

原 著

紺野美樹¹・百原 新^{1*}・近藤玲介²・重野聖之³・宮入陽介⁴・
佐藤雅彦⁵・五十嵐八枝子⁶・沖津 進¹：北海道利尻島
姫沼ボーリングコアの最終氷期最寒冷期以降の大型植物化石群

Miki Konno¹, Arata Momohara^{1*}, Reisuke Kondo², Kiyoyuki Shigeno³,
Yosuke Miyairi⁴, Masahiko Sato⁵, Yaeko Igarashi⁶ and Susumu Okitsu¹:
Plant macrofossil assemblages since the last glacial maximum from boring core
sediments in Lake Himenuma, Rishiri Island, northernmost Japan

要 旨 北海道利尻島姫沼南岸で採集したボーリングコアの大型植物化石を分析し、最終氷期最寒冷期以降の姫沼の古環境と植生の変遷を明らかにした。最終氷期最寒冷期の16,964±48～15,917±85 yrs BPまでの姫沼とその周辺には、乾燥・寒冷な気候と火山活動がもたらした貧弱な土壌環境下でエゾノヒメクヤマゴケが生育するハイマツの疎林が分布していた。約15,917±85 yrs BP以降には沈水植物のシャジクモ科、ヒメミズニラ、バイカモが生育する湖沼になった。14,265±44 yrs BPまでにはナナカマド属やミヤマハンノキが湖沼周辺のハイマツ群落に混生するようになり、それ以降には湖水面の上昇と拡大によって湖岸から植物化石がもたらされなくなった。

キーワード：大型植物化石、湖面変化、最終氷期、植生変遷、利尻島

Abstract We studied plant macrofossil assemblages from a boring core on the southern shore of Lake Himenuma, Rishiri Island, Hokkaido, northernmost Japan and clarified environmental and vegetation changes in and around the lake since the last glacial maximum (LGM). Between 16,964 ± 48 and 15,917 ± 85 yrs BP during the LGM, *Pinus pumila* shrubs grew sparsely with *Selaginella helvetica* on poor soil influenced by volcanic activity under dry cold climate. The lake began to develop with submerged aquatic plant communities including Characeae, *Isoetes asiatica*, and *Ranunculus nipponicus* var. *major*. *Sorbus* and *Alnus maximowiczii* began to grow in the *Pinus pumila* assemblage around the lake up to 14,265 ± 44 yrs BP, but afterwards plant remains were not supplied to the boring site, because of lake expansion.

Key words: Last glacial, lake level change, plant macrofossil, Rishiri Island, vegetation change

はじめに

最終氷期最寒冷期の北海道利尻島はサハリンと地続きで、北海道北部から東部にはハイマツ *Pinus pumila* (Pall.) Regel とグイマツ *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr. を主とする疎林が広がっていたと考えられている (小野・五十嵐, 1991)。これまでに行われた北海道の最終氷期の古植生復

元の大部分は花粉分析記録に基づいており (例えば、中村・山中, 1966; 五十嵐・熊野, 1981; 五十嵐ほか, 1993)、大型植物化石記録は極めて少なかった。一般に、花粉化石群は広域から飛来した花粉を含んでいるが、大型植物化石群は原地性が高い。そこで、遠方から飛来した花粉が強調される森林植生の乏しい地域での植生復元 (例えば、守田

¹ 〒271-8510 千葉県松戸市松戸648 千葉大学園芸学部

Faculty of Horticulture, Chiba University, 648 Matsudo, Chiba, 271-8510, Japan

² 〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1 つくば中央第7 (独) 産業技術総合研究所 地質情報研究部門

Geological Survey of Japan, AIST, Tsukuba Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki, 305-8567, Japan

³ 〒064-0807 北海道札幌市中央区南7条西1-13 第3弘安ビル 明治コンサルタント株式会社

Meiji Consultant Co., Ltd., Kouan-3, Minami 7, Nishi 1-13, Chuo, Sapporo, Hokkaido, 064-0807, Japan

⁴ 〒277-8564 千葉県柏市柏の葉5-1-5 東京大学大気海洋研究所

Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, Kashiwanoha 5-1-5, Kashiwa, Chiba 277-8564, Japan

⁵ 〒097-0311 北海道利尻郡利尻町仙法志字本町 利尻町立博物館

Rishiri Town Museum, Senhoshi, Rishiri Is., Hokkaido, 097-0311, Japan

⁶ 〒061-1134 北海道北広島市広葉町3丁目7-5 北方圏古環境研究室

Institute for Paleoenvironment of Northern Regions, Koyocho 3-7-5 Kitahiroshima, 061-1134 Japan

*連絡先 corresponding author

ほか、2006) には、大型植物化石による検討が有効である。さらに、大型植物化石は種までの同定が可能であることが多く、大陸と陸続きだった最終氷期の北海道の植物相を復元する上で、重要な役割を果たす。

今回、近藤ほか (2010a) が利尻島姫沼で行ったボーリングで、最終氷期最寒冷期以降の連続した堆積物が得られた。姫沼は利尻火山 (標高 1721 m) の山麓、標高 125 m の凹地中央部に形成された湖沼で、この凹地に流入する大規模な河川は存在しない (近藤ほか、2010a)。そのため、姫沼の湖底堆積物中の大型植物化石群は、姫沼とその周囲の植生を反映していると考えられる。

利尻島でこれまで行われてきた植生史研究は、中村・山中 (1966) による姫沼での花粉分析があるが、試料の年代測定は行われていない。南浜湿原と沼浦湿原 (五十嵐、2006)、種富湿原 (五十嵐、2008) では後期完新世の花粉分析が行われている。最終氷期の化石群は酸素同位体ステージ 3 末期に噴出した溶岩流の直下の堆積物から得られており、杓形溶岩流直下と野塚溶岩流直下からは材化石群が (三浦・高岡、1993)、野塚溶岩流直下からは大型植物化石群と花粉化石群が検討されている (百原ほか、2011)。今回調査した姫沼の大型植物化石資料によって、これまでの研究で欠落していた最終氷期最寒冷期以降の利尻島の植生を復元し、姫沼の形成史を明らかにすることが可能である。本研究では姫沼で採取された堆積物中の大型植物化石を記載し、最終氷期最寒冷期以降の古植生を復元し現在の植生と比較するとともに、姫沼とその周辺の変遷について考察を行う。

調査地の概要と方法

1. 調査地の概要

利尻島は北海道北部に位置する、標高 1721 m の利尻山からなる火山島である (図 1; 松井ほか、1967)。姫沼は、利尻島北部の利尻山山麓の火山麓扇状地上の凹地の中央部に位置する、周囲約 1 km の湖沼である。姫沼への大きな流入河川や流出河川は存在しない。姫沼が位置する凹地は、もとは複数の小規模な池塘を含む湿地だったが、大正 13 年に堰堤が建設されて水位が上昇し (小田桐、1964)、最大水深 4 m の現在の姫沼となった (近藤ほか、2010a)。

姫沼の湖水面の標高は約 125.3 m で、南岸には 3 段の段丘状地形が湖岸と平行して同じ標高に分布している (図 2)。この段丘状地形は、湖水面から高さ 2.0 ~ 2.1, 3.3, 4.7 m の位置に遷急線 (図 2 の矢印) を持つ、傾斜が緩やかな段丘面と高さ数 10 cm の浸食崖の組み合わせからなる (近藤ほか、2010b)。図 2 の B—B' のトランセクトの各遷急点での検土杖での調査では、厚さ 50 ~ 100 cm の泥炭ないし森林土壌の下に、珪藻質シルトや砂礫からなる湖成堆積物が検出された (図 2; 近藤ほか、2010b)。湖岸斜面に同じ高さに見られる遷急線は過去の姫沼の汀線であり、人為的な水位上昇による姫沼の成立以前に、現在の姫沼よりも規模が大きい湖沼が存在したことを示している (近藤ほか、2010b)。

利尻島の植生は、低標高域にエゾマツ *Picea jezoensis* Carr. とトドマツ *Abies sachalinensis* Masters に落葉広葉樹が混生する針広混交林が広がる (館脇、1941; 春木ほか、2004)。姫沼湖畔の植生はエゾマツとトドマツが優占し、ダケカンバ *Betula ermanii* Cham., ハリギリ *Kalopanax*

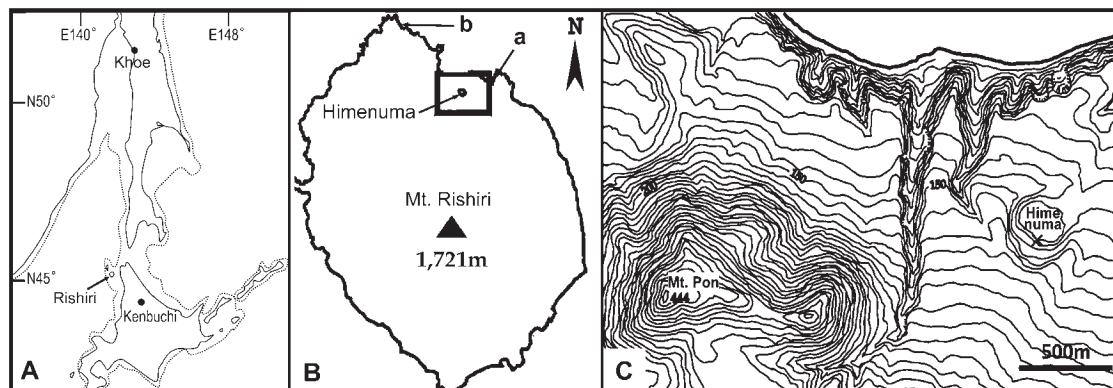


図 1 利尻島姫沼の位置および試料採取地点。A の点線は最終氷期最寒冷期の海岸線 (日本第四紀学会、1987 と小野・五十嵐、1991 より作成)。B の地点 a は野塚溶岩流直下、地点 b は杓形溶岩流直下の植物化石産出地点 (三浦・高岡、1993; 百原ほか、2011)。

Fig. 1 Locality of sampling sites and Lake Himenuma, Rishiri Island, Hokkaido. Dotted lines in A show shorelines during LGM (based on Japan Association for Quaternary Research, 1987 and Ono & Igarashi, 1991). Plant macrofossil localities in B are beneath the Nozuka Lava Flow (a) and the Kutsugata Lava Flow (b) (Miura & Takaoka, 1993; Momohara et al., 2011).

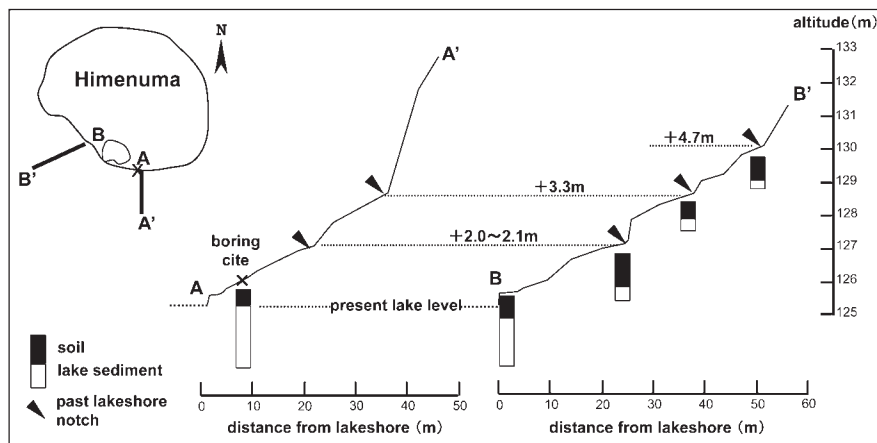


図2 姫沼南岸の地形断面図と湖成堆積物の分布. 柱状図は近藤ほか (2010a) をもとに作成.

Fig. 2 Geographical profiles and distribution of lake sediment at the southern shore of Lake Himenuma. Columnar section is based on Kondo et al. (2010a).

pictus (Thunb.) Nakai, ナナカマド *Sorbus commixta* Hedl., イタヤカエデ *Acer mono* Maxim. が混生する。場所によっては標高 400 ~ 500 m からハイマツの低木林が分布し始め (館脇, 1941), ダケカンバ, ミヤマハンノキ *Alnus maximowiczii* Call., チシマザサ *Sasa kurilensis* (Rupr.) Makino et Shibata を伴う。姫沼の約 2 km 南東に位置する標高 444 m のポン山では (図 1), 匍匐性のミヤマハンノキ林, ダケカンバ林が山腹に分布し, 山頂付近にハイマツがわずかに分布している。利尻島南部の南浜湿原やオタドマリ沼には, アカエゾマツ *Picea glehnii* Masters の湿地林が分布している。

2. 分析試料の層相

大型植物化石分析の試料は, 近藤ほか (2010a) によって採掘されたボーリングコア (NU-Rs-H1 コア) の堆積物から採取した。ボーリングコアの掘削は 2009 年 10 月に姫沼南岸で行われた。ボーリング地点は, 遊歩道から 2.0 m 山側の標高 126.2 m 地点 (45°13'33"N, 141°14'44"E) である。掘削にはピストンコアラーとサンドサンプラーを用い, 直径 86 mm, 総長 15 m のコアを採取した (近藤ほか, 2010a)。

大型植物化石分析は, 肉眼で植物片が確認された深度 4.2 m までの試料について行った。地表から深度 4.2 m までの層相は, 地表から深度 0.20 m までの極暗褐色の泥炭質土壌, 深度 0.2 ~ 1.65 m の珪藻質シルト, 深度 1.65 ~ 4.2 m のシルトを挟在する砂礫層に大きく区分される (図 3; 近藤ほか, 2010a)。

深度 0.2 ~ 1.65 m の珪藻質シルトは, 層厚 1 cm 以下の明暗の縞模様が繰り返される部分を含む。深度 1.2 ~ 1.3

m には珪藻質細粒砂が挟まれている。深度 0.2 ~ 1.65 m の珪藻質シルトから, 試料 17 から 24 までの 8 試料を採取した。

深度 1.65 ~ 4.2 m の砂礫層は, 極暗灰色および赤褐色の玄武岩の礫を含み, 淘汰の悪い細粒砂ないし中粒砂からなる。1.9 ~ 2.0 m には珪藻質シルト, 深度 3.15 ~ 3.20, 3.50 ~ 3.56, 4.07 ~ 4.1 m には厚さ 5 cm 以下の暗色シルトが挟まれる。この砂礫層からは 16 試料を採取した (図 3)。

3. 分析試料の年代

コアを半割して観察した後で, 泥炭質堆積物と木材試料について, 近藤が酸-アルカリ-酸処理を行い, 宮入が東京大学工学系研究科のタンデム加速器施設の加速器質量分析装置で AMS¹⁴C 年代測定を行った。このほか, 大型植物化石分析の過程で得られたハイマツの葉の試料について (株) パレオ・ラボに年代測定を依頼した。東京大学工学系研究科のタンデム加速器施設の装置では 2010 年のカーボン用イオン源の交換にともなって ¹²C の測定を休止している。そのため, $\delta^{13}\text{C}$ 値を一律 -25‰ と仮定して年代を算出した。パレオ・ラボの測定による $\delta^{13}\text{C}$ 値が大きく -25‰ からは外れることがないため (表 1), この $\delta^{13}\text{C}$ 値の適用は妥当と考えられる。

この結果, 深度 0.2 m の極暗褐色泥炭質土壌最下層からは 2334±47 yrs BP, 深度 0.2 ~ 1.65 m の珪藻質シルトからは, 深度 0.35 m で 6294±67 yrs BP, 深度 0.55 m で 8347±64 yrs BP, 深度 1.1 m 付近で 11,966±67 yrs BP の AMS¹⁴C 年代が得られた (表 1)。さらに, 深度 1.65 ~ 4.2 m の砂礫層からは, 深度 2.3 m で 14,265±44 yrs BP, 深

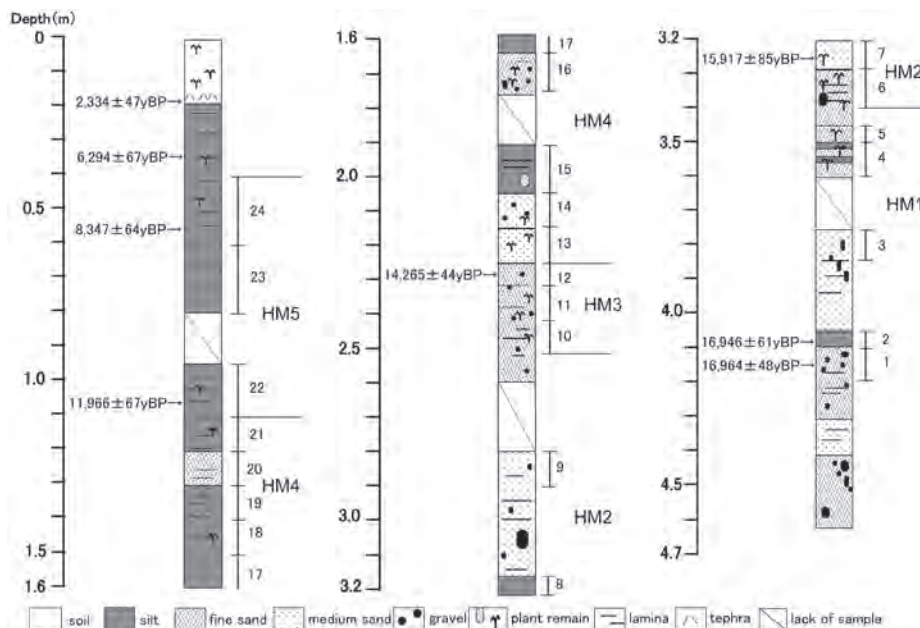


図3 姫沼ボーリングコア NU-Rs-H1 の柱状図と、大型植物化石試料採取層準 (1～24) および大型植物化石群帯 (HM1～5).
Fig. 3 Columnar section of the boring core NU-Rs-H1, horizon of plant macrofossil samples (1–24), and plant macrofossil assemblage zones (HM1 to 5).

度 3.25 m で $15,917 \pm 85$ yrs BP, 深度 4.08 m で $16,946 \pm 61$ yrs BP, 深度 4.15 m で $16,964 \pm 48$ yrs BP の AMS¹⁴C 年代が得られた (表 1)。

4. 大型植物化石の分析方法

ボーリングコアから切り出した計 24 試料について 1 試料につき 50 cm³ の堆積物を 0.25 mm 目の篩で水洗篩別した。篩の上の残渣から植物片と種子を拾い出して同定し、個数を数えた。ハイマツの針葉は小さな断片で産出したので、もともとあった葉の本数を明確にするために先端部分の個数を数えた。ただし、先端がない針葉のみが産出した試料では産出を示すため 1 と計数した。ハイマツの葉を解

剖学的特徴に基づいて同定するため、切片のプレパラートを作成した。ハイマツの葉をフッ化水素水に 1 日浸けて表面に付着した無機物を溶かし、炭酸水素ナトリウムで中和したのち、水で洗浄し、グリセリンゼリーに包埋し、凍結切片を作成した。

産出した植物化石の同定は、千葉大学園芸学部所蔵の現生植物標本と比較して行った。なお、ハイマツの同定には Minaki (1983) を、エゾノヒメクラマゴケ *Selaginella helvetica* (L.) Link. の同定には Minaki (1984) を、ヒメミズニラ *Isoetes asiatica* (Makino) Makino の同定には Watanabe et al. (1996) を参照した。

結 果

1. ボーリング試料から産出した植物化石とその形態

姫沼のボーリングコアから採取した全 24 試料から、藻類 1 分類群、シダ植物 2 分類群、種子植物 4 分類群が産出した (表 2)。藻類はシャジクモ科の一種 Characeae が含まれていた。シダ植物はヒメミズニラとエゾノヒメクラマゴケの大孢子が産出した。ヒメミズニラは現在の利尻島からは見つからない (館脇, 1941; 倉田・中池, 2004)。種子植物は、常緑針葉樹のハイマツ、落葉広葉樹のナナカマド属の一種 *Sorbus* sp. とミヤマハンノキ、沈水植物のバイカモ *Ranunculus nipponicus* (Makino) Nakai var. major Hara が含まれていた。次に産出した植物化石の形態を記載する。

表 1 姫沼ボーリングコア RS-NU-H1 から得られた AMS¹⁴C 年代一覧表

Table 1 AMS ages obtained from the core NU-Rs-H1 at southern shore of Lake Himenuma, Rishiri Island, Hokkaido

Depth (m)	Material	Measurement no.	Carbon age (yrs BP)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
0.2	humic soil	MTC-13864	$2,334 \pm 47$	-25
0.35	humic soil	MTC-13873	$6,294 \pm 67$	-25
0.55	charcoal	MTC-13866	$8,347 \pm 64$	-25
1.1	humic soil	MTC-13867	$11,966 \pm 67$	-25
2.3	<i>Pinus</i> leaf	PLD-16992	$14,265 \pm 44$	-26.67 ± 0.22
3.25	wood	MTC-13886	$15,917 \pm 85$	-25
4.08	<i>Pinus</i> leaf	PLD-16993	$16,946 \pm 61$	-27.31 ± 0.26
4.15	<i>Pinus</i> leaf	PLD-16994	$16,964 \pm 48$	-25.39 ± 0.12

表2 姫沼ボーリングコア RS-NU-H1 から産出した大型植物化石

Table 2 Plant macrofossils obtained from the core RS-NU-H1 at southern shore of Lake Himenuma, Rishiri Island, Hokkaido

Plant macrofossil assemblage zone		HM5			HM4									HM3			HM2				HM1				
Depth from surface (m)		0.4-1.1			1.1-2.25									2.25-2.53			2.8-3.4				3.45-4.2				
Taxon	Sample no.	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Characeae	oospore	.	.	.	230	197	.	.	.	1	.	.	.	.	1	.	2	311	3	5	.	.	.	.	.
<i>Isoetes asiatica</i>	macrospore	.	+	.	+	+	○	◎	◎	◎	○	○	○	+	○	○	○	○	○	○	.	.	.	.	.
<i>Selaginella helvetica</i>	macrospore	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	4	4	1	.	.	.
<i>Pinus pumila</i>	leaf	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	8	7	1	7	7	7	8	100	73	10
	short shoot	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4	2	.	.	5	1	.	12	.
	seed	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1	.	1	3
<i>Alnus maximowiczii</i>	fruit	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	fruiting bract	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Ranunculus nipponicus</i> var. <i>major</i>	stone	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	16	8	.	.	.	.	.	.
<i>Sorbus</i>	seed	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.

表中の数字は 50 cm³ 試料あたりの個数; +: 1~100, ○: 100~1000, ◎: 1000 以上.

Numbers in the table indicates specimen number per 50 cm³ sediment sample, +: 1-100, ○: 100-1000, ◎: more than 1000.

シャジクモ科 Characeae

卵孢子 (図 4-1) が産出した。色は明るい茶色で高さ約 1 mm, 幅約 0.5 mm の卵形。約 0.1 mm の間隔で, 6~7 本のらせん状の隆線が走る。

エゾノヒメクラマゴケ *Selaginella helvetica* (L.) Link.

大孢子 (図 4-2) が産出した。大孢子は暗褐色で直径約 0.6 mm の球形。4 分孢子が合着していた向軸面はやや平らで中心から 3 本の隆線がある。表面には上面観が円形, 側面観が半円形の, 細かいいぼ状突起が密生していた。

北海道に分布するクラマゴケ属は, コケスギラン *S. selaginoides* (L.) Link, エゾノヒモカズラ *S. sibirica* (Milde) Hieron, ヒモカズラ *S. shakotanensis* (Franch. ex Takeda) Miyabe et Kudo, クラマゴケ *S. remotifolia* (Beauv.) Spring, エゾノヒメクラマゴケ, イワヒバ *S. tamariscina* (Beauv.) Spring の 6 種である (倉田・中池, 2004)。これら 6 種のうち, 産出した大孢子化石と同様に, 大孢子表面に細かい突起があるのはコケスギランとエゾノヒメクラマゴケである。大孢子表面の模様は, エゾノヒモカズラ, ヒモカズラ, クラマゴケでは網目状隆線, イワヒバでは不規則な皺状隆線となる (Minaki, 1984)。千葉大学園芸学部所蔵の現生標本でコケスギランとエゾノヒメクラマゴケの大孢子表面の突起を比較すると, コケスギランの突起は側方に扁平な三角錐状から鶏冠状なのに対し, エゾノヒメクラマゴケは低い円形の疣状であった。突起の形態から, 産出した大孢子化石をエゾノヒメクラマゴケに同定した。

ヒメミズニラ *Isoetes asiatica* (Makino) Makino

大孢子 (図 4-3) が産出した。大孢子は乳白色で直径約 1 mm の球形, 4 分孢子が合着し合う向軸面はやや平らで, 中心から外側に 3 本の隆線が走る。表面には針状の細かい

突起が密生する。

日本に分布するミズニラ属にはヒメミズニラとミズニラ *I. japonica* A. Br., シナミズニラ *I. sinensis* Palmer がある。このうち, 大孢子表面に針状の突起を持つのはヒメミズニラだけであり, 大孢子表面に網状の突起をもつミズニラや鶏冠状の突起をもつシナミズニラと区別できる (Watanabe et al., 1996)。

ハイマツ *Pinus pumila* (Pall.) Regel

短枝と針葉 (図 4-4, 5, 6), 種子 (図 4-7) が産出した。針葉は, 長さ 0.5~1.0 cm の破片が産出した。針葉は幅約 1 mm の三稜形で先端は鋭頭, 向軸側の 2 葉面の中央には 1~2 列の気孔条がみられた。針葉の横断面は正三角形で (図 4-4), 2 層の表皮細胞と葉肉細胞, 1 本の維管束と 3 本の樹脂道がみられる (図 4-4, 5)。維管束は断面中央に位置していた。樹脂道のうち向軸側の 1 本は, 分泌細胞が葉肉細胞に囲まれていて表皮細胞とは接しておらず, 背軸側の 2 本の樹脂道は分泌細胞が表皮細胞に接していた (図 4-4, 5)。短枝は, 直径約 2 mm, 高さ約 1 mm の円柱形で, 側面下部には細かい横皺があり, 頂部には 5 本の葉が付着していた (図 4-6)。種皮は破片で産出し, 長径約 4 mm の楕円形, 暗褐色であった (図 4-7)。

横断面が正三角形で 1 本の維管束で構成される針葉をもつ針葉樹は, マツ属単維管束亜属である。そのなかで, ハイマツでは表皮細胞が 2 層から構成され, 背軸側の 2 本の樹脂道の分泌細胞が表皮細胞に接する。それに対し, 同じ単維管束亜属であるチョウセンゴヨウ *P. koraiensis* Sieb. et Zucc. とゴヨウマツ *P. parviflora* Sieb. et Zucc. の表皮細胞は 1 層からなり, 樹脂道の分泌細胞はチョウセンゴヨウではすべて表皮細胞から離れており, ゴヨウマツでは表皮細胞に接する (Minaki, 1983)。

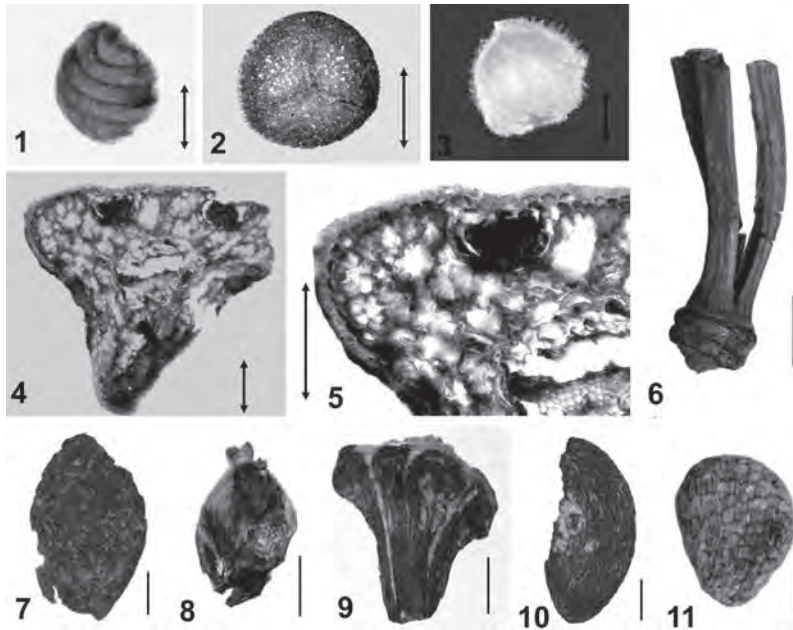


図4 姫沼ボーリングコアに含まれていた大型植物化石。— 1: シャジクモ科卵胞子, 2: エゾノヒメクラマゴケ大胞子, 3: ヒメミズニラ大胞子, 4-7: ハイマツ (4-5: 葉の横断面, 6: 葉と短枝, 7: 種子), 8-9: ミヤマハンノキ (8: 果実, 9: 果実鱗片), 10: ナナカマド属種子, 11: バイカモ核。スケール= 0.3 mm (1-5), 1 mm (6-11)。
Fig. 4 Plant macrofossils obtained from the boring core NU-Rs-H1. — 1: Characeae oospore, 2: *Selaginella helvetica* macrospore, 3: *Isoetes asiatica* macrospore, 4-7: *Pinus pumila* (4-5: transverse section of a leaf, 6: leaves and a short shoot, 7: seed), 8-9: *Alnus maximowiczii* (8: fruit, 9: fruiting bract), 10: *Sorbus* sp. seed, 11: *Ranunculus nipponicus* var. *major* stone. Scales = 0.3 mm (1-5), 1 mm (6-11).

ミヤマハンノキ *Alnus maximowiczii* Callier

果実 (図4-8) と果実鱗片 (図4-9) が産出した。果実は茶色で扁平, 高さ約3 mm, 幅約2 mmの長楕円形, 頂部に2本の太い花柱があり, 側部は薄くなっているが, 翼は残っていなかった。果実鱗片は茶褐色で扁平, 高さ約4 mmの扇形で, 先端は5枚程度の先の丸い裂片に分かれていた。果実は側部が薄く, 翼がついていたと考えられることから, ヤシャブシ亜属 *Alnus* subgen. *Alnaster* に同定される。日本産ヤシャブシ亜属4種のうち, 北海道北部にも分布するヒメヤシャブシ *A. pendula* Matsum. や, 本州以南に分布するオオバヤシャブシ *A. sieboldiana* Matsum. とヤシャブシ *A. firma* Sieb. et Zucc. の果実は, 翼を除く部分が狭倒卵形ないし狭楕円形で, 果皮が膜質で薄く, 花柱も細く壊れやすい。姫沼産の果実は, 長楕円形で果皮が比較的厚く, 花柱が太いことからこれらの樹種とは異なる。

ナナカマド属 *Sorbus* sp.

種子 (図4-10) が産出した。種子は黒色で, 側面観は高さ約4 mm, 幅約2 mmの半月形に近い楕円形で, 上面観は2側面が平らで背面がふくらんだ扇形。表面には細かい皺が長軸に対して平行に走る。

バイカモ *Ranunculus nipponicus* (Makino) Nakai var. *major* Hara

核 (図4-11) が産出した。核は橙色, 側面観は背軸側がふくらんだ倒卵形で, 高さ約2 mm, 幅約1 mm, 表面には縦方向に細かい皺が走り, 横方向には約0.2 mmの間

隔で8~9本の隆線が走る。

2. 大型植物化石の層位分布

大型植物化石群の層位による組成変化に基づいて, 下位よりHM1帯からHM5帯までの大型植物化石群帯に区分した。各大型植物化石群帯ごとに組成を記載する。

HM1帯 (試料1~5, 深度4.2~3.45 m)

ハイマツの葉, 短枝, 種子が多産すること, 水生植物を含まないことで特徴づけられる。ハイマツ以外には, 上位の試料4, 5にエゾノヒメクラマゴケの大胞子が産出した。

HM2帯 (試料6~9, 深度3.4~2.8 m)

沈水植物のバイカモの核, ヒメミズニラの大胞子, シャジクモ科の卵胞子が多産することで特徴づけられる。ハイマツの葉, 短枝, 種子の産出量はHM1帯に比べて減少する。エゾノヒメクラマゴケの大胞子が試料6, 8に含まれる。

HM3帯 (試料10~12, 深度2.53~2.25 m)

落葉広葉樹のナナカマド属の種子とミヤマハンノキの果実, 果実鱗片が産出することで特徴づけられる。ハイマツの葉はこの化石群帯を最後に産出しなくなる。ヒメミズニラの大胞子とシャジクモ科の卵胞子が産出する。

HM4帯 (試料13~21, 深度2.25~1.1 m)

ヒメミズニラの大胞子が多産し, 木本植物が産出しなくなる。試料18にエゾノヒメクラマゴケの大胞子が含まれる。試料16, 20, 21にシャジクモ科の卵胞子が含まれ, 試料20, 21では産出個数が非常に多い。

HM5帯 (試料22~24, 深度1.1~0.4 m)

試料23にヒメミズニラがわずかに含まれる以外は, 大

型植物化石は含まれていない。

考 察

1. 最終氷期最寒冷期の姫沼とその周辺の植生景観

姫沼には流入する河川がないので、化石群を構成する植物片の大部分は、現在の姫沼が位置する凹地と、凹地を取り囲む斜面の植生由来だといえる。HM1 帯の化石群には、火山礫を含む堆積物中にハイマツだけが含まれており、他の樹木は全く含まれていなかった。このことから、この層が堆積した最終氷期最寒冷期の終末期に相当する $16,964 \pm 48 \sim 15,917 \pm 85$ yrs BP までの時代には、姫沼のある凹地にはハイマツの低木林が分布していたと考えられる。ハイマツと共に産出するエゾノヒメクラマゴケは、亜高山帯の草原や岩上に生育するシダ植物であり、礫質土壤にハイマツの低木がまばらに分布し、その合間の開けた立地にエゾノヒメクラマゴケが生育する植生景観を示すと考えられる。

最終氷期最寒冷期の利尻島周辺は北海道からサハリンへとひと続きの陸地になっており (図 1A, 小野・五十嵐, 1991), 利尻島周辺の低地にはハイマツだけではなくトウヒ属, カラマツ属, カバノキ属を含む針葉樹林が分布していた可能性が高い。なぜなら、北海道北部の内陸部に位置する剣淵盆地 (図 1A; 五十嵐ほか, 1993) ではハイマツ以外にトウヒ属, カラマツ属, モミ属, カバノキ属の産出割合が高く, サハリン中西部の Khoe (図 1A; Igarashi et al., 2002) ではモミ属はほとんど産出しなくなるが, トウヒ属, カラマツ属, カバノキ属が最終氷期最寒冷期の花粉群で産出割合が高いからである。さらに、利尻島の現在の海岸線付近から産出した最終氷期最寒冷期直前の酸素同位体ステージ 3 末期の植物化石群は、最終氷期最寒冷期の利尻島周辺の低地にトウヒ属やカラマツ属, カバノキ属を含む針葉樹林が分布した可能性を支持している。すなわち、利尻島東北部の $28,230 \pm 1020$ yrs BP とされる野塚溶岩流の直下 (図 1B-a) からは、トウヒ属とカラマツ属からなる木材化石群 (三浦・高岡, 1993) と、グイマツと考えられる葉や短枝と、高木花粉を基数としてマツ属単維管束亜属が 45.9%, カラマツ属が 35%, カバノキ属が 8.2%, トウヒ属が 6.4% を占める花粉群 (百原ほか, 2011) が報告されている。一方、 $27,040 \pm 160$ yrs BP (植木・近藤, 2008) とされる利尻島北部の杓形溶岩流直下 (図 1B-b) からは、モミ属とトウヒ属からなる木材化石群が記載されている (三浦・高岡, 1993)。

現在の利尻島の植生の垂直分布は、強風や土壤環境の影響によって場所による違いがあるが、標高約 400 ~ 500 m で針広混交林からハイマツ低木林への変化が見られる。最終氷期最寒冷期には、姫沼が位置する標高 125 m より低い標高で、針葉樹林からハイマツ低木林へと変化したと

考えられる。姫沼周辺にハイマツとエゾノヒメクラマゴケを含む種組成の単調な低木林が成立していたのは、最終氷期の寒冷乾燥気候の影響に加えて、火山礫や火山砂からなる火山性の土壤環境が影響した可能性もある。利尻島北部の山地斜面は最終氷期最寒冷期直前の野塚溶岩流や杓形溶岩流に被われ、それらの火山活動に伴って噴出した火山砂礫にも被われて表層は流動しやすく、最終氷期の寒冷・乾燥気候も相まって土壤が発達しにくかったと考えられるからである。

2. 最終氷期最寒冷期以降の姫沼の環境と古植生の変化

HM2 帯の化石群にシャジクモ科, ヒメミズニラ, バイカモといった沈水植物が非常に多く含まれることは、 $15,917 \pm 85$ yrs BP の少し前には姫沼が位置する凹地が湖沼化したことを示している。HM2 帯の時代には湖沼縁辺部には HM1 帯の時代と同様に、ハイマツとエゾノヒメクラマゴケからなる植生が分布していたと考えられる。ハイマツの含有量が HM1 帯よりも減少することは、湖沼が拡大することでハイマツの生育場所が湖沼縁辺部に後退し、サンプリング地点まで流入しにくくなった可能性を示す。

HM3 帯の化石群はハイマツだけではなく、落葉広葉樹のナナカマド属とミヤマハンノキも含まれていた。このことは、 $14,265 \pm 44$ yrs BP までには湖沼縁辺部のハイマツ群落に落葉広葉樹が混じってきたことを示している。この時代の姫沼周辺の植生景観は、ハイマツ群落にこれらの落葉広葉樹を交えた低木林からなる現在のポン山山頂 (標高 444 m) 付近の植生と類似しており、針広混交林が発達する現在の姫沼周辺の植生とは異なる。

HM4 帯では木本は全く産出しなくなり、沈水植物のヒメミズニラとシャジクモ科が非常に多くなる。この化石群帯の堆積物は珪藻を多く含むシルト質堆積物に変化し、姫沼の湖岸斜面からもたらされる火山礫が含まれなくなる。姫沼の南西岸のトランセクト B—B' (図 2) では、HM4 帯の化石群を含む堆積物と同じ層相の珪藻質のシルト層が、現湖岸から 50 m 外側の地点で現湖面よりも 4 m 高い位置にも見られた。すなわち、HM4 帯の化石群が堆積した時代は、湖水面が上昇して湖面域が拡大した時代に相当する。この時代にはボーリング地点は湖岸から数 10 m 離れた位置にあって、湖沼周辺の森林植生からの植物化石がもたらされなくなったことが、HM4 帯の堆積物に木本の遺体が含まれない原因だと考えられる。

HM5 帯の堆積相は HM4 帯と同様の珪藻質シルト層であり、堆積環境には大きな変化はなかったと考えられる。水質の変化によって沈水植物が減少した可能性もあるが、HM5 帯の堆積物に大型植物化石がほとんど含まれない理由は不明である。珪藻質シルト層は 2334 ± 47 yrs BP の年

代値を示す極暗褐色土に被われており、この時代までは姫沼が水深のある湖沼だったことを示す。

HM5帯が含まれる11,966±67 yrs BPから8347±64 yrs BPまでの時代には、北海道中部から北部に位置する富良野盆地や剣淵盆地では、最終氷期の植生で優占していたトウヒ属、マツ属、カラマツ属樹木の花粉が減少し、かわってコナラ属花粉がクルミ属、ニレ属などの花粉を伴って高率に産出し（五十嵐ほか、1993）、現在のような針広混交林が出現したことを示す。剣淵盆地でのコナラ属花粉の増加開始は、11,800±160 yrs BPと6800±80 yrs BPの年代値をそれぞれ示す層準のほぼ中間の層準で確認されている（五十嵐ほか、1993）。中村・山中（1966）によって作成された姫沼の花粉ダイアグラムでは、地表からの深度約100 cmの層準でカラマツ属花粉が急減してコナラ属花粉が増加する。本報告のボーリング試料の深度約100 cmは11,966±67 yrs BPの年代値が得られた層準の上位にあたる。利尻島でも剣淵盆地と同様に針広混交林が成立し始め、それまで姫沼周辺に分布していたハイマツ群落は現在のような針広混交林に変わり、ハイマツの分布は姫沼の周囲では標高440 mのポン山の山頂付近まで移動したと考えられる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、日本大学遠藤邦彦教授には年代測定に便宜をはかっていただいた。日本大学大学院西内李佳氏には現地調査と試料採取の際にお世話になった。総合研究大学院大学那須浩郎博士にはハイマツ試料を貸与いただき、助言をいただいた。千葉大学園芸学部緑地生態学研究室の皆様には終始御助言をいただいた。以上ここに記して深く感謝いたします。なお、本研究には日本学術振興会科学研究費、基盤研究(B)課題番号70169209の一部を利用した。

引用文献

- 春木雅寛・藤原充志・松田 彊・夏目俊二・矢島 崇・並川寛司・新山 馨. 2004. 利尻島および礼文島における代表的な森林植生について. 利尻研究 No. 23: 57-91.
- 五十嵐八枝子. 2006. 利尻島の南浜湿原と沼浦湿原における完新世後期の植生変遷. 利尻研究 No. 25: 71-82.
- 五十嵐八枝子. 2008. 利尻島の種富湿原における後期完新世の植生変遷史. 利尻研究 No. 27: 1-7.
- 五十嵐八枝子・五十嵐恒夫・大丸裕武・山田 治・宮城豊彦・松下勝秀・平松和彦. 1993. 北海道の剣淵盆地と富良野盆地における32,000年間の植生変遷史. 第四紀研究 32: 89-105.

- 五十嵐八枝子・熊野純男. 1981. 北海道における最終氷期の植生変遷. 第四紀研究 20: 129-141.
- Igarashi, Y., Murayama, M., Igarashi, T., Higake, T. & Fukuda, M. 2002. History of *Larix* forest in Hokkaido and Sakhalin, Northeast Asia since the Last Glacial. *Acta Palaeontologica Sinica* 41: 524-533.
- 小田桐清美. 1964. 島の風土紀 利尻・礼文. 267 pp. 岩橋印刷, 札幌.
- 小野有五・五十嵐八枝子. 1991. 北海道の自然史—氷期の森林を旅する—. 219 pp. 北海道大学図書刊行会, 札幌.
- 近藤玲介・佐藤雅彦・重野聖之. 2010a. 利尻島, 姫沼において採取されたボーリングコアの岩相記載. 利尻研究 No. 29: 83-88.
- 近藤玲介・佐藤雅彦・宮入陽介・重野聖之. 2010b. 北海道北部, 利尻火山北麓, 姫沼周辺より得られた年代資料とその地形発達史的意義. 日本地理学会発表要旨集 No. 77: 251.
- 倉田 悟・中池敏之. 2004. 日本のシダ植物図鑑 第6巻. 890 pp. 東京大学出版会, 東京.
- 松井和典・一色直紀・秦 光雄・山口昇一・吉井守正・小野晃司・佐藤博之・沢村孝之助. 1967. 5万分の1地質図幅「利尻島」および同説明書, 北海道開発庁, 札幌.
- Minaki, M. 1983. Morphology of *Pinus armandii* aff. var. *amamiana* from the Middle Pleistocene of Japan. *Acta Phytotaxonomica et Geobotanica* 34: 4-6.
- Minaki, M. 1984. Macrospore morphology and taxonomy of *Selaginella* (Selaginellaceae). *Pollen et Spores* 26: 421-479.
- 三浦英樹・高岡貞夫. 1993. 利尻火山から噴出した溶岩流に埋没する木材遺体の¹⁴C年代と樹種同定の意義. 第四紀研究 32: 107-114.
- 百原 新・守田益宗・近藤玲介・植木岳雪. 2011. 利尻島野塚溶岩流直下の最終氷期植物化石群. 利尻研究 No. 30: 83-88.
- 守田益宗・神谷千穂・那須浩郎・百原 新. 2006. 北海道根釧地方における湿原表層の花粉スペクトル. 植生史研究 14: 45-60.
- 中村 純・山中三男. 1966. 北海道第四紀堆積物の花粉分析学的研究 IV 礼文島及び利尻島. 高知大学学術研究報告自然科学編 I 15: 47-51.
- 館脇 操. 1941. 北見利尻島の植物. 札幌農林学会報 34: 70-102.
- 植木岳雪・近藤玲介. 2008. 利尻火山, 杓形溶岩流の噴出年代: 溶岩直下の腐植質シルト層に含まれる炭化木片のAMS¹⁴C年代に基づいて. 第四紀研究 47: 349-353.
- Watanabe, M., Takaya, M., Matsusaka, T & Ono, K. 1996. Biosystematic studies on the genus *Isoetes* (Isoetaceae) in Japan. III. Variability within qualitative and quantitative morphology of spores. *Journal of Plant Research* 109: 281-296.

(2011年12月16日受理)