

森林総合研究所研究報告

Vol.18 No.4 (No.452)

BULLETIN

of the
Forestry and
Forest Products
Research Institute



December 2019



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

The Chief Editor

山中 高史 Takashi YAMANAKA (Principal Research Director, FFPRI)

The Vice-Chief Editor

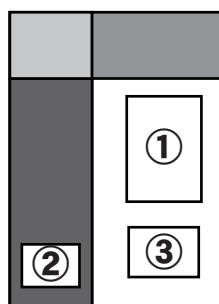
片岡 厚 Yutaka KATAOKA (Public Relations Division, FFPRI)

Editor

青井 秀樹	Hideki AOI (Department of Forest Policy and Economics, FFPRI)
福田 健二	Kenji FUKUDA (Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo)
平尾 知士	Tomonori HIRAO (Forest Tree Breeding Center, FFPRI)
五十嵐 哲也	Tetsuya IGARASHI (Department of Forest Vegetation, FFPRI)
伊藤 優子	Yuko ITOH (Department of Forest Soils, FFPRI)
小南 裕志	Yuji KOMINAMI (Disaster Prevention, Meteorology and Hydrology, FFPRI)
黒川 潮	Ushio KUROKAWA (Kyushu Research Center, FFPRI)
松井 直之	Naoyuki MATSUI (Department of Forest Resource Chemistry, FFPRI)
毛利 武	Takeshi MOHRI (Department of Forest Molecular Genetics and Biotechnology, FFPRI)
小長谷 啓介	Keisuke OBASE (Department of Mushroom Science and Forest Microbiology, FFPRI)
岡 裕泰	Hiroyasu OKA (Forestry Division, Japan International Research Center for Agricultural Sciences)
渋谷 龍也	Tatsuya SHIBUSAWA (Department of Wood-based Materials, FFPRI)
鈴木 秀典	Hidenori SUZUKI (Department of Forest Engineering, FFPRI)
滝 久智	Hisatomo TAKI (Department of Forest Entomology, FFPRI)
東條 一史	Hitoshi TOJO (Department of Wildlife Biology, FFPRI)
矢崎 健一	Kenichi YAZAKI (Department of Plant Ecology, FFPRI)

This journal is indexed in CAB Abstracts.

表紙写真 Photographs in Cover



①CLTパネル工法を採用した実験棟（森林総合研究所九州支所）

Research building using Cross Laminated Timber (CLT) panel construction
(Kyushu Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute)

②コメツガの毬果。鳥海コメツガ植物群落保護林（秋田県にかほ市）にて。

Cones of Kometsuga (*Tsuga diversifolia*) in the Chokai hemlock forest reserve (Akita Pref.)

③（本文393～443ページ）

森林総合研究所十日町試験地における冬期の気象および雪質の調査資料 (9)
(2014/15年～2018/19年 5冬期)

Data of meteorology and snow pit observations at Tohkamachi Experimental Station, Forestry and Forest Products Research Institute, Japan (IX) (2014-15 to 2018-19, five winter periods)

森林総合研究所研究報告 第18巻4号(通巻452号) 2019.12

目 次

論 文

北海道における地がきダケカンバ更新地の樹高成長と
表層土壌理化学性の関係

伊藤 江利子、橋本 徹、相澤 州平、古家 直行、石橋 聡 ……345

トドマツ人工林伐採後の地がき施業によるカンバ等の更新への効果

伊東 宏樹、中西 敦史、津山 幾太郎、関 剛、倉本 恵生、
飯田 滋生、石橋 聡 ……355

日本の山菜10種、11部位のセシウム137の食品加工係数と食品加工残存係数：
長期保存のためのレシピが放射性セシウム量を最も減らした

清野 嘉之、赤間 亮夫 ……369

中部地方で発生したスズタケ (*Sasamorphia borealis*) 一斉結実に対する
野ネズミ個体群の反応 (英文)

島田 卓哉、星野 大介、岡本 透、齋藤 智之、野口 和幸、
酒井 武 ……381

短 報

カラマツコンテナ苗における床替苗根腐病

升屋 勇人、安藤 裕萌、八木橋 勉、齋藤 智之、
野口 麻穂子 ……389

研究資料

森林総合研究所十日町試験地における冬期の気象および雪質の調査資料 (9)
(2014/15 年～2018/19 年 5 冬期)

竹内 由香里、勝島 隆史、遠藤 八十一 ……393

Bulletin of the Forestry and Forest Products Research Institute

Vol.18 No.4 (No.452) December 2019

CONTENTS

Original article

Association of soil physicochemical properties following scarification with regenerated birch growth in Hokkaido, northern Japan.

Eriko ITO, Toru HASHIMOTO, Shuhei AIZAWA, Naoyuki FURUYA
and Satoshi ISHIBASHI345

Effects of soil scarification on regeneration of saplings of birches and other species after clear-cutting of *Abies sachalinensis* plantations

Hiroki ITÔ, Atsushi NAKANISHI, Ikutaro TSUYAMA, Takeshi SEKI,
Shigeo KURAMOTO, Shigeo IIDA and Satoshi ISHIBASHI355

Cesium-137 food-processing factors and food-processing retention factors of 11 organs and 10 edible wild plant species from Japan: recipes for long-term preservation reduced the radiocesium mass the most.

Yoshiyuki KIYONO and Akio AKAMA369

Population responses of rodents to the mast seeding of dwarf bamboo *Sasamorpha borealis* over the Chubu region of Japan

Takuya SHIMADA, Daisuke HOSHINO, Tohru OKAMOTO,
Tomoyuki SAITOH, Kazuyuki NOGUCHI and Takeshi SAKAI381

Short communication

The Fusarium root rot on *Larix kaempferi* containerized seedlings

Hayato MASUYA, Yuho ANDO, Tsutomu YAGIHASHI,
Tomoyuki SAITO and Mahoko NOGUCHI389

Research record

Data of meteorology and snow pit observations at Tohkamachi Experimental Station, Forestry and Forest Products Research Institute, Japan (IX) (2014-15 to 2018-19, five winter periods)

Yukari TAKEUCHI, Takafumi KATSUSHIMA and
Yasoichi ENDO393

論文 (Original article)

北海道における地がきダケカンバ更新地の樹高成長と
表層土壌理化学性の関係伊藤 江利子^{1)*}、橋本 徹¹⁾、相澤 州平²⁾、古家 直行¹⁾、石橋 聡¹⁾

要旨

低コスト更新補助作業である地がき(かき起こし)によるカンバ林造成が北海道のトドマツ人工林主伐後の造林選択肢として期待されている。一方で、地がきによる表層土壌の除去は地がき跡地に更新した樹木の成長を抑制する可能性がある。地がきによる土壌攪乱がカンバ類の成長に及ぼす長期的影響を明らかにするため、1970～1990年代に筋状地がきを行った北海道内のダケカンバ更新林17林分を対象に表層5 cm土壌の理化学性を調査し、ダケカンバの成長と土壌理化学性の関係を解析した。20～44年生の地がきダケカンバ林の成長は既報の地がきによらないダケカンバ林より良好であった。調査地である筋状地がき地では地がき帯のみならず残し帯にもカンバ類が更新しており、その樹高成長(地位指数)は地がき帯に更新した林分と有意差がなかった。一般化線形モデルにより地がきダケカンバ林の地位指数は低CN比条件下と斜面中下部で良いことが示された。CN比を除く土壌理化学性に対して地がきによる変化が認められたが、地がきがダケカンバの成長に及ぼす影響は不明瞭であった。地がきによる土壌攪乱は更新カンバ林の長期的な成長に影響を及ぼさないものと考えられた。

キーワード：地がき、地位指数、土壌理化学性、カバノキ属、CN比

1. はじめに

地がき(かき起こし)は1960年代後半以降、北海道で広く行われた更新補助作業である(滝川 1993, 伊藤ら 2018b)。地がきは林床に密生するササを大型機械で根系ごと除去する地表処理で、鉋質土層が露出した地がき跡地にはカンバ類が優占する二次林が更新した(青柳 1983, 滝川 1993, 三好 1996, 梅本 2003)。地がきの多くはササ類に覆われた無立木地の森林化を目的として行われたが(青柳 1983)、近年では製材・合板用材、木材チップ用材、きのこ菌床用おが粉原木としてカンバ材需要が拡大している(嶋瀬ら 2013, 嶋瀬 2014b, 秋津・青木 2018)。さらに北海道では拡大造林期に広く植栽されたトドマツ人工林の主伐・再造林が喫緊の課題であり、低コストの地がきによるカンバ林造成がトドマツ主伐後の造林選択肢として検討されている(伊藤ら 2018b)。

地がきによるカンバ林造成により木材生産機能を高めるためには、更新成功に加えて、その後の良好な成長も要件となる。北海道全域の地がき林分を対象に地がきダケカンバ林の地位指数に影響する環境要因を解析した梅本(2003)は、気候が湿潤で、斜面系列で下部に位置し、雪害の程度が弱いと樹高成長が良いとしている。しかしながら、梅本(2003)は回帰の決定係数は小さい($R^2 = 0.12$)ことに言及し、土壌要因が説明

変数に含まれていないことをその原因のひとつと考察している。土壌要因は地位指数に関与する重要な環境因子とされ(真下 1969, Skovsgaard and Vanclay 2013)、ウダイカンバの地位指数は土壌型・地形・土層の深さでかなりの程度説明できるとの報告もある(塩崎・真田 1990)。そもそも地がきは地表面を重機が走行し、養分豊富な表層土壌を一部除去するという大幅な攪乱を伴う作業である(伊藤ら 2018b)。既往の報告ではウダイカンバの地位指数が下位の地点の B_1 層容積重として 1.08 g cm^{-3} が提示されている(塩崎・真田 1985)。実際の地がき跡地ではこの値を超える表層土壌容積重が散見されており(伊藤ら 2018a)、A層を除去する深い地がきがカンバ類の成長を長期的に抑制することも懸念される。加えて、土壌物理性が適当な立地でのカンバ類の成長には土壌化学性が重要となるため(塩崎・真田 1985)、土壌化学性の損耗を通じた地がきのカンバ成長への影響も明らかにする必要がある。

本研究では、地がきが土壌理化学性の損耗を通じてカンバ類の成長に与える影響を明らかにするため、過去に筋状地がき処理がなされた20～44年生のダケカンバ更新林を対象として、地がきと土壌理化学性の関係、および土壌理化学性と樹高成長の関係について解析した。筋状地がき地の地がき帯(重機によりササ地上部と根茎を一部の土壌ごと排除した幅数 m の帯状区

原稿受付：平成30年10月30日 原稿受理：令和元年6月17日

1) 森林総合研究所 北海道支所

2) 森林総合研究所 立地環境研究領域

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

域)と残し帯(地がき帯と地がき帯の間に設けられた処理を伴わない幅数 m の带状区域)において土壤理化学性の多点調査を行い、土壤理化学性に対する地がきの改変影響を明らかにした。一方、一般化線形モデルを用いて樹高成長の指標である地位指数に対して気象・立地および土壤理化学性の各要因が及ぼす影響を検討し、地位指数に影響する土壤理化学性の種類を明らかにした。以上を合わせて、地がきが土壤理化学性の改変を通じてカンバ類の成長に与える影響の有無について考察した。

2. 調査地と方法

北海道内の国有林、宗谷・上川北部・上川中部・留萌南部・北空知・空知・石狩管理署管内における 1971～1996 年に筋状地がきを行ったダケカンバ更新林 17 林分を調査地とした (Fig. 1)。地がき作業の仕様や更新状況を含む調査地の諸元を Table S1 に記す。調査は 2015 年 6 月から 2017 年 10 月までの期間に行った。調査時における調査地林分の地がきからの経過年数は 20～44 年であった (Table 1)。北海道内の地がき跡地にはダケカンバ以外のカンバ類(シラカンバ、ウダイカンバ)も出現し、複数種が混在する林分も認められるが(伊藤ら 2019)、本研究ではダケカンバが優占して更新した林分のみを対象とした。ここでダケカンバが優占するとは後述する毎木調査によって樹種別の立木密度と胸高断面積合計の双方においてダケカンバが林分内の最大値を示すこととした。調査地の更新状況(立木密度、平均胸高直径、胸高断面積合計)は Table S1 に記す。調査地林分内に 20 m × 20 m の方形調査枠を設定した(ただし 2 調査地では 10 m × 20 m ないしは 10 m × 10 m, Table S1)。調査枠内の地がき帯・残し帯は

過去の航空写真から地がき列方向を確認した上で現地踏査において数 m 間隔の畝状微地形を特定することによって判別し、現地で地がき帯の分布図を簡易に作成した(地がき帯が現地踏査で判別できなかった SJ-14

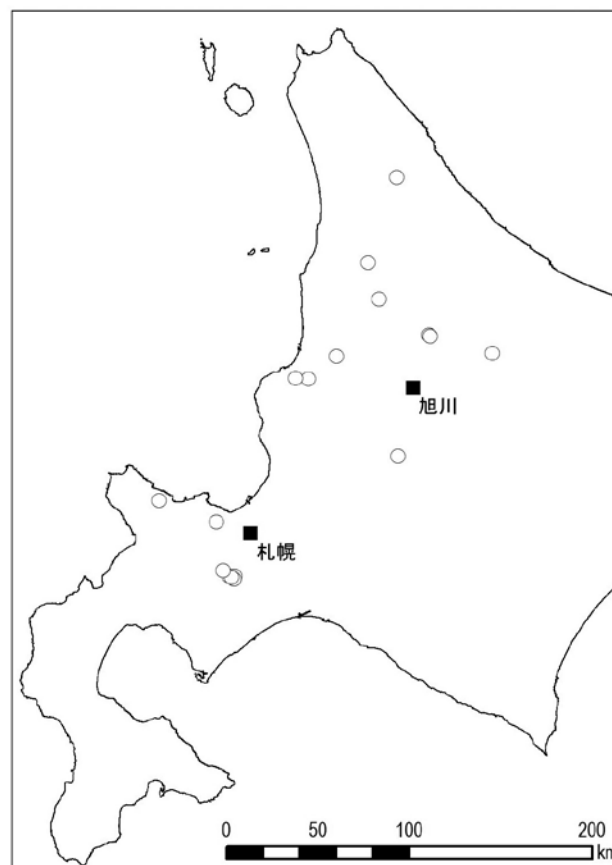


Fig. 1. 調査地の位置
Spatial distribution of the 17 study stands across Hokkaido, northern Japan.

Table 1. 調査地の更新状況と土壤理化学性

Attributes of birch regeneration and soil physicochemical properties for study plots following soil scarification

更新位置	調査地名	調査時 林齢 [年]	上層高 [m]	地位指数 [m]	収量比数	TC [g kg ⁻¹]		TN [g kg ⁻¹]		C/N		BD [g cm ⁻³]	
						地がき帯	残し帯	地がき帯	残し帯	地がき帯	残し帯	地がき帯	残し帯
地がき帯	AKh-3	44	18.7	20.5	0.89	79.7	132.8	6.03	10.93	13.2	12.1	0.41	0.56
	SJ-7	39	13.5	16.1	0.72	116.9	141.6	8.68	9.98	13.7	14.4	0.30	0.39
	AKc-2	37	11.5	14.3	0.66	76.7	119.1	5.47	8.72	13.7	13.5	0.34	0.56
	SJ-8	37	13.7	17.0	0.48	145.9	197.3	9.48	11.95	15.6	16.7	0.28	0.32
	AKh-2	34	16.2	21.5	0.89	97.7	137.4	7.15	10.60	13.7	13.1	0.42	0.55
	AS-1	31	14.1	20.3	0.70	73.3	100.8	5.63	8.08	13.1	12.5	0.38	0.51
	ARs-3	24	11.5	20.8	0.42	26.6	52.0	2.05	3.73	12.9	13.8	0.59	0.82
	ARs-7	20	10.0	21.7	0.47	50.7	128.7	3.25	8.15	15.9	15.8	0.31	0.58
残し帯	SJ-1	41	16.4	18.9	0.89	129.1	129.2	8.55	8.57	15.2	15.3	0.37	0.38
	SJ-11	38	15.8	19.3	0.93	75.3	101.3	6.23	8.30	12.1	12.3	0.51	0.63
	SA-1	33	14.9	20.4	0.73	54.8	135.2	3.95	7.68	13.8	16.6	0.44	0.55
	SJ-5	31	14.5	20.9	0.94	120.4	137.1	8.17	9.65	14.8	14.3	0.37	0.42
	AKS-3	30	11.0	16.3	0.62	52.2	114.5	2.77	6.02	18.7	19.2	0.53	0.77
	ARs-2	30	8.8	12.9	0.45	26.2	86.0	1.75	4.40	15.0	19.3	0.59	1.07
全面更新	SY-2	31	12.7	18.2	0.73	43.6	66.2	3.35	4.88	12.8	13.5	0.63	0.78
	AKh-1	28	12.3	19.3	0.57	44.6	58.7	2.63	3.20	17.6	18.6	0.59	0.75
地がき帯不明	SJ-14 ¹⁾	39	16.7	19.9	0.74	145.8	170.2	10.33	12.45	14.2	13.7	0.33	0.38

¹⁾ SJ-14 は更新帯(ノ非更新帯)の値を地がき帯(ノ残し帯)欄に記した。

を除く)。カンバは地がき帯に更新するという調査前の予測に反し、残し帯にもカンバが更新している林分が多数認められた。方形調査枠内の地がき帯および残し帯におけるカンバ更新の有無を現地で確認し、調査地をカンバ更新位置で分類した (Table 1)。調査地とした地がきカンバ更新林 17 林分のうち、地がき帯のみに更新していたのが 8 林分、残し帯のみに更新していたのが 6 林分、地がき帯と残し帯の双方に更新 (全面更新) していたのが 2 林分、地がき帯不明が 1 林分であった。調査枠内の胸高直径 5 cm 以上の生立木について、樹種を同定し、胸高直径を直径巻尺により 1 mm 単位で測定した (毎木調査)。また樹高をノンプリズムレーザー距離計インパルス (レーザーテクノロジー社) を用い 10 cm 単位で測定した。調査枠内の地がき帯および残し帯において、100 ml 採土円筒を使用し、 A_0 層を除去して露出した表層土壌 (鉱質土層の深さ 0 ~ 5 cm) を採取した。SJ-14 では地がき帯に相当する地表面の高低が特定できず、カンバ更新列と列間で土壌試料を採取した。試料は地がき帯、残し帯各 2 列のそれぞれ 2 箇所または 3 箇所から採取した (ただし 2 林分を除く、採取試料数を Table S1 に記す)。

採取した土壌は実験室内に室温で 1 週間以上保管して風乾状態とし、細土、根、礫、腐朽木材片に分けた後に風乾重量を測定した。細土の一部について 105℃ で 24 時間乾燥させ、絶乾重量を測定して乾燥係数を求めた。これらの数値を用いて、土壌物理性の指標として細土容積重 (以下 BD、採土円筒の容積から根・礫・腐朽木材片の体積を除いた細土容積あたりの細土の絶乾重, g cm^{-3}) を算出した。根・礫重量から体積への換算は定法を適用し、石礫の真比重として 2.65 を用いた (河田・小島 1979, 森林立地調査法編集委員会 2010)。土壌化学性指標として全炭素・全窒素含有率 (g kg^{-1})、CN 比を算出した (以下、TC、TN、C/N)。全炭素・窒素分析には vario MAX CN (Elementar, Germany) を用いた。

地がきによる土壌理化学性の変化を明らかにするため、各調査地の土壌理化学性を地がき帯、残し帯間で対応のある t 検定を用いて比較した。地がき帯が現地で判別不能だった SJ-14 のデータは検定から除外した。

各林分の上層高は、方形調査枠内に出現した樹木個体を樹高降順に並べ、樹高の高い個体から 200 本 ha^{-1} に相当する本数までの樹高平均値とした。地がきダケカンバ林の地位指数に影響する環境要因を解析した先行研究である梅木 (2003) において概ね 200 本 ha^{-1} に相当する本数までの樹高平均値を用いて林分上層高を算出しているためこれに倣った。分母となる面積は地がき帯・残し帯の区分を行わず方形調査枠の全面積を使用した。上層高算出の際に地がき帯・残し帯の区分は行わなかった。そのため、地がき帯と残し帯の双方に更新していた林分 (SY-2, Akh-1) の上層高は地がき

帯更新個体と残し帯更新個体の数値が混じったものである。また、先折れや幹曲がり認められた個体および明らかな被圧状態にある下層木は上層高算出に用いなかった。

上層高と林齢から猪瀬ら (1990) の地がきによらないダケカンバ林の地位指数曲線ガイドライン式 (ダケカンバ) を用いて地がきダケカンバ林分の基準林齢を 50 年とする地位指数を算出した。ダケカンバのガイドライン式 (猪瀬ら 1990) を以下に記す。

$$H_x = 23.0018 - 24.6583 \times 0.9805^x$$

ここで x は林齢、 H_x はガイドラインにおける林齢 x における上層高である。

調査林分の混み合い度と地位指数の関係を検討するため、調査林分の収量比数を森林総合研究所「収量比数 R_y 計算プログラム」により算出した。調査した 17 林分のうち 14 林分ではダケカンバ以外の樹種も更新していたが (Table S1)、算出にあたっての樹種別パラメータセットは「北海道国有林ダケカンバ」を適用した。収量比数の算出に用いた上層高は慣例に従って被圧木や枯死木を除いた立木の平均樹高とし、前述の地位指数推定用の上層高とは異なる。また立木密度は被圧木や枯死木を除いた全個体の立木数を方形調査区の全面積で除した値を用いた。

地がきダケカンバ林の地位指数と更新した帯の区分 (地がき帯・残し帯・全面更新) の関係を明らかにするため、更新帯による地位指数の違いを一元配置分散分析 (ANOVA) で解析した。現地で地がき列が判別できなかった SJ-14 は解析から除外した。

地がきダケカンバ林の樹高成長に対する土壌理化学性と立地条件の影響を検討するため、一般化線形モデル (Generalized Linear Model) を用いて解析した。応答変数を地位指数とし、説明変数を土壌試料の理化学性 (TC、TN、C/N、BD)、および立地条件 (標高、最大積雪深、年平均気温、傾斜、斜面方位、地形、地質) とした。土壌理化学性は各林分の土壌理化学性平均値を用いた (Table 1)。平均値は地がき帯と残し帯のそれぞれで別個に行い、一般化線形モデル解析にはカンバの更新が認められた帯から採取された土壌試料のデータのみ、すなわち地がき帯 (残し帯) のみに更新していた林分では地がき帯 (残し帯) で採取した土壌試料のデータを用いた。SJ-14 ではカンバ更新列で採取した試料のデータを用いた。地がき帯と残し帯の双方に更新した林分 (全面更新, $n = 2$) は解析から除外した。これは更新密度が地がき帯・残し帯間で不均一であり、樹高成長の良否と土壌条件の関係を解析するためには、地がき帯・残し帯から立木本数で按分した数の土壌試料を採取すべきであるが、本調査の土壌採取仕様がこれを満たさないためである。立地要因のうち標高と傾斜は現地での測定により、年平均気温と最大積雪深は気象庁 (2002) を用いて値を求めた。斜面方

位は現地で測定したのち真北および真東からの角度に分割した数値情報として用いた。地形は斜面上部と斜面中下部の2カテゴリに分類した。斜面上部カテゴリには平衡山腹斜面上部以外に尾根や台地が含まれる。地質は北海道火山灰命名委員会(1982)による火山碎屑物分布図の判読により母材における火山碎屑物の有無を判定した。各調査地の立地条件をTable S1に記す。解析では最小Bayesian information criterion (BIC, Schwarz 1978)を基準として平均的な予測が良好なモデルを選択した(粕谷 2015)。選択された説明変数の効果の大きさを比較するために、各説明要因を尺度化した推定値(平均を0、範囲を2に尺度化した要因に対する係数)を算出した。

統計解析には JMP ver.10.0 (SAS Inst., Cary, NC)を用いた。

3. 結果

地がき帯と残し帯における土壌理化学性の平均値をTable 2に示す。対応のあるt検定の結果、地がき帯の土壌理化学性は同一林分の残し帯に比べて、TCとTNで小さく、C/Nで差がなく、BDで大きい傾向が認められた(Table 2)。

地がきダケカンバ林の上層高は概ね猪瀬ら(1990)による非地がきダケカンバ林の地位指数曲線中心線で予測される上層高より大きかった(Fig. 2)。猪瀬ら(1990)の式による地位指数中心線の地位指数(基準林齢50年生時の上層高)は13.8mだが、地がきダケカンバ林の地位指数は平均(±SD)が 18.7 ± 2.5 m、範囲は12.9~21.7 mだった($n = 17$)。林齢-上層高の関係と林分の混み合い度の指標である収量比数の間には明瞭な関係は見いだせなかった(Fig. 2)。各林分の上層高、地位指数、収量比数をTable 1に記す。

地がきダケカンバ林分の更新帯別の地位指数をFig. 3

Table 2. 対応のあるt検定による地がき帯と残し帯における土壌理化学性の比較
Soil physicochemical properties in soil-scarified and non-scarified bands and results for paired t-tests.

	地がき帯		残し帯		T_{paired}	p
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差		
TC [g kg^{-1}]	75.9	36.9	114.9	36.8	-6.69	<.0001
TN [g kg^{-1}]	5.32	2.57	7.80	2.66	-7.11	<.0001
C/N	14.5	1.8	15.0	2.4	-1.61	0.129
BD [g cm^{-3}]	0.60	0.20	0.44	0.12	5.75	<.0001

TC, 全炭素濃度; TN, 全窒素濃度; C/N, 炭素窒素比; BD, 細土容積重。

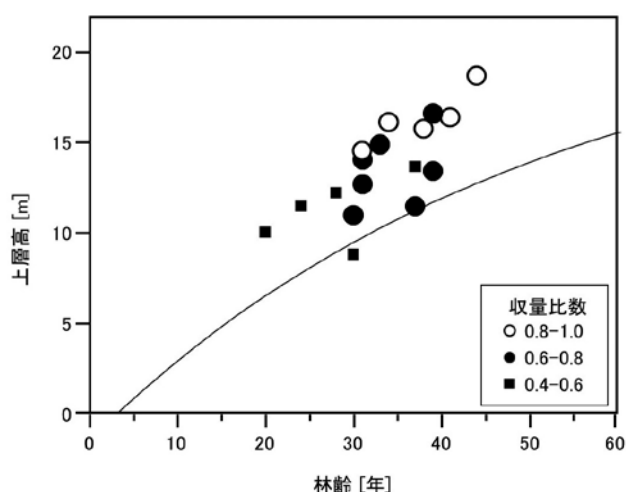


Fig. 2. 地がきダケカンバ林の林齢と上層高の関係
Relationships between stand age and average height of the tallest 200 trees ha^{-1} for scarification-regenerated *Betula ermanii* forests.
曲線は猪瀬ら(1990)による地がきによらないダケカンバ林の地位指数曲線中心線($y = 23.0018 - 24.6583 \times 0.9805^x$)を示す。凡例は収量比数の階級を示す。上層高および収量比数の算出方法は本文参照。

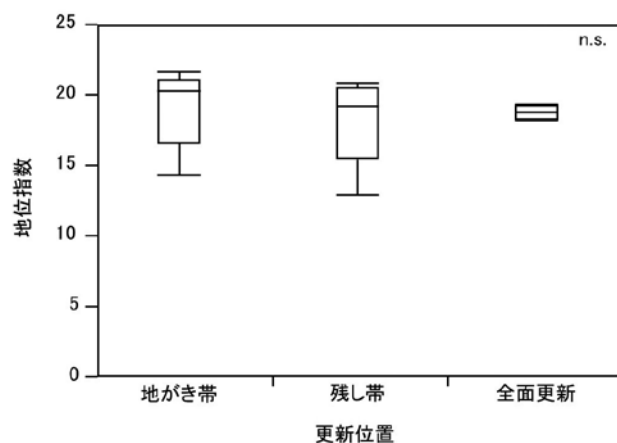


Fig. 3. 更新位置ごとの地がきダケカンバ林地位指数
Site index of birch trees regenerated on soil-scarified, non-scarified, and both bands.

Table 3. 一般化線形モデルによる地位指数に影響する土壌・立地因子
Fixed effects of the final Generalized Linear Model to test
for the effect of soil physicochemical properties and site
environmental factors on site index.

R^2 (Adj. R^2)	RMSE	F	p	係数 [尺度化した推定値] t 値, p 値	
				C/N	地形 ¹⁾
0.423 (0.327)	2.25	4.4	0.0370	-0.69 [-2.44] -2.45, 0.0306	-1.17 [1.17] -1.96, 0.0733

¹⁾ 斜面上部の値を記す。斜面中下部の値は絶対値が同じで正負が逆の数値である。

に示す。地がき帯に更新した林分と残し帯に更新した林分の間に地位指数の有意な差は認められなかった ($p = 0.8349$, ANOVA)。

一般化線形モデルによる解析では地がきダケカンバ林の地位指数を説明するモデルとして C/N と地形を予測変数とするモデルの BIC が最小となった (Table 3)。BIC 最小モデルの RMSE (誤差の標準偏差) は 2.25 m であり、切片だけのモデル (RMSE = 2.74) と比較して約 0.5 m の推定精度向上が認められ、その効果は有意であった ($p = 0.0370$, Table 3)。モデルによる地位指数予測値と実測値の関係を Fig. 4a に示す。地位指数の予測残差は地位指数が小さい林分で大きい傾向が認められた。C/N の尺度化された推定値は -0.70 であり、これは C/N の値が最小値である 12.3 から最大値である 19.3 に変化した場合に、地位指数の期待値が約 1.4 m 減少することを示す (Table 3)。地形の尺度化された推定値は -1.17 であり、斜面上部では斜面中下部より地位指数の期待値が約 2.3 m 減少することを示す (Table 3, Fig. 4b)。なお C/N と地形の交互作用には有意な説明効果が認められなかった。

4. 考察

4.1 地がきダケカンバ林の成長の良否

地がきダケカンバ林の 20 年生内外の段階における樹高成長は、森林伐採跡地や山火事跡地に成立した地がきによらないダケカンバ林より大きいとされる (梅木 2003)。本研究においても地がきダケカンバ林の上層高は、猪瀬ら (1990) による地がきによらないダケカンバ林の地位指数曲線より上方に位置し、地がきダケカンバ林の成長が地がきによらないカンバ林に比較して劣る傾向は認められなかった (Fig. 2)。梅木 (2003) は 13 ~ 22 年生の地がきダケカンバ林の地位指数 (基準林齢 50 年) は 17.0 ± 2.8 m で、猪瀬ら (1990) による地がきによらないダケカンバ林の地位指数曲線中心線の地位指数 13.8 m より大きいとしている。本研究の地がきダケカンバ調査林分の地位指数は 18.7 ± 2.5 m であり、猪瀬ら (1990) と梅木 (2003) の双方より大きかった。13 ~ 22 年生で認められた高成長の傾向 (梅木 2003) が、20 ~ 44 年生の段階でも同様かそれ以上

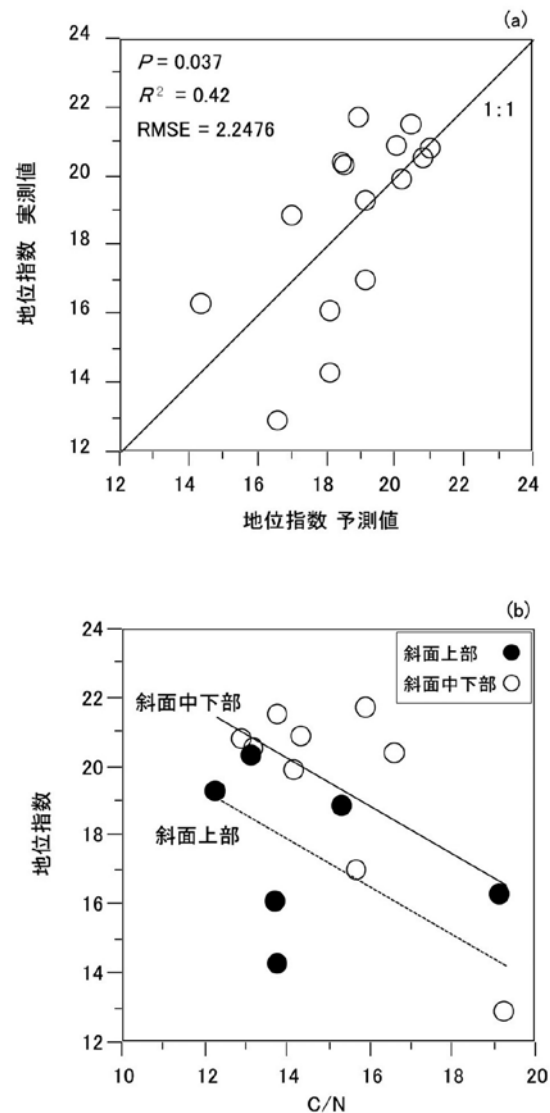


Fig. 4. 一般化線形モデルによる地位指数の予測 (a) 地位指数のモデル予測値と実測値の関係 (b) C/N と地位指数実測値の関係

Scatter plots on the final Generalized Linear Model on site index for scarification-regenerated birch forests. (a) Relationships between model-predicted and measured site index, (b) Relationships between CN ratios and measured site index

(a) 図中に 1 : 1 の直線を記す (b) 図中の直線および点線は地形要因のカテゴリーである斜面中下部および斜面上部における回帰直線を示す。図の凡例により各調査地の地形区分を示す。

に示された。ただし、カンバ類の利用径級は製材合板用材で胸高直径 22 ~ 32 cm (嶋瀬 2014a)、内装材で末口径 20 cm 以上 (嶋瀬ら 2013) ないしは末口径 14 ~ 30 cm (秋津 2016, 秋津・青木 2018, 石川 2018, 古田 2018) とされる。梅木 (2003) の調査林分の最大樹高は約 12 m であり、既報のアロメトリ式 (鮫島 1971) から胸高直径を推定すると 10 cm 未満である。また本研究の地がきダケカンバ林の平均胸高直径も 6.9 ~ 15.4 cm の範囲にあって (Table S1)、いずれも利用径級には至っていない。末口径 24 cm 以上および 14 cm 以上の原木はそれぞれ 70 年生および 50 年生の林分に多く蓄積していると推察されており (大野 2018)、伐期に至るまでの成長の推移を引き続き注視する必要がある。

本研究において地がき地の残し帯に更新したカンバ林の存在が認められた。この残し帯更新カンバ林の状況は、地がきを行っていないはずの立地に更新したという意味において、非地がきカンバ林に類似とも考えられる。梅木 (2003) の結果を適用すれば、残し帯更新ダケカンバ林の地位指数は地がき帯更新ダケカンバ林のそれより低いと予想される。しかしながら、地位指数は更新した帯の種類で有意な差が認められず、残し帯に更新したダケカンバは地がき帯に更新したダケカンバと同等の成長を示した (Fig. 3)。伊藤ら (2019) は残し帯に更新したカンバ林においては深めの地がきが行われたと推測し、その際発生した大量のボサ (林床植生の破断物・堆積有機物・表層土壌からなる有機物と鉱質土壌の不均質な混合物) が残し帯に残置された可能性を指摘している。非地がきカンバ林にはなかったボサの存在が残し帯に更新したダケカンバの良好な成長に寄与したかもしれない。ボサ上における更新の実態およびボサが土壌理化学性および養分循環に及ぼす影響の解明は今後の課題である。

4.2 地位指数に影響する土壌・立地要因

地がきダケカンバ林の地位指数を説明する最も有効な要因は C/N であった ($p = 0.0306$, Table 3)。C/N は有機物分解に関わる物質循環の重要な指標である (Berg and Ekbohm 1983, 武田 1994)。高 C/N の林分では無機態窒素の可給能が小さく、養分条件が劣っていた可能性がある。地形は C/N に次いで有効な説明要因として一般化線形モデルで選択され、斜面上部では斜面中下部より地位指数が低い傾向が示された (Table 3)。一般的に C/N と斜面位置には密接な連関が認められており、C/N は斜面上部で大きく斜面下部や谷部で小さい (沓名ら 1988, 高橋ら 1994, 菱ら 2010)、一般化線形モデルの結果は、同じ C/N を示す林分であっても斜面上部に位置する林分では斜面中下部に位置する林分より地位指数が低くなることを示唆している (Fig. 4b)。斜面位置の違いは土壌物理性やそれに連関する土壌水分条件の違いにも連関すると考えられる。地がきダケ

カンバ若齢林 (< 20 年生) の成長に影響する環境要因を解析した既往事例では、成長には斜面位置が影響し、土層深が厚くなる斜面下部で成長良好であった (梅木 2003)。また、山火事跡地に更新したウダイカンバ高齢林 (約 90 年生) では、斜面上部で乾燥ストレスの影響により衰退木の出現確率が高いことが示されている (大野 2011)。さらに梅木 (2003) は 5 月から 7 月の降水量と日照時間を用いて算出した気候的乾湿度 (寺澤・薄井 1987) を指標として北海道内の気候条件を地域間で比較し、湿潤な気候条件下で地がきダケカンバ林の樹高成長が良いとしている。このように乾燥がカンバ類の成長を抑制する可能性は斜面スケールおよび北海道内スケールで示唆されており、本研究の結果もこれらの既往研究を支持するものであった。ただし、本研究では林分数の制限により地形は大まかに 2 区分 (斜面上部・斜面中下部) に分類されていた。地形の効果と適切な地形区分についてはより多くのデータにより検証する必要があると考えられる。

4.3 地がきがカンバ類の樹高成長を促進／抑制する可能性

梅木 (2003) は地がきダケカンバ林の成長が非地がきダケカンバ林より良いことを示したが、その理由については明示されなかった。地がきダケカンバ林の表層土壌理化学性を調査した本研究においても、地がきダケカンバ林の成長が卓越する理由については以下に述べる通り明らかにできなかった。本研究では地がきダケカンバ林の地位指数が表層土壌の C/N と連関していることが示唆された (Table 3)。地がきはササ根系を含む表層土壌を堆積有機物ごと除去する作業であり、多量の炭素を系外に持ち出すことで表層土壌の C/N は低下する可能性がある。地がきによる C/N の低減が窒素可給性の向上を通じて樹高成長の促進に寄与したという説明は一見合理的であり、地がき直後の数年は地がき地で無機態窒素量が増加したという既往の報告もある (Ozawa et al. 2001, 柴田ら 2007)。しかしながら、本研究の調査地では他の土壌理化学性 (TC, TN, BD) は地がき帯で増減するのに対し、C/N では地がき帯と残し帯の間に有意な差は認められなかった (Table 2)。これは、C/N における林分ごとのばらつきが非常に大きく (値域 12.1 - 19.3, Table 1)、地がきによる C/N への影響が検出できなかったためと考えられる。本研究の結果からは地がきが C/N 条件の改変を通じて成長促進に寄与したとは言えない。何らかの理由により林分間でもともと大きく異なっていた C/N 条件が更新カンバ類の成長に影響したと考えられるが、地がきカンバ林の成長が非地がきカンバ林より優れる理由の解明は今後の課題である。

一方で、地がきがダケカンバの樹高成長を抑制する証左も見出されなかった。カンバ類稚樹の窒素要求性

は非常に高く（佐藤 1960）、地がきによる表層土壌の排除が土壌化学性の損耗を通じてカンバ成長に影響することが懸念されていた（伊藤ら 2018b）。しかし、TN は地がきにより有意に低下していたにも関わらず（Table 2）、TN は地位指数の説明要因として選択されなかった（Table 3）。また、地がき面土壌の堅密度は更新稚樹の樹高成長と負の関係が認められ（Yoshida et al. 2005）、ウダイカンバの地位指数低下には土壌容積重の増加が影響することが示唆されている（塩崎・真田 1985）。土壌物理性の主要指標である BD は地がきによって増加することから（Table 2, 伊藤ら 2018a, 2018b）、地がきが樹高成長を抑制する可能性が導き出される。しかしながら、本研究では BD は地がきダケカンバ林の地位指数を説明する要因として選択されなかった（Table 3）。カンバ更新帯の平均 BD は $0.52 \pm 0.14 \text{ g cm}^{-3}$ で $0.32 - 0.82 \text{ g cm}^{-3}$ の範囲にあった（Table 1）。この値域内では土壌物理性が樹高成長を抑制する十分条件にはならない、すなわち地がき後の BD がカンバ更新可能な範囲（ $< 0.8 \text{ g cm}^{-3}$ ）であればその後のダケカンバの成長は抑制されないことを示唆している。この結果は地がき強度の指針を策定する上で重要な見解と考えられる。

5. おわりに

地がきは低コストで顕著な更新効果が見込める天然更新技術であり、広大な面積の北海道トドマツ人工林主伐後の造林選択肢として有望である。表土除去による地力減少が懸念されてきたが、 < 20 年生の地がきダケカンバ林の樹高成長を解析した先行研究（梅木 2003）と同様に、 $20 \sim 44$ 年生の地がきダケカンバ林の樹高成長は既報の地がきによらないダケカンバ林より良好であることが示された。本研究の結果は木材生産を目的とした地がきによるカンバ林造成林業の可能性を示唆するものである。一方で、今後地がき作業の拡大が見込まれるトドマツ人工林は、かつての主たる地がき作業地であったササ地よりも低標高に位置することが多く、そこではダケカンバ以外にもシラカンバ・ウダイカンバなど他のカンバ類の更新も期待される。ダケカンバで得られた地がき地の樹高成長に関する知見がシラカンバ・ウダイカンバにも適用できるかどうかは今後の課題である。

謝 辞

本研究は（国研）森林研究・整備機構森林総合研究所交付金プロジェクト（課題番号 201420）の研究成果である。本研究の遂行に当たり、北海道森林管理局各位に多大な協力を頂いた。また森林総合研究所の荒木誠博士に貴重な助言を頂いた。深く感謝申し上げる。

引用文献

- 青柳 正英（1983）道有林の「かき起こし」の実態. 北方林業, 35, 49-53.
- 秋津 裕志（2016）シラカンバによる内装材と家具の開発. 林産試だより, 2016 年 8 月号, 3-4.
- 秋津 裕志・青木 繁尚（2018）シラカンバ材の高度利用. 北方林業, 69, 20-23.
- Berg, B. and Ekbohm, G. (1983) Nitrogen immobilization in decomposing needle litter at variable carbon: nitrogen ratios. Ecology, 64, 63-67.
- 古田 直之（2018）道産カンバ類による単板および LVL の性能評価. 北方林業, 69, 16-19.
- 菱 拓雄・前田 由香・田代 直明（2010）九州大学北海道演習林の天然落葉広葉樹林およびカラマツ人工林における斜面方位に着目した土壌と大型土壌動物の特徴. 九州大学農学部演習林報告, 91, 1-6.
- 北海道火山灰命名委員会（1982）北海道の火山灰. 23pp., 北海道火山灰命名委員会, 札幌.
- 猪瀬 光雄・小木 和彦・佐野 真・眞邊 昭（1990）カンバ類 3 種の上層樹高の成長解析. 日本林学会北海道支部論文集, 38, 198-199.
- 石川 佳生（2018）シラカンバの高付加価値用途への利用可能性について. 北方林業, 69, 12-15.
- 伊藤 江利子・橋本 徹・相澤 州平（2018a）地がきカンバ更新地における表層土壌容積重の回復過程. 北方森林研究, 66, 97-100.
- 伊藤 江利子・橋本 徹・相澤 州平・石橋 聡（2018b）北海道における地がき更新補助作業と今後の課題. 森林立地, 60, 71-82.
- 伊藤 江利子・橋本 徹・相澤 州平・古家 直行・石橋 聡（2019）筋状地がき地におけるカンバ類の更新位置. 森林総合研究所研究報告, 18, 213-218.
- 粕谷 英一（2015）生態学における AIC の誤用：AIC は正しいモデルを選ぶためのものではないので正しいモデルを選ばない. 日本生態学会誌, 65, 179-185.
- 河田 弘・小島 俊郎（1979）生態学研究法講座 30 環境測定法 IV—森林土壌—〔新訂版〕. 共立出版株式会社, 190pp.
- 気象庁（2002）メッシュ気候値 2000. 財団法人気象業務支援センター.
- 沓名 重明・鈴木 道代・仁王 以智夫（1988）同一斜面に植栽されたスギ林の土壌型の相違による窒素の無機化と硝化活性. 日本林學會誌, 70, 127-130.
- 真下 育久（1969）林木の成長に関する環境因子の重要度：国有林の地位指数調査から. 森林立地, 11, 29-32.
- 三好 英勝（1996）道有林におけるかき起こし作業の成果. 北方林業, 48, 105-108.
- 大野 泰之（2011）落葉広葉樹林におけるウダイカンバ成木の衰退の要因解明に関する研究. 北海道林業試験場研究報告, 48, 1-46.

- 大野 泰之 (2018) シラカンバ人工林の生育実態—径級別の原木供給ポテンシャルの試算—. 北方林業, 69, 1-3.
- Ozawa, M., Shibata, H., Satoh, F. and Sasa, K. (2001) Effects of surface soil removal on dynamics of dissolved inorganic nitrogen in a snow-dominated forest. *The Scientific World Journal*, 1, 527-533.
- 鮫島 惇一郎 (1971) 北海道カンバ類の生長. 星 司朗・遠藤 嘉浩・鮫島 惇一郎・鮫島 和子・岩本 巳一郎・宮島 寛・三宅 基夫編 “造林樹種の特性 前編 カンバ類の経営・利用篇”. 北方林業叢書第 48 集, 社団法人北方林業会, 47-72.
- 佐藤 清左衛門 (1960) シラカバ稚苗の栄養試験. 日本森林学会誌, 42, 445-447.
- Schwarz, G. (1978) Estimating the dimension of a model. *Annals of Statistics*, 6, 461-464.
- 柴田 英昭・小澤 恵・佐藤 冬樹・笹 賀一郎 (2007) 森林施業に伴う地表処理が土壌窒素動態に及ぼす影響とそのメカニズム. 日本森林学会誌, 89, 314-320.
- 嶋瀬 拓也 (2014a) 北海道におけるカンバ類製材・合板適材の出現状況—国有林立木公売情報の分析結果から—. 北方森林研究, 62, 21-24.
- 嶋瀬 拓也 (2014b) 先駆樹種の活用による“身軽な”林業の実現に向けて—天然更新力を活かした省力化林業の可能性—. 山林, 1565, 27-35.
- 嶋瀬 拓也・天野 智将・佐々木 尚三・上村 巧 (2013) シラカンバ材の内装材利用に向けた課題と展望. 北方森林研究, 61, 29-30.
- 森林立地調査法編集委員会 (2010) 改訂版 森林立地調査法. 博友社, 284pp.
- 塩崎 正雄・真田 悦子 (1985) ウダイカンバの生長と土壌条件. 北方林業, 37, 261-264.
- 塩崎 正雄・真田 悦子 (1990) ウダイカンバの生長適地. 北方林業, 42, 124-128.
- Skovsgaard, J. P. and Vanclay, J. K. (2013) Forest site productivity: a review of spatial and temporal variability in natural site conditions. *Forestry*, 86, 305-315.
- 高橋 輝昌・生原 喜久雄・相場 芳憲 (1994) スギ・ヒノキ造林地での斜面位置別の表層土壌の窒素無機化量. 森林立地, 36, 15-21.
- 武田 博清 (1994) 森林生態系において植物—土壌系の相互作用が作り出す生物多様性. 日本生態学会誌, 44, 211-222.
- 滝川 貞夫 (1993) 北海道における掻起しによる更新地の現状. 北海道大学演習林試験年報, 11, 62-64.
- 寺澤 和彦・薄井 五郎 (1987) 北海道の 5～10 月における蒸発散能・降水量比の分布と季節変化. 北海道林業試験場報告, 25, 36-49.
- 梅木 清 (2003) 北海道における天然林再生の試み—かき起こし施業の成果と課題—. 日本森林学会誌, 85, 246-251.
- Yoshida, T., Iga, Y., Ozawa, M., Noguchi, M. and Shibata, H. (2005) Factors influencing early vegetation establishment following soil scarification in a mixed forest in northern Japan. *Canadian Journal of Forest Research*, 35, 175-188.

補足電子資料

以下はオンライン版のみの掲載となります。

<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/bulletin/452/index.html>

Table S1. 調査地諸元

Attributes of study plots.

Association of soil physicochemical properties following scarification with regenerated birch growth in Hokkaido, northern Japan.

Eriko ITO ^{1)*}, Toru HASHIMOTO ¹⁾, Shuhei AIZAWA ²⁾,
Naoyuki FURUYA ¹⁾ and Satoshi ISHIBASHI ¹⁾

Abstract

Soil scarification is a natural regeneration practice that has been developed as a low-cost birch reforestation technique on Hokkaido, the northernmost island of Japan. Scarification practices may play a significant role in the treatment of *Abies sachalinensis* plantation facing a final cutting period in Hokkaido. Scarification removes forest floor organic matter and surface soil, therefore it has been a concern that it will adversely affect the regenerated birch growth. To clarify the long-term effects of soil disturbance due to scarification on regenerated birch growth, we investigated the physicochemical properties of surface soils (depth: 0 – 5 cm) at 17 scarification-regenerated birch forests treated from the 1970s to the 1990s. Tree height growth of 20 – 44-year-old *Betula ermanii* were higher than in stands regenerated in other ways. In the strip-scarified stands examined in this study, some stands had regenerated along non-scarified lines. There was no significant difference in site index between stands regenerated along scarified lines and these along non-scarified lines. A generalized linear model indicated that site index in scarification-regenerated birch forests was larger in conditions with low CN ratios and lower slopes. Some soil physicochemical properties changed due to soil scarification, while CN ratios did not. The effect of the scarification for the regenerated birch growth was not clear whereas the soil physicochemical properties, except for CN ratios, were different. The results of this study show that soil disturbance due to scarification might not affect long-term birch tree growth in these stands.

Key words: soil scarification, site index, physicochemical soil properties, *Betula* sp., CN ratio

Received 30 October 2018, Accepted 17 June 2019

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

2) Department of Forest Soils, FFPRI

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

論文 (Original article)

トドマツ人工林伐採後の地がき施業によるカンバ等の更新への効果

伊東 宏樹^{1)*}、中西 敦史¹⁾、津山 幾太郎¹⁾、関 剛¹⁾、
倉本 恵生²⁾、飯田 滋生³⁾、石橋 聡¹⁾

要旨

トドマツ人工林の主伐後に地がきによってカンバ類など高木性樹種の天然更新を図る際に、稚樹密度に影響を及ぼす要因を特定することを目的として、北海道内5カ所に試験地を設定した。そして、地がきの有無、競合する植生の群落高、またカンバ類については周囲の成木からの距離と稚樹密度との関係を解析した。その結果、(1)地がきは稚樹密度に正の影響を及ぼし、(2)植生の群落高は稚樹密度に負の影響を及ぼし、(3)地がきは植生の群落高に負の影響を及ぼしていた。また、(4)カンバ類の稚樹密度は、カンバ類成木からの距離が遠くなるほど低くなっていた。しかし、カンバ類の稚樹密度は既往の研究例と比較すると低く、今回の地がき試験地におけるカンバ類による天然更新の可能性は高いとはいえなかった。その理由として、散布種子密度が低かった可能性が考えられた。

キーワード：カンバ類、散布種子密度、地がき、天然更新、稚樹密度

1. はじめに

北海道においてはトドマツ人工林が主伐期を迎えており、伐採後の更新がひとつの課題となっている(倉本ら 2018, 伊藤ら 2018)。しかし、トドマツの材価や植栽のコストの問題により、トドマツの再造林が困難な地域もある。そのような場所での低コストの更新方法として、重機を使用した「地がき」によってカンバ類(シラカンバ、ウダイカンバ、ダケカンバ)の天然更新を促すという方法が考えられている(倉本ら 2018, 伊藤ら 2018)。なお、ここでいう「地がき」とは、ササ類を地下部から除去する地表処理である(伊藤ら 2018)。この手法は、「かき起こし」や「地はぎ」などとも呼ばれるが(伊藤ら 2018)、本稿ではすべて「地がき」と呼ぶこととする。トドマツ人工林が主に位置する低標高地においても林床にササ類が密生する林分が見られ(倉本ら 2018)、このような場所ではササ類を除去することが天然更新のためには必要となる。

地がきの具体的な作業内容は時代とともに変化してきている。最近では油圧ショベルをベースマシンとして、バケット、グラップル、グラップルレーキ、グラップルでつかんで使うレーキ板などが使用され、なかでもバケットとグラップルを使用する例が多い(倉本ら 2018)。こうした使用機材の変化により表層土壌除去深度は浅くなり、また表土を保残する工法も実施されるなど、地がきによる土壌への影響は緩和される方向にある(伊藤ら 2018)。一方で、特に表土保残型の地が

きでは埋土種子由来のキク科・バラ科の草本・低木発生量が多くなるなど、発生した稚樹と草本類との競争が激しくなる可能性も指摘されている(伊藤ら 2018)。

北海道内における地がきによる更新の成功率はおおむね高いと報告されている(三好 1978, 1996)。たとえば、三好(1978)では、地がき実施後4~6年で、ダケカンバの更新稚樹密度が16万本/ha~123万本/haとなっている。また、三好(1996)は、かき起こしによる成林率は高く、調査地の86%以上としている。ただし、従来の地がきは、ササ原などの無立木地やダケカンバ林で実施された例が多く(青柳 1983, 梅木 2003)、更新後もダケカンバが優占する森林となる場合が多いとされる(三好 1996, 梅木 2003)。その一方、トドマツ人工林が主に分布する低標高地での地がきの事例は少ない(伊藤ら 2018)。低標高地ではエゾアザミをはじめとするキク科の大型草本が地がき後に侵入し、木本の稚樹の成長を抑制するおそれがある(伊藤ら 2018)。また、トドマツ人工林内で実施する場合には、周囲に母樹となるようなカンバ成木が少なく、飛散種子の密度が十分に得られないという可能性もありうる。つまり、冒頭に述べたような、トドマツ人工林の主伐跡地に地がきを実施してカンバ類の天然更新を促すという施業が、従来の地がきと同様に良好な結果をもたらすかどうかについては十分な知見があるとはいえない。

本研究では、北海道内のトドマツ伐採後の地がき実

原稿受付：平成30年11月28日 原稿受理：令和元年7月10日

1) 森林総合研究所 北海道支所

2) 森林総合研究所 森林植生研究領域

3) 森林総合研究所 九州支所

* 森林総合研究所 北海道支所 〒062-8516 札幌市豊平区羊ヶ丘7

施林分5カ所において、地がきの有無と、地がき後に再生する競合植生とが稚樹密度に及ぼす効果を検討した。とくに、既往の研究で地がきにより豊富に更新するとされるカンバ類について、以上の要因に加えさらにカンバ類成木からの距離が稚樹密度に及ぼす効果を検討した。そのうえで、地がき後2年目の時点での、対象とした林分におけるカンバ類による天然更新の状況を評価した。

2. 調査地および調査方法

2.1 調査地

本研究では、トドマツ人工林伐採後に地がき処理を実施した林分5カ所で調査を実施した。うち3カ所は、トドマツ人工林伐採後に重機による筋状の地ごしらえを実施したのちに、トドマツ苗を植栽した林分である。このような地ごしらえを実施した後の地表の状態は地がきと同様であるとみなすことが可能である。以下では、このような筋状の地がきまたは地ごしらえを「筋状地がき」と呼ぶこととする。各調査地の概要をTable 1に示す。

2.2 調査方法

2.2.1 試験地の設定

幾寅試験地

幾寅試験地は、上川南部森林管理署3林班ろ小班（空知郡南富良野町）に位置する（Table 1）。北北東向きの斜面であり、試験地の大きさは40×185mである。全体で6つのブロックに分かれており、斜面上から、残し区（地がき処理を実施しなかったブロック）・筋状地がき区（筋状地がきを実施した部分と無処理の部分とが縞状に配置されたブロック）・全面地がき区（全面で地がきを実施したブロック）の2繰り返しとなっている（Fig. 1a）。林床にはクマイザサが優占していた（橋本ら 2016）。伐採前の毎木調査では、全体の幹密度（胸高周囲長15cm以上）は890本/ha、うちトドマツが462本/ha、カンバ類が20本/haであった。全体の胸高

断面積合計は37.1m²/ha、うちトドマツが25.2m²/ha、カンバ類は0.8m²/haだった。その他の樹種ではシナノキが多かった。

2015年7月に上木の伐採と地表処理を実施し、その後、稚樹の更新状況を調査するための方形区を設定した。残し区と全面地がき区は10×10mの大きさに分割し、それぞれの中央付近に2m×2mの方形区を設置した（各区に12個）。残し区においては地がき処理は実施しなかったが、トドマツ上木の伐採にともなう地表攪乱の影響は受けた。全面地がき区においては、大型機械を用いて地がき処理を実施した。具体的な作業としては、グラップルアタッチメントを付けた油圧ショベルにレーキブレードをつかませて、表層土壌をかき寄せた。その後、ササの地下茎や樹木の根などを除去し、表土だけを戻した（橋本ら 2016）。筋状地がき区は5×10mの大きさに分割し、それぞれの中央付近に2m×2mの方形区を設定した（各区に32個）。筋状地がき区では、5m幅で地がきを実施した。

設定した方形区の数合計して112個である（Fig. 1a; 以下、地がき処理を実施しなかった区に設定した方形区を「無処理方形区」、実施した区に設定した方形区を「地がき方形区」とする。それぞれの数は、無処理方形区48個、地がき方形区64個である）。地がき後2年目の状況をPhoto 1に示す。

恵庭試験地

恵庭試験地は、石狩森林管理署5181林班ろ・り小班（恵庭市）に位置する（Table 1）。ほぼ平坦であり、A（大きさ50m×90m）、B（同30m×90m）、C（同およそ50m×60mだが長方形にはなっていない）の3つの伐区に分かれている（倉本ら 2018; Fig. 1b）。この後の統計解析ではこの伐区をブロックとして扱った。伐採前の林床はほぼ全面がクマイザサに覆われていた（倉本ら 2018）。3つの伐区を合わせた伐採前の全体の幹密度は691本/ha、うちトドマツが152本/ha、エゾマツが99本/ha、カンバ類は20本/haであった。全体の胸高断

Table 1. 各試験地の概要

試験地名	所在地	管轄署および林班	緯度(°N)	経度(°E)	標高(m)	傾斜方位	傾斜角(°)	伐採時の林齢(年)	施業の種類	施業実施年	稚樹調査の面積(m ²)
幾寅	空知郡南富良野町	上川南部森林管理署3林班ろ小班	43.1843	142.6003	480–510	北北東	12	63	地がき	2015	448
恵庭	恵庭市	石狩森林管理署5181林班ろ・り小班	42.8359	141.4819	170–175	ほぼ平坦	ほぼ平坦	75, 79*	地がき	2016	328
歌登	枝幸郡枝幸町	宗谷森林管理署3164林班ち小班	44.7930	142.5274	110	南東	15	81	地ごしらえ	2013	88
下川	上川郡下川町	上川北部森林管理署238林班と小班	44.3299	142.7827	300	北西	25	74	地ごしらえ	2014	88
留萌	留萌市	留萌南部森林管理署113林班い小班	43.8362	141.7921	270	東	12	56	地ごしらえ	2014	88

*ろ小班が75年、り小班が79年。

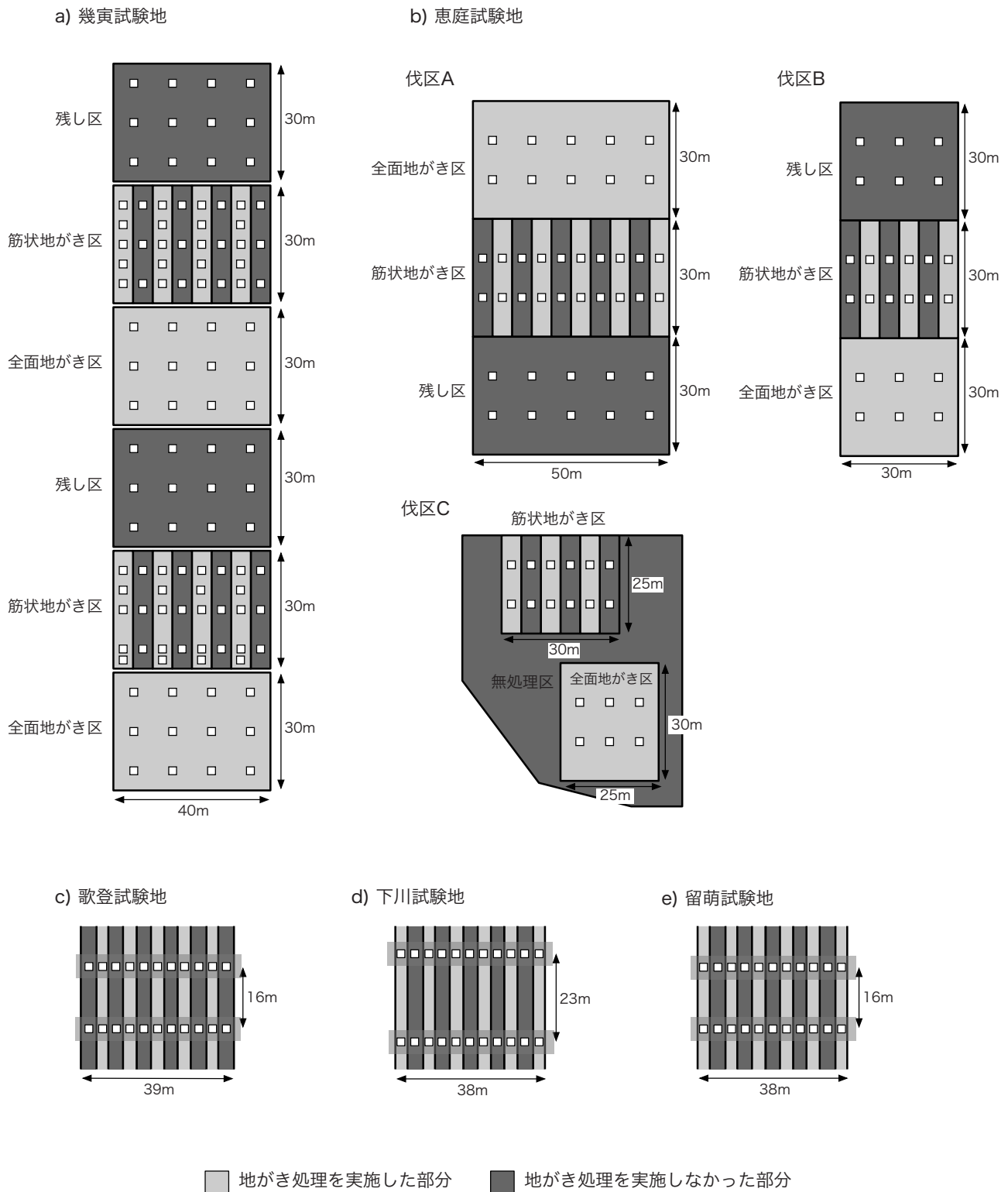


Fig. 1. 各試験地の模式図。

薄い灰色の領域は地がきを実施した部分、濃い灰色の領域は無処理の部分を示す。また、中の正方形は、植生および稚樹調査のための方形区を示す。

面積合計は 40.7m²/ha、うちトドマツが 13.6m²/ha、エゾマツが 9.74m²/ha、カンバ類は 0.90m²/ha だった。その他の樹種では、ミズナラが多かった。

各伐区には、トドマツが植栽されていたが、2016 年

7 月から 8 月にかけて伐採され、その後、全面地がき区および筋状地がき区で地表処理が行なわれた（倉本ら 2018）。A 区および B 区では、油圧ショベルに取り付けたグラップルバケットを用いて、「押し出し」ある



Photo 1. 幾寅試験地の地がき後2年目の状況 (2017年7月)



Photo 2. 恵庭試験地の地がき後2年目の状況 (2018年7月)

いは「引き寄せ」操作により地表処理を行なった。C区では、油圧ショベルに取り付けたグラップルを用いて地表処理を行なった(倉本ら 2018)。

稚樹の更新状況を調査するため、2018年に82個の方形区(2m×2m)を設定した(Fig. 1b; 無処理方形区38個、地がき方形区44個)。地がき後2年目の状況をPhoto 2に示す。

歌登・下川・留萌試験地

歌登(宗谷森林管理署3164林班ち小班、枝幸郡枝幸町)・下川(上川北部森林管理署238林班と小班、上川郡下川町)・留萌(留萌南部森林管理署113林班い小班、留萌市)の3試験地(Table 1, Fig. 1c, d, e)は、重機による地ごしらえを行なった後にトドマツ苗を植栽した林分である。各試験地に、植栽列の方向と直交するようにラインを2本設定し、各ライン上において、2m×2mの大きさの方形区を筋状地がき部分と残し部分のそれぞれに設定した。各試験地とも原則として、筋状地がき幅は3m、残し幅は4mであった。歌登では、各ラインに筋状地がき部分が5個、残し部分が6個、下

川および留萌では、各ラインに筋状地がき部分が6個、残し部分が5個であった。したがって、いずれの試験地でも方形区の数合計22個となった。これら3試験地については、筋状地がきを実施した部分を地がき方形区として、残し部分を無処理方形区として扱った。なお、地ごしらえ試験地では、植栽が行なわれているため、通常は下刈りが実施されるが、ラインから両側3mの範囲では下刈りを実施していない。

2.2.2 植生・更新状況・周囲のカンバ・種子散布の調査 方形区の座標と小方形区の設定

周囲のカンバ類成木と各方形区との距離を計算するため(後述)、GPSによる位置測定、UAVによる撮影、またはこれらを組み合わせたうえで、方形区間の相対的な位置関係も利用して、各試験地について、設定した方形区の平面直角座標系(12系)における座標を計算した。これには、GISソフトウェアであるQGIS 2.18(QGIS Development Team 2017)を使用した。

各試験地に設定された2m×2mの方形区を1m×1mの小方形区に4分割し、それぞれの小方形区で植生と稚樹の調査を行なった。調査は、各試験地とも施業から2年後の6～7月に行なった。具体的には以下のとおりである。幾寅:2017年6月28日、7月3～4日、恵庭:2018年7月10～11日、歌登:2015年6月10日、22日、下川:2016年6月8～9日、21日、留萌:2016年6月10日、20日。

植生

ササの回復状況や、低木・草本などの状態を把握するため、各方形区において、植生の群落高および被度、優占種とその被度を測定した。群落高は折尺またはコンベックスで、被度は目視により測定した。

稚樹

エゾイチゴなどの低木を除く木本種を対象として、方形区内に発生が見られた稚樹の樹種と個体数を記録した。ただし、ヤナギ類およびカンバ類は、数が多く初期サイズが小さいことが想定されたため、当年生実生を除く、高さ5cm以上の個体を対象とした。それ以外は、当年生を含むすべての個体を対象とした。また、30cm以上の個体については、高さを測定した。また、下川・留萌試験地においては、カンバ類の稚樹に樹種の識別が困難なものが多かったため、カバノキ属の種はまとめて「カンバ類」とし、他の3試験地もそれにそろえた。「カンバ類」とまとめた種は、実際にはほとんどがシラカンバ・ウダイカンバ・ダケカンバの3種と考えられる。このうちシラカンバとダケカンバについては、ダケカンバの方がより寒冷・高標高域に分布し、これには芽の休眠特性との関連が指摘されている(Tabata 1966)。またダケカンバは、シラカンバより乾

燥回避に優れていること（田畑・原 2015）、前年のうちに翌年の成長の準備をおこなう「固定成長」的な成長特性を持つこと（小池ら 2010）も指摘されている。このほか、ウダイカンパは他の 2 種よりも埋土種子となる能力が高い（佐々木ら 1990, Osumi and Sakurai 1997）。このように、これらカンパ 3 種は種特性に差はあるものの、地がき後に優占する先駆種という点では共通であると考えられる（伊藤ら 2018）。

周辺のカンパ類の毎木調査

各試験地において、母樹となりうるカンパ類の成木の数と位置を把握するため、伐区の周囲にあるカンパ類の成木を探索した。探索する範囲は便宜的に 25m とした。ただし、下川試験地では地形上の理由で全周の調査が不可能であり、斜面下方は 15m までの探索とし、斜面上方では探索を行わなかった。ここで、カンパ類成木とは便宜的に胸高直径 20cm 以上の幹とした。また、カンパ類稚樹について樹種の区別をしないこととしたため、それに合わせ以下の解析でも原則として種の区別はせず「カンパ類」としてまとめた。発見した幹については、胸高周囲長を金属製巻き尺で測定し、その値を円周率で除して胸高直径を求めた。さらに、幹の位置を GPS により測定した。この調査は以下の期日に行なった。幾寅：2015 年 7 月 8 日、恵庭：2018 年 5 月 30 日、歌登：2015 年 6 月 23 日、下川：2016 年 7 月 8 日、9 月 7 日、留萌：2016 年 7 月 6～7 日、9 月 5 日。

この結果を用いて、各試験地における周辺のカンパ類成木の幹密度を求めた。また、測定した幹の座標（WGS84）を、QGIS 2.18 を使用して平面直角座標系（12 系）における座標に変換した。変換した座標の値を利用して、各方形区から最短のカンパ類成木までの距離を求めた。

カンパ類の種子散布量の調査

幾寅試験地では、2016 年 8 月 25 日から 10 月 19 日まで、また 2017 年 8 月 28 日から 10 月 25 日まで、開口面積 0.5m² の種子トラップを設置し、各年におけるカンパ類の種子散布状況を調査した。種子トラップの数は 18 個で、試験地内にほぼ一様に設置した。なお、2015 年にも種子トラップを設置したが、台風による被害のため種子を回収することができなかった。

恵庭試験地でも、2016 年 8 月 26 日から 10 月 27 日まで、また 2017 年 9 月 1 日から 10 月 25 日まで、同じ型の種子トラップを設置し、カンパ類の種子散布状況を調査した。種子トラップの数は 18 個で、試験地の伐区 A および B にそれぞれ 9 個ずつ、各伐区内ではほぼ一様に設置した。

なお、計数の際には充実種子のみを選別することは行なわなかったため、しいな・未熟種子・虫害種子などの不健全種子が含まれている可能性もある。

2.3 統計解析

各小方形区における稚樹数（全樹種を含めた稚樹数およびカンパ類のみの稚樹数）に影響を及ぼした要因を評価するため、ベイズ統計モデルを構築し、マルコフ連鎖モンテカルロ（MCMC）法により、モデルのパラメーターを推定した。推定には、統計モデリングソフトウェアである Stan 2.17.1（Stan Development Team 2017）を使用した。

モデル 1

カンパ類を含むすべての樹種の稚樹数に対して、地がき処理の有無および植生群落高がどの程度の影響を及ぼしているかを評価するため、以下の統計モデルによる解析を行なった。

$$\begin{aligned} N &\sim \text{Poisson}(\lambda) \\ \log(\lambda) &= \beta + \beta_T T + \beta_H H + \varepsilon_S + \varepsilon_B + \varepsilon_Q \\ \varepsilon_S &\sim \text{Normal}(0, \sigma_S) \\ \varepsilon_B &\sim \text{Normal}(0, \sigma_B) \\ \varepsilon_Q &\sim \text{Normal}(0, \sigma_Q) \end{aligned}$$

ここで、Poisson はポアソン分布、Normal は正規分布であり、 N は各小方形区で観測された稚樹数、 λ は稚樹数の期待値、 T は地がき処理の有無（0/1）、 H は植生群落高（m）、 β は切片、 β_T 、 β_H はそれぞれ T と H の係数である。なお、植生群落高と被度とは強い相関があったため、ここでは群落高のみを説明変数に用いた。また、 ε_S は試験地によるランダム効果、 ε_B は試験地内のラインあるいはブロックによるランダム効果、 ε_Q は、各ライン・ブロック内の方形区ごとのランダム効果である。パラメーター σ_S 、 σ_B 、 σ_Q は、それぞれ対応するランダム効果あるいは残差の標準偏差である。簡略化のため、個別の試験地・ブロック・方形区などを示す添字は省略しているが、ランダム効果 ε_B は ε_S に、 ε_Q は ε_B にそれぞれネストするような構造としている。切片および係数の事前分布は、各要素とも無情報事前分布 $\beta \sim \text{Normal}(0, 100^2)$ とした。各標準偏差の事前分布は弱情報事前分布 $\sigma \sim \text{HalfNormal}(0, 10^2)$ とした（ここで HalfNormal は半正規分布）。なお、Stan により記述したモデルは List S1 である。

モデル 2

次に、カンパ類のみの稚樹数に対して、地がき処理の有無および植生群落高、カンパ類成木からの距離がどの程度の影響を及ぼしているかを評価するための解析を行なった。カンパ類の稚樹が確認されなかった小方形区が多かったことから、この解析ではゼロ過剰ポアソンモデルを使用した。ゼロ過剰ポアソンモデルは、通常のポアソン分布よりもゼロが多く含まれるデータについて、過剰なゼロが別の確率分布に従って生成さ

れると仮定してモデル化するものである（松浦 2016）。
具体的には以下のようなモデルとした。

$$\begin{aligned} N &\sim \text{Poisson}(z\lambda) \\ z &\sim \text{Bernoulli}(\omega) \\ \log(\lambda) &= \beta + \beta_T T + \beta_H H + \beta_D D + \varepsilon_S + \varepsilon_B + \varepsilon_Q \\ \text{logit}(\omega) &= \beta_\omega + \beta_{\omega D} D \end{aligned}$$

ここで、 N は各小方形区で観測されたカンバ類稚樹数、 λ はカンバ類稚樹数の期待値である。 z はカンバ類稚樹が存在しうるかを示すパラメーターであり、2 値 (0/1) をとる。 $z=0$ は、たとえば生育不適地であるとか、種子が散布されていないなどの理由でそもそも存在しえないことを示し、常に $N=0$ となる。これが過剰なゼロをモデル化した部分である。一方、 $z=1$ は、カンバ類稚樹が少なくとも潜在的には存在しうることを示す。この場合も、期待値 λ のポアソン分布により確率的に $N=0$ となる場合がある。Bernoulli はベルヌーイ分布であり、 ω は 0 から 1 の間の値をとる実数で、 $z=1$ となる確率、すなわちカンバ類稚樹が存在しうる確率である。 D はカンバ類成木からの距離 (100m を 1 単位とする) である。また、ロジット変換した ω について β_ω が切片、 $\beta_{\omega D}$ が D の係数となるような線形の関係性を定義した。その他の変数およびパラメーターはモデル 1 と同じである。Stan により記述したモデルは List S2 である。

モデル中の各パラメーターは、MCMC 法により推定した。モデル 1 では長さ 2000 のマルコフ連鎖を生成し、後半の 1000 個をサンプルとして使用した。モデル 2 では長さ 3000 のマルコフ連鎖を生成し、後半の 2000 について 1 つおきにサンプルとして使用した。モデル 1、2 とも、それぞれ 4 本のマルコフ連鎖を生成したので、

ともにサンプルの大きさは 4000 である。

3. 結果

各試験地周囲のカンバ類成木の密度を Table 2 に示す。カンバ類成木密度は、7.9 ~ 40.0 本/ha の範囲であった。また、幾寅試験地と恵庭試験地のカンバ類の種子散布の状況を Fig. 2 に示す。幾寅試験地では 2017 年に 282 ± 188 粒/ m^2 (平均 $\pm$ 標準偏差) のシラカンバ種子が、恵庭試験地では 2016 年に 196 ± 180 粒/ m^2 (平均 $\pm$ 標準偏差) のシラカンバ種子がそれぞれ散布されていた。

各試験地における植生の被度と群落高、優占種を Table 3 に示す。植生の群落高は幾寅 (Photo 1)、歌登、下川の 3 カ所で比較的高く、恵庭 (Photo 2)、留萌で比較的低いという傾向があった。また、いずれの試験地においても、地がき方形区で被度および群落高の平均がより小さかった。幾寅試験地では、地がき実施翌年にはオニルリソウが繁茂していたが、2 年目以降ではエゾイチゴやクマイザサ、ヨツバヒヨドリが目立つようになった (Table 3)。斜面位置との関係では、とくに顕著な違いは認められなかった。恵庭試験地では実

Table 2. 各試験地周囲のカンバ類成木密度 (本/ha)

試験地名	シラカンバ	ダケカンバ
幾寅	26.9	0.7
恵庭	13.0	0.0
歌登	20.0	0.8
下川	1.6	6.3
留萌	0.0	40.0

ウダイカンバは観察されなかった。

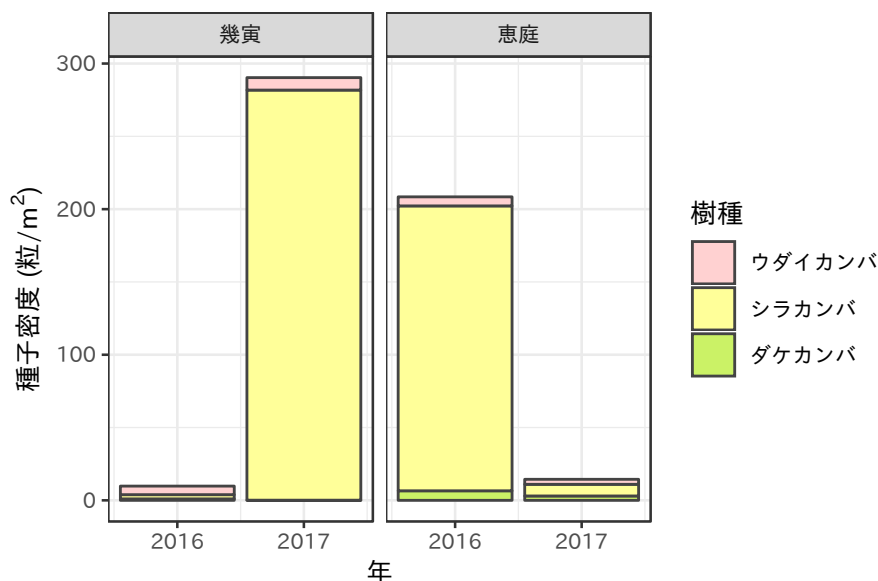


Fig. 2. 幾寅試験地と恵庭試験地の散布種子密度

Table 3. 各試験地の植生の被度と群落高、優占種

試験地	処理	被度		群落高 (m)		優占種
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	
幾寅	無処理	0.92	0.18	0.78	0.20	エゾイチゴ
	地がき	0.86	0.15	0.68	0.17	エゾイチゴ
恵庭	無処理	0.90	0.09	0.43	0.12	クマイザサ
	地がき	0.56	0.26	0.28	0.13	ヒカゲスゲ
歌登	無処理	0.84	0.12	0.86	0.26	クマイザサ
	地がき	0.76	0.17	0.58	0.16	エゾイチゴ
下川	無処理	0.87	0.15	0.77	0.38	クマイザサ・チシマアザミ
	地がき	0.57	0.19	0.41	0.14	エゾイチゴ
留萌	無処理	0.23	0.15	0.24	0.09	オクヤマザサ
	地がき	0.09	0.07	0.15	0.07	オクヤマザサ

施翌年には競合植生はあまり目立たず、2年目には地がき方形区ではヒカゲスゲ・ヒゴクサなどのスゲ類が、無処理方形区ではクマイザサが目立った (Table 3)。なお、橋本・藤木 (2014) によれば、これらのうちオニルリソウはニホンジカの不嗜好性植物、それ以外のエゾイチゴ・クマイザサ・ヨツバヒヨドリ・ヒカゲスゲ・ヒゴクサはいずれも採食植物に挙げられている。恵庭試験地では、スゲ類などにシカによるものと思われる食痕が認められた。

地がき実施後2年目の各調査地における、処理の有無ごとの主要樹種の稚樹密度を Fig. 3 に示す。また、各試験地における各樹種の稚樹数を Appendix Table 1 に掲載する。留萌試験地を除くと、全樹種でもカンバ

類のみでも、地がき処理をおこなった方形区で稚樹密度がより高い傾向があった。処理の有無をプールした、すべての樹種を含めた稚樹密度とカンバ類のみの稚樹密度、また高さ 30cm 以上に限ったそれぞれの稚樹密度を Table 4 に示す。もっとも稚樹密度の高かった留萌試験地では、樹種別にみるとトドマツの稚樹密度がもっとも高く、18.1 本/m² であった。次に稚樹密度が高かった下川試験地では、キハダの稚樹密度がもっとも高く、6.2 本/m²、歌登試験地ではトドマツの稚樹密度がもっとも高く、9.5 本/m² だった。幾寅試験地と恵庭試験地では、カンバ類の比率が相対的に高かった。

ベイズ統計モデルの MCMC 計算は、モデル 1、2 とともに、Gelman-Rubin 統計量 (Rhat; Gelman and Rubin 1992,

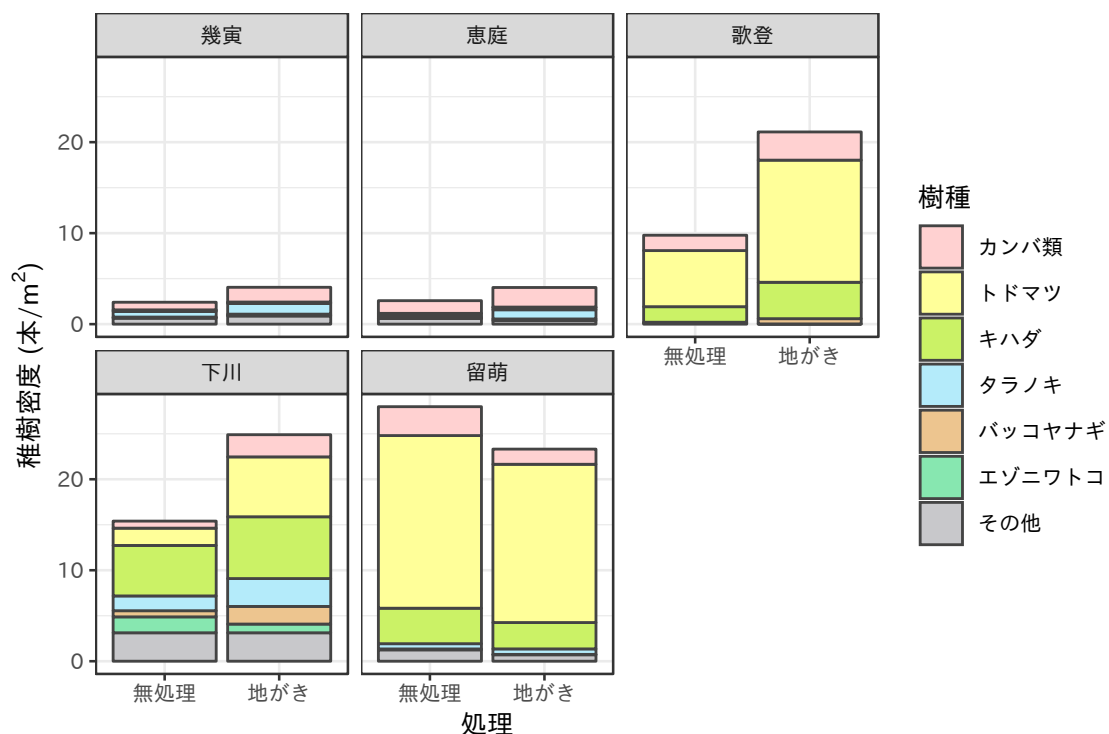


Fig. 3. 各試験地における、地がき処理の有無と更新2年目の主要樹種の稚樹密度との関係

Table 4. 各試験地の稚樹密度 (本/m²、上段はすべての樹種、下段括弧内はカンバ類のみ)

試験地	測定対象全体の 稚樹密度	高さ30cm以上の 稚樹密度
幾寅	3.2 (1.2)	0.52 (0.35)
恵庭	3.4 (1.8)	0.06 (0.02)
歌登	14.9 (2.3)	0.59 (0.22)
下川	20.6 (1.7)	0.92 (0.00)
留萌	25.4 (2.4)	0.03 (0.01)

Brooks and Gelman 1998) の値が全てのパラメーターについて 1.1 よりも小さく、マルコフ連鎖は定常分布に収束したと考えられた。ベイズ統計モデルのモデル 1 により推定された主要なパラメーターの事後分布の要約統計量の値を Table 5 に、モデル 2 については Table 6 にそれぞれ示す。

全樹種の稚樹密度を対象としたモデル 1 の結果についてみると、地がきによる稚樹密度の効果 β_T の 95% 信用区間は 0.07 ~ 0.51 であり (Table 5)、地がきは稚樹密度を増加させる効果を持っていると考えられた。事後平均値は 0.29 であったが、この値は、地がきを施すことにより稚樹密度がおよそ 1.3 倍 ($=\exp(0.29)$) となることに相当する。また、植生群落高 (m) による稚樹密度の効果 β_H の 95% 信用区間は -1.04 ~ -0.01 であり、植生群落高が高くなると稚樹密度が減少するという関係があると考えられた。事後平均値は -0.53 であったが、この値は、群落高が 1m 高くなると、稚樹数が 0.59 倍 ($=\exp(-0.53)$) となることに相当する。

カンバ類のみを対象としたモデル 2 の結果についてみると、 β_T の 95% 信用区間は 0.02 ~ 0.67、事後平均

値は 0.34 であり (Table 6)、地がきはカンバ類稚樹密度を増加させる効果を持っていると考えられた。植生群落高と方形区 (2m×2m) ごとのカンバ類稚樹密度との関係を Fig. 4 に示す。 β_H の 95% 信用区間は -2.05 ~ -0.54 で (Table 6)、植生群落高が高くなるとカンバ類稚樹密度が減少するという関係があると考えられた。事後平均値は -1.29 であり、これは群落高が 1m 高くなると、カンバ類稚樹密度が 0.28 倍 ($=\exp(-1.29)$) に減少することを示す。もっとも近いカンバ類成木からの距離 (100m を単位) による稚樹密度への効果 β_D の 95% 信用区間は -4.85 ~ -1.00 であり (Table 6)、カンバ類成木から離れるとカンバ類稚樹密度が減少する傾向があることを示した。もっとも近いカンバ類成木 (DBH 20cm 以上) までの距離と方形区ごとのカンバ類稚樹密度との関係を Fig. 5 に示す。事後平均値は -2.86 であったが、これはカンバ類成木から 10m 離れると、稚樹密度が 25% 減少する ($0.75=\exp(-2.86 \times 0.1)$) という値である。カンバ類成木からの距離がカンバ類稚樹の潜在的な存在に及ぼす効果 β_{oD} の 95% 信用区間は -2.42 ~ 3.70、事後平均値は 0.54 であり (Table 6)、成木からの距離はカンバ類稚樹の存在自体に大きな効果を及ぼしているとは認められなかった。

4. 考察

今回の結果では、カンバ類の稚樹密度 (樹高 5cm 以上) は 1.2 ~ 2.4 本/m² (Table 4、Fig. 3)、すなわち 1.2 ~ 2.4 万本/ha であった。既往の研究例では、地がき実施後 4 ~ 6 年程度でのカンバ類稚樹密度は 5 万本/ha から 100 万本/ha 以上であり (三好 1978, 松田・滝川 1985, 原田ら 2008)、これらと比較すると、今回の結果では密度が低かったと考えられる。具体的な樹種についてみると、幾寅・恵庭・歌登ではシラカンバが多かった (Appendix Table 1)。下川・留萌については周囲の成木の状況 (Table 2) からみて、ダケカンバが多かったと考えられる。

統計モデリングの結果からは、全樹種についてみて

Table 5. モデル 1 の主要なパラメーターの事後分布の要約統計量

パラメーター	説明	平均	標準偏差	分位点					Rhat
				2.5%	25%	50%	75%	97.5%	
β	切片	2.17	0.92	0.41	1.73	2.16	2.61	3.95	1.00
β_T	処理の係数	0.29	0.11	0.07	0.22	0.29	0.36	0.51	1.00
β_H	植生高の係数	-0.53	0.26	-1.04	-0.70	-0.53	-0.36	-0.01	1.00
σ_S	試験地のランダム効果の標準偏差	1.65	1.06	0.66	1.01	1.35	1.93	4.51	1.00
σ_B	ブロック/ベルトのランダム効果の標準偏差	0.29	0.09	0.15	0.23	0.28	0.34	0.49	1.03
σ_Q	方形区のランダム効果の標準偏差	0.65	0.04	0.58	0.63	0.65	0.68	0.73	1.01

Table 6. モデル 2 の主要なパラメーターの事後分布の要約統計量

パラメーター	説明	平均	標準偏差	分位点					Rhat
				2.5%	25%	50%	75%	97.5%	
β	カンバ類稚樹数の切片	1.45	0.52	0.54	1.14	1.42	1.73	2.50	1.00
β_T	カンバ類稚樹数に対する処理の係数	0.34	0.17	0.02	0.23	0.34	0.45	0.67	1.00
β_H	カンバ類稚樹数に対する植生高の係数	-1.29	0.39	-2.05	-1.56	-1.30	-1.03	-0.54	1.00
β_D	カンバ類稚樹数に対するカンバ成木までの距離の係数	-2.86	1.01	-4.85	-3.56	-2.83	-2.18	-1.00	1.00
β_ω	カンバ類稚樹の存在の切片	1.73	0.40	0.99	1.45	1.70	1.99	2.56	1.00
$\beta_{\omega D}$	カンバ類稚樹の存在に対するカンバ成木までの距離の係数	0.54	1.52	-2.42	-0.49	0.54	1.48	3.70	1.00
σ_S	試験地のランダム効果の標準偏差	0.50	0.51	0.02	0.18	0.37	0.63	1.78	1.00
σ_B	ブロック/バルトのランダム効果の標準偏差	0.57	0.15	0.32	0.47	0.56	0.66	0.92	1.00
σ_Q	方形区のランダム効果の標準偏差	0.87	0.06	0.75	0.83	0.87	0.92	1.00	1.01

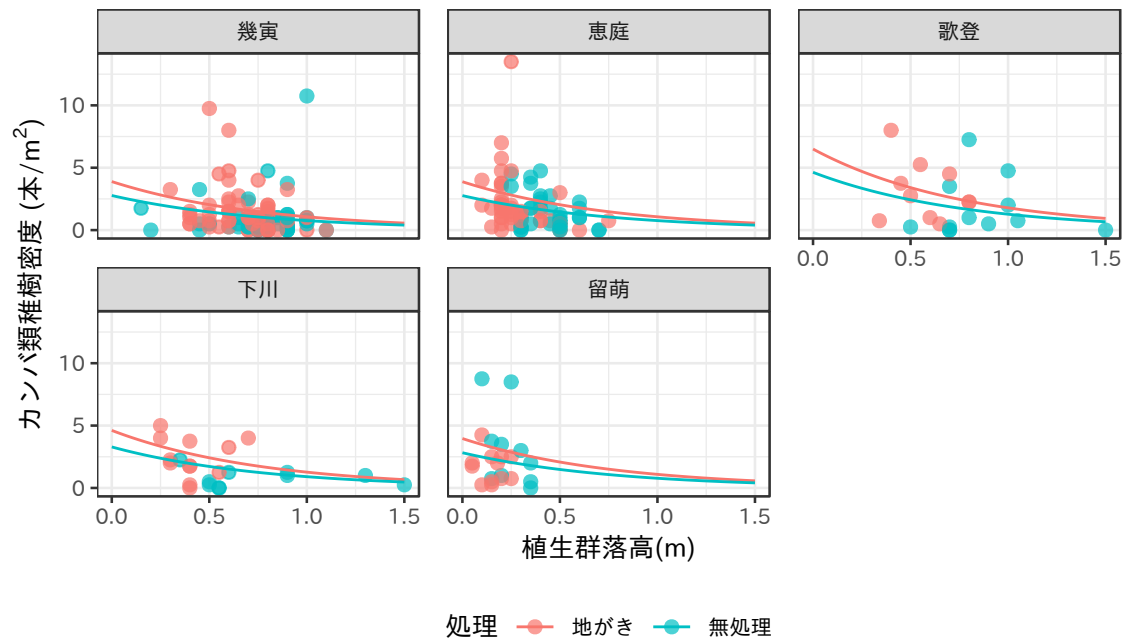


Fig. 4. 植生群落高とカンバ類稚樹密度との関係。

赤の点は地がき方形区の実測値を、青緑の点は無処理方形区の実測値をそれぞれ示す。また、曲線は、ベイズ統計モデル（モデル 2）で推定されたパラメーターの事後平均値を用いて、地がき方形区（赤）および無処理方形区（青緑）についての、もっとも近いカンバ類成木までの距離を 10m としたときのカンバ類稚樹密度の期待値との関係を示したものである。

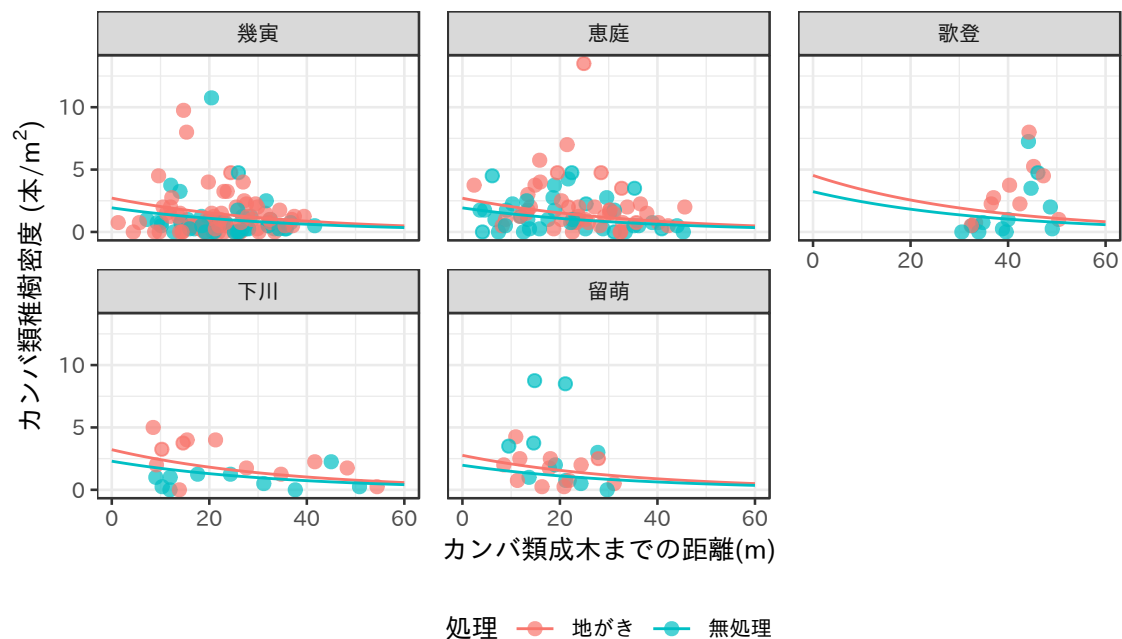


Fig. 5. もっとも近いカンパ類成木からの距離とカンパ類稚樹密度との関係。

赤の点は地がき方形区の実測値を、青緑の点は無処理方形区の実測値をそれぞれ示す。また、曲線は、ベイズ統計モデル（モデル 2）で推定されたパラメーターの事後平均値を用いて、地がき方形区（赤）および無処理方形区（青緑）についての、植生群落高を 0.5m としたときの、もっとも近いカンパ類成木までの距離とカンパ類稚樹密度との関係を示したものである。

も、カンパ類に限ってみても、地がきにより稚樹密度が高くなること、また植生群落高が高いところで稚樹密度が低くなる傾向があることが示された（Table 5, 6）。植生群落高による稚樹密度への負の影響は、全樹種について評価した場合よりもカンパ類において大きいと考えられ、カンパ類が、競合する植生の影響を強く受けることが示唆された。競合植生は地がきにより抑制されたと考えられ（Table 3, Fig. 4）、この効果を通じてさらに地がきがカンパ類の稚樹密度の増加に貢献した可能性が考えられる。ただし、植生とカンパ類稚樹密度との関係にはばらつきが大きく、期待値としては競合植生の発達によりカンパ類稚樹密度は下がるといっても、不確実性は大きいと考えられる（Fig. 4 および Table 6 の β_H の信用区間）。

今回の試験におけるカンパ類の稚樹が過去の研究例と比較して少ない理由としては、散布種子の量によっても制限されたという可能性も考えられる。今ら（2013）が、北海道において、広葉樹林に隣接するトドマツ林内で広葉樹の散布種子密度を研究した例では、シラカンパの散布種子密度は母樹の近傍で数百～数千粒/m²であり、母樹から 50m 程度離れると、十～数百/m²程度であった。母樹から遠くなると、稚樹の発生数が減少することはありうると考えられる。一方、小山・矢島（1989）では、カンパ類など広葉樹の稚樹の分布について、母樹からの距離と明瞭な関係は認められなかったと述べている。小山・矢島（1989）は、地がき

後 7～8 年目の結果であり、今回の 2 年目の結果ではまだ初期の種子散布量の影響が相対的に大きく残っているという可能性が考えられる。ただし、Fig. 5 や、 β_D の信用区間をみてもわかるように、期待値としては成木からの距離が離れるとカンパ類稚樹密度は下がるといえても、不確実性は大きいと考えられる。

幾寅試験地および恵庭試験地で 2 年間に観察されたカンパ類の散布種子密度は、調査期間中の高かった年でも 200～300 粒/m² 程度であった（Fig. 2）。なお、幾寅試験地における 2015 年の密度は台風被害のため不明ではあるが、トラップ内に残存していたカンパ類種子の密度は 104 粒/m² であった。既往の研究例では、カンパ類の散布種子密度は数千～数万粒/m² という例が多い（松田・滝川 1985, 北原ら 1986, 1988, Osumi and Sakurai 1997）。これらの結果と比較すると、幾寅・恵庭の両試験地におけるカンパ類の散布種子密度は低かったと考えられる。

競合植生と種子散布量の影響の相対的な大小関係をみるため、幾寅試験地の近隣の、同じ年に地がきを実施したが競合植生が発達していない林分で 2018 年に補助的な調査を実施した（伊東宏樹 未発表）。地がきの際、はぎとった表土を戻さなかったこの林分では、競合植生は発達していなかったにもかかわらず、地がき 3 年後の、樹高 5cm 以上のカンパ類の密度は 0.5 本/m² で、やはり少なかった。発芽率や初期生残率が同様であったとするならば、幾寅試験地では競合植生の影響

よりも、種子散布量が少なかったためにカンバ類稚樹密度が低かった可能性が高いことになる。

結論として、トドマツ人工林の主伐後に地がきを実施することは、カンバ類をはじめとする木本種の稚樹密度を増加させる効果があると考えられる。地がきはまた、競合植生の抑制を通じて稚樹密度を増加させる効果があると考えられる。ただし、カンバ類の散布種子密度が低い場合には、地がきをしてもカンバ類の十分な稚樹密度が得られない可能性がある。その対策としては、母樹となりうるカンバ類の成木が近隣に十分にあることを確認し、それらを残すようにすることが必要となろう。既往の研究例から類推すると、30～70本/ha以上の密度があることが望ましい（伊藤ら2018）。そのような成木が少ない場合や、また種子生産の年変動（豊凶）のために散布種子量が少ない場合には、地がき後に播種をおこなうなどして、確実な更新を図ることも検討すべきであろう。また、地がき後に競合植生が発達するような場所でも、更新が阻害されるおそれがあると考えられる。そのような場合には、競合植生の刈り払いなどにより、稚樹を確実に成長させるといった更新補助作業が必要になる場合もある。このように、想定される不確実性に対処することを施業前に想定して、順応的管理を前提とした天然更新の計画を立てることが必要であると考えられる。

謝 辞

本研究にあたり、北海道森林管理局ならびに森林技術・支援センター、宗谷森林管理署、留萌南部森林管理署、上川北部森林管理署、上川南部森林管理署、石狩森林管理署には、国有林の使用許可や現地調査などにおいて協力をいただいた。また、森林総合研究所北海道支所職員の方々には現地調査への協力や研究全般への助言などをいただいた。とくに、橋本徹・伊藤江利子の両博士には、草稿を読んでいただき、貴重なご意見をいただいた。ここにお礼申し上げる。

本研究は、(国研)森林研究・整備機構森林総合研究所交付金プロジェクト(課題番号201420)の成果である。

引用文献

- 青柳 正英(1983) 道有林の「かき起こし」の実態. 北方林業, 35, 49-53.
- Brooks, S.P. and Gelman, A. (1998) General Methods for Monitoring Convergence of Iterative Simulations. J. Comput. Graph. Stat., 7, 434-455.
- Gelman, A. and Rubin, D.B. (1992) Inference from iterative simulation using multiple sequences. Stat. Sci., 7, 457-472.
- 原田 茜・吉田 俊也・Victor Reco de Dios・野口 麻穂

- 子・河原 輝彦(2008) 北海道のササ掻き起こし地における施工後6～8年の高木性樹種の動態. 日林誌, 90, 397-403.
- 橋本 佳延・藤木 大介(2014) 日本におけるニホンジカの採食植物・不嗜好性植物リスト. 人と自然, 25, 133-160.
- 橋本 徹・相澤 州平・伊藤 江利子(2016) グラップルレーキによる地掻き後の土壌断面形態. 北方森林研究, 64, 53-56.
- 伊藤 江利子・橋本 徹・相澤 州平・石橋 聡(2018) 北海道における地がき更新補助作業と今後の課題. 森林立地, 60, 71-82.
- 北原 曜・真島 征夫・清水 晃(1986) 林道切取法面における木本侵入の初期過程(I) —裸地法面におけるカンバ類侵入阻害要因—. 日林誌, 68, 171-179.
- 北原 曜・真島 征夫・清水 晃(1988) 林道切取法面における木本侵入の初期過程(II) —法面造成後2～4年目の結果—. 日林誌, 70, 273-277.
- 小池 孝良・龍田 慎平・渡辺 誠・齋藤 秀之・北尾光俊(2010) 北海道産ダケカンバとシラカンバの成長特性. 日林北支論, 58, 23-24.
- 今 博計・明石 信廣・南野 一博・倉本 恵生・飯田滋生(2013) 北海道中央部の広葉樹林に隣接するトドマツ人工林での種子散布. 日生態会誌, 63, 211-218.
- 小山 浩正・矢島 崇(1989) かき起こし地における侵入樹木の分布様式と階層構造の推移. 日林北支論, 37, 55-57.
- 倉本 恵生・伊東 宏樹・関 剛・津山 幾太郎・石橋聡(2018) トドマツ人工林主伐後の重機による地表処理における処理幅と作業方向による作業効率と植生除去効果の違い. 森林誌, 33, 5-13.
- 松田 彊・滝川 貞夫(1985) ササ地の天然更新補助作業に関する実証的研究. 北大農演報, 42, 909-940.
- 松浦 健太郎(2016) Stan と R でベイズ統計モデリング. 共立出版, 264pp.
- 三好 英勝(1978) 天然林かき起こし作業による稚樹の発生と成長. 北方林業, 30, 39-42.
- 三好 英勝(1996) 道有林におけるかき起こし作業の成果. 北方林業, 48, 105-108.
- Osumi, K. and Sakurai, S. (1997) Seedling emergence of *Betula maximowicziana* following human disturbance and the role of buried viable seeds. For. Ecol. Manag., 93, 235-243.
- QGIS Development Team (2017) QGIS geographic information system. Open source geospatial foundation project. <http://www.qgis.org> (2018年8月24日確認)
- 佐々木 忠兵衛・渡邊 定元・倉橋 昭夫(1990) 北海道産カンバ類3種のとりまき及び埋土種子の発芽特性. 北海道の林木育種, 33(1), 29-32.
- Stan Development Team (2017) Stan modeling language user's guide and reference manual. <http://mc-stan.org> (2018年8

月 24 日確認)

田畑 あずさ・原 登志彦 (2015) 異なる土壌水分条件下でのカバノキ属ダケカンバとシラカンバの個体生長と水分生理特性. 低温科学, 73, 115-123.

Tabata, H. (1966) A contribution to the biology of Japanese birches. Mem. Coll. Sci. Univ. Kyoto Ser. B, 32, 239-271.

梅木 清 (2003) 北海道における天然林再生の試みーかき起こし施業の成果と課題ー. 日林誌, 85, 246-251.

補足電子資料

以下はオンライン版のみの掲載となります。

<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/bulletin/452/index.html>

List S1. モデル 1 のパラメーター推定をおこなう Stan プログラム

List S2. モデル 2 のパラメーター推定をおこなう Stan プログラム

付録

Appendix Table 1. 各試験地における、地がきの有無ごとの出現稚樹の樹種と数

試験地 処理		幾寅			恵庭			歌登			下川			留萌			合計
		無処理	地がき	合計	無処理	地がき	合計	無処理	地がき	合計	無処理	地がき	合計	無処理	地がき	合計	
調査面積 (m ²)		224	224	448	152	176	328	48	40	88	40	48	88	40	48	88	1040
和名	学名																
シラカンバ	<i>Betula platyphylla</i> Sukaczew var. <i>japonica</i> (Miq.) H.Hara	168	332	500	203	368	571	81	124	205	-	-	-	-	-	-	1276
ウダイカンバ	<i>Betula maximowicziana</i> Regel	17	28	45	9	11	20	0	0	0	-	-	-	-	-	-	65
ダケカンバ	<i>Betula ermanii</i> Cham.	3	3	6	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	6
カバノキ属*合計	<i>Betula</i> spp.	188	363	551	212	379	591	81	124	205	31	117	148	127	80	207	1702
トドマツ	<i>Abies sachalinensis</i> (F.Schmidt) Mast.	14	13	27	5	11	16	296	537	833	76	316	392	759	835	1594	2862
キハダ	<i>Phellodendron amurense</i> Rupr.	26	24	50	43	41	84	82	160	242	222	326	548	156	139	295	1219
タラノキ	<i>Aralia elata</i> (Miq.) Seem.	137	261	398	33	178	211	0	0	0	65	147	212	23	29	52	873
ヤチダモ	<i>Fraxinus mandshurica</i> Rupr.	93	99	192	5	0	5	0	0	0	29	17	46	0	0	0	243
バッコヤナギ	<i>Salix caprea</i> L.	8	27	35	1	32	33	5	23	28	27	93	120	4	0	4	220
エゾニワトコ	<i>Sambucus racemosa</i> L. subsp. <i>kamtschatica</i> (E.L.Wolf) Hultén	20	18	38	1	0	1	0	0	0	70	46	116	0	2	2	157
イタヤカエデ†	<i>Acer pictum</i> Thunb.	3	4	7	7	4	11	1	0	1	14	37	51	0	2	2	59
ミズナラ	<i>Quercus crispula</i> Blume	4	2	6	18	19	37	0	0	0	4	7	11	1	0	1	55
ヤマグワ	<i>Morus australis</i> Poir.	12	28	40	6	2	8	0	0	0	0	1	1	5	0	5	54
オノエヤナギ	<i>Salix udensis</i> Trautv. et	13	31	44	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48
ホオノキ	<i>Magnolia obovata</i> Thunb.	4	5	9	0	2	2	0	0	0	2	1	3	20	14	34	48
キタコブシ	<i>Magnolia kobus</i> DC. var. <i>borealis</i> Sarg.	1	4	5	8	7	15	0	0	0	3	15	18	0	1	1	39
アオダモ	<i>Fraxinus lanuginosa</i> Koidz. f. <i>serrata</i> (Nakai) Murata	0	0	0	9	0	9	0	0	0	11	17	28	0	0	0	37
オオカメノキ	<i>Viburnum furcatum</i> Blume ex Maxim.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	6	28	4	2	6	34
ハリギリ	<i>Kalopanax septemlobus</i> (Thunb.) Koidz.	2	3	5	0	1	1	2	0	2	0	2	2	12	5	17	27
ミヤマザクラ	<i>Cerasus maximowiczii</i> (Rupr.) Kom.	0	0	0	15	9	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
コシアブラ	<i>Chengiopanax</i> <i>sciadophylloides</i> (Franch. et Sav.) C.B.Shang et J.Y.Huang	0	0	0	3	0	3	0	0	0	2	5	7	5	8	13	23
ハルニレ	<i>Ulmus davidiana</i> Planch. var. <i>japonica</i> (Rehder) Nakai	6	11	17	0	0	0	0	0	0	0	6	6	0	0	0	23
シナノキ	<i>Tilia japonica</i> (Miq.) Simonk.	1	2	3	1	1	2	0	0	0	5	9	14	0	0	0	19
エゾマツ	<i>Picea jezoensis</i> (Siebold et Zucc.) Carrière	0	0	0	0	16	16	0	1	1	0	0	0	0	0	0	17
カラマツ	<i>Larix kaempferi</i> (Lamb.) Carrière	2	8	10	0	1	1	0	0	0	0	4	4	0	0	0	15
トネリコ属‡	<i>Fraxinus</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	6	11	2	0	2	13
イヌエンジュ	<i>Maackia amurensis</i> Rupr. et Maxim.	0	0	0	10	1	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
カツラ	<i>Cercidiphyllum japonicum</i> Siebold et Zucc. ex Hoffm. et Schult.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	4	11	0	0	0	11
ミズキ	<i>Cornus controversa</i> Hemsl. ex Prain	0	2	2	2	0	2	0	0	0	0	5	5	0	2	2	11
オオヤマザクラ	<i>Cerasus sargentii</i> (Rehder) H. Ohba	0	0	0	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
ナナカマド	<i>Sorbus commixta</i> Hedl.	2	0	2	0	0	0	2	0	2	3	0	3	1	0	1	8
ハナヒリノキ	<i>Eubotryoides grayana</i> (Maxim.) H. Hara var. <i>grayana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	7	0	0	0	7
ツリバナ	<i>Euonymus oxyphyllus</i> Miq. var. <i>oxyphyllus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	6	0	0	0	6
オヒョウ	<i>Ulmus laciniata</i> (Trautv.) Mayr	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
ヒロハノツリバナ	<i>Euonymus macropterus</i> Rupr.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	3
不明	Unidentified	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2	0	2	0	0	0	3
アズキナシ	<i>Aria alnifolia</i> (Siebold et Zucc.) Decne.	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
ケヤマハンノキ	<i>Alnus hirsuta</i> (Spach) Turcz. ex Rupr. var. <i>hirsuta</i>	0	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
ミネカエデ	<i>Acer tschonoskii</i> Maxim.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	2
不明 (ウコギ科)	Unidentified (Araliaceae)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	2
オニグルミ	<i>Juglans mandshurica</i> Maxim. var. <i>sachalinensis</i> (Komatsu) Kitam.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1
シウリザクラ	<i>Padus ssiroi</i> (F.Schmidt) C.K.Schneid.	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
ノリウツギ	<i>Hydrangea paniculata</i> Siebold	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1
ハウチワカエデ	<i>Acer japonicum</i> Thunb.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1
ヤナギ属‡	<i>Salix</i> sp.	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
合計		727	1270	1997	604	1088	1692	550	969	1519	616	1195	1811	1119	1119	2238	9244

* 下川および留萌では、シラカンバ・ウダイカンバ・ダケカンバの3種について種まで同定せず、カバノキ属として一括した。

† エゾイタヤやアカイタヤを含む、種としての「イタヤカエデ」である。

‡ 属までの同定しかできなかったもの。別に掲載されている種である可能性もある (例:「トネリコ属」はヤチダモやアオダモの可能性もある)。

Effects of soil scarification on regeneration of saplings of birches and other species after clear-cutting of *Abies sachalinensis* plantations

Hiroki ITÔ^{1)*}, Atsushi NAKANISHI¹⁾, Ikutaro TSUYAMA¹⁾, Takeshi SEKI¹⁾,
Shigeo KURAMOTO²⁾, Shigeo IIDA³⁾ and Satoshi ISHIBASHI¹⁾

Abstract

The aim of the present study was to determine which factors affect the natural regeneration of tree species such as birch *Betula* spp. after clear-cutting *Abies sachalinensis* plantations in Hokkaido, Japan. To achieve this, the relationships between sapling density and the factors such as the presence/absence of scarification, the height of the undergrowth, and, in the case of birch saplings, the distance from adult birch trees were analyzed at five study sites. Sapling density was positively correlated with scarification and negatively correlated with undergrowth height, and scarification suppressed the height of the undergrowth. In addition, the density of birch saplings was negatively correlated with the distance from the adult trees. However, the density of birch saplings at the study sites was lower than has previously been recorded in preceding studies, indicating that the natural regeneration of this species may not be successful. This will have been due to a lower density of dispersed seeds.

Key words: birch, dispersed seed density, scarification, natural regeneration, saplings

Received 28 November 2018, Accepted 10 July 2019

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

2) Department of Forest Vegetation, FFPRI

3) Kyushu Research Center, FFPRI

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

論文 (Original article)

日本の山菜 10 種、11 部位のセシウム 137 の食品加工係数と食品加工残存係数：長期保存のためのレシピが放射性セシウム量を最も減らした

清野 嘉之^{1)*}、赤間 亮夫²⁾

要旨

¹³⁷Cs 量に及ぼす調理影響の解明を目的に 2011 年福島第一原発事故で被ばくした土地の山菜 10 種 11 部位 [スギナ胞子茎 (ツクシ)、フキの花蕾 (フキノトウ) と葉柄、イタドリ、ウド、モミジガサ、ハンゴンソウ、ワラビ、ゼンマイ、コシアブラ、タラノキの新芽] を調理した。湯浸しはイタドリの ¹³⁷Cs 量を減らし [食品加工残存係数 Fr (調理後 / 調理前検体 ¹³⁷Cs 量比) が 0.14 ± 0.11 (平均値と標準偏差)]、塩茹ではフキノトウ、ウド、モミジガサ、コシアブラ、タラノキの ¹³⁷Cs 量を減らした (Fr の範囲 $0.41 \pm 0.14 \sim 0.99 \pm 0.09$)。重曹によるあく抜きはワラビ ($Fr = 0.089$)、ゼンマイ ($Fr = 0.32 \pm 0.04$) の ¹³⁷Cs 量を減らし、ゼンマイの長期保存のための乾燥重曹あく抜きはゼンマイの ¹³⁷Cs 量を著しく減らした ($Fr = 0.009 \pm 0.012$)。塩漬け-塩抜きもワラビ、ゼンマイ、コシアブラの ¹³⁷Cs 量を著しく減らした (Fr の範囲 $0.016 \pm 0.015 \sim 0.041 \pm 0.012$)。しかし、ハンゴンソウでは効果が小さかった ($Fr = 0.24 \pm 0.15$)。食用に不適な部位の除去と天ぷらに特段の ¹³⁷Cs 削減効果はなかった。削減効果は長期保存調理法である乾燥重曹あく抜きと塩漬け-塩抜きが最大であった。

キーワード：塩茹で、塩漬け-塩抜き、 Fr 、 Pf 、あく抜き、湯浸し、天ぷら

1. はじめに

チェルノブイリ原子力発電所事故の後、ヨーロッパでは野生のベリー類や蜜源植物の放射能汚染が問題視された (Assmann-Werthmüller et al. 1991, Lehto et al. 2013)。日本は生物相が豊か (Conservation International Japan 2005) で、食用になる野生植物が 300 種を超える。それらは山菜と呼ばれる (池田 1984, 林野庁 2004)。木の芽は生のまま食べ、ウドは汁の実や天ぷら、キイチゴはジャム、ゼンマイやワラビはあく抜きして食べるなど調理法は多様である。雪国では春以外の季節にも食べられるよう、乾燥や塩漬けなど長期保存用の調理技術が発達している。

2011 年 3 月の東京電力福島第一原子力発電所事故の後、日本の山菜について調理が放射性セシウムの濃度や総量に及ぼす影響が調べられた (桑守ら 2014, 中日新聞東京本社 2016, 長谷川・竹原 2016, 鍋師ら 2016, 田上・内田 2012, 2015)。これらの研究から山菜の放射性セシウムを調理で減らせる場合があり、調理も野生山菜を安全に利用するための手段になることが示唆される。しかし、たくさんある日本の山菜の種や調理法に比べて、既存のデータはわずかである。概要は判明しているが、同じ種でも調理法によって放射性セシウムの状態への影響は異なると推察される。市場に流通している山菜でも調理の影響が未知のものがある。そこで、本研究では、新芽を食べる山菜を対象に、報告

のないイタドリ、モミジガサ、ハンゴンソウを含む 10 種 11 部位への調理の影響を明らかにすることを目的に、それぞれの種の下準備 (食用に不適な部位の除去) を含む代表的調理法のセシウム 137 (¹³⁷Cs) の食品加工係数 (Pf ¹³⁷Cs, 調理後 / 調理前 ¹³⁷Cs 乾燥重量濃度比) と食品加工残存係数 (Fr ¹³⁷Cs, 調理後 / 調理前 ¹³⁷Cs 量比) (Kashparov et al. 2009) を求めた。¹³⁷Cs Pf により食材の放射性セシウム濃度、¹³⁷Cs Fr により食材を食べたときの放射性セシウムの摂取量に及ぼす調理の影響をそれぞれ評価できる。

2. 材料と方法

2.1 検体の採取

2015 年 4 ~ 6 月、2016 年 4 ~ 6 月、2017 年 3 ~ 6 月に福島県南会津郡只見町、郡山市、相馬郡飯舘村、双葉郡葛尾村、川内村、大熊町、富岡町、楡葉町、茨城県常陸大宮市、石岡市、つくば市 (Fig. 1) で、食用に適した生育段階のツクシ (スギナ *Equisetum arvense* の胞子茎)、フキノトウ (フキ *Petasites japonicus* の花蕾)、フキの葉柄、イタドリ (*Fallopia japonica*) の新芽、ゼンマイ (*Osmunda japonica*) とワラビ (*Pteridium aquilinum*) の各幼葉、ウド (*Aralia cordata*)、モミジガサ (*Parasenecio delphinifolius*)、ハンゴンソウ (*Senecio cannabifolius*)、タラノキ (*Aralia elata*)、コシアブラ (*Eleutherococcus sciadophylloides*) の各新芽

原稿受付：平成 31 年 2 月 27 日 原稿受理：令和元年 8 月 15 日

1) 森林総合研究所 植物生態研究領域

2) 森林総合研究所 震災復興・放射性物質研究拠点

* 森林総合研究所 植物生態研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里 1

を計 118 検体採取した。野生植物は一般にサイズや発芽の時期が揃わない。小さくひねた新芽か、大きく柔らかい新芽かによって化学成分含有量が異なり(池田ら 2016)、調理による放射性セシウムの削減効果も異なると考えられる。しかし、現時点では山菜の育ち(形質)の影響は明らかでないので、ここでは採取した検体の標準的な生育地と生育状態を記録するにとどめた。モミジガサは水分条件に恵まれた半日蔭に育つものが多かった。他の種は、水分条件が中庸で、林外の日当たりの良い土地(ツクシ、フキ、ワラビ)、林縁(タラノキ、ウド、ハンゴンソウ、イタドリ)、林縁から林内の半日蔭の土地(ゼンマイ、コシアブラ)に育つものが多かった。検体はゼンマイとワラビは地際以上の葉、他の草本は地際以上の茎葉、木本は当年シュート(枝葉)で、決まった一検体、あるいは互いに近接する複数個体ないし群生から採取した。

本研究では、予め重量や放射性セシウム濃度を測定した検体を調理して、調理後の重量、放射性セシウム濃度を測定するのではなく、調理用検体と調理しない検体を対比し、後者を調理用検体の調理前と同じと見做して、「調理前」とした。すなわち、同じ個体(群)の生育段階が同程度の部分を対にして採取して、調理用検体の調理前と調理しない検体を同重量に調整し、両検体の間で放射性セシウム、カリウム濃度は同じと見做して、調理の影響を評価した。

検体採取地を以下、地点と呼ぶ。計 34 地点の気候帯は暖温帯ないし冷温帯で、採取地の地質(産業技術総合研究所地質調査総合センター 2015)は花崗岩類、斑れい岩質の深成岩類、変成岩類、堆積岩類、段丘堆積物のいずれかであった。各地点で地形(斜面上部、中部、下部、また、傾斜角 10 度未満は平坦地に区分)、上木の被覆(疎開地、林縁、林内を目視判定)、空間線量率[地上高 1 m の $\mu\text{Sv h}^{-1}$ 。シンチレーションサーベイメータ(日立アロカメディカル株式会社 TCS-172B)]を記録した。検体採取個体の全体と検体の写真を撮った。検体の長さ(m)を記録した。

地点数で見ると、斜面上部はなく、斜面中部ないし平坦地が 88 %、斜面下部が 13 %、また、森林との関係では疎開地が 27 %、林縁が 51 %、林内が 23 %で、10 種の主要な生育地の範囲を反映していた。空間線量率は $0.06 \sim 12.0 \mu\text{Sv h}^{-1}$ であった。検体長はツクシ 0.16 ± 0.04 m (平均値と標準偏差, SD)、フキノトウ 0.08 ± 0.02 m、フキの葉柄 0.35 ± 0.11 m、イタドリ 0.48 ± 0.30 m、ゼンマイ 0.39 ± 0.17 m、ワラビ 0.46 ± 0.09 m、ウド 0.34 ± 0.05 m、モミジガサ 0.22 ± 0.04 m、ハンゴンソウ 0.27 ± 0 m、タラノキ 0.26 ± 0.08 m、コシアブラ 0.12 ± 0.01 m であった。

2.2 検体の調理法

調理法は 池田ら (2016) を参考にした。調理には水

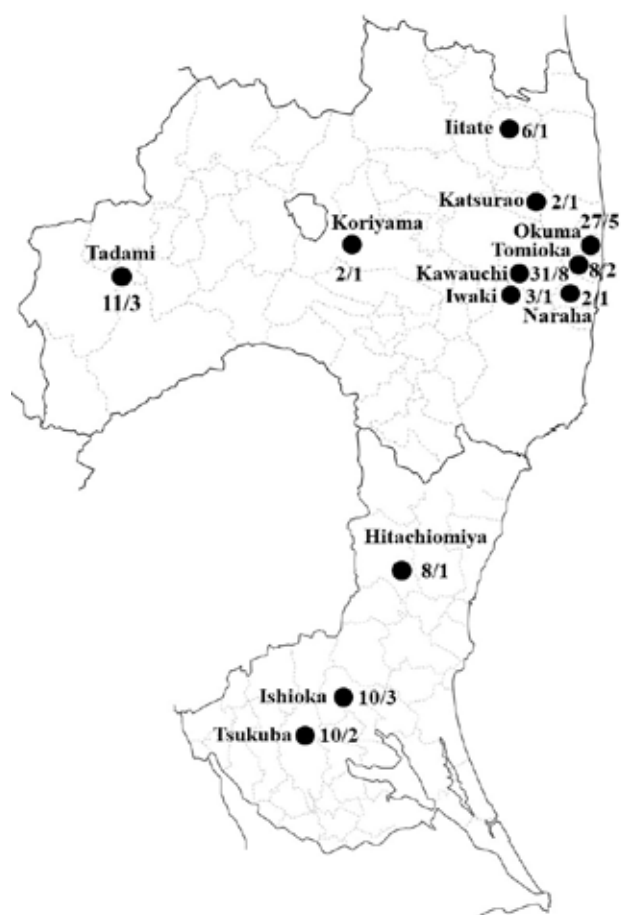


Fig. 1. 食用野生植物の検体を採取した市町村

Localities where the edible wild plant samples were collected.

● 市町村, 検体数/検体植物種数

● Municipalities, number of samples/number of sampled plant species.

道水を使用した。検体は水で軽く洗って土などの汚れを落とし、キッチンペーパーで水を取った後、生重を測定し、室内で調理した。1 検体の生重は 2.5 ~ 249 g であった。

下準備：生の検体から食べるのに適さない部位を除去することを下準備として一括した。下準備の影響評価のため、除去部位も検体とした。ツクシ ($n = 2$) は、はかま(葉鞘)を除去部位、茎と頭(孢子囊穂)を食用部位とした。フキの葉柄 ($n = 13$) は包丁で表皮と主だったすじ(維管束)を剥き、表皮とすじを食べない部分としてまとめて除去部位とした。フキノトウの枯れた苞、ウドの展開葉と固い葉柄は少量であったので切り取って捨て、測定に供さなかった。イタドリ ($n = 6$) は包丁で茎の表皮を剥き、シュートの先端、幼葉とともにまとめて除去部位とした。ワラビ ($n = 3$) は先端(葉身)を食べない地域もあることから、先端、食用部位(まだ柔らかい葉柄)、固く食用に適さない葉柄基部(固くなった葉柄)に分けた。ゼンマイ ($n = 3$) は先端(葉身)を除去部位、葉柄を食用部位とした。綿(綿毛)

は捨てた。モミジガサ、ハンゴンソウ、タラノキ、コシアブラには特段の下準備はしなかった。

湯浸し：下準備したイタドリ ($n = 5$) の重量を測定した後に、包丁で約 0.2 m 長に切り揃え、縦に 2 分割して浅い鍋に入れ、熱湯を被るくらいまで注いで一晩 (12 ~ 15 時間) 置いて水から引き上げた。このとき 3 検体について、強めに握って水をしぼり、重量を測定した。別に、湯浸しした検体それぞれに対応する、同じ下準備を施した調理しない検体を作成した。

塩茹で：フキノトウ ($n = 2$)、ウド ($n = 3$)、モミジガサ ($n = 2$)、タラノキ ($n = 4$)、コシアブラ ($n = 2$) の検体を重量測定した後に、検体ごとに鍋に 1 ~ 1.5 L の湯を沸かし、食塩を 3 ~ 5 g 加え、検体を丸ごと入れて、柔らかくなるまで 1 ~ 2 分茹で、冷水に移して 3 ~ 5 分間さらした後、水から上げた。各種 1 ~ 2 の検体について、強めに握って水をしぼり、重量を測定した。別に、塩茹でした検体それぞれに対応する、同じ下準備を施した調理しない検体を作成した。

あく抜き：下準備したワラビ ($n = 1$) を重量測定した後、葉柄 (食用部位) を重曹 6 g と沸騰したお湯 1.5 L に入れ、ひと煮立ち後、火を止めて一晩 (10 時間) 置き、朝水を替えてひと煮立ちさせ、冷水に移して 2 時間置いた後、水から引き上げた。このとき強めに握って水をしぼり、検体の重量を測定した。ゼンマイは 2 通りのあく抜きを施した。一つはワラビと同じあく抜き ($n = 2$) である。下準備後に重量測定した葉柄を一晩重曹であく抜きし、1 検体について、あく抜きの最後、水から引き上げた際に、強めに握って水をしぼり、重量を測定した。もう一つは長期保存用のあく抜き ($n = 2$) で、下準備後に重量測定した葉柄を重曹 6 g と沸騰したお湯 1.5 L に入れ、ひと煮立ち後、火を止めて一晩 (10 時間) 置いた朝、水から引き上げ、ザルに並べ、乾かしながら繰り返し揉んで、数日かけて良く風乾させてから、ビニール袋に入れて約 4 か月保存した後、鍋で水から茹でて沸騰したら引き上げて揉む工程を 2 回繰り返した後、再度水から茹でて沸騰後 30 時間置き、水から引き上げた。このとき 1 検体について、強めに握って水をしぼり、重量を測定した。別に、あく抜きした検体それぞれに対応する、同じ下準備を施した調理しない検体を作成した。

塩漬け-塩抜き：下準備したワラビ ($n = 2$)、ゼンマイ ($n = 2$)、下準備不要のハンゴンソウ ($n = 2$)、コシアブラ ($n = 2$) を重量測定した後に、各検体に検体生重の 1/4 重量の食塩をまぶし、検体ごとに分けたビニール袋に入れて、冷蔵庫の野菜室 (3 ~ 7 °C) で約 4 か月塩漬けした。その後、薄い塩水から水に替えながら 8 ~ 12 時間水にさらして適度の塩味になるまで塩抜きした。このとき各種 1 検体について、強めに握って水をしぼり、重量を測定した。別に、塩漬け-塩抜きした検体それぞれに対応する、同じ下準備を施した調理しない

検体を作成した。

天ぷら：下準備したフキノトウ ($n = 2$)、タラノキ ($n = 2$)、コシアブラ ($n = 2$) の新芽を重量測定した後に薄力粉を薄く塗した。これに鶏卵 1 個 (約 60 g) に対して水 150 g、薄力粉 200 g (検体に塗した粉を含む) の割合で溶いた衣をつけ、約 170 °C に熱した菜種油で揚げた。タラノキを揚げた後に油を交換してから、フキノトウ (Fig. 2)、コシアブラの順に揚げた。天ぷらの鶏卵や小麦粉は市販品で、その ^{137}Cs 濃度は測っていないが、販売者による検出下限値 3 Bq kg⁻¹ 以下の自主検査で放射性セシウムは検出されていない (<https://www.pal-system.co.jp/item/radiation/?via=j-item-top>)。このため、鶏卵と小麦粉の ^{137}Cs の影響は無視した。別に、天ぷらにした検体それぞれに対応する、同じ下準備を施した調理しない検体を作成した。



Fig. 2. 天ぷらにされているフキノトウ
Flower buds of the wild butterbur, *Petasites japonicus*
made into tempura.

2.3 ^{137}Cs と ^{40}K 濃度の測定

検体は森林総合研究所で熱風乾燥器により 75 °C、48 時間以上の条件で乾燥 (乾燥後の含水率約 4 %, 経験値) させ、重量測定後、U-8、U-9 容器または 0.7 L マリネリ容器に入れ、同軸型ゲルマニウム半導体検出器 (セイコー・イージーアンドジー株式会社 GEM40P4-76) でガンマ線スペクトロメトリにより検体のセシウム 134 (^{134}Cs , 604.66 keV の 1 ピークで算出)、 ^{137}Cs (661.64 keV)、カリウム 40 (^{40}K , 1460.75 keV) のガンマ線エネルギーを計測 (長時間測定時のバックグラウンド補正有り) し、計測誤差、検出下限値とともに含水率 0 % 当たりの濃度を算出した。計測の条件は以下の①~④とした。① ^{137}Cs は計測誤差が 10 % 以内に達した時点の値とし、② ^{134}Cs は計測誤差が 10 % 以下にならない場合でも測定値がバックグラウンドに対して 3 σ で有意になった時点の値とした。③これらの条件を満たさない場合は計測時間 24 時間の値とした。④ ^{40}K は ^{137}Cs や ^{134}Cs の計測を打ち切ったときの値と

した。

^{134}Cs 濃度は 118 検体中 42 検体が検出下限値未満で、検出下限値以上の 76 検体の濃度は $4 \sim 38000 \text{ Bq dry kg}^{-1}$ であった。 ^{137}Cs 濃度は湯浸処理を施したイタドリ 1 検体が検出下限値 (6 Bq dry kg^{-1}) 未満で、他は $4 \sim 150000 \text{ Bq dry kg}^{-1}$ であった。下限値未満の 1 検体の濃度は、検出下限値で代用した。 ^{134}Cs 濃度が検出下限値以上の 76 検体の、 Bq dry kg^{-1} 値の $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 比は 0.25 ± 0.12 (平均値 $\pm$ SD) であった。 ^{40}K 濃度は 36 検体が検出下限値未満で、検出下限値以上の 82 検体の濃度は $10 \sim 4250 \text{ Bq dry kg}^{-1}$ であった。 ^{137}Cs 濃度は全て 2015 年 9 月 1 日を基準日に減衰補正した。

2.4 調理の影響の評価

下準備を含む調理の影響を以下の (1) ～ (8) 式で評価した：

下準備：

下準備後/下準備前検体乾燥重量比 = 食用部位乾燥重量/(除去部位乾燥重量 + 食用部位乾燥重量) ($\text{dry kg}/\text{dry kg}$) (1)

ただし、乾燥重量は含水率 0 % のときの重量 (dry kg)。

下準備 ^{137}Cs Pf = 下準備後 / 下準備前検体乾燥重量当たり ^{137}Cs 濃度 = 食用部位乾燥重量当たり ^{137}Cs 濃度 / [(除去部位乾燥重量当たり ^{137}Cs 濃度 $\times$ 除去部位乾燥重量 + 食用部位乾燥重量当たり ^{137}Cs 濃度 $\times$ 食用部位乾燥重量) / (除去部位乾燥重量 + 食用部位乾燥重量)] ($\text{Bq dry kg}^{-1}/\text{Bq dry kg}^{-1}$) (2)

下準備 ^{137}Cs Fr = 下準備後/下準備前検体 ^{137}Cs 量 = (食用部位乾燥重量当たり ^{137}Cs 濃度 $\times$ 食用部位乾燥重量) / (除去部位乾燥重量当たり ^{137}Cs 濃度 $\times$ 除去部位乾燥重量 + 食用部位乾燥重量当たり ^{137}Cs 濃度 $\times$ 食用部位乾燥重量) ($\text{Bq 検体}^{-1}/\text{Bq 検体}^{-1}$) (3)

下準備 ^{40}K Fr = 下準備後/下準備前検体 ^{40}K 量 = (食用部位乾燥重量当たり ^{40}K 濃度 $\times$ 食用部位乾燥重量) / (除去部位乾燥重量当たり ^{40}K 濃度 $\times$ 除去部位乾燥重量 + 食用部位乾燥重量当たり ^{40}K 濃度 $\times$ 食用部位乾燥重量) ($\text{Bq 検体}^{-1}/\text{Bq 検体}^{-1}$) (4)

湯浸し、塩茹で、あく抜き、塩漬け-塩抜き、天ぷら：

調理後/調理前検体乾燥重量比 = 調理後食用部位乾燥重量/調理しない検体の食用部位乾燥重量 ($\text{dry kg}/\text{dry kg}$) (5)

ただし、調理は湯浸し、塩茹で、あく抜き、塩漬け-塩抜き、天ぷらのいずれか。調理用検体の調理前の食用部位生重量 = 調理しない検体の食用部位生重量。

調理 ^{137}Cs Pf = 調理後/調理前検体乾燥重量 ^{137}Cs 濃度 = 調理後食用部位乾燥重量当たり ^{137}Cs 濃度/調理しない検体の食用部位乾燥重量当たり ^{137}Cs 濃度 ($\text{Bq dry kg}^{-1}/\text{Bq dry kg}^{-1}$) (6)

調理 ^{137}Cs Fr = 調理後/調理前検体 ^{137}Cs 量 = (調理後食用部位 ^{137}Cs 乾燥重量当たり濃度 $\times$ 調理後食用部位乾燥重量) / (調理しない検体の食用部位乾燥重量当たり ^{137}Cs 濃度 $\times$ 調理しない検体の食用部位乾燥重量) ($\text{Bq 検体}^{-1}/\text{Bq 検体}^{-1}$) (7)

調理 ^{40}K Fr = 調理後/調理前検体 ^{40}K 量 = (調理後食用部位 ^{40}K 乾燥重量当たり濃度 $\times$ 調理後食用部位乾燥重量) / (調理しない検体の食用部位 ^{40}K 濃度 $\times$ 調理しない検体の食用部位乾燥重量 ($\text{Bq 検体}^{-1}/\text{Bq 検体}^{-1}$)) (8)

2.5 食品としての放射性セシウム量の推定

事故で放出された $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ Bq 量比 ≈ 1 (河田・山田 2012) であることから、事故以前の大気圏核実験等由来の ^{137}Cs の割合が小さい地域では、事故後の時間と半減期から $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 量比の理論値を計算し、 ^{137}Cs 量から ^{134}Cs 量を推定できる。本研究で基準日とした 2015 年 9 月 1 日の理論値は 0.25 で、本研究の検体で得られた 0.25 ± 0.12 はそれに近い値であった。以下では、簡略のため ^{137}Cs のみを扱うが、必要な場合は、 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 比がほぼ一定であることを利用し、以下の ^{137}Cs 量に 1.25 を掛けて、放射性セシウム総量を推定して食品中の放射性物質の基準値などと比較できる。

3. 結果

3.1 調理と山菜のセシウム 137

3.1.1 下準備

検体の下準備後 / 下準備前乾燥重量比 (Table 1) は、ツクシ 0.81 ± 0.04 (平均値と SD) (対応のある t 検定, $P = 0.091$, $n = 2$)、フキ葉柄 0.73 ± 0.03 ($P < 0.001$, $n = 13$)、イタドリ 0.37 ± 0.05 ($P < 0.001$, $n = 6$)、ゼンマイ 0.52 ± 0.16 ($P = 0.036$, $n = 3$)、ワラビ 0.57 ± 0.09 ($P = 0.014$, $n = 3$) で、ツクシ以外の 4 種や、5 種全体 ($P = 0.007$, $n = 5$, 下準備後 / 下準備前乾燥重量比の種ごとの平均値を使用) では下準備により乾燥重量は 16 ～ 65 % 減少した。また、下準備 ^{137}Cs Pf (Table 1) は、ツクシ 0.72 ± 0.14 (平均値と SD) (対応のある t 検定, $P = 0.219$, $n = 2$)、フキ葉柄 0.93 ± 0.16 ($P = 0.164$, $n = 13$)、イタドリ 1.03 ± 0.36 ($P = 0.862$, $n = 6$)、ゼンマイ 0.76 ± 0.13 ($P = 0.080$, $n = 3$)、ワラビ 0.84 ± 0.14 ($P = 0.092$, $n = 3$) で、いずれの種も、また、5 種全体 ($P = 0.063$, $n = 5$, 下準備 ^{137}Cs Pf の種ごとの平均値を使用) でも下準備の有無間で濃度の有意差はなかった。この結果、下準備 Fr (Table 1) は、ツクシ 0.69 ± 0.004 (平

Table 1. 種・部位、調理法と乾燥重量変化率、¹³⁷Cs の食品加工係数 (Pf)、食品加工残存係数 (Fr).
The dry weight ratio, ¹³⁷Cs concentration ratio (food-processing factor, Pf), and ¹³⁷Cs mass ratio (food-processing retention factor, Fr) of processed/unprocessed samples in the matrix of species-organ and recipes.

Species	<i>Equisetum arvense</i>		<i>Petasites japonicus</i>		<i>Artemisia indica</i>		<i>Fallopia japonica</i>		<i>Aralia cordata</i>		<i>Parasenecio delphinifolius</i>		<i>Pteridium aquilinum</i>		<i>Osmunda japonica</i>		<i>Eleutherococcus sciadophylloides</i>		<i>Aralia elata</i>		<i>Senecio camabifolius</i>	
	Organ		Petiole	Lamina	Flower bud	Yonogi	Itadori	Udo	Momigasa	Warabi	Zemai	Koshabura	Taranoki	Hangonsou	Takenoko	Shoot						
Dry weight	Preparation	0.84 ± 0.04 (2) ⁴	0.73 ± 0.03 (13) ⁴							0.57 ± 0.19 (3) ⁴	0.52 ± 0.16 (3) ⁴											
	Soaking in hot water																					
	Boiling in hot water with salt																					
	Tempura																					
	Stringent removal using baking soda																					
	Stringent removal using baking soda and drying for long-term preservation																					
	Desalting after prolonged salting																					
	Pf	Preparation	0.72 ± 0.14 (2) ⁴	0.93 ± 0.16 (13) ⁴																		
		Soaking in hot water																				
		Boiling in hot water with salt																				
Tempura																						
Stringent removal using baking soda																						
Stringent removal using baking soda and drying for long-term preservation																						
Desalting after prolonged salting																						
Fr		Preparation	0.69 ± 0.004 (2) ⁴	0.69 ± 0.13 (13) ⁴																		
		Soaking in hot water																				
		Boiling in hot water with salt	0.50 (0.32-0.72) ¹ , 0.42 (0.16-0.68) ²	0.79 (0.59-0.92) ²	0.39 (0.33-0.47) ²	0.42 (0.19-0.59) ² , 0.99 ± 0.09 (2) ⁴	0.38 (0.22-0.52) ²															
	Tempura																					
	Stringent removal using baking soda																					
	Stringent removal using wheat flour																					
	Stringent removal using baking soda and drying for long-term preservation																					
	Desalting after prolonged salting																					

平均値 ± SD (n), 平均値 (最小 - 最大). ¹ 田上・内田 2012, ² 田上・内田 2015, ³ 鍋師ら 2016, ⁴ 本研究.
Values are mean ± SD (n) or mean (min.-max.). ¹ Tagami and Uchida 2012, ² Tagami and Uchida 2015, ³ Nabeshi et al. 2016, ⁴ this study.

均値とSD) (対応のある t 検定, $P = 0.005$, $n = 2$)、フキ葉柄 0.69 ± 0.13 ($P < 0.001$, $n = 13$)、イタドリ 0.38 ± 0.15 ($P = 0.001$, $n = 6$)、ゼンマイ 0.39 ± 0.14 ($P = 0.016$, $n = 3$)、ワラビ 0.53 ± 0.05 ($P = 0.003$, $n = 3$) で、いずれの種も、また、5 種全体 ($P = 0.002$, $n = 5$, 下準備 Fr の種ごとの平均値を使用) でも下準備により ^{137}Cs 量は有意に減少した。

なお、ワラビの葉身を 1 としたときの ^{137}Cs 相対濃度は葉柄中上部 (最も普通に食べる部分) が 0.84 ± 0.14 ($P = 0.196$, $n = 3$)、基部が 0.40 ± 0.12 ($P = 0.014$, $n = 3$) で、地際に近いほど ^{137}Cs 濃度は低かった (ANOVA, $P = 0.0023$)。

3.1.2 湯浸し

下準備後のイタドリ食用部位の湯浸し水しぼり後 / 湯浸し前生重量比の平均値 $\pm$ SD は 1.03 ± 0.03 ($n = 3$) で、湯浸しの前後であまり変わらなかった。湯浸し後 / 湯浸し前乾燥重量比は 0.52 ± 0.03 で、湯浸しにより乾燥重量は半分強に減った (対応のある t 検定, $P < 0.001$, $n = 5$) (◇, Fig. 3)。

湯浸し ^{137}Cs Pf の平均値 $\pm$ SD は 0.15 ± 0.08 で、湯浸しによって検体 ^{137}Cs 濃度は有意に低下した ($P < 0.001$, $n = 5$)。この結果、湯浸し ^{137}Cs Fr (◇, Fig. 3, Table 1) は 0.08 ± 0.04 で、湯浸しにより ^{137}Cs 量の 9 割以上が除かれた ($P = 0.001$, $n = 5$)。なお、先述の通り、5 検体中 1 検体は ^{137}Cs を検出下限値で代用したが、この 1 検体を除外しても、結果に大きな違いはなかった (例えば、湯浸し ^{137}Cs Pf は 0.14 ± 0.08 , $P < 0.001$, $n = 4$)。

3.1.3 塩茹で

塩茹で水しぼり後 / 塩茹で前食用部位生重量比の平均値 $\pm$ SD はフキノトウ 1.15 ± 0.17 ($n = 2$)、モミジガサ 0.94 ($n = 1$)、ウド 1.01 ($n = 1$)、タラノキ 1.04 ($n = 1$)、コシアブラ 1.05 ($n = 1$) で、塩茹での前後で大きくは変わらなかった。塩茹で後 / 塩茹で前食用部位乾燥重量比 (○, Fig. 3) はフキノトウ 0.89 ± 0.06 (対応のある平均値を比較する t 検定, $P = 0.236$, $n = 2$)、モミジガサとウドがともに 0.97 ± 0.00 ($P < 0.001$, $n = 2$)、タラノキ 0.97 ± 0.02 ($P = 0.107$, $n = 4$)、コシアブラ 0.93 ± 0.04 ($P = 0.233$, $n = 2$) で、有意であったのはモミジガサとウドだけであった。しかし、5 種全体 ($P = 0.030$, $n = 5$, 乾燥重量比の種ごとの平均値を使用) では低下傾向が有意で、塩茹ですると乾燥重量は減る傾向があることが示唆された。

塩茹で ^{137}Cs Pf の平均値と SD はモミジガサ 0.41 ± 0.13 (対応のある t 検定, $P = 0.096$, $n = 2$)、ウド 0.58 ± 0.18 ($P = 0.058$, $n = 3$)、タラノキ 0.87 ± 0.23 ($P = 0.351$, $n = 4$)、コシアブラ 0.70 ± 0.04 ($P = 0.054$, $n = 2$) で、いずれの種も塩茹ですると濃度は下がるようであったが有意にはならなかった。4 種全体では濃度低下は

有意であった ($P = 0.035$, $n = 4$, 塩茹で ^{137}Cs Pf の種ごとの平均値を使用)。一方、フキノトウでは濃度低下が見られなかった (1.15 ± 0.04 , $P = 0.115$, $n = 2$)。この結果、塩茹で ^{137}Cs Fr (○, Fig. 3, Table 1) はフキノトウ 0.99 ± 0.09 ($P = 0.857$, $n = 2$)、モミジガサ 0.41 ± 0.14 ($P = 0.109$, $n = 2$)、ウド 0.56 ± 0.18 ($P = 0.0509$, $n = 3$)、タラノキ 0.85 ± 0.22 ($P = 0.283$, $n = 4$)、コシアブラ 0.65 ± 0.004 ($P = 0.006$, $n = 2$) で、 ^{137}Cs 量の減少が有意であったのはコシアブラだけであるが、5 種全体では塩茹でによる ^{137}Cs 量の減少は有意であった ($P = 0.039$, $n = 5$, 塩茹で ^{137}Cs Fr の種ごとの平均値を使用)。塩茹ですて乾燥重量が大きく減る検体において、 ^{137}Cs 量の減少量が多く、塩茹で ^{137}Cs Fr が小さくなる傾向が認められた (Fig. 3)。

3.1.4 重曹によるあく抜き

あく抜き水しぼり後 / あく抜き前食用部位生重量比は、一晚重曹あく抜きのワラビ 1.06 ($n = 1$)、同ゼンマイ 1.04 ($n = 1$)、長期保存用の乾燥ゼンマイ 0.85 ($n = 1$) で、一晚重曹あく抜きではあまり変わらないが、長期保存用ではあく抜き後の重量が小さくなるようであった。あく抜き / あく抜き前食用部位乾燥重量比 (●, Fig. 3) はワラビの一晚あく抜き 0.80 ($n = 1$)、同ゼンマイ 0.87 ± 0.08 (平均値 $\pm$ SD, 対応のある t 検定, $P = 0.272$, $n = 2$)、ゼンマイの長期保存のための乾燥重曹あく抜きは 0.66 ± 0.04 ($P = 0.052$, $n = 2$) であく抜きにより乾燥重量は減るようであったが、傾向は有意でなかった。3 処理全体 ($P = 0.270$, $n = 3$, 乾燥重量比の処理ごとの平均値を使用) でも有意でなかった。

あく抜き ^{137}Cs Pf はワラビの一晚重曹あく抜き 0.11 ($n = 1$)、同ゼンマイ 0.37 ± 0.01 (平均値 $\pm$ SD, 対応のある t 検定, $P = 0.0083$, $n = 2$)、ゼンマイの乾燥重曹あく抜き 0.014 ± 0.019 ($P = 0.0084$, $n = 2$) とゼンマイの濃度低下が有意で、3 処理全体 (各平均値を使用, $P = 0.016$, $n = 3$) も有意であった。この結果、あく抜き ^{137}Cs Fr (●, Fig. 3, Table 1) はワラビの一晚重曹あく抜き 0.089 ($n = 1$)、同ゼンマイ 0.32 ± 0.04 ($P = 0.027$, $n = 2$)、ゼンマイの乾燥重曹あく抜き 0.0088 ± 0.012 ($P = 0.0053$, $n = 2$) で、程度の差はあれ、いずれも ^{137}Cs 除去の効果があり、3 処理全体 ($P = 0.012$, $n = 3$, あく抜き ^{137}Cs Fr の処理ごとの平均値を使用) でも傾向は有意であった。

3.1.5 塩漬けと塩抜き

約 4 か月の塩漬け保存後の、塩抜き水しぼり後 / 塩漬け前食用部位生重量比は、ワラビ 0.98 ($n = 1$)、ゼンマイ 0.93 ($n = 1$)、コシアブラ 0.97 ($n = 1$)、ハンゴンソウ 0.79 ($n = 1$) で、塩漬け-塩抜きにより、生重量は小さくなるようであった。塩抜き後/塩漬け前食用部分乾燥重量比 (×, Fig. 3) の平均値 $\pm$ SD はワラビ

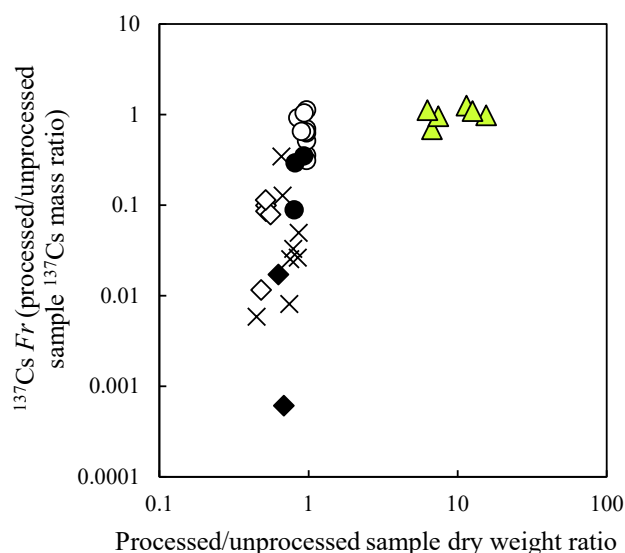


Fig. 3. 調理後/調理しない検体の乾燥重量比と ^{137}Cs 量比 ($^{137}\text{Cs Fr}$)

Dry weight and ^{137}Cs mass ratios ($^{137}\text{Cs Fr}$) of processed/unprocessed samples.

◇湯浸し, ○塩茹で, ●重曹あく抜き, ◆長期保存のための乾燥重曹あく抜き, ×塩漬け-塩抜き, ▲天ぷら。下準備は除いた。

◇ Soaking in hot water, ○ Boiling in hot water with salt, ● Stringent removal using baking soda, ◆ Stringent removal using baking soda and drying for long-term preservation, × Desalting after prolonged salting, ▲ Tempura. Data of preparation were not shown.

0.75 ± 0.0058 ($P = 0.010$, $n = 2$)、ゼンマイ 0.65 ± 0.28 ($P = 0.329$, $n = 2$)、コシアブラ 0.82 ± 0.047 ($P = 0.120$, $n = 2$)、ハンゴンソウ 0.66 ± 0.01 ($P = 0.013$, $n = 2$) で、有意であったのはワラビとハンゴンソウであるが、4 種全体 ($P = 0.0063$, $n = 4$, 乾燥重量比の種ごとの平均値を使用) で傾向は有意で、塩漬け-塩抜きで乾燥重量は減る傾向があることが示唆された。

塩漬け-塩抜き $^{137}\text{Cs Pf}$ の平均値 $\pm$ SD はワラビ 0.022 ± 0.016 ($P = 0.0074$, $n = 2$)、ゼンマイ 0.022 ± 0.013 ($P = 0.0059$, $n = 2$)、コシアブラ 0.050 ± 0.011 ($P = 0.0054$, $n = 2$) と濃度は著しく低下した。しかし、ハンゴンソウは 0.36 ± 0.24 ($P = 0.163$, $n = 2$) で効果はそれほど大きくなかった。ハンゴンソウでは 2 回の調理いずれも濃度は低下したが、塩漬け-塩抜き $^{137}\text{Cs Pf}$ が 0.525 , 0.187 と大きく異なったため、塩漬け-塩抜き処理の有無間で平均値の差が有意にならなかった。この結果、塩漬け-塩抜き $^{137}\text{Cs Fr}$ (×, Fig. 3; Table 1) はワラビ 0.017 ± 0.012 ($P = 0.0056$, $n = 2$)、ゼンマイ 0.016 ± 0.015 ($P = 0.0066$, $n = 2$)、コシアブラ 0.0415 ± 0.012 ($P = 0.0055$, $n = 2$) と著しい ^{137}Cs 除去効果があったが、ハンゴンソウは 0.24 ± 0.15 ($P = 0.090$, $n = 2$) で、効果はそれほど大きくなかった。ハンゴンソウの塩漬け-塩抜き Fr 値が有意にならなかった理由は Pf

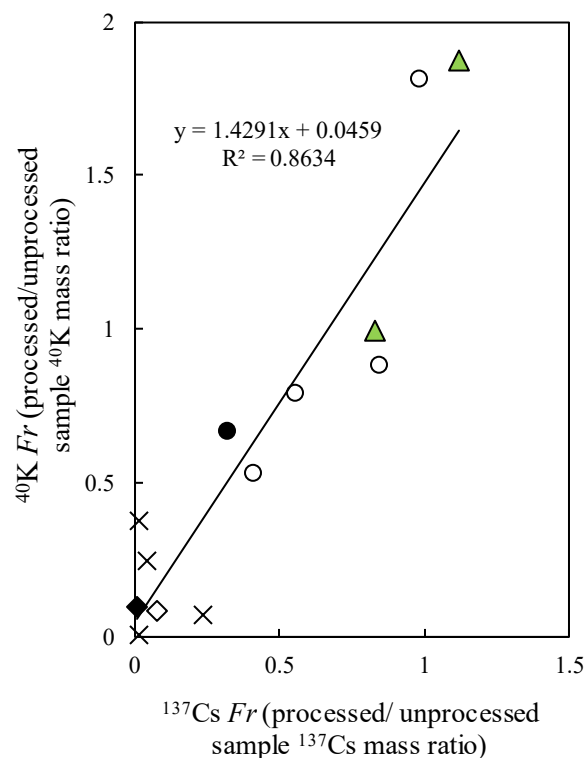


Fig. 4. 調理後 / 調理しない検体の ^{137}Cs 量比 ($^{137}\text{Cs Fr}$) と ^{40}K 量比 ($^{40}\text{K Fr}$)

Relationship between the ^{137}Cs mass ratio ($^{137}\text{Cs Fr}$) and ^{40}K mass ratio ($^{40}\text{K Fr}$) of processed/unprocessed samples.

◇湯浸し (イタドリ), ○塩茹で (モミジガサ、タラノキ、フキノトウ), ●一晩重曹あく抜き (ゼンマイ), ◆長期保存のための乾燥重曹あく抜き (ゼンマイ), ×塩漬け-塩抜き (ゼンマイ、ワラビ、コシアブラ、ハンゴンソウ), ▲天ぷら (フキノトウ)。実線は $^{137}\text{Cs Fr}$ と $^{40}\text{K Fr}$ の関係の回帰式。下準備と ^{40}K 濃度が検出限界値以下の検体データは示されていない。

◇ Soaking in hot water (*Fallopia japonica*), ○ Boiling in hot water with salt (*Parasenecio delphiniifolius*, *Aralia elata*, and flower buds of *Petasites japonicus*), ● Stringent removal using baking soda (*Osmunda japonica*), ◆ Stringent removal using baking soda and drying for long-term preservation (*Osmunda japonica*), × Desalting after prolonged salting (*Osmunda japonica*, *Pteridium aquilinum*, *Eleutherococcus sciadophylloides*, and *Senecio cannabifolius*), ▲ Tempura (flower buds of *Petasites japonicus*). The solid line is the equation of the relationship between Fr s of the ^{137}Cs and ^{40}K . Data of preparation (removing the less edible parts before processing the remainder) and the samples whose ^{40}K concentration were below the detection limit were not shown.

で述べたのと同じである。4 種全体 ($P < 0.001$, $n = 4$, 塩漬け-塩抜き Fr の種ごとの平均値を使用) の傾向は有意で、塩漬け-塩抜きで ^{137}Cs 量は減る傾向があることが示唆された。

3.1.6 天ぷら

天ぷら/天ぷらにする前の食用部位乾燥重量比 (▲, Fig. 3) の平均値 $\pm$ SD は、フキノトウ 13 ± 2.9 ($P = 0.104$, $n = 2$)、タラノキ 7.1 ± 0.5 ($P = 0.037$, $n = 2$)、コシアブラ 9.4 ± 4.5 ($P = 0.229$, $n = 2$) といずれも 1 より大きくなった。これは食用部位に天ぷらの衣と菜種油が加わったことによる。種ごとには有意でないものもあったが、3 種全体では乾燥重量の増加傾向は有意であった ($P = 0.041$, $n = 3$, 乾燥重量比の種ごとの平均値を使用)。

天ぷら ^{137}Cs *Pf* の平均値 $\pm$ SD は、フキノトウ 0.088 ± 0.018 ($P = 0.0087$, $n = 2$)、タラノキ 0.12 ± 0.019 ($P = 0.0096$, $n = 2$)、コシアブラ 0.19 ± 0.08 ($P = 0.046$, $n = 2$) でいずれも有意に小さくなった。衣中の ^{137}Cs を含む天ぷら ^{137}Cs *Fr* (▲, Fig. 3; Table 1) はフキノトウ 1.12 ± 0.19 ($P = 0.548$, $n = 2$)、タラノキ 0.83 ± 0.19 ($P = 0.422$, $n = 2$)、コシアブラ 1.11 ± 0.02 ($P = 0.071$, $n = 2$) と 1 に近い値で、 ^{137}Cs 量は天ぷらにする前後であまり違いがなかった。3 種全体 ($P = 0.879$, $n = 3$, 天ぷら ^{137}Cs *Fr* の種ごとの平均値を使用) でも同様に、天ぷらで ^{137}Cs 量が減るとは言えなかった。

3.2 調理と山菜のカリウム 40

生重を測定し、 ^{40}K 濃度を検出した 20 検体の種と調理法の組み合わせは、イタドリの湯浸し、モミジガサ、タラノキ、フキノトウの塩茹で、フキノトウの天ぷら、ゼンマイの 2 種のあく抜き、ゼンマイ、ワラビ、コシアブラ、ハンゴンソウの塩漬けの 11 通りであった。種と調理法の組合せごとに求めた ^{137}Cs *Fr* (平均値) と ^{40}K *Fr* (同) との間には、強い正の相関 ($r = 0.932$, $P < 0.001$) があった (Fig. 4)。例えば、モミジガサを塩茹ですると、*Fr* の平均値 $\pm$ SD は ^{137}Cs が 0.41 ± 0.14 、 ^{40}K が 0.52 ± 0.00 ($n = 2$) で平均値はいずれも 0.5 に近い値、フキノトウを塩茹ですると ^{137}Cs が 0.99 ± 0.09 、 ^{40}K が 1.81 ± 0.69 ($n = 2$)、天ぷらにすると ^{137}Cs が 1.12 ± 0.19 、 ^{40}K が 1.88 ± 1.64 ($n = 2$) と ^{40}K の方がより大きいものの、 ^{40}K と ^{137}Cs の *Fr* 値はおおむね対応して変化した。

4. 考察

4.1 調理と山菜中の放射性セシウムに及ぼす影響

4.1.1 下準備

下準備は食味を良くするための調理で、山菜の種類によって除去される部位が異なる。このため、下準備の ^{137}Cs 濃度への影響は同じではないと考えられるが、今回の 5 種の山菜では、下準備で検体 ^{137}Cs 濃度はいくらも変わらなかった。

ワラビの新芽の ^{137}Cs 濃度は地面に近い基部で低かったが、基部は固く食用に適さないので普通、収穫されないか除去される。収穫部位について見ると、葉身を

除去しても ^{137}Cs 濃度が下がるとは言えなかった ($P = 0.196$)。これは下がるとした長谷川・竹原 (2016) と異なる結果であったが、濃度比が本研究は乾重当たり、長谷川・竹原 (2016) は生重当たりと異なるので、単純な比較はできない。例えば、含水率は部位によって異なるので、葉身 << 葉柄の場合、葉身除去で ^{137}Cs 濃度が生重ベースでは低下し、乾重ベースでは低下しないこともあり得る。

4.1.2 調理

山菜の含水率は調理によって変化する。調理による成分変化の評価では調理前と後の食品の含水率を考慮する (渡邊ら 2003, 2004) が、放射性セシウムに及ぼす調理の影響報告の中には含水率の変化を考慮せず、生重当たりの放射性セシウム含有量 (濃度) を直接比較しているものもあった。このため、ここでは調理の有無による放射性セシウム総量の変化 (*Fr*) が分かるデータ (田上・内田 2012, 2015, 鍋師ら 2016) を Table 1 に収めた。

本研究の結果にもとづき、調理と ^{137}Cs の *Fr* との関係 (Fig. 3) を概観すると、天ぷら以外の調理では、乾燥重量の減少以上に ^{137}Cs が減少しており、植物体中の ^{137}Cs が ^{137}Cs 以外の総乾物量と比べて調理によって除かれ易いことが分かる。熱湯処理はあくの少ない山菜に最も普通の調理法 (池田 1984) で、熱湯に長時間浸したり、茹でたりすることで植物体の組織が壊れ、水溶性の成分が水に溶け出し易くなる。下準備を施したイタドリは湯浸しにより乾燥重量の約半分に相当する成分、 ^{137}Cs の 9 割以上が水に出た (Fig. 3)。モミジガサ、ウド、コシアブラ、タラノキ、フキノトウの 5 種では、塩茹ですることで乾燥重量 ($P = 0.032$)、 ^{137}Cs 量 ($P = 0.039$) とともに有意に減少したが、乾燥重量の減少は最大 11% でどの種も比較的小さかったのに対して、 ^{137}Cs 量の減少はフキノトウの 1% からモミジガサの 59% まで大きな違いがあった。本研究では、フキノトウの ^{137}Cs が除かれにくいようであったが、田上・内田 (2015) では茹でたフキノトウで ^{137}Cs は 58% 減少 (*Fr* 0.42, Table 1) しており、本研究の値と比べてかなり大きい。このフキノトウを除くと、 ^{137}Cs の除去率 ($1 - Fr$) $\times 100\%$ は本研究のモミジガサ、ウド、タラノキ、コシアブラで 15 ~ 59% (*Fr* 0.41 ~ 0.85, Table 1)、田上・内田 (2012, 2015) のツクシ、フキ葉身、葉柄、ヨモギで 38 ~ 79% (*Fr* 0.21 ~ 0.62, Table 1) で、種は異なるものの平均値に有意差はなかった ($P = 0.949$)。

ワラビ、ゼンマイに重曹を使った一晩のあく抜きは有効で ^{137}Cs を数分の一以下に減らした (Fig. 3)。*Fr* 値 (Table 1) はそれぞれ 0.089 と 0.32 ± 0.04 で、鍋師ら (2016) の 0.08 と 0.19 と同程度であった (Table 1)。重曹を使ったあく抜きが山菜の放射性セシウム濃度を減らすのに有効であることは複数報告がある (桑守ら

2014, 中日新聞東京本社 2016, 長谷川・竹原 2016, 鍋師ら 2016)。除去率はあく抜きに使う物質によって変わる(畑・南光 1983)。小麦粉を使ったあく抜きは力不足で、ワラビ、ゼンマイの ^{137}Cs を重曹の数分の一しか除けなかった(鍋師ら 2016)。同じ重曹によるあく抜きでも、重曹で湯がいて一晩水にさらすだけのやり方と比べ、長期保存のための乾燥重曹あく抜きの方法では ^{137}Cs を著しく減らせた(Fig. 3, Table 1)。また、長期保存(池田 1984)を目的にワラビ(木村・木村 1964, Cookpad 2016)やイタドリ(なんこくまほら <http://soraeki.blog84.fc2.com/blog-entry-624.html?sp>, Cookpad 2017)などに行われる塩漬け-塩抜きは、ワラビ(長谷川・竹原 2016)を始め、山菜の ^{137}Cs 除去にも非常に有効であった(Table 1)。セシウムの貫流交換容量はナトリウムより大きい(阿部 1985)が、大量に供給されたナトリウムによって他の陽イオンが置換される(金子ら 1984)なかで、セシウムも一部が置換され(田上・内田 2015)、水溶性で移動し易い形態に変化して除去され易くなったと考えられる。ハンゴンソウで ^{137}Cs が他種ほどには減らなかった(Table 1)のは、ハンゴンソウの茎がワラビやゼンマイ、コシアブラの茎よりも太く、 ^{137}Cs を十分に溶出させるには塩抜き時間が足りなかったことが理由として考えられる。また、ハンゴンソウの2つの検体間で、サイズ($0.27 \pm 0 \text{ m}$)や塩漬け-塩抜きによる乾燥重量減少(塩漬け前の0.66, 0.67)はほぼ同じなのに、 Pf や Fr 値が3倍近く異なったのは ^{137}Cs が水溶しにくい形態で植物体中に存在している場合があることを示唆する。塩ぬきの際にハンゴンソウは細かく切るなど調理の工夫の余地がある。ただ、塩抜きの際に塩を抜き過ぎると食味が悪くなる恐れもあるので、良い方法の工夫は今後の課題である。重曹を使ったあく抜きの Fr は、ワラビ0.08~0.089(鍋師ら 2016, 本研究)、ゼンマイ0.19~0.32(鍋師ら 2016, 本研究)に対し、たけのこは0.73(0.65~0.94)(田上・内田 2015)と大きかった(Table 1)。これはたけのこが分厚いので ^{137}Cs がよく除去できなかった(田上・内田 2015)と考えられる。

天ぷらでは検体中の油性成分が減る一方、衣と菜種油が加わり、検体の乾燥重量が大きくなった。 ^{137}Cs の天ぷら Fr は1前後で、植物体から溶出した ^{137}Cs はほぼ全て衣の中にとどまっていると見られた。放射性セシウムは天ぷら油に出ていない(中日新聞東京本社 2016)ので、天ぷら ^{137}Cs Pf が小さいのは、天ぷらの衣と菜種油が加わったことによる希釈に過ぎない。本研究でも天ぷらに放射性セシウム削減の効果は期待できない(鍋師ら 2016)ことが示唆された。

4.2 調理と山菜の ^{40}K

カリウムはセシウムの同族元素で化学的性質に類似点が多い。 ^{40}K はカリウムの0.0117%を占める自然物で、

カリウムの大半を占める安定同位体の ^{39}K や ^{41}K との質量差はわずかであることから、 ^{40}K の挙動はカリウム全体の挙動を反映する。天ぷらでは鶏卵や小麦粉の ^{40}K が加わるものの、調理が山菜の ^{40}K に及ぼす影響は、総じて ^{137}Cs に及ぼす影響とよく似ていた(Fig. 4, 田上・内田 2012, 2015, Tagami and Uchida 2013)。ただ、天ぷら以外でも ^{40}K は ^{137}Cs に比べ植物体から除かれにくい傾向があった。これは貫流交換容量がカリウム<セシウム(阿部 1985)であるのと矛盾するので、貫流交換容量における K と Cs の流出と、有機物体中からのそれら元素の流出では機構が異なるようである。

カリウムは水やお湯に溶け、水さらしや茹でにより失われ易い(文部科学省 2015)。食品中のカリウムを減らすノウハウは高カリウム血症の人へのカリウム制限の食事療法にもある(北島 2018)。例えば、食品を小さく切って切り口をたくさん作る、切った食品を20分以上水にさらす(水さらし)、切った食品や水にさらした食品を水から入れ、沸騰したら一度取り出す(茹でこぼし)ことによりカリウムは減る。こうしたカリウム制限のために食品を細かく切ったりする調理の工夫は、山菜でも太い茎を割いたり、切れ目を入れたりして調理の際に水に触れる面積を大きくすることで食用部分の放射性セシウム量削減に生かせる可能性があることを示唆する。今後の検討が必要である。

4.3 含水状態で見た、山菜の食用部位の放射性セシウム濃度に及ぼす調理の影響

味付けなどさらなる調理を行う前の含水状態の食材が市場に出る場合がある。調理前、後の食用部位の含水率を利用して、乾燥重量の ^{137}Cs Pf (Table 1)から含水状態のときの ^{137}Cs Pf を計算すると、 ^{137}Cs Pf 生重量/ ^{137}Cs Pf 乾燥重量比は、茹でモミジガサが1.03となった以外はいずれも1未満で、湯浸イタドリ0.51、茹でウド0.96、茹でタラノキ0.94、茹でコシアブラ0.88、一晩重曹あく抜きのワラビ0.75、同ゼンマイ0.84、ゼンマイの乾燥重曹あく抜き0.77、塩漬け-塩抜きのワラビ0.77、同ゼンマイ0.70、コシアブラ0.85、ハンゴンソウ0.84であった。したがって、水を含んだ状態の放射性セシウム濃度で考えた場合でも調理は、乾燥重量で考えたときと同程度(茹でモミジガサ、ウド、タラノキ)かそれ以上(他の場合)に Pf 値を小さくする効果があるといえる。

5. 今後の課題

空間線量率が高い地域では山菜の放射性セシウム濃度も高い場合があるが、本研究で示したような調理効果も加味し、濃度の高い山菜を避けるよう注意することで、健康に影響を与えるような量の放射性セシウムを摂取しないで済むと考えられる(下 2016)。本研究では10種11部位の山菜の主に ^{137}Cs について調理の影

響を調べ、調理による除去率 (Fr) を求めた。これにより、山菜を食べるときに摂取する放射性セシウムの量を、これまでより多くの種、調理法について推定できるようになった。同じ調理法でも種によって放射性セシウムの除去効果に違いがあり、除去効果の低い種には切れ目を入れるなど調理の工夫の余地があるが、効果の評価は不十分で今後の課題である。また、野生植物は一般にサイズや発芽の時期が揃わない (例えばゼンマイ: 清野ら 2018)。小さくひねた新芽か、大きく柔らかい新芽かによって化学成分含有量が異なり (池田ら 2016)、放射性セシウムの除去効果は異なると考えられるので、山菜の育ち (形質) の影響の把握も今後の課題である。

謝 辞

福島県林業研究センター、林野庁関東森林管理局会津森林管理署南会津支署、福島森林管理署、磐城森林管理署、茨城森林管理署、飯館村役場、葛尾村役場、川内村役場、福島県森林組合連合会、布沢共用林組合、飯館村森林組合、上桶売牧野農業協同組合、福島県双葉郡大熊町と茨城県常陸大宮市、つくば市の採取地の土地所有者・管理者、日本特用林産振興会 (日特振) の各位には現地調査と検体採取においてご協力を頂いた。国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所震災復興・放射性物質研究拠点の各位には検体の調整と放射性セシウムの測定をして頂いた。以上の皆様に、感謝の意を表す。本研究は JSPS 科研費 JP15K07496 の助成を受けた。

引用文献

- 阿部 光男 (1985) 無機イオン体の選択性. IONICS (復刻版), 120, 7-20., www.jaie.gr.jp/linkfile/ionics/ionics_front.pdf (2019-02-16 参照)
- Assmann-Werthmüller, U., Werthmüller, K. and Molzahn, D. (1991) Cesium contamination of heather honey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 149(1), 123-129. <https://doi.org/10.1007/BF02053720>
- Conservation International Japan (2005) 日本列島を含む世界 34 カ所が生物多様性ホットスポットとして特定されました. https://www.conservation.org/global/japan/news/Pages/Japan_Hotspot.aspx. (2019-01-22 参照)
- Cookpad (2016) ワラビの塩漬け保存法. <https://cookpad.com/recipe/3873293> (2019-02-16 参照)
- Cookpad (2017) イタドリ採取から長期保存まで. <https://cookpad.com/recipe/4505546> (2019-02-16 参照)
- 中日新聞東京本社 (2016) 山菜食べる日常 遠く. 2016 年 7 月 7 日東京新聞朝刊.
- 長谷川 孝則・竹原 太賀司 (2016) 山菜類の放射性物質による汚染実態調査と汚染低減法の検討. 福島県林業研究センター研究報告, 48, 65-76.
- 畑 明美・南光 美子 (1983) ワラビ中の無機成分含量に及ぼすあく抜き処理の影響. *調理科学*, 16(2), 116-121.
- 池田 奈実子・水野 直美・田中 拓也・新井 真一郎・松延 健臣 (2016) 摘採適期前後におけるチャ品種 'やぶきた', 'りょうふう', 'ふうしゅん' の一番茶新芽の化学成分含有量の変動. 野菜茶業研究所研究報告, 15, 19-27. http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/archive/laboratory/vegetea/report/062150.html
- 池田 洋一 (1984) 上野明・寺田洋子の山菜と野草の料理. 暮らしの設計 157, 中央公論社, 東京, 168pp.
- 金子 憲太郎・佐藤 千寿子・渡辺 光代・前田 安彦 (1984) 野菜類の塩漬けによるペクチンの溶解性と無機金属元素の変化. *日本食品工業学会誌*, 31(6), 379-383.
- Kashparov, V., Conney, S., Uchida, S., Fesenko, S. and Krasnov, V. (2009) Food processing. In: IAEA (2009) *Quantification of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments for radiological assessments*. IAEA-TECDOC—1616, International Atomic Energy Agency (IAEA), 577-604. http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1616_web.pdf; <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/publications.asp>
- 河田 燕・山田 崇裕 (2012) 原子力事故により放出された放射性セシウムの $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 放射能比について. *Isotope News*, 697, 16-20.
- 木村 康一・木村 孟淳 (1964) 保育社薬用植物図鑑. 保育社の原色図鑑 39, 保育社, 東京, 184pp.
- 北島 幸枝 (2018) CKD における食事療法の実践と問題点 — リン・タンパク質・カリウム・塩分 C. 食事中カリウム制限の実践と問題点. 腎臓病診療の最先端, 31. https://www.jinzou.net/01/pro/sentan/vol_31/ch03.html (2019-02-12 参照)
- 清野 嘉之・小松 雅史・赤間 亮夫・松浦 俊也・広井 勝・岩谷 宗彦・二元 隆 (2018) 2011 年の福島第一原子力発電所事故で放出された放射性セシウムの野生ゼンマイ (*Osmunda japonica*) の葉への移行. 森林総合研究所研究報告 17 (3) (No.447) 217-232. https://doi.org/10.20756/ffpri.17.3_217
- 桑守 豊美・宮地 洋子・桑守 正範・原田 澄子・大森 聡・原田 浩二・小泉 昭夫 (2014) 福島県川内村産食品の放射性セシウム ^{137}Cs の調理の下処理前の含量および下処理による減少率. 仁愛大学研究紀要人間生活学部篇, 6, 15-20.
- Lehto, J., Vaaramaa, K. and Leskinen, A. (2013) ^{137}Cs , ^{239}Pu and ^{241}Am in boreal forest soil and their transfer into wild mushrooms and berries. *Journal of Environmental Radioactivity*, 116, 124-132. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2012.08.012>
- 文部科学省 (2015) 日本食品標準成分表 2015 年版 (七訂). http://www.mext.go.jp/a_menu/syokuhinseibun/1365297.

- htm (2019-02-16 参照)
- 鍋師 裕美・堤 智昭・植草 義徳・松田 りえ子・穂山 浩・手島 玲子・蜂須賀 暁子 (2016) 調理による牛肉・山菜類・果実類の放射性セシウム濃度及び総量の変化. *Radioisotopes*, 65, 45-58. <https://doi.org/10.3769/radioisotopes.65.45>
- 林野庁 (2004) 山菜文化産業懇話会報告書—山村が活性化される山菜文化・産業の振興を目指して—. www.rinya.maff.go.jp/puresu/h16-12gatu/1203s4.pdf. (2019-01-07 参照)
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2015) 20 万分の 1 日本シームレス地質図 2015 年 5 月 29 日版. 産業技術総合研究所地質調査総合センター, <https://gbank.gsj.jp/seamless/seamless2015/2d/> (2019-01-07 参照).
- 下 道國 (2016) 放射線 Q&A7: 山などに生えている山菜は食べても大丈夫? 放射線 Q&A ~教えて! 下先生~, 会津若松市. <https://www.city.aizuwakamatsu.fukushima.jp/docs/2013061700022/> (2019-02-13 参照)
- 田上 恵子・内田 滋夫 (2012) 福島第一原発事故後のツクシへの ^{134}Cs , ^{137}Cs の移行と分布及び調理・加工による除去. *Radioisotopes*, 61, 511.
- Tagami, K. and Uchida, S. (2013) Comparison of food processing retention factors of ^{137}Cs and ^{40}K in vegetables. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 295, 1627-1634.
- 田上 恵子・内田 滋夫 (2015) 山菜と果実の調理・加工による放射性セシウムおよびカリウムの除去割合について. 第 4 回京都大学原子炉実験所原子力安全基盤科学研究シンポジウム 福島復興に向けての放射線対策に関するこれからの課題報告書, 平成 27 年 5 月 30 日 (土)–31 日 (日), 福島市パルセいいざか, 京都大学原子炉実験所原子力安全基盤科学研究プロジェクト, 47-50. www.rrl.kyoto-u.ac.jp/anzen_kiban/outcome/Symposium'15_Proceedings_JP.pdf (2019-01-07 参照)
- 渡邊 智子・鈴木 亜夕帆・熊谷 昌士・見目 明継・萩原 清和 (2003) 五訂成分表収載食品の調理による成分変化率表. *栄養学雑誌*, 61 (4), 251-262.
- 渡邊 智子・鈴木 亜夕帆・熊谷 昌士・見目 明継・竹内 昌昭・西牟田 守・萩原 清和 (2004) 植物性食品に含まれる栄養素の調理による変化率の算定と適用. *栄養学雑誌*, 62 (3), 171-182.

Cesium-137 food-processing factors and food-processing retention factors of 11 organs and 10 edible wild plant species from Japan: recipes for long-term preservation reduced the radiocesium mass the most.

Yoshiyuki KIYONO ^{1)*} and Akio AKAMA ²⁾

Abstract

To clarify the effect of cooking on ¹³⁷Cs mass, 10 species and 11 organ samples of edible wild plants were cooked: the spore stem of *Equisetum arvense* (*Ea*), petioles and flower buds of *Petasites japonicus* (*Pj*), and sprouts of *Fallopia japonica* (*Fj*), *Aralia cordata* (*Ac*), *Parasenecio delphiniifolius* (*Pd*), *Senecio cannabifolius* (*Sc*), *Pteridium aquilinum* (*Pa*), *Osmunda japonica* (*Oj*), *Eleutherococcus sciadophylloides* (*Es*), and *Aralia elata* (*Ae*). They grew up on the land exposed to the 2011 Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident. Soaking in hot water reduced the ¹³⁷Cs mass of *Fj* [¹³⁷Cs food-processing retention factor or ¹³⁷Cs *Fr* = (processed/unprocessed sample ¹³⁷Cs mass ratio) = 0.14 ± 0.11 (mean $\pm$ SD)], and boiling in hot water with salt also reduced the ¹³⁷Cs masses of *Pj*, *Ac*, *Pd*, *Es*, and *Ae* (range ¹³⁷Cs *Fr* = 0.41 ± 0.14 to 0.99 ± 0.09). Stringent removal using baking soda reduced the ¹³⁷Cs masses of *Pa* (¹³⁷Cs *Fr* = 0.089) and *Oj* (¹³⁷Cs *Fr* = 0.32 ± 0.04). Stringent removal using baking soda and drying for long-term preservation markedly reduced the ¹³⁷Cs mass of *Oj* (¹³⁷Cs *Fr* = 0.009 ± 0.012). Desalting after prolonged salting also markedly reduced the ¹³⁷Cs masses of *Pa*, *Oj*, and *Es* (range ¹³⁷Cs *Fr* = 0.016 ± 0.015 to 0.041 ± 0.012). However, the effect of this recipe on *Sc* was smaller (¹³⁷Cs *Fr* = 0.24 ± 0.15). Preparation by removing the less edible parts before processing the remainder and making tempura had no significant effect on the ¹³⁷Cs mass. Cooking using baking soda and drying markedly reduced the ¹³⁷Cs mass, as did desalting after prolonged salting. Both recipes are for long-term preservation.

Key words: boiling in hot water with salt, desalting after prolonged salting, *Fr*, *Pf*, stringent removal using baking soda, soaking in hot water, tempura

Received 27 February 2019, Accepted 15 August 2019

1) Department of Plant Ecology, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Center for Forest Restoration and Radioecology, FFPRI

* Department of Plant Ecology, FFPRI, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN; e-mail: kiono@ffpri.affrc.go.jp

論文 (Original article)

Population responses of rodents to the mast seeding of dwarf bamboo *Sasamorphia borealis* over the Chubu region of Japan

Takuya SHIMADA^{1)*}, Daisuke HOSHINO²⁾, Tohru OKAMOTO³⁾, Tomoyuki SAITOH⁴⁾,
Kazuyuki NOGUCHI⁵⁾ and Takeshi SAKAI²⁾

Abstract

In 2017, the mass flowering of dwarf bamboo (suzutake, *Sasamorphia borealis*) occurred throughout the Chubu region of Japan after a non-flowering interval of 120 years. Concern is growing that an abundance of seeds produced by the mass flowering could cause an outbreak of rodents and, thereby, damage to the forests. To investigate whether the rodent population would increase from the mast seeding of suzutake, trapping surveys were conducted in the hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa*) plantation forest in the Dando National Forest (Aichi Prefecture), located in the center of the mass flowering. The estimated rodent density did not prominently increase in the fall after mast seeding. The next spring, the density of voles (*Microtus montebelli* or *Eothenomys smithii*), which cause gnawing damage to trees, remained relatively low (3.3–23.3 individuals/ha), whereas the density of two wood mouse species (*Apodemus argenteus* and *A. speciosus*) was greatly increased (53.3–80.0 individuals/ha). These results indicate that the possibility of a widespread vole outbreak caused by mast seeding is low. However, further attention should be paid to population fluctuations in voles because populations may increase in other areas suitable for vole growth and survival.

Key words: mass flowering, pulsed resource, suzutake, vole, wood mouse

1. Introduction

In 2017, the mass flowering of suzutake (*Sasamorphia borealis*), a monocarpic species of dwarf bamboo, occurred in the Chubu region of Japan. The flowering area was estimated to extend over 200,000 km², from the southern part of Nagano Prefecture through Aichi Prefecture to the eastern part of Mie Prefecture (Kobayashi 2018, Okamoto et al. 2018). Reviews of ancient documents have revealed that this mass flowering occurred after an interval of 120 years (Okamoto and Saitoh 2017), and it resulted in the production of an abundance of seeds, from late July to August, following the flowering months.

In recent years, the importance of evaluating the responses of rodents to pulsed resources has been recognized in an effort to predict and control the risk of rodent damage to agriculture and forestry, as well as zoonotic infections (Schnurr et al. 2002, Ostfeld et al. 2006). One of the typical examples of pulsed resources is the mast seeding of dwarf bamboos, which is accompanied by mass flowering. The seeds of dwarf bamboos are large and highly nutritious, consisting of carbohydrates as the primary nutrient (Iwata and Nakajima 1942, Kiruba et al. 2007). Thus, they are considered an important resource for

rodents. Accordingly, it is expected that the population of rodents will increase after the mast seeding of dwarf bamboos. In fact, outbreaks of rodents have been frequently observed after the mast seeding of bamboos or dwarf bamboos (Ito 1975 in Japan, Gallardo and Mercado 1999 in Chile, Belmain et al. 2010 in Bangladesh, Douangboupouha et al. 2010 in Laos, Htwe et al. 2010 in Myanmar). In most cases, the rodent outbreaks cause severe damage to trees and crops cultivated near forests (Belmain et al. 2010, Douangboupouha et al. 2010, Htwe et al. 2010). Therefore, studies undertaken to investigate the possibility of rodent outbreaks caused by the mast seeding of suzutake are urgently required.

Two types of rodents inhabit the forests of mainland Japan. One is the wood mouse species, which includes the large Japanese wood mouse *Apodemus speciosus* and the small Japanese wood mouse *A. argenteus* that mainly feed on seeds and small invertebrates (Ohdachi et al. 2015). The other is the vole species, which includes the Japanese field vole *Microtus montebelli*, Smith's red-backed vole *Eothenomys smithii*, and Anderson's red-backed vole *E. andersoni* that mainly feed on grass, herbs, and tree bark and roots (Ohdachi et al. 2015). When

Received 23 July 2019, Accepted 12 September 2019

1) Department of Wildlife Biology, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Department of Forest Vegetation, FFPRI

3) Kansai Research Center, FFPRI

4) Tohoku Research Center, FFPRI

5) Aichi District Forest Office, Chubu Regional Forest Office

* Department of Wildlife Biology, FFPRI, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN; e-mail: tshmd@affrc.go.jp

the population density of these voles increases, they often cause severe damage to young planted trees and crops. According to a previous report, a large increase in population density in response to the mast seeding of dwarf bamboos occurs more frequently in vole species than in wood mouse species (Ito 1975). This observation is likely related to their reproductive characteristics. Voles can mate post-partum, and thus, if other conditions are suitable, many generations can accumulate in a short period (Ando et al. 1988). In contrast, reproduction of the wood mouse species is highly regulated by the ambient temperature (Murakami 1974), which may prevent their prompt response to increased food availability as a result of mast seeding. Therefore, particular attention must be paid to the population dynamics of voles.

In the present study, we conducted rodent trapping surveys in the Dando National Forest, located in the center of the mass flowering area, to investigate whether the rodent population would increase with the mast seeding of suzutake and whether the rodents would damage trees in the area.

2. Materials and methods

2.1 Study site

The field study was conducted in the Dando National Forest (the 96th compartment; 35°11'N, 137°46'E) in Shitara-cho, the eastern part of Aichi Prefecture. This area is located at the center of the suzutake mass flowering. In this area, mass flowering occurred from May to June 2017, and the culms began to decline after flowering. Then, the mature seeds were dispersed from late July to August 2017. A small non-flowering patch of approximately 0.5 ha, in which no flowers were observed and the culms were still alive, was found in this forest, surrounded by flowering patches. This patch could not be used as a control for examining the effects of mast seeding on rodent population dynamics because rodents could easily enter and leave the non-flowering patch. Instead, in order to investigate the habitat use by rodents, two study plots were established for rodent trapping, one in the flowering patch and the other in the non-flowering patch (Fig. 1). In the trapping survey performed in August 2017, the flowering plot was set adjacent to the non-flowering plot but in the surveys after October 2017, the flowering plot was newly established about 100 m away from the non-flowering plot. Since the original plots were relatively small (0.2 ha each) and only

one animal was captured in the first survey, we decided to enlarge the survey area not to miss the small changes of population fluctuations in rodents. The information on the trapping survey is shown in Table 1. Both plots were in the hinoki cypress *Chamaecyparis obtusa* (about 50 years old) plantation forests and suzutake was dominant in the undergrowth.

2.2 Trapping survey

Trapping surveys were conducted three times, in August 2017, just after the dispersal of suzutake seeds; in October 2017; and in April 2018. Twenty trap stations were constructed at intervals of about 5–10 m in a grid pattern within each plot and two Sherman-type live traps were baited with oats and sunflower seeds and placed at each station. Trapping was carried out for two or three consecutive days in the surveys of August 2017 and those after October 2017, respectively. The species, sex, body weight, distinction between adult or subadult, and reproductive status of the rodents were recorded upon capture. Reproductively active females were defined as females with perforated vulvae and/or developed mamillae, or in pregnancy or lactation, whereas reproductively active males were defined as males with testis descent. A small portion of the fur of the buttock was cut

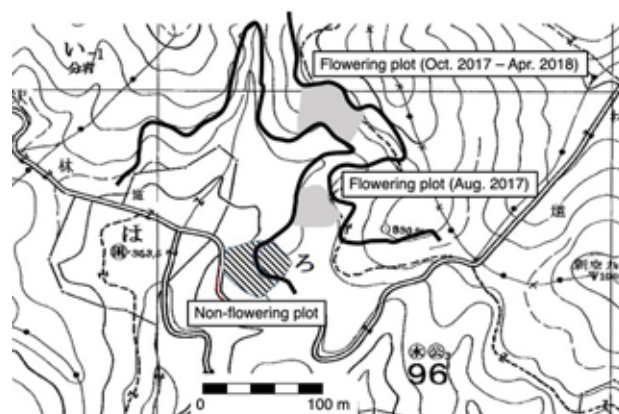


Fig. 1. Trapping plots for investigating rodent abundance in the Dando National Forest.

Suzutake (*Sasamorpho borealis*) flowered throughout this area in 2017 except for the non-flowering patch (shaded area). The flowering plot (grey area) in the first survey (August 2017) was set adjacent to the non-flowering plot. In the subsequent surveys (October 2017 and April 2018), the flowering plot was newly established about 100 m away from the non-flowering plot.

Table 1. Summary of trapping surveys in the Dando National Forest.

Period	Trapping days	Area (ha)	No. of traps
Aug. 8–10, 2017	2	0.2	40
Oct. 16–19, 2017	3	0.3	40
Apr. 17–20, 2018	3	0.3	40

These settings were common both in the flowering and non-flowering plots.

off to distinguish re-captured from newly captured individuals. The population density was estimated using MNA (minimum number alive, Krebs 1999) and expressed as the number of individuals per hectare. The methods of animal handling conformed to the Guidelines for the Procedure of Obtaining Mammal Specimens as Approved by the Mammal Society of Japan. (<http://www.mammalogy.jp/en/guideline.pdf>, accessed 2017–7–1). Our trapping surveys were permitted by the local government (permission Nos. 29Shin6-1–4 and 29Shin12-1–4).

Four species of rodents are known to be distributed throughout this area, *A. speciosus*, *A. argenteus*, *M. montebelli*, and *E. smithii*. The two *Apodemus* species were able to be discriminated by their appearance. Contrary to this, it is difficult to distinguish *M. montebelli* from *E. smithii* by appearance. We adopted the mark-recapture method in this study and thereby did not sacrifice captured animals. Consequently, we could not examine the shape of the skull necessary for species identification. Only females with developed mamillae of these two species can be identified by appearance because characteristics of their mammae differ from each other (Ohdachi et al. 2015). For this reason, we treated both species as voles in the present study. Both vole species are listed in the Red List of Aichi Prefecture as near-threatened species (Red List Aichi 2015, <http://www.pref.aichi.jp/kankyo/sizen-ka/shizen/yasei/redlist/>, accessed 2017–7–1).

2.3 Nutritional analysis of seeds

To evaluate the potential of suzutake seeds as a food source for rodents, the nutritional composition of the seeds was analyzed using samples collected in August 2017 in the Dando National Forest. Two different samples of about 100 g (samples 1 and 2) were collected at different locations in the forest to serve

as analytical replicates. The seed coats were removed before analyses and the crude protein, crude fat, crude ash, and moisture compositions were determined. Nitrogen-free extract (NFE) was estimated as the remainder of the nutrients. Carbohydrate is a major component of NFE. Energy content (kJ/g) was calculated using the following formula: crude protein $\times$ 4 + crude fat $\times$ 9 + NFE $\times$ 4. These analyses were performed by the Japan Functional Food Analysis and Research Center, Inc.

3. Results

In the whole study period, 47 *A. argenteus*, 43 *A. speciosus*, and nine voles were captured. Two of five female voles were identified as *E. smithii* from the mammae formula. In August 2017, just after dispersal of suzutake seeds, only one *A. argenteus* was captured in the flowering plot, which indicated the low density of any species of rodents (Table 2). In October 2017, *A. argenteus* showed an increasing tendency especially in the non-flowering plot (over 20 individuals/ha), but the density of other species remained low (Table 2). However, in April 2018, an increase of population density was observed in all rodent species except for vole spp. in the flowering plot (Table 2). The population of the two wood mouse species grew up to 50–80 individuals in both trapping plots. In addition, most of female mice were reproductively active in this period (Table 3). Contrary to this, the density of voles increased only in the non-flowering plot (Table 2), and the female reproductive ratio remained at 40% in total (Table 3).

In order to examine whether the rodent population structure differed between the flowering and non-flowering plots, the characteristics of captured in the different locations were compared (Table 3). The data for all rodent species collected

Table 2. Changes in rodent density (ha⁻¹) in the Dando National Forest.

The density is expressed in MNA (minimum number alive, Krebs 1999).

a) Flowering plot			
	Aug. 2017	Oct. 2017	Apr. 2018
<i>Apodemus argenteus</i>	5.0 (1)	10.0 (3)	66.7 (20)
<i>Apodemus speciosus</i>	0.0 (0)	0.0 (0)	56.7 (17)
Vole spp. [†]	0.0 (0)	3.3 (1)	3.3 (1)
b) Non-flowering plot			
	Aug. 2017	Oct. 2017	Apr. 2018
<i>Apodemus argenteus</i>	0.0 (0)	23.3 (7)	53.3 (16)
<i>Apodemus speciosus</i>	0.0 (0)	6.7 (2)	80.0 (24)
Vole spp. [†]	0.0 (0)	0.0 (0)	23.3 (7)

Numerals in parentheses represent the number of captured individuals.

[†]: Two vole species (*Eothenomys smithii* and *Microtus montebelli*), which are difficult to distinguish by appearance, are included.

Table 3. Comparisons of rodent population characteristics between the flowering and non-flowering sites of suzutake (*Sasamorpha borealis*) in the Dando National Forest.**a) *Apodemus argenteus* in fall (Oct. 2017)**

	Flowering plot	Non-flowering plot	Statistics ^{d)}
Number of captured individuals	3	7	
Sex ratio (female / total)	0.33 (1/3)	0.71 (5/7)	0.50
Proportion of reproductively active females ^{a)}	1.00	0.80	1.00
Proportion of pregnant or lactating females	0.00	0.60	0.27
Proportion of reproductively active males ^{b)}	1.00	1.00	1.00
Proportion of subadults	0.33	0.00	0.30
Average body weight ^{c)}	19.3 ± 0.4	19.6 ± 1.9	$t = 0.28, P = 0.79$

b) *Apodemus argenteus* in spring (Apr. 2018)

	Flowering plot	Non-flowering plot	Statistics ^{d)}
Number of captured individuals	20	16	
Sex ratio (female / total)	0.50 (10/20)	0.50 (8/16)	1.00
Proportion of reproductively active females ^{a)}	0.80	1.00	0.48
Proportion of pregnant or lactating females	0.30	0.63	0.17
Proportion of reproductively active males ^{b)}	1.00	0.88	0.27
Proportion of subadults	0.05	0.00	1.00
Average body weight ^{c)}	16.1 ± 2.3	17.5 ± 2.4	$t = 1.75, P = 0.09$

c) *Apodemus speciosus* in spring (Apr. 2018)

	Flowering plot	Non-flowering plot	Statistics ^{d)}
Number of captured individuals	17	24	
Sex ratio (female / total)	0.41 (7/17)	0.50 (12/24)	0.75
Proportion of reproductively active females ^{a)}	1.00	1.00	1.00
Proportion of pregnant or lactating females	0.17	0.33	0.47
Proportion of reproductively active males ^{b)}	1.00	0.89	0.36
Proportion of subadults	0.24	0.25	1.00
Average body weight ^{c)}	38.9 ± 3.9	37.6 ± 6.9	$t = 0.61, P = 0.55$

d) Vole spp. in spring (Apr. 2018)

	Flowering plot	Non-flowering plot	Statistics ^{d)}
Number of captured individuals	1	7	
Sex ratio (female / total)	1.00 (1/1)	0.57 (4/7)	1.00
Proportion of reproductively active females ^{a)}	1.00	0.25	0.40
Proportion of pregnant or lactating females	0.00	0.00	1.00
Proportion of reproductively active males ^{b)}	—	0.00	—
Proportion of subadults	0.00	0.00	1.00
Average body weight ^{c)}	32.5	29.7 ± 2.6	$t = 1.00, P = 0.36$

^{a)}: calculated without subadult individuals. Reproductively active females were defined as females with perforated vulvae and/or developed mammillae, or in pregnancy or lactation.

^{b)}: calculated without subadult individuals. Reproductively active males were defined as males with testis descent.

^{c)}: expressed as mean ± SD; calculated without subadult individuals.

^{d)}: Fisher's exact probability test except for t -test in body weight comparisons.

Table 4. Nutritional composition and energy content of suzutake (*Sasamorpha borealis*) seeds

Constituents	Sample 1	Sample 2
Crude protein (%)	9.1	9.3
Crude fat (%)	1.7	1.2
Crude ash (%)	0.9	0.9
Nitrogen-free extracts (%)	76.3	76.9
Moisture (%)	12.0	11.7
Energy (kJ / g)	14.9	14.9

Constituents are expressed as wet weight basis.

in April 2018, as well as the data for *A. argenteus* in October 2017, were analyzed because sufficient numbers of captures had been obtained. The ratio of sexes, proportion of reproductively active males or females, proportion of pregnant or lactating females, proportion of subadults, and average body weight were compared but there were no differences between the two plots.

The nutritional composition of suzutake seeds is shown in Table 4. As predicted, the main nutrient was NFE (carbohydrates), comprising an average of 76.6% of the seed content. The content of crude protein was relatively high for plant materials. The two seed samples showed nearly identical results.

4. Discussion

The population density of rodents did not show a significant increase in the fall after the mast seeding of suzutake, however, a large increase was seen in the density of two *Apodemus* species the next spring. In contrast, the vole density over the entire study area remained low even in the spring and increased moderately only in the non-flowering plot. Ishida et al. (2018) also conducted trapping surveys in 2017 in the same region, the eastern part of Aichi Prefecture, and found results similar to ours. They found an increased density in *Apodemus* species in the fall (10–30 individuals/ha) but no increase in voles. The two results suggest that an outbreak of voles after the mast seeding did not occur, at least not in the study area.

Suzutake seeds were found to be nutritious. The nutritional composition was very similar to that of brown rice (crude protein 6.8%, crude fat 2.7%, NFE 74.3%, crude ash 1.2%, moisture 14.9%, and energy 14.8 kJ/g) according to the 2015 Japan Standard Tables of Food Composition (Seventh Revised Version, http://www.mext.go.jp/a_menu/syokuhinseibun/1365297.htm, accessed 2018–6–1). The nutritious composition of dwarf bamboo seeds, together with the vast amount produced, may have facilitated the increases in rodent populations that have been frequently observed after mast seeding (Ito 1975, Gallardo and Mercado 1999, Belmain et al. 2010, Douangboupouha et al. 2010, Htwe et al. 2010).

Ito (1975) investigated the population fluctuation of rodents

in 17 areas after the mast seeding of dwarf bamboos (*Sasa kurilensis* and *Sasa kurokawana*) which occurred in the Kansai and Chugoku regions in 1967–70. Of those 17 study areas, we reviewed data from five areas where the number of trapped individuals was represented by each species. In four areas, *M. montebelli* started to increase the fall after the mast seeding (40–240 individuals/ha) and a high density of this species (20–120 individuals/ha) was maintained until the next spring in two areas. An increase in *A. speciosus* the following autumn was also recognized in two areas (40–80 individuals/ha), whereas no noticeable increases were observed in *A. argenteus* and *E. smithii* populations. Similarly, another qualitative observation has reported large increases in vole numbers in the fall after the mast seeding of dwarf bamboos (Inukai 1955).

Compared to those observations, the population fluctuation of rodents observed in this study was quite different. First, no noticeable increase in the vole population was detected in our study. Although there was a moderate increase in the number of voles in the non-flowering plot in the spring, the population density did not seem to increase over a wide range. The observation that majority of voles were reproductively inactive also supports this idea. Both vole species, *E. smithii* and *M. montebelli*, are rare in this region, so the source population that would respond to mast seeding may have already been diminished. Accordingly, no noticeable increase in the vole population occurred. Voles were more abundant in the non-flowering plot than in the flowering plot. This is probably because they preferred habitat with a dense understory of dwarf bamboos. Forests with dense understories are, in general, a preferred habitat for rodents (Tanaka et al. 2006), because the vegetation can provide both food and refuge from predators.

On the other hand, the two *Apodemus* species markedly increased their density the next spring. Was this phenomenon related to the mast seeding of suzutake? Since there are no data regarding rodent density in this study site in normal (non-dwarf bamboo flowering) years, it is difficult to discriminate the effects of the mast seeding from commonly observed, seasonal population fluctuations.

The present study suggested that the possibility of a vole outbreak over a wide range caused by the mast seeding of suzutake was low. However, attention should be paid to the population fluctuation of voles because vole outbreaks may still occur in areas where voles are not rare or in habitats preferred by voles, such as orchards, grasslands, and young plantations, or in cases where mass flowering lasts for more years, gradually changing the flowering areas.

Acknowledgement

We are grateful to the staff of the Aichi District Forest Office, Chubu Regional Forest Office for providing support for the field

survey. We also appreciate two anonymous reviewers for their comments. This study was funded by Research grant #201710 of the Forestry and Forest Products Research Institute.

References

- Ando, A., Shiraishi, S. and Uchida, T. (1988) Reproduction in a laboratory colony of the Smith's red-backed vole, *Eothenomys smithii*. J. Mammal. Soc. Jpn., 13, 11-20.
- Belmain, S., Chakma, N., Sarker, N. J., Sarker, S. U., Sarker, S. K. and Kamal, N. Q. (2010). The Chittagong story: Studies on the ecology of rat floods and bamboo masting. In Singleton, G. R., Belmain, S. R., Brown, P. R. and Hardy, B. (eds.) "*Rodent Outbreaks: Ecology and Impacts*". International Rice Research Institute, Los Baños (Philippines), 49-64.
- Douangbouppha, B., Singleton, G. R., Brown, P. R. and Khamphoukeo, K. (2010) Rodent outbreaks in the uplands of Lao PDR. In Singleton, G. R., Belmain, S. R., Brown, P. R. and Hardy, B. (eds.) "*Rodent Outbreaks: Ecology and Impacts*". International Rice Research Institute, Los Baños (Philippines), 99-111.
- Gallardo, M. H. and Mercado, C. L. (1999) Mast seeding of bamboo shrubs and mouse outbreaks in southern Chile. *Mastozool. Neotrop.*, 6, 103-111.
- Htwe, N. M., Singleton, G. R., Thwe, A. M. and Lwin, Y. Y. (2010) Rodent population outbreaks associated with bamboo flowering in Chin State, Myanmar. In Singleton, G. R., Belmain, S. R., Brown, P. R. and Hardy, B. (eds.) "*Rodent Outbreaks: Ecology and Impacts*". International Rice Research Institute, Los Baños (Philippines), 79-98.
- Inukai, T. (1955) A rare type of the vole damage on the forest due to the abundance of sasa bamboo seed at Atsuga in Hitaka, Hokkaido. *Memoirs Fac. Agri., Hokkaido Univ.*, 2, 92-96. (in Japanese with English summary)
- Ishida, A., Kurita, S. and Eguchi, N. (2018) Extensive flowering and death of *Sasa borealis* and its effect for rats and voles population in Aichi prefecture: States up to the second summer after first flowering. *Chubu For. Res.*, 66, 43-44. (in Japanese)
- Ito, T. (1975) Outbreaks of the field vole, *Microtus montebelli*, in Kansai and Chûgoku Districts. *Bull. Gov. For. Exp. Sta.*, 271, 39-92. (in Japanese with English summary)
- Iwata, H. and Nakajima, M. (1942) On seeds of dwarf bamboo—Nutritional research on emergency food (11)., *J. Agri. Chem. Soc. Jpn.*, 18, 1149-1152. (in Japanese)
- Kobayashi, M. (2018) Mass flowering of suzutake in Minami-Shinshu in 2017. *Bull. Botanical Soc. Nagano*, 51, 35-45. (in Japanese)
- Kiruba, S., Jeeva, S., Das, S. S. M. and Kannan, D. (2007) Bamboo seeds as a means to sustenance of the indigenous community. *Indian J. Trad. Know.*, 6, 199-203.
- Krebs, C.J. (1999) *Ecological Methodology* (2nd edition). Addison-Wesley Educational Publishers, Inc., Menlo Park, CA, 624pp.
- Murakami, O. (1974) Growth and development of the Japanese wood mouse (*Apodemus speciosus*). I. The breeding season in the field. *Jap. J. Ecol.*, 24, 194-206. (in Japanese with English summary)
- Ohdachi, S., Ishibashi, Y., Iwasa, M., Fukui, D. and Saitoh, T. (2015) *The Wild Mammals in Japan* (2nd edition), Shoukadoh, Kyoto, 538pp.
- Okamoto, T. and Saitoh, T. (2017) Gregarious flowering cycles of sasa in and around the Kiso District. 128th Japanese Forest Society meeting, P2-072. (in Japanese)
- Okamoto, T., Saitoh, T. and Hoshino, D. (2018) Spatial pattern of gregariously flowering in 2017 of *Sasamorpha borealis* in the Chubu Region. 129th Japanese Forest Society meeting, P2-174. (in Japanese)
- Ostfeld, R. S., Canham, C. D., Oggenfuss, K., Winchcombe, R. J. and Keesing, F. (2006) Climate, deer, rodents, and acorns as determinants of variation in Lyme-disease risk. *PLoS Biol.*, 4, 1058-1068.
- Schnurr, J., Ostfeld, R. and Canham, C. (2002) Direct and indirect effects of masting on rodent populations and tree seed survival, *Oikos*, 96, 402-410.
- Tanaka, M., Saito, M., Ohi, K., Fukuda, H. and Shibata, E. (2006) Relationship between dwarf-bamboo growth and small rodents on Mt. Ohdaigahara, central Japan, with special reference to construction of deer-proof fences. *J. Jpn. For. Soc.*, 88, 348-353. (in Japanese with English abstract)

中部地方で発生したスズタケ (*Sasamorpha borealis*) 一斉結実に対する 野ネズミ個体群の反応

島田 卓哉^{1)*}、星野 大介²⁾、岡本 透³⁾、齋藤 智之⁴⁾、野口 和幸⁵⁾、酒井 武²⁾

要旨

2017 年中部地方の広い範囲で、120 年振りにスズタケ (*Sasamorpha borealis*) の一斉開花が生じた。スズタケの一斉開花、そしてその後の一斉結実とともに、野ネズミの個体数が増加し、森林への被害が生じるのではないかと懸念が広まっていた。そこで、一斉結実による野ネズミの大発生が生じるかどうかを明らかにするため、愛知営林署管内段戸国有林ヒノキ人工林において、野ネズミの捕獲調査を実施した。野ネズミは、一斉結実直後の 2017 年秋には顕著な増加を示さなかった。2018 年春には、林木被害を引き起こすハタネズミ・ヤチネズミ類 (*Microtus montebelli* または *Eothenomys smithii*) の密度は比較的低いままであったが (3.3–23.3 個体/ha)、アカネズミ類 (*Apodemus argenteus* および *A. speciosus*) の密度は大幅に増加した (53.3–80.0 個体/ha)。これらの結果は、スズタケ一斉結実に起因してハタネズミ・ヤチネズミ類が大発生し、森林被害が広範囲で発生する可能性は低いことを示している。しかし、よりハタネズミ・ヤチネズミ類の増加に適した地域において大発生が生じる可能性は残っているため、個体数変動には今後も注意を払う必要がある。

キーワード：一斉開花、変動する資源、スズタケ、ハタネズミ・ヤチネズミ類、アカネズミ類

原稿受付：令和元年 7 月 23 日 原稿受理：令和元年 9 月 12 日

1) 森林総合研究所 野生動物研究領域

2) 森林総合研究所 森林植生研究領域

3) 森林総合研究所 関西支所

4) 森林総合研究所 東北支所

5) 中部森林管理局 愛知森林管理事務所

* 森林総合研究所 野生動物研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里 1

短 報 (Short communication)

カラマツコンテナ苗における床替苗根腐病

升屋 勇人^{1)*}、安藤 裕萌¹⁾、八木橋 勉²⁾、齋藤 智之³⁾、野口 麻穂子³⁾

要旨

2014年に岩手県下で発生したカラマツコンテナ苗の枯死原因を調査した。分離試験の結果、*Fusarium* 属菌による根腐れが主因と考えられた。特に当年度に床替えした苗で大発生していることから、床替苗根腐病と診断された。苗木の植え替え時における根の損傷、仕立て時の様々な因子が急速な病徴の進展に大きく関与していると予想された。

キーワード：コンテナ苗、枯死、*Fusarium*、根腐れ

I. はじめに

近年の林業成長産業化に向けた様々な取り組みが進む中、特に林業の採算性を大きく向上させるために造林経費の削減が模索されている(宇都木 2015)。その林業の造林経費低減の鍵となる技術の一つとして、林業用マルチキャビティコンテナは特に重要なツールとなっている(山田ら 2015)。コンテナで育成された苗(コンテナ苗)は、従来苗よりも根の成長がよく、また植栽前の掘り取りにおける細根のダメージがないため、高い活着率を示し、通年植栽や一貫作業システムを導入することで、造林経費を大きく削減できる有望な技術と考えられている(梶本・宇都木 2016)。コンテナ苗の研究はスギ、ヒノキが中心であるが、北海道や東北においてはカラマツも重要な造林樹種であるため、カラマツコンテナ苗の育成も行われている(原山ら 2016, 成松ら 2016)。一方、こうした技術開発の全体的な流れの中で、育成時、植栽後における苗木の病害についての視点からの論文はほとんど見当たらない。著者らはこれまでに様々なコンテナ苗の病害について診断を行ってきたが、本論文ではその一つとして、これまで特に注目されてこなかった被害について報告する。

2014年夏に岩手県下で育成中のカラマツコンテナ苗で大量枯死が発生した(Fig. 1)。当年生苗を床替した後に、急速な萎凋、枯死が発生し、育成中のコンテナ苗の4割以上が生育不良、もしくは枯死に至っていた。ここでは、立ち枯れた苗からの病原体の検出と病害の診断結果について報告するとともに、発生要因について考察する。



Fig. 1. カラマツコンテナ苗における集団的枯死

II. 方法

本研究で用いたカラマツコンテナ苗は前年5月に苗床に播種したカラマツ種子から発芽した実生を、2014年5月に150mLリブ付きマルチキャビティコンテナ(JFA150)へ移植したものであった。移植後2か月以内に急激な萎凋、枯死の症状が現れた。採集は2014年8月1日に行い、症状の表れている苗のうち、完全な枯死には至っていない苗10本について、実験室に持ち帰り調査した(Fig. 2)。

立ち枯れ苗の外観、枯死苗の葉、茎、根部に特徴的な病徴、標徴の有無、菌体の発生を肉眼および実体顕微鏡で観察した。また、苗の根部を水道水で洗浄し培地を除去した後、70%エタノールで1分間、次亜塩素酸ナトリウム水溶液(有効塩素濃度1%)で1分間洗浄した。最後に滅菌水で2回、2分間洗浄した。洗

原稿受付：令和元年6月11日 原稿受理：令和元年9月11日

1) 森林総合研究所 きのこ・森林微生物研究領域

2) 森林総合研究所 森林植生研究領域

3) 森林総合研究所 東北支所

* 森林総合研究所 きのこ・森林微生物研究領域 〒305-8687 つくば市松の里1



Fig. 2. 被害苗.

地上部の一部枯死が認められる他は健全に見えるが、主根は全て折れ曲がり、壊死が進行していた。

浄した根部を主根の壊死部、側根、細根それぞれに分け、苗1個体あたり主根の5か所から大きさ5mm四方の木片を、側根、細根からそれぞれ10か所から長さ1cmの根を採取した。それぞれの根片は0.1%麦芽エキス寒天培地で培養し、生育してきた単菌糸を2%麦芽エキス寒天培地に移植し、純粋培養菌株を確立した。分離部位による検出種の顕著な差は見られなかったため、最終的な出現頻度は分離に用いた全ての根片数における菌が検出された根片数の割合で算出した。

確立した菌株は形態およびリボゾームDNAのラージサブユニットにおけるD1/D2領域の塩基配列の相同性検索により同定した(Schoch et al. 2012)。形態観察は微分干渉顕微鏡(Leica DM2500)を用いて行った。菌糸体の様相と培地上に形成された胞子の形態について観察した。また、遺伝子解析は次の方法で行った。LSUrDNA-D1/D2領域を増幅するために用いられるプライマーNL1およびNL4(O'Donnell 1993)を用い、サーマルサイクラー(バイオラッドT100)で培養菌糸からの直接PCRにより、D1/D2領域を増幅した。PCR条件はTakemoto et al. (2014)に従った。PCR産物はBigDye Terminator kit v.3.1とABI3100(ThermoFisher Ltd.)を用いてシーケンス解析を行った。得られた塩基配列はDDBJに登録するとともに(LC494004~LC494013)、NCBIのGenbankで相同性検索を行い、リストアップされた種のうち98%以上の相同性を有する種類を候補とし、形態情報と合わせて検証し、種同定を行った。

Ⅲ. 結果と考察

立ち枯れした苗木では著しい地上部の萎凋と同時に、地下部の根において特徴的な根腐れ症状が観察された。根そのものは原型を保っていたが、細根はなく、根先端は黒色に変色しており、指で引っ張ると外皮は簡単にすっぽ抜けた。こうした症状は供試した全ての苗で認められた。主根はほとんど全てで損傷があるか、折れ曲がった状態でコンテナに移植されていた。

供試した苗木の腐敗根から検出された菌類は合計で11種が確認された。その中で特に*Fusarium oxysporum*

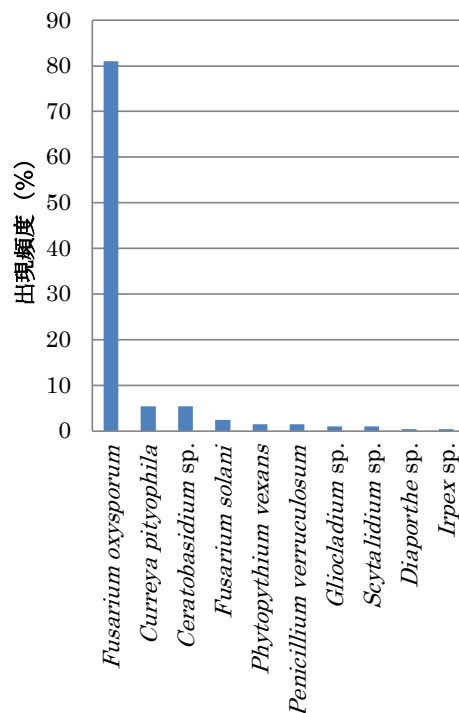


Fig. 3. 被害苗の根部から分離された菌類とその出現頻度

出現頻度 = (菌が検出された根片数 / 供試した根片数) × 100

が優占的に分離された。その他病原菌と考えられる種類としては、*Ceratobasidium* sp.、*Fusarium solani*、*Phytophthium vexans*があったが、*F. oxysporum*と比べて非常に低頻度であった(Fig. 3)。*Fusarium oxysporum*は全ての供試苗から分離され、供試した根部の約80%以上から検出された(Fig. 3)。一般に根腐れを引き起こす病原菌については接種試験により病原菌であることを証明する必要があるが、苗木の腐敗根の状態、および腐敗根より検出された菌の種類、および検出頻度から、今回のカラマツ苗集団枯死は床替苗根腐病によるものと考えられた。

*Fusarium oxysporum*は現在様々な種が含まれる複合種と考えられており、その分類の再編が進んでいる(Lombard et al. 2019)。一部はすでに*F. oxysporum*と異なる種として報告されているが(Lombard et al. 2019)、使用されている菌株数は限定的であり、また交配可能性についての検討も十分ではない。*F. oxysporum*は日本国内で樹木苗に被害を引き起こすことが報告されているが(伊藤 1959)、その分類学的詳細については全く検討が行われていない。本研究で見出された種類の*F. oxysporum*複合種内における位置づけについては、日本における他の苗木枯死被害を引き起こす*F. oxysporum*とともに再整理を行う必要があるが、現段階では*F. oxysporum*として報告する。

伊藤(1959)によれば、本病害は次の5つの条件下で発生しやすいという。1) まき付当年に罹病した立枯病

苗を床替した場合、2) 床替えの際に根を長時間露出して乾燥させた場合、3) 輸送中等で根が傷ついた場合、4) 床替え後に乾燥が続く、発根が遅れた場合、5) 床替え後に大雨等により苗床が水浸しになった場合、である。今回の発病はどの事例に当てはまるかは移植時のデータがないため不明であるが、根の損傷がほとんどの苗で認められたことから、移植時の根の取り扱いに問題があった可能性が高い。

上記の点を踏まえた苗木の育成が必要であることは言うまでもないが、さらには窒素過多でリン酸質が欠乏すると *Fusarium* 属菌による被害が大きくなるという (伊藤 1959)。今回の被害地における施肥条件については生産者からは明かされていないが、この場合、生育促進よりも病害抑制に観点がおかれた施肥条件の最適化も今後の課題となるだろう。また、本病に対して、実際にどれくらい有効かどうかの検証は必要ではあるが、苗木育成においてすでに普通に使用されているチウラム水和剤、タチガレン等が *Fusarium* による苗の立枯病に効果があるという報告がある (小口 1972)。これらは林木の苗木の立枯病の防除用に農薬登録がされており (農林水産消費安全センター農薬登録情報提供システム (http://www.acis.famic.go.jp/index_kensaku.htm) 2019 年 5 月 1 日現在)、本病害の防除対策の選択肢としてあげることができる。あらかじめ培地に混和した状態での移植や、移植と同時に施用することで、防除効果を上げることができる。

今回検出された病原体は基本的に土壤中に広く分布する種類ではあるが、培養土への混入は苗木の育成に影響を及ぼす可能性がある。また、育苗用の水を河川から直接引く等でも育成環境への混入はあり得る。よって栽培環境への病原体の混入を抑制するような育成手法も考えてゆく必要があるだろう。

本論文では最後に、これまでにカラマツ苗の育成段階で生育を阻害したり枯死させたりする樹木病害について、検索キーを作成した。病害診断の助けになれば幸いである。

引用文献

- 原山 尚徳・来田 和人・今 博計・石塚 航・飛田 博順・宇都木 玄 (2016) 異なる時期に植栽したカラマツコンテナ苗の生存率, 成長および整理生態特性. 日林誌, 98, 158-166.
- 伊藤 一雄 (1959) 図説苗畑病害診断法 (前編). 林野共済会, 東京. 132pp.
- 梶本 卓也・宇都木 玄 (2016) プロジェクト「コンテナ苗を活用した低コスト造林技術の実証研究」の紹介. 森林遺伝育種, 5, 101-105.
- 成松 眞樹・八木 貴信・野口 麻穂子 (2016) カラマツコンテナ苗の植栽時期が植栽後の活着と成長に及ぼす影響. 日林誌, 98, 167-175.
- 小口 健夫 (1972) 稚苗立枯病とその防除. 光珠内季報, 13, 13-16.
- Lombard, L., Sandoval-Denis, M., Lamprecht, S. C. and Crous, P. W. (2019) Epitypification of *Fusarium oxysporum* – clearing the taxonomic chaos. *Persoonia*, 43, 1-47.
- O'Donnell, K. (1993) *Fusarium* and its near relatives. In DR Reynolds, JW Taylor (eds), *The fungal holomorph: Mitotic and pleomorphic speciation in fungal systematics*, CAB International, Wallingford, p. 225-233.
- Schoch, C. L., Seifert, K. A., Huhndorf, S., Robert, V., Spouge, J. L., Levesque, C. A. and Chen, W. (2012) Nuclear ribosomal internal transcribed spacer (ITS) region as a universal DNA barcode marker for *Fungi*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 6241-6246.
- 宇都木 玄 (2015) これからの森林施業の道筋を考える. 山林, 1570, 20-29.
- Takemoto, S., Masuya, H. and Tabata, M. (2014) Endophytic fungal communities in the bark of canker-diseased *Toxicodendron vernicifluum*. *Fungal Biology*, 7, 1-8.
- 山田 健・三樹 陽一郎・ノースジャパン素材流通協同組合 (2015) コンテナ苗 その特徴と造林方法. 林業改良普及双書, 178. 全国林業改良普及協会, 148pp.
- これまでに知られているカラマツ苗の病害 (伊藤 (1959) を元に一部改変)
1. 苗基部に奇形あり……………こぶ苗病 (葉害)
奇形なし……………2
 2. 葉の変色あり (壊死なし) ……3
葉の壊死……………4
 3. 葉が黄色っぽく変色…黄化病 (生理障害: Mg 欠乏)
葉が紫色っぽく変色…紫色化病 (生理障害: リン酸欠乏)
 4. 葉の部分的な壊死……………5
葉の部分的な壊死～苗木の全身的枯死…6
 5. 当年、前年生長枝の枯死…先枯病 (*Botryosphaeria laricina*)
急速な落葉・枯死…落葉病 (*Mycodiella laricis-leptolepidis*)
太い枝も枯死……………7
 6. 樹皮下に微細な黒色粒…微粒菌核病
(*Macrophomina phaseolina*)
微細な黒色粒なし……………7
 7. くもの巣状の菌糸のみ…くもの巣病 (*Ceratobasidium* spp.)
菌糸とともに胞子あり…灰色かび病 (*Botrytis cinerea*)
地際に菌糸体が発達……………8
地際に菌糸体発達しない…9
 8. 扇状、半円形の菌体…ちゃいばたけ病
(*Thelephora terrestris*)
フェルト状の菌体……紫紋羽病 (*Helicobasidium mompa*)
 9. 実生に発生・根腐れ…稚苗立枯病
(*Pythium* spp., *Ceratobasidium* sp., *Fusarium* spp. etc.)
床替えした苗で発生・*Fusarium* 優占…床替苗根腐病
(*Fusarium oxysporum*)

The *Fusarium* root rot on *Larix kaempferi* containerized seedlings

Hayato MASUYA ^{1)*}, Yuho ANDO ¹⁾, Tsutomu YAGIHASHI ²⁾,
Tomoyuki SAITO ³⁾ and Mahoko NOGUCHI ³⁾

Abstract

We investigated the cause on the rapid mass mortality of *Larix kaempferi* containerized seedlings at Iwate Prefecture, northern Japan in 2014. In particular, seedlings transplanted in current year were dead massively. The result of isolation test showed the main causal agent was *Fusarium oxysporum*. Thus, we diagnosed the disease as *Fusarium* root rot caused by transplanting. The rapid mass mortality may be related to the root damage by transplanting and various factors such as water and soil conditions in production of seedlings.

Key words: containerized seedling, mortality, *Fusarium*, root rot

Received 11 June 2019, Accepted 11 September 2019

1) Department of Mushroom Science and Forest Microbiology, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Department of Forest Vegetation, FFPRI

3) Tohoku Research Center, FFPRI

* Department of Mushroom Science and Forest Microbiology, FFPRI, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN;
e-mail: massw@ffpri.affrc.go.jp

研究資料 (Research record)

森林総合研究所十日町試験地における冬期の気象および雪質の調査資料 (9) (2014/15 年～2018/19 年 5 冬期)

竹内 由香里^{1)*}、勝島 隆史¹⁾、遠藤 八十一²⁾

要旨

森林総合研究所十日町試験地では雪氷災害や地球科学の研究の基礎資料とするために、1918 年からの気象観測に加えて、1939/40 年冬期からは積雪の断面観測が継続されてきた。本報告には最近 5 冬期 (2014/15 年～2018/19 年) の毎日の天気、気温、降水量、降雪深、積雪深、積雪水量および約 10 日毎に実施した積雪断面観測結果をまとめた。

キーワード：積雪断面観測、気象観測、十日町

1. はじめに

森林総合研究所十日町試験地では、1917 年 3 月に林業試験場十日町森林測候所として開設されて以来、治山治水や雪氷災害防止の基礎資料とするため、また地球科学研究の基礎データとするために気象および積雪の観測が継続されてきた (竹内ら 2019)。1939/40 年冬期からは積雪断面観測が開始され、当初は 5 日毎、1951/52 年以降は 10 日毎に観測した雪質や密度、硬度などのデータが蓄積されてきた。観測結果は積雪の密度資料 (防災部雪害研究室 1952)、雪質調査資料 (雪質、硬度、抗剪力、抗張力) (防災部雪害研究室 1953) および雪質の調査資料 (2)～(8) (十日町試験地ら 1967, 十日町試験地・防災第一研究室 1986, 1987, 山野井ら 2000, 2005, 竹内ら 2009, 2014) として公表されている。本報告は、その後 5 冬期 (2014/15 年～2018/19 年) の毎日の降積雪観測および 10 日毎の積雪断面観測の結果をまとめたものである。なお本報告では、例えば 2018 年 11 月～2019 年 4 月の冬期間を 2018/19 年冬期または 2019 年冬期と記した。

2. 観測の方法

観測は新潟県十日町市にある森林総合研究所十日町試験地 (北緯 37°08′、東経 138°46′、標高 200 m) の観測露場で行なった。竹内ら (2014)、秋田谷・山田 (1991)、気象庁 (2018)、日本雪氷学会 (2010) などにならって以下の方法で実施した。

2.1 気象・積雪観測

通年で観測している気温、降水量などに加え、冬期

間は天気、降雪深、積雪深、積雪水量を測定した。気温、降水量、積雪深は自動観測 (Photo 1) により 1 時間ごとに記録した測定値にもとづいて、本報告では日平均気温、日降水量、9 時の積雪深を掲載した。天気は 12 月～3 月の毎日 9 時に目視観測した。降雪深 (降雪の深さ) は降雪板 (Photo 2) に積もった積雪の深さを毎日 9 時にものさしで測定し、前日の日降雪深とした。測定後は、板上の積雪を除去し、雪面を平らにならして板を設置しなおした。積雪水量の測定には、神室型スノーサンプラー (断面積: 20 cm²) およびメタルウェファース式積雪重量計を用いた (Photo 3)。スノーサンプラーでは雪面から地面まで鉛直に差し込んで全層の積雪を採取し、その雪を袋に入れて質量を台ばかり (最小目盛 5 g、最大荷重 2 kg) で測定した。測定は 3 回行ない、平均をとった。スノーサンプラーによる観測は 2018 年冬期をもって終了したので、本報告では 2018 年冬期までは既刊の報告を踏襲してスノーサンプラーの測定値、2019 年冬期は積雪重量計の測定値を掲載した。以上の観測方法は Table 1 にまとめた。降水量は通常は風除け付の溢水式降水量計 (Photo 1a) を使用したが、故障などの欠測時には転倒ます型雨量計 (ヒーター付、風除けなし) (Photo 1b) の測定値を使用した。

2.2 積雪の断面観測

積雪は、降雪のたびにできた多数の層が積み重なって構成されている。地面から雪面までの積雪全層について、雪質や温度、密度などの物理量の分布を調べるのが積雪の断面観測である。断面観測は、十日町試験

原稿受付：令和元年 7 月 11 日 原稿受理：令和元年 8 月 6 日

1) 森林総合研究所 十日町試験地

2) 元森林総合研究所 十日町試験地

* 森林総合研究所 十日町試験地 〒948-0013 新潟県十日町市川原町 614-9

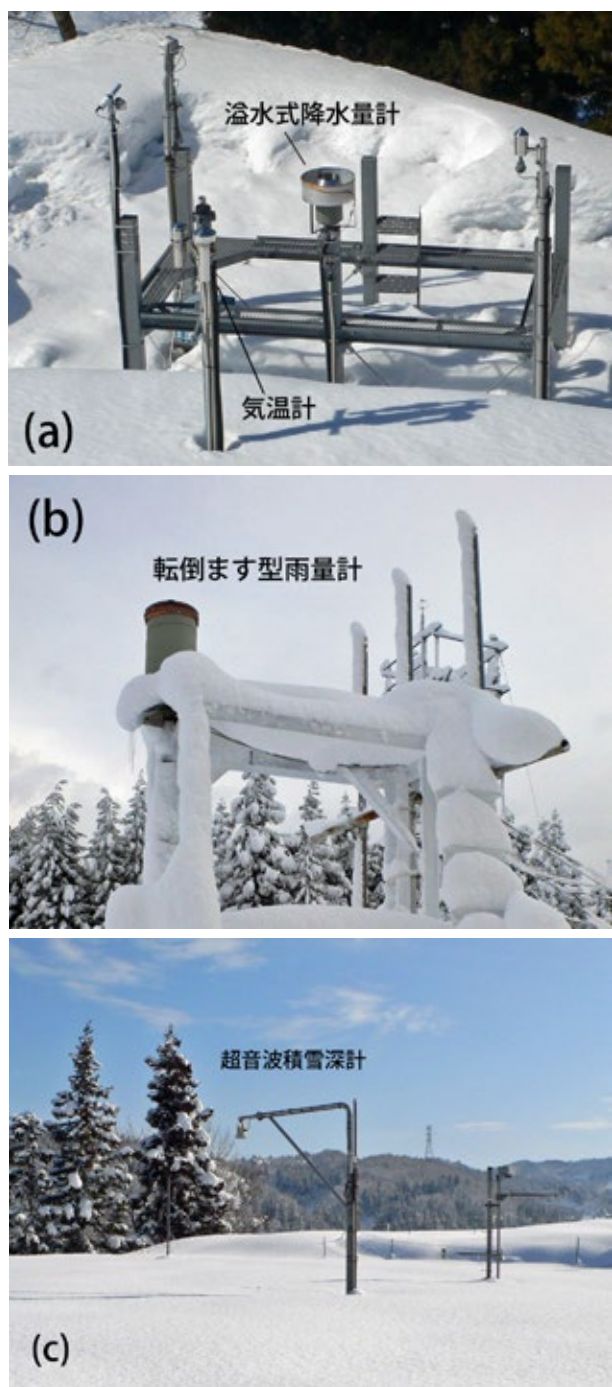


Photo 1. 十日町試験地の気象観測の様子

Meteorological observations of Tohkamachi Experimental Station, FFPRI

(a) 気温計（通風筒）と溢水式降水量計（風除けとヒーター付）(b) 転倒ます型雨量計（ヒーター付）(c) 超音波式積雪深計

(a) Thermometer in the ventilation pipe, and snow and rain gauge with heater and windbreak (b) Tipping bucket rain gauge with heater (c) Ultrasonic snow depth meter



Photo 2. 降雪板（雪板）

The board for measuring snowfall depth



Photo 3. (a) 神室型スノーサンプラーを用いた積雪水量の測定 (b) メタルウェファー式積雪重量計

(a) Measurement of snow-water equivalent using the Kamuro-type snow sampler (b) Metal wafer snow weight meter

Table 1. 気象・積雪観測の方法
Observation methods

項 目	方 法	観測時刻
天気	目視観測	9時
気温	白金測温抵抗体気温計、高さ 4.0 m 横河電子機器株式会社製E-734	毎正時
降水量	溢水式降水量計（受水口の高さ 3.5 m） 横河電子機器株式会社製B-071 転倒ます型雨量計（ヒーター付）（受水口の高さ 3.9 m） ^{*1} 横河電子機器株式会社製B-011	毎正時
積雪深	超音波積雪深計 株式会社カイジョーソニック製SL-350型	毎正時
降雪深	降雪板（雪板）	9時
積雪水量	神室型スノーサンプラー（断面積 20 cm ² ）（2018 年冬期まで） メタルウェファ式積雪重量計（2019 年冬期） 新潟電機株式会社製 MN-301R	9～10時 ^{*2} 9時

*1 2016/02/29～03/03, 2017/01/04～02/09に使用

*2 休日や不在日は欠測

地において 75 年以上継続されてきた通りに積雪期間中
ほぼ 10 日毎（毎月 5、15、25 日またはその前後の日）
に行なった。積雪を地面まで掘って幅 2 m ほどの鉛直
断面（Photo 4）を作成し、以下に記述する順に各項目
の測定を行なった。

1) 天気・気温・積雪深

観測開始時の天気、気温および積雪断面の中央に雪
尺（ものさし）を立てて測定した積雪深を記録した。

2) 雪温

サーミスター温度計（分解能 0.1℃）（Photo 5）で雪
面および高さ 10 cm 間隔の雪温を測定した。温度計は
予め 0℃の検定をし、測定値の補正は不要であることを
確認している。雪面温度はセンサーが日射を受けな
いよう雪べらなどで陰をつくって測定した。

3) 層構造・雪質

目視観測により積雪の層構造と各層の雪質を記載
した。雪質は日本雪氷学会積雪分類（日本雪氷学会
1998）に従って Table 2 のように判別し、記号で表記し
た。同一の層に部分的に異なる雪質が混在している場
合、具体的にはしまり雪層の一部が水みちとなりざら
め雪になっている場合にはスラッシュで区切って「●/
○」と表記した。氷板は層境界をあらわす実線の右端
に i と記載した。また、新雪中のあられ粒子が顕著な
ときには「+△」と表記した。

4) 粒径

積雪の粒径は、2018 年冬期までは主としてフルイ式
の粒度ゲージ（Photo 6a；遠藤ら 2003）、2019 年冬期
はビーズ式粒度ゲージ（Photo 6b；納口 2001）を用い
て、0.2 mm 以下、0.2－0.5 mm、0.5－1.0 mm、1.0－
2.0 mm、2.0－5.0 mm、5.0 mm 以上の 6 段階に区分し
た。ただし、例えば 0.5－1.0 mm と 1.0－2.0 mm の粒
径が混在するような場合には、0.5－2.0 mm とまとめ



Photo 4. 積雪断面観測
Snow pit observation.



Photo 5. 雪温の測定
Measurement of snow temperature

Table 2. 雪質の分類と記号
The classification for
grain shape of snow and
the graphic symbols

雪質	記号
新雪	++
こしまり雪	//
しまり雪	●●
ざらめ雪	○○
こしもざらめ雪	□□
しもざらめ雪	^^
氷板	—i
表面霜	VV

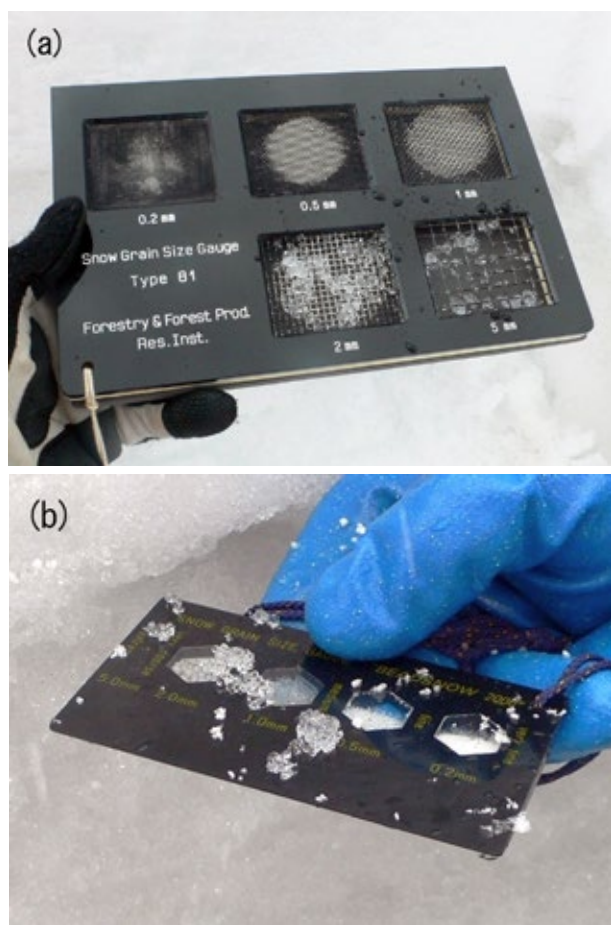


Photo 6. (a) フルイ式粒度ゲージ (b) ガラスビーズ式粒度ゲージ
(a) Snow grain size gauge using sieves (b) Snow grain size gauge using glass beads

て記載した。測定は、原則として層ごとに行なった。

5) 密度

積雪の密度は、高さ 3 cm、容積 100 cm³ の角形密度サンプラーを用いて採取した積雪の質量を電子天秤（分解能 0.1 g）で測定して求めた（Photo 7）。測定は 3）で確認した層ごとに、原則として各層の中央付近の高さで測定し、氷板や層境界にかからないようにした。ひとつの層が厚い時には上方と下方の 2 ケ所以上で測

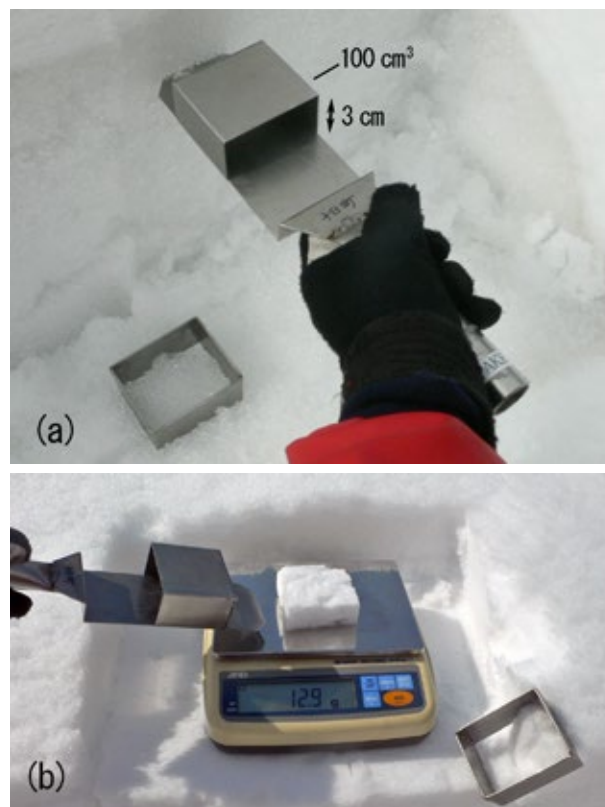


Photo 7. 密度の測定 (a) 密度サンプラー (b) 採取した 100 cm³ の雪の質量を測定
Measurement of snow density (a) Sampler for measuring snow density (b) Measurement of the mass of 100 cm³ snow

定した。密度サンプラーの中央の高さを測定高さとした。

6) 含水率

2) の雪温が 0℃ の層については、積雪の含水率を誘電方式の含水率計（Denoth 1994）で測定した。Denoth 式含水率計は、オーストリアのインスブルック大学実験物理学研究所製で Photo 8 のように板状のセンサー（12.5 cm × 14 cm、厚さ 1.5 mm）を積雪層に差し込み、誘電定数を測定する。含水率計本体にはブリッジ回路が入っていて、測定の際は 2 つのダイヤルを調整し、電流を示すアナログメーターが最小になったときの表示 U をよむ。この値が式 (2) の U となる。体積含水率 W_v は、雪の誘電定数 ε を表わす関係式 (1) と (2) を解いて算出した。ここで、 ρ は積雪の密度、 U_{ref} はセンサーを 0℃ の空気中においたときの検定値、 k は含水率計の定数であり、 U_{ref} や k は含水率計ごとの固有の値である。

$$\varepsilon = 1 + 1.92 \rho + 0.44 \rho^2 + 0.187 W_v + 0.0046 W_v^2 \quad (1)$$

$$\varepsilon = 1 + k \log (U / U_{ref}) \quad (2)$$

日本では積雪の含水率を重量含水率（積雪の全質量に対する水の質量の割合）で表わすのが一般的なので、得

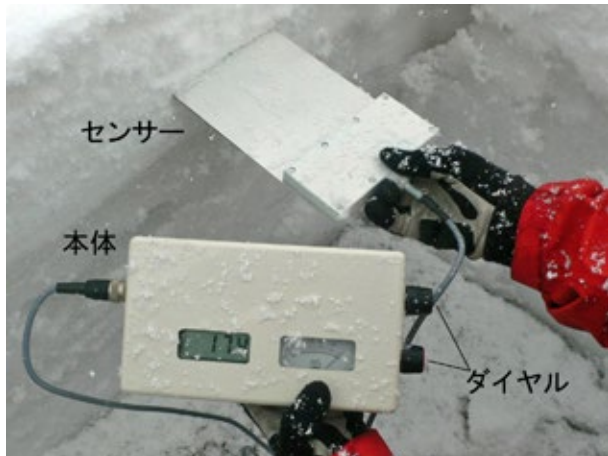


Photo 8. Denoth 式含水率計を用いた含水率の測定
Measurement of liquid-water content of snow
using the snow wetness dielectric device developed
by Denoth, A.

られた体積含水率 W_v (積雪の全体積に対する水の体積の割合) は式 (3) により重量含水率 W に換算した。 ρ_{water} と ρ は各々水と積雪の密度であり、 $\rho_{\text{water}} = 1000 \text{ kg m}^{-3}$ とした。

$$W = W_v (\rho_{\text{water}} / \rho) \quad (3)$$

上記 1) ~ 4) の測定をしている間、含水率計のセンサーは積雪に差し込んで 0℃ に冷やしてから使用した。そうすることにより、0℃ の空気中の検定値 U_{ref} を用いて計算する際の誤差が小さくなると考えられるからである (竹内ら 2005)。含水率は、式 (1) や式 (3) が示すように算出の際に密度も必要なので、5) の密度測定と同じ高さで測定した。

7) 硬度

積雪の硬度はプッシュゲージ (デジタル式荷重測定器) で測定した (Photo 9; Takeuchi et al. 1998, 竹内ら 2001)。使用したのはアイコーエンジニアリング社製のデジタルプッシュプルゲージ MODEL RX-10 で最小表示 0.01N、最大荷重 100 N である。直径 15.30 mm の円板状のアタッチメントを積雪断面に等速度 (数 cm s^{-1}) で 1 ~ 2 cm 押し込み、雪面を突き破るときの破壊強度、すなわち抵抗力の最大値を測定した。測定は 5 cm 間隔で行ない、同じ高さで 2 ~ 3 回測定して平均をとった。測定値 (N) をアタッチメントの断面積 (m^2) で除して硬度 (kPa) とした。

8) 積雪水量

2.1 の積雪水量測定とは別に、断面観測の一環として、神室型スノーサンプラーを使わずに雪面から地面までの全層積雪水量を測定した。すなわち、全層の積雪をいくつかに分割して採取し、各々の質量を電子天秤 (最小表示 0.1 g、最大容量 1200 g) で測定し、合計した。まず、Photo 10 のように積雪の適当な高さに雪べらを



Photo 9. プッシュゲージを用いた硬度の測定
Measurement of snow hardness using the push-gauge



Photo 10. アクリル製の円筒形スノーサンプラーを用いた積雪水量の測定
Measurement of snow-water equivalent using the acrylic cylindrical snow sampler

水平に差し入れ、その真上の雪面から円筒形スノーサンプラー (長さ 50 cm、断面積 40 cm^2) を雪べらに達するまで鉛直に差し込んで積雪を採取、質量を測定した。雪べらを真下の適当な位置に差し替え、1 回目の雪べらの位置からスノーサンプラーを鉛直に差し込み、同様の作業を繰り返して全積雪の質量を測定した。質量の合計値をサンプラーの断面積で除すと、積雪水量 (mm) が得られる。さらにこの値を積雪深で除して全層平均密度 (kg m^{-3}) も求めた。

9) ラム硬度

ラム硬度とは、先端が直径 4 cm、頂角 60° の円錐形状の細長い金属製パイプ (ラムゾンデ; Photo 11) におもりを落として衝撃を与え、積雪内へ貫入した深さを測定して求めた硬度である。長さ 1 m のパイプを積雪深に応じて継ぎ足しながら、雪面から地面までのラム硬度を連続して測定することができる。おもりの落



Photo 11. ラムゾンデを用いたラム硬度の測定
Measurement of Ram hardness using the ramsonde

下高さ h (cm)、落下回数 n およびラムゾンデの貫入深さ ΔX (cm) を測定し、式 (4) によってラム硬度 R (kg) を計算した。ここで、 Q (kg) はラムゾンデの質量で、継ぎ足して本数が増えれば Q も増加する。 M (kg) はおもりの質量、 m (kg) はガイド棒の質量である。

$$R = Q + M + m + (h n M) / \Delta X \quad (4)$$

これにもとづき積算ラム硬度 (kg cm) は $\Sigma (\Delta X R)$ 、平均ラム硬度 (kg) は積算ラム硬度を積雪深 HS (cm) で除して $\Sigma (\Delta X R) / HS$ として算出した。

3. 観測結果

Fig. 1 に 5 冬期の日平均気温、Fig. 2 に積雪深と日降雪深を示した。また Table 3 に冬期毎の降雪と根雪の初終日および日数をまとめた。根雪（長期積雪）の初終日と初終間日数は気象庁（2018）にならって次のように決めたが、積雪の有無は 9 時の積雪深によって決めた。根雪は、積雪が 30 日以上にわたって継続した場合とし、10 日以上継続した期間が 2 つあり、その間の無積雪日が合計 5 日以内の場合には 2 つの期間を通じて積雪が継続したものとし、冬期間の降雪深積算値および積雪深や積雪水量の最大値は Table 4 にまとめた。これらの元となる 11 月～4 月の気象要素の日別値（天気、日平均気温、日降水量、日降雪深、9 時の積雪深、積雪水量）を冬期別に Table 5 に掲載した。さ

Table 3. 降雪と根雪の初終日および日数
The first and last days, and the number of days on which snowfall and continuous snow cover were observed

年 (冬期)	降雪		根雪		
	初雪	降雪日数	初日	終日	初終間日数
2014/15	11.18	75	12.05	04.25	142
2015/16	11.27	55	12.27	03.27	92
2016/17	11.09	67	12.10	04.14	126
2017/18	11.16	71	12.12	04.06	116
2018/19	11.22	63	12.09	03.30	112
平年値	11.21	69	12.16	04.11	117

※平年値は1981～2010年の30年平均値

Table 4. 冬期の降雪深積算値、最大積雪深、最大積雪水量
Total daily snowfall, the maximum snow depth and the maximum snow-water equivalent during the winter periods

年 (冬期)	降雪深積算値 (cm)	最大積雪深 (cm)	最大積雪水量 (mm)
2014/15	1341	297	1144
2015/16	636	112	323
2016/17	918	191	661
2017/18	1086	239	784
2018/19	816	148	523
平年値	1060	214	718

※最大積雪水量は2017/18年冬期以前は観測した日のうちの最大値

※平年値は1981～2010年の30年平均値

らに 5 冬期間の積雪断面観測の結果を Fig. 3 に示した。表中の×は欠測、－は現象なし、0 は四捨五入して 1 に満たない測定値を表わす。

謝 辞

本報告の観測の一部は、丸山健治氏（（有）柳電機商会）、庭野昭二氏（元森林総合研究所十日町試験地）、村上茂樹氏（森林総合研究所九州支所）並びに西川勝二氏、小海義則氏、樋口隆一氏に支援していただいた。また、経費の一部は森林総合研究所基盤事業費（事項番号：K13、キ103、事項名：多雪地帯積雪観測）を使用した。

引用文献

- 秋田谷 英次・山田 知充（1991）積雪調査, 雪氷調査法, 北海道大学図書刊行会, 29-45.
- 防災部雪害研究室（1952）積雪の密度資料, 林業試験集報, 63, 95-160.
- 防災部雪害研究室（1953）雪質調査資料（雪質, 硬度, 抗剪力, 抗張力）, 林業試験場研究報告, 62, 59-124.
- Denoth, A. (1994) An electronic device for long-term snow wetness recording. *Annals of Glaciology*, 19, 104-106.
- 遠藤 八十一・竹内 由香里・山野井 克己・村上 茂樹・庭野 昭二（2003）フルイを用いた積雪粒度ゲージ. 2003 年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, 205.
- 気象庁（2018）気象観測統計の解説, 気象観測統計指針, 1-126.
- 日本雪氷学会（1998）日本雪氷学会積雪分類. 雪氷, 60, 419-436.
- 日本雪氷学会（2010）積雪観測ガイドブック. 朝倉書店, 136pp.
- 納口 恭明（2001）ビーズを用いた積雪粒度ゲージ. 防災科学技術研究報告, 62, 15-19.
- 竹内 由香里・遠藤 八十一・山口 悟・河島 克久・村上 茂樹・平島 寛行・伊豫部勉・宮崎 伸夫・納口 恭明・佐藤 和秀（2005）誘電方式と熱量方式による積雪含水率計の比較測定. 寒地技術論文・報告集, 21, 220-224.
- 竹内 由香里・遠藤 八十一・庭野 昭二・村上 茂樹（2009）十日町における冬期の気象および雪質の調査資料（7）（2004/05 年～2008/09 年 5 冬期）. 森林総合研究所研究報告, 8, 227-277.
- 竹内 由香里・遠藤 八十一・庭野 昭二・村上 茂樹（2014）十日町における冬期の気象および雪質の調査資料（8）（2009/10 年～2013/14 年 5 冬期）. 森林総合研究所研究報告, 13, 271-334.
- 竹内 由香里・勝島 隆史・庭野 昭二・村上 茂樹・山野井 克己・遠藤 八十一・小南 裕志（2019）森林総合研究所十日町試験地の気象 100 年報（1918 年～2017 年）. 森林総合研究所研究報告, 18, 35-99.
- Takeuchi, Y., Nohguchi, Y., Kawashima, K. and Izumi, K. (1998) Measurement of snow hardness distribution. *Annals of Glaciology*, 26, 27-30.
- 竹内 由香里・納口 恭明・河島 克久・和泉 薫（2001）デジタル式荷重測定器を利用した積雪の硬度測定. 雪氷, 63, 441-449.
- 十日町試験地・防災第一研究室（1986）雪質の調査資料（3）1965 年 12 月～1975 年 4 月 10 冬季. 林業試験場研究報告, 341, 63-145.
- 十日町試験地・防災第一研究室（1987）雪質の調査資料（4）1975 年 12 月～1985 年 4 月 10 冬季. 林業試験場研究報告, 342, 61-151.
- 十日町試験地・山形分場多雪地帯林業第二研究室・防災部防災科（1967）雪質の調査資料（2）. 林業試験場研究報告, 199, 1-46.
- 山野井 克己・遠藤 八十一・小南 裕志・庭野 昭二・渡辺 成雄・大関 義男（2000）雪質の調査資料（5）（1985 年 12 月～1999 年 4 月 14 冬季）. 森林総合研究所研究報告, 378, 87-181.
- 山野井 克己・竹内 由香里・村上 茂樹・庭野 昭二・遠藤 八十一・渡辺 成雄（2005）十日町における雪質の調査資料（6）（1999 年 11 月～2004 年 4 月 5 冬季）. 森林総合研究所研究報告, 4, 225-258.

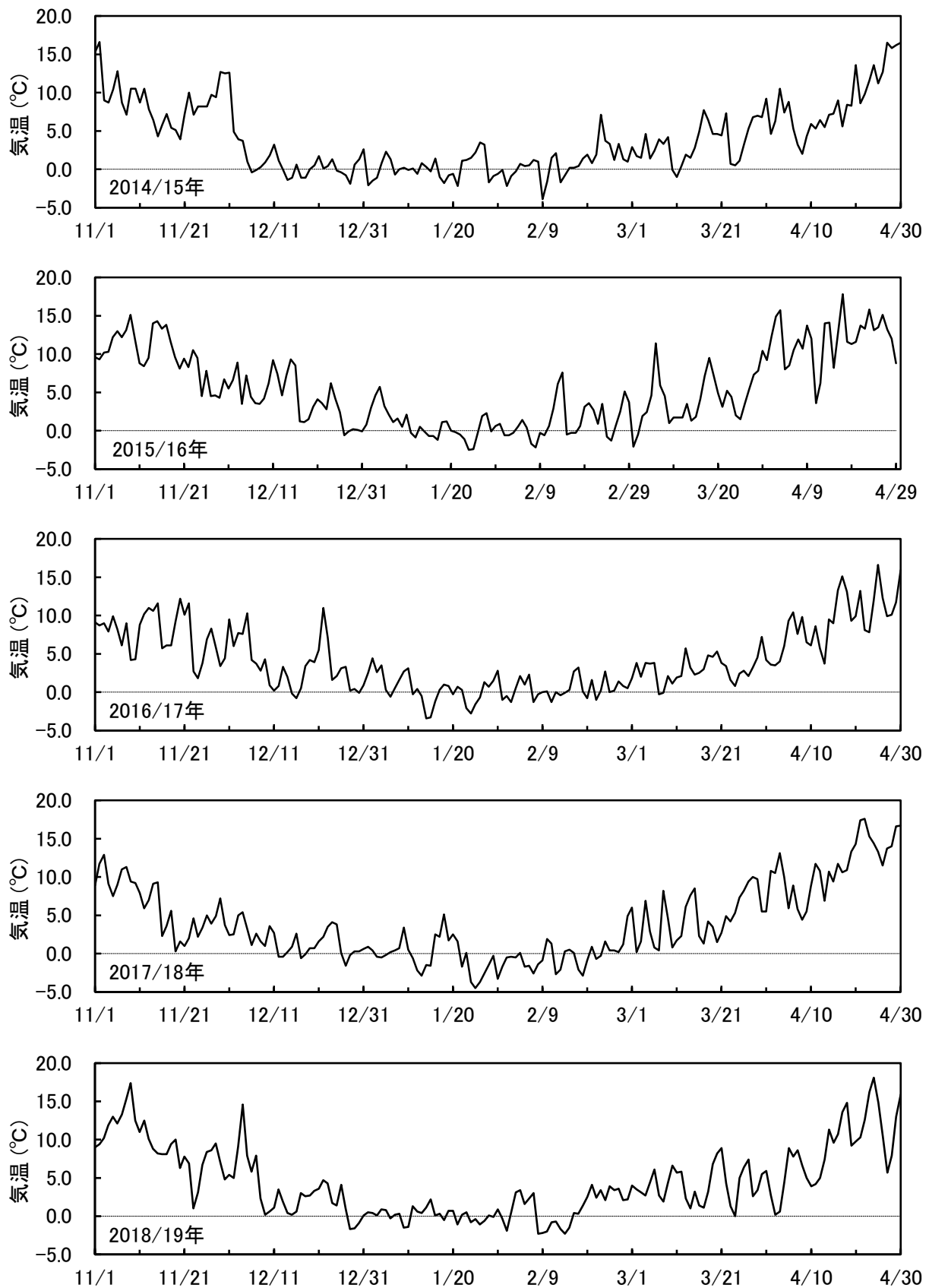


Fig. 1. 日平均気温
Daily mean air temperature

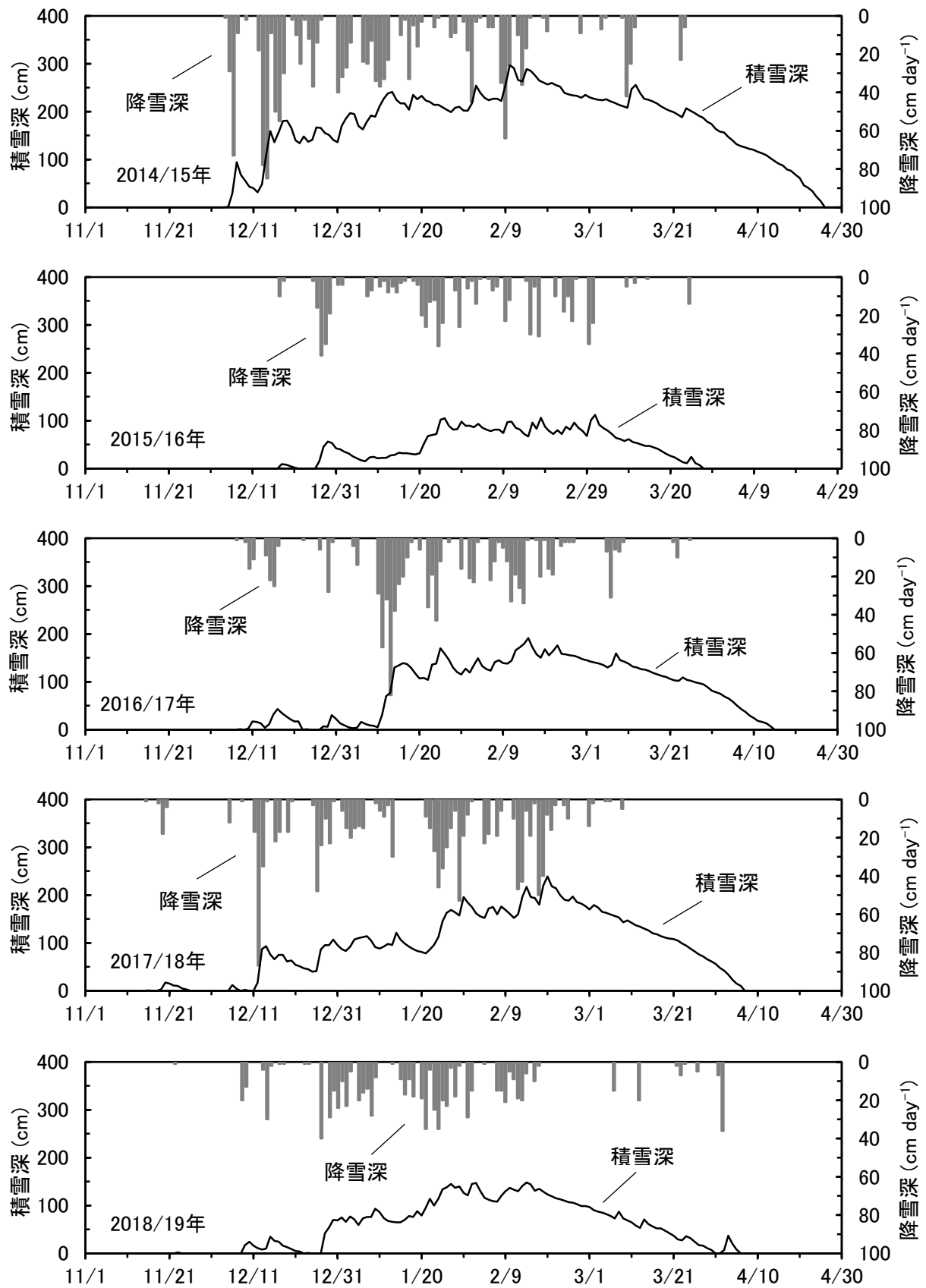


Fig. 2. 積雪深と日降雪深
Snow depth and daily snowfall depth

Table 5. 気象要素の日別値 (2015 年冬期)
Daily meteorological data (2015 winter period)

2014 年							2014 年							2015 年						
月日	天気	平均気温 (℃)	降水量 (mm)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)	月日	天気	平均気温 (℃)	降水量 (mm)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)	月日	天気	平均気温 (℃)	降水量 (mm)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)
11.01	雨	15.3	5.5	-	-	-	12.01	曇	12.6	14.0	-	-	-	1.01	雪	-2.1	37.0	32	170	×
11.02	快晴	16.6	13.0	-	-	-	12.02	晴	4.9	0.5	-	-	-	1.02	雪	-1.5	16.5	27	185	×
11.03	曇	9.0	19.0	-	-	-	12.03	晴	3.9	-	-	-	-	1.03	雪	-1.1	25.5	14	197	×
11.04	曇	8.7	12.0	-	-	-	12.04	雨	3.7	3.0	1	-	-	1.04	雨	0.8	9.5	-	195	×
11.05	快晴	10.4	-	-	-	-	12.05	雨	1.0	29.0	29	1	×	1.05	雨	2.3	4.0	-	170	663
11.06	×	12.8	5.5	-	-	-	12.06	雪	-0.4	65.0	73	29	×	1.06	雨	1.3	14.0	24	163	600
11.07	×	8.7	1.5	-	-	-	12.07	雪	-0.1	37.0	9	94	×	1.07	雪	-0.7	17.5	25	179	665
11.08	晴	7.1	-	-	-	-	12.08	晴	0.3	1.0	0	68	112	1.08	雪	0.0	23.5	13	192	665
11.09	曇	10.5	5.5	-	-	-	12.09	雪	0.9	24.0	2	56	111	1.09	雪	0.2	23.5	34	189	682
11.10	×	10.5	5.0	-	-	-	12.10	曇	1.8	0.5	-	43	111	1.10	曇	-0.1	42.0	37	211	×
11.11	×	8.7	-	-	-	-	12.11	曇	3.2	20.0	0	40	125	1.11	雪	0.1	34.0	33	227	×
11.12	×	10.5	3.5	-	-	-	12.12	雪	1.1	12.0	18	31	100	1.12	雪	-0.6	22.5	23	238	×
11.13	×	7.8	1.0	-	-	-	12.13	雪	-0.1	44.5	78	48	×	1.13	曇	0.8	4.0	-	241	807
11.14	×	6.4	0.5	-	-	-	12.14	雪	-1.4	92.0	85	109	×	1.14	晴	0.3	0.5	-	225	823
11.15	雨	4.3	43.0	-	-	-	12.15	雪	-1.1	30.5	9	159	276	1.15	曇	-0.3	25.0	10	217	812
11.16	雨	5.8	4.5	-	-	-	12.16	曇	0.6	4.0	50	136	271	1.16	曇	1.4	5.0	2	217	838
11.17	×	7.2	3.5	-	-	-	12.17	雪	-1.1	106.5	55	157	327	1.17	雪	-1.0	32.0	33	204	×
11.18	×	5.4	24.5	-	-	-	12.18	雪	-1.1	33.0	30	180	382	1.18	雪	-1.8	10.5	5	235	×
11.19	×	5.1	9.0	-	-	-	12.19	曇	0.0	6.5	-	181	425	1.19	雪	-0.8	17.5	16	226	882
11.20	×	3.9	-	-	-	-	12.20	曇	0.5	11.0	2	166	×	1.20	雪	-0.6	8.5	3	233	895
11.21	×	7.2	-	-	-	-	12.21	雪	1.7	24.0	10	140	×	1.21	晴	-2.2	0.5	-	223	893
11.22	快晴	10.0	-	-	-	-	12.22	雪	0.1	37.5	25	134	453	1.22	雨	1.1	7.5	-	220	880
11.23	雨	7.1	4.0	-	-	-	12.23	雪	0.4	11.0	2	148	×	1.23	雨	1.2	14.5	6	214	886
11.24	晴	8.2	0.5	-	-	-	12.24	曇	1.3	6.5	12	137	495	1.24	晴	1.5	2.0	1	214	×
11.25	×	8.2	21.5	-	-	-	12.25	雪	-0.2	37.5	37	141	500	1.25	雨	2.2	9.5	-	209	×
11.26	×	8.2	13.0	-	-	-	12.26	曇	-0.4	25.0	14	167	533	1.26	晴	3.5	-	-	204	876
11.27	×	9.7	5.5	-	-	-	12.27	晴	-0.8	7.0	2	166	×	1.27	雨	3.2	5.0	11	199	883
11.28	×	9.4	0.5	-	-	-	12.28	快晴	-1.9	0.5	-	155	×	1.28	雪	-1.7	11.0	9	208	888
11.29	雨	12.7	20.0	-	-	-	12.29	雨	0.6	11.0	-	151	×	1.29	晴	-0.9	0.5	-	210	882
11.30	曇	12.5	2.0	-	-	-	12.30	雨	1.3	31.5	-	141	×	1.30	曇	-0.6	3.0	3	202	882
							12.31	晴	2.6	20.5	40	136	×	1.31	雪	-0.1	20.5	18	202	×

Table 5. 気象要素の日別値 (2015 年冬期 つづき)
Daily meteorological data (2015 winter period. Continue)

2015 年 月日	天気	平均気温 (°C)	降水量 (mm)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)
2.01	雪	-2.2	23.5	45	217	×
2.02	雪	-0.9	13.5	3	254	949
2.03	曇	-0.3	1.0	1	239	950
2.04	晴	0.7	0.5	-	229	916
2.05	晴	0.4	0.5	6	224	937
2.06	雪	0.5	18.5	6	227	935
2.07	雪	1.2	0.0	-	227	×
2.08	快晴	1.0	6.0	35	222	×
2.09	雪	-3.9	54.5	64	255	956
2.10	晴	-1.6	33.5	26	297	986
2.11	曇	1.5	5.0	-	291	×
2.12	晴	2.1	0.5	10	266	1035
2.13	雪	-1.7	35.5	36	263	1057
2.14	雪	-0.8	35.0	17	289	×
2.15	雪	0.2	6.0	1	285	×
2.16	曇	0.2	-	-	276	1112
2.17	曇	0.4	0.5	-	265	1132
2.18	雨	1.4	10.5	1	261	1102
2.19	雪	1.9	16.0	8	257	1119
2.20	雪	0.8	22.0	0	260	1144
2.21	快晴	1.9	-	-	255	×
2.22	晴	7.1	2.5	-	252	×
2.23	雨	3.7	4.0	-	239	1084
2.24	曇	3.3	0.5	-	236	1060
2.25	曇	1.2	-	-	234	1064
2.26	曇	3.3	1.0	0	233	1044
2.27	雪	1.3	21.5	9	229	1045
2.28	晴	1.0	1.0	-	235	×

2015 年 月日	天気	平均気温 (°C)	降水量 (mm)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)
3.01	曇	2.9	16.5	0	230	×
3.02	雪	1.7	9.0	0	227	1050
3.03	晴	1.5	-	-	225	1037
3.04	雨	4.6	4.0	7	224	1036
3.05	雪	1.4	8.5	1	226	1025
3.06	曇	2.4	-	-	221	1019
3.07	晴	3.9	0.5	-	218	×
3.08	雨	3.3	3.0	-	214	×
3.09	曇	4.2	6.5	1	211	977
3.10	雪	-0.1	41.0	42	208	999
3.11	雪	-1.0	30.5	25	247	1027
3.12	雪	0.4	12.5	6	256	1027
3.13	晴	1.9	13.0	0	239	1069
3.14	晴	1.5	1.5	-	227	×
3.15	快晴	2.8	-	-	225	×
3.16	晴	4.9	-	-	221	1039
3.17	快晴	7.7	-	-	217	1040
3.18	晴	6.4	-	-	211	1021
3.19	雨	4.6	12.0	-	206	1007
3.20	雨	4.6	0.5	-	202	959
3.21	快晴	4.4	-	-	199	×
3.22	快晴	7.3	0.5	0	194	×
3.23	雪	0.7	12.5	23	188	914
3.24	雪	0.5	21.5	6	207	926
3.25	晴	1.1	4.0	-	202	932
3.26	晴	3.2	-	-	197	917
3.27	快晴	5.3	-	-	191	915
3.28	晴	6.8	-	-	187	×
3.29	晴	7.0	-	-	179	×
3.30	曇	6.8	-	-	174	870
3.31	快晴	9.2	-	-	164	842

2015 年 月日	天気	平均気温 (°C)	降水量 (mm)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)
4.01	雨	4.6	17.5	-	158	786
4.02	快晴	6.3	-	-	156	790
4.03	晴	10.5	6.0	-	147	741
4.04	曇	7.4	1.0	-	140	×
4.05	曇	8.8	8.5	-	132	×
4.06	雨	5.3	11.0	-	128	652
4.07	雨	3.2	9.5	-	125	658
4.08	曇	2.0	1.5	-	122	611
4.09	晴	4.3	-	-	120	613
4.10	曇	5.9	1.5	-	116	574
4.11	霧	5.3	10.0	-	113	×
4.12	快晴	6.4	-	-	109	×
4.13	曇	5.5	8.5	-	103	512
4.14	曇	7.1	6.0	-	97	491
4.15	晴	7.2	15.5	-	91	479
4.16	快晴	9.0	2.0	-	87	448
4.17	曇	5.6	2.0	-	79	401
4.18	×	8.4	-	-	76	×
4.19	×	8.3	1.5	-	68	×
4.20	雨	13.6	30.0	-	61	329
4.21	曇	8.6	14.0	-	46	270
4.22	快晴	9.8	-	-	41	230
4.23	晴	11.6	-	-	34	192
4.24	晴	13.6	-	-	22	143
4.25	×	11.2	-	-	13	×
4.26	×	12.7	-	-	-	-
4.27	快晴	16.5	-	-	-	-
4.28	×	15.8	-	-	-	-
4.29	×	16.2	-	-	-	-
4.30	×	16.5	-	-	-	-

Table 5. 気象要素の日別値 (2016 年冬期)
Daily meteorological data (2016 winter period)

2015 年							2015 年							2016 年						
月日	天気	平均気温 (°C)	降水量 (mm)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)	月日	天気	平均気温 (°C)	降水量 (mm)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)	月日	天気	平均気温 (°C)	降水量 (mm)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)
11.01	晴	9.6	0.5	-	-	-	12.01	曇	5.5	4.0	-	-	-	1.01	曇	0.8	6.0	4	40	×
11.02	×	9.3	18.5	-	-	-	12.02	晴	6.6	1.0	-	-	-	1.02	曇	3.0	0.5	-	35	×
11.03	雨	10.2	13.0	-	-	-	12.03	曇	8.9	5.0	-	-	-	1.03	曇	4.6	4.0	-	31	×
11.04	×	10.3	-	-	-	-	12.04	雨	3.5	28.5	-	-	-	1.04	晴	5.7	11.0	-	25	91
11.05	×	12.2	-	-	-	-	12.05	晴	7.2	21.0	-	-	-	1.05	雨	3.2	14.5	-	21	77
11.06	×	13.0	-	-	-	-	12.06	曇	4.4	1.5	-	-	-	1.06	曇	2.1	2.5	0	17	67
11.07	曇	12.2	-	-	-	-	12.07	快晴	3.6	-	-	-	-	1.07	雪	1.1	25.5	10	15	70
11.08	雨	13.1	5.0	-	-	-	12.08	快晴	3.5	-	-	-	-	1.08	晴	1.6	6.0	7	23	74
11.09	×	15.1	17.0	-	-	-	12.09	快晴	4.2	-	-	-	-	1.09	雪	0.5	12.5	-	24	×
11.10	×	11.8	13.5	-	-	-	12.10	曇	6.2	0.5	-	-	-	1.10	曇	2.1	14.0	5	21	×
11.11	×	8.8	1.5	-	-	-	12.11	雨	9.2	34.5	-	-	-	1.11	雪	-0.3	10.0	2	22	×
11.12	×	8.4	-	-	-	-	12.12	晴	7.4	1.5	-	-	-	1.12	晴	-0.9	1.0	8	22	83
11.13	×	9.5	0.5	-	-	-	12.13	曇	4.6	0.5	-	-	-	1.13	快晴	0.5	3.0	5	27	86
11.14	曇	14.0	18.0	-	-	-	12.14	霧	7.2	-	-	-	-	1.14	雪	-0.1	12.5	8	28	92
11.15	雨	14.3	21.0	-	-	-	12.15	晴	9.3	0.5	-	-	-	1.15	雪	-0.7	1.5	3	33	52
11.16	×	13.3	1.5	-	-	-	12.16	雨	8.5	5.5	0	-	-	1.16	雪	-0.7	7.5	2	32	×
11.17	×	13.8	3.5	-	-	-	12.17	雪	1.2	38.5	10	-	-	1.17	雪	-1.2	0.5	0	32	×
11.18	×	11.6	28.0	-	-	-	12.18	雪	1.1	7.5	2	9	22	1.18	雨	1.1	19.5	2	30	111
11.19	×	9.6	7.5	-	-	-	12.19	曇	1.5	13.0	-	8	×	1.19	晴	1.2	0.5	4	29	111
11.20	×	8.1	1.5	-	-	-	12.20	曇	3.1	-	-	5	×	1.20	雪	0.0	13.0	20	32	111
11.21	曇	9.4	5.5	-	-	-	12.21	雨	4.1	18.0	-	2	×	1.21	雪	-0.2	31.0	26	51	132
11.22	晴	8.3	-	-	-	-	12.22	雨	3.6	1.5	-	-	-	1.22	雪	-0.5	11.5	13	68	154
11.23	晴	10.5	-	-	-	-	12.23	曇	2.8	2.0	-	-	-	1.23	雪	-1.1	2.5	12	70	×
11.24	×	9.5	5.5	-	-	-	12.24	霧	6.2	1.5	-	-	-	1.24	雪	-2.5	23.5	36	72	×
11.25	×	4.5	7.0	-	-	-	12.25	雨	4.2	11.5	2	-	-	1.25	雪	-2.4	25.0	24	102	198
11.26	×	7.8	8.5	-	-	-	12.26	雪	2.4	19.5	16	-	-	1.26	晴	-0.3	0.5	-	105	212
11.27	×	4.5	9.0	-	-	-	12.27	雪	-0.6	48.0	41	15	×	1.27	曇	1.9	-	-	89	207
11.28	曇	4.6	19.5	-	-	-	12.28	晴	-0.1	15.0	35	45	47	1.28	曇	2.3	0.5	7	81	209
11.29	雨	4.3	18.0	-	-	-	12.29	雪	0.2	46.0	19	56	×	1.29	雪	-0.1	26.5	26	82	219
11.30	×	6.7	3.0	-	-	-	12.30	雪	0.1	9.5	-	53	×	1.30	曇	0.6	9.5	-	98	×
							12.31	晴	-0.1	5.5	4	42	×	1.31	曇	0.9	4.0	6	89	×

Table 5. 気象要素の日別値 (2016 年冬期 つづき)
Daily meteorological data (2016 winter period. Continue)

2016 年						2016 年						2016 年							
月日	天気	平均気温 (℃)	降水量 (mm)	降雪深 (cm)	積雪水量 (mm)	月日	天気	平均気温 (℃)	降水量 (mm)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)	月日	天気	平均気温 (℃)	降水量 (mm)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)
2.01	雪	-0.6	3.5	2	89	249	3.01	雪	-2.1	24.5	24	101	300	4.01	×	12.3	1.5	-	-
2.02	雪	-0.6	8.5	14	86	249	3.02	雪	-0.5	3.0	-	112	310	4.02	快晴	14.9	0.5	-	-
2.03	雪	-0.3	4.0	1	93	256	3.03	晴	1.9	3.5	-	91	315	4.03	晴	15.7	-	-	-
2.04	快晴	0.5	0.5	-	85	253	3.04	霧	2.4	-	-	84	323	4.04	×	8.0	7.0	-	-
2.05	雨	1.4	4.0	1	81	253	3.05	快晴	4.6	-	-	79	×	4.05	晴	8.5	-	-	-
2.06	雪	0.4	2.5	7	78	×	3.06	晴	11.4	-	-	72	×	4.06	×	10.5	-	-	-
2.07	雪	-1.7	6.0	5	81	×	3.07	雨	5.9	-	-	64	259	4.07	×	11.9	15.0	-	-
2.08	快晴	-2.2	-	-	81	260	3.08	曇	4.5	3.0	-	61	243	4.08	×	10.7	5.0	-	-
2.09	曇	-0.3	23.5	23	74	267	3.09	雨	1.0	11.5	5	57	235	4.09	快晴	13.7	-	-	-
2.10	雪	-0.6	19.0	12	97	295	3.10	曇	1.7	-	-	61	234	4.10	快晴	12.0	-	-	-
2.11	晴	0.6	1.0	-	98	×	3.11	雪	1.7	1.0	3	55	234	4.11	晴	3.6	4.5	-	-
2.12	快晴	2.9	-	-	85	295	3.12	晴	1.7	1.5	-	53	×	4.12	×	6.2	0.5	-	-
2.13	曇	6.1	-	-	81	×	3.13	晴	3.5	-	-	50	×	4.13	×	14.0	6.0	-	-
2.14	雨	7.6	9.5	2	72	×	3.14	雨	1.3	11.0	1	47	204	4.14	×	14.1	10.5	-	-
2.15	雪	-0.5	23.0	30	67	253	3.15	雨	1.8	5.5	-	47	207	4.15	×	8.2	3.0	-	-
2.16	快晴	-0.3	4.0	5	96	265	3.16	曇	4.1	-	-	44	187	4.16	×	12.9	-	-	-
2.17	雪	-0.3	23.0	31	83	277	3.17	快晴	7.1	-	-	41	175	4.17	×	17.8	-	-	-
2.18	快晴	0.6	0.5	-	106	282	3.18	晴	9.5	-	-	36	150	4.18	×	11.6	-	-	-
2.19	快晴	3.1	-	-	87	291	3.19	曇	7.2	4.5	-	30	×	4.19	晴	11.3	-	-	-
2.20	曇	3.6	1.0	-	78	×	3.20	曇	4.9	5.5	-	26	×	4.20	×	11.6	-	-	-
2.21	雨	2.7	27.5	10	72	×	3.21	曇	3.1	2.0	-	23	×	4.21	×	13.7	15.0	-	-
2.22	雪	0.9	3.5	-	80	290	3.22	快晴	5.2	-	-	18	75	4.22	×	13.3	5.0	-	-
2.23	晴	3.5	4.5	18	72	272	3.23	曇	4.4	7.0	-	13	×	4.23	×	15.8	-	-	-
2.24	雪	-0.8	13.5	10	87	275	3.24	雨	2.0	10.0	14	11	×	4.24	×	13.1	-	-	-
2.25	雪	-1.3	4.0	23	81	280	3.25	雪	1.5	10.5	-	24	×	4.25	×	13.5	-	-	-
2.26	快晴	0.6	17.5	1	96	298	3.26	晴	3.5	-	-	11	×	4.26	×	15.1	-	-	-
2.27	快晴	2.5	1.0	-	85	×	3.27	快晴	5.4	-	-	7	×	4.27	×	13.2	1.0	-	-
2.28	晴	5.1	4.5	-	78	×	3.28	快晴	7.3	-	-	-	-	4.28	×	12.0	41.0	-	-
2.29	曇	3.7	31.0	35	68	273	3.29	快晴	7.8	-	-	-	-	4.29	×	8.8	11.5	-	-
							3.30	晴	10.4	6.5	-	-	-	4.30	×	10.5	5.5	-	-
							3.31	快晴	9.2	-	-	-	-						-

Table 5. 気象要素の日別値 (2017 年冬期)
Daily meteorological data (2017 winter period)

2016 年							2016 年							2017 年						
月日	天気	平均気温 (°C)	降水量 (mm)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)	月日	天気	平均気温 (°C)	降水量 (mm)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)	月日	天気	平均気温 (°C)	降水量 (mm)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)
11.01	×	9.1	3.0	-	-	-	12.01	晴	9.5	6.5	-	-	×	1.01	雨	2.5	11.0	-	13	×
11.02	×	8.7	1.0	-	-	-	12.02	雨	6.0	8.0	-	-	×	1.02	晴	4.4	0.5	-	9	×
11.03	曇	9.0	8.5	-	-	-	12.03	晴	7.7	0.5	-	-	×	1.03	曇	2.6	21.5	-	5	×
11.04	×	7.9	15.5	-	-	-	12.04	晴	7.6	-	-	-	×	1.04	曇	3.5	10.0	4	3	×
11.05	快晴	9.9	0.5	-	-	-	12.05	晴	10.3	1.0	-	-	×	1.05	雪	0.3	21.5	14	4	9
11.06	雨	8.2	8.0	-	-	-	12.06	雨	4.2	18.5	-	-	×	1.06	曇	-0.6	-	-	16	20
11.07	×	6.1	-	-	-	-	12.07	雨	3.7	2.0	1	-	×	1.07	曇	0.5	-	-	12	×
11.08	×	9.0	12.0	-	-	-	12.08	雨	2.8	22.5	-	1	×	1.08	快晴	1.6	-	-	9	×
11.09	×	4.2	10.0	-	-	-	12.09	晴	4.3	14.0	2	-	×	1.09	雨	2.7	27.0	0	8	×
11.10	×	4.3	1.0	-	-	-	12.10	雪	0.9	23.5	16	2	×	1.10	快晴	3.1	13.5	29	5	×
11.11	×	8.8	9.5	-	-	-	12.11	雪	0.2	22.0	11	17	×	1.11	雪	-0.3	54.0	57	30	24
11.12	雨	10.2	1.5	-	-	-	12.12	晴	0.8	-	-	16	×	1.12	雪	0.4	42.0	32	70	72
11.13	快晴	11.0	-	-	-	-	12.13	曇	3.3	6.5	-	13	×	1.13	雪	-0.5	90.5	82	77	152
11.14	×	10.6	-	-	-	-	12.14	雨	2.0	37.0	9	4	×	1.14	雪	-3.4	51.5	38	130	×
11.15	×	11.6	10.5	-	-	-	12.15	雪	-0.2	13.5	22	11	16	1.15	曇	-3.3	15.0	24	134	×
11.16	×	5.7	1.0	-	-	-	12.16	雪	-0.8	28.0	25	32	31	1.16	雪	-1.2	43.5	20	139	285
11.17	×	6.1	2.5	-	-	-	12.17	雪	0.5	39.5	4	43	×	1.17	雪	0.3	20.5	10	137	310
11.18	×	6.1	0.5	-	-	-	12.18	晴	3.4	0.5	-	35	×	1.18	晴	1.0	2.0	2	129	337
11.19	雨	9.2	2.0	-	-	-	12.19	晴	4.2	-	-	28	55	1.19	雪	0.8	6.5	0	117	330
11.20	曇	12.2	10.0	-	-	-	12.20	曇	3.9	0.5	-	22	×	1.20	晴	-0.3	-	6	107	337
11.21	×	10.1	1.0	-	-	-	12.21	快晴	5.5	-	-	17	×	1.21	雪	0.7	15.5	0	108	×
11.22	×	11.6	1.5	-	-	-	12.22	曇	11.0	10.0	-	17	×	1.22	晴	0.3	13.0	36	104	×
11.23	雨	2.7	5.0	-	-	-	12.23	雨	7.1	19.5	1	-	×	1.23	雪	-2.1	25.0	19	136	366
11.24	×	1.8	0.5	-	-	-	12.24	曇	1.6	13.5	-	1	×	1.24	雪	-2.8	18.0	43	138	375
11.25	×	3.8	1.5	-	-	-	12.25	曇	2.1	0.5	-	-	×	1.25	雪	-1.6	30.5	12	170	443
11.26	快晴	6.9	1.5	-	-	-	12.26	曇	3.1	0.5	-	-	×	1.26	晴	-0.7	-	-	158	423
11.27	曇	8.3	7.5	-	-	-	12.27	雨	3.3	26.5	6	-	×	1.27	晴	1.3	6.5	2	146	434
11.28	×	5.8	22.5	-	-	-	12.28	雪	0.2	5.0	-	7	×	1.28	雨	0.7	3.0	-	130	×
11.29	×	3.4	11.5	-	-	-	12.29	晴	0.4	16.0	28	6	×	1.29	快晴	1.5	1.5	-	120	×
11.30	×	4.4	0.5	-	-	-	12.30	曇	-0.1	13.0	2	30	×	1.30	雨	2.8	29.5	16	115	449
							12.31	曇	0.9	1.5	-	22	×	1.31	雪	-1.0	6.0	0	127	466

Table 5. 気象要素の日別値 (2017 年冬期 つづき)
Daily meteorological data (2017 winter period. Continue)

2017 年 月日	天気	平均気温 (°C)	降水量 (mm)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)	2017 年 月日	天気	平均気温 (°C)	降水量 (mm)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)
2.01	晴	-0.5	15.5	21	119	469	3.01	快晴	1.8	-	-	145	612
2.02	雪	-1.3	15.5	23	135	490	3.02	晴	3.8	2.0	0	142	605
2.03	雪	0.5	19.0	2	149	494	3.03	雪	2.0	15.5	-	140	606
2.04	晴	2.1	0.0	-	133	×	3.04	快晴	3.8	0.5	-	138	×
2.05	晴	1.0	1.0	-	126	×	3.05	曇	3.7	0.5	-	135	×
2.06	雨	2.3	20.5	22	123	492	3.06	曇	3.8	5.0	7	130	551
2.07	雪	-1.3	14.0	12	141	519	3.07	雪	-0.3	20.5	31	135	551
2.08	雪	-0.3	4.0	2	145	509	3.08	曇	-0.1	9.0	6	159	570
2.09	曇	0.0	-	5	139	525	3.09	晴	2.1	4.5	7	145	575
2.10	雪	0.1	12.0	12	138	524	3.10	雪	1.1	17.0	2	142	585
2.11	雪	-1.3	19.5	33	144	×	3.11	晴	1.9	1.0	-	138	×
2.12	曇	0.0	17.0	19	166	×	3.12	晴	2.1	-	-	132	×
2.13	雪	-0.4	25.0	26	172	556	3.13	曇	5.7	-	-	130	558
2.14	晴	-0.1	12.5	34	179	602	3.14	雨	3.2	3.0	-	126	537
2.15	雪	0.3	15.5	1	191	614	3.15	曇	2.3	5.5	0	125	533
2.16	快晴	2.7	-	-	172	616	3.16	雨	2.5	3.0	0	122	532
2.17	曇	3.2	14.0	1	157	621	3.17	晴	3.0	2.5	-	118	508
2.18	雪	0.1	5.0	20	150	×	3.18	晴	4.8	3.0	-	115	×
2.19	雪	-0.8	8.0	1	168	×	3.19	雨	4.6	3.5	-	112	×
2.20	雨	1.6	40.0	16	155	634	3.20	曇	5.3	0.5	-	110	×
2.21	雪	-1.0	24.5	19	165	634	3.21	雨	3.8	9.5	-	106	447
2.22	晴	0.2	-	-	176	642	3.22	雨	3.4	6.0	2	103	438
2.23	雨	2.7	15.0	4	158	661	3.23	雪	1.6	16.5	10	102	454
2.24	雪	0.0	4.0	2	157	642	3.24	曇	0.8	12.5	-	109	442
2.25	雪	0.2	1.0	2	155	×	3.25	曇	2.4	0.5	-	104	×
2.26	雪	1.4	6.5	2	154	×	3.26	曇	2.8	-	1	102	×
2.27	雪	0.8	1.0	-	151	625	3.27	雪	2.1	18.5	-	99	432
2.28	快晴	0.5	-	-	147	620	3.28	曇	3.2	1.0	-	97	414
							3.29	曇	4.5	1.0	-	94	415
							3.30	晴	7.2	-	-	88	387
							3.31	曇	4.2	0.5	-	81	350
4.01	曇	3.6	-	-	-	-	4.01	曇	3.6	-	-	78	×
4.02	快晴	3.5	-	-	-	-	4.02	快晴	3.5	-	-	75	×
4.03	快晴	4.0	6.0	-	-	-	4.03	快晴	4.0	6.0	-	69	308
4.04	曇	6.0	4.5	-	-	-	4.04	曇	6.0	4.5	-	65	291
4.05	晴	9.3	-	-	-	-	4.05	晴	9.3	-	-	58	253
4.06	晴	10.4	-	-	-	-	4.06	晴	10.4	-	-	50	229
4.07	雨	7.6	20.5	-	-	-	4.07	雨	7.6	20.5	-	43	203
4.08	晴	9.8	1.5	-	-	-	4.08	晴	9.8	1.5	-	37	×
4.09	雨	6.5	12.0	-	-	-	4.09	雨	6.5	12.0	-	29	×
4.10	曇	6.1	-	-	-	-	4.10	曇	6.1	-	-	24	106
4.11	雨	8.6	4.5	-	-	-	4.11	雨	8.6	4.5	-	18	86
4.12	雨	5.7	16.5	-	-	-	4.12	雨	5.7	16.5	-	16	90
4.13	雨	3.7	2.0	-	-	-	4.13	雨	3.7	2.0	-	13	59
4.14	晴	9.5	-	-	-	-	4.14	晴	9.5	-	-	7	43
4.15	×	9.0	0.5	-	-	-	4.15	×	9.0	0.5	-	-	-
4.16	×	13.3	-	-	-	-	4.16	×	13.3	-	-	-	-
4.17	曇	15.1	-	-	-	-	4.17	曇	15.1	-	-	-	-
4.18	×	13.1	0.5	-	-	-	4.18	×	13.1	0.5	-	-	-
4.19	×	9.3	4.5	-	-	-	4.19	×	9.3	4.5	-	-	-
4.20	×	9.9	-	-	-	-	4.20	×	9.9	-	-	-	-
4.21	×	13.2	-	-	-	-	4.21	×	13.2	-	-	-	-
4.22	×	8.1	-	-	-	-	4.22	×	8.1	-	-	-	-
4.23	×	7.8	-	-	-	-	4.23	×	7.8	-	-	-	-
4.24	×	11.9	-	-	-	-	4.24	×	11.9	-	-	-	-
4.25	×	16.6	-	-	-	-	4.25	×	16.6	-	-	-	-
4.26	×	12.3	22.0	-	-	-	4.26	×	12.3	22.0	-	-	-
4.27	×	9.9	12.5	-	-	-	4.27	×	9.9	12.5	-	-	-
4.28	×	10.1	-	-	-	-	4.28	×	10.1	-	-	-	-
4.29	×	11.7	1.0	-	-	-	4.29	×	11.7	1.0	-	-	-
4.30	×	15.9	1.0	-	-	-	4.30	×	15.9	1.0	-	-	-

Table 5. 気象要素の日別値 (2018 年冬期)
Daily meteorological data (2018 winter period)

2017 年							2017 年							2018 年						
月日	天気	平均気温 (°C)	降水量 (mm)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)	月日	天気	平均気温 (°C)	降水量 (mm)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)	月日	天気	平均気温 (°C)	降水量 (mm)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)
11.01	×	8.9	-	-	-	-	12.01	曇	2.4	2.5	-	-	-	1.01	曇	0.9	15.5	6	87	×
11.02	×	11.7	0.5	-	-	-	12.02	雨	2.5	1.5	-	-	-	1.02	雪	0.4	23.0	15	83	×
11.03	×	12.9	-	-	-	-	12.03	×	5.0	-	-	-	-	1.03	晴	-0.4	20.5	20	92	×
11.04	×	9.1	30.5	-	-	-	12.04	晴	5.4	0.5	-	-	-	1.04	雪	-0.5	19.5	15	107	314
11.05	×	7.5	0.5	-	-	-	12.05	曇	3.2	13.0	12	-	-	1.05	曇	-0.2	0.5	14	110	319
11.06	×	9.0	0.5	-	-	-	12.06	曇	1.1	1.0	-	12	17	1.06	雪	0.2	20.0	15	112	×
11.07	×	11.0	-	-	-	-	12.07	×	2.6	-	-	4	7	1.07	曇	0.4	6.5	-	114	×
11.08	×	11.3	9.5	-	-	-	12.08	曇	1.6	5.0	1	0	×	1.08	曇	0.7	2.5	-	105	×
11.09	×	9.4	4.0	-	-	-	12.09	晴	1.0	1.5	-	2	×	1.09	曇	3.4	5.5	2	91	346
11.10	×	9.2	0.5	-	-	-	12.10	晴	3.6	-	-	0	×	1.10	曇	0.5	4.0	6	88	329
11.11	×	7.9	29.0	-	-	-	12.11	曇	2.7	1.5	17	-	×	1.11	曇	-0.6	1.0	9	92	336
11.12	×	5.9	1.5	-	-	-	12.12	雪	-0.4	58.0	87	17	21	1.12	雪	-2.2	8.5	3	98	326
11.13	×	7.0	0.5	-	-	-	12.13	雪	-0.4	52.5	35	87	114	1.13	晴	-2.9	11.0	30	96	×
11.14	×	9.1	11.5	-	-	-	12.14	雪	0.2	17.0	1	93	127	1.14	曇	-1.5	8.0	0	121	×
11.15	×	9.3	5.5	1	-	-	12.15	曇	0.9	0.5	-	76	126	1.15	晴	-1.6	2.0	-	107	349
11.16	雪	2.3	38.0	-	1	-	12.16	曇	2.6	1.0	22	66	×	1.16	曇	2.5	4.5	-	99	352
11.17	×	3.6	2.5	-	-	-	12.17	雪	-0.6	29.5	17	75	×	1.17	雨	2.2	9.5	-	92	353
11.18	曇	5.6	22.5	2	-	-	12.18	×	-0.1	1.5	-	75	152	1.18	雨	5.1	4.5	-	87	334
11.19	雪	0.3	46.5	18	3	-	12.19	晴	0.7	20.5	17	61	152	1.19	曇	1.7	1.5	0	83	327
11.20	曇	1.6	18.0	4	17	-	12.20	×	0.7	3.5	1	63	170	1.20	晴	2.5	1.0	-	81	×
11.21	雪	1.0	9.0	-	15	-	12.21	雪	1.6	-	-	54	169	1.21	晴	1.6	8.5	9	78	×
11.22	晴	2.0	0.5	-	11	-	12.22	晴	2.2	-	-	51	167	1.22	雨	-1.7	10.0	15	86	309
11.23	雨	4.6	9.0	0	10	-	12.23	晴	3.5	1.0	-	47	×	1.23	雨	0.1	16.0	27	96	319
11.24	×	2.2	9.0	-	5	-	12.24	晴	4.1	0.5	-	45	×	1.24	雪	-3.7	43.0	46	112	339
11.25	雨	3.4	1.0	-	3	-	12.25	雨	3.8	16.5	3	40	169	1.25	雪	-4.5	25.5	36	145	355
11.26	晴	5.0	13.5	-	-	-	12.26	曇	0.1	24.5	48	41	150	1.26	雪	-3.7	22.5	25	163	414
11.27	×	3.9	5.5	-	-	-	12.27	雪	-1.6	35.0	24	86	192	1.27	雪	-2.6	27.5	15	169	×
11.28	×	4.9	-	-	-	-	12.28	雪	-0.2	19.5	10	95	213	1.28	曇	-1.5	0.5	6	164	×
11.29	×	7.2	5.5	-	-	-	12.29	雪	0.3	24.0	23	95	×	1.29	雪	-0.3	9.5	53	157	457
11.30	×	3.7	2.0	-	-	-	12.30	雪	0.3	14.0	1	107	×	1.30	雪	-3.3	37.5	19	196	500
							12.31	曇	0.6	3.0	-	95	×	1.31	晴	-1.7	5.0	8	184	514

Table 5. 気象要素の日別値 (2018 年冬期 つづき)
Daily meteorological data (2018 winter period. Continue)

2018 年					2018 年					2018 年							
月日	天気	平均気温 (℃)	降水量 (mm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)	月日	天気	平均気温 (℃)	降水量 (mm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)	月日	天気	平均気温 (℃)	降水量 (mm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)
2.01	曇	-0.5	0.5	1.0	175	3.01	雨	6.0	7.0	14	170	4.01	晴	10.8	-	-	48
2.02	晴	-0.4	0.5	0	162	3.02	雪	0.2	22.5	2	179	4.02	晴	10.5	-	-	42
2.03	晴	-0.5	-	-	155	3.03	快晴	1.6	-	-	174	4.03	晴	13.1	-	-	34
2.04	快晴	0.1	5.0	23.0	152	3.04	快晴	6.9	-	-	165	4.04	晴	10.0	3.5	-	23
2.05	雪	-1.7	22.0	18	172	3.05	雨	2.9	11.5	1.0	163	4.05	×	5.9	-	-	15
2.06	晴	-1.6	3.0	0	175	3.06	雪	0.8	2.0	1.0	159	4.06	晴	8.9	5.5	-	10
2.07	晴	-2.6	8.0	19	160	3.07	晴	0.4	-	-	156	4.07	雨	5.8	8.5	-	-
2.08	晴	-1.4	9.5	6	176	3.08	曇	8.2	0.5	-	153	4.08	晴	4.4	3.5	-	-
2.09	晴	-0.9	-	-	169	3.09	雨	4.6	24.0	5.0	143	4.09	雨	5.5	-	-	-
2.10	晴	1.9	-	-	161	3.10	曇	0.8	4.0	-	147	4.10	×	8.8	-	-	-
2.11	雨	1.3	6.5	10	152	3.11	快晴	1.7	3.5	-	142	4.11	曇	11.7	8.0	-	-
2.12	曇	-2.7	19.0	47	160	3.12	曇	2.3	1.0	-	137	4.12	×	10.8	1.5	-	-
2.13	雪	-2.1	62.0	43	197	3.13	快晴	6.1	-	-	134	4.13	×	6.9	-	-	-
2.14	快晴	0.3	-	6	217	3.14	快晴	7.6	-	-	130	4.14	曇	10.7	2.0	-	-
2.15	雪	0.5	20.0	19	196	3.15	晴	8.5	-	-	126	4.15	雨	9.4	18.5	-	-
2.16	晴	0.1	2.0	2	194	3.16	雨	2.3	7.0	-	120	4.16	×	11.7	8.0	-	-
2.17	曇	-2.1	27.0	50	180	3.17	晴	1.3	-	-	118	4.17	曇	10.6	0.5	-	-
2.18	雪	-2.9	35.0	40	220	3.18	晴	4.2	-	-	114	4.18	×	10.9	6.0	-	-
2.19	雪	-0.9	7.0	8	239	3.19	雨	3.5	6.0	0	111	4.19	×	13.3	-	-	-
2.20	雪	0.9	8.0	16	218	3.20	雪	1.5	5.0	-	109	4.20	×	14.3	-	-	-
2.21	雪	-0.7	7.0	3	214	3.21	曇	2.7	0.5	-	108	4.21	×	17.4	-	-	-
2.22	晴	-0.3	0.5	-	200	3.22	曇	4.9	11.5	-	105	4.22	×	17.6	-	-	-
2.23	晴	1.6	4.5	3	190	3.23	雨	4.2	7.0	-	99	4.23	×	15.3	-	-	-
2.24	曇	0.4	8.5	10	188	3.24	晴	5.3	-	-	94	4.24	×	14.4	3.5	-	-
2.25	曇	0.4	2.0	-	197	3.25	快晴	7.3	-	-	88	4.25	×	13.3	15.0	-	-
2.26	晴	0.2	-	-	185	3.26	快晴	8.2	-	-	82	4.26	×	11.5	1.0	-	-
2.27	快晴	1.2	-	-	182	3.27	晴	9.4	-	-	76	4.27	×	13.7	-	-	-
2.28	晴	4.9	4.0	-	177	3.28	快晴	10.0	-	-	72	4.28	×	14.0	-	-	-
						3.29	曇	9.7	-	-	66	4.29	×	16.6	-	-	-
						3.30	晴	5.5	-	-	61	4.30	×	16.7	-	-	-
						3.31	晴	5.5	-	-	56						-

Table 5. 気象要素の日別値 (2019 年冬期)
Daily meteorological data (2019 winter period)

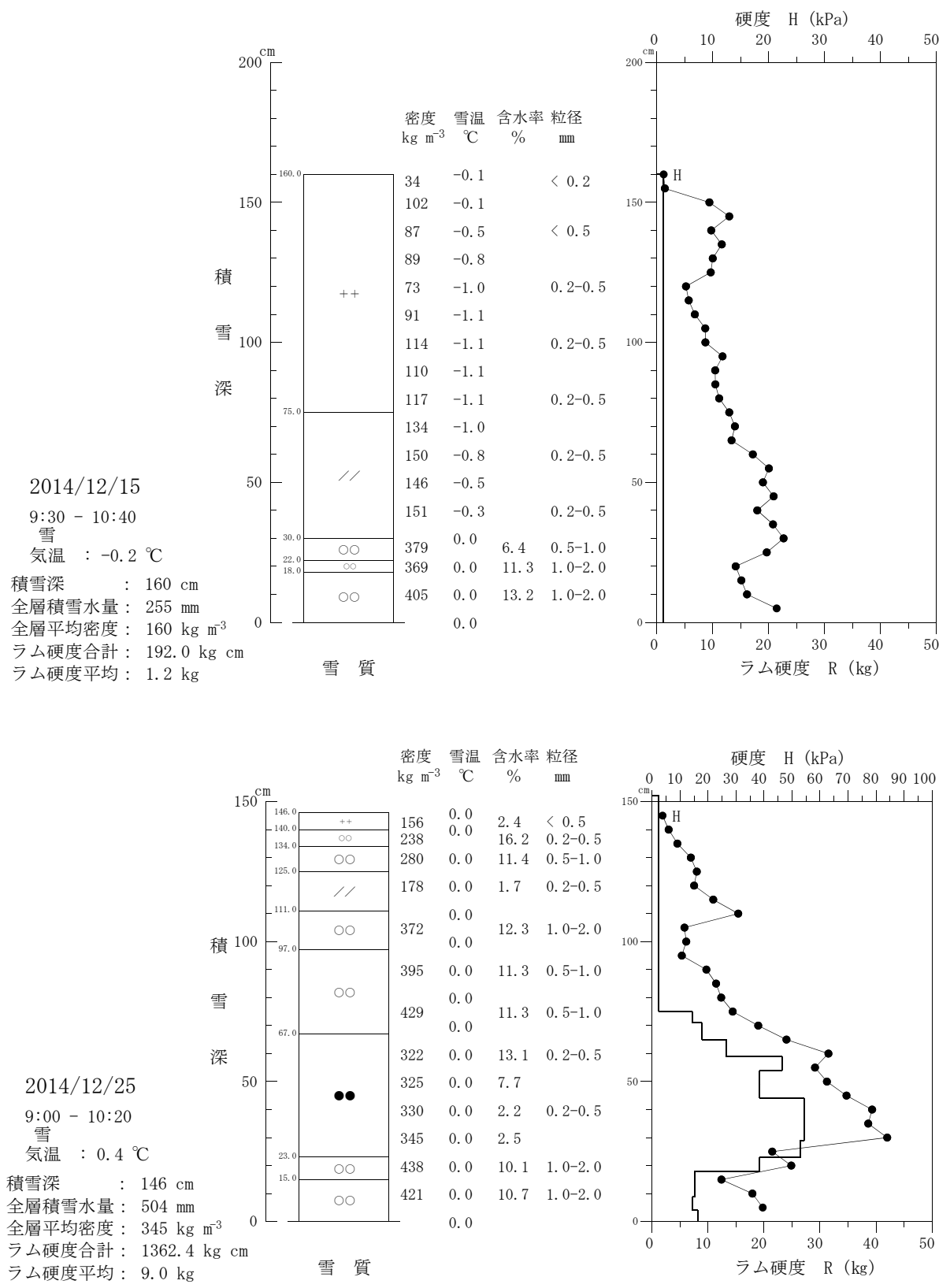
2018 年							2018 年							2019 年						
月日	天気	平均気温 (℃)	降水量 (mm)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)	月日	天気	平均気温 (℃)	降水量 (mm)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)	月日	天気	平均気温 (℃)	降水量 (mm)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)
11.01	×	9.0	6.0	-	-	-	12.01	曇	5.4	12.0	-	-	-	1.01	晴	0.5	18.0	10	75	112
11.02	×	9.4	1.0	-	-	-	12.02	快晴	5.0	-	-	-	-	1.02	雪	0.4	11.5	23	66	128
11.03	快晴	10.2	0.0	-	-	-	12.03	曇	9.1	-	-	-	-	1.03	雪	0.1	20.0	5	77	150
11.04	快晴	11.9	0.5	-	-	-	12.04	晴	14.6	4.5	-	-	-	1.04	曇	0.9	1.0	-	71	151
11.05	×	13.0	-	-	-	-	12.05	雨	7.9	11.0	-	-	-	1.05	曇	0.8	23.0	20	59	151
11.06	×	12.1	1.5	-	-	-	12.06	晴	5.8	3.0	-	-	-	1.06	曇	-0.3	12.5	16	73	176
11.07	×	13.3	-	-	-	-	12.07	雨	7.9	5.5	0	-	-	1.07	雪	0.2	16.0	14	76	191
11.08	×	15.3	0.0	-	-	-	12.08	雪	2.3	9.5	20	-	-	1.08	雪	0.3	21.0	28	76	202
11.09	×	17.4	0.5	-	-	-	12.09	雪	0.2	40.0	13	17	20	1.09	曇	-1.5	20.5	8	93	235
11.10	雨	12.5	3.5	-	-	-	12.10	雪	0.6	3.5	-	24	32	1.10	晴	-1.4	3.0	0	86	238
11.11	曇	11.0	0.5	-	-	-	12.11	晴	1.1	0.5	-	16	26	1.11	晴	1.3	7.5	-	74	238
11.12	×	12.5	2.5	-	-	-	12.12	雨	3.5	14.5	0	11	20	1.12	晴	0.6	-	-	68	241
11.13	×	10.1	9.5	-	-	-	12.13	曇	1.9	1.5	4	8	5	1.13	曇	0.4	1.5	1	66	241
11.14	×	8.8	0.5	-	-	-	12.14	雪	0.4	30.5	30	10	6	1.14	曇	1.1	0.5	-	65	241
11.15	×	8.2	-	-	-	-	12.15	曇	0.2	12.5	2	35	28	1.15	曇	2.2	0.5	9	65	241
11.16	×	8.1	-	-	-	-	12.16	晴	0.6	0.5	-	26	29	1.16	雪	0.1	21.5	17	70	249
11.17	雨	8.1	5.5	-	-	-	12.17	曇	3.0	8.0	1	24	26	1.17	曇	0.3	18.5	9	78	258
11.18	晴	9.4	0.0	-	-	-	12.18	雨	2.6	27.5	1	16	28	1.18	雪	-0.5	19.5	18	76	266
11.19	×	10.0	4.5	-	-	-	12.19	快晴	2.7	42.0	-	13	23	1.19	雪	0.7	4.5	-	88	283
11.20	×	6.3	4.0	-	-	-	12.20	雨	3.3	37.5	-	9	9	1.20	曇	0.7	23.5	19	79	282
11.21	×	7.8	0.5	-	-	-	12.21	曇	3.6	1.5	-	5	1	1.21	雪	-1.1	24.5	35	95	290
11.22	×	6.9	28.5	1	-	-	12.22	雨	4.7	5.0	-	4	1	1.22	雪	0.2	25.0	4	114	333
11.23	雨	1.0	38.5	-	2	-	12.23	曇	4.3	9.0	1	-	-	1.23	晴	0.5	16.5	25	100	337
11.24	快晴	3.1	0.0	-	-	-	12.24	雪	1.7	18.0	1	1	1	1.24	晴	-0.8	23.5	35	114	362
11.25	快晴	6.7	-	-	-	-	12.25	快晴	1.4	-	-	-	-	1.25	雪	-0.4	17.0	20	134	387
11.26	×	8.4	9.5	-	-	-	12.26	雨	4.1	13.0	-	-	1	1.26	雪	-1.1	26.0	23	138	402
11.27	×	8.6	-	-	-	-	12.27	雪	1.0	31.5	40	-	1	1.27	雪	-0.6	9.5	3	145	421
11.28	×	9.5	6.0	-	-	-	12.28	雪	-1.7	22.5	(12)	42	36	1.28	曇	0.1	21.5	18	137	422
11.29	×	7.0	3.0	-	-	-	12.29	雪	-1.6	28.0	29	54	57	1.29	雪	-0.1	11.0	2	140	452
11.30	×	4.8	6.5	-	-	-	12.30	曇	-0.9	22.5	15	70	80	1.30	晴	0.9	-	-	126	451
							12.31	曇	0.1	19.5	24	69	90	1.31	雨	-0.3	11.5	29	121	445

Table 5. 気象要素の日別値 (2019 年冬期 つづき)
Daily meteorological data (2019 winter period. Continue)

2019 年 月日	天気	平均気温 (°C)	降水量 (mm)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)
2.01	雪	-1.9	20.0	15	145	463
2.02	雨	0.5	10.5	-	147	485
2.03	晴	3.1	4.0	-	130	484
2.04	雨	3.4	20.5	1	116	456
2.05	晴	1.6	0.5	-	112	431
2.06	曇	2.3	-	-	109	445
2.07	晴	3.0	3.0	15	108	452
2.08	雪	-2.3	14.0	15	120	449
2.09	曇	-2.2	5.5	21	130	458
2.10	雪	-2.0	11.0	5	137	475
2.11	曇	-0.8	1.0	9	133	481
2.12	雪	-0.7	11.0	19	130	492
2.13	雪	-1.7	10.0	20	141	500
2.14	雪	-2.3	10.5	6	148	510
2.15	曇	-1.5	-	-	144	515
2.16	雨	0.4	15.0	10	131	519
2.17	雪	0.3	5.0	2	135	523
2.18	曇	1.4	-	-	129	522
2.19	曇	2.5	5.0	-	123	515
2.20	雨	4.1	6.5	-	119	498
2.21	曇	2.4	3.5	-	115	455
2.22	晴	3.4	-	-	113	459
2.23	曇	2.1	-	-	110	452
2.24	快晴	3.9	-	-	107	453
2.25	曇	3.4	-	-	106	443
2.26	晴	3.6	-	-	103	438
2.27	曇	2.1	-	-	99	411
2.28	雨	2.2	0.5	-	99	413

2019 年 月日	天気	平均気温 (°C)	降水量 (mm)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)
3.01	曇	4.0	1.0	-	97	408
3.02	晴	3.5	0.5	-	90	371
3.03	晴	3.1	-	-	87	351
3.04	雨	2.7	25.5	-	85	350
3.05	曇	4.4	6.5	-	82	340
3.06	曇	6.1	-	-	78	340
3.07	雨	2.7	19.0	15	73	328
3.08	雪	1.9	9.0	-	87	332
3.09	快晴	4.3	-	-	73	337
3.10	晴	6.6	-	-	69	324
3.11	雨	5.7	23.0	-	65	296
3.12	晴	5.8	0.5	-	58	272
3.13	曇	2.3	11.0	20	53	240
3.14	曇	1.0	15.0	-	71	242
3.15	快晴	3.2	2.5	-	61	254
3.16	曇	1.4	5.5	-	56	239
3.17	曇	1.1	2.0	0	52	235
3.18	快晴	3.2	-	-	52	235
3.19	晴	6.8	-	-	47	207
3.20	快晴	8.2	-	-	42	178
3.21	雨	8.9	2.0	-	37	151
3.22	雨	4.3	11.0	2	29	129
3.23	曇	1.3	2.0	7	27	118
3.24	雪	0.0	10.0	1	36	118
3.25	晴	5.0	-	-	32	127
3.26	晴	6.4	5.5	-	24	106
3.27	晴	7.4	0.5	5	17	77
3.28	雪	2.6	21.0	-	16	60
3.29	晴	3.4	0.5	-	11	46
3.30	曇	5.5	4.5	-	7	24
3.31	晴	5.9	3.0	-	-	-

2019 年 月日	天気	平均気温 (°C)	降水量 (mm)	降雪深 (cm)	積雪深 (cm)	積雪水量 (mm)
4.01	雪	2.7	7.0	7	-	-
4.02	雪	0.2	31.0	36	7	6
4.03	雪	0.6	20.0	-	37	47
4.04	晴	4.4	-	-	20	51
4.05	晴	8.9	7.5	-	8	32
4.06	晴	7.8	-	-	-	-
4.07	曇	8.6	-	-	-	-
4.08	晴	6.6	1.0	-	-	-
4.09	曇	5.0	8.5	-	-	-
4.10	雨	3.9	9.0	-	-	-
4.11	雨	4.2	7.5	-	-	-
4.12	×	5.0	-	-	-	-
4.13	×	7.4	-	-	-	-
4.14	×	11.3	-	-	-	-
4.15	×	9.6	9.0	-	-	-
4.16	×	10.7	-	-	-	-
4.17	×	13.6	-	-	-	-
4.18	×	14.8	-	-	-	-
4.19	×	9.2	3.0	-	-	-
4.20	×	9.8	0.5	-	-	-
4.21	×	10.3	3.0	-	-	-
4.22	×	12.6	1.0	-	-	-
4.23	×	16.2	0.5	-	-	-
4.24	×	18.1	0.5	-	-	-
4.25	×	14.8	10.5	-	-	-
4.26	×	10.5	13.0	-	-	-
4.27	×	5.7	25.0	-	-	-
4.28	×	7.9	0.5	-	-	-
4.29	×	13.0	-	-	-	-
4.30	×	15.9	8.5	-	-	-



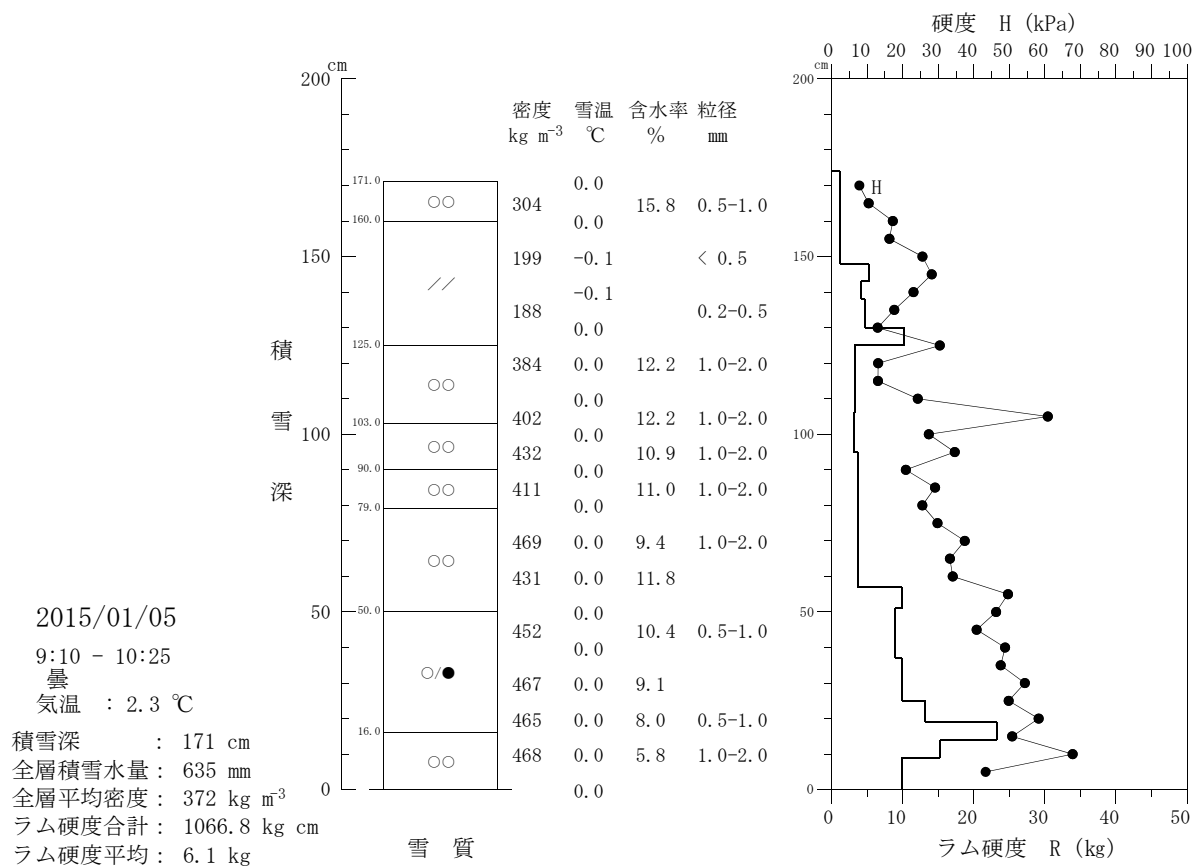


Fig. 3. 積雪断面観測 (2015 年冬期、つづき)
Snow pit observation (2015 winter period, continue)

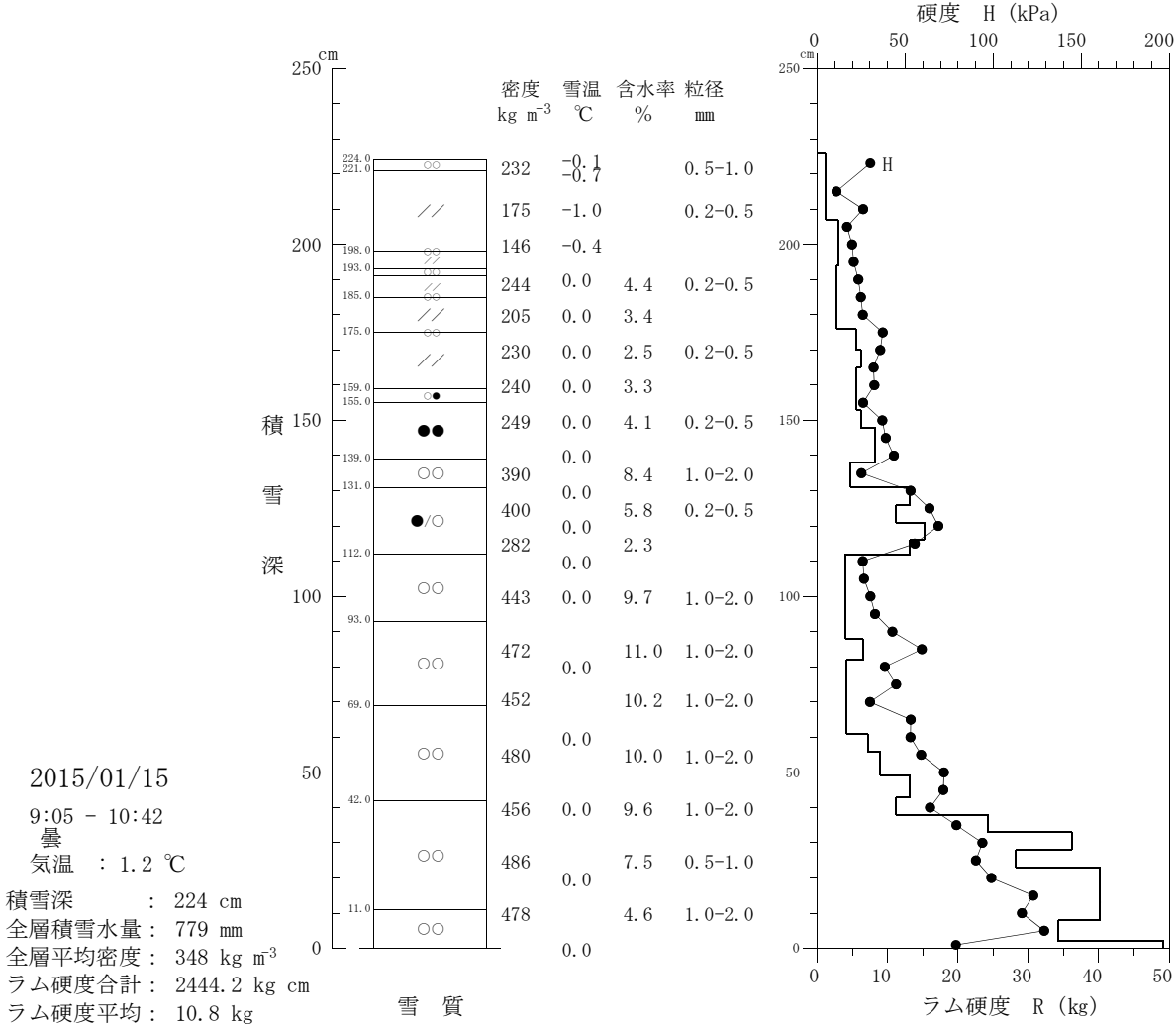


Fig. 3. 積雪断面観測 (2015 年冬期、つづき)
Snow pit observation (2015 winter period, continue)

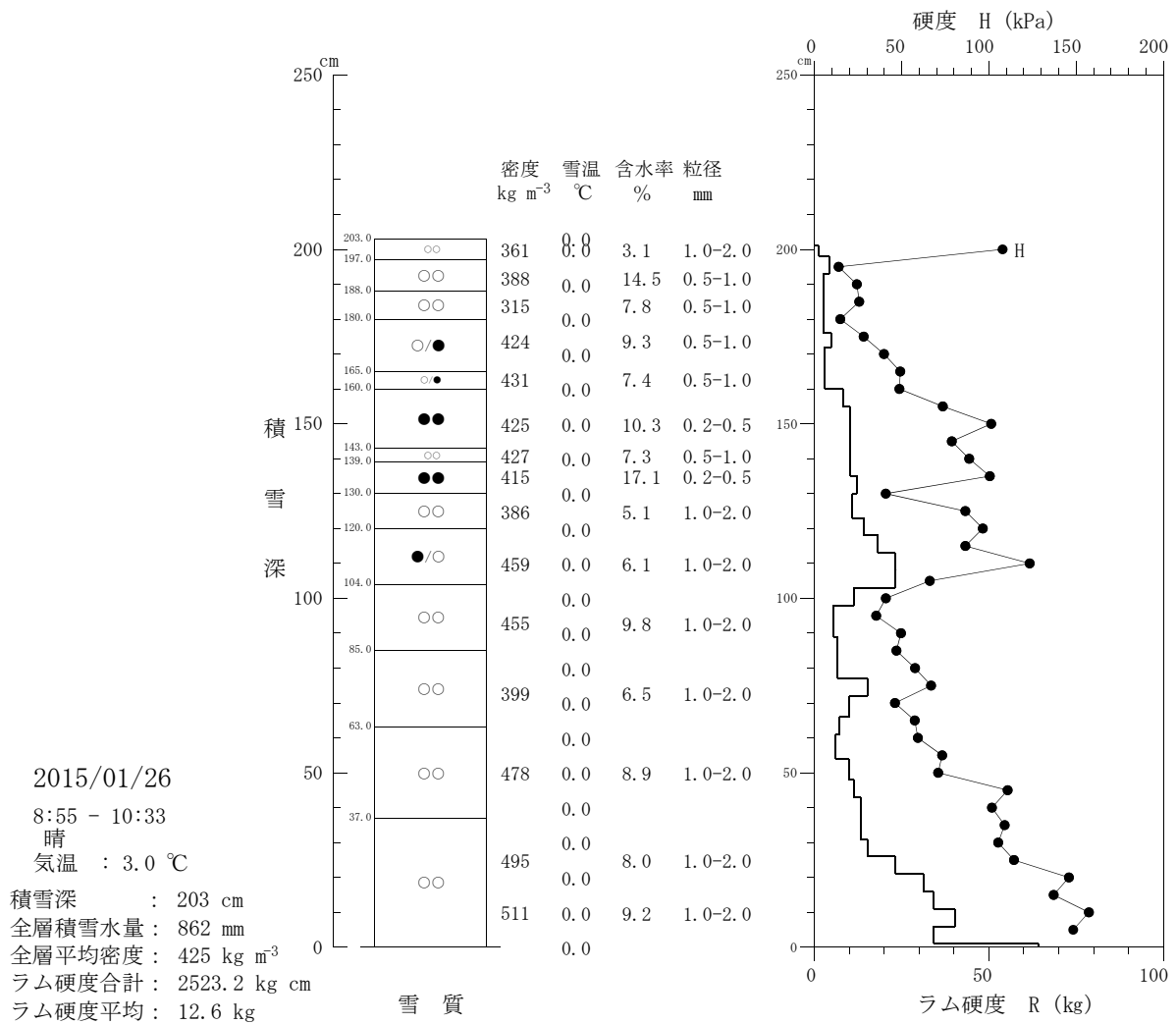


Fig. 3. 積雪断面観測 (2015 年冬期、つづき)
Snow pit observation (2015 winter period, continue)

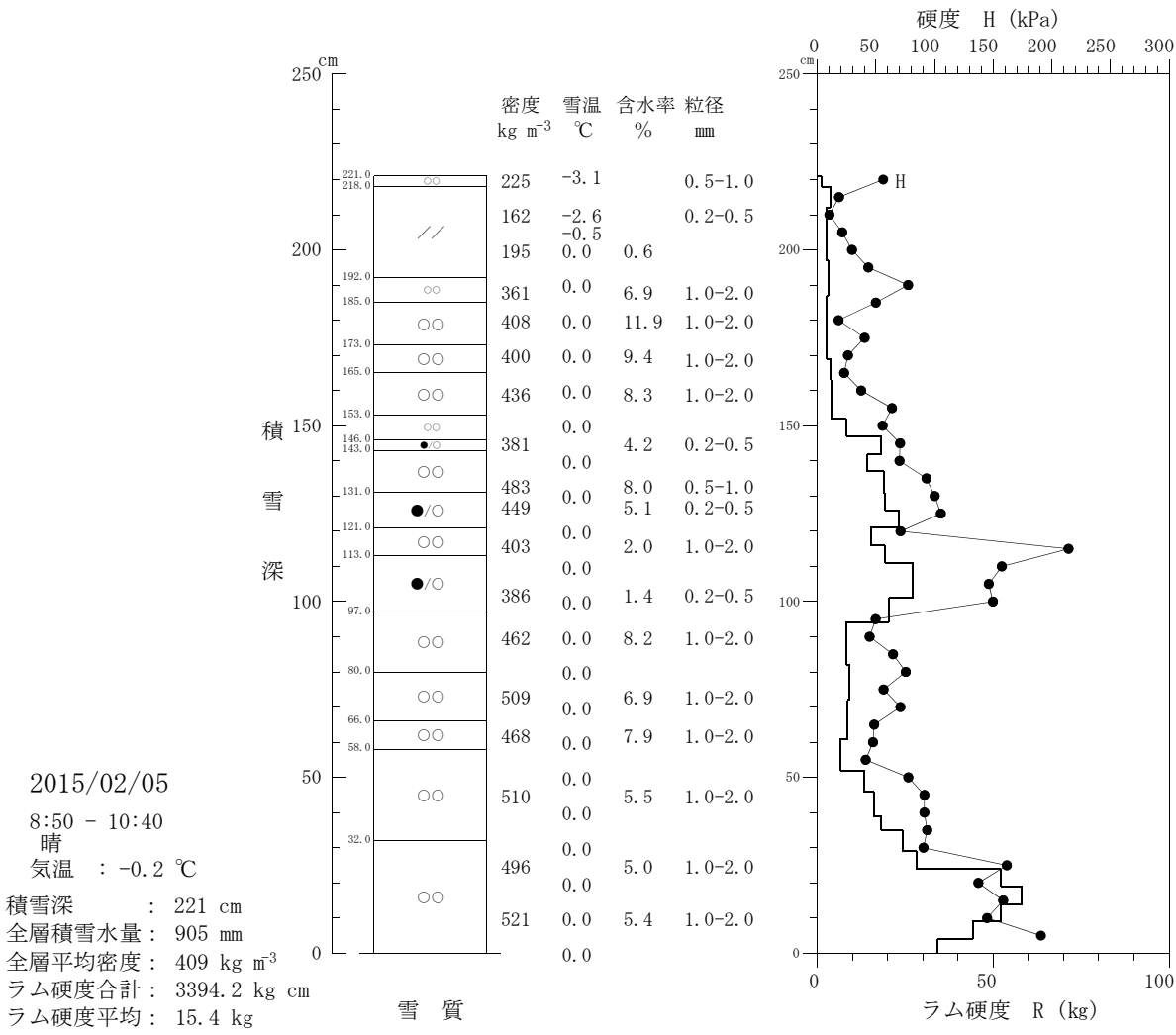


Fig. 3. 積雪断面観測 (2015 年冬期、つづき)
Snow pit observation (2015 winter period, continue)

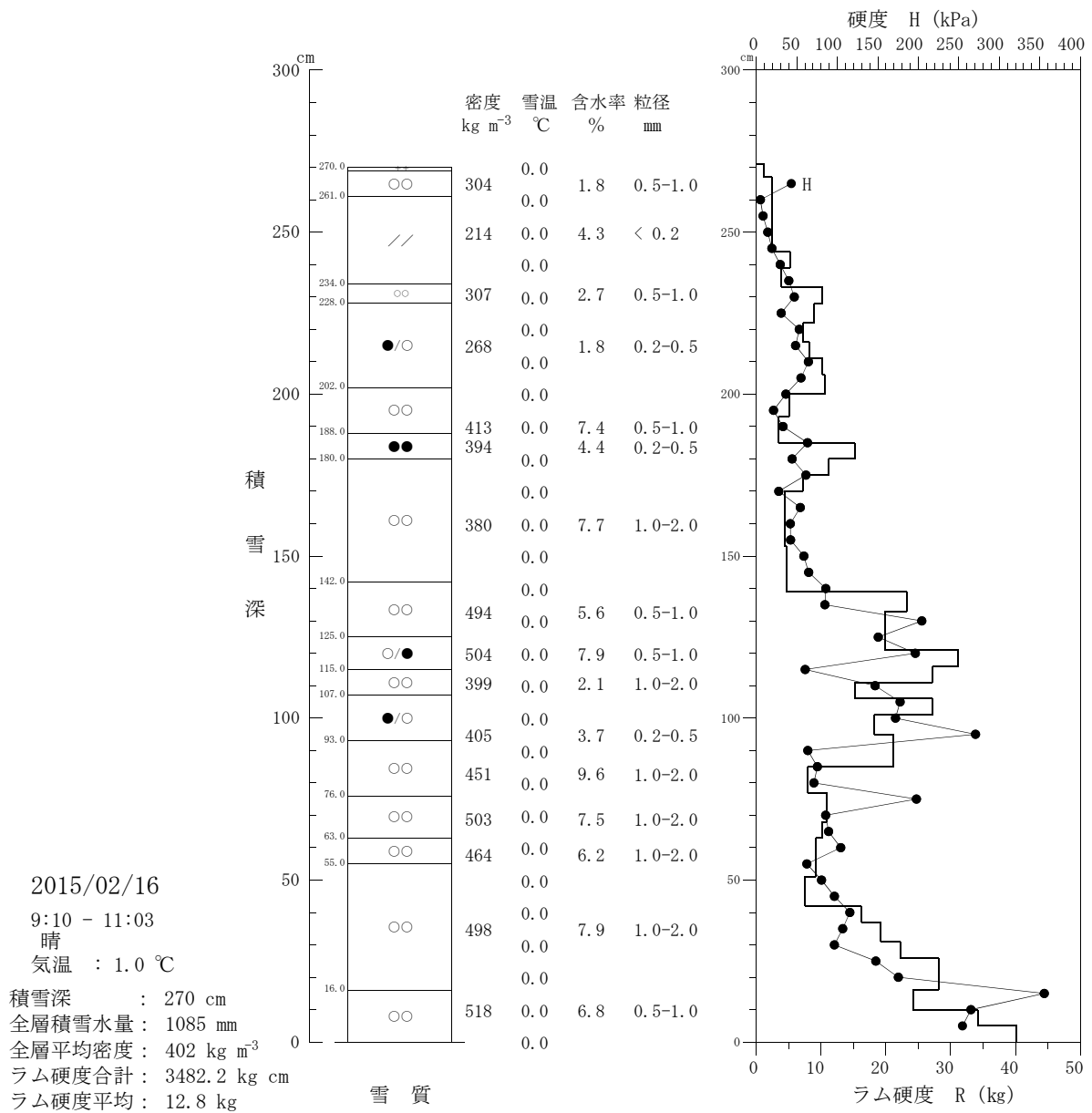


Fig. 3. 積雪断面観測 (2015 年冬期、つづき)
Snow pit observation (2015 winter period, continue)

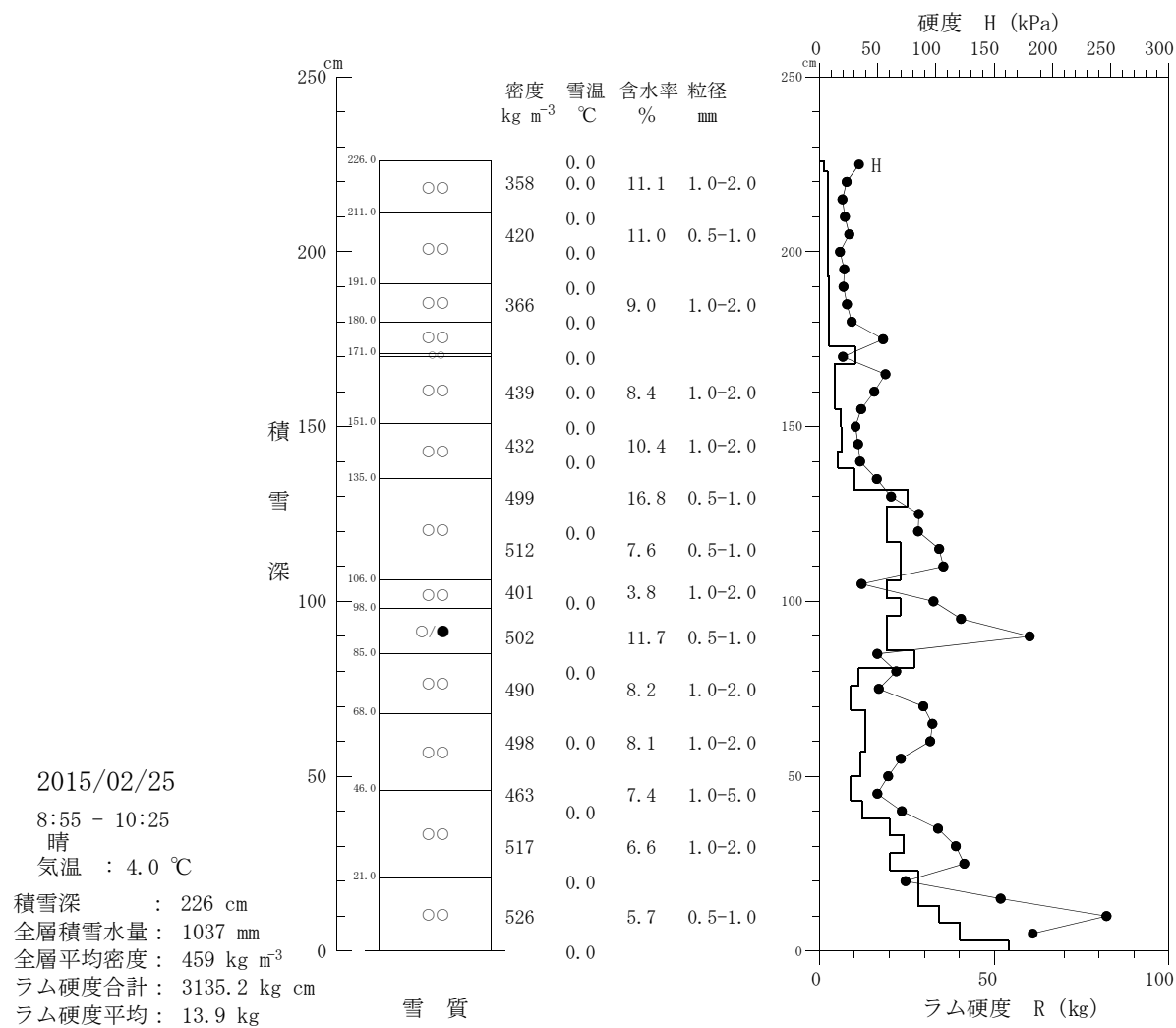


Fig. 3. 積雪断面観測 (2015 年冬期、つづき)
Snow pit observation (2015 winter period, continue)

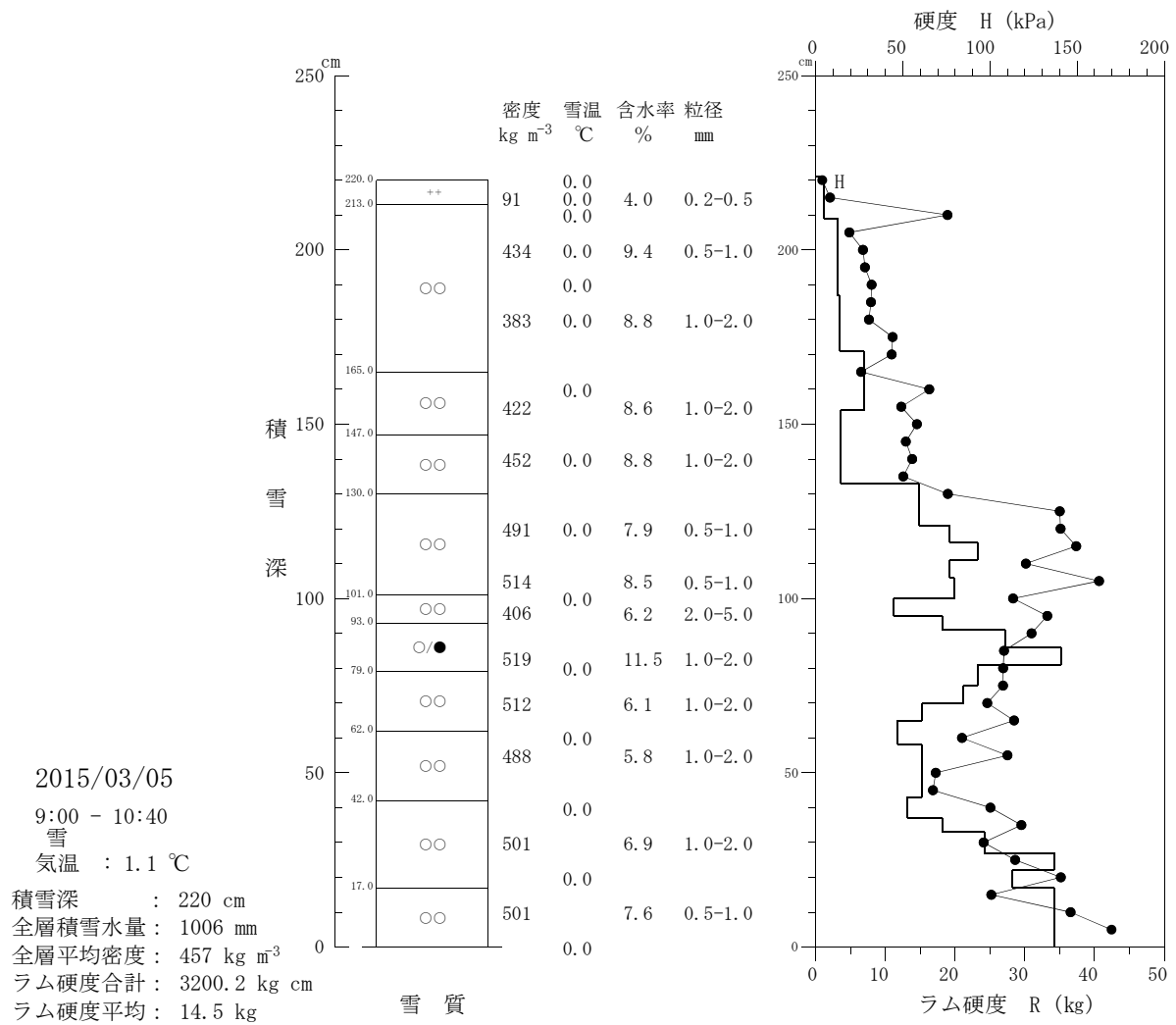


Fig. 3. 積雪断面観測 (2015 年冬期、つづき)
Snow pit observation (2015 winter period, continue)

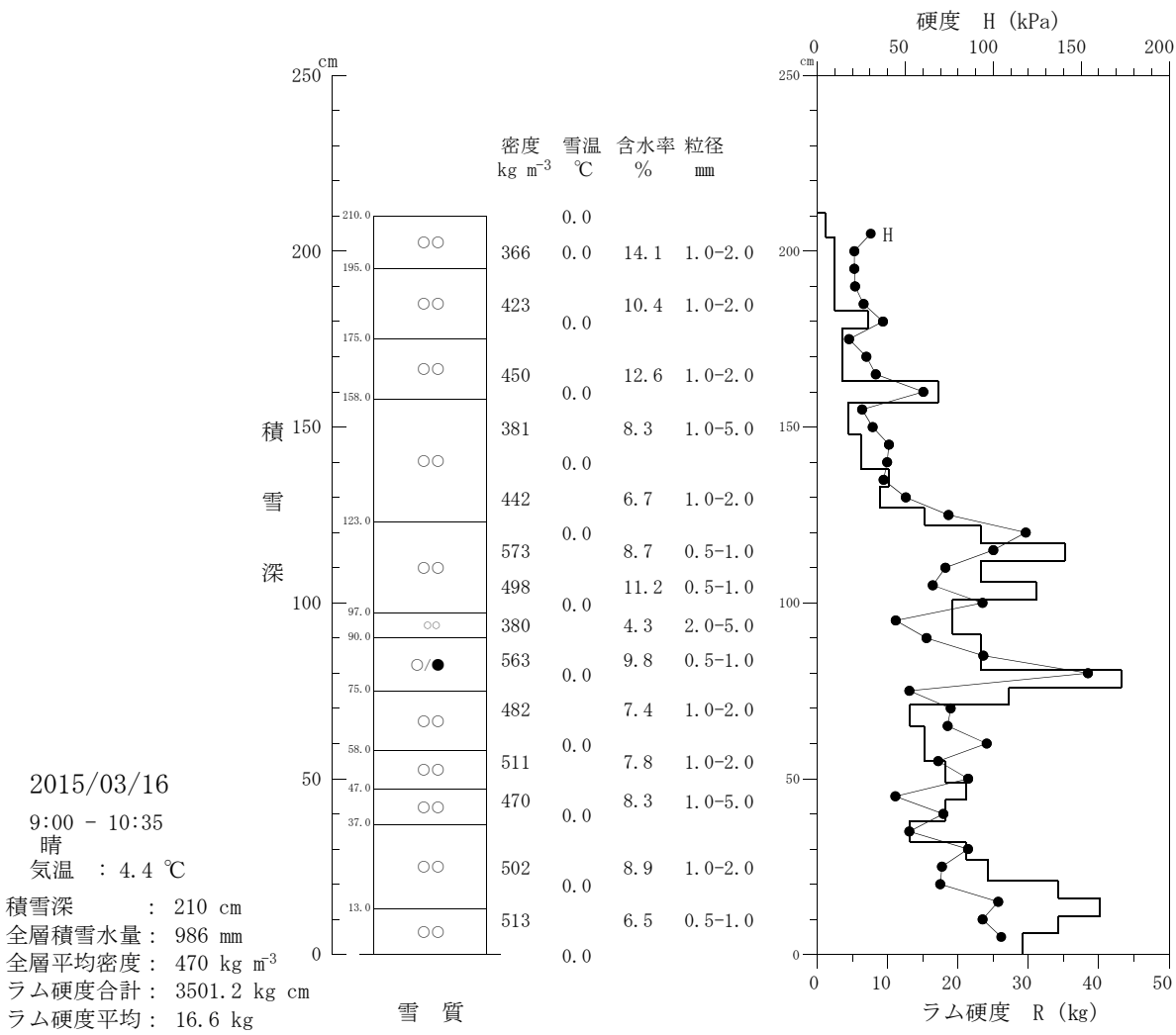


Fig. 3. 積雪断面観測 (2015 年冬期、つづき)
Snow pit observation (2015 winter period, continue)

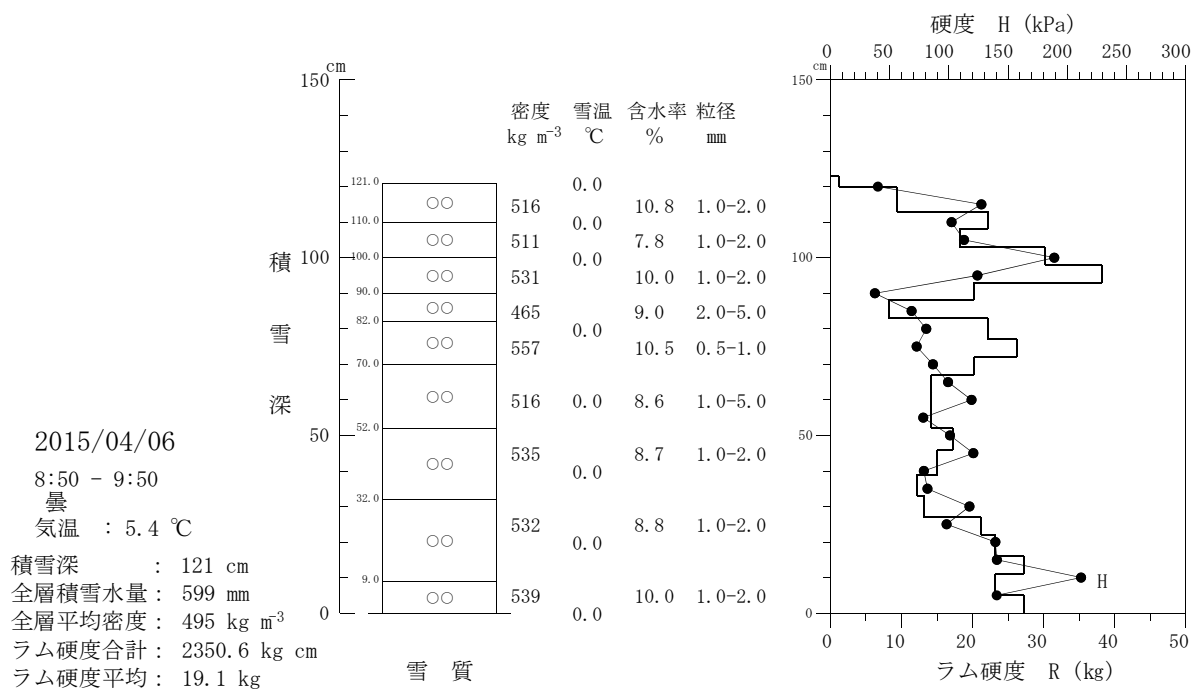
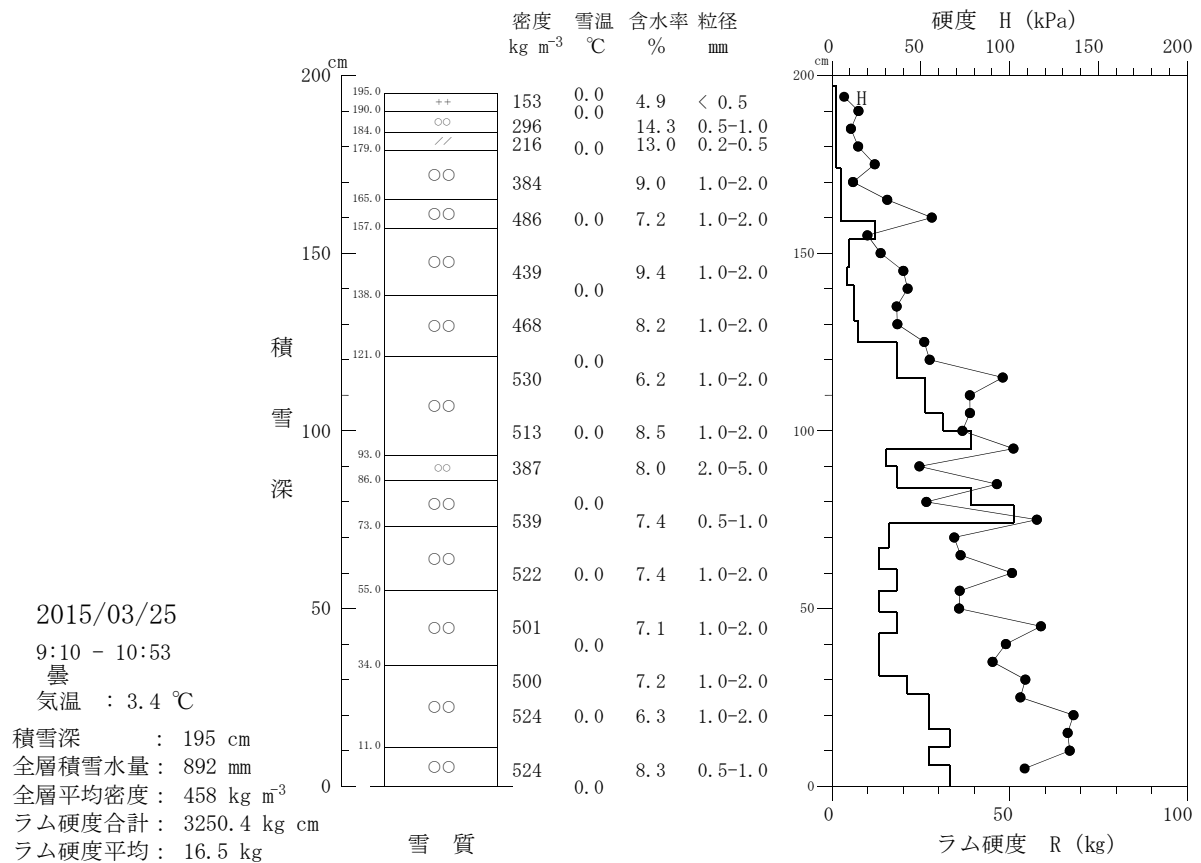


Fig. 3. 積雪断面観測 (2015 年冬期、つづき)
Snow pit observation (2015 winter period, continue)

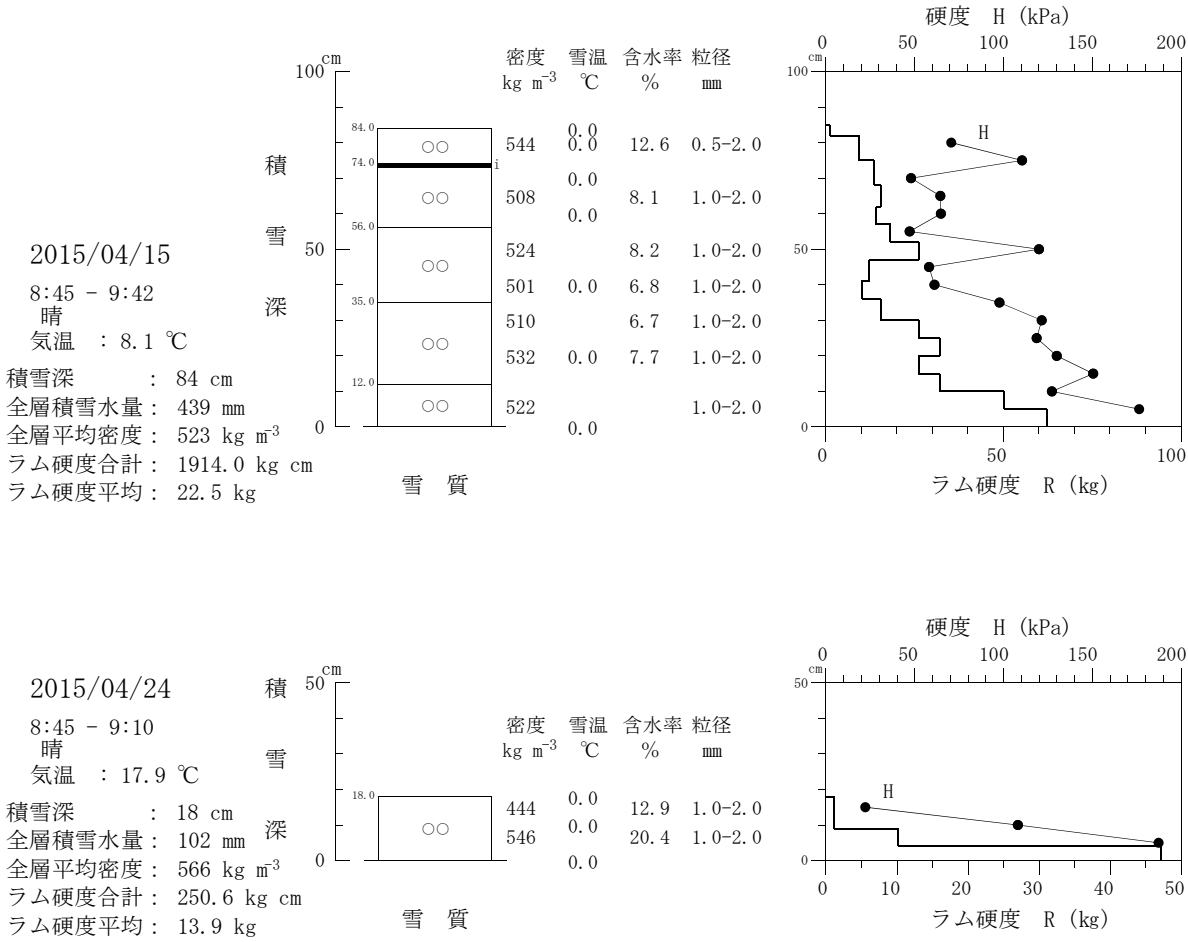


Fig. 3. 積雪断面観測 (2015 年冬期、つづき)
Snow pit observation (2015 winter period, continue)

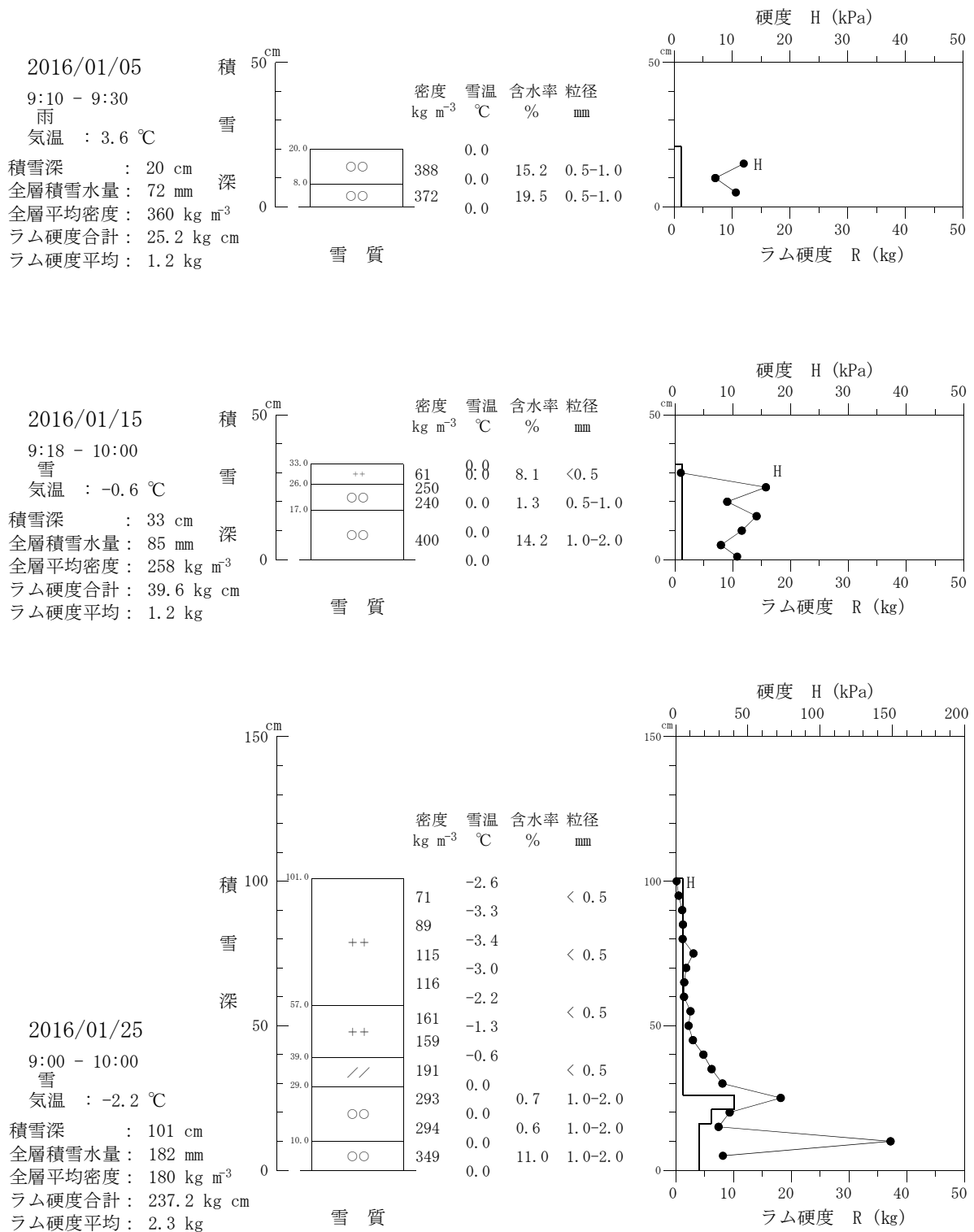


Fig. 3. 積雪断面観測 (2016 年冬期)
Snow pit observation (2016 winter period)

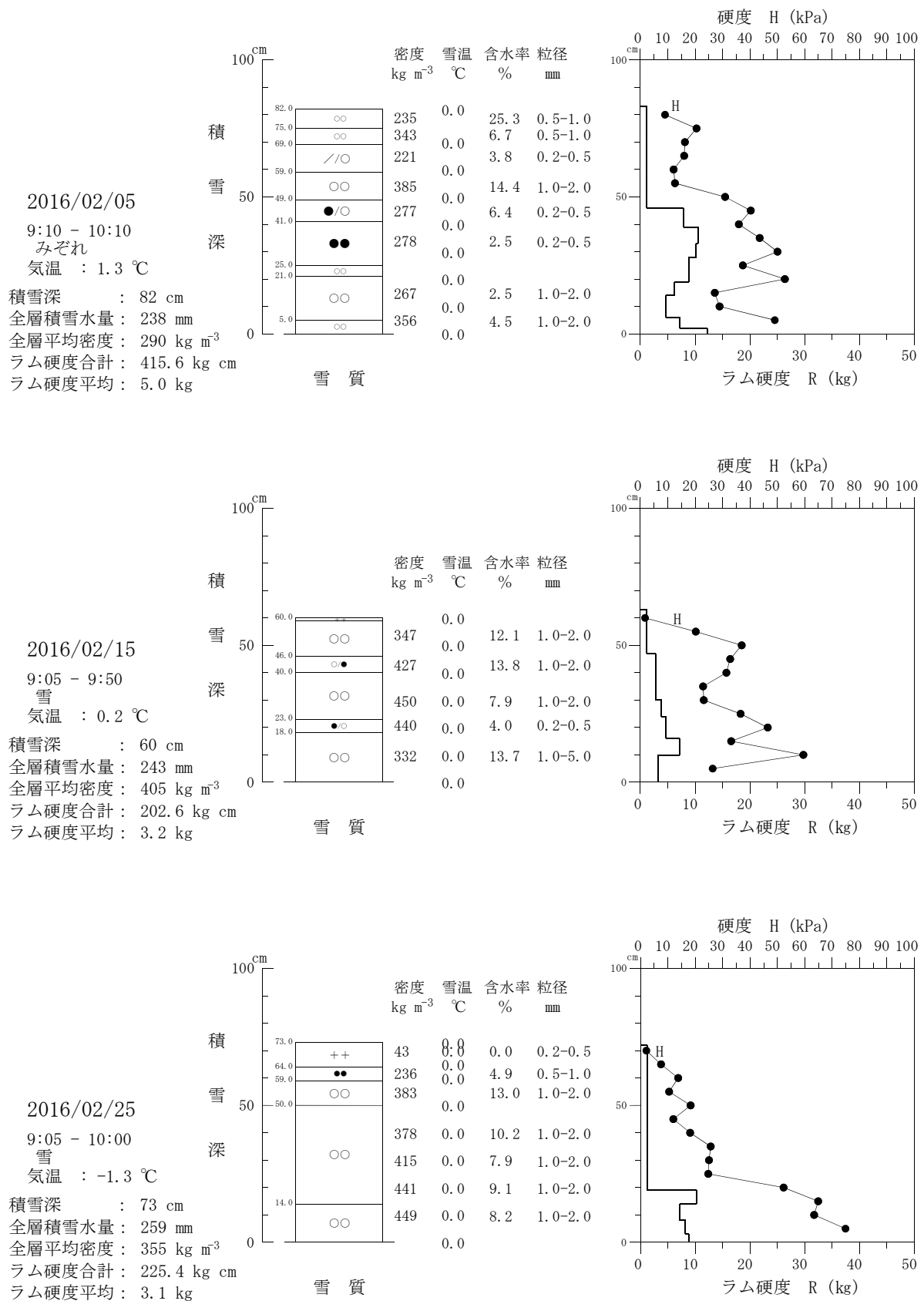


Fig. 3. 積雪断面観測 (2016 年冬期、つづき)
Snow pit observation (2016 winter period, continue)

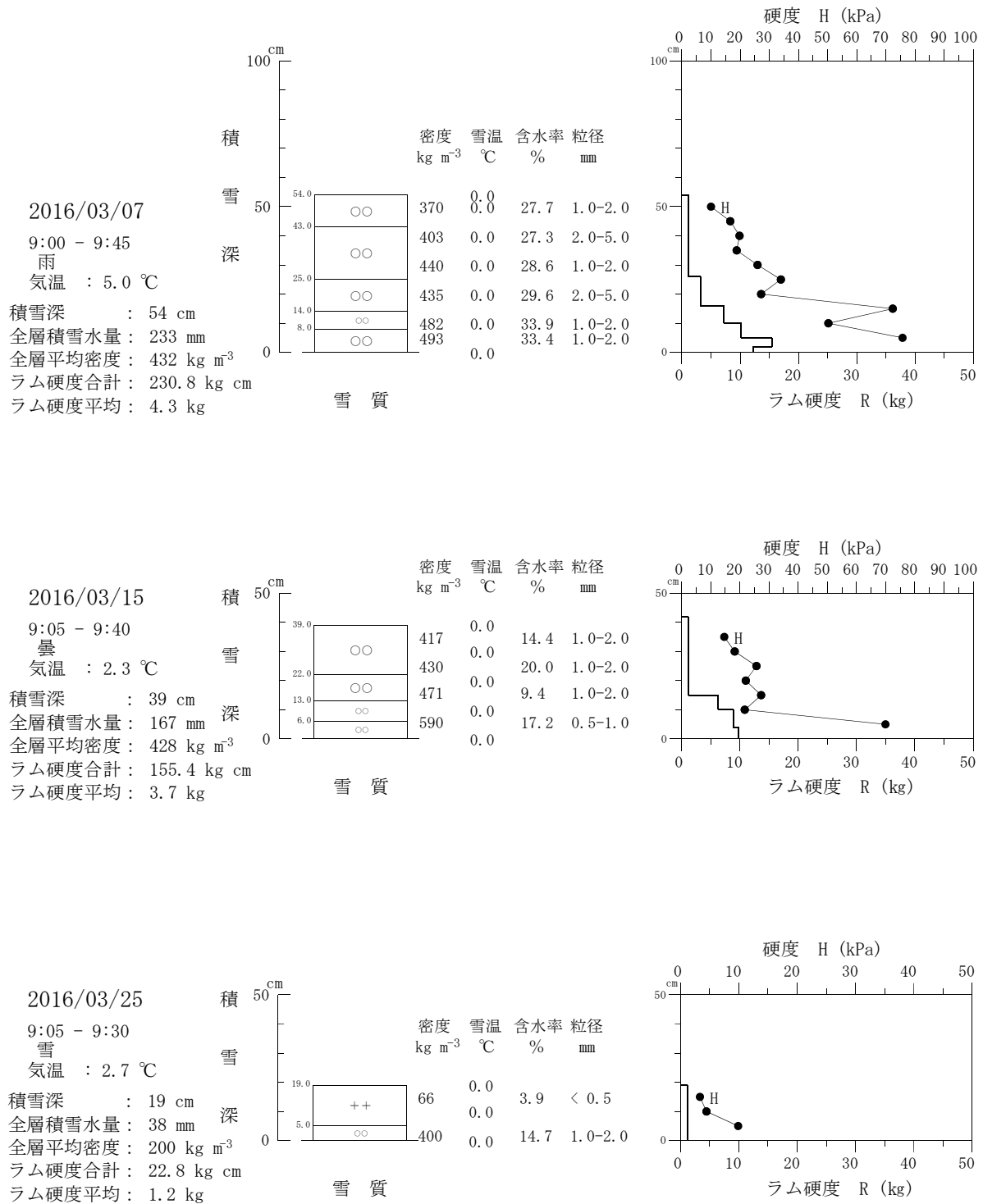


Fig. 3. 積雪断面観測 (2016 年冬期、つづき)
Snow pit observation (2016 winter period, continue)

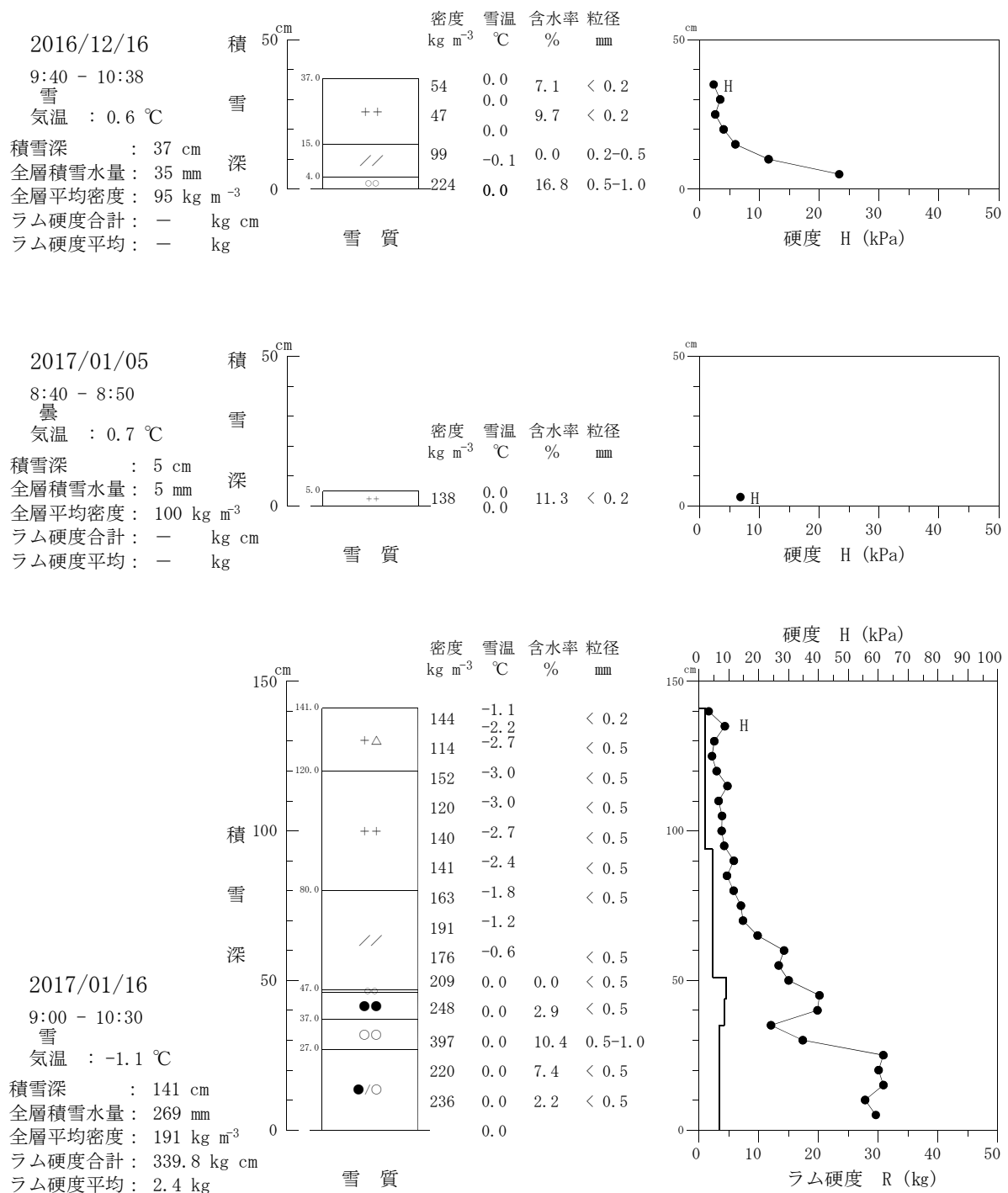


Fig. 3. 積雪断面観測 (2017 年冬期)
Snow pit observation (2017 winter period)

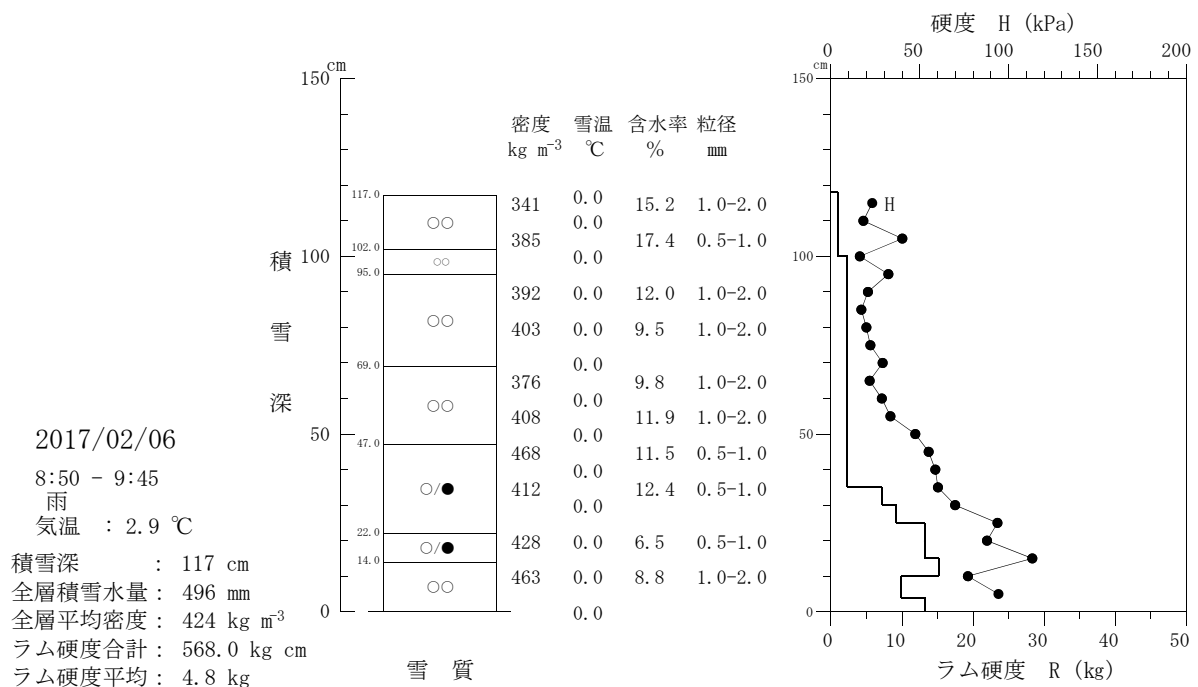
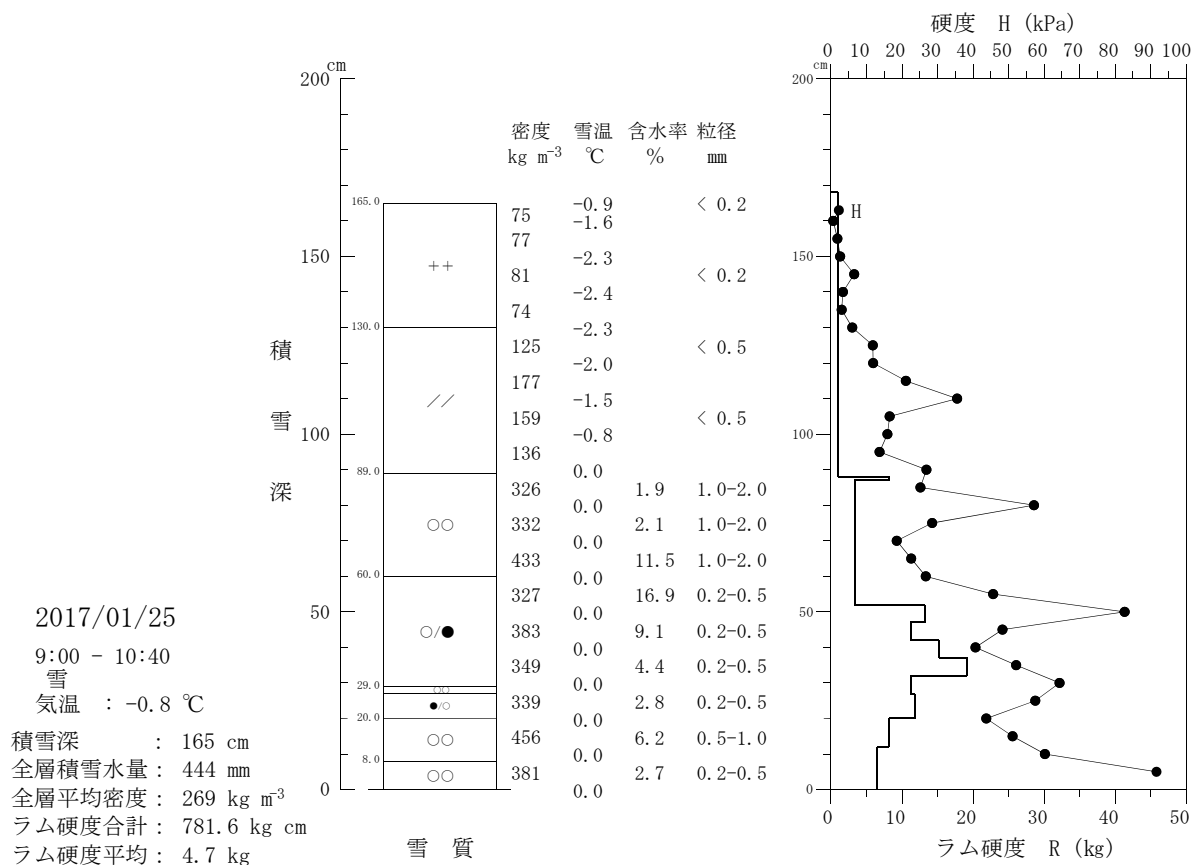


Fig. 3. 積雪断面観測 (2017 年冬期、つづき)
Snow pit observation (2017 winter period, continue)

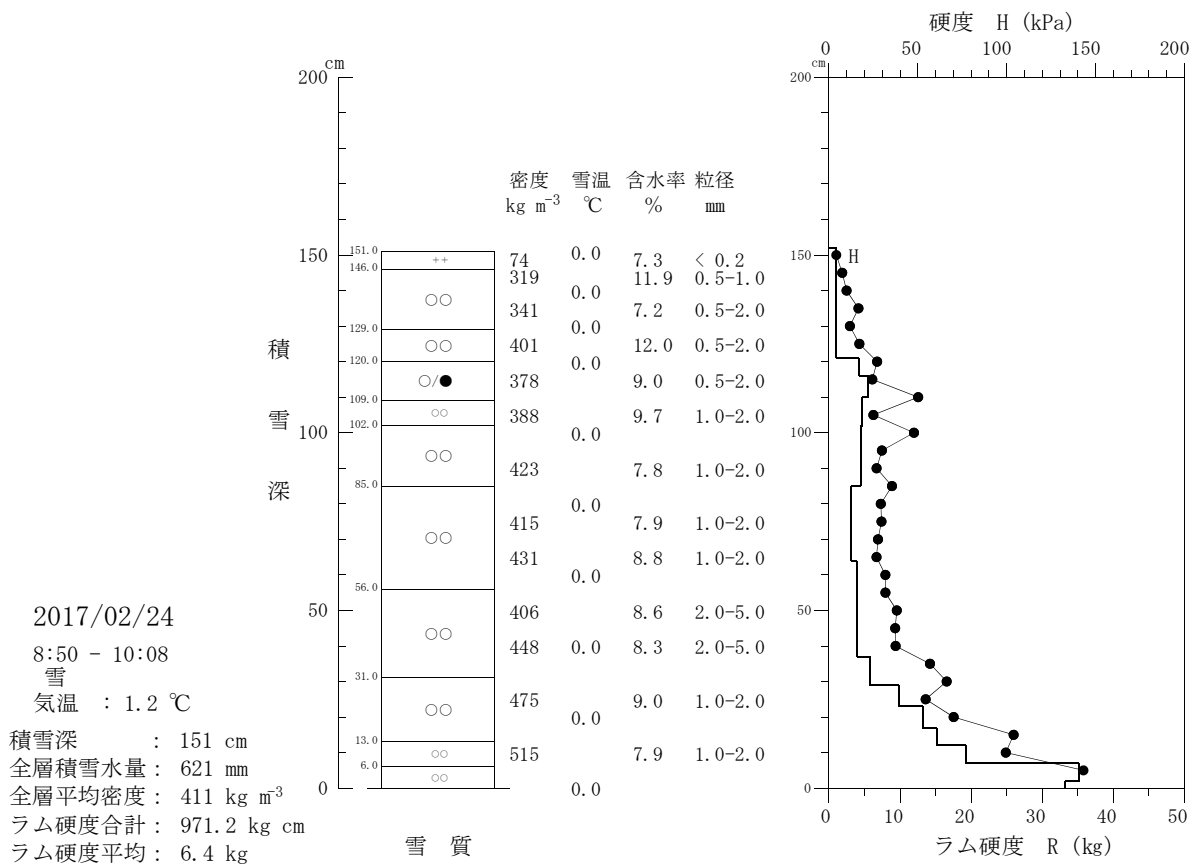
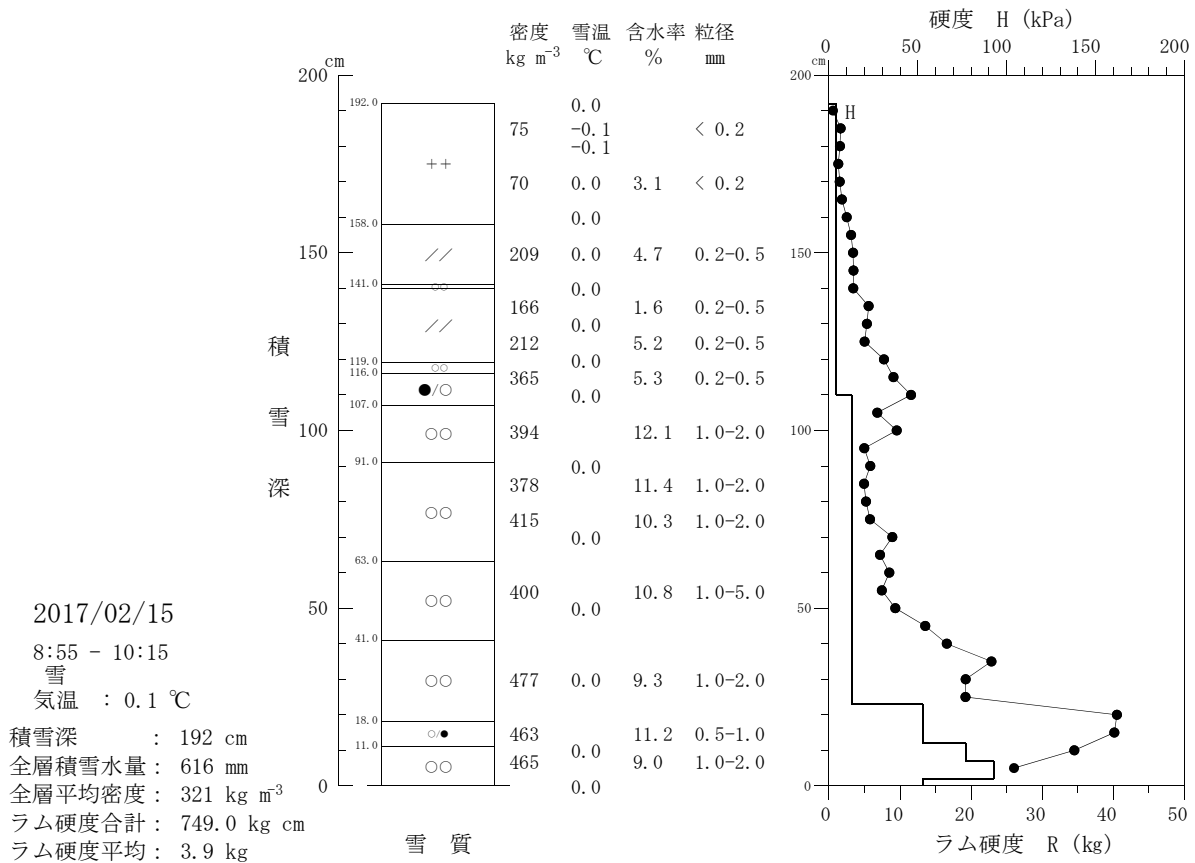


Fig. 3. 積雪断面観測 (2017 年冬期、つづき)
Snow pit observation (2017 winter period, continue)

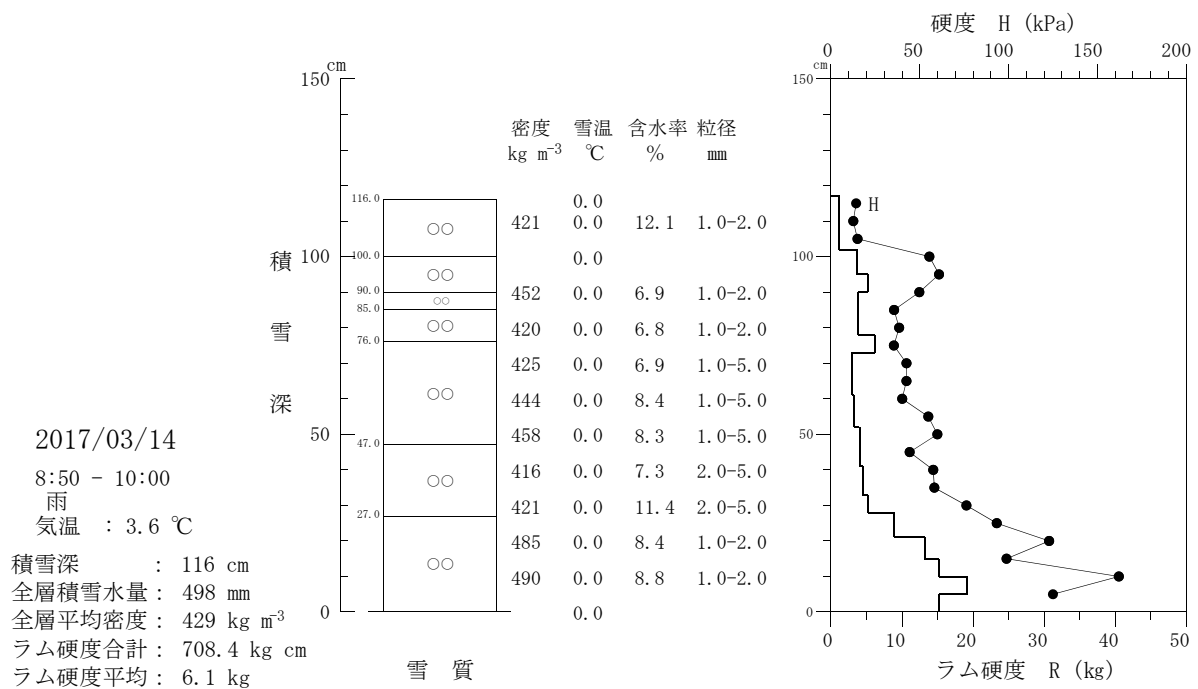
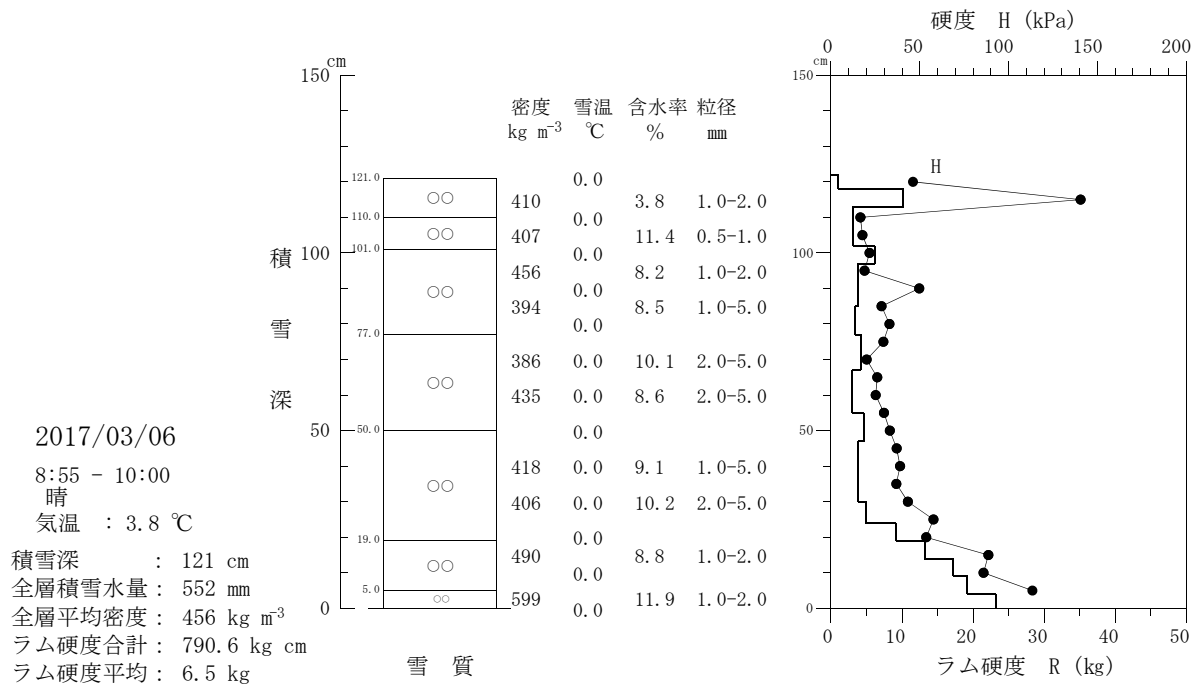


Fig. 3. 積雪断面観測 (2017 年冬期、つづき)
Snow pit observation (2017 winter period, continue)

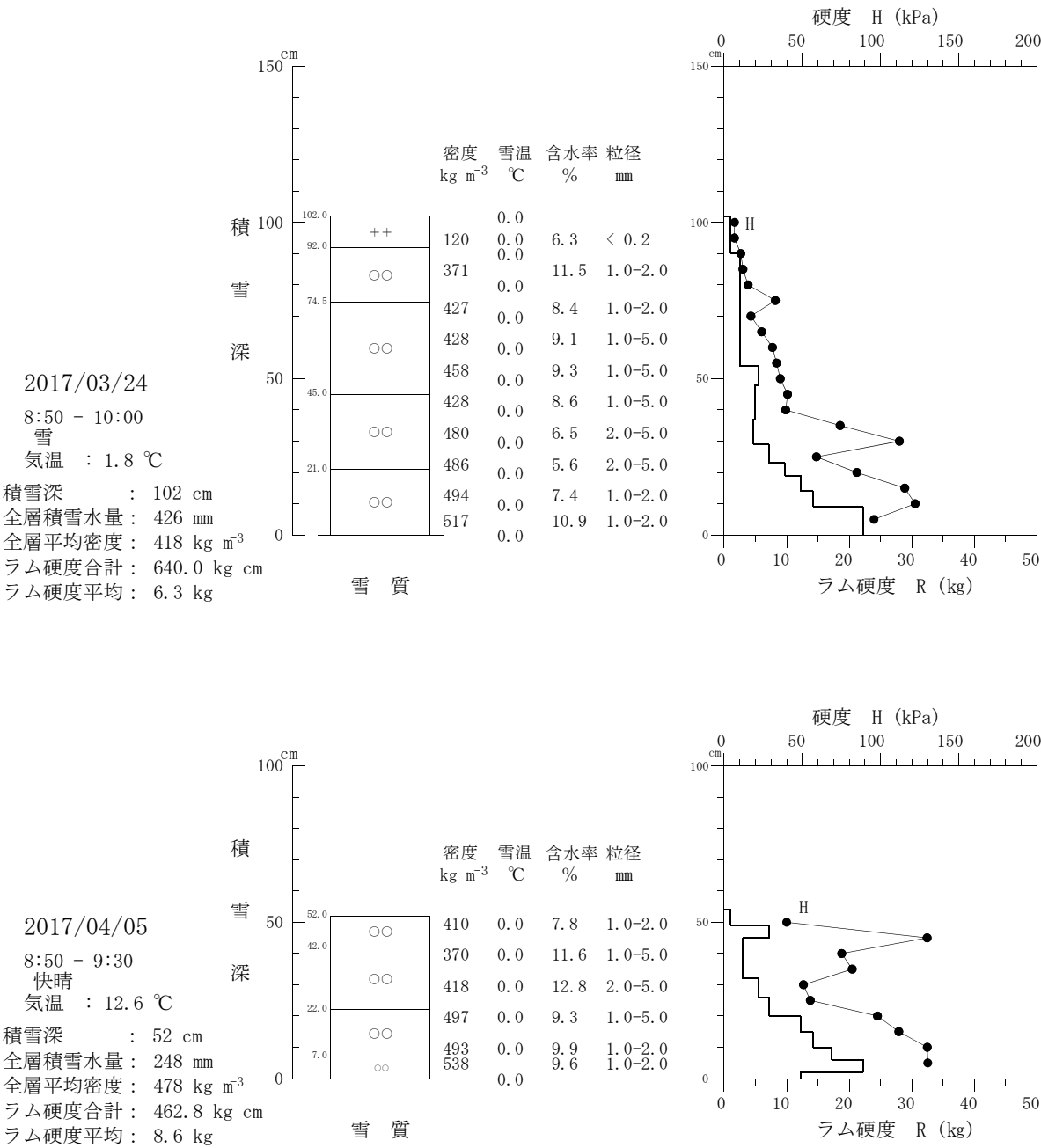


Fig. 3. 積雪断面観測 (2017 年冬期、つづき)
Snow pit observation (2017 winter period, continue)

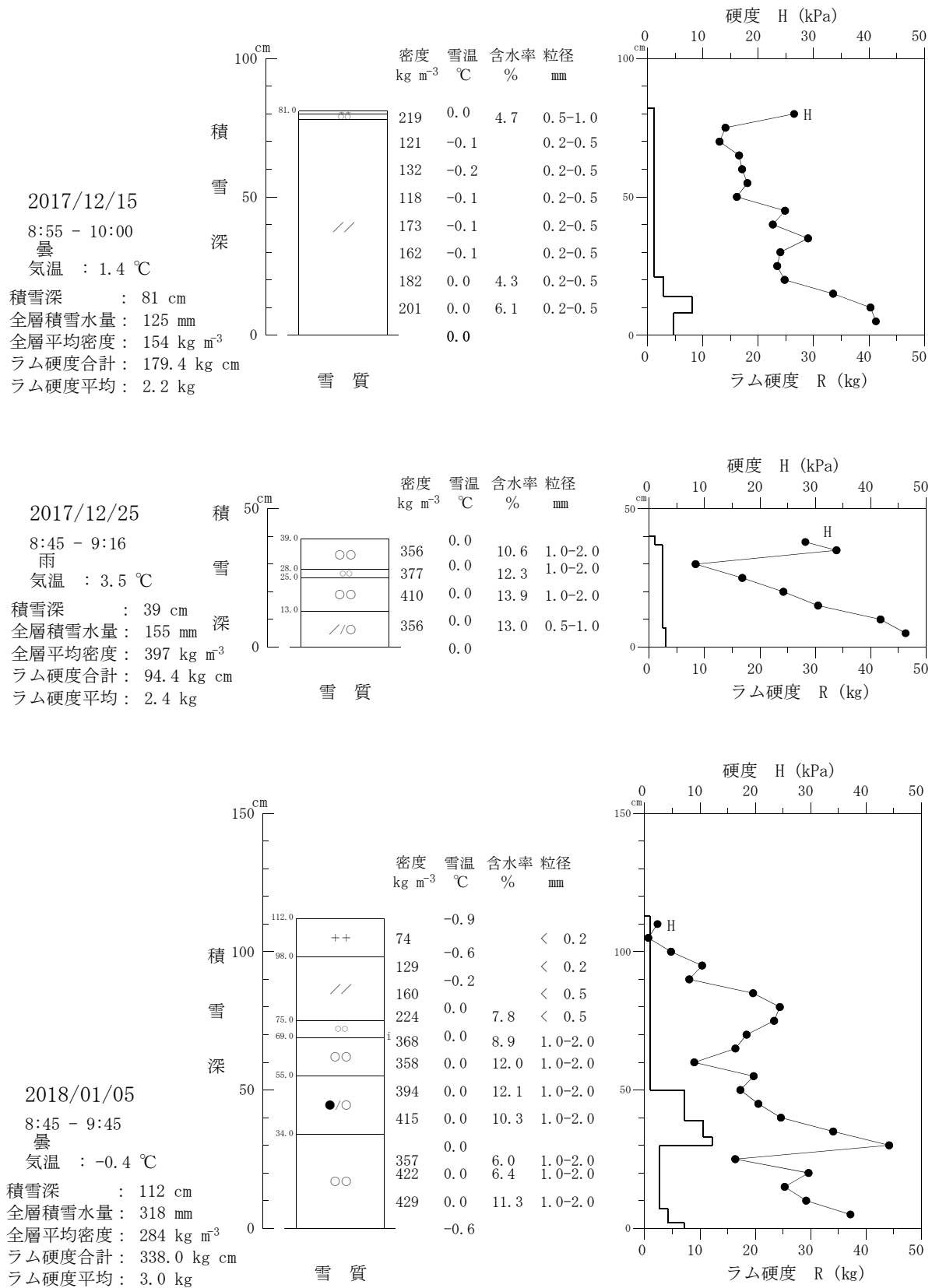
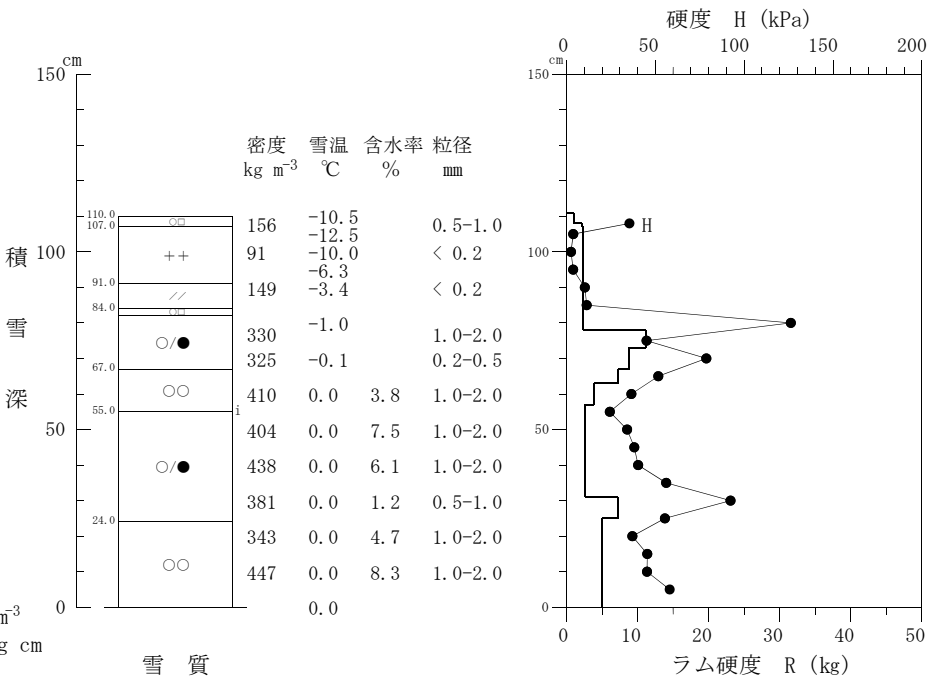


Fig. 3. 積雪断面観測 (2018 年冬期)
Snow pit observation (2018 winter period)

2018/01/15
8:50 - 10:20
快晴
気温 : -4.8 °C

積雪深 : 110 cm
全層積雪水量 : 347 mm
全層平均密度 : 315 kg m⁻³
ラム硬度合計 : 471.6 kg cm
ラム硬度平均 : 4.2 kg



2018/01/25
9:00 - 10:07
雪
気温 : -4.7 °C

積雪深 : 140 cm
全層積雪水量 : 390 mm
全層平均密度 : 279 kg m⁻³
ラム硬度合計 : 352.6 kg cm
ラム硬度平均 : 2.5 kg

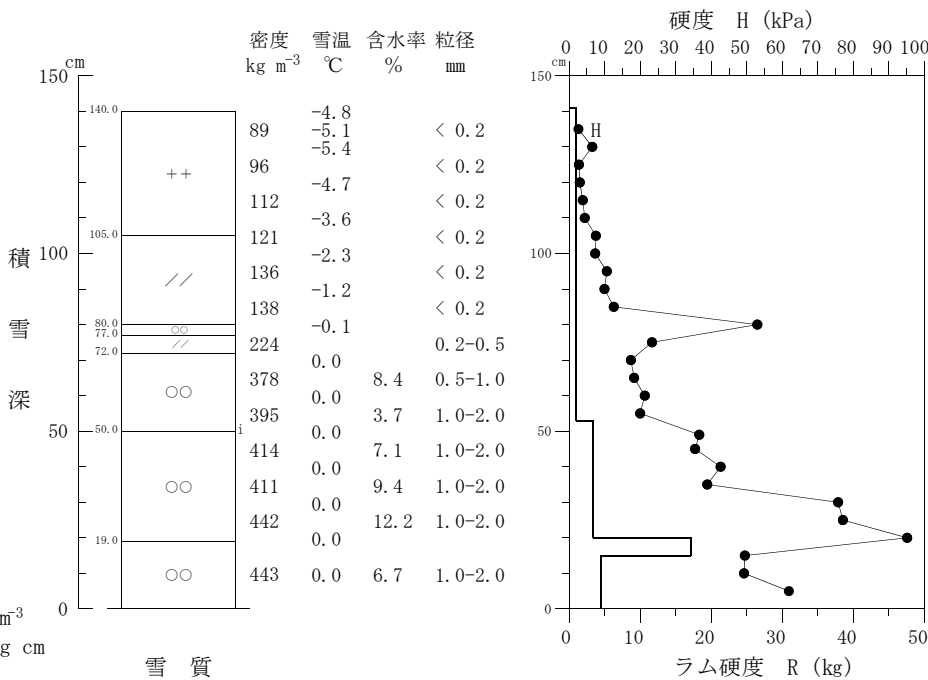


Fig. 3. 積雪断面観測 (2018 年冬期、つづき)
Snow pit observation (2018 winter period, continue)

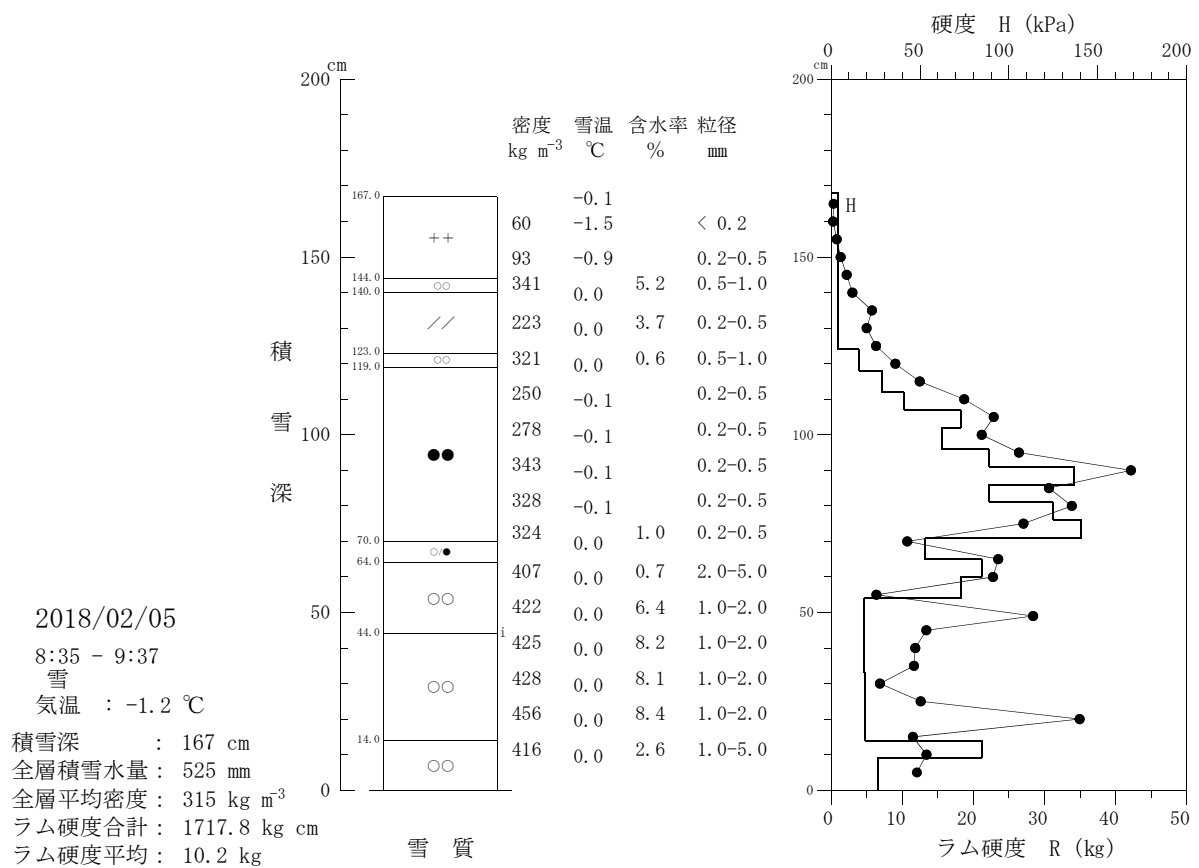


Fig. 3. 積雪断面観測 (2018 年冬期、つづき)
Snow pit observation (2018 winter period, continue)

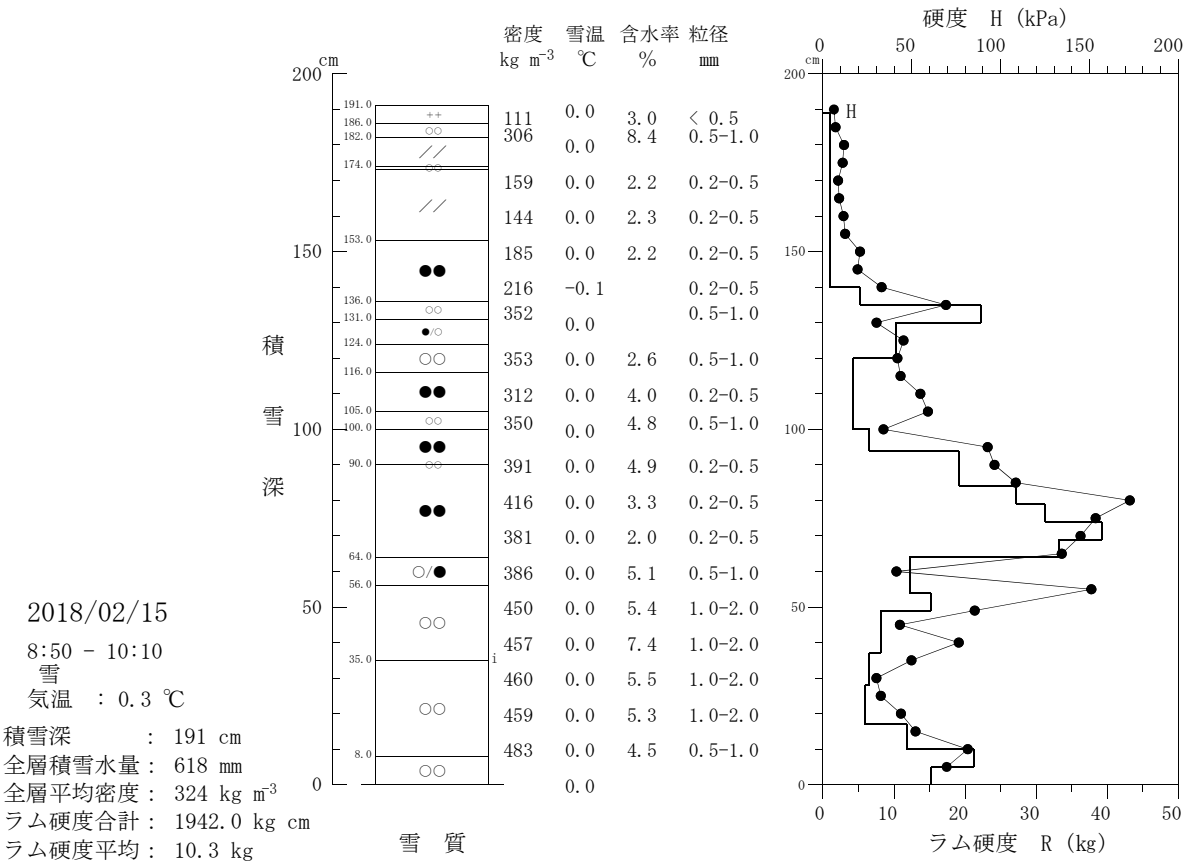


Fig. 3. 積雪断面観測 (2018 年冬期、つづき)
Snow pit observation (2018 winter period, continue)

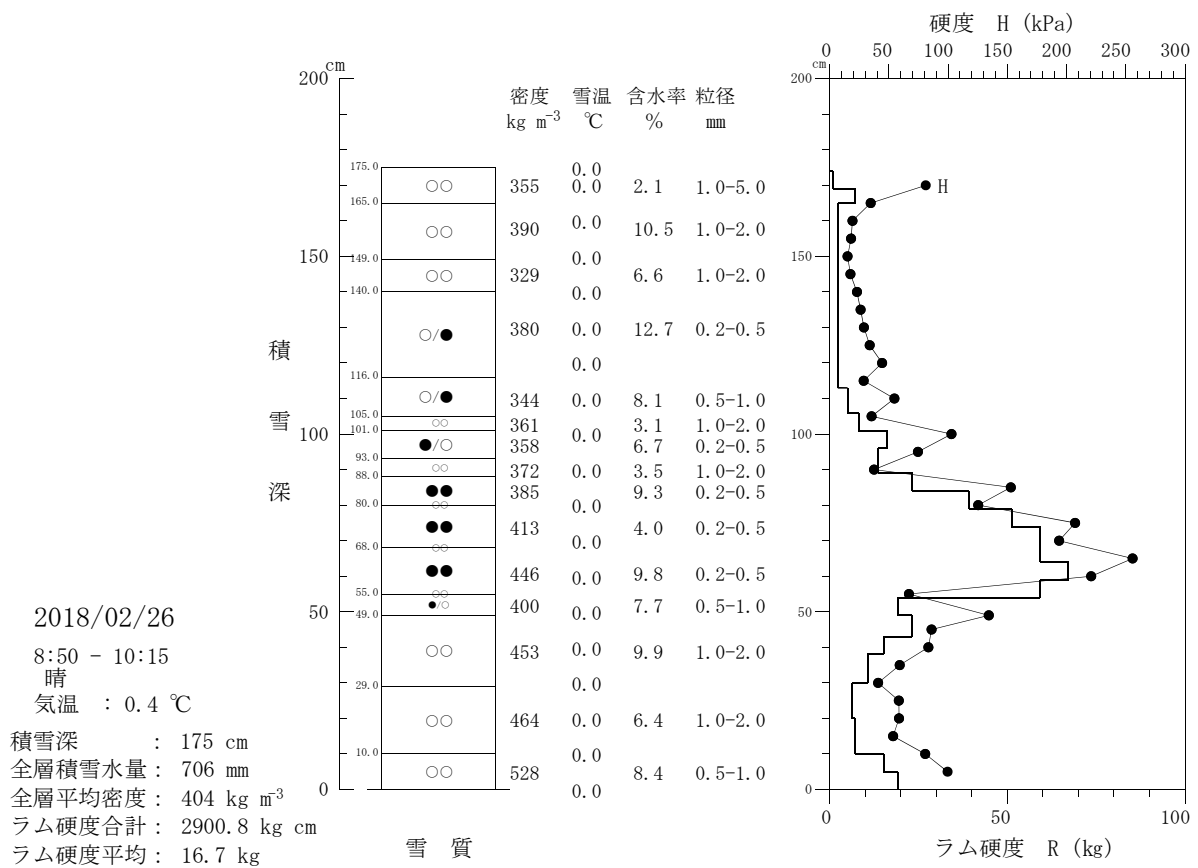


Fig. 3. 積雪断面観測 (2018 年冬期、つづき)
Snow pit observation (2018 winter period, continue)

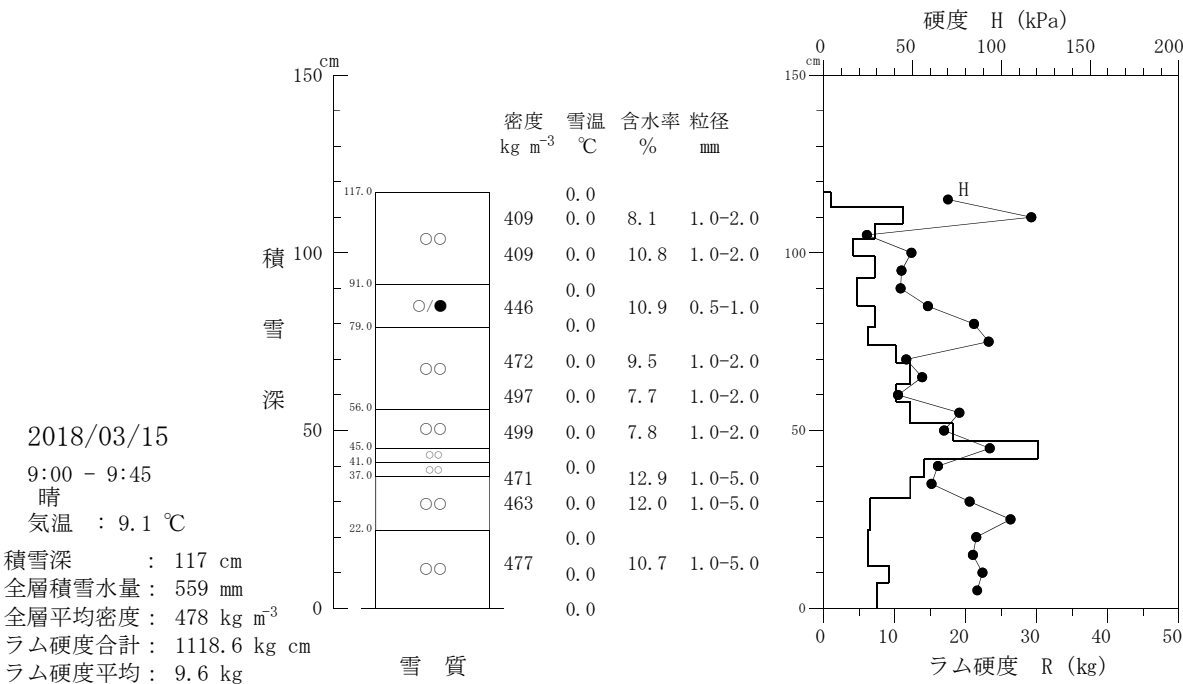
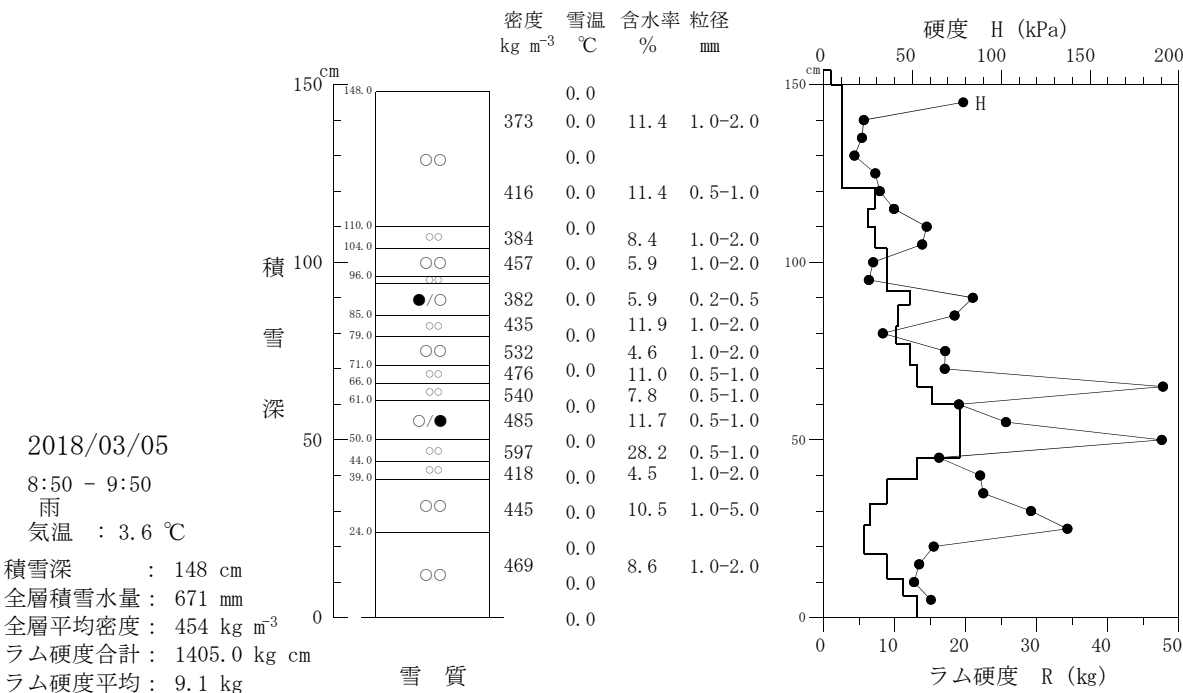


Fig. 3. 積雪断面観測 (2018 年冬期、つづき)
Snow pit observation (2018 winter period, continue)

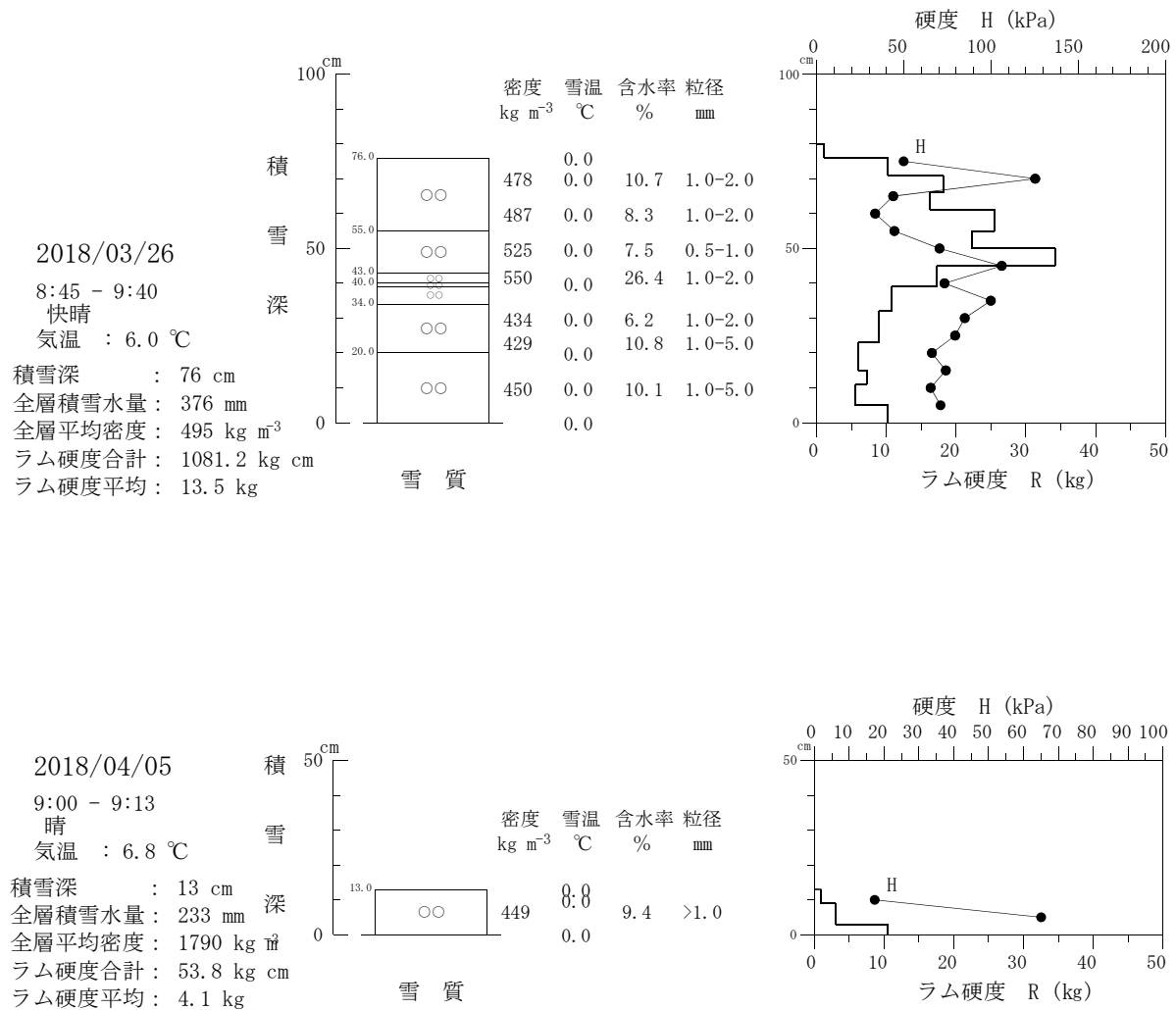


Fig. 3. 積雪断面観測 (2018 年冬期、つづき)
Snow pit observation (2018 winter period, continue)

2018/12/14

9:15 - 9:30

雪

気温 : 0.9 °C

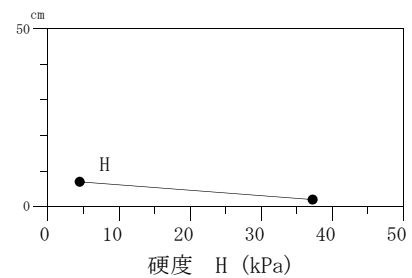
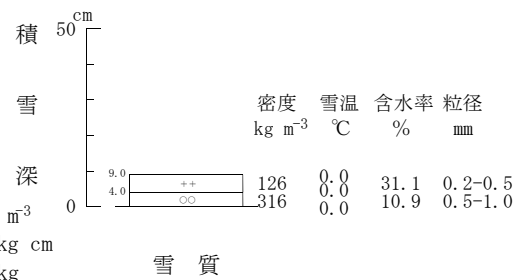
積雪深 : 10 cm

全層積雪水量 : 22 mm

全層平均密度 : 227 kg m⁻³

ラム硬度合計 : — kg cm

ラム硬度平均 : — kg



2019/01/07

9:15 - 10:17

雪

気温 : 0.5 °C

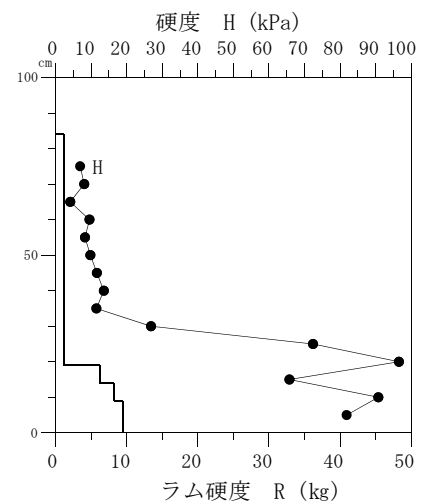
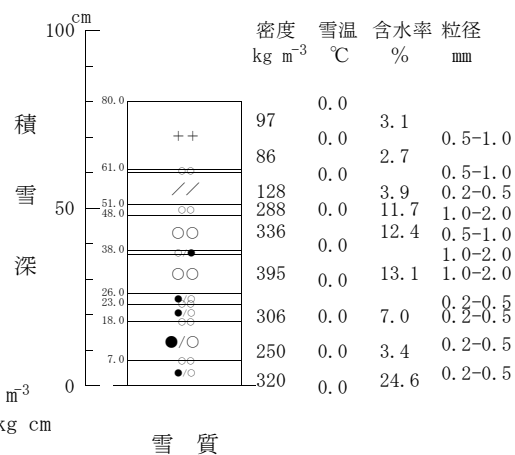
積雪深 : 80 cm

全層積雪水量 : 190 mm

全層平均密度 : 237 kg m⁻³

ラム硬度合計 : 234.8 kg cm

ラム硬度平均 : 2.8 kg



2019/01/15

8:55 - 9:41

曇

気温 : 2.0 °C

積雪深 : 62 cm

全層積雪水量 : 225 mm

全層平均密度 : 363 kg m⁻³

ラム硬度合計 : 435.4 kg cm

ラム硬度平均 : 7.0 kg

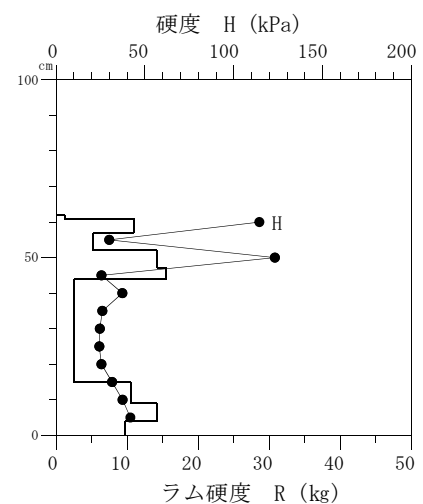
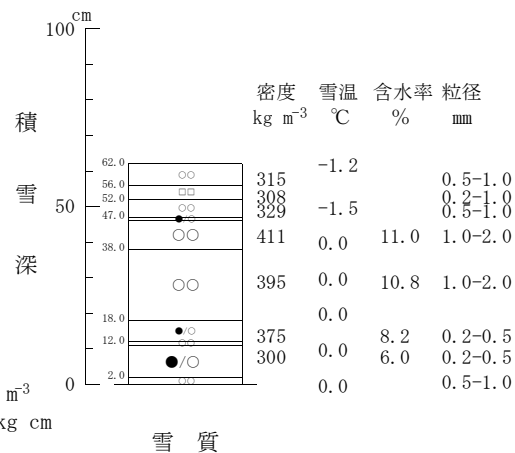


Fig. 3. 積雪断面観測 (2019 年冬期)

Snow pit observation (2019 winter period)

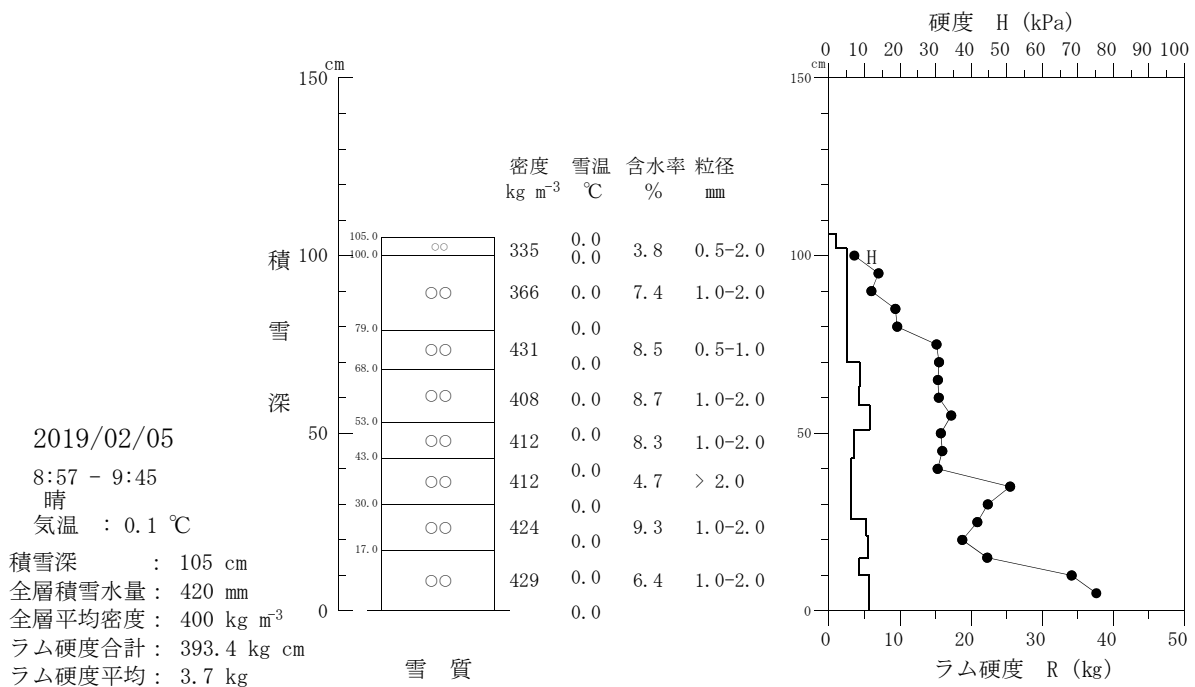
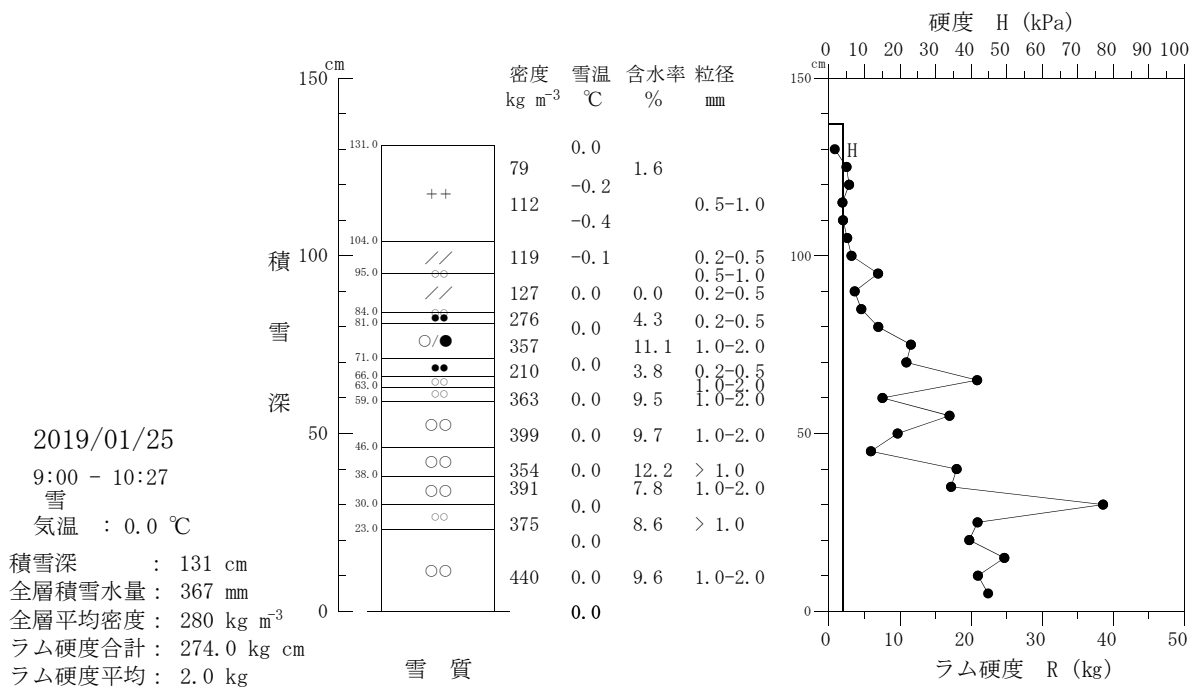


Fig. 3. 積雪断面観測 (2019 年冬期、つづき)
Snow pit observation (2019 winter period, continue)

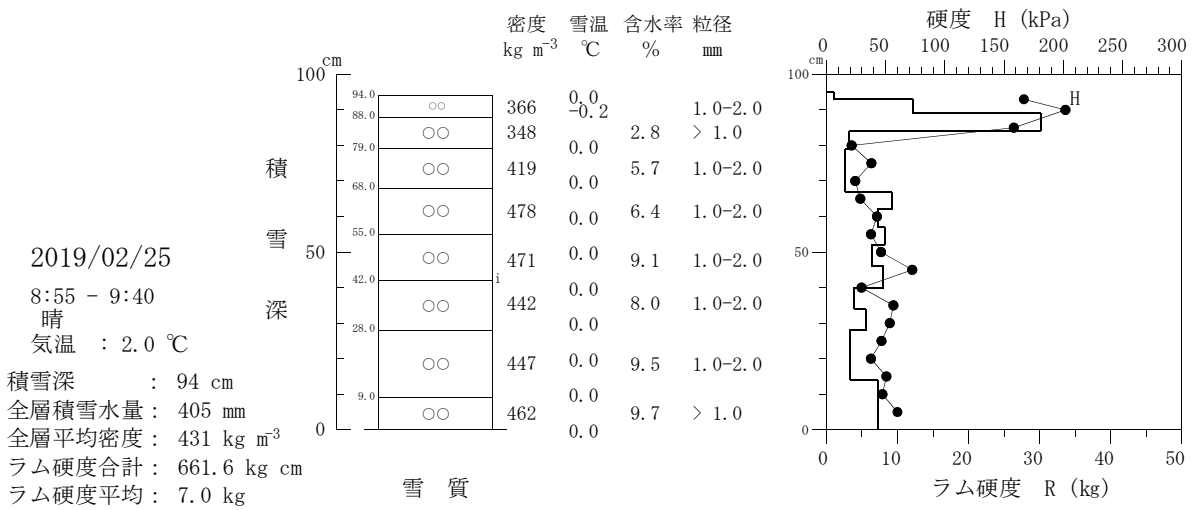
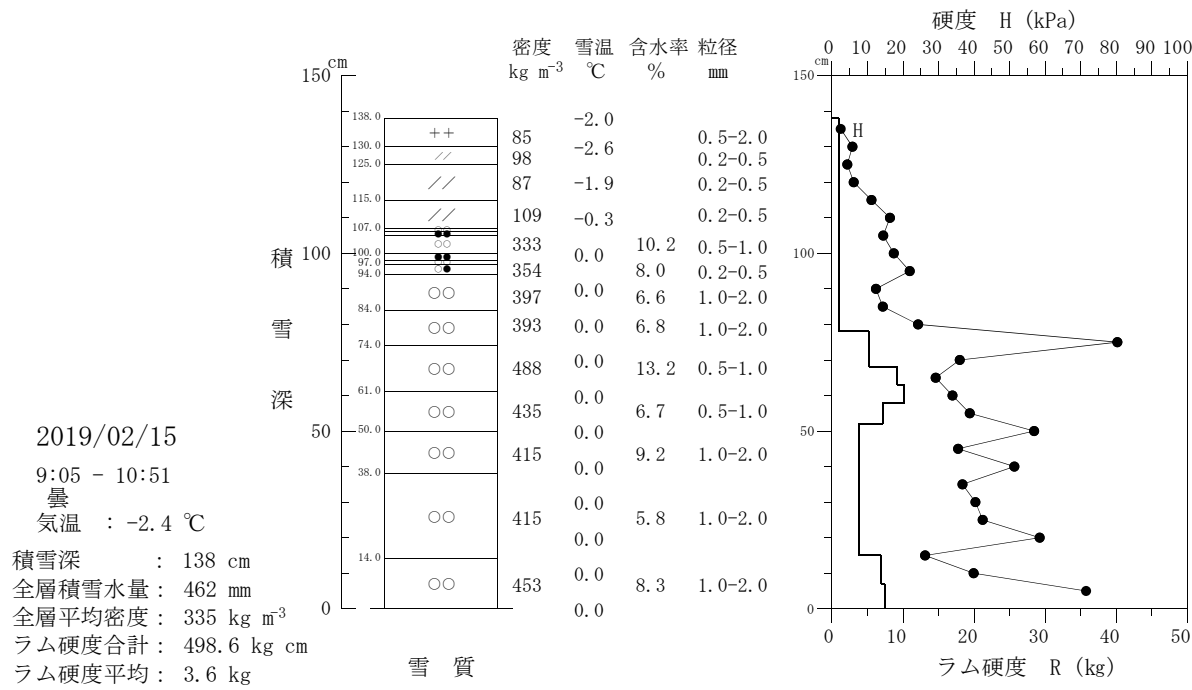


Fig. 3. 積雪断面観測 (2019 年冬期、つづき)
Snow pit observation (2019 winter period, continue)

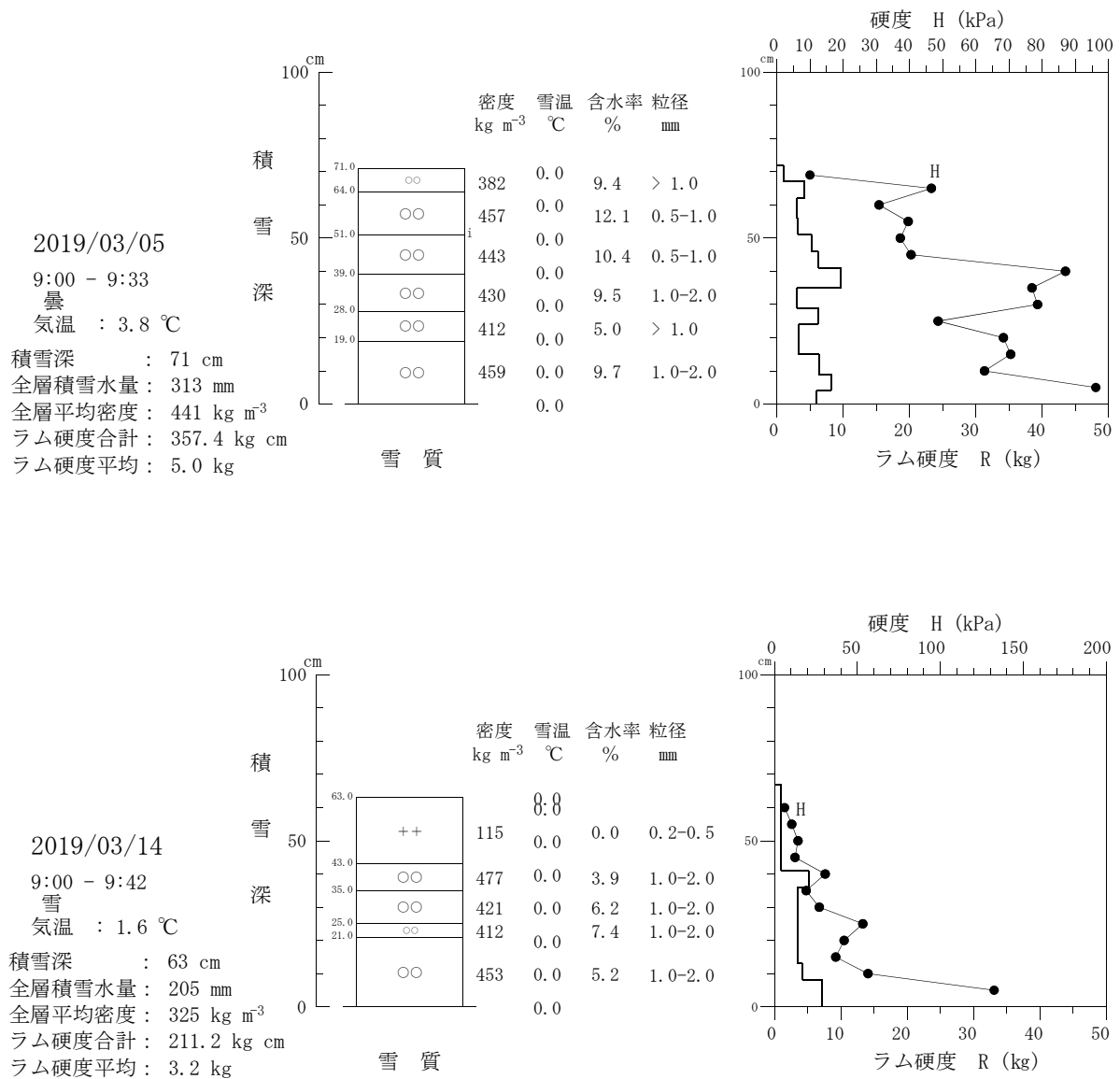


Fig. 3. 積雪断面観測 (2019 年冬期、つづき)
Snow pit observation (2019 winter period, continue)

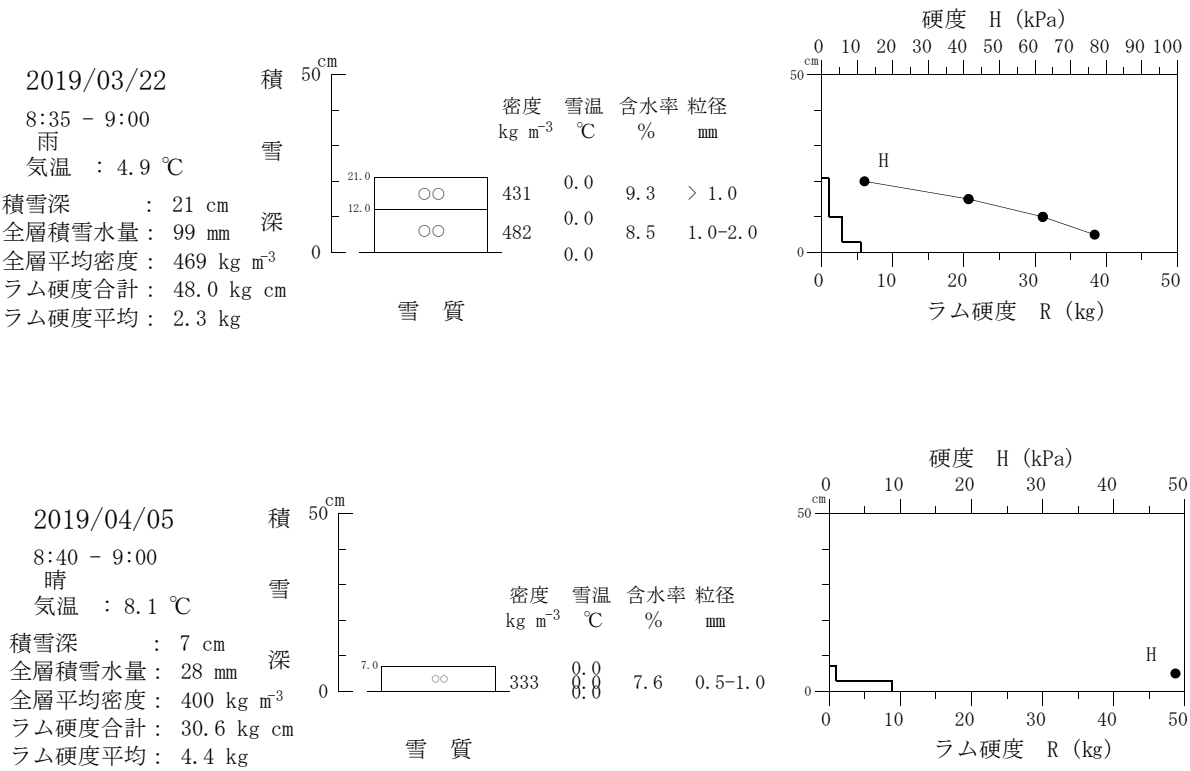


Fig. 3. 積雪断面観測 (2019 年冬期、つづき)
Snow pit observation (2019 winter period, continue)

Data of meteorology and snow pit observations at Tohkamachi Experimental Station, Forestry and Forest Products Research Institute, Japan (IX) (2014-15 to 2018-19, five winter periods)

Yukari TAKEUCHI ^{1)*}, Takafumi KATSUSHIMA ¹⁾ and Yasoichi ENDO ¹⁾

Abstract

Meteorological observations have been carried out at Tohkamachi Experimental Station (37 ° 08' N, 138 ° 46' E), Niigata Prefecture, since 1918 in order to obtain data for use in disaster prevention and studies on earth science. Since 1939-40 winter season, snow pit observations have been carried out at about 10 days intervals. In this report, we present data such as daily weather, air temperature, precipitation, snowfall depth, snow depth, and snow–water equivalent, and snow pit observations during the recent five winter periods from 2014-15 to 2018-19.

Key words: snow pit observation, meteorological observation, Tokamachi

Received 11 July 2019, Accepted 6 August 2019

1) Tohkamachi Experimental Station, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

* Tohkamachi Experimental Station, FFPRI, Kawahara-cho 614-9, Tokamachi, Niigata, 948-0013 JAPAN; e-mail: yukarit@affrc.go.jp

担当者 御中
To the person concerned

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

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

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

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

2019年12月 発行 森林総合研究所研究報告 第18巻4号（通巻452号）

編集人 森林総合研究所研究報告編集委員会

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

製版・印刷 前田印刷株式会社
〒305-0836 茨城県つくば市山中152-4
電話：029-875-6696 Fax：029-875-6698

©2019 Forestry and Forest Products Research Institute

本誌から転載・複写する場合は、森林総合研究所の許可を得てください。

森林総合研究所研究報告

Vol.18 No.4 (No.452)



page345

北海道における地がきダケカンバ更新地の樹高成長と表層土壌理化学性の関係
:伊藤 江利子、橋本 徹、相澤 州平、古家 直行、石橋 聡

Association of soil physicochemical properties following scarification
with regenerated birch growth in Hokkaido, northern Japan.

by Eriko ITO, Toru HASHIMOTO, Shuhei AIZAWA, Naoyuki FURUYA and Satoshi ISHIBASHI

page355

トドマツ人工林伐採後の地がき施業によるカンバ等の更新への効果

:伊東 宏樹、中西 敦史、津山 幾太郎、関 剛、倉本 恵生、飯田 滋生、石橋 聡

Effects of soil scarification on regeneration of saplings of birches and other species
after clear-cutting of *Abies sachalinensis* plantations

by Hiroki ITÔ, Atsushi NAKANISHI, Ikutaro TSUYAMA, Takeshi SEKI, Shigeo KURAMOTO,
Shigeo IIDA and Satoshi ISHIBASHI

page369

日本の山菜10種、11部位のセシウム137の食品加工係数と食品加工残存係数

:長期保存のためのレシピが放射性セシウム量を最も減らした

:清野 嘉之、赤間 亮夫

Cesium-137 food-processing factors and food-processing retention factors of
11 organs and 10 edible wild plant species from Japan

: recipes for long-term preservation reduced the radiocesium mass the most.

by Yoshiyuki KIYONO and Akio AKAMA

page381

中部地方で発生したスズタケ (*Sasamorpha borealis*) 一斉結実に対する野ネズミ個体群の反応 (英文)

:島田 卓哉、星野 大介、岡本 透、齋藤 智之、野口 和幸、酒井 武

Population responses of rodents to the mast seeding of dwarf bamboo *Sasamorpha borealis*
over the Chubu region of Japan

by Takuya SHIMADA, Daisuke HOSHINO, Tohru OKAMOTO, Tomoyuki SAITOH,
Kazuyuki NOGUCHI and Takeshi SAKAI

page389

カラマツコンテナ苗における床替苗根腐病

:升屋 勇人、安藤 裕萌、八木橋 勉、齋藤 智之、野口 麻穂子

The Fusarium root rot on *Larix kaempferi* containerized seedlings

by Hayato MASUYA, Yuho ANDO, Tsutomu YAGIHASHI, Tomoyuki SAITO and Mahoko NOGUCHI

page393

森林総合研究所十日町試験地における冬期の気象および雪質の調査資料 (9)

(2014/15年~2018/19年 5冬期)

:竹内 由香里、勝島 隆史、遠藤 八十一

Data of meteorology and snow pit observations at Tohkamachi Experimental Station,
Forestry and Forest Products Research Institute, Japan (IX) (2014-15 to 2018-19, five winter periods)

by Yukari TAKEUCHI, Takafumi KATSUSHIMA and Yasoichi ENDO