

新潟県十日町市松之山地域における小湿地周辺の局地的植生変遷

米 林 伸* 小 林 誠**

キーワード：花粉分析, 湿原, 湿地林, 多雪地, 泥炭

1. はじめに

花粉分析による環境変遷史の研究は、気候に支配される広域的植生の変遷から気候変遷を復元することを目指したものが多く、微地形や地下水位などに支配される局地的植生の変遷は、気候変遷に対する応答を分かりづらくする要因として排除される場合が多かった。局地的植生は、長期的な気候変遷から短期的な地下水位変動をはじめとする様々な要因の変化に応答すると考えられるが、通常の生態学的手法ではこれらの要因の変化を短期間の生態学データによってしか評価しない (Willis and Birks 2006)。短期間の生態学データから評価できるのは短期間の応答だけであるため、通常の生態学的手法では植物や植生の長期間の応答を知ることはできない。一方、花粉分析をはじめとする古生態学的データは長期的観点を提供することから、これらを生態学的知見に加えることにより、現在の植生の成立過程や将来の変化についてのより良い理解につながる (Yonebayashi 2023)。例えば、多くの教科書に描かれている、池が植物遺体で埋積されて最終的に森林になるという湿性遷移の図で知られる伝統的な仮説は、花粉分析を含めた植物遺体分析の検証では支持されない。古生態学的データによると、実際の湿原は永続的なことが多く、湿性遷移系列は水路の下刻、堰き止め、気候変動などによる地下水位変化に応答して様々な方向に変化 (遷移) することが明らかになっている (Colinvaux 1993)。

本研究では、多雪地の小起伏山地の尾根近くに成立した小湿地の花粉分析によって、局地的植生に実際に生じた長期的変遷を明らかにすることを目的とした。

2. 調査地と植生

花粉分析用柱状試料は新潟県十日町市松之山松口地区内にある通称「小谷地」から採取した (37.096° N, 138.614°

E, 標高317m)。小谷地は十日町市立里山科学館 越後松之山「森の学校」キョロロが管理する「キョロロの森」内にある約100m×50mの東西に長い湿原で、小起伏山地の尾根に近い浅い谷の最上流部に位置する。周辺の山地は森林が多く、ブナの自然林と二次林、コナラ二次林、スギ植林が多い。また、周辺の谷底や緩傾斜地は主に水田として利用されている。

小谷地湿原はカヤツリグサ科のイヌノハナヒゲ類とミズゴケ類が優占する。ミズゴケ類ではオオミズゴケ (*Sphagnum palustre*)、ワタミズゴケ (*S. tenellum*)、シナノミズゴケ (*S. annulatum* var. *porosum*)、ハリミズゴケ (*S. cuspidatum*) が、草本類ではコイヌノハナヒゲ (*Rhynchospora fujiana*)、オオイヌノハナヒゲ (*R. fauriei*)、ホタルイ (*Schoenoplectiella hotarui*)、ニッポンイヌノヒゲ (*Eriocaulon taquetii*)、モウセンゴケ (*Drosera rotundifolia*)、サワヒヨドリ (*Eupatorium lindleyanum* var. *lindleyanum*)、オオニガナ (*Nabalus tanakae*) などが生育する。湿原の周囲にはハイイヌツゲ (*Ilex crenata* var. *radicans*)、ミヤマウメモドキ (*I. nipponica*)、ウリハダカエデ (*Acer rufinerve*)、ミズナラ (*Quercus crispula* var. *crispula*)、コナラ (*Q. serrata*)、タニウツギ (*Weigela hortensis*)、ミヤマイボタ (*Ligustrum tschonoskii*)、イソノキ (*Frangula crenata*) などが生育する。

調査地の約12km北西にある十日町 (標高170m) のアメダスデータから取得した平年値 (1991~2020年) は、平均気温11.8℃、年降水量2537.0mm、温かさの指数 (WI) 96.8、寒さの指数 (CI) -14.7、また約12.5km南南東にある津南 (標高452m) の平年値は平均気温10.9℃、年降水量1954.0mm、WI = 88.8、CI = -18.3である。

3. 方法

2015年10月に湿原のほぼ中央で、ヒラー型ハンドボー

* 立正大学地球環境科学部

** 十日町市立里山科学館「森の学校」キョロロ

ラーを用いて30cm毎に柱状試料1本を採取した。採取した試料は実験室に持ち帰り、堆積物の記載をした。土性の区分は、植物遺体を主とする泥炭と、無機質を主とする部分に分け、後者については必要に応じ指でこねることにより粘土、シルト、礫に区分した。その後、深さ10cm間隔で厚さ約5mmの花粉分析用試料を切り出したが、最上部だけ5cm間隔とした。花粉分析用スライドの作成はFægri et al. (1989) を一部修正した次の方法で行った。コロイドを凝集させ腐食酸を除去するための10%KOH水溶液処理、目開き300 μ mの金網による粗粒物の除去、比重1.90以上に調整したZnCl₂水溶液による比重分離、アセトリシス処理によるセルロース除去、最後に染色せずに適量をグリセリン・ゼリーで封入してプレパラートを作成した。

プレパラートは生物顕微鏡で18×18mmのカバーガラス全体、あるいは高木花粉の合計が500粒以上になるように等間隔に設定した列の全部を走査し、その間に出現した全ての花粉とシダ孢子、ミズゴケ孢子の種類と数を記録した。したがって非高木花粉・孢子と不明花粉を含めると、記録した花粉・孢子の合計は各試料で500粒を超える（734～2716粒）。花粉・孢子型の名称は、同定可能な分類階級の名称を用いたが、「-型（type）」と「/」の使用法はBirks and Birks (1980) に従った。すなわち「-型」はその名前で示された分類群を含む3つ以上の分類群の可能性のある花粉型であるが、花粉形態からはいずれの分類群が区別できないものを示す。例えばクリ属型はクリ属、シイ属、オニガシ属のいずれかであることを示し、「/」はその前後の名前で示されたどちらか一方の分類群であるが、花粉形態からは区別できないものを示す。高木花粉（図1）は広域的な森林組成の変遷を表すため高木花粉合計に対する百分率で、非高木花粉・孢子（図2）は局地的あるいは一時的に多産する花粉・孢子の百分率に対する影響を軽減するため花粉・孢子総数に対する百分率で示した。

深さ201～203cmと25～27cmの泥炭から抽出した植物遺体のAMS放射性炭素年代の測定をBeta Analyticに依頼し、OxCal 4.4 (Reimer et al. 2020) に基づく暦年代（cal. yr BP）で表した。

4. 結果

堆積物と放射性炭素年代

採取できた全長270cmの柱状試料のうち、深さ208cmより下部は粘土が優占し、上部は泥炭であった（図1）。

226cmより下部は灰色を帯びた無機質の粘土で、最下部の270～258cmには径約3mmの礫を含む。226cmから上に向かって漸移的に黒色を帯びた有機質粘土になる。また、208cmより上部の泥炭層のうち、184～145、44～20、12～0cmは分解の悪い泥炭である。

深さ201～203cmと25～27cmのAMS放射性炭素年代（Beta-444877, Beta-719836）はそれぞれ3,146—2,882 cal. yr BP と551—500 cal. yr BPであった。

花粉ダイアグラム

花粉ダイアグラムは主要高木花粉の消長に基づき2つの局地花粉帯に区分し、さらに非高木花粉・孢子と畦畔性の高木花粉の消長から8つの亜帯に区分した（図1, 2）。深さ30～240cmの花粉帯Iはブナ花粉の優占で特徴づけられ、次いでコナラ亜属とスギ属の花粉が多かった。深さ20cmより上部の花粉帯IIではブナ花粉が減少し、下部でコナラ亜属花粉、最上部でスギ属花粉が急増した。表層を西暦2015年、深さ202cmを3008 cal. yr BP、深さ26cmを525 cal. yr BP（中央値）として内挿および外挿すると、花粉帯I/II境界は約500 cal. yr BP、II帯下限は約3,540 cal. yr BPになる。

Ia亜帯（240～220cm）は湿地や溪畔林を特徴づける花粉の出現が少なく、下部では単条溝型シダ孢子が50.8～66.0%を占めた。Ib亜帯（210～190cm）はトチノキ属花粉の増加で特徴づけられる。また、この花粉帯以降ハンノキ属花粉も増加した。Ic亜帯（180～150cm）ではカヤツリグサ科花粉とゼンマイ科孢子が増加した一方、トチノキ属花粉は減少した。Id亜帯（140～80cm）ではカヤツリグサ科花粉がさらに増加して非高木花粉で最も優勢となり、ミズゴケ属孢子もほぼ連続的に1%以上出現した。Ie亜帯（70～50cm）ではトネリコ属、キク亜科、ホシクサ属の花粉とゼンマイ科孢子が増加し、カヤツリグサ科花粉はやや減少した。また、最上部ではモチノキ属花粉が増加した。If亜帯（40～30cm）ではトネリコ属花粉とゼンマイ科孢子がさらに増加し、ヤナギ属、ガマ属/ミクリ属の花粉が新たに増加した一方、カヤツリグサ科とホシクサ属の花粉は急激に減少した。また、モチノキ属花粉は比較的高い出現率を維持した。IIa亜帯（20cm）はヤナギ属花粉の急増で特徴づけられ、トネリコ属やガマ属・ミクリ属の花粉は減少した。IIb亜帯（10～5cm）ではカヤツリグサ科花粉が再び増加し、If亜帯とIIa亜帯でやや減少していたハンノキ属花粉も再び増加した。

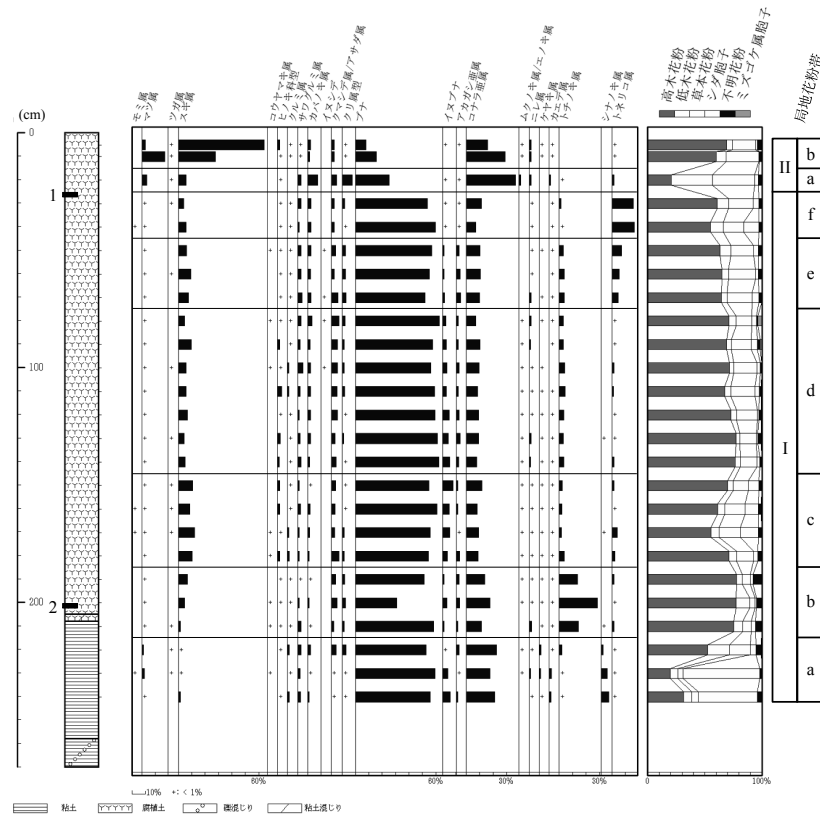


図1. 高木花粉の花粉ダイアグラム.

出現率は高木花粉合計に対する百分率で示した. +印は1.0%未満の出現を示す.
 1: 551—500 cal. yr BP (Beta-719836), 2: 3,146—2,882 cal. yr BP (Beta-444877).

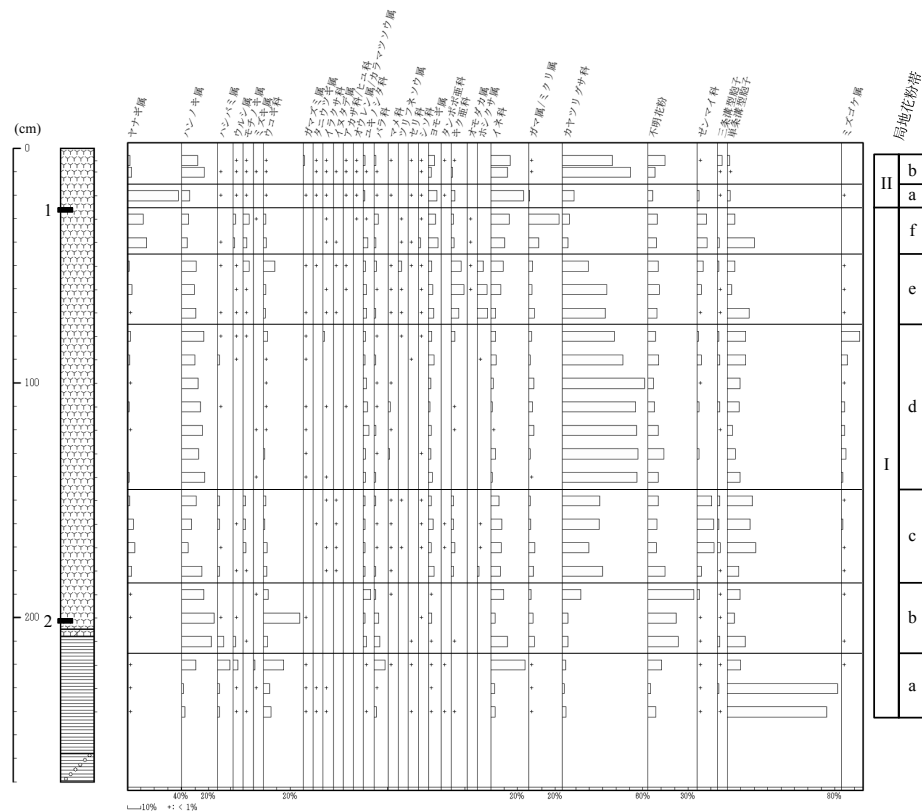


図2. 非高木花粉・胞子の花粉ダイアグラム.

出現率は花粉・胞子総数に対する百分率で示した. +印は1.0%未満の出現を示す.

5. 考察

下部の粘土層から上部の泥炭層への層相変化が漸移的で、泥炭層にも明瞭な不整合が見られない点から、小谷地の堆積物はほぼ連続的に堆積したと考えられる。これらの堆積速度が一定だったという仮定には無理があるが、他に有効な時間指標が得られなかったため深さ202cmと26cmの放射性炭素年代から、花粉帯I/II境界とII帯下限の年代を内挿および外挿して推定した。それによって得られた花粉帯I/II境界の500 cal. yr BP、II帯下限の3,540 cal. yr BPは年代推定の目安にはなるであろう。

広域的森林植生の変遷

花粉帯Iの花粉組成から、この時代の広域的な森林植生は次のように推定される。ブナ花粉が優占してコナラ亜属花粉が多かったことから、周辺はブナ優占林でコナラやミズナラなどのナラ類を比較的多く伴っていた。また、スギ属花粉も連続的に出現したことから、Ib亜帯以降はスギの小林分も常に存在していたと考えられる。小谷地の花粉帯Iの時代は、ブナ帯最上部に位置する富山県餓鬼の田圃周辺ではブナが最も優占していた時代の後で、スギを含む温帯性針葉樹がやや増えた時代（3,740 cal. yr BP以降）に当たり、湿原植生では完新世初期に減少していたカヤツリグサ科植物が再び増加した時代である（Yonebayashi 2018）。同じ場所の泥炭分析によると、この時代から草本やミズゴケの遺体が増加し、泥炭中に無機物をほとんど含まなくなったことが明らかになっており、完新世最温暖期後の気温低下による雪だけの遅れと、豪雨の頻度の減少によって説明されている（相馬 1991）。中世後期以降の花粉帯IIになるとブナ属花粉が減少し、はじめにコナラ亜属花粉、次いでマツ属とスギ属の花粉が増加した。これらの花粉の消長から、自然植生のブナ優占林が伐採され、まずコナラなどのナラ類の二次林が増加し、次いでアカマツ二次林とスギ植林地が広がったと考えられる。

小谷地湿原周辺の局地的植生の変遷

広域的な森林植生は、中世後期に伐採が始まるまでの3千年以上の間、一貫してブナ優占林であったが、小谷地周辺の局地的な植生は目まぐるしく変化した。局地的植生の変遷は次のように推定される。

Ia亜帯の堆積物は無機質の粘土で、湿地や溪畔林を特徴づける花粉の出現が少なかった。このことから、小谷地湿原は3,500年より少し前に浅い谷の下流側が堰き止

められることによって、ブナ林の中に生じた浅い池から始まったと考えられる。池周辺には若干のハンノキ、あるいは小規模な攪乱地のケヤマハンノキが見られたものの、湿原植物や溪畔林要素はほとんどなかったと考えられる。この花粉帯下部で優占するシダ胞子は、泥炭やポドソル土の中では分解しやすいが、河川性粘土や腐葉土中では分解しにくい（Havinga 1984）。このことから下部のシダ胞子の優占は、シダ類が優占する植生を反映しているのではなく、粘土中で分解しにくいシダ胞子の性質によると考えられる。Ib亜帯ではトチノキ属やハンノキ属花粉が増加し、堆積物は上部に向かって泥炭に移り変わる。トチノキの成木は畦畔域の中でも土壌の厚い崖錐地から斜面下部の土壌水分の多い環境に生育する（星崎 2009, 崎尾 2017）。また、調査地の渓流域に生育する可能性があるハンノキ属樹木にはケヤマハンノキとハンノキがあるが、ケヤマハンノキは流路に近い攪乱頻度の高い場所で優占するのに対し、ハンノキの生育適地は過湿で地下水位が高く、定期的に湛水するような場所である（Fujita and Kikuchi 1984, 1986, Fujita and Fujimura 2008）。ハンノキの典型的な生育地は沖積平野の氾濫原であるが、山地や丘陵地などの谷底面で表層が細粒質の粘土やシルト、あるいは泥炭である立地にも、しばしばハンノキ林が成立する（富士田 2009）。これらのことから、谷の堰き止めと池の形成による地下水位の上昇によってトチノキの溪畔林やハンノキ湿地林が形成されるとともに、植物遺体によって池が埋積されて泥炭湿原になったと考えられる。Ic亜帯ではトチノキ属やハンノキ属の花粉が減少し、カヤツリグサ科花粉とゼンマイ科胞子が増加したことから、周辺のトチノキ林やハンノキ湿地林は衰退し、湿原自体はイヌノハナヒゲ類やホタルイなどのカヤツリグサ科植物やヤマドリゼンマイが生育するやや乾燥した湿原になったと考えられる。Id亜帯ではカヤツリグサ科花粉が最も優勢となり、ミズゴケ属胞子も連続的に出現することから、湿原は現在の多雪山地に多く見られる湿潤なカヤツリグサ科－ミズゴケ湿原になったと考えられる（米林 2023, など）。Ie亜帯ではトネリコ属、キク亜科、ホシクサ属の花粉とゼンマイ科胞子が増加し、カヤツリグサ科花粉がやや減少した。調査地周辺の湿性立地に生育する可能性があるトネリコ属樹木のヤチダモは、ハンノキと同様の過湿で地下水位の高い場所に生育し、ハンノキと混交林を形成することも多いが、地表が湛水するような場所では少ない（Fujita and Fujimura 2008）。また、風媒植物に比べて花粉生産数が少ない虫媒植物のトネリコ属花粉は局地性が強く、

ヤチダモが散在する程度のハンノキ林の表層では検出されなかった (Yonebayashi 1987)。これらのことからトネリコ属花粉の増加は、ボーリング地点の直近に多くのヤチダモが侵入したことを示していると考えられる。また、キク亜科花粉とゼンマイ科胞子の増加とカヤツリグサ科花粉の減少から、湿原自体は湿潤なカヤツリグサ科－ミズゴケ湿原よりも、やや乾燥化したと考えられる。If 亜帯ではトネリコ属花粉とゼンマイ科胞子がさらに増加し、ヤナギ属やガマ属／ミクリ属の花粉が新たに増加した一方、カヤツリグサ科とホシクサ属の花粉が急激に減少した。このことから、草本主体の湿原が衰退するとともにヤナギ類を交える湛水しないヤチダモ湿地林が拡大し、一部の湛水する明るい場所にはガマ類が侵入したと考えられる。また、直前の花粉帯から虫媒植物のモチノキ属花粉が増加したことから、ヤチダモ湿地林の林縁や林床には現在の小谷地にも生育するハイイヌツゲやミヤマウメモドキを伴っていたと考えられる。IIa 亜帯はヤナギ属花粉の急増で特徴づけられ、トネリコ属やガマ属／ミクリ属の花粉は減少した。ヤナギ類は異なる生態的要求を持つ多数の種からなるが、一部の種を除いて日当たりの良い水辺に生育する先駆樹種である (崎尾 2017)。したがって、広域的なブナ林とともに湿原周辺のヤチダモ林も伐採され、伐採後の明るい湿った場所にヤナギ林が拡大したと考えられる。IIb 亜帯ではカヤツリグサ科とハンノキ属の花粉が再び増加したことから、湿原周辺にケヤマハンノキが生育する現在のカヤツリグサ科－ミズゴケ湿原が成立したと考えられる。

本研究の結果、広域的な森林植生は、中世後期に伐採が始まるまでの3千年以上の間、一貫してブナ優占林であったが、小谷地周辺の局地的な植生は数百年から千年程度の時間で変化していたことが明らかになった。これまで同じ地域の複数の湿原で復元された西暦915年と現在の湿原植生との比較によって、湿原間で植生変化の方向が異なることから、長期的な湿原植生の変化は、局地的な水文環境や微地形などの局地的な変化に直接応答することが示唆されていたが (米林 2023)、このことは約3千年間の連続的な変化を実証的に示した本研究によっても支持された。

謝辞

小谷地での調査と試料採取を許可していただいた土地所有者の田辺道博氏に感謝いたします。

6. 文献

- Birks, H.J.B. and Birks, H.H. (1980) "Quaternary Palaeoecology". Edward Arnold. 289 pp.
- Colinvaux, P. (1993) "Ecology 2". John Wiley & Sons. 688 pp.
- Fægri, K., Kaland, P.E. and Krzywinski, K. (1989) "Textbook of Pollen Analysis, 4th ed.". John Wiley & Sons. 328 pp.
- 富士田裕子 (2009) ハンノキ. *In*: 日本樹木誌編集委員会 (編) 日本樹木誌 1. 日本林業調査会, pp. 549-575.
- Fujita, H. and Fujimura, Y. (2008) Distribution pattern and regeneration of swamp forest species with respect to site conditions. *In*: Sakio, H. and Tamura, T. (ed.) Ecology of Riparian Forests in Japan: Disturbance, Life History, and Regeneration. Springer, pp. 225-236.
- Fujita, H. and Kikuchi, T. (1984) Water table of alder and neighboring elm stands in a small tributary basin. *Japanese Journal of Ecology*, 34: 473-475.
- Fujita, H. and Kikuchi, T. (1986) Differences in soil condition of alder and neighboring elm stands in a small tributary basin. *Japanese Journal of Ecology*, 35: 565-573.
- Havinga, A.J. (1984) A 20-year experimental investigation into the differential corrosion susceptibility of pollen and spores in various soil types. *Pollen et Spores*, 26: 541-558.
- 星崎和彦 (2009) トチノキ. *In*: 日本樹木誌編集委員会 (編) 日本樹木誌 1. 日本林業調査会, pp. 497-527.
- Reimer, P. et al. (2020) The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62(4): 725-757.
- 崎尾均 (2017) 「水辺の樹木誌」. 東京大学出版会, 267 pp.
- 相馬秀廣 (1991) 無機物の混入率および分解度の変化からみた北アルプス餓鬼ノ田圃における泥炭堆積環境の変化. 奈良女子大学文学部研究年報, (35): 33-47.
- Willis, K.J. and Birks, H.J.B. (2006) What is natural? The need for a long-term perspective in biodiversity conservation. *Science*, 314: 1261-1265.
- Yonebayashi, C. (1987) Some pollen assemblages from a local alder forest formed on a small valley floor. *Ecological Review (Sendai)*, 21(2): 117-124.
- Yonebayashi, C. (2018) Changes in vegetation, climate and snowfall regime since the late Pleistocene in a snowy mountainous region of central Japan. *The Holocene*, 29(1): 77-84.
- 米林 伸 (2023) 花粉と植生の分析によって復元した西暦915年からの湿原植生の長期的変化. *植生学会誌*, 40(2): 21-31.
- Yonebayashi, C. (2023) Millennium-scale changes in mire vegetation reconstructed from plot-based pollen and vegetation analysis and their implications for conservation. *Mires and Peat*, 29: 1-18.

Late Holocene local vegetation history in and around a small mire in central Japan

YONEBAYASHI Chuh*, KOBAYASHI Makoto**

* Faculty of Geo-Environmental Science, Rissho University

** Echigo-Matsunoyama Museum of Natural Science, Matsuguchi 1712-2, Matsunoyama, Tokamachi, Niigata 942-1411, Japan

Abstract :

Long-time perspective helps ecologists to better understand modern processes as well as potential future changes. In order to assess changes in community, ecology uses records that are based on short-term data. Palaeoecological studies can provide a long-term perspective to address these changes by use of fossil data. Pollen analysis in a small mire in a snowy region of central Japan revealed histories of local vegetation since about 3,500 cal. yr BP. The mire originated as a small pond in an intact beech forest. Horse chestnut (*Aesculus turbinata*) and alder (*Alnus japonica*) invaded around the pond and formed local riparian and swamp forests, and peat deposition started. The swamp changed to drier sedge-cinnamon fern (*Osmundastrum cinnamomeum* var. *fokiense*) mire, then changed to wetter sedge-*Sphagnum* mire. The drier sedge-cinnamon fern mire formed again and ash (*Fraxinus mandshurica*) started to invade, then dense ash swamp forest with shrubby holly species (*Ilex* spp.) formed. The swamp forest as well as the regional beech forest were cut down and consequently secondary forests, which were willow forest around the mire and oak forests on mesic habitats, formed in about 500 cal. yr BP (1450 CE). Finally, the present sedge-*Sphagnum* mire was formed.

Key words : Mire, peat, pollen analysis, snowy region, swamp forest