東北南部会津地域を給源とする前期更新世に噴出した 隈戸火砕流とそれに伴う降下テフラ

鈴木 毅彦^a・村田 昌則^{*}

東北地方南部、会津地域を給源とする白河火砕流堆積物群中には、小野カルデラを給源とする前期更新世に噴出した隈戸火砕流堆積物が知られている。同火砕流堆積物に対比される co-ignimbrite ash-fall deposit は関東地方に広く分布する。これらを白河隈戸テフラ (Sr-Kmd) と新たに定義した。Sr-Kmd は、バブルウォール型、平行型、繊維型を主体とする火山ガラス、斜方輝石、単斜輝石、高温型石英などから構成される。火山ガラスと斜方輝石の屈折率はそれぞれ 1.500–1.503, 1.713–1.72 である。火山ガラスの主成分化学組成 (平均重量%) は、SiO₂: 78.5–78.7 wt%, TiO₂: 0.3 wt%, Al₂O₃: 11.6–11.7 wt%, FeO: 1.5–1.6 wt%, CaO: 0.6–0.7 wt%, K₂O: 3.6–3.9 wt%, Na₂O: 3.1–3.4 wt%, 微量成分化学組成は Ba: 567–606 ppm, La: 11–15 ppm, Y: 28–34 ppm の範囲にある。Sr-Kmd は、千葉県屏風ヶ浦犬吠層群小浜層および房総半島上総層群黄和田層中のガラス質火山灰層、多摩丘陵上総層群鶴川層中の金井タフに対比される。屏風ヶ浦において、Sr-Kmd は石灰質ナンノ化石対比基準面 10 と 11 の間にあり、両基準面間の堆積速度が一定とすれば、その噴出年代は約 1.51 Ma となる。

キーワード: 白河火砕流, 隈戸火砕流, テフラ, 上総層群, 黄和田層, 犬吠層群

I. はじめに

東北日本弧のカルデラ火山のいくつかは、数 10 km³ を超える大規模火砕流の流出に伴い、日本列島の北東半分を覆う co-ignimbrite ash-fall deposit (Sparks and Walker, 1977) をもたらした。その例として、洞爺テフラ (Toya, 112–115 ka: 町田ほか, 1987; 町田・新井, 2003), 八甲田国本テフラ (Hkd-Ku, 760 ka: Suzuki *et al.*, 2005), 玉川 R4 テフラ (Tmg-R4, 2.0 Ma: 鈴木・中山, 2007) などあげることができる。このような東北日本弧起源テフラの実態を把握することは、同地域のカルデラ火山の噴火史を構築するだけでなく、東北日本弧を中心とした日本列島全体の第四紀編年の構築に役立つ。

ところで、同地域のカルデラ火山を給源とすることが明らかな前期更新世テフラは、この時代の大規模火砕流堆積物の数に比べるとはるかに少なく、その一部しか対比・同定がされていないと判断できる。これに対して、

本研究では、同地域のカルデラ火山を給源とする新たなテフラの一つとして、福島県中南部会津地域のカルデラ群を給源とする隈戸火砕流堆積物 (吉田・高橋, 1991) に対比される降下テフラを関東地方に広く見出したので報告する。なお、隈戸火砕流堆積物に対比されるテフラは、先行研究により、新潟地域と房総半島で報告されている (坂井, 2001; 坂井・黒川, 2005) が、今回、千葉県屏風ヶ浦と東京湾西岸の多摩丘陵にも見出された。本論文では、隈戸火砕流堆積物と遠隔地に飛来した降下テフラなど一連の噴出物をまとめて、白河隈戸テフラ (Sr-Kmd) とよび、個々の記述に際して隈戸火砕流堆積物などの従来の名称を用いる。

II. 研究方法

テフラ対比に際しては、試料提供を受けた場合を除き、野外での肉眼による層相観察を行い、層厚、粒度、堆積状況などを記載し採取した。

すべてのテフラ試料は、粘土分が除去できるまで超音

2008 年 1 月 11 日受付, 2008 年 5 月 24 日受理。

^{*} 首都大学東京都市環境学部地理学教室 〒192-0397 八王子市南大沢 1-1.

^a Corresponding author: suzuki@tmu.ac.jp

波洗浄器で洗浄し、残った粒子を自然乾燥させた。そして、それらのうちの粒径 0.063 mm 以上の粒子について、鉱物組合せと火山ガラスの形態を実体顕微鏡を用いて明らかにした。なお、水成堆積物中のテフラの場合、重鉱物の含有比の微妙な違いは、テフラ認定においてはあまり重要でないため、実体顕微鏡下での目測による定性的な含有鉱物種の把握にとどめた。また、火山ガラスの形態分類は岸・宮脇 (1996) の基準に基づく。

上記の観察後、対比に必要な記載岩石学的特性を明らかにするため、火山ガラス、斜方輝石の屈折率を測定し、火山ガラスの主成分化学組成分析、さらに火山ガラスが十分に確保できる試料については、微量成分化学組成分析を行った。屈折率測定では京都フィッショントラック社製温度変化型屈折率測定装置 RIMS2000 を用い、火山ガラスに対しては 25 粒子以上について測定した。斜方輝石では、なるべく多くの粒子を粉砕し、50 以上の測定値を得ることを原則としたが、一部の試料では 1~2 粒子の斜方輝石しか得られなかったため、わずかな測定数に限られる場合もある。火山ガラスの主成分化学組成測定 (EDS 分析) では、日本電子製エネルギー分散型 X 線分析装置 JED-2300 および同社製走査顕微鏡 JSM-6390 を用いた。EDS 分析における測定条件は、加速電圧: 15 kV、試料電流: 1.2 nA であり、標準試料を用いた ZAF 補正を行い、15~16 のガラス片を測定した。なお、本研究での EDS 分析では CaO の重量%が低い傾向にある。標準試料とする AT の場合で、他機関が通常 0.9~1.2 wt% であるのに対し、0.6 wt% の値を示す (表 2 参照)。CaO の分析値については、正確度は劣るものの再現性は高く、相対的な値として議論に用いる精度は確認している。また、微量元素組成分析は、粒径 0.25~0.063 mm の火山ガラスをアイソダイナミックセパレータにより 98% 以上に純化した上で、ICP 発光分光分析 (三菱マテリアル資源開発株式会社 (現: 三菱マテリアルテクノ株式会社) 測定) によった。ICP 発光分光分析は 2 時期に分けて行ったが、それぞれの測定に際しては測定精度を確認するため、標準試料として JR-1 と JG-1a の測定もあわせて行った。

III. 会津地域、小野カルデラを給源とする 隈戸火砕流堆積物

1. 隈戸火砕流堆積物の記載

会津地域には複数の大規模火砕流堆積物が分布し、前~中期更新世に噴出した一連のものは白河火砕流堆積物 (群) (吉田・高橋, 1991) と総称されている。このうち最

図 1 Sr-Kmd の産出地点および隈戸火砕流堆積物の推定分布範囲

隈戸火砕流堆積物の分布推定は、吉田・高橋 (1991)、山元・吉岡 (1992)、鈴木・小池 (1994)、山元 (1999)、山元ほか (2006) に基づき作成。

Fig. 1 Map of the Kanto area showing localities of Sr-Kmd and the estimated distribution of Kumado pyroclastic flow deposit

下位の隈戸火砕流堆積物は、福島県中南部の小野カルデラ (山元, 1999) を給源とし、会津盆地周辺部から東北脊梁山地東側の白河丘陵、さらには栃木県中部の喜連川丘陵 (喜つれが) に分布する (図 1, 吉田・高橋, 1991; 山元・吉岡, 1992; 鈴木・小池, 1994; 山元, 1999; 山元ほか, 2006)。吉田・高橋 (1991) により、5 つの火砕流堆積物から構成されるとされた白河火砕流堆積物 (群) の中で、隈戸火砕流堆積物は含まれている斜方輝石の最大屈折率 γ が最も高いことが報告されている (鈴木・小池, 1994; 町田・新井, 2003)。このことは、同火砕流堆積物が他とは容易に識別できることを示す。

吉田・高橋 (1991) および山元 (2006) で模式地とされた白河市大信隈戸 (Loc. 1) では、基盤岩を覆う隈戸火砕流堆積物が露出する (図 2)。本地点の隈戸火砕流堆積物は、下位より層厚 40 cm の降下軽石堆積物、層厚 110 cm の非溶結火砕流堆積物、そしてそれを覆う数 m 以上の溶結した火砕流堆積物からなる。肌色をおびた降下軽石堆積物については、荷重のために本来の形状が識別しにくい、最大で粒径 3 cm 程度の扁平した軽石が認めら

れた。非溶結部と溶結部の境界は明瞭で、溶結部では 20～30 cm 程度の範囲において、弱溶結部から強溶結部に急激に移り変わる。

非溶結部は、バブルウォール型、平行型、繊維型を主体とする火山ガラス、斜方輝石、単斜輝石、高温型石英などから構成される。火山ガラスと斜方輝石の屈折率は

図 2 Sr-Kmd とそれを含む堆積物の柱状図

地点は図 1 に示す。◎が示されているテフラは藤岡・亀尾 (2004) により黄和田層中テフラとの対比がなされているもの。◆は村田・鈴木 (2007) により対比がされているもの。房総半島養老川の Sr-Kmd は、三梨ほか (1959) の Kd21, 坂井 (2001) の黄和田含高温型石英 (Kdhq), 坂井・黒川 (2005) の Kd21.5 に相当する可能性がある。Loc. 2 の石灰質ナノ化石対比基準面は藤岡・亀尾 (2004) による。

Fig. 2 Lithological columnar sections of Sr-Kmd and related sediments
Localities of each section are shown in Fig. 1. Tephra with a double circle is correlated with a tephra in the Kiwada Formation by Fujioka and Kameo (2004), and that with a closed diamond is correlated with a tephra in the Kiwada Formation by Murata and Suzuki (2007).

表 1 Sr-Kmd の記載岩石学的特性
Table 1 Petrographic properties of Sr-Kmd

(1) Tephra	(2) Reference	(3) Locality	(4) Type	(5) Thickness in cm	(6) Maximum grain size of glass shards in mm	(7) Composition glass; heavy mineral; light mineral	(8) Refractive index gl: glass (n), opx: orthopyroxene (γ)
Shirakawa-Kumado Tephra (Sr-Kmd)							
<i>Kumado pyroclastic flow deposit</i>	Yoshida & Takahashi (1991)	Loc.1 (N37°149' E140°751'*)	pt/p/a	>300	—	bw>>str, fib; ho, mt>opx>cpx; β-qt	gl: 1.500-1.502 (29) opx: 1.713-1.722 (85)
unnamed tephra between Kd18 and Kd23B (Ob4d)	Sakai (1990)	Loc.2 (N35°41'44" E140°45'23")	afa	7	0.8	bw, str, fib, spg: opx>cpx, mt (ho); β-qt	gl: 1.501-1.503 (38) opx: 1.717-1.720 (51)
unnamed tephra 8m above Kd22	—	Loc.3a (N35°12'51" E140°11'13")	afa	12	0.4	bw>str, fib; opx>qtz (ho); β-qt	gl: 1.501-1.502 (34) opx: 1.717-1.719 (11)
unnamed tephra (Kd21?)	—	Loc.3b (N35°12'50" E140°10'59")	afa	22	0.4	bw>>str, fib; opx, mt>cpx; β-qt	gl: 1.501-1.503 (26) opx: 1.720 (3)
<i>Kanai Tuff</i> (KN)	Takano (1994)	Loc.4 (N35°34' E139°29')	afa	40	0.7	bw>str, fib; opx>cpx>>mt; β-qt	gl: 1.501-1.503 (28) opx: 1.715-1.722 (79)

(1) Local name by previous study in (2) is shown in italic. (3) Localities are shown in WG84. (4) afa: ash fall deposit, pft: pyroclastic flow deposit (7) opx: orthopyroxene, cpx: clinopyroxene, ho: hornblende, mt: titanomagnetite, β-qt: β-quartz, bw: bubble-wall type of glass shards, str: stripe type of glass shards, fib: fiber type of glass shards, spg: sponge type of glass shards (8) Determined with RIMS2000. Numerals in parenthesis are numbers of analyses. Locality, type and thickness of Kanai Tuff are after Takano (1994).

表 2 Sr-Kmd の火山ガラス主成分および微量成分化学組成
Table 2 Chemical compositions of glass shards from Sr-Kmd

Local name Locality	Major element compositions (wt%) †										Trace and rare earth element compositions (ppm) ††							
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	n	Ba	La	Sc	Sr	V	Y	Zn	La/Y
Sr-Kmd																		
Kumado pyroclastic flow deposit (Loc. 1)	78.5	0.3	11.7	1.5	0.1	0.2	0.7	3.7	3.4	100.0	94.2	16						
	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	1.3							
unnamed tephra between Kd18 and Kd23B (Ob4d) (Loc. 2)	78.5	0.3	11.7	1.6	0.1	0.2	0.7	3.7	3.3	100.0	92.3	16						
	0.3	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.5							
unnamed tephra 8m above Kd22 (Loc.3a)	78.7	0.3	11.6	1.5	0.1	0.2	0.6	3.9	3.1	100.0	91.9	15						
	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	1.1							
unnamed tephra (Kd21?) (Loc. 3b)	78.7	0.3	11.7	1.5	0.1	0.2	0.6	3.8	3.1	100.0	91.6	16						
	0.3	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.0	1.3							
Kanai Tuff (KN) (Loc. 4)	78.6	0.3	11.7	1.6	0.1	0.2	0.6	3.6	3.3	100.0	90.3	16						
	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.0	2.1							
AT (Kamishibania, Gotenba)	78.4	0.2	12.1	1.5	0.1	0.1	0.6	3.7	3.3	100.0	92.6	34						
	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.0	2.3							

Localities (Loc.) as in Figure 1 and Table 1. †: Analyses recalculated to 100% on a volatile-free basis and presented as a mean and standard deviation of n shard analyses. FeO: total iron as FeO. Determined by a JEOL JSM-6390 (scanning electron microscope) and a JEOL JED-2300 energy dispersive X-ray spectrometry using a 1.2 nA current at 15 kV and a 10-μm beam diameter. †† Trace and rare earth element analyses (ppm) determined by solution inductively coupled plasma mass spectrometry performed by Mitsubishi Material Natural Resources Development Corporation.

表 3 隈戸火砕流堆積物の放射年代値

Table 3 Radiometric ages of Kumado pyroclastic flow deposit

Age (Ma)	Dating method	Locality	Reference
1.1±0.2	FT	Niitsuru V.	Yamamoto <i>et al.</i> (2006)
1.4±0.2	FT	Loc. 1	Suzuki <i>et al.</i> (1998)
1.3±0.3	K-Ar	Aizu-takada T.	Yamamoto (1992)
1.47±0.09	K-Ar	Shimogo T.	NEDO (1990)
1.1±0.4	K-Ar	Tajima T.	Yamaguchi (1986)
1.2±0.2	K-Ar	Tajima T.	Yamaguchi (1986)

[Dating method] FT: Fission track dating method

K-Ar: Potassium argon dating method

All localities are located in Fukushima Prefecture.

それぞれ $n = 1.500 - 1.502$, $\gamma = 1.713 - 1.722$ である (表 1)。また、火山ガラスの主成分化学組成は、 SiO_2 : 78.5 wt% (平均重量%, 以下同様), TiO_2 : 0.3 wt%, Al_2O_3 : 11.7 wt%, FeO : 1.5 wt%, CaO : 0.7 wt%, K_2O : 3.7 wt%, Na_2O : 3.4 wt%, 微量成分化学組成が Ba: 602 ppm, La: 14 ppm, Y: 33 ppm である (表 2)。La/Y 比は 0.4 であり、これは日本列島に分布するテフラとしては低めであり、東北起源テフラの特徴 (水野, 2001) を示す。

2. 隈戸火砕流堆積物の噴出年代に関する既往の報告

隈戸火砕流堆積物およびその相当層については、これまで複数の放射年代値 (表 3) と逆帯磁を示す古地磁気学データ (Manabe, 1980; 山元, 1999) が得られている。山元 (2006) は、逆帯磁を示すことやフィッシュ・トラック年代値および K-Ar 年代値を整理して、その噴出年代を約 1.4 Ma と推定している。

IV. 関東地方に分布する Sr-Kmd に類似する降下テフラ

隈戸火砕流堆積物の推定年代である 1.4 Ma 前後は、関東地方においては東京湾両岸に上総層群 (三梨ほか, 1959)、千葉県銚子市から旭市にかけての屏風ヶ浦付近で犬吠層群 (酒井, 1990) とよばれる、いずれも鮮新世～中期更新世の海成堆積物が堆積した時代である。従来の研究を参考に、これらの海成堆積物中のおおよそ 1.4 Ma 前後と判断される層準を中心に、各種記載岩石学的特性 (火山ガラスの屈折率と主成分・微量成分化学組成、鉱物組み合わせなど) に基づき、隈戸火砕流堆積物と対比されるテフラの有無を検討した。その結果、千葉県屏風ヶ浦の犬吠層群小浜層、房総半島養老川の上総層群黄和田層および多摩丘陵上総層群鶴川層中のガラス

質火山灰層は、以下に述べるように Sr-Kmd に類似することが明らかになった。

1. 千葉県屏風ヶ浦

太平洋に面した屏風ヶ浦には犬吠層群 (酒井, 1990) が露出する。本層群は、細粒で連続的な海成層であり、これまでに微化石、古地磁気、テフラに関する報告がなされている (Matoba, 1967; Koizumi and Kanaya, 1976; 佐藤ほか, 1988, 1999; 酒井, 1990; 藤岡・亀尾, 2004)。藤岡・亀尾 (2004) は、犬吠層群小浜層中に、房総半島上総層群黄和田層中の Kd5A (藤岡・亀尾 (2004) による小浜層中での名称は Ob5.1), Kd16 (酒井 (1990) による小浜層中での名称は Ob5a, 以下同様), Kd24 (Ob4c), Kd25 (Ob4a), Kd38 (Ob2), Kd39 (Ob1) の各テフラを見出した。このうち、Kd16 は九州起源の広域テフラ (水野, 2007), Kd24 は新潟地域にも分布が報告されている中部山岳起源の広域テフラである (長橋ほか, 2000; 坂井・黒川, 2002)。

Kd16 (Ob5a) と Kd24 (Ob4c) 間には約 20 枚のテフラがあるが、このうちの 3 枚について、村田・鈴木 (2007) は上総層群黄和田層中の Kd17, Kd18, Kd23B (Ob4d) に相当するとした (図 2)。ところで、Kd18 の 5.7 m 下位、Kd23B (Ob4d) の約 3.5 m 上位には、層厚 7 cm の未命名のガラス質火山灰層がシルト岩中に挟在する。本層は下部 1 cm が粗粒砂サイズの火山灰層、上部 6 cm が中粒砂サイズの白色火山灰層からなる。バブルウォール型、平行型、繊維型、スポンジ型の火山ガラス (最大径 0.8 mm) を主体とし、そのほかに斜方輝石、単斜輝石、高温型石英を含むガラス質火山灰層である。火山ガラスの屈折率 n は 1.501–1.503、斜方輝石の最大屈折率 γ は 1.717–1.720 である (表 1)。火山ガラスの主成分化学組成は、 SiO_2 : 78.5 wt%, TiO_2 : 0.3 wt%, Al_2O_3 : 11.7 wt%, FeO : 1.6 wt%, CaO : 0.7 wt%, K_2O : 3.7 wt%, Na_2O : 3.3 wt%, 微量成分化学組成は Ba: 606 ppm, La: 14 ppm, Y: 33 ppm, La/Y 比: 0.42 である (表 2)。これらの特徴は Loc. 1 の隈戸火砕流堆積物のそれらと類似する。

2. 房総半島養老川

房総半島養老川上流部、大多喜町栗又集落東方の養老川右岸沿いの林道 (Loc. 3a) では、上総層群黄和田層中部に含まれる Kd22 (三梨ほか, 1959; 千葉県立中央博物館, 1991; 里口, 1995) の上位約 8 m に層厚 12 cm の白～肌色ガラス質火山灰層が挟在する (図 2, 図 3)。本層と同様な層厚 22 cm (再堆積部を含む) のガラス質火山灰層は、同地点より約 360 m 下流の養老川左岸沿い

図3 大多喜町栗又付近における三梨ほか(1959)によるルートマップ(a)と地形図(b)
(国土地理院発行2万5千分の1地形図「上総中野」の一部)

Fig. 3 Geological route map (Mitsunashi *et al.*, 1959) (a), Topographical map (Kazusa-nakano) (b) around Awamata, Otaki town

(Loc. 3b)においても、三梨ほか(1959)に示されたKd 22の上位11 m付近で観察できる。Loc. 3bに産出する火山灰層は、三梨ほか(1959)によるルート図ではKd21に相当する可能性がある(図3)。一方、千葉県立中央博物館(1991)は養老川東方の平沢川においてKd21の産出地点と岩相を示しているが、同地点のKd21は里口(1995)や佐藤ほか(2004)の岩石記載にもあるようにスポンジ型の火山ガラスを主とし、後述のとおり、三梨ほか(1959)のKd21とみられるテフラとは異なる。このため、本論文では、今回記載した養老川のガラス質火山灰層を単純にKd21とよぶことは混乱が生じると考え、今回はKd21とは記述しない。

Locs. 3a, 3bの両地点に産出するガラス質火山灰層は、いずれもバブルウォール型、平行型、繊維型を主体とするガラス質火山灰層で、火山ガラスの屈折率 n は1.501–1.503の範囲にある(表1)。斜方輝石の最大屈折率 γ は、Loc. 3aで1.717–1.719、Loc. 3bで1.720といった狭い範囲の測定値が得られたが、これは試料から取りだすことのできた斜方輝石の数が少なく、少数の測定値しか得られなかったことによる。また、火山ガラスの主成分化学組成は、 SiO_2 : 78.7 wt%, TiO_2 : 0.3 wt%, Al_2O_3 : 11.6–11.7 wt%, FeO : 1.5 wt%, CaO : 0.6 wt%,

K_2O : 3.8–3.9 wt%, Na_2O : 3.1 wt%の範囲に、微量成分化学組成は、Ba: 567–582 ppm, La: 11–15 ppm, Y: 28–34 ppm, La/Y比: 0.39–0.44の範囲にあり、両者が同一テフラであることを示す(表2)。以上の特徴はLoc. 1の隈戸火砕流堆積物のそれらと一致する。

なお、隈戸火砕流堆積物に対比される黄和田層中におけるテフラの存在を示す先行研究がある(坂井, 2001; 坂井・黒川, 2005)。坂井(2001)は、黄和田含高温型石英(Kdhq)と新称したテフラが新潟地域(図1)にも分布し、会津盆地西縁のNn1火砕流堆積物(山元・吉岡, 1992)、すなわち隈戸火砕流堆積物に対比できることを示した。その後、坂井・黒川(2005)は黄和田層中の当該テフラをKd21.5とよび、隈戸火砕流堆積物に対比できる可能性を示した。Kd21.5と称されるテフラが、本報告で記載したLoc. 3a, 3bのテフラと同一であるかは不明であるが、Kd21.5と称されることから層位が類似する可能性が高く、同一のものを指している可能性が高い。また、里口(1995)も上総層群中のテフラの記載岩石学的性質を示すなかで、Kd21とKd22の間に岩相、ガラスの形状・屈折率からみて本報告のテフラによく類似したテフラ(里口, 1995, サンプル番号104)を記載しており、同一物を示している可能性がある。

3. 多摩丘陵

多摩丘陵に分布する上総層群については、多数の層序・編年学的研究がある(高野, 1994 など)。最近では、同層群に介在するテフラと房総半島の上総層群中のテフラとの対比が検討されている(高野, 2002; 鈴木, 2004 など)。隈戸火砕流堆積物に類似する降下テフラは、房総半島上総層群中では層位的に Kd18 の下位にある。一方、多摩丘陵中部では Kd18 に対比されるテフラとして、王禅寺層上部に介在する浅間テフラ(SG: 河井, 1955)が知られている(鈴木, 2004)。これに基づき、SG の下位に位置し、隈戸火砕流堆積物に類似するテフラを検討したところ、上総層群鶴川層に含まれる金井タフ(KN: 高野, 1994)が候補にあげられた。

高野(1994)によれば、KN は町田市金井町木倉(Loc. 4)において産出する層厚 40 cm のガラス質凝灰岩であり、上方に細粒化するとされている(図 2, 表 1)。本テフラの連続は明らかでなく、現在ではその露頭は失われている。このため、小泉明裕氏(飯田市美術館)により提供を受けた試料について、詳細な記載岩石学的性質を明らかにした。試料は Loc. 4 で得られたもので、結晶に富む粗粒火山灰からなる最下部層厚 5 mm の試料と、その上位の中粒砂サイズの層厚 6 mm の白色ガラス質火山灰層の試料である。下位の試料には、重鉍物として斜方輝石、単斜輝石、チタン磁鉄鉍を含むほか、軽鉍物として多くの高温型石英(最大径 1.6 mm)を含む。斜方輝石の最大屈折率 γ は 1.715–1.722 を示す(表 1)。また、上位の試料の火山ガラスはバブルウォール型、平行型、繊維型が主体であり、屈折率 n は 1.501–1.503 である。火山ガラスの主成分化学組成は、 SiO_2 : 78.6 wt%, TiO_2 : 0.3 wt%, Al_2O_3 : 11.7 wt%, FeO : 1.6 wt%, CaO : 0.6 wt%, K_2O : 3.6 wt%, Na_2O : 3.3 wt% である(表 2)。これらの特徴は、Loc. 1 の隈戸火砕流堆積物のそれらと一致する。

V. 考 察

1. 関東地方における Sr-Kmd の認定

以上述べたように、屏風ヶ浦、東京湾を挟んだ房総半島と多摩丘陵の 3 地域 4 地点から、隈戸火砕流堆積物に酷似したテフラが検出された。それらのテフラが対比可能であるか、これまで判明している層位から検討する。

房総半島養老川に産出するものは Kd19 よりも明らかに下位に位置し、また Kd22 の約 8–10 m 上位に位置する(図 2)。一方、既述のように多摩丘陵の KN も SG、すなわち Kd18 よりも下位に位置する。さらに屏風ヶ浦で

は、村田・鈴木(2007)により Kd18 と Kd23B が認定され、前者の約 5.7 m 下位、後者の約 3.5 m 上位に今回取り上げたテフラが位置する。以上のように、いずれも Kd18 相当層よりも若干下位に位置する。Kd18 は、房総半島上総層群における石灰質ナンノ化石対比基準面(佐藤ほか, 1999)との関係からみれば、基準面 9 と基準面 10 の間に位置するので、その年代は 1.27–1.45 Ma と考えられる。

一方、当該テフラの年代の下限を示す下位のテフラでよく年代が知られたものとしては、房総半島および屏風ヶ浦では Kd25 (=Ob4a) がある。Kd25 は飛騨山脈の火山起源であるとされる大峰溶結凝灰岩層と対比され、大峰テフラないしは大峰-Kd25 テフラとよばれ、中部地方から東北地方で分布が確認されている(長橋ほか, 2000, 2002)。その噴出年代は、生層序、古地磁気層序、放射年代値などから 1.60–1.65 Ma 前後と推定されている(里口ほか, 1999; 長橋ほか, 2000; 町田・新井, 2003)。

以上から、隈戸火砕流堆積物に類似するテフラの堆積年代は、広くみて 1.65 Ma 以降で 1.27 Ma 以前と考えられる。一方、隈戸火砕流堆積物の噴出年代は、多数の年代資料をもとに山元(2006)により、およそ 1.4 Ma とされている。したがって、これらに対比することに年代的な矛盾はなく、多くの記載岩石学的性質も一致する。さらに、関東地方の 4 地点に分布するこれらテフラに含まれる火山ガラスの最大径は 0.4–0.8 mm の範囲にあり(表 1)、急激に変化しない。これは給源火山から各地点への距離が大きく異ならないことを示唆し、福島県中南部の小野カルデラを給源と考えることに矛盾は生じない。なお、層厚は 7–40 cm とやや大きく変化するが、いずれも水成堆積物中のテフラであるので、再堆積や侵食などにより層厚が変化することは十分にありうる。以上より、これまで述べてきたテフラは互いに対比できると結論できる。以後、隈戸火砕流堆積物と遠隔地に飛来した降下テフラをまとめて白河隈戸テフラ(Sr-Kmd)とよぶ。

2. Sr-Kmd の噴火様式と堆積プロセス

隈戸火砕流堆積物の模式地 Loc. 1 は、同テフラの給源とされている小野カルデラの南東方約 20 km 付近に位置する。本地点では、同テフラ基底部はプリニー式噴火による降下軽石堆積物からなる。関東地方に降下堆積した Sr-Kmd に含まれる火山ガラスはバブルウォール型を主体とする。一方、降下軽石堆積物を覆う火砕流堆積物基底の非溶結部はバブルウォール型の火山ガラスを

主体とする。このことから、今回関東地方で見出された降下テフラは火砕流に伴う co-ignimbrite ash-fall deposit である可能性を示唆する。Sr-Kmd を認定した給源から最も離れた Loc. 3a は給源から約 240 km 南方に分布する。さらに坂井 (2001), 坂井・黒川 (2005) によれば、小野カルデラから北西に約 90 km 離れた新潟地域にも降下テフラが分布している (図 1)。すでに述べたように、東北日本弧のカルデラ火山は、大規模な火砕流流出に伴い、日本列島の北東半分を覆う co-ignimbrite ash-fall deposit をもたらした。その例として、Toya, Hkd-Ku, Tmg-R4 などの広域テフラをあげたが、今回認定した Sr-Kmd もこれらと同様に、南方向や北西方向にまで分布を広げた。Sr-Kmd は、co-ignimbrite ash-fall deposit の分布には特定の方向性がなく、全方位方向に分布する (鈴木・中山, 2007) ことを示唆する事例といえる。

3. Sr-Kmd の噴出年代

Sr-Kmd の噴出年代は、同テフラの対比候補を絞る際に、層位的に Kd18 と Kd25 に挟まれることから、1.65 ~ 1.27 Ma とした。また、山元 (2006) は限戸火砕流堆積物の多数の年代資料をもとに、およそ 1.4 Ma とした。しかし、これらの推定年代には幅がある。したがって、ここでより厳密な年代推定を試みる。房総半島では Sr-Kmd 層準前後の上総層群の露出は必ずしもよくなく、層厚の計測や堆積物の連続性の確認が難しい。多摩丘陵の場合も現在露出が悪く、KN 前後の年代既知の示準面との関係がよくわからない。これに対して、屏風ヶ浦では前後の指標テフラや微化石による示準面との関係がよくわかっている。

藤岡・亀尾 (2004) によれば、Ob5a (Kd16) の約 1 m 下位に石灰質ナンノ化石対比基準面 10 (1.45 Ma: 佐藤ほか, 1999), Ob4a (Kd25) の約 3.5 m 下位に基準面 11 (1.65 Ma: 佐藤ほか, 1999) が位置する (図 2)。両対比基準面を含む小浜層中～上部は、その上下の層準に比べて著しく堆積速度が遅く、2 ~ 10 cm/1,000 年であったとされている (藤岡・亀尾, 2004)。両対比基準面間で堆積速度が一定とすれば、Sr-Kmd は基準面 10 の 4.7 m 下位、基準面 11 の 10.1 m 上位に位置する (テフラの層厚は除く) ので、Sr-Kmd の噴出年代は約 1.51 Ma (堆積速度は 7.4 cm/1,000 年) と見積もられる。この推定年代は、山元 (2006) による推定年代の 1.4 Ma より若干古い。しかし、これまで得られている放射年代値 6 点のうちの 4 点の誤差範囲内である。また、石灰質ナンノ化石対比基準面の年代値が、きわめて多数の年代資料から得

られていることを考慮すれば、Sr-Kmd の噴出年代が約 1.51 Ma であることに大きな問題はないと判断できる。

VI. おわりに

本報告では、会津地域を給源とする白河火砕流堆積物群中の限戸火砕流堆積物と、それに対比される降下テフラを関東地方各地において認定した。これにより、東北日本弧のカルデラ火山起源テフラの実体の一部を明らかにすることができた。一方で、白河火砕流堆積物群には限戸火砕流堆積物以外にも同規模の火砕流堆積物が複数ある。それらについても先行研究により、房総半島上総層群中テフラとの対比案が示されているが、必ずしも一致した対比結果になっていない (水野, 2001; 鈴木, 2004; 坂井・黒川, 2005)。火砕流に伴う降下テフラを詳細な編年が確立されている遠隔地で検出することは、精度の高い噴火年代を明らかにすることにつながり、また、分布から噴火の規模自体を算出する手がかりにもなる。したがって、東北日本弧のカルデラ火山の実体をより詳細に明らかにするためには、本論文で扱った Sr-Kmd 以外の白河火砕流堆積物群に対比される広域テフラの検討が必要である。

謝辞 金井タフの試料は飯田市美術博物館の小泉明裕氏にご提供いただいた。また、査読者の意見により本稿を改善することができた。ここに感謝の意を表します。本研究報告は、地球惑星科学関連学会 2007 年合同大会第四紀セッションでの発表内容をその後発展させたものである。本調査研究に際しては、平成 18 年度首都大学東京特定研究寄附金「古環境復元に関わる火山灰編年学研究」(代表者: 鈴木毅彦) を用いた。

引用文献

- 千葉県立中央博物館 (1991) 地学資料 上総層群下部鍵層集 (1990 年版). 218 p, 千葉県立中央博物館.
- 藤岡導明・亀尾浩司 (2004) テフラ鍵層に基づく銚子地域の小浜層と房総半島の上総層群黄和田層, 大田代層および梅ヶ瀬層との対比. 地質学雑誌, 110, 480-496.
- 河井興三 (1955) 川崎市を中心とする地域. 神奈川県知事公室企画審議課編「神奈川県下の天然瓦斯地下資源」: 13-21, 神奈川県知事公室企画審議課.
- 岸 清・宮協理一郎 (1996) 新潟県柏崎平野周辺における鮮新世—更新世の褶曲形成史. 地学雑誌, 105, 88-112.
- Koizumi, I. and Kanaya, T. (1976) Late Cenozoic ma-

- rine diatom sequence from the Choshi district, Pacific coast, central Japan. Takayanagi, Y. and Saito, T. (eds.) *Progress in Micropaleontology*: 144-159, Micropaleontology Press.
- 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]. 336 p, 東京大学出版会.
- 町田 洋・新井房夫・宮内崇裕・奥村晃史 (1987) 北日本を広くおおむね洞爺火山灰. 第四紀研究, 26, 129-145.
- Manabe, K. (1980) Magnetostratigraphy of the Yamato Group and the Sendai Group, Northeast Honshu, Japan. *Science Reports of the Faculty of Education, Fukushima University*, 30, 49-71.
- Matoba, Y. (1967) Younger Cenozoic foraminiferal assemblages from the Choshi district, Chiba Prefecture. *Science Reports of the Tohoku University, Ser. 2 (Geology)*, 38, 221-263.
- 三梨 昂・安国 昇・品田芳二郎 (1959) 千葉県養老川・小櫃川の上総層群の層序. 地調月報, 10, 82-98.
- 水野清秀 (2001) 鮮新・更新統中の広域テフラから火山活動の場とその影響範囲の変化を探る. 月刊地球, 23, 605-609.
- 水野清秀 (2007) 中部九州起源の前期更新世広域火山灰, 敷戸-イエロー 1 テフラ. 平成 16~18 年度文部科学省科学研究費補助金 (基盤研究(B)) 研究成果報告書「鮮新・更新世古地理の高精度復元」(課題番号: 16300297, 代表者: 山崎晴雄), 53-58.
- 村田昌則・鈴木毅彦 (2007) 千葉県銚子地域屏風ヶ浦に分布する犬吠層群中の前期更新世テフラ対比に関する再検討. 地球惑星科学関連学会 2007 年合同大会 Q139 「第四紀」オーラルセッション, Q139-007.
- 長橋良隆・片岡香子・吉川周作・佐藤時幸 (2002) 秋田県男鹿半島の北浦層に挟在する Km3 テフラ層と大峰-SK110 テフラとの対比. 地質学雑誌, 108, 761-764.
- 長橋良隆・里口保文・吉川周作 (2000) 本州中央部における鮮新・更新世の火砕堆積物と広域火山灰層との対比および層位噴出年代. 地質学雑誌, 106, 51-69.
- NEDO [新エネルギー・産業技術総合開発機構] (1990) 全国地熱資源総合調査 (第 3 次) 広域熱水流動系調査火山性熱水対流系地熱タイプ③ 那須地域火山地質図及び地熱地質編図説明書. 68 p, 新エネルギー・産業技術総合開発機構.
- 坂井 一 (2001) 新潟県の更新世前期火山灰層の対比とその給源方向. 日本地質学会第 108 年学術大会講演要旨, 233.
- 坂井 一・黒川勝己 (2002) 新潟地域の SK110, SK100 火山灰層と房総半島黄和田層の Kd25, Kd24 火山灰層の対比. 地球科学, 56, 217-230.
- 坂井 一・黒川勝己 (2005) 新潟地域の月岡ゴマンオテフラ層および房総半島の Kd18 テフラ層と会津地域の芦野火砕流堆積物との対比. 地質学雑誌, 111, 561-564.
- 酒井豊三郎 (1990) 千葉県銚子地域の上部新生界一岩相・古地磁気・放散虫化石層序一. 宇都宮大学教育学部研究報告, 23, 1-34.
- 佐藤万理・鈴木毅彦・中山俊雄 (2004) 東京都板橋区および大田区地下に産出する前期更新世テフラの層序と対比. 地学雑誌, 113, 816-834.
- 佐藤時幸・亀尾浩司・三田 勲 (1999) 石灰質ナノ化石による後期新生代地質年代の決定精度とテフラ層序. 地球科学, 53, 265-274.
- 佐藤時幸・高山俊昭・加藤道雄・工藤哲朗・亀尾浩司 (1988) 日本海側に発達する最上部新生界の石灰質微化石層序, その 4: 総括一太平洋側および鮮新統/更新統境界の模式地との対比. 石油技術協会誌, 53, 475-491.
- 里口保文 (1995) 上総層群中・下部の火山灰層序. 地質学雑誌, 101, 767-782.
- 里口保文・長橋良隆・黒川勝己・吉川周作 (1999) 本州中央部に分布する鮮新-下部更新統の火山灰層序. 地球科学, 53, 275-290.
- Sparks, R.S.J. and Walker, G.P.L. (1977) The significance of vitric-enriched air-fall ashes associated with crystal-enriched ignimbrites. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2, 329-341.
- 鈴木毅彦 (2004) 関東平野南部の上総層群にテフラを供給した給源火山の推定とその第四紀前半の爆発的噴火活動. 日本第四紀学会講演要旨集, 34, 30-31.
- Suzuki, T., Eden, D., Danhara, T. and Fujiwara, O. (2005) Correlation of the Hakkoda-Kokumoto Tephra, a widespread Middle Pleistocene tephra erupted from the Hakkoda Caldera, northeast Japan. *The Island Arc*, 14, 666-678.
- 鈴木毅彦・藤原 治・檀原 徹 (1998) 関東北部から東北南部に分布する第四紀テフラのフィッシュ・トラック年代. 第四紀研究, 37, 95-106.
- 鈴木毅彦・小池一之 (1994) 栃木県喜連川丘陵に分布する火砕流堆積物と白河火砕流堆積物群の対比. 日本地理学会予稿集, 46, 62-63.

- 鈴木毅彦・中山俊雄 (2007) 東北日本弧, 仙岩地熱地域を給源とする 2.0 Ma に噴出した大規模火砕流に伴う広域テフラ. 火山, 52, 23-38.
- 高野繁昭 (1994) 多摩丘陵の下部更新統上総層群の層序. 地質学雑誌, 100, 675-691.
- 高野繁昭 (2002) 南関東における上総層群中のテフラ鍵層の対比. 日本第四紀学会講演要旨集, 32, 114-115.
- 山口 靖 (1986) 福島県南会津郡田島町周辺の火砕流堆積物の K-Ar 年代. 中川久夫・小高民夫・高柳洋吉編「北村 信教授記念地質論文集」: 629-636, 北村 信教授退官記念事業会.
- 山元孝広 (1992) 会津地域の後期中新世—更新世カルデラ火山群. 地質学雑誌, 98, 21-38.
- 山元孝広 (1999) 田島地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 85 p, 地質調査所.
- 山元孝広 (2006) 1/20 万「白河」図幅地域の第四紀火山: 層序及び放射年代値に関する新知見. 地質調査研究報告, 57, 17-28.
- 山元孝広・吉岡敏和 (1992) 若松地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 73 p, 地質調査所.
- 山元孝広・吉岡敏和・牧野雅彦・住田達哉 (2006) 喜多方地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 63 p, 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 吉田英人・高橋正樹 (1991) 白河火砕流東部地域の地質. 地質学雑誌, 97, 231-249.

An early Pleistocene tephra associated with Kumado pyroclastic flow derived from Aizu area, northeast Japan

Takehiko Suzuki^{*,a} and Masanori Murata^{*}

Kumado pyroclastic flow deposit, a member of the Shirakawa Pyroclastic Flow Deposit Group, was derived from Ono caldera located in the Aizu area, Northeast Japan arc, in the early Pleistocene. A widespread tephra correlated with this pyroclastic flow deposit is broadly recognized in the Kanto area. In this study, we defined the tephra as Shirakawa-Kumado Tephra (Sr-Kmd). Sr-Kmd was identified using a combination of refractive indices and chemical compositions of the major and rare earth elements of glass shards ($n=1.500-1.503$, SiO_2 : 78.5-78.7 wt%, TiO_2 : 0.3 wt%, Al_2O_3 : 11.6-11.7 wt%, FeO : 1.5-1.6 wt%, CaO : 0.6-

0.7 wt%, K_2O : 3.6-3.9 wt%, Na_2O : 3.1-3.4 wt%, Ba : 567-606 ppm, La : 11-15 ppm, Y : 28-34 ppm), mineral content, and refractive indices of orthopyroxene ($\gamma=1.713-1.722$). Calcareous nannofossil biostratigraphic positions of Sr-Kmd in Byobugaura (between calcareous nannofossil datum 10 and 11) indicate that the age of Sr-Kmd is *ca.* 1.51 Ma, given that the accumulation rate of the sediments is constant. Sr-Kmd is correlated to a vitric tephra in the Kiwada Formation of Kazusa Group in the Boso peninsula and to Kanai Tuff in the Tsurukawa Formation of Kazusa Group in the Tama hills.

Keywords : Shirakawa pyroclastic flow deposit, Kumado pyroclastic flow, tephra, Kazusa Group, Kiwada Formation, Inubo Group

* Department of Geography, Tokyo Metropolitan University. 1-1 Minamiosawa, Hachioji, 192-0397, Japan.

*a Corresponding author : suzuki@tmu.ac.jp