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

The volcanism found out in the tephric-loess sequences around Yufudake Volcano, Central Kyushu, Japan by RIPL Method

Abstract

古澤 明*

*Akira Furusawa**

2003年6月24日受付.

2003年12月8日受理.

* (有) 古澤地質調査事務所

FURUSAWA Geological Survey Inc., Yashiki
93-7 Tosaki-cho, Okazaki 444-0840, Japan

Tephric-loess sequences are distributed widely in Japan. We attempt to distinguish volcanic events from the tephric-loess sequences using a newly developed 'RIPL Method (Refractive Index Physical Lobas Method)'. The RIPL Method is a technique of sampling a few centimeter thick strata continuously from the vertical section of a tephric-loess sequence, measuring all the refractive indices of minerals (mainly volcanic glass, orthopyroxene, and hornblende) included in each sample, and identifying tephra horizons in the tephric-loess from the characteristic feature of changes in the refractive index and mineral compositions.

We selected two outcrops around Yufudake Volcano, Kyushu Island, Japan. Point A is on the southern foot of Yufudake Volcano, and point Y is between Yufudake and Kuju Volcanoes. Tephric-loess is well preserved at both points and the deposits include four widespread tephra layers, Aso-4 (86-90ka), KJ-P1 (age unknown), AT (29ka) and K-Ah (5330BC). Using the RIPL Method, we distinguished twelve eruptive event horizons (Event horizons 1 to 12) in the tephric loess sequences above the Aso-4. We indicated the possibility that Kuju and Yufudake Volcanoes are eruptive sources of these events as well as Aso Volcano southwest of the two points. Among the events, the Event horizon 9 recorded the Shirani pyroclastic flow deposits erupted from Kuju Volcano and ACP4 airfall pumice from Aso Volcano. We calculated ages of the twelve events as base levels of individual event horizons, with the assumption that depositional rate of the tephric-loess sequence of point A has been constant since 86-90ka. The Event horizons 1 (74 ka), 2 (72 ka), 4 and 5a (67 ka) recorded the tephra erupted from Kuju Volcano and the Event horizons 3 (69 ka), 6 (64 ka), 7 (60 ka), 8 (58ka) and 10 (47 ka) recorded the tephra erupted from Yufudake or its near volcanoes because the similarity of each petrographic characteristics. The Event horizon 11 (21 ka) recorded the tephra from Onimoriyama Volcano and the Event horizon 12 (15 ka) recorded the tephra erupted Yufudake Volcano. When using the RIPL Method in the area located outside of isopaches of the tephra, the improvement of the grasping accuracy of the volcanic activity can be expected.

Key words: RIPL Method, tephra, tephric-loess, refractive index, Yufudake Volcano, Aso Volcano, Kuju Volcano

はじめに

降下火山灰・軽石などのテフラは、その分布範囲が特定の方向、例えば我が国では偏西風の影響により東側ないしは北東側に限られていることが多い。そのため、分布主軸からはずれたり給源火山から遠く離れた地域にわずかしかな降灰しなかった細粒テフラについては、露頭で視認できないことが多い。このため肉眼でテフラを容易に確認できない地域においては、周辺に火山が存在してもテフラを噴出する火山噴火活

動を把握することは容易ではなく、これまでにこのような地域での火山調査は行われていない。一般に火山調査は溶岩や火砕流堆積物を対象としたものが多く、降下テフラ、とくにテフラの降灰がわずかである地域においてテフラ層序を記載岩石学的手法により詳細に把握し、火山活動履歴を把握する試みがなされるようになったのは最近のことである(古澤・梅田, 2000)。火山活動履歴を詳細に把握するには極少量しか含まれないテフラを含めた詳細なテフラ層序の確立が必要で、そのためには精度の高いテフラ識別手法が必要となり、

従来のテフラの調査手法だけでは不十分である。一方、最近では、屈折率測定精度および測定速度の向上に伴い、多量の試料の屈折率を短時間に測定することが容易となり（古澤, 1995）、細粒の風成層中に含まれる鉱物の屈折率を緻密に測定することも可能となった（古澤, 2003a）。

そこで本論では、活火山周辺でありながら肉眼でほとんど地面表層部のテフラしか識別できないことからこれまで火山活動がほとんど議論されていない地域において、新たに考案した Refractive Index Physical lobar Method（以下 RIPL 法と呼ぶ）を用い、主軸からはずれたり給源から離れた地域にわずかししか降灰しなかったテフラおよび元来噴火規模が小さく近接した地域でも視認できない細粒テフラの識別を試みた。RIPL 法とは、テフリックレス（木村ほか, 1996）などの細粒堆積物から、ある層準の地層を数 cm 間隔で連続的に

採取し、これらに含まれる火山起源とおぼしき粒子（主に火山ガラスや、斜方輝石・角閃石などの鉱物）の屈折率を、多量の火山ガラスや鉱物の屈折率を容易かつ短時間に測定できる屈折率測定装置“MAIOT”（古澤, 1995）を用いて全て測定し、その特徴の変化と構成鉱物粒子の組成変化からテフラを識別する手法である。細粒堆積物を連続的に採取し、含まれる火山起源とおぼしき粒子の特徴からテフラを識別した研究としては、吉川（1981）や片岡・吉川（1997）などがあるが、従来の研究が火山ガラスによる特徴を主体としているのに対し、本手法ではそれに加えて斜方輝石および角閃石などの鉱物の屈折率を全て測定し、必要に応じ他の鉱物をも対象として検討することによって、より多くの構成粒子の特徴を把握することができ、1～2種類の粒子の特徴では識別できないようなテフラについても、鋭敏に識別できる可能性が

Fig.1. Map showing localities where eolian strata were studied. Base map is a part of 1:50,000 topographic map of “Beppu” published by the Geographical Survey Institute of Japan.

高くなる。

対象とした地域は由布岳火山周辺の2ヶ所であり (points A, Y; Fig.1), とともにテフリックスの保存が良好で, 基底に広域テフラ Aso-4 が確認でき, 中部と最上部には準広域テフラである九重火山起源の Kj-P1 と広域テフラ K-Ah が肉眼で識別できる。point A と point Y に共通して識別されるテフラの多くは, 規模の比較的小さな爆発的噴火によってもたらされた降灰分布域の狭いものについては, 周辺火山との位置関係から九重火山ないしは阿蘇火山起源であると考えられ, point A にのみ分布するテフラは, これまでその活動がほとんど把握されていない由布岳火山起源であることが期待できる。

RIPL 法を用いて両地点のテフリックスを分析した結果, 同層中より肉眼では識別できなかった12層準のテフラを新たに識別できた。また, 位置関係や周辺火山の溶岩の岩石記載との関係から, これらのテフラの給源が由布岳火山, 九重火山および阿蘇火山起源である可能性を指摘することが可能となった。テフラの降灰主軸からはずれた地点におけるテフリックスを対象としてRIPL法を行った場合, 火山活動履歴の把握が飛躍的に向上することが期待でき, RIPL 法は, 今後テフロクロノロジーはもとより火山研究をさらに発展させる可能性があるのでここに報告する。

RIPL 法による分析方法

本研究では, 対象としたテフリックスから5cm間隔で連続的に試料を採取し, 粒子組成, 鉱物組成, 火山ガラスの形態組成を分析し, さらに火山ガラス, 斜方輝石, 普通角閃石の屈折率を測定した。

本研究では, まず, まとまった屈折率を示す火山ガラス, 斜方輝石, 角閃石の産出層準の識別を試みた。そして, 下位の層準とは明確に前出鉱物の屈折率が異なる層準を個々の地点で層序分けした。そしてこれらの屈折率の変化が, それぞれの鉱物やガラスなどでほぼ同一層準内に識別できるかを検討した。また, 粒子組成の変化とも調和しているか検討し, 下位の層準からの混在粒子では説明できないまとまった変化を示す層準を Event horizon として識別した。なお, 明らかに特定の鉱物やガラスのみが多産する層準については, 他の粒子の屈折率とは関係なく Event horizon として識別した。

1. 試料の前処理

鉛直方向に5cm間隔で連続したブロック状に採取した試料は, ガラスなどを破損しないように, はじめに, 張り替え可能なテロン製メッシュ #250 を用いて, 試料を水洗いしつつ, 徐々に細粒分 (1/16mm 以下) を除去した。この試料を超音波洗浄機により洗浄し, 粒子表面および発泡内部の細粒分を除去した。その後, 60℃にて乾燥し, やはり張り替え可能なテロン製メッシュ #120 を用いて 1/8mm 以上とそれ未満の粒子とにふるいわけした。分析に供した粒子は, この手法により得られた直径 1/8mm ~ 1/16mm の極細砂サイズ粒子である。

2. 偏光顕微鏡による粒子組成, 鉱物組成, 火山ガラスの分析方法

洗浄した試料は, 光学レンズ接着用光硬化樹脂 (屈折率 1.545 程度) でスライドガラス上に封入し, 検鏡用プレパラートとした。それをベッケラインにより, 粒子の屈折率を概略確認しつつ, 古澤 (2003a) に基づき検鏡した。

火山ガラスは, 無色透明 (Colorless) であるか淡褐色透明~半透明 (Palebrown) であるかを区別した上で, それぞれを発泡良好なもの (Vesicle), 低発泡のもの (L), 極低発泡のもの (O; Fig.2.1, Fig.3.A), および発泡跡がほとんどなく微少班晶を含むもの (OTH; Figs.4.1.2, Figs.3.B.C) に区分した。発泡良好なガラス (Vesicle) と低発泡のガラス (L) については, 古澤 (1990) に従い, 大径のものとして Bw (Fig.2.2, Fig.3.D) および LBw, 中径のものとして Pul (Fig.5.1, Fig.3.E) と LPul (Fig.2.3, Fig.3.F), 小径のものとして Pus と LPus に, さらに細分した。また, 有色鉱物は斜方輝石 (Opx), 単斜輝石 (Cpx), 緑色普通角閃石 (GHo), 褐色普通角閃石 (BHo) および酸化角閃石 (BaHo), カンラン石 (Ol), 雲母類 (Bi), リン灰石, ジルコン, 不透明鉱物などその他の有色鉱物 (OTH) に区分した。

3. 屈折率測定

測定には, 浸液の温度を直接測定して屈折率を求める温度変化型屈折率測定装置 “MAIOT” (古澤, 1995; 古澤, 2003a) を使用し, 火山ガラス (nd), 斜方輝石 (γ), および普通角閃石 (n_z) の屈折率を測定した。測定精度は火山ガラスで ± 0.0001 程度, 斜方輝石・普通角閃石で ± 0.0002 程度である。測定個数はガラスで 30 ~ 60 片, 斜方輝石で 30 片程度を目途とした。

調査地点とその層序

対象とした地点は由布岳火山周辺であり, 1ヶ所は同火山に近接し, 由布岳火山のテフラ分布主軸からはずれた由布岳火山南山麓 (Fig.1 point A) であり, もう1ヶ所は, 同火山

Fig.2. Transmitted-light photomicrograph of glass shards in Fig.3. The shard indicated 1 is D, 2 is A, 3 is C of Fig.3.

Fig.3. SEM of volcanic glass shards that show the type morphology of the classification method in this paper. The shard indicated A shows O type, B and C show OTH type, D shows Bw type, E shows Pul type and F show LPul type morphology.

の分布主軸とは反対であると予想される位置にあり、同火山から約 4km 離れ、南西に近接する九重火山との間に挟まれた地点 (Fig.1 point Y) である。両地点はともにテフリックレスの保存が良好で、地表から厚く堆積したテフリックレスの基底に広域テフラ阿蘇 4 (Aso-4; 小野ほか, 1977) が確認でき、テフリックレス中部と最上部には準広域テフラである九重火山起源の九重第 1 軽石 (Kj-P1; 町田, 1980; 小林

(1984) の KjP1) と広域テフラ鬼界アカホヤ降下火山灰 (K-Ah; 町田・新井, 1978) が肉眼で識別できる。以上の事や地理的条件から本論対象地点には阿蘇、九重、そして由布岳とその周辺火山を起源とするテフラが分布している可能性が高い。

1. 調査分析地点の層序

point A は小林 (1984) の No.2 に相当し、藤沢・小林

Fig.4. Transmitted-light photomicrographs of glass shards in Fig.3. The shard indicated 1 is E, and 2 is F of Fig.3. A is plane-polarized light, and B is cross-polarized light.

(1998) にも紹介されている。テフリックレスの保存が良好であり、テフリックレスの下位には丘陵を構成する水口山火山岩類（小林, 1984）を覆い城島火砕流堆積物（星住ほか, 1988）が分布し、さらに上位を Aso-4 が覆う。本露頭は由布岳周辺で Aso-4 の露出する数少ない地点の 1 つである。この Aso-4 の上位に厚さ約 400cm のテフリックレスが分布する（Fig.6）。テフリックレス中には、直径 5mm の白色軽石からなる降下軽石層 Kj-P1 がはさまれ（小林, 1984）、その最下部 5cm は灰色と淡黄色の細粒火山灰である。この細粒火山灰は D 火山灰と呼ばれ（小野, 1963）、由布岳周辺で確認されている（小林, 1984）。Kamata and Mimura (1983) はこれを飯田火砕流（小野ほか, 1977）の噴出ステージの初期の砂質火山灰と考えた。一方、Kj-P1 を覆うテフリックレスの上部には、色調が茶色を呈しやや暗色なテフリックレス

が分布する。このテフリックレス中には直径 10 数 cm 程度の角礫が極わずかに含まれている。礫は層内の特定の層準に挟まれるのではなく、下部から上部まで散在して分布する。このテフリックレスの上位には AT が識別されており（小林, 1984）、さらに上位の黒ボク土中には淡橙黄色を呈した K-Ah が確認できる。黒ボク土中のテフラ層序は、小林（1984）や梅田ほか（1996）に詳しく記載されているが、本地点では肉眼によるテフラの識別はできない。

point Y はユムタ高原と呼ばれる土石流堆積物が形成する段丘面上に位置し、由布岳周辺で阿蘇 3 テフラ（Aso-3; 小野ほか, 1977）およびこれより上位のユムタテフラ（古澤, 2003b）などが良好に保存されている地点である。本地点のテフラは古澤（2003b）により由布岳周辺のテフラとの詳細な対比が行われており、土石流堆積物を覆う Aso-3 テフラの上位に、ユムタテフラ 1, ユムタテフラ 2, 阿多テフラ（Ata; 荒牧・宇井, 1966）、ユムタテフラ 3, ユムタテフラ 4, ユムタテフラ 5, ユムタテフラ 6, ユムタテフラ 7, ユムタテフラ 8, ユムタテフラ 9, 鬼界葛原テフラ（K-Tz; 町田・新井, 1992）、Aso-4, D 火山灰, Kj-P1, 始良 Tn 降下火山灰（AT; 町田・新井, 1976）、K-Ah が識別されている（Fig.7）。Aso-4 と Kj-P1 との間には厚さ 75cm の淡褐色テフリックレスが挟まれる。Kj-P1 の上位には、厚さ 80cm の淡褐色テフリックレス、厚さ 30cm の濃褐色テフリックレスおよび厚さ 60cm の淡褐色テフリックレスが累重する。最上位のテフリックレス中には、AT は肉眼では識別できないが、採取した試料の顕微鏡下では AT 起源の火山ガラスが多量に確認できる。AT を挟むテフリックレスのさらに上位には厚さ 75cm の黒ボク土壌層が堆積し、その基底より 35cm 上に、厚さ 10cm の K-Ah が挟まれる。

周辺火山のテフラ層序

由布岳およびその周辺九重、阿蘇火山の Aso-4 降灰以降のテフラ層序概要を Fig.8 に示す。

Fig.5. Transmitted-light photomicrograph of glass shards in Fig.3. The shard indicated 1 is E of Fig.3.

Fig. 6. Stratigraphic section of the tephra and tephric-loess sequences above Aso-4 tephra at point A on the southern foot of Yufudake Volcano, and histogram showing the mafic mineral composition and refractive indices of volcanic glass, orthopyroxene and hornblende included in the eolian strata. OTH+ only is the Orthopyroxene coated OTH type volcanic glass. Opx+ only and Ho+ only are the shards coated volcanic glass.

Fig. 7. Stratigraphic section of the tephra and tephric-loess sequences above Aso-4 tephra at point Y on the Yumuta hill located between Yufudake and Kuju Volcanoes, and histogram showing the mafic mineral composition and refractive indices of volcanic glass, orthopyroxene and hornblende included in the eolian strata. Opx + is the shards coated volcanic glass.

1. 由布鶴見火山群

由布岳および鶴見岳火山周辺では、Aso-4 の上位に、下位から D 火山灰、Kj-P1、AT、K-Ah、米窪スコリアなどの遠来から飛来したテフラと、さらにその上位に由布岳起源でやや広域に降灰した由布岳火山灰 (YA1) が識別されている (小林, 1984)。由布岳および鶴見岳火山の活動については、詳細に把握されていないが、小林 (1984) は Kj-P1 の下位、Aso-4 の上位のテフリックレス中に由布岳起源と考えられる礫質粗粒火山灰層 (L) が挟まれていることや、鶴見火山起源の土石流堆積物中に Kj-P1 が挟まれていることから、両火山群の活動開始期を Kj-P1 より古いと考えている。また、Aso-4 との関係は不明とし、Aso-4 と K-Ah との間の層準には両火山起源のテフラは識別されていない。由布岳火山の噴出物は側火山溶岩が黒雲母・石英・カンラン石含有普通輝石・シソ輝石・角閃石安山岩、シソ輝石・角閃石安山岩、黒雲母・シソ輝石・カンラン石含有普通輝石・角閃石安山岩、石英・黒雲母・シソ輝石含有普通輝石・角閃石安山岩、および黒雲母・石英・普通輝石・カンラン石含有シソ輝石・角閃石安山岩からなり、山頂溶岩が石英・黒雲母含有普通輝石・角閃石安山岩からなり、鶴見火山の噴出物もこの岩質と類似すると考えられている (小林, 1984)。なお、梅田ほか (1996) は完新世において由布岳火山に 4 回の活動を識別している。最も広域に分布するテフラは、YA1 で、約 1200 年前に降灰したと考えられている (梅田ほか, 1996; 古澤・梅田, 2000)。

2. 九重火山

Aso-4 降灰以降の K-Ah より下位の九重火山起源のテフラについては、小野 (1963)、町田 (1980)、Kamata and Mimura (1983)、小林・池辺 (1985)、太田 (1991)、鎌田・小林 (1992)、Kamata and Kobayashi (1997) および鎌田 (1997) などの記載がある。これによれば、Aso-4 と K-Ah の間には、下位より、飯田火砕流、下部に灰色火山灰 D をともなう Kj-P1、白丹火砕流、AT、寒ノ地獄火砕流堆積物、平治岳降下スコリア、A2 降下火山灰が識別されており (鎌田, 1997)、各テフラの岩質は鎌田 (1997) によれば次の通りである。飯田火砕流および Kj-P1 は普通角閃石デイサイト質である。白丹火砕流堆積物は淘汰の悪い普通角閃石安山岩の角礫と同質の軽石・火山灰からなる火砕流堆積物である。寒ノ地獄火砕流堆積物は、淘汰の悪い普通角閃石デイサイトの角礫と同質火山灰からなる火砕流である。平治降下スコリアは有色鉱物にカンラン石・単斜輝石・斜方輝石を含む黄褐色～橙色のスコリアである。A2 降下火山灰は有色鉱物として普通角閃石を含み、斜方輝石・単斜輝石を極わずかに含む灰黄色の細粒火山灰である。

3. 阿蘇火山

Aso-4 降灰以降の阿蘇火山のテフラ層序については、渡辺 (1992)、小野ほか (1995)、高田 (1989)、古澤・梅田 (2000)、および宮縁ほか (2003) などの研究がある。このうち宮縁ほか (2003) は由布岳山麓にも降灰したと予想される降下軽石を含めた詳細なテフラの記載を行い、阿蘇カルデ

Around Yufu & Tsurumi Volcano Group

Yufudake YA1 ash (*2) (GHo, BaHo, Cpx, Opx)
Ikeshiro pyroclastic flow deposit (BaHo, GHo, Opx, Cpx) *2
Yufudake Summit lava (Bi, Qz, Ho andesite, Opx, Ho, Ol, Cpx andesite)
Komekubo scoria
K-Ah *1
Ononomiyama scoria (Ol, Cpx >> Ho) *2
AT *1
Kj-P1 *1
Yufudake south lapilli tuff (Opx, Cpx, Ho) *2
Aso-4 *1

Around Kuju Volcano

Komekubo scoria *3
K-Ah
A2 ash (Ho >> Opx, Cpx) *3
Heijidake scoria (Ol, Cpx, Opx) *3
Kannojigoku block and ash flow deposit (Hornblende dacite?) *3
AT
Shirani pyroclastic flow deposit (Ho, Bi >> Opx) *3
Kj-P1 (Hornblende dacite) *3
D ash (Ho >> Opx, Bi) *3
Handa pyroclastic flow deposit (Hornblende dacite) *3
Aso-4

North foot of Aso Volcano

K-Ah
AT
Kpfa (Opx, Cpx) *4
ACP4 (Opx, Cpx) *4
ACP5 (Opx, Bi) *4
ACP6 (Opx, Cpx) *4
Kj-P1
OgP (Opx) *4
Aso-4

*1: Widespread tephra, *2: tephra erupted from Yufu & Tsurumi Volcano group, *3: tephra erupted from Kuju Volcano, *4: tephra erupted from Aso Volcano.

Fig.8. Tephrastatigraphy of Yufudake and Tsurumi Volcano Group, Kuju Volcano, and Aso Volcano after the eruption of Aso-4 tephra modified from Kobayashi (1984), Kamata (1997) and Miyabuchi et al. (2003).

ラの北方で, Aso-4 の上位に 5 層の連続性の良い降下軽石層を識別している。それらは, 下位より, 小柏軽石 (OgP; 宮縁ほか, 2003), 阿蘇中央火口丘第 6 軽石 (ACP6; 高田, 1989), 阿蘇中央火口丘第 5 軽石 (ACP5; 高田, 1989), 阿蘇中央火口丘第 4 軽石 (ACP4; 高田, 1989), 草千里ヶ浜軽石 (Kpfa; 渡辺ほか, 1982) であり, OgP と ACP6 との間には Kj-P1 が挟まれている。

OgP は有色鉱物として斜方輝石を含む軽石からなる。ACP6 は斜方輝石および単斜輝石を含む軽石からなり, 7 つのフォールユニットが識別できる。ACP5 は斜方輝石および黒雲母を含む軽石からなる。ACP4 と Kpfa は斜方輝石および単斜輝石を含む軽石からなる。

分析結果

A, Y 両地点におけるテフリックスおよびテフラの火山ガラスの含有量とその形態毎の割合, 有色鉱物組成, および火山ガラス, 斜方輝石, 角閃石の屈折率とをまとめて Fig.6 および Fig.7 に示す。また, 微量しか含まれないため Fig.6 および Fig.7 では表現できない point A のカンラン石の含有量を Fig.9 に, point Y の含有量を Fig.10 に示す。

野外でテフラ層と認定できるものを除いて, 火山ガラスの多産する層準は point A の Sample No.24 と No.76-78 および point Y の No.129-137 である。

同図に示したように, 火山ガラスの形態・含有量, 有色鉱物組成および屈折率などの比較から, A, Y 両 point であわせて 12 層準の露頭では視認できない記載岩石学的 Event horizon が識別できる。これらはいずれも下位とは明確な特徴の差異で画された固有の層準を形成し, A, Y 両 point に共通して識別できるものも多い。以下 A, Y 各 point 別にそれぞれの Event horizon について記載する。なお, 本章では両 point で対比可能と考えられる Event horizon については同一の Event horizon 名称を用いて記述する。また, 肉眼で識別できる Event (テフラ) についても併せて下位より順に記述する。

1. point A

point A には下位から, Aso-4 の上位に Sample No.13-16, 17-20, 21-23, 24, 25-27, 28-32, 36-42, 47-55, 57-69, 76-78 (AT), 79-90, 91-99 の肉眼では識別できない 12 層準の記載岩石学的 Event horizon が識別できる (Fig.6)。以下に各層準の岩石記載的特徴を記述する。

Aso-4 (Sample No.1 ~ 5) 有色鉱物として, 斜方輝石, 単斜輝石および緑褐色普通角閃石を含む。Bw タイプの火山ガラスを少量含む。火山ガラスの屈折率は 1.507-1.515 (モード: 1.507-1.510 および 1.511-1.515 の Bi-modal) である。斜方輝石の屈折率は 1.698-1.701, 緑褐色普通角閃石の屈折率は 1.685-1.690 である。

Event horizon1 (Sample No.13-16) 露頭基底の Aso-4 の上位 (Sample No.6-12) には, 同テフラのリワーク鉱物が散在する。この上部, Sample No.13 から No.16 にかけて, 屈折率が 1.496-1.501 で LPul タイプの火山ガラスの産出する層準が出現する。同一層準には下位の層準とは明らかに

に屈折率の異なる斜方輝石 (屈折率は 1.705-1.708) も産出する。角閃石の屈折率も Aso-4 のそれとは全く異なり, 1.671-1.675 にモードがみられる。以上, Sample No.13-16 はガラスの形態・屈折率, 斜方輝石・角閃石の屈折率が全て Aso-4 とは異なる。

Event horizon2 (Sample No.17-20) Sample No.17 ~ 20 には, 下位 (Sample No.16 より下位) にはほとんどみられない形態および屈折率の火山ガラス, および屈折率の異なる斜方輝石が含まれる。ガラスは LPul タイプ火山ガラスを主体とするが O タイプを含む。このタイプのガラスは, 屈折率が 1.498-1.501 で, Event horizon1 に含まれるものより高い値に集中する。同層準に含まれる斜方輝石の屈折率は Aso-4 から混在したものを除けば 1.701-1.704 を示すものが含まれるようになる。この値も Event horizon1 の値 1.705-1.708 とは異なる。この層準では, 角閃石の屈折率も 1.673-1.676 にモードがみられ, Event horizon1 よりやや高い傾向を示す。

Event horizon3 (Sample No.21-23) Sample No.21 ~ 23 には, 下位にはほとんどみられない LPul タイプで屈折率が 1.505 付近の火山ガラスが含まれる。同一層準にはやはり下位にはみられない屈折率 1.703-1.707 を示す斜方輝石が含まれる。角閃石もこの層準では, Event horizon2 とは異なり, 屈折率が 1.670-1.680 とややブロードである。これらの特徴の変化はほぼ同一層準 (Sample No.21 ~ 23) にのみみられる。

Event horizon4 (Sample No.24) この層準では, 上下層準に比しガラスの含有率が大きく増加する。ガラスは低発泡の LPul タイプで, 屈折率が 1.503-1.506 にモードを示す。このガラスの付着する斜方輝石の屈折率は 1.701-1.705 である。角閃石の屈折率は 1.669-1.683 と非常にブロードである。ただし, ガラスの付着した角閃石 (Fig.6 の Ho+) の屈折率は, 下位の Event horizons1 ~ 3 には少ない範囲である 1.677-1.683 にまとまる。

Event horizon5a (Sample No.25-27) Sample No.25 ~ 27 には, Event horizon4 にはほとんどみられない LPul タイプと O タイプで屈折率が 1.499-1.503 である火山ガラスが含まれる。同一層準には, やはり Event horizon 4 にはみられない屈折率 1.705-1.708 を示す斜方輝石が含まれる。角閃石もこの層準では Event horizon4 とは異なり, 屈折率が 1.670-1.676 にまとまる。斜方輝石は Event horizon1 とほぼ一致する値を示すが, ガラスの屈折率は Event horizon1 と全く異なる。

Event horizon6 (Sample No.28-32) Sample No.28 ~ 32 は, Event horizon5a に比し明らかに斜方輝石および単斜輝石の含有率が増加する。この変化は顕著である。同一層準には, OTH タイプで発泡度がやや高く屈折率が 1.500-1.504 程度の火山ガラスが含まれる。この層準には屈折率が 1.701-1.703 と明らかに Event horizon5a に比し低い斜方輝石も含まれる。この斜方輝石は Aso-4 と Event horizon 5a との間にはほとんどみられない。角閃石は, Event horizon3,4 と同様に屈折率が 1.669-1.680 とブロードである。

この層準を境に、これより上位の層準には Aso-4 から混在した斜方輝石はほとんど含まれなくなる。

一方、Aso-4 に由来するとみられる緑褐色普通角閃石や起源不明の褐色普通角閃石はこれより上位でも微量ではあるが頻雑に含まれている。**Event horizon7: 由布岳南礫質テフラ (Sample No.33; 仮称; 小林, 1984 の L を再定義)** Event horizon 7 は礫がテフリックレス中にややまとまって集積するゾーンであり、層序から小林 (1984) の L : 礫質粗粒火山灰層に相当すると考えられる。しかし、L の岩石記載は明らかにされておらず、粗粒火山灰と礫の岩石記載はともに不明である。point A では粗粒火山灰として視認できなかったことや、粒径の淘汰が悪く明確に同一テフラ起源と野外で識別できないため、由布岳南礫質テフラと仮称し、Event horizon とした。

有色鉱物組成は、Event horizon6 と同様、斜方輝石および単斜輝石を多く含む。OTH タイプの火山ガラスを主体とする。OTH タイプの火山ガラスの屈折率は 1.495–1.502 (モード: 1.499–1.501) である。OTH タイプガラスの付着した斜方輝石の屈折率は 1.697–1.713 と著しくブロードで Event horizon6 とは大きく異なる。緑色普通角閃石の屈折率は 1.667–1.683 である。

Event horizon8 (Sample No.36–42) Sample No.36 ~ 42 には、Event horizon6,7 にはほとんど見られない屈折率が 1.704–1.707 の斜方輝石がまとまって産出する。この斜方輝石は同層準の直上を覆う D 火山灰や Kj-P1 およびさらに上位の Event 9 と類似していることから、これらの層準からの混在を想像させるが、D 火山灰および Kj-P1 とは火山ガラスの屈折率が、また Event horizon9 とは角閃石の屈折率が明らかに異なる。したがって、本層準は他の層準からの混在層ではなく、固有の特徴を有する Event horizon とみなされる。

ガラスの形態と屈折率は Event horizon6,7 とほぼ一致する。角閃石の屈折率は 1.669–1.691 とブロードである。

九重 D 火山灰 (Sample No.43, 44) 下部に分布する黄灰色極細砂サイズ火山灰 (Sample No.43) と上部の灰色細砂～中砂サイズ火山灰 (Sample No.44) に区分できる。下部の黄灰色極細砂サイズ火山灰は緑色普通角閃石を主体とし、斜方輝石と極微量の単斜輝石を含む。火山ガラスは LPul, O および Pul タイプで、その屈折率は 1.496–1.500 である。斜方輝石の屈折率は 1.704–1.708 で、緑色普通角閃石の屈折率は 1.671–1.678 にまとまる。上部の灰色細砂～中砂サイズ火山灰は OTH タイプのガラスを主体とし O, LPul タイプのガラスを含む。有色鉱物は単斜輝石が主体で、緑色普通角閃石および斜方輝石を少量含む。明らかに下部の黄灰色極細砂サイズ火山灰とは鉱物組成が異なる。屈折率は火山ガラスが 1.496–1.500、斜方輝石が 1.704–1.709、緑色普通角閃石が 1.669–1.681 であり、下部と上部とでは屈折率に大きな差はみられない。

Kj-P1 (Sample No.45) 有色鉱物組成は緑色普通角閃石を主体とし斜方輝石を少量含む。火山ガラスは Pul タイプを主体とし、LPul タイプを含む。火山ガラスの屈折率は

1.496–1.502 (モード: 1.499–1.501) である。斜方輝石の屈折率は 1.703–1.708、緑褐色普通角閃石の屈折率は 1.671–1.680 (モード: 1.671–1.674) である。下位の D 火山灰 (No.43,44) とは、鉱物組成、ガラスの形態と屈折率、角閃石の屈折率、特にモードが明瞭に異なる。

Event horizon9 (Sample No.47–55) Sample No.47 ~ 55 は、Kj-P1 を含めた下位の層準にはほとんどみられない微小斑晶を多く含む Lpu タイプで屈折率が 1.507–1.511 程度の火山ガラスを含む。この特徴により本 Event horizon は他層準と識別できる。

上記のほか微小斑晶を多く含む LPul および O タイプで、屈折率が 1.494–1.504 の火山ガラスを含む。斜方輝石の屈折率は 1.698–1.708 で 1.698–1.703 と 1.704–1.708 に明瞭なモードがみられる。角閃石の屈折率は、Event horizon8 と分布範囲が類似し 1.669–1.690 とブロードではあるが、1.670–1.675 に集中する点で Event horizon8 とは異なる。

Event horizon10 (Sample No.57–70) Sample No.57 ~ 70 には、Event horizon9 を含む下位の層準にはほとんど見られない屈折率が 1.503–1.506 で LPul タイプや O タイプの火山ガラスを含む。この特徴により本 Event horizon は他層準と識別できる。

上記のほか LPul タイプや、O タイプで屈折率 1.497–1.502 の火山ガラスを含む。斜方輝石の屈折率は 1.698–1.715 で 1.698–1.703 と 1.704–1.708 にモードがみられる。この傾向は Event horizon9 と類似する。なお、No.63 より上位では、1.709–1.715 と値の高いものが含まれる。角閃石の屈折率は、Event horizon9 よりさらに分布範囲がブロードで、1.669–1.685 を示すが、Event horizon9 に比し 1.675–1.680 の範囲の割合が多くなる違いが見られる。

なお、本 Event はガラスの含有量から下部 (Sample No.57–64) と上部 (Sample No.65–70) とに区分できる可能性があるが、本論では区分しない。

AT (Sample No.76–78) Sample No.76 ~ 78 には、Bw ガラスが最大 40% 含まれ、同ガラスの含有量ピークが形成されている。このガラスの屈折率は 1.498–1.501 である。この層準には斜方輝石の屈折率が 1.728–1.738 と非常に高いものが含まれる。藤沢・小林 (1998) が AT 層準と指摘した層準に相当し、岩石記載も町田・新井 (1992) の AT のそれと一致する。本論では Bw ガラスの含有量ピーク層準を AT と識別した。

Event horizon11 (Sample No.79–90) 後述するように下位の層準とは明らかにカンラン石の含有量が異なる層準が Sample No.79 層準付近から No.90 まで識別できる (Fig.9)。この層準には斜方輝石および単斜輝石が多く含まれる。この特徴は下位の層準 Event horizon9, 10, AT とは明瞭に異なる。この特徴により本 Event horizon は識別できる。

同層準の斜方輝石の屈折率は明らかに AT 起源と見られる $\gamma \geq 1.728$ の粒子を除くと 1.694–1.711 にまとまり、しかもこれらは 1.694–1.697, 1.699–1.705 および 1.707–1.711 の 3 モードに細分できる。角閃石の屈折率は、1.669–1.689 とブロードである。

Event horizon12 (Sample No.91–99) Sample No.91～99はEvent horizon11に比し明らかに斜方輝石および単斜輝石の含有率が少なく、これとは逆に酸化角閃石の含有率が多い。同層準は、AT層準およびEvent horizon11には含まれない屈折率が1.501–1.505でLPulおよびOタイプの火山ガラスを含む。この特徴により本Event horizonは識別できる。

上記のほかAT起源の火山ガラスやLPulタイプ、Oタイプで屈折率1.496–1.501の火山ガラスを含む。斜方輝石の屈折率は1.699–1.711にまとまり、1.698–1.703と1.705–1.710にモードがみられる。角閃石の屈折率は、下部の

Sample No.91–93では1.675–1.679に、中部のSample No.94–98では1.671–1.676に、上部のSample No.99では1.677–1.681にモードがみられる。本Event horizonは、あるいは下部、中部、上部に細分できる可能性がある。なお、本Event horizonは、Event10と斜方輝石の屈折率が類似するが、酸化角閃石の含有率が明らかに異なる。

K-Ah (Sample No.101,102) 黒ボクのほぼ中央に挟まれ、橙色を帯びた黄色の細砂サイズ火山灰を主体とする。Bwタイプ火山ガラスおよび斜長石を主体とする。有色鉱物としては少量の斜方輝石および単斜輝石を含む。火山ガラスの屈折率は1.507–1.515（モード: 1.510–1.513）である。斜方輝石の屈折率は1.707–1.713である。

Fig.9. Histogram that shows the number of olivine in 1000 grains contained in each sample at point A. Each number is calculated from the analysis for 4000 grains.

Fig.10. Histogram that shows the number of olivine in 1000 grains contained in each sample at point Y. Each number is calculated from the analysis for 4000 grains.

2. point Y

Aso-4 の上位に、下位から、Sample No.94, 95–96, 97, 98–106, 109–118, 129–137 (AT), 137–142, 143–148 の肉眼では識別できない 8 層準の記載岩石学的 Event horizon が識別できる。また、Sample No.98–106 は斜方輝石の屈折率からさらに No.98–100, No.101–102 および No.103–106 に細分できる (Fig.7)。なお、これらの Event horizon のうち層序関係と記載的特徴から point A で区分された Event horizon とその特徴が同じであり、対比できるものについては同じ Event horizon 名を使用した。各 Event horizon の岩石記載的特徴を point A のそれと対応させ Table 1 にまとめて示し、以下に各層準の岩石記載的特徴を下位のものより記述する。

Aso-4 (Sample No.81 ~ 91) 有色鉱物組成、火山ガラスの形態は、point A と同様である。火山ガラスの屈折率も 1.506–1.515 とほぼ一致する。斜方輝石の屈折率 (1.698–1.701)、緑褐色普通角閃石の屈折率 (1.685–1.690) も一致する。

Event horizon1 (Sample No.94) 露頭基底の Aso-4 の上位、Sample No.94 は、火山ガラスの形態 (LPul)、屈折率 (1.496–1.501)、斜方輝石の屈折率 (1.705–1.708)、および角閃石の屈折率モード (1.670–1.675) がともに point A の Event horizon1 と一致する。有色鉱物組成も類似し、これらの特徴は下位の層準とは明らかに異なることから、本 horizon は point A の Event horizon1 と対比される。

Event horizon2 (Sample No.95–96) Sample No.95 ~ 96 は、point A と同様下位 (Sample No.94 より下位) にはほとんどみられない LPul および O タイプで屈折率が 1.498–1.501 の火山ガラスを含む。屈折率 1.701–1.705 の斜方輝石、屈折率のモードが 1.673–1.675 の角閃石も含まれる。これらの特徴はともに point A の Event horizon2 と一致する。有色鉱物組成も類似することから、本 horizon は point A の Event horizon2 と対比される。

Event horizon4 (Sample No.97) Sample No.97 には LPul で屈折率が 1.503–1.508 と下位には見られない火山ガラスが含まれる。屈折率が 1.702–1.704 の斜方輝石も含まれる。これらの特徴はいずれも point A の Event horizon4 と一致する。有色鉱物組成も類似することから、本 horizon は point A の Event horizon4 と対比される。

Event horizon5 (Sample No.98–106) Sample No.98–106 には屈折率が 1.497–1.501 に集中し O ~ OTH タイプで下位には見られない火山ガラスが含まれる。屈折率のモードが 1.673–1.676 の角閃石も含まれる。これらの特徴は、ともに point A の Event horizon5 と一致する。有色鉱物組成も斜方輝石が優勢で類似することから、Sample No.98–106 には Event horizon5 が識別できる。なお、本層準は斜方輝石の屈折率により Sample No.98–100, No.101–102 および No.103–106 の 3 層準に区分できる。これらをそれぞれ 5a, 5b および 5c とし、その特徴について述べる。

Event horizon5a (Sample No.98–100) Sample

No.98–100 には Event horizon4 にはほとんどみられない屈折率が 1.499–1.503 で O タイプの火山ガラスと、屈折率が 1.705–1.707 を示す斜方輝石が含まれる。角閃石も Event horizon4 とは異なり、屈折率が 1.671–1.676 にまとまる。これらの特徴は全て point A の Event horizon5a と一致する。有色鉱物組成も類似することから、本 horizon は point A の Event horizon5a と対比される。

Event horizon5b (Sample No.101–102) Sample No.101–102 は下位の Event horizon5a とは斜方輝石の屈折率が 1.701–1.704 であり明らかに異なることから、本論ではこれを Even5 のサブイベントと考え、Event 5b とする。なお、本 Event は point A では識別できない。

Event horizon5c (Sample No.103–106) Sample No.103–106 は下位の Event horizon5a, b とは斜方輝石の屈折率が 1.705–1.709 であり明らかに異なることから、本論ではこれを Even5 のサブイベントと考え、Event 5c とする。なお、本 Event は point A では識別できない。

九重 D 火山灰 (Sample No.107) 有色鉱物は緑色普通角閃石を主体とし、斜方輝石および単斜輝石を含む。火山ガラスは OTH タイプのものを主体とし、屈折率は 1.497–1.500 である。斜方輝石の屈折率は 1.705–1.708 である。緑色普通角閃石の屈折率は 1.670–1.679 である。これらの特徴は火山ガラスの形態がやや異なるが、point A の D 火山灰下部の特徴とはほぼ一致する。

Kj-P1 (Sample No.108) 有色鉱物組成は緑色普通角閃石を主体とし斜方輝石および単斜輝石も少量含む。火山ガラスは OTH タイプのものを主体とし、Pul および LPul タイプを少量含む。火山ガラスの屈折率は 1.497–1.500 である。斜方輝石の屈折率は 1.705–1.708、緑褐色普通角閃石の屈折率は 1.670–1.675 である。これらの岩石記載的特徴は、point A の Kj-P1 の特徴とはほぼ一致する。

Event horizon9 (Sample No.109–118) Sample No.109 ~ 118 には、Kj-P1 およびこれより下位の層準にはほとんどみられない微小斑晶を多く含む Lpu タイプで屈折率が 1.507–1.511 程度の火山ガラスを含む。この特徴により本 Event horizon は他層準と識別できる。火山ガラスの形態が LPul と O タイプで、その屈折率は 1.494–1.504 を主体とし、斜方輝石の屈折率が 1.698–1.711 で 1.698–1.702 と 1.704–1.708 に明瞭なモードがみられ、角閃石の屈折率は 1.669–1.699 とブロードではあるが、1.669–1.675 に集中するという特徴はともに point A の Event horizon9 と一致する。有色鉱物組成も類似することから、本 horizon は point A の Event horizon9 と対比される。

AT (Sample No.129–137) Sample No.129 ~ 137 には、Bw ガラスが最大 60% 含まれる。この火山ガラスの屈折率は 1.497–1.500 である。この層準には斜方輝石の屈折率が 1.729–1.738 と非常に高いものが含まれる。AT の岩石記載 (町田・新井, 1992) と一致することから、本 Event は AT に対比できる。

Event horizon 11 (Sample No.138–142) 下位の層準とは明らかにカンラン石の含有量が異なる層準が Sample

No.138–142 層準に識別できる (Fig.10). ただし, カンラン石の含有量は, point A に比し非常に少ない. この層準には point A と同様, 斜方輝石および単斜輝石が多く含まれる. この特徴は直下の層準の Event horizon9, 10, AT とは明瞭に異なる. 斜方輝石の屈折率が 1.693–1.711 で, 角閃石の屈折率が 1.668–1.690 とブロードであるという特徴はともに point A の Event horizon11 と一致することから, 本 horizon は point A の Event horizon11 と対比される.

Event horizon12 (Sample No.143–148) Sample No.143–148 は下位の Event horizon11 より明らかに酸化角閃石の含有量が増加する. この差は point A の Event horizon11 とその上位の層準との間に見られる変化と同様明確である. 層序的には K-Ah の下位で, 火山ガラスの形態が AT 起源の Bw タイプを除くと LPul および O タイプであり, LPul と O タイプのみの屈折率は 1.499–1.504 で, 斜方輝石の屈折率は 1.697–1.711 で 1.698–1.704 と 1.705–1.710 にモードがみられ, 角閃石の屈折率が下部の Sample No.145 では 1.675–1.678 に, 中部の Sample No.146 では 1.672–1.675 に, 上部の Sample No.148 では 1.676–1.680 にモードがみられるといった特徴が point A の Event horizon12 と一致することから, 本 horizon は point A の Event horizon12 と対比される.

K-Ah (Sample No.150) point A と同様黒ボクのほぼ中

央に挟まれ, 野外での特徴, 火山ガラスの形態が Bw タイプで, その屈折率は 1.507–1.515 (モード 1.510–1.514), 斜方輝石の屈折率が 1.707–1.712 であり point A の K-Ah および町田・新井 (1992) の記載と一致する.

議 論

RIPL 法により, A, Y 両 point で野外において視認できない 12 の記載岩石学的性質からみた Event horizon と AT 降灰層準を識別できた. 本章ではこれらの Event horizon が一次的な火山活動による Event であるかを検討し, 給源火山について言及する.

1. 各 Event horizon の起源

テフリックレスに含まれる肉眼では識別できない Event horizon の起源について言及する.

1) 既知のテフラと対比可能な Event horizon

Event horizon9 Kj-P1 と AT との間の層準に挟まれたテフラの内, 九重火山起源として既知のテフラは白丹火砕流 (鎌田, 1997) のみである. 一方, 阿蘇火山の北ないしは北東に降灰した阿蘇起源のテフラとしては, 下位より, ACP6, ACP5, ACP4, Kpfa がある.

Event horizon9 は, Kj-P1 の直上に識別できる Event horizon である. 同 Event horizon は, 屈折率が 1.497–1.500 付近にまとまる Lpul タイプの火山ガラスがやや多く

Table 1. Characteristic petrography of the Events 1–12 at points A and Y.

Event Zone	Point(thickness)	Characteristic Heavy minerals Grain Composition	Characteristic Glass type	Characteristic Refractive Index		
				Glass nd(mode)	Opx γ (mode)	Ho n ₂ (mode)
K-Ah	A(10cm)	Vitric	Bw	1.507-1.515(1.510-1.513)	1.707-1.713	
	Y(5cm)	Vitric	Bw	1.507-1.515(1.510-1.514)	1.707-1.712	
E12	A(45cm)	BaHo	Lpul,O	1.501-1.505	1.699-1.711(1.698-1.703, 1.705-1.710)	L: (1.675-1.679), M: (1.671-1.676), U: (1.677-1.681)
	Y(30cm)	BaHo	Lpul,O	1.499-1.504	1.697-1.711(1.698-1.704, 1.705-1.710)	L: (1.675-1.678), M: (1.672-1.675), U: (1.676-1.680)
E11	A(60cm)	OI			1.694-1.711(1.694-1.697, 1.699-1.705, 1.707-1.711)	1.669-1.689
	Y(50cm)	OI			1.693-1.711	1.668-1.690
AT	A(30cm)	Vitric	Bw	1.498-1.501	1.728-1.738	
	Y(20cm)	Vitric	Bw	1.497-1.500	1.729-1.738	
E10	A(70cm)		Lpul,O	1.503-1.506	1.698-1.710(1.698-1.703, 1.704-1.708)	1.669-1.685(1.675-1.680)
E9	A(45cm)		Lpul,O	1.494-1.504, 1.507-1.511	1.698-1.708(1.698-1.703, 1.704-1.708)	1.669-1.690(1.670-1.675)
	Y(50cm)		Lpul,O	1.494-1.504, 1.507-1.511	1.698-1.711(1.698-1.702, 1.704-1.708)	1.669-1.699(1.669-1.675)
Kj-P1	A(5cm)	Ho>>Opx	Pul>O,LPul	1.496-1.502(1.499-1.501)	1.703-1.708	1.671-1.680(1.671-1.674)
	Y(5cm)	Ho>>Opx,Cpx	OTH>O,Pul	1.497-1.500	1.705-1.708	1.670-1.675
D ash (U)	A(5cm)	Cpx,Ho,Opx	OTH>Pus	1.496-1.500	1.704-1.709	1.669-1.681
D ash (L)	A(5cm)	Ho>>Opx	Bw,Pul	1.496-1.500	1.704-1.708	1.671-1.678
	Y(5cm)	Ho>>Opx,Cpx	OTH	1.497-1.500	1.705-1.708	1.670-1.679
E8	A(35cm)		OTH	1.499-1.503	1.704-1.707	1.669-1.691
E7	A(5cm)	Opx,Cpx rich	OTH	1.495-1.502(1.499-1.501)	1.697-1.713	1.667-1.683
E6	A(25cm)	Opx,Cpx rich	OTH	1.499-1.504	1.701-1.703	1.669-1.680
E5c	Y(20cm)		OTH	1.497-1.501	1.705-1.709	1.670-1.679
E5b	Y(10cm)		OTH	1.497-1.502	1.701-1.704	1.671-1.677
E5a	A(15cm)		Lpul,O	1.499-1.503	1.705-1.708	1.670-1.676
	Y(15cm)		O	1.498-1.503	1.705-1.707	1.671-1.676
E4	A(5cm)	Vitric	Lpul	(1.503-1.506)	1.701-1.705	1.669-1.683(1.677-1.683)
	Y(5cm)		Lpul	(1.503-1.508)	1.702-1.704	
E3	A(15cm)		Lpul	1.505	1.703-1.707	1.670-1.680
E2	A(20cm)		Lpul>>O	1.498-1.501	1.701-1.704	(1.673-1.676)
	Y(10cm)		Lpul,O	1.498-1.501	1.701-1.705	(1.673-1.675)
E1	A(20cm)		Lpul	1.496-1.501	1.705-1.708	(1.671-1.675)
	Y(5cm)		Lpul	1.496-1.501	1.705-1.708	(1.670-1.675)
Aso-4	A(25cm)	Opx,Cpx,Ho	Bw	1.507-1.515(1.507-1.510, 1.511-1.515)	1.698-1.701	1.685-1.690
	Y(55cm)	Opx,Cpx,Ho	Bw	1.506-1.516	1.698-1.701	1.685-1.690

産出し、1.507–1.511 付近にまとまる Lpul タイプの火山ガラスの含有が明確に識別できること、屈折率が 1.698–1.702 と低い斜方輝石の含有が明確に識別できること、屈折率が 1.670–1.675 にまとまる角閃石が多量に含まれることなどの特徴を有する。この特徴の内、屈折率が 1.497–1.500 付近にまとまる Lpul タイプの火山ガラスおよび屈折率が 1.670–1.675 にまとまる角閃石は白丹火砕流堆積物のそれと一致し、屈折率が 1.508–1.512 付近にまとまる Lpul タイプの火山ガラスおよび屈折率が 1.698–1.702 と低い斜方輝石は ACP4 のそれと一致する。白丹火砕流堆積物は、鎌田・池邊 (1998) の地点 5 付近では、テフリックレスを挟んで Kj-P1 の上位に分布しており、そのわずかに上位には阿蘇火山起源の ACP4 が識別できる。この地点の白丹火砕流は、火山ガラスの形態が Lpul タイプで屈折率が 1.497–1.500 である。有色鉱物としては緑色普通角閃石を主体とし、黒雲母を含み、斜方輝石をわずかに含む。角閃石の屈折率は 1.670–1.676 である。一方、ACP4 は、Lpul ~ Pul タイプの火山ガラスを主体とし、その屈折率は 1.507–1.512 である。有色鉱物としては斜方輝石および単斜輝石を主体とし、斜方輝石の屈折率は 1.700–1.702 である。

Aso-4 と AT との間に挟まれたテフラで、このほかに上記特徴のいずれかを有する阿蘇火山および九重火山起源のテフラはこれまでに確認出来ない。あるいは、これまでに知られていない小規模で少量のテフラしか噴出しなかった噴火活動が両火山に存在する可能性も否定できないが、層序および岩石記載的特徴の一致から、Event 9 の本質的な特徴を示す粒子は、九重火山の白丹火砕流堆積物と阿蘇火山起源の ACP4 起源である可能性が非常に高い。

Event horizon11 point A で明瞭に識別でき、point Y では混在程度にしか識別できない Event horizon11 は AT の上位にあり、point A でカンラン石が相対的に多量に含まれる (Fig.9)。有色鉱物における角閃石の含有率も下位の層準に比し明らかに少ない。このような特徴は由布岳火山麓に分布する鬼箕山火山の記載岩石学的特徴 (星住ほか, 1988) とほぼ一致する (Fig.11)。同火山から噴出したスコリアは有色鉱物としてカンラン石および単斜輝石を主体とし、角閃石をほとんど含まない。同火山の噴出時期は不明であるが、K-Ah に覆われることが明らかとなっている (星住ほか, 1988)。この層序関係は Event horizon11 を鉱物組成から鬼箕山火山起源と考えるのに合理的である。Event horizon11 は K-Ah に覆われ AT を覆う。鬼箕山火山の上に AT が識別されていない記載 (星住ほか, 1988) と整合的である。したがって、Event horizon11 は鬼箕山火山の一次的な噴火活動の産物＝テフラである可能性が高いと考えられる。なお、斜方輝石の給源については不明だが、AT と K-Ah とに挟まれる九重火山起源の平治岳スコリアにもカンラン石、単斜輝石および斜方輝石が含まれる。Event 11 に含まれるカンラン石の含有量は明確に九重火山からより離れた point A に多く含まれるため、同スコリアが Event 11 を特徴付けるカンラン石の給源とは考え難いが、斜方輝石の給源と考えた場合、Event 11 にこのスコリアが混在している可能性もわずかながら考えら

れる。

2) ガラス質テフラ (Event horizon4)

12 ある Event horizon のうち、火山ガラスの多産を特徴とする Event horizon は Event horizon4 である。Event horizon4 に含まれるガラスは、下位には存在せず、特定の層準に明瞭に識別でき、しかも、ガラスの屈折率が 1.503–1.506 にまとまり上下の層準のそれと明らかに異なることから、一次的な火山噴火活動による降下テフラと考えられる。Event horizon4 は point A および point Y に共通して識別できることや発泡度が高いにもかかわらず粒径が細かいこと、既知の広域テフラに同様の特徴のものが見られないことなどから両 point に比較的近接し、しかも偏西風の風上に位置する阿蘇火山ないしは九重火山起源のテフラである可能性が高い。

阿蘇カルデラ北、小柏付近には Aso-4 と Kj-P1 との間に 1 枚の軽石層が視認できる。この軽石層は、層序、降灰地域が小柏周辺であり、有色鉱物組成が斜方輝石を主体とすることなどから、宮縁ほか (2003) の小柏軽石に相当すると考えられる。同テフラに含まれる有色鉱物は斜方輝石を主体とし、ガラスの屈折率が 1.510 程度と、Event horizon4 とは岩石記載的特徴が明瞭に異なっているため、Event horizon4 と小柏軽石との対比はできない。Event horizon4 は角閃石を多量に含んでいることから、やはり角閃石を多量に含むことを特徴とする九重火山起源のデイサイト質小規模噴火起源のテフラである可能性がある。

3) point A および point Y に共通して識別できる Event horizon1, 2, 5a

由布岳火山に近い point A およびこれより由布岳から離れ、しかも風上であることが多い point Y に共通して識別できる Event horizon は由布岳火山活動に起因している可能性が低いと考えられる。これらの Event horizon は由布岳火山よりより遠方に位置する火山が噴出したテフラである可能性が高い。また、周辺の基盤が供給する岩屑起源の風成塵であることも考えられる。ただし、後述するように Event horizon11 および 12 のように point A より point Y のほうが明らかにその Event horizon を特徴づける粒子が少ない場合には由布岳火山活動の影響と考えることもできる。いずれにしても、Event horizon1 から Event horizon10 までのうち point A および point Y に共通して識別できる Event は AT などの広域テフラを除くと由布岳火山より遠来の偏西風の風上に位置する九重火山ないしは阿蘇火山の活動によるテフラである可能性が指摘できる。このうち基盤の岩屑を起源と考える場合、調査地点直下の岩屑を起源とする以外には、各 Event horizon の岩石記載がまとまる特徴を説明するのに無理がある。Fig.11 に両 point 周辺の基盤を構成する地層の岩質および由布岳、鶴見岳および鬼箕山火山などの Aso-4 降灰期以降に活動した火山の噴出物の有色鉱物組成を示す。同図にみられるように、両 point の基盤は別々の地層から形成されている。各地層の有色鉱物組成は角閃石を主体とすることでは一致しているがその他の鉱物の構成には違いがみられる。また、これらの基盤からもたらされる岩屑が同質でしか

も均質な火山ガラスからなる可能性はきわめて低く、岩屑としてもたらされたものの性質が層準による特徴を持ち、それが対比される可能性は確率的にないと考えられる。いいかえれば有色鉱物組成、火山ガラスの形態、屈折率、斜方輝石および角閃石の屈折率が離れた場所で一致する Event horizon は一次的な火山噴火活動の産物である同一のテフラを起源とする粒子を含んでいる可能性が高いと考えるのが最も合理的である。

Aso-4 噴出以降の阿蘇火山のテフラは一部に黒雲母を含むものもあるもののほぼ両輝石質のテフラである。これらの性質は、Event horizon1, 2, 5a を阿蘇火山起源と考えた場合、共通してみられる屈折率のまとまった角閃石の産出を説明するのに不合理である。一方、九重火山のテフラは角閃石を多く含む。したがって、角閃石の屈折率がまとまる特徴を示すか、あるいは上下に比し明らかに角閃石の含有率が増加する各 Event はいずれも九重火山起源のテフラと考えるのが合理的である。これ以外の Event については、阿蘇火山起源の可能性もある。なお、由布岳周辺の火山で分布主軸が西側に存在するテフラが噴出されていた場合には、本 Event は由布岳ないしはこれに近接する火山起源のテフラである可能性も考えられる。

4) point A にのみ識別できる Event horizon3, 6, 7, 8, 10

point A にのみ識別できる Event horizon は由布岳火山あるいはこれに近接した火山起源の可能性もある。可能性があ

るとしたのは各 Event horizon が周辺の基盤起源の岩屑であるとも考えられるからである。そこで、これら point A でしか識別できない Event horizon についてさらに詳細に岩石記載的性質を検討し、その起源について議論する。

Event horizon3 Event horizon3 は Fig.9 に示すようにカンラン石の含有量が下位の層準に比しやや多くなる。一方、Fig.11 にみられるように基盤である水口山溶岩（星住ほか、1988; 略称 Mz）にはカンラン石を供給させる要因がみられる。point A に分布する火山岩（Mz）とされた地層は弱溶結した凝灰岩であり、石基には無色のガラスが含まれている。これらに含まれる火山ガラスの屈折率は 1.500–1.502 と Event horizon3 の 1.499–1.501 とはやや異なる。また、同層には多量の酸化角閃石が含まれるが、Event horizon3 には酸化角閃石が上下層準に比し明確に増加する傾向は見られない。

したがって、本 Event は基盤 Mz の岩屑起源とは考え難く、由布岳火山あるいはこれに隣接した寄生火山の一次的な活動の産物である可能性がある。

Event horizon6 Event horizon6 には下位の層準にほとんど含まれない多くの OTH タイプ火山ガラスが含まれ、火山噴火起源の Event である可能性が高い。基盤を含めた周辺の山々は、角閃石に比し斜方輝石の含有量がいずれも少なく、Event horizon6 で特徴的に斜方輝石の含有率が増加する特徴を説明できない。O および OTH タイプガラスの屈折率も

Fig.11. Geologic Map of volcanos around points A and Y, modified from Hoshizumi et al. (1988). f = fan deposit; Y1 = Yufudake Lateral and Summit Lava; Y0 = Yufudake products of main volcanic edifice; Mz = Mizukuchiyama Lava; Mp = Kijima Pyroclastic Flow Deposit; Hi = Ishibu Lava; Hy = Yufukogen Andesite; Sk = Kuramayama Andesite; Bc = Karutoyama Andesite. Opx: Orthopyroxene; Cpx: Clinopyroxene; Ho: Green, brown, greenish brown hornblende; BaHo: Oxyhornblende; Bi: Biotite; Ol: Olivine.

Event horizon6 が 1.499–1.503 であるのに対し、周辺の弱溶結凝灰岩のそれは 1.500–1.502 とやや異なる。また、Event horizon6 に多量に含まれる斜方輝石の屈折率は 1.669–1.703 であり、Mz の 1.704–1.708 とは全く異なる。

このため、point A 周辺の基盤を形成する火山性の地層が Event horizon6 の給源とは考え難い。低い屈折率の斜方輝石を含む特徴は、阿蘇起源のテフラに特徴的に見られるが、Aso-4 と Kj-P1 とに挟まれたテフラで、火山ガラスの屈折率が Event horizon6 のそれと一致するものは見あたらない。

阿蘇火山と調査地点との距離、Event horizon6 に相当するテフラが阿蘇カルデラ北にわずかも視認できない現状からみて、この Event horizon は由布岳あるいは近接する寄生火山の一次的な活動の産物である可能性が高い。この Event horizon の特徴は 1.699–1.703 と屈折率の低い斜方輝石を多量に含むことにある。現在のところ由布岳火山を含めた火山山体の詳細な班晶の屈折率測定は行われていないが、これらが明らかになればいずれの活動の産物かを火山ガラスの屈折率および斜方輝石の屈折率から明らかにすることが可能である。

Event horizon7 本 Event は肉眼で識別できる由布岳南礫質テフラである。粒径が数 cm に達する火山礫を含むことから、本 Event も由布岳あるいは近接する寄生火山の一次的な活動の産物である可能性が高い。なお、本 Event は Event horizon6 と岩石記載が類似していることから Event horizon6 に引き続き火山活動の産物と考えられる。このことは、Event horizon6 が由布岳火山に近接する火山起源である可能性を示唆する。

Event horizon8 本 Event horizon には Event horizon6,7 と類似した屈折率の LPul タイプの火山ガラスが含まれる。基盤を含めた周辺の山々の岩屑に発泡した火山ガラスが含まれているとは考え難い。本 Event horizon の岩石記載的特徴は Event horizon7 とほぼ類似しており、含まれる礫もこれと類似した特徴を示すことから、Event8 は Event7 に引き続き火山活動の産物と考えられる。したがって、Event8 は由布岳あるいは近接する寄生火山の一次的な活動の産物である可能性が高い。なお、Event horizon6 から Event horizon8 へと斜方輝石および単斜輝石の含有量が減少することから、これら一連と考えられる火山活動は次第に角閃石の晶出が増加する傾向にある可能性が指摘される。

Event horizon10 本 Event horizon は酸化角閃石の急激な増加で特徴付けられる。火山ガラスは LPul タイプや、O タイプのものを多く含む。火山ガラスの屈折率は 1.502–1.506 を主体とし、基盤のそれは 1.500–1.502 と明瞭に異なることから、低発泡で屈折率 1.502–1.506 の火山ガラスおよび酸化角閃石で特徴付けられる一次テフラがこの horizon に含まれていると考えられる。本 Event horizon = テフラは由布岳に近接する point A で確認でき、偏西風の風上である point Y では確認できない。また、由布岳山頂溶岩の崩壊に伴う火砕流堆積物には多量の酸化角閃石が含まれている（梅田ほか、1996）ことから、本 Event horizon もまた由布岳あるいは近接する寄生火山の一次的な活動の産物であ

る可能性がある。

5) point A で明瞭に識別でき、point Y では混在程度にしか識別できない Event horizon12

point A で明瞭に識別でき、point Y では混在程度にしか識別できない Event12 についてその給源を議論する。

Event horizon12 Event horizon11 と Event horizon12 との境界で有色鉱物組成は大きく変化する。Event horizon11 から 12 へと急激に両輝石が減少し、角閃石、とりわけ酸化角閃石の増加が際立つ。同 Event horizon に含まれる LPul、O タイプの火山ガラスの屈折率は 1.501–1.505 であり、基盤のそれは 1.500–1.502 であり異なっている。

酸化角閃石は由布岳火山の山頂溶岩噴出にともなう池代火砕流堆積物（星住ほか、1988）などにも多量に含まれている（梅田ほか、1996）。山頂溶岩の活動は K-Ah より新しいが（小林、1984；梅田ほか、1996；藤沢ほか、2001）、酸化角閃石を多く含む岩質（梅田ほか、1996）の火山活動が K-Ah 降灰以前の Event horizon12 にも存在したと考えられる。

6) point Y にのみ識別できる Event horizon5b,5c

point Y にのみ識別できる Event は、その給源が point A より Y に近接していることを示唆する。地理的および角閃石を多く含む岩石記載的要因からすれば、一般的に風上であることが多い九重火山が給源である可能性が最も高い。Event horizon5b, 5c 付近には九重火山起源の Kj-P1 や白丹火砕流などのテフラが挟まれているが、両テフラとも、1.500 付近の屈折率の火山ガラスを主体とし、緑色普通角閃石を多く含む特徴を有する。これらの記載的特徴は、Event horizon5b, c と一致する。したがって、両 Event は九重火山起源である可能性が高いと考えられる。

以上、Event horizon 9 および Event horizon11 以外は、対比の対象となる既知のテフラが報告されていないことから、現況では対比が困難である。あるいは、本研究により識別されたテフラ層序を手がかりに、今後給源火山周辺において新たなテフラが識別されることも期待される。

2. 由布岳火山の活動

RIPL 法により識別された由布岳火山ないしは近接する寄生火山起源と考えられる Event horizon = テフラと広域テフラとの層序関係から、由布岳火山ないしはこれに近接する火山の活動履歴を整理する。なお、各 Event の活動開始期は、Event horizon の基底の堆積年代と考え、その年代を、各 Event の保存がより良い point A において、広域テフラの年代値と各広域テフラにはさまれたテフリックレスの堆積速度を一定と仮定し算出した。各 Event の開始期をまとめて Table 2 に示す。広域テフラ Aso-4 の年代を大場（1991）から 90ka、AT を町田・新井（2003）から 29ka、K-Ah を福沢（1995）から 5330BC として算出した。

同火山の活動は、Aso-4 降灰以降すくなくとも 2 回の九重火山と推測される Event horizon1 および 2 で示される噴火以降の Event horizon 3 から識別できる。Aso-4 より下位の層準についてはテフリックレスの発達した地点をこれまでのところみつけないため RIPL 法による由布岳火山の開始期は特定できていないが、これらがみつければ Aso-4 降灰以

前の活動も同法により明らかになると考えられる。いずれにしても、Aso-4 降灰以降においては、Aso-4 と Kj-P1 とにはさまれ、比較的 Aso-4 に近い約 69ka の Event horizon 3 に由布岳周辺火山が活動していると考えられる。その後由布岳周辺の火山では両輝石を主体とし緑色普通角閃石を含む火山活動が約 64ka に発生した。この活動は Event horizon 6 ～ 8 に含まれ、その間には由布岳南礫質テフラの火山礫を噴出するやや規模の大きな噴火が発生した。これに続く Event

horizon8 で示される活動は由布岳南礫質テフラと岩質が類似することからそれに引き続く由布岳南礫質テフラより小規模噴火の産物である可能性がある。AT の降灰期より少し前の約 47ka には、Event horizon10 として識別できる酸化角閃石をより多く含む火山活動が発生したと考えられる。この活動では火山ガラスの屈折率が下位の由布岳火山起源と考えられる Event horizon6 ～ 8 のそれより高いことから、前の活動に比べやや塩基性のマグマの噴出があったと考えられる。AT 降灰後には単斜輝石、カンラン石を相対的に多量に含む鬼箕山火山の活動が約 21ka に発生し、その一部が Event horizon 11 形成期に混在した。その後 K-Ah 降灰期直前には由布岳山頂溶岩と岩質の類似したテフラを噴出する火山活動が発生し、現在の由布岳火山の原型が形成されるに至ったと考えられる。

ま と め

由布岳火山周辺の 2 ヶ所のテフリックレスから RIPL 法を用いて周辺火山の活動履歴の識別を試みた。RIPL 法とは、地層中に含まれる火山起源とおぼしき火山ガラス、斜方輝石および角閃石などの屈折率を数 cm 間隔で連続的に採取した試料全てにおいて測定する Refractive Index Physical lobar Method である。同手法を用い、主軸からはずれた地域にわずかに降灰した細粒テフラおよび給源から離れ極わずかしかな降灰しなかったテフラなどの肉眼では識別できないテフラの識別を試みた。対象としたテフリックレスは、いずれも Aso4 と K-Ah にはさまれている。RIPL 法により火山ガラス、鉱物の特徴から肉眼では識別できなかった 12 層準の Event horizon= テフラを新たに識別できた。また、周辺火山との位置関係および各火山の溶岩の岩石記載との関係から、各テフラの給源火山を指摘した。

①12 の Event horizon の内、Event horizon9 は、火山ガラスの屈折率、形態および斜方輝石、角閃石の屈折率などの一致から九重火山の白丹火砕流堆積物と阿蘇火山起源の ACP4 との混交層準であると考えられる。Event horizon11 はカンラン石が相対的に多量含まれ、有色鉱物における角閃石の含有量が下位の層準に比し明らかに少ないという特徴が由布岳火山山麓に分布する鬼箕山火山の記載岩石学的特徴とほぼ一致し、鬼箕山火山起源のテフラである可能性が高い。

②由布岳火山に近い point A およびこれより由布岳から離れ、しかも一般に偏西風の風上であることが多い point Y に共通して識別できる Event horizon は、由布岳火山よりより遠方に位置する九重火山ないしは阿蘇火山の活動によるテフラである可能性がある。特に緑色普通角閃石が多く含まれる Event horizon1, 2, 4, 5a は、同様に緑色角閃石を多量に含むことを特徴とする九重火山起源のテフラと考えられる。これらの Event horizon のうち Event horizon4 はガラス質テフラである。

③point A にのみ識別できる Event horizon3, 6, 7, 8, 10 は、地理的に考え由布岳火山あるいはこれに近接した火山起源である可能性がある。Event horizon7 は由布岳南礫質テフラであり、Event horizon6 と 8 はこの Event horizon と岩石記載

Table 2. History of volcanism identified at points A and Y. The ages of twelve eruptive events were calculated based on the eruption calendar ages of three widespread tephra layers (K-Ah, AT, Aso-4), with the constant depositional rates of tephric-loess among the tephra.

(m)	Event & Tephra	Calendar Age	The source of event
1.0-	K-Ah	5330 BC *1	Kikai Caldera
	Event 12	15 ka	Yufudake Volcano
	Event 11	21 ka	Oninomiyama Volcano
2.0-	AT	(26～) 29 ka *2	Aira Caldera
	Event 10	47 ka	Yufudake or around this Volcano
3.0-	Event 9	50 ka	Kuju and Aso Volcano (Shirani pyroclastic flow deposits and ACP4)
	Kj-P1	53 ka	Kuju Volcano
	Event 8	58 ka	Yufudake or around this Volcano
4.0-	Event 7	60 ka	
	Event 6	64 ka	Kuju Volcano
5.0-	Event 4&5	67 ka	Yufudake or around this Volcano
	Event 3	69 ka	Kuju Volcano
	Event 2	72 ka	Kuju Volcano
6.0-	Event 1	74 ka	
	Aso-4	(86～) 90 ka *3	Aso Caldera

*1; Fukuzawa(1995) *2; Machida and Arai(2003)

*3; Ohba(1991)

的特徴が類似していることから、Event horizon7 と一連の火山活動の産物と考えられる。

④point A で明瞭に識別でき、point Y では混在程度にしか識別できない Event horizon12 は、Event horizon11 に比し急激に両輝石が減少し、角閃石、とりわけ酸化角閃石の増加が際だつ。この特徴は由布岳火山起源の池代火砕流堆積物などに見られ、Event horizon12 は由布岳火山起源である可能性がある。

⑤point Y にのみ識別できる Event horizon5b, c は、位置関係や、岩石記載的特徴が両 Event horizon 付近に挟まれる九重起源の Kj-P1 や白丹火砕流などのテフラと一致することから九重火山起源である可能性が高い。

⑥以上のテフラの識別から、由布岳火山ないしはこれに近接する火山の活動は次のように考えられる。Aso-4 と Kj-P1 とにはさまれ、比較的 Aso-4 に近い層準 (Event horizon 3) には既に活動を開始しており、Kj-P1 よりやや古い時期に Event horizon7 で識別される火山礫の噴出を伴うやや規模の大きな噴火 Event が発生した。AT の降灰期より少し前には Event horizon10 として識別できる酸化角閃石を多く含む火山活動が発生した。AT 降灰直後には鬼箕山火山が活動し、その後 K-Ah 降灰期直前には由布岳山頂溶岩と岩質の類似した火山活動が発生し、現在の由布岳火山の原型が形成された。

以上のように、テフラの降灰主軸からはずれた地点において RIPL 法をテフリックレスに適用した場合、火山活動履歴の把握精度の向上が期待できる。RIPL 法は、今後テフロクロノロジーはもとより火山研究をさらに発展させる可能性がある。

謝 辞

本研究に際しては、岩手大学工学部建設環境工学科斎藤徳美教授に終始暖かい激励と御指導を賜った。核燃料サイクル開発機構の梅田浩司博士には研究全般について多くのご教示を賜った。群馬大学名誉教授の新井房夫博士には粗稿を読んでもいただき研究指針について有益なご助言をいただいた。Dr. Andrew James Martin には英文要旨の校閲をしていただいた。図表の作成には (有) 古澤地質調査事務所の古澤秀子氏にご助力をいただいた。同社の永井康子氏には屈折率測定にご助力をいただいた。

以上の方々に心からお礼申し上げます。

文 献

- 荒牧重雄・宇井忠英, 1966, 阿多火砕流と阿多カルデラ. 地質雑, **72**, 337-349.
 藤沢康弘・小林哲夫, 1998, 由布・鶴見火山. フィールドガイド | 日本の火山. 九州の火山, 17-32.
 藤沢康弘・上野宏共・小林哲夫, 2001, 火砕流堆積物の堆積温度からみた由布火山の 2.2ka 噴火. 火山, **46**, 187-203.
 福沢仁之, 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, **34**, 135-149.
 古澤 明, 1990, 濃尾平野南西部地下における東海層群および海部累層・弥富累層の火山灰層とその対比. 地質雑, **96**, 883-901.

- 古澤 明, 1995, 火山ガラスの屈折率測定・形態分類とその統計的な解析. 地質雑, **101**, 123-133.
 古澤 明, 2003a, 洞爺火山灰降灰以降の岩手火山のテフラの識別. 地質雑, **109**, 1-19.
 古澤 明, 2003b, 由布岳火山西南西麓に分布するユムタテフラの対比とその給源. 火山, **48**, 309-319.
 古澤 明・梅田浩司, 2000, 別府湾コアにおける最近 7000 年間の火山灰層序ービストンコア中の火山灰と阿蘇, 九重火山のテフラとの対比-. 地質雑, **106**, 31-50.
 星住英夫・小野晃司・三村弘二・野田徹郎, 1988, 別府地域の地質. 地域地質研究報告書 (5 万分の 1 地質図幅). 地質調査所, 131p.
 鎌田浩毅, 1997, 宮原地域の地質. 地域地質研究報告書 (5 万分の 1 地質図幅). 地質調査所, 127p.
 鎌田浩毅・小林哲夫, 1992, 九重火山の地質と完新世における噴火活動史. 日本地質学会第 99 年学術大会講演要旨, 415.
 鎌田浩毅・池邊浩司, 1998, 九重火山. フィールドガイド | 日本の火山. 九州の火山, 33-48.
 Kamata, K. and Kobayashi, T., 1997, The eruptive rate and history of Kuju Volcano, *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.* **76**, 163-171.
 Kamata, K. and Mimura, K., 1983, Flow direction inferred from imbrication in the Handa pyroclastic flow deposit in Japan. *Bull. Volcano.*, **46**, 277-282.
 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-火山灰希産地域での段丘編年の試み-. 第四紀研究, **36**, 263-276.
 木村純一・岩崎 誠・真鍋健一・吉永秀一郎・鈴木毅彦, 1996, テフリックレスの帯磁率変化とその要因: 古気候変化の記録としての. 第四紀, **28**, 15-24.
 小林哲夫, 1984, 由布・鶴見火山の地質と最新の噴火活動. 地質学論集, no.24, 93-108.
 小林哲夫・池辺浩司, 1985, 九重火山東部の地質 (演旨). 火山, **30**, 310.
 町田 洋, 1980, 岩戸遺跡のテフラ (火山灰). 坂田邦洋 (編) 「大分県清川村岩戸における後期旧石器文化の研究」, 広雅堂書店, 443-454.
 町田 洋・新井房夫, 1976, 広域に分布する火山灰ー始良 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ーアカホヤ火山灰. 第四紀研究, **17**, 143-163.
 町田 洋・新井房夫, 1992, 火山灰アトラス [日本列島とその周辺]: 276p, 東京大学出版会.
 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]: 336p, 東京大学出版会.
 宮縁育夫・星住英夫・高田英樹・渡辺一徳・除 勝, 2003, 阿蘇火山における過去約 9 万年間の降下軽石堆積物. 火山, **48**, 195-214.
 小野晃司, 1963, 5 万分の 1 地質図「九重」および同説明書. 地質調査所, 124p.
 小野晃司・松本征夫・宮久三千年・寺岡易司・神戸信和, 1977, 5 万分の 1 地質図「竹田」および同説明書. 地質調査所, 145p.
 小野晃司・渡辺一徳・星住英夫・高田英樹・池辺伸一郎, 1995, 阿蘇火山中岳の灰噴火とその噴出物. 火山, **40**, 133-151.
 大場忠道, 1991, 酸素同位対比層序から見た阿蘇 4 テフラおよび阿多テフラ. 月刊地球, **13**, 224-227.
 太田岳洋, 1991, 九重火山群, 東部及び中部域の形成史. 岩鉱, **86**, 243-263.
 高田英樹, 1989, 阿蘇火山中央火口丘群のテフラ概報. 熊本地学会誌, no. 98, 2-13.
 梅田浩司・草薙 恵・古澤 明・宇井忠英, 1996, 別府湾コアからみた由布・鶴見火山群における完新世の噴火活動. 火山, **41**, 61-71.
 渡辺一徳, 1992, 阿蘇火山. 日本地質学会第 99 年学術大会見学旅行案内書, 13-32.
 渡辺一徳・小野晃司・平塚勝一, 1982, 草千里ヶ浜火山の軽石噴火について. 火山, **27**, 337-338.
 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.

(要 旨)

古澤 明, 2004, RIPL 法により由布岳火山周辺のテフリックスから見いだした火山活動. 地質雑, **110**, 19–37. (Furusawa, A., 2004, The Volcanism found out in the tephric-loess sequences around Yufu Volcano, Central Kyushu, Japan by RIPL Method. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **110**, 19–37)

由布岳火山周辺のテフリックスから RIPL 法を用いて周辺火山の活動履歴の識別を試みた. RIPL 法とは, 地層中に含まれるテフラ起源とおぼしき火山ガラス, 斜方輝石および角閃石などの屈折率を数 cm 間隔で連続的に採取した試料全てにおいて測定する手法である. その結果, テフリックスは野外で識別できなかった 12 層準の Event horizon に区分され, それらをテフラとして新たに識別できた. Event horizon4 はガラス質テフラでこれまでに知られていない九重火山起源のテフラである可能性がある. Event horizon9 は, 火山ガラスの屈折率, 形態および斜方輝石, 角閃石の屈折率などの一致から九重火山の白丹火砕流堆積物と阿蘇火山起源の ACP4 との混交層準であると考えられる. Event horizon11 は鬼箕山火山起源のテフラである可能性が高い. テフラの降灰主軸からはずれた地点において RIPL 法をテフリックスに適用した場合, 火山活動履歴の把握精度の向上が期待できる.