化石研究会会誌　　Journal of Fossil Research, Vol. 42(2), 83-94(2010)

［特集・原著］

神戸層群吉川層の哺乳類化石とその発掘地における堆積相(予報)

三枝春生*・田中里志**

Preliminary notes on mammalian fossils of the Yokawa Formation of the Kobe Group and the sedimentary facies at the excavation sites

SAEGUSA, Haruo* and TANAKA, Satoshi**

Abstract

Since 1999, mammalian fossils (*Bothriodon sandaensis*, *Zaisanamynodon*. cf. *protheroi* and cf. *Hyrachyus* sp.) have been excavated from three localities of Yokawa Formation, the Kobe Group in the area straddles the Sanda and the northern part of the Kobe city, Hyogo Prefecture. The mammalian fossils are found from flood plain deposits. Breakage by trampling, insect feeding and rodent gnawing are seen on remains. The faunal composition suggests the latest Middle Eocene age of the Yokawa Formation.

Key words: *Bothriodon*, Eocene, Kobe Group, Sedimentary facies, Yokawa Formation, *Zaisanamynodon*

1．はじめに

兵庫県三田市から神戸市北区にかけての神戸層群分布域では，1999年以来これまで半径2kmほどの範囲内に分布する3つ地点から哺乳類の化石が発見されている．国内ではこれまで13か所余りの地点から古第三紀哺乳類化石の産出が報告されているが（例えば徳永，1925；Takai，1950；Tomida，1983，1986，1994；Tomida and Yamasaki，1996；宮田・冨田，1997；酒井ほか1997；Miyata and Tomida，1998，岡崎，2003，2008；Miyata，2007），このように狭い範囲から古第三紀の哺乳類化石が産出することは国内においてはまれであり，類似の古第三系が分布する他地域で哺乳類の化石を探索する上でも大いに参考になる事例である．しかし，神戸層群の哺乳類化石はその発掘成果のごく一部分が論文および学会における講演として公表されているにすぎない．そこで本稿では，これら神戸層群産哺乳類化石の発見および発掘の経緯，堆積相と産状とタフォノミーの概略，哺乳類化石の概略とその生層序学的意義を紹介する．神戸層群産アミノドン類の形態・分類・タフォノミーの詳細はまだ未報告であるが，これらは現在準備中の論文において報告したい．

なお，地質概説と堆積相については田中が，哺乳類化石の発掘経緯，産出状況，分類，層序学的意義については三枝がそれぞれ執筆した．

2．哺乳類化石の発見と発掘

神戸層群からはこれまで3か所から哺乳類化石が発見されている．これらを便宜上発見された順番にLoc. 1～Loc. 3と呼ぶ（図1，2）．

Loc. 1（神戸市北区赤松台1丁目2番地の造成地内ののり面）のアミノドン類化石は，三枝春生によって1999年3月24日に発見された．1999年5月20，21の両日に試掘が，2000年2月19日～同3月29日の期間に発掘が行われた．のり面は高さ約12mあったが，アミノドン類化石含有層はのり面基部より1m前後の高

2009年10月30日受付，2010年2月28日受理

＊〒669－1546　兵庫県三田市弥生が丘6丁目　兵庫県立人と自然の博物館，兵庫県立大学自然・環境科学研究所
Museum of Nature and Human Activeties, Institute of Nature and Environmental Sciences, University of Hyogo Yayoigaoka 6, Sanda, Hyogo 669-1546, Japan. E-mail: saegusa@hitohaku.jp
＊＊〒612－8522　京都府京都市伏見区深草藤森町1番地　京都教育大学教育学部
Faculty of Education, Kyoto University of Education Fukakusa Fujinomori 1, Fushimi-ku, Kyoto 612-8522, Japan.

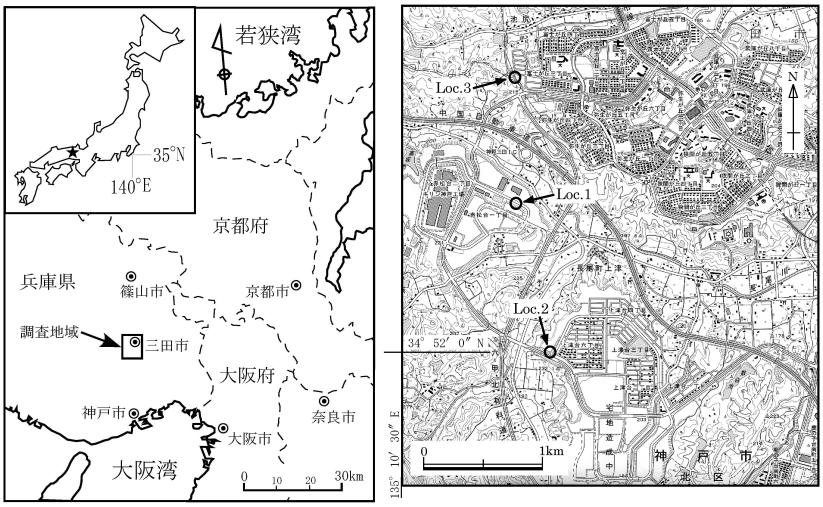


図１　哺乳類化石を発掘し堆積相解析を行った地点

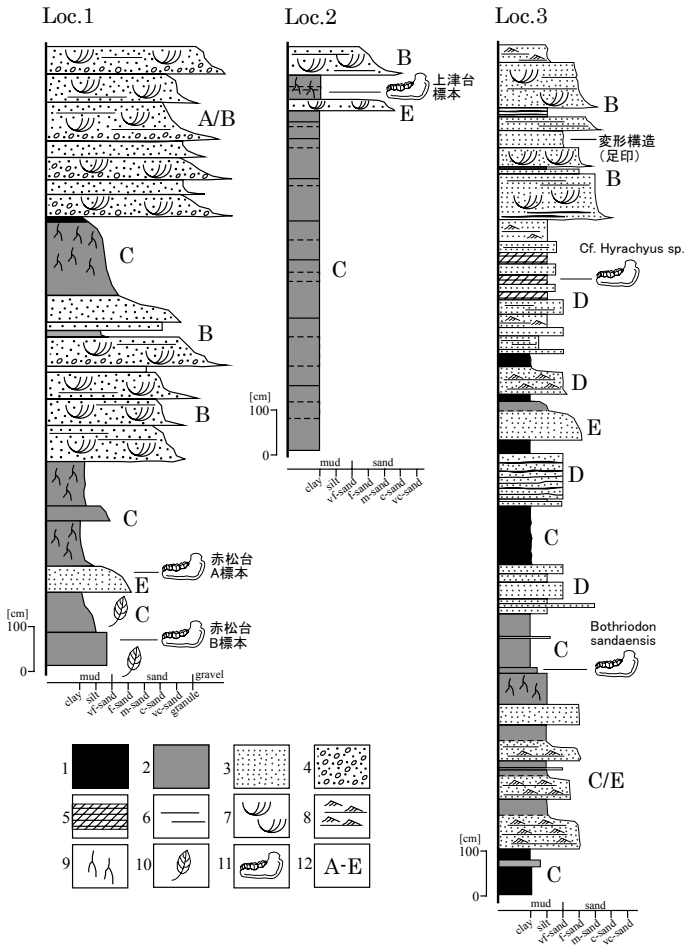


図２　各地点の堆積柱状図と哺乳類化石産出層準

１：黒色泥岩，２：古土壌の特徴を示す泥岩，３：砂岩，４：礫岩／砂礫岩，５：薄互層，６：不明瞭葉理，７：トラフ型／平板型斜交葉理，８：リップル，９：根痕化石，10：植物化石，11：哺乳類化石産地，12：堆積相 A～堆積相 E

さにあった．そのため発掘に先立ちのり面頂上から化石含有層まで，体積約3500立方米の地層を重機を用いて除去する必要があった．アミノドン類化石含有層の発掘には電動ピック，ツルハシ，ハンマー，ノミ，千枚どおしを用いた．化石の産出位置は，基準点からの方位をトランシットで求め，巻尺で距離，基準点を通る平面からの深さを計り，これらを平面図と野帖の両方に記録した．化石の部位の同定が可能な場合は，産状を写真撮影した．Loc. 1の発掘面積は158㎡に達した．

Loc. 2（神戸市北区上津台5丁目5番地）のアミノドン類化石は，松原尚志（兵庫県立人と自然の博物館研究員）により1999年3月28日に発見された．1999年5月26日に試掘が，2000年5月17日～6月18日の期間に発掘が行われた．Loc. 2の化石含有層はのり面の頂上近くに位置していたため，アミノドン類化石含有層の上位に乗る地層の除去はアミノドン類化石含有層の発掘と同時進行で重機を用いて行った．Loc. 2の発掘面積は56㎡に達した．Loc. 2ののり面の整地工事の際に出た残土（1280立方米）が残されていたが，その中からも若干のアミノドン類の歯と骨の破片が発見された．

上記のLoc. 1およびLoc. 2からのアミノドン類の産出については三枝ほか（2001）が報告している．なおLoc. 1およびLoc. 2の発掘は，土地を所有・管理している住宅・都市整備公団の北攝・北神開発事務所の許可を得た上で，科学研究費補助金（平成11～12年度　研究代表者　河合雅雄　人と自然の博物館長）を用いて，他大学・博物館の研究者および多数のボランティアの参加により行われた．

Loc. 3（三田市富士が丘3丁目）は，三枝春生によって2004年3月10日に発見された．化石を含有するのり面の調査が，2004年5月までの期間に散発的に行われ，その間にcf. *Hyrachyus* sp.に同定された下顎臼歯列および*Bothriodon sandaensis* Tsubamoto，2007（偶蹄目，炭獣科）の下顎骨破片，大型の哺乳類の足跡と考えられる化石が発見された．これら哺乳類化石はTsubamoto, *et al*.（2007）により記載された．なお，化石を産出したのり面の一部は現在も地層が露出した状態で保存されている．

3．哺乳類化石産出層の堆積相と堆積環境

1）従来の研究

神戸層群は，三田盆地，神戸市西部，淡路島北部に分布する礫岩，砂岩，泥岩ならびにそれらの互層からなる地層で，古くから植物化石と海生軟体動物化石が多産することで知られている．神戸層群の先駆的な研究としては，鹿間（1938）があり，神戸市西部や淡路島北部に産出する植物化石とともにその層序を詳細に記載し報告している．その後も層序学的研究が進められ，神戸層群は植物，海生軟体動物および底生有孔虫化石により中新統とされてきた（Tanai，1961；堀，1976，1987；徳永，1986；糸魚川，1983；水野ほか，1990；糸魚川・柴田，1992；池辺編，1961；藤田・笠間，1971,1983；Tai，1959）．しかし，近年測定されたフィッショントラック年代（以降FT年代と略記）とK-Ar年代測定および石灰質ナンノ化石と渦鞭毛藻化石の生層序学的研究によれば神戸層群は後期古第三紀の地層である（松尾，1987；尾崎・松浦，1988；弘海原・ギェム，1994；尾崎ほか，1996；山本ほか，2000；木村，2002）．上述の三田市と神戸市内のLoc. 1，2，3の哺乳類化石産出層準の下位には東条湖凝灰岩層が，上位には北畑凝灰岩層がある（Tsubamoto *et al*., 2007）．北畑凝灰岩層からはK-Ar年代値36.8±0.8Ma（尾崎・松浦，1988）とFT年代値33.3±2.7Ma（弘海原・ギェム，1994）が，東条湖凝灰岩層からはFT年代値36.9±2.3Ma（尾崎ほか，1996）がそれぞれ報告されている．Tsubamoto *et al*.（2007）は三田市内のLoc. 3（上述）の吉川層より*Bothriodon sandaensis* Tsubamotoとcf. *Hyrachyus* sp.を記載し，これらと神戸北区内のLoc. 1および2産出のアミノドン類（三枝ほか，2001）から吉川層の年代を中期始新世末とした．

神戸層群は，三田盆地に分布する非海成層から，神戸市西部の一部海成層を伴う非海成層，さらに淡路島北部に分布する海成層からなる．このように，北から南への堆積場の移動とともに堆積環境の変化が報告されている（池辺編，1961など）．最近の研究により，淡路島北部の神戸層群の年代値，貝化石群集についてはまだ議論は必要であるが，基本的には地層の側方変化（環境変化）を反映しているものと考えられる．特に，尾崎・松浦（1988）は，三田盆地に分布する非海成層について，岩相及び堆積サイクルを基に，下位から三田層，吉川層，細川層とこれまでの地層を再定義し，それらの堆積環境を議論している．本報告においても地層名に関しては尾崎・松浦（1988）を踏襲して議論を進めることとする．

神戸層群の堆積環境については，尾崎・松浦（1988）が三田層の堆積環境について若干の考察を加えているのみで，これまでほとんど研究が行われていないのが現状である．尾崎・松浦（1988）によると，三田層，吉川層ともに，下位から蛇行河川あるいは湖の環境から扇状地および扇状地外縁部の網状河川環境へと変化し，その後，再び湖の環境へと戻ったことが指摘されている．しかしながら，個々の堆積相の詳細な記載及び議論は行なわれておらず，全体的な岩相の

特徴に基づく河川形態の変化を報告しているのみである．また，雑色を呈した泥～極細粒砂岩層については，その色について触れているのみでほとんど議論されていない．本報告では，哺乳類化石産出層準の堆積環境を検討した．

2）堆積相の特徴と堆積環境

三田市および神戸市北区周辺の3カ所の哺乳類化石発掘地点（Loc.1～Loc.3：図1）において堆積相解析を行い堆積環境について検討した．Loc.1～Loc.3はすべて，上久米凝灰岩層より下位層準であり吉川層長尾砂岩泥岩部層の上部に相当する．層序的には下位よりLoc.3，Loc.1，Loc 2の順に並ぶ（図1）．基本的な堆積相の分類と堆積環境について以下に述べる．

⑴　堆積相

Loc.1，3にみられる堆積物は，主に礫・砂・泥ならびにそれらの混合層で構成されており，一般に2～5mオーダーの砂岩あるいは砂礫岩から泥岩層への上方細粒化堆積組相の繰り返しで特徴づけられる．多くは侵食面を介して礫岩層やトラフ型斜交葉理が発達する中礫混じり粗粒砂岩層にはじまり，上方へ向かうにつれてリップルなどが発達する層厚1m内外の極細粒砂岩，シルト岩，粘土岩へと漸移的に変化している（図2）．

上方細粒化堆積組相の最上部の細粒層は，一般に1～2m前後の層厚を有する．特に，炭化した木質片や植物片，根痕などを伴うことがある．上方細粒化堆積組相の下部は亜円礫を含む砂岩が主体であり，それらの礫径は平均して2～3cmであるが，その中にまれに5～6cmに達するものも含まれる．礫種は砂岩，頁岩，チャートなど基盤岩を構成する有馬層群からもたらされたものからなる．他に，凝灰岩質の礫岩なども見られる．一方，Loc.2では赤褐色や黄褐色の雑色泥岩～細粒砂岩層が厚く堆積している．またそれらの雑色堆積物中には砂岩が薄層状あるいはレンズ状に狭在している（図2）．Loc.1～3の堆積相は，その特徴から以下の5つの堆積相に区分できる（図3）．

堆積相A：礫質河道－バー堆積物

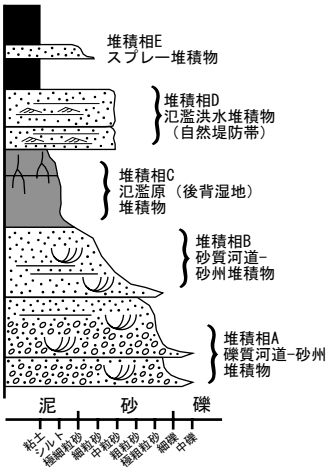
下に凸型となった侵食面を充填する中礫混じりの砂から，上方へ粒径を減じる上方細粒化堆積相を示す．

本堆積物下部の砂礫岩層は，礫径2～6cmの亜円～亜角礫で構成され淘汰は不良である．基質は極粗粒砂により充填される．堆積物の上位には平板型斜交葉理やトラフ型斜交葉理が発達する．この堆積相は側方への岩相変化が著しい．

これら上方細粒化を示す堆積物は，河道あるいは河川州（バー）で砕屑粒子が水流下で堆積したものである（Reading，1986；Reineck and Singh，1980）．

堆積相B：砂質河道－バー堆積物

本堆積相は，下に凸となった侵食面を充填する中礫混じり粗粒砂から中～細粒砂へ粒径を減じる上方細粒化を示す．堆積物の下底面は侵食面で特徴づけられ，



堆積相	層相	特徴	堆積システム
A	礫～細粒砂	礫（砂礫）から細粒砂への上方細粒化を示す．トラフ型斜交葉理や平板型斜交葉理などが発達する．	礫質河道-バー堆積物
B	粗粒砂～細粒砂	粗粒砂～細粒砂で上方細粒化を示す．トラフ型斜交葉理や平板型斜交葉理などが発達する．	砂質河道-バー堆積物
C	極細粒砂～シルト	塊状無層理，斑紋構造，土壌層位構造，根痕化石などがみられる．	後背湿地堆積物
D	シルト～細/極細粒砂	シルトと砂の薄互層を示す．植物片などの有機物が多くリップルもみられる．	氾濫洪水堆積物
E	中粒砂～細粒砂	級化構造を示し，まれにトラフ型斜交葉理をもつ細粒堆積物中に挟在される．	スプレー堆積物

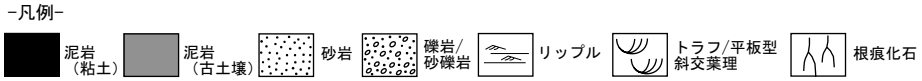


図3　堆積相の区分と解釈した堆積環境

それを含む上方細粒化堆積組相の最下部を占める．下部には大型のトラフ型斜交葉理がみられるが，上方に砕屑粒子の粒径が減少するとともに斜交葉理の規模は縮小化する．また下位層を削り込む侵食面は，チャネル形状を示し，泥岩偽礫を含む．

このことから堆積物はベッドロードとして運搬・堆積したもので，河道あるいはバーで砕屑粒子が水流下において形成した堆積物と考えられる（Reading，1986；Reineck and Singh，1980）．粒径変化は水流の流速の変化に対応したものである．

堆積相Ｃ：後背湿地堆積物

緑灰色，黄褐色～赤褐色などの雑色の泥～極細粒砂岩層で特徴づけられる．一般に層厚は１～２ｍで，Loc.１，３においては緑灰色～暗灰色を呈する泥岩がみられ，Loc.２では黄褐色～赤褐色の雑色泥岩が顕著である．特に雑色を呈する泥岩層は幾重にも累重して全体として８ｍをこえる層厚を示す（Fig.３：Loc.２）．一般に，雑色の泥岩層には炭化植物片や根痕など植物痕が認められる．また，雑色部は色の層位構造や黄褐色～赤褐色の斑紋構造が見られることなどから古土壌層と認定できる（Retallack，1988）．

これらの堆積物は，氾濫原上の湿地帯や低地帯などの環境で形成されたものと考えられる（Retallack，1988）．雑色の泥岩～極細粒砂岩層に発達した古土壌は多層累重しているが，それらは河川の氾濫原上に発達した湿地帯の堆積物が時間を経て幾度も繰り返し，土壌化を受け形成された堆積物といえる．

一方，緑灰色～暗灰色を呈した雑色層は，一般的な特徴として塊状（無構造）で，植物片や根痕などの植物痕はほとんど認められない．極まれにシルトや極細粒砂で構成される部分にはリップル状の堆積構造が認められる．なお，本堆積相は，堆積相Ｂ同様に先に述べた２～５ｍオーダーの上方細粒化堆積組相の最上部を占めることが多い．これらは，河川の後背湿地にある沼沢や低地の環境で，洪水氾濫により素早く埋積が行われるような場所で，しかも排水不良な滞水域にあるような堆積環境であったことが推定できる．

堆積相Ｄ：氾濫洪水堆積物

灰～黒灰色で炭化材木片を含む２～３cm厚のシルトと細～極細粒砂の薄互層，あるいは極細粒砂で特徴づけられる．極まれにリップル状の堆積構造が認められる．互層中には葉化石やその印象，植物炭質片が密集する．さらに琥珀化石粒も確認されている．これは河川によって運搬されてきた植物片が砕屑物とともに堆積したもので，主に氾濫原などの湿地帯に氾濫洪水堆積物として形成された堆積物といえる（Reading，1986；Reineck and Singh，1980）．

炭化植物片を含む薄互層やリップルは，常時粗粒物質を運搬していた河道からの溢れ出し堆積物と考えられ，河道付近の湿地環境で洪水のたびに氾濫水に伴った砕屑物が供給され形成したものであり，増水時に洪水氾濫水に伴って本流から離れた場所に形成された洪水氾濫堆積物ならびに越堤堆積物といえる（鈴木，1995）．このような堆積物は，今日では自然堤防上に堆積することが多い．

堆積相Ｅ：スプレー堆積物

本堆積相は，中～細粒砂で特徴づけられ，堆積相Ｃの湿地－池沼堆積物に薄層状に挟在する．下位層準との関係は一様ではなく，侵食基底面がはっきり認識できるものもある．その多くは侵食基底面とともにトラフ型斜交葉理を伴い上方細粒化の特徴を示す．侵食基底面が不明瞭なものも堆積相Ｃに薄層状に狭在する特徴は同じであるが，単層内での粒度変化は示さず無構造である場合が多い．しかしながらどちらも泥岩層中に薄層状に狭在している．

中粒砂から細粒砂への級化構造は河川から溢れだした砕屑物が掃流状態で運搬され，氾濫とともに流速が減衰にいたる過程で形成された堆積物であると考えられる．このような堆積物が湿地－池沼堆積物に挟まれることから，本流とは異なった流れによって形成されたものと推定できる．さらにトラフ型斜交葉理を伴いチャネル状構造を作る堆積物は，堤防決壊などに伴い形成するクレバス・スプレーの堆積物の可能性も考えられる．

⑵　堆積環境の復元

三田地域の神戸層群吉川累層の堆積環境については，堆積組相と各堆積相の構造の特徴から河川環境下で形成されたものである．堆積組相としては，河道や河川州を示す堆積相Ａ・Ｂから氾濫原を示す堆積相Ｃ（Ｄ）への上方細粒化が一般的で，まれにスプレー堆積物としての堆積相Ｅを挟む．これらの上方細粒化堆積組相は，河川の掃流エネルギーの低下を意味している．また，氾濫原環境を示す堆積相Ｃからは，葉化石や根痕化石，琥珀化石などが見つかっており，堆積相Ｃが示す湿地帯には草本性や木本性の植生を伴っていたことは明らかである．また，単層の層厚や斜交葉理の特徴を考慮すると河川の水深は１ｍ以浅と見積もることができる．これらのことを総合すると，砂礫質の河川（部分的に網状流の要素を示す）で，増水時には氾濫洪水に伴う堆積物（越堤堆積物）あるいはスプレー堆積物を氾濫原上に堆積させながら形成した堆積物と考えられる．特に，氾濫原堆積物が

表１　神戸層群産アミノドン類産出化石リスト

Loc. 1（赤松台）
上位層準（赤松台Ａ標本）：上顎犬歯１点，下顎犬歯１点，上顎第四小臼歯１点，上顎大臼歯破片３点，肋骨破片６点，寛骨破片２点，椎骨５点，ほか骨片285点
下位層準（赤松台Ｂ標本）：上顎切歯１点，下顎犬歯１点，左右下顎頬歯列（ｐ３－ｍ３），寛骨２点，肋骨６点，椎骨３点，ほか骨片91点

Loc. 2（上津台）
上津台標本：上顎第四前臼歯破片１点（残土中より発見），左右下顎頬歯列（ｐ３－ｍ３），肩甲骨２点，寛骨１点，頚椎１点，胸椎？１点，肋骨６点

顕著に発達することは氾濫回数や規模の大きさを反映しており，さらにスプレー堆積物の存在などはある程度の屈曲する河川環境下でつくられたことを示している．尾崎・松浦（1988）が吉川累層の一部に蛇行河川環境を推定しているが，本報告地域においても同様な河川環境が発達していたと考えられる．

４．哺乳類化石の産出状況

１）Loc. 1

アミノドン類の部分骨格および骨片が青灰色シルト層とその上に重なる植物遺体を大量に含む砂岩層から発掘された（図２）．前者の層（図２）から産出した部分骨格および骨片を赤松台Ｂ標本，後者の層から産出したものを赤松台Ａ標本とそれぞれ呼ぶことにする（表１）．赤松台Ａ，Ｂ両標本に含まれる化石はすべて破断し散乱した状態で，地層中に埋まっていた．

赤松台Ｂ標本に含まれる化石はすべて一個体のアミノドンの遺体から由来していると考えられる．化石含有層である青灰色シルト層内で，哺乳類化石は長い帯状の分布域に集中し，産出した化石に部位の重複はなく，アミノドン類以外の動物と同定できるものも産出しなかった．したがって，赤松台Ｂ標本に含まれる100点ほどの骨と歯およびそれらの破片は一個体のアミノドンの遺体から由来したと考えられる．赤松台Ｂ標本の大部分では，骨片の表面に風化によるひび割れはほとんど見られず，Behrensmeyer（1978）の weathering stage 0 ないし１に相当する．一方，同標本の骨は全て破断しており Type II spiral fracture（Shipman，1981）が多くの骨片に認められる．Haynes（1991）によれば，動物による踏みつけ（trampling）による骨の破断は，現生アフリカゾウの死体では頻繁に見られ，多くの場合，破断面には spiral fracture が認められるという．さらに，骨が湿度の高い場におかれた場合は，かなりの年月にわたって骨は spiral fracture を起こし得る状態を保つと言う（Haynes，1991）．堆積相の解析によれば赤松台Ｂ標本を含む堆積物は，排水不良な滞水域にあるような環境を示唆する．このような環境下で，赤松台Ｂ標本は大型動物による踏みつけによる破断を長期にわたり受けていたのかもしれない．一方，赤松台Ｂ標本の長骨の破片には，げっ歯類によると推定されるかじり跡が見られる（図４－１）．底が平坦で互いにほぼ平行に走る浅い溝が密集するという独特のパターンがげっ歯類によるかじり跡にはあり，食肉類や人為的な傷とは異なる（Lyman，1994；White，2000）．赤松台Ｂ標本の長骨の破片には，底が平坦で浅い傷が互いにほぼ平行して密集する部分があり（図４－１），上記のげっ歯類によるかじり跡のパターンと一致する．また赤松台Ｂ標本の長骨のかじり跡は，密質が厚く発達した部分にみられ，げっ歯類が好んで厚い緻密質をかじるという報告（Brain，1980）とも一致す

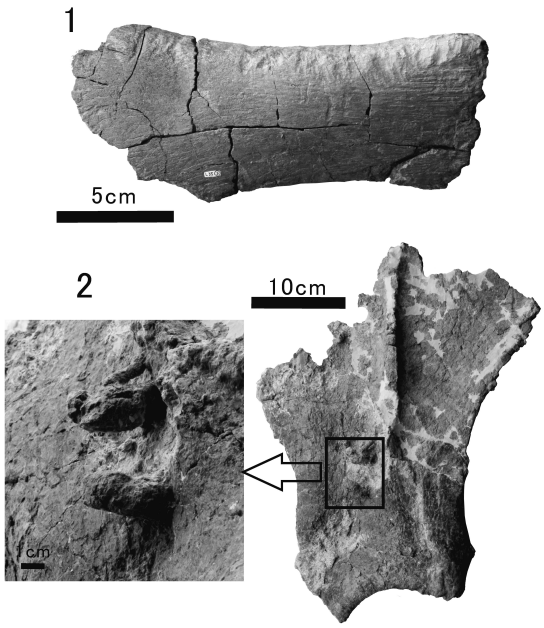


図４　１：げっ歯類によるかじり跡のある長骨破片，２：肩甲骨上に発達する骨の粉末で充填されたパイプ状の生痕化石．地層中で上を向いていた面はあばた状になっておりこの生痕が発達しているが，対照的に下を向いていた面には全く損傷がない．

る．化石産出層の年代が既にげっ歯類が出現している始新世であるという点を考えるなら，赤松台Ｂ標本の長骨の破片に見られるかじり跡はげっ歯類によるものであるとしてよいだろう．なおげっ歯類は脂肪分が抜けた乾燥した骨を好んで齧ることが報告されている（Brain，1980，Lyman，1994）．上記の損傷がげっ歯類によるものとすれば，遺体周辺の水が引き，げっ歯類の活動を許すような時期が一時的であれ存在していたのだろう．

赤松台Ａ標本には複数個体の骨と歯が混じっていると考えられる．赤松台Ａ標本に含まれる約300点の骨片，歯は，赤松台Ｂ標本と同様に地層中では長い帯状に分布域していた．骨と歯はすべて破断しているが，個々の破片の風化レベルは低く，大型のアミノドン類に部位同定可能な腰椎，寛骨片，犬歯や臼歯片には部位の重複がなく，破断面は鋭利である．また，離れて産出した大型のアミノドン類の犬歯や臼歯の破片のうちいくつかは，接合できるものもあった．こうした諸点は，大型のアミノドン類一個体の骨格の破断が埋没地点の比較的近傍で起きたことを示唆する．しかし，大型のアミノドン類としては細すぎる肋骨が少数だが混じっており，強く円磨された骨片もある．これらの点を総合すると，赤松台Ａ標本の大部分は大型のアミノドン類一個体から由来するが，一部，他の個体の骨片が混入していると見たほうが良いだろう．堆積相の解析によれば赤松台Ａ標本を含む堆積物は，クレバス・スプレーの堆積物である可能性が高い．

２）Loc. 2

上津台標本に含まれる約80点の骨，歯（表１）は赤松台標本と同様に全て破断しているが，アミノドン類以外の動物と同定できるものが産出しなかったこと，産出した化石には部位の重複が見られないことから，一個体のアミノドンの遺体から由来したものと考えられる．地層中から発掘されたもののほかに，上顎第四小臼歯が発掘現場近くに残されていた残土より産出した．この残土は化石産出層準を含むのり面整備中に出来たものなので，上記上顎第四小臼歯も他の上津台標本と同一の個体に由来していると考えられる．

上津台の発掘区画内では，骨の配列に方向性は見られない．一方，のり面近くから産出した寛骨の下には肋骨が２本並んでおり，造成で失われた部分に骨が折り重なった骨密集部があった可能性がある．こうした骨と歯の散乱状況は，現生動物の遺体が地上で散乱していく状況に良く類似している（たとえばHaynes，1991，fig. 4 . 29）．

上津台標本では，骨表面が広く痘痕状に損傷を受けているが，その一方，地層中で下側となっていた骨表面には，痘痕状の損傷が全くない部分があり，風化状態はweathering stage 0ないし１（Behrensmeyer，1978）に相当する．spiral fractureを示す骨片はなかった．また，頬歯の歯根には骨と同様の痘痕状の損傷があるのに対して，エナメル質には埋没以前に受けた損傷が全く見られなかった．

上津台標本の多くに骨を貫通する直径５～20mmの穿孔が頻繁に見られる．また，こうした穿孔に骨の粉末で充填されたパイプが連続して堆積物中に伸びている場合があり（図４－２），輪郭の不明瞭な骨の粉末の集合体も頻繁に見られた．陸上の無脊椎動物による骨の損傷として，シロアリ，カツオブシムシ科の甲虫などによるものが報告されているが（Lyman，1994；Paik，2000；Britt *et al*., 2008；Bader *et al*., 2009など），上津台標本に見られる損傷はこれら昆虫によるものに類似している．上述の痘痕状の損傷も全てではないにしてもかなりの部分は，骨表面の腐食・溶解というよりもこうした昆虫によって作られた穿孔の集積で形成されたのだろう．歯根にも，部分的に痘痕状の損傷が見られるが歯のエナメル質には土圧によって生じた亀裂以外の損傷は見られない．

３）Loc. 3

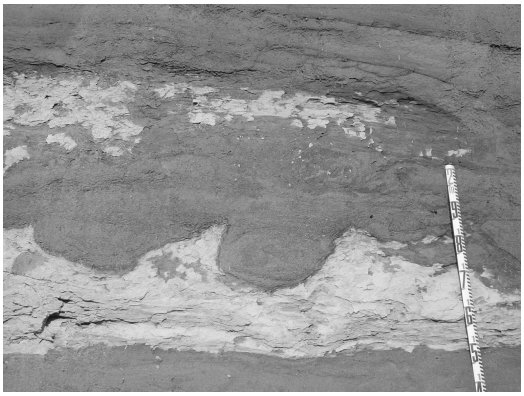
２層準からcf. *Hyrachyus* sp.下顎臼歯列，*Bothriodon sandaensis* の下顎骨破片および大型有蹄類の足印化石と見られる堆積物の変形構造が発見された（図２）．*Bothriodon sandaensis* の産出層準からは保存の悪い骨片も発見された．骨・歯化石はすべてコンクリーションに包まれていた．

B. sandaensis の下顎骨破片にはｐ２～ｍ３が本来の位置に並び，ｐ２とｐ３の間の歯隙も保持されている．頬歯表面は溶蝕されておらず，圧密によるクラック以外に亀裂は生じていない．しかし，これらの歯を植立する下顎骨体は著しく損傷しており，骨表面が粉末状になっているために骨と堆積物の境界は曖昧になっている．この下顎骨破片と共産した骨片も同様の保存状態であり，同定に耐えるものはなかった．

cf. *Hyrachyus* sp.は，自然堤防堆積物から発見されているが，臼歯列のみ剖出されており，下顎骨が上記 *B. sandaensis* の下顎骨破片と同様の保存状態であるかは不明である．

Loc. 3の上位（図２），堆積相Ｂの中の炭質物の密集した葉理が繰り返す層準には足印と考えられる変形構造が見られる．楕円形に葉理が陥凹した長径30cm前後の構造で，重機で作られた層理面にほぼ平行な平面上では60～50cm間隔で並んでいるのが観察された（図５）．この楕円形の陥凹の上には層理面に平行な葉理が重なっており，この陥凹は地層が堆積する途中

1



2

図５　１：足印と考えられる変形構造の断面，２：重機によって造成された平面上における足印と考えられる凹構造の分布．この平面は，層理面にほぼ平行．

に形成されたことを示している．またこの陥凹は砂岩層と泥岩層の境界ではなく砂岩層の内部にある．葉理が下方に陥凹する変形構造としてLoad casts, Convolute lamination, Dish structureがあるが，これらには以下のような特徴がある（Collison *et al*., 2006）：Load castsは層理面上では大きさの不揃いな不定形の葉状の構造であり，flame structureを伴う．複雑な葉理の褶曲であるConvolute laminationには直立した上方に尖った背斜部分があり，かつこの褶曲は上方に行くほど強い．Dish structureはしばしば塊状の砂岩や凝灰岩にみられ，薄い粘土を多く含むゾーンによって特徴づけられる薄い皿状の構造であり，Pillar structureをともなう．Loc. 3の変形構造の特徴はこれらのどれとも一致しない．地層の年代や堆積環境を考えると，長径30cm前後の陥凹を作った営力は，大型の哺乳類の踏みつけにより生じた圧力であると考えるのが最も無理のない説明である．したがって，この変形構造は大型の哺乳類の足印と考えられる．しかし，明瞭な足底印や行跡を認めることはできなかった．足底印の欠落は重機で削られたためと考えられる．大型の哺乳類の足印と考えられる変形構造は幾重にも重なっているので，より深い位置にあるものを今後発掘すれば足底印を確認できる可能性がある．

５．神戸層群産哺乳類の分類

１）アミノドン類

神戸市北区内の神戸層群吉川層から産出したアミノドン類の合計３個体の部分骨格は，全て同一種のものであると考えられる．赤松台Ｂ標本と上津台標本の下顎頬歯は互いに良く類似しており，上津台標本の上顎第四小臼歯は，赤松台Ａ標本の上顎第四小臼歯に良く類似している．さらに，赤松台Ａ，Ｂ両標本に含まれる犬歯は，形態，咬耗のパターン両面において互いに良く類似している．以上のことから，赤松台Ａ，Ｂおよび上津台標本は全て同一種に属すると考えられる．

神戸層群産のアミノドンは，下顎頬歯が前後に長く，metalophid, hypolophidが近心へ斜めに延びることなどから明かにアミノドン科に属する（図６－１，２）．アミノドン科の亜科，族，属の指標は基本的に頭蓋にあるため，歯だけでは亜科，属の同定は困難である（Wall，1989；Tomida and Yamasaki，1996）．しかしながら，頬歯の大きさをもとに神戸層群産アミノドン類が同定されうる候補を，概に知られているアミノドン類から絞り込むことは可能である．神戸層群産アミノドン類は大型種でありこのことから，神戸層群産アミノドン類に比較できる分類群には次のものが考えられる．歯のサイズから見た候補は *Zaisanamynodon*, *Metamynodon*, *Cadurcodon*, *Cadurcotherium*，そして *Gigantamynodon* の大型種である．これらのうち神戸層群産アミノドン類が帰属しうるのは *Zaisanamynodon* 属である．

*Gigantamynodon*の大型種である*G.cessator* Gromova, 1954と中国産の“*Gigantamynodon*”*giganteus* Xu, 1961の模式標本には，大型のアミノドンであるという以外には，分類学的な指標がなく，この２種はnomen dubiumと考えられる（Wall，1989；Lucas and Emry，1996；Lucas *et al*., 1996）．*Cadurcotherium*には，非常に幅の狭い下顎大臼歯，著しい高歯冠化と

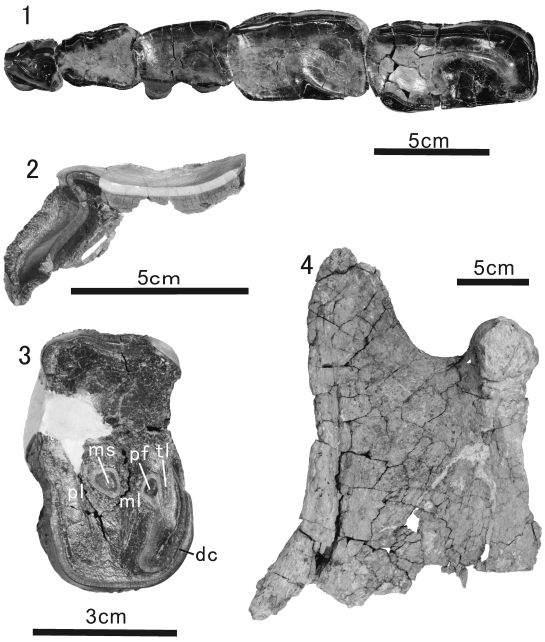


図6　神戸層群産アミノドン類．1:下顎頬歯列（p3－m3），赤松台B標本，咬合面観，2:上顎第三臼歯破片，赤松台A標本，咬合面観，3:上顎第四小臼歯，赤松台A標本，咬合面観，ds ; distal cingulum, ms ; medisinus, ml ; metaloph の痕跡，pf ; postfossette, pl ; protoloph の痕跡，tl ; third loph の痕跡，4:下顎枝，上津台標本．

いった神戸層群産アミノドン類には見られない形質がある（Wall，1989）．*Metamynodon* は北米から産出する3種によって知られているが（Wall，1989，1998），いずれも神戸層群産アミノドン類よりも小さく，後者に見られる上顎第四小臼歯の third loph がない（Lucas and Emry，1996；Lucas *et al*., 1996）．*Cadurcodon*属の大型種である*C. kazakademius* Biryukov，1961には第二小臼歯が無く（Lucas and Emry，1996），頬歯のサイズをあわせて考えるなら，この種の下顎の歯列は神戸層群産アミノドン類に類似しているが，上顎第四小臼歯の third loph がない（Lucas and Emry，1996；Lucas *et al*., 1996）という点において神戸層群産アミノドン類とは異なる．

Loc. 1（赤松台）と Loc. 2（上津台）から計2点の神戸層群産アミノドン類の上顎第四小臼歯が発見されている．どちらも咬耗が著しく進んだ標本であるが，赤松台A標本には，頬側で分岐したY字型をした postfossete が歯冠の遠心舌側に残存している（図6－3中の pf）．Y字型をした postfossete は，頬側から分岐点に向かってのびる隆起が metaloph と distal cingulum の間に存在していたことを示唆する．この隆起は，Lucas *et al*.（1996）の third loph に相当する．上顎第四小臼歯の third loph はメタアミノドン族のなかでは*Zaisanamynodon* に固有のものとされ（Lucas and Emry，1996；Lucas *et al*., 1996；Lucas，2006），神戸層群産アミノドン類が *Zaisanamynodon* 属に含まれることを示唆している．

Zaisanamynodon 属には，*Zaisanamynodon borisovi* Belyaeva，1971と *Z. protheroi* Lucas，2006の2種が知られている．Lucas（2006）によれば，下顎第三小臼歯の大臼歯化は，前者におけるよりも後者で弱く，この点において神戸層群産アミノドン類は *Z. protheroi* Lucas に類似する．両種を区別する他の歯の形質は強い咬耗のために神戸層群産アミノドン類では観察できない．しかし，Belyaeva（1971），Lucas *et al*.（1996），Lucas（2006）の図版を見る限り，神戸層群産アミノドン類の下顎枝の形態は *Z. borisovi* よりも *Z. protheroi* のそれに類似する．*Z. borisovi* の下顎枝の前後幅は背側に向かって急速に減じ，そのため筋突起と関節突起は互いに接近するが，*Z. protheroi* および神戸層群産アミノドン類では下顎枝の前後幅は背側でも比較的大きい（図6－4）．

神戸層群産アミノドン類には以上のように *Z. protheroi* との類似点が認められるが，確認できる類似点は2点のみであり，そのうちの一つ，下顎枝の形態に関しては個体変異の調査が行われていない．現時点では神戸層群産アミノドン類は *Z.* cf. *protheroi* とするのが妥当だろう．神戸層群産アミノドン類の分類は，詳細な記載を掲載した論文の中で改めて検討したい．

2）*Bothriodon sandaensis* および cf. *Hyrachyus* sp.：Loc. 3 産出のこれら2種の哺乳動物化石は Tsubamoto *et al*.（2007）により記載・命名されている．Tsubamoto *et al*.（2007）によれば，*Bothriodon sandaensis* Tsubamoto，2007は北米の後期始新世（Chadronian）より知られている *B. advena* に最も類似しているが，より原始的である．一方 Loc. 3 から産出した cf. *Hyrachyus* sp.の下顎大臼歯列は，断片的な標本であるため，属・種レベルの同定はできないが，保存されている部位は *Hyrachyus* に最も類似する．確実に *Hyrachyus* に同定される化石はこれまでユーラシアと北米の下部～中部始新統からしか知られていない．

6．議論

1）哺乳類化石の産出状況と堆積環境

神戸層群の哺乳類化石のタフォノミーに関する詳細な報告は現在準備中であるが，上述の概観からも神戸層群における哺乳類化石のタフォノミーの多様性は見て取れる．いずれの地点でも，化石は氾濫原，ないしスプレー堆積物より発見され，単一の遺体，もしくは

それに若干の他個体の遺体が混入した状況で埋没が起きている．いずれの例でも，埋没に先立つ損傷は骨の風化よりもむしろ，他の動物によって引き起こされる踏みつけや昆虫類による摂食などの損傷が考えられる．一方，神戸層群の河川流路の堆積物中からは，ワニ，カメ，魚類など水生のものも含め脊椎動物化石が発見されていない．このような産出化石の偏りは，単なるサンプリングバイアスというよりも，堆積環境を含めた古環境の特性をある程度反映したものである可能性がある．

河川流路の堆積物中に化石が少ないという傾向が実際にあるのかどうかを確かめるには，神戸層群の場合はまだまだ化石自体の発見事例が少なく，化石の発見件数を増やす努力が必要である．しかし，同時に少ない事例からも一定の傾向を検証できるような方法を今後考える必要があるだろう．

2）哺乳類化石が示す吉川層の年代

Bothriodon は通常，上部始新統～漸新統部（北米の Chadronian～Orellan, アジアの Ergilian～), *Hyrachyus* が下部～中部始新統（北米の Middle Wasatchian～Uintan，アジアの Arshantan～Irdinmanhan）より産する（Russell and Zhai，1987；Colbert and Schoch，1998；Kron and Manning，1998；Huang and Wang，2002；Tsubamoto *et al*., 2004）．上記のように，神戸層群産アミノドン類は *Z.* cf. *protheroi* と考えられるが，*Z. protheroi* は中期始新世（北米の Uintan）から知られている（Lucas，2006）．Tsubamoto *et al*.（2007）は *B. sandaensis* が後期始新世の *B. advena* よりも原始的であることから，*Hyrachyus* に類似したサイ上科奇蹄類が後期始新世まで生き残っていたのではなく，中期始新世末に *B. sandaensis* が *Hyrachyus* に類似したサイ上科奇蹄類と共存したという仮説を提示している．本論では，神戸層群産アミノドン類を *Z.* cf. *protheroi* としたが，これは Tsubamoto *et al*.（2007）の仮説と矛盾しない．また，北米の Uintan 後期をアジア Sharamurunian の前半と対比する Lucas（2006）の見解とも調和的である．Tsubamoto *et al*.（2007）が指摘したように，神戸層群の哺乳動物群には他の地域で知られていない哺乳類の組み合わせが見られ，中期・後期始新世の境界付近の動物群としてユニークなものである．今後神戸層群の哺乳動物化石の探索，各種の放射年代，古地磁気層序，炭素同位体層序等の研究をさらに進める価値は十分にあると言えよう．

7．まとめ

1）哺乳類化石の産出状況と堆積環境

神戸層群からこれまで発見されている哺乳類化石は氾濫原，ないしスプレー堆積物より発見され，単一の遺体，もしくはそれに若干の他個体の遺体が混入した状況で埋没されたものである．埋没に先立つ骨の風化，損傷は堆積相と関連があるように思える．

2）哺乳類化石が示す神戸層群の年代

神戸層群からはこれまで *Bothriodon sandaensis*, *Zaisanamynodon* cf. *protheroi* と cf. *Hyrachyus* sp.が発見されている．この哺乳動物の組み合わせは中期始新世末という年代を示唆するが，他の地域では共存しない *Bothriodon* と *Hyrachyus* に類似したサイ上科奇蹄類を含み，中期・後期始新世の境界付近のアジアの動物群として重要である．

謝辞

以下の方々には哺乳類化石の発掘およびその前後の調査において多大なご助力をいただいた：糸田千鶴（大成学院大学），井口博夫（兵庫県立大学），植村和彦（国立科学博物館），小笠原憲四郎（筑波大学），乙藤洋一郎（神戸大学），酒井治孝（京都大学），鍔本武久（林原自然科学博物館），仲谷英夫（鹿児島大学），三木雅子（神戸大），渡部真人（林原自然科学博物館），兵庫県立人と自然の博物館の小林文夫，加藤茂弘，先山　徹，佐藤裕司，半田久美子，古谷　裕，松原尚志の諸氏および発掘ボランティアの方々．発掘および発掘現場保護にかかわる費用調達に関しては河合雅雄兵庫県立人と自然の博物館名誉館長および中瀬　勲兵庫県立人と自然の博物館副館長にお世話になった．また，旧住宅・都市整備公団の北攝・北神開発事務所，行政諸機関関係者，および兵庫県立人と自然の博物館の職員の方々には発掘の諸条件の整備にご尽力いただいた．比較標本の調査にあたっては，箕浦名知男（前北海道大学）・諏訪　元（東京大学）両氏に便宜を図っていただいた．文献収集に関して仲谷英夫（鹿児島大学），冨田幸光（国立科学博物館），高井正成（京都大学）および渡部真人（林原自然科学博物館）諸氏に大変お世話になった．2名の査読者には適切なご意見とご教示をいただいた．以上の方々と関連機関に厚く御礼申し上げる．本研究の一部は，日本学術振興会科学研究費補助金（11800019）によって実施された．

引用文献

Bader, K. S., Hsiotis, S. T. and Martin, L. D.（2009）Application of forensic science techniques to trace fossils on dinosaur bones from a quarry in the Upper Jurassic Morrison Formation, northeastern Wyoming. *Palaios* **24**, 140-158.

Behrensmeyer, A. K.（1978）Taphonomic and ecological

information from bone weatherig. *Paleobiology* **4**, 150-162.

Belyaeva, E. I.(1971)Novye dannye po aminodontam SSSR［New data on the amynodonts of the USSR]. *Akademiya Nauk SSSR Trudy Paleontologicheskiy Institut* **130**, 39-61.

Brain, C. K.(1980)Some criteria for the recognition of bone-collecting agencies in African caves. In：Behrensmeyer, A.K. and Hill, A.P.(eds)*Fossils in the making*, pp.107-130, University of Chicago Press, Chicago.

Britt, B.B., Scheets, R.D. and Dangerfield, A.(2008)A suite of dermestid beetle traces on dinosaur bone from the Upper Jurassic Morrison Formation, Wyoming, USA. *Ichnos* **15**(**2**), 59-71.

Colbert, M.W. and Schoch, R.M.(1998) Tapiroidea and other moropomorphs. In: Janis, C.M., Scott, K. M. and Jacobs, L.L.(eds)*Evolution of Tertiary Mammals of North America*. Vol. 1：Terrestrial Carnivores, Ungulates, and. Ungulatelike Mammals, pp. 569-582, Cambridge University Press, Cambridge.

Collison, J., Mountney, N. and Thompson, D.(2006) *Sedimentary Structures*. 3rd Ed. Terra Publishing, Hertfordshire, 292 pp.

Haynes, G.(1991)*Mammoth, mastodon, and elephants : biology, behavior, and the fossil record*. Cambridge University Press, Cambridge, 413 pp.

堀　治三郎（1976）神戸層群産植物化石―後期中新世神戸層群の研究―．日本地学研究会館刊行，293頁．

堀　治三郎（1987）神戸層群産植物化石集．兵庫県生物学会．430頁．

Huang,X.-S. and Wang, J.-W.(2002)Notes on Hyrachyus(Mammalia, Perisso-dactyla, Tapiroidea) from the Middle Eocene of Yuanqu Basin, Shanxi Province. *Vertebrata PalAsiatica* **40**(**3**), 211-218.

藤田和夫・笠間太郎（1971）六甲山地とその周辺の地質―５万分の１神戸市及び隣接地域地質及び説明書―．神戸市企画局，58頁．

藤田和夫・笠間太郎（1983）神戸地域の地質．地域地質研究報告（５万分の１地質図幅），地質調査所，115頁．

池辺展生編（1961）17万分の１兵庫県地質鉱産図及び説明書．兵庫県，171頁．

糸魚川淳二（1983）瀬戸内東部沿岸地域の中新世軟体動物群集．瑞浪市化石博物館研究報告 **10**，29-39．

糸魚川淳二・柴田　博（1992）瀬戸内区の中新統古地理（改訂版）．瑞浪市化石博物館研究報告 **19**，1-12．

木村一成（2002）神戸層群白川累層中の普通輝石を含む苦鉄質凝灰岩の発見．地球科学 **56**，289-294．

Kron D.G. and Manning, E.(1998)Anthracotheriidae. In: Janis, C.M., Scott, K.M. and Jacobs, L.L.(eds) *Evolution of Tertiary Mammals of North America*. Vol.1：Terrestrial Carnivores, Ungulates, and. Ungulatelike Mammals, pp. 381-388, Cambridge University Press, Cambridge.

Lucas, S.G.(2006)A new amynodontid(Mammalia, Perissodactyla)from the Eocene Clarno Formation, Oregon, and its biochronological significance. *Paleobios* **26**(**2**), 7-20.

Lucas, S.G. and Emry, R.J.(1996)Biochronological significance of Amynodontidae (Mammalia, Perissodactyla) from the Paleogene of Kazakhstan. *Journal of Paleontology* **70**(**4**), 691-696.

Lucas, S.G., Emry, R.J. and Bayashashov, B.U.(1996) *Zaisanamyodon*, a Late Eocene amynodontid (Mammalia, Perissodactyla)from Kazakhstan and China. *Tertiary Research* **17**(**1+2**), 51-58.

Lyman, R.L.(1994)*Vertebrate Taphonomy*. Cambridge University Press, Cambridge, 524pp.

松尾裕司（1987）神戸層群の化石を掘る（神戸の自然16），神戸市立教育研究所，138頁．

Miyata, K.(2007)New material of Asian *Trogosus* (Tillodontia, Mammalia)from the Akasaki Formation, Kumamoto Prefecture, Japan. *Journal of Vertebrate Paleontology* **27**(**1**), 176-188.

宮田和周・冨田幸光（1997）古第三系赤崎層から新たな大型哺乳類化石の発見とその層序学的意義．日本古生物学会1997年年会予稿集，59．

Miyata, K. and Tomida, Y.(1998)A new tillodont from the early Middle Eocene of Japan and its implication to the subfamily Trogosinae(Tillodonta : Mammalia). *Paleontological Research* **2**(**1**), 53-66.

水野清秀・服部　仁・寒川　旭・高橋　浩（1990）明石地域の地質．地域地質研究報告（５万分の１地質図幅説明書），地質調査所，90頁．

岡崎美彦（2003）山口県肥中鍋島から産した漸新世ブラキオダス化石．北九州市立自然史・歴史博物館研究報告Ａ類（自然史）**1**，9-12．

岡崎美彦（2008）直方市産の漸新世アミノドン類化石．日本古生物学会第157回例会講演予稿集，42．

尾崎正紀・松浦浩久（1988）三田地域の地質．地域地質研究報告（５万分の１地質図幅），地質調査所，93頁．

尾崎正紀・松浦浩久・佐藤喜男（1996）神戸層群の地質年代．地質学雑誌 **102**，73-83．

Paik, I.S.(2000)Bone chip-filled burrows associated

with bored dinosaur bone in floodplain paleosols of the Cretaceous Hasandong Formation, Korea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **157**, 213-225.

Reading, H.G.(ed)(1986) *Sedimentary Environment and Facies,* 2nd. Ed. Blackwell, Oxford, 615 pp.

Reineck, H.-E. and Singh I.B.(1980) *Depositional sedimentary environments, with reference to terrigenous clastics,* 2nd. Ed. Springer-Verlag, New York, 551 pp.

Retallack, G.J.(1988) Field recognition of paleosols. *Geological Society of America Special Paper* **216**, 1-20.

Russell, D. E. and Zhai, R. (1987) The Paleogene of Asia: mammals and stratigraphy. *Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle* **52**, 1-488.

三枝春生・松原尚志・糸田千鶴・植村和彦・小笠原憲四郎・乙藤一郎・小林文夫・酒井治孝・田中里志・冨田幸光・加藤茂弘・先山徹・佐藤裕司・竹村厚司・竹村静夫・仲谷英夫・半田久美子・古谷裕・渡部真人・河合雅雄（2001）神戸層群より産出したアミドン類について．日本古生物学会第150回例会予稿集，94.

酒井治孝・加島昭二・松井正雄（1997）福岡県宗像市の筑豊炭田基底から発見された汎歯類化石の産状と堆積環境．比較社会文化 **3**，187-191.

鹿間時夫（1938）神戸層群とその植物群．地質学雑誌 **49**，481-497.

Shipman, P.(1981) *Life history of a fossil : an introduction to taphonomy and paleoecology*. Harvard University Press, Cambridge, 222 pp.

鈴木一久（1995）滋賀県野洲川，現世河川堆積物の堆積史と洪水氾濫堆積物の堆積機構，地質学雑誌 **101**，717-728.

Tai, Y. 1959. Miocene microbiostratigraphy of west Honshu, Japan. *Journal of Science Hiroshima University Series C* **2**, 265-395, pls. 37-43.

Takai, F.(1950) *Amynodon watanabei* from the Latest Eocene of Japan with a brief summary of the Latest Eocene mammalian faunule in Eastern Asia. *Report of Geological Survey of Japan* **131**, 1-14.

Tanai, T.(1961) Neogene floral change in Japan. *Journal of the Faculty of Science Hokkaido University, ser. 4* **11**, 119-398, pls. 1-32.

徳永重元（1986）日本の新第三系と化石花粉群．化石 **5**，78-86.

徳永重康（1925）佐世保伊万里炭田と其地質時代．地学雑誌 **37**(**440**)，557-567.

Tomida, Y.(1983) A new helaletid tapiroid (Perissodactyla, Mammalia) from the Paleogene of Hokkaido, Japan, and the age of the Urahoro group. *Bulletin of the National Science Museum, ser. C* **9**(**4**), 151-163.

Tomida, Y.(1986) Recognition of the genus *Entelodon* (Artiodactyla, Mammalia) from the Joban Coalfield, Japan, and the age of the Iwaki Formation. *Bulletin of the National Science Museum, ser. C* **12**(**4**), 165-170.

Tomida, Y.(1994) Reconsideration of Kushiro Tapir (Mammalia, Perissodactyla) from the Paleogene of Eastern Hokkaido, Japan. *Memoires of the National Science Museum*, (27), 31-36.

Tomida, Y. and Yamasaki, T.(1996) A large aminodontid from Karatsu Coal-field, Kyushu, Japan and the Eocene-Oligocene boundary. *Bulletin of the National Science Museum, ser. C* **22**(**3,4**), 117-131.

Tsubamoto, T., Matsubara, T., Tanaka, S. and Saegusa, H.(2007) Geological age of the Yokawa Formation of the Kobe Group (Japan) on the basis of terrestrial mammalian fossils. *Island Arc* **16**, 479-492.

Tsubamoto, T., Takai, M. and Egi, N.(2004) Quantitative analyses of biogeography and faunal evolution of middle to late Eocene mammals in East Asia. *Journal of Vertebrate Paleontology* **24**(**3**), 657-667.

弘海原　清・ギェム　ヴ　カイ（Nghiem, Vu Kahi）（1994）神戸層群凝灰岩層のジルコン・フィッショントラック年代．フィッショントラックニュースレター　no.7，38-39.

Wall, W.P.(1989) The phylogenetic history and adaptive radiation of the Amynodontidae. In: Prothero, D.R. and Schoch, R.M.(eds) *The Evolution of Perissodactyls,* pp. 341-354, *Oxford University Press, New York.*

Wall, W.P.(1998) Amynodontidae. In: Janis, C.M., Scott, K.M. and Jacobs, L.L.(eds) *Evolution of Tertiary Mammals of North America*. Vol. 1: Terrestrial Carnivores, Ungulates, and. Ungulatelike Mammals, pp. 583-588, Cambridge University Press, Cambridge.

White, T. D.(2000) *Human Osteology, Second Edition*. Academic Press, San Diego, Cambridge, 563 pp.

山本裕雄・栗田裕司・松原尚志（2000）兵庫県淡路島北部の第三系岩屋層から産出した始新世石灰質ナンノ・渦鞭毛藻化石とその意義．地質学雑誌 **106**，379-382.