

短 報

吉田明弘¹・佐々木明彦²・大山幹成³・箱崎真隆⁴・伊藤晶文⁵：
晩氷期の鳥海山における植生復元およびグイマツの立地環境Akihiro Yoshida¹, Akihiko Sasaki², Motonari Ohyama³, Masataka Hakozaiki⁴ and Akifumi Ito⁵: Vegetation reconstruction during the Last Termination on Mt. Chokai, northeastern Japan and habitat of *Larix gmelinii*

Abstract Our spatial reconstruction of vegetation (from the fossil pollen and wood profiles of two peat layers) spanning the Last Termination on Mt. Chokai, northeastern Japan, advanced our understanding of vegetation history on the Japan Sea coast. Both types of remains indicated: 1) in ca. 14–11 ka cal BP, deciduous broad-leaved scrubs mainly consisting of *Betula ermanii*, *Acer tschonoskii*, and *Alnus firma* existed at 700 m a.s.l.; 2) after ca. 14 ka cal BP, boreal conifers disappeared from this area, probably due to warming of the Last Termination. Furthermore, we identified a fossil wood of *Larix*, probably *L. gmelinii*, from the peat layer of ca. 14–11 ka cal BP. This discovery implies that *L. gmelinii* expanded its distribution into peat bogs on the Japan Sea coast in the final stage of its extinction process, little affected by snow accumulation in winter.

はじめに

東東北地方の日本海沿岸では、能代平野や秋田平野などの沖積層を中心にした花粉分析により、晩氷期以降の連続的な植生変遷が議論されている（辻・日比野，1975；辻，1981など）。このうち北部では、秋田県八郎潟における晩氷期以降の連続的な花粉組成が明らかにされ、太平洋側から日本海側にかけての時空間的な植生分布が詳細にまとめられている（吉田・竹内，2009）。一方、南部では、内陸地域の盆地堆積物を中心にした多数の花分析により、最終間氷期以降の地域的な植生変遷が示されているが（日比野ほか，1991；守田ほか，2002など）、日本海沿岸については大規模な沖積平野が分布していないこともあり、詳細な植生変遷が明らかにされていない。

このような中で、日本海沿岸の鳥海山では千畳ヶ原湿原（標高1400～1500 m）や竜ヶ原湿原（標高1190 m）の湿原堆積物の花粉分析から、晩氷期以降の植生変遷が論じられてきた（Yamanaka, 1969）。しかし、地域的な植生変遷を構築するためには、高精度年代測定法に基づいた堆

積物の年代決定が必要である。また、花粉化石だけでなく、木材化石、大型植物遺体などの複数手法による古植生データを比較することで、植生分布を時空間的に解明することができる（吉田ほか，2011）。さらに、地形や地質などの古環境情報を組み合わせることで、従来では議論が困難であった古植生・古植物の分布変遷や立地環境などをより詳細に把握できる。

著者らは、鳥海山北東麓に分布する後期更新統の七高山溶岩下位から、木材化石を含む2層の泥炭層を発見した。本稿ではこれらの泥炭層の堆積年代を放射性炭素年代測定に基づいて明らかにすると共に、花粉分析と木材化石の同定結果から晩氷期における鳥海山の古植生を空間的に復元する。さらに、この復元結果を基にして、晩氷期におけるグイマツ *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr. ex Kuzen. の立地環境を考察する。

地域概観

秋田県と山形県の県境に聳える鳥海山は第四紀の複式成

¹ 〒101-8301 東京都千代田区神田駿河台1-1 明治大学黒耀石研究センター

Center for Obsidian and Lithic Studies, Meiji University, 1-1 Kanda-Surugadai, Chiyoda-ku, Tokyo 101-8301, Japan

² 〒390-8621 長野県松本市旭3-1-1 信州大学山岳科学研究所

Institute of Mountain Science, Shinshu University, 3-1-1 Asahi, Matsumoto, Nagano 390-8621, Japan

³ 〒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, 12-2 Kawachi, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-0862, Japan

⁴ 〒464-8602 愛知県名古屋市中千種区不老町 名古屋大学年代測定総合研究センター

Center for Chronological Research, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8602, Japan

⁵ 〒990-8560 山形県山形市小白川町1-4-12 山形大学人文学部

Faculty of Literature and Social Sciences, Yamagata University, 1-4-12 Kojirakawa-machi, Yamagata 990-8560, Japan

Corresponding author: A. Yoshida, yoshy.akitan@gmail.com

層火山であり (Fig. 1), 火山体の形成史は大きく3つの時期に分けられる (林, 1984)。ステージIは約60～16万年前の古期火山体の形成期であり, ステージIIは約16～2万年前の西鳥海火山体の形成期である。ステージIIIは約2万年前以降の東鳥海火山体の形成期にあたる。ステージIIIの主要噴出物の七高山溶岩は, 火山体の東側斜面を広く覆い, K-Ar年代測定により約 2 ± 1 万年前とされる (伴ほか, 2001)。

現在の鳥海山における植生は, 標高1200～1050 m以低はブナ *Fagus crenata* Blume 林であり, これにハウチワカエデ *Acer japonicum* Thunb., ウウミズザクラ *Padus grayana* (Maxim.) C. K. Schneid., オオカメノキ *Viburnum furcatum* Blume ex Maxim. などが混交する (文化庁, 1971; 宮脇, 1987)。西側斜面は, 冬季の季節風による直接的な影響を受けるため, 匍匐形のブナの低木林が見られる。また, 低標高部では開発に伴うブナ林の伐採により, ミズナラ *Quercus crispula* Blume やウダイカンバ *Betula maximowicziana* Regel などの二次林が広がっている。一方, 標高1200～1050 m以高では, 亜高山帯性針葉樹林が欠如した偽高山帯の植生景観を呈している。ここでは, ミヤマナラ *Q. crispula* Blume var. *horikawae* H. Ohba, ダケカンバ *B. ermanii* Cham., ナナカマド *Sorbus commixta* Hedl., ミネカエデ *A. tschonokii* Maxim., ミヤマハンノキ *Alnus viridis* (Chaix) Lam. et DC. subsp. *maximowiczii* (Callier) D. Löve などの低木林, チシマザサ *Sasa kurilensis* (Rupr.) Makino et Shibata の草原となる。さらに, 山頂部では火山活動によって風衝地や草原が優占する。

試料と分析方法

堆積物の観察は, 鳥海山北東麓の七高山溶岩流末端に位

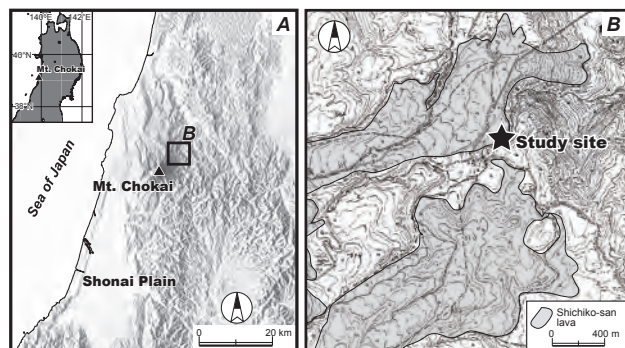


Fig. 1 Index map (A) and sampling site (B) on Mt. Chokai. Base map in Fig. 1B is the topographical map “Chokai-san”, scale 1:25,000, issued by the Geospatial Information Authority of Japan. Landform classification map was modified from Nakano & Tsuchiya (1992).

置する子吉川支流の河岸露頭 (標高700m) で行った (Fig. 1)。調査地の地質層序は, 下位より砂礫層, シルト層, 泥炭層, 砂礫層, 泥炭層, 七高山溶岩に分けられる (Fig. 2)。下位と上位の砂礫層は, 大小の角礫と粗粒砂が無層理に堆積することから岩屑流堆積物, シルト層は葉理が発達することから河川性堆積物の特徴を示す。このような不安定な堆積環境にあつて, 上位と下位の泥炭層からは, 一時的に安定した湿原環境が成立したことが推測される。

^{14}C 年代測定用の試料には, 下位泥炭層の最上部で木材化石を1試料, 上位泥炭層の最下部で泥炭バルクを1試料, 最上部で木材化石の1試料を採取した (Fig. 3)。試料はacid-alkali-acid(AAA)法に基づき前処理を行った。各年代値はIntCal13 (Reimer et al., 2013)の較正曲線に基づき, OxCal ver. 4.2 (Bronk Ramsey, 2009)を用いて 2σ の範囲で較正年代(cal BP)を算出した。

花粉分析の試料は, 下位泥炭層で3試料, 上位泥炭層で3試料を採取した (Fig. 3)。試料の処理はKOH-HF-アセトリシス法によつた。処理後, 試料の残渣をグリセリンゼリーで封入して, プレパラートを作成した。花粉・孢子化石の計数作業は, 400～1000倍の光学顕微鏡下で, 木本花粉が300個以上に達するまで同定を行い, その間に出現した低木・草本花粉, シダ類・ミズゴケ孢子を同定した。出現率は, 木本花粉の分類群はその総和を基数として, その他の花粉・孢子化石の分類群は出現したすべての花粉・孢子化石の総和を基数にして百分率で示した。

木材化石の試料は, 下位泥炭層から12点, 上位泥炭層から15点を採取した。各試料は徒手切片法によつて横断面, 放射断面, 接線断面の3切片を作成し, ガムクロラールを用いてプレパラートを作成した。各試料のプレパラートの観察は, 200～400倍の光学顕微鏡下で行い, 解剖学的な特徴に基づき各試料の樹種同定を行った。同定された各試料のプレパラートは, YAM-163～189の番号を付し, 東北大学植物園(TUSw)に保管した。

結果

1. ^{14}C 年代測定

^{14}C 年代測定の結果, 下位泥炭層の最上部は14,480～

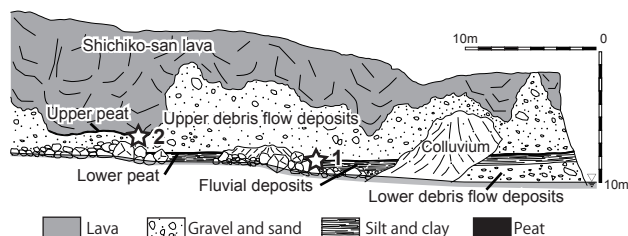


Fig. 2 Sketch of outcrop at the study site. Refer to Fig. 1B for the location and geomorphological setting of the study site.

Table 1 Radiocarbon dating of samples from the study site

Sample No.	Lab. code	Material	Method	$\delta^{13}\text{C}^{*1}$	Conventional age (1 σ , ^{14}C yrs BP)	Calibrated age *2 (2 σ , cal BP)
1	TH-2040	Wood	Beta *3	ND	10,080 \pm 70	11,975–11,330
2	TH-2039	Peat clay (bulk)	Beta	ND	12,170 \pm 60	14,230–13,825
3	IAA-581	Wood	Beta	-28.3	12,110 \pm 130	14,480–13,590

*1 $\delta^{13}\text{C}$ values are those of AMS.

*2 Calibrated ages were based on IntCal13 using OxCal ver 4.2.

*3 Beta: Beta-ray counting by the liquid scintillation and gas proportional counter

13,590 cal BP (IAA-581) の年代値となった (Table 1, Fig. 3)。一方、上位泥炭層の最下部では 14,230 ~ 13,825 cal BP (TH-2039), 最上部では 11,975 ~ 11,330 cal BP (TH-2040) の年代値となった。なお、上位泥炭層の 2 つの年代値については $\delta^{13}\text{C}$ による年代補正を行っていない。

2. 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 26 分類群、草本花粉 17 分類群、シダ類・蘚苔類 3 分類群であった (Table 2)。明確に区分できない分類群については、ハイフン (-) で両者を結んだ。また、プラス (+) で結んだ分類群は区分が可能であるが、本研究では一括して扱ったものを表す。花粉組成の変化に基づいて、CHK-1 帯と CHK-2 帯の 2 つの局地花粉帯 (以下、花粉帯または帯と略す) に区分した (Fig. 3)。

CHK-1 帯 (試料 1-1 ~ 1-3, 2-1): カバノキ属 *Betula* が 46 ~ 54% と優占し、これに次いでハンノキ属 *Alnus* が 20 ~ 30% 出現する。針葉樹のモミ属 *Abies*, トウヒ属 *Picea*, ツガ属 *Tsuga*, マツ属単維管束亜属 *Pinus* subgen. *Haploxyton* は数% と低率ではあるが、連続的に出現するのが目立つ。また、コナラ亜属 *Quercus* subgen. *Lepidobalanus*, クマシデ属-アサダ属 *Carpinus-Ostrya*, ニレ属-ケヤキ属 *Ulmus-Zelkova*, カエデ属 *Acer* の落葉広葉樹も低率ながら出現する。草本花粉およびシダ類孢子は、全体的な割合として 30 ~ 40% 出現する。下位泥炭層でカヤツリグサ科 Cyperaceae が最大で 18% 出現し、単条型孢子 *Monolete fern spore* が 10 ~ 20% 出現する。

CHK-2 帯 (試料 2-2, 2-3): カバノキ属が最大で 88% と高率となる。前帯で連続的に出現していたモミ属、トウヒ属、ツガ属、マツ属単維管束亜属は 1% 以下と減少、もしくは消滅する。また、ハンノキ属は 2 ~ 6% と低率になる。草本花粉とシダ類孢子的の全体に占める割合は最大で 61% と高率になり、上部に向かって増加傾向が見られる。とくに、イタドリ属 *Reynoutria* が 42 ~ 46% と急増する。

3. 木材化石

木材化石はすべて幹・枝材で、針葉樹が 1 分類群、広葉

樹が 5 分類群であった (Table 3)。下位泥炭層の木材化石のすべてが広葉樹であり、カバノキ属とヤナギ属が 5 点ずつ産出した。上位泥炭層では広葉樹のカエデ属が 9 点、ガマズミ属が 3 点で、1 点の針葉樹のカラマツ属が産出した。

カラマツ属 *Larix* マツ科 (Fig. 4: 1a-1c)

垂直・水平樹脂道をもつ針葉樹材。早材から晩材への移行は急で、早材部仮道管の壁は薄く、晩材は明瞭。早材部仮道管の放射壁に有縁壁孔が 2 列に並ぶ。放射組織の上下端に放射仮道管が存在し、有縁壁孔の壁孔縁は丸みを帯びる。分野壁孔は小型のトウヒ型で 1 分野に 2 ~ 4 個。

ヤナギ属 *Salix* ヤナギ科 (Fig. 4: 2a-2c)

小型~中型の道管が単独または放射方向に数個複合して比較的均一に分布する散孔材。道管の穿孔は単一。放射組織は単列異性。道管放射組織間壁孔は蜂巣状に配列する。

カバノキ属 *Betula* カバノキ科 (Fig. 4: 3a-3c)

小型~中型の道管が単独あるいは数個放射方向に複合し、均一に散在する散孔材。道管の穿孔は階段状で、横棒は 10 本以下。道管相互壁孔は小さく、交互状で密に配列する。放射組織は同性で 1 ~ 3 列。

クマシデ属イヌシデ節 *Carpinus* sect. *Eucarpinus* カバノキ科 (Fig. 4: 4a-4c)

小型の丸い道管が放射方向に数個複合して放射方向に配列する放射孔材。道管の穿孔は単一。木部柔組織は、短接線状。放射組織は同性に近い異性で 1 ~ 3 列のものと大型の集合状のものからなる。

Table 2 List of pollen and spores found in the deposits at the study site

Trees & shrubs	<i>Abies</i> , <i>Picea</i> , <i>Tsuga</i> , <i>Pinus</i> subgen. <i>Haploxyton</i> , <i>P.</i> subgen. <i>Diploxyton</i> , <i>Cryptomeria</i> , <i>Juglans</i> + <i>Pterocarya</i> , <i>Carpinus</i> - <i>Ostrya</i> , <i>Betula</i> , <i>Alnus</i> , <i>Fagus crenata</i> type, <i>Quercus</i> subgen. <i>Lepidobalanus</i> , <i>Prunus</i> , <i>Ulmus-Zelkova</i> , <i>Acer</i> , <i>Aesculus</i> , <i>Tilia</i> , <i>Salix</i> , <i>Corylus</i> , <i>Phellodendron</i> , <i>Ilex</i> , <i>Araliaceae</i> , <i>Ericaceae</i> , <i>Fraxinus</i> , <i>Oleaceae</i> , <i>Viburnum</i>
Herbs	Gramineae, Cyperaceae, <i>Typha</i> , <i>Lysichiton</i> , <i>Eriocauraceae</i> , <i>Polygonum</i> , <i>Reynoutria</i> , <i>Chenopodiaceae</i> , <i>Thalictrum</i> , <i>Ranunculaceae</i> , <i>Sanguisorba</i> , <i>Rosaceae</i> , <i>Menyanthes</i> , <i>Umbelliferae</i> , <i>Artemisia</i> , <i>Carduoideae</i> , <i>Cichorioideae</i>
Ferns & moss	<i>Monolete fern spore</i> , <i>Trilete fern spore</i> , <i>Sphagnum</i>

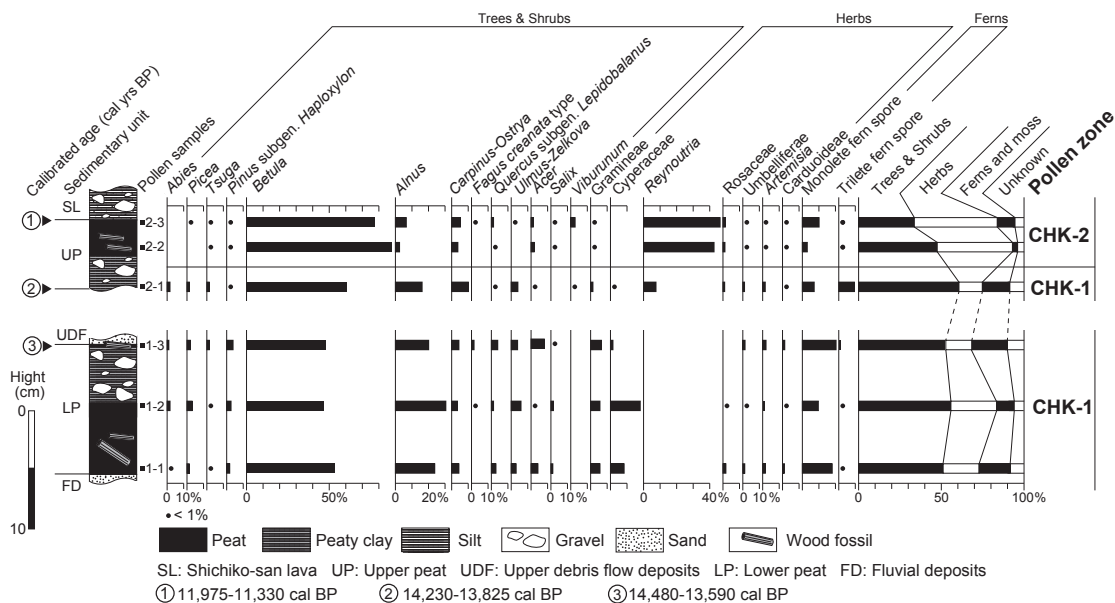


Fig. 3 Selected pollen diagram from the study site.

カエデ属 *Acer* カエデ科 (Fig. 4: 5a-5c)

やや小型の道管が単独あるいは数個放射方向に複合して散在する散孔材。道管の穿孔は単一。道管内壁にはらせん肥厚が認められる。放射組織は同性で1~4列。木部柔組織はしばしば年輪界付近で結晶を持つ。

ガマズミ属 *Viburnum* スイカズラ科 (Fig. 4: 6a-6c)

小径の道管がほぼ均一に散在する散孔材。穿孔は階段状で、横棒は40本以上。木部柔組織は短接線状。放射組織は異性で1~3列。

考 察

1. 晩氷期の鳥海山における空間的な植生復元

^{14}C 年代値は下位泥炭層の最上部で約14,000年前、上約1.4万年前、上位泥炭層では約1.4~1.1万年前を示すことから (Fig. 3), 花粉・木材化石の堆積時期は晩氷期と推測される。年代値から見て、この堆積時期は北大西洋地域の Bølling-Allerød 温暖期 (1.45~1.29万年前, Stuiver et al., 1995) 以降に相当する。

下位泥炭層は、露頭全体で認められることから、河川性

堆積物の上に形成された比較的広い湿原であった。ここではカバノキ属、ヤナギ属、クマシデ属イヌシデ節、カエデ属の木材化石が産出した (Table 2)。木材化石はいずれも幹・枝材で、安定した堆積環境であることから、水流によって遠方から運搬された可能性は低い。また、採取した木材化石には大径木は含まれない。下位泥炭層の花粉組成はCHK-1帯にあたり、カバノキ属、ハンノキ属が高率であり、これらに伴ってカエデ属、コナラ属、クマシデアサダ属が出現する (Fig. 3)。鳥海山では現在これらの落葉広葉樹の低木林が偽高山帯を形成している。東北地方南部の内陸盆地では、最終氷期極相期に亜寒帯性針葉樹とカバノキ属の花粉組成となることから、亜高山帯性針葉樹とダケカンバの混交林が広く分布していたと推測されている (守田ほか, 2002)。したがって、約1.4万年前の鳥海山では、晩氷期の温暖化により減少した亜寒帯性針葉樹の空白域を埋めるように、多雪環境に強く、先駆性の高いダケカンバ、ミヤマハンノキ、ミネカエデなどの低木林を中心とした偽高山帯のような植生景観が標高700m付近に広がったと考えられる (守田, 2000)。

下位泥炭層は上位岩屑流堆積物に覆われる (Fig. 2)。上位泥炭層の最下部では約1.4万年前の年代値が得られ、花粉組成は下位泥炭層と同様のCHK-1帯であった。よって、この岩屑流堆積物は短期間のイベントにより運搬され、下位泥炭層を埋積したことを示している。上位泥炭層は部分的に認められ、上位岩屑流堆積物の上に形成された凹地に堆積している。このことは、下位泥炭層とは異なり、上位泥炭層は極めて小さな湿原で堆積したと考えられる。

上位泥炭層ではカエデ属の木材化石が多産し、これにガ

Table 3 Summary of fossil woods from the study site

Taxa	Lower peat (ca. ≤ 14 ka)	Upper peat (ca. 14-11 ka)
<i>Larix</i>		1
<i>Salix</i>	5	1
<i>Betula</i>	5	1
<i>Carpinus</i> sect. <i>Eucarpinus</i>	1	
<i>Acer</i>	1	9
<i>Viburnum</i>		3
Total	12	15

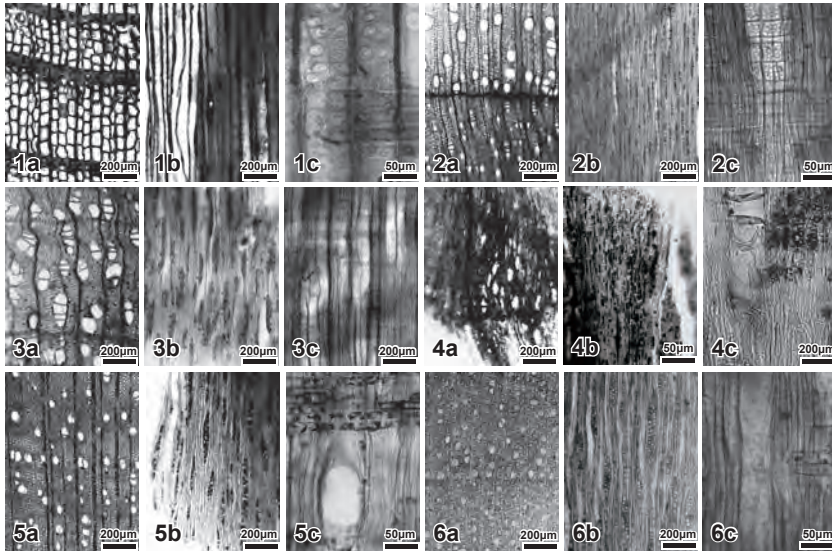


Fig. 4 Photomicrographs of fossil wood obtained from the study site. — 1a, b, c: *Larix* (YAM-178). — 2a, b, c: *Salix* (YAM-180). — 3a, b, c: *Betula* (YAM-171). — 4a, b, c: *Carpinus* sect. *Eucarpinus* (YAM-169). — 5a, b, c: *Acer* (YAM-172). — 6a, b, c: *Viburnum* (YAM-189). a: cross, b: tangential, c: radial sections.

マズミ属, カバノキ属などが伴った。花粉組成では最下部を除きCHK-2帯となり, カバノキ属が優占する。この帯ではトウヒ属やモミ属などの針葉樹の花粉化石がほとんど出現しなくなり, 草本花粉のイタドリ属が急増する。したがって, 約1.4~1.1万年前でもダケカンバやミネカエデを主体とした低木林の植生景観が継続していた。また, この時期になると亜寒帯性針葉樹はほぼ消滅し, 湿原やその周辺ではカエデ属やガマズミ属の矮性低木, オオイタドリなどの草本植生に覆われた。

2. 晩氷期におけるグイマツの立地環境

約1.4~1.1万年前の上位泥炭層から, カラマツ属の木材化石が産出した。現在の東北地方で生育するカラマツ属はカラマツだけであり, 蔵王山が日本の北限地とされている(林, 1960)。最終氷期極相期には, 現在のサハリン島を南限とするグイマツの球果が, 岩手県花泉(Miki, 1957; Takeuti & Ozaki, 1987)や仙台市富沢遺跡(鈴木・竹内, 1989)で産出している。矢野(1994)は, 蔵王山における現生カラマツ球果の形態的特徴から, 最終氷期にカラマツとグイマツの分布域が交錯していた可能性を指摘した。しかし, 最終氷期におけるカラマツの大型植物遺体は, 福島県以北では現在のところ確認されていない(相馬・辻, 1988; 守田, 2000)。また, 鳥海山は岩手県花泉と緯度的にも同じ位置にある。したがって, 上位泥炭層のカラマツ属の木材化石は, 最終氷期極相期に東北地方南部まで分布拡大したグイマツと考えられる。

一般に, カラマツ属は他種に比べて花粉生産量や散布力が劣るため, 花粉出現率は実際の植生構成より過小に評価される(五十嵐ほか, 2003など)。上位泥炭層ではカラマ

ツ属の木材化石は産出したが, 花粉化石は認められなかった(Fig. 3)。とくに, CHK-2帯では混生林にて花粉生産量や散布力が比較的に高くなるトウヒ属も出現が見られない(守田ほか, 2006a, b)。よって, 上位泥炭層の堆積時期は, 亜寒帯性針葉樹の消滅過程の中でも末期に相当し, 調査地付近にグイマツが僅かに残存したと考えられる。現在, サハリン島南部のグイマツは, 夏気温が生育に不適であるため, 湿原やその周辺に分布が限られる(五十嵐, 2010)。那須ほか(2002)は十和田八戸テフラ直下(約1.5万年前; 町田・新井, 2003)の大型植物遺体から, グイマツが湿地に立地していた可能性を指摘した。晩氷期における鳥海山のグイマツも, 温暖化により分布域を急激に縮小させ, 他種の侵入が困難な湿原を生育地にした可能性が高い。

高橋ほか(2000)は, 最終氷期におけるカラマツ属の木材化石の産出状況が太平洋側に偏在することから, 分布要因を当時の日本海側と太平洋側における積雪量の違いと推測した。那須ほか(2002)は, 晩氷期の津軽平野東部でグイマツが産出しないことを報告している。しかし, 青森県津軽平野の出来島海岸では, 最終氷期極相期の泥炭層からカラマツ属の木材化石が多数産出している(辻, 2001)。最終氷期のグイマツの分布は, 東北地方太平洋側に限ったものではないようである。よって, 最終氷期における日本海側の積雪量が森林の構成比に影響した可能性はあるが, グイマツの分布に直接的に影響したとは考え難い。グイマツの偏在性を指摘した先行研究は, 土壌が比較的に未発達な地点での復元事例である(高橋ほか, 2000; 那須ほか, 2002)。このことは, 最終氷期のグイマツの分布は, 局所的な立地環境に依存している可能性がある。以上のことから, 東北地方の日本海沿岸における最終氷期の古植生データに関しては今後より一層の蓄積が必要である。また, 土

壤発達や地形などの古環境情報も含めた時空間的な植生復元が求められる。

謝 辞

本研究では、平成20年度斎藤報恩会学術研究助成金(研究代表者:吉田明弘)、平成14~16年度文部科学省科学研究費補助金(14380029;研究代表者:松本秀明)、平成24~26年度日本学術振興会学術研究助成基金助成金(24501288;研究代表者:佐々木明彦)の一部を使用した。柳町自然研究所の竹内貞子博士には、草稿を読んで頂き、貴重なご助言を頂いた。匿名査読者と担当編集委員の方々には、有益なご教示とご助言を頂いた。記して深く感謝申し上げます。

引用文献

- 伴 雅雄・林信太郎・高岡宣雄. 2001. 東北日本弧, 鳥海火山のK-Ar年代—連続的に活動した3個の成層火山—. 火山 **46**: 317-333.
- 文化庁. 1971. 天然記念物緊急調査 植生図・主要動植物地図 山形県. 文化庁.
- Bronk Ramsey, C. 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon* **51**: 337-360.
- 林 信太郎. 1984. 鳥海火山の地質. 岩石鉱物鉱床学会誌 **79**: 249-265.
- 林 弥栄. 1960. 日本産針葉樹の分類と分布. 246+202 pp. 農林出版, 東京.
- 日比野紘一郎・守田益宗・宮城豊彦・八木浩司. 1991. 山形県川樋盆地における120,000年B.P.以降の植生変遷に関する花粉分析的研究. 宮城県農業短期大学学術報告 No. 39: 35-49.
- 五十嵐八枝子・岩花 剛・仙頭宣幸・露崎史朗・佐藤利幸. 2003. ロシア北東域における異なる植生型から得られた表層花粉群—古植生復元の基礎資料として—. 第四紀研究 **42**: 413-425.
- 五十嵐八枝子. 2010. 北海道とサハリンにおける植生と気候の変遷史—花粉から植物の興亡と移動の歴史を探る—. 第四紀研究 **49**: 241-253.
- 町田 洋・新井房夫. 2003. 新編 火山灰アトラス—日本列島とその周辺. vii + 336 pp. 東京大学出版会, 東京.
- Miki, S. 1957. Pinaceae of Japan, with special reference to its remains. *Journal of Osaka City University, Series D* **8**: 221-272.
- 宮脇 昭, 編著. 1987. 日本植生誌 8, 東北. 605 pp. 至文堂.
- 守田益宗. 2000. 最終氷期以降における亜高山帯植生の変遷—気候温暖期に森林帯は現在より上昇したか?—. 植生史研究 **9**: 3-20.
- 守田益宗・八木浩司・井口 隆・山崎友子. 2002. 山形県白鷹湖沼群荒沼の花粉分析からみた東北地方南部の植生変遷. 第四紀研究 **41**: 375-387.
- 守田益宗・関口千穂・那須浩郎・百原 新. 2006a. 北海道亜寒帯・亜高山帯域における湿原表層部の花粉分析—花粉スペクトルから森林域と非森林域との区別は可能か?—. *Naturalistae* No. 10: 1-18.
- 守田益宗・神谷千穂・那須浩郎・百原 新. 2006b. 北海道根釧地方における湿原表層部の花粉スペクトル. 植生史研究 **14**: 45-60.
- 中野 俊・土屋信之. 1992. 5万分の1地質図幅「鳥海山及び吹浦」及び説明書. 地質調査総合センター.
- 那須浩郎・百原 新・沖津 進. 2002. 十和田八戸テフラ直下の埋没林から復元した晩氷期におけるトウヒ属バラモミ節, トドマツ, グイマツの分布立地. 第四紀研究 **41**: 109-122.
- 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.
- 相馬寛吉・辻 誠一郎. 1988. 植物化石からみた日本の第四紀. 第四紀研究 **26**: 281-291.
- Stuiver, M., Grootes, P. M., & Braziunas, T. F. 1995. The GISP2 $\delta^{18}O$ climate record of the past 16,500 years and the role of sun, ocean, and volcanoes. *Quaternary Research* **44**: 341-354.
- 鈴木敬治・竹内貞子. 1989. 中〜後期更新世における古植物相—東北地方を中心として. 第四紀研究 **28**: 303-316.
- 高橋利彦・佐瀬 隆・細野 衛・奥野 充・中村俊夫. 2000. 北部北上山地から見いだされた最終氷期の材化石. 植生史研究 **8**: 39-43.
- Takeuti, S. & Ozaki, H. 1987. Pollen analysis of the Hanaizumi Formation, Iwate Prefecture, northeast Japan. *Saito Ho-on Kai Museum of Natural History Research Bulletin* No. 55: 13-20.
- 辻 誠一郎. 1981. 秋田県の低地における完新世後半の花粉群集. 東北地理 **33**: 81-88.
- 辻 誠一郎. 2001. 木造町西海岸, 出来島の泥炭層と埋没林. 「生態系のタイムカプセル」(青森県教育委員会編), 28-33. 青森県.
- 辻 誠一郎・日比野紘一郎. 1975. 秋田県女湯における花粉分析的研究. 第四紀研究 **14**: 151-159.
- Yamanaka M. 1969. Palynological studies of moors in Mt. Chokai. *Ecological Reviews* **17**: 203-208.
- 矢野牧夫. 1994. 日本列島北限「カラマツ」球果の変異とその古植物学的意味. 第四紀研究 **33**: 95-105.
- 吉田明弘・竹内貞子. 2009. 最終氷期末期以降の秋田県八郎潟周辺の植生変遷と東北地方北部における時空間的な植生分布. 第四紀研究 **48**: 417-426.
- 吉田明弘・鈴木三男・金 憲爽・大井信三・中島 礼・工藤雄一郎・安藤寿男・西本豊弘. 2011. 茨城県花室川堆積物の花粉・木材化石からみた最終氷期の環境変遷と絶滅種ヒメハリゲヤキの古生態. 植生史研究 **20**: 27-40.

(2014年4月16日受理)