テフクロノロジーに基づく中央日本の 鮮新-更新世古環境復元

—富山県東部呉羽山礫層の広域テフラおよび室田層の室田凝灰岩と
佐布里テフラとの対比からみた飛騨山脈の隆起時期の推定—

田 村 糸 子*

Tephrochronological Study on Plio-Pleistocene History in Central Japan: Chronological Studies for the Hida Mountains Uplift with the Use of Correlation of Widespread Tephra Layers

Itoko TAMURA *

I. はじめに

本研究は、テフラを時間の鍵層として、鮮新世から更新世にかけての古環境、特に山地の隆起時期を高精度に復元することを目的とした。日本の山地が、いつ、どのようにして高くなったかは、島弧テクトニクスの解明にかかわる大きな課題の一つである。各地の山地形成時期については、山地周辺の堆積盆地の堆積物、主として比高を増した山地から供給された粗粒堆積物の堆積年代を検討し論じられてきた（鎮西・町田, 2001 など）。飛騨山脈に関しても、山脈に隣接した松本盆地・高山盆地・富山平野や北部フォッサマグナの大峰帯、猿丸地域等の礫層の堆積年代が検討され、同山脈は鮮新世には隆起していたことが明らかにされている（及川, 2003 など）。しかし礫層の堆積年代は明らかになったが、その堆積開始時期の特定は精度がよいとは言い難い。これを解決するには、挟在されているテフラと既知の広域テフラとの対比を新たに検討し、堆積物中の時間面を増や

すことが必要である。近年、後期鮮新世から前期更新世の広域テフラ研究が進み、大阪、東海、北陸、新潟、房総など中央日本の堆積盆をつなぐ広域テフラ層の数が増加している（Kurokawa and Tomita, 2000; 田村・山崎, 2004; 里口ほか, 2005 など）。本報告では、飛騨山脈の北西山麓、富山平野東部に分布する堆積物である北陸層群のテフラを調査、記載、分析し、既知の広域テフラとの対比を検討した。その結果、北陸層群に新たなる時間面を挿入することができ、これに基づいて飛騨山脈の隆起時期に関し高精度な復元を試みた。

II. 調査地域の概要

金沢から富山にかけての北陸地域には、中新世（15 Ma）の日本海開裂以降の山地の隆起や堆積盆の沈降、火成活動、気候変動など古環境の変遷を示す地層が堆積しており、一括して北陸層群と呼ばれている（坂本ほか, 1959）。このうち富山平野東部で飛騨山脈と接する山麓部には、山側から平野側に向かって、中新世から鮮新世、更新

* 首都大学東京・大学院理学研究科

* Graduate School of Science, Tokyo Metropolitan University

図 1 研究地域および露頭地点図。
地質図は角・野沢 (1973) を簡略化した。

世の地層（下位より音川層，室田層，呉羽山礫層と呼ばれている）が带状に分布している（角・野沢, 1973）。研究地域概略図を図 1 に示す。音川層は，海成の砂岩・泥岩からなり，音川動物群と呼ばれる浅海性貝類化石を豊富に含むことで知られている。音川層上部の年代は，中央日本の大規模テフラである大田-Znp テフラ（Kurokawa and Tomita, 1998）が挟在されていることから，およそ 3.9 Ma である（田村・山崎, 2004）。呉羽山礫層に不整合で覆われ，下位の音川層を不整合に覆う室田層は浅海性の凝灰質砂層からなり，鍵層として室田凝灰岩が挟在されている。本層は飛騨山脈の隆起時期を検討する上で重要な地層であるが，化石が含まれないため年代指標が得られていない。呉羽山礫層は富山平野を取り囲んで断続的に分布する扇状地礫層で，模式地である呉羽山丘陵にちなんで命名されている（坂本・野沢, 1960）。本礫層は飛騨山脈由来の花崗岩巨礫を含むことから，その堆積時に背後に高い山脈が成立していたことを示唆するものとして，その堆積年代に関しては古くから注目されてきた。そして呉

羽山丘陵の呉羽山礫層の堆積年代は，挟在される桃色凝灰岩の年代測定値（宇井ほか, 1987; 竹内, 1990 など）をもとに中期更新世と考えられている（粕野ほか, 1992）。しかし，本研究で扱う富山平野東部の呉羽山礫層は，礫層の中部から上部にかけて谷口テフラ（Tng, 2.2-2.3 Ma: 町田ほか, 2001）と大峰-Kd25 テフラ（Omn, 1.65 Ma: 長橋ほか, 2000）が挟在されているので，呉羽山丘陵の礫層とは堆積年代が異なり，鮮新世後期から更新世前期にかけて堆積したことが明らかにされている（田村・山崎, 2004）。

III. 調査・研究方法

上述のように，富山県東部では鮮新世末には飛騨山地由来の礫層が堆積しており，この時期，飛騨山脈が充分な高度を持っていたことは確実である。しかし，その堆積開始時期は，音川層上部の大田テフラ（3.9 Ma）と礫層中部層準の谷口テフラ（2.2-2.3 Ma）の間であり，少なく見積もって 160 万年間の時間間隙がある。そこで，富山県東部において，飛騨山脈由来の礫層の堆積開始

図2 研究地域模式柱状図。

年代をさらに精度よく絞り込むために、以下の2点を中心に調査・研究を行った。一つは礫層下部に新たな年代指標となるテフラを見出すことであり、もう一つは礫層に不整合に覆われる室田層の堆積年代の鍵となる室田凝灰岩の広域対比を検討することである。テフラ層序調査・サンプリングを、富山県東部山麓の礫層と室田層を中心に行った。また、鮮新世の広域テフラ対比のスタンダードサンプルとして、東海層群・古琵琶湖層群・掛川層群や新潟地域、房総地域で記載・報告されている主なテフラ層の採集を系統的に行った。そして、これらのテフラ試料を洗浄・乾燥後、鉱物組成を記載し、火山ガラスおよび必要に応じて斜方輝石や普通角閃石の屈折率測定、EDS分析による火山ガラスの主成分化学組成分析、ICP発光分析による微量元素化学組成分析を行った。なお、屈折率測定は東京都立大学のRIMS2000（京都フィッシュントラック製）、EDS分析は東京都立大学のエネルギー分散型X線マイクロアナライザー（EDS, JED-2001：日本電子製）および走

査電子顕微鏡（JSM-5200：日本電子製）、ICP分析は三菱マテリアル資源開発株式会社地科学試験所に測定依頼した。これらの分析測定条件・分析精度に関しては田村・山崎（2004）に詳しく記述されている。

IV. テフラ層の記載

今回、谷口テフラより下位の礫層下部層準に2枚のテフラ層を見出し、下位より丸山1テフラ、丸山2テフラと命名した。以下に、この2枚のテフラ層の岩相・記載岩石学的性質を述べる。また、呉羽山礫層に不整合に覆われる室田層に挟まれる室田凝灰岩についても同様に記載する。テフラ層の採集地点を図1に、対応する柱状図を図2に、記載岩石学的特性を表1に示す。

丸山1テフラ層（新称：Mry1）：本テフラ層は富山県上市町の丸山運動公園の工事露頭において見出された（Loc.1）。粒径10～20 cmの呉羽山礫層に挟まれ、層厚は60 cmである。黒雲母を含む白色テフラ層であるが、風化が著しくベントナイト化しており、火山ガラスは検出できなかった。

丸山2テフラ層（新称：Mry2）：本テフラ層は、Loc.1で、Mry1から礫層を挟んで6 m上位にあり、上位にある谷口テフラ層から礫層を挟んでおよそ40 m下位にある。層厚は150 cmで、下部20 cm部分には発泡のよい粒径2 cm程度の白色軽石が含まれる。大部分火山ガラスからなり、斑晶鉱物として黒雲母、および微量に斜方輝石を含む。火山ガラスの屈折率は $n = 1.498-1.500$ で、主成分化学組成は、CaOが少なく（0.6重量%）、 K_2O が多い（4.8重量%）という特性を示す。また微量元素化学組成は、Ba/Laが24、La/Yが1.2である。なお、本テフラ層挟在層準の礫層における最大級の礫径は10～20 cmであり、上位にある谷口テフラ層挟在層準の礫層の30～70 cmという最大級の礫径と明瞭な違いがある。

室田凝灰岩（Mrt）：本テフラ層は浅海性の凝灰質砂層からなる室田層に挟まれる（角・野沢、1973）。富山県室田の観音堂（Loc.2）では層厚10 m以上あり、発泡のよい粒径1～2 cmの白

表 1 研究地域のテフラおよびそれに對比されるテフラの特性.

テフラ名 (採取地点)	EDS (JEOL, JED-2001 および JSM-5200) を用いた火山ガラス主成分化学組成 (重量%)										ICP 分析による火山ガラス微量 成分化学組成 (Ba-Y: ppm)										RIMS2000 による 屈折率測定	
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	n	Ba	La	Sr	Y	Ba/La	La/Y	Refractive index				Refractive index	
谷川 (Loc. 1)	77.5	0.1	0.1	1.1	0.1	0.2	0.1	0.6	0.0	3.3	0.1	4.6	0.1	11	605	33	84	20	18.3	1.7	gl: n = 1.498-1.499	
長慶寺 (富山) ⁽¹⁾	77.7	0.1	0.1	1.1	0.1	0.2	0.1	0.6	0.0	3.1	0.2	4.5	0.2	11	598	30	90	18	19.9	1.7	gl: n = 1.498-1.500	
Tsp (常楽寺) ⁽²⁾	77.5	0.2	0.1	1.1	0.1	0.2	0.0	0.5	0.0	3.1	0.1	4.8	0.1	8	612	31	76	19	19.7	1.6	gl: n = 1.498-1.500	
丸山 (Loc. 1)	77.1	0.2	0.1	1.0	0.1	0.3	0.0	0.6	0.0	3.3	0.1	4.8	0.0	10	644	27	81	23	23.9	1.2	gl: n = 1.498-1.500	
T3 (水見) ⁽³⁾	77.3	0.2	0.1	1.1	0.1	0.2	0.0	0.6	0.0	3.2	0.1	4.8	0.1	15	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	gl: n = 1.497-1.500	
Ftj (西山) ⁽⁴⁾	76.9	0.3	0.1	1.3	0.1	0.2	0.0	0.6	0.0	2.6	0.3	5.4	0.2	10	618	26	73	20	23.8	1.3	gl: n = 1.498-1.500	
室田 (Loc. 2)	76.6	0.2	0.1	1.1	0.1	0.2	0.0	0.4	0.0	3.4	0.1	5.0	0.2	13	550	31	51	24	17.7	1.3	gl: n = 1.497-1.499	
篠岡 (東海) ⁽⁵⁾	76.8	0.2	0.1	1.1	0.1	0.2	0.1	0.4	0.0	3.2	0.2	5.3	0.2	9	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	gl: n = 1.498-1.500	
An130 (房総) ⁽⁶⁾	77.1	0.3	0.0	1.1	0.1	0.0	0.1	0.6	0.0	3.1	0.2	4.9	0.1	12	522	27	41	20	19.3	1.4	gl: n = 1.498-1.500	
寺町 (富山) ⁽¹⁾	77.5	0.1	0.1	1.1	0.2	0.1	0.0	0.2	0.1	0.5	0.0	3.3	0.1	12	466	12	56	17	38.8	0.7	gl: n = 1.498-1.500	
大谷 (東海) ⁽⁷⁾	77.0	0.2	0.1	1.0	0.1	0.2	0.0	0.3	0.0	2.8	0.2	5.6	0.2	11	494	13	43	17	38.0	0.8	gl: n = 1.498-1.500	
Ylg (西山) ⁽⁴⁾	77.0	0.2	0.1	1.0	0.1	0.2	0.0	0.3	0.1	3.1	0.1	5.1	0.1	13	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	gl: n = 1.498-1.500	

測定値は水を除いて 100% に再計算したもの. FeO: total iron as FeO.
n 回の測定による平均値と標準偏差を示した.

三菱マテリアルによる測定

Loc. 1, Loc. 2 以外の採取地点は以下を参照 (1): 田村・山崎 (2004), (2): 岸・宮脇 (1996), (3): 大久保 (1999),
(4): 黒川ほか (2002), (5) 小牧研グループ (1971), (6): 千葉県立中央博物館 (1995), (7): 牧野内 (1975)

Magnetostratigraphy	Osaka G.	Kobiwako G.	Tokai G.	Himi G.	Hokuriku G.	Niigata Area	Boso(Kanto) Area
Ma							
1							
1.5	Pink	池の内2	多 良		大桑03	Og SK110	07 Kd25
2	福 田	北 脇	嘉例川	T6	大桑02	辻又川	Kd38
2.5	東 畑	原 法蔵院2	坂東2 南谷2	UN・T3	大桑01 谷 口 丸山2	Tsp・Ok1 Ftj	(千ヶ瀬2)
3	土生滝 I	相模1	南谷1	MT2・T1		Arg-2	(千ヶ瀬1)
3.5	岬	上ノ庄2	佐布里	YT3	室 田	板山・Nym	An130
4		喰代2	大田・大谷	PM	寺 町	Znp・Ylg	An85
4.5		小鈴谷 市 部	坂 井		Snk 1 TR1	Snk2 Ya-b Ya-4	An53 An51
Gauss							
Gilbert							

図 3 中央日本における鮮新世～前期更新世主要テフラ対比図。

黒川ほか (1998), 黒川 (1999), 富田・黒川 (1999), Kurokawa and Tomita (2000), 水野 (2000), 正田ほか (2001), 田村・山崎 (2004) および里口ほか (2005) に本研究の成果を加えた。

色軽石密集部分と砂質な部分との互層になっている。斑晶鉱物は黒雲母と角閃石を含む。火山ガラスの屈折率は $n = 1.497\text{--}1.499$, 主成分化学組成は CaO が少なく (0.4 重量%), K_2O が多い (5.0 重量%) という特性を示す。また微量成分化学組成は, Ba/La が 18, La/Y が 1.3 である。

V. テフラ層の対比

中央日本鮮新-更新統において, 大田テフラ (3.9 Ma) と谷口テフラ (2.2-2.3 Ma) の間の年代値を示す大規模広域テフラとして, 下位より佐布里テフラ (黒川ほか, 1998), 土生滝 1 テフラ (富田・黒川, 1999), 南谷 2 テフラ (Kurokawa and Tomita, 2000) が報告されている (図 3)。これらのうち, 土生滝 1 テフラは黒雲母が顕著ではなく, Mry2 や Mrt とは明らかに異なる特性を示す。そこで, Mry2 と南谷 2 テフラおよび Mrt と佐布里テフラとの対比を検討した。

丸山 2 テフラ (Mry2) と南谷 2 テフラ (MD2) との対比: 南谷 2 テフラ (以下 MD2) は, 三重県員弁地域に分布する東海層群市之原累層の火山

灰層 (竹村, 1983) で, Kurokawa and Tomita (2000) により, 能登半島氷見層群の UN 火山灰層, 新潟県西山層中部の Ftj 火山灰層と対比され, 中央日本に広く分布していることが示された。いずれの地域でも, 層位は土生滝 1 テフラ (2.7-2.9 Ma) に近い上位にあり, 古地磁気は正帯磁を示す (Takemura and Torii, 1978; 岸・宮脇, 1996; 伊藤・渡辺, 1997 など)。また氷見における珪藻化石層序から, ガウス・松山境界に近いおよそ 2.6-2.7 Ma という年代が得られている (渡辺, 2002)。有色鉱物は黒雲母に富み, 少量の斜方輝石, 普通角閃石を含む。火山ガラスの屈折率は $n = 1.498\text{--}1.500$ で, 主成分化学組成は, CaO が少なく (0.6 重量%), K_2O が多い (5 重量%前後) という特性を示す (表 1)。また微量成分化学組成は, Ba/La が 24, La/Y が 1.3 である。これらの特性は前述の Mry2 と極めてよく一致する。西山層で Ftj 火山灰は Tsp 火山灰層の下位にあり, Tsp 火山灰は谷口テフラと対比されている (町田ほか, 2001)。従って層位的にも矛盾はなく, Mry2 と MD2 は対比される。

室田凝灰岩 (Mrt) と佐布里テフラ (Souri) との対比: 佐布里テフラ (以下 Souri) は, 知多半島に分布する東海層群布土累層の火山灰層 (牧野内, 1975) で, 黒川ほか (1998) により, 新潟県東頸城の田麦川層の板山凝灰岩, 西山層の Nym 火山灰層および能登半島氷見層群藪田層の YT3 火山灰層と対比された鮮新世の大規模テフラの一つである。いずれの地域でも, 層位は大田-Znp テフラと土生滝 1 テフラの間にある。東海層群や氷見層群の本テフラ層の古地磁気は正帯磁を示し (中山・吉川, 1990; 渡辺, 2002), 珪藻化石層序の検討から, およそ 3.5 Ma という年代が得られている (渡辺, 2002)。有色鉱物は黒雲母に富み, 普通角閃石, 少量の斜方輝石を含む。火山ガラスの屈折率は $n = 1.498-1.500$ で, 主成分化学組成は, CaO が少なく (0.4 重量%), K_2O が多い (5 重量%前後) という特性を示す (表 1)。また微量成分化学組成は, Ba/La が 19, La/Y が 1.4 である。これらの特性は前述の Mrt とよく一致する。また北陸地域において, 音川層上部には大田-Znp テフラと対比されている寺町テフラが報告されており (田村・山崎, 2004), Mrt が挟在される室田層は音川層より上位の地層である (角・野沢, 1973)。従って層位的にも矛盾はなく, Mrt と Souri は対比される。

VI. 考 察

富山県東部の呉羽山礫層下部の堆積年代に 2.6-2.7 Ma, および室田層に 3.5 Ma という時間面が入った。呉羽山礫層は, 富山県東部の柴山で, 谷口テフラから礫層を挟んで 45 m 上位に大峰-Kd25 テフラ (1.65 Ma) が存在している (田村・山崎, 2004)。大峰テフラは新时期段丘堆積物に不整合に覆われているため, 呉羽山礫層の上限は不明である。しかし, 今回同礫層下部に南谷 2 テフラ (2.65 Ma) を見出したことにより, 呉羽山礫層の堆積は, 少なくとも 100 万年の間続いていたことが明らかである。堆積物の粗粒化は周辺地域の地殻変動だけでなく, 気候変動によっても引き起こされることがある。そこで, この間の古気候に関し検討を行った。百原 (1993) は,

近畿地方の鮮新-更新統の大型植物化石を検討し, 佐布里テフラに対比されている岬テフラから恵比須峠-福田テフラ (1.75 Ma: 長橋ほか, 2000) にかけての間は, 温暖帯の植物が支配的であり構成植物の変化も少なかったという結果を報告している。従ってこの間, 気候変動は小さく, 堆積物の粗粒化の原因は, 山脈の隆起によるものと判断される。これらのことから, 呉羽山礫層の堆積開始時期, すなわち飛騨山脈の本格的隆起が始まったのは 3.5 Ma と 2.6-2.7 Ma の間であり, 南谷 2 テフラから谷口テフラに至る礫径の粗粒化は, 2.2-2.3 Ma 前後の飛騨山脈の急速な隆起を反映したものと考えられる。

謝 辞

本研究は, 平成 16 年度東京地学協会研究・調査助成金を受けて行われた。首都大学東京の山崎晴雄教授には研究全般を通して, 産業技術総合研究所の水野清秀主任研究官にはテフラ対比に際して, ご指導いただいた。東京都立大学の町田 洋名誉教授, 上越教育大学の山縣耕太郎博士には, 呉羽山礫層や室田層の現地調査に同行・議論していただいた。また東京都立大学大学院修士課程の時実良典さんには気候変動に関してご教示いただいた。以上の皆様に深く感謝いたします。

地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会にて一部講演した。

文 献

- 千葉県立中央博物館編 (1995): 三浦層群上部鍵層集 (1994 年版). 千葉県立中央博物館.
- 鎮西清高・町田 洋 (2001): 日本の地形発達史. 日本の地形 1 総説, 第 10 章, 東京大学出版会, 298-322.
- 伊藤康人・渡辺真人 (1997): 富山県氷見地域に分布する新第三系の古地磁気層序. 地調月報, **48**, 339-446.
- 粕野義夫・三浦 静・藤井昭二 (1992): 北陸の丘陵と平野. アーバンクボタ, **31**, 65p.
- 岸 清・宮協理一郎 (1996): 新潟県柏崎平野周辺における鮮新世～更新世の褶曲形成史. 地学雑誌, **105**, 88-112.
- 小牧団研グループ (1971): 小牧市付近の矢田川累層-瀬戸層群の研究. その 1. 竹原平一教授記念論文集, 69-81.
- 黒川勝己 (1999): 水底堆積火山灰層の研究法—野外観察から環境史の復元まで—. 地学団体研究会.
- Kurokawa, K. and Tomita, Y. (1998): The Znp-Ohta

- ash; An early Pliocene widespread subaqueous tephra deposit in central Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, **104**, 558-561.
- Kurokawa, K. and Tomita, Y. (2000): The UN-MD2 ash: A late Pliocene widespread tephra deposit in central Japan. *Earth Science (chikyu Kagaku)*, **54**, 337-341.
- 黒川勝己・富田裕子・金子 顕 (1998): 新潟地域の板山-Nym 火山灰層, 氷見層群の YT3 火山灰層および東海層群の佐布里火山灰層の対比: 中央日本における鮮新世の広域火山灰層の検出. *地球科学*, **52**, 292-300.
- 黒川勝己・坂井 一・樋口裕也 (2002): 中央-西山油帯の鮮新世～更新世前期の広域テフラ. *日本地質学会第 109 年学術大会 (2002 新潟) 見学旅行案内書*, 119-129.
- 町田 洋・新井房夫・藤原 治 (2001): 後期鮮新世谷口テフラの広域分布と山地地形発達史研究に果たす役割. 山崎晴雄編: 平成 10～12 年度科学研究費補助金 (基盤研究 (B) (1)) 研究成果報告書. 20-27.
- 牧野内 猛 (1975): 知多半島南部の常滑層群. *地質学雑誌*, **81**, 67-80.
- 水野清秀 (2000): 火山灰の対比に基づく近畿・東海地域の鮮新世堆積盆地の形成史. *日本地質学会第 107 年学術大会講演要旨*, 77p.
- 百原 新 (1993): 近畿地方とその周辺的大型植物化石相. 市原 実編: 大阪層群. 創元社, 256-270.
- 長橋良隆・里口保文・吉川周作 (2000): 本州中央部における鮮新-更新世の火砕流堆積物と広域火山灰層との対比および層位噴出年代. *地質学雑誌*, **106**, 51-69.
- 中山勝博・吉川周作 (1990): 東海層群の古地磁気層序. *地質学雑誌*, **96**, 967-976.
- 及川輝樹 (2003): 飛騨山脈の隆起と火成活動の時空的関連. *第四紀研究*, **42**, 141-156.
- 大久保 弘 (1999): 鮮新-更新統, 大桑層, 頭川層, 十二町層および高窪層最上部の火山灰層序. *地質学雑誌*, **105**, 836-851.
- 坂本 亨・野沢 保 (1960): 5 万分の 1 地質図幅「八尾」及び同説明書. 地質調査所, 69p.
- 坂本 亨・今井 功・水野篤行・角 靖男・井上正昭 (1959): 富山積成盆地南縁部の新生界. *地質調査所月報*, **10**, 75-82.
- 里口保文・樋口裕也・黒川勝己 (2005): 東海層群に挟在する大田テフラ層と三浦層群のテフラ層との対比. *地質学雑誌*, **111**, 74-86.
- 正田浩司・菊池隆男・鈴木毅彦・竹越 智・関東平野西縁丘陵団体グループ (2001): 東京都青梅市の多摩川河床に分布する火山灰層と広域対比の可能性. *日本地質学会第 108 年学術大会講演要旨*, 57.
- 角 靖夫・野沢 保 (1973): 魚津地域の地質. 地域地質研究報告 5 万分の 1 図幅および同説明書地質調査所.
- 竹村恵二 (1983): 伊勢湾西岸北部地域の鮮新-更新統. *地団研専報*, **25**, 139-150.
- Takemura, K. and Torii, M. (1978): Magnetostratigraphy of the Plio-Pleistocene Age Group in the northern part of Mie Prefecture, Japan. *Rockmagnetism and Paleogeophysics*, **5**, 69-72.
- 竹内 章 (1990): 陸源碎屑性堆積物の年代測定. *日本地質学会第 97 年学術大会講演要旨*, 212.
- 田村糸子・山崎晴雄 (2004): 北陸層群のテフロクロノロジー-テフラ層序および広域テフラ層との対比に基づく北陸層群の堆積年代一. *地質学雑誌*, **110**, 417-436.
- 富田裕子・黒川勝己 (1999): 中央日本における 2.7 Ma 頃の広域火山灰層: 土生滝 1 (大阪層群)-MT2 (氷見層群)-Arg-2 (西山層) 火山灰層の対比. *地質学雑誌*, **105**, 63-71.
- 宇井啓高・酒井由美・酒井英男 (1987): 呉羽山礫層に含まれる凝灰岩の T.L. 年代. *日本地質学会第 94 年学術大会講演要旨*, 146.
- 渡辺真人 (2002): 富山県氷見・灘浦地域の鮮新統の珪藻化石層序と年代層序の再検討—とくに広域火山灰層と No.3 *Globorotalia inflata* (浮遊性有孔虫) bed の年代について—. *地質学雑誌*, **108**, 499-509.