

原 著

池田重人¹・佐瀬 隆²・細野 衛³・高橋利彦⁴：
完新世露頭試料の花粉組成と植物珪酸体組成から推定した
奥羽山脈湯森山における偽高山帯の植生史

Shigeto Ikeda¹, Takashi Sase², Mamoru Hosono³ and Toshihiko Takahashi⁴：
Holocene vegetation history of the pseudo-alpine zone in Mt. Yumori,
northern Japan, reconstructed from pollen and phytolith records

要 旨 山頂尾根部がササや低木で覆われ偽高山帯の景観を呈している秋田駒ヶ岳山域の湯森山において、花粉分析および植物珪酸体分析により偽高山帯を構成する植生の変遷史を明らかにした。分析試料を採取した露頭では、秋田駒ヶ岳火山の活動で降下堆積した多数の完新世テフラに挟まれるようにして、薄い土壌層が何枚も認められる。噴出年代既知のこれらのテフラを時間指標として、土壌層中の花粉と植物珪酸体の組成を明らかにすることにより、時代ごとの周辺植生を復元した。約9000年前から約7600年前までは植被に乏しく、火山荒原のような景観であった。その後、ササを含むイネ科等の草本が定着しはじめ、約7200年前以降は露頭付近で湿性の草本植生が繁茂し、周辺ではミヤマハンノキが生育するようになった。後氷期の気候変動に伴い積雪量が増加するにしたがって露頭付近のササは衰退し、約5400年前には消滅した。その後は、露頭付近でササの希薄な草本植生が継続し、約3600年前になると周辺域でハイマツが勢力を広げた。約2200年前からは露頭付近で再びササが生育するようになり、ササをともなう草本植生となった。約1800年前以降になると草本植生は縮小し、ササが圧倒的に優勢でミヤマハンノキやハイマツなどの低木が混生する、現在みられるような偽高山帯の植生が形成された。

キーワード：秋田駒ヶ岳火山、花粉分析、完新世テフラ、偽高山帯、植物珪酸体分析

Abstract The vegetation history of the pseudo-alpine zone was reconstructed based on pollen and phytolith analyses of Holocene soil collected from an outcrop on the Mt. Yumori in the Akita Komagatake area. The outcrop consisted of many thin soil layers and thick Holocene tephras that erupted from the Akita Komagatake volcano. To determine the past vegetation of each formation period, we investigated pollen and phytolith assemblages in the soil using the tephras as time markers. From ca. 9000 to ca. 7600 yr BP, vegetation was sparse like a volcanic desert. After ca. 7200 yr BP, some herbaceous species including *Sasa* colonized near the outcrop, and a thick community of wet herbaceous species grew. By ca. 5400 yr BP, as the snow fall increased with the postglacial climate change, *Sasa* near the outcrop disappeared. *Pinus pumila* spread around the outcrop by ca. 3600 yr BP, and herbaceous vegetation without *Sasa* continued nearby. After ca. 2200 yr BP, *Sasa* again colonized near the outcrop, and herbaceous vegetation thrived. From ca. 1800 yr BP to the present, herbaceous species declined, and the vegetation became dominated by *Sasa* grassland and shrubs.

Key words: Akita Komagatake volcano, Holocene tephra, phytolith analysis, pollen analysis, pseudo-alpine zone

は じ め に

中部地方から東北地方にかけての日本海側山地では、亜高山帯域で針葉樹林が発達せずササや低木の群落が優占

する、いわゆる「偽高山帯」の景観を呈する山岳がみられる。この現象については、四手井（1952）がはじめて偽高山帯と呼んでとりあげて以来、多くの議論がなされてきた

¹ 〒305-8687 茨城県つくば市松の里1 森林総合研究所立地環境研究領域

Department of Forest Site Environment, Forestry and Forest Products Research Institute, Matsunosato 1, Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan

² 〒028-7302 岩手県八幡平市松尾寄木1-590-369 北方ファイトリス研究室

Boreal Laboratory for Phytolith Research, Matsuoyoriki 1-590-369, Hachimantai, Iwate, 028-7302 Japan

³ 〒162-0052 東京都新宿区戸山町1-12-7 東京自然史研究機構

Tokyo Natural History Research Structure, Toyama-cho 1-12-7, Shinjyuku, Tokyo, 162-0052 Japan

⁴ 〒028-7301 岩手県八幡平市野駄16-14-4 木工舎「ゆい」

Woodworks 'YUI', Noda 16-14-4, Hachimantai, Iwate, 028-7301 Japan

(四手井, 1956; 太田, 1956; 梶, 1982; Sugita, 1992 など)。その後, 守田 (2000) はそれまでの議論を総括しつつ, 最終氷期以降の日本の亜高山帯における植生変遷過程を統一的に整理して記述した。その中では, 晩氷期から後氷期初頭にかけての気候変化により氷期に優勢だったトウヒ属などの針葉樹は衰退・消滅したこと, オオシラビソ *Abies mariesii* Masters など一部の種は消滅を免れて山岳上部に逃避したことが示された。そのうえで, 東北地方についてみると, 逃避地を起点として約 2500 年前以降に森林が未発達であった亜高山帯域へと拡大していったのが現在みられる亜高山帯針葉樹林であり, 針葉樹が増加せず森林が形成されなかった場所が偽高山帯であるとした。この論考は, 日本列島における亜高山帯植生の変遷史を俯瞰しながら偽高山帯の成因と形成過程を示しており, これにより日本の植生における偽高山帯の位置づけがより明確になった。

以上のように, これまでの古生態学的な研究などの積み重ねに基づいて, 偽高山帯の成因についての考えはかなり整理されてきたといえる。しかし, 山域による亜高山帯針葉樹の増加開始時期の違いや, 亜高山帯針葉樹は分布しながらもまだに森林帯を形成できない山岳がみられる原因など, 十分には説明できない疑問が残されている。さらに重要な問題として, 現実の偽高山帯を構成する植物がどのような過程を経て現在見られる植生帯を形成するようになったのかについてはいまだに明らかではなく, 個別の研究を積み上げて検証していく必要がある。とくにササについては, 開花周期がきわめて長いことに加えて, 花粉分析ではイネ科花粉の同定が通常は科レベルで行われるために, その変遷を明らかにすることは困難であった。ササは各地の偽高山帯域に普遍的に分布しており, その変遷を明らかにすることは偽高山帯の形成過程を理解するうえで欠かすことができない。

佐々木 (2003) および Sasaki et al. (2004) は, 四国山地瓶ヶ森の山頂部に広がるササ草原の歴史を花粉分析と植物珪酸体分析により調べている。しかしこれは, 植生変遷の時間としては比較的短期間である 700 年間のササ草原の変化について, 人間活動の影響という視点から明らかにしており, 偽高山帯の形成過程の解明を試みたものではない。Kariya et al. (2004) は, 三国山脈平標山の山頂部付近において, 斜面堆積物中にみられる埋没泥炭の植物珪酸体分析を行い, 消雪時期の変化とササの盛衰との関係を検討した結果, 完新世中期以降にササが衰退した時期があることを明らかにし, その原因として気候変動にともなう消雪時期の変化の可能性を指摘した。この研究は山岳地域におけるササの変遷を調べた例として重要であるが, 花粉分析を同時に行っていないため, 偽高山帯に分布する他の植生の変遷との相互関係などは不明である。また, 佐瀬ほか (2002)

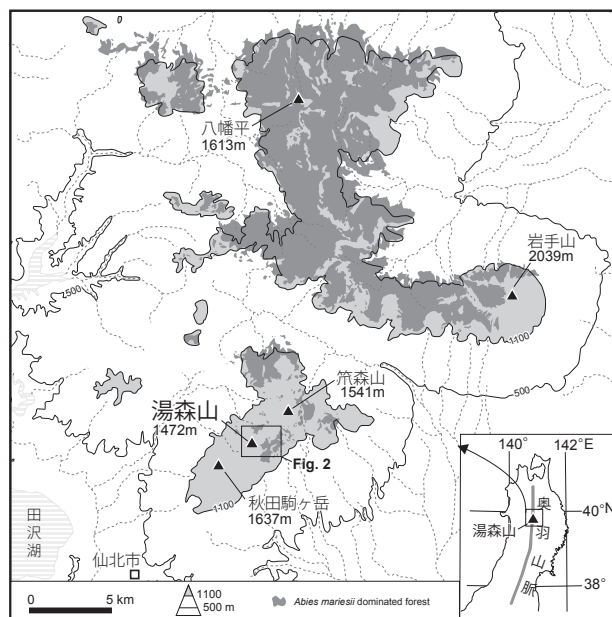


図1 調査地域. オオシラビソの分布は杉田(未公表)に基づく。
Fig. 1 Study area. Distribution of *Abies mariesii* dominated forest is based on Sugita (unpublished).

は, 北海道屈斜路湖西方の美幌峠にみられるササ草原の成立と変遷について, 植物珪酸体分析結果と黒ボク土層の生成との関係から論じ, 少なくとも 1000 年以上前までには峠周辺の広域でササ草原が成立していたことを明らかにした。この結果は, 北海道の亜寒帯気候下におけるササ植生の変遷の一例を示したものであり, 温度環境的に近い本州の亜高山帯域と比較検討することにより, 日本におけるササ植生変遷の解明が進むと期待される。

池田 (2002) は, 奥羽山脈湯森山の偽高山帯的景観の中にある最上部のオオシラビソ林分において土壌花粉分析を行い, 同林分が現在見られるような姿となったのは数百年程度前であることを示している。本論文では, このオオシラビソ林分にも近い, 主尾根付近の低木・ササ群落で採取した同一試料を用いて花粉分析と植物珪酸体分析を行い, ササ群落の変遷を含む偽高山帯の植生変遷史について検討した結果を報告する。

なお, 本報告において, ^{14}C 年代値は未校正の値で統一して記した。較正值のみが示された資料の引用 (考察 2) では, 当時使用されていた INTCAL98 の較正曲線 (Stuiver et al., 1998) から読み取って換算した未校正の概略値を記し, 較正值を付記した。

調査地の概要

1. 秋田駒ヶ岳地域における亜高山帯域の植生分布
奥羽山脈の秋田駒ヶ岳から筑森山にかけての山域 (以下,

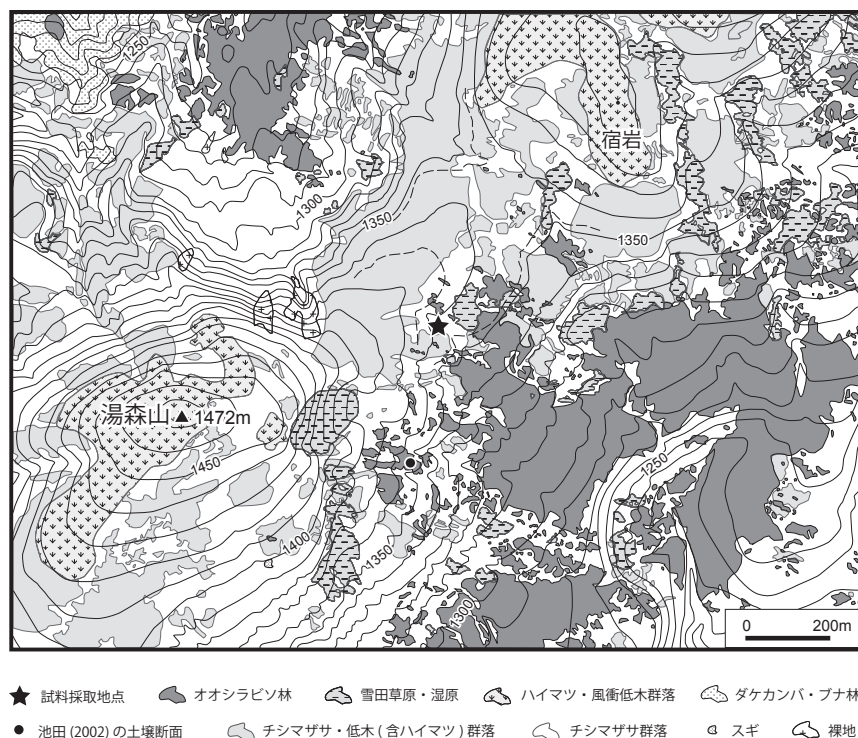


図2 試料採取地および周辺植生図。国土地理院の地理院地図をもとに空中写真判読により作成した。

Fig. 2 Vegetation map around the study site drawn from topographic maps and aerial photographs by GSI (Geospatial Information Authority of Japan).

秋田駒ヶ岳地域)では、オオシラビソなどの亜高山帯針葉樹林が十分に発達しておらず、低木やチシマザサ *Sasa kurilensis* (Rupr.) Makino et Shibata の群落からなるいわゆる偽高山帯的な景観が広がっている。これに対して、北に隣接する八幡平から岩手山にいたる山域(以下、八幡平地域)では、高標高域は亜高山帯針葉樹林に広く覆われており、景観的にきわだった対照を示している(図1)。

本研究の分析試料を採取した湯森山(1472 m)は、秋田駒ヶ岳地域の中央に位置している。秋田駒ヶ岳地域では亜高山帯針葉樹(オオシラビソ)が分布しているのは一部に限られており、チシマザサや低木が占める面積割合が大きく(図2)、とくに地域の中央部以南でその傾向が強い(図1)。湯森山より南には亜高山帯針葉樹はほとんど生育しておらず、山頂尾根部は偽高山帯の景観となっている。このような植生分布となった一因として、完新世における秋田駒ヶ岳の活発な火山活動の影響が推定された(池田, 2002)。

チシマザサは秋田駒ヶ岳地域の亜高山帯域全域に分布し、オオシラビソ林や低木群落の周囲を含めて広く覆っている。亜高山帯域で現在みられる低木としては、ナナカマド *Sorbus commixta* Hedl., ミヤマハンノキ *Alnus maximowiczii* Call., ミネカエデ *Acer tschonoskii* Maxim., アカミノイヌツゲ *Ilex sugerokii* Maxim. var. *brevipendunculata* (Maxim.) S. Y. Hu などがササ草原

の中に生育しており、低標高部にはダケカンバ *Betula ermanii* Cham. が混じることもある。また、オオカメノキ *Viburnum furcatum* Blume ex Maxim. やノリウツギ *Hydrangea paniculata* Sieb. et Zucc. のような山地帯を主な生育地としている種もみられる。針葉樹ではハイマツ *Pinus pumila* (Pallas) Regel が尾根沿いの風衝地で優占しているだけでなく、その周囲でもチシマザサに埋もれるようにして生育しているところが広い範囲で認められる(図2)。キャラボク *Taxus cuspidata* Sieb. et Zucc. var. *nana* Hort. ex Rehder は主尾根沿いの緩斜面などに点在している。また、秋田駒ヶ岳付近では亜高山帯域で伏条更新する低木のスギ *Cryptomeria japonica* (L. fil.) D. Don が多数生育することが報告されている(越前谷・武田, 1985a, 1985b)。同様の形態をしたスギは湯森山周辺でもみられ、湯森山南東方の標高1400mにある小集団はこの地域では最も高標高の場所にある。

山頂付近や尾根上などの風衝地では、ハイマツやミヤマネズ *Juniperus communis* L. var. *nipponica* (Maxim.) Wilson などの針葉樹や、イソツツジ *Ledum palustre* L. subsp. *diversipilosum* (Nakai) Hara var. *nipponicum* Nakai, クロウスゴ *Vaccinium ovalifolium* J. E. Smith, オオバスノキ *Vaccinium smallii* A. Gray, コケモモ *Vaccinium vitis-idaea* L. などのツツジ科の低木が多く生育している(梶本, 2002)。

2. 調査地におけるテフラ層序と年代

調査地である湯森山の周辺では、複数のテフラが土壌中に挟まれていることが登山道沿いのいたるところで観察できる。それらは主に秋田駒ヶ岳から噴出したものである。秋田駒ヶ岳火山を起源とする主要テフラの広域的な分布や層序については、Inoue (1980) などにより明らかにされてきたが、秋田駒ヶ岳により近い地域の調査は十分とはいえなかった。

和知ほか (1997) は、秋田駒ヶ岳東麓を中心とした詳細な調査により、周辺各地におけるテフラ層序と分布およびその噴出年代を明らかにした。その結果、十和田火山起源の十和田八戸火砕流堆積物 (HPfl: 11,400 ~ 13,960 y BP) と十和田 a テフラ (To-a: 915 AD) の間に介在する秋田駒ヶ岳火山起源の降下テフラは、AK-1 から AK-13 までの 13 に区分され、それぞれの噴出年代が示された。多数のテフラ調査地点の中の一つとして、本研究の調査露頭である湯森山北東麓の登山道沿いの 1 地点 (No. 9) が含まれている。柱状図が一部示されているほか、いくつかの特徴が記載されており、本調査においてテフラを特定するときに参照した。

なお、本報告で使ったテフラの年代は、和知ほか (1997) の示した未校正の ^{14}C 年代をそのまま用いた。年代が範囲を持って示されている場合は、その平均値を 100 年単位で四捨五入して示した。

研 究 方 法

1. 試料採取

試料は湯森山北東麓の登山道沿いにある露頭 (以下、露頭) で採取した。この露頭は、湯森山と宿岩の間にある湿原の西側の標高 1360 m に位置しており (図 2)、湯森山山頂から北東に続く尾根から南東方向に浸食が進んで谷状の地形が形成されたことにより現れたものである。

この露頭断面では、To-a, AK-2, AK-3, AK-4/5, AK-6, AK-7, AK-8, AK-9 の各テフラを確認できた。試料はそれぞれのテフラに挟まれた土壌層の合計 15 層準から採取した (図 3)。露頭における採取層準および各テフラの産状と和知ほか (1997) に基づく年代を柱状模式図の横に示した。AK-9 の噴出年代が約 9000 年前であることから、この露頭で採取した土壌中には、初頭を除く完新世全期間の植生情報を記録している可能性がある。

2. 花粉分析

分析試料からの花粉の抽出処理は以下の手順と要領で行った。

はじめに、各層位の採取土壌試料から計量スプーンを用いて一定体積 (2 ~ 4 cm³) の試料を分取した。次に、一

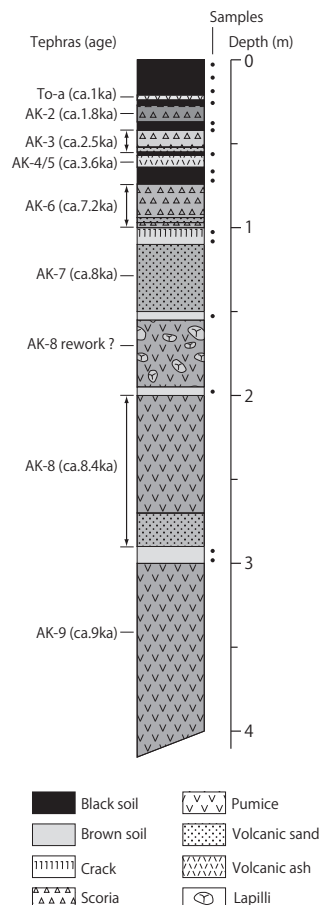


図 3 試料採取露頭の柱状図。

Fig. 3 Columnar section of the outcrop on Mt. Yumori.

定量のマーカーグレン (デュボン社製マイクロスフェア NEM-003) を加えた後、水酸化カリウム処理、塩化亜鉛溶液を用いた比重分離、アセトリシス法による化学処理を行って花粉を濃縮し、プレパラートを作成した。花粉同定には光学顕微鏡を用いて主に 400 倍あるいは 600 倍で検鏡し、樹木花粉数が 300 個以上になるまで計数した。検鏡時には出現した花粉・胞子の同定とともにマーカーグレンを同時に計数し、試料体積あたりの花粉・胞子数を算出した。花粉組成図の作成に際しては、偽高山帯を構成する植生の変化をみるために、総花粉・胞子数を基数とする百分率で表した。

3. 植物珪酸体分析

分析試料からの植物珪酸体の抽出処理は以下の手順と要領で行った。

はじめに、各土壌試料から乾土当たり 1 g 前後を秤量 (秤量値 a) し、過酸化水素処理により有機物を分解した。次に、超音波処理による破碎・分散とジチオナイト法によ

る脱鉄処理を適宜行った後、篩と沈底法により粒径 10 ~ 100 μm 画分を分離した。分離画分は乾燥後に秤量 (秤量値 b) し、乾燥試料の一部をカナダバルサムで封入してプレパラートを作成、400 倍の光学顕微鏡下で同定した。

植物珪酸体の同定は、佐瀬 (2003) に準拠して、イネ科泡状細胞起源 (ファン型) : Bulliform cell (Fan shaped), イネ科短細胞起源 : Short cell, 長細胞等起源 (棒状型) : Elongate, プリッケル細胞起源 (ポイント型) : Prickle hair, 樹木起源 : Tree, シダ起源 : Fern, カヤツリグサ科起源 : Cyperaceae, その他 : Others に区分して行った。このうち、イネ科泡状細胞起源 (ファン型) は、タケ亜科起源 : Bambusoideae と非タケ亜科起源 : Non-Bambusoideae に、イネ科短細胞起源は、タケ型 : Bambusoid, ヒゲシバ型 : Chloridoid, キビ型 : Panicoid, ウシノケグサ型 : Festucoid に区分した。また、プリッケル細胞起源 (ポイント型) はタケ亜科タイプ : Bambusoideae type とその他 : Others に分けた。各プレパラートについて 200 粒以上の植物珪酸体を同定計数し、その総計数を基数に各珪酸体群の頻度を算出して組成図を作成した。なお、珪酸体密度が非常に小さく規定数 (200 粒以上) の珪酸体を計測できなかった試料 15 ~ 11 については組成図に示していない。

植物珪酸体密度は、近藤 (2000) を参考にして、以下の手順で求めた。プレパラート作成後の 10 ~ 100 μm 画分の全量を秤量し (秤量値 c), 50 ml をメスフラスコに移しメスアップ後、十分に懸濁させ、速やかにマイクロピペットで 10 μl を採取した。それをスライドガラスに展開し、乾燥させ、キシレンで希釈したカナダバルサムを封入材としてプレパラートを作成した。顕微鏡下でプレパラート中の植物珪酸体全粒子を計数 (計数値 d) し、次式 : $(5000 \times \text{計数値 d} \times \text{秤量値 a}) / (\text{秤量値 b} \times \text{秤量値 c})$ により珪酸体密度 (乾土 1 g 当たりの植物珪酸体粒数) を算出した。

結 果

花粉分析および植物珪酸体分析の結果に基づいて、花粉組成図 (図 4) および植物珪酸体組成図 (図 5) を作成した。本論文における花粉帯の区分は、偽高山帯の植生を対象とした研究であることから、基本的に高木以外の花粉・胞子の出現率変化に基づいて決定した。一方、植物珪酸体帯の区分は、基本的にササ起源の植物珪酸体の出現率変化に基づいて決定した。本研究では、それぞれの土壌層を細かく層準を分けて分析することはできなかったが、一つの層準だけであっても、その前後とは明らかに違う組成や特徴を示す場合は花粉帯および植物珪酸体帯を分けた。

なお、花粉帯および植物珪酸体帯の年代は、土壌層の堆積速度を一定と想定してテフラの年代 (和知ほか, 1997) から按分して求めた。

1. 花粉分析

本研究では、分析により検出したマツ属単維管束亜属 *Pinus* subgen. *Haploxylon* は低木種として扱った。これは現在、高木性の単維管束亜属のマツであるキタゴヨウ *Pinus parviflora* Sieb. et Zucc. var. *pentaphylla* (Mayr) Henry が湯森山付近には生育しておらず、その他の単維管束亜属の種は分布地が離れているため、*Pinus* subgen. *Haploxylon* 花粉の大部分は周囲に生育するハイマツ由来と考えたからである。

また、Morita & Miyoshi (1988) は、光学顕微鏡下の観察によりハンノキ属 *Alnus* の花粉を形態的特徴からハンノキ亜属 subgen. *Alnus* とヤシャブシ亜属 subgen. *Alnaster* の二つの亜属に区分できることを示している。本研究ではこの記述に基づいてハンノキ属花粉をハンノキ亜属とヤシャブシ亜属に区別して計数し、ハンノキ属ハンノキ亜属 *Alnus* subgen. *Alnus* は高木種、ハンノキ属ヤシャブシ亜属 *Alnus* subgen. *Alnaster* は低木種として扱った。

以上の基準に従って作成した花粉組成図は 5 つの局地花粉帯に区分した。以下、花粉帯ごとに特徴を記す。

YMR-Po-1 帯 (試料 15 ~ 11 : 約 9000 ~ 約 8600 年前)

全体的に産出する花粉・胞子数が少なく、試料 12 以外はプレパラート 2 枚全面を観察しても総花粉・胞子数が 100 粒に満たなかったため、組成図には示さなかったが、*Fagus*, *Gramineae* (試料 11), *monolete type fern* (試料 13), *Ericaceae* (試料 15) の花粉・胞子をそれぞれの層において 10 個以上検出した。試料 12 についても産出花粉数は少なかったが、単条溝型のシダ胞子のみ大量に産出して圧倒的な割合を占めていた。他には *Lycopodium* がやや多く検出された。木本花粉や草本花粉の産出は少なく、*Fagus* が約 3% みられた程度であった。

YMR-Po-2 帯 (試料 10 : 約 8600 ~ 約 7200 年前)

草本花粉の割合が 50% 以上を占め、とくに *Gramineae* が約 35% の割合で検出された。その他の草本種としては *Umbelliferae* や *Sanguisorba* などが、低木種では *Ericaceae* がやや多かった。木本花粉では、*Fagus*, *Quercus* subgen. *Lepidobalanus*, *Juglans/Pterocarya*, *Betula* などが検出されたが、いずれも出現率は小さかった。

YMR-Po-3 帯 (試料 9 ~ 8 : 約 7200 ~ 約 3600 年前)

産出する花粉・胞子が圧倒的に多く、試料体積あたりの総花粉・胞子数は全花粉帯の中で最大であった。花粉組成の比率は、木本花粉が 50% 以上、草本花粉は約 40% であった。高木花粉では *Fagus* が約 15%, *Quercus* subgen. *Lepidobalanus* が 10% 程度、*Juglans/Pterocarya*,

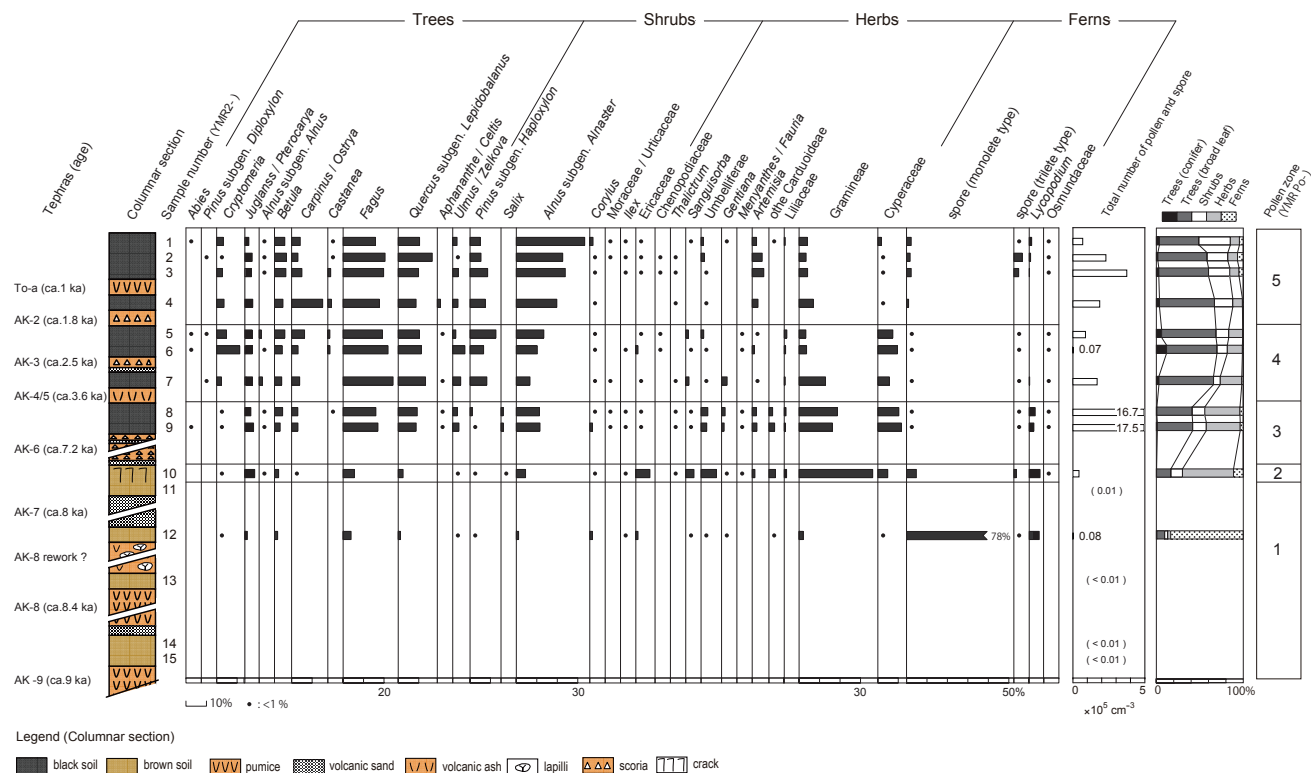


図4 湯森山露頭の主要花粉組成図.

Fig. 4 Pollen diagram of the outcrop on Mt. Yumori.

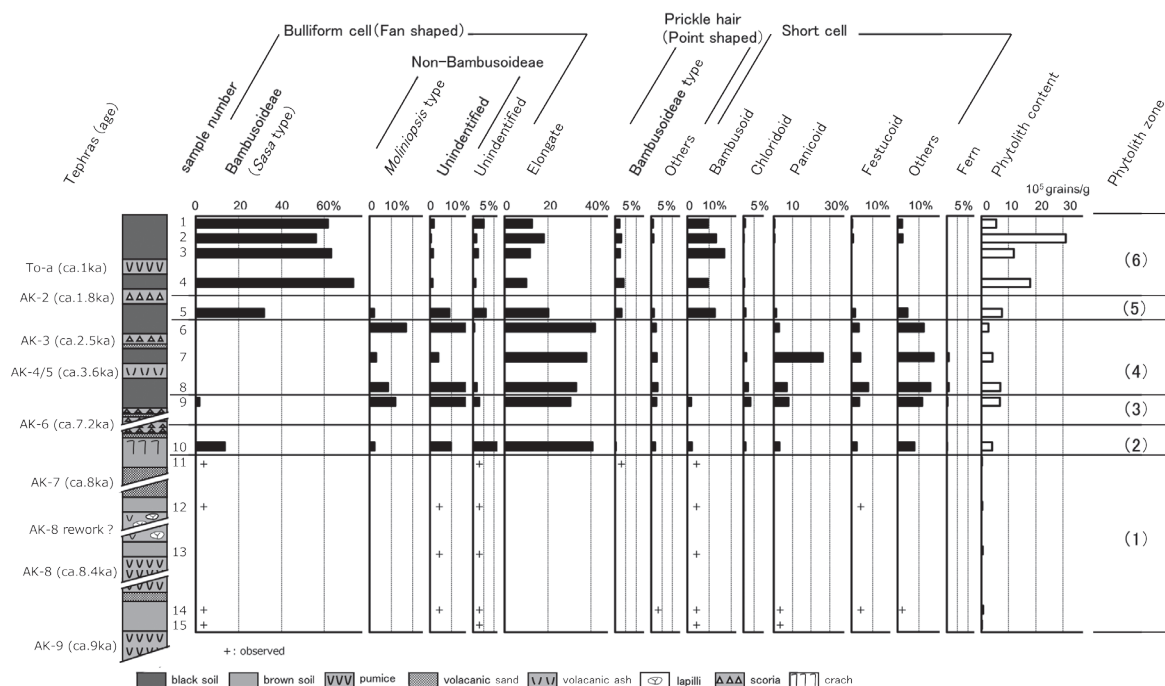


図5 湯森山露頭の植物珪酸体組成図.

Fig. 5 Phytolith diagram of the outcrop on Mt. Yumori.

Betula, *Carpinus/Ostrya* も数 % 程度検出された。低木では *Alnus* subgen. *Alnaster* が 10% 以上を示した。草本では, Gramineae の割合は減少したものの, それでも 15% 以上の出現率で検出され, 草本種の中では最も高い割合を示した。他には Cyperaceae が 10% を越えたほか, Umbelliferae, *Artemisia*, other Carduoideae など多種の草本種花粉が検出された。

YMR-Po-4 帯 (試料 7 ~ 5 : 約 3600 ~ 約 1800 年前)

試料体積あたりの産出花粉数は大幅に減少し, とくに試料 6 では少なかった。試料 6 で少ない理由は不明であるが, AK-3 テフラ由来の鉱物質粒子が多く混じったためかもしれない。また, 草本花粉の割合は Po-3 よりも減少し, この花粉帯中でも上方に向けて減少傾向が続いた。試料 5 では 20% 以下になり, 逆に高木花粉の割合は最も大きくなった。高木花粉では *Cryptomeria* がやや増加して試料 6 では 10% 以上を示し, *Fagus*, *Quercus* subgen. *Lepidobalanus* もやや増加した。低木では *Pinus* subgen. *Haploxylon* が大幅に増加した。草本花粉では, 引き続き Gramineae と Cyperaceae が多かったが, Po-3 帯に比べると少なく, 試料 6, 5 では Gramineae は大きく減少した。

YMR-Po-5 帯 (試料 4 ~ 1 : 約 1800 年前以降)

高木花粉の割合はやや減少し, 低木花粉が増加した。高木花粉では *Carpinus/Ostrya* の一時的な増加を除き大きな変化はみられなかった。低木花粉では *Alnus* subgen. *Alnaster* が大幅に増加した。草本花粉では Cyperaceae が減少し 1% 程度あるいはそれ以下になった一方で, *Artemisia* がやや増加した。その他の分類群では大きな変化はみられなかった。

2. 植物珪酸体分析

検出された植物珪酸体はイネ科以外の植物群に特定できるものはほとんどなかった (わずかにシダ起源が認められた)。本研究では, イネ科短細胞起源の Bambusoid はチシマザサ起源と考えてよいだろう。また, Panicoid, Chloridoid の給源としてヌマガヤ *Moliniopsis japonica* (Hack.) Hayata を想定している。Panicoid はススキなどのキビ亜科 Panicoideae, Chloridoid はシバ属 *Zoysia* などのヒゲシバ亜科 Chloridoideae やヨシ属 *Phragmites* が主要な給源であるが, これらのイネ科は山地帯以下に分布の中心があり湯森山付近には認められない。一方, ヌマガヤはいずれの珪酸体も生産し, 湯森山付近の湿性草原には優勢に生育しているからである。イチゴツナギ亜科 Pooideae の指標である Festucoid については, 亜高山帯~高山帯でごく普通にみられるイワノガリヤス *Calamagrostis*

landorffii (Link) Trin. などのノガリヤス属を主に想定している。

このような珪酸体群集について, 特にタケ亜科起源の動態に注目し, 6 つの植物珪酸体帯を設定した。以下にそれぞれの珪酸体帯の特徴を示す。

YMR-Ph-1 帯 (試料 15 ~ 11 : 約 9000 ~ 約 7600 年前)

珪酸体密度は 7 万個 /g 以下で極めて小さいが, タケ亜科起源珪酸体がほぼ連続して検出された。

YMR-Ph-2 帯 (試料 10 : 約 7600 ~ 約 7200 年前)

泡状細胞起源 (ファン型) では, ササ属タイプ *Sasa* type からなるタケ亜科起源とヌマガヤタイプ *Moliniopsis* type を伴う非タケ亜科起源が拮抗していた。短細胞起源ではウシノケグサ型, キビ型, ヒゲシバ型, タケ型がいずれも認められた。プリッケル細胞起源 (ポイント型) ではタケ亜科タイプが検出された。珪酸体密度はほぼ 40 万個 /g で 1 帯より大幅に増加した。

YMR-Ph-3 帯 (試料 9 : 約 7200 ~ 約 5400 年前)

泡状細胞起源 (ファン型) では, ヌマガヤタイプを明瞭に伴う非タケ亜科起源がタケ亜科起源より圧倒的に優勢であった。短細胞起源ではキビ型, ヒゲシバ型, ウシノケグサ型, タケ型はいずれも認められたが, その中でタケ型の検出率は最も低かった。プリッケル細胞起源 (ポイント型) ではタケ亜科タイプが検出されなかった。珪酸体密度はほぼ 70 万個 /g を示した。

YMR-Ph-4 帯 (試料 8 ~ 6 : 約 5400 ~ 約 2200 年前)

泡状細胞起源 (ファン型) では, タケ亜科起源は検出されずヌマガヤタイプを明瞭に伴う非タケ亜科起源のみが検出された。短細胞起源においては, ウシノケグサ型, キビ型, ヒゲシバ型は検出されるがタケ型は検出されなかった。プリッケル細胞起源 (ポイント型) ではタケ亜科タイプが検出されなかった。珪酸体密度は 70 万 ~ 25 万個 /g を示した。

YMR-Ph-5 帯 (試料 5 : 約 2200 ~ 約 1800 年前)

泡状細胞起源 (ファン型) では, ササ属タイプからなるタケ亜科起源が優勢であるが, 非タケ亜科起源も明瞭に検出された。短細胞起源ではタケ型が最も優勢であるが, ウシノケグサ型, キビ型, ヒゲシバ型も検出された。プリッケル細胞起源 (ポイント型) ではタケ亜科タイプが優勢に検出された。珪酸体密度は 75 万個 /g を示した。

YMR-Ph-6 帯 (試料 4 ~ 1 : 約 1800 年前以降)

泡状細胞起源 (ファン型) では, ササ属タイプからなる

タケ亜科起源が極めて優勢で、非タケ亜科起源は目立たない。短細胞起源でもタケ型が極めて優勢であり、ウシノケグサ型、キビ型、ヒゲシバ型はほとんど検出されなかった。ブリッケル細胞起源（ポイント型）ではタケ亜科タイプが明瞭に連続して検出された。珪酸体密度は54万～310万个/gを示した。

考 察

後氷期の露頭周辺において植生が変化した要因としては、最終氷期終了後の気候変動と秋田駒ヶ岳の火山活動によるテフラの堆積、の2つが主要なものとしてあげられる。両者を厳密に区分してとらえることは難しく、秋田駒ヶ岳地域の特徴として火山活動の影響が大きいことは確かであるが、考察の第1項としては、より広域の植生に影響する気候環境との関係を中心に、花粉及び植物珪酸体の組成からみた植生変化について述べる。第2項では、気候変動の中でも多雪地帯の亜高山帯域の植生に大きな影響をおよぼすと考えられる積雪の変動と植生の変化について、とくにササの盛衰との観点で論じる。最後の第3項において、テフラの堆積を含む土壌等の生育立地環境の変化が局地的な植生に与えた影響や、オオシラビソの分布制限要因について検討する。

本論文では、分析結果の組成図に示される高木花粉は下方あるいは遠方に生育する植生に由来して飛来したもの、低木・草本花粉およびシダ胞子は主に露頭付近および露頭周辺域に生育していた植生由来のもの、植物珪酸体は主に露頭付近の植生由来のもの、として考察を進める。その理由は以下による。現在の露頭周辺の亜高山帯域では樹高の低いダケカンバがわずかに認められるほかに高木性の樹木はみられないこと、完新世前半には活発な火山活動の影響が大きかったことを考え合わせると、完新世の期間中に高木性の森林は成立しなかったと推定できる。そうであれば、高木花粉は必然的に下方あるいは遠方から飛来したものとなるからである。低木・草本花粉やシダ胞子については下方や遠方から飛来した花粉・胞子も含まれるが、主体は周辺の植生から由来したものであろう。また、植物珪酸体は植物体中の葉身などの部位に形成され、植物体の枯死・腐朽とともに地表に堆積していく過程において遠距離の移動は考えにくく、再堆積を除いて露頭付近の植生が主な供給源と考えられる。

1. 花粉組成および植物珪酸体組成から復元する露頭周辺の植生

本論文で設定した花粉帯と植物珪酸体帯を比べると、その期間区分は同一ではなく、約7200～約1800年前の時代の区分が両者で異なっている。これは、植物珪酸体分析

では可能なササの検出が花粉では難しいことによる。その他の期間の区分に違いはなく、大局的に両者の区分はよく一致しているといえる。ここでは便宜的に、対比して議論できる約9000～約7600年前、約7600～約7200年前、約7200～約1800年前、約1800年前以降の4つの期間に分けて当時の植生を推定する。

約9000～約7600年前

花粉、植物珪酸体ともに産出数がきわめて少ない。花粉は好気的環境下では分解されやすいので、長期にわたる分解作用の影響で産出数が少なくなった可能性を検討する必要がある。しかし、検出された花粉をみると、上層に比べて強く分解を受けた花粉や壊れた花粉の割合が多いということはなく、やはり花粉数自体が少なかったと判断した。一方、植物珪酸体は好気的な環境下でもよく保存されるが、こちらも産出数はわずかであった。

この時期は、最終氷期の寒冷な時代が終わり気候の温暖化とともに日本列島各地で急激な植生の変化が起きた時代であり、東北地方の低山帯以下の各地でも亜寒帯性の針葉樹の急激な消滅とブナ属やコナラ亜属などの落葉広葉樹の増加が起こっている（日比野・竹内，1998）。しかし、亜高山帯域については、植被の乏しい環境であった最終氷期の状態から回復しなかったと推定されており（守田，1998）、露頭の周辺も同様の環境であったと考えられる。後述するように、この時代の露頭周辺は秋田駒ヶ岳由来のテフラが連続して厚く堆積したため植生は定着できなかったと推察されるが、その影響以前に、亜高山帯域ではいまだにそうした植生定着が進むような気候条件とはなっていなかった。

以上のように、この時代の露頭周辺は植被に乏しく、それに加えてテフラが厚く堆積したために、火山荒原のような景観であったと考えられる。

約7600～約7200年前

試料10の1層準だけの短い期間ではあるが、ひとつの花粉帯および植物珪酸体帯としてそれぞれ設定した。この層準を境にして、単位体積あたりの総花粉・胞子数や植物珪酸体密度がいずれも増加しており（図4: Total number of pollen and spore, 図5: Phytolith content）、以下に示すような草本種等の定着をうかがわせる。

花粉組成からみると、イネ科の草本が圧倒的に優勢で、これにセリ科やカヤツリグサ科の草本がまじる植生が想定される。Ericaceaeはやや湿った場所に生育するツツジ科の矮性低木または火山の周囲にもみられるイソツツジなどが考えられる。花粉組成全体をみると、Gramineaeが大量に検出されたことにより木本花粉の割合が小さくなった

ため、*Fagus* や *Quercus* subgen. *Lepidobalanus* の出現率は上位の花粉帯 Po-3 以降と比べてかなり低い、高木花粉を基数としてこれらの出現率を計算した場合には、上位の花粉帯 Po-3 以降と大きな違いはみられない。このうち *Quercus* subgen. *Lepidobalanus* は、下方から飛来したミズナラ由来と露頭周辺域に生育するミヤマナラ由来の両方が含まれると考えられるが、詳細は不明である。

植物珪酸体組成からみると、この時期にすでにササの存在が認められる。これより下位の層準でもわずかつ認められていたが、ここでは多数の珪酸体が検出され、露頭付近を含めササが生育していたことは明らかである。また、イネ科の草本では、ヌマガヤやイワノガリヤスなどイチゴツナギ亜科の種が生育していた。

この期間は、後氷期のヒブシサーマル期へと向かう時代であり、気温は上昇して温度環境が改善し、亜高山帯域においても少しずつ植生が定着し始めた。しかし、単位体積あたりの総花粉・孢子数や植物珪酸体密度はまだ小さく、植生量としては貧弱であった。飛来する高木花粉は少なく、山麓の森林も十分には発達していなかったのであろう。また、その後の AK-6 テフラの堆積により、植生の定着は中断あるいは退行したと考えられる。

こうした組成の特徴から、この時代の植生は次のように推定される。露頭付近はチシマザサやヌマガヤ、イチゴツナギ亜科、セリ科、カヤツリグサ科からなる湿性の草原となり、ツツジ科の低木もみられた。また、周囲にはイチゴツナギ亜科を主とするイネ科草本とチシマザサからなるまばらな草原が成立していた。

約 7200 ～約 1800 年前

花粉組成からみると、この期間の前半にあたる約 7200 ～約 3600 年前の時代は、全層位中で試料体積あたりの総花粉・孢子数が最も多く、露頭の周辺域は植生で密に覆われるようになったと考えられる。その中で、*Alnus* subgen. *Alnaster* の増加は周囲に定着して生育し始めたミヤマハンノキに由来するものと考えた。*Alnus* subgen. *Alnaster* としてはこのほかにヒメヤシャブシ *Alnus pendula* Matsumura も考えられるが、ヒメヤシャブシは積雪グライドの攪乱を受ける立地や雪崩常習地などに生育する種であり (小野寺ほか, 1995; 島瀬・奥田, 1999), 湯森山の偽高山帯では平滑な緩斜面が卓越すること、露頭周辺地域で現在ミヤマハンノキが広く生育している状況からみて、主としてミヤマハンノキに由来するものであろう。ミヤマハンノキは不安定な立地に生育する過渡的な植生であるとされている (大場, 1977)。AK-6 の後は 3000 年以上にわたる火山活動休止期となったため、テフラが厚く堆積して平滑であった斜面も開析を受けて不安定な立地が生じ、そうした場所

にミヤマハンノキが新たに侵入した結果であると推察した。草本花粉では、Gramineae が前期に比べ出現率は低下したものの依然として優勢を保っており、Cyperaceae の増加とともに多種類の草本種が検出されることから、露頭付近はイネ科を主としその他の草本種が混生する草原だったと考えられる。

期間後半の約 3600 ～約 1800 年前の時代になると、Gramineae をはじめ多くの草本種が出現率を減少させる一方で *Pinus* subgen. *Haploxylon* が増加した。ハイマツは土壌が凍結するような場所でも生育できることから (池田, 1996), ヒブシサーマル期を過ぎて冷涼な気候となり生育環境が厳しくなったため、冬季季節風が強くあたる尾根部を中心に、それまで生育していたイネ科等の草本種が衰退し、より厳しい環境に対応できるハイマツに入れ替わったと考えられる。

植物珪酸体組成をみると、約 7200 ～約 5400 年前にはそれ以前に比べてササが減少し、さらに約 5400 ～約 2200 年前になると、ササは全く認められなくなった。一方、ヌマガヤやイチゴツナギ亜科のイネ科草本が勢力を広げた。その後約 2200 ～約 1800 年前にはササが再び勢力を回復し、ヌマガヤやイチゴツナギ亜科のイネ科草本と混在するようになった。なお、約 7200 ～約 3600 年前の時代は試料体積あたりの総花粉・孢子数が大幅に増加したのに対して、植物珪酸体密度の増加が顕著に認められない。これは、高い珪酸体生産量を示すササが露頭付近では衰退したことによると思われる。

以上のことから、この時代の植生変化をまとめると次のようである。気候はヒブシサーマル期を迎えた後、次第に気温が低下する中で、露頭付近ではイネ科を中心とした草本からなる草原が発達した。露頭付近のササはこの時代の初め以降衰退したが、約 2200 年前になって再び拡大した。露頭の周辺域では、約 7200 年前以降ミヤマハンノキが開析の始まった沢ぞいなどで定着し、約 3600 年前になると尾根部の風衝地などでハイマツが勢力を拡大した。

約 1800 年前以降

花粉組成からみると、草本種が減少し低木種が増加した。草本種の中では Cyperaceae が減少するとともに *Artemisia* がやや増加し、最表層を除くと全体的に湿性の草本種の産出が少なくなった。低木種の *Alnus* subgen. *Alnaster* が表層に向けて増加していることと合わせて考えると、露頭付近の草原は縮小してその周囲でミヤマハンノキが勢力を広げたと考えられる。草原縮小の主要因は、後述のようにササが勢力を拡大したことによる。また、ミヤマハンノキ拡大の原因としては、AK-2 以降は To-a が薄く堆積しただけで地表は落ち着いた反面、開析が進んで不安定な立地の面

積が広がったことが考えられる。一方、植物珪酸体組成からみると、露頭付近はヌマガヤやイチゴツナギ亜科が衰退してササが圧倒的に優勢な植生となった。

気候環境は、前の時代までのやや冷涼な気候から変化し、1000年前頃には中世温暖期と呼ばれる暖かい時代となった。このため、厳しい環境のためハイマツが優占して生育していた尾根沿いの場所でも、そうした条件が緩和されてチシマザサが侵入して再び生育するようになった。こうして、露頭周辺域では現在みられるようなチシマザサ群落が優占して生育するようになったと考えられる。

これらのことから、この時代の植生は次のように推定される。露頭付近では、ササが優勢となってその他の草本種は衰退した。露頭の周辺域では、開析の進んだ沢沿いなどでミヤマハンノキが勢力を拡大した。また、尾根上の風衝地のハイマツ群落中にもササが侵入して生育するようになり、露頭付近と周辺域でササが圧倒的に優勢となった。

2. ササの盛衰からみた積雪環境の変遷

前項で示したように、露頭付近のササは約2200年前以降次第に優勢となり、現在は露頭周辺域も含めてチシマザサで広く覆われている。また、約7600年前でもササが生育していたことを明瞭に示す珪酸体が検出されたが、約7200年前以降ササは衰退し、約5400～約2200年前ではササの生育を示す植物珪酸体は検出されていない。このことは、ササが生育する環境が一旦整った後に大きく衰退したことを示している。この原因は何であろうか。

約7200年前以降、ヒブシサーマル期を迎え、草本植生が繁茂し土壌も発達した。ヒブシサーマル期を過ぎると気温は低下したが、ササの生育を妨げるほどの低下ではなかったと推定される。北海道におけるササの地史的動態を明らかにした佐瀬ほか(2011)によれば、ササの生育限界の温度条件は暖かさの指数(WI)が17°C・月程度で、現在の中部千島の気温に相当するとしており、露頭より約300 m高い標高にある岩手山の観測地点(気象庁, 1958)でもWIは25.2°C・月であることを考慮すると、ヒブシサーマル期後に露頭付近でそれほど気温が低下したとは考えられないからである。また、テフラの堆積は断続的に続いていたものの、以前と比較すれば噴火規模とその影響は格段に小さくなっており、ササの生育を大きく阻害するほどではなかったであろう。そのほか、テフラの堆積により不透水層が生じ、過湿環境となったために衰退した可能性も考えられるが、この時代以外にも多数噴出・堆積したテフラでは衰退が認められないことと整合しない。したがって、こうした温度環境や土壌養分、堆積環境の変化でササが衰退したとは言いがたい。

ササ衰退についての要因を検討する中で、もっとも影響

が大きいと考えられたのは積雪環境が変化したことである。最終氷期終了後の急速な温暖化にともない、8000年前になると日本海へ対馬暖流が本格的に流入するようになって(大場ほか, 1980; 大場, 1989)、氷期の乾燥・寒冷な環境から湿潤・多雪な環境へと大きく変化したことが知られており、現在は多雪環境にある露頭付近の植物にも大きな影響があったと推定される。積雪は、植物を被覆して冬季の寒冷な気温による凍結から守る働きがある一方で、積雪量の増加は消雪時期を遅延させて植物の生育期間を短縮させる一面もあり、それが限度を超えると生育そのものが困難となる。試料を採取した露頭は主尾根南東斜面にあり、冬季季節風の風背で雪の吹きだまりが形成されやすい場所に位置している。吹きだまりによる積雪は偏在するため場所による違いが大きい。露頭付近では初夏まで残雪が解け残る。露頭付近よりもさらに消雪時期が遅い露頭北東にある湿原は、夏まで残る雪の融雪水が涵養して形成されたものであろう(図2)。これまでの現地での観察から、現在の気候環境下における露頭付近の消雪時期は5月下旬～6月上旬頃とみられる。少雪年と多雪年の5月中下旬における残雪の状況を図6に示す。とくに多雪であった1996年の消雪は6月中旬頃まで遅延したと推定される。このように、現在の気候環境下でも露頭付近のササ草原は消雪時期がかなり遅く、多雪のために成立している雪田草原に準じた積雪環境にある。したがって、後氷期の気候変化によって露頭付近の積雪が増大したとすれば、ササの生育期間に影響を及ぼした可能性が高く、約8000年前に対馬暖流が本格的に日本海へ流れ込むようになって積雪環境が変化したことは、露頭付近で約7200年前からササが衰退しはじめたことと年代的に調和する。

小泉(1984)は上越平標山の山頂尾根周辺において土壌と植生の調査を行い、広い範囲に埋没泥炭が分布していることを見出し、その成因がネオグレスエーション期の多雪寒冷化にあることを推定した。その中で、現在はササ原となっている場所にも埋没泥炭が存在することを示している。また、佐々木・荻谷(2000)は同じ平標山に分布するより広い範囲の埋没泥炭を調査し、土層に挟在する指標テフラの年代から生成開始期はおおむね7200～6100年前(8000～7000 cal yBP)であることを明らかにした。その後、Kariya et al. (2004)は、後氷期の気候変動にともなう消雪の遅れが平標山のササの衰退をもたらしたと推定し、その年代として4800～4400年前頃(5600～4940 cal yBP)頃から衰退が始まり1400～700年前頃(1300～680 cal yBP)頃まで継続したことを示している。このように、平標山では完新世の気候変動にともなう積雪環境の変化がササの盛衰を左右してきたとみることができる。Kariya et al. (2004)が示したササ衰退の年代は、本研究

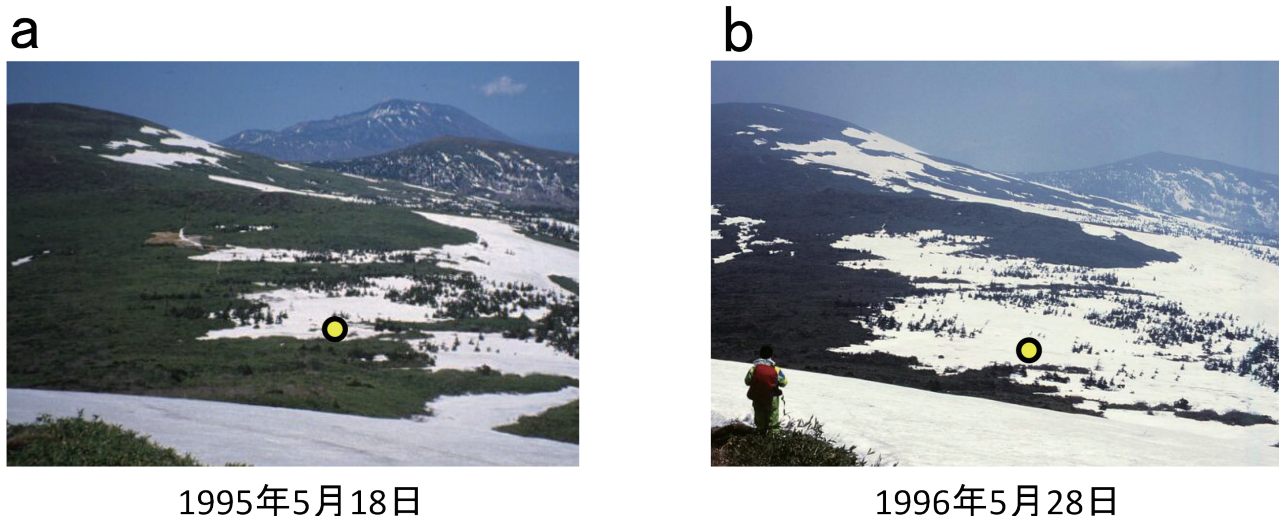


図6 露頭周辺における残雪期の写真。少雪年：1995年5月18日（梶本卓也氏撮影）、(b) 多雪年：1996年5月28日。丸印は露頭の位置を示す。

Fig. 6 Photos of the study site in snow-melt season. (a) 18 May 1995 (photo by T. Kajimoto), (b) 28 May 1996. Both circles indicate the point of the outcrop.

において見出したササの珪酸体が全く検出されない期間の年代と似通った値であり、この時代、多雪山地の風背斜面などのとくに積雪量が増加した場所では、同様の理由でササ草原の衰退が起こっていたのかもしれない。

こうした過去の積雪増加に起因するササ衰退に対して、近年の地球温暖化にともなう影響では、湿原の乾燥化とともにササが湿原中へ侵入するという逆方向の遷移が起きていることが報告されている。安田・沖津（2001）は、上越山地平ヶ岳の山頂部において湿原と周辺植生をまたぐ5つのトランセクトを設けてその移行状態を調べた結果、湿原縁部にハイマツやチシマザサが多く分布し、これらの種が湿原へと侵入したこと、その原因としては積雪の減少によることを推定している。その後の研究では、上越国境山岳域一帯では積雪量が長期的な減少傾向にあることを示し（安田・沖津、2006）、1977～2004年の33年間に湿原面積が約10%減少したことを明らかにした（安田ほか、2007）。以上のように、温暖化にともなう積雪の減少に対して、多雪山地のササの分布が拡大する方向での変化が起こっている。

Daimaru et al. (2002) は、湯森山の北東約3 kmに位置する笹森山の雪田草原において、草本植生の密度や消雪時期を調べ、雪田土壤中に十和田aテフラとともにみられる1000年前頃の埋没泥炭は、中世温暖期に積雪が減少して消雪時期が早まり、植生量の多い草原の面積が増えて堆積するリターが増えたことが原因で形成されたと推定した。湯森山と笹森山は距離的に近く気候環境はほぼ同じで、湯森山の露頭が主尾根南東側の風背斜面にあることから、積

雪は笹森山の雪田と同じような増減傾向で推移してきたと推定される。したがって、1000年前頃の温暖な時代には積雪が減少し、それに対応して植生が変化した可能性がある。笹森山雪田内の土壌では十和田aテフラ以前の古い堆積物をあまり含んでいないため、Daimaru et al. (2002) ではそれ以前の気候変動については言及していないが、気候変動にともなう積雪量の変化は連続して起こってきたはずであり、それに対応して植生も変化してきたと考えるべきであろう。

以上のことを総合すると、ササは気候変動にともなう積雪変化に対して敏感に反応し勢力を変化させてきたと考えられる。このことから、検出されたササの珪酸体からササの動態が推定可能な約7600年前以降についてみると、露頭付近における積雪環境およびササ草原はおおよそ次のように変遷してきたと推察される。すなわち、約7600年前頃には密度は高くなかったが露頭付近にササが少数生育していた。しかし、約7200年前以降次第に積雪が増加するとともにササは衰退していった。約5400年前になると、ササが生育できないようなきわめて多雪な環境となって露頭付近からは消滅し、雪田草原が形成され約2200年前まで継続した。その後積雪は次第に減少し、約1800年前以降は現在の積雪条件に近い環境となり、雪田草原から再びササ草原に変化して現在に至っている。

3. 偽高山帯における土壌・植生の発達過程とオオシラビソの分布制限要因

調査露頭では、AK-9より上位の断面中に、表層の土壌

を含めて合計9枚の土壌層がテフラに挟まれるようにして認められる(図3)。これらの土壌は、各テフラが堆積した後にその上位のテフラが堆積するまでの時間に生成されたものである。それぞれの層厚は、最表層を除くと10 cm以下で厚い層はないが、いずれも数百年以上の時間をかけてできたものであり、AK-6とAK-4/5の間では約3600年の時間を要している。露頭断面の中でみるとテフラ層の占める割合が圧倒的に大きく土壌層は薄いために、一見ただけではこれらの土壌が生成するのに要した時間は短いように思えるが、実際はそうではないことがわかる。すなわち、完新世の期間を通じて秋田駒ヶ岳の火山活動によるテフラの堆積が断続的に起こり、その間隙の火山活動休止期に数百年以上の時間をかけて、くりかえし土壌が生成して新たな土層が形成されてきたことを示している。土壌層形成に要した時間に対して土壌が薄いのは、テフラが堆積した後の植生回復に時間を要したことや、亜高山帯域の厳しい気候環境などが影響しているのであろう。

秋田駒ヶ岳の火山活動は、AK-6(約7200年前)までは大規模噴火が多くAK-5(約3600年前)以降は規模が小さくなるように噴火様式が変遷してきたとされており(和知ほか, 1997)、調査地の露頭におけるテフラの堆積状況をみても、上位に比べるとAK-6まではテフラがきわめて厚く堆積していることが明らかである。このため、AK-6まではテフラが堆積する度に貧弱な植生は破壊され、発達途上の土壌もテフラに埋もれてしまったと考えられる。したがって、テフラ間に数百年程度の時間間隙はあるものの、AK-6までは土壌は発達することができなかった。その後火山噴火規模が小さくなってテフラ堆積の厚さは減少し、温暖な気候条件も加わって露頭付近では次第に土壌が形成される条件が整っていった。

土壌の色もAK-6を境にして明瞭に変化している。土色は、基本的には土壌生成に寄与する腐植の給源植生量を反映するが、露頭における土色の変化をみると、AK-6までは褐色を呈しており腐植に乏しく、それより上位の時代から土壌の黒みが増して黒色～黒褐色の腐植に富む土壌となっている(図3)。AK-6直下の土壌層上部は褐色で腐植には乏しいものの、この層準はヒプシサーマル期の初頭にあたり、花粉および植物珪酸体の量がともに増加していることから、植生量が増して土壌の発達はこの時代から本格化し始めたと考えられる。しかし、AK-6が25 cm以上の厚さで堆積したために土壌生成は一時中断した。周辺植生への影響も大きかったが、それでもAK-7以前に比べればテフラの堆積が厚くなかったために壊滅的な植生破壊には至らなかったと推測される。このため、テフラの堆積がより少なかった場所では元の植生が残され、AK-6降下後は植生の回復とともに温暖な気候条件のもとで腐植質の土壌

が形成されるようになった。その後は、テフラの堆積はあってもそのつど腐植質の土壌層が形成されており、約1800年前以降はTo-aを薄く挟むだけで腐植に富む土壌が現在まで安定して形成されている。こうした土壌層の形成を通じて植生の発達が促進され、亜高山帯針葉樹林の拡大にも影響していると考えられる。

守田(2000)は、偽高山帯を持つ山岳に現在小面積で分布しているオオシラビソなどの亜高山帯針葉樹が後氷期に拡大できなかったおもな理由として、冬季の強風、多雪、土壌の未発達をあげている。湯森山ではこれらのどの要因も影響している可能性がある。しかし、強風や多雪の環境については、亜高山帯針葉樹林が発達している隣接の八幡平地域も同様で(大丸, 2002)、湯森山周辺がとくに厳しいということは考えにくい。したがって、強風や多雪が植生に及ぼす影響は大きいものの、それだけでオオシラビソの分布を合理的に説明することは難しい。少なくとも湯森山周辺の偽高山帯については、先に述べた土壌発達の遅れがオオシラビソの分布拡大を阻害してきた大きな要因と考ええる。

後氷期初頭の火山荒原のような状況から植生が定着するまでには、テフラ堆積の影響もあって時間を要したが、土壌と植生は相互に影響を及ぼしつつ発達してきた。その中で、湯森山から笹森山にかけての山頂尾根部には現在もオオシラビソはほとんど生育しておらず、ハイマツ・風衝低木群落のほかチシマザサの中にミネカエデやナナカマドなどの低木が生育する偽高山帯的な景観が卓越している。これらの場所は、冬季季節風が吹きつけて植物の生育を阻害するとともに、積雪が少ないために土壌凍結などの影響も大きく、この地域の偽高山帯の中でも気象条件が厳しい場所である。こうした環境条件はオオシラビソの生育そのものに影響するとともに、土壌の発達を遅れさせた可能性もある。

一方で、亜高山帯域の下部に目を向ければ、オオシラビソ林がかなり広がっている場所もみられる(図2)。これは、八甲田山や八幡平などでは後氷期における針葉樹花粉の増加開始が現在の亜高山帯下部付近で始まる、という守田(2000)が指摘する状況と相似であり、増加開始年代が少し遅れているだけのように見える。実際にも、秋田駒ヶ岳地域で実施された表層堆積物の花粉分析結果では、*Abies*の出現率はまだ大きくないものの、2500年前以降の増加傾向は明らかである(池田, 2002)。また、湯森山から宿岩に至る尾根沿いでは、湿原の周りなどでオオシラビソがかなりの個体数で生育しているほか、ササ原の中に点々と単木あるいは小集団で分布しているのが確認できる。このことは、この地域がいずれオオシラビソ優占の森林となる前段階にあることを暗示するものといえよう。

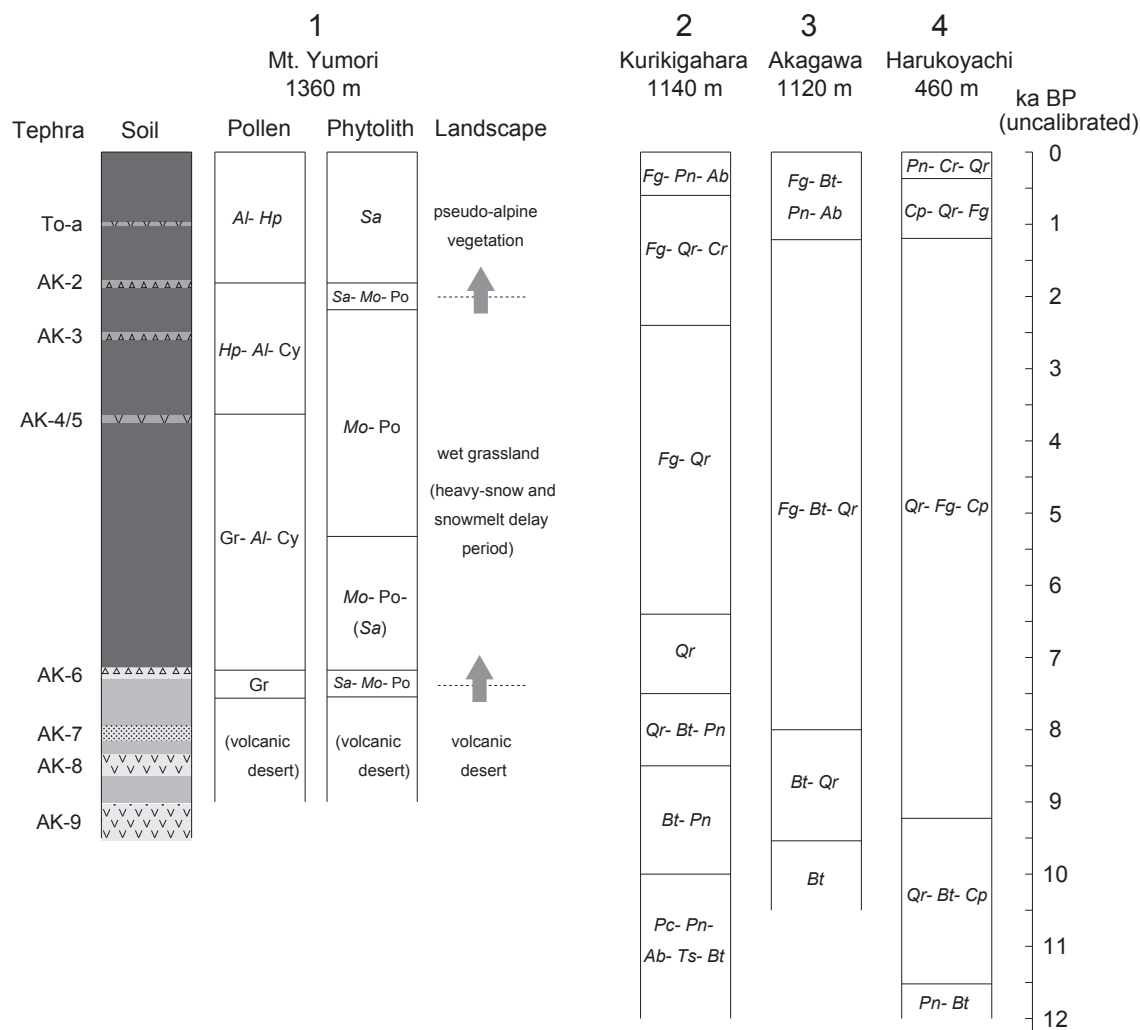


図7 湯森山の花粉帯および植物珪酸体帯と周辺地域の花粉帯の対比。湯森山の花粉帯は低木・草本種で優勢な分類群を示した。Al: ハンノキ属やシャブシ亜属, Hp: マツ属単維管束亜属, Cy: カヤツリグサ科, Gr: イネ科, Sa: ササ属, Mo: ヌマガヤ属, Po: イチゴツナギ亜科, Fg: ブナ属, Pn: マツ属, Ab: モミ属, Qr: コナラ属コナラ亜属, Cr: スギ属, Bt: カバノキ属, Pc: トウヒ属, Ts: ツガ属, Cp: クマシデ属。1: 本研究 2: 守田 (1990); 八幡平南部 3: 池田・大丸 (2012); 八幡平中部 4: 吉田・吉木 (2008); 岩手山麓。

Fig. 7 Vegetation history around the outcrop on Mt. Yumori. Al: *Alnus* subgen. *Alnaster*, Hp: *Pinus* subgen. *Haploxylon*, Cy: Cyperaceae, Gr: Gramineae, Sa: *Sasa*, Mo: *Moliniopsis*, Po: Pooideae, Fg: *Fagus*, Pn: *Pinus*, Ab: *Abies*, Qr: *Quercus* subgen. *Lepidobalanus*, Cr: *Cryptomeria*, Bt: *Betula*, Pc: *Picea*, Ts: *Tsuga*, Cp: *Carpinus*. 1: This study, 2: Morita (1990), 3: Ikeda & Daimaru (2012), 4: Yoshida & Yoshiki (2008).

4. まとめ—湯森山偽高山帯の植生変遷—

ここまでの議論に基づいて、湯森山偽高山帯における土壌形成と植生変遷の過程をまとめ、隣接する八幡平地域で明らかにされている1万年以上の植生変遷史と対比して示す(図7)。八幡平地域では、山地の下部は晩氷期にはカバノキ属とコナラ亜属を主とする森林で、その後はコナラ亜属が優勢し、ブナ属やクマシデ属などをともなう森林となった(吉田・吉木 2008)。一方、亜高山帯下部にお

ける分析によると、晩氷期にはトウヒ属をはじめとする針葉樹やカバノキ属が優勢とみられたが、その後はコナラ亜属やブナ属が優勢となり、1000年前頃からはモミ属が増加して優勢種の一つとなった(守田, 1990; 池田・大丸, 2012)。ただし、これら亜高山帯域の分析結果には、下方から飛来した花粉が影響している。

以上に示した八幡平地域の植生史をふまえたうえで、湯森山偽高山帯の環境変化と植生変遷について整理すると

次のとおりである。最終氷期終了後、気候は温暖化して山岳の下方では急速に植生が回復したが、亜高山帯域ではまだ生育環境は厳しく植被が乏しいままであった。それに加えて、露頭付近では秋田駒ヶ岳の火山活動が活発で厚いテフラの堆積が相次いだため、約7600年前までは湯森山周辺は植被のまばらな火山荒原のような景観が継続していた。その後、気温が少しずつ上昇するとともに、草本種が定着して土壌も形成され始めた。露頭付近や周辺域ともにササを含むイネ科の疎らな草原が形成されたが、AK-6 テフラの堆積により植生定着と土壌形成は一時的に中断した。約7200年前を過ぎるとヒプシサマル期を迎えるとともにテフラの堆積も小規模になり、草本植生が繁茂し土壌が発達した。しかし、次第に積雪量が増加するようになるにしたがい、露頭付近では夏まで残る残雪により植物の生育にも影響するようになった。露頭付近はヌマガヤ、イワノガリヤスなどのイネ科やカヤツリグサ科の草本が優占する湿性草原となり、ササは露頭周辺域に後退して約5400年前には露頭付近からは消滅した。また、厚いテフラの堆積が途絶えると、地表面の開析が進んで形成された不安定な立地にミヤマハンノキが定着した。その後、ヒプシサマル期を過ぎると気温が低下し、約3600年前にかけて露頭周辺域ではハイマツが勢力を伸ばした。露頭付近は引き続きイネ科やカヤツリグサ科が優占する草原が継続した。約2200年前になると、露頭付近の積雪量はやや減少して露頭付近には周辺域から再びササが侵入しヌマガヤなどの草本種は衰退をはじめ、約1800年前以降にはササが優占して繁茂するようになり、1000年前前後の中世温暖期をさんで、露頭付近および周辺域ともにササが圧倒的に優勢な植生となった。露頭周辺域では地表面の開析が次第に拡大し、ミヤマハンノキが勢力を広げた。オオシラビソの勢力はいまだに弱い、亜高山帯域の下部から徐々に勢力を拡大しつつあり、尾根部でも少数が生育し始めている。

おわりに

本論文は、湯森山の山頂尾根部に広がる偽高山帯的な景観がどのような過程を経て成立し、どのような植物で構成されてきたか、という視点でまとめた。花粉分析と植物珪酸体分析の結果に加えて、気候環境やテフラおよび土壌の堆積様式とその変化など、さまざまな観察結果からの検討を加えて導き出したものである。偽高山帯におけるササの変遷をはじめとする新たな知見が得られたが、課題も残された。そのひとつは、現在の偽高山帯植生で広くみられるミネカエデやナナカマドなどの変遷が不明なことである。虫媒であるこれらの種は検出されにくい、その変遷を花粉分析で追うことは容易ではない。また、本論文は1地点だけの分析結果に基づくものであり、論考の検証のため

に域内でのさらなる分析が望まれる。さらに、中部地方から東北地方の広範囲にみられる偽高山帯には、湯森山のような火山地域ではないところもある。テフラの影響が全く異なるそうした場所でも、同様の調査を行っていく必要があるだろう。

謝 辞

本論文の調査地域の図を作成するにあたり、森林総合研究所四国支所の杉田久志氏にはオオシラビソの分布データを使用させていただいた。また、森林総合研究所植物生態研究領域の梶本卓也氏からは湯森山で撮影した残雪期の写真を提供していただいた。両氏に深く感謝いたします。この研究は、著者の池田が森林総合研究所東北支所勤務時代に、この地域の研究を同支所の同僚と進めてきたことが端緒となっている。これまで共同で研究を行い、多方面にわたりご協力いただいた皆様に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- Daimaru, H., Ohtani, Y., Ikeda, S., Okamoto, T. & Kajimoto, T. 2002. Paleoclimatic implication of buried peat layers in a subalpine snowpatch grassland on Mt. Zarumori, northern Japan. *Catena* 48: 53–65.
- 大丸裕武. 2002. 世界に誇る多雪山地、「雪山の生態学」(梶本卓也・大丸裕武・杉田久志編), 13–26. 東海大学出版会, 東京.
- 越前谷 康・武田英文. 1985a. 秋田県における高海拔高のスギ群落 (I). 日本林学会東北支部会誌 No. 37: 186–188.
- 越前谷 康・武田英文. 1985b. 秋田県における高海拔高のスギ群落 (II). 日本林学会東北支部会誌 No. 37: 189–190.
- 畠瀬頼子・奥田重俊. 1999. 越後山脈、守門岳における低木林の分布と地形および積雪の関係. 植生学会誌 16: 39–55.
- 日比野紘一郎・竹内貞子. 1998. 東北地方の植生史. 「図説日本列島植生史」(安田喜憲・三好教夫編), 62–72. 朝倉書店, 東京.
- 池田重人. 1996. 奥羽山地の亜高山帯山頂部における植生分布と土壌凍結. 「地球の温暖化が植物に及ぼす影響の解明に関する研究」(環境庁地球環境研究総合推進費終了研究報告書), 102–107. 環境庁.
- 池田重人. 2002. 拡大する針葉樹林. 「雪山の生態学」(梶本卓也・大丸裕武・杉田久志編), 194–207. 東海大学出版会, 東京.
- 池田重人・大丸裕武. 2012. 八幡平赤川湿原付近における過去約1万年間の植生史. 第59回日本生態学会大会講演要旨集, P2–030J.
- Inoue, K. 1980. Stratigraphy, distribution, mineralogy, and geochemistry of Late Quaternary tephra erupted from the Akita-Komagatake volcano, northeastern Japan. *Soil Science and Plant Nutrition* 26: 43–61.
- 梶 幹男. 1982. 亜高山性針葉樹の生態地理学的研究—オオシラビソの分布パターンと温暖期気候の影響—. 東京大学農学部演習林報告 No. 72: 31–120.
- 梶本卓也. 2002. 風衝地低木群落を支える積雪環境. 「雪山の

- 生態学」(梶本卓也・大丸裕武・杉田久志編), 125–140. 東海大学出版会, 東京.
- Kariya, Y., Sugiyama, S. & Sasaki, A. 2004. Changes in opal phytolith concentrations of Bambusoideae morphotypes in Holocene peat soils from the pseudo-alpine zone on Mount Tairappyo, central Japan. *The Quaternary Research* 43: 129–137.
- 気象庁, 1958. 山岳気候表 (昭和 14 年～昭和 23 年). 気象庁観測技術資料 No. 9: 5.
- 小泉武栄・山川信之・原 篤・坂本里美, 1984. 上越平標山の埋没泥炭層からみた完新世後期の気候変化. 地理学評論 57: 739–748.
- 近藤錬三, 2000. 植物ケイ酸体. 「化石の研究法—採集から最新の解析法まで」(化石研究会編), 942–947. 共立出版, 東京.
- 守田益宗, 1990. 栗木ヶ原湿原の花粉分析. 「栗木ヶ原湿原学術調査報告書」(菅原喜悦編), 22–43. 岩手県.
- 守田益宗, 1998. 亜高山帯針葉樹林の変遷. 「図説日本列島植生史」(安田喜憲・三好教夫編), 179–193. 朝倉書店, 東京.
- 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.
- Morita, Y. & Miyoshi, N. 1988. Palynological study of the genus *Alnus* (Betulaceae) in Japan. *Ecological Review* 21: 183–199.
- 小野寺弘道・田邊裕美・梶本卓也・大丸裕武, 1995. 多雪斜面における積雪動態と樹木の生態的特性. 森林立地 37: 59–66.
- 大場忠道・堀部純男・北里 洋, 1980. 日本海の 2 本のコアによる最終氷期以降の古環境解析. 考古学と自然科学 13: 31–49.
- 大場忠道, 1989. 日本海の環境変化—過去 8.5 万年の歴史—. 科学 59: 672–681.
- 大場達之, 1977. 亜高山針葉樹林帯. 「日本の植生」(宮脇昭編), 332–367. 学習研究社, 東京.
- 太田 哲, 1956. 落葉広葉樹林型亜高山森林植生帯の分布考察. 日本林学会誌 38: 482–487.
- 佐々木明彦・荻谷愛彦, 2000. 三国山地平標山の亜高山帯に分布する泥炭質土層の生成開始期. 季刊地理学 52: 283–294.
- 佐々木尚子, 2003. 瓶ヶ森氷見二千石原における過去 700 年間の植生景観と人間活動. 日本生態学会誌 53: 219–232.
- Sasaki, N., Kawano, T., Takahara, H. & Sugita, S. 2004. Phytolith evidence for the 700-year history of a dwarf-bamboo community in the sub-alpine zone of Mt. Kamemamori, Shikoku Island, Japan. *Japanese Journal of Historical Botany* 13: 35–40.
- 佐瀬 隆・細野 衛・鬼丸和幸・星野フサ・渡邊眞紀子, 2002. 北海道, 美幌峠および周辺域における晩氷期以降の植物珪酸体群集からみた植物相と土壌相の変遷—ササ草原の成立と黒ボク土層の生成開始時期—. 美幌博物館研究報告 No. 9: 25–48.
- 佐瀬 隆, 2003. 植物ケイ酸体. 「地球環境計測辞典. 第 1 巻: 陸域編」(竹内 均監修), 974–981. フジ・テクノシステム, 東京.
- 佐瀬 隆・細野 衛・三浦英樹, 2011. 植物珪酸体群集変動からみた北海道における最終間氷期以降のササの地史的動態—ササを指標とした積雪・温度環境の推定—. 植生史研究 20: 57–70.
- 四手井綱英, 1952. 奥羽地方の森林帯 (予報). 日本林学会東北支部会誌 No.2: 2–8.
- 四手井綱英, 1956. 裏日本の亜高山帯の一部に針葉樹林帯の欠如する原因についての一つの考え方. 日本林学会誌 38: 356–358.
- Stuiver, M., Reimer, P. J., Bard, E., Beck, J. W., Burr, G. S., Hughen, K. A., Kromer, B., McCormac, G., van der Plicht, J. & Spurk, M. 1998. INTCAL98 radiocarbon age calibration, 24,000–0 cal BP. *Radiocarbon* 40: 1041–1083.
- Sugita, H. 1992. Ecological geography of the range of the *Abies mariesii* forest in northeast Honshu, with special reference to the physiographic conditions. *Ecological Research* 7: 119–132.
- 安田正次・沖津 進, 2001. 上越山地平ヶ岳湿原の乾燥化に伴うハイマツ・チシマザサの侵入. 地理学評論 74: 709–719.
- 安田正次・沖津 進, 2006. 上越国境山地における積雪の長期変動—平ヶ岳の植生変化に関連して—. 地理学評論 79: 503–515.
- 安田正次・大丸裕武・沖津 進, 2007. オルソ化航空写真の年代比較による山地湿原の植生変化の検出. 地理学評論 80: 842–856.
- 吉田明弘・吉木岳哉, 2008. 岩手山南東麓春子谷地湿原の花粉分析からみた約 13,000 年前以降の植生変遷と気候変化. 地理学評論 81: 228–237.
- 和知 剛・土井宣夫・越谷 信, 1997. 秋田駒ヶ岳のテフラ層序と噴火活動. 火山 42: 17–34.

(2015 年 12 月 1 日受理)