

日本に分布する第四紀後期広域テフラの主元素組成 — K₂O-TiO₂図によるテフラの識別

青木かおり¹・町田 洋²

Kaori Aoki and Hiroshi Machida (2006) Major element composition of volcanic glass shards in the late Quaternary widespread tephra in Japan – Distinction of tephra using K₂O-TiO₂ diagrams. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 57(7/8), p.239 - 258, 15 figs, 8 tables.

Keywords: Quaternary, widespread tephra, volcanic glass shards, EPMA, tephra database

1. テフラ・データベースの必要性

1970年代以降, 日本では第四紀層のテフラ層序や編年学的研究が盛んに行われてきた。特に, さまざまな研究分野で重用される指標テフラについては, 分布, 年代, 層相やテフラ構成物の特性, 同定のために火山ガラスや鉱物の屈折率特性を中心にカタログとしてまとめられている(町田・新井, 1992; 2003)。その中で火山ガラスの主元素組成も記載されてきたが, やや限定的であった。給源火山から数100 km以上も遠方に分布するテフラでは, 一般に火山ガラスの割合が多くなっているため, その化学組成はテフラの対比・同定にあって特に重要なデータである。そこで本稿では日本列島周辺の海域に分布するテフラの同定を目的として, 従来のデータを補うために, これまでに測定した各テフラの火山ガラスの主元素組成を表示する。特に従来資料が少なかった北日本, 東日本の火山を給源とする後期更新世以降のテフラを主な対象とし, 北・東日本や太平洋海底に分布する中・西日本の火山起源の第四紀広域テフラも付け加えた。

日本列島周辺の深海底堆積物中のテフラ層は, 第四紀環境変遷史の研究や給源火山の活動史に, 極めて重要な情報を提供するので, 1980年代から報告されるようになった(新井ほか, 1981; Machida and Arai, 1983; Furuta *et al.*, 1986)。日本海のコアを扱った研究は中嶋ほか(1996), 白井ほか(1997)と続く。また広大な北西太平洋では, その後, 青木・新井(2000), 青木ほか(2000), 山本・青木(2002)及びAoki and Sakamoto(2003)が東・北日本の火山起源のテフラを報告している。特に北西太平洋海盆のような炭酸塩補償深度より深い海底が広いところでは, 年代決定を行うための手がかりとなる有孔虫殻が溶解しているために, テフラはコア同士の対比や堆積物の年代軸を高精度に決定する上で有効な手段である。

2. 分析するテフラ試料及び分析方法

本データベースの対象とするテフラは, 既に海域に分布することがわかっていたり, またその可能性のある, 大規模噴火の産物であるテフラ(降下テフラと火砕流堆積物)に限定し, 保存のよいものを試料とした(第1表)。各テフラの給源火山の位置は第1図に示す。なお本稿で用いたテフラ名及び噴出年代については町田・新井(2003)に従った。

主元素分析には北海道大学及び(独)産業技術総合研究所のEPMA(JEOL社製 JXA-8900)を使用して, 波長分散法(WDS)で125~250 μmの火山ガラスの主元素分析を行った(第2表, 第3表, 第4表, 第5表)。分析条件は電子ビーム径10 μm, 加速電圧15 kV, 電流値10 nAとした。FeO*は全てFeOとして算出されている。測定値は, 水を除いて100 wt.%になるように再計算をしたもので, テフラ試料につき4~90点のガラスを測定した平均値である。下段には再計算後の標準偏差を示した。Total**は水を除く前の主元素組成値の合計である。また, EPMA分析で火山ガラスの分析を行う上で, Froggatt(1992)はワーキングスタンダードを導入することを推奨している。これは, 分析装置の安定性をモニターすること, 分析値の再現性をチェックすること, 更に他研究機関の分析値と比較する方法として有効である。ただ, Froggatt(1992)で推奨しているKN-18(ケニア山黒曜石)や, VG-99(ハワイ産玄武岩ガラス)をワーキングスタンダードとして利用しているテフラ研究者は日本ではほとんどいないようである。また, 長橋ほか(2003)ではデイサイトや流紋岩のように比較的広い組成範囲において分析値の正確度を吟味したり, 他の研究機関との比較を厳密に行うためには更に多くのワーキングスタンダードを用いることが必要としている。本報告では, 毎回の分析の開始と終了時に始良Tnテフラ(AT)を分析し

¹地質情報研究部門(現 University of Toronto, Department of Geology)(Institute of Geology and Geoinformation, GSJ. (22 Russell Street, Toronto, ON Canada M5S 3B1))。

²東京都立大学 名誉教授(Tokyo Metropolitan University, 1-1 Minami-osawa, Hachioji, Tokyo, 192-0397 Japan)。

第1表 本研究で対象とした指標テフラのリスト.

Table 1 List of marker-tephra layers.

(1) Marker-tephra name	(2) abbreviation	(3) Age		#	(4) Volcano Name	(5) Locality	(6) collected by	(7) M#	(8) Sample ID
		Age	Method						
Tarumai a	Ta-a	AD1739	H	5	Tarumai	Kitami, Hokkaido	Aoki		1
Komagatake c ₂	Ko-c ₂	AD1694	H	11	Komagatake	Kitami, Hokkaido	Aoki		2
Mashu b	Ma-b	< 10th cent	ST	1	Mashu	Raiun, Hokkaido	Aoki		3
Mashu f pfl	Ma-f	7.3-8 ka	C	1	Mashu	Raiun, Hokkaido	Machida	MJA0466	4
Nigorikawa pfl	Ng	15 ka	C	10	Nigorikawa	Ishikura, Hokkaido	Machida	MJA0413	5
White Castella	WT	12-23 ka	C	1	Mashu/ Atosanupuri	Koshikawa, Hokkaido	Aoki		6
Atosanupuri pfl	A pfl	23-26 ka	C	1	Atosanupuri	Koshikawa, Hokkaido	Aoki		7
Eniwa a	En-a	19-21 ka	C	6	Eniwa	Chitose, Hokkaido	Machida	809-2⑧	8
Yanbetsu Pumice	YmP	< 36-40 ka	ST	1	Atosanupuri	Raiun, Hokkaido	Aoki		9
Daisetsu-Ohachidaira pfa	D-Oh	> 30 ka	C	4	Ohachidaira	Shirataki, Hokkaido	Aoki		10
Daisetsu-Ohachidaira pfa	D-Oh			4	Ohachidaira	Yubetsu, Hokkaido	Aoki		11
Kussyaro-Syoro	Kc-Sr	35-40 ka	C	2	Kussharo	Syoro, Hokkaido	Machida	84.8-13①	12
Shikotsu-daiichi Ignimbrite	Spfl	40-45 ka	C, OI	7	Shikotsu	Tomakomai, Hokkaido	Machida	80.9-5	13
Shikotst-daiichi Pumice	Spfa-1			7	Shikotsu	Kamisarabetsu, Hokkaido	Machida		14
Shikotst-daiichi Pumice	Spfa-1			7	Shikotsu	Shirataki, Hokkaido	Aoki		15
Kuttara 1	Kt-1	> 43 ka	C	8	Kuttara	Hayakita, Hokkaido	Machida	MJA0420	16
Kuttara 2	Kt-2	-		8	Kuttara	Toya, Hokkaido	Machida	MJA0424	17
Kuttara 3	Kt-3	> 42-51 ka	C	8	Kuttara	Noboribetsu, Hokkaido	Yamagata		18
Kuttara 4	Kt-4	-		8	Kuttara	Noboribetsu, Hokkaido	Yamagata		19
Kuttara 5	Kt-5	-		8	Kuttara	Noboribetsu, Hokkaido	Yamagata		20
Kuttara 6	Kt-6	75-85 ka	ST	8	Kuttara	Noboribetsu, Hokkaido	Yamagata		21
Kuttara 7	Kt-7	-		8	Kuttara	Noboribetsu, Hokkaido	Yamagata		22
Kuttara 8	Kt-8	-		8	Kuttara	Noboribetsu, Hokkaido	Yamagata		23
Kutcharo 2/3 pfl	Kc-2/3	85-90 ka	ST	2	Kutcharo	Higashi Kayano, Hokkaido	Machida	MJA0478	24
Toya	Toya	112-115 ka	FT, TL, ST	9	Toya	Hachinohe, Aomori	Machida	MJA0390	25
Toya	Toya			9	Toya	Oga, Akita	Machida	MJA0394	26
Kutcharo-Haboro	Kc-Hb	115-120 ka	FT,ST	2	Kutcharo	Nakashari, Hokkaido	Machida	MJA0501	27
Kutcharo 5 pfl	Kc-5	MIS6-5b	ST	2	Kutcharo	Higashi Mogoto, Hokkaido	Okumura		28
Kutcharo 6 pfl	Kc-6	-		2	Kutcharo	Higashi Mogoto, Hokkaido	Okumura		29
Kutcharo 7 pfl	Kc-7	-		2	Kutcharo	Higashi Mogoto, Hokkaido	Okumura		30
Kutcharo 8 pfl	Kc-8	-		2	Kutcharo	Higashi Mogoto, Hokkaido	Okumura		31
Akan Upper pfl	AUP	MIS6	ST	3	Akan	Higashi Mogoto, Hokkaido	Okumura		32
Akan Welded Tuff	AWT	MIS6	ST	3	Akan	Higashi Mogoto, Hokkaido	Okumura		33
Akan Lower pfl	ALP	-		3	Akan	Higashi Mogoto, Hokkaido	Okumura		34
Towada - a	To-a	AD915	H	13	Towada	Ogawara Lake, Aomori	Machida		35
Towada - a	To-a			13	Towada	Tagaiyo, Miyagi	Machida	MJA0344	36
Towada - a	To-a			13	Towada	Gassan, Yamagata	Kariya		37
Towada-Chuseri	To-Cu	6 ka	C, ST	13	Towada	Ninokura Dam, Aomori	Machida		38
Towada-Chuseri (Chuseri Pumice)	To-Cu (Cu)			13	Towada	Kanegasawa, Aomori	Kariya		39
Towada-Chuseri (Kanegasawa Pumice)	To-Cu (Kn)			13	Towada	Kanegasawa, Aomori	Kariya		40
Towada-Chuseri (Utarube ash)	To-Cu (Ut)			13	Towada	Kanegasawa, Aomori	Kariya		41
Towada - Nambu	To-Nb	8.6 ka	C	13	Towada	Ninokura Dam, Aomori	Machida	807-8'-4	42
Hachinohe Pumice (middle)	To-H	15 ka	C, OI	13	Towada	Hosono, Aomori	Machida	740711-4-①	43
Hachinohe Pumice (lower)	To-H			13	Towada	Hosono, Aomori	Machida	740711-4	44
Towada-Hachinohe (Hachinohe pfl top)	To-H			13	Towada	Hachinohe, Aomori	Machida	740710	45
Towada-Hachinohe (Hachinohe pfl top)	To-H			13	Towada	Takko, Aomori	Machida	807-3-2	46
Towada-Hachinohe (Hachinohe pfl upper)	To-H			13	Towada	Yokosawa, Aomori	Aoki		47
Towada-Hachinohe (Hachinohe pfl lower)	To-H			13	Towada	Yokosawa, Aomori	Aoki		48
Towada-Oofudo (Biscuit 1)	To-Of (BP1)	< 32 ka	C, OI	13	Towada	Ninokura Dam, Aomori	Machida		49
Towada-Oofudo	To-Of			13	Towada	Ninokura Dam, Aomori	Machida		50
Towada - Goudo	To-GP	-		13	Towada	Tengutai, Aomori	Machida		51
Iwate-Yukiura	Iw-Y	35-50 ka	C, ST	15	Iwate	Kouma, Iwate	Aoki		52
Narugo-Yanagisawa	Nr-Y(afa)	41-63 ka	TL, FT	17	Narugo	Iwadeyama, Miyagi	Aoki		53
Narugo-Yanagisawa	Nr-Y(pfl)			17	Narugo	Iwadeyama, Miyagi	Aoki		54
Yakeishi-Yamagata	Yk-Y	41-60 ka	ST	16	Yakeishi	Atago, Isawa, Iwate	Aoki		55
Yakeishi-Yamagata	Yk-Y			16	Yakeishi	Arayashiki, Iwate	Aoki		56
Yakeishi-Murasakino	Yk-MP	41-60 ka	ST	16	Yakeishi	Ashizawa, Yamagata	Aoki		57
Narugo-Nisaka	Nr-N(afa)	90 ka	ST	17	Narugo	Iwadeyama, Miyagi	Aoki		58
Narugo-Nisaka	Nr-N(pfl)			17	Narugo	Iwadeyama, Miyagi	Aoki		59
Shimoyamasato pfl	Smy	200-300 ka	FT, TL, ESR	17	Narugo	Iwadeyama, Miyagi	Aoki		60
Onikohbe Ikezuki pfl	O-ik	240-270 ka	FT, ST	18	Onikohbe	Mozume, Miyagi	Soda		61
Tn-A (Sekine pfl)	Tn-A	MIS8	ST	12	Osoreyama	Ohata, Aomori	Aoki		62
Tn-C (Syotsu pfl)	Tn-C	MIS8	ST	12	Osoreyama	Ohata, Aomori	Aoki		63
Tn-C (pfa)	Tn-C			12	Osoreyama	Toei, Aomori	Aoki		64
Oga pumice tuff	Oga pmt	420 ka; MIS12	AA, ST	14	Toga	Anden, Akita	Machida	MJB0424	65
Akagi-Kanuma	Ag-KP	> 45 ka	C, ST	20	Akagi	Kanuma, Tochigi	Machida	961009-2	66
Hakone-Tokyo	Hk-TP(pfl)	60-65 ka	ST	21	Hakone	Hiratsuka, Kanagawa	Machida	MJA0244	67
Hakone-Tokyo	Hk-TP(pfa)			21	Hakone	Hiratsuka, Kanagawa	Machida	MJA0246	68
Tateyama E	Tt-E	60-75 ka	ST	22	Tateyama	Murodo, Toyama	Aoki		69
Ontake-Daiichi Pumice	On-Pm1	100 ka	FT, ST	23	Ontake	Oyama, Shizuoka	Machida	MJA0290	70
Numasawa-Tagashira	Nm-Tg	110-180 ka	FT	19	Numasawa	Tsukahara, Fukushima	Suzuki		71

第1表 つづき.

Table 1 Continued.

(1) Marker-tephra name	(2) abbreviation	(3) Age			(4) Volcano		(5) Locality	(6) collected by	(7) M#	(8) Sample ID
		Age	Method	#	Name					
Baegdusan-Tomakomai	B-Tm	AD 10th cent.	ST, V, H	31	Baegdusan	Tomakomai, Hokkaido	Machida	809-6	72	
Kikai-Akahoya	K-Ah	7.3 ka	C, V	30	Kikai	Kirishima, Kagoshima	Aoki		73	
Aira-Tanzawa	AT	26-29 ka	C	28	Aira	Tateyama, Toyama	Ito		74	
Aso-4	Aso-4	85-90 ka	KA, OI	26	Aso	Uenohara, Yamanashi	Aoki		75	
Aso-4	Aso-4			26	Aso	Onnenai, Hokkaido	Aoki		76	
Kikai-Tozurahara	K-Tz	95 ka	ST, FT	30	Kikai	Tozurahra, Kanagawa	Machida	MJA0278	77	
Ata pfl	Ata	105-110 ka	ST, FT, KA	29	Ata	Toma, Kumamoto	Machida		78	
Ata pfl	Ata			29	Ata	Haruyamabaru, Kagoshima	Aoki		79	
Sambe Kisuki	SK	110-115 ka	ST	24	Sambe	Kodamata, Tottori	Machida	02,4-4	80	
Sambe Kisuki	SK			24	Sambe	Kisuki, Shimane	Machida	MJA0173	81	
Sambe Kisuki	SK			24	Sambe	Shinryo, Yamagata	Aoki		82	
Aso-3'	Aso-3'	100-110 ka	ST	26	Aso	Takano, Nagano	Machida	MJA0213	83	
Ata-Torihama	Ata-Th	240 ka	FT, OI	29	Ata	Onejime, Kagoshima	Suzuki		84	
Aso-1	Aso-1	260-270 ka	KA, OI	26	Aso	Anden, Akita	Machida	MJB0417	85	
Kakuto	Kkt	330-340 ka	KA, ST	27	Kakuto	Niu, Oita	Machida	MJB0027	86	
Yabu 1	Yb-1	MIS9	ST	22	Hida Mountains	Kisarazu, Chiba	Aoki		87	
Takayama-Ng1	Tky-Ng1	290-300 ka	ST	22	Hida Mountains	Negoya, Shizuoka	Machida	912-7	88	
TE-5	TE-5	350 ka; MIS11-10		22	Hida Mountains	Kisarazu, Chiba	Aoki		89	
TE-5	TE-5			22	Hida Mountains	Kamosawa, Kanagawa	Machida	MJB0320	90	
Ks-5	Ks-5	MIS12	ST	-	unknown	Nagatsuka, Chiba	Machida	No.655	91	
Kobayashi-Kasamori	Kb-Ks(Ks-11)	520-530 ka	ST, OI, FT	27	Kobayashi/ Kakuto	Mobara, Chiba	Machida	No.674	92	
Shishimuta-Pink	Ss-Pk(07)	1.0 Ma	KA, PM	25	Shishimuta	Misaki, Chiba	Aoki		93	

(1)及び(2) 指標テフラの名称とその略記号. 町田・新井 (2003)に基づく. WT (No.6) の名称は隅田 (1988) による. Aso-3' (No.83)は長橋ほか(2005)に基づき町田ほか(2006)で記載され, Chun *et al.* (2004)らが報告したAso-3 (ca.133 ka) とは別のテフラとされる. (3) テフラの噴出年代と測定法; H: 文献史学, ST: 層序学, C: 放射性炭素法, OI: 酸素同位体比編年, FT: フィッション・トラック法, TL: 熱ルミネッセンス法, ESR: 電子スピン共鳴法, AA: ^{40}Ar - ^{39}Ar 法, V: 年縞編年法, KA: ^{40}K - ^{40}Ar 法, PM: 古地磁気層序. *: WT (No.6) 及びA pfl (No.7) の年代は曾根 (1988) 及び曾根ほか (1991) に基づく. (4) 給源火山. #: 位置は第1図に示す. (5) 試料の採取地点. (6) 採取者. (7) M#: 相模原市立博物館に収蔵されている試料の番号 (相模原市立博物館, 2003). (8) 本論で使用する試料番号.

(1),(2) Marker-tephra and their abbreviations are after Machida and Arai (2003). The name and abbreviation of WT(No.6) were described by Sumita (1988). Aso-3' is described by Nagahashi *et al.*(2005) and Machida *et al.*(2006), and distinguished from Aso-3 (ca.133 ka) reported by Chun *et al.*(2004) (3) H: Historical archives, ST: Stratigraphy, C: Carbon 14 dating, OI: Oxygen isotope stratigraphy, FT: Fission track dating, TL: Thermoluminescence dating, ESR: Electron spin resonance dating, AA: ^{40}Ar - ^{39}Ar dating, V: Varve chronology, KA: ^{40}K - ^{40}Ar dating, PM: Paleomagnetic stratigraphy. *: Eruptive ages of WT(No.6) and A pfl(No.7) were reported by Sone (1988) and Sone (1991). (4) Source volcanoes. (5) Locality. (6) Collector. (7) M# corresponds to sample ID of tephra archives in the Sagami-hara City Museum (Sagami-hara City Museum, 2003). (8) Sample ID used in this paper.

て, これをワーキングスタンダードとし, その一部を第6表にまとめた. 長橋ほか (2003) によると, これまでに公開されているATのEPMAによる分析値はおおむね以下のような範囲をとる. SiO_2 が77.4~79.0 wt.%, TiO_2 が0.09~0.15 wt.%, Al_2O_3 が11.9~12.5 wt.%, FeO^* が1.14~1.28 wt.%, MnO が0.03~0.05 wt.%, MgO が0.11~0.15 wt.%, CaO が0.98~1.14 wt.%, Na_2O が3.0~3.6 wt.%, K_2O が3.1~3.6 wt.%である. 第6表に示したワーキングスタンダードとして分析したATの分析値は, 北海道大学と産業技術総合研究所両方のものが, 長橋ほか (2003) でコンパイルされたAT分析値の誤差範囲にほぼ収まっている.

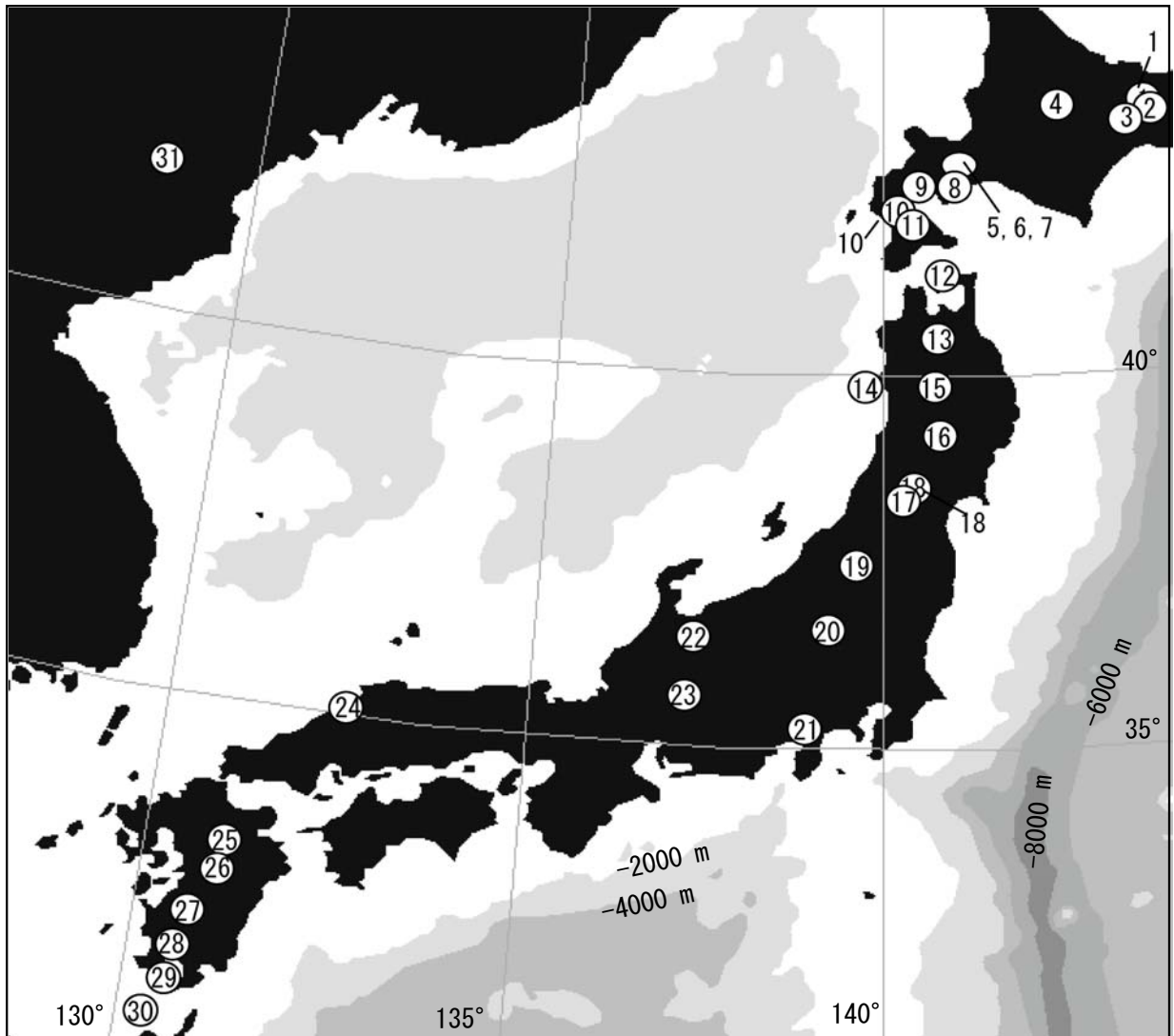
3. 模式地のテフラの火山ガラスの主元素組成

分析結果は, 各テフラの主元素組成の平均値と標準偏差をまとめて第2表-第5表に示す. またそれらから K_2O - TiO_2 図を作成した(第2a図-第2m図). 第2a図には第2b図-第2m図を総合して示した.

3.1 北海道地方の火山起源のテフラ(No.1~No.34; 第1表)

北海道地方には, 東北日本弧から千島列島につながる火山フロントに沿って活動度の高い第四紀火山が数多く存在する. 本地域におけるテフラの中で, 最終間氷期以降にテフラを広域に飛散させているか, もしくは大規模な火砕流堆積物を発生させる活動があった火山は, 樽前山, 駒ヶ岳, 濁川カルデラ, 恵庭山, 摩周カルデラ, アトサヌプリ火山, 御鉢平カルデラ, 支笏カルデラ, クッタラカルデラ, 洞爺カルデラ, 銭亀火山, 屈斜路カルデラの12火山である. この中で, 銭亀火山起源の銭亀女那川テフラについては, 模式地における試料の風化が著しいため主元素分析に適した火山ガラス試料を得ることができなかった. 第1図では銭亀火山を除いた11火山(No.1~No.11)の位置を示した.

また, 先最終間氷期の屈斜路カルデラと阿寒カルデラ起源の複数の大規模火砕流堆積物についても, 同時に発生した火山灰は北海道東方沖もしくはオホーツク海に降下した可能性があるため, 分析対象とした. 第



第1図 分析したテフラの給源火山.

1: 摩周カルデラ・アトサヌプリ火山, 2: 屈斜路カルデラ, 3: 阿寒カルデラ, 4: 御鉢平カルデラ, 5: 樽前山, 6: 恵庭山, 7: 支笏カルデラ, 8: クッタラカルデラ, 9: 洞爺カルデラ, 10: 濁川カルデラ, 11: 駒ヶ岳, 12: 恐山, 13: 十和田カルデラ, 14: 戸賀湾, 15: 岩手山, 16: 焼石岳, 17: 鳴子カルデラ, 18: 鬼首カルデラ, 19: 沼沢カルデラ, 20: 赤城山, 21: 箱根カルデラ, 22: 立山/飛騨山脈, 23: 木曾御嶽, 24: 三瓶山, 25: 猪牟田カルデラ, 26: 阿蘇カルデラ, 27: 加久藤カルデラ, 28: 始良カルデラ, 29: 阿多カルデラ, 30: 鬼界カルデラ, 31: 白頭山

Fig. 1 Location of source volcanoes which provided widespread tephra reported in this study.

1: Mashu C. and Mt. Atosanupuri, 2: Kutcharo C., 3: Akan C., 4: Daisetsu-Ohachidaira, 5: Mt. Tarumai, 6: Mt. Eniwa, 7: Shikotsu C., 8: Kuttara C., 9: Toya C., 10: Nigorikawa C., 11: Mt. Komagatake, 12: Mt. Osore., 13: Towada C., 14: Toga bay., 15: Mt. Iwate, 16: Mt. Yakeishi, 17: Narugo C., 18: Onikobe C., 19: Numasawa C., 20: Mt. Akagi, 21: Hakone C., 22: Mt. Tateyama, 23: Mt. Ontake, 24: Mt. Sambe, 25: Shishimuta C., 26: Aso C., 27: Kakuto C., 28: Aira C., 29: Ata C., 30: Kikai C., 31: Mt. Baegdusan (C, caldera; Mt, mountain)

1表におけるNo.1~No.34が分析したテフラ試料で,その主元素組成の平均値と標準偏差を第2表にまとめた.第2a図上の塗りつぶした部分が北海道の火山起源のテフラの分析結果で,個別のデータは第2b図,第2c図,第2d図,第2e図にそれぞれ示してある.また,大雪御鉢平テフラ (No.10, No.11; 第1表) については,その主元素組成の特徴が良く似ている日本海沿岸の火山のテフラと一緒に第2m図に示した(第2a図の斜線部分).

3.2 東北地方の火山起源のテフラ (No.35~No.65; 第1表)

東北地方には爆発的な噴火を繰り返した第四紀火山が多く存在しているため,従来から最終間氷期以降のテフラについて詳細に研究されてきた.十和田カルデラ,岩手山,焼石岳,鳴子カルデラは爆発的な噴火を繰り返し,東北地方に広くテフラを飛散させている.なお本データベースでは,可能な限り火砕流堆積物と

降下軽石を分けてある。

また、先最終間氷期には恐山、八甲田カルデラ、戸賀湾及び鬼首カルデラは複数の大規模な火砕流堆積物を噴出した。これらの火砕流堆積物と同時の降下テフラは、今後、陸域のみならず北西太平洋及び日本海海底堆積物中から発見される可能性があるため、分析対象とした。ただし、この中で八甲田カルデラ起源の火砕流堆積物からは主元素分析に適した火山ガラスを得ることができなかった。

給源火山は、第1図のNo.12～No.18の7火山である。分析したNo.35～No.65(第1表)のテフラのうち、十和田カルデラ起源であるNo.35～No.51の分析結果を第3a表に、その他の火山起源のテフラであるNo.52～No.65の分析結果を第3b表にまとめて示した。第2a図上の白色の部分がこれらの分析結果で、個別のデータは第2f図、第2g図、第2h図、第2i図に示す。また、男鹿パミスタフ(No.65;第1表)については、第2m図に示した(第2a図の斜線部分)。

3.3 関東及び中部地方の火山起源のテフラ(No.66～No.71;第1表)

関東地方では赤城山及び箱根カルデラ起源のテフラ、更に沼沢カルデラ(No.19;第1図)起源とされる沼沢田頭テフラ(No.71;第1表、鈴木、1993;1999)を対象とした。沼沢田頭テフラの分布は、北関東に及んでおり(鈴木、1993)、ガラスの主元素組成もアルカリに富み($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$; 7.64 wt.%)、苦鉄質成分に乏しいという特徴が、東北地方の多くのテフラと異なっている。また中部地方では、飛騨山脈立山起源のプリニアン噴火による噴出物である立山Eテフラと、木曾御嶽起源の御岳第1テフラを記載した。

給源火山は、第1図のNo.19～No.23である。第1表におけるNo.66～No.71が分析したテフラ試料で、その主元素組成の平均値と標準偏差を第4表にまとめた。第2a図の格子の部分が関東及び中部地方の火山起源のテフラで、個別のデータは第2j図に示す。立山Eテフラ(No.69;第1表)については、その主元素組成の特徴の類似性から第2m図に示した(第2a図の斜線部分)。

3.4 広域テフラ(No.72～No.93;第1表)

No.72～No.93は日本列島の陸上及び周辺海域で広く見つかっており、広域テフラとして一般的に認知されているテフラである(町田・新井、2003)。それらは九州の大カルデラ群のほか、山陰の三瓶山、白頭山などに起源するものを含む。個々の試料は給源火山近くよりも、やや遠く離れた地点で保存のよいものを対象にした。これは、火山ガラスが多い試料のほうが分析値の集中度が良く、広域対比する上で標準になるためである。

また、日本全国の中・前期更新世の海成層に介在している淘汰の良いガラス質テフラには、広域テフラとして対比が可能なものが多い。本データベースではNo.87～No.93の7試料について分析した結果を示す。

給源火山は、第1図の8火山(No.24～No.31)である。第1表のテフラ試料No.72～No.93の主元素組成の平均値と標準偏差を第5表にまとめた。第2a図の縦線の領域が九州地方の火山を起源とするテフラの値で、横線の領域は白頭山苦小牧テフラと三瓶木次テフラである。個別のデータは第2k図及び第2l図に示す。更に中期更新世のテフラであるYb-1、Tky-Ng1テフラそしてTE-5(No.87～No.90;第1表)については第2m図に示した(第2a図の斜線部分)。

4. 考察

従来、火山ガラスの主元素組成からテフラを類別するために、2ないし3成分を指標としてその量比を図示することが多い(例えばFe-Ti-Mg, FeO-CaO-K₂O, TiO₂-Al₂O₃, TiO₂-MgO, TiO₂-K₂O関係など)。ここではK₂O-TiO₂図により検討する(第2a図-第2m図)。TiO₂とK₂Oを選択した理由は、両成分とも他の成分より分布領域が広いためである。ここで、本論で分析した93テフラの火山ガラスの主元素組成の平均値の度数分布を示し(第3図)、この度数分布を元に分析値の傾向についてまとめておきたい。まず、本論で示した9種類の主元素組成の中で最も含有量が多いのはSiO₂(68.55 wt%～79.67 wt%)で、次いでAl₂O₃が多い(11.65 wt%～15.72 wt%)。SiO₂の各テフラの平均値は全体の73%が76.0 wt%～80.0 wt.%の範囲に収まり、Al₂O₃については54%が12.0 wt%～13.0 wt.%の範囲に収まる。標準誤差(std.error)は0.04 wt%～0.85 wt%(SiO₂)と0.03 wt%～0.34 wt%(Al₂O₃)となり、ガラス毎の分析値の集中度が良いテフラと分散が大きいテフラが存在することが分かる。

アルカリ金属元素のNa₂Oについては89%のテフラが3.0 wt%～4.5 wt.%に収まり45%のテフラが3.5 wt%～4.0 wt.%に集中する。標準誤差は最大で0.29 wt%で平均値は0.05 wt%になる。K₂Oについては1.0 wt%～3.0 wt.%に68%のテフラが集中し、標準誤差は最大で0.21 wt%で平均値が0.03 wt%になる。

FeO*については86%のテフラが0.5 wt%～2.5 wt.%の範囲に収まり、特に30%は1.5 wt%～2.0 wt.%に集中する。標準誤差は最大で0.21 wt%で平均値は0.05 wt%である。MgOは0 wt%～0.4 wt.%に76%のテフラが集中し、標準誤差は最大で0.16 wt%で平均値は0.01 wt%になる。CaOは1.0 wt%～2.0 wt.%の範囲に54%のテフラが集中し、標準誤差は最大で0.21 wt%で平均値は0.04 wt%となる。

第2表 北海道の火山起源テフラの火山ガラスの主元素組成.

Table 2 Glass shard major element compositions of tephra erupted from volcanoes in the Hokkaido district.

Sample ID	Tephra name	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	n	Total**	Lab.
1	Ta-a	76.87	0.33	12.83	1.80	0.06	0.32	1.91	3.40	2.48	21	97.91	H
		0.7	0.1	0.4	0.2	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1		1.6	
2	Kc-c ₂	77.05	0.43	12.15	2.14	0.08	0.41	2.09	3.68	1.96	8	98.72	H
		0.3	0.1	0.2	0.2	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4		1.5	
3	Ma-b	75.49	0.63	13.38	2.78	0.12	0.64	2.82	3.34	0.81	14	98.38	H
		1.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	1.1	0.0		1.1	
4	Ma-f	73.44	0.65	13.80	3.39	0.15	0.83	3.16	3.79	0.80	4	97.76	H
		1.3	0.1	0.6	0.2	0.0	0.3	0.4	0.2	0.1		2.3	
5	Ng (pfl)	78.47	0.17	12.19	1.17	0.08	0.23	1.55	3.33	2.82	23	95.05	H
		0.2	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1		0.9	
6	WT (u)	76.36	0.35	13.55	1.45	0.10	0.31	1.71	4.04	2.14	22	96.28	H
	WT (m)	76.39	0.37	13.38	1.63	0.08	0.35	1.68	4.06	2.06	28	97.07	H
	WT (l)	76.81	0.36	13.28	1.53	0.09	0.32	1.59	3.89	2.12	27	95.38	H
		0.5	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1		1.6	
7	A pfl	75.19	0.51	13.63	2.01	0.10	0.46	2.04	3.98	2.06	30	97.75	H
		0.4	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0		1.4	
8	En-a	76.22	0.31	13.10	1.83	0.06	0.34	2.05	3.58	2.51	12	97.01	G
		0.6	0.1	0.4	0.1	0.1	0.0	0.3	0.1	0.1		1.2	
9	YmP	72.07	0.63	14.87	3.15	0.16	0.90	3.60	4.03	0.59	11	97.28	H
		1.1	0.1	0.4	0.4	0.0	0.1	0.3	0.1	0.0		2.1	
10	D-Oh (pfa)	78.45	0.21	11.94	0.88	0.04	0.15	0.93	2.59	4.82	20	97.4	H
		0.4	0.0	0.2	0.3	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1		1.3	
11	D-Oh (pfa)	78.63	0.18	11.78	1.05	0.04	0.13	0.82	2.75	4.61	15	95.5	H
		0.3	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1		2.1	
12	Kc-Sr	78.52	0.26	12.14	1.33	0.07	0.25	1.34	3.69	2.40	21	97.85	H
		0.4	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1		1.2	
13	Spfl	78.56	0.15	12.45	1.37	0.05	0.13	1.23	3.41	2.64	21	98.10	H
		0.5	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1		2.0	
14	Spfa-1	77.99	0.15	12.53	1.47	0.08	0.13	1.30	3.78	2.58	23	93.03	H
		0.5	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1		1.4	
15	Spfa-1	78.55	0.14	12.16	1.69	0.04	0.13	1.18	3.69	2.42	16	97.63	H
		0.3	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1		1.4	
16	Kt-1	78.57	0.17	12.10	1.50	0.06	0.17	1.36	3.47	2.59	16	98.38	H
		0.4	0.0	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1		1.5	
17	Kt-2	76.80	0.30	12.75	2.31	0.07	0.33	2.20	3.62	1.62	14	97.19	H
		1.3	0.1	0.5	0.4	0.0	0.1	0.4	0.1	0.1		1.7	
18	Kt-3	76.32	0.37	12.60	3.27	0.10	0.43	2.77	2.69	1.46	13	95.71	G
		0.7	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.5	0.1		1.8	
19	Kt-4	76.50	0.34	12.76	2.39	0.06	0.37	2.34	3.56	1.68	14	96.16	G
		0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1		2.1	
20	Kt-5	76.54	0.29	12.29	2.73	0.07	0.36	2.43	3.82	1.46	12	96.71	G
		0.3	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1		1.3	
21	Kt-6	76.41	0.28	13.07	2.33	0.08	0.33	2.36	3.62	1.52	26	97.20	G
		0.8	0.1	0.3	0.4	0.1	0.1	0.3	0.2	0.2		1.8	
22	Kt-7	76.63	0.31	13.01	2.19	0.10	0.39	2.40	3.60	1.36	23	95.55	G
		1.1	0.1	0.4	0.5	0.1	0.1	0.6	0.2	0.4		0.9	
23	Kt-8	77.56	0.25	12.84	2.21	0.07	0.38	2.38	3.14	1.17	12	93.73	G
		0.6	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.2		1.7	
24	Kc-2/3 (pfl)	77.54	0.35	12.67	1.81	0.08	0.32	1.63	3.77	1.83	18	96.56	H
		1.9	0.2	0.5	0.7	0.0	0.2	0.5	0.2	0.1		1.1	
25	Toya	79.06	0.05	12.44	0.88	0.10	0.03	0.33	4.30	2.80	14	94.22	H
		0.2	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1		1.4	
26	Toya	78.52	0.04	12.67	0.90	0.10	0.03	0.33	4.49	2.92	11	93.35	H
		0.3	0.0	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1		1.0	

to be continued

日本に分布する第四紀後期広域テフラの主元素組成(青木・町田)

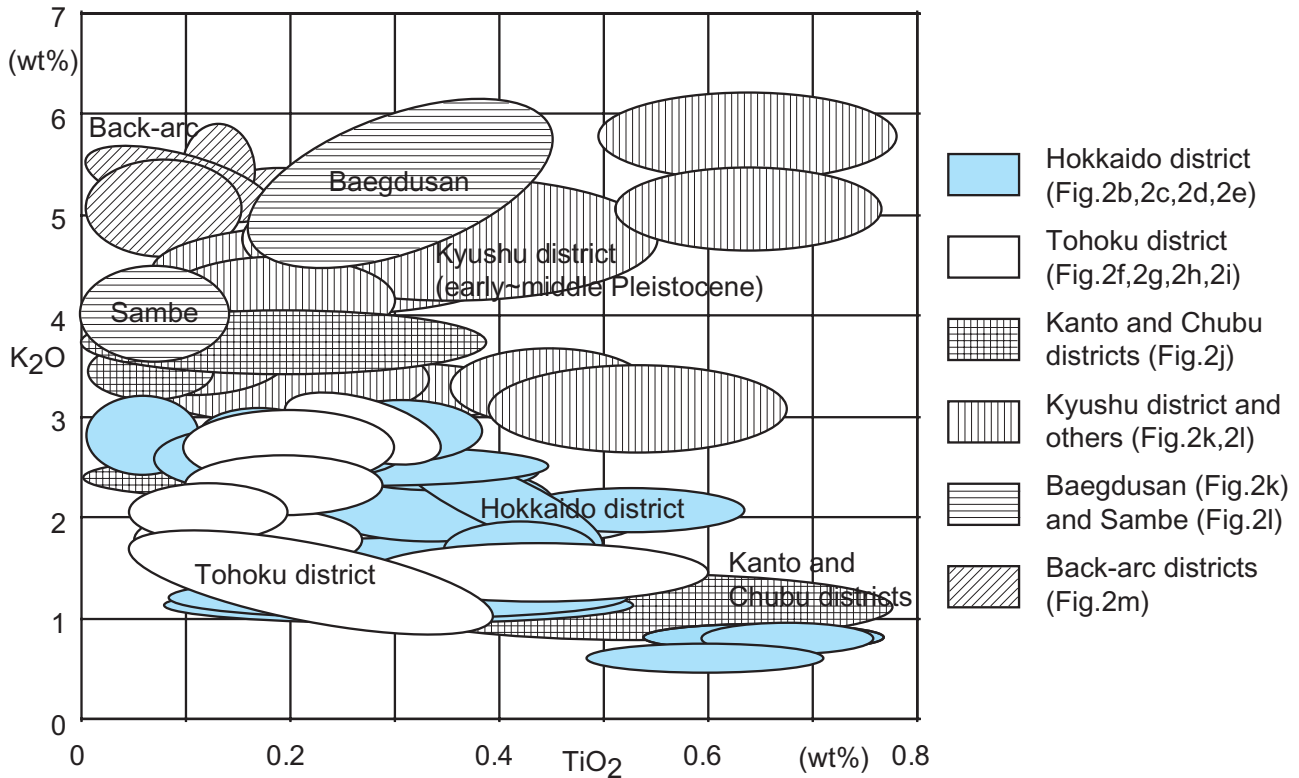
第2表 つづき.

Table 2 Continued.

Sample ID	Tephra name	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	n	Total**	Lab.
27	Kc-Hb (pfl)	78.32	0.33	12.07	1.49	0.11	0.23	1.29	4.14	2.02	17	97.95	H
		0.5	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	1.6		
28	Kc-5 (pfl)	76.06	0.28	13.25	2.18	0.04	0.37	1.66	4.23	1.92	12	94.32	H
		0.3	0.1	0.2	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	1.3		
29	Kc-6 (pfl)	77.18	0.21	12.88	1.71	0.05	0.29	1.44	4.04	2.19	19	94.36	H
		0.5	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.9		
30	Kc-7 (pfl)	73.66	0.42	14.01	2.87	0.10	0.62	2.16	4.27	1.90	20	94.11	H
		1.1	0.1	0.3	0.5	0.0	0.2	0.3	0.1	0.1	1.5		
31	Kc-8 (pfl)	77.89	0.19	12.34	1.57	0.06	0.24	1.27	3.82	2.62	20	93.95	H
		0.4	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	1.1		
32	AUP (pfl)	77.05	0.25	12.55	2.02	0.03	0.25	1.42	3.70	2.73	19	95.11	H
		0.4	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	1.4		
33	AWT (pfl)	74.30	0.31	13.14	3.75	0.07	0.28	1.77	3.58	2.80	17	93.98	H
		1.1	0.0	0.4	0.6	0.0	0.0	0.2	0.6	0.1	1.7		
34	ALP (pfl)	73.45	0.42	13.81	3.43	0.09	0.57	2.23	4.35	1.66	17	94.57	H
		0.5	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	1.2		

分析機関 (Lab) : Hは北海道大学工学部, Gは産業技術総合研究所. 上段が平均値で下段に標準偏差を示した. 分析条件は電子ビーム径 10 μm, 加速電圧 15 kV, 電流値 10 nA. FeO*は全てFeOとして算出されている. 測定値は, 水を除いて 100 wt.% になるように再計算をした平均値である. Total**は水を除く前の主元素組成の合計である.

Lab. Abbreviations ; H, Hokkaido University; G, Geological Survey of Japan, AIST. Compositions of volcanic glass shards from 125-250 μm size fraction in the layers were analyzed with a wavelength dispersive Electron Probe Micro-analyzer (JXA-8900R, JEOL Co., Japan, Geological Survey of Japan, AIST) operated at 15 kV and using a 10 nA beam current and a 10 μm beam diameter. Total iron (FeO*) is calculated as FeO. Analyses were recalculated to 100% on a water-free basis and presented as a mean and standard deviation on n particles of glass shards. Total** is raw data (before recalculated).



第2a図 日本における第四紀指標テフラの火山ガラス K₂O-TiO₂ と給源火山の地域 (第2b - 第2m 図総合).

Fig. 2a Compilation of K₂O-TiO₂ diagrams of glass shards in the Quaternary marker-tephra layers in Japan from Figs. 2b-2m.

第3a表 東北地方十和田カルデラ起源テフラの火山ガラスの主元素組成.

Table 3a Glass shard major element compositions of tephra erupted from Towada volcano in the Tohoku district.

Sample ID	Tephra name	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	n	Total**	Lab.
35	To-a	77.75 0.7	0.36 0.0	12.73 0.4	1.62 0.2	0.09 0.0	0.38 0.1	1.81 0.2	3.90 0.1	1.37 0.1	19	98.41 1.4	H
36	To-a	77.69 0.6	0.36 0.1	12.74 0.3	1.66 0.1	0.09 0.0	0.35 0.0	1.80 0.1	3.99 0.2	1.31 0.0	8	98.53 1.3	H
37	To-a	76.17 0.3	0.42 0.0	13.41 0.2	1.89 0.1	0.09 0.0	0.38 0.0	1.99 0.1	4.08 0.1	1.56 0.1	18	92.89 1.1	H
38	To-Cu	75.36 0.6	0.43 0.0	13.65 0.3	2.35 0.2	0.11 0.0	0.52 0.0	2.35 0.1	4.01 0.1	1.22 0.0	11	98.38 1.6	H
39	To-Cu (Cu)	74.89 0.5	0.47 0.1	13.97 0.3	2.26 0.1	0.10 0.0	0.54 0.0	2.48 0.1	3.98 0.1	1.31 0.1	90	93.95 1.4	H
40	To-Cu (Kn)	74.86 0.5	0.47 0.1	14.00 0.4	2.27 0.1	0.09 0.0	0.54 0.0	2.49 0.1	3.96 0.1	1.31 0.1	37	93.71 1.0	H
41	To-Cu (Ut)	74.48 0.5	0.49 0.1	14.09 0.2	2.37 0.2	0.09 0.0	0.55 0.0	2.56 0.1	4.03 0.1	1.34 0.1	26	93.32 1.0	H
42	To-Nb	74.98 0.5	0.47 0.0	13.41 0.3	2.75 0.1	0.06 0.0	0.60 0.0	2.70 0.1	3.81 0.2	1.23 0.0	5	101.98 1.0	H
43	To-H (pfa, m)	76.61 0.5	0.44 0.1	12.83 0.3	1.86 0.2	0.10 0.1	0.66 0.0	2.44 0.1	4.02 0.1	1.05 0.0	15	98.23 1.5	H
44	To-H (pfa, l)	77.68 0.8	0.40 0.1	12.24 0.2	1.61 0.3	0.11 0.1	0.54 0.1	2.22 0.2	4.08 0.1	1.12 0.1	16	97.26 2.2	H
	(1)	78.09 0.3	0.38 0.1	12.17 0.2	1.48 0.1	0.09 0.0	0.49 0.1	2.11 0.1	4.05 0.1	1.13 0.1	12	97.20 2.3	H
	(2)	76.45 0.6	0.46 0.0	12.45 0.1	1.99 0.1	0.15 0.1	0.69 0.1	2.55 0.2	4.17 0.2	1.09 0.1	4	97.46 2.3	H
45	To-H (pfl, u)	77.80 1.6	0.32 0.1	12.89 0.7	1.62 0.4	0.08 0.1	0.36 0.1	1.98 0.5	3.72 0.4	1.23 0.1	22	97.94 1.2	H
46	To-H (pfl, u)	77.75 1.0	0.33 0.1	12.89 0.5	1.63 0.2	0.08 0.1	0.33 0.1	1.87 0.3	3.85 0.1	1.28 0.1	21	95.93 2.0	H
	(1)	78.30 0.5	0.29 0.0	12.67 0.4	1.52 0.1	0.06 0.0	0.29 0.0	1.73 0.1	3.84 0.1	1.30 0.1	15	95.68 1.9	H
	(2)	76.38 0.2	0.40 0.1	13.43 0.1	1.90 0.1	0.11 0.0	0.44 0.1	2.22 0.1	3.88 0.1	1.24 0.1	6	96.56 2.3	H
47	To-H (pfl, u)	77.61 0.7	0.33 0.1	12.89 0.3	1.56 0.2	0.09 0.0	0.33 0.1	1.84 0.2	3.96 0.1	1.38 0.1	34	97.39 1.4	H
48	To-H (pfl, l)	77.32 1.2	0.34 0.1	12.96 0.5	1.67 0.3	0.09 0.0	0.36 0.1	1.89 0.3	4.00 0.1	1.37 0.1	30	97.50 1.6	H
49	To-Of (BP1) (pfa)	77.60 1.1	0.35 0.0	12.58 0.5	1.96 0.2	0.08 0.1	0.37 0.1	2.03 0.3	3.86 0.1	1.16 0.1	13	97.31 1.6	H
50	To-Of (pfl)	77.82 1.3	0.36 0.1	12.45 0.4	1.88 0.5	0.08 0.0	0.33 0.1	1.87 0.3	3.97 0.1	1.25 0.1	21	98.25 1.2	H
51	To-GP	75.62 1.1	0.48 0.1	13.39 0.7	2.07 0.3	0.10 0.0	0.65 0.1	2.53 0.2	4.12 0.1	1.04 0.0	15	97.52 1.8	H

TiO₂とMnOの度数分布を見ると、他の7元素とは異なり、値はかなり分散する。TiO₂は0~0.5 wt.%の範囲に91%のテフラが分散し、標準誤差は最大で0.04で平均は0.01になる。一方、MnOの平均値は最大で0.16 wt.%を超えず、平均した標準誤差は0.02 wt.%であることから、これは個々のテフラの識別にあまり役立たない。

TiO₂は本論で取り扱ったテフラでは火山ごとにより異なって分散している。またK₂Oは、給源火山の火山フロントからの距離と、火山帯によって値が特定の

傾向をもっている。一般に、火山岩の組成は火山フロントに近い太平洋側の火山から日本海側に行くにつれて、K₂Oに富むようになることが知られており(Aramaki and Ui, 1982)、テフラ中の火山ガラスの化学組成についてもほぼ同じ傾向がある。マグマが生成してから結晶を晶出する過程で液相濃集元素であるKが鉱物へ取り込まれるのは最後の段階と考えられる。更に鉱物が晶出する際のマグマ溜りの深度は火山フロントからの距離と密接なかかわりがある(巽, 1995など)。また東

日本に分布する第四紀後期広域テフラの主元素組成(青木・町田)

第3b表 東北地方の火山起源テフラの火山ガラスの主元素組成.

Table 3b Glass shard major element compositions of tephra erupted from volcanoes in the Tohoku district.

Sample ID	Tephra Name	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	n	Total**	Lab.
52	lw-Y	77.00 0.9	0.28 0.0	12.46 0.4	2.04 0.3	0.04 0.0	0.29 0.1	1.59 0.2	3.50 0.2	2.80 0.2	15	92.55 1.4	H
53	Nr-Y (afa)	79.67 0.3	0.16 0.0	11.94 0.2	1.30 0.1	0.06 0.0	0.17 0.0	1.31 0.1	3.62 0.1	1.78 0.1	40	96.64 1.4	H
54	Nr-Y (pfl)	79.35 0.2	0.19 0.0	12.06 0.2	1.24 0.1	0.05 0.0	0.18 0.0	1.32 0.1	3.70 0.1	1.89 0.1	11	98.89 0.9	H
55	Yk-Y	79.49 0.4	0.19 0.0	11.65 0.3	1.38 0.1	0.05 0.0	0.17 0.0	1.43 0.1	3.18 0.1	2.46 0.1	16	97.86 1.5	H
56	Yk-Y (u)	78.81 0.2	0.20 0.1	11.94 0.1	1.54 0.1	0.05 0.0	0.20 0.0	1.47 0.0	3.17 0.1	2.63 0.0	5	96.70 1.6	H
	Yk-Y (m)	78.74 0.1	0.21 0.1	12.15 0.2	0.90 0.1	0.03 0.0	0.19 0.0	1.53 0.0	3.50 0.0	2.75 0.1	3	93.17 1.1	H
	Yk-Y (l)	78.59 0.8	0.20 0.1	12.08 0.5	1.43 0.4	0.04 0.0	0.17 0.1	1.49 0.2	3.26 0.2	2.75 0.3	12	95.06 2.2	H
57	Yk-MP	78.71 0.3	0.20 0.0	11.73 0.2	1.52 0.1	0.04 0.0	0.19 0.0	1.67 0.1	3.38 0.1	2.56 0.1	25	95.04 1.8	G
58	Nr-N (afa)	78.09 0.9	0.17 0.0	12.55 0.4	1.90 0.3	0.04 0.0	0.17 0.1	1.32 0.3	4.08 0.2	1.68 0.2	24	94.75 1.6	H
59	Nr-N (pfl)	78.08 0.5	0.14 0.0	12.38 0.3	1.79 0.1	0.06 0.0	0.15 0.0	1.18 0.1	4.33 0.2	1.90 0.1	19	97.08 1.5	H
60	Smy (pfl)	78.59 0.5	0.11 0.0	12.42 0.3	1.39 0.1	0.05 0.0	0.14 0.0	1.12 0.1	4.08 0.2	2.11 0.1	20	94.80 1.1	H
61	O-Ik (pfl)	79.01 0.5	0.21 0.0	12.25 0.3	1.00 0.1	0.04 0.0	0.16 0.0	1.13 0.1	3.90 0.2	2.30 0.1	24	97.5 1.3	H
62	Tn-A (pfl)	78.70 0.3	0.12 0.0	12.47 0.2	1.56 0.1	0.05 0.0	0.22 0.0	1.53 0.0	3.85 0.0	1.50 0.1	5	98.55 0.5	H
63	Tn-C (pfl)	78.74 0.9	0.23 0.1	12.36 0.3	1.88 0.4	0.05 0.0	0.28 0.1	1.71 0.4	3.23 0.7	1.52 0.6	9	94.94 2.3	H
64	Tn-C (pfa)	78.92 0.6	0.18 0.1	11.92 0.3	1.82 0.3	0.05 0.0	0.22 0.0	1.64 0.1	3.66 0.1	1.58 0.2	13	96.52 1.4	H
65	Oga pmt	77.65 0.3	0.07 0.0	12.65 0.2	0.40 0.1	0.08 0.0	0.04 0.0	0.60 0.0	3.23 0.2	5.28 0.2	20	95.31 1.5	H

第4表 関東・中部地方の火山起源テフラの火山ガラスの主元素組成.

Table 4 Glass shard major element compositions of tephra erupted from volcanoes in the Kanto and Chubu districts.

Sample ID	Tephra Name	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	n	Total**	Lab.
66	Ag-KP	77.03 0.3	0.18 0.1	13.34 0.1	1.41 0.1	0.05 0.0	0.39 0.0	2.00 0.1	3.19 0.1	2.42 0.1	24	92.99 0.6	G
67	Hk-TP (pfa)	75.67 0.6	0.47 0.1	12.89 0.5	2.49 0.2	0.11 0.0	0.53 0.1	2.46 0.1	4.17 0.2	1.20 0.1	15	94.70 1.2	G
68	Hk-TP (pfl)	73.69 1.5	0.54 0.1	13.58 0.6	3.01 0.5	0.09 0.0	0.76 0.2	2.99 0.5	4.25 0.2	1.07 0.1	13	93.05 1.2	G
69	Tt-E (pfa)	76.81 0.4	0.19 0.0	12.69 0.3	1.13 0.1	0.03 0.0	0.15 0.0	1.07 0.1	2.67 0.1	5.25 0.1	9	99.72 1.2	H
70	On-Pm1	75.53 0.2	0.09 0.1	14.24 0.1	1.01 0.1	0.09 0.1	0.23 0.0	1.56 0.1	3.44 0.1	3.80 0.1	14	94.29 1.0	G
71	Nm-Tg (pfl)	78.26 0.8	0.06 0.0	12.79 0.7	0.54 0.1	0.13 0.0	0.13 0.0	0.45 0.0	4.22 0.3	3.42 0.1	23	95.65 2.4	G

第5表 種々の火山起源の広域テフラの火山ガラスの主元素組成.

Table 5 Glass shard major element compositions of widespread tephra erupted from various sources.

Sample ID	Tephra name	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	n	Total	Lab.
72	B-Tm	73.84 3.2	0.27 0.1	11.80 1.8	3.72 0.3	0.10 0.0	0.03 0.1	0.39 0.4	4.87 0.6	4.98 0.4	33	98.62 1.1	H
73	K-Ah	75.06 0.5	0.53 0.1	13.16 0.1	2.24 0.2	0.08 0.0	0.43 0.0	1.79 0.1	3.74 0.1	2.96 0.1	11	99.13 0.9	H
74	AT	78.23 0.5	0.13 0.0	12.43 0.3	1.22 0.1	0.03 0.0	0.12 0.0	1.00 0.0	3.30 0.1	3.54 0.1	47	95.66 2.0	G
75	Aso-4	73.23 0.9	0.40 0.1	14.57 0.5	1.56 0.2	0.09 0.0	0.30 0.1	1.03 0.2	4.23 0.2	4.58 0.3	26	96.91 1.9	G
76	Aso-4	72.30 0.5	0.41 0.1	14.74 0.3	1.74 0.2	0.10 0.0	0.38 0.1	1.15 0.2	4.14 0.1	5.04 0.2	33	95.8 1.2	G
77	K-Tz	76.80 0.3	0.21 0.0	13.17 0.2	1.07 0.1	0.04 0.0	0.25 0.0	1.14 0.1	3.20 0.1	4.11 0.1	19	96.92 0.9	H
78	Ata (pfl)	75.72 0.2	0.45 0.0	13.15 0.1	1.80 0.1	0.08 0.0	0.39 0.0	1.64 0.0	3.52 0.1	3.25 0.1	15	98.44 0.7	H
79	Ata (pfl)	75.74 0.3	0.46 0.0	13.05 0.2	1.83 0.1	0.07 0.0	0.40 0.0	1.62 0.1	3.61 0.1	3.22 0.1	35	98.28 1.1	H
80	SK	76.37 1.5	0.11 0.0	13.98 0.5	0.81 0.4	0.11 0.0	0.20 0.1	0.80 0.2	3.64 0.3	3.99 0.1	3	94.74 0.8	G
81	SK	77.20 0.3	0.05 0.0	13.50 0.2	0.60 0.0	0.09 0.0	0.12 0.0	0.66 0.1	3.63 0.1	4.15 0.1	25	94.16 0.9	G
82	SK	77.34 0.5	0.05 0.0	13.59 0.4	0.52 0.0	0.10 0.0	0.10 0.0	0.65 0.0	3.73 0.3	3.91 0.1	21	94.30 1.1	G
83	Aso-3	70.18 0.4	0.64 0.0	15.56 0.2	2.14 0.1	0.09 0.0	0.54 0.0	1.63 0.1	4.17 0.1	5.06 0.1	29	94.35 1.4	H
84	Ata-Th (pfl)	78.19 0.6	0.15 0.1	12.78 0.3	0.91 0.2	0.06 0.0	0.15 0.1	1.03 0.1	3.39 0.2	3.34 0.3	29	95.04 1.0	H
85	Aso-1	68.55 0.4	0.64 0.1	15.72 0.2	3.17 0.2	0.08 0.0	0.55 0.0	1.92 0.1	3.69 0.1	5.67 0.1	38	93.47 1.1	H
86	Kkt	77.19 0.3	0.17 0.0	12.56 0.1	1.13 0.1	0.03 0.0	0.11 0.0	0.80 0.0	3.40 0.1	4.61 0.1	19	96.16 1.0	H
87	Yb-1	78.38 0.3	0.11 0.0	11.91 0.2	0.84 0.1	0.04 0.0	0.06 0.0	0.70 0.1	2.71 0.2	5.25 0.3	15	95.88 2.0	H
88	Tky-Ng1	78.10 0.4	0.13 0.0	12.22 0.3	0.69 0.1	0.03 0.0	0.09 0.0	0.72 0.0	2.65 0.1	5.38 0.2	18	96.31 1.9	H
89	TE-5	78.38 0.3	0.07 0.0	12.16 0.2	0.88 0.1	0.05 0.0	0.06 0.0	0.72 0.1	2.70 0.1	4.98 0.3	18	94.56 1.2	H
90	TE-5	78.12 0.5	0.08 0.0	12.39 0.3	0.69 0.1	0.03 0.0	0.05 0.0	0.68 0.0	2.91 0.1	5.05 0.2	20	96.36 1.5	G
91	Ks-5	77.02 0.3	0.30 0.0	12.98 0.2	1.24 0.1	0.05 0.0	0.24 0.0	1.21 0.1	3.74 0.1	3.21 0.1	39	96.05 0.9	H
92	Kb-Ks	74.77 0.8	0.27 0.1	14.22 0.4	1.12 0.1	0.06 0.0	0.22 0.0	0.99 0.1	3.89 0.1	4.46 0.2	44	96.22 1.3	H
93	Ss-Pk	78.39 0.3	0.21 0.0	12.16 0.2	0.97 0.1	0.05 0.0	0.16 0.0	0.91 0.0	2.76 0.1	4.40 0.2	17	94.23 1.0	H

日本弧の火山のテフラはおおむねK₂Oの含有量が少なく、西日本弧のテフラは多い傾向をもつ。

一般に同一火山起源のテフラでは火山ガラスの主元素組成がよく似ているので、その類別には主元素のほか微量元素や屈折率、層位関係などでクロスチェックが必要な場合がある。

北海道から東北・関東では火山フロントの近くに活動度の高い火山が多く存在するため、火山ガラスの

K₂O含有量は一般に3.0 wt%以下である(第2b, 2c, 2d, 2e図)。K₂O含有量が最も少ないのは摩周カルデラ起源のテフラで、1.0 wt%以下である。屈斜路カルデラとクッタラカルデラ起源の一連のテフラのK₂O含有量は1.0~3.0 wt%の間におさまっている(第2d, 2e図)。屈斜路カルデラ起源の8枚の大規模火砕流・降下火山灰の化学組成は互いに似てはいるものの、それぞれ主にK₂Oを若干異にする固有の領域を占めるようである(第

日本に分布する第四紀後期広域テフラの主元素組成(青木・町田)

第6表 ワーキングスタンダードとして分析したATテフラの火山ガラスの主元素組成.
Table 6 Major element compositions of glass shards in AT tephra analyzed as working standards.

Hokkaido University											
Date	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	n	Total**
1996.11.14	78.51	0.13	12.22	1.09	0.02	0.13	1.03	3.31	3.55	10	94.61
	0.2	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1		1.8
1999.5.21	78.33	0.13	12.23	1.19	0.04	0.11	1.05	3.29	3.63	10	97.94
	0.3	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1		1.1
1999.6.9	78.49	0.10	12.32	1.17	0.03	0.13	0.97	3.30	3.50	7	97.57
	0.6	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1		2.1
Geological Survey of Japan, AIST											
2002.4.5	78.10	0.10	12.16	1.35	0.04	0.13	1.09	3.38	3.66	57	96.19
	0.3	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1		1.4
2003.11.21	77.97	0.14	12.40	1.19	0.04	0.11	1.01	3.51	3.61	62	94.17
	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1		1.7
2004.3.30	78.10	0.13	12.13	1.22	0.04	0.12	1.09	3.57	3.59	30	94.84
	0.3	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1		1.2
2005.7.5	77.67	0.13	12.48	1.38	0.04	0.12	1.10	3.51	3.58	79	95.42
	0.2	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1		1.3

2d図). これらは更にFeO*, CaO, MgOといった苦鉄成分を考慮することで, 互いに識別することは可能である.

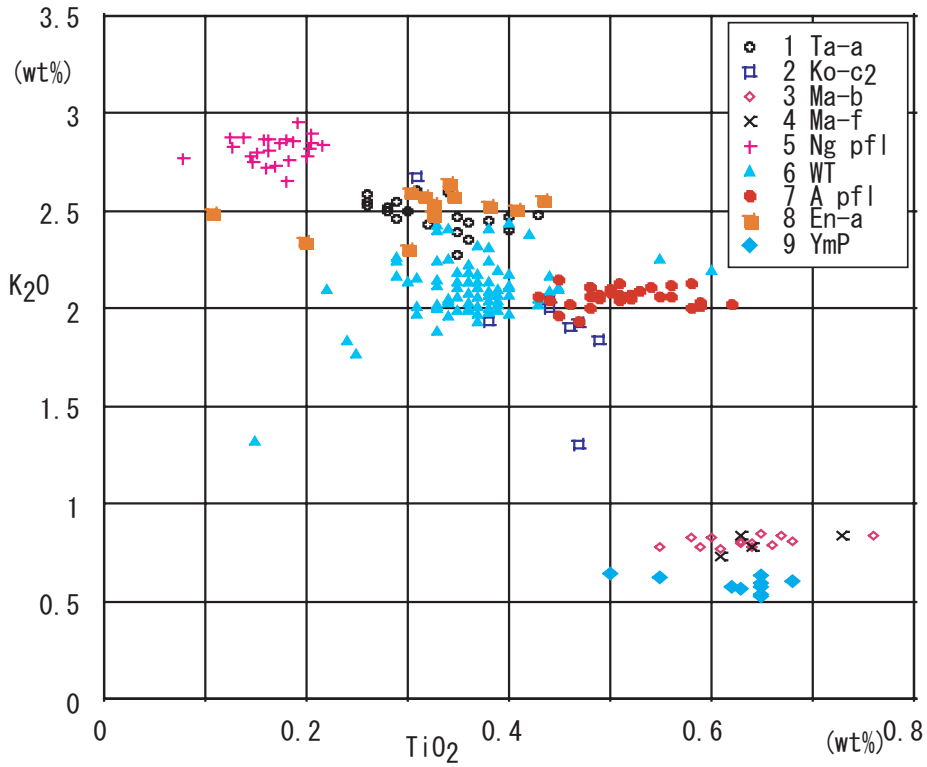
クッタラカルデラ起源の多数のテフラについては, 最も若いKt-1を除くとK₂Oの含有量は1.0~1.7 wt%と狭い範囲に収まるが, TiO₂は分散する. これらのテフラは良く似ているので類別・対比するさいにはAl₂O₃や苦鉄成分を考慮し, ガラスと鉱物の屈折率も測定しそれらを組み合わせてクロスチェックする必要がある. また, Kt-1は支笏第1テフラ (Spfa-1及びSpfl) に火山ガラスの化学組成が良く似ているため, 対比する際には2枚のテフラの層位関係 (Spfa-1が上位), もしくは斜方輝石の屈折率の違いを確認することが必須である. なお北海道では, 大雪御鉢平テフラ (D-Oh) を除くと, K₂O含有量が比較的多いテフラは濁川テフラ (Ng) や駒ヶ岳c₂テフラ (Ko-c₂) である.

東北地方と関東地方の火山フロント沿いに位置する火山の中では, 岩手山や焼石岳, 赤城山起源のテフラはK₂O含有量が比較的多い(第2f, 2g, 2h, 2i, 2j図). これらの火山起源のテフラはFeO*やCaOなど苦鉄成分を検討することで識別が可能である. 一方, K₂O含有量が最も少ないテフラは十和田カルデラ起源のテフラである(第2f, 2g図). 十和田起源の6枚のテフラは, 火山ガラスの化学組成が大きく分散し, かつ重なりあうので, K₂O-TiO₂図上だけでは識別しきれない. このた

め, FeO*やCaOといった苦鉄成分を詳しく吟味する必要がある. 更に, これらのテフラを対比する際には火山ガラスや重鉱物の屈折率を組み合わせてクロスチェックする. また, K₂O-TiO₂図(第2h図)上で識別しきれない鳴子柳沢テフラ (Nr-Y) や鳴子荷坂テフラ (Nr-N) は, Al₂O₃とNa₂Oの含有量の差から識別が可能である. ただし恐山, 鬼首カルデラ及び鳴子カルデラを給源とする中期更新世の大規模火砕流堆積物については, K₂O-TiO₂図上だけでは多くの後期更新世のテフラと似ているため, 苦鉄成分をよく吟味する必要がある(第2i図). これらのテフラを対比する際には, 鉱物の組み合わせや屈折率, 層位関係などを総合的に検討する必要がある.

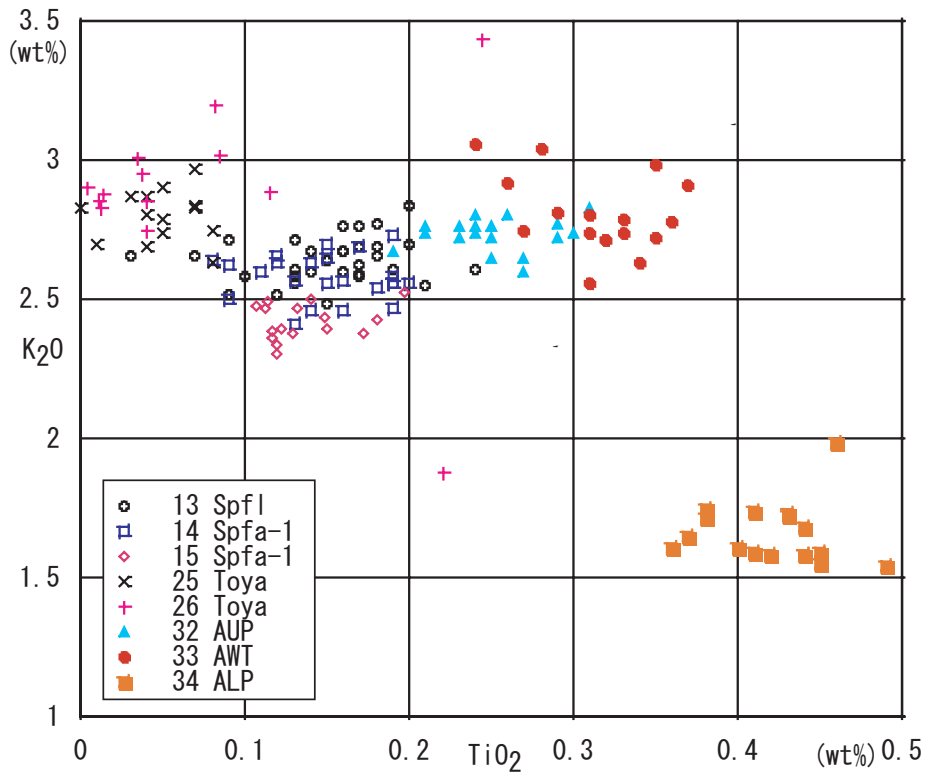
一方, 九州起源の広域テフラは一般にアルカリ元素 (Na₂O+K₂O) の含有量が比較的多く, 北日本起源のテフラとは化学組成の特徴が大きく異なる(第2k, 2l図). そのため, 本州中部以遠まで飛来している場合には, ローカルなテフラとの差が際立つために識別しやすい. 特に, 阿蘇カルデラ起源の広域テフラAso-1, Aso-3' 及びAso-4の火山ガラスの主元素組成は他の火山起源のテフラとは大きく異なっており, 更に3枚のテフラ間でも容易に識別することができる(第2k図).

日本列島の背弧側の火山を給源とするテフラはK₂O含有量がNa₂O含有量よりも際立って多いという特徴をもつ. 北海道の大雪御鉢平テフラ (D-Oh), 東北地方



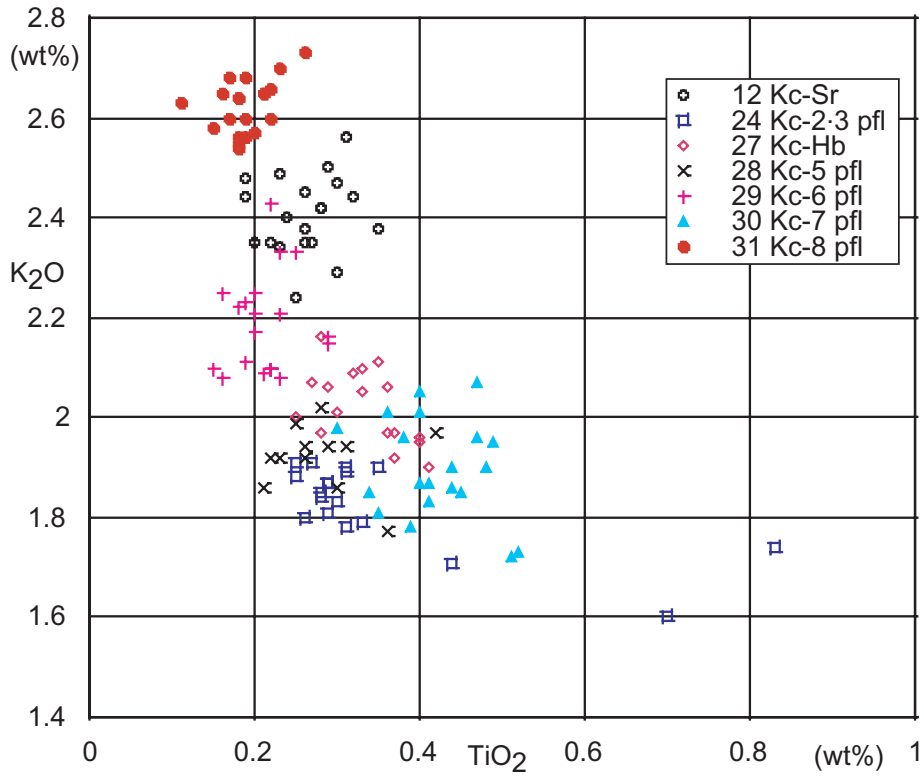
第2b図 北海道火山起源テフラ（40 ka以降）の火山ガラスK₂O-TiO₂図。

Fig. 2b K₂O-TiO₂ diagrams of glass shards in marker-tephra layers (40 ka ~ Holocene) originated from volcanoes in the Hokkaido district.



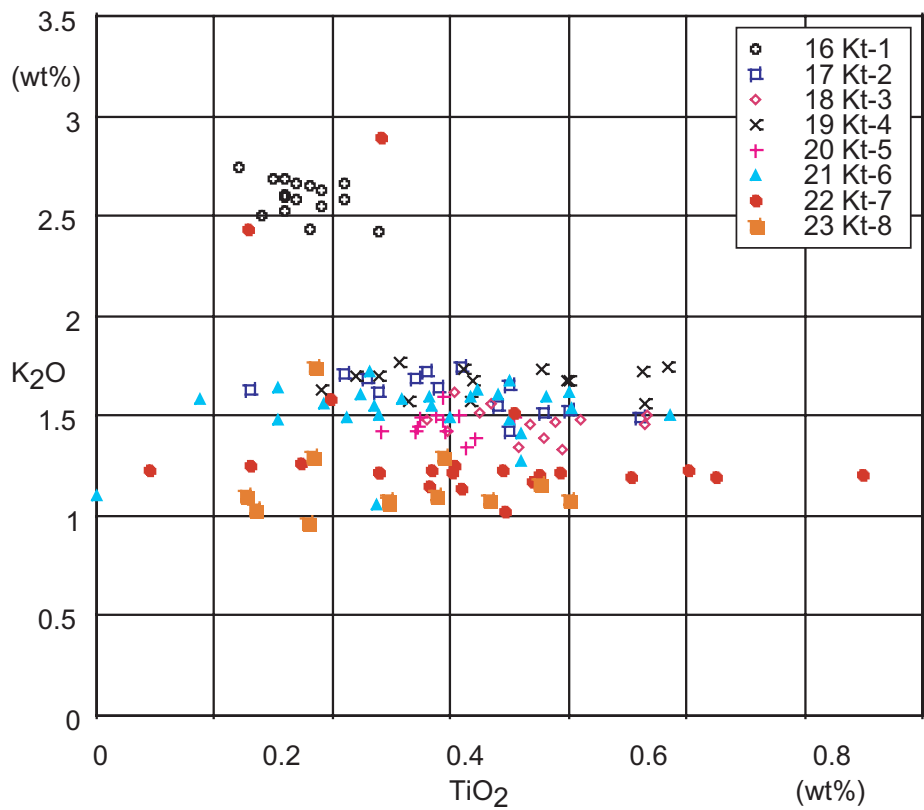
第2c図 北海道支笏カルデラ・洞爺カルデラ・阿寒カルデラ起源のテフラの火山ガラスK₂O-TiO₂図。

Fig. 2c K₂O-TiO₂ diagrams of glass shards in marker-tephra layers originated from Shikotsu C., Toya C. and Akan C. in the Hokkaido district.



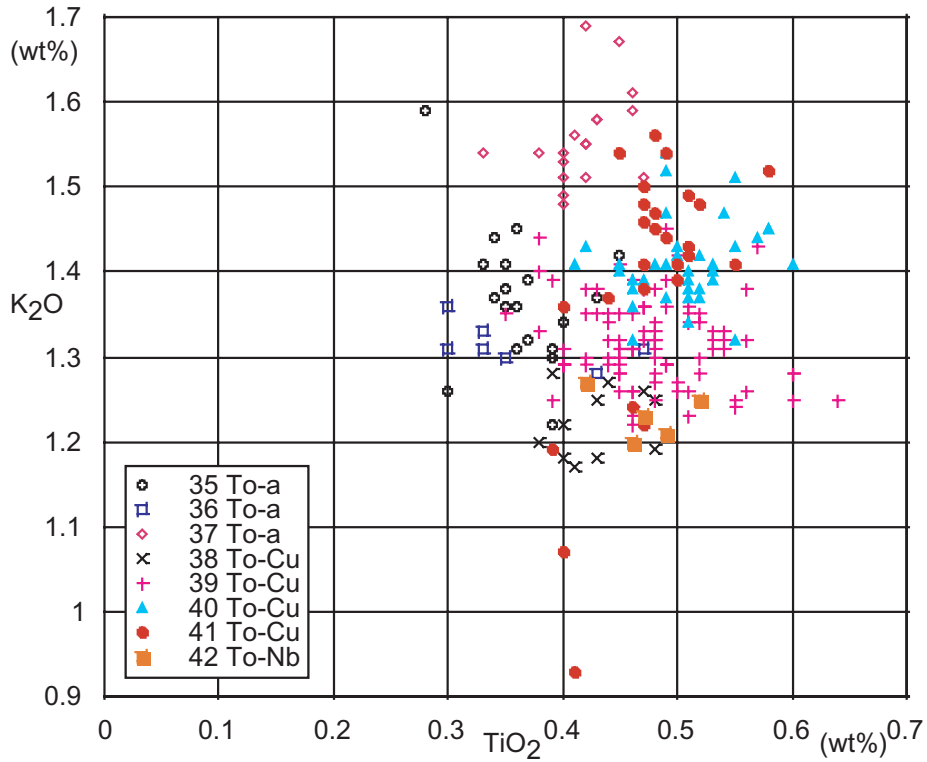
第2d図 北海道屈斜路カルデラ起源テフラの火山ガラスK₂O-TiO₂図.

Fig. 2d K₂O-TiO₂ diagrams of glass shards in marker-tephra layers originated from Kutcharo C. in the Hokkaido district.



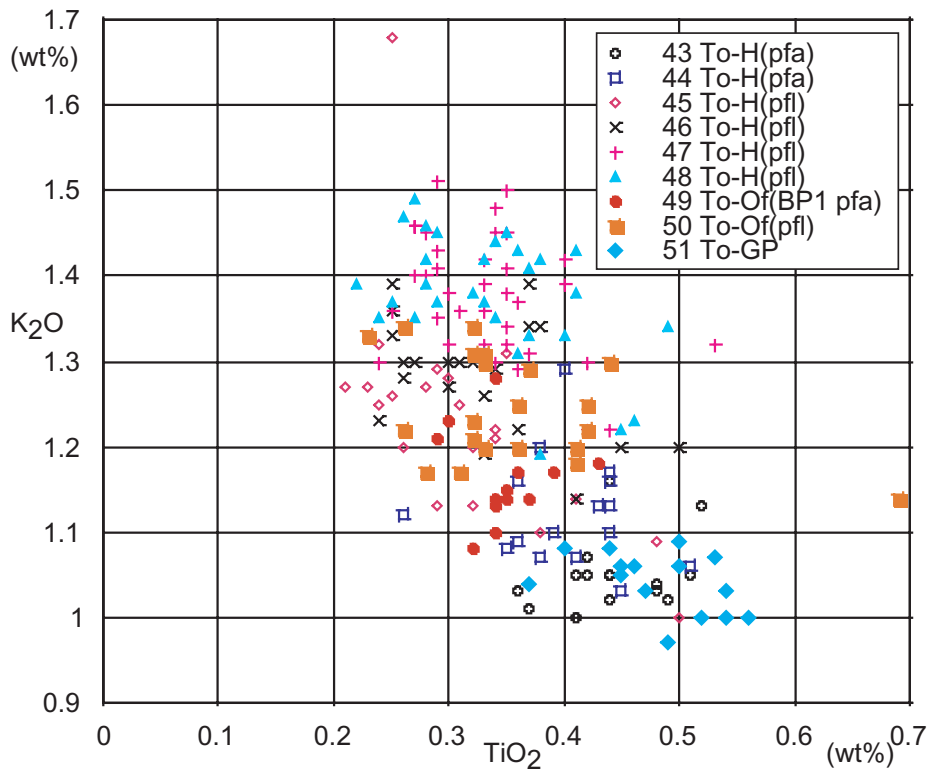
第2e図 北海道クッタラカルデラ起源テフラの火山ガラスK₂O-TiO₂図.

Fig. 2e K₂O-TiO₂ diagrams of glass shards in marker-tephra layers originated from Kuttara C. in the Hokkaido district.



第2f図 東北地方完新世十和田カルデラ起源のテフラの火山ガラスK₂O-TiO₂図。

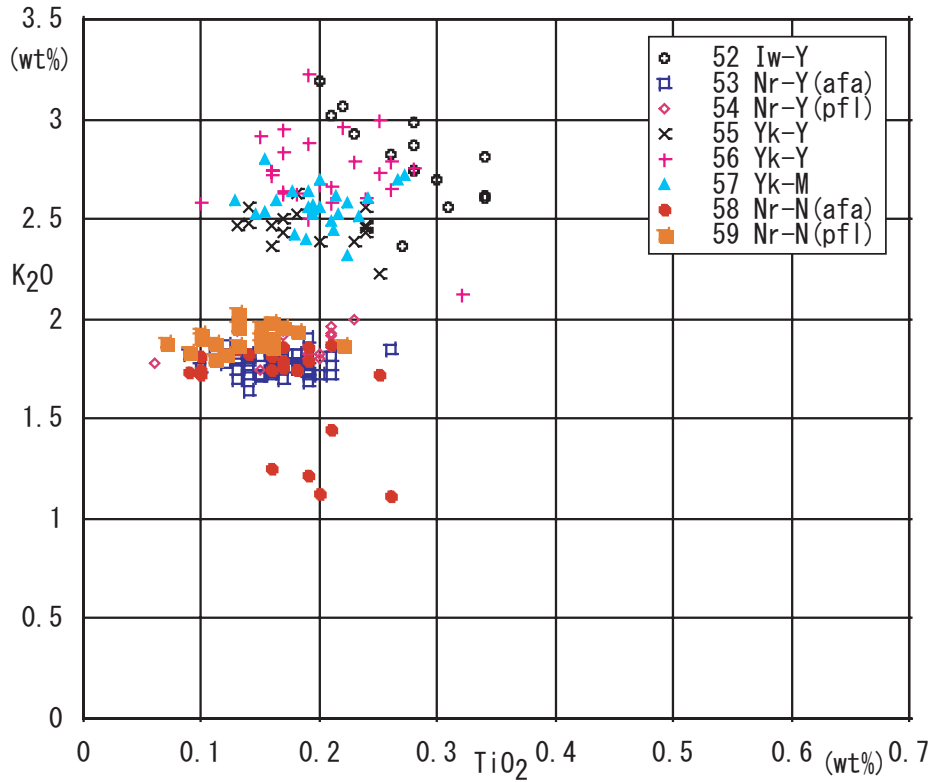
Fig. 2f K₂O-TiO₂ diagrams of glass shards in marker-tephra layers originated from Holocene Towada C. tephras in the Tohoku district.



第2g図 東北地方十和田カルデラ起源の更新世テフラの火山ガラスK₂O-TiO₂図。

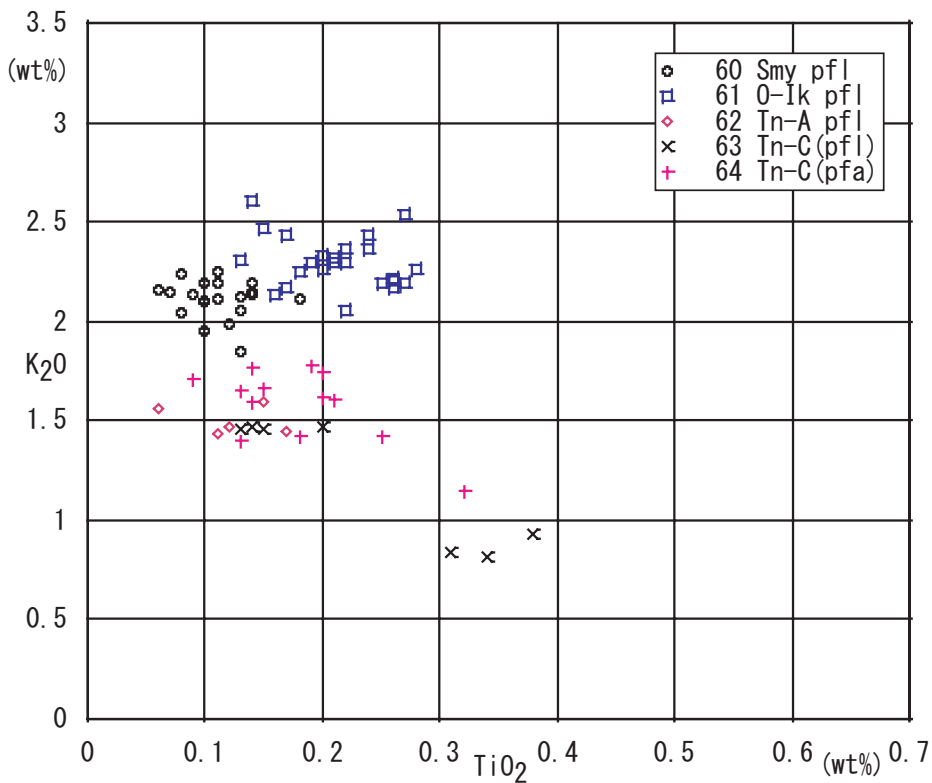
Fig. 2g K₂O-TiO₂ diagrams of glass shards in Pleistocene Towada C. tephra layers in the Tohoku district.

日本に分布する第四紀後期広域テフラの主元素組成(青木・町田)



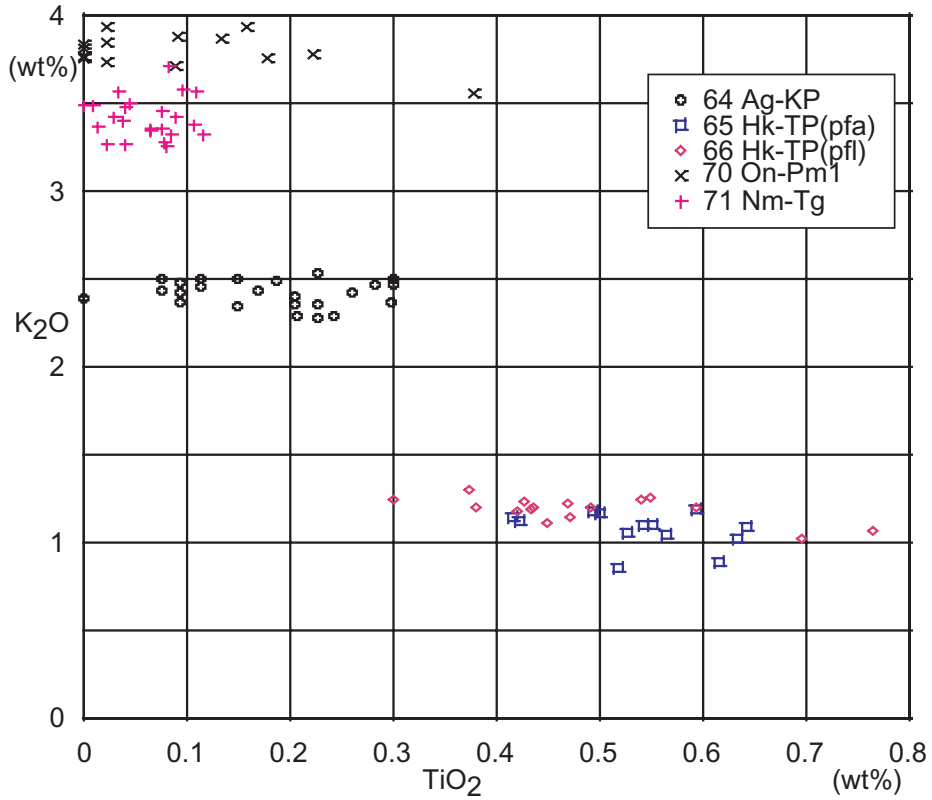
第2h図 東北地方岩手山・鳴子カルデラ・焼石岳起源のテフラ火山ガラスK₂O-TiO₂図。

Fig. 2h K₂O-TiO₂ diagrams of glass shards in marker-tephra layers from Mt. Iwate, Naruko C. and Mt. Yakeishi volcanoes in the Tohoku district.



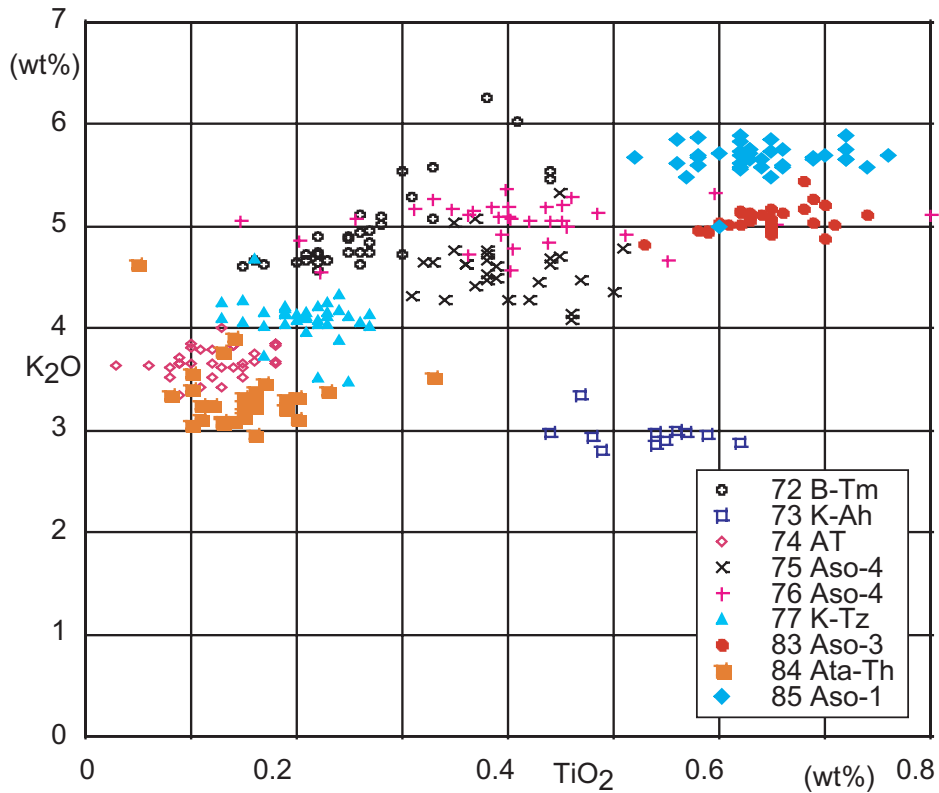
第2i図 東北地方中期更新世鬼首カルデラ・恐山起源のテフラの火山ガラスK₂O-TiO₂図。

Fig. 2i K₂O-TiO₂ diagrams of glass shards in marker-tephra layers from Middle Pleistocene Onikohbe and Osore volcanoes in the Tohoku district.



第2j図 関東・中部地方火山起源後期更新世テフラの火山ガラスK₂O-TiO₂図。

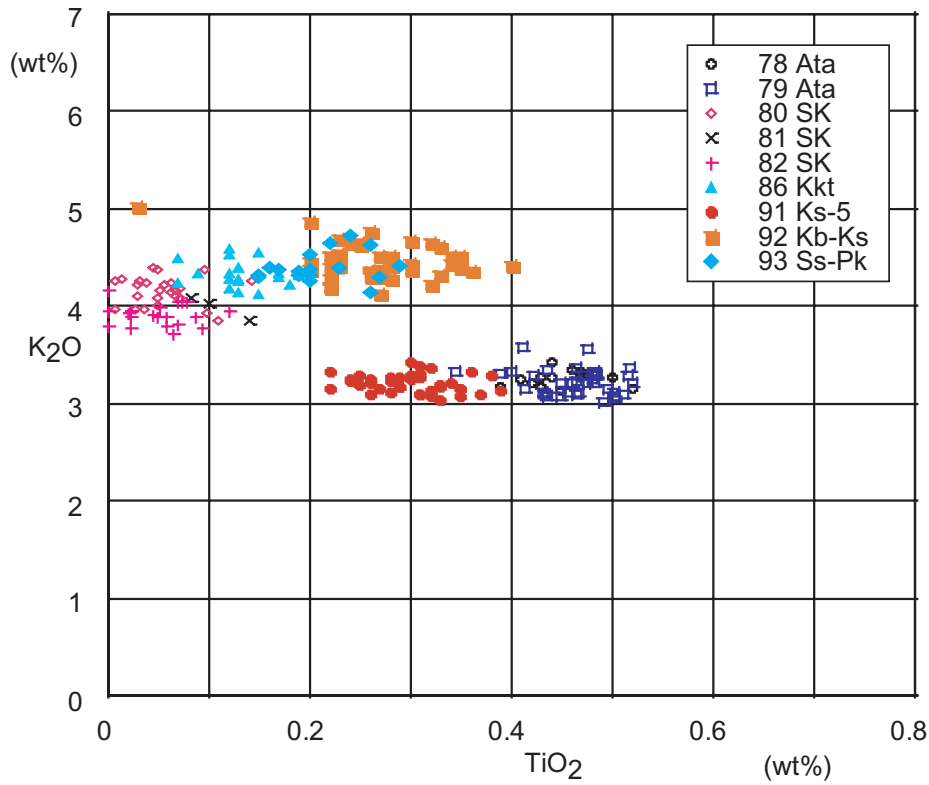
Fig. 2j K₂O-TiO₂ diagrams of glass shards in Late Pleistocene tephra layers from several volcanoes in the Kanto and the Chubu districts.



第2k図 広域テフラのK₂O-TiO₂図。

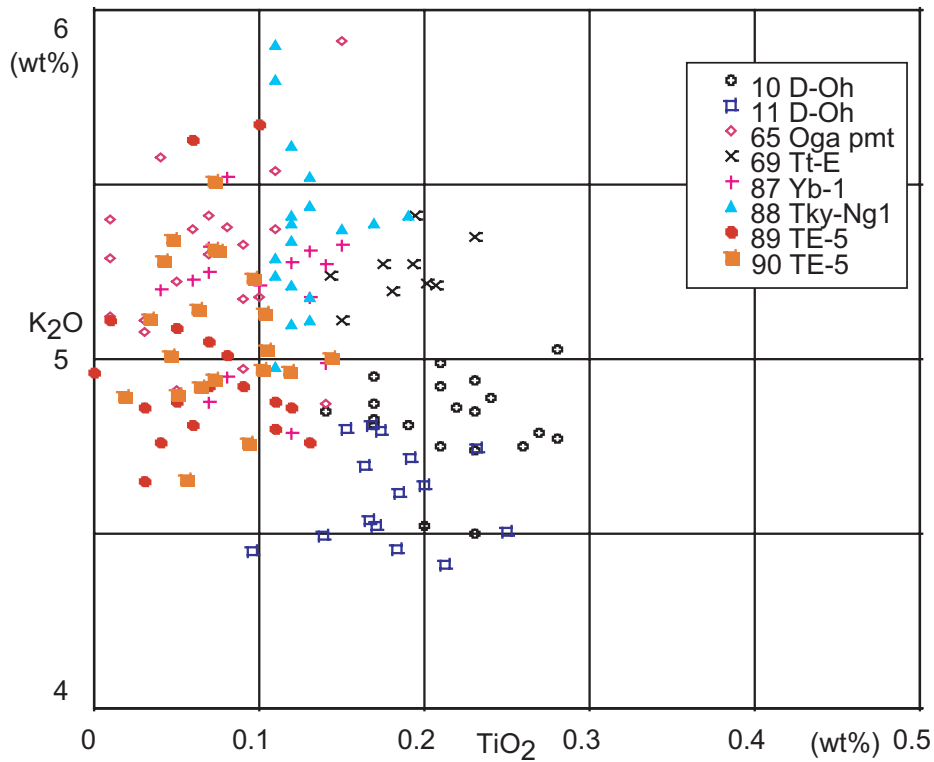
Fig. 2k K₂O-TiO₂ diagrams of glass shards in widespread marker-tephra layers originated from several volcanoes in the Kyushu and elsewhere.

日本に分布する第四紀後期広域テフラの主元素組成(青木・町田)



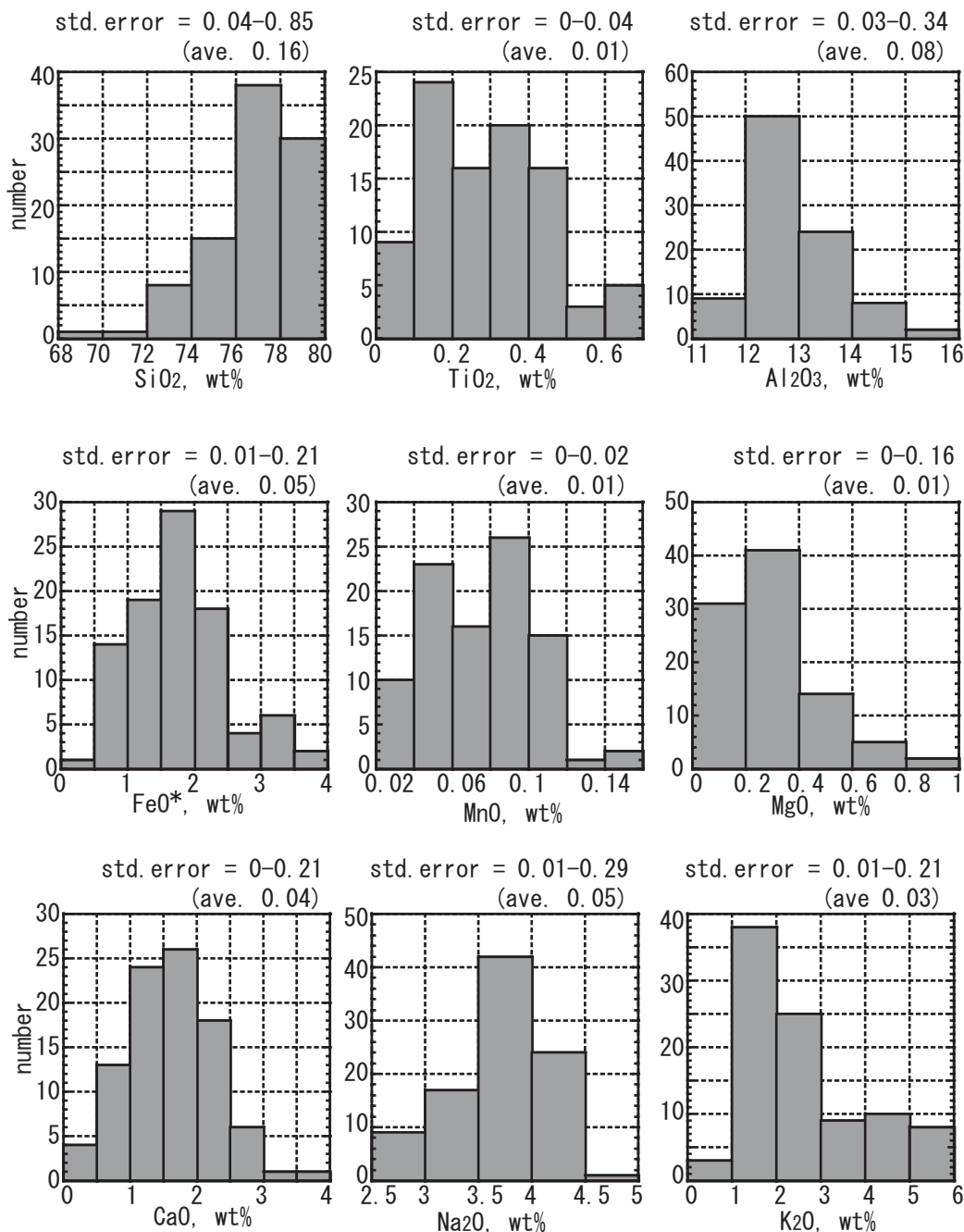
第21図 西日本火山(三瓶山・九州地方)起源の第四紀広域テフラの火山ガラス K_2O - TiO_2 図。

Fig. 21 K_2O - TiO_2 diagrams of glass shards in the Quaternary marker-tephra layers originated from several volcanoes in western Japan.



第2m図 背弧側火山(大雪御鉢平カルデラ・戸賀湾・飛騨山脈起源テフラの火山ガラス K_2O - TiO_2 図。

Fig. 2m K_2O - TiO_2 diagrams of glass shards in marker-tephra layers originated from volcanoes in the back-arc side of the Japan Islands (Daisetsu-Ohachidaira C., Toga bay and Hida Mountains).



第3図 日本の広域テフラの主元素組成平均値の度数分布。
std.error: 各テフラの分析値が持つ各元素の標準誤差の範囲とその平均値 (wt%)。

Fig. 3 Histograms of average of glass shards major element compositions from marker-tephra layers in Japan.
std.error: the range and average of standard errors each element in every tephra ranging (wt.%).

の男鹿パミスタフ (Oga pmt), 飛騨山脈起源の立山E (Tt-E), Yb-1, Tky-Ng1及びTE-5がその例である。これらのテフラはTiO₂含有量が少なく0.2 wt%以下という特徴もある (第2m図)。

更に, TiO₂含有量が0.1 wt%以下の火山ガラスをもつテフラも例が少ない。北海道起源の広域テフラである洞爺テフラ (Toya), 北関東の沼沢田頭テフラ (Nm-

Tg), 中国地方の三瓶木次テフラ (SK) がその例である。これらの3枚のテフラはCaO含有量が0.5 wt%程度しか含まれない点でも日本のテフラの中では非常に珍しく (第3図), 識別が容易なテフラといえる。CaO含有量が著しく少ないテフラとしては, 他に朝鮮半島起源のB-Tmがあげられるが, このテフラのTiO₂含有量は0.27 wt%あるため, 上記の3テフラの特徴とは異なる

る。B-Tmの火山ガラスはFeO*含有量が3.72 wt%と多く、アルカリ元素(Na₂O+K₂O)の合計が9.0 wt%を越えるという特徴がある。これは阿蘇起源テフラにも似るが、Ti, Caの特徴をすべて考慮すると、B-Tmの火山ガラスの主元素組成は日本列島の火山起源のテフラのそれとは大きく異なっている(第2k図)。

5. おわりに

EPMA分析による火山ガラスの化学組成のデータは、これまでも多く報告されてきたが、一部のテフラに限定され、また分析条件やWDS法(波長分散型)又はEDS法(エネルギー分散型)など分析方法が異なっていることもあり、そのまま直接比較することが難しかった(Furuta *et al.*, 1986; 八木・早田, 1989; 奥村, 1991; Suzuki, 1996; 青木・新井, 2000; 長橋ほか, 2003)。本データベースは、前述した一定の条件下で系統的に分析したデータをまとめたものである。

本データベースではこれまでよく知られたテフラの火山ガラス主元素組成を示したが、この他に風化しているために火山ガラスの分析が不能なテフラが若干ある。これらの対比・同定のためには、保存程度のよい試料を捜すとともに、風化に抵抗する鉱物類の化学組成を検討する必要がある。更に周辺地域の海底堆積物には、対比・同定されていない広域テフラがまだ多数存在すると思われる。これらの記載も今後なすべき課題である。

文 献

- 青木かおり・新井房夫(2000)三陸沖海底コアKH94-3, LM-8の後期更新世テフラ層序。第四紀研究, **39**, 107-120.
- Aoki, K. and Sakamoto, T. (2003) Late Quaternary tephrostratigraphy of the sediments from the Japan Trench forearc, Holes 1150A and 1150C. In Suyehiro, K., Sacks, I.S., Acton, G.D., and Oda, M. (eds.), *Proc. ODP, Sci. Results*, 186, 1-22 [Online]. Available from World Wide Web: http://www-odp.tamu.edu/publications/186_SR/VOLUME/CHAPTERS/116.PDF
- 青木かおり・山本浩文・山内守明(2000)「みらい」MR98-03次航海及びMR99-K04次航海で採取された海底コアの第四紀後期テフラ層序。海洋科学技術センター試験研究報告, **41**, 49-56.
- 新井房夫・大場忠道・北里 洋・堀部純男・町田 洋(1981)後期第四紀における日本海の古環境—テフロクロノロジー, 有孔虫群集解析, 酸素同位体法による—。第四紀研究, **20**, 209-230.
- Aramaki, S. and Ui, T. (1982) Regional distribution and characteristics. R. S. Thorpe (ed.) *Andesites*: 259-292, John Wiley & Sons.
- Chun, J. H., Ikehara, K., and Han, S. J. (2004) Evidence in Ulleung Basin sediment cores for a termination II (Penultimate deglaciation) eruption of the Aso-3 tephra. *The Quaternary Research* (Japan Association for Quaternary Research), **43**, 99-112 (in English with Japanese abstract).
- Froggatt, P. C. (1992) Standardization of the chemical analysis of tephra deposits. Report of the ICCT working group. *Quaternary International*, **13/14**, 93-96.
- Furuta, T., Fujioka, K. and Arai, F. (1986) Widespread submarine tephra around Japan—Petrographic and chemical properties. *Marine Geology*, **72**, 125-142.
- Machida, H. and Arai, F. (1983) Extensive ash falls in and around the Sea of Japan from large late Quaternary eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **18**, 151-164.
- 町田 洋・新井房夫(1992)火山灰アトラス〔日本列島とその周辺〕。東京大学出版会, 276p.
- 町田 洋・新井房夫(2003)火山灰アトラス〔日本列島とその周辺〕。東京大学出版会, 336p.
- 町田 洋・松田時彦・海津正倫・小泉武栄(2006編著)日本の地形 第5巻 中部。東京大学出版会, 385p.
- 中嶋 健・吉川清志・池原 研・片山 肇・木川栄一・上嶋正人・瀬戸浩二(1996)日本海南東部における海底堆積物と後期第四紀層序—特に暗色層の形成時期に関連して—。地質学雑誌, **102**, 125-138.
- 長橋良隆・吉田武義・中井聡子・奥平敬元(2003)XRF分析との比較によるテフラガラス片のEDS分析結果の評価と補正。第四紀研究, **42**, 265-277.
- 長橋良隆・佐藤孝子・竹下欣宏(2005)長野県北部・高野層ボーリングコアのテフラ層序。日本第四紀学会講演要旨集, **35**, 86-87.
- 奥村晃史(1991)火山ガラスの主成分組成に基づくテフラの対比—EPMA。月刊地球, **13**, 169-174.
- 相模原市立博物館(2003)相模原市立博物館資料目録4, テフラ標本目録—町田 洋コレクション—。81p.
- 白井正明・多田隆治・藤岡換太郎(1997)ODP日本海試料との対比に基づく男鹿半島安田海岸更新世中—後期テフラの同定と年代。第四紀研究, **36**, 183-196.
- 隅田まり(1988)斜里地域におけるテフラ層序。知床博物館研究報告, No.9, 19-31
- 曾根敏雄(1988)斜里地方における最終氷期後期の火山灰層の¹⁴C年代。知床博物館研究報告, No.9, 11-17.

- 曾根敏雄・米村 衛・隅田まり (1988) 北海道, 越川遺跡における約2万年前の細石刃様の石器. 第四紀研究, **30**, 107-114.
- 鈴木毅彦 (1993) 北関東那須野原周辺に分布する指標テフラ層. 地学雑誌, **102**, 73-90.
- 鈴木毅彦 (1999) 福島県太平洋岸, 塚原海岸における最終間氷期最盛期の海進海退過程とその時期降下したテフラについて. 地学雑誌, **108**, 216-230.
- Suzuki, T. (1996) Chemical analysis of volcanic glass by Energy X-Ray Spectrometry with JEOL-2001 and JSM-5200: Analytical procedures and application. *Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University*, **31**, 27-36.
- 巽 好幸 (1995) 沈み込み帯のマグマ学. 東京大学出版会, 186p.
- 山本浩文・青木かおり (2002) 「みらい」のMR00-K05次航海で採取した海底コアの第四紀後期テフラ層序. 海洋科学技術センター試験研究報告, **46**, 29-37.
- 八木浩司・早田 勉 (1989) 宮城県中部および北部に分布する後期更新世広域テフラとその層位. 地学雑誌, **98**, 871-885.

(受付: 2006年3月6日; 受理: 2006年10月27日)