

琵琶湖深層ボーリング資料からみた近江盆地の構造運動と堆積環境

公文 富士夫*

Tectonic movements and sedimentary environments of Omi basin deduced from the deep drillings around Lake Biwa, Japan

Fujio Kumon

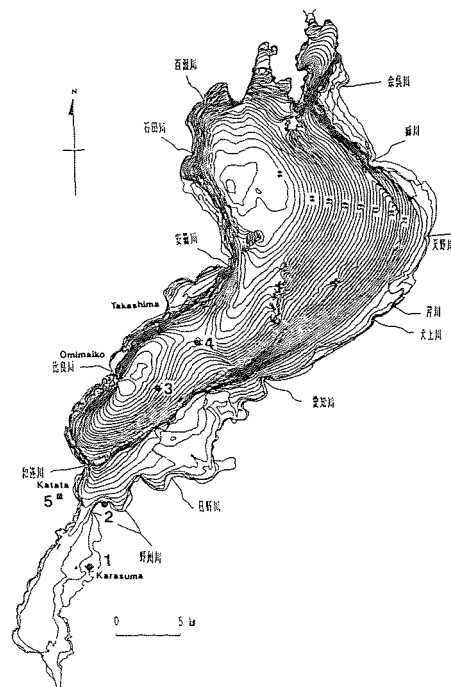
Abstract

The sinking rates of the different parts of Lake Biwa can be calculated based on the marker tephras and their depth in the four deep drillings in and near the lake. Two sites of the drilling have high sinking rate as large as 0.8mm/year, and other two sites have slow rates as large as 0.5mm/year. On the other hand, modern structural units in the Omi basin can be estimated by the topography, geology and active fault systems. There exist many small quadrilateral units of which sides are as long as a few kilometers to a few tens kilometer in the Omi basin. New tectonic movement started about 400,000years ago, and the differential sinking of the structural units have been played a basic roll to form the present Omi sedimentary basin and its topography which include Lake Biwa. Strong subsidence and poor sediment supply formed deep water environment such as northern lake of Lake Biwa., and weak sinking or strong sinking with abundant sediment supply caused the shallow lake or fluvial environments for a long time such as southern lake of Lake Biwa and Koto plain, east-side plain of Lake Biwa.

はじめに

琵琶湖南湖の北東岸に位置する鳥丸半島では、琵琶湖博物館の建設に伴い、その予定地に915mの深度の基盤に達する学術深層ボーリングが行われた。これは南湖域で行われた唯一の学術ボーリングで、コアの回収率も97%と高く、南湖の地史を解明する上で重要な試料である。琵琶湖では、これまでに南湖と北湖の境界部にあたる野洲川河口で1976年に行われた1000mボーリング (Yokoyama et al., 1976), 北湖の近江舞子沖で行われた200mと1400mボーリング, 高島沖の140mボーリング (井内, 1987) などの学術ボーリングが行われてきた(第1図)。一方、堅田丘陵にはかつての琵琶湖の堆積物が露出しており、指標火山灰にもとづいてボーリング試料との比較が可能である。

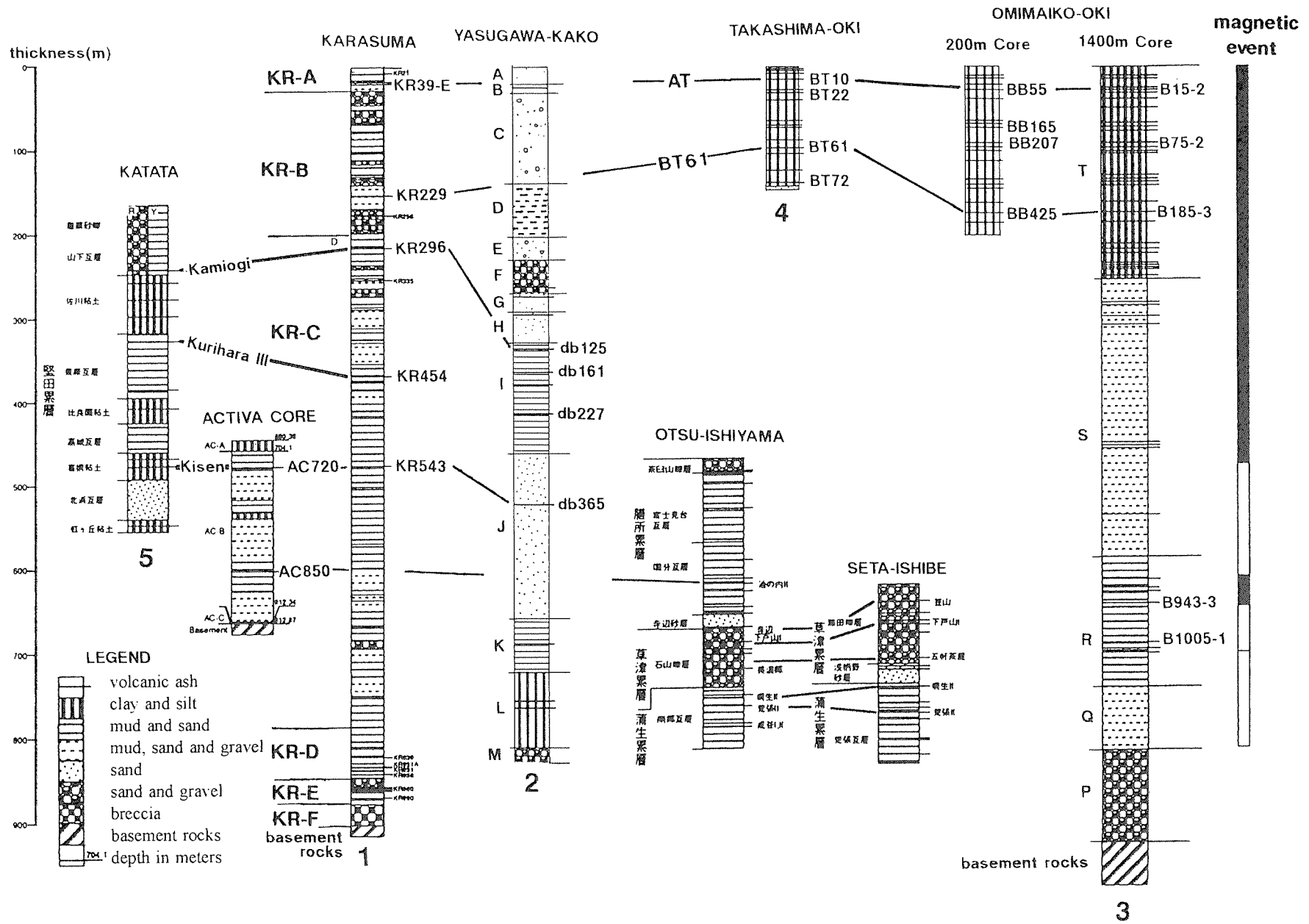
これらの資料を使って、琵琶湖の5つの地点における過去数十万年間の平均的な垂直変位速度を見積もることを試みた。その変位速度には地点ごとにばらつき



第1図. 琵琶湖の湖底地形と深層ボーリングおよび堅田丘陵の位置。

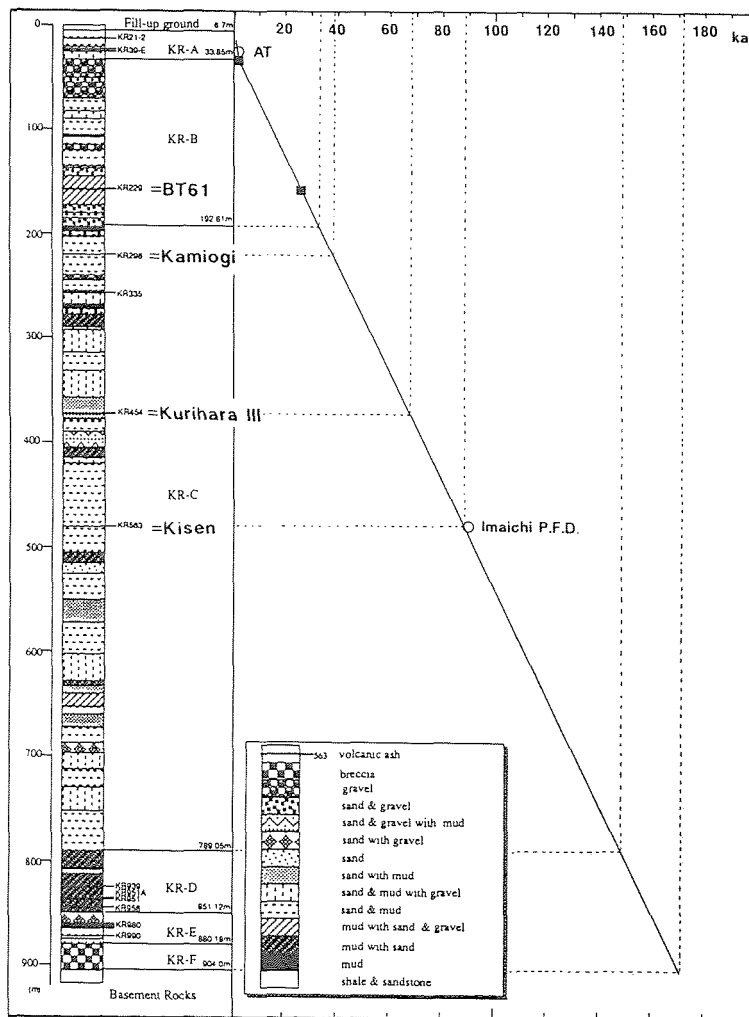
- 1 : 鳥丸半島, 2 : 野洲川河口, 3 : 近江舞子沖, 4 : 高島沖, 5 : 堅田丘陵。

* 信州大学理学部物質循環学科



第2図. 琵琶湖の深層ボーリング試料および周辺地層の対比.

(林ほか, 1994; 吉川・井内, 1991; Yokoyama et al. 1976; Yokoyama and Takemura, 1983; に加筆・編集)



第3図. 堆積速度からみた烏丸深層ボーリング試料の年代。
 黒四角：堆積速度の基準とした年代，白丸：別の基準から得られた火山灰の年代
 (AT：AT火山灰，Imaichi P.F.D.：今市火砕流堆積物)。

り、最近数十万年間、琵琶湖およびその周辺は、
 異なる小さな構造単位に分かれて、それぞれが異なる
 速度で沈降と上昇の運動をしてきたと考えられる。小
 規模構造単位の差別的な沈降運動が、琵琶湖を含む近
 接地の現在の地形と様々な厚さと岩相をもつ堆積物
 の形成した主要な要因であると推定される。
 なお、以後の議論では、年代の基準として高島沖の
 BT61火山灰(吉川・井内, 1993: 27万年前)を使う。
 BT61は、40cmほど厚さをもつ、淡桃色～淡赤色のガラ
 質火山灰で、多くのボーリング試料で見つかってい
 るからである。その年代は堆積速度と酸素同位体層序
 からクロスチェックされていて、信頼性が高い。ま
 た、相対的垂直変動の基準として琵琶湖の湖水面を使
 用する各検討地点の柱状図、主要火山灰、およ
 びこれらの対比を、第2図に概略的に示しておいた。

烏丸半島の変位量

烏丸半島ボーリング試料の上部192.6m (KR-A, B
 層) についての岩相と粒度分析の検討結果は、烏丸半
 島周辺が沖積平野から沖積扇状地であったことを示し
 ている(公文・今井, 1994, 1999)。深度157.6mの位
 置にあるKR229火山灰がBT61火山灰に対比されてい
 る(林ほか, 1994)。KR-A層の下限が約3万年前であ
 るので、KR-Bの上限からBT61までの平均の堆積速度
 は0.515mm/年と計算される(公文・今井, 1999)。この
 堆積速度を外挿すると、KR-B層の下底の年代は34万
 年ほど前となる(第3図)。KR-B層は類似した岩相の
 繰り返しであるので、下底の層準まで堆積速度を外挿
 する事には問題が少ない。また、KR-A層の深度までに
 圧密作用が急速に進行するので(井内, 1987)、厚さを
 基にした堆積速度の計算では、その部分を含まずに堆

積速度を求める方が合理的である。

烏丸半島は現在も沖積平野の末端であり、水深はほぼ0mとしてよいので、堆積量と沈降量は等しい。KR-B層下底の年代をつかて、KR-A層の上面かKR-B層下底までの平均堆積速度を計算すると、0.55mm/年となるので、沈降速度も0.55mm/年である。この値は少なくとも34万年前以降の平均的な沈降速度とみなしてよいであろう。

なお、KR-A層下底からKR229までの平均堆積速度をKR-C層やさらに下位まで外挿することには多少問題があるが、岩相は大局的に見て一様であるので、堆積物の大まかな年代を推定する材料としては有効であろう。第3図に示したように、深度33.85mのKR-A層の下底を3万年前とし、深度157.555mのKR229を27万年前として直線で結び、それを下位に延長すれば、それぞれの深さの堆積物の年代を求めることができる。上仰木火山灰に対比されているKR296火山灰が39万年前、栗原IIIに対比されるKR454が69万年前、喜撰火山灰に対比されるKR563が90万年、KR-C層の下底が150万年前、KR-F層の下底は170万年前となる。喜撰火山灰は大阪層群のアズキ火山灰に対比されており（吉川、1983など）、中九州の今市火砕流を給源とする火山灰とされている（鎌田ほか、1992）。今市火砕流は約80万年前（星住ほか、1988）とか、90万年前（鎌田ほか、1994）という指摘がなされており、堆積速度からの推定とほぼ一致している。それ故、前述の堆積速度から求めた年代はある程度妥当なものと考えられる。

野洲川河口の1000mボーリング

このボーリングでは、200mまでで10°、200m以深では20~30°の孔曲りがある（Yokoyama et al., 1976）。堆積物はほぼ水平であると考えられるので、孔曲りを補正した地表からの層厚を深度と考慮して計算する。ここでは、BT61に相当する火山灰は確認されていないが、深度334mのdb125火山灰が上仰木火山灰に対比されている（第2図）。烏丸ボーリング試料では、上仰木火山灰はBR296に対比され、堆積速度からその年代は39万年前と推定される。この年代値を使うと、野洲川河口での堆積速度は0.85mm/年と計算される。

このボーリング試料は、礫・砂・泥が繰り返すという岩相で、沖積平野から扇状地の環境であったものと推定される。この環境は烏丸ボーリングの試料の場合とよく類似しており、数m程度の水深から、琵琶湖水

面より数m高い状態が続いていたことを示唆する。それ故、ここでも盆地の沈降速度と堆積速度がほぼ釣り合っている状態が続いていたものと考えられる。ただし、こちらの沈降速度は烏丸半島よりも1.5倍ほど大きい。

近江舞子沖の1400mボーリング

近江舞子沖の水深68mの地点（第1図地点3）では、200mの深さの予備ボーリングと1400mの大深度ボーリングがおこなわれた（Yokoyama and Horie, 1974；Yokoyama and Takemura, 1983）。200mボーリングの方が試料の回収率が高く、多くの火山灰が確認されている。200mボーリングのBB425、1400mボーリングのB185-3がBT61火山灰に対比されている（吉川・井内、1991）。1400mボーリングで検討してみると、B185-3火山灰は深度169mにあるので（第2図）、堆積速度は0.63mm/年と計算される。その堆積速度で、深度249.5mの深さにあるT層（琵琶湖粘土層）の下底の年代を計算すると、約40万年前となる。T層の下位にあるS層は砂質堆積物を主体とし、沖積平野の堆積物とされている（竹村・横山、1989；Takemura, 1990）ので、S層の上面（=T層の下底面）は、40万年前には水深0m付近であったと考えてよい。それが、現在は水深68mの湖底から249.5mの深度にあるので、平均の沈降速度は、0.79mm/年と計算される。このボーリング地点は湖底の緩斜面上に位置している。そこから2kmほど西よりに南湖盆の最深部があり、その付近ではもっと大きな堆積速度と沈降速度が予想される。

高島沖の140mボーリング

このボーリング地点は、北湖の南湖盆と北湖盆との間にある幅広い高まりの上にある（第1図地点4）。水深63mの地点で掘削された141mほどの柱状試料は、最下部を除いて均質な粘土質堆積物と多数の火山灰層からなり、近畿地方の火山灰層序の優れた基準となることが指摘されている（吉川・井内、1991、1993）。いくつかの指標テフラの年代と酸素同位体比層序とから0.34mm/年の堆積速度が得られている。BT61火山灰は、その94.37mの深度に見いだされており（第2図）、堆積速度に基づいて27万年前という年代が計算されている。均質な粘土質シルトという岩相は、堆積速度を一定と仮定する条件としては最も良好なもので、年代の信頼性は高い。

その下位、深度137mから下には砂質堆積物があり、

沖積平野の堆積物と考えられる。均質な粘土質シルト層の下限の年代は、堆積速度から計算すると約40万年前となる。粘土質シルト層の堆積直前には、この面は湖水面とほぼ同じ高さであり、現在は水深63mの湖底下137.4mの深度にあるので、その沈降量は200.4m、沈降速度は0.50mm/年と計算される。なお、この地点の堆積速度は他の場所に比較してかなり小さいが、地形的に周囲より高まったリッジとなっていることに起因していると考えられる。琵琶湖では深度が大きいところほど堆積量が多くなるというsediment focusing現象が起きていることが知られている（太井子ほか、1987）。

堅田丘陵の変位量

堅田丘陵に露出する堅田累層（第1図地点5）の場合、堆積相の検討や粒度分析によると、ある程度の深さをもった水域があったことは確かである（林、1974；飯田、1988MS；古琵琶湖層群堆積研究会、1994）。ある程度の深さと広がりをもつ湖沼の堆積相を代表する佐川粘土層とその上に重なる扇状地性の龍華砂礫層の境界がかつては琵琶湖の平均的水面にほぼ一致していたと考えることは妥当であろう。龍華砂礫層は90mほどの層厚を持ち、その最下部にある上仰木火山灰は、烏丸ボーリングのKR296（深度220.07m）に対比されている（第2図）。烏丸ボーリングのKR-B層における堆積速度（0.515 mm/年）から計算すると、KR296の年代は約39万年前となる。それ故、龍華砂礫層の下底の年代は約40万年前と推定される。

この境界面が一旦どの深さまで沈んだのか、という見積もりが必要である。堅田の堆積盆は沈降を継続しており、龍華砂礫層もほぼ古琵琶湖面の位置で堆積しつつけたものとみるか、堆積盆の沈降は止まっており、龍華砂礫層は湖面の高さから積み上げられた扇状地とみるか、という問題である。現在の比良山地山麓の扇状地は、扇中央部の高さが琵琶湖水面から50~60m程度の比高であるので、龍華砂礫層が湖面から90mもの高さに積み上げられたとは考えにくい。また、実際には堅田累層は高位段丘堆積物に覆われている（池田ほか、1979）ので、龍華砂礫層の上面が湖水面に近い位置まで沈降し、その上に段丘堆積物が堆積したはずである。龍華砂礫層の下底はその時点で層厚に相当する90mの深さに埋没していたことになる。

堅田丘陵の堅田累層は、東縁部を除いて西側に5~20°ほどゆるやかに傾斜しており、丘陵中央部（大

津市佐川町付近）で佐川粘土層の上面は標高150m付近に分布している。地層面の傾斜に示されるように、地塊は西側に傾動しているが、丘陵中央部を全体の平均としておく。琵琶湖湖水面の標高を85mとすると、湖面からの比高で65mほどの高さになっている。一旦90mほど沈降していたものが隆起したと考えると、変位量は155mとなる。

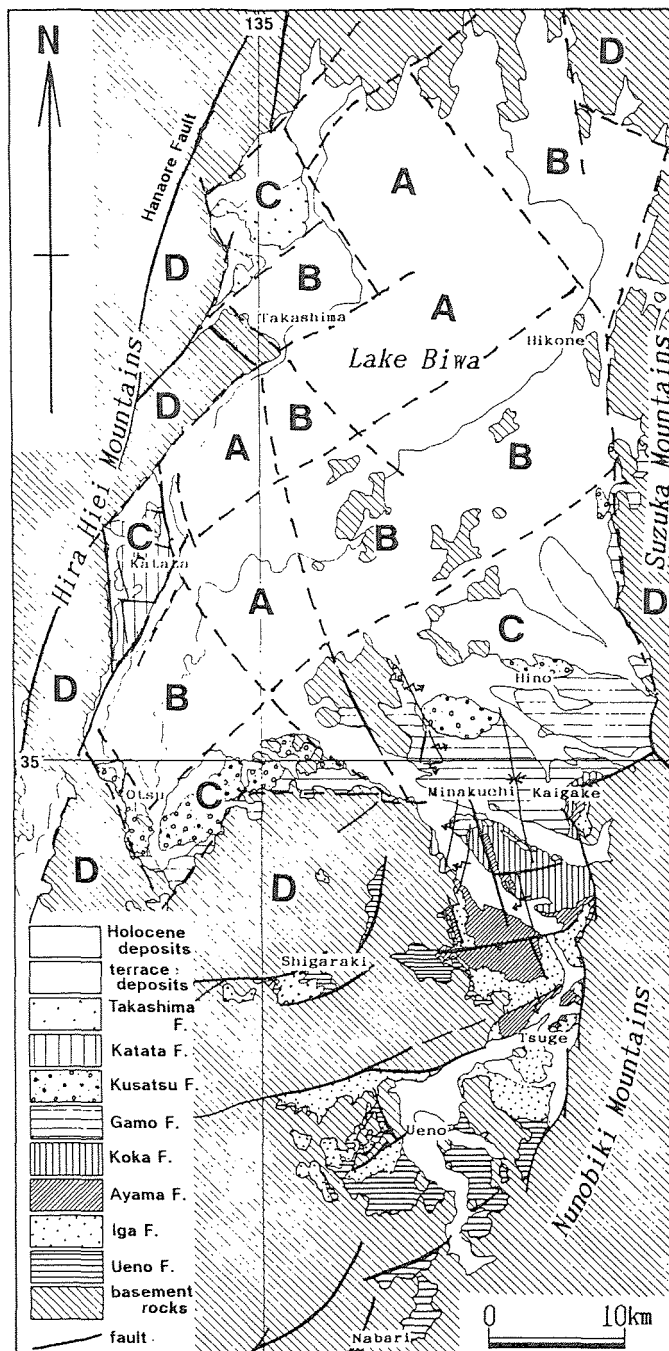
堅田丘陵の運動が隆起に転じた年代を直接に知ることには大変難しいが、高位段丘の堆積年代より新しいことは確かである。この堅田層群を不整合に覆う高位段丘堆積物の年代も問題であり、正確な年代決定が困難である。その年代を大ざっぱに20万年前と仮定すると、堅田丘陵は平均で0.77mm/年の速度で隆起してきたことになる。高位段丘の年代をある程度古く見積もり、また、高位段丘堆積層の累重に伴った沈降量を考慮していないので、この速度推定は控えめな値である。また、近江舞子沖や高島沖の沈降速度が、約40万年前以降の平均値であるのに対して、ここでの隆起速度は、もっと新しい時期（20万年前？）以降の運動を表しているという点で、同一に論ずるには問題があることも確かである。このような問題をはらんだ隆起速度であるが、一つの目安としての役割は果たせるものと考えられる。

堆積盆の枠組みと近江盆地の地史

このような幾つかの例からみて、約40万年前以降、琵琶湖およびその周辺の近江盆地は、場所によってかなり異なる沈降速度を持っていたことが推定される。

一方、最近100年程度の間の測定の繰り返しから、数十万年前からの地殻変動は現在までも引き継がれており、現在の地形はこの間の変動の積み重ねとして理解できると、言われている。現在の地形的な枠組みや、活断層の分布、地層の変位から明らかにされた断層などはこの約40万年前に始まった新しい変動の反映と見てよいわけである。それらの資料にもとづいて、琵琶湖周辺に盆地や丘陵をつくった変動の速度と広がり単元を推定できる。

第1図に示した琵琶湖の湖底地形図は、国土地理院の5万分の1地形図を編集したものであるが、直線上につづく地形の急変部が明瞭である。それらの急崖はほとんどが活断層と推定される。このような地形を参考に、また、活断層として認定されているもの（活断層研究会、1992）や地質図（Kawabe、1989）を考慮して、Kawabe（1989）が作成した琵琶湖周辺の地質概略



第4図. 近江盆地内の構造的枠組み.

A : 強い沈降域, B : 弱い沈降域, C : 弱い隆起域, D : 強い隆起域 (Kawabe, 1989に加筆).

図に、構造単元の境界を推定して記入したものが、第4図である。

各構造単元は各辺が数kmから20kmほどの長さをもつ四辺形をなす。これらのブロックが、相対的に強く沈降する区域、弱く沈降する区域、弱く隆起する区域、強く隆起する区域、のように分かれて差別的に運動してきたものと考えられる。強い沈降域は近江舞子沖や野洲川河口に代表され、 $-0.8\text{mm}/\text{年}$ か、それよりもやや大きい沈降速度をもっていた。弱い沈降域は、高島沖

や烏丸半島に代表され、 $-0.5\text{mm}/\text{年}$ 程度の小さな沈降速度をもっていた。弱い隆起域は、堅田丘陵や湖東丘陵に代表されるが、その隆起速度の見積もりには前述のように問題が多い。堅田丘陵の例では、比較的最近の時期には少なくとも $0.8\text{mm}/\text{年}$ よりも大きい隆起速度をもっていたと考えられる。強い隆起域は基盤岩類の露出する比良山地などに代表される。その隆起速度についてのデータは得られていないが、現在数百mを越す高い山地を形成していることからみて、かなり大きな

隆起速度を持っていたと推定される。第4図では各構造单元ごとの運動様式を前述の4段階に区分して示したが、中間的なものも存在していたであろう。

このような構造单元ごとの差別的な運動に加えて、既存地形の影響を受けた侵食や堆積の作用が働いて、琵琶湖周辺の現在の地形が形成されてきたものと考えられる。具体的にみると、つぎのような変遷が推定される。

約40万年前までは琵琶湖周辺は地形的凹凸の少ない平原で、広域的に沖積平野の環境が広がっていた。しかし、40万年ほど前からは、第4図に示したような小さな単位で、地域ごとに異なった沈降と隆起を行うようになった。強い沈降域、および、沈降が弱くても碎屑物の供給が少ない（供給源から遠い）地域には、深い湖が発達した。それが現在の琵琶湖の北湖にあたる。弱い沈降域や強い沈降域でも十分に碎屑物が供給される地域では、沈降量と埋積量がほぼ釣り合い、扇状地末端から沖積平野のような状況が長い期間継続した。それが、湖東の沖積平野や南湖周辺にあたる。弱い隆起域は堅田丘陵や湖南・湖東の丘陵地帯を形成した。ただし、この地域の隆起は、40万年前より新しい時期（高位段丘堆積物の堆積後？）から発生したと思われる。強い隆起域は、碎屑物の主要な供給源となり、大きな浸食を受けたが、それを上回る隆起によって、比良-比叡の山地や鈴鹿山地を形成した。

謝 辞

本研究は、烏丸半島深層ボーリング学術調査団の一員としておこなった研究、および、古琵琶湖層群堆積研究会が平成5年度に滋賀県から委託された堅田丘陵の調査研究の一部を個人の責任でまとめたものである。また、その概要は平成6年度烏丸地区深層ボーリング調査調査報告書で報告した（烏丸地区深層ボーリング調査団、1995）。この研究に際しては、滋賀県当局、学術調査団および研究会の方々には種々の面で大変お世話になった。特に博物館開設準備室の山崎博史氏（現広島大学学校教育学部）には様々な便宜を図っていただいた。これらの多くの方々から心からお礼を申し上げます。

文 献

林 隆夫, 1974, 堅田丘陵の古琵琶湖層群. 地質雑, 80, 261-276.

- 林 隆夫・川辺孝幸・山崎博史, 1994, 烏丸コアの岩相層序. 琵琶湖の自然史討論会要旨集, 11~20.
- 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹郎, 1988, 別府地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1図幅), 地質調査所, 131p.
- 井内美郎, 1987, 音探堆積速度算定法—音波で求めた琵琶湖の堆積速度—. 地球科学, 41, 231-241.
- 飯田和明, 1988MS, 滋賀県堅田丘陵に分布する古琵琶湖層群—特に堆積相・化石魚類相からみた古環境について—. 信州大・理・地質・修士論文, 160p.
- 池田 碩・大橋 健・植村善博・吉越昭久, 1979, 近江盆地の地形. 滋賀自然環境研究会地形地質調査部編, 滋賀県の自然—地形地質編—, 1-112.
- 鎌田浩毅・檀原 徹・山下 透・竹村恵二・星住英夫, 1992, 中部九州の今市火砕流堆積物の給源カルデラの推定, および大阪層群アズキ火山灰と今市火砕流との対比. 火山学会講演予稿集, no. 2, 109-110.
- 鎌田浩毅・檀原 徹・林田 明・星住英夫・山下 透, 1994, 中部九州の今市火砕流堆積物と類似火砕流堆積物の対比および噴出源の推定. 地質雑, 100, 279-291.
- 烏丸地区深層ボーリング調査団, 1995, 平成6年度烏丸地区深層ボーリング調査(滋賀県)調査研究報告. 125p.
- 活断層研究会編, 1991, 新編日本の活断層. 437p. 東大出版会.
- Kawabe, T., 1989, Stratigraphy of the lower Part of the Kobiwako Group around the Ueno basin, Kinki district, Japan. Jour. Geosci. Osaka City Univ., 32, 39-152.
- 公文富士夫・今井 肇, 1994, 烏丸半島学術ボーリングの粒度分析と堆積相からみた南湖周辺の古環境変遷. 琵琶湖の自然史討論会要旨集, 35-55.
- 公文富士夫・今井 肇, 1999, 烏丸半島学術ボーリング試料の堆積相と粒度分析からみた南湖周辺の古環境変遷. 琵琶湖博物館研究調査報告, no.12, 61-74.
- 古琵琶湖層群堆積研究会, 1994, 平成5年度(滋賀県)依託研究報告書, 38p.
- 太井子宏和・井内美郎・日黒鉄雄, 1987, 琵琶湖北湖底表層のユニブーム音波探査—堆積層の構造と顕著な音波反射面の由来—. 北大地物研報, 49, 251-268.
- Takemura, K., 1990. Tectonic and climatic record of the Lake Biwa, Japan, region provided by the sediments deposited since Pliocene times. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 78, 185-193.
- 竹村恵二・横山卓雄, 1989, 琵琶湖1400m掘削試料の層相からみた堆積古環境. 陸水学雑誌, 50, 247-254.
- Yokoyama, T. and Horie, S., 1974, Lithofacies of a 200m-core sample from Lake Biwa. *Paleolim. Lake Biwa Jap. Pleist.*, 2, 31-37.
- Yokoyama, T., Ishida, S., Danhara, T., Hashimoto, S., Hayashi, T., Hayashida, A., Nakagawa, Y., Nakajima, T., Natsuhara, N., Nishida, J., Otofujii, Y., Sakamoto, M., Takemura, K., Tanaka, N., Torii, M., Yamada, K., Yoshikawa, S. and Horie, S., 1976, Lithofacies of the 1,000m core samples on the east coast of Lake Biwa, Japan. *Paleolim. Lake Biwa Jap. Pleist.*, 4, 52-66.
- Yokoyama, T. and Takemura, K., 1983, Geologic column obtained by the deep drilling from the bottom surface of Lake Biwa, Japan. *International Project on Paleolimnology and Late Cenozoic Climate Newsletter*, 3, 21-23.
- 吉川周作, 1983, 大阪層群と古琵琶湖層群の火山灰の対比. 地団研専報, no.25, 45-61.

吉川周作・井内美郎, 1991, 琵琶湖高島沖ボーリングコアの火山
灰層序, 地球科学, 45, 81-100.

吉川周作・井内美郎, 1993, 琵琶湖高島沖ボーリング火山灰から
みた中期更新世～完新世の噴火活動史, 地球科学, 47, 97-109.