

原 著

五十嵐八枝子¹・五十嵐恒夫²・遠藤邦彦³・山田 治⁴・中川光弘⁵・
隅田まり⁶：北海道東部根室半島・歯舞湿原と落石岬湿原における
晩氷期以降の植生変遷史

Yaeko Igarashi¹, Tsuneo Igarashi², Kunihiro Endo³, Osamu Yamada⁴, Mitsuhiro Nakagawa⁵ and Mari Sumita⁶: Vegetation history since the Late Glacial of Habomai Bog and Ochiishi Cape Bog, Nemuro Peninsula, eastern Hokkaido, north Japan

要 旨 北海道根室半島東部の歯舞湿原と同半島基部の落石岬湿原から得られた堆積物について、テフラの同定、年代測定、および花粉分析を行い植生変遷史を明らかにした。テフラは、歯舞湿原では上位からKo-c₂, Ko-d₁, Ta-c₁, Ma-f₁の4層が分布し、落石岬湿原ではKo-c₂とTa-aの混合層とTa-c₁の2層が認められた。歯舞では12,000 yr B.P.に高層湿原が誕生して現在に至った。湿原周縁の植生は12,000～11,000 yr B.P.はグイマツを主とし、エゾマツ/アカエゾマツと、わずかにトドマツやハイマツを混じえたタイガであった。11,000～10,000 yr B.P.はひじょうに寒冷で乾燥した気候のもと、グイマツの疎林が発達した。著者らはYounger Dryas期に対比されるこの寒冷期を「歯舞亜氷期」と新称した。10,000 yr B.P.からグイマツは急減して、7000 yr B.P.までに消滅した。その後トドマツは消滅したが、エゾマツ/アカエゾマツは半島に優勢に分布した。5200 yr B.P.にエゾマツ/アカエゾマツは半島基部まで後退し、*Quercus*を主とする広葉樹林が成立して現在に至った。暖かさの指数からみて亜寒帯に属する半島に針葉樹が分布しなかった要因として、半島東部へ吹き付ける強い局地風による乾燥が考えられる。落石岬湿原ではLoc. 1とLoc. 2で4600 yr B.P.に泥炭が堆積し始めた。その頃から湿原周縁にアカエゾマツや、*Quercus*, *Betula*, *Alnus*が分布し、2500 yr B.P.からトドマツが増加した。Loc. 1とLoc. 2で湿原を取り巻く森林の構成種に増減が見られるのは、地下水位の変化に伴って針葉樹と広葉樹の間で競合が繰返された結果である。

キーワード：落石岬湿原，花粉分析，植生史，テフラ，歯舞湿原

Abstract Vegetation history since the Late Glacial was reconstructed by means of pollen analysis and radiocarbon measurement for sediments obtained from Habomai Bog and Ochiishi Cape Bog, Nemuro Peninsula, eastern Hokkaido. Four tephra layers, Ko-c₂, Ko-d₁, Ta-c₁, and Ma-f₁, were discriminated in Habomai Bog in the descending order. Two layers, a mixed one of Ko-c₂ and Ta-a and one of Ta-c₁, were also discriminated in Ochiishi Cape Bog. In Habomai Bog, high bog has developed since 12,000 yr B.P. Taiga composed mainly of *Larix gmelinii* with *Picea jezoensis* and/or *Picea glehnii* and a few *Abies sachalinensis* and *Pinus pumila* was distributed between 11,000 and 12,000 yr B.P. Between 10,000 and 11,000 yr B.P., open *Larix* taiga was distributed under an extremely cold and dry climatic condition. We named this period “Habomai Stadial”, which probably correspond to the Younger Dryas. After disappearance of *Larix gmelinii* at 7000 yr B.P., *Picea jezoensis* and/or *Picea glehnii* survived there till 5200 yr B.P. A broad-leaf forest composed mainly of *Quercus* was established at 5200 yr B.P. and has existed there to the present. The dry condition caused by the strong local wind prohibited the distribution of conifer trees. In Ochiishi Cape Bog, peat has been deposited since 4600 yr B.P. A *Picea glehnii* forest mixed mainly with *Abies sachalinensis* and *Quercus* has developed around the bog till present. Fluctuations in forest components around the bog might be caused by changes of the underground water level.

Key words: Habomai Bog, Ochiishi Cape Bog, pollen analysis, tephra, vegetation history

¹ 〒001-0039 札幌市北区北39条西3丁目 アースサイエンス(株)

Earthscience Co.Ltd, North 39, West 3, Kita-ku, Sapporo 001-1139, Japan

² 〒061-1134 北広島市広葉町3-7-5

Koyochō 3-7-5, Kita-hiroshima, Hiroshima 061-1137, Japan

³ 〒156-8550 東京都世田谷区桜上水3-25-40 日本大学文理学部地球システム教室

Dept. of Geosystem Sciences, Nihon University, Sakurajosui 3-25-40, Setagaya-ku, Tokyo 156-8550, Japan

⁴ 〒603-8047 京都市北区上賀茂本山 京都産業大学

Kyoto Sangyo University, Kita-ku Kamigamo Motoyama, Kyoto 603-8047, Japan

⁵ 〒060-0810 札幌市北区北10条西8丁目 北海道大学大学院理学研究科地球惑星物質科学専攻

Dept. of Earth & Planetary Sciences, Hokkaido University, North 10 West 8, Sapporo 060-0810, Japan

⁶ Dept. Volcanology & Petrology, GEOMAR Research Center for Marine Geoscience, Wischhofstr. ID-24148 Kiel, Germany

はじめに

北海道の沿岸域には多くの湿原が発達する。特に東部には釧路湿原、霧多布湿原をはじめ30余の湿原が集中して分布する。これらの湿原の多くは海岸低地に発達している。これに対し、根室半島、同半島基部地域、および沖合いのユルリ島には標高20~40mの急崖で海に接する台地上に湿原が発達する(富士田ほか, 1997)。

北海道東部における海岸低地の湿原は、縄文海進後の海退に伴って成立した(上杉, 1984; 岡崎, 1966)とされるが、台地上の湿原については、その成立要因や成立期が海岸低地の湿原と異なることが推定される。さらに、根室半島地域の植生は、半島部と基部では明らかに異なる。現在半島部に針葉樹は分布しないが、半島基部地域ではトマツがミズナラと混交林をなし、湿地ではアカエゾマツ林が成立する(館脇, 1943)。本研究では、ともに台地上に発達する根室半島東部の歯舞湿原(仮称、以下省略)と同半島基部の落石岬湿原について、その成立期、成立要因、および植生史を明らかにする目的で、堆積物の花粉分析と年代測定を行った。同時に、本地域の泥炭中に広く認められる複数のテフラについて、その給源を明らかにするため同定を行った。本稿は、小野・五十嵐(1991)で概略報告した内容に、その後の花粉分析地点、テフラの同定、および年代測定を追加して詳細に報告するものである。

調査地域の概要と調査方法

1. 調査地域の地質と地形

根室半島および基部地域には、白亜紀後期の根室層群を基盤とし、更新世の海岸段丘堆積物、および完新世の泥炭、火

山灰層、氾濫原堆積物が順次堆積する。根室層群は、半島では標高10~32mでおおむね平坦であるが緩い起伏をもち、落石岬では、ほぼ45mの平坦な段丘性台地をなす。台地の標高10~15mの面には、厚さ1~2mの砂、礫からなる海岸段丘堆積物がのる。それより上位の面には、10~30cmの含礫風化土壌がのるだけで段丘堆積物はなく、表層に湿原が発達するところが多い(藤原・三谷, 1959; 三谷ほか, 1958)。沖積地は現在の河川流域にわずかに発達し、おもに砂、礫、粘土の氾濫原堆積物が分布する。台地上には流入河川はなく、台地を切る浅い支谷が多数発達する(図1)。

2. 調査地域の気象

冬季は晴天乾燥の表日本型気候であるが、夏季は北大平洋高気圧から吹き出す暖気塊が近海を流れる親潮寒流の上を通過する際、下層から冷却されて海霧が多発する。そのため両地域は、釧路地域と共に北海道の他地域に比べて気温が低い。また、特に根室地方は、知床山脈から吹き下ろす羅臼だし風と呼ばれる局地風を強く受ける。これはボラ型の強風で、低温、低湿をひき起こす(根室測候所, 1979; 大川, 1992)。過去30年間の根室市の気象資料(日本気象協会北海道本部, 1991)によると、2月の平均気温は -5.3°C 、8月の平均気温は 17.1°C 、年平均気温は 5.9°C 、年降水量は1035.4mmである。植物の生育期間の積算温度である温量指数WI(吉良, 1949)は、歯舞が根室の気象資料から $45.3^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ 、落石岬が茶内の気象資料から $46.8^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$ であり(日本気象協会北海道本部, 1991)、日本列島ではもっとも低い地域である。橋(1997)は、北海道の低地湿原をWIと年平均気温によって3分した。両湿原は、そのうちの年平均気温 5.6°C 以下、

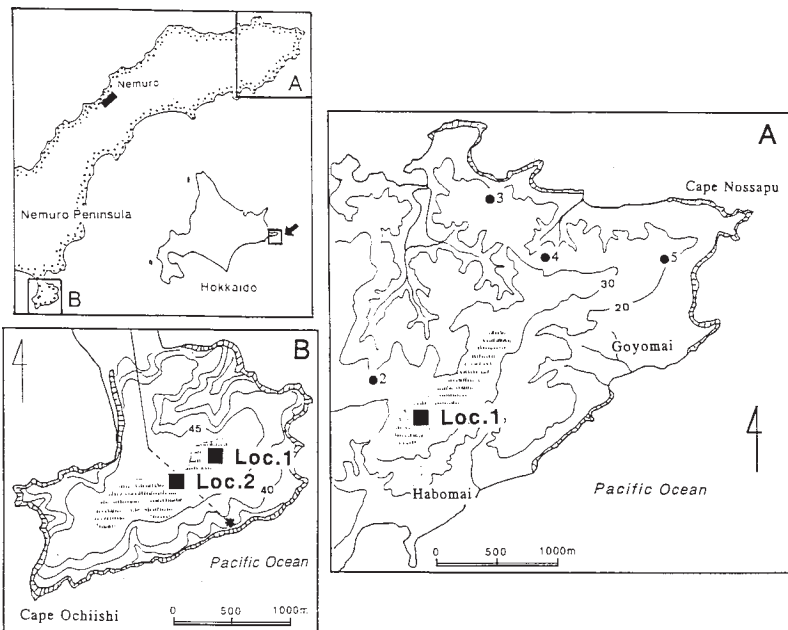


図1 調査地域位置図。— A: 歯舞湿原。Loc. 1: 試料採取地点, 2-5: 泥炭層厚の調査地点。— B: 落石岬湿原。Loc. 1, Loc. 2: 試料採取地点, 破線: 木道, *: 落石岬灯台。

Fig. 1 Location map of the study areas. — A: Habomai Bog. Loc. 1: sampling site, 2-5: measuring points of peat thickness. — B: Ochiishi Cape Bog. Loc. 1, Loc. 2: sampling sites, broken line: wooden path, *: Ochiishi Cape lighthouse.

WI 45°C以下の落石 - コルリ島グループに入れられている。両湿原は、上述した夏季の海霧によって持続されていると考えられる。

3. 調査地の植生

1) 歯舞地域

半島では永年にわたる放牧と開拓による森林伐採がすすんだ結果、ケヤマハンノキ *Alnus hirsuta* 林、ダケカンバ *Betula ermanii* 林、ミズナラ *Quercus crispula* 林の小林分が点在するのみである（館脇, 1942）。これら広葉樹はいずれも風衝形を呈する。なお、凹地や台地を刻む小沢にはハンノキ *Alnus japonica* の茂みが発達する。歯舞地域より東部一帯には、かつて湿原が広く発達していたと考えられるが、そのほとんどが牧草地に転換されており、一部が残されているのみである。5地点で堆積物の層相を調査したところ、各地点ともテフラや粘土を挟んで厚さ50~160 cmの泥炭が発達している（図1A）。現存の湿原は東西約3 km、南北約1 km、面積約300 ha（橘ほか, 1999）で、台地の尾根部から斜面にかけて原地形を覆うように発達している。試料採取地点には、高さ35~45 cmのブルトと幅30~45 cmのシュレンケが発達する。ブルトにはヤチヤナギ *Myrica gale* var. *tomentosa* や、ガンコウラン *Empetrum nigrum* var. *japonicum*、イソツツジ *Ledum palustre* ssp. *diversipilosum* var. *nipponicum*、コケモモ *Vaccinium vitis-idaea*、クロマメノキ *Vaccinium uliginosum*、ツルコケモモ *Vaccinium oxycoccus*、モウセンゴケ *Drosera spathulata*、ナガボノシロワレモコウ *Sanguisorba tenuifolia* var. *alba*、ヒラギシスゲ *Carex augustinowiczii*、ミズゴケ属 *Sphagnum*、ハナゴケ属 *Plagiochila* が見られ、シュレンケにはヒラギシスゲや、ミズバショウ *Lysichiton camtschatcense*、ミズゴケ属などが生育する。

2) 落石岬

落石岬湿原は、標高約46 mの台地上に東西方向に1300 m、南北方向に約300 mの規模で発達する。泥炭の厚さは、落石岬灯台に向かう木道以北では、1.3~1.5 mとほぼ一様であり、湿原の基盤は平坦である。湿原周縁の森林はアカエゾマツ *Picea glehnii* の純林である。北部では、アカエゾマツ林を取り巻いて外側から広葉樹林分、広葉樹・トドマツ *Abies sachalinensis* 林分、アカエゾマツ・トドマツ林分が分布する。広葉樹・トドマツ林分はトドマツ、ダケカンバ、ミズナラの混交林である（林野庁常広営林支局・日本林業技術協会, 1999）。低地の湿原のアカエゾマツ林は、北海道の北部と東部に見られ（館脇, 1943）、本湿原は低地にありながら山地の湿原と同じアカエゾマツ湿地林に囲まれたミズゴケ湿原である（矢部, 1993）。本湿原のアカエゾマツ林は、夏

季の日照不足と低温という気候条件と過湿土壌条件が特別な群落成立の要因になっているにもかかわらず、nutrient rich型の針葉樹湿地林と位置づけられている（富士田ほか, 1994）。アカエゾマツの分布東限は根室半島基部にあり（館脇, 1943）、落石岬のアカエゾマツは東限に近い位置にある。さらに落石岬には、サハリンや東シベリアなど亜寒帯区系域に主要な分布域をもち、日本列島では落石岬にのみ隔離分布する天然記念物のサカイツツジ *Rhododendron lapponicum* subsp. *parvifolium* と、北太平洋に広く分布し、日本列島周辺では落石岬と千島列島にのみ見られるキヨシソウ *Saxifraga bracteata* が分布する。湿原にはこれらのほかに主なものとして、ガンコウランや、イソツツジ、ミツバオウレン *Coptis trigolia*、ホロムイソゲ *Carex middendorffii*、ワタスゲ *Eriophorum vaginatum* などが生育している（館脇・萬濃, 1936）。

4. 花粉分析用試料の採取と分析

歯舞湿原では、泥炭層のもっとも厚い Loc. 1 (N43°21', E145°45'10", 標高33 m) において、ヒラー型ピートサンプラーによって200 cmのコアを採取した（図1A）。落石岬湿原では、Loc. 1, Loc. 2の2箇所ヒラー型ピートサンプラーを用いてコアを採取した（図1B）。Loc. 1は落石岬灯台へ向かう木道の北東にあり、湿原のほぼ中央 (N43°10'54", E145°31', 標高46 m) でアカエゾマツ林の林縁から約150 m離れている。Loc. 2はアカエゾマツ林に近い木道のすぐ横 (N43°9'55", E145°30'50", 標高46 m) である。¹⁴C年代は、歯舞湿原および落石岬湿原 Loc. 1の泥炭について、それぞれ2層準を選び測定した。

両湿原とも、コアは厚さ3~5 cmに分割して1試料として分析した。化石花粉の抽出はKOH, HF, ZnCl₂の飽和溶液およびアセトリシス液処理によった。検鏡に際しては、湿原性低木のEricales, *Myrica*, *Ilex*を除いた木本類を200個以上同定し、その間に検鏡されたすべての花粉、胞子を同定した。産出率は湿原性低木を除いた木本類の総数を基数として計算した。分析結果を花粉組成図に示すに際して一部の分類群の産出率がきわめて高く表現しにくいいため、一定量を超える場合には星印をつけ、かつ花粉帯の説明の中に産出率を示した。

5. テフラの分析方法

歯舞湿原の表層に分布するテフラについて火山ガラスの屈折率に基づいて検討した。テフラ試料は、花粉試料の採取地点に近い湿原の表層を約50 cm掘りさげて現われた断面から採取した。

道東地域の表層には樽前火山のTa-aおよびTa-bや北海道駒ヶ岳火山のKo-c₁やKo-c₂、Ko-dなどの最近350年間の

表1 歯舞湿原と落石岬湿原から得られた¹⁴C年代値

Table 1 Radiocarbon ages of peat from Habomai Bog and Ochiishi Cape Bog

| Sampling site | Material | Depth (cm) | ¹⁴ C age (yr B.P.) | Calibrated age (2σ cal BC) | Laboratory No. |
|---------------|----------|------------|-------------------------------|----------------------------|----------------|
| Habomai | peat | 68-73 | 2,030 ± 40 | 146-66 AD ¹⁾ | KSU-1189 |
| Habomai | peat | 155-160 | 10,000 ± 140 | 10,123-9,021 ²⁾ | KSU-1190 |
| Ochiishi Cape | peat | 80-100 | 3,150 ± 90 | 1,615-1,147 ³⁾ | N-6669 |
| Ochiishi Cape | peat | 122-126 | 4,610 ± 100 | 3,614-2,997 ⁴⁾ | KSU-1416 |

Ages 1), 3), and 4) were calibrated using a calibration curve by Stuiver & Pearson (1993), and age 2) was calibrated using a curve by Kromer & Becker (1993). The calibrated age ranges reported here are those yielding 90-99% probability at 2σ. KSU: Kyoto Sangyo University, N: Nishina Memorial (Tokyo).

テフラが広く分布することが知られている(隅田, 1988; 徳井, 1988; 遠藤ほか, 1988b; 遠藤・隅田, 1996)。これらのテフラの性質は比較的類似しているが、それぞれ給源近くでは多数のユニットからなり、降下軽石、降下火山灰、火砕流堆積物など多様であるばかりでなく、ユニットによる火山ガラスの屈折率は変化する。遠藤ほか(1989)はこうしたユニットによる火山ガラスの屈折率の変化にも着目して、これらと道東の表層テフラとの関係を論じた。ここではその結果に基づいて、テフラの対比を検討した。

落石岬湿原のテフラの分析は北海道教育大学旭川校のEPMA (JEOL JXA8600)を用いて加速電圧 15 kV, 電流値 1×10^{-8} A, ビーム照射範囲: $10 \times 10 \mu\text{m}$ の条件で行い、テフラの火山ガラスの主成分全岩化学組成を用いた TiO₂-K₂O 図による対比(奥村, 1988)を行った。

結 果

1. 試料採取地点の層序と年代

1) 歯舞湿原

調査地は原形を保った形で残された湿原である。地表から深度 160 cm までは緻密な黒色泥炭が発達し、深度 26 ~ 27 cm (第1層), 62 ~ 68 cm (第2層), 113 ~ 123 cm (第3層)の3層のテフラを挟んでいる。泥炭の下位は植物片混じり粗砂と細砂を経て基底の灰色シルトに達する。

2) 落石岬湿原

Loc. 1 では深度 0 ~ 130 cm は黒色泥炭で、泥炭の下位は砂層である。深度 19 ~ 20 cm (第1層)と深度 57 ~ 59 cm (第2層)に2層のテフラを挟んでいる。また、深度 90 ~ 110 cm は木片を多数含んでいる。Loc. 2 では 0 ~ 135 cm は水分の多い黒色泥炭で、泥炭の下位は砂層である。挟在するテフラは深度 20 ~ 21 cm と深度 62 ~ 65 cm に2層認められ、層相から Loc. 1 の第1層と第2層にそれぞれ対比した。テフラや泥炭の深度がほぼ一致することから2地点の泥炭はほぼ同一期間に堆積したと考えられる。

3) ¹⁴C年代値

歯舞湿原は、155-160 cmの試料が10,000 ± 140 yr B.P., 68-73 cmの試料が2030 ± 40 yr B.P.であり、落石岬湿原の¹⁴C年代値は、122-126 cmの試料が4610 ± 100 yr B.P., 80-100 cmの試料が3150 ± 90 yr B.P.であった(表1)。以下本論で用いる年代は補正年代ではない。

2. テフラの層序と分析結果

歯舞湿原の表層に分布するテフラは3層で、上位から便宜上NH-1, NH-2, NH-3と名付けた。NH-1(深度13-15 cm)の上部はベージュ色火山灰で、下部に厚さ2 ~ 3 mmの白色細粒火山灰を伴う。NH-2(深度20-22.5 cm)は白色細粒火山灰で、NH-3(深度34-40 cm)は褐色細粒火山灰である。各テフラの火山ガラスの屈折率は次のとおりである。NH-1は、上部で平均1.4984(レンジ1.4960-1.5035; 1.4977に主ピーク, 1.5009に副ピーク), 下部で平均1.4987(レンジ1.4963-1.5026)で上部とほぼ同様の結果を示す。NH-2は平均1.4992(レンジ1.4983-1.5003)で、集中性の良い単一ピークを示す。NH-3は平均1.5009(レンジ1.4987-1.5068)である。

歯舞湿原における花粉試料の採取地点は、テフラの採取地点からそれていたためか、NH-1は確認できなかったが、NH-2とNH-3は層相の一致から花粉試料採取地点の深度26 ~ 27 cmと62 ~ 68 cmに挟在するテフラと同一のものと確認した。

落石岬湿原では Loc. 1, Loc. 2 においてほぼ同じ深度に2層のテフラが存在する。深度20 cm前後に挟在する第1層は白色細粒火山灰で、深度60 cm前後に挟在する第2層は茶褐色細粒火山灰層である。

3. 花粉分析

歯舞湿原

木本花粉組成の特徴をもとに下位からHB-1帯 ~ HB-8帯の8局地花粉帯に区分した(図2, 3)。各帯の年代は2層準の¹⁴C年代値とテフラの年代値に基づいて堆積速度から算定

した。なお、HB-1帯の下限の年代を12,000 yr B.P.と推定した理由は、続くHB-2帯が後で述べるように Younger Dryas 期に対比されることと、HB-1帯がその直前の寒冷気候がやや緩和した Allerød 期に対比されるためである。

HB-1帯（深度195–169 cm: 12,000–11,000 yr B.P.）: *Larix*が最大値37%で産出し増加傾向にある。また*Picea*と*Betula*を30%以下で伴う。ほかに低率の*Abies*と、*Ulmus*、*Corylus*、*Juglans*を産する。Cyperaceaeが26～96.8%の範囲で高率に産し、ほかにEricalesと、Ranunculaceaeや、Caryophyllaceae、Tubulifloraeなどの草本類は多様であり、かつ高率に産出する。本帯でのみ*Tsuga*と*Selaginella selaginoides*が検出された。

HB-2帯（深度169–159 cm: 11,000–10,000 yr B.P.）: *Picea*と*Abies*は低率となりHB-1帯で検出された*Ulmus*や、*Corylus*、*Juglans*は産出しない。*Larix*が最大値72%に達し、*Betula*や、*Alnus*、*Quercus*を低率で伴う。Cyperaceaeは37～350%の範囲で高率に産し、*Sphagnum*は最大値51%で産出するが、HB-1帯に比べて広葉草本類は減少する。

HB-3帯（159–148 cm: 10,000–9000 yr B.P.）: *Larix*は上部へ向かって急減し、かわって*Picea*が急増し65%に達する。非高木類はEricalesと、*Sphagnum*（8–65%）、Cyperaceae、Osmundaceaeを低率に産する。

HB-4帯（148–123 cm: 9000–7000 yr B.P.）: *Picea*と*Abies*がさらに増加するとともに、*Larix*は減少し本帯で消滅する。非高木類はHB-3帯同様Ericalesと*Sphagnum*を比較的高率に産する。

HB-5帯（123–110 cm: 7000–6000 yr B.P.）: *Picea*が減少するとともに*Abies*はわずかとなる。かわって*Quercus*や、*Alnus*、*Ulmus*、*Juglans*、*Acer*などが産出し始める。非高木類は前帯に比べ*Sanguisorba*や、*Artemisia*、他のTubuliflorae、Osmundaceaeなどが増加する。

HB-6帯（110–100 cm: 6000–5200 yr B.P.）: *Picea*が最大値75%まで増加し、かわって*Quercus*をはじめ広葉樹が減少する。Osmundaceaeが27～81%と優勢である。

HB-7帯（100–37 cm: 5200–700 yr B.P.）: *Picea*が急減し、*Quercus*が最大値50%に達した。*Betula*や、*Alnus*、*Ulmus*、*Carpinus*、*Juglans*、*Acer*もこれまでより増加する。Ericalesは最大値236%まで、*Sphagnum*は238%まで急増すると共に、*Thalictrum*や、*Sanguisorba*、*Artemisia*、他のTubuliflorae、Cyperaceaeなどの草本類と、Osmundaceaeが増加する。

HB-8帯（37–0 cm: 700 yr B.P.～現在）: *Quercus*はやや減少し、*Betula*と*Alnus*が優勢になる。*Sphagnum*とOsmundaceaeが減少し、かわって*Myrica*や、*Sanguisorba*、*Artemisia*、他のTubuliflorae、Gramineaeが増加する。特に*Myrica*は67～255%と優勢である。

8帯を通してみると、高木花粉の花粉・孢子総数に占める割合（高木率と仮称する）は、HB-1～6帯では20～82%であるが、HB-7、8帯で13～51%と低下する。

落石岬湿原

1) Loc. 1

木本花粉組成の特徴をもとに下位からOC-1帯～OC-5帯の5局地花粉帯に区分した（図4, 5）

OC1-1帯（135–112 cm: 4700–3900 yr B.P.）: *Picea*が最も高率で55%に達し、次いで*Quercus*が30%以下で検出される。*Sphagnum*が本帯上部で40%に達するほかは非高木類に乏しい。

OC1-2帯（112–48 cm: 3900–2000 yr B.P.）: *Picea*が減少し、*Quercus*が43%まで増加する。*Betula*や、*Alnus*、*Ulmus*がOC1-1帯よりやや増加する。*Abies*は上方へ増加する。非高木類は下部で*Thalictrum*や、Leguminosae、Tubulifloraeなど草本類が多様化し、上部でEricalesが急増する。

OC1-3帯（47–32 cm: 2000–700 yr B.P.）: *Picea*と*Abies*が増加し、広葉樹は減少する。非高木類ではEricalesが急減し、かわって*Sphagnum*が増加する。

OC1-4帯（32–18 cm: 700–250 yr B.P.）: *Picea*と*Abies*が減少し、前帯で減少した広葉樹が増加する。Ericalesと*Sphagnum*は減少するが、*Coptis*や、*Artemisia*、Gramineaeなどが増加する。

OC1-5帯（18–0 cm: 250 yr B.P.～現在）: ふたたび*Picea*と*Abies*が増加し、広葉樹は減少する。Ericalesと*Myrica*は一旦増加するが表層で急減し、かわって*Sanguisorba*や、*Geranium*、Tubuliflorae、*Lilium*、Gramineaeなどの草本類が増加する。

5帯を通して高木率は80%以下であるが、OC1-2帯で12～47%と他帯より低い。

2) Loc. 2

下位からOC2-1帯～OC2-4帯の4局地花粉帯に区分した（図6, 7）

OC2-1帯（146–108 cm: 4700–3900 yr B.P.）: *Picea*が70～90%と優占し、非高木類ではOsmundaceaeが高率である。

OC2-2帯（108–50 cm: 3900–2000 yr B.P.）: *Picea*がやや減少し、*Abies*や、*Quercus*、*Betula*、*Alnus*が増加し始める。非高木類はOsmundaceaeと共にEricalesと*Myrica*が高率となり、最上部で*Sanguisorba*や、Leguminosae、Tubulifloraeなど広葉草本類が多様化する。

OC2-3帯（50–20 cm: 2000–250 yr B.P.）: *Picea*がさらに減少し、*Abies*や、*Betula*、*Quercus*、*Ulmus*が前帯より増加する。*Myrica*のほか、*Sanguisorba*や、Tubuliflorae、

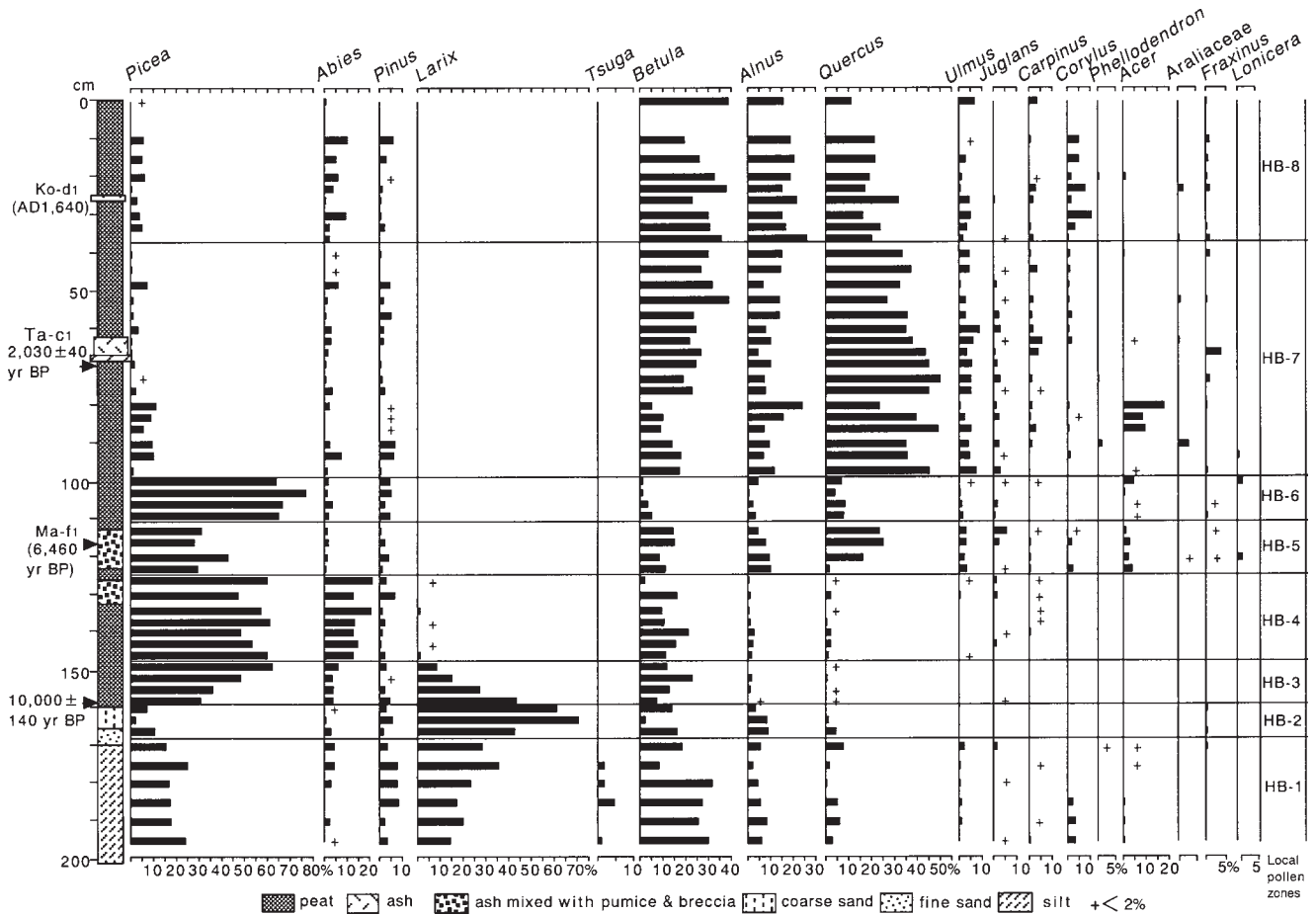


図2 歯舞湿原から得られた晩氷期以降の木本(低木を除く)花粉組成図。

Fig. 2 Arboreal pollen (except shrub) diagram since Late Glacial from Habomai Bog.

Cyperaceae, Gramineaなどの草本類が増加する。

OC2-4帯(20-0 cm: 250 yr B.P. ~ 現在): ふたたび *Picea* と *Abies* が増加し, *Betula* と *Quercus* がやや減少する。Ericales と *Myrica* は高率だが, 草本類は著しく減少する。

4帯を通して高木率は90%以下で, Loc. 1より高いものの, OC2-2帯上部からOC2-3帯にかけて12~54%に低下する。

考 察

1. テフラの対比

歯舞湿原の3層テフラのうち, NH-1の屈折率の主ピークは, 駒ヶ岳1694年噴火Ko-c₂(勝井・石川, 1981)の主降下軽石層準(上部1.4985, 下部1.4977)に相当する。副ピークは最上部の火山灰層準(1.5034)が混じったものと考えられる。NH-2については, 樽前火山1667年噴火Ta-b(勝井・石川, 1981)の降下軽石(平均1.4989)や駒ヶ岳1640年噴火Ko-d(勝井・石川, 1981)の上部火山灰Ko-d₁(平均1.4992)の屈折率に近く, とくに後者に対比される。NH-

3は, 樽前火山の降下軽石Ta-c₁(平均1.5021, レーンジ1.4993-1.5056)に対比される可能性がある。道東では古くから矢臼別層(2280 ± 90 yr B.P.; 佐々木ほか, 1971)と呼ばれる給源不明のテフラが知られていたが, 矢臼別層の一部はTa-c₁の可能性があると考えられている(遠藤ほか, 1988b; 徳井, 1988)。ほかに, 今回は屈折率の測定を行っていないが, コアの深度110~120 cmに分布する軽石砂礫混じり火山灰は層相および分布(佐々木, 1972)から摩周火砕流堆積物Ma-f₁(6460 ± 130 yr B.P.; Katsui et al., 1975)に対比される。

落石岬湿原のテフラは, 分析の結果, ガラス組成および火山灰の採取深度を考慮すると, 第1層は樽前火山1739年噴火Ta-a(勝井・石川, 1981)とKo-c₂の混合物, 第2層はTa-bあるいはTa-c₁と考えられる。歯舞湿原のテフラとの対比から第2層はTa-c₁と推定される。すなわち, 歯舞のNH-1は落石岬の第1層に, 歯舞のNH-3は落石岬の第2層にそれぞれ対比される。

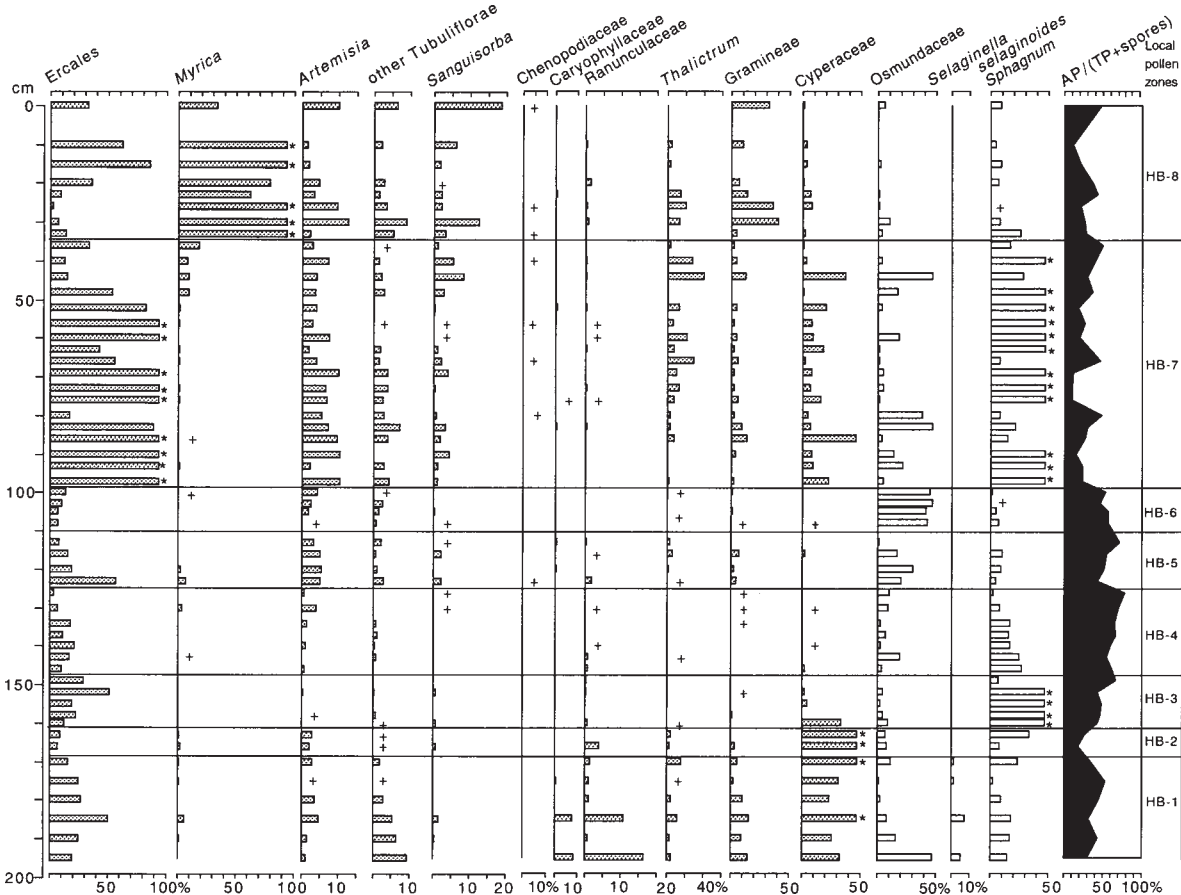


図3 歯舞湿原から得られた晩水期以降の低木・草本花粉および孢子組成図。*：100%以上。

Fig. 3 Shrub, non-arboreal pollen and spore diagram since Late Glacial from Habomai Bog. *: over 100%.

2. サハリンの植生と表層花粉

歯舞湿原から得られた晩水期の花粉群から植生を復元する際の基礎資料として、サハリンの現在の植生について述べる。サハリンの植生は、中部を北西・南東方向に境するシュミット線 (Kudo, 1927) によって二分される。シュミット線以南は南部の湿原を除いてエゾマツとトドマツを主とし、*Quercus* や、*Ulmus*、*Juglans* などの冷温帯広葉樹をわずかながら混交する森林が発達する。南部の湿原にはこれらの樹種とグイマツやハイマツが混交林を形成する (春木・松田, 1992; 五十嵐, 1989)。シュミット線以北はエゾマツと、グイマツ、ハイマツを主とし、わずかにトドマツを混じえた森林が発達する (工藤, 1924; 五十嵐ほか, 2000)。

氷期の花粉分類群のうち *Larix* は、氷期の北海道から大型遺体が発見され (矢野, 1970)、かつ現在サハリンに分布するグイマツ *Larix gmelinii* (工藤, 1924) と考えられる。*Picea* は現在サハリン全土においてグイマツと共存するエゾマツ *Picea jezoensis* あるいはサハリン南部でグイマツと共存するアカエゾマツの可能性が高い。*Pinus* と *Abies* も同じ

くサハリンでグイマツと共存するハイマツ *Pinus pumila* とトドマツと考えられる。

サハリンの植生と表層花粉組成の関係の研究 (Alexandrova, 1982; 五十嵐ほか, 1993; Mikishin & Gvozdeva, 1999) によると、もっとも顕著な特徴はグイマツにおける立木密度と花粉産出率の関係である。グイマツ花粉は母樹の立木密度に対し、過小に産出する。他方、グイマツと共存するエゾマツ花粉は母樹の立木密度に対し過大に産出する。ハイマツ、トドマツは立木密度と花粉産出率がほぼ調和する。上記の資料をもとに次に古植生を復元する。

3. 歯舞湿原の植生変遷史

12,000 ~ 11,000 yr B.P. (HB-1 帯期) には、グイマツを主とし、エゾマツ/アカエゾマツと、わずかにトドマツやハイマツを混じえたタイガが高層湿原の周縁に発達した (図8)。混交した *Betula* が北海道東部に遺存するヤチカンバやサハリンの湿原に生育する *Betula exilis* などの矮性種なのか、あるいは高木性カバノキ属であるかの検討は行っていないので

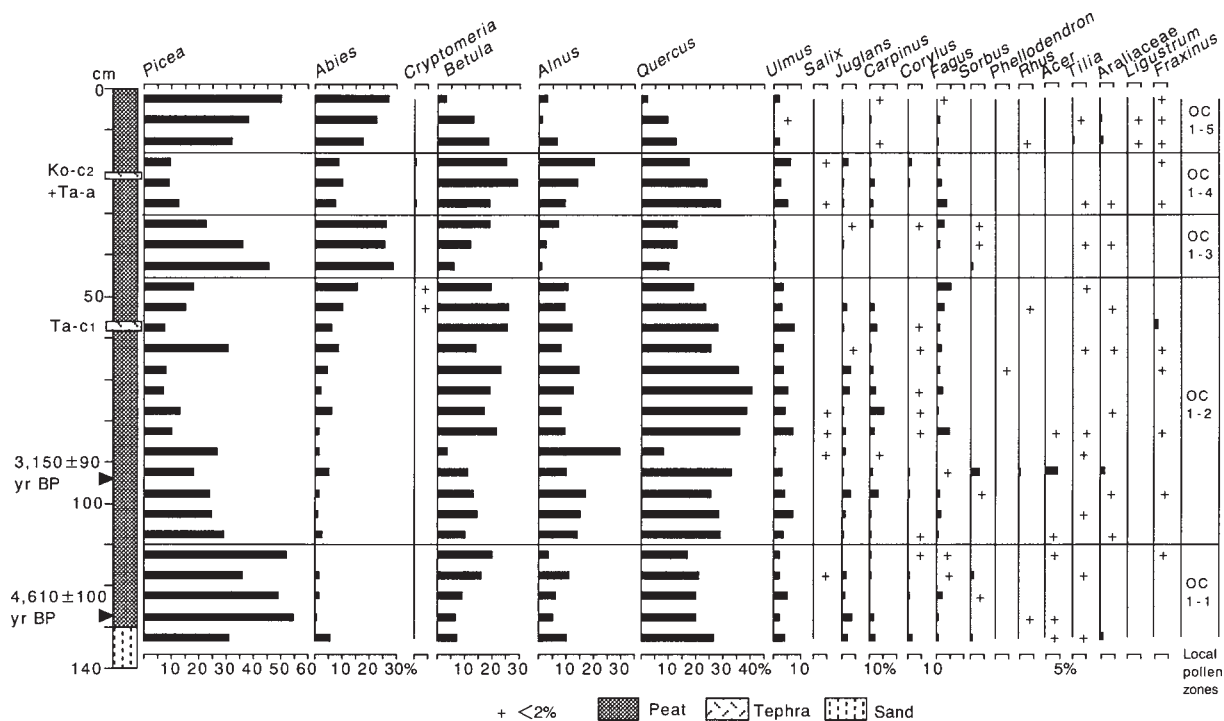


図4 落石岬湿原 Loc. 1 から得られた 4600 yr B.P. 以降の木本（低木を除く）花粉組成図。

Fig. 4 Arboreal pollen (except shrub) diagram since 4600 yr B.P. from Ochiishi Cape Bog Loc. 1.

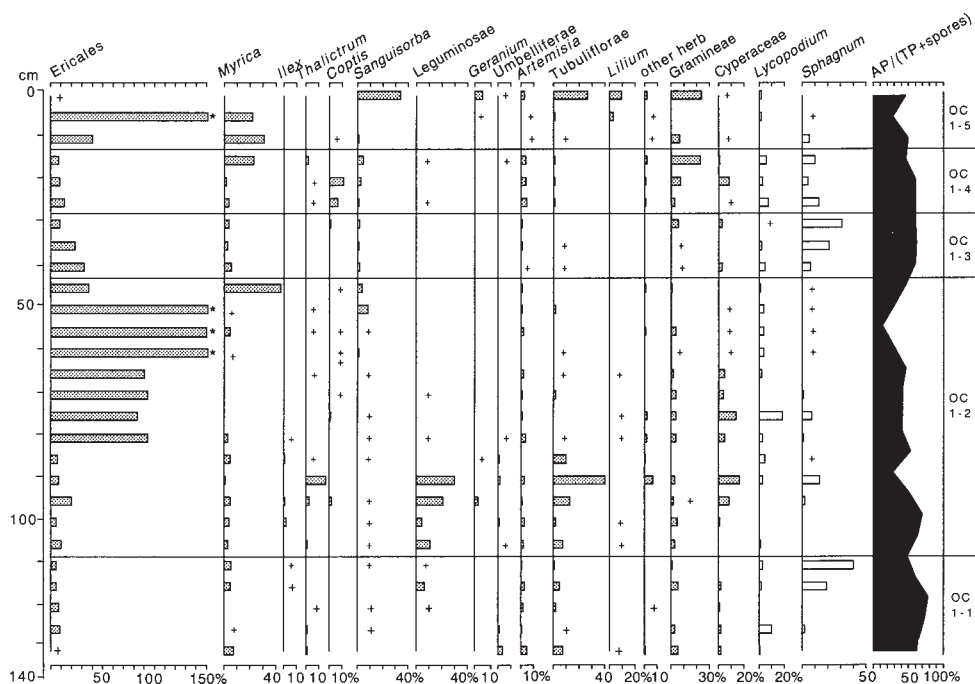


図5 落石岬湿原 Loc. 1 から得られた 4600 yr B.P. 以降の低木・草本花粉および孢子組成図。* : 100%以上。

Fig. 5 Shrub, non-arboreal pollen and spore diagram since 4600 yr B.P. from Ochiishi Cape Bog Loc. 1. *: over 100%.

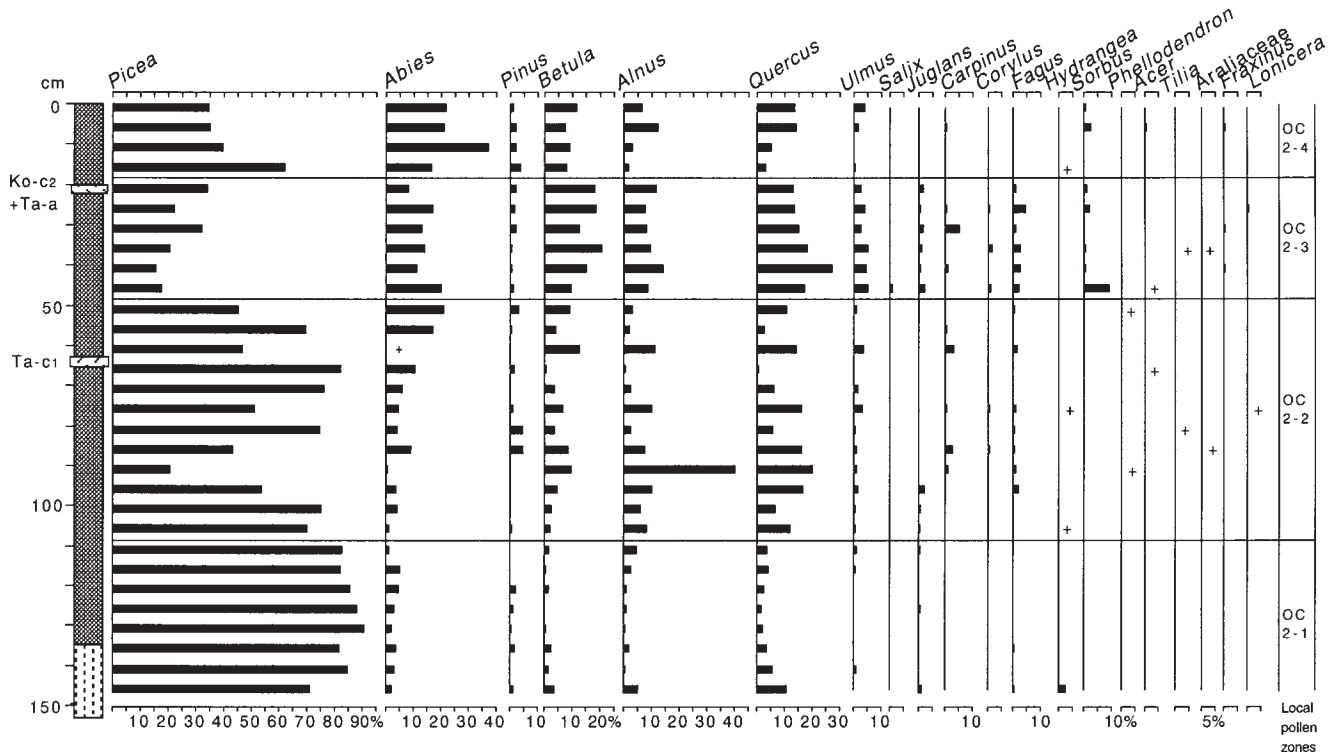


図6 落石岬湿原 Loc. 2 から得られた 4600 yr B.P. 以降の木本（低木を除く）花粉組成図。
 Fig. 6 Arboreal pollen (except shrub) diagram from Ochiishi Cape Bog Loc. 2 since 4600 yr B.P.

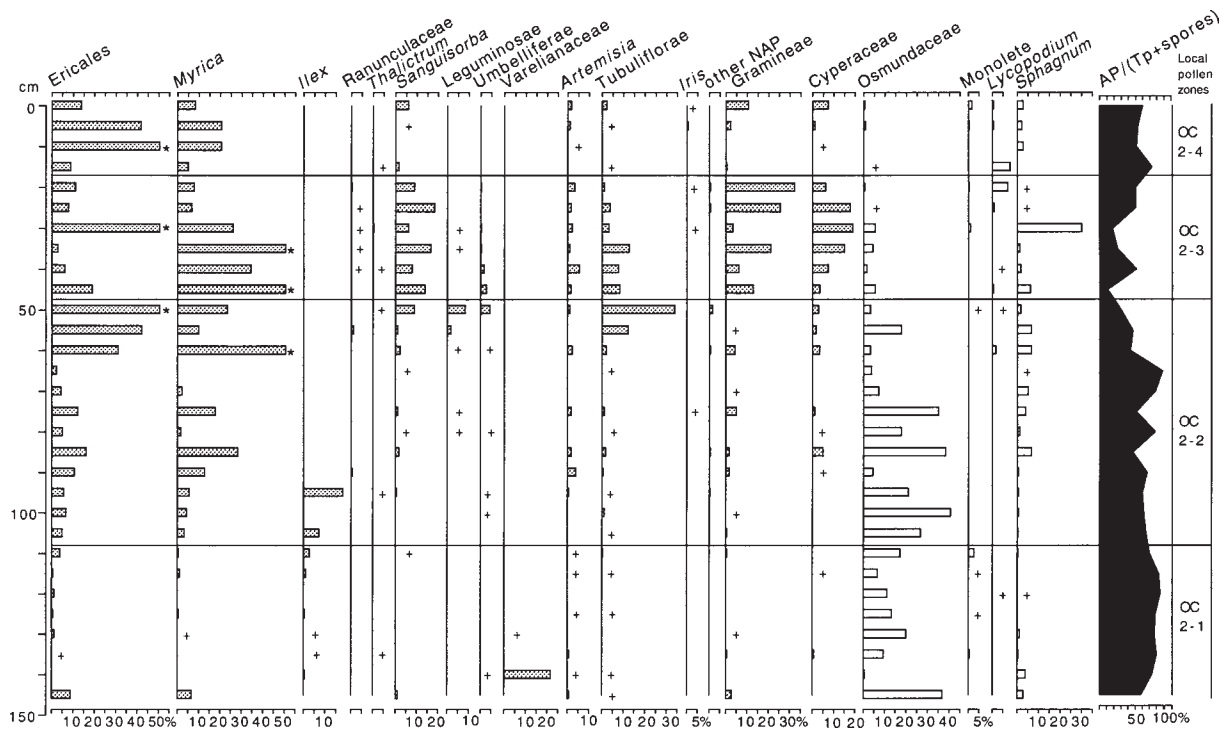


図7 落石岬湿原 Loc. 2 から得られた 4600 yr B.P. 以降の低木・草本花粉および孢子組成図。*：100%以上。
 Fig. 7 Shrub, non-arboreal pollen and spore diagram since 4600 yr B.P. from Ochiishi Cape Bog Loc. 2. *: over 100%.

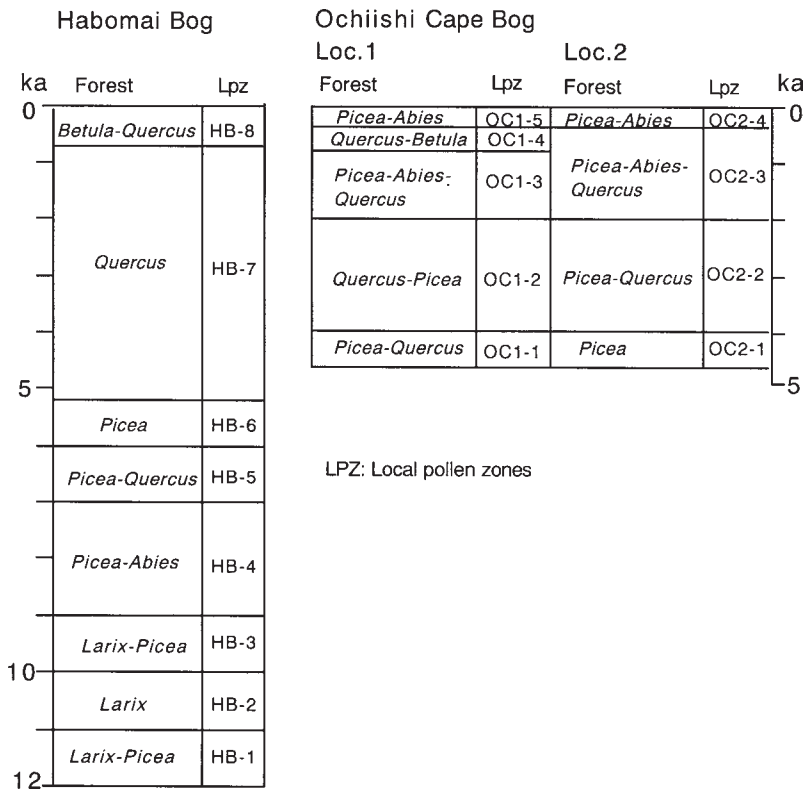


図8 歯舞湿原と落石岬湿原における植生変遷史の対比。

Fig. 8 Correlation of vegetation history between Habomai Bog and Ochiishi Cape Bog.

不明である。本帯期の植生は、構成種からみて現在のサハリン北部のタイガに対比される。ただし、これまで知られた北サハリンのどの表層花粉組成よりグイマツの産出率が高い。一つの解釈として、晩氷期の気候変動に伴う擾乱環境の増大によりグイマツの分布域が拡がりエゾマツの分布域が狭まった(沖津, 1999)可能性がある。トドマツ花粉は遠距離飛散しにくいことから、現在のサハリン北部に見られるようにタイガにわずかに混交していたと考えられる。

次に、本帯で低率に産出する *Tsuga* や、冷温帯広葉樹の *Ulmus*, *Quercus*, *Juglans* について考察する。*Tsuga* 花粉は風によって遠距離を飛散する割合がきわめて低い。北海道中部・苫小牧における4年間の空中花粉調査では、230 km 南のコメツガ北限地である八甲田山から苫小牧への飛来率は全高木花粉中0.01%である(Igarashi, 1987)。従ってHB-1帯で最大値5%に達する *Tsuga* は、氷期の北海道に存在したレフュジーアから飛来した可能性が考えられる。氷期における *Tsuga* の産出は、歯舞より4 km 西に位置する野付湾岸の茨散(遠藤ほか, 1988a)や北海道北部の剣淵盆地(五十嵐ほか, 1993)の晩氷期堆積物から1%以下であるが連続的に認められている。これらの資料から晩氷期において北海道北部～東部に *Tsuga* のレフュジーアが存在した可能性が考えられる。また、冷温帯広葉樹、とくに *Quercus* については、かねてより指摘されていた(中村, 1968; 五十嵐, 1986)ように、氷期におけるレフュジーアからの飛来の可能性が高い。

続く11,000～10,000 yr B.P. (HB-2 帯期)は、花粉の産出率からみて、グイマツ林が広域に発達したと推定される。トドマツは極めてわずかだが生育していた。高木率が低いことから、高層湿原周縁にグイマツの小林分が点在する景観であったと推定される。湿原ではHB-1帯期に多様だった広葉草類は減少し、*Cyperaceae* と *Sphagnum* が優占した。本帯期はHB-1帯期に比べて、エゾマツ/アカエゾマツや、トドマツ、*Quercus* が減少してグイマツが増加していることから、より厳しい寒冷・乾燥気候であったことは明らかで、Younger Dryas 期に対比される寒冷期であった。筆者らはこの寒冷期を「歯舞亜氷期」と呼ぶことにする。根室半島には、アースハンモック、化石構造土、非対称谷などの化石周氷河地形が認められ(小畦ほか, 1974; 鈴木ほか, 1964; 野川, 1965, 1980), 過去の寒冷期にはとくに厳しい気候環境が支配したと推定されており、花粉から推定される寒冷気候と調和する。歯舞亜氷期は北海道北部の剣淵盆地において認められた剣淵亜氷期(12,000–10,000 yr B.P.; 五十嵐ほか, 1993; Igarashi, 1996)に対比され、植生はほぼ一致している。HB-1帯期は歯舞亜氷期に比べると、気候がより温帯条件であったと解釈されることから、Allerød 期相当の亜間氷期と考えられる。

10,000～9000 yr B.P. (HB-3 帯期)には、グイマツの急減とエゾマツ/アカエゾマツの急増、さらにトドマツの増加が認められた。寒冷・乾燥から温暖・湿潤への急激な気候変

動が生じたことが明白に現れている。氷期のタイガから後氷期の森林への転換期で、歯舞亜氷期より立木密度の高いエゾマツ/アカエゾマツや、グイマツ、トドマツからなるタイガが湿原周縁に成立した。現在のサハリンの中部～北部の植生に近い。広葉草本類に乏しいEricalesと*Sphagnum*の優勢な高層湿原が発達し、泥炭が堆積し始めた。

グイマツはおよそ7000 yr B.P.に根室半島から消滅した。北海道の多くの地域でグイマツは8000 yr B.P.に消滅した(五十嵐, 1993)が、本地域では約1000年遅れた。9000～7000 yr B.P.(HB-4帯期)の植生は、HB-3帯期よりさらに立木密度の高いエゾマツ/アカエゾマツとトドマツにグイマツを混じえたタイガと高層湿原であった。本帯期の植生は現在のサハリン南部のタイガ(五十嵐・五十嵐, 1998)に類似している。

続く7000～6000 yr B.P.(HB-5帯期)には、*Quercus*が本地域に進出してエゾマツ/アカエゾマツと混交林を形成した。*Quercus*は北海道の多くの地域で8000 yr B.P.に急増した(五十嵐, 1986)が、歯舞では1000年遅れて増加が認められた。他方、トドマツは*Quercus*の増加と同時に本地域から後退した。しかし、エゾマツ/アカエゾマツはその後約2000年間、本地域に優勢に分布したのである。北海道北部の剣淵盆地や中部の富良野盆地(五十嵐ほか, 1993)では、*Quercus*の急増と同時にエゾマツ/アカエゾマツが後退したがトドマツは生き残っており、歯舞と異なる。湿原では*Sphagnum*が減少して広葉草本類とOsmundaceaeがやや増加した。これはMa-f1の降灰の影響を受けた可能性がある。

一度後退したエゾマツ/アカエゾマツ林は6000～5200 yr B.P.(HB-6帯期)に回復した。湿原ではOsmundaceaeが繁茂した。

HB-7帯期(5200～700 yr B.P.)の初頭にエゾマツ/アカエゾマツ林は現在の分布地(根室半島基部)近くまで後退したが、*Quercus*は残存し、台地の植生は現在に近いものになった。この頃に現在の根室半島東部の植生は基本的に成立した。すなわち、*Quercus*を主とし、*Betula*や、*Alnus*、*Ulmus*、*Acer*を混じえた広葉樹林、あるいは現在見られるようなそれぞれの樹種の小林分が発達した。同時にEricalesと*Sphagnum*を主とし、多くの広葉草本類を混じえた高層湿原が現在程度まで拡大した。歯舞から7 km北西の根室海峡に面する根室市豊里ノッカマップでも植生史が解明され(前田ほか, 1986)、*Quercus*を中心にした広葉樹林が少なくとも5000年前に成立し、針葉樹は半島に自生しなかったと解釈された。

その後700 yr B.P.から現在まで(HB-8帯期)は、*Quercus*が若干減少し、*Betula*と*Alnus*がやや増加した。湿原では*Sphagnum*が減少し、*Myrica*や、Ericales、Gramineae、広葉草本類が優勢となった。

4. 落石岬湿原の植生変遷史

少なくとも約4600年前から本湿原に生育した*Picea*は、現在と同じアカエゾマツと考える。Loc. 1, Loc. 2ともに約4600 yr B.P.に泥炭の堆積を促す冷涼・湿潤の気候条件が整い、平坦な台地上に泥炭の堆積が始まった(図8)。Loc. 1ではアカエゾマツや、*Quercus*、*Betula*、*Alnus*が湿原周辺に生育し、以後3900 yr B.P.(OC1-1帯期・OC2-1帯期)まで継続して分布した。現在、これらの樹種は地下水位の高低ですみわけていとされる(林野庁帯広営林局支局・日本林業技術協会, 1999)が、当時は湿原周縁にはアカエゾマツ林が、やや乾燥した後背地には広葉樹が分布したと推定される。Loc. 1の湿原では、はじめは広葉草本類、のちにEricalesが優勢となった。同じ時期のLoc. 2では、すでに現在より立木密度の高いアカエゾマツ林が成立しており、湿原ではOsmundaceaeが優占した。歯舞湿原で約5200 yr B.P.に針葉樹が後退したことを考えると際立った違いである。

3900～2000 yr B.P.(OC1-2帯期・OC2-2帯期)は、Loc. 1, Loc. 2ともにアカエゾマツ林が縮小し、*Quercus*が増加するとともに、他の冷温帯広葉樹もやや増加した。トドマツは約2300 yr B.P.から2地点で増加し始めた。湿原植生には局地的な変化が見られ、Loc. 1でははじめ広葉草本類が多様化した。後にEricalesが優占した。Loc. 2では、はじめOsmundaceaeと*Ilex*が優勢で、後にEricalesと、*Myrica*やTubulifloraeをはじめとする広葉草本類が優勢となった。続く2000～250 yr B.P.は、Loc. 1とLoc. 2で森林の構成樹種に違いが見られた。Loc. 1では、2000～700 yr B.P.(OC1-3帯期)にはアカエゾマツとトドマツが増加し、*Quercus*や、*Betula*、*Alnus*など広葉樹が減少した。湿原では*Sphagnum*が優勢であった。その後700～250 yr B.P.(OC1-4帯期)はアカエゾマツとトドマツが減少して*Quercus*が増加し、湿原では*Coptis*やGramineaeが増加した。他方Loc. 2では、2000～250 yr B.P.(OC2-3帯期)にアカエゾマツ林がそれ以前に比べて縮小し、広葉草本類が多様化したものの、Loc. 1に見られる森林の変化はなかった。これらの局地的な植生の違いは湿原の地下水位の変化により生じたと考えられる。250 yr B.P.から現在まで(OC1-5帯期・OC2-4帯期)は、Loc. 1, Loc. 2ともにアカエゾマツの立木密度が高まり、外側の混交林でトドマツが増加し、かわって*Quercus*をはじめ広葉樹が減少した。湿原植生はLoc. 1では、はじめEricalesや*Myrica*が増加したが、近年は広葉草本類やGramineaeが優勢となった。Loc. 2では近年Ericaceaeと*Myrica*が減少した。

5. 気候環境と両湿原の植生変遷史

以上歯舞湿原と落石岬湿原における植生史を復元した。両湿原はともに夏季の低温によりWIが低い地域である。また、

積雪が少なく冬季間土壌凍結がおきる地域でもある。しかし、落石岬湿原では湿原周縁にアカエゾマツ林が成立し、その外側にトドマツとミズナラの混交林が発達する。同じようにWI 47.4°C・月の落石岬より50 km 西に位置する別寒辺牛湿原でも、少なくとも最近の2000年間は*Quercus*と、エゾマツ/アカエゾマツ、トドマツの混交林が発達した(五十嵐, 印刷中)。さらに、これらの地域よりWIの高い他の地域では、8000 yr B.P.以降*Quercus*を主とする広葉樹林が発達したことが明かになっている(五十嵐, 1986)。

これに対し歯舞湿原では、落石岬湿原よりWIがさらに低いにもかかわらず、5200 yr B.P.以降現在まで針葉樹は分布せず、冷温帯広葉樹が分布した。その要因の一つとして根室半島東部に生じる特異な気象、すなわち局地風の影響が考えられる。根室半島東部には知床山脈から吹き下ろす特有の羅臼だし風と呼ばれるボラ型強風が吹き付ける。現在歯舞地域に分布する広葉樹は特有の風衝形を呈しているが、落石岬には風衝形の樹木は見られないことからこの地域が風衝地であることは明らかである。土壌凍結地域の風衝地では冬季間も葉をつけている針葉樹類は乾燥害により枯死することが知られている(酒井, 1982)。一方、海岸段丘などの風衝地では、エゾイタヤや、ミズナラ、カシワなどが、土地的な極相を形成するとされている(渡邊, 1994)。このような樹種による耐性の違いから、局地風の発生し始めた5200 yr B.P.に、エゾマツ/アカエゾマツが半島東部から後退し、他方*Quercus*は残存したと考えられる。

ま と め

歯舞では12,000 yr B.P.から7000 yr B.P.までの5000年間、高層湿原の周縁に針葉樹林が分布した。その構成は、晩氷期にはグイマツとエゾマツ/アカエゾマツのタイガであり、次いでYounger Dryas期に対比される歯舞亜氷期にグイマツのタイガへと変遷した。完新世初頭はグイマツとエゾマツ/アカエゾマツのタイガからエゾマツ/アカエゾマツとトドマツにわずかにグイマツを混じえたタイガへ移行した。7000 yr B.P.にグイマツが消滅し、その後の1000年間は、現在の落石岬に類似した主にエゾマツ/アカエゾマツと*Quercus*からなる森林が発達した。しかし、5200 yr B.P.にエゾマツ/アカエゾマツは後退して広葉樹林に変わり現在に至ったのである。これに対し落石岬では、少なくとも4600 yr B.P.から現在までアカエゾマツと、トドマツ、ミズナラが分布しており、湿原の水文条件の変化に伴い競争を繰り返した。現在、歯舞湿原にエゾマツ/アカエゾマツやトドマツを欠く要因は、半島東部の受ける局地風による乾燥であり、約5200 yr B.P.に局地風を発生する気象条件が成立したと考えられる。この状況はその後現在まで継続し、亜寒帯気候の歯舞湿原に針葉樹は生育できなかった。

謝 辞

元北海道大学地球環境科学研究科(現高知大学海洋コア研究センター)村山雅史博士には¹⁴C年代値の補正をしていただいた。EPMAの使用には北海道教育大学旭川校和田恵治博士に便宜をはかっていただいた。落石岬湿原調査に際して根室市教育委員会近藤憲久博士にお世話になった。これらの方々に御礼申し上げる。最後に、原稿について有益な御指摘をいただいた二人の査読者および編集委員に感謝申しあげる。

引用文献

- Alexandrova, A. N. 1982. Pleistocene of Sakhalin. 190 pp. Publishing House NAUKA, Moscow.
- 遠藤邦彦・五十嵐八枝子・隅田まり・鈴木敬治・宮田雄一郎. 1988a. 北海道東部、野付海岸茨散で得られた過去15,000年間の古環境。昭和60-62年度科学研究費補助金総合研究(A)61302084研究成果報告書「日本における沖積平野・沖積層の形成と第四紀末期の自然環境とのかかわりに関する研究」(代表:井関弘太郎), 45-52.
- 遠藤邦彦・隅田まり. 1996. 北海道東部、茨散における最終氷期泥炭層。「第四紀露頭集 日本のテフラ」, 108. 日本第四紀学会, 東京.
- 遠藤邦彦・隅田まり・宇野リベカ. 1989. 北海道東部の完新世後期テフラ層序とその給源火山。地学雑誌98: 506-510.
- 遠藤邦彦・隅田まり・宇野リベカ・宮原智哉. 1988b. 北海道の完新世後期テフラ層序とその給源火山。「日本第四紀学会講演要旨集」, 78-79.
- 春木雅寛・松田 彊. 1992. サハリン中・南部における針葉樹林の種構成と構造。北海道大学農学部演習林研究報告49: 336-362.
- 富士田裕子・小島 覚・中田 誠. 1994. 落石岬のアカエゾマツ林について。「日本生態学会第41回大会講演要旨集」, 119.
- 富士田裕子・高田雅之・金子正美. 1997. 北海道の現存湿原リスト。「財団法人自然保護助成基金1994-1995年度研究助成報告書北海道の湿原の変遷と現状の解析 湿原の保護を進めるために」(北海道湿原研究グループ編), 3-14. 財団法人自然保護助成基金, 東京.
- 藤原哲夫・三谷勝利. 1959. 5万分の1地質図幅および同説明書納沙布。40 pp. 北海道立地下資源調査所, 札幌.
- 五十嵐八枝子. 1986. 北海道の完新世におけるコナラ属の分布。北方林業38: 266-270.
- Igarashi, Y. 1987. Pollen incidence and wind transport in central Hokkaido (II). Research Bulletins of the College Experiment Forests, Hokkaido University 44: 477-506.
- 五十嵐八枝子. 1989. 南サハリンの森林, 北海道・氷期の森林および他の北方林との比較。北方林業41: 36-41.
- 五十嵐八枝子. 1993. 花粉分析からみた北海道の環境変遷史。「生態学からみた北海道」(東 正剛・阿部 永・辻井達一編), 3-21. 北海道大学図書刊行会, 札幌.
- Igarashi, Y. 1996. A Lateglacial climatic reversion in Hokkaido, northeast Asia, inferred from the *Larix* pollen record. Quaternary Science Reviews 15: 989-995.
- 五十嵐八枝子・五十嵐恒夫. 1998. 南サハリンにおける後期完

- 新世の植生変遷史. 日本生態学会誌 48: 231-244.
- 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・嵯峨山 積・樋掛鉄也・福田正巳. 2000. サハリン中・北部における第四紀後期の環境変動. 地学雑誌 109: 165-173.
- Katsui, Y., Ando, S. & Inaba, K. 1975. Formation, and magmatic evolution of Mashu Volcano, east Hokkaido, Japan. Journal of the Faculty of Science, Hokkaido University, Series IV, 16: 533-552.
- 勝井義雄・石川俊夫. 1981. 北海道駒ヶ岳の活動史, 噴出物調査および Disaster Map to 災害評価. 「噴火災害の特質と Hazard Map の作製およびそれによる噴火災害の予測の研究」, 23-29. 自然災害特別研究成果, No. A-56-1.
- 吉良竜夫. 1949. 日本の森林帯. 林業解説シリ - ズ17. 36 pp. 日本林業技術協会, 東京.
- 小畦 尚・野上道夫・岩田修二. 1974. 北海道東部の ice-wedge cast. 地学雑誌 83: 48-60.
- Kromer, B. & Becker, B. 1993. German oak and pine ¹⁴C calibration, 7200-9400 BC. Radiocarbon 35: 125-135.
- 工藤祐舜. 1924. 北樺太植物調査書. 295pp. 薩哈噠軍政部, 東京.
- Kudo, Y. 1927. Ueber die Pflanzengeographie Nordjapans und der Insel Sachalin. Österreichische Botanische Zeitschrift 76: 307-311.
- 前田保夫・松島義章・松本英二・松田 功・居平昌士. 1986. 約5千年前以降における根室半島ノッカマップ付近の自然環境の変遷. 根室市博物館開設準備室紀要 No. 1: 3-22.
- Mikishin, Y. A. & Gvozdeva, I. G. 1999. Subfossil spore and pollen complex of norther sakhalin as a basis for reconstruction of the Holocene vegetation. 7-9. Global change studies in the Far East, IGBP IHDP WCRP, Vladivostok.
- 三谷勝利・藤原哲夫・長谷川 潔. 1958. 5万分の1地質図幅および同説明書 根室南部. 30pp. 北海道立地下資源調査所, 札幌.
- 中村 純. 1968. 北海道第四紀堆積物の花粉分析学的研究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.
- 根室測候所. 1979. 根室気象百年史. 74 pp. 根室測候所, 根室.
- 日本気象協会北海道本部. 1991. 1991年版北海道の気候. 359 pp. 財団法人日本気象協会北海道本部, 札幌.
- 野川 潔. 1965. 根室半島における二, 三の気候地形. 北海道地理 37: 26-30.
- 野川 潔. 1980. 根室半島の気候地形. 「西村嘉助先生退官記念地理学論文集」(西村嘉助先生退官記念事業実行委員会編), 135-140. 古今書院, 東京.
- 岡崎由夫. 1966. 釧路の地質. 326 pp. 釧路叢書7, 釧路.
- 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.
- 大川 隆. 1992. 北海道の動気候. 246 pp. 北海道大学図書刊行会, 札幌.
- 沖津 進. 1999. サハリン最北端シュミット半島に分布するエゾマツ, グイマツの共存条件とそれから推定される最終氷期の北海道における両種の共存状態. 植生史研究 7: 3-10.
- 奥村晃史. 1988. 第四紀示標テフラの主成分カタログ. 昭和60-62年度科学研究費補助金総合研究(A)61302084研究成果報告書「日本における沖積平野・沖積層の形成と第四紀末期の自然環境とのかかわりに関する研究」(代表:井関弘太郎), 159-165.
- 林野庁帯広営林支局・財団法人日本林業技術協会. 1999. サカイツツジ保護林の植生の維持・回復手法に関する調査報告書. 114 pp. 林野庁帯広営林支局・財団法人日本林業技術協会, 帯広.
- 酒井 昭. 1982. 植物の耐凍性と寒冷適応 冬の生理・生態学. 469 pp. 学会出版センター, 東京.
- 佐々木龍男, 編. 1972. 北海道の火山灰分布図. 北海道火山灰命名委員会, 札幌.
- 佐々木龍男・片山雅弘・富岡悦郎・佐々木清一・矢沢正士・山田忍・矢野義治・北川芳男. 1971. 北海道における腐食質火山灰の編年に関する研究. 第四紀研究 10: 117-123.
- Stuiver, M. & Pearson, G. 1993. High-precision bidecadal calibration of radiocarbon time-scale, AD 1950-6000BC. Radiocarbon 35: 1-34.
- 隅田まり. 1988. 斜里地域におけるテフラ層序. 知床博物館研究報告 No. 9: 9-32.
- 鈴木秀夫・野上道夫・田淵 洋. 1964. 化石周氷河現象の観察. 第四紀研究 3: 167-177.
- 橘 ヒサ子. 1997. 北海道の湿原植生概説. 財団法人自然保護助成基金 1994-1995年度研究助成報告書「北海道の湿原の変遷と現状の解析 湿原の保護を進めるために」(北海道湿原研究グループ編), 3-14. 財団法人自然保護助成基金, 東京.
- 橘 ヒサ子・佐藤雅俊・新庄久志・松原光俊. 1999. 根室半島歯舞湿原の植生とその分布構造. 「日本生態学会第46回大会講演要旨集」, 113.
- 館脇 操. 1942. 北日本牧野の植物学的研究(1)根室半島の牧野植物. 札幌農林学会報 35: 66-101.
- 館脇 操. 1943. アカエゾマツ林の群落学的研究. 北海道帝国大学農学部演習林研究報告 13: 1-181.
- 館脇 操・萬濃健一郎. 1936. 根室落石岬のアカエゾマツ林. 生態学研究 2: 7-16.
- 徳井由美. 1988. 道東に分布する雌阿寒a火山灰の給源と噴出年代. 「日本火山学会 1988年度講演予稿集1」, 28.
- 上杉 新. 1984. 完新世における海成層上限の地質学的な認定. 36 pp. 昭和59年度科学研究費助成金(総合A)研究成果報告書課題番号58340047.
- 渡邊定元. 1994. 樹木社会学. 450 pp. 東京大学出版会, 東京.
- 矢部和夫. 1993. 北海道の湿原. 「生態学からみた北海道」(東正剛・阿部 永・辻井達一編), 40-52. 北海道大学図書刊行会, 札幌.
- 矢野牧夫. 1970. 北海道の第四系から産出した*Larix gmelini*の遺体について. 地質学雑誌 76: 205-214.

(2001年9月3日受理)