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

Abstract

小林文夫* 後藤 篤**

Fumio Kobayashi and Atsushi Goto***

2008年5月1日受付.
2008年10月2日受理.

* 兵庫県立大学自然・環境科学研究所地球科学研究部門

Division of Earth Science, Institute of Natural and Environmental Sciences, University of Hyogo, Sanda 669-1546, Japan

** 兵庫県立大学大学院生命理学研究科地球環境科学部門地球テクトニクス講座

Laboratory of Global Tectonics, Graduate School of Life Science, University of Hyogo, 2167 Shosha, Himeji, Hyogo 671-2280, Japan

Corresponding author: F. Kobayashi,
kobayasi@hitohaku.jp

The Lower Formation of the Sasayama Group, a non-marine Lower Cretaceous equivalent of the Kanmon Group, is well exposed along the Sasayama-gawa River in the Kamitaki-Shimotaki area, west of the Sasayama Basin, east-central Hyogo Prefecture, Southwest Japan. Siliciclastic rocks of the Lower Formation in the area are red-brown, well bedded, and several tens to hundreds meters thick. They are structurally repeated by gentle bending, and are unconformably overlain by the Upper Cretaceous Arima Group missing the Upper Formation of the Sasayama Group. Lithic clasts of the conglomerate in the Kamitaki-Shimotaki area are more variable than in the Sasayama Basin, and consist of limestone, meta-basaltic rocks, granite, schist and so on that are rare or absent in the Sasayama Basin. Paleogeographically, the formation in the two areas was most likely deposited in independent river systems on the basis of the remarkable difference of their composition of the conglomerate.

The K-Ar age of 271 Ma for phengite concentrate was obtained from a schist cobble from the conglomerate of the Lower Formation of the group. On the basis of the chronologic distribution of the schist in the Sangun Metamorphic Terrane of SW Japan, this cobble suggests its derivation from the Renge Belt with age of ca. 300 Ma, the oldest and northernmost unit of the terrane, which is now distributed more than 50 km north of the Kamitaki-Shimotaki area. The occurrence of this 271 Ma cobble is explained under an assumption that the original storied structure of the pre-Cretaceous nappe pile including the Renge Belt had been built up by the deposition of the Sasayama Group and the Renge Belt was exposed at least within the ancient depositional basin of the Kamitaki-Shimotaki area of the Sasayama Group.

Key words: Sasayama Group, non-marine Cretaceous, Kamitaki-Shimotaki area, K-Ar age, Renge Belt, lawsonite

はじめに

西南日本内帯の基盤の三郡変成岩類や先白亜紀付加体, ならびに浅海成三疊系・ジュラ系を不整合に覆う下部白亜系は, 山口・福岡両県に広く分布する関門層群に代表される。関門層群は, 下部では淡水性軟体動物や貝エビ化石を, 上部では多量の火山性物質をそれぞれ含む雑色の礫岩・砂岩・泥岩からなり, 上部白亜系酸性火山岩類・凝灰岩類に覆われる (Hase, 1960)。関門層群に対比される下部白亜系は広島・岡山・兵庫県に点々と分布している。兵庫県では県中東部に分布し, 篠山層群と呼ばれている。篠山層群は下部層と上部層に2分され, 兵庫県篠山市の篠山盆地とその西方の兵庫県丹波市上滝一下滝地域に分断分布するが, 上部層は後者には分

布しない (栗本ほか, 1993)。関門層群をはじめとするこれら西南日本内帯の非海成白亜系の層相と層厚は堆積盆地内で側方に変化し, 同年代層でもそれらは各堆積盆地間で大きく異なることがふつうである。篠山盆地と上滝一下滝地域の篠山層群下部層は, 超丹波帯構成層を介して2.5 kmしか離れておらず, いずれも赤褐色の碎屑岩により特徴づけられる。しかしながら, 両地域の間で, 層相・地質構造・上下層との層位関係などは異なる (吉川, 1993; 栗本ほか, 1993)。吉川 (1993) は上滝一下滝地域の下部層を篠山盆地の篠山層群下部層の下部に対比し, “南西に開いた複向斜構造” を想定しているが, 篠山盆地で見られる凝灰岩層の介在が確認されないこと, 有効な鍵層がないことなどから層序や構造に関して残された課題は少なくない。

Fig. 1. Map showing the tectonic division of pre-Cretaceous basement rocks in Hyogo Prefecture and the location of the area shown in Fig. 2.a. The Sangun Metamorphic Terrane, from which the (high P/T pelitic) schist cobble in the present study was derived, is now distributed more than 50 km north of the Kamitaki-Shimotaki area.

上滝一下滝地域の篠山川河床に露出する篠山層群下部層の赤褐色泥岩層は、最近ティタノサウルス形類の恐竜化石が発見され、その発掘作業が進められていることから、全国的な注目を集めている（三枝ほか, 2007）。また、下部層の礫岩層に含まれる石灰岩礫のほとんどすべては秋吉テレーンの海山石灰岩に由来することが判明した（Kobayashi and Adachi, 2007）。秋吉・帝釈・阿哲などの秋吉テレーンペルム紀付加体に属する石灰岩体は兵庫県には分布せず、篠山盆地から最短距離にある同テレーンの阿哲石灰岩体は約 150 km 西に位置している。さらに、本文で報告するように、恐竜化石含有層直下の礫岩層から 271 Ma の K-Ar 年代を示す結晶片岩の礫が見出された。結晶片岩や石灰岩のように物理的風化や化学的風化に対する抵抗力の小さい岩石が礫として見出されることから、白亜紀前期の篠山層群堆積時の後背地の地質は、白亜紀後期の大規模な火成活動によってその大部分は失われてしまったであろうが、現在の地質（Fig. 1）とは大きく異なっていたことが示唆される。同時に、これらの礫岩の産出は西南日本のナップパイル形成過程の議論に制約条件を与えることになる。

本文では、これまで詳細不明であった上滝一下滝地域の篠山層群下部層の層序と層相を記載し、篠山盆地のものと比較する。そして、今回あらたに見出された 271 Ma の結晶片岩

礫を記載し、広域地質の視点から、この礫の供給源やこの礫から見た篠山層群堆積時の後背地の地質を考察する。

篠山層群概説

篠山層群は、兵庫県中東部の篠山盆地とその西方の丹波市山南町上滝一下滝地域に分布し、丹波テレーンと超丹波テレーン構成層がなす向斜軸部に位置している（Figs. 1, 2）。篠山盆地の北側と西側では超丹波テレーンのジュラ紀整然層（味間層）を不整合に覆い、盆地南側には丹波テレーンのジュラ紀後期整然層（高城山層）が分布している。上滝一下滝地域の篠山層群は上部白亜系有馬層群に不整合に覆われるが、篠山盆地では両層群が接することはない（吉川, 1993; 栗本ほか, 1993）。

篠山盆地の篠山層群は層厚 1,500 m 以上で、下部層と上部層に 2 分され、盆地中央部に向かって上位の地層が累重する単純な向斜構造をつくっている。下部層は層厚 1,300 m で、礫岩・砂岩・泥岩、および粗粒相（礫岩・粗粒砂岩）と細粒相（細粒砂岩・泥岩）の互層からなる。それらの多くは赤褐色で、最大層厚約 20 m 以上の白色～淡青緑色の流紋岩質凝灰岩を 3 層以上はさんでいる。上部層は盆地東部にだけ分布し、層厚約 250 m で、下部は角閃石安山岩の火山礫凝灰岩や凝灰角礫岩・細粒凝灰岩・凝灰質砂岩・礫岩から、上

Fig. 2. a: Geological map from the Sasayama Basin to the Kamitaki-Shimotaki area (simplified from Kurimoto et al., 1993). The location of the route map in Fig. 2b is shown by a bold line. b: Route map of the Lower Formation of the Sasayama Group along the river floor of the Sasayama-gawa River in the Kamitaki-Shimotaki area. The locations of the two routes (A-A' and B-B') of the stratigraphic columns shown in Fig. 3 are indicated by a doubled line.

部は泥岩および細粒砂岩からなる (吉川, 1993)。

上部層は貝エビ化石と植物化石を産し、軟体動物化石は上部層と下部層最下部から知られている。下部層の流紋岩質凝灰岩のジルコンのフィッシュトラック年代は 139 Ma と 136 Ma, 上部層の安山岩角礫・安山岩火山岩礫凝灰岩の角閃石の K-Ar 年代は 100 Ma と 109 Ma である。それゆえ、篠山層群はジュラ紀末期の Tithonian から白亜紀最前期の Berriasian に堆積を始め、白亜紀前期の Aptian から Albian に上部層の安山岩火山活動があったと考えられている (吉川, 1993; 栗本ほか, 1993)。

上滝—下滝地域の篠山層群下部層

1. 篠山川河床の地質概説

上滝—下滝地域の篠山層群下部層の分布域は東西 3 km, 南北 3.5 km の範囲に及ぶが、篠山川河床を除くと露出状況はよくない。西方と南方は広域にわたり上部白亜系有馬層群阿草層に被覆されている。篠山川河床の下部層は、低位段丘堆積物に覆われているため、北方の上滝北部に分布する下部層や南方の有馬層群阿草層との接触関係は地表では見られない。河床沿いにはほぼ東西に連続的に好露出する下部層は水平から 35° 傾斜し、褶曲軸の方向が多様で小規模な背斜・向斜構造を呈する。本層は赤褐色を主体とした礫岩・砂岩・泥岩、ならびに粗粒相と細粒相の互層からなる (Fig. 2)。

これら緩傾斜層は、幅 10 m 未満の岩脈に貫入され、熱水変質を受けている。砂岩基質部や石英・チャートを除く構成粒子、および礫岩の基質部は程度の差こそあれ例外なく緑泥石化・方解石化している。変質の程度は岩脈からの距離に依存すると予想されたが、そのような傾向は必ずしも見られなかった。多くの岩脈に貫入され、有馬層群とも近接している上久下小学校西方の下部層は、上流側の下部層よりも顕著な熱水変質を受けている。

篠山川河床では、下部層の東縁は超丹波テレーンのジュラ紀整然層 (味間層) と阿草断層で接し、断層沿いには石英斑岩や珪長岩が貫入している (Fig. 2)。味間層も小規模ながら、篠山層群下部層と同様に、岩脈に貫入されている。篠山川河床の味間層は破断された砂岩・泥岩・砂泥互層からなり、剪断変形の著しい部分では、砂岩はレンズ状・ブロック状になっている。砂岩や泥岩は熱水変質を受けていないか、またはその影響は篠山層群下部層のものに較べはるかに小さい。黒色泥岩のほかに赤褐色や青緑色の泥岩層が見られるが、顕著な変形度の違いから篠山層群下部層との識別は容易である。

篠山川河床の分布域西縁の下部層は上部白亜系有馬層群阿草層と不整合関係にあると考えられる。ここでの阿草層基底部は礫岩からなり、上位には岩片を含み結晶片に富む流紋岩質凝灰岩の厚層が重なる。阿草層の礫岩層は、厚さ約 10 m の基質支持の礫岩からなり、大半が流紋岩や流紋岩質凝灰岩の小礫～大礫で占められる。それらの最大径は 80 cm 以上に及び、淘汰度の低い暗緑色から緑色で凝灰岩質の細礫岩・砂岩・泥岩を基質とするが、礫と基質の占める割合は場所により変化する。篠山層群由来の赤色・緑色の泥岩礫や砂岩礫は

少量混入しているが、基盤の先白亜系由来の礫は含まれていない。構成礫のほかに、礫径、色調、基質の岩質の大きな違いから、阿草層基底部の礫岩は篠山層群下部層の礫岩とは容易に区別される。

上滝北方では、上滝川とその支流に暗赤褐色の礫岩が小露出している。石灰岩礫などの礫構成や岩相から、後述する篠山川河床の礫岩と区別することはできない (Kobayashi and Adachi, 2007)。篠山川河床の篠山層群下部層は小規模ながら緩い屈曲構造を繰り返していることや上滝—下滝地域の下部層の全体の構造が不明なため、両者の厳密な上下関係の判定も難しい。栗本ほか (1993) は上滝北方の礫岩層は岩脈を介して北側に分布する超丹波テレーンのベルム紀付加体 (柏原層) と不整合関係にあると考えている (栗本ほか, 1993 の第 16 図)。

2. 篠山川河床の下部層層序

篠山川河床の下部層は、数 cm から数 10 cm 単位で成層し、礫岩・砂岩・泥岩、および粗粒相と細粒相の互層からなり、堰の建設により水没した部分を除くと、ほとんど途切れることなく連続的に露出している。礫岩はすべて赤褐色、砂岩と泥岩の大半は赤褐色で、所により緑色、黒色である。地層の一般走向は篠山川の流路と調和的な傾向が認められ、所により異なるが東西方向が卓越し、南北両側に 0～35°, ごく稀に 40～50° 傾斜する。地層の緩傾斜方向が両翼で明らかに逆になる背斜・向斜は 4 個所で確認されるほか、傾斜方向は基本的には同じであるが、走向が数 m～100 m の範囲で徐々に変化する湾入状の屈曲構造が識別される (Fig. 2)。褶曲軸の軸部を中心に、河床沿い全域で小断層が観察されるが、下部層の構造を支配し、10,000 分の 1 スケールの地質図に投影できるような顕著な断層は見られない。また、通常、地層の走向傾斜に斜交する、幅 10 m 未満の、ひん岩・安山岩、稀に流紋岩・石英斑岩の岩脈に頻繁に貫入されている。

篠山川河床沿いの篠山層群下部層は上久下小学校付近で分布が途切れるが、全体として厚さ数 10 m～数 100 m 単位で、緩やかにうねりながら同一層準が繰り返して分布していると考えられる (Fig. 2)。また、JR 福知山線下滝駅南方や東方のように、礫岩や粗粒砂岩のような粗粒相に乏しく赤褐色泥岩の卓越する細粒岩相や、阿草北西方で見られる礫岩や粗粒岩相の大小のブロックを多く含むほかはほとんど泥岩からなる細粒岩相は、隣接するルートで観察される粗粒相卓越部の周辺相と考えられる。このような下部層の構造から、地層の成層が最も明瞭でかつ屈曲の度合いが小さい、旧上久下発電所跡地付近の層厚 92 m の地層群をもって上滝—下滝地域の篠山川河床沿いの層序を代表させることにする (Figs. 2, 3)。この層厚 92 m の地層群は篠山盆地の篠山層群下部層のどの部分に対比されるかは不明である。

旧上久下発電所跡地付近のルートにおける基底部から上方 35 m の層序は以下の通りである (括弧内の○囲みの番号は Fig. 3 の地質柱状図左側に付した番号に対応する)。

基底部は細粒礫岩または粗粒砂岩の薄層を介する厚さ 12 m の赤褐色塊状泥岩 (①) からなる。塊状泥岩の下部は

Fig. 3. Columnar sections of the Lower Formation of the Sasayama Group along the routes A-A' and B-B'. The circled numbers and alphabets in the left row of the table show the marks of lithologic units.

緑色ひん岩の岩脈に貫入され、上部の泥岩には方解石の細脈が不規則に頻繁に発達し、生痕化石や植物化石片を産する。最上部の泥岩は細礫入りの砂岩に削り込まれている。さらに両者は厚さ約 3.2 m の礫岩 (②) に削り込まれている (Fig. 4)。K-Ar 年代を測定した結晶片岩礫は、この礫岩層の最上部から採取した (Fig. 2.b)。また、この礫岩層の中に、赤色の花崗岩・ハンレイ岩など篠山盆地周辺に分布しない岩石が礫として含まれている。その上位に恐竜化石を含む厚さ 2.3 m の赤色泥岩 (③) が重なる。この赤褐色泥岩もソールマークの発達した細礫入りの厚さ 2.8 m の砂岩 (④) に削り込まれている。さらに、厚さ 2.4 m の赤褐色泥岩～細粒砂岩 (⑤) を経て、厚さ 1.7 m の砂岩主体の粗粒相 (⑥) に移り変わる。この粗粒相は下位から上位へ、上方細粒化する中粒

～細粒礫岩 (厚さ 1.1 m)、シルト岩 (10 cm)、6 回の上方細粒化堆積サイクルが識別される粗粒相 (35 cm)、生痕化石の密集する粗粒～細粒砂岩 (15 cm) と岩相変化する。この厚さ 1.7 m の粗粒相の上位には赤褐色細粒砂岩の薄層 2 枚を挟む赤褐色泥岩 (⑦) が重なる。泥岩層上部には、泥岩・砂岩と互層する厚さ 2.5 m と 50 cm の細粒～中粒礫岩のブロックがスランプ礫として産する (Fig. 5)。その上位には生痕化石や植物化石片を含み、平行ラミナ・斜交ラミナのよく発達した細粒～中粒砂岩 (⑧) が重なる。

以上 (①～⑧) が含恐竜化石泥岩層を含む、旧上久下発電所跡地付近のルート下部 35 m の層序であるが、各層の構成・厚さ・累重様式に多少の相違は認められるものの、似たような層相と層相変化はさらに上位の地層群でも観察される

Fig. 4. The basal part of the conglomerate (bed ②) scraping off the uppermost part of the mudstone (bed ①).

Fig. 5. Slump blocks (cg) of the granule to pebble conglomerate isolated within red brown mudstone (bed ⑦). The larger block is as thick as 2.5 m.

(Fig. 3). このルートで最大層厚の礫岩 (⑬) は厚さ 4.2 m で、下位の礫岩 (②) と同様に下位の赤褐色泥岩層を削り込み、構成礫も似ているが、平均礫径がより小さい。下部 1 m では粗粒砂岩と互層し、中部・上部では厚さ 10 cm 以下の砂岩と互層するか、連続性に乏しい砂岩の薄層をはさんでいる。細～中粒礫岩の大小様々な (最大長径 4.2 m) ブロックからなるスランプ礫は 3 層の泥岩 (⑭, ⑯, ⑰) に介在する。⑬の泥岩の中部と ⑰の泥岩の下部から中部には生痕化石が含まれている。このルートでは、最上位の泥岩 (⑰) の上部 1 m の黒色泥岩を除くと、泥岩やシルト岩のほとんどすべては赤褐色である。向斜軸部に位置するこの黒色泥岩は幅 1.2 m のひん岩の岩脈に貫入されている。

上久下小学校西方の河床沿いに露出する下部層最上部は、上流側の下部層と同様に緩やかに屈曲しているが、より変形度が高く、岩脈の貫入頻度も高い。上久下橋西方 150 m より下流側では、下位から上位へ、次のような地層群が累重す

る (括弧内の○囲みのアルファベットは Fig. 3 の地質柱状図左側に付した記号に対応する)。最下部は厚さ 8 m 以上で、幅 2 m のひん岩に貫入された、砂岩の薄層を挟む緑色から赤褐色の泥岩 (A) からなり、その上位に 1.3 m の緑色砂岩と泥岩、1.2 m 以上の赤色・緑色の泥岩が重なる。この厚さ 2.5 m 以上の部分 (B) は、幅が 20 cm から 2 m に変化する、ひん岩の岩脈に不規則に貫入されている。このひん岩を介して、さらに上位に、厚さ約 2.6 m の一部赤色の緑色泥岩 (C), 最上位の厚さ 1.5～1.8 m の緑色細粒砂岩 (D) が累重する (Fig. 3)。最上位の緑色細粒砂岩には小円礫が混入しているが、すべてが緑色から灰緑色の泥岩と砂岩からなることから、同時礫と見なされる。ここでの篠山層群下部層最上部は、上部白亜系有馬層群阿草層基底部の厚さ約 10 m の礫岩 (E) と接している (Fig. 6)。前述したように、礫の大半は流紋岩・流紋岩質凝灰岩の中礫・大礫・巨礫からなる。この礫岩は、所により多くの岩片を含み、弱く溶結した結晶片

Fig. 6. Unconformity between the greenish fine-grained sandstone (bed ④) of the Lower Formation of the Sasayama Group and the overlying basal conglomerate (bed ⑤) of the Akusa Formation of the Arima Group.

に富む流紋岩質凝灰岩の厚層 (⑤) に覆われる。河床に露出する篠山層群下部層と阿草層基底の間には侵食面は観察されない。しかしながら、両者の地層年代差と上部層が欠如する事実から、篠山層群下部層と阿草層基底の礫岩は不整合関係にあると考えられる。

3. 篠山盆地の篠山層群下部層との比較

碎屑岩の色調が赤色系であること、層理面の発達がよく、砂岩や泥岩には平行ラミナ・斜交ラミナがよく発達していること、一部の泥岩や細粒砂岩は生痕化石を多産し、礫岩や粗粒砂岩に削り込まれていることなど、上滝一下滝地域と篠山盆地の篠山層群下部層の層序・層相には多くの類似点が認められる。一方、後述する礫岩層の構成礫のほかに、上滝一下滝地域のものは以下の諸点で篠山盆地のものと異なっている。

1. 下部層の構造が異なり、篠山盆地から連続する南北翼の対称な向斜構造は認められない。上滝一下滝地域の下部層は厚さ数 10 m から数 100 m で、緩やかに屈曲しながら同一層準が数回繰り返し分布していると考えられる。
2. 篠山層群上部層を欠き、下部層は直接、有馬層群阿草層に不整合で覆われる。
3. 地層の傾斜は、まれに $40 \sim 50^\circ$ のことはあるが、ほとんどの場合 $0 \sim 35^\circ$ で、篠山盆地の下部層のように $50 \sim 90^\circ$ と (吉川, 1993) 急傾斜していることはない。
4. 篠山盆地で 3 層以上知られている白色～淡青緑色の流紋岩質凝灰岩の介在は確認されなかった。
5. 堆積時のスランプ礫とみなされる大小様々なブロックが篠山盆地の下部層よりも多く含まれている。
6. より多くの岩脈に貫入されているため、礫岩の基質部や砂岩は篠山盆地の下部層のものよりも顕著な熱水変質を受けている。泥岩も、より多数の不規則な方解石の細脈に貫入されている。

4. 礫岩層の構成礫

上滝一下滝地域と篠山盆地の礫岩層は、淘汰度の低い、細礫～中礫主体の亜角礫～亜円礫からなること、多くの砂岩・泥岩の同時礫が混入している点で共通しているが、先白亜紀の礫種構成で明瞭な違いが認められる。篠山盆地では付加体起源の砂岩・泥岩・チャート礫が多いが、上滝一下滝地域ではこれらに加え、篠山盆地ではまれなあるいは見られない石灰岩・結晶片岩・変玄武岩類・花崗岩類の礫がごくふつうに認められる。最大礫径は石灰岩礫では 20 cm 以上、結晶片岩と変質した赤緑色玄武岩では約 15 cm に及び、赤色の花崗岩礫には 30 cm を越えるものがある。石灰岩礫はほとんどすべての礫岩層に含まれている。量的には少ないが、ハンレイ岩・珪岩、さらには顕微鏡下では未確認であるが、蛇紋岩と思われる礫も含まれている。

これら多様な礫、特に石灰岩・蛇紋岩・緑色岩・結晶片岩など物理的・化学的に風化・侵食に対し相対的に抵抗力の小さい中礫や大礫の存在は、それらの由来や篠山層群下部層堆積時の古地理や後背地の地質構成を考察する際に重要である。石灰岩礫では、岩相と含有化石から、10 個所で採集された百数十の礫はすべて秋吉テレーンの海山石灰岩に由来すること、それらのうち小型有孔虫とフズリナ化石により年代が決められたものは石炭紀前期末 (Serpukhovian) とペルム紀前期 (Cisuralian) に限定されることが明らかになった (Kobayashi and Adachi, 2007)。

結晶片岩礫の K-Ar 年代

1. 年代測定試料

篠山層群堆積当時の後背地の地質を明らかにするため、前述の石灰岩礫のほかに、他の礫についてもそれらの由来を調べている。ここでは、結晶片岩礫に含まれるフェンジャイトを濃集した試料の K-Ar 年代測定結果を報告する。測定試料は、旧上久下発電所跡付近の厚さ約 3.2 m の礫岩層 (前述の

Table 1. K-Ar ages of a schist cobble from the conglomerate bed in the Lower Formation of the Sasayama Group in the Kamitaki-Shimotaki area.

Sample No. Locality	Fraction	Potassium (wt. %)	Rad. ^{40}Ar (10^{-8}ccSTP/g)	K-Ar age (Ma)	non-rad. ^{40}Ar (%)
上滝 Cg-A ②	0.5–2 μm	4.217 $\pm$ 0.084	4795 $\pm$ 46	271.5 $\pm$ 5.6	3.8
			4780 $\pm$ 46	270.7 $\pm$ 5.6	4.2

$$\lambda_e = 0.581 \times 10^{-10}/\text{year}, \lambda_\beta = 4.962 \times 10^{-10}/\text{year}, {}^{40}\text{K}/\text{K} = 1.167 \times 10^{-4} \text{ after Steiger and Jäger (1977).}$$

礫岩層②) から採集された、長径 15 cm、短径 10 cm、厚み約 5 cm の扁平な暗灰色結晶片岩礫である。この結晶片岩礫は、石英長石質で、石英・曹長石・白雲母を主成分とし、雲母に富む層と石英に富む層の積み重なりからなっている。これらのほかに、フェンジャイト質雲母・緑泥石・ローソン石・チタン石・燐灰石・石墨および鉄酸化物を含んでいる。周辺の地層と同様に、この礫も方解石脈によって切られている。ローソン石を含むことから、この礫は低温高压の変成帯に由来するといえる。

2. 測定方法と結果

フェンジャイトを濃集した試料の K-Ar 年代は Itaya et al. (1991) の方法に従って蒜山地質年代学研究所で測定した。今回のフェンジャイト試料は低度の変成作用に由来しており、構成鉱物の粒径が小さかったため、水簸により集められた 0.5–2 μm の粒径のものを測定試料とした。このため、カリウムの含有量はフェンジャイトの理想的な値よりもかなり低いが、2 回の測定による再現性が高く年代値に問題はない。1 つの試料に対して 2 度のアルゴン同位体比を測定したが、それで得られた 2 つの年代値は測定誤差の範囲で良く一致し、271 Ma となった (Table 1)。表には誤差を 1 σ で示した。

考 察

1. 結晶片岩礫の供給源

測定試料は、片理の発達がよく、物理的な風化に対する抵抗力が小さいことから、礫として残るためには比較的近い場所に供給源があったはずである。篠山層群下部層堆積時に露出していたと思われる最も可能性の高い高压変成岩は、三郡テレーンに属するそれらであったと考えられる。三郡テレーンは、詳細な年代測定の結果から、およそ 300 Ma の年代を示す蓮華帯とおよそ 200 Ma の年代を示す周防帯に分けられている (Nishimura, 1998)。低温高压で安定なローソン石はどちらの地質体からも見出されており、その産出によってどちらに由来するかを決めることは出来ない。しかしながら、結晶片岩礫のフェンジャイトを濃集した試料から得られた 271 Ma の K-Ar 年代から、この礫は、蓮華帯に由来したと結論できる。ローソン石や緑泥石などの、比較的低温を示す変成鉱物を含むことから、この年代は、冷却年代ではなくて、変成作用の年代を示すと考えられる。現在、蓮華帯に属する結晶片岩は、九州の木山 (Miller et al., 1961; 梶島ほか, 1995) と若宮 (柴田・西村, 1989)、山口県、長門構造帯の豊ヶ岳

(柴田・西村, 1989)、岡山県大佐山蛇紋岩メランジュ (Tsumimori and Itaya, 1999)、鳥取県若桜地域の志谷層 (柴田・西村, 1989)、飛騨外縁帯 (棚座ほか, 2004) から見出されている。上越帯の谷川岳にも 284 Ma と 308 Ma の低温高压変成岩 (Yokoyama, 1992) が分布しており、棚座ほか (2004) は、これも蓮華帯に属すると考えた。また、西南日本外帯の黒瀬川帯にも、300 Ma の年代を示す結晶片岩が知られており (植田ほか, 1980)、蓮華帯の構造的な外座層と考えられている (例えば、磯崎・丸山, 1991)。

蓮華帯の高压変成岩類は、蛇紋岩と密接に伴って産出している。西南日本内帯から外帯、さらには、谷川岳を含めれば東北日本に達するような蓮華帯の広域的な分布を考慮に入れるならば、篠山層群の上滝一下滝地域の堆積盆の後背地にも蛇紋岩メランジュの構成要素である蓮華帯が露出していたと想定できるであろう。また、結晶片岩類は物理的な風化に対する抵抗力が小さいため長距離の輸送に馴染まないことから、現在、直線距離でも篠山層群から 50 km 以上離れた三郡テレーン (Fig. 1) から結晶片岩礫が運ばれてきたと考えた必然性はない。

結晶片岩礫のほか、上滝一下滝地域から多産する石灰岩礫の供給源についても同様なことがいえ、Kobayashi and Adachi (2007) は下部層の礫岩層に含まれる石灰岩礫のほとんどすべては、現在では侵食により消失した、秋吉テレーンの海山石灰岩に由来すると結論した。西南日本のナップパイルは低角である (例えば、磯崎・丸山, 1991; 小林, 1997) ことから、篠山層群堆積時には、現上滝一下滝地域の近傍に秋吉テレーンや蓮華帯の構成岩石が露出していたと考えられる。すなわち、271 Ma の結晶片岩や石灰岩の礫は、当時、現在の分布域よりも外側 (南方) に張り出していたと思われる秋吉テレーンや蓮華帯に由来すると考えられる。下部層に含まれる先白亜紀の多様な礫は、堆積盆後背地の地質やナップパイルの形成過程を考察するにあたり重要であり、無視できない制約条件を与えることになる。

2. 河川堆積物としての篠山層群下部層

上滝一下滝地域と篠山盆地の篠山層群下部層の碎屑岩は赤色系で、層理面の発達がよく、砂岩や泥岩には平行ラミナ・斜交ラミナがよく発達している。また、一部の泥岩や細粒砂岩は生痕化石や植物化石片を産し、礫岩や粗粒砂岩に削り込まれていること、同時礫を含むことなどの諸点で類似性が認められる。さらに、細粒相には大小様々なスランプ礫岩がしばしば含まれている。より詳しい堆積学的な検討は今後の課

題であるが、層相や層相の側方・上下変化から考えて、篠山層群下部層の堆積物は河川堆積物であると見なされる。

3. 上滝一下滝地域と篠山盆地の構成礫のちがいが

上滝一下滝地域と篠山盆地の篠山層群下部層は、現在、わずかに 2.5 km しか離れていないにもかかわらず、礫岩の構成礫種は大きく異なる。前者には、両地域で共通に認められる付加体起源の砂岩・泥岩・チャートの礫に加えて、後者では見られないか、ごくまれな礫種が構成要素として含まれている。それらは、秋吉テレーンの海山石灰岩に由来する石灰岩礫、蛇紋岩メランジュに伴って産する蓮華変成帯起源の結晶片岩礫、さらに、そのマトリクスである蛇紋岩の礫である。また、花崗岩類の大礫や中礫も含まれている。これら構成礫種の相違は、現在、2.5 km の距離しか離れていない篠山盆地と上滝一下滝地域間の堆積時の後背地の地質構成の違いを示唆している。篠山盆地の後背地には、砂岩・泥岩・チャートを主体とした先白亜紀付加体構成岩石が大半を占めていたと思われる。一方、上滝一下滝地域ではそれらに加えて、秋吉テレーンの石灰岩類、300 Ma の年代で代表される蓮華変成帯の蛇紋岩メランジュや花崗岩など、より多様な地質体が分布していたと推定される。

両地域の層相や層厚の相違に関しては、関門層群などで見られるように (Hase, 1960), 同一堆積盆地内での側方変化により説明されると思われる。しかしながら、両地域は近接しているにもかかわらず、礫岩層の構成礫のほかに、地質構造も大きく異なる。これらのちがいがいについては、両地域の水平距離の短縮をもたらすような篠山層群堆積時あるいは堆積時以降の構造運動 (例えば横ずれ運動など) が関与していたかもしれない。しかしながら、かつて連続していたと思われる篠山層群が剝剥され、現在では、上滝一下滝地域と篠山盆地間の連続性が断たれているため、構造差を生じた要因については憶測の域を脱しない。構成礫種の顕著なちがいに关しては、現段階では、このような論証困難な要因を想定せずとも、上滝一下滝地域と篠山盆地地域の白亜紀前期堆積盆に流入していた河川 (水系) が異なっていたと推測するならば充分に説明可能である。

ま と め

1. 上滝一下滝地域の下部白亜系篠山層群下部層は、厚さ数 10 m から数 100 m で、屈曲しながら同一層準が数回繰り返し分布する。また上部層を欠き、上部白亜系有馬層群に不整合に被われる。礫岩層の礫岩は、篠山盆地のものには稀な、またはほとんど見られない、石灰岩・結晶片岩・花崗岩など多様な礫を含んでいる。これらの点で、篠山盆地の下部層と異なる。
2. 恐竜化石含有層直下の礫岩層から採集された、結晶片岩礫のフェンジャイト濃集物の K-Ar 年代は 271 Ma である。
3. この結晶片岩礫から上滝一下滝地域の篠山層群堆積盆の後背地に蛇紋岩メランジュの構成要素である三郡テレーン蓮華帯が露出していたと想定される。
4. この礫の由来については、直線距離でも篠山層群から 50

km 以上離れた、現在の三郡テレーン分布域に求める必然性はなく、篠山層群堆積当時、現在の分布域よりも外側 (南方) に張り出していた蓮華帯に由来すると考える方がより合理的である。

5. 上滝一下滝地域と篠山盆地の白亜紀前期堆積盆に流入していた河川 (水系) が異なっていたため、両地域の構成礫種の顕著なちがいを生じたと考えられる。
6. 下部層に含まれる先白亜紀の多様な礫は、堆積盆後背地の地質や西南日本のナップパイルの形成過程を考察するにあたり重要であり、無視できない制約条件を与えることになる。

謝 辞

2 名の査読者 (桐座圭太郎氏、吉川敏之氏) と編集担当の大藤茂氏のコメントとご指摘・ご助言により本文は改善された。調査地域の 2,500 分の 1 地形図は丹波市「恐竜を活かしたまちづくり課」から提供された。K-Ar 年代測定は、(株) 蒜山地質年代学研究所によって行われ、平成 19 年度科学研究基盤研究 (C) (一般)、研究費補助金を使用した (課題番号 19540497, 研究代表者: 小林文夫)。

文 献

- Hase, A., 1960, The Late Mesozoic formations and their molluscan fossils in west Chugoku and north Kyushu, Japan. *Jour. Sci., Hiroshima Univ., ser. C*, **3**, 281-342.
- 磯崎行雄・丸山茂徳, 1991, 日本におけるプレート造山論の歴史と日本列島の新しい地体構造区分. *地質雑*, **100**, 697-761.
- Itaya, T., Nagao, K., Inoue, K., Honjou, Y., Okada, T. and Ogata, A., 1991, Argon isotope analysis by a newly developed mass spectrometric system for K-Ar dating. *Mineral. Jour.*, **15**, 203-221.
- 梶島太郎・磯崎行雄・西村祐二郎・板谷徹丸, 1995, 九州中部, 低温高圧型木山結晶片岩の K-Ar 年代の再検討. *地質雑*, **101**, 397-400.
- 小林文夫, 1997, 兵庫県の前白亜系基盤岩とその地質大構造. *人と自然*, no. 8, 19-39.
- 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*, no. 12, 17-35.
- 桐座圭太郎・後藤 篤・板谷徹丸・横山一己, 2004, 年代学から見た飛騨外縁帯の構造発達史: 高圧変成岩類の K-Ar 年代と蛇紋岩に接触変成作用を与えた花崗岩類の U-Th-Pb EMP 化学年代からの制約. *地質雑*, **110**, 580-590.
- 栗本史雄・松浦浩久・吉川敏之, 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), 地質調査所, 93p.
- Miller, J., Banno, S., Hashimoto, M. and Iwasaki, M., 1963, K-Ar ages of micas from the Sonogi, Konoha and Kiyama metamorphic terranes in Kyushu, Japan. *Japan. Jour. Geol. Geogr.*, **34**, 197-203.
- Nishimura, Y., 1998, Geotectonic subdivision and areal extent of the Sangun Belt, Inner Zone of Southwest Japan. *Jour. Metamorphic Geol.*, **16**, 129-140.
- 三枝春生・田中里志・松原尚志・加藤茂弘・小林文夫・先山 徹・佐藤裕司・半田久美子・古谷 裕・三上禎次・渡部真人, 2007, 兵庫県丹波市より産出した保存良好なティタノサウルス類の骨格化石について. *日本古生物学会 2007 年年会講演予稿集*, 14.
- 柴田 賢・西村祐二郎, 1989, 三郡結晶片岩の同位体年代. *地質学論集*, no. 33, 317-341.
- Steiger, R. H. and Jäger, E., 1977, Subcommission on Geochronology-convention on the use of decay constants in geo- and cosmochemistry. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **36**, 359-362.
- Tsujimori, T. and Itaya, T., 1999, Blueschist-facies metamorphism during

Paleozoic orogeny in southwestern Japan: Phengite K-Ar ages of blueschist-facies tectonic blocks in a serpentinite mélangé beneath early Paleozoic Oeyama ophiolite. *Island Arc*, **8**, 190-205.
 植田良夫・中島 隆・松岡喜久次・丸山茂徳, 1980, 高知市北方の黒瀬川構造帯に伴う准片岩—伊野層と結晶片岩ブロックの白雲母の K-Ar 年代. 岩鉱, **75**, 230-233.

Yokoyama, K., 1992, K-Ar ages of metamorphic rocks at the top of Mt. Tanigawa-dake, central Japan. *Bull. Natn. Sci., Ser. C*, **18**, 43-47.
 吉川敏之, 1993, 兵庫県篠山地域の下部白亜系篠山層群の層序と構造. 地質雑, **99**, 29-38.

(要 旨)

小林文夫・後藤 篤, 2008, 兵庫県丹波市上滝—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. 地質雑, **114**, 577—586. (Kobayashi, F. and Goto, A., 2008, 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. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **114**, 577—586.)

兵庫県中東部、篠山盆地西方の上滝—下滝地域の篠山川河床には、非海成の下部白亜系篠山層群下部層が好露出する。下部層赤色岩は厚さ数 10 m から数 100 m で、緩やかに屈曲しながら同一層準が数回繰り返す。また上部層を欠き、上部白亜系有馬層群に不整合で被われる。本地域の礫岩は石灰岩・変玄武岩類・花崗岩・結晶片岩など、篠山盆地のものには稀な礫を多種含む。構成礫種の違いから、本地域と篠山盆地域は、堆積時の水系を異にしていた可能性が高い。

泥質結晶片岩礫のフェンジャイト濃集物から、271 Ma の K-Ar 年代を得た。結晶片岩の年代分布から、この礫は、現在では上滝—下滝地域から 50 km 以上北に分布する、三郡テレーン最古の蓮華帯に由来すると考えられる。西南日本の階層構造の原型が下部層堆積前に完成していて、その構成要素の蓮華帯が篠山層群堆積盆地に露出していたと考えれば、今回の礫の産出は説明できる。