

ISSN 0916-4405

森林総合研究所研究報告

Vol.12-No.3 (No.428)

BULLETIN

of the
Forestry and
Forest Products
Research Institute



September 2013

独立行政法人 森林総合研究所
Forestry and Forest Products Research Institute

The Chief Editor

篠原 健司 SHINOHARA Kenji (Principal Research Coordinator,FFPRI)

The Vice-Chief Editor

三森 利昭 SAMMORI Toshiaki (Associate Research Coordinator,FFPRI)

Editor

立花 敏	TACHIBANA Satoshi (Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba)
佐藤 明	SATO Akira (Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture)
飛田 博順	TOBITA Hiroyuki (Department of Plant Ecology,FFPRI)
小林 政広	KOBAYASHI Masahiro (Department of Forest Site Environment,FFPRI)
神崎 菜摘	KANZAKI Natsumi (Department of Forest Microbiology,FFPRI)
長谷川 元洋	HASEGAWA Motohiro (Department of Forest Entomology,FFPRI)
村田 仁	MURATA Hitoshi (Department of Applied Microbiology,FFPRI)
毛綱 昌弘	MOZUNA Masahiro (Department of Forest Engineering,FFPRI)
原田 真樹	HARADA Masaki (Department of Wood Engineering,FFPRI)
齋藤 英樹	SAITO Hideki (Department of Forest Management,FFPRI)
溝口 康子	MIZOGUCHI Yasuko (Hokkaido Research Center,FFPRI)
堀野 眞一	HORINO Shinichi (Tohoku Research Center,FFPRI)
黒川 潮	KUROKAWA Ushio (Kyushu Research Center,FFPRI)
衣浦 晴生	KINUURA Haruo (Kansai Research Center,FFPRI)
加藤 一隆	KATO Kazutaka (Forest Tree Breeding Center,FFPRI)
秦野 恭典	HATANO Yasunori (Research Information Division,FFPRI)

This journal is indexed in CAB Abstracts.

表紙写真 Photograph in Cover

東京都品川区(林試の森公園)のクスノキ
Cinnamomum camphora in Shinagawa City, Tokyo. (Rinshinomori Park)

ミズバショウ(群馬県利根郡)
Lysichiton camtschatcense Schott in Tone-gun, Gunma Prefecture.

(本文125~141ページ)
森林バイオマスのフィールド調査風景(岩手県安比高原)
Field measurement of forest biomass (Appi Highlands, Iwate, Japan).

森林総合研究所研究報告 第12巻3号(通巻428号) 2013.9

目 次

論 文

森林総合研究所四国支所のチョウ類相 松本 剛史、佐藤 重穂、井上 大成	111
--	-----

安比高原ブナ二次林における地上部・地下部バイオマス現存量の推定 小野 賢二、安田 幸生、松尾 亨、 星野 大介、千葉 幸弘、森 茂太	125
--	-----

クリ製材品の強度性能 —曲げ、縦圧縮、縦引張り、せん断、めり込み— 井道 裕史、三浦 祥子、長尾 博文、加藤 英雄	143
---	-----

ノ ー ト

ネバダオオシロアリのニンフにおける雌雄判別 神崎 菜摘、大村 和香子	153
---	-----

エチレン合成酵素遺伝子の過剰発現による オゾン感受性遺伝子組換えポプラの開発 毛利 武、古川原 聡、伊ヶ崎 知弘、 中嶋 信美、篠原 健司	155
--	-----

研究資料

森林総合研究所モデル木造住宅に用いられた構造部材の非破壊評価 井道 裕史、原田 真樹、長尾 博文、加藤 英雄、 軽部 正彦、宮武 敦、平松 靖、新藤 健太、 渋谷 龍也、大村 和香子、青木 謙治、青井 秀樹、 宇京 斉一郎、杉本 健一、森川 岳、小林 久高	157
--	-----

Bulletin of FFPRI, Vol.12. No.3 (No.428) September 2013

CONTENTS

Original article

- Butterfly fauna of Shikoku Research Center,
Forestry and Forest Products Research Institute
MATSUMOTO Takeshi, SATO Shigeho
and INOUE Takenari 111
- Estimating forest biomass using allometric model in a cool-temperate
Fagus crenata forest in the Appi Highlands, Iwate, Japan
ONO Kenji, YASUDA Yukio, MATSUO Toru,
Hoshino Daisuke, CHIBA Yukihiro and MORI Shigeta 125
- Strength properties of kuri (Japanese chestnut, *Castanea crenata*) timber
- Bending strength, compressive strength parallel to the grain,
tensile strength parallel to the grain, shear strength parallel to the grain,
and compressive strength perpendicular to the grain -
IDO Hirofumi, MIURA Sachiko,
NAGAO Hirofumi and KATO Hideo 143

Note

- Sex discrimination of the nymph of *Zootermopsis nevadensis*
KANZAKI Natsumi and OHMURA Wakako 153
- Development of ozone-susceptible poplar plants with a sense
DNA for 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase
MOHRI Takeshi, KOGAWARA Satoshi, IGASAKI Tomohiro,
NAKAJIMA Nobuyoshi and SHINOHARA Kenji 155

Research record

- Non-destructive evaluation of structural members
used for an FFPRI model wooden house
IDO Hirofumi, HARADA Masaki, NAGAO Hirofumi,
KATO Hideo, KARUBE Masahiko, MIYATAKE Atsushi,
HIRAMATSU Yasushi, SHINDO Kenta,
SHIBUSAWA Tatsuya, OHMURA Wakako, AOKI Kenji,
AOI Hideki, UKYO Seiichiro, SUGIMOTO Ken-ichi,
MORIKAWA Takeshi and KOBAYASHI Hisataka 157

論文 (Original article)

森林総合研究所四国支所のチョウ類相

松本 剛史^{1)*}、佐藤 重穂¹⁾、井上 大成²⁾

Butterfly fauna of Shikoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

Takeshi MATSUMOTO^{1)*}, Shigeho SATO¹⁾ and Takenari INOUE²⁾

Abstract

A list of 55 butterfly species recorded in Shikoku Research Center (SRC), Forestry and Forest Products Research Institute, Kochi City, southwestern Japan from 1991 to 2012 has been compiled from collection data. It consists of eight papilionid, six pierid, 13 lycaenid, 22 nymphalid and six hesperiid species. One of these species, *Acyrtolipsis puspa*, is thought to have invaded SRC as early as the late 1990's. Another species, *Chilades pandava*, is a stray species which was recorded at many places of Kochi Prefecture in 2009-2010. According to Tanaka's criterion, excluding *C. pandava*, there are 37 forest species and 17 grassland species at the study site. The Sunose environmental index (*EI*) based on the 54 species recorded in the 1991-2012 period was 105, which indicated a "good natural environment". The *EI* value based on the species recorded in 2006-2012 was 96, indicating that the present environmental condition of SRC is of a moderate level. The ratios of Himalayan (14.8%) and Malayan (20.4%) geographical distribution-type species in SRC were higher than the national average in Japan. *Eurema laeta*, *Artopotes pryri* and *Damora sagana*, Red Data species of Japan and/or Kochi Prefecture, were recorded in the early 1990's, but *E. laeta* and *A. pryri* have not been observed in the 2000's.

Key words : Biodiversity, environment, geographical distribution type, Kochi City, range expanding species, Red Data List, refuge

要旨

高知県高知市の森林総合研究所四国支所において、1991年～2012年までに採集・観察されたチョウを記録した。さらに四国支所に保管されている過去の標本を調べ、採集データを抽出した。その結果、アゲハチョウ科8種、シロチョウ科6種、シジミチョウ科13種、タテハチョウ科22種、セセリチョウ科6種、合計55種が記録された。そのうち、ヤクシマルリシジミは、1990年代後半以降に四国支所に侵入したと考えられた。迷チョウであるクロマダラソテツシジミを除いた54種について田中の指標に基づいて分類したところ、森林性種は37種(69%)、草原性種は17種(31%)であった。巣瀬の環境評価指数(*EI*指数)は105で、「良好な林や草原」にあたる「多自然」と評価された。2006年以降に確認された種に基づいた場合の*EI*指数は96で「農村・人里」にあたる「中自然」と評価された。記録種の地理的分布型の構成比を日本全体と比較すると、日本を分布南限とする北方系のシベリア型やウスリー型の種は少なく、日本を分布北限とする暖地性のマレー型や、東アジアに主な分布域を持つヒマラヤ型の種が占める割合が高かった。1990年代前半には、国のレッドリストまたは高知県のレッドデータ・リストに掲載されたツマグロキチョウ、ウラゴマダラシジミ、メスグロヒヨウモンが採集されたが、2000年代以降にはツマグロキチョウとウラゴマダラシジミは記録できなかった。

キーワード： 生物多様性、環境、地理的分布型、高知市、分布拡大種、レッドデータ・リスト、避難場所

原稿受付：平成25年1月22日 Received 22 January 2013 原稿受理：平成25年5月17日 Accepted 17 May 2013

1) 森林総合研究所四国支所 Shikoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) 森林総合研究所多摩森林科学園 Tama Forest Science Garden, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

* 森林総合研究所四国支所流域森林保全研究グループ 〒780-8077 高知市朝倉西町2-915 Forest Conservation and Management Group, Shikoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), 2-915 Asakura-nishimachi, Kochi 780-8077, Japan, e-mail: mtakeshi@ffpri.affrc.go.jp

緒 言

森林総合研究所四国支所(以下、「四国支所」と略記)は、高知市西部の朝倉丘陵にある。四国支所の西側と北側には丘陵地が続き、おもに畑地や果樹園とシイ・カシ類を主とした雑木林が占め、東側と南側の低地には水田と集落が広がっている。四国支所の周囲は当地に移転してきた1964年ごろにはいわゆる里山的な環境であったが、1980年代以降、水田の多くは宅地に転換されてきていて、現在では大半が住宅地となっている。四国支所の生物については、樹木園に植栽された樹木(大黒1998)、野生植物(酒井2006)、鳥類(佐藤1998)についての報告がある。チョウ類についても既に井上(1998)の報告があるが、これは1991～1995年に任意に採集された標本データをまとめたものにすぎず、四国支所のファウナを調査するという目的で行われた研究結果ではないため、多くの種がリストから漏れていると思われる。

試験研究機関や大学等の敷地は、面積が比較的広く森林的環境と草原的環境が適当に入り混じった植生をもつことや、大規模開発の干渉を直接的には受け難いことなどから、都市においては貴重な緑地で、昆虫を含む生物の避難場所として機能している可能性が高い(井上2004)。例えば井上(2004)は、つくば市の森林総合研究所には茨城県南部の平野部に生息するチョウの86%にあたる60種のチョウが生息することを示した。また、松本(2006)は八王子市の森林総合研究所多摩森林科学園から70種のチョウの記録を報告した。そのうち絶滅種と偶産種を除くと66種となるが、東京都の多摩地区の多くの市で1980年以降に生息が確認されているチョウの種数が概ね50種前後であることと比較して、多摩森林科学園では種数がかなり多いことを指摘している。同様に松本(2008)は多摩市の森林総合研究所多摩試験地(現在、連光寺実験林)および隣接する桜ヶ丘公園から55種を記録したが、1980年代以降(1990年頃まで)に多摩市で記録されているチョウが56種(西多摩昆虫同好会1991)、2000年以降では67種(西多摩昆虫同好会2012)であることから、当該調査地はかなり高いチョウの多様性を保持していると言える。さらに松本・井上(2012)は、面積7.1haの森林総合研究所赤沼実験林(埼玉県鳩山町)から県のレッドデータ・リストに掲げられた12種を含む63種のチョウを記録するとともに、多様度指数等の種数以外の指標も高いことを報告した。

我々は今回、四国支所に生息するチョウ類を可能な限り明らかにするために改めて調査を行い、チョウ類相から四国支所の環境を評価することを試みたので、その結果を報告する。

調査地および研究方法

四国支所は1964年に現在地(北緯33度32分、東

経133度29分、標高約50m、面積7.4ha)に移転してきたが、移転前は竹林や畑地で、そこに国内外の多くの樹木が植えられた(大黒1998)。現在の土地利用は、実験林が3.2ha、樹木園が1.4ha、苗畑が0.6ha、歩道等が0.9ha、庁舎面積が1.3haである(Fig. 1)。実験林は、主にスギ *Cryptomeria japonica* (L.f.) D. Don、ヒノキ *Chamaecyparis obtusa* (Siebold et Zucc.) Endl.、スラッシュマツ *Pinus elliottii* Engelm.、モウソウチク *Phyllostachys edulis* (Carrière) Houz. などの若齢～壮齢林からなり、樹木園にはナラ・カシ類(*Quercus* spp.)や、各種の低木が植栽されている。また苗畑には試験用樹木の苗木の他に、ハナゾノツクバネウツギ *Abelia x grandiflora* (André) Rehder やカラタネオガタマ *Magnolia figo* (Lour.) DC. などの花木も植えられている。庁舎の周辺や歩道(一部未舗装)の両側は、シバ地やイネ科、マメ科、キク科等を中心とした野草地となっている。

現在、苗畑や樹木園等では、定期的に刈り払い機による草刈りと除草剤散布が行われている。すなわち、歩道を含む苗畑周辺の草地には、4月、7月、8月、10月にラウンドアップマックスロードが散布され、若齢針葉樹林では、6月、8月、9月、11月に下刈りが行われている。また、樹木園の低木類は夏と冬の年2回、剪定されている。さらに、庁舎周囲の草地では年2回程度(初夏と秋)、草刈りが行なわれている。なお、高木林(樹木園および実験林)については定期的な管理は行われていない。1990年代頃までは、刈り込み、剪定、除草等の頻度は現在と比較すると低く、除草剤もほとんど使われなかった。また近年では歩道の補修のための地ならし作業や、新しく針葉樹等を植栽する場所の造成のために重機類を使用しているが、以前は重機を使用した作業は行われていなかった。北部および南西部の若齢林は2007年以降に植栽されたもので、それ以前は二次林やサクラ園等であった。最近4～5年の間に、庁舎周辺などの藪化していた部分の手入れが行われるようになり、草地や低木の植栽地になった。また北西部にあったモウソウチク林を2010年に伐採して裸地化した。さらに、2004年には、四国支所の全域にわたって100本以上の木(主に針葉樹)が倒伏または折損する台風被害が発生した(奥田ら2005)。これらのことから、1990年代と比較して、現在では高木の本数や高木林が占める面積は減少し、さらに二次林、竹林および藪が減少した。

2006年、2008年、2009年および2012年に、四国支所の構内で、適宜チョウ類を採集した。採集個体を標本にして種名を同定し、リストを作成した。1991～1995年に井上によって採集されたチョウのリスト(一部、1997年に佐藤らによって採集されたものを含む)については既に公表されているが(井上1998)、四国支所の50周年記念誌という一般に入手し難い印刷物



Fig. 1. Sketch map of Shikoku Research Center, showing forest types.

上に報告されているため、本報で再掲載することとした。さらに、四国支所に保管されている昆虫標本を調べ、四国支所で採集されたチョウのデータを抽出した。

今回作成したリストでは、標本が得られている場合には、その個体数、性別、採集年月日、採集者名を記した。標本は、森林総合研究所多摩森林科学園、森林総合研究所四国支所または著者の一人である井上によって保管されている。採集されていないでも確実な目撃例がある場合には必要に応じてリストに含め、目撃記録であることを括弧書きで明記した。採集者または目撃者は、井上大成（いのうえ・たけなり）、佐藤重穂（さとう・しげほ）、松本剛史（まつもと・たけし）、前藤薫（まえとう・かおる）、竹内満里子（たけうち・まりこ）、宮地瑞穂（みやじ・みずほ）、山田茜（やまだ・あかね）、稲田哲治（いなだ・てつじ）の8名であるが、リストでは姓のみを記した。採集者のうち、前藤氏（現在、神戸大学）は元職員、竹内、宮地、山田の3氏は四国支所の（元）非常勤職員、稲田氏は当時研修生（現在、愛媛県南予地方局産業経済部八幡浜支局森林林業課）である。なお過去の標本ラベルに採集者名が“YI”と略記されたものがあったが、これは採集年から四国支所の元職員の五十嵐豊（いがらし・ゆたか）氏であると考えられるため、“五十嵐”とした。リスト中の和名および学名については、白水（2006）に従った。

記録された種の生息場所特性を、田中（1988）に従って森林性種と草原性種に区別した。また環境評価指数

として、巢瀬（1993, 1998）のEI指数を計算した。生息場所特性と環境評価指数について、従来キチョウ *Eurema hecabe* (Linnaeus) と同一種とされていたキタキチョウ *Eurema mandarina* (de l'Orza) には、キチョウの区分を適用した。さらに松本（2006）が提案した日本産チョウ類の地理的分布型をあてはめて、各分布型が占める割合を計算した。各文献に掲載されていないクロマダラソテツシジミ *Chilades pandava* (Horsfield) については、これらの区別や計算から除外した。

結果及び考察

1. 種のリスト

上述の調査によって記録された種のリストを以下に示す。種名に続けて、各種の生息場所特性（森林性または草原性）、地理的分布型（シベリア型、ウスリー型、中華型、日本型、ヒマラヤ型、マレー型、汎熱帯型、所属未定）およびEIの値（3; 多自然種、2; 準自然種、1; 都市・農村種）を記した。

アゲハチョウ科 Papilionidae

アオスジアゲハ *Graphium sarpedon* (Linnaeus) 森林性、汎熱帯型, EI2

2♂ 1991年5月11日 井上; 2♂ 1994年5月8日 井上; 1♂1♀ 1995年5月5日 井上; 1♂ 2008年7月23日 佐藤; 1♀ 2008年8月1日 佐藤; 1♂ 2009年4月22日 松

本

ミカドアゲハ *Graphium doson* (C. & R. Felder) 森林性, マレー型, EI2

1ex 1991年5月11日 井上 (目撃); 1ex 1991年5月18日 井上 (目撃); 1ex 1992年4月27日 井上 (目撃); 1ex 1992年5月10日 井上 (目撃); 1ex 1993年5月11日 井上 (目撃); 1ex 1994年5月2日 井上 (目撃); 3exs 1994年5月5日 井上 (目撃); 1ex 1994年5月7日 井上 (目撃); 1ex 1994年5月8日 井上 (目撃); 1ex 1994年5月9日 井上 (目撃); 1ex 1994年5月15日 井上 (目撃); 1ex 1995年5月5日 井上 (目撃); 3exs 1995年5月6日 井上 (目撃); 2exs 1995年5月7日 井上 (目撃); 2exs 1995年5月12日 井上 (目撃); 2♂ 1999年5月31日 前藤; 1ex 2008年5月21日 佐藤 (目撃)

カラスアゲハ *Papilio dehaanii* C. & R. Felder 森林性, 中華型, EI3

1♂ 1991年5月11日 井上; 1♂ 2009年5月29日 佐藤

キアゲハ *Papilio machaon* Linnaeus 草原性, シベリア型, EI2

1♀ 2002年6月3日 竹内; 2002年10月1日 竹内; 1♀ 2008年4月21日 宮地; 2♂ 2008年6月6日 佐藤; 1♂ 2009年7月9日 佐藤; 1♀ 2012年5月27日 井上

クロアゲハ *Papilio protenor* Cramer 森林性, ヒマラヤ型, EI2

1♀ 1965年9月8日 採集者不明; 1♂ 1991年5月11日 井上; 1♂ 2009年7月30日 松本; 1♂ 2012年5月26日 井上

ナガサキアゲハ *Papilio memnon* Linnaeus 森林性, マレー型, EI1

1♀ 1970年9月6日 五十嵐; 2♂ 1991年5月11日 井上; 1♀ 1991年7月13日 井上; 1♂ 1991年8月31日 井上; 1♂ 1991年9月3日 井上; 1ex 1992年4月20日 井上 (目撃); 1♀ 1993年5月11日 井上; 1♂ 1995年5月6日 井上; 1♂ 2008年4月21日 宮地; 1♂ 2008年4月21日 佐藤; 1♂ 2008年8月18日 佐藤; 1♀ 2008年8月28日 佐藤; 1♂ 2009年春 松本; 1♂ 2009年4月22日 松本; 1♂ 2009年9月10日 佐藤; 1♂ 2012年5月26日 井上; 1♂ 2012年10月6日 井上

アゲハ *Papilio xuthus* Linnaeus 森林性, 中華型, EI1

1♂ 1991年5月11日 井上; 1♀ 2002年4月18日 前藤; 1♂ 2008年4月4日 松本; 1♂ 2009年4月22日 松本; 1♂ 2009年6月24日 佐藤; 1♂ 2009年5月29日 佐藤; 1♂ 2012年10月5日 井上

モンキアゲハ *Papilio helenus* Linnaeus 森林性, マレー型, EI3

1♂ 1991年5月11日 井上; 1♂ 1991年5月14日 井上; 1♂ 2008年8月28日 佐藤; 2♂ 2009年4月22日 松本; 1♀ 2012年5月27日 井上

シロチョウ科 *Pieridae*

キタキチョウ *Eurema mandarina* (de l'Orza) 森林性, 所属未定, EI2

1♀ 1997年10月27日 佐藤; 2♂ 2006年10月17日 松本; 2♂ 2006年10月24日 松本; 3♂1♀ 2008年4月4日 松本; 1♂ 2008年6月6日 佐藤; 1♂ 2008年11月5日 佐藤; 1♂ 2008年11月26日 宮地; 1♀ 2009年4月8日 佐藤; 1♂ 2009年3月24日 佐藤; 1♀ 2009年4月27日 佐藤; 1♀ 2009年9月10日 佐藤; 1♂1♀ 2009年9月29日 佐藤; 1♀ 2009年10月31日 佐藤; 1♂ 2012年3月15日 佐藤; 2♀ 2012年3月22日 山田; 4♀ 2012年3月22日 松本; 1♂ 2012年5月26日 井上; 2♂ 2012年10月5日 井上; 1♂ 2012年10月22日 松本; 1♂ 2012年10月22日 山田

ツマグロキチョウ *Eurema laeta* (Boisduval) 草原性, 汎熱帯型, EI1

1♂ 1991年5月11日 井上; 1♀ 1993年11月14日 井上

スジグロシロチョウ *Pieris melete* (Ménétrières) 森林性, ウスリー型, EI2

1♂ 1997年9月10日 稲田; 1♂ 1997年10月27日 稲田; 1♀ 1999年5月31日 前藤; 1♂ 2002年5月28日 竹内; 1♂ 2006年10月24日 松本; 2♂ 2008年4月4日 松本; 1♂ 2009年3月24日 佐藤; 1♂ 2009年6月11日 佐藤; 2♂ 2012年3月22日 松本; 1♂ 2012年5月25日 井上; 1♂ 2012年5月27日 井上; 1♀ 2012年10月5日 井上; 1♂ 2012年10月7日 井上

モンシロチョウ *Pieris rapae* (Linnaeus) 草原性, シベリア型, EI1

2♀ 1991年5月11日 井上; 1♀ 1999年5月31日 前藤; 1♂ 2006年10月24日 松本; 1♂ 2008年4月4日 松本; 1♀ 2008年11月5日 佐藤; 1♀ 2009年3月24日 佐藤; 1♂1♀ 2009年5月29日 佐藤; 1♀ 2012年5月25日 井上; 1♂ 2012年10月5日 井上

ツマキチョウ *Anthocharis scolymus* Butler 草原性, 中華型, EI2

1♀ 2009年4月8日 佐藤; 1♀ 2009年3月24日 佐藤

モンキチョウ *Colias erate* (Esper) 草原性, 所属未定, EI2

1ex 2009年9月10日 佐藤 (目撃); 1♂1♀ 2012年5月

26 日 井上

シジミチョウ科 Lycaenidae

ムラサキシジミ *Narathura japonica* (Murray) 森林性, 日本型, *EI2*

1♀ 1991 年 5 月 11 日 井上; 1♀ 1991 年 5 月 26 日 井上; 2♂1♀ 1991 年 6 月 5 日 井上; 2♂1♀ 1991 年 6 月 12 日 井上; 1♂1♀ 1991 年 6 月 16 日 井上; 3♂ 1991 年 9 月 3 日 井上; 1♀ 1997 年 10 月 27 日 佐藤; 1♀ 2002 年 8 月 27 日 竹内; 1♀ 2008 年 4 月 4 日 松本; 1♀ 2008 年 8 月 1 日 佐藤; 2♀ 2008 年 8 月 18 日 佐藤; 1♂ 2008 年 8 月 28 日 佐藤; 1♂ 2008 年 10 月 28 日 佐藤; 1♂ 2008 年 11 月 26 日 佐藤; 1♀ 2009 年 4 月 8 日 佐藤; 1♂ 2009 年 4 月 2 日 佐藤; 1♂ 2009 年 7 月 23 日 佐藤; 2♂2♀ 2012 年 3 月 22 日 山田; 1♂1♀ 2012 年 3 月 22 日 松本; 1♂ 2012 年 10 月 6 日 井上; 1♀ 2012 年 10 月 7 日 井上

ムラサキツバメ *Narathura bazalus* (Hewitson) 森林性, マレー型, *EI2*

1ex 1991 年 8 月 29 日 井上 (目撃); 1♂ 1991 年 8 月 31 日 井上; 1♂1♀ 1992 年 11 月 2 日 井上; 1♂1♀ 1992 年 11 月 4 日 井上; 1♀ 1992 年 11 月 14 日 井上; 3♂ 1993 年 11 月 14 日 井上; 1♂ 2008 年 5 月 21 日 佐藤; 1♂ 2009 年 3 月 24 日 佐藤; 1♂ 2009 年 8 月 11 日 佐藤; 1♂ 2009 年 9 月 10 日 佐藤; 1♀ 2009 年 10 月 31 日 佐藤; 1♂ 2009 年 11 月 12 日 佐藤; 1♂ 2009 年 11 月 26 日 佐藤; 1♂ 2012 年 3 月 22 日 山田; 1♂ 2012 年 3 月 22 日 松本; 1♂ 2012 年 10 月 16 日 佐藤; 1♀ 2012 年 12 月 13 日 佐藤

ウラゴマダラシジミ *Artopoetes pryori* (Murray) 森林性, ウスリー型, *EI2*

1♂ 1991 年 5 月 18 日 井上; 1♀ 1991 年 5 月 26 日 井上; 1♀ 1991 年 6 月 5 日 井上; 2♂ 1994 年 5 月 13 日 井上; 1♀ 1995 年 5 月 26 日 井上

トラフシジミ *Rapala arata* (Bremer) 森林性, ウスリー型, *EI2*

1♀ 1991 年 5 月 11 日 井上; 1♀ 1991 年 6 月 16 日 井上

ベニシジミ *Lycaena phlaeas* (Linnaeus) 草原性, シベリア型, *EI1*

1♀ 1997 年 10 月 27 日 稲田; 1♀ 1999 年 5 月 30 日 前藤; 3♀ 2008 年 4 月 4 日 松本; 2♀ 2008 年 4 月 21 日 松本; 1♀ 2008 年 4 月 21 日 宮地; 1♀ 2008 年 4 月 21 日 佐藤; 1♀ 2008 年 7 月 4 日 松本; 1♂ 2008 年 7 月 10 日 松本; 1♀ 2008 年 11 月 26 日 佐藤; 1♂ 2009 年 3 月 24 日 佐藤; 1♂ 2009 年 7 月 9 日 佐藤; 1♂1♀ 2012 年 4 月 2 日 山田; 1♀ 2012 年 5 月 26 日 井上; 1♂ 2012 年 11 月 28 日 佐藤

サツマシジミ *Udara albocaerulea* (Moore) 森林性, ヒマラヤ型, *EI2*

1♀ 1991 年 5 月 11 日 井上; 1ex 1991 年 6 月 11 日 井上 (目撃); 1♂1♀ 1991 年 6 月 16 日 井上; 1♀ 1993 年 5 月 6 日 井上; 1♀ 1993 年 5 月 13 日 井上; 1♂1♀ 1993 年 6 月 21 日 井上; 1♀ 1993 年 6 月 23 日 井上; 1♀ 1994 年 5 月 12 日 井上; 1ex 1994 年 6 月 13 日 井上 (目撃); 1♂ 1995 年 5 月 7 日 井上; 1♀ 1995 年 5 月 18 日 井上; 1♂ 1995 年 10 月 13 日 井上; 1♂ 1997 年 10 月 29 日 佐藤; 1♂ 2009 年 6 月 24 日 佐藤

ヤクシマルリシジミ *Acytrolepis puspa* (Horsfield) 森林性, マレー型, *EI2*

1♀ 2006 年 10 月 17 日 松本; 1♀ 2006 年 10 月 24 日 松本; 1♂ 2008 年 4 月 4 日 松本; 1♀ 2008 年 8 月 1 日 佐藤; 1♀ 2008 年 11 月 26 日 松本; 1♂ 2008 年 11 月 26 日 宮地; 1♂ 2008 年 11 月 26 日 佐藤; 1♂ 2009 年 3 月 24 日 佐藤; 1♀ 2009 年 6 月 24 日 佐藤; 1♂1♀ 2009 年 6 月 11 日 佐藤; 1♀ 2009 年 4 月 27 日 佐藤; 1♂ 2009 年 11 月 26 日 佐藤; 1♂ 2012 年 3 月 22 日 山田; 1♀ 2012 年 5 月 26 日 井上; 1♀ 2012 年 5 月 27 日 井上; 1♀ 2012 年 10 月 5 日 井上; 2♀ 2012 年 10 月 7 日 井上

ルリシジミ *Celastrina argiolus* (Linnaeus) 森林性, シベリア型, *EI2*

1♂ 1991 年 5 月 14 日 井上; 1♂ 1991 年 5 月 18 日 井上; 1♀ 1991 年 6 月 4 日 井上; 1♂1♀ 2008 年 4 月 4 日 松本; 1♀ 2008 年 6 月 6 日 佐藤; 1♀ 2012 年 3 月 15 日 佐藤; 1♂ 2012 年 3 月 22 日 松本; 1♀ 2012 年 5 月 26 日 井上; 1♀ 2012 年 10 月 5 日 井上

ヤマトシジミ *Zizeeria maha* (Kollar) 草原性, ヒマラヤ型, *EI1*

1♂ 1991 年 5 月 11 日 井上; 1♂ 1991 年 5 月 18 日 井上; 1♂ 1995 年 12 月 20 日 井上 (目撃); 1♂ 1997 年 10 月 27 日 稲田; 1♂ 2006 年 10 月 24 日 松本; 1♂ 2008 年 4 月 21 日 佐藤; 1♂1♀ 2008 年 8 月 18 日 佐藤; 1♂ 2008 年 8 月 27 日 佐藤; 1♂ 2008 年 10 月 3 日 佐藤; 1♂ 2008 年 10 月 16 日 佐藤; 1♀ 2008 年 11 月 26 日 佐藤; 2♀ 2009 年 8 月 26 日 佐藤; 2♂ 2009 年 8 月 11 日 佐藤; 1♂ 2009 年 6 月 24 日 佐藤; 1♂ 2009 年 5 月 29 日 佐藤; 2♂ 2009 年 9 月 10 日 佐藤; 1♂ 2009 年 10 月 15 日 佐藤; 1♂ 2009 年 10 月 31 日 佐藤; 1♂ 2009 年 11 月 26 日 佐藤; 2♂ 2012 年 10 月 5 日 井上

ツバメシジミ *Everes argiades* (Pallas) 草原性, シベリア型, *EI2*

1ex 1991 年 6 月 4 日 井上 (目撃); 1♀ 2012 年 5 月 27 日 井上; 1♀ 2012 年 10 月 7 日 井上

ウラナミシジミ *Lampides boeticus* (Fabricius) 草原性, 汎熱帯型, *EI1*

1♂ 1997年10月27日 稲田; 1♂ 2♀ 2006年10月17日 松本; 1♀ 2008年9月22日 佐藤; 1♀ 2008年10月6日 佐藤; 1♂ 2008年10月16日 佐藤; 1♀ 2008年10月28日 佐藤; 1♀ 2008年11月5日 佐藤; 1♂ 2009年5月29日 佐藤; 2♀ 2009年9月29日 佐藤; 1♀ 2012年10月5日 井上; 1♂1♀ 2012年10月7日 井上

クロマダラソテツシジミ *Chilades pandava* (Horsfield)
1♀ 2009年11月12日 佐藤

ウラギンシジミ *Curetis acuta* Moore 森林性, ヒマラヤ型, *EI2*

1♀ 2006年10月24日 松本; 1♀ 2008年8月1日 佐藤; 1♀ 2008年8月18日 佐藤; 1♂ 2008年9月22日 佐藤; 1♀ 2009年8月26日 佐藤; 1♀ 2009年5月29日 佐藤; 1♀ 2009年11月12日 佐藤; 1♂ 2012年10月5日 井上; 1♂ 2012年10月6日 井上

タテハチョウ科 *Nymphalidae*

アサギマダラ *Parantica sita* (Kollar) 森林性, マレー型, *EI3*

1ex 1992年10月22日 井上 (目撃); 1♂ 1997年10月29日 佐藤; 1♂ 2006年10月17日 松本 (後翅裏面に「アキバ 10/11 FRV1407」とマーク); 1♂ 2006年10月24日 松本; 1♂ 2008年10月16日 佐藤; 1♂ 2008年10月28日 佐藤

テングチョウ *Libythea lepita* Moore 森林性, 所属未定, *EI2*

1ex 2009年3月24日 佐藤 (目撃); 1ex 2009年4月8日 佐藤 (目撃); 1♀ 2012年5月26日 井上

ツマグロヒョウモン *Argyreus hyperbius* (Linnaeus) 草原性, 汎熱帯型, *EI1*

2♂ 1991年5月11日 井上; 1♂ 1991年6月5日 井上; 1♀ 1991年6月12日 井上; 4♂2♀ 1991年6月16日 井上; 1♂1♀ 2006年10月17日 松本; 1♂ 2008年4月21日 松本; 1♂ 2008年6月27日 佐藤; 1♂1♀ 2008年8月1日 佐藤; 1♂ 2008年8月28日 佐藤; 1♂ 2008年9月22日 佐藤; 1♀ 2009年7月30日 松本; 1♂ 2009年7月9日 佐藤; 1♂ 2009年8月26日 佐藤; 1♂1♀ 2009年6月24日 佐藤; 1♂ 2009年5月13日 佐藤; 1♂1♀ 2009年4月27日 佐藤; 2♂ 2009年9月10日 佐藤; 1♂ 2009年10月15日 佐藤; 1♂ 2012年5月27日 井上; 1♀ 2012年10月5日 井上; 1♂ 2012年10月7日 井上; 1♂1♀ 2012年10月25日 山田; 1♀ 2012年10月29日 松本; 2♂1♀ 2012年11月28日 佐藤

メスグロヒョウモン *Damora sagana* (Doubleday) 森林性, ウスリー型, *EI2*

1♂ 1991年5月16日 井上; 1♀ 2012年10月7日 井上

ミドリヒョウモン *Argynnis paphia* (Linnaeus) 森林性, シベリア型, *EI2*

1ex 1991年6月4日 井上 (目撃); 1ex 1991年9月25日 井上 (目撃); 1♂ 1993年9月24日 井上; 1♂ 2002年5月28日 竹内; 1♀ 2008年9月22日 佐藤; 1♂ 2008年10月6日 佐藤; 1♀ 2012年10月7日 井上

コムシジ *Neptis sappho* (Pallas) 森林性, 所属未定, *EI2*

1♂ 1991年5月11日 井上; 1♂ 1997年10月10日 稲田; 1♀ 2008年9月22日 佐藤; 1♂ 2008年10月6日 佐藤; 2♂ 2009年7月9日 佐藤; 1♀ 2009年8月26日 佐藤; 1♂ 2009年8月11日 佐藤; 1♀ 2009年6月24日 佐藤; 1♂ 2009年4月27日 佐藤; 1♂ 2012年5月27日 井上; 1♂ 2012年10月5日 井上

ホシミスジ *Neptis pryori* Butler 草原性, 中華型, *EI1*

1♂ 1991年5月18日 井上; 1♂ 1991年5月26日 井上; 1♂2♀ 1991年6月16日 井上; 2♂ 1994年5月17日 井上; 1♂ 1999年5月31日 前藤; 1♀ 2008年6月6日 佐藤; 1♂ 2008年8月1日 佐藤; 1♂ 2008年8月18日 佐藤; 2♂ 2009年8月11日 佐藤; 1♂ 2009年5月29日 佐藤; 1♂ 2012年5月26日 井上; 3♂ 2012年5月27日 井上

イチモンジチョウ *Ladoga camilla* (Linnaeus) 森林性, シベリア型, *EI2*

1♂ 2009年7月23日 佐藤

ヒオドシチョウ *Nymphalis xanthomelas* (Esper) 森林性, 所属未定, *EI2*

1♀ 1991年5月26日 井上; 1♀ 1991年6月4日 井上

アカタテハ *Vanessa indica* (Herbst) 草原性, 所属未定, *EI2*

1♂ 2008年8月1日 佐藤; 1♂ 2008年10月16日 佐藤; 1♀ 2009年10月31日 佐藤; 1♀ 2009年11月26日 佐藤; 1♂ 2012年3月15日 佐藤

ヒメアカタテハ *Vanessa cardui* (Linnaeus) 草原性, 汎熱帯型, *EI2*

1ex 1991年6月4日 井上 (目撃); 1♀ 2008年11月26日 佐藤; 1♀ 2012年5月25日 井上

キタテハ *Polygonia c-aureum* (Linnaeus) 草原性, 中華

型, *EI2*

1♂ 2008 年 10 月 28 日 佐藤; 1♂ 2009 年 8 月 11 日 佐藤;
1♂ 2009 年 10 月 31 日 佐藤; 1♀ 2012 年 5 月 26 日 井上

ルリタテハ *Kaniska canace* (Linnaeus) 森林性, マレー型, *EI2*

1♂ 2008 年 8 月 27 日 佐藤; 1♂ 2008 年 8 月 28 日 佐藤;
1♀ 2009 年 4 月 8 日 佐藤; 1♂ 2012 年 4 月 2 日 山田;
1♂ 2012 年 5 月 27 日 井上; 1♂ 2012 年 10 月 7 日 井上

ゴマダラチョウ *Hestina japonica* (C. & R. Felder) 森林性, 中華型, *EI2*

1♂ 2001 年 8 月 20 日 竹内; 1♂ 2008 年 9 月 22 日 佐藤;
1ex 2009 年 9 月 10 日 佐藤 (目撃)

イシガケチョウ *Cyrestis thyodamas* Doyère 森林性, マレー型, *EI2*

2♂ 1991 年 5 月 18 日 井上; 1♂ 1991 年 6 月 16 日 井上;
1♀ 1991 年 9 月 26 日 井上; 1♂ 1994 年 5 月 12 日 井上;
1♂ 2000 年 6 月 28 日 竹内; 1♂ 2008 年 10 月 6 日 佐藤;
1♂ 2009 年 10 月 15 日 佐藤; 1♀ 2012 年 3 月 22 日 松本

スミナガシ *Dichorragia nesimachus* (Doyère) 森林性, マレー型, *EI3*

1♂ 2012 年 8 月 27 日 佐藤

ヒメウラナミジャノメ *Ypthima argus* Butler 森林性, ウスリー型, *EI2*

1♂1♀ 1991 年 5 月 11 日 井上; 1♂ 2008 年 4 月 4 日 松本;
1♀ 2008 年 4 月 21 日 松本; 1♂ 2008 年 6 月 21 日 佐藤;
4♂ 2008 年 7 月 10 日 松本; 1♀ 2008 年 8 月 1 日 佐藤;
1♀ 2008 年 8 月 18 日 佐藤; 1♂ 2008 年 10 月 6 日 佐藤;
1♂ 2009 年 7 月 7 日 松本; 1♂ 2009 年 4 月 22 日 松本;
1♂ 2009 年 4 月 6 日 佐藤; 2♂2♀ 2009 年 7 月 9 日 佐藤;
1♂ 2009 年 8 月 11 日 佐藤; 1♂ 2009 年 5 月 13 日 佐藤;
2♀ 2009 年 4 月 27 日 佐藤; 1♂ 2012 年 5 月 25 日 井上

ヒメジャノメ *Mycalesis gotama* Moore 森林性, ヒマラヤ型, *EI3*

1♀ 1997 年 10 月 10 日 稲田; 1♀ 2008 年 5 月 21 日 佐藤;
1♂ 2008 年 6 月 6 日 佐藤; 1♂ 2009 年 6 月 24 日 佐藤;
2♂ 2012 年 5 月 25 日 井上

コジャノメ *Mycalesis francisca* (Stoll) 森林性, ヒマラヤ型, *EI2*

2♂ 1991 年 5 月 11 日 井上; 1♀ 1999 年 5 月 31 日 前藤;
1♂1♀ 2008 年 5 月 21 日 佐藤; 1♂ 2008 年 6 月 6 日 佐藤;
1♂ 2008 年 7 月 10 日 松本; 1♂ 2008 年 8 月 28 日

佐藤; 1♀ 2009 年 8 月 11 日 佐藤; 1♂ 2009 年 5 月 29 日 佐藤;
1♀ 2009 年 5 月 13 日 佐藤; 3♂ 2009 年 4 月 27 日 佐藤;
1♀ 2012 年 5 月 25 日 井上

ヒカゲチョウ *Lethe sicelis* (Hewitson) 森林性, 日本型, *EI2*

1♂ 2008 年 9 月 22 日 佐藤; 1♀ 2009 年 7 月 30 日 松本;
1♂1♀ 2009 年 9 月 29 日 佐藤; 1♀ 2012 年 5 月 25 日 井上;
1♀ 2012 年 10 月 5 日 井上

サトキマダラヒカゲ *Neope goschkevitschii* (Ménétrières) 森林性, 日本型, *EI2*

1♀ 2008 年 9 月 1 日 佐藤; 1♂ 2012 年 5 月 26 日 井上;
1♂ 2012 年 5 月 27 日 井上

クロコノマチョウ *Melanitis phedima* (Cramer) 森林性, マレー型, *EI3*

1ex 1991 年 7 月 16 日 井上 (目撃); 1♂ 1991 年 9 月 18 日 井上;
1♂ 2006 年 10 月 17 日 松本; 2♀ 2009 年 4 月 8 日 佐藤;
2♀ 2012 年 4 月 12 日 松本; 1♂ 2012 年 10 月 5 日 井上;
2♂ 2012 年 10 月 7 日 井上

セセリチョウ科 Hesperiidae

アオバセセリ *Choaspes benjaminii* (Guérin-Ménéville) 森林性, マレー型, *EI2*

1♂ 1994 年 5 月 2 日 井上

ダイミョウセセリ *Daimio tethys* (Ménétrières) 森林性, 中華型, *EI3*

1♀ 1991 年 5 月 11 日 井上; 1♀ 1991 年 5 月 14 日 井上;
1♀ 1991 年 5 月 18 日 井上; 1♀ 2001 年 5 月 5 日 竹内;
1♀ 2008 年 8 月 28 日 佐藤; 1♂ 2008 年 9 月 22 日 佐藤;
1♂ 2012 年 5 月 26 日 井上

キマダラセセリ *Potanthus flavus* (Murray) 草原性, 中華型, *EI2*

1♂ 2008 年 8 月 28 日 佐藤

ホソバセセリ *Isoteinon lamprospilus* C. & R. Felder 森林性, ヒマラヤ型, *EI2*

1ex 1996 年 7 月 16 日頃 井上 (目撃); 1ex 1997 年 7 月 10 日 井上 (目撃); 1♂ 2008 年 9 月 22 日 佐藤

イチモンジセセリ *Parnara guttata* (Bremer & Grey) 草原性, ヒマラヤ型, *EI1*

1♂ 1991 年 5 月 11 日 井上; 1♂1♀ 2008 年 8 月 28 日 佐藤;
1♂ 2008 年 10 月 6 日 佐藤; 1♂ 2008 年 10 月 16 日 佐藤;
1♀ 2009 年 8 月 11 日 佐藤; 1♂1♀ 2009 年 10 月 31 日 佐藤;
1♂ 2012 年 5 月 26 日 井上; 3♂ 2012 年 10

月 5 日 井上

チャパネセセリ *Pelopidas mathias* (Fabricius) 草原性, 汎熱帯型, *EI2*

1♂ 1991 年 5 月 14 日 井上; 2♀ 1997 年 10 月 27 日 稲田;
2♀ 2006 年 10 月 17 日 松本; 1♂ 2008 年 5 月 21 日 佐藤;
2♂ 2008 年 8 月 28 日 佐藤; 1♀ 2008 年 9 月 22 日 佐藤;
1♀ 2008 年 10 月 3 日 佐藤; 1♂1♀ 2008 年 10 月 6 日 佐藤;
1♀ 2008 年 10 月 28 日 佐藤; 1♀ 2008 年 11 月 26 日 松本;
1♂1♀ 2009 年 7 月 9 日 佐藤; 1♀ 2009 年 8 月 26 日 佐藤;
1♀ 2012 年 10 月 6 日 井上; 1♀ 2012 年 10 月 7 日 井上;
1♀ 2012 年 10 月 16 日 佐藤

2. チョウ類相から見た四国支所の環境

四国支所で記録された 55 種のうち、ごく近年、日本で発生を繰り返すようになったものの現段階では土着種とはいえないクロマダラソテツシジミを除いた 54 種を対象として、チョウ類相から見た四国支所の環境について考察する。

巣瀬の *EI* 指数は、54 種の全種を対象として計算すると 105 で、「良好な林や草原」にあたる「多自然」、2006 年以降に記録された 49 種を対象とすると 96 で、「農村・人里」にあたる「中自然」と評価された。

54 種のうち森林性種は 37 種 (69%)、草原性種は 17 種 (31%) であった (Table 1)。日本全体での森林性種と草原性種の割合は、田中 (1988) に従った場合、約 64%

Table 1. Number (%) of forest species and grassland species of butterflies recorded from Japan, Kochi Prefecture, Kochi City and Shikoku Research Center.

	Forest species	Grassland species
Japan ¹⁾	150 (63.8)	85 (36.2)
Kochi Prefecture ²⁾	80 (71.4)	32 (28.6)
Kochi City ³⁾	53 (69.7)	23 (30.3)
Shikoku Research Center	37 (68.5)	17 (31.5)

1) Tanaka (1988).

2), 3) See text. Stray species are excluded.

と 36% になる。矢田 (2007) に掲載されている「日本産蝶類分布表」によると、高知県からは 128 種のチョウの記録があるとされるが、これには迷チョウと考えられる 18 種が含まれる。迷チョウを除いた 110 種に、上記の分布表には掲載されていないものの吾川郡本川村 (現在、吾川郡いの町) で記録があるとされるウラナミアカシジミ *Japonica saepestriata* (Hewitson) (日本鱗翅学会四国支部 1979) と、ごく近年高知県内で分布を拡大しつつあるクロセセリ *Notocrypta curvifascia* (C. & R. Felder) (矢後 2012) を加えた 112 種を高知県の土着種と考え、田中 (1988) に従って分類すると、森林性種は 80 種 (71%)、草原性種は 32 種 (29%) となった。また (旧) 高知市付近の平地・低山地で記録がある土着種 (後述; 分布していた可能性はあるが記録を確認できなかったオオチャパネセセリ *Polytremis pellucida* (Murray) とヒメキマダラセセリ *Ochlodes ochraceus* (Bremer) を除く) を見ると、森林性種は 53 種 (70%)、草原性種は 23 種 (30%) となった。日本全体と比べて高知県、高知市、四国支所で草原性種の割合が低い理由は、日本全体のファウナには高山草原などの特殊な草原環境に生息する種が含まれているため (Inoue 2003) であろう。四国支所には苗畑や歩道周辺などを除くと草原的な環境があまりなく森林に被われた面積が広いことも、森林性種の占める割合が高いことの一因かもしれない。高知県や高知市全体と比較すると、四国支所の方が森林性種の占める割合が僅かに低かったが、高知県では森林性のミドリシジミ類の分布が山地に偏っていて、四国支所からはウラゴマダラシジミ以外には記録されていないことが、その主因であると考えられる。

四国支所の記録種を松本 (2006) が提案した地理的分布型にあてはめてみると、シベリア型 7 種、ウスリー型 5 種、中華型 8 種、日本型 3 種、ヒマラヤ型 8 種、マレー型 11 種、汎熱帯型 6 種、所属未定 6 種であった (Table 2)。日本全体 (松本 2006) と比較すると、四国支所ではシベリア型やウスリー型が占める割合が低く、マレー型やヒマラヤ型が占める割合が高かった。高知県や高知市と四国支所とを比較した場合には、四国支所ではウスリー型や中華型が占める割合は低く、

Table 2. Number (%) of species categorized by geographical distribution types in the butterflies occurring in Japan, Kochi Prefecture, Kochi City and Shikoku Research Center.

	Siberian	Ussuri	Chinese	Japanese	Himalayan	Malayan	Pan-tropical	undetermined
Japan ¹⁾	49 (21.5)	39 (17.1)	40 (17.5)	19 (8.3)	16 (7.0)	25 (11.0)	31 (13.6)	9 (3.9)
Kochi Prefecture ²⁾	12 (10.7)	17 (15.2)	32 (28.6)	13 (11.6)	11 (9.8)	13 (11.6)	7 (6.3)	7 (6.3)
Kochi City ³⁾	9 (11.8)	11 (14.5)	16 (21.1)	4 (5.3)	9 (11.8)	13 (17.1)	7 (9.2)	7 (9.2)
Shikoku Research Center	7 (13.0)	5 (9.3)	8 (14.8)	3 (5.6)	8 (14.8)	11 (20.4)	6 (11.1)	6 (11.1)

1) Matsumoto (2006).

2), 3) See text. Stray species are excluded.

マレー型やヒマラヤ型が占める割合が高かった。シベリア型やウスリー型は日本が分布のほぼ南限にあたる型で、マレー型は Wallacea 以西の熱帯・亜熱帯アジアに分布し、日本が北限となる型である。またヒマラヤ型は、華中・華南ときにはヒマラヤから日本に分布し、東南アジアの島嶼に分布しない型である (松本 2006)。すなわち四国支所では、日本を分布南限とするようないわゆる北方系の種が少なく、日本を分布北限とする暖地性の種や、東アジアに分布域を持つような種が多いと言えよう。高知県や高知市と比較した場合に、四国支所ではウスリー型や中華型が占める割合がかなり低い理由は、高知県 (または高知市) ではやや山地に分布する傾向が強い種が四国支所では欠落しているためであろう。

3. 四国支所で記録された注目種

1990 年代前半に井上が行った採集は網羅的な調査ではなかったため、普通種でもかなり見落としがあったと思われる (井上 1998)。このため、2006～2012 年 (以下、“2000 年代”とする) に確認された種の大半は 1990 年代前半にも生息していたと考えられる。しかし、明らかに 1990 年代後半以降に侵入したと考えられる種や、1990 年代に確認されていて 2000 年代に確認されなかった種もある。また、国や県のレッドデータ・リストに掲げられた種も若干含まれている。このため、ここではそれらの注目種について考察する。

1990 年代前半には四国支所には生息していなかったと考えられる種は、ヤクシマルリシジミとクロマダラソテツシジミの 2 種である。ヤクシマルリシジミは、かつては高知県では東部の室戸岬付近などからの採集記録がほとんどで、1990 年代前半までは高知県中部からは僅かな報告例しかなかった (森澤 1998, 井上 2008)。1996 年ごろから顕著な分布拡大がみられ、高知市内などでも確認されるようになった (森澤 1998, 1999)。したがって、四国支所には 1990 年代後半以降に侵入したのであろう。本種の幼虫の食餌植物は、ブナ科・バラ科・ツツジ科など 10 科以上にわたり (仁平 2004)、四国ではノイバラ *Rosa multiflora* Thunb.、テリハノイバラ *R. luciae* Rochebr. et Franch. ex Crép.、ウバメガシ *Quercus phillyreoides* A.Gray などが知られる (日本鱗翅学会四国支部 1979)。これらの植物は四国支所に自生または植栽されている (酒井 2006, 大黒 1998)。ヤクシマルリシジミは四国支所では季節を問わず採集されているため、現在では定着していると考えてよいだろう。クロマダラソテツシジミは、2008 年に四国で初めて確認されたが (平井 2008, 2009)、2009～2010 年には高知市を含む高知県の広い範囲で記録され、発生も確認された (荒川 2010, 前蘭・荒川 2010, 森澤 2010, 前蘭ら 2011)。本種の食樹はソテツ *Cycas*

revoluta Thunb. で (白水 2006, 矢田 2007)、四国支所では庁舎付近に生えている。2009 年に四国支所で採集された個体は、このソテツで発生したか、またはそれに誘引されて飛来したものだろう。

国内の昆虫の最新のレッドリストは、環境省 (2012) によって発表されている。また、高知県からも昆虫を含む動物のレッドデータブックが発行されている (高知県レッドデータブック [動物編] 編集委員会 2002)。さらに、日本鱗翅学会はこれまで 3 回にわたって都道府県別のチョウのレッドデータ・リストを発行してきた (矢田・上田 1993, 巢瀬・枝 2003, 間野・藤井 2009)。ここではこれらのリストのうち、国のリスト (環境省 2012)、高知県版のリスト (高知県レッドデータブック [動物編] 編集委員会 2002) および鱗翅学会の最新リスト (間野・藤井 2009) のいずれかに掲載された種をレッドデータ種として扱うこととする。四国支所構内で記録された種では、ツマグロキチョウ (環境省 (2012) で絶滅危惧 II 類)、メスグロヒョウモン (高知県レッドデータブック [動物編] 編集委員会 (2002) で準絶滅危惧)、ウラゴマダラシジミ (高知県レッドデータブック [動物編] 編集委員会 (2002) で準絶滅危惧)、ホシミスジ (間野・藤井 (2009) で絶滅危惧 II 類) があげられる。ただし、これらの中でホシミスジは、藤岡ら (1999) によって四国南東部山地亜種 *hamadai* とされた物部村産に対しての評価であり、四国支所構内に生息する個体群 (亜種 *setoensis*) はレッドデータ種には該当しないと考えられる。また、近年出版された図鑑類では亜種 *hamadai* を認めていない場合が多い (白水 2006, 矢田 2007)。

メスグロヒョウモンは特に西南日本各地で衰亡しており、間野・藤井 (2009) には、全国で 8 県がリストに掲載されている。高知県では、1970 年代には既に衰亡傾向が現れていた (竹束ら 1978)。本種の食草として記録されている植物 (仁平 2004) のうち、タチツボスミレ *Viola grypoceras* A.Gray var. *grypoceras*、スミレ *V. mandshurica* W.Becker、ツボスミレ *V. verecunda* A.Gray が四国支所で確認されている (酒井 2006)。1991 年には羽化時期である初夏に採集されたことから、四国支所が発生地になっている可能性は高い。2012 年にも採集されたことから、低密度ながら継続して生息していると思われる。

ツマグロキチョウは、全国的に近年衰亡がきわめて著しい種である (井上 2005)。1990 年代前半には高知県各地からの記録は多く (竹束 1995)、近年でも少ないながら高知県内での採集記録がある (伊藤 2004)。本種の食草であるカワラケツメイ *Chamaecrista nomame* (Siebold) H.Ohashi は四国支所構内にまれに自生している (酒井 2006)。このため、四国支所が発生地になっている可能性もあるが、採集された個体は秋型で、秋

型は移動力が強いことが知られる(福田ら 1982)。したがって、他所から飛来した個体である可能性も考えられ、周辺部を含めて今後発生地を探索する必要がある。本種は 2000 年代には記録できなかった。

ウラゴマダラシジミは、高知県各地で記録されているが、高知市小高坂山の産地は壊滅状態にあるとされ(竹束 1996b)、都市開発の影響を受けやすいと考えられる。四国支所構内には食樹のイボタノキ *Ligustrum obtusifolium* Siebold et Zucc. が自生し(酒井 2006)、また 1990 年代には連年複数個体が採集されていることから、発生地になっていたことは疑いない。四国支所のような開発の影響を直接的には受けない場所は、保全場所として重要である。本種は、発生時期に成虫を確認することが困難な種ではない。2000 年代に発見されていないことから、四国支所では絶滅もしくはそれに近い状態であると考えられる。イボタノキの多くが 2000 年代以降に伐採されたことが本種の衰亡の直接原因だろう。残されたイボタノキを保護するとともに、周辺部での生息状況調査によって(再)侵入の可能性を検討することも必要である。

なお、これらの種以外にミカドアゲハが過去にレッドデータ・リストに掲載されたこともある(矢田・上田 1993, 巢瀬・枝 2003)。本種は、高知市(筆山、潮江天満宮等)では国の特別天然記念物に指定されているものの、近年個体数は増えているため県のリストから外され(高知県レッドデータブック[動物編]編集委員会 2002)、また最新の鱗翅学会版リストである間野・藤井(2009)にも掲載されていない。1990 年代には構内に植栽されたオガタマノキ *Magnolia compressa* Maxim. で幼虫が確認され(井上 1998)、2000 年代にも蛹が発見されているため(松本剛史; 2009 年観察)、四国支所も発生地になっていると考えられる。

四国支所で 1990 年代に記録されて 2000 年代に記録されなかった種は、上記のツマグロキチョウとウラゴマダラシジミ以外に、トラフシジミ、ヒオドシチョウ、アオバセセリの 3 種である。トラフシジミとアオバセセリは多化性で成虫の出現期間は必ずしも短くないが、一般に個体数は少ないため、2000 年代の調査では見落とされた可能性が高い。ただしアオバセセリの食樹であるアワブキ科は、四国支所には自生、植栽とも確認されていないため(大黒 1998, 酒井 2006)、1994 年に採集された個体は外部からの飛来個体であった可能性もある。2012 年にはやはりアワブキ科を食樹とするスミナガシが採集されていることから、四国支所に近い場所に食樹が自生している可能性は高い。ヒオドシチョウは四国南部の平地・低山では近年減少しているとされるが(日本鱗翅学会四国支部 1979)、暖地では羽化後 1~2 週間ほどで姿を消し、その後、翌春までほとんど活動しないため(福田ら 1983)、活動期が

短く本種も見落された可能性が高い。

4. 今後四国支所で記録される可能性のある種

今回、四国支所で確認されなかったチョウのうち、(旧)高知市付近の平地・低山地で記録がある種は約 30 種ある(日本鱗翅学会四国支部(1979)などからの推定概数)。それらのうち、チャマダラセセリ *Pyrgus maculatus* (Bremer & Grey)、シルビアシジミ *Zizina emelina* (de l'Orza)、ウラナミジャノメ *Ypthima multistriata* Butler は、高知県では絶滅したと考えられる(間野・藤井 2009)。また、ミヤマチャバネセセリ *Pelopidas jansonis* (Butler) は物部村(現在、香美市物部町)以外では、タイワンツバメシジミ *Everes lacturnus* (Godart) は土佐清水市以外では、ウラギンスジヒョウモン *Argyronome laodice* (Pallas) は奈半利町以外では絶滅したとされるため(間野・藤井 2009)、これらが今後四国支所から記録される可能性はほとんどない。ただしウラギンスジヒョウモンは、2007 年に香美市土佐山田町で記録されている(中山 2010)。ウスキシロチョウ *Catopsilia pomona* (Fabricius)、オジロシジミ *Euchrysops cnejus* (Fabricius)、カバマダラ *Danaus chrysippus* (Linnaeus)、アオタテハモドキ *Junonia orithys* (Linnaeus)、メスアカムラサキ *Hypolimnasia misippus* (Linnaeus)、リュウキュウムラサキ *Hypolimnasia bolina* (Linnaeus)、ヤエヤマムラサキ *Hypolimnasia anomala* (Wallace)、ウスイロコノマチョウ *Melanitis leda* (Linnaeus) は、四国では土着種ではないと考えられる(日本鱗翅学会四国支部 1979)。ウスイロコノマチョウの越冬後成虫と思われる個体が高知県で採集された例もあるとされるが(植田・清水 1990b)、その一方で幼虫での越冬はできなかったことも報告されている(竹束 1991, 植田・清水 1995)。本種の越冬可能な地域は年によって変動していると考えられ、現段階でも屋久島以北での越冬後成虫の発見例はきわめて少ない(白水 2006)。ウスイロコノマチョウは毎年のように高知県で記録され(白水 2005)、また発生例もあるため(植田・清水 1990b, 1995, 竹束 1991)、これらの非土着種(迷チョウ)の中では今後四国支所で記録される可能性が最も高いと思われる。

上記の絶滅種と迷チョウを除くと、高知県中部の平地・低山地で比較的近年(概ね 1980 年代以降)の記録があると考えられるチョウは、ミヤマセセリ *Erynnis montanus* (Bremer)、コチャバネセセリ *Thoressa varia* (Murray)、クロセセリ、ウスバシロチョウ *Parnassius citrinarius* Motschulsky、ジャコウアゲハ *Byasa alcinous* (Klug)、オナガアゲハ *Papilio macilentus* Janson、ミヤマカラスアゲハ *Papilio maackii* Ménétrière、アカシジミ *Japonica lutea* (Hewitson)、コツバメ *Callophrys ferrea* (Butler)、ゴイシシジミ *Taraka hamada* (H.Druce)、ク

モガタヒョウモン *Nephargynnis anadyomene* (C. & R. Felder)、オオウラギンスジヒョウモン *Argyronome ruslana* (Motschulsky)、サカハチチョウ *Araschnia burejana* Bremer、コムラサキ *Apatura metis* Freyer、オオムラサキ *Sasakia charonda* (Hewitson)、キマダラモドキ *Kirinia fentoni* (Butler) の 16 種であると思われる。

16 種のうち、以下の 4 種は今後四国支所から記録される可能性は低い。ジャコウアゲハは、四国では海岸から山地にかけて局地的に分布し場所によっては多産するが (日本鱗翅学会四国支部 1979)、食草であるウマノスズクサ *Aristolochia debilis* Siebold et Zucc. は、四国支所では確認されていない (酒井 2006)。オオムラサキは高知市では蓮台、鴻ノ森、円行寺などで記録されているが (竹束ら 1978, 日本鱗翅学会四国支部 1979, 清水 1983)、四国では原則として山地に分布している。食樹であるエノキ *Celtis sinensis* Pers. は四国支所に自生しているが (酒井 2006)、本種のような大型で目立つ種が見落とされている可能性は低い。ウスバシロチョウの食草であるムラサキケマン *Corydalis incisa* (Thunb.) Pers. は、四国支所にも自生している (酒井 2006)。高知市では仏瀬峠からの古い記録がある (岡部・中村 1986) ほか、小高坂山から 1984 年に記録されている (浜田 1984)。本種は通常四国では山地に分布し平野には分布しないとされ (日本鱗翅学会四国支部 1979)、小高坂山の記録はきわめて稀な例であると思われる、人為的な移動の可能性も指摘されている (岡部・中村 1986)。キマダラモドキの主な食草であるススキ *Miscanthus sinensis* Andersson は、四国支所にも多く生えている (酒井 2006)。本種は高知県内では、従来は大豊町梶ヶ森のみで記録されていた (日本鱗翅学会四国支部 1979)。1989 年に高知市鴻ノ森から 2 個体が記録されたが (植田・清水 1989b)、その後の同地からの記録はないと思われ、これはきわめて稀な例であろう。本種は四国では高知県以外でも山地に偏って分布している (日本鱗翅学会四国支部 1979)。国のレッドデータ・リストでは準絶滅危惧 (環境省 2012)、高知県では絶滅危惧 II 類 (高知県レッドデータブック [動物編] 編集委員会 2002) または準絶滅危惧 (間野・藤井 2009) にランクされている。

以下の 12 種は、今後四国支所から記録される可能性が多少なりともあると考えられる。ミヤマセセリの食樹であるクヌギ *Quercus acutissima* Carruth. やコナラ *Q. serrata* Murray は、四国支所にも植栽されたり自生したりしている (大黒 1998, 酒井 2006)。高知市では五台山、筆山、円行寺、小高坂山、鴻ノ森、柴巻、網川越などから知られるが (日本鱗翅学会四国支部 1979, 清水 1983, 竹束 1995, 秋沢・熊沢 2009)、四国での生息地は著しく減少しており高知市でも衰亡していると思われる (日本鱗翅学会四国支部 1979)。コチャバネセ

セリはササ類を食草としており、四国では低地から高地にかけて全般に分布し個体数も多い (日本鱗翅学会四国支部 1979)。高知県でも高知市を含む全県的に分布している (竹束 1995)。クロセセリは、近年高知県で西から徐々に分布を拡大し、高知市でも発見されている (矢後 2012)。食草であるミョウガ *Zingiber mioga* (Thunb.) Roscoe は四国支所に生えている。オナガアゲハは高知市の市街地付近でも記録されている (日本鱗翅学会四国支部 1979)。本種の主要な食樹のクサギ *Orixa japonica* Thunb. は四国支所には自生していないが、食樹として知られる植物 (福田ら 1982, 仁平 2004) のうち、カラスザンショウ *Zanthoxylum ailanthoides* Siebold et Zucc. やイヌザンショウ *Z. schinifolium* Siebold et Zucc. が自生している (酒井 2006)。ミヤマカラスアゲハは一般に山地性だが、高知市の市街地 (竹束 1986) や海岸部 (森澤 2001) でもときおり記録される。四国で本種の食樹となっているキハダ *Phellodendron amurense* Rupr. やカラスザンショウ (日本鱗翅学会四国支部 1979) は四国支所に自生しており (酒井 2006)、ハマセンダン *Tetradium glabrifolium* (Champ. ex Benth.) T.G.Hartley var. *glaucum* (Miq.) T.Yamaz. (森澤 2001) も植えられている。アカシジミは高知市北山や鴻ノ森 (竹束ら 1978, 日本鱗翅学会四国支部 1979, 清水 1983) だけでなく、(旧) 春野町や高知市南部の筆山、小富士山、南国市鉢伏山等の低標高地 (50 ~ 100m 程度) からも記録された (植田・清水 1989a, 1990a)。主要な食樹であるコナラは四国支所に自生している (酒井 2006)。コツバメは四国全域の平地から山地まで広く分布し (日本鱗翅学会四国支部 1979)、高知市円行寺でも採集されている (秋沢・熊沢 2009)。四国ではネジキ *Lyonia ovalifolia* (Wall.) Drude var. *elliptica* (Siebold et Zucc.) Hand.-Mazz., ガマズミ *Viburnum dilatatum* Thunb., ヤマツツジ *Rhododendron kaempferi* Planch. var. *kaempferi* が食餌植物として知られ (日本鱗翅学会四国支部 1979)、これらは四国支所では自生・植栽とも記録されていないが、日本全体では四国支所にもあるアセビ *Pieris japonica* (Thunb.) D.Don ex G.Don subsp. *japonica* (大黒 1998, 酒井 2006) のほか多くの植物を食樹としている (福田ら 1984, 仁平 2004)。ゴイシジミは四国では一般に山地以外では局地的に分布すると思われるが、高知市では円行寺、長浜などで記録されている (日本鱗翅学会四国支部 1979, 中村 1989)。本種は、タケ・ササ類に寄生するササコナフキツノアブラムシ *Ceratovacuna japonica* (Takahashi)などを幼虫の餌とする捕食性である (福田ら 1984)。本種の食餌となっているアブラムシ類を四国支所で確認していないものの、成虫の移動性は高く、発生地から離れた場所にも出現することがある (福田ら 1984)。オオウラギンスジヒョウモンは、四国支所にも自生しているタチツボ

スミレ (酒井 2006) などを食草とし (福田ら 1983, 仁平 2004)、高知市では円行寺、潮江山、鷲尾山などで採集されている (長崎 1985)。本種は四国でも一般に山地性の種であるが (日本鱗翅学会四国支部 1979)、秋には市街地や海岸などで記録されることがあり (福田ら 1983)、高知県の平野部でも秋の採集例がある (清水 1985)。円行寺で採集された個体は羽化直後であったとされることから (長崎 1985)、平地付近でも発生している可能性がある。クモガタヒョウモンはタチツボスミレなどを食草とし、四国全域の低山から高地にかけて分布し (日本鱗翅学会四国支部 1979)、高知市鴻ノ森からも記録されている (清水 1983)。オオウラギンスジヒョウモンとクモガタヒョウモンの 1980 年代から 1990 年代にかけての記録は山地に偏る傾向があり (竹束 1996a)、県のレッドデータ・リスト (高知県レッドデータブック [動物編] 編集委員会 2002) ではともに準絶滅危惧にランクされている。サカハチチョウは、四国では海岸沿いを除く低山から標高 1800m 程度の山腹まで分布し (日本鱗翅学会四国支部 1979)、高知市では円行寺、鴻ノ森、五台山などから記録されている (清水 1983, 竹束 1996a, 秋沢・熊沢 2009)。食樹であるコアカソ *Boehmeria spicata* (Thunb.) Thunb. は四国支所に自生しているが (酒井 2006)、本種は一般に山地性で溪谷などに多い。コムラサキは、四国では海岸付近から山腹にかけて普遍的に分布する (日本鱗翅学会四国支部 1979)。四国支所では食樹であるウンリュウヤナギ *Salix matsudana* Koidz. 'Tortuosa' が植栽されている (大黒 1998)。これらの 12 種のうち、今後四国支所で記録される可能性が最も高いのは、普遍的に分布するコチャバネセセリとコムラサキであろう。

これら以外にオオチャバネセセリとヒメキマダラセセリが高知市付近の平野部に分布していた可能性があるが、少なくとも近年の記録はないという (高知大学、荒川 良, 私信)。オオチャバネセセリは四国では普遍的に分布していたが (日本鱗翅学会四国支部 1979)、近年全国的に衰亡している (井上 2005)。本種は 1980 年代後半から 1990 年代前半にかけて行われた環境庁の自然環境保全基礎調査のデータ (竹束 1995) には、室戸市の 1 例しか掲載されていない。県のレッドデータ・リスト (高知県レッドデータブック [動物編] 編集委員会 2002) では絶滅危惧 IA 類とされ、高南台地と本山町のみに残されているとされた。高知県内の山間部からはごく近年 (2010 年) でも採集記録があるものの (荒川 2011)、平地からはほぼ絶滅したと考えられる。ヒメキマダラセセリは、四国の西半部では広く分布し低山・山麓にも生息地があるが、東部では 700 ~ 800m 以上の高地に多く低地では少ないとされる (日本鱗翅学会四国支部 1979)。1980 年代から 1990 年代にかけての高知県での記録も山間部に偏っている (竹

束 1995)。

以上のように、四国支所構内で確認されたチョウの種数は 55 種と、必ずしも多いとはいえないものの、国や県のレッドデータ・リスト掲載種を含み、それらの一部の発生地になっていると考えられた。また、1990 年代から 2000 年代にかけて、若干のファウナの変化があったと考えられる。1990 年代に記録されて 2000 年代に記録されなかった種には近年の衰亡が著しい種が含まれるが、それらの全てが四国支所から絶滅したとは断定できない。例えば、ツマグロキチョウの食草としては、従来カワラケツメイのみが知られていたが (仁平 2004, 白水 2006)、東海地方では近年、帰化植物のアレチケツメイ *Chamaecrista nictitans* (L.) Moench を食草として増加している場所もある (上山 2009)。高知県では絶滅したと考えられるシルビアシジミは、国のレッドリストでは絶滅危惧 IB 類であるが (環境省 2012)、本種も日本で最も普通に利用されている食草のミヤコグサ *Lotus corniculatus* L. var. *japonicus* Regel ではなく、近年やはり帰化植物のシロツメクサ *Trifolium repens* L. を利用している場所もある (Ishii et al. 2008)。アレチケツメイは現在のところ四国には分布していないと思われるが、このように絶滅危惧種が従来の食草ではなく帰化植物に依存して個体群を維持している例が各地から報告されつつある (井上 2012)。今後、食草の分布拡大も含めて、いったんその場所 (地域) で絶滅したように思われる種についても注視することが必要である。今後さらに調査が進めば四国支所の所産種数は 60 種前後になると予想され、今後とも定期的に調査を継続することが望ましい。

謝 辞

稲田哲治、宮地瑞穂、竹内満里子、山田 茜の各氏には採集したチョウの標本を提供いただいた。また荒川 良博士 (高知大学) には、高知市付近のチョウの分布についてご教示いただいた。記してお礼を申し上げる。本研究の一部は科学研究費助成事業 (学術研究助成基金助成金、課題番号 24580486) によって行われた。

引用文献

- 秋沢稔浩・熊沢秀雄 (2009) 吉永晴夫氏の蝶標本について。げんせい, (85), 7-10.
- 荒川 良 (2010) 2009 年県内各地で発生が確認されたクロマダラソテツシジミ *Chilades pandava* (Horsfield). げんせい, (86), 1.
- 荒川 良 (2011) 香美市土佐山田町甫喜ヶ峰でオオチャバネセセリを採集。げんせい, (87), 28.
- 藤岡知夫・美ノ谷憲久・福田晴男 (1999) 四国産ホシミ

- スジの地理的変異－1 新亜種の記載を含む－. 月刊むし, (343), 2-8.
- 福田晴夫・浜 栄一・葛谷 健・高橋 昭・高橋真弓・田中 蕃・田中 洋・若林守男・渡辺康之 (1982) 原色日本蝶類生態図鑑 I. 保育社, 277pp.
- 福田晴夫・浜 栄一・葛谷 健・高橋 昭・高橋真弓・田中 蕃・田中 洋・若林守男・渡辺康之 (1983) 原色日本蝶類生態図鑑 II. 保育社, 325pp.
- 福田晴夫・浜 栄一・葛谷 健・高橋 昭・高橋真弓・田中 蕃・田中 洋・若林守男・渡辺康之 (1984) 原色日本蝶類生態図鑑 III. 保育社, 373pp.
- 浜田 康 (1984) 高知市小高坂山の昆虫二題. げんせい, (45), 13
- 平井規央 (2008) 最近分布を拡大したチョウとガークロマダラソテツシジミとイチジクヒトリモドキ. 昆虫と自然, 43(12), 13-16.
- 平井規央 (2009) 本州と四国におけるクロマダラソテツシジミの記録. やどりが, (220), 2-20.
- 井上大成 (1998) 四国支所構内で採集されたチョウ類 (チョウ目). 四国支所創立 50 周年記念誌編集委員会編“森林総合研究所四国支所 50 周年記念誌”, 森林総合研究所四国支所, 49-51.
- Inoue, T. (2003) Butterfly fauna in and near the Ogawa Forest Reserve. Bulletin of the Forestry and Forest Products Research Institute, 2, 237-246.
- 井上大成 (2004) 森林総合研究所構内のチョウ類相. 森林総合研究所研究報告, 3, 221-247.
- 井上大成 (2005) 日本のチョウの衰亡理由. 昆虫 (ニューシリーズ), 8, 43-64.
- 井上大成 (2008) 高知県中部におけるヤクシマルリシジミの 1994 年の採集例. げんせい, (84), 24.
- 井上大成 (2012) チョウの分布拡大の原因は温暖化だけじゃない!. 昆虫と自然, 47(6), 2-3.
- Ishii, M., Hirai, N. and Hirowatari, T. (2008) The occurrence of an endangered lycaenid, *Zizina emelina* (de l' Orza) (Lepidoptera, Lycaenidae), in Osaka International Airport, central Japan. Transactions of the Lepidopterological Society of Japan, 59, 78-82.
- 伊藤 寿 (2004) 高知県におけるツマグロキチョウの採集例. げんせい, (79), 26.
- 環境省 (2012) 生物多様性情報システム, 第 4 次レッドリスト, 昆虫類. http://www.biodic.go.jp/rdb/rdb_f.html
- 高知県レッドデータブック [動物編] 編集委員会 (2002) 高知県レッドデータブック [動物編]. 高知県文化環境部環境保全課, 470pp.
- 前蘭 剛・荒川 良 (2010) 高知県におけるクロマダラソテツシジミの発生. げんせい, (86), 31-32.
- 前蘭 剛・桑川義雅・荒川 良 (2011) 2010 年の高知県におけるクロマダラソテツシジミの発生状況. げんせい, (87), 41-43.
- 松本和馬 (2006) 森林総合研究所多摩森林科学園のチョウ相. 森林総合研究所研究報告, 5, 69-84.
- 松本和馬 (2008) 東京都多摩市の森林総合研究所多摩試験地および都立桜ヶ丘公園のチョウ類群集と森林環境の評価. 環動昆, 19, 1-16.
- 松本和馬・井上大成 (2012) 森林総合研究所赤沼実験林のチョウ相. 蝶と蛾, 63, 151-163.
- 森澤 正 (1998) 高知県中部におけるヤクシマルリシジミの分布について. げんせい, (72), 32.
- 森澤 正 (1999) 高知県中部におけるヤクシマルリシジミの分布継続調査. げんせい, (73), 27.
- 森澤 正 (2001) 高知市長浜およびその隣接地域におけるミヤマカラスアゲハ、特に食樹としてのハマセンダンについて. げんせい, (76), 17.
- 森澤 正 (2010) 高知市におけるクロマダラソテツシジミの採集記録. げんせい, (86), 42.
- 間野隆裕・藤井 恒 (2009) 日本産蝶類都道府県別レッドリスト (三訂版). 間野隆裕・藤井 恒編“日本産チョウ類の衰亡と保護第 6 集”, 日本鱗翅学会, 107-265.
- 長崎志津雄 (1985) 1984 年におけるリュウキュウムラサキなどの採集報告. げんせい, (46), 6.
- 中村重久 (1989) 高知市のゴイシシジミとウスイロコマチョウ. げんせい, (53), 28.
- 中山紘一 (2010) 高知大学農学部附属演習林 (香美市土佐山田町) の昆虫類. げんせい, (86), 3-13.
- 仁平 勲 (2004) 日本産蝶類幼虫食草一覧. 仁平 勲 (自刊), 102pp.
- 日本鱗翅学会四国支部 (1979) 四国の蝶. 竹東 正, 229pp.
- 西多摩昆虫同好会 (1991) 東京都の蝶. けやき出版, 200pp.
- 西多摩昆虫同好会 (2012) 改訂版東京都の蝶. けやき出版, 198pp.
- 大黒 正 (1998) 四国支所樹木園リスト. 四国支所創立 50 周年記念誌編集委員会編“森林総合研究所四国支所 50 周年記念誌”, 森林総合研究所四国支所, 41-44.
- 岡部正明・中村重久 (1986) 四国南部のウスバシロチョウについて. げんせい, (49), 23-27.
- 奥田史郎・門田春夫・松本剛史 (2005) 四国支所構内実験林における 2004 年台風被害記録—おもに台風 16 号による被害について—. 平成 16 年度森林総合研究所四国支所年報, 37-39.
- 酒井 敦 (2006) 森林総合研究所四国支所構内の野生植物目録. 森林総合研究所研究報告 5, 299-306.
- 佐藤重穂 (1998) 四国支所構内の鳥類. 四国支所創立 50

- 周年記念誌編集委員会編“森林総合研究所四国支所 50 周年記念誌”, 森林総合研究所四国支所, 45-48.
- 清水昭三 (1983) 高知市鴻ノ森の蝶 山頂集合性を中心に. げんせい, (43), 25-31.
- 清水昭三 (1985) 高知市におけるメスカムラサキの採集など. げんせい, (42), 46.
- 白水 隆 (2005) 白水隆 日本の迷蝶 I マダラチョウ科・タテハチョウ科. 蝶研出版, 730pp.
- 白水 隆 (2006) 日本産蝶類標準図鑑. 学習研究社, 336pp.
- 巢瀬 司 (1993) 蝶類群集研究の一方法. 矢田 脩・上田恭一郎編“日本産蝶類の衰亡と保護第 2 集”, 日本鱗翅学会, 83-90.
- 巢瀬 司 (1998) 環境指標性を利用した解析. 日本環境動物昆虫学会編“チョウの調べ方”, 文教出版, 56-69.
- 巢瀬 司・枝恵太郎 (2003) 日本産蝶類都道府県別レッドデータ・リスト (2002 年). 巢瀬 司・枝恵太郎編“日本産チョウ類の衰亡と保護第 5 集”, 日本鱗翅学会, 1-169.
- 竹束 正 (1986) 高知市内市街地の庭木にミヤマカラスアゲハが産卵. げんせい, (49), 16.
- 竹束 正 (1991) 1990 年における高知県内のウスイロコノマチョウの採集記録とその子の越冬試験. げんせい, (58), 19-21.
- 竹束 正 (1995) 高知県における蝶類の環境庁第 4 回 (1990 ~ 1991) 自然環境保全基礎調査データの報告について (I). げんせい, (67), 16-24.
- 竹束 正 (1996a) 高知県における蝶類の環境庁第 4 回 (1990 ~ 1991) 自然環境保全基礎調査データの報告について (II). げんせい, (68), 19-26.
- 竹束 正 (1996b) 高知県におけるウラゴマダラシジミの分布について. げんせい, (69), 9-12.
- 竹束 正・秋沢稔浩・海地節雄 (1978) 高知県の蝶. 昆虫と自然, 13(10), 16-19.
- 田中 蕃 (1988) 蝶による環境評価の一方法. 日本鱗翅学会特別報告, (6), 527-566.
- 植田英雄・清水昭三 (1989a) 蝶類雑録 PART4. げんせい, (54), 2.
- 植田英雄・清水昭三 (1989b) 蝶類雑録 PART5. げんせい, (55), 2.
- 植田英雄・清水昭三 (1990a) 蝶類雑録 PART6. げんせい, (56), 2.
- 植田英雄・清水昭三 (1990b) 蝶類雑録 PART7. げんせい, (57), 2.
- 植田英雄・清水昭三 (1995) 蝶類雑録 PART8. げんせい, (66), 2.
- 上山智嗣 (2009) アレチケツメイを食べる安倍川のツマグロキチョウ. 駿河の昆虫, (228), 6312-6315.
- 矢後勝也 (2012) 2011 年の昆虫界をふりかえって, 蝶界. 月刊むし, (495), 2-18.
- 矢田 脩 (監修) (2007) 新訂原色昆虫大図鑑第 I 巻 (蝶蛾篇). 北隆館, 460pp.
- 矢田 脩・上田恭一郎 (1993) 日本産蝶類県別レッドデータ・リスト (1992 年). 矢田 脩・上田恭一郎編“日本産チョウ類の衰亡と保護第 2 集”, 日本鱗翅学会・日本自然保護協会, 17-81.

論文 (Original article)

Estimating forest biomass using allometric model in a cool-temperate *Fagus crenata* forest in the Appi Highlands, Iwate, Japan

Kenji ONO^{1)*}, Yukio YASUDA¹⁾, Toru MATSUO²⁾,
Daisuke Hoshino³⁾, Yukihiro CHIBA⁴⁾ and Shigeta MORI⁴⁾

Abstract

To estimate forest biomass and productivity in a cool-temperate deciduous hardwood forest of the Appi Highlands in northern Japan, we developed allometric equations for estimating relationships between size-related variable (stem diameter at breast height (dbh)) and biomass of leaves, branches, stems, and roots for Japanese beech (*Fagus crenata*) trees. This is one of the most typical species growing in the cool-temperate zones of Japan. At the present study site, Japanese beech trees comprised 75% of all forest trees (1,666 trees ha⁻¹ in 2012) and 80% of the sum of basal areas for all species. Twelve trees of various sizes were comprehensively harvested to measure tree biomass at the study site. Allometric equations developed for all parts of biomass as a function of dbh showed high correlations (*Adjusted R*² = 0.92-0.99). Using two independent external datasets, validation results for stem biomass estimates were quite good although those for branch, leaf, and root biomass were not as accurate because of relatively large *SEP* (standard error of prediction) of branch and leaf biomass estimates for the validation dataset and underestimation of leaf and root biomass for small-sized trees. Insufficient accuracy of those biomass estimates may not have hindered the accurate estimation of forest biomass in the Appi Highlands because stem biomass was a main component of forest biomass and the low accuracy estimates only involved inaccuracies in the estimates for some of small-sized trees (dbh < 10 cm). Forest biomass in the Appi Highlands was estimated to be 343 t ha⁻¹ using the equations developed here. This value was slightly higher than average values of Japanese beech forest in previously published biomass data. Results of the present study will be helpful for advancing further studies on the determination of annual changes in forest productivity and carbon dynamics in Japanese beech forests in the Appi Highlands.

Key words : dbh-based allometric equations, *Fagus crenata*, forest biomass, root excavation, temperate secondary forest

1. Introduction

Measuring carbon dioxide (CO₂) flux using micrometeorological techniques is a means of determining carbon (C) dynamics in forested ecosystems (Mizoguchi et al. 2012). Determining net ecosystem production (NEP), gross primary production (GPP), and ecosystem respiration (R_E) via CO₂ flux in forest ecosystems is an important part of understanding C dynamics in forested ecosystems. The Forestry and Forest Product Research Institute has formed a research group (Forestry and Forest Product Research Institute Flux Observation Network (FFPRI FluxNet)) which has observed CO₂ flux in several forest types in Japan since 1995 (FFPRI FluxNet 2013). Since then, FFPRI FluxNet has continuously measured CO₂ exchange between vegetated surfaces and the atmosphere at six research sites in Japan (five currently active) (FFPRI FluxNet 2013).

One of these FFPRI sites is the Appi forest meteorology

research site (API site; FFPRI FluxNet 2013), located in northern Japan. The API site is a secondary cool-temperate deciduous hardwood forest mainly dominated by Japanese beech (*Fagus crenata*), very typical species in the cool-temperate region which occurs over large areas of northeastern Japan (Kira 1977, Maruyama 1977). The results of various studies and observations at the API site, e.g., litter production (Hoshino, JIRCAS, personal communication), soil respiration (Hashimoto et al. 2009, Ishizuka et al. 2006), soil carbon dynamics (Koarashi et al. 2009), CO₂ flux observation (Yasuda et al. 2012) have already been published allowing the comparison and validation of the results of various scientific techniques typically used in Japanese beech forest. Forest biomass and productivity in the API site have not yet been estimated and should be determined using an ecological summation method to validate and predict the future changes of C

原稿受付：平成 25 年 2 月 12 日 Received 12 February 2013 原稿受理：平成 25 年 7 月 9 日 Accepted 9 July 2013

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

2) Iwatehokubu District Forest Office, Tohoku Regional Forest Office, Forest Agency

3) Japan International Research Center for Agricultural Science

4) Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

* Tohoku Research Center, 92-25, Nabeyashiki, Shimo-Kuriyagawa, Morioka, Iwate 020-0123, JAPAN

balances in forested ecosystems in Japan.

Therefore, we conducted destructive sampling of several variously-sized Japanese beech trees including roots in the Appi Highlands and estimated stem, branch, leaf, and root biomass of each tree individually. Next, we used these data to develop and calibrate allometric equations between tree diameter at breast height (= 1.3 m; dbh) and individual plant-part biomass data to accurately determine forest biomass at the API site. Using two previously reported forest biomass datasets (Karizumi 1990, Mori et al. 1979) as the independent external datasets, we also validated the allometric relationships developed here. Finally, we estimated forest biomass at the API site and compared the results obtained in the present study with estimates of Japanese beech biomass previously reported (e.g., Japanese Committee for the International Biological Program (JIBP) project (Shidei and Kira 1977)).

2. Methods

2.1 Site description

The study was conducted to determine Japanese beech forest biomass at the API site located in the Appi Highlands, Iwate Prefecture (Fig. 1; 40°00'N, 140°56'E, 800-900 m asl), which is on the eastern side of the Ohu Mountains in northern Honshu, Japan in a very gently sloping area (ca. 5°). A four-hectare permanent research plot (200 m × 200 m) was established to continuously measure changes of forest

biomass and productivity. The API site matches “cool-temperate deciduous hardwood forest” as described by Kira (1977). The forest is mainly dominated by 70- to 80-year-old Japanese beech (*Fagus crenata*) with a few stems of deciduous hardwood species (e.g., *Betula maximowicziana*, *Aesculus turbinata*, *Magnolia obovata*, *Tilia japonica*, and *Kalopanax pictus*). This secondary forest probably regenerated from an abandoned pasture. Evergreen dwarf bamboo (*Sasa kurilensis*) and a thin layer of understory vegetation sparsely covered the forest floor. Yasuda et al. (2012) provided a mean annual temperature of 5.9 °C and an annual precipitation of ca. 2,000 mm. The Andosol soil (World Reference Base for Soil Resources; IUSS Working Group 2006) is classified as a moderately moist brown forest soil, B_D(d) (Forest Soil Division 1976).

2.2 Field measurement and sampling

Stem dbh (= 1.3 m) of all living trees were measured in May, 2012 in the single four-hectare permanent plot. Frequencies of the dbh of beech trees peaked at between 10-15 cm (mean = 16.1 cm with a maximum of ca. 109.4 cm for one of the reserved trees in the Appi Highlands) (Fig. 2). Japanese beech trees comprised 75% of all trees (1,666 trees ha⁻¹ in May, 2012) and 80% of the sum of the basal area the sum of the basal area of all trees in the plot. We measured individual tree biomass of only Japanese beech.

Twelve Japanese beech trees ranging from 4.5 to

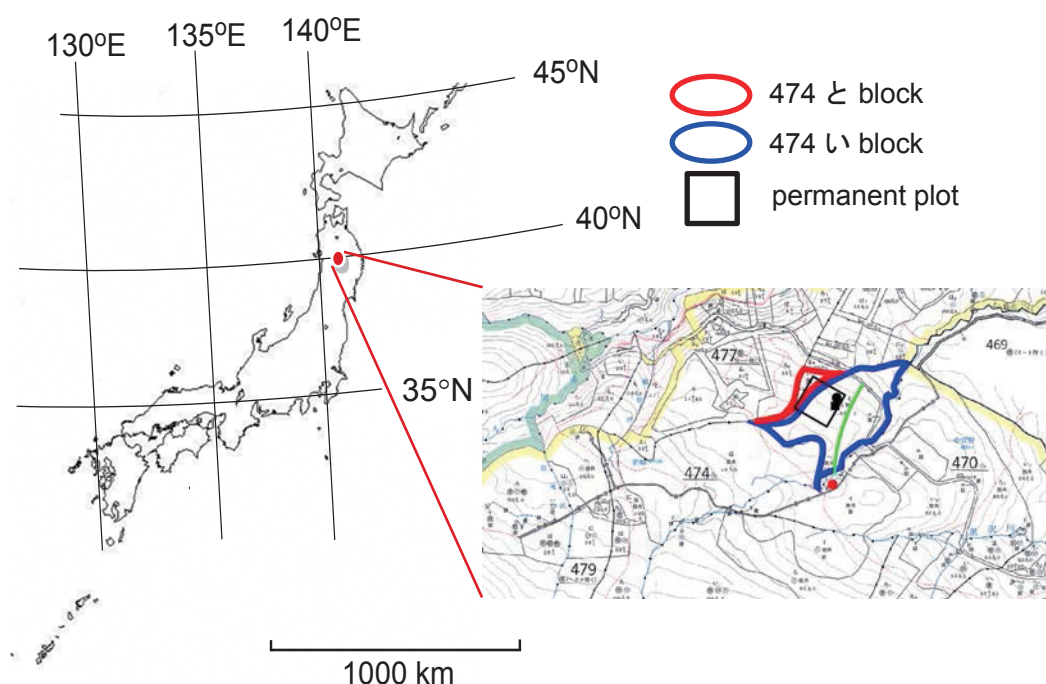


Fig. 1. Location of the study site in the present study.

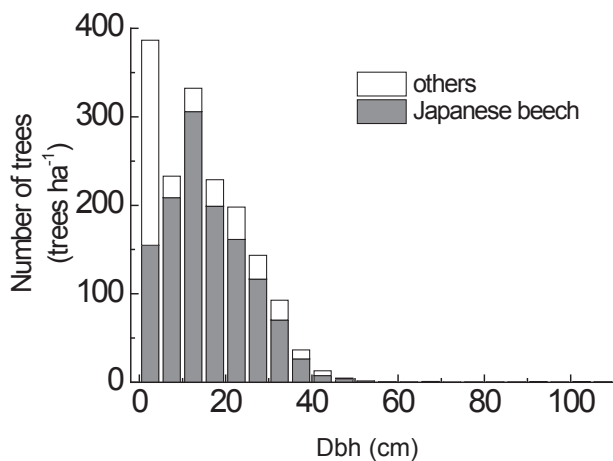


Fig. 2. Frequency distribution of trees at the Appi forest meteorology research site. Dbh class intervals were 5 cm.

75.4 cm dbh were selected for determining individual tree biomass near the plot (Appendix). Ten small trees (< 30 cm dbh) were harvested in September, 2000 and two large trees (> 30 cm dbh) were also harvested in June, 2012. Of these 12 trees, both above- and below-ground plant-parts of eight individuals were harvested and weighed in the field, but only above-ground parts of four other mid-sized individuals were measured. After felling, trees were individually divided into leaves, branches and main stems in the field (Photo 1). Roots were excavated manually or using a power shovel (Photo 2) and smaller roots which had been cut in the field were carefully picked up from the soil by hand. All roots were separated from adhering mineral soils using brushes and crowbars as carefully as possible, and then weighed using digital scales (DS10 (range 0.2-50 kg; Ohaus Corporation, Parsippany, NJ, USA), and FW-100K (range 0.5-100 kg; A&D Co. Ltd, Tokyo, Japan) and lord cells (LTZ-500KA and LTZ-2TA (ranges 5-500 and 20-2,000 kg, respectively; Kyowa Electronic Instruments Co., Ltd., Tokyo, Japan) (Photo 3). Representative subsamples (2-50 kg) were taken from each type of plant-parts for each individual and dry/fresh mass ratios were determined after oven-drying for 72 h or more at 70 °C to constant weight; longer drying times (maximum = 14 d) were required for relatively large subsamples of mostly stems and roots from large trees. To estimate the leaf area index (LAI) at the API site, the average weight of individual beech leaves was estimated from the relationships between the weight and the number of leaves using representative leaf subsamples. Soils were removed from root samples with high-pressure water as carefully as possible to avoid soil contamination when estimating root biomass.

2.3 Development and validation of allometric equations of Japanese beech tree biomass

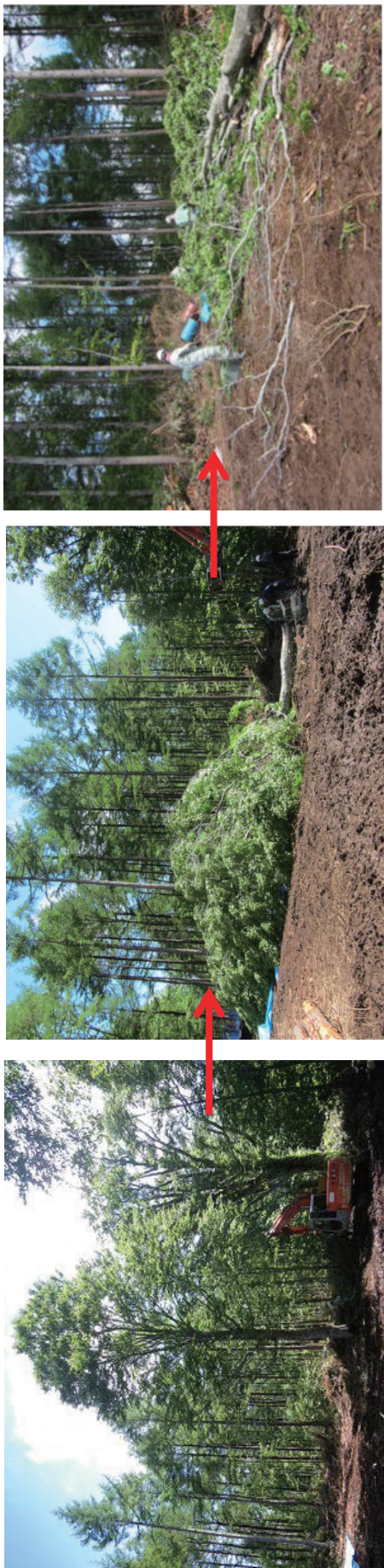
Size-mass allometry is generally expressed as a power-form equation: $Y = aX^b$, where X is an appropriate size-related variable, Y is a dependent mass variable, a is a normalization constant, and b is a scaling exponent (Ogawa and Kira 1977). In the present study, all allometric relationships between dbh, i.e. one of the size-related variables and dry mass obtained were approximated by ordinary least-squares regression to create the simplest allometric model possible to estimate forest biomass in the four-hectare permanent plot after the logarithmic transformation of the parameters (X , Y). Coefficients (a , b) were calculated by the regression for each biomass data unit (e.g., leaves, roots, etc.). Log-transformation of tree mass satisfied the normality assumption (Poorter et al. 2008, Utsugi et al. 2012).

To evaluate the calibration results of allometric relationships between dbh and each part of biomass, regression coefficients (r) and standard errors of calibration of data (SEC) between calibrated and measured values were calculated for each part of biomass using allometric equations.

To verify the adequacy of calibration results, the allometric equations developed here were validated using a previously published independent dataset (Karizumi 1990). Karizumi (1990) reported individual tree biomass data for 42 species investigated in 126 forest stands across the major ecoclimatic regions of Japan since 1951. In the present study, the main target for biomass estimation was Japanese beech. Here, biomass data from 60 Japanese beech trees measured at Yamagata (1 stand), Niigata (3 stands), and Gunma (2 stands) pref. (Table 3) were extracted from Karizumi (1990). In addition, biomass data were adopted from Mori et al. (1979) in the present study, although root biomass data from 31 beech trees in their study located in the northeastern district in Japan were excluded. To evaluate the allometric relationships developed in the present study, the biomass of each part of the biomass data collected from different sections of trees were predicted using two independent dataset of Karizumi (1990) and Mori et al. (1979) and r , standard errors of calibration (SEC), standard errors of prediction (SEP), and the ratio of standard deviation of the prediction reference dataset to the SEP (RPD : an indicator of the usefulness of the calibration results (Williams 1996)) was calculated for each part of biomass.

SEC was expressed using equation (1):

$$SEC = \sqrt{\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I (y_i - \hat{y}_i)^2}, \quad (1)$$



Before felling.

Felling tree.

Removing branches



Cutting main stems.

Removing leaves from branches

Classifying leaves, branches, and main stems

Photo 1. Process of dividing tree, branches and main stems in the field after felling.



Root excavation using a power shovel.



Carefully picking up of small roots from the soil.



Removing the soil from the stump.



Dividing small roots into several boxes after collection.

Photo 2. Root excavation using a power shovel and carefully picking up of small roots by hand which were left behind in the field.



Weighing leaves and branches.



Weighing main stems.



Weighing root stumps.

Photo 3. Weight of all parts of a felled tree using a load cell in the field. After weighing, representative subsamples were taken back to the laboratory and dry/fresh mass ratios were determined after oven-drying at 70 °C.

where y is the measured value and $\hat{y}$ is the calibrated value of sample i , and I is the total number of samples. For external predictions, the *bias* was determined as follows:

$$bias = \sqrt{\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad , \quad (2)$$

SEP was corrected for *bias* using equation (3):

$$SEP = \sqrt{\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I (y_i - \hat{y}_i - bias)^2} \quad , \quad (3)$$

and *RPD* was also described as:

$$RPD = (standard\ deviation\ of\ independent\ external\ dataset) / SEP. \quad (4)$$

2.4 Comparison of Japanese beech tree biomass estimation at the API site with previous studies

Allometric equations were developed to estimate the biomass of Japanese beech trees at the API site. Then these forest biomass estimates were compared with previously reported biomass data such as data from the research project established by the Japanese Committee for the International Biological Program (JIBP) (Shidei and Kira 1977).

3. Results

3.1 Allometric equation development

The allometric equations developed for estimation of biomass of stems, branches, leaves, and roots of beech trees at the API site were strongly positively correlated with dbh (*Adjusted R*² = 0.92 to 0.99; Table 1, Fig. 3). Calibration results using the allometric equations developed for each part of biomass of Japanese beech trees agreed very closely with measured biomass values (Fig. 4). Regression coefficients (*r*) showed high values ranging from 0.97 to 1.00 and *SEC* was less than 10% of data ranges for all parts of biomass except for leaf biomass (Fig. 4, Appendix). Thus, the allometric equations developed in the present study showed a close fit as well (Fig. 4).

Figure 5 shows the validation results using the external independent datasets of Karizumi (1990) and Mori et al. (1979). The values determined by destructive measurement showed a close correlation with those predicted by the allometric equation developed in the present study for stem (*n* = 91, *r* = 0.97), branch (*n* = 91, *r* = 0.94), and root (*n* = 60, *r* = 0.94) biomass, respectively. However, the regression coefficient for leaf biomass, which is a very small proportion of an entire tree, was not as high, *r* = 0.73, because the *SEP* for leaf biomass was relatively large when compared to other parts of biomass. Also, for prediction results of leaf and root biomass, their biomass for some of small-sized trees (dbh < 10 cm) were underestimated although those for middle- and large-sized trees were estimated quite well (Fig. 5). Moreover, *RPD* values for branch and leaf biomass were low, below 2.0 (Fig. 5). Inversely, those for stem and root biomass were high, 3.4 and 2.6, respectively (Fig. 5).

Meanwhile, the prediction data for individual parts of Japanese beech tree were close to the 1:1 line except for leaf and root biomass for some of small-sized trees (dbh < 10). Thus, the allometric equations developed in the present study showed relatively good prediction results (Fig. 5).

3.2 Biomass and biomass allocation in Japanese beech forests at the Appi Highlands

Table 2 summarizes estimates of above- and below-ground biomass in a Japanese beech forest at the API site in May, 2012. The estimates of respective parts of beech tree biomass were 184, 31, 3, and 52 t ha⁻¹ for stems, branches, leaves, and roots, respectively. Total above-ground biomass (TAGB) was estimated to be 217 t ha⁻¹ and the ratio of TAGB to root biomass (T/R) was 4.2. At the API site, 25% of the trees and 20% of the sum of the stand basal areas were not Japanese beech trees. By assuming that all trees in the stand except for Japanese beech have the same allometric relationships as those of the same-sized Japanese beech trees, the biomass of the API site was estimated to be 343 t ha⁻¹ (Table 2). Therefore, 27% of forest biomass at the API site was attributed to tree biomass of species other than Japanese beech. Since the average dry weight of a single leaf was estimated to be 0.174 ± 0.009 g in 2012, gravimetry could be used to calculate that there were

Table 2. Estimates of respective parts of tree biomass, total above-ground biomass (TAGB), total biomass (TB), and T/R at the Appi forest meteorology research site.

	Beech tree	All tree [*]
Stem (t ha ⁻¹)	183.9	233.8
Branch (t ha ⁻¹)	30.5	39.2
Leaf (t ha ⁻¹)	2.8	3.5
Root (t ha ⁻¹)	52.3	66.9
TAGB (t ha ⁻¹)	217.1	276.5
TB (t ha ⁻¹)	269.4	343.4
T/R	4.2	4.1

^{*} taking tree biomass of other tree species aside from Japanese beech into consideration.

Table 1. Coefficients and other allometric statistics (*Y* = *a* × *X*^{*b*}) used for estimating respective parts of biomass. *X*, an appropriate size-related variable; Dbh, means stem diameter at breast height (= 1.3 m).

<i>Variables</i>		<i>Coefficients</i>		<i>n</i>	<i>Adjusted R</i> ²
<i>Y</i> (kg per tree)	<i>X</i> (cm)	<i>a</i>	<i>b</i>		
Stem	Dbh	0.0946	2.44	12	0.99
Branch	Dbh	0.0049	2.78	12	0.96
Leaf	Dbh	0.0010	2.56	12	0.92
Root	Dbh	0.0147	2.62	8	0.99

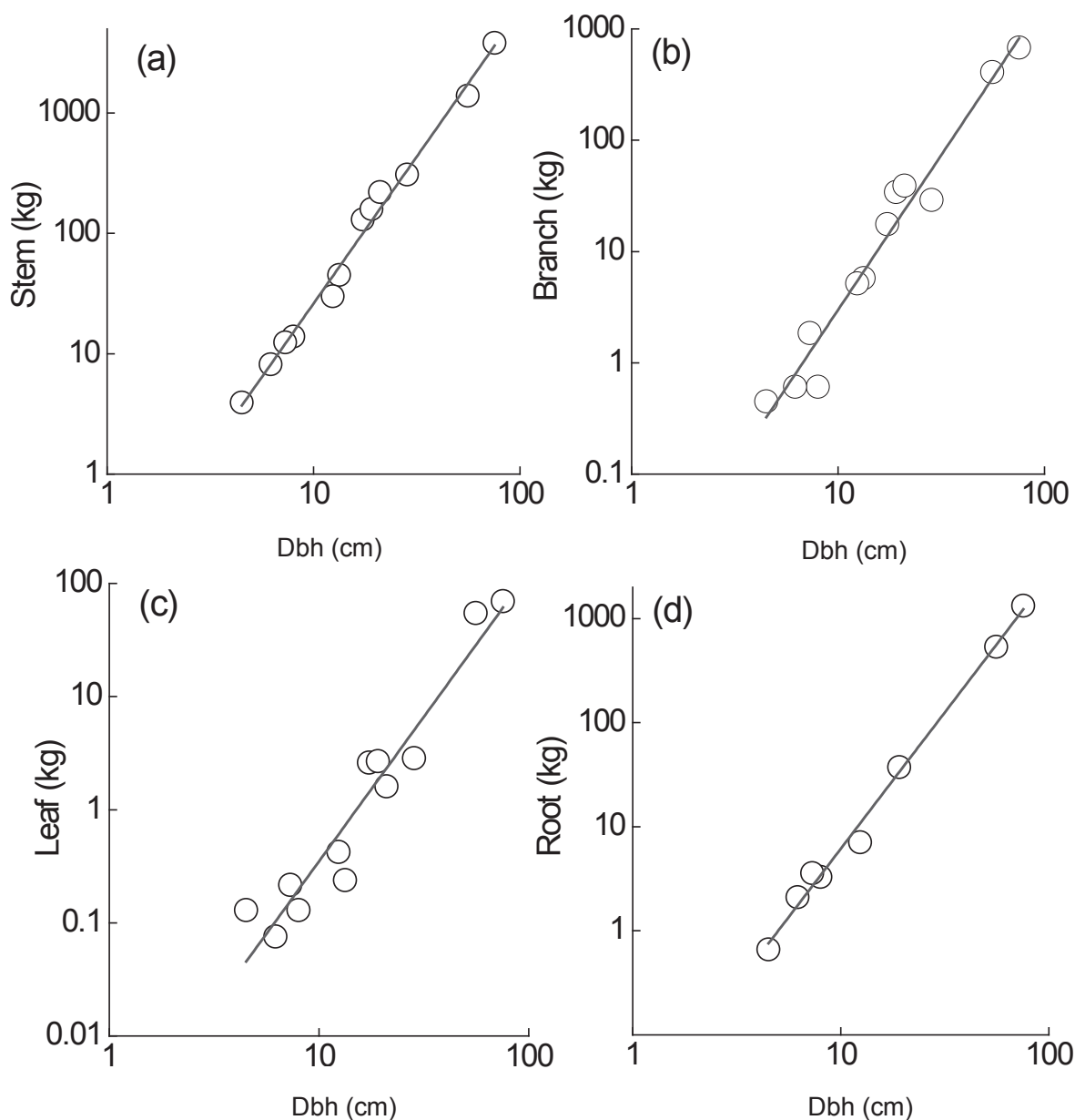


Fig. 3. Allometric relationships between dbh and dry mass of above- and below-ground biomass of Japanese beech trees at the Appi forest meteorology research site. Solid lines were drawn by least-square regression.

ca. 0.4 million of leaves in a measured tree with large dbh (= 75.4 cm), which is a reserved size tree, and that there were approximately 20 million of leaves in one-hectare of Japanese beech forest at the API site. In our previous study, Yasuda et al. (2012) reported that the specific leaf area (SLA) in the API site was $0.0154 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. Based on this value, the mean area of a single leaf and LAI at the API site were estimated at 0.00268 m^2 per leaf and $5.45 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, respectively.

4. Discussion

4.1 Accuracy of allometric relationships

Currently, the characterization of allometric relationships between individual parts of biomass including roots and size-related variables (dbh and height) has been widely accepted and applied by numerous previous studies for estimating forest biomass (i.e., Karizumi 1974, Shidei and Kira 1977). The accuracy of forest biomass estimates depends on the variation and quality of data used for developing allometric equations because

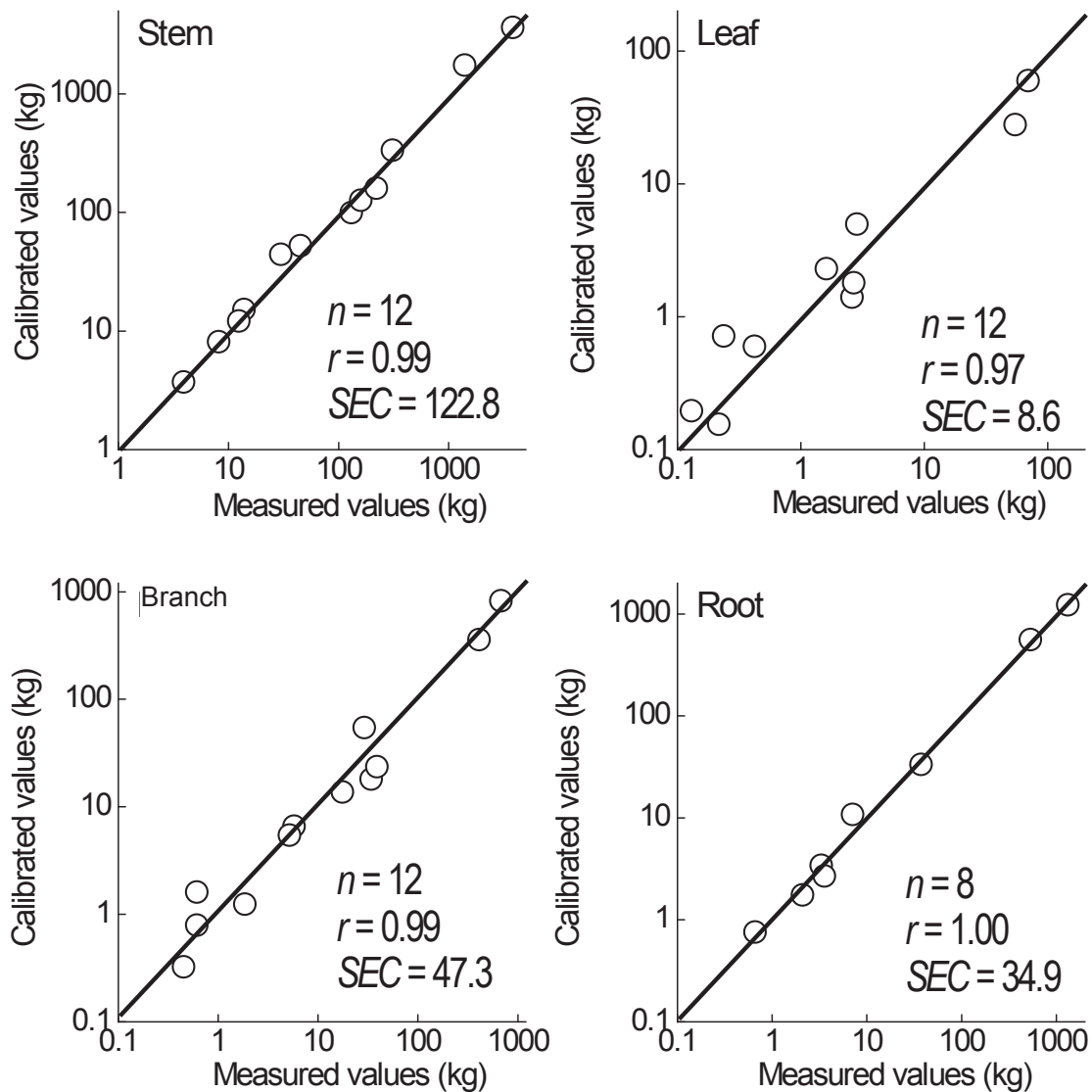


Fig. 4. Calibrated values versus measured values for each part of biomass of Japanese beech trees. Solid lines are the 1:1 line, having a slope of 1. r : regression coefficients; SEC: standard errors of calibration.

allometric relationships between tree biomass and size-related variables shows specific tendencies under different environmental conditions (i.e., tree species, climate zone) (Kira and Shidei 1967, Research Group on Forest Productivity of the Four Universities 1960). In the present study, sample trees used for making allometric equation for estimating each part of biomass of Japanese beech ranged from small- to large-sized trees typical of the forest at the API site (Fig. 2 and Appendix). In addition, dbh was adopted as an appreciable size-related variable to make the simplest allometric equation used to estimate forest biomass in a four-hectare plot (Fig. 3). As a result of allometric equation development for estimating tree biomass, linear relationships and high regression coefficients (r) were

obtained between calibrated and measured values (Fig. 4). Moreover, RPD values, an indicator of the usefulness of the calibration results, were calculated for validating the accuracy of these allometric equations. According to Williams (1996), an RPD value of 2.5-3.0 is regarded as adequate for rough prediction. Validation results for stem and root biomass estimates using independent external datasets ($n = 91$ and 60 , respectively) reported by Karizumi (1990) and Mori et al. (1979) were also good: $r = 0.97$ and 0.94 , and $RPD = 3.4$ and 2.6 , respectively (Fig. 5). However, validation results for branch and leaf biomass estimates showed that these estimates were not as accurate ($RPD = 2.0$ and 1.4 , respectively) because of relatively larger SEP of branch and leaf estimates for the validation

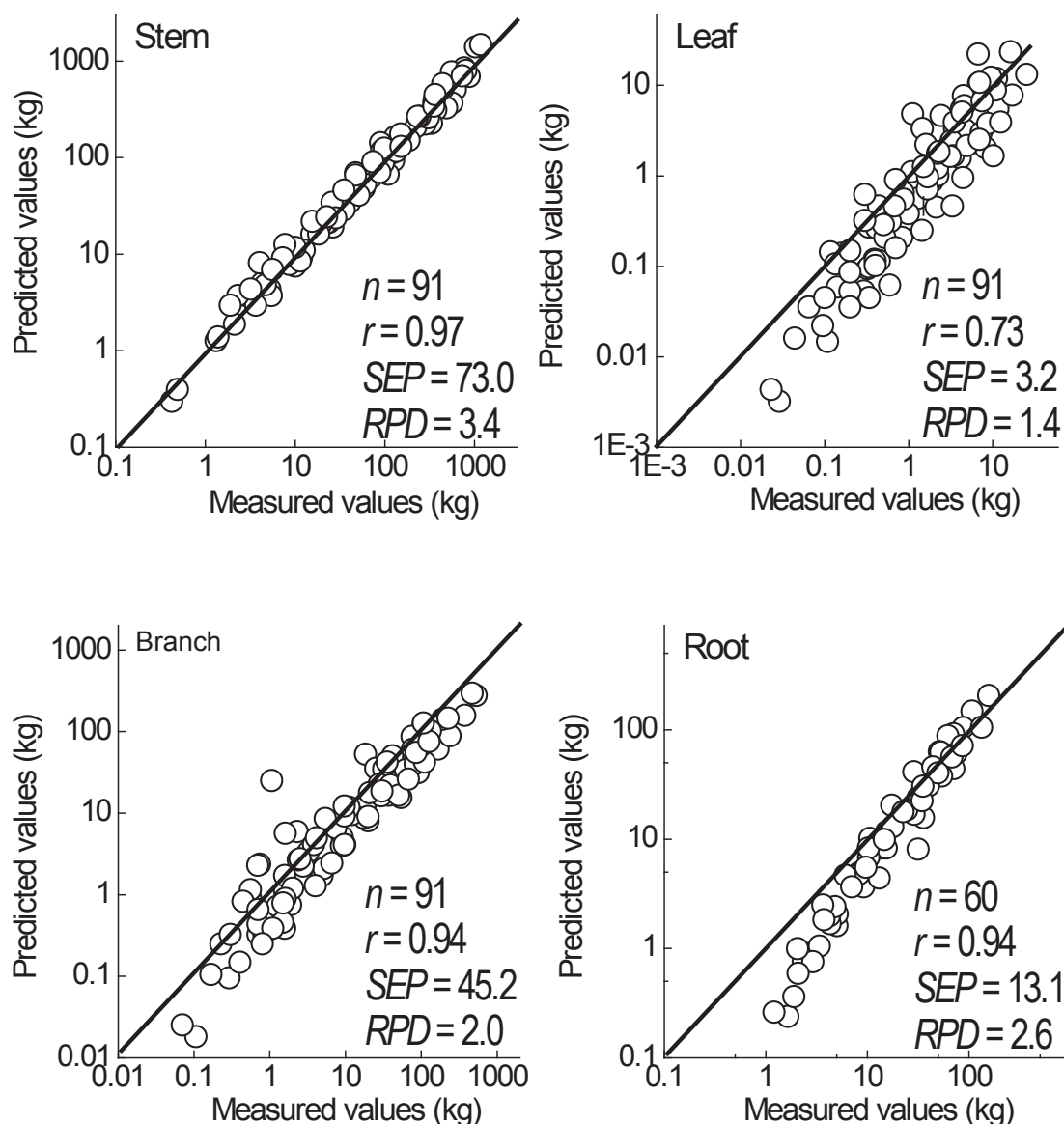


Fig. 5. Predicted values versus measured values of external independent data for each part of biomass of Japanese beech trees. Solid lines are the 1:1 line, having a slope of 1. r : regression coefficients; SEP: standard errors of prediction; RPD: ratio of standard deviation of prediction dataset to SEP.

dataset when compared with stem and root biomass estimates (Fig. 5). In addition, site-specific characteristics (i.e., soil condition, forest structure, tree density, age, climate, etc.) may influence the allometric relationships between size-related variables (e.g., dbh) and each part of biomass except for stem (Research Group on Forest Productivity of Four Universities and Shinshu University 1966, Saito et al. 1968). Therefore, leaf and root biomass for some of small-sized trees were underestimated although those for middle- and large-sized trees were reasonable estimates (Fig. 5). However, insufficient accuracy of biomass estimates might be insignificant and relatively unaffected when estimating the total forest biomass at the

API site because stem biomass was a main component of forest biomass and biomass underestimation occurred only for other plant-parts and only for some of small-sized trees (dbh < 10 cm).

4.2 Forest biomass of Japanese beech

In the present study, nine reports covering a total of 39 forest stands were selected regarding the study of forest biomass of Japanese beech (Table 3). They were based on destructive measurements of each part of biomass of individual trees. Some reports did not provide (or did not determine) some parts of biomass data (e.g., root biomass). Most of these studies were conducted as part of a research

project established by the Japanese Committee for the International Biological Program (JIBP) in 1960s-1970s, which focused on biological productivity and ecological processes in the forest ecosystems in Japan (e.g., Shidei and Kira 1977). All these studies applied allometric equations for estimating forest biomass using the relationships between tree biomass and tree size-related variables (dbh, diameter at the stem base (d_0), and tree height) (Kira and Shidei 1967).

Forest biomass of Japanese beech forests greatly varied among the forest stands, ranging from 35 to 441 t ha⁻¹ because the study sites have a variety of microsite conditions (elevation, slope direction, age, density, growth stage, forest type, tree size, etc.) (Table 3). The relationships between tree age, tree size (tree height, BA) and forest biomass were not clear. However, stands with small amount of biomass (e.g., Gunma F2, Mie P1) tended to be relatively young forest with small tree sizes, while most of the stands with a large biomass exceeding 300 t ha⁻¹ were mature and older-aged forests, which probably negated the effects of tree size or tree density because they reflected the influences of past and more extensive forest management. The forest biomass at the API site was estimated to be 343 t ha⁻¹, which is slightly higher than average values from other studies (Tables 2 and 3). Furthermore, the amount of biomass allocated to each part of the tree varied among the stands (Table 3). As a result, the ratio of TAGB to root biomass (T/R) ranged widely from 2.4 to 6.7 (Table 3), and was probably affected by each stand's growth stages and site conditions.

5. Conclusion

We developed accurate allometric relationships for estimating whole tree biomass of Japanese beech in the Appi Highlands. Using two independent external datasets, validation results for stem, branch, and root biomass estimates were quite good although those for leaf biomass were not very accurate estimates because of the relatively large *SEP* of branch and leaf biomass for the validation dataset and underestimation of leaf and root biomass for small-sized trees. Low accuracy of their biomass estimates may have not hindered the estimation of forest biomass at the API site. This occurred because stem biomass was the main component of forest biomass and insufficient accuracy for estimates of other parts of biomass were caused only by data from some small-sized trees (dbh < 10 cm). The forest biomass in the API site was estimated to be 343 t ha⁻¹ using the developed allometric equations. This value was slightly higher than average values of Japanese beech forest that

had already been estimated in previous studies. The results of the present study will be helpful for advancing further studies on the determination and clarification of NEP and the cross-validation of the results of GPP estimation and carbon flux observation in Japanese beech forests, which is one of the most typical species in the cool-temperate regions of northeastern Japan.

Acknowledgments

We are grateful to Drs. Kaoru Niiyama, Tomomasa Amano, and Gaku Hitsuma for their valuable advice and comments, and we thank Drs. Masaki Jinkawa, Tatsuya Sasaki, Shoji Noguchi, Tsutomu Yagihashi, Takashi Okamoto, Yu Ichihara, Tsuyoshi Yamada, Takuya Aikawa, Koji Shichi, Mohoko Noguchi, Mayuko Jomura, Mr. Toshihiko Takahashi, and Ms. Keiko Sawai for their help with field work and laboratory analysis. We wish to express our appreciation to the staff of Abe Ringyo Co. Ltd. and the Iwate-hokubu District Forest Office since their advice and assistance were extremely helpful during our study. This study was supported in part by the Japanese Ministry of the Environment program, titled "Evaluation, Adaptation and Mitigation of Global Warming in Agriculture, Forestry, and Fisheries: Research and Development (A1120)" and by Grants-in-Aid for scientific research from the Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science, and Technology, titled "Evaluation of the GHGs emission processes from forest soil surface to atmosphere in snow cold areas (No. 24380086)".

References

- FFPRI FluxNet (2013) FFPRI FluxNet website, <http://www2.ffpri.affrc.go.jp/labs/flux/index.html>, Accessed 29 Jan 2013.
- Forest Soil Division (1976) Classification of forest soil in Japan (1975). Bull. Gov. For. Exp. Stat., 280, 1-28.
- Hashimoto, T., Miura, S. and Ishizuka, S. (2009) Temperature controls temporal variation in soil CO₂ efflux in a secondary beech forest in Appi Highlands, Japan. J. For. Res., 14, 44-50.
- Ishizuka, S., Sakata, T., Sawata, S., Ikeda, S., Takenaka, C., Tamai, N., Sakai, H., Shimizu, T., Kan-na, K., Onodera, S., Tanaka, N. and Takahashi, M. (2006) High potential for increase in CO₂ flux from forest soil surface due to global warming in cooler areas of Japan. Ann. For. Sci., 63, 537-546.
- IUSS Working Group (2006) World Reference Base for Soil Resource 2006: A Framework for International Classification, Correlation and Communication: World

- Soil Resource Reports, vol. 103, 128 pp.
- Kakubari, Y. (1977) Chapter 7. Studies at IBP Research Sites (JIBP/PT Supporting Projects). 7.3 Beech forests in Naeba Mountains. [Part II] Distribution of primary productivity along the altitudinal gradient. In Shidei, T. and Kira, T. (eds.) "*JIBP synthesis. Vol. 16. Primary productivity of Japanese forests. - Productivity of terrestrial communities -*". Japanese Committee for the International Biological Program, University of Tokyo press, 201-212.
- Karizumi, N. (1974) The mechanism and Function of tree root in the process of forest production. I. Methods of investigation and estimation of the root biomass. Bull. Gov. For. Exp. Sta., 259, 1-99.
- Karizumi, N. (1990) The mechanism and Function of tree root in the process of forest production. V. Reduction of inorganic matters to soil and formation of porosity resulting from root system. Bull. FFPRI., 357, 1-49.
- Karizumi, N. (2010) The latest illustrations of tree roots. General remarks. Seibundo Shinkosha Publishing Co. Ltd, 937 pp.
- Katagiri, S. and Tsutsumi, T. (1975) The relationship between site condition and circulation of nutrients in forest ecosystem (III). Above ground biomass and nutrient contents of stands. J. Jap. For. Soc., 57, 412-419.
- Kawahara, T., Tadaki, Y., Takeuchi, I., Sato, A., Higuchi, K. and Kamo, K. (1979) Productivity and cycling of organic matter in natural *Fagus crenata* and two planted *Chamaecyparis obtuse* forests. Jap. J. Ecol., 29, 387-395.
- Kawaguchi, H. and Yoda, K. (1986) Carbon-cycling changes during regeneration of a deciduous broadleaf forest after clear-cutting. I. Changes in organic matter and carbon storage. Jap. J. Ecol., 35, 551-563
- Kawaguchi, H. and Yoda, K. (1989) Carbon-cycling changes during regeneration of a deciduous broadleaf forest after clear-cutting. II. Aboveground net production. Ecol. Res., 4, 271-286.
- Kira, T. (1977) Chapter 1. Forest vegetation of Japan. 1.1 Introduction. In Shidei, T. and Kira, T. (eds.) "*JIBP synthesis. Vol. 16. Primary productivity of Japanese forests. - Productivity of terrestrial communities -*". Japanese Committee for the International Biological Program, University of Tokyo press, 1-9.
- Kira, T. and Shidei, T. (1967) Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the western Pacific. Jap. J. Ecol., 17, 70-87.
- Koarashi, J., Atarashi-Andoh, M., Ishizuka, S., Miura, S., Saito, T. and Hirai, K. (2009) Quantitative aspects of heterogeneity in soil organic matter dynamics in a cool-temperate Japanese beech forest: a radiocarbon-based approach. Global Change Biology, 15, 631-642.
- Maruyama K (1977) Chapter 7. Studies at IBP Research Sites (JIBP/PT Supporting Projects). 7.3 Beech forests in Naeba Mountains. [Part I] Comparison of forest structure, biomass and net productivity between the upper and lower parts of beech forest zone. In Shidei, T. and Kira, T. (eds.) "*JIBP synthesis. Vol. 16. Primary productivity of Japanese forests. - Productivity of terrestrial communities -*". Japanese Committee for the International Biological Program, University of Tokyo press, 185-200.
- Mizoguchi, Y., Ohtani, Y., Takanashi, S., Iwata, H., Yasuda, Y. and Nakai, Y. (2012) Seasonal and interannual variation in net ecosystem production of an evergreen needleleaf forest in Japan. J. For. Res., 17, 283-295.
- Mori M., Inuma M., Sato A. and Saito K. (1979) Land-use and management of Japanese beech natural forests in east- northern district of Japan (Investigation of forest biomass and forest production). In Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council (ed.) "*Report of Comprehensive studies on conservation technology in agriculture, forestry, and Fishery environments.*" Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council, 5:83-93.
- Ogawa, H. and Kira, T. (1977) Chapter 2. Methodology. 2.1 Methods of estimating forest biomass. In Shidei, T., and Kira, T. (eds.) "*JIBP synthesis. Vol. 16. Primary productivity of Japanese forests. - Productivity of terrestrial communities -*". Japanese Committee for the International Biological Program, University of Tokyo press, 15-25.
- Ogino, K. (1977) Chapter 7. Studies at IBP Research Sites (JIBP/PT Supporting Projects). 7.2 A beech forest at Ashiu. - biomass, its increment and net production. In Shidei, T. and Kira, T. (eds.) "*JIBP synthesis. Vol. 16. Primary productivity of Japanese forests. - Productivity of terrestrial communities -*". Japanese Committee for the International Biological Program, University of Tokyo press, 172-185.
- Poorter, L., Wright, S. J., Paz, H., Ackerly, D. D., Condit, R., Ibarra-Manriquez, G., Harms, K. E., Licona, J. C., Martinez-Ramos, M., Mazer, S. J., Muller-Landau, H. C., Pena-Claros, M., Webb, C. O. and Wright, J. J. (2008) Are functional traits good predictors of demographic rates? Evidence from five neotropical

- forests. Ecology, 89, 1908-1920.
- Research Group on Forest Productivity of the Four Universities (1960) Studies on the productivity of the forest. Part I. Essential needle-leaved forests of Hokkaido. Kokusaku Pulp Industry Ltd. 99 pp.
- Research Group on Forest Productivity of Four Universities and Shinshu University (1966) Studies on the productivity of forest. Part III. Productivity of Sugi forests. Jap. For. Tech. Assoc. 63 pp.
- Saito, H., Tamai, S., Ogino, K. and Shidei, T. (1968) Studies on the effects of thinning from small diameter trees (III). Changes in stand condition after the second growing season. Bull. Kyoto Uni. For., 40, 81-92.
- Shidei, T. and Kira, T. (1977) JIBP synthesis. Vol. 16. Primary productivity of Japanese forests. - Productivity of terrestrial communities -". Japanese Committee for the International Biological Program, University of Tokyo press, 289 pp.
- Tadaki, Y., Hachiya, K. and Tochiaki, K. (1969) Studies on the production structure of forest (XV). Primary productivity of *Fagus crenata* in plantation. J. Jap. For. Soc., 51, 331-339.
- Tateno, R., Hishi, T. and Takeda, H. (2004) Above- and Belowground biomass and net primary production in a cool-temperate deciduous forest in relation to topographical changes in soil nitrogen. For. Ecol. Manag., 193, 297-306.
- Ustugi, H., Suganuma, H., Aikawa, S., Kojima, T., Tanouchi, H. and Tabuchi, R. (2012) General allometric equations for *Eucalyptus camaldulensis* and other tree species. J. For. Manage., 6, 241-250.
- Yasuda, Y., Saito, T., Hoshino, D., Ono, K., Ohtani, Y., Mizoguchi, Y. and Morisawa, T. (2012) Carbon balance in a cool-temperate deciduous forest in northern Japan: seasonal and interannual variations, and environmental controls of its annual balance. J. For. Res., 17, 253-267.
- Williams, P. (1996) Recent advances in near-infrared applications for the agriculture and food industries. Dai 12kai Nihon syokuhin kagaku kougaku-kai Hihakai keisoku Symposium Kouen Yousisyuu, 1-11.

Table 3. Biomass of Japanese beech forests.

Prefecture	Lat.	Long.	Elev.	Subsites	Forest Type	Age	Density	Ave. Tree Height	Basal Area
			(m)			(yr)	(trees ha ⁻¹)	(m)	(m ² ha ⁻¹)
Iwate	40°00'N	140°56'E	825	API	Natural	80	1,666	13.9	44.4
Yamagata	38°36'N	140°11'E	--	F3	Natural	40	1,246	16.1	25.1
Niigata	37°30'N	139°00'E	400	P3	Planted	35	5,233	10.0	40.6
			470	P4	Planted	41	2,186	13.6	38.8
			580	P6	Planted	>50	2,829	13.9	39.9
Niigata	37°01'N	138°37'E	--	F4	Planted	35	1,154	11.5	45.6
			--	F5	Planted	37	2,184	12.6	34.8
			--	F6	Planted	37	2,829	16.1	46.3
Niigata	36°51'N	138°41'E	550	P1	Natural	to 100	375	18.8	24.9
			700	P2	Natural	to 100	327	15.6	24.5
			700	P3	Natural	to 100	235	24.6	32.7
			900	P4	Natural	to 100	680	11.2	22.7
			1100	P5	Natural	to 100	1,050	7.3	21.9
			1300	P6	Natural	to 100	875	8.3	14.4
			1500	P7	Natural	to 100	590	9.6	17.7
			1500	P8	Natural	to 100	357	12.6	21.4
Niigata	36°51'N	138°41'E	650	650-1	Natural	to 100	367	24.6	43.3
			650	650-2	Natural	to 100	289	23.6	41.3
			700	700-1	Natural	to 100	321	25.3	44.0
			700	700-2	Natural	to 100	470	18.7	39.2
			700	700-3	Natural	to 100	356	22.3	46.9
			700	700-4	Natural	to 100	400	23.0	39.1
			900	900-1	Natural	to 100	1,016	8.7	40.4
			1300	1300-1	Natural	to 100	959	11.3	38.5
			1500	1500-1	Natural	to 100	639	11.5	37.5
			1500	1500-2	Natural	to 100	422	13.2	33.5
			1500	1500-3	Natural	to 100	820	10.6	34.7
Gunma	36°46'N	138°58'E	--	F2	Natural	40	975	7.6	4.5
	36°52'N	139°05'E	--	F1	Natural	125	611	21.0	31.0
Tochigi	36°47'N	139°56'E	940	--	Natural	mature	868	11.2	29.7
			940	--	Natural	mature	844	11.5	30.9
Kyoto	35°20'N	135°45'E	680	--	Natural	ca. 150	785	14.3	30.7
Kyoto	35°18'N	135°43'E	725	N-1	Natural	--	2,737	7.9	19.9
	35°18'N	135°43'E	725	N-7	Natural	--	3,808	6.0	25.6
Kyoto	35°18'N	135°43'E	680-720		Natural	ca. 100	1,572	--	31.7
Mie	34°41'N	136°16'E	670	P1	Natural	12	63,258	3.4	25.1
	34°41'N	136°16'E	670	P2	Natural	45	19,893	6.5	34.1
	34°41'N	136°16'E	675	P3	Natural	75	19,279	8.8	43.5
	34°41'N	136°16'E	675	P4	Natural	100	3,540	11.4	44.1
	34°41'N	136°16'E	650	P5	Natural	mature	11,063	15.0	54.8
Ave.	--	--	--	--	--	--	--	13.7	33.5
SD	--	--	--	--	--	--	--	5.7	10.4
Min.	--	--	--	--	--	--	--	3.4	4.5
Max.	--	--	--	--	--	--	--	24.6	54.8
Range	--	--	--	--	--	--	--	21.3	50.3

Forest biomass	Biomass of respective tree parts						T/R	Biomass estimation method	Reference
	Stem	Branch	Leaf	TAGB	Root				
(t ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)				
343.4	233.8	39.2	3.5	276.5	66.9	4.1	allometry	the present study	
252.0	162.7	37.4	3.6	203.7	48.3	4.2	allometry	Karizumi (1990, 2010)	
258.4	168.0	31.4	4.8	204.2	54.2	3.8	allometry	Tadaki et al. (1969)	
272.9	166.5	43.5	4.7	214.7	58.2	3.7			
296.5	202.2	39.5	4.9	246.6	49.9	4.9			
372.6	233.3	58.2	7.1	298.6	74.0	4.0	allometry	Karizumi (1990, 2010)	
289.3	171.9	53.2	5.1	230.2	59.1	3.9			
441.0	292.6	60.2	7.3	360.1	80.9	4.5			
332.3	227.2	45.9	2.4	275.5	56.8	4.9	allometry	Kakubari (1977)	
370.5	250.6	54.0	2.4	307.0	63.5	4.8			
415.4	281.6	60.0	2.7	344.3	71.1	4.8			
417.7	243.9	99.8	3.8	347.5	70.2	5.0			
364.8	213.9	86.1	3.6	303.6	61.2	5.0			
241.6	161.0	42.2	2.4	205.6	36.0	5.7			
183.3	118.3	31.0	1.8	151.1	32.2	4.7			
208.1	133.9	35.6	1.9	171.4	36.7	4.7			
334.2	275.1	56.1	3.0	334.2	--	--	allometry	Maruyama (1977)	
349.2	287.7	58.6	2.9	349.2	--	--			
361.6	299.7	58.9	3.0	361.6	--	--			
313.8	256.9	54.4	2.5	313.8	--	--			
365.2	301.1	60.9	3.2	365.2	--	--			
311.6	258.0	50.9	2.7	311.6	--	--			
256.4	181.0	72.2	3.2	256.4	--	--			
245.8	192.3	50.4	3.1	245.8	--	--			
207.1	161.6	43.0	2.5	207.1	--	--			
152.9	119.4	31.6	1.9	152.9	--	--			
214.0	167.0	44.3	2.7	214.0	--	--			
35.3	18.1	5.9	1.0	25.0	10.3	2.4	allometry	Karizumi (1990, 2010)	
304.3	237.2	26.0	1.7	264.9	39.4	6.7			
233.1	156.1	77.0	--	233.1	--	--	allometry	Kawahara et al. (1979)	
247.2	163.0	81.2	3	247.2	--	--			
357.0	194.3	95.1	3	292.4	64.6	4.5	allometry	Ogino (1977)	
79.1	56.0	19.9	3.2	79.1	--	--	allometry	Katagiri and Tsutsumi (1975)	
78.5	56.5	18.7	3.3	78.5	--	--			
195.8	--	--	--	156.2	39.6	3.9	allometry	Tateno & Takeda (2004)	
39.6	23.5	6.2	2.3	32.0	7.6	4.2	allometry	Kawaguchi and Yoda (1986, 1989)	
90.1	55.5	14.7	1.9	72.2	17.9	4.0			
156.2	96.8	25.7	2.4	124.9	31.3	4.0			
226.6	141.2	37.5	2.4	181.0	45.6	4.0			
321.8	201.0	53.3	2.6	256.9	64.9	4.0			
263.4	183.6	47.7	3.1	232.4	49.6	4.4			
104.2	76.8	22.1	1.3	92.7	19.7	0.8			
35.3	18.1	5.9	1.0	25.0	7.6	2.4			
441.0	301.1	99.8	7.1	365.2	80.9	6.7			
405.7	283.0	93.9	6.1	340.2	73.3	4.3			

Appendix. All data sets for dry weight (kg) of plant parts biomass, total above-ground biomass (TAGB), total biomass (TB), diameter at breast height (dbh), tree height (H), and bole height (HB).

ID No.	Dbh (cm)	H (m)	HB (m)	Stem (kg)	Branch (kg)	Leaf (kg)	TAGB (kg)	Root (kg)	TB (kg)
F1	17.3	17.4	9.7	130.5	17.6	2.6	150.7	--	--
F2	8.0	11.1	7.2	13.9	0.6	0.1	14.6	3.3	17.9
F3	19.1	18.7	13.4	159.0	34.1	2.7	195.8	37.3	233.0
F4	7.3	10.0	7.0	12.4	1.9	0.2	14.5	3.6	18.0
F5	6.2	7.8	4.2	8.2	0.6	0.1	8.8	2.1	10.9
F6	4.5	5.3	2.0	3.9	0.5	0.1	4.5	0.7	5.2
F7	28.4	18.3	10.7	307.9	29.0	2.9	339.7	--	--
F8	21.0	18.6	8.6	220.3	39.0	1.6	260.8	--	--
F9	13.3	12.2	6.4	45.1	5.8	0.2	51.1	--	--
F10	12.4	12.3	7.6	30.0	5.2	0.4	35.6	7.1	42.7
F11	55.9	18.2	5.1	1394.6	409.0	54.6	1858.2	533.7	2391.9
F12	75.4	23.8	5.4	3816.9	680.0	69.5	4566.3	1328.4	5894.7
Ave.	22.4	14.5	7.3	511.9	101.9	11.3	625.1	239.5	1076.8
SD	21.8	5.5	3.1	1110.2	215.1	24.0	1343.8	476.9	2112.9
Range	70.9	18.5	11.4	3813.0	679.5	69.4	4561.8	1327.7	5889.6

安比高原ブナ二次林における地上部・地下部バイオマス現存量の推定

小野 賢二^{1)*}、安田 幸生¹⁾、松尾 亨²⁾、星野 大介³⁾、千葉 幸弘⁴⁾、森 茂太⁴⁾

要 旨

岩手県八幡平市安比高原の緩斜面に成林したブナ林における森林動態を評価するため、ブナ生立木の伐倒および掘取調査を行い、そのバイオマス推定式を作成した。安比高原の調査対象地では立木密度が 1,666 本 ha⁻¹であったが、そのうちブナが本数で 75%、胸高断面積合計で 80% を占めた。調査地周辺から大小さまざまなサイズのブナ 12 本を選定し、個別に葉、枝、幹、根の各重量を測定した。データを解析し、各部位のバイオマス推定式の作成を試みたところ、各部位のバイオマス量は胸高直径を独立関数としたアロメトリー式に高度に有意であった (*Adjusted R*² = 0.92-0.99)。精度検証用の外部データを用い、部位別にアロメトリー式の精度評価を行ったところ、幹の推定精度が高いことを確認したが、葉や枝、根は、樹木サイズが小さな立木において林分分離が認められ、幾分精度が低かった。これは、従来、幹に比べその他の器官は林分や成長ステージによって林分分離や林分内分離を起こしやすいとの報告があり、精度検証用の外部データに対する枝や葉の推定値の標準誤差 (*SEP*) が相対的に大きくなったためである。しかし、葉や枝、根のバイオマス量が過小評価となった個体は dbh < 10 cm のものが主であり、森林バイオマスの主体は幹であったことから、安比高原ブナ林全体のバイオマス量を推定する上では概ね問題とならない。作成したアロメトリー式を用いて安比高原ブナ林のバイオマス量を計算した結果 343 t ha⁻¹ と試算された。この値は日本のブナ林を対象とした既往のバイオマス調査データの平均値に比べ、やや高めであった。本研究で作成したブナ生立木のアロメトリー式を用いることで、安比高原ブナ林における炭素動態の年変動を高精度で定量的に評価可能となり、今後森林動態に関わる研究を進めていく上で大変有用である。

キーワード：バイオマス量、胸高直径、相対成長式、ブナ林、根掘取法

1) 森林総合研究所東北支所

2) 林野庁東北森林管理局岩手北部森林管理署

3) 独立行政法人国際農林水産業研究センター

4) 森林総合研究所

* 森林総合研究所東北支所 〒 020-0123 岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷 92-25

論文 (Original article)

クリ製材品の強度性能 —曲げ、縦圧縮、縦引張り、せん断、めり込み—[†]

井道 裕史^{1)*}、三浦 祥子²⁾、長尾 博文¹⁾、加藤 英雄¹⁾

Strength properties of kuri (Japanese chestnut, *Castanea crenata*) timber - Bending strength, compressive strength parallel to the grain, tensile strength parallel to the grain, shear strength parallel to the grain, and compressive strength perpendicular to the grain -[†]

Hirofumi IDO^{1)*}, Sachiko MIURA²⁾, Hirofumi NAGAO¹⁾ and Hideo KATO¹⁾

Abstract

Kuri (Japanese chestnut, *Castanea crenata*) timber is commonly used for the sills of wooden houses. The existing referenced strength for non-graded timber as determined by the Construction Ministry was based on test results on small clear specimens. Little strength data exists on timber-sized specimens of hardwood, including kuri, and the validity of existing referenced strength values, the effects of defects on strength properties, and the relation between characteristic strength values of bending, compression parallel to the grain, and tension parallel to the grain have yet to be clarified. To clarify these matters, bending, compression, tension and shear parallel to the grain, and compression perpendicular to the grain were tested using kuri. The results of these strength tests revealed that the characteristic strength values of bending, compression and shear parallel to the grain, and compression perpendicular to the grain all exceeded or matched the referenced strength, while that of tension parallel to the grain fell below the referenced strength. The strength of the timber specimens was also graded visually relative to bending and tensile strength parallel to the grain, revealing that higher-grade timber tended to have higher average strength, and that such visual strength grading was effective for hardwood timber. The ratios of strength characteristic values of bending, compression, and tension parallel to the grain were 1, 0.89, and 0.48, respectively, thus differing from the same ratios for softwood (at 1, 0.8, and 0.6) as calculated from sugi (Japanese cedar) timber. However, the moisture content of the tensile specimens used to test testing strength parallel to the grain was less than that under the air-dried condition, hence the need to verify whether these results were appropriate after understanding the relation between moisture content and tensile strength parallel to the grain for hardwood timber, including kuri.

Key words : kuri, Japanese chestnut, bending strength, compressive strength parallel to the grain, tensile strength parallel to the grain, shear strength parallel to the grain, compressive strength perpendicular to the grain

要旨

現在、木造住宅の土台等には広葉樹材であるクリが広く用いられている。しかしながら、クリを含む広葉樹材においては実大材による強度データがほとんどない。そのため、無欠点小試験体による強度試験結果から誘導されている現行の無等級材の基準強度との妥当性、欠点等が強度性能に及ぼす影響、曲げ・縦圧縮・縦引張りの各強度特性値の相互関係などの事項が不明である。そこで、本研究ではクリの実大材を用いて、曲げ・縦圧縮・縦引張り・せん断・めり込みの各強度試験を実施し、以上の事項を明らかにすることを目的とした。各強度試験の結果、曲げ・縦圧縮・せん断・めり込みの強度特性値は、基準強度に対して同等以上であったが、縦引張り強度特性値は基準強度を下回った。曲げ・縦引張り強度について目視等級区分ごとに平均値を求めた結果、等級が上位になるほど強度の平均値が高くなる傾向にあり、広葉樹材においても目視等級区分が強度選別に有効であることが明らかになった。また、曲げ・縦圧縮・縦引張りにおける各基準特性値の比率は1:0.89:0.48となり、スギから求めた針葉樹材の1:0.8:0.6とは異なった。ただし、縦引張り試験体の含水率が気乾状態に達していなかったため、今後、クリを含む広葉樹材における含水率と縦引張り強度との関係を把握した上で、以上の結果が妥当であるか再検証する必要がある。

キーワード : クリ、曲げ強度、縦圧縮強度、縦引張り強度、せん断強度、めり込み強度

[†] 本研究結果の一部は、第62回日本木材学会大会(2012年3月、札幌)および第63回日本木材学会大会(2013年3月、盛岡)において発表した。
原稿受付:平成25年5月16日 Received 16 May 2013 原稿受理:平成25年6月20日 Accepted 20 June 2013

1) 森林総合研究所構造利用研究領域 Department of Wood Engineering, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) 林野庁森林整備部 Private Forest Department, Forestry Agency

* 森林総合研究所構造利用研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里1 Department of Wood Engineering, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan, e-mail: ido@ffpri.affrc.go.jp

1. はじめに

現行の広葉樹材（無等級材）の基準強度は、無欠点小試験体で得られた強度に強度比を乗じて算出される。その強度比は、針葉樹材と同じ値が使用されているが、広葉樹材の実大材による強度データがほとんどないため、その妥当性は検証されていない。また、広葉樹材の強度に及ぼす品質あるいは節等の欠点の影響についても明らかにされていないため、等級区分法を確立するための基礎データがない。さらに、現行の「製材の日本農林規格」（農林水産省 2007）の針葉樹材では、スギの試験結果を参考に、曲げ・縦圧縮・縦引張り強度特性値（下限値）の比率として 1 : 0.8 : 0.6 の関係が採用されているが、広葉樹材ではこの関係について実験的に検証されていない。

そこで、広葉樹材の中ではケヤキ（井道ら 2012）と並んで利用量が多く、木造住宅の土台等に広く使用されるクリを対象として、実大材による曲げ・縦圧縮・縦引張り・せん断・めり込みの各強度試験を実施し、以上の事項について明らかにすることを目的とした。

2. 実験

2.1 供試材

供試材購入から各強度試験までの流れを Fig. 1 に示すとともに、詳細を以下に説明する。山形県金山町、埼玉県飯能市、熊本県あさぎり町の 3 地域の製材業者から、それぞれ 70 本、50 本、50 本、合計 170 本の

供試材を購入した。供試材の断面寸法は約 145mm×145mm、長さは約 4000mm であった。発注から納品までの期間が短かったため、十分に乾燥された、すなわち気乾状態の供試材はなかった。ただし、埼玉県および熊本県の供試材がほとんど製材直後に納品されたものであるため、ほぼ生材状態であるのに対し、山形県の供試材は製材後に低温乾燥されていたため、他の 2 業者の供試材に比べて乾燥していた。

森林総合研究所の実験棟に搬入後、直ちに見かけの密度および縦振動法によるヤング係数の非破壊測定（1 回目）を行った。結果を Table 1（2011 年 5 月測定分）に示す。山形県の供試材は、低温乾燥された影響により見かけの密度は他の購入地域のものより小さい値であったが、ヤング係数についてはほぼ 9.5kN/mm² と購入地域の間で違いはみられなかった。

非破壊測定後、約 5 ヶ月間の天然乾燥を実施した。山形県の供試材と埼玉県および熊本県の供試材とは含水率状態が異なっていたため、前者は屋内で、後者は屋根をかけて屋外での天然乾燥とした。

天然乾燥後、非破壊測定（2 回目）を行った。結果を Table 1（2011 年 10 月測定分）に示す。5 ヶ月間の天然乾燥によって山形県の供試材で 24%、埼玉県および熊本県の供試材で 29%、重量が低下し、天然乾燥後の見かけの密度は平均値で 598 ~ 624kg/m³ であった。「木材工業ハンドブック」（森林総合研究所 2004）によると、クリの無欠点小試験体の気乾比重は 0.44 ~ 0.60

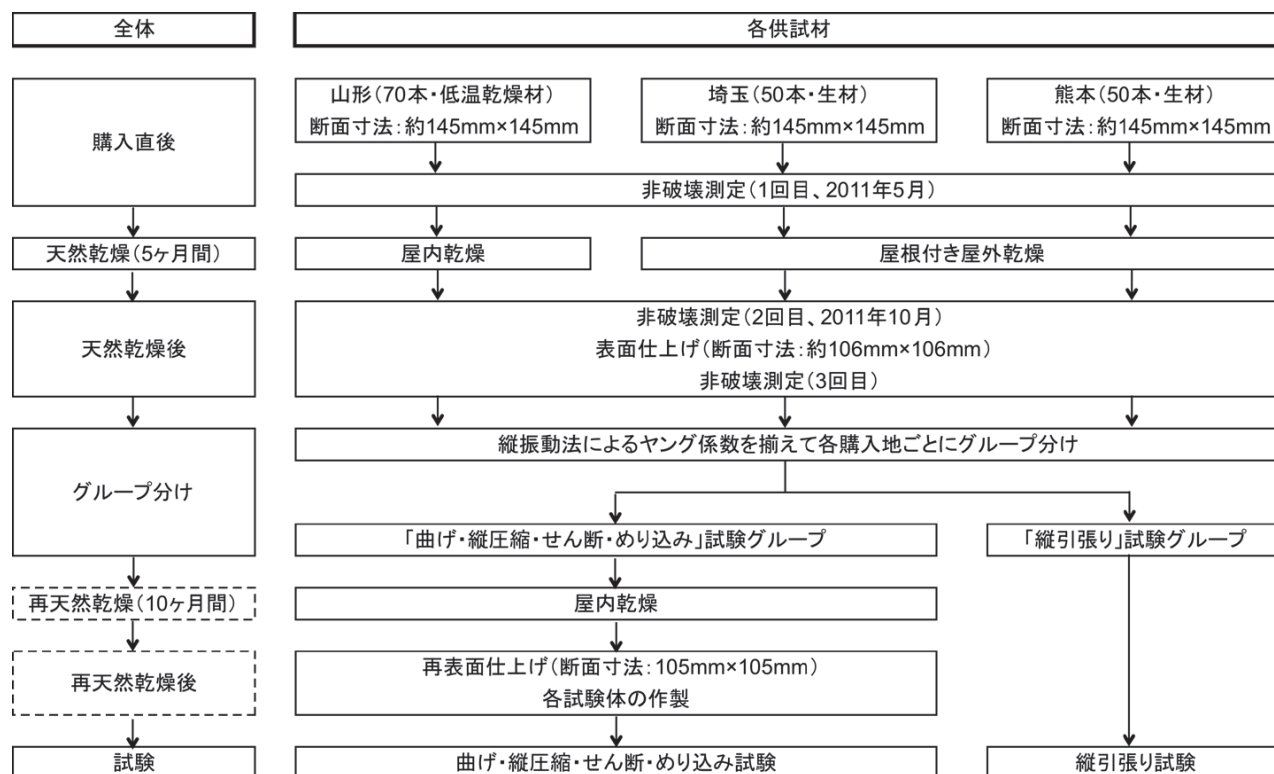


Fig. 1. 供試材購入から各試験までの流れ

Table 1 天然乾燥前後の供試材の物性値 (平均値)

測定年月	購入地域	試験体数	幅 (mm)	厚さ (mm)	重量 (kg)	ρ (kg/m ³)	f_r-L (Hz)	E_{fr-L} (kN/mm ²)	備考
2011 年	山形	70	119.9	119.9	45.0	766	432	9.55	低温乾燥材
5 月	埼玉	50	129.1	129.0	56.8	825	408	9.37	伐採直後
	熊本	50	124.5	124.5	53.7	856	413	9.56	伐採直後
2011 年	山形	70	118.5	118.5	34.4	598	497	9.88	屋内乾燥後
10 月	埼玉	50	127.5	127.3	40.3	600	491	9.84	屋根付き屋外乾燥後
	熊本	50	122.9	123.1	38.2	624	494	9.97	屋根付き屋外乾燥後

注 ρ : 見かけの密度、 f_r-L : 縦振動法による 1 次固有振動数、 E_{fr-L} : 縦振動法によるヤング係数

～0.78 (最小～平均～最大) となっており、供試材は気乾状態に近い状況と推察されたため、乾燥を終了し、試験体の作製に移った。供試材をバンドソーで挽き直した後、モルダーがけを行なった結果、すべての供試材の仕上がり断面寸法は約 106mm×106mm となった。表面仕上げされた供試材について非破壊測定を実施し (3 回目)、購入地ごとに、縦振動法によるヤング係数の平均値と変動係数がほぼ等しい 85 本ずつの 2 グループに分け、一方を「曲げ・縦圧縮・せん断・めり込み」試験グループ、他方を「縦引張り」試験グループとした。

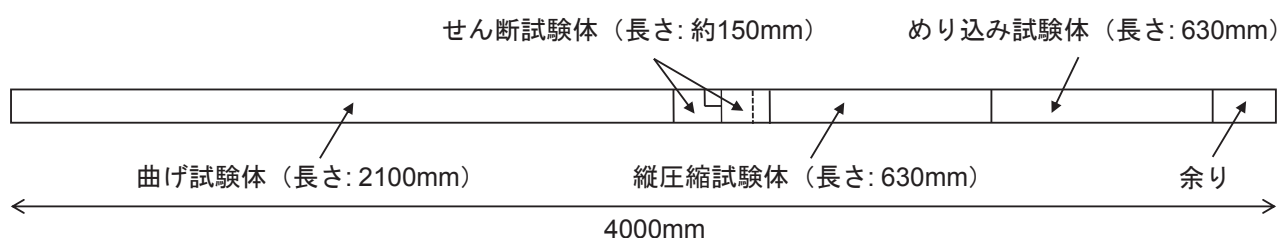
「曲げ・縦圧縮・せん断・めり込み」試験グループの試験体作製前に縦引張り試験を実施し、全乾法により含水率を測定したところ、縦引張り試験体が気乾状態に達していないことが明らかとなった。「木材工業ハンドブック」の気乾比重を参考に、供試材がほぼ気乾状態であると判断したが、試験後に測定した試験体の気乾密度の平均値は約 540kg/m³ であり、文献の平均値よりも低い値であったことが原因であった。そのた

め、「曲げ・縦圧縮・せん断・めり込み」試験グループの供試材は屋内にてさらに約 10 ヶ月間の天然乾燥を追加した後、曲げ・縦圧縮・せん断・めり込み試験体を作製し各試験を実施した。ただし、再天然乾燥後、改めて表面仕上げを行ったため、この試験グループの断面寸法は約 105mm×105mm となった。「曲げ・縦圧縮・せん断・めり込み」試験グループおよび「縦引張り」試験グループの試験体の採取方法を Fig. 2 に示す。すなわち、各試験体の状態は、縦引張り試験体については断面寸法が約 106mm×106mm で気乾状態に達しておらず、曲げ・縦圧縮・せん断・めり込み試験体については断面寸法が約 105mm×105mm で気乾状態であった。

2.2 試験方法

各強度試験は ISO 13910 (ISO 2005) および「構造用木材の強度試験マニュアル」(日本住宅・木材技術センター 2011) に準じて行った。

「曲げ・縦圧縮・せん断・めり込み試験」グループ (断面寸法 : 約 105mm×105mm)
(山形 35 体・埼玉 25 体・熊本 25 体、合計 85 体)



「縦引張り」試験グループ (断面寸法 : 約 106mm×106mm)
(山形 35 体・埼玉 25 体・熊本 25 体、合計 85 体)

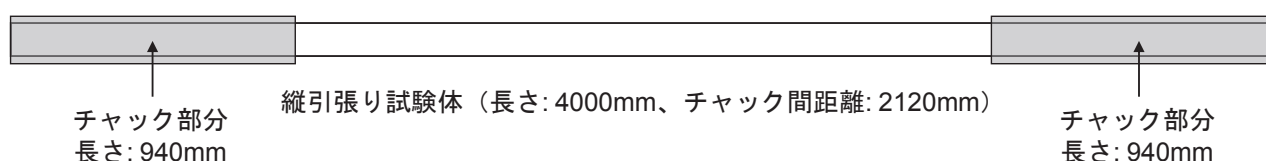


Fig. 2. 各試験体の採取方法

2.2.1 曲げ試験

曲げ試験に先立ち、荷重点間において、「製材の日本農林規格」の目視等級区分構造用製材甲種構造用Ⅱに準じて目視等級区分を行った。測定した項目は、節径比、集中節径比、丸身、割れ、繊維傾斜である。繊維傾斜の測定には、繊維傾斜測定器 (Metriguard 製、Model 511) を用いた。各材面の材中央部と荷重点下の繊維傾斜を測定し、最も大きい値をその試験体の繊維傾斜とした。また、縦振動法によるヤング係数を測定した。

曲げ試験は、荷重点間を材せいの 6 倍 (630mm)、支点間距離を材せいの 18 倍 (1890mm) とした 3 等分点 4 点荷重方式で行った。最大容量が 10tf (約 98kN) の材料試験機 (ミネベア株式会社製、TCM-10000) により载荷した。クロスヘッド速度は 10mm/min とした。試験体の側面中央部に変位計 (東京測器研究所製、CDP-100) を設置し試験体の全たわみを測定するとともに、試験体の上部材面圧縮面上に変位計 (東京測器研究所製、CDP-10) を取り付けた袴型治具 (スパン 401mm) を乗せ、荷重点間における曲げたわみを測定した。試験終了後、全たわみから求めた見かけの曲げヤング係数、荷重点間のたわみから求めた真の曲げヤング係数、曲げ比例限度応力および曲げ強度を算出した。試験後、破壊部近傍から長さが約 20mm の含水率測定用試験体を切り出し、全乾法で含水率を測定した。

2.2.2 縦圧縮試験

縦圧縮試験に先立ち、縦振動法によるヤング係数を測定した。縦圧縮試験は材長を木口面の一辺の 6 倍 (630mm) とした短柱圧縮試験体で行った。最大容量が 3000kN の圧縮試験機 (前川試験機製作所製、A-300-B4) を用いて、荷重レンジを 600kN に設定して载荷し、最大荷重に達するまでの時間が約 5 分になるように荷重速度を調整した。試験体の長さ方向における相対する 2 材面の中央部に、標点間距離を 150mm とした、変位計 (東京測器研究所製、CDP-10) を取り付けた治具を設置して縮みを測定した。2 材面の縮みの平均値を試験体の縮みとした。試験終了後、縦圧縮ヤング係数、縦圧縮比例限度応力および縦圧縮強度を算出した。試験後、破壊部近傍から長さが約 20mm の含水率測定用試験体を切り出し、全乾法で含水率を測定した。

2.2.3 縦引張り試験

縦引張り試験に先立ち、「製材の日本農林規格」の目視等級区分構造用製材甲種構造用Ⅱに準じて、つかみ部分を除いたチャック間における目視等級区分を行った。測定した項目は、曲げ試験体と同様、節径比、集中節径比、丸身、割れ、繊維傾斜である。繊維傾斜の測定には、繊維傾斜測定器 (Metriguard 製、Model 511) を用いた。各材面の材中央部とチャック間両端部の繊維

傾斜を測定し、最も大きい値をその試験体の繊維傾斜とした。また、縦振動法によるヤング係数を測定した。

縦引張り試験はチャック間距離を長辺の 20 倍 (2120mm)、片側のチャック部分の長さを 940mm とした。試験機には最大容量が 2000kN の横型引張り試験機 (前川試験機製作所製、HZS-200-LB4) を用いた。試験体の長さ方向における相対する 2 材面の中央部に、標点間距離を 1000mm とした、変位計 (東京測器研究所製、CDP-10) を取り付けた治具を設置して伸びを測定した。2 材面の伸びの平均値を試験体の伸びとした。試験終了後、縦引張りヤング係数、縦引張り比例限度応力および縦引張り強度を算出した。試験後、破壊部近傍から長さが約 20mm の含水率測定用試験体を切り出し、全乾法で含水率を測定した。

2.2.4 せん断試験

せん断試験は実大いす型せん断方式 (井道ら 2004) により行った。供試材には、割れ、節等、せん断試験に対して欠点となりうるものが存在していたため、Fig. 2 に示したように、1 本の供試材からエンドマッチでせん断面を材軸方向を中心に 90° 回転させて 2 体の試験体を採取した。切り欠き部分のない側の試験体長さは 150mm、切り欠き部分の長さは 45mm、せん断面積は 105mm×105mm とした。両せん断面の試験体について、実大いす型せん断試験治具を最大容量が 3000kN の圧縮試験機 (前川試験機製作所製、A-300-B4) に設置してせん断試験を行った。荷重レンジを 150kN に設定して载荷し、最大荷重に達するまでの時間が約 5 分になるように荷重速度を調整した。せん断試験後、破断面を観察し、割れ、節、木理の影響が小さい方の試験体をその供試材のせん断試験結果とした。試験後、せん断面を含む部分から長さが約 20mm の含水率測定用試験体を切り出し、全乾法で含水率を測定した。

2.2.5 むり込み試験

むり込み試験は長さが断面の 6 倍 (630mm) の試験体に対し、長さ 90mm の鋼製荷重ブロックを試験体中央部の上下に設置する上下加圧方式で行った。最大容量が 3000kN の圧縮試験機 (前川試験機製作所製、A-300-B4) を用いて、荷重レンジを 300kN に設定して载荷し、最大荷重に達するまでの時間が約 5 分になるように荷重速度を調整した。試験体の長さ方向の中央部付近両脇に 2 か所に変位計 (東京測器研究所製、CDP-50) を設置し、クロスヘッドの移動量を測定した。両変位計の平均値をむり込み変形量とした。試験終了後、むり込み比例限度応力、むり込み強度、むり込み降伏強度、むり込み剛性を算出した。破壊部近傍から長さが約 20mm の含水率測定用試験体を切り出し、全乾法で含水率を測定した。

3. 結果と考察

3.1 曲げ試験

曲げ試験の結果を Table 2 に示す。曲げ強度特性値 (正規分布と仮定した場合の信頼水準 75 % における 95 % 下側許容限界値、以下同様) は 29.4N/mm^2 となり、現行の無等級材の基準強度 (広葉樹 II 類 (くり、なら、ぶな、けやき)、以下同様) (建設省 2000) $F_b=29.4\text{N/mm}^2$ と同等であった。

「製材の日本農林規格」の目視等級区分構造用製材甲種構造用 II に準じて、荷重点間における目視等級区分を行った結果、1 級、2 級、3 級、格外はそれぞれ 14 体 (16 %)、37 体 (44 %)、27 体 (32 %)、7 体 (8 %) であった。等級ごとの曲げ試験の結果をそれぞれ Table 3 に示す。曲げ強度の平均値は、同じ順に 53.0、50.2、46.5、 42.4N/mm^2 となり、等級が上がるごとに平均値も上がり、針葉樹材と同様、広葉樹材においても目視等級区分が曲げ強度の選別に有効であることが明らかになった。

3.2 縦圧縮試験

縦圧縮試験の結果を Table 4 に示す。縦圧縮強度特性値は 26.3N/mm^2 となり、現行の無等級材の基準強度 $F_c=21.0\text{N/mm}^2$ 以上であった。

3.3 縦引張り試験

縦引張り試験の結果を Table 5 に示す。試験時の含水率の平均値は約 32 % となり、気乾状態には達していなかった。縦引張り強度特性値は 14.1N/mm^2 となり、現行の無等級材の基準強度 $F_t=18.0\text{N/mm}^2$ よりも低い値を示した。曲げや縦圧縮強度では、含水率の上昇に伴って強度は低下する。一方、縦引張り強度では、針葉樹材であるスギ、カラマツ、バイマツの各製材品について、乾燥に伴う強度の増加が認められないことが明らかになっている (Green et al. 1990, 長尾ら 2001)。そのため、縦引張り強度特性値が基準強度を下回ったことについての含水率の影響は小さいと考えられる。また、曲げ・縦圧縮・縦引張り強度の統計的下限値の相

対的比率の検討に対して、縦引張り試験体の含水率が気乾状態に達していなかったことは影響しないと考えられる。このように、縦引張り強度に及ぼす含水率の影響は小さいと考えられるが、クリを含めた広葉樹材では含水率と縦引張り強度との関係は実験的に明らかになっていないため、今後検証が必要である。

「製材の日本農林規格」の目視等級区分構造用製材甲種構造用 II に準じて、チャック間における目視等級区分を行った結果、1 級、2 級、3 級、格外はそれぞれ 12 体 (14 %)、37 体 (44 %)、24 体 (28 %)、12 体 (14 %) であった。等級ごとの縦引張り試験の結果をそれぞれ Table 6 に示す。縦引張り強度の平均値は、同じ順に 27.3、27.1、25.9、 22.9N/mm^2 となり、曲げ強度と同様、等級が上がるごとに縦引張り強度の平均値が高くなることがわかった。

また、縦引張り試験の結果、通常の針葉樹の破壊形態とは異なる破壊形態が見られた。すなわち、節等の欠点を確認できない個所で破壊が生じ、破壊形態を観察すると、試験体の破断面の長さが短く、脆弱的に見える破壊であった。曲げ試験体でもそのような破壊形態を示した試験体は数体存在したが、縦引張り試験体ほど顕著ではなかった。各試験体の破壊形態を節による破壊、繊維傾斜による破壊、無欠点部での破壊に分け、等級ごとに示したものを Table 7 に示す。また、それぞれの破壊形態の例を Photo 1 に示す。複合的な破壊要因によると見られるものも存在したが、その場合は主要な要因と思われるものを一つ選択した。各等級の試験体数が少ないために明確ではないが、破壊の割合を見ると、等級が低いほど節による破壊が多く、等級が高いほど無欠点部での破壊が多い傾向にあることがわかる。等級が高いほど欠点が少なくなるため、等級の高い試験体では無欠点部での破壊が増加することは予想できるが、脆弱的に見えるような破壊形態となる原因は現在のところ明らかではない。縦引張り試験体の含水率が高かったこと、広葉樹は針葉樹に比べて繊維が短いことなどの理由も考えられるが、今後の検討課題である。

Table 2 曲げ試験の結果

	MC (%)	ρ (kg/m^3)	$E_{\text{fr-L}}$ (kN/mm^2)	MOE-app (kN/mm^2)	MOE-true (kN/mm^2)	σ_{bp} (N/mm^2)	MOR (N/mm^2)
試験体数	85	85	85	85	85	85	85
平均値	15.4	540	10.3	9.61	10.1	32.8	48.8
最小値	14.5	452	7.08	6.62	6.57	12.6	17.5
最大値	17.6	667	13.4	13.1	13.0	46.3	73.2
標準偏差	0.538	38.7	1.29	1.21	1.50	6.24	11.0
変動係数 (%)	3.50	7.18	12.5	12.6	14.8	19.0	22.5

記号 MC: 含水率、 ρ : 試験時の密度、 $E_{\text{fr-L}}$: 縦振動法によるヤング係数、MOE-app: 見かけの曲げヤング係数、MOE-true: 真の曲げヤング係数、 σ_{bp} : 曲げ比例限度応力、MOR: 曲げ強度

Table 3 目視等級区分ごとの曲げ試験の結果

1 級	MC (%)	ρ (kg/m ³)	E_{fi-L} (kN/mm ²)	$MOE-app$ (kN/mm ²)	$MOE-true$ (kN/mm ²)	σ_{bp} (N/mm ²)	MOR (N/mm ²)
試験体数	14	14	14	14	14	14	14
平均値	15.4	524	10.8	10.2	10.9	35.8	53.0
最小値	14.5	480	9.29	8.62	9.11	22.7	34.3
最大値	16.2	578	13.3	13.1	12.8	46.3	71.9
標準偏差	0.464	27.7	1.08	1.08	1.00	6.85	10.4
変動係数 (%)	3.01	5.29	10.0	10.6	9.16	19.2	19.5
2 級	MC (%)	ρ (kg/m ³)	E_{fi-L} (kN/mm ²)	$MOE-app$ (kN/mm ²)	$MOE-true$ (kN/mm ²)	σ_{bp} (N/mm ²)	MOR (N/mm ²)
試験体数	37	37	37	37	37	37	37
平均値	15.4	539	10.4	9.69	10.2	33.2	50.2
最小値	14.5	454	8.25	8.00	7.53	23.6	31.9
最大値	16.2	602	12.5	11.6	12.6	45.8	73.2
標準偏差	0.444	37.9	1.21	1.09	1.26	5.52	10.7
変動係数 (%)	2.89	7.03	11.6	11.2	12.4	16.6	21.3
3 級	MC (%)	ρ (kg/m ³)	E_{fi-L} (kN/mm ²)	$MOE-app$ (kN/mm ²)	$MOE-true$ (kN/mm ²)	σ_{bp} (N/mm ²)	MOR (N/mm ²)
試験体数	27	27	27	27	27	27	27
平均値	15.3	542	10.2	9.46	10.1	31.5	46.5
最小値	14.5	452	7.08	6.62	6.57	19.3	31.3
最大値	17.1	667	13.4	12.1	13.0	42.1	62.2
標準偏差	0.599	42.7	1.41	1.21	1.72	5.52	9.50
変動係数 (%)	3.91	7.88	13.8	12.8	17.0	17.5	20.4
格外	MC (%)	ρ (kg/m ³)	E_{fi-L} (kN/mm ²)	$MOE-app$ (kN/mm ²)	$MOE-true$ (kN/mm ²)	σ_{bp} (N/mm ²)	MOR (N/mm ²)
試験体数	7	7	7	7	7	7	7
平均値	15.7	566	9.27	8.46	8.75	30.2	42.4
最小値	15.3	506	7.87	6.85	6.82	12.6	17.5
最大値	17.6	626	11.1	10.2	10.9	43.6	61.1
標準偏差	0.838	36.8	1.16	1.40	1.86	9.60	16.1
変動係数 (%)	5.33	6.49	12.5	16.6	21.3	31.8	38.0

記号 MC : 含水率、 ρ : 試験時の密度、 E_{fi-L} : 縦振動法によるヤング係数、 $MOE-app$: 見かけの曲げヤング係数、 $MOE-true$: 真の曲げヤング係数、 σ_{bp} : 曲げ比例限度応力、 MOR : 曲げ強度

Table 4 縦圧縮試験の結果

	MC (%)	ρ (kg/m ³)	E_{fi-L} (kN/mm ²)	E_c (kN/mm ²)	σ_{cp} (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)
試験体数	85	85	85	85	85	85
平均値	15.5	539	10.4	10.0	20.1	32.3
最小値	14.2	461	5.11	4.95	10.9	19.7
最大値	16.9	633	13.5	14.0	34.9	39.3
標準偏差	0.604	39.0	1.24	1.54	5.50	3.38
変動係数 (%)	3.89	7.22	11.9	15.4	27.4	10.4

記号 MC : 含水率、 ρ : 試験時の密度、 E_{fi-L} : 縦振動法によるヤング係数、 E_c : 縦圧縮ヤング係数、 σ_{cp} : 縦圧縮比例限度応力、 σ_c : 縦圧縮強度

Table 5 縦引張り試験の結果

	<i>MC</i> (%)	ρ (kg/m ³)	$E_{\text{fr-L}}$ (kN/mm ²)	E_t (kN/mm ²)	σ_{tp} (N/mm ²)	σ_t (N/mm ²)
試験体数	85	85	85	84	84	84
平均値	31.9	611	9.72	8.53	18.0	26.2
最小値	21.1	471	7365	6.28	7.12	13.9
最大値	55.2	776	12.5	11.3	40.0	42.8
標準偏差	6.97	55.3	1.03	1.04	8.18	6.72
変動係数 (%)	21.9	9.05	10.6	12.2	45.4	25.6

記号 *MC*: 含水率、 ρ : 試験時の密度、 $E_{\text{fr-L}}$: 縦振動法によるヤング係数、 E_t : 縦引張りヤング係数、 σ_{tp} : 縦引張り比例限度応力、 σ_t : 縦引張り強度

注 E_t 、 σ_{tp} 、 σ_t の試験体数がそれぞれ 1 体ずつ少ないのは、測定機器の不具合により測定ができなかったためである。

Table 6 目視等級区分ごとの縦引張り試験の結果

1 級	<i>MC</i> (%)	ρ (kg/m ³)	$E_{\text{fr-L}}$ (kN/mm ²)	E_t (kN/mm ²)	σ_{tp} (N/mm ²)	σ_t (N/mm ²)
試験体数	12	12	12	12	12	12
平均値	30.8	584	10.3	9.14	18.3	27.3
最小値	22.9	531	9.12	8.14	7.87	16.8
最大値	42.3	643	11.3	10.2	39.8	40.6
標準偏差	5.47	39.9	0.631	0.651	11.0	7.45
変動係数 (%)	17.8	6.83	6.11	7.12	60.2	27.3
2 級	<i>MC</i> (%)	ρ (kg/m ³)	$E_{\text{fr-L}}$ (kN/mm ²)	E_t (kN/mm ²)	σ_{tp} (N/mm ²)	σ_t (N/mm ²)
試験体数	37	37	37	37	37	37
平均値	31.6	609	9.90	8.69	18.5	27.1
最小値	21.6	471	8.05	6.66	7.12	15.3
最大値	55.2	738	12.5	11.3	40.0	42.8
標準偏差	7.63	56.2	1.08	1.04	8.39	7.10
変動係数 (%)	24.1	9.22	10.9	12.0	45.4	26.2
3 級	<i>MC</i> (%)	ρ (kg/m ³)	$E_{\text{fr-L}}$ (kN/mm ²)	E_t (kN/mm ²)	σ_{tp} (N/mm ²)	σ_t (N/mm ²)
試験体数	24	24	24	23	23	23
平均値	32.4	613	9.43	8.29	18.7	25.9
最小値	21.2	519	7.90	6.56	8.22	17.6
最大値	52.6	776	11.4	10.3	34.1	39.2
標準偏差	6.93	59.2	0.887	0.900	7.34	5.72
変動係数 (%)	21.4	9.67	9.41	10.9	39.2	22.1
格外	<i>MC</i> (%)	ρ (kg/m ³)	$E_{\text{fr-L}}$ (kN/mm ²)	E_t (kN/mm ²)	σ_{tp} (N/mm ²)	σ_t (N/mm ²)
試験体数	12	12	12	12	12	12
平均値	32.8	640	9.16	7.91	14.9	22.9
最小値	21.1	565	7.65	6.28	7.51	13.9
最大値	42.8	703	11.0	10.6	27.5	32.7
標準偏差	6.83	48.6	1.06	1.25	5.73	6.18
変動係数 (%)	20.8	7.60	11.6	15.8	38.6	27.0

記号 *MC*: 含水率、 ρ : 試験時の密度、 $E_{\text{fr-L}}$: 縦振動法によるヤング係数、 E_t : 縦引張りヤング係数、 σ_{tp} : 縦引張り比例限度応力、 σ_t : 縦引張り強度

Table 7 縦引張り試験における等級ごとの破壊形態の数と割合

	節による破壊	繊維傾斜による破壊	無欠点部での破壊
すべての試験体	55 体 (65%)	19 体 (22%)	11 体 (13%)
1 級	5 体 (42%)	4 体 (33%)	3 体 (25%)
2 級	22 体 (59%)	10 体 (27%)	5 体 (14%)
3 級	19 体 (79%)	4 体 (17%)	1 体 (4%)
格外	9 体 (75%)	1 体 (8%)	2 体 (17%)

Table 8 セン断試験の結果

	MC (%)	ρ (kg/m ³)	σ_s (N/mm ²)
試験体数	85	85	85
平均値	15.3	543	8.63
最小値	14.2	447	4.27
最大値	16.3	660	12.6
標準偏差	0.385	46.2	1.42
変動係数 (%)	2.52	8.51	16.4

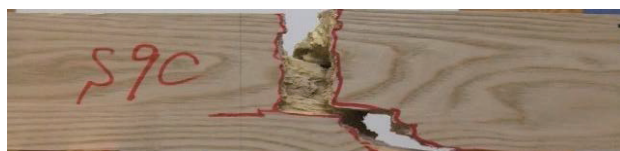
記号 MC：含水率、 ρ ：試験時の密度、 σ_s ：せん断強度



a) 節による破壊



b) 繊維傾斜による破壊



c) 無欠点部での破壊

Photo 1. 縦引張り試験による破壊形態の例

3.4 セン断試験

せん断試験の結果を Table 8 に示す。せん断強度特性値は 6.12N/mm^2 であり、現行の無等級材の基準強度 $F_s = 3.0\text{N/mm}^2$ を 2 倍以上上回っていた。しかしながら、無等級材のせん断基準強度は、基準強度値（無欠点小試験体の平均値） $\times 4/5 \times 1/2 \times 1/1.5$ で誘導されていると考えられることから（長尾 2010, 2013a）、実際のせん断強度に比べてかなり低く抑えられていると推察される。そこで、本試験と同様の実大いす型せん断方式で行った他樹種の結果と比較したものを Table 9 に示す。なお、文献値の下限値は正規分布を仮定した 75% 信頼水準の 5% 下限値である。クリの下限値 / 基準強度を他樹種と比較すると、クリは 2.0 と他樹種の 2.4 ~ 2.7 よりは小さかった。この理由として、一般的にせん断強度と密度とは相関があり、前述したように「木材工業ハンドブック」に示されたクリの気乾密度の平均値は約 600kg/m^3 であるため、本試験で用いたクリの試験時の密度が 543kg/m^3 と「木材工業ハンドブック」の値より低かったことが考えられる。

3.5 めり込み試験

めり込み試験の結果を Table 10 に示す。めり込み試験は試験方法や特性値の算出方法で結果が異なるため、得られた特性値と基準強度とを単純に比較できない。そのため、過去に同じ ISO 13910 の試験方法で行った他樹種の結果と比較したものを Table 11 に示す。文献で下限値が記載されているものはその値を、記載されていないものは正規分布を仮定し信頼水準 75% の 5% 下限値を求めた。めり込み基準強度（国土交通省 2001）は平均値から誘導されていると考えられる（長尾 2010, 2013b）ため、下限値とともに平均値について比較した。その結果、めり込み強度の平均値 / 基準強度、めり込み強度の下限値 / 基準強度とも既往のデータの範囲内に入っており、現行のクリの基準強度 10.8N/mm^2 は妥当であると考えられる。

3.6 曲げ・縦圧縮・縦引張りの強度特性値の比較

現行 JAS の針葉樹の製材品では、スギの試験結果（中井 1988）を参考に、曲げ・縦圧縮・縦引張り強度特性値（下限値）の比率として $1 : 0.8 : 0.6$ の関係が採用されている。しかしながら、広葉樹材ではこの関係について実験的に検証されていない。本試験の結果、クリの曲げ・縦圧縮・縦引張り強度特性値の比率は、 $29.4\text{N/mm}^2 : 26.3\text{N/mm}^2 : 14.1\text{N/mm}^2 = 1 : 0.89 : 0.48$ であった。スギ製材の試験結果と比較すると、曲げに対して、縦圧縮が大きく、縦引張りが小さい値となった。現在この理由は明らかではないが、広葉樹材の各強度特性値間の比率は、スギを参考とした現行 JAS の比率とは異なる可能性があるため、今後他樹種においても同様の検討が必要である。

Table 9 実大いす型せん断試験方式で行った他樹種との比較

樹種	試験体数	密度 (平均値) (kg/m ³)	せん断強度 (N/mm ²)		基準強度 (N/mm ²)	下限値 / 基準強度
			下限値 (N/mm ²)	変動係数 (%)		
クリ	85	543	6.12	16.4	3.0	2.0
ベイマツ ^{a)}	50	519	5.79	13.3	2.4	2.4
ヒノキ ^{a)}	40	515	5.73	18.8	2.1	2.7
ベイツガ ^{a)}	49	477	5.42	15.3	2.1	2.6
ベイヒバ ^{b)}	100	514	5.21	13.9	(2.1)	2.5
スギ ^{a)}	51	414	4.82	13.8	1.8	2.7

文献 ^{a)}井道ら (2006)、^{b)}井道ら (2010)注 基準強度は「建設省 (2000) “木材の基準強度 F_c 、 F_t 、 F_b 及び F_s を定める件”、平成 12 年 5 月 31 日建設省告示第 1452 号」による。ベイヒバの基準強度は存在しないが、強度試験結果 ^{b)} より 2.1N/mm² と仮定した。

Table 10 むり込み試験の結果

	MC (%)	ρ (kg/m ³)	$\sigma_{c,90}$ (N/mm ²)	$f_{c,90}$ (N/mm ²)	$f_{c,90,y}$ (N/mm ²)	$K_{c,90}$ (N/mm ³)
試験体数	85	85	85	85	85	85
平均値	15.2	543	6.26	13.3	8.54	4.52
最小値	14.0	475	4.59	10.3	6.38	2.34
最大値	17.3	654	8.77	19.8	12.7	8.60
標準偏差	0.582	42.2	1.02	1.99	1.35	1.22
変動係数 (%)	3.84	7.78	16.3	15.0	15.8	27.1

記号 MC ：含水率、 ρ ：試験時の密度、 $\sigma_{c,90}$ ：むり込み比例限度応力、 $f_{c,90}$ ：むり込み強度、 $f_{c,90,y}$ ：むり込み降伏強度、 $K_{c,90}$ ：むり込み剛性

Table 11 ISO 13910 のむり込み試験方式で行った他樹種との比較

樹種	試験体数	密度 (平均値) (kg/m ³)	ISO 方式によるむり込み強度			基準強度 (N/mm ²)	平均値 / 基準強度	下限値 / 基準強度
			平均値 (N/mm ²)	下限値 (N/mm ²)	変動係数 (%)			
クリ	85	543	13.3	9.75	15.0	10.8	1.2	0.9
カラマツ ^{a)}	15	—	9.28	7.77	8.2	7.8	1.2	1.0
ヒバ ^{b)}	31	500	11.1	6.52	17.3	7.8	1.4	0.8
ベイヒバ ^{c)}	100	513	9.48	6.51	17.8	(7.8)	1.2	0.8
スギ ^{d)}	38	400	8.22	6.37	—	6.0	1.4	1.1
ベイツガ ^{e)}	50	483	9.37	5.03	25.6	6.0	1.6	0.8

文献 ^{a)}伊東ら (2005)、^{b)}鈴木・松元 (2006)、^{c)}井道ら (2010)、^{d)}田中・荒武 (2005)、^{e)}Ido et al. (2007)注 基準強度は「国土交通省 (2001) “特殊な許容応力度及び特殊な材料強度を定める件”、平成 13 年 6 月 12 日国土交通省告示第 1024 号」による。ベイヒバの基準強度は存在しないが、強度試験結果 ^{c)} より 7.8N/mm² と仮定した。

まとめ

木造住宅の土台等に使用されるクリを対象として、実大材による曲げ・縦圧縮・縦引張り・せん断・むり込みの各強度試験を実施し、現行の基準強度の妥当性、欠点等が強度性能に及ぼす影響、各強度特性値の相互関係について検証した。

各強度試験の結果、曲げ・縦圧縮・せん断・むり込みの強度特性値は、基準強度に対して上回るか同等であったが、縦引張り強度特性値は基準強度を下回った。曲げ・縦引張り強度について、目視等級区分ごとに平均値を求めた結果、等級が上位になるほど強度の平均

値が高くなる傾向にあり、広葉樹材においても目視等級区分が強度選別に有効であることがわかった。また、曲げ：縦圧縮：縦引張りにおける各基準特性値の比率は 1:0.89:0.48 となり、スギから求めた針葉樹材の 1:0.8:0.6 とは異なった。そのため、各強度特性値の比率は、現行針葉樹 JAS の比率とは異なる可能性があることがわかった。

ただし、縦引張り試験体の含水率が気乾状態に達していなかったため、今後、クリを含む広葉樹材における含水率と縦引張り強度との関係を把握した上で、以上の結果が妥当であるか再検証する必要がある。

謝辞

本研究は国土交通省「平成 23 年度 木造長期優良住宅の総合的検証事業 材料分科会」の一部として行った。なお、実験にあたっては、(独)農林水産消費安全技術センターの下田優子氏にご協力を頂いた。

引用文献

- Green, D. W., Pellerin, R. F., Evans, J. W. and Kretschmann, D. E. (1990) Moisture content and tensile strength of Douglas fir dimension lumber. Res. Pap. FPL-RP-497, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 33 pp.
- 井道裕史・長尾博文・加藤英雄 (2004) 実大いす型せん断治具を用いたスギ製材品のせん断強度の評価。木材学会誌, 50, 220-227.
- 井道裕史・長尾博文・加藤英雄 (2006) 試験方法の違いによる製材品のせん断性能の評価。木材学会誌, 52, 293-302.
- 井道裕史・長尾博文・加藤英雄 (2012) ケヤキ実大材の曲げおよび縦圧縮強度。木材学会誌, 58, 144-152.
- Ido, H., Nagao, H. and Kato, H. (2007) Comparison between compression strength perpendicular to the grain and shear strength parallel to the grain of Western hemlock lumber. Bulletin of FFPRI, 402, 71-76.
- 井道裕史・長尾博文・加藤英雄 (2010) ベイヒバ製材品の強度性能 ―曲げ、縦圧縮、縦引張り、せん断、めり込み―。森林総合研究所研究報告, 9(3), 125-148.
- International Organization for Standardization (2005) “ISO 13910 Structural timber – Characteristic values of strength-graded timber – Sampling, full-size testing and evaluation”. ISO, 22 pp.

- 伊東嘉文・吉田孝久・橋爪丈夫 (2005) カラマツの乾燥条件別縦圧縮及びめり込み強度試験。日本木材学会大会研究発表要旨集, 55, E70945.
- 建設省 (2000) “木材の基準強度 F_c 、 F_t 、 F_b 及び F_s を定める件”, 平成 12 年 5 月 31 日建設省告示第 1452 号。
- 国土交通省 (2001) “特殊な許容応力度及び特殊な材料強度を定める件”, 平成 13 年 6 月 12 日国土交通省告示第 1024 号。
- 長尾博文・井道裕史・加藤英雄・菅原弥寿夫・宮崎茂雄 (2001) 製材品の縦引張り強度に及ぼす含水率の影響。日本木材学会大会研究発表要旨集, 51, 95.
- 長尾博文 (2010) 製材のせん断及びめり込み基準強度の誘導根拠についての検討。 “木造長期優良住宅の総合的検証事業 材料分科会 平成 21 年度 報告書”。一般社団法人 建築性能基準推進協会, 50-53.
- 長尾博文 (2013a) 構造用木材としての製材 (10) 製材の基準強度。住宅と木材, 424, 4-5.
- 長尾博文 (2013b) 構造用木材としての製材 (12) 製材の基準強度。住宅と木材, 426, 4-5.
- 中井 孝 (1988) 製材。木質構造研究会編 “木質構造研究読本 ティンバーエンジニアリングのすべて”。井上書院, 122.
- 日本住宅・木材技術センター (2011) 構造用木材の強度試験マニュアル。日本住宅・木材技術センター, 162 pp.
- 農林水産省 (2007) “製材の日本農林規格”, 平成 19 年 8 月 29 日農林水産省告示第 1083 号。
- 森林総合研究所 (2004) 主要樹種の性質表。森林総合研究所編 “改訂 4 版 木材工業ハンドブック”。丸善, 192.
- 鈴木修治・松元 浩 (2006) 能登ヒバのめり込み強度性能。日本木材学会大会研究発表要旨集, 56, PE009.
- 田中 洋・荒武志朗 (2005) 宮崎県産スギ正角のめり込み性能 (1)。日本木材学会大会研究発表要旨集, 55, E71015.

ノート (Note)

ネバダオオシロアリのニンフにおける雌雄判別

神崎 菜摘^{1)*}、大村 和香子²⁾

Sex discrimination of the nymph of *Zootermopsis nevadensis*

Natsumi KANZAKI^{1)*} and Wakako OHMURA²⁾

キーワード：ネバダオオシロアリ、ニンフ、雌雄判別、腹板、形態

シロアリの一種、ネバダオオシロアリ、*Zootermopsis nevadensis* (Hagen) はアメリカ原産の外来種であり、日本国内においては現在までに目立った被害報告は少ないものの、比較的乾燥耐性が高いことから、今後の被害発生が警戒される。ゆえに、本種のコロニー状態の把握や、今後の生理的試験を行ううえで成虫以外のステージにおいて、早期に雌雄判別を行う必要がある。そこで、特に有翅虫に脱皮、分散する直前のステージであるニンフの雌雄判別法を検討した。

ネバダオオシロアリは、幼虫から2段階のニンフを経て有翅虫に脱皮することが知られている。これら2段階のニンフに関して、外部形態による雌雄判別を試みた。一般的に、シロアリ類のニンフは成虫と同様に腹板の数と形状により判別できると言われる (Weesner, 1969)。そして、これは本種と近縁の *Z. laticeps* Banks にもあてはまると考えられることから (Light, 1934)、この形態に着目して観察を行った。

実験室内で飼育中のコロニーより、大型ニンフ 10 頭、小型ニンフ 7 頭をランダムに採集し、実体顕微鏡、および簡易型走査電子顕微鏡によって腹部末端の形状を観察、一部は写真撮影を行った後に解剖した。解剖の際には、精巣や卵巣原器に着目し、これにより雌雄を判別した。

外部形態の観察を行った結果、ニンフのステージによらず2種類の形態が見られ、これは内部の生殖巣(雌雄)と対応していた(図1-3)。雌では、第7節が雄に比べて大きく、第8節が見られない。また、第9節が半円形、ないしは三日月型になる(図1A, 2A, 2C)。これに対して、雄は第8節が明瞭に見られ、第8節の下端中央部が明瞭にくぼんでいるため第9節がアーモンド型になる(図1B, 2B, 2D)。外部形態観察後、虫体を解剖して取り出した生殖巣原器の写真を図3に示す。小型ニンフではやや不明瞭な個体も見られたが、腹板の数、第9節の形状を丁寧に観察すれば正確な判別が可能であると考えられた。また、体サイズと卵巣、精巣の成熟度合いには、明瞭な相関は見られなかった。

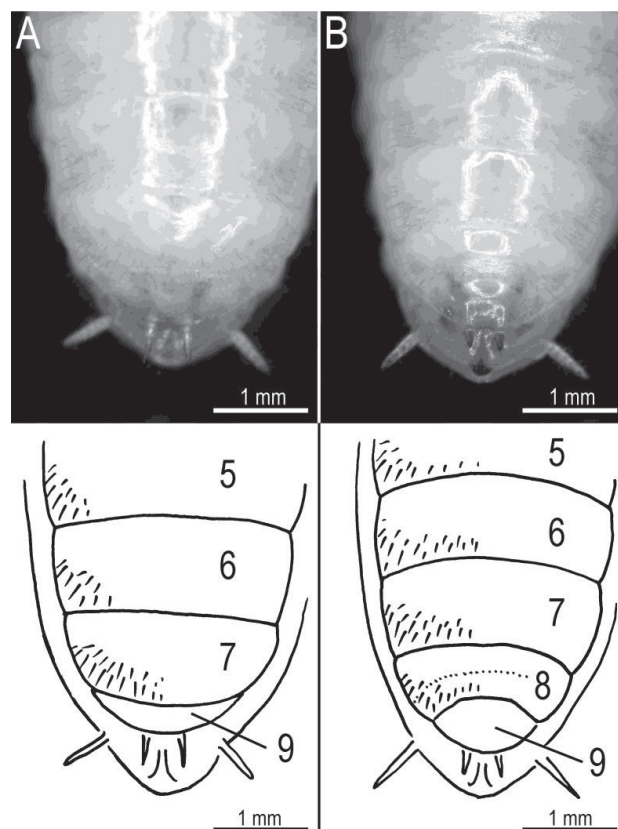


図1. 大型ニンフに見られた外部形態の違い。A, 雌。B, 雄。実体顕微鏡写真と模式図を示す。腹板には番号を付した。

引用文献

- Light, S. F. (1934) The external anatomy of termites. In Kofoid, C. A., Light, S. F., Horner A. C., Randall, M., Herms, W. B. and Bowe, E. E. (eds.) "Termites and termite control." University of California Press, 50-57.
- Weesner, F. M. (1969) External anatomy. In Krishna, K. and Weesner, F. M. (eds.) "Biology of termites, Vol.1." Academic Press, 19-47.

原稿受付：平成 25 年 8 月 27 日 Received 27 August 2013 原稿受理：平成 25 年 8 月 30 日 Accepted 30 August 2013

1) 森林総合研究所森林微生物研究領域 Department of Forest Microbiology, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) 森林総合研究所木材改質研究領域 Department of Wood Improvement, Forestry and Forest Research Institute (FFPRI)

* 森林総合研究所森林微生物研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里 1 Department of Forest Microbiology, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687, Japan; e-mail: nkanzaki@ffpri.affrc.go.jp

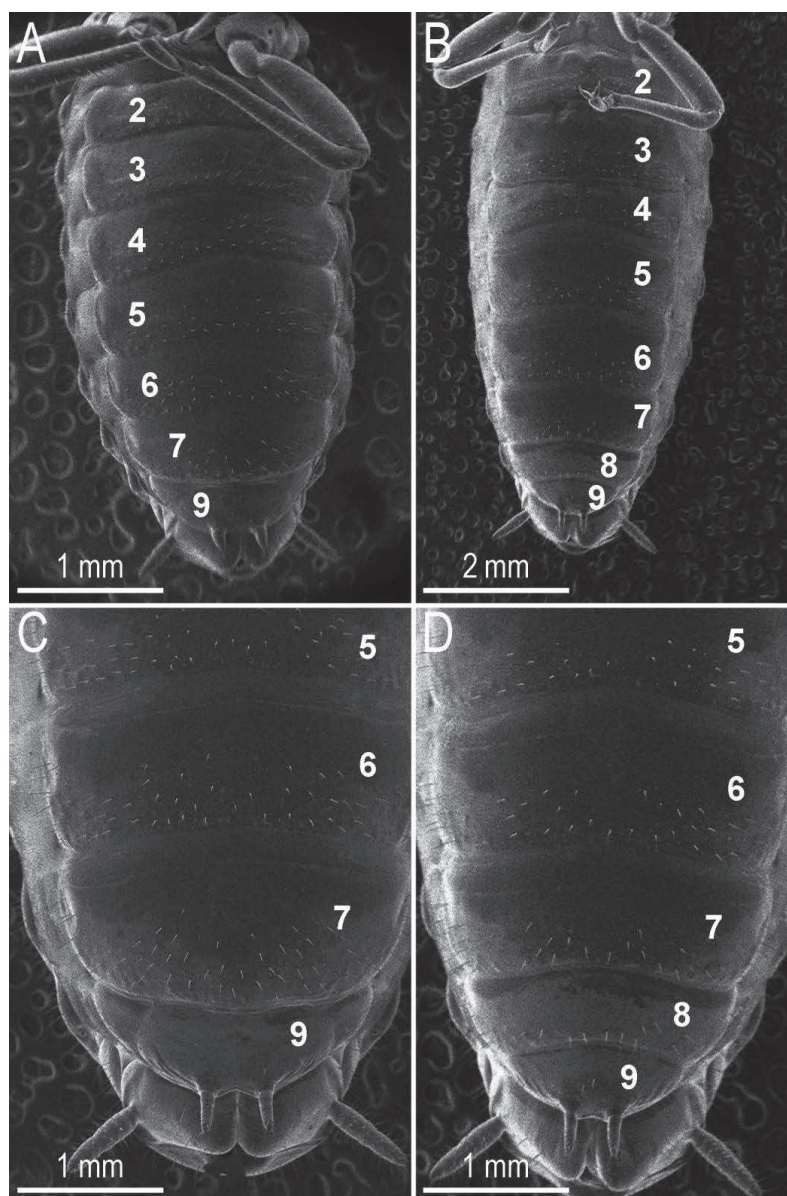


図2. 小型ニンフの簡易型走査電子顕微鏡による観察.
A, C, 雌. B, D, 雄. 腹板には番号を付した。雌は第8節が無く (A)、第9節が三日月型 (C)、雄は第8節があり (B)、第9節がアーモンド型 (D) になる。

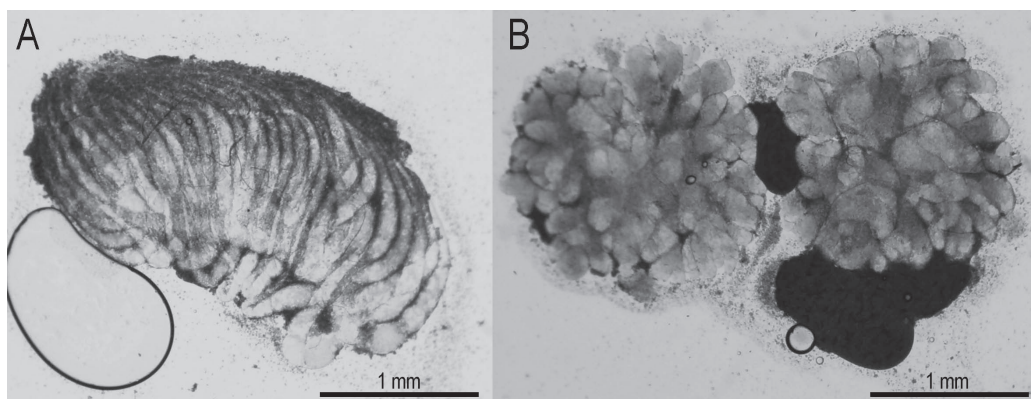


図3. 未成熟な生殖巣.
A, 卵巣. B, 精巣. スライドガラス上に生殖巣を載せ、カバーガラスでやや押しつぶしたものを観察。

ノート (Note)

Development of ozone-susceptible transgenic poplars with a sense DNA for 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase

Takeshi MOHRI^{1)*}, Satoshi KOGAWARA¹⁾, Tomohiro IGASAKI¹⁾,
Nobuyoshi NAKAJIMA²⁾ and Kenji SHINOHARA¹⁾

エチレン合成酵素遺伝子の過剰発現による オゾン感受性遺伝子組換えポプラの開発

毛利 武^{1)*}、古川原 聡¹⁾、伊ヶ崎 知弘¹⁾、中嶋 信美²⁾、篠原 健司¹⁾

Key words: ACC synthase, Lombardy poplar, over-expression of ethylene biosynthesis, ozone-susceptible poplar.

Ethylene is a plant hormone involved in the regulation of growth and development in response to environmental stresses (Wang et al. 2002). It is synthesized from S-adenosyl-L-methionine via 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) in higher plants, and ACC synthase (ACS; EC 4.4.1.14) often catalyzes the rate-limiting step in ethylene biosynthesis (Yang and Hoffman 1984). Previously, we succeeded in improving the O₃ tolerance of tobacco (Nakajima et al. 2002) and poplar plants (Mohri et al. 2011) using an antisense DNA for the early O₃-inducible *ACS* gene. In the present study, we succeeded generating O₃-susceptible transgenic poplar plants by over-expression of the *ACS* gene. To our knowledge, this is a first report of transgenic woody plants with increased susceptibility to air pollutants.

The transformation and regeneration of Lombardy poplar (*Populus nigra* L. var. *italica* Koehne) were performed as described previously (Mohri et al. 1996, 2011). A blunt-ended cDNA for the O₃-inducible *ACS* gene (PO-ACS2, accession No. AB033503) was ligated in a sense orientation to the cauliflower mosaic virus 35S promoter and replaced the β -glucuronidase coding region of the binary vector pBI121-Hm (Fig. 1). The disarmed *Agrobacterium tumefaciens* strain LBA4404, harboring the binary vector, was used in the transformation experiments.

Transgenic poplar plants were grown weekly with 0.1% (v/v) Hyponex (Hyponex Japan Licensee, Tokyo, Japan), and pots were watered daily. Four- to 5-week-old transgenic plants were exposed to 0.2 and 0.6 ppm O₃ in a growth chamber (230 cm

× 190 cm × 170 cm) at 25°C and 70% relative humidity, under light from metal halide lamps with a photosynthetic photon flux density of 300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Ozone was generated from an O₃ generator (Sumitomo Seika Chemicals Co., Tokyo, Japan).

Sixteen transgenic lines that showed kanamycin and hygromycin resistance (markers of a successful transformation) were obtained. All transgenic plants contained the introduced hygromycin phosphotransferase gene (data not shown). The morphological features of the transgenic plants did not differ noticeably from the control plants (Fig. 2). A difference in growth rates was not found under strong light and sufficient nutrient conditions; however, a difference was sometimes observed when cultivation occurred under weak light and insufficient nutrient conditions (Fig. 2). We examined the physiological characteristics of transgenic poplar plants to understand their potential for O₃ susceptibility. When the control poplar plants were exposed to 0.2 ppm O₃, no leaf damage was found. When the O₃ concentration increased to 0.6 ppm, the leaves withered and necrosis appeared on the surface within 24 h after the end of exposure (Fig. 3). In contrast, three randomly selected transgenic lines showed visible damage at 0.2 ppm O₃ and one line (No. 9) showed the highest susceptibility to the O₃ treatment (Fig. 3). The injuries tended to be more extensive in older leaves than in younger leaves.

In conclusion, the present study shows that the constitutive expression of a sense DNA for an O₃-inducible *ACS* gene could increase the O₃ susceptibility of poplar plants.

原稿受付：平成 25 年 8 月 27 日 Received 27 August 2013 原稿受理：平成 25 年 8 月 30 日 Accepted 30 August 2013

1) Department of Molecular and Cell Biology, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI) 森林総合研究所生物工学研究領域

2) Center for Environmental Biology and Ecosystem Studies, National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Ibaraki 305-0053, Japan 国立環境研究所生物・生態系環境研究センター

* Department of Molecular and Cell Biology, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687, Japan; e-mail: mohri@ffpri.affrc.go.jp 森林総合研究所生物工学研究領域 〒 305-8687 茨城県つくば市松の里 1

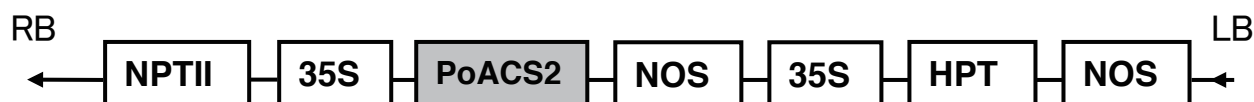


Fig. 1. Structure of the construct used for the transformation of Lombardy poplar. NPT II, a gene encoding neomycin phosphotransferase II; 35S, cauliflower mosaic virus 35S promoter; NOS, nopaline synthase terminator; HPT, a gene encoding hygromycin phosphotransferase; RB/LB, right/left border of T-DNA.

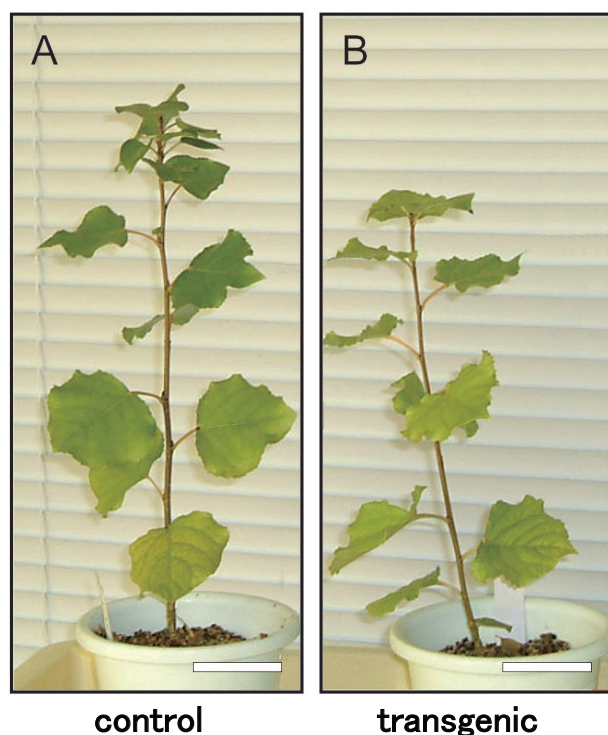


Fig. 2. Morphological features of transgenic Lombardy poplar plants. Plants were grown with 0.001% (v/v) Hyponex, under cool, white fluorescent light ($60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 16 h photoperiod). Bar = 10 cm.

Acknowledgement

The authors express their gratitude to Prof. Kenzo Nakamura of Chubu University for the generous gift of the binary vector pIG121-Hm. This research was supported by a research grant (No. 200906) from the Forestry and Forest Products Research Institute.

References

Mohri, T., Kogawara, S., Igasaki, T., Yasutani, I., Aono, M., Nakajima, N. and Shinohara, K. (2011) Improvement in the ozone tolerance of poplar plants with an antisense DNA for 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase. *Plant Biotechnol.*, 28, 417–421.

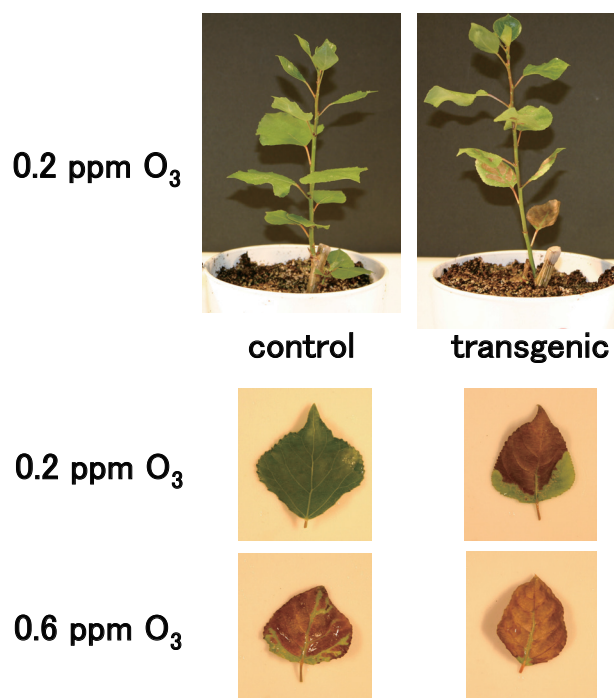


Fig. 3. Ozone susceptibility of transgenic Lombardy poplar plants. Four- to 5-week-old control and transgenic (line 9) poplar plants were exposed to 0.2 and 0.6 ppm O_3 for 6 h. After the O_3 treatment, they were left in the light for 24 h.

Mohri, T., Yamamoto, N. and Shinohara, K. (1996) *Agrobacterium*-mediated transformation of Lombardy poplar (*Populus nigra* L. var. *italica* Koehne) using stem segments. *J. For. Res.*, 1, 13–16.

Nakajima, N., Itoh, T., Takikawa, S., Asai, N., Tamaoki, M., Aono, M., Kubo, A., Azumi, Y., Kamada, H. and Saji, H. (2002) Improvement in ozone tolerance of tobacco plants with an antisense DNA for 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase. *Plant Cell Environ.*, 25, 727–735.

Wang, K. L. C., Li, H. and Ecker, J. R. (2002) Ethylene Biosynthesis and Signaling Networks. *Plant Cell*, 14, 131–152.

Yang, S. and Hoffman, N. (1984) Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 35, 155–189.

研究資料 (Research record)

森林総合研究所モデル木造住宅に用いられた構造部材の非破壊評価

井道 裕史^{1)*}、原田 真樹¹⁾、長尾 博文¹⁾、加藤 英雄¹⁾、軽部 正彦¹⁾、宮武 敦²⁾、
平松 靖²⁾、新藤 健太²⁾、渋谷 龍也²⁾、大村 和香子³⁾、青木 謙治¹⁾、青井 秀樹¹⁾、
宇京 斉一郎¹⁾、杉本 健一¹⁾、森川 岳¹⁾、小林 久高⁴⁾

Non-destructive evaluation of structural members used for an FFPRI model wooden house

Hirofumi IDO^{1)*}, Masaki HARADA¹⁾, Hirofumi NAGAO¹⁾, Hideo KATO¹⁾,
Masahiko KARUBE¹⁾, Atsushi MIYATAKE²⁾, Yasushi HIRAMATSU²⁾, Kenta SHINDO²⁾,
Tatsuya SHIBUSAWA²⁾, Wakako OHMURA³⁾, Kenji AOKI¹⁾, Hideki AOI¹⁾,
Seiichiro UKYO¹⁾, Ken-ichi SUGIMOTO¹⁾, Takeshi MORIKAWA¹⁾ and Hisataka KOBAYASHI⁴⁾

Abstract

The purpose of this research was to understand the initial performance of structural members comprising an FFPRI model wooden house by non-destructively measuring their individual physical properties, e.g. column, beam and sill. The measured items were density and Young's modulus using the longitudinal vibration method. In addition, the bending Young's modulus and shear modulus of elasticity were measured using the flexure vibration method for beam members and moisture content was measured for around half the structural members. When some changes emerge in structural members in future, a comparative investigation can be performed based on the initial physical data acquired in this research.

Key words : case study house, wooden house, structural member, non-destructive evaluation

要旨

本研究の目的は、森林総研モデル木造住宅に使用したすべての構造部材、すなわち、柱材、梁桁材、土台材について、施工前の物性値を非破壊的に測定することにより、モデル木造住宅を構成する構造部材の初期の基礎的性能を把握することである。測定した項目は、密度および縦振動法によるヤング係数である。梁桁材と一部の柱材については、上記の他にたわみ振動法による曲げヤング係数およびせん断弾性係数を測定した。また、約半数の構造部材については、含水率を測定した。モデル木造住宅について、その構造部材の初期値を把握したことにより、構造部材の強度的性能に関する経年変化の影響を検討する際、本研究で得られた初期値は、貴重な基礎データとなる。

キーワード：実験住宅、木造住宅、構造部材、非破壊評価

1. はじめに

本研究は、森林総研モデル木造住宅に使用したすべての構造部材について、ヤング係数等の物性値を非破壊的に測定し、モデル木造住宅を構成する構造部材の初期の基礎的性能を把握することを目的としている。モデル木造住宅では、ヤング係数が比較的低い部材を使用しても構造上問題がないことを実証する(杉本 2011, 小林ら 2013)ため、大部分で製材の日本農林規格・機械等級区

分構造用製材の曲げ性能が E70 (農林水産省, 2007) のスギを使用している。モデル木造住宅に用いられた、柱材、梁桁材、土台材のすべての構造部材について、施工前に、密度および縦振動法によるヤング係数を測定した。梁桁材と一部の柱材については、たわみ振動法による曲げヤング係数およびせん断弾性係数を測定した。また、約半数の構造部材については、含水率を測定した。

原稿受付：平成 25 年 5 月 16 日 Received 16 May 2013 原稿受理：平成 25 年 7 月 3 日 Accepted 3 July 2013

1) 森林総合研究所構造利用研究領域 Department of Wood Engineering, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) 森林総合研究所複合材料研究領域 Department of Wood-Based Materials, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

3) 森林総合研究所木材改質研究領域 Department of Wood Improvement, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

4) 島根大学大学院総合理工学研究科 Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Shimane University

* 森林総合研究所構造利用研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里 1 Department of Wood Engineering, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan, e-mail: ido@ffpri.affrc.go.jp

2. 実験

2.1 材料

柱材には、製材の日本農林規格・機械等級区分構造用製材において曲げ性能が E70 のスギ製材、および集成材の日本農林規格・構造用集成材の同一等級構成集成材における E55-F225 (農林水産省 2012) のスギ集成材を使用した。梁桁材には、同 E70 のスギ製材、スギ・ヒノキ対称異等級構成集成材 E105-F300 (農林水産省 2012) を使用した。土台材はヒノキ製材 (保存処理済、優良木質建材等認証保存処理材 -2 (2 種 -AZE))、ヒノキ同一等級構成集成材 E105-F345 を使用した。材料の入手はスギ・ヒノキ対称異等級構成集成材を除いて、すべて施工業者に依頼した。しかしながら、既報 (杉本 2011, 小林ら 2013) においても指摘されたように、本非破壊測定にあたって最も困難であったのは希望した材料の調達であった。集成材は問題なく入荷されたが、機械等級区分構造用製材については、目的の材料が入手できるまでは、目視等級区分構造用製材の入荷や、機械等級区分構造用製材であっても E70 以外の材が含まれるといった事例があった。また、製材に関しては SD20 (仕上げ材の含水率が 20% 以下) もしくは D20 (未仕上げ材の含水率が 20% 以下) の材を要求したが、これらの含水率が 20% を超える材も含まれていた。これらの材料については、原則再入荷を依頼した。このような事例は JAS の機械等級区分構造用製材に関する正しい知識の普及度、あるいは認知度があまり高くないことが原因と考えられ、今後、改善すべき課題である。

2.2 非破壊試験

部材納入担当業者の敷地内にプレカット前の構造用部材を集め、非破壊測定を行った。測定した部材の本数は、柱および梁桁用のスギ製材が 191 本、柱用のスギ集成材が 8 本、梁桁用のスギ・ヒノキ対称異等級構成集成材が 1 本、土台用のヒノキ製材が 8 本、土台用のヒノキ集成材が 15 本の合計 223 本である。測定項目は、寸法、重量、縦振動法によるヤング係数とした。実測した寸法と重量から密度を算出した。梁桁材と一部の柱材は、たわみ振動法 (T.G.H. 法) によるヤング係数とせん断弾性係数を測定した。縦振動法によるヤング係数、たわみ振動法によるヤング係数およびせん断弾性係数の測定方法は、「構造用木材の強度試験マニュアル」(園田ら 2011) に示された縦振動法および T.G.H. 法にそれぞれ準拠した。たわみ振動法の測定では、梁桁材は短辺材面を打撃し、柱材は任意の材面を打撃した。さらに、約半数の材料については、高周波容量式水分計 (株式会社ケット科学研究所、HM-520) により含水率を測定した。含水率の測定位置は、部材長さ方向中央の任意の一面とした。集成材では最外層ラミナの表面を測定した。ただし、本測定によって得られたヤング係数や含水率は、JAS に規定されたヤング係数や含水率の基準と直接的に一致するものではない。

また、測定したほぼすべての構造部材に二次元バーコードを貼付し (軽部ら 2011)、各部材の物性値に関する情報が二次元バーコードにより参照できるようにした。また、これにより、施工後の構造部材が躯体のどこに用いられたのかを概ね追跡することが可能となった。

3. 結果と考察

測定したすべての構造部材の含水率、密度、縦振動法によるヤング係数、T.G.H. 法によるヤング係数およびせん断弾性係数を、構造部材の種類別に、二次元バーコードの QR コード ID とともに Table 1 ~ 5 に示す。測定したすべての構造部材の番号と物性値を検索することにより、将来的に構造部材になんらかの変化が生じた場合に初期値との比較が可能である。ただし、これらの構造部材は住宅の部材寸法に合わせるため、建築時には長さがカットされているものも多い。

3.1 スギ製材における縦振動法によるヤング係数の結果

すべてのスギ製材について、縦振動法によるヤング係数の結果は、 $5.64 \sim 7.14 \sim 8.71 \text{ kN/mm}^2$ (最小値 ~ 平均値 ~ 最大値) であった。縦振動法によるヤング係数について、階級幅を 0.5 kN/mm^2 としたヒストグラムを Fig. 1 に示す。機械等級区分構造用製材の E70 は曲げヤング係数が 5.9 kN/mm^2 以上 7.8 kN/mm^2 未満とされている (農林水産省告示 2007)。機械等級区分構造用製材に規定された曲げヤング係数の値は、静的曲げ試験による見かけの曲げヤング係数であり、本試験で測定した縦振動法によるヤング係数とは測定方法が異なるが、上記 E70 に対するヤング係数の範囲にほぼ相当する $6 \sim 8 \text{ kN/mm}^2$ の中に、全試験体の約 86% が含まれた。また、 6 kN/mm^2 未満のものは約 4%、 8 kN/mm^2 以上のものは約 9% であった。このように、構造用製材に関する日本農林規格における E70 の存在範囲に比べて測定値のヒストグラムが全体的にやや右側にシフトしている (値が大きくなっ

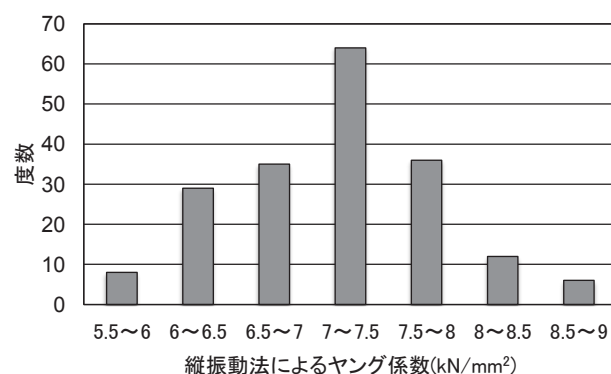


Fig. 1. スギ製材の縦振動法によるヤング係数の出現範囲
注: 例えば 5.5 ~ 6 は 5.5 kN/mm^2 以上 6 kN/mm^2 未満を示す。

ている)のは、縦振動法によるヤング係数が静的曲げヤング係数よりも5～10%程度大きな値を示す傾向がある(園田ら2011)ためであると考えられる。

3.2 スギ製材の梁桁材における各弾性係数間の関係

スギ製材の梁桁材について、縦振動法によるヤング係数とT.G.H.法による曲げヤング係数との関係をFig. 2に示す。両者の間には有意水準5%で有意な相関が認められ、決定係数 R^2 は0.41であった。T.G.H.法による曲げヤング係数の方が、縦振動法によるヤング係数よりも平均値で 1kN/mm^2 程大きい。これは、縦振動法によるヤング係数が部材の平均的な値を示すのに対して、T.G.H.法による曲げヤング係数は静的曲げ試験で求まる真の曲げヤング係数に相当することによるものと考えられる。ヤング係数とせん断弾性係数の比(E/G)は、針葉樹では一般的に15として設計される(日本建築学会2006)が、本試験で求めたT.G.H.法による曲げヤング係数とせん断弾性係数の平均値の比は11.5となり、上記文献値よりは若干小さかった。また、縦振動法によるヤング係数とT.G.H.法によるせん断弾性係数には有意水準5%で相関は認められなかった。

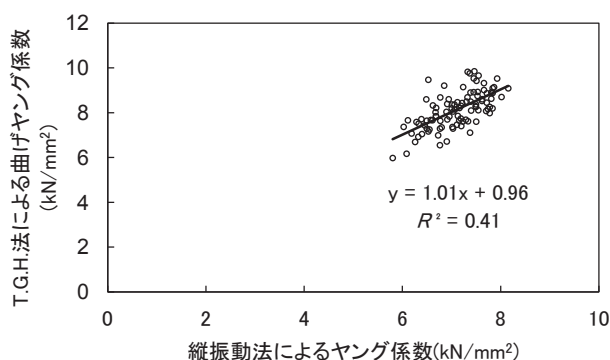


Fig. 2. 梁桁材として用いたスギ製材における縦振動法によるヤング係数とT.G.H.法による曲げヤング係数との関係

まとめ

森林総研モデル木造住宅に使用したすべての構造部材について、ヤング係数等の初期物性値を非破壊的に測定し、モデル木造住宅を構成する部材の基礎的性能を把握した。本研究により、今後構造部材について何らかの変化が現れた際、初期の測定値を元にその原因を検証することが可能となった。

謝辞

本研究は、独立行政法人森林総合研究所運営交付金プロジェクト「地域材を利用した安全・快適住宅の開発と評価(2009～2011年度)」(課題番号:200903)によって実施した。非破壊試験においては、長野県林業総合センターの山内仁人氏のご協力を頂いた。

引用文献

- 軽部正彦・宇京齊一郎・小林久高・井道裕史(2011)二次元バーコードを使った部材追跡の試み. 日本木材学会大会研究発表要旨集(CD-ROM), 61, H19-P-AM07.
- 小林久高・末吉修三・杉本健一・原田真樹・森川 岳・宇京齊一郎(2013) 森林総合研究所におけるモデル木造住宅(実験住宅)の概要等について. 森林総合研究所研究報告, 12(1), 75-87
- 日本建築学会(2006)“木質構造設計規準・同解説 一許容応力度・許容耐力設計法”, 第4版. 日本建築学会編, 丸善, 164
- 農林水産省(2007)“製材の日本農林規格”, 平成19年8月29日農林水産省告示第1083号.
- 農林水産省(2012)“集成材の日本農林規格”, 平成24年6月21日農林水産省告示第1587号.
- 園田里見・大橋義徳・久保島吉貴・相馬智明(2011) 動的弾性係数の非破壊測定法. “構造用木材の強度試験マニュアル”. 財団法人日本住宅・木材技術センター, 59-78.
- 杉本健一(2011) 森林総合研究所モデル木造住宅の建設. Journal of Timber Engineering, 24(4), 175-180.

Table 1. 測定した構造部材の物性値（スギ製材）

試験体番号	QRコードID (MB番号)	使用部位	種類	公称寸法 (幅×厚さ×長さ) (mm)	水分計の 含水率 (%)	密度 (kg/m ³)	縦振動法による ヤング係数 (kN/mm ²)	TGH法による ヤング係数 (kN/mm ²)	TGH法による せん断弾性係数 (kN/mm ²)
276	20036	梁桁または柱	スギ製材	120×120×3000		420	7.10	8.35	0.63
275	20037	梁桁または柱	スギ製材	120×120×3000		371	7.18	7.46	0.76
274	20038	梁桁または柱	スギ製材	120×120×3000		377	6.21	7.47	0.55
273	20039	梁桁または柱	スギ製材	120×120×3000		425	7.18	8.51	0.73
272	20040	梁桁または柱	スギ製材	120×120×3000		377	6.75	7.49	0.75
271	20041	梁桁または柱	スギ製材	120×120×3000		389	7.25	8.34	0.85
270	20042	梁桁または柱	スギ製材	120×120×3000		389	5.64	6.36	0.83
306	20043	梁桁または柱	スギ製材	120×120×4000		396	6.74	7.29	0.76
305	20044	梁桁または柱	スギ製材	120×120×4000		405	7.06	7.59	1.14
304	20045	梁桁または柱	スギ製材	120×120×4000		362	6.27	6.70	0.70
303	20046	梁桁または柱	スギ製材	120×120×4000		321	6.22	6.34	0.55
302	20047	梁桁または柱	スギ製材	120×120×4000		442	7.49	8.03	0.83
301	20048	梁桁または柱	スギ製材	120×120×4000		380	6.95	8.33	0.66
300	20049	梁桁または柱	スギ製材	120×120×4000		384	6.90	7.19	0.85
298	20059	梁桁または柱	スギ製材	120×120×4000		450	7.57	7.98	1.36
297	20060	梁桁または柱	スギ製材	120×120×4000		386	7.42	7.76	1.03
299	20063	梁桁または柱	スギ製材	120×120×4000		412	6.50	7.53	0.76
278	20035	梁桁	スギ製材	105×105×3000		397	7.49	8.29	0.56
46	00032	梁桁	スギ製材	105×120×3000	9.0	361	6.76	7.29	0.90
47	00033	梁桁	スギ製材	105×120×3000	10.0	385	7.74	8.16	0.74
277	20031	梁桁	スギ製材	105×120×3000		364	7.19	7.74	0.83
269	20032	梁桁	スギ製材	105×120×3000		417	6.53	9.47	0.77
76	00038	梁桁	スギ製材	120×120×4000	13.0	389	7.04	8.05	0.60
79	00039	梁桁	スギ製材	120×120×4000	17.5	419	7.53	8.75	0.64
78	00040	梁桁	スギ製材	120×120×4000	9.5	393	6.19	7.07	0.54
77	00041	梁桁	スギ製材	120×120×4000	10.5	406	6.58	7.67	0.49
75	00042	梁桁	スギ製材	120×120×4000	13.0	409	7.81	8.62	0.57
35	00035	梁桁	スギ製材	120×120×6000	10.0	367	7.55	9.66	0.34
36	00208	梁桁	スギ製材	120×120×6000	12.0	349	6.49	8.59	0.24
37	00211	梁桁	スギ製材	120×120×6000	9.5	379	6.85	9.21	0.28
291	20050	梁桁	スギ製材	120×120×6000		358	7.24	9.14	0.47
292	20051	梁桁	スギ製材	120×120×6000		403	7.37	9.76	0.38
293	20052	梁桁	スギ製材	120×120×6000		400	7.33	9.82	0.33
294	20053	梁桁	スギ製材	120×120×6000		418	6.77	8.68	0.47
295	20054	梁桁	スギ製材	120×120×6000		384	6.11	7.66	0.74
296	20055	梁桁	スギ製材	120×120×6000		373	7.62	8.60	0.48
258	20122	梁桁	スギ製材	120×150×3000		405	7.53	8.93	0.54
44	00126	梁桁	スギ製材	120×150×4000	18.5	379	7.20	7.40	0.56
324	20117	梁桁	スギ製材	120×150×4000		382	7.46	9.85	0.70
234	20118	梁桁	スギ製材	120×150×4000		395	7.29	7.69	0.82
235	20119	梁桁	スギ製材	120×150×4000		353	6.32	6.92	0.69
238	20120	梁桁	スギ製材	120×150×4000		381	7.78	8.25	0.69
239	20121	梁桁	スギ製材	120×150×4000		382	8.15	9.09	0.64
248	20123	梁桁	スギ製材	120×150×4000		456	7.03	7.29	0.92
249	20124	梁桁	スギ製材	120×150×4000		422	7.34	7.62	0.90
250	20125	梁桁	スギ製材	120×150×4000		406	7.78	7.98	0.93
251	20130	梁桁	スギ製材	120×150×4000		389	6.91	7.70	0.91
252	20131	梁桁	スギ製材	120×150×4000		427	6.91	8.39	0.70
253	20132	梁桁	スギ製材	120×150×4000		412	7.55	8.11	0.85
254	20133	梁桁	スギ製材	120×150×4000		392	6.50	7.64	0.67
255	20134	梁桁	スギ製材	120×150×4000		422	7.50	8.26	0.95
316	20114	梁桁	スギ製材	120×150×6000		395	7.66	9.32	0.42
322	20115	梁桁	スギ製材	120×150×6000		393	6.03	7.37	0.56
321	20116	梁桁	スギ製材	120×150×6000		362	8.02	8.70	0.83
58	00150	梁桁	スギ製材	120×180×3000	9.0	357	6.67	8.02	0.68
43	00139	梁桁	スギ製材	120×180×4000	9.5	382	7.39	8.49	0.78
231	20144	梁桁	スギ製材	120×180×4000		442	6.73	6.99	0.84
232	20145	梁桁	スギ製材	120×180×4000		346	6.45	7.43	0.95
233	20146	梁桁	スギ製材	120×180×4000		430	7.38	7.11	1.08
236	20147	梁桁	スギ製材	120×180×4000		368	7.22	8.43	0.86
237	20148	梁桁	スギ製材	120×180×4000		358	7.00	8.19	0.59
243	20149	梁桁	スギ製材	120×180×4000		434	6.68	7.84	0.74
244	20150	梁桁	スギ製材	120×180×4000		404	7.02	7.36	1.40
245	20151	梁桁	スギ製材	120×180×4000		382	6.96	7.83	0.88
246	20152	梁桁	スギ製材	120×180×4000		432	6.76	6.55	1.04
307	20139	梁桁	スギ製材	120×180×5000		380	7.87	9.14	0.85
308	20140	梁桁	スギ製材	120×180×5000		348	7.11	7.46	0.80

Table 1. 測定した構造部材の物性値（スギ製材）（続き）

試験体番号	QRコードID (MB番号)	使用部位	種類	公称寸法 (幅×厚さ×長さ) (mm)	水分計の 含水率 (%)	密度 (kg/m ³)	縦振動法による ヤング係数 (kN/mm ²)	TGH法による ヤング係数 (kN/mm ²)	TGH法による せん断弾性係数 (kN/mm ²)
309	20141	梁桁	スギ製材	120×180×5000		352	6.69	8.21	0.82
310	20142	梁桁	スギ製材	120×180×5000		398	6.90	8.04	0.69
311	20143	梁桁	スギ製材	120×180×5000		391	7.32	8.68	0.88
56	00152	梁桁	スギ製材	120×210×2000	25.0	411	6.62	8.32	0.76
257	20158	梁桁	スギ製材	120×210×3000		356	7.16	8.21	0.84
69	00122	梁桁	スギ製材	120×210×4000	22.5	401	7.01	8.36	0.77
242	20157	梁桁	スギ製材	120×210×4000		386	7.13	7.85	0.83
61	00165	梁桁	スギ製材	120×240×3000	16.0	369	7.30	8.49	0.68
60	00166	梁桁	スギ製材	120×240×3000	18.0	375	6.26	6.69	0.67
59	00178	梁桁	スギ製材	120×240×3000	12.5	378	7.62	8.52	0.79
259	20164	梁桁	スギ製材	120×240×3000		421	5.80	5.98	0.69
65	00169	梁桁	スギ製材	120×240×4000	25.5	499	7.12	8.47	0.69
66	00170	梁桁	スギ製材	120×240×4000	17.0	376	6.39	7.71	0.62
62	00167	梁桁	スギ製材	120×240×4000	17.0	371	6.90	6.71	0.66
63	00168	梁桁	スギ製材	120×240×4000	10.5	360	6.94	8.60	0.67
64	00179	梁桁	スギ製材	120×240×4000	11.5	347	7.83	8.19	0.72
240	20162	梁桁	スギ製材	120×240×4000		394	6.69	7.83	0.73
241	20163	梁桁	スギ製材	120×240×4000		382	7.72	8.87	0.94
247	20165	梁桁	スギ製材	120×240×4000		365	7.40	8.10	0.74
320	20188	梁桁	スギ製材	120×240×4000		371	6.80	7.34	0.74
319	20189	梁桁	スギ製材	120×240×4000		364	7.50	8.37	0.96
318	20190	梁桁	スギ製材	120×240×4000		328	6.55	7.25	0.81
317	20191	梁桁	スギ製材	120×240×4000		358	6.77	7.64	0.79
6	00158	梁桁	スギ製材	120×240×5000		310	6.53	7.16	0.55
282	20183	梁桁	スギ製材	120×240×5000		342	7.16	7.65	0.80
326	20185	梁桁	スギ製材	120×240×5000		372	7.45	8.91	0.62
325	20186	梁桁	スギ製材	120×240×5000		371	6.33	7.51	0.92
323	20187	梁桁	スギ製材	120×240×5000		366	7.66	9.01	0.65
11	00160	梁桁	スギ製材	120×240×6000		362	7.81	8.91	0.58
285	20161	梁桁	スギ製材	120×240×6000		451	7.84	9.09	0.89
279	20184	梁桁	スギ製材	120×240×6000		413	7.07	8.14	0.84
314	20192	梁桁	スギ製材	120×240×6000		394	7.51	9.42	0.68
289	10031	梁桁	スギ製材	120×270×6000		370	7.19	8.31	0.61
290	20198	梁桁	スギ製材	120×270×6000		403	7.93	9.52	0.70
284	10032	梁桁	スギ製材	120×300×6000		374	6.29	7.58	0.79
312	10033	梁桁	スギ製材	120×300×6000		365	7.72	8.45	0.61
313	10034	梁桁	スギ製材	120×300×6000		397	7.50	7.60	0.64
256	20208	梁桁	スギ製材	120×330×3000		376	6.40	7.04	0.77
283	20204	梁桁	スギ製材	120×330×5000		311	7.23	7.61	0.59
280	20205	梁桁	スギ製材	120×330×5000		400	6.61	7.66	0.72
281	20206	梁桁	スギ製材	120×330×5000		353	7.70	8.07	0.65
13	00199	梁桁	スギ製材	120×330×6000		421	7.84	8.88	0.47
288	20201	梁桁	スギ製材	120×330×6000		391	7.45	9.53	0.61
286	20202	梁桁	スギ製材	120×330×6000		355	7.06	8.36	0.88
287	20203	梁桁	スギ製材	120×330×6000		364	6.50	7.28	0.86
315	20207	梁桁	スギ製材	120×330×6000		394	7.39	8.90	0.64
10	00193	梁桁	スギ製材	150×330×5000		359	6.09	6.17	0.57
115	00078	柱	スギ製材	120×120×3000	13.5	395	8.71		
118	00081	柱	スギ製材	120×120×3000	16.5	444	8.71		
173	00234	柱	スギ製材	120×120×3000	37.0	443	7.95		
84	00045	柱	スギ製材	120×120×3000	9.5	403	8.14	8.99	0.97
83	00046	柱	スギ製材	120×120×3000	39.0	486	8.25	8.77	0.53
82	00047	柱	スギ製材	120×120×3000	10.0	402	8.41	8.88	0.82
81	00048	柱	スギ製材	120×120×3000	20.5	459	8.32	8.90	0.62
80	00049	柱	スギ製材	120×120×3000	12.0	413	6.43	8.02	0.70
92	00051	柱	スギ製材	120×120×3000	14.0	410	6.18	7.32	0.71
86	00052	柱	スギ製材	120×120×3000	15.0	376	6.42	7.24	0.51
88	00053	柱	スギ製材	120×120×3000	13.0	415	6.20	6.78	0.67
85	00054	柱	スギ製材	120×120×3000	16.5	387	7.31	8.47	0.70
87	00055	柱	スギ製材	120×120×3000	13.0	434	7.78	8.99	0.89
93	00056	柱	スギ製材	120×120×3000	10.0	398	7.17	7.64	0.70
94	00057	柱	スギ製材	120×120×3000	17.0	500	6.52	7.11	0.68
95	00058	柱	スギ製材	120×120×3000	11.0	364	5.94	6.96	0.66
97	00060	柱	スギ製材	120×120×3000	17.5	371	5.94	6.74	0.56
98	00061	柱	スギ製材	120×120×3000	12.0	473	7.30	8.32	0.78
99	00062	柱	スギ製材	120×120×3000	19.0	433	7.33	8.37	0.73
100	00063	柱	スギ製材	120×120×3000	10.0	374		7.77	0.66

Table 1. 測定した構造部材の物性値（スギ製材）（続き）

試験体番号	QRコードID (MB番号)	使用部位	種類	公称寸法 (幅×厚さ×長さ) (mm)	水分計の 含水率 (%)	密度 (kg/m ³)	縦振動法による ヤング係数 (kN/mm ²)	TGH法による ヤング係数 (kN/mm ²)	TGH法による せん断弾性係数 (kN/mm ²)
101	00064	柱	スギ製材	120×120×3000	9.5	375	7.41	8.04	0.79
102	00065	柱	スギ製材	120×120×3000	10.0	395	7.27	8.61	0.73
103	00066	柱	スギ製材	120×120×3000	10.0	402	7.82	8.21	0.95
104	00067	柱	スギ製材	120×120×3000	24.5	448	6.29	7.43	0.67
105	00068	柱	スギ製材	120×120×3000	25.5	514	6.08	6.89	0.63
106	00069	柱	スギ製材	120×120×3000	17.5	498	7.26		
107	00070	柱	スギ製材	120×120×3000	12.0	402	7.43		
109	00072	柱	スギ製材	120×120×3000	11.0	478	6.55		
110	00073	柱	スギ製材	120×120×3000	12.5	424	8.37		
111	00074	柱	スギ製材	120×120×3000	10.0	386	8.38		
113	00076	柱	スギ製材	120×120×3000	17.0	471	8.52		
116	00079	柱	スギ製材	120×120×3000	9.5	344	6.21		
117	00080	柱	スギ製材	120×120×3000	13.5	413	7.46		
119	00082	柱	スギ製材	120×120×3000	16.5	470	8.58		
120	00083	柱	スギ製材	120×120×3000	19.0	478	7.50		
121	00084	柱	スギ製材	120×120×3000	15.5	398	7.03		
122	00085	柱	スギ製材	120×120×3000	12.5	392	6.80		
123	00086	柱	スギ製材	120×120×3000	9.5	368	7.54		
90	00173	柱	スギ製材	120×120×3000	13.0	446	7.27	7.97	0.85
89	00174	柱	スギ製材	120×120×3000	12.0	408	7.01	7.85	0.89
146	00209	柱	スギ製材	120×120×3000	14.5	410	7.14		
147	00212	柱	スギ製材	120×120×3000	21.0	446	7.55		
143	00214	柱	スギ製材	120×120×3000	10.0	428	7.75		
141	00216	柱	スギ製材	120×120×3000	7.5	346	6.81		
140	00218	柱	スギ製材	120×120×3000	11.5	403	8.24		
139	00219	柱	スギ製材	120×120×3000	9.0	352	7.08		
151	00220	柱	スギ製材	120×120×3000	11.0	401	6.16		
152	00221	柱	スギ製材	120×120×3000	21.0	465	8.29		
158	00222	柱	スギ製材	120×120×3000	10.0	390	7.98		
145	00223	柱	スギ製材	120×120×3000	19.0	463	8.36		
159	00224	柱	スギ製材	120×120×3000	20.0	466	5.85		
167	00225	柱	スギ製材	120×120×3000	15.5	406	6.46		
144	00226	柱	スギ製材	120×120×3000	18.5	413	7.44		
160	00227	柱	スギ製材	120×120×3000	24.5	422	6.25		
150	00229	柱	スギ製材	120×120×3000	12.5	430	7.44		
166	00230	柱	スギ製材	120×120×3000	22.0	423	6.71		
174	00231	柱	スギ製材	120×120×3000	18.0	423	7.75		
165	00233	柱	スギ製材	120×120×3000	23.0	445	5.94		
156	00235	柱	スギ製材	120×120×3000	12.5	392	7.27		
164	00236	柱	スギ製材	120×120×3000	16.0	427	7.02		
172	00237	柱	スギ製材	120×120×3000	28.0	435	7.62		
155	00239	柱	スギ製材	120×120×3000	13.0	416	7.01		
163	00241	柱	スギ製材	120×120×3000	13.5	403	6.11		
162	00242	柱	スギ製材	120×120×3000	26.0	447	6.74		
169	00244	柱	スギ製材	120×120×3000	28.0	423	6.06		
170	00245	柱	スギ製材	120×120×3000	15.0	380	5.87		
171	00246	柱	スギ製材	120×120×3000	21.0	390	7.65		
260	20056	柱	スギ製材	120×120×3000		417	8.59		
261	20057	柱	スギ製材	120×120×3000		443	7.14		
262	20058	柱	スギ製材	120×120×3000		394	6.78		
263	20061	柱	スギ製材	120×120×3000		350	5.99		
264	20062	柱	スギ製材	120×120×3000		406	7.53		
265	20064	柱	スギ製材	120×120×3000		432	7.30		
266	20065	柱	スギ製材	120×120×3000		426	8.18		
267	20066	柱	スギ製材	120×120×3000		424	7.78		
268	20067	柱	スギ製材	120×120×3000		374	7.13		
138	00207	柱	スギ製材	120×120×4000	10.0	418	8.63		
試験体数					91	191	190	138	138
平均値					15.4	399	7.14	8.03	0.73
最大値					39.0	514	8.71	9.85	1.40
最小値					7.5	310	5.64	5.98	0.24
標準偏差					6.1	37	0.67	0.80	0.18
変動係数(%)					39.3	9	9.33	10.01	24.10

注：QRコードIDが20000番台の材は再入荷されたものである。

Table 2. 測定した構造部材の物性値（スギ集成材）

試験体番号	QRコードID (MB番号)	使用部位	種類	公称寸法 (幅×厚さ×長さ) (mm)	水分計の 含水率 (%)	密度 (kg/m ³)	縦振動法による ヤング係数 (kN/mm ²)
180	00256	柱	スギ集成材	120×120×3000	19.5	459	8.56
179	00257	柱	スギ集成材	120×120×3000	12.0	430	8.40
184	00258	柱	スギ集成材	120×120×3000	13.0	452	10.64
182	00259	柱	スギ集成材	120×120×3000	11.5	426	8.36
181	00260	柱	スギ集成材	120×120×3000	15.0	428	8.35
183	00261	柱	スギ集成材	120×120×3000	15.5	442	8.67
327	20263	柱	スギ集成材	120×120×5000	14.0	399	7.64
39	00254	柱	スギ集成材	120×120×6000	14.5	416	8.16
試験体数					8	8	8
平均値					14.4	432	8.60
最大値					19.5	459	10.64
最小値					11.5	399	7.64
標準偏差					2.3	18	0.83
変動係数(%)					16.3	4	9.61

注：QRコードIDが20000番台の材は再入荷されたものである。

Table 3. 測定した構造部材の物性値（スギ・ヒノキ複合集成材）

試験体番号	QRコードID (MB番号)	使用部位	種類	公称寸法 (幅×厚さ×長さ) (mm)	水分計の 含水率 (%)	密度 (kg/m ³)	縦振動法による ヤング係数 (kN/mm ²)	TGH法による ヤング係数 (kN/mm ²)	TGH法による せん断弾性係数 (kN/mm ²)
328		梁桁	スギ・ヒノキ複合集成材	150×300×5000	14.5	439	9.65	11.6	0.98

Table 4. 測定した構造部材の物性値（ヒノキ製材）

試験体番号	QRコードID (MB番号)	使用部位	種類	公称寸法 (幅×厚さ×長さ) (mm)	水分計の 含水率 (%)	密度 (kg/m ³)	縦振動法による ヤング係数 (kN/mm ²)
124	00001	土台	ヒノキ製材	120×120×3000	12.5	529	9.63
125	00002	土台	ヒノキ製材	120×120×3000	12.0	490	14.43
126	00003	土台	ヒノキ製材	120×120×3000	15.0	538	13.06
137	00004	土台	ヒノキ製材	120×120×4000	12.5	476	10.89
136	00005	土台	ヒノキ製材	120×120×4000	12.0	456	10.99
135	00006	土台	ヒノキ製材	120×120×4000	12.5	438	11.58
134	00007	土台	ヒノキ製材	120×120×4000	13.5	525	11.86
133	00008	土台	ヒノキ製材	120×120×4000	12.5	494	10.88
試験体数					8	8	8
平均値					12.8	493	11.67
最大値					15.0	538	14.43
最小値					12.0	438	9.63
標準偏差					0.9	34	1.39
変動係数(%)					7.3	7	11.91

Table 5. 測定した構造部材の物性値（ヒノキ集成材）

試験体番号	QRコードID (MB番号)	使用部位	種類	公称寸法 (幅×厚さ×長さ) (mm)	水分計の 含水率 (%)	密度 (kg/m ³)	縦振動法による ヤング係数 (kN/mm ²)
192	00013	土台	ヒノキ集成材	120×120×3000	19.5	514	8.11
185	00014	土台	ヒノキ集成材	120×120×3000	20.5	511	11.09
187	00015	土台	ヒノキ集成材	120×120×3000	15.0	519	8.90
193	00016	土台	ヒノキ集成材	120×120×3000	26.0	511	8.66
186	00017	土台	ヒノキ集成材	120×120×3000	25.0	516	10.30
194	00018	土台	ヒノキ集成材	120×120×3000	21.5	515	9.67
195	00019	土台	ヒノキ集成材	120×120×3000	23.0	524	6.76
188	00020	土台	ヒノキ集成材	120×120×3000	22.0	511	10.03
196	00021	土台	ヒノキ集成材	120×120×3000	20.0	522	8.64
189	00022	土台	ヒノキ集成材	120×120×3000	23.0	500	8.58
190	00023	土台	ヒノキ集成材	120×120×3000	17.0	503	9.66
197	00024	土台	ヒノキ集成材	120×120×3000	22.0	509	8.22
191	00025	土台	ヒノキ集成材	120×120×3000	21.0	525	9.85
198	00026	土台	ヒノキ集成材	120×120×3000	24.0	519	10.11
178	00012	土台	ヒノキ集成材	120×120×4000	21.0	534	8.34
試験体数					15	15	15
平均値					21.4	515	9.13
最大値					26.0	534	11.09
最小値					15.0	500	6.76
標準偏差					2.8	8	1.06
変動係数(%)					12.9	2	11.66

担 当 者 御 中
To the person concerned

独立行政法人 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 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 : + 81-29-873-3211 Fax : + 81-29-873-0844
e-mail : kanko@ffpri.affrc.go.jp

2013年9月 発行 森林総合研究所研究報告 第12巻3号 (通巻428号)

編 集 人 森林総合研究所研究報告編集委員会

発 行 人 独立行政法人 森林総合研究所
〒305-8687 茨城県つくば市松の里1番地
電話 : 029-873-3211 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
電話 : 0297-23-2333 Fax : 0297-23-5865

©2013 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下さい。

森林総合研究所研究報告

Vol.12-No.3 (No.428)



page111

森林総合研究所四国支所のチョウ類相
:松本 剛史、佐藤 重穂、井上 大成

Butterfly fauna of Shikoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute
by MATSUMOTO Takeshi, SATO Shigeho and INOUE Takenari

page125

安比高原ブナ二次林における地上部・地下部バイオマス現存量の推定(英文)
:小野 賢二、安田 幸生、松尾 亨、星野 大介、千葉 幸弘、森 茂太

Estimating forest biomass using allometric model in a cool-temperate

Fagus crenata forest in the Appi Highlands, Iwate, Japan

by ONO Kenji, YASUDA Yukio, MATSUO Toru, Hoshino Daisuke, CHIBA Yukihiro and MORI Shigeta

page143

クリ製材品の強度性能 —曲げ、縦圧縮、縦引張り、せん断、めり込み—
:井道 裕史、三浦 祥子、長尾 博文、加藤 英雄

Strength properties of kuri (Japanese chestnut, *Castanea crenata*) timber

- Bending strength, compressive strength parallel to the grain, tensile strength parallel to the grain, shear strength parallel to the grain, and compressive strength perpendicular to the grain -

by IDO Hirofumi, MIURA Sachiko, NAGAO Hirofumi and KATO Hideo

page153

ネバダオオシロアリのニンフにおける雌雄判別
:神崎 菜摘、大村 和香子

Sex discrimination of the nymph of *Zootermopsis nevadensis*

by KANZAKI Natsumi and OHMURA Wakako

page155

エチレン合成酵素遺伝子の過剰発現によるオゾン感受性遺伝子組換えポプラの開発
:毛利 武、古川原 聡、伊ヶ崎 知弘、中嶋 信美、篠原 健司

Development of ozone-susceptible poplar plants with a sense

DNA for 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase

by MOHRI Takeshi, KOGAWARA Satoshi, IGASAKI Tomohiro,

NAKAJIMA Nobuyoshi and SHINOHARA Kenji

page157

森林総合研究所モデル木造住宅に用いられた構造部材の非破壊評価

:井道 裕史、原田 真樹、長尾 博文、加藤 英雄、軽部 正彦、宮武 敦、平松 靖、新藤 健太、
渋沢 龍也、大村 和香子、青木 謙治、青井 秀樹、宇京 齊一郎、杉本 健一、森川 岳、小林 久高

Non-destructive evaluation of structural members used for an FFPRI model wooden house

by IDO Hirofumi, HARADA Masaki, NAGAO Hirofumi, KATO Hideo, KARUBE Masahiko,

MIYATAKE Atsushi, HIRAMATSU Yasushi, SHINDO Kenta, SHIBUSAWA Tatsuya,

OHMURA Wakako, AOKI Kenji, AOI Hideki, UKYO Seiichiro, SUGIMOTO Ken-ichi,

MORIKAWA Takeshi and KOBAYASHI Hisataka