

## 地質調査による高分解能なテフラ層序学・年代学の構築

Establishment of a high-resolution tephro-stratigraphy and chronology based on geological survey

### Abstract

奥野 充\*

Mitsuru Okuno\*

2010年7月5日受付.

2010年9月22日受理.

\* 福岡大学理学部地球圏科学科(地球科学分野)  
Department of Earth System Science, Faculty  
of Science, Fukuoka University, 8-19-1  
Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180, Ja-  
pan

Corresponding author; M. Okuno,  
okuno@fukuoka-u.ac.jp

This paper reviews the use of high-resolution tephro-stratigraphy and radiocarbon chronology to establish a high-resolution tephro-chronology. Tephra formation is distinguished by loam or humic soil layer which presents repose period. Background level and resolution of tephra layers depend on the type of deposits (aeolian, marsh, or lacustrine sediments). Varved sediment from lake bottom is the most reliable recorder. Accurate recognition of tephra layer in the field should be observed at multiple sites to avoid over counting the numbers of layers. It is recommended to use combination of source volcano and type locality for the tephra name. If numbers are used in the name, they should be given in descending order from the surface.

In the last decade, the development of techniques for  $^{14}\text{C}$  measurement provides high-precision dates. However, high-accurate date requires strict interpretation of geological relationship between dated sample and tephra deposition. Systematic sampling of soil can present high-resolution chronology. On the other hand,  $^{14}\text{C}$  wiggle-matching method is the most reliable technique to determine the eruption age.

An empirical formula,  $V = 12.2TA$  (Hayakawa, 1985), is useful to calculate volume of fallout tephra. The case study of the 2000 eruption of Usu volcano allows application of the formula for small-scale eruption. For best results, the most constrained contour should be used for calculation.

Keywords: tephra layer, stratigraphy, chronology, radiocarbon dating, geological survey

### はじめに

高分解能なテフラ層序学 (high-resolution tephro-stratigraphy) とは、より小規模な噴火によるテフラ層まで記載することで、高分解能なテフラ年代学 (high-resolution tephro-chronology) とは、できるだけ多くの層準で年代値を得て正確な年代を求めることであろう (奥野ほか, 2009)。すなわち、これらはより詳しく正確に噴火現象と年代を知ることを目指している。また、小規模噴火ほど頻度が高いことから (De la Cruz-Reyna, 1991)、高分解能なテフラ層序学・年代学は、マグマの挙動を知るだけでなく、防災・減災を考えるためにも重要である。水蒸気噴火 (phreatic eruption: Barberi et al., 1992) は、本質物質が噴出しなため、その規模も小さい。御岳火山の1979年噴火 (小林, 1981) を契機として、噴火史研究における水蒸気噴火の意義が認識され、小林 (1980) による立山火山の類質テフラ層に関する記載をはじめとして、数多くの論文が公表されるようになった (例えば、奥野, 1995, 2002a; 奥野ほか, 1997a; 藤沢ほか, 2002; 及川ほか, 2002; 工藤ほか, 2000, 2003; 山元, 1997, 2005)。

これらの研究は、保存が良好な完新統を対象とし、放射性炭素 ( $^{14}\text{C}$ ) 年代が適用されることが多い。また、水蒸気噴火では、熱水変質を受けた物質が噴出されることが多く、地熱現象にも制約条件を与えることができる (例えば、Hedenquist et al., 1996; 小坂, 2003; 大場, 2011)。本稿では、高分解能なテフラ層序学・年代学を意識して、まず、分解能を決めるテフラ層を保存する堆積物について述べ、テフラ層の認定など野外調査にもとづく噴火史編年法を解説する。さらに、完新世の噴火年代を知るために最も盛んに用いられる  $^{14}\text{C}$  年代測定法と噴火規模を評価するうえで重要な降下テフラの体積の見積もり法について現状と課題についてレビューする。

### 記録装置となる堆積物

1回の噴火エピソード (eruptive episode) は、休止期を示すローム層や腐植質土壌層により区分される一連の噴火堆積物で定義される (中村ほか, 1963; Hayakawa, 1985; Froggatt and Lowe, 1990)。噴火堆積物には溶岩も含まれるが、本稿では爆発的噴火の産物であるテフラについて議論する。断続的なブルカノ式噴火による火山灰層では、火山灰と腐植

の集積が同時並行的に進行しており(小林, 1986a), 堆積物の層相, 炭素含有量および密度の変化から噴火活動の消長が評価される(井村, 1991, 1995; Imura, 1993). 阿蘇火山でみられる灰噴火による堆積物(小野ほか, 1995)も同様である. 水蒸気噴火による類質テフラ層の体積は  $10^5 \text{ m}^3$  から  $10^8 \text{ m}^3$  の範囲にある(奥野, 1995).  $10^5 \text{ m}^3$  よりも小規模な噴火は, オリジナルの堆積構造(いわゆる純層)が土壌層の攪拌によって失われるため, 地質調査から認識できないのであろう. すなわち, ローム層や腐植質土壌層など噴火休止期の堆積物は, 火山噴火を示すテフラ層を保存する記録装置として捉えることができ, その記録装置にある種のバックグラウンドが存在することを意味する.

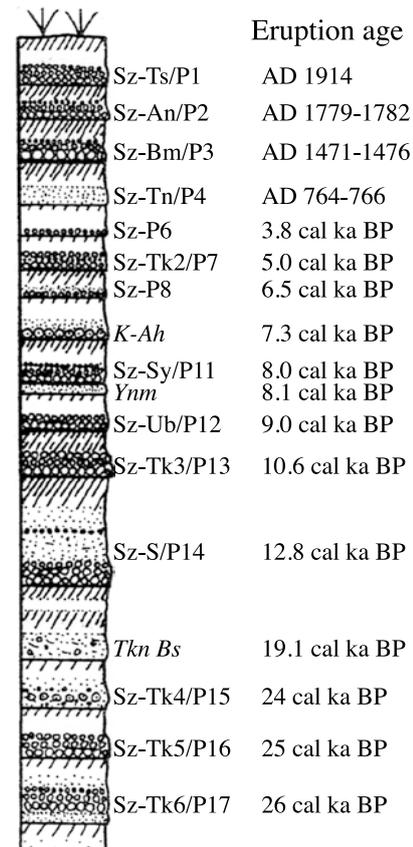
テフラ層が保存されるには, ローム層や腐植質土壌層のほか, 泥炭層や湖成層などほぼ連続的に集積する堆積物が必要である. 小規模噴火によるテフラ層は, 一般の地表条件では保存されにくい, 泥炭層や湖成層中では保存されやすい. これは, 後者ほど堆積物の攪拌が少ない, すなわち, 記録装置としてのバックグラウンドが低いことによる. また, 同時に時間分解能も高いと期待できる.

### 1. ローム層および腐植質土壌層

ローム層や腐植質土壌層は, 土壤生物による攪乱や風雨による侵食・再堆積を受けながら累積する(小林, 1967; 中村, 1970; 早川, 1995). これらの堆積物とテフラ層は, 一般的に火山周辺で互層して産出する(Fig. 1). 前述の通りそれぞれ休止期と噴火期を指示するが, 休止期にもテフラ粒子が再堆積することがある. 小野ほか(1995)は, 阿蘇カルデラ北縁において, K-Ah の火山ガラスが単層の下 10 cm, 上 35 cm にわたって拡散・混合していることを示した. また, 由布火山北麓では, 炭素含有量や堆積物密度などの変化からも, 同様の火山ガラスの拡散・混合が読み取れる(五島ほか, 2005; 奥野, 2005). これらのことは, テフラ粒子の再堆積による上位への移動だけでなく, 植物根や土壤生物による攪拌や割れ目にそって下位層へ移動する現象もありえることを示している. 拡散・混合が進んで純層としてテフラ層が認識できなくなった場合でも, 特徴的な火山ガラスをもったテフラは, 系統的に試料を採取・処理することにより, ローム層や土壌層中における降下層準を検出できる(早津, 1988; 新井, 1993; 古澤, 2004). 一旦, バックグラウンドに埋もれたものから正確に降灰層準を決定するために, 試料の採取間隔と検出するテフラ粒子数がどの程度必要か, さらに詳しい検証が必要であろう. なお, 系統的な試料採取は, ブルカノ式噴火や灰噴火の消長を評価する上でも有効である(井村, 1991, 1995).

### 2. 泥炭層

泥炭層は, 分解不完全な植物遺体が堆積したもので, 乾陸上に堆積するローム層や土壌層に比べて, テフラ層の保存が一般に良好である. これは, 泥炭層では生物による擾乱が比較的不活発であることと関係している. 層位・年代が近接したテフラ層の前後関係を知るには, 層位関係を直接知る必要があり, そのために泥炭層は重要である. 例えば, 南九州の大隅半島では, 桜島火山の高峠 2/P7 テフラ(Sz-Tk2/P7:



**Fig. 1.** Representative section of Sakurajima tephra group (Sz) at northern Osumi Peninsula (not to scale) with calibrated dates (after Okuno, 1997; Okuno, 2002b). Two types of abbreviation for the Sz group are cited in Kobayashi (1986b) and Moriwaki (1994). The K-Ah is a co-ignimbrite ash-fall deposit from Kikai caldera (Machida and Arai, 1978). The Ynm is a scoria fall deposit from Yonemaru maar. The Tkn Bs is Takano base surge deposit erupted from Aira caldera (Kobayashi, 1986a).

5.0 cal ka BP)と霧島火山の御池テフラ(Kr-M: 4.6 cal ka BP)の層位関係は, 乾陸上ではわからないが(Fig. 1), 同半島東岸に位置する肝属平野の泥炭層で両者が保存されており, 層位関係が明らかにされた(永迫ほか, 1999; 奥野, 2002b).

### 3. 湖成層

湖成層では, 年縞堆積物を用いれば 1 年単位の解析も可能である(福沢, 1995). 年縞堆積物は, 年間を通して湖底の水塊が酸欠状態になり, 生物攪乱を受けないために, 年単位の堆積構造が保存されたものである. したがって, どの湖沼でも年縞堆積物が形成されるわけではないが, 樹木年輪と同じ分解能での年代決定が期待できる. 中国と北朝鮮の国境にまたがる白頭山では, 10 世紀頃に白頭山-苦小牧テフラ(B-Tm)をもたらした巨大噴火が発生した(町田ほか, 1981). 青森県の小川原湖では, 白頭山-苦小牧テフラ(B-Tm)と十和田 a テフラ(To-a)が, 年縞堆積物に挟在し, 両者の間(厚さ 7 cm)に 22 枚の明暗ラミナセットが確認されている(福澤ほか, 1998). To-a が AD 915 に降灰した(町

田ほか, 1981) とすると, B-Tm は AD 937 の春から AD 938 の春~夏? に降灰したことになる. この年代は, Nakamura et al. (2007) の樹木年輪の  $^{14}\text{C}$  ウィグルマッチングの結果とも良く一致している. 町田 (1992) は, 渤海国の滅亡 (AD 924) が時期的に近接するため, この噴火が滅亡の原因である可能性を指摘したが, 実際には渤海国の滅亡後に, 白頭山が大噴火したのであろう. なお, 男鹿半島の二ノ目潟と三ノ目潟のコアでは, To-a と B-Tm の間に少なくとも 14 枚の明暗ラミナセットが確認された (上手ほか, 2010). このラミナセットが年縞であれば, B-Tm は AD 929 に降灰したことになり, 先述の小川原湖での AD 938 (福澤ほか, 1998) とは 9 年の差がある. K-Ah 噴火の暦年代も, 福井県, 水月湖から得られた年縞堆積物の編年 (福沢, 1995) と  $^{14}\text{C}$  年代測定 (Kitagawa et al., 1995) のどちらも 7.3 cal ka BP と一致した結果が得られている. なお, 水月湖の年縞堆積物については, 新たなデータセットが得られており (Staff et al., 2010; 中川, 2010), 今後, K-Ah 以外の広域テフラについても正確な年代が報告されるであろう. 立山火山のミクリガ池で採取されたコア試料からも, 文献に記録された AD 1836 のテフラ層が検出されている (福澤, 2006). このテフラ層は, ミクリガ池周辺の乾陸上では認識できておらず, 歴史史料との比較には, 湖成層が不可欠であるといえよう.

#### 地質調査によるテフラ層の認定および命名

テフラ層序は, 噴火史編年の基礎であり, テフラ層の認定がきわめて重要である. テフラ層の同定法については, 新井 (1993) や町田・新井 (2003) に詳しく記述されている. ここでは, これらを踏まえて, 野外調査におけるテフラ層の認定や命名について述べる.

##### 1. テフラ層の認定

野外におけるテフラ層の模式的産状を Fig. 2 に示す. テフラ層は, 一般に下位の土壤層と明瞭な境界で接しているが, 上位の土壤層へは漸移的に移り変わる. これは, テフラ層と土壤層のでき方の違いを反映したものと考えられる. すなわち, テフラ層がイベント堆積物であるのに対し, 土壤層は定常的な堆積物であることを示す. なお, テフラ層の上面が明瞭な境界をもつ場合があるが, 土壤層累積の休止あるいは侵食を示していると考えられる.

テフラ層は, 給源火口に向かい層厚や粒径の増加傾向が特徴的に認められるので, できる限り広範囲の露頭において確認すべきである. 小規模噴火によるテフラ層が 1 カ所のみで記載された場合, 露頭そのものが失われてしまい再検証が難しくなる. さらに, 記載されたテフラ層が仮に誤認であっても, 露頭が失われると後からそれを証明することは不可能となる. それゆえ, 小規模なテフラ層の認定には慎重な判断が望まれる. なお, テフラの層厚は, 堆積後の圧密や侵食によって減少することが想定される. 実際, 噴火直後にテフラの層厚が大きく減少した報告もある (例えば, 霧島新燃岳 1959 年噴火: 井村・小林, 1991; 御岳 1979 年噴火: 小林, 1981). ただし, 圧密による減少は, 噴火直後の短時間にほ

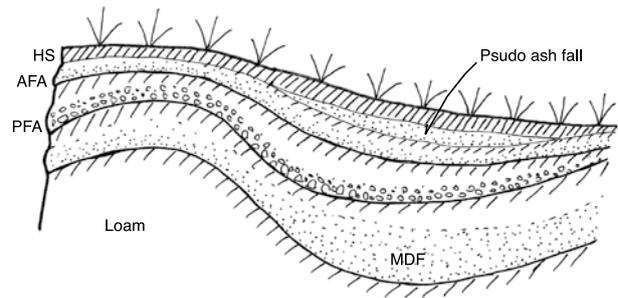


Fig. 2. Schematic sketch of outcrop showing occurrence of tephra layers and other deposits (not to scale). HS: Humic soil, MDF: Muddy debris flow deposit, PFA: Pumice fall deposit, AFA: Ash fall deposit.

とんどおこると考えられる (奥野ほか, 2010). 後述のように, 噴火直後の調査では, 単位面積あたり重量が計測されると, 圧密の効果は除外できる. 一方, 侵食はすべての場所でおこるのではなく, 休止期間中でも土壤層が累積してテフラ層が保存されると考えられる. 隣接した地点でも, 土壤層が侵食されてテフラが保存されないことはまれではないが, 等層厚線図を作成すると, 結果として侵食された地点も復元される.

類質テフラ層は, 層相だけでは土石流などの氾濫堆積物との区別が難しいことがあるが, 複数の露頭観察から確認することができる. 例えば, 中部九州, 伽藍岳西麓の土石流堆積物は, 薄層部分では類質テフラ層と酷似するが, 地形の凹凸に応じた層厚と層相の変化から識別された (藤沢ほか, 2002). 高山地域の泥炭や黒泥層中では, 融雪に伴う氾濫堆積物や堆積環境の変化による粘土層など, テフラ層に酷似する堆積物が挟在することがある. 焼岳では白色溶脱層が認められている (及川ほか, 2002). これらは, 露頭内や近接する露頭間で同一層準, すなわち, テフラ層の連続性を追跡し, 地形の凹凸との関係のみをみることから誤認を回避できる.

##### 2. テフラ層の名称

1 枚のテフラ層は, 1 回の噴火エピソードに対応しており, 厳密にはテフラ累層 (tephra formation) という (町田・新井, 2003). さらに噴火様式の違いに対応して, いくつかのメンバー (tephra member) に細分され, さらに降下単位 (fall unit) や流下単位 (flow unit) などを示すユニットが設定される. 大規模噴火では, メンバーごとに名称が与えられることも多い. 例えば, 鬼界アカホヤテフラ層 (K-Ah; 町田・新井, 1978) は, プリニー式噴火による幸屋降下軽石 (K-KyP), 船倉火砕流 (K-Fn), 幸屋火砕流 (K-Ky; 宇井, 1973) および co-ignimbrite ash-fall であるアカホヤ火山灰 (K-Ah) とよばれるメンバーからなる. また, 桜島火山 (Fig. 1) のように, 時代の異なる複数のテフラ層を指す場合には, テフラ群 (tephra group) という語を用いる. しかし, 「国際層序ガイド」とそれに従った日本地質学会地層命名の指針 (以下, 命名指針と略記) では, 広瀬川凝灰岩部層, 十和田八戸軽石凝灰岩単層, 青葉山火砕流堆積物が, それぞれ部層 (member), 単層 (bed), 流堆積物 (flow) の例としてあげられている (日

本地質学会, 2001). すなわち, 町田・新井(2003)による区分は, この命名指針と一致しない. Nakamura(1964)は, 伊豆大島火山について噴火史研究のなかで, 一連の噴火現象とテフラ層との対応関係についても詳細な議論を行っており, 本稿のテフラ層に対して member という語を使っている. ただし, Nakamura(1964)や御岳火山の後期更新世テフラ層序を記載した木村(1993)など, 命名指針に沿った研究例は少ない. 命名指針では, 火山噴出物が主に堆積岩に挟在する鍵層(いわゆるタフ)として扱われている. さらに, 給源火山周辺で詳細な地質調査を行うと, テフラ層内の噴火様式の変化に対応する層相の違いや, テフラ層とテフラ層の間には比較的大きな時間間隙(休止期間)も認められることから, Froggatt and Lowe(1990)は, New Zealandでのテフラ研究のレビューのなかで, 「国際層序ガイド」を踏まえつつも, テフラ層序学でのテフラ層の年代的な重要性から上記のように tephra formation を定義し, 1回の噴火エピソードに対応するテフラ層と溶岩を合わせて, volcanic formation も提唱している. なお, 藤野・小林(1997)は, 開聞岳のテフラ群を記載するなかで, 下位のテフラ粒子を多く含む二次堆積物(ローム質堆積物)の挟在によってテフラ亜層(tephra sub-formation)に細分している. 火山地質学の主な目的のひとつは, 噴火現象および噴火史を復元することである. 完新統では1回の噴火エピソードによる堆積物を区分・追跡できる場合が多く, それを岩相層序単元, すなわち, テフラ層とした方が噴火現象の詳細を含めた噴火史を記述しやすい.

町田・新井(2003)は, 給源火山と遠方の模式地を組み合わせた二重命名法を採用すること, 既に記載されたテフラ層の名称を原則として尊重することを主張している. 特に後者は地質学的研究における基本的なルールであるが, 意外と守られていない. 例えば, 始良 Tn(AT)を「始良丹沢」と表記した論文がある. Tnは丹沢の略号であるが(町田・新井, 1976), 固有名詞であり原論文に従うべきであろう. また, 地域地質の論文で, 既報の広域テフラに対比できるものまでローカル名が付けられることがある. 必要のない名称変更やローカル名は避けるべきであろう. なお, ローカル名は不要であっても, 対比の根拠となる各地点での詳細な記載は必須である.

従来, テフラ層に対して, 火山の名称の後に, a, b, c, dのアルファベットや 1, 2, 3, 4といった数字をつけることも多かった. 桜島火山の場合, 小林(1986b)や小林・江崎(1997)が軽石を意味する「P」に数字をつけ, 森脇(1994)は二重命名法にしたがい, いくつかの模式地を設定した上で数字をつけている(Fig. 1). なお, 小林(1986b)が記載したテフラ層のすべてが大隅半島まで達しているわけではないため, Fig. 1では一部の番号が抜けている. 数字やアルファベットは, 上位からつける, 逆に下位からつける, 2つの場合がある. 完新統を調査対象とする場合, 地表に近いほど露頭数などの情報量が多くなるので, より確実な地表を起点として下方へつけていく方がより実用的である. また, 数字の方が, 後で新たなテフラ層を識別した場合など, 小数点以下

の数字を用いて容易に追加できる利点がある(小山・早川, 1996). 将来おこる噴火については, そのときの年号をつければよいので, 調査時点現在での地表を起点としても何ら支障はない. テフラ層に数字を使った場合, メンバーやユニットには, 下から上方に向かってアルファベットをつけた方がよい. 1回の噴火エピソードでは, 情報量もほぼ同じであるため, 噴出順序と整合的な方が都合がよいからである. また, ユニットについては, 複数の露頭で対比・追跡できないと再現性の問題が生ずるので, 必要以上の細分は避けるべきである.

## <sup>14</sup>C 年代測定法

テフラ層は, 広い地域に同時期面を提供するため, 火山噴火の人間社会への影響を評価する際には, 編年学的な指標として重要な役割を果たす. 特に広域を覆う AT の発見(町田・新井, 1976)を契機として, 広域テフラに関する研究も進展した(町田・新井, 2003). 南九州の鬼界カルデラ(Matamoto, 1943)から噴出した K-Ah は, 完新世における日本列島最大の広域テフラであり, 新東(1978)は K-Ah を境として, 南九州における縄文土器形式の連続性が途切れることを指摘した. しかし, 地質学的な年代決定では, 人間社会に及ぼす影響を考察するには, 分解能が十分ではない. 年代測定方法ごとで, 閉鎖系の成立(=年代時計のスタート)が違うが, 試料の産状をできるだけ詳細に記録し, 地質学的プロセスの理解にもとづいて年代値を解釈する必要がある. すなわち, 得られた年代値が真の噴火年代を指しているかどうかを, 地質学的に検証する必要がある.

### 1. 精度と正確度

<sup>14</sup>C 年代法では, 精度(precision)は, 誤差として1標準偏差( $\sigma$ )で示される. 分析技術の進歩によって高精度化が進み, 誤差は小さくなってきているが(中村, 2001), 我々が知りたい真の年代に近づいたのだろうか. 真の年代と測定値との差を正確度(accuracy)といい, その差が小さいほど正確度が高い(Bowman, 1990; 中村, 1995). 正確度の向上には, より厳密な年代値の解釈が必須であり, そのためには試料採取などの詳細な記載・取り扱いが重要である. <sup>14</sup>C 年代測定のための試料採取法や暦年較正(radiocarbon calibration)については, 既に多くの解説がなされている(中村, 1995, 2001; 奥村, 1995).

### 2. 土壌試料の <sup>14</sup>C 年代

土壌有機物の閉鎖系成立は必ずしも明確ではないため, 測定誤差(=精度)は小さくなくても, 正確度はそれほど高くないと考えられがちである. 奥野(1997), Okuno et al.(1997b)および Okuno and Nakamura(2003)は, 桜島テフラ群について土壌有機物を試料として系統的に測定し, 高分解能なテフラ年代学の確立を試みている(Fig. 1). 土壌試料は, テフラ層の直下と直上から採取できるため, 多くの層準で連続的な年代測定が可能である. 特に直下については, 阿蘇火山(小野ほか, 1995)や由布火山(五島ほか, 2005)の例のように, 地表下 10 cm ほどは攪拌されている. すなわち, 地表付近の土壌有機物はたえず更新され, 開放系であ

るといえる。ただし、この更新が不十分であると、土壌層のリザーバー効果が残る可能性はある(奥野, 1999)。テフラ層の堆積によって閉鎖系が成立すれば、得られる年代値はその噴出年代を示すものと判断できる。テフラ直下の年代値がよく揃っていることやテフラの直上と直下で年代値が大きく異なることは、上記の閉鎖系成立に関する推論を支持している(奥野, 1997; Okuno et al., 1997b; Okuno and Nakamura, 2003)。なお、閉鎖系の成立とテフラの層厚については、粒度組成にもよるので一概にはいえない。例えば数 mm 程度の薄層であっても、堆積後に面的に攪乱されていなければ閉鎖系は成立しているといえる。

### 3. $^{14}\text{C}$ ウィグルマッチング

$^{14}\text{C}$  ウィグルマッチング(wiggle-matching)とは、IntCal09(Reimer et al., 2009)などの $^{14}\text{C}$ 年代-暦年較正曲線(radiocarbon calibration curve)にマッチングして、その曲線上の位置を決める方法である。白頭山北麓の火砕流に埋没した炭化樹幹を試料とした例を Fig. 3 に示す(Yatsuzuka et al., 2010)。15 点の $^{14}\text{C}$ 年代値(Fig. 3-A)によって決定しているため、正確度は向上したであろうが、確率分布(Fig. 3-B)からもわかるように精度は必ずしも向上していない。樹木年輪の $^{14}\text{C}$ ウィグルマッチングによる1年単位での年代決定は、今のところ難しいが、直接の層位関係がなくとも $^{14}\text{C}$ ウィグルマッチングによる年代決定によって前後関係を検証できることが期待される(奥野, 2005; Nakamura et al., 2007 など)。また、肝属平野でも、泥炭試料の $^{14}\text{C}$ 年代を $^{14}\text{C}$ 年代-暦年較正曲線にマッチングした年代決定が試みられている(奥野, 2001; Okuno and Nakamura, 2003)。

### 4. $^{14}\text{C}$ 年代と他の測定法とのクロスチェック

より正確な年代決定のためには、複数の測定法によるクロスチェックが有効である。 $^{14}\text{C}$ 年代測定法では、年輪年代学や年縞編年学、サンゴのU-Th年代との比較から、暦年較正が行われてきた(Bowman, 1990; 中村, 1995; Reimer et al., 2009 など)。また、熱ルミネッセンス(TL)法でも、完新世の溶岩ドームの年代測定ができる。例えば、南九州の鍋島岳溶岩ドームについて、テフラ層中の炭化木片の $^{14}\text{C}$ 年代と調和的なTL年代が得られている(奥野ほか, 2005)。

早川(1990, 1991, 1995)は、ローム層の厚さを時間の指標とする「レスクロノメトリー」を提案している。年代既知のテフラ層との層位関係から、あるテフラ層の年代を推定する方法は、それまでも多くの研究で利用されてきた(山田, 1963; 町田ほか, 1985; 竹本ほか, 1987 など)。早川(1990, 1991, 1995)の主張は、ローム層の堆積速度が場所や層準によらずほぼ一定であるため、ローム層の厚さのみで時間差が決定できるというものであるが、精度をあげた年代を得るには既知のテフラ層の年代に依存しなくてはならず、独立した手法とはいえない。当然のことであるが、 $^{14}\text{C}$ 年代の暦年較正にも用いることはできない。

### 体積の見積もり法

降下テフラの体積( $V$ )は、野外調査によって作成された等層厚線図から求めることができる。Pyle(1989)やFierstein

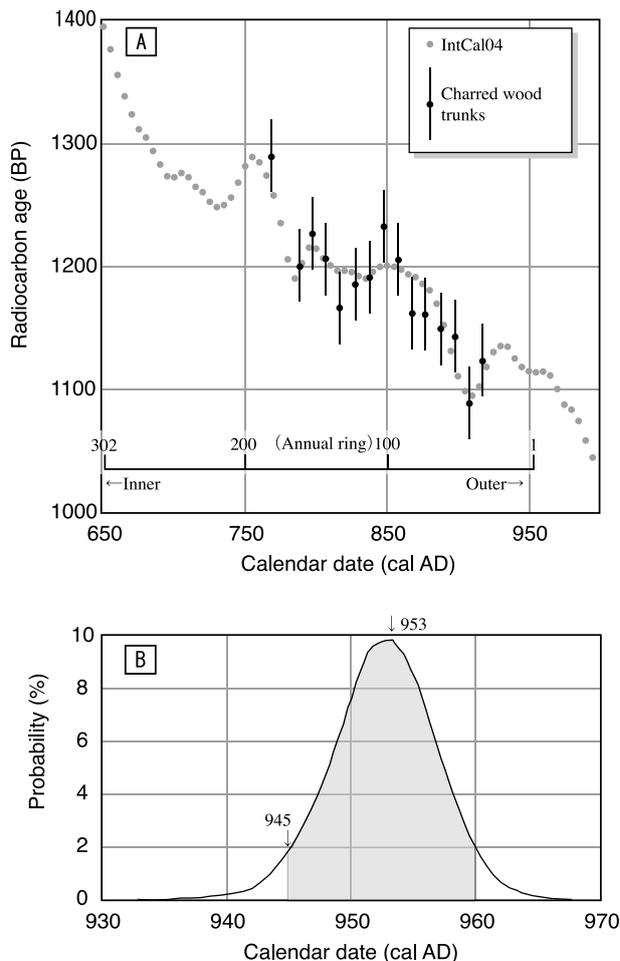


Fig. 3. Results of  $^{14}\text{C}$  wiggle-matching for charred wood trunks from northern foot of Baitoushan volcano (data from Yatsuzuka et al., 2010). (A) Fifty  $^{14}\text{C}$  dates of annual rings plotting on the IntCal 04 calibration curve (Reimer et al., 2004). Error bar for the obtained dates shows one sigma uncertainty. (B) Probability distribution of the data set. Two sigma range (grey area) spans the period of AD 945 to 960.

and Nathenson (1992)などは、層厚変化を指数関数的に外挿する方法であるが、遠方に堆積した細粒火山灰が過小評価されている点が指摘されている(早川, 1990; Legros, 2000; 大野ほか, 2002 など)。Walker (1980)の分離結晶法(crystal concentration method)は、軽石中の粒径1~2 mmの結晶の含有率をもとに、比例計算によって噴出したマグマ総量を求めるもので、この問題点を巧みに解決している。Bonadonna et al. (1998)は、IcelandのHekla火山1970年噴火など12例の良く保存されている降下テフラについて、コンターが囲む面積の平方根と層厚の対数で作成した面積-層厚線図を傾きの異なる4区間に分け、より遠方で傾きが小さくなることを示した。

有珠火山2000年噴火では、小規模噴火による降下テフラに対してかなり詳細な分布図が得られている(大野ほか, 2002; 宝田ほか, 2002)。宝田ほか(2002)は、各コンターが囲む面積と単位面積あたりの重量を両対数プロットして、い

くつかの傾きの異なる直線を得た。なお、面積-層厚(または重量)線図が折れ線で近似されることは、Bonadonna et al. (1998)や宝田ほか(2002)のほか、北海道駒ヶ岳 1996 年 3 月噴火(宇井ほか, 1997)や New Zealand の Ruapehu 火山 1996 年 6 月噴火(Bonadonna and Houghton, 2005)などでも報告されている。噴火直後に調査した研究では、堆積直後の圧密により層厚が大きく減少するので、単位面積あたりの重量を計測し、分布図が作成されている。宝田ほか(2002)は、有珠火山 2000 年噴火によるテフラ層の噴出量について、面積-重量線図の各区間での積分によって  $2.2 \times 10^8$  kg と求めた。さらに、Hayakawa(1985)の経験式  $V = 12.2TA$  で求めた噴出量が、その 1.6 倍から 1/5 程度であることを示し、小規模噴火への適用を疑問視している。この経験式は、層厚( $T$ )とその等層厚線が囲む面積( $A$ )が、両対数グラフ上で噴火規模の大小に関わらず傾き -1 の直線にほぼ平行すると仮定し、分離結晶法で得た 5 つのテフラの体積との比較から係数 12.2 を得たものである。Legros(2000)も Pyle(1989)の簡便法として最小限の体積を求める式  $V = 3.69TA$  を提案している。宝田ほか(2002)が主張するように、すべての区間を用いた積分法によって、数学的に正しい結果が得られるであろう。ただし、正しい結果には、完全な分布図を得ることが前提となる。しかし、すべてのコンターを同じ精度で描くためには、遠方部での層厚(重量)変化が乏しくなるため、より高密度なデータ取得が必要不可欠であるが、実際にはデータは疎らになり遠方ほど精度が落ちるため、完全な分布図を得ることは不可能である。この点がこれまでに延々と議論されてきたことであり(Pyle, 1989; 早川, 1990; Legros, 2000 など)、眼前でおこった有珠火山 2000 年噴火(大野ほか, 2002; 宝田ほか, 2002)でも解決されていない。過去におこった噴火に関する野外調査では、面積-層厚線図を複数の区間に分けるために十分なデータが得られないことや、見積もり方法の間での相違も無視できない。また、圧密の効果を除外できる単位面積あたりの重量を計測することも難しい(奥野ほか, 2010)。それらを踏まえると、多数のテフラの体積を比較する際には、できるだけ汎用性の高い方法を採用することも十分に考えられる。

有珠火山 2000 年噴火において  $V = 12.2TA$  で求めた噴出量は、積分法の 1.6 倍から 1/5 程度の幅があったが、もっとも多くのデータで制限された  $128 \sim 1024$  g/m<sup>2</sup> のコンターでは  $1.7 \sim 2.0 \times 10^8$  kg であり、かなりよく一致するといえよう。過去におこった噴火に関する調査で十分なデータが得られない場合は、もっとも精度よく得られたコンターから Hayakawa(1985)や Legros(2000)などの簡便法を用いて体積を推定することが実用的であろう。ただし、これらの場合、面積-層厚線図が複数区間に分けられていないことに伴う不確実性があることに注意したい。

## ま と め

本稿では、高分解能なテフラ層序学と <sup>14</sup>C 年代による火山噴火史編年法をレビューした。噴火史をより詳しく正確に知るには、高分解能なテフラ層序・年代学が必要不可欠であ

る。

テフラ層は、休止期を示す土壌層などにより区分され、これらの堆積物によってテフラ層は保存される。堆積物の攪拌が少ないものほど、バックグラウンドが低く、時間分解能も高い。テフラ層の野外での認定には、テフラ層の連続性をよく追跡し、地形の凹凸との関係を見る必要がある。テフラ層の名称は、給源火山と模式地による二重命名法が町田・新井(2003)によって提案されており、数字をつける場合には、地表からつける方法が望ましい。

<sup>14</sup>C 年代測定では、高精度化が進んだが、正確度が向上したわけではなく、地質学的な解釈が重要である。土壌試料は、系統的採取が可能であり、高分解能な年代学が確立できる。テフラ層の年代決定では、保存する堆積物の特性が重要である。年縞堆積物は、時間分解能が最も高いと考えられ、樹木年輪とあわせて <sup>14</sup>C ウィグルマッチングによる正確度の高い年代決定も期待できる。

テフラ層の体積は、有珠火山 2000 年噴火のテフラ層について面積-重量線図の区間ごとで積分してより精密に求められている(宝田ほか, 2002)、その前提となる完全な分布図を得ることが難しい。精度のよいコンターを用いれば、Hayakawa(1985)の経験式  $V = 12.2TA$  でも、宝田ほか(2002)が積分法で求めた噴出量とほぼ一致する値が得られる。過去の噴火に対しては、できるだけ多くのコンターを描き、その中で最も精度のよいものを採用する方が適切であると考えられる。

## 謝 辞

小林哲夫教授(鹿児島大学)、長岡信治教授(長崎大学)、筒井正明博士(ダイヤコンサルタント)には、草稿に対して有益なコメントをいただいた。山田和芳博士(鳴門教育大学)には、年縞堆積物についてご教示いただいた。Mirabueno Ma. Hannah T. 博士(フィリピン火山地震研究所)には、英文要旨を校閲していただいた。守屋以智雄名誉教授(金沢大学)には、類質テフラの現地調査と <sup>14</sup>C 年代測定による噴火史研究を強く勧めていただいた。白頭山の埋没樹幹の <sup>14</sup>C ウィグルマッチングは、中村俊夫教授(名古屋大学)、木村勝彦准教授(福島大学)、八塚植也氏(福岡大学大学院)らとの共同研究によるものである。査読者の及川輝樹博士と宝田晋治博士(産業総合研究所)のコメントによって、本稿の内容は大きく改善された。この研究には、日本学術振興会の基盤研究(B)「地形と表層地質情報に基づく自然環境の定量的近未来予測に関する基礎的研究」(課題番号: 17300295, 研究代表者: 奥村晃史)、「ウィグルマッチング法による木製文化財の高精度年代推定のための必要条件の検討」(課題番号: 19300300, 研究代表者: 中村俊夫)および基盤研究(A)「白頭山火山の活動史とマグマについての日朝中 3ヶ国共同研究」(課題番号: 17253007, 研究代表者: 谷口宏充)の一部を使用した。記して謝意を表する。

## 文 献

新井房夫(Arai, F.), 1993, テフラ. 日本第四紀学会編(*In Japan As-*

- sociation for Quaternary Research, ed.), 第四紀試料分析法 (*A Handbook of Quaternary Research*), Vol. 1, 東京大学出版会 (Univ. Tokyo Press), 19-24.
- Barberi, F., Bertagnini, A., Landi, P. and Proncipe, C., 1992, A review on phreatic eruptions and their precursors. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **56**, 231-246.
- Bonadonna, C., Ernst, G. G. J. and Sparks, R. S. J., 1998, Thickness variations and volume of tephra fall deposits: the importance of particle Reynolds number. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **81**, 173-187.
- Bonadonna, C. and Houghton, B. F., 2005, Total grain-size distribution and volume of tephra-fall deposits. *Bull. Volcanol.*, **67**, 441-456.
- Bowman, S., 1990, *Radiocarbon Dating: Interpreting the Past*. British Museum Publication Ltd, 64p.
- De la Cruz-Reyna, S., 1991, Poisson-distributed patterns of volcanic activity. *Bull. Volcanol.*, **54**, 57-67.
- Fierstein, J. and Nathenson, M., 1992, Another look at the calculation of fallout tephra volume. *Bull. Volcanol.*, **54**, 156-167.
- Froggatt, P. C. and Lowe, D. J., 1990, A review of late Quaternary silicic and some other tephra formations from New Zealand: their stratigraphy, nomenclature, distribution, volume, and age. *N. Z. Jour. Geol. Geophys.*, **33**, 89-109.
- 藤野直樹・小林哲夫 (Fujino N. and Kobayashi, T.), 1997, 開聞岳火山の噴火史. 火山 (*Bull. Volcanol. Soc. Japan*), **42**, 195-211.
- 藤沢康弘・奥野 充・中村俊夫・小林哲夫 (Fujisawa, Y., Okuno, M., Nakamura, T. and Kobayashi, T.), 2002, 九州北東部, 鶴見火山の最近 3 万年間の噴火活動. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **108**, 48-58.
- 福沢仁之 (Fukusawa, H.), 1995, 天然の「時計」・「環境変動検出計」としての湖沼の年縞堆積物. 第四紀研究 (*Quatern. Res.*), **34**, 135-149.
- 福澤仁之 (Fukusawa, H.), 2006, ミクリガ池年縞堆積物からみた立山信仰の開始: なぜ人は立山に登ったのか? 安田喜憲編 (*In Yasuda, Y., ed.*), 山岳信仰と日本人 (*The Mountain Worship and the Japanese*), NTT 出版 (NTT Publ. Co. Ltd.), 125-146.
- 福沢仁之・塚本すみ子・塚本 齊・池田まゆみ・岡村 真・松岡裕美 (Fukusawa, H., Tsukamoto, S., Tsukamoto, H., Ikeda, M., Okamura, M. and Matsuoka, H.), 1998, 年縞堆積物を用いた白頭山-苦小牧火山灰 (B-Tm) の降灰年代の推定. 汽水域研究 (*Laguna*), **5**, 55-62.
- 古澤 明 (Furusawa, A.), 2004, RIPL 法により由布岳火山周辺のテフリックレスから見いだした火山活動. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **110**, 19-37.
- 五島直樹・奥野 充・藤沢康弘・鮎沢 潤・小林哲夫 (Goshima, N., Okuno, M., Fujisawa, Y., Aizawa, J. and Kobayashi, T.), 2005, 含水比, 乾燥密度, 全炭素および全窒素含有量, 鉱物組成および色調からみた由布火山北麓に分布する腐植質土壌層の集積過程. 福岡大学理学集報 (*Fukuoka Univ. Sci. Rep.*), **35**(2), 33-40.
- Hayakawa, Y., 1985, Pyroclastic Geology of Towada Volcano. *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo*, **60**, 507-592.
- 早川由紀夫 (Hayakawa, Y.), 1990, 堆積物から知る過去の火山噴火. 火山 (*Bull. Volcanol. Soc. Japan*), **34**, S121-S130.
- 早川由紀夫 (Hayakawa, Y.), 1991, テフラとレスからみた火山の噴火と噴火史. 第四紀研究 (*Quatern. Res.*), **30**, 391-398.
- 早川由紀夫 (Hayakawa, Y.), 1995, 日本に広く分布するローム層の特徴とその成因. 火山 (*Bull. Volcanol. Soc. Japan*), **40**, 177-190.
- 早津賢二 (Hayatsu, K.), 1988, テフラおよびテフラ性土壌の堆積機構とテフロクロロジー: AT にまつわる議論に関して. 考古学研究 (*Quarterly of Archaeological Studies*), **34**(4), 18-32.
- Hedenquist, J. W., Izawa, E., Arribas, A. Jr. and White, N. C., 1996, Epithermal gold deposits: style, characteristics, and exploration. *Resource Geol., Spec. Publ. No. 1* (Poster).
- 井村隆介 (Imura, R.), 1991, 諏訪-瀬島火山の最近 200 年間の噴火堆積物: 火山砂層による噴火活動の消長の評価. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **97**, 865-868.
- Imura, R., 1993, A reconstruction of small-scale eruptions using pyroclastic deposit. *Geogr. Rep. Tokyo Metropol. Univ.*, **28**, 79-112.
- 井村隆介 (Imura, R.), 1995, 小噴火の累積でつくられた堆積物. 火山 (*Bull. Volcanol. Soc. Japan*), **40**, 119-131.
- 井村隆介・小林哲夫 (Imura, R. and Kobayashi, T.), 1991, 霧島火山群新燃岳の最近 300 年間の噴火活動. 火山 (*Bull. Volcanol. Soc. Japan*), **36**, 135-148.
- 上手真基・山田和芳・齋藤めぐみ・奥野 充・安田喜憲 (Kamite, M., Yamada, K., Saito-Kato, M., Okuno, M. and Yasuda, Y.), 2010, 男鹿半島, ニノ目瀉・三ノ目瀉湖底堆積物の年縞構造と白頭山-苦小牧火山灰 (B-Tm) の降灰年代. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **116**, 349-359.
- 木村純一 (Kimura, J.), 1993, 後期更新世の御岳火山: 火山灰層序と火山層序学を用いた火山活動史の再検討. 地球科学 (*Earth Sci. (Chikyu Kagaku)*), **47**, 301-321.
- Kitagawa H., Fukuzawa H., Nakamura T., Okumura M., Take-mura K., Hayashida A. and Yasuda Y. 1995, AMS <sup>14</sup>C dating of varved sediments from Lake Suigetsu, central Japan and atmospheric <sup>14</sup>C change during the Late Pleistocene. *Radio-carbon*, **37**, 371-378.
- 小林国夫 (Kobayashi, K.), 1967, 黒土の堆積過程にかんする試論. ペドロジスト (*Pedologist*), **11**, 15-24.
- 小林武彦 (Kobayashi, T.), 1980, 立山火山最末期の水蒸気爆発. 火山 (*Bull. Volcanol. Soc. Japan*), **25**, 297.
- 小林武彦 (Kobayashi, T.), 1981, 1979 年 10 月 28 日の御岳山の噴火. 火山 (*Bull. Volcanol. Soc. Japan*), **26**, 159.
- 小林哲夫 (Kobayashi, T.), 1986a, 桜島火山の断続噴火によって形成された火山灰層. 鹿児島大学南科研資料センター報告特別号 (*Rep. Ref. Cent. Sci. Res. Southwest Pacific Area, Kagoshima Univ.*), **1**, 1-12.
- 小林哲夫 (Kobayashi, T.), 1986b, 桜島火山の形成史と火砕流. 荒牧重雄編 (*In Aramaki, S. ed.*), 火山噴火に伴う乾燥粉体流 (火砕流等) の特質と災害, 文部省科学研究費報告書 (*Res. Rep. Grants-In-Aid Sci. Res., Characteristics of Dry High Concentration Flows (Pyroclastic Flows) Associated with Volcanic Eruption and their Disasters*), 137-163.
- 小林哲夫・江崎真美子 (Kobayashi, T. and Ezaki, M.), 1997, 桜島火山, 噴火史の再検討. 月刊地球 (*Chikyu Monthly*), **19**, 227-231.
- 小山真人・早川由紀夫 (Koyama, M. and Hayakawa, Y.), 1996, 伊豆大島火山カルデラ形成以降の噴火史. 地学雑 (*Jour. Geogr.*), **105**, 133-162.
- 工藤 崇・奥野 充・中村俊夫 (Kudo, T., Okuno, M. and Nakamura, T.), 2003, 北八甲田火山群における最近 6000 年間の噴火活動史. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **109**, 151-165.
- 工藤 崇・奥野 充・大場 司・北出優樹・中村俊夫 (Kudo, T., Okuno, M., Ohba, T., Kitade, Y. and Nakamura, T.), 2000, 北八甲田火山群, 地獄沼起源の噴火堆積物: 噴火様式・規模・年代. 火山 (*Bull. Volcanol. Soc. Japan*), **45**, 315-322.
- Legros, F., 2000, Minimum volume of a tephra fallout deposit estimated from a single isopach. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **96**, 25-32.
- 町田 洋 (Machida, H.), 1992, 火山噴火と渤海の衰亡. 中西 進・安田喜憲編 (*In Nakanishi, S. and Yasuda, Y., ed.*), 謎の王国・渤海 (*Bohai: Mysterious Kingdom*)\*, 角川書店 (Kadokawa Shoten Publ. Co. Ltd.), 104-129.
- 町田 洋・新井房夫 (Machida, H. and Arai, F.), 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 (*Sci. Jour. Kagaku*), **46**, 339-347.
- 町田 洋・新井房夫 (Machida, H. and Arai, F.), 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 (*Quatern. Res.*), **17**, 143-163.
- 町田 洋・新井房夫 (Machida, H. and Arai, F.), 2003, 新編 火山灰アトラス: 日本列島とその周辺 (*Atlas of Tephra in and Around Japan, Revised Edition*). 東京大学出版会 (Univ. Tokyo

- Press), 336p.
- 町田 洋・新井房夫・百瀬 貢(Machida, H., Arai, F. and Mose, M.), 1985, 阿蘇4火山灰: 分布の広域性と後期更新世示標層としての意義. 火山(*Bull. Volcanol. Soc. Japan*), **30**, 49–70.
- 町田 洋・新井房夫・森脇 広(Machida, H., Arai, F. and Moriwaki, H.), 1981, 日本海を渡ってきたテフラ. 科学(*Sci. Jour. Kagaku*), **51**, 562–569.
- Matumoto, T., 1943, The four gigantic caldera volcanoes of Kyushu. *Japanese Jour. Geol. Geogr.*, **19**, 1–57.
- 森脇 広(Moriwaki, H.), 1994, 桜島テフラ: 層序・分布と細粒火山灰層の層位. 森脇 広 編(*In Moriwaki, H. ed.*), 鹿児島湾周辺における第四紀後期の細粒火山灰層にかんする古環境学的研究, 文部省科学研究費補助金研究成果報告書(*Res. Rep. Grants-in-Aid Sci. Res., Paleoenvironmental Study on Late Quaternary Fine-Grained Ash in and around Kagoshima Bay*), 1–20.
- 永迫俊郎・奥野 充・森脇 広・新井房夫・中村俊夫(Nagasako, T., Okuno, M., Moriwaki, H., Arai, F. and Nakamura, T.), 1999, 肝属平野の完新世中期以降のテフラと低地の形成. 第四紀研究(*Quatern. Res.*), **38**, 163–173.
- 中川 毅(Nakagawa, T.), 2010, 水月湖の年縞: 過去7万年の標準時計. 日本地球惑星科学連合ニュースレター(*Japan Geosci. Lett.*), **6**(4), 1–3.
- Nakamura, K., 1964, Volcano-stratigraphic study on Oshima Volcano, Izu. *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo*, **42**, 649–728.
- 中村一明(Nakamura, K.), 1970, ローム層の堆積と噴火活動. 軽石雑(*Zeitschrift für Bimssteinskunde*), **3**, 1–7.
- 中村一明・荒牧重雄・村井 勇(Nakamura, K., Aramaki, S. and Murai, I.), 1963, 火山の噴火と堆積物の性質. 第四紀研究(*Quatern. Res.*), **3**, 13–30.
- 中村俊夫(Nakamura, T.), 1995, 加速器質量分析(AMS)法による<sup>14</sup>C年代測定の高精度化および正確度向上の検討. 第四紀研究(*Quatern. Res.*), **34**, 171–183.
- 中村俊夫(Nakamura, T.), 2001, 放射性炭素年代とその高精度化. 第四紀研究(*Quatern. Res.*), **40**, 445–459.
- Nakamura, T., Okuno, M., Kimura, K., Mistutani, T., Moriwaki, H., Ishizuka, Y., Kim, K. H., Jing, B. L., Oda, H., Minami, M. and Tanaka, H., 2007, Application of <sup>14</sup>C wiggle-matching to support dendrochronological analysis in Japan. *Tree-ring Res.*, **63**, 37–46.
- 日本地質学会 訳編(International Subcommission on Stratigraphic Classification of IUGS International Commission on Stratigraphy with translated by Geological Society of Japan), 2001, 国際層序ガイド: 層序区分・用語法・手順のガイド(*International Stratigraphic Guide: A Guide to Stratigraphic Classification, Terminology, and Procedure: Second Edition*). 共立出版(Kyoritsu Shuppan Co. Ltd.)238p.
- 大野希一・国方まり・鈴木正章・西村裕一・長井大輔・遠藤邦彦・千葉達朗・諸星真帆(Ohno, M., Kunikata, M., Suzuki, M., Nishimura, Y., Nagai, D., Endo, K., Chiba, T. and Morohoshi, M.), 2002, 有珠山2000年噴火でもたらされた火砕物の層序. 火山(*Bull. Volcanol. Soc. Japan*), **47**, 619–643.
- 及川輝樹・奥野 充・中村俊夫(Oikawa, T., Okuno, M. and Nakamura, T.), 2002, 北アルプス南部, 焼岳火山の最近3000年間の噴火史. 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **108**, 88–102.
- 大場 司, 2011, 熱水性粘土に富む火山噴出物-火山熱水系との関係, 噴火機構, 繰り返し様式. 地質雑(*Jour. Geol. Soc. Japan*), **117**, 344–356.
- 奥野 充(Okuno, M.), 1995, 降下テフラからみた水蒸気噴火の規模・頻度. 金沢大学文学部地理学報告(*Geogr. Rep. Kanazawa Univ.*), **7**, 1–23.
- 奥野 充(Okuno, M.), 1997, 埋没土壌の加速器<sup>14</sup>C年代から知る噴火年代. 金沢大学文学部地理学報告(*Geogr. Rep. Kanazawa Univ.*), **8**, 17–24.
- 奥野 充(Okuno, M.), 1999, テフラの<sup>14</sup>C年代: 現状と今後の展望. 月刊地球(*Chikyū Monthly*), 号外 no. 26, 39–42.
- 奥野 充(Okuno, M.), 2001, テフロクロノロジーと<sup>14</sup>Cクロノロジー. 第四紀研究(*Quatern. Res.*), **40**, 461–470.
- 奥野 充(Okuno, M.), 2002a, 水蒸気噴火の噴火史研究. 金沢大学文学部地理学報告(*Geogr. Rep. Kanazawa Univ.*), **10**, 29–36.
- 奥野 充(Okuno, M.), 2002b, 南九州に分布する最近約3万年間のテフラの年代学的研究. 第四紀研究(*Quatern. Res.*), **41**, 225–236.
- 奥野 充(Okuno, M.), 2005, 最近10,000年間の噴火史編年と<sup>14</sup>C年代測定. 火山(*Bull. Volcanol. Soc. Japan*), **50**, S209–S217.
- 奥野 充・前垣内勇作・高島 勲・中村俊夫・稲永康平・小林哲夫(Okuno, M., Maekakiuchi, Y., Takashima, I., Nakamura, T., Inenaga, K. and Kobayashi, T.), 2005, 放射性炭素および熱ルミネッセンス年代測定による鍋島岳火山の噴火年代の検討. 福岡大学理学集報(*Fukuoka Univ. Sci. Rep.*), **35**(1), 41–48.
- 奥野 充・守屋以智雄・田中耕平・中村俊夫(Okuno, M., Moriya, I., Tanaka, K. and Nakamura, T.), 1997a, 北関東, 高原火山の約6500 cal yr BPの噴火. 火山(*Bull. Volcanol. Soc. Japan*), **42**, 393–402.
- 奥野 充・中原宏輔・鮎沢 潤・竹原 聖・片平 要・小林哲夫(Okuno, M., Nakahara, K., Aizawa, J., Takehara, S., Katahira, K. and Kobayashi, T.), 2010, 霧島火山群, 新燃岳・昭和火山灰の50年間の体積変化. 福岡大学研究部論集(*Bull. Cent. Res. Inst. Fukuoka Univ.*), Ser. C, 2, 43–47.
- Okuno, M. and Nakamura, T., 2003, Radiocarbon dating of tephra layers: recent progress in Japan. *Quatern. Int.*, **105**, 49–56.
- Okuno, M., Nakamura, T., Moriwaki, H. and Kobayashi, T., 1997b, AMS radiocarbon dating of the Sakurajima tephra group, southern Kyushu, Japan. *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res.*, **B123**, 470–474.
- 奥野 充・八塚慎也・中村俊夫・小林哲夫(Okuno, M., Yatsuzuka, S., Nakamura, T. and Kobayashi, T.), 2009, 最近1万年間の高分解能なテフラ層序学・年代学: 現状と展望. 新東晃一代表還暦記念論文集刊行会編「南の縄文・地域文化論考」, 南九州縄文通信(*Newsl. Jomon Study in South Kyushu*), No. 20, 下巻, 89–94.
- 奥村晃史(Okumura, K.), 1995, <sup>14</sup>C年代の補正と高精度化のための手法. 第四紀研究(*Quatern. Res.*), **34**, 191–194.
- 小野晃司・渡辺一徳・星住英夫・高田英樹・池辺伸一郎(Ono, K., Watanabe, K., Hoshiuzumi, H., Takada, H. and Ikebe, S.), 1995, 阿蘇火山中岳の灰噴火とその堆積物. 火山(*Bull. Volcanol. Soc. Japan*), **40**, 133–151.
- 小坂丈予(Ossaka, J.), 2003, 日本各地の火山噴出物に含有される粘土鉱物と噴火活動様式の考究. 火山(*Bull. Volcanol. Soc. Japan*), **48**, 43–61.
- Pyle, D. M., 1989, The thickness, volume and grain size of tephra fall deposit. *Bull. Volcanol.*, **51**, 1–15.
- Reimer, P. J., Baillie, M. G. L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Bertrand, C. J. H., Blackwell, P. G., Buck, C. E., Burr, G. S., Cutler, K. B., Damon, P. E., Edwards, R. L., Fairbanks, R. G., Friedrich, M., Guilderson, T. P., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kromer, B., McCormac, G., Manning, S., Ramsey, C. B., Reimer, R. W., Remmele, S., Southon, J. R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F. W., van der Plicht, J. and Weyhenmeyer, C. E., 2004, IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0–26 cal kyr BP. *Radiocarbon*, **46**, 1029–1058.
- Reimer, P. J., Baillie, M. G. L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Blackwell, P. G., Bronk Ramsey, C., Buck, C. E., Burr, G. S., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hajdas, I., Heaton, T. J., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kaiser, K. F., Kromer, B., McCormac, F. G., Manning, S. W., Reimer, R. W., Richards, D. A., Southon, J. R., Talamo, S., Turney, C. S. M., van der Plicht, J. and Weyhenmeyer, C. E., 2009, IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, **51**, 1111–1150.
- 新東晃一(Shinto, K.), 1978, 南九州の火山灰と土器形式. 季刊どる

- めん (*Quarterly Dolmen*), **19**, 40–54.
- Staff, R. A., Bronk Ramsey, C., Nakagawa, T. and Suigetsu 2006 Project Members, 2010, A re-analysis of the Lake Suigetsu terrestrial radiocarbon calibration dataset. *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res.*, **B268**, 960–965.
- 宝田晋治・星住英夫・宮城磯治・西村裕一・宮縁育夫・三浦大助・川辺禎久 (Takarada, S., Hoshizumi, H., Miyagi, I., Nishimura, Y., Miyabuchi, Y., Miura, D. and Kawanabe, Y.), 2002, 有珠火山 2000 年噴火の火口近傍堆積物. 火山 (*Bull. Volcanol. Soc. Japan*), **47**, 645–661.
- 竹本弘幸・百瀬 貢・平林 潔・小林武彦 (Takemoto, H., Momose, M., Hirabayashi, K. and Kobayashi, T.), 1987, 新期御岳テフラ層の層序と時代: 中部日本における編年上の意義. 第四紀研究 (*Quatern. Res.*), **25**, 337–352.
- 宇井忠英 (Ui, T.), 1973, 幸屋火砕流: 極めて薄く拡がり堆積した火砕流の発見. 火山 (*Bull. Volcanol. Soc. Japan*), **18**, 153–168.
- 宇井忠英・吉本充宏・佐藤十一・橋本 勲・宮村淳一 (Ui, T., Yoshimoto, M., Sato, J., Hashimoto, I. and Miyamura, J.), 1997, 北海道駒ヶ岳 1996 年 3 月噴火の噴出量の再検討. 火山 (*Bull. Volcanol. Soc. Japan*), **42**, 429–431.
- 山田 忍 (Yamada, S.), 1963, 新しい火山灰による Tephrochronology. 第四紀研究 (*Quatern. Res.*), **3**, 3–8.
- 山元孝広 (Yamamoto, T.), 1997, テフラ層序からみた那須茶臼岳火山の噴火史. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **103**, 676–691.
- 山元孝広 (Yamamoto, T.), 2005, 福島県, 吾妻火山の最近 7 千年間の噴火史: 吾妻-浄土平火山噴出物の層序とマグマ供給系. 地質雑 (*Jour. Geol. Soc. Japan*), **111**, 94–110.
- Walker, G. P. L., 1980, The Taupo pumice: product of the most powerful known (ultraplinian) eruption? *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, **8**, 69–94.
- Yatsuzuka, S., Okuno, M., Nakamura, T., Kimura, K., Setoma, Y., Miyamoto, T., Kim, K. H., Moriwaki, H., Nagase, T., Jin, X., Jin, B. L., Takahashi, T. and Taniguchi, H., 2010,  $^{14}\text{C}$  wiggle-matching of the B-Tm tephra, Baitoushan volcano, China/North Korea. *Radiocarbon*, **52**, 933–940.

\* English translation from the original written in Japanese

## (要 旨)

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. 地質雑, **117**, 654–662. (Okuno, M., 2011, Establishment of a high-resolution tephro-stratigraphy and chronology based on geological survey. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **117**, 654–662.)

地質調査によるテフラ層序と  $^{14}\text{C}$  年代測定から, 高分解能なテフラ年代学を構築できる. テフラ層は, 休止期の堆積物で区分されるが, その堆積物の種類によって固有のバックグラウンドがある. それらのなかで, 年縞堆積物が最も信頼できる記録装置といえる. テフラ層の認定には, 誤認防止や後の検証のため, 複数の露頭で確認されるべきである. テフラ層の名称は, 二重命名法がよいが, 数字をつける場合には, 地表を起点として下方へつけるべきである.  $^{14}\text{C}$  年代は, 測定技術の進展により高精度な年代値が得られるようになったが, 正確度の高い年代決定にはより厳密な地質学的な解釈が必要である.  $^{14}\text{C}$  ウィグルマッチングは, 最も正確に噴火年代を決定できる方法である. 降下テフラの噴出量の見積もりには, 面積-重量線図の傾きの異なる区間ごとの積分法が正確であろうが, 前提となる正確な分布図を得ることが難しい. 簡便法である  $V = 12.2TA$  が実用的であり, 有珠火山 2000 年噴火でも綿密に得られたコンターを利用した積分法とほぼ一致している. その際, もっとも精度のよいコンターを使うべきである.