

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

松川 正樹*¹・小荒井千人*²・伊藤真由美*³

環境科学分野

(2017年5月29日受理)

MATSUKAWA, M., KOARAI, K. and ITO, M.: Re-examination of phytostратigraphy of the Tetori Flora in the Tetori Group, Japan, and evaluation of its vegetation. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Div. Nat. Sci., **69**: 223–248. (2017) ISSN 1880–4330

Abstract

Because the litho-stratigraphy of the Tetori Group was used without a scientific guarantee, it was necessary to re-study phytostратigraphy of the Tetori Flora in the group. In this study, a coherent lithostratigraphy of the Tetori Group with unified definitions, nomenclature for lithostratigraphic units, and geological map was employed to re-study phytostратigraphy of the Tetori Flora in the group. Occurrence stratigraphic levels and their stratigraphic units of 34 plant fossil localities were clearly exhibited. Based on plant fossil specimens of approximately 2,000 individuals from Mekkodani Valley of the Kuwajima Formation, vegetation and altitude of plant fossils of the genus level were estimated. Then, occurrence stratigraphic levels and occurrence stratigraphic distributions of all species described paleontological systematics were exhibited, and their stratigraphic ranges and biogeographic distributions were evaluated. Since many species from both the Kuwajima and Amagodani formations have short stratigraphic ranges, it is possible to use these taxa as index fossil for the depositional time of both formations, if these species distributed in East Asia will be confirmed to have short stratigraphic ranges. On the other hand, it was shown that many species, from some formations except of the both formations, have long stratigraphic ranges.

Keywords: Tetori Group, Tetori Flora, phytostратigraphy, coherent lithostratigraphy, evaluation, vegetation

Department of Environmental Sciences, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

要旨: 手取層群に含まれる植物化石の産出層準と層序に関して、層序単元の再現性が保証されていない層序の使用、亜層群をツールとして対比された層序を使用したため、植物化石層序の再検討が必要であった。本研究では、層序区分、対比に関して筋の通った層序に基づいて、植物化石の生層序学を検討した。その結果、植物化石の34地点の層準と層序を明確にした。目附谷（桑島層）から産出した約2,000個体の標本を基に、植物化石の現地性の程度を把握し、属レベルの植生と高度分布を推定した。そして、これまで記載された全種の産出層準、産出期間を具体的に示し、植物群内の構成種の産出の層序的特徴や地域的特徴を評価した。桑島層とアマゴ谷層からのみ産出する種の多くは産出期間が短いので、地域期間帯（teil zone）の短い種と判定される。これらの種の東アジア各地における地域期間帯（teil zone）も短いことを確認できれば、桑島層とアマゴ谷層の時代の示準化石として使用できる可能性がある。一方、それ以外の地層に含まれる種は、産出期間が長く、層序的な産出の特徴は認められないことを述べた。

*1 東京学芸大学（184-8501 小金井市貫井北町 4-1-1）

*2 慶應義塾湘南藤沢中等部（252-0816 藤沢市遠藤 5466）

*3 さいたま市立大宮北小学校（330-0802 さいたま市大宮区宮町 3-84）

1. はじめに

東アジアには、多くの中生界上部が点在し、植物化石を含み、古植物地理区を基に当時の気候が推定されている（例えば、Kimura, 1979）。手取型の植物化石は、北陸地方の手取層群に含まれ、インドーヨーロッパ植物地理区（Vakhrameev, 1964）やシベリア植物区（木村, 1979）に含まれるとする意見に分かれていた。そして、Kimura (1984, 1987) は、日本を含むユーラシア大陸の古植物地理区が南から領石型、混合型、手取型に区分され、領石型の植物群は亜熱帯または熱帯の気候で乾燥気候を反映し、一方、手取型の植物群は温帯性で適湿の気候を反映するとした。そして、Kimura (1975a) と Kimura and Horiuchi (1979) は、手取層群のなかにも領石型の植物群の構成種が含まれることを指摘した。さらに、その後、Yabe et al. (2003) は、手取層群上部の赤岩植物化石群と田茂谷植物群が尾口植物群よりも暖かく、乾燥した環境を示す植物種が含まれることを認め、手取層群堆積時の気候変化が示唆されるとした。そして、この気候変化は、ユーラシア東部地域の広域にわたると述べた。古植物地理区の問題を考察する場合、その基本として、(1) 植物化石層の層準が層序学的に十分に検討されていることと、(2) 植物化石の分類が正確であることが必要である（木村, 1979）。木村は、彼の一連の研究の植物化石の産出層準の層序に関して、前田 (1958, 1961a, b) の層序を、特に、亜層群を対比ツールにして、時代決定に用いた。しかし、前田 (1958, 1961a, b) には、各個柱状図とその作成ルートが掲載されておらず、層序単元の模式地や参照模式地、境界が確認できないため、層序単元としての再現性が保証されていない。このため Matsukawa et al. (2006) と松川ほか (2007) は、このような再現性の保証されていない亜層群を地層の対比ツールとして使用することが層序対比の混乱と誤りを生ずると述べた。木村の一連の研究の植物化石の産出層の層序と時代は、このような混乱と誤りを生ずる前田 (1958, 1961a, b) に基づいたので、手取型と領石型の植物化石の産出層準の層序の再検討が必要であった。このため Matsukawa et al. (2006) は、木村の一連の研究、大村 (1964, 1965)、Yabe et al. (2003) の化石産出層の層序について、検討した。その結果、Kimura and Horiuchi (1979) により示された領石型の植物群の化石種は手取層群の中部の層に認められることを示し、温暖、乾燥の気候変化は高度や地域の特徴を反映していると解釈した。しかし、Matsukawa et al. (2006) では、Yabe and Kubota (2004) が提示した領

石型の植物群の構成種が北谷層とされる地層から産出し、それに基づき気候を議論したことに関しては述べていない。

手取型の植物化石は、富山県下の手取層群とされてきた地層の分布域内にも含まれる。しかし、富山県下で手取型の植物化石を産する地層は、松川ほか (2014) によってより新しい時代のものであることが示され、新たに神通層群とされ、それを構成する各層の層序と各層の分布が地質図として示された（松川ほか, 2014）。このような課題が残されている状況下で、富山県下の手取型の植物化石の産地の層準に関しては、新しい層序に基づいて検討しなければならないとなっている。手取層群と神通層群に関して、それらの分布域のほぼ全域にわたり、各個柱状図とその作成ルート、層序区分と対比の解釈が示された（松川ほか, 2003a, 2007, 2014; Matsukawa et al. 2006) ので、手取型の植物群の化石の産出層準と産出層について、生層序学的に評価することが可能となった。

そこで、本論文では、手取型の植物化石の産出層準の層序を最新の層序研究の成果に沿って評価する。そして、植物化石の化石形成論 (taphonomical analysis) に基づき、手取層群産の植物化石から推定される当時の植生分布について検討する。

なお、手取型の植物化石の産出層準と層序を検討するに際し、古生物学的に記載された標本のみを対象とし、植物化石の同定については原著論文に従った。

2. 手取層群の層序と植物化石の産出層準

2. 1 手取層群と神通層群の層序

手取層群と神通層群は、西南日本内帯の北陸地方に分布する (Fig. 1)。このうち、手取層群は白山区と神通区に、神通層群は神通区に分布する。前田 (1958, 1961a, b) は、それらの地層を地域ごとに層序区分し、地層名を与え、亜層群として束ね、地域間の対比を試みた。しかし、各個柱状図やそれらの作成ルートが示されていない。松川ほか (2003a, 2007, 2014) と Matsukawa et al. (2006) は、手取層群と神通層群を岩相層序区分し、各層を再定義し、両層群の全分布地域にわたり、各個柱状図、それらの作成ルート、各層の分布を地質図として表し、岩相による対比を示した。その後、手取層群の層序に関する幾つかの解釈が示された（例えば、Kusuhashi et al., 2002; Fujita, 2003; Sano, 2015) が、それらの多くは前田 (1958, 1961a, b) などの他の論文をコンパイルしたもので、上記の前田の層序と対比の問題点はクリアされていない。そこ

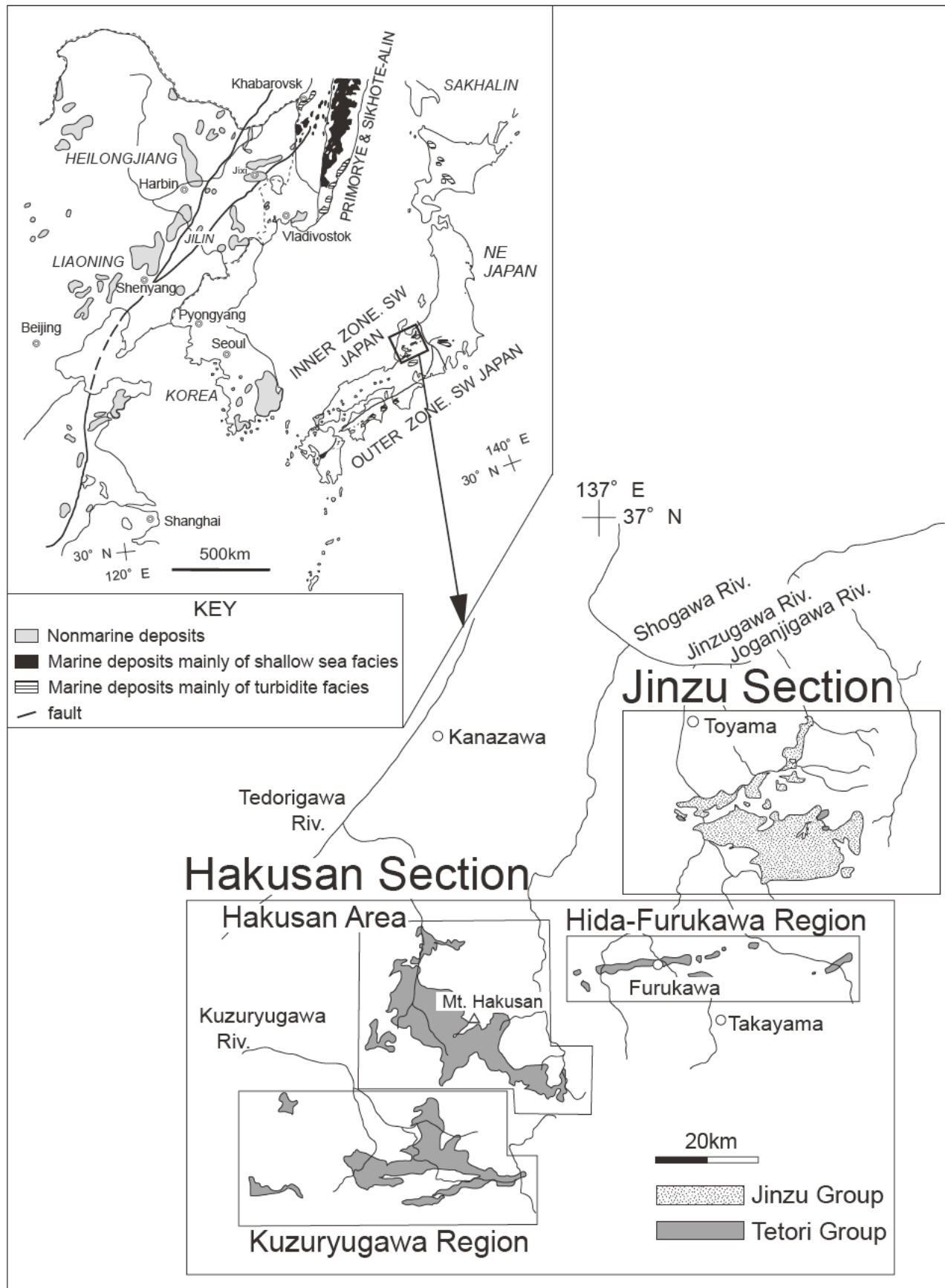


Fig. 1. Map showing Jurassic – Lower Cretaceous exposures in East Asia and the main distribution of the Tetori Group in Japan. Riv.: River, Mt.: Mount. Modified from Matsukawa and Fukui (2009) and Koarai and Matsukawa (2016).

で、手取層群と神通層群産の植物化石の産出層準を評価するため、松川ほか (2003a, 2007, 2014) と Matsukawa et al. (2006) の層序を用いる。手取層群と神通層群は、白山区と神通区に分布する。それらの層序は、白山区の九頭竜川地域、白山地域と飛騨古川地域、神通区の常願寺川地域と有峰地域で、それぞれ別々に岩相区分される。

2. 1. 1 白山区

手取層群の主要分布地域で、模式層序を含み、豊富な動植物化石を産する。手取層群は、九頭竜川地域、白山地域と飛騨古川地域の3つの地域でそれぞれ岩相層序区分される (松川ほか, 2003a, 2007) (Fig. 2)。

2. 1. 1. 1 九頭竜川地域

この地域の手取層群は、礫岩、砂岩、泥質砂岩と泥岩からなり、下位から、下山層、栃餅山層、貝皿層、山原坂層、山原層、芦谷層、伊月層、後野層の8つの地層の区分される (Matsukawa et al., 2006)。アンモナイトにより、貝皿層がBathonian後期からCallovian前期に対比される (Sato, 1962; Sato and Westermann, 1985, 1991)。

2. 1. 1. 2 白山地域

この地域の手取層群は、礫岩、砂岩、泥岩からなり、下位より、牛丸層、御手洗層、大谷山層とその同時異相の五味島礫岩部層、大黒谷層とその同時異相の桑島層、アマゴ谷層、大倉層、別山谷層の9の地層に区分される (松川ほか, 2003a; Matsukawa et al., 2006)。アンモナイトにより御手洗層は、TithonianからBerriasian (Sato et al., 2003) に、アマゴ谷層はHauterivianからBarremian (松川・浅原, 2010) に対比される。

2. 1. 1. 3 飛騨古川地域

この地域の手取層群は、巨礫から中礫サイズの礫岩、細礫礫岩、砂岩、泥岩からなり、下位より、種村層、沼町層、杉崎層とその同時異相の栃尾層、太江層、稲越層の6つの地層に区分される (松川ほか, 2007)。アンモナイトにより稲越層はHauterivianからBarremianに対比される (Matsukawa and Fukui, 2009)。

2. 1. 2 神通区

この地域の上部中生界は、下部の手取層群とそれを覆う上部の神通層群に区分される。手取層群はジュラ紀のアンモナイトを含む海成層からなるが、神通層群は陸成層である。有峰地域では、手取層群は礫岩、砂

岩、泥岩からなり、真川層と上位の有峰層とその同時異相の桐谷層からなり、アンモナイトにより有峰層はOxfordianに対比される (松川ほか, 2014)。神通層群は、有峰地域と常願寺川地域に分布し、有峰地域では下位より庵谷峠層と猪谷層に区分される。猪谷層には、その南部に発達する礫岩層は南俣谷礫岩部層が含まれる。そして、常願寺川地域では神通層群は、下位より猪谷層と白岩川層に区分される (松川ほか, 2014)。

2. 1. 3 手取層群の対比

手取層群は、主に非海成層からなるが、アンモナイトを含む海成層の薄層を挟む。松川ほか (2007) は、手取層群では、3回の海進相が認められることを見いだした。そして、アンモナイトにより、(1) 最初の海進期が、九頭竜川上流地域の貝皿層と山原坂層が示すBathonian後期からCallovianを経てOxfordianと、神通区の桐谷層と真川層から有峰層への層序のOxfordianで、(2) 二番目の海進期が、九頭竜川上流地域の伊月層と荘川地域の御手洗層と、飛騨古川地域の杉崎層が示すTithonian～Berriasianで、(3) 三番目の海進期が飛騨古川地域の稲越層と白山地域のアマゴ谷層で示されるHauterivian～Barremianであるとした (松川ほか, 2007; Matsukawa and Fukui, 2009; 松川・浅原, 2010)。さらに、神通層群は、陸成層からなり、猪谷層に含まれる凝灰岩質砂岩に含まれるジルコンのフィッシュン・トラック (FT) 年代がAptian～Albian以後を示し、手取層群とは異なる時代に形成された可能性が高いとした (松川ほか, 2014)。

2. 2 植物化石の産出層準と産出層

手取層群産の植物化石は、Geyler (1877) が石川県白峰からの標本を記載して以来、34地点から産出した標本が記載され、植物化石群の特徴が議論されてきた。Table 1は、それらの地点、地点名の元記載地名や通称の地名、最初に記載した論文名、その時に記述された時代や地層名を示し、さらにそれらの地点の層序学的位置を松川ほか (2003a, 2007, 2014) と Matsukawa et al. (2006) で区分された地層名で示したものである。これらの多くの地点は、元記載の論文で、地図上に位置が示されてない。そのため、地図上の位置と層序的位置の決定に関しては、現地で位置を確認し、その位置に該当する層序を検討した。なお、この表でリストした地点のうち、幾つかの地点は、新設されたダム湖の水底に没した (福井県大野市の箱ヶ瀬、持穴)、記載事項の範囲が広すぎて特定できない

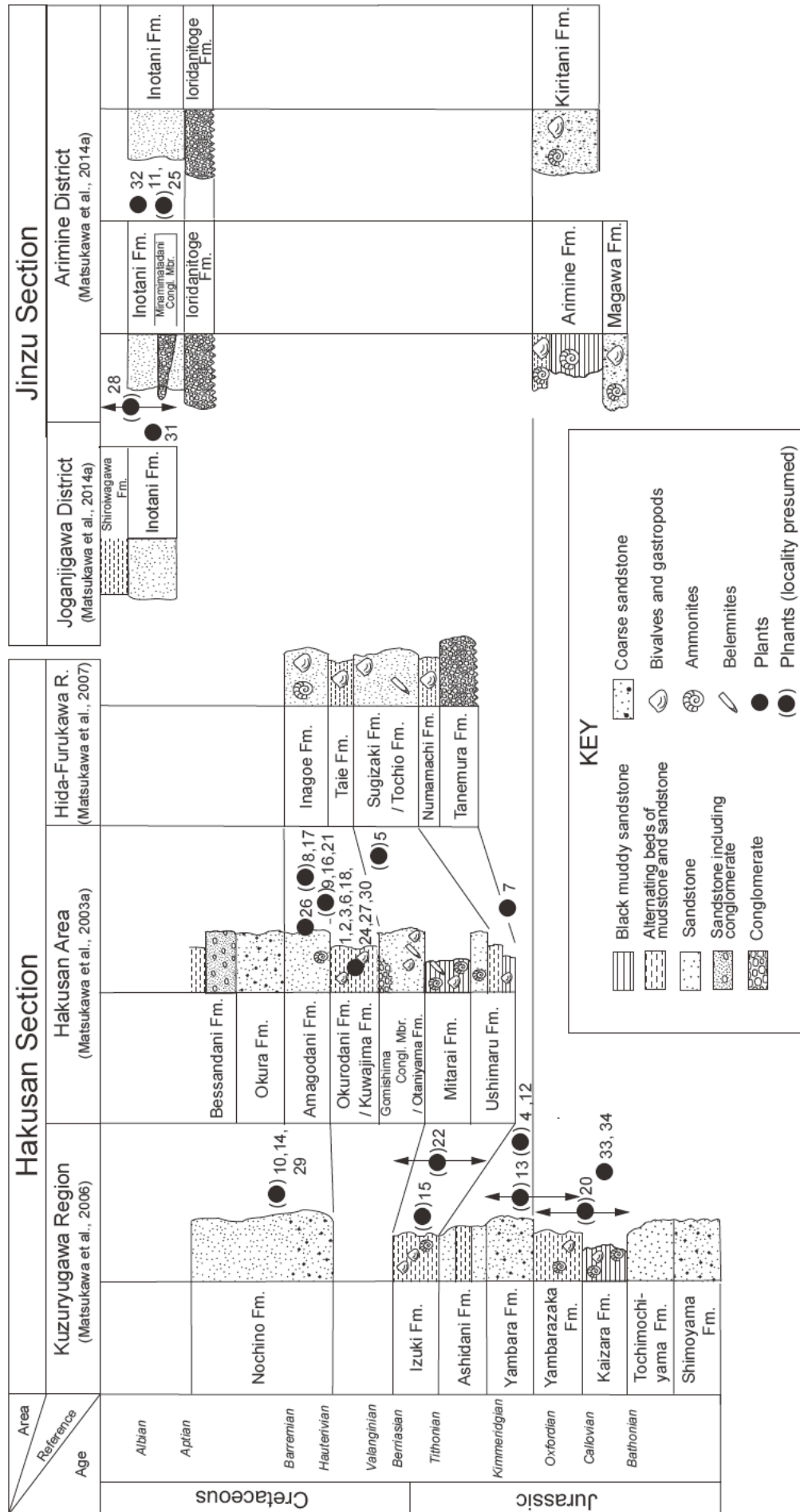


Fig. 2. Occurrences of plant fossils of the Tetori and Jinzu groups. Lithostratigraphy and correlation cited from Matsukawa et al. (2014). Arrow indicates possible occurrence range.

Table 1. List of plant fossil localities, strata bearing fossils, authors and numbers in maps. (figs. 2-4).

化石産地の地名表記	元記載の地名	地名(通称, 元記載名)	化石産地名記載者	化石産地の時代または地層名	化石産地の地層の松川ほか (2003, 2007, 2014), Matsukawa et al. (2006)の地層名	地図上の 記号
Tetorigawa (Kaga)	嶋	桑島(化石壁)	Geyler (1877)	Dogger (K. Jurassic)	桑島層	1
Shimamra (Prov. Kaga)	嶋 村	桑島(化石壁)	Yokoyama (1889)	Jurassic	桑島層	1
Yanagidani (Prov. Kaga)	柳谷	柳谷	Yokoyama (1889)	Jurassic	桑島層	2
Ozo (Prov. Kaga)	尾添	尾添川沿い標高370m	Yokoyama (1889)	Jurassic	桑島層	3
Hakogase (Prov. Echizen)	箱ヶ瀬	箱ヶ瀬(福井県)	Yokoyama (1889)	Jurassic	山原層	4
Tanimura (Prov. Echizen)	谷村	谷(福井県)標高293m	Yokoyama (1889)	Jurassic	大谷山層 または大黒谷層	5
Okamigo (Prov. Hida)	尾上郷	大黒谷沿い標高1,000m	Yokoyama (1889)	Jurassic	大黒谷層	6
Ushigatani (Prov. Hida)	牛丸	牛丸 標高780m	Yokoyama (1889)	Jurassic	牛丸層	7
Kami-uchinami ca 350 m south of Higashijima, Kuwashima- mura	上打波	福井県大野郡五箇村上打波	Yabe (1905)	Jurassic	アマゴ谷層	8
Nochino	後野	桑島	Yabe (1922)	Tetori series	桑島層 またはアマゴ谷層	9
Iwaidani (Gihu)	岩井谷(岐阜県山之内村)	福井県大野市後野	Yabe (1922)	Tetori Series	後野層	10
Motiana	持穴	岩井谷(岐阜県山之内村)	Oishi (1940)	Tetori Series	猪谷層	11
Kowasimizu	小和清水	福井県大野郡上穴馬村持穴	Oishi (1940)	Tetori Series	山原層	12
Yambara	山原	福井県足羽郡下宇坂村小和清水	Oishi (1940)	Tetori Series	山原層	
Maesaka	前坂	福井県大野郡下穴馬村山原	Oishi (1940)	Tetori Series	山原坂層または山原層	13
Izuki	伊月	福井県大野郡下穴馬村前坂	Oishi (1940)	Tetori Series	後野層	14
Kinebasi	木根橋	福井県大野郡下穴馬村伊月	Oishi (1940)	Tetori Series	伊月層	15
Utinami (Hukui)	打波	福井県大野郡北谷村木根橋	Oishi (1940)	Tetori Series	大黒谷層またはアマゴ谷層	16
Otani (Hukui)		福井県大野郡五箇村打波	Oishi (1940)	Tetori Series	アマゴ谷層	17
Togadani	鴉ヶ谷		Oishi (1940)	Tetori Series	桑島層	18
Kami Usaka-mura	上宇坂	石川県能美郡尾口村鴉ヶ谷	Oishi (1940)	Tetori Series	桑島層	19
Simoyama	下山	福井県足羽郡上宇坂村蔵作	Oishi (1940)	Tetori Series	貝皿層 または山原坂層	20
Yunotani	湯ノ谷	福井県大野郡下山	Oishi (1940)	Tetori Series	貝皿層 または山原坂層	21
Tamodani	田茂谷	石川県能美郡白峰村湯ノ谷	Oishi (1940)	Tetori Series	桑島層またはアマゴ谷層	22
Wakago	若生子	福井県大野市	Kimura (1957)	Tamodani grp	葦谷層または伊月層	23
Mekkodani	目附谷	福井県大野市	Kimura (1958)	Kuzuryu Subgroup	下山層から山原層の間	24
Machinaga	町永	石川県白山市	Kimura (1961)	Itoshiro Subgroup	桑島層	25
Bettokuzure	別当崩れ	町永(富山市)	Kimura (1958)		猪谷層	26
Osugidani, Irahara	大杉谷, 苛原	石川県白山市	Kimura and Sekido (1976)	Akaiwa Fm, toshiro subgroup	アマゴ谷層	27
Shirahagi Village (Toyama)	富山県中新川郡白萩村	大杉谷, 苛原(石川県白山市)	Kimura and Sekido (1976)	Akaiwa Fm, toshiro subgroup	桑島層	28
Chinaboradani	知那洞谷	上市(富山県)小又川	木村(1978)		猪谷層または白岩川層	29
Kitadani	北谷	福井県大野市知那洞谷	Kimura and Horiuchi (1979)	Tamodani grp	後野層	30
Kamiichi	上市	福井県勝山市	Yabe and Kubota (2004)	Kitadani fm	大黒谷層	31
Nagatogawa	長楳川	上市(富山県)小又川・千石川	Terada et al. (2004)		猪谷層	32
Kaizara	ホラ谷(貝皿)	富山市	Terada et al. (2004)		猪谷層	33
Shimoyama	谷山谷	福井県大野市	Yamada and Uemura (2008)	Kaizara Fm	貝皿層	34

(Otani (Hukui))。34地点のうち, 11地点 (桑島 (化石壁, 嶋, 嶋村と表記される地点を含む) (Figs. 2, 3, loc. 1, 石川県教育員会, 1978), 鴫が谷 (Figs. 2, 3, loc. 18, Matsuo and Omura, 1968), 田茂谷 (Figs. 2, 3, loc. 22, Kimura, 1975a), 目附谷 (Figs. 2, 3, loc. 24, Kimura, 1961; 小川, 1965), 別当崩れ (Figs. 2, 3, loc. 26, 石川県教育員会, 1978), 大杉谷・苛原 (Figs. 2, 3, loc. 27, Kimura and Sekido, 1976), 北谷 (Figs. 2, 3, loc. 30, Yabe and Kubota, 2004), 長棟川 (Figs. 2, 4, loc. 32, Terada et al. 2004), 上市 (Figs. 2, 4, loc. 31, Terada et al., 2004) とホラ谷 (貝皿), 谷山谷 (下山) (Figs. 2, 3, loc. 33, 34, Yamada and Uemura, 2008) は地図上に位置が示され, 4地点 (尾添 (Figs. 2, 3, loc. 3), 谷村 (Tani-mura) (Figs. 2, 3, loc. 5), 尾上郷 (Figs. 2, 3, loc. 6), 牛丸 (Figs. 2, 3, loc. 7)) は地図上の海拔高度が示されている (Yokoyama, 1889) ので, 合計15地点の位置が確認できた。

2. 2. 1 木村の植物化石の産出層準

Kimura (1957, 1958a, b, 1959, 1961, 1975a, b, 1979, 1980, 1987), 木村 (1978), Kimura and Sekido (1965, 1966, 1967, 1972a, b, 1974, 1975, 1976a, b, 1978), Kimura and Horiuchi (1979) は, Geyler (1877), Yokoyama (1889) や Oishi (1940) の産地から得られた標本の他, 新たに発見した産地から得られた標本を基に分類, 種の記載, 植物群の特徴とその時代を論じた。それらは, 手取層群の植物化石産地34地点のうち25地点を対象とした。この中で, 10地点は地図で産地が確認できた。残りの15地点は, 地点名のみが記述された。産出層準に関して, 田茂谷 (福井県大野市) (Figs. 2, 3, loc. 22) は, 地図上に産地点 (Kimura, 1975a) と柱状図 (Kimura, 1957, 1975a) が示され, 産出層は Tamodani Group, Naru sandstone Bed とされた。しかし, これらの層序単元は, 定義, 模式地, 層序記載, 分布や比較される地層などが示されておらず, 公式層序単元としては認めがたいものである。さらに, Kimura (1975a) は, 公式層序単元としての手続きなしに, 田茂谷の Tamodani Group から Naru sandstone Bed とする層序を Tamodani Formation と変更し, 中部が赤岩層 (前田, 1958; Kawai, 1961) に, 最上部が北谷層 (前田, 1958), 智那洞谷層 (前田, 1957a) や大山層 (前田, 1957b) に相当するとした。そして, 最上部は, 手取層群最上部に位置し, Aptian と推定した。松川ほか (2003b) と Matsukawa et al. (2006) の層序に基づく, Kimura (1975a) の田茂谷の産地の A は芦谷層に, C-H の6地点は伊月層に相当する。特に, 産地 B から *Corbicula* (*Mesocorbicula*)

tetoriensis [この種は Koarai and Matsukawa (2017) により *Neomyrene tetoriensis* として記載された], *Batissa yokoyamai* [この種は Koarai and Matsukawa (2017) により *Tetoria yokoyamai* として記載された], *Ostrea* sp. などの二枚貝や巻貝の化石の産出が記されている (Kimura, 1975a)。これらの軟体動物化石は, 田茂谷の西方の石徹白川沿いの伊月層の模式地で典型的に産出し, また東に隣接する上半原林道沿いの伊月層でも産出する。岩相対比と産出化石に基づく, Tamodani Formation (Kimura, 1975a) とされた地層は, 伊月層の同物異名と判断できる。また, 地図上で産出地点が確認できる地点として, 桑島 (嶋, 嶋村, 化石壁の表記の地点を含む) (Figs. 2, 3, loc. 1) は, 手取川ダムの建設により旧化石壁の位置より約30 m より上に位置するが, 共に桑島層に含まれる。さらに, 目附谷 (Figs. 2, 3, loc. 24), 鴫ヶ谷 (Figs. 2, 3, loc. 18) も, 桑島層に相当する。谷村 (Figs. 2, 3, loc. 5) は大谷山層か, 大黒谷層に, 尾上郷 (Figs. 2, 3, loc. 6) は大黒谷層に, 牛丸 (Figs. 2, 3, loc. 7) は牛丸層に相当する。残りの16地点と木村が対象としていない2地点 (上打波と木根橋) に関して, 松川ほか (2003a, 2007, 2014), Matsukawa et al. (2006) と松川・浅原 (2010) に基づく, 柳谷 (Figs. 2, 3, loc. 2) と大杉谷の苛原 (Figs. 2, 3, loc. 27) は桑島層に, 別当崩れ (Figs. 2, 3, loc. 26), 上打波 (Figs. 2, 3, loc. 8) と打波 (Figs. 2, 3, loc. 17) はアマゴ谷層に, 湯ノ谷 (Figs. 2, 3, loc. 21) は桑島層か, アマゴ谷層に, 山原 (Figs. 2, 3, loc. 13) は山原坂層に, 伊月 (Figs. 2, 3, loc. 15) は伊月層に, 後野 (Figs. 2, 3, loc. 10), 前坂 (Figs. 2, 3, loc. 14) と知那洞谷 (Figs. 2, 3, loc. 29) は後野層に, 木根橋 (Figs. 2, 3, loc. 16) は大黒谷層か, アマゴ谷層に, 岩井谷 (Figs. 2, 4, loc. 11) と町永 (Figs. 2, 4, loc. 25) は猪谷層に, 小又川 (Figs. 2, 4, loc. 28) は猪谷層か, 白岩川層に相当する。また, 尾添 (Figs. 2, 3, loc. 3) は, Matsukawa et al (2007) に基づけば桑島層に相当する。箱ヶ瀬 (Figs. 2, 3, loc. 4) と持穴 (Figs. 2, 3, loc. 12) は, ダム湖の水底に没したが, Matsukawa et al. (2006) の地質図の地層の分布をダム湖内に延長すれば, 山原層の層序に相当する。

2. 2. 2 Yabe and Kubota (2004) の植物化石の産出層

Yabe and Kubota (2004) は, 北谷層から *Brachyphyllum obseum* を記載した。北谷層は, 前田 (1953) により命名され, 前田 (1961a) で不完全ながら記載された。そして, 前田 (1961b) は, 白山周辺地域の地質図 (第1

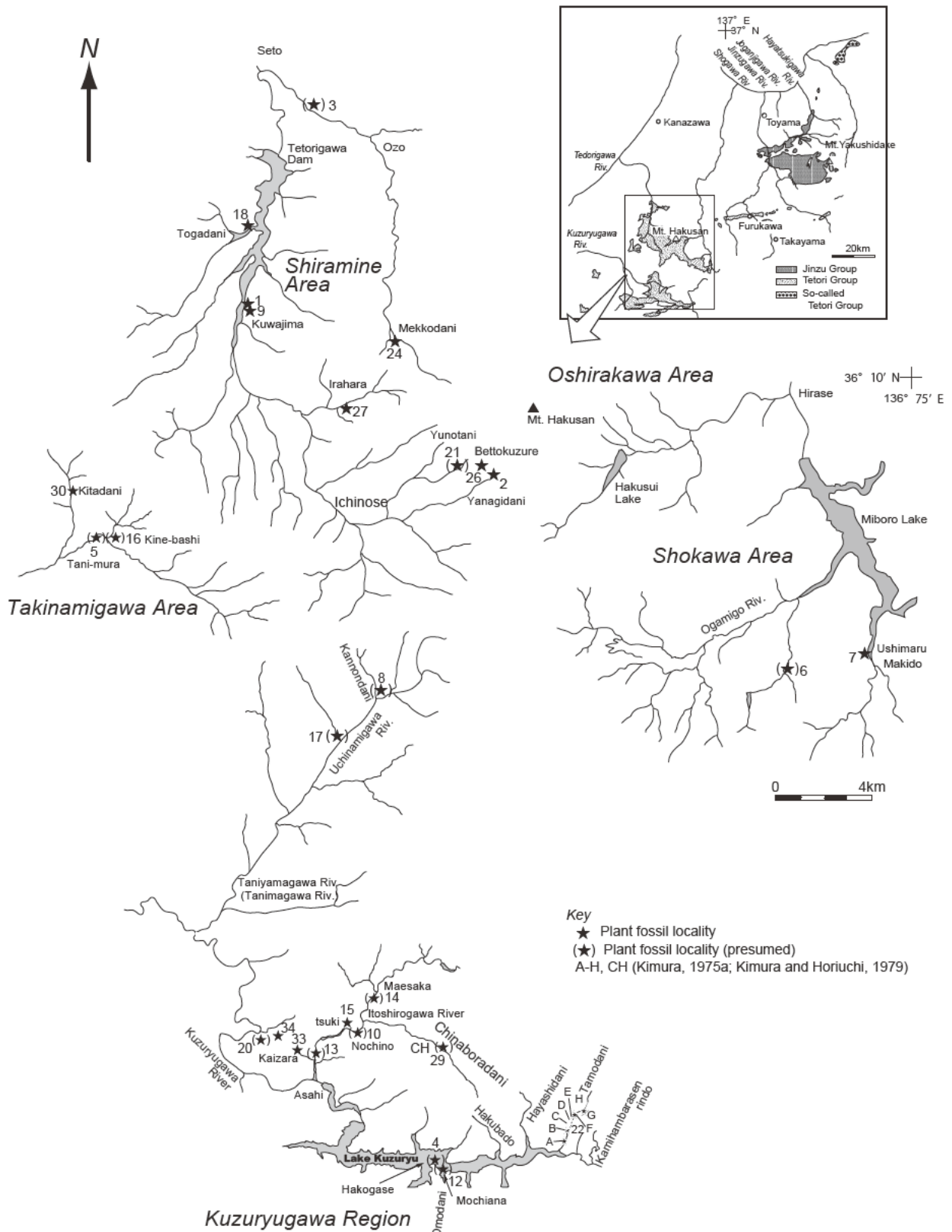


Fig. 3. Map showing location of the plant fossil localities in the Hakusan Section.

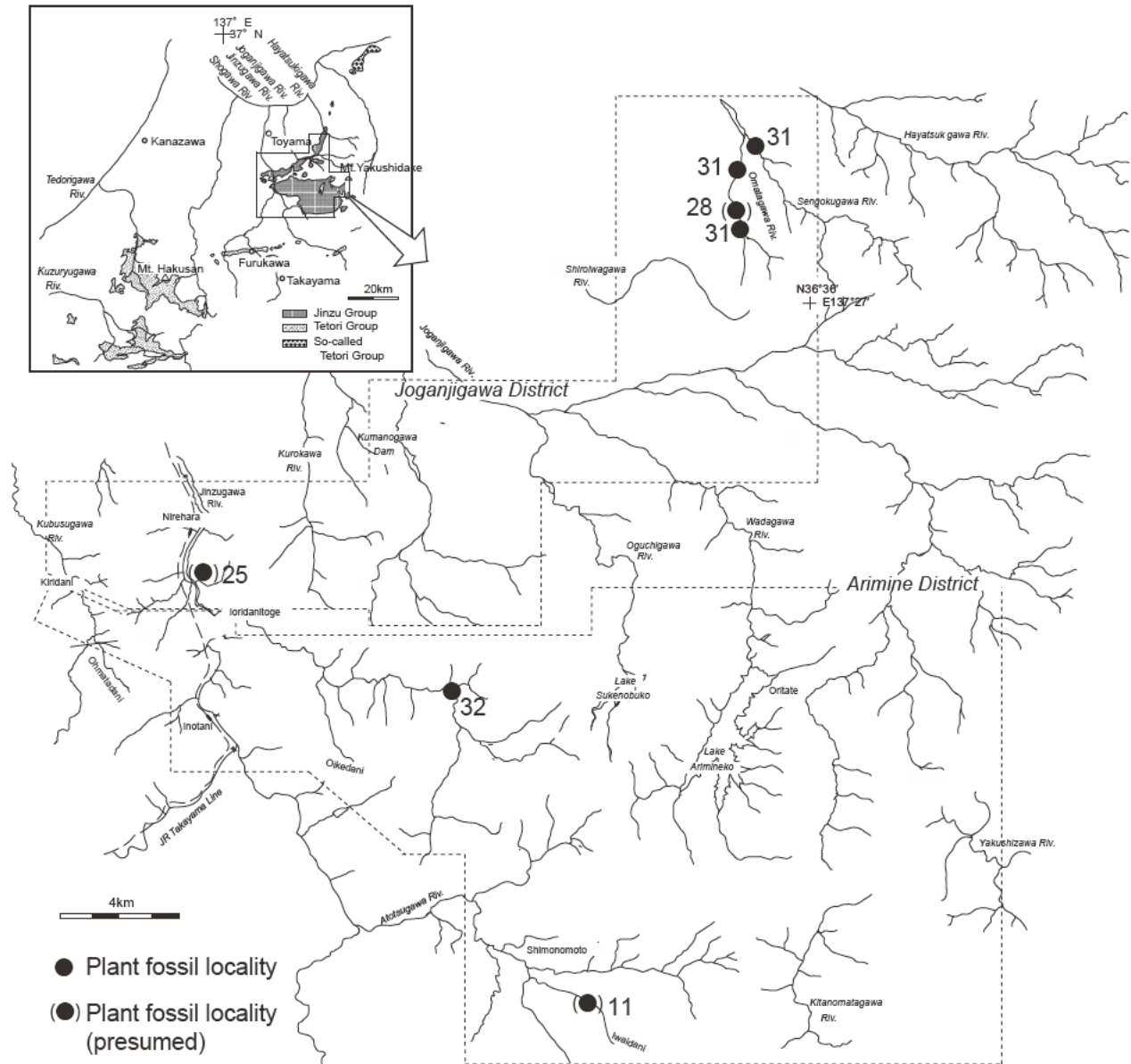


Fig. 4. Map showing location of the plant fossil localities in the Jinzu Section.

図 in 前田 (1961b)) と地質断面図 (第3図 in 前田 (1961b)) に北谷層の分布を示したが、各個柱状図を提示しなかった。前田 (1961b) の地質断面図 M-N では、南側に分布する北谷層は北に 10° 程度傾くように描かれている。しかし、前田 (1961b) の地質図で地質断面を切った M-N の線上に近い地域の北谷層の傾斜は北方に $20^\circ \sim 40^\circ$ の傾斜が記されている。従って、北谷層はそれらの傾斜で北方の地下に延長すると解釈できる。一方、火成岩や火山岩の分布を挟んで、北側の北谷層は南方に 10° 程度傾斜すると記されている。北谷層は、北側で標高 650m から 800m 程度の範囲に、南側で標高 350m \sim 600m の範囲に分布するとされている。北谷層の分布は、北側では高度が高い位置で、

地層の傾斜が緩く南方へ、一方、南側では高度が低い位置で、地層の傾斜がきつく北方に傾くので、同じ地層が向斜構造を呈して連続するとは解釈しにくい。同じ地層が連続すると解釈すると、北谷層は北側が南方に緩傾斜の、南側が北方に急傾斜の非対称の向斜構造が描かれるはずである。しかし、前田 (1961b) では傾斜の緩い対称の向斜構造の最上位に北谷層が位置する断面図 (Fig. 5 の下図) が描かれており、現実の向斜構造と層序が忠実には反映されていない。また、北側と南側の地層の間に火成岩や火山岩が分布し、地表では北谷層の分布が途切れるので、両者が共に北谷層であることを岩相以外の証拠を用いて示さなければならない。しかし、前田 (1961b) では北側と南側の地

層が共に北谷層であることが岩相以外の証拠を用いて説明されていない。なお、前田 (1961b) は、断面図で、南側の地層に現実の傾斜 (北方に $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$) を反映させず、傾斜を緩く (10° 以下) 描いたため、南側の北谷層が、北側の北谷層 (南方に 10° 程度傾斜) と対称の向斜構造を呈し、北谷層が層序的に上位とする断面図を示すことができたと判断できる。(Fig. 5の下図) 前田 (1961b) により北側の北谷層とされる地層は凝灰岩質泥岩層と砂岩泥岩互層からなり、松川ほか (2003a) では、凝灰岩質泥岩層は大道谷層、砂岩泥岩互層は別山谷層として区分された。また、凝灰岩質泥岩から *Aquilapollenites* や *Tschudypollis* などの花粉化石が抽出され、これらは谷峠付近に分布する大道谷層から産出する花粉化石と同様で、白亜紀後期の Maastrichtian 期を示すとした (Nichols et al., 2010)。従って、北側には北谷層として区分できる地層は分布しない。松川ほか (2003a) と Matsukawa et al. (2006, 2007) は地質図 (Fig. 6) を示した。Fig. 5の上図は、それを基に、前田 (1961b) で示された地質断面図が作成された位置とほぼ同様の位置で、地質断面図を作成したものである。南側の手取層群は、標高ほぼ $250\text{m} \sim 600\text{m}$ に分布し、北方に傾斜する。北谷層とされる地層は、ほぼ $350\text{m} \sim 600\text{m}$ に分布し、それ以上の標高の高い地域では火山岩に覆われる。北谷層とされる部分の地層は、傾斜が北方に 30° 程度なので、Fig. 5の上図の断面図では見かけの傾斜角を反映させて描いた。北谷層とされる地層は、北方へ地中に 30° で延長され、北谷層とされる地層の下位には、砂岩泥岩互層と礫岩を含む粗粒砂岩からなる地層があり、同様に北方に傾き地中に延長される。従って、これらの地層の上に重なる地層も北方に傾斜し、地中に延長すると解釈される。一方、北側の手取層群は、標高 $500\text{m} \sim 800\text{m}$ 程度の範囲で、南方に $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$ で傾斜して、下位より五味島礫岩部層、桑島層、アマゴ谷層、大倉層、別山谷層が分布する。その北側では、標高 500m 付近で基盤の飛騨片麻岩に五味島礫岩部層が不整合で覆い、その上位に桑島層が重なる。従って、手取層群の南北の分布ではほぼ同様の標高にほぼ同層位の地層が認められ、南北の手取層群は共に分布の内側に緩く傾くので、ほぼ対称型の緩やかな向斜構造を呈すると解釈できる。Fig. 5の上の地質断面図は、地層の傾斜をほぼ正確に反映して描いたものである。北側の手取層群は標高 $500\text{m} \sim 800\text{m}$ 程度の範囲に、南に傾斜して下位より五味島礫岩部層、桑島層、アマゴ谷層、大倉層、別山谷層が分布する。一方、南側の手取層群は、標高約 $250\text{m} \sim 600\text{m}$ に分布し、北方に傾

斜するので、北側に分布する手取層群より相対的に下位の地層が分布すると解釈できる。南側の手取層群は、下部が砂岩泥岩互層とそれに重なる中礫と大礫サイズの礫を含む粗粒砂岩層からなり、*Neomyrene tetoriensis* を含む。そして、その上位には砂岩泥岩互層が重なり、淡水生軟体動物化石を含む。*Neomyrene tetoriensis* は oligohaline から mesohaline の塩分濃度の環境に生息すると解釈 (松川・中田, 1999) されているので、淡水生軟体動物化石を含む層準への層序は、海退期の堆積相を示す。この軟体動物化石の産出の組み合わせは、莊川地域や白峰地域で見られる大谷山層から大黒谷層またはその同時異相の桑島層への層序や化石の組み合わせの特徴に類似する。従って、この岩相と産出化石の層序変化の特徴、地層の厚さや向斜構造に基づくと、南側の手取層群は下位より大谷山層、桑島層と同時異相の大黒谷層に区分され、北谷層は大黒谷層の同物異名とする松川ほか (2003a) の解釈を支持する。Yabe and Kubota (2004) は、*Neomyrene tetoriensis* が大黒谷層やアマゴ谷層からも産出する (松川・中田, 1999; 松川ほか, 1999) ので、*Neomyrene tetoriensis* から淡水生軟体動物化石への構成種の変化の組み合わせは、海退期の堆積相を示さず、南側の手取層群が大谷山層と大黒谷層として区分する根拠にはならないとした。そして、南側の手取層群は下位の赤岩層と上位の北谷層からなるとする前田 (1961b) の解釈に同意できるとした。しかし、Yabe and Kubota (2004) は、地質図や断面図を基に、地質構造を考慮することなく層序を議論しているので、彼らの解釈は説得性に欠ける。Yabe and Kubota (2004) が記載した *Brachyphyllum obseum* は、層位的には上位の地層から産出したのでは無く、大黒谷層から産出したと解釈できる。

2. 2. 3 Yamada and Uemura (2008) の貝皿層から産出した植物化石

Yamada and Uemura (2008) により、貝皿層から13種の植物化石が記載され、貝皿植物群と命名され、九頭竜植物群の構成とは異なるとされた。これは層序的には、Oishi (1940) の下山と九頭竜植物群 (Kimura, 1958b) の下山の化石産地に相当し、手取層群の中では下位の層準に相当する。

2. 3 植物化石群の生層序学的分解能と古気候変化の解釈の評価

植物群の特徴に関して、Oishi (1940) は手取層群産の植物化石を Tetori Series の植物として一括して議論を進めた。その後、手取層群産の植物化石は、九頭竜

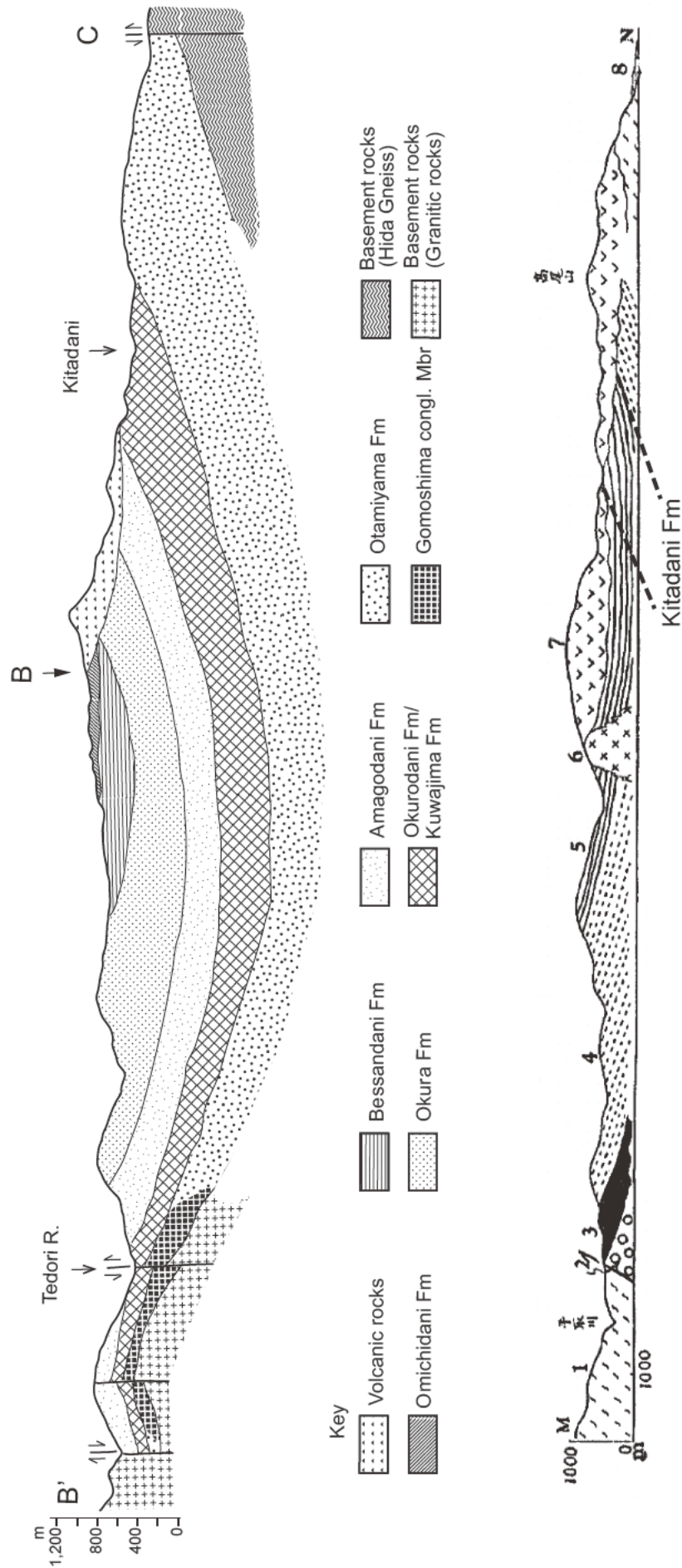


Fig. 5. Top: Geological profile of section C - B' in Fig. 6. Bottom: The top of fig. 3 in Maeda (1961b). 1. Hida Gneiss, 2. Gomoshima conglomerate, 3. Kuwashima alteration of shale and sandstone, 4. Akaiwa sandstone, 5. Kitadani alteration of sandstone, shale and tuff, 6. Quartz-porphry, 7. Andesites, 8. Alluvium. A value of the inclination of broken line was employed from the values of dips of the Kitadani Formation on the geological map (Maeda, 1961b). The distribution of the Kitadani Formation (Maeda, 1961b) on the geological section is interpreted to be occupied in a part enclosed by broken lines.

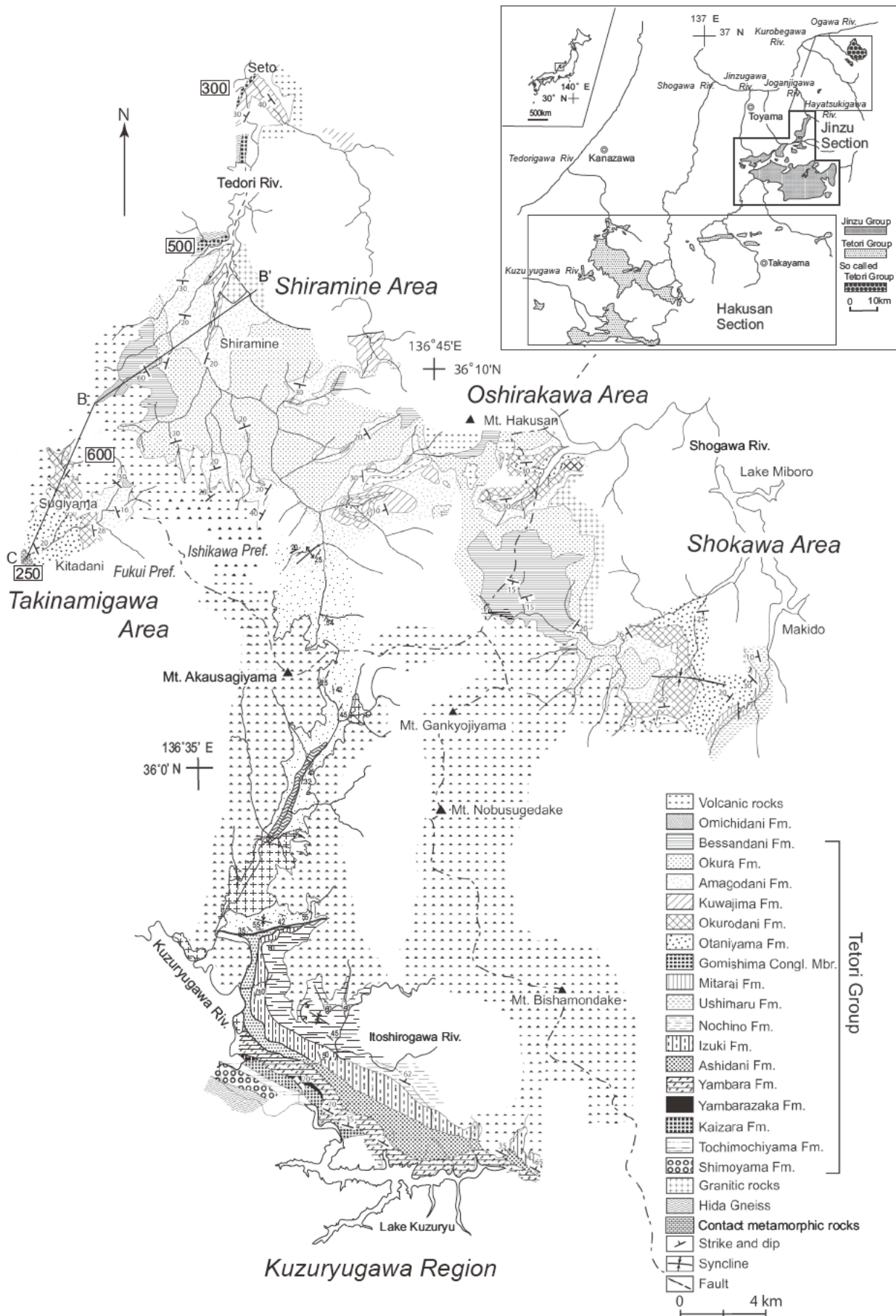


Fig. 6. Geological map and geological profiles of the Tetori Group in both the Kuzuryugawa and Mt. Hakusan regions. Compiled from Matsukawa et al. (2008) and Koarai and Matsukawa (2016).

植物群 (Kimura, 1958b), 尾口植物群 (Kimura, 1961), 赤岩植物群 (Kimura and Sekido, 1976a) と田茂谷植物群 (Kimura, 1975b) の4つの植物群に区分され, 議論されてきた。そして, 4つの植物群は九頭竜植物群がジュラ紀後期, 尾口植物群と赤岩植物群がNeocomian初期, 田茂谷植物群がAptianで, 4つの植物群は時代を反映しているとされた (Kimura, 1958b, 1961, 1975b; Kimura and Sekido, 1976a)。4つの植物群の産地の層序学的位置に関して, 松川ほか (2003a, 2007, 2014) と Matsukawa et al. (2006) に基づき検討する。

九頭竜植物群とされた産地は, 岐阜県牛丸 (Figs. 2, 3, loc. 7), 福井県下山 (Figs. 2, 3, loc. 20), 持穴 (Figs. 2, 3, loc. 12), 箱ヶ瀬 (Figs. 2, 3, loc. 4) と若生子である。これらの産地は層序的には牛丸は牛丸層に, 下山は貝皿層から山原坂層のいずれか, また, 持穴と箱ヶ瀬は山原層に相当する。これらのうち, 持穴と箱ヶ瀬は手取層群の1回目の海進期に, 牛丸は2回目の海進期の堆積相に相当する。下山の産地は貝皿層から山原坂層の層序のいずれかなので, 手取層群の1回目の海進期の堆積相に相当する。尾口植物群とされた産地は, 桑島 (化石壁, 嶋, 嶋村との表記の地点を含む) (Figs. 2, 3, loc. 1), 柳谷 (Figs. 2, 3, loc. 2), 尾添 (Figs. 2, 3, loc. 3), 尾上郷 (Figs. 2, 3, loc. 6), 錫が谷 (Figs. 2, 3, loc. 18) と目附谷 (Figs. 2, 3, loc. 24) から産出した植物化石で, それらは桑島層と大黒谷層である。赤岩植物群とされた産地は, 別当崩れ (Figs. 2, 3, loc. 26), 大杉谷の苛原 (Figs. 2, 3, loc. 27) と田茂谷のC-F (Kimura, 1975a) (Figs. 2, 3, loc. 22) の4つの層準である。しかし, 別当崩れは, アマゴ谷層に, 大杉谷の苛原は桑島層に, 田茂谷の産地C-Fの層準は葦谷層から伊月層の層序に相当する。従って, 赤岩植物群とされた産地は, 層序的には葦谷層～伊月層から桑島層を経てアマゴ谷層にいたる長い期間のものであると解釈される。また, 田茂谷植物群とされた産地は, 田茂谷の産地GとH (Kimura, 1975a) (Figs. 2, 3, loc. 22) の2つの層準, 知那洞谷 (Figs. 2, 3, loc. 29) である。田茂谷のGとHの層準は葦谷層から伊月層の層序に, 知那洞谷は後野層に相当する。従って, 田茂谷植物群は, 層序的には葦谷層～伊月層から後野層への期間のものであると解釈される。4つの植物群のうち, 牛丸を除く九頭竜植物群の産地の層準は, 他の3つの植物化石群の産地の層準より古い。

植物地理区の問題を考察する場合, その基本として, (1) 植物化石層の層準が層序学的に十分に検討されていること (木村, 1979) に基づくと, 赤岩植物群と田茂谷植物群とされた化石の産出層準は層序学的に

は手取層群の上位ではなく, 尾口植物群の産出層準の下位から上位に及び, その中位が尾口植物群とほぼ同位である。従って, 尾口, 赤岩, 田茂谷植物群の3つの植物群を構成する植物の産出, 出現は, 時代に支配されているのではないと解釈できる。

3. 手取層群の植物化石の現地生の程度の把握と植生復元

植物は一般的に, 気温と降水量の影響を大きく受けており, 逆に植物相の組成からその地域の気温や降水量を推定することができる。そして, 気温から植物の水平と垂直分布も推定できる。シダ状葉 (シダ類, シダ種子類を含む) においては, 山の谷斜面から谷底の異なる微地形間で, 種ごとの出現率が異なることが示され, また, その出現は幅1-2mで定常的な流水がある流路から離れるほど種数が減少する傾向が示された (杉村・沖津, 2009)。手取層群の植物群は構成植物化石種 of 古植物地理分布により, 当時のこの地域の古気候が推定されている (例えば, 大花・木村, 1995; Ohana and Kimura, 1995; 木村ほか, 1996) が, 垂直 (高度) 分布については議論されていない。

植物化石は, 生育していた後背地で落葉し, 運搬され, 堆積したものである。化石として産出するまで, 水流による運搬や破壊・摩耗・溶解などを受けた後, 底質中に埋没し, さらに続成作用を受ける。(1) 運搬・堆積過程における破壊が一様に進行したとすると, 産出個体数の量比から植生を構成する植物の分類の割合を見積もることができ, (2) 葉の強度が同一であるとすると, 破壊の程度から生育場所から堆積場所までの相対的な距離を見積もることができる。

葉の破壊の程度は, 産状観察より, ① 軸や枝に羽状や葉がついた完全な状態から, ② 軸から羽状の一部が取れた状態, ③ 軸からとれた羽状のみの状態, ④ 羽状と判別不可能なまで破片となった状態の4段階に大きく分けることができる (Fig. 7)。これは, 同じ強度の植物で比較した場合, 水流による破壊を受けた時間を示し, 破壊の進んだ植物ほど, 遠いところから運搬されてきたものであることを示す (大久保, 1998)。従って, 植物の保存状態 (破壊の程度) は, 植物の生育場所から堆積場所までの距離を反映していると考えられる。多くの属を扱うことにより統計的に意味ある傾向を読み取ることが可能である。Fig. 8には, 4つに分類した植物葉体化石の保存状態と① 植物化石の破壊の程度, ② 水流による運搬との距離, ③ 生育場所から堆積場所までの距離との関係を示した。これに

より、植物の生育地から堆積場までの相対的な距離を見積もることができる。特に、植物化石は河川の上流から下流に流下する流れにより運搬されるので、破壊の程度による運搬距離の見積もりは、植生場所から堆積場所までの相対的な距離を表す。また、河川の上流と下流の間には標高差があるので、植生場所から堆積場所までの相対的な高度の差を表す。従って、破壊の程度により植生の垂直（高度）分布を推定することが可能である。

そこで、手取層群から産出した化石の保存状態に基づき、化石の産出場所から生育地までの相対的な距離を見積もり、化石の現地性の程度と植生について議論する。

3. 1 標本保存の分類

手取層群の植物化石産地のうち、目附谷 (Figs. 2, 3, loc. 24) は最も多量に標本を産出する。石川県小松市立博物館には、目附谷から得られた約2,000標本が収蔵されている。

3. 2 産出個体数の分類別の割合

約2,000標本は、シダ状葉（シダ類、シダ種子類を含む）が9属18種、ソテツ状葉（ソテツ類、ベネチテス類を含む）が6属19種、球果類が3属3種、イチョウ類が2属4種からなる (Table 2)。個体数の割合は、高次の分類単位ではシダ状葉（シダ類、シダ種子類を含む）が最も多く全体の45%を占め、続いてソテツ状葉（ソテツ類、ベネチテス類を含む）が27%、球果類が17%、イチョウ類が11%の順である (Fig. 9)。

3. 3 保存の程度

シダ状葉（シダ類、シダ種子類を含む）、ソテツ状葉（ソテツ類、ベネチテス類を含む）、球果類の植物葉体化石の保存状態について、①完全、②軸周辺、③羽状または葉、④破片に区分した。イチョウ類については、シダ状葉（シダ類、シダ種子類を含む）、ソテツ状葉（ソテツ類、ベネチテス類を含む）、球果類の植物の羽状の保存の程度に対応する保存度として「葉」という表現で表した。また、葉が一枚ずつ別々

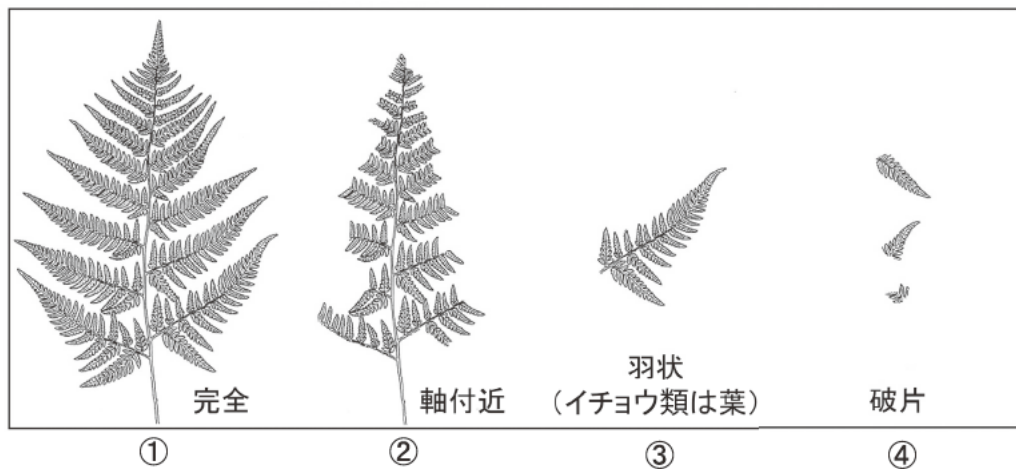


Fig. 7. Diagram showing preservation index of leaf, ① complete, ② leaf axis area, ③ pinnately compound leaves, ④ fragment




	complete	leaf axis area	pinnately compound leaves	fragment	
Degree of fragmentation	small				large
Transportation distance by the current	short				long
Distance between a vegetation place and the sedimentation place	near				far

Fig. 8. Relationship between fragment index and three elements for reconstruction of vegetation.

Table 2. List of species of specimens from the Kuwajima Formation at Loc. Mekkodani, Hakusan City, Ishikawa Prefecture. The specimens are housed in the Komatsu City Museum, Komatsu City, Ishikawa Prefecture.

<i>Equisetites ushimarensis</i>	<i>Dictyozamites auriculatus</i>
<i>Osmundopsis distans</i>	<i>D. imamuræ</i>
<i>Gleichenites hakusanensis</i>	<i>D. ishikawaensis</i>
<i>G. ishikawaensis</i>	<i>D. kawasakii</i>
<i>G. nipponensis</i>	<i>D. obliquus</i>
<i>G. yamazakii</i>	<i>D. reniformis</i>
<i>G. sp.</i>	<i>D. tetoriensis</i>
<i>Coniopteris burejensis</i>	<i>D. sp.</i>
<i>C. sp.</i>	<i>Neozamites elongata</i>
<i>Birisia onychioides</i>	<i>Ctenis burejensis</i>
<i>Eboracia nipponica</i>	<i>C. cfr. formosa</i>
<i>E. tetoriensis</i>	<i>C. nipponica</i>
<i>E. sp.</i>	<i>C. sp.</i>
<i>Adiantopteris ginkgofolia</i>	<i>Nilssonia kotoi</i>
<i>Cladophlebis denticulata</i>	<i>Ni. orientalis</i>
<i>C. sp.</i>	<i>N. schunbumensis</i>
<i>Onychiopsis elongata</i>	<i>N. sp.</i>
<i>O. sp.</i>	<i>Nilssoniocladus nipponensis</i>
	<i>Tetoria endoi</i>
	<i>Podozamites lanceolatus</i>
	<i>Podocarupus reinii</i>
	<i>Nageia reinii</i>
	<i>Ginkgoits digitata</i>
	<i>G. sp.</i>
	<i>Ginkgoidium nathorstii</i>
	<i>G. sp.</i>

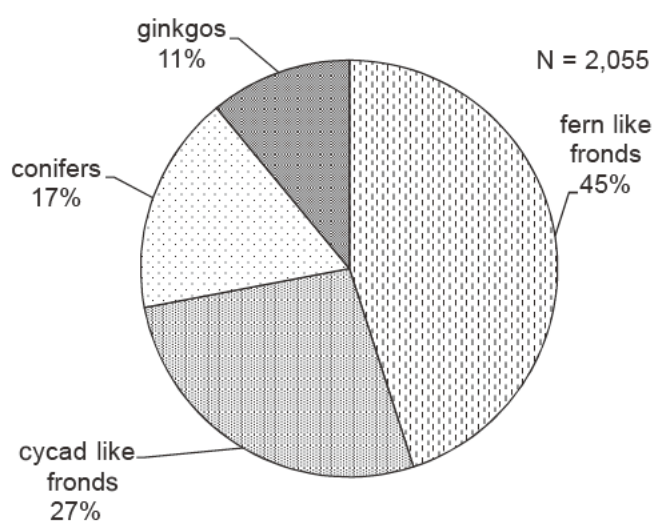


Fig. 9. Occurrence ratio of higher taxa of plants from locality at Mekkodani in Hakusan City, Ishikawa Prefecture.

に保存されているため、葉の保存状態についても考慮し、葉が完全な形で残っているものと破壊されているものに分けて表した。

シダ状葉（シダ類、シダ種子類を含む）は、①完全、②軸付近、③羽状または葉、④破片のいずれの項目でも、*Onychiopsis* 属、*Gleichenites* 属と *Cladophlebis* 属を併せて75%以上を占める。*Gleichenites* 属は完全、軸付近、羽状または葉と破片の順に割合が少なくなる。*Cladophlebis* 属は羽状または葉が、*Onychiopsis* 属は破片が50%で優占する（Table 3-1, Fig. 10）。

ソテツ状葉（ソテツ類、ベネチテス類を含む）は、4つの項目で *Dictyozamites* 属、*Nilssoniocladus* 属と *Nilssonia* 属を併せて75%程度占める。*Dictyozamites* 属は4つの項目でいずれも高い割合を占める。しかし、*Nilssoniocladus* 属は羽状または葉、*Nilssonia* 属は軸付近の占める割合が低い（Table 3-2, Fig. 10）。

球果類は、*Porocarpus* 属と *Podozamites* 属が4つの項目で第1位と第2位で90%程度占める（Table 3-3, Fig. 10）。

イチヨウ類は、*Ginkgoites* 属は *Ginkoidium* 属に比べ

Table 3-1. List of individual numbers of four preservation index of fern like fronds.

taxa (genus)	complete	leaf axis area	pinnately compound leaves	fragment	total amount of specimen
<i>Cladophlebis</i>	42	86	115	24	267
<i>Onychiopsis</i>	59	118	51	47	275
<i>Gleichenites</i>	48	68	28	10	154
<i>Osmundopsis</i>	7	44	35	2	88
<i>Eboracia</i>	11	32	34	9	86
<i>Coniopteris</i>	4	0	2	2	8
<i>Adiantopteris</i>	0	0	1	1	2
<i>Birisia</i>	1	1	1	1	4
<i>Equisetites</i>	4	0	0	0	4
total amount of specimen	176	349	267	96	888

Table 3-2. List of individual numbers of four preservation index of cycad like fronds.

taxa (genus)	complete	leaf axis area	pinnately compound leaves	fragment	total amount of specimen
<i>Dictyozamites</i>	26	83	76	25	210
<i>Nilssoniocladus</i>	26	30	19	33	108
<i>Nilssonia</i>	13	8	30	15	66
<i>Ctenis</i>	15	19	19	3	56
<i>Tetoria</i>	0	7	38	2	47
<i>Neozamites</i>	1	0	0	0	1
total amount of specimen	81	147	182	78	488

Table 3-3. List of individual numbers of four preservation index of conifers.

taxa (genus)	complete	leaf axis area	pinnately compound leaves	fragment	total amount of specimen
<i>Podocarpus</i>	39	30	97	74	240
<i>Podozamites</i>	15	20	40	39	114
<i>Nageia</i>	4	2	7	15	28
total amount of specimen	58	52	144	128	382

Table 3-4. List of individual numbers of four preservation index of ginkgos.

taxa (genus)	leaf axis area	leaf (complete)	leaf (damaged)	fragment	total amount of specimen
<i>Ginkgoites</i>	3	68	72	20	163
<i>Ginkgoidium</i>	0	11	44	2	57
total amount of specimen	3	79	116	22	220

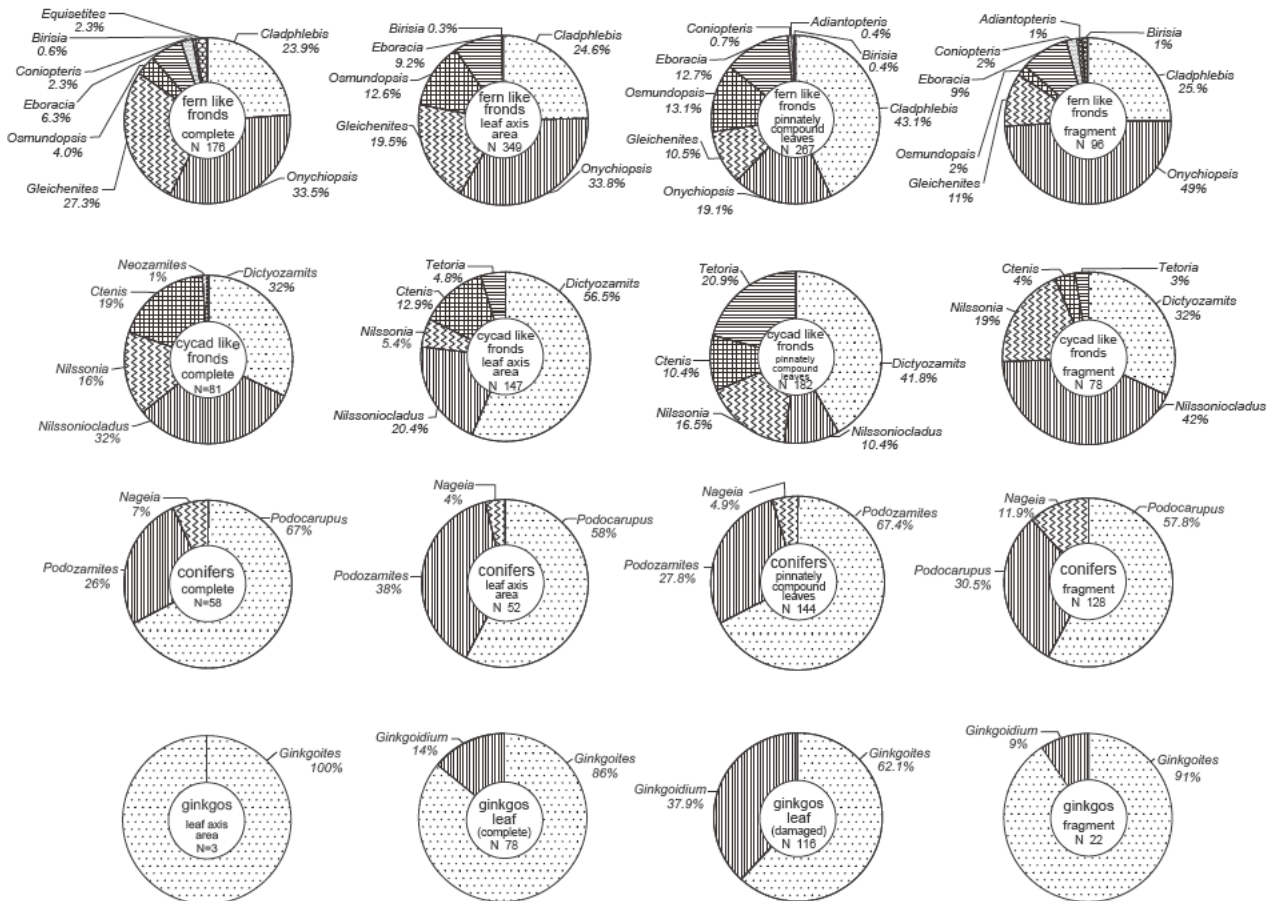


Fig. 10. Preservation index ratio of four higher taxa, fern like fronds, cycad like fronds, conifers, ginkgos.

て、破損した葉以外の項目で高い割合を占める (Table 3-4, Fig. 10)。

3. 4 古植生の復元

シダ状葉 (シダ類, シダ種子類を含む) では, ①完全は, *Onychiopsis* 属, *Gleichenites* 属, *Cladophlebis* 属, *Eboracia* 属, *Osmunda* 属, *Coniopteris* 属, *Equisetites* 属, *Birisia* 属の順に割合が減ずる。この順位は, 堆積場所に最も近い場所での植生の優占度の順位を示す。一方, ④破片は *Onychiopsis* 属, *Cladophlebis* 属, *Gleichenites* 属, *Eboracia* 属, *Osmunda* 属, *Coniopteris* 属, *Adiantopteris* 属, *Birisia* 属の順に割合が減ずる。これは, 堆積場所から最も離れた場所での植生の優占度を示す。従って, シダ状葉 (シダ類, シダ種子類を含む) は *Onychiopsis* 属, *Gleichenites* 属, *Cladophlebis* 属の順で堆積場所の近くからより離れた場所まで優占していたと解釈できる。ただし, *Gleichenites* 属は堆積場所から離れるに連れて優占度が低くなり, *Equisetites* 属は完全のみが産出したので, これらは堆

積場所の近くで生育していたと思われる。

ソテツ状葉 (ソテツ類, ペネチテス類を含む) では, ①完全は *Nilssonocladus* 属と *Dictyozamites* 属, *Nilssonia* 属, *Ctenis* 属, *Neozamites* 属の順に割合が減じ, 堆積場所に最も近い場所での植生の優占度の順位を示す。一方, ④破片は *Nilssonocladus* 属, *Dictyozamites* 属, *Nilssonia* 属, *Ctenis* 属, *Nilssonia* 属, *Tectoria* 属の順に割合が減じ, 堆積場所から最も離れた場所での植生の優占度の順位を示す。*Neozamites* 属は完全の1標本が認められたので, 堆積場所近くの優占度が低い植物と解釈される。

球果類では, 4つの保存の程度の順番は, 何れも *Podocarpus* 属, *Podozamites* 属, *Nageia* 属の順で, 堆積場所の近くから離れた場所までの優占度の順位は変わらない。

イチョウ類では, すべての保存状態で *Ginkgoites* 属が優占する。

植物葉化石の破壊の程度は, 植生した場所から堆積した場所までの相対的な距離を示す。また, 植生した

場所から堆積した場所までは水流により運搬されるので、これは植生した場所から堆積した場所までの間の高低差を表す。そのため、葉の破壊の程度から運搬距離と植生場所の高低差を見積もることが可能である。

従って、破壊の程度が低い構成属は、運搬距離が短く、高度の低い地域に生育していたと推定される。シダ状葉（シダ類、シダ種子類を含む）の *Onychiopsis* 属、*Gleichenites* 属、*Cladophlebis* 属、ソテツ状葉（ソテツ類、ベネチテス類を含む）の *Dictyozamites* 属、*Nilssoniocladus* 属、*Nilssonina* 属、球果類の *Podocarpus* 属、*Podozamites* 属、*Nageia* 属、イチョウ類の *Ginkgoites* 属は、破壊度が低いので、これらの構成属が高度の低い地域を優占していたと解釈できる。また、破壊の程度が高い破片の構成属も、完全の構成属とほぼ同じなので、堆積場所から離れた地域の植生は堆積場所付近の植生と大きな差がなかったと推定される。このことから、高度差による植生の相異は顕著ではなかったと解釈される

3. 5 領石型植物群構成属の手取層群における現地性の程度と生息場所の推定

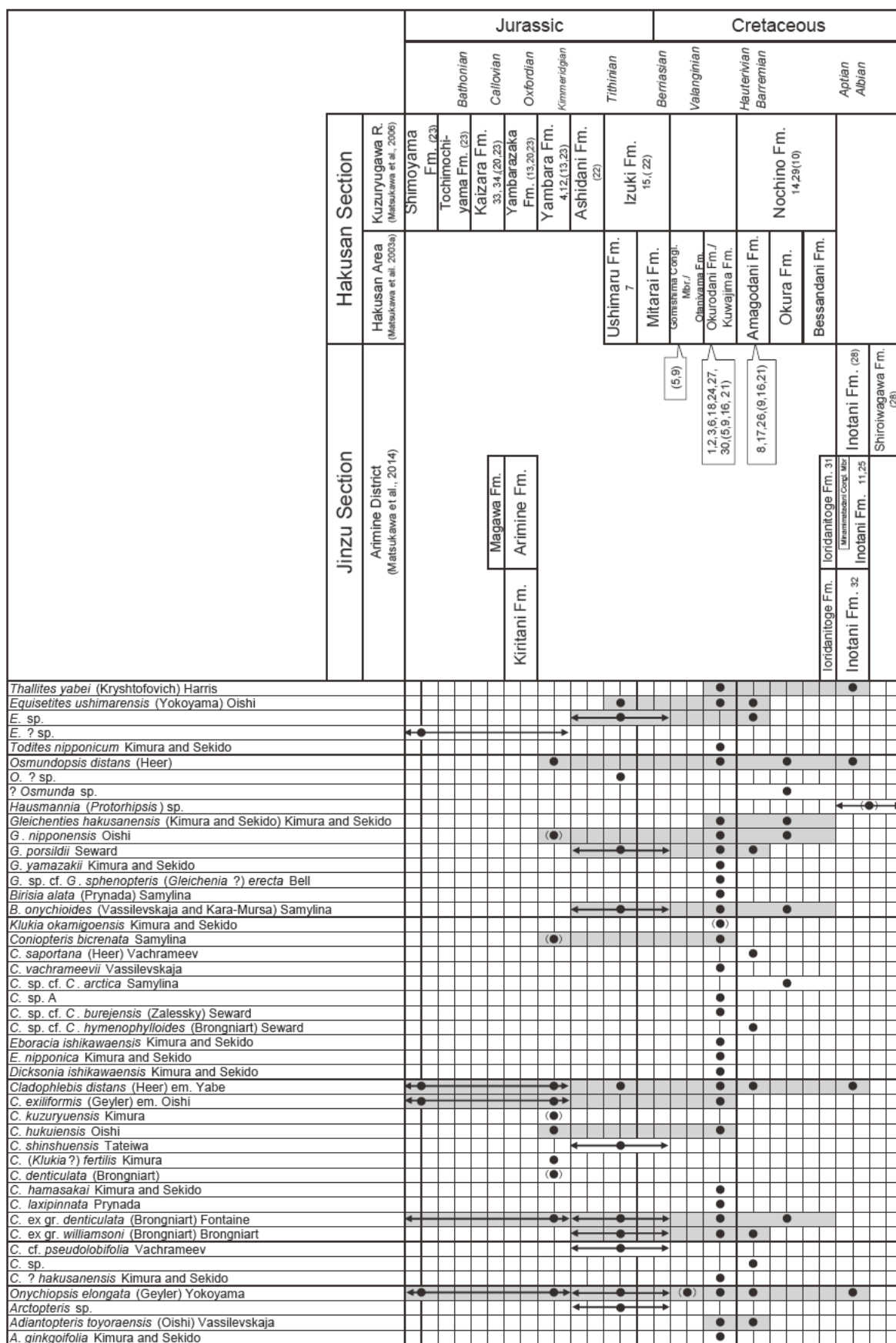
Yabe et al. (2003) により、手取層群に領石型植物群を構成する植物種が侵入した証拠として、*Coniopteris* 属、*Dicksonia* 属、*Birisia* 属のシダ状葉（シダ類、シダ種子類を含む）、*Brachyphyllum* 属の球果類、*Nilssonina* cf. *schaumburgensis* のソテツ綱があげられた。これらについて、石川県小松市立博物館に所蔵される目附谷産の標本の保存の程度に基づき、植生場所を推測すると、(1) *Coniopteris* 属は8個体のうち、①完全が4標本、②軸周辺が0個、③羽状または葉が2個、④破片が2個で、堆積場所の近くの方が離れた場所より多い。(2) *Birisia* 属は4個体で、4つの破壊の程度の区分ごとにそれぞれ1個である。(3) *Nilssonina* *schaumburgensis* は7個で、①完全が4標本、②軸周辺が1個、③羽状または葉が1個、④破片が1個で、堆積場所の近くの方が離れた場所より多い。*Dicksonia* 属と *Brachyphyllum* 属は産出されていない。これらの植物は、目附谷から産出した2,055標本のなかの19個体であるが、標本の保存の程度に基づく、何れも堆積場所の近くに僅かの量の個体が繁茂していたことを示す。これらの破片の量が少ないので、それらは低地で繁茂していたと考えられる。領石型の植物群を構成するとされる植物種の産出は伊月層、桑島層と大黒谷層からなので、手取層群中部の時代のそれらの地層の堆積場所の近くで僅かの個体数が繁茂していたと思われる。

4. 手取型の植物化石群の層序的特徴

Fig. 11 は、木村の一連の研究により記載された植物化石種の産出層と Yabe and Kubota (2004), Terada et al. (2004), Yamada and Uemura (2008), 寺田・矢部 (2011) により記載された植物化石種の産出層準を松川ほか (2003a, 2007, 2014) と Matsukawa et al. (2006) の層序に基づき示したものである。これにより、手取型の植物群の構成種の産出層準、産出期間を具体的に示し、植物群内の構成種の産出の層序的特徴や地域的特徴を評価する。木村により記載された種は手取層群を広くカバーするので、それらを基に議論する。Fig. 11 にリストした植物化石種のうち、木村により記載された153種を、植物分類表（大場, 2011）の分類順に並べた。しかし、木村の一連の研究による記載では、記載された標本の特徴に基づき属種に分類され、学名が付されているが、高次分類の所属が明記されていない場合が多々あり、それらは高次分類を不明として扱った。なお、木村により記載された153種は、Yokoyama (1889), Oishi (1940) などの先行研究で記載された種を含む。また、Fig. 11 では、木村一連の研究後に記載された種も示した。さらに、木村は記載した種をその後自ら訂正したが、記載と議論されたものは表に反映させた。

種数を多く産する地層は、下位から①下山層から山原層の間の層（35種）、②伊月層と同時異相の牛丸層（30種）、③桑島層と同時異相の大黒谷層（93種）、④アマゴ谷層（46種）と⑤後野層（10種）である。そして、産出する種が他の層と共通種数は、①下山層から山原層の間の層から産する35種のうち20種（57%）が共通する。②伊月層と同時異相の牛丸層では30種のうち18種（63%）が共通し、③桑島層と同時異相の大黒谷層では93種のうち38種（40%）が、④アマゴ谷層では46種のうち25種（54%）が、⑤後野層では10種のうち5種（50%）が共通する。従って、①下山層から山原層の間の層（57%）、②伊月層と同時異相の牛丸層（63%）、④アマゴ谷層（54%）と⑤後野層（50%）が他の層にも産出する種を多数含むことを示し、産出期間の長い種ではほぼ50%以上が占められている。それらの層では植物種の産出の層序的特徴は認められないと解釈できる。一方、③桑島層と同時異相の大黒谷層（40%）は、他の層にも産出する種の産出は約50%以下で、共通種の産出は少ない。

桑島層とアマゴ谷層の産地の桑島（化石壁、嶋、嶋村との表記の地点を含む）(loc. 1 in Table 1)、目附谷 (loc. 24 in Table 1) と別当崩れ (loc. 26 in Table 1) は、



A large grid with a vertical line. The grid is divided into several horizontal sections by thick lines. The top section has a shaded header row. The grid contains various shaded regions and dots. The dots are located at various intersections of the grid lines. The shaded regions are located at various intersections of the grid lines.

桑島層とアマゴ谷層の植物群の種構成は、それぞれの層のみから産出する種を多く含み、他の層からの植

Number of common species and Value of Sørensen's Quotient of Similarity (QS)	number of species	Kasekikabe	Mekkodani	Bettokuzure
Kasekikabe	53	-	34	18
Mekkodani	68	0.56	-	14
Bettokuzure	48	0.36	0.24	-

Number of common genera and Value of Sørensen's Quotient of Similarity (QS)	number of genera	Kasekikabe	Mekкодani	Bettokuzure
Kasekikabe	32	-	22	18
Mekкодani	28	0.73	-	15
Bettokuzure	24	0.64	0.58	-

– 243 –

物群の種構成とは異なる。両者は、Kimura (1961) と Kimura and Sekido (1976a) の尾口植物群と赤岩植物群にそれぞれ相当する。2つの層の種構成の相異は、上記のように層序的な特徴を示す。しかし、桑島層の2つの産地の桑島（化石壁、嶋、嶋村を含む）では53種が、目附谷では68種が確認されており、そのうち共通種は34種である。これは、桑島では19種（36%）、目附谷では34種（50%）がそれぞれ固有の種を含むことを意味しており、桑島層の同じ地層のなかでも36～50%は地域的に特色ある種を含むことを示す。現世の筑波山の植生分布は、400m²の方形区では、シダ植物は多様な微地形の全てに植生する種と山頂、斜面や低地などの固有の微地形に植生する種が知られ、地域的な特色が認められる（杉村・沖津, 2009）。従って、桑島層とアマゴ谷層の植物群の種構成は、流路近辺の高度の異なる多様な地形に植生していた植物種を反映している可能性が高い。

Yabe and Kubota (2004) は福井県勝山市の北谷層とする地層から産出した *Brachyphyllum obseum* が北半球の亜熱帯気候帯を代表する Eruo-Sinian floristic region に含まれるので、手取層群上部の植物変化がユーラシア東部地域の気候の温暖化と乾燥化を反映しているとした。しかし、北谷層とされる地層は大黒谷層の同物異名であるので、温暖化と乾燥化は大黒谷層の堆積した時代、すなわち桑島層の堆積した時代に認められることになる。桑島層とアマゴ谷層の尾口植物群と赤岩植物群とされる群集にはシベリア植物地理区に特徴的な種が多く含まれて、温暖・湿潤の環境を支持すると解釈されている。従って、尾口植物群とされる群集は、多くの温暖・湿潤を支持する植物種と亜熱帯化と乾燥化を支持する植物種が植生していたと解釈できる。

Kimura (1975a)、木村 (1978)、Kimura and Horiuchi (1979) などでは、手取層群から産出する植物化石群集中に手取型の植物種と領石型の植物種が含まれることを示した。それらのうち領石型の植物種は、*Gleichenites nipponicum*, *Cladophlebis distans*, *C. hukuensis*, *C. ex gr. denticulata*, *Onochiopsis elongata* の5種である。これらの種は下山層から山原層の間の層序から長期にわたり産出する。これらの種が亜熱帯化と乾燥化を反映しているとするならば、それらの気候は手取層群下部の時代から開始され、長い期間維持されていたことになる。なお、その後、木村 (1993) は、手取型と領石型の植物群との間で、共通する種と断定できる化石が発見されていないとした。上記の5種に関して、これに関連して再記載に基づいた議論は

されていない。

Yamada and Uemura (2008) が記載した13種のうち、12種はこれまで手取層群から産出したものとは異なる。これらの産出層準は貝皿層で、手取層群の下部に相当し、ジュラ紀中期である。貝皿層はアンモナイトを産する海成層で、これら13種は他の手取層群の植物化石種が河川成の地層から産出するのとは異なり、海域周辺に植生していた可能性が高い。13種の標本の保存の程度は②軸周辺と③羽状または葉が多く、植生場所から堆積した場所までの距離は短いと解釈されるので、この可能性を支持する。Kimura (1958b) により貝皿層を含む下山層から山原層の間の層から記載された5種は、いずれも手取層群の上部にまで産出範囲が及ぶもので、河川成の地層から産出する。Yamada and Uemura (2008) が記載した13種は、手取層群の堆積期初期の時代の海域の周辺に植生していた可能性が高い。これらが、手取層群から産する植物群の構成の中で古い時代の構成を代表することを証明するためには、植生の相異ではなく、時代の相異であることを示すことが必要である。

5. 結論

- (1) 手取層群と神通層群から産出し、記載された植物種の産出層準と層序に関して、手取層群と神通層群の分布域のほぼ全域にわたり各個柱状図とその作成ルートが示され、区分と対比の再現性が保証されている層序区分（松川ほか, 2003a, 2007, 2014; Matsukawa et al. 2006）に基づき、34地点の層準と層序を明確にした。
- (2) 層序上の位置の解釈に意見の相違があった植物化石を産する北谷層とされた地層が、大黒谷層の同物異名であることを地質図と地質断面図を用いて地質構造から示した。
- (3) 目附谷（桑島層）から産出した約2,000個体の標本を基に葉の破壊の程度を4段階に分けて解析して、手取層群の植物化石の現地性の程度の把握し、植生と高度分布を推定した。
- (4) これまで記載された全種の産出層準、産出期間を具体的に示し、植物群内の構成種の産出の層序的特徴や地域的特徴を評価した。桑島層とアマゴ谷層からのみ産出する種の多くは産出期間が短いので、地域期間帯（teil zone）の短い種と判定される。これらの種の東アジア各地における地域期間帯（teil zone）も短いことを確認できれば、桑島層とアマゴ谷層の時代の示準化石として使用できる可能性がある。

る。一方、それ以外の地層に含まれる種は、産出期間が長く、層序的な産出の特徴は認められない。

6. 図表における地域の英文表記について

手取層群と神通層群は、白山区と神通区に分布する。そして、白山区は3つの地域（九頭竜川地域、白山地域、飛騨古川地域）から、神通区は2つの地域（有峰地域と常願寺川地域）に区分される。さらに、白山地域は、莊川、大白川、白峰、滝波川の4つの地区に細分される。これらの地域区分は、前田の一連の研究で、区分、命名されたものである。松川らの一連の研究では、混乱を避けるため、前田を踏襲してそれらの区分名を使用し、英表記した。区、地域と地区の順に狭い範囲を指すので、英文表記ではこれらを反映させるように、白山区と神通区には、Hakusan Section と Jinzu Section を、白山区の3つの地域には、Kuzuryugawa Region, Hakusan Area, Hida-Furukawa Region を用いた。そして、白山地域の4つの地区（Shokawa, Oshirakawa, Shiramine, Takinamigawa）にはareaを、神通区の2つの地域（Arimine, Jyoganjigawa）にはdistrictを用いた。本論文での地域の英表記は、混乱を避けるため、これまでの表記に従う。

謝辞

本研究に際して、林 慶一教授（甲南大学）と齋木健一博士（千葉県立中央博物館）には、原稿を読んで頂き有益なご意見を頂き論文の改善を図った。故関戸信次氏（小松市立博物館）には小松市立博物館所蔵の目附谷産の標本の調査研究に際してご指導頂いた。また、東京学芸大学松川研究室の院生と学生諸氏には、調査でのご協力とゼミでの有益なご意見を賜った。これらの方々に御礼申し上げる。本研究には日本学術振興会の科学研究費（松川, 15K05328-0）を使用した。

引用文献

Fujita, M., 2003. Geological age and correlation of the vertebrate-bearing horizons in the Tetori Group. Memoir of the Fukui Prefectural Museum 2, 3-14.
Geyler, H.T., 1877. Über Fossile Pflanzen aus der Juraformation Japans. Palaeontographica 24, 221-232, pls.30-34.
石川県教育委員会, 1978. 手取川流域の手取統珪化木産地調査報告書. 石川県教育委員会文化保護課編集, 石川県教育委員会発行, 301p.

Kawai, M., 1961. Late Mesozoic crustal movement in the Hida Plateau, central Honshu, Japan. 11, Memoirs of the Faculty of Science, Kyushu University 11, 347-380.
木元新作, 1976. 動物群集研究法 I 一多様性と種数組成. 共立出版, 200p.
Kimura, T., 1957. On the stratigraphical horizons of *Podozamites reinii* Geyler in the Tetori Series, Japan. Studying report of the Senior High School attached to the Tokyo University of Education 1, 21-34.
Kimura, T., 1958a. Mesozoic plants from the Tetori Series, central Honshu, Japan (Part 1). Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, n.s. 29, 166-168, 1 pl.
Kimura, T., 1958b. On the Tetori flora (Part 1). Mesozoic plants from the Kuzuryu Sub-Group, Tetori Group, Japan. Bulletin of the Senior High School Attached to the Tokyo University of Education 2-2, 1-47, 4 pls.
Kimura, T., 1959. On the Tetori flora (Part 2). Additional to the Mesozoic plants from the Kuzuryu Sub-Group, Tetori Group, Japan. Bulletin of the Senior High School Attached to the Tokyo University of Education 3, 104-121.
Kimura, T., 1961. Mesozoic plants from the Itoshiro Sub-group, the Tetori Group, central Honshu, Japan, Part 2. Transactions and Proceedings of the Palaeontological. Society of Japan, n.s. 41, 21-32.
Kimura, T., 1975a. Middle-late Early Cretaceous plants newly found from the upper course of the Kuzuryu River area, Fukui Prefecture, Japan. Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan 98, 55-93, 4 pls.
Kimura, T., 1975b. Notes on the Early Cretaceous floras of Japan. Bulletin of the Tokyo Gakugei University, IV 27, 218-257.
木村達明, 1978. 石徹白層群尾口層および赤岩層の植物群. 石川県教育委員会文化財保護課（編）, 手取川流域の手取統珪化木産地調査報告書, 119-271.
Kimura, T., 1979. Late Mesozoic paleofloristic provinces in East Asia. Proceedings of the Japan Academy 55, Series B, 9, 425-430.
木村達明, 1979. 東アジア白亜紀植物地理区について. 化石 29, 79-96.
木村達明, 1993. 第6章 恐竜時代の植物. 小島郁生編 恐竜学. 東京大学出版会, 東京, 241-293.
Kimura, T., 1980. The present status of the Mesozoic land floras of Japan. In: Igo, H., Noda, H. (Eds.), Professor Saburo Kanno Memorial Volume. University of Tsukuba, Tsukuba, Japan, 379-413.
Kimura, T., 1984. Mesozoic floras of East and Southeast Asia with a short note on the Cenozoic floras of Southeast Asia and China.

- In: Kobayashi, T., Toriyama, R., Hashimoto, W. (Eds.), *Geology and Palaeontology of Southeast Asia*. University of Tokyo Press, Tokyo, pp.325-350.
- Kimura, T., 1987. Recent knowledge of Jurassic and Early Cretaceous floras in Japan and phytogeography of this time in East Asia. *Bulletin of the Tokyo Gakugei University Section IV* 39, 87-115.
- Kimura, T., Horiuchi, J., 1979. Some late Early Cretaceous plants from Fukui Prefecture, in the inner zone of Japan. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan* 113, 1-14.
- Kimura, T., Sekido, S., 1965. Some interesting Ginkgoalean leaves from the Itoshiro Subgroup, the Tetori Group, central Honshu, Japan. *Memoirs of the Meiji Gakuin Woman's Junior College* 2, 1-4.
- Kimura, T., Sekido, S., 1966. Mesozoic plants from the Itoshiro Subgroup, the Tetori Group, central Honshu, Japan, Part 3. *Memoirs of the Meiji Gakuin Woman's Junior College* 3, 1-4.
- Kimura, T., Sekido, S., 1967. Some Mesozoic plants from the Itoshiro Sub-group, central Honshu, Japan. In: Professor H. Shibata Memorial Volume, pp. 416-419, 3 pls.
- Kimura, T., Sekido, S., 1972a. The discovery of the cycad-like leaflets with toothed margin from the Lower Cretaceous Itoshiro Sub-group, the Tetori Group, central Honshu, Japan. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan* 84, 190-195. 1 pl.
- Kimura, T., Sekido, S., 1972b. *Ctenis* species from the Itoshiro Subgroup (Lower Cretaceous), the Tetori Group, central Honshu, Japan. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan* 86, 360-368.
- Kimura, T., Sekido, S., 1974. *Bipinnate cycadean* fronds newly found from the Lower Cretaceous Itoshiro Subgroup, the Tetori Group, central Honshu, Japan. *Birbal Sahni Institute of Palaeontology Special Publication* 2, 23-27, 3 pls.
- Kimura, T., Sekido, S., 1975. *Nilssoniocladus* n.g. (Nilssonioaceae n. fam.), newly found from the early Cretaceous of Japan. *Palaeontographica, Abteilung B* 152, 111-118, 2 pls.
- Kimura, T., Sekido, S. 1976a. *Dictyozamites* and some other *Cycadophytes* from the early Lower Cretaceous Oguchi Formation, the Itoshiro Group, central Honshu, Japan. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan* 101, 291-312, 3 pls.
- Kimura, T., Sekido, S., 1976b. Mesozoic plants from the Akaiwa Formation (upper Neocomian), the Itoshiro Group, central Japan. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan* 103, 348-378, 4 pls.
- Kimura, T., Sekido, S., 1978. Addition to the Mesozoic plants from the Akaiwa Formation (upper Neocomian), the Itoshiro Group, central Honshu, Inner Zone of Japan. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan* 109, 259-279, 3 pls.
- 木村達明・大花民子・望月美穂子, 1996. ユーラシア東部の中生代植物地理, および白亜紀植物地理と被子植物の起源域・恐竜化石分布域との関連. *月刊地球* 18, 735-741.
- Koarai, K., Matsukawa, M., 2017. Late Mesozoic bivalves of the Tetori Group, Japan. *Bulletin of Tokyo Gakugei university, Division of Natural Sciences* 68, 91-190.
- 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 Faculty of Science, Kyoto University, series Geology and Mineralogy*, 59, 9-31.
- 前田四郎, 1953. 福井県勝山町北方の中生界. *地質学雑誌* 59, 323-324.
- 前田四郎, 1957a. 福井県打波川および石徹白川流域の手取層群の層序と構造. *地質学雑誌* 63, 357-365.
- 前田四郎, 1957b. 福井県石徹白村大山地域の手取層群について. *地質学雑誌* 63, 664-668.
- 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, 388-397.
- 前田四郎, 1961a. 手取層群の地史学的研究. *千葉大学文理紀要* 3, 369-426.
- 前田四郎, 1961b. 白山地域の手取層群の層序と構造 (その2 地質構造). *地質学雑誌* 67, 133-142.
- 松川正樹・浅原拓麻, 2010. 石川・福井県境の打波川流域に分布する手取層群の層序: 白山地域と九頭竜川地域の対比, *東京学芸大学紀要, 自然科学系* 62, 119-130.
- Matsukawa, M., Fukui, M., 2009. Hauterivian-Barremian marine molluscan fauna from the Tetori Group in Japan and late Mesozoic marine transgression 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・大平寛人・林慶一, 2014. 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, M.G., Nichols, D.J., 2006. The Cretaceous Tetori biota in Japan and its evolutionary significance for terrestrial ecosystems in Asia.

- Cretaceous Research 27, 199-225.
- Matsukawa, M., Ito, M., Nishida, N., Koarai, K., Lockley, M.G., 2007. Reply to the Discussion of Sano et al.. Cretaceous Research 29, 174-181.
- 松川正樹・小荒井千人・塩野谷奨・新海拓也・中田恒介・松井哲也・青野宏美・小林典夫・大久保敦・林慶一・伊藤慎, 2003a. 手取層群の主要分布域全域の層序と堆積盆地の変遷. 地質学雑誌 109, 387-383.
- 松川正樹・西田尚央・小荒井千人・林慶一・青野宏美・伊藤慎, 2003b. 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.
- 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・中田恒介・小新井千人・梶澤吉広・塩野谷奨・松井哲也・大久保敦・青野宏美, 1999. 岐阜県北部大白川地域の手取層群の層序と非海生軟体動物化石群集. 東京学芸大学研究紀要, 第4部門, 数学・自然科学 51, 67-76.
- Matsuo, H., Omura, K., 1968. On the Taeniopteris from the Togadani flora (Tedorian), at Togadani, Ishikawa Prefecture, Central Japan. Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series 71, 285-293, pl.29.
- Nichols, D. J., Matsukawa, M., Ito, M., 2010. The geological age and phytogeographical significance of some metamorphosed palynomorphs from the Omichidani Formation, Japan. Palynology 34, 157-163.
- 小川忠泰, 1965. 目附谷産化石採集記録. 小松市立博物館研究紀要 1, 2-19, pl. 1-10.
- 大場秀章 (編著), 2011. 植物分類表. アボック社, 鎌倉, 513 p.
- 大花民子・木村達明, 1995. ユーラシア東部の中生代後期古植物地理と被子植物の出現時および出現域との関連. 地質学雑誌 101, 54-69.
- Ohana, T., Kimura, T., 1995. Late Mesozoic phytogeography in eastern Eurasia with special reference to the origin of angiosperms in time and site. In: Chang, K.H., Park, S.O. (Eds.), Proceedings of the 15th International Symposium of Kyungpook National University, pp. 293-328.
- Oishi, S., 1940. The Mesozoic floras of Japan. Journal of the Faculty of Science, Hokkaido Imperial University, Series 4, 5, 123-480, 48 pls.
- 大久保敦, 1998. 河川の運搬作用による葉器官の分散様式: 多摩川水系における植生と遺体群集関係 (予報). 東京学芸大学紀要, 第4部門, 数学・自然科学 50, 115-128.
- 大村一夫, 1964. 手取川上流・鍋ヶ谷の地質. 金沢大学教養部論集, 自然科学編 1, 67-75.
- 大村一夫, 1965. 牛首川上流の地質. 金沢大学教養部論集, 自然科学編 2, 90-98.
- Sano, S., 2015. New view of the stratigraphy of the Tetori Group in central Japan. Memoir of the Fukui Prefectural Museum 14, 25-61.
- Sato, T., 1962. Études biostratigraphiques des ammonites du Japon. Mémoires de la Société Géologique de France, New Series 94, 1-122. (in French).
- Sato, T., Westerman, G.E.G., 1985. Range chart and zonations in Japan. IGCP # 171 Circum-Pacific Jurassic, Field Conference III, Tsukuba, 73-91.
- Sato, T., Westermann, G.E.G., 1991. Japan and South-East Asia. In: Westermann, G.E.G. and Riccardi, A.C. (Eds.), Jurassic taxa ranges and correlation charts for the Circum Pacific. Newsletters on Stratigraphy 24(1), 81-108.
- Sato, T., Hachiya, K., Mizuno, Y., 2003. Latest Jurassic-Early Cretaceous ammonites from the Tetori Group in Shokawa, Gifu Prefecture. Bulletin of the Mizunami Fossil Museum 30, 151-167.
- Sørensen, T., 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. Biologiske Skrifter 5, 1-34.
- 杉村康司・沖津進, 2009. 筑波山のスギ・ヒノキ人工林におけるコケ植物, シダ植物, 顕花植物の分布と微地形との関係. 植生学会誌 26, 33-48.
- Terada, K., Nakagawa, K., Fujita, M., 2004. *Xenoxylon* fossil woods from the Lower Cretaceous Tetori Group in Toyama Prefecture, Central Japan. Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum 3, 31-38.
- 寺田和雄・矢部淳, 2011. 福井県勝山市杉山川流域から発見された白亜紀の針葉樹材化石. 福井県立恐竜博物館紀要 10, 89-102.
- Vakhrameev, V. A., 1964. Jurassic and Early Cretaceous floras of Eurasia and the paleofloristic provinces of the period. Transactions Academy of Sciences of the USSR, Geological Institute 102, 1-263 (in Russian).
- Yabe, A., Kubota, K., 2004. *Brachyphyllum obesum*, newly discovered thermophilic conifer branch from the Lower Cretaceous Kitadani Formation of the Tetori Group, Central Japan. Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum 3, 23-29.
- Yabe, A., Terada, K., Sekido, S., 2003. The Tetori flora, revisited: A review. Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum 2, 23-42.

- 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 College of Science, Imperial University of Japan* 3 (1), 1-66.