

山形市西部山地琵琶沼の花粉化石と微粒炭

山野井 徹*

はじめに

山形市西部の白鷹山地には大小様々な湖沼や小丘陵が散在し、起伏に富む地形を形成している。

これらの特有の地形は白鷹山の崩壊によって作られたものとされている(山野井, 1990)。その崩壊の時期は村山変動と関係があり、30~40万年前頃と推定された(山野井, 1990)。この崩壊の際に湖沼が形成されたと考えられるので、湖沼の堆積物を調べれば崩壊の年代やその後の湖沼の生い立ち、あるいは周辺の環境の変遷などを明らかにすることができる。このことは単に、白鷹山周辺の古環境がわかるだけでなく地球規模での環境の変遷に関する貴重な資料が得られるはずである。そのような調査目的をもって、琵琶沼の堆積物の掘削が計画された。

しかしながら、こうした機会にも関わらず、機械によるボーリング掘削が一研究者の反対により実施できなかった。調査に破壊がともなうことは確かである。植物群落の調査で立ち入っても破壊は避けられないが、それは「すぐ」回復するから良いのであろうか。回復までの時間が問題であるならば、機械ボーリングによる傷などは、群落の変遷史からすればほんの一瞬にして直るかすり傷にすぎない。本報告で述べられるように、過去に

は、湿沼地が干上がって埋め立てられた時期もあり、今日のような湿地が常に続いていたわけではない。こうした物の推移を時間的に解析してこそ、なぜ湿地ができたり消えたりするかを歴史科学的にとらえることができよう。科学のメスを入れることは、破壊を伴うが、その代償として得られる科学的成果とどちらが大きいかを見極めることは科学者の価値判断能力に関わることである。自然を科学する場合、記載学的段階では物を壊さないことが尊ばれるが、さらに物の本質を追求しようとすれば物の破壊は避けられない。本調査において、物の破壊を極度に嫌う記載学的段階、すなわち、前世紀の「博物学的思想」にとどまる研究者?が、今時においても存在し、組織的・近代的な研究の障害になったことを記録にとどめておきたい。

以上のような学術調査に対する障害があったが、深度11メートルまで人力で掘削できた。採取した試料から24層準を選び花粉分析を行った。その結果、-5m付近の角礫層を夾んで花粉組成が大きく代わることが判明した。この層準の上と下では当時の気候に大差あり、この角礫層の層準に完新世の後氷期と更新世の氷期の境界の時期がある考えられる。この気候変動期には、琵琶沼が広く干上がり、周囲の山地から土砂が流れ込んでいた。-4m付近にもこうして埋め立てられた角礫を含む地層が堆積していることが判明した。また、堆積物の中に、燃焼炭粒子が多数含まれる層準を見出す

*山形大学理学部地球環境学教室

ことができた。これは縄文期のクロボク土の成因と関わるであろうことを指摘した。

花粉分析法

室内で包丁を用いてコアを縦に2分し、判読した後、各層準から2～3グラムの試料を採取し、花粉分析用の試料に供した。試料をそのまま顕微鏡で観察しても有機物や鉱物などの粒子が多く花粉化石を探すことは困難である。そこで余分な粒子を取り除き、花粉粒子を濃集する処理が必要になる。この処理法は岩質に応じて様々であるが、本試料は泥炭質であることと、微粒炭の含有数を求めることを配慮して、次のような処理法で行った。なお、この行程は第1図に流れ図として表してある。

乾燥

粉碎や、篩分を支障なく行なうために必要な処理である。直射日光が当たらない室内に、ビニール袋の口を開けて、空気の流通を良くして自然乾燥させた。この際、外部からの花粉の混入が起こらないよう注意した。短時間で乾燥させたい試料

は加熱乾燥した。これは必要な分量の試料を蒸発皿にいれ、恒温乾燥乾燥機により、110℃で数時間放置した。

粉碎

篩分を支障なく行なったり、一連の薬品などの処理効果を高めるためにおこなった。良く乾燥した試料を適量、鉄乳鉢に入れ、乳棒ですりつぶさずに、たたいてつぶした。

篩分

花粉より大きな粒子を除き、薬品処理などの一連の処理効果を高めるために行なうものである。良く乾燥し、粉碎した試料を孔径が0.2mm程度のふるいを通した。なお、篩分に際しては、粉碎と篩分を少量ずつ交互に繰り返し、過度な細粉化を避けた。

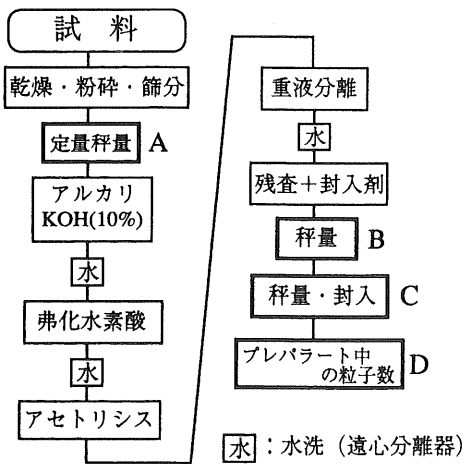
上記の乾燥・粉碎・篩分の処理は、第四紀の堆積物の場合普通必要ではないが、花粉等の含有数を定量する場合はあらかじめ乾燥重量を把握しておく必要から、行うことになる。

アルカリ処理

この処理は、植物遺体が分解される際に作られる炭素化合物である腐植を溶解するために必要である。また、この処理は弱固結した粒子の団塊を粒子の単位にまでにはぐす効果もある。カセイカリ(KOH)の10%溶液を試料の1.5倍ほど加え、常温で一日放置した。

水洗

処理薬品を水でうすめて流し、残渣(試料の濃縮が進んだもの)を化学的に中性に近づけるとともに、花粉よりはるかに小さな諸粒子を物理的に除く処理である。水洗の手順は、[残渣に水を加えて攪拌]→[沈澱]→[上澄み液を捨てる]であり、この行程を必要に応じて(普通は4～5回)繰り返した。この処理での[沈澱]には二つの方法がある。一つはポリエチレンの容器(例:500mlのビーカー)を用い、攪拌後4～5時間放置



第1図 花粉分析処理法手順

試料1g中に含まれる粒子数(X)は
 $X = B D / A C$ によってもとめられる。

して沈殿させる方法と、遠心分離管（例：15ml）にて遠心分離（手動の場合は、回転速度1500～1700回／分で約15秒間回転）し強制沈殿させる方法である。両者の使い分けはアセトリシス処理前は前者、処理後は後者で行った。上澄み液は沈殿している残渣をなるべく乱さないように、ゆっくりと、残渣の2倍程度残して捨てた。

弗化水素酸処理

珪酸塩鉱物を溶解して除くための処理。水洗を終了した後、少し残っている上澄み液をスポイトなどで可能な限り除き、これに弗化水素酸(HF)（濃）を試料の1.5倍ほど加え、攪拌して約5時間放置した。弗化水素酸は、皮膚に対して毒性が強いため、換気の十分なドラフトの中で、ゴム手袋をつけて扱い、攪拌はガラス棒以外のものを使用した。

アセトリシス処理

花粉以外の植物質粒子やセルロースを溶解し、残渣中の花粉の濃度を一層高める処理。この処理はまた、花粉の形態を観察し易くする処理でもある。花粉粒子の形態は処理薬品によって影響を受けるが、とくにこの処理では花粉粒子を膨潤させたり、花粉の内部や表面に付着する有機物を分解するなどのクリーニングの効果が大きい。このため、アセトリシス処理は、花粉粒子を顕微鏡(LM, SEM)で観察する際の世界的な標準処理となっており、その意味では花粉分析にとっての必須処理でもある。

まず残渣に氷酢酸（残渣の4～5倍程度）を加えて加熱し、遠心分離後、氷酢酸を除いた。次に、使用直前に調合した混液〔無氷酢酸（9部）＋濃硫酸（1部）〕を残渣の4～5倍、静かに加えて攪拌し、約10分間常温で放置した。その後、遠心分離して混液の上澄みを捨てた後、残渣に再び氷酢酸を前記と同量加えて攪拌し、遠心分離して氷酢酸を除いた。混液は処理直前に作らないと効果が

少ない。混液を注ぐ際、静かに加えないと激しく反応して危険である。とくに水が多く残っている場合、爆発的に反応するので注意を要する。

重液処理

花粉とそれよりも比重の大きい粒子を両者の間の比重をもつ重液で分離する処理。比重2とした塩化亜鉛溶液（塩化亜鉛500gに温水160ml）を、残渣の5倍程度加えて良く攪拌し、手動の遠心分離機で、水洗時と同様の回転速度で3分間以上行なった。これにより最上位の浮遊物と重液とを回収し、最下位の沈澱物を捨てた。回収した部分に水を加え、30秒間遠心分離をし、上澄み部を除いた。処理前の残渣に水が多く残ると加えた重液の比重が下がるので、水は可能な限り除いておいた。回収した残渣に水を加えたとき、綿毛化が起きた場合、酢酸を1滴落してもどした。

封入

花粉の濃集が進んだ最後の残渣を光学顕微鏡で観察するためには、プレパラートに封入しなければならない。封入剤は、永久保存用ではシリコンオイル(KF96H,6000cs)が適するが、事前に残渣を上昇アルコール列にて良く脱水しておく必要がある。これに対して脱水を要さないグリセリンゼリーは広く使用されている。この作り方は、ゼラチン(100g)を水(100ml)に浸して膨潤させ、これをゆるく加熱しながらグリセリン(250ml)と防腐剤のフェノール（数滴）を加えて、良く混合して作る。なお、グリセリンゼリーの粘性度は、加える水の量で調整できる。グリセリンゼリーは常温で固化するので、封入時にはこれを小さな切片にする。この切片を、上澄みが透明になるまで水洗した後、上澄みを捨てた残渣にその2倍ほど加えて加熱してよく混和させた。これを冷え固まらないうちに、スポイトで取り、スライドガラスに1滴落とし、カバーガラスをのせ、弱く加熱しながら封入した。加熱後すぐにスポイトにとると、

気泡が入りやすい。封入後は、グリセリンゼリーから水分が蒸発するため、標本の劣化は避けられない。これを最小限にとどめるために、カバーガラスの縁を、シールした。シール剤として、透明なマニユキアを使用した。これはある種のレンズ油浸剤には解けるので、その場合、必要なら塗り直した。

花 粉 分 析 結 果

各試料につき200個の花粉粒子を鑑定し、それぞれの花粉種を100分率にして、主な産出花粉を分析層準との関係で表した(第2図)。

Pinus(D.) (マツ属, ニヨウマツ亜属) は低率ながら、全層準から産するが、BN-22や最上位の層準で高率に産する。*Pinus(H.)* (マツ属, ゴヨウマツ亜属), *Abies* (モミ属), *Tsuga* (ツガ属) はBN-13層準より下位で連続的に産するが、BN-12以上ではほとんど産出しない。*Picea* (トウヒ属) はBN-13層準より下位で高率に産するが、BN-12以上で1個体が見つかった以外は産出を見ない。*Cryptomeria* (スギ属) は最上位の層準で、多産するほかは、ほとんど産出しない。*Alnus* (ハンノキ属) は低率ながらほぼ全層準から産出する。*Pterocarya* (サワグルミ属), *Carpinus* (クマシデ属), *Corylus* (ハシバミ属), *Castanea* (クリ属), *Zelkova* (ケヤキ属), *Acer* (カエデ属) は、BN-12以上では低率ながら多くの層準から産するが、BN-13より下位層準では、産出がまれになる。これに対して、*Betula* (カバノキ属) はこれらの産出とは逆に、BN-13より下位層準で多くの産出を見る。*Fagus* (ブナ属) と *Quercus* (コナラ属) はBN-13より下位層準ではBN-20でやや多産し、その上下のBN-22とBN-18の間で、低率ながら産出する。これらは、BN-12層準より上では産出率が変動するものの連続的に多産する。*Irex* (モチノキ属) はBN-12層準の上位で連続的に産するが、

とくにBN-7で高率である。

考 察

(1) 花粉組成と堆積環境

一連の地層の花粉の産出状況は前述のとおりであるが、最も顕著な花粉組成の変化はBN-13と14の間の層準(下位角礫層)にある。これ以下では、ゴヨウマツ属, モミ属, トウヒ属, ツガ属などの現在の亜高山帯の植生を反映した花粉組成であるのに対し、これより上位ではブナ属やコナラ属を主体とした現在の山地性の植生を反映した組成と考えられる。したがって、この下位角礫層は氷期と間氷期(現在に続く間氷期であるから「後氷期」)の間の堆積物であることが解る。この下位角礫層の堆積期間をさらに精密に検討してみると、まずは、直下の泥炭層(BWC-3)の ^{14}C の年代が $20,600 \pm 450$ 年前であることから、下位角礫層が堆積を開始したのは約2万年前と考えておきたい。他方、下位角礫層の上限の年代であるが、BN-12層準(BWC-2)の ^{14}C の年代が $4,290 \pm 110$ 年前であるからこれよりも古く、後氷期の堆積物であることから、1万年よりも新しい。地表下3mのBWC-1層準の ^{14}C 年代が $3,180 \pm 100$ 年前と地表下4mのBWC-2層準の ^{14}C の年代からこの間の堆積速度は平均約 $0.1\text{mm}/\text{年}$ と推定される。下位角礫層の上限の年代はここからBWC-2層準まで約 0.6m であることと、この付近の平均堆積速度から、約5,000年前と見積もられる。すなわち、下位角礫層は2万年前から5千年前までの堆積物と考えられる。

ところが、この地層に夾まれる火山灰を検討したとことによると、深度6.3mのBWT-2が、「男体今市・七本桜」で約、1.2~1.3万年前、深度7.9mのBWT-3が、「始良Tn」で約、2.1~2.5万年前のものであろうと解釈された(長澤ほか, 1996)。この解釈が正しいとすれば、これらの火山灰の上位にあるBWC-3の ^{14}C の年代が $20,600 \pm 450$ 年前

という値が、古すぎて矛盾する。また、「始良Tn」と考えられた層準のすぐ下 (BM-20) の花粉組成に寒冷ではなくやや冷温な要素が見られる。もしすぐ上の層準に「始良Tn」があるとすれば、この付近の層準の時期は、最終氷期の中でも最も寒冷な時期であるはずであり、花粉分析の解釈とも矛盾する。この問題はここの層準の¹⁴C年代をさらに精密に測定することが解決になるであろう。

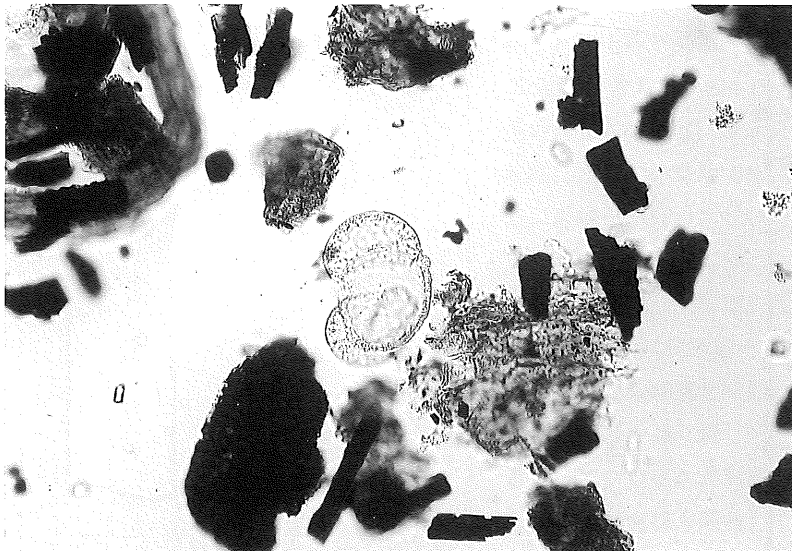
ところで、下位角礫層はどのような環境で堆積したのであろうか。この堆積物は斜面の崩積土のような形状をしているが、周囲の地形が緩慢なことから、地すべりや崩壊等によって短期間に運び込まれた堆積物とは考えられない。もし、下位角礫層直下の¹⁴C年代が正しいとするならば、この地層は1万5千年かけて徐々に堆積したものと解釈できる。すなわち、湿地が干上がり、泥炭の形成が停止し、乾陸の土壤が形成され、時に大雨によって、周囲の斜面が侵食された際に粗粒な物質が運ばれたものと考えられる。ただし、地層の堆積年代に上記の問題を残すので、堆積時期の詳細

は後日検討されようが、いずれにせよ、下位角礫層は、湿地が干上がり、徐々に堆積した地層であると考えられる。

BN-13以下の層準の花粉組成は、大局的には氷期のものであるが、前述のBN-20層準を中心としたやや冷温な花粉組成は、氷期の中でも温暖化した時期である。こうした時期は、3万年より少し前のDenekamp期が候補に上げられる。ただし、前述のように堆積年代の確定ができないので、これ以上の考察は保留したい。

(2) 微粒炭粒子とクロボク土壤

微粒炭は、野焼き等によって生じた燃焼炭の微粒粒子であることが明らかにされた (山野井, 1993)。とくに1万年以降の微粒炭粒子は、縄文人などの野焼きによってもたらされたもので、クロボク土壤の成因となるものである (山野井, 1993)。本地点の花粉分析をした試料の中には、微粒炭の存在が認められた (第3図)。分析試料 (乾燥重量 1 g) に含まれる微粒炭粒子 (10~100 μm) の



第3図 琵琶沼の堆積物中に含まれる微粒炭

黒色不透明な粒子でシャープに縁取られている。多くは短冊形。

数は次式による方法で求めた。

$$X = BD / AC$$

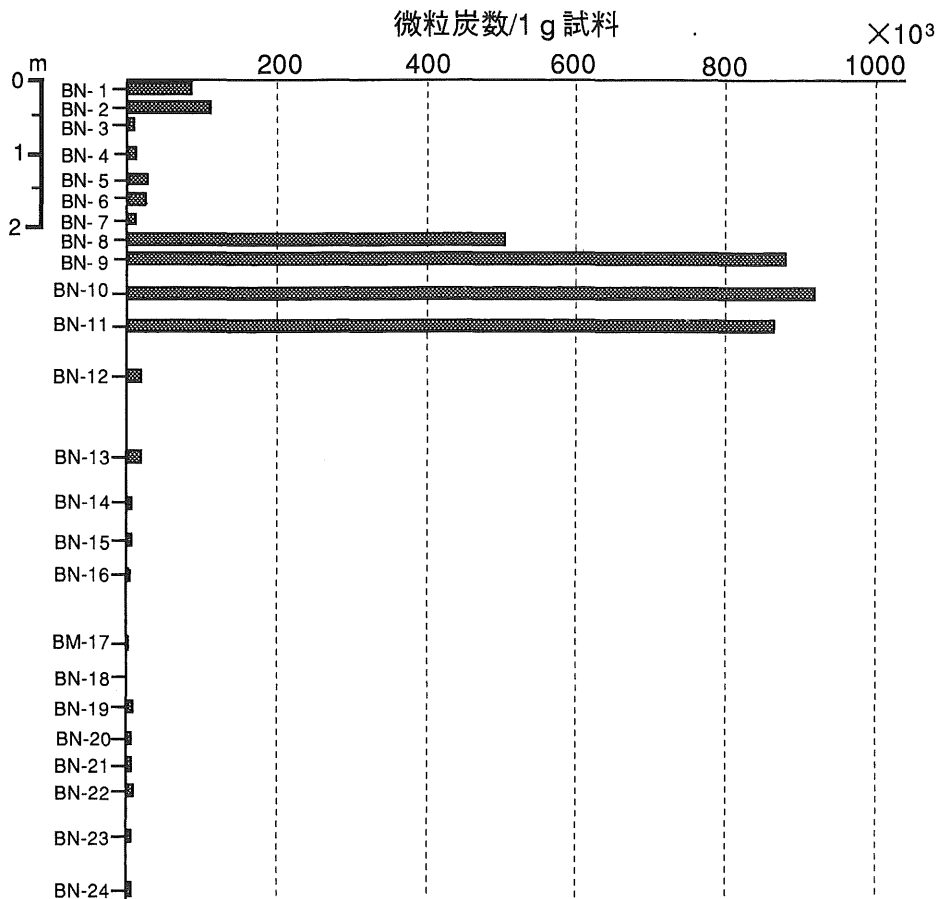
ここで

- X: 試料 1 g 中の微粒炭の含有数
- A: 分析に用いた試料の重量
- B: 濃縮試料+グリセリンゼリー(封入剤)の重量
- C: 濃縮試料+グリセリンゼリーのうち、封入に用いた重量
- D: スライド中の微粒炭数

以上により求めた微粒炭の含有数は第4図に表されるとおりである。微粒炭粒子の含有がとくに

多いのは、BN-11からBN-8までの層準である。この時期は¹⁴C年代から得られる平均堆積速度より、約3,700年前から2,200年前である。これは東北地方の縄文後期から晩期にかけての時期である。この時期には琵琶沼周辺では頻繁に野焼きが行われていたことが推察される。したがって、この時期の乾陸の堆積物である土壌には多くの微粒炭が含まれ、それは多くの腐植を吸着して、クロボク土層を形成しているはずである。

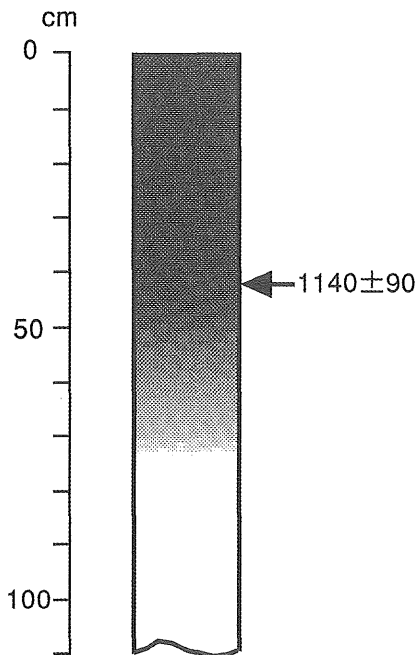
そこで、今回のボーリング地点の北側の湖岸から約10m山側の隣地のトレンチを試みた。約1m掘り下げたが、その地質柱状は第5図のとおり



第4図 琵琶沼の試料(1g)中に含まれる微粒炭数の変化
微粒炭はとくにBN-11~8の層準に多い。

である。すなわち、地表下47cmまでは褐色クロボク土で、57cm～72cm間は茶灰色の粘土、その下位は灰白色の粘土層となっていた。これらの地層の境界はいずれも漸移するものであった。クロボク土としての黒さが増し始める47cm 層準は、湖沼堆積物としては、微粒炭が増加し始めるBN-11層準の少し下に対比され、その年代は4,000年より多少若いものが予想された。しかし、実際測定されたクロボク土の¹⁴C年代は1,140±90年前(測定番号:I-18,162)であり、予想よりもはるかに若い年代を示していた。

このギャップは、次のように説明される。すなわち、陸の47cm 層準は約4,000年前は地表にあり、そこに微粒炭が多く堆積し始めた。さらに地表に微粒炭を含む風成層が累積しつづけ、この層準は次第に地下に埋積されていった。この間、上



第5図 琵琶沼南岸近くの林地におけるトレンチ調査による地質柱状図
下位の白色粘土から上位の褐色クロボク土へと漸移する。
矢印の層準の数字は¹⁴C年代(Y.B.P.)

の地表から供給される植物の腐植を吸着しつづけた。こうした埋積の進行と地表から供給される腐植の吸着がかなり新しい時代まで続いた。その結果47cm層準の¹⁴Cの年代はいろいろな腐植の年代や微粒炭の年代の平均的な値となったと考えられる。したがって、この層準の母材となった微粒炭の堆積年代を知るには、クロボク土の腐植をアルカリ処理して除去し、ヒューミンである微粒炭を集めてその年代を測定する必要がある。また、周辺の縄文期の遺跡や遺物との関係も今後注目していくべきであろう。

要 約

琵琶沼のボーリングコアから得られた試料の花粉と微粒炭を分析した結果、次のことが明らかになった。

- 1.花粉組成は下位角礫層(-4.5～-5m)の上位は後氷期、下位は氷期の植生を反映したものである。
- 2.下位角礫層は、琵琶沼が干上がった時期に周囲の斜面から、何回かの大雨のたびに運び込まれた土砂である。
- 3.微粒炭の含有は、BN-11～8の層準でとくに多い。この時期は、東北地方の縄文後期から晩期にかけての時期であり、この付近では頻繁に野焼きが行われていた。
- 4.琵琶沼南岸のトレンチでクロボク層の発達が確認された。クロボク土が発達し始める時期の¹⁴C年代は琵琶沼の堆積物で微粒炭の含有が多くなる時期と同期と予想されたが、測定の結果はかなり新しい。これは微粒炭が核となってクロボクが形成される際、かなり新しい時期の腐植も吸着している結果と解釈された。
- 5.各層準の¹⁴C年代と夾まれる火山灰層序が、下位角礫層より下では年代的に不調和である。

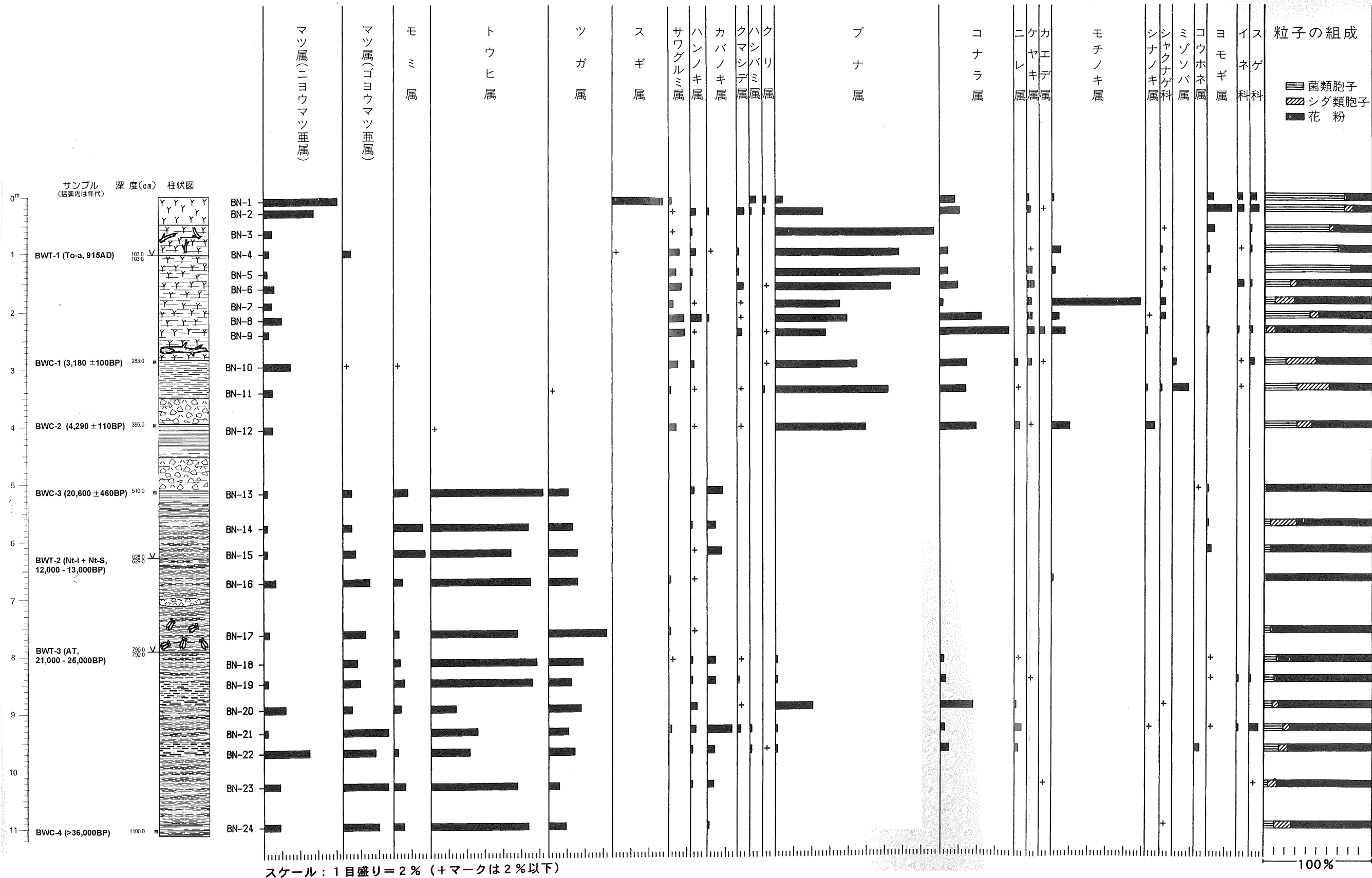
この矛盾は今後¹⁴C年代の測定層準を増やす
ことで解決されよう。

文 献

長澤一雄・檀原 徹・阿子島功, 1996, 山形県白
鷹丘陵・琵琶沼湿原のボーリングコアから発見
された広域テフラ. 本報告書, 27-38.

山野井 徹, 1990, 山形西部地域の山地の形成と
侵食. 西部地域自然環境調査(報告書) 山形
市, 159-169.

山野井 徹, 1993, クロボク土とその形成環境.
東北日本における環境変化に関する研究(山形
大学特定研究経費・研究成果報告書), 27-57.



第2図 琵琶沼の堆積物の主要産出花粉分析図

図の右端のグラフは菌類の孢子，シダ類の孢子，花粉の組成を表したもので，左の図は花粉粒子のみの組成を百分率で表したものである。
柱状図のVはテフラの層準と年代，■は¹⁴C年代試料の層準と年代を示す。