

## 手取層群の層序学的研究の最近の進展

佐野晋一\*

Recent advances in the stratigraphy of the Upper Mesozoic Tetori Group  
in northern Central Japan: beyond the paradigm of Maeda (1961)

Shin-ichi Sano\*

## Abstract

The uppermost Jurassic to Lower Cretaceous Tetori Group is the shallow marine to non-marine siliciclastic stratum in northern Central Japan. Abundant plant macrofossils, marine to freshwater molluscs, and terrestrial vertebrate fossils have been described from this group. The fossils from the Tetori Group represents the biota lived in mid-latitudes of the eastern margin of the Asian Continent and of the Northwest Pacific at that time. The studies of the Tetori Biota provide the clues to reconstructing the palaeobiogeography in East Asia and the Northwest Pacific.

Key words: Tetori Group, Early Cretaceous, Central Japan, East Asia, Northwest Pacific

## 1. はじめに

手取層群は、中部日本北部に分布する、浅海から非海成の陸源性砕屑岩を主体とした上部中生界である（大石 1933；前田 1961b；山田 1988；Kusuhashi et al. 2002；Fujita 2003；Matsukawa et al. 2006；松川ほか 2007；Sano 2015）。日本の中生界では珍しく、植物や無脊椎動物のほか、陸棲脊椎動物化石など、多様な化石を産することで著名で、当時の東アジアにおける陸上生態系の実態、あるいはその進化を明らかにする上で重要な存在だと考えられている（Manabe et al. 2000；Matsuoka et al. 2002；Hirano et al. 2003；Matsukawa et al. 2006；Sano and Yabe 2017）。しかし、アンモナイト類などの示準化石を産する海成層準が限られていること、数値年代測定に適した岩相に乏しいこと、大部分は非海成層からなり、岩相の側方変化が著しいため、対比がしばしば難しいことなどから、手取層群の層序や時代論については議論があり、

他地域の地質・生物イベントとの比較を困難にしている。ここでは、手取層群の層序や時代論を最近の知見（Sano 2015）に基づいて紹介するとともに、手取生物群研究の古生物地理学上の意義についても述べる。

## 2. 手取層群の層序の新しい見方

手取層群の層序は、前田（1961b）による総括以降、40年以上にわたって、その層序区分を一部修正したものを元に議論されてきた（例えば、山田 1988；Kusuhashi et al. 2002）。すなわち、手取層群は、1）飛騨帯と飛騨外縁帯の両方にまたがって分布する、2）下位から、九頭竜亜層群、石徹白亜層群、赤岩亜層群の3亜層群に区分され、この区分を手取層群の分布域全体に適用できる、3）海成層はほぼ九頭竜亜層群（バトニアン～オックスフォードイアン）に限られる、とするものである。なお、前田（1961b）以降の研究では、手取層群の層序区分および分布範囲か

2018年2月8日受付、2018年4月3日受理

\*富山大学大学院理工学研究部（都市デザイン学系）〒930-8555 富山市五福3190

投稿時：福井県立恐竜博物館 〒911-8601 福井県勝山市村岡町寺尾51-11

Department of Earth System Science, Graduate School of Science and Engineering for Research, Toyama University, 3190 Gofuku, Toyama-Shi, Toyama 930-8555, Japan

E-mail: ssano@sus.u-toyama.ac.jp

Upon submission: Fukui Prefectural Dinosaur Museum, 51-11 Terao, Muroko-cho, Katsuyama, Fukui 911-8601, Japan

ら、上部白亜系<sup>おみちだに</sup>大道谷層<sup>あすわ</sup>や足羽層群およびそれらの相当層のほか、九頭竜湖南東岸においては、美濃<sup>さもん</sup>帯左門岳ユニット（河合 1964；小林・大塚 1997）が区別されている点に注意が必要である。

手取層群における恐竜化石発見を契機に、同層群の古生物学的・層序学的研究が活発に行われるようになった（柴田ほか 2017）。前田（1952, 1961b）で示された、岐阜県荘川地域における石徹白亜層群・赤岩亜層群間の不整合関係が否定されたことをはじめ（公文・加納 1991；岐阜県恐竜化石学術調査推進委員会 1993；松川・中田 1999）、石徹白亜層群における海成層の認知（公文ほか 1994；藤田ほか 1998；公文・梅澤 2001；Fujita 2002, 2003；Sato and Yamada 2005；後藤 2007）、アンモナイト類の分類の再検討等に基づく、従来から知られる海成層の時代論の見直し（佐藤ほか 2003, 2008；松川ほか 2007；Yamada and Uemura 2008；Matsukawa and Fukui 2009；佐野ほか 2013）、放散虫化石による海成層の時代論の検証（Kashiwagi and Hirasawa 2010, 2015；Kashiwagi 2014）、碎屑性ジルコンへの SHRIMP や LA ICP-MS を利用した U-Pb 年代測定法の適用（荒川ほか 2005；松本ほか 2006；Kusuhashi et al. 2006；Kawagoe et al. 2012；竹内ほか 2015a）などにより、手取層群の層序に関する、多くの新知見が集積されつつある。これらの研究により、模式地の九頭竜亜層群に対比される後期バトニアン～オックスフォーディアンの海成層は非常に限られた範囲にしか分布せず、手取層群は主に前期白亜紀の堆積物から構成されることが明らかになった（Kusuhashi et al. 2006；松川ほか 2007；Yamada and Uemura 2008；佐野ほか 2013）。さらに、最近では、手取層群の層序の議論に前田（1961b）の亜層群区分を適用しない、あるいは前田（1961b）のいう手取層群を幾つかの層群に区分するという提案もなされている（Matsukawa et al. 2006；松川ほか 2014a；Sano 2015；山田 2017）。

前田（1961b）は手取層群の分布域を白山区と神通区に分けたが、ここでは、白山区の飛騨帯に分布する手取層群の層序や時代論を、Sano（2015）に基づいて紹介する（図 1）。各分布域におけるアンモナイト類の時代論、碎屑性ジルコン粒子を用いた LA-ICP MS 年代測定値、軟体動物化石などの産出から判断した海の影響などについてレビューした結果、本地域の中部ジュラ系～下部白亜系を 4 堆積ステージ（以下 DS）に区分することができた。すなわち、DS 1（後期バトニアン～オックスフォーディアン）—主にアンモナイト類を産する海成層；DS 2（ジュラ期末～後期オーテリビアン）—海成層を一部（ベリアシアンと後期オーテリビアン）に挟在する、主に *Myrene*

(*Mesocorbicula*) *tetoriensis* (= *Neomyrene tetoriensis* in Koarai and Matsukawa 2016) や *Tetoria yokoyamai* で特徴づけられる汽水成層；DS 3（パレミアン～アプチアン）—豊富な石英質砂岩礫（礫の詳細については鎌田（2017）を参照）を含む礫岩の発達と、*Trigonioides* や *Plicatoumio*, *Nippononaia* などの淡水棲二枚貝化石の産出で特徴づけられる淡水成～陸成層；DS 4（アルビアン～セノマニアン）—手取層群を不整合に覆う、もしくは同層群に貫入する火成・深成岩である。各分布域における海水～汽水環境から淡水環境への変化は、厳密には時期が異なる可能性があるが、広範囲で、近い時期に、同傾向の変化が生じていることから、ほぼ同時期のイベントとして捉えることができると考え、各分布域における海棲もしくは汽水棲化石の最後の産出層準に着目して DS 2 と 3 の境界を決定した。

このうち、DS 1～3 が前田（1961b）の手取層群に対応するが、DS 1 は分布が石徹白地域のみに限られるのに対し、DS 2～4 は白山区の広い範囲で認識できること、DS 1 と 2 の間にはかなりの時間間隙が存在し、かつ両者は傾斜不整合で境されていることから、DS 1 に相当する中・上部ジュラ系を九頭竜層群 [前田（1961b）の九頭竜亜層群は、元来、前田（1952）で九頭竜層群として提唱された]、DS 2～3 に相当する最上部ジュラ系～下部白亜系を手取層群（大石 1933）と区分する。なお、大石（1933）は、石徹白地域の手取統として、九頭竜層群に含まれる貝<sup>かい</sup>皿層<sup>ざら</sup>と手取層群とを明確に分けて記述している。また、DS 4 は、西南日本内帯の篠山層群や関門層群に対比される、東アジアに広域に生じた一連の火成・深成活動に対応するものと考えられる。

これに対し、神通区の飛騨帯には、九頭竜層群（オックスフォーディアン）と、これを不整合に覆う下部白亜系が分布する（例えば、松川ほか 2014a）。松川ほか（2014a）は、この下部白亜系を手取層群よりも後の堆積物と考え、神通層群と命名した。しかし、神通層群の最上部には白山区の DS 4 に相当する可能性のある赤色岩相の発達が知られるものの（例えば、茂野ほか 2004；松川ほか 2014b）、神通層群の大部分は白山区の DS 3 の上部（アプチアン）に対比され、手取層群との間に時代的な違いはほとんどない（Sano 2015）。一方で、神通層群は、白山区の手取層群とは堆積開始時期に違いがあり、白山区の DS 2 に相当する堆積物を欠くほか、後背地が異なる可能性も指摘されており（川越ほか 2014）、手取層群とは異なる堆積盆に堆積したのと考えられるため、ここでは手取層群から区別して取り扱う（Sano 2015）。なお、飛騨外縁帯朝日（泊）地域には、時代および岩相が神

通層群および白山区の DS 3 上部～DS 4 に比較できる下部白亜系が分布しており（竹内ほか 2015a, b, 2017）、アプチアンには、飛騨帯と飛騨外縁帯は既に

近接して存在しており、これらの上に堆積盆が広く形成、あるいは拡大したことが示唆される（図 2）。手取層群は飛騨帯だけでなく、飛騨外縁帯にも分布

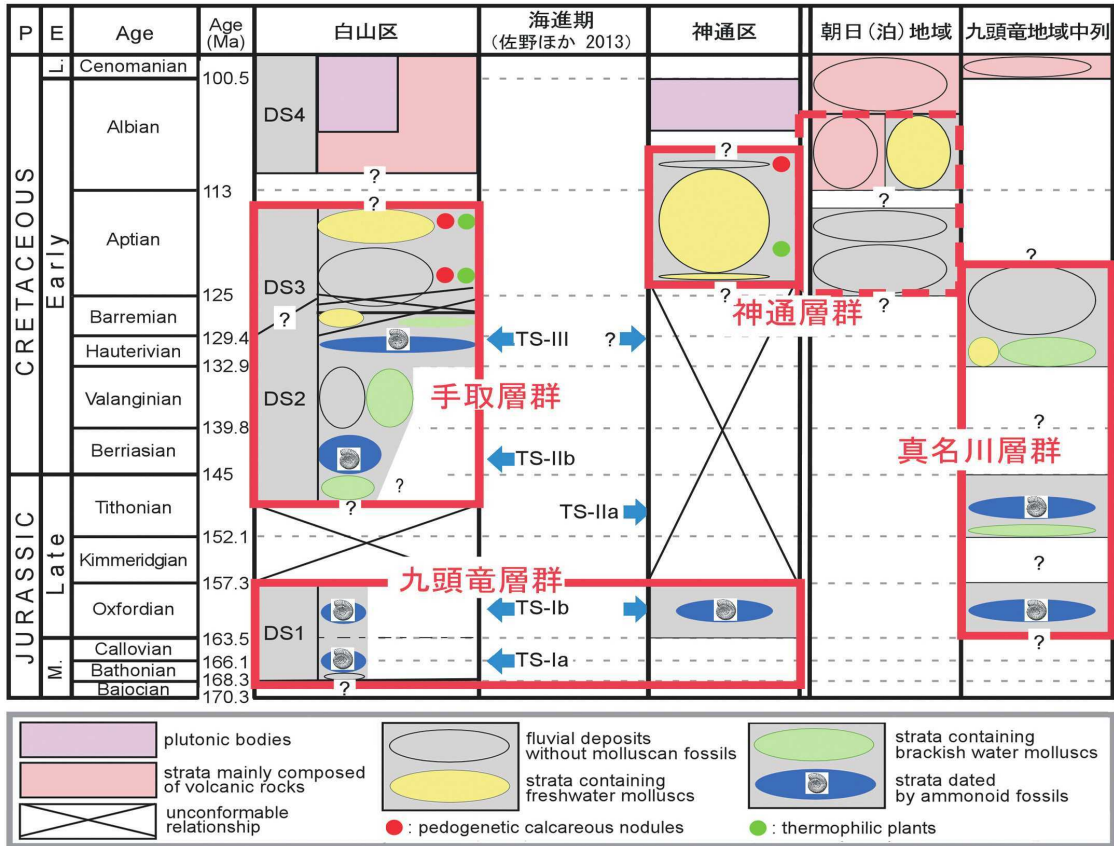


図 1. 手取地域の後期中生界の層序概要（Sano 2015 を一部改変）。前田（1961b）の手取層群を九頭竜・手取・神通・真名川層群に 4 区分する。各層群の層序および対比関係を示す。

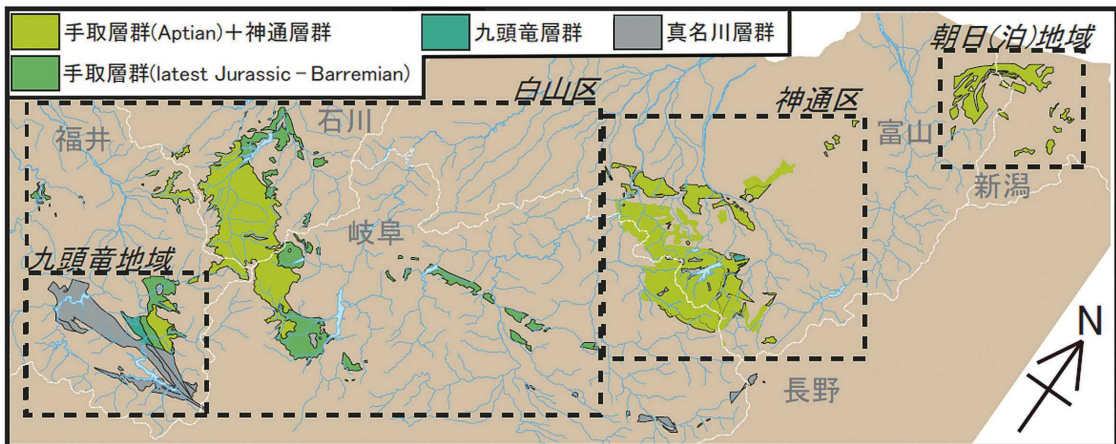


図 2. 手取地域の後期中生界の地理的分布（福井県立恐竜博物館（2018）を一部改変）。九頭竜層群の分布は狭い。Aptian に堆積盆が広く形成された、あるいは拡大したことがわかる。

するとされる(前田 1961b)。九頭竜地域の飛騨外縁帯(ここでは東田ほか(2004)の定義に従う)には手取層群が比較的広く分布しているが、佐野ほか(2013)は東西方向に延びる大納衝上断層を境に北側の中列と南側の南列に区分した(図3)。中列に属する長野地域は古くから知られるアンモナイト類産地であるが、大石(1933)による貝皿層の提唱以降、地質図を示した研究(例えば、山田ほか 1989; Fujita 2002; 松川ほか 2003)では貝皿層もしくは相当層(パトニアン~カロビアン)が分布するものとされている。しかし、実際に見つかるアンモナイト類はオックスフォードイアンのもので、アンモナイト類の記載論文(例えば、Sato 1962)では山原坂層として扱われており、長野地域の層序には未解決の課題がある(佐野ほか 2013)。さらに、中列に属する大納地域と上半原地域には、飛騨帯の手取層群には知られていないジュラ紀末の海成層が分布し、両地域の層序の連続性が示唆される(Sato and Yamada 2005; Yamada and Uemura 2008; 佐野ほか 2013)。このように、中列には、飛騨帯の九頭竜層群や手取層群とは異なる層序が観察されることから(Kawagoe et al. 2012; 佐野ほか 2013)、この上部ジュラ系~下部白亜系を、小林(1954)に基づき、真名川層群と呼ぶ(Sano 2015)。ただし、上半原地域の層序や時代論については異なる見解も示されており、真名川層群を、時代的に一部が重なる九頭竜層群や手取層群から区分して取り扱うべきかどうかについては議論がある(鎌田 2017; 山田 2017)。異なる堆積盆であっても、汎世界的な海水準変動の影響を受けて、同時期に海成層が発達する可能

性はあるため、真名川層群の是非については、中列の上部ジュラ系~下部白亜系の層序を確立した上で、さらに検討する必要がある。

一方、九頭竜地域の南列については、下半原付近にジュラ紀末から白亜紀最初期の可能性がある海成層の存在が報告されているものの(前田 1957; 佐野ほか 2013)、全体としては時代を議論するデータがほとんど得られてない。上部三畳系や下部ジュラ系から知られるシダ植物 *Hausmannia* の産出(前田 1961a)や、手取層群オリストストローム説の根拠の一つとなった堆積性蛇紋岩などの存在(相馬ほか 1983)、中生界がペルム系~三畳系とともに右横ずれデュープレックスを形成することも解釈できることは、南列の中生界の大部分が手取層群相当層ではなく、それよりも下位の来馬層群相当層であることを示唆するのかもしれない(佐野ほか 2013; Sano 2015)。また、手取層群相当とされるハアミ(羽見)谷炭層が伊勢変成岩体北縁部に分布するが、同層は本地域の飛騨外縁帯を特徴づける剪断変形(大藤ほか 2004)を受けておらず、その時代論は飛騨外縁帯の構造運動の上限を議論する上で重要である(佐野ほか 2013)。

このほか、岐阜県北部には、西南日本外帯と共通する汽水棲貝化石を産する下部白亜系柘尾層(前田 1958)や、DS4相当の可能性がある横尾礫岩層(小嶋 1986)なども知られており、飛騨外縁帯には、様々な時代の後期中生界が小規模な分布を示しているものと考えられる。飛騨外縁帯の“手取層群”はしばしば飛騨外縁帯の構造運動の時期を制約するものとして注目されるが、各分布域の層序の詳細な時代決定が

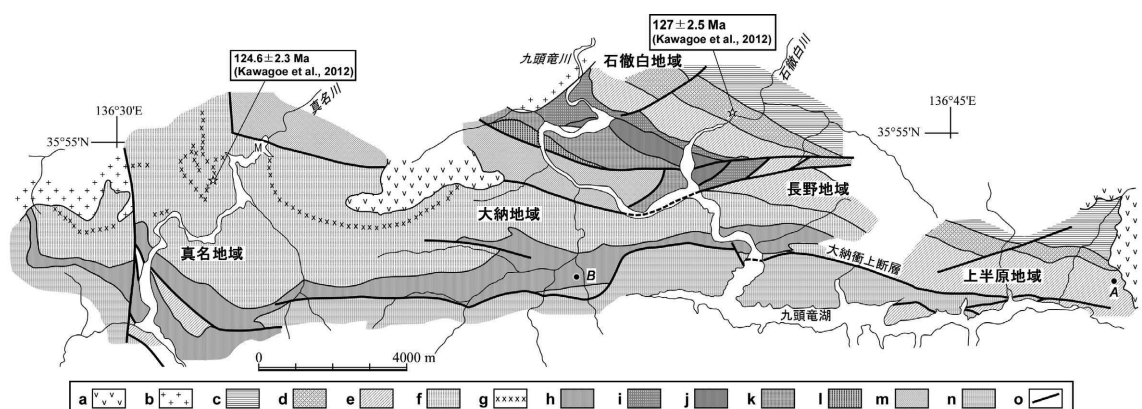


図3. 九頭竜地域の手取層群を中心とした地質略図 [山田ほか(1989)およびFujita(2002)の地質図に基づき、Kawagoe et al.(2012)がまとめたものを一部改変して使用]。このため、本論文で用いる地層区分とは一致しない部分がある。ジュラ紀末のチトニアンを示唆するアンモナイト *Parapallasiceras* の産地 [A: Sato and Yamada(2005), B: 佐野ほか(2013)] と、Kawagoe et al.(2012)の碎屑性ジルコン LA-ICPMS U-Pb 年代測定用試料採取地点を示す。a, 後手取期火山岩類; b, 後手取期深成岩類; c, 後野層(赤岩亜層群); d-e, 石徹白亜層群(d, 伊月層; e, 大淵・上半原・葦谷・山原層); f-h, 真名・大納・長野地域の九頭竜亜層群(f, 上部層; g, 凝灰岩; h, 中部層); i-l, 石徹白地域の九頭竜亜層群(i, 山原坂層; j, 貝皿層; k, 柘餅山・大井谷層; l, 下山層); m, 飛騨帯構成岩類; n, 飛騨外縁帯構成岩類; o, 断層。

行われていないため、一般に中部ジュラ系～下部白亜系として扱われることが多い(例えば、佐々木ほか 2001; Otoh et al. 2003; 大藤ほか 2004; 東田ほか 2004)。しかし、実際には、各分布域の後期中生界の時代範囲はもっと狭いと考えられ、それらの岩相層序や時代論についての詳細な検討が待たれる。

### 3. 手取生物群の古生物地理学上の特徴

手取層群の地質学・古生物学的研究は、19世紀後半のジュラ紀とされた陸上植物化石の報告に始まる(Geyler 1877; Yokoyama 1889, 1894)。同層群に多産する植物化石は、西南日本外帯のものとは群集構成が異なり、むしろシベリアや中国東北部の化石植物群と類似した、温暖で湿潤な気候を代表するものとして注目され、ユーラシア大陸東部に認識される植物地理区の北側のものを「手取植物群」にちなんで「手取型植物群」と呼ぶことがあるほどである(例えば、Kimura 1987)。最近では、手取層群上部に、乾季を伴う亜熱帯気候を代表する「領石型植物群」要素の植物化石の産出が知られるようになり、手取層群の堆積期間中に植物相の変化、すなわち古気候条件の変化が生じていた可能性が示唆されている(例えば、Yabe et al. 2003, 2012; 山田 2009; Sano and Yabe 2017; 松川ほか 2017; 酒井ほか 2018)。

岐阜県荘川地域の手取層群御手洗層(白亜系最下部)からは、多様な海棲二枚貝化石が報告されている(例えば、Hayami 1959a, 1959b, 1960; Koarai and Matsukawa 2016)。これら(=手取型動物群)は、日本の太平洋側の同時期の堆積物のもの(鳥巢型動物群)とは類似性が乏しく、むしろ中国東北部やシベリアのものと共通性が認められる点で注目される(速水 1962, 1965; Hayami 1990; Sha and Hirano 2012)。また、飛騨古川地域の後期オーテリビアン<sup>いなこ</sup>の稲越層の二枚貝化石にも中国東北部の下部白亜系との共通種が知られる(Matsukawa and Fukui 2009; Matsukawa and Koarai 2017)。このほか、典型的ボレアル要素とされる *Cylindroteuthididae* 科ベレムナイトの御手洗層からの産出も北方系動物群との関連性を強く示唆する(佐野ほか 2015, 2017)。

手取層群下部の汽水棲二枚貝相は、多様性が低く、他地域では産出が非常に稀な種で構成される点が特徴的である(Kondo et al. 2006; Nishida et al. 2013)。一方、淡水棲二枚貝には韓国の慶尚層群にかなりの共通性が認められる(田村 1990)。また、東アジアの下部白亜系を特徴づける、TPN (*Trigonioides-Plicatounio-Nippononaia*) 二枚貝群集については、荘川地域大黒谷層などの汽水棲貝化石産出層準(後期オーテリビアン)付近に *N. tetoriensis* が産出するほか(Maeda

1962a)、手取層群最上部とされる北谷層<sup>きただに</sup>(アプチアン)には群集名の元となった3属全てが産する(Maeda 1962b, 1963; 田村 1990; Koarai and Matsukawa 2016)。*Trigonioides tetoriensis* は西南日本外帯の立川層(オーテリビアン)からも産出が知られるが、手取地域では北谷層(アプチアン)になってから産出する(田代・奥平 1993)。*Nippononaia* 属は、手取地域において、他の TPN 群集構成要素に比べてより早く産出する点で注目され、進化史や汽水環境への耐性などが注目される。

手取層群の脊椎動物化石研究は、鹿間(1967)以来、50年以上の歴史があるが、恐竜化石の発見を契機として、近年、盛んに取り組まれるようになった(例えば、柴田ほか 2017; Sano and Yabe 2017)。2018年1月現在、論文等で報告された体化石だけでも、少なくとも板鰓類2種、新鰭類5種(2新種を含む(以下同様))、両生類3種(1新種)、トリティロドン類1新種、哺乳類7種(4新種)、カメ類13種(1新種)、有鱗類11種(7新種)、コリストテラ類3種(1新種)、ワニ類1種、翼竜類4種、獣脚類10種(2新種)、鳥類1種、竜脚類2種(1新種)、鳥脚類6種(3新種)の計69種(23新種)が知られている(Sano 2017b および引用文献を参照; Matsumoto and Evans 2018)。これらの各分類群の種数を、中国東北部の熱河生物群やイギリスの Wealden 動物群など、前期白亜紀の幾つかの著名な動物群のものと比較すると、手取層群には他地域に知られるほぼ全ての分類群が存在し、種数としてもほぼ匹敵する規模になることがわかった(Sano 2017b)。このほか、恐竜や鳥類、翼竜の足跡化石(例えば、Azuma et al. 2002; Matsukawa et al. 2005; Lee et al. 2010; Tsukiji et al. 2018)や、恐竜や鳥類、カメの卵化石(Azuma 2003; 伊左治・松下 2005; Isaji et al. 2006; Imai and Azuma 2015)なども報告されており、手取層群の脊椎動物相はさらに多様な可能性がある。

なお、手取層群の主要な脊椎動物化石産地の時代論については議論があるが、Sano (2015) の層序の考え方に基づく、荘川地域の KO-2 は DS 2 上部(後期オーテリビアンかより以前)、手取川地域の桑島化石壁は DS 3 下部(パレミアン)、滝波川地域の北谷恐竜化石発掘現場は DS 3 上部(アプチアン)にあたる(Sano and Yabe 2017)。

### 4. 東アジアの視点から見た手取生物群研究の意義

手取層群の堆積盆は北中国地塊東縁部に位置した飛騨帯に属する(例えば、Jin and Ishiwatari 1997; Arakawa et al. 2000; 梶座ほか 2010; Takahashi et al. 2017)。現在の北東～東アジアを構成する、シベリ

ア、佳木斯（ジャムス）、ハンカ、北中国地塊などは、白亜紀最初期までには合体していたと考えられ（Wilde 2015; Guo et al. 2018）、手取層群には、当時のアジア大陸東縁（すなわち北西太平洋域）の中緯度地域の、しかも海陸境界付近の情報が記録されていることになる。

手取層群の海成層中の二枚貝やバレムナイトには中国東北部やシベリアとの共通要素が認められる一方で（速水 1962; 佐野ほか 2015）、アンモナイト類にはテチスー太平洋要素が卓越する（佐藤ほか 2003, 2008; Matsukawa and Fukui 2009）。従って、手取地域はテチス区とボレアール区の境界付近に位置していたと考えられる。北西太平洋中緯度地域の海洋古生物地理を考察する上では、当時の東アジア東縁部の古地理復元モデルに議論があることが大きな課題となっている。しかしながら、上記のように、手取層群は、当時既に合体を終了した、現在の東アジアを構成する大陸地塊の縁辺部に堆積したと考えられ、古地理復元モデルの違いに制約されない、すなわち、東アジアの中緯度域における、古生物地理を議論する上での「固定点」として位置づけることができる（Sano 2017a）。今後、沿海州地域や日本の太平洋岸の同時代層、さらには真名川層群などの生物相を、手取層群などの「固定点」のものと比較することにより、北西太平洋中緯度地域の、ジュラ紀／白亜紀境界付近～前期白亜紀における古生物地理区の変遷を議論できる可能性がある。

手取層群は、非常に保存のよい羽毛恐竜や鳥類、初期の被子植物などの化石の産出で知られる、中国東北部の熱河層群と、北中国地塊上のほぼ同緯度で、ほぼ同時期に堆積したことになる。しかしながら、両者の動物相に共通属がほとんど認められないことから、前期白亜紀の東アジアにおいて古生物地理学的な分化が生じていた可能性が指摘されている（Sano and Yabe 2017）。このことは、熱河生物群のみでは東アジアの前期白亜紀の陸上生態系を代表させることはできず、手取生物群など、同時期の、より広範囲から集められた情報を総合して議論する必要があることを示している（Sano and Yabe 2017; Sano 2017b）。

中国東北部においては、熱河層群の下位に、赤色岩相を中心とした土城子層が存在し、同層中にジュラ紀／白亜紀境界の存在が推定されている（Xu et al. 2017）。後期ジュラ紀の赤色岩相は中国の広い範囲に認められ、当時、暑く、乾燥した気候条件下にあったものと推定される（Deng et al. 2017）。熱河生物群の時代にはより冷涼な気候条件下にあったとされることから（例えば、Amiot et al. 2011）、中国東北部においては、ジュラ紀／白亜紀境界付近からパレミアンに

かけて寒冷化が進んだと考えられる。一方、ほぼ同時期の手取層群のDS2には、このような乾燥気候の存在や、寒冷化傾向は認められない。逆に、手取層群には、DS3内、さらにはDS3からDS4にかけて、気候の温暖・乾燥化を示唆するような生物相や堆積物の変化が認められるが（Yabe et al. 2003; 茂野ほか, 2004; Matsumoto et al. 2015）、このような変化は熱河層群には知られていない（Sano and Yabe 2017）。これらのことは、手取地域と熱河地域で気候条件やその変化傾向に違いがあったことを示唆しており、手取層群の地質・化石記録は、大陸東縁部の沿岸部を代表するものとして、東アジアにおける古気候変遷を解き明かす鍵となるものと期待される。

## 謝辞

本論は化石研究会第35回学術大会でのシンポジウム「手取層群の層序と生物相—前期白亜紀のアジアの陸上生態系の解明をめざして」において講演した内容をまとめたものである。シンポジウム世話人、並びに大会開催に御尽力された、福井県立恐竜博物館の後藤道治博士と一島啓人博士、原稿を丁寧に査読していただいた小幡喜一編集委員長と平山 簾博士に心より感謝申し上げます。

## 文献

- Amiot R, Wang X, Zhou ZH, Wang XL, Buffetaut E, Lécuyer C, Ding ZL, Fluteau F, Hibino T, Kusuhashi N, Mo JY, Suteethorn V, Wang YQ, Xu X, Zhang FS (2011) Oxygen isotopes of East Asian dinosaurs reveal exceptionally cold Early Cretaceous Climates. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)* 108, 5179-5183
- 荒川洋平・堀江憲路・早坂康隆・佐野晋一・日高洋・狩野彰宏 (2005) 福井県北部、下部白亜系手取層群の脊椎動物化石含有層に含まれるジルコンのSHRIMP ウラン-鉛年代. *日本地質学会第112年学術大会講演要旨* 73
- Arakawa Y, Saito Y, Amakawa H (2000) Crustal development of the Hida belt, Japan: Evidence from Nd-Sr Isotopic and chemical characteristics of igneous and metamorphic rocks. *Tectonophysics* 328, 183-204
- Azuma Y (2003) Early Cretaceous vertebrate remains from Katsuyama City, Fukui Prefecture, Japan. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum* 2, 17-21
- Azuma Y, Arakawa Y, Tomida Y, Currie PJ (2002) Early Cretaceous bird tracks from the Tetori Group, Fukui Prefecture, Japan. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum* 1, 1-6

- Deng S, Lu Y, Zhao Y, Fan R, Wang Y, Yang X, Li X, Sun B (2017) The Jurassic palaeoclimate regionalization and evolution of China. *Earth Science Frontiers* 24, 106-142 (in Chinese with English abstract)
- Fujita M (2002) A new contribution of the stratigraphy of the Tetori Group, adjacent to Lake Kuzuryu, Fukui Prefecture, Central Japan. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum* 1, 41-53
- Fujita M (2003) Geological age and correlation of the vertebrate-bearing horizons in the Tetori Group. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum* 2, 3-14
- 藤田将人・宮本隆実・田中 均 (1998) 福井県和泉村東部地域に分布する手取層群石徹白亜層群から産出したイノセラムス化石とその意義. *地質学雑誌* 104, 52-55
- 福井県立恐竜博物館 (2018編) 福井県立恐竜博物館常設展示解説書. 218p
- Geyler HT (1877) Uber fossile Pflanzen aus der Juraformation Japans. *Palaeontographica* 24, 221-232, pls. 30-34
- 岐阜県恐竜化石学術調査推進委員会 (1993) 恐竜化石学術報告書. 岐阜県博物館. 46p
- 後藤道治 (2007) 福井県大野市打波川地域の手取層群石徹白亜層群から産出した白亜紀前期アンモノイド化石. *福井県立恐竜博物館紀要* 6, 27-34
- Guo ZX, Shi YP, Yang YT, Jiang SQ, Li LB, Zhao ZG (2018) Inversion of the Erlian Basin (NE China) in the early Late Cretaceous: Implications for the collision of the Okhotomorsk Block with East Asia. *Journal of Asian Earth Sciences* 154, 49-66
- Hayami I (1959a) Late Jurassic hipodont, taxodont and dysodont pelecypods from Makito, central Japan. *Japanese Journal of Geology and Geography* 30, 135-150, pl. 12
- Hayami I (1959b) Late Jurassic isodont and myacid pelecypods from Makito, central Japan. *Japanese Journal of Geology and Geography* 30, 151-167, pl. 13
- Hayami I (1960) Jurassic inoceramids in Japan. *Journal of the Faculty of Science, University of Tokyo, Section 2*, 12, 277-328, pls. 15-18
- 速水 格 (1962) 本邦ジュラ紀の斧足類群 特に層位的分布と生物地理区について. *地質学雑誌* 68, 96-108
- 速水 格 (1965) ジュラ・白亜紀海棲二枚貝群の変遷. *化石* 9, 13-23
- Hayami I (1990) Geographic distribution of Jurassic bivalve faunas in Eastern Asia. in Ichikawa K, Mizutani S, Hara I, Hada S, Yao A (eds) *Pre-Cretaceous Terranes of Japan*. IGC Project 224, 361-369. Osaka City University
- Hirano H, Hasegawa T, Sano S, Azuma Y (eds) (2003) Special Issue: Fauna and Flora of the Tetori Group and correlation with the Cretaceous sequences in Far-East Asia. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum* 2, 1-152
- Imai T, Azuma Y (2015) The oldest known avian eggshell, *Plagioolithus fukuiensis*, from the Lower Cretaceous (upper Barremian) Kitadani Formation, Fukui, Japan. *Historical Biology* 27, 1090-1097
- 伊左治鎮司・松下 愛 (2005) 電子顕微鏡による卵から化石の観察. 桑島化石壁の動物化石調査報告書, 32-35
- Isaji S, Matsushita A, Hirayama R (2006) Chelonian eggshells from the Lower Cretaceous Kuwajima Formation of the Tetori Group, Central Japan. *Paleontological Research* 10, 29-36
- Jin FX, Ishiwatari A (1997) Petrological and geochemical study on Hida gneisses in the upper reach area of Tetori river: Comparative study on the pelitic metamorphic rocks with the order areas of Hida belt, Sino Korean block and Yangtze block. *Journal of Mineralogy, Petrology and Economic Geology* 92, 213-230
- Kashiwagi K (2014) Radiolarians from the marine strata of the Tetori Group in Central Japan. *Abstracts of International Symposium on Asian Dinosaurs in Fukui* 2014, 66-68
- Kashiwagi K, Hirasawa S (2010) Jurassic Radiolarians and Other Microfauna Recovered from the Trace Fossils of the Kiritani Formation of the Tetori Group in the Yatsuo Area, Toyama Prefecture, Northern Central Japan. *Paleontological Research* 14, 212-223
- Kashiwagi K, Hirasawa S (2015) Middle Jurassic radiolarians from calcareous nodules within silty sandstone float boulder derived from the Kaizara Formation of the Tetori Group in Central Japan. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum* 14, 9-16
- 河合正虎 (1964) 5 萬分の 1 地質図幅および同説明書「根尾」. 地質調査所, 66p
- 鎌田雅通 (2017) 福井県九頭竜川上流域に分布する手取層群の礫種構成とその層準による変化. *福井県立恐竜博物館紀要* 16, 39-53
- 川越雄太・佐野晋一・折橋裕二・高地吉一・上田哲也・山本鋼志・大藤 茂 (2014) 碎屑性ジルコン年

- 代から推定した福井県、富山県の手取層群の後背地. 日本地球惑星科学連合2014年大会講演要旨. SGL43-P02
- Kawagoe Y, Sano S, Orihashi Y, Obara H, Kouchi Y, Otoh S (2012) New detrital zircon age data from the Tetori Group in the Mana and Itoshiro areas of Fukui Prefecture, Central Japan. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum* 11, 1-18
- Kimura T (1987) Chapter 6: Geographical distribution of Palaeozoic and Mesozoic plants in East and Southeast Asia. in Taira A, Tashiro M (eds) *Historical Biogeography and Plate Tectonic Evolution of Japan and Eastern Asia*. TERRAPUB, Tokyo, 135-200
- 小林祐哉・大塚 勉(1997)美濃帯北部根尾-和泉地域における左門岳ユニットの地質構造. *構造地質* 42, 77-86
- Koarai K, Matsukawa M (2016) Late Mesozoic bivalves of the Tetori Group, Japan. *Bulletin of Tokyo Gakugei University, Division of Natural Sciences* 68, 91-190
- 小林 学 (1954) 福井県大野郡西谷村付近の地質. *東京教育大学理学部地質学鉱物学教室研究報告* 3, 35-42
- 小嶋 智 (1986) 岐阜県高山市丹生川村横尾付近に分布する礫岩より二疊紀放射虫化石の産出. *大阪微化石研究会誌特別号* 7, 175-179
- Kondo Y, Kozai T, Kikuchi N, Sugawara K (2006) Ecologic and taxonomic diversification in the Mesozoic brackish-water bivalve faunas in Japan, with emphasis on infaunalization of heterodonts. *Gondwana Research* 10, 316-327
- 公文富士夫・加納和巨 (1991) 庄川上流, 岐阜県荘川地域の手取層群. 平成3年度科学研究費補助金(一般研究C)研究成果報告書「岐阜県庄川上流地域の手取層群の堆積学的研究」, 2-37
- 公文富士夫・梅澤貴司 (2001) 岐阜県荘川村, 御手洗川支流松山谷に分布する手取層群の堆積相. *地球科学* 55, 321-328
- 公文富士夫・梅澤貴司・西川 徹・松澤孝芳 (1994) 岐阜県荘川村の手取層群石徹白亜層群からのベlemnite化石の産出とその意義. *日本地質学会第101年学術大会講演要旨* 95
- 梶座圭太郎・清水正明・大藤 茂 (2010) 年代学から見た飛騨変成作用から日本海誕生を経て今日に至るまでの包括的構造発達史. *地質学雑誌* 116 (Supplement), S83-S101
- Kusuhashi N, Matsumoto A, Murakami M, Tagami M, Hirata T, Iizuka T, Handa T, Matsuoka H (2006) Zircon U-Pb ages from tuff beds of the upper Mesozoic Tetori Group in the Shokawa district, Gifu Prefecture, central Japan. *Island Arc* 15, 378-390
- Kusuhashi N, Matsuoka H, Kamiya H, Setoguchi T (2002) Stratigraphy of the late Mesozoic Tetori Group in the Hakusan Region, central Japan: an overview. *Memoirs of the Faculty of Science, Kyoto University, Series of Geology and Mineralogy* 59, 9-31
- Lee, YN, Azuma Y, Lee HJ, Shibata M, Lü J (2010) The first pterosaur trackways from Japan. *Cretaceous Research* 31, 263-273
- 前田四郎 (1952) 岐阜県庄川上流地域の手取層群の層位学的研究. *地質学雑誌* 58, 145-153
- 前田四郎 (1957) 福井・岐阜県境地域の手取層群の層序と構造. *地質学雑誌* 63, 225-237
- 前田四郎 (1958) 飛騨山地の手取層群の層序と構造. *地質学雑誌* 64, 388-398
- 前田四郎 (1961a) 福井県九頭竜川南域の手取層群の層序. *地質学雑誌* 67, 23-31
- 前田四郎 (1961b) 手取層群の地史学的研究. *千葉大学文理学部紀要* 3, 369-426
- Maeda S (1962a) On the occurrence of *Nippononaia* in the Late Mesozoic Tetori Group. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series* 46, 243-248
- Maeda S (1962b) Some Lower Cretaceous Pelecypods from the Akaiwa Sub-group, the Upper division of the Tetori Group in central Japan. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series* 48, 343-351
- Maeda S (1963) *Trigonioides* from the late Mesozoic Tetori Group, Central Japan. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series* 51, 79-85
- Manabe M, Barrett PM, Isaji S (2000) A refugium for relicts? *Nature* 404, 953
- Matsukawa M, Fukui M (2009) Hauterivian-Barremian marine molluscan fauna from the Tetori Group in Japan and late Mesozoic marine transgressions in East Asia. *Cretaceous Research* 30, 615-631
- 松川正樹・福井真木子・小荒井千人・浅倉 努・青野宏美 (2007) 手取層群で確認された三番目の海進相: 岐阜県飛騨市古川町周辺に分布する手取層群について. *地質学雑誌* 113, 417-437
- 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 (2014b) 富山-岐阜県境に分布する神通層群の堆積環境と堆積盆地の発達. *地質学雑誌* 120, 201-217
- 松川正樹・福井真木子・小河佑太力・田子 豪・小荒



- 井千人・大平寛人・林 慶一 (2014a) 手取層群の分布域東部 (富山・岐阜県境) の層序の再検討と神通層群 (新称) の提案. 地質学雑誌 120, 147-164
- Matsukawa M, Ito M, Nishida N, Koarai K, Lockley MG, Nichols DJ (2006) The Cretaceous Tetori biota in Japan and its evolutionary significance for terrestrial ecosystems in Asia. *Cretaceous Research* 27, 199-225
- Matsukawa M, Koarai K (2017) Late Mesozoic bivalve faunas from the Tetori Group, Japan. *Cretaceous Research* 71, 145-165
- 松川正樹・小荒井千人・伊藤真由美 (2017) 手取層群産植物化石の産出層序の再検討と植物化石群の植生評価. 東京学芸大学紀要 自然科学系69, 223-248
- 松川正樹・中田恒介 (1999) 手取層群の分布域中央部の層序と堆積環境の変遷: 非海生軟体動物化石群集に基づいて. 地質学雑誌 105, 817-835
- 松川正樹・西田尚央・小荒井千人・林 慶一・青野宏美・伊藤 慎 (2003) 福井県の九頭竜川上流地域東部の手取層群の層序と白山周辺地域の手取層群との比較. 東京学芸大学紀要 第4部門 数学・自然科学 55, 191-200
- Matsukawa M, Shibata K, Kukihara R, Koarai K, Lockley MG (2005) Review of Japanese dinosaur track localities: implications for ichnotaxonomy, paleogeography and stratigraphic correlation. *Ichnos* 12, 201-222
- 松本 藍・楠橋 直・村上雅紀・田上高広・平田岳史・飯塚 毅・半田岳士・松岡廣繁 (2006) LA-ICPMS を用いた手取層群の凝灰岩層のジルコン・ウラン鉛年代. 日本古生物学会第155回例会講演予稿集, 110
- Matsumoto R, Evans SE (2018) The first record of albanerpetontid amphibians (Amphibia: Albanerpetontidae) from East Asia. *PLoS ONE* 13, e0189767
- Matsumoto R, Manabe M, Evans SE (2015) The first record of a long-snouted choristodere (Reptilia, Diapsida) from the Early Cretaceous of Ishikawa Prefecture, Japan. *Historical Biology* 275, 583-594
- Matsuoka H, Kusuhashi N, Takada T, Setoguchi T (2002) A clue to the Neocomian vertebrate fauna: initial results from the Kuwajima "Kaseki-kabe" (Tetori Group) in Shiramine, Ishikawa, central Japan. *Memoirs of the Faculty of Science, Kyoto University, Series of Geology and Mineralogy* 59, 33-45, pls. 1-8
- Nishida N, Shirai A, Koarai K, Nakada K, Matsukawa M (2013) Paleoecology and evolution of Jurassic-Cretaceous corbiculoids from Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 369, 239-252
- 大石三郎 (1933) 手取統, 特にその化石帯に就いて. 地質学雑誌 40, 617-644, 669-699
- 大藤 茂・丹羽正和・東田和弘・青山正嗣・松本孝之 (2004) 飛騨外縁帯九頭竜地域の剪断帯群概報. 地質学雑誌 110, 598-607
- Otoh S, Tsukada K, Kasahara K, Hotta K, Sasaki M (2003) Outline of the shear zones in the Hida Marginal Belt. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum* 2, 63-73
- 酒井佑輔・関戸信次・松岡 篤 (2018) 石川—福井県境地域における下部白亜系手取層群の層序と植物化石群の層位的意義. 地質学雑誌 124, 171-189
- Sano S (2015) New view of the stratigraphy of the Tetori Group in Central Japan. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum* 14, 25-61
- Sano S (2017a) The Tetori Group in northern Central Japan provides the clues for recognizing the biotic and environmental changes at the Jurassic/Cretaceous transition in East Asia. *Radiolaria* 40 (InterRad XV in Niigata 2017 Abstracts), 80-81
- Sano S (2017b) Vertebrate diversity of the Early Cretaceous Tetori Biota from Japan, the state of the art. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum* 16, 1-15
- 佐野晋一・Dzyuba OS・伊庭靖弘 (2017) 岐阜県庄川地域の手取層群御手洗層産ベレムナイト再訪. 日本古生物学会 2017年年会予稿集, 42
- 佐野晋一・後藤道治・成田貴人・脇本晃美・大藤 茂 (2013) 福井県大野市大納地域からの後期ジュラ紀アンモノイドの産出と九頭竜地域手取層群の対比再検討. 福井県立恐竜博物館紀要 12, 1-16
- 佐野晋一・伊庭靖弘・伊左治鎮司・浅井秀彦・オクサナ S ジューバ (2015) 日本における白亜紀初期のベレムナイトとその古生物地理学的意義. 地質学雑誌 121, 71-79
- Sano S, Yabe A (2017) Fauna and flora of Early Cretaceous Tetori Group in Central Japan: The clue to revealing the evolution of Cretaceous terrestrial ecosystem in East Asia. *Palaeoworld* 26, 253-267
- 佐々木みぎわ・今里重紀彦・大藤 茂 (2001) 岐阜県丹生川地域, 美濃帯北縁部の左横すべりカタクレーサイト帯. 構造地質 45, 33-46
- Sato T (1962) Études biostratigraphiques des ammonites du Jurassique du Japon. *Mémoires de la Société Géologique de France, Nouvelle Série, Mémoire* 94, 1-122, pls. 1-10
- 佐藤 正・浅見照子・蜂矢喜一郎・水野吉昭 (2008) 岐阜県庄川上流御手洗層からベリアシアン (白亜紀

- 前期) アンモナイト *Neocosmoceras* の発見. 瑞浪市化石博物館研究報告 34, 77-80
- 佐藤 正・蜂矢喜一郎・水野吉昭 (2003) 岐阜県莊川村の手取層群から産出したジュラ紀末期-白亜紀初期アンモナイト. 瑞浪市化石博物館研究報告 30, 151-167
- Sato T, Yamada T (2005) Early Tithonian (Late Jurassic) ammonite *Parapallasiceras* newly discovered from the Itoshiro Subgroup (Tetori Group) in the Hida Belt, northern Central Japan. Proceedings of the Japan Academy, Series B 81, 267-272
- Sha JG, Hirano H (2012) A revised Barremian-Aptian age for the Mitarai Formation (lower Tetori Group, Makito area of central Japan), previously considered Middle Jurassic-earliest Cretaceous. Episodes 35, 431-437
- 柴田正輝・尤海魯・東 洋一 (2017) 日本の恐竜研究はどこまできたのか? : 東・東南アジアの前期白亜紀恐竜フォエナの比較. 化石 101, 23-41
- 茂野 潤・次重克敏・藤田将人・東 洋一・後藤道治・狩野彰宏・地下まゆみ・柴田正輝・川合達也 (2004) 富山県上市地域および立山地域に分布する手取層群赤岩亜層群の土壌性堆積物と堆積相による古環境解析. 福井県立恐竜博物館紀要 3, 1-22
- 鹿間時夫 (1967) 手取統より爬虫類の産出. 自然科学と博物館 34, 13-16
- 相馬恒雄・丸山茂徳・松島健一郎・山本 誠・松本謙一 (1983) 飛騨外縁帯西部地域のオリストストロームとその造構論的意義. 富山大学教育学部紀要31, 13-23
- Takahashi Y, Cho DL, Mao J, Zhao X, Yi K (2017) SHRIMP U-Pb zircon ages of the Hida metamorphic and plutonic rocks, Japan: Implications for late Paleozoic to Mesozoic tectonics around the Korean Peninsula. Island Arc, e12220
- 竹内 誠・大川真弘・川原健太郎・富田 覚・横田秀晴・常盤哲也・古川竜太 (2015 a) ジルコン U-Pb 年代からみた富山県北東部白亜系陸成層の再定義. 地質学雑誌 121, 1-17
- 竹内 誠・竹之内 耕・常盤哲也 (2015b) 蓮華変成岩類と中生代陸成層. 地質学雑誌 121, 193-216
- 竹内 誠・古川竜太・長森英明・及川輝樹 (2017) 地域地質研究報告 5 万分の 1 地質図幅「泊」. 地質調査総合センター
- 田村 実 (1990) 西南日本非海生白亜紀二枚貝フォエナの層位学的・古生物学的研究. 熊本大教育学紀要, 自然科学 39 (特別号), 1-47
- 田代正之・奥平耕石 (1993) 四国下部白亜系から *Trigonioides* 化石 (非海生二枚貝) の産出とその意義. 島根大学地球資源環境学研究報告 12, 1-9
- 東田和弘・竹内 誠・小嶋 智 (2004) 飛騨外縁帯の再定義. 地質学雑誌 110, 640-658
- Tsukiji Y, Azuma Y, Shiraishi F, Shibata M, Noda Y (2018) New ornithopod footprints from the Lower Cretaceous Kitadani Formation, Fukui, Japan: Ichnotaxonomical implications. Cretaceous Research 84, 501-514
- Wilde SA (2015) Final amalgamation of the Central Asian Orogenic Belt in NE China: Paleo-Asian Ocean closure versus Paleo-Pacific plate subduction - A review of the evidence. Tectonophysics 662, 345-362
- Xu H, Liu YQ, Kuang HW, Liu YX, Peng N (2017) Jurassic-Cretaceous terrestrial transition red beds in northern North China and their implication on regional paleogeography, paleoecology, and tectonic evolution. Palaeoworld 26, 403-422
- Yabe A, Terada K, Sekido S (2003) The Tetori-type flora, revisited: a review. Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum 2, 23-42
- Yabe A, Terada K, Yamada T (2012) Cretaceous and Tertiary fossil sites in Hokuriku, Japan Sea-side of Central Japan. Field Excursion Guidebook for IPC/IOPC2012 Post Conference Excursion - I, 41p
- 山田一雄 (1988) 手取層群. 日本の地質「中部地方 II」編集委員会編, 日本の地質 5 中部地方 II, 共立出版, 東京, 26-37
- 山田一雄・丹羽 茂・鎌田雅道 (1989) 福井県九頭竜川上流地方の手取層群の層序と岩相変化. 地質学雑誌 95, 391-403
- 山田敏弘 (2009) ジュラ紀中期～白亜紀前期の日本における植物相の変遷. 分類 9, 115-121
- 山田敏弘 (2017) 手取層群の定義についての研究史と提言. 福井県立恐竜博物館紀要 16, 55-70
- Yamada T, Uemura K (2008) The plant fossils from the Kaizara Formation (Callovian, Jurassic) of the Tetori Group in the Izumi district, Fukui Prefecture, Central Japan. Paleontological Research 12, 1-17
- Yokoyama M (1889) Jurassic Plants from Kaga, Hida, and Echizen. Journal of the College of Science, Imperial University, Japan 3 (part 1), 1-66, pls. 1-4
- Yokoyama M (1894) Mesozoic Plants from Kozuke, Kii, Awa, and Tosa. Journal of the College of Science, Imperial University, Japan 7 (part 3), 201-231, pls. 20-28