

古琵琶湖堆積盆周辺の古水系変化の検討

里口保文*

Consideration of paleo-water system changes based on geological history
around paleo-lake Biwa basin, central Japan

Yasufumi Satoguchi*

Abstract

Lake Biwa is known as an ancient lake with some endemic species. It is necessary to understand the paleo-water system changes in order to examine the formation of the present aquatic fauna. There are five important periods for transition of paleo-water system around paleo-lake Biwa basin. Their periods are depositional period of the lower Ueno Formation, Ayama-Koka F., lower Gamo F., Kusatsu F. and the Katata F. In period of the Ueno to the Koka Formation (4.4 - 2.6 Ma), paleo-lake Biwa basin was connected water system with Ise Bay area to the Chubu Mountains. The paleo-lake Biwa basin might be composed same sedimentary basin with Ise Bay area in the period of the Ueno Formation. This basin was connected with Kyoto-Nara area in a period between upper Koka Formation and lower Gamo Formation. There was water system from Chubu Mountains to Osaka area through this basin in the period of the Gamo to the Kusatsu Formation (2.6 - 1.4 Ma). It was separated between the paleo-lake Biwa basin and the Ise Bay area in approximately 1 Ma. These paleo-water system transitions correspond to the structural activities and topographical changes around widely area of this basin in five million years.

Key words: Pliocene, Pleistocene, Lake Biwa, water current, geological history

はじめに

琵琶湖の周辺地域から三重県伊賀市付近の丘陵地には、鮮新－更新統の古琵琶湖層群が分布している。この地層は現在の琵琶湖湖底下の堆積物へと連続する一連の堆積物からなり（山崎ほか 1994など）、過去の琵琶湖周辺環境によって形成されたものとされている（川辺 1994など）。このことから、古琵琶湖層群を対象とした古環境の解析は、現在の琵琶湖へつながる地史を解明する方法の一つといえる。これまでに知られている過去の琵琶湖から現在の琵琶湖への古環境変遷は、次の通りである。約440万年前に現在よりも南方にある三重県伊賀市付近に堆積盆が形成され、少なくとも400万年前には伊賀市東部に小さな湖が安定的に存在した（里口 2015a）。その後、堆積盆は北部へ移

動し、およそ300万年前には伊賀市付近～滋賀県甲賀市付近に広い湖を形成した（Kawabe 1989）。260万年前頃には現在の湖東平野付近に堆積盆が移り、広く安定した湖ではなく浅い沼沢湿地の集まりである沼沢地群を形成し、時代が進むにつれて堆積盆の埋積が進み、現在の南湖付近に湖ができる100万年前までは、安定した湖が形成されない河川環境を主体とする時代が続いた（川辺 1994）。その後、南湖付近にできた湖は、約43万年前に現在の北湖まで広がり、安定した広い湖を形成したと考えられている（Meyers et al. 1993）。

このような地史の検討は、現在の生物分布や生物相などを含めた環境の成立過程を検討する上で重要な情報を提供している。しかし、地質学からみた地史の検

2017年10月2日受付, 2017年10月18日受理

*滋賀県立琵琶湖博物館 〒525-0001 滋賀県草津市下物町1091

Lake Biwa Museum 1091 Oroshimo-cho, Kusatsu, Shiga 525-0001, Japan

E-mail: satoguchi-yasufumi@biwahaku.jp

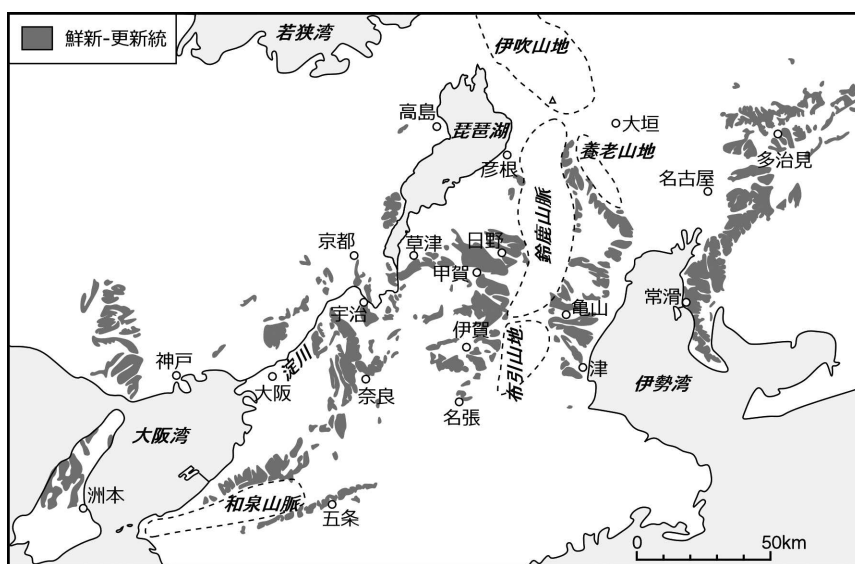


図1. 近畿地方から伊勢湾周辺地域の鮮新-更新統の分布. 日本第四紀学会 (1987) をもとに編集.

討は必ずしも、古生物学や生物学の要求に応えられていない。たとえば、現在の水生生物の分布にいたる過程やその系統にある過去の生物、特に琵琶湖固有の生物、すなわち固有種の成立といった観点からみた古生物の分布を検討するために重要な情報である、過去の水系変化や、それを規定する詳細な古地形変化を、現在の地質学は十分に提示できているとはいえない。また、地質からみた古環境の推定は、地域に分布する地質を基準に検討されているため、異分野の研究者にとっては理解しづらく複雑である場合も多い。川辺 (1994) や吉川・山崎 (1996) などでは、過去の堆積盆からの流出方向の変化について検討しており、このような研究の推進と、その成果を他分野の研究者にもわかりやすく提示することが、他分野への貢献には重要と考えられる。また、単に琵琶湖地域だけでその地史を捉えるのではなく、周辺地域である大阪湾周辺から伊勢湾周辺にいたる近畿・東海地域といった広範囲に分布している鮮新-更新統 (図1) から、古地形および当時の水系変化を検討する必要がある。

そこで本論では、現在の琵琶湖成立過程における過去の水系変化に着目して、琵琶湖地域を中心とした近畿地方から伊勢湾周辺にかけての鮮新-更新統を対象に、既存研究で検討されている地史についてまとめ、未だ明らかになっていない事象についてもその可能性を提案する。今後、本論で述べる可能性や、詳細が不明な点についての検証が行われることを期待する。

古琵琶湖層群の概要

滋賀県の琵琶湖周辺から三重県伊賀市付近の丘陵地に分布する古琵琶湖層群は、鮮新世から更新世の陸水成堆積層からなり、その層相によって下位より上野層、伊賀層、阿山層、甲賀層、蒲生層、草津層、堅田層に区分されている (吉川・山崎1996など; 図2)。これらの分布地域は、おおむね下位の層準、つまり古い時代のものほど南方にあり、現在に時代が近づくに従って現在の琵琶湖周辺地域に分布している (里口2009など)。このような分布から、堆積時期によって堆積盆となる地域が変化したと考えられている (川辺1994など)。

各層の層相は、上野層はその分布域の東部にある厚い粘土層と西部の砂層を主体とする砂泥互層、伊賀層は砂泥互層を主体とし、阿山層と甲賀層は厚い砂層を挟む塊状の粘土層を主体とし、蒲生層は厚い粘土層と砂泥互層からなり、草津層は砂礫層を主体とし、堅田層は厚い粘土層と砂泥互層を主体としている (Kawabe 1989など)。これらの層相から、上野層の堆積時期には伊賀市東部に、阿山層~甲賀層の堆積時期にはその分布の広い範囲で、堅田層は堅田丘陵の広い範囲で、安定した湖を形成しており、伊賀層や蒲生層の堆積時期には、不安定な湖沼が点在し、草津層の堆積時期には、河川を中心とする堆積環境であったとされている (川辺 1994; 図2)。また、これら各堆積時代における古琵琶湖堆積盆からの水の流出方向は、上野層から甲賀層までが現在の伊勢湾方向、つまり東海層群の堆積盆へ向かっていたが、その後に変化し、

地質時代	岩相層序			火山灰層	推定環境	古地磁気層序年代 (万年前)		
更新世	後中期	段丘堆積物	琵琶湖層 厚く均質な琵琶湖湖底泥層	BT22 BT61 BT76 上仰木I	広くて深い湖 (現在の琵琶湖)	ブリュンヌ	50	
		堅田層 (膳所層)	砂がち砂泥互層と泥の卓越する層 (礫砂泥互層)	喜撰 池の内II	小さな湖と湿地・河川		100	
	前期	古琵琶湖層群	草津層	礫層を主体とする礫砂泥の互層	五軒茶屋	河川環境が広がる	マツヤマ	150
			蒲生層	礫層を挟む砂泥互層	荒張 陽気ヶ丘 虫生野 南比都佐 小佐治	河川周辺の湿地・沼沢地		200
			甲賀層	厚く均質な泥層と砂層	相模I	広くて深い湖		250
後期	阿山層		均質な泥層	馬杉 高峰	広くて浅い湖	ガウス	300	
			伊賀層	シルト層を挟む砂礫層	服部川II	河川周辺の小さな湖沼		350
	前期	上野層	厚いシルト層と泥・砂礫の互層	喰代II 市部	小さくて狭い湖	ギバート	400	

図2. 古琵琶湖層群の層序. 吉川・山崎 (1996) をもとに編集.

蒲生層以降は京都方面に向かうようになったとされている (川辺 1994 など).

以上のように推定される堆積環境および古水系に関連する大きな環境変化に基づいて区分すると, 以下の時期を各時期の初期としてあげられる. A) 初めに湖ができた上野層堆積初期, B) 安定した広い湖が広がった阿山層堆積期, C) 堆積盆からの水の排出方向が変化した蒲生層堆積初期, D) 安定した湖がなくなった草津層堆積初期, E) 現在の琵琶湖がある位置に湖ができた堅田層堆積期, である.

近畿・東海地方における鮮新-更新統

近畿地方の大阪湾周辺から東海地方の伊勢湾周辺地域の丘陵部には, 鮮新-更新統が広く分布しており, おおむね大阪湾周辺から京都盆地および奈良盆地に分布する大阪層群, 和泉山脈の南側の紀ノ川流域の菖蒲谷層群, 琵琶湖周辺の古琵琶湖層群, 伊勢湾周辺地域に分布する東海層群がある (吉川 2009). これら層群の堆積年代は, これまでに知られている火山灰層の広域対比のまとめから検討が行われており, 大阪層群では約3.5Ma から現在まで堆積盆が継続しており, 東海層群は約5Ma から約1Ma まで続いた (Satoguchi and Nagahashi 2012). 菖蒲谷層群は, 300数十万年前以降と考えられている (水野・寒川 2009). 図3に火山灰層の対比をまとめた層序図を示す.

これらは基本的に陸水成層であるが, 大阪層群上部には海成粘土層が10層以上挟在し, 層序を組み立てる上での鍵層となっている (市原編 1993).

A. 大阪層群

大阪層群は, 大阪平野周辺地域に主に分布しているほか, 淡路島や大阪湾北方地域のほか, 京都盆地や奈良盆地 (以下, 京都-奈良地域) などにも分布している主に礫, 砂, 泥の互層からなる. また, 上部には海成粘土層を挟在し, これらは最下位の Ma -1 層から順に Ma 番号がつけられており, それぞれ酸素同位体比層序との対比が検討され, Ma -1 層は海洋酸素同位体比ステージ MIS 37 に対比され, おおよそ1.3~1.2Ma とされている (吉川・三田村 1999). これらの大阪層群の層相・層序については, 市原編 (1993) によってまとめられている. 琵琶湖および古琵琶湖の古水系変化を考える上では, 大阪平野方向への中継地点となる京都-奈良地域が重要といえる. この地域の大阪層群は, 三田村 (1992), 河村 (1993, 1994), 中山・河村 (1993) などによって記載されている.

また, 琵琶湖地域と京都-奈良地域との山間部には大福礫層として記載されていた (石田ほか 1954) 砂礫層を主体とする登美ヶ丘層や長山層が分布しており, 長山層中の火山灰のフィッシュ・トラック年代が 1.9 ± 0.3 Ma であることなどから, その年代は2Ma よりやや古い時代から1Ma 頃と考えられている (脇

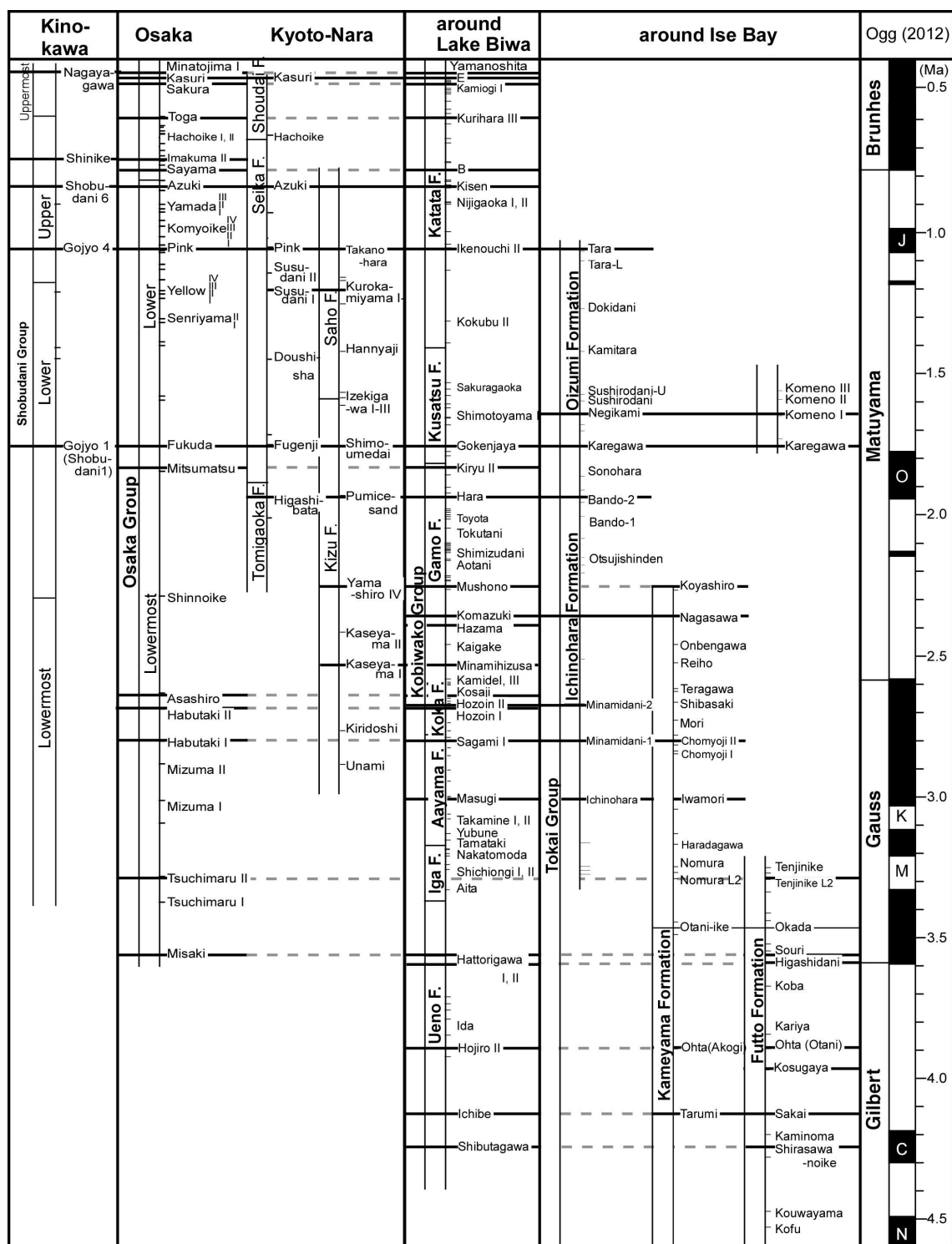


図3. 近畿地方から伊勢湾周辺地域の鮮新-更新統の火山灰層序。Satoguchi and Nagahashi (2012) を基準に、紀ノ川周辺は水野 (2004)、京都奈良は三田村 (1992)、河村 (1993)、中山・河村 (1993) をもとに編集。なお、東海層群龜山層の年代は、Satoguchi and Nagahashi (2012) 以降に一部の層準で行われた古地磁気層序の見直し (星ほか 2013) によって修正している。

田ほか 2012)。大福礫層の礫は円礫から亜円礫が多く、そのインプリケーションからみた古流向は、南東から南西方向の大局的にはおおむね南へ向いている（飯田 1980）。これら砂礫層の分布は、京都－奈良地域の西部に分布する砂礫層を主体とする長池層（脇田ほか 2012）につながり、これらは堆積当時の扇状地成堆積物とされている（城陽礫層研究グループ 1992）。

B. 東海層群

伊勢湾周辺地域に分布する東海層群は、伊勢湾の西方と知多半島を含む東方でそれぞれに研究が進められてきた。西側は吉田（1988, 1990）などに、東側は Nakayama（1994, 1996）などにまとめられている。これらは、当時の古流向から古地理変遷についての検討を行っており、それによると、古流向は伊勢湾西方地域では、おおむね南方向から南西方向へ、東方地域では西方向ないし南西方向を向いている。また、伊勢湾西方の南部地域の山沿いでは、一部地点で東方を向いている。東海層群は、過去の東海湖盆で堆積したとされているが、吉田（1990）が示すように、全体的に礫・砂・泥互層を中心としており、古流向が測定できる砂層を挟在することからも、長期にわたって湖を形成するような安定した湖が広い地域で存在したわけではなく、地域や時代によって小規模な湖沼が存在する広い堆積盆であったと考えられる。ただし、津市付近には厚い粘土層である片田粘土層が存在し（吉田 1990）、その当時に比較的長い期間に安定的な湖を構成していたと考えられる。

また、火山灰層による東海層群の層序対比が吉川ほか（1988, 1991）や中山・古澤（1989）によってまとめられている。

C. 菖蒲谷層群

和泉山脈の南を東から西へ流れる紀ノ川沿いに分布する菖蒲谷層群は、鮮新－更新世の礫、砂、泥からなり（水野 2004）、中央構造線の断層活動に関係して形成されたと考えられている（水野 1992など）。礫層には、広範な地域から供給されたと考えられる円磨度が高い多種類の礫を主体とする古紀ノ川本流型礫層と、北側、南側の山地から供給された円磨度が低く限られた種類の礫の支流河川型礫層がある（水野 2004）。本層群の堆積盆と周辺地域の堆積盆との水系としてのつながりについては、明らかになっていない。

古琵琶湖を中心とした古水系の検討

古琵琶湖層群の調査から明らかにされている古琵琶湖から琵琶湖への古水系の変化において重要な時期は、前述の通り、初めに湖ができた上野層堆積初期、安定した広い湖が存在した阿山層堆積期、堆積盆の水

の排出方向が変化した蒲生層堆積初期、安定した湖がなくなった草津層堆積初期、現在の琵琶湖がある位置に湖ができた堅田層堆積期である。これらの年代は順におおよそ 4 Ma, 3 Ma, 2.5Ma, 1.7Ma, 1 Ma である（図 4）。以下、これらの時期について古水系の検討を行う。

A. 上野層堆積初期

現在の伊賀市付近に約 4.4Ma に古琵琶湖層群の堆積盆（以下、古琵琶湖堆積盆）が形成され、4.0Ma 頃には湖が形成されていた（里口 2015a）。この当時の湖へ流入する水系は、周辺の礫径変化から、当時の湖（大山田湖；川辺 1994）の西方から東向きと、南西から北東向きのものがあり、現在の琵琶湖周辺に分布する湖東流紋岩類の礫が大山田湖の西方に分布するのに対し、北側にはないことから、現在の琵琶湖がある地域からの水系は当時の湖の西側を流れてくる水系とはつながっていたが、北方からの直接の水系はなかったと推定されている（Kawabe 1989；川辺 1994）。

この時期の古琵琶湖堆積盆周辺地域のうち、大阪地域や京都－奈良地域、五条などの紀ノ川周辺地域などでは堆積が始まっておらず、この地域の堆積盆が形成されていない。現在の琵琶湖がある地域からの水系は、大阪地域との間を通して古琵琶湖堆積盆へ流れ込んでいたことから、この時期には、古琵琶湖堆積盆と京都－奈良地域や大阪地域との水系の接続はなかった可能性が高い。それに対して、伊勢湾周辺地域は古琵琶湖堆積盆の形成よりもやや早い約 5 Ma には、伊勢湾の西側の津市から亀山市にかけての地域と、東側の知多半島でもほぼ同時期に堆積盆が形成されている（Satoguchi and Nagahashi 2012）。伊勢湾西側地域の東海層群基底部には礫層が発達し、その古流向は東ないし北東方向を向いており、そこに含まれる礫の種類から、津市より南側では、その西方に分布する生室火山岩類、亀山市付近のものは現在の琵琶湖付近に分布する湖東流紋岩類と考えられている（吉田 1990）。これらの礫層は、東海層群の基底部にあることから、古琵琶湖堆積盆が形成される前のものと考えられるが、上野層に含まれる湖東流紋岩類を含むことから、古琵琶湖堆積盆形成以前から、伊勢湾周辺地域との水系がつながっていた可能性が高い。また、現世の魚類の DNA 解析による研究では、鈴鹿山脈の西方と東方に分布しているタモロコ（*Gnathopogon elongatus*）の遺伝的距離がおおよそ 400 万年前で、それ以降に生息域が分断された可能性が示されており（Kakioka et al. 2013）、この当時までは同一水系であったことを示唆している。この時期の古水系を検討した川辺（1994）は、古琵琶湖堆積盆の水の排出方向が伊勢湾周辺地域であったとしている。これらの見解からは、

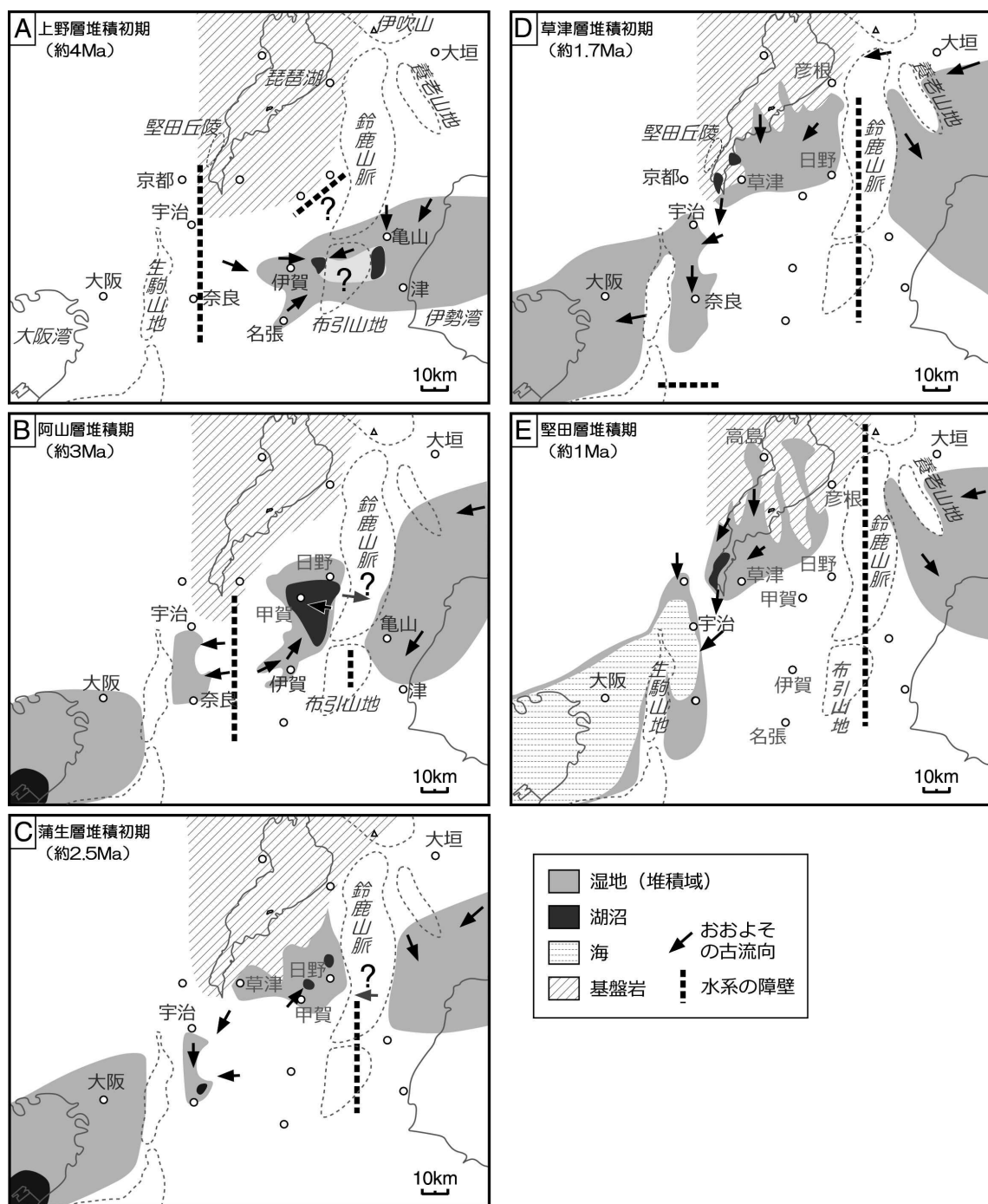


図4. 各時代の推定される水系。基盤岩分布は、現在の琵琶湖地域のための推定で、各環境の分布範囲および記載のない地域の環境は明らかでない。

古琵琶湖堆積盆から伊勢湾方向へ流れ出る水系があったと考えられる。

この時期の火山灰層である東海層群の阿漕火山灰層^{あこぎ}は、約390万年前の広域テフラであり (Znp-Ohta ; Kurokawa and Tomita 1998), 中部山岳地域を噴出源とし、降灰後に火砕物を多量に含む洪水によって堆積したとされている (中山・吉川 1995)。この火山灰層は、古琵琶湖層群では喰代Ⅱ火山灰層^{はうじろ}に対比されており、粒径10mm以上の軽石を含むことから (里口 2015a), 阿漕火山灰層と同様に洪水によって噴出源地域から流されてきたものと考えられる。このことは、本火山灰の堆積時期には、中部山岳地域から伊勢湾周辺と古琵琶湖堆積盆への水系があったことを示している。また、伊勢湾側から古琵琶湖堆積盆への供給があったことも示しており、この時期の古流向としては、前述の推定とは逆向きである。東海層群全体の堆積盆 (以下、東海堆積盆) への流れは、多治見市などの東濃地域へは北東地域から南西方向への供給であり (Nakayama 1994, 1996), 本テフラの供給源はこれと同方向にあると考えられることから (中山・吉川 1995), 古琵琶湖堆積盆への供給が東海堆積盆を通らなかったとは考えにくい。このことから当時の古琵琶湖堆積盆と東海堆積盆、特に伊勢湾の西側地域とは、当時の標高にほとんど差がないか、ほぼ同じだったことが想定される。また、この時期の古琵琶湖層群と東海層群の泥層からは、現在の琵琶湖の固有種とされる *Stephanodiscus suzukii* に類似した珪藻化石が観察され (石角ほか 2014), この種類は珪藻としては大型種であることから、当時の大山田湖の環境として考えられている浅くて狭い湖 (川辺1994) は生息環境としてあまり適切でないといえる (大塚泰介氏私信)。以上のことから、考えられる仮説の一つとして、現在の両地域を隔てている布引山地は、この当時には現在ほど広い範囲で高まりを持っていなかったか、高まりがなく、この当時の古琵琶湖堆積盆と東海堆積盆は同一の堆積盆であった可能性が考えられ、特に大山田湖と、伊勢湾の西側に分布する東海層群の片田粘土層を堆積させた湖とが、一つの広い湖を形成していた可能性を示唆している。ただし、この仮説には、前述の状況証拠以外には、同一堆積盆であったこと、特に同一の湖を共有していたことを直接的に示す地質学的証拠は得られていない。

B. 阿山層堆積期

阿山層の堆積が開始される約3.2Maには、堆積盆が現在の三重県伊賀市と滋賀県甲賀市の間付近を中心とする地域になり、その後の甲賀層の時期 (約2.8Ma) には、より北方の甲賀市付近へ移り変わる (川辺 1994)。この時期には、広く安定した湖を形成してい

た (Kawabe 1989)。この時期の古琵琶湖堆積盆への流入する水系の情報は少ないが、伊賀市西部地域に東方へ蛇行する河川の古流向が認められることから (川辺 1986 ; 里口 2015a), この時期には上野層の時期から引き続き伊賀市の西側からの流れが継続していたと考えられる。また、この時期の湖には東から供給された砂の存在がある (川辺 1994)。

この時期の古琵琶湖堆積盆周辺地域では、大阪地域の南部で3.5Ma頃から堆積が開始し、京都-奈良地域でも3Ma頃から堆積が始まる (図3)。関西国際空港の地点では、止水域があったことがボーリング調査で示されている (北田ほか 2009)。京都-奈良地域に堆積した観音寺礫層は西方から東方にかけて厚くなっていることから (河村 1993), 東方からの供給があったと推定される。伊勢湾の西方地域における古流向は南向きないし南西方向である (吉田 1990)。伊勢湾北方の濃尾平野では、90万年前以降の堆積物が記載されており (Sugai et al. 2016), その下位の地層、すなわち更新世以前の堆積物として東海層群の存在が指摘されていることから (須貝・杉山 1999), 濃尾平野も堆積域にあった。この付近の古流向情報はないが、阿山層の直前の時期の東濃地域では、西向きの古流向が卓越し (Nakayama 1996), 濃尾平野のボーリングコアの約80万年前の地層からは、古御岳火山付近から流されてきた軽石を含むことから (須貝ほか 2017), 阿山層の時期にも西向きの古流向が卓越していた可能性が高い。つまり、伊勢湾周辺地域では、東濃地域から濃尾平野付近では西向きの流れが卓越し、伊勢湾西部では南向きないし南西向きの流れがあったと考えられる。

古琵琶湖堆積盆と周辺地域の水系のつながりを示す直接的な情報はないが、川辺 (1994) では伊勢湾方向への流出が引き続き行われていたと推定している。この後の時期、古琵琶湖層群では蒲生層の時期には、後述するように京都-奈良地域へ流出方向が変わるが、いつの時期に流出方向が変わったかを示す研究結果は得られておらず、水系変化の大きな問題として残された課題である。里口 (2015b) は、この当時の流出方向が伊勢湾地域であったことを前提として、阿山層や甲賀層の時期に広く安定的な湖ができ、それが蒲生層堆積期に流出方向が変化した地形変化モデルとして、鈴鹿山脈の隆起による水の排出を止める機構を提案しているが、流出口があったと推定される亀山市付近の東海層群には、鈴鹿山脈のこの時期の隆起を示す地層は認められていない (和田 1982など)。現在の琵琶湖から宇治丘陵へつながる谷沿いに分布する礫層は約3Ma頃からの堆積物が認められることから (水野 2013), 現在の琵琶湖南方地域付近から宇治丘陵へつ

ながる水系が存在した可能性が高い。ただし、古琵琶湖堆積盆である甲賀層から阿山層分布地域と、現在の琵琶湖南方地域が水系としてつながっていたかはわかっていない。本論では、川辺 (1994) の意見に従い、本層堆積期は伊勢湾地域と水系がつながっていたとする。

C. 蒲生層堆積期初期

蒲生層は約2.6Maの更新世の始まりの時期から日野町周辺の日野丘陵付近を中心として形成された。この時期の古琵琶湖堆積盆は、広く安定した湖を形成せず、不安定な沼沢地の環境を主体としていた (川辺 1994)。蒲生層下部の虫生野火山灰層は、約2.3Maの広域テフラ (Msn-Jwg 4) であり (Satoguchi and Nagahashi 2012)、中部山岳地域にあったとされる噴出源地域から流れる洪水によって大量に火砕物が供給されて堆積したとされている (Kataoka 2005)。虫生野火山灰層の分布地域には、当時の止水域の岸辺が急速に埋められて陸域になった層相を示すものがあり、その層厚がおおよそ3mあることから (Kataoka 2005)、この時期にあった止水域は少なくとも、水深が3m以上あったといえる。また、この古流向は河口域のデルタ堆積物のものではあるが、おおむね西向きで、やや北向きのものも存在する (Kataoka 2005)。

京都-奈良地域では、止水域の発達が見られ (河村 1993)、奈良の北東部では、基盤岩の分布する地域の西側にある地域で西向きの流れがあり、北西部では北向きの流れと西向きの流れがある (尾崎ほか 2000)。宇治丘陵を構成する礫層は、おおよそ2.3Ma以降に堆積を始めた (水野 2013)。また、山城丘陵ではMsn-Jwg 4 テフラに対比される円磨した軽石を含む火山灰層が見つかっていることから (里口ほか 2013)、約2.3Maには古琵琶湖堆積盆と水系がつながっていたといえる。また、Msn-Jwg 4 テフラの噴出源は中部山岳地域にあり (Kurokawa et al. 2004)、伊勢湾の西側の東海層群中にも対比される火山灰層があることから (吉川ほか 1991)、長野~岐阜付近の中部山岳地域から伊勢湾周辺地域と、古琵琶湖堆積盆から京都-奈良地域までは水系としてつながっていたと考えられる。ただし、その水系が異なる堆積盆をつなげていた場所はわかっていない。たとえば、古琵琶湖堆積盆と東海堆積盆の水系としてのつながりは、現在の地形からは、伊吹山と鈴鹿山脈の間にある地形的に低い場所である関ヶ原付近の可能性が考えられるが、古琵琶湖堆積盆における虫生野火山灰層の古流向は北~東方向のものがあることから (Kataoka 2005)、南からの供給、すなわち鈴鹿山脈南部地域のルートの可能性が示唆される。今後、Msn-Jwg 4 テフラなどの、洪水による運搬堆積が行われた火山灰層による古流向調査が

重要である。

D. 草津層堆積初期

草津層は約1.8Ma~1.4Maの時期に、彦根市から琵琶湖南方地域に堆積し、砂礫層が卓越することから、安定的な湖沼環境がなくなり、河川環境が卓越したとされている (吉川・山崎 1996)。その一方で、琵琶湖南部の東岸で掘削された烏丸地区深層ボーリングコア (烏丸コア) の堆積学的な解析から、この地点では草津層初期には止水域があったとされている (Masuda et al. 2010)。現在の琵琶湖の固有魚種であるイサザ (*Gymnogobius isaza*) は、DNA解析によると、遺伝的に近いウキゴリ (*G. urotaenia*) と約290万年前に共通の祖先から分化したと考えられている (Tabata and Watanabe 2013)。現在の琵琶湖沖合に生息するイサザがその生態をいつ獲得したかが問題であるものの、河川環境が卓越していたとされる草津層の時期に、安定した止水域があった可能性を示唆している。

草津層下部の五軒茶屋火山灰層は、約1.75Maの広域テフラ (Eb-Fukuda) で、岐阜県北部を噴出源として、いくつかの降灰ユニットが堆積した後に (吉川ほか 1996; 長橋ほか 2000)、噴出源地域から運ばれた火山灰を大量に含んだ洪水によって堆積し、その流れは伊勢湾西側地域と、古琵琶湖堆積盆を通過して、大阪平野や淡路島へと流れたと考えられている (Kataoka and Nakajo 2002)。このことから、この当時の水系は、蒲生層堆積時期と同様に、中部山岳地域から東海堆積盆、古琵琶湖堆積盆を通じて京都-奈良地域、大阪地域へとつながっていたことを示している。また、同テフラは、和泉山脈の南方の紀ノ川周辺に分布する菖蒲谷層群中でも確認されているが (水野・百原 1993)、その層相は降灰ユニットのみであることから (吉川ほか 1996)、紀ノ川周辺地域は、噴出源地域から流れる洪水の水系とは分断されていたと考えられている (Kataoka and Nakajo 2002)。

東海堆積盆と古琵琶湖堆積盆の関係は、彦根市南東地域の鈴鹿山脈西麓付近で、Eb-Fukuda テフラ層の上位に礫径数cm~10cmの厚い礫層があることから (田村ほか 1993)、この周辺の鈴鹿山脈は高まりをもち、活断層隆起があったと予想される。また、同地域のEb-Fukuda テフラ層は粒径2mm程度の軽石を含むことから (田村ほか 1993)、古流向はわからないものの、中部山岳地域周辺からの洪水流が彦根市南東地域を通過したと考えられる。このことは、両堆積盆の北方地域で流路が分かれ、両堆積盆へ流れていたとする考え (Kataoka and Nakajo 2002) と整合的である。このことから、彦根市南東地域において、東海堆積盆と古琵琶湖堆積盆の間には鈴鹿山脈の高まりがあったものの、その北部地域 (現在の関ヶ原付近) で両堆積

盆をつなぐ水系があったと考えられる。

京都－奈良地域と琵琶湖流出口付近の間には、蒲生層堆積期から引き続き礫層が存在し、琵琶湖南方地域の堆積盆の存在（吉川・山崎 1996）、宇治丘陵付近の扇状地成堆積物の発達から（水野 2013）、両地域は琵琶湖南部から宇治丘陵をつなぐ水系があったと考えられる。琵琶湖流出口付近では2.5Maを境に、その以前にある流紋岩類の礫がなくなることから（水野 2013）、湖東平野に広く分布する湖東流紋岩類の供給が途絶えていたと考えられ、この時期には湖東平野付近から礫を運ぶ水系がなくなったか、運搬力がなくなった要因が考えられる。その要因の一つとして、烏丸コアで確認された止水域が、湖東平野付近からの礫供給を止めていた可能性がある。

E. 堅田層堆積期

堅田層は湖西地域の南部にある堅田丘陵付近に分布し、約1.4Ma～約0.35Ma（吉川・山崎 1996；里口・服部 2008）に堆積した。この当時の琵琶湖北湖地域の古地形復元からは、北湖の南部は堆積域であるが、中央部および北部の一部地域には南北方向の基盤岩の高まりがあった（里口 2010）。堅田層堆積初期には安定的な湖の存在は知られていないが、堅田丘陵東方の琵琶湖湖岸付近では0.9Ma頃には、止水域環境で堆積したと考えられる粘土層があることから（山崎ほか 1994；林 1974）、その時期には堅田丘陵付近に湖が広がっていたと考えられる。堅田丘陵周辺の古流向は、おおむね南ないし南西方向である（Yokoyama 1984）。

周辺地域では、鈴鹿山脈と養老山地の間の地域に分布していた東海層群は約1Maで堆積が終了したことから（Satoguchi and Nagahashi 2012）、この地域が隆起域に変化したことで、古琵琶湖堆積盆との水系は途絶えたと考えられる。京都－奈良地域では、琵琶湖から宇治丘陵の山間部や宇治丘陵では堆積が認められないことから（水野 2013）、堆積域ではなくなり、現在の京都付近に水系が変化した可能性がある。また、大阪地域では、Ma番号がつけられた海成粘土層の存在から、約1.2～1.3Ma以降に何度も海の侵入がある（吉川・三田村 1999）。それ以前には、大阪湾を含めて陸水域であった。海成粘土層 Ma 1 の頃（約1Ma）は、京都－奈良地域にまで海域が広がるが、奈良地域にはこれ以降には海成粘土層が確認されない（尾崎ほか 2000）。この当時（約1Ma）の大阪平野と京都－奈良地域の水系のつながりは、現在の生駒山脈付近を通っているが、その後の奈良地域には南北方向の古流向が卓越することから、生駒山地によって隔てられたと考えられている（尾崎ほか 2000）。

まとめ

本論では、大阪地域から伊勢湾周辺地域にかけて、古琵琶湖堆積盆を中心とした鮮新－更新世の古水系の変化について、上野層堆積初期（約4Ma）、阿山層堆積期（約3Ma）、蒲生層堆積初期（約2.5Ma）、草津層堆積初期（約1.7Ma）、堅田層堆積期（約1Ma）の5つの時期に分けて議論をした。その結果は以下のとおりである。

上野層堆積初期は、京都－奈良地域や大阪地域との水系のつながりはなく、中部山岳地域から伊勢湾地域とのつながりがあった。また、古琵琶湖堆積盆と東海堆積盆とはほぼ標高差がないか、同一の湖があった可能性がある。

阿山層～甲賀層の堆積時期は、古琵琶湖堆積盆に広く安定的な湖があり、東海堆積盆と水系がつながっていたが、それが分断される時期は不明である。

蒲生層堆積初期から、中部山岳地域から東海堆積盆、古琵琶湖堆積盆と京都－奈良地域を結ぶ水系があった。東海堆積盆と古琵琶湖堆積盆のつながっていた場所は不明であるが、鈴鹿山脈の南部地域を通った可能性もある。古琵琶湖堆積盆には不安定な止水域があった。

草津層堆積初期には、中部山岳地域から東海堆積盆への流れと、現在の関ヶ原付近から古琵琶湖堆積盆、京都－奈良地域、大阪地域への水系があった。古琵琶湖堆積盆は琵琶湖南部地域に安定した止水域があった可能性がある。

堅田層堆積時期は、古琵琶湖堆積盆では、琵琶湖南部地域の堅田丘陵付近で湖を形成した。周辺地域とは、東海堆積盆との水系が途絶え、草津層堆積時期から引き続き大阪地域への水系がつながっている。また、大阪地域から京都－奈良地域に海が侵入した。

以上の水系変化は、およそ大阪地域から伊勢湾周辺地域における500万年間の構造運動とそれに伴う古地形の変化に伴って起こったことと考えられ、今後、このような視点で総合的に検討を行う必要がある。

謝辞

本論は、琵琶湖博物館総合研究「琵琶湖の生物多様性の成立過程の解明」（研究代表者：マークJ. グライガー）で行ってきた議論が基盤となっている。とくに、琵琶湖博物館の大塚泰介氏には、上野層の時代の珪藻化石からみた湖環境について多くの助言をいただいた。京都大学の渡辺勝敏氏には、現世淡水魚類の遺伝的解析と結果について多くの助言をいただいた。琵琶湖博物館の高橋啓一氏には本論のきっかけとなる講演の機会を与えていただいた。記してお礼申し上げます。

文献

- 林 隆夫 (1974) 堅田丘陵の古琵琶湖層群. 地質学雑誌 80, 261-276
- 星 博幸・服部憲児・田中里志・宇佐美徹・中川良平・津村善博・小竹一之・森 勇一 (2013) 三重県亀山地域に分布する東海層群のガウス-松山古地磁気極性境界. 地質学雑誌 119, 679-692
- 市原 実 編 (1993) 大阪層群. 創元社, 340p
- 飯田義正 (1980) 信楽高原西部の古地理学的研究-大福礫層により復元される鮮新世の河谷について-. 地質学雑誌 86, 741-753
- 石田志朗・糸魚川淳二・森島正夫・森下 晶・中沢圭二・小黑譲司 (1954) 京都府奥山田の新生代. 地質学雑誌 60, 160-166
- 石角江里佳・大塚泰介・里口保文 (2014) 古琵琶湖層群および東海層群から見いだされた *Stephanodiscus suzukii* 珪藻化石の観察. 日本珪藻学会第34回プログラム, 71
- 城陽礫層研究グループ (1992) 宇治丘陵における前期更新世扇状地の形成過程. 地球科学 46, 57-68
- Kakioka R, Kokita T, Tabata R, Mori S, Watanabe K (2013) The origins of limnetic forms and cryptic divergence in Gnathopogon fishes (Cyprinidae) in Japan. Environmental Biology of Fishes 96, 631-644
- Kataoka K (2005) Distal fluvio-lacustrine volcanoclastic resedimentation in response to an explosive silicic eruption: Pliocene Mushono tephra bed, central Japan. Geological Society of America, Bulletin 117, 3-17
- Kataoka K, Nakajo T (2002) Volcanoclastic resedimentation in distal fluvial basins induced by large-volume explosive volcanism: The Ebisutoge-Fukuda tephra, Plio-Pleistocene boundary, central Japan, Sedimentology 49, 319-334
- 川辺孝幸 (1986) 上野盆地西部, 花ノ木丘陵の古琵琶湖層群. 地球科学 40, 383-398
- Kawabe T. (1989) Stratigraphy of lower part of the Kobiwako Group around Ueno basin, Kinki district, Japan. Journal of Geosciences Osaka City University 32, 39-90.
- 川辺孝幸 (1994) 琵琶湖のおいたち. 琵琶湖自然史研究会編, 琵琶湖の自然史. 八坂書房, 東京, 25-72
- 河村善也 (1993) 奈良丘陵の大阪層群. 地質学雑誌 99, 503-523
- 河村善也 (1994) 奈良丘陵の大阪層群についての追加資料-従来の研究との関係を中心に-. 愛知教育大学研究報告 43, 51-68
- 北田奈緒子・竹村恵二・井上直人・伊藤浩子・増田富士雄・林田 明・江村 剛・福田幸司 (2009) 関西国際空港で掘削されたボーリングコア (KIX18-1) の層序. 日本第四紀学会講演要旨集 39, 104-105
- Kurokawa K, Ohashi A, Higuchi Y, Satoguchi Y (2004) Correlation of the late Pliocene Mushono-Shiraiwa Tephra Beds in the Kobiwako and Kakegawa Groups to the Kyp-NA11-Jwg4 Tephra Beds in the Niigata region, central Jpn. Memoirs of the Faculty Education and Human Sciences (Natural Sciences), Niigata University 6, 107-120
- Kurokawa K, Tomita Y (1998) The Znp-Ohta Ash; an early Pliocene widespread subaqueous tephra deposit in central Japan. The Journal of the Geological Society of Japan 104, 558-561
- Masuda F, Saitoh Y, Satoguchi Y (2010) Depositional environments and a paleogeographic position for the Pleistocene basal part of the Karasuma Deep Drilling Core from Lake Biwa, central Japan. The Quaternary Research (Daiyonki-Kenkyu) 49, 121-131
- Meyers PA, Takemura K, Horie S (1993) Reinterpretation of Late Quaternary sediment chronology of Lake Biwa, Japan, from correlation with marine glacial-interglacial cycles. Quaternary Research 39, 154-162
- 三田村宗樹 (1992) 京阪奈丘陵の大阪層群の層序と地質構造. 第四紀研究 31, 159-177
- 水野清秀 (1992) 中央構造線に沿う第二瀬戸内期の堆積場-その時代と変遷-. 地質学論集 40, 1-14
- 水野清秀 (2004) 粉川地域の地質, 第7章 鮮新・更新統. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 44-52
- 水野清秀 (2013) 京都東南部地域の地質, 第6章 鮮新-中部更新統古琵琶湖層群及び大阪層群. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 58-71
- 水野清秀・百原 新 (1993) 菖蒲谷層と段丘層・沖積層. 市原実編著, 大阪層群, 創元社, 145-157
- 水野清秀・寒川 明 (2009) 紀ノ川・吉野川流域. 日本地質学会編, 日本地方地質誌5近畿地方, 朝倉書店, 251-253
- Nakayama K (1994) Stratigraphy and Paleogeography of the Upper Cenozoic Tokai Group around the east coast of Ise Bay, central Japan. Journal of Geosciences Osaka City University 37, 77-143
- Nakayama, K (1996) Depositional models for fluvial sediments in an intra-arc basin: an example from the Upper Cenozoic Tokai Group in Japan. Sedimentary Geology 101, 193-211
- 中山勝博・古澤 明 (1989) 瀬戸層群と常滑層群の火山灰層. 地質学雑誌 95, 189-208

- 中山勝博・河村善也 (1993) 奈良丘陵の大阪層群の火山灰層. 地球科学 47, 289-300
- 中山勝博・吉川周作 (1995) 鮮新統広域テフラ層である大田テフラ層の堆積過程 (予報). 地球科学 49, 406-418
- 長橋良隆・里口保文・吉川周作 (2000) 本州中央部における鮮新・更新世の火砕堆積物と広域火山灰層との対比および層位噴出年代. 地質学雑誌 106, 51-69
- 日本第四紀学会 (1987) 日本第四紀地図. 東京大学出版
- Ogg J G (2012) Geomagnetic polarity time scale. In: Gradstein F M, Ogg J G, Schmitz M, Ogg G (eds), The Geologic Time Scale 2012, Elsevier, Oxford, 85-113
- 尾崎正紀・寒川 旭・宮崎一博・西岡芳晴・宮地良典・竹内圭史・田口雄作 (2000) 奈良地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 162p
- 里口保文 (2009) 近江盆地. 日本地質学会編, 日本地方地質誌 5 近畿地方, 朝倉書店, 253-258
- 里口保文 (2010) 琵琶湖堆積物の長時間スケール層序と構造運動の復元. 第四紀研究 49, 85-99
- 里口保文 (2015a) 古琵琶湖層群下部層序の再検討. 地質学雑誌 121, 125-139
- 里口保文 (2015b) 古琵琶湖層群堆積盆の流出方向変化モデルの検討. 日本地質学会第122年学術大会講演要旨, 70
- 里口保文・服部 昇 (2008) 中部更新統古琵琶湖層群上部と上総層群上部の火山灰層の対比. 第四紀研究 47, 15-27
- 里口保文・池田俊夫・石田志朗 (2013) 山城丘陵から検出された Msn-Jwg 4 テフラ. 日本地質学会第120年学術大会講演要旨, 68
- Satoguchi Y, Nagahashi Y (2012) Tephrostratigraphy of the Pliocene to Middle Pleistocene Series in Honshu and Kyushu Islands, Japan. Island Arc 21, 149-169
- 須貝俊彦・水野清秀・高橋尚志・佐々木夏来 (2017) 第四紀の海水準変動・養老断層運動・御岳噴火と濃尾平野の埋積プロセスとくに御岳白尾火山灰層との関連に注目して-. 日本第四紀学会講演要旨集 47, 52
- Sugai T, Sato T, Mizuno K, Sugiyama Y (2016) Magnitudes of sea-level falls at lowstands of the past 900,000 years inferred from gravels underlying the Nobi Plain, central Japan. Quaternary International 397, 422-435
- 須貝俊彦・杉山雄一 (1999) 大深度反射法自身探索による濃尾平野の活構造調査. 地質調査所速報, no.EQ/98/1, 55-65
- Tabata R, Watanabe K (2013) Hidden mitochondrial DNA divergence in the Lake Biwa endemic goby *Gymnogobius isaza*: implications for its evolutionary history. Environmental Biology of Fishes 96, 701-712
- 田村幹夫・雨森 清・小早川隆・荒川忠彦・北川明照・多賀 優・但馬達雄・西川一雄・三矢信昭 (1993) びわ湖東部中核工業団地造成地域の古琵琶湖層群について. 多賀町文化財・自然誌調査報告書 3, 26-82
- 和田幸雄 (1982) 三重県亀山市周辺の奄芸層群. 地質学雑誌 88, 121-139
- 脇田浩二・竹内圭史・水野清秀・小松原 琢・中野聰志・竹村恵二・田口雄作 (2013) 京都東南部地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 124p
- 山崎博史・吉川周作・林 隆夫 (1994) 琵琶湖西岸, 古琵琶湖層群基底部コアの層序. 地質学雑誌 100, 361-367
- Yokoyama T (1984) Stratigraphy of the Quaternary system around Lake Biwa and geohistory of the ancient Lake Biwa. In: Horie S (ed) Lake Biwa, Dr W Junk Publishers, Netherlands, 43-128
- 吉田史郎 (1988) 鈴鹿・養老両山系間の鮮新・更新統東海層群-東海湖終息期の堆積物-. 地球科学 42, 1-16
- 吉田史郎 (1990) 東海層群の層序と東海湖盆の古地理変遷. 地質調査所月報 41, 303-340
- 吉川周作 (2009) 第四系 概説. 日本地質学会編, 日本地方地質誌 5 近畿地方, 朝倉書店, 211-213
- 吉川周作・三田村宗樹 (1999) 大阪平野第四径層序と深海底の酸素同位体比層序との対比. 地質学雑誌 105, 332-340
- 吉川周作・里口保文・長橋良隆 (1996) 第三紀・第四紀境界層準の広域火山灰層-福田・辻又川・Kd38 火山灰層-. 地質学雑誌 102, 258-270
- 吉川周作・山崎博史 (1996) 古琵琶湖の変遷と琵琶湖の形成. アーバンクボタ 37, 2-11
- 吉川周作・吉田史郎・服部俊之 (1988) 三重県員弁郡付近の東海層群火山灰層. 地質調査所月報 39, 615-633
- 吉川周作・吉田史郎・須川栄司 (1991) 東海層群の火山灰層とその対比. 地球科学 45, 453-467