古琵琶湖層群における新・旧鮮新－更新統の境界*

The old and newly defined Pliocene-Pleistocene boundary sites of the Kobiwako Group, central Japan

里口保文¹・山川千代美¹・高橋啓一¹

概 要

*Yasufumi Satoguchi¹,
Chiyomi Yamakawa¹
and Keiichi Takahashi¹*

2012 年 2 月 9 日受付.

2012 年 4 月 19 日受理.

* 日本地質学会第119年学術大会(2012年・大阪)
巡検(E班)案内書

¹ 滋賀県立琵琶湖博物館研究部
Lake Biwa Museum, 1091 Oroshimo-cho,
Kusatsu-shi 525-0001, Japan

Corresponding author: Y. Satoguchi,
satoguti@lbm.go.jp

近年, 第四紀が正式な地質年代区分の一つとしてその定義が国際地質学連合(IUGS)に承認された. 第四紀の始まりは更新世の始まりでもあり, 地層としての第四系の下限は, 鮮新－更新統境界という意味でもある. 鮮新－更新統境界の新定義は1980年代に決められた旧定義より下げられ, 年代的には約80万年古くなった.

本コースでは, 近畿地方において旧定義と新定義における鮮新－更新統境界の両方が観察できる古琵琶湖層群において, 両者を露頭観察するとともに, 陸域における地層にとっての鮮新－更新統境界の意味を考える.

Keywords

第四紀, 鮮新世, 更新世, 広域テフラ, 植物化石

Quaternary, Pliocene, Pleistocene, widespread tephra, Plant fossil

地形図

1:25,000 地形図 「水口」「三雲」「野洲」「草津」

見学コース

8:00 JR 草津駅→甲賀市甲賀町小佐治→湖南市吉永→湖南市石部緑台→琵琶湖博物館→17:00 JR 草津駅解散

見学地点

Stop 1 (N34°56'6", E136°13'38") 滋賀県甲賀市甲賀町小佐治, 小佐治火山灰層

Stop 2 (N34°59'35", E136°6'15") 滋賀県湖南市吉永, 野洲川河床

Stop 3 (N35°1'6", E136°2'23") 滋賀県湖南市石部緑台, 五軒茶屋火山灰層

Stop 4 (N35°4'29", E135°56'8") 滋賀県草津市下物町, 琵琶湖博物館

はじめに

第四紀は2009年に国際地質学連合(IUGS)により正式に承認された。この地質年代区分の承認までの経緯については、熊井(2006)や人類紀自然学編集委員会(2007)などに詳しいが、年代区分として採択されるかどうかの議論の以前から、第四紀の始まりの時期、すなわち鮮新-更新統境界をどこにおくかという問題があった。

地質年代区分は、その定義が決められた後にそれに合う具体的な模式露頭の選定と、その露頭における境界の設定、国際模式境界露頭断面と境界点(Global boundary Stratotype Section and Point: GSSP)が設定されることで決定される(熊井, 2010 など)。旧定義の鮮新-更新統境界は、Olduvai Subchronozone のやや上位にあたる Calabrian 階の下限と定義され、1985年にGSSPの設定はイタリアの Vrica セクションとしてその e 層をもって定義された(遠藤・奥村, 2010 など)。しかし、その後、現在につながる寒冷化や気候変化、人類化石の新たな発見、生物の消滅および出現などについてのこの年代付近の研究が詳細に行われるにしたがって、第四紀の始まり、つまり鮮新-更新統境界はもっと古くすべきとの議論が高まった。そしてそれらの成果は第四紀という地質年代区分の認定問題とあわさり、第四系の下限はそれまで鮮新統の上部とされていた Gelasian 階の下限がその定義とされた。この定義に従い、GSSP として承認されているイタリアのシチリア島のモンテ・サンニコラ地域の Gelasian 階の下限をもって IUGS に承認された。第四紀の定義の変更に伴って、日本においても日本の地質にとってどのような意義があるのかなどの議論がシンポジウムなどによって行われた(植木・遠藤, 2010 など)が、各地域や地層群における境界層準についての意義や問題などの詳細は、今後の研究の進展を待つ必要があるだろう。

この巡検では、現在までの堆積物につながる鮮新-更新統である古琵琶湖層群を対象に、新定義と旧定義における鮮新-更新統境界をそれぞれ2地点ずつ観察する。

鮮新-更新統境界

1. 鮮新-更新統境界の定義

2009年にIUGSに採択された鮮新-更新統境界の新定義は、1) Pleistocene の下限は Gelasian の下限、Monte San Nicola の GSSP をもって定義する、2) Quaternary の下限、すなわち Neogene との境界も上記の境界とする。つまり、第四系の下限は Gelasian 下限となる。3) この結果、Gelasian は Pliocene から Pleistocene に移動する、である(熊井, 2010)。この定義にいたるまでに様々な議論が行われた。その結果として国際第四紀学連合(INQUA)の主張として、1) 北半球高緯度地域の深海底コアに氷山起源の堆積物が検出される層準、2) 南北高緯度地帯の海洋での成層構造の始まり、3) 中国レスの堆積開始、4) 浮遊性有孔虫 *Neogloboquadrina atlantica* の出現、5) 北半球での氷床の形成開始とその影響によるパナマ地峡の連結など海水準の低下、があり、それに加えて多くの研究者の考えの中には *Homo* 属の出現と

いうことが含まれていた(熊井, 2009, 2010)。これら定義の考え方には人類進化など様々な要素が含まれているが、考え方の一つは寒冷化とそれに伴う諸現象の出現ということがいえる。このような寒冷化していく時期を更新世のはじまりとする考えは、旧定義でも同様の考えであり、新旧定義の年代および層序の変更は、その考え方の変更ではない。より古い時代の人類化石の発見や、世界の多くの地点、特に深海底堆積物や高緯度地域の層序学的研究の発展により、それまでの定義よりも古い時期をその境界に置くべきとの考えが主流となってきたためである。この経緯については、遠藤・奥村(2010)などで述べられている。

2. 鮮新-更新統境界層準の認定

鮮新-更新統境界は、新定義では前述のとおり Gelasian の下限であるが、これは古地磁気層序における Gauss/Matuyama Chronozone 境界にあたり、旧定義では Olduvai Subchronozone の直上付近である。したがって、どちらの定義においてもその境界の検討には、古地磁気層序が重要な要素となる。また、その利点としては地層の堆積環境が海か陸かを問わずに検討できることが上げられる。ただし、古地磁気層序は地磁気の正逆を層序学的に知るという特性から、その層序と年代を詳細に理解するためには、他の層序学的研究と併せて検討する必要がある。例えば、房総半島の鮮新-更新統のように海成層では、石灰質ナノ化石や有孔虫化石などによる微化石層序との組み合わせによって、より詳細な理解が可能である。それに対して、陸水成層では動植物の化石層序やテフラ層のフィッシュトラック年代などとの組み合わせによって検討される事が多い。その一方で、日本における鮮新-更新統の層序には、テフラ層を鍵層とした研究が古くから行われており、特に1980年代以降に詳細な検討が行われてきた広域テフラの認定は、日本における広域層序の精度を格段に上げている。新旧定義による鮮新-更新統境界のどちらにおいても、これらの層準付近に広域テフラ層の存在が知られており(Nagahashi and Satoguchi, 2007; 里口, 2009)、他の層序学的研究と併せて重要な層序研究の要素となっている。

新定義による境界付近の広域テフラとして、朝代-友田2テフラ(Ass: Tamura et al., 2008)がある。本テフラは、Gauss Chronozone の最上部のおよそ2.65 Ma 付近に位置し、大阪層群、古琵琶湖層群、氷見層群、飯能礫層、犬吠層群で見つかっている(里口, 2010)。その広域性から今後他の地域でも見つかる可能性が高い。本テフラは古琵琶湖層群においては、小佐治火山灰層として記載されている。里口(2010)はこの層準付近におけるいくつかの重要な広域テフラについてまとめている。

旧定義による境界付近には、恵比須峠-福田テフラ(Eb-Fukuda: 長橋ほか, 2000)が知られている。このテフラは、岩相および性質の異なる2つないし3つの降灰ユニットからなり、この特徴およびその広域性と、およそ1.75 Ma の年代を示す Olduvai Subchronozone の直上にあるという挟在層準から、重要な広域テフラの一つとされている(吉川ほか, 1996)。古琵琶湖層群において本テフラは、広域性が

Fig. 1. Plant macrofossil assemblage including *Metasequoia*. 1 *Metasequoia glyptostroboides*, cone, Yoshinaga, Konan city. 2 *Glyptostrobus pensilis*, cone, Yoshinaga, Konan city. 3 *Juglans cinerea* var. *megacinerera*, endocarp, Yoshinaga, Konan city. 4 *Picea koribai*, cone, Hatogahira, Koka city. Scale bar shows 1 cm.

確認される以前に地域的に記載されたために五軒茶屋火山灰層、蒲生堂火山灰層、北脇火山灰層の名称で記載されている(里口, 2009)。

3. 鮮新-更新世境界の植物群と植物相の変化

新第三紀と第四紀の境界(鮮新-更新世境界)の設定基準は、気候の寒冷化や新しい生物の出現という視点があり、陸域における変化を理解するには、植物化石を対象とした研究が有効な手段の一つである。

近畿地方とその周辺地域の鮮新-更新統の大型植物化石群による生層序は、三木(1948)によって7つの大型植物化石群含有層に区分された。その後、市原(1960)は大阪地域に広く分布する大阪層群の層序学的研究において、大阪層群のアズキ火山灰層(古琵琶湖層群の喜撰火山灰層)直下までに消滅する植物群をメタセコイア植物群と定義した。メタセコイア植物群は、メタセコイア *Metasequoia*、スイショウ *Glyptostrobus*、セコイア *Sequoia*、オオバタグルミ *Juglans cinerea* var. *megacinerera*、オオバラモミ *Picea koribai*、フウ *Liquidambar* などによって代表される(Fig. 1)。

また、イチョウ *Ginkgo*、イヌカラマツ *Pseudolarix*、フウなどの日本からの消滅種を伴う大阪層群最下部の時代をメタセコイア植物群繁栄期、これらの絶滅種を伴わない下部の上半部の時代を消滅期とし、メタセコイア植物群繁栄期と消滅期の境界を、鮮新-更新世境界、すなわち旧定義の鮮新-更新世境界とすべきと考えられた(市原, 1966; 市原・亀井, 1970; 市原, 1991)。

旧定義の鮮新-更新統境界である Olduvai Subchronozone の上位にある寒冷期の大型植物化石群集は、亜熱帯-暖温帯の要素が欠落し、冷温帯-寒冷帯の要素が豊富になることによって特徴づけられる(Momohara, 1994)。しかし、鮮新-更新世の境界の設定基準となる寒冷化の影響は、十勝層群、山都層群、魚沼層群、大阪層群の植物化石からみた場合に、現在の定義による約 2.6 Ma の方が暖温帯要素の減少と冷温帯要素の増加が顕著に見られる(Hyodo, 2007)。

地質概要

伊賀盆地から近江盆地にかけての丘陵地には、鮮新-更新統の古琵琶湖層群が分布している。およそ 440 万年前以降の陸水成の堆積物からなり、その層序と分布の関係は、おおまかには南部地域のものほど下位のものであり、北西部へ上位となる。また、現在の琵琶湖湖底下の堆積物へと整合的に重なり、層相変化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(里口, 2009 など; Fig. 2)。これまで行われている古地磁気層序(古琵琶湖団体研究グループ, 1981; Hayashida and Yokoyama, 1983 など)によれば、現在の鮮新-更新統境界である Gauss/Matuyama Chronozone 境界は甲賀層と蒲生層の境界付近にあり、旧定義による境界である Olduvai Subchronozone の上限付近は草津層の下部にある。

甲賀層は均質な厚い泥層が広く分布していることで特徴づけられ、これが古琵琶湖湖の時代において広く深い湖を形成した時代のものとの解釈がなされている(Kawabe, 1989 など; Fig. 3)。それに対し、その上位の蒲生層は分布地域によるものの全体的には砂層が卓越し始め、厚い泥層が見られなくなることから、広く深い湖は消滅したと考えられている。したがって、古琵琶湖層群における鮮新-更新統境界は、堆積環境が大きく変化する時期と一致している。しかしながら、この層区分は当然のことながら、古琵琶湖層群の分布範囲全域で一致しているわけではない。例えば、本巡検の観察地点である Stop1 と 2 地点はほぼ同じ層準であるものの、前者は均質な泥層であり、後者は全体的に砂泥互層を主体としている。

蒲生層の上位にある草津層は、蒲生層よりも砂層が卓越し、湖のような広い止水域環境がなくなった時代だと考えられている(琵琶湖自然史研究会, 1994; Fig. 3)。草津層下部にある旧定義による鮮新-更新統境界付近は、岩相層序区分による境界とは一致しない。

以上のように、古琵琶湖層群における鮮新-更新統境界は、旧定義よりも新定義のほうが岩相層序区分とほぼ一致している。ただし、新定義においても前述のとおり、地域によって

Fig. 2. Stratigraphic occurrence of major plant macrofossils (based on Yamakawa, 2008).

その岩相区分があわない地域もある。

新旧定義による境界付近の古琵琶湖層群の化石

1. 動物化石

古琵琶湖層群からは、これまでゾウ類、シカ類、ウシ類、イノシシ類、ウサギ類、ネズミ類などの哺乳類をはじめワニ類やカメ類などの爬虫類、鳥類、貝類などの動物化石が報告されている(松岡ほか, 1991; 高橋, 1998)。これらの中で、

最も産出数が多く、古琵琶湖層群を通して産出するのはゾウ類である。これらは、上野層や伊賀層からはミエゾウ、蒲生層からはアケボノゾウ、堅田層からはシガゾウ(=ムカシマンモス)とトウヨウゾウが報告されている。

古琵琶湖層群における鮮新-更新統境界付近ではゾウ化石は産出していないが、全国的にみると、この境界付近でアケボノゾウの祖先型の種(アケボノゾウ類似種あるいはハチオウジゾウ)がではじめ、それ以前に生息していたミエゾウと

Pliocene		Pleistocene		Kobiwako Group							
		Lithostratigraphy and facies		Estimated environments		Tephra beds		Mg		Magnetostat. age (Ma)	
		Kusatsu F.		mainly gravel beds, alternation of gravel, sand and mud beds		around rivers		Gokenjaya		1.5	
		Gamo F.		alternation of sand and mud beds with gravel beds		marshes, lakes, and ponds around rivers		Arahari Yokigaoka Mushono		2.0	
		Koka F.		thick clay beds with sand beds		wide and deep lake		Minami-hizusa Kosaji		2.5	
		Ayama F.		massive clay beds		wide and shallow lake		Sagami I Masugi Takamine		3.0	

Fig. 3. Stratigraphy of a middle part of the Kobiwako Group (edited Yoshikawa and Yamasaki, 1998).

交替することが知られている。(Saegusa et al., 2005; 樽野, 2010; Aiba et al., 2010). 一方、古琵琶湖層群におけるゾウ類の足跡化石は歯や体の骨が発見されていない層準からも発見されており、鮮新-更新統境界付近の甲賀層上部から蒲生層下部の地層が分布する湖南市付近の野洲川の河原からは、1988年にゾウ類とシカ類、ワニ類の足跡化石が発見されている(Stop 2). これよりやや下位の層準(年代)では、甲賀市水口町の野洲川の河原、甲賀市甲南町柚川の河原などからゾウ類、シカ類、ワニ類、鳥類などの足跡化石が見られる。

これらのやや上位の層準では、多賀町四手や東近江市の愛知川河床などからはゾウ類やシカ類の足跡化石が見られる。この層準は旧定義の鮮新-更新統境界のやや下位の層準にあたる(雨森ほか, 1993). 足跡化石からは、詳細な種の同定は不可能であるが、骨や歯の化石から推定するとゾウ類ではアケボノゾウ類似種からアケボノゾウへの移行する段階のもの、シカ類ではカズサジカの可能性が高いと考えられる。ゾウ類についていえば、その体格を反映して上野層や伊賀層で見られるミエゾウのものと推定される足跡よりも上位の甲賀層や蒲生層で見られるアケボノゾウあるいはアケボノゾウ類似種と推定される足跡の方が、その直径の最大値が小さいことが認められる。

2. 植物化石

古琵琶湖層群では、上野層から草津層にかけての層準からメタセコイア植物群(市原, 1960)に属する植物化石が産出し、その上位の堅田層からは、ヒメバラモミ *Picea maximowiczii*、ミツガシワ *Menyanthes trifoliata* などの寒冷気候を示す植物が産出し、メタセコイア植物群が産出しない(林, 1974; 古琵琶湖団体研究グループ, 1983; 市原ほか, 1988). しかしながら最近の研究では、メタセコイア植物群繁栄期の後期にあたる蒲生層最上部からミツガシワが産出し(山川, 1993)、安曇川河床に分布する堅田層下部相当層からメタセコイアの球果化石が発見される(山川, 2008)など、ミツガシワのような寒冷化の指標種の産出層準はより下位に下

Fig. 4. Fossil forest in the Asakuni site of the Yasu River, Konan city.

がり、一方メタセコイアはさらに上位層準に存在することが明らかにされてきた(Fig. 2). このことは、メタセコイアの消滅や寒冷化を示す植物の出現は地域差があることを示していると考えられ、陸水成層を対象とした、陸域への影響についての詳細な研究が望まれる。

古琵琶湖層群における新定義の鮮新-更新統境界より上位には、暖温帯要素である常緑性のクスノキ属 *Cinnamomum* やイチイガシ *Quercus (Cyclobalanopsis) gilva* が見出されていない。また、同境界付近からトガサワラ属化石種 *Pseudotsuga subrotunda*、オオバラモミ *Picea koribai*、オオバタグルミ *Juglans cinerea ver. megacinerea* が出現し、旧定義の境界付近で絶滅していることから、古琵琶湖層群においては新旧定義の両境界層準付近で環境イベントがあったことを示唆している。旧定義の鮮新-更新統境界付近では、ヌマミズキ *Nyssa* とセコイア *Sequoia* を除く、いわゆるメタセコイア植物群の多くが絶滅あるいは消滅し、冷温帯要素であるヒメバラモミ *Picea maximowiczii*、ミツガシワ *Menyanthes trifoliata*、チョウセンゴヨウ *Pinus koraiensis* が出現している。

その場に生えていた植物を直接的に理解できるものとして化石林がある。古琵琶湖層群では、新旧定義の両境界付近で保存の良い化石林が発見されている(山川, 2011; Fig. 4). 現在の定義における境界付近のものとして、ゾウ類やシカ類の足跡化石が発見・調査された琵琶湖南東部の湖南市(旧甲西町)朝国～吉永地先の野洲川河床があり、この地域の地層は火山灰層の対比から Gauss Chronozone 上部付近の層準とされている(野洲川足跡化石調査団, 1995; 野洲川朝国河床河床足跡化石調査団, 1998). この付近では、約 2.2 km にわたり大型の樹幹・樹根化石が産出しており、これら化石林の年代は約 2.6–2.7 Ma と推定されている(Yamakawa and Momohara, 2010). 旧定義の境界付近は、東近江市山上地先の愛知川河床で(高橋・山川, 1993)、化石林の層準は丘陵部との火山灰対比から Olduvai Subchronozone 中にある(中山, 1993; 吉川, 1993). これら両地点の化石林は、

ともに落葉針葉樹のメタセコイア *Metasequoia* とスイショウ *Glyptostrobus* が優占する湿地林と考えられている(山川, 2008). 両化石林とも落葉広葉樹のトネリコ属 *Fraxinus* を伴い, 林床にはスゲ属 *Carex*, ホタルイ属 *Scirpus*, カヤツリグサ属 *Cyperus*, タデ属 *Polygonum* など湿性草本類が生育していた. ただし, 両地域の後背地に分布したと考えられる植物には顕著な違いがあり, 現在の境界付近にある野洲川化石林には, スイショウをはじめコウヨウザン属 *Cunninghamia*, トガサワラ属 *Pseudotsuga*, イタビカズラ近似種 *Ficus* cf. *nipponica*, ヒサカキ *Eurya japonica* のような暖温帯に分布する分類群を随伴し, 冷温帯に分布する植物は顕著に見られない. また, スイショウ, メタセコイア, セコイア *Sequoia*, イヌカラマツ *Pseudolarix*, キクロカリヤ *Cyclocarya*, オオバタグルミ *Juglans cinerea* var. *megacineria* といった絶滅種や日本からの消滅種が8種含まれている(山川, 2008; Yamakawa and Momohara, 2010). 一方, 旧定義境界付近の愛知川化石林では暖温帯に分布する植物は, スイショウを除いて化石林には含まれず, トウヒ属 *Picea*, クロベ属 *Thuja*, ウダイカンバ *Betula maximowicziana*, サワグルミ *Pterocarya rhoifolia*, ミツガシワ *Menyanthes trifoliata* のような主に冷温帯に分布する植物が随伴している. 消滅種あるいは絶滅種もメタセコイア, スイショウ, ハリゲヤキ *Hemiptelea mikii* と3種にすぎない(Yamakawa et al., 2008). 暖温帯に分布する植物を含み冷温帯に分布する植物が顕著に見られない野洲川化石林と, スイショウを除いて更新世の寒冷期の特徴をもつ愛知川化石林の古植生から, 寒冷化現象に伴う亜熱帯や暖温帯要素の減少と冷温帯要素の増加が示されている.

見学地説明

Stop 1 滋賀県甲賀市甲賀町小佐治, 小佐治火山灰層

[地形図] 1:25,000 地形図「水口」

[位置] N34°56'6", E136°13'38".

[解説] 本地点は, 現在の鮮新—更新統境界付近が観察できる.

広域テフラの朝代—友田2テフラ(Ass; Tamura et al., 2008)に対比される小佐治火山灰層の模式地にあたる本地域は, 甲賀層の上部が分布し, 均質な厚い泥層が卓越する. 小佐治火山灰層は Gauss Chronozone 上部に位置し, 現在の定義による鮮新—更新統境界である Gauss/Gilbert Chronozone の境界は, この火山灰層よりもさらに上位の甲賀層とその上位の蒲生層の層境界付近にある(Hayashida and Yokoyama, 1983). この地域においては本火山灰層の約30 m 上位にある(川邊, 1981)が, 境界付近が表土により被覆されており, 境界層準そのものを見ることはできない. 小佐治火山灰層の上位には, 鮮新—更新統境界までに上出Ⅰ～Ⅲ火山灰層という3層の火山灰層が挟在しているが, これまでに広域対比は行われていない(里口, 2010).

本地点にみられる地層は, 層厚4 m 以上の均質な泥層とそこに挟在する小佐治火山灰層である. この地域の珪藻化石の分析を行った田中・松岡(1985)によれば, *Melosira sol-*

Fig. 5. Geologic column of volcanic ash beds.

ida が卓越し, その群集組成から低水温を保つことができる程度の広さと水深があり, 現在の琵琶湖北湖と同程度の貧栄養湖であったと推定している. 以上のことから, 長い期間にわたって安定的に広く深い湖であったと言える.

小佐治火山灰層は, 層厚約40 cm で, 下位より5 cm は白色細粒火山灰からなり, その上位2 cm は上方細粒化する白色極細粒砂サイズからシルトサイズのガラス質火山灰, その上位21 cm は灰白色の細粒火山灰で, その上位8 cm は白色細粒火山灰と火山灰質シルトの薄互層からなる. その上位約20 cm は火山灰質シルトからなる(Fig. 5). この岩相からは, 少なくとも2回の降灰があったと考えられる.

小佐治火山灰層からその下位の岩室火山灰層層準にかけての大型植物化石は報告例が少ないが, スイショウ属 *Glyptostrobus*, ヒノキ *Chamaecyparis obtuse*, クロベ *Thuja standishii*, モミ属 *Abies*, トウヒ属 *Picea*, ハンノキ属 *Alnus* が産出している(Miki, 1957; Takaya, 1963; 川邊, 1981; 山川, 2008).

Stop 2 滋賀県湖南市吉永, 野洲川河床

[地形図] 1:25,000 地形図「三雲」

[位置] N34°59'35", E136°6'15".

[解説] 本地点は, 現在の鮮新—更新統境界付近が観察できる.

この地域の火山灰層は, a 火山灰層～i 火山灰層, 火山灰層Ⅰ～Ⅲの12層が記載され, これらの岩相および記載岩石学的性質から, h 火山灰層は阿山・甲賀丘陵の甲賀層中にみられる小佐治火山灰層(広域テフラの Ass テフラ)に, g 火山灰層は上出Ⅰ火山灰層に, c 火山灰層は上出Ⅲ火山灰層対比された(野洲川朝国河床足跡化石調査団, 1998). この対比

Table 1. Petrographic properties of volcanic ashes.

Tephra name	M.C. (%)				Shape of glass shards (%)							Refractive index of glass shards (mode)	Heavy mineral composition (%)								
	Gl	Qz	Fel	HM	Ha	Hb	Ca	Cb	Ta	Tb	Oth		Bt	Amp	oHb	Opx	Cpx	Zrn	Ap	Opq	
Gokenjaya V.A. (Yoshikawa et al., 1996)																					
Unit B	93	0	5	2								1.500-1.557	(1.5015-1.5025)	0	59		21	3	1	0	16
Unit A	98	0	2	*								1.499-1.503	(1.5015-1.5025)	1	4		56	5	1	0	33
h V.A. (Research Group for Fossil Footprints on Yasu River at the Asakuni, 1998)																					
lower part	94	*	4	2	10	23	15	15	17	19	1	1.502-1.504		0	62	0	31	*	0	*	7
Kosaji V. A. (Satoguchi, 2010)																					
middle part	96	0	4	*	21	18	25	17	14	5	0	1.503-1.505		0	65	*	16	0	*	4	15
lower part	96	0	4	*	1	6	23	13	44	13	0	1.503-1.505		0	70	*	2	0	2	2	24

V.A.: Volcanic Ash, M.C.: mineral composition, Gl: volcanic glass, Qz: quartz, Fel: feldspar, HM: heavy mineral, Ha, Hb, Ca, Cb, Ta, Tb, Oth: glass shape (Yoshikawa, 1976), Bt: biotite, Amp: amphibole, oHb: oxyhornblende, Opx: orthopyroxene, Cpx: clinopyroxene, Zrn: zircon, Ap: apatite, Opq: opaque mineral, *: less 1%

は、火山灰層 I のフィッシュン・トラック年代値の $2.42 \pm 0.13 \sim 2.62 \pm 0.16$ Ma (野洲川足跡化石調査団, 1995) と整合的である。このことから、甲賀層上部から蒲生層最下部付近の層準のものが分布すると考えられる。小佐治火山灰層に対比された h 火山灰層は、層厚約 70 cm の白色のシルトサイズから極細粒砂サイズのガラス質火山灰からなる。一部層準は重鉍物粒が目立つ (Fig. 5)。

この地域の層相は、大きくは砂層および泥層の互層からなり、その堆積相からその陸域での河川周辺環境であることが推定された (野洲川朝国河床足跡化石調査団, 1998)。この層相およびその推定される堆積環境は、Stop 1 で観察される甲賀層の特徴である均質な泥層が卓越する広くて深い湖との堆積環境とは異なっており、当時の湖周辺の陸域環境と考えられる。

また、本地点は 1988 年に足跡化石が発見された地点であり、ゾウ類や偶蹄類の足跡の調査が行われた。この調査において、調査第 1 地点ではゾウ類の足跡化石が 97 個、シカ類の足跡化石が 453 個確認された。ゾウ類の足跡化石は、直径 30 cm 前後で、長円形～円形をしていた。これらの足跡は、前後の足跡が重なったものがほとんどであり、重複足印と呼ばれるものであった。保存のよいゾウ類の足跡化石からは、3 ないし 4 の指印も確認された。さらにいくつかは連続した歩行の跡 (行跡) が確認された。それらは、複歩長 200～240 cm、歩幅 110～135 cm、行跡幅 40～50 cm、歩角 130～140°であった。一方、シカ類の足跡化石は、長さ 7～9 cm、最大幅 3 cm のものがほとんどであったが、中には 10～12 cm、最大幅 6 cm のものも見られた。小型のものものの行跡では、複歩長 115～160 cm、歩幅 60～82 cm、行跡幅 4～6 cm、歩角 130～175°であった (野洲川足跡化石調査団, 1995)。現在、この地点に見られた足跡化石の層準は河川の侵食によってほとんど失われている。

この調査では、樹幹長径 40 cm 以上ある樹幹・樹根化石が立木状態で、少なくとも 8 層準にわたり確認された (野洲川朝国河床足跡化石調査団, 1998)。特に朝国地域では、メタセコイア属 *Metasequoia*、スイショウ属 *Glyptostrobus*、ヤナギ属 *Salix*、ミズキ属 *Cornus*、トネリコ属 *Fraxinus* からなる湿地林が形成されていた (Yamakawa and Momohara, 2010)。化石林に随伴する植物としては、スゲ属 *Car-*

ex、ホタルイ属 *Scirpus*、タデ属 *Polygonum*、シロカネソウ属 *Dichocarpum*、ナタネタピラコ属 *Lapsana* などの草本類のほか、セコイア属 *Sequoia*、イヌカラマツ *Pseudotsuga*、サワラ *Chamaecyparis pisifera*、コウヨウザン属 *Cunninghamia*、トウヒ属 *Picea*、ツガ属 *Tsuga*、キクロカリヤ *Cyclocarya*、ヒメブナ *Fagus microcarpa*、ヒサカキ *Eurya japonica*、イタビカズラ近似種 *Ficus cf. nipponica* などが産出している。また、コウヤマキ属 *Sciadopitys*、モミ属 *Abies*、カタヤ属 *Cathaya* の花粉化石が産出しており、後背山地に生育していた森林を反映していると考えられる (齊藤ほか, 2001)。

Stop 3 滋賀県湖南市石部緑台、五軒茶屋火山灰層

〔地形図〕 1:25,000 地形図 「野洲」

〔位置〕 N35°1'6", E136°2'23".

〔解説〕 本地点は、旧鮮新-更新統境界付近が観察される。古い定義による鮮新-更新統境界付近は Olduvai Subchronozone の直上であるが、その付近には、広域テフラ層の恵比寿峠-福田火山灰層 (Eb-Fukuda; 長橋ほか, 2000) の存在が知られている。この広域テフラ層は、この地点が模式地であり、五軒茶屋火山灰層と呼ばれている。火山灰層名の由来は旧地名であり、現在の地名は石部緑台とされたためにこの地名は地図上からはなくなった。

本地点は、露頭の下部から上部までほぼ全面が五軒茶屋火山灰層からなり、火山灰層の基底部とその下位層は観察できるが、火山灰層の上位層は確認できない。五軒茶屋火山灰層は、層厚 350 cm 以上で、基底より層厚 25 cm は白色のシルトサイズから極細粒砂サイズのガラス質火山灰層、その上位の層厚 15 cm は赤褐色のシルトサイズから極細粒砂サイズのガラス質火山灰層、その上位の 3 m 以上は平行葉理が発達し、白色ないし赤褐色の極細粒砂サイズの火山灰層からなる。下部の白色火山灰部の中央部には粒径 6 mm 程度の火山豆石が含まれる。これら層相の違いは、白色火山灰部および赤褐色火山灰部がそれぞれ降灰ユニットである Unit A1, B と、その上位が再堆積成層である Unit C とされている (吉川ほか, 1996; Fig. 5)。これら層相の違う降灰ユニットは、記載岩石学的性質も違っており (Table 1)、白色部の Unit A1 の重鉍物組成が斜方輝石を主体とするのに対

し、Unit B の赤褐色部は角閃石を多く含む(吉川ほか, 1996)。また、火山ガラスの屈折率については、Unit B が 1.550 以上の高屈折率ガラスを含むことでも Unit A1 とは異なっている。

本層準を含む蒲生層から草津層にかけては古琵琶湖層群の中で大型植物化石の報告が多く、五軒茶屋火山灰層準からは、トガサワラ属化石種 *Psudotsuga subrotunda*、コウヨウザン属 *Cunninghamia*、ヒメブナ近似種 *Fagus cf. microcarpa*、ハンノキ *Alnus japonica*、エゴノキ *Styrax japonica*、メタセコイア *Metasequoia disticha*、アカマツ *Pinus thunbergii*、トウヒ属 *Picea*、オオバラモミ *Picea koribai* が産出している(古琵琶湖団体研究グループ, 1983)。五軒茶屋火山灰層よりすぐ下位の桐生火山灰層層準では、メタセコイア *Metasequoia glyptostroboides*、スイショウ *Glyptostrobus pensilis*、トウヒ属 *Picea*、クロベ属 *Thuja*、ハリケヤキ *Hemiptelea mikii*、ウダイカンバ *Betula maximowicziana*、サワグルミ *Pterocarya rhoifolia*、ミツガシワ *Menyanthes trifoliata* が報告されている(Yamakawa et al., 2008)。

Stop 4 滋賀県草津市下物町, 琵琶湖博物館

[地形図] 1 : 25,000 地形図 「草津」

[位置] N35°4'29", E135°56'8".

[解説] 本地点では、琵琶湖博物館に保管されている烏丸地区深層ボーリングコア(以下、烏丸コア)の最下部付近の観察を行う。

琵琶湖湖岸に立地する滋賀県立琵琶湖博物館は、開館前の 1992 年に基盤岩まで達する深層ボーリングを行い、この地点における堆積層は約 900 m あり、最下部は約 180~190 万年前であることが明らかになった(林ほか, 1999)。この年代の決定には、コア最下部(基底の深度 863.93 m)にある KR980 火山灰層が Olduvai Subchronozone 直上に位置する広域テフラである Eb-Fukuda テフラと対比されたことによる(吉川, 1999)。これまでに古地磁気層序は明らかにされていないため、その下限が Olduvai Subchronozone に達しているかは分かっていない。

KR980 火山灰層は、深度 863.93 m が基底に位置し、層厚約 440 cm あり、白色~暗灰色の細粒火山灰からなる。基底部付近は白色細粒火山灰からなるが、全体的にシルト質で、平行葉理が発達し、上部はシルトと白色火山灰の互層からなることから、大部分は降灰後に再移動して堆積したものからなると考えられる。また、Eb-Fukusa テフラ層の岩相上の特徴である降灰ユニットは確認できない。

烏丸コアにおける層相は林ほか(1999)によって詳細に記載され、最下部付近の堆積環境はその詳細な堆積相解析から Masuda et al. (2010) によって明らかにされている。Masuda et al. (2010) によれば、烏丸コア掘削地点の堆積初期には、河川の支谷の扇状地もしくは崖錐の場所に、主谷から湖の水位上昇によって Eb-Fukuda テフラ層堆積時には湖化し、湖水位の変動によって、しばしば非常に浅い湖や湖岸となっていたとされている。Eb-Fukuda テフラ層は、他の多

くの地点で再堆積成堆積物からなるとされる上部のユニット C から軽石の存在が認められており、これは噴出源地域に堆積した火砕流堆積物の再移動によるものとされている(Kataoka and Nakajo, 2002)。しかし、烏丸コアにおける KR980 火山灰層には粒径の大きな軽石や粗粒火山灰が認められないことから、Masuda et al. (2010) の結果とあわせると、再移動して堆積した火山灰の大部分は、噴出源地域に堆積した火砕物質の再移動によるものではなく、谷の上流部に降灰したものの再移動による堆積物と考えられる。

文献

- 雨森 清・荒川忠彦・北川明照・小早川 隆・多賀 優・但馬達雄・田村幹夫・西川 一雄・三矢信昭(Amemori, K., Arakawa T., Kitagawa, A., Kohayakawa, T., Taga, M., Tajima, T., Tamura, M., Nishikawa, K. and Mitsuya, N.), 1993, 愛知川化石林の地層と堆積環境。琵琶湖博物館開設準備室研究調査報告(Res. Rep. Lake Biwa Mus. Project Office), no.1, 15-31.
- Aiba, H., Baba K. and Matsukawa, M., 2010, A new species of Stegodon (Mammalia, Proboscidea) from the Kazusa Group (Lower Pleistocene), Hachioji City, Tokyo, Japan and its evolutionary morphodynamics. *Palaeontology*, **53**, 471-490.
- 琵琶湖自然史研究会編(Research Group for Natural History of Lake Biwa, ed.), 1994, 琵琶湖の自然史(*The Natural History of Lake Biwa*). 八坂書房(Yasaka Shobo), 340p.
- 遠藤邦彦・奥村晃史(Endo, K. and Okumura, K.), 2010, 第四紀の新たな定義: その経緯と意義についての解説。第四紀研究(*Quatern. Res.*), **49**, 69-77.
- 林 隆夫(Hayashi, T.), 1974, 堅田丘陵の古琵琶湖層群。地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **80**, 261-276.
- 林 隆夫・山崎博史・川辺孝幸(Hayashi, T., Yamasaki, H. and Kawabe, T.), 1999, 琵琶湖東岸・草津市烏丸地区深層ボーリングコアの岩相層序。琵琶湖博物館研究調査報告(Res. Rep. Lake Biwa Mus.), no.12, 31-60.
- Hayashida, A. and Yokoyama, T., 1983, Paleomagnetic chronology of the Plio-Pleistocene Kobiwako Group to the south-east of Lake Biwa, Central Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **89**, 209-221.
- Hyodo, M., 2007, Terrestrial Records of the Latest Guss Cooling Event in Japan and North Central China. *Quatern. Res. (Daiyonki Kenkyu)*, **46**, 215-222.
- 市原 実(Ichihara, M.), 1960, 大阪・明石地域の第四紀層に関する諸問題。地球科学(*Earth Sci. (Chikyū Kagaku)*), **49**, 15-25.
- 市原 実(Ichihara, M.), 1966, 大阪層群と六甲変動。地球科学(*Earth Sci. (Chikyū Kagaku)*), **85**, 86, 12-18.
- 市原 実(Ichihara, M.), 1991, 大阪層群とその周辺地域の第四紀地質図について—大阪層群を中心に—。アーバンクボタ(*Urban Kubota*), **30**, 1-21.
- 市原 実・亀井節夫(Ichihara, M., Kamei, S.), 1970, 大阪層群。科学(*Kagaku*), **40**, 282-291.
- 市原 実・吉川周作・亀井節夫・那須孝悌(Ichihara, M., Yoshikawa, S., Kamei, S. and Nashu, T.), 1988, 近畿地方の第四紀層の層序区分。市原 実・亀井節夫・熊井久雄・楡井 久・吉川周作編, 日本の第四紀層の層序区分とその国際対比(*Stratigraphic Subdivision of the Japanese Quaternary and its International Correlation*), 地質学論集(*Mem. Geol. Soc. Japan*), no. 30, 111-125.
- 人類紀自然学編集委員会編(Editorial Committee of Natural History of Anthropogene, ed.), 2007, 人類紀自然学: 地層に記録された人間と環境の歴史。(*Natural History of Anthropogene*), 共立出版(Kyoritsu Publ.), 312p.
- Kataoka, K. and Nakajo, T., 2002, Volcaniclastic resedimentation in distal fluvial basins induced by large-volume explosive volcanism: the Ebisutoge-Fukuda tephra, Plio-Pleistocene boundary, central Japan. *Sedimentology*, **49**, 319-334.
- 川邊孝幸(Kawabe, T.), 1981, 琵琶湖南東方、阿山・甲賀丘陵付近の

- 古琵琶湖層群. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **87**, 457–473.
- 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**, 39–90.
- 古琵琶湖湖体研究グループ (Kobiwako Research Group), 1981, 瀬田・石部地域の古琵琶湖層群. 地球科学 (*Earth Sci. (Chikyu Kagaku)*), **35**, 26–40.
- 古琵琶湖湖体研究グループ (Kobiwako Research Group), 1983, 水口丘陵・瀬田～石部地域の古琵琶湖層群. 地団研専報 (*Monog. Assoc. Geol. Collab. Japan*), no.25, 67–77.
- 熊井久雄 (Kumai, H.), 2006, 最近の第四紀年代層序問題, 旧石器研究 (*Paleolithic Research*), no.2, 81–92.
- 熊井久雄 (Kumai, H.), 2009, 第四紀の定義と問題点: 最近の動向. 日本第四紀学会 50 周年電子出版編集委員会編, デジタルブック 最新 第四紀学 (*Digital Book: Progress in Quaternary Research in Japan*), 日本第四紀学会 (Japan Association for Quaternary Research), CD-ROM, 6–7.
- 熊井久雄 (Kumai, H.), 2010, 最近の第四紀年代層序問題 (その 2): 第四紀細区分問題. 旧石器研究 (*Paleolithic Research*), no.6, 7–15.
- Masuda, F., Saitoh, Y. and 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. *Quatern. Res. (Daiyonki Kenkyu)*, **49**, 121–131.
- 松岡長一郎・岡村喜明・田村幹夫 (Matsuoka, C., Okamura, Y. and Tamura, M.), 1991, 滋賀県産の脊椎動物化石. 滋賀県自然誌 (*Land and Life in Shiga*), 滋賀県自然保護財団, 543–625.
- 三木 茂 (Miki, S.), 1948, 鮮新世以来の近畿並びに近接地域の遺体フロアに就いて. 鉱物と地質 (*Mineralogy and Geology (Koubutsu to Chishitsu)*), **9**, 105–144.
- Momohara, A., 1994, Floral and paleoenvironmental history from the late Pliocene to middle Pleistocene in and around central Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **108**, 281–293.
- 長橋良隆・里口保文・吉川周作 (Nagahashi, Y., Satoguchi, Y. and Yoshikawa, S.), 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. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **106**, 51–69.
- Nagahashi, Y. and Satoguchi, Y., 2007, Stratigraphy of the Pliocene to Lower Pleistocene marine formations in Japan on the basis of tephra beds correlation. *Quatern. Res. (Daiyonki Kenkyu)*, **46**, 205–213.
- 中山勝博 (Nakayama, K.), 1993, 愛知川周辺の古琵琶湖層群火山灰層の古地磁気. 琵琶湖博物館開設準備室研究調査報告 (*Res. Rep. Lake Biwa Mus. Project Office*), no.1, 115–120.
- Saegusa, H., Thasod Y. and Ratanasthien, B., 2005, Note on Asian stegodontids. *Quatern. Intern.*, **126–128**, 31–48.
- 齊藤 毅・百原 新・山川千代美 (Saito, T., Momohara, A. and Yamakawa, C.), 2001, 古琵琶湖層群甲賀累層 (鮮新統) より *Cathaya* (Pinaceae) 花粉の発見. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **107**, 667–670.
- 里口保文 (Satoguchi, Y.), 2009, 伊賀・近江盆地 (古琵琶湖層群, 段丘堆積層, 琵琶湖湖底堆積物). 日本地質学会編, 日本地方地質誌 5: 近畿地方 (*Monograph on Geology of Japan, Vol. 5: Kin-ki*), 朝倉書店 (Asakura Publ.), 253–258.
- 里口保文 (Satoguchi, Y.), 2010, 鮮新-更新世境界付近の広域テフラとテフラ層序の分解能. 第四紀研究 (*Quatern. Res.*), **49**, 315–322.
- 高橋啓一 (Takahashi, K.), 1998, 脊椎動物化石とその起源. アーバンクボタ (*URNAN KUBOTA*), no.37, 46–57.
- 高橋啓一・山川千代美 (Takahashi, K. and Yamakawa, C.), 1993, 愛知川産化石林調査の経過. 琵琶湖博物館開設準備室研究調査報告 (*Res. Rep. Lake Biwa Mus. Project Office*), no.1, 1–10.
- Takaya, Y., 1963, Stratigraphy of the Paleo-Biwa Group and the paleogeography of Lake Biwa with special reference to the origin of the endemic species in Lake Biwa. *Mem. Coll. Sci. Univ. Kyoto, Ser. B*, **30**, 81–118.
- Tamura, I., Yamazaki, H. and Mizuno, K., 2008, Characteristics for the recognition of Pliocene and early Pleistocene marker tephra in central Japan. *Quatern. Intern.*, **178**, 85–99.
- 田中正明・松岡敬二 (Tanaka, M. and Matsuoka, K.), 1985, 滋賀県甲賀・阿山地域の鮮新世淡水生珪藻化石. 瑞浪市化石博物館研究報告 (*Bull. Mizunami Fossil Mus.*), no.12, 57–70.
- 樽野博幸 (Taruno, H.), 2010, 哺乳類化石の変遷から見た日本列島と大陸間の陸橋の形成時期. 第四紀研究 (*Quatern. Res.*), **49**, 309–314.
- 植木岳雪・遠藤邦彦 (Ueki, T. and Endo, K.), 2010, 2009 年度日本第四紀学会シンポジウム特集「第四紀の開始期の環境変動とテクトニクス: 第四紀の新定義を検証する」の趣旨. 第四紀研究 (*Quatern. Res.*), **49**, 271–274.
- 山川千代美 (Yamakawa, C.), 1993, 愛知川化石林にとまう植物化石. 愛知川調査団編, 愛知川化石林: その古環境復元の試み (Echigawa Petrified Forest), 琵琶湖博物館開設準備室研究調査報告 (*Res. Rep. Lake Biwa Mus. Project Office*), no.1, 57–67.
- 山川千代美 (Yamakawa, C.), 2008, 古琵琶湖層群産化石林に基づく後期鮮新世の古植生の時空間分布. 博士論文 (*Ph. D. Thesis*), 千葉大学 (Chiba Univ.), 74p.
- 山川千代美 (Yamakawa, C.), 2011, 化石林. 滋賀県立琵琶湖博物館編, 命の湖 琵琶湖を探る (*A vital Lake-Searching out Lake Biwa*), 文一総合出版 (Bunichi Publ.), 26–27.
- Yamakawa, C. and Momohara, A., 2010, Latest Pliocene Fossil Forest in Yoshinaga, Konan. *The 3th International Metasequoia Symposium, a guidebook to the field excursion Neogene fossil sites and Chamaecyparis forest in central Japan*, 19–22.
- Yamakawa, C., Momohara, A., Nunotani, T., Matsumoto, M. and Watano, Y., 2008, Paleovegetation reconstruction of fossil forests dominated by *Metasequoia* and *Glyptostrobus* from the late Pliocene Kobiwako Group, central Japan. *Paleontol. Res.*, **12**, 167–180.
- 野洲川朝国河床足跡化石調査団 (Research Group of Fossil Footprints on Yasu River at the Asakuni)*, 1998, 甲西町朝国の野洲川河床足跡化石調査報告 (*Fossil Footprints at River Yasu, Asakuni, Kosei Town, Shiga Prefecture, Central Japan*). 甲西町教育委員会 (Kosei Municipal Board of Education), 57p.
- 野洲川足跡化石調査団 (Research Group for the Fossil Footprints of Yasu-gawa), 1995, 野洲川 (甲西町) の古琵琶湖層群産足跡化石. 琵琶湖博物館開設準備室研究調査報告 (*Res. Rep. Lake Biwa Mus. Project Office*), no.3, 1–134.
- 吉川周作 (Yoshikawa, Y.), 1976, 大阪層群の火山灰層について. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **82**, 479–515.
- 吉川周作 (Yoshikawa, Y.), 1993, 愛知川及びその周辺の古琵琶湖層群火山灰層. 琵琶湖博物館開設準備室研究調査報告 (*Res. Rep. Lake Biwa Mus. Project Office*), no.1, 97–103.
- 吉川周作・里口保文・長橋良隆 (Yoshikawa, S., Satoguchi, Y. and Nagahashi, Y.), 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. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **102**, 258–270.
- 吉川周作・山崎博史 (Yoshikawa, S. and Yamasaki, H.), 1998, 古琵琶湖の変遷と琵琶湖の形成. アーバンクボタ (*URNAN KUBOTA*), no.37, 2–11.

* English translation from the original written in Japanese