

植物相からみた古琵琶湖の動物たちが生きた環境

山川千代美*

Types of vegetation in Plio-Pleistocene forests inhabited by Proboscidea (Mammalia), based on plant macrofossils from the Kobiwako Group around Lake Biwa, Shiga, central Japan.

Chiyomi Yamakawa*

Abstract

Based on plant macrofossil assemblages from the Plio-Pleistocene Kobiwako Group outcropping around Lake Biwa, Shiga, central Japan, the types of vegetation in forests inhabited by Proboscidea were determined. *Stegodon miensis* inhabited mixed forests of deciduous conifers and deciduous broad leaved trees, including warm-temperate taxa, such as the broad leaved evergreens Lauraceae and *Cyclobalanopsis*, during the period 4.4 Ma to 2.5 Ma. *Stegodon aurorae*, from 2.5 Ma to 1 Ma, inhabited forests dominated by deciduous broad leaved trees mixed with evergreen and deciduous conifers, and in wetland forests dominated by *Metasequoia glyptostroboides* and *Glyptostrobus pensilis*, with deciduous broad leaved trees, such as *Alnus*, *Salix* and *Fraxinus*, and hydrophyte herbs, such as *Carex* and *Cyperus*. *Mammuthus protomammonteus*, from 1.1 Ma to 0.7 Ma, inhabited mixed forests consisting of the deciduous broad leaved trees *Quercus serrata*, Hamamelidaceae gen. et sp. indet., *Corylus heterophylla*, and *Carpinus*, and the evergreen conifers *Tsuga* and *Picea*, including warm-temperate taxa, such as *Caesalpinia sepiaria* and the evergreen broad leaved tree *Distylium*.

Key words: Kobiwako Group, Plio-Pleistocene, Plant macrofossil, vegetation

はじめに

現在の日本の動物相、植物相の形成を考える上で、鮮新－更新世の地球規模の寒冷化現象は動・植物相が変化することに大きな影響を及ぼしたとされる（町田ほか 2003；日本第四紀学会編 2013）。これまでの研究で、鮮新－更新世の陸域の動物・植物化石群の組成およびその移り変わりについては概要が明らかになってきている（河村 2009, 2014；高橋 2004, 2007；鈴木・那須 1988；棚井 1991；百原 2010；Momohara 2016；など）。特に移動可能な動物にとって、気候変動に伴った大陸と陸続きになる陸橋の形成は大きなイベントであり、それを考慮した動物相の形成が提示されている（河村 1998, 2010；高橋 1998；樽野 2010；など）。一方、風や流水などによる種子散布や動物に

付着して拡散・移動する植物は、当時の生育地の地形が大きく関与し、気候変動が直接植物相や植生の移り変わりに反映されると考えられる（百原 1996）。

これらの動・植物相が同一の空間で存在しているにも関わらず、Takahashi et al. (2004) のような相互の関係性から成立過程を解釈する研究例は少ない。また、当時の古生態を検討するにあたり、動物化石の産出に伴う総合的な調査研究が実施されてきたが、動物と植物の両者とも現生種の分布域に基づいた古気候推定では相違が生じている（高橋 2001；兼子・岡崎 2006）。そのため、古生態解析では、過去古気候指標となる酸素同位体比の編年の中で動・植物化石群を位置づけ、タフオノミーを考慮した古植生を捉え、生息していた動物の生態を検討することが重要になると

2017年10月4日受付，2017年10月18日受理

*滋賀県立琵琶湖博物館 滋賀県草津市下物町1091

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

E-mail: yamakawa-chiyomi@biwahaku.jp

考えられる。

今回、古琵琶湖層群を事例に植物化石に基づく古植生復元から動物が生息した環境を提示し、両者の関係を検討する機会とした。

1. 動・植物相が形成される時代背景

古琵琶湖層群は上野盆地から近江盆地の丘陵地に分布する、主に泥、砂、礫からなる湖沼成あるいは河川成堆積層である (Kawabe 1989; 里口 2009) (図1)。岩相層序は下位から上野層、伊賀層、阿山層、甲賀層、蒲生層、草津層、堅田層、高島層の8つに区分され (Kawabe 1989)、約百数十枚の火山灰層が挟在する (図2)。それらの火山灰のフィッション・トラック年代および広域火山灰の対比編年による火山灰層序 (Yoshikawa 1984; Satoguchi and Nagahashi 2012) や古地磁気層序 (Hayashida and Yokoyama 1983) から、約4.4Ma から0.4Ma (前期鮮新世～中期更新世) に堆積したとされる (里口 2015)。本層群は海成層を含まず、約400万年間の陸上環境を示唆する貴重な地層と言える。

この時代は、大陸から分離した日本列島が幾度か大陸と陸橋で繋がりながら、現在の列島が形成されてい

く (北村・木元 2004)。また、海底深層ボーリングコアによる底生有孔虫殻の酸素同位体比曲線から、寒暖を繰り返しながら概ね新第三紀からの温暖な気候から第四紀の寒冷な気候へ推移するとされる (Lisiecki and Raymo 2005)。2.8Ma では北半球の氷床形成が始まり、ガウス正磁極期からマツヤマ逆磁極期へ変化する鮮新-更新世境界の2.6Ma には気候の寒暖は4万1000年周期であった。0.8Ma は更新世の前期と中期の境界およびマツヤマ逆磁極期からブリュンス正磁極期の境界付近から気候の寒暖差が顕著になり、10万年周期 (ミランコビッチサイクル) となった (Muller et al. 1997)。

2. 古琵琶湖層群における大型植物化石の層位分布と植物相の変遷

鮮新-更新統古琵琶湖層群から産出する主な植物化石は、イチヨウ属 *Ginkgo*、イヌカラマツ属 *Pseudolarix*、セコイア属 *Sequoia*、メタセコイア属 *Metasequoia*、スイショウ属 *Glyptostrobus*、フウ属 *Liquidambar*、オオバラモミ *Picea koribai*、オオバタグルミ *Juglans cinerea* var. *megacinerea* などメタセコイア植物群 (市原 1960) に属する植物である (百原 1988)。そのう

ムカシマンモスゾウ



安曇川河床の化石林

栗原火山灰層準
0.8-0.7 Ma (中期更新世)

アケボノゾウ

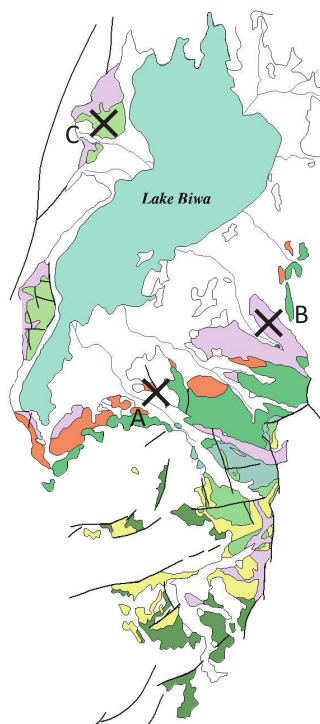


愛知川河床の化石林

中火山灰層準
オルドバイ正サブクロン
1.8-1.9 Ma (前期更新世)

Kobiwako Group

- Terrace deposits
- Katata Formation
- Kusatsu Formation
- Gamo Formation
- Koka Formation
- Ayama Formation
- Iga Formation
- Ueno Formation
- Fault



野洲川河床の化石林

上出火山灰層準
ガウス/マツヤマ境界
2.6- 2.7 Ma (後期鮮新世)

図1. 古琵琶湖層群の地質図と化石林産出地点。

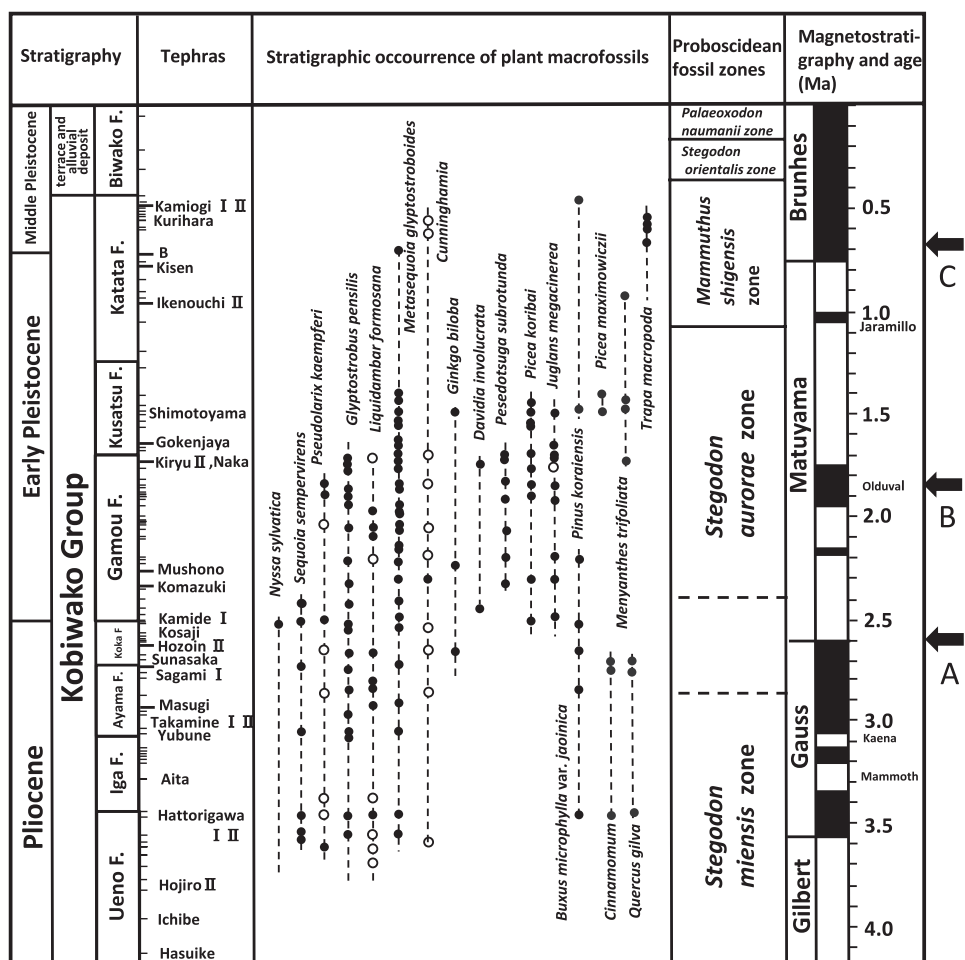


図2. 鮮新-更新統古琵琶湖層群における主な大型植物化石の層位分布と長鼻類化石産出層序。山川 (2008) を一部修正。

ち、ヌマミズキ属 *Nyssa* は阿山層、イヌカラマツ属、フウ属、セコイア属、スイショウ属は蒲生層、イチヨウ属、オオバラモミ、オオバタグルミは草津層、メタセコイア属、コウヨウザン属 *Cunninghamia* は堅田層まで産出するが、それ以降琵琶湖地域からは消滅あるいは絶滅してしまう (図2)。これらの過程は、約2.8Ma-2.6Ma、1.8Ma-1.6Ma および0.8Ma-0.5Maの年代で集中して起きている。古琵琶湖層群と同時期の地層である大阪層群でも、同様な年代で段階的な植物の消滅と出現が報告されている (Momohara 1994, 2010, 2016)。また、現在寒冷な気候で生育するチョウセンゴヨウ *Pinus koraiensis*、ヒメバラモミ *Picea maximowiczii*、ミツガシワ *Menyanthes trifoliata* は蒲生層上部以降に出現しはじめ、クスノキ属 *Cinnamomum*、常緑カシ類 *Cyclobalanopsis* など常緑広葉樹が甲賀層最下部以降で産出の記録がなく、後期更新世まで確認

されていない (木田 1997) (図2)。

これらのことから、古琵琶湖層群では約2.6Maまでは暖温帯要素の常緑広葉樹を含む落葉針葉樹と広葉樹の混合林が見られるが、その後落葉広葉樹を主体とした落葉・常緑針葉樹との混合林、そして1.8Ma以降に寒冷型の植物を含む冷温帯の落葉広葉樹と常緑針葉樹の森林へと植物相の変化が示唆される。

3. 古琵琶湖層群における陸上動物化石の層位変遷

鮮新-更新統古琵琶湖層群からは、長鼻類 (ゾウ)、偶蹄類 (シカ、イノシシ)、奇蹄類 (サイ)、ワニ類をはじめ、カメ類、スッポン類、鳥類、ネズミ類の骨や足跡の化石が報告されている (高橋 1998, 岡村 2016; 図2)。鮮新-更新世の時代は、特に長鼻類の種類が短期に移り変わる時代である。琵琶湖地域の約400万年の連続した堆積物では、下位から上位へ、ミ

エゾウ *Stegodon miensis*, アケボノゾウ *Stegodon aurorae*, ムカシマンモスゾウ *Mammuthus protomammonteus*, トウヨウゾウ *Stegodon orientalis*, ナウマンゾウ *Palaeoloxodon naumanni* の骨や臼歯化石の産出記録がある (高橋 2013; Nakagawa et al. 2013). 古琵琶湖層群では、ミエゾウ *Stegodon miensis* は約 5 Ma から 2.5 Ma, アケボノゾウ *Stegodon aurorae* は約 2.5 Ma から 1 Ma, ムカシマンモスゾウ *Mammuthus protomammonteus* は約 1.1 Ma から 0.7 Ma に生息していたとされる (高橋 1998) (図 2).

陸上動物相を捉える上で、骨化石以外で重要な情報となるのが生痕化石の足跡化石である。足跡化石は古琵琶湖層群の全層から発見されており骨化石よりも多産する。その包含化石層には原地性を示す化石林が共産する場合があります。動物の生息環境となる当時の古植生や古生態の復元に有効となる。

4. 動物の生息環境—古植生の復元

鮮新—更新世において、これまで動物化石の産出に伴う古生態学的な総合調査が数多く行われている (多賀町教育委員会 1993; 兼子・岡崎 2006; など). 堆積地およびその周辺地域の古植生を復元するにあたっては、空間分布情報が必要であり原地性を示す化石群集を捉えることが重要とされる。足跡化石と共産する直立樹幹・樹根化石 (化石林) は、直接的な証拠といえる。

古琵琶湖層群ではこれまでに 3 地点、湖南省朝国—吉永の野洲川河床、東近江市永源寺町外の愛知川河床、高島市長尾の安曇川河床で、化石林が確認されている (図 1). それらの年代は約 2.6 Ma, 1.8 Ma—1.9 Ma, 0.7 Ma—0.8 Ma であり、それぞれ足跡化石が共産し、長鼻類 (ゾウ), 偶蹄類 (シカ), 奇蹄類 (サイ), ワニ類の足跡と推定されている。次にこれらの動物化石群の生息した当時の森林植生を述べる。

(1) ミエゾウの生息環境

ミエゾウ *Stegodon miensis* が生息した約 5 Ma から 2.5 Ma の時期の中で、約 4.3 Ma は三重県の伊賀盆地東部に古琵琶湖 (大山田湖) が誕生した時代にあたり、古琵琶湖層群上野層が大山田地域で堆積を始める (里口 2015). 伊賀市大山田の服部川河床の上野層からはミエゾウの臼歯や足跡化石が産出している (服部川足跡化石調査団 1996; 高橋 2013). 上野層産大型植物化石はスイショウ *Glyptostrobus pensilis*, セコイア属 *Sequoia*, メタセコイア *Metasequoia glyptostroboides*, フウ属 *Liquidambar*, クスノキ属 *Cinnamomum*, チャンチンモドキ *Choerospondias axillaris*, 常緑カシ *Cyclobalanopsis* など暖温帯に分布する種を含んでいることが報告され

ている (奥山 1981—1990; 此松 2004). 1993 年の足跡化石調査では約 3.6 Ma 層準からミエゾウの他に偶蹄類 (シカ), ワニ類の足跡化石が確認され、イヌカラムツ *Pseudolarix kaempferi*, コウヨウザン属 *Cunninghamia*, シキシマネズコ *Thuja protojaponica*, ミキカリヤクルミ *Carya striata*, フウ属 *Liquidambar*, ツゲ *Buxus microphylla* var. *japonica*, ブナ属 *Fagus*, ヒシ属 *Trapa* などの植物化石が確認されている (塚腰 1996). その上位の伊賀層との境界付近から鳥類の足跡化石が発見されており (岡村 2016), 化石包含層からはトウヒ属 *Picea*, スギ型 *Taxodioxylon* (Taxodioid type) とヒノキ型 (Cupressoid type), ハンノキ属 *Alnus* の材化石群集が産出している (南澤ほか 2010).

古琵琶湖層群上野層産大型植物化石の組成から、ミエゾウの生息森林として、大山田湖の周囲には常緑広葉樹を含む落葉針葉・広葉樹林が広がっていたと考えられる。

また、湖周辺の陸域環境と推定される伊賀市中部地域の木津川河床で、約 4.1 Ma 層準から奇蹄類 (サイ) の足跡化石が発見された (岡村 2016; 岡村ほか 2016). 同時に直立樹幹・樹根化石が確認され、現在古植生の復元を目指して調査を行っている。

(2) アケボノゾウの生息環境

アケボノゾウ *Stegodon aurorae* は約 2.5 Ma から 1 Ma に生息していたとされる (高橋 2013). 滋賀県湖南市朝国—吉永の野洲川河床の甲賀層 (約 2.6 Ma) や東近江市山上の愛知川河床の蒲生層 (約 1.8 Ma) では、長鼻類 (ゾウ), 偶蹄類 (シカ) の足跡化石が産出している。その化石包含層には樹幹長径が 1 m 以上の直立樹幹・樹根化石が複数発見されている。その森林構成から、落葉広葉樹トネリコ属 *Fraxinus*, キイチゴ属 *Rubus*, ハンノキ属, ヤナギ属 *Salix*, ミズキ属 *Cornus* や、林床としてスゲ属 *Carex*, カヤツリグサ属 *Cyperus* など湿生草本類を伴う落葉針葉樹メタセコイアとスイショウが優占する湿地林が存在していたことが明らかになっている (Yamakawa et al. 2008, 2017). それぞれ低地湿地林の構成種はほぼ一致するが、後背地や丘陵地に生育する森林に相違が見られた (表 1). このことは、鮮新世から第四紀に向けた寒冷化現象による影響が山地や丘陵地から見られると考えられる。

また、アケボノゾウの全骨格化石やシカの骨格化石が産出した多賀町四手地域の古琵琶湖層群蒲生層の四手火山灰層層準付近 (約 1.8 Ma) では、ワニ類の歯, 魚類の咽頭歯などが発見されている (多賀町教育委員会 1993; 多賀町古代ゾウ発掘プロジェクト事務局・高橋編 2017). その化石包含層から産出した大型植物化石および材化石の組成解析から、ヒシ, オニバス

表 1. 古琵琶湖層群産野洲川化石林と愛知川化石林の組成比較表. 山川 (2008) に基づき一部修正.

Fossil forests inhabited by <i>Stegodon aurorae</i>				
A (Yasugawa)			B (Echigawa)	
Location				
Age	2.6 Ma		1.8-1.9 Ma	
Sediment	organic silt sand and gravel	organic silt	organic mud and silt	alternating sand and silt
Forest type	Wetland forest		Wetland forest	
Composition	<i>Glyptostrobus</i> <i>Salix, Cornus</i>	<i>Metasequoia</i> <i>Fraxinus</i>	<i>Glyptostrobus</i> <i>Alnus</i>	<i>Metasequoia</i> <i>Fraxinus, Sorbus</i>
Forest floor				
(Aquatic conditions)	<i>Carex cf. capricornis, Scirpus iuncoides, Persicaria</i>		<i>Cyperus, Carex, Scirpus, Persicaria, Ranunculus</i>	
(Dry conditions)	<i>Dichocarpum, Lycopus</i>		<i>Potentilla, Physalis</i>	
Hinterland	<i>Chamaecyparis pisifera, Picea, Tsuga, Alnus, Euptelea polyandra, Rubus, Acer diabolicum, A. miyabei</i>		<i>Chamaecyparis pisifera, Picea, Tsuga, Abies, Pterocarya rhoifolia, Betula maximowicziana, Magnolia, Acer, Cornus</i>	
Extinct species	<i>Sequoia, Glyptostrobus, Metasequoia, Cunninghamia, Pseudolarix, Cathaya, Juglans megacinererera, Fagus microcarpa</i>		<i>Metasequoia, Glyptosrtobus, Hemiptelea mikii</i>	
Temperate				
Cool element			<i>Menyanthes trifoliata</i>	
Warm element	<i>Ficus cf. nipponica, Eurya japonica, Ilex</i>			
Environment				
Habitat	Wetland on floodplain		wetlands on back marshes	
Climate	Warm temerate		Temperate to cool temperate	

Euryale ferox, マツモ *Ceratophyllum demersum* の浮かぶ湖沼が存在し、落葉針葉樹メタセコイア、スイショウを主体とした湿地林に落葉広葉樹ブナ属、トチノキ *Aesculus turbinata*, エゴノキ *Styrax japonica* が周囲に生育していた。その後背地には、落葉広葉樹マンサク科属種不明、ケヤキ属 *Zelkova*, オオバタグルミ *Juglans cinerera* var. *megacinerera*, *Cyclocarya paliurus*, シナサワグルミ *Pterocarya stenoptera*, ヤナギ属、ハンカチノキ *Davidia involucre*, バラ科属種不明と常緑針葉樹トウヒ属 *Picea*, ツガ属 *Tsuga*, コウヨウザン属 *Cunninghamia*, トガサワラ属 *Pseudotsuga* などの混合林が分布していた (山川ほか 2017)。

以上のことから、アケボノゾウが生息した森林は落葉広葉樹が優占する落葉針葉樹と常緑針葉樹との混合林だったと考えられる。多賀町四手は愛知川化石林とほぼ同時期の森林となり、両者は丘陵を隔てた位置にあることから、この地域一帯に分布していた可能性がある。

(3) ムカシマンモスゾウの生息環境

ムカシマンモスゾウ *Mammuthus protomammonteus* は約1.1Ma から0.7Ma に生息し、古琵琶湖層群では堅田層から産出している (高橋 1998, 2013)。2004年に

高島市長尾の安曇川河床の堅田層相当層約0.7Ma–0.8Ma の層準から、長鼻類 (ゾウ)、偶蹄類 (シカ) の足跡化石が発見された (高島市教育委員会 2006)。足跡化石とともに、直立樹幹・樹根化石が確認され、共産する大型植物化石、花粉化石が報告されている (山川・齊藤 2006)。

それらの構成種によると、ムカシマンモスゾウが生息していた0.8Ma 前後、常緑広葉樹イスノキ属 *Distylium* と落葉広葉樹トネリコ属からなる林が存在し、コナラ *Quercus serrata*, マンサク科属種不明、ハシバミ *Corylus heterophylla*, クマシデ属 *Carpinus* などが伴う常緑広葉樹と落葉広葉樹からなる林が形成されていた。また、落葉広葉樹ハンノキ *Alnus japonica*, エゴノキやコウホネ属 *Nuphar*, ミクリ属 *Sparganium*, オモダカ属 *Sagittaria*, スゲ属, イヌタデ属 *Persicaria* などが生育する水域や湿地が存在した。イスノキ属やジャケツイバラ *Caesalpinia sepiaria* など暖温帯に生育する植物を含む落葉広葉樹林にツガ属, トウヒ属, ヒノキ属の常緑針葉樹が混合する森林が分布していたとされる (山川・齊藤 2006; Yamakawa et al. 2015)。

5. 長鼻類と植物相の関係

古琵琶湖層群では長鼻類ミエゾウ *Stegodon miensis*

とアケボノゾウ *S. aurorae* が生息した森林として、第三紀型植物群要素とされるセコイア *Sequoia*, メタセコイア *Metasequoia*, スイショウ *Glyptostrobus*, フウ *Liquidambar* のほか、イチョウ *Ginkgo*, イヌカラマツ *Pseudolarix kaempferi*, ハンカチノキ *Davidia involucrata*, チャンチンモドキ *Choerospondias axillaris*, スマミズキ *Nyssa* など大陸との共通種を含む植物相だったことがわかる。ミエゾウの植物相は暖温帯のクスノキ科や常緑カシなど常緑広葉樹を含む森林構成で、大陸との共通種メタセコイア, イヌカラマツ, チャンチンモドキ, スマミズキを伴う。アケボノゾウの場合は落葉広葉樹が優占する森林構成で、約2.6Ma以降に見られる大陸との共通種イチョウ, ハンカチノキ *Davidia involucrata* や、オオバラモミ *Picea koribai*, オオバタグルミ *Juglans cinerea* var. *megacineria*, ヒメトガサワラ *Pseudotsuga subrotunda* といった化石種が伴う植物相である。また、約1.8Ma以降は寒冷な気候に生育するチョウセンゴヨウ *Pinus koraiensis*, ヒメバラモミ *Picea maximowiczii*, ミツガシワ *Menyanthes trifoliata* なども含まれる森林も存在した。アケボノゾウの生息場所は平野などの低地と考えられ、寒冷現象に伴う後背地の植生変化は生息する森林まで影響しなかったと考えられる。

一方、長鼻類 *Mammuthus* は第三紀型植物群要素や大陸との共通種、化石種がほとんど消滅した後の植物相となる。ムカシマンモスゾウ *M. protomammonteus* の古生態は、産出数が極めて稀であることからほとんど明らかになっていない。古琵琶湖層群で0.8Ma層準の長鼻類足跡化石に伴う大型植物化石群集に基づくと、暖温帯に生育する常緑広葉樹イスノキ属 *Distylium* やジャケツイバラ *Caesalpinia sepiaria* などの植物を含む植物相であり、コナラ *Quercus serrata*, マンサク科属種不明, ハシバミ *Corylus heterophylla*, クマシデ属 *Carpinus* などが伴う常緑広葉樹と落葉広葉樹の林に常緑針葉樹ツガ属, トウヒ属が混在していた森林だったと考えられる。

6. まとめ

鮮新－更新統古琵琶湖層群産大型植物化石に基づいて、大型哺乳動物（長鼻類）が生息した森林植生を検討した。約4.4 Maから2.5 Maに生息したミエゾウ *Stegodon miensis* は、暖温帯要素のクスノキ科属種不明や常緑カシ *Cyclobalanopsis* などを含む落葉針葉樹と落葉広葉樹の混合林に生存していた。約2.5Maから1 Maに生存したアケボノゾウ *Stegodon aurorae* は、落葉広葉樹を主体とした落葉針葉樹と常緑針葉樹との混合林で、特に落葉針葉樹メタセコイア *Metasequoia glyptostroboides* やスイショウ *Glyptostrobus pensilis* と落

葉広葉樹ハンノキ属 *Alnus*, ヤナギ属 *Salix*, トネリコ属 *Fraxinus* が優占し、スゲ属 *Carex*, カヤツリグサ属 *Cyperus* などの草本類が伴う湿地林環境に生息していた。アケボノゾウが生息していた時代において、後背地では寒冷型の植物を含む冷温帯の落葉広葉樹と常緑針葉樹の森林へ植生が変化したが、アケボノゾウは生息していた。一方、約1.1Maから0.7Maに生息したムカシマンモスゾウ *Mammuthus protomammonteus* は、暖温帯に生育する常緑広葉樹イスノキ属 *Distylium* やジャケツイバラ *Caesalpinia sepiaria* を含む、落葉広葉樹コナラ *Quercus serrata*, マンサク科属種不明, ハシバミ *Corylus heterophylla*, クマシデ属 *Carpinus* と常緑針葉樹ツガ属 *Tsuga*, トウヒ属 *Picea* が混合した森林で生存していたと考えられる。

謝辞

今回の講演および記録を執筆するにあたり、滋賀県立琵琶湖博物館の高橋啓一副館長には機会をいただき、また化石研究会誌編集委員の小寺春人氏および査読者の方には投稿の遅れにも関わらず、有益なご意見等をいただきました。ここに感謝いたします。

引用文献

- 服部川足跡化石調査団編 (1996) 古琵琶湖層群上野累層の足跡化石。三重県立博物館, 121p
- Hayashida A, Yokoyama T (1983) Paleomagnetic chronology of the Plio-Pleistocene Kobiwako Group to the southeast of Lake Biwa, central Japan. *Journal of Geology Society Japan* 89, 209-221
- 市原実 (1960) 大阪, 明石地域の第四紀層に関する諸問題。地球科学 49, 15-25
- 兼子尚知・岡崎浩子 (2006) シンポジウム「ナウマンゾウのいた頃」－千葉県袖ヶ浦市吉野田の化石発掘調査報告－。第四紀研究 45, 151-156
- Kawabe T (1989) Stratigraphy of the lower part of the Kobiwako Group around the Ueno basin, Kinki district, Japan. *Journal of Geosciences Osaka City University* 32, 1-90
- 河村善也 (1998) 第四紀における日本列島への哺乳類の移動。第四紀研究 37, 251-257
- 河村善也 (2009) 哺乳類とその化石。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」。CD-ROM。日本第四紀学会
- 河村善也 (2010) 更新世の日本への哺乳類の渡来－陸橋・氷橋の形成と渡来, そして絶滅－。旧石器考古学 75, 3-9
- 河村善也 (2014) 日本とその周辺の東アジアにおける第四紀哺乳動物相の研究－これまでの研究を振り

- 返って－. 第四紀研究 53, 119-142
- 北村晃寿・木元克典 (2004) 3.9 Ma から1.0 Ma の日本海の南方海峡の変遷史. 第四紀研究 43, 417-434
- 木田千代美 (1994) 多賀町四手の古琵琶湖層群より産出した大型植物化石. 多賀町文化財・自然誌調査報告書 4. 多賀町教育委員会, 51-56
- 木田千代美 (1997) 古琵琶湖層群の植物相の変遷. 化石研究会会誌 30, 7-12
- 此松昌彦 (2004) 第4節古琵琶湖層群の古生物. 上野市史編纂室, 上野市史第1章地形地質, 上野, 131-136
- Lisiecki L E, Raymo M E (2005) A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. *Paleoceanography* 20, PA1003, doi:10.1029/2004PA001071
- 町田洋・大場忠道・小野昭・山崎晴雄・河村善也・百原新 (2003) 第四紀学. 朝倉書店, 312p
- 南澤 修・松本みどり・山川千代美・布谷知夫・寺田和雄 (2010) 鮮新統古琵琶湖層群上野層および伊賀層の材化石群集. 化石研究会会誌 43, 40-52
- 百原 新 (1993) 近畿地方とその周辺的大型植物化石相. 市原 実 (編著) 大阪層群, 創元社, 256-270
- 百原 新 (1996) 第四紀の日本列島地形形成と植物の絶滅・進化. 関東平野, 4, 29-36
- 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
- 百原 新 (2010) 中部ヨーロッパと中部日本の新第三紀から第四紀への植物化石群変化の時期: 気候変動との関連で. 第四紀研究 49, 299-308
- Momohara A (2016) Stages of major floral change in Japan based on macrofossil evidence and their connection to climate and geomorphological changes since the Pliocene. *Quaternary International* 397, 93-105
- Muller et al. (1997) Mutant studies of phosphofructo-2-kinases do not reveal an essential role of fructose-2, 6-bisphosphate in the regulation of carbon fluxes in yeast cells. *Microbiology* 143 (Pt 9) 3055-3061
- Nakagawa R, Kawamura Y, Taruno H (2013) Pliocene land mammals of Japan. Wang X, Flynn L J, Fortelius M (eds.), *Fossil mammals of Asia, Neogene biostratigraphy and chronology* Columbia University Press, 334-350
- 日本第四紀学会編 (2013) 「デジタルブック最新第四紀学」. CD-ROM. 日本第四紀学会
- 岡村喜明 (2016) 日本の新生代からの足印化石. 高橋啓一編, 琵琶湖博物館研究調査報告書, 29, 滋賀県立琵琶湖博物館, 111p
- 岡村喜明・高橋啓一・里口保文 (2016) 古琵琶湖層群から新たに発見されたサイ類足印化石. 化石研究会会誌 48, 26-38
- 奥山茂美 (1981a) 伊賀盆地化石集 1. 自費出版, 52p
- 奥山茂美 (1981b) 伊賀盆地化石集 2. 自費出版, 52p
- 奥山茂美 (1983) 伊賀盆地化石集 3. 自費出版, 52p
- 奥山茂美 (1984) 伊賀盆地化石集 4. 自費出版, 52p
- 奥山茂美 (1985) 伊賀盆地化石集 5. 自費出版, 52p
- 奥山茂美 (1986) 伊賀盆地化石集 6. 自費出版, 52p
- 奥山茂美 (1987) 伊賀盆地化石集 7. 自費出版, 52p
- 奥山茂美 (1988) 伊賀盆地化石集 8. 自費出版, 52p
- 奥山茂美 (1989) 伊賀盆地化石集 9. 自費出版, 52p
- 奥山茂美 (1990) 伊賀盆地化石集 10. 自費出版, 52p
- 里口保文 (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, 朝倉書店, 253-258
- Satoguchi Y, Nagahashi Y (2012) Tephrostratigraphy of the Pliocene to Middle Pleistocene Series in Honshu and Kyushu Islands, Japan. *Island Arc* 21, 149-169
- 里口保文 (2015) 古琵琶湖層群下部層序の再検討. 地質学雑誌 121, 125-139
- 鈴木敬司・那須孝悌 (1988) 日本の鮮新－更新統の植物化石による分帯. 地質学論集 30, 169-180
- 高島市教育委員会編 (2006) あど川ゾウの足あと化石調査資料集, 高島市教育委員会, 30p
- 高橋啓一 (1998) 脊椎動物化石とその起源, 古琵琶湖とその生物. アーバンクボタ 37, 46-57
- 高橋啓一 (2001) 大分県安心院町森から産出したゾウ化石およびその他の哺乳類化石. 高橋・北林編, 安心院動物群, 琵琶湖博物館研究調査報告 18, 126-163
- 高橋啓一 (2004) 日本列島の鮮新－更新世における陸上哺乳動物相の形成史 (抄録). 形態科学 8, 41-43
- 高橋啓一 (2007) 日本列島の鮮新－更新世における陸上哺乳動物相の形成過程. 旧石器研究 3, 5-14
- 高橋啓一 (2013) 日本のゾウ化石, その起源と移り変わり. 豊橋市自然史博物館研報 23, 65-73
- 高橋啓一・北林栄一編 (2001) 安心院動物群. 琵琶湖博物館研究調査報告 18. 滋賀県立琵琶湖博物館, 193p
- Takahashi K, Soeda Y, Izuho M, Aoki K, Yamada G, Akamatsu M (2004) A new specimen of *Palaeoloxodon naumanni* from Hokkaido and its significance. *the Quaternary Research* 43, 169-180
- 棚井敏雄 (1991) 北半球における第三紀の気候変動と植生の変化. 地学雑誌 100, 951-966
- 樽野博幸 (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 49, 309-314
- 多賀町教育委員会編 (1993) 多賀町文化財・自然誌調査報告書 4, びわ湖東部中核工業団地造成工事に伴う地学調査報告・平成 5 年度多賀町新指定有形文化財の調査報告. 多賀町教育委員会, 56p
- 多賀町古代ゾウ発掘プロジェクト事務局・高橋啓一編 (2017) 180-190 万年前の古環境を語る: 多賀町古代ゾウ発掘プロジェクト報告書. 多賀町教育委員会, 105p
- 塚腰実 (1996) 植物化石. 古琵琶湖層群上野累層の足跡化石, 服部川足跡化石調査団編, 三重県立博物館, 53-54
- 山川千代美 (2001) 大分県宇佐郡安心院町の津房川層産動物化石に伴う大型植物化石. 琵琶湖博物館研究調査報告 18, 188-193
- 山川千代美・齊藤剛 (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. 千葉大学大学院博士論文, 74p
- Yamakawa C, Momohara A, Nunotani T, Matsumoto M, Watano Y (2008) Paleovegetation Reconstruction of fossil forest dominated by *Metasequoia* and *Glyptostrobus* from the late Pliocene Kobiwako Group, central Japan. Paleontological Research 12, 167-180
- Yamakawa C, Saito T, Terada K, Satoguchi F, Ishida S (2015) Paleovegetational reconstruction of the middle Pleistocene fossil forests from the Kobiwako Group, central Japan. XIX INQUA Congress, Nagoya, T2269pdf
- Yamakawa C, Momohara A, Saito A, Nunotani T (2017) Composition and paleoenvironment of wetland forests dominated by *Glyptostrobus* and *Metasequoia* in the latest Pliocene (2.6Ma) in central Japan. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 467, 191-210
- 山川千代美 (2006) 植物化石. あど川ゾウの足あとと化石調査資料集, 高島市教育委員会, 23-24
- 山川千代美・神谷悦子・布谷知夫 (2017) 滋賀県犬上郡多賀町四手産の大型植物化石に基づく古植生. 多賀町教育委員会, 27-37
- Yoshikawa S (1984) Volcanic ash layers in the Osaka and Kobiwako Group, Kinki District, Japan. Journal of Geosciences Osaka City University 27, 1-40