

# 火山ガラスのhydrationとsuperhydration —日本の広域テフラについて—

山下 透\*・檀原 徹\*

Hydration and superhydration of volcanic glass  
- wide-spread tephras in Japan -

Tohru Yamashita\* and Tohru Danhara\*

## 1. はじめに

光学的等方体である火山ガラスは、結晶方向による屈折率変化がないため、主要斑晶鉱物に比較して屈折率測定がきわめて容易である。そのため、火山ガラスを多量に含む広域テフラ、たとえば始良Tn(AT)火山灰(町田・新井, 1976)をはじめとするさまざまな広域テフラの識別に火山ガラスの屈折率測定が大いに利用されてきた。しかし、黒曜石が水和(hydration)することは一般的によく知られているにもかかわらず、火山ガラスでも同様な現象がおこり、時間とともに組成・屈折率の変化が進行していくことを、日本では意外に認識されていない。

一方海外ではかなり古くからhydrationの研究が進められている。Ross and Smith (1955) はパーライト化が進行した黒曜石試料の研究から、黒曜石( $n=1.486$ )からパーライト( $n=1.500$ )へとhydrationによる屈折率の著しい上昇を指摘し

た。これをきっかけに黒曜石水和年代測定法(Friedman and Smith, 1960)へとhydrationの研究は引き継がれた。テフラ中の火山ガラスについては、Wilcox (1962, 1964)が屈折率測定法を改良しつつ、比較的若い試料で火山ガラスの屈折率が大きくばらつくことを指摘した。さらに、Roedder and Smith (1965)は古い試料で火山ガラス中の紡錘状の気泡に液体がたまるという現象を発見し、それをsuperhydrationと名付けた。Steen-McIntyre(1975)は2つの現象を未知の試料の年代推定に利用できることを示唆した。

我々はまず最初に鬼界アカホヤ(K-Ah)火山灰の火山ガラスでhydrationを確認した(図1)。そして、この現象が若いテフラに特徴的に認められ、ガラス片を破碎することによって屈折率が大きくばらつくことを指摘した(山下ほか, 1990, 1991)。一方、superhydrationは大阪層群ピンク火山灰で最初に確認した。そして、テフ

\*(株)京都フィッション・トラック Kyoto Fission-Track Co., Ltd., Kyoto 615, Japan



図1. 火山ガラスのハイドレーションの観察像 (例. 鬼界アホヤK-Ah)

ラの年代によってsuperhydrationの程度が変化することを確認した。

2つの現象は時間とともに変化していく現象である。したがって、火山ガラスの形状、屈折率とともに独立した基礎データとして重要な要素となりうると思う。以下2つの現象を説明し、テフラの識別や年代推定の応用事例を述べたい。

## 2. 現象

### 2-1. ハイドレーション (hydration)

黒曜石や火山ガラスのような天然のガラスは環境、特に $H_2O$ によって変質していることが一般的である。通常、堆積物中に存在する $H_2O$ はガラス表面から拡散し内部に進入していくと、 $H_2O$ 含有量が極端に異なる明瞭な境界層 (diffusion front) を形成する (図2)。 $H_2O$ 含有の増加に応じて屈折率もおよそ0.01上昇する。火山ガラスのように微小なサイズの場合、例えばK-Ahではnon-hydrated core ( $n=1.497$ ) を覆う厚

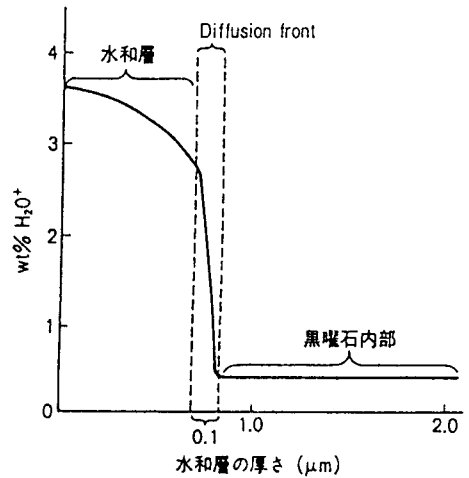
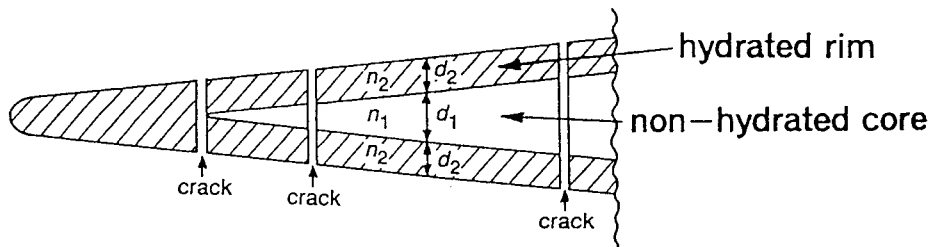


図2. 水和層の模式断面図 (Friedman & Smith, 1960)

さ  $5 \mu m$  の hydrated rim ( $n=1.511$ ) の2つの屈折率をもつサンドイッチ構造を形成する (図3)。したがって、試料を破碎すると測定原理上2つの屈折率間の見かけの屈折率を測定せざるを得ない。また、hydrated rim が非常に薄くなった非常に若い試料の屈折率は、古い試料の屈折率とは異なった部分の値であることに注意しなければならない (山下・檀原, 1994)。

Friedman and Smith (1960) は、黒曜石において hydration の厚さは年代の平方根に比例することを見出した。また、hydration の速度はガラスの化学組成、堆積時の温度、地下水の化学成分に影響されることを指摘した。Steen-McIntyre (1975) は、火山ガラスの場合、ガラス片の比表面積 (表面積/堆積)、結晶化の程度をさらに考慮すべきだと指摘した。また、 $1/8 mm \sim 1/16 mm$  サイズのガラス片では約2万年でほとんどの破片で hydration が完了すると述べている。

hydration の観察は一般の偏光顕微鏡でコントラストを強くするように調整すれば可能であ



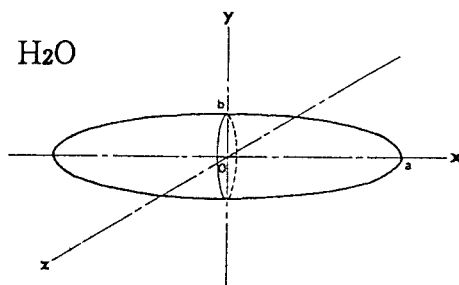
$$n_{\text{apparent}} = \frac{n_1 d_1 + 2 n_2 d_2}{d_1 + 2 d_2} \quad n_1 \leq n_{\text{apparent}} \leq n_2$$

図3. ハイドレーションによるサントイッチ構造 (断面)

る。直交ニコルにすれば、diffusion front で弱い複屈折をもつ。より明瞭に観察するには、上記の2つの屈折率値の間の屈折率をもつ液中に試料を浸し、位相差顕微鏡で観察すればよい。位相差対物レンズをダークコントラスト(DL)タイプを選ぶと、屈折率の高い周辺部分(hydrated rim)が内部(non-hydrated core)より暗いコントラストで観察される(図1)。

## 2-2. スーパーハイドレーション (super-hydration)

hydrationが完了したガラス片は、さらにhydrationが進行すると、ガラス内にある真空状態の閉じた気泡の中にH<sub>2</sub>Oを満たしていく。とくに、紡錘状の気泡には両端にH<sub>2</sub>Oが満たされていることが明瞭に観察される(図4)。Roedder and Smith (1965)はこのsuper hydrationが1万年から1千万年のテフラの年代推定に利用できることを発見し、Steen-McIntyre(1975)は各テフラで図5のような応用研究を行った。図中縦軸はガラス片の個数、横軸は気泡内に満たされたH<sub>2</sub>Oのその気泡に対する容積比である。各曲線はH<sub>2</sub>Oの容積比を0.1, 1, 5, 10, 33, 67, 100に分類し、その容積比をもつガラス片の個数を計測し、小さい容積比から累計した個数を



面積  $s = \pi a b$

表面積  $S = 4 \pi a b$

体積  $V = \frac{4}{3} \pi a b^2$

図4. スーパーハイドレーションの模式断面図

むすんでいる。曲線上の数字はテフラの年代である。我々はそれにしたがって大阪層群ピンク火山灰でsuperhydrationの計測を行った。superhydrationの観察は一般の偏光顕微鏡で十分である。ただし、倍率は200倍以上にすべきである。

## 3. 応用事例

### 3-1. テフラの年代推定

未知テフラの年代推定の概略を述べると、次

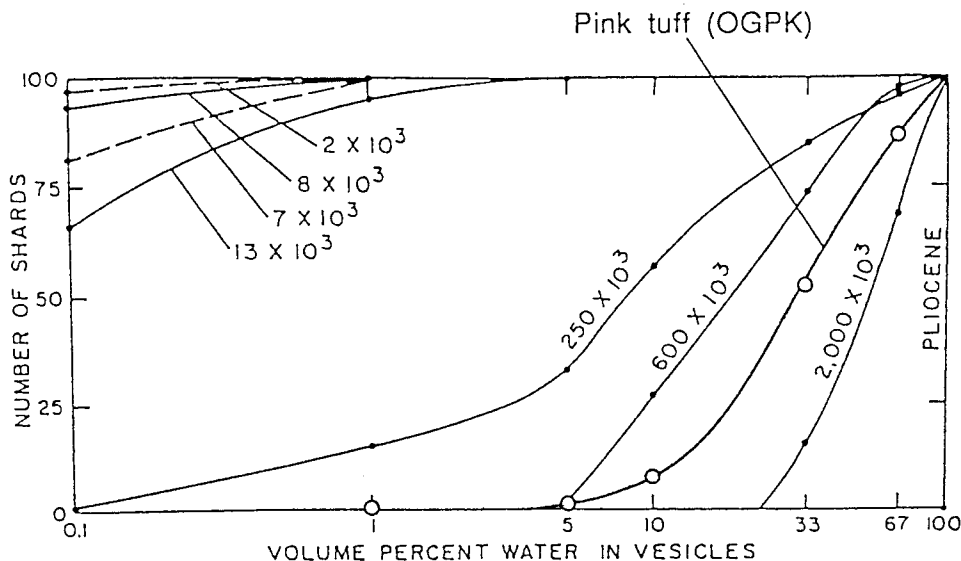


図5. 各テフラのスーパーハイドレーション曲線 (Steen-McIntyre, 1975)

表1. 年代による火山ガラスの状態(檀原ほか,1991)

現象	年代		
	現在	約2万年まで	1千万年まで
ハイドレーション	なし	進行→飽和	完全に飽和
スーパーハイドレーション	なし	なし	進行→飽和

のとおりである。2万年より若いテフラの火山ガラスはhydrationが完了せず、2つの屈折率をもつサンドイッチ構造を示す。破碎するとガラス片ごとの屈折率はばらつき、レンジが広がる。そのため屈折率を決定するための判断が難しくなる。この年代ではsuper hydrationは確認されない。一方、2万年より古いテフラはhydrationが完了し、すべてのガラス片がH<sub>2</sub>Oに数パーセント含有されたガラス片に変化する。先に述べたサンドイッチ構造は解消され、破碎してもレンジが広がることはない。super-hydrationは古くなればなるほど進行し、500万

年から1千万年で飽和する(表1参照)。詳細はSteen-McIntyre (1975)に述べられている。とくに、super hydrationを計測する方法はこれに負うところが多い。大量にしかも能率良く計測するシステムはいまだなく、そのようなシステムの開発が望まれるが、現時点でもsuper-hydrationの程度を定性的に検討するだけでおよその年代推定が可能となる。

### 3-2. テフラの識別

日本にあるひとつひとつのテフラを確実に識別するためには、いろいろなテクニックを駆使

表2. 広域テフラの全データ [町田・新井(1992)より抜粋]

テフラ名 (記号)	年代 (ka) (測定方法)	噴火・堆積 様式と順序	全テフラ量 (みかけ, km <sup>2</sup> )	本質テフラ粒の特性	
				火山ガラス, n	斑 晶
鬼界アカホヤ (K-Ah)	6.3 (C)	pfa, pfl, afa (coign.)	>170	bw, pm 1.508-1.515	opx, cpx opx 1.708-1.713
阿多 (Ata)	85(～105) (ST)	afa(pp), pfa, pfl, afa(coign.)	>300	bw, pm 1.508-1.512	opx, cpx, (ho) opx 1.704-1.708
始良 Tn (AT)	21(～25) (C)	pfa, pfl (pp), pfl, afa(coign.)	>450	bw, pm 1.498-1.501	opx, cpx, (ho; qt) opx 1.728-1.734
阿多鳥浜 (Ata-Th)	230～250 (ST)	pfa, pfl, afa (coign.)	>100	bw, pm 1.498-1.500	ho, opx, bi; qt opx 1.714-1.718 ho 1.670-1.674

火山ガラスの主成分組成									試料数	測定 装置	文献・その他
SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O			
75.0	0.53	13.0	2.5	0.07	0.5	2.0	3.6	2.8	16	WDS	Furuta <i>et al.</i> (1986)
75.2	0.47	13.3	2.1	0.1	0.5	1.9	3.8	2.7	3	WDS	Furuta <i>et al.</i> (1986)
78.4	0.13	12.2	1.2	0.04	0.14	1.1	3.3	3.4	15	WDS	Furuta <i>et al.</i> (1986)
78.5	0.15	12.3	1.0	0.09	0.1	1.1	3.4	3.3	3	EDS	分析者: 徳井由美 (九州の試料のみ)

しなければならない。屈折率測定はそのなかで比較的簡単にテフラの岩石学的な特徴を捕まえることができる。しかし、岩石学的に似たようなものは数多くある。例えば、表2のように鬼界アカホヤ(K-Ah)と阿多(Ata)、始良Tn(AT)と阿多鳥浜(Ata-Th)は火山ガラスの屈折率、主成分組成は非常に似かよっている。したがって、まったく別の次元での分類が必要になる。hydrationとsuper hydration は岩石学的に似たものを識別するための鍵を与えてくれた。K-AhとATはhydrationが完了していないので、サンドイッチ構造が観察される。

#### 4. まとめ

hydrationとsuper hydration は火山ガラスに認められる特有の現象である。この現象を正しく理解することによって、テフラの識別精度は飛躍的に向上した。さらなる定量化が今後の課題である。

#### 文 献

- 檀原 徹・山下 透, 1992, 火山ガラスの hydrationとテフラの識別. 日本文化財科学会第9回大会要旨集, 50-51.  
檀原 徹・山下 透・岩野英樹, 1991, 始良 Tn (AT)および鬼界アカホヤ(K-Ah)火山ガラスの

- 識別. 日本文化財科学会第8回大会要旨集, 51-52.
- Friedman, Irving, and Robert L. Smith, 1960, A new dating method using obsidian: Part 1, the development of the method. *American Antiquity* 25 (4), 476-522.
- 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, 339-344.
- 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.
- Roedder, Edwin and Robert L. Smith, 1965, Liquid water in pumice vesicles, a crude but useful dating method [Abstract] *Geol. Soc. Am. Special Paper* 82, Abstracts for 1964, 164.
- Ross, Clarence S., and Robert L. Smith, 1955), Water and other volatiles in volcanic glasses. *Amer. Mineralogist* 40, 1071-1089.
- Steen-McIntyre, V., 1975, Hydration and superhydration of tephra glass - A potential tool for estimating age of Holocene and Pleistocene ash beds. R.P. Sugate and M.M. Cresswell (eds) *Quaternary Studies*, 271-278, Royal Society of New Zealand, Wellington.
- Wilcox, Ray E., 1962, Cherkasov's "focal screening" for determination of refractive index by the immersion method. McGrone Associates, Chicago. Internat. Microscopy Symposium 1960, Proc. 160-165.
- Wilcox, Ray E., 1964, Immersion liquids of Relatively strong dispersion in the low refractive index range (1.46-1.52). *Am. Min.* 49, 683-688.
- 山下 透・岩野英樹・檀原 徹, 1990, 屈折率測定からみた火山ガラスの不均一性. 日本地質学会第97年大会講演要旨, 566.
- 山下 透・岩野英樹・檀原 徹, 1991, 火山ガラスのHydrationとSuperhydrationについて. 日本地質学会第98年大会講演要旨, 214.
- 山下 透・檀原 徹, 1994, 非常に若い火山ガラスの屈折率測定の問題点—薄いhydration layerの影響について. 日本地質学会第102年大会講演要旨.