# 長野県東御市の千曲川沿いに分布する小諸層群大杭層上部の堆積環境と 鉄鉱物団塊の関連

名取和香子<sup>1</sup>,吉田孝紀<sup>2</sup>
<sup>1</sup>喜多方市カイギュウランドたかさと,<sup>2</sup>信州大学理学部

The Relationship between the depositional environment and Fe-nodules in the Upper Member of the Okui Formation croping along the Chikuma River, Nagano Prefecture, central Japan

W. Natori<sup>1</sup> & K. Yoshida<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kitakata City Sea Cow Museum in Takasato & <sup>2</sup> Faculty of Science, Shinshu University

キーワード:大杭層上部, 更新世, 堆積環境, 河川堆積物, 鉄鉱物団塊, 黄鉄鉱ノジュール, 古土壌

Keywords: the Upper Member of the Okui Formation, Pleistocene, Depositional environment, Fluvial deposit, Fe-nodules, Pyrite-nodules, Paleosol

#### 1. はじめに

長野県東御市北御牧羽毛山地域を流れる千曲 川沿いには, 鮮新統から下部更新統の小諸層群大 杭層上部が分布しており(図-1; 寺尾, 2001), "タ カシコゾウ"と呼ばれる筒状の鉄鉱物ノジュール (図-6-A)が産出する(長森ほか, 1995; 長森・畠山, 2007). 従来「高師小僧」とは、愛知県高師原地 域を模敷地とした堆積物中から産出する鉄酸化 物の円筒状のノジュールとされる(吉田・松岡、 2004). しかし、本研究の調査地域で"タカシコ ゾウ"と呼ばれている鉄鉱物ノジュールは黄鉄鉱 から構成されていることが明らかになった. この 鉄鉱物ノジュールに関する記録は, 長森ほか (1995), 長森・畠山(2007)の報告のみで詳細な記 載はなされていない. そこで、羽毛山地域の千曲 川沿いに分布する大杭層上部の堆積相解析を行 い,"タカシコゾウ", ノジュール, 植物化石など の産状と黄鉄鉱ノジュールの形成条件について 考察した.

# 2. 研究史

研究対象とする小諸層群大杭層上部(寺尾, 2001)は、飯島ほか(1956)によって上部大杭層と命名されて以来、改名が繰り返されてきた(図-2). この地層は、鮮新世から更新世前期の地層とされ

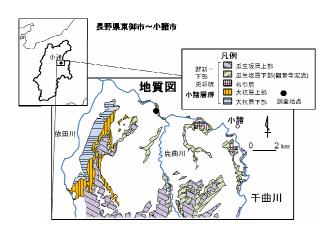


図-1 調査地域と御牧ヶ原~八重原大地の地質図. 寺尾(2001)を基に作成.

(寺尾, 2001), 模式地は小諸市の大杭である(飯島ほか, 1956). 大杭から布下にかけての栗谷川, 依田川右岸などに分布する(寺尾, 2001). 寺尾(2001, 2003)によれば, 大杭層上部は砂・シルト・礫岩の互層を主体とし, 凝灰岩, 軽石凝灰岩, 泥流堆積物を挟み, 分布域の西部から東部にかけて扇状地〜網状河川及び湖成層へと変化するとされる.

本調査地域である羽毛山地域ではパミス層(羽毛山パミス)が分布する. 寺尾(2001)は羽毛山パミスを黄白色軽石凝灰岩(デイサイト質軽石凝灰岩)

と記載した. 田辺(2003)はそのフィッション・トラック年代を  $1.3\pm0.3$ Ma とした.

また、大杭層上部(寺尾、2001)からは多くの化 石が産出する. 飯島ほか(1956)は Liquidambar formosana(フウ)・Fagus ferruginea(アメリカブ ナ)・Metasequoia japonica(コイチイヒノキ)の植 物化石の産出を、古象団体研究会(1973)は Stegodon sp.(ステゴドン属の臼歯)・Stegodon aurorae(アケボノゾウ)の臼歯つき下顎などの化 石の産出を、長森ほか(1995)は Stegodon aurorae の足跡化石の産出を報告している. 林(1996)は地 表性~水生甲虫などの昆虫化石の産出報告をし た. また, 今回の調査地域である羽毛山地域の千 曲川河岸では比較的大規模な発掘が過去 5 回お こなわれており, 北御牧村アケボノゾウ発掘調査 団により2冊の報告書が作成されている.このな かでは Stegodon aurorae(小泉・大島, 2003; 畠 山, 2007)や Cervus kazusensis(杉田, 2007)の 骨格やその足跡(長森・畠山, 2007), ミツガシワ の種子やヒメバラモミなどの植物(阿部, 2003), ドブガイなどの非海生貝類(松岡・石井, 2003), 昆虫化石からみる古環境(林, 2003, 2007)の報告 がなされている.

一方,高師小僧については,猪間(1894)に「高師小僧」の名称が用いられており、それより以前はキノコノコマクラ、管石などと呼ばれていた(松岡,1998;吉田・松岡,2004).小藤(1895)に当時の豊橋高師村(愛知県)で採集された標本が記載され,以降学術名として定着したと考えられている(松岡,1998;吉田・松岡,2004).

吉田・松岡(2004)は,高師小僧は堆積物中から 産出する鉄酸化物の円筒状の団塊で砂質粘土層 中のシルト質な部分から産するとし,中心には空 洞,しばし繊維質の植物片が確認され,赤褐色の 鉄酸化物が同心円状に濃集する,としている.

#### 3. 調査地域

長野県東御市北御牧羽毛山地域の千曲川右岸を調査した.本調査地域では現生の河床礫などはほとんど見られず羽毛山地域では水平方向に500m ほど連続した露出が確認できる. 地層の走向傾斜は N32°W, 13°W と緩やかに南西方向に傾いている.

#### 4. 研究手法

野外での地表踏査にて、1/10 柱状図の作成、地 層面に対する産状と保存状態に着目した産出化

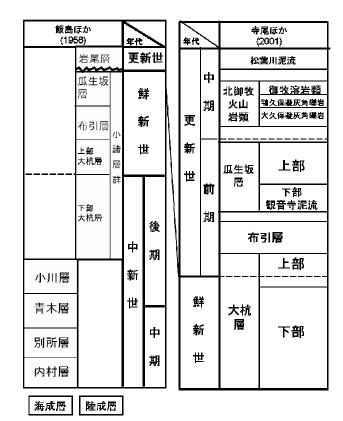


図-2 小諸層群の層序.

石の形態・産状記載、構成物質(鉱物)・被膜の有無・分岐・地層に対して水平面と縦断面の産状・大きさに着目して、ノジュールの形態・産状記載をおこなった. 露頭柱状図は 23 地点で作成した. 野外での記載にあたっては、粒度、色、堆積構造、ノジュールや植物化石などの相対的な産出量・産状の 4 つの観点を用いて露頭柱状図を作成した. この中では、粒度を粘土、シルト、極細粒砂、細粒砂、中粒砂、粗粒砂、極粗粒砂に区分した. また、露頭から現生の風化を受けていない面を出し、岩相の色を記載した. この際、色調を 15 色に区分したが、これらを黄色系、褐色・茶色系、黒色系、灰色系、青灰色系、紫灰色系、白色系の 7 つにまとめて柱状図に示した.

鉱物の分析は、本調査地域から産出した"タカシコゾウ"の薄片を作成し、EDS 分析装置を用いて定性分析をおこなった。試料は、地層に対して垂直方向に伸長した直径 1cm 円柱状の"タカシコゾウ"の下方先端部分を採取し、縦断面を研磨面としてペトロポキシ 154 で固めて 3~4 mm の厚さのポリッシュ薄片を作成した。分析は、信州大学理学部設置の日本電子社製 EDS 分析装置(JSM5310E)を使用し、加速電圧 15kV、試料電流 700pA でおこなった。

### 5. 地層・ノジュール記載

調査地域に分布する小諸層群上部大杭層は、主に砂泥互層からなり、間に軽石凝灰岩を主体とした礫を挟む. 砂層ではクロスラミナが多く発達している. ノジュールは主に泥または泥混じりの砂中に多く含まれる. これらの地層を  $A\sim K$  の 10に層相区分をした. この層相区分には色調の差異を反映させていない.

#### a. 層相記載

A相 層厚 10cm~70cm. 粘土層~極細粒砂層からなる. 粘土層では粘土・シルト・極細粒砂が不 淘汰に混合する.

B 相 層厚 4cm~22cm. 粘土~シルト層からなり. 細粒砂層を挟む.

C相 層厚 31cm~47cm. 極細粒砂~細粒砂層からなる. クロスラミナが発達し, ラミナ面上には時折, 植物片や不定形有機物が挟まれる.

D相 層厚 16cm~35cm. 細粒砂層からなる.

E 相 層厚 80cm. 粘土・シルト層からなる. 植物化石や不定形有機物が多い. 二枚貝の印象化石を含む.

F相 層厚  $5\text{cm}\sim70\text{cm}$  からなる. 粒径  $1\text{mm}\sim6$  mm の軽石を含む凝灰岩からなる. 粒径  $1\text{cm}\sim2$  cm のパミスが不淘汰に散在することもある. クロスラミナを示し, ラミナに沿って黒色の細粒砂を挟む.

G 相 層厚  $6cm\sim12cm$  粘土層からなる. 粒径  $0.5mm\sim1mm$  のパミスが含まれる.

日相 層厚 110cm. 中粒砂層と極細粒砂層の互層からなる. 植物化石やノジュールは確認できない. I 相(図-6-B) 層厚 47cm $\sim 94$ cm. 粘土 $\sim$ 極細粒砂層と細粒砂 $\sim$ 中粒砂層の互層からなる. クロスラミナが発達している. ラミナに沿って、パミスや不定形の有機物を挟むこともある.

J相 層厚 130cm. 礫〜細粒砂層からなる. 全体的に上方細粒化しており,下部には大型のトラフ型斜交層理やクロスラミナが,上部には小型のトラフ型斜交層理やクロスラミナが発達している. 最下部ではラミナ面上に横たわった大型の材化石が 4 つ確認できる(図-6-C). これらは長さ 1m以上で,材化石の周囲は 1cm 以上の礫が混じる.

本調査地域の地層中では古地表面を認識することができる. 褐色を呈する地層は堆積後に酸化的条件下(地表領域)にあった可能性が高い(Retallack, 1985, 2001). このような褐色を呈す

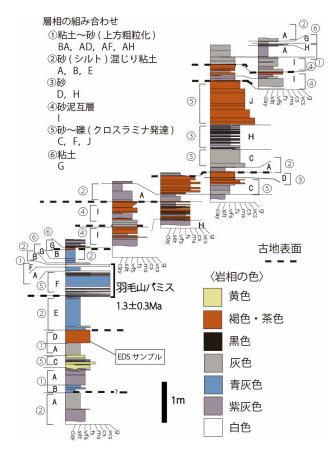


図-3 層相の組み合わせとサンプリング地点を示した図.

る地層の上面を陸上風化面とし、後述するアケボノゾウ足跡化石や立木化石とあわせて、層相の組み合わせの境界を決定した。その上で、 $A \sim J$ の層相を特徴ごとに分類し組み合わせると、以下の6つの傾向がみられる(図-3).

下位から BA 相, AD 相, AF 相, AH 相のような①粘土~砂(上方粗粒化), A 相, B 相, E 相のような②砂(シルト)混じり粘土, D 相, H 相のような③砂, I 相のような④砂泥互層, C 相, F 相, J 相のような⑤砂~礫(クロスラミナが発達), G 相のような⑥粘土に分類することができる.

#### b. 黄鉄鉱ノジュールの記載

本調査地域に産出する"タカシコゾウ"の構成鉱物を知るために EDS 分析をおこなった. 薄片サンプルの採取層準は図-3 に示す. 薄片作成の段階で研磨面は金属光沢を持つことが確認できる(図-6-D). EDS 分析の結果, S と Fe の明瞭なスペクトルが認められ, このタカシコゾウ全体が黄鉄鉱からなることが明らかになった.

以上の結果により、本調査地域の"タカシコゾウ"は黄鉄鉱からなるため、本論文では褐鉄鉱ノ

ジュールである高師小僧とは区別し, 黄鉄鉱ノジュールとして扱う. 本調査地域で"タカシコゾウ"と呼ばれていたものを「筒状黄鉄鉱ノジュール」と呼ぶこととする. 分布層準を図-4 に示す.

筒状黄鉄鉱ノジュールは、地層面に対して垂直な産状を示すものを筒状黄鉄鉱ノジュール  $A(\boxtimes -6-E)$ 、地層面に対して並行な産状を示すものを筒状黄鉄鉱ノジュール  $B(\boxtimes -6-G)$ 、分岐が確認できたものを筒状黄鉄鉱ノジュール  $C(\boxtimes -6-H)$ として扱う。また、上記のような明瞭な形状を持たないものは不定形黄鉄鉱ノジュール D として扱う。

これら 4 種類の黄鉄鉱ノジュールは共通して中心部に核となる物質を有する. 筒状黄鉄鉱ノジュールは中心に細長い有機物を有し, その周りに黄鉄鉱が付着した状態で円筒状をなしている. 中心の有機物がなく, 空洞になっているものも存在する. また, すでに有機物がなく純度の高い黄鉄鉱に交代されているものもある. EDS 分析に用いたサンプルは中心部が黄鉄鉱のみからなり, 周辺部は石英や長石などのシリカ鉱物を含んでいる.

#### i)筒状黄鉄鉱ノジュールA

筒状黄鉄鉱ノジュール A は、地層面に対して垂直な産状を示す(図-6-E). 多くが粘土を含む A 相から産出しており、一部は、褐色を呈した砂層からなる D 相からも産出している.

ノジュール内部は同心円状構造をなし、中心部は中空、または細長い有機物、または純度の高い黄鉄鉱からなる. 横断面の直径は約 1mm~2cmと幅があり、産出層準層準ごとに直径が異なり、長さも 3cm~15cmと幅がある. 丸く頭打ちになる下底部分が確認できることもある. 中には下底面が岩相境界に接しているものもある. 場合によっては周囲にハロが確認でき、ハロが確認できるものを含めると最大径 5cm になるものもある.

#### ii) 筒状黄鉄鉱ノジュール B

筒状黄鉄鉱ノジュール B は、地層面に対して並行な産状を示す(図-6-G). 粘土がちな E 相から産出する.

形状はやや扁平で上から押しつぶされたような形となっている. 筒状黄鉄鉱ノジュール A と同様, 内部構造は同心円状であり, 中心部は中空または有機物体または純度の高い黄鉄鉱からなる. 扁平な形状のため, 厚さは 1cm 以下のことが多い. 長さが 30cm 近くになるものもある. また,

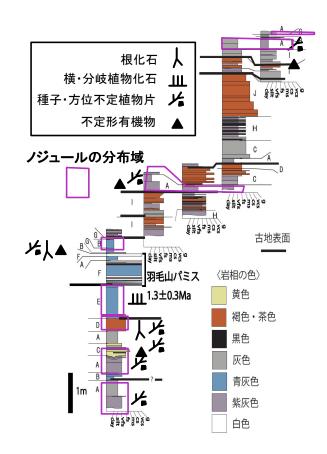


図-4 ノジュールと植物化石の産出状況.

約10cm ごとに突起が確認できるものもある.

# iii) 筒状黄鉄鉱ノジュール C

野外において分岐が確認できたノジュールを 筒状黄鉄鉱ノジュール C と呼ぶこととする(図 -6-H). 地層面に対して並行な筒状黄鉄鉱ノジュール B と同範囲から産出する.

形状は筒状黄鉄鉱ノジュール A, B を組み合わせたものを呈し、扁平な筒状黄鉄鉱ノジュール B から地層に対して垂直な方向に分岐するものもある.

#### iv) 不定形黄鉄鉱ノジュール D

筒状黄鉄鉱ノジュール A, B, C 以外の明白な形状を持たないものは不定形黄鉄鉱ノジュール D とする.

中心部には核として異地性の材化石や形状不明な有機物,純度の高い黄鉄鉱が生じているものもある.中には,葉理面に平行かつ不連続な板状を呈するノジュールもある.

# c. 植物化石

植物化石は、地層面に対して垂直に伸長する "根化石"の産状を示すもの、地層面に平行に伸 長し分岐するもの、伸長方向が不定のもの、の3 つの産状に分けることができる. 地層面に対し垂直や平行方向に伸長する植物化石は現地性であり, 伸長方位が不定のものは, 異地性と考えられる. また, 伸長方向や形態が明確でなく, 有機物の不定型な集合となっている場合は, 不定形有機物として扱った.

根化石の中には、層相に関わりなく分布する場合がある(図-6-I). 図 4 に産出範囲を示す. A, B, C, D, E 相では植物化石や不定型有機物が含まれるが、E 相では地層面に対して平行に伸長するものが認められる.

#### d. 立木化石とアケボノゾウの足跡化石

1つの地層境界で立木化石を確認した(図-6-J). また,3つの地層境界でアケボノゾウの足跡が行跡として確認できた(図-6-K). 足跡の判断は,荷重痕であること,長鼻目の足跡の形状,産出化石,行跡により判断した. それぞれの産出層準を図-5に示す.

## 6. 考察

#### a. 堆積環境の推定

地層各説で述べた各層相の組み合わせは①粘土~砂(上方粗粒化)や②砂(シルト)混じり粘土や ③砂は氾濫原、④砂泥互層は自然堤防、⑤砂~礫 (クロスラミナ発達) はチャネル、⑥粘土は沼地に 対応させることができる.

よって,本調査地域の堆積環境は,氾濫原,自 然堤防,チャネル,沼地を繰り返す河川周辺の堆 積環境であったと推定される.

また、粘土を含む沼地や氾濫原の堆積物は地表酸化を受けにくく、滞水条件が継続した還元的な環境と考えられる.一方、比較的粒度が粗いチャネルや自然堤防の堆積物は地表酸化や地下水の化学反応の影響を受けやすいため酸化的な環境にあったと考えることができる(Retallack, 2001). つまり、河川周辺の堆積環境であった本調査地域では相対的に酸化的な環境と還元的な環境を繰り返していたと考えられる.

#### b. 古地表面

3 つの地層境界でアケボノゾウの足跡(アンダープリント)化石が行跡として確認できたこと,1 つの地層境界で立木化石を確認できたことから,一時的な地表面であったと考えられる.

また,褐色を呈する地層は堆積後に酸化的条件下(地表領域)で形成されたことを示す.一方,その上位層や下位層は青灰色や紫灰色を呈するこ

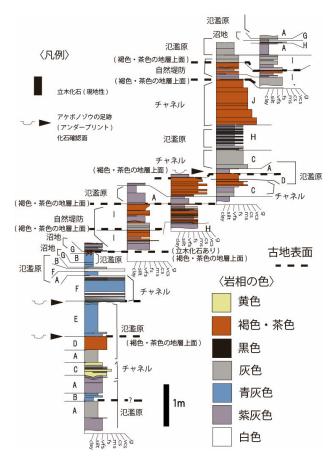


図-5 堆積環境を示した柱状図と古地表面を示した図.

とが多く、還元的条件にあったことが推定される. 従って、褐色を呈する地層の上面が古地表面に対 応すると考えられる.この調査地域では9つの古 地表面を認識することができる(図-5).

# c. 黄鉄鉱ノジュールの形成環境

筒状黄鉄鉱ノジュール A は中心に有機物を持ち、地層面に対して垂直方向に入った産状を示すことから、現地性の根や茎などの植物遺体に黄鉄鉱が付着してノジュールを形成したものと考えられる. 筒状黄鉄鉱ノジュール C は、筒状黄鉄鉱ノジュール B から地層の上位に向かって分岐が伸びる形状をなすため、本来は地下茎を持つ植物であったと考えられる. そのため、同層準で確認できた筒状黄鉄鉱ノジュール B とともに現地性の植物遺体に黄鉄鉱が付着してノジュールとなったものと考えられる.

上記のように黄鉄鉱ノジュールの形状は植物 化石の産状にも相対的に対応している. 例えば, 筒状黄鉄鉱ノジュール A が産出する A 相, D 相 には層理面に垂直に伸長する根化石が確認できる. また, 筒状黄鉄鉱ノジュール B が産する F

相では地層面に対して平行な産状を示す植物化石が多く,不定形黄鉄鉱ノジュール D が確認される部位には,方向不定の植物化石が多く分布する.このことから,黄鉄鉱ノジュールの形成に必要な核となる有機物の存在が形成条件に関わると考えられる.また,核となる植物遺体の状態により,黄鉄鉱ノジュールの形状も異なることが推測される.

次に, 黄鉄鉱ノジュールの産出が多く確認でき る A 相, B 相, D 相の一部, E 相, G 相と黄鉄鉱 ノジュールの関連について考える. これらの層相 は全て沼地・氾濫原の堆積物に対応している.よ って本調査地域の黄鉄鉱ノジュールが形成され 得る環境は、粘土を含み相対的に還元的な環境が 持続する沼地や氾濫原の堆積物と考えられる. 黄 鉄鉱ノジュールの形成は,植物化石などの有機物 (C)の周辺でバククテリアの作用によって硫化水 素イオン(HS:)と遊離した鉄(Fe<sup>2+</sup>)が生じること よる(Retallack, 2001). この時, 還元的な環境 が持続していることが化学的な条件となり, 沼地 や氾濫原もこれに当てはまる(Retallack, 2001). 特に,これらの層相は,D相の一部を除いて,紫 灰色や灰色を呈した粘土~細粒砂からなり, 褐色 に呈した地表領域の層準よりも深い層準に位置 する.このことは、地下水面以下に位置した層準 での還元的な環境が黄鉄鉱ノジュールの主要な 形成場となっていたことを示唆している.

# 7. まとめ

- a. 小諸層群大杭層上部(寺尾, 2001)中の堆積環境は,氾濫原・自然堤防・チャネル・沼地を繰り返す河川周辺の堆積環境である.
- b. 本調査地域で"タカシコゾウ"と呼ばれていたものは、愛知県豊橋市高師原台地を模敷地とした褐鉄鉱の団塊の高師小僧とは異なり、黄鉄鉱ノジュールの一種である.
- c. 本研究で扱った黄鉄鉱ノジュールの形成条件は、①泥が含まれている沼地や氾濫原の堆積物中や地下水による還元的な環境であること、②核となる植物遺体などの有機物質が存在することである.

#### 謝辞

本研究をまとめるにあたり,信州大学理学部地質科学科,信州大学大学院工学科研究専攻の皆様には多くの御助言・御指導・御意見をいただいた. 杉田正男氏(野尻湖ナウマンゾウ博物館)には, この小諸層群大杭層上部の古環境に関して興味を持つきっかけを与えていただいた.

アケボノゾウ友の会の方々、特に中山純子氏に は調査中の宿泊場所を便宜していただき、東御市・小諸市に関する情報を提供していただいた. 東御市教育委員会をはじめ、多くの地元の方々に お世話になった.

以上の方々に深く敬意を表し、御礼申し上げます.

# 文献

- 1) 阿部和美,2003,第3次発掘で得られた植物 化石.長野県北御牧産アケボノゾウ化石調査 報告書,1,28.
- 2) 畠山幸司,2007,アケボノゾウ化石の産状と 堆積機構.長野県北御牧産アケボノゾウ化石 調査報告書,2,7-12.
- 3) 林 成多, 1996, 長野県北御牧村の下部更新 統大杭層から産出した水生~湿地性甲虫. 日 本第四紀学会講演要旨集 26, 146-147.
- 4) 林 成多,2003,昆虫化石と古環境.長野県 北御牧産アケボノゾウ化石調査報告書,1, 25-27.
- 5) 林 成多,2007,昆虫化石と古環境(その2). 長野県北御牧産アケボノゾウ化石調査報告書, 2,39-40.
- 6) 飯島南海夫・石和一夫・甲田三男・田口今朝 夫,1956,いわゆる"塩川層"の地質.地質学 雑誌,62,622-635.
- 7) 猪間収三郎, 1894, 三河国宝飯郡辺に多産するタカシコゾウと称するもの. 地質学雑誌, 6, 70, 589-590.
- 8) 小泉明裕・大島 浩, 2003, 第1個体の骨化 石について. 長野県北御牧産アケボノゾウ化 石調査報告書, 1, 9-23.
- 9) 小藤文次郎, 1895, 高師小僧. 地質学雑誌, 2, 238-240.
- 10) 古象団体研究会, 1973, 長野県小谷郡丸子町 産の Stegodon aurorae. 信州大学理学部紀要, 8, 65-79.
- 11) 松岡敬二, 1998, 高師小僧の名前の由来 (演 旨)日本地質学会第 105 年学術大会講演要旨, 299.
- 12) 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.長野県北御牧産アケボノゾウ化石調査報告書,1,24.

- 13) 長森英明・吉川博章・畠山幸司・寺尾真純・ 田辺智隆, 1995, 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,56,3,127-135.
- 14) 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 県北御牧産アケボノゾウ化石調査報告書,2, 23-36.
- 15) Retallack, G. J., 1985, Fossil soils as grounds for interpreting the advent of large plants and animals on land. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B 309, 105-142.
- 16) Retallack , G. J., 2001, Soils of the past An Introduction to Paleopedology, 2nd EDITION, Blackwell Science, 36-62.
- 17) 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 産アケボノゾウ化石調査報告書, 2, 13-22.
- 18) 田辺智隆, 2003, アケボノゾウが産出した地

- 層の年代について. 長野県北御牧産アケボノ ゾウ化石調査報告書, 1, 43-44.
- 19) 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.
- 20) 寺尾真純,2003,小諸層群の地質概要.長野県北御牧産アケボノゾウ化石調査報告書,1,29-42.
- 21) 吉田英一・松岡敬二, 2004, 愛知県豊橋市高 師原大地から産する「高師小僧」. 名古屋大学 博物館報告, 20, 25-34.

(原稿受付 2012.3.20)

