

原 著

吉田明弘^{1*}・鈴木智也²・土屋美穂³・紀藤典夫²・鈴木三男⁴：
北海道南部万畳敷湿原の花粉分析からみた完新世の植生変遷

Akihiro Yoshida^{1*}, Tomoya Suzuki², Miho Tsuchiya³, Norio Kito⁴
and Mitsuo Suzuki⁵: Vegetation history from pollen assemblage since the early
Holocene at Manjojiki Mire, southern Hokkaido, northern Japan

要 旨 北海道南部万畳敷湿原（標高 660 m）で採取したボーリング試料の ¹⁴C 年代測定とテフラ分析、花粉分析の結果から、この湿原周辺における詳細な時間軸に沿った完新世の植生変遷を明らかにした。万畳敷湿原の周辺地域では、約 10,000 cal BP にはダケカンバと針葉樹の混交林が広がり、約 9500～6800 cal BP にはダケカンバが優勢な落葉広葉樹林となり、約 6800～1100 cal BP にはミズナラを主体とした落葉広葉樹林となった。また、湿原周辺では約 5500 cal BP からブナが定着し、約 1100 cal BP 以降にはブナの優占する森林が形成された。この結果に基づき、亀田半島における先行研究との対比を行い、この地域における最終氷期末期以降の森林植生の時空間的な変遷を考察した。その結果、約 15,000～12,000 cal BP の亀田半島では、冷涼な気候下でトウヒ属やモミ属が卓越する亜寒帯性針葉樹林が広く分布していたが、約 12,000～10,000 cal BP には気候の温暖化に伴って、カバノキ属やコナラ亜属の落葉広葉樹林が拡大し、約 10,000～5000 cal BP にはコナラ亜属が優占する冷温帯性落葉広葉樹林になった。約 6000～5500 cal BP には、亀田半島の各地でブナが定着を開始する。このブナの定着開始は、駒ヶ岳火山によるテフラ降下の影響があった可能性が高い。その後、約 3000～1000 cal BP までには亀田半島の各地でブナ林が形成された。

キーワード：花粉分析、完新世、植生変遷、ブナ、北海道南部

Abstract We reconstructed vegetation changes from a well-dated pollen record since the early Holocene at Manjojiki Mire (660 m a. s. l.) in southern Hokkaido to understand the vegetation history on Kameda Peninsula. The pollen record at the mire indicated that, 1) in ca. 10.0 ka cal BP, a mixed forest of *Betula ermanii* and boreal conifers surrounded the mire in a cool climate, 2) in ca. 9.5–6.8 ka cal BP, a *Betula ermanii* dominant forest expanded in a warm climate, 3) in ca. 6.8–1.1 ka cal BP, a *Quercus crispula* dominant forest developed, and 4) after ca. 1.1 ka cal BP, a *Fagus crenata* forest flourished around the mire. Additionally, our spatio-temporal comparison of pollen records on Kameda Peninsula showed that boreal coniferous forests consisting mainly of *Picea* and *Abies* existed during ca. 15.0–12.0 ka cal BP, that mixed forests of *Betula* and *Quercus* developed during ca. 12.0–3.0 ka cal BP, and that *Fagus crenata* forests flourished after ca. 3.0–1.0 ka cal BP. The results implied that the colonization by *Fagus crenata* of the peninsula began in ca. 6.0–5.5 ka cal BP, possibly enabled by the sedimentation of tephra from Mt. Komagatake volcano.

Keywords: *Fagus crenata*, Holocene, pollen analysis, southern Hokkaido, vegetation history

は じ め に

北海道南部では、これまで数多くの花粉分析結果や大型植物化石が報告されており、最終氷期以降の気候変動に基づく植生変遷が議論されている（中村・塚田、1960；中

村、1965、1968；川村、1979；五十嵐、1994；萩原・矢野、1994；滝谷・萩原、1997；紀藤・瀧本、1999；川村・紀藤、2000；Kito & Ohkuro, 2012）。とくに、現在の黒松内低地は日本列島の山地植生を代表する落葉広葉樹のブナ

¹ 〒 890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元 1-21-30 鹿児島大学法文教育学域法文学系

Institute of Geography, Kagoshima University, Korimoto1-21-30, Kagoshima, 890-0065, Japan

² 〒 040-8567 北海道函館市八幡町 1-2 北海道教育大学函館校（現、株式会社ホープス）

Institute of Earth Science, Hokkaido University of Education, Hachiman-cho 1-2, Hakodate 040-8567, Hokkaido, Japan (Present address: HOPES Corporation)

³ 〒 101-0064 東京都千代田区神田猿樂町 1-6-3 明治大学黒耀石研究センター（元）

Center for Obsidian and Lithic Studies, Meiji University, Kanda-sarugaku-cho 1-6-3, Chiyoda, Tokyo 101-0064, Japan

⁴ 〒 980-0862 宮城県仙台市青葉区川内 12-2 東北大学植物園

Botanical Gardens, Tohoku University, Kawauchi 12-2, Aoba, Sendai 980-0862, Japan

*Corresponding author: yoshy.akitan@gmail.com

Fagus crenata Blume の分布北限にあたり、北海道南部における完新世のブナ林の分布拡大の過程が検討されてきた。例えば、滝谷・萩原 (1997) は、亀田半島の横津岳周辺における複数地点の花粉分析結果から、分布拡大の起点となったブナの逃避地は最終氷期の北海道南部にも存在した可能性を指摘した。また、紀藤 (2015) は東北地方と北海道南部の花粉分析結果とブナの遺伝マーカーの研究事例から、北海道のブナは津軽半島と下北半島から分布を広げた異なる遺伝的系統の個体群があることを述べている。しかしながら、北海道南部ではテフラ年代や ^{14}C 年代測定に基づいた詳細な時間軸に沿った花粉分析資料は少なく、これに基づいた完新世における植生変遷の議論は十分に行われていない。

とくに、北海道南部の最南端に位置する亀田半島は、最終氷期以降におけるブナ林の分布拡大の過程を解明する上で重要な地域であり、その森林植生の復元における時間精度には問題がある。Kito & Ohkuro (2012) はアヤマ湿原 (標高 750 m) のボーリング試料について ^{14}C 年代測定結果から高精度に年代決定し、これに基づいた時間分解の高い花粉分析結果から最終氷期末期の植生変遷を議論している。しかしながら、完新世における花粉分析結果は報告されていない。したがって、亀田半島における完新世の植生変遷を解明するためには、完新世初頭からの花粉分析結果を構築すると共に、この地域における花粉分析資料の対比から時空間的な視点で植生変遷を解明する必要がある。

本研究では、北海道南部亀田半島に位置する万景敷湿原 (まんじょうじき) において全長 440 cm のボーリング試料を採取し、この試料における ^{14}C 年代測定とテフラ分析、花粉分析を行った。これらの結果から、湿原周辺における完新世の植生変遷を詳細な時間軸に沿って明らかにする。さらに、亀田半島の各地で報告されている既存の花粉分析結果との対比を行い、この地域における最終氷期末期以降の時空間的な植生分布の変遷を考察する。

調査地の概要

北海道函館市の万景敷湿原 ($41^{\circ} 56' 3.0'' \text{N}$, $140^{\circ} 50' 26.7'' \text{E}$) は、東側を横津岳・袴腰岳と西側を泣面山の2つの火山体に囲まれており、前期～中期更新世に形成された溶岩台地上の標高 660 m に形成された面積約 0.62 ha の中間湿原である (Fig. 1)。この溶岩台地は西から東へと緩やかに傾斜しており、万景敷湿原は台地西側の湧水により涵養される湿原である。湿原内にはいくつかの池塘が点在し、ここから下流に向って小水路が延びており、台地の南側を開析するガロ川へと排水されている。

この地域の代表的な森林は、ブナ・チシマザサ *Sasa kurilensis* Makino et Shibata 林である (文化庁, 1979 ;

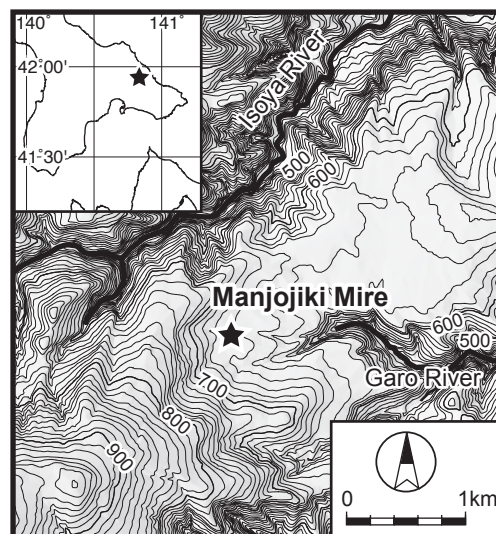


Fig. 1 Index map of Manjojiki Mire and the sampling point in the mire. The topographical map is based on the 10 m Digital Elevation Model issued by the Geospatial Information Authority of Japan.

宮脇, 1988)。万景敷湿原の周辺ではブナ、ミズナラ *Quercus crispula* Blume, イタヤカエデ *Acer pictum* Thunb., シナノキ *Tilia japonica* Simok., ナナカマド *Sorbus commixta* Hedl., ダケカンバ *Betula ermanii* Cham., ケヤマハンノキ *Alnus hirsuta* Turcz. ex Rupr. var. *hirsuta* などの高木が森林を構成している。湿原内ではノリウツギ *Hydrangea paniculata* Siebold, ハイイヌツゲ *Ilex crenata* Thunb. var. *radicans* Murai, ホザキナナカマド *Sorbaria sorbifolia* A. Brau, イソツツジ *Ledum palustre* L. subsp. *diversipilosum* H. Hara などの低木が生育している。草本ではヨシ *Phragmites australis* Trin. ex Steud. やススキ *Miscanthus sinensis* Andersson, ワタスゲ *Eriophorum vaginatum* L., タチギボウシ *Hosta sieboldii* J.W. Ingram var. *rectifolia* H. Hara, エゾリンドウ *Gentiana triflora* Pall., モウセンゴケ *Drosera rotundifolia* L., ツルコケモモ *Vaccinium oxycoccos* L., ヤマドリゼンマイ *Osumundastrum cinnamomeum* C. Presl var. *fokiense* (Copel.) Tagawa, ミズゴケの一種 *Sphagnum* sp. などが繁茂している。なお、本論では学名表記をエングレー体系に統一して記載した。

試料と分析方法

1. ボーリング試料

万景敷湿原の中央部からロシア式ピートサンプラーとヒラー型ピートサンプラーを用いて、長さ 440 cm のボーリング試料 (以下、「コア試料」と略す) を採取した (Fig.

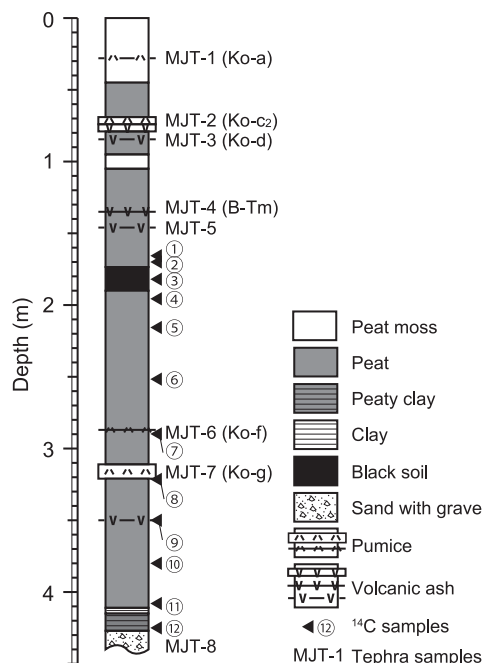


Fig. 2 Lithological column of the drilling core from Manjojiki Mire. Refer to Fig. 1 for the location of the sampling point.

1). 実験室に持ち帰ったコア試料は、表面を十分にクリーニングして、新鮮な断面を観察しながら堆積物の記載をした。堆積物の層相は、下位より深度 440 ~ 427 cm では細礫と軽石が混じる粗粒砂層、深度 427 ~ 411 cm では泥炭質粘土層となる (Fig. 2)。深度 411 ~ 190 cm では分解の良い泥炭層となり、深度 190 ~ 173 cm では黒色土層となる。深度 173 ~ 45 cm では未分解の植物遺体からなる泥炭層となり、深度 45 cm ~ 地表ではミズゴケからなる泥炭層となる。

堆積物中には 8 枚のテフラが挟在しており、上位より MJT-1 ~ 8 とした (Fig. 2)。各テフラの特徴は以下の通りである。MJT-1 (深度 28 cm) は粒径 2 mm の白色軽石、MJT-2 (深度 69 ~ 79 cm) は細粒軽石と細粒火山灰の 2 層からなる。MJT-3 (深度 84 cm) はパッチ状の白色細粒火山灰で、MJT-4 (深度 135 ~ 136 cm) は細粒火山灰である。MJT-5 (深度 146 cm) は軽石を含むパッチ状の細粒火山灰であり、MJT-6 (深度 280 ~ 285 cm) は黒色火山灰である。MJT-7 (深度 311 ~ 320 cm) は細粒軽石であり、MJT-8 (深度 427 ~ 440 cm) は細礫を含む粗粒砂である。

2. 放射性炭素年代測定

コア試料から 12 点の泥炭を ¹⁴C 年代測定試料として採取し (Fig. 2)、加速器質量分析装置による ¹⁴C 年代測定を

(株) パレオ・ラボに依頼した。¹⁴C 年代値は安定同位体比 $\delta^{13}\text{C}$ によって補正後、IntCal13 (Reimer et al., 2013) の較正曲線に基づく OxCal ver. 4.2.3 (Bronk Ramsey, 2009) を用いて、2 σ の範囲で較正年代 (cal BP) を算出した。

3. テフラ分析

テフラ分析の試料には、堆積物に挟在する MJT-1 ~ 8 の 8 試料とした (Fig. 2)。これらのテフラは、椀がけ法と超音波洗浄器によって水洗した後に、実体顕微鏡を用いて火山ガラスの形態と有色鉱物の組成を調べた。また、明治大学黒耀石研究センターが所有する (株) 京都フィッシュン・トラック社製の温度変化型屈折率測定装置 (RIMS) によって各試料の火山ガラスの屈折率を測定した。この火山ガラスの屈折率測定の結果およびテフラ層序に基づいて、北海道南部で報告されたテフラとの対比を行った。

4. 花粉分析

花粉分析の試料は、コア試料から約 5 cm 毎に厚さ 1 cm で計 84 試料を採取した。試料の処理は、10% KOH 溶液によって試料のフミン酸の除去と泥化を行った。その後、約 250 μm メッシュの金網で物理的ろ過を施し、植物片や細礫などを除去した。そして、10% HCl 溶液で試料のカルシウム分を除去した後に、比重 1.68 ~ 1.70 に調整した ZnCl_2 溶液を用いて比重分離をした。分離した試料は、アセトリシス溶液によってセルロースを溶解した。残渣はグリセリンゼリーを用いて封入し、各試料のプレパラートを作成した。

花粉化石の同定・計数は 250 ~ 600 倍の光学顕微鏡下にて、高木花粉が 300 個以上になるまで行い、その間に出現した低木花粉と草本花粉、シダ類胞子の同定・計数を行った。高木花粉の出現率は高木花粉の総和を基数として、その他の花粉分類群とシダ類胞子は出現したすべての花粉・胞子化石の総和を基数として百分率で表した。なお、ハンノキ属 *Alnus* とトネリコ属 *Fraxinus* は湿地林を形成する主要な樹種を含むため、低木花粉の花粉分類群として百分率を算出した。また、ニワトコ属 *Sambucus* とバラ科 *Rosaceae* には低木と草本に両方に区分される種が存在するため、これらは草本花粉の花粉分類群として扱った。

結 果

1. 放射性炭素年代測定

万畳敷湿原から得られた 12 試料の泥炭における ¹⁴C 年代測定結果を Table 1 に示す。すべての年代値は完新世の年代範囲となった。また、下部の試料番号⑩~⑫の年代値には大きな逆転が認められるものの、いずれの年代値も完

Table 1 Radiocarbon dating of samples from the drilling core at Manjojiki Mire

Sample No.	Lab. Code	Depth (cm)	Material	Method*	$\delta^{13}\text{C}^{**}$ (‰)	Conventional age (1 σ , ^{14}C yrs BP)	Calibrated age*** (2 σ , cal BP)
1	PLD-24223	160–162	Peat (bulk)	AMS	-28.87	1360 $\pm$ 30	1340–1185
2	PLD-30003	170–172	Peat (bulk)	AMS	-25.90	3145 $\pm$ 20	3445–3270
3	PLD-30004	181–183	Peat (bulk)	AMS	-25.72	3640 $\pm$ 20	4070–3890
4	PLD-24224	190–192	Peat (bulk)	AMS	-25.19	3910 $\pm$ 20	4420–4255
5	PLD-24225	210–212	Peat (bulk)	AMS	-28.41	4110 $\pm$ 45	4825–4450
6	PLD-24226	246–248	Peat (bulk)	AMS	-27.39	4425 $\pm$ 20	5260–4875
7	PLD-24227	287–289	Peat (bulk)	AMS	-33.77	4955 $\pm$ 40	5855–5595
8	PLD-24228	321.5–323.5	Peat (bulk)	AMS	-26.83	5820 $\pm$ 20	6675–6555
9	PLD-24229	350–352	Peat (bulk)	AMS	-27.40	5940 $\pm$ 25	6850–6675
10	PLD-30005	400–402	Peat (bulk)	AMS	-26.74	9175 $\pm$ 30	10,420–10,240
11	PLD-24231	408–410	Peat (bulk)	AMS	-25.36	8685 $\pm$ 30	9700–9545
12	PLD-24232	425–427	Peat (bulk)	AMS	-26.96	7120 $\pm$ 20	8000–7875

*AMS: accelerator mass spectrometry. ** $\delta^{13}\text{C}$ values of AMS. ***Based on IntCal13 using OxCal4.2.

新世初頭を示している。

2. テフラの対比

テフラ分析に供した 8 試料 (MJT-1 ~ 8) のうち、MJT-1 ~ 3 と MJT-5 では火山ガラスが必要量に満たない、もしくは火山ガラスが完全に水和していなかったため、火山ガラスの屈折率測定ができなかった。以下、各テフラにおける火山ガラスの形態と屈折率の特徴から、北海道南部における完新世のテフラとの対比結果について述べる。

最下位の MJT-8 は軽石型火山ガラスからなり、 $n = 1.498 \sim 1.501$ の屈折率を示す (Fig. 3)。このテフラの屈折率と一致するものは、北海道南部では未報告であり、本研究では不明テフラとした。MJT-7 は軽石型火山ガラスからなり、 $n = 1.512 \sim 1.518$ の屈折率であった。MJT-7 の火山ガラスの屈折率は、駒ヶ岳 g テフラ (Ko-g, 約 6800 cal BP, 奥野ほか, 1999; 中村・平川, 2004) と類似することから Ko-g に対比される。

MJT-6 は軽石型火山ガラスとバブルウォール型火山ガラスの両者が混在しており、火山ガラスの屈折率は $n = 1.508$

~ 1.513 を示した (Fig. 3)。この屈折率は駒ヶ岳 f テフラ (Ko-f, 約 6300 cal BP, 奥野ほか, 1999) よりもやや低い値になる。しかし、前述のように MJT-6 直下の泥炭では、5595 ~ 5855 cal BP の ^{14}C 年代測定結果が得られていることから、MJT-6 は Ko-f に対比できる (Table 1)。MJT-5 の下位の泥炭 (深度 160 ~ 162 cm) では、1340 ~ 1185 cal BP の ^{14}C 年代測定結果が得られているが、この時期の既存テフラはないため、本研究では MJT-5 を不明テフラとした。

MJT-4 は淘汰の良い細粒なバブルウォール型火山ガラスからなり、その屈折率は $n = 1.509 \sim 1.519$ であった (Fig. 3)。よって、MJT-4 は白頭山-苦小牧テフラ (B-Tm, AD946 年, Oppenheimer et al., 2017) に対比できる。また、MJT-4 が B-Tm に対比されたことから、北海道南部のテフラ層序と対比すると、MJT-3 は駒ヶ岳 d テフラ (Ko-d, AD1640 年), MJT-2 は駒ヶ岳 c₂ テフラ (Ko-c₂, AD1649 年), MJT-1 は駒ヶ岳 a テフラ (Ko-a, AD1929 年) に、それぞれ対比できる (勝井ほか, 1989; 古川ほか, 1997; 鴈澤ほか, 2005)。

3. 花粉分析

花粉分析の結果、検出された花粉・孢子化石は、高木・低木花粉が 41 分類群、草本花粉とシダ類孢子が 28 分類群であった (Table 2)。また、光学顕微鏡下で識別が困難な 2 つの花粉分類群をハイフン (—) で結び、同定した上で 2 つの類似した花粉分類群を合計したものをプラス (+) で結んで示した。万景敷湿原における花粉組成図を Fig. 4 に示す。高木花粉の出現率の変化に基づいて、下位より MJ-1 帯 ~ MJ-5 帯の 5 つの局地花粉帯 (以降、「花粉帯」または「帯」と略す) に区分した。以下では、各花粉帯の特徴について述べる。なお、各花粉帯の境界深度は、それらを挟む試料の中間深度で示した。

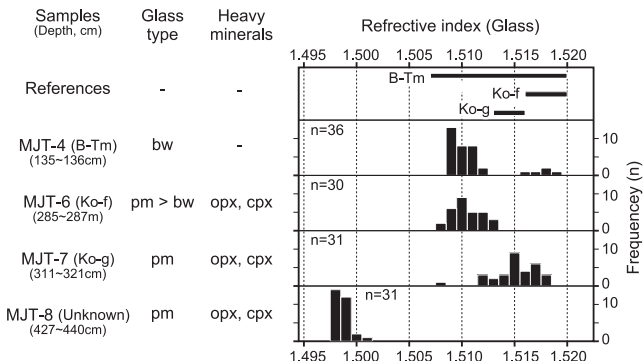


Fig. 3 Petrographic properties of tephra at Manjojiki Mire. Refer to Fig. 2 for the sampling horizon of each tephra.

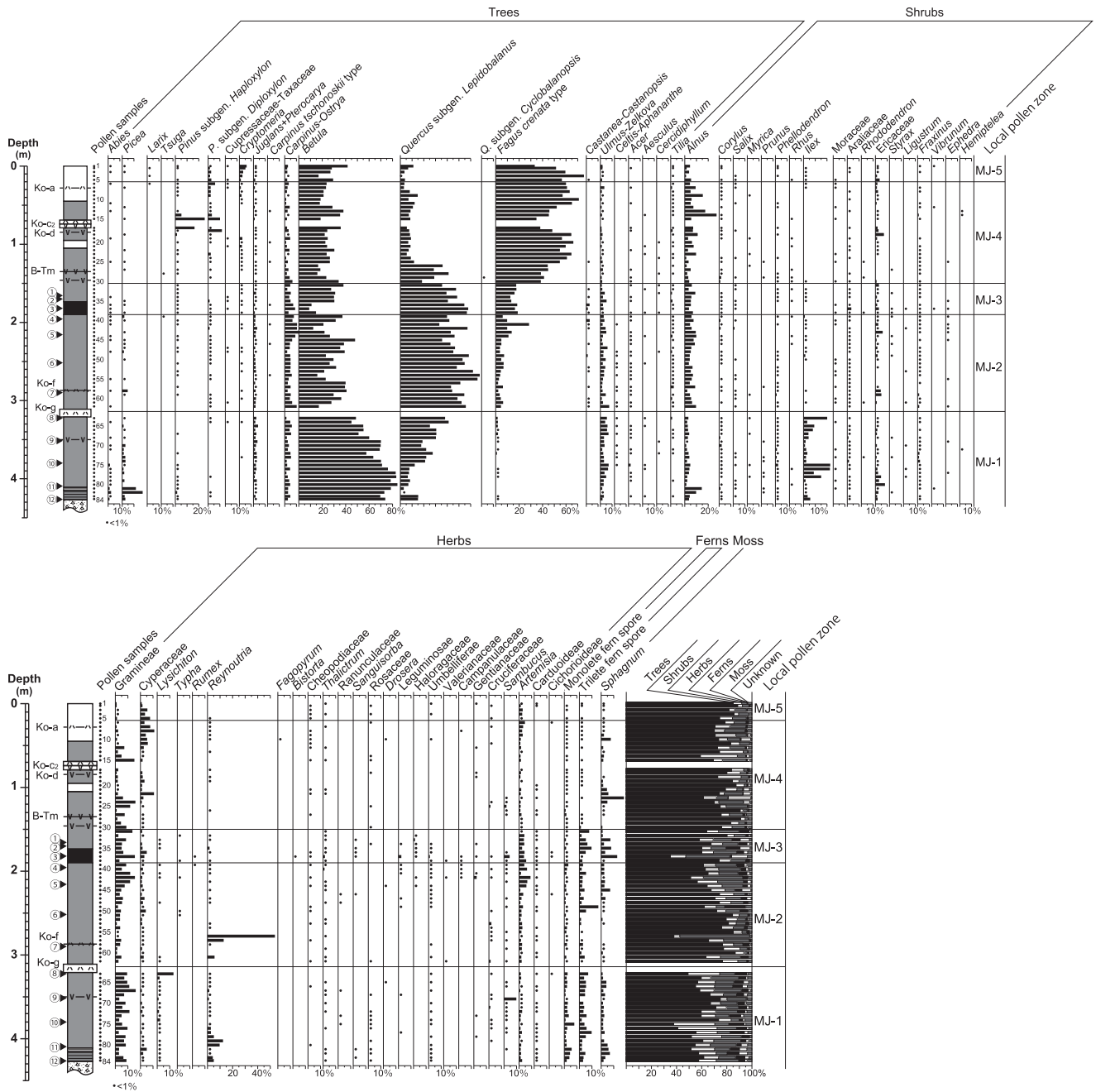


Fig. 4 Conventional pollen diagram at Manjojiki Mire. Refer to Fig. 2 for the symbols of the lithological column.

MJ-1 帯 (試料番号 84 ~ 63, 深度 426 ~ 320 cm)

カバノキ属 *Betula* の優占とコナラ亜属 *Quercus subgen. Lepidobalanus* の増加で特徴づけられる (Fig. 4)。トウヒ属 *Picea* は下部で 18% 出現する。低木花粉ではハンノキ属が最下部で 14% 出現し、モチノキ属 *Ilex* は 23%, ツツジ科 *Ericaceae* は 8% となる。草本花粉とシダ類胞子の割合は最大で 28% であり、イネ科 *Gramineae* は 16% となる。また、イタドリ属 *Reynoutria* が下部で 12%, ミズバショ

ウ属 *Lysichiton* とニワトコ属がそれぞれ 13% と 10% と上部で増加する。ミズゴケ属 *Sphagnum* は最大で 7% となる。

MJ-2 帯 (試料番号 62 ~ 39, 深度 320 ~ 190 cm)

コナラ亜属が 33 ~ 68%, カバノキ属が 12 ~ 48% の高率で特徴づけられる (Fig. 4)。前帯では不連続であったブナ型 *Fagus crenata type* (以降、「ブナ」と略す) が最大で 28% 出現する。低木花粉ではハンノキ属が最大 10%, ツツジ科が下部と上部でそれぞれ 5% と 6% となる。一方、

草本花粉とシダ類胞子の割合は3～55%前後となる。イネ科は最大で15%出現する。イタドリ属は下部で53%と高率になる。ヨモギ属 *Artemisia* は最大で9%出現する。

MJ-3 帯 (試料番号 38～31, 深度 190～150 cm)

MJ-2 帯と同様に、コナラ亜属が35～58%, カバノキ属が9～38%と高率であるが、ブナが12～18%と増加する (Fig. 4)。一方、草本花粉とシダ類胞子の割合は11～36%出現する。

MJ-4 帯 (試料番号 30～6, 深度 150～20 cm)

ブナが34～70%, カバノキ属が15～38%出現し、コナラ亜属が最小で3%まで減少することで特徴づけられる (Fig. 4)。また、マツ属単維管束亜属 *Pinus* subgen. *Haploxylon* とマツ属複維管束亜属 *P. subgen. Diploxylon* が、Ko-d の上位と下位の層準で増加する。低木花粉ではハンノキ属が1～27%と著しく変動する。草本花粉とシダ類胞子の割合は、3～20%である。カヤツリグサ科は上部で11%となり、ミズゴケ属は下部で18%, 上部で8%と増加する。

MJ-5 帯 (試料番号 5～1, 深度 20～0 cm)

MJ-4 帯と同様に、ブナとカバノキ属が最大で75%と41%と優勢であるが、低率ながらスギ属 *Cryptomeria* が6%まで増加するのが特徴である (Fig. 4)。また、不連続ながらカラマツ属 *Larix* が出現する。草本花粉とシダ類胞子の割合は4～12%と低率であるが、カヤツリグサ科が8%, ヨモギ属が3%となる。

Table 2 List of pollen and spore found in the sediments at Manjojiki Mire

Trees:

Abies, *Picea*, *Larix*, *Tsuga*, *Pinus* subgen. *Haploxylon*, *P. subgen. Diploxylon*, Cupressaceae-Taxaceae, *Cryptomeria*, *Juglans* + *Pterocarya*, *Carpinus tschonoskii* type, *Carpinus-Ostrya*, *Betula*, *Quercus* subgen. *Lepidobalanus*, *Q. subgen. Cyclobalanopsis*, *Fagus crenata* type, *Castanea-Castanopsis*, *Ulmus-Zelkova*, *Celtis-Aphananthe*, *Acer*, *Aesculus*, *Cercidiphyllum*, *Tilia*

Shrubs:

Alnus, *Corylus*, *Salix*, *Myrica*, *Prunus*, *Phellodendron*, *Rhus*, *Ilex*, Moraceae, Araliaceae, *Rhododendron*, Ericaceae, *Styrax*, *Ligustrum*, *Fraxinus*, *Viburnum*, *Ephedra*, *Hemiptelea*

Herbs:

Gramineae, Cyperaceae, *Lysichiton*, *Typha*, *Rumex*, *Reynoutria*, *Fagopyrum*, *Bistorta*, Chenopodiaceae, *Thalictrum*, Ranunculaceae, *Sanguisorba*, Rosaceae, *Drosera*, Leguminosae, Haloragaceae, Umbelliferae, Valerianaceae, Campanulaceae, Gentianaceae, Cruciferae, *Sambucus*, *Artemisia*, Carduoideae, Cichorioideae

Ferns & Moss:

Monoletic fern spore, Trilete fern spore, *Sphagnum*

考 察

1. 湿原堆積物の年代推定

^{14}C 年代測定とテフラの対比結果から、万畳敷湿原におけるコア試料の堆積曲線を求めた (Fig. 5)。最下部における試料番号⑫の年代値 (8000–7875 cal BP) は、これより上位の試料番号⑪ (9700–9545 cal BP) や試料番号⑩ (10,420–10,240 cal BP) よりも若く (Table 1), 年代値が大きく逆転している。本湿原より南東 2.5 km のアヤマ湿原の花粉分析結果によれば、コナラ亜属の増加開始期は 11,400 cal BP と報告されている (Kito & Ohkuro, 2012)。万畳敷湿原の花粉分析結果でも、MJ-1 帯の最下部からコナラ亜属の増加が認められる。よって、試料番号⑪の 9700 cal BP の年代値を採用すると、先行研究のコナラ亜属の増加期に相当する年代になり、泥炭層の最下部は最大で約 10,000 cal BP まで遡るものと推定される。この年代値は約 14,000 cal BP に北海道南部亀田半島の広範囲に降下した濁川テフラ (Ng; 柳井ほか, 1992) が、本湿原の堆積物中に認められないことも矛盾しない。

一方、試料番号①と②の間では堆積速度が著しく遅くなり (Fig. 5), この区間では堆積が不連続となっている可能性が高い。コア試料による堆積物の肉眼観察や花粉組成では、堆積の不連続は確認できなかった。一般に、安定的な堆積環境にある泥炭地では堆積の停滞や中断を考えると難しいことから、湿原内で約 3350～1200 cal BP の間に堆積の停止あるいは侵食を伴う地形的イベントが生じたと推測される。したがって、この区間より下位の堆積物

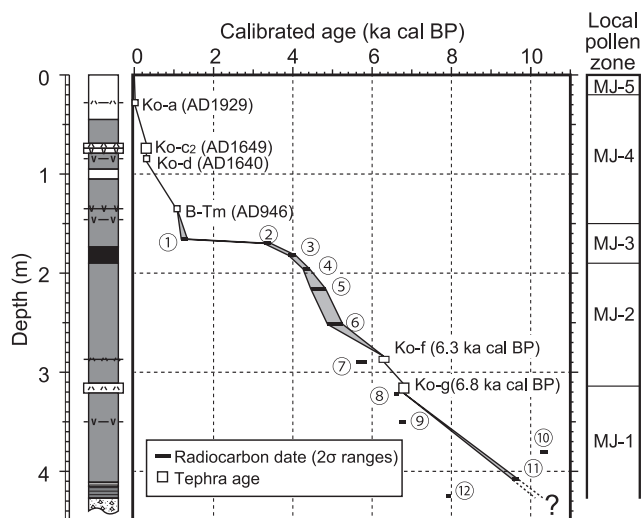


Fig. 5 Age-depth model from radiocarbon dates and tephra ages at Manjojiki Mire. Refer to Table 1 for radiocarbon dates.

は約 10,000 ~ 3300 cal BP に、上位の堆積物は約 1200 cal BP 以降に堆積したものであり、ここには約 2100 年間の時間的な間隙があるものと考えられる。

2. 万畳敷湿原周辺における完新世の植生変遷

万畳敷湿原における花粉分析結果は、一時的な中断を含むものの、完新世初頭からの植生変遷を記録している (Fig. 4)。堆積曲線から推定される各花粉帯期の年代は、MJ-1 帯期で約 10,000 ~ 6800 cal BP, MJ-2 帯期で約 6800 ~ 4100 cal BP, MJ-3 帯期で約 4100 ~ 1100 cal BP, MJ-4 帯期で約 1100 ~ 100 cal BP, MJ-5 帯期で約 100 cal BP 以降である (Fig. 5)。以下では、検出された各花粉分類群を現植生の代表的な構成樹種におきかえて、各花粉帯期における本湿原周辺の植生変遷を考察する。

MJ-1 帯期 (約 10,000 ~ 6800 cal BP) ではカバノキ属が優勢し、コナラ亜属が増加する (Fig. 4)。また、この時期の前半には、針葉樹花粉のトウヒ属やモミ属も出現する。カバノキ属とコナラ亜属は、現在でも湿原周辺に生育しているダケカンバやシラカンバ、ミズナラに由来すると考えられる。また、モミ属は現在も北海道南部に分布するトドマツ *Abies sachalinensis* Mast. と考えられる。一方、トウヒ属は現在この地域に分布しないが、北海道南部では最終氷期中の堆積物からエゾマツ *Picea jezoensis* Carrière やアカエゾマツ *P. glehnii* Mast. の大型植物化石の産出が報告されており (矢野, 1978; 矢野ほか, 1985), これらが母樹であると推測される。したがって、約 10,000 cal BP の万畳敷湿原周辺では、現在でも湿原周辺に分布しているダケカンバを主体として、エゾマツやアカエゾマツ、トドマツなどの針葉樹が混交する森林が広がっていたと考えられる。その後、気候の温暖化に伴って約 9500 cal BP までには針葉樹は消滅するとともに、約 9500 ~ 6800 cal BP にはミズナラが増加したと考えられる。

MJ-2 帯期 (約 6800 ~ 4100 cal BP) になると、コナラ亜属とカバノキ属が優勢することから (Fig. 4)、ミズナラとダケカンバが優勢する落葉広葉樹林が湿原周辺を覆ったと考えられる。この時期になると、ブナが連続的に出現する。花粉化石の出現率は、分析地点の気象・地形・植生などの諸条件による花粉化石の堆積過程や、花粉化石の基数の設定などの算出方法によって大きく変化するため、植物の定着や分布を判断するのは難しい。しかし、守田 (2004) はブナの分布北限域から東北東へ約 430 km 離れた北海道東部の根室市ユルリ島における表層堆積物の花粉組成から、ブナが最大で 2% 出現したことを報告している。また、五十嵐 (1994) は高木花粉のうちブナが連続して 5% を上回って出現すれば、分析地点の周辺にブナが存在した可能性があったとした。したがって、遠距離飛来の可能性も否定

できないが、ブナの出現率が 5% 以上になることを分析地点周辺でブナの定着と仮定すれば、少なくとも万畳敷湿原では約 5500 cal BP (深度 260 cm) にはブナが定着したと推測される。

MJ-3 帯期 (約 4100 ~ 1100 cal BP) では、コナラ亜属とカバノキ属が優勢であり、ブナが増加する (Fig. 4)。MJ-2 帯期と同様に、本湿原周辺にはミズナラとダケカンバの落葉広葉樹林が分布しており、その中でブナが個体数を増加させた。前述のように、万畳敷湿原では 2300 ~ 1200 cal BP の堆積物が欠如している。しかし、この期間の前後では花粉組成に大きな変化は認められない。したがって、この堆積物が欠落している時期にもブナを含む落葉広葉樹林が広がっていたと考えられる。

MJ-4 帯期 (約 1100 ~ 100 cal BP) になると、ブナの出現率が 30% 以上になる (Fig. 4)。空中花粉や表層堆積物によるブナの出現率では、ブナの純林である場合は 35 ~ 45% 以上となり、他の樹種と混交するブナ林の場合は 20 ~ 40% となる (Hibino, 1976; 佐々木, 1981; 守田; 1981)。したがって、この時期におけるブナの高率の出現は、現在の湿原周辺にも分布する純林に近いブナ林が成立したこと示している。

一方、この時期には Ko-d と Ko-c₂ のテフラ層の直上の層準で、マツ属複維管束亜属と単維管束亜属の急増が認められ、カバノキ属も増加する。その一方で、この時期におけるブナは減少傾向を示している。マツ属単維管束亜属は現在も横津岳山頂付近に分布するハイマツ *Pinus pumila* (Pall.) Regel に、マツ属複維管束亜属は北海道南部まで分布域を持つアカマツ *P. densiflora* Siebold et Zucc. に由来すると考えられる。横津岳山頂や赤井川湿原での花粉分析結果には、Ko-d 降下前後の層準にマツ属の急増は認められない (滝谷・萩谷, 1997)。したがって、本湿原周辺では、これらのテフラの降灰の影響によってブナが減少するとともに、陽樹で先駆的な樹種であるダケカンバや荒地地でも生育可能なハイマツ、アカマツが局地的に増加したものと考えられる。

MJ-5 帯期 (約 100 cal BP ~ 現在) ではブナが優勢し、スギ属が出現するようになる (Fig. 4)。「函館市史」(函館市史編さん室編, 1974) によれば、函館周辺では 18 世紀中頃には大規模なスギ植林が実施されたことが記録されており、このスギ属の増加は江戸時代からのスギ植林を反映していると考えられる。

3. 亀田半島における最終氷期末期以降の森林植生の時空間的な変遷

北海道南部の亀田半島では、詳細な時間軸に沿った最終氷期末期以降の花粉分析資料が少なく、この地域における

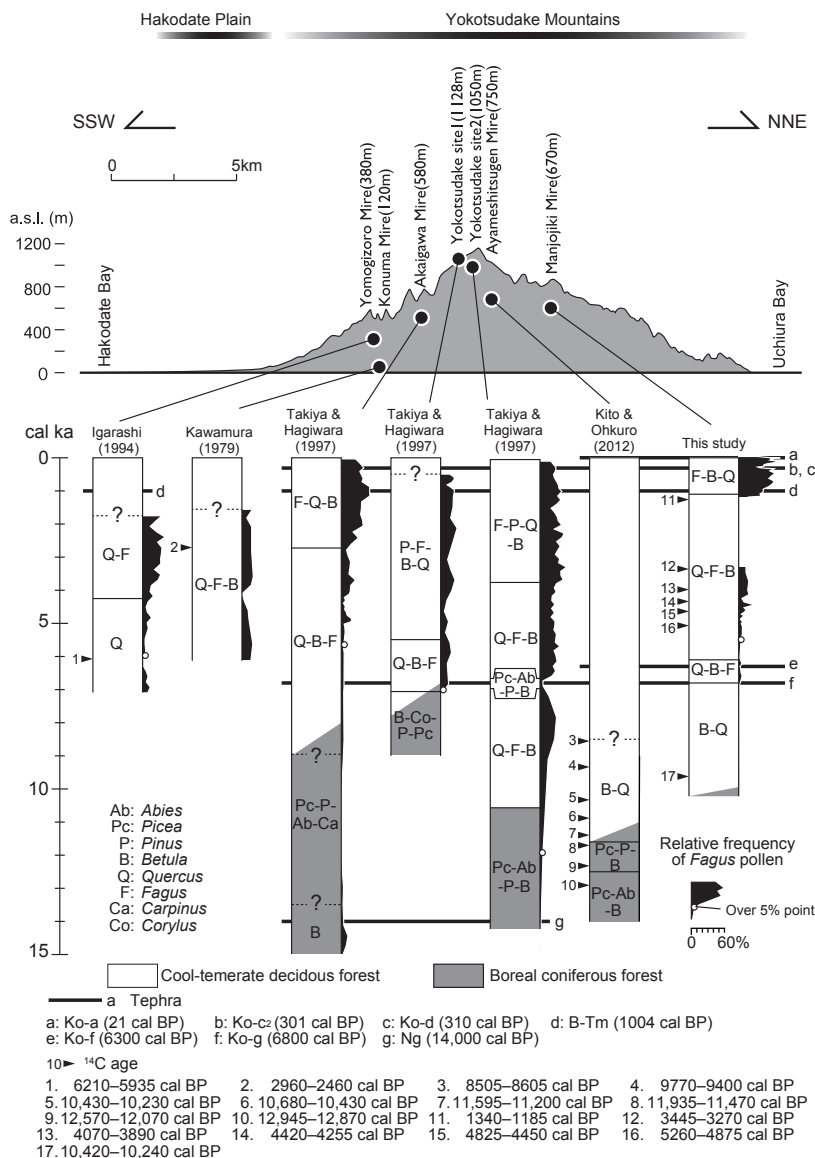


Fig. 6 Spatio-temporal comparison of pollen data across Kameda Peninsula in southern Hokkaido.

森林植生の復元精度には問題があった。しかし、本研究では完新世初頭まで遡る万畳敷湿原の花粉分析資料を蓄積することができた。そこで、ここでは亀田半島を横断面に沿って、既存研究の花粉分析結果との比較に基づき (Fig. 6), 大まかではあるが亀田半島における最終氷期末期以降の時空間的な植生分布の変遷について考察する。

約 15,000 ~ 12,000 cal BP には、全域において亜寒帯性針葉樹林を構成するトウヒ属やモミ属、マツ属の針葉樹やカバノキ属の花粉化石が優占する (Fig. 6)。川村・紀藤 (2000) は濁川カルデラにおける Ng 直下の木材化石と花粉化石から、最終氷期末期にはモミ属の卓越した針葉樹林が成立したことを報告し、泥炭地で行われる花粉分析結果

では湿原内に生育できるトウヒ属が過大に表現されることを指摘している。亀田半島における花粉分析資料は湿原内の泥炭試料を中心にしたものであり、トウヒ属が過大に表現されてしまっている可能性がある。したがって、この時期までは最終氷期の冷涼な気候の下で、トウヒ属やモミ属の優勢な亜寒帯性針葉樹林が亀田半島に広く分布していたと考えられる。

約 12,000 ~ 10,000 cal BP になると、アヤマ湿原や万畳敷湿原では、カバノキ属とコナラ亜属の落葉広葉樹の花粉化石が優勢となる (Fig. 6)。すなわち、気候の温暖化に伴って、冷温帯性落葉広葉樹が拡大したものと考えられる。一方、高標高域の横津岳第 2 地点では、これらに伴ってブ

ナ属の花粉化石が優占するようになる。しかし、横津岳第2地点と赤井川湿原などでは、Ko-gとNg間の堆積物が極端に薄い（滝谷・萩原，1997）。標高1000 m以上の横津岳山頂付近では、現在ミヤマヤナギ *Salix reinii* Franch. et Sav. ex Seemen, ササ草原からなる高山植生が広がっている。したがって、横津岳第2地点や赤井川湿原ではKo-gとNgの期間に堆積の不連続があるか、もしくは凍結融解作用による地表部の著しい攪乱が生じた可能性が高く、これらの地点の花粉分析資料は完新世初頭の植生変遷を正確に記録していないと考えられる。

約10,000～5000 cal BPでは亀田半島の各地でコナラ亜属の花粉化石が優勢となり（Fig. 6）、コナラ亜属の卓越した森林になったと考えられる。この時期になると、亀田半島の各地点においてブナ属の花粉化石が連続的に検出されるようになる。前述のように、ブナ属の出現率が連続的に5%以上を上回ることを調査地周辺でブナが生育したと判断すれば（五十嵐，1994）、蓬摘山湿原では約6000 cal BP、赤井川湿原では約5600 cal BP、横津岳第1地点では約7000 cal BP、万畳敷湿原は5500 cal BPとなる（Fig. 6）。この時期になると横津岳第1地点や第2地点でも泥炭が堆積しており、地表面の攪乱は終了していた可能性が高い。前述のように、現在でも横津岳第1地点は高山植生が広がっている。また、高標高域の横津岳第1地点において低標高域よりも早い時期の約7000 cal BPにブナが定着したとは考え難く、花粉の遠方飛来によって過大表現された可能性がある。したがって、亀田半島では少なくとも約6000～5500 cal BPにブナが定着を開始したと推測される。

この亀田半島におけるブナの定着時期は、駒ヶ岳火山の噴火によりKo-gとKo-fのテフラが広範囲に降下した時期の直後にあたる（Fig. 6）。春木（2015）は、北海道南部後志地方における現生ブナ林の調査から、テフラの堆積がブナの定着やそれに関わる動物生態系の成立過程に大きな影響を与えていることを指摘している。したがって、約6000～5500 cal BPにおける亀田半島のブナの分布拡大にも、駒ヶ岳火山の噴火に伴う降灰が影響した可能性が高い。

約5000 cal BP以降には、コナラ亜属を主とする冷温帯性落葉広葉樹林が広がっていた（Fig. 6）。また、赤井川湿原や万畳敷湿原では約3000～1000 cal BPにかけて、ブナ属の花粉化石が優占するようになる。この時期には、現在でも見られる純林に近いブナ林が成立したと考えられる。一方、高標高域の横津岳第1地点や第2地点では、ブナ属やコナラ亜属、カバノキ属の花粉化石だけでなく、マツ属が出現することから、ハイマツやダカカンバなどによる低木林が広がっていたことを示している。

結 論

北海道南部万畳敷湿原で採取したボーリング試料に基づき、 ^{14}C 年代測定とテフラ分析、花粉分析を行い、この湿原周辺の詳細な時系列に沿った完新世の植生変遷を明らかにした。また、この結果を含め亀田半島における花粉分析資料の対比から、大まかではあるが、最終氷期末期以降における亀田半島における時空間的な植生分布の変遷を考察した。その結果から、以下のことがわかった。

万畳敷湿原周辺では、約10,000 cal BPにはダケカンバと針葉樹の混交林が広がっていた。その後、約9500～6800 cal BPにはダダケカンバとミズナラの落葉広葉樹林となり、約6800～1100 cal BPにはミズナラとダケカンバの落葉広葉樹林になった。約5500 cal BPにはブナが湿原周辺に定着を開始し、約1100 cal BP以降には純林に近いブナ林が成立した。

約15,000～12,000 cal BPの亀田半島では、最終氷期の冷涼な気候の下で、モミ属が優勢な亜寒帯性針葉樹林が広く分布しており、約12,000～10,000 cal BPには気候の温暖化に伴ってカバノキ属やコナラ亜属の冷温帯性落葉広葉樹林が拡大した。約10,000～5000 cal BPには、コナラ亜属が優占する冷温帯性落葉広葉樹林となった。約6000～5500 cal BPの亀田半島ではブナの定着開始しており、このブナの定着には駒ヶ岳火山によるテフラの堆積が影響した可能性が高い。その後、約3000～1000 cal BPには亀田半島の全域でブナ林が成立した。

一方、亀田半島の高標高域における花粉分析結果については、堆積物の不連続性が存在する可能性が高い。とくに、先行研究では年代資料が少なく、十分な地質学的な検討がなされていないものも多い。今後は、詳細な時系列に沿った花粉分析結果の蓄積と、それに基づいた時空間的な植生復元を進める必要がある。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、北海道函館市教育委員会の阿部千春氏（現北海道庁）、福田裕二氏、吉田 力氏には、現地調査に際して多大なご協力を頂いた。山口大学の楳原京子准教授、（財）日本公園緑地協会の金成太郎氏には多大なご助言を頂きました。また担当編集委員と匿名査読者には懇切なご教示とご助言を頂き、本稿は大きく改善されました。以上の方々に篤く御礼を申し上げます。

本研究は、JSPS 科研費 25242022「日本の縄文・弥生時代遺跡出土編組・繊維製品等素材の考古植物学的研究」（研究代表者：鈴木三男）、16K21245「花粉分析と化石DNA解析による過去2万年間のブナ拡大過程の解明」（研究代表者：吉田明弘）による助成を受けた。

引用文献

- Bronk Ramsey, C. 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon* 51: 337–360.
- 文化庁. 1979. 天然記念物緊急調査, 植生図・主要動植物図 1. 北海道 (松山・渡島支庁). 18 pp. 国土地理協会, 東京.
- 古川竜太・吉本充宏・山縣耕太郎・和田恵治・宇井忠英. 1997. 北海道駒ヶ岳火山は 1649 年に噴火したのか?—北海道における 17～18 世紀の噴火年代の再検討—. 火山 42: 269–279.
- 雁澤好博・紀藤典夫・柳井清治・貞方 昇. 2005. 北海道駒ヶ岳の最初期テフラの発見と初期噴火活動史の検討. 地質学雑誌 111: 581–589.
- 函館市史編さん室, 編. 1974. 函館市史 通説編 第 1 巻. 706 pp.
- 萩原法子・矢野牧夫. 1994. 渡島半島におけるブナの北限到達年代. 北海道開拓記念館研究年報 No. 22: 1–9.
- 春木雅寛. 2015. 北海道ブナ林の立地条件と生態系の成立過程. 森林立地 57: 75–84.
- Hibino, K. 1976. Air-borne pollen and presumption of vegetation (1). Relations between air-borne pollen and living vegetation. *Ecological Review* 18: 211–224.
- 五十嵐八枝子. 1994. 北上するブナ. 北海道の林木育種 37: 1–7.
- 勝井義雄・鈴木建夫・曾屋龍典・吉久康樹. 1989. 北海道駒ヶ岳火山地質図. 地質調査所.
- 川村智子. 1979. 東北地方における湿原堆積物の花粉分析的研究—とくにスギの分布について—. 第四紀研究 18: 79–88.
- 川村弥生・紀藤典夫. 2000. 最終氷期末期のモミ属優占林の成立—北海道南西部における材化石および花粉化石からの復元. 第四紀研究 39: 121–138.
- 紀藤典夫・瀧本文生. 1999. 完新世におけるブナの個体群増加と移動速度—北海道南西部の例—. 第四紀研究 38: 297–311.
- Kito, N. & Ohkuro, Y. 2012. Vegetation response to climatic oscillations during the last glacial-interglacial transition in northern Japan. *Quaternary International* 254: 118–128.
- 紀藤典夫. 2015. 東北・北海道における最終氷期以降のブナ林の拡大. 森林立地 57: 69–74.
- 宮脇 昭, 編. 1988. 日本植生誌 9 北海道. 563 pp. 至文堂, 東京.
- 守田益宗. 1981. 八甲田山の表層花粉の分布パターンと植生の関係について. 日本生態学会誌 31: 317–328.
- 守田益宗. 2004. 北海道東端ユルリ島における表層堆積物の花粉スペクトル. 植生史研究 13: 3–12.
- 中村 純. 1965. 北海道第四紀堆積物の花粉分析的研究 III. 渡島半島 (2). 高知大学学術研究報告 (自然科学) 14: 25–29.
- 中村 純. 1968. 北海道第四紀堆積物の花粉分析的研究 V. ウルム氷期以降の植生変遷. 高知大学学術研究報告 (自然科学) 17: 39–51.
- 中村 純・塚田松雄. 1960. 北海道第四紀堆積物の花粉分析的研究 I. 渡島半島 (1). 高知大学学術研究報告 (自然科学) 9: 117–138.
- 中村有吾・平川一臣. 2004. 北海道駒ヶ岳起源の広域テフラ, 駒ヶ岳 g テフラの分布と噴出年代. 第四紀研究 43: 189–200.
- 奥野 充・吉本充宏・荒井健一・中村俊夫・宇井忠英・和田恵治. 1999. 北海道駒ヶ岳火山, Ko-f テフラの加速器 ^{14}C 年代. 地質学雑誌 105: 364–369.
- Oppenheimer, C., Wacker, L., Xu, J., Galván, J., D., Stoffel, M., Guillet, S., Corona, C., Sigl, M., Cosmo, N., D., Hajdas, I., Pan, B., Breuker, R., Schneider, L., Esper, J., Fei, J., Hammond, J. O. S. & Büntgen, U. 2017. Multi-proxy dating the ‘Millennium Eruption’ of Changbaishan to late 946 CE. *Quaternary Science Reviews* 158: 164–171.
- Reimer, P. J., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Bronk Ramsey, C., Buck, C. E., Cheng, H., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hafflidason, H., Hajdas, I., Hatté, C., Heaton, T. J., Heaton, T. J., Hoffmann, D. L., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kaiser, K. F., Kormer, B., Manning, S. W., Niu, M., Reimer, R. W., Richards, D. A., E Scott, M., Southon, J. R., Staff, R. A., Turney, C. S. M. & van der Plicht, J. 2013. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon* 55: 1869–1887.
- 佐々木昌子. 1981. ブナ属花粉の出現率について. 花粉 16: 15–21.
- 滝谷美香・萩原法子. 1997. 西南北海道横津岳における最終氷期以降の植生変遷. 第四紀研究 36: 217–234.
- 柳井清治・雁澤好博・古森康晴. 1992. 最終氷期末期に噴出した濁川テフラの層序と分布. 地質学雑誌 98: 125–136.
- 矢野牧夫. 1978. 渡島半島の更新統から産出する *Larix* (カラマツ) 属の遺体について. 北海道開拓記念館研究年報 No. 6: 13–25.
- 矢野牧夫・三野紀雄・山田悟郎・中田幹雄. 1985. 北海道渡島半島第四系より産出する植物化石 II—江差地方を中心として—. 北海道開拓記念館研究年報 No. 13: 11–21.

(2019 年 5 月 23 日受理)