

原著

守田益宗¹：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Yoshimune Morita¹: The pollen spectra from moss polsters
of Yururi Island in easternmost Hokkaido, Japan

要旨 最終氷期最盛期の北海道中・北部の植生については、ツンドラあるいは森林ツンドラの存否が古くから論議されている。その解明には、森林が未発達な地域における花粉化石群の特徴を明らかにしておくことが不可欠である。そのため、根室半島から約3 km離れた森林植被のないユルリ島の湿原からミズゴケの moss polster を採取し、花粉分析を行い、植生と表層花粉の関係を調べた。島外から飛来した花粉は平均 34.8 (19.7–54.5) % であったが、このうち平均 9 割を高木花粉が占めた。高木花粉のうち道南部以遠からの飛来花粉は平均 2 割を占め、その大部分は *Pinus* subgen. *Diploxylon* と *Cryptomeria* であった。ユルリ島では夏の季節風の影響を強く受けて花粉が飛来・堆積する。採取地点周囲の非森林域の拡がり大きい場合には、遠距離飛来してくる花粉の散布源も広範囲にわたり、花粉出現率に多大の影響を与える。遠距離飛来花粉と現地性の非高木花粉それぞれの多寡の判別により非森林域を区別できる可能性を見いだした。

キーワード：遠距離飛来、現生花粉スペクトル、島、草原、北海道

Abstract In spite of an intensive work of nearly thirty years, no satisfying explanation is given for the existence/nonexistence of tundra and/or forest tundra in eastern and northern Hokkaido during the last glacial maximum. To supply basis for the reconstruction of past vegetation in this area, pollen transfer and deposition were examined in a mire on Yururi Island, a small, unforested island 3 km off the Nemuro peninsula. Modern pollen assemblages obtained from *Sphagnum*-polsters were compared with the surrounding vegetation. On average, 34.8 (19.7–54.5)% of pollen and fern spores were thought to be derived from outside the island, and tree pollen accounted for 90% of such transported pollen. An average of 20% of tree pollen was transported from the south, such as southern Hokkaido or Honshu and were mainly derived from *Pinus* subgen. *Diploxylon* and *Cryptomeria*. Pollen is carried to Yururi Island mainly by the summer monsoon and is deposited there. When sampling is made in a large unforested area, long-distance pollen is supplied from an extensive area and affects pollen spectra. If percentages of pollen transported over long distances and those of non-tree pollen from a local vegetation can be estimated reasonably, past woodland can possibly be distinguished from past grassland.

Key words: Hokkaido, island, long-distance transport, meadow, modern pollen spectra

はじめに

花粉分析は、過去に散布・堆積した花粉化石群を調べることにより、これらの散布源である古植生の復元を目的の一つとしている。花粉や胞子は、大気中に放出された後、気象や地形など様々な要因により複雑な経路をたどって運搬・堆積するうえ、植物の種類によって花粉生産量や散布力は異なり、保存性も様々であることから、堆積物より得られた花粉群の種類構成および出現率と植生とは必ずしも一致しない。このことは、花粉化石群から過去の植生を復元する場合には常に問題とされてきた。そのため、花粉の散布や堆積過程、堆積条件、周囲や試料採取地点の植生の分布と花粉群との関係などを明らかにする研究が必要不可欠であり、湿原に堆積した花粉と周囲の森林植生との構成比の比較 (Tsukada, 1958 など) や、異なる植生下における花粉群の構成比の比較 (五十嵐ほか, 2003 など)、花

粉の散布堆積様式のモデル化 (Sugita, 1994 など) などの研究が古くから行われてきた。近年では欧米を中心として数十キロメートルから大陸レベルまでの広域的な花粉群と植生との関係が報告され (Prentice, 1978; Bradshaw & Webb III, 1985 など)、古植生の空間分布復元などに利用されるようになってきた。

ところで、山岳上部では、それぞれの森林帯で生産された花粉は、容易に森林帯を超えて散布され、山岳上部に森林が未発達の場合には、山岳上部由来の花粉よりも他の植生帯由来の花粉の方が多く検出されることがあり (守田, 1984; 佐々木, 1986 など)、また、同様にツンドラ域でも他の植生帯由来の花粉が多く検出されることが知られている (Aario, 1940 など)。我国の場合、前者は亜高山帯植生の変遷史の解明に障害となってきたし (守田, 1998)、後者は最終氷期最盛期の北海道中・北部の植生について、ツ

¹ 〒700-0005 岡山市理大町 1-1 岡山理科大学自然植物園

Botanical Garden, Okayama University of Science, Ridai-cho 1-1, Okayama 700-0005, Japan

ンドラあるいは parkland 的な植生が存在したかどうかの問題に関係している (中村, 1973; 五十嵐・熊野, 1981 など)。これらのことは、非森林域における花粉群がどのように植生を反映しているのかの把握が未だ不十分であることに原因が求められる。近年では、花粉のデータセットから数値変換を行うことにより、直接、植生型区分や気候を数値化する試みが行われているが (Gotanda et al., 2002; Nakagawa et al., 2003 など)、この場合も、山岳上部などの森林が未発達な地点におけるデータの扱いやその結果には問題が多い。

筆者は、目下、根室・釧路地方の植生史解明にむけて調査を継続中であり、根室半島近くに位置するユルリ島の晩氷期以降の花粉分析結果はすでに報告し (守田, 2001a)、森林植被の乏しい離島の花粉群の特徴として、遠くより飛来する高木花粉が多いことを簡単に触れておいた。このような陸地から離れた森林植被の乏しい孤島の表層花粉研究としては、北アメリカ大陸から 19 km はなれた島内のケトル湖 (kettle lake) と大陸部の湖沼堆積物を扱った Jackson & Dunwiddie (1992) がよく知られており、大陸部からの大量の遠距離飛来花粉により、島内の花粉群は地点間の差が小さくなることを報告している。しかし、同研究は、島内のあちこちに植林地や小林分が存在するにもかかわらず、7 地点のケトル湖間の花粉分析結果の比較を行っているのみで十分とは言えない。また、表層花粉の研究では、調査地点の植生や、地理、気象、堆積物の違いによって結果や考察に大きな違いを生ずることも稀ではない。そのため、知りたい地域において表層花粉の研究を行うことが望ましい。そこで今回は、根室・釧路地方の花粉分析結果を解釈する基礎的資料を得る目的のもと、ユルリ島で行った表層花粉の分析から、森林が未発達な地域の花粉群の特徴について報告する。

調査地の概要

ユルリ島は根室半島から最短約 3 km 沖合の東経 145° 35', 北緯 43°12' に位置する、東西・南北ともそれぞれ約 2 km, 周囲約 7.8 km, 面積約 170 ha の小島である (Fig. 1)。かつては、昆布漁に利用する夏場だけの番屋が数件あったというが、現在は約 20 頭の半野生化したウマがいることで知られる無人島である。島の最高点は標高 43.1 m であるが、高さ約 20 ~ 30 m の海蝕崖に囲まれた島の内部はほとんど平坦で、東北部に大きな沢がある以外は、小さな沢が 10 前後あるのみである。隣接するモユルリ島とは異なり、ユルリ島ではいたるところに湿地が見られるが、特に、島中央部には東西約 800 m, 南北約 500 m にわたってミズゴケ湿原が発達しており、この湿原およびこれを囲む一帯は北海道指定の天然記念物となっている。ユルリ島およびモユルリ島の植生の特徴は、対岸の根室半島と異なり亜高木以上の樹木がほとんど見られないことである。ユルリ島では、わずかに高さが 3.5 ~ 4.5 m で直径 8 ~ 15 cm ほどのヤナギ *Salix* 林が島北東部の沢に沿って小林分を形成しており、エゾノコリンゴ *Malus baccata* やカンボク *Viburnum opulus* var. *calvescens* の小群落、あるいはシラカンバ *Betula platyphylla* var. *japonica* やアカエゾマツ *Picea glehnii* などの稚樹が稀にみられるにとどまっている (田中, 1974; 斎藤, 1996)。ユルリ島中央部に大規模に広がる高層湿原域では、主にチャミズゴケ *Sphagnum fuscum* やスギゴケ類 *Polytrichum* からなるハンモックが発達し、その上にはヒメシャクナゲ *Andromeda polifolia* やクロマメノキ *Vaccinium uliginosum* var. *uliginosum*, ツルコケモモ *Vaccinium oxycoccus*, コケモモ *Vaccinium vitis-idaea*, ガンコウラン *Empetrum nigrum* var. *japonicum*, エゾイソツツジ *Ledum palustre* var. *yesoense*, ホロムイイチゴ *Rubus chamaemorus* などの矮小低木類が

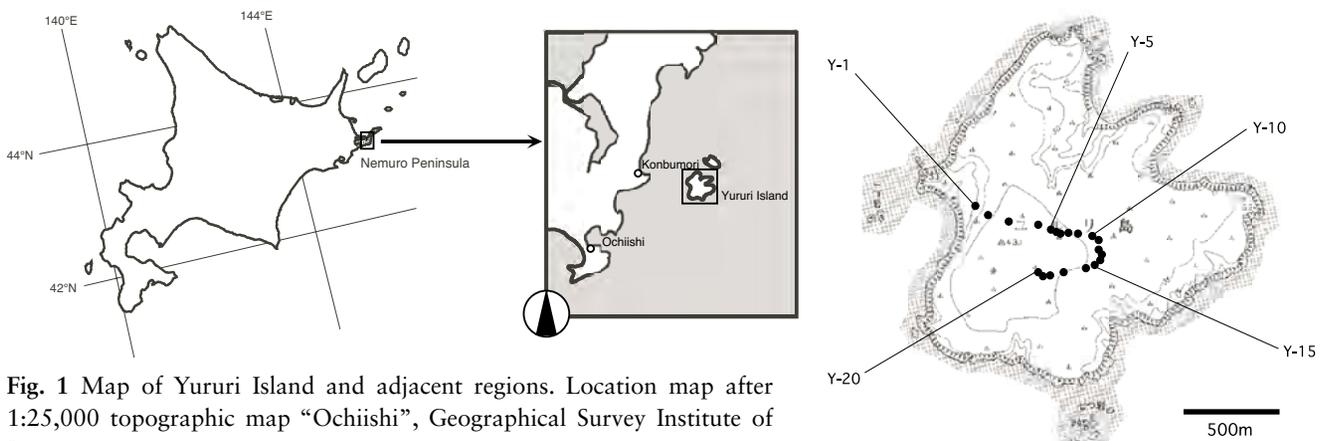


Fig. 1 Map of Yururi Island and adjacent regions. Location map after 1:25,000 topographic map "Ochiishi", Geographical Survey Institute of Japan.

ごく普通に高密度で認められる。また、高層湿原域を取り囲むようにイボミズゴケ *Sphagnum papillosum* やワタスゲ *Eriophorum vaginatum*, ホロムイソグ *Carex middendorffii* の優占する湿原が展開し、いたるところに谷地坊主を形成しており、ヌマガヤ *Moliniopsis japonica* もごく普通に認められる。さらにその湿原の周囲には、アキカラマツ *Thalictrum minus* var. *hypoleucum* や、チシマフウロ *Geranium erianthum* forma *erianthum*, ナガボノシロワレモコウ *Sanguisorba tenuifolia* var. *alba*, エゾリンドウ *Gentiana triflora* var. *japonica*, ツリガネニンジン *Adenophora triphylla* var. *japonica*, ミヤマアキノキリンソウ *Solidago virgaurea* subsp. *leiocarpa* など種々の広葉草本を混生するミヤコザサ草原が見渡す限り広がっている。

花粉分析試料と方法

花粉分析に供した試料は、1999年9月11日にユルリ島の20地点から採取したものである。GPSによる試料の採取位置はTable 1に示すとおりである。試料の採取は、湿原の縁近くに位置しているY-1からおおよそ東方向に向かい、湿原中央部の特別保護地域の外周部付近を回り込むように行った (Fig. 1)。これらの試料は、いずれも湿原表層部のカーペットをなす生体層、いわゆる moss polster であり主としてミズゴケ類からなる。試料をミズゴケの moss

polster とした理由は、1) 過去数年程度の花粉を蓄積していると考えられる moss polster は、植生改変スピードの速い現在では、植生との関係や散布源を考察する場合、泥炭よりも有利なこと、2) 実際の花粉分析は、泥炭地や湖沼の堆積物を対象とするが、我国では泥炭堆積物を扱うことが多いこと、3) moss polster から得られた情報は、泥炭堆積物にそのまま応用できる可能性が高いことである。

採取した試料はチャック付ポリ袋に入れ、4°C にて保存し、乾燥することなくそのまま使用した。花粉・胞子の分離には 50 ml のビーカーを使用し、試料はビーカー容量の約 1/3 を目安として、10% KOH 溶液を試料の 2.5 倍量ほど加え腐植を除去した後、遠沈管に移し替えた。比重 1.68 の ZnCl₂ 溶液で鉍物質を選別後、花粉・胞子化石以外の植物質をアセトリシス処理により除去し、グリセリン・ゼリーに包埋して、プレパラートとした。検鏡は主に 250 倍、必要に応じて 1250 倍で行なったり位相差装置を用いたりして、高木花粉 (tree pollen) が 200 粒以上に達するまで同定することを目標とし、その間に出現するすべての花粉・胞子を記録した。

表層花粉の研究では、花粉出現率と植生との対応関係を比較したり花粉の散布源を論議する関係上、花粉・シダ胞子の出現率計算にはいくつかの要因を考慮する必要がある。そこで、1) 湿原内および湿原近辺に生育する植物の花粉・胞子によって、それ以外の花粉・胞子の出現率が歪曲されるのを避ける、2) これとは逆に、堆積現場周辺の植物の花粉・胞子の出現率が、遠距離飛来花粉によって影響されるのを避ける、3) 既往の報告との比較のため従来の算出法からできるだけ逸脱しないという3点に注意し以下の方法で出現率を求めた。すなわち、高木花粉では高木花粉総数を、その他の花粉・シダ胞子は高木花粉を除いた花粉・シダ胞子の合計をそれぞれ基本数として百分率で求めた。ただし、コケ胞子および藻類遺骸は基本数には含めず、これらの出現率の計算は花粉・シダ胞子の総計を基本数とした。

なお、本文では、検出された花粉・胞子化石は学名で、現植生の構成種は和名で表示した。

結 果

検出された花粉・胞子化石の実数を Table 2 に示した。Table 2 の高木花粉のうち、* を付したものは植栽を除けば北海道にその母樹の分布が見られないものを、** は分布が北海道南部までに限られている樹種を示す。低木のうち、*Salix* および *Ericaceae* 以外の母樹はユルリ島には分布しておらず、草本、シダ、コケはすべてがユルリ島にその母植物の分布の見られるものである。また、Table 3 には主要な花粉・胞子の出現率の最高値、最低値、平均値を、

Table 1 Location of study sites on Yururi Island based on the global positioning system

Study site	Latitude	Longitude
Y-1	43°12'48.12"N	145°35'25.08"E
Y-2	43°12'46.68"N	145°35'28.20"E
Y-3	43°12'46.38"N	145°35'39.30"E
Y-4	43°12'45.90"N	145°35'41.70"E
Y-5	43°12'45.30"N	145°35'45.06"E
Y-6	43°12'44.46"N	145°35'46.20"E
Y-7	43°12'43.92"N	145°35'46.62"E
Y-8	43°12'43.68"N	145°35'48.48"E
Y-9	43°12'40.86"N	145°35'49.26"E
Y-10	43°12'41.88"N	145°35'51.00"E
Y-11	43°12'41.10"N	145°35'51.52"E
Y-12	43°12'39.24"N	145°35'51.42"E
Y-13	43°12'38.46"N	145°35'52.38"E
Y-14	43°12'37.56"N	145°35'52.32"E
Y-15	43°12'36.84"N	145°35'50.58"E
Y-16	43°12'35.10"N	145°35'50.28"E
Y-17	43°12'35.04"N	145°35'47.88"E
Y-18	43°12'34.68"N	145°35'45.54"E
Y-19	43°12'34.26"N	145°35'45.12"E
Y-20	43°12'34.74"N	145°35'45.24"E

Table 2 Number of pollen and spore found in the *Sphagnum*-polsters of the mire on Yururi Island

Taxon	Y-1	Y-2	Y-3	Y-4	Y-5	Y-6	Y-7	Y-8	Y-9	Y-10	Y-11	Y-12	Y-13	Y-14	Y-15	Y-16	Y-17	Y-18	Y-19	Y-20	
Trees																					
<i>Pinus</i> subgen. <i>Diploxylon</i> **	31	35	36	34	13	13	11	15	20	17	16	25	13	27	12	38	31	29	20	31	
<i>Pinus</i> subgen. <i>Haploxylon</i>	4	6	3	5	1	1	2	1	1	2	2	3	3	1	2	6	3	1	3	3	
<i>Abies</i>	6	13	14	12	11	9	6	16	5	9	5	12	3	8	9	21	23	10	14	10	
<i>Picea</i>	19	14	12	9	12	6	10	17	4	10	11	11	10	14	17	20	31	11	14	22	
<i>Tsuga</i> *				1					1												
<i>Larix</i> *	3	4	1	2	1	2	1		1	5	1		1	2	3	4	2	2	1	3	
<i>Cryptomeria</i> *	14	33	21	24	18	26	13	7	37	25	9	15	40	12	27	22	12	20	14	14	
Cupressaceae + Taxaceae	1		1		1	1			2	1					1						
<i>Podocarpus</i> *																1	1				
<i>Platycarya</i> *				1																	
<i>Pterocarya</i> **			1				1	1		1					1	1				1	
<i>Juglans</i>		1	2		1	2	2	1	2	4	6	2	1	2	2	3	2	2	4	2	
<i>Betula</i>	62	106	88	86	98	101	91	79	103	99	100	111	69	99	100	92	60	117	85	106	
<i>Carpinus tschonoskii</i> type*			1							1						1	1			1	
other <i>Carpinus</i> + <i>Ostrya</i>	7	9	13	8	4	8	6	7	9	8	5	8	7	9	4	11	11	7	5	6	
<i>Fagus crenata</i> type**		4	2		1			1	1	5	1		1	2	2	4	2	3		2	
<i>F. japonica</i> type*	1				1										1						
<i>Quercus</i>	64	45	48	54	42	65	46	30	53	49	62	57	39	53	45	42	38	59	45	37	
<i>Cyclobalanopsis</i> *	2	2	1			3	1	1		1	3	1	1	1	3	1		3	3	1	
<i>Castanea</i> + <i>Castanopsis</i>				1	1	1	1	1	3		1	3		1	1		2	3	2		
<i>Ulmus</i>	10	13	13	11	8	6	8	10	17	12	3	4	15	8	14	5	10	11	8	14	
<i>Zelkova</i> *	1	1	1	1			1	1	2		1	2		2	2	1	1	2	2		
<i>Celtis</i> + <i>Aphananthe</i> **				1																	
<i>Cercidiphyllum</i>				2	1			1	3	2	1	1							1	2	
<i>Acer</i>	1		2						1			1									
<i>Tilia</i>	1					1			1			1					1				
Shrubs																					
<i>Ephedra</i>									1						1						
<i>Salix</i>		3	2	4	1	3	3	3	2	1	3		3	3	2	1	1	3	2	2	
<i>Myrica</i>		2									1							2	1		
<i>Corylus</i>	7	4	9	8	6	4	4	3	4	3	2	3		2	1	5	1	1	4	4	
<i>Alnus</i> subgen. <i>Alnus</i>	19	8	37	20	15	11	8	10	19	7	4	4	18	4	10	23	31	8	7	9	
<i>Alnus</i> subgen. <i>Alnaster</i>	11	8	9	16	10	5	4	5	15	8	8	6	4	3	10	14	8	8	2	13	
<i>Euptelea</i>													1								
<i>Prunus</i>															2						
<i>Phellodendron</i>									1						1						
<i>Ilex</i>																			1		
Araliaceae											1										
Ericaceae		5	2		10	177	4	29	13	64	58	146	216	7	54	9	116	169	12	20	
<i>Fraxinus</i>	3	6	3	4	3	2	1	2	4		2	2	2	2	6		2	2		2	
Herbs																					
Gramineae	344	507	221	546	176	107	33	23	76	20	26	46	31	135	161	43	75	173	32	42	
Cyperaceae	250	205	269	193	58	440	161	61	275	294	170	61	84	323	118	475	445	261	142	132	
<i>Typha</i>	1													1							
<i>Lilium</i>	2	2																			
other Liliaceae		2			1											1					
Iridaceae			11																1		
<i>Lysichiton</i>		2	1	4	2	2		1						1							
other Monocotyledoneae													2	1							
Moraceae				1	1																
Urticaceae				1			1						1					1			
<i>Persicaria</i>	1	5		2																	
<i>Rumex</i>	1	1	1	2						1		2	1	1			3		1	2	
Caryophyllaceae		1	1	1																1	
Chenopodiaceae + Amaranthaceae	1	1	1		3		1	1	2	3		1		2	1		1	2	1	1	
<i>Aconitum</i>															1						
<i>Coptis</i>			2			1				3	2					3	1	11			
<i>Clematis</i> type	1			1																1	
<i>Ranunculus</i>	9	9	2										1								
<i>Thalictrum</i>	17	4	9	16										1			3	1			
<i>Drosera</i>					1			1						1	2	3				1	
<i>Macleya</i>														1							
Cruciferae														1	1						

Table 2 (continued)

Taxon	Y-1	Y-2	Y-3	Y-4	Y-5	Y-6	Y-7	Y-8	Y-9	Y-10	Y-11	Y-12	Y-13	Y-14	Y-15	Y-16	Y-17	Y-18	Y-19	Y-20
<i>Agrimonia</i>						1														
<i>Sanguisorba</i>	67	55	203	61	64	5	29	11	19	9	11	14	31	27	13	35	47	44	144	34
other Rosaceae	7	3	5	3	2							1	3			1	1	3		5
Leguminosae	1													1						
<i>Geranium</i>	3	2	4	4				1							1					
Umbelliferae	29	6	16	24	1	2	2	2		2	1	1	2	1	1	1	6	2	1	2
<i>Plantago lanceolata</i>	2								1											
other <i>Plantago</i>	19	15	10	11	1	5	1		1	1	1	1	1		1	1		1		4
<i>Gentiana</i>			20	1	1	1							2							
Labiatae			2	5															1	
Boraginaceae				1						1										
<i>Patrinia</i>	2		1																	1
<i>Adenophora</i>	1	3	4																	
<i>Artemisia</i>	120	52	51	43	22	12	7	7	9	9	16	15	16	8	12	15	21	25	17	6
other Carduoideae	20	5	18	17	6	6	5	7	7	7	81	4	2	7	30	3	16	29	7	2
Cichorioideae	10	1	9		1			3							2		1			1
Ferns																				
1-lete type FS	77	104	23	23	8	5	2	8	7	4	2	4	4	1	4	11	12	3	4	9
3-lete type FS	1							1	1						1		2			1
<i>Lycopodium serratum</i> type	1															1			4	
other <i>Lycopodium</i>	2	1							1		1	1	1			3	7	2	1	1
Osmundaceae	2	2		2	1	2				1	1	1			4	2	2			1
Ophioglossaceae	5	2	1		2								1							
Trees	227	287	260	251	214	246	200	188	267	250	227	257	203	242	246	272	231	280	222	254
Shrubs	40	36	62	52	45	202	24	52	59	83	79	162	243	21	87	52	159	194	28	50
Herbs	908	881	860	937	340	582	240	118	390	350	308	146	177	512	344	581	620	554	347	234
Ferns	88	109	24	25	11	7	2	9	9	5	4	6	6	1	9	17	23	5	9	12
Unknown	93	69	48	46	33	40	12	15	28	14	18	10	23	11	34	33	28	24	34	37
Total	1356	1382	1254	1311	643	1077	478	382	753	702	636	581	652	787	720	955	1061	1057	640	587
Mosses																				
<i>Sphagnum</i>	2	2	3	2	3	5	1	7	163	18	16	143	289	5	3	13	9	4258	970	24
Other Palynomorphs																				
Zygnematales				6																

* Non-native in Hokkaido, ** Native from southern Hokkaido to Honshu.

Fig. 2 にはこれらの花粉ダイアグラムを示した。

一般に泥炭では試料 1 ml 当たり数万～十数万程度、時には数十万の花粉を含んでいる。moss polster では空隙率の大きいことに加え、精度のよい体積あるいは重量測定が難しいため、今回は花粉含量の定量を行っていない。しかし、試料処理量に対する残渣中の花粉量からうけた印象では、泥炭の花粉含量に比べ相当に少ないと言え、Y-8 ではプレパラート全面の観察で高木花粉総数が 188、総花粉数は 382 であった。

花粉・シダ孢子総数に対する高木花粉総数の比率（高木花粉比率）は、平均 31.3（最大 49.2 – 最低 16.7、以下同様に表記）% であり、また、*Salix* および Ericaceae を除いた高木・低木花粉総数の比率は、平均 34.8（54.5 – 19.7）% でどちらも地点間の差が大きかった。後者の比率は、明らかに島外から飛来したとみなせる花粉の割合を示す最低限の目安となる値である。高木花粉のすべては島外から

の飛来花粉なので、高木花粉は島外飛来花粉の平均 89.5（95.7 – 81.8）% を占めることになる。さらに、高木花粉のうち、道南部で遠から飛来したとみなせる花粉は平均で 20.3（27.1 – 13.7）% を占める。なお、Y1 ~ Y4 など湿原縁辺に近い地点では高木花粉比率がやや低い傾向が見られた。高木花粉では、*Betula* が平均 38.5（45.8 – 26.0）% と最も高率を示し、次いで *Quercus* の平均 20.3（28.2 – 14.6）%、*Pinus* subgen. *Diploxylon* の平均 9.5（14.0 – 4.9）%、*Cryptomeria* の平均 8.3（19.7 – 3.7）% の順に多く検出されたが、*Pinus* subgen. *Diploxylon* と *Cryptomeria* の両者間の出現率に大きな違いはない。北方系針葉樹を標徴する *Abies* および *Picea* は、それぞれ平均 4.5（10.0 – 1.5）% と平均 5.8（13.4 – 1.5）% で検出され、両者の出現傾向は類似する。*Larix* は、18 地点で検出されており、最大で 2.0% の出現率である。

高木花粉と不明花粉を除いた花粉およびシダ孢子が占

Table 3 Minimum, maximum, and average pollen percentages for selected taxa on Yururi Island

Taxon	max.	min.	mean	Taxon	max.	min.	mean
<i>Pinus</i> subgen. <i>Diploxylon</i>	14.0	4.9	9.5	<i>Salix</i>	1.7	0.0	0.5
<i>Pinus</i> subgen. <i>Haploxylon</i>	2.2	0.4	1.1	<i>Myrica</i>	0.3	0.0	0.1
<i>Abies</i>	10.0	1.5	4.5	<i>Corylus</i>	1.7	0.0	0.8
<i>Picea</i>	13.4	1.5	5.8	<i>Alnus</i> subgen. <i>Alnus</i>	5.6	0.8	2.5
<i>Larix</i>	2.0	0.0	0.8	<i>Alnus</i> subgen. <i>Alnaster</i>	4.4	0.5	1.7
<i>Cryptomeria</i>	19.7	3.7	8.3	Ericaceae	50.7	0.0	11.7
<i>Pterocarya</i>	0.5	0.0	0.2	<i>Fraxinus</i>	1.4	0.0	0.5
<i>Juglans</i>	2.6	0.0	0.9	Gramineae	53.9	4.6	20.8
<i>Betula</i>	45.8	26.0	38.5	Cyperaceae	73.1	14.7	39.9
<i>Carpinus tschonoskii</i> type	0.4	0.0	0.1	<i>Lysichiton</i>	0.6	0.0	0.1
other <i>Carpinus</i> + <i>Ostrya</i>	5.0	1.6	3.1	<i>Rumex</i>	0.7	0.0	0.2
<i>Fagus crenata</i> type	2.0	0.0	0.6	Chenopodiaceae + Amaranthaceae	0.8	0.0	0.3
<i>F. japonica</i> type	0.5	0.0	0.1	<i>Sanguisorba</i>	37.5	0.6	8.4
<i>Quercus</i>	28.2	14.6	20.3	other Rosaceae	1.7	0.0	0.3
<i>Cyclobalanopsis</i>	1.4	0.0	0.6	Umbelliferae	2.8	0.0	0.7
<i>Castanea</i> + <i>Castanopsis</i>	1.2	0.0	0.4	<i>Plantago lanceolata</i>	0.2	0.0	0.0
<i>Ulmus</i>	7.4	1.3	4.2	other <i>Plantago</i>	1.8	0.0	0.5
<i>Zelkova</i>	0.9	0.0	0.4	<i>Gentiana</i>	2.1	0.0	0.2
<i>Acer</i>	0.8	0.0	0.1	<i>Artemisia</i>	11.6	1.5	3.8
Trees	49.2	16.7	31.3	other Carduoideae	20.7	0.5	2.8
Shrubs	37.3	2.6	11.1	Cichorioideae	1.7	0.0	0.2
Herbs	71.5	25.1	52.0	1-lete type FS	10.1	0.2	2.2
Ferns	7.9	0.1	1.9	<i>Lycopodium serratum</i> type	1.0	0.0	0.1
Unknown	6.9	1.4	3.7	other <i>Lycopodium</i>	0.9	0.0	0.2
<i>Sphagnum</i>	402.8	0.1	33.1	Osmundaceae	0.9	0.0	0.2

$n = 20$

める比率（非高木花粉比率）は、平均 65.0 (77.4 – 46.9) % であった。このうち、平均出現率が高いのは、低木では Ericaceae、草本では Gramineae, Cyperaceae, *Sanguisorba* であるが、いずれも地点間の差が大きい。島内に花粉の散布源となる個体がない *Alnus* subgen. *Alnus*, *Alnus* subgen. *Alnaster*, *Corylus*, *Fraxinus* は、地点間の出現率差が非高木花粉の中では小さいが、その中であって出現率のやや高いのは *Alnus* subgen. *Alnus* の平均 2.5 (5.6 – 0.8) %, *Alnus* subgen. *Alnaster* の同 1.7 (4.4 – 0.5) % であった。other Compositae は、平均出現率は高くないものの地点によっては最大 20.7% とやや多く検出された。*Gentiana*, other Rosaceae, *Lycopodium* も出現率は低率であるが、地点によっては目立って検出された。*Artemisia* は平均 3.8 (11.6 – 1.5) %, 1-lete type FS は平均 2.2 (10.1 – 0.2) % の出現率で認められたが、前者は Y1 ~ Y5、後者は Y1 と Y2 のように湿原の縁に近い地点では出現率が高くなる。これらほど明瞭ではないものの同じ傾向は Umbelliferae, *Plantago* でも認められる。*Ranunculus* や *Thalictrum* は湿原縁辺部付近では目立つが、内部では偶発的な出現にとどまる。また、基本数から除外して計算した *Sphagnum* は平均 33.1 (402.8 – 0.1)

% であるが、20 地点中 14 地点で 3.0% 以下と、地点間で著しい差が認められた。

考 察

1. 高木花粉

Janssen (1981) などによる散布様式のモデルでは、散布源から離れるにしたがい地点間の花粉数の差は小さくなると想定し、Faegri et al. (1989) では少なくとも 3 ~ 4 km 離れるとほぼ一定の値になるとしている。このモデルは基本的に花粉の出現率の差についてもあてはまると考えられるが（米林, 1990）、ユルリ島は高木花粉の散布源となる北海道本島から最短でも約 3 km の海上にあるので、結果に見られるような地点間における高木花粉比率の大きな差は、調査地点付近の植生の花粉生産・堆積量の違いと湿原の縁から飛来する非高木花粉などによって生じたものと言える。さらに、個々の樹種に注目すると遠距離飛来花粉出現率の差もそれなりに大きいことがわかる。すなわち、高木花粉の出現率は、*Betula*, *Quercus*, *Pinus* subgen. *Diploxylon*, *Cryptomeria*, *Picea* の順で低くなっているが、最高値と最低値の差はそれぞれ 19.8%, 13.6%, 9.1%, 16.0%, 11.9% となっている。これらの値は高木

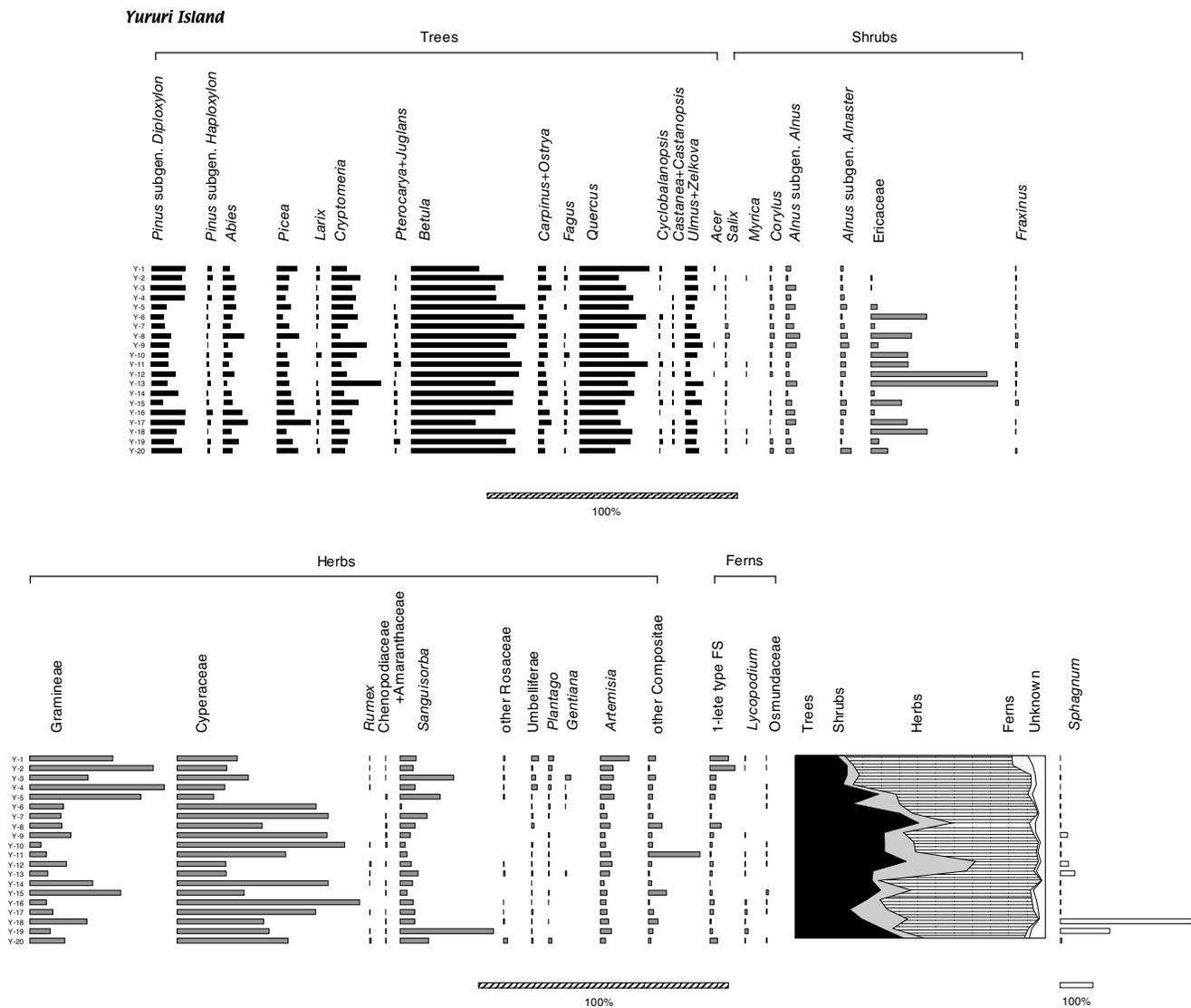


Fig. 2 Pollen diagram of selected taxa from the *Sphagnum*-polsters of the mire on Yururi Island.

花粉を基数として計算しているため、湿原の縁から飛来する非高木花粉などには影響されない。Faegri & Ottestad (1948) による花粉計測時の読取り誤差を考慮しても、これらの差は大きいといえよう。上記の樹種のうち *Betula*, *Quercus*, *Picea* の散布源は対岸の根室半島に見られるが、*Cryptomeria* は散布源が最も離れているにもかかわらず、その差は相当に大きい。この差をもたらす原因としては、開花期の季節風や降雨などさまざまな要因が考えられるが、花粉シーズンになると湿原の微地形に応じ、あちこちに花粉の集積しているところをしばしば見かけるので、このようなことも影響していると考えられる。すなわち、湿原表面の凹凸による花粉の季節ごとの集積程度の違いも関係しているであろう。

今回の結果では、島外から飛来した高木花粉のかなりの

部分は *Pinus* subgen. *Diploxylon* および *Cryptomeria* であった。北海道大学苫小牧演習林内で行われた空中花粉調査では (Igarashi, 1979), *Carpinus*, *Quercus*, *Alnus*, *Betula*, *Cryptomeria* が多く検出されており、調査地区外からの高木花粉として *Cryptomeria*, *Fagus*, *Aesculus*, *Castanea*, *Tsuga* が報告されている。この研究は森林に極めて近い位置で行われているため、付近の森林構成種である *Carpinus*, *Quercus*, *Alnus*, *Betula* の花粉が高率なのは当然としても、*Cryptomeria* の高率出現や冬期期間中にも *Cryptomeria* や *Pinus* が多く見られることは注目される。本州各地における空中花粉調査では (中島, 1982; 米林, 1984; 守田ほか, 1998; 藤崎・藤崎, 2003 など), *Pinus* subgen. *Diploxylon* と *Cryptomeria* の花粉比率の高いことが示されており、今回の結果と似た傾向を示している。

Cryptomeria の多さからみて、本州からの飛来花粉の影響の強いことは明らかであろう。日本付近の季節風の交替は3~4月と9~10月に見られる(倉嶋, 1966)。3~5月に開花する本州の *Pinus* subgen. *Diploxylon* と *Cryptomeria* などは夏の季節風によって本州から多く飛来し、開花の比較的遅い北海道の *Quercus*, *Abies*, *Picea* は夏の季節風とは逆方向となるので少なく、開花の早い *Betula* は冬の季節風によって北海道から多く飛来してきたと推定される。中国での調査例は少なく大陸南部の様子は不明であるが、北京付近の空中花粉調査では *Betula* を主体としているので(張, 1964)、大陸部からの *Betula* の飛来も相当にあると予想される。また、*Cyclobalanopsis* や *Zelkova* も普通に認められることから日本だけでなく大陸南部からの影響も否定できない。また、今回検出された *Larix* の大部分は北海道で広範囲に植林され、根室半島基部でも植林地が散見されるカラマツ *Larix kaempferi* から由来したと考えられる。*Larix* の出現率は経験的に実際の植生より過小に表現されることが知られており、その原因として、花粉生産量や散布力が小さいためといわれている(Erdtman, 1969など)。小倉ほか(1999)のバイカル湖北東部の結果では、植被率50%のダフリアカラマツ *Larix gmelinii* の林床の表層土壌で1~5%の花粉出現率を報告している。五十嵐ほか(2003)のロシア北東域における森林ツンドラとダフリアカラマツ林域の表層花粉の結果では、20%程度の花粉出現率をしめすが、植生を過小に反映すると報告している。これらの産出状況は、採取地点付近や周辺にダフリアカラマツや他の樹種が有る場合、*Larix* の出現率は過小であることを再確認するものである。しかし、今回の結果では、*Larix* は18地点で検出され、最大で2.0%の出現率を示しており、小倉ほか(1999)のバイカル湖北東部ほどではないにせよ、ダフリアカラマツ林に近い値を示している。このことは、採取地点周辺の森林植被が極めて乏しい場合、出現傾向に局地性が強いと考えられている *Larix* と言えども遠距離飛来した花粉がそこそこ検出されることを物語っており、*Larix* の出現率の解釈は慎重に行う必要があることを示している。

2. 非高木花粉および孢子

花粉散布源に近い場合は、花粉出現率が高いだけでなく、地点間の出現率差も大きくなることから(米林, 1990)、地点間差の大きい低木の *Ericaceae*、草本の *Gramineae*、*Cyperaceae*、*Sanguisorba* などは調査地点付近の植物から由来したといえる。なかでも *Ericaceae* は12.0%以上が20地点中9地点に対し、3.0%以下が9地点(内2地点が未検出)であり、出現する場合には高い頻度で出現する傾向が見られる。*Ericaceae* は、ほとんど全てが小型の花

粉であることから湿原内のハンモックに生育するツツジ科やガンコウランから由来したと考えられる。これらは、矮小で植物体に比べ花部が大きいうえ、寿命が長く、ハンモック上では競合する植物も限られるので、かなり狭い範囲に多くの花粉を散布・堆積するのであろう。地点間の出現率差が著しい other *Compositae* も局所的に生育するキク科からのものと判断される。other *Compositae* の多くは、小型の *echinate* 型で *collumella* があまり明瞭ではないことから、ハンモック上の乾燥したところにしばしば生育がみられるミヤマアキノキリンソウのものである可能性が高い。*Ericaceae* や other *Compositae* と同様の理由により *Gramineae*、*Cyperaceae*、*Sanguisorba* も湿原あるいはその周辺部に生育するヌマガヤ、ミヤコザザ、ワタスゲ、ホロムイソゲ、ナガボノシロワレモコウなどから由来したとみられる。

島内に花粉の散布源となる個体がない *Alnus* subgen. *Alnus*、*Alnus* subgen. *Alnaster*、*Corylus*、*Fraxinus* は、地点間の出現率差の小さいのは当然と考えられるが、島内に花粉の散布源となる個体がある *Salix* も地点間の差が小さい。*Salix* は花粉生産量や散布力が小さく、局地性の高いことが知られているが(Erdtman, 1969; 五十嵐ほか, 2003など)、ユルリ島における散布源は極めて少なく、その所在地も限られているので、ここで検出された *Salix* の大部分も、*Larix* の場合と同様な理由で島外からの飛来花粉とみたほうが考えやすい。また、*Artemisia* の場合は次のように考えられる。すなわち、*Artemisia* は、島内にオトコヨモギ *A. japonica*、シロヨモギ *A. stelleriana*、チシマヨモギ *A. unalaskensis*、イワヨモギ *A. iwayomogi* の生育が見られるが、湿原内には生育しない。*Artemisia* は花粉生産量・散布力が大きいとされるが(Erdtman, 1969など)、草丈が低いことから、花粉の散布距離は高木や低木ほどではないと推定される。そのため、湿原の縁に近い地点(例えば Y1~Y5)では周辺草原から由来する *Artemisia* の影響を受けるのに対し、湿原の中心部ではその影響が弱まって相対的に島外由来の *Artemisia* の比率が高まり、地点間差が湿原の縁辺部に比べ小さくなると考えられる。同様なことは、*Umbelliferae*、*Plantago* のように湿原内に生育せず、花粉生産量・散布力の劣る分類群や、1-lete type FSにも当てはまるだろう。

Sphagnum は著しい出現率差があるうえ、その孢子の生産地点そのものである moss polster といえども低率の地点が多く見られた。ミズゴケのようなコケ植物は、背丈が極めて低く、その孢子の散布範囲が極めて限られるうえ、孢子体を形成することが少ないという性質や、ミズゴケカーペット上の凹凸による集積量の差ともあいまって、極端な出現差を生じたと考えられる。このような不規則な出現

は、表層花粉を比較する場合、出現率の計算法如何によって障害となることは明らかであり、特別の理由がないかぎり、百分率計算の基本数からは除外するのが適当である。

3. 非森林域の区別について

従来、非森林域であったか否かについては、しばしば AP/NAP 比やステップ/森林指数 (Faegri et al., 1989; Traverse, 1988 など)、指標植物の利用 (中村, 1968)、花粉流入量 (pollen influx) の測定 (Davis, 1967 など) などによって論議されてきた。しかし、これらの方法を湿原堆積物に適用した場合、これまで述べてきた次のことが問題となろう。

1) 高木花粉比率は、堆積物採取地の植生の花粉生産量・散布力にも影響されるので、その場所由来の非高木花粉や胞子の多寡によって、森林域であっても低い高木花粉比率を示したり、非森林域でも高い高木花粉比率を示すことになる。

2) 湿原域あるいは堆積盆が大きい場合には、その周辺に拡がる非高木由来の花粉・胞子は堆積物採取地付近まで到達するものが少なくなり、花粉生産量・散布力の劣る分類群では検出されがなくなる。

3) 湖沼堆積物とは異なり、泥炭地堆積物では泥炭地そのものが花粉生産の場であることや、湿原表面の凹凸による違いが花粉の集積に直接影響を与える。

1) は、比や指数の単純な閾値設定の危険性を示すものであり、2) は指標植物によっては死活的問題となる。これらのことは、百分率組成の花粉分析の場合、非森林域であったか否かを判定するのは難しいことを示している。3) は花粉流入量の値が不規則になることを示すものであり、閾値設定の困難さを予感させる。さらに、分析地点によって堆積盆の大きさや集水域が異なるため、たとえ周辺植生が同じであっても花粉流入量そのものが地点毎に異なることになるので、ある地点の森林量の時間変化をうまく捕らえることは可能であっても、地点間の森林量比較が困難なことは、やはり大問題と言えよう。

これまで述べてきたように、採取地点の周囲における非森林域の拡がり大きい場合には、遠距離飛来してくる花粉の散布源も広範囲にわたり、はるか遠方に大規模に拡がる樹種の花粉が相当量含まれるのに対し、森林域にある場合には、遠距離飛来花粉の割合は少ない (佐々木, 1986 など)。前者の場合には、主要樹木花粉の出現率のバラツキが比較的小さいのに対し (Jackson & Dunwiddie, 1992)、後者では周辺に散布源があることから、そのバラツキは大きくなる (Sugita, 1994 など)。また、今回の結果および環境傾度によって植生と花粉出現率を多数比較した結果をみれば (Birks & Birks, 1980; Faegri et al., 1989;

守田, 1984 など)、バラツキは大きいものの非森林域では森林域に比べ非高木花粉の占める割合が高くなる傾向がある。以上のことから、1 地点のみの結果からは上記 1) で指摘した非高木花粉や胞子の多寡を判断するには無理があるが、複数地点の花粉の出現率や消長を相互に比較することはもちろんのこと、隣接する植生帯やさらに遠方の植生帯の花粉についてもその出現率や消長に注意を払うことによって、遠距離飛来花粉と現地性の非高木花粉それぞれの多寡が判別できうることを示しており、そのことにより非森林域か否かを区別することも可能といえよう。例えば、北海道各地の完新世後半の花粉分析結果を比較すると (小野・五十嵐, 1991; 塚田・中村, 1988 など)、内陸部では *Fagus* や *Cryptomeria* は偶発的な出現であるのに対し、ユルリ島湿原や落石湿原ではほぼ連続的な出現であり、出現率も比較的高い (守田, 2001a, b; 五十嵐ほか, 2001)。また、前者における *Pinus*, *Abies*, *Picea*, *Quercus*, *Betula*, *Carpinus* などの主要樹種の消長は地点によって異なり、非高木花粉比率もまちまちであるが一般に高いのに対し、後者では主要樹種の消長はかなりの一致が見られ、非高木花粉比率も大体低率である。このことは、根室半島部が内陸部よりも森林植被の少ない環境にあったことを示していると言えよう。このような方法は、出現傾向に局地性が強いとされる *Larix* などにも有効と考えられる。すなわち、カラマツ林の分布域や分布限界付近では、*Larix* は地点によって高低まちまちの出現が予想されるのに対し、非森林域では、今回の分析結果にみるように低率ながら大部分の地点で検出されるであろう。

なお、各植生型について表層花粉のデータセットが十分にそろえば、分類群とその出現率の組合せによる方法 (Birks & Birks, 1980) や、花粉データから直接、植生型区分や気候の数値化を行うという方法もある。しかし、これらの方法は遠距離飛来花粉の影響を考慮しないので、その影響を受ける場所では、その影響の程度に応じて復元精度が悪くなるという宿命をもつ。精度向上にはデータセットの集積をさらに進めるとともに、適切な判別モデルや回帰モデルの開発が必要であろう。

謝 辞

ユルリ島の第一次調査では上田圭一、稲生世正、第二次調査では穂明寺智成、中村康則、第三次調査では百原 新、関口千穂、那須浩郎、本村浩之、林 成多の諸氏に試料採取の協力をいただいた。また、これらのユルリ島湿原調査では根室市教育委員会の皆様および近藤憲久氏から多大の情報と便宜をいただいた。記して深く感謝いたします。なお、本研究には平成 12 年度および 13 年度の科学研究費補助金 (COE 形成基礎研究費、課題番号 09CE1001、代

表者；安田喜憲)を一部使用した。

引用文献

- Aario, L. 1940. Waldgrenzen und subrezente Pollenspektren in Petsamo Lappland. *Annales Academiae Scientiarum Fenniae, Ser. A* 54: 1–120.
- Birks, H. J. B. & Birks, H. H. 1980. *Quaternary Palaeoecology*. 289 pp. Edward Arnold Ltd., London.
- Bradshaw, R. H. W. & Webb III, T. 1985. Relationships between contemporary pollen and vegetation data from Wisconsin and Michigan, USA. *Ecology* 66: 721–737.
- 張 金談. 1964. 北京西郊空气中的花粉. *植物学報* 12: 282–285.
- Davis, M. B. 1967. Pollen accumulation rates at Rogers lake, Connecticut, during late- and postglacial time. *Review of Palaeobotany and Palynology* 2: 219–230.
- Erdtman, G. 1969. *Handbook of Palynology*. 486 pp. Munksgaard, Copenhagen.
- Faegri, K., Kaland, P. E. & Krzywinski, K. 1989. *Textbook of Pollen Analysis*, 4th ed. 327 pp. John Wiley & Sons, New York.
- Faegri, K. & Ottestad, P. 1948. Statistical problems in pollen analysis. *Universitetet i Bergen årbok 1948, Naturvitensk. rk.* 3, 1–27.
- 藤崎洋子・藤崎 茂. 2003. 新潟市における過去30年間の空中飛散花粉の変動と花粉症との関連. *日本花粉学会会誌* 49: 59–70.
- Gotanda, K., Nakagawa, T., Tarasov, P., Kitagawa, J., Inoue, Y. & Yasuda, Y. 2002. Biome classification from Japanese pollen data: application to modern-day and Late Quaternary samples. *Quaternary Science Review* 21: 647–657.
- Igarashi, Y. 1979. Pollen incidence and wind transport in central Hokkaido (1). *Journal of Faculty of Science, Hokkaido University, Ser. IV* 19: 257–264.
- 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・熊野純男. 1981. 北海道における最終氷期の植生変遷. *第四紀研究* 20: 129–142.
- 五十嵐八枝子・五十嵐恒夫・遠藤邦彦・山田 治・中川光弘・隅田まり. 2001. 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. *植生史研究* 10: 67–79.
- Jackson, S. T. & Dunwiddie, P. W. 1992. Pollen dispersal and representation on an offshore island. *New Phytologist* 122: 187–202.
- Janssen, C. R. 1981. On the reconstruction of past vegetation by pollenanalysis: A review. *Proceedings of 4th International Palynological Conference, Lucknow(1976–77)* 3: 163–172.
- 倉嶋 厚. 1966. 日本の気候. 253 pp. 古今書院, 東京.
- 守田益宗. 1984. 東北地方の亜高山帯における表層花粉と植生の関係について. *第四紀研究* 23: 197–208.
- 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. 2001a. ユルリ島における晩氷期以降の植生変遷. *植生史研究* 10: 81–89.
- 守田益宗. 2001b. 根室半島における後期更新世以降の植生変遷. *植生学会誌* 18: 39–44.
- 守田益宗・片岡裕子・三好教夫. 1998. 加計学園自然植物園における空中花粉調査. 加計学園自然植物園研究報告 No. 2: 8–12.
- Nakagawa, T., Kitagawa, H., Yasuda, Y., Tarasov, P. E., Nishida, K., Gotanda, K., Sawai, Y. & Yangtze River Civilization Program Members. 2003. Asynchronous climate changes in the north Atlantic and Japan during the Last Termination. *Science* 299: 688–691.
- 中島伸佳. 1982. 奈良市並びに高知市における空中花粉飛散状況の比較研究. *花粉* No. 17: 35–42.
- 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 17: 39–51.
- 中村 純. 1973. 花粉化石からみた日本の後期更新世. *第四紀研究* 12: 29–37.
- 小倉 晃・高原 光・Krivonogov, S. K.・Bezrukova E. V.・三好教夫・上田圭一・志知幸治・竹原明秀・内山 隆. 1999. バイカル湖北東部における最終氷期以降の植生変遷. 日本花粉学会第40回大会講演要旨集, 19.
- 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.
- Prentice, I. C. 1978. Modern pollen spectra from lake sediments in Finland and Finnmark, north Norway. *Boreas* 7: 131–153.
- 斎藤新一郎. 1996. ユルリ島およびモユルリ島の地形, 土壌, 植物群落および植物目録(1972). 根室市博物館開設準備室紀要 10: 1–61.
- 佐々木昌子. 1986. 植生の異なる地域に発達する湿原の表層堆積物の花粉組成の比較. *第四紀研究* 25: 13–19.
- Sugita, S. 1994. Pollen representation of vegetation in Quaternary sediments: Theory and method in patchy vegetation. *Journal of Ecology* 82: 881–897.
- 田中瑞穂. 1974. 根室ユルリ島の植生. 釧路市立郷土博物館々報 No. 226: 3–9.
- Traverse, A. 1988. *Palaeopalynology*. 600 pp. Unwin Hyman Ltd., London.
- Tsukada, M. 1958. Untersuchungen über das Verhältnis zwischen dem Pollengehalt der Oberflächenproben und der Vegetation des Hochlandes Shiga. *Journal of the Institute of Polytechnics, Osaka City Univ., Ser. D.* 9: 217–234.
- 塚田松雄・中村 純. 1988. 第四紀末の植生史. 「日本植生誌9 北海道」(宮脇 昭編), 96–130. 至文堂, 東京.
- 米林 伸. 1984. 仙台市における1978年の空中花粉調査. *花粉* No. 18: 2–12.
- 米林 伸. 1990. 花粉分析による植生の空間分布の復元. *植生史研究* No. 5: 19–26.

(2004年9月22日受理)