

火山灰(テフラ)層の広域対比

吉川清志¹⁾

1. はじめに

地層の層位を決める手法として、地質学の黎明期から、火山噴出物を鍵層として用いることが広く行われてきた。しかし、昔は同一の火山噴出物であるかどうか識別する技術的な手段が乏しかったので、露頭での見かけの類似性などに基づかざるを得ず、近傍の地層同士の対比に用いられるに留まっていた。

なお、このような火山噴出物は一般には火山灰層と呼ばれることが多い。しかし、粒度や産状からこの用語が適切ではないこともしばしばあるので、学術的には地上に噴出される固体物質を総称する用語として、テフラ層を用いる。

テフラ層による地層対比の研究の展望を大きく切り開いたのが、町田洋・新井房夫(1976)による、有名な始良-丹沢(AT)テフラの研究であろう。この研究を支える技術的な進歩としては、テフラ層を識別する方法として、古くからの鉱物組み合わせやその多寡に加えて、新井氏による火山ガラスや斜方輝石・角閃石の屈折率の信頼性の高い、膨大なデータの系統的な蓄積がある。このことにより、テフラごとの屈折率の差異に基づき、テフラの識別能力が飛躍的に向上した。

今から約2.5万年ほど前に、鹿児島湾で巨大噴火が発生し、それによって南九州は火砕流にすっぽりと覆われる事件があった。その際に大量の火山噴出物が空高く運ばれ、上空の風に乗って、遙か遠くの関東地方の丹沢にまで運ばれたことが明らかにされたのであった。始良-丹沢テフラはその後、東北地方やその周辺海域でも、深海底・湖沼・湿地など、堆積物の保存条件の良い場所で、地層として発見されている。

この大きな発見は、様々な分析手法や年代の比較により、確実だと広く認められるようになり、テフラ層の広域対比の研究は大きな展開を見せることとなった。

両氏は、その後もテフラの広域対比の研究を精力的に押し進め、給源火山から1,000km以上といった遠隔地まで運ばれている広域テフラを多く確認した。新井・町田(1980)を始めとして、次々と日本列島の広域テフラのカタログが充実されていった。

かくして、地層中の年代の分かっているテフラ層を検出することにより、テフラの広域対比が幅広い分野で応用されることとなった。遺跡発掘の報道でも、年代の議論で、しばしばテフラ層が登場するように、地質学・考古学などに、テフラ年代は大きな貢献をしている。

新井氏による、火山ガラスや斜方輝石・角閃石の屈折率データは、同じ手法を行う研究者の中でも質・量ともに極めて高く、数多くの成果を上げた大きな要因と言えよう。一方、このような研究の展開としては当然のように、より高いテフラの識別能力を有する手法を求めて、模索する動きが幾つも見られた。その一つとして、筆者らは火山ガラスのICP分析法による適用の研究を進め、有効な手法として認められるようになった。その手法と応用例について、以下に述べる。

2. 火山ガラスのICP分析法

火山ガラスや斜方輝石・角閃石の屈折率データを用いる手法に対して、それを補うだけの意味のある手法となるには、幾つかの乗り越えなくてはならない。

1) 地質調査所 環境地質部

キーワード: テフラ, 第四紀, ICP

ードルがあった。

ハードルの一つは、屈折率法よりもテフラの識別能力が高くなければならないことであり、もう一つは対比という研究の性格上、カタログ化が必要であるため、大量なデータを蓄積するだけの能率のよい手法であることが要求される。

テフラを識別する上で分析の対象とするものとしては、鉱物は結晶構造上¹限られた元素しか多く含まれないために、指標に使える成分が少ないのに対して、火山ガラスの方が指標となる成分が多く、一般には識別の分解能が優れている。

火山ガラスを対象とする手法で、屈折率法を上回る識別能力を持つ手法として実用化されていたのは、EPMA法と放射化分析法であった。EPMA法は粒ごとに分析できるので、特にガラスの純化が必要でない利点がある一方、識別に使えるだけの分析精度で測定できるのは、主成分元素に限られる弱点がある。放射化分析法は、主として微量元素の分析に用いられる。ガラスを溶かす必要がない利点があるが、原子炉を利用するため簡便ではないこと、ガラスの純化に一般的に用いるプロモホルムのBrが著しい干渉を起こす弱点がある。

それらに対し、ICP分析では、主成分元素といくつかの微量元素を、精度良く測ることが出来、テフラの同定・識別能力が高いことが期待された。

筆者らが実用化した、火山ガラスの誘導結合プラズマ発光(ICP)分析を用いる手法の概要を紹介する。

放射化分析法と同じく、火山ガラスを純化する必要がある。火山ガラスと諸鉱物からの分離を比重の違いによる重液分離で、磁化率の違いを電磁分離で行い、実体および偏光顕微鏡下でその純度をチェックする。この純化の作業は、テフラごと、産状ごとに、条件を多少変える必要があることや煩雑さの点で、この手法を用いる中では、面倒な部分といえる。

分析の際には、液状であることが必要なので、火山ガラスを溶解する必要がある。粉碎した試料をテフロンビーカーに入れ、フッ化水素酸・硝酸・過塩素酸を加え、ホットプレート上で溶解させるという、古典的な方法を用いている。乳鉢で試料を粉碎する時と、計量に留意すること、大量の試料を一度に扱うときに間違わないように気を付ける程度で、この操作は極めて機械的であり、慣れるとたいした手間ではない。

ICP分析自体は、ダイナミックレンジが大きく、主成分から微量成分まで、短時間で精度良く計れるという利点で知られており、マシンの状態さえよければ、一番楽な部分といえる。

この手法では、得られたデータの化学組成のマッチングによって、テフラの相違を判定する。分析作業において留意する点としては、時々エラーの大きいデータがあるようでは支障を来すので、それを避けるように全ての試料が一定水準の分析精度で計れているか確認する必要がある。そのために、それぞれのテフラから2つずつ分析試料を作って、双方が良く一致しているかチェックすること、また測定条件による、分析データの系統誤差を小さくするため、地質標準試料も同時に測って、そのデータに異常がないか確認すること、実験過程での汚染の影響がないかチェックするために、テフラ試料を入れないで同じ操作をしたものを合わせて分析することなど、精度を損なわないように、注意している。

化学組成のマッチングを利用する手法は、地質学・考古学などを始めとして、多くの分野で利用されているが、分析エラーを生じる要因を考慮した、気配りがされているか否かが成果を大きく左右するので、分析に明るくない人が手がけるときには、この点に特に注意が必要である。

なお、分析に供する試料はガラスの保存がよいことが望ましく、変質が進んでいると、化学組成が大きく変化するので好ましくない。

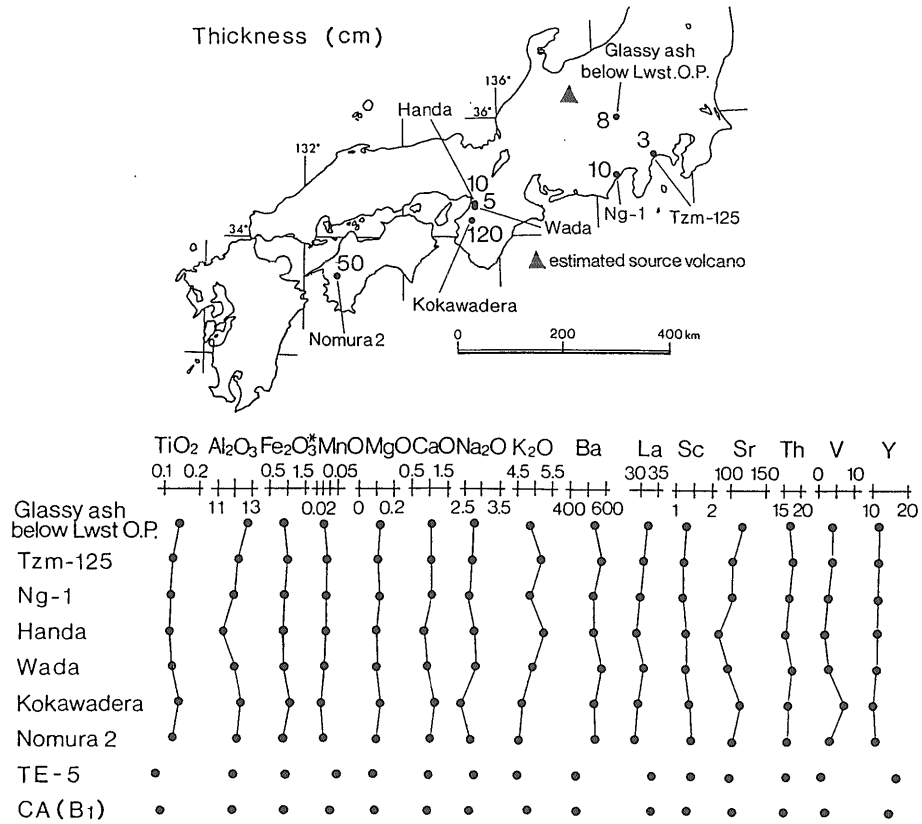
詳しい手順や分析条件については、吉川ほか(1990)、吉川(1993)を参照されたい。

3. 地史復元への応用例

このICP分析法の適用例を、いくつか紹介する。

最初に断っておくと、化学組成が似ているからといって、同じテフラとは限らず、同じ火山から供給された時代の異なるテフラの化学組成はそれぞれ似ているので、安易な対比は危険である。複数のテフラをセットにして対比したり、層位を考察するなどして、信頼性を高める配慮が必要である。

中期更新世(約73~13万年前)の地層については、放射年代測定法の適用が困難な年代であることもあって、その点でもテフラの対比に大きな意義がある。海進・海退のサイクルから編年が確立している地層に



第1図 各地のNg-1テフラとクリスタルアッシュ(下の2つ)の化学組成の比較(水野・吉川, 1991).

含まれるテフラと、そうでない地域のテフラとの対比が付くと、地層の年代を決める有力な手段となる。しかし、ICP分析法が適用されるまで、その研究はあまり進んでいなかった。

中部地方を中心に、クリスタルアッシュ(CA)と呼ばれる有名な広域テフラが分布し、それと似た別の広域テフラもあり、両者の屈折率・化学組成などの性質が似ているため、従来の手法では識別が困難であり、見解が錯綜していた。ICP分析により、これらのテフラは化学組成がかなり似ているものの、幾つかの元素に系統的な差異があることから、2種類のテフラが明確に識別された(第1図)。これに基づく対比は、層位関係とも調和的であることから、確実であると考えられるに至った。また、編年が確立している地層に含まれることから、クリスタルアッシュとは別の広域テフラ: Ng-1は約30万年前のものであることが明らかになった(水野・吉川, 1991)。この例にみられるように、放射年代測定が困難な年代における、広域テフラを用いる編年の重要性は明らかである。

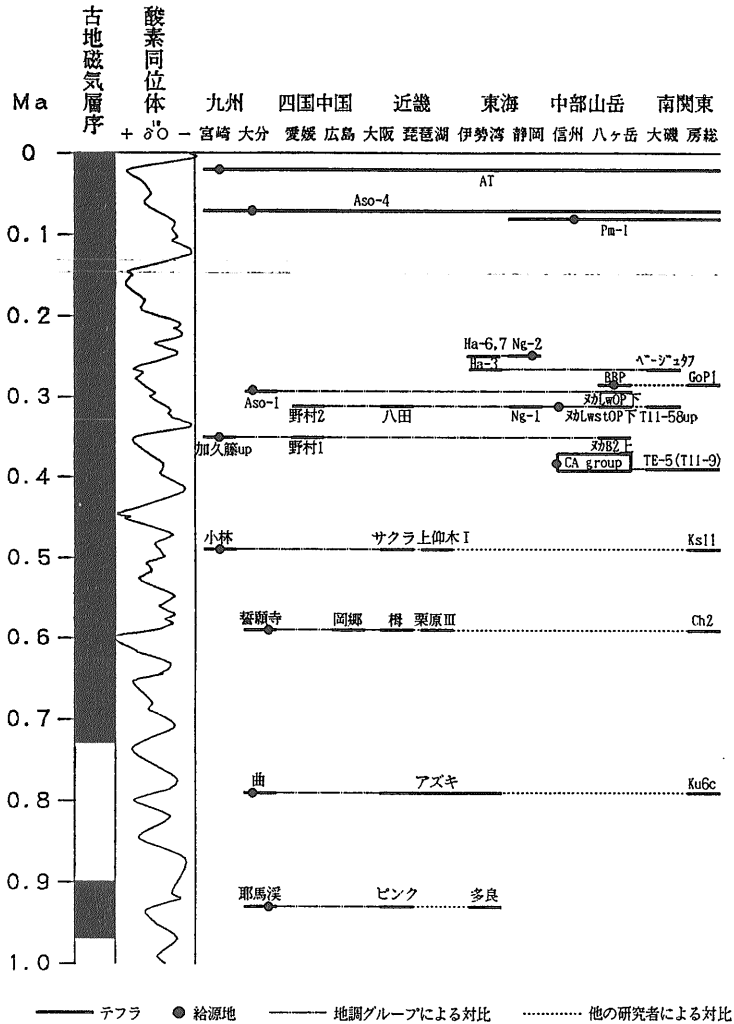
また、この調査・研究に関連して、九州の加久藤火砕流や阿蘇1火砕流などに対比されると考えられる広域テフラも明らかにし、これらの火山活動の年代・規模に対する指標となった。

中期更新世を中心とする、これらのテフラ編年表を、第2図に示す。

別の例として、日本海の深海底から採取したコアに含まれる広域テフラの研究について紹介する(吉川, 1994など)。

当所の海洋地質部を中心とした日本海の地質等に関する研究により、得られたコアに含まれるテフラを分析すると、従来から陸域で良く知られたテフラのほかに、未知の広域テフラがいくつか見られた。

規模の大きな噴火でも、日本海に隣接した火山から海側に噴出物が分布する場合、陸域ではあまり目立った噴出物が見られないので、重要視されていなかった広域テフラが確認された。このことは、火山活動の規模を明らかにする上でも、周辺海域の調査の重要性が浮き彫りにされた。



第2図 更新世における西日本の広域テフラの対比と編年(吉川, 1990).

一方、日本海においては、日本列島各地・鬱陵島・白頭山と、テフラの供給源は様々である。その化学組成には地域性があり、陸域の既知のテフラの化学組成と比較することにより、供給源が未知のテフラについても、その供給源がおおよそ推定できる。その推定は、テフラ層の分布から推定される供給源と概ね調和的であった。

そのほかに、日本海の堆積物に関するテフラによる編年について、興味深い事実としては、還元的な環境で堆積したTL層と呼ばれる地層が日本海の各地で見られるが、テフラとの層位関係から、それぞれの年代はおおむね同じであり、海水準の変動を反映した現象として注目されることが挙げられる(Ikehara et al., 1994)。

第1表 日本海における主要テフラの年代と特徴(吉川, 1994)。

テフラの名称	年代 (Kyr)	ガラスの特徴		化学組成の特徴	
		形態	色調	Fe/Mg:a/Y	K,Th
B-Tm (白頭山-苫小牧)	1	多孔質	灰色	大	多
U-OkI (鬱陵-隠岐)	9	多孔質	灰色	大	多
HP (十和田八戸)	13	多孔質	白色	小	少
YPk (浅間燐恋)	13	厚手	透明	小	少
NJ2 (北日本2:仮称)	15	多孔質	白色	小	少
DKdP (大山草草原)	17	多孔質	白色	小	大
AT (始良-丹沢)	22-25	バブル壁	透明	やや大	
To (富山沖)	30-35	多孔質他	灰色	大	多
San1 (山陰1:仮称)	30-35	多孔質	白色	小	大
U-Ym (鬱陵-大和)	~35	多孔質	灰色	大	多
Aso (阿蘇4)	~70	バブル壁	淡褐色		
Toya (洞爺)	~90	厚手	透明	大	少

これまでの調査・研究によって明らかとなった、日本海における主要なテフラとその特徴を、第1表に示す。

4. おわりに

ここでは、代表的な例として以上を紹介したが、広域テフラの研究は、火山活動の年代や規模、地史の詳細な復元に有力な方法であり、今後とも対比手法の開発や精度の向上、カタログの充実化を進めていくことが重要である。

参考文献

新井房夫・町田洋(1980):日本のテフラカタログI-西日本~東北日本の第四紀後期示準テフラの岩石記載的性質-. 軽石学雑誌, vol 6, p.65-76

Ikehara K., Kikkawa K., Katayama H., Seto K. (1994): Late Quaternary paleoenvironments of the Japan Sea: a tephrochronological and sedimentological study. Proceedings, International Symposium on Global Change (IGBP), p.676-692
 町田洋・新井房夫(1976):広域に分布する火山灰-始良 Tn 火山灰の発見とその意義-. 科学, vol.46, p.339-347
 吉川清志(1990):ICP発光分析を用いたテフラの同定法とその応用. 地学雑誌, vol.99, p.743-758
 吉川清志(1993):テフラ:ICP発光分析法. 第四紀試料分析法(日本第四紀学会), p.164-177
 吉川清志(1994):日本海におけるテフラ(火山灰)の分布と層序:まとめ. 日本海中部東縁部大陸棚周辺海域の海洋地質学的研究, 平成5年度研究概要報告書, p.174-181
 水野清秀・吉川清志(1991):中新世テフラ, Ng-1火山灰の広域性の検討. 第四紀研究, vol.30, p.435-438

KIKKAWA Kiyoshi (1998): The Progress of tephrochronological study.

<受付:1998年11月16日>