

海底堆積物中のテフラ：その認定，記載から 分析・同定までの現状と課題

池原 研*

(2014年8月11日受付, 2015年3月6日受理)

Marine Tephra: Present Status and Problems on Its Recognition, Description, Sampling, Identification and Correlation

Ken IKEHARA*

Tephra bed occasionally occurs in marine sediment sequence around the volcanic islands such as the Japanese archipelago, and tephra grain is an important component of marine sediments. Spatio-temporal occurrence and characteristics of marine tephra, however, is not fully understood. This is mainly derived from weak interactions between marine geologists and onshore tephrostratigraphers. Because the deep-sea (pelagic to hemipelagic) muddy sediments have been deposited continuously, collaboration between marine geologists and tephrostratigraphers will give us much more useful information to construct the tephra database.

Key words: marine sediment, marine tephra, description, occurrence

1. はじめに

テフラは日本周辺海域のような火山弧周辺の海底堆積物中にも普遍的に認められる。連続的に細粒物質が堆積する内湾や深海の環境は、小規模な噴火や遠方の火山の噴火に伴う薄いテフラ層の保存に適した場の一つである。広域テフラのいくつかは放射年代測定や歴史記録により、あるいは微化石層序や古地磁気層序などの様々な層序学的手法によりその噴出年代が求められているので、海底堆積物に年代目盛を提供する。一方で、酸素同位体層序などにより高精度で年代決定された海底堆積物は、テフラに高精度の年代を与える。さらにテフラは、海域のみならず、陸域、湖沼域、さらには雪氷域にももたらされるので、これらの異なる環境間をつなぐ重要な“鍵層”となる。したがって、海底堆積物試料中のテフラ層を認定・記載し、適切にサンプリングして、分析し、陸上やほかの海底試料中のテフラあるいは既存データと比較して、同定・対比することは、海底堆積物試料の年代モデルの作成や、海底堆積物試料間あるいは陸域、湖沼域の堆積物との対比の上で基本的な作業となる。つま

り、テフラのデータベース構築の上で、海底のテフラの情報は不可欠と言える。海底堆積物中のテフラ層の産状は噴火状況に対応したテフラの供給様式と供給量、堆積場の物理条件、生物擾乱の強さなどによって変化する。したがって、テフラ層の産状の多様性を理解して、海底堆積物中のテフラ層をもれなく認定し、その層序学的位置や特徴を正確に記載することが海底堆積物試料の一次記載者の重要な役目となる。

テフラ粒子は海底堆積物の主要な構成要素であることは少ないが、重要な構成要素の一つである。海底堆積物中のテフラ粒子には、火山噴火の一次降下物だけでなく、それらが再移動して堆積した、二次以降の粒子も含まれている。長橋・片岡(2014)は、テフラには火山噴火の一次降下物だけでなく、一旦堆積したものが様々な過程により再移動して形成された二次以降の堆積物も含まれると指摘した。特に火山近傍の海底の場合、観察されたテフラ層が一次のものか二次以降のものかの判定は困難な場合もあるが、この区別が以降の研究に重要となる場合があり得る。

* 〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1
産業技術総合研究所地質情報研究部門
Institute of Geology and Geoinformation, Geological Survey of Japan, AIST, Tsukuba Central 7, 1-1-1 Higashi,

Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan.

e-mail: k-ikehara@aist.go.jp

一方、海底堆積物試料の一次記載者の多くは堆積学者であり、通常の堆積物の組成や構造などについては十分な知識を持っていても、テフラについての知識を十分にもっていない場合もある。このため、岩相から複数のユニットに区分できるテフラ層が認められても、適切に記載できない場合や、適切に分析試料を採取できない場合が想定される。本論では、テフラを専門とせず、堆積学者として海底堆積物試料の記載に携わり、テフラを年代モデル作成や試料間対比に利用してきた立場から、海底堆積物試料中のテフラ層の認定から記載、分析用試料の採取、そしてそれらが分析や同定にもたらす影響についての問題点を、主にコア観察の視点から検討する。

2. 海底堆積物中のテフラ層とテフラ粒子

日本周辺の世界堆積物中には、火山噴火起源の粒子が普遍的に含まれている。すなわち、細粒の火山ガラスや軽石、スコリアなどは泥質の海底堆積物中に散在している。その含有量は海域や層準によって異なるが、スミアスライドの観察によれば、多くの場合5%を越えない。しかし、火山噴火起源の粒子が日本のような火山弧の周辺の世界堆積物の主要な構成要素の一つであることはきちんと理解しておく必要がある。

海底堆積物中のテフラの多くは給源火山から長距離輸送されたものが多いが、火山島の周辺などでは、火山噴火による一次降下物のほかに火山島の陸上や周辺の世界斜面に堆積した火山噴出物が再移動して堆積・形成されたものも認められる。これらの産状は、供給される火山噴出物の粒度や組成、供給量のほか、堆積場の物理条件（流れや波の営力の種類と強度、海底地形など）、海底堆積物の粒度や組成、堆積速度、底生生物の種類や量、再移動の運搬様式などによって変化する。例えば、底層水の酸素濃度が低く、粘土やシルトなどの細粒堆積物が連続して多量に堆積する場では、底生生物の活動も小さいため、少量のテフラの降下でも薄いテフラ層としてよく保存されるが、底層水の酸素濃度が高く大型の底生生物の活動が活発な場では、少量のテフラの降下では堆積後の生物活動による掻き乱しによりテフラ層は破壊され、パッチ状の産状 (Fig. 1 A) や、堆積物中に完全に攪拌されて、肉眼では識別できなくなる。一般に、5 mm 程度以上の厚さをもつテフラ層を認識し損なうことは少ないと考えられるが、パッチ状のものは記載者の知識と経験の違いによって記載し漏らすことも十分に考えられる。また、海底堆積物の観察・記載は一般に幅7~10数cmのコアで行われるため、側方に厚さや構造、粒度などが変化する場合にはその把握は困難である。これはテフラ層に限らないが、記載者の堆積構造とその側方変化に関する

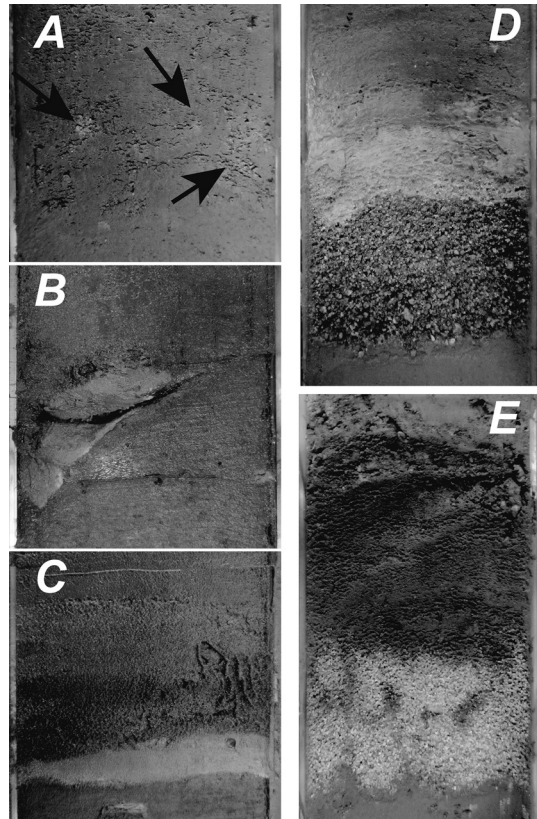


Fig. 1. Occurrence of marine tephra, examples from cores collected from off Sanriku area. Width of the core is around 7 cm. A: tephra patches, B: distorted tephra bed with sharp bottom and top boundaries, C: tephra bed with sharp bottom and gradual top boundary, D: tephra bed composed of lower pumiceous coarse-grained part (dark) and upper fine-grained part (light), E: tephra bed composed of lower pumiceous coarse-grained part (light) and upper fine-grained part (dark), isolated rounded pumice occurred near the top of tephra bed.

理解や経験が記載と解釈を大きく異ならせる。海底堆積物コアの記載者にも陸上露頭の数mから100m規模の堆積層記載や構造の側方変化の知識が必要なのも事実である。一方、粗粒の軽石やスコリアは薄い層状に産する場合もあるが、孤立的に散在して産する場合も多い。散在して産するものの場合、それが一次降下物なのか、それが再堆積した二次堆積物なのか、あるいは生物擾乱により動かされて存在するものなのかを区別することは一般に困難である。さらに、周囲の泥質な海底堆積物よりも粗粒で粒度のそろったテフラ層は堆積物コア中で変形している場合がある (Fig. 1B)。この変形が初生的なも

のなのか、コアリングの際に発生したものを判断することが難しい場合もある。特に大きく変形している場合には、その正しい深度を認定しにくい場合もある。

軽石の場合には海面に落下した一次降下物の軽石が、海流により運ばれて離れた場所に堆積する場合がある。これも薄い層状あるいは散在して産する（例えば、白石・他、1992）。より細粒の火山ガラスも海流により輸送されていると考えられる。九州や四国沖の太平洋では黒潮流軸に沿った場所の海底表層堆積物の砂粒に火山ガラスの含有量が高いという事実（例えば、有田・木下、1990；池原、2000）がこれを間接的に示している。分析がなされていないのでその詳細は明らかではないが、現在の表層堆積物にバブルウォール型の火山ガラスが多産すること、対応するバブルウォール型の火山ガラスを主体とする明瞭なテフラ層が認められないことは、これらの火山ガラス粒子が火山噴火の一次降下物ではなく、それらの侵食、再移動の産物であることを示唆する。さらに、九州や四国沖の黒潮の上流に南九州の巨大カルデラとその火砕流堆積物が分布し、日向灘海域での細粒砂サイズの砂粒組成において火山ガラス・軽石の含有率が南ほど高い傾向にあること（池原、2000）は、これらのカルデラからの噴出物からの粒子供給が表層堆積物中の火山ガラス粒子の分布の形成に重要であることが考えられる。また、これらの粒子の一部は海底あるいは海岸付近の火砕流堆積物が侵食されて供給された可能性もある。宮崎沖の陸棚上の砂粒組成における火山ガラス・軽石含有率の分布（池原、2000）は、河川を通じてのテフラ粒子の海域への供給を示唆する。以上のことは、巨大な火砕流堆積物の形成は、その後長期間にわたって、周辺地域にテフラ粒子を供給し続けることを示しており、海域においても一次降下物だけでなく、このような二次以降の粒子供給が重要であること、また、黒潮のような海流が火山ガラス粒子の重要な運搬役であることがわかる。

3. 海底堆積物中のテフラ研究の現状と問題点

一方、降下テフラには火山噴火過程に応じた組成の変化が記録される場合がある（例えば、Kataoka *et al.*, 2001）。海底のテフラでも、アズキ火山灰のように、給源火山の情報がかちんと記録されている例も報告されている（鎌田・他、1994）。しかし、同様な例はほかにもあると期待されるものの、海域のテフラについて一連の噴火のどのフェーズのテフラが海底堆積物に残されたかを検討した例は少ない。1枚の海底のテフラにも明瞭な粒度や組成変化を示すものは確認される（Fig. 1 C, D, E）が、これらを降下ユニットの可能性を考慮した視点から記載し、それぞれのユニット毎に分析をした例は少ない。これは海

域のテフラ層の多くが薄層でユニット分けできるものが少ないため、ユニット毎の分析ができる例に遭遇した経験が少ないこと、海域のテフラをテフラとして研究している人間が少ないため、試料記載者が何をどう記載して、分析すべきかの理解が進んでいないこと、が主な原因と考えられる。火山学の視点から海域のテフラを研究する人間を育成することが重要である。そのためには、まず数例でも構わないので、海底テフラを用いた噴火過程の検討例をあげていくことが必要であろう。

より具体的には、1) テフラあるいは火山研究者によるテフラの記載から分析用試料の採取の方法の堆積物研究者への指導、2) 堆積物研究者のテフラ分析手法の理解、3) 両者の協働による適当な事例研究の推進、を進めることが必要である。1), 2) は例えば複数の学会共同によるショートコース、スクールの開催などが有効であろう。また、これらを通じた研究者間の人的交流が3) を推進すると期待する。

海域テフラの中には陸域のテフラに対比できていないものも多数ある。例えば池原・他（2004）は、大山起源と考えられる海域テフラを噴出年代の近似から大山倉吉軽石（DKP）と考えたが、陸上で知られているDKPの火山ガラスの化学組成とわずかに異なる。これがまったく違うテフラなのか、上記のような噴火ユニットの違いなのか、確認は進んでいない。これは大山の北方には日本海が広がり、海域におけるテフラの時空間分布の詳細が確認されていないこと、海域テフラは火山ガラスを主体とするのに対して陸域の大山系テフラの多くは火山ガラスの保存が悪く、火山ガラスの特徴による模式露頭との比較が困難なこと、が原因の一つである。また、同じ給源火山からの似た時期のテフラの正確な対比も重要な課題である。Shiihara *et al.* (2011) や椎原・他（2013）は、鬱陵火山起源の完新世の海域及び陸域テフラについて火山ガラスの化学組成が噴火ユニット及びサブユニットの区分に有効であることを示した。そして、海域ではこれまで安易に鬱陵-隠岐（U-Oki）テフラという一つのテフラとして呼称されていたテフラに異なる噴火ユニットの産物が混在することを示した。これは、海底堆積物により詳細で正確な堆積年代を入れる意味でもテフラの詳細な検討が重要であることを示している。また、Chun *et al.* (2007) は鬱陵火山（あるいは近傍の海底火山）起源のより古いテフラである鬱陵-大和（U-Ym）テフラと対比可能なテフラが日本海堆積物中に2枚存在することを示した。Lim *et al.* (2013) は層序的位置層位と年代から上位のテフラを新井・他（1981）のU-Ymテフラとし、中嶋・他（1996）や池原・他（2004）でU-Ymテフラとされた下位のテフラを鬱陵-佐渡沖（U-Sado）テフラと命名した。

第四紀の日本海堆積物は日本海規模で対比可能な明暗互層で特徴付けられる (Tada *et al.*, 1992) ため、日本海では海域テフラの挟在層準を明暗互層の岩相層序の中に置くことでこのような間違いを確認することが比較的容易であった。しかし、多くの海底堆積物のように生物擾乱の著しい均質な堆積物の場合には特徴の似たテフラ層を適切に同定・対比することが困難な場合もあり得る。海域テフラのより正確な同定・対比のためには、海底堆積物中に挟在するすべてのテフラについて、肉眼的特徴から、岩石学的特徴、構成粒子の化学組成のデータセットをそろえるのが理想であるが、現状はそこまで進んでいない。ここでも、テフラあるいは火山研究者と海底堆積物の研究者の協働が必要である。

これらの海域テフラの研究成果のリスト化、データベース化も重要な課題である。海底堆積物中のテフラ層の挟在は地質時代を通じて普遍的に起こっている。長尺の海底堆積物掘削コアの解析は、ある地域の長期間の火山活動の変化のモニターを可能にする。例えば、ODP Leg. 127/128 による日本海の掘削コア中のテフラの産状 (Poulet and Scott, 1992) は約 1.4 Ma 以降にテフラの挟在頻度と厚さが増加したことを示すが、同時にそれ以前においても、数は少ないが非常に厚いテフラを堆積させる火山活動の存在を示している。連続の堆積記録であり、火山ガラスが残されやすいという海底堆積物の特徴を活かし、日本海だけでなく、九州から北海道までの太平洋側前弧域、東シナ海、フィリピン海、オホーツク海など、海底掘削コア中のテフラを中期更新世以前の陸上の地層の中に挟在する広域テフラ (例えば、Tamura *et al.*, 2008; Satoguchi and Nagahashi, 2012) と対比することで、この時代の火山活動とその変遷をより詳細かつ定量的に評価できる可能性がある。特に海域を含めた各テフラの空間的分布状況の把握は、より正確な噴火規模の推定や給源火山の位置の推定などに有用な情報となる。さらに、これらの海底掘削コアに入れられる詳細な堆積年代のデータは、陸上の地層に高精度で年代目盛を与えられる。また、高精度の年代目盛が入らない場合でも、陸上と海域の環境変化や地質イベントの対比など、陸から周辺海域を含めた地質環境の復元に役立つことは間違いない。海域テフラの研究結果がデータベースに反映されることが重要である。

4. ま と め

海底堆積物の研究をしている者の目から海域テフラの研究の現状と問題点及び今後の可能性について私見を述べた。火山噴火記録のデータベースにおいて海域テフラは欠かせない構成要素の一つであることは間違いない。

しかし、残念ながら海域テフラの研究者は決して多くない。多くの海域テフラは十分な記載や同定がされないままに埋もれている。ただ、振り向けば陸域テフラも陸に上がった海底堆積物中に挟在しているものも多い。現在の海底堆積物の採取はそれなりの船舶と専門の技術が必要であり、誰もが容易にアクセスできるものではない。比較的小さな業界に支配されている海洋地質調査の状況が海域テフラの研究の拡大の一つの障害になっているのは事実であろう。いくつかの学会が共同して主導するより密接な研究者の交流と協働が現在の状況の打破に重要であろう。大きな研究ポテンシャルを有する海域テフラの一層の研究の拡大とそれに基づくデータベース作成の進行、さらにそれを用いた幅広い研究の進展に期待したい。

謝 辞

福岡大学の奥野 充博士には、本論の執筆機会を与えていただいた。福島大学の長橋良隆博士、新潟大学の片岡香子博士らとの議論は本論を書く動機付けとなった。二人の査読者には適切なコメントをいただいた。以上の方々に記して謝意を表する。

引用文献

- 新井房夫・大場忠道・北里 洋・堀部純男・町田 洋 (1981) 後期第四紀における日本海古環境—テフロクロノロジー、有孔虫群集解析、酸素同位体比法による—。第四紀研究, **20**, 209-230.
- 有田正史・木下泰正 (1990) 室戸岬沖表層堆積図及び同説明書。海洋地質図, no. 37, 36 p, 地質調査所.
- Chun, J.-H., Cheong, D., Ikehara, K. and Han, S.-J. (2007) Age of the SKP-I and SKP-II tephra from the southern East Sea/Japan Sea: Implications for interstadial events recorded in sediment from marine isotope stage 3 and 4. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, **247**, 100-114.
- 池原 研 (2000) 日向灘表層堆積図及び同説明書。海洋地質図, no. 54, 37 p, 地質調査所.
- 池原 研・吉川清志・Chun, J.-H. (2004) 日本海中部大和海盆から採取された酸素同位体ステージ 3 に噴出した 3 枚の火山灰。第四紀研究, **43**, 201-212.
- 鎌田浩毅・檀原 徹・山下 透・星住英夫・林田 明・竹村恵二 (1994) 大阪層群アズキ火山灰および上総層群 Ku6C 火山灰と中部九州の今市火砕流堆積物との対比—猪牟田カルデラから噴出した co-ignimbrite ash—。地質雑, **100**, 848-866.
- Kataoka, K., Nagahashi, Y. and Yoshikawa, S. (2001) An extremely large magnitude eruption close to the Plio-Pleistocene boundary: reconstruction of eruptive style and history of the Ebisutoge-Fukuda tephra, central Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **107**, 47-69.
- Lim, C., Toyoda, K., Ikehara, K. and Peate, D. W. (2013) Late Quaternary tephrostratigraphy of Baegdusan and Ulleung

- volcanoes using marine sediments in the Japan Sea/East Sea. *Quat. Res.*, **80**, 76-87.
- 長橋良隆・片岡香子 (2014) テフラ学 (第1回) : 用語法. 第四紀研究, **53**, 103-109.
- 中嶋 健・吉川清志・池原 研・片山 肇・木川栄一・上嶋正人・瀬戸浩二 (1996) 日本海南東部における海底堆積物と後期第四紀層序—特に暗色層の形成時期に関連して—. 地質雑, **102**, 125-138.
- Pouclot, A. and Scott, S. D. (1992) Volcanic ash layers in the Japan Sea: Tephrochronology of Sites 798 and 799. *Proc. ODP*, **127/128**, Part 2, 791-803.
- Satoguchi, Y. and Nagahashi, Y. (2012) Tephrostratigraphy of the Pliocene to Middle Pleistocene series in Honshu and Kyushu islands, Japan. *Island Arc*, **21**, 149-169.
- Shiihara, M., Torii, M., Okuno, M., Domitsu, H., Nakamura, T., Kim, K.-H., Moriwaki, H. and Oda, M. (2011) Revised stratigraphy of the Holocene tephtras on Ulleung Island, South Korea, and possible correlatives for the U-Oki tephra. *Quat. Intern.*, **246**, 222-232.
- 椎原美紀・堂満華子・鳥井真之・長橋良隆・奥野 充 (2013) 日本海とその周辺に分布する鬱陵島起源の完新世テフラ. 第四紀研究, **52**, 225-236.
- 白石建雄・新井房夫・藤本幸雄 (1992) 秋田県男鹿半島における西日本起源の漂流軽石・降下火山灰の発見とその意義. 第四紀研究, **31**, 21-27.
- Tada, R., Koizumi, I., Cramp, A. and Rahman, A. (1992) Correlation of dark and light layers, and the origin of their cyclicity in the Quaternary sediments from the Japan Sea. *Proc. ODP*, **127/128**, Part 1, 577-601.
- Tamura, I., Yamazaki, H. and Miuno, K. (2008) Characteristics for the recognition of Pliocene and early Pleistocene marker tephtras in central Japan. *Quat. Intern.*, **178**, 85-99.
- (編集担当 吉本充宏)