

兵庫県東部に分布する篠山層群の年代議論の整理

Organizing the chronology of the Sasayama Group distributed in eastern Hyogo Prefecture

林 慶一
Keiichi, HAYASHI

甲南大学 理工学部 地学研究室
Geoscience Laboratory, Faculty of Science and Engineering, Konan University, Kobe 658-8501, Japan

(受理日 2019 年 7 月 22 日)

要旨： 篠山層群は非海成層であるため、海生動物化石の変遷に基づいて行われる本来の年代決定は難しい。このため非海生化石による生層序確立の試みやさまざまな方法による放射年代の測定が行われてきた。その結果、白亜紀の Albian から Cenomanian にかけての山間盆地の河川成堆積物であることが明らかになっている。しかし、年代決定の方法が多様であることやその難しさのために、現時点でも年代に関して議論が分かれていると考えられることもある。そこで、本論文ではこれまでの研究で提示されたさまざまな年代論を、層序に関する最新の研究に基づいて、年代決定の試料の採集地点と層準を明確にすることによって整理した。その結果、議論の混乱の原因には、年代データを提示した論文のいくつかで、他の年代データとの層準の比較ができるような精度での層準のデータまたは地理的位置の情報が不足していることにあることがわかった。また、地質学的な成果として、篠山層群上部の沢田層の下部と上部の付近に Albian/Cenomanian つまり前期白亜紀/後期白亜紀の境界があることなどが明確になった。

キーワード： 篠山層群, 年代論, Albian/Cenomanian 境界, 大山下層, 沢田層, 放射年代, 化石

1. はじめに

兵庫県東部に分布する篠山層群は、陸成層のみからなり年代決定に有効な化石が発見されていなかったことから、その年代は主に放射年代で推定されてきた。1990 年代初期までの研究で、それらの値は大きな誤差を含むものの、篠山層群下部の大山下層の基底部についてはジュラ紀末の Tithonian~白亜紀初期の Hauterivian, 篠山層群上部の沢田層下部層については前期白亜紀の Aptian-Albian と考えられた (松浦・吉川, 1992)。しかし、その後、大山下層基底部の放射年代測定に用いられた凝灰岩のジルコン粒子には、篠山層群以前の地質の風化によって生じた碎屑粒子が混入していることが示され、これらを分離した結果、篠山層群の堆積開始年代が 3 千万年あまり若くなり、前期白亜紀末の Albian であることが明らかにされた (林ほか, 2010)。また、沢田層の上部から Cenomanian 以降に出現する化石カイエビ属が発見され、篠山層群の堆積期間が後期白亜紀初頭の Cenomanian にまで及ぶことが示された (林ほか, 2010)。

しかしその後も、‘篠山層群の堆積年代は依然として明確ではない’として別の方法で年代測定が行われたり (Kusuhashi *et al.*, 2013)、篠山層群の植物化石は前期白亜紀のタイプであるとして後期白亜紀の Cenomanian という考えは支持されないという見解も示されおり

(Yamada *et al.*, 2018)、年代論には混乱が見られる。そこで、本小論では、それぞれが提唱した年代の根拠とされた採集試料の地理的位置と層準を確認して年代論を整理することとする。

2. 篠山層群の層序と年代が示された層準およびその方法

2.1 篠山層群の層序

年代の議論には、年代試料の採集層準の情報が不可欠となるので、まず篠山層群の層序を林ほか (2017) に沿って確認しておく (Figure 1)。

篠山層群は、兵庫県東部の丹波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、栗本ほか (1992)、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り、それ以降 50 年あまりにわたってこの下部層と上部層という区分が継承されてきた。

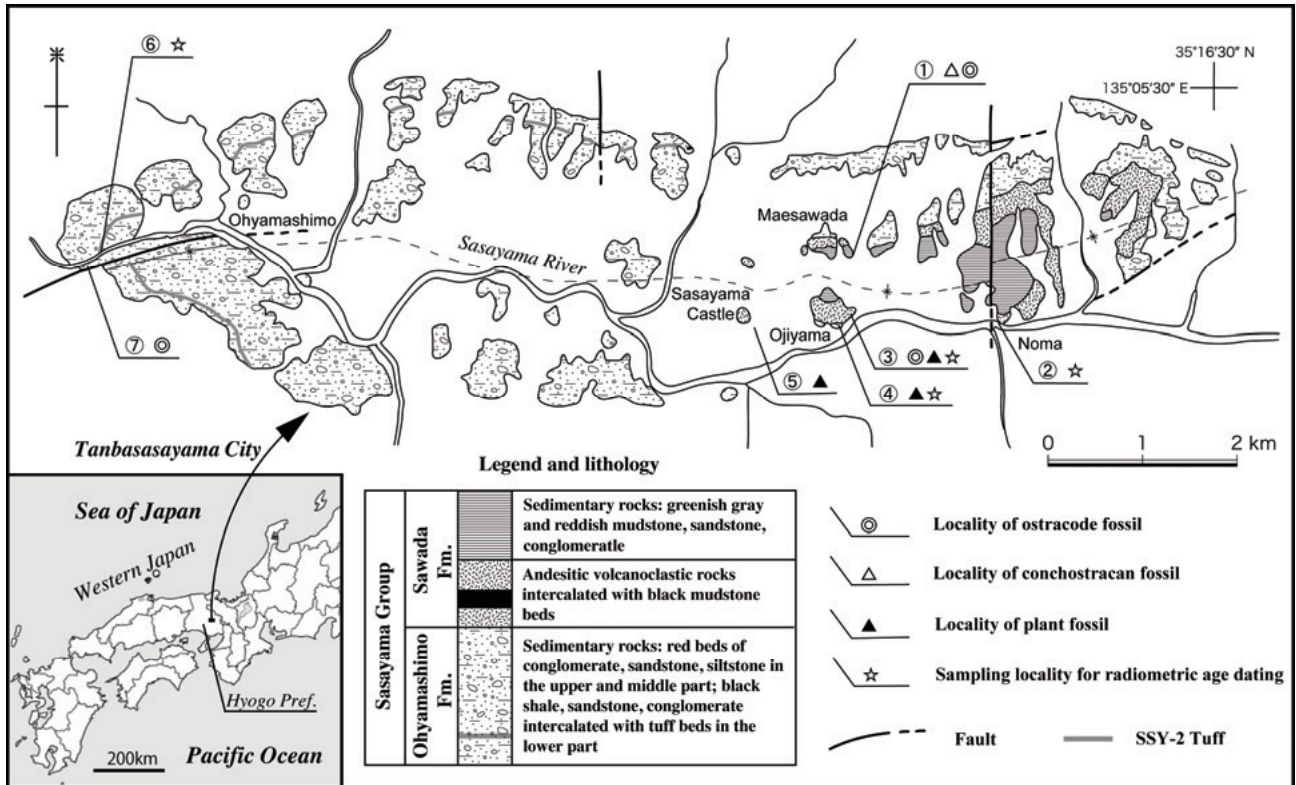


Fig. 1. Localities of ostracode, conchostracan, plant fossil and sampling sites of radiometric dating on geological map of the Sasayama Group in Sasayama City, Hyogo Prefecture, Japan

しかし、現行の国際層序ガイド (Hedberg ed., 1976; Salvador, 1994 (日本地質学会訳編, 2001)) に基づくと、層群は複数の累層 (formation の訳: 日本地質学会では「層」と呼ぶが、これに関する議論では「地層」や「砂岩層」などと区別するため、かつて使われていた「累層」という用語を用いる。) から構成されなければならない。しかし、坂口 (1960) の定義のままでは、篠山層群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った。このため林ほか (2017) は、篠山層群を再定義して、従来の「上部層」を沢田層、「下部層」を大山下層と命名して、国際層序ガイドが示す基準に従って記載した。

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. 1)。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 (Fig. 1: Legend and lithology)。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質砂岩、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、東西を軸とした向斜構造をなし、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。

大山下層

[分布] 篠山盆地の周辺部に広く分布する。

[層厚] 地域によって確認できる厚さが異なる上に、傾斜した地層を地表では斜めに測っていくために、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] 基底部は礫岩、砂岩を主として数枚の白色凝灰岩層を挟み、局地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. 1)。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。

沢田層

[分布] 篠山盆地東部のみに分布する。

[層厚] 各沢や谷沿いのルートでは、それぞれで数十 m しか見られないが、上部層全体での層厚は 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。

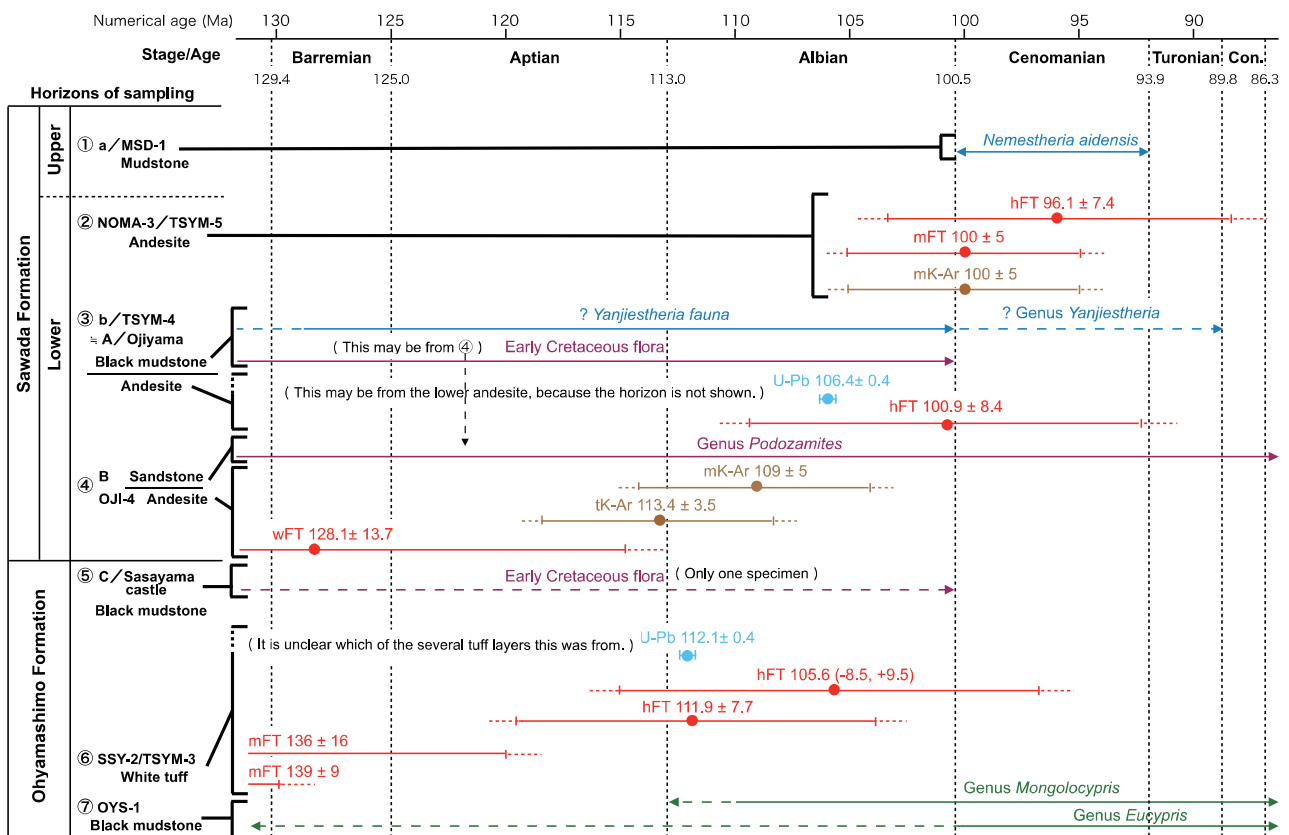
2.2. 年代が示された層準およびその方法

これまでの研究により、大きく分けて大山下層の3地点(3層準)、沢田層の4地点(4層準)について、化石と放射年代による年代が推定されている。これらの地点については、論文ごとに異なる様式でアルファベットや数字を組み合わたり、施設名を用いた文で表現されているため、同じ地点・層準が別の名称で呼ばれている。ここでは、このことによる混乱を避けるため、全7地点を上位の層準から①～⑦と番号で呼称することとし、Fig. 1の地質図上に地理的位置を示すとともに、それぞれの年代推定の根拠となった化石や放射年代を記号で示した。また、Fig. 2には左側にこれら7つの地点を層序学的に整理して相対的な新旧関係を示し、右にそこからの化石による年代や放射年代を示した。なお、これらの年代の根拠とされた化石群や測定方法を図の下の説明に色分けして示し、図中に示した化石名や測定方法の文字・数字・矢印にも同じ色を使用し、同類のものを見つけやすくしてある。

沢田層

地点①：篠山盆地中央部の前沢田地区に、東西方向のシンフォーム構造をなす篠山層群の北翼の南端部として露出する (Fig. 1)。前沢田地区には篠山川の侵食による残丘が存在し、南端にある地点①の北側には沢田層下部の火山碎屑岩等が分布し、さらに北側には大山下層の最上部層が分布することから、この付近は林ほか (2017) によって沢田層の模式地とされたところである。沢田層は下部が火山碎屑物を主体とすることから付近での激しい火山活動の始まりを示すが、上部になると火山性碎屑物は少なく火山活動がほとんど終息したことを示す。地点①の泥岩はこの上部の泥岩である。この地点は、円増・中沢 (1956) の“a”地点に、林ほか (2010) のMSD-1地点にあたる。

ここでは、円増・中沢 (1956) により、砂質頁岩からカイエビ化石[?]、小型平巻貝化石、小型二枚貝化石が、泥灰岩質ノジュールからカイエビ化石が報告されている。これらのうち、研究報告に記されたのはノジュール中から得られたカイエビ化石のみで、それも数個体の不完全なものであることから同定は困難とされた。林ほか (2010) は、岡山大学の鈴木茂之博士よりこの場所のノジュールから得られたカイエビ化石を譲り受けると



Index of color: Ostracode fossil, Conchostracan fossil, Plant fossil, Zircon Fission-Track Dating, Hornblende K-Ar Dating, Zircon U-Pb Dating
Each lower case letters before the method name represent the following papers respectively. w: Wadatsumi et al. (1983), t: Ministry of Trade and Industry (1988); m: Matsuura and Yoshikawa (1992), h: Hayashi et al. (2010).

Fig. 2. Stratigraphic position of seven sampling localities and their ages indicated by fossil ranges or radiometric methods.

もに、カイエビ化石の専門家である南京地質古生物学研究所の陳丕基博士らと追加標本を採集してほぼ完全な標本を得て、*Nemestheria aidensis* と同定した。本種は Chen and Suzuki (1998) により岡山県の上部白亜系とされる相生層群鶴亀上部層から新種として記載されたものであり、また *Nemestheria* 属は、中国におけるカイエビ化石生層序から Cenomanian を規定する属とされている (Chen, 1994) したがって、沢田層の上部のこの層準は Cenomanian であり、篠山層群の堆積の期間は後期白亜紀初頭に及ぶことが明らかにされた。

地点②：篠山盆地東部の野間地区に、シンフォーム構造の南翼にあたる篠山川河床に露出する (Fig. 1)。野間地区から北の青山台にかけては、東西に延びる篠山盆地を横断するように丘陵がつながっており、シンフォームの南北のそれぞれの側に沢田層が上位から下位へと連続的に露出している。地点②の安山岩は、沢田層上部層の非火山性堆積岩の下位にあり、沢田層下部層の最上部に位置づけられる。この地点②は、松浦・吉川 (1992) の NOMA-3 地点に、林ほか (2010) の TSYM-5 地点にあたる。

ここでは、松浦・吉川 (1992) により、ジルコンの FT 年代として 100 ± 5 Ma、角閃石の K-Ar 年代として同じく 100 ± 5 Ma が報告されており、論文中では特に言及されていないが、国際層序委員会の 2018 年版の国際年代層序表によれば Albian と Cenomanian の境界 (100.5 Ma) が示唆されたことになる。その後、林ほか

(2010) は、ジルコンの FT 年代として 96.1 ± 7.4 Ma を報告し、沢田層の下部層の最上位は Cenomanian の可能性が高いことを初めて議論した。

地点③：篠山盆地中央部では、シンフォーム構造の南翼側に、篠山層群からなる残丘が王地山を形成している

(Fig. 1)。地点③は、この王地山の東端近くの南東に向いた採石場跡である。王地山では南端に大山下層の最上部が僅かに露出し、その北に沢田層下部層、沢田層上部層が連続している。地点③は沢田層下部層の基底部に当たり、角閃石安山岩質火砕岩の上に黒色泥岩が挟まれている。この地点は、円増・中沢 (1956) の “b” 地点、林ほか (2010) の TSYM-4 にあたる。また、地図で明示されていないが、文字での記述から円増 (1958) の “A” 地点、Yamada *et al.* (2018) の Ojiyama もこの地点にあたると思われる。

ここでは、上位の泥岩から円増・中沢 (1956) により保存状態が良くないながらも、カイエビ化石として、*Estherites kyongsangensis* に酷似する種と、他の属に比較される種が報告されている。*Estherites* 属は現在は *Yanjiestheria* 属に変更されて (Chen, 1996) おり、*Yanjiestheria* 属はそれが優勢な群集となる時期を挟みながら Barriasian 中期～Turonian 末までと長い期間にわたって生息していた。このため、この地点③からのカイ

エビ化石からは、沢田層下部層の堆積年代を絞り込むことは現在のところ困難である。

また、円増 (1958) は、地点を地図上で明示していないが “王子公園東端” と表記していることからこの地点と判断される場所から、*Equisetites* 属などの植物化石の発見を報告している。論文中では年代の議論ははされていないが、その後 Yamada *et al.* (2018) は円増 (1958) の地点で新たに 200 個体以上の植物化石を採集し、13 種の植物化石を記載し、その植物群は広葉の被子植物で特徴付けられる日本の前期 Cenomanian の植物群とは明らかに異なり、被子植物が 1 個しか見つからなかったことを報告している。

この地点③の下部に露出する角閃石安山岩質火砕岩については、林 (2010) によりジルコン FT 年代として 100.9 ± 8.4 Ma が示され、Albian (113.0 Ma～ 100.5 Ma)～Cenomanian (100.5 Ma～ 93.9 Ma) の可能性が高くなった。そして Kusuhashi *et al.* (2013) により、地図に明記されていないので地点と層準が明確ではないが、この地点ではないかと推定される場所からのジルコンの U-Pb 年代として 106.4 ± 0.4 Ma が報告され、Albian であることが確認された。ただし、後者の採集地点はより下位の安山岩で、③と④の層準の間に位置するかも知れない。

地点④：前記の③と同じ王地山にあるが、地点④はその南端の採石場跡にあり (Fig. 1)、松浦・吉川 (1992) により放射年代測定試料が採集された OJI-4 地点である。円増 (1958) の “B” 地点も “王子公園南東の崖” と記されているので地点④あるいはその少し上位になると考えられるが、地図に示されていないため正確な位置の特定は難しい。王地山の採石場より少し南には、大山下層の最上部が露出しているため、地点④の安山岩質火砕岩は沢田層の基底部である。

この地点④付近からは、円増 (1958) が彼の “B” 地点としたところから、*Podozamites*, *Bennettitales?*, *Cupressinoxylon* の 3 属を報告している。しかし、*Podozamites* 以外は葉の一部や材に過ぎない。論文中では年代の議論はなされておらず、標本も行方不明となっているので、*Podozamites* のみから年代を絞り込むことは困難である。

地点④からのジルコンの FT 年代としては、弘原海 (1983) が 128.1 ± 13.7 Ma、通商産業省 (1988) が 113.4 ± 3.5 Ma という大きく異なる年代を報告し、当時はこれらの重なる部分として Aptian (125.0 Ma～ 113.0 Ma) が想定された。しかしその後、松浦・吉川

(1992) により角閃石の K-Ar 年代として 109 ± 5 Ma とより若い時代が示され、Albian (113.0 Ma～ 100.5 Ma) の可能性が高まった。

大山下層

地点⑤：篠山盆地中央部のシンフォーム構造の南翼にあ

る篠山城内の南東部にあった、円増 (1958) の“C”地点である。ただし、円増 (1958) では“市民グラウンド内”と記述されているだけで、地点を厳密に特定することはできない。また、Yamada *et al.* (2018)が、“堀の南東の角”と記述している地点も、地図はないがほぼ同じ場所と推定される。ここはシンフォームの南翼で北に50°前後で傾斜しており、内堀より内側にある硬質の安山岩からなる自然の高台が城として利用されたが、この安山岩は沢田層下部層である。したがって、その南側でまだ火山碎屑物が含まれない時代の黒色泥岩であることから、⑤は大山下層の最上部である (Fig. 1)。

ここからは、円増 (1958) により *Otozamites*, *Podozamites*, *Elatocladus* の3属の植物化石が報告されているが、論文中では年代の議論はされていない。Yamada *et al.* (2018)は、ここからは *Brachyphyllum* sp. Bのみを報告している。ただし、地点③沢田層下部層の植物化石と一緒に取り扱って議論しているの、そこでの結論である前期白亜紀を、この地点⑤の年代として良いかどうかはよくわからない。このため Fig. 2 では破線の矢印で示している。

地点⑥：篠山盆地の西方の味間北地区の山間部を西流する篠山川河床に露出する、特徴的な白色凝灰岩の露頭の場所である。地形的な盆地からは西にはずれるが、地質構造としては篠山層群がつくるシンフォーム構造の軸部の西端に近い位置にある。超丹波帯の上に不整合に重なる篠山層群大山下層の下部には数枚の凝灰岩層が挟まれるが、基底から約70 m 上位の2番目の凝灰岩で、SSY-2と命名されている (松浦・吉川, 1992)。4.4 m厚の最も白色度の高い凝灰岩層で、篠山盆地内の中部以西で鍵層として広範囲に追跡できる (Fig. 1)。林ほか (2010) はこの凝灰岩層の3層準 (TSYM-1~3) から試料を採集したが、適切なジルコン粒子が得られたのは下から3つ目の3.5mの層準のTSYM-3のみである。Kusuhashi *et al.* (2013)もここは異なる盆地内西北部の宮田地区で大山下層の下部の凝灰岩層から試料を採集している。この凝灰岩はSSY-2の可能性が高いが、層準が明確に示されていないので、数枚ある他の凝灰岩の可能性もある。

この地点⑥の凝灰岩からは、松浦・吉川 (1992) により自形ジルコンのF T年代として139±9 Maと結晶面のないジルコンのF T年代として136±16 Maが得られていた。この値は、その他の根拠から推定されていた篠山層群下部の年代と調和的であったため、長らく1億4千万年前や1億3千万年前と考えられてきた。しかし、林ほか (2010) は、地点⑥のTSYM-3の層準 (4.4 m厚のSSY-2凝灰岩の下限から3.5 mの層準) では火山灰の粒子以外に明らかに碎屑性の堆積物の混入が認められること、各ジルコン粒子が示すFT年代に2つの異なる年代ピークがあることなどから、2つの異なる母集団からのデータを分離する方法 (BINOMFIT; Brandon, 2002)

で、105.6 (-8.5, +9.2) Ma (66.7%)と228.5 (-28.1, +31.9) Ma (33.3%)を得て、若い方の年代をSSY-2の噴出年代とした。なお、若い方の年代については別方向に111.9±7.7 Maも得られていたので、Fig. 2にはこれも掲載している。これによって、篠山層群の堆積の開始時期は、従来考えられていたよりも3千万年も新しくなり、Albianであると大きく変更された。その後、Kusuhashi *et al.* (2013)が上記の宮田地区の大山下層下部のいずれかの凝灰岩から得たジルコンのU-Pb年代も112.1±0.4 Maで、同じくAlbianであることが確認された。

地点⑦：篠山盆地の西方の味間北地区の山間部を流れる篠山川河床に、⑥の地点よりもさらに西に位置し、より下位の地層が露出している (Fig. 1)。地質構造としては篠山層群がつくるシンフォーム構造の軸部の西端に近い位置にある。超丹波帯の上に不整合に重なる篠山層群大山下層の基底から約40 m 上位にある14 m厚の局地的に発達する黒色泥岩である。 (Fig. 1)。

本地点から産出した軟体動物化石については、田村 (1990) などで関門層群などの非海成層との関係が議論されてはきたが、同じ非海成層同士の比較なので年代についての議論で根拠の確実なものは見られなかった。林ほか (2010) はこの泥岩中より、貝形虫化石の *Mongolocypis* 属と *Eucypris* 属を見だし、日本及び東アジアの非海生貝形虫化石の生層序 (Hayashi, 2001; 2006) から、前者が最も古くさかのぼってもAlbian以降であり、後者は白亜紀の初期から生存するもののCenomanian以降に優勢になることから、篠山層群の基底の堆積年代としては、Albian~Maastrichtianが考えられるとした。したがって、採集された貝形虫化石からは、篠山層群の堆積開始がAptianにまでさかのぼることはないと推定した。

3. 議論の整理

篠山層群およびそれを構成する沢田層と大山下層の年代に関しては、研究者によって以下の2つの問題点が言及されている。本小論では、上記の年代データの整理に沿って、これらの問題を検討する。

3.1 沢田層の年代

沢田層に関しては、上部層の地点①、下部層の上部の地点②、同中部の地点③、同基底部の④からの年代資料が得られており、①の層準がカイエビ化石によりCenomanian、②の層準が3つの放射年代によりAlbian後期~Cenomanian前期の可能性が強く示されており、③の層準がカイエビ化石と放射年代によりAlbian~Cenomanianに広がる可能性はあるもののAlbianが強く支持され、④の層準が3つの放射年代のうち古いものを除く2つからはAptian~Albianが推定されている。

これに対して、Yamada *et al.* (2018)は、Ojiyamaから4綱10属13種およびSasayama Castleからの1種

の合計 200 個体以上の植物化石を採集し分析して、被子植物が 1 標本しかないことから日本の他地域における Cenomanian 初期の広葉の多い植物群とは構成が著しく異なっていることを述べている。これを根拠に、篠山層群の"Upper Formation"は、植物化石からは Albian と見るのがより好ましいと述べている。

この問題の鍵は、Yamada *et al.* (2018)の植物化石の採集層準を明確にすることである。そこで、これらの採集地点が集中するのが篠山盆地中央部である (Fig. 1) ので、Fig. 3 に篠山市中心部の地形図および栗本ほか

(1933)の地質図の上に、年代関係試料が採集された地点を示した。これらの地点は、Fig. 3 の 2 つの図の下方に示したように、論文ごとに異なる様式でアルファベットや数字を用いて表記されているので、これによる混乱を避けるために、本論文では①, ③, ④, ⑤としてまとめている。

まず、Yamada *et al.* (2018)の植物化石のほとんどが採集された Ojiyama site は、論文中では円増 (1958) の化石採集地点に行き採集することにしたという記述があり、その詳細な位置は松浦・吉川 (1992) および林ほか (2010) に示されていると記し、地図上での位置や層準についての図は省略されている。円増 (1958) が植物化石を採集したのは Fig. 3 の下の説明に記したように ③, ④, ⑤の 3 地点で、このうち王地山にあるのは③と④である。一方、松浦・吉川 (1992) および林ほか

(2010) が王地山に示したのは放射年代の測定試料の採集地点である③と④である (両者とも植物化石の採集の報告はない)。このことから、Yamada *et al.* (2018)は、③または④の地点か、さらにその間の場所を含めた場所を

植物化石を採集したと推測できる。これを Fig. 2 で確認すれば、沢田層の中部から下部にかけての層準ということになる。

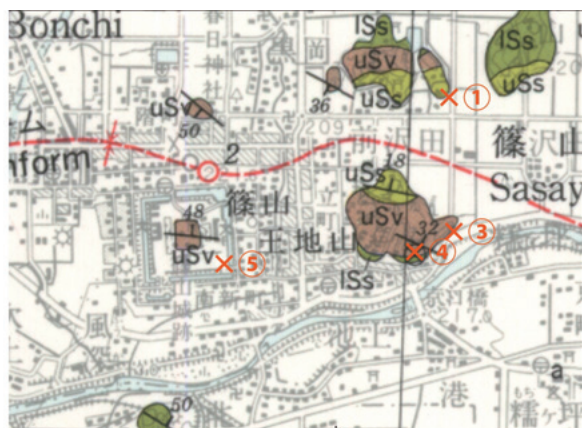
一方、この植物群と時代が合わないと言われた林ほか (2010) の貝形虫化石の採集地は、王地山ではなくシンフォームの軸を挟んで北にある前沢田地区の丘陵の南端にある①の地点であり、層準としては沢田層の上部となる。したがって、異なる層準の③または④の地点からの植物化石年代が、異なる層準の①の地点からのカイエビ化石の年代とずれているのは“問題”ではなく、この 2 つの層準の間に Albian/Cenomanian 境界、それはそのまま前期白亜紀/後期白亜紀の境界が存在するという重要な“解”を示唆するものである。他方、両層準の間に位置づけられる②の野間に露出する角閃石安山岩については、松浦・吉川 (1992) が異なる二つの方法で出した放射年代も、林ほか (2010) が出した FT 放射年代も、誤差はあるもののその中央値は最新の国際層序年代表ではすべて Cenomanian に入っている。したがって、Albian/Cenomanian 境界は、篠山層群沢田層の下部層内の上部にあると推定される。

3.2 大山下層の年代

大山下層の年代は上位の沢田層とは整合関係にあるので、より重要なのは篠山層群の堆積開始の基底部の年代である。これについては、研究史としては松浦・吉川までは SSY-2 の放射年代からおよそ 130~140 Ma と推定されていたが、林ほか (2010) によって、基底に最も近い⑦からの貝形虫化石に基づき Albian 以降が示され、⑥のジルコンのフィッシュントラック年代についても、野外観察から古い粒子の混入を確認し、従来はこれらを



Localities on the Digital Map 25000 by the Geospatial Information Authority of Japan



Localities on the Geological Sheet Map 1:50,000 "Sasayama" published by the Geological Survey of Japan (Kurimoto *et al.* 1993)

- Loc. ① = "a" of Enso and Nakazawa (1956) = MSD-1 of Hayashi *et al.* (2010)
 Loc. ③ = "b" of Enso and Nakazawa (1956) = TSYM-4 of Hayashi *et al.* (2010)
 ≙ "A" of Enso (1958) = "Ojiyama" of Yamada *et al.* (2018) ?
 Loc. ④ = OJI-4 of Matsuura and Yoshikawa (1992) ≙ "B" of Enso (1958) = "Ojiyama" of Yamada *et al.* (2018) ?
 Loc. ⑤ = "C" of Enso (1958) ≙ "SE corner of Sasayama Castle" of Yamada *et al.* (2018)

Fig. 3. Left: Sampling localities of Maesawada, Ojiyama and Sasayama Castle on the geographical map. Right: their stratigraphical relationship indicated on the geological map.

一緒にした全粒子を分析したため古い年代を算出していたことを指摘し、その方法では統計的な検定で失格することから、複数の母集団を分離する新しい分析法で研究を行った。その結果 106 Ma と 229 Ma をピークとする年代を見だし、106 Ma が大山下層群下部の火山灰層の噴出年代であることを突き止めた。そして貝形虫生層序とこの放射年代から篠山層群の堆積開始の年代は Albian であるとし、従来考えられていた年代よりも 3 千万年あまり新しかったことを解明した。

これに対して、Kusuhashi *et al.* (2013) は、丹波篠山市北西部の宮田地区から産出した小型哺乳類化石を記載した論文で、2013 年時点で複数の研究者グループによってジルコンの F T 年代や生層序学的な対比がなされているが、篠山層群の年代は未だ不明瞭であると述べている。そして、この化石産出層準の 2~3m 下位の火山灰層と“上部層”のジルコンの U-Pb 年代としてそれぞれ約 112 Ma と約 106 Ma 示し、いずれも前期 Albian であると記している。

篠山層群の年代については、上記のような研究の変遷を経て新しい研究方法で堆積開始が Albian であることが解明され、それに対して反論や疑義はその後出ていない。一般論として、過去の結論とそれが是正された新しい結論は、時間軸の中で研究の進展として捉えるべきであって、時間を無視して両者を対等に並べて結論が出ていないかのような位置づけをすることは適当ではない。この意味で Kusuhashi *et al.* (2013) の年代に関しては、林ほか (2010) の結論を同じ Albian の中でさらに絞り込んだ研究と位置づけるべきであろう。

次に、篠山層群の年代を議論するのであれば、その基底と上端にできるだけ近い層準からの年代データを示さなければならない。Kusuhashi *et al.* (2013) が示した下位の年代は、大山下層群下部の凝灰岩であることは記されているが、従来他の研究者が放射年代測定に用いてきた SSSY-2 凝灰岩であるのか、それともほかに数枚存在する凝灰岩なのか明記されておらず、従来の年代データとの比較を難しくしている。ある層準から採集した試料の年代を報告する際には、柱状図は必須ではないが、比較可能な精度での層準の情報は必要であろう。また、もう一つの年代測定は、“上部層”の安山岩とされているが、こちらも採集地点や他の年代データと比較できるだけの精度での層準が示されていない。沢田層は下部層で安山岩質火砕岩が卓越することから、本論では暫定的に沢田層下部層からの試料と著者は仮定しているが、もしそうであるならば従来の年代論と矛盾はない。しかし、これがもし沢田層上部層からの試料であるとすれば、篠山層群の堆積終了が Cenomanian よりも前であるということになり、林ほか (2010) の Cenomanian まで篠山層群の堆積が続いたという考え方を否定する新知見となる。

高い精度での年代測定値を公表する場合は、それに見

合う精度での層準の情報を合わせて提供する必要がある。それができない場合でも採集地点を明示して、他の研究者が層準を推定できるようにしておくことが必要である。これが欠けているために上記のような混乱が起きていると考えられる。

4. 結論

篠山層群に関する年代データを整理することによって、次のような結論が得られた。

- 1) 篠山層群で過去に得られた化石や放射年代による年代データは、それらの生息期間や誤差に加えて、これまでの研究で示された論理により、下部から上部へ Albian~Cenomanian という年代の枠組みの中で合理的に位置づけられ、相互に著しく矛盾するものはない。特に植物化石とカイエビ化石の間に指摘された矛盾は、それぞれの採集層準を明確にすることで解消された。
- 2) 篠山層群上部の沢田層は、安山岩質火山砕屑岩を主体とする下部層の中に Albian/Cenomanian 境界、したがって前期白亜紀/後期白亜紀の境界がある。その位置は下部層の中でも上端に近い層準であると推定される。
- 3) 篠山層群下部の大山下層は、その年代がまだ不明であるとの考える研究者がいるが、年代論を整理した結果、その堆積開始の年代はすでに林ほか (2010) によって Albian であることが明らかにされており、その後のデータはこれを裏付けるもので、Kusuhashi *et al.* (2013) のデータにより Albian の中でも初期に絞り込むことができている。
- 4) 本論で行った年代論の整理を通して、年代データの元となった試料の採集層準は、他の年代データと比較できる精度で示される必要があり、これを欠くと文献レベルでは解決のできない混乱が生じる。また、層序に議論があるような場合でも、他の研究者が他者の年代データを自己の層序の中に位置づけられるように、採集地の地理的情報は不可欠である。

謝 辞

本研究は、篠山層群に関する 20 年以上に及ぶ研究に基づくものであり、共同研究者として多くの方々にお世話になり、有益なご助言を多数をいただいた結果に基づいている。ここではすべての方のお名前は列挙しないが、文献欄に示した共著者として示してある。これらの方々には深く感謝する。中でも特に、東京学芸大学特命教授松川正樹博士にはすべての期間にわたり野外調査および室内研究でお世話になった。また、本論文の基礎となった年代論の整理に関しては、故小島郁雄博士からのご教示が大きく寄与している。冥福と共にお礼を申し上げます。

本研究には、科学研究費補助金（基盤研究（C）課題番号 23501035, 16K01044）を使用した。また、地形図・地質図を利用させていただいた国土地理院、国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター（旧地質調査所）等の諸機関に感謝する。

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）—丹波地帯南部古生界の研究 その2— (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.
- Brandon, M.T., 2002, Decomposition of mixed age distributions using BINOMFIT. *On Track*, **24**, 13-18.
- Chen P.J., 1994, Cretaceous conchostracan faunas of China. *Cretaceous Research*, **15**, 259-269.
- Chen P.J., 1996, Lower Cretaceous conchostracans of SW Japan. *Bull. Kitakyushu Mus. Nat. Hist.*, **15**, 1-12.
- Chen P.J. & Suzuki, S., 1998, A new species of *Nemestheria* (Crustacea, Conchostraca) from the Aioi Group (Cretaceous) of Okayama, Japan. *Paleontological Research*, **2**, 25-29.
- Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. & Fan, J.-X. (2013; updated) The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Episodes* **36**: 199-204.
- 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.
- Hayashi, K., 2001, Ostracode biostratigraphy of the Lower Cretaceous Wakino Subgroup in northern Kyushu, Japan. *Paleontological Research* **5**, 143-162.
- Hayashi, K., 2006, Nonmarine ostracode zonation and long-distance correlation based on analysis of regional ostracode successions in China, Korea, Japan, and Mongolia. *Cretaceous Research*, **27**, 168-188.
- 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・フィッショ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 dating). 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.
- 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.)
- Kusuhashi, N., Tsutsumi, Y., Saegusa, H., Horie, K., Ikeda, T., Yokoyama, K. and Shiraiishi, 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>.
- 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.
- 松浦浩之・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.
- 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, Publishers*), 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 (*Chikyū*), **16**, 159-168.
- 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*), no. 8, 34-46.
- Salvador, A. (ed.), 1994. *International Stratigraphic Guide. The International Union of Geological Sciences and the Geological Society of America*, Inc. Boulder, Colorado, 214 p.
- 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.
- 田村 実(Tamura, M.), 1990b, 西南日本非海生二枚貝フォーナの層位学的・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 (*Mem. Fac. Edu. Kumamoto Univ., Nat. Sci.*), **39**, 1-47.
- 通商産業省(Ministry of Trade and Industry) 資源エネルギー庁, 1988, 播但地域 (Bantan District). 昭和 62 年度広域地質構造調査報告書, 178 p.
- 弘原海清・栃本泰治・升本眞二(Wadatsumi, 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 age of the Sasayama Group). 日本地質学会第 90 年学術大会演旨 (*90th Annual Meet. Geol. Soc. Japan*), 185.
- Yamada, T., Legnand, J. and Nishida, H., 2018, Late Early Cretaceous (Albian) Sasayama Flora from the Sasayama Group, Hyogo Prefecture, Japan. *Paleontological Research*, **22**, 112-128.
- 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.

*English translation from the original written in Japanese

Abstract

Since the Sasayama Group is non-marine deposits, it is difficult to determine its geologic age that is originally based on the change of marine animal fossils. Therefore biostratigraphy with non-marine fossils and measurement of radiometric age by various methods have been performed. As a result, it has been clarified that it is fluvial deposits of the Albian to Cenomanian mountain basin. However, due to the variety of methods of age determination and the difficulty, it is sometimes considered that arguments are still divided regarding the age. In this paper, based on the latest research on stratigraphy, the various chronologies presented in the previous researches are organized by clarifying the collection points and horizons of the samples for dating. Consequently it turned out that the cause of confusion in the argument is the lack of stratigraphic data or geographical information with the precision that can be compared with other age data. In addition, as geological results, it was clarified that Albian / Cenomanian, that is, the Early Cretaceous / Late Cretaceous boundary is located near the uppermost part of the Sawada Formation of the Sasayama Group.

Key words: Sasayama Group, chronology, Albian/Cenomanian boundary, Ohyamashimo Formation, Sawada Formation, radiometric age, fossil