *Bulletin of the Forestry and Forest Products Research Institute*, 3, 7-13.
- Takano, M., Nishida, A. and Nakamura, M. (2001) Screening of wood-rotting fungi for kraft pulp bleaching by the Poly R decolorization test and biobleaching of hardwood kraft pulp by *Phanerochaete crassa* WD1694. *Journal of Wood Science*, 47, 63-68.
- Tien, M. and Kirk, T. K. (1988) Lignin peroxidase of *Phanerochaete-chrysosporium*. Wood, W. a. and S. T. Kellogg (ed.) "Methods in Enzymology, Vol. 161. Biomass, Part B: Lignin, Pectin, and Chitin." Academic Press, Inc.: San Diego, California, USA; London, England, UK. Illus, 238-249.
- Tran, A. V. and Chambers, R. P. (1987) Delignification of an unbleached hardwood kraft pulp by *Phanerochaete chrysosporium*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 25, 484-490.
- Vyas, B. R. M. and Molitoris, H. P. (1995) Involvement of an extracellular h₂O₂-dependent ligninolytic activity of the white-rot fungus *Pleurotus ostreatus* in the decolorization of Remazol-Brilliant-Blue-R. *Applied and Environmental Microbiology*, 61, 3919-3927.
- 割石 博之 (2002) リグニン分解酵素. 穴戸 和夫編 "キノコとカビの基礎科学とバイオ技術". アイピーシー, 141-153.

Decolorization of 4 dyes, Remazol Brilliant Blue R, Poly R-478, Poly S-119, and Azure B by 30 wood-rotting fungi.

Mariko TAKANO^{1)*}, Tsutomu HATTORI²⁾ and Hitoshi NEDA³⁾

Abstract

Decolorization of RBBR, Poly R-478, Poly S-119, and Azure B by 30 wood-rotting fungi was evaluated for screening of wood-rotting fungi for bleaching of unbleached kraft pulp. Decolorization of RBBR was observed for 20 strains, in which 15 strains also showed decolorization of Poly R-478. Among the 15 strains that showed Poly R-478 decolorization, 6 strains decolorized Poly S-119, and in the 6 strains, 3 strains decolorized Azure B.

Decolorization of each dye *in vitro* by laccase (Lac), manganese peroxidase (MnP), and lignin peroxidase (LiP) were studied. RBBR was decolorized extensively by all of the enzymes. Poly R-478 was decolorized by MnP and LiP, but was not decolorized by Lac. Poly S-119 and Azure B were decolorized effectively by LiP; however, MnP and Lac were not efficient for decolorization of Poly S-119 and Azure B. The results suggested that decolorization of RBBR detected strains that produced only laccase, or strains that showed low ligninolytic activity, and decolorization of Poly S-119 or Azure B was suitable for detection of strains that produce lignin peroxidase. Compared with these 3 dyes, decolorization of Poly R-478 was more appropriate for selection of strains that produce MnP. These results showed that Poly R-478 was most suitable dye for screening of biobleaching fungi of unbleached kraft pulp because MnP was reported to be effective enzyme for bleaching of unbleached kraft pulp.

Key words : white-rot fungi, lignin degradation, decolorization of dyes, biobleaching, screening

Received 8 December 2017, Accepted 15 February 2018

1) Department of Forest Resource Chemistry, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Department of Mushroom Science and Forest Microbiology, FFPRI

3) Principal Research Director, FFPRI

* Department of Forest Resource Chemistry, FFPRI, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN; e-mail: marin@ffpri.affrc.go.jp

論文 (Original article)

スギの遺伝的地域性識別のための SNP パネルの開発と利用

内山 憲太郎^{1)*}、松本 麻子¹⁾

要旨

スギは日本の最も重要な林業樹種であり、その植栽面積は日本の人工林の44%に及ぶ。これまでの遺伝解析から、スギには4つの系統地理学的なグループが存在することが明らかになっている。一般的に、造林時にはそれぞれの地域環境に適応している地域性種苗の利用が遺伝子汚染の観点からも推奨される。しかしながら、スギは集団間の遺伝的分化度が極めて低く、地域の遺伝的グループを明らかにするために、ゲノム内からランダムに選んだ場合には数千のDNAマーカーが必要であった。そこで本研究では、このスギの4つの遺伝的グループを識別可能な最小セットの一塩基多型 (SNP) パネルを作成することを目的とする。スギのゲノム上での位置が明らかな2500座のSNPのうち、ゲノム全体から均等に288SNPを選抜し、SNPパネルを構築した。作成したパネルを用いて天然林234個体18集団を解析した結果、そのうちの257座において遺伝子型が決定できた。また、スギの4つの遺伝的グループを明瞭に識別でき、識別能が数千のSNPマーカーを用いた場合と遜色ないことが示された。開発したSNPパネルにより屋久島に植栽された由来不明の人工林のサンプルを解析した結果、屋久島と同じ遺伝的グループに属することを明らかにできた。これらの結果から、今回開発したSNPパネルは、スギの地理的変異の識別や、由来不明な個体の地理的由来を確認することに有用であると考えられた。

キーワード：ゲノムワイド SNP パネル、遺伝子汚染、遺伝構造、遺伝的保全

1. はじめに

固着性である植物は、長い年月を通して、それぞれの生育環境へと遺伝的に適応していることが多い (Hufford and Mazer 2003, Leimu and Fischer 2008)。樹木においても、相互移植試験を通して、生育環境への適応が生じている例が多数報告されている (Alberto et al. 2013)。スギでは全国規模での産地試験の例はないが、古くから地域変異の存在が指摘されてきた。これまでに、針葉の形態 (Murai 1947)、ジテルペン成分 (Yasue et al. 1987)、DNA 変異 (Takahashi et al. 2005, Tsumura et al. 2007, 2012, 2014, Kimura et al. 2014) などについての研究が行われ、スギは日本海側と太平洋側で形態的にも遺伝的にも分化していることが報告されている。また、最近のスギ天然林の詳細なDNA解析では、太平洋側、日本海側の他に、南北の端の集団も異なる遺伝的クラスターに分類されることが示され、スギには4つの遺伝的なグループがあることが明らかとなっている (Kimura et al. 2014, Tsumura et al. 2014)。このような遺伝的グループは、過去の分布変遷や隔離後の遺伝的浮動によって生じると考えられるが、地域環境からの自然選択の影響も受けている。特にスギで検出された4つの遺伝的グループ間では環境が大きく異なっており、スギの遺伝的分化に地域環境への適応が寄与している可能性が指摘でき

る。スギでは林業種苗法により種苗配布区が定められており、植生や気候などの環境条件に応じて、種苗の移動が制限されている。これは、環境の大きく異なった地域に種苗が移動されることによる成長不良や不成績造林地の成立を防ぐのに役立ってきたと考えられる。しかしながら、種苗の移動による遺伝子汚染を防ぎ、地域に適した種苗を利用するためには、地域に応じた遺伝的変異や由来不明な植栽木の地域性を評価する必要がある。しかしながら、他の針葉樹と同様に、風媒で風散布種子をつけるスギは、集団間の遺伝子流動が活発であり、集団間の遺伝的分化の程度が低いため、その評価は難しい。過去の研究例では、スギの4つの遺伝的なグループを検出するために、千を超える多数のDNAマーカーを解析する必要があり、多大な時間とコストが必要である。このため、短期間かつ安価に遺伝的地域性を評価解析可能なプラットフォームの作成が必要である。

近年のシークエンス技術の向上と、データの蓄積により、1塩基多型 (Single nucleotide polymorphism : SNP) の情報が多数利用できるようになった。SNPは、1座あたりの情報量は少ないが、多数の座を一度に解析可能な様々なプラットフォームが利用可能である (Chen and Sullivan 2003)。例えば、蛍光色素で標識されたSNP特異的なプローブとPCRを組み合わせてSNPを蛍光検出

原稿受付：平成29年8月14日 原稿受理：平成30年3月6日

1) 森林総合研究所 樹木分子遺伝研究領域

* 森林総合研究所 樹木分子遺伝研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里1

する方法 (McGuigan and Ralston 2002) や、ハイブリダイゼーションを利用する方法 (Akhunov et al. 2009)、塩基間の質量の違いを検出する方法 (Gabriel et al. 2009) などが代表的なものである。

スギは日本の樹木の中で最もゲノム情報が充実している樹種であり、これまでに数多くの DNA マーカーが開発されている (Iwata et al. 2001, Moriguchi et al. 2003, Tani et al. 2004, Uchiyama et al. 2012, Ueno et al. 2012)。また、発現遺伝子配列情報と連鎖解析による高密度の基盤連鎖地図も構築されており、現在までに 2,500 を超える遺伝子について、ゲノム上での位置が明らかになっている (Moriguchi et al. 2012, 2016)。本研究ではこれらの情報を活用し、スギの遺伝的な地域性を簡便に明らかにできる SNP パネルの開発を目的とした。また、開発した SNP パネルを用いて、屋久島の由来不明な人工林の遺伝的な地域性を明らかにし、その有用性を評価した。スギの分布の南端である屋久島はその生態系の特異性から 1993 年には世界自然遺産に登録されており、遺伝的な変異の保全が重要な課題のひとつである。屋久島のスギは、過去の研究例から他の地域と遺伝的に異なることが明らかになっており (Takahashi et al. 2005, Kimura et al. 2014)、他地域からの種苗の持ち込みが起こった場合、遺伝的攪乱をもたらす可能性が高いと考えられる。

2. 材料と方法

2.1 SNP パネルの開発

スギの基盤連鎖地図に座乗した SNP マーカーの情報 (Moriguchi et al. 2012, 2016) を利用し、スギのゲノム全体の挙動を把握するために、11 本の染色体全体から 300 座の SNP マーカーを選抜した。具体的には、基盤連鎖地図の各連鎖群 (染色体) の地図距離に応じて、300 座のマーカーを均等に割り振り、連鎖群内でのマーカー間の距離を最低 0.5cM 以上離すようにした。また、中立な遺伝マーカーを用いた遺伝構造の推定時には自然選択の影響を受けている遺伝子座が問題となるため、過去のスギ天然林の解析 (Tsumura et al. 2012, 2014) において自然選択の痕跡が認められた遺伝子座は除外した。その結果、各連鎖群内でのマーカー間の平均地図距離は 5.48cM となった。スギのゲノムサイズ 10.8Gb (Hizume et al. 2001) と、基盤連鎖地図の総地図距離 1266.2cM (Moriguchi et al. 2016) から計算すると、最低地図距離として設定した 0.5cM は約 4.3Mbp (430 万塩基対) に相当する。スギの連鎖不平衡は遺伝子間領域では 100Kbp を超える例が報告されているが (Moritsuka et al. 2012)、今回のマーカー間距離は、少なくともそれより 40 倍以上長く、マーカー間の挙動はほぼ独立していると考えられる。SNP のタイピングには Fluidigm 社の EP1 genotyping system を用いた。これはマイクロ流路を搭載したチップを用いた SNP タイピング手法であり、

ごく微量の DNA および試薬により、一度に 47 サンプルについて 48SNP の遺伝子型を決定することが可能である。上述の 300SNP の候補から、48SNP、6 セット分の 288SNP に関してプライマーを設計し、解析に使用した。

2.2 SNP パネルの識別能の確認

森林総合研究所で保有している全国のスギ天然林 18 集団、計 234 個体の DNA について、作成した SNP パネルにより遺伝構造を評価し、遺伝的な地域性の識別能を確認した。これらの集団はスギの天然分布の北端となる青森県鱒ヶ沢から南端にあたる鹿児島県屋久島集団までを含み、日本におけるスギ天然林の遺伝的な特徴を評価するための代表的な集団のセットとみなすことができる (Fig. 1)。まず、使用した SNP の多型頻度を確認するため、天然林の遺伝子型から各 SNP のマイナーアレル頻度 (minor allele frequency: MAF) を算出した。また、集団間の遺伝的分化の程度について、 F_{ST} (Weir and Cockerham 1984) を FSTAT v2.9.4 (Goudet 2005) を用いて算出した。続いて天然集団の遺伝的な地域性を評価するために、個体単位での遺伝的クラスタの推定手法である STRUCTURE 解析 (Pritchard et al. 2000) をソフトウェア STRUCTURE v2.3.4 を用いて行った。STRUCTURE 解析は集団の遺伝構造の評価、個体の集



Fig. 1. 解析に用いたスギ天然林 18 集団の位置図

団への割り振り、雑種形成地域の検出、移住の識別、個体内での複数集団の混合の検出などに応用可能とされる (Pritchard et al. 2000)。STRUCTURE 解析では共通祖先を持つ遺伝的クラスターを仮定して、各クラスター内でのハーディーワインベルグ不平衡ならびに連鎖不平衡が最小になるようにクラスタリングを行い、同時に各個体がそれぞれのクラスターに割り振られる確率が計算される。クラスター数 10 までの独立試行を各 10 回行い、1 試行あたり 5 万回を burn-in period (初期値に依存する期間) として除き、10 万回のマルコフ連鎖モンテカルロ (MCMC) を行った。解析条件は、集団の採取地情報を含めた Hubisz et al. (2009) に従った。得られた結果から ΔK (Evanno et al. 2005) を算出し、各試行の事後確率 (LnP (D)) とともに最適クラスター数を評価した。

得られた天然林集団の遺伝構造について、解析遺伝子座数の少ないものから 148 座の CAPS マーカー (Tsumura et al. 2007) で解析された例、さらに、1026 座 (Tsumura et al. 2012) および、3930 座の SNP マーカー (Tsumura et al. 2014) で解析されたと比較した。

2.3 由来不明のスギ個体の地域性の確認

今回開発した SNP パネルを用い、由来不明のスギのサンプルに対して遺伝構造の解析を行い、天然林との比較からスギの 4 つの遺伝的グループのどこに属するかの確認を試みた。材料には、鹿児島県熊毛郡屋久島町の小杉谷に 1980 年代に植栽された由来不明のスギ人工林のサンプルを用いた。調査地は安房川の上流、安房森林軌道沿いにあり、代表的な屋久杉として有名な縄文杉まで 1.5km の距離にあたる。Fig. 2 に調査地位置図を示す。人工林 10 箇所からそれぞれ 5-14 個体、合計 94 個体を採取し解析対象とした。

採取したスギの本葉は冷蔵輸送し、森林総合研究所にて DNA の抽出を行なった。改変 CTAB 法を用いて

DNA 抽出を行い (Tsumura et al. 1995)、本研究で開発した SNP パネルを用いて遺伝子型データを決定した。地域性確認のため、全国のスギ天然林のデータと合わせて STRUCTURE 解析を行った。解析条件は天然林と同様とした。また、集団間の遺伝的な関係を明らかにするために、集団間の総当たりでの遺伝距離 (Nei's standard genetic distance: D_s (Nei 1972)) を算出し、プログラム Splitstree (Huson and Bryant 2006) を用いてネットワーク図を作成した。

3. 結果および考察

3.1 SNP パネルの開発

連鎖地図に基づいて選んだ 300 座の SNP のうち、290 座において Fluidigm 社の SNP タイピングシステム用のプライマーを設計することができた。残りの 10 座では、対象とする SNP の近傍に別な SNP が存在している座および SNP 近傍の塩基の GC 含量が高いためにプライマーの設計が困難であった。さらに 48 座を単位とする Fluidigm 社のプラットフォームに合わせるため、290 座からマーカー間の距離なるべく均等になるように 288 座を選び、SNP タイピングを行った。288 座のマーカーは全て DDBJ (アクセッション No. AB874696-AB889383) および TreeGenes database (<http://dendrome.ucdavis.edu/cmap/>, accession: 1438-1448) に登録されている。天然林 234 個体を用いた解析では、288 座中 257 座において遺伝子型を決定できた。連鎖群毎の SNP 座数を Table 1 に示す。タイピングができなかった 31 座では、ホモ接合体とヘテロ接合体の判別が不明瞭であったり、少数の個体の特定のアルルで蛍光の検出ができなかった座などが存在した。これらの理由として、プライマー部位に変異を持った個体が存在していた可能性、また想定したアルル以外の第 3 のアルルを持った個体が存在した可能性が考えられた。

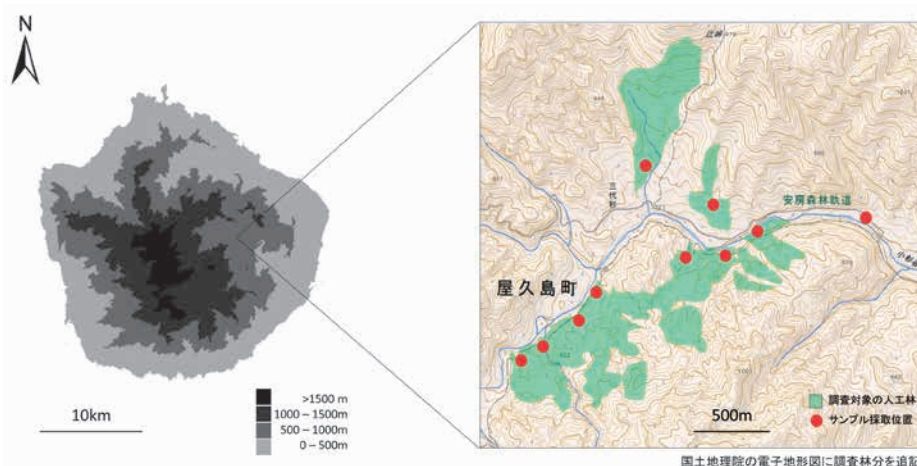


Fig. 2. 屋久島小杉谷の調査対象の人工林およびサンプル採取位置

Table 1. 各連鎖群に座乗している SNP マーカーの数

連鎖群	座数
LG01	23
LG02	20
LG03	35
LG04	25
LG05	27
LG06	16
LG07	23
LG08	22
LG09	15
LG10	27
LG11	24

3.2 SNP パネルの識別能の確認

明瞭なタイピングが行えた 257 座は全ての座で多型が検出され、MAF の平均は 0.28 であった。一般の遺伝解析で有用とされるコモンアリルは MAF が 0.05 もしくは 0.10 以上とされるが (Altshuler et al. 2005)、今回作成した 257 座のうち 231 座 (90%) で $MAF \geq 0.1$ となり、多型性が高く情報量の多い SNP パネルが作成できたと考えられた。集団全体での F_{ST} は 0.027 となり、他の SNP での研究例における 0.039 (Tsumura et al. 2012)、0.050 (Tsumura et al. 2014)、0.062 (Tsumura et al. 2007) よりも低い値となった。他の解析においては自然選択を受けたと予想される高い F_{ST} (>0.2) を示すような遺伝子座も一定数含まれているため、全体の F_{ST} が高くなっ

ていると考えられる。事実、中立なマイクロサテライトマーカー 11 座での解析では本結果と同程度に低い F_{ST} が報告されている ($F_{ST}=0.028$: Takahashi et al. 2005)。

257 座を用いた天然林の Structure 解析の結果、最適な遺伝的クラスター数は ΔK の基準では 2、LnP (D) では 4 となった。各クラスター数での結果を Fig. 3 に示す。なお、後述の小杉谷のサンプルを加えた場合でも同様の結果であったため、小杉谷サンプルも含んだ結果を示す。クラスター数を 2 とした場合、屋久島とその他の遺伝的クラスターに分かれた。一方、クラスター数を 4 とした場合は、それぞれ北東北日本海側の 3 集団、日本海側の 9 集団、太平洋側の 5 集団、屋久島の 1 集団からなる 4 つの遺伝的クラスターに分かれた。この結果は 3930SNP のゲノムワイド SNP での結果 (Tsumura et al. 2014) とほぼ一致する。異なった点は、クラスター数 2 の場合に、今回の SNP パネルでは屋久島とその他に分かれたのに対し、3930SNP の例では太平洋側、日本海側がまず分かれたことである。3930SNP の例では、環境の大きく異なる太平洋側と日本海側で高い分化度を示す SNP が多く含まれていたことも影響していると考えられる。一方、クラスター数 3 および 4 の結果は完全に一致した。スギが持つ 4 つの遺伝的クラスターを評価できることが、地域性の評価では特に重要である。1026 座、3096 座の SNP マーカーでの集団構造解析と同様に本研究でも同様にこれら 4 つのクラスターを識別することができたことから、今回開発した SNP パネルの識別能は 3930SNP を用いた結果と遜色ないものと考えられた。140 座の解析では識別が不明瞭であったのに対し、今回 257SNP マーカーでスギの遺伝的クラスターを評価できた

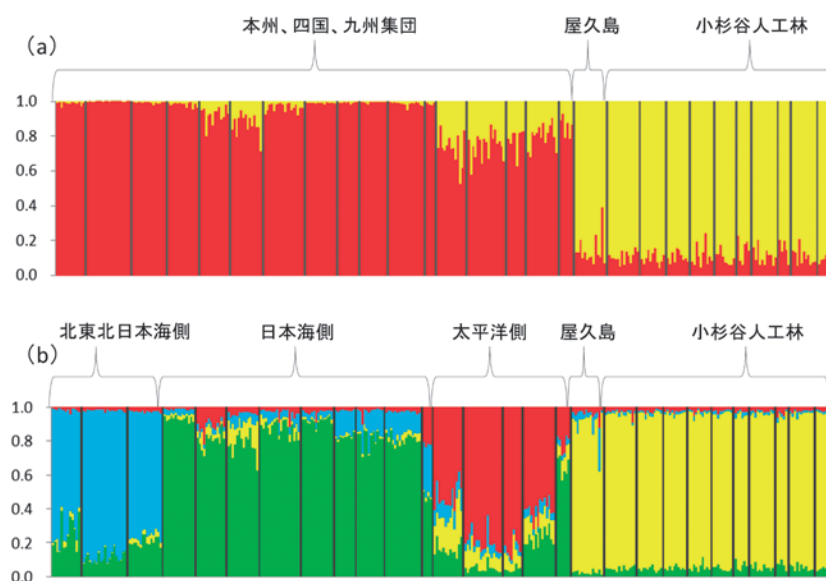


Fig. 3. ベイジアンクラスタリング解析により検出された遺伝的クラスター
a: クラスター数が 2 の場合、b: クラスター数が 4 の場合

理由として、ゲノム全体に均等にマーカーを配置したことで、ゲノムの様々な領域に痕跡として残っている集団の履歴を、より高い精度で検出できたためと考えられた。

3.3 由来不明のスギ個体の地域性の確認

開発したパネルを用いて小杉谷の94個体を解析したところ、天然林と同様に、257遺伝子座の遺伝子型を明瞭に決定できた。天然林データと合わせてSTRUCTURE解析を行った結果、最適クラスター数は天然林のみでの解析と同様に2と4となった。いずれのクラスター数の場合でも、小杉谷の94個体は平均クラスター頻度0.9以上で全て屋久島クラスターに分類された (Fig. 3)。このことより、今回の小杉谷の人工林は屋久島内の個体から採取された種子もしくは挿し穂に由来するものと考えられた。九州では挿し木林業が盛んに行われているが、今回の小杉谷サンプルに関してはクローン個体が検出されなかったことから、種子由来の苗の可能性が高いと考えられた。

集団間の遺伝距離からネットワーク図を作成した結果を Fig. 4 に示す。STRUCTURE 解析と同様に小杉谷集団は明瞭に屋久島集団と同じグループに分類され、今回の小杉谷由来不明なサンプルは屋久島島内に由来すると考えられた。

屋久島のスギが他の地域のスギと遺伝的に離れていることに関しては、最終氷期時の逃避地であった可能性や、海により隔離されて年月を経た結果、遺伝的浮動により変異が蓄積した可能性などが指摘されている (Takahashi et al. 2005)。一方で、分布域の南端にあたる屋久島の多雨で湿潤な環境による自然選択で特徴的な遺

伝的変異が蓄積した可能性も考えられ (Tsumura 2011, Kimura et al. 2014)、屋久島のスギの遺伝的変異は、スギの重要な遺伝資源と考えられる。今回の調査林分は屋久島のスギの標高分布の中心付近である標高 800 ~ 900m 前後にあり、国の特別天然記念物に指定されている屋久島スギ原始林にも隣接している。周囲の天然林の個体とも活発に遺伝子流動が起こっていると予想され、林分の大きさと個体数の多さから、もし屋久島以外の地域のスギが持ち込まれていた場合には、遺伝子汚染の大規模な汚染源となっていたと考えられる。今回の解析において、調査対象とした小杉谷の人工林のサンプルは全て屋久島の天然林のサンプルと変わらない遺伝的組成を示したことから、屋久島内で採取された種子によって造林された林分であると確認され、本林分による遺伝子汚染の可能性は否定できると考えられた。

4. まとめ

今回開発した SNP パネルは、スギの自然集団が持つ 4 つの遺伝的グループを明瞭に識別でき、このパネルを用いることで個体の地理的な由来を短期間に安価に明らかにできるようになった。由来不明であった屋久島の小杉谷の人工林の解析の結果、全ての個体が屋久島に特異的な遺伝的クラスターに属し、当時の造林が屋久島由来の種苗によって行われていたことが示されたと考えられる。今回開発した SNP パネルは、ゲノム全体をカバーしていることから、スギの地理的な変異の解析のみならず QTL 解析や形質予測などの様々な遺伝解析への応用も期待できると考えられる。

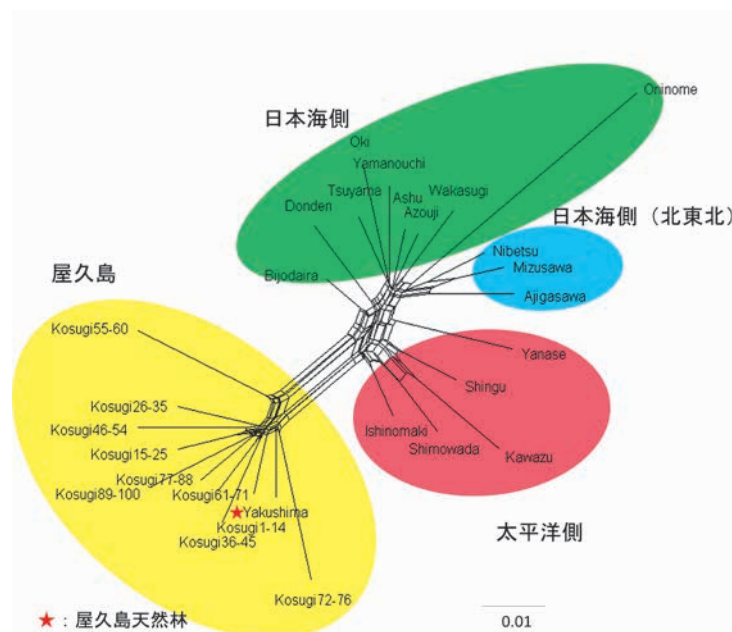


Fig. 4. 集団間の遺伝距離 (Nei's D_s (Nei 1972)) を用いたネットワーク図
色のついた円は STRUCTURE 解析の 4 つのクラスターに対応

謝 辞

本研究の遂行にあたり、屋久島の小杉谷周辺の情報の収集には森林総合研究所九州支所の金谷整一氏にご尽力いただいた。新潟大学の森口喜成准教授にはスギの連鎖地図情報を提供いただいた。また、スギ天然林集団の長年にわたる収集および管理には、筑波大学の津村義彦教授、森林総合研究所実験林の皆様、同樹木遺伝研究室の皆様にご尽力いただいた。ここに厚くお礼申し上げる。本課題は林野庁九州森林管理局「平成 27 年度屋久島世界遺産地域等における森林生態系に関するモニタリング調査等に関わる業務」の一環で行われた。

引用文献

- Akhunov, E., Nicolet, C. and Dvorak, J. (2009) Single nucleotide polymorphism genotyping in polyploid wheat with the Illumina GoldenGate assay. *Theor. Appl. Genet.*, 119, 507-517.
- Alberto, F. J., Aitken, S. N., Alía, R., González - Martínez, S. C., Hänninen, H., Kremer, A., Lefèvre, F., Lenormand, T., Yeaman, S. and Whetten, R. (2013) Potential for evolutionary responses to climate change—evidence from tree populations. *Global Change Biol.*, 19, 1645-1661.
- Altshuler, D., Brooks, L., Chakravarti, A., Collins, F., Daly, M. and Donnelly, P. (2005) A haplotype map of the human genome. *Nature*, 437, 1299-1320.
- Chen, X. and Sullivan, P. F. (2003) Single nucleotide polymorphism genotyping: biochemistry, protocol, cost and throughput. *Pharmacogenomics J.*, 3, 77-96.
- Evanno, G., Regnaut, S. and Goudet, J. (2005) Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. *Mol. Ecol.*, 14, 2611-2620.
- Gabriel, S., Ziaugra, L. and Tabbaa, D. (2009) SNP genotyping using the Sequenom MassARRAY iPLEX platform. *Curr. Protoc. Hum. Genet.*, 60, 2.12.1-2.12.18.
- Goudet, J. (2005) FSTAT (version 2.9. 4): a program to estimate and test population genetics parameters, Updated from Goudet (1995).
- Hizume, M., Kondo, T., Shibata, F. and Ishizuka, R. (2001) Flow cytometric determination of genome size in die Taxodiaceae, Cupressaceae *sensu stricto* and Sciadopityaceae. *Cytologia*, 66, 307-312.
- Hubisz, M. J., Falush, D., Stephens, M. and Pritchard, J. K. (2009) Inferring weak population structure with the assistance of sample group information. *Mol. Ecol. Resour.*, 9, 1322-1332.
- Hufford, K. M. and Mazer, S. J. (2003) Plant ecotypes: genetic differentiation in the age of ecological restoration. *Trends Ecol. Evol.*, 18, 147-155.
- Huson, D. H. and Bryant, D. (2006) Application of phylogenetic networks in evolutionary studies. *Mol. Biol. Evol.*, 23, 254-267.
- Iwata, H., Ujino-Ihara, T., Yoshimura, K., Nagasaka, K., Mukai, Y. and Tsumura, Y. (2001) Cleaved amplified polymorphic sequence markers in sugi, *Cryptomeria japonica* D. Don, and their locations on a linkage map. *Theor. Appl. Genet.*, 103, 881-895.
- Kimura, M. K., Uchiyama, K., Nakao, K., Moriguchi, Y., San Jose-Maldia, L. and Tsumura, Y. (2014) Evidence for cryptic northern refugia in the last glacial period in *Cryptomeria japonica*. *Ann. Bot.*, 114, 1687-1700.
- Leimu, R. and Fischer, M. (2008) A meta-analysis of local adaptation in plants. *PloS one*, 3, e4010.
- McGuigan, F. E. and Ralston, S. H. (2002) Single nucleotide polymorphism detection: allelic discrimination using TaqMan. *Psychiatr. Genet.*, 12, 133-136.
- Moriguchi, Y., Iwata, H., Ujino-Ihara, T., Yoshimura, K., Taira, H. and Tsumura, Y. (2003) Development and characterization of microsatellite markers for *Cryptomeria japonica* D. Don. *Theor. Appl. Genet.*, 106, 751-758.
- Moriguchi, Y., Uchiyama, K., Ueno, S., Ujino-Ihara, T., Matsumoto, A., Iwai, J., Miyajima, D., Saito, M., Sato, M. and Tsumura, Y. (2016) A high-density linkage map with 2560 markers and its application for the localization of the male-sterile genes *ms3* and *ms4* in *Cryptomeria japonica* D. Don. *Tree Genet. Genom.*, 12, 1-12.
- Moriguchi, Y., Ujino-Ihara, T., Uchiyama, K., Futamura, N., Saito, M., Ueno, S., Matsumoto, A., Tani, N., Taira, H., Shinohara, K. and Tsumura, Y. (2012) The construction of a high-density linkage map for identifying SNP markers that are tightly linked to a nuclear-recessive major gene for male sterility in *Cryptomeria japonica* D. Don. *BMC Genomics*, 13, 95.
- Moritsuka, E., Hisataka, Y., Tamura, M., Uchiyama, K., Watanabe, A., Tsumura, Y. and Tachida, H. (2012) Extended linkage disequilibrium in noncoding regions in a conifer, *Cryptomeria japonica*. *Genetics*, 190, 1145-1148.
- Murai, S. (1947) Major forestry tree species in the Tohoku region and their varietal problems, In Aomori-rinyukai (eds.) “*Kokudo Saiken Zourin Gijutsu Kouenshu*”, Aomori, Japan. 131-151.
- Nei, M. (1972) Genetic distance between populations. *The American Naturalist*, 106, 283-292.
- Pritchard, J. K., Stephens, M. and Donnelly, P. (2000) Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*, 155, 945-959.

- Takahashi, T., Tani, N., Taira, H. and Tsumura, Y. (2005) Microsatellite markers reveal high allelic variation in natural populations of *Cryptomeria japonica* near refugial areas of the last glacial period. *J. Plant Res.*, 118, 83-90.
- Tani, N., Takahashi, T., Ujino-Ihara, T., Iwata, H., Yoshimura, K. and Tsumura, Y. (2004) Development and characteristics of microsatellite markers for sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) derived from microsatellite-enriched libraries. *Ann. For. Sci.*, 61, 569-575.
- Tsumura, Y. (2011) *Cryptomeria*, In Kole C. (eds.) "Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources." Springer, Berlin. 49-63.
- Tsumura, Y., Kado, T., Takahashi, T., Tani, N., Ujino-Ihara, T. and Iwata, H. (2007) Genome scan to detect genetic structure and adaptive genes of natural populations of *Cryptomeria japonica*. *Genetics*, 176, 2393-2403.
- Tsumura, Y., Uchiyama, K., Moriguchi, Y., Kimura, M. K., Ueno, S. and Ujino-Ihara, T. (2014) Genetic differentiation and evolutionary adaptation in *Cryptomeria japonica*. *G3: Genes| Genomes| Genetics*, g3. 114.013896.
- Tsumura, Y., Uchiyama, K., Moriguchi, Y., Ueno, S. and Ujino-Ihara, T. (2012) Genome scanning for detecting adaptive genes along environmental gradients in the Japanese conifer, *Cryptomeria japonica*. *Heredity*, 109, 349-360.
- Tsumura, Y., Yoshimura, K., Tomaru, N. and Ohba, K., (1995) Molecular phylogeny of conifers using RFLP analysis of PCR-amplified specific chloroplast genes. *Theor. Appl. Genet.*, 91, 1222-1236.
- Uchiyama, K., Ujino-Ihara, T., Ueno, S., Taguchi, Y., Futamura, N., Shinohara, K. and Tsumura, Y. (2012) Single nucleotide polymorphisms in *Cryptomeria japonica*: their discovery and validation for genome mapping and diversity studies. *Tree Genet. Genom.*, 8, 1213-1222.
- Ueno, S., Moriguchi, Y., Uchiyama, K., Ujino-Ihara, T., Futamura, N., Sakurai, T., Shinohara, K. and Tsumura, Y. (2012) A second generation framework for the analysis of microsatellites in expressed sequence tags and the development of EST-SSR markers for a conifer, *Cryptomeria japonica*. *BMC Genomics*, 13, 136.
- Weir, B. S. and Cockerham, C. C. (1984) Estimating F-statistics for the analysis of population structure. *Evolution*, 38, 1358-1370.
- Yasue, M., Ogiyama, K., Suto, S., Tsukahara, H., Miyahara, F. and Ohba, K. (1987) Geographical differentiation of natural *Cryptomeria* stands analyzed by diterpene hydrocarbon constituents of individual trees. *J. Jpn. For. Soc.*, 69, 152-156.

Development and utilization of a SNP panel for identification of the geographic origin of *Cryptomeria japonica*

Kentaro UCHIYAMA^{1)*} and Asako MATSUMOTO¹⁾

Abstract

Sugi, *C. japonica* D. Don, is the most important commercial forestry species in Japan; it has been widely planted across the whole of the country and constitutes 44% of all plantation forests. Previous large-scale genome wide analysis have detected four phylogeographic groups in this species. These genetic groups have considerable relevance to *C. japonica* silviculture, for example, in ensuring the use of local seed sources, that are considered to be best adapted to local environments, in afforestation and to reduce the risk of any deleterious gene flow from planted forests into remnant natural stands. In *C. japonica*, however, thousands of DNA markers are required to reliably detect these phylogeographic genetic groups because of its low range-wide genetic differentiation. The aim of this study was to develop a small set of SNPs, more evenly spread across the genome, which could more efficiently distinguish between the four phylogeographic groups of *C. japonica*. From the 2500 mapped markers of *C. japonica*, we selected 288SNP, which were roughly evenly spaced across the *C. japonica* genetic map. Conversion of these SNPs to a cost-effective and flexible throughput SNP typing system generated successful assays for 257SNPs. In order to test the utility of the resulting SNP set, genotyping was performed to determine levels of polymorphism within 234 trees representing 18 natural populations of *C. japonica*. The results indicate samples were clustered into the four genetic groups consistent with their geographic origin, and that SNP set developed in this study can successfully identify population structure. Furthermore, we successfully identified the origin of samples of unknown geographic origin from artificial forests in Yakushima islands. We anticipate that the genome-wide SNP set reported here will be useful for evaluating the species range-wide genetic structure and identification of the geographic origin of unknown samples.

Key words : genome-wide SNP panel, genetic structure, genetic pollution, genetic conservation

Received 14 August 2017, Accepted 6 March 2018

1) Department of Forest Molecular Genetics and Biotechnology, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

* Department of Forest Molecular Genetics and Biotechnology, FFPRI, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN; e-mail: kruchiyama@affrc.go.jp

短 報 (Short communication)

札幌市街地周辺におけるエゾシカのスポットライトカウント調査

松浦 友紀子^{1)*}

要旨

札幌市では近年市街地へのシカの出没が問題となっている。北海道農業研究センターの構内においてもシカの目撃が増加しており、市街地に出没するシカの生息地になっている可能性がある。そこで、当センターにおけるシカの生息状況を把握することを目的としてスポットライトカウント調査を実施した。調査は2010年から2016年に40回行い、1,675頭のシカを確認した。観察頭数は増加傾向で、調査開始当初は平均29～32頭/月程度であったが、2016年には68.5頭/月となり、また局所的な高密度化が確認された。市街地への出没が増加する初夏から秋にかけて、当センターで観察されるシカの数も増加した。電気柵による防除も不十分であり、今後当地域のシカ個体群が市街地に出没するシカの供給地とならないよう、適切な管理が求められる。

キーワード：スポットライトカウント、市街地出没、生息密度、ニホンジカ

1. はじめに

近年、野生動物の市街地への出没が全国的に問題となっている。人の活動圏への出没は交通事故や列車運行支障を引き起こすほか、人との遭遇による人身被害発生リスクも増加する。約196万人が居住する札幌市においても、エゾシカ(*Cervus nippon yesoensis*、以下シカとする)やヒグマ(*U. arctos*)といった大型野生動物の出没が報告されている(北海道2012, 札幌市2017)。札幌市を含む石狩振興局管内では、シカの市街地等への出没が年間150件前後報告され、交通事故も100件程度発生している(北海道2012)。そのため北海道では、市街地にシカが出没した際の対応をまとめた「アーバンディア対応マニュアル(北海道2012)」を作成した。札幌市(2010)によると、シカの市街地への出没は初夏(7月)と秋(10月)に多く、またオスの出没記録が多い。初夏は若いオスによる探索行動、秋は交尾期に伴うオスの行動変化が要因と推測されている。とくに交尾期のオスは枯角を持つ状態になることから、その他の時期に比べ遭遇によって人身被害が発生するリスクも大きい。さらに、市街地に近いところでシカ密度が高くなることは、人獣共通感染症の感染拡大を引き起こす可能性がある。とくに、近年発症が報告されているダニ媒介性脳炎(TBE)や重症熱性血小板減少症候群(SFTS)の原因ウイルスを持つマダニはシカにも寄生し、北海道では2016年にTBEによる死亡例が発生している(国立感染症研究所2017)。SFTSは現在のところ症例が報告されているのは西日本に限られてはいるものの、北海道でもウイルスが検

出されている(国立感染症研究所2016)ことから楽観を許さない。

札幌市周辺におけるこのようなリスクを評価し、生活の安全、安心を確保するためには適切なシカの管理が必要であり、その基礎としてシカの生息状況を把握し、情報を取りまとめて道民に発信する必要があるだろう。

2010年に札幌市が行った調査では、市の南部で相対的に生息数が多い(札幌市2010)。同市南部に位置する北海道農業研究センター(以下、北農研とする)では、2000年代後半からシカによる試験作物の食害が顕著になってきており、2011年には北農研に面した国道でシカが関連する交通事故も発生している。北農研の敷地は、市街地に向かって突き出すような形をしており、シカにとっては市街地への出入り口となっている可能性がある。そこで、市街地への出没リスクを評価する基礎情報を得るため、北農研構内におけるシカの出没状況を把握することを目的とし、スポットライトカウント調査を行った。

2. 調査地及び調査方法

北農研敷地は総面積8.23 km²で、そのうち森林が4.41 km²、畑・牧草地在3.42 km²、水田が0.06 km²、建物他が0.34 km²である。北隣には札幌ドームが位置し(Fig. 1)、北農研との間には片側3車線の市道903号羊ヶ丘線が、また札幌ドームの北側には国道36号が走っている。どちらも千歳方面と札幌市内中心部をつなぐ幹線道路であり、周辺の交通量は羊ヶ丘線(札幌市豊平区福住3条5丁目)、国道36号(札幌市清田区

原稿受付：平成29年8月16日 原稿受理：平成30年3月15日

1) 森林総合研究所 北海道支所

* 森林総合研究所 北海道支所 〒062-8516 札幌市豊平区羊ヶ丘7番地

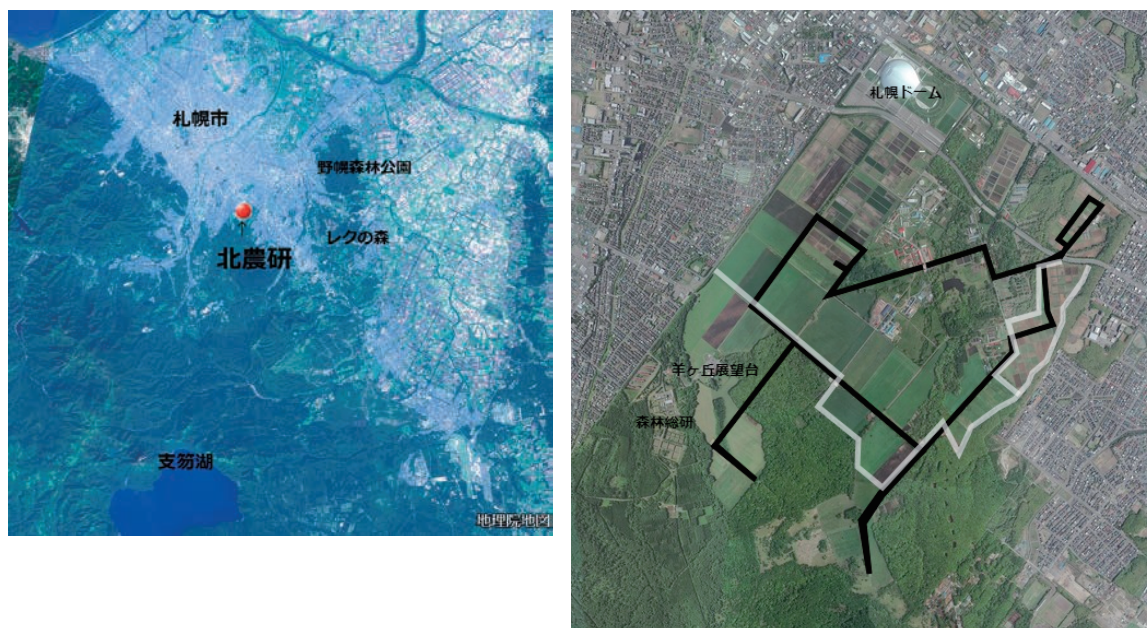


Fig. 1. 北海道農業研究センターの位置図（左）とスポットライトカウントの調査ルート（右・黒線）および電気柵設置箇所（右・白線）。（国土地理院の地理院地図より）

北野1条1丁目）ともに約27,000台（12時間の合計）である（国土交通省運輸局2017）。北農研では、試験圃場の作物をシカの食害から防除するため、2012年から電気柵設置を始め、2015年11月からは圃場全体を囲っている（Fig. 1）。これら電気柵は、毎年積雪前に撤去され、翌春4月に再設置される。

北農研のシカは、夜間に畑・牧草地に出没することから、開放地におけるシカの観察に適しているスポットライトカウント調査を実施した。調査は、2010年から2016年の春から秋にかけて月1回実施した（2010年は9月、2015年は6月から、また2010、2011年は11月まで）。畑と牧草地を中心に9.55kmのコースを設定し（重複するルートを除く）、日没後30分程度経過した後に調査を開始した。時速10～20kmで走行する車の両側からスポットライト（Q-Beam, Brinkman社製）を照射し、シカを探索した。シカを発見した場合は、双眼鏡を用いて頭数を確認し、さらに性別と年齢クラス（0歳／成獣）を判別し、発見場所を記録した。観測はスポットライトカウント調査の経験者が行い、調査回数は延べ40回であった。2010年から2017年までの相対密度（10kmあたりの観察頭数）の年変化を検証するために、応答変数を各年・各月の観察頭数、説明変数を実施年とした一般化線形混合モデル（ポアソン分布）を利用した尤度比検定を行った。その際、各回の調査距離をオフセット項とし、調査回による発見のばらつきを考慮して月をランダム効果とした。

3. 結果と考察

2010年9月から2016年10月の調査において、のべ1,675頭のシカを観察、記録した。調査全期間を通じてシカが確認され、頭数は5、6月には少なく、7月以降に増加した（Fig. 2）。2012年、2013年、2015年は9月に最も多くシカが確認され、それぞれ計40頭、45頭、69頭であった。2014年と2016年は8月に最も多くシカが確認され、それぞれ計93頭、111頭であった。2011年は8月と10月に最も多く、計39頭であった。このことから、北農研のシカは初夏に増加しはじめ、秋にかけて生息数は維持もしくは増加していることが明らかとなった。初夏は市街地への出沒が増加する時期（札幌市2010）に一致する。北農研で12月上旬に捕獲されGPS付きの首輪を装着された成獣オス1頭の追跡結果によると、放逐後まもなく北農研を離れて支笏湖畔に移動した（札幌市2012）。逆に支笏湖畔で冬に捕獲されGPS付き首輪を装着された成獣メスの事例では、24個体中1個体が4月末から6月にかけて北農研に移動し、夏と秋を過ごした後に11月末に支笏湖畔に戻った（吉田ら2014）。スポットライトカウント調査でも、5、6月は観察数が少なく、また10月に観察数が減少する年が多いことから、北農研のシカの大半は季節移動し、冬期間は別の場所で過ごしていると考えられた。実際に、圃場周辺では冬期間のシカ目撃はない。一方で、北農研と森林でつながる野幌森林公園（江別市）やレクリエーションの森（北広島市）では冬期間もシカが確認されており（古賀2015）、札幌市街地に出没するシカがすべて季節移動を行ってい

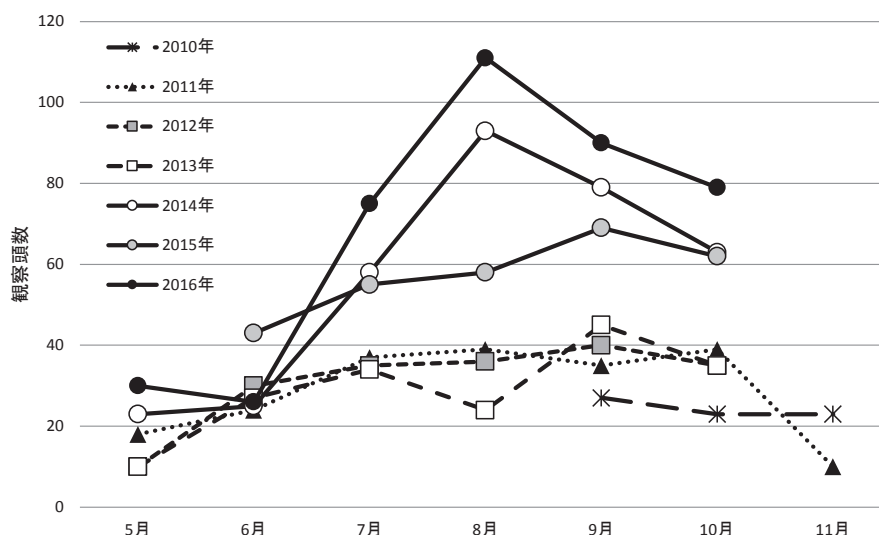


Fig. 2. 北海道農業研究センターでスポットライトカウント調査により観察されたシカの頭数 (2010-2016年)。

るわけではなさそうである。

観察されたシカの頭数は、2011～2013年は月平均29～32頭であったが、2014年に50頭を超え、2016年には68.5頭となった (Table S1)。相対密度は、2010年から2017年にかけて有意に増加した ($\chi^2 = 24.61$, $df = 7$, $P < 0.001$)。月によるばらつきが大きいものの、北農研構内に出没するシカは増加傾向にあるといえる。北海道は、シカの生息動向を把握するために、毎年秋に全道を対象にスポットライトカウント調査を実施しており、札幌市でも毎年決まったコースで調査が行われている。農耕地を中心に設定されたコースでは、直近6年間の10 kmあたりの観察頭数は、7.8頭 (2011年) から12.5頭 (2016年) になっており (北海道未発表データ)、増加傾向にある。ただし、北農研構内の9.55 kmコースでは、多い時には100頭以上のシカが確認されたことから、札幌市の他地域よりも極めて多くのシカが生息していると考えられた。北農研構内と周辺は、広大な森林と畑や牧草地があり、シカにとっては餌資源が豊富であるうえ、銃を用いた有害駆除も行われていないことから、シカは安全な地域と認識し、夏の生息地として適した環境になっている可能性がある。繁殖率の指標となる秋の幼獣比 (成獣メス100頭あたりの子数)も、2010年 (20頭) と2013年 (90頭) を除いて50～65頭程度と安定した値が得られている (Table S1)。この値は、北海道東部の栄養状態の良い個体群で1990～1992年に観察された値 (76～79頭/100メス、梶・富沢 1993) より低い、高密度下で栄養状態の悪い2010～2011年の洞爺湖中島個体群の値 (30～40頭/100メス、Ikeda et al. 2013) より高い。この地域のシカの栄養状態に関する情報は、比較

的高い繁殖力を維持できるレベルと考えられる。

今回のスポットライトカウント調査のコースは主に畑と牧草地を対象としており、森林内で確認された個体は少なかった。畑と牧草地全域を確認できていると仮定して観察頭数から密度を算出すると、2016年の月平均密度は 18.8 ± 9.4 頭 / km^2 となった。この値は、梶ら (2006) によれば低・中密度に相当し、自然植生への影響は少ないレベルといわれるが、部分的にはこれよりもはるかに高密度で記録される場所も存在する。調査期間を通して確認された302群のうち、65.9% (199群) は5頭以下の群れであった (Fig. 3)。20頭以上の群れも3.6% (11群) と少なかったが、一方で2016年には43頭 (7月)、82頭 (8月) といった大きな群も確認された。これらは使用していない牧草地での観察であり、人の気配がなく、シカにとって過ごしやすいためシカが集中したと考えられた。高密度状態等の個体間の接触が多い状況下では、感染症の感染拡大を引き起こす可能性があることが指摘されており (松浦・鈴木 2010)、局所的な高密度化においても同様な現象が起こることが予想される。感染症を媒介するダニも、種類によっては、シカの密度が高い場所ほど採集される個体数が多い傾向があることも報告されている (Tsukada et al. 2014)。実際、ダニ媒介性疾患であるライム病は、シカの個体数と関係があり、個体数が多い時は発生率が増加する (Kilpatrick et al. 2014)。都市近郊でシカが高密度になることにより、ダニ媒介性疾患や他の感染症がシカの間で広がり、人への感染リスクが高まるのが危惧される。

先述のとおり、2015年11月に全試験圃場を取り囲んだ電気柵は冬に一旦撤収され、2016年4月上旬に再

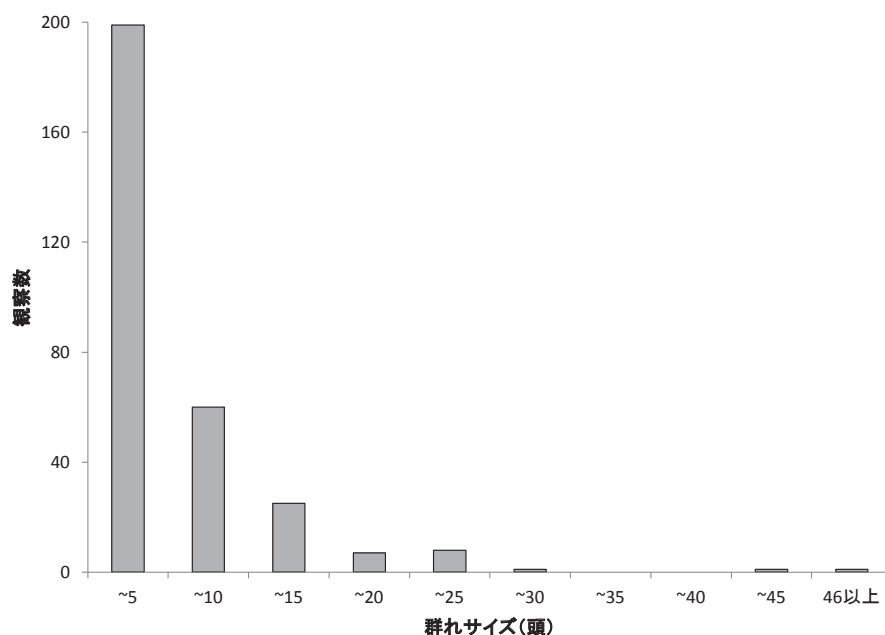


Fig. 3. 2010年から2016年に北海道農業研究センターでスポットライトカウント調査により観察されたシカの群れサイズの頻度分布。

設置された。その直後に同ルートで予備的におこなったスポットライトカウント調査で観察された48頭中9頭は電気柵内での発見であり、さらにこの年観察された411頭(64群)のうち、79頭(22群)は電気柵内での目撃であった。シカは春になって越冬地の積雪深が一定以下になると移動を開始する(Igota et al. 2009)ため、そのタイミングは越冬地により異なる。各越冬地で冬を過ごしたシカは、早ければ4月にすでに北農研に到着しており、電気柵が稼働する頃には、移動し終えたシカが圃場に侵入している可能性もあるだろう。また電気柵の老朽化、設置の不備がある場所の存在や、ゲートの閉扉忘れ等、人為的ミスによるシカの侵入の可能性も考えられる。現在の体制では、電気柵が防御柵としての機能を十分に果たしておらず、完全にシカを排除することは難しいと考えられる。都市近郊のシカ生息適地においては、シカの移動ルートやその時期を考慮した防護柵の設置や稼働、効率的かつ安全な手法を使った捕獲による個体数管理をおこない、市街地への出入り口とならないようにする必要がある。

謝 辞

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センターの技術支援センターのみなさまには、調査の際に多大なるご協力をいただきました。特定非営利活動法人EnVision環境保全事務所(当時)の立木靖之博士には調査の立ち上げにご協力いただきました。一般社団法人エゾシカ協会の東谷宗光研

究員、酪農学園大学狩猟管理学研究室の伊吾田宏正准教授および学生院生諸氏には調査をお手伝いいただきました。この場を借りてお礼申し上げます。

引用文献

- 北海道(2012)“アーバンディア対応マニュアル”, 北海道, 25pp,
<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ks/est/ht/urbandeer/manual.pdf>.
- Igota, H., Sakuragi, M. and Uno, H. (2009) Seasonal migration of sika deer on Hokkaido Island, Japan. In McClough, D. R., Takatsuki, S. and Kaji, K. (eds.) “Sika deer”. Springer, 251-272.
- Ikeda, T., Takahashi, H., Yoshida, T., Igota, H. and Kaji, K. (2013) Evaluation of camera trap surveys for estimation of sika deer herd composition. *Mammal Study*, 38, 29-33.
- 梶 光一・富沢 昌章(1993)エゾシカの生息数調査と個体群評価. 哺乳類科学, 32, 127-134.
- 梶 光一・宮木 雅美・寺澤 和彦・明石 信廣・宇野 裕之(2006)適正密度とは. 梶 光一・宮木 雅美・宇野 裕之編“エゾシカの保全と管理”. 北海道大学出版, 199-207.
- Kilpatrick, H. J., LaBonte, A. M. and Stafford, K. C. (2014) The relationship between deer density, tick abundance, and human cases of Lyme Disease in residential community. *Journal of Medical Entomology*, 52, 777-784.

- 古賀 彩音 (2015) 都市近郊のエゾシカの生息同行、季節移動および土地利用. 酪農学園大学修士論文, 67pp.
- 国土交通省運輸局 (2017) “平成 27 年度全国道路・街路交通情勢調査 一般交通量調査”, <http://www.mlit.go.jp/road/census/h27/data/pdf/kasyo01.pdf>, (参照 2017-11-21).
- 国立感染症研究所 (2016) “SFTS ウイルスの国内分布調査 (第三報)”, <https://www.niid.go.jp/niid/ja/iasr-sp/2342-related-articles/related-articles-433/6319-dj4339.html>, (参照 2017-11-21).
- 国立感染症研究所 (2017) “2016 年に北海道で発生したダニ媒介性脳炎症例”, <https://www.niid.go.jp/niid/ja/iasr-sp/2408-related-articles/related-articles-448/7335-448r10.html>, (参照 2017-11-21).
- 松浦 友紀子・鈴木 正嗣 (2010) 野生動物における E 型肝炎サーベイランスとその課題. 獣医畜産新報, 63, 905-909.
- 札幌市 (2010) “平成 22 年度札幌市緊急雇用創出推進事業野生動物による市街地等への侵入経路調査及び侵入防止策の調査・研究業務報告書 (概要版)”, 札幌市, 23pp, <http://www.city.sapporo.jp/kurashi/animal/choju/shika/kenkyu/documents/gaiyoban.pdf>.
- 札幌市 (2012) “平成 23 年度緊急雇用創出推進事業補助金交付要綱に基づく野生動物の市街地侵入防止策と出沒対応モデル実施事業報告書”, 札幌市, 262 + 1605pp, https://www.city.sapporo.jp/library_documents/hyoushi_mokuji.pdf.
- 札幌市 (2017) “札幌市ヒグマ出沒情報” <http://www.city.sapporo.jp/kurashi/animal/choju/kuma/syutsubotsu/index.html>.
- Tsukada, H., Nakamura, Y., Kamio, T., Inokuma, H., Hanafusa, Y., Matsuda, N., Maruyama, T., Ohba, T. and Nagata, K. (2014) Higher sika deer density is associated with higher local abundance of *Haemaphysalis longicornis* nymphs and adults but not larvae in central Japan. *Bulletin of Entomological Research*, 104, 19-28.
- 吉田 剛司・宮木 雅美・赤坂 猛・伊吾田 宏正 (2014) 季節移動の追跡と生物多様性保全のための個体数管理. 吉田 剛司編 “環境研究総合推進費終了研究成果報告書 支笏洞爺国立公園をモデルとした生態系保全のためのニホンジカ捕獲の技術開発”. 環境省, 74-90.

補足電子資料

以下はオンライン版のみの掲載となります。

<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/bulletin/446/index.html>

Table S1. 2010~2016 年の北海道農業研究センターにおけるスポットライトカウント調査で確認されたシカの総観察頭数、観察群数、月平均観察数、最大観察頭数、100 メス当たりの子数。

Counting urban sika deer using spotlight in Hokkaido, Japan.

Yukiko MATSUURA^{1)*}

Abstract

Urban deer issues are critical in Sapporo, Japan. Deer occurrence is increasing in the Hokkaido Agricultural Research Center located in the tip of a forest shaped like a cape. It may be an important habitat of urban deer in Sapporo. I conducted spotlight count in the Center to monitor the deer population in forty times between 2010 and 2016, and observed a total of 1,675 deer. The observed number increased from 29-32 deer / month to 68.5 deer / month during study periods, resulting locally high density. The number also seasonally increased between early summer and autumn, corresponding to the occurrence to the downtown. The current countermeasure by electric fences is incompetent. It is necessary to control the deer population to prevent this area from being a source of urban deer in Sapporo.

Key words : Spotlight-count, urban deer, density, sika deer

Received 16 August 2017, Accepted 15 March 2018

1) Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

* Hokkaido Research Center, FFPRI, 7 Hitsujigaoka, Toyohira, Sapporo, Hokkaido, 062-8516 JAPAN; e-mail: ymtur@affrc.go.jp

研究資料 (Research record)

次代検定林の成績によるトドマツ精英樹集団からの優良系統の選抜

中田 了五^{1)*}、坂本 庄生¹⁾、西岡 直樹¹⁾、花岡 創¹⁾、来田 和人²⁾、
今 博計²⁾、石塚 航²⁾、黒丸 亮²⁾

要旨

トドマツは北海道の重要な人工造林樹種で主要育種対象樹種の一つである。60年にわたる林木育種事業の成果である次代検定林における成長形質および材質形質に関する検定結果より、検定済精英樹の中から優良な系統(1.5世代精英樹)を選抜した。選抜にあたっては、北海道育種基本区を四つの選抜地域にわけ、それぞれの地域への種苗供給のために25型の採種園を設定できるような選抜を行なった。本報告で選抜した優良系統は今後の林木育種において、採種園の改良、採種園の新設、後代育種集団の作出のための交配親の選定などに活用できる。

キーワード：トドマツ、精英樹、選抜、次代検定林、1.5世代

1. はじめに

日本の国家事業としての林木育種事業が昭和32(1957)年に開始(林野庁長官1957)されてから本報告執筆時点の平成29(2017)年で60年が経過したことになる。林木育種事業は、全国を五つの育種基本区に分割しそれぞれ育種を進めることとされている(林野庁長官2017)。このうち北海道一円を範囲とする北海道育種基本区には、昭和32(1957)年4月1日に国の機関として北海道林木育種場(現在の国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター北海道育種場、以下「北海道育種場」とする)が、昭和32(1957)年6月1日に北海道の機関として岩見沢林務署光珠内事業所(現在の地方独立行政法人北海道立総合研究機構森林研究本部林業試験場、以下「道総研林試」とする)が設置されて、大学や行政や民間企業・団体と連携・共同して北海道内の林木育種を進めてきた。

北海道育種基本区の主な育種対象樹種は、トドマツ、アカエゾマツ、カラマツ(グイマツおよびグイマツ×カラマツ雑種F₁を含む)、スギである。このうちトドマツ(*Abies sachalinensis* (F.Schmidt) Mast.)について、本報告では、これまでの育種事業の成果を取りまとめ優良系統を明らかにして、今後の林木育種の推進への寄与を図る。

北海道育種基本区での林木育種事業は集団選抜育種を志向して進められてきた。まず北海道一円の人工林と天然林から、成長形質および樹幹形など他の形質に優れるプラス木を選び、精英樹と名付けてクローン

保存した。クローン保存は北海道育種場や道総研林試のクローン集植所(北海道育種場では現在「育種素材保存園」と呼称)と国有林や道有林の採種園の二つの形態がある。北海道におけるトドマツ精英樹採種園の多くは昭和35(1960)年頃から50(1975)年頃にかけて設定され、一部廃止されたものもあるが、平成29(2017)年現在国有林の採種園が10箇所62.97ha、道有採種園が2箇所計62.88haが整備され活用されている。精英樹選抜の後、それぞれの遺伝的な特性を評価・検定するための次代検定林の造成が進められた。しかし、トドマツは種子生産開始年齢が採種園設定後15から20年と遅いため、当初は選抜された精英樹本体から採種した自然交配由来の種子を用いた検定林が設定された。このような検定林は、両親とも精英樹であることが期待される採種園産種子由来の検定林と区別するために、「準検定林」とも呼ばれる。その後昭和45(1970)年頃より採種園からの採種が可能となり(高橋1977, 須藤・戸田1978)、種子生産が安定するようになった昭和60年頃より順次採種園産種子を用いた検定林が設定されてきた。林木育種事業開始から60年経過した現在、検定林での検定結果を活かし、採種園の改良(既存採種園からの不良クローンの除去)、優良クローンを用いた採種園の新設を行うことができるようになってきた。これまでに検定林の成績等から、極めて優れた成績を示した29精英樹が林木育種センター開発品種として選ばれている(国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター2017)ものの、この数では到底今後の北海道育種基本区における

原稿受付：平成29年11月6日 原稿受理：平成30年1月15日

1) 森林総合研究所 林木育種センター北海道育種場

2) 北海道立総合研究機構森林研究本部林業試験場

* 森林総合研究所 林木育種センター北海道育種場 〒069-0836 北海道江別市文京台緑町561-1

トドマツの育種を支えていくことはできない。また、既に検定林を構成する精英樹後代から第2世代精英樹（本稿執筆時点では候補木）が選抜されている（田村ら2012, 2013, 2015, 大谷ら2015, 石塚ら2015）ものの、第2世代精英樹は家系を考慮した個体選抜であり現時点では未検定である。このような状況では、検定済みで信頼性のより高い優良な第1世代精英樹の積極的な活用も強く求められる。さらに、新規に採種園を造成することを考えた場合、育種素材保存園でのクローン保存開始から数十年経過した第1世代精英樹には良質のつぎ穂が潤沢に採取可能であるという大きなアドバンテージがある。以上のとおり、採種園の改良、採種園の新設、後代育種集団の作出のための交配親の選定など今後の林木育種に資することを目的として、本報告ではこれまで進められてきた検定林調査の結果から優良なトドマツ精英樹系統を選びそのリストを作成する。

2. 材料と方法

2.1 選抜母集団

トドマツ次代検定林は、国有林選抜の精英樹は国有林が検定、道有林選抜の精英樹は北海道が検定することを原則として設定されてきた。設定されても苗木の活着不良や設定後の気象害などにより廃止された検定林もある。これまでに、検定林の成績を取りまとめていくつかの「精英樹特性表」が作成されている。本報告では、北海道育種場（2005）、来田（2007）、北海道育種場（2016）の三つの精英樹特性表をもとに選抜を行うこととした。なお、北海道育種場（2005）は、北海道が公表した民有林の検定林の20年次特性表（北海道林務部道有林管理室経営課1997）と国有林の検定林の15年次特性を同時に掲載している。北海道育種場（2016）は材質特性表と名付けられているが、20年次以上の樹高と胸高直径データも特性評価されている。

これら三つの特性表では、検定林での成績をとりまとめ、たとえば樹高という形質について複数検定林を含む地域（「地域」については次節参照）ごとの各精英樹系統の代表値を算出したうえで、5段階評価値を求めて掲載している。各精英樹系統によって検定林への供試回数が異なるため、形質ごとの代表値は最小二乗推定値など欠測の穴埋めができる手法により算出されている。また、特性表によって掲載されている形質が異なっている。詳細についてはそれぞれの特性表を参照されたい。なお、精英樹系統によっては複数の地域で供試されている場合がある。

本報告では、参照した三つの特性表よりTable 1に示す形質を抜き出して一覧とし、その結果に基づいて、北海道育種基本区での検定林の成績に基づいたトドマツ精英樹優良系統を選抜した。なお、本報告で用いた特性表はほとんど実生家系で設定された検定林（「試験地」とされているものを含む）からのデータを活用

して作成されたものであるが、特性表材質道函日のみ新冠採種園のつぎ木クローンのデータが用いられている（来田2007）。

北海道育種基本区から選抜された第1世代のトドマツ精英樹は782個体であるが、そのうち本報告で参照した三つの特性表に特性が掲載されている精英樹は354であった。これら354系統が本報告における選抜の母集団である（Table 2）。

2.2 地域区分

北海道育種基本区は、さらに中部、東部、西南部の三つの育種区に区分されている（林業研究・技術開発推進北海道ブロック会議育種分科会2017）。この育種区の区分はもともと北海道育種基本区内での気象条件の違いなどを考慮して定められたものであるが、設定当時はこの育種区の区分の妥当性が評価できていなかった。

林業用種苗の利用や配布についても成育環境の地域による違いを考慮して配布区域等を設定し、その土地にあった種苗を造林するべきである。このために林業種苗法及び同施行令の規定に基づき農林省告示（農林水産省2010）においてスギなど4樹種については種苗の配布区域が定められている。トドマツについては法律に基づく配布区域は定められていないが、北海道育種基本区における林木育種に関する意思決定機関であった林木育種推進北海道地区協議会が昭和60年に「種子源」と「需給区域」を設定し（北海道林木育種場1985）、北海道林木育種場長から関係機関に通知された（北海道林木育種場長1986）。「種子源」と「需給区域」は、気候区分、樹種・種内地域集団の特性、人工林の各種被害の地域変異、検定林・産地試験の結果から地区協議会が設置した専門部会により検討されたもので、トドマツ育種種苗（採種園産種苗）について、北海道を九つの種子源にわけ、需給区域は当分の間育種区単位とした。種子源は実質上育種区をさらに細分したものとなっており、このことから育種区の分割自体は概ね妥当なものであるが、さらに細分化することがトドマツの育種と種苗生産と人工造林にとってより適切であると評価することができる。

その後、道有林では北海道育種基本区を五つの「検定区域」（北海道林務部道有林管理室経営課1997、来田2007）ないしは「需給地域区分」（黒丸1989, 1997, 1998, 廣澤ら2001）に分割し（本報告では以下「需給地域区分」とする）、需給地域区分に対応して採種園の造成や体質改善を行ってきた（黒丸1997, 1998, 永田・西岡1997）。需給地域区分は、育種区をさらに細分したもの、あるいは上述の種子源のいくつかをまとめたものに相当し、道央、道東、根釧、道西南、日高・函館に区分されてきた（名称は必ずしも統一されていない）。本報告で参照した特性表のうち二つ（北海道育

Table 1. 本報告での選抜に用いたトドマツ精英樹特性表、林木育種センター開発品種の種別、選抜に用いた形質。

発行	発行年月	タイトル	特性表中の区分 (測定年次)	地域区分	掲載形質	略称 ^{注3}	検定林数 ^{注4}	選抜形質 ^{注5}
北海道育種場 ^{注1}	平成17(2005)年 3月	トドマツ精英樹特性表	国有林検定林 15年次	道西南部	樹高、胸高直径、生存率	特性表国西南	3	樹高・直径・生存
				函館日高		特性表国函日	6	
				道央部		特性表国道央	4	
				道東部		特性表国道東	5	
				根釧		特性表国根釧	3	
			道有林検定林 20年次	道西南部	生存率、樹高、胸高直径、 単木材積、林分材積	特性表道西南	4	樹高・直径・生存
				函館日高		特性表道函日	6	
				道央部		特性表道道央	3	
				道東部		特性表道道東	4	
				根釧		特性表道根釧	3	
			諸被害抵抗性	各地域	雪害、雪腐病、枝枯病、 晩霜害、寒風害			本報告の選抜で は用いていない
道立林試 ^{注2}	平成19(2007)年 7月	トドマツ精英樹の通信簿 (トドマツ精英樹特性表 Ver.2 材質特性追加版)	(32-40年次)	道西南	曲げヤング係数、曲げ強さ、 平均繊維傾斜度、年輪密度	材質道西南	2	ヤング・強さ・sg・ 密度
				函館・日高		材質道函日	1	
				根釧		材質道根釧	1	
北海道育種場 ^{注1}	平成28(2016)年 2月	トドマツ精英樹材質特性表	(20-30年次)	中部育種区	樹高、胸高直径、ピロディン、 1/df	材質国中部	2	樹高・直径・ピロ・ df
				東部育種区		材質国東部	2	
				西南部育種区		材質国西南	3	

林木育種センター開発品種の種別	備考	開発年度	略称 ^{注6}
成長の優れた品種	推奨品種(成長)	平成17年度	成長
幹重量(二酸化炭素吸収・固定能力)の大きい品種		平成21年度	幹
材質優良トドマツ品種		平成26-27年度	材質

注1: 現在の国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター北海道育種場

注2: 現在の地方独立行政法人北海道立総合研究機構森林研究本部林業試験場

注3: Table4から7での特性表の種類の略称

注4: 各特性表の種類で用いている検定林数

注5: Table4から7で用いる形質 略称で表示 直径-胸高直径、生存-生存率、ヤング-曲げヤング係数、強さ-曲げ強さ、sg-平均繊維傾斜度、密度-年輪密度、ピロ-ピロディン買入量(ヤング係数の簡易推定法のパラメータ)、df-1/df(心材含水率の簡易推定法のパラメータ)

注6: Table4から7の開発品種欄での略称 二種類の種別で開発品種となっている精英樹もある

種場 2005, 来田 2007) ではこの需給地域区分ごとに精英樹系統の評価を行なっている。なお、材質特性表(北海道育種場 2016) ではその作成において利用した材質調査及び解析が需給地域区分ではなく育種区を単位として行われているため、三つの育種区ごとに5段階評価されている。

今回、精英樹優良系統を選抜するにあたっては、上記五つの需給地域区分を考慮して、需給地域区分ごとに採種園を設定する検討を進めた。ここで、需給地域区分は種子源のいくつかをまとめたものに相当するが(Table 3)、種子源の設定にあたっては、設定当時の種苗の需給の状況を反映し、種子源を国有林、道有林、一般民有林(道有林以外の民有林)それぞれ別に設定しており、同じ種子源名であっても国有林と道有林と一般民有林でその範囲が若干異なっている場合がある。また、需給地域区分について記載されている文献にはしばしば地域区分が図示されているもののおのこの図の分割線が異なっている場合があり需給地域の境界付近の細部については極めて不明瞭である。これらの背景として、種子源設定当時は、国有林・道有

林が独自に苗畑をもち種苗生産を行なっており、それぞれ国有林と道有林向けの苗木生産を主とし、一般民有林向けである民間苗畑での生産と合わせ需給の過不足を調整して造林を行っていたことが挙げられる。また、国有林営林署、道有林林務署、一般民有林を指導する北海道庁支庁、それぞれの管轄が微妙にずれていたことを挙げることもできる。しかしながら、平成29(2017)年現在、国有林も道有林も苗畑生産を終了し、国有林森林管理署は過日より大きく統合され、林務署は道庁振興局の森林室となり、市町村合併もすすんでいるなど、種苗の需給をとりまく環境は大きく変化した。

以上の事情を踏まえ、本報告では Fig. 1 および Table 3 のように選抜の単位とする地域(以下「選抜地域」とする)を分割することとした。本報告での選抜の詳細を理解した上で将来本報告での選抜を見直すことが容易にできるように、原則として平成29(2017)年4月現在の市町村名で選抜地域の区域を Table 3 に示した。なお、平成29年度林業研究・技術開発推進北海道ブロック会議育種分科会において、本報告で用いた選抜地域と同一の境界を明確にした需給地域区分が定めら

Table 2. 本報告で選抜したトドマツ優良系統(1.5世代精英樹)とこれまでに選抜したトドマツ第2世代精英樹候補木および優良木の数量。

a. 第1世代精英樹の検定実施状況と検定結果より選抜した優良系統(1.5世代精英樹)数

育種区	選抜地域	精英樹選抜数			精英樹検定済数			検定率	1.5世代選抜数	
		国有林	民有林	合計	国有林	民有林	合計			
中部	中部	112	49	161	13	18	31	0.193	29	近隣地域導入
東部		282	150	432	147	66	213	0.493		
	東部	256	122	378	135	52	187	0.495	33	
	根釧	26	28	54	12	14	26	0.481	28	近隣地域導入
西南部	西南部	131	58	189	70	40	110	0.582	34	
	西南部 (日本海側)	87	26	113	23	11	34	0.301		
	西南部 (太平洋側)	44	32	76	18	27	45	0.592		
北海道育種基本区		525	257	782	230	124	354	0.453	116(延べ124)	

注: a表の網掛け部である4つの選抜地域ごとに選抜を実施した。検定済数には、美深101号(林)(中部)、池田169号(林)(東部)の二つの精英樹ではない系統が入っているが検定済数とした。なお、池田169号(林)は優良系統の基準に達したが選抜しなかった。東部選抜地域の池田11号(林)、西南部選抜地域の浦河106号(林)は優良系統の基準に達したがクローン未保存のため選抜しなかった。西南部(日本海側)選抜地域と西南部(太平洋側)選抜地域の検定済数合計と二つの選抜地域を統合した西南部選抜地域の検定済数が一致しないが、西南部(日本海側)選抜地域で選抜され西南部(太平洋側)選抜地域のみで検定されている系統数を加えたためである。

b. これまでに選抜された第2世代精英樹候補木及び優良木

育種区	選抜地域	第2世代		優良木		合計	選抜検定林 ()は優良木選抜検定林
		検定林	選抜数	検定林	選抜数		
中部	中部	2	104		0	104	北旭7号、北旭8号
東部		2	121	1	45	166	
	東部	2	121		0	121	北見2号、北帯5号
	根釧		0	1	45	45	(A-38)
西南部	西南部	4	122	2	52	174	
	西南部 (日本海側)	3	83	1	32	115	育種場、A-39、北北15号、 (A-33)
	西南部 (太平洋側)	1	39	1	20	59	北函7号、(A-32)
北海道育種基本区		8	347	3	97	444	

れた(林業研究・技術開発推進北海道ブロック会議育種分科会 2017)。

2.3 選抜の方法

トドマツは日本では北海道のみに天然分布し、トドマツの造林は試験的植栽を除いて北海道育種基本区のみで行われている。育種基本区の中では、三つの育種区、五つの需給地域区分、九つの種子源のすべてで造林されている。三つの育種区それぞれで育種を実行することとされているが、実際の検定林には当該検定林の属する育種区以外で選抜された精英樹(以下「管外精英樹」とする)も供試されており、本報告での選抜に用いた三つの特性表でも需給地域区分または育種区ごとの特性を取りまとめる際に管外精英樹も同時に評

価されている。本報告での選抜にあたっては、選抜地域を出身とする精英樹群の中から優良系統を選抜することを原則とした。この理由は、検定林や産地試験等の成績によりこれまでに、生存率(すなわち成林率)や成長についてトドマツ人工造林における地域区分の有効性が示されているからである(黒丸 1989, 1997, 1998, 廣澤ら 2001, 石塚 2016)。一方では、検定林での実際の成績がよければ親精英樹の出身地がどこであろうと選抜していいという考え方、いわばデータに依拠した選抜、も可能である。しかし、北海道は寒害、雪害、乾燥害など植物の成育にとってクリティカルな気象環境要因の変異に富んでいる地域であるのに対して、一検定林において遭遇する気象環境はその周辺地域の環境を十分に代表できていないことが明らかである。よっ

Table 3. 北海道育種基本区における育種区、種子源、特性表における種苗の需給地域区分、本報告での選抜地域の対応表。

育種基本区	育種区	種子源	特性表での 需給地域区分	本報告での 選抜地域	本報告での選抜地域の範囲(市町村)
北海道育種基本区	中部育種区	A1 天塩川	道央	中部	空知総合振興局管内: 深川市 妹背牛町 秩父別町 雨竜町 北竜町 沼田町 上川総合振興局管内: 旭川市 士別市 名寄市 富良野市 鷹栖町 東神楽町 当麻町 比布町 愛別町 上川町 東川町 美瑛町 上富良野町 中富良野町 南富良野町 占冠町 和寒町 剣淵町 下川町 美深町 音威子府村 中川町 幌加内町 留萌振興局管内: 留萌市 増毛町 小平町 苫前町 羽幌町 初山別村 遠別町 天塩町 宗谷振興局管内: 稚内市 猿払村 浜頓別町 中頓別町 枝幸町 豊富町 礼文町 利尻町 利尻富士町 幌延町
		A2 上川南部			
		B 留萌			
	東部育種区	E1 網走	道東	東部	オホーツク総合振興局管内: 北見市 網走市 紋別市 美幌町 津別町 斜里町 清里町 小清水町 訓子府町 置戸町 佐呂間町 遠軽町 湧別町 滝上町 興部町 西興部村 雄武町 大空町 十勝総合振興局管内: 帯広市 音更町 士幌町 上士幌町 鹿追町 新得町 清水町 芽室町 中札内町 更別村 大樹町 広尾町 幕別町 池田町 豊頃町 本別町 足寄町 陸別町 浦幌町 釧路総合振興局管内: 釧路市 弟子屈町 鶴居村 白糠町
		E2 十勝			
		F 根室	根釧	根釧	釧路総合振興局管内: 釧路町 厚岸町 浜中町 標茶町 根室振興局管内: 根室市 別海町 中標津町 標津町 羅臼町
	西南部育種区	G1 石狩	道西南	西南部 (日本海側)	空知総合振興局管内: 夕張市 岩見沢市 美瑛市 芦別市 赤平市 三笠市 滝川市 砂川市 歌志内市 南幌町 奈井江町 上砂川町 由仁町 長沼町 栗山町 月形町 浦臼町 新十津川町 石狩振興局管内: 札幌市 江別市 千歳市 恵庭市 北広島市 石狩市 当別町 新篠津村 後志総合振興局管内: 小樽市 島牧村 寿都町 黒松内町 蘭越町 ニセコ町 真狩村 留寿都村 喜茂別町 京極町 倶知安町 共和町 岩内町 泊村 神恵内村 積丹町 古平町 仁木町 余市町 赤井川村 渡島総合振興局管内: 八雲町のうち旧熊石町の範囲 檜山振興局管内: 江差町 上ノ国町 厚沢部町 乙部町 奥尻町 今金町 せたな町
		G2 桧山			
		D 日高	函館・日高	西南部 (太平洋側)	胆振総合振興局管内: 室蘭市 苫小牧市 登別市 伊達市 豊浦町 壮瞥町 白老町 厚真町 洞爺湖町 安平町 むかわ町 日高振興局管内: 日高町 平取町 新冠町 浦河町 様似町 えりも町 新ひだか町 渡島総合振興局管内: 函館市 北斗市 松前町 福島町 知内町 木古内町 七飯町 鹿部町 森町 八雲町のうち旧八雲町の範囲 長万部町

振興局の区分および市町村は平成29(2017)年4月現在。八雲町については平成17(2005)年の合併前の旧八雲町と旧熊石町を別の選抜地域とした

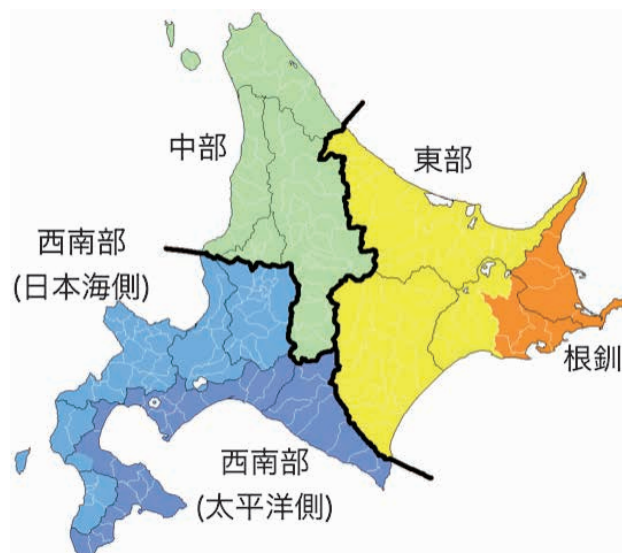


Fig. 1. 育種区と選抜地域。

育種区の境界を太実線で、選抜地域の区分を色の違いで示す。本報告では、西南部(日本海側)および西南部(太平洋側)を統合して、西南部選抜地域として選抜を実施した。黒細実線は(総合)振興局の境界を、白細線は市町村界をそれぞれ示す。作図にあたっては CraftMap (<http://www.craftmap.box-i.net>) を利用した。

て、各地域に特有な環境下で将来にわたってトドマツ人工林の成績を担保し、遺伝的不適応のリスクを最小限にすることを目的として、選抜地域出身の精英樹を選抜することを原則とした。

選抜にあたっては、まず以下の観点を総合的に判断して、選抜地域ごとに本報告で選抜した系統のみで25型の採種園を作ることが可能となる30程度以上の精英樹系統を選抜することとした。

- ・地域を分割したとはいえ、地域内においても林業対象となる環境は多様であり、ある程度の遺伝的変異を保ちたい。
- ・多数の選抜を行うと遺伝的多様性の確保の点では効果が大きい一方、選抜効果が小さくなる。
- ・本選抜において選抜するトドマツ精英樹優良系統の他に、これまでに気象害抵抗性系統や第2世代精英樹候補木（今後エリートツリーまた特定母樹として活用を予定）などの優良系統が選抜されており、本報告で選抜する優良精英樹系統と共に活用することが可能である。

次に、以下を原則として選抜を実施した。

- 1) 選抜地域での検定で4または5の評価値が多いものを選抜する
- 2) 林木育種センター開発品種は優先的に選抜する
- 3) 評価値2を含む系統はなるべく選ばないようにするが、他の形質が3以上でかつ4や5の形質を含む場合は選抜してもよい
- 4) 材質形質については一般に遺伝率が高く環境と遺伝の交互作用が小さいと考えられているので、選抜地域外での結果も参照して選抜してもよい。

Table 4 から Table 7 にリストした検定済精英樹の特性評価値から選抜地域ごとに上位精英樹を選びグレードをつけた。グレードは優れているものから順に A、B、C とし、ABC の中をさらに分ける場合は優れているものから A1、A2 のように表示した。グレードの定義は各選抜地域によって異なるので Table 4 から Table 7 を参照されたい。ここで、評価値は対象形質について優れたものから劣るものを5から1の5段階で評価したものである。評価値5と4は正規分布と仮定するとそれぞれ集団内の6.7%と24.2%に相当するように設定されている。よって評価値5である系統は極めて優良、逆に1は極めて不良とみなすことができる。検定林の成績やそれを取りまとめた特性表の評価値は測定ミスや偶然などによる誤りを含んでいるものの、特性表に取り上げられた形質で評価値1であった系統は誤りを考慮したとしても育種集団から排除するべきであると考えられる。よって、本報告での選抜では形質を問わ

ず選抜地域で評価値1を示した系統は原則として選抜していない。

3. 結果と考察

Table 2 に育種区および選抜地域ごとの、精英樹選抜数、本報告における選抜母集団である検定済精英樹数、本報告における選抜数（1.5 世代選抜数）を掲げる。本報告では、参照した三つの特性表に出身選抜地域における特性の5段階評価値が掲載されている精英樹を「検定済精英樹」とした。以下、選抜地域ごとに詳細を記す。ここで、西南部育種区については西南部（日本海側）選抜地域と西南部（太平洋側）選抜地域に分割することのデメリットが、そのメリットよりも大きいと判断された（後述）ことから、最終的な選抜地域は中部、東部、根釧、西南部の4地域とすることにした。

Table 4 から7に、検定済精英樹ごとの各特性表の評価値を掲載する。選抜地域ごとの表とし、その選抜地域出身の検定済精英樹をすべてリストした。

本報告で用いた北海道育種場（2005）の特性表では各需給地域区分での検定回数が1回（1検定林でしか供試されていない）の系統を特記（特性評価値を括弧内に記載）しているため、本報告のTable 4 から7でも同様とした。一方、来田（2007）や北海道育種場（2016）の特性表においても検定回数が1回の系統が存在するが、検定回数の情報については一部を除き公表されておらず、本報告でも記載していない。詳細については各特性表を参照されたい。

3.1 中部

中部育種区は道央需給地域区分と一致しており、本報告では「中部」選抜地域と呼ぶ。中部選抜地域では、精英樹選抜数は161であるものの、検定済精英樹は2割に満たない31であった。なお、31には精英樹ではない系統が一つ（美深101号（林））含まれている。国有林出身精英樹で検定済の系統は特性表国道央と材質国中部の2回の評価を受けていて、道有林出身精英樹で検定済の系統は特性表道道央の1回のみの出現であり、中部選抜地域は道の材質特性表の対象とはなっていない。成長形質に比べ成育地域間の差が小さいと考えられる材質形質については材質道西南、材質道函日、材質道根釧の評価値も選抜に用いた。

Table 4 のとおり、開発品種でもある枝幸1号のように5段階評価値が4と5がほとんどであるような優良系統は少なく、いずれかの特性表ですべての評価値が3以上となるグレードAは12系統しかなかった。そこで評価値2を含むグレードBとCも選抜することとしたが、検定済数が少ないこともあり、選抜系統数は18系統にとどまった。そこで、管外精英樹ではあるが中部選抜地域の近隣出身であり中部選抜地域で検定されている精英樹系統を候補として追加した（Table 4 の

Table 4. 中部選抜地域での検定済精英樹の評価一覧。

出身地域		系統コード	精英樹名	グレード	選抜	開発品種	特性表評価					
育種区	選抜地域						特性表国道央	特性表道道央	材質国中部	材質道西南	材質道函日	材質道根釧
							樹高・直径・生存		樹高・直径・ピロ・df		ヤング・強さ・sg・密度	
中部	中部	GFJ00139	稚内30号	A1	○		444		3235			
中部	中部	GFJ00141	稚内33号	C1	○		323		2245			
中部	中部	GFJ00146	中頓別102号				215		2152			
中部	中部	GFJ00149	枝幸1号	A1	○	幹	444		5443			
中部	中部	GFJ00165	天塩101号	A2	○		433		3232			
中部	中部	GFJ00186	士別115号				223		2143			
中部	中部	GFJ00187	朝日101号				433		4412			
中部	中部	GFJ00193	朝日112号				323		2234			
中部	中部	GFJ00198	上川103号	B	○		324		3235			
中部	中部	GFJ00200	上川105号	A2	○		443		4332			
中部	中部	GFJ00221	幌加内101号	A2	○		344		4324			
中部	中部	GFJ00225	達布107号				224		1243			
中部	中部	GFJ00229	古丹別104号				222		2243			
中部	中部	GFJ00663	美深2号(林)	A1	○			554				
中部	中部	GFJ00666	美深5号(林)					3-3		1121	3333	
中部	中部	GFJ00667	美深6号(林)	B	○			224		3324		
中部	中部	GFJ00669	美深8号(林)					2-3		2323	4343	
中部	中部	GFJ00670	美深9号(林)					2-3				
中部	中部	GFJ00671	美深10号(林)	C2	○			2-3		3453		3343
中部	中部	GFJ00672	美深11号(林)					4-2				
中部	中部		美深101号(林)					5-2				
中部	中部	GFJ00678	美深104号(林)					3-2				
中部	中部	GFJ00679	美深105号(林)	C3	○			324				
中部	中部	GFJ00680	名寄1号(林)	A1	○			4-4		2243	4345	
中部	中部	GFJ00682	名寄3号(林)	A2	○			4-3		2222		
中部	中部	GFJ00683	名寄4号(林)	A2	○			343		2332		
中部	中部	GFJ00684	名寄5号(林)	B	○			442		3324	3425	
中部	中部	GFJ00687	名寄8号(林)	A1	○			4-4				
中部	中部	GFJ00689	名寄10号(林)	A2	○			3-4			4443	
中部	中部	GFJ00690	名寄11号(林)	A1	○			4-5			3332	
中部	中部	GFJ00706	留萌2号(林)					2-4				
西南部	日本海側	GFJ00597	大夕張101号	A'	○	成長	544		3322			
西南部	日本海側	GFJ00600	大夕張104号	A'	○	成長	555		5443			
西南部	日本海側	GFJ00605	大夕張109号	B'	○		443				3333	
西南部	日本海側	GFJ00606	大夕張110号	B'	○	材質	443				3355	
西南部	日本海側	GFJ00614	芦別101号	A'	○		544				5444	
西南部	日本海側	GFJ00615	芦別102号			材質	434				4341	
西南部	日本海側	GFJ00618	上芦別2号	A'	○		444		4333			
東部	東部	GFJ00249	北雄101号	B'	○		334		3235			
東部	東部	GFJ00734	雄武4号(林)	B'	○			4-3				
東部	東部	GFJ00737	雄武101号(林)					321			3333	
東部	東部	GFJ00741	興部1号(林)	A'	○			4-4			3335	
東部	東部	GFJ00743	興部3号(林)	B'	○			3-4			3333	
東部	東部	GFJ00744	興部4号(林)					2-3		3343	2222	
東部	東部	GFJ00745	興部101号(林)	A'	○			444		3443	3515	
東部	東部	GFJ00746	興部102号(林)					3-2				

Table 4 には中部選抜地域出身精英樹及び中部選抜地域の近隣(夕張市、芦別市、滝上町、雄武町、興部町、西興部村)出身精英樹で中部選抜地域で検定済の精英樹をリストした出身地域欄の「日本海側」は「西南部(日本海側)」の略
表中の数字は各特性表における5段階評価の値(5が優れ1が劣る)であり、表上部の特性の順に各特性の評価値を並べたものである
表中の「たとえば美深5号(林)の特性表道道央での評価値「3-3」の直径のハイフン」はその形質について未評価であることを示す

精英樹選抜数:161

検定済精英樹数:31(精英樹ではないもの1を含む)

精英樹から選抜した優良系統数:18

管外精英樹から選抜した優良系統数:11

グレード解説

A1:6系統、特性表国道央または特性表道道央で評価値4以上のみが出現し、それ以外の特性表で評価値2以上のもの

A2:6系統、特性表国道央または特性表道道央で評価値3以上のみが出現し、それ以外の特性表で評価値2以上のもの

B:3系統、特性表国道央または特性表道道央で評価値2以上かついずれかの形質で評価値4または5が出現し、それ以外の特性表でも評価値2以上かついずれかの形質で評価値4または5が出現するもの

C1:1系統、中部選抜地域における特性表で評価値2以上のみが出現し、そのうち材質形質に特に優れるもの

C2:1系統、中部選抜地域における特性表で評価値2以上のみが出現し、他の2つの選抜地域での材質形質がともにすぐれるもの

C3:1系統、中部選抜地域における特性表で評価値2以上のみが出現し、そのうち生存率が4であるもの

A':6系統、管外近隣出身精英樹で特性表国道央または特性表道道央で評価値4以上のみが出現するもの(興部101号(林)は材質道函日で評価値1を含むが材質道西南で同じ形質が4であるため選抜する)

B':5系統、管外近隣出身精英樹で特性表国道央または特性表道道央で評価値3以上のみが出現し、かつそれ以外の特性表で評価値2以上のもの

下部、Table 4 は近隣出身の検定済精英樹をすべてリストした)。近隣とは、中部選抜地域の北方の宗谷振興局管内に近い東部選抜地域の滝上町、雄武町、興部町、西興部村、また中部選抜地域の南方の上川南部付近で積雪の多い西南部(日本海側)選抜地域の夕張市、芦別市とした。これら近隣出身の精英樹は中部選抜地域での検定成績に優れるものが多く、三つの開発品種を含む11系統(Table 4のA'およびB'グレード)を選抜

することができた。このうち特に大夕張104号と芦別101号は特性表国道央と材質国中部の両方で極めて良好な成績を示した。なお大夕張104号は開発品種でもある。

以上のとおり、中部選抜地域からは29系統の優良精英樹系統が選抜された。検定済精英樹数が少ないため、結果的に成績優良系統を選び出すことよりも成績不良の系統を排除した選抜となった。管外精英樹のう

Table 5. 東部選抜地域での検定済精英樹の評価一覧。(1/3)

育種区	選抜地域	系統コード	精英樹名	グレード	選抜	開発品種	特性表評価		
							特性表国道東	特性表道道東	材質国東部
							樹高・直径・生存		樹高・直径・ピロ・df
東部	東部	GFJ00249	北雄101号				112		2141
東部	東部	GFJ00255	丸瀬布104号				224		3233
東部	東部	GFJ00257	遠軽105号				221		3243
東部	東部	GFJ00261	遠軽109号				234		3333
東部	東部	GFJ00262	遠軽111号				222		2244
東部	東部	GFJ00264	佐呂間102号	A1	○	幹、成長	554		5533
東部	東部	GFJ00270	佐呂間108号	A2	○		334		4443
東部	東部	GFJ00278	佐呂間116号				233		3325
東部	東部	GFJ00300	佐呂間138号	A2	○		334		3354
東部	東部	GFJ00307	留辺蘂104号				333		2333
東部	東部	GFJ00309	留辺蘂106号	A1	○	幹、成長	334		4444
東部	東部	GFJ00313	留辺蘂112号				332		3343
東部	東部	GFJ00315	留辺蘂114号				223		4312
東部	東部	GFJ00320	置戸4号	B2			335		2342
東部	東部	GFJ00321	置戸5号				444		3322
東部	東部	GFJ00338	置戸103号	B1			333		3334
東部	東部	GFJ00342	置戸108号				211		2233
東部	東部	GFJ00350	北見4号				233		2231
東部	東部	GFJ00352	津別1号	A2	○		334		4543
東部	東部	GFJ00369	清里101号				332		4433
東部	東部	GFJ00371	新得101号				332		1122
東部	東部	GFJ00372	新得102号				(223)		4333
東部	東部	GFJ00373	新得103号						1234
東部	東部	GFJ00374	新得104号				(222)		3233
東部	東部	GFJ00375	新得105号	A2	○		(443)		5533
東部	東部	GFJ00376	新得106号	B2			(443)		4324
東部	東部	GFJ00379	新得109号				(435)		2224
東部	東部	GFJ00380	新得110号				(442)		4424
東部	東部	GFJ00381	新得111号				(241)		3433
東部	東部	GFJ00382	新得112号	A1	○	材質	(232)		3344
東部	東部	GFJ00383	新得113号				222		2343
東部	東部	GFJ00384	新得114号				(441)		2334
東部	東部	GFJ00385	新得115号				(333)		3411
東部	東部	GFJ00386	新得116号				(444)		3233
東部	東部	GFJ00387	新得117号	A1	○	成長	443		5334
東部	東部	GFJ00388	新得118号	B2			(342)		3443
東部	東部	GFJ00389	新得119号				(442)		4333
東部	東部	GFJ00391	新得121号				(552)		4524
東部	東部	GFJ00394	新得124号				(224)		3133
東部	東部	GFJ00398	清水2号				(332)		2331
東部	東部	GFJ00399	清水101号				(112)		3231
東部	東部	GFJ00400	清水102号				(333)		2243
東部	東部	GFJ00403	上士幌104号				(222)		3244
東部	東部	GFJ00407	本別101号	A2	○		(434)		4244
東部	東部	GFJ00408	本別106号				(332)		2221
東部	東部	GFJ00409	本別108号				(111)		2333
東部	東部	GFJ00410	本別109号				(332)		4533
東部	東部	GFJ00411	本別110号				233		2412
東部	東部	GFJ00412	本別111号				(224)		3243
東部	東部	GFJ00413	本別112号				212		3231
東部	東部	GFJ00414	本別113号				(224)		1133
東部	東部	GFJ00415	本別115号				(222)		4233
東部	東部	GFJ00417	本別117号				334		2253
東部	東部	GFJ00418	本別118号						3343
東部	東部	GFJ00419	本別119号				(222)		1233
東部	東部	GFJ00420	足寄103号	B1			(433)		3333
東部	東部	GFJ00421	足寄104号				(112)		3243
東部	東部	GFJ00422	足寄105号				(333)		3342
東部	東部	GFJ00423	足寄106号	B1			(333)		3433
東部	東部	GFJ00424	足寄107号	A1	○	材質	(333)		3444
東部	東部	GFJ00425	足寄108号				(343)		2233
東部	東部	GFJ00426	足寄110号				332		2243
東部	東部	GFJ00427	足寄111号				(334)		2314
東部	東部	GFJ00428	足寄112号						2312
東部	東部	GFJ00429	足寄113号				(333)		2434
東部	東部	GFJ00430	足寄114号				(332)		3331
東部	東部	GFJ00431	足寄116号				122		2314
東部	東部	GFJ00432	足寄117号	A2	○		(343)		4343

Table 5. 東部選抜地域での検定済精英樹の評価一覧。(2/3)

出身地域 育種区	選抜 地域	系統コード	精英樹名	グレード	選抜	開発品種	特性表評価		
							特性表国道東	特性表民道東	材質国東部
							樹高・直径・生存	樹高・直径・生存	樹高・直径・ピロ・df
東部	東部	GFJ00433	足寄118号				(334)		2233
東部	東部	GFJ00434	足寄119号	A2	○		(444)		4344
東部	東部	GFJ00436	足寄121号	A1	○		(444)		
東部	東部	GFJ00437	足寄122号				(225)		2232
東部	東部	GFJ00438	陸別101号	A1	○	幹	332		5514
東部	東部	GFJ00439	陸別103号				(324)		3341
東部	東部	GFJ00440	陸別104号				(334)		2253
東部	東部	GFJ00441	陸別105号				222		3334
東部	東部	GFJ00442	陸別106号				(444)		2334
東部	東部	GFJ00443	陸別107号	A1	○	材質	(555)		5434
東部	東部	GFJ00444	陸別108号				(222)		3223
東部	東部	GFJ00445	陸別109号	A1	○	材質	(555)		5434
東部	東部	GFJ00446	陸別110号	B2			(545)		4223
東部	東部	GFJ00447	陸別111号				(335)		4322
東部	東部	GFJ00448	陸別112号				(334)		4323
東部	東部	GFJ00449	陸別113号				(122)		2332
東部	東部	GFJ00450	陸別114号				432		3333
東部	東部	GFJ00451	陸別115号				(343)		4332
東部	東部	GFJ00452	陸別116号				224		1254
東部	東部	GFJ00453	陸別117号	B2			(553)		5423
東部	東部	GFJ00455	陸別119号				(234)		2233
東部	東部	GFJ00457	陸別121号				(442)		4521
東部	東部	GFJ00458	陸別122号				(434)		2142
東部	東部	GFJ00459	陸別123号				(342)		4523
東部	東部	GFJ00460	陸別124号	A1	○	材質	(223)		4444
東部	東部	GFJ00461	陸別125号	A1	○	材質	(332)		3434
東部	東部	GFJ00462	陸別126号				(444)		3323
東部	東部	GFJ00463	陸別127号				(221)		3313
東部	東部	GFJ00464	陸別128号				(334)		2142
東部	東部	GFJ00465	陸別129号				(334)		2323
東部	東部	GFJ00466	陸別130号				(333)		2233
東部	東部	GFJ00467	白糠101号	A2	○		443		4533
東部	東部	GFJ00468	白糠103号	A1	○	材質	(333)		3444
東部	東部	GFJ00469	白糠105号				223		3524
東部	東部	GFJ00470	白糠110号	A2	○		(444)		4453
東部	東部	GFJ00471	白糠113号				(434)		2133
東部	東部	GFJ00472	白糠115号				(223)		3333
東部	東部	GFJ00473	白糠116号				(342)		4534
東部	東部	GFJ00474	白糠117号				(544)		4313
東部	東部	GFJ00475	白糠119号				(432)		2323
東部	東部	GFJ00476	白糠120号				(212)		1144
東部	東部	GFJ00477	白糠121号				(114)		1211
東部	東部	GFJ00478	白糠122号				(342)		4533
東部	東部	GFJ00479	白糠123号				(224)		2233
東部	東部	GFJ00480	白糠124号				(233)		2255
東部	東部	GFJ00481	白糠125号	A1	○	材質	(232)		3354
東部	東部	GFJ00498	阿寒1号				332		2233
東部	東部	GFJ00499	阿寒2号				(332)		3432
東部	東部	GFJ00500	阿寒3号				(114)		1242
東部	東部	GFJ00501	阿寒4号				(112)		3333
東部	東部	GFJ00502	阿寒5号				(333)		3332
東部	東部	GFJ00503	阿寒6号				(332)		4333
東部	東部	GFJ00504	阿寒7号						3234
東部	東部	GFJ00505	阿寒8号						3333
東部	東部	GFJ00506	阿寒101号	A2	○		333		4434
東部	東部	GFJ00507	弟子屈1号				(223)		3223
東部	東部	GFJ00508	弟子屈2号				224		1154
東部	東部	GFJ00509	弟子屈3号	A1	○	材質	(333)		4445
東部	東部	GFJ00510	弟子屈101号				(332)		3222
東部	東部	GFJ00511	弟子屈102号				(222)		3455
東部	東部	GFJ00512	弟子屈103号				(331)		3333
東部	東部	GFJ00513	弟子屈105号	B2			(333)		3433
東部	東部	GFJ00514	弟子屈106号				(343)		4325
東部	東部	GFJ00515	弟子屈107号				(333)		2332
東部	東部	GFJ00517	弟子屈110号	A2	○				3444
東部	東部	GFJ00518	弟子屈111号				224		2242
東部	東部	GFJ02013	陸別1号						2133
東部	東部	GFJ00712	北見1号(林)					213	

Table 5. 東部選抜地域での検定済精英樹の評価一覧。(3/3)

出身地域		系統コード	精英樹名	グレード	選抜	開発品種	特性表評価		
育種区	選抜地域						特性表国道東	特性表民道東	材質国東部
							樹高・直径・生存	樹高・直径・生存	樹高・直径・ピロ・df
東部	東部	GFJ00716	北見5号(林)	A2	○			434	
東部	東部	GFJ00717	北見6号(林)					423	
東部	東部	GFJ00718	北見7号(林)					313	
東部	東部	GFJ00719	北見8号(林)					3-3	
東部	東部	GFJ00721	北見101号(林)	A2	○			443	
東部	東部	GFJ00722	北見102号(林)					332	
東部	東部	GFJ00725	北見105号(林)	B3				334	
東部	東部	GFJ00726	北見106号(林)					333	
東部	東部	GFJ00727	北見107号(林)					333	
東部	東部	GFJ00729	北見109号(林)	B3				335	
東部	東部	GFJ00730	北見110号(林)					333	
東部	東部	GFJ00731	雄武1号(林)					223	
東部	東部	GFJ00732	雄武2号(林)					333	
東部	東部	GFJ00736	雄武6号(林)					324	
東部	東部	GFJ00737	雄武101号(林)					223	
東部	東部	GFJ00741	興部1号(林)					423	
東部	東部	GFJ00743	興部3号(林)					233	
東部	東部	GFJ00744	興部4号(林)					211	
東部	東部	GFJ00745	興部101号(林)	A2	○			434	
東部	東部	GFJ00746	興部102号(林)					2-4	
東部	東部	GFJ00777	池田2号(林)					333	
東部	東部	GFJ00778	池田3号(林)	B3				334	
東部	東部	GFJ00780	池田5号(林)					442	
東部	東部	GFJ00781	池田6号(林)					333	
東部	東部	GFJ00783	池田8号(林)					333	
東部	東部	GFJ00785	池田10号(林)	B3				343	
東部	東部	GFJ00786	池田11号(林)	A1	未保存			444	
東部	東部	GFJ00787	池田12号(林)					222	
東部	東部	GFJ00790	池田15号(林)	B3				343	
東部	東部	GFJ00795	池田20号(林)					333	
東部	東部	GFJ00802	池田27号(林)					333	
東部	東部	GFJ00804	池田29号(林)	A2	○			344	
東部	東部	GFJ00808	池田33号(林)	A2	○			453	
東部	東部	GFJ00809	池田34号(林)					333	
東部	東部	GFJ00813	池田38号(林)					214	
東部	東部	GFJ00815	池田40号(林)					332	
東部	東部	GFJ00824	池田101号(林)					333	
東部	東部	GFJ00825	池田102号(林)	A2	○			344	
東部	東部	GFJ00826	池田103号(林)	B3				343	
東部	東部	GFJ00827	池田104号(林)	B3				343	
東部	東部	GFJ00828	池田105号(林)					333	
東部	東部	GFJ00830	池田107号(林)					342	
東部	東部	GFJ00834	池田111号(林)					124	
東部	東部	GFJ00837	池田114号(林)	A2	○			443	
東部	東部	GFJ00838	池田115号(林)	B3				343	
東部	東部	GFJ00839	池田116号(林)					234	
東部	東部	GFJ00840	池田117号(林)					551	
東部	東部		池田169号(林)	A2	未保存			534	
東部	東部	GFJ00846	浦幌101号(林)					351	
東部	東部	GFJ00851	浦幌106号(林)					332	
東部	東部	GFJ00852	浦幌107号(林)	A2	○			553	
東部	根釧	GFJ00492	釧路106号	B'			(543)		5534
東部	根釧	GFJ00493	釧路107号				(554)		4431
東部	根釧	GFJ00766	厚岸117号(林)	A'				444	
東部	根釧	GFJ00775	厚岸126号(林)	A'				454	

Table 5には東部選抜地域出身の東部選抜地域で検定済のものに加え、管外近隣(根釧選抜地域)出身精英樹で東部特性表4以上をリストした表中の数字は各特性表における5段階評価の値(5が優れ1が劣る)である
 表中の数字は各特性表における5段階評価の値(5が優れ1が劣る)であり、表上部の特性の順に各特性の評価値を並べたものである
 表中の-(たとえば北見8号(林)の特性表道央での評価値「3-3」の直径のハイフン)はその形質について未評価であることを示す

精英樹選抜数:360

検定済精英樹数:187(精英樹ではないもの1を含む)

精英樹から選抜した優良系統数:33

グレード解説

A1:15系統、開発品種及びいずれかの特性表で評価値4以上のもの

A2:20系統、いずれかの特性表で評価値3以上かつ多くの場合評価値4以上であるもの

B1:3系統、国有林選抜精英樹で複数の特性表で出現し、すべての評価値が3以上のもの

B2:6系統、国有林選抜精英樹で複数の特性表で出現し、すべての評価値が2以上でいずれかの特性が評価値4以上であるもの

B3:8系統、道有林選抜精英樹で、評価値3以上かついずれかの評価値に4を含むもの

A':2系統、管外近隣出身精英樹で東部選抜地域において評価値4以上であるもの

B':1系統、管外近隣出身精英樹で東部選抜地域において評価値3以上でかつ評価値5を多く含むもの

池田11号(林)はA1グレードであるが、未保存であるため選抜しない

池田169号(林)はA2グレードであるが、精英樹ではなく未保存であるため選抜しない

Table 6. 根釧選抜地域での精英樹の評価一覧。(1/2)

育種区	選抜地域	系統コード	精英樹名	グレード	選抜	開発品種	特性表評価			
							特性表国根釧	特性表道根釧	材質道根釧	材質国東部
							樹高・直径・生存		ヤング・強さ・sg・密度	樹高・直径・ピロ・df
東部	根釧	GFJ00483	釧路1号							2213
東部	根釧	GFJ00484	釧路2号							
東部	根釧	GFJ00485	釧路3号							3231
東部	根釧	GFJ00486	釧路4号							3313
東部	根釧	GFJ00487	釧路101号							3323
東部	根釧	GFJ00488	釧路102号							3322
東部	根釧		釧路103号							4422
東部	根釧	GFJ00490	釧路104号							
東部	根釧	GFJ00491	釧路105号							4441
東部	根釧	GFJ00492	釧路106号							5534
東部	根釧	GFJ00493	釧路107号							4431
東部	根釧	GFJ00494	釧路108号							
東部	根釧	GFJ00495	釧路109号	A	○		555			3323
東部	根釧	GFJ00496	釧路110号							3223
東部	根釧	GFJ00497	釧路111号				443			2212
東部	根釧	GFJ00519	標津1号				(312)			
東部	根釧	GFJ00520	標津2号	B	○		(333)			
東部	根釧	GFJ00521	標津3号				334			3312
東部	根釧	GFJ00522	標津4号	B	○		(535)			
東部	根釧	GFJ00523	標津101号				(224)			
東部	根釧	GFJ00524	根室101号	A	○		554			
東部	根釧	GFJ00525	根室102号	B	○		(334)			
東部	根釧	GFJ00526	根室103号							
東部	根釧	GFJ00527	根室104号				(423)			
東部	根釧	GFJ00528	根室105号				(252)			
東部	根釧	GFJ00529	根室106号	A	○		(454)			
東部	根釧	GFJ00530	根室107号							
東部	根釧	GFJ00748	厚岸1号(林)							
東部	根釧	GFJ00749	厚岸2号(林)							
東部	根釧	GFJ00750	厚岸101号(林)	B	○			553		
東部	根釧	GFJ00751	厚岸102号(林)							
東部	根釧	GFJ00752	厚岸103号(林)							
東部	根釧	GFJ00753	厚岸104号(林)							
東部	根釧	GFJ00754	厚岸105号(林)							
東部	根釧	GFJ00755	厚岸106号(林)	B	○			443		
東部	根釧	GFJ00756	厚岸107号(林)	A	○			445		
東部	根釧	GFJ00757	厚岸108号(林)							
東部	根釧	GFJ00758	厚岸109号(林)							
東部	根釧	GFJ00759	厚岸110号(林)	A	○			555		
東部	根釧	GFJ00760	厚岸111号(林)							
東部	根釧	GFJ00761	厚岸112号(林)					434	2221	
東部	根釧	GFJ00762	厚岸113号(林)	B	○			434	3252	
東部	根釧	GFJ00763	厚岸114号(林)	A	○			444	4424	
東部	根釧	GFJ00764	厚岸115号(林)	A	○			444	3342	
東部	根釧	GFJ00765	厚岸116号(林)	A	○			444		
東部	根釧	GFJ00766	厚岸117号(林)	A	○			444	3331	
東部	根釧	GFJ00767	厚岸118号(林)							
東部	根釧	GFJ00768	厚岸119号(林)	A	○			444		
東部	根釧	GFJ00769	厚岸120号(林)							
東部	根釧	GFJ00770	厚岸121号(林)	B	○			333		
東部	根釧	GFJ00771	厚岸122号(林)							
東部	根釧	GFJ00772	厚岸123号(林)	A	○			454		
東部	根釧	GFJ00773	厚岸124号(林)							
東部	根釧	GFJ00774	厚岸125号(林)	B	○			334		
東部	根釧	GFJ00775	厚岸126号(林)							
東部	東部	GFJ00498	阿寒1号				323			2233
東部	東部	GFJ00499	阿寒2号							3432
東部	東部	GFJ00500	阿寒3号							1242
東部	東部	GFJ00501	阿寒4号							3333
東部	東部	GFJ00502	阿寒5号							3332
東部	東部	GFJ00503	阿寒6号							4333
東部	東部	GFJ00504	阿寒7号							3234
東部	東部	GFJ00505	阿寒8号							3333
東部	東部	GFJ00506	阿寒101号				223			4434
東部	東部	GFJ00507	弟子屈1号							3223
東部	東部	GFJ00508	弟子屈2号	B'	○		433			1154
東部	東部	GFJ00509	弟子屈3号	C'	○	材質				4445

Table 6. 根釧選抜地域での精英樹の評価一覧。(2/2)

出身地域 育種区	選抜 地域	系統コード	精英樹名	グレード	選抜	開発品種	特性表評価			
							特性表国根釧	特性表道根釧	材質道根釧	材質国東部
							樹高・直径・生存	樹高・直径・生存	ヤング・強さ・sg・密度	樹高・直径・ヒロ・df
東部	東部	GFJ00510	弟子屈101号							3222
東部	東部	GFJ00511	弟子屈102号	C'	○					3455
東部	東部	GFJ00512	弟子屈103号							3333
東部	東部	GFJ00513	弟子屈105号							3433
東部	東部	GFJ00514	弟子屈106号							4325
東部	東部	GFJ00515	弟子屈107号							2332
東部	東部	GFJ00516	弟子屈109号							
東部	東部	GFJ00517	弟子屈110号	C'	○					3444
東部	東部	GFJ00518	弟子屈111号	B'	○		334			2242
東部	東部	GFJ00467	白糠101号				212			4533
東部	東部	GFJ00468	白糠103号	C'	○	材質				3444
東部	東部	GFJ00469	白糠105号	B'	○		333			3524
東部	東部	GFJ00470	白糠110号							4453
東部	東部	GFJ00471	白糠113号							2133
東部	東部	GFJ00472	白糠115号							3333
東部	東部	GFJ00473	白糠116号							4534
東部	東部	GFJ00474	白糠117号							4313
東部	東部	GFJ00475	白糠119号							2323
東部	東部	GFJ00476	白糠120号							1144
東部	東部	GFJ00477	白糠121号							1211
東部	東部	GFJ00478	白糠122号							4533
東部	東部	GFJ00479	白糠123号							2233
東部	東部	GFJ00480	白糠124号	C'	○					2255
東部	東部	GFJ00481	白糠125号	C'	○	材質				3354
東部	東部	GFJ00482	白糠126号							

Table 6には未検定を含め全ての根釧選抜地域出身精英樹及び根釧選抜地域の近隣(根釧選抜地域を除く釧路総合振興局管内)出身精英樹をリストした表中で特性評価値が()で囲まれているものは1検定林の結果で評価されている系統
表中の数字は各特性表における5段階評価の値(5が優れ1が劣る)であり、表上部の特性の順に各特性の評価値を並べたものである

精英樹選抜数: 54

検定済精英樹数: 26

精英樹から選抜した優良系統数: 19

管外精英樹から選抜した優良系統数: 9

グレード解説

A: 11系統、特性表国根釧または特性表道根釧のすべての評価値が4以上であるもの

B: 8系統、特性表国根釧または特性表道根釧のすべての評価値が3以上で、材質の評価値1に含まないもの

B': 3系統、管外近隣出身精英樹で特性表国根釧のすべての評価値が3以上であるもの

C: 6系統、管外近隣出身精英樹で材質国東部で材質形質(ヒロ及びdf)が4以上であるもの

ち中部選抜地域での成績の優れた系統を導入することとしたので中部選抜地域向け25型採種園を設定することができる。オプションとしてはTable 4のA1およびA2グレード12系統あるいはそれにBグレードを加えた15系統で9型採種園を構成することが考えられるものの、中部選抜地域は、冬季の寒冷期間の長い宗谷、多湿多雪の留萌、夏の高湿と冬の低温の上川及び空知(北部のみ)の各(総合)振興局範囲を含み、環境の変化に富んでいることから本選抜で選んだ29系統による25型採種園により多様性を保った種子生産を目指すことが適切であると考えられる。

3.2 東部

東部育種区の範囲は、北海道のオホーツク総合振興局、十勝総合振興局、釧路総合振興局、根室振興局の各管内である。東部育種区のうち根釧地域に天然分布するトドマツはネムロトドマツとしてトドマツの変種または別種とされることもある。種分類については本報告では議論しないが、そのようなネムロトドマツの分布する根釧地区出身の精英樹は他の地域での検定成

績が悪いのに対して、根釧地域での成績は他地域出身の精英樹よりも優れるものが多い。年間を通した低温と湿潤な夏季という北海道育種基本区の中でも特殊な根釧地域の環境に対し、根釧地域出身精英樹が適応を遂げているからであると考えられる。たとえば黒丸(1989)の検定林データを精英樹の選抜地域別にみた結果によれば、根釧地域を別に扱うことの効果は極めて大きい。よって本報告における選抜では東部育種区から根釧を選抜地域として独立させて考察することとした。根釧地域の定義として本報告ではFig. 1およびTable 3のとおり、境界を釧路湿原とし、釧路総合振興局管内のうち標茶町、釧路町、厚岸町、浜中町と根室振興局管内を根釧選抜地域、それ以外の東部育種区を東部選抜地域とした。

東部選抜地域では、378精英樹が選抜されており、そのうち約半数の187が検定済である。選抜数も検定済数もすべての選抜地域の中でもっとも多かった。特性表への出現回数は、検定済み国有林選抜精英樹のほとんどで特性表国道東と材質国東部の2回、検定済み道有林選抜精英樹は特性表道道東のみの1回である。

Table 7. 西南部選抜地域での検定済精英樹の評価一覧。(1/3)

育種区	出身地域 選抜地域	系統コード	精英樹名	グレード	選抜	開発品種	特性表評価						
							特性表国西南	特性表国函日	特性表道西南	特性表道函日	材質国西南	材質道西南	材質道函日
							樹高・直径・生存				樹高・直径・ビロ・df		
							ヤング・径さ・sg・密度						
西南部	日本海側	GFJ00532	札幌101号	A2	○	幹、成長	454	553			4522		
西南部	日本海側	GFJ00533	札幌102号			幹	543	443			4421		
西南部	日本海側	GFJ00537	余市3号	B	○						3333		
西南部	日本海側	GFJ00538	余市4号				443	242			4313		
西南部	日本海側	GFJ00551	定山溪101号	A1	○	材質	444	433			4344		
西南部	日本海側	GFJ00590	夕張1号				332	332			3223		
西南部	日本海側	GFJ00597	大夕張101号	A2	○	成長	554	442			5523		
西南部	日本海側	GFJ00600	大夕張104号	A1	○	成長	443	333			4434		
西南部	日本海側	GFJ00605	大夕張109号				322	434			5532		
西南部	日本海側	GFJ00606	大夕張110号	B	○	材質	443	231			3244		
西南部	日本海側	GFJ00614	芦別101号				433	323			3244		
西南部	日本海側	GFJ00615	芦別102号	A1	○	材質	544	334			4344		
西南部	日本海側	GFJ00618	上芦別2号				221	342			3323		
西南部	日本海側	GFJ00622	俄虫3号				332	222			3443		
西南部	日本海側	GFJ00629	俄虫103号				333	432			4321		
西南部	日本海側	GFJ00630	俄虫104号	A2	○	材質		(323)			4444		
西南部	日本海側	GFJ00632	俄虫106号					(213)			3334		
西南部	日本海側	GFJ00635	俄虫109号	A2	○	幹、成長	553	554			5522		
西南部	日本海側	GFJ00640	檜山9号	A1	○	幹、成長	443	553			3334		
西南部	日本海側	GFJ00649	岩内105号	B	○		333	342			3323		
西南部	日本海側	GFJ00650	岩内106号	A2	○	幹	334	434			2233		
西南部	日本海側	GFJ00654	倶知安102号				334	131			3424		
西南部	日本海側	GFJ00656	倶知安104号	A1	○	幹	554	334			5433		
西南部	日本海側	GFJ00861	岩見沢1号(林)						442			2242	1131
西南部	日本海側	GFJ00862	岩見沢2号(林)					453	442			1222	3343
西南部	日本海側	GFJ00863	岩見沢101号(林)					324	222			2232	3323
西南部	日本海側	GFJ00864	岩見沢102号(林)	B	○			544	445			2222	2234
西南部	日本海側	GFJ00865	岩見沢103号(林)					322				3243	3322
西南部	日本海側	GFJ00866	岩見沢104号(林)					322	212			4423	4344
西南部	日本海側	GFJ00867	岩見沢105号(林)	B	○			524	433			4344	2232
西南部	日本海側	GFJ00868	岩見沢106号(林)					333	213			3333	3333
西南部	日本海側	GFJ00869	岩見沢107号(林)	A2	○			343	433			2354	4545
西南部	日本海側	GFJ00870	倶知安1号(林)					434	442			2214	3433
西南部	日本海側	GFJ00871	倶知安2号(林)					225				3323	

西南部(日本海側)選抜地域出身で西南部(日本海側)選抜地域での検定済精英樹の一覧

出身地域欄の「日本海側」は「西南部(日本海側)」の略

表中で特性評価値が()で囲まれているものは1検定林の結果で評価されている系統

表中の数字は各特性表における5段階評価の値(5が優れ1が劣る)であり、表上部の特性の順に各特性の評価値を並べたものである

精英樹選抜数: 113

検定済精英樹数: 37

精英樹から選抜した優良系統数: 16

グレード解説

A1: 5系統、開発品種であるかまたは西南部(日本海側)で評価値4以上かつ西南部(太平洋側)選抜地域を含め評価値3以上のもの

A2: 6系統、概ね評価値3以上であって少数の形質で評価値2を含むもの

B: 5系統、開発品種であるが西南部(太平洋側)選抜地域での成績がよくないもの、評価対象形質が全て平均的であるもの、等

開発品種が13精英樹ある(うち2精英樹は2種類の開発品種となっており、計15系統が開発されている)。

Table 5のとおり、開発品種あるいはいずれかの特性表で4以上のみを示したグレードA1が15系統選ばれた。開発品種は概ね特性表でもすべての形質で評価値3以上であった。例外として、材質開発品種である新得112号は特性表国道東で樹高と生存率が2であったが材質特性表では樹高が3になっていることもあり選抜した。

国有林選抜精英樹は二つの精英樹特性表に出現するものの割合が高く、両方の特性表で高い評価を得た系統はより信頼性が高いと考えられることから二つの特性表での成績を勘案してB1グレード3系統、B2グレード6系統を選抜した。一方、道有林選抜精英樹は一つの精英樹特性表でのみ出現していることからB1およびB2グレードよりやや厳しい基準でB3グレードとして8系統を選抜した。

なお、北雄101号、置戸108号、清水101号、本別108号、足寄104号、阿寒4号、興部4号(林)は特性表の評価値が極めて低く、育種集団から排除すべき

ものと考えられた。また、池田34号(林)は特性表道東の評価値は333と中庸であるものの、Table 5に掲げていない他選抜地域における材質形質の評価値が1111と極めて成績が不良であるため、育種集団から排除すべきものと考えられた。ここで、東部選抜地域では成績がかなり不良であった北雄101号は中部選抜地域では優良系統として選抜したものである。このことは北海道のトドマツ造林において地域区分を行うことの妥当性と環境と遺伝の大きな交互作用の存在を示すものといえることができる。本報告での選抜において池田11号(林)はA1グレード、また精英樹ではない系統であるが特性表に掲載されている池田169号(林)はA2グレードとなったが、平成29(2017)年現在精英樹クローンが保存されている北海道育種場、道総研林試、道採種園のいずれでも未保存(保存したが枯損)となっていたので、優良精英樹系統としては選抜しない。

Table 5の最後に、根釧選抜地域出身精英樹であるため本報告では東部選抜地域において選抜母集団としていないものの検定済みである系統のうち成績のよい4系統を掲載した。これらはいずれも高い成績となって

Table 7. 西南部選抜地域での検定済精英樹の評価一覧。(2/3)

育種区	出身地域 選抜 地域	系統コード	精英樹名	グレード	選抜	開発品種	特性表評価						
							特性表国西南	特性表国函日	特性表道西南	特性表道函日	材質国西南	材質道西南	材質道函日
							樹高・直径・生存			樹高・直径・ピロ・df		ヤング・強さ・sg・密度	
西南部	日本海側	GFJ00591	夕張2号	C'				(454)					
西南部	日本海側	GFJ00592	夕張102号					(113)					
西南部	日本海側	GFJ00595	夕張106号					(333)					
西南部	日本海側	GFJ00598	大夕張102号					(222)					
西南部	日本海側	GFJ00599	大夕張103号					(111)					
西南部	日本海側	GFJ00601	大夕張105号					(332)					
西南部	日本海側	GFJ00602	大夕張106号					(334)					
西南部	日本海側	GFJ00604	大夕張108号					(443)					
西南部	日本海側	GFJ00607	大夕張111号					(222)					
西南部	日本海側	GFJ00608	大夕張112号					(323)					
西南部	日本海側	GFJ00609	芦別1号					(443)					
西南部	日本海側	GFJ00611	芦別3号					(333)					
西南部	日本海側	GFJ00616	芦別103号					(323)					
西南部	日本海側	GFJ00617	上芦別1号					(443)					
西南部	日本海側	GFJ00619	上芦別101号					(333)					
西南部	日本海側	GFJ00620	上芦別102号					(543)					
西南部	日本海側	GFJ00621	俄虫2号					(223)					
西南部	日本海側	GFJ00623	俄虫4号					(222)					
西南部	日本海側	GFJ00624	俄虫5号	C'				(544)					
西南部	日本海側	GFJ00625	俄虫6号					(234)					
西南部	日本海側	GFJ00626	俄虫7号					(332)					
西南部	日本海側	GFJ00627	俄虫101号					(222)					
西南部	日本海側	GFJ00628	俄虫102号					(221)					
西南部	日本海側	GFJ00631	俄虫105号					(332)					
西南部	日本海側	GFJ00634	俄虫108号					(552)					
西南部	日本海側	GFJ00636	俄虫110号					(552)					
西南部	日本海側	GFJ00637	俄虫111号	C'				(445)					
西南部	日本海側	GFJ00639	檜山8号	C'				(444)					
西南部	日本海側	GFJ00641	檜山10号					(224)					
西南部	日本海側	GFJ00859	滝川101号(林)						224				
西南部	日本海側	GFJ00860	滝川102号(林)						222				

西南部(日本海側)選抜地域出身で西南部(太平洋側)選抜地域での検定済精英樹の一覧
出身地域欄の「日本海側」は「西南部(日本海側)」の略
表中で特性評価値が 0 で囲まれているものは1検定林の結果で評価されている系統
表中の数字は各特性表における5段階評価の値(5が優れ1が劣る)であり、表上部の特性の順に各特性の評価値を並べたものである

西南部(日本海側)選抜地域出身であるが、西南部(日本海側)選抜地域では未検定で西南部(太平洋側)選抜地域の1箇所の検定林で検定されているもの:31

グレード解説
C':4系統、西南部(日本海側)選抜地域出身であるが、西南部(日本海側)選抜地域では未検定で西南部(太平洋側)選抜地域での成績が特に優れているもの

おり、材質国東部で評価値 1 (df) を含む釧路 107 号を除く 3 系統を A' または B' グレードとした。

以上のとおり、東部選抜地域では、A1 および A2 グレードが未保存を除いて合計 33 系統存在し、これらで 25 型採種園を構成することが可能であった。本報告ではこれら 33 系統を優良系統とし 25 型採種園の設定を推奨するものであるが、B1、B2、B3、A'、B' グレードを加え計 53 系統で 49 型採種園を設定するというオプションも可能である。東部選抜地域は検定済数が非常に多く、検定済み精英樹から「いいものを選ぶ」ための選抜強度のやや高い選抜を行うことが可能であった。

3.3 根釧

根釧選抜地域からはわずか 54 精英樹が選抜されているのみで、うちほぼ半数の 26 が検定済みである。選抜数が少ないことから Table 6 には未検定を含めて選抜されている 54 精英樹をリストした。なお、根釧出身精英樹からは開発品種は選ばれていない。特性表国根釧および特性表道根釧から、評価値 4 以上であるそれぞれ 3 および 8 系統をグレード A として、評価値 3 以上であるそれぞれ 3 および 5 系統をグレード B として選抜した。特性表国根釧および特性表道根釧の評価値が 3 以上のグレード B 相当であっても材質道根釧

と材質国東部での成績が 1 を含む釧路 111 号、標津 3 号、厚岸 112 号(林)は選抜しなかったが、評価値が 4 以上のグレード A 相当(444)であった厚岸 117 号(林)については道材質特性表根釧で 1 を含んでいた(3331)が、評価値 1 を示したのは密度であり、ヤングおよび強さは評価値 3 であることから選抜することとした。これは密度値が低くてもヤングおよび強さが十分であれば製材品としての利用においてそれほど大きな欠点とはならないと考えたためである。結果的に根釧選抜地域出身精英樹のうち検定済み系統はそのほとんどが選抜されたが、これは根釧選抜地域の環境が他の選抜地域とは大きく異なり、根釧選抜地域出身精英樹を中心とした根釧選抜地域で優れたパフォーマンスを示す系統で構成した採種園から根釧選抜地域への種苗供給を行うことが妥当であることを示す結果であると言える。

以上の 19 系統に加え、Table 6 下部に示した近隣(釧路総合振興局管内)出身の精英樹を含め検討したところ、特性表国根釧で評価値 3 以上であった 3 系統をグレード B' として選抜することができた。このうち弟子屈 2 号は材質国東部の樹高および胸高直径が両方とも評価値 1 であるが特性表国根釧ではそれぞれ 4 と 3 であることから選抜することとした。このことは前述のとおり根釧の特殊な環境要因による交互作用が大きいことを示していると考えることができる。さらに、根

Table 7. 西南部選抜地域での検定済精英樹の評価一覧。(3/3)

出身地域		系統コード	精英樹名	グレード	選抜	開発品種	特性表評価							
育種区	選抜地域						特性表国西南・特性表国函日・特性表道西南・特性表道函日				材質国西南	材質道西南	材質道函日	
							樹高・直径・生存				樹高・直径・ピロ・df		ヤング・強さ・sg・密度	
西南部	太平洋側	GFJ00553	苦小牧1号	A2	○	幹	554	442				4443		
西南部	太平洋側	GFJ00556	苦小牧4号									3442		
西南部	太平洋側	GFJ00559	白老1号	A1	○	成長	443	433				4433		
西南部	太平洋側	GFJ00566	白老8号	A1	○	材質						4435		
西南部	太平洋側	GFJ00567	白老9号									4211		
西南部	太平洋側	GFJ00572	鶴川101号					(343)						
西南部	太平洋側	GFJ00575	静内101号					(335)						
西南部	太平洋側	GFJ00577	新冠102号	A3	○			(544)						
西南部	太平洋側	GFJ00578	振内101号					(333)						
西南部	太平洋側	GFJ00579	振内102号					(214)						
西南部	太平洋側	GFJ00580	振内103号					(434)						
西南部	太平洋側	GFJ00581	振内105号	A3	○			(444)						
西南部	太平洋側	GFJ00583	振内108号	A3	○			(445)						
西南部	太平洋側	GFJ00584	振内109号					(334)						
西南部	太平洋側	GFJ00585	振内111号				322	232			4443			
西南部	太平洋側	GFJ00586	浦河101号				342	552			3413			
西南部	太平洋側	GFJ00651	八雲1号					(443)						
西南部	太平洋側	GFJ00652	八雲2号	A3	○			(444)						
西南部	太平洋側	GFJ00872	倶知安101号(林)						325	542		3322	2241	
西南部	太平洋側	GFJ00873	浦河1号(林)	A2	○				443	444		4322	3342	
西南部	太平洋側	GFJ00875	浦河3号(林)	C	○				443	442				
西南部	太平洋側	GFJ00876	浦河4号(林)						343	453		5434	3315	
西南部	太平洋側	GFJ00877	浦河5号(林)	C	○				443	432		4443	3333	
西南部	太平洋側	GFJ00878	浦河6号(林)	A1	○				444	544			3343	
西南部	太平洋側	GFJ00879	浦河7号(林)										3233	
西南部	太平洋側	GFJ00880	浦河8号(林)	B	○				333	553			4424	
西南部	太平洋側	GFJ00881	浦河9号(林)	A2	○				234	445		5535	3355	
西南部	太平洋側	GFJ00882	浦河101号(林)	A1	○				334	333		4545	3343	
西南部	太平洋側	GFJ00883	浦河102号(林)	C	○				333	333		4433	3424	
西南部	太平洋側	GFJ00884	浦河103号(林)	A2	○				442	443			3323	
西南部	太平洋側	GFJ00885	浦河104号(林)						323			5545	3323	
西南部	太平洋側	GFJ00887	浦河106号(林)	B	未保存				433	433				
西南部	太平洋側	GFJ00888	苦小牧101号(林)						433	332				
西南部	太平洋側	GFJ00890	苦小牧103号(林)	C	○				334	222			5545	
西南部	太平洋側	GFJ00891	苦小牧104号(林)										4334	
西南部	太平洋側	GFJ00892	苦小牧105号(林)						341			2232	3333	
西南部	太平洋側	GFJ00893	苦小牧106号(林)						333	232		3342	3343	
西南部	太平洋側	GFJ00894	苦小牧107号(林)						323	323				
西南部	太平洋側	GFJ00896	苦小牧109号(林)							341			3242	
西南部	太平洋側	GFJ00897	函館1号(林)						343	442		4444	2213	
西南部	太平洋側	GFJ00898	函館2号(林)	C	○				434	223		4433	5444	
西南部	太平洋側	GFJ00899	函館3号(林)						341	544		5535	4433	
西南部	太平洋側	GFJ00900	函館4号(林)										2233	
西南部	太平洋側	GFJ00901	函館5号(林)										3343	
西南部	太平洋側	GFJ00902	函館6号(林)										1132	

西南部(太平洋側)選抜地域出身で西南部(太平洋側)選抜地域での検定済精英樹の一覧
 出身地域欄の「太平洋側」は「西南部(太平洋側)」の略
 倶知安101号(林)は名称は倶知安だが豊浦町より選抜された西南部(太平洋側)選抜地域出身精英樹
 表中で特性評価値が()で囲まれているものは検定林の結果で評価されている系統
 表中の数字は各特性表における5段階評価の値(5が優れ1が劣る)であり、表上部の特性の順に各特性の評価値を並べたものである

精英樹選抜数: 77
 検定済精英樹数: 45
 精英樹から選抜した優良系統数: 13

グレード解説

A1: 4系統、西南部(太平洋側)で評価値3以上かつ評価値4以上の形質を多数含むもの
 A2: 4系統、評価値4以上の形質を多数含むものの少数の形質で評価値2を含むもの
 A3: 4系統、検定回数が少ないが特性表国函日での成績が優れているもの
 B: 2系統、平均的な成績であるもの、または評価値2を示す形質があるものの特性表道函日での成績が優れているもの
 C: 5系統、成長形質が評価値2であっても材質に優れていたり、特性表道函日での生存率が評価値2であるものの他の形質では評価値4が多いもの、等
 浦河106号(林)はBグレードであるが、未保存であるため選抜しない

釧選抜地域で未検定であるが材質国東部において材質形質(ピロおよびdf)が評価値4以上であった材質開発品種2系統を含む6系統をグレードC'として選抜した。合計28系統を選抜することができた。

以上のとおり、根釧選抜地域からは根釧選抜地域出身精英樹を主とした28系統で25型採種園を構成することができ、選抜数および検定数が少ないのにも関わらず、かなり成績のいい系統を選抜することができた。オプションとしてはグレードAおよびグレードBの19系統により9型採種園を構成することも可能である。

3.4 西南部

需給地域区分としてこれまでに、西南部育種区を大きく東西すなわち太平洋側と日本海側にわけ、道西南

需給地域と函館・日高需給地域とすることが提案されてきた。本報告でも選抜地域を西南部(日本海側)と西南部(太平洋側)にわけて(Table 3)それぞれ選抜をおこなった。一方、西南部育種区では検定林の設定が多く、西南部育種区出身精英樹は西南部(日本海側)選抜地域と西南部(太平洋側)選抜地域の両方で検定されていることが多い(Table 7)。

西南部(日本海側)選抜地域からは113個体の精英樹が選抜されているが検定済みは34系統である。この中から、開発品種であるものまたは西南部(日本海側)選抜地域での成績(特性表国西南、特性表道西南、材質国西南、材質道西南)が評価値4以上でかつ西南部(太平洋側)での成績を含め評価値3以上であったものをグレードA1として5系統、概ね評価値3以上

だが2を少数含むものをグレードA2として6系統選抜した。開発品種である札幌102号は材質国西南の成績に評価値1を含むことから選抜しなかった。グレードBとして5系統を選んだが、これらは、開発品種であるが出身選抜地域外での成績がよくないもの（大夕張110号）や評価対象形質全てが普通のもの（余市3号）などを含んでいる。次に、西南部（日本海側）選抜地域出身であるが、西南部（太平洋側）選抜地域のみで検定済で成績のよい（評価値4以上）の系統をグレードC'とした。ここで、西南部（日本海側）選抜地域でグレードAとした11系統は西南部（太平洋側）選抜地域においてもでもおおむね良好な成績を示しており、特にグレードA1とした5系統は西南部（日本海側）選抜地域と西南部（太平洋側）選抜地域の両方で優秀な成績であった。

西南部（太平洋側）選抜地域では、76精英樹が選抜されており、このうち45が検定済であった。このうち、西南部（太平洋側）選抜地域の特性表での成績が評価値3以上で4以上が多い4系統をグレードA1、評価値2を一部含むものの評価値4を多数含む4系統をグレードA2、検定回数が少ないものの特性表函日での成績が優れている4系統をグレードA3として選抜した。次に平均的な成績の系統と評価値2を含むものの特性表函日での成績が優れる系統の2系統をグレードBとして選抜した。さらに、成長形質が評価値2であっても材質に優れている系統や、特性表函日での生存率が評価値2であるものの他の形質では評価値4が多い系統などをグレードCとして5系統選抜した。ここで、A1およびA2グレードとした系統は、西南部（太平洋側）選抜地域と西南部（日本海側）選抜地域の両方で概ね良好な成績を示した。

以上のとおり、西南部（日本海側）選抜地域ではグレードAまたはBとして16系統、西南部（太平洋側）選抜地域ではグレードAからCとして19系統選抜することができた。しかしながら、この数量では西南部（日本海側）選抜地域と西南部（太平洋側）選抜地域それぞれで25型の採種園を設定することができない。選抜対象を拡大し、25型採種園を設定できる数量まで選抜数を増加させることは不可能ではないが、もともとの検定済数が少ないことから改良効果はあまり期待できない。また、それぞれ9型採種園を作ことは可能であるが、西南部（太平洋側）選抜地域の中でも、たとえば函館の海岸沿いと日高の内陸部の気候の違いを考慮すると明らかのように、選抜地域内の環境条件の多様性が高いため、より多くの系統で構成された採種園を設定するべきであると考えられる。一方、Table 7のとおり、西南部育種区では、成績のよい系統は西南部（日本海側）選抜地域と西南部（太平洋側）選抜地域の両方で優れた成績を示すことが多かった。特にAグレードとしたものはその傾向が強かった。また、

西南部（日本海側）出身精英樹でグレードC'として選抜したものは西南部（太平洋側）選抜地域での成績が非常に良いものである。さらに、これまで報告されているトドマツ地域区分に関する報告（黒丸1989）によると、西南部（日本海側）選抜地域と西南部（太平洋側）選抜地域間の区分の効果は、たとえば東部と西南部や東部と根釧の間の区分の効果に比べて小さいことが示されている。

以上の考察から、本選抜においては、より多い系統数による遺伝的多様性を確保した上でより大きい改良効果を求めるために、西南部（日本海側）選抜地域と西南部（太平洋側）選抜地域を合わせた西南部選抜地域を設定し、その中で選抜を行なうこととした。この場合、西南部（日本海側）選抜地域と西南部（太平洋側）選抜地域それぞれのグレードA及びBの総数は30となるが、浦河106号（林）は未保存であるため、29系統を選抜することとした。さらに西南部（太平洋側）選抜地域でのグレードC（形質によっては評価値2であるが他の形質の成績がすぐれるもの）を加えた34系統を選抜した。以上を西南部選抜地域として集計すると、精英樹選抜数189のうち110系統が検定済でそこから34系統の優良系統を選抜したこととなる。

オプションとしては、(1)西南部（日本海側）選抜地域のグレードAおよびグレードBの16系統による西南部（日本海側）選抜地域むけの9型採種園、(2)西南部（太平洋側）選抜地域のグレードAおよびグレードBの14系統による西南部（太平洋側）選抜地域むけの9型採種園、(3)西南部（太平洋側）選抜地域のグレードA、グレードBおよびグレードCの19系統による西南部（太平洋側）選抜地域むけの9型採種園、(4)西南部（太平洋側）選抜地域のグレードAおよび西南部（日本海側）選抜地域出身のグレードC'計16系統による西南部（太平洋側）選抜地域むけの9型採種園、(5)西南部（日本海側）選抜地域および西南部（太平洋側）選抜地域のグレードAのそれぞれ11および12系統による9型採種園を作り、それぞれの選抜地域に供給するほか、グレードAはどちらの選抜地域でも優れているため相互に融通することも可能、など様々なパターンが考えられる。

西南部育種区は西南部（日本海側）選抜地域と西南部（太平洋側）選抜地域の二つに需給地域区分されてきたが、検定率は低いものの検定林の設定が多く、二つの選抜地域の両方で検定されている精英樹系統が多かった。検定済精英樹の数が少ないこと、二つの選抜地域において上位のグレードとなった系統は偶然とはいえ二つの選抜地域の両方で優れていたことから、二つの選抜地域を西南部選抜地域として統合したことにより結果的に西南部選抜地域向けに「いいもの」を供給できる採種園を設定できる選抜を行うことができた。

3.5 未検定精英樹についての考え方

全選抜地域を通して未検定の精英樹が相当数にのぼっている。未検定となった原因はいくつか考えられるが、これら未検定精英樹からは検定林造成用の苗木が養成できなかったという理由が大きい。逆に考えると検定済み精英樹は検定林を造成可能な種子量が確保できたということになる。すなわち、検定済み精英樹は採種園に植栽したつぎ木クローンのパフォーマンス（生存率や成長）や種子生産能力が比較的高かったと考えられる。本報告では将来採種園に導入し林業用種苗の親となる優良系統を選抜しているのであるから、つぎ木により増殖したクローンの生存・成長と種子生産に優れるものを選抜する必要がある。逆に、未検定となった精英樹の多くでは、つぎ木クローンの活着性能、採種園での生存と成長、種子生産が劣っていた可能性があり、今後の採種園への導入には不適であることが考えられる。

以上の考察からは、未検定精英樹の検定を進めるよりも、既に本報告などで選ばれた検定済み精英樹の活用、また既に選ばれている第2世代精英樹候補木の活用、さらに第1世代精英樹と第2世代精英樹を世代の分け隔てなく混合して利用するいわゆる「ローリングフロント（rolling front）」という考え方に立った育種集団の構築を進める方が得策であると考えることができる。ここで、第2世代精英樹候補木は選抜された直後であって種子生産性については全く不明であるが、本報告で選抜した優良な第1世代精英樹のクローンは少なくとも検定林造成に十分な着花があったことを意味するため、このことは優良第1世代精英樹系統の活用のアドバンテージを示すものであるといえる。

一方、検定率が20%以下と極めて低く本報告での選抜数が少ない中部選抜地域については、再度未検定第1世代精英樹の検定を進めることを考えるべきかもしれない。また、これまで選抜形質となっていない形質について未検定精英樹が優れた特性を示すことも考えられる。よって、未検定精英樹についても引き続き遺伝資源の保存を図り、継続的に諸形質の特性調査を進めて、将来の育種集団により優れた形質を加えるための材料とするべきであろう。

3.6 成績優良であるものの現在未保存となっている

系統についての考え方

本報告で優れたグレードと判定された系統の中には、一度育種素材保存園や採種園に導入され検定されているのにも関わらず現在未保存となっている系統が2系統存在していた（池田11号（林）、浦河106号（林））。現在未保存となった原因はいくつか考えられるが、その内最大のものがつぎ木クローンとしてのパフォーマンスに劣る系統であるというものである。いかに親として優れていても、採種園における利用が前提である

以上、クローンの生存・成長が著しく劣っている場合には利用できない。いまだ精英樹本体が生存している可能性もあるが、ともに選抜から50年以上経過し、精英樹台帳の記載からはその探索は困難と考えられる。よって、いたずらにこれら未保存精英樹の遺伝資源保存を計画するのではなく、他の優良系統を活用した育種プログラムの構築を図る方が有益であると考えられる。

4. おわりに

本報告では、今後採種園の新規造成や改良に対して寄与することを目的として、既存の複数の精英樹特性表を活用し、北海道育種基本区におけるトドマツ精英樹集団から優良な系統を選抜した。これらは検定済の優良系統群、いわゆる1.5世代精英樹集団である。北海道育種基本区（行政上の北海道と一致）を四つの選抜地域に分割してそれぞれ優良系統を選抜した。それぞれの選抜地域出身の精英樹をそれぞれの選抜地域において選抜することを原則としたが、中部選抜地域と根釧選抜地域では選抜される数が少なかったため近隣地域からの選抜も行った。これにより複数の選抜地域で選抜された系統が8系統となった。選抜された系統数は116系統（のべ124系統）である（Table 8）。

本報告で選び出した精英樹優良系統（1.5世代精英樹）は、平成29（2017）年現在得られたデータを基にしたものであり、今後検定データが増えたり新しい選抜項目を導入する必要がある場合は適宜更新されるべきものである。今後得られるデータや新規のデータ解析手法の適用結果により、より一層遺伝的な改良を遂げた種苗の生産を期待したい。

北海道育種基本区のスギ以外の育種対象樹種はその樹種特性から、採種園後種子が生産できるまでに採種園設定後15-20年かかり、種子生産は年による豊凶が著しい。またクローン苗木養成もトドマツで通常5年かかる。これらのことから本州・四国・九州におけるスギなどに比べ育種の進展に長期を要する。以上の樹種特性から、本報告で選抜した精英樹優良系統（1.5世代精英樹）に、すでに検定林調査結果を利用して選抜したトドマツ第2世代精英樹等を加え、その時利用できるより優良な遺伝資源を組み合わせた（ローリングフロント）種苗生産と次世代育種集団の創出を図る必要があると考えられる。

引用文献

- 廣澤 忠・佐々木 啓二・渡辺 弘二・井本 正幸・黒丸 亮（2001）多雪地帯におけるトドマツの産地による造林成績の違い．北海道の林木育種，43(2), 9-11.
北海道育種場（森林総合研究所林木育種センター北海道育種場）（2005）"トドマツ精英樹特性表"，

Table 8. 選抜したトドマツ精英樹優良系統 (1.5 世代精英樹) 一覧。

選抜地域	出身地域		系統コード	精英樹名	グレード	備考
	育種区	選抜地域				
中部	中部	中部	GFJ00139	稚内30号	A1	
中部	中部	中部	GFJ00149	枝幸1号	A1	
中部	中部	中部	GFJ00663	美深2号(林)	A1	
中部	中部	中部	GFJ00680	名寄1号(林)	A1	
中部	中部	中部	GFJ00687	名寄8号(林)	A1	
中部	中部	中部	GFJ00690	名寄11号(林)	A1	
中部	中部	中部	GFJ00165	天塩101号	A2	
中部	中部	中部	GFJ00200	上川105号	A2	
中部	中部	中部	GFJ00221	幌加内101号	A2	
中部	中部	中部	GFJ00682	名寄3号(林)	A2	
中部	中部	中部	GFJ00683	名寄4号(林)	A2	
中部	中部	中部	GFJ00689	名寄10号(林)	A2	
中部	中部	中部	GFJ00198	上川103号	B	
中部	中部	中部	GFJ00667	美深6号(林)	B	
中部	中部	中部	GFJ00684	名寄5号(林)	B	
中部	中部	中部	GFJ00141	稚内33号	C1	
中部	中部	中部	GFJ00671	美深10号(林)	C2	
中部	中部	中部	GFJ00679	美深105号(林)	C3	
中部	西南部	日本海側	GFJ00597	大夕張101号	A'	西南部
中部	西南部	日本海側	GFJ00600	大夕張104号	A'	西南部
中部	西南部	日本海側	GFJ00614	芦別101号	A'	
中部	西南部	日本海側	GFJ00618	上芦別2号	A'	
中部	東部	東部	GFJ00741	興部1号(林)	A'	
中部	東部	東部	GFJ00745	興部101号(林)	A'	東部
中部	西南部	日本海側	GFJ00605	大夕張109号	B'	
中部	西南部	日本海側	GFJ00606	大夕張110号	B'	西南部
中部	東部	東部	GFJ00249	北雄101号	B'	
中部	東部	東部	GFJ00734	雄武4号(林)	B'	
中部	東部	東部	GFJ00743	興部3号(林)	B'	

中部選抜地域向け: 29系統

備考欄の選抜地域名はその選抜地域でも選抜されていることを示す

選抜地域	出身地域		系統コード	精英樹名	グレード	備考
	育種区	選抜地域				
根釧	東部	根釧	GFJ00495	釧路109号	A	
根釧	東部	根釧	GFJ00524	根室101号	A	
根釧	東部	根釧	GFJ00529	根室106号	A	
根釧	東部	根釧	GFJ00756	厚岸107号(林)	A	
根釧	東部	根釧	GFJ00759	厚岸110号(林)	A	
根釧	東部	根釧	GFJ00763	厚岸114号(林)	A	
根釧	東部	根釧	GFJ00764	厚岸115号(林)	A	
根釧	東部	根釧	GFJ00765	厚岸116号(林)	A	
根釧	東部	根釧	GFJ00766	厚岸117号(林)	A	
根釧	東部	根釧	GFJ00768	厚岸119号(林)	A	
根釧	東部	根釧	GFJ00772	厚岸123号(林)	A	
根釧	東部	根釧	GFJ00520	標津2号	B	
根釧	東部	根釧	GFJ00522	標津4号	B	
根釧	東部	根釧	GFJ00525	根室102号	B	
根釧	東部	根釧	GFJ00750	厚岸101号(林)	B	
根釧	東部	根釧	GFJ00755	厚岸106号(林)	B	
根釧	東部	根釧	GFJ00762	厚岸113号(林)	B	
根釧	東部	根釧	GFJ00770	厚岸121号(林)	B	
根釧	東部	根釧	GFJ00774	厚岸125号(林)	B	
根釧	東部	東部	GFJ00469	白糠105号	B'	
根釧	東部	東部	GFJ00508	弟子屈2号	B'	
根釧	東部	東部	GFJ00518	弟子屈111号	B'	
根釧	東部	東部	GFJ00468	白糠103号	C'	東部
根釧	東部	東部	GFJ00480	白糠124号	C'	
根釧	東部	東部	GFJ00481	白糠125号	C'	東部
根釧	東部	東部	GFJ00509	弟子屈3号	C'	東部
根釧	東部	東部	GFJ00511	弟子屈102号	C'	
根釧	東部	東部	GFJ00517	弟子屈110号	C'	東部

根釧選抜地域向け: 28系統

備考欄の選抜地域名はその選抜地域でも選抜されていることを示す

選抜地域	出身地域		系統コード	精英樹名	グレード	備考
	育種区	選抜地域				
東部	東部	東部	GFJ00424	足寄107号	A1	
東部	東部	東部	GFJ00436	足寄121号	A1	
東部	東部	東部	GFJ00264	佐呂間102号	A1	
東部	東部	東部	GFJ00468	白糠103号	A1	根釧
東部	東部	東部	GFJ00481	白糠125号	A1	根釧
東部	東部	東部	GFJ00382	新得112号	A1	
東部	東部	東部	GFJ00387	新得117号	A1	
東部	東部	東部	GFJ00509	弟子屈3号	A1	根釧
東部	東部	東部	GFJ00438	陸別101号	A1	
東部	東部	東部	GFJ00443	陸別107号	A1	
東部	東部	東部	GFJ00445	陸別109号	A1	
東部	東部	東部	GFJ00460	陸別124号	A1	
東部	東部	東部	GFJ00461	陸別125号	A1	
東部	東部	東部	GFJ00309	留辺蘂106号	A1	
東部	東部	東部	GFJ00506	阿寒101号	A2	
東部	東部	東部	GFJ00432	足寄117号	A2	
東部	東部	東部	GFJ00434	足寄119号	A2	
東部	東部	東部	GFJ00825	池田102号(林)	A2	
東部	東部	東部	GFJ00837	池田114号(林)	A2	
東部	東部	東部	GFJ00804	池田29号(林)	A2	
東部	東部	東部	GFJ00808	池田33号(林)	A2	
東部	東部	東部	GFJ00852	浦幌107号(林)	A2	
東部	東部	東部	GFJ00745	興部101号(林)	A2	中部
東部	東部	東部	GFJ00721	北見101号(林)	A2	
東部	東部	東部	GFJ00716	北見5号(林)	A2	
東部	東部	東部	GFJ00270	佐呂間108号	A2	
東部	東部	東部	GFJ00300	佐呂間138号	A2	
東部	東部	東部	GFJ00467	白糠101号	A2	
東部	東部	東部	GFJ00470	白糠110号	A2	
東部	東部	東部	GFJ00375	新得105号	A2	
東部	東部	東部	GFJ00352	津別1号	A2	
東部	東部	東部	GFJ00517	弟子屈110号	A2	根釧
東部	東部	東部	GFJ00407	本別101号	A2	

東部選抜地域向け: 33系統

備考欄の選抜地域名はその選抜地域でも選抜されていることを示す

選抜地域	出身地域		系統コード	精英樹名	グレード	備考
	育種区	選抜地域				
西南部	西南部	日本海側	GFJ00551	定山溪101号	A1	
西南部	西南部	日本海側	GFJ00600	大夕張104号	A1	中部
西南部	西南部	日本海側	GFJ00615	芦別102号	A1	
西南部	西南部	日本海側	GFJ00640	檜山9号	A1	
西南部	西南部	日本海側	GFJ00656	倶知安104号	A1	
西南部	西南部	日本海側	GFJ00532	札幌101号	A2	
西南部	西南部	日本海側	GFJ00597	大夕張101号	A2	中部
西南部	西南部	日本海側	GFJ00630	俄虫104号	A2	
西南部	西南部	日本海側	GFJ00635	俄虫109号	A2	
西南部	西南部	日本海側	GFJ00650	岩内106号	A2	
西南部	西南部	日本海側	GFJ00869	岩見沢107号(林)	A2	
西南部	西南部	日本海側	GFJ00537	余市3号	B	
西南部	西南部	日本海側	GFJ00606	大夕張110号	B	中部
西南部	西南部	日本海側	GFJ00649	岩内105号	B	
西南部	西南部	日本海側	GFJ00864	岩見沢102号(林)	B	
西南部	西南部	日本海側	GFJ00867	岩見沢105号(林)	B	
西南部	西南部	太平洋側	GFJ00559	白老1号	A1	
西南部	西南部	太平洋側	GFJ00566	白老8号	A1	
西南部	西南部	太平洋側	GFJ00878	浦河6号(林)	A1	
西南部	西南部	太平洋側	GFJ00882	浦河101号(林)	A1	
西南部	西南部	太平洋側	GFJ00553	苫小牧1号	A2	
西南部	西南部	太平洋側	GFJ00873	浦河1号(林)	A2	
西南部	西南部	太平洋側	GFJ00881	浦河9号(林)	A2	
西南部	西南部	太平洋側	GFJ00577	新冠102号	A3	
西南部	西南部	太平洋側	GFJ00581	振内105号	A3	
西南部	西南部	太平洋側	GFJ00583	振内108号	A3	
西南部	西南部	太平洋側	GFJ00652	八雲2号	A3	
西南部	西南部	太平洋側	GFJ00880	浦河8号(林)	B	
西南部	西南部	太平洋側	GFJ00884	浦河103号(林)	B	
西南部	西南部	太平洋側	GFJ00875	浦河3号(林)	C	
西南部	西南部	太平洋側	GFJ00877	浦河5号(林)	C	
西南部	西南部	太平洋側	GFJ00883	浦河102号(林)	C	
西南部	西南部	太平洋側	GFJ00890	苫小牧103号(林)	C	
西南部	西南部	太平洋側	GFJ00898	函館2号(林)	C	

西南部選抜地域向け: 34系統

備考欄の選抜地域名はその選抜地域でも選抜されていることを示す

- <https://www.ffpri.affrc.go.jp/hokuiku/seieijyu.html>, (参照 2017-4-13).
- 北海道育種場 (森林総合研究所林木育種センター北海道育種場) (2016) "トドマツ精英樹材質特性表", <https://www.ffpri.affrc.go.jp/hokuiku/seieijyu.html>, (参照 2017-4-13).
- 北海道林木育種場 (1985) 昭和 60 年度林木育種推進北海道地区協議会記録. 北海道林木育種場, 48 pp.
- 北海道林木育種場長 (1986) トドマツの採種園産種苗の取扱いについて. 昭和 61 年 1 月 27 日付け 61 北育第 105 号.
- 北海道林務部道有林管理室経営課 (1997) 精英樹特性表. 道有林技術情報, 25, 14-23.
- 石塚 航 (2016) 長期移植試験が語る北方針葉樹トドマツの局所適応. 森林科学, 78, 32-35.
- 石塚 航・今 博計・来田 和人 (2015) 根釧地域におけるトドマツ第二世代精英樹の選抜. 光珠内季報, 176, 9-16.
- 来田 和人 (2007) トドマツ精英樹の通信簿 (トドマツ精英樹特製表 ver.2 材質特性追加版). 光珠内季報, 147, 11-17.
- 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター 編 (2017) 主な開発品種. 平成 29 年版 2017 年報. 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所林木育種センター, <https://www.ffpri.affrc.go.jp/ftbc/business/issue/nenpou/2017/documents/zentaiban.pdf>, (参照 2017-9-25).
- 黒丸 亮 (1989) トドマツ育種種苗の需給地域区分の効果. 光珠内季報, 76, 1-3.
- 黒丸 亮 (1997) トドマツ精英樹次代の成長. 北海道の林木育種, 39(2), 1-3.
- 黒丸 亮 (1998) 造林木の品種改良はここまで進んだートドマツ、カラマツ育種種苗の評価と改良ー. 光珠内季報, 110, 1-4.
- 永田 義明・西岡 利忠 (1997) 北海道林木育種協会創立 40 周年記念座談会. 北海道の林木育種, 40 (1), 13-28.
- 農林水産省 (2010) 林業種苗法第二十四条第一項の規定に基づく農林水産大臣の指定する種苗の配布区域. 昭和四十六年二月一日農林省告示第百七十九号 (最終改正平成二十二年四月一日農林水産省告示第五四五号).
- 大谷 雅人・田村 明・矢野 慶介・西岡 直樹・上田 雄介・坂本 庄生・植田 守・佐藤 亜樹彦・湯浅 真・井上 晃・来田 和人・今 博計・黒丸 亮 (2015) 北海道育種基本区における第 2 世代精英樹候補木の選抜ー平成 26 年度の実施結果ー. 平成 27 年版 2015 年報 森林総合研究所林木育種センター, <https://www.ffpri.affrc.go.jp/ftbc/business/issue/nenpou/2015/2015.html>, (参照 2017-4-13).
- 林業研究・技術開発推進北海道ブロック会議育種分科会 (2017) 北海道育種基本区林木育種推進計画.
- 林野庁長官 (1957) 林木育種事業の推進について. 昭和 32 年 3 月 25 日付け 32 林野第 3809 号, 林野庁長官通達.
- 林野庁長官 (2017) 森林・林業・木材産業分野の研究・技術開発戦略の策定について. 平成 29 年 3 月 31 日付け 28 林整研第 310 号, 林野庁長官通知.
- 須藤 北・戸田 定夫 (1978) 胸の高さでタネがとれる岐阜採種園. 北海道の林木育種, 20(2), 19-20.
- 高橋 延清 (1977) 創立 20 周年のごあいさつータネの大量生産可能となつてー. 北海道の林木育種, 20(1), 1-2.
- 田村 明・山田 浩雄・福田 陽子・矢野 慶介・阿部 正信・竹田 宣明・上田 雄介・来田 和人・今 博計 (2012) 北海道育種基本区における第二世代精英樹候補木の選抜ー平成 23 年度の実施結果ー. 平成 24 年版 2012 年報 森林総合研究所林木育種センター, 26-30.
- 田村 明・山田 浩雄・福田 陽子・矢野 慶介・植田 守・阿部 正信・竹田 宣明・大城 浩司・佐々木 洋一・佐藤 亜樹彦・織田 春樹・小園 勝利・渡邊 謙・来田 和人・今 博計 (2013) 北海道育種基本区における第 2 世代精英樹候補木と準次代検定林からの優良木の選抜ー平成 24 年度の実施結果ー. 平成 25 年版 2013 年報 森林総合研究所林木育種センター, <https://www.ffpri.affrc.go.jp/ftbc/business/issue/nenpou/2013.html>, (参照 2017-4-13).
- 田村 明・山田 浩雄・福田 陽子・矢野 慶介・竹田 宣明・大城 浩司・上野 義人・植田 守・佐藤 亜樹彦・湯浅 真・上田 雄介・佐藤 新一・織田 春樹・黒丸 亮・来田 和人・今 博計 (2015) 北海道育種基本区における第 2 世代精英樹候補木と優良木の選抜ー平成 25 年度の実施結果ー. 平成 26 年版 2014 年報 森林総合研究所林木育種センター, <https://www.ffpri.affrc.go.jp/ftbc/business/issue/nenpou/2014.html>, (参照 2017-4-13).

Selection of superior genotypes from the population of plus trees in *Abies sachalinensis* by the results from progeny trials in Hokkaido

Ryogo NAKADA^{1)*}, Shoki SAKAMOTO¹⁾, Naoki NISHIOKA¹⁾, So HANAOKA¹⁾, Kazuhito KITA²⁾, Hirokazu KON²⁾, Wataru ISHIZUKA²⁾ and Makoto KUROMARU²⁾

Abstract

Abies sachalinensis (F.Schmidt) Mast. is a leading species for plantation forestry in Hokkaido, Japan, and one of main target species in the forest tree breeding. We selected superior genotypes among the population of plus trees, which were selected and tested as the achievement of 60 years of the forest tree breeding program in Japan. The selection was done with the data of growth traits and wood properties obtained from progeny trials, concerning four selection areas dividing the Hokkaido Breeding Region. In each selection area, approximately 30 genotypes have been selected to establish new seed orchards for the selection area. The selected genotypes will be used for the improvement of current seed orchards, the establishment of new seed orchards, and as parents to construct new breeding populations.

Keywords: *Abies sachalinensis*, plus trees, selection, progeny trial, 1.5th generation

Received 6 November 2017, Accepted 15 January 2018

1) Hokkaido Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Hokkaido Research Organization, Forest Research Department, Forestry Research Institute

* Hokkaido Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center, FFPRI, 561-1 Bunkyo-daimidori-machi, Ebetsu, Hokkaido, 069-0836 JAPAN;
e-mail: ryogo@affrc.go.jp

研究資料 (Research record)

Dataset of soil carbon stock in Cambodian forests

Jumpei TORIYAMA^{1)*}, Akihiro IMAYA²⁾ and Keizo HIRAI³⁾

Abstract

Knowledge of the spatial distribution of the soil carbon stock is essential for assessing the productivity, sustainability, and carbon sequestration capacity of agricultural and forested land. To contribute to the development and improvement of soil carbon models of tropical forest regions, we have collected soil carbon data in Cambodian forests since 2002 to facilitate several research projects conducted by the Forestry and Forest Products Research Institute. Our dataset contains meta-data for 66 sites (site data) and data for 309 soil horizons (soil profile data). The data for 36 sites are newly described herein, while the data for the other 30 sites are derived from the synthesis of published documents.

Keywords: Cambodia, forest soil, soil carbon stock

1. Introduction

The spatial distribution of the soil carbon stock is essential for assessing the productivity, sustainability, and carbon sequestration capacity of agricultural and forested land. Recently, the Food and Agriculture Organization of the United Nations released a high-resolution global map of the soil carbon stock (FAO 2017). However, the soil carbon model used for mapping has not been validated sufficiently, especially in tropical forests, due to a lack of validation data. Since 2002, a research group at the Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI) has studied Cambodian forest soil to facilitate several research projects. Here, we release these soil carbon data for enhancing public access, and to contribute to the development and improvement of soil carbon models.

2. Materials and method

The dataset contains meta-data for 66 sites (site data; Table 1) and data for 309 soil horizons (soil profile data; Table 2). The data for 36 sites are newly described herein, while the data for the other 30 sites were derived from the synthesis of published data (see *Remarks* in Table 1), with the addition of new information such as the location and time period of the soil survey.

2.1 Study site

All of the published soil samples for the dataset were collected at less disturbed forest sites, except for sites in rubber plantations and shrubland. The 66 sites cover evergreen forests ($n = 33$), deciduous forests ($n = 25$), rubber plantations ($n = 6$), a shrubland ($n = 1$), and an inland swamp forest ($n = 1$) (see *Forest* in Table 1). The study sites where deciduous tree species are exclusively distributed are classified as deciduous forest, and those containing evergreen tree species as evergreen forest. The soil surveys were conducted from March 2003 to November 2011 (*Period* in Table 1). The positions of the study sites were recorded by GPS devices (e.g. 60CSx, Garmin, USA) and are denoted in the dataset using hddd.ddd° and the WGS84 coordination system (*Lat* and *Lon* in Table 1).

2.2 Soil sampling

Soil was sampled using two approaches: Category I and Category II (*Category* in Table 1). Category I obtained one replicate of a representative soil profile to a soil depth exceeding 30 cm. The location of the representative soil profile was determined after considering the typical topography and composition of tree species in the study area. The data in Category II are based on four replicates in the study plot, and for soil depths up to 30 cm (0–5, 5–15, and 15–30 cm). In both categories, two types of soil samples were

Received 29 January 2018, Accepted 27 February 2018

1) Kyushu Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Forestry Division, Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS)

3) Department of Forest Soils, FFPRI

* Kyushu Research Center, FFPRI, 4-11-16 Kurokami, Chuo, Kumamoto, Kumamoto, 860-0862 JAPAN; e-mail: jtori@ffpri.affrc.go.jp

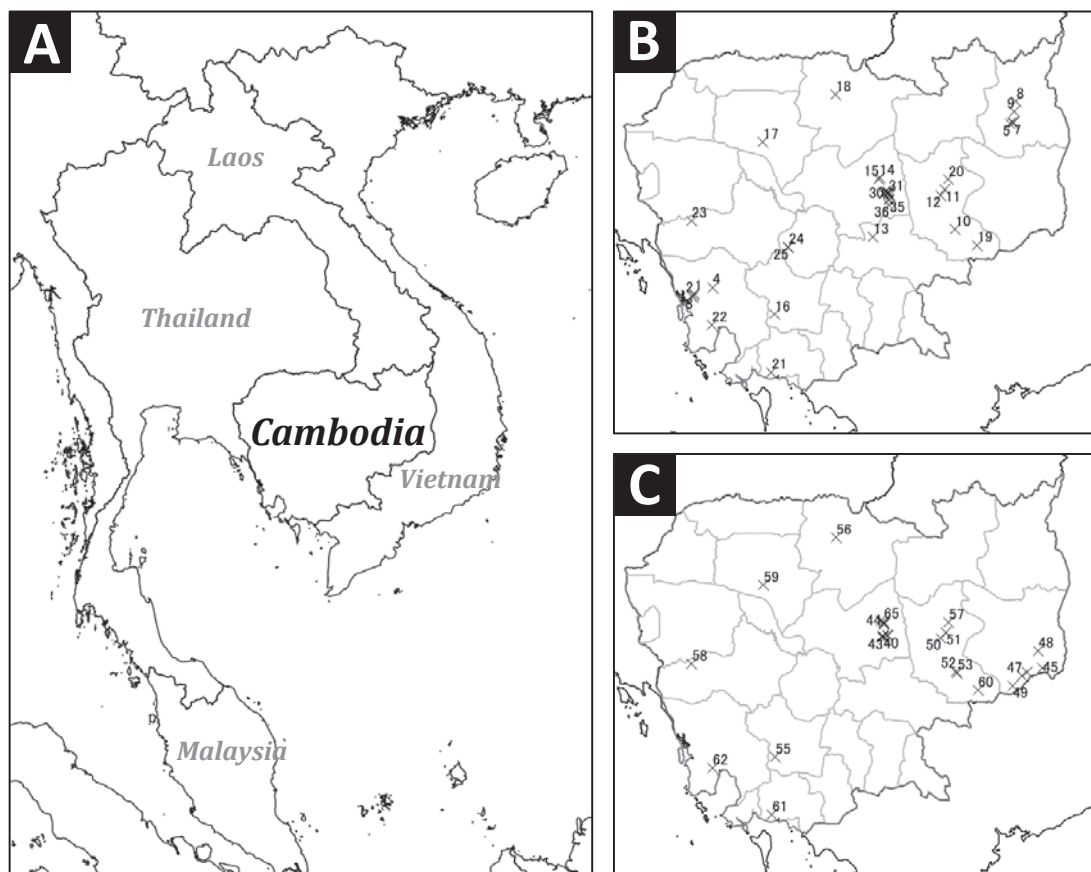


Fig. 1. Locations of the soil sampling sites in Cambodia.

A: Location of Cambodia. B and C: Locations of the soil survey, denoted by crosses. The number is the plot number (*Plot_N*), which is either newly described in this report (map B) or has been previously published (map C). Some numbers are not shown on the map because of the high concentration of points. The gray lines are provincial borders.

collected for measuring the carbon concentration and bulk density, respectively. The soil sample for measuring carbon concentration was collected in a plastic bag, air-dried, and sieved to pass a 2-mm mesh. The soil sample used to determine bulk density was collected using three 100 cm³ metal cylinders in each soil horizon. For the two deciduous forest sites in Ratanakiri (plots 6 and 7 in Table 1) where gravel larger than the cylinder was observed, the soil bulk density was measured using cuboid-space sampling approach (Ugawa et al. 2012).

2.3 Chemical analysis

The air-dried fine soil (< 2 mm) used for measuring the carbon concentration was oven-dried (105°C for 24 h) and weighed to determine the soil moisture content. The carbon concentration of fine soil was determined using the dry combustion method (e.g. Sumigraph NC analyzer NC-22F; Sumika Chemical Analysis Service, Osaka, Japan). The fine soil in the metal cylinders was also dried at 105°C for 24 h and weighed to measure the bulk density. The average carbon

concentrations and bulk densities for four replicates are shown in the dataset for Category II.

2.4 Calculating the soil carbon stock

The soil carbon stock per cm thickness (*SoilC_cm*, MgC ha⁻¹ cm⁻¹) in each soil horizon was calculated using variables in the soil profile data (Table 2) as follows,

$$\text{SoilC}_{\text{cm}} = C_{\text{conc}} \times \text{BD}_{\text{fine}} \times 0.1,$$

where C_{conc} is the carbon concentration of fine soil (gC kg⁻¹ (= kgC Mg⁻¹)), BD_{fine} is the bulk density of fine soil (Mg m⁻³), and the coefficient 0.1 is the product of 100 (m³ ha⁻¹ cm⁻¹) and 0.001 (Mg kg⁻¹). The soil carbon stock at a depth of 0–30 cm (*SoilC_30* in Table 1) is calculated as the sum of *SoilC_cm* at that same depth. The soil carbon stocks of two sites (plots 4 and 11 in Table 1) were not calculated due to a lack of bulk density data.

Table 1. Site data

Plot_N	Region ^{*1}	Lat	Lon	Forest ^{*2}	Category	Period	SoilC_30	N_horizon	Max_depth	Remarks ^{*3}
		hddd.ddd°					MgC ha ⁻¹		cm	
1	KKN	N11.558	E103.178	E	I	2011.2	48.2	8	150	Ref1
2	KKN	N11.536	E103.163	E	I	2011.2	46.6	5	105	Ref1
3	KKN	N11.522	E103.160	E	I	2011.2	47.7	6	140	Ref1
4	KKN	N11.633	E103.394	E	I	2011.2	n.d.	4	50	Ref1
5	RTK	N13.574	E106.926	E	I	2011.11	44.0	4	50	Ref1
6	RTK	N13.588	E106.962	D	I	2011.11	24.6	6	140	Ref1
7	RTK	N13.588	E106.963	D	I	2011.11	15.9	5	70	Ref1
8	RTK	N13.835	E107.000	E	I	2011.11	55.0	5	115	Ref1
9	RTK	N13.719	E106.977	R	I	2011.11	54.6	5	115	Rubber age over 50 and Ref1
10	KRC	N12.320	E106.275	E	I	2004.2	19.2	5	170	Ref1
11	KRC	N12.794	E106.156	D	I	2009.2	n.d.	5	100	Ref1
12	KRC	N12.728	E106.101	D	I	2009.11	39.3	4	130	Ref1
13	KRC	N12.230	E105.303	D	I	2009.11	30.6	3	60	Ref1
14	KPT	N12.931	E105.374	D	I	2006.2	58.7	7	170	Ref1
15	KPT	N12.918	E105.366	D	I	2006.2	27.3	6	140	Ref1
16	KPS	N11.312	E104.133	D	II	2009.12	28.8	3	30	Ref1
17	SMR	N13.355	E103.994	E	II	2010.1	26.4	3	30	Ref1
18	PRV	N13.919	E104.856	D	II	2009.12	39.5	3	30	Ref1
19	KRC	N12.133	E106.535	E	II	2010.1	77.8	3	30	Ref1
20	KRC	N12.912	E106.195	D	II	2010.1	24.5	3	30	Ref1
21	KMP	N10.628	E104.096	E	II	2009.12	89.1	3	30	Ref1
22	KKN	N11.186	E103.386	E	II	2011.3	49.3	3	30	Ref1
23	PST	N12.424	E103.144	D	II	2011.2	43.2	3	30	Ref1
24	KPS	N12.112	E104.297	D	II	2011.2	24.1	3	30	Ref1
25	KPS	N12.109	E104.294	D	II	2011.2	20.6	3	30	Ref1
26	KPT	N12.762	E105.477	E	II	2011.11	25.4	3	30	Ref1
27	KPT	N12.726	E105.500	E	II	2011.11	37.1	3	30	Ref1
28	KPT	N12.670	E105.494	E	II	2011.11	29.6	3	30	Ref1
29	KPT	N12.744	E105.425	SH	II	2011.11	34.0	3	30	Ref1
30	KPT	N12.746	E105.427	D	II	2011.11	51.0	3	30	Ref1
31	KPT	N12.742	E105.482	E	II	2011.11	32.1	3	30	Ref1
32	KPT	N12.773	E105.445	E	II	2011.11	25.1	3	30	Ref1
33	KPT	N12.737	E105.484	E	II	2011.11	25.8	3	30	Ref1
34	KPT	N12.761	E105.478	E	II	2011.11	31.5	3	30	Ref1
35	KPT	N12.670	E105.494	E	II	2011.11	34.8	3	30	Ref1
36	KPT	N12.613	E105.489	R	II	2010.12	33.5	3	30	Rubber age 2 and Ref1
37	KPT	N12.747	E105.419	D	I	2003.2	14.9	8	200	DDF1 in Ref2
38	KPT	N12.759	E105.474	E	I	2003.5	22.9	10	200	DEF1 in Ref2
39	KPT	N12.750	E105.414	SW	I	2003.2	220.9	4	45	SWF in Ref2
40	KPT	N12.749	E105.415	E	I	2003.2	54.9	11	200	MF1 in Ref2
41	KPT	N12.749	E105.415	E	I	2003.2	49.3	10	220	MF2 in Ref2
42	KPT	N12.748	E105.416	D	I	2003.2	18.5	8	210	DDF2 in Ref2
43	KPT	N12.735	E105.411	E	I	2003.5	29.9	9	200	DEF2 in Ref2
44	KPT	N12.931	E105.390	E	I	2006.2	61.7	6	200	E5 in Ref3

3. Data format and citation remarks

Dataset is also distributed as a text file (Table S1) and two csv files (Tables S2 and S3). Table S1 contains a readme file to help users of dataset (Tables S2 and S3) including descriptions of variables and methodology. Tables S2 and S3 are site data (same as Table 1 in this report) and soil profile data (same as Table 2), respectively. The users of data can download Table S2 and import it directly into geographic information system (GIS) software as a delimited text file. When using the dataset, please cite this report as the format indicated in the Table S1.

Acknowledgment

The authors deeply appreciate the assistance of the following individuals in conducting the soil surveys: Dr. Mao Hak, Ministry of Environment, Cambodia; Mr. Sophal Chann and the many other staff at the Forestry and Wildlife Science Research Institute, Forestry Administration, Cambodia; Drs. Makoto Araki, Yasuhiro Ohnuki, and Eriko Ito at FFPRI; and Dr. Seiichi Ohta at JIFPRO. The authors are also grateful to the following individuals for their support: Prof. Mamoru Kanzaki, Kyoto University; and Drs. Tamotsu Sato, Yoshiyuki Kiyono, Yasumasa Hirata, Mitsuo Matsumoto, Akira Shimizu,

Table 1. Site data (continued)

Plot_N	Region ^{*1}	Lat	Lon	Forest ^{*2}	Category	Period	SoilC_30	N_horizon	Max_depth	Remarks ^{*3}
		hddd.ddd°					MgC ha ⁻¹		cm	
45	MDK	N12.374	E107.312	E	I	2004.5	128.6	8	200	E1 in Ref3
46	MDK	N12.319	E107.132	E	I	2004.5	52.1	7	200	E2 in Ref3
47	MDK	N12.280	E107.064	E	I	2004.5	63.0	7	200	E3 in Ref3
48	MDK	N12.574	E107.258	D	I	2004.5	86.9	5	90	D1 in Ref3
49	MDK	N12.163	E106.953	E	I	2004.5	50.0	4	110	E4 in Ref3
50	KRC	N12.729	E106.101	D	I	2004.2	35.6	7	150	NT-1 in Ref4
51	KRC	N12.792	E106.163	D	I	2004.2	30.4	6	150	NT-2 in Ref4
52	KRC	N12.336	E106.279	D	I	2004.2	22.7	6	115	SE-1 in Ref4
53	KRC	N12.314	E106.298	D	I	2004.2	19.4	6	150	SE-2 in Ref4
54	KPT	N12.760	E105.474	E	I	2006.02	38.1	10	800	LSP in Ref5
55	KPS	N11.313	E104.134	D	II	2009.12	31.1	3	30	D3 in Ref6
56	PRV	N13.918	E104.856	D	II	2009.12	61.2	3	30	D1 in Ref6
57	KRC	N12.912	E106.196	D	II	2010.1	26.2	3	30	D4 in Ref6
58	PST	N12.421	E103.142	D	II	2011.2	38.4	3	30	D2 in Ref6
59	SMR	N13.356	E103.993	E	II	2010.1	20.1	3	30	E4 in Ref6
60	KRC	N12.111	E106.542	E	II	2010.1	37.0	3	30	E3 in Ref6
61	KMP	N10.633	E104.095	E	II	2009.12	80.5	3	30	E1 in Ref6
62	KKN	N11.186	E103.387	E	II	2011.3	36.7	3	30	E2 in Ref6
63	KPT	N12.895	E105.429	R	II	2009.12	46.0	3	30	Rubber age 1 and R1 in Ref7
64	KPT	N12.895	E105.430	R	II	2009.12	47.8	3	30	Rubber age 2 and R2 in Ref7
65	KPT	N12.921	E105.422	R	II	2009.12	34.4	3	30	Rubber age 6 and R6 in Ref7
66	KPT	N12.903	E105.418	R	II	2009.12	40.7	3	30	Rubber age 9 and R9a in Ref7

n.d.: no data available. *Plot_N*, number of the survey plot; *Region*, name of the region in Cambodia; *Lat and Lon*, latitude and longitude, respectively; *Forest*, forest type at the time of the soil survey; *Category*, soil sampling category; *Period*, period of the soil survey; *SoilC_30*, soil carbon stock (MgC ha⁻¹) at 0–30 cm depth; *N_horizon*, number of horizons in each soil survey plot; *Max_depth*, maximum depth of the soil profile (cm); *Remarks*, other remarks and references for each soil survey plot.

*1 KKN, Koh Kong; KMP, Kampot; KPT, Kampong Thom; KPS, Kampong Speu; KRC, Kratié; MDK, Monduliri; PRV, Preah Vihear; PST, Pursat; RTK, Ratanakiri; SMR, Siem Reap

*2 E, evergreen forest; D, deciduous forest; R, rubber plantation; SH, shrubland; SW, inland swamp forest.

*3 Ref1, this report; Ref2, Toriyama et al. (2007); Ref3, Toriyama et al. (2013b); Ref4, Toriyama et al. (2010); Ref5, Toriyama et al. (2013a); Ref6, Toriyama et al. (2015); Ref7, Toriyama et al. (2011).

and Haruo Sawada at FFPRI. The soil samples were collected to facilitate research projects supported by the Forestry Agency (Emergency Project to Develop the Structure of Promoting REDD Action), the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology [Research Revolution 2002 (RR2002), a Grant-in-aid for JSPS Fellows (no. JP08J02971), Grants-in-Aid for Young Scientists (no. JP23710028 and no. JP26740011)], and the Ministry of the Environment (Global Environment Research Fund A-0802). The transport of soil samples from Cambodia to Japan was approved by the Cambodian Government and the Plant Protection Station of the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan (Yokoshoku 22-832, 23-742, 26-870).

References

- FAO (2017) Global Soil Organic Carbon Map – Leaflet, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 5 pp, <http://www.fao.org/3/i8195en/I8195EN.pdf>
- Toriyama, J., Ohta, S., Araki, M., Kanzaki, M., Khorn, S., Pith, P., Lim, S. and Pol S. (2007) Acrisols and adjacent soils under four different forest types in central Cambodia. *Pedologist*, 51(1), 35-49.
- Toriyama, J., Ohta, S., Ohnuki, Y., Araki, M., Kanzaki, M., Det, S., Lim, S., Pol, S. and Pith, P. (2010) Physicochemical characteristics of plinthic and non-plinthic soils in dry deciduous forests on the east bank of Mekong, Cambodia. *Pedologist*, 54(1), 2-10.
- Toriyama, J., Hirai, K., Kiyono, Y., Chann, S., Kanzaki, M., Saito, H. and Takahashi, M. (2011) Carbon storage in rubber plantation of various stand ages in Cambodia. *Kanto Shinrin Kenkyu*, 62, 203-206.
- Toriyama, J., Ohnuki, Y., Ohta, S., Kosugi, K., Kabeya, N., Nobuhiro, T., Shimizu, A., Tamai, K., Araki, M., Keth, N. and Chann, S. (2013a) Soil physicochemical properties and moisture dynamics of a large soil profile in a tropical monsoon forest. *Geoderma*, 197, 205-211.
- Toriyama, J., Ohta, S., Ohnuki, Y., Imaiya, A., Ito, E., Kanzaki, M., Hirai, K., Araki, M., Kiyono, Y. and Chann, S. (2013b) Physicochemical properties and carbon storage of forest soils on Cambodian basalt: A preliminary study

Table 2. Soil profile data

Serial_N	Plot_N	Horizon	Depth_top cm	Depth_bot cm	Thick cm	C_conc g kg ⁻¹	BD_fine Mg m ⁻³
1	1	A1	0	2	2	43.37	0.935
2	1	A2	2	6	4	29.24	0.935
3	1	E	6	14	8	12.54	1.083
4	1	Bh	14	27	13	10.89	1.152
5	1	Bw1	27	48	21	5.12	1.266
6	1	Bw2	48	77	29	2.99	1.299
7	1	Bw3	77	116	39	2.04	1.324
8	1	Bw4	116	150	34	1.56	1.326
9	2	A	0	4	4	42.79	0.924
10	2	E1	4	15	11	12.02	1.250
11	2	E2	15	27	12	7.96	1.322
12	2	Bw	27	60	33	3.87	1.415
13	2	Bs	60	105	45	2.35	1.431
14	3	A1	0	3	3	28.77	1.072
15	3	A2	3	20	17	15.85	1.231
16	3	E	20	38	18	3.59	1.471
17	3	Bw	38	70	32	2.47	1.410
18	3	Bs	70	107	37	1.36	1.468
19	3	CB	107	140	33	1.19	n.d.
20	4	A	0	3	3	74.91	n.d.
21	4	B1	3	17	14	33.02	n.d.
22	4	B2	17	38	21	8.71	n.d.
23	4	B3	38	50	12	5.11	n.d.
24	5	A	0	5	5	27.09	1.280
25	5	B1	5	15	10	n.d.	1.308
26	5	B2	15	30	15	7.82	1.404
27	5	B3	30	50	20	6.51	1.357
28	6	Ah	0	3	3	19.12	1.331
29	6	Bw	3	22	19	6.63	1.312
30	6	Bc	22	44	22	2.94	0.202
31	6	Bs1	44	75	31	n.d.	0.868
32	6	Bs2	75	115	40	n.d.	1.391
33	6	BC	115	140	25	0.88	1.352
34	7	A1	0	5	5	13.59	0.771
35	7	A2	5	13	8	8.47	0.812
36	7	Bc1	13	30	17	3.41	0.888
37	7	Bc2	30	47	17	3.85	0.650
38	7	Bc3	47	70	23	3.15	0.586
39	8	A	0	5	5	35.12	0.865
40	8	AB	5	15	10	19.97	1.031
41	8	Bw1	15	35	20	12.20	1.051
42	8	Bw2	35	75	40	8.46	1.081
43	8	Bw3	75	115	40	6.25	1.111
44	9	A	0	6	6	33.94	0.978
45	9	Bw1	6	27	21	17.14	0.883
46	9	Bw2	27	50	23	9.98	0.968
47	9	Bw3	50	87	37	7.06	1.001
48	9	Bw4	87	115	28	5.80	1.024
49	10	Ah	0	5	5	14.06	1.240
50	10	BA	5	30	25	6.46	0.649
51	10	B1	30	63	33	4.42	1.035
52	10	B2	63	117	54	2.80	0.831

Table 2. Soil profile data (continued)

Serial_N	Plot_N	Horizon	Depth_top cm	Depth_bot cm	Thick cm	C_conc g kg ⁻¹	BD_fine Mg m ⁻³
53	10	C	117	170	53	0.45	1.602
54	11	Ah	0	14	14	14.04	n.d.
55	11	AE	14	27	13	7.11	n.d.
56	11	B1	27	45	18	3.06	n.d.
57	11	B2	45	76	31	2.43	n.d.
58	11	Bv	76	100	24	2.70	n.d.
59	12	Ah	0	6	6	58.96	0.713
60	12	BA	6	28	22	14.59	0.421
61	12	B1	28	69	41	7.21	0.406
62	12	BC	69	130	61	2.93	0.565
63	13	Ah	0	7	7	15.66	1.185
64	13	E	7	25	18	7.81	1.076
65	13	Bv	25	60	35	3.73	1.324
66	14	A1	0	15	15	25.79	1.264
67	14	A2	15	52	37	4.55	1.440
68	14	B1	52	75	23	0.85	1.263
69	14	B2	75	91	16	0.95	n.d.
70	14	Bx	91	96	5	1.24	n.d.
71	14	B3	96	138	42	n.d.	1.373
72	14	C	138	170	32	0.39	1.530
73	15	A1	0	13	13	15.09	1.165
74	15	A2	13	35	22	4.03	0.652
75	15	B1	35	59	24	3.04	0.437
76	15	B2	59	70	11	3.31	1.033
77	15	BC	70	120	50	0.60	1.441
78	15	C	120	140	20	1.66	1.556
79	16	0_5	0	5	5	17.65	1.101
80	16	5_15	5	15	10	9.26	1.042
81	16	15_30	15	30	15	8.46	0.745
82	17	0_5	0	5	5	9.76	1.332
83	17	5_15	5	15	10	6.17	1.551
84	17	15_30	15	30	15	4.30	1.604
85	18	0_5	0	5	5	23.27	1.034
86	18	5_15	5	15	10	15.34	1.068
87	18	15_30	15	30	15	8.81	0.836
88	19	0_5	0	5	5	22.11	1.496
89	19	5_15	5	15	10	15.58	1.576
90	19	15_30	15	30	15	12.07	2.025
91	20	0_5	0	5	5	12.10	1.103
92	20	5_15	5	15	10	8.64	0.890
93	20	15_30	15	30	15	7.31	0.925
94	21	0_5	0	5	5	47.51	0.781
95	21	5_15	5	15	10	35.98	1.068
96	21	15_30	15	30	15	16.64	1.289
97	22	0_5	0	5	5	26.79	1.069
98	22	5_15	5	15	10	13.41	1.184
99	22	15_30	15	30	15	10.41	1.223
100	23	0_5	0	5	5	30.41	0.940
101	23	5_15	5	15	10	12.23	1.133
102	23	15_30	15	30	15	9.04	1.108
103	24	0_5	0	5	5	13.52	1.135
104	24	5_15	5	15	10	7.73	1.116

Table 2. Soil profile data (continued)

Serial_N	Plot_N	Horizon	Depth_top cm	Depth_bot cm	Thick cm	C_conc g kg ⁻¹	BD_fine Mg m ⁻³
105	24	15_30	15	30	15	4.79	1.085
106	25	0_5	0	5	5	9.96	1.173
107	25	5_15	5	15	10	7.50	1.148
108	25	15_30	15	30	15	3.67	1.112
109	26	0_5	0	5	5	12.67	1.386
110	26	5_15	5	15	10	5.44	1.551
111	26	15_30	15	30	15	3.28	1.666
112	27	0_5	0	5	5	14.20	1.375
113	27	5_15	5	15	10	8.93	1.567
114	27	15_30	15	30	15	5.43	1.642
115	28	0_5	0	5	5	13.65	1.263
116	28	5_15	5	15	10	7.41	1.578
117	28	15_30	15	30	15	3.95	1.572
118	29	0_5	0	5	5	10.63	1.582
119	29	5_15	5	15	10	7.58	1.632
120	29	15_30	15	30	15	5.62	1.568
121	30	0_5	0	5	5	30.01	0.876
122	30	5_15	5	15	10	13.09	1.311
123	30	15_30	15	30	15	9.21	1.495
124	31	0_5	0	5	5	13.30	1.314
125	31	5_15	5	15	10	7.21	1.599
126	31	15_30	15	30	15	4.81	1.638
127	32	0_5	0	5	5	8.48	1.432
128	32	5_15	5	15	10	5.93	1.605
129	32	15_30	15	30	15	3.94	1.613
130	33	0_5	0	5	5	9.80	1.352
131	33	5_15	5	15	10	6.13	1.633
132	33	15_30	15	30	15	3.94	1.561
133	34	0_5	0	5	5	11.57	1.430
134	34	5_15	5	15	10	7.28	1.573
135	34	15_30	15	30	15	4.84	1.621
136	35	0_5	0	5	5	13.98	1.363
137	35	5_15	5	15	10	8.12	1.604
138	35	15_30	15	30	15	5.04	1.622
139	36	0_5	0	5	5	8.56	1.472
140	36	5_15	5	15	10	9.07	1.570
141	36	15_30	15	30	15	5.20	1.658
142	37	A1	0	6	6	5.66	1.565
143	37	A2	6	18	12	3.96	1.590
144	37	E1	18	45	27	1.04	1.620
145	37	E2	45	70	25	0.61	1.576
146	37	B1	70	100	30	0.90	1.627
147	37	B2	100	130	30	0.50	1.804
148	37	B3	130	160	30	1.63	1.812
149	37	BC	160	200	40	1.15	1.791
150	38	A1	0	6	6	8.78	1.409
151	38	A2	6	16	10	4.92	1.620
152	38	AB	16	30	14	3.44	1.566
153	38	B1	30	55	25	2.05	1.546
154	38	B2	55	86	31	1.58	1.585
155	38	B3	86	110	24	1.17	1.564
156	38	B4	110	136	26	1.24	1.521

Table 2. Soil profile data (continued)

Serial_N	Plot_N	Horizon	Depth_top cm	Depth_bot cm	Thick cm	C_conc g kg ⁻¹	BD_fine Mg m ⁻³
157	38	B5	136	162	26	0.98	1.591
158	38	BC	162	190	28	1.92	1.551
159	38	CB	190	200	10	0.88	1.582
160	39	Ah1	0	5	5	249.21	0.378
161	39	Ah2	5	13	8	111.41	0.673
162	39	Ah3	13	25	12	105.17	0.797
163	39	C	25	45	20	19.40	1.363
164	40	Ah	0	5	5	31.78	1.049
165	40	E1	5	14	9	13.58	1.270
166	40	E2	14	30	16	10.64	1.336
167	40	Bs1	30	41	11	11.15	1.487
168	40	Bhs	41	55	14	7.43	1.452
169	40	Bhs	55	77	22	4.61	1.519
170	40	Bw1	77	101	24	2.14	1.561
171	40	Bw2	101	131	30	1.42	1.609
172	40	Bs2	131	149	18	0.82	1.710
173	40	Bs3	149	179	30	0.79	1.782
174	40	C	179	200	21	0.97	1.794
175	41	Ah1	0	5	5	16.62	1.205
176	41	Ah2	5	24	19	10.05	1.568
177	41	Ah3	24	42	18	9.60	1.612
178	41	AB	42	67	25	6.17	1.581
179	41	B1	67	98	31	3.36	1.593
180	41	B2	98	130	32	2.72	1.661
181	41	B3	130	159	29	1.57	1.732
182	41	B4	159	187	28	2.14	1.768
183	41	C1	187	205	18	1.15	1.801
184	41	C2	205	220	15	0.96	1.861
185	42	Ah	0	5	5	13.70	1.343
186	42	AE	5	23	18	2.64	1.588
187	42	E1	23	39	16	1.50	1.601
188	42	E2	39	67	28	0.32	1.616
189	42	Bh	67	93	26	0.69	1.879
190	42	Bhs	93	137	44	0.44	1.902
191	42	BS	137	169	32	0.50	1.917
192	42	C	169	210	41	0.64	1.921
193	43	Ah1	0	7	7	9.65	1.386
194	43	Ah2	7	17.5	10.5	6.97	1.578
195	43	AB	17.5	33.5	16	4.58	1.560
196	43	B1	33.5	60	26.5	3.20	1.484
197	43	B2	60	91	31	2.54	1.504
198	43	B3	91	118	27	3.35	1.480
199	43	B4	118	153	35	2.32	1.493
200	43	BC	153	190	37	1.62	1.467
201	43	C	190	200	10	1.69	1.497
202	44	A1	0	10	10	32.85	1.080
203	44	A2	10	29	19	12.25	1.093
204	44	B1	29	60	31	6.53	1.149
205	44	B2	60	94	34	4.21	n.d.
206	44	B3	94	159	65	4.57	1.227
207	44	B4	159	200	41	4.60	1.084
208	45	Ah1	0	8	8	80.94	0.719

Table 2. Soil profile data (continued)

Serial_N	Plot_N	Horizon	Depth_top cm	Depth_bot cm	Thick cm	C_conc g kg ⁻¹	BD_fine Mg m ⁻³
209	45	Ah2	8	25	17	50.75	0.832
210	45	B1	25	53	28	22.83	0.900
211	45	B2	53	82	29	12.99	0.946
212	45	B3	82	126	44	10.71	0.882
213	45	B4	126	149	23	8.98	0.998
214	45	B5	149	185	36	7.24	0.973
215	45	BC	185	200	15	6.46	1.018
216	46	Ah1	0	10	10	36.02	0.646
217	46	Ah2	10	35	25	20.68	0.698
218	46	BA	35	62	27	19.48	0.797
219	46	B1	62	92	30	11.57	0.834
220	46	B2	92	126	34	7.49	0.923
221	46	B3	126	160	34	5.45	0.945
222	46	B4	160	200	40	5.36	0.954
223	47	Ah1	0	9	9	58.74	0.729
224	47	Ah2	9	23	14	22.65	0.628
225	47	BA	23	52	29	11.53	0.559
226	47	B1	52	82	30	7.54	0.716
227	47	B2	82	111	29	3.54	0.794
228	47	BC	111	145	34	3.98	1.127
229	47	CB	145	200	55	5.36	1.083
230	48	Ah	0	11	11	42.26	1.073
231	48	Ahc	11	26	15	25.10	0.889
232	48	Bc	26	39	13	11.13	0.793
233	48	B	39	71	32	5.33	1.307
234	48	CB	71	90	19	1.37	1.235
235	49	Ah	0	7	7	26.65	1.058
236	49	B1	7	24	17	13.35	1.126
237	49	B2	24	43	19	12.95	0.606
238	49	RB	43	110	67	9.90	0.482
239	50	Ah	0	10	10	14.08	1.430
240	50	E1	10	23	13	6.53	1.409
241	50	E2	23	35	12	3.50	1.416
242	50	BEt	35	50	15	5.03	1.432
243	50	Bv1	50	84	34	2.64	0.703
244	50	Bv2	84	117.5	33.5	2.14	0.703
245	50	C	117.5	150	32.5	1.82	1.559
246	51	Ah	0	13	13	10.20	1.455
247	51	E	13	34	21	4.41	1.484
248	51	BEt	34	68	34	3.05	1.513
249	51	Bv1	68	95	27	2.03	0.715
250	51	Bv2	95	141.5	46.5	1.39	0.899
251	51	C	141.5	150	8.5	0.99	1.035
252	52	Ah	0	6	6	10.85	1.269
253	52	E	6	14.5	8.5	4.54	1.340
254	52	BEt	14.5	32	17.5	4.61	1.299
255	52	CB	32	70	38	4.52	0.779
256	52	C1	70	90	20	2.22	1.744
257	52	C2	90	115	25	0.64	1.793
258	53	Ah	0	8	8	8.87	1.428
259	53	AE	8	18.5	10.5	3.52	1.574
260	53	Bt1	18.5	47	28.5	1.81	1.673

Table 2. Soil profile data (continued)

Serial_N	Plot_N	Horizon	Depth_top cm	Depth_bot cm	Thick cm	C_conc g kg ⁻¹	BD_fine Mg m ⁻³
261	53	Bt2	47	70	23	1.53	1.686
262	53	C1	70	118	48	0.77	1.674
263	53	C2	118	150	32	0.52	1.746
264	54	2.5	0	10	10	20.65	1.415
265	54	50	10	75	65	2.86	1.541
266	54	100	75	150	75	1.25	1.483
267	54	200	150	250	100	0.86	1.528
268	54	300	250	350	100	0.67	1.634
269	54	400	350	450	100	0.51	1.688
270	54	500	450	550	100	0.48	1.756
271	54	600	550	650	100	0.36	1.789
272	54	700	650	750	100	0.42	1.783
273	54	800	750	800	50	0.43	1.748
274	55	0_5	0	5	5	15.60	1.257
275	55	5_15	5	15	10	8.07	1.271
276	55	15_30	15	30	15	5.45	1.356
277	56	0_5	0	5	5	39.54	0.980
278	56	5_15	5	15	10	22.50	0.986
279	56	15_30	15	30	15	16.36	0.800
280	57	0_5	0	5	5	11.44	1.308
281	57	5_15	5	15	10	6.95	1.369
282	57	15_30	15	30	15	4.57	1.346
283	58	0_5	0	5	5	24.53	0.998
284	58	5_15	5	15	10	12.84	0.980
285	58	15_30	15	30	15	10.81	0.841
286	59	0_5	0	5	5	6.63	1.401
287	59	5_15	5	15	10	4.75	1.438
288	59	15_30	15	30	15	4.12	1.403
289	60	0_5	0	5	5	16.53	1.145
290	60	5_15	5	15	10	8.69	1.287
291	60	15_30	15	30	15	7.07	1.540
292	61	0_5	0	5	5	75.88	0.662
293	61	5_15	5	15	10	30.99	0.910
294	61	15_30	15	30	15	16.72	1.086
295	62	0_5	0	5	5	31.55	0.770
296	62	5_15	5	15	10	12.85	0.960
297	62	15_30	15	30	15	8.09	1.034
298	63	0_5	0	5	5	21.14	0.805
299	63	5_15	5	15	10	18.54	0.946
300	63	15_30	15	30	15	15.09	0.880
301	64	0_5	0	5	5	19.17	0.926
302	64	5_15	5	15	10	17.79	1.025
303	64	15_30	15	30	15	12.63	1.091
304	65	0_5	0	5	5	13.93	1.037
305	65	5_15	5	15	10	11.67	1.072
306	65	15_30	15	30	15	9.91	0.988
307	66	0_5	0	5	5	19.56	1.052
308	66	5_15	5	15	10	14.49	1.136
309	66	15_30	15	30	15	8.82	1.053

n.d., no data available; *Serial_N*, serial number of soil horizons; *Plot_N*, serial number of the survey plot, consistent with *Plot_N* in Table 1; *Horizon*, type of soil horizon, i.e., A, E, B, and C, which are described *in situ*; if no horizon is defined, the sampling depth is described; *Depth_top* and *Depth_bot*, top and bottom depths of the soil horizon (cm), respectively; *Thick*, thickness of the soil horizon (cm); *C_conc*, carbon concentration of fine soil (gC kg⁻¹); *BD_fine*, bulk density of fine soil (Mg m⁻³)

with a density fractionation approach. *JARQ*, 47, 217-226.

Toriyama, J., Hak, M., Imai, A., Hirai, K. and Kiyono, Y. (2015) Effects of forest type and environmental factors on the soil organic carbon pool and its density fractions in a seasonally dry tropical forest. *For. Ecol. Manag.* 335, 147-155.

Ugawa, S., Takahashi, M., Morisada, K., Takeuchi, M., Matsuura, Y., Yoshinaga, S., Araki, M., Tanaka, N., Ikeda, S., Miura, S., Ishizuka, S., Kobayashi, M., Inagaki, M., Imai, A., Nanko, K., Hashimoto, S., Aizawa, S., Hirai, K., Okamoto, T., Mizoguchi, T., Torii, A., Sakai, H., Ohnuki, Y. and Kaneko, S. (2012) Carbon stocks of dead wood, litter, and soil in the forest sector of Japan: general description of the National Forest Soil Carbon Inventory. *Bull. FFPRI*, 11, 207-221.

Supplementary Date

Supplementary date can be found at <https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/bulletin/446/index.html>

Table S1

This is a readme file for Tables S2 and S3. The file can be updated in future as necessary.

Table S2

Site data (Table 1) is compiled in csv format.

The first line contains the names of the variables. The file can be updated in future as necessary.

Table S3

Soil profile data (Table 2) is compiled in csv format.

The first line contains the names of the variables. The file can be updated in future as necessary.

カンボジアにおける森林土壌炭素蓄積に関するデータセット

鳥山 淳平^{1)*}、今矢 明宏²⁾、平井 敬三³⁾

要 旨

土壌炭素貯留量の空間分布は農林地の生産力、持続性および炭素隔離能を評価するために不可欠な情報である。本報告では、熱帯林地域における土壌炭素貯留量の推定モデルの開発と改善のため、森林総合研究所が2002年から研究活動を行っているカンボジア国の熱帯林で取得された土壌炭素データを公開する。データセットは66点の地点データと、309点の土壌層位データを含む。36点は新規で公開されるものであり、残る30点は既存の研究論文等で出版された分析値に、空間情報等を付加して整備したものである。

キーワード：カンボジア、森林土壌、土壌炭素

原稿受付：平成30年1月29日 原稿受理：平成30年2月27日

1) 森林総合研究所 九州支所

2) 国際農林水産業研究センター林業領域

3) 森林総合研究所 立地環境研究領域

* 森林総合研究所 九州支所 〒860-0862 熊本県熊本市中央区黒髪4丁目11番16号

研究資料 (Research record)

インドネシア共和国東カリマンタン州の昆虫相ならびに
その生態に関する文献目録

楨原 寛^{1)*}、スギアルト²⁾、藤間 剛³⁾、ウォロ・ヌルジト⁴⁾、松本 和馬⁵⁾、
前藤 薫⁶⁾、上田 明良⁷⁾、滝 久智⁸⁾

要旨

1990 年代後半から筆者らが実施した調査を中心に、東カリマンタン州の昆虫種および生態に関する報告を年代順に整理し短い解説をつけて示した。また筆者らによる一連の調査により新種記載された昆虫種 2 目 3 科 45 種の一覧と、コガネムシ科 6 種およびカミキリムシ科 34 種の画像を合わせて示す。

キーワード：ブキットバンキライ、ブキットスハルト、カミキリムシ、コガネムシ、スングアイワイン

1. はじめに

インドネシア共和国東カリマンタン州の昆虫相は生態を含め、1990 年代後半までは断片的な調査を含め、ほとんど調べられてこなかった。これに対して、JICA インドネシア熱帯降雨林研究計画プロジェクト第 3 フェーズ (1995 年から 1999 年) に楨原が昆虫分野の専門家として派遣されたことをきっかけに、同州クタイ低地において日伊両国の研究者の協力による昆虫関連研究が継続的に行われるようになった。本稿は、過去 20 年間に楨原とスギアルト他の共同研究者が実施した野外調査の成果を中心に、東カリマンタン州の昆虫種および生態に関する報告を年代順に整理したものである。本稿ではまず、同地域の植生および主な試験地の概況を述べ、年代順に整理した各文献に短い説明をつけて紹介する。なお表題が内容を的確に示している文献の一部には説明文をつけなかった。また本稿をより使いやすくするために、文献目録であげた文献も引用文献に加え、英語日本語別に示した。本稿で紹介する東カリマンタン州での一連の調査により採集された昆虫類のうち、新種記載された種は 2 目 3 科 45 種である。最後にこれら新種の一覧表を示し、コガネムシ科 6 種とカミキリムシ科 34 種について図示する。

2. 東カリマンタン州の低地フタバガキ林と主な試験地

本稿にとりまとめた報告が対象としているのは、インドネシア共和国東カリマンタン州のクタイ地域の低地である。この地域のほとんどの土地は 20 世紀半ばまで低地フタバガキ林に覆われていた。同地域の低地フタバガキ林は、巨大なバイオマス (Yamakura et al. 1986)、高い樹種多様性 (Kartawinata et al. 2008, Sukarjo et al. 1990)、発達した階層構造 (Yamakura et al. 1986) をもつ。1990 年代前半には、同地域の樹木種に関するチェックリスト (Kebler et al. 1992) および 図鑑 (Kebler and Sidiyasa 1994) が発行された。さらにボルネオ島全体のフタバガキ科に関する図鑑 (Newman et al. 1996, 1998)、中央カリマンタン州の非フタバガキ科樹木に対する図鑑 (Argent et al. 1997) など、同地域の樹木種相の概要を示す基本的な文献が整備されていた。

東カリマンタン州の低地フタバガキ林は 1960 年代からはじまった商業伐採と、同島内外からの移住者による焼畑耕作、1982-83 年および 1997-98 年におきた異常乾燥と大規模火災、その他の年の散発的な火災等により、森林は急速に劣化、減少した (Mori 2000, 藤間 1999)。衛星画像に基づいた広域的な評価によると、大規模火災の影響を受けた地域は、この 40 年の間、しかも早い時期にほぼ全ての森林が失われた (Gaveau

原稿受付：平成 29 年 10 月 25 日 原稿受理：平成 30 年 3 月 7 日

1) 元森林総合研究所

2) クタイ農科大学

3) 森林総合研究所 森林植生研究領域

4) インドネシア科学院生物学研究所

5) 国際環境研究協会

6) 神戸大学大学院農学研究科

7) 森林総合研究所 九州支所

8) 森林総合研究所 森林昆虫研究領域

* 千葉県いすみ市

et al. 2016)。楨原らを中心とする昆虫相・生態調査はおもに、ブキツスハルト、ブキツバンキライ、スンガイワインの3つの保護林およびスブル実験林などで実施されてきた (Fig. 1)。

ブキツスハルト (**Bukit Soeharto**) 林業省所管の国民森林公園内に、国立ムラワルマン大学が管理する研究教育林がある。JICA 熱帯降雨林研究計画のプロジェクトサイトとして、林道、宿舍および林冠観察タワー (地上高 60 m、30 m) 等が設置された。ブキツスハルトでは、1978 年に国民森林公園として保護の対象となるまでは、周辺住民や企業による有用樹種の抜き切りが行われていた。

ブキツバンキライ (**Bukit Bangkirai**) インドネシア林業公社 (Inhutani-I) が管理する森林。全体の面積は約 1,500ha で、中心部に伐採も火災の影響も受けていない天然林がある。天然林の周囲は、二次林とゴム林が中心で、*Acacia mangium*, *Paraserinthes falcataria* の植林地もある。

スンガイワイン (**Sungai Wain**) バリクパパン市の水源林として保全されている。保護林の中央部には、伐採も火災の影響も受けていない天然林が残存している。

スブル (**Sebulu**) インドネシア林業省の実験林。1992 年から 2004 年にかけて、住友林業とインドネシア林業省サマリダ林業試験場の協力により、荒廃地の復旧に関する試験植林が実施された。

3. インドネシア共和国東カリマンタン州の昆虫種および生態に関する文献目録

1982 年

1. 青木 淳一・原田 洋 (1982) 東カリマンタン (ボルネオ) の土地利用による環境変化と土壌動物相。

1980 年 12 月から 1981 年 1 月にかけて、バリクパパン近郊で自然林から焼畑にいたるまでの人為的影響をさまざまに受けた地点で、土壌動物相の組成的な変化を属レベルの同定により調べた。軟体動物 13 属、節足動物 695 属が得られ、節足動物のなかで属数が多い群

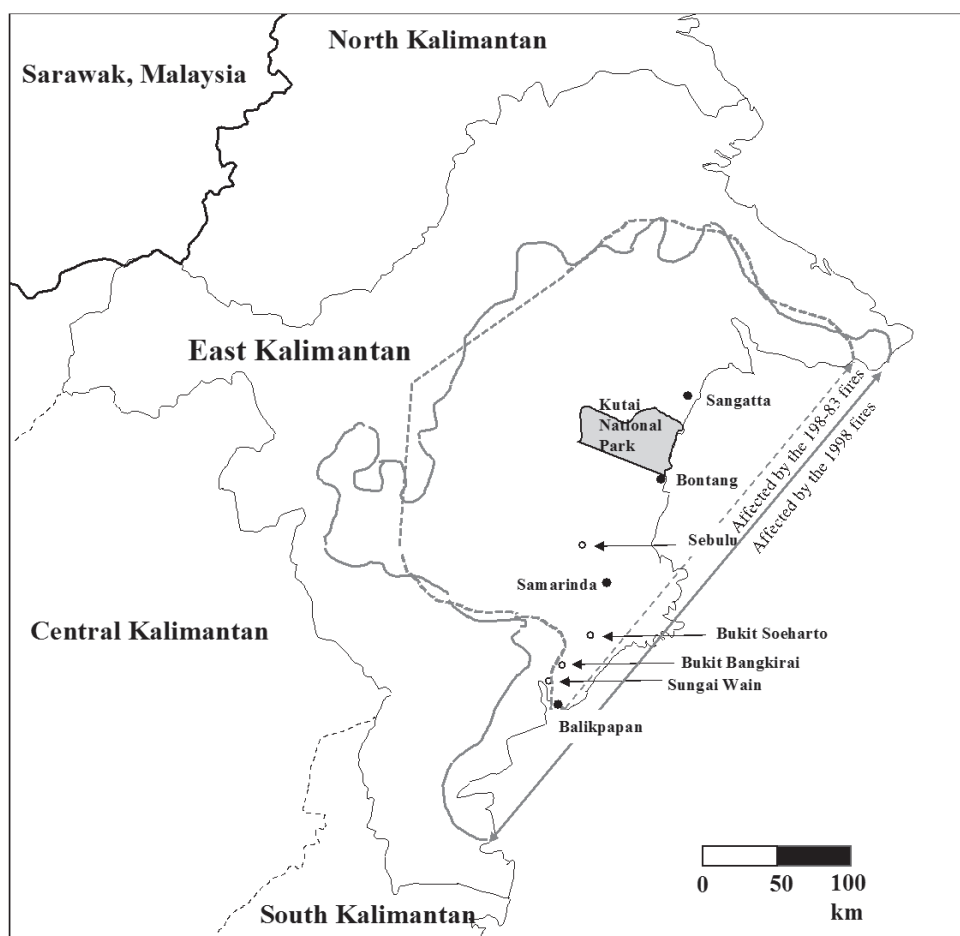


Fig. 1. 東カリマンタン州および主要な調査地の位置図。

1982-83 年および 1998 年に火災の影響を受けた範囲は、藤間 (1999) を元に描いた。

Map of East Kalimantan and location of main study sites of the authors.

The fire affected area in 1982-83 and 1998 are modified from Toma (1999).

は、甲虫類（計 220 属）、ダニ類（計 180 属）、クモ類（計 81 属）、アリ類（計 55 属）などであった。人為の影響による植生の違いと土壤動物相の属数との関係はあまり明瞭ではなかった。

1983 年

2. Adisoemarto, S., Suhardjono, Y. R. and Noerdjito, W. A. (1983) Changes in the composition of insect communities of Landang in Tanah Merah, East Kalimantan.

サマリンダ市郊外の Tana Merah の陸稲焼き畑地で 1978 年 3 月末から 4 月および同年 7 月半ばにスウィーピングにより行われた昆虫群集の調査。9 目 196 種が記録され、植生の成長を反映して 2 回目の調査で種数が増えた。植食性昆虫は速やかに増加したが、寄生者や捕食者の出現は遅れたことが示されている。

1988 年

3. Yajima, T. (1988) Change in the terrestrial invertebrate community structure in relation to large fires at the Kutai National Park, East Kalimantan (Borneo), Indonesia.

クタイ国立公園で 1982-83 年におきた火災の、被災林と非被災林で 50cm 四方内 10cm 深の体長 2mm 以上の土壤動物相、ピットフォールトラップ採集の地表性小動物相、スウィーピング採集の小動物相を科レベルで同定し比較した。昆虫類としてトビムシ目 (Collembola)、シミ目 (Thysanura)、バッタ目 (Orthoptera)、ゴキブリ目 (Dictyoptera)、カメムシ目 (Hemiptera)、甲虫目 (Coleoptera) があがっている。被災林と非被災林で小動物相に顕著な差は認められなかった。

1994 年

4. Yamane, S. (1994) Ant fauna of fire-damaged areas in the Kutai National Park, East Kalimantan, Indonesia.

1982 - 83 年の大規模火災から 10 年後の東カリマンタン州クタイ国立公園でアリ類の組成を調査した。ハチミツによる誘引トラップにより地上性のアリ類 28 属 62 種を採集した。この手法では樹上性のアリ類を採取できないことから、アリ類相の一部しか把握できていない。その一方、マレーシア、サラワク州の火災の影響を受けていない低地フタバガキ林で同様の手法に採集されたアリ類 17 属 30 種よりも、やや多くの種数が得られた。

1996 年

5. Yahiro, K. (1996) Beetles fauna in Bukit Soeharto Education Forest. JICA Expt. Report 1995-No.3.

1995 年にムラワルマン大学ブキツスハルト研究教育林の調査で採集した甲虫類。

6. Makihara, H. and Kinuura, H. (1996) Vertical distribution of insect fauna on the tower and Cerambycid and Scolytid beetles.

1996 年にムラワルマン大学ブキツスハルト研究教育林の 60 m タワーを利用して、採集したカミキリム

シおよびキクイムシの垂直分布。カミキリムシは 129 種のリストとキクイムシ類は調査地で樹種ごとに集まる種を表とした。さらに採集方法についても図、写真を使い、説明し、調査行程についても説明を加えた。

1997 年

7. 楨原 寛・衣浦 晴生 (1997) タワーを利用した昆虫相の垂直分布の比較とブキツスハルト試験林内のカミキリムシ・キクイムシ類.

1996 年 10 月 5 日から 11 月 2 日まで、ムラワルマン大学ブキツスハルト研究教育林で天然林、二次林、プランテーションおよび天然林に設置された 60 m タワーを利用して行ったカミキリムシ、キクイムシ相調査の結果。カミキリムシについては、ライトトラップ、マレーズトラップ、叩き網法による捕獲効率を比較して、マレーズトラップが最も効率が良いことを示した。キクイムシ類は伐倒したフタバガキ科 9 種、その他造林 3 樹種に集まる種を示した。

8. Irianto, R.S.B., Matsumoto, K. and Mulyadi, K. (1997) The yellow butterfly species of the genus *Eurema* Hübner causing severe defoliation in the forestry plantations of albizzia, *Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen, in the western part of Indonesia.

アルビジア (モルッカネム, *Paraserianthes falcataria*) の造林地ではキチョウ属 (*Eurema*) がしばしば大発生し、該当種はキチョウ (*E. hecabe*)、とされていた。東カリマンタン州クナンガンおよびスマトラ、ジャワの造林地計 5 ケ所で調べたところ、タイワンキチョウ (*E. blanda*)、*E. hecabe*、アリタキチョウ (*E. alitha*)、サリキチョウ (*E. sari*) の 4 種が見られ、大発生するのはタイワンキチョウ (*E. blanda*) であることが確認された。*E. hecabe* と *E. alitha* の個体数は比較的安定しており、*E. sari* は稀であった。

1998 年

9. 楨原 寛 (1998) 東カリマンタン低地のカミキリムシ類.

1996 年に行った東カリマンタンでのカミキリムシ相調査の概要と特徴的なカミキリムシの生態を紹介した。

10. Kinuura, H. (1998) Scolytid beetles fauna and their vertical distribution in Bukit Soeharto Education Forest, East Kalimantan. JICA Expt. Report, 1997-No.4.

ブキツスハルトの 60 m タワーに高さ別に設置した吊り下げ式トラップで捕獲されたキクイムシ類の比較

1999 年

11. Niisato, T. and Makihara, H. (1999) Two new *Paramimistena* (Coleoptera, Cerambycidae) from Western Kalimantan.

東カリマンタン州ブキツスハルトからの *Paramimistena immaculicollis* と *P. brevis* の 2 新種の記載。タイトルは Western Kalimantan となっているが East Kalimantan の間違いである。

12. Makihara, H. (1999) Atlas of Longicorn Beetles in Bukit

Soeharto Education Forest, Mulawarman University, East Kalimantan, Indonesia.

ブキツスハルトで、1998 年（1 年間）に採集したカミキリムシ 555 種の画像集。

13. Kinuura, H. (1999) Scolytid beetles fauna of Bukit Soeharto Education Experimental Forest and Bukit Bangkirai in East Kalimantan.

1999 年に調査したブキツスハルトとブキツパンキライで採集したキクイムシ

14. Makihara, H., Kinuura, H., Yahiro, K. and Soeyamto, Ch. (1999) Effects of forest fires on various coleopterous insects in a tropical rain forest of East Kalimantan.

1998 年 1 月から 11 月にかけて、ブキツスハルトに設置したマレーズトラップで 1 週間おきに採集された甲虫の個体数変化。1 月から 4 月初旬にかけてブキツスハルトでは雨が降らず、2 月 26, 27 日と 4 月 1, 2 日にはトラップ設置地点も火災に襲われた。

15. Hirowatari, T. (1999a) Butterfly fauna of Bukit Soeharto Education Forest and its adjacent areas.

ブキツスハルトおよび周辺地域で採集された 157 種のチョウ類一覧。

16. Hirowatari, T. (1999b) Observation on the occurrence of teak bee hole borer (*Xyleutes ceramicus*) at Sebulu.

明瞭な乾季のない東カリマンタン州スブルのチーク植栽地では、チークの害虫であるボクトウガ科 (Cossidae) のチークビーホールボーラー (*Xyleutes ceramicus*) が、継続的に発生、繁殖していることを明らかにした。

17. 八尋 克郎・楨原 寛・衣浦 晴生・伊藤 昇 (1999) 東カリマンタン熱帯降雨林における森林火災がゴミムシ類に与えた影響。

18. 楨原 寛 (1999) 動物生態。

1997 年 12 月から 1999 年 12 月まで丸 2 年間、ブキツスハルト研究教育林で行った昆虫相調査の概要。

19. Soda, R., Nakamura, K., Mastune, K., Nakama, E., Harada, Y. and Sasaki, S. (1999) Insect damage on mahogany and teak trees in East Kalimantan, Indonesia.

スブルの植栽試験地で 1998 年の火災後に発生した害虫の被害調査を行い、年間を通じてチークビーホールボーラーの成虫やサナギのケースが観察できることを示した。

2000 年

20. Yahiro, K., Ito, N. and Makihara, H. (2000) Record of Ground Beetles (Coleoptera: Carabidae) Collected by a Malaise Trap from Bukit Soeharto, East Kalimantan.

ブキツスハルト研究教育林で 1998 年にマレーズトラップで採集したゴミムシ類 17 種のリスト。

21. Soeyamto, Ch., Makihara, H., Sugiarto and Budi, F. (2000) Atlas of Stag Beetles in Bukit Soeharto

Education Forest of Mulawarman University and Bukit Bangkirai Forest of Inhutani-1 in East Kalimantan, Indonesia.

1998、99 年にサマリダ市のムラワルマン大学構内に設置したマレーズトラップで捕獲したカミキリムシ 55 種の画像集。

22. 楨原 寛・衣浦 晴生・八尋 克郎 (2000a) 熱帯降雨林における森林火災が各種甲虫類に与えた影響 (I).

23. 楨原 寛・衣浦 晴生・八尋 克郎 (2000b) 熱帯降雨林における森林火災が各種甲虫類に与えた影響 (II).

東カリマンタンの森林火災中および火災直後のカミキリムシ相の変遷、調査法の紹介を含む。

24. 楨原 寛 (2000a) 熱帯降雨林のカミキリムシの生態。東カリマンタンの熱帯降雨林のカミキリムシの特異な生態の紹介。

25. Makihara, H., Kinuura, H., Yahiro, K. and Soeyamto, Ch. (2000) The effect of Droughts and Fires on Coleopteran Insects in lowland Dipterocarp Forests in Bukit Soeharto, East Kalimantan.

ムラワルマン大学ブキツスハルト研究教育林において、森林火災直前、直後のカミキリムシ、ゴミムシなど、マレーズトラップで捕獲された昆虫類の消長の特徴について、一部のカミキリムシやゴミムシが、火災時に多数採集されたことなどを紹介。

26. 楨原 寛 (2000b) 熱帯降雨林の昆虫採集学。新版昆虫採集学 (馬場 金太郎・平嶋 義宏編)

東カリマンタンのブキツスハルト、ブキツパンキライの森林での採集方法をまとめた。

27. 大桃 定洋・秋山 黄洋 (2000) ボルネオカタビロタマムシ, クラヤミホソタマムシ。

楨原が東カリマンタン、ブキツスハルトで採集したボルネオカタビロタマムシ (*Asemochrysus rugulosus* H. Deyrolle) とクラヤミホソタマムシ (*Exagistus ignicepus* H. Deyrolle) の 2 種が図示されている。

2001 年

28. 楨原 寛 (2001a) カミキリムシは訴える。

東カリマンタンの大森林火災がカミキリムシ相に与えた影響の紹介記事。

29. Komiya, Z. and Makihara, H. (2001) Two new species of the genus *Megopis* (Coleoptera, Cerambycidae) from Indonesia and Malaysia.

東カリマンタンのムラワルマン大学のブキツスハルト演習林で採集した新種 *Megopis kalimantana* が記載されている。

30. 楨原 寛 (2001b) 熱帯降雨林の生物多様性の高さと、そこにおける森林火災がカミキリ相に与えた影響。

31. 楨原 寛 (2001c) 熱帯降雨林の生物多様性の高さとそこにおける森林火災が昆虫類に与えた影響。

2002 年

32. 楨原 寛・Sugiarto・Woro A. Noerdjito (2002) イン

ドネシア森林火災4年後のカミキリ相。

33. Makihara H., Simbolon, H., Sugiarto, Budi, F. & Iskandar, B. R. E. (2002) Atlas of Longicorn Beetles in Bukit Bankirai Forest, PT. Inhutani I, East Kalimantan, Indonesia.

ブキットバンキライの森林で捕獲したカミキリムシ469種の画像集。

34. Matsumoto, K. (2002) *Papilio demoleus* (Papilionidae) in Borneo and Bali.

オナシアゲハ (*Papilio demoleus*) は東南アジアの島嶼部には元々分布していなかった。ボルネオ島には1980年代に台湾亜種が侵入したことが知られていたが、1996-1999年にブキットスハルトとサバ州で採集された標本を検討したところ、マレー亜種的な個体、台湾亜種的な個体、両者の中間的な個体が混在していた。これまで記録のなかったバリ島からも本種を記録した。

35. Cleary, D. F. R. (2002) ENSO-induced temporal change in the species richness of three butterfly functional groups.

スンガイワインの一次林(保護林)と1978-79年の火災を被った森林、ワナリセットの1982-83年と1978-79年の火災を被った森林とでチョウ類の3つの機能群(草本食、ヤシ科食、捕食性)の種数、個体数を比較した。どの機能群でも火災後個体数は増加したが、種数は増えなかった。

36. Komiya, Z. (2002) A synopsis of the prionine cerambycid of the genus *Megobaralipion*, new status (Coleoptera, Cerambycidae, Prioninae): Revisional studies of the Genus *Megopis* sensu LAMEERE, 1909-1.

Megopis kalimantana (Komiya et Makihara 2001) について、属名の変更に合わせ種小名も変え、*Megobaralipion kalimantanum* (Komiya et Makihara 2001) とした。

2003年

37. Noerdjito, W. A., Makihara, H. and Sugiarto (2003) How to find out indicated cerambycid species for forest condition status in case of Gunung Halimun National Park, West Java and Bukit Bangkirai Forest, East Kalimantan.

森林の状態を調べるために、ジャワ島のグヌンハリム国立公園と東カリマンタンのブキットバンキライの森林でライトトラップ、マレーズトラップ、吊り下げ式トラップ、ベイトトラップ(葉のついた木の枝を吊り下げたもの)を設置して、トラップで得られたカミキリムシの種数と個体数の比較をした。ベイトトラップでは吊り下げる樹種を *Artocarpus* sp., *Acacia mangium*, *Albizia falcata* (= *Paraserinthes falcata*), *Shorea smithiana*, *S. laevis*, *Dipterocarpus cornutus* と変えて比較をした。このうち、*Artocarpus* sp. を使用したものが特に良いことが示された。

38. Makihara, H., Noerdjito, W. A. and Budi, F. (2003) Actuality of Sebulu Experimental Forest in East Kalimantan —On cerambycid beetles profile in burnt forest from January to February in 2003—.

2003年1、2月に東カリマンタン州スブルの、1998年の森林火災を被災した林分において、マレーズトラップ、葉のついた *Artocarpus* sp. の枝をつり下げてカミキリムシを誘引するアルトカルプストラップを用いてカミキリムシ相の調査を行った。89種のカミキリムシが得られ、図示もされている。

39. Cleary, D. F. R. (2003) An examination of scale of assessment, logging and ENSO-induced fires on butterfly diversity in Borneo.

バリクパパン北部と西部および中央カリマンタンの広範囲で未伐採林と伐採地、火災後に分類した火災林と非火災林でチョウ類を調査し、影響を検討した。伐採は種数を増加させたが、火災は種数を減少させた。

2004年

40. Makihara, H. and Sugiarto (2004) Are the beetles alive or dead in burnt snags just after forest fire? In case of East Kalimantan.

1998年におきた森林火災直後、立ち枯れ木の中で生き残っていた甲虫の生存率はタマムシ科で高く(生存率約70%)、次いでクワガタムシ科(生存率約40%)で、カミキリムシ科は低かった(生存率約15%)。

41. Noerdjito, W. A., Makihara, H. and Sugiarto (2004) Differences and features of cerambycid fauna with fragment of primary, secondary and degraded forests in landscape affected by human impacts and fire disturbance, East Kalimantan, Indonesia.

東カリマンタンのブキットバンキライ、ブキットスハルト、スブルでのカミキリムシ相を比較した。採集された種数は、ブキットスハルトで一番多かった。その一方、ブキットバンキライでは天然林に特有の種が多く認められた。

42. Makihara, H., Noerdjito, W. A. and Matsune, K. (2004) Profile of cerambycid beetles fauna in Sebulu Experimental Forest of East Kalimantan.

2003年8月に東カリマンタンのスブル試験林でアルトカルプストラップを用い、各種森林で調査を行い、天然性の高い森林に多く見られる *Gnoma* 属2種の捕獲状況を比較した。その結果、天然林がわずかに残っている林でよく捕獲されることを示した。

43. 榎原 寛 (2004a) 熱帯のカミキリ 驚異の多様性。

東カリマンタンのカミキリムシの種数の多さから生物多様性の高さを紹介。

44. 榎原 寛 (2004c) インドネシア東カリマンタンのカミキリムシ4種の生態的知見。

Acalolepta unicolor, *Olenecamptus opatus*, *O. borneensis*, *O. bilobus* の生態の紹介。ここでは *borneensis*, *bilobus*

の種名を取り違えている。

45. 楨原 寛 (2004b) インドネシア・東カリマンタンにおけるタマムシ 2 種の生態。

ボルネオカタビロタマムシ (*Asemochrysus rugulosus* H. Deyrolle) の変わった飛翔とクラヤミホソタマムシ (*Exagistus ignicepus* H. Deyrolle) が灯火に飛来することを紹介。

46. 楨原 寛 (2004d) アルトカルプスの実を食害するカミキリムシ。

アルトカルプス (*Artocarpus* spp.) の実を後食するカミキリとして *Gnoma longicollis*、実そのものを幼虫が食べる *Pterolophia melanura* がいると紹介。

47. 楨原 寛・ウオロー A. ノエルジット・スギアルト (2004) 東カリマンタン低地林に生息するカミキリムシ —アルトカルプストラップと森林環境指標カミキリムシ—。

東カリマンタン低地の火災を全く受けなかった天然林、半焼林、全焼林でアルトカルプストラップに集まるカミキリムシの種類が全く異なることを紹介。

48. Makihara, H. and Noerdjito, W. A. (2004) Longicorn beetles of Museum Zoologicum Bogoriense, identified by Dr. E. F. Gilmour, 1963 (Coleoptera: Disteniidae and Cerambycidae).

ボゴール博物館動物部に保管されている Dr. Gilmour の同定標本の紹介。東カリマンタン産のカミキリムシが一部含まれている。

49. Sugiarto (2004) Population Dynamics and Changes in Biodiversity of Cerambycid Beetles Before and After the Forest Fires in Bukit Soeharto Education Forest, East Kalimantan, Indonesia.

1998 年 1 月から 2000 年 10 月にかけて、ブキツスハルトで採集したカミキリムシのうち個体数が多かった 12 種について火災前後の個体数変化を比較し、火災後に急激に個体数が増加しその後徐々に減少した種、火災直後に個体数が回復しその後一年間増加を続けた種、火災後一年程度で個体数が回復した種、火災前は個体数が少なく火災後一時的に個体数が増加した種、火災直後には個体数の減少が認められなかった種に、区別した。

50. Cleary, D. (2004) Effects of logging, forest fragmentation and fire on butterfly species richness in Kalimantan. (Pengaruh-pengaruh pembalakan fragmentasi hutan dan kebakaran terhadap kekayaan jenis kupu-kupu di Kalimantan.)

インドネシア語 (括弧内) と英語併記の出版物。チョウの種数に対する伐採、森林の孤立断片化、火災の影響をバリクパパン・サマリンダ地域で調査し、連続的な森林で最も種数が多いと結論。

51. Cleary, D. F. R. and Mooers, A. Ø. (2004) Butterfly species richness and community composition in forests

affected by ENSO-induced burning and habitat isolation in Borneo.

スンガイワイン、ワナリセット等で同じ森林の火災前と火災後、あるいは森林火災鎮火後の火災林と非火災林でチョウ類を調査し、火災の影響を検討した。種数は減少し、種構成が変化した。

52. Cleary, D. F. R., Mooers A. Ø., Eichhorn, K. A. O., Tol, J. V., Jong, R. D. and Menken, B. J. (2004) Diversity and community composition of butterflies and odonates in an ENSO-induced fire affected mosaic: a case study from East Kalimantan, Indonesia.

バリクパパン北部と西部の広範囲で 1998 年に森林火災を被災した森林と被災していない森林でチョウ類とトンボ類を調査し、影響を検討した。火災はチョウ類の種数を減少させ、群集構造を変化させた。トンボ類では群集構造が変化した。

53. Cleary, D. F. R. (2004) Assessing the use of butterflies as indicator of logging in Borneo at three taxonomic levels.

バリクパパン西部および中央カリマンタンで未伐採林と伐採地でチョウ類を調査し、影響を検討した。伐採は種数を増加させた。

54. Cleary, D. F. R. and Genner, N. J. (2004) Changes in rain forest butterfly diversity following major ENSO-induced fires in Borneo.

スンガイワイン、ワナリセット等で同じ森林の火災前と火災後あるいは火災後に分類した火災林と非火災林でチョウ類を調査し、火災の影響を検討した。火災で群集構造が変化した。

2005 年

55. Hefferen, D. J. (2005) Catalog and bibliography of longhorned beetles of Borneo (Coleoptera: Cerambycidae).

カミキリムシ 1425 種のリストが挙げられ、Makihara (1999) が紹介され、Niisato and Makihara (1999)、Komiya and Makihara (2001) で記載された種も含まれている。

56. Makihara, H. and Okabe, H. (2005) Fauna of coleopteran borer, especially cerambyci beetles in four years after eruption of Mt. Oyama in Miyake Islands, Tokyo Pref., Japan.

伊豆諸島の三宅島雄山は 2000 年に噴火した。筆者らは噴火後の 2003 年から 4 年間にわたり、木材穿孔中であるカミキリムシの調査を行った。その結果、噴火の影響を受けた地域での大発生を確認した。これは東カリマンタンの森林火災後のカミキリムシの大発生と似ていると報告した。

2006 年

57. 楨原 寛・松本 和馬 (2006) マレーアオスジカミキリが最近、東カリマンタンで記録されるようになった理由。

マレーアオスジカミキリは以前、東カリマンタンでは記録が無かったが、楨原がスプルより記録した。これは *Paraserianthes falcata* 植林地の拡大によると推論。

58. 松本 和馬 (2006) 東南アジア島嶼におけるオナシアゲハの分布拡大。

オナシアゲハ (*Papilio demoleus*) は台湾亜種とマレー亜種が東南アジアの島嶼に分布を拡大している。これまでに判明している分布拡大の経緯と、森林消失、食樹 (ミカン類) の栽培など本種の分布拡大を助長している要因について述べた。

59. Ochi, T. and Kon, M. (2006a) Notes on the coprophagous scarab-beetles (Coleoptera, Scarabaeidae) from Southeast Asia (XII). Six new species of *Onthophagus* (Indachorius) from Borneo.

バリクパパン近郊のスンガイワインの林内で採集された糞虫の新種 *Onthophagus* (*Indachorius*) *woroe* の記載、その周辺の草地で採集された糞虫の新種 *Onthophagus* (*Indachorius*) *uedai* の記載とボルネオ島で採集された同亜属の4新種の記載。

60. Ochi, T. and Kon, M. (2006b) Notes on the coprophagous scarab-beetles (Coleoptera, Scarabaeidae) from Southeast Asia (XIII). Seven new species of *Onthophagus* (*Onthophagus*) from Borneo.

バリクパパン近郊のスンガイワインの林内で採集された糞虫の新種 *Onthophagus* (*Onthophagus*) *simboroni* の記載とボルネオ島で採集された同亜属の6新種の記載。

61. Ochi, T., Ueda, A. and Kon, M. (2006) *Ochicanthon* (Coleoptera, Scarabaeidae) from Borneo, with descriptions of four new species and a key to the Bornean species.

バリクパパン近郊のスンガイワインの林内で採集された糞虫の2新種 *Ochicanthon simboroni* と *Ochicanthon woroe* の記載とボルネオ島で採集された同属の2新種の記載。

62. Cleary, D. F. R. and Genner, A. J. (2006) Diversity patterns of Bornean butterfly assemblages.

スンガイワイン、ワナリセット等で同じ森林の火災前と火災後あるいは火災後に分類した火災林と非火災林でチョウ類を調査し、火災の影響を検討したものの火災後データを追加したもの。種数は減少し、種構造が変化した。

63. Fauvelot, C., Cleary, D. F. R. and Menken, B. J. (2006a) Short-term impact of disturbance on genetic diversity and structure in Indonesian populations of the butterfly *Drupadia theda* in East Kalimantan.

バリクパパン北部と西部の広範囲で未伐採林と伐採地、火災後に分類した火災林と非火災林で採集した森林性のシジミチョウの1種 *Drupadia theda* の遺伝的多様性を調査し、影響を検討した。火災は遺伝的多様性を低下させた。同じデータを Cleary et al. (2006b) に用いている。

を低下させた。同じデータを Cleary et al. (2006b) に用いている。

64. Cleary, D. F. R., Priadjati, A., Suryokusumo, B. K. and Maenken, S. B. J. (2006a) Butterfly, seedling, sapling and tree diversity and composition in a fire-affected Bornean rainforest.

スンガイワインの火災と非火災の境に設けたトランセクトから左右に200 m入った場所での調査。チョウ類の種数は左右とも同じ。

65. Charrette, N. A., Cleary, D. F. R. and Mooers, A. O. (2006) Range-restricted, specialist Bornean butterflies are less likely to recover from ENSO-induced disturbance.

ワナリセットで同じ森林の火災前と火災後でチョウ類を調査し、火災の影響を検討した。火災から2年経過しても狭域分布種は戻っていなかった。

66. Cleary, D. F. R., Fauvelot, C., Genner, M. J., Menken, B. J. and Moors, A. (2006b) Parallel responses of species and genetic diversity to El Niño Southern Oscillation-induced environmental destruction.

生息場所ごとの種内の遺伝的多様性と群集の種多様性には相関が見られるという現象 (species-genetic diversity correlation) が知られて来ている。東カリマンタンのエルニーニョ南方振動 (ENSO) によるチョウ類の生息場所の攪乱 (森林火災) にこれが当てはまるかを検討したところ、時間的にも空間的にも強い相関 (遺伝的多様性も種多様性も攪乱により低下) が見られた。

67. Fauvelot, C., Cleary, D. F. R. and Menken, B. J. (2006b) Short-term impact of 1997/1998 ENSO-induced disturbance on abundance and genetic variation in a tropical butterfly.

バリクパパン北部と西部の広範囲で未伐採林と伐採地、森林火災鎮火後の火災林と非火災林で採集した森林性でブナ科食のチョウの1種 *Arhopara epimuta* の遺伝的多様性を調査し、影響を検討した。火災は遺伝的多様性を増加させた。

2007 年

68. Hirowatari, T., Makihara, H. and Sugiarto (2007) Effects of fires on butterfly assemblages in lowland dipterocarp forest in East Kalimantan.

ブキツスハルトで主としてマレーズトラップで捕獲されたチョウ類に基づき、チョウ相の変化と森林火災の影響を考察した。

69. 広渡 俊也 (2007) 鱗翅目昆虫を利用した森林環境の評価に関する研究。

チョウ類を森林環境の指標として用いることの有用性と調査方法の長短についての総説。Hirowatari et al. (2007) を引用し、マレーズトラップを用いたチョウ類の群集調査例として、東カリマンタン州におけるチョウ類群集への森林火災の影響を紹介。

70. 楨原 寛 (2007) 熱帯林のカミキリムシ (1) カミキリムシの概要と種の多様性.

カミキリムシ類の生態紹介と、成虫の写真は東カリマンタン産のものを多数使用。

71. Ochi, T. (2007) Notes on the coprophagous scarab-beetles (Coleoptera, Scarabaeidae) from Southeast Asia (XIV). A new subgenus and four new species of *Onthophagus* from Borneo.

バリクパパン近郊のスンガイワインの林内で採集された糞虫の2新種 *Onthophagus (Pseudophanaeomorphus) chandrai* および *Onthophagus (Pseudophanaeomorphus) sugihartoi* の記載とボルネオ島で採集された同亜属の2新種の記載。

72. Cleary, D. F. R. and Grill, A. (2007) Butterfly response to severe ENSO-induced forest fires in Borneo.

ワナリセットで火災前と火災後でチョウ類を調査し、火災の影響を検討した。種数は減少し、火災前は多様だった群集構造がどこも同じ群集構造となり単純化した。

2008 年

73. 楨原 寛 (2008a) 熱帯林のカミキリムシ (2) カミキリムシの調査法.

東カリマンタンでのカミキリムシの調査法の一部を紹介。

74. 楨原 寛 (2008b) 熱帯林のカミキリムシ (4) アジアのカミキリムシ (2) ヒゲナガカミキリ属.

キヒロフトカミキリ (*Celosterna pollinosa sulphrea*) について、ブキットスハルトにおいて林冠部に夜間設置したライトに飛来したが地上部のライトに飛来しなかったこと、またインドネシアとタイのものでは形態が異なることから、インドネシアとインドシナ (タイ、ラオス) の *C. pollinosa sulphrea* は別種の可能性があるとした。

75. 楨原 寛・Sugiarto・Woro A. Noerdjito (2008) 熱帯降雨林の樹冠部に生息するカミキリムシのトラップを用いた調査法.

ブキットスハルト試験林の60 mタワーにマレーズトラップ、吊り下げ式トラップ、アルトカルプストラップを設置して得られたカミキリムシ相の高さ別の違いを紹介。

76. Ochi, T., Kon, M. and Hartini, S. (2008) Three new species of the genus *Ochicanthon* (Coleoptera: Scarabaeidae) from Java and Borneo.

バリクパパン近郊のスンガイワインの森林内で採集された糞虫の新種 *Ochicanthon uedai* の記載とジャワ島で採集された同属の2新種の記載。

77. Kon, M., Ochi, T., Ôhara, M., Ueda, A. and Hartini, S. (2008) A new record of *Oniticellus cinctus* (Coleoptera, Scarabaeidae) from Borneo.

バリクパパン近郊のスンガイワイン周辺、サンボジャ、

カンポンティームールの放牧地で採集された糞虫の1種 *Oniticellus cinctus* のボルネオ島初記録の記載。

2009 年

78. 楨原 寛 (2009) 熱帯林のカミキリムシ (6) アジアのカミキリムシ (4), シロスジカミキリ族 (1), シロスジカミキリ属.

東カリマンタンでのシロスジカミキリ属2種を紹介。

79. Maeto, K., Noerdjito, W.A., Belokobylskij, S.A. and Fukuyama, K. (2009) Recovery of species diversity and composition of braconid parasitic wasps after reforestation of degraded grasslands in lowland East Kalimantan.

東カリマンタンの低地に位置する古い二次林、大規模火災後のチガヤ草原と若い二次林、および *Acacia mangium* 植林地において、ネットスウィーピングによるコマユバチ科寄生蜂の調査を行い、その個体数と種数、種組成を植生タイプ間で比較した。大規模火災によって著しく劣化した寄生蜂相はアカシア植林によって回復する傾向にあった。本調査によって15亜科181形態種のコマユバチを記録している。

80. Ochi, T., Kon, M. and Barclay, M. V. L. (2009) Notes on the coprophagous scarab-beetles (Coleoptera, Scarabaeidae) from Southeast Asia (XXII). A new species of *Haroldius* and four new species of *Panelus* from Borneo.

バリクパパン近郊のスンガイワイン林内およびその周辺で採集された糞虫の1新種 *Panelus kalimatanicus* の記載とボルネオ島で採集された同属の2新種および *Haroldius* 属の1新種の記載。

2010 年

81. Noerdjito W. A., Makihara, H. and Sugiarto (2010) Evaluation of various forest conditions based on longicorn beetles (Coleoptera; Cerambycidae) as bio-indicators in East Kalimantan.

東カリマンタンのスンガイワイン地区のチガヤ (*Imperata cylindrica*) 草原、林齢の異なる *Acacia mangium* 植林地と1998年に焼けた二次林と焼けなかった古い二次林において、森林昆虫の代表であるカミキリムシを環境指標として、評価調査を実行した。その結果、種数に関しては草原とどの森林の間にも種数に差は認められなかった。そして、個体数は二次林、草原、*Acacia mangium* 5年生林、7年生林、9年生林の順に少なくなった。しかし、良好な森林に見られるカミキリムシの個体数比率を見るとどこも低い、草原、*Acacia mangium* 5年生林、9年生林、二次林、アカシアマンギウム7年生林の順に高くなった。草原では0であった。

82. 楨原 寛 (2010a) 熱帯林のカミキリムシ (10). 環境指標としてのカミキリムシ.

ブキットスハルト、ブキットバンキラの森林での

調査結果から導き出した森林環境の指標的なカミキリムシの紹介。

83. 榎原 寛 (2010b) 森をはかる その 42. カミキリムシで森林環境の自然度をはかる。

森林環境指標カミキリムシとして、東カリマンタンの自然林に多いカミキリと荒れた森林に多いカミキリを紹介。

84. 藤田 宏 (2010) サマリンダニセツノヒョウタンクワガタ *Novonigidius* sp.

東カリマンタンのサマリンダで採集されたニセツノヒョウタンクワガタ属の不明種が図示されている。

85. Matsumoto, K. and Noerdjito, W. A. (2010) Species richness and species composition of butterflies in *Imperata* grassland, *Acacia mangium* plantation and burnt and unburnt forests in East Kalimantan.

東カリマンタンのスンガイワインの攪乱のない天然林、*Acacia mangium* 人工林と荒廃草原でチョウ類の調査を行い、種数を比較した。人工林では荒廃草原より種数が多く、また林齢が高いほど種数が多くなったが、天然林よりは少なかった。

86. Maeto, K. (2010) Parasitoid diversity in changing forest landscape after fires in East Kalimantan, Indonesia.

東カリマンタンのスンガイワイン森林保護区において、1997-98 年の大規模森林火災による被害をほとんど受けていない林分から激しい被害を受けた林分にかけて調査地を設置し、コマユバチ科寄生蜂相の空間的变化を調査した。森林火災の寄生蜂相への影響は大面積非火災林から離れるほど強く残っていたが、小面積であっても燃え残った非火災区域があるとその影響は緩和されていた。

87. Ueda, A., Dwibadra, D., Kon, M. and Fukuyama, K. (2010) Preliminary study of changes in dung and carrion scarabaeid beetle diversity associated with planting of *Acacia mangium* in grasslands.

バリクパパン近郊のスンガイワイン保護林周辺の *Acacia mangium* 植林地とチガヤ (*Imperata cylindrica*) 草原および対照区の保護林において、人糞と魚肉をベイトに用いたトラップで捕獲した糞虫の群集を比較した研究。アカシアマンガウム植林地とチガヤ草原で種数、捕獲数、多様度指数に差はなかったが、バイオマス（乾重）、保護林との共通種数、保護林との類似度は植林地で有意に大きかった。また、植林地と保護林の共通種の種数は、保護林との隣接の有無、保護林からの距離、植林地とその周辺林地の面積、樹木の胸高断面積を有意に関係することを示した。

2011 年

88. Dolný, A., Bárta, D., Lhota, S., Rusdianto and Drozd, P. (2011) Dragonflies (Odonata) in the Bornean rain forest as indicators of changes in biodiversity resulting from forest modification and destruction.

スンガイワイン周辺でトンボ群集の調査を行った。2 シーズンの調査で 88 種が認められた。種多様度は一次林で最も高く、ここで全体の 60% の種が記録され、32% がここでのみ記録された。ビオトープスペシャリストの割合は環境勾配に沿って、一次林、やや劣化した一次林、二次林、著しく劣化した二次林、非森林の順で減少した。除歪対応分析による座標付けの結果、第 1 軸に沿って森林の劣化の程度に対応した群集の配列が示された。どのような森林の劣化も種数を減少させ、種構成の変化と多様性の低下をもたらすことが示された。

89. Nuguroho, H., Kojima, J. and Carpenter, J. M. (2011) Checklist of vespid species (Insecta: Hymenoptera: Vespidae) occurring in Indonesian Archipelago.

インドネシアの 63 属 383 種のスズメバチ科のリストを Museum Zoologicum Bogoriens に所蔵されているタイプ標本の情報とともに示し、分布に関する文献記録も示した。タイプ標本情報と文献記録には東カリマンタンの記録を含む。

2012 年

90. 松本 和馬 (2012) 熱帯におけるチョウ類の分布拡大と人為の関わり。

東南アジアの島嶼に分布を拡大しているチョウ類 4 種を取上げて、人為的な開放環境の拡大、食草の栽培や侵入、人為的な運搬等を分布拡大の要因として指摘した。オナシアゲハ (*Papilio demoleus*) のボルネオへの定着について述べたほか、ヒメトガリシロチョウ (*Appias olferna*) のボルネオ（東カリマンタン）への定着に初めて言及した。口絵写真に東カリマンタンの荒廃草原を示す。

91. Dolný, A., Harabiš, F., Bárta, D., Lhota, S. and Drozd, P. (2012) Aquatic insects indicate terrestrial habitat degradation: changes in taxonomical structure and functional diversity of dragonflies in tropical rainforest of East Kalimantan.

スンガイワイン保護林地域の時間的空間的攪乱に対するトンボ類群集の変化パターンを解析した。(1) 種数、(2) 均翅類の割合、(3) 森林棲スペシャリストの割合、(4) ボルネオ固有種の割合に対する攪乱の (1) 強度、(2) 頻度、(3) 最後の攪乱からの経過時間の影響を調べた。降雨林における人為攪乱はトンボ類の種構成に大きな影響を及ぼしていた。

2013 年

92. Hefferen, D. J. (2013) A catalog and bibliography of longhorned beetles of Borneo (Coleoptera: Cerambycidae, Disteniidae and Vesperidae).

Hefferen (2005) では亜科扱いだった Disteniinae, Vesperinae が科になり、収録種数も 1600 種以上に増えた。Makihara (1999) が紹介され、Niisato and Makihara (1999)、Komiyama and Makihara (2001) で記載された種も

- 含まれているが、東カリマンタンからの追加種はない。
93. Bárta, D. and Dolný, A. (2013) Dragonflies of Sungai Wain.
- 英語、チェコ語、インドネシア語で書かれた東カリマンタンのスンガイワインのトンボ図鑑。各地の標本写真と分布、生態環境の記述と一部の種の生態写真が出ている。キャンプジャマルデインを主な基地として採集したもの。
94. 楨原 寛 (2013) 熱帯降雨林のカミキリムシ。
- 筆者がカミキリムシ研究を始めた動機から熱帯降雨林のカミキリムシ研究に至るまでの経過。
95. Kikuta, S., Fujiyama, N., Kahono, S., Kobayashi, N., Hartini, S. and Katakura, H. (2013) Potential ability of the solanum-feeding ladybird beetle *Henosepilachna diffinis* (Coleoptera: Coccinellidae) to use the introduced fabaceous plant *Centrosema molle* in East Kalimantan, Indonesia.
- 東カリマンタンのナス科を摂食しているマダラテントウの1種 *Henosepilachna diffinis* に、ナス科の *Solanum torbom* と約200年前に侵入したマメ科雑草である *Centrosema molle* を同時に与えて後者に対する潜在的な摂食能力を調べたところ、潜在的にある程度 *C. molle* を摂食する能力を持っていることが確かめられた。このことは、東南アジア各地で *C. molle* を摂食するようになったニジュウヤホシテントウ (*H. vigintioctopunctata*) も同様に潜在的に *C. molle* を摂食する能力を持っていた可能性を示唆する。
- 2014 年
96. 楨原 寛 (2014a) 移動する森林昆虫類 (3) 人工林の増加により分布拡大をした2種の昆虫。
- Xystrocerra festiva* の東カリマンタンでの記録を使用。
97. 楨原 寛 (2014b) 移動する森林昆虫類 (4) マダガスカルから日本までやってきた、ムツボシシロカミキリ。
- 東カリマンタンのムツボシシロカミキリ (*Olenecamptus taiwanus*) の図を使用。
- 2015 年
98. Makihara, H., Sugiarto and Toma, T. (2015) Stag beetles in Bukit Soeharto and Bikit Bankirai Forests, East Kalimantan, Indonesia.
- ブキットスハルト、ブキットバンキライの森林で採集した36種のクワガタムシの紹介。種名にインドネシア語名を付けている。
99. Matsumoto, K., Noerdjito, A. W., Fukuyama, K. (2015) Restoration of butterflies in *Acacia mangium* plantations established on degraded grasslands in East Kalimantan.
- スンガイワイン天然林および周辺の *Acacia mangium* 人工林と荒廃草原でチョウ類の調査を行った。人工林では荒廃草原よりも豊かなチョウ類群集が見られたが、攪乱のない天然林のチョウ類群集は人工林よりは

るかに豊かで、人工林には見られないボルネオ固有種やスンダランド固有種が多かった。

100. Sugiarto (2015) Studies on species diversity of Cerambycidae (Longicorn beetles) on some habitat types in East Kalimantan.

東カリマンタン州の人間活動の影響が異なる6つの試験地でカミキリムシを採集し、カミキリムシ相が、天然林(スンガイワイン、Wehea)と荒廃林(ブキットスハルト、石炭採掘跡緑化造林地、アカシアマンガウム植林地、アブラヤシ農園)で大きく異なることを見いだした。

101. Ueda, A., Dwibadra, D., Noerdjito, W. A., Kon, M. and Fukuyama, K. (2015a) Comparison of baits and types of pitfall traps for capturing dung and carrion scarabaeid beetles in East Kalimantan.

バリクパパン近郊のスンガイワイン周辺で行った糞虫を採集するための有効な方法の開発を目的とした研究の報告。ベイト間比較では人糞と魚肉の誘引効果が高いこと、トラップの形状では、衝突板を用いたピットフォールタイプのトラップの捕獲効率が高いことを示した。

102. Ueda, A., Dwibadra, D., Noerdjito, W. A., Sugiarto, Kon, M., Ochi, T., Takahashi, M. and Fukuyama, K. (2015b) Effect of habitat transformation from grassland to *Acacia mangium* plantation on dung beetle assemblage in East Kalimantan, Indonesia.

バリクパパン近郊のスンガイワイン保護林およびブキットバンキライ保護林周辺で行った、草原、*Acacia mangium* 植林地、天然林で人糞と魚肉をベイトに用いたトラップで捕獲した糞虫の群集を比較した研究。草原にアカシアマンガウムを植林することで、ある程度森林性の種の生息が可能となるが、天然林の群集とは大きく異なることが明らかとなった。

103. Ueda, A., Dwibadra, D., Noerdjito, W. A., Sugiarto, Kon, M., Ochi, T., Takahashi, M., Igarashi, T. and Fukuyama, K. (2015c) Buffer zones for placing baited traps in grasslands bordering forests and availability of riparian reserves of trees in grasslands: A preliminary study for dung beetle assemblages in East Kalimantan, Indonesia.

バリクパパン近郊のスンガイワイン近くの村落周辺の *Acacia mangium* 植林地、その林縁からチガヤ草原内に100、200、300 m入った地点、および草原内を流れる小川の両岸にある木立において、人糞と魚肉をベイトに用いたトラップで捕獲した糞虫の群集を比較した研究。草原内の群集に林縁からの距離の影響がなかったことから、林縁から100 m隔てれば、隣接環境の影響を受けないことが明らかとなった。また、小川の木立でも森林性の種がある程度捕獲されたことから、小川の木立が森林性の種のコリドーとして機能している

ことが示唆された。

104. Ueda, A., Dwibadra, D., Noerdjito, W. A., Sugiarto, Kon, M., Ochi, T., Takahashi, M., Igarashi, T. and Fukuyama, K. (2015d) Effects of distance from devastated forests and topography on dung beetle assemblages in burned forests of East Kalimantan, Indonesia.

バリクパパン近郊のスンガイワイン保護林の東側に広がる火災林で、保護林の境界柵から保護林内に引いた直線のトランセクト上に出現する火災を受けた尾根と火災を免れた谷において、人糞と魚肉をベイトに用いたトラップで捕獲した糞虫の群集を比較した研究。境界から保護林に入るに従い、種数と捕獲数が多くなり、保護林中央の全く火災を受けていない森林と群集の類似度は高くなった。逆に、より東側の火災で荒廃した森林でみられる群集との類似度は低くなった。また、種数と捕獲数は、地形の影響も受け、尾根で多くなる傾向があった。以上のことから、糞虫の群集は火災の影響を大きく受けることが明らかとなった。

105. 榎原 寛 (2015) 移動するカミキリムシ類。

東カリマンタンのマレーアオスジカミキリ (*Xystrocer festiva*)、ムツボシシロカミキリ (*Olenecamptus taiwanus*) を紹介。

2016 年

106. Dauber, D. (2016) Beschreibung neuer Clytini und Anaglyptini vorwiegend aus dem indonesischen Teil von Borneo (Kalimantan) (Coleoptera, Cerambycidae, Cerambycinae).

榎原がブキツスハルトとブキツバンキライで採集したトラカミキリ類 24 新種 (*Demonax* 属 20 種、*Oligoenoplus* 属 1 種、*Perissus* 属 1 種、*Psilomerus* 属 2 種) が記載された。なお、*Demonax flavus* という種名が Abstract にあるが本文では記載されていない。

107. Yokoi, Y., Makiyara, H. and Noerdjito, W. A. (2016) Notes on the Genera *Examnes* and *Pelosus* (Coleoptera, Cerambycidae) in East Kalimantan.

東カリマンタンのブキツバンキライで榎原により採集されたカミキリムシ 4 種 *Examnes curticornis*, *E. kawakamii*, *Pelosus kalimantanus*, *P. wakabayashii* の新種記載。

108. 松本 和馬 (2016) 熱帯におけるチョウ類の分布拡大と人為の関わり。井上 大成・石井 実 (編集) チョウの分布拡大。

熱帯で分布を拡大しているチョウ類 5 種を取上げて、人為的な開放環境の拡大、食草の栽培や侵入、人為的な運搬等を分布拡大の要因として指摘した。オナシアゲハ (*Papilio demoleus*)、ヒメトガリシロチョウ (*Appias olferna*) のボルネオ島への定着に言及し、東カリマンタン産を含む *P. demoleus* の写真、およびチョウ類の生息環境としてスンガイワインの森林、付近の

荒廃草原と集落の写真を示す。

109. Sugiarto, Boer, C. and Mardji, D. (2016) Species diversity of cerambycid beetles at reclamation area of coal mining in Berau District, East Kalimantan, Indonesia.

東カリマンタン州ブラウ県の石炭採掘跡地でカミキリムシ相を調査し、次の結果を得た。採掘跡地 3 カ所、Lati 16 種 100 個体、Samarinda 19 種 140 個体、Binungan 22 種 192 個体のカミキリが捕獲された。Lati, Samarinda の優占種は 7 種、Binungan では 6 種が優占種であった。この結果から (管理状態が分からないが) カミキリムシの多様性は明らかに Binungan が高く、採掘跡地の管理が生物多様性保全に影響し、重要であることを指摘した。

110. 上 田 明 良・Dwibadra, D.・Noerdjito, W. A.・Sugiarto (2016) 熱帯草原の森林化が糞虫群集に与える影響。

Ueda, A. et al. (2015a, b) の内容を日本語で要約し、一般向けに紹介したもの。

2017 年

111. Yamasako, J. and Makiyara H. (2017) Review of the genus *Anipocregyes* Breuning, 1939 with two new species from Borneo (Coleoptera, Cerambycidae, Lamiinae, Mesosini).

ゴマフカミキリ族 *Anipocregyes* 属の解説。東カリマンタンで榎原の採集した 2 新種 *Anipocregyes kawakamii* と *A. wakabayashii* の記載を行っている。*A. kawakamii* はブキツスハルトをタイプ産地として記載がなされ、これまで他地域では記録がない。*A. wakabayashii* はマレーシアのサバをタイプ産地として記載され、パラタイプ 2 個体はブキツスハルト産である。

112. Quicke, D.L.J., Butcher, B.A., Ranjith, A.P. and Belokobylskij, S.A. (2017) Revision of the non-Afrotropical species of *Trigastrotheca* Cameron (Hymenoptera: Braconidae: Braconinae) with descriptions of four new species.

5 種のアジア産 *Trigastrotheca* 属コマユバチの分類学的再検討がなされ、バリクパパン近郊のスンガイワインをタイプ産地とする新種 *Trigastrotheca maetoi* Quicke & Butcher 2017 が記載された。

113. Ueda, A., Dwibadra, D., Noerdjito, W. A., Sugiarto, Kon, M., Ochi, T., Takahashi, M. and Fukuyama, K. (2017) List of dung beetles (Coleoptera : Coprophagous group of Scarabaeoidea) collected in lowland near Balikpapan, East Kalimantan, Indonesia.

これまでの調査によりバリクパパン近郊低地で得られたコガネムシ科の糞虫類を一覧表としてとりまとめで示した。

114. Makiyara, H. and Aoki, J. (2017) Vertical Distribution of *Trachypholis bicarinata* (Pascoe) (Coleoptera,

Zopheridae) Collected by Hanging Traps Set on High Towers in the Forests of East Kalimantan, Indonesia
 ブキツスハルトに設置された高さ 30 m と 60 m の 2 本のタワーにおいて、高さ 10 m おきにつり下げトラップを設置し甲虫類を調査した。最も多く得られたホソカタムシの一種 *Trachypolis* (*Optis*) *bicarinata* (Pascoe) は、二次林よりも自然林に多く生息し、生息の中心は林冠部にあった。同種の再記載もおこなった。

謝 辞

本稿で紹介する筆者らの報告は、主として次に示す技術協力および研究プロジェクトにより可能となった。日本国およびインドネシア共和国の関係諸機関の方々には、さまざまな支援を受けた。ここに深く感謝の意を表する。

国際協力事業団（現国際協力機構）

JICA インドネシア共和国熱帯降雨林研究計画フェーズ III (1995-1999 年度)

JICA インドネシア森林災害対策・予防のための調査研究協力 (2000 年度) [専門家派遣]。

環境省地球環境研究総合推進費

E-2 森林火災による自然資源への影響とその回復の評価に関する研究 (2000-2002 年度)

<https://www.env.go.jp/earth/suishinhi/wise/j/J02E0200.htm>

E-3 荒廃熱帯林のランドスケープレベルでのリハビリテーションに関する研究 (2002-2004 年度)

<https://www.env.go.jp/earth/suishinhi/wise/j/J04E0300.htm>

環境省地球環境保全試験研究費（地球一括計上）

農 0458 CDM 植林が生物多様性に与える影響評価と予測技術の開発 (2004-2008 年)

http://www.env.go.jp/earth/kenkyuhi/report/h21_report.html

終了時に実施した国際ワークショップの発表論文集が下記にて公開されている。

<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/chukiseika/2nd-chuukiseika7.html>

日本学術振興会 科研費基盤 B (JSPS 科研費 JP26304028)

衛星画像から熱帯雨林の生物多様性を推定するモデルの構築 (2014-2017 年度)

<https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-26304028/>

現地調査および昆虫種の同定においては、次の方々を始め多くの方々のお世話になりました。改めて感謝の意を表します。Late Dauber, D., Late Jamardin, Late Simbolon, H., Late Soeyamto, Ch., Late Sopian, Belokokobylskij, Boer, C., Budi, F., Butcher, B.A., Dwibadra, D., Mardji D., Quicke, D.L.J., Ranjith, A.P.,

青木淳一、広渡俊也、衣浦晴生、小久保醇、小宮次郎、今優博、松根健二、森徳典、新里達也、岡輝樹、越智輝雄、曾田良、八尋克朗、山迫淳介、横井弥平太

引用文献（英文、和文の順に分けて示す）

- Adisoemarto, S., Suhardjono, Y. R. and Noerdjito, W. A. (1983) Changes in the composition of insect communities of Landang in Tanah Merah, East Kalimantan. *Treubia* 39, Part 1, 47-61.
- Argent, G., Saridan, A., Campbell, E. J. F., Wilkie, P., Fairweather, G., Hadiah, J. T., Middleton, D. J., Pendry, C., Pinard, M., Warwick, M. and Ulita, K. S. (1997) Manual of the larger and more important non dipterocarp trees of Central Kalimantan Indonesia. Volume 1, 2. Forest Research Institute, Samarinda, Indonesia.
- Bárta, D. and Dolný, A. (2013) Dragonflies of Sungai Wain. 168pp., Taita Publishers, Harder Králoné.
- Charrette, N. A., Cleary, D. F. R. and Mooers, A. O. (2006) Range-restricted, specialist Bornean butterflies are less likely to recover from ENSO-induced disturbance. *Ecology*, 87, 2330-2337.
- Clery, D. F. R. (2002) ENSO-induced temporal change in the species richness of three butterfly functional groups. *Proc. Exper. Appl. Entomol. NEV Amsterdam*, 13, 45-49.
- Cleary, D. F. R. (2003) An examination of scale of assessment, logging and ENSO-induced fires on butterfly diversity in Borneo. *Oecologia*, 135, 313-321.
- Cleary, D. F. R. (2004) Assessing the use of butterflies as indicator of logging in Borneo at three taxonomic levels. *J. Econ. Entomol.*, 97, 429-435.
- Cleary, D. F. R. (2004) Effects of logging, forest fragmentation and fire on butterfly species richness in Kalimantan. (Pengaruh-pengaruh pembalakan fragmentasi hutan dan kebakaran terhadap kekayaan jenis kupu-kupu di Kalimantan.) In Lamertink, M., Setiorini, U., Prawiradilaga D. (eds.) As a phoenix from the flames. The recovery potential of biodiversity after logging, fire and agroforestry in Kalimantan and Sumatra. (Laksana burung phoenix lahir dari api? Potensi pulihnya kembali keanekaragaman hayati setelah pembalakan, kebakaran, dan perhutanan di Kalimantan dan Sumatera.) NWO (Netherlands Science Foundation), LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia) and PILI-NGO Movement (Pusat Informasi Lingkungan Indonesia), 42-45.
- Cleary, D. F. R., Fauvelot, C., Genner, M. J., Menken, B. J. and Moors, A. (2006b) Parallel responses of species

- and genetic diversity to El Niño Southern Oscillation-induced environmental destruction. *Ecol. Lett.*, 9, 304-310.
- Cleary, D. F. R. and Genner, N. J. (2004) Changes in rain forest butterfly diversity following major ENSO-induced fires in Borneo. *Global Ecol. Biogeogr.*, 13, 129-140.
- Cleary, D. F. R. and Genner, A. J. (2006) Diversity patterns of Bornean butterfly assemblages. *Biodiversity Conservation*, 15, 517-538.
- Cleary, D. F. R. and Grill, A. (2007) Butterfly response to severe ENSO-induced forest fires in Borneo. *Ecol. Entomol.*, 29, 666-676.
- Cleary, D. F. R. and Mooers, A. Ø. (2004) Butterfly species richness and community composition in forests affected by ENSO-induced burning and habitat isolation in Borneo. *J. Trop. Ecol.*, 20, 359-367.
- Cleary, D. F. R., Mooers, A. Ø., Eichhorn, K. A. O., Tol, J. V., Jong, R. D. and Menken, B. J. (2004) Diversity and community composition of butterflies and odonates in an ENSO-induced fire affected mosaic: a case study from East Kalimantan, Indonesia. *Oikos*, 105, 426-446.
- Cleary, D. F. R., Priadjati, A., Suryokusumo, B. K. and Maenken, S. B. J. (2006a) Butterfly, seedling, sapling and tree diversity and composition in a fire-affected Bornean rainforest. *Austral. Ecol.*, 31, 46-57.
- Dauber, D. (2016) Beschreibung neuer Clytini und Anaglyptini vorwiegend aus dem indoneschen Teil von Borneo (Kalimantan) (Coleoptera, Cerambycidae, Cerambycinae). *Linzer biol. Beitr.*, 48 (1), 21-54.
- Dolný, A., Bárta, D., Lhota, S., Rusdianto and Drozd, P. (2011) Dragonflies (Odonata) in the Bornean rain forest as indicators of changes in biodiversity resulting from forest modification and destruction. *Tropical Zoology*, 24, 63-86.
- Dolný, A., Harabiš, F., Bárta, D., Lhota, S. and Drozd, P. (2012) Aquatic insects indicate terrestrial habitat degradation: changes in taxonomical structure and functional diversity of dragonflies in tropical rainforest of East Kalimantan. *Tropical Zoology*, 25, 141-157.
- Fauvelot, C., Cleary, D. F. R. and Menken, B. J. (2006a) Short-term impact of disturbance on genetic diversity and structure in Indonesian populations of the butterfly *Drupadia theda* in East Kalimantan. *Molecular Ecol.*, 15, 2069-2081.
- Fauvelot, C., Cleary, D. F. R. and Menken, B. J. (2006b) Short-term impact of 1997/1998 ENSO-induced disturbance on abundance and genetic variation in a tropical butterfly. *J. Heredity*, 97, 367-380.
- Gaveau, D. L. A., Sheil, D., Husnayaen, Salim, M. A., Arjasakusuma, S., Ancrenaz, M., Pacheco, P. Meijaard, E. (2016) Rapid conversions and avoided deforestation: examining four decades of industrial plantation expansion in Borneo. *Scientific Reports*, 6, 32017. <http://doi.org/10.1038/srep32017>
- Hefferen, D. J. (2005) Catalog and bibliography of longhorned beetles of Borneo (Coleoptera: Cerambycidae). Zoological Institute of Russian Academy of Sciences, Electric version, 102pp. https://www.zin.ru/animalia/Coleoptera/pdf/borneo_catalog_electronic_version_2005-1.pdf (Jan 29, 2018 Access)
- Hefferen, D. J. (2013) A Catalog and Bibliography of Longhorned Beetles from Borneo (Coleoptera: Cerambycidae, Disteniidae and Vesperidae). Zoological Institute of Russian Academy of Sciences, Electric version, 107pp. https://www.zin.ru/Animalia/Coleoptera/pdf/hefferen_2013_borneo_catalog.pdf (Jan 29, 2018 Access)
- Hirowatari, T. (1999a) Butterfly fauna of Bukit Soeharto Education Forest and its adjacent areas. JICA Expt. Rep., 1998-No.5(1).
- Hirowatari, T. (1999b) Observation on the occurrence of teak bee hole borer (*Xyleutes ceramicus*) at Sebulu. JICA Expt. Report, 1998-No.5(2).
- Hirowatari, T., Makihara, H. and Sugiarto (2007) Effects of fires on butterfly assemblages in lowland dipterocarp forest in East Kalimantan. *Entom. Sci.*, 10, 113-127.
- Irianto, R.S.B., Matsumoto, K. and Mulyadi, K. (1997) The yellow butterfly species of the genus *Eurema* Hübner Causing severe defoliation in the forestry plantations of albizzia, *Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen, in the western part of Indonesia. *JIRCAS Journal* 4, 41-49.
- Kartawinata, K., Purwaningsih, Partomihardjo, T., Yusuf, R., Abdulhadi, R. and Riswan, S. (2008) Floristics and structure of a lowland dipterocarp forest at Wanariset Samboja, East Kalimantan, Indonesia. *Reinwardtia*, 12(4), 301-323.
- Keßler, P. J. A., Sidiyasa, Ambriansyah and Zainal, A. (1992) Checklist for a tree flora of the Balikpapan-Samarinda area, East Kalimantan, Indonesia. Tropenbos Technical Series 8.
- Keßler, P. J. A. and Sidiyasa, K. (1994) Trees of the Balikpapan-Samarinda area, East Kalimantan, Indonesia. A manual to 280 selected species. Tropenbos Series 7.
- Kikuta, S., Fujiyama, N., Kahono, S., Kobayashi, N., Hartini, S. and Katakura, H. (2013) Potential ability of the solanum-feeding ladybird beetle *Henosepilachna diffinis* (Coleoptera: Coccinellidae) to use the introduced fabaceous plant *Centrosema molle* in East

- Kalimantan, Indonesia. *Treubia*, 40, 39-46.
- Kinuura, H. (1998) Scolytid beetles fauna and their vertical distribution in Bukit Soeharto Education Forest, East Kalimantan. JICA Expt. Report, 1997-No.4.
- Kinuura, H. (1999) Scolytid beetles fauna of Bukit Soeharto Education Experimental Forest and Bukit Bangkirai in East Kalimantan. JICA Expt. Report, 1999-No.4.
- Koma, Z. (2002) A Synopsis of the Prionine Cerambycid of the Genus *Megobaralipon*, New Status (Coleoptera, Cerambycidae, Prioninae): Revisional Studies of the Genus *Megopis* sensu LAMEERE, 1909-1. *Elytra* 30(1), 219-234.
- Komiya, Z. and Makiyara, H. (2001) Two new species of the Genus *Megopis* (Coleoptera, Cerambycidae) from Indonesia and Malaysia. *Elytra*, Tokyo, 29(1), 33-40.
- Kon, M., Ochi, T., Ôhara, M., Ueda, A. and Hartini, S. (2008) A new record of *Oniticellus cinctus* (Coleoptera, Scarabaeidae) from Borneo. *Elytra*, Tokyo, 36, 290.
- Maeto, K. (2010) Parasitoid diversity in changing forest landscape after fires in East Kalimantan, Indonesia. Proceedings of International seminar on CDM Plantation and Biodiversity -Results of collaborative research in East Kalimantan-, 24 February 2009, FFPRI, Tsukuba, 27-29.
- Maeto, K., Noerdjito, W. A., Belokobylskij, S. A. and Fukuyama, K. (2009) Recovery of species diversity and composition of braconid parasitic wasps after reforestation of degraded grasslands in lowland East Kalimantan. *Journal of Insect Conservation*, 13, 245-257.
- Makiyara, H. (1999) Atlas of Longicorn Beetles in Bukit Soeharto Education Forest, Mulawarman University, East Kalimantan, Indonesia. PUSREHUT Special Publication, (7), 140 pp., 40 pls.
- Makiyara, H. and Aoki, J. (2017) Vertical Distribution of *Trachypolis bicarinata* (Pascoe) (Coleoptera, Zopheridae) Collected by Hanging Traps Set on High Towers in the Forests of East Kalimantan, Indonesia. *Elytra*, Tokyo, New Series, 7, 439-444.
- Makiyara, H. and Kinuura, H. (1996) Vertical distribution of insect fauna on the tower and Cerambycid and Scolytid beetles. JICA Expt. Rep. 1996-No.2. (In English)
- Makiyara, H., Kinuura, H., Yahiro, K., and Soeyamto, Ch. (1999) Effects of forest fires on various coleopterous insects in a tropical rain forest of East Kalimantan. Proceedings of the 3rd International Symposium on Asian Tropical Forest Management, 584-594.
- Makiyara, H., Kinuura, H., Yahiro, K. and Soeyamto, Ch. (2000) The effect of Droughts and Fires on Coleopteran Insects in lowland Dipterocarp Forests in Bukit Soeharto, East Kalimantan. In: Guhardja E. *et al.* (Eds) Rainforest Ecosystems of East Kalimantan – El Niño, Drought, Fire and Human Impacts. Ecological Studies Vol. 140. Springer, Tokyo, 153-163.
- Makiyara, H. and Noerdjito, W. A. (2004) Longicorn beetles of Museum Zoologicum Bogoriense, identified by Dr. E. F. Gilmour, 1963 (Coleoptera: Disteniidae and Cerambycidae). *Bull. For. Forest Prod. Res. Inst.*, 3(1), 49-98.
- Makiyara, H., Noerdjito, W. A. and Budi F. (2003) Actuality of Sebulu Experimental Forest in East Kalimantan — On cerambycid beetles profile in burnt forest from January to February in 2003—. Proceedings of the International Workshop on the Landscape Level Rehabilitation of Degraded Tropical Forests, Southeast Asia 2003, 61-76.
- Makiyara, H., Noerdjito, W. A. and Matsune, K. (2004) Profile of cerambycid beetles fauna in Sebulu Experimental Forest of East Kalimantan. Proceedings of the International Workshop on the Landscape Level Rehabilitation of Degraded Tropical Forests, Southeast Asia 2004, 75pp.
- Makiyara, H. and Okabe H. (2005) Fauna of coleopteran borer, especially cerambycid beetles in four years after eruption of Mt. Oyama in Miyake Islands, Tokyo Pref., Japan. Proceedings of the International Workshop on the Landscape Level Rehabilitation of Degraded Tropical Forests, Southeast Asia 2005, 65-78.
- Makiyara, H., Simbolon, H., Sugiarto, Budi, F. & Iskandar, B. R. E. (2002) Atlas of Longicorn Beetles in Bukit Bankirai Forest, PT. Inhutani I, East Kalimantan, Indonesia. JICA Follow Up, Tropical Rain Forest Research Project Expt. Rep., 70 pp., 56 pls.
- Makiyara, H. and Sugiarto (2004) Are the beetles alive or dead in burnt snags just after forest fire? In case of East Kalimantan. Proceedings of the International Workshop on the Landscape Level Rehabilitation of Degraded Tropical Forests, Southeast Asia 2004, 61pp.
- Makiyara, H., Sugiarto and Toma, T. (2015) Stag beetles in Bukit Soeharto and Bukit Bankirai Forests, East Kalimantan, Indonesia. *Bull. For. Forest Prod. Res. Inst.*, 14(1), 49-64.
- Matsumoto, K. (2002) *Papilio demoleus* (Papilionidae) in Borneo and Bali. *Journal of the Lepidopterists' Society*, 56, 108-111.
- Matsumoto, K. and Noerdjito, W. A. (2010) Species richness and species composition of butterflies in *Imperata* grassland, *Acacia mangium* plantation and burnt and unburnt forests in East Kalimantan. Proceedings

- of International seminar on CDM Plantation and Biodiversity -Results of collaborative research in East Kalimantan-, 24 February 2009, FFPRI, Tsukuba, 19-21.
- Matsumoto, K., Noerdjito, A. W. and Fukuyama, K. (2015) Restoration of butterflies in *Acacia mangium* plantations established on degraded grasslands in East Kalimantan. *Journal of Tropical Forest Science*, 27, 47-59.
- Mori, T. (2000) Effects of drought and forest fires on dipterocarp forest in East Kalimantan. In: Guhardja E. et al. (Eds) *Rainforest Ecosystems of East Kalimantan – El Niño, Drought, Fire and Human Impacts*. Ecological Studies Vol. 140. Springer, Tokyo, 29-48.
- Newman, M. F., Burges, P. F. and Whitmore, T. C. (1996) *Manuals of Dipterocarps for Foresters: Borneo Island light hardwoods*. Royal Botanic Garden Edinburgh.
- Newman MF, Burges, PF, Whitmore TC. 1998. *Manuals of Dipterocarps for Foresters: Borneo Island medium and heavy hardwoods*. Royal Botanic Garden Edinburgh.
- Niisato, T. and Makihara H. (1999) Two new *Paramimistena* (Coleoptera, Cerambycidae) from Western Kalimantan. *Elytra*, Tokyo, 27(2), 327-334.
- Noerdjito, W. A., Makihara, H. and Sugiarto (2003) How to find out indicated cerambycid species for forest condition status in case of Gunung Halimun National Park, West Java and Bukit Bangkirai Forest, East Kalimantan. *Proceedings of the International Workshop on the Landscape Level Rehabilitation of Degraded Tropical Forests, Southeast Asia 2003*, 57-60.
- Noerdjito, W. A., Makihara, H. and Sugiarto (2004) Differences and features of cerambycid fauna with fragment of primary, secondary and degraded forests in landscape affected by human impacts and fire disturbance, East Kalimantan, Indonesia. *Proceedings of the International Workshop on the Landscape Level Rehabilitation of Degraded Tropical Forests, Southeast Asia 2004*, 63-73.
- Noerdjito W. A., Makihara, H. and Sugiarto (2010) Evaluation of various forest conditions based on longicorn beetles (Coleoptera; Cerambycidae) as bio-indicators in East Kalimantan. *Proceedings of International seminar on CDM Plantation and Biodiversity -Results of collaborative research in East Kalimantan-, 24 February 2009, FFPRI, Tsukuba*, 30-38.
- Nuguroho, H., Kojima, J. and Carpenter, J. M. (2011) Checklist of vespidae species (Insecta: Hymenoptera: Vespidae) occurring in Indonesian Archipelago. *Treubia*, 38, 71-186.
- Ochi, T. (2007) Notes on the coprophagous scarab-beetles (Coleoptera, Scarabaeidae) from Southeast Asia (XIV). A new subgenus and four new species of *Onthophagus* from Borneo. *Entomol. Rev. Jap.*, 62, 91-102.
- Ochi, T. and Kon, M. (2006a) Notes on the coprophagous scarab-beetles (Coleoptera, Scarabaeidae) from Southeast Asia (XII). Six new species of *Onthophagus* (*Indachorius*) from Borneo. *Entomol. Rev. Jap.*, 61, 169-180.
- Ochi, T. and Kon, M. (2006b) Notes on the coprophagous scarab-beetles (Coleoptera, Scarabaeidae) from Southeast Asia (XIII). Seven new species of *Onthophagus* (*Onthophagus*) from Borneo. *Entomol. Rev. Jap.*, 61, 181-194.
- Ochi, T., Kon, M. and Barclay, M. V. L. (2009) Notes on the coprophagous scarab-beetles (Coleoptera, Scarabaeidae) from Southeast Asia (XXII). A new species of *Haroldius* and four new species of *Panelus* from Borneo. *Entomol. Rev. Jap.*, 64, 237-246.
- Ochi, T., Kon, M. and Hartini, S. (2008) Three new species of the genus *Ochicanthon* (Coleoptera: Scarabaeidae) from Java and Borneo. *Entomol. Rev. Jap.*, 62, 243-253.
- Ochi, T., Ueda, A. and Kon, M. (2006) *Ochicanthon* (Coleoptera, Scarabaeidae) from Borneo, with descriptions of four new species and a key to the Bornean species. *Elytra*, Tokyo, 34, 309-325.
- Quicke, D. L. J., Butcher, B. A., Ranjith, A. P. and Belokobylskij, S. A. (2017) Revision of the non-Afrotropical species of *Trigastrotheca* Cameron (Hymenoptera: Braconidae: Braconinae) with descriptions of four new species. *Zootaxa*, 4242(1), 95-110.
- Soda, R., Nakamura, K., Mastune, K., Nakama, E., Harada, Y. and Sasaki, S. (1999) Insect damage on mahogany and teak trees in East Kalimantan, Indonesia. *Proceedings of International Workshop BIO-REFOR, Nepal*, 1999. 109-111.
- Soeyamto, Ch., Makihara, H., Sugiarto and Budi, F. (2000) *Atlas of Stag Beetles in Bukit Soeharto Education Forest of Mulawarman University and Bukit Bangkirai Forest of Inhutani-1 in East Kalimantan, Indonesia*. JICA Expt. Rep., 33 pp., 36 figs., PUSREHUR and JICA (English and Indonesian Language).
- Sugiarto (2004) *Population Dynamics and Changes in Biodiversity of Cerambycid Beetles Before and After the Forest Fires in Bukit Soeharto Education Forest, East Kalimantan, Indonesia*. Ehime University, Master Thesis
- Sugiarto (2015) *Studies on species diversity of Cerambycidae (Longicorn beetles) on some habitat types in East Kalimantan*. Dissertation thesis, Mulawarman University. (In Indonesian with English

- abstract)
- Sugiarto, Boer, C. and Mardji, D. (2016) Species diversity of cerambycid beetles at reclamation area of coal mining in Berau District, East Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas*, 17, 200-207.
- Sukardjo S., Hagihara A., Yamakura T. and Ogawa H. (1990) Floristic composition of a tropical rain forest in Indonesian Borneo. *Bull. Nagoya Univ. For.* 10, 1-44.
- Ueda, A., Dwibadra, D., Kon, M. and Fukuyama, K. (2010) Preliminary study of changes in dung and carrion scarabaeid beetle diversity associated with planting of *Acacia mangium* in grasslands. *Proceedings of International seminar on CDM Plantation and Biodiversity -Results of collaborative research in East Kalimantan-*, 24 February 2009, FFPRI, Tsukuba, 22-26.
- Ueda, A., Dwibadra, D., Noerdjito, W. A., Kon, M. and Fukuyama, K. (2015a) Comparison of baits and types of pitfall traps for capturing dung and carrion scarabaeid beetles in East Kalimantan. *Bull. For. Forest Prod. Res. Inst.*, 14, 15-28.
- Ueda, A., Dwibadra, D., Noerdjito, W. A., Sugiarto, Kon, M., Ochi, T., Takahashi, M. and Fukuyama, K. (2015b) Effect of habitat transformation from grassland to *Acacia mangium* plantation on dung beetle assemblage in East Kalimantan, Indonesia. *J. Insect Conserv.*, 19, 765-780.
- Ueda, A., Dwibadra, D., Noerdjito, W. A., Sugiarto, Kon, M., Ochi, T., Takahashi, M. and Fukuyama, K. (2017) List of dung beetles (Coleoptera : Coprophagous group of Scarabaeoidea) collected in lowland near Balikpapan, East Kalimantan, Indonesia. *Bull. For. Forest Prod. Res. Inst.* 16(2), 109-119.
- Ueda, A., Dwibadra, D., Noerdjito, W. A., Sugiarto, Kon, M., Ochi, T., Takahashi, M., Igarashi, T. and Fukuyama, K. (2015c) Buffer zones for placing baited traps in grasslands bordering forests and availability of riparian reserves of trees in grasslands: A preliminary study for dung beetle assemblages in East Kalimantan, Indonesia. *Bull. For. Forest Prod. Res. Inst.* 14, 125-134.
- Ueda, A., Dwibadra, D., Noerdjito, W. A., Sugiarto, Kon, M., Ochi, T., Takahashi, M., Igarashi, T. and Fukuyama, K. (2015d) Effects of distance from devastated forests and topography on dung beetle assemblages in burned forests of East Kalimantan, Indonesia. *Bull. For. Forest Prod. Res. Inst.* 14, 135-144.
- Yahiro, K. (1996) Beetles fauna in Bukit Soeharto Education Forest. JICA Expt. Report 1995-No.3. (In English)
- Yahiro, K., Ito, N. and Makihara, H. (2000) Record of Ground Beetles (Coleoptera: Carabodae) Collected by a Malaise Trap from Bukit Soeharto, East Kalimantan. *Ent. Rev. Japan*, 55(2), 113-116.
- Yajima, T. (1988) Change in the terrestrial invertebrate community structure in relation to large fires at the Kutai National Park, East Kalimantan (Borneo), Indonesia. In Tagawa, H. and Wiraman, N. (eds.): A research on the process of earlier recovery of tropical rain forest after large scale fire in Kalimantan Timur, Indonesia. Kagoshima Univ. Occasional Papers No. 14, 63-81.
- Yamakura, T., Hagihara, A., Sukardjo, S. and Ogawa, H. (1986) Aboveground biomass of tropical rain forest stands in Indonesian Borneo. *Vegetatio*, 68, 71-82.
- Yamane, S. (1994) Ant fauna of fire-damaged areas in the Kutai National Park, East Kalimantan, Indonesia. In Azuma, S. and Wirawan, N. (eds.): Early recovery process of Kutai Ecosystem – A preliminary Report-. Kyoto University Overseas Research Report of Studies on Asian Non-human primates: Special number, 67-78.
- Yamasako, J. and Makihara H. (2017) Review of the genus *Anipocregyes* Breuning, 1939 with two new species from Borneo (Coleoptera, Cerambycidae, Lamiinae, Mesosini). *Zootaxa*, 4256 (5), 461-474.
- Yokoi, Y., Makihara, H. and Noerdjito, W. A. (2016) Notes on the Genera *Examnes* and *Pelosus* (Coleoptera, Cerambycidae) in East Kalimantan., *Elytra*, Tokyo, N.S., 6(2), 229-246.

日本語文献

- 青木 淳一・原田 洋 (1982) 東カリマンタン (ボルネオ) の土地利用による環境変化と土壌動物相. 横浜国立大学環境科学研究センター紀要, 8(2), 341-378.
- 藤田 宏 (2010) サマリダニセツノヒョウタンクワガタ *Novonigidius* sp. 世界のクワガタムシ大図鑑, 401, fig. 1287
- 広渡 俊也 (2007) 鱗翅目昆虫を利用した森林環境の評価に関する研究. 環動昆, 18(4), 177-187. <http://doi.org/http://doi.org/10.11257/jjeez.18.177>
- 横原 寛・衣浦 晴生 (1997) タワーを利用した昆虫相の垂直分布の比較とブキツスハルト試験林内のカミキリムシ・キクイムシ類. 海外林業研究業務報告書, 101-110.
- 横原 寛 (1998) 東カリマンタン低地のカミキリムシ類. 昆虫と自然, 33(3), 9-15.
- 横原 寛 (1999) 動物生態. 熱帯降雨林研究計画 (III) 総合報告書, 28-33.
- 横原 寛 (2000a) 熱帯降雨林のカミキリムシの生態. 昆虫と自然, 35(13), 19-23.
- 横原 寛 (2000b) 熱帯降雨林の昆虫採集学. 馬場 金太郎・平嶋 義宏編 “新版昆虫採集学”. 九州大学

出版会.

- 楨原 寛 (2001a) カミキリムシは訴える. 科学のひろば, しんぶん赤旗, 2001 年 6 月 3 日
- 楨原 寛 (2001b) 熱帯降雨林の生物多様性の高さと、そこにおける森林火災がカミキリ相に与えた影響. 日本昆虫学会 61 回大会講演要旨
- 楨原 寛 (2001) 熱帯降雨林の生物多様性の高さとそこにおける森林火災が昆虫類に与えた影響. 研究の“森”から, (91).
- 楨原 寛 (2004a) 熱帯のカミキリ 驚異の多様性. 読売新聞 2004 年 1 月 27 日
- 楨原 寛 (2004b) インドネシア・東カリマンタンにおけるタマムシ 2 種の生態. 月刊むし, 395, 14-15.
- 楨原 寛 (2004c) インドネシア東カリマンタンのカミキリムシ 4 種の生態的知見. 月刊むし, 397, 14-15.
- 楨原 寛 (2004d) アルトカルプスの実を食害するカミキリムシ. 月刊むし, 398, 47-48.
- 楨原 寛 (2007) 熱帯林のカミキリムシ (1) カミキリムシの概要と種の多様性. 海外の森林と林業, 70, 51-58.
- 楨原 寛 (2008a) 熱帯林のカミキリムシ (2) カミキリムシの調査法. 海外の森林と林業, 71, 51-56.
- 楨原 寛 (2008b) 熱帯林のカミキリムシ (4) アジアのカミキリムシ (2) ヒゲナガカミキリ族 (1). 海外の森林と林業, 73, 52-57.
- 楨原 寛 (2009) 熱帯林のカミキリムシ (6) アジアのカミキリムシ (4) シロスジカミキリ族 (1) シロスジカミキリ属. 海外の森林と林業, 75, 59-64.
- 楨原 寛 (2010) 熱帯林のカミキリムシ (10) 環境指標としてのカミキリムシ. 海外の森林と林業, 79, 55-60.
- 楨原 寛 (2010) 森をはかる その 42. カミキリムシで森林環境の自然度をはかる. 森林科学, 58, 44.
- 楨原 寛 (2013) 熱帯降雨林のカミキリムシ. 新里 達也編“カミキリ学のすすめ”. 海游舎, 125-190.
- 楨原 寛 (2014a) 移動する森林昆虫類 (3) 人工林の増加により分布拡大をした 2 種の昆虫. 海外の森林と林業, 90, 40-44.
- 楨原 寛 (2014b) 移動する森林昆虫類 (4) マダガスカルから日本までやってきた、ムツボシシロカミキリ. 海外の森林と林業, 91, 46-51.
- 楨原 寛 (2015) 移動するカミキリムシ類. 岩淵 喜久男編“カミキリムシの生態”, 北隆館, 東京, 340-374.
- 楨原 寛・衣浦 晴生・八尋 克郎 (2000) 熱帯降雨林における森林火災が各種甲虫類に与えた影響 (I). 森林防疫, 49(7), 2-8.
- 楨原 寛・衣浦 晴生・八尋 克郎 (2000) 熱帯降雨林における森林火災が各種甲虫類に与えた影響 (II). 森林防疫, 49(8), 7-12.
- 楨原 寛・松本 和馬 (2006) マレーアオスジカミキリが最近、東カリマンタンで記録されるようになった理由. 熱帯林業, 66, 57-62.
- 楨原 寛・ウオロー A. ノエルジット・スギアルト (2004) 東カリマンタン低地林に生息するカミキリムシ —アルトカルプストラップと森林環境指標カミキリムシ—. 昆虫と自然, 39(6), 28-31.
- 楨原 寛・Sugiarto・Woro A. Noerdjito (2002) インドネシア森林火災 4 年後のカミキリ相. 日本甲虫学会 2002 年次大会・日本鞘翅学会第 15 回大会講要, 16-17.
- 楨原 寛・Sugiarto・Woro A. Noerdjito (2008) 熱帯降雨林の樹冠部に生息するカミキリムシのトラップを用いた調査報. 昆虫と自然, 43(1), 14-22.
- 松本 和馬 (2006) 東南アジア島嶼におけるオナシアゲハの分布拡大. 熱帯林業, 67, 2-9.
- 松本 和馬 (2012) 熱帯におけるチョウ類の分布拡大と人為の関わり. 昆虫と自然, 47(6), 24-27.
- 松本 和馬 (2016) 熱帯におけるチョウ類の分布拡大と人為の関わり. 井上 大成・石井 実編集“チョウの分布拡大”. 北隆館, 東京, 316-330.
- 森 徳典 (2000) ブキッスハルトの森で見たこと、考えたこと — JICA 熱帯降雨林研究プロジェクト 15 年の成果を元に —. 熱帯林業, 47, 2-10.
- 大桃 定洋・秋山 黄洋 (2000) ボルネオカタビロタマムシ, クラヤミホソタマムシ. 世界のタマムシ大図鑑, 166, fig. 452, 187, fig. 721.
- 藤間 剛 (1999) ボルネオ島東部の異常乾燥と森林火災. Tropics 9, 55-72.
- 上田 明良・Dwibadra, D.・Noerdjito, W. A.・Sugiarto (2016) 熱帯草原の森林化が糞虫群集に与える影響. 昆虫と自然, 51(5), 16-20.
- 八尋 克郎・楨原 寛・衣浦 晴生・伊藤 昇 (1999) 東カリマンタン熱帯降雨林における森林火災がゴミムシ類に与えた影響. 日本昆虫学会第 59 回大会講演要旨

Appendix

東カリマンタンの調査中に採集された昆虫類で Holotype (模式標本) ないしは paratype (副模式標本) として指定された種類. 2 目 3 科 45 種で、このうち、コガネムシ科 6 種とカミキリムシ科 34 種を図示した。

Order Coleoptera コウチュウ目

Family Scarabaeidae コガネムシ科

Subfamily Scarabaeinae タマオシコガネ亜科

1. *Ochicanton simboroni* Ochi et Kon, 2006, type locality: Sungai Wain.
2. *Ochicanton uedai* Ochi, Kon et Hartini, 2007, type locality: Sungai Wain.
3. *Ochicanthon woroae* Ochi, Ueda et Kon, 2006, type locality: Sungai Wain. (Fig. 1)

Appendix images

1. *Ochicanton woroae*2. *Panelus kalimantanicus*3. *Onthophagus (Indachorius) uedai*4. *Onthophagus (Indachorius) woroae*5. *Onthophagus (Pseudophanaeomorphus) sugihartoi*6. *Onthophagus (Hikidaeus) simboroni*

4. *Panelus kalimantanicus* Ochi, Kon et Barclay, 2009, type locality: Sungai Wain. (Fig. 2)
5. *Onthophagus (Indachorius) uedai* Ochi et Kon, 2006, type locality: Sungai Wain. (Fig. 3)
6. *Onthophagus (Indachorius) woroae* Ochi et Kon, 2006, type locality: Sungai Wain. (Fig. 4)
7. *Onthophagus (Pseudophanaeomorphus) chandrai* Ochi, 2006, type locality: Sungai Wain. (Fig. 5)
8. *Onthophagus (Pseudophanaeomorphus) sugihartoi* Ochi, 2006, type locality: Sungai Wain.
9. *Onthophagus (Hikidaeus) simboroni* Ochi et Kon, 2006, type locality: Sungai Wain. (Fig. 6)

Family Cerambycidae カミキリムシ科

Subfamily Prioninae ノコギリカミキリ亜科

10. *Megobaralipton kalimantanum* (Komiya et Makihara, 2001), type locality: Bukit Soeharto. (Fig. 7)

Subfamily Cerambycinae カミキリ亜科

11. *Demonax aberratus* Dauber, 2016, type locality: Bukit Soeharto. (Fig. 8)

12. *Demonax acutatus* Dauber, 2016, type locality: Bukit Bangkirai. (Fig. 9)
13. *Demonax acutus* Dauber, 2016, type locality: Bukit Bangkirai. (Fig. 10)
14. *Demonax alcelloides* Dauber, 2016, type locality: Bukit Bangkirai. (Fig. 11)
15. *Demonax algebraicoides* Dauber, 2016, type locality: Bukit Bangkirai. (Fig. 12)
16. *Demonax antennarius* Dauber, 2016, type locality: Bukit Bangkirai. (Fig. 13)
17. *Demonax deceptus* Dauber, 2016, type locality: Bukit Soeharto. (Fig. 14)
18. *Demonax despectus* Dauber, 2016, type locality: Bukit Bangkirai.
19. *Demonax favens* Dauber, 2016, type locality: Bukit Bangkirai. (Fig. 15)
20. *Demonax globicollis* Dauber, 2016, type locality: Bukit Bangkirai. (Fig. 16)
21. *Demonax henrici* Dauber, 2016, type locality: Bukit Soeharto. (Fig. 17)
22. *Demonax hiroshii* Dauber, 2016, type locality: Bukit



7. *Megobaralipiton kalimantanum* 8. *Demonax aberratus* 9. *D. acutatus* 10. *D. acutus*



11. *D. alcelloides* 12. *D. algebraicoides* 13. *D. antennarius* 14. *D. deceptus* 15. *D. faveris*



16. *D. globicollis* 17. *D. hendrici* 18. *D. hiroshii* 19. *D. maculifer* 20. *D. parallinus*

Soeharto. (Fig. 18)

23. *Demonax maculifer* Dauber, 2016, type locality: Bukit Bangkirai. (Fig. 19)

24. *Demonax parallinus* Dauber, 2016, type locality: Bukit Soeharto. (Fig. 20)

25. *Demonax promptus* Dauber, 2016, type locality: Bukit Bangkirai. (Fig. 21)

26. *Demonax punctatus* Dauber, 2016, type locality: Bukit Bangkirai. (Fig. 22)

27. *Demonax rubricus* Dauber, 2016, type locality: Bukit Bangkirai. (Fig. 23)

28. *Demonax spadiceus* nov. Dauber, 2016, type locality:

Bukit Bangkirai. (Fig. 24)

29. *Demonax triangularis* Dauber, 2016, type locality: Bukit Bangkirai. (Fig. 25)

30. *Demonax vulbus* Dauber, 2016, type locality: Lempake. (Fig. 26)

31. *Examnes curticornis* Yokoi, Makiyama et Woro A. Noerdjito, 2016, type locality: Bukit Soeharto. (Fig. 27)

32. *Examnes kawakamii* Yokoi, Makiyama et Woro A. Noerdjito, 2016, type locality: Bukit Soeharto. (Fig. 28)

33. *Merionoeda hendrai* Yokoi et Niisato, 2012, paratype: Bukit Soeharto. (Fig. 29)

34. *Merionoeda makiharai* Yokoi et Niisato, 2012,

21. *Demonax promptus*22. *D. punctatus*23. *D. rubricus*24. *D. spadiceus*25. *D. triangularis*26. *D. vulbis*27. *Examnes curticornis*28. *E. kawakamii*29. *Merionoeda (Merionoeda) hendrai*30. *M. (M.) makiharai*31. *Oligoenoplus simulatrix*

paratype: Bukit Soeharto. (Fig. 30)

35. *Oligoenoplus simulatrix* Dauber, 2016, type locality: Bukit Soeharto. (Fig. 31)

36. *Paramimistena immaculicollis* Niisato et Makihara, 1999, type locality: Bukit Soeharto. (Fig. 32) (Niisato and Makihara, 1999)

37. *Paramimistena brevis* Niisato et Makihara, 1999, type locality: Bukit Soeharto. (Fig. 33) (Niisato and Makihara, 1999)

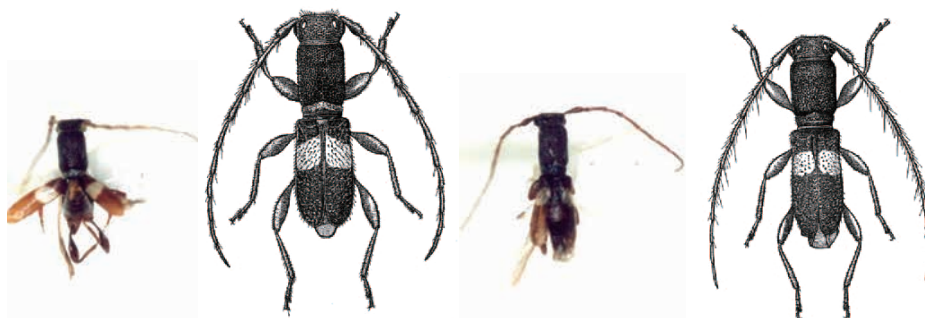
38. *Pelossus kalimantanus* Yokoi, Makihara et Woro A. Noerdjito, 2016, type locality: Bukit Soeharto. (Fig. 34)

39. *Pelossus wakabayashii* Yokoi, Makihara et Woro A. Noerdjito, 2016, type locality: Bukit Soeharto. (Fig. 35)

40. *Perissus flavus* Dauber, 2016, type locality: Bukit Bangkirai. (Fig. 36)

41. *Psilomerus rugosus* Dauber, 2016, type locality: Bukit Bangkirai. (Fig. 37)

42. *Psilomerus simulator* Dauber, 2016, type locality: Bukit



32. *Paramimistena brevis*

33. *P. immaculicollis*



34. *Pelossus kalimantanus*

35. *P. wakabayashii*

36. *Perissus flavus*

37. *Psilomerus rugosus*



38. *P. simulator*

39. *Anipocregys kawakamii*

40. *A. wakabayashii*

Soeharto. (Fig. 38)

Subfamily Lamiinae フトカミキリ亜科

43. *Anipocregys kawakamii* Yamasako et Makihara, 2017, type locality: Bukit Soeharto. (Fig. 39)

44. *Anipocregys wakabayashii* Yamasako et Makihara, 2017. type locality: Bukit Soeharto. (Fig. 40)

Order Hymenoptera ハチ目

Family Braconidae コマユバチ科

Subfamily Braconinae コマユバチ亜科

45. *Trigastrotheca maetoi* Quicke & Butcher 2017, type locality: Sungai Wain.

Bibliography of fauna and ecology of insects in East Kalimantan, Indonesia

Hiroshi MAKIHARA^{1)*}, SUGIARTO²⁾, Takeshi TOMA³⁾, Woro A. NOERDJITO⁴⁾,
Kazuma MATSUMOTO⁵⁾, Kaoru MAETO⁶⁾, Akira UEDA⁷⁾ and Hisatomo TAKI⁸⁾

Abstract

This research record chronologically organizes reports on insect species and ecology in East Kalimantan, Indonesia. The reports are mainly based on fieldworks conducted by the authors since the late 1990s. Brief annotation are added to each report. A list of 45 newly described insect species collected by the authors is shown with images of the 6 new species of Scarabaeidae and the 34 new species of Cerambycidae.

Keywords: Bukit Bangkirai, Bukit Soeharto, Cerambycidae, Scarabaeidae, Sungai Wain

Received 25 October 2017, Accepted 7 March 2018

1) Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Kutai Timur Agricultural College

3) Department of Forest Vegetation, FFPRI

4) Research Center for Biology, Indonesian Institute for Science

5) Association of International Research Initiative for Environmental Studies

6) Department of Agrobioscience, Kobe University

7) Kyushu Research Center, FFPRI

8) Department of Forest Insects, FFPRI

* Isumi, Chiba, JAPAN; e-mail: hmakihara@outlook.com

研究資料 (Research record)

事務所内装写真を用いた聞き取り調査に対する対応分析の有用性について

末吉 修三^{1)*}

要旨

本研究の目的は、事務所の内装写真を用いた聞き取り調査で得られたテキストデータの解析における対応分析活用の有用性を確かめることである。このテキストデータはすでに公表されているが、次のようにして得られた。被験者に対して 20 枚の事務所内装写真を提示し、類似の印象を持つグループに分けさせた。その後、グループごとに、事務所内装写真から想像できる会社およびそこで働く人々の印象を答えさせた。このテキストデータの形態素解析によって、「木材」、「柱」、「天井」、「家具」、「机」、「椅子」、「絵画」および「植物」が使用頻度の高い名詞として抽出された。これらは、事務所内装写真の印象を決定づける被写体と考えられる。また、写真から受ける印象を表現する形容詞として、「あたたかい」、「静か」、「快適」、「友好的」、「明るい」、「暗い」、「冷たい」および「堅苦しい」の使用頻度が高いことがわかった。これら使用頻度の高い語と写真番号について対応分析を行うとともに、聞き取り調査で用いた写真の色分析を行った。対応分析によって、内装写真の印象を区別することができた。さらに、対応分析と内装写真の色分析を組み合わせることによって、被験者が「木材」の黄赤系の鮮やかな色彩に注目して、事務所内装写真を分類していることがわかった。これらの結果は、対応分析がテキストデータに基づく木質内装の視覚的影響の評価に有用であることを示唆するものである。

キーワード：木質内装、事務所、聞き取り調査、対応分析、色分析

1. はじめに

木材利用の太宗を占める建築環境において、木材が人の五感に及ぼす影響を明らかにすることは、木材を有効に利用する上で重要な課題である。人が五感を通じて得る情報の大半は、視覚を通じて得られると考えられている(石川 1972)。木材の視覚特性については、主観評価、生理応答、画像解析などを組み合わせた研究が行われている(仲村 2012)。しかしながら、自由回答を含む聞き取り調査で得られたテキストデータを計量的に分析した例(末吉・森川 2016)は少なく、テキストデータに基づく木材の視覚特性に関する研究に適用できるような分析方法の有用性を検証した先行研究は見当たらない。

一方、アンケート調査や聞き取り調査が進められることが多い社会調査などでは、「日本語の電子処理が可能になったことや言語情報処理分野の諸研究が進んだことから、テキスト型あるいは文章型データの解析方法への関心が高まっている(大隅 2001)。」このような解析方法は計量的テキスト分析と呼ばれ、大量のテキストデータや各種の文書資料の分析に利用されている。

多くの市販ソフトウェアが計量的テキスト分析に使われる中で、フリーソフトウェアによる計量的テキスト分析が提案されている(樋口 2014)。この計量的テ

キスト分析では、対象となるテキストデータを形態素解析によって、文法的に意味のある最小の構成単位(以下、語と呼ぶ)に分割し、品詞情報を与えて、品詞ごとに語の出現頻度を算出する。つぎに、出現頻度などを指標として抽出した語同士の類似度に基づいて、各種の統計的解析によって、2次元ないしは3次元の図上に語を位置付けたり、ネットワークを構築したりして、語同士の関係性を明らかにすることができる。

統計的解析の中で、対応分析(補注 A)は、頻度データや質的データの個体と変数との関連性やパターン分析を行う方法の一つである(金 2017)。例えば国の政策に関わる計画(崔・浅見 2004)、市民アンケート調査(森田ら 2012)、審議会の議事録(中谷ら 2014)など、様々なテキストデータの分析に活用されている。

本研究では、テキストデータに基づく木材の視覚特性に関する研究に対して、適用の可能性がある分析方法として、対応分析を取り上げた。事務所の内装写真を用いた聞き取り調査で得られたテキストデータ(末吉・森川 2015)を検証用データとして用い、形態素解析から対応分析に至る計量的テキスト分析を行うとともに、事務所の内装写真の色分析を行った。これらの分析を組み合わせることによって、対応分析の有用性を示す結果が得られたので報告する。

原稿受付：平成 29 年 12 月 19 日 原稿受理：平成 30 年 3 月 22 日

1) 森林総合研究所 複合材料研究領域

* 森林総合研究所 複合材料研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里 1

2. 方法

2.1 テキスト型データの計量的分析

検証用データとして、既報（末吉・森川 2015）の事務所内装写真を用いた聞き取り調査（補注 B）のテキストデータを用いた。計量的テキスト分析は、KH Coder（補注 C）によって行った。分析の手順は以下の通りである。被験者によって分けられたグループごとの写真番号および二つの質問に対する自由回答を一つの文書とする。これらの文書で構成された全テキストデータを KH Coder に組み込まれた形態素解析ソフトウェア茶筌（補注 D）を用いて分析する。全テキストデータを文法的に意味のある最小の構成単位の語に分割して、出現頻度を算出する。Table 1 に出現頻度が比較的高い語を品詞ごとに示す。

次に、語の出現頻度と品詞に着目して、被験者の印象の表現に関わると考えられる語を抽出し、分析を行った。ここで、KH Coder に備えられた計量的テキスト分析の統計的解析機能の中から、上述の通り対応分析を用いた。

2.2 事務所内装写真の色分析

Fig. 1 の事務所内装写真 20 枚は、既報（末吉・森川

2015, 2016）で示したものと同様に、日本国内で発行された雑誌に公開されたものを用いた。写真 2, 7, 10, 11, 12, 14, 15, および 17 は木質の事務所内装で、写真 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 13, 16, 18, 19, および 20 は非木質の事務所内装である。写真画像の色分析は、画像処理ソフトウェア ImageJ（補注 E）で行った。Table 2 にマンセル表色系と CIE L*a*b* 表色系のデータをまとめて示した。マンセル表色系は、色相、明度、および彩度で表される。CIE L*a*b* 表色系は、木材色の黄赤系の色度を表現する表色系としてよく用いられる（仲村・上田 2013）。L* は色の明度、a* は緑と赤の間の位置（－が緑寄り、＋が赤寄り）、b* は青と黄の間の位置（－が青寄り、＋が黄寄り）をそれぞれ表している。

3. 結果および考察

Table 1 の中で、被験者の印象の表現に関わると考えられる語として、名詞では、「wood」（木材）、「Photograph numbers, P1-P20」（写真番号）、「pillar」（柱）、「ceiling」（天井）、「desk」（机）、「chair」（椅子）、「furniture」（家具）、「picture」（絵画）、「plant」（植物）、形容詞では、「warm」（あたたかい）、「comfortable」（快適な）、「calm」（静か）、「friendly」（友好的）、「bright」（明るい）、「dark」（暗

Table 1. 形態素解析の結果
Result of morphological analysis.

名詞 Noun	出現頻度 Frequency	形容詞 Adjective	出現頻度 Frequency	動詞 Verb	出現頻度 Frequency
社員 worker	276	あたたかい warm	25	使う use	52
会社 company	272	少ない less	24	見える look	33
内装 interior	77	快適（な） comfortable	21	働く work	33
空間 space	52	多い many	20	持つ have	30
木材 wood	32	静か calm	18	与える give	18
写真番号 photograph numbers, P1-P20	28	明るい bright	13	置く put	17
		冷たい cold	12	開く open	10
部屋 room	27	大きい large	12	仕切る separate	10
柱 pillar	24	高い tall	12		
家具 furniture	22	堅苦しい stiff	8		
雰囲気 atmosphere	21	暗い dark	8		
事務所 office	20				
椅子 chair	18				
天井 ceiling	15				
絵画 picture	13				
材料 material	11				
机 desk	9				
植物 plant	9				



Fig. 1. 事務所内装写真一覧
Photographs of workplace interiors.

注) 写真番号 2,7,10,11,12,14,15,17 は木質内装、写真番号 1,3,4,5,6,8,9,13,16,18,19,20 は非木質内装。
初出は文献 (末吉・森川 2015)。

Note: Photographs 2, 7, 10, 11, 12, 14, 15 and 17 show wood workplace interiors. Photographs 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 13, 16, 18, 19 and 20 show non-wood workplace interiors. This figure appeared in reference (Sueyoshi and Morikawa 2015).

い)、「cold」(冷たい)、「stiff」(堅苦しい)をそれぞれ抽出した。これらの語について対応分析を行った結果を Fig. 2 に示す。図中の写真番号の近くに事務所内装写真を貼付した。なお、本研究では、両方の軸の意味づけを行うことが難しいため、対応分析で得られた第1成分 (Score1) と第2成分 (Score2) をそのまま X 軸と Y 軸にとった。

対応分析では、原点から離れている語ほどその方向において特徴的であることを示す (樋口 2014)。左上端には、「warm」が位置付けられていることから、左上の写真ほどあたたかい印象を与える。周辺には、木質内装写真 (P07, P11, P12, P14, P15, P17)、ならびに

「wood」、「comfortable」、「calm」、「friendly」、「bright」が2次元空間に位置付けられている。このことは、被験者がこれらの木質内装写真を見て、木材の存在を認識し、好ましい印象を持ったことを示している。

左下側には、木質内装写真 (P02, P10)、非木質内装写真 (P09, P16, P18)、「desk」、「chair」、「furniture」、「picture」、および「plant」が同じく位置付けられている。これらの写真は、調度、絵画および植物の視覚的影響によって、類似の印象を被験者に与えたと考えられる。

右側には、非木質内装写真 (P01, P03, P04, P05, P06, P08, P13, P19, P20)、右中段に「dark」、右端に「cold」、右下端に「stiff」が、それぞれ位置付けられている。

Table 2. 事務所内装写真の色彩特性
Color characteristics of workplace interior photographs.

写真番号 Photograph No.	マンセル表色系 Munsell color system			CIE L*a*b*表色系 CIE L*a*b* standard colorimetric system			
	色相(H) Hue	明度(V) Brightness	彩度(C) Chroma	L*	a*	b*	C*
1	4.2GY	7.0	1.3	74.6	-4.9	12.0	12.9
2	7.5YR	6.8	12.8	53.2	7.2	16.5	18.0
3	4.0PB	5.0	2.0	57.5	0.6	-7.8	7.8
4	0.8Y	6.0	2.0	55.3	5.5	23.1	23.8
5	2.5YR	7.4	8.0	44.3	13.7	16.0	21.1
6	5.7R	5.3	1.0	54.2	1.0	1.0	1.4
7	8.6YR	5.0	16.0	58.1	13.0	33.6	36.1
8	5.0B	5.7	1.0	54.7	1.4	-0.1	1.4
9	5.0YR	5.0	2.0	69.6	3.1	10.4	10.9
10	0.4YR	6.2	3.5	51.6	11.1	13.1	17.2
11	0.7YR	5.9	7.7	43.6	31.0	36.0	47.4
12	8.1YR	6.2	17.1	53.4	7.6	25.4	26.5
13	1.4BG	5.4	1.0	57.9	-6.0	0.4	6.0
14	10.0R	5.0	6.0	49.5	17.9	27.8	33.0
15	3.3YR	6.7	11.7	45.1	17.2	25.4	30.7
16	10.0YR	6.8	13.7	52.4	5.6	17.8	18.7
17	9.7R	5.4	11.8	47.9	24.6	38.5	45.7
18	10.0R	5.5	1.0	59.2	3.4	3.7	5.0
19	5.0RP	5.6	3.6	58.0	15.3	-0.3	15.3
20	8.5R	5.6	2.6	56.6	10.4	8.9	13.7

このことは、被験者がこれらの非木質内装写真を見て、冷たくて、暗く、堅苦しい印象を持つ傾向があることを示している。

既報（末吉・森川 2016）では、多次元尺度構成法による解析によって、木質内装写真と非木質内装写真が 2 次元空間に別々に位置付けられた。本研究においても、解析手法が異なるにも関わらず、既報と同様の傾向を示す結果が得られた。

つぎに、マンセル表色系の色相と彩度に基づいて、Fig. 2 の事務所内装写真の色彩をみると、以下の通りである。Fig. 2 の左端近くの「wood」の近辺に位置づけられた木質内装写真（P07, P11, P12, P14, P15, P17）の色相は R 系あるいは YR 系で、彩度が 6～17 と高く、被験者は鮮やかな黄赤色によって、あたたかい印象を持ったことが推察される。一方、Fig. 2 の右端中央に位置する「cold」の付近には、非木質内装写真（P06, P08, P13）が位置づけられている。これらの写真の色相は R 系、B 系、あるいは BG 系であるが、彩度が 1 と低く、冷たい印象を与えたと考えられる。

このような対応分析の布置図と事務所内装写真の色

度や彩度の関係を検証すると以下の通りである。Fig. 2 の左側に「warm」、右側に「cold」がそれぞれ位置付けられていることから、横軸の score1 と色度の関係に着目し、score1 と CIE L*a*b* 表色系の色度座標 a* あるいは b* との関係を Fig. 3 に示した。いずれも負の相関を示しており、score1 が小さくなるほど、写真は黄色と赤色が強くなることがわかる。また、上述の通り、写真の彩度があたたかいあるいは冷たい印象に影響を及ぼしていると考えられることから、マンセル表色系の彩度と Fig. 2 の横軸の score1 との関係を Fig. 4 に示した。Fig. 3 と同様、負の相関を示しており、score1 が小さくなるほど、写真の彩度が高くなる傾向が確かめられた。このように、事務所内装写真の色彩の視覚的影響について、既報（末吉・森川 2016）を補完する有用な情報が得られた。

なお、上述の通り、木質内装写真の色相は R 系あるいは YR 系となるが、非木質内装写真でも、赤みを帯びた灰色の部分が多い写真 P06, P18, P20 の色相は R 系になった。そのため、score1 と色相との間に相関関係は認められなかった。また、score2 については、色分

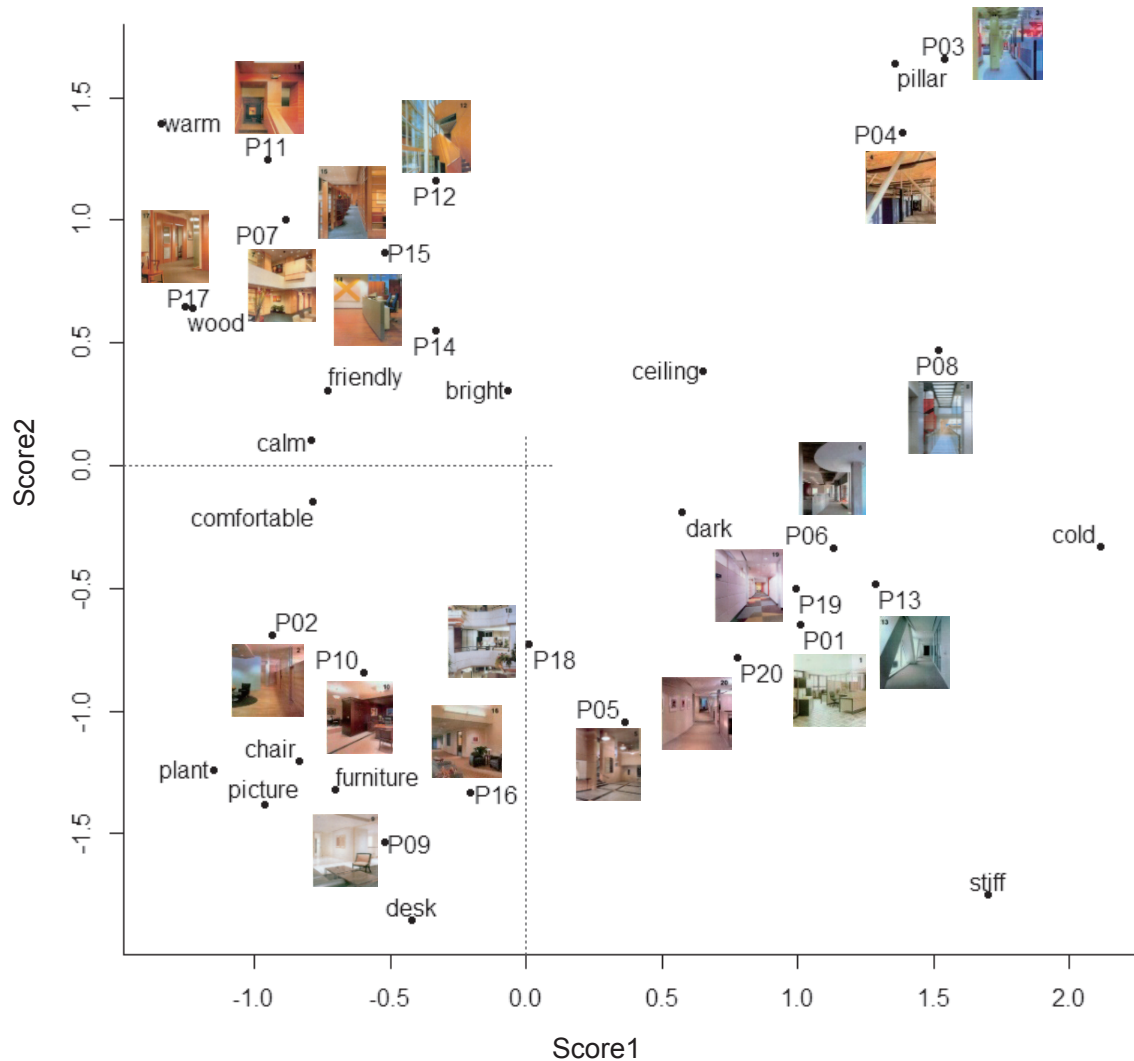


Fig. 2. 対応分析によって生成された写真番号と頻出語の布置図。

Configuration of photograph numbers and frequently used words generated by correspondence analysis.

注) 事務所内装写真を対応する写真番号の点の近くに貼付した。

Note: The photographs of workplace interiors are pasted near the corresponding plots.

析指標との相関関係は認められなかった。

建築構成要素についてみると、Fig. 2 の右側に位置付けられている「pillar」は、垂直や斜めの柱が目立つ非木質内装写真 (P03, P04) の近くに位置付けられており、視覚的影響が大きいと考えられる。また、「ceiling」は、比較的近くに位置付けられている非木質内装写真 (P06, P08, P19) に見られるように、天井の占める割合が大きく、そのデザインに注意が向くような写真では、視覚的影響が大きくなると推察される。

以上のように、被験者は、事務所内装写真の黄赤系の色度および彩度に影響を受けつつ、木材、調度・絵画・植物、建築構成要素などに注目しながら、写真をグループ化していることが、対応分析によって明らかになった。

4. まとめ

木材の視覚特性に関する聞き取り調査で得られたテキストデータを計量的に分析する方法として、対応分析を行ったところ、つぎのことが明らかになった。すなわち、被験者は、事務所内装写真の黄赤系の色度および彩度に影響を受けて、木質内装写真と非木質内装写真を区別するとともに、調度・絵画・植物などの被写体、ならびに柱・天井などの建築構成要素に注目しながら、写真を分類している。この結果は、木材の視覚特性に関する聞き取り調査について、計量的テキスト分析を行い、その過程で統計的解析として対応分析を行うことの有用性を示唆するものである。

本研究では、既報 (末吉・森川 2016) と解析手法が異なるにも関わらず、被験者が木質内装写真と非木質

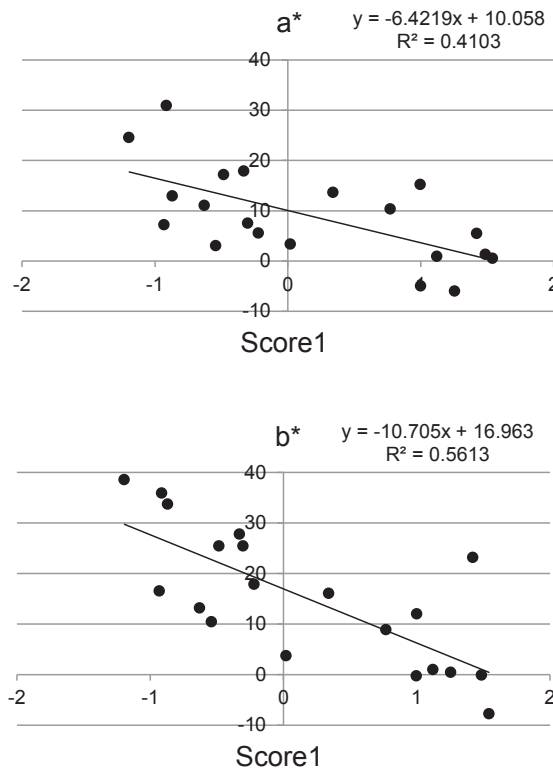


Fig. 3. 対応分析の score 1 と a*（上側）あるいは b*（下側）の関係．

Relationship between score 1 of the correspondence analysis and a* (upper) or b* (lower).

注) a* と b* は L*a*b* 色空間の色度座標。

Note: a* and b* are the chromaticity coordinates of the L*a*b* color space.

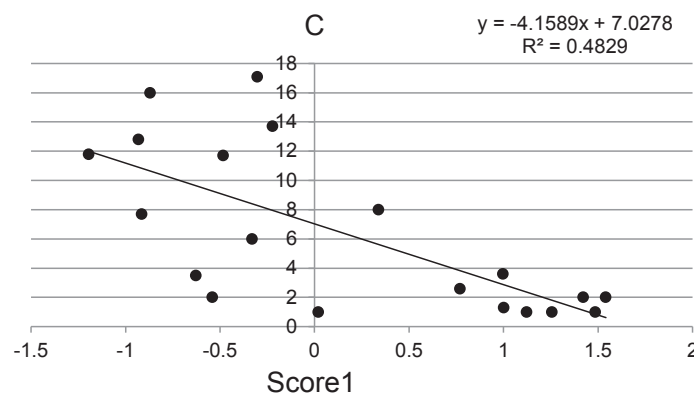


Fig. 4. 対応分析の score 1 とマンセル表色系の彩度 C の関係．

Relationship between score 1 of the correspondence analysis and the Chroma of Munsell color system C.

内装写真を区別していることを示す同様の結果が得られた。また、事務所内装写真の色彩による視覚的影響については、既報を補完する知見が得られた。

補注

A: 対応分析

対応分析は、数理的には数量化Ⅲ類と同等であり、「データ行列の行と列からなる 2 組のデータ集合の

最良の同時布置を見出す方法と考えられる（大隅ら 1994）。」また、「対応分析の基本的な考え方は、分割表において行の項目と列の項目の相関が最大になるように、行と列の双方を並べ替え、関連性が強いもの同士が近似になるような値をとるように処理を行う方法である（金 2017）。」

KH Coder では、被験者によって分けられたグループごとの写真番号および二つの質問に対する自由回答

からなる文書に番号を付け、その番号を列方向にとり、形態素解析に基づいて抽出した“語”を行方向にとって、文書ごとに各“語”の出現する頻度をまとめた2元分割表を作成する。この2元分割表について、プログラム言語 R の関数 `corresp` によって対応分析を実行する。同じく R の関数 `plot` によって、対応分析で得られた第1成分 (Score1) と第2成分 (Score2) をそれぞれ X 軸と Y 軸にとり、布置図を作成する。ここで、第1成分と第2成分の数理的な意味については、テキスト・マイニング研究会の資料 (大隅 2013) で確認できる。

B: 事務所内装写真を用いた聞き取り調査の概要 (末吉・森川 2015)

聞き取り調査は、2001年10月に、筑波大学構内の会議室で行った。筑波大学の学生28名 (男子12名、女子16名) が被験者として参加した。被験者の年齢は、25才から34才に入る1名を除いて18才から24才で、全員日本人であった。1名あたりの面接時間は約30分であった。

はじめに、試験者は机を隔てて対面する被験者に対して、本調査の目的が事務所の内装デザインに関する主観評価であることを説明し、とくに木材に関心があることを意識させないようにした。続いて、以下のように実験手順を説明した。1) 個人情報を探る。2) 提示された事務所内装写真 (たて約4.8cm、よこ約4.6cm) 20枚を類似の印象を与えるグループに分ける。その際、グループの個数に制限はない。3) 各グループについて、次の二つを質問する。質問1: これらの会社およびそこで働く人々は、どのような印象をあなたに与えますか。質問2: そのような印象をあなたに与える要因は何ですか。

C: KH Coder

テキストマイニングのためのフリーソフトウェア
<http://khc.sourceforge.net/>
 立命館大学の樋口耕一准教授により開発された。

D: 茶筌 (ちゃせん)

自然言語処理研究に資するためのフリーソフトウェア
<http://chasen-legacy.osdn.jp/>
 奈良先端科学技術大学院大学松本研究室で開発された。形態素解析器として KH Coder に組み込まれている。

E: ImageJ

パブリックドメインの画像処理ソフトウェア
<https://imagej.nih.gov/ij/>
 アメリカ国立衛生研究所 (NIH) の Wayne Rasband により開発された。

引用文献

- 樋口 耕一 (2014) 第3章 新たなアプローチによる分析の手順と実際—漱石「こころ」によるチュートリアル. “社会調査のための計量テキスト分析—内容分析の継承と発展を目指して—”. ナカニシヤ出版, 京都, 31-50.
- 石川 淳二 (1972) 第1章 産業における教育訓練と教育機器. 教育機器編集委員会編 “産業教育機器システム便覧”. 日科技連出版社, 東京, 1-17.
- 金 明哲 (2017) 第7章 対応分析. “Rによるデータサイエンス 第2版 データ解析の基礎から最新手法まで”. 森北出版, 東京, 85-96.
- 崔 廷敏・浅見 泰司 (2004) 言語統計分析による住宅建設五箇年計画及び答申の特性分析—政策の立案と評価における非定型・大量情報の活用の可能性—. 日本建築学会計画系論文集, 579, 89-96.
- 森田 哲夫・入澤 寛・長塩 彩夏・野村 和広・塚田 伸也・大塚 裕子・杉田 浩 (2012) 自由記述データを用いたテキストマイニングによる都市のイメージ分析. 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 68 (5), I_315-I_323.
- 仲村 匡司 (2012) 木材の見えと木質内装. 木材学会誌 58 (1), 1-10.
- 仲村 匡司・上田 菜由 (2013) 乾燥条件の異なるスギ正角材表面の精密測色 (第2報) 色の三属性に基づいた材色変化の比較. 木材学会誌, 59 (6), 346-352.
- 中谷 隼・明村 聖加・森口 祐一 (2014) テキストマイニングによる東日本大震災前後の総合資源エネルギー調査会における論点の分析. 環境情報科学 学術研究論文集, 28, 113-118.
- 大隅 昇・ルバール L・モリノウ A・ワーウィック K. M・馬場 康雄 (1994) 第II章 対応分析法. “記述的多変量解析法”. 日科技連出版社, 東京, 61-123.
- 大隅 昇 (2001) 調査における自由回答データの解析—InfoMinerによる探索的テキスト型データ解析—. 統計数理, 48 (2), 339-376.
- 大隅 昇 (2013) “対応分析法・数量化法 III 類の考え方”, テキスト・マイニング研究会, 58pp,
http://www.wordminer.org/wp-content/uploads/2013/04/63_18.pdf (参照 2018-03-14) .
- 末吉 修三・森川 岳 (2015) 事務所の内装に使われた木材によってもたらされる視覚的影響—聞き取り調査—. 森林総合研究所研究報告, 14 (2), 77-123.
- 末吉 修三・森川 岳 (2016) 事務所の内装に使われた木材によってもたらされる視覚的影響—聞き取り調査の多次元尺度構成法による解析—. 木材学会誌, 62 (6), 311-316.

Availability of correspondence analysis for interviews using photographs of workplace interiors

Shuzo SUEYOSHI ^{1)*}

Abstract

This study aimed to investigate the availability of correspondence analysis for use on text data obtained through interviews using photographs of workplace interiors. The text data, which have already been published, were obtained in the following manner. Twenty photographs of workplace interiors were presented to each participant, and each participant was requested to divide the photographs into groups based on similar impressions. Subsequently, the participants were asked about their impression of the companies and the people working there as well as the reason behind their impression. Morphological analysis of the obtained text data revealed that the nouns “wood,” “pillar,” “ceiling,” “furniture,” “desk,” “chair,” “picture,” and “plant” were frequently used. These objects determined the impression obtained by looking at the photographs of workplace interiors. The adjectives “warm,” “calm,” “comfortable,” “friendly,” “bright,” “dark,” “cold,” and “stiff” were frequently used and expressed the impression of the photographs on the participants. For these frequently used words and photograph numbers, correspondence analysis was conducted, and the color characteristics of the photographs used in the interview were analyzed. Correspondence analysis distinguished the impressions of the photographs of workplace interiors. Moreover, combining correspondence analysis and color analysis clarified that the participants classified the photographs of workplace interiors based on the bright yellow and red of the wood. This result suggested that correspondence analysis could be used to evaluate the visual effect of wood interiors based on text data.

Keywords: wood interior, workplace, interviews, correspondence analysis, color analysis

Received 19 December 2017, Accepted 22 March 2018

1) Department of Wood-Based Materials, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

* Department of Wood-Based Materials, FFPRI, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 Japan; e-mail: sue@ffpri.affrc.go.jp

担当者 御中
To the person concerned

国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
Forestry and Forest Products Research Institute

森林総合研究所研究報告を送付させていただきますのでお受け取り下さい。
貴刊行物と交換願えれば幸いです。なお、貴研究所の名称、住所などを変更
された場合は、下記まで連絡を御願い致します。

Please, find an enclosed Bulletin of the Forestry and Forest Products Research Institute.
We greatly appreciate receiving any relevant publications in exchange.
Let us know when the name of your institution and mailing address are changed.

Officer in charge at publication section
Forestry and Forest Products Research Institute
1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 Japan
Tel : + 81-29-829-8373 Fax : + 81-29-873-0844
e-mail : kanko@ffpri.affrc.go.jp

2018年6月 発行 森林総合研究所研究報告 第17巻2号（通巻446号）

編 集 人 森林総合研究所研究報告編集委員会

発 行 人 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
〒305-8687 茨城県つくば市松の里1番地
電話：029-829-8373 Fax：029-873-0844

製 版・印 刷 松枝印刷株式会社
〒303-0034 茨城県常総市水海道天満町2438番地
電話：0297-23-2333（代） Fax：0297-23-5865

©2018 Forestry and Forest Products Research Institute

本誌から転載・複写する場合は、森林総合研究所の許可を得てください。



森林総合研究所研究報告

Vol.17 No.2(No.446)

page117

台風攪乱から43年が経過した縞枯れ林における地上部及び地下部現存量の変化(英文)
:岩本 宏二郎、鶴川 信、荒木 眞岳、壁谷 大介、石塚 森吉、梶本 卓也

Changes of above- and below-ground biomass forty-three years after a typhoon disturbance
in a subalpine wave regeneration forest on Mt. Shimagare
by Kojiro IWAMOTO, Shin UGAWA, Masatake G. ARAKI, Daisuke KABEYA,
Moriyoshi ISHIZUKA and Takuya KAJIMOTO

page133

木材腐朽菌30株による4色素、レマゾールブリリアントブルーR、Poly R-478、Poly S-119、Azure Bの脱色試験
:高野 麻理子、服部 力、根田 仁

Decolorization of 4 dyes, Remazol Brilliant Blue R, Poly R-478, Poly S-119, and Azure B by 30 wood-rotting fungi.
by Mariko TAKANO, Tsutomu HATTORI and Hitoshi NEDA

page141

スギの遺伝的地域性識別のためのSNPパネルの開発と利用
:内山 憲太郎、松本 麻子

Development and utilization of a SNP panel for identification of the geographic origin of *Cryptomeria japonica*
by Kentaro UCHIYAMA and Asako MATSUMOTO

page149

札幌市街地周辺におけるエゾシカのスポットライトカウント調査
:松浦 友紀子

Counting urban sika deer using spotlight in Hokkaido, Japan.
by Yukiko MATSUURA

page155

次代検定林の成績によるトドマツ精英樹集団からの優良系統の選抜
:中田 了五、坂本 庄生、西岡 直樹、花岡 創、来田 和人、今 博計、石塚 航、黒丸 亮

Selection of superior genotypes from the population of plus trees in *Abies sachalinensis*
by the results from progeny trials in Hokkaido
by Ryogo NAKADA, Shoki SAKAMOTO, Naoki NISHIOKA, So HANAOKA, Kazuhito KITA,
Hirokazu KON, Wataru ISHIZUKA and Makoto KUROMARU

page175

カンボジアにおける森林土壌炭素蓄積に関するデータセット(英文)
:鳥山 淳平、今矢 明宏、平井 敬三

Dataset of soil carbon stock in Cambodian forests
by Jumpei TORIYAMA, Akihiro IMAYA and Keizo HIRAI

page187

インドネシア共和国東カリマンタン州の昆虫相ならびにその生態に関する文献目録
:横原 寛、スギアルト、藤間 剛、ウォロ・ヌルジト、松本 和馬、前藤 薫、上田 明良、滝 久智

Bibliography of fauna and ecology of insects in East Kalimantan, Indonesia
by Hiroshi MAKIHARA, SUGIARTO, Takeshi TOMA, Woru A. NOERDJITO,
Kazuma MATSUMOTO, Kaoru MAETO, Akira UEDA and Hisatomo TAKI

page209

事務所内装写真を用いた聞き取り調査に対する対応分析の有用性について
:末吉 修三

Availability of correspondence analysis for interviews using photographs of workplace interiors
by Shuzo SUEYOSHI