湖底堆積物 (BDP96-1) の花粉分析からみたバイカル湖周辺の 第四紀植生変遷史

三好教夫*1・片岡裕子*2・志知幸治*3・尾田武文*4・高原 光*5・長谷義隆*6・
河室公康*7・E.V. Bezrukova*8

バイカル湖の湖底から得られた 5.1 Ma をカバーする全長 200 m コア (BDP96-1) のうち、第四紀に相当する上部の深度 80 m 以浅についての花粉分析を行い、植生変遷について考察した。産出した化石花粉・胞子のうち 51 種類を同定したが、マツ科針葉樹が 70~80% を占め、その産出状況に特色がみられた。すなわち、大量の化石花粉・胞子の産出する多産層 (間氷期、湿潤期) と、草本花粉・胞子のごくわずかに産出するだけの稀産層 (氷期、乾燥期) が交互に現れている。上部 80 m の 2 Ma に 32 回のサイクルが認められ、 $\delta^{18}\text{O}$ 曲線とほぼ調和的な環境変動を記録している。また、マツ科のツガ属と落葉広葉樹のクマシデ属、コナラ亜属、クリ属、ニレ科、ハシバミ属、カエデ属は第四紀前半に絶滅してしまい、後半以降のバイカル湖周辺のタイガはマツ科針葉樹とカバノキ属を中心とした比較的単純な植生からなる森林が継続した。

キーワード：バイカル湖、花粉分析、第四紀、植生変遷史、氷期・間氷期サイクル

I. はじめに

花粉分析用の試料は、20 世紀後半になると動力掘削機による採取技術の向上により、数 10 m から数 100 m、さらには 1,000 m を超えるような長い連続試料の採取が可能になってきた。たとえば Hsü and Giovanoli (1979) は、黒海で 1975 年に採取された 1,074 m の柱状試料を使って、10 Ma までの花粉分析による SFI (Steppe/Forest Index) からみた気候変動を明らかにしている。日本においても、Horie (1987) は 1982~1983 年に琵琶湖で 1,422 m の試料を採取した。そのうちの上部深度 911 m までは湖底堆積物であった。この堆積物は Fuji (1988) により約 3 Ma の、Miyoshi *et al.* (1999) により上部の 250 m、約 0.43 Ma の植生変遷史が明らかになっている。

このように、徐々にではあるが、世界各地で長い柱状試料が採取され、地球の長期環境変動の解明をめざした花粉分析学的研究が増加している。

ここに報告する世界一厚い堆積物を内蔵するバイカル湖の花粉分析も、このような流れに沿った研究の一環である。この湖は、ユーラシア大陸のアジア側、中央シベリア南東部のモンゴルとの国境に近いタイガ (亜寒帯針葉樹林) 帯の中にあり、世界で最古 (30 Ma 以上前に誕生)、最深 (1,637 m、平均 730 m)、最大容積 (23,000 km³、世界の湖沼水の約 20%) をもつ。湖面積 (31,500 km²) は琵琶湖の約 50 倍あり、最大透明度が今も深度 40 m を超え、かつて摩周湖と世界一、二を競った清澄さを誇る地溝湖である。その湖の形は弓形で、日本の本州のような形をしており、ユーラシア大陸を二つに分ける地

2001 年 6 月 16 日受付、2002 年 1 月 12 日受理

- *1 岡山理科大学総合情報学部 〒700-0005 岡山市理大町 1-1. E-mail: [REDACTED]
- *2 岡山理科大学大学院理学研究科 〒700-0005 岡山市理大町 1-1.
- *3 森林総合研究所東北支所 〒020-0123 盛岡市下厨川字鍋屋敷 92-25.
- *4 名古屋大学年代測定総合研究センター 〒464-0814 名古屋市千種区不老町.
- *5 京都府立大学農学部 〒606-0823 京都市左京区下鴨半木町 1-5.
- *6 熊本大学理学部 〒860-0862 熊本市黒髪 2-40-1.
- *7 森林総合研究所関西支所 〒612-0855 京都市伏見区桃山町永井久太郎官有地.
- *8 ロシア科学アカデミー (SB) 湖沼学研究所 〒664033 イルクーツク市.

球の裂け目、バイカルリフト(地溝)系の中心に位置し、30 Ma 以上の歴史をもちながら、今もなお毎年幅が2 cm、深さが6 mm ずつ増えている「若い湖」でもある(井上ほか, 1998)。

この湖底には、層厚が8,000 m にも及ぶ堆積物があると推定され、その湖泥の中には花粉・孢子・珪藻・パリノモルフ・有機物成分・無機物成分・粒度・堆積密度・古地磁気などさまざまな情報が保存されており、まさに新生代の陸域におけるタイムカプセルである。これらの情報を取り出すため、「バイカル湖の湖底泥を用いる長期環境変動の解析に関する国際共同研究」をめざす日本の研究グループが組織され、ロシア・アメリカ・ドイツなどの協力により、1995年から1999年の5年間にわたり調査・研究を進めてきた。この間に、中央湖盆では厳寒で湖面が凍結している冬期にBDP96-1(200 m コア)とBDP98(600 m コア)が採取され、これらの試料は細かく分割されて、多数の研究機関でさまざまな視点から解析が進められている。ここに報告する第四紀の植生変遷史は、BDP96-1 コアのうち第四紀約2 Ma とみられる上部80 m の試料を花粉分析した結果に基づくものである。

バイカル湖では、BDP(Baikal Drilling Project)やIPPCCE(International Project on Paleolimnology and Late Cenozoic Climate)によって湖底堆積物の採取が行われ、それらの試料を使った花粉分析には次のような報告がある。初期の研究として、Bezrukova *et al.* (1992) はバイカル湖表層の完新世試料4点について、Fuji (1992, 1995 a, b) は323-PC1(約5 m)で最終間氷期以降について報告している。1993年に採取された2本の約100 m コアのうち、Buguldeica No. 2(深度100 m)試料についてはFuji (1994)とUchiyama *et al.* (1995)が分析し、前者は12花粉帯に、後者は4花粉帯6亜帯に区分している。Takeuti *et al.* (1995)はBDP93-1(102 m)試料を分析し、10花粉帯に分けている。最終氷期以降の表層堆積物については、北湖盆から南湖盆まで6地点についてBezrukova (1998)、中央湖盆でのVer 94-5(St. 16)について尾田ほか(1998)、北湖盆でのVer 94-5(St. 21)について三好ほか(1999)が、それぞれ分析を行っている。これらの成果により、ほぼ晩氷期から後氷期に植生が回復し、タイガが成立していく過程が解明されている。また、湖底堆積物中の花粉組成の動態を知るために不可欠となるバイカル湖周辺の湿原堆積物については、東湖岸域に多く分布している湿原試料について花粉分析が進められている。そして、バンバルスコ湿原について

の高原(1996)、デュリハ湿原・ボルジャヤチブルクイ湿原などについての高原(2000)の報告などがある。

本研究の試料であるBDP96-1についても、すでに500万年間の全層から約60点の分析結果をもとに、Bezrukova *et al.* (1999)が3回の寒冷期のあったことを指摘している。河合・河室(1999)は、同試料のより詳細な花粉総産出量をもとに、過去5.1 Maに56回の「森林-砂漠交代」のあったことを指摘している。また、三好・片岡(2000)も同試料の上部80 m 第四紀部分について、マツ科針葉樹が優占する間氷期が32回確認できたことを花粉・孢子分布図で解説している。このように、本試料についての速報・解説・学会発表などは、すでにかなりあるが、本報告では花粉分析的視点からより詳細な植生変遷史を考察し、その原因となった気候変動について言及する。

II. 調 査 地

バイカル湖は、51°27'~55°46'N, 103°42'~109°58'E の間に位置する。サンペトロブルクの基準面からの湖面の標高は455.5 m で、流入河川は336本あり、そのうち最大流域面積を占めるのはセレンガ川で、バルグジン川やアッパーアンガラ川がそれに続く。流出河川はアンガラ川だけで、エニセイ川につながり、北極海へそぐ。西岸には湖岸沿いの南側にプリモルスキー山脈があり、北側にバイカルスキー山脈がある。いずれも支尾根は湖岸で断層によって切れ、見事な三角末端面がみられる。南岸には湖から数km離れてハマルダバン山脈があり、東岸には中部にウランブルカン山脈が、北部にはバルグジン山脈がある。これらの山脈の標高は1,000 m 前後から2,000 m 台である。湖内はアカデミシャンリッジとセレンガデルタによって、北湖盆・中央湖盆・南湖盆に分けられる(森野・宮崎, 1994, 図1)。

気象について、イルクーツクでの観測(国立天文台, 1998)によれば、最高気温は17.5°C(7月)、最低気温は-19.1°C(1月)で、年平均気温は0.0°Cであるが、バイカル湖の年平均気温は-2.2°Cで、北湖盆で-3.2°C、南湖盆で-1.3°Cとなっており、イルクーツクよりもすこし寒さが厳しい(奥田, 1994)。このように厳しい寒さのため、シベリアには永久凍土地帯が広く分布している。バイカル湖地域でも、南湖盆周辺での永久凍土の厚さは25 m までであるが、中央湖盆や北湖盆を取り巻く地域では、100 m 前後の厚さになっている(福田, 1996)。年間降水量は、イルクーツクで460.5 mm だが、ハマルダバン山脈では高度に応じて多くなり、1,000~1,200 m

で 1,300~1,600 mm となっている。逆に西岸のオルホン島の付近では極端に少なく、年間 200 mm である。降水量の大部分は 4 月~10 月の低気圧に伴ってもたらされ、冬は高気圧におおわれ、降水量は少ない。

植生についてみると、バイカル湖はタイガの中にあるといわれているが、西岸と東岸では大きく森林環境が異なっている。西岸には草地(ステップ)や砂礫地が多く、バイカルスキー山脈の岩礫地、北方のツンドラ山地・岩石地など貧弱な森林をもつ地域となっている。それに対して、東岸はほとんど岸辺まで森林に覆われ、ハマルダバン山脈とバルグジン山脈を中心にシベリアタイガの豊かな森林環境が形成されている。その垂直分布をみると、湖岸平坦部には山火事跡に成立したシラカンバなどのカバノキ属 *Betula* sp. の二次林が多く、砂地にはヨーロッパアカマツ *Pinus silvestris* L. 林が多い。河口や河畔の処女地には、シベリアトウヒ *Picea obovata* Ledeb. 林がみられる。傾斜地になると、南東部にひろがる山地

にはシベリアマツ *Pinus sibirica* Du Tour, シベリアモミ *Abies sibirica* Ledeb., シベリアトウヒを中心とした常緑性亜寒帯針葉樹林(常緑性タイガ, 暗いタイガ)が分布している。その反対に、東北部に広がる山地には落葉性亜寒帯針葉樹林(落葉性タイガ, 明るいタイガ)がひろがり、ダフリアカラマツ *Larix dafurica gmelinii* (Rupr.) Rupr., ハイマツ *Pinus pumila* (Pall.) Regel, ダケカンバ *Betula ermani* Cham. などが主要な樹種である。標高 1,100~1,500 m 以上になると森林限界となり、匍匐するハイマツ・ミヤマビャクシン *Juniperus communis* L. 帯となり、その上部には高山草原がみられる(森野・宮崎, 1994)。

III. 試料と方法

本研究に用いた BDP96-1 試料は、1996 年 2 月 1 日から 3 月 15 日まで凍結した湖面の掘削ページ上で採取された。掘削地点は、バイカル湖のほぼ中央部のアカデミ

図 1 バイカル湖とその周辺地域

▲: 試料採取地点

Fig. 1 Map of Lake Baikal and the adjacent area

The black triangle indicates the location of the drill site.

図 2 バイカル湖 BDP96-1 の湖沼学的・花粉学的資料

a. 層序 b. 生物源シリカ含有量(尾田, 2000) c. 花粉含有量 d. 花粉・孢子の比率 AP: 木本類花粉
NAP: 草本類花粉 e. 残留磁化伏角(Sakai *et al.*, 2000) f. 古地磁気極性年代尺度(Cande and Kent, 1995)

Fig. 2 Limnological and palynological records on BDP96-1 from Lake Baikal

a: lithology, b: biogenic silica (Oda, 2000), c: pollen concentration, d: pollen and spore rate, AP: arboreal pollen, NAP: non arboreal pollen, e: inclination (Sakai *et al.*, 2000), f: geomagnetic polarity time scale (Cande and Kent, 1995)

シャンリッジと呼ばれている水深 332 m の浅いところで(53°41'49"N, 108°21'06"E), 西岸から 30 km 離れている。この地点は、湖内への最大流入河川であるセレンガ川から 150 km 以上も離れているため、堆積速度が遅く、短いコアで長い年代の試料を得るためには最適とみられている。試料の回収率は、全層についてみると 80% 弱であるが、深度 200~190 m には 2 m 以上の大きな欠落があり、全体的には深度 200~150 m の間に欠落層が多い(河合・河室, 1999)。本研究に用いた深度 80 m 以浅の試料では、最上部にある湖底表層の約 6 m、年代にして約 17 万年間が採取できていない(Minoura, 2000)。また深度 80~78 m には 1 m 以上の、深度 10~8 m には 50 cm 以上のかかなり大きな欠落層がある。

堆積物の性状は、粘土かシルト質粘土からなり、砂礫のような大きな粒子は含まれていない。主として粘土とシルト質粘土が薄層で交互に堆積し、生物源シリカ(SiO₂)を多く含む層と含まない層からなる(図 2-a, b)。

試料は 20 cm を 1 セットとして分割し、それをさらに 2 cm と 3 cm ごとに 8 点(0~3 cm: A, 3~5 cm: B, 5~8 cm: C, 8~10 cm: D, 10~13 cm: E, 13~15 cm: F, 5~18 cm: G, 18~20 cm: H)に細分した。本研究に使った試料は、各セット内の 8~10 cm (D 試料)と 18~20 cm (H 試料)である。すなわち、各 m ごとに 8~10 cm, 18~20 cm, ……88~90 cm, 98~100 cm の 10 点となり、10 cm につき 1 点(層厚 2 cm)の割合となる。このうち、本研究では深度 80 m 以浅の試料 663 点の花粉分析を行った。10 cm ごとに 1 点を分析しながら、試料数が 800 点に達しない理由は、上述のように試料の採取ができなかった欠落部分(約 17%)があるためである(図 2-a)。

BDP96-1 の年代測定は、古地磁気層位学による測定とベリリウム 10 (¹⁰Be) 法の両面から実施されているが、後者はまだデータの解釈に問題があるため、本研究での年代は、古地磁気による年代推定に準拠した。

本試料の古地磁気層位学的研究によれば、最深部 200

m で 5.1 Ma 前の値が出ている (Sakai *et al.*, 2000). 第四紀の始まりを 2 Ma 前頃と仮定すると, 古地磁気層位学では松山逆磁極期 (2.58~0.78 Ma) 中のオルドバイサブクロン (1.95~1.77 Ma) の開始直前がほぼ 2 Ma 前頃となる (Cande and Kent, 1995) (図 2-f). 本試料では, このオルドバイサブクロンの直前が深度 80 m よりやや下部となり, BDP96-2 では深度 80 m よりやや上部となっていることから, ここでは 80 m を第四紀の始まりと仮定して, 深度 80 m 以浅についての分析を行った. 堆積速度は, 上記の古地磁気層位学的研究の結果から, 3.8 cm/kyrs の値が得られており, 全層を通じて安定した堆積環境が継続していることを示している. 本報では, 深度 80 m まで 10 cm 間隔で分析したので, 約 2,500 年に 1 点の精度となっている.

化石花粉・胞子の分離・抽出は, KOH 法, ZnCl_2 比重分離法, アセトリシス法を用いて, 1 試料当たり 0.5~2.5 cm^3 を分析に供した. その残渣はグリセリンゼリーに包埋し, プレパラートを作成した. また, 単位体積当たり ($/\text{cm}^3$) の化石花粉・胞子の総数を算出するために, マーカーとして 1 試料当たりプラスチックミクロスフェア (直径 20 μm) 24,240 個/ml を加えた. 化石花粉・胞子の同定は, 1 試料当たり木本花粉が 100 個以上で草本花粉を含めて 200 個になり, さらにマーカーが 500 個以上になるまで行った. マーカーが 500 個以上の理由は, 化石花粉・胞子を多産する試料では, マーカーが 200~300 個で化石花粉・胞子が 500 以上になってしまう場合があり, 稀産化石花粉・胞子もできるだけ拾い上げるためである. 各種類の産出頻度は花粉総数を基本数にして算出し, 花粉・胞子分布図に % で示したが, 花粉総数は個数/ cm^3 としても表した. また, 化石花粉・胞子の含有量が極端に少なく, マーカーを 2,000 個以上数えても木本類が 100 個以上に達しない試料については, 本報の分布図にはその値を入れず, 空欄とした. AP (arboreal pollen) は本来高木類花粉をさすが, 本稿では低木類のハンノキ属 *Alnus*, ヤナギ属 *Salix* など AP に入れ, NAP (non-arboreal pollen) は草本類花粉・胞子とした. その理由は, バイカル湖周辺のタイガにとって主要な構成種であるカバノキ属 *Betula* に高木型と低木型があり, その両型の花粉を区別できていないためである.

寒暖の表現については, 「寒冷期・温暖期」, 「氷期・間氷期」, 「森林期・砂漠期」などがあるが, 本稿では $\delta^{18}\text{O}$ 曲線の変動との対比に重点を置いているため, 「氷期・間氷期」を用いる (増田, 1989; 安成・柏谷, 1992).

IV. 結 果

1. 化石花粉・胞子の産出状況

同定した化石花粉・胞子は, 裸子植物 6 種類, 被子植物 36 種類 (双子葉植物: 木本類 12, 草本類 18, 単子葉植物: 6), シダ植物 7 種類, コケ植物 2 種類の合計 51 種類で, そのほか不明化石花粉・胞子が各試料とも数 % 含まれている. このうち, 43 種類は花粉・胞子分布図に示したが (図 3), 図示しなかったもので産出している種類はミズキ属 *Cornus*, グミ属 *Elaeagnus*, フウロウソ属 *Geranium*, スミレ科 *Violaceae*, リンドウ属 *Gentiana*, オミナエシ科 *Valerianaceae*, トクサ属 *Equisetum*, ツノゴケ科 *Antocerotaceae* の 9 種類である.

各分類群の化石花粉・胞子の産出状況についてみると, 裸子植物ではマツ属 *Pinus* がほぼ全層にわたって 50% 以上を占め, もっとも優勢である. その組成は複雑管束亜属と単維管束亜属からなり, 植生変遷にとって重要な意味をもつが, 湖底堆積物中の化石花粉は保存状態のよくないものが多いことから, 本研究では両亜属への区分は行わなかった. トウヒ属 *Picea* も稀に 50% に達するが, 20~30% の産出層が多い. 深度による多少の傾向はみられないが, 各花粉帯別にみると本属には多産層帯と稀産層帯が認められる. モミ属 *Abies* は最高が 25% 前後で, 大多数は 10% 程度であるが, 深度 35 m 以深でやや多い傾向がみられる. カラマツ属 *Larix* は深度 50 m 付近で最高 15% 前後みられるが, ほとんどが 5% 以下で, 深度 60 m 以浅で多く, それ以深では稀にしか産出しない. ツガ属 *Tsuga* は深度 55 m 付近までみられるが, それ以浅では産出しない. マオウ属 *Ephedra* は, 裸子植物で唯一の低木で乾燥気候の指標となり, 全層にわたって産出するが, 量的には 2% 前後以下で, 稀に産出しない花粉帯がある. ネズ属 *Juniperus* は高山帯に分布し, 湿原の花粉分析でも稀にヒノキ科型 *Cupressaceae* type として報告されているが (高原, 1999), 本研究では確認できていない.

被子植物の木本類は, 落葉広葉樹のカバノキ属 (高木類と低木類の両方を含む) だけがほぼ全層にわたって 10~20% 産出し, 深度 46 m 以深でやや産出量が多い. 絶滅種ではニレ科 *Ulmaceae* が深度 50 m 付近まで産出するが, それ以浅ではみられない. コナラ亜属 *Lepidobalanus*, クマシデ属 *Carpinus*, クリ属 *Castanea* は, それぞれ深度 63 m, 75 m, 76 m までは稀に産出が認められるが, それ以浅ではみられない. カエデ属 *Acer* も散発的ではあるが, 深度 50 m 以深で産出する. 低木類で

は、ハンノキ属の現生種はヤシャブシ亜属 Subgen. *Alnaster* のみ分布がみられ、過去においても本亜属だけだったのか、ハンノキ亜属 Subgen. *Alnus* も自生して

いたのかは不明であるが、全層にわたって10%前後産出している。そして、深度46m以深で多く、それ以浅では少ない傾向がみられる。ヤナギ属やツツジ科 Eri-

図3 バイカル湖BDP-1の花粉・孢子分布図

caceae は散発的にみられ、前者は深度 50~46 m で、後者は深度 57 m 以深で 1% 前後みられる。ハシバミ属 *Corylus* は深度 40 m 付近まで産出し、絶滅種の中では一番

遅くまで生き延びた落葉広葉樹である。ハコヤナギ属 *Populus* は、カバノキ属とともにかなり重要なタイガの構成種となっている落葉広葉樹で、湿原の花粉分析でも

Fig. 3 Pollen and spore diagram of BDP96-1 from Lake Baikal

稀に報告されている(高原, 1999)。しかし、本属の花粉は特徴が少なくて同定が難しいため、本研究ではまだきちんと確認できていない(図3)。

草本類のうち、単子葉植物ではイネ科 Gramineae が深度 46 m 以深で比較的多くて 10% 前後産出し、深度 46 m 以浅では散発的にみられる。カヤツリグサ科 Cyperaceae はイネ科よりも下層から上層まで広く産出しているが、その量は 3% 程度で少ない。ガマ属 *Typha*、イヌノハナヒゲ属 *Eriocaulon*、ユリ科 Liliaceae も稀に産出が認められた。双子葉植物は各分類群の中では、種類数が一番多い。産出量が圧倒的に多い双子葉植物は、ヨモギ属 *Artemisia* の 20~25% で、ほぼ全層に産出しているが、深度 20 m 前後と深度 46 m 以深でとくに多い。次に多いカラマツソウ属 *Thalictrum* とアカザ科 Chenopodiaceae は、イネ科とほぼ同様の産出傾向を示すが、産出量はやや少なくて、前者が 17% 以下、後者が 5% 以下である。そのほかナデシコ科 Caryophyllaceae、セリ科 Umbelliferae、シソ科 Labiatae など多数の種類が産出するが、その頻度は低い。水生植物では、オモダカ科 Alismaceae がかなり多くの花粉帯でみられるが、3% 以下である。草本類は、ほとんどすべての種類が深度約 20 m 以深で多産層が多く、深度約 20 m 以浅では稀産層となる傾向を示している。

孢子では、シダ植物のツンドラ要素であるコケスグラン亜属 *Selaginella* が低率ではあるが、かなりの層で産出している。量的に多く産出する孢子は、外被層(ペリン)の消失した単条溝型孢子で、10% 前後みられる。三条溝型孢子はやや少なく 5% 前後で、産出層も多くない。コケ植物では湿原の主要な構成種であるミズゴケ属 *Sphagnum* が散発的に認められ、やや下層で多い傾向がある。また、ツノゴケ科 Anthocerotaceae の三条溝型孢子も稀にみられる。深度による特徴は、孢子も草本類と同様に深度約 20 m を境にして下層で多く、上層で少ない(図3)。

2. 単位体積当たりの花粉総数

単位体積当たりの花粉総数は、ほぼゼロに近い化石花粉・孢子の産出しない層から、最高 2.5 万個/cm³ の大量に含む層までさまざまである。とくに深度 65 m 以浅の上層では、2.5 万~1 万個/cm³ までの多産層とほとんど産出しないため、分布図で空白とした稀産層(無花粉帯)が大きな凹凸を繰り返している。それに対して、深度 80~65 m の下層では、多くても 1 万個/cm³ 以下の多産層と稀産層が大きな変動をしないで、安定した増減を続けている(図2-c)。また、46 m 以浅では短い多産層の時期

と長い稀産層の時期が交互に現れているが、深度 80~46 m では長い多産層の時期と短い稀産層の時期が繰り返されて、異なる傾向がみられた(図2-c)。

3. 木本類と草本類の比率

本試料で木本類が草本類よりも産出量が少ないところは、深度 16 m 前後、26 m、63 m の 3 ヲ所ですべてに認められるだけで、そのほかはすべて木本類が優占している。全層を通じて木本類が 90~80% を占め、草本類は 10~20% であるが、やや下層でその比率が高くなる傾向を示している(図2-d)。

4. 絶滅種

本試料の分析で、現在のバイカル湖周辺に自生のみられない木本類の化石花粉が産出したのは、ツガ属、クマシデ属、コナラ亜属、クリ属、ニレ科、ハシバミ属、カエデ属の 7 属である。このうち、深度 70 m 以深で比較的早く絶滅したのは、クマシデ属、コナラ亜属、クリ属、カエデ属で、深度 50 m のかなり遅くまで生き延びたのがツガ属、ニレ科、ハシバミ属である(図3)。また、深度 80 m 以浅の本試料には産出しないが、深度 80 m 以深でシナノキ属 *Tilia*、クルミ科 Juglandaceae、ペカンクルミ属 *Carya*、ヌマミズキ属 *Nyssa* などが確認できた。木本類では、このように第三紀から第四紀にかけての寒冷化に伴って、多数の種類が絶滅していったが、草本類ではまだ絶滅したとみられる種類は確認できていない。

V. 考 察

1. 化石花粉の産出頻度と実際の植生

花粉分布図の産出頻度だけからみれば、バイカル湖周辺の植生は、第四紀を通して圧倒的にマツ属が優占していたことになる。しかし、花粉はその生産量・飛散距離・花粉外壁の強弱などにより、化石として残る量が植物の種類によって大きく異なる。これまでに Tsukada (1958) や Davis and Goodlett (1960) などが、林床の表層花粉の量と実際の植生とを比較して「過剰に表現されるもの」、「植生とほぼ一致するもの」、「過小に表現されるもの」についての検討がなされている。それらの成果からみると、バイカル湖周辺で主要な樹種であるマツ科針葉樹については、多いものからマツ属>ツガ属≧トウヒ属>モミ属>カラマツ属の順になり、マツ属は過剰となり、ツガ属とトウヒ属はほぼ一致し、モミ属とカラマツ属は過小となる。このことから、バイカル湖周辺の第四紀におけるマツ科の構成種としては、マツ属、トウヒ属、モミ属の 3 属は同等の重要性をもっていたと

仮定し、以下の考察を進める。ツガ属については、第四紀前半に絶滅するため、タイガの構成種としての重要性は小さい。また、カラマツ属については、永久凍土地帯の明るいタイガの主要構成種として重要であるが、化石花粉の産出量が極端に少ないため、その動態を把握することが難しい(三好ほか, 1999)。目下、陸域での湿原堆積物の花粉分析とともに、カラマツ林内表層試料に含まれるカラマツ属花粉量の調査が進行中である。

2. 花粉総数と植生

片岡ほか(1999)は、測定した花粉総数を裸子植物・被子植物(木本類)・同(草本類)の3群に分け、単位体積当たりの各産出頻度が安定する花粉総数を調べた。その結果、3,000 個/cm³ 以上産出する層はタイガ、1,000 個/cm³ 以下しか産出しない層はツンドラあるいはステップの時期とし、3,000~1,000 個/cm³ は両者の移行帯とした。

この区分を基準に、花粉総数から植生を推定すると、大量に化石花粉・胞子を産出する多産層は、タイガの繁茂した間氷期を示し、モクマオウ属、ヨモギ属、アカザ科などの乾燥指標植物の化石花粉が産出したとしても、森林を形成できるだけの温和で湿潤な気候であったとみられる。それに対して、草本花粉・胞子のごくわずかに産出するだけの稀産層は、ツンドラやステップの植生からなる氷期を示し、寒冷で乾燥した時期であったと考えられ、花粉分布図に測定値を入れなかった空欄がこの時期にあたる。ツンドラとタイガの移行帯の測定値は、花粉分布図に入れたので、間氷期の一部として扱われている。

3. 表層の欠落層

前述のように、本試料は表層の約 6 m (約 17 万年間)が欠落している。この欠落部分を解明するため、尾田ほか(2000)はアカデミシャンリッジで採取した VER96-2 St.3 の 9 m コアについて、年代測定・花粉分析・生物源シリカ含有量・粒度分析を行い、過去 25 万年間にわたるバイカル湖集水域での植生変遷を明らかにしている。その中で「最終間氷期(同位体比ステージ 5e)とその前の間氷期(同位体比ステージ 7)での針葉樹林構成は、現在の針葉樹林に比べて湿潤な気候を示している」と報告している。これらのことから、本試料の最上部に現れる花粉帯は、尾田ほか(2000)の $\delta^{18}\text{O}$ 曲線ステージ 7 (以下、MIS 7 と略す)と一致するとみられる。産出する化石花粉の傾向は、前者が相対値法、後者が絶対値法のため一概には比較しにくい。両者ともマツ属が圧倒的に優勢な後氷期(現間氷期)と比べて、MIS 7 ではトウ

ヒ属とモミ属の産出量が多く、より湿潤な気候を示している。そのため、以下の考察では、後氷期と最終氷期については尾田ほか(2000)の結果を引用し、MIS 7 以前については本試料の結果を用いることにする。

現在の植生に対応する BDP96-1 の表層花粉の値はないが、尾田ほか(2000)の後氷期最上部の産出状況は、BDP96-1 の表層に近い値を示していると思われるので、花粉分布図から読みとると、次のとおりである。マツ科針葉樹は、マツ属のみが圧倒的に優占し(約 100×10³ 個/cm³)、モミ属、トウヒ属、カラマツ属はほとんど産出していない。落葉広葉樹では、カバノキ属、ハンノキ属、ヤナギ属が多く(2~4×10³ 個/cm³)、草本類ではイネ科、カヤツリグサ科、アカザ科、カラマツソウ属、ヨモギ属が多い(0.5~2×10³ 個/cm³)。

4. 氷期・間氷期サイクル

暖温帯にある琵琶湖湖底堆積物の花粉分析を行うと、間氷期には常緑・落葉広葉樹(カバノキ属を除く)とスギ科、ヒノキ科が優占し、氷期にはマツ科針葉樹とカバノキ属が優勢となって交互に現れる(Miyoshi *et al.*, 1999)。ところがシベリアのような亜寒帯地域では、間氷期にマツ科針葉樹とカバノキ属が優占し、氷期には氷河、ツンドラ、ステップが拡大するため、木本花粉が極端に少なくなるだけでなく、草本花粉も含めた花粉総数が減少してしまう。そこで、増田(1989)の $\delta^{18}\text{O}$ 曲線に基づく見解によると、「大陸氷河が 1 万年で急激に融けて、8~9 万年でゆっくり発達した」ことから、間氷期を 1~2 万年と仮定し、その中間の 15,000 年を間氷期の続いた期間とみなして氷期と間氷期の区分を試みた。すなわち、20 cm 当たり 1 試料に 1,000~3,000 個/cm³ (移行帯)以上の化石花粉を産出する試料が 3 点以上連続する花粉帯(約 15,000 年間に当たる)を間氷期とみなして、花粉分布図に網目を入れると、80 m の 2 Ma に 30 回の氷期間氷期サイクルが認められた(図 3)。ただ本試料は表層の 6 m が採取できていないため、2 回の間氷期が欠落しているので、実際には 32 回となる。さらに、表層以外にも欠落部分があることを考慮すると、Tiedemann (1994)によって海底堆積物中の $\delta^{18}\text{O}$ 同位体比による過去 2 Ma に 37 回のサイクルが確認されていることとほぼ同じ回数となり、調和的である。深度 80 m 以深についても、片岡ほか(2001)は深度 80 m 以浅と同様なサイクルが認められることから、氷期・間氷期サイクルは第四紀に入ってから始まったのではなく、もっと早い新第三紀末期から始まっていると報告している。また、Demoske *et al.* (2000)も本試料の花粉分析結果から、北

半球の寒冷化は2.7 Maから始まったとみている。バイカル湖以外でも、Hsü and Giovanoli (1979)は黒海の1,000 m コアの花粉分析結果から、鮮新世晩期から寒冷化が始まったことを示している。これらのことから、今後第四紀の水氷期をもたらした氷期・間氷期サイクルが、いつ頃から始まったかという確定が必要になってくるであろう。

氷期・間氷期の各期の長さ(継続期間)については、約46 m(約100 万年前)以浅ではツンドラやステップとみられる氷期(空白帯)の幅が広く、タイガの発達した間氷期(網かけ帯)の幅が狭くなっている。ただ、深度25~20 mにかけての間氷期6・7に挟まれた氷期は、あまり寒冷化・乾燥化しなかったために化石花粉が多数産出し、長期間にわたって間氷期が続いたようになっている。時期的に対応するMIS 15とMIS 13の間の氷期(MIS 14)も、 $\delta^{18}\text{O}$ 曲線の値があまり高くならず平坦になり、同じような傾向を示している。深度46 m以深では、上層とは逆に間氷期の期間が長く、氷期の期間が短いサイクルを繰り返している。そして、1サイクルの長さが深度46 m以浅では約8 万年(3 m)サイクルであるのに対して、深度46 m以深では約5 万年(2 m)サイクルとなり、第四紀の前半は長い間氷期と短い氷期が素早く繰り返されたが、第四紀後半は長い氷期と短い間氷期がゆっくり繰り返されたとみられる。このような傾向は花粉分析の結果だけでなく、生物源シリカ・粒度・密度など湖底堆積物から得られた各種の研究でも認められている(Minoura, 2000)。ただ、これらのことは、古地磁気年代値からみると前半の堆積速度がやや遅いことの影響が現れていることも考えられる。また、大西洋の $\delta^{18}\text{O}$ 曲線でも、高緯度では4.1 万年周期が、中緯度では150~100 万年前の期間に4.1 万年周期が卓越し、10 万年周期はすべてに卓越することが示されている。これらのことから、第四紀前半に素早く繰り返されたサイクルは、ミランコヴィッチ周期の4.1 万年周期に、後半のゆっくり繰り返された周期は10 万年周期に対応する可能性がある(増田, 1989)。また、絶対量に基づく花粉総数では、約65 m(約150 万年前)を境にして上層と下層で相違がみられる。これに対して、相対量に基づく花粉・孢子分布図では、約46 m(約100 万年前)を境にして上下の差が現れている。このことは、植生からもたらされる花粉総数の供給スタイルの変化が生じた時期(約150 万年前)と、氷期・間氷期サイクルの変化時期(約100 万年前)の間に約50 万年間の差があることを示している。その原因が何によるかは不明で、今後の検討課題

である。

氷期中に、化石花粉の多産する層が単発的に1~2ヵ所認められるところが、上層と下層でそれぞれ3回ある。これは、おそらく氷期中に一時的に温暖化した短期の亜間氷期を示すものと思われるが、まだ十分に検討されていない。

ブリューン正磁極期とみられる上部深度30 mまでの花粉分析結果と、生物源シリカ(尾田ほか, 2000)、中国西峰の黄土の帯磁率(Heller and Evans, 1995)、熱帯海域におけるMD900963(インド洋)+ODP677(太平洋)の $\delta^{18}\text{O}$ 曲線(Bassinot *et al.*, 1994)との比較を試みた。その結果、約78 万年間の30 mの堆積物中に7回のサイクルがあり、表層の欠落した2回を加えると9回となる。生物源シリカ、黄土の帯磁率、 $\delta^{18}\text{O}$ 曲線でも9~10回のサイクルとなっていることから、バイカル湖湖底堆積物は中緯度の中国の黄土の帯磁率や、熱帯域海洋底堆積物中の $\delta^{18}\text{O}$ 曲線とほぼ同調する環境変動の記録を含んでいる(図4)。

5. 各間氷期の特徴

Miyoshi *et al.* (1999)は琵琶湖の花粉分析結果から、後氷期と最終間氷期の化石花粉産出状況の違いに基づき、後者は前者より冷夏暖冬型であったと報告した。尾田ほか(2000)も、MIS 5・7はMIS 1と比べ湿潤な気候であったと述べている。このように、第四紀に繰り返された多くの間氷期は、それぞれ異なる特徴をもっていると思われることから、花粉組成をもとに次の5タイプに区分した。

①ツガ属、ニレ科など絶滅種が2種類以上産出する温和な間氷期: 22~25, 28~32(図3の花粉帯の番号)。

②絶滅種は1種類以下となるが、マツ科常緑針葉樹(マツ属、トウヒ属、モミ属)が多く産出し、乾燥指標種(ヨモギ属、アカザ科など)が少なく、湿潤な間氷期: 3, 9, 13~15。

③木本類は②に似るが、乾燥指標種が多く、乾燥した間氷期: 6~8, 11, 12, 19~21, 26, 27。

④マツ属だけでなく、乾燥指標種も少ない間氷期: 4, 5, 10, 17。

⑤マツ科落葉針葉樹(カラマツ属)が多く、冷涼な間氷期: 16, 18。

以上のように5タイプに大別したが、この基準が適切かどうかの問題もあり、今後BDP-98試料の分析結果とあわせてさらに検討したい。

なお氷期についても、①化石花粉・孢子の稀産層ばかりからなる氷期(間氷期5~4の間の氷期など)、②と③

図 4 ブリュン正磁極期 (0.78 Ma 以降) における BDP-1 の花粉含有量・生物源シリカ含有量の垂直分布と、それらの黄土帯磁率・海域 $\delta^{18}\text{O}$ 曲線との比較

a. 花粉含有量 b. 生物源シリカ含有量 (尾田, 2000) c. 中国西峰の黄土帯磁率 (Heller and Evans, 1995) d. 海域 $\delta^{18}\text{O}$ 曲線 (Bassinot *et al.*, 1994)

Fig. 4 Vertical distribution of pollen and biogenic silica in BDP 96-1 compared with loess susceptibility and $\delta^{18}\text{O}$ marine isotope ratio during Brunhes (since 0.78 Ma)

a : pollen concentration, b : biogenic silica (Oda, 2000), c : loess susceptibility at Xifeng (Heller and Evans, 1995), d : $\delta^{18}\text{O}$ marine isotope ratio curve (Bassinot *et al.*, 1994)

を除く 21 回の氷期), ② 亜間氷期のある氷期 (間氷期 4 ~ 3, 9 ~ 8, 16 ~ 15, 24 ~ 23, 26 ~ 25, 27 ~ 26 の 12 間氷期のそれぞれの間の 6 回の氷期), ③ 花粉分布図に入れられるだけの化石花粉・胞子が産出する氷期 (間氷期 7 ~ 6 の間の氷期) に区分できる。

これら 32 回の間氷期の各花粉帯を一つの分類群によって代表させた大花粉帯への大別を試みると、クマシデ属、クリ属、コナラ亜属、ニレ科などの落葉広葉樹高木が散発的ながらも産出する第四紀前半の間氷期 16 以深は、ニレ科を代表とするニレ科花粉帯となる。それに対して、後半の間氷期 15 以浅はツガ属をのぞくマツ科針葉樹が圧倒的に優占し、落葉広葉樹はカバノキ属だけになってしまうため、マツ科を代表とするマツ科花粉帯とするのがよいと思われる。

6. 絶滅種からみた寒冷化

本試料の 5.1 Ma における寒冷化については、

Bezrukova *et al.* (1999) が 2.8 ~ 2.6, 1.8 ~ 1.6, 0.6 Ma の 3 回, Kashiwaya *et al.* (2000) が 2.8 ~ 2.6, 2.0 ~ 1.7, 1.0 ~ 0.7 Ma の 3 回寒冷化した時期があったと報告していることから、第四紀に入ってから、氷期・間氷期サイクルを繰り返しながら 2 回の寒冷化に向かった時期 (だんだん寒くなっていく) があったとみられる。そして、カラマツ属の増加する間氷期 16 ~ 18 は、3 回目の寒冷化の時期にあたり、ハシバミ属以外の絶滅種はすべてこの時期までに絶滅し、以後産出しなくなる。化石花粉からみた絶滅種をこの寒冷化の時期に当てはめると、クマシデ属・コナラ亜属などは第四紀前半の 2 回目の寒冷化の時期に絶滅し、ツガ属とニレ科は 3 回目の寒冷化の時期 (深度 60 ~ 55 m) に絶滅した。このように、落葉広葉樹はほぼ第四紀の前半に絶滅してしまい、カバノキ属だけが高木で生き残った。この花粉分析結果から、第四紀前半のまだ比較的温和な時期の氷期に、落葉広葉樹が多数絶

滅し、後半の本格的に寒冷化した時期にはマツ科針葉樹とカバノキ属だけからなるタイガになっていたとみられる。バイカル湖周辺での木本類は、新第三紀末期から始まったとみられる寒冷化とともに、種多様性が減少の一途をたどったことを示している。この傾向は、冬に植物体が地上部にある木本類のような大型植物で多く認められる。それに対して、草本類では絶滅種が少ないことから、寒冷化の中でも種多様性が維持されてきた可能性がある。その理由として、草本類は種子で越冬したり、地上部の植物体が寒さのため枯死しても地下茎が生き残り、地上部も雪に被われて生き延びる可能性が木本類より高いことが考えられる。ただ、木本類と草本類の比(図2-d)でみると、草本類も下層で多く上層に向かうにつれて減少し、とくに深度10m以浅では少なくなっている。種類別の花粉分布図(図3)でみても、草本類は深度20m以深で多く、それ以浅では少ないことから、草本類も絶滅には至っていないけれども、第四紀後半の寒冷化に伴い、化石花粉の産出量が減少していることは確かである。また、別の視点からみると、花粉分析はこれまで木本花粉の同定に重点を置いてきたため、草本花粉の形態学的研究が遅れ、科レベルでの同定が多いことに起因する可能性もあり、今後の研究によって草本類の絶滅種がみつかるかもしれない。

謝辞 本研究を行うにあたり、終始お世話になった国立環境研究所河合崇欣主任研究官、ロシア科学アカデミー(SB)湖沼学研究所M.A. Gratchev 所長に厚くお礼を申し上げる。岡山理科大学鳥居雅之教授には、本稿をまとめるにあたり貴重な助言をいただいた。また本研究は、科学技術庁(現文部科学省)の科学技術振興調整費(1995~1999)で実施された。あわせて深謝する。

引用文献

- Bassinot, F.C., Labeyrie, L.D., Vincent, E., Auidelleur, X., Shackleton, N.J. and Lancelot, Y. (1994) The astronomical theory of climate and the age of the Brunhes-Matuyama magnetic reversal. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 126, 91-108.
- Bezrukova, E.V. (1998) Palynology of late glacial and Holocene sediments of Lake Baikal. *Geogr. & Natural Resources*, 3, 54-61. (R)
- Bezrukova, E.V., Letunova, P.P. and Karabanov, E. (1992) Palynological investigations of Holocene deposits of Baikal. *IPPCCE News Lett.*, 6, 59-67.
- Bezrukova, E.V., Kulagina, N.V., Letunova, P.P. and Shestakova, O.N. (1999) Climatic and vegetation changes in the Baikal Region for the last 5 Ma. *Russian Geol. & Geophys.*, 40, 739-749. (R+E)
- Cande, S.C. and Kent, D.V. (1995) Revised calibration of the geomagnetic polarity time-scale for the late Cretaceous and Cenozoic. *J. Geophys. Res.*, 100, 6093-6095.
- Davis, M.B. and Goodlett, J.C. (1960) Comparison of the present vegetation with pollen-spectra in surface samples from Brownington Pond, Vermont. *Ecology*, 41, 340-357.
- Demoske, D., Mohr, B. and Oberhansli, H. (2000) Palaeoclimatic changes from 3.6 to 2.2 Ma B.P. derived from palynological studies on Lake Baikal sediments. Minoura, K. (ed.) *Lake Baikal*: 85-89, Elsevier.
- Fuji, N. (1988) Palaeovegetation and palaeoclimate changes around Lake Biwa, Japan during the last ca. 3 million years. *Quat. Sci. Rev.*, 7, 21-28.
- Fuji, N. (1992) Palynological investigation of core 323-PC1 from Lake Baikal, southeastern Siberia. *IPPCCE News Lett.*, 6, 103-115.
- Fuji, N. (1994) Palynological investigation of core 100-meter from Lake Baikal, southeastern Siberia. *IPPCCE News Lett.*, 8, 42-47.
- Fuji, N. (1995a) Palaeovegetational and palaeoclimatic changes during the latest Quaternary in Baikal Area, southeastern Siberia. *Bull. Dept. Earth Sci., Fac. Educat., Kanazawa Univ.*, 44, 81-96.
- Fuji, N. (1995b) Comparison among results of comprehensive analysis on the core 323PC1 from Lake Baikal, southeastern Siberia. *Bull. Dept. Earth Sci., Fac. Educat., Kanazawa Univ.*, 44, 97-105.
- 福田正己 (1996) 極北シベリア. 198 p, 岩波書店.
- Heller, F. and Evans, M.E. (1995) Loess magnetism. *Rev. Geophys. Rev.*, 33, 211-240.
- Horie, S. (ed.) (1987) *History of Lake Biwa*. 242 p, *Inst. Paleolimnol. Paleoenviro. Lake Biwa. Kyoto Univ.*
- Hsü, K.J. and Giovanoli, F. (1979) Messinian event in the Black Sea. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 29, 75-93.
- 井上源喜・柏谷健二・箕浦幸治(編著) (1998) 地球環境変動の科学. 269 p, 古今書院.

- Kashiwaya, K., Tanaka, A., Sakai, H. and Kawai, T. (2000) Paleoclimatic signals printed in Lake Baikal sediments. Minoura, K. (ed.) *Lake Baikal*: 53-70, Elsevier.
- 片岡裕子・守田益宗・三好教夫・志知幸治・河室公康・高原 光・長谷義隆・尾田武文・箕浦幸治 (1999) バイカル湖 200 m コア (BDP96-1) の花粉分析学的研究—特に 200 万年前以降について—. 日本 BICER 協議会年報 (1998 年度), 22-30.
- 片岡裕子・三好教夫・高原 光・長谷義隆・河室公康 (2001) バイカル湖湖底堆積物 BDP96-1 (200 m) コアの花粉分析学的研究. 日本生態学会第 48 回大会 (熊本) 講演要旨, 304.
- 河合崇欣・河室公康 (1999) バイカル湖の長期環境変動を読む. 科学, 69, 961-864.
- 国立天文台 (1998) 理科年表 (平成 10 年). 1054 p, 丸善.
- 増田富士雄 (1989) 過去 6 億年間の気候変動にみる周期性. 科学, 59, 455-463.
- Minoura, K. (ed.) (2000) *Lake Baikal*. 332 p, Elsevier.
- 三好教夫・竹内 徹・片岡裕子・上田圭一・守田益宗・河室公康・高原 光・長谷義隆・井内美郎・尾田武文・箕浦幸治 (1999) バイカル湖内上部堆積物 (VER 94/5-St. 21) の花粉分析. 日本花粉学会誌, 45, 27-34.
- Miyoshi, N., Fujiki, T. and Morita, Y. (1999) Palynology of a 250-m core from Lake Biwa: a 430,000-year record of glacial-interglacial vegetation change in Japan. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 104, 268-283.
- 三好教夫・片岡裕子 (2000) 湖底堆積物からのメッセージ—化石花粉から植生変遷を探る—. 遺伝, 54, 43-49.
- 森野 浩・宮崎信之 (編) (1994) バイカル湖—古代湖のフィールドサイエンス—. 267 p, 東京大学出版会.
- 尾田武文 (2000) 堆積物粒度組成によるバイカル湖集水域の環境変動復元. 日本 BICER 協議会年報 (1999 年), 24-28.
- 尾田武文・佐藤智洋・高原 光・箕浦幸治・長谷義隆・三好教夫・中村俊夫 (1998) バイカル湖集水域における最終氷期～後氷期植生変遷. 井上源喜・粕谷健二・箕浦幸治 (編)「地球環境変動の科学」: 201-211, 古今書院.
- 尾田武文・箕浦幸治・藤村千鶴・中村俊夫・河合崇欣 (2000) バイカル湖集水域における過去 25 万年間の植生変遷. 日本花粉学会会誌, 46, 81-92.
- 奥田節夫 (1994) バイカル湖の物理的特性. 森野 浩・宮崎信之 (編)「バイカル湖—古代湖のフィールドサイエンス」: 59-80, 東京大学出版会.
- Sakai, H., Nomura, S., Horii, M., Kashiwaya, K., Tanaka, A., Kawai, T., Kravchinsky, V., Peck, J. and King, J. (2000) Paleomagnetic and rock-magnetic studies on Lake Baikal sediments-BDP96 bore hole at Academician Ridge. Minoura, K. (ed.) *Lake Baikal*: 35-52, Elsevier.
- 高原 光 (1996) バイカル湖周辺における最終氷期以降の植生変遷. 日本 BICER 協議会年報 (1995), 42-44.
- 高原 光 (1999) 植生変遷に関する研究. 「バイカル湖湖底泥を用いる長期環境変動の解析に関する国際共同研究. 第 I 期成果報告書」: 147-178, 科学技術庁研究開発局.
- 高原 光 (2000) 最終氷期以降の植生変遷. 「バイカル湖湖底泥を用いる長期環境変動に解析に関する国際共同研究 (第 II 期平成 10～11 年度) 成果報告」: 304～327, 科学技術庁研究開発局.
- Takeuti, S., Oda, T. and Kawai, T. (1995) Palynostratigraphy of core BDP93-1 from Lake Baikal, south-eastern Siberia. *Saito-Ho-on Kai Mus. Nat. Hist., Res. Bull.*, 63, 1-7.
- Tiedemann, R. (1994) Astronomic timescale for the Pliocene Atlantic $\delta^{18}\text{O}$ and dust flux record of Ocean Drilling Program site 659. *Paleoceanography*, 9, 619-638.
- Tsukada, M. (1958) Untersuchungen über das Verhältnis zwischen dem Pollengehalt der Oberflächenproben und der Vegetation des Hochlandes Shiga. *J. Inst. Polytech. Osaka City Univ.*, D9, 217-234.
- Uchiyama, T., Morita, Y. and Horie, S. (1995) Comparative palynostratigraphy of Baikal and Japanese lake sediments. *IPPCCE News Lett.*, 9, 71-86.
- 安成哲三・粕谷健二 (編) (1992) 地球環境変動とミランコヴィッチ・サイクル. 174 p, 古今書院.
- (R+E) in Russian with English abstract, (R) in Russian

Quaternary Vegetation History Based on Pollen Analysis of Bottom Sediment (BDP96-1) Taken from Lake Baikal, Russia

Norio Miyoshi*¹, Hiroko Kataoka*², Koji Shichi*³, Takefumi Oda*⁴,
Hikaru Takahara*⁵, Yoshitaka Hase*⁶, Kimiyasu Kawamuro*⁷
and E.V. Bezrukova*⁸

Lake Baikal, situated in southeastern Siberia, Russia, is the oldest and deepest freshwater lake in the world. During February–March 1996, long-bore drilling to the bottom depth of 300 m was done in order to investigate the palaeolimnological record; a 200 m core of various sedimentary units was picked up. An 80 m sediment sample of the uppermost core was examined palynologically at intervals of ca. 10 cm. The investigated part of the core covers approximately the last 2 Ma of the Quaternary including the Pleistocene and Holocene. Two major vegetation types were recognized alternately from the bottom to the surface. One type had many kinds of abundant fossil arboreal pollen originating from the Siberian taiga: subarctic needle-leaved forest and non-arboreal pollen, which was dominant during

interglacial periods. The other type comprised only a few kinds of sparse fossil non-arboreal pollens such as *Artemisia*, Chenopodiaceae and Gramineae originating from the tundra and steppe, and was more evident during glacial periods. Thirty two glacial–interglacial cycles were recognized, and the cyclic changes in vegetation corresponded harmoniously with $\delta^{18}\text{O}$ marine isotope stage. The abundant vegetation of the Siberian taiga in the Tertiary gradually became simpler during the Quaternary. A needle-leaved tree *Tsuga* and some deciduous broad-leaved trees such as *Carpinus*, *Lepidobalanus*, Ulmaceae, and *Corylus* became extinct due to cooling of the climate during the first half of the Quaternary. The main taxa of the taiga in the latter half of the Quaternary were Pinaceae except for *Tsuga* and *Betula*.

*1 Faculty of Informatics, Okayama University of Science. 1-1 Ridai-cho, Okayama, 700-0005, Japan.
E-mail : [REDACTED]

*2 Graduate School of Science, Okayama University of Science. 1-1 Ridai-cho, Okayama, 700-0005, Japan.

*3 Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute. 92-25 Nabeyashiki, Shimo-Chugawa, Morioka, 020-0123, Japan.

*4 Center for Chronological Research, Nagoya University. Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-0814, Japan.

*5 Faculty of Agriculture, Kyoto Prefectural University. 1-5 Hangi-cho, Shimogamo, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8522, Japan.

*6 Faculty of Science, Kumamoto University. 2-40-1 Kurogami, Kumamoto, 860-8555, Japan.

*7 Kansai Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute. Nagai-Kyutaro, Momoyama-cho, Fushimi-ku, Kyoto, 612-0855, Japan.

*8 Limnological Institute, (SB), Russian Academy of Science. Irkutsk 664033, Russia.