

P4. 降下テフラ層の純層と二次堆積層の簡便な識別方法に向けて —ボーリングコア試料分析を例として—

Toward a simple discrimination method between primary and secondary tephra layers
— examples in boring core sample —

○中村千怜，長田朋大（株式会社ナイバ），辻 智大（山口大学），潮田雅司，池田倫治
（株式会社四国総合研究所），西坂直樹，石川慶彦，大西耕造（四国電力株式会社）

1. はじめに

大規模噴火による降下テフラ（噴火で空中に放出された火山碎屑物が降り積もってできる堆積物）の初生的な層厚（純層の層厚）は，アイソバックマップ（降下テフラの等層厚線図）の作成や噴出量の推定など火山学的に重要な指標であるだけでなく，周辺施設への影響評価や防災マップの作成時に必要となる．しかし，降下テフラ層には初生堆積以外にも二次堆積したものも含まれ，場合によっては初生堆積したテフラ層よりも二次堆積性テフラ層の方が厚く堆積していることがある（例えば，片岡・長橋，2014a; Tsuji et al, 2018）．また，活断層調査で行われるボーリング調査やトレンチ調査による地層年代の推定，さらに地すべり発生年代の検討では，年代の指標となるテフラ層が純層か二次堆積層かで地層の年代を見誤る可能性がある．このように，テフラ層の純層と二次堆積層の識別は火山学的にも応用地質学的にも重要なものである．

一般に，純層と二次堆積層の識別では，層の形態（板状・レンズ状・だんご状など），色調，粒度，層厚，堆積構造およびその有無，構成粒子の種類（軽石・火山ガラス・鉱物・石質岩片など）などの層相（岩相）とその垂直・側方変化など基礎的記載に加え，堆積過程を理解するために，ラミナの種類，厚さや大きさといった定性的な視点からの記載を行う（e.g. Nakayama and Yoshikawa, 1997; 片岡・長橋，2014b; 池原，2015）．ただし，堆積構造がないことが必ずしも二次堆積の可能性を否定したり，存在することが初生堆積を否定したりすることにはならず（片岡・長橋，2014b），また，これらの記載は観察者によって異なる可能性もある．そのため，本発表では，上記の定性的な記載方法に加えて，定量的でより客観的に純層と二次堆積層を認定できる指標を求める手法を検討した．

2. ボーリングコア試料の採取

ボーリングコア試料中のテフラ層の堆積構造を検討するためには，なるべく人工的に乱されていない試料の採取が不可欠である．図－1 (a)は，一般的なコアリング手法で採取したボーリングコア試料の半割断面である．このコアの半割断面の肉眼観察および CT 画像において，一定間隔で縞模様が確認される．この縞模様は初生的な堆積構造ではなく，コア採取時の試料の回転により形成された構造である可能性が高い．このような攪乱構造は，堆積構造の詳細観察にはノイズとなるため，テフロクロロジーを検討するためのコア試料を採取する際には，適切なボーリング掘削（本発表では高品質ボーリングと称する；図－1 (b)）を行う必要がある．本発表では，同じ地点において，一般的な手法で取得したコア A と高品質ボーリングで取得したコア B を比較する．

3. 降下テフラの二次堆積層認定の取り組み

従来、純層の評価では、主に層相記載や記載岩石学的特徴の検討などが用いられてきた (e.g. Nakayama and Yoshikawa, 1997; 片岡・長橋, 2014b; 池原, 2015). 今回これらの定性的な手法に加え、定量的な手法として、粒度分布や異質岩片の含有量、火山ガラスの化学組成を定量的な指標として適応できるか試みた。

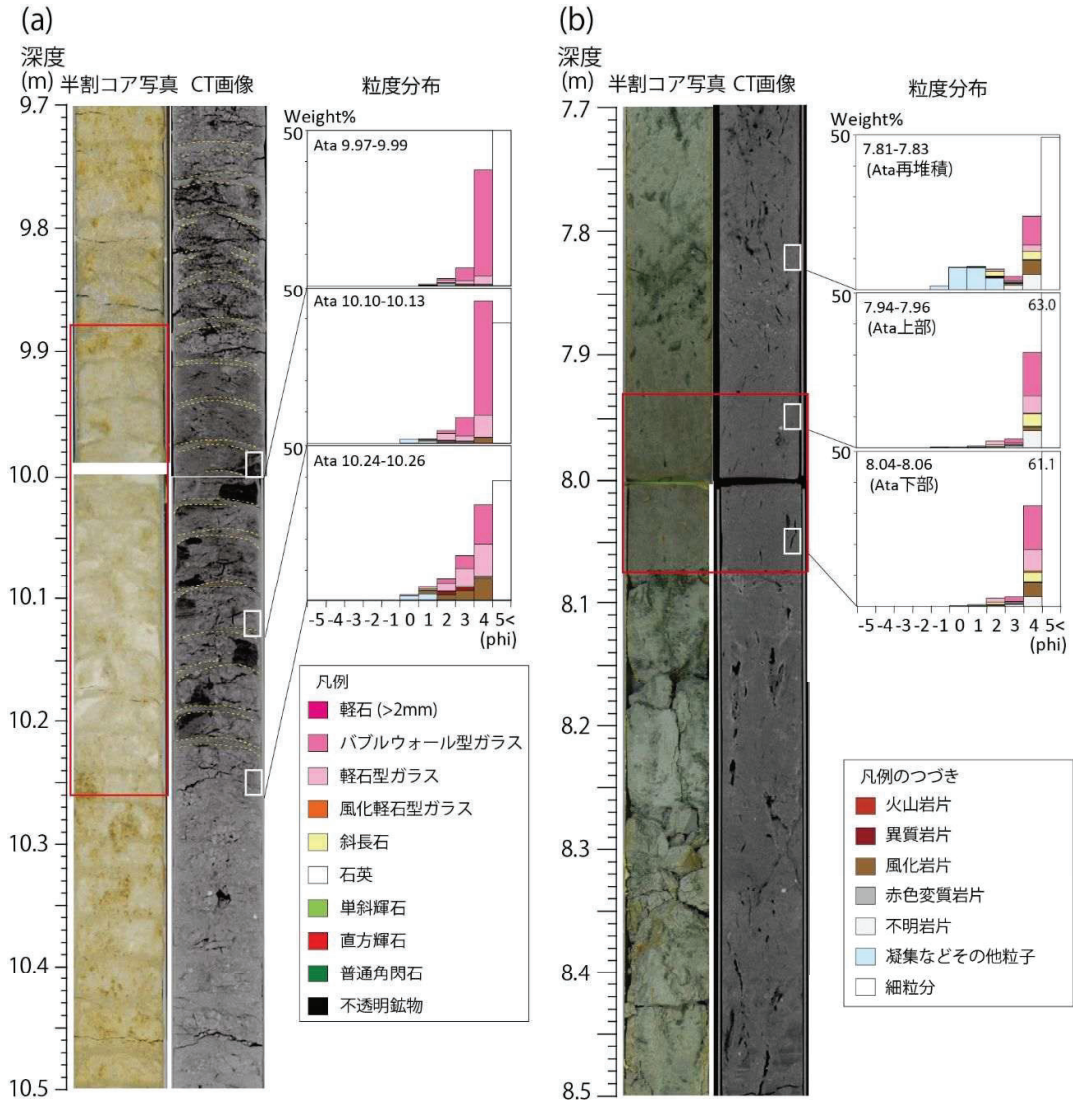


図-1 (a)一般的なコア採取方法 (コア A) と (b)高品質ボーリング (コア B) で採取した Ata テフラ層の半割コア写真, CT 画像および粒度分布。赤枠内が純層と認定した層準。白枠は粒度分析を行った層準 (分析試料はコアの中心から採取した)。

3.1 定性的な手法からのアプローチ

①: 降下ユニットの認定

一般に、一枚のテフラ層とは、比較的長い休止期を示す土壌層などの堆積物で区分される、一連と考えられる噴火に相当する堆積物である（例えば、中村ほか、1963）。この時、一連の噴火サイクル（テフラシーケンス）による降下ユニットの累重が見られる場合がある。例えば、中国四国地方でよく見られる AT は、大隅降下軽石層→細粒層→AT 層（粗粒→細粒）といった 3 つの降下ユニットからなるテフラシーケンスが認められる（町田・新井、2003；図-2）。上記の降下ユニットが確認できると純層である可能性が高いと評価できる。このようなテフラシーケンスは、ルーベなどを用いて、コア試料の半割面を詳細に観察することで認定される。

また、既存文献のアイソパック（等層厚線）とテフラ層厚を比較し、文献の層厚よりあまりにも厚ければ、二次堆積を疑う。

②：堆積構造の観察

堆積環境を検討するために注目する堆積構造（あるいは組織）としては以下の様なものが挙げられる。

- ・ラミナ構造
- ・級化構造（上方細粒化・上方粗粒化）
- ・地層の擾乱
- ・地層の最下部および最上部の特徴
- ・上位および下位層との関係
- ・細粒テフラ層中に含まれる粗粒な岩片の有無。

半割にしたコア試料の半割面および半割コア面のほざとり試料を用い、特に上記の点に注目して肉眼観察による記

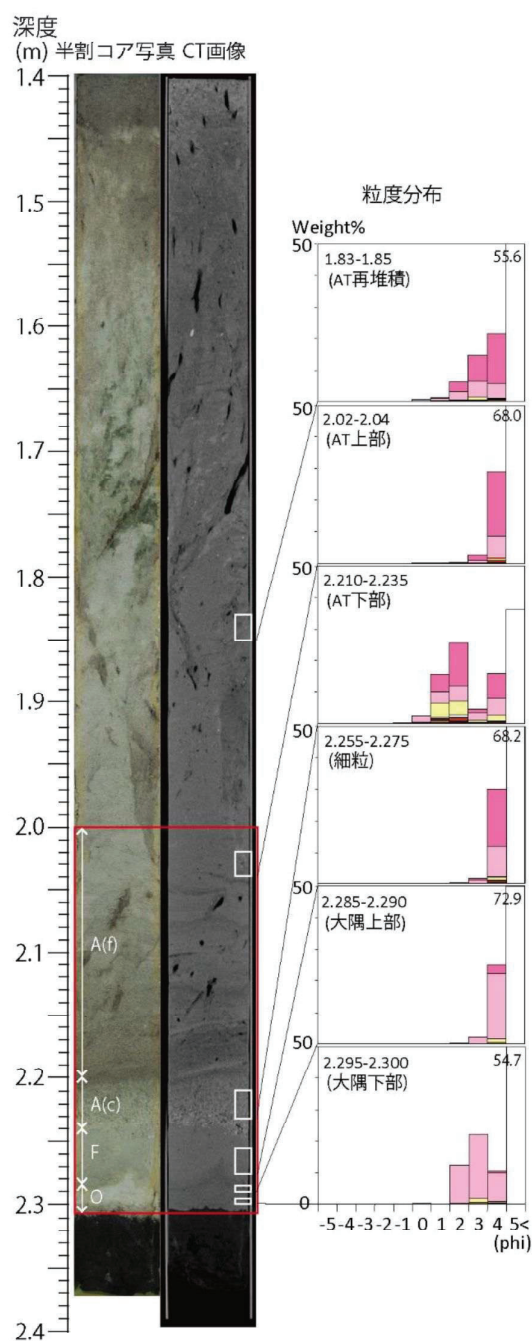


図-2 高品質ボーリング（コア B）で採取した AT テフラ層の半割コア写真と CT 画像および粒度分布。赤枠内が純層と認定した層準。白枠は粒度分析を行った層準（分析試料はコアの中心から採取した）。粒度分布の凡例は図-1と同じ。A(f):AT 細粒層, A(c):AT 粗粒層, F:細粒層, O:大隅降下軽石層

載を行う。はぎとり試料には実体顕微鏡でも観察可能である利点がある。そのため、ラミナや級化構造は、コア試料の半割面の観察と比較して、はぎとり試料上で容易に観察される(図-3)。



図-3 コアAのAT層のラミナ層。
左から、はぎとり試料の接写写真、
半割コア面の接写写真、CT画像。

コア試料を半割する前に X 線 CT 画像を撮影することで、非破壊の状態のコア試料の内部構造を 3 次元的に把握することもできる。画像上で白く見える部分は高密度な部分、黒く見える部分は低密度な部分である。礫および岩片は主なマトリックスである火山ガラスより密度が高いため、特徴的に白く表示される。そのため、X 線 CT 画像では、コア表面に現れていない礫および岩片の識別も容易である(例えば、図-2 の 1.6 m 付近)。

3.2 定量的な手法からのアプローチ

①：粒度分析

コア試料の半割面の詳細観察から、堆積構造の変化あるいは不連続部を認定する。そして、それぞれの層準で粒度分析を行い、粒度分布を求める。粒度分析は 2 段階に分けて行う。まず、ふるい目 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 μm 径(それぞれ 4, 3, 2, 1, 0, -1, -2 ϕ) のふるいを使用して粒度分析を行う。そしてレーザー回折式粒度分布測定装置を用いて 63 μm (4 ϕ) より細粒粒子の粒度分析を行い、両分析結果を接合して粒度分布を求める。図-1 および 2 には 63 μm 以上(4 ϕ 以下)の粒度分布を示す。

降下テフラの粒度分布は対数正規分布を示すことが多い(例えば Sheridan, 1971)。また、降下テフラが堆積する際(特に水中堆積)には、テフラの粒度分布は上方細粒化の傾向を示す。つまり、1 ユニットのテフラ層中に上方細粒化から急激に粗粒化するような粒度変化の不連続の傾向が認められれば、この部分が純層と二次堆積層との境界である可能性がある(図-1 および図-2)。また、粒度分布のような定量データを求めることで、肉眼観察ではわからない粒度差も捉えることが可能となる。

②：粒子組成分析・岩片の種類と量

ふるい分けしたテフラ試料から任意の個数を取りわけ(四分法)、それらのテフラ粒子について、実体顕微鏡や

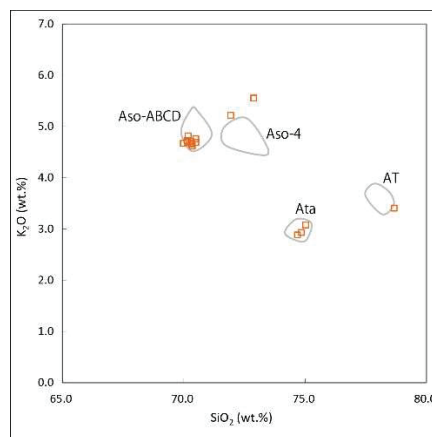
表-1 分析試料全量に含まれる各岩片の含有量 (weight %)。

	火山岩片	異質岩片	風化岩片	赤色変質岩片	不明岩片	その他	
コアB 1.83-1.85	0.0	0.1	0.9	0.0	0.4	0.7	二次堆積
コアB 2.02-2.04	0.1	0.0	0.4	0.0	0.2	0.1	AT純層
コアB 2.210-2.235	1.5	0.5	1.3	0.2	0.4	0.1	
コアB 2.255-2.275	0.5	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	細粒層
コアB 2.285-2.290	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	大隅降下軽石層純層
コアB 2.295-2.300	0.2	0.1	0.5	0.0	0.4	0.2	
コアB 7.81-7.83	0.2	0.6	5.1	0.0	6.4	19.2	二次堆積
コアB 7.94-7.96	0.3	0.5	1.2	0.0	6.2	0.7	Ata純層
コアB 8.04-8.06	0.0	0.4	4.6	0.0	3.8	0.5	

偏光顕微鏡を用いて、ガラスの形態別、鉱物別に個数をカウントする（粒子組成分析；図－1， 2）。加えて、異質岩片の含有量を推定するため、岩片を種類別に分類する。まず、岩片は、テフラと共に降下した火山体由来の火山岩片、堆積場付近の基盤岩起源の異質岩片を区分する。そして、この区分にあてはまらない岩片を、火山岩片あるいは異質岩片が風化変質した風化岩片、火山体由来と考えられる赤色変質岩片、種類判定ができなかった不明岩片として区分する。さらに、ガラスや鉱物が粘土粒子により凝集したものをその他粒子とする（表－1）。表－1 は粒度分析試料全量に含まれる、各岩片の含有量を重量比で示した。区分粒度ごとに各粒子（ガラス、鉱物、岩片など）の個数比を求め、各粒子ともほぼ同じ重さとして仮定して、重量比とした。さらに区分粒度を積分して表－1 に示した。火山ガラスと岩片では密度が異なり、正確な含有量ではないが、傾向は読み取れると考えられる。異質岩片が多く含まれるほど、二次堆積層である可能性が高くなるとされるが、本研究コア B における AT や Ata ではそのような傾向は認められない。また、火山岩片や赤色変質岩片が co-ignimbrite ash と考えられる AT 純層下部で多く見られることから、これらの岩片はカルデラ崩壊を伴う巨大噴火由来の火山灰層に特徴的に見られるかもしれない（例えば、Ushioda et al., 2023）。このような岩片種の情報も二次堆積層の認定に重要な情報となる（図－1， 2， 表－1）。

③：火山ガラスの化学組成

火山ガラスの組成はテフラごとに固有の値をもつため、火山ガラスの組成を分析することで、未知のテフラと既知のテフラと対比を行うことが可能となる。コア A において、Ata 純層上位の Aso-ABCD 層（9.85 m）に、Ata や他の火山起源のガラス組成を示す火山ガラスの混在が確認できた（図－4）。あるテフラ層中に異なる組成を示す火山ガラスが混在している場合には、そのテフラ層が再堆積層である可能性が高くなる。Sohn and Sohn (2019)でも同様の例が示されている。



図－4 コア A の 9.85 m に含まれる火山ガラスの化学組成。AT など各テフラの組成範囲は Tsuji et al. (2018) の化学組成を示す。

4. テフラ純層の識別方法のまとめと課題

ボーリングコア試料を用いてテフラ層の純

層と二次堆積層の識別をする手法をまとめると以下になる。

- ①高品質ボーリングによるテフラ層の採取。コアリングの影響を抑え、試料の内部構造などを乱さないことが重要。
- ②半割コア面およびはぎとり試料の観察、X線 CT 画像を基にした堆積構造、級化、岩片の有無などの記載。これらの詳細観察結果を用いた、降下ユニットの認定も二次堆積か否かの認定に重要である。

③粒度分析による級化の把握. 定性的な肉眼による級化の観察に加え, 粒度分析を行うことで確度, また精度の高い定量的な粒径変化を捉えることができる.

④異質岩片量の把握. 異質岩片の量が増加する層準は二次堆積層と考えられてきたが, 本研究で用いたコア試料は含有量に変化は認められなかった (表-1). 一方, 火山岩片の量は co-ignimbrite ash である AT 純層下部で有意に増加した. 本研究で風化岩片について火山岩片と異質岩片の判別が困難な粒子が多く, 岩片の種類判定の精度をあげることで, また他のテフラ層での検討も含めて, 今後の課題である.

⑤化学組成分析. コア A では, Ata 純層上位の Aso-ABCD 層に Ata の火山ガラスが混在しており, Ata が再堆積していることが確認できた. Aso-ABCD 層は定性的な手法である層相記載では純層か二次堆積層かの判断があいまいであったが, 定量的な手法である火山ガラスの化学組成分析を行うことで, 二次堆積層であることが特定できた.

以上の結果から, 純層と二次堆積層の識別には複数の手法を組み合わせることによって評価する必要がある. さらに定量的な手法を合わせて行うことが望ましい.

引用文献

- 池原 研 (2015) 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. 火山, 60, 181-185.
- 片山香子・長橋良隆 (2014a) テフラ学 (第 3 回): テフラの再堆積. 第四紀研究, 53, 175-183.
- 片山香子・長橋良隆 (2014b) テフラ学 (第 6 回): テフラ層の記載法. 第四紀研究, 53, 323-329.
- 黒川勝巳 (1990) 水底に堆積した珪長質テフラの層相モデルとその形成機構—新潟地域の例—. 地球科学, 44, 361-378.
- 町田 洋・新井房夫 (2003) 新編火山灰アトラス [日本列島とその周辺]. 東京大学出版会.
- 中村一明・荒牧重雄・村井 勇 (1963) 火山の噴火と堆積物の性質. 第四紀研究, 3, 13-30.
- Nakayama K. and Yoshikawa S. (1997) Depositional processes of primary to reworked volcaniclastics on an alluvial plain; an example from the Lower Pliocene Ohta tephra bed of the Tokai Group, central Japan. *Sedimentary Geology*, 107, 211-229.
- Sheridan, M. F. (1971), Particle-size characteristics of Pyroclastic Tuffs, *J. Geophys. Res.*, 76(23), 5627-5634.
- Sohn C. and Sohn Y. K. (2019) Distinguishing between primary and secondary volcaniclastic deposits. *Scientific Reports*, 9: 12425.
- Tsuji T., Ikeda M., Furusawa A., Nakamura C., Ichikawa K., Yanagida M., Nishizaka N., Ohnishi K. and Ohno Y. (2018) High resolution record of Quaternary explosive volcanism recorded in fluvio-lacustrine sediments of the Uwa basin, southwest Japan. *Quaternary International*, 471, 278-297.
- Ushioda, M., Nakamura, C., Tsuji, T., Ikeda, M., Ohnishi, K. and Nishizaka, N. (2023) Tephra from large eruption in Kyushu area observed in UT-iwk core from Uwa basin, western Shikoku. *Rock Mechanics and Engineering Geology in Volcanic Fields, Proceedings of the 5th International Workshop on Rock Mechanics and Engineering Geology in Volcanic Fields*, CRC Press, 18-25.