講座

テフラ学 (第 7 回) : 肉眼視できないテフラ
(クリプトテフラ) の認定と評価長 橋 良 隆^{*1, a}・片 岡 香 子^{*2}

キーワード : テフラ, テフラ粒子, クリプトテフラ, テフラ多産層準, テフラ降下層準

I. は じ め に

肉眼で層として識別できないテフラは、クリプトテフラ (cryptotephra) やマイクロテフラ (microtephra) とよばれる (Alloway *et al.*, 2006 など)。しかし、肉眼で識別できない理由には、テフラ粒子 (テフラ学第 1 回) の粒径が細粒であるからというよりも、テフラ粒子がバックグランドとなる地層中に拡散する物理プロセスによる場合が多いことから、マイクロテフラという呼称は相応しくない (例えば、極めて微細なテフラ粒子からでも肉眼で識別できる層を形成する)。

クリプトテフラを検出する手法は、非破壊・破壊を含めて数多くある。検出とは、肉眼で識別できないテフラ「粒子」の存在を検証し、記載的に示すことであり、間接的にクリプトテフラを可視化することである。Gehrels *et al.* (2008) は、泥炭層におけるクリプトテフラの検出法についてまとめており、ここに挙げられている検出法のいくつかは泥炭層以外の地層に対しても適用可能である。また、完新世の日本海海底堆積物コアについて、中性子放射化分析による微量成分元素を用いてクリプトテフラを検出する研究も行われている (Lim *et al.*, 2008)。

検出したテフラ粒子の起源を特定するには、テフラ粒子そのものを取り出し、その特性を調べる必要に迫られる。そのため、単独あるいは他の手法と併せて、テフラ粒子の含有量・含有率と岩石学的性質の層位的変化を直接的に調べることが多く、それはクリプトテフラ検出の普遍的手順ともいえる。その手順は、顕微鏡等を用いた

テフラ粒子の定量的評価と粒子個々の岩石学的性質 (化学組成や屈折率など) による検討であり、それは次のような段階を踏む。1) 地層から連続的に試料を採取する。2) 何らかの分析手法を用いて肉眼で識別できないテフラ粒子 (多くは火山ガラスや鉱物) を検出する。3) テフラ粒子の含有量・含有率と岩石学的性質の層位的変化からある特徴をもつ層準を見いだす。4) 見いだした層準の意味づけを行う。4) は、多くの場合、「テフラ降下層準」を設定することを目的として行われる。ここでいう「テフラ降下層準」とは、テフラ学第 2 回で述べたテフラ鍵層の同時面と同じであり、「短期間で噴火が終息し、拡散したテフラ粒子がほぼ同時に堆積したと認められるテフラ層の基底面」のことである。

クリプトテフラを探索する研究において、先に述べた 1)~3) までは記載的であるが、4) の意味づけは解釈であるため、1)~3) と 4) とではその意味合いが大きく異なる。クリプトテフラの利用は、地層そのものの記載とテフラ粒子を含む地層の成因を考慮することが基本であり、地層中のテフラ粒子の産状や拡散、さらにテフラ粒子の起源などの検討をあくまでも記載的に行う科学的な姿勢に根ざすべきである。

さて、テフラ粒子の中でもとりわけ火山ガラスの識別は重要視されており、1 粒子ごとの化学組成 (主成分元素) や屈折率について膨大な数の分析値の蓄積がある。火山ガラスの化学組成や屈折率はテフラ粒子の「物質」としての起源を示す指紋 (fingerprint) とされる。そのため、この「指紋」さえあれば、テフラ粒子が層として

2013 年 7 月 22 日受付。2014 年 11 月 22 日受理。

*1 福島大学共生システム理工学類 〒960-1296 福島市金谷川 1 番地。

*2 新潟大学災害・復興科学研究所 〒950-2181 新潟市西区五十嵐 2 の町 8050。

*a Corresponding author : nagahashi@sss.fukushima-u.ac.jp

肉眼で識別できなくても、地層中から「テフラ降下層準」が特定できるとのやや慎重さを欠いた認識がある。しかし、これから述べるように、これはごく限られた条件下でのみ成立しうることであり、その他の多くの場合に「テフラ降下層準」が特定できるとすることは誤認に近い。

II. 地層におけるテフラ粒子の識別と拡散現象

テフラ粒子が細粒で降下量が少なくても肉眼で容易に識別でき、それが「テフラ降下層準」となる可能性が高い氷床コアの場合を考えよう。氷床コアのテフラ研究については、河野 (2011) の概説がある。氷床は長年の積雪が積み重なってきた水が媒質 (地層にあたるもの) となるので、固体微粒子を識別しやすく、また積雪量が多い地域の場合はわずかな降下量の固体微粒子であってもそれを保存する能力が高い。極地の氷床コアに含まれる固体微粒子には、テフラ粒子以外にも風成塵や宇宙塵などもあるが、テフラ粒子であることが同定できれば、それが「テフラ降下層準」となる可能性が高い。その理由は、碎屑性堆積物に比べれば大きい堆積速度 (年間降雪量が数 cm～数 10 cm) と、極地における清浄な環境から、氷床コア中のテフラ粒子を薄層として識別しやすく、それが火山噴火とほぼ同時に降下・堆積したものと認定できる保存能の高い地層 (氷) だからである。

以上の氷床コアの「テフラ降下層準」の説明において重要な点は、1) ほとんど時間間隙無く堆積した地層 (この場合は氷) からなること、2) テフラ粒子以外の媒質 (地層) が氷であるためテフラ粒子の識別が容易であること、3) 再堆積が無いあるいは再堆積が容易に認定できるためテフラ粒子の検出 (濃集) 層準がすなわち「テフラ降下層準」となること、の 3 点である。氷床コアにおいても風による固体微粒子の移動や堆積間隙 (欠層) など、考慮すべきことがあるが、固体微粒子の産状を検討しやすいというのは大きな利点である。

次に我々が良く扱う風成層や水成層において、テフラ粒子が肉眼で識別できない場合を考えよう。まず、地層の性質によらず肉眼でテフラ粒子の集合体が識別できない現象は、1) 降下したテフラ粒子が削剥され、再移動し原位置とは別の場所に再堆積したとき、つまり原位置には存在しなくなる (図 1-a)、2) 降下したテフラ粒子が原位置から上・下位の地層に拡散し周囲の地層に混在したとき (図 1-b)、3) 上記の 1) と 2) の作用の両方があるとき、の 3 つであろう。これらの現象を具体的に考えることが本質的に重要である。それは地層そのもの

図 1 肉眼でテフラ粒子の集合体が識別できなくなる現象
a: 降下したテフラ粒子が削剥され、再移動し原位置とは別の場所に再堆積したとき (つまり原位置には存在しなくなる)。b: 降下したテフラ粒子が原位置から上・下位の地層に拡散し周囲の地層に混在したとき。

の性質に関わる問題であり、テフラ研究あるいは第四紀学に携わるものなら次のことは容易に想像できる。

乾陸上の裸地環境の場合、テフラ粒子は、風の作用による空中への巻き上げと再堆積を繰り返し、また降雨等による間欠的な表面流水などによる削剥を受け、原位置から再移動し再堆積する。また、裸地環境の土壌化に伴って、植物や動物による擾乱や寒冷気候下における凍結・融解作用による擾乱を受け、テフラ粒子は層位的上・下位に移動・拡散する (例えば、山崎, 1978; 赤羽・野村, 1992; 趙, 2006 など)。陸水 (河川) 環境の場合、テフラ粒子は流水による削剥を受け、原位置から再移動し再堆積する。また、氾濫原環境における植物や動物の擾乱によっても層位的上・下位に移動・拡散する。陸水 (湖沼) 環境の場合、テフラ粒子は流入河川からの洪水流や湖底地すべり等による削剥や波浪により原位置から再移動し再堆積する。また、水生植物や底生動物による擾乱によっても層位的上・下位に移動・拡散する。海域環境の場合、海面に降下したテフラ粒子は、海底に達するまでに波浪や潮流などの影響を受ける。また、底生動物等の擾乱をうけて、原位置から層位的上・下位に移動・拡散する (例えば、小竹ほか, 2006)。

以上述べたように、我々が普段扱う風成層や水成層は、普遍的に削剥・再堆積作用や擾乱があり、時間的断続や部分的な逆転さえも含む不完全な地層である。そもそも同時面の指標としての「テフラ降下層準」の認定は、テフラ層として肉眼視できるかどうかにかかわらない(テフラ学第2回)。一般的に行われているテフラ研究においても、地層そのものの性質を正しく理解するための観察と記載を十分に行ったうえで、各種の分析を計画・実施する。クリプトテフラを研究に適用するならば、通常のテフラ研究「以上」に地層そのものの性質を正しく理解するための観察と記載が必要である。

III. テフラ粒子の多産層準とテフラ降下層準

肉眼で識別できないテフラ粒子を評価する手法には、テフラ粒子の含有量・含有率分析とそれらテフラ粒子個々の岩石学的特性等の分析がある。吉川(1999)は、テフラ粒子である火山ガラスや鉱物の含有量・含有率が他の層位よりも相対的に多い層準を、記載的用語として「火山ガラス多産層準」や「角閃石多産層準」と呼称し、「火山灰降灰層準」とは区別した。この多産層準は濃集層準ともいえるが、文字通りテフラ粒子の含有量・含有率の極大値とするものであり、明瞭な極大値を示さない場合やテフラ粒子の数が極端に少ない場合などは多産層準として認定できない。

また、吉川(1999)では、「火山灰物質(火山ガラスや各種鉱物の含有量)は降灰層準付近で一般に最大値を示し、上位、下位へ含有量が減少している。一般的傾向として上方への拡散が主体で、下方への拡散は少ない」と記述しているが、一般的傾向としながらもこれは確定したものではない。それは先の文章に続けて、「拡散が均質に行われるのではなく、不均質に行われること」と「岩相の変化に対応してガラス含有量は大きく増減すること、とくに層理面を境にしてガラス含有量は大きく変化すること」を指摘しているからである。そのため、「火山灰降灰層準」は、含まれるテフラ粒子の含有量・含有率の層位的変化だけでは特定できず、それと共にテフラ粒子の岩石学的特性等の層位的変化とあわせて検討することにより、より正確に「火山灰降灰層準」の認定ができるとしている(吉川, 1999)。そのためテフラ粒子の「多産層準」は、「降灰層準」と必ずしも一致しない。

吉川(1999)による「火山灰降灰層準」の認定は慎重に行う必要があるとの指摘や用語の提案は大変適切であるが、この「火山灰降灰層準」の定義は大きな誤解を生じさせる点で問題がある。それは、「火山灰物質の含有量

の変化と火山灰物質の岩石学的性質の変化から認定される」ものが、「火山灰の降灰した層準」(本論でいうところのテフラ降下層準)と直に対応していることにある。以下では、「火山灰降灰層準」や「テフラ降下層準」の認定に着目し、問題の本質を掘り下げて議論しよう。

「火山灰降灰層準」の認定を慎重に行うには、テフラ粒子の含有量・含有率と岩石学的特性等の層位的変化について、単一地点だけではなく、他の地点においても同様な傾向が認められるかを検証することが挙げられる。しかし、それでも「テフラ降下層準」の認定には不十分である。多地点における検証は、テフラ粒子の含有率や岩石学的特性等の同調性と同期性のうち、空間的「分布」の同調性について認定したものである。もちろん、テフラ粒子を含む地層の性質の共通性は重要であるが、それを考慮に入れたとしても、空間的に同調していることは時間的に同期していることをも保証しない。つまり、多地点による検討でも、テフラ粒子が降下した「同期性」は担保されていない。例えば、テフラ粒子として非常に希な鉱物が多地点で共通して産したとしても、それは初生的に堆積したと認定されたテフラ層ではなくテフラ粒子であるので、物質としての対比でしかない。その希な鉱物を含む層準の堆積年代が共通して同じであることも保証されない。

また、初生的に堆積した(多くは肉眼視できる)テフラ層の場合は、その時点で給源火山が特定されていないくても、火山噴火により直接テフラ粒子が堆積したことが地層から見て取れる。しかし、テフラ粒子のみから特定した層準は、クリプトテフラとしての傍証を積み重ねたとしても火山噴火に起因して初生的に堆積した「テフラ降下層準」と認定できない。なお、早川(1995)は、特定の層準にある広域テフラに特徴的な火山ガラスが密集していた場合、「その層位が示す時刻の近くでその広域テフラの噴火が起こった」とまでしかいえないとしている。

IV. クリプトテフラ研究例の再考

上に述べたように、クリプトテフラから厳密な意味での「テフラ降下層準」が認定できる条件はごく限られる。削剥も時間間隙も擾乱もなく、時間分解能の高い地層はほとんど無いことに気づくだろう。しかし、「テフラ降下層準」に準ずるもの(噴出年代より新しいがそれに近い年代を示す)としての意味づけ(解釈)を目的とした検討例はある。以下、それらについて再検証する。

例えば、琵琶湖高島沖コアでは、均質なシルト質粘土

層に対して、5 cm 間隔で約 2,500 個の試料を水洗処理し、44 の火山灰層の他に 31 の「火山灰降灰層準」を識別している(吉川・井内, 1991)。この高島沖コアの火山灰層序は近畿地方の標準ともなるが、それでも広域テフラ層の大山倉吉軽石層(DKP: 町田・新井, 1979)や阿多火山灰(Ata: 町田・新井, 1983)は見出されていない。また、内湾性の海成粘土層も湖成粘土層と同様に連続的な堆積が期待され、「火山灰降灰層準」が認定されている(吉川, 1981; Ogura *et al.*, 1992; 吉川ほか, 1993)。これらの「火山灰降灰層準」とされているもののうち、複数地点における検証、年代測定による堆積年代や給源近傍のテフラ層との対比による検証などが行われているものは「テフラ降下層準」の可能性をもつが、そうでない場合は「テフラ降下層準」としての検討の余地があることに注意が必要である。

一般に、大水深で堆積した湖成粘土層や静穏な環境で堆積したと考えられる内湾性の粘土層は、比較的連続して堆積していることが期待されるため、クリプトテフラのみならず各種の古環境解析にも適しているとされる。しかし、湖内や内湾においても削剥や再堆積が普通にあることや生物擾乱を考慮することが必要である。また、泥質の深海底堆積物もクリプトテフラの検出に適しているとされるが、海域に降下した後の波浪や潮流の影響、底生動物による擾乱あるいは再堆積などに注意が必要である。椎原ほか(2013)は、鬱陵島起源の完新世のテフラ層やクリプトテフラについて、給源近傍・日本海・日本陸域における研究を整理し、その層序や対比について検証している。

また、湿原環境の泥炭層は、後背地からの碎屑物の供給が少なく、異質な粒子の混入が少ないため、テフラ粒子の識別に適した地層とされる。しかし、泥炭層は、湿原表層部に空隙が多いことによるテフラ粒子の保存の問題や湿原に豊富にある水の関与があり、さらに堆積速度が遅く時間分解能も低い。泥炭地におけるテフラ粒子の Taphonomy を実験的に評価した研究もあり(Payne and Gehrels, 2010)、クリプトテフラから厳密な「テフラ降下層準」を認定することは困難であろう。

風成層では、比較的連続した堆積が見込める累積成の地層として風成ローム層がある。風成ローム層は、テフラ粒子の保存の問題、とくに火山ガラスが風化により消失することによる情報の欠如が大きく、保持している情報量は水成の地層よりかなり劣る。風成ローム層におけるクリプトテフラの検討事例については多くの報告があるが、それについては次章で詳しく述べる。

以上述べた性質以外の地層では、河川成堆積物や崖錘性堆積物などがある。河川成堆積物のクリプトテフラについて検討した事例では、テフラ粒子から「火山灰降灰層準」は特定されていない(吉川, 1981; 吉川ほか, 1993)。給源火山から隔離されたような堆積域において、砂層や礫層などの粗粒堆積物ではガラス含有率が極低率となり、細粒堆積物との層界面を境にガラス含有率が急変する(吉川, 1981)。よって、粒度変化に富む粗粒堆積物中においては、テフラ粒子の含有量・含有率や岩石学的特性等の層位的変化について評価することは難しく、「テフラ降下層準」の認定など望めない。なお、テフラ粒子を記録する堆積物の性質については、奥野(2011)が既に評価している。

V. 風成ローム層におけるテフラ降下層準の考え方

風成ローム層のテフラ粒子に関する研究は、古くから数多く行われている(例えば、関東ローム研究グループ, 1955; 加藤, 1962; 山崎, 1978; 新潟火山灰グループ, 1981, 1995; 野尻湖火山灰グループ, 1990 など)。ここでは、比較的新しい具体的事例として、段丘堆積物を覆う風成ローム層のクリプトテフラの研究について述べる。

まず、どこにでも共通してあるような風成ローム層であっても、先入観を抱かずにきちんと観察・記載し、その地域に固有の特徴をもつものとして取り組まなければならない。風成ローム層は、累積成の地層であるため、クリプトテフラを利用した層序学的研究に適していると思われがちである。しかし、同じ時代・地域の湖成堆積物と比較すると、風成ローム層そのものが時間的不連続を多く含む可能性があることや、テフラ粒子の保存能ははるかに劣ることを忘れてはいけない。肉眼視できないクリプトテフラを層序学的研究に利用した多くの事例では、対象とする地域にテフラ粒子の降灰があったことを前提として進めているように思える。この前提(仮定)に立脚して論を進めているとすれば、そのこと自体に問題があるともいえる。ここではこの前提を確認したうえで論を始めるが、I・II・III章で述べたように、クリプトテフラから厳密な意味の「テフラ降下層準」を導き出すことが不可能であることについて議論する。

対象地域より遠方(給源火山から離れる)でテフラ層が識別されている場合でも、また、既存のアイソバックマップなどで降灰の分布が示されている場合であっても、そこに降灰があったという直接的根拠とはならず、

降灰の可能性を示唆しているだけであることに留意すべきである。現状では、対象地域内や対象とする地点のごく近傍において降灰があったというテフラ層の露頭での存在など、直接的根拠を明確に示すことなく、クリプトテフラを層序学的研究の一手法として利用している場合が多い。

風成ローム層のクリプトテフラは、層として識別できないテフラ層の稀産地域において、層序学的・編年学的解釈の補助的役割として(片岡・吉川, 1997),あるいはそれら解釈の中心として(中村, 2005; 石村, 2010 など)用いられている。これらの研究で扱われている風成ローム層中の火山ガラスや鉱物の含有量の垂直的变化をみると、「多産層準(文献中では濃集層準と記述されることが多い)」としての明瞭なピークをなしていない例もある。またここでの火山ガラスの同定は、同一層準に複数の給源火山に由来するものが混在して産する場合があることや、古い時代(5 万年前以前)の風成ローム層では風化により火山ガラスが消失したと考えられる例がある。テフラ粒子の保存能の悪い風成層においては、テフラ粒子の垂直的含有量の変化といっても、本来降灰したテフラ粒子の一部についての変化である。このようにテフラ粒子の本来の「テフラ降下層準」から上・下位層への拡散および消失(あるいは削剥と再堆積)は普遍的に起きているため、「テフラ降下層準」の認定はそもそも不可能である。この「テフラ降下層準」の認定が不可能であるにも関わらず、テフラ粒子の起源の同定は、火山ガラスや鉱物の屈折率、鉱物組み合わせなどにより行われている例が多い。石村(2010, 2014)には、風成ローム層中の同一層準(同一試料)から鬼界-アカホヤ火山灰(K-Ah: 町田・新井, 1978)と始良 Tn 火山灰(AT: 町田・新井, 1976)由来の火山ガラスが混在していることを火山ガラスの屈折率から判断し、その含有率(それぞれの比)の鉛直的变化から K-Ah 層準と AT 層準を認定した、とある。石村(2014)での K-Ah 層準と AT 層準は、 β 石英濃集層準に対する記載的な扱いとは区別されていることから、テフラ降下層準を暗示するものである。しかしながら、この K-Ah 層準と AT 層準が記載に留まるか、テフラ降下層準の厳密な認定に至るのかは、その方法も含め明確に示されていないため、検討の余地が多分に残る。片岡・吉川(1997)は、風成ローム層中の火山ガラス含有量の変化と屈折率から K-Ah と AT の 2 つのテフラ層に由来する火山ガラスの含有は示唆するものの、含有量の鉛直的变化があったとしても「テフラ降下層準」としては扱っていない。テフラ粒

子の起源が同定できたとしても、その層準を「テフラ降下層準」として認定できないのは、テフラとは独立した年代測定値またはそれと同等に年代を強く示唆する層や含有物での検証がなく、また先述したテフラ粒子の時間空間的拡散の物理プロセスが未解明なままでは、他者を説得できないからである。

また、段丘堆積物とその上位に発達する風成ローム層の研究については、ローム層の年代ばかりが重要視されがちである。しかし、片岡・吉川(1997)にもあるように、段丘堆積物の層序や編年を考えると、まず段丘を構成する堆積物そのものの特徴に基づき(また地点によっては段丘堆積物中に挟在するテフラ層を鍵として)層序を構築する。段丘堆積物の編年や地形発達史を論じるに際し、風成ローム層中のクリプトテフラの利用はあくまでも補助的資料でしかないことに留意が必要である。さらに、段丘堆積物の年代は堆積物の形成年代を、ローム層基底が示す年代は段丘の離水後の年代を示すため、ローム層基底の年代観が必ずしも段丘堆積物の形成年代とは直結しないことも理解されたい。つまり、離水後に堆積した風成ローム層は下位の段丘堆積物から連続的に堆積しているとは限らず、時間差があることも十分にある。

他方、風成ローム層において、初生的に堆積したテフラ層が確かに挟在し、そのテフラ層間のクリプトテフラを検討した事例がある。磐梯山麓の例では、小岩・早田(1994)が層として識別していた二口火山灰について、鈴木ほか(1995)は沼沢-沼沢湖テフラ(Nm-NK)と AT との間の風成ローム層から二口火山灰の火山ガラス多産層準を検出している。つまり、初次的に堆積したテフラ層が与える同時面を手がかりに、しかも隣接する他地点における同様な性質の堆積物からクリプトテフラに対比できるテフラ層が既に確認されている場合は、テフラ粒子の多産層準は層序学における補助的役割を担うことができる。

さらに、風成ローム層におけるテフラ粒子の同定の問題もある。テフラ層の主たる構成物は火山ガラスと鉱物である。偏光顕微鏡を用いれば、物質としての火山ガラスを識別することは比較的容易である。そのため、その起源や堆積年代は別にして、テフラ粒子として、火山ガラスの含有量変化を求めることはできる。しかし、鉱物の場合はどうか。風成ローム層にも普遍的に鉱物が含まれる。これらは、テフラの降灰に起因したテフラ粒子だけでなく、近隣の裸地から風により巻き上げられたものや、周辺に露出した基盤岩や後背となる堆積物に由来す

るものもある。単に鉱物がある層準に濃集して産したとしても、「テフラ降下層準」の認定には結びつかない。なぜなら、複数のテフラ由来の鉱物の混合のみならず、テフラ以外に由来する鉱物の混合をきちんと評価しなければならぬからである。

テフラ学第3回でも述べたように、火山周辺地域や火山から数10から100 km以上も離れた遠方の平野域におけるテフラ粒子の普遍的な再堆積（バックグランド堆積作用）でも、一定量のテフラ粒子が通常の堆積物中に含まれる例もある。Ⅲ章・Ⅳ章で述べたように、火山ガラスの「多産層準」は「テフラ降下層準」に近い可能性をもつが、鉱物粒子の「多産層準」は同等の意味をもっておらず、単独でしかも火山ガラスと同等に扱うことができない。

以上述べたように、クリプトテフラから「テフラ降下層準」の認定ができる条件は極めて限られており、現状ではほぼ望めない。さらに、複数のテフラが混在する場合、含有量と岩石学的性質の明瞭な鉛直変化がない場合、テフラに由来する物質としての評価が困難な場合は、「テフラ降下層準」の可能性のあるものとしてさへ利用できないことを認識されたい。テフラ層が「テフラ降下層準」の年代指標として数多く利用されている実績があることから、クリプトテフラも同等に扱えるものと思いがちである。現状では、クリプトテフラを記載的に扱い、「テフラ降下層準」であるかどうかの多面的な検証事例を増やす必要がある。そのために、記載的用語の正確な使用は重要であり、このような指摘は既に吉川(1981, 1999)で先駆的になされていた。記載的扱いの段階では、テフラ粒子 (tephra particle)・テフラ多産層準 (tephra concentration horizon) に留めておき、クリプトテフラから「火山灰降下層準」やテフラ降下層準 (tephra fall datum) の認定は慎むべきである。

VI. お わ り に

層序学・編年学におけるクリプトテフラ研究の背景や用語の定義について整理した。どのような性質の地層であっても、クリプトテフラの研究手法を適用すれば「テフラ降下層準」が分かるわけではない。テフラ層がもつ層序学・編年学的意義や価値に比べると、クリプトテフラのそれは随分と劣る（場合によっては無価値とも言える）。それにもかかわらず、クリプトテフラへの過信とその行き過ぎた活用は、風成ローム層の堆積速度の算出や、そこから外挿・内挿される段丘堆積物の形成年代、ひいては活断層やテクトニクスなどの評価に対して、

誤った解釈をもち込む可能性が非常に大きい。

繰り返しになるが、層序学・編年学におけるクリプトテフラの適用はまだまだ途上である。テフラ降下層準となる初生的に堆積したテフラ層が複数層あり、その間の層位をクリプトテフラでも検討するというのであれば、やや説得力をもつだろう。そうでない場合はクリプトテフラで年代論を展開するのではなく、地層そのものの年代を算出するなどの多面的な方策を検討することがまずもって追求されるべきであろう。そのような事例を積み重ねることが、クリプトテフラの層序学や編年学への適用の限界と可能性を見極めることにつながる。

VII. テフラ学講座のおわりに

日本国内の最近のテフラ研究は、テフラ層やテフラ粒子の識別・記載・同定という基本動作を行うテフラ専門家の減少と同時に、半ば斜陽研究になりつつある。しかし、テフラ研究は編年学において重要な役割を担うことから、第四紀研究とは切っても切れない関係であり、地域の地質学、層序学、活断層研究、地形発達史研究、堆積盆解析、考古学研究などでテフラの活用は不可避とも言える。テフラ専門家は減少しても、(編年学上の)ユーザーは普遍的というややアンバランスな状況にある。我々が憂えることは、テフラに関する研究や手法における原理・原則がややもすれば置き去りにされ、あるいはテフラ研究そのものの進展が無いまま、テフラを年代指標の道具とした結果ばかりが重視されている点である。クリプトテフラを悪い事例のように扱ったかもしれないが、クリプトテフラをも含めたテフラ研究そのものはまだまだ大いなる可能性を秘めている。我々は、爆発的(あるいは破局的)火山噴火が日本列島の地質・地形形成過程や地表環境に与える影響と大いに関わっていることを常に念頭におき、もっと本質に迫る地質学的研究を展開したいと考えている。そのための個別の課題を解決することや記載的事実を蓄積することは重要である。今後も分析機器・手法の発展や向上は、個々のテフラ層の物質科学的性質を明らかにするであろうが、その行き着く先が未記載・未対比のテフラ層対比やその年代論に終始するようではあまりにももったいないのではないだろうか。第1回の冒頭で、テフラ学 (tephrology) とは、テフラの層序学・編年学・対比・岩石学のほかに、火山学と堆積学も加えたいと我々は書いた。このテフラの多面性を理解し、テフラがもつ真の価値を探るためにも、地層そのものを見る(解釈)する経験と思考力が必要であり、そのために火山学と堆積学の知識、視点と手法は大

変役立つ。上述のように、テフラ層の年代指標層としての応用面の偏重に憂うとも、我々はテフラ学の将来を決して悲観してはいない。

著者の一人の片岡は、クリプトテフラ研究を博士前期課程の初期の段階で放棄した。それはクリプトテフラの適用研究の危うさを直感的にもまた原理的にも意識しつつ、火山ガラス粒子の個数測定に明け暮れ、かつその結論が従前の研究を乗り越えない段丘形成の年代観と海水準変動やテクトニクスにあることに辟易したため、テフラ層を使ってもっと地質学的な、本質に迫れるような研究を進めたいとの思いが強くなったからである。既存の観念にとらわれない創造的・批評的な視点が、学問の進展には必要である。とくに若い世代の研究者(の卵)には、大小さまざまなブレイクスルーをもたらし自由なテフラ学に挑んでもらいたいと我々は切望するし、また周りの指導的立場にある研究者にも(著者らの自戒も込めて)、自らの範疇よりはみ出そうとする若手への寛大さや理解が求められよう。もとより我々が全てを解決できるわけではないので、より多くの方がテフラにかかわる研究を展開し、それにこのテフラ学講座が多少でも役に立てば望外の喜びである。

謝辞 テフラ学講座の作成にあたり、以下の方々にお世話になった。ここに記して感謝します。新潟大学のト部厚志博士には、テフラ学にまつわる課題についていろいろとご議論いただき、またボーリングコアの写真を提供いただいた。査読者である福岡大学の奥野 充教授、茨城大学の長谷川健博士には、本講座の改善に有益なコメントをいただいた。千葉県立博物館の岡崎浩子博士と産業技術総合研究所の池原 研博士には、素稿を読んでいただき、適切なコメントをいただいた。福島大学の中澤なおみさんには図の一部を作成していただいた。

引 用 文 献

- 赤羽貞幸・野村 哲 (1992) 野尻湖周辺の風成最上部更新統に見られる堆積の特徴。月刊地球, 14, 22-27.
- Alloway, B.V., Larsen, G., Lowe, D.J., Shane, P. and Westgate, J.A. (2006) Tephrochronology. S. Elias (Ed.) Encyclopedia of Quaternary Sciences Vol. 4: 2869-2898, Elsevier.
- 趙 哲済 (2006) 旧石器の層位攪乱をもたらす最終氷期の乾裂・凍結割れ目の形成機構に関する比較研究。平成 15 年度～平成 17 年度科学研究費補助金(基盤研究(B))研究成果報告, 65 p, 図版 32, 大阪市文化財協会. (<http://www.occpa.or.jp/kenkyu/kaken/kaken01.html>)
- Gehrels, M.J., Newnham, R.M., Lowe, D.J., Wynne, S., Hazell, Z.J. and Caseldine, C. (2008) Toward rapid assay of cryptotephra in peat cores: Review and evaluation of various methods. Quaternary International, 178, 68-84.
- 早川由紀夫 (1995) 日本に広く分布するローム層の特徴とその成因。火山, 40, 177-190.
- 石村大輔 (2010) 関ヶ原周辺における段丘編年と活断層の活動性。第四紀研究, 49, 255-270.
- 石村大輔 (2014) 近江盆地の東西に分布する段丘面の編年とその形成過程。地学雑誌, 123, 698-720.
- 関東ローム研究グループ (1955) 関東ロームの諸問題。地質学雑誌, 62, 302-316.
- 片岡香子・吉川周作 (1997) 三重県鈴鹿川流域の段丘構成層の層序・編年—火山灰稀産地域での段丘編年の試み。第四紀研究, 36, 263-276.
- 加藤芳郎 (1962) 関東ローム層の細砂軽鉱物組成。地球科学, no. 62, 11-19.
- 河野美香 (2011) 1-6 火山活動の復元。藤井理行・本山秀明編著「アイスコア 地球環境のタイムカプセル」: 71-84, 成山堂書店.
- 小岩直人・早田 勉 (1994) 東北地方南部に分布する更新世末期のガラス質テフラ。地学雑誌, 103, 68-76.
- 小竹信宏・藤岡導明・佐藤 茜・伊藤泰弘 (2006) 千葉県房総半島南端に分布する完新統沼層における鬼界-アカホヤテフラの降灰層準: 生物攪拌作用の観点からのアプローチ。地質学雑誌, 112, 210-221.
- Lim, C., Ikehara, K. and Toyoda, K. (2008) Cryptotephra detection using high-resolution trace-element analysis of Holocene marine sediments, southwest Japan. Geochimica et Cosmochimica Acta, 72, 5022-5036.
- 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, 46, 339-347.
- 町田 洋・新井房夫 (1978) 南九州鬼界カルデラから噴出した広域テフラ—アカホヤ火山灰。第四紀研究, 17, 143-163.
- 町田 洋・新井房夫 (1979) 大山倉吉軽石層—分布の広域性と第四紀編年上の意義。地学雑誌, 88, 33-50.
- 町田 洋・新井房夫 (1983) 鬼界カルデラ起源の新広

- 域テフラと九州における更新世後期大火砕流の噴出年代. 火山, 28, 206.
- 中村洋介 (2005) 富山平野東縁, 魚津断層の第四紀後期における平均上下変位速度. 第四紀研究, 44, 353-370.
- 新潟火山灰グループ (1981) 新潟県下のローム層について そのⅠ—信濃川ローム層について—. 地球科学, 35, 294-311.
- 新潟火山灰グループ (1995) 新潟県下のローム層について そのⅡ—信濃川ローム層の層序—. 地球科学, 49, 188-202.
- 野尻湖火山灰グループ (1990) 野尻湖における第四系の砂粒組成 (その3). 地団研専報, no. 37, 29-38.
- Ogura, H., Yoshikawa, S. and Kitani, K. (1992) Middle to Late Pleistocene tephrostratigraphy of the 200-meter core sample from the north of Osaka Bay, Japan. Journal of Geosciences, Osaka City University, 35, 1-12.
- 奥野 充 (2011) 地質調査による高分解能なテフラ層序学・年代学の構築. 地質学雑誌, 117, 654-662.
- Payne, R. and Gehrels, M.J. (2010) The formation of tephra layers in peatlands : An experimental approach. Catena, 81, 12-23.
- 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.
- 鈴木毅彦・木村純一・早田 勉・千葉茂樹・小荒井衛・新井房夫・吉永秀一郎・高田将志 (1995) 磐梯火山周辺に分布する広域テフラ. 地学雑誌, 104, 551-560.
- 山崎晴雄 (1978) 立川断層とその第四紀後期の運動. 第四紀研究, 16, 231-246.
- 吉川周作 (1981) 堆積物中の火山ガラスの研究—大阪平野の更新-完新統について. 第四紀研究, 20, 75-87.
- 吉川周作 (1999) 火山灰降灰層準について. 第四紀 (第四紀総合研究会連絡誌), 31, 43-50.
- 吉川周作・井内美郎 (1991) 琵琶湖高島沖ボーリングコアの火山灰層序. 地球科学, 45, 81-100.
- 吉川周作・小倉博之・福西佐代 (1993) 大阪平野地下の中・上部更新統火山灰層序. 地質学雑誌, 99, 467-478.

Tephrology (part 7) : Evaluation of cryptotephra

Yoshitaka Nagahashi^{*1, a} and Kyoko S. Kataoka^{*2}

Keywords : tephra, tephra particle (grain), cryptotephra, tephra concentration horizon, tephra fall datum

*1 Faculty of Symbiotic Systems Science, Fukushima University. 1 Kanayagawa, Fukushima, 960-1296, Japan.

*2 Research Institute for Natural Hazards and Disaster Recovery, Niigata University. 8050 Ikarashi 2, Nishi-ku, Niigata, 950-2181, Japan.

*a Corresponding author : nagahashi@sss.fukushima-u.ac.jp