兵庫県篠山地域に分布する白亜系篠山層群の層序と古環境

Stratigraphy and paleoenvironment of the Cretaceous Sasayama Group in the Sasayama area, Hyogo Prefecture, western Japan

Abstract

林 慶一^{*1} 藤田早紀^{*2}
小荒井千人^{*3} 松川正樹^{*4}

*Keiichi Hayashi^{*1}, Saki Fujita^{*2},
Kazuto Koarai^{*3} and
Masaki Matsukawa^{*4}*

2016年4月29日受付.

2017年4月4日受理.

^{*1} 甲南大学理工学部

Faculty of Science and Engineering, Konan University, Kobe 658-8501, Japan

^{*2} 茨城県行方市立北浦小学校

Kitaura Elementary School, Namegata 311-1705, Japan

^{*3} 慶應義塾湘南藤沢中・高等部

Keio Shonan Fujisawa Junior and Senior High School, Fujisawa 252-0816, Japan

^{*4} 東京学芸大学環境科学分野

Department of Environmental Science, Tokyo Gakugei University, Koganei, Tokyo 184-8501, Japan

Corresponding author: K. Hayashi,
kihayasi@konan-u.ac.jp

The Cretaceous non-marine Sasayama Group of Hyogo Prefecture, Japan, has been newly subdivided into the Ohyamashimo and Sawada formations, in ascending order, and this group is described based on the International Stratigraphic Guide. The lower and upper members or formations have been used as informal stratigraphic units. The group can be divided into four lithofacies assemblages reflecting deposition in a gravel bar, sand bar, flood-plain, and crevasse splay/natural levee. The assemblages assigned to the Sasayama Group are interpreted as follows: (1) the group was deposited in an inter-montane basin, as river channel deposits occur in the basin margin, and flood-plain deposits dominate the central area; (2) gravelly river channel environments were common in the early stages of deposition, and these were succeeded by meandering river environments that produced prominent flood-plain and natural levee deposits; and (3) the detection of the clay mineral kaolin by X-ray diffraction indicates that the reddish-colored soil deposits of the upper Ohyamashimo Formation formed under a semi-arid to semi-humid climate.

Keywords: Sasayama Group, lithofacies, lithofacies assemblage, clay mineral, sedimentary environment, Cretaceous, Hyogo Prefecture, western Japan

はじめに

東アジア東部には、白亜紀の堆積盆地が北東–南西に帯状に分布する。これらの堆積盆地は、大局的に見れば、西方から東方に非海成層、非海成層と海成層の互層、海成層からなり、湖–河川から浅海陸棚を経て海溝の環境で堆積したことを示す(Matsukawa et al., 1997)。兵庫県中央部(Fig. 1)に分布する白亜系の篠山層群もそれらのうちのひとつで、丹波帯・超丹波帯の付加体コンプレックスの地層に囲まれて分布し、それらに不整合で載る陸成層で、山間盆地で堆積したものである。これは、日本列島でみられる白亜紀の多様な堆積盆地の1つの特徴を示すもので、東アジアの白亜紀テクトニクスとそれに伴う堆積盆地の形成過程を考察する上で、重要な地域であると考えられる。

篠山層群の層序に関して、新井・坂口(1955)、坂口(1960)、吉川(1993)、清水(1991)、井本ほか(1991)の研究があり、層序についての見解はほぼ一致しており、岩質の違いに基づき下部層と上部層に区分されてきた。しかし、上部層・下部層は累層(formation: 国際層序ガイドの翻訳である日本地質学会訳編(2001)では‘層’と訳されているが、

本稿では混乱を避けるためにこの議論に関する部分では‘累層’と表記する)の定義を満たしておらず、層群は複数の累層から構成されるという国際層序基準にしたがうならば、篠山層群を累層に格下げしなければならないという問題がある。一方、堆積環境については、礫岩に基づいて後背地の地質について言及したもの(石賀・京都教育大学礫岩研究グループ, 1978; 梅田ほか, 1995; 小林・後藤, 2008)がある。その中でも小林・後藤(2008)は、丹波市の上滝^{かみたき}から下滝^{しもたき}にかけての篠山川河床に分布する篠山層群について、構成礫種やその他の特徴の相違から、篠山盆地の篠山層群とは流入していた河川が異なっていたと解釈した。さらに、三枝ほか(2010)は、丹波市上滝地区の恐竜化石産出層の堆積環境を、堆積物の特徴から河川流路の周辺の氾濫原と推定した。しかし、これらの研究は上滝～下滝地区(本研究では、Fig. 1に示すように篠山層群の東側の分布域を‘篠山盆地’、西側の分布域を‘上滝～下滝地区’と呼ぶ)の恐竜化石産出地点周辺に限られた篠山層群下部層の一部の環境の復元を試みたもので、篠山層群の主たる分布域である篠山盆地の篠山層群の堆積環境については議論されていない。

これらの課題を踏まえて、本研究ではまず、野外調査の結

Fig. 1. Study area within eastern Hyogo Prefecture, western Japan. The Sasayama Group occurs in the Sasayama city basin and in the Kamitaki-Shimotaki areas of Tanba city. The distribution of the Sasayama Group is from Kurimoto et al. (1993) and Imoto et al. (1991).

果に基づき篠山層群を再定義するとともに、それを構成する基本単位である累層を定義する。次に、Miall (1996) による河川堆積物の解析方法に沿って、篠山層群において岩相 (lithofacies) とそれらを組み合わせた岩相群 (lithofacies assemblage) を認定し、それぞれの堆積環境を推定する。さ

らに、篠山層群に特徴的な赤色泥岩中の粘土鉱物分析も行なう。最後に、これらを総合して、篠山層群が主として分布する篠山盆地における篠山層群の堆積環境の復元を試みる。

地質概略

篠山層群は、先白亜系の主として付加体堆積物からなる丹波高地の中にできた盆地の一つである篠山盆地とその西方の上滝～下滝地区に分布する (Fig. 1)。基盤の先白亜系は、スラストにより大きく2層構造になっており、構造的低位にある丹波帯と構造的上位にある超丹波帯からなる (Fig. 2)。丹波帯は、三畳紀後期～ジュラ紀後期の海洋起源の緑色岩・チャートと陸源の碎屑岩が海洋プレートの沈み込みで著しく変形・混在したメランジを主とする堆積岩コンプレックスでできており、一部に高城山層などのより陸側で堆積した変形の小さいジュラ紀の整合層がある (栗本, 1992; 栗本ほか, 1993)。丹波帯の堆積岩コンプレックスは、構造層序から黒井, 三尾, 佐中・古市, 藤岡・城南の4コンプレックスに細分される。超丹波帯は、より古い時代の海洋プレートの沈み込みに伴ってペルム紀～三畳紀の海洋起源と陸源の堆積物が付加体で堆積岩コンプレックスになったものと、より陸側で堆積したペルム紀新世の整合層である味間層からなる (菅森, 2008)。超丹波帯の堆積岩コンプレックスは、頁岩を主とする柏原層と砂岩を主とする上滝層に細分される。

このように年代と見かけの上下関係が逆転している丹波帯

Fig. 2. Geological map showing the location of the Sasayama Group with underlying basement rocks and overlying rock groups. Map is after Yoshikawa (1993), Kurimoto et al. (1993), and Imoto et al. (1991).

と超丹波帯は、丹波高地のほぼ全域で東西性の軸を持つシンフォーム・アンチフォームの構造を形成しており、そのシンフォームの最大のものが篠山盆地である。篠山層群は、この盆地の中に分布しており、盆地北部では超丹波帯を不整合で覆い、南部では直接観察はできないが、丹波帯を不整合で覆っていると見られる。基盤との境界が直接観察できる北縁部では、基盤のシンフォーム構造と調和的に大きく南傾斜している。このことから、吉川(1993)は篠山層群が先白亜系の基盤に緩くアバットしながら堆積を始めたと考え、基盤のシンフォーム・アンチフォームを形成する運動は篠山層群堆積の初期まで続いていたと結論づけた。

篠山盆地では沖積層などを除けば、篠山層群は最上位の地層であるが、西方の上滝～下滝地区に断層によって隔離されて分布する篠山層群は、北東部で超丹波帯を不整合に覆い、南西部ではほぼ水平な有馬層群に不整合に覆われる。有馬層群は、白亜紀後期に西南日本内帯で活発になった酸性～中性火成活動によって噴出した火山砕屑物が厚く堆積したものである(栗本ほか, 1993)。

篠山層群の層序と再定義

1. 篠山層群の概要

篠山層群は、兵庫県中央部の篠山市の篠山盆地とその西方の丹波市の上滝～下滝地区の篠山川流域に分布する白亜紀の陸成の主として礫岩、砂岩、泥岩からなる地層である。この地層は、小野山(1931)により篠山統と命名され、新井・坂口(1955)により篠山層群と変更された。坂口(1960)は、篠山盆地とその周辺の層序と構造を検討して、篠山層群を岩質の違いにより下部層と上部層に区分した。その後吉川(1993)をはじめ清水(1991)や井本ほか(1991)などにより、この地層の層序と構造が再検討されたが、基本的にはそれらの結果は坂口(1960)を踏襲するものである。

古生物学的研究としては、円増・中沢(1956)、坂口(1960)や楠見(1961)のカイエビ化石、Ota(1960)の軟体動物化石、円増(1958)や楠見(1961)の植物化石、田村(1990a, b)のシャジクモ化石や貝形虫化石、三枝ほか(2008)などの恐竜化石などがあり、地質時代論の研究としては、弘原海ほか(1983)、松浦・吉川(1992)、林ほか(2010)などの研究がある。

篠山層群は、その主体が分布する篠山盆地では、東西に軸を持つ向斜構造をなし、細長く分布する。その西端と東端では馬蹄型を呈し、東方と西方へそれぞれブランチする船底状の構造をなす(Fig. 2)。一方、西方の上滝～下滝地区では、篠山層群は南へ向かって緩くなる南傾斜の構造を示し、西部と南部では上位に重なる有馬層群に覆われ、東部は断層によって切られて、三角形に分布する。篠山層群は超丹波帯に属する味間層と柏原層、および上滝層を不整合で覆い(栗本ほか, 1993)、有馬層群に不整合で覆われる(Fig. 2)。篠山層群は、角閃石安山岩質火砕岩を挟在するようになる層準で下部層と上部層に区分される。下部層は主として礫岩、砂岩、泥岩からなり流紋岩質凝灰岩の薄層を挟む(坂口, 1960)。上部層は下位の角閃石安山岩火砕岩とその上位に重なる凝灰岩

砂岩、礫岩と泥岩および細粒砂岩からなる。

篠山盆地の篠山層群は東西約 13 km、南北最大 3.5 km の広がりを持ち、最大層厚は 1,500 m に達し、東西を軸とする向斜構造をなし、篠山層群の分布域には南北性の断層が数本見られる。地層の傾斜は下部層では 25° から 70° を、上部層では 10° から 30° を示す。また、南翼と北翼を比較すると北翼の方が傾斜は大きい。上部層は篠山盆地東部のみに露出しており、下部層は盆地の西部と北縁および南縁にみられる。上滝～下滝地区の篠山層群は東西約 3 km、南北最大 3.6 km の広がりを持ち、最大層厚は 850 m に達する。南へ向かって約 50° から 20° へと傾斜が緩やかになり、南の篠山川沿いでは 30° 未満の傾斜で向斜と背斜を繰り返すようになる。北西-南東性の大小の断層が見られ、特に東縁では阿草断層によって分布が完全に断ち切られている。この地区の篠山層群は、篠山盆地の下部層に特徴的に挟まれる白色凝灰岩層を挟むことから下部層と見なされる。篠山盆地の上部層を特徴付ける安山岩質の火砕岩を挟在する地層は分布しない。

2. 篠山層群の再定義と構成累層の定義

篠山層群(Sasayama Group)

[命名] 篠山統(小野山, 1931)

[命名規約上の問題] 小野山(1931)は兵庫県東部篠山市の篠山盆地とその西方の丹波市山南町の上滝～下滝地区に分布する地層を篠山統と命名した。その後、年代層序区分と岩相層序区分の区別が明確に認識されるようになり、新井・坂口(1955)は篠山統を岩相層序区分の篠山層群と改称した。篠山層群は、坂口(1960)により下部層と上部層に区分され、現在までこの区分が継承されている。しかし、国際層序ガイド(Hedberg ed., 1976; Salvador, 1994(日本地質学会訳編, 2001))に基づけば、層群は複数の累層から構成されなければならないと定められているが、篠山層群とされた層序単位には岩相層序区分の第一義的な公式単位である累層が 1 つも含まれないという問題がある。一方、吉川(1993)の abstract および栗本ほか(1993)の 5 万分の 1 地質図幅「篠山」および abstract において、下部層を Lower Formation、上部層を Upper Formation と累層として表記している。しかし、1994 年に改訂された現行の国際層序ガイドに基づけば、lower, middle, upper の用語は公式岩相層序区分の細区分としては使用してはならず、層の名称には地名を使用し、模式地を指定して定義することが必要であるが、これらの必須要件を満たしていない状態にある。本研究では、これらの問題の解決を含めて、篠山層群を構成する基本単位としての累層を定義するとともに篠山層群を再定義する。

[定義] 本層群を初めて記載した坂口(1960)、吉川(1993)および井本ほか(1991)の篠山層群の区分にはほぼ対応するが、筆者等は構成累層を定義して下記のように改める。

本層群は兵庫県中央部の篠山市の篠山盆地とその西方の丹波市の上滝～下滝地区の篠山川流域に分布し、層厚 1,500 m に及ぶ赤色を呈する地層である。主に礫岩、砂岩、泥岩からなり、凝灰岩層と安山岩質火砕岩を含む。角閃石安山岩質の火砕岩が共在するようになる層準で、下部の大山下(おおよ

ましも)層と上部の沢田層に2分される。大山下層は、礫岩、砂岩、泥岩からなり凝灰岩層を含む。一方、沢田層は、安山岩質火砕岩、砂岩、泥岩層からなる。大山下層と沢田層の関係は整合である。

[層序関係] 超丹波帯に属する味間層と柏原層、および上滝層を不整合で覆い(栗本, 1992)、上位に重なる有馬層群に不整合で覆われる(Fig. 2)。

[地質構造] 東方の篠山盆地に分布する本層群は、東西に軸を持つ向斜構造をなし、細長く分布し、西端と東端では馬蹄型を呈す。一方、西方の上滝～下滝地区では、篠山層群は南西に開く緩やかな複向斜構造を呈す。下部の大山下層と上部の沢田層の間には構造的な不連続はない。

[地質時代] 篠山層群最下部の白色凝灰岩 SSY-2 (Fig. 2) のジルコン-フィッシュン・トラック年代(以下 FT 年代と表記する)の 134.7 ± 22.3 Ma (弘原海ほか, 1983) や 139 ± 9 Ma (松浦・吉川, 1992) から、堆積開始の時期は Tithonian～Hauterivian が考えられていた。しかし、林ほか(2010)は、篠山層群から産出するカイエビ化石と貝形虫化石群集の生層序に基づいて再検討すると共に、SSY-2 凝灰岩中のジルコン粒子の示す FT 年代に複数の年代母集団から個々の母集団を分離するプログラムを適用して、前期白亜紀末の Albian を示した。これにより、堆積開始時期は弘原海ほか(1983)や松浦・吉川(1992)によって示された年代より3～4千万年若くなった。弘原海ほか(1983)や松浦・吉川(1992)で示された古い年代を示すジルコン粒子は基盤に由来する流れ込みと考えられる。林ほか(2010)の FT 年代は、‘下部層’の下部の SSY-2 凝灰岩が $105.6(-8.5, +9.2)$ Ma、‘上部層’の基底の安山岩質火山砕屑岩が 100.9 ± 8.4 Ma、‘上部層’の中部の安山岩質凝灰角礫岩が 96.1 ± 7.4 Ma で、篠山層群の堆積は Cenomanian まで続いたと考えられる。

3. 篠山層群の層序

(1) 大山下層 (Ohyamashimo Formation)

[定義] 細礫～中礫からなる礫岩、砂岩と泥岩からなる。

[同義の地層] 坂口(1960)の下部層、吉川(1993)の下部層、栗本ほか(1993)の下部層 (ISs)、井本ほか(1991)の下部 (IY) に相当する。

[模式地] 篠山市大山下の篠山川沿い。

[分布] 篠山盆地の周辺部および丹波市山南町の上滝～下滝周辺に広く分布する。

[層厚] 大山下地域 (Figs. 3, 4 の柱状図番号 1) で約 250 m、黒田地域 (Figs. 3, 4 の柱状図番号 2) で約 510 m、上滝～下滝地区 (Figs. 3, 4 の柱状図番号 12, 13, 14) で約 850 m が露出している。上半部の露出が乏しいため、層厚の見積もりには大きな誤差が含まれる可能性があるが、下部層全体では 1,300 m 程度とみられる。

[岩質と層序] 基底は礫岩、砂岩を主として数枚の白色凝灰岩層を挟み、局部的に黒色泥岩が発達する。大山下層の主体は礫岩、細礫～中礫を含む粗粒砂岩、細粒砂岩、赤色泥岩、および黒色泥岩からなる。白色凝灰岩層のうち松浦・吉川(1992)によって記載された下から2番目の SSY-2 は、

流紋岩質の白色の 4.4 m 厚の極細粒火山灰からなり、栗本ほか(1993)が地質図に示したように水平方向への連続性が良く、大山下層における最も有効な鍵層となる (Fig. 2)。大山下層は、大山下地域の篠山川沿いで超丹波帯の基盤岩を不整合で覆う。斜交葉理から、篠山盆地の大山下地域では北北西向きの古流向、東吹地域では北向きの古流向、上滝～下滝地区の上久下地区では北向きの古流向が認められる (Fig. 4 の柱状図番号 1, 5, 14)。

[化石] 基底部近くの黒色泥岩から二枚貝の *Unio* sp.、貝形類の *Mongolocypis* sp.、*Eucypris* sp. (林ほか, 2010) の化石が産出し、上部の赤色泥岩・砂岩から竜脚類の *Tambatitanis amicitiae* (Saegusa and Ikeda, 2014) などの恐竜類、その他の哺乳類 (Kusuhashi et al., 2013)、両生類 (三枝ほか, 2008) などの脊椎動物化石、カイエビの化石 (円増・中沢, 1956; 坂口, 1960; 楠見, 1961) が報告されている。

(2) 沢田層 (Sawada Formation)

[定義] 角閃石安山岩類の火砕岩類、礫岩、凝灰岩質砂岩と泥岩からなる。

[同義の地層] 坂口(1960)の上部層、吉川(1993)の上部層、栗本ほか(1993)の上部層 (uSv, uSs)、井本ほか(1991)の上部 (uYp, uYs) に相当する。

[模式地] 篠山市沢田地域

[分布] 篠山盆地東部のみに分布する。

[層厚] 沢田 (Figs. 3, 4 の柱状図番号 7) で約 40 m、新庄 (Figs. 3, 4 の柱状図番号 8) で約 40 m、青山台ゴルフ付近 (Figs. 3, 4 の柱状図番号 9) で約 50 m、野間 (Figs. 3, 4 の柱状図番号 10) で約 60 m、畑宮 (Figs. 3, 4 の柱状図番号 11) で約 30 m が見積もられる。上部層全体で層厚は 200 m 以上に及ぶ。

[岩質と層序] 大山下層に整合に重なり、角閃石安山岩質の火山礫凝灰岩、凝灰角礫岩、細粒凝灰岩、凝灰質砂岩、礫岩とその上位の泥岩および細粒砂岩からなる。

[化石] 上部でカイエビ化石の *Nemestheria aidesis* (林ほか, 2010)、貝形類の化石と植物化石が産出する。

篠山層群の岩相・粘土鉱物による古環境の推定

1. 岩相の区分と堆積過程

河川堆積物の岩相や堆積相には、どの河川においても見られる共通する特徴がある一方で、周辺環境の特性に基づく河川ごとの特徴もある。このため、河川堆積物の岩相や堆積相は、研究対象の河川堆積物に応じて、これらの特徴を総合的に把握して適切に設定される (Miall, 2014)。日本においても、篠山層群と同じ白亜系の陸成層である関門層群・豊西層群について Yoshidomi (2003) により、同じく関門層群の塩浜層について堀内ほか(2008)により、神通層群について松川ほか(2014)により、この方法で独自の岩相が設定されて堆積相解析が行われた。本研究においても古環境復元の第一段階として、この方法にしたがって、層理、粒径、組織、堆積構造のほか下位層との関係などの特徴に基づき篠山層群の地層を岩相 A～G の7つに区分し、それぞれに対応した堆積過程を解釈する。

Fig. 3. Map showing the locations of the routes where columnar sections were measured. 1: Ohyamashimo route, 2: Kuroda route, 3: Nishitani route, 4: Higashikosa route, 5: Higashibuki route, 6: Fujioka River route, 7: Sawada route, 8: Shinjo route, 9: Aoyamadai route, 10: Noma route, 11: Hatamiya route, 12: Kamitaki route, 13: Shimotaki route, 14: Kamikuge route.

Fig. 4. Columnar sections of the Sasayama Group in the Sasayama basin and Kamitaki-Shimotaki areas. The locations of numbered columns are shown on the map in Fig. 3. The figure shows representative paleocurrent directions, as inferred from cross-stratification.

(1) 岩相 A (礫岩相)

[記載] 礫支持の淘汰の悪い角礫～亜円礫の細礫～中礫で特徴づけられる。層状で、上方細粒化し、礫配列にインプリ

ケーションが見られることがある (Fig. 5A 参照)。基底部にしばしば侵食面が認められる。層状の薄い砂岩層を挟むことがある。本相の層厚は 10～550 cm 程度である。篠山盆地

西部および上滝～下滝地区に分布する篠山層群下部の大山下層に見られる。

[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、Miall(1996)の Facies code Gh, Jo (2003) の Facies code Gc に比較され、掃流形式の堆積 (Bedload deposition) (Jo, 2003) で形成されたと解釈される。

(2) 岩相 B (礫岩相)

[記載] 基質支持の淘汰の悪い亜角礫～亜円礫の細礫～中礫で特徴づけられ、まれに大礫を含む。亜角礫が卓越しており、まれに 10 cm 程度の角礫が見られる。層状で斜交葉理が認められる (Fig. 5B)。まれに、砂岩の薄層を含む。基底部に侵食面が見られる。本相の層厚は 10～100 cm 程度である。篠山層群下部の大山下層に、広い範囲で見られる。

[堆積過程の解釈] 基質支持で淘汰の悪い礫が散在していることから、Miall(1996)の Facies code Gmg に比較され、基質と礫が一体となって流動化して堆積した土石流堆積物に類似する。しかし林(2012, 2014)などによって観察された現世の大規模な斜面崩壊に続く土石流堆積物に比べて、層厚が薄くて巨礫を含まず上方粗粒化も認められないことから、土石流堆積物の可能性は低い。一方、層状であることなどから、Miall(1996)の Facies code Gp と比較され、砂礫質河川の河岸や河床に堆積していた未固結堆積物が洪水や堤防決壊に伴い崩壊・流動化して堆積したものと解釈される。

(3) 岩相 C (砂岩相)

[記載] 平行葉理の発達する細粒～中粒の砂岩層である。層厚は 1～75 cm 程度であり、それらの単層が累重して 150 cm 程度の砂岩層を形成する (Fig. 5C)。基底部にしばしば侵食面が見られることがある。赤色や赤色を帯びたものがあり、その内部では葉理に沿って赤色の濃淡が認められる。篠山層群の広い範囲で見られる。

[堆積過程の解釈] 平行葉理を伴う細粒～中粒の砂岩層なので、松川ほか(2014)の岩相 F, Miall(1996)の Facies code Sh に比較され、高流砂階または低流砂階平滑床により形成されたと解釈される。平行葉理は氾濫原上の堆積物にも見られるが、堆積の中断が認められず、葉理が流速の変化による粒子サイズの変化のみで形成されていることから、流

水環境が持続している環境下の堆積物と解釈される。赤色を示すものは、葉理に沿って赤色の砂が異なる割合で含まれていることから、地下水からの酸化鉄の沈着等の二次的なものではなく、赤色の砂が堆積時に混入したためと解釈される。この赤色の砂は、乾燥および酸化的な環境の供給源地から運搬されてきた可能性が高い。

(4) 岩相 D (砂岩相)

[記載] トラフ型斜交層理の発達する細粒～中粒の砂岩層である。風化で層理が見られないことがある。基底部に細礫の礫岩が発達する。層厚は 10～50 cm 程度であり、それらの単層が累重して 700 cm 程度の砂岩層を形成することが多い (Fig. 5D)。単層単位で赤色を示すものがあり、層理面がその明瞭な境界となっている (Fig. 5 ①中の D)。篠山層群の広い範囲で見られる。

[堆積過程の解釈] トラフ型斜交層理が発達することから、Miall(1996)の Facies code St, 松川ほか(2014)の岩相 D に比較され、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。赤色を示す単層は、上下の層理面が色の明瞭な境界になっていることから、地下水の作用などの二次的なものではなく、赤色となっていた砂の堆積によるものと解釈される。このような赤色の砂は、一般に乾燥および酸化的な環境の下で形成されるので、その様な環境が近くにあり運搬されてきた可能性が高い。

(5) 岩相 E (泥岩相)

[記載] 塊状もしくは平行葉理の発達する黒色泥岩層である。本相の層厚は 5～110 cm である (Fig. 5E)。大山下地域の大山下層にのみに見られる。

[堆積過程の解釈] 弱い掃流形式や浮流形式で運搬されてきた泥粒子の懸濁状態からの沈積を示す。Miall(1996)の Facies code Fl または Fsm に比較され、氾濫原の後背湿地や放棄河道などいくつかの環境が示唆される。しかし、本岩相には、現生では湖や池などに生息するイシガイ類の *Unio* sp. (Fig. 5H) などの貝化石や貝形虫化石が含まれていることから、洪水のように一時的に形成されたものではない、持続的な滞水環境が推定される。堆積物には赤色部分や赤色碎屑物を全く含まないことから、堆積場およびその周辺には他の岩相で見られるような乾燥的な環境はなかったと推定され

(←) **Fig. 5.** Outcrop photographs of seven lithofacies and four lithofacies assemblages. A: Clast-supported, poorly sorted, pebble to granule, upward-fining conglomerate of Lithofacies A of the Ohyamashimo Formation along the Higashikosa route (route 4). B: Matrix-supported, poorly sorted, pebble to granule conglomerate with rare cobbles of Lithofacies B of the Ohyamashimo Formation along the Kamikuge route (route 14). C: Grey, occasionally red, parallel laminated fine- to medium-grained sandstone of Lithofacies C of the Ohyamashimo Formation along the Ohyamashimo route (route 1). D: Thick layers of trough-cross-laminated fine- to medium-grained sandstone of Lithofacies D of the Ohyamashimo Formation along the Ohyamashimo route (route 1). Granule conglomerate occurs at the base. E: Black massive or parallel-laminated mudstone of Lithofacies E of the Ohyamashimo Formation present only along the Ohyamashimo route (route 1). F: Massive or stratified, red and green mudstone of Lithofacies F of the Ohyamashimo Formation along the Kuroda route (route 2). G: Caliche layered red mudstone of Lithofacies G of the Ohyamashimo Formation along the Fujioka River route (route 6). H: Black mudstone of Lithofacies E of the lowermost Ohyamashimo Formation along the Ohyamashimo route, which contains freshwater bivalve fossils (*Unio* sp.). 1: Lithofacies Assemblage 1 of the Ohyamashimo Formation along the Ohyamashimo route (route 1). Lithofacies A to G mentioned above are shown in capital letters, as in the other photographs. 2: Lithofacies Assemblage 2 of the lower Ohyamashimo Formation along the Kuroda route (route 2). 3: Lithofacies Assemblage 3 of the lower Ohyamashimo Formation along the Shimotaki route (route 13). 4: Lithofacies Assemblage 4 of the upper Ohyamashimo Formation along the Shinjo route (route 8).

Fig. 6. Four types of lithofacies assemblages formed by some of Lithofacies A to G. Outcrop photographs of these lithofacies and the lithofacies assemblages are shown in Fig. 5.

る。

(6) 岩相 F (泥岩相)

[記載] 塊状もしくは層理を成す赤色または緑色泥岩層で、色指数 (Munsell Rock Color Chart 等参照) の 10R5/4 と 10G4/2 を示す。塊状部分では、しばしば層理面に対して直交および平行な傾向が見られるクラックが、層準によって異なる密度で発達する。沢田層の緑色泥岩層ではカイエビ化石や貝形虫化石が産出する。本相の層厚は 10~100 cm 程度で、それらの単層が累重して 400 cm 程度の泥岩層を形成する (Fig. 5F)。篠山層群の広い範囲で見られる。

[堆積過程の解釈] 塊状部分、層理を成す部分はそれぞれ Miall (1996) の Facies code Fm および Fl に対比され、氾濫原や放棄河道が示唆される。塊状部分のクラックは、その発達方向や深さ、密度の側方への連続性から、乾裂と推定される。カイエビは水中に生息するが、卵は一度干上らないと孵化できないので、雨季と乾季が存在する気候を示す。貝形虫も水中に生息するが、乾季を耐性卵で生き延びることで季節的な滞水中でも生息できるので、この気候の推定と矛盾しない。赤色は後で議論するように土壌化によって生じたものである。これらから、河川が氾濫した際に氾濫域において弱い掃流形式の運搬や懸濁状態からの沈積により形成された泥岩層が、乾燥~半乾燥および酸化的な環境で化学的風化を受け、土壌として形成されたと推定される (松川ほか, 2014)。

(7) 岩相 G (泥岩相)

[記載] カリーチを頻繁に含む塊状もしくは層理を成す赤色泥岩である。本相の層厚は 15~240 cm で、挟まれるカリーチの層厚は 2~6 cm である。しばしば直径 20~30 cm の石灰質ノジュールが含まれる (Fig. 5G)。岩相 F に挟在して見られる。篠山盆地東部および上滝~下滝地区で見られる。

Fig. 7-1. Columnar section of the Ohyamashimo route (route 1). Numbers in circles indicate the lithofacies assemblage. Paleocurrent directions are based on imbricated gravel.

Fig. 7-2. Columnar section of the Higashibuki route (route 5). Numbers in circles show the lithofacies assemblage. Paleocurrent directions are based on imbricated gravel.

Fig. 7-3. Columnar section of the Sawada route (route 7). Numbers in circles indicate the lithofacies assemblage.

〔堆積過程の解釈〕石灰質ノジュールを含むことなどから、Miall (1996) の Facies code P に比較される。カリーチは、土壤中に発達することから、古土壤と解釈される(堀内ほか, 2008)。カリーチを含む古土壤は、乾燥～半乾燥および酸化環境で典型的に発達する (Miall, 1996)。

2. 岩相群とその記載

調査地域における岩相は、ほとんどが河川とその周辺の環境を示している。しかし、側方への変化の激しい河川堆積物を堆積盆地の規模で解析するためには、岩相を組み合わせたより大きな単位としての「岩相群」を認定して堆積物や堆積環境を解釈する手法が有効である。河川堆積物の発達する大陸では、この解析方法がさまざまな時代・気候下の堆積物に対して用いられている (Miall, 1996; Ray and Chakraborty, 2002 など)。国内でも地質時代の河川堆積物に対するの堆積相解析の論文として、篠山層群と同じく白亜紀の山間盆地の堆積物である神通層群についての解析例(松川ほか, 2014)が参考になる。本研究でもこの方法にしたがって堆積環境の解析を行った結果、篠山層群を構成する堆積物は、岩相の組

み合わせから4つの岩相群にまとめられた (Fig. 6)。これらの岩相群の累重関係を、盆地西部の大山下ルートおよび盆地南翼の東吹ルートの大山下層の例 (Figs. 7-1; 7-2)、盆地中央部の沢田ルート of 沢田層の例 (Fig. 7-3) で示す。これにより上記の岩相レベルの堆積過程より高次の堆積過程や環境が復元できた。

(1) 岩相群 1 (砂礫堆積物/放棄河道堆積物)

〔岩相の組み合わせ〕この岩相群は岩相 B を一部に含む岩相 A とそれに漸移して重なる岩相 D および岩相 E からなる (Fig. 6)。岩相 A または岩相 B の礫岩層から岩相 D の砂岩層へ急激に上方細粒化し、岩相 D から岩相 E の泥岩層への変化は漸移的である。岩相 A の礫岩層の基底部に侵食面が認められる (Fig. 5 ①)。最上部の岩相 E の泥岩層は欠落することもあり、篠山盆地の西部および中部の大山下層の下部に多く見られる (Figs. 9, 10 の柱状図番号 1-6)。本岩相群は下記の岩相群 2、岩相群 3 および岩相群 4 を挟む (Figs. 7-1, 7-2)。

〔解釈〕岩相 E に淡水棲動物化石が含まれることから、本

岩相群は陸上堆積物である。礫岩から砂岩へ連続する本岩相群の主部は一連の堆積を示すが、その基底部には侵食面が認められ、上方細粒化傾向を示すことから、陸上におけるこのような堆積物としては、礫質の河川流路内で累重した砂礫堆積物と解釈される(平, 2004)。その上にまれに見られる黒色泥岩の岩相 E は持続的な滞水環境を示すが、石井・堀(2014)による三日月湖のボーリング試料で確認された、旧河床の砂礫の上に重なる有機質層を挟在するシルト、粘土層および細粒砂と重なるコアや、旧河床の砂礫上に有機質層を挟在する砂泥互層、粘土層と重なるコアと比較される。したがって、岩相 E は河道放棄によってできた三日月湖に、洪水時に浮流碎屑物が流入して堆積したものである可能性が高い。これらのことから、放棄河道が形成されうる曲流する礫質河川の河道が推定される。

(2) 岩相群 2 (流路州堆積物)

[岩相の組み合わせ] この岩相群は岩相 C と岩相 D からなる (Fig. 6)。岩相 C から岩相 D への変化は漸移的である。1~10 m 程度の上方細粒化を示し、基底部には侵食面が見られる (Fig. 5 ②)。篠山層群全域に見られるが、篠山盆地中部の大山下層に特に多く見られる (Figs. 9, 10 の柱状図番号 1, 2, 4, 5)。本岩相群は岩相群 1、岩相群 3 および岩相群 4 に挟まれる (Figs. 7-1, 7-2)。

[解釈] 岩相 C と岩相 D がしばしば赤色を呈することから、乾燥および酸化的环境下の陸上堆積物である。上方細粒化を示し、基底に侵食面が見られることから、陸上におけるこのような堆積物としては、砂質の河川流路内で堆積した砂堆積物であると解釈される。また、岩相 D の基底に発達することのある礫岩は、河川流路内のラグ堆積物の可能性が考えられる(松川ほか, 2014)。これらのことから比較的幅広い河川流路内に、平水時の礫質流路と洪水時に形成され平水時は露出する流路州が交互に見られるような環境が推定される。

(3) 岩相群 3 (氾濫原泥質堆積物)

[岩相の組み合わせ] この岩相群は岩相 E、岩相 F と岩相 G からなる泥岩を主体とする組み合わせである (Fig. 6)。岩相 E から岩相 F、岩相 F から岩相 G への変化は漸移的である (Fig. 5 ③)。篠山盆地全域の篠山層群で見られるが、特に大山下層の上部と沢田層に非常に多く見られる (Figs. 9, 10)。本岩相群は大山下層の下部では他の岩相群に挟まれることが多い (Fig. 7-1) が、大山下層上部から沢田層にかけては厚く発達し、他の岩相群はまれに挟まれる (Fig. 7-3)。

[解釈] いずれの岩相も懸濁状態からの沈積で形成された泥岩からなり、岩相 E に淡水棲動物化石が含まれ、岩相 F が水上露出と水没の繰り返しを示し、岩相 G にカーリーチが含まれることから、氾濫原の堆積物と解釈される。赤色や緑色の塊状または層状の泥岩で特徴づけられる岩相 F では、季節的な乾燥を必要とする水生のカイエビや季節的な滞水でも生息できる貝形虫の化石が産出することから、滞水状態と乾燥状態が繰り返される環境であったと考えられる。岩相 G は、氾濫原での古土壌の発達を示し、乾燥~半乾燥および酸化的环境下で形成されたと解釈できる。最下部に局部的

に発達する岩相 E は、淡水生の軟体動物や貝形虫の化石を含むことから、季節を越えての安定的な湖沼環境を示す。

(4) 岩相群 4 (堤防決壊堆積物/自然堤防堆積物)

[岩相の組み合わせ] この岩相群は岩相 B および岩相 D と岩相 F からなる組み合わせである (Fig. 6)。岩相 B は、層厚が厚く、同じ岩相群内の下位の岩相 F や岩相 D を 30 cm 程度の起伏で深く削りこんで堆積している (Fig. 5 ④)。岩相 D は、まれに礫を含む。篠山盆地全域の篠山層群の様々な層準で比較的小規模に見られ、側方への連続はよくない (Fig. 10)。詳細な柱状図で見ると、本岩相群は、岩相群 1 に挟まれる場合 (Fig. 7-1, 7-2) と、岩相群 3 に挟まれる場合 (Fig. 7-3) が多い。

[解釈] 岩相群 3 を特徴づける岩相 F、岩相 G の泥岩層は氾濫原と氾濫原での古土壌を示すので、それに互層で重なる岩相群 4 は氾濫原の堆積物と考えられる。岩相 D の 5~25 cm 程度の薄いシート状の細粒砂岩層は堤防決壊堆積物を示すと考えられる。また、岩相 B の侵食面を伴う厚い砂を多く含む礫岩層は堤防の決壊に伴う流路(クレバスチャネル)の堆積物と解釈される。

3. 粘土鉱物の分析と解釈

粘土鉱物は、層状の結晶構造を持つ珪酸塩鉱物で、母鉱物の風化作用や土壌形成が気候と密接に関係するため、古気候変動の指標として用いられている(例えば, Chamley, 1989)。

上記の解析により区分された岩相群 3 は、古土壌と解釈された岩相 F と岩相 G が主体となっている。古土壌とは、過去の地表で形成された土壌と定義されている(例えば, Valentine and Darlymple, 1976)。熱帯雨林地帯の土壌では、高温が化学変化を速めるのに加え、雨が絶えず岩石の表面を洗い流すため、風化が速い。しかし、乾燥した場所の土壌では、風化が遅くなり、その風化作用に対応した風化生成鉱物(粘土鉱物)が形成される(桑原, 2006)。このため、粘土鉱物の分析から古土壌が生成される風化作用とそれをもたらした気候条件を理解することができる。

そこで異なる地域・層準の岩相 F および岩相 G、さらに岩相 E から試料を採集して、粘土鉱物を検出して検討した。

(1) 試料採集地点と分析方法 粘土鉱物分析の試料は、大山下層、沢田層からの合計 14 地点で、泥岩層から 22 層準 22 試料を採取した。採取地点と採取層準を Fig. 8 に示す。また、各試料の岩相と属する岩相群を Table 1 に示す。

分析方法は X 線回折分析により行い、試料をメノウ乳鉢で粉末にした後、水簾処置し、鉱物が一定の方向に揃った定方位試料を作成した。試料は各々についてエチレングリコール処理、塩酸処理、未処理の 3 種を用意して、X 線粉末回折装置(理学電気製 RINT-1200)を用いて構成鉱物を同定した。解析ソフトには JADE6 (Material Data 社製)を用いた。

(2) 結果と解釈 X 線回折分析では、スメクタイト(2 八面体型のモンモリロナイトなどと、3 八面体型のサポナイトなどの総称)、イライト(四面体-八面体-四面体の繰返し層構造を持つ雲母型粘土鉱物の総称)、カオリン鉱物(カオリナイト、ナクライト、ディッカイト、ハロイサイトの総称)、緑泥石、コレンサイト(緑泥石/スメクタイト混合層)の 5

Fig. 8. Sample localities and stratigraphic levels where clay minerals were collected for analysis. Blue star symbols on the right of the sample numbers indicate the presence of kaolin, which indicates deposition in a humid climate.

種の粘土鉱物、さらに粘土粒径の石英、長石、方解石、石膏の存否を確認することができた (Table 1)。その結果、14 地点から採取した 22 試料のうち、K22a を除く 21 試料から、含水ケイ酸塩鉱物と定義される粘土鉱物が検出された。

大山下層上部：分析の結果、大山下層の上部 (地点 #K22b, M21a, M21b, M21c, M21d, M16, M15, K3, M23) からカオリン鉱物が検出された (Fig. 8)。

カオリン鉱物は湿潤な環境でのカリ長石・雲母などの風化によって形成される (白水, 1988; Chamley, 1989; 吉村, 2001) ため、湿潤な気候を示す。また、鈴木ほか (2001) によると、カオリン鉱物は、赤色土壌化によって形成される代表的な鉱物である。湿潤な熱帯から亜熱帯の環境下にある地表付近では、高い気温によって風化速度が速くケイ酸の溶脱が進むため、残された成分に鉄やアルミニウムが富むようになり、カオリンや赤鉄鉱さらにはボーキサイトが形成されるような赤色化作用や鉄アルミナ富化作用による土壌化が進行する。したがって、大山下層上部の岩相群 3 および岩相群 4 の氾濫原の泥質堆積物は、多くの場合に湿潤な熱帯～亜熱帯

の環境下で土壌化されたと解釈される。

また、カオリンの検出された 9 地点のうちの 7 地点 (地点 #K22b, M21b, M21c, M21d, M16, M15, K3) からスメクタイトとイライトが検出された。

熱帯地方の乾季が長く蒸発が激しいところでは、塩分濃度が高くなるためにスメクタイトやイライトを生じていることが多い (白水, 1988) ので、これらの存在は、長い乾季の存在を示す。篠山層群の古土壌を示す泥岩はカーリーチを含むが、カーリーチは、蒸発の激しい気候下の土壌中で地下の塩類が水とともにもち上げられることで CaCO_3 や MgCO_3 が析出してでき、半乾燥地域において多くの報告があり (Wright and Tucker, 1991)、乾季の存在はカーリーチからも支持される。

カオリン鉱物が湿潤気候を示す一方で、スメクタイトやイライトが蒸発の激しい乾燥気候を示すことから、大山下層の上部は雨季と乾季のある半乾燥～半湿潤気候下で堆積したと解釈される。

大山下層下部：大山下層下部からは、大山下層上部と同じく岩相群 3 または 4 の氾濫原の泥質堆積物の岩相 F および

Table 1. X-Ray diffraction results showing clay and primary minerals detected in the red mudstone beds of the Sasayama Group.

Str.	Loc. No.	Lithofacies	Lithofacies assemblage	Clay mineral					Primary mineral		Secondary mineral	
				Smectite	Illite	Kaolin	Chlorite	Corrensite	Quartz	Feldspar	Calcite	Gypsum
Sasayama Group	Sawada Formation	M40c	F	③	○		○		○	○		
		M40b	F	③	○		○		○			
		M40a	G	③	○		○		○		○	
		H11	F	③	○				○			
		H12	F	④	○		○		○	○		
		K25	F	③	○	○	○		○			
	Ohyamashimo Formation	K22b	F	③	○	○	○	○	○			
		K22a	F	③					○			
		M21d	F	③	○	○	○		○	○		
		M21c	G	③	○	○	○	○	○			
		M21b	G	③	○	○	○	○	○		○	
		M21a	G	③		○	○	○	○			
		M16	F	③	○	○	○		○			○
		M15	F	③	○	○	○		○			
		K3	F	③	○	○	○		○			
		M23	F	③		○	○	○	○			
		M9	F	③		○						○
		M2	G	③		○	○		○			
		414④	F	④		○	○		○	○		
		414③	E	③/④		○	○		○	○		
		414②	F	④		○	○		○	○		
		414①	E	③		○	○		○	○		

岩相 G が存在するにもかかわらず、カオリン鉱物が検出されなかった。他方、カオリン鉱物の母材であり風化に対して弱い長石(吉村, 2001)の微小粒子が一次鉱物として保存されている(地点 #414①, 414②, 414③, 414④)。

このことから、この時期の氾濫原堆積物はカオリンが生じるほどには風化しなかったと解釈される。その背景には、次章で示すように、大山下層下部は岩相群 1 の礫質河川の河道堆積物と岩相群 2 の砂質河川の流路堆積物からなり、主として流水環境下で形成されたもので、それらに挟まれた氾濫原堆積物は、土壌化に至るまでの十分な風化が進行するほどに離水環境が長く持続しなかったためと考えられる。

沢田層：沢田層は岩相群 3 および岩相群 4 の氾濫原の泥質堆積物の岩相 F と岩相 G が主体をなしており、特にカリーチを含む岩相 G は確実に古土壌であることを示す。しかし、沢田層の岩相 F と岩相 G から採集した 6 試料(地点 #K25, H12, H11, M40a, M40b, M40c)のいずれからもカオリン鉱物が検出されなかった。一方、地点 #M40a, M40b, K25 でスメクタイトが、全 6 地点からイライトが検出された。

カオリン鉱物が検出されなかったことから、赤色土壌化を受けるような湿潤な気候下での土壌化は進行していなかったと解釈される。一方、スメクタイトとイライトが含まれていたことから、上記のように長い乾季の存在が示される。したがって、沢田層が堆積した時代は、大山下層上部の赤色土壌化が十分に進行する雨季と乾季のある半乾燥～半湿潤気候よりも、乾燥気候がより卓越する環境に変わったと推定される。一般的に沢田層の砂岩層や泥岩層は赤色を呈すが、これ

は沢田層が堆積した場所で赤色土壌化作用を受けて赤色化したのではなく、篠山層群を堆積させた河川の後背地で新たに露出するようになった赤色化した砂岩や泥岩が流れ込んで従来からの河川の運搬碎屑物に混入して堆積したと考えられる。この後背地の赤色岩については、大山下層が堆積中も強い褶曲運動を受けていて堆積盆地の周辺部では篠山層群堆積中も隆起していたこと(吉川, 1993)、沢田層より下位には篠山層群の大山下層以外に赤色岩が認められないことから、大山下層が供給源であると考えられる。この場合、大山下層上部にはカオリン鉱物が含まれていたため、沢田層にもカオリン鉱物が含まれていると考えられるが、実際には検出されなかった。この原因は不明であるが、カオリンは一般に湖沼で堆積して鉱床になっていることから、氾濫原の泥質堆積物には検出できるほどの割合では含まれなかったという可能性が考えられる。

篠山層群の堆積環境

上滝～下滝地区に分布する篠山層群については、下部に特徴的な白色凝灰岩が認められることから篠山盆地の大山下層の下部と対比できる。しかし、その分布の東縁を阿草断層によって断たれているため、篠山盆地に分布する篠山層群主部との堆積当時の位置関係は不明である。また、上滝～下滝地区の篠山層群は、篠山盆地では皆無の珪長質～安山岩質の火成岩の貫入を頻繁に受けていることなどから、堆積後に受けた変動の履歴も篠山盆地の篠山層群とは大きく異なっていると推定される。さらに、石賀・京都教育大学礫岩研究グループ(1978)や Kobayashi and Adachi(2007)、小林・後藤

Fig. 9. Distribution of lithofacies assemblages of the Sasayama Group in the Sasayama basin. Dark and light colors of lithofacies assemblages show confirmed and presumed areas, respectively.

(2008)によって、篠山層群下部の構成礫種が上滝～下滝地区と篠山盆地とは大きく異なり、上滝～下滝地区に多く含まれる石灰岩や結晶片岩の礫から推定される後背地は篠山盆地の後背地とは地質が大きく異なるとされた。このため、両地区の篠山層群を現在の地理的関係を前提として、古環境を考察することは適当ではない。そこで、本論文では堆積環境の復元にあたって、その範囲を篠山層群の主たる分布域であり広く連続して分布する篠山盆地に限定する。

篠山盆地に分布する篠山層群の堆積環境を示す岩相群の地理的分布の概要を Fig. 9 に、層序的分布の概要を Fig. 10 に示す。

なお、上滝～下滝地区の篠山層群は、北部で泥岩が卓越し南部で中礫の垂円礫～垂角礫の礫岩が多く挟まれること、古流向が北向きであることなどから、南方に後背地を持ち、北へ向かって氾濫原となるような環境であったと推定される (Fig. 3 のルートおよび Fig. 4 の柱状図番号 12, 13, 4)。また、三枝ほか(2010)は上滝～下滝地区の恐竜化石を含有する泥岩を古土壌の vertisol と解釈した。vertisol は乾燥と湿潤を繰り返す環境下で形成される (Mack et al., 1993)。

1. 篠山盆地の篠山層群の堆積環境と古気候の変遷

篠山層群の堆積の開始年代は、林ほか(2010)によって Albian とされ、従来の研究で推定されていた値よりも 3,000 万年あまり若くなった。これはその後の研究でもほぼ支持されている (Kusuhashi et al., 2013)。

この篠山層群堆積の開始から SSY-2 凝灰岩の堆積の頃まで、すなわち大山下層の基底部の地層は、盆地西部においてのみ確認でき、そこでは不整合面上に砂質の岩相群 2 が重なる (Fig. 9, Fig. 10 の柱状図番号 1～3)。これは砂質河川の流路堆積物と解釈され、少なくとも盆地西部では篠山層群の堆積は比較的緩やかな勾配の河川によって始まったと考えられる。構造運動で形成された盆地では、堆積物がこのよう

な細粒碎屑物から始まることが示されており (Blair and Bilotteau, 1988)、篠山層群の堆積盆地ではそれが緩やかな勾配の河川によるものであった。

SSY-2 凝灰岩の堆積よりも後の大山下層の下部の堆積の時代には、盆地の西部から中央部北翼にかけて、礫岩が卓越する岩相群 1 から泥質堆積物で特徴づけられる岩相群 3 に側方細粒化する (Fig. 9, Fig. 10 の柱状図番号 1～3, 6)。この側方変化は、西部から中央部北翼に向かって、礫質河川の流路内の砂礫堆が形成される環境から一部に湖沼をもつ氾濫原の卓越する環境に移り変わったことを示し、盆地の中央北翼は後背地から離れた場所で堆積したと解釈される。また、篠山層群の中でもこの時期の堆積物には、礫岩が頻繁に挟まれており礫のサイズも大きい。陸成層の堆積物の変化は気候の変化とテクトニクスによって第一義的に支配される (Shanley and McCabe, 1994) ので、この事実、気候によるものとすれば、雨季の降水が多く河川の流量が多くて大きな運搬力を持っていたと解釈され、テクトニクスによるものとすれば、堆積盆地周辺の山地の隆起が大きかったと解釈される。湿潤な気候は次に示すように大山下層の中～上部でも確認できるので、粗粒堆積物の卓越は後者のテクトニクス、すなわち堆積盆地周辺山地の隆起が原因と推定され、この運動が篠山層群の堆積場である山間盆地を形成したと解釈される。

大山下層中部の堆積の時期になると、盆地中央南翼では、岩相群 2 の砂質堆積物が厚く堆積した (Fig. 9, Fig. 10 の柱状図番号 4, 5)。これは砂質河川内の砂堆堆積物と解釈され、古流向 (Fig. 7-2) からはこの河川が南から北へ向かって流れていたことを示す。これは、吉川 (1993) による盆地への碎屑物の供給はもっぱら南方からとの推察と一致する。中央部北翼の氾濫原の堆積物は、この河川の氾濫によってもたらされたと推定される。構造的な堆積盆地においては、一般的に

Fig. 10: Stratigraphic distribution of lithofacies assemblages of the Sasayama Group in the Sasayama basin. Lithofacies F and G, interpreted as paleosols, are shown in color. LA: lithofacies assemblage.

横断方向に堆積物の分布が非対称であることが示されており (Blair and Bilodeau, 1988), 篠山層群においてもこの現象が確認された。篠山層群の堆積盆地の基盤は北翼においては, 北方からの巨大なスラストによってもたらされた超丹波帯が丹波帯の上に重なるが, 南翼では超丹波帯を欠き丹波帯が基盤を形成している。このことは, Beaumont (1981) が指摘したように, スラストシートの加重が横断方向の構造運動の非対称性をもたらし, 篠山層群の堆積物の非対称性をもたらしたと解釈される。北翼の氾濫原堆積物はその後, 乾燥気候下でカーリーチを頻繁に生じると共に湿潤気候下での土壌化作用を受けており (Fig. 10 に示した岩相 F および岩相 G), 半湿潤～半乾燥の気候下にあったことを示す。

大山下層の上部の堆積の時期になると, 盆地の広い範囲で, 泥質堆積物からなる岩相群 3 が厚く発達し, 礫岩・砂岩・泥岩からなる岩相群 4 がレンズ状に挟まれる (Fig. 9, Fig. 10 の柱状図番号 4, 6～9)。これらは, それぞれ氾濫原と堤防決壊した流路 (クレバススプレー) と解釈され, 後背地から離れた蛇行河川の環境と解釈される。盆地東部では, 岩相群 3 に砂堆堆積物と解釈される岩相群 2 も一部挟まれる (Fig. 9, Fig. 10 の柱状図番号 9)。これは, この時代に蛇行河川の流路があったことを示す。これらの堆積物中の粘土鉱物の分析からは, 堆積盆地の広い範囲で堆積物が現地性の土壌化を受けていることが示され, 湿潤な季節が確認される。一方, 頻繁に挟まれるカーリーチは乾燥を示す。したがって, 気候的には下部と同じく半湿潤～半乾燥と解釈される。

次の篠山層群上部の沢田層の堆積開始年代は, 概ね Aptian～Cenomanian と考えられている (松浦・吉川, 1992; 林ほか, 2010; Kusuhashi et al., 2013) この時代には, 盆地中央部から東部にかけて, 礫岩・砂岩・泥岩からなる岩相群 4 を挟む岩相群 3 の泥質堆積物が卓越する。これは基本的に大山下層の中～上部の堆積環境と同じく, 蛇行河川とその周辺の氾濫原を示す。しかし, 岩相的には似ているものの, 粘土鉱物の分析から気候的には, それまでの雨季と乾季の繰り返しされる半湿潤～半乾燥の熱帯～亜熱帯の環境から, 乾季の長く続くより乾燥した環境へと変わったと解釈できる。また, 細粒相がより卓越するようになる傾向が見られる (Fig. 4) が, 陸成層の堆積物の変化をもたらす気候変化とテクトニクスの 2 つの要因 (Shanley and McCabe, 1994) のうち, 大山下層と沢田層の間に構造的な変化は認められないので, より乾燥した気候が河川の流量を減少させ運搬力を低下させたためと考えられる。

また, 沢田層の堆積開始の時期から, 大量の火山碎屑物が混入するようになると共に火砕岩も頻繁に挟入することから, 火山活動が周辺山地で始まり活発に続くような環境に変化した。これは, 篠山層群より下位の丹波帯と超丹波帯に酸性の火山活動がほとんど認められない (栗本ほか, 1993) ことと合わせると, 篠山層群の堆積盆地の位置が沈み込み帯から離れた火山フロントの内側で形成されたことを意味すると解釈される。

なお, 篠山層群は全体的に見ると, 比較的小規模な山間盆地での堆積環境でありながら, 氾濫原堆積物と土壌が非常に

厚いという特徴がある。これは, 盆地を形成する運動が篠山層群堆積の時代に入っても続いていた (吉川, 1993) ことにより後背地から碎屑物が安定的に供給されたことと, 篠山層群の堆積期間が Albian～Cenomanian の 1,000 万年程度を示す (林ほか, 2010) ことより堆積盆地が長期にわたって安定的に存続したことによると解釈される。

また, 盆地東部では篠山層群上部の沢田層が断層で基盤岩類と接するので, 篠山層群の下部の大山下層は断層運動により消失したと考えられる。消失した大山下層の分布を見積もと, 篠山層群の堆積盆地は, 現在の篠山層群の分布範囲より広がったと考えられる。

2. 堆積盆地の周辺の地形と地質

篠山層群は篠山盆地の周辺部に分布する下位層ほど盆地側へ大きく傾斜するが, それらに不整合で覆われる基盤岩類はさらに盆地側へ急傾斜しており, 篠山層群堆積時にすでに盆地状の地質構造を形成していたことから, 篠山層群は山間盆地での堆積が解釈される。一般的に山間盆地の周縁部には扇状地が発達し, 礫支持で淘汰が悪く上方粗粒化する中礫から巨礫の礫岩を含む岩相 (松川ほか, 2014) や基質支持で淘汰が悪く上方粗粒化する巨礫までの礫を含む土石流の岩相 (林, 2014) が認められる。しかし, 篠山層群はこれらの岩相が認められず, 層状で上方粗粒化やインプリケーションの認められる礫岩 (岩相 A) と基質支持の層状で斜交葉理の認められる礫岩 (岩相 B) であり, 扇状地の末端から山間盆地内側の平坦地での環境を示す。したがって, 篠山層群の堆積環境は, 後背地から離れていたか, 扇状地が卓越しない山間盆地と解釈される。前者の場合は, 現在の篠山層群の分布域よりもかなり大きな堆積盆が想定され, 周辺地形の推定は難しい。後者の場合は, 後背地と盆地の標高差は小さく, 後背地の山はなだらかであったことが推定される。扇状地の発達にはさまざまな因子が関与しているが, 一般に山地と盆地の標高差が小さい場合には起伏比が小さくなり, 扇状地が発達しないことが知られている (斎藤, 1988)。

これらの後背地を形成する山地の地質は, 北方および西方では篠山層群が超丹波帯の味間層を不整合で覆っていること, また篠山層群の礫に味間層由来の砂岩や頁岩の礫が多いことから, 味間層が露出していたと考えられる。一方, 南方では, 不整合の確認はされていないが, 栗本ほか (1993) が示した大局的な地質構造から, 篠山層群が丹波帯の高城山層を不整合で覆うと推定される。また, 清水 (1991) が篠山層群の礫に高城山層とその構造的低位にある丹波帯の地層群に由来する礫が多いことを示した。したがって, 南方の山地には砂岩を主体とする高城山層と緑色岩・チャート・砂岩・泥岩などの付加体の地層群が露出していたと解釈される。堆積盆地とその周辺の山地のこのような関係は, 前記の火山フロント内側に位置するという推定と合わせると, 篠山層群は付加体で形成された超丹波帯と丹波帯の岩石からなる山地内の山間盆地で堆積したもので, 白亜紀の東アジアにおける北東～南西に帯状に分布する堆積盆地群が西から非海成層, 非海成層と海成層の互層, 海成層と移り変わるなかで, 篠山盆地が非海成層の最も東寄りの内陸盆地であったことを示す。こ

れは, Matsukawa et al. (1997) などにより示された白亜紀前期の東アジアの古地理の解釈を支持する。

結 論

- (1) 岩相層序区分単位の層群は複数の累層から構成されなければならないとする国際層序基準にしたがって、篠山層群の下部を大山下層、上部を沢田層として新しく定義した。
- (2) 篠山層群は、層理、粒径、組織、堆積構造の特徴などに基つき、7つの岩相に区分され、それぞれの特徴を記載し、堆積過程を考察した。
- (3) さらに、区分した岩相を累重の組み合わせから岩相群1~4として4つにまとめ、構成物や推定される運搬営力と堆積過程に基づいて、それらの堆積環境を考察した。それらは、砂礫堆積物／放棄河道堆積物、流路州堆積物、氾濫原泥質堆積物、堤防決壊堆積物／自然堤防堆積物と解釈される。
- (4) 篠山層群は、下部の大山下層から上部の沢田層にかけて、岩相群1や岩相群2に相当する河川流路内の堆積物が卓越する地層から、岩相群3に相当する氾濫原堆積物が卓越する地層に変化し、岩相群4で示される堤防決壊堆積物／自然堤防堆積物を挟む。このことから、篠山層群の堆積盆地は、頻繁に礫質の河川流路となるような堆積環境から、時間の経過とともに、氾濫原や自然堤防が卓越した蛇行河川の堆積環境へと変化したと解釈される。
- (5) 大山下層下部の粗粒の岩相群1および岩相群2は、堆積盆地の南翼で厚く北翼で薄く、北向きの古流向から、南から北への堆積物の供給が解釈される。大山下層中部でも、南翼で粗粒の岩相群2および岩相群1が卓越するのに対して、北翼では氾濫原堆積物と解釈される岩相群3が卓越し、北向きの古流向から、南から北への堆積物の供給が続いていたと解釈される。
- (6) 赤色泥岩などからX回折分析で粘土鉱物を検出した。カオリン鉱物が大山下層上部の氾濫原堆積物から検出され、高温多湿の気候の下での強い赤色土壌化が確認された。また、乾燥気候を示すカリッチも多く挟まれることも合わせると、大山下層上部は半湿潤～半乾燥気候下で堆積したと解釈される。
- (7) 大山下層の下部の氾濫原堆積物からはカオリン鉱物が検出されず、その母材の長石の微粒子が未風化で検出されることから、土壌化作用をあまり受けていないと解釈される。
- (8) 篠山層群上部の沢田層からはカオリン鉱物が検出されず、スメクタイトやイライトが検出され、乾季が長く蒸発が激しい環境が推定される。篠山層群の上部の赤色砂岩や赤色泥岩は後背地に露出する下部の大山下層の赤色化された碎屑物が運搬されて再堆積したと解釈される。
- (9) 篠山層群は、付加体で形成された超丹波帯と丹波帯の岩石からなる山地内の比較的小さな山間盆地が1,000

万年程度の長期にわたって安定的に存続して、氾濫原堆積物や古土壌を主体とした堆積物が厚く堆積したものであると解釈される。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、粘土鉱物分析においては、東京学芸大学の藤本光一郎教授、横須賀市自然・人文博物館の柴田健一郎氏にご指導いただいた。さらに、篠山市教育委員会社会教育・文化財課および丹波市恐竜観光振興課の方々には野外調査に関して便宜を図って頂いた。千葉大学理学部の伊藤 慎教授および前記の柴田健一郎氏には、原稿を読んでいただき貴重なご意見をいただいた。また、産業技術総合研究所地質調査総合センターの吉川敏之氏と2名の匿名査読者、さらに担当編集委員からいただいた有益なコメントにより本稿は大きく改善された。以上の方々に深く感謝申し上げる。本研究の一部には、科学研究費補助金(基盤研究(C)課題番号19500766, 23501035, 15K05328, 16K01044)を使用した。

文 献

- 新井清文・坂口重雄(Arai, K. and Sakaguchi, S.), 1955, 兵庫県篠山盆地の地質(予報)ー丹波地帯南部古生界の研究 その2ー(Geology of the Sasayama basin of Hyogo Prefecture -Study of Paleozoic erathem in the southern Tamba geologic belt Part 2-)*. 地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan), **61**, 345.
- Beaumont, C., 1981, Foreland basins. *Geophy. Jour. Int.*, **65**, 291-329.
- Blair, T. C. and Bilodeau, W. L., 1988, Development of tectonic cyclothems in rift, pull-apart and foreland basins: Sedimentary response to episodic tectonism. *Geology*, **16**, 517-520.
- Chamley, H., 1989, *Clay Sedimentology*. Springer-Verlag. 623 p.
- 円増俊夫(Ensou, T.), 1958, 兵庫県篠山盆地(篠山統)より発見した植物化石および生痕化石其の他について(On the plant, trace and some associated fossils from the Sasayama basin(the Sasayama Series) in Hyogo Prefecture)*. 地学研究(*Chigaku Kenkyu*), **10**, 116-118.
- 円増俊夫・中沢圭二(Ensou, T. and Nakazawa, K.), 1956, 兵庫県篠山盆地(篠山統)より発見した貝殻および植物化石について(On the estherid and plant fossils from the Sasayama basin(the Sasayama Series) in Hyogo Prefecture)*. 地学研究(*Chigaku Kenkyu*), **8**, 184-188.
- 林 慶一(Hayashi, K.), 2012, 平成23年台風12号によって紀伊半島で発生した地盤災害にみられた地質との関連性(Relationship between geology and ground disaster caused by Typhoon 1112 in Kii Peninsula, Japan). 日本地質学会第119年学術大会講演要旨集(119th Ann. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.), 151.
- 林 慶一(Hayashi, K.), 2014, 平成23年台風12号により那智川水系金山谷川で発生した斜面崩壊・土石流の発生過程の復元ー熊野酸性岩類の花崗斑岩の崩壊・大規模土石流の特徴ー(Process of slope collapse and debris flow induced by Typhoon 12 of 2011 in the Kaneyamatani stream of the Nachi River system, Kii Peninsula, Japan). 甲南大学紀要理工学編(Mem. Fac. Sci. Eng. Konan Univ.), **61**, 1-28.
- 林 慶一・松川正樹・大平寛人・陳 丕基・甄 金生・伊藤 慎・小荒井 千人・小 島 郁 生(Hayashi, K., Matsukawa, M., Ohira, H., Chen, P., Zhen, J., Ito, M., Koarai, K. and Obata, I.), 2010, 貝形虫およびカイエビ化石の生層序とジルコン・フィッシュントラック法に基づく篠山層群の年代の再考(Revised age of the Sasayama Group, southwest Japan based on ostracode and conchostracan biostratigraphy and zircon fission-track dat-

- ing). 地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan), **116**, 283–286.
- Hedberg, H. D., 1976, *International Stratigraphic Guide, a Guide to Stratigraphic Classification, Terminology, and Procedure*. J. Wiley and Sons, Inc., 199 p.
- 堀内 悠・久田健一郎・Lee Yong Il(Horiuchi, Y., Hisada K. and Lee, Y. I.), 2008, 白亜系関門層群塩浜層の古土壌, 堆積相および古環境(Paleosol, facies and paleoenvironment of the Cretaceous Shiohama Formation, Kanmon Group, SW Japan). 地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan), **114**, 447–460.
- 井本伸広・松浦浩久・武蔵野 実・清水大吉郎・石田志朗(Imoto, N., Matsuura, M., Musashino, M., Shimizu, D. and Ishida, S.), 1991, 園部地域の地質. 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅(Geology of the Sonobe District. With Geological Sheet Map at 1: 50,000), 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 68 p.
- 石賀裕明・京都教育大学礫岩研究グループ(Ishiga, H. and Conglomerate Study Group of Kyoto Kyoiku Univ.), 1978, 篠山層群中の礫岩の礫種構成(The composition of gravels in the Sasayama Group)*. 本州地内帯総研連絡誌(討論集会報告書)(Inner Zone Honshu Geocyncline Res. Lett.), 27–30.
- 石井祐次・堀 和明(Ishii, Y. and Hori, K.), 2014, 石狩低地にみられる三日月湖の過去数百年の古洪水記録(Multi-century paleoflood record from oxbow lakes in Ishikari Lowland). 2014 年度日本地理学会春期学術大会発表要旨集(2014 Spring Meet. Assoc. Japan. Geograph. Abstr.), 197.
- Jo, H. R., 2003, Depositional environments, architecture, and controls of Early Cretaceous non-marine successions in the northwestern part of Kyongsang Basin, Korea. *Sediment. Geol.*, **161**, 269–294.
- Kobayashi, F. and Adachi, K., 2007, Late Early Carboniferous and Early Permian foraminifers contained in limestone fragments of conglomerate of the Lower Cretaceous Sasayama Group, Hyogo-Late Paleozoic and Early Mesozoic foraminifers of Hyogo, Part 9-. *Nature and Human Activities*, **12**, 17–35.
- 小林文夫・後藤 篤(Kobayashi, F. and Goto, A.), 2008, 兵庫県丹波市上滝一下滝地域の下部白亜系篠山層群下部層の層序と含礫層の結晶片岩礫の K–Ar 年代(Stratigraphy of the Lower Formation of the Sasayama Group(Lower Cretaceous) in the Kamitaki-Shimotaki area, Tamba City, Hyogo Prefecture, Japan and the K–Ar age of a schist cobble contained in the conglomerate of the formation). 地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan), **114**, 577–586.
- 栗本史雄(Kurimoto, C.), 1992, 兵庫県篠山地域の高城山層からジュラ紀放射虫化石の発見(Discovery of Jurassic radiolarians from the Takashiroyama Formation in the Sasayama district, Hyogo Prefecture, Southwest Japan). 地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan), **98**, 787–780.
- 栗本史雄・松浦浩久・吉川敏之(Kurimoto, C., Matsuura, M. and Yoshikawa, T.), 1993, 篠山地域の地質. 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅(Geology of the Sasayama District. With Geological Sheet Map at 1: 50,000), 地質調査所(Geol. Surv. Japan), 93 p.
- Kusuhashi, N., Tsutsumi, Y., Saegusa, H., Horie, K., Ikeda, T., Yokoyama, K. and Shiraishi, K., 2013, A new Early Cretaceous eutherian mammal from the Sasayama Group, Hyogo, Japan. *Proc. R. Soc. B* 280. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2013.0142>.
- 楠見 久(Kusumi, H.), 1961, 化石カイエビ類の研究—特に現世カイエビ類を考慮して—(Studies on the fossil estherids. With special reference to recent estherids). 広島大学地質研究報告(Geol. Rep. Hiroshima Univ.), **7**, 1–88.
- 桑原義博(Kuwahara, Y.), 2006, 粘土鉱物から古気候変動を探る(Reconstruction of paleoclimate recorded in clay minerals). 粘土科学(Clay Sci.), **45**, 211–219.
- Mack, G. H., James, W. C. and Monger, H. C., 1993, Classification of paleosols. *Geol. Soc. Amer. Bul.*, **105**, 129–136.
- 松川正樹・福井真木子・小河佑太力・田子 豪・小荒井千人・林 慶一(Matsukawa, M., Fukui, M., Ogawa Y., Tago, T., Koarai, K., Ohira, H. and Hayashi, K.), 2014, 富山—岐阜県境に分布する神洞層群の堆積環境と堆積盆地の発達(Sedimentary environments and basin development of the Jinzu Group in the boarder area between Toyama and Gifu prefectures, central Japan). 地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan), **120**, 201–217.
- Matsukawa, M., Takahashi, O., Hayashi, K., Ito, M. and Konovalov, V., 1997, Early Cretaceous Paleogeography of Japan, based on tectonic and faunal data. *Mem. Geol. Soc. Japan*, **48**, 29–42.
- 松浦浩久・吉川敏之(Matsuura, H. and Yoshikawa, T.), 1992, 兵庫県東部に分布する前期白亜紀篠山層群の放射年代(Radiometric ages of the Early Cretaceous Sasayama Group, Hyogo Prefecture, Southwest Japan). 地質雑(Jour. Geol. Soc. Japan), **98**, 635–643.
- Miall, A. D., 1996, *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology*. Springer-Verlag, 582 p.
- Miall, A. D., 2014, *Fluvial Depositional Systems*. Springer-Verlag, 316 p.
- 日本地質学会訳編(Geol. Soc. Japan, ed.), 2001, 国際層序ガイド: 層序区分・用語法・手順へのガイド(International Stratigraphic Guide: A Guide to Stratigraphic Classification, Terminology, and Procedure). 共立出版(Kyoritsu Shuppan, Co.), 238 p.
- 小野山武文(Onoyama, T.), 1931, 篠山盆地地質概観(Geology of the Sasayama Basin, Tamba)*. 地球(Chikyu), **16**, 159–168.
- Ota, Y., 1960, The zonal distribution of the non-marine fauna in the upper Mesozoic Wakino Subgroup(Studies of the molluscan fauna of the non-marine upper Mesozoic Kwanmon Group. Part 5). *Mem. Fac. Sci., Kyushu Univ., Series D, Geology*, **9**, 187–209.
- Ray, S. and Chakraborty, T., 2002, Lower Gondwana fluvial succession of the Pench-Kanhan valley India: stratigraphic architecture and depositional controls. *Sediment. Geol.*, **121**, 243–271.
- Saegusa, H., and Ikeda, T., 2014, A New Titanosauriform (Dinosauria: Saurischia) from the Lower Cretaceous Hyogo, Japan. *Zootaxa*, 3848(1), 66 p.
- 三枝春生・田中里志・池田忠広(Saegusa, H., Tanaka, S. and Ikeda, T.), 2010, 兵庫県丹波市の下部白亜系篠山層群産の恐竜類の歯に関する予察的観察および丹波竜脚類の含気骨化に関する追記(Preliminary observations on the dinosaur teeth from the Lower Cretaceous Sasayama Group in Tamba City, Hyogo Prefecture and additional notes on the pneumaticity of the postcranial skeleton of Tamba sauropod). 化石研究会会誌(Jour. Fossil Res. Soc. Japan), **42**, 52–65.
- 三枝春生・田中里志・池田忠広・松原尚志・古谷 裕・半田久美子(Saegusa, H., Tanaka, S., Ikeda, T., Matsubara, T., Furutani, H. and Hnada, K.), 2008, 下部白亜系篠山層群からの竜脚類およびその他脊椎動物化石の産出(On the occurrence of sauropod and some associated vertebrate fossils from the Lower Cretaceous Sasayama Group of Hyogo Prefecture, SW Japan). 化石研究会会誌(Jour. Fossil Res. Soc. Japan), **41**, 2–12.
- 齊藤享治(Saito, K.), 1988, 日本の扇状地(Alluvial fan of Japan)*. 古今書院(Kokon shoin), 280 p.
- 坂口重雄(Sakaguchi, S.), 1960, 兵庫県篠山盆地の層序と構造—丹波地帯南部の地質(2)—(Stratigraphy and structure of the Sasayama Basin in Hyogo Prefecture)*. 大阪学芸大紀要(Mem. Osaka Kyoiku Univ.), **8**, 34–46. (注: 本論文は 1960 年 3 月に発行された 1959 年度の紀要であるために, 1959 として引用されていることが多い.)
- Salvador, A. ed., 1994, *International Stratigraphic Guide*. The International Union of Geological Sciences and the Geological Society of America, Inc. Boulder, Colorado, 214p.
- Shanley, K. W. and McCabe, P. J., 1994, Perspectives on the Sequence Stratigraphy of Continental Strata. *AAPG Bull.*, **78**, 544–568.

- 清水大吉郎 (Shimizu, D.), 1991, 篠山層群の構造 (Geologic structure of the Sasayama Group (early Cretaceous), Hyogo Prefecture, Japan). 日本地質学会第 98 年学術大会講演要旨 (98th Ann. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.), 149.
- 白水晴雄 (Shirozu, H.), 1988, 粘土鉱物学—粘土科学の基礎—(Introduction to Clay Mineralogy—Fundamentals for Clay Science—). 朝倉書店 (Asakura, Pub. Co.), 185p.
- 菅森義晃 (Sugamori, Y.), 2008, 兵庫県篠山地域の“超丹波帯”上滝層から産出した三疊紀中世放射虫化石とその意義 (Middle Triassic radiolarians from the Kamitaki Formation of “the Ultra-Tamba Terrane” in the Sasayama area, Hyogo Prefecture, SW Japan and its significance). 日本地質学会第 115 年学術大会講演要旨 (115th Ann. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.), 186.
- 鈴木茂之・D. K. Asiedu・藤原民章 (Suzuki, S., Asiedu, D. K. and Fujiwara, T.), 2001, 岡山県成羽地域の下部白亜系河成層—羽山層 (Lower Cretaceous fluvial deposits, Hayama Formation, Nariwa Area, Okayama Prefecture, Southwest Japan). 地質雑 (Jour. Geol. Soc. Japan), **107**, 541–556.
- 平 朝彦 (Taira, A.), 2004, 地層の解説 (Decoding of Strata)*. 岩波書店 (Iwanami Shoten), 441p.
- 田村 実 (Tamura, M.), 1990a, 西南日本内帯白亜系産の化石の新事実 (New fossil evidences from Cretaceous groups distributed in inner side of S. W. Japan). 日本地質学会西日本支部会報 (Proc. Nishinoh Branch Geol. Soc. Japan), **94**, 13.
- 田村 実 (Tamura, M.), 1990b, 西南日本非海生二枚貝フォナラの層位学的・古生物学的研究 (Stratigraphic and paleontologic studies on non-marine Cretaceous bivalve faunas in Southwest Japan). 熊本大教育学部紀要自然科学 (Kumamoto Jour. Sci., Earth Sci.), **39**, 1–47.
- 梅田真樹・竹村静男・八尾 昭 (Umeda, M., Takemura, S. and Yao, A.), 1995, 兵庫県東部の下部白亜系篠山層群中のチャート礫から産出した中・古生代放射虫化石 (Mesozoic and Paleozoic radiolarians from the chert pebbles of the Lower Cretaceous Sasayama Group in the eastern part of Hyogo Prefecture, Southwest Japan). 地質雑 (Jour. Geol. Soc. Japan), **101**, 937–939.
- Valentine, K. W. G., Darlymple, J. B., 1976, Quaternary buried paleosols: A critical review. *Quatern. Res.*, **6**, 209–222.
- 弘原海清・栃本泰治・升本真二 (Watazumi, K., Tochimoto, T. and Masumoto, S.), 1983, 篠山層群のフィッション・トラック年代 (Fission-track ages of the Sasayama Group)*. 日本地質学会第 90 年学術大会演旨 (90th Ann. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.), 185.
- Wright, V. P., Tucker, M. E., 1991, *Calcretes*, Repried Series Vol. 2 of the International Association of Sedimentologists. Blackwell Sci. Publ., 352 p.
- Yoshidomi, K., 2003, Basin analysis of the Lower Cretaceous Toyonishi and Kanmon Groups, Southwest Japan. *Jour. Sci. Hiroshima Univ., Ser. C*, **11**, 155–188.
- 吉川敏之 (Yoshikawa, T.), 1993, 兵庫県篠山地域の下部白亜系篠山層群の層序と構造 (Stratigraphy and structure of the Lower Cretaceous Sasayama Group in the Sasayama area, Hyogo Prefecture, Southwest Japan). 地質雑 (Jour. Geol. Soc. Japan), **99**, 29–38.
- 吉村尚久 (Yoshimura, T.), 2001, 粘土鉱物と変質作用 (Clay Minerals and Alteration)*. 地学団体研究会 (Assoc. Geol. Collab. Japan, Publishers), 203 p.

*English translation from the original written in Japanese

(要 旨)

林 慶一・藤田早紀・小荒井千人・松川正樹, 2017, 兵庫県篠山地域に分布する白亜系篠山層群の層序と古環境. 地質雑, **123**, 747–764. (Hayashi, K., Fujita, S., Koarai, K. and Matsukawa, M., 2017, Stratigraphy and paleoenvironment of the Cretaceous Sasayama Group in the Sasayama area, Hyogo Prefecture, western Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **123**, 747–764.)

兵庫県に分布する篠山層群について、国際層序基準にしたがって下部を大山下層、上部を沢田層として定義した。篠山盆地に分布する篠山層群の地層は、7つの岩相に基づいて4つの岩相群にまとめられ、砂礫堆積物／放棄河道堆積物、流路州堆積物、氾濫原泥質堆積物、堤防決壊堆積物／自然堤防堆積物と解釈される。これらの岩相群の分布から、篠山層群の堆積環境は山間盆地で、周辺部から中央部にかけて河川流路から氾濫原へと移り変わる環境であったこと、堆積の初期には礫質河川の流路が卓越する環境で、その後氾濫原や自然堤防と堤防決壊堆積物の卓越する蛇行河川の環境へと変化したと解釈される。篠山層群を特徴づける赤色岩の粘土鉱物分析の結果、大山下層上部の氾濫原堆積物からカオリン鉱物が検出され、湿潤環境下での土壌化と解釈される。同じ堆積物中には乾燥気候の存在を示すカリーチも挟まれていることから、半湿潤～半乾燥の環境が示される。

科学論文では、学説の検証可能性を保証することが重要です。そのため、地質学雑誌掲載論文には、重要な証拠となった試料がどこで得られたかを示しているものがあります。言うまでもないことですが、見学や採取を行う場合、各自の責任において地権者や関係官庁への連絡と許可の取得が必要であることに注意下さい。詳しくは、以下のサイトをご覧ください。

<http://www.geosociety.jp/publication/content0073.html>

一般社団法人日本地質学会