

最終氷期以降の堆積物に記録された環境変動と 人間活動の歴史

Sedimentary Records of Environmental Changes and Human Activity since the Last Glacial Period

○竹村恵二¹⁾, 林田 明²⁾, 松岡数充³⁾, 成瀬敏郎⁴⁾, 岡村 眞⁵⁾, 高原 光⁶⁾,
鳥居雅之⁷⁾, 外山秀一⁸⁾, 泉 拓良⁹⁾, P.A. Meyers¹⁰⁾, K.L. Verosub¹¹⁾

○Keiji TAKEMURA¹⁾, Akira HAYASHIDA²⁾, Kazumi MATSUOKA³⁾, Toshiro NARUSE⁴⁾,
Makoto OKAMURA⁵⁾, Hikaru TAKAHARA⁶⁾, Masayuki TORII⁷⁾,
Shuichi TOYAMA⁸⁾, Takura IZUMI⁹⁾, Philip A. MEYERS¹⁰⁾,

Kenneth L. VEROSUB¹¹⁾

¹⁾京都大学大学院理学研究科, ²⁾同志社大学理工学研究科, ³⁾長崎大学水産学部, ⁴⁾兵庫教育大学,
⁵⁾高知大学理学部, ⁶⁾京都府立大学農学部, ⁷⁾岡山理科大学総合理工学部, ⁸⁾皇學館大学
文学部, ⁹⁾奈良大学文学部, ¹⁰⁾ミシガン大学, ¹¹⁾カリフォルニア大学デービス校
¹⁾Kyoto University, ²⁾Doshisha University, ³⁾Nagasaki University, ⁴⁾Hyogo University of Education, ⁵⁾Kochi
University, ⁶⁾Kyoto Prefectural University, ⁷⁾Okayama University of Science, ⁸⁾Kogakkan University, ⁹⁾Nara
University, ¹⁰⁾University Michigan and ¹¹⁾University California Davis

High resolution study of past environmental change requires continuous and homogeneous recording media. Continuous lacustrine clay and inner bay clay with a high sedimentation rate are such materials. The subject of the present study is the sediments from Lake Biwa and Omura Bay since the last glacial time.

We recovered seven piston cores (10-15 m long) at three localities in the northern part of Lake Biwa. We designed the coring plan (1) to take at least two cores from each site; (2) to take cores at three locations having different sedimentation rates; and (3) to recover undisturbed sediments as far as possible. Analysis of seven piston cores obtained from three sites in Lake Biwa provide a detailed stratigraphy of the lake sediments for the last 40 kyrs. Analysis of the core samples was carried out in various disciplines including paleomagnetism, environmental magnetism, physical properties, organic and inorganic chemistry, pollen analysis and 14C dating. Description of lithology and measurement of magnetic susceptibility reveal occurrence of volcanic ashes at ten horizons, that were visually observed or microscopically found from clayey sediments. The age-depth curves deduced from published tephra ages show that significant difference in sedimentation rates occurs in Lake Biwa. The central part of the depression is characterized by homogeneous sediments deposited with a high sedimentation rate.

We recovered one drilling sample (33.10m length), 4 piston core samples and about one meter surface sediment sample in Omura Bay, western Kyushu. Multidisciplinary analysis of those cores are now ongoing by the same treatment of Lake Biwa sediment. Marine environmental change in Omura Bay is interesting from the viewpoint of marine transgression during Holocene and eutrophication by natural and human activities. Micropaleontological analysis shows a marine transgression at about 7.5 m deep (about 7,300 yBP). We can detect the eutrophication phenomena since ca 1960 recorded in dinoflagellate assemblages.

1. 研究目的

本研究の目的は、湖沼と内湾の堆積物から最終氷期以降約2万年間の環境変遷を読みとり、自然環境の変動と人間活動の関わりを明らかにすることである。深海や陸水の堆積物を用いた環境復元の研究はこれまで広く行われ、汎地球規模の氷期-間氷期サイクルが地球軌道要素の変化によって駆動されていることなどが示された。しかし、1万年以下の時間スケールでの気候変動については、地域的な様相や

人間活動に対して与えた影響など、未解明な点が多い。近年、地球環境の変動と文明の変遷との関係を明らかにするため、日本列島のいくつかの湖沼や内湾で堆積物の採取・分析が進められるようになった(安田, 1999; Fukusawa, 1999など)。湖沼や内湾の堆積物は、深海底の試料よりも時間分解能の高い環境変動の記録を保持し、隣接地域での人間活動の影響を記録することも期待される。われわれの研究のねらいは、特に歴史的な文献や考古学的資料も残

されている北部九州（別府湾，橘湾，大村湾）と近畿地方（琵琶湖）において，最終氷期以降の堆積物の層序・年代決定と多様な手法での解析を行うことによって，水陸境界部の環境システムの特徴，特に時間的・空間的変動の復元を行うことにある。本研究での目標は以下のとおりである。

（１）地磁気経年変化および火山灰層序にもとづいた堆積物の編年：放射性炭素年代に火山灰層序と地磁気方位の経年変化の情報をつけ加えることによって，約1万年前以降の堆積物について数十年程度の精度で年代決定をおこない，日本列島周縁の後氷期以降の編年を高精度で議論する。

（２）堆積物の磁氣的性質，堆積学および地球化学的情報と気候変動・地殻変動・人間活動との対応の解明：堆積物の供給源・供給経路，水圏と後背地の環境変遷，および汎地球的な環境変動との対応を明らかにする。

2. 研究経過

2.1 琵琶湖堆積物を用いた解析

堆積物を用いて種々の分析を行い，環境変化を総合的に評価するためには，上質の試料と分析項目間の質的検討が要求される。第一年次（1996年）および第二年次（1997年）は，試料としての質がある程度予測された琵琶湖堆積物の堆積物層序の設定，火山灰と帯磁率測定による年代の確立をめざし，以下の分析を実施した。（１）堆積物の記載と音波探査記録との対応（竹村・岡村），（２）帯磁率と残留磁化の測定（林田・鳥居，Verosub），（３）堆積物の詳細調査と有機地球化学分析（竹村・松岡・Meyers・研究協力者の石渡良志・東京都立大学教授）（４）炭素14年代測定（研究協力者の北川浩之・名古屋大学助教授），（５）年代層序確立のための火山灰分析（竹村），（６）堆積構造と無機化学的分析（研究協力者の福澤仁之・東京都立大教授，豊田和弘・北海道大学助教授，成瀬），（７）花粉分析（高原）である。

1995年に鳥居ほか（1996）により採取されていた琵琶湖ピストンコア試料の詳細解析が中心であり，分析研究を順調に進めることができた。鳥居ほか（1996）は1995年7月に琵琶湖北湖で，音波探査を実施したのち，7本のピストンコアを3地点から採取した。北から第1地点（高島沖，水深63m），第2地点（白髭沖，水深67m），第3地点（雄松崎沖，水深76m）である。第1地点では，BIW95-2（10.05m）とBIW95-3（11.30m），第2地点では，BIW95-4（15.03m）とBIW95-5（14.45m），第3地点ではBIW95-6（11.61m），BIW95-7（11.55m），BIW95-1（11.29m）の試料が採取された。

堆積物記載は，10分の1スケールで肉眼観察を行い，コンピューター上で製図を行い，各分析担当者が共通の柱状図のもとに分析結果を検討できるようにした。肉眼で識別された火山灰試料と，帯磁率測

定によって火山灰降灰が推定された試料の分析を行い，コア間対比および広域火山灰との対比を確立でき，年代の推定が可能になった。帯磁率の測定は3地点（7ピストンコア）すべてについて終了し，各コア間での詳細な対比がなされた。試料層準は林田により整理され，各分担者に配布された。種々の分析結果は各年度の研究会や関連学会で報告・検討された。

2.2 大村湾堆積物解析

内湾堆積物から最終氷期以降2万年間の環境変遷を読み取り，自然環境の変動と人間活動の関わりを明らかにすることを目的として，西九州大村湾を調査海域として選定した。1997年から1998年にかけて，まず音波探査により表層堆積物の性状を把握し，試料採取地点を選定した。その後，機械掘削・ピストンコアリング・その他の採取方法を用いて大村湾の堆積物を採取した。得られた試料を素材にして，上述の課題について研究を行った。

音波探査は大村湾全域を調査海域とし，1997年5月16，17日に行った。その結果，堆積物の機械掘削地点を大村湾西部時津浦（北緯32° 53' 27"，東経129° 49' 19"；水深19.10m）に決定し，1997年6月13日から6月19日にかけて実施した。掘削長は33.10mに及び，基盤岩の確認をもって終了した。掘削の最終標高は-52.20mであった。なおこの方法では海底表層部の堆積物は攪乱され，採取不可能であるので，その部分を径70mmのアクリルパイプを用いダイバーによって採取し，結果として88cmの柱状試料を得た。

堆積物の調査項目は肉眼観察・記載にはじまり，物性測定・古地磁気測定・14C年代測定・210Pb測定・粒度分析・火山灰分析・珪藻・渦鞭毛藻の微化石分析を実施した。

音波探査の結果，大村市北部沖（九州電力大村発電所沖約2km）に海底活断層の存在が確認されたことを受けて，1997年11月8日にこの断層について詳細な音波探査とピストンコアリングを実施した。活断層掘削地点は大村湾北東部（北緯32° 53' 27"，東経129° 49' 19"；水深19.10m）で，沈降側9700M1（掘削長；947cm 北緯32° 58.91'，東経129° 54.38'），隆起側9700M2（掘削長；707cm 北緯32° 58.89'，東経129° 54.38'）の試料を採取した。さらに環境変遷解明用に2本（北緯32° 59.57'，東経129° 53.56' 水深；ca. 19m）の試料を採取した。

2.3 総合解析のための検討

この助成研究により，研究会の開催や種々の分析を行うための連絡網ができた。また，国際的な動向も分担者や研究協力者からえることができる体制ができあがったことは，本研究の位置付けを考える上で成果であった。以下に主な研究会を記す。1996年7月 京都大学大学院理学研究科地球物理学教室・会議室：研究の現状と研究計画の確認，サン

ブルの状況などについて検討した。

1996年12月 アメリカ地球物理学連合 (AGU) Fall Meeting: 琵琶湖堆積物に関する発表を行うとともに、分担者であるP.A. Meyers, K.L. Veresub両教授、鳥居、林田、竹村で研究連絡会を行った。

1997年1月 東大海洋研究集会<環境変動の共鳴箱としての湖沼・内湾堆積物>を開催: 多数の分担者・研究協力者が関連研究発表を行った。

1998年3月 京都大学大学院理学研究科地球物理学教室・会議室: K.L. Veresub 教授の来日にあわせ、古地磁気関連の研究討論会を実施した。

1998年11月 京都大学大学院理学研究科地球物理学教室・会議室: 琵琶湖・大村湾堆積物分析の現状と分析結果から考察される環境変動の討論を行った。

3. 研究成果

3. 1 琵琶湖堆積物を用いた解析

3. 1. 1 過去3万年間の湖底堆積物の高精度対比

琵琶湖湖底堆積物の中で、現在に続く均質塊状粘土層(琵琶湖粘土層, T層)は、中緯度モンスーン地域における高精度の環境変遷を構築する上で、重要な貴重な堆積物であることがたびたび指摘されてきた。その理由は、その均質塊状粘土層という岩質と海洋底コアと比較して100倍程度速い堆積速度によるものである。鳥居ほか(1996)は、琵琶湖粘土層250m全層の高精度復元のでがかりとして、まず複数地点で複数本のピストンコアリングを実施した。ここでは、特に複数地点、複数本ボーリングコアの対比、年代、堆積速度についてのべる(Takemura et al., 1999)。採取された7本のうち、湖岸に近い第1地点コア(BIW95-2, BIW95-3)には粗粒物質が多く含まれていたが、第2地点コア(BIW95-4, BIW95-5)および湖盆中心付近の第3地点コア

(BIW95-6, BIW95-7, BIW95-1)は主に均質な粘土からなり、粗粒物質はほとんど含まれていなかった。肉眼観察により、第1地点では3層、第2地点では7層、第3地点では1~2層の火山灰が認められた。これらの火山灰について、粒度組成分析、火山ガラスの特徴および重鉍物組成分析、屈折率測定を行なった。その結果を用いて各コア間の火山灰を対比し、対比基準面を認定することができた。

帯磁率の測定は、コアから約2cm間隔で採取した古地磁気試料について、Bartington社のシステム(MS2, M.S.2.B; 0.47kHz)を用いて行なった。第1地点コアでは、3層準で帯磁率のピークが測定された。第2地点コアで測定された単位体積あたりの帯磁率はほぼ150~250 μ SIの範囲で変化しているが、250 μ SIを越えるスパイク状のピークが10層準に見られた。第3地点コアの帯磁率は100~150 μ SI程度で互いによく一致する変動を示し、4層準で200 μ SIを越えるピークが認められた。第2地点と第3地点での平均的な帯磁率のちがいは、陸源粒子の供給量

の差を表わすものと思われる。また、帯磁率のスパイク状のピークはほとんどが肉眼で観察された火山灰と対応しており、火山灰起源の磁性鉍物が寄与したものと考えられる。肉眼観察で火山灰層が見られない層準のピークも第3地点の3本のコア間でよく対比され、また第2地点のコアの帯磁率変化にも対応させることができる。火山灰は上位より、カワゴ平、鬼界アカホヤ、麓隈隈岐、阪手、大山(DHg)、大山(DSs, pfl)(2層)、始良Tnの広域テフラに対比される。したがって、7層準の火山灰に帯磁率測定結果のピークの情報を加え、琵琶湖底堆積物の詳細な対比が確立し、年代の枠組みが決定された。現在分析が進められている約2cm間隔で採取した試料は20~30年程度の時間スケールに対応し、詳細な環境変動の復元が期待される。

3. 1. 2 高精度完新世古地磁気編年

特に堆積速度の速い琵琶湖湖盆中心付近の第3地点コア(BIW95-6, BIW95-7, BIW95-1)を用いて、完新世における高精度のsecular variation curveがAli et al. (1999)によって発表された。発表されたカーブは約2000年以降については、考古古地磁気によるカーブとよい一致を示し、少なくとも日本列島を含む周辺の完新世の年代決定に重要な結果が得られた。

3. 1. 3 汎地球規模の環境変遷

汎地球規模の環境変遷に関する資料は、堆積速度が湖盆より小さく約4万年前までの解析ができる第2地点コア(BIW95-4, BIW95-5)から得られている。高精度環境解析のためには、堆積物の年代尺の決定が不可欠である。この点に関して、火山灰層序と炭素14年代測定結果を合わせて、過去4万年にわたる深度-時間関係図が完成し、それに対応した種々の分析結果の汎地球規模の変動との関連を論じることが無機化学、古地磁気、有機化学の分析から可能になった(山田・福澤, 1999; Hayashida et al., 1999など)。

3. 2 大村湾堆積物解析結果

時津浦の試料は海底下29.2mで基盤の結晶片岩に達した。海成層は7.5mまでで、それ以深では確認されなかった(鹿島, 1998など)。その付近の炭素14年代値は7310 \pm 90yBPを示すことから、大村湾への海水の進入は約7300年前であることが判明した。これは大村湾東部の柱状試料の初期帯磁率が-7.4m付近で著しく変化することからも支持される。また-5.4mには中粒砂層があり、ここからアカホヤ火山灰のガラスが検出された。その年代は約6300yBPである。またこの試料には-14m付近に降下火山灰と火砕流堆積物が検出された。この火山灰は含有ガラスの屈折率等から阿蘇4火山灰と確認された。これは阿蘇4火砕流の分布地としてはほぼ最西端に位置する。

さらに大村湾中央部表層堆積物には人間活動による富栄養化が渦鞭毛藻シスト群集の変化として記録されている。²¹⁰Pb測定による堆積年代から、1960

年頃から現在に向けて堆積物中の従属栄養種の増加に示されていた(金, 松岡, 1999)。

大村湾東部の海底活断層は炭素14年代からみると、地震イベントは2回確認され、その変位量はそれぞれ30cmであった。地震の繰り返し間隔は約3000年と推定された(岡村ほか, 1998)。

4. 今後の課題と発展

4-1 高精度環境復元

湖沼・内湾堆積物による高精度の環境復元が、観測や測定などのデータとの関連で議論ができるためには年単位の高精度情報が必要とされる。この種の情報の蓄積のために、堆積速度の速い湖沼・内湾堆積物、特に年縞堆積物の利用が国際的に進みつつあり、この研究グループの成果も国際的な研究の中で位置づけられている。そのためにも、今回実施した分析法のみならず、各分析精度と年代精度の調整が必要とされ、総合的高精度分析法のさらなる追求が今後の課題である。

4-2 地域的変動と汎地球規模変動の関連

湖沼・内湾堆積物の解析には、地域的変動と汎地球規模変動がどの程度、どのように残されているかを採取された情報から整理していくことが要求される。この課題に関して今回の研究では、両者の分離を行い、関連性を確かめることはできなかった。地域的な堆積物供給量や降雨量の変遷が汎地球規模の変動とどのように関連しているかなどの議論を深めることが課題となる。

4-3 人間活動活発化時間領域の解析

人間活動の痕跡は富栄養化などの現象に現れる。今回の研究では、大村湾の1960年以降の富栄養化傾向が渦鞭毛藻化石を用いて明らかにされた。この種の人間活動の痕跡を明らかにできる手法を開発し、これらの系統的解析と具体的な例示の増加が人間活動活発化と環境影響の評価のために必要である。

4-4 分析資料のデータベース化(情報の共通化)と試料保管の問題

収集され、解釈された情報の共通利用を可能にするデータベース化は今後大きな貢献が期待できる。また、分析試料の保管の問題は日本の研究機関の共通の悩みであり、試料保管と分配の課題は常に考慮しておくべき課題である。

今後これらの課題について検討することにより、環境変遷と人間活動という広い学際的なテーマである本研究課題の発展が期待できると考える。

引用文献

M. Ali, H. Oda, A. Hayashida, K. Takemura and M. Torii (1999): Holocene palcomagnetic secular

variation at Lake Biwa, central Japan. *Geophys. J. Int.* **136**, 218-228.

H. Fukusawa (1999): Varved lacustrine sediments in Japan: Recent progress. *Quaternary Research (Japan)*, **38**, 237-243.

A. Hayashida, Y. Kuniko, Y., M. Ali, M. Torii, K. Yamada, H. Fukusawa, H. Kitagawa, K. Takemura (1999): Magnetic signature of brief interstadial events in Lake Biwa during the past 40 kyrs. IUGG.

鹿島 薫(1998): 大村湾海底ボーリングコア堆積物中の珪藻遺骸群集の変動と完新世後期の古環境変遷. 日本古生物学会1998年年会予稿集, p.33

金 享信・松岡数充(1998): 渦鞭毛藻シストから見た大村湾における富栄養化の過程. 日本プランクトン学会報, **45**, 133-147.

岡村 真・松岡裕美・上寺 努・松岡数充・原口 強・竹村恵二(1998): 九州西部大村湾の高分解能音波探査による海底活断層分布と大似田断層の活動履歴. 1998年地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, p.320

K. Takemura, A. Hayashida, M. Okamura, H.

Matsuoka, M. Ali, Y. Kuniko and M. Torii(1999): Stratigraphy of Multiple Piston Core Sediments for the Last 30,000 years from Lake Biwa.

Journal of Paleolimnology.

鳥居雅之・竹村恵二・石川尚人・岡村 真・松岡裕美・林田 明・石渡良志・福沢仁之・豊田和弘・P. A. Meyers・K.L. Verosub(1996): 大陸一大洋境界域での古環境変動解析を目指して: 琵琶湖マルチ・ピストンコア研究プロジェクト. 地球惑星科学関連学会1996年度合同大会予稿集.

山田和芳・福澤仁之(1999): 水月湖, 琵琶湖湖底堆積物に記録された過去4万年間の気候・大気変動. 1999年地球惑星科学関連学会合同大会予稿.

安田喜憲(1999): 気候変動と文明の盛衰—地球温暖化の時代に何がおこったのか. 科学, **69**, 572-577.

公表論文(引用文献を除く)

P.A. Meyers and K. Takemura(1997): Quaternary changes in delivery and accumulation of organic matter in sediments of Lake Biwa, Japan. *Journal of Paleolimnology*, **18**, 211-218.

岡村 真・栗本貴生・松岡裕美(1997): 地殻変動モニターとしての沿岸・湖沼堆積物. 月刊地球, **19**, 469-473.

竹村恵二(1997): 湖沼・内湾堆積物の年代推定に果たすテフラの役割. 月刊地球, **19**, 480-484.

竹村恵二(1998): 琵琶湖の堆積物からみる環境変遷. ペドロジスト, **42**, 128-137.

竹村恵二・北川浩之(1998): 日本列島の火山灰層序とその年代. 日本列島植生史(安田喜憲・三好教夫編集), 25-35, 朝倉書店, 東京

鳥居雅之(1997): 琵琶湖湖底堆積物研究. 月刊地球, **19**, 487-490.