

長野県東部に分布する鮮新－更新統小諸層群の陸上古生態系

佐藤 健太*・松川 正樹**

環境科学分野

(2014年5月23日受理)

SATO, K. and MATSUKAWA, M.: Plio-Pleistocene terrestrial ecosystem of the Komoro Group in Nagano Prefecture, Japan. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Div. Nat. Sci., **66**: 95-131. (2014) ISSN 1880-4330

Abstract

The Plio-Pleistocene Komoro Group in Nagano Prefecture, Japan, is suitable for reconstructing a terrestrial ecosystem, because the group yields useful fossils consisting of proboscoid body fossils and tracks, even-toed ungulate teeth and tracks, fresh-water bivalves, leaves, pollen and diatoms. Therefore, the stratigraphy of the group was first re-studied, and the paleoenvironments and paleoclimates of the group were then reconstructed using lithological and biological analyses. Based on food-web and energy-flow models, the terrestrial ecosystem of the group was reconstructed using zoo- and phyto-fossils. As a result, the Komoro Group can be divided into the Ookui, Nunobiki, Lower Uryuzaka and Upper Uryuzaka formations in ascending order. The group was interpreted to be deposited under environments of braided river and back swamp, although the group has been considered to be deposited in a lake system. On the basis of palyno-analysis, the vegetation of the Komoro Group is shown to be mixed forest consisting of conifer forest and cool temperate deciduous broad-leaved forest, and it suggests a climatic zone of cool temperate to subarctic. Compared with the climate of the Plio-Pleistocene terrestrial ecosystem along the western flank of the Kwanto Plain, the Komoro Group was cooler than Kwanto. This suggests an elevation difference. The terrestrial ecosystem of the Komoro Group consists mainly of primary producers represented by mixed forest consisting of conifer forest and cool temperate deciduous broad-leaved forest, with consumers predominately even-toed ungulates and proboscideans. Compared with the Plio-Pleistocene terrestrial ecosystem along the western flank of the Kwanto Plain, superior primary producer and high density of population of even-toed ungulates are evident. In the Plio-Pleistocene terrestrial ecosystem along the western flank of the Kwanto Plain, grassland is predominant and the density of population of proboscideans is high. This suggests that even-toed ungulates and proboscideans probably preferred environments of forest and grassland, respectively.

Keywords: terrestrial ecosystem, food-web and energy-flow models, climate, vegetation, ecological pyramid, permitted population density of fossil species

Department of Environmental Sciences, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

* 東京学芸大学大学院・教育学研究科・理科教育専攻・地学環境コース
** 東京学芸大学 (184-8501 小金井市貫井北町 4-1-1)

要旨: 長野県東部に分布する鮮新-更新統小諸層群は複数個体の *Stegodon aurorae* や植物、珪藻、花粉の化石が産出するため古生態系の復元に適する。そこで、小諸層群の層序区分を再検討し、堆積相と生物相の解析により、堆積環境や古気候を復元した。そして、古生態系を定量的に復元する手法を用い、食物網とエネルギー流モデルに基づく小諸層群の生態系を定量的に復元した。その結果、小諸層群は下位より、大杭層、布引層、瓜生坂層下部層、瓜生坂層上部層に岩相層序区分される。小諸層群の堆積環境は、飯島ほか (1956) をはじめ、湖沼性堆積物とされてきたが、本研究では河川流路、後背湿地が存在したことを示した。花粉化石群集に基づく、古植生は針葉樹と冷温帯落葉広葉樹の混合林であり、古気候は冷温帯~亜寒帯であったと解釈される。古生態系は、小型脊椎動物が優占したことが示された。復元された古気候・古生態系を関東平野西縁部の鮮新-更新世のそれと比較すると、関東平野西縁部よりも寒冷的な気候が示された。また、古生態系を比較すると、大型哺乳類は寒冷で山地帯の環境よりも、温暖で低地の平野環境を好んだ可能性が高いと解釈される。

1. はじめに

近年、自然環境保護や環境教育の観点から生態系が注目されている。環境や生態系は、過去から現在そして未来へと連続するので、それらの時間的変遷を考察することが必要である。生態系とは、生物群集と非生物的環境をエネルギーと物質の流れにより関連づけた一つのシステムである (Begon et al., 1999)。物質は生態系内を半永久的に循環する。しかし、熱として放出されたエネルギーは、再び生物に利用されることはない。従って、生態系を把握するためには、エネルギー流という観点をを用いることが重要である。

この概念に基づいて、Matsukawa et al. (2006) は、食物網とエネルギー流モデルに基づく古生態系の復元モデルを考案した。そして、この復元モデルを東アジアの白亜紀前期の河川-湖沼生態系に適用した。さらに、柘原ほか (2004) は Matsukawa et al. (2006) が考案したモデルを現生セレンゲティエ生態系に適用し、その信頼度や方法論について議論した。Matsukawa et al. (2006) の復元モデルを用いると、地理的、時間的に異なる生態系の比較が可能となる。

これまで、この復元モデルを用いて、松川ほか (2008) は関東平野西縁部に分布する鮮新-更新統から産出する化石に基づき、陸上生態系を復元した。また、松川・加藤 (2011) は、岩手県南部の北上低地帯の鮮新-更新統から産出する化石に基づき、陸上生態系を復元した。そして、関東平野西縁部の陸上生態系と比較し、陸上生態系の地理的相違を議論した。

長野県東部には、陸成の鮮新-更新統の小諸層群が分布する。飯島ほか (1956) が小諸層群と命名し、湖成環境と解釈して以来、層序や形成史に関する多くの研究が行われてきた (例えば、飯島, 1962; 北御牧村誌刊行会, 1999; 寺尾, 2001; 2003, 小坂・牧野, 1995)。飯島 (1962) は、小諸層群を下位より、主に

礫岩と凝灰角礫岩の互層からなり凝灰質砂岩と泥岩の薄層を挟む梨平層、溶結凝灰岩層を下限とし、凝灰岩・凝灰角礫岩の薄層を挟む礫岩・砂岩・泥岩の互層からなる大杭層、軽石・火山性砂岩・凝灰岩の薄層を挟む凝灰角礫岩からなる布引層、珪藻土・泥岩・砂岩・火山礫岩からなる瓜生坂層に区分した。寺尾 (2001, 2003) は、飯島 (1962) が小諸層群大杭層基底と定めた溶結凝灰岩層の層序学的位置が、下位層との関係など不明確な点が多いと指摘し、この溶結凝灰岩層を小諸層群から除外した。また、この溶結凝灰岩層の K-Ar 年代は $4.25 \pm 0.20\text{Ma}$ (Kaneoka et al., 1979) と測定され、大杭層上部の FT 年代の $1.3 \pm 0.20\text{Ma}$ (北御牧村アケボノゾウ発掘調査団, 2002) との時代差が大きい。従って、溶結凝灰岩層と小諸層群の層位と層序を再検討する必要がある。

小諸層群から長鼻類と偶蹄類の体化石や足跡化石、植物化石などの大型化石が産出する (例えば、東部町誌編纂委員会, 1989; 小泉・大島, 2003; 長森・畠山, 2007; 杉田, 2007)。日本では、同時代の長鼻類化石は他の地域でも産出する。しかし、比較的狭い範囲から複数個体が産出する例は、本地域だけである (北御牧村アケボノゾウ発掘調査団, 2002)。そのため、小諸層群は化石に基づき、陸上生態系を食物網とエネルギー流モデルにより復元するために適している。

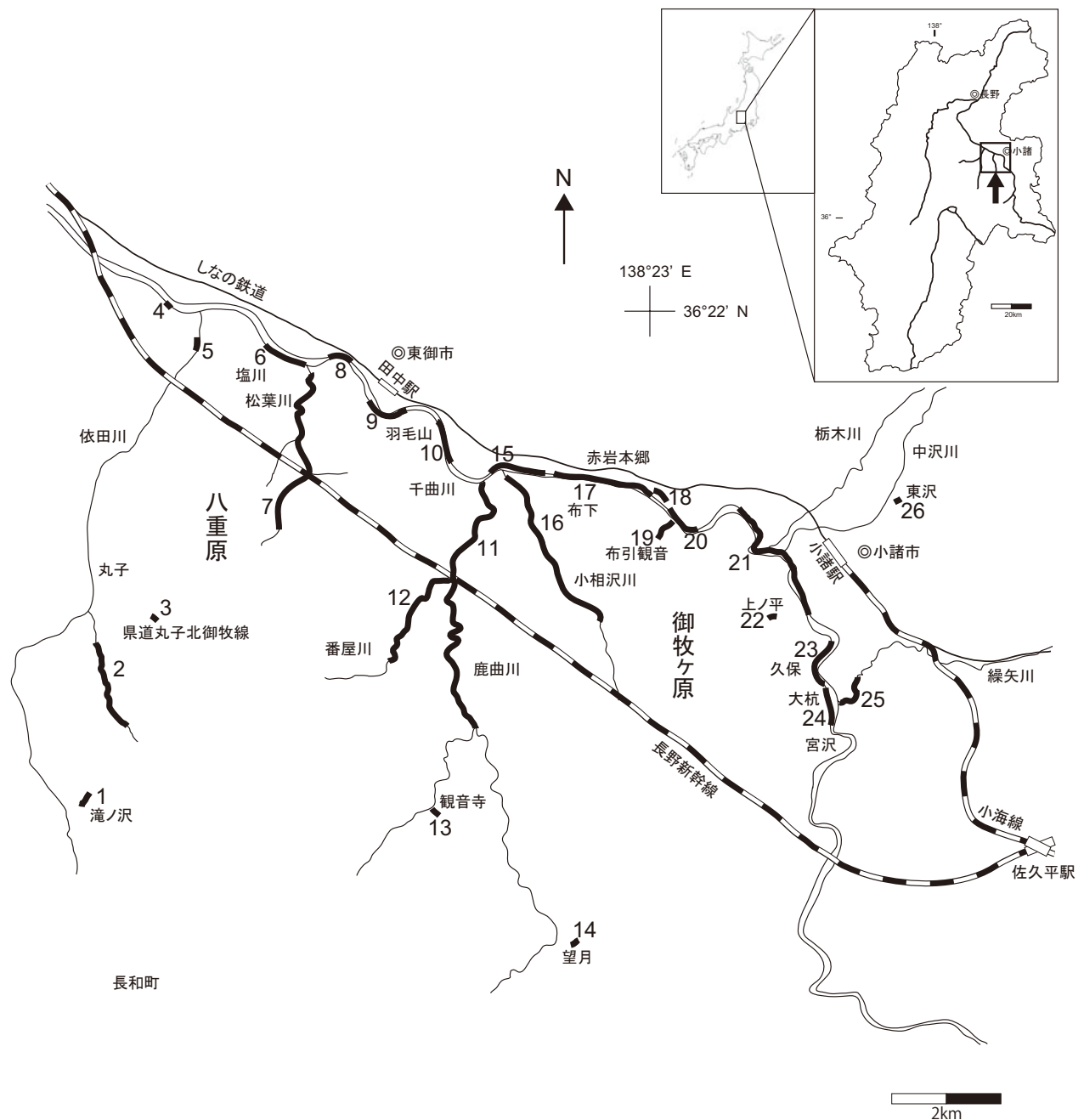
また、珪藻や花粉などの微化石も小諸層群から産する (例えば、高塚, 2004; Tanaka, 2000; 窪田, 2009)。微化石は個体数が多いので、多くの層準に含まれる可能性が高く、層序的に連続的な生物群の変遷を理解するのに適する。珪藻化石は過去の水域環境を示す生物指標である。また、花粉化石は古植生や古気候を理解するのに適する。しかし、小諸層群の珪藻化石と花粉化石に関する先行研究では、検出試料数が少なく、小諸層群の層序上の分布の検討が十分ではない。また、

これらの微化石から推定できる古環境や古気候と古生態系を合わせて議論した研究例はない。生態系を復元するためには、大型化石だけでなく、堆積相や微化石に基づく古環境や古植生、古気候を加味して議論する必要がある。

そこで、本研究では、小諸層群の層序区分を再検討し、堆積相と生物相の解析により、堆積環境や古気候を復元する。そして、Matsukawa et al. (2006) の手法を用い、食物網とエネルギー流モデルに基づき小諸層群の生態系を定量的に復元する。また、復元された古気候・古生態系を同時代の他地域の古気候・古生態系と比較し、議論する。

2. 研究地域と地質概要

研究地域は長野県東部の佐久市から小諸市を経て上田市に流れる千曲川とその支流である(第1図)。研究地域の中央に御牧ヶ原台地と八重原台地がある。山岸・小坂(1991)は北部フォッサマグナ中央隆起帯東部と関東山地に挟まれた本地域を、鮮新世前期に形成された陥没盆地であるとし、小諸陥没盆地と称した。この盆地の内部に小諸層群(飯島ほか, 1956)が分布する。そして、御牧ヶ原台地北部と八重原台地北部に、小火山体を形成する北御牧火山岩類(八ヶ岳団体研究グループ, 1988)が分布する。



第1図. 研究地域. 番号はルート番号を示す.

2. 1. 小諸層群

小諸層群は飯島ほか (1956) により命名され、下位より、下部大杭層、上部大杭層、布引層、瓜生坂層に区分された (第1表)。その後、飯島 (1962) により下位より、梨平層、大杭層、布引層、瓜生坂層に区分された。田口ほか (1976) は、下位より、梨平層、大杭層、布引層、瓜生坂層 (観音寺泥流) に区分した。また、北御牧村誌刊行会 (1999) は、従来の層序を踏襲するが大杭層上部を布下層とし、下位の大杭層を不整合で覆うとし、瓜生坂層を下部と上部に区分した。さらに、寺尾 (2001, 2003) は、飯島 (1962) の大杭層基底の溶結凝灰岩層の層序学上の位置は不明な点が多いとして、溶結凝灰岩層に重なる大杭層より上位に重なる地層を小諸層群とした。

小諸層群は、丸子～長和地域において、基盤の中新統内村層にアバット不整合で接する (山岸, 1988)。また、南東部の小諸市大杭ではNE-SWの背斜構造が見られる。

小諸層群の地質年代は、Kaneoka et al. (1979) が大杭層の基底とした溶結凝灰岩層 (飯島ほか, 1956) のK-Ar年代を測定し、 $4.25 \pm 0.20 \text{ Ma}$ とした。さらに、寺尾 (2001) は大杭層下部の軽石凝灰岩層のK-Ar年代を測定し、 $2.34 \pm 0.13 \text{ Ma}$ とした。また、北御牧村アケボノゾウ発掘調査団 (2002) は、大杭層上部の軽石凝灰岩層 (通称：羽毛山軽石層) のFT年代を測定し、 $1.3 \pm 0.3 \text{ Ma}$ とした。そして、瓜生坂層下部層の泥流堆積物中に含まれる凝灰岩層のFT年代は $0.92 \pm 0.11 \text{ Ma}$ が示されている (北御牧村誌刊行会, 1999)。

2. 2. 層序区分の記載

本地域に分布する小諸層群は岩相の特徴に基づき、下位より、大杭層、布引層、瓜生坂層下部層、瓜生坂層上部層に岩相層序区分される (第1, 2図)。しかし、従来、小諸層群とされてきた梨平層 (飯島, 1962) と大杭層基底をなす溶結凝灰岩層 (飯島ほか, 1956) は上記の層序との層序関係が不明なこと、先行研究による数値年代に時間差があることから小諸層群より除外した。各層の分布を地質図に示す (第3図)。第1図のルート番号は第2図の柱状図番号に対応する。以下にその岩相層序を記載する。

2. 2. 1. 大杭層 (Okui Formation)

[定義] 礫岩、砂岩、泥岩と火山砕屑物からなる。

[命名] 飯島 (1962)

[同義の地層] 本層は飯島ほか (1956) の上部大杭層、飯島 (1962) と飯島ほか (1963) の大杭層、田口ほか (1976) の大杭層、北御牧村誌刊行会 (1999) の大杭層と布下層、寺尾 (2001, 2003) の大杭層に相当する。

[模式地] 小諸市大杭の千曲川左岸

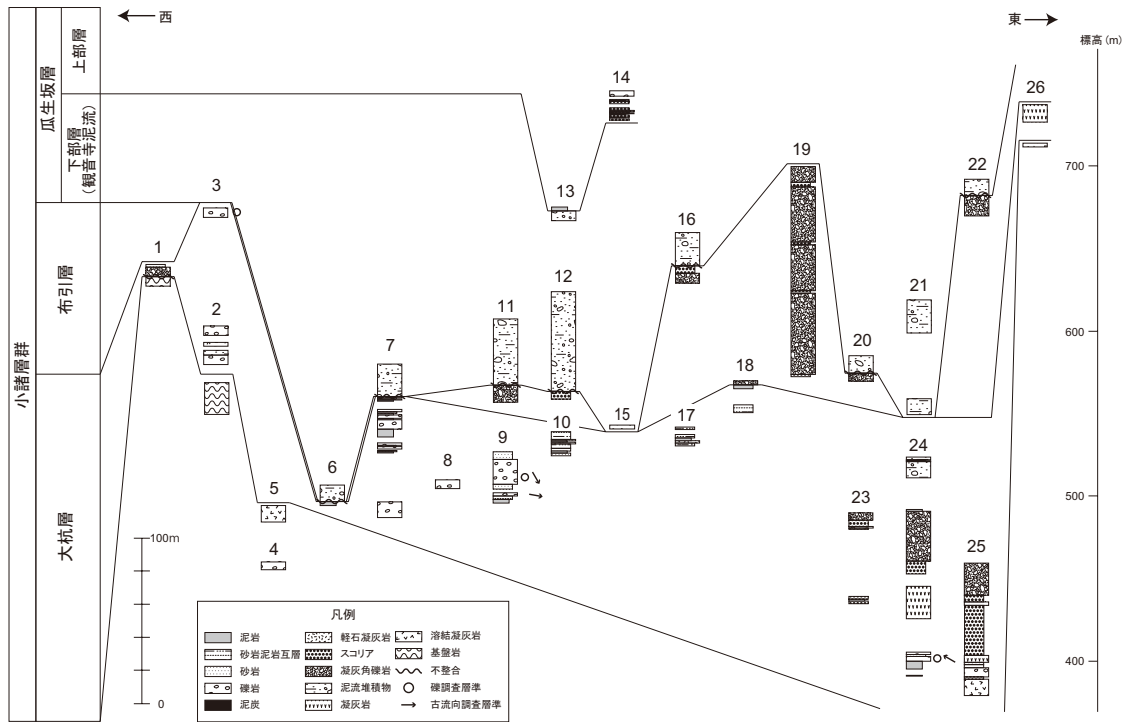
[分布] 小諸市宮沢から久保にかけての千曲川沿い、東御市布下から上田市塩川の千曲川沿い、上田市の松葉川沿い、県道丸子北御牧線、長和町滝ノ沢、小諸市東沢に分布する。滝ノ沢、東沢の分布は狭い。

[層厚] 模式地において150 m以上。

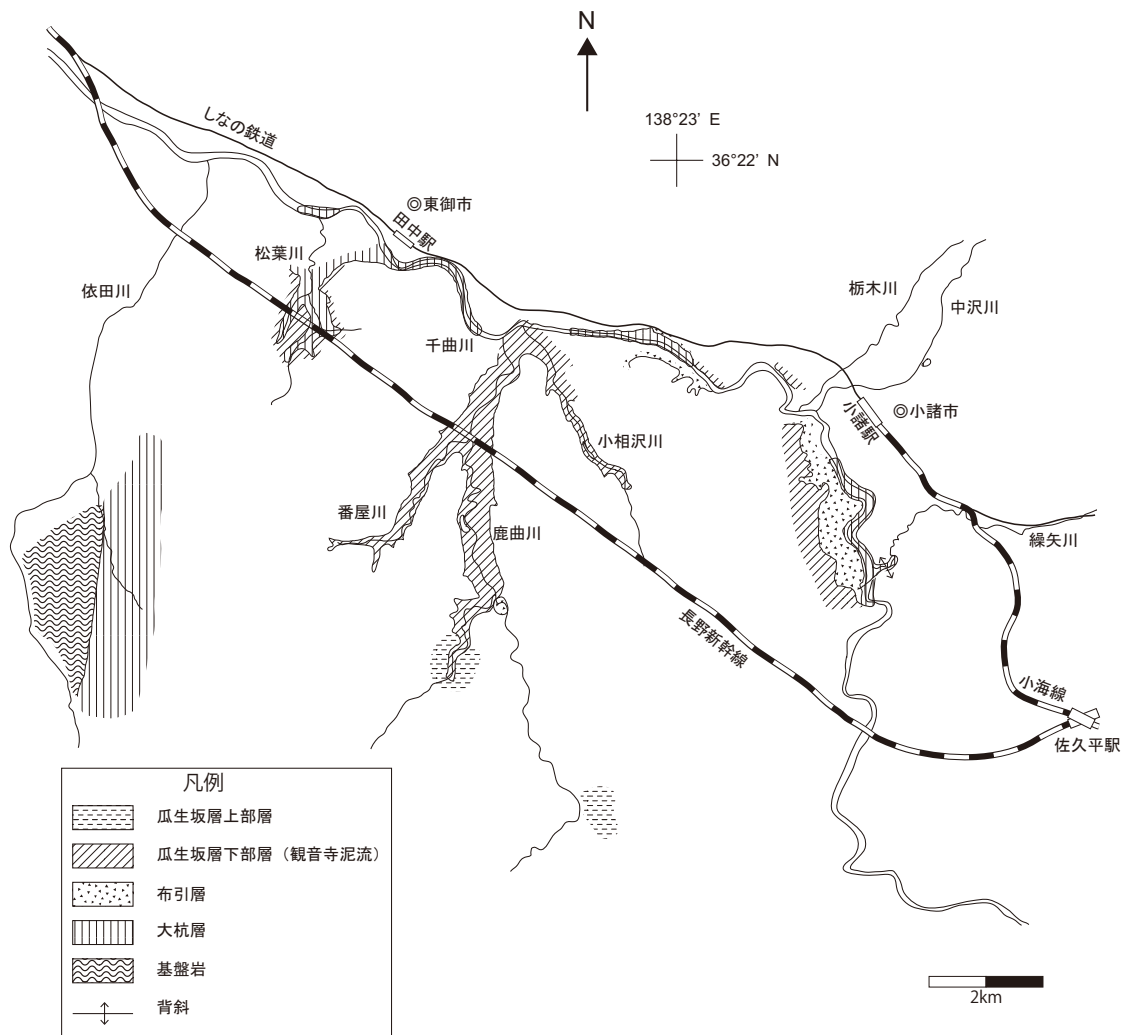
[岩相と層序] 最下部で基盤の中新統内村層にアバット不整合で接する (柱状図番号1; 第1, 2図)。下部は凝灰岩や凝灰角礫岩を主体とし、泥炭層を挟

第1表. 小諸層群の層序区分と地質年代. ①: Kaneoka et al. (1979), ②: 寺尾 (2001), ③: 北御牧村アケボノゾウ発掘調査団 (2002), ④: 北御牧村誌刊行会 (1999)

飯島ほか (1956)	飯島 (1962)	田口ほか (1976)	北御牧村誌刊行会 (1999)	寺尾 (2001, 2003)	本研究	地質年代
瓜生坂層	瓜生坂層	瓜生坂層	瓜生坂層 上部	瓜生坂層 上部	瓜生坂層 上部	$0.92 \pm 0.11 \text{ Ma}$ ④
布引層	布引層	観音寺泥流 布引層	瓜生坂層 下部 (観音寺泥流) 布引層	瓜生坂層 下部 (観音寺泥流) 布引層	瓜生坂層 下部層 (観音寺泥流) 布引層	
上部大杭層	大杭層	大杭層	布下層 大杭層	大杭層 上部 下部	大杭層	$1.3 \pm 0.3 \text{ Ma}$ ③ $2.34 \pm 0.13 \text{ Ma}$ ② $4.25 \pm 0.20 \text{ Ma}$ ①
下部大杭層	梨平層	梨平層	梨平層			



第2図. 柱状図.



第3図. 地質図.

む。上部は礫岩，砂岩，泥岩を主体とする。上部（柱状図番号10，17；第1，2図）で黄白色の軽石凝灰岩層（通称：羽毛山軽石層）を挟む。

〔産出化石〕泥岩層，細粒～極細粒砂岩層から植物葉化石，材化石が産出する。また，植物葉化石が報告されている（東部町誌編纂委員会，1989）。田中（柱状図番号9；第1，2図）の凝灰質泥岩層からニッポムカシジカ（*Cervus (Nipponicervus) praenipponicus*）の歯化石が産出した。松葉川と羽毛山，布下（柱状図番号7，10，17；第1，2図）においてアケボノゾウ（*Stegodon aurorae*）とシカ類（*Cervus* sp.）の体化石，長鼻類と偶蹄類の足跡化石が報告されている（例えば，小泉・大島，2003；古象団体研究会，1973；長森ほか，2005；長森・畠山，2007；杉田，2007）。また，*Cipangopaludina malleata*，*Anodonta iwakawai* などの淡水生軟体動物化石も報告されている（大森・茨木，1966）。

2. 2. 2. 布引層 (Nunobiki Formation)

〔定義〕凝灰角礫岩とスコリアからなる。

〔命名〕飯島ほか（1956）

〔同義の地層〕本層は飯島ほか（1956），飯島（1962），飯島ほか（1963）の布引層の一部に相当し，田口ほか（1976），北御牧村誌刊行会（1999），寺尾（2001，2003）の布引層に相当する。

〔模式地〕小諸市布引観音。

〔分布〕主に布引観音（柱状図番号19；第1，2図），小諸市上ノ平（柱状図番号22；図1，2）に分布する。また，鹿曲川，番屋川などに狭く分布する。

〔層厚〕模式地において150m以上。

〔岩相と層序〕東御市赤岩本郷の農道で，本層が大杭層に整合で重なるのが確認される（柱状図番号18；第1，2図）。主に凝灰角礫岩が卓越する凝灰角礫岩とスコリアの互層からなる。

2. 2. 3. 瓜生坂層 (Uryuzaka Formation)

〔定義〕下部層は基質中に下位層の泥岩や凝灰角礫岩をブロックとして包含した黄灰色の泥～砂岩からなり，上部層は主に礫岩，砂岩，泥岩からなり，スコリアを挟む。

〔命名〕飯島ほか（1956）

〔同義の地層〕本層は飯島ほか（1956），飯島（1962），飯島ほか（1963）の布引層の一部と瓜生坂層に相当し，田口ほか（1976）の観音寺泥流と瓜生坂層に，北御牧村誌刊行会（1999），寺尾（2001，2003）の瓜生坂層に相当する。

〔模式地〕佐久市観音寺と佐久市望月の佐久市営グ

ラウンド

〔分布〕松葉川，鹿曲川，番屋川，小相沢川，小諸市大久保，小諸市上ノ平（柱状図番号7，11，12，16，21，22；第1，2図）と本地域の南部に分布する。

〔層厚〕下部層は模式地の佐久市観音寺で10 m，番屋川で50 m，上部層は模式地の佐久市営グラウンドで16 m。

〔岩相と層序〕本層は岩相により，下部層と上部層に区分される。小諸市上ノ平で下位の布引層を不整合で覆うのが確認できる（柱状図番号22；第1，2図）。下部層は黄灰色の淘汰不良の凝灰質泥～砂岩で，下位層の泥岩や凝灰角礫岩をブロックとして取り込む。上部層は主に礫岩，砂岩，泥岩からなり，佐久市観音寺で下部層に整合で重なる（柱状図番号13；第1，2図）。

本研究では，瓜生坂層を下部層と上部層に区分し，記載する。

2. 2. 3. 1. 下部層 (観音寺泥流) (The Lower Member)

〔定義〕基質中に下位層の泥岩や凝灰角礫岩をブロックとして包含した黄灰色の泥～砂岩からなる。

〔命名〕田口ほか（1976）

〔同義の地層〕本層は飯島ほか（1956），飯島（1962），飯島ほか（1963）の布引層の一部に相当し，田口ほか（1976）の観音寺泥流に，北御牧村誌刊行会（1999），寺尾（2001，2003）の瓜生坂層下部に相当する。

〔模式地〕佐久市観音寺

〔分布〕主に松葉川，鹿曲川，番屋川，小相沢川，小諸市大久保，小諸市上ノ平に分布する（柱状図番号7，11，12，16，21，22；第1，2図）。

〔層厚〕模式地では10 m，番屋川で50 m。

〔岩相と層序〕小諸市上ノ平で下位の布引層を不整合で覆うのが確認できる（柱状図番号22；第1，2図）。基質は黄灰色の淘汰不良の凝灰質泥～砂岩からなる。下位の泥岩や凝灰角礫岩をブロックとして取り込む。ブロックの最大径は10 m以上である。岩相より火山体の崩壊によるものと推定されるが，供給源は明らかでない（寺尾，2001）。

2. 2. 3. 2. 上部層 (The Upper Member)

〔定義〕主に礫岩，砂岩，泥岩からなり，スコリアを挟む。

〔命名〕飯島ほか（1956）

〔同義の地層〕本層は飯島ほか（1956），飯島

(1962), 飯島ほか(1963)の瓜生坂層の一部に相当し, 田口ほか(1976)の瓜生坂層に, 北御牧村誌刊行会(1999), 寺尾(2001, 2003)の瓜生坂層上部に相当する。

[模式地] 佐久市望月の佐久市営グラウンド

[分布] 本地域の南部に分布する。

[層厚] 模式地で16m。

[岩相と層序] 佐久市観音寺で下部層に整合で重なるのが観察できる(柱状図番号13; 第1, 2図)。主に礫岩, 砂岩, 泥岩からなる。

[産出化石] *Metasequia disticha*, *Picea maximowiczii* などの植物化石が報告されている(飯島ほか, 1963)。

3. 堆積環境の考察

3. 1. 岩相からのアプローチ

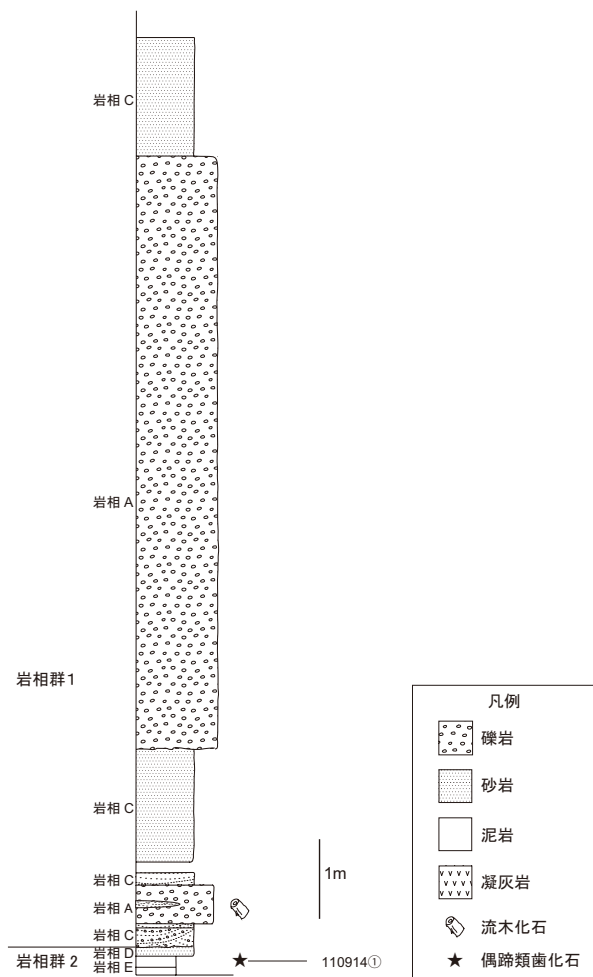
3. 1. 1. 岩相の記載

本研究では, 地層の重なりを連続的に追うことのできる4つのルートで堆積相を解析した(柱状図番号

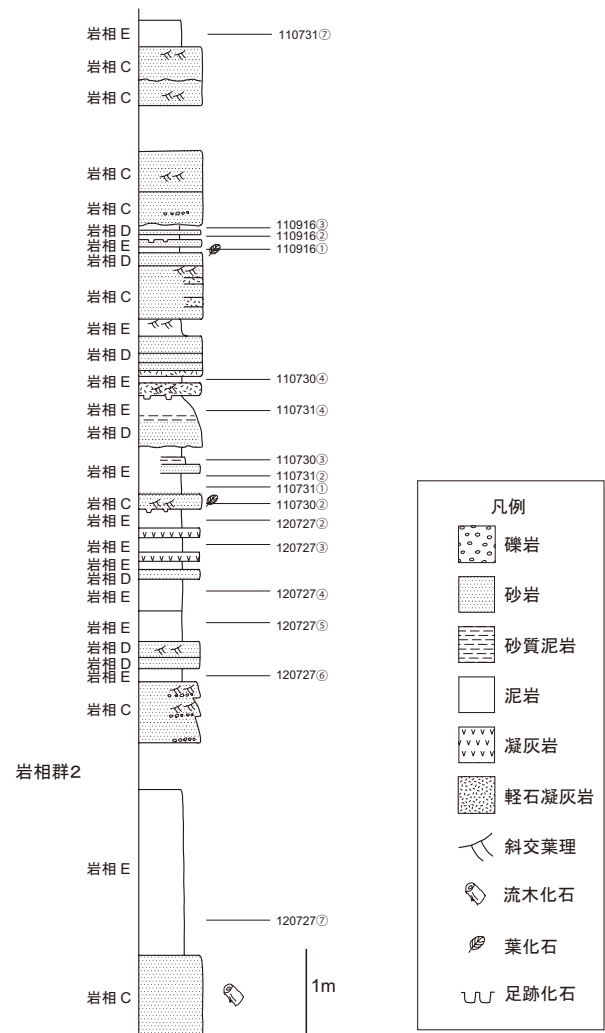
9, 10, 14, 17; 第1, 2図)。

東御市田中(柱状図番号9)の大杭層(第4図)は, 下部の砂岩層中にトラフ型斜交層理が観察される。その上位には, 淘汰不良の礫支持礫岩層が確認される。礫岩層中にレンズ状砂岩が挟まれる。また, この礫岩層中に長さ1mほどの流木化石が含まれる。上部には厚い淘汰不良の中~巨礫の礫支持礫岩層が確認できる。なお, 下部の凝灰質泥岩層からニッポンムカシジカ(*Cervus (Nipponicervus) praenipponicus*)の歯化石が産出する。

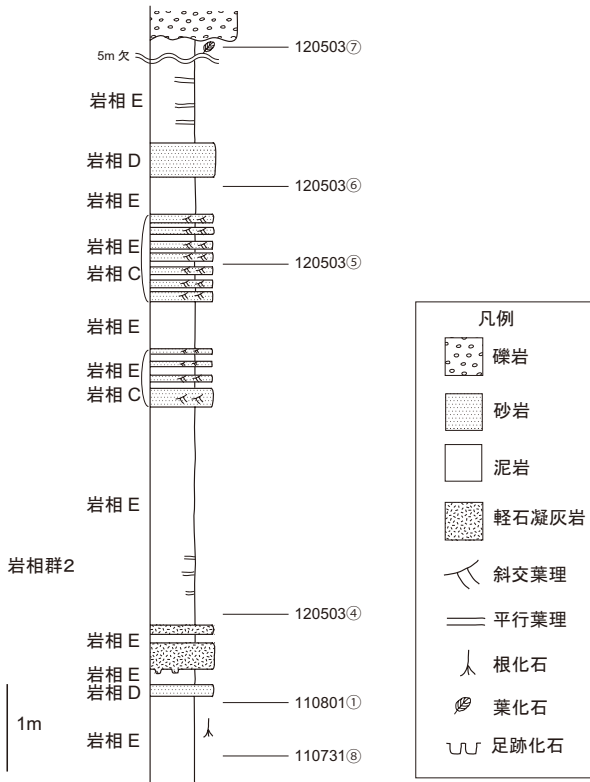
東御市羽毛山(柱状図番号10)の大杭層(第5図)は, 砂岩泥岩互層である。下部に比較的厚い砂岩層と泥岩層が重なり, その上位に中礫岩から中粒砂岩への上方細粒化が3回観察される。中部に2枚の黄白色軽石凝灰岩層(通称 羽毛山軽石層)が確認できる。この凝灰岩層の約2m下位の泥岩層より *Stegodon aurorae* が産出する(小泉・大島, 2003)。また, 長鼻類の足跡化石が3層準で観察される。



第4図. 柱状図と堆積相解析結果(東御市田中, 柱状図番号9). 柱状図右の番号は試料番号。



第5図. 柱状図と堆積相解析結果(東御市羽毛山, 柱状図番号10). 柱状図右の番号は試料番号。

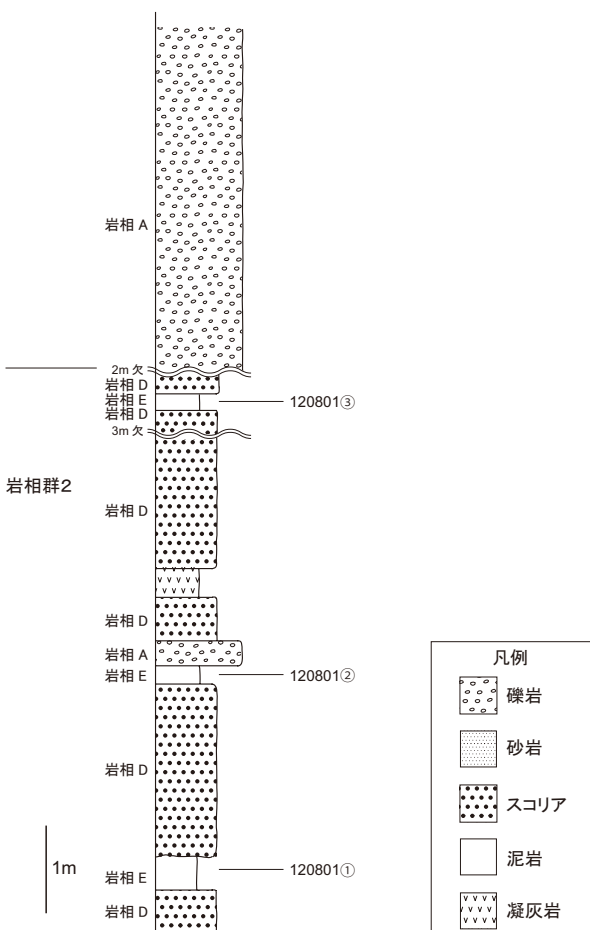


第6図. 柱状図と堆積相解析結果 (東御市布下, 柱状図番号17). 柱状図右の番号は試料番号.

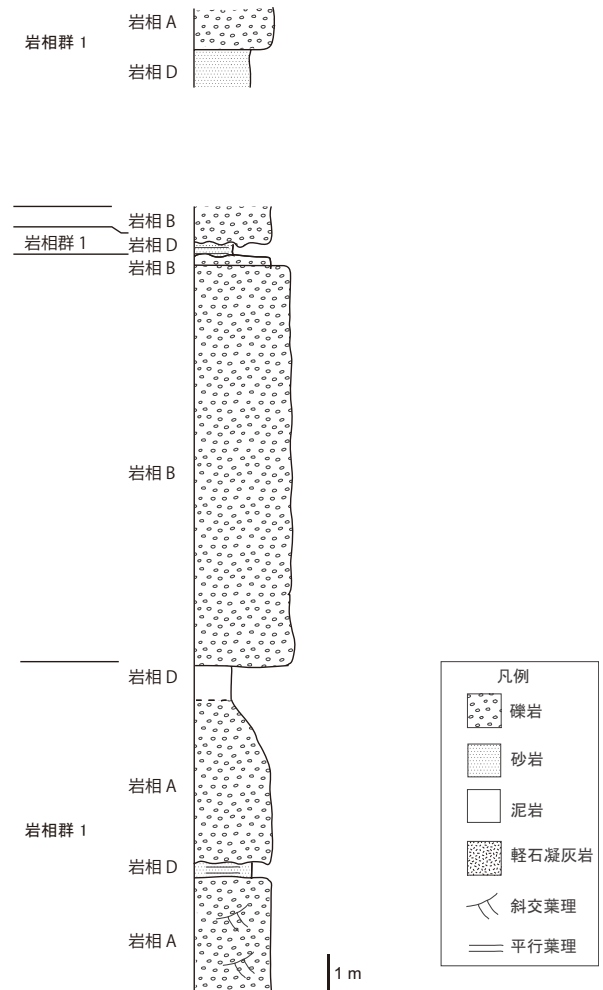
東御市布下 (柱状図番号17) の大杭層 (第6図) は、主に泥岩優勢の砂岩泥岩互層である。最下位の泥岩層では、立木化石と植物根化石が観察される。その上位に2枚の軽石層 (通称 羽毛山軽石層) が重なり、長鼻類の足跡化石が観察される。その上位に厚い塊状の泥岩層があり、一部に平行層理が見られる。中部には砂岩優勢の砂岩泥岩互層が観察される。この互層では斜交層理が繰り返し観察される。上部の凝灰質泥岩層からは植物化石が産する。

佐久市望月の佐久市営グラウンド (柱状図番号14) の瓜生坂層上部層 (第7図) は、砂岩優勢の砂岩泥岩互層である。砂岩層はスコリア質で、一部に中礫岩層の軽石層や数mmの泥岩層を挟むのが観察される。泥岩層は凝灰質で細礫の軽石や植物片を含む。上部は淘汰不良の細礫～中礫の礫支持礫岩層で、礫種は軽石が優占する。円磨度は亜円礫～円礫である。

小諸市宮沢の「なぎなた岩」の大杭層下部 (第8図) は、主に礫層である。下部は凝灰角礫岩層からなる。角礫岩と基質は共に凝灰岩質で白色を呈するので、遠くから見ると砂岩層に思われる。その上位に平



第7図. 柱状図と堆積相解析結果 (佐久市望月, 柱状図番号14). 柱状図右の番号は試料番号.



第8図. 柱状図と堆積相解析結果 (小諸市宮沢).

行葉理が発達する中粒砂岩層、礫岩層、泥岩層の順に重なる。そして、巨礫を含む厚い基質支持の礫岩層が重なる。円磨度は角礫である。

3. 1. 2. 小諸層群の岩相と堆積環境

3. 1. 2. 1. 岩相の区分

小諸層群の大杭層と瓜生坂層上部層は、層理、粒径、堆積構造などの特徴に基づき、岩相A～Eまでの5つに区分される。

I. 岩相A

[記載] 礫支持の淘汰の悪い亜円礫～円礫の細礫～巨礫で特徴づけられる。層状で、礫配列にインプリケーションが見られることがあり、火山岩類、チャート、軽石の礫が卓越する。最大で40 cmの礫が含まれる。レンズ状の砂岩層を挟む。層厚は30 cmから100 cm程度である。基底部に侵食面が認められる。起伏が30～40 cm程の削り込みが認められる。層厚は単層が累重して4 m～15 m程度である。大杭層と瓜生坂層上部層で見られる。

[堆積過程の解釈] インプリケーションが見られることのある礫岩からなるので、Jo (2003) の Facies code Gc に比較され、掃流形式の堆積 (Bed load deposition) (Jo, 2003) で形成されたと解釈される。

II. 岩相B

[記載] 基質支持の角礫の細礫～巨礫で特徴づけられる。凝灰岩や凝灰角礫岩の礫が卓越する。インプリケーションが見られず、径40-60 cmのサイズの礫が主体で、最大で80 cmの礫が含まれる。層状である。基質は凝灰岩質砂岩からなる。層厚は25 m以下である。千曲川沿いの杭層下部層で見られる。

[堆積過程の解釈] 基質支持の角礫で淘汰の悪いことから土石流で形成されたと解釈される。小坂・牧野 (1995) は、この岩相を火砕流堆積物とした。

III. 岩相C

[記載] トラフ型斜交層理で特徴づけられる細粒～中粒の砂岩層である。細礫～中礫の軽石を散在的に、もしくは層状に挟む。基底部に侵食面が認められることがある。流木化石を含む。層厚10～50 cmで、それら単層が累重して厚さ300 cm以下の砂岩層を構成する。大杭層で見られる。

[堆積過程の解釈] 斜交層理は、3次元的デューンの移動により形成されたと考えられる。

IV. 岩相D

[記載] 塊状～平行葉理の発達する細粒～中粒砂岩層である。植物葉化石、植物片、流木化石、軽石を含む。層厚は5～40 cm程度で、それらの単層が累重し

て厚さ300 cm以下の砂岩層を構成する。基底部にはしばしば侵食面が認められる。大杭層と瓜生坂層上部層で見られる。

[堆積過程の解釈] 高流速または低流速平滑床により形成されたと考えられる。

V. 岩相E

[記載] 塊状から葉理の発達する泥岩層で、根痕、植物片、軽石を含む。また、長鼻類や偶蹄類の足跡化石を含む。根痕は地層面と垂直方向に、植物片はランダムに含まれる。層厚は1～250 cm程度である。大杭層と瓜生坂層上部層で見られる。

[堆積過程の解釈] 弱い掃流形式や浮遊形式で運搬されたきた泥粒子の懸濁状態からの沈積を示す。

3. 1. 2. 2. 岩相群とその堆積環境

小諸層群の大杭層と瓜生坂層上部層を構成する堆積物は、構成物や堆積過程に基づき、2つの岩相群にまとめられる。そして、より高次の堆積過程や環境が復元できる。

I. 岩相群1 (礫質砂礫堆積物)

[岩相の組み合わせと特徴] この岩相群は岩相AとCからなる。岩相Aの礫岩層から岩相Cの砂岩層へ急激に上方細粒化する。岩相Aの礫岩層の基底部に侵食面が認められ、30～40 cm程度の起伏で削り込んでいることがある。

[解釈] 基底に侵食面が認められることがあり、上方細粒化傾向を示すことから、河川流路内で累重した砂礫堆積物と考えられる。

II. 岩相群2 (氾濫原の泥質堆積物、堤防決壊堆積物と自然堤防堆積物)

[岩相の組み合わせ] この岩相群は岩相C、DとEからなる組み合わせで、岩相Cの細粒砂岩層の層厚は厚く、礫を層状的に含み、岩相Dの砂岩層の層厚は薄く、岩相Eの泥岩層の層厚は薄いか、厚い。大杭層上部と瓜生坂層上部に見られる。

[解釈] 岩相Eの泥岩層は、根痕、植物片や長鼻類や偶蹄類の足跡化石を含み、氾濫原堆積物を示す。岩相Eの厚さ5～40 cm程の薄いシート状の細粒～中粒砂岩層は自然堤防堆積物を示す。また、岩相Cの侵食面を伴う厚い砂岩層、礫を含む砂岩層や流木化石は堤防の決壊に伴う流路の堆積物と解釈される。

3. 1. 2. 3 地域的な堆積環境

岩相群から解釈される堆積環境に基づき、小諸層群の大杭層と瓜生坂層上部層の堆積環境を考察する。堆積相を記載した5つの柱状図について、堆積相を解析

し、堆積環境を推定した。

I. 東御市田中（柱状図番号 9；第 1，2 図）の大杭層

作成した柱状図と堆積相解析の結果を第4図に示す。最下部では岩相Eの凝灰質泥岩層の上に岩相Dの層厚の薄い細粒砂岩層が認められ、岩相群2の氾濫原の泥質堆積物や堤防決壊堆積物と解釈される。下部ではトラフ型斜交層理が発達する砂岩層、上部では淘汰の悪い中～巨礫の礫支持礫岩層が認められる。これは岩相群1に相当し、下部のトラフ型斜交層理が発達する砂岩層は、最下部の岩相Dの薄い砂岩層を浸食しており、氾濫原から河川流路への環境変化が解釈できる。

II. 東御市羽毛山（柱状図番号10；第 1，2 図）の大杭層

作成した柱状図と堆積相解析の結果を第5図に示す。砂岩泥岩互層からなる。主として岩相Dと岩相Eからなり岩相群2に相当し、氾濫原の泥質堆積物と堤防決壊堆積物が解釈される。また、稀に岩相Cのスコリアの細礫を層状にふくむので、堤防の決壊に伴う流路の堆積物も解釈される。

III. 東御市布下（柱状図番号17；第 1，2 図）の大杭層

作成した柱状図と堆積相解析の結果を第6図に示す。泥岩層を主体とする。中部は砂岩層優勢の砂岩泥岩互層で斜交層理が発達する。岩相群2に相当し、氾濫原の泥質堆積物、堤防決壊堆積物と自然堤防堆積物が解釈される。上部では、斜交層理が発達する砂岩層が認められるので、河川の氾濫に伴う堤防決壊が頻繁であったことを示す。

IV. 佐久市望月の佐久市営グラウンド（柱状図番号14；第 1，2 図）の瓜生坂層上部

作成した柱状図と堆積相解析の結果を第7図に示す。下部から中部は砂岩層と泥岩層が確認できる。上部は礫支持の淘汰の悪い細礫～中礫が認められる。下部は岩相Dと岩相Eからなり岩相群2に相当し氾濫原の泥質堆積物と堤防決壊堆積物と解釈できる。上部の岩相Aからなり岩相群1に相当し、礫質砂礫堆積物と解釈される。下部から上部へ、氾濫原から河川流路に変化したことが考えられる。

V. 小諸市宮沢の「なぎなた岩」の大杭層下部

なぎなた岩にある断層より、上流側で見られる層序

の柱状図と堆積層解析の結果を第8図に示す。下部は凝灰角礫岩層からなる。厚さ40～60 cmの単層が累積し、3 m程の層を呈する。斜交層理が認められる。その上位に平行葉理が発達し、凝灰岩の細礫やパッチ状の泥岩を含む中粒砂岩層から成る。その上に、侵食面を持つ礫支持の大礫から細礫へ上方細粒化する礫岩層が重なり、さらに泥岩層がのる。岩層Dと岩層Aからなり、岩層群1に相当し、礫質砂礫堆積物と解釈される。さらに、上位に最大で80 cmの礫が含まれる基質支持の礫岩層が重なる。岩相Bの土石流堆積物と解釈できる。河川流路に土石流が流れ込んだと考えられる。

3. 1. 3. 古流向

本地域に分布する小諸層群の大杭層の古流向を推定するために、礫岩および砂岩中のトラフ型斜交層理を調査した。礫の調査項目は、ランキングサンプル法（松川，2008）による「礫径」，「円磨度」である。また、「ファブリック」も調査した。ランキングサンプル法は、露頭で見られる礫を大きいものから順に50位まで抽出する方法である。この手法により、河床において最も大きい礫を運搬できる最大運搬力を読み取ることができる。調査地点・層準は、礫の調査が3地点3層準（C-1～3），礫岩のファブリックが2地点2層準（F-1，2），トラフ型斜交層理が1地点1層準（L-1）である（第2，9，10図）。

C-1：上田市上丸子・県道丸子北御牧線（柱状図作成ルート3）

C-2：東御市田中・田中橋脇（柱状図作成ルート9）

C-3：小諸市大杭（柱状図作成ルート24）

F-1：同C-2

F-2：同C-3

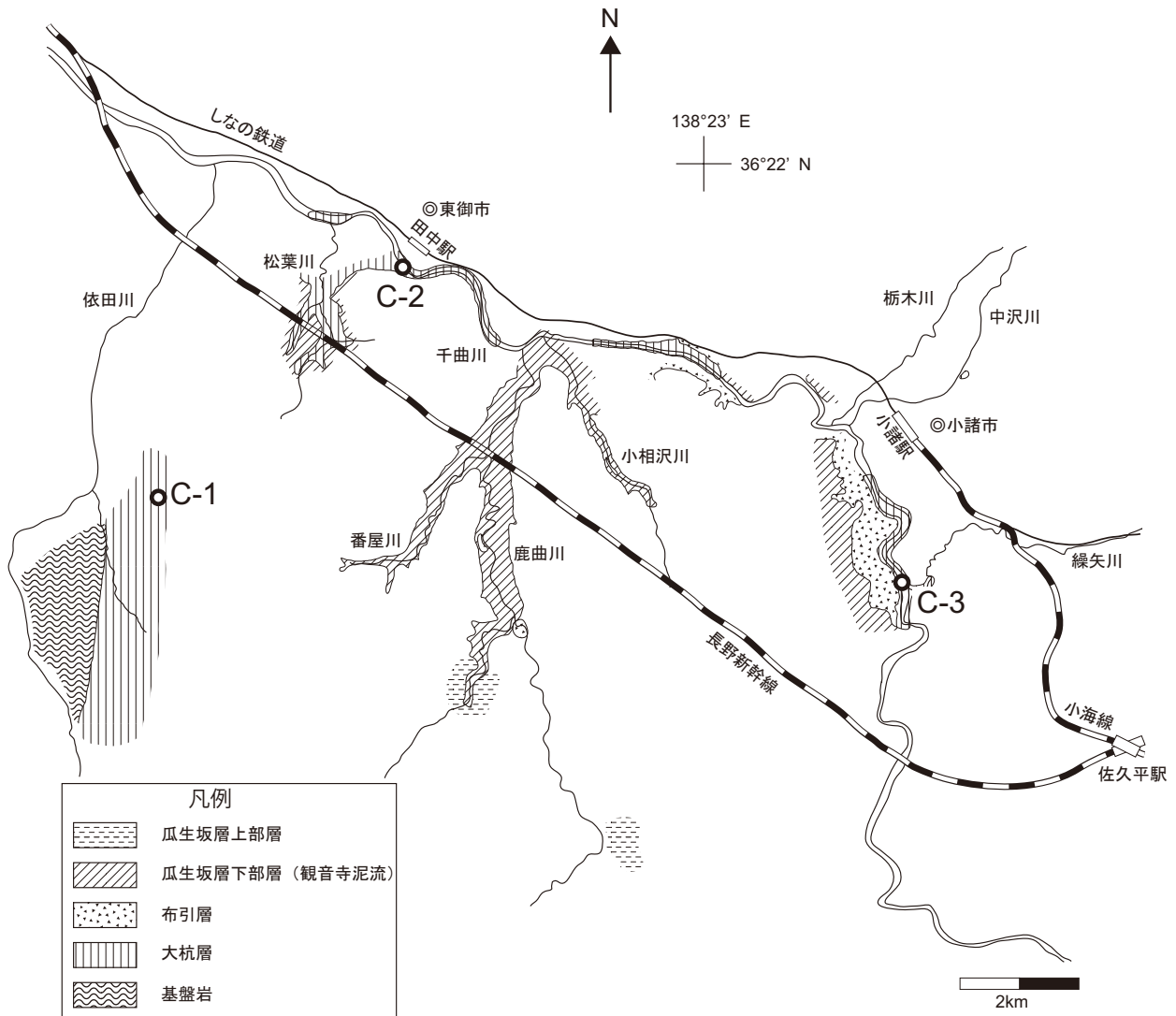
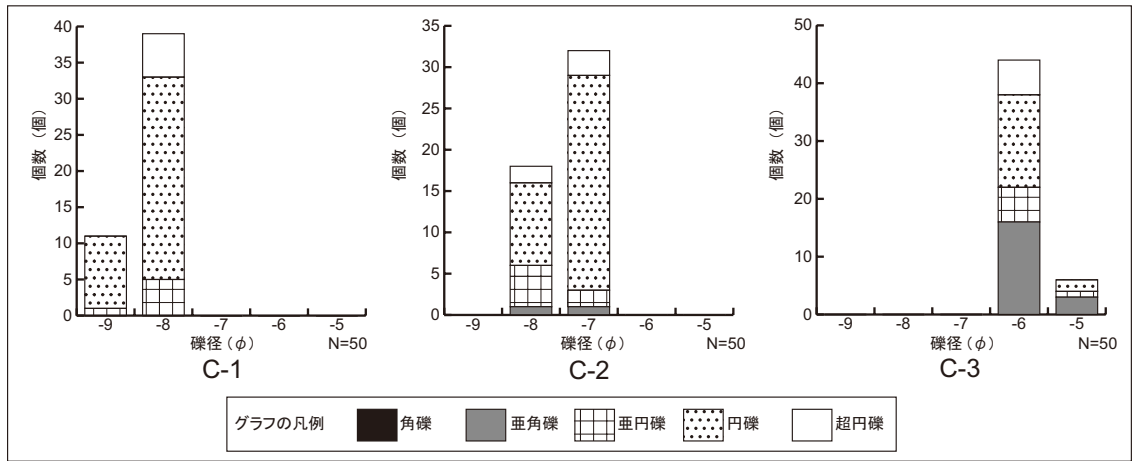
L-1：東御市田中・上田地域広域連合東部クリーンセンター裏（柱状図作成ルート9）

各調査項目を以下に述べる。

〔礫径〕 礫径は、礫の長軸の長さを測定し、 ϕ スケールで表記した。

〔円磨度〕 円磨度は、礫の角が摩耗されて丸くなっていく程度を示す。これを視覚的に表現するために、Pettijohn (1975) の円磨度印象図を用いて、角礫・亜角礫・亜円礫・円礫・超円礫の5つに分類した。

〔ファブリック〕 礫が河川の上流側に傾いて配列することをファブリックという。その礫と河床とがなす角度をインプリケーションという。インプリケーションの走向を、クリノメーターを用いて測定し、当時の河川の古流向を推定する。



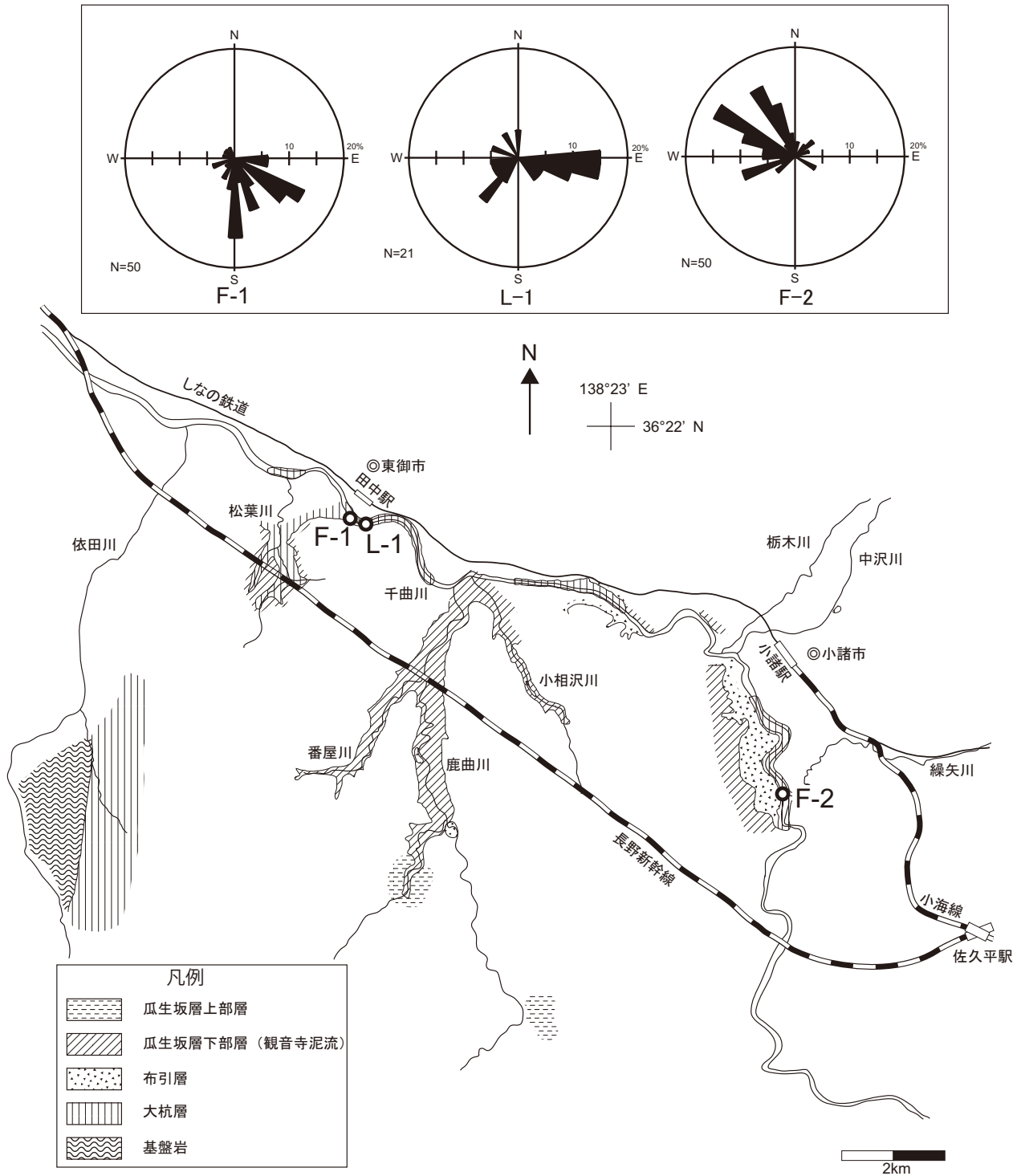
第9図. 礫径・円磨度.

[トラフ型斜交層理] トラフ型斜交層理は、河川の下流側に軸が傾く(プランジ)。そのプランジの方向を測定して、古流向を推定する。

3. 1. 4. 1. 礫の調査

3地点で岩相Aに区分される礫を調査した。大杭層

の礫は中礫~巨礫からなる。最大礫径をランキング法で測定し、各地点での礫径をφスケールで表し、ヒストグラムで示した(第9図)。その結果、最大礫径はC-1で-9φ, C-2で-8φ, C-3で-6φが示された。従って、西から東へと最大礫径が小さくなる傾向が認められる。最大礫径は河床における最大運搬力を表す



第10図. 古流向.

ため、相対的に礫径が大きい地点ほど堆積場所が上流地域であったことを示す。従って、C-1、C-2、C-3の順に上流から下流を示す。円磨度は、いずれも円礫が卓越し、全体的に円磨が進んでいたことを示す。

3. 1. 4. 2. 古流向の測定

礫岩のファブリックは2地点で測定した。トラフ型斜交層理は1地点で測定した。観察されたインプリ

ケーションの走向・傾斜，トラフ型斜交層理の軸の走向を，地層の走向・傾斜で補正し，ローズダイヤグラムで示した（第10図）。その結果，古流向はF-1で $N60^{\circ}W \sim N$ から $S60^{\circ}E \sim S$ への流向，F-2で $S60^{\circ}E$ から $N60^{\circ}W$ への流向，L-1で $N80^{\circ}W \sim W$ から $S80^{\circ}E \sim E$ への流向が示された。従って，東御市田中では南東方向への，小諸市大杭では北西方向への流れが推定できる。

最大礫径と推定された古流向に基づく、本地域では大局的に西から東への流れが存在していたと解釈できる。寺尾(2003)は、大杭層中の礫岩を数地点で調査し、いずれの地点の礫径も明らかに西から東に向かって小さくなるとした。本研究の結果は寺尾(2003)を支持する。

3. 2. 生物相からのアプローチ

3. 2. 1. 珪藻化石に基づく古環境

3. 2. 1. 1. 珪藻分析の意義

珪藻は単細胞藻類であり、海水域から淡水域まで広く分布する。また、塩分, pH, 栄養塩, 水深などの環境要因に応じた特異な出現性を示す。そして、珪藻殻はガラス質のため堆積物中に保存されやすい。そのため、珪藻化石は古環境復元の指標とされている(小杉, 1988)。

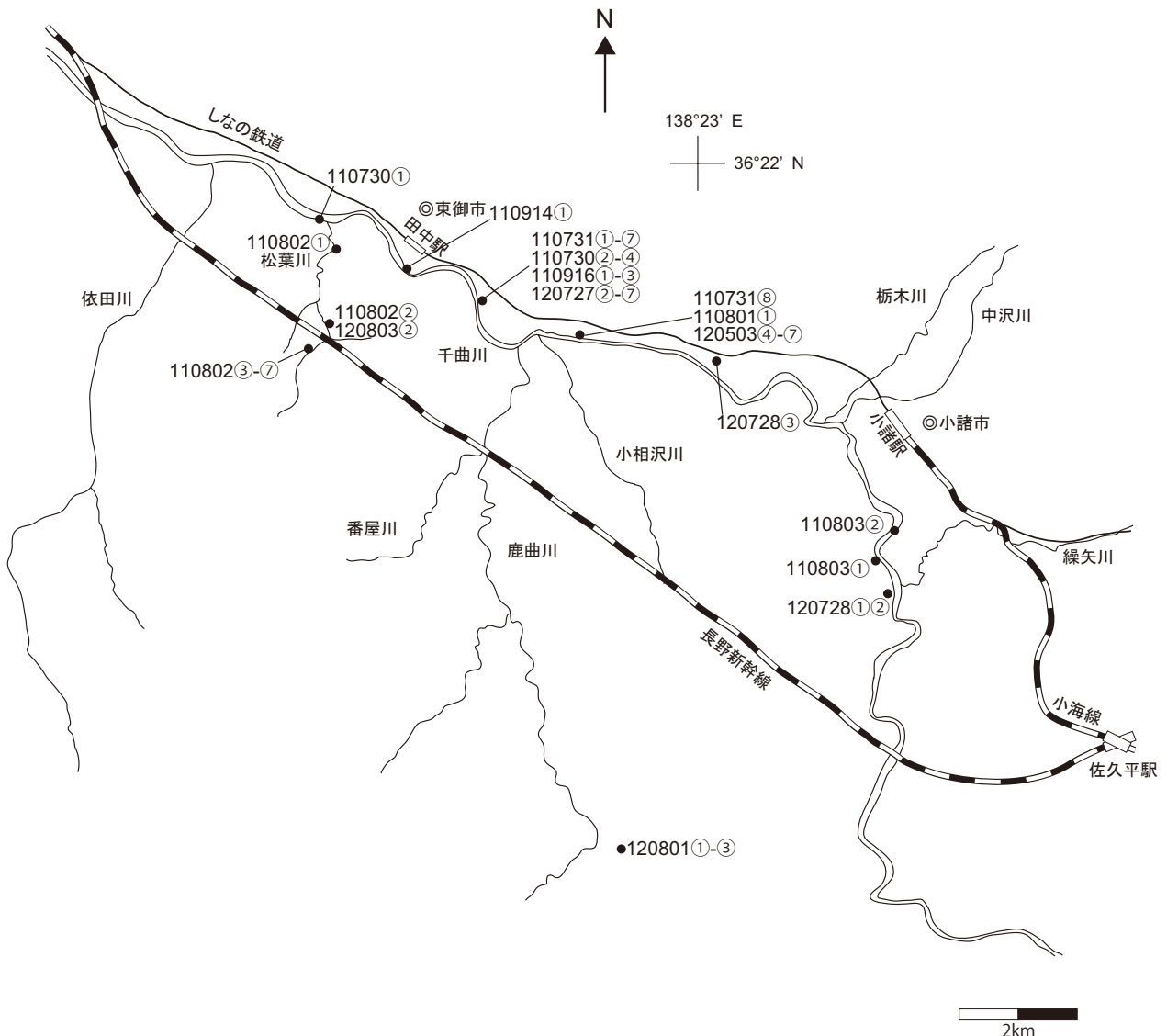
3. 2. 1. 2. 試料採取

珪藻分析を行う試料は、大杭層、瓜生坂層下部層、瓜生坂層上部層から採取した。12地点で、泥岩層、泥炭層と極細粒砂岩層から39層準39試料を採取した。採取する際、現生の珪藻が含まれるのを防ぐために、露頭の表面を削り、露頭内部から試料を採取した。また、試料の粒度, 色, 含有物を記録した。採取地点を第11図と第2表に示す。採取した層準を第12図に示す。なお、柱状図番号9, 10, 14, 17の詳細な採取層準は、第4, 5, 6, 7図に記載する。

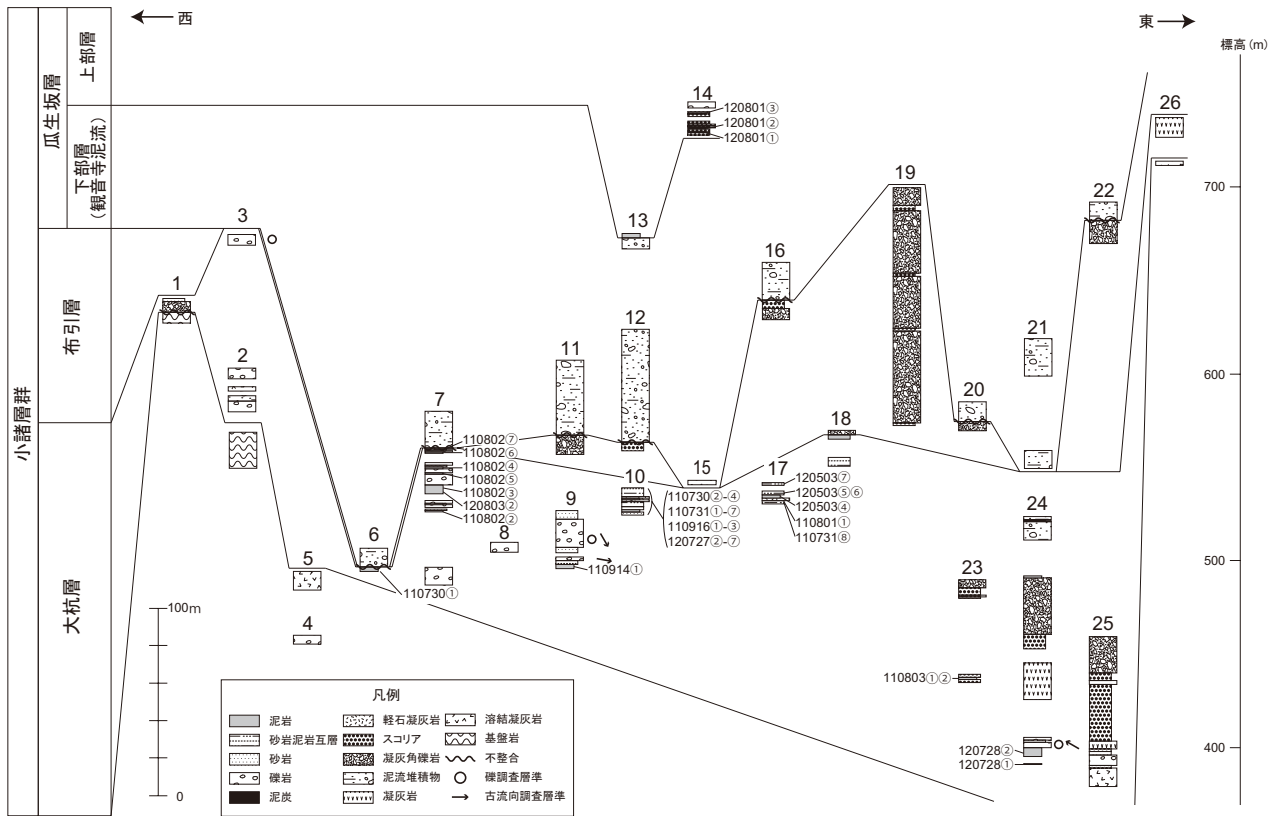
3. 2. 1. 3. 珪藻分析の方法

Julius et al. (2006) が示した方法を用いて、試料を処理し、プレパラートを作成した。方法を以下に示す。

- ① 乾燥させた試料を細かく砕き、200 ml ビーカーの底を覆う程度の量(約20 g)を入れ、過酸化



第11図. 試料採取地点.



第12図. 試料採取層準

水素水 (35%) 50 ml を加える。

- ② 有機物を除去する。①のビーカーを約 110 °C のホットプレートで4時間程度煮沸する。煮沸中に過酸化水素水が蒸発するのを防ぐために、アルミホイルでふたをする。
- ③ 煮沸終了後、蒸留水を 200 ml まで加え攪拌したのち、一昼夜放置する。
- ④ 液体が 10 ml 程度になるまで上澄みを取り除く。
- ⑤ 試料中の細粒砂や泥質を除去する。残った試料を攪拌し、遠沈管に 3 分の 1 ほど取り、遠心分離 (2,000 rpm で 10 分間) する。遠心分離後、遠沈管内の上澄みを捨て、蒸留水を加え、試料を攪拌し、再び遠心分離する。この作業を最低 5 回繰り返す。ただし、5 回行っても上澄みが濁っている場合は、上澄みが透明になるまで繰り返す。
- ⑥ 珪藻化石を採取する。残渣 0.5 ml 程度と蒸留水 5 ml 程度を試験管に入れ、攪拌する。約 130 °C のホットプレート上にカバーガラスを 3 枚置き、攪拌した残渣を滴下する。残渣をカバーガラス全体に広げ、30 分程度熱して乾燥させる。
- ⑦ スライドガラスの中央に封入剤 (和光純薬、マウントメディア) を滴下する。残渣が滴下された面を下にしたカバーガラスを、スライドガラ

ス側に向けて、封入剤の上に被せる。それを約 100 °C のホットプレートで熱し、アルコール分を蒸発させる。

- ⑧ ホットプレートから下ろし、カバーガラスとスライドガラスを密着させる。一昼夜放置し、封入剤を乾燥させる。

作成したプレパラートを 600 倍の光学顕微鏡で検鏡し、珪藻殻が 200 殻に達するまで計数・同定する。200 殻に満たない場合は、作成したプレパラート 3 枚を全て検鏡し、終了した時点での珪藻殻数を基数とした。

同定には文献に掲載されている特徴や写真を参考に、種レベルで判別した (安藤, 1990; 藤田, 1973; 鹿島, 1992; 小杉, 1988; 窪田, 1978, 1986, 1993, 2009; 窪田・小林, 1976; 水野, 1964; 山本, 1996)。

3. 2. 1. 4. 結果

12 地点から採取した 39 試料のうち、8 試料から珪藻化石を検出した (第 2 表)。そのうち、5 試料から 200 殻以上の珪藻化石を検出した。大杭層と瓜生坂層上部層から 200 殻以上の珪藻化石を検出した。大杭層下部層からの検出は少ないが、東御市羽毛山に分布する大杭層上部層の試料から珪藻化石を多く検出した。瓜生坂層下部層から珪藻化石を検出することはできな

かった。

検出した全ての珪藻化石を分類・同定した。その結果、34属114種を分類し、同定した。検出した珪藻は全て淡水生種である。第3, 4表は検出した珪藻化石と殻数を層序ごとに示したものである。検出した主な珪藻化石を付図1に示す。

第2表. 珪藻分析の試料採取地点と検出状況. 地層ごとに試料番号順に配列した. ○：多(200殻以上) △：検出(200殻未満), ×：検出なし.

地層	試料番号	地点	産出状況
大杭層	110730①	塩川	×
大杭層	110730②	羽毛山	×
大杭層	110730③	羽毛山	×
大杭層	110730④	羽毛山	×
大杭層	110731①	羽毛山	×
大杭層	110731②	羽毛山	×
大杭層	110731④	羽毛山	×
大杭層	110731⑦	羽毛山	×
大杭層	110731⑧	布下	×
大杭層	110801①	布下	×
大杭層	110802③	松葉川	×
大杭層	110802④	松葉川	×
大杭層	110802⑤	松葉川	×
大杭層	110802⑥	松葉川	○
大杭層	110802⑦	松葉川	×
大杭層	110803①	小諸大橋北	△
大杭層	110803②	小諸大橋北	×
大杭層	110914①	田中橋	×
大杭層	110916①	羽毛山	○
大杭層	110916②	羽毛山	○
大杭層	110916③	羽毛山	△
大杭層	120503④	布下	×
大杭層	120503⑤	布下	×
大杭層	120503⑥	布下	×
大杭層	120503⑦	布下	×
大杭層	120727②	羽毛山	×
大杭層	120727③	羽毛山	×
大杭層	120727④	羽毛山	×
大杭層	120727⑤	羽毛山	×
大杭層	120727⑥	羽毛山	×
大杭層	120727⑦	羽毛山	×
大杭層	120728①	大杭	△
大杭層	120728②	大杭	×
大杭層	120728③	赤岩本郷	×
大杭層	120803②	松葉川	×
瓜生坂層下部	110802①	松葉川	×
瓜生坂層上部	120801①	望月	○
瓜生坂層上部	120801②	望月	○
瓜生坂層上部	120801③	望月	×

3. 2. 1. 5. 珪藻化石群集

珪藻化石の組み合わせの特徴から、7つの珪藻化石群集に区分した。検出頻度が高い種や群集を特徴づける種を抜き出し、各群集内でその種が占める割合を示すダイヤグラムを作成した(第13図)。なお、検出頻度が1%未満の種は+で示した。区分した群集には、その群集内で優占する種、あるいはその群集を特徴づける種を用いた。7つの群集は以下のように定義される。

① *Pinnularia* sp. 群集(群集①; 第13図)

本群集は、*Pinnularia* sp. が優占する。*Eunotia polygyphoides*, *Eunotia* sp. を随伴する。*Aulacoseira granulata*, *Nitzschia sinuata* var. *delognei*, *Pinnularia gibba* も含まれる。この群集は小諸層群大杭層下部層の泥炭層(120728①)に見られる。

② *Nitzschia* sp. - *Planothidium lanceolatum* 群集(群集②; 第13図)

本群集は、化石の検出が乏しい群集である。*Nitzschia* sp., *Planothidium lanceolatum* が多く含まれる。そして、*Diatoma moniliformis*, *Gomphonema* sp., *Luticola mutica*, *Navicula* sp., *Nitzschia sinuata* var. *delognei*, *Pinnularia* sp. も含まれる。この群集は大杭層下部層のシルト岩層(110803①)に見られる。

③ *Diploneis ovalis* - *Planothidium lanceolatum* 群集(群集③; 第13図)

本群集は *Diploneis ovalis* と *Planothidium lanceolatum* が優占し、*Diploneis* sp., *Navicula* sp., *Pinnularia* sp., *Placoneis elginensis* を随伴する。この群集は、大杭層上部層の砂岩泥岩互層中の下位の泥岩層(110916①)に見られる。

④ *Nitzschia* sp. - *Pinnularia borealis* 群集(群集④; 第13図)

本群集は、*Nitzschia* sp. と *Pinnularia borealis* が優占し、*Luticola mutica*, *Pinnularia* sp., *Synedra* sp. が随伴する。また、*Hantzschia amphioxys* と *Placoneis elginensis* も多く含まれる。この群集は、大杭層上部層の砂岩泥岩互層中の中位の泥岩層(110916②)に見られる。

⑤ *Nitzschia sinuata* var. *delognei* - *Luticola mutica* 群集(群集⑤; 第13図)

本群集は、*Nitzschia sinuata* var. *delognei* と *Luticola mutica* が優占する群集である。*Hantzschia amphioxys*

第3表. 検出した珪藻化石 (その1).

試料番号	地層	<i>Amphora ovalis</i>	<i>Amphora</i> sp.	<i>Aulacoseira granulata</i>	<i>Caloneis bacillum</i>	<i>Caloneis silicola</i>	<i>Ceratonais arcus</i>	<i>Cocconeis placenticula</i>	<i>Cocconeis</i> sp.	<i>Cymatopleura elliptica</i>	<i>Cymatopleura solea</i>	<i>Cymbella cuspidata</i>	<i>Cymbella lanceolata</i>	<i>Cymbella naviculiformis</i>	<i>Cymbella</i> sp.	<i>Cymbella tumida</i>	<i>Cymbella turgida</i>	<i>Cymbella verticosa</i>	<i>Diatoma hiemale</i>	<i>Diatoma moniliformis</i>	<i>Diatoma</i> sp.	<i>Diploneis elliptica</i>	<i>Diploneis finica</i>	<i>Diploneis oblongella</i>	<i>Diploneis ovalis</i>	<i>Diploneis puella</i>	<i>Diploneis</i> sp.	<i>Encyonema</i> sp.	<i>Epithemia adnata</i>
120801②	瓜生坂層	1	3					4		1	1	1			6	1	1	1			1			3	4	5	3	26	
120801①		1	2	9			11		1	1	1	1	1	15	1	1	1	4			1			3	3	5	3	34	
110802⑥				3		5			1												1			13		9	2		
110916③		2	2		2		1	5							1						1			4	1				
110916②		1	1	1	1	1	1	2					2	4	4	1								5	1	3	3	1	
110916①		5	2	1				5	6				5	5						6	1	2	4	1	2		15		
110803①			1		1										1				2	3									
120728①				4				1		1			1	2											1				

試料番号	地層	<i>Epithemia sorex</i>	<i>Epithemia</i> sp.	<i>Eunocia arcus</i>	<i>Eunocia arcus</i> var. <i>fallex</i>	<i>Eunocia bidens</i>	<i>Eunocia pectinalis</i>	<i>Eunocia polyphyphoides</i>	<i>Eunocia</i> sp.	<i>Fragilaria</i> sp.	<i>Frustulia rhomboides</i>	<i>Gaillardia declivis</i>	<i>Gomphonema acuminatum</i>	<i>Gomphonema constrictum</i>	<i>Gomphonema intricatum</i>	<i>Gomphonema olivaceum</i>	<i>Gomphonema parvulum</i>	<i>Gomphonema parvulum</i> var. <i>legenum</i>	<i>Gomphonema</i> sp.	<i>Gomphonema sphaerophorum</i>	<i>Gyrosigma acuminata</i>	<i>Gyrosigma</i> sp.	<i>Hantzschia amphioxys</i>	<i>Luticola rufica</i>	<i>Melosira</i> sp.	<i>Melosira varians</i>	<i>Mentionia circulare</i>	<i>Navicula anglica</i> var. <i>subseiba</i>	<i>Navicula bacillum</i>	<i>Navicula contenta</i>
120801②	瓜生坂層	5	8	1	13				3	1	1		3	2	1								2		12	2		1		
120801①		3	6						2	3		3				2									1	1		3		
110802⑥					3			4	3	3		2	1		2	4					2	1	2	9			2	4		
110916③																							21	29						
110916②		2	1		8	1		3							3	2	2				1	1	9	12			2	2		
110916①							1							4	2	8	3						1	6	3	1		1	2	4
110803①									1					2	2		1	3							3					
120728①					1	1	7	7					1			1														

10 以上

第4表. 検出した珪藻化石 (その2).

試料番号	地層	<i>Navicula cryptocephala</i>	<i>Navicula cryptocephala</i> var. <i>exilis</i>	<i>Navicula cryptocephala</i> var. <i>intermedia</i>	<i>Navicula cryptotenella</i>	<i>Navicula cuspidata</i>	<i>Navicula gracilis</i>	<i>Navicula gregaria</i>	<i>Navicula lanceolata</i>	<i>Navicula oppugnata</i>	<i>Navicula oppugnata</i> var. <i>exilis</i>	<i>Navicula placenticula</i>	<i>Navicula pupula</i>	<i>Navicula pupula</i> var. <i>capitata</i>	<i>Navicula radiosa</i>	<i>Navicula reinhardtii</i>	<i>Navicula rhyncocephala</i>	<i>Navicula</i> sp.	<i>Navicula viridis</i>	<i>Navicula viridula</i>	<i>Nitzschia costata</i>	<i>Nitzschia denticula</i>	<i>Nitzschia fonticola</i>	<i>Nitzschia hungarica</i>	<i>Nitzschia linearis</i>	<i>Nitzschia sinuata</i> var. <i>delegnei</i>	<i>Nitzschia</i> sp.	<i>Operiphora martyi</i>	<i>Pinnularia acuminata</i>	<i>Pinnularia borealis</i>
120801②	瓜生坂層	1															8										1	1	6	
120801①		4					1	1	2					2	1	1	21											6	1	
110802⑥		2					1					2	1		2		13		5	2						2	9	3	4	
110916③																			5	1						2	4		6	
110916②		6	2		1						3		1	4				8		1					2	4	3			
110916①		4		1	2				1	1				4			15	1		1			1		3	5	8		2	
110803①		1									1						2				2	1				2	4		1	
120728①								1						1			1							1		3				

試料番号	地層	<i>Pinnularia gibba</i>	<i>Pinnularia interrupta</i>	<i>Pinnularia microstauros</i>	<i>Pinnularia moralis</i>	<i>Pinnularia nobilis</i>	<i>Pinnularia</i> sp.	<i>Pinnularia subcapitata</i>	<i>Placoneis elginensis</i>	<i>Placoneis paraelginensis</i>	<i>Planolithidium lanceolatum</i>	<i>Planolithidium ostrupii</i>	<i>Planolithidium</i> sp.	<i>Rhopalodia gibba</i>	<i>Rhopalodia musculus</i>	<i>Rhopalodia operculata</i>	<i>Rhopalodia</i> sp.	<i>Stauroneis anceps</i>	<i>Stauroneis</i> sp.	<i>Staphanodiscus koronovensis</i>	<i>Staphanodiscus</i> sp.	<i>Surirella angusta</i>	<i>Surirella brevissonii</i>	<i>Surirella</i> sp.	<i>Synedra</i> sp.	<i>Synedra una</i>	<i>Tabellaria</i> sp.	<i>Tetracyclus emarginatus</i>	計
120801②	瓜生坂層	1	1	4		2	13	3						18	3	7	3		2	4	7					11	8		219
120801①				3			5	13	1	4	4			9	2	11	2			24	3				1	4		1	255
110802⑥		4	1	2			19	4	3	5			6	5	1	3	1		4			1	2	3	14	6	4		217
110916③				5	1		7	11	1			1	3	1	6	7						1			1	1	1		199
110916②		1	4	2			12	9	10	2				2			2								11	3			204
110916①				5			11	1	12	7	16			2	1	1	6	3	3	4					1	6	6		256
110803①				1			2			4				1											1				45
120728①		3			1		14										1										1		56

10 以上

と *Nitzschia* sp. を随伴する。また、*Pinnularia borealis*, *Pinnularia* sp., *Placoneis elginensis*, *Rhopalodia* sp. も多く含まれる。この群集は、大杭層上部層の砂岩泥岩互層中の上位の泥岩層（110916③）に見られる。

⑥ *Pinnularia* sp. – *Surirella* sp. 群集（群集⑥；第13図）

本群集は、*Pinnularia* sp. と *Surirella* sp. が多く含まれる。そして、*Diponeis ovalis*, *Navicula* sp., *Luticola mutica*, *Nitzschia* sp. を随伴する。また、*Ceratonis arcus*, *Rhopalodia gibba*, *Planothidium lanceolatum* も含まれる。この化石群集は、大杭層上部層の泥岩層（110802⑥）に見られる。

⑦ *Epithemia adnata* 群集（群集⑦；第13図）

本群集は *Epithemia adnata* が優占し、*Stephanodiscus komoroensis* と *Rhopalodia gibba* を随伴する。また、*Cymbella* sp., *Navicula* sp., *Pinnularia* sp., *Placoneis elginensis* を多く含む。そして、下位の層準では、*Aulacoseira granulata*, 上位の層準では、*Eunotia bidens* が含まれる。この群集は瓜生坂層上部層の泥岩層（120801①, ②）に見られる。

3. 2. 1. 6. 珪藻化石群集に基づく古環境

珪藻化石群集に基づいて、小諸層群の堆積環境を復元する。

小杉（1988）は日本全国で現生珪藻を基に珪藻の種類と生息環境との対応関係を検討し、古環境復元のための環境指標種群を設定した。環境指標種群では、「代表種」をその環境にのみ出現し、かつ高率であるもの、「主要構成種」を他の環境にも出現するが、その群集の主要な構成要素となるもの、「標徴種」を高率には出現しないが、その環境の良い指標となるものとした。

また、安藤（1990）は、小杉（1988）が示した環境指標種群のうち、淡水域（塩分濃度2%以下）に関する部分を補う目的で生育地に基づいた淡水環境指標種群を設定した。そして、それらの種群から古環境の復元を試みた。淡水環境指標種群では、「主要構成種」を他の淡水生息地にも出現するが、その生育地での群集の主要な構成要素となり、その生育地を識別する上で役立つ種とし、「標徴種」をある特定の淡水環境で生育していて、他のところには出現しない、あるいは出現しても稀であることから、その生育地を指標する可能性が大きい種とした。

本研究では、小杉（1988）と安藤（1990）により設定された環境指標種群と他の研究で記載された珪藻の生態的特性をもとに、各珪藻化石群集が示す古環境を

考察した。なお、小杉（1988）と安藤（1990）により設定された環境指標種群のうち、*Achnanthes lanceolata*, *Eunotia praerupta* var. *bidens*, *Melosira granula*, *Navicula elginensis*, *Navicula mutica* は、それぞれ *Planothidium lanceolatum*, *Eunotia bidens*, *Aulacoseira granulata*, *Placoneis elginensis*, *Luticola mutica* とシノニムである（Fourtanier and Kociolek, 2011）。

① *Pinnularia* sp. 群集（群集①；第13図）

本群集の優占種である *Pinnularia* sp. は、淡水産が多く、種類も多い。随伴する *Eunotia* sp. は淡水底生種群（小杉, 1988）で、湖沼に多く生息する（水野, 1964）。*Pinnularia gibba* は沼沢湿地付着生種群の主要構成種（安藤, 1990）で、泥炭地に多く見られる（山本, 1996）。本群集は大杭層下部層の泥炭層で見られる。*Aulacoseira granulata* は湖沼浮遊生種群の標徴種（安藤, 1990）である。湖沼浮遊生種群は、水深が約1.5m以上で、水生植物は岸ではみられるが、水底には生育していない湖沼に生息する種群である。従って、この群集は水深が深い湖沼の環境を示すと考えられる。

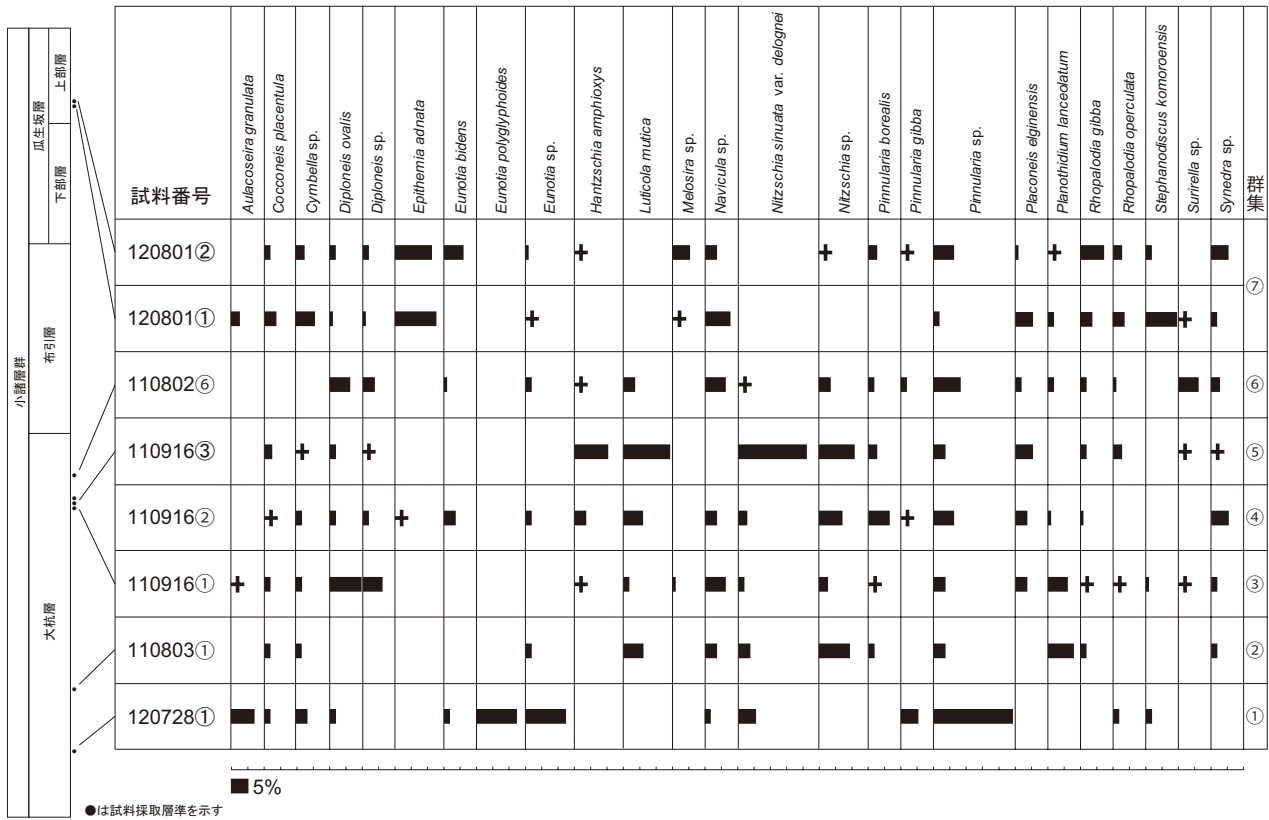
② *Nitzschia* sp. – *Planothidium lanceolatum* 群集（群集②；第13図）

本群集に優占する *Nitzschia* sp. は、多様な環境に生息する。*Planothidium lanceolatum* は中～下流性河川指標種群である（安藤, 1990）。中～下流性河川指標種群は、河川の中～下流部の河川沿いの河成段丘、扇状地、自然堤防や後背湿地の環境に集中して出現する種群である（安藤, 1990）。また、*Planothidium lanceolatum* は真流水性（流水域にのみ生育する）の種である（窪田, 2009）。*Luticola mutica* は陸域指標種群の主要構成種である（安藤, 1990）。従って、本群集は河川中流域の後背湿地の環境を示すと考えられる。

③ *Diploneis ovalis* – *Planothidium lanceolatum* 群集（群集③；第13図）

本群集に優占する *Diploneis ovalis* は淡水底生種群（小杉, 1988）で、*Planothidium lanceolatum* は中～下流性河川指標種群である。随伴する *Placoneis elginensis* は沼沢湿地付着生種群の主要構成種である（安藤, 1990）。沼沢湿地付着生種群は、水深が1m内外で一面に植物が繁殖する地域と湿地に出現する種群である（安藤, 1990）。従って、本群集は後背湿地と池沼の環境を示すと考えられる。

④ *Nitzschia* sp. – *Pinnularia borealis* 群集（群集④；第



第13図. 各試料から検出した珪藻化石のダイアグラム.

13図)

本群集に優占する *Nitzschia* sp. は、多様な環境に生息する。*Pinnularia borealis* は陸域指標種群の主要構成種 (安藤, 1990) である。陸域指標種群は、土壌、岩面、樹木のコケに生息する種群である (安藤, 1990)。*Hantzschia amphioxys* と *Luticola mutica* も陸域指標種群である。また、*Eunotia bidens* と *Placoneis elginensis* は沼沢湿地付着生種群の主要構成種である。陸域指標種群と沼沢湿地付着生種群が多く見られることより、本群集は後背湿地と池沼の環境を示すと考えられる。

⑤ *Nitzschia sinuata* var. *delognei* - *Luticola mutica* 群集 (群集⑤; 第13図)

本群集の優占種の *Nitzschia sinuata* var. *delognei* は尾瀬沼などの清潔な水域から東京の汚泥河川まで生息する広適応性種である (渡辺, 2005)。また、*Luticola mutica* は陸域指標種群の主要構成種である。随伴する *Hantzschia amphioxys* は陸域指標種群の主要構成種で、*Placoneis elginensis* は沼沢湿地付着生種群の主要構成種である。従って、本群集は後背湿地と池沼の環境を示すと考えられる。

⑥ *Pinnularia* sp. - *Surirella* sp. 群集 (群集⑥; 第13図)

本群集に優占する *Pinnularia* sp. は、淡水産が多く、

種類も多い。*Surirella* sp. は淡水、汽水、海水のいずれにも産する大型の珪藻である (水野, 1964)。随伴する *Luticola mutica* と *Pinnularia borealis* は陸域指標種群の主要構成種である。また、*Diploneis ovalis* と *Eunotia* sp. は淡水底生種群である (小杉, 1988)。*Pinnularia gibba* と *Placoneis elginensis* は沼沢湿地付着生種群の主要構成種である。そして、*Planothidium lanceolatum* は中～下流性河川指標種群の主要構成種で、真流水性の種である。浮遊生種群に含まれる種を検出しないことから、生息域の水深は浅かったと解釈される。従って、この群集は河川沿いの後背湿地の環境を示すと考えられる。

⑦ *Epithemia adnata* 群集 (群集⑦; 第13図)

本群集の優占種である *Epithemia adnata* は水草などに付着する種である (渡辺, 2005)。随伴する *Rhopalodia gibba* は、河川や湖沼に広く分布する種である (水野, 1964)。*Cocconeis placentula* と *Cymbella* sp. は淡水底生種群である (小杉, 1988)。*Eunotia bidens* と *Placoneis elginensis* は沼沢湿地付着生種群である。湖沼浮遊生種群の標徴種である *Aulacoseira granulata* と、真流水性の種である *Planothidium lanceolatum* も検出した。従って、河川を伴う湖沼の環境を示すと考えられる。

分類した珪藻化石群集に基づき、各層の堆積環境を推定し、そしてそれらの層序学的変遷を考察する。

大杭層下部は、水深の深い湖沼環境を示す *Pinnularia* sp. 群集と、河川中流域の後背湿地環境を示す *Nitzschia* sp. - *Planothidium lanceolatum* 群集が認められた。従って、大杭層下部の堆積環境は、湖沼から後背湿地へと変化したと解釈される。大杭層上部は、後背湿地と池沼の環境を示す *Diploneis ovalis* - *Planothidium lanceolatum* 群集、*Nitzschia* sp. - *Pinnularia borealis* 群集、*Nitzschia sinuata* var. *delognei* - *Luticola mutica* 群集と、河川沿いの後背湿地環境を示す *Pinnularia* sp. - *Surirella* sp. 群集が認められた。従って、大杭層上部の堆積環境は、後背湿地と池沼から後背湿地へと変化したと考えられる。

瓜生坂層上部は、河川を伴う湖沼環境を示す *Epithemia adnata* 群集が認められたので、堆積環境は湖沼環境が続いたと解釈できる。

珪藻化石に基づく、小諸層群の堆積環境は、大杭層堆積時に湖沼から後背湿地へと時間経過と共に変化し、瓜生坂層堆積時は、湖沼環境が続いたと解釈される。

窪田（1986）は、小諸市大杭に分布する大杭層上部層の珪藻土層（本研究では確認できなかった）から *Fragilaria* sp., *Melosira* sp. と *Stephanodiscus* sp. を得て、淡水性湖沼の環境を解釈した。また、窪田（1993）は、佐久市片倉峠に分布する瓜生坂層上部層から *Melosira distans* と *Cocconeis diminuta* を得て、止水状態か、わずかな流水がある淡水性湖沼の環境を解釈した。さらに、窪田（2009）は、大杭層と瓜生坂層上部層から試料を採取し、大杭層では真止水性の *Aulacoseira granulata* と *Stephanodiscus niagarae* が優占し、瓜生坂層上部層では好流水性の *Fragilaria elliptica* と *Aulacoseira distans* が優占することを示した。そして検出した珪藻化石の特徴より、湖環境から流水を伴う水域への変化を解釈した。本研究で示された大杭層の堆積環境は、窪田（1986, 2009）が示した解釈と概ね一致すると考えられる。しかし、窪田（1986, 2009）では柱状図や試料採取層準を示していないので、本研究のどの層準に相当するのか判断することはできない。窪田（1993）が示した瓜生坂層上部層の環境は、本研究の *Epithemia adnata* 群集が示す湖沼環境に相当する。また、窪田（2009）が示した瓜生坂層上部層の堆積環境は、窪田（1993）が示した瓜生坂層上部層の環境とは異なるが、両者の相違は議論されていない。

3. 2. 2. 花粉化石に基づく古植生と古気候

3. 2. 2. 1. 花粉分析の意義

花粉は、種子植物の生殖細胞である。花粉は、化学的に強靱な外壁を持ち大量に散布されるため、泥炭層から深海堆積物まで広範囲の堆積物に保存される（化石研究会, 1971）。従って、葉や根などの大型植物化石が限られた堆積環境からしか産出しないことに対して、花粉は多様な環境や層序学的に連続して産出する可能性が高い。そのため、花粉化石から古植生が読みとれ、それに基づき古気候が解釈される。そして、さらに古気候の変遷を調べるのに適する。

3. 2. 2. 2. 試料採取

花粉分析を行う試料は、大杭層、瓜生坂層下部層、瓜生坂層上部層から採取した。12地点の泥岩層、泥炭層、極細粒砂岩層から39層準39試料を採取した（第11, 12図）。採取する際、現生の花粉が含まれるのを防ぐために、露頭の表面を削り、露頭内部から試料を採取した。また、試料の粒度、色、含有物を記録した。

3. 2. 2. 3. 花粉分析の方法

方法を以下に示す。

- ①乾燥させた試料を細かく砕き、500 ml プラスチックピーカーの底を覆う程度の量を入れ、蒸留水を加えて泥化させる。
- ②蒸留水と等量のフッ化水素（46 %）を加え攪拌したのち、一昼夜放置する。
- ③試料を蒸留水で洗浄する。②の上澄みを遠沈管に半本ほど取り、蒸留水を加えてマイクロシュパテルで攪拌し、遠心分離する（2,000 rpm で3分間）。遠心分離後、上澄みを捨て、再び蒸留水を加えて攪拌後、遠心分離する。この作業を数回繰り返す。
- ④水酸化カリウム水溶液（10 %）を試料より多めに加え、攪拌する。
- ⑤20分ほど湯煎する。
- ⑥有機物を除去する。蒸留水の湯を加え、攪拌したのち遠心分離（2,000 rpm で3分間）する。上澄みが濁らなくなるまでこの作業を繰り返す。
- ⑦脱水する。水酢酸を試料より多めに加え、攪拌したのち、遠心分離（2,000 rpm で3分間）し、上澄みを捨てる。この作業を2回繰り返す。
- ⑧アセトリシス処理をする。この処理により、セルロースを取り除くことができる。試料にアセトリシス液を7分目まで加え、攪拌する。アセトリシ

ス液は、無水酢酸と硫酸を9:1の割合で混合したものである。その後、20分程湯煎したのち、遠心分離(2,000 rpmで3分間)する。

⑨上澄みを捨て、氷酢酸を遠沈管の6分目程度まで加え攪拌したのち、遠心分離(2,000 rpmで3分間)する。

⑩氷酢酸を除去する。試料に蒸留水を加え攪拌したのち、遠心分離(2,000 rpmで3分間)する。氷酢酸の臭いが無くなるまでこの作業を繰り返す。

⑪比重分離を行う。塩化亜鉛水溶液(180 mlの蒸留水に20 mlの塩酸を加えて溶媒を酸性にしたのち、塩化亜鉛500 gを溶解させたもの)を、試料の2倍以上加え、よく攪拌する。その後、遠沈管にアセトンを静かに加え、遠心分離(1,500 rpmで30分間)する。

⑫プレパラートを作成する。凝集した花粉化石を試料から採取し、グリセリンゼリーで封入する。グリセリンゼリーはゼラチン7 gを蒸留水30 mlに混ぜ、グリセリン38 gとフェノール1 gを加えて煮詰めて作成する。グリセリンゼリーで封入後、マニキュアでシールする。

作成したプレパラートを400倍または600倍の光学顕微鏡で検鏡し、木本花粉化石が150個に達するまで計数・同定する。150個に満たない場合は、作成したプレパラートを全て検鏡し、終了した時点での木本花粉化石の個数を基数とした。

3. 2. 2. 4. 結果

12地点から採取した39試料のうち、21試料から花粉化石を検出した(第5表)。大杭層の多くの層準から花粉化石を検出できたが、瓜生坂層からは検出できなかった。

検出した全ての花粉化石を属レベルで分類・同定した。その結果、8科17属の木本花粉と8科9属の草本花粉を分類し、同定できた。第6表は検出した花粉化石と個数を層序ごとに示したものである。検出した主な花粉化石を付図2に示す。

主に見られる木本花粉は、*Pinus*, *Picea*, *Abies*, *Alnus* である。*Cupressaceae*と*Castanea*は1つの試料のみから検出した。草本花粉は、*Persicaria*と*Compositae*が多く見られた。

3. 2. 2. 5. 花粉化石群集

検出した花粉化石の特徴的な組み合わせから、*Picea* - *Abies*群集に区分できる。木本化石を検出した21試料のうち、木本化石を50個以上検出した12試料

第5表. 花粉分析の試料採取地点と木本花粉化石の検出状況. 地層ごとに試料番号順に配列した. ○: 多(150個以上), △: 検出(150個未満), ×: 検出なし.

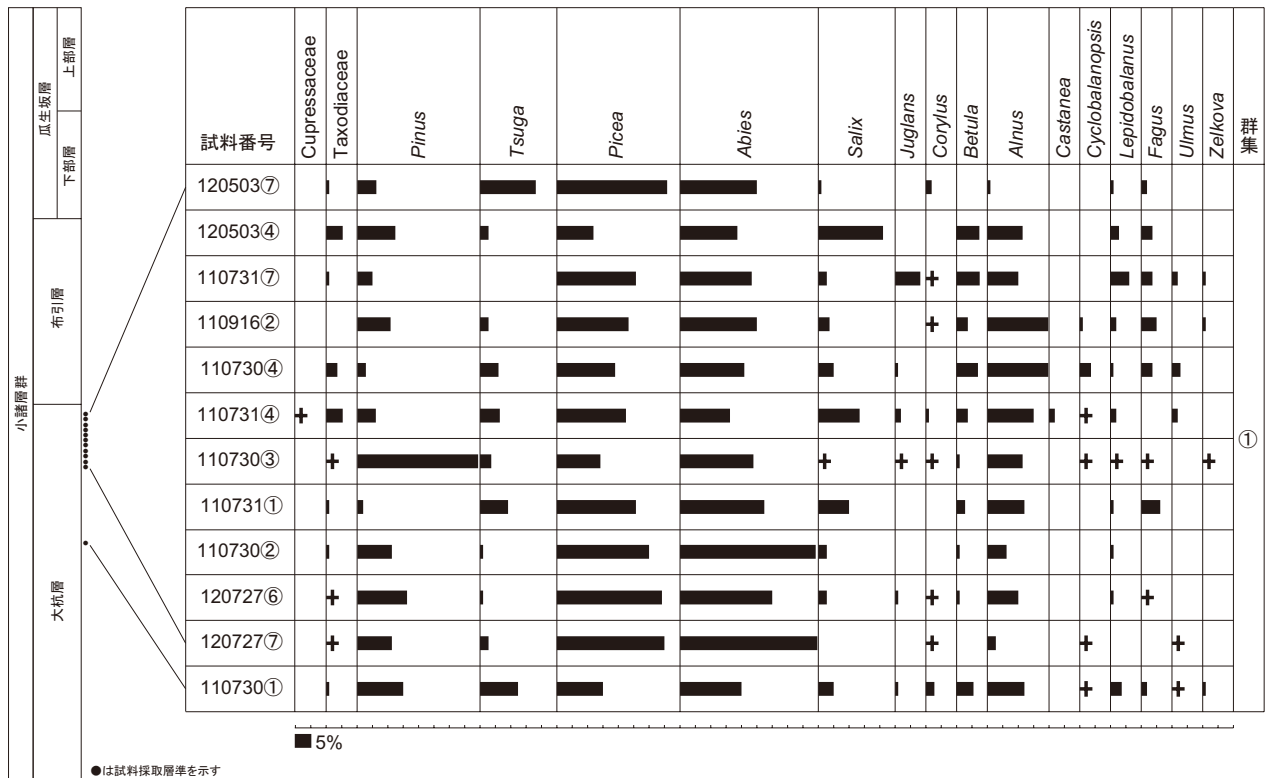
地層	試料番号	地点	産出状況
大杭層	110730①	塩川	○
大杭層	110730②	羽毛山	△
大杭層	110730③	羽毛山	○
大杭層	110730④	羽毛山	△
大杭層	110731①	羽毛山	△
大杭層	110731②	羽毛山	△
大杭層	110731④	羽毛山	△
大杭層	110731⑦	羽毛山	△
大杭層	110731⑧	布下	×
大杭層	110801①	布下	×
大杭層	110802③	松葉川	×
大杭層	110802④	松葉川	△
大杭層	110802⑤	松葉川	×
大杭層	110802⑥	松葉川	×
大杭層	110802⑦	松葉川	×
大杭層	110803①	小諸大橋北	△
大杭層	110803②	小諸大橋北	×
大杭層	110914①	田中橋	×
大杭層	110916①	羽毛山	△
大杭層	110916②	羽毛山	○
大杭層	110916③	羽毛山	△
大杭層	120503④	布下	△
大杭層	120503⑤	布下	×
大杭層	120503⑥	布下	△
大杭層	120503⑦	布下	△
大杭層	120727②	羽毛山	×
大杭層	120727③	羽毛山	×
大杭層	120727④	羽毛山	△
大杭層	120727⑤	羽毛山	△
大杭層	120727⑥	羽毛山	○
大杭層	120727⑦	羽毛山	△
大杭層	120728①	大杭	△
大杭層	120728②	大杭	×
大杭層	120728③	赤岩本郷	×
大杭層	120803②	松葉川	×
瓜生坂層下部	110802①	松葉川	×
瓜生坂層上部	120801①	望月	×
瓜生坂層上部	120801②	望月	×
瓜生坂層上部	120801③	望月	×

について、群集内でその種が占める割合を示すダイヤモンドグラムを作成した(第14図)。群集は以下のように定義できる。

第6表. 検出した花粉化石.

試料番号	地点	地層	木本類																	草本類							花粉合計					
			Cupressaceae	Taxodiaceae	Pinus	Tsuga	Picea	Abies	Salix	Juglans	Corylus	Betula	Alnus	Castanea	Cyclobalanopsis	Lepidobalanus	Fagus	Ulmus	Zelkova	木本類小計	Typha	Cyperaceae	Liliaceae	Persicaria	Trapa	Circaea		Gramineae	Catrtesia	Compositae	草本類小計	
110802④	松葉川	大杭層	1	5	1	10	9	2	2										41												4	45
120503⑦	布下		1	6	22	34	24	1		2	1	1				1	2		94			1	2					1			2	96
120503⑥	布下			8		11	13			1		1				1			36			3								1	4	40
120503④	布下		4	12	3	11	16	19				7	10			3	4		89			1	9	1				1	1	13	102	
110731⑦	羽毛山		2	7		35	32	4	12	1	10	13				8	5	3	2	134			3	3	4				6	16	150	
110916③	羽毛山												2						2												0	2
110916②	羽毛山			18	4	37	40	6			1	7	32			2	3	8	2	160		4	1	4			1	2	6	18	178	
110916①	羽毛山		1	1		2							3						1	10		1	1						1	3	13	
110730④	羽毛山		3	2	4	13	15	4	1			5	14			3	1	3	2	70		1	2	6						9	79	
110731④	羽毛山		1	5	6	7	23	17	13	2	1	4	16			2	1	2	2	102			4	2				2	1	9	111	
110730③	羽毛山		1	65	6	22	39	1	1	1	1	2	19			1	1	1	1	161											0	161
110731②	羽毛山			2		3	3	1					5						14		1	1								2	16	
110731①	羽毛山		1	2	7	23	25	9				3	11			1	6		88			1							5	6	94	
110730②	羽毛山		1	7	1	20	29	2				1	4			1			66			1							1	2	68	
120727④	羽毛山			3		5	4						1			1	1		15											0	15	
120727⑤	羽毛山			1		1	2						1			1			6												0	6
120727⑥	羽毛山		1	29	2	57	49	5	2	1	2	17				2	1		168				4	1	1			3	3	12	180	
120727⑦	羽毛山		1	12	3	38	49				1		3			1		1	109				3					4	7	116		
110730①	塩川		2	24	20	24	34	8	2	5	10	20			1	6	3	1	2	162			1					1	2	164		
110803①	小諸大橋北					1		1					1						3								1			1	4	
120728①	大杭		1		1	1	2			1			10					3	3	1	23									0	23	

10~29個 30個以上



第14図. 各試料から検出した木本花粉化石のダイヤグラム.

Picea - Abies 群集 (群集①; 第14図)

本群集は, PiceaとAbiesが優占する群集である。PinusとAlnusを多く伴う。また, Tsuga, Salix, Betula, Lepidobalanus, Fagusも伴う。しかし, Cupressaceae, Castaneaをほとんど検出しない。本群集は大杭層に見られる。

3. 2. 2. 6. 花粉化石群集に基づく古植生と古気候
花粉化石群集に基づいて, 植生を復元し, その要因となる気候を推定する。

Picea - Abies 群集は, PiceaとAbiesが優占し, Pinus, Alnus, Tsuga, Salix, Betula, Lepidobalanus, Fagusを伴う

ことで特徴づけられる。この群集は暖温帯針葉樹と冷温帯落葉広葉樹の混合林を示す。*Picea*, *Abies*, *Tsuga* は、温帯針葉樹の中でも寒冷要素をもつものに区分される(安田・三好, 1998)。この植生から、大杭層の古気候は冷温帯～亜寒帯の気候に相当すると解釈される。

また、*Alnus* は、林野の湿地を好む(牧野, 2000)。主に湿地や湖沼に分布する水生植物の *Typha* や *Trapa* (宮脇, 1977) を一部の層準(120727⑥, 110731②, 110730④, 110731⑦, 120503④) から検出した。従って、この群集は湿地や湖沼の環境を示す。これは、堆積相解析に基づき示された氾濫原と湖の古環境と調和的である。

本研究で解釈された古気候と先行研究で示された古気候の解釈を比較した。伊東ほか(1988)は、大杭層上部は広葉樹花粉の出現率が高く、*Ginkgo* と *Cyclobalanopsis* を伴う針広混合林とした。本研究では、*Ginkgo* を検出することができなかった。これは、筆者等が試料採集した層準と伊東ほか(1988)の試料採取層準が異なる可能性が高い。高塚(2004)は、大杭層中の黄白色軽石凝灰岩層(通称 羽毛山軽石層)より上部と下部に位置する地層から試料を採取し、下位より *Fagus* 帯, *Picea* 帯, *Picea - Fagus* 帯, *Picea - Abies* 帯, *Fagus · Ulmus - Zelkova* 帯に区分した。そして、大杭層上部堆積期の古植生は中間温帯～冷温帯の針広混交林と解釈した。高塚(2004)でも *Ginkgo* の検出が報告されていない。*Ginkgo* が小諸層群から検出されることが稀であることを示すと解釈できる。なお、高塚(2004)は、花粉帯を5帯に区分したが、本研究では大杭層全体を通して *Picea* と *Abies* が優占するので、1つの群集として区分した。

3. 2. 3. 葉相観に基づく古気候

花粉化石は、産出頻度が高く、層序学的に連続的に産出する。そのため、花粉化石は連続的に古気候の変遷を調べられる点において、大型植物化石よりも優れている。しかし、花粉化石の問題点について、山野井(1993)は以下のように指摘した。すなわち、①堆積水域が広いほど、広い範囲からの花粉が集まる。②内陸の高地の植物の花粉はより遠くまで散布されるのに対し、岸に近い植物の花粉は遠方には運ばれない傾向(Traverseの法則)がある。従って、一般的に岸から遠く離れた水域で高率化する *Pinaceae* は、現地性の程度を判断できないとし、*Pinaceae* を全体の組成からのぞいて考えるべきであるとした。

本研究で認められた *Picea - Abies* 群集は *Pinaceae* の

Picea, *Abies*, *Pinus*, *Tsuga* が多く含まれる。そこで、花粉化石群集の妥当性を評価するため、植物葉化石の葉相観に基づく古気候を推定した。

3. 2. 3. 1. 古気候の解析法

葉相観は、葉器官の各種特徴(外部形態や組織の特徴)またはそれを解析することである(大久保, 2000)。同一の気候条件下に存在する森林は、共有種をほとんど持たず、かつ地理的に隔離されていても、広葉樹の葉相観は近似する。例えば、東南アジアとブラジルの現在の熱帯降雨林は、構成種は非常に異なるが葉相観の値は近似する。このように、葉相観の値が分類学にほとんど関係しないことが、化石植物葉に適用できる根拠になっている(棚井, 1991)。広葉樹の葉相観で、気候と密接な関係にある形質は葉縁と葉面積である(植村, 1993)。特に、葉縁の特徴が気候と最も直接に関連する。全縁葉をもった樹木種の比率(全縁率)が気候の指標となり、白亜紀後期～第三紀植物化石群の気候解析に適用できることが示された(棚井, 1993)。一般に全縁葉は温暖な気候を示し、非全縁葉(鋸歯葉など)は寒冷な気候を示す。

Wolfe(1978)は、アジア大陸東部の熱帯雨林から温帯林北部までの森林を構成する全広葉樹種に対する全縁率に基づき、全縁率と年平均気温との間に極めて高い相関関係があることを示した。これは、適湿あるいは多湿気候において有用である。Wolfe(1978)によると、全縁率3%が1℃に相当する。これをもとに、植村(1993)は年平均気温(T ℃)を以下の式で求めることを提唱した。

$$T^{\circ}\text{C} = 1/3E + 1.7 \quad (T^{\circ}\text{C}: \text{年平均気温}, E: \text{全縁率})$$

葉相観による古気候の推定法の利点は、化石群に誤同定や未同定の種や絶滅種が含まれていても、葉形態が正しく識別されている限りでは古気温が導かれることである。しかし、信頼度の高い結果を得るためには、化石群の組成が最低20種以上の広葉樹からなることが必要である(棚井, 1993; 植村, 1993)。

3. 2. 3. 2. 大杭層の堆積当時の古気温

Wolfe(1978)の相関関係と植村(1993)の関係式に基づき、大杭層から産出する植物葉化石により、古気温を見積もる。東部町誌編纂委員会(1989)は、東御市布下に分布する大杭層上部層から産出した植物葉化石を報告した(第7表)。この植物化石群は、葉縁の特徴が確認できる広葉樹が22種で、棚井(1993)と植村(1993)が指摘する20種を上回る。22種の広葉樹のうち、全縁葉をもつ種は6種である。従って、全

第7表. 大杭層上部（柱状図番号17）から産出した植物化石. 東部町誌編纂委員会（1989）を改変.

学名	和名	◎多 ○普通 △少	冷温帯 植物	暖温帯 植物	湿地帯 植物	化石種	○全縁葉 ×非全縁葉 —不明
<i>Populus</i> sp.	ポプラ属	△		○	○		×
<i>Salix</i> sp.	ヤナギ属	◎		○	○		○
<i>Carpinus cordata</i>	サワシバ	△	○				×
<i>C. japonica</i>	クマシデ	△		○			×
<i>Betula</i> sp.	カバノキ属	△	○				×
<i>Betula grossa</i>	ヨグソミネバリ	△		○			×
<i>Alnus japonica</i>	ハンノキ	○			○		×
<i>A. hirsuta</i>	ヤマハンノキ	△		○			×
Fagaceae gen. et sp. indet.	フルブナ	△				○	×
<i>Lepidobalanus serrata</i>	コナラ	○		○			×
Ulmaseae gen. et sp. indet.	フルニレ	△				○	—
Ulmaseae gen. et sp. indet.	クロモニレ	△		○			×
Ulmaseae gen. et sp. indet.	ウングリケヤキ	△				○	×
<i>Zelkova serrata</i>	ケヤキ	○		○			×
Leguminosae gen. et sp. indet.	マメ科	○					○
<i>Mallotus japonicus</i>	アカメガシワ	○		○			○
<i>Rhus verniciflua</i>	ウルシ	○		○			○
Anacardiaceae gen. et sp. indet.	フルツタウルシ	○				○	—
Aceraceae gen. et sp. indet.	フルモミジ	△		○		○	×
<i>Acer mono</i>	イタヤカエデ	◎		○			×
<i>Buxus microphylla</i>	ツゲ	◎		○			○
<i>Celastrus orbiculatus</i>	ツルウメモドキ	○		○			×
<i>Tilia japonica</i>	シナノキ	○		○			×
<i>Cornus controversa</i>	ミズキ	△		○			○

縁率は27%である。これを植村（1993）の関係式に代入すると、年平均気温（T℃）の10.7℃が算出される。研究地域の最近30年間（1981～2010年）の年平均気温は、東御市（標高958 m）が9.3℃で、上田市（標高502 m）が11.9℃である（気象庁，2013）。従って、大杭層堆積当時の気温は、現在の研究地域とはほぼ同じであったと解釈できる。また、研究地域の現在の気候は暖温帯～亜寒帯である（東部町誌編纂委員会，1989）。本研究では、花粉分析に基づく大杭層の古気候を冷温帯～亜寒帯と推定した。これは、現在の研究地域の気候とはほぼ同じである。従って、大杭層の堆積当時も現在と同様に高地に位置していたことを示すと解釈できる。また、Pinaceaeの花粉の卓越は葉相観に基づく古気候と同様で、花粉分析に基づいて推定された古気候は妥当であると解釈できる。これはこの地域が内陸の高地に位置し、元来内陸の高地に植生したPinaceaeの花粉が近くに散布されたことを示すと考えられる。

3. 2. 4. 産出する動物化石

小諸層群大杭層から、動物化石の産出が報告された

（例えば、小泉・大島，2003；長森ほか，2005；長森・畠山，2007；杉田，2007）。産出した哺乳類化石を第8表に示す。本研究では、東御市田中の千曲川右岸に露出する大杭層上部の凝灰質泥岩層（第4図）からニッポンムカシジカ（*Cervus (Nipponicervus) praenipponicus*）に同定される歯化石を発見した。これまで、本地域でシカの歯化石が産出した報告はなく、本研究が初めての報告である。

東御市羽毛山の大杭層上部で大型と小型の足跡化石を確認した。大型の足跡化石は、足跡の大きさが25～40cmで、形が楕円形ないし円形であること、短い指の跡を伴うことから長鼻類が印したものと同定できる。羽毛山から*Stegodon aurorae*に同定される体化石が産出することから、足跡化石を印した動物は*Stegodon aurorae*である可能性が高い。小型の足跡化石は、小さな蹄の痕が2つ配列していることから偶蹄類が印したものと同定される。

また、東御市布下の大杭層上部から*Cipangopaludina malleata*, *Anodonta iwakawai*などの淡水生貝類の産出が報告され（大森・茨木，1966），東御市羽毛山の大杭層上部から*Anodonta* sp. と *Cipangopaludina* sp. が産

出した(松岡・石井, 2003, 2007)。さらに, 東御市羽毛山の太杭層上部からオサムシ科, ゲンゴロウ科, ガムシ科などの昆虫化石が産出した(Hayashi, 1998; 林, 2003, 2007)。Hayashi (1998) は, これらの昆虫化石に基づき, 太杭層上部の古環境を, 止水域を伴うヨシの生える湿原と推定した。

3. 3. 堆積環境の復元

岩相と生物相に基づく, 小諸層群の古環境および古気候を第9表に示す。凝灰岩や凝灰角礫岩からなる太杭層下部は, 堆積相解析によると河川流路に土石流が流れ込む堆積盆地が解釈される。また, 珪藻化石に基づくと *Pinnularia* sp. 群集が認められ, その上部で *Nitzschia* sp. - *Planothidium lanceolatum* 群集が認められることから, 水深の深い湖から後背湿地へ環境が変化したことが解釈される。花粉化石によると, 120728 ①から *Alnus* を多く検出したこと(第6表を参照)から, 湿地環境が解釈される。従って, 太杭層は, 河川流路, 湖や後背湿地からなる環境であったと考えられる。また, 太杭層上部では, 堆積相解析により, 氾濫原から河川流路へと変化した, さらに氾濫原や自然堤防へ, そして堤防決壊が頻繁に起こる環境へと移り変わったことが示された。珪藻化石は, *Diploneis ovalis* - *Planothidium lanceolatum* 群集, *Nitzschia* sp. - *Pinnularia borealis* 群集, *Nitzschia sinuata* var. *delognei* - *Luticola mutica* 群集と *Pinnularia* sp. - *Surirella* sp. 群集が認めら

れ, 後背湿地と池沼の環境から後背湿地へと環境が移り変わったことが解釈できる。太杭層から検出した花粉化石により, *Picea* - *Abies* 群集が認められ, 冷温帯~亜寒帯の気候が解釈される。

布引層は凝灰角礫岩とスコリアを主体とするため, 微化石が検出できなく, 生物相からの古環境, 古気候の推定ができなかった。

瓜生坂層下部層は淘汰不良の凝灰質泥~砂岩を主体とし, 泥流堆積物と解釈できる。また, 基質に含まれる泥岩から試料採取し, 珪藻分析・花粉分析を試みたが, 化石は検出できなかった。従って, 瓜生坂層下部層堆積時の古環境・古気候は推定できなかった。

瓜生坂層上部層では, 堆積相解析により, 氾濫原から河川流路への環境の変化が解釈された。また, 珪藻分析により, *Epithemia adnata* 群集が認められ, 湖沼環境が解釈された。瓜生坂層上部層から花粉化石が検出できなかった。しかし, 伊東ほか(1988)は瓜生坂層上部層に対比される八千穂層群の下部八千穂累層から花粉化石を検出し, *Picea*, *Abies*, *Pinus*, *Taxodiaceae* が優占するとした。これは, 本研究の太杭層で区分した *Picea* - *Abies* 群集に相当する。従って, 瓜生坂層上部層堆積時も太杭層堆積時と同様な気候であった可能性が高い。

飯島ほか(1956)は小諸層群の堆積環境を海浜性の淡水湖と解釈した。そして, 飯島(1962)は, 梨平層, 太杭層堆積時の湖を古小諸湖とし, 盆地全体に湖

第8表. 産出した哺乳類化石. 化石産地は第1図に従う。

長鼻類

	化石産地	産出個体数	出典	合計
体化石	17	1	飯島ほか(1993)	7
	7	1	古象団体研究会(1973)	
	17	1	小泉・宮坂(1997)	
	10	1	小泉・大島(2003)	
	10	3	杉田(2007)	
足跡化石	17	1	長森ほか(2005)	13
	10	1	長森・畠山(2007)	
	10,17	11	本研究	

偶蹄類

	化石産地	産出個体数	出典	合計
体化石	17	1	寺尾(2003)	3
	10	1	杉田(2007)	
	9	1	本研究	
足跡化石	10	4	長森・畠山(2007)	10
	10	6	本研究	

盆が拡大したと解釈した。その後の研究では小諸層群は湖沼性堆積物とされた（大森・茨木，1966；秋間団研グループほか，1973；田口ほか，1976；小坂・千曲川団研グループ，1977；東部町誌編集委員会，1989；小坂ほか，1992；北御牧村誌刊行会，1999）。しかし，寺尾（2001）は，大杭層の堆積相の特徴に基づき，扇状地・網状河川，氾濫原・自然堤防・後背湿地，湖沼の環境を示した。本研究では，岩相と生物相に基づき，河川流路，後背湿地，湖沼の環境を解釈した。従って，従来の小諸層群が大きな湖で堆積した地層であるとする飯島ほか（1956）ほかの解釈は支持できない。

大杭層堆積時の堆積環境を堆積相解析，古流向の復元，珪藻分析に基づいて考察し，復元図に示した（第15図）。現在の東御市と小諸市を中心に堆積盆地が存在したと解釈できる。堆積相の特徴に基づくと，河川流路や氾濫原の環境が解釈できる。そして，アケボノゾウ（*Stegodon aurorae*）やニッポンムカシジカ（*Cervus (Nipponicervus) praenipponicus*）は，それらの環境で生息していたと考えられる。

4. 古生態系

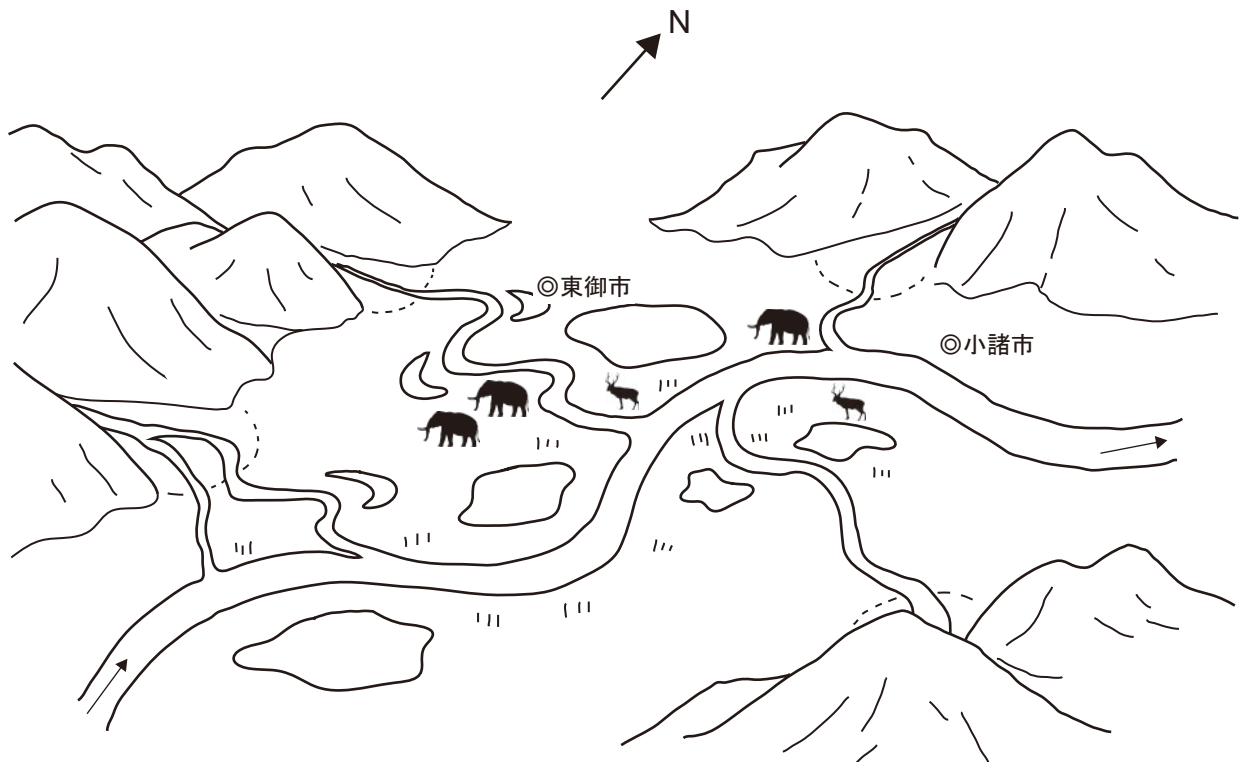
4. 1. 古生態系の復元

4. 1. 1. 生態系概念と構造

生態系とは，生物群集と非生物的環境をエネルギーと物質の流れにより関連づけた一つのシステムである（Begon et al., 1999）。物質は生態系内を半永久的に循環する。一方，熱として体外に放出されたエネルギーは二度と生態系内で利用されることはない。従って，生態系を把握するためには，エネルギー流の観点をを用いることが重要である。

生態系を支えるエネルギーは太陽光エネルギーである。太陽光エネルギーを生物が利用できる形に変換できるのは植物のみである。光合成により植物が蓄積したエネルギーのことを純一次生産（NPP = Net Primary Productivity）と呼ぶ。生態系はこのNPPに支配されている。

Heal and MacLean (1975) は，エネルギー流に着目した陸上生態系の復元モデルを作成した。生態系はNPPに依存した生食者系と遺骸有機物に依存した腐食者系に分けられる。それぞれの系の生物は，食物網構造の解析により生産者（植物），一次消費者，高次消費者，分解者に区分することができる。これを栄養段階と称する。NPPは被食-捕食の関係により草食動物に変換される。さらに草食動物に変換されたエネルギーは他



第15図. 大杭層堆積時の環境復元図.

の動物に変換される。上位の栄養段階の生物は、下位の栄養段階で生産する全てのエネルギーを利用することはない。エネルギーが移行する際には必ずロスが生じる。エネルギーのロスには、骨や根などの捕食できない分、死体や排泄物となる分、呼吸熱として排出される分がある。Heal and MacLean (1975) と Begon et al. (1999) はこれらのエネルギーロスを、それぞれ、消費効率 (CE = Consumption Efficiency), 同化効率 (AE = Assimilation Efficiency), 生産効率 (PE = Production Efficiency) という3つの変換効率として見積もった。これらをNPPや各栄養段階に移行するエネルギー量に乗じると、上位の栄養段階に移行するエネルギー量を求めることができる。

なお、Heal and MacLean (1975) が示したモデルのうち、腐食者系は化石から推定することが困難である。そこで、本研究は生食者系についてのみ議論する。

4. 1. 2. 古生態系の復元方法

Matsukawa et al. (2006) は、エネルギー流に着目して、古生態系を定量的に復元した。その方法は以下の通りである。

産出した化石の食性から食物網を構築する。生態系はNPPに支配されているので、産出した植物化石から現生の植生に応じたNPPを見積もる。Whittaker (1975) は、植生の種類に応じて1年間の1m²当たりのNPPの値を見積もり、植物量の乾燥重量で表わした。NPPの値をエネルギーの単位として扱うためには、乾燥重量1gあたりの熱量17.85 kJを乗じる。さらに、1m²当たりのNPPに、古生態系を復元する範囲の面積を乗じることで、復元範囲の総NPPを求めることができる。

次に動物1個体の所要エネルギー量を求める。所要エネルギー量とは、生物が生存するために必要とする最低のエネルギー量である。所要エネルギー量は基礎代謝率に基づいて見積もることができる。基礎代謝率とは、動物が活動していない状態でも生命を維持するために必要なエネルギー量であり、動物の代謝型と体重により求めることができる。動物が活動しているときに必要な活動代謝率は基礎代謝率の2~3倍である。動物は摂取したエネルギーの全てを同化することはできない。柘原ほか (2004) と Matsukawa et al. (2006) は、同化効率の逆数を活動代謝率に乗じることで所要エネルギー量要求式を求めた。

3つの変換効率を用いて各栄養段階に移行するエネルギーを見積もった後に、それを1つの栄養段階に属する動物に分配する。エネルギー量の分配は、その栄

養段階を構成する動物に対して、その存在比と所要エネルギー量に基づいて分配される。例えば、ある栄養段階に動物AとBが存在したとする。動物Aの存在個体数をa、所要エネルギー量をX、動物Bの存在個体数をb、所要エネルギー量をYとして、その栄養段階の生物が利用できるエネルギー量をEとする。このとき、動物Aが利用できるエネルギー量は

$$E = \frac{aX}{aX + bY}$$

で算出できる。

古生態系の復元には、動物の個体数比の代わりに化石の産出数を動物の存在比として使用する。このように配分されたエネルギー量を1個体あたりの所要エネルギー量で除すれば、許容個体数を導くことができる。許容個体数は、対象地域に動物各種が理論的に生息できる最大個体数を示す。

4. 2. 小諸層群の古生態系の復元

4. 2. 1. 古生態系の復元範囲と植生

古生態系を復元するためには、復元範囲を定める必要がある。小諸層群は東西15 km、南北12 kmの面積180 km²内に分布する。しかし、生態系を復元する際には、動物の移動範囲を考慮する必要がある。また、他地域の生態系との比較を容易にするために、面積の桁数をそろえる必要がある。松川ほか (2008) は関東平野西縁部の鮮新-更新世の陸上生態系を復元した際に復元面積を16,829 km²と設定し、松川・加藤 (2011) は岩手県の北上低地帯の鮮新-更新世の陸上生態系を復元した際に復元面積を87,500 km²と設定した。従って、本研究では、小諸層群の分布面積を100倍した18,000 km²を古生態系の復元範囲と設定した。

復元範囲の総NPPを求めるためには、陸域だけでなく、河川・湖沼などの水域の面積を求める必要がある。小諸層群大杭層堆積時の環境は陸域を主体として、水域が一部に存在する環境であったと考えられる。ここでは、復元範囲の2割を水域に、残りの8割を陸域と設定した。

陸域の植生は産出化石に基づいて決定する。花粉分析に基づく、小諸層群堆積時の植生は温帯針葉樹と冷温帯落葉広葉樹の混合林が解釈される。温帯針葉樹の花粉の割合は、冷温帯落葉広葉樹よりも高い。また、Gramineaeの花粉を少し検出した (第6表を参照) ことから、温帯イネ科草原も存在したと考えられる。以上のことから、本研究では、陸域の植生の割合を温帯針葉樹林が5割、温帯落葉広葉樹が2割、温帯イネ科草原が1割と設定した。

Whittaker (1975) により示された温帯常緑樹林、温帯落葉樹林、温帯イネ科草原の1年間の1m²当たりのNPPは、それぞれ、1,300 g/m²/y, 1,200 g/m²/y, 600 g/m²/yである。これらの値に乾燥重量1gあたりの熱量17.85 kJを乗じると、1年間の1m²当たりのNPPが算出される。温帯常緑樹林の1年間の1m²当たりのNPPは23,205 kJ/m²/y、温帯落葉樹林は21,420 kJ/m²/y、温帯イネ科草原は10,710 kJ/m²/yが見積もられる。そして、見積もられたNPPに面積を乗じると、復元範囲全体の陸域のNPPを見積もることができる。

4. 2. 2. 動物の体重と食物網

古生態系の復元では、古生態系内に生息した各動物種の所要エネルギー量を求めるために、体重と食性を推定する必要がある。小諸層群大杭層から哺乳類化石が産出する(第8表)。特に、足跡化石の産出の頻度が高い。Cumming and Cumming (2003) は、有蹄類の蹄の総面積と体重の間に相関関係があることを示した。すなわち、蹄一つの面積が22.42cm²以下の有蹄類は

$$\text{体重} = (\text{蹄の総面積} (\text{cm}^2) + 0.4067/0.8926$$

の関係式が成り立つ。また、蹄一つの面積が33.28cm²以上の有蹄類は

$$\text{体重} = (\text{蹄の総面積} (\text{cm}^2) + 1.421/1.317)$$

の関係式が成り立つことが示された。本研究では、東

御市羽毛山の犬杭層から産出した長鼻類と偶蹄類の足跡を印した動物個体の体重をこの式を用いて算出した(第10表)。なお、産出した偶蹄類の足跡には、面積が22.42 cm²以上32.28 cm²未満のものがある(例えば、足跡番号110920-2; 第10表)。これらは関係式を用いた体重が推定できない。従って、これらを除き推定できた足跡の体重の平均値を偶蹄類の体重と設定した。

エネルギー流から古生態系を復元するために、産出した動物化石の捕食-被食の関係から食物網モデルを作成する。本地域から産出した陸上脊椎動物化石種は、現生の近縁種を持つため、それらの食性が推定できる。推定した動物の食性に基づき、食物網を作成した(第16図)。なお、偶蹄類の足跡化石は本地域で産出した歯化石から同定されたニッポンムカシジカ(*Cervus (Nipponicervus) praenipponicus*) が印した可能性が高い。しかし、ニッポンムカシジカ(*Cervus (Nipponicervus) praenipponicus*) の足跡に関しては不明なので、ここでは偶蹄類をシカの仲間(*Cervipus* sp.) として考察する。

小泉(2003) は関東平野西縁部の鮮新-更新統上総層群飯能層から産出したオオカミ化石 *Canis (Xenocyon) falconeri* を報告した。松川ほか(2008) は関東平野西縁部の鮮新-更新世の陸上生態系を復元した際にこのオオカミを食物網に組み込み、同地域の古生態系を復元した。本地域では関東平野西縁部のオオカミ *Canis*

第9表. 古環境と古気候のまとめ. 層厚は考慮しない.

		古環境				古気候		
		岩相からのアプローチ		生物相からのアプローチ		花粉分析		
		岩相	岩相群	岩相の解釈	珪藻化石群集	示す環境	花粉化石群集	示す気候
小諸層群	瓜生坂層	上部層	岩相群1	河川流路堆積物				
		岩相群2	氾濫原堆積物, 堤防決壊堆積物	<i>Epithemia adnata</i> 群集	湖沼			
	下部層							
	布引層							
	大杭層				<i>Pinnularia</i> sp. - <i>Suirella</i> sp.群集	後背湿地		
			岩相群2	堤防決壊堆積物				
			岩相群2	氾濫原堆積物, 堤防決壊堆積物				
			岩相群2	氾濫原堆積物, 堤防決壊堆積物	<i>Nitzschia sinuata</i> var. <i>delognei</i> - <i>Luticola mutica</i> 群集	後背湿地と湖沼	<i>Picea - Abies</i> 群集	冷温帯~亜寒帯
					<i>Nitzschia</i> sp. - <i>Pinnularia borealis</i> 群集			
					<i>Diploneis ovalis</i> - <i>Planothidium lanceolatum</i> 群集			
		岩相群1	河川流路堆積物					
	岩相群2	氾濫原堆積物, 堤防決壊堆積物						
			<i>Nitzschia</i> sp. - <i>Planothidium lanceolatum</i> 群集	後背湿地				
	岩相B	土石流堆積物	<i>Pinnularia</i> sp.群集	深い湖沼				

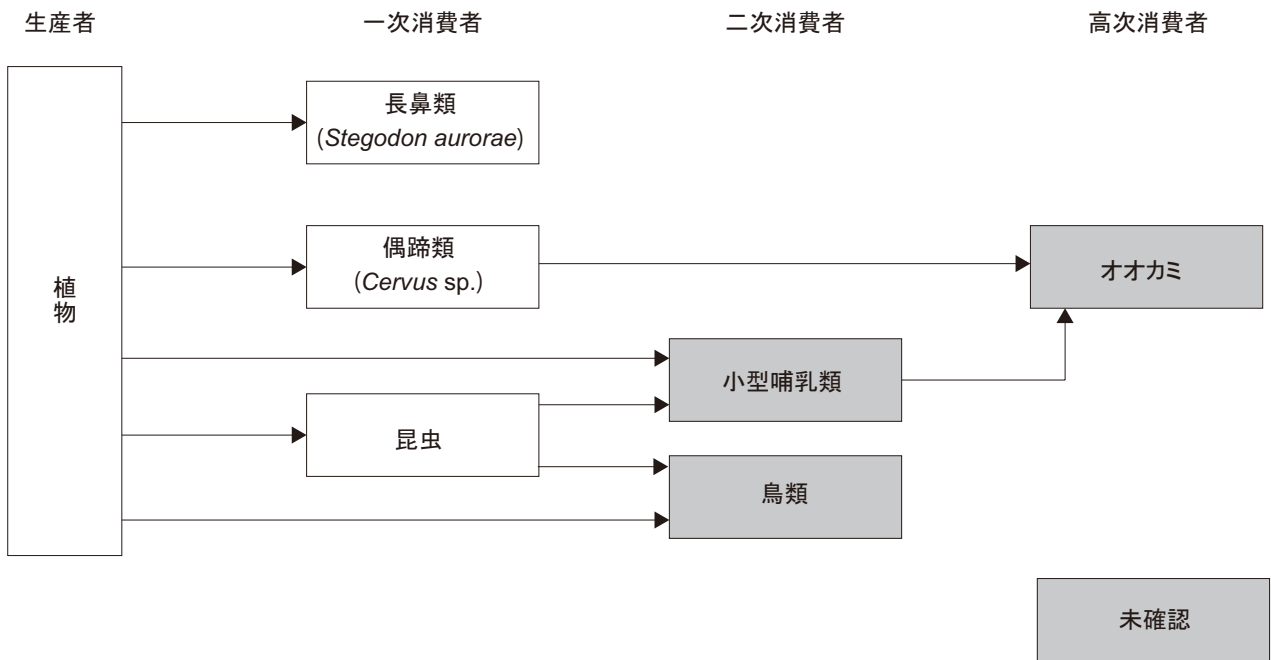
第10表. 小諸層群大杭層から産出する有蹄類の足跡化石の大きさと推定体重. 体重が推定できない足跡は—で示す.

長鼻類

足跡化石	出典	足跡の長さ(cm)	足跡面積 (cm ²)	推定体重 (kg)
14	本研究	33.0	578.9	1,759.0

偶蹄類

足跡化石	出典	足跡の長さ(cm)	足跡面積 (cm ²)	推定体重 (kg)
110920-1	本研究	8.4	22.07	99.3
110920-2	本研究	8.6	26.90	—
110920-3	本研究	8.5	30.71	—
110920-4	本研究	6.8	22.12	99.5
I - 4	長森・畠山 (2007)	11.6	33.17	—
I - 5	長森・畠山 (2007)	6.8	16.11	72.6
I - 8①	長森・畠山 (2007)	8.2	20.50	92.3
I - 8②	長森・畠山 (2007)	9.9	31.30	—
I - 11	長森・畠山 (2007)	10.0	30.56	—
II - 1	長森・畠山 (2007)	8.5	32.05	—
平均		8.7	23.55	91.0



第16図. 小諸層群の食物網.

(*Xenocyon falconeri*) のような大型肉食動物の化石は報告されていない。しかし、大型草食哺乳類が生息していたことから、本地域にも大型肉食動物が生息していたと考えられる。また、本地域では小型の脊椎動物化石は報告されていないが、現在の類似の生態系には、ネズミを含む小型哺乳類や鳥類が生息する。鮮新-更新世の生態系にもこれらの小型脊椎動物は生息していたものと考えられる。そこで、これまで脊椎動物化石が報告されていなくても、確実に生息していたと考えられる動物種 (小型哺乳類, 鳥類, オオカミ) を未確

認種として食物網に加えた。未確認種の体重は松川ほか (2008) に基づく。なお、オオカミが体重1,700 kgもある長鼻類を捕食していたとは考えにくい。従って、オオカミは偶蹄類と小型哺乳類を捕食していたと考えられる。

動物の個体数は、古生態系を復元する場合、産出個体数を用いる。長鼻類の個体数は、体化石については個体数が報告されているのものは、それに従った。骨格の一部のみの産出が報告されている場合、それらは全て別個体と判断した。足跡化石については、連続し

た歩行跡は1個体と計数し、その他はまとめて1個体とした。偶蹄類は、体化石については産地が異なるため別個体とし、足跡化石については全て別個体として計数した(第8表を参照)。未確認種は1個体とした。

4. 3. 復元した古生態系の特徴

作成した食物網に基づき、Matsukawa et al. (2006) の手法を用いて生態系のエネルギー流を解析した。解析

に用いた値とエネルギーの変換効率を第11表に示す。動物各種の所要エネルギー量や許容個体数、個体数密度、生物量を第12表に示す。また、生態系内のエネルギー量と個体数密度、生物量の階層構造を生態ピラミッドで表した(第17図)。なお、生物量は体重と個体数密度を乗じ、乾燥重量で表すために5. 6で除して示した(Odum, 1983)。

復元した生態系では、1 km²当たりの生息可能な最

第11表. 古生態系の復元に用いた値と変換効率.

	単位	量	根拠
総面積	m ²	180,000,000	
生態系復元面積	m ²	18,000,000,000	
陸域面積	m ²	14,400,000,000	
水域面積	m ²	3,600,000,000	
温帯常緑樹林の面積	m ²	9,000,000,000	
温帯落葉樹林の面積	m ²	3,600,000,000	
温帯イネ科草原の面積	m ²	1,800,000,000	
温帯常緑樹林のNPP	kJ/m ² /y	23205	Whittaker, 1975
温帯落葉樹林のNPP	kJ/m ² /y	21420	Whittaker, 1975
温帯イネ科草原のNPP	kJ/m ² /y	10710	Whittaker, 1975
総NPP	kJ/y	305,235,000,000,000	
森林における草食動物の消費効率	ratio	0.05	Begon et al., 1999
草原における草食動物の消費効率	ratio	0.25	Begon et al., 1999
草食動物の同化効率	ratio	0.5	Heal and MacLean, 1975
草食動物の生産効率	ratio	0.02	Heal and MacLean, 1975
昆虫食動物の消費効率	ratio	0.05	Begon et al., 1999
昆虫食動物の同化効率	ratio	0.80	Heal and MacLean, 1975
昆虫食動物の生産効率	ratio	0.02	Heal and MacLean, 1975
肉食動物の消費効率	ratio	0.75	Begon et al., 1999
肉食動物の同化効率	ratio	0.80	Heal and MacLean, 1975
肉食動物の生産効率	ratio	0.02	Heal and MacLean, 1975
昆虫の消費効率	ratio	0.05	Begon et al., 1999
昆虫の同化効率	ratio	0.40	Heal and MacLean, 1975
昆虫の生産効率	ratio	0.40	Heal and MacLean, 1975
昆虫食動物の消費効率	ratio	0.05	Begon et al., 1999

第12表. 古生態系の解析結果.

植食者

分類群	食性	個体数	体重(kg)	1個体の年間所要エネルギー量(kJ/y)	種全体の年間所要エネルギー量(kJ/y)	分配されたエネルギー量(kJ/y)	エネルギー分配比(ratio)	生産量(kJ/y)	許容個体数	個体数密度(/km ²)	生物量(kg/km ²)	
<i>Stegodon aurorae</i>	アケボノソウ	草食	20	1759.0	116,586,849	2,331,736,986	17,856,232,515,316	0.93403	178,562,325,153	153,158	8.51	2,672.67
<i>Cervus sp.</i>	シカの仲間	草食	13	91.0	12,646,817	164,408,620	1,259,026,449,331	0.06586	12,590,264,493	99,553	5.53	89.87
未確認種	小型哺乳類	雑食	1	0.5	127,614	127,614	977,255,143	0.00005	9,772,551	—	—	—
未確認種	鳥類	雑食	1	0.5	145,442	145,442	1,113,780,209	0.00006	11,137,802	—	—	—

昆虫食者

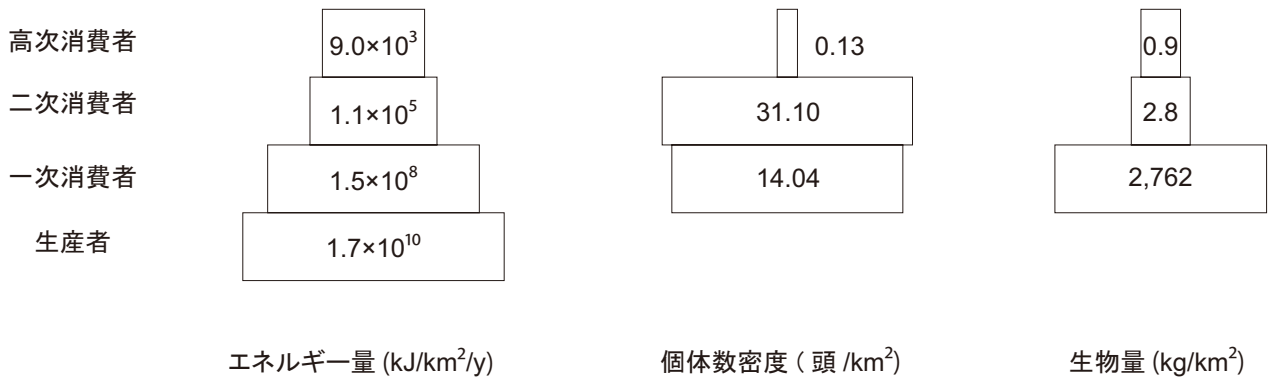
分類群	食性	個体数	体重(kg)	1個体の年間所要エネルギー量(kJ/y)	種全体の年間所要エネルギー量(kJ/y)	分配されたエネルギー量(kJ/y)	エネルギー分配比(ratio)	生産量(kJ/y)	許容個体数	個体数密度(/km ²)	生物量(kg/km ²)
未確認種	小型哺乳類	雑食	1	0.5	79,759	79,759	57,061,201,432	0.46735	912,979,223	—	—
未確認種	鳥類	雑食	1	0.5	90,901	90,901	65,032,798,568	0.53265	1,040,524,777	—	—

雑食者

分類群	食性	個体数	体重(kg)	1個体の年間所要エネルギー量(kJ/y)	種全体の年間所要エネルギー量(kJ/y)	分配されたエネルギー量(kJ/y)	エネルギー分配比(ratio)	生産量(kJ/y)	許容個体数	個体数密度(/km ²)	生物量(kg/km ²)
未確認種	小型哺乳類	雑食	1	0.5	207,372	207,372	58,038,456,576	—	922,751,774	279,875	15.55
未確認種	鳥類	雑食	1	0.5	236,343	236,343	66,146,578,777	—	1,051,662,579	279,875	15.55

肉食者

分類群	食性	個体数	体重(kg)	1個体の年間所要エネルギー量(kJ/y)	種全体の年間所要エネルギー量(kJ/y)	分配されたエネルギー量(kJ/y)	エネルギー分配比(ratio)	生産量(kJ/y)	許容個体数	個体数密度(/km ²)	生物量(kg/km ²)
未確認種	オオカミ	肉食	1	40.0	4,267,025	4,267,025	10,134,762,201	1	162,156,195	2,375	0.13



第17図. 小諸層群の生態ピラミッド.

大個体数（許容個体数）は、長鼻類の *Stegodon aurorae* が8.51頭、シカの仲間の *Cervus sp.* が5.53頭、オオカミが0.13頭と算出された。これらの算出された値を、生態ピラミッドにより評価する。生態系内では、上位の栄養段階の生物が下位の栄養段階の生物を捕食するため、下位の生物は上位の生物よりも大きくなる。第17図に示したエネルギー量と生物量に基づくピラミッドは、上位の栄養段階へ移行するに連れて徐々に減少し、裾野が広い形状を示した。一方、個体数密度に基づくピラミッドは、一次消費者が14.04頭/km²であるのに対して、二次消費者が31.10頭/km²となり、二次消費者が一次消費者を上回る、いわゆる「異常な形」を呈した。これは二次消費者に属する動物の大きさ、つまり体重が原因と考えられる。二次消費者には小型哺乳類と鳥類が属する。これらの体重はいずれも0.5 kgであり、一次消費者の *Stegodon aurorae* の0.00028倍、*Cervus sp.* と比較しても0.0055倍である。従って、一次消費者の大型草食哺乳類よりも極端に体重が小さい。体重が小さいと所要エネルギー量も少なくなるので、わずかに配分されたエネルギー量で、許容個体数を大きくすることができると考えられる。

第18図は脊椎動物の個体数密度の割合を示したものである。小型哺乳類と鳥類が、それぞれ34.4%を占める。*Stegodon aurorae* は18.8%、*Cervus sp.* は12.2%である。オオカミは0.13頭/km²で、0.29%である。現生のポーランドのオオカミの生息密度は、狩猟が行われていない高密度地で0.027-0.032頭/km²、狩猟が行われている低密度地で0.009-0.015頭/km²である（米田、2006）。本生態系のオオカミの個体数密度は、現生の高密度地と比較しても、約5倍高い。これは、関東平野の鮮新-更新世のオオカミの個体数密度が25倍に比べて低い。古生態系の復元では、動物各種の縄張りや群れでの行動を考慮していない。そして、求められた個体数密度は、その生態系内に理論的に生

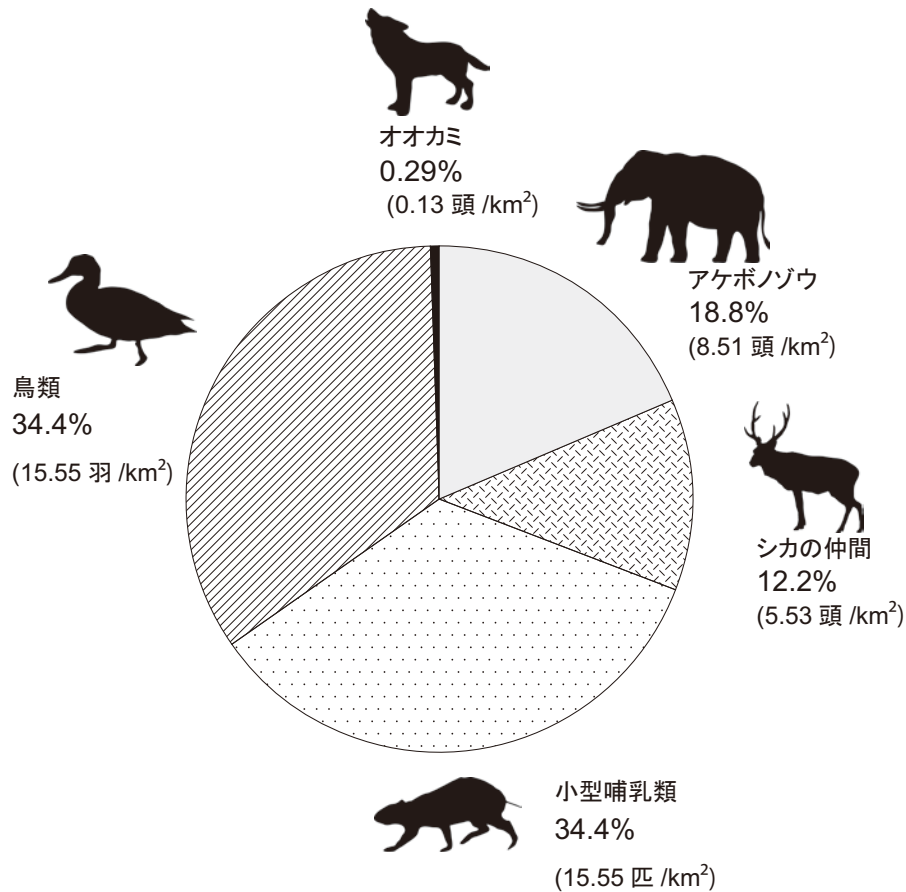
息できる最大値である。柘原ほか（2004）は、現生セレンゲティ生態系での肉食動物の許容個体数が8倍程であることを示した。従って、本生態系のオオカミの個体数密度が現生よりも5倍程高いことは、妥当であると解釈できる。

5. 他地域との比較

小諸層群堆積時の植生・気候や陸上生態系の特徴を他地域と比較すると、それらの地理的相異が理解できる。そこで、小諸層群が堆積した時代と同時代に形成された関東平野西縁の鮮新-更新統の古気候、古生態系と比較する。なお、これ以降、小諸層群の古生態系を小諸生態系と称する。

5. 1. 古気候

関東平野西縁部に分布する鮮新-更新統は、西方の関東山地からもたらされた堆積物により形成された扇状地や河川氾濫原での堆積環境が解釈されている（松川ほか、2006）。加住地域東部と多摩地域に分布する小山田層の堆積環境は、河口付近の氾濫原や潮汐泥底から内湾環境が解釈された（松川ほか、2006）。小山田層中部に含まれる第二堀之内火山灰層（HU2）は、1.3 ± 0.1 Maを示す（馬場ほか、2002）。これは、小諸層群大杭層上部に含まれる黄白色軽石凝灰岩層（羽毛山軽石層）の数値年代（1.3 ± 0.3 Ma）とほぼ同じ値である。従って、本研究地域の大量層堆積時の古気候は、関東平野西縁部の小山田層堆積時の古気候と比較できる。大久保（2000）によると、日野市の多摩川河床に分布する小山田層（大久保（2000）では平山層上部として記述）はブナ属、ケヤキ属、カエデ属、マメ科、バラ科などの葉器官の印象化石、メタセコイア属やヒノキ科の枝条や球果の印象化石、メタセコイア属の樹幹である可能性が高い化石を産出する。そして、



第18図. 1 km²当たりの脊椎動物の個体数密度の割合.

現世のブナ葉の生育域と運搬距離の実証的研究から、小山田層堆積当時のブナ生息域の下限が化石採集地も含まれ、現在の気温より約4℃の気温低下を導いた。これは、現在の太平洋側の低地にブナが生息する南限は北緯38度より少し南の福島県南部とされている。これは、宮脇（1997）と福島（2006）によると冷温帯に相当する。小諸層群大杭層の古気候は冷温帯～亜寒帯の気候であるので、小諸層群分布域の方が寒冷な気候であったことを示す。これは小山田層堆積時の関東平野西縁部が太平洋に面した内湾地域で、長野県東部が標高の高い山間地域であったことを示す。

5. 2. 古生態系

松川ほか（2008）により復元された関東平野西縁部の鮮新-更新世の陸上古生態系と小諸生態系を比較した（第13表）。2つの生態系の1 km²当たりの1年間のNPPは、小諸生態系が $16,958 \times 10^6$ kJで、関東平野西縁部が $16,448 \times 10^6$ kJでほぼ同じである。植生は、小諸生態系では温帯常緑樹林と温帯落葉樹林の混合林が卓越するが、関東平野西縁部では温帯林と草原の割合がほぼ等しい。また、生態系を構成する動物種の個体数密度の割合を比較すると、小諸生態系では小型哺乳

類と鳥類が優勢し、大型哺乳類の個体数密度の割合は3割ほどである（第18図）。一方、関東平野西縁部では、偶蹄類と長鼻類が卓越する。二つの生態系の一次消費量を比較すると、関東平野西縁部の一次消費量は、小諸生態系のそれよりも2.3倍ほど高い。両者のNPPはほぼ同じであることから、関東平野西縁部の生態系の方が一次消費者を効率良く養っていたと解釈できる。

大型哺乳類の平均体重、個体数密度、生物量を比較した。偶蹄類の体重を比較すると、関東平野西縁部の偶蹄類は217 kgで、小諸生態系のそれは91 kgで、関東平野西縁部の方が2.4倍ほど大きい。個体数密度は、小諸生態系が5.53頭/km²で、関東平野西縁部が15.46頭/km²で、関東平野西縁部の方が2.8倍ほど高い。そして、生物量は、小諸生態系が89.87 kg/km²で、関東平野西縁部が1,390 kg/km²で、関東平野西縁部の方が15.5倍ほど多い。関東平野西縁部の偶蹄類の方が個体数密度、生物量ともに値が大きいのので、関東平野西縁部の方が、偶蹄類にとり生息しやすい環境であったと解釈できる。長鼻類を比較しても、平均体重、個体数密度、生物量ともに関東平野西縁部の方が値は大きい。オオカミは体重が同じであるが、個体数密度、生

第13表. 小諸生態系と関東平野西縁部の生態系の比較.

		本研究	松川ほか (2008)
		小諸生態系	関東平野西縁部
NPP (kJ/km ² /y)		16,957,500,000	16,448,350,000
植生の割合		森林: 草原=7:1	森林: 草原=1:1
消費効率		森林0.05 草原0.25	森林0.05 草原0.25
一次消費量 (kJ/km ² /y)		1,062,075,000	2,467,252,500
偶蹄類	平均体重 (kg/頭)	91.0	217
	個体数密度 (頭/km ²)	5.53	15.46
	生物量 (kg/km ²)	89.87	1,390.4
長鼻類	平均体重 (kg/頭)	1,759.0	2,142.0
	個体数密度 (頭/km ²)	8.51	10.52
	生物量 (kg/km ²)	2,672.67	4,023.0
オオカミ	平均体重 (kg/頭)	40.0	40.0
	個体数密度 (頭/km ²)	0.13	0.67
	生物量 (kg/km ²)	0.94	4.75

物量ともに関東平野西縁部の方が値は大きい。現生のオオカミは、偶蹄類が少ない場合、果実や小型脊椎動物など多様な餌を採食し家畜も襲うが、偶蹄類の生息するところではもっぱらそれを捕食する(米田, 2006)。関東平野西縁部のオオカミの個体数密度、生物量が高いことは、鮮新-更新世に生息していたオオカミの性質が現生のオオカミと同じで、偶蹄類を多く捕食したことを示唆する。

松川・加藤(2011)は、北上低地帯と関東平野西縁部の鮮新-更新世の陸上生態系を比較し、偶蹄類が森林環境を、長鼻類が草原の卓越する環境を好んだ可能性が高いことを示した。本研究では、小諸生態系の方が森林の割合が高いにも関わらず、長鼻類の個体数密度、生物量は関東平野西縁部のそれよりも小さい。従って、大型哺乳類は、寒冷な気候で、山地帯の環境よりも、温暖で低地の平野環境を好んだ可能性が高いと解釈できる。

6. 結論

長野県東部に分布する鮮新-更新統小諸層群の古生態系を復元するために、層序区分を再検討し、堆積相と生物相の解析により堆積環境・古気候を復元した。そして、食物網とエネルギー流モデルに基づく古生態系を復元した。また、復元された古気候・古生態系を同時代の関東平野西縁部と比較し、議論した。その結果、以下の結論が得られた。

(1) 小諸層群は下位より、大杭層、布引層、瓜生坂層下部層、瓜生坂層上部層に岩相層序区分される。従来、大杭層の基底をなすとされた溶結凝灰岩層と下位

の梨平層を小諸層群から除外した。

(2) 大杭層と瓜生坂層上部層は、層理、粒径、堆積構造の特徴などにに基づき、5つの岩相に区分される。さらに、構成物や堆積構造に基づき、区分した岩相を組み合わせ、岩相群として2つにまとめられる。岩相群から堆積環境を考察した。その結果、大杭層の堆積環境は氾濫原から河川流路へと変化し、さらに氾濫原や自然堤防へ、そして堤防決壊が頻繁に起こる環境へと移り変わったと解釈できる。また、瓜生坂層上部層の堆積環境は氾濫原から河川流路へと堆積環境が推移したと解釈できる。

(3) 礫の調査とインプリケーション、斜交層理から古流向を推定した。その結果、西から東への流れが認められた。

(4) 39層準から試料を採取し、珪藻分析を行った。その結果、大杭層と瓜生坂層上部の計8層準から珪藻化石が抽出できた。珪藻化石の特徴に基づき、*Pinnularia* sp. 群集、*Nitzschia* sp. - *Planolithidium lanceolatum* 群集、*Diploneis ovalis* - *Planolithidium lanceolatum* 群集、*Nitzschia* sp. - *Pinnularia borealis* 群集、*Nitzschia sinuata* var. *delognei* - *Luticola mutica* 群集、*Pinnularia* sp. - *Surirella* sp. 群集、*Epithemia adnata* 群集の7つの珪藻化石群集に区分した。これらの群集の特徴から、大杭層下部層は深い湖沼から後背湿地への変化、大杭層上部層は後背湿地と池沼から後背湿地への変化が解釈された。瓜生坂層上部層は湖沼環境が解釈された。

(5) 39層準から試料を採取し、花粉分析を行った。その結果、大杭層の21層準から花粉化石が抽出できた。花粉化石の特徴に基づき、*Picea* - *Abies* 群集に区分した。群集の特徴から温帯針葉樹と冷温帯落葉広葉

樹の混合林の植生が解釈された。そして、植生に基づき、冷温帯～亜寒帯の気候が解釈された。

(6) 葉縁率に基づき、古気温を推定した。大杭層堆積時の年平均気温は10.7℃であり、これは現在の研究地域のそれとほぼ同じであることが示された。

(7) 岩相と生物相に基づく小諸層群の古環境と古気候を解釈した。小諸層群は飯島ほか(1956)をはじめ、湖沼性堆積物であるとされたが、河川流路や後背湿地の環境が解釈される。

(8) 復元された古環境や古植生、産出動物化石を基に、食物網とエネルギー流モデルに基づく小諸層群の古生態系を復元した。エネルギーと生物量に基づく生態ピラミッドは、上位の栄養段階へ移行するに従って値が減少する形状を示した。脊椎動物の個体数密度の割合を示した結果、小諸層群の生態系は小型脊椎動物が優占したことが示された。

(9) 関東平野西縁部の鮮新-更新世の植物化石に基づく古気候と比較した結果、同時代(ほぼ1.3 Ma)の上総層群小山田層は冷温帯に、一方、小諸層群大杭層は冷温帯～亜寒帯が示された。これは、前者が太平洋に面した内湾地域で、後者の長野県東部が標高の高い山間地域であったことに基づくと解釈される。

(10) 関東平野西縁部の鮮新-更新世の陸上生態系と比較した結果、大型哺乳類は、寒冷的な気候で山地帯の環境より温暖で低地の平野環境を好んだ可能性が高いと解釈される。

謝辞

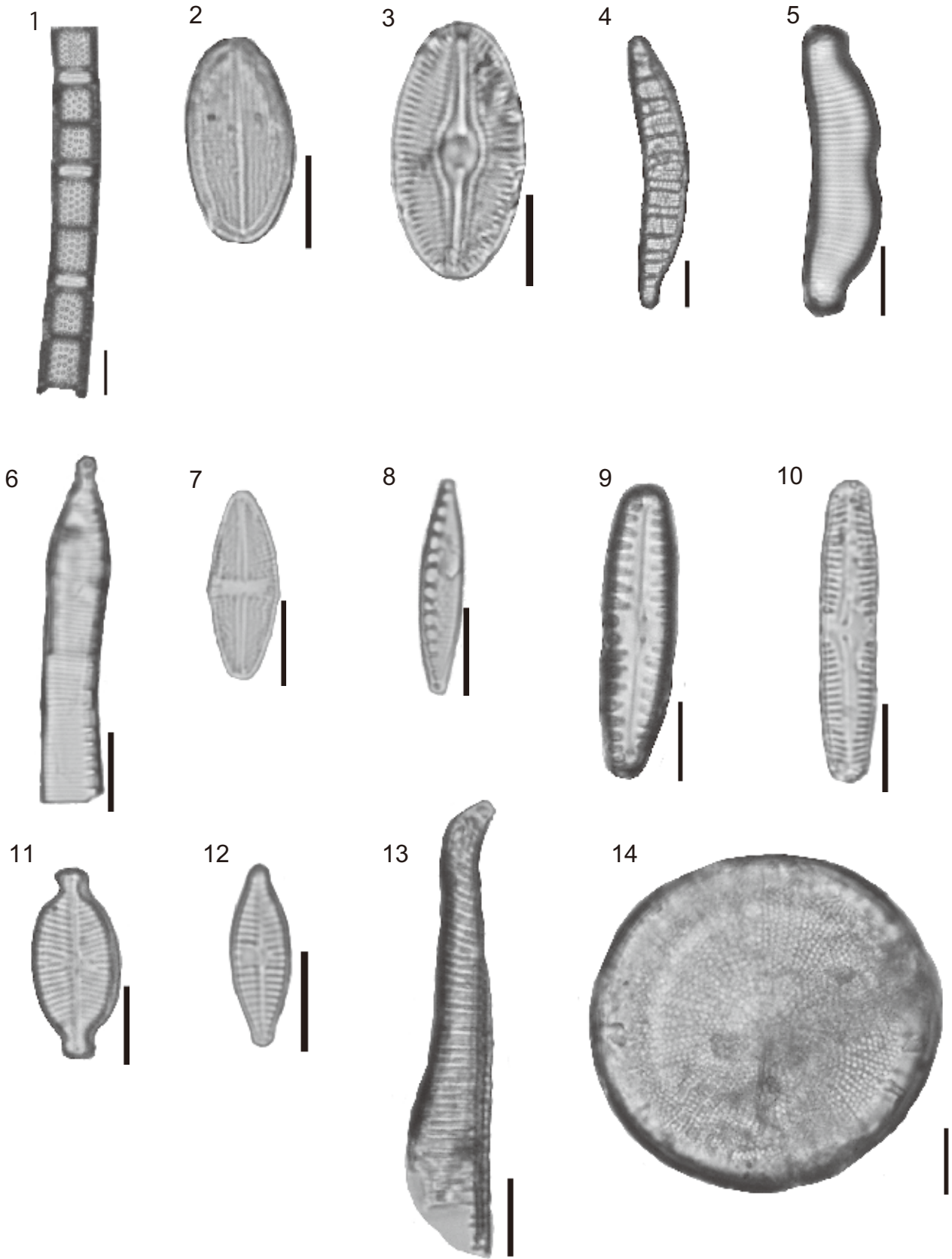
本研究を進めるにあたり、柴田健一郎氏(横須賀市立自然・人文博物館)には粗稿を読んで頂き数々の貴重なご意見を賜った。長野県東御市島川原の渡辺正喜先生には、小諸層群の地質や問題点に関してご教示頂き、宿舎の便宜をはかって頂いた。また、長野県東御市島川原の住民の方々には宿泊の便宜をはかっていただいた。慶應義塾大学湘南藤沢中・高等部の小荒井千人先生には、野外調査でのご協力、室内での有意義な討論を頂いた。さらに、産業技術総合研究所地質情報研究部門の西田尚央博士には野外で堆積相解析についてご指導を賜った。東御市役所の方々には北御牧郷土資料館に収蔵されている化石標本を観察させて頂いた。最後に、東京学芸大学松川研究室の学部生・大学院生には野外調査のご協力と室内での討論を頂いた。以上の方々に、深く感謝申し上げます。

引用文献

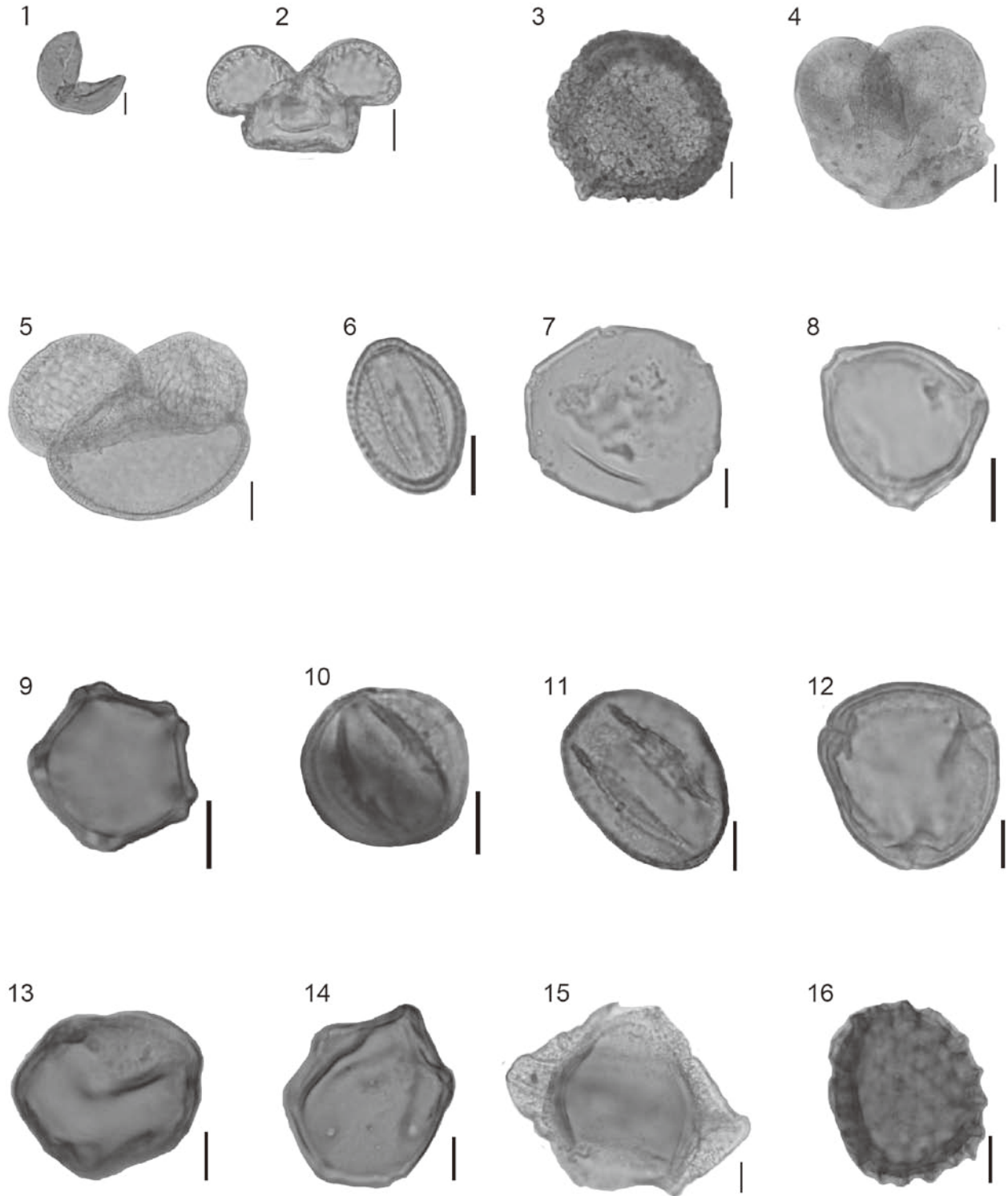
- 秋間団研グループ・千曲川団研グループ・豊野層団研グループ・八ヶ岳団研グループ・松本盆地団研グループ, 1973, フォッサ・マグナ中央部における新第三紀後期～第四紀洪積世の堆積盆地, 地球科学 **27**, 81-91.
- 安藤一男, 1990, 淡水珪藻による環境指標種群の設定と古環境復元への応用, 東北地理 **42**, 73-88.
- 馬場勝良・松川正樹・大平寛人, 2002, 上総層群小山田層のフィッシュントラック法による数値年代, 多摩川環境調査助成集 **24**, No.137, 106-108.
- Begon, M., Harper, J.L. and Townsend, C.R., 1999, Ecology: Individuals, populations and communities [3rd edition]. Blackwell Science, 1068pp. (堀道雄監訳, 2003, 『生態学 [原著第三版]』, 京都大学学術出版会, 1304pp.)
- Cumming, D. H. M. and Cumming, G. S., 2003, Ungulate community structure and ecological processes: body size, hoof area and trampling in African savannas. *Oecologia* **134**, 560-568.
- Fourtanier, E. and Kociolek, J. P., 2011, Catalogue of Diatom Names, On-Line Version. <http://researcharchive.calacademy.org/research/diatoms/names/index.asp/>.
- 藤田 剛, 1973, 南関東の第四紀化石 5. 日本化石集 **27**, Q38-Q43.
- 福島 司・岩瀬 徹, 2006, 図説日本の植生. 朝倉書店, 153 pp.
- Hayashi, M., 1998, Early Pleistocene Ground Beetles (Coleoptera: Carabidae) from the Ookui Formation in Nagano Prefecture, Central Japan, and their Biogeographical and Paleoenvironmental Significance. 第四紀研究 **37**, 117-129.
- 林 成多, 2003, 昆虫化石と古環境. 長野県北御牧村産アケボノゾウ化石調査報告書No.1, 北御牧村教育委員会, 25-27.
- 林 成多, 2007, 昆虫化石と古環境(その2). 長野県北御牧村産アケボノゾウ化石調査報告書No.2, 東御市教育委員会, 39-40.
- Heal, O. W. and MacLean, S.F., 1975, Comparative productivity in ecosystem-secondary productivity. In: Dobben, W.H., and Lowe-McConnell, R.H. (Eds.), *Unifying concepts in ecology*. Junk, The Hague, 89-108.
- 飯島南海夫・石和一夫・甲田三男・田口今朝男, 1956, いわゆる“塩川層”の地質. 地質学雑誌 **62**, 622-635.
- 飯島南海夫, 1962, フォッサ・マグナ北東部の火山層序学的ならびに岩石学的研究(その1). 信州大学教育学部紀要 **12**, 86-133.
- 飯島南海夫・山岸いくま・甲田三男・石和一夫, 1963, 地形・

- 地質. 上田小県誌 4, 自然編, 上田小県教育会, 61-252.
- 伊東徳治・朝田二郎・中島豊志・西尾 顕, 1988, ハヶ岳地域の鮮新統および更新統から産出した植物遺体・花粉化石, 地団研専報 34, 191-203.
- Jo, H. R., 2003, Depositional environments, architecture, and controls of Early Cretaceous non-marine successions in the northwestern part of Kyongsang Basin, Korea. *Sed. Geol.*, **161**, 269-294.
- Julius, M. L., Curtin, M., Tanaka, H., 2006, *Stephanodiscus kusuensis*, sp. nov a new Pleistocene diatom from Southern Japan. *Phycological Research* **54**, 294-301.
- Kaneoka, I., Matsubayashi, O., Zashu, S., Aramaki, S., 1979, K-Ar ages of late Tertiary volcanic rocks in the Asama area. *Journal of the Geological Society of Japan* **85**, 547-549.
- 化石研究会, 1971, 化石の研究法, 共立出版, 710pp.
- 鹿島 薫, 1992, 沖積層から得られた珪藻化石カタログ(その1) 北海道常呂平野. 九州大学教養部地学研究報告 **29**, 1-36.
- 気象庁, 2013, 気象統計情報. <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>.
- 北御牧村アケボノゾウ発掘調査団, 2002, 長野県北御牧村でのアケボノゾウ *Stegodon aurorae* (Matsumoto) の特異な産出. 地球科学 **56**, 197-202.
- 北御牧村誌刊行会, 1999, 北御牧村誌自然編 第2章 地形・地質. 北御牧村誌刊行会, 89pp.
- 小泉明裕, 2003, 東京都昭島市多摩川の鮮新-更新統から産出した日本初記録の純肉食性オオカミ化石 *Canis (Xenocyon) falconeri*. 第四紀研究 **42**, 105-111.
- 小泉明裕・大島 浩, 2003, 第1個体の骨化石について. 長野県北御牧村産アケボノゾウ化石調査報告書No.1, 北御牧村教育委員会, 9-23.
- 小坂共栄・千曲川団研グループ, 1977, 長野県東部の小諸層群下部層の層序と構造の特徴について. 日本地質学学会学術大会講演要旨 **84**, 236.
- 小坂共栄・緑鉄 洋・保柳康一・久保田正史・宮東靖浩, 1992, 北部フォッサマグナ後期新生代層の層序と古地理の変遷. 地質学論集 **37**, 71-83.
- 小坂共栄・牧野公美, 1995, 北部フォッサマグナ, 小諸陥没盆地にみられる大杭背斜構造についての予察的検討. 信州大学理学部紀要 **30**, 69-84.
- 小杉正人, 1988, 珪藻の環境指標種群の設定と古環境復原への応用. 第四紀研究 **27**, 1-20.
- 古象団体研究会, 1973, 長野県小県郡丸子町産の *Stegodon aurorae*. 信州大学理学部紀要 **8**, 65-79.
- 柗原礼士・柴田健一郎・松川正樹, 2004, 化石に基づく古生態系復元モデル—セレンゲティ生態系でのテスト. 東京学芸大学紀要 4 部門 **56**, 153-164.
- 窪田英夫, 1978, 長野県小県郡丸子町産 *Stegodon aurorae* の下顎臼歯に付着する粘土よりえられた珪藻化石について. 地球科学 **32**, 194-200.
- 窪田英夫, 1986, 長野県小諸市大杭の化石珪藻群集. *Diatom* **2**, 175-186.
- 窪田英夫, 1993, 長野県望月町片倉峠の化石珪藻群集. *Diatom* **8**, 63-70.
- 窪田英夫, 2009, 小諸層群における水環境の変化に関する一考察—小諸層群上部の瓜生坂累層と下部大杭累層の化石珪藻群集を通して—. 地学研究 **58**, 75-94.
- 窪田英夫・小林一恵, 1976, 長野県上田市東方, 姫子沢産の珪藻化石について. 地球科学 **30**, 310-315.
- 牧野富太郎, 2000, 新訂 牧野新日本植物圖鑑. 北隆館, 1452pp.
- 松川正樹, 2008, 秩父地方の地質野外学習と実習—地球表層部2億年の旅—. 国際文献印刷社, 62pp.
- 松川正樹・柿沼宏充・馬場勝良・大平寛人, 2006, 関東平野西縁に分布する鮮新-更新統の層序と対比の再検討. 東京学芸大学紀要自然科学系 **58**, 173-202.
- 松川正樹・加藤拓也, 2011, 岩手県の北上低地帯の鮮新-更新世の陸上生態系—食物網とエネルギー流モデルに基づいて. 東京学芸大学紀要自然科学系 **63**, 53-66.
- 松川正樹・中西亮平・馬場勝良・相場博明・柴田健一郎・石戸谷彩子, 2008, 関東平野西縁部の鮮新-更新世の陸上生態系—食物網とエネルギー流モデルに基づいて. 東京学芸大学紀要自然科学系 **60**, 95-110.
- Matsukawa, M., Saiki, K., Ito, M., Obata, I., Nichols, D.J., Lockley, M.C., Kukihara, R. and Shibata, K., 2006, Early Cretaceous terrestrial ecosystems in East Asia based on food-web and energy-flow models. *Cretaceous Research* **27**, 285-307
- 松岡敬二・石井久夫, 2003, 長野県北御牧村の小諸層群産貝類化石. 長野県北御牧村産アケボノゾウ化石調査報告書No.1, 北御牧教育委員会, 24.
- 松岡敬二・石井久夫, 2007, 長野県北御牧村の小諸層群産貝類化石(再録). 長野県北御牧村産アケボノゾウ化石調査報告書No.2, 東御市教育委員会, 37-38.
- 宮脇 昭, 1977, 日本の植生. 学研, 535pp.
- 水野壽彦, 1964, 日本淡水プランクトン図鑑. 保育社, 125-181pp.
- 長森英明・畠山幸司, 2007, 東御市羽毛山の上部大杭層から産出した長鼻類足跡化石. 長野県北御牧村産アケボノゾウ化石調査報告書No.2, 東御市教育委員会, 23-35.
- 長森英明・吉川博章・畠山幸司・寺尾真純・田辺智隆, 2005, 長野県佐久盆地千曲川河床の下部更新統大杭層産長鼻類足跡化石. 地質調査研究報告, **56**, 127-135.

- Odum, E. P., 1983, *Basic Ecology*. Saunders College Publishing, 613pp.
 (三島次郎訳, 1991, 『基礎生態学』. 培風館, 455pp.)
- 大久保敦, 2000, 森林の歴史化学的研究に基づく自然史科学教育に関する基礎研究. 東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科東京学芸大学博士論文, 131pp.
- 大森昌衛・茨木宣雄, 1966, 長野県小諸層群から発見された淡水棲貝化石群について. 地学研究 **17**, 41-43.
- Pettijohn, F. J., 1975, *Sedimentary Rocks* (3rd ed). Harper & Row, New York, 628pp.
- 杉田正男, 2007, アケボノゾウ第2・3・4個体及びシカ類骨化石について. 長野県北御牧村産アケボノゾウ化石調査報告書No.2, 東御市教育委員会, 13-21.
- 田口今朝男・友野邦彦・塩川層研究グループ, 1976, 小諸層群における二三の問題点. 日本地質学会学術大会講演要旨 **83**, 171.
- 高塚哉子, 2004, 長野県小諸～東御地域における下部更新統中の花粉化石群集. 日本地質学会学術大会講演要旨 **111**, 302.
- 棚井敏雅, 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.
- 棚井敏雅, 1993, 植物化石群による第三紀気温変化の推定. 化石 **54**, 35-52.
- Tanaka, H., 2000, *Stephanodiscus komoroensis* sp. nov., a new Pleistocene diatom from central Japan. *Diatom Research* **15**, 149-157.
- 寺尾真純, 2001, 小諸陥没盆地の形成史と火山活動. 第四紀 **33**, 21-33.
- 寺尾真純, 2003, 小諸層群の地質の概要. 長野県北御牧村産アケボノゾウ化石調査報告書No.1, 北御牧村教育委員会, 29-41.
- 東部町誌編纂委員会, 1989, 東部町誌自然編. 東部町誌刊行会, 430pp.
- 植村和彦, 1993, 大型植物化石に基づく新生代の古気候変遷と気温. 化石 **54**, 24-34.
- 渡辺仁治, 2005, 淡水珪藻生態図鑑 (群集解析に基づく汚濁指数 DAIPo, pH 耐性能). 内田老鶴圃, 666pp.
- Whittaker, R. H., 1975, *Communities and Ecosystem* 2nd ed. Macmillan, New York, 385pp. (宝月欣二訳, 1979, 『生態学概説 生物群集と生態系 (第2版)』. 培風館, 363pp.)
- Wolfe, J. A., 1978, A Paleobotanical Interpretation of Tertiary Climates in the Northern Hemisphere. *American Scientist* **66**, 694-703.
- 山岸猪久馬, 1988, 鮮新－更新統小諸層群の基底にみられるアバット不整合とその意義. 地球科学 **42**, 159-163.
- 山岸猪久馬・小坂共栄, 1991, 北部フォッサマグナにおける鮮新世～前期更新世の構造運動. 地団研専報 **38**, 129-140.
- 山本英喜, 1996, 金沢市に分布する卯辰山累層 (中期更新世) の珪藻化石群集と堆積環境. 北陸地質研究所報告 **5**, 89-132.
- 山野井徹, 1993, 花粉化石が示す古気候. 化石 **54**, 53-60.
- 安田喜憲・三好教夫, 1998, 図説 日本列島植生史. 朝倉書店, 302pp.
- 八ヶ岳団体研究グループ, 1988, 八ヶ岳山麓の中部更新統. 地団研専報 **34**, 53-89.
- 米田政明, 2006, 知床に再導入したオオカミを管理できるか. 知床博物館研究報告 **27**, 1-8.



付図1. 主な珪藻化石. 1. *Aulacoseira granulata*, 2. *Cocconeis placentula*, 3. *Diploneis ovalis*, 4. *Epithemia adnata*, 5. *Eunotia bidens*, 6. *Hantzschia amphioxys*, 7. *Luticola mutica*, 8. *Nitzschia sinuata* var. *delognei*, 9. *Pinnularia borealis*, 10. *Pinnularia gibba*, 11. *Placoneis elginensis*, 12. *Planothidium lanceolatum*, 13. *Rhopalodia gibba*, 14. *Stephanodiscus komoroensis*. スケールバーは10 μ mを示す。



付図2. 主な花粉化石. 1. *Taxodiaceae*, 2. *Pinus*, 3. *Tsuga*, 4. *Picea*, 5. *Abies*, 6. *Salix*, 7. *Juglans*, 8. *Betula*, 9. *Alnus*, 10. *Cyclobalanopsis*, 11. *Lepidobalanus*, 12. *Fagus*, 13. *Ulmus*, 14. *Zelkova*, 15. *Trapa*, 16. *Persicaria*. スケールバーは10 μ mを示す。ただし、2, 3, 4, 5は20 μ mを示す。