

国後島南部および色丹島における北海道起源の  
完新世広域テフラの同定中村有吾\*・西村裕一\*・中川光弘\*\*・Viktor M. KAISTRENKO\*\*\*・  
Alexander Ya. ILIEV\*\*\*

(2008年12月25日受付, 2009年11月12日受理)

Holocene Marker Tephra in the Coastal Lowlands of Kunashiri and  
Shikotan Islands, Southern Kuril IslandsYugo NAKAMURA\*, Yuichi NISHIMURA\*, Mitsuhiro NAKAGAWA\*\*,  
Viktor M. KAISTRENKO\*\*\* and Alexander Ya. ILIEV\*\*\*

Five Holocene tephra originating from Hokkaido volcanoes underlie coastal lowlands on Kunashiri and Shikotan islands, Southern Kuril Islands. These Hokkaido tephra were identified based on the refractive index and major element composition of glass shards in the tephra. They are: Tarumae-a (Ta-a, AD 1739), Komagatake-c2 (Ko-c2, AD 1694), Mashu-b (Ma-b, 774–976 cal BP), Tarumae-c (Ta-c, 2500–2800 cal BP), and Mashu-d1 (Ma-d1, 3267–3368 cal BP). Ko-c2 and Ta-c are the most widely distributed ash fall deposits, and provide valuable time markers for examining the stratigraphy of these islands, including possible paleotsunami deposits.

On Kunashiri Island, 12 tephra that probably originated from at least three volcanoes located on Kunashiri Island are interspersed with the five Hokkaido tephra. These tephra are classified into three groups according to the combination of  $\text{TiO}_2$  and  $\text{K}_2\text{O}$  abundance in glass shards. Many of them contain glass shards showing relatively low refractive index ( $n=1.480\text{--}1.490$ ) and high  $\text{SiO}_2$  content (77–79%) in comparison with the widespread tephra from Hokkaido Island.

**Key words:** widespread tephra, Kunashiri Island, paleotsunami, Holocene

## 1. はじめに

千島列島南部・国後島と北海道島(以下、単に北海道と記述)の間の海峡はわずか25 kmの幅であり、両地域は地質構造や火山活動などにおいて多くの共通点を持つと思われる。とくに、北海道起源の多数のテフラが、国後島をはじめとする千島列島南部に分布することが予想される。しかし、千島列島と北海道にまたがる第四系の調査は、日本・ロシア間の政治的な問題によりほとんど

進んでいない。

国後島において完新世テフラの層序を明らかにする従来の試みとして、Razzhigaeva *et al.* (1998), Nakagawa *et al.* (2002), Iliev *et al.* (2005) による研究がある。Razzhigaeva *et al.* (1998) は、国後島中部および南西部の海岸低地において12層の完新世テフラの存在を明らかにし、それぞれKnIV-1からKnIV-12の名称でよんだ。このうち、KnIV-2, KnIV-3, KnIV-5は国後島に広く分布する。ま

\* 〒060-0810 北海道札幌市北区北10条西8丁目  
北海道大学大学院理学研究院地震火山研究観測センター  
Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of  
Science, Hokkaido University, N10W8, Kita-ku, Sapporo,  
060-0810, Japan.

\*\* 〒060-0810 北海道札幌市北区北10条西8丁目  
北海道大学大学院理学研究院自然史科学部門  
Department of Natural History Sciences, Faculty of  
Science, Hokkaido University, N10W8, Kita-ku, Sapporo,

060-0810, Japan.

\*\*\* ロシア科学アカデミー 極東支部 海洋地質・地球物理研究所  
Institute of Marine Geology and Geophysics, Russian  
Academy of Sciences Far Eastern Branch, 5, Nauka  
Street, Yuzhno-Sakhalinsk 693022, Russia.

Corresponding author: Yugo Nakamura  
e-mail: nyugo@mail.sci.hokudai.ac.jp

た, Razzhigaeva *et al.* (1998) は,  $^{14}\text{C}$  年代値などにもとづいて, それぞれ摩周火山起源の摩周 a テフラ (Ma-a), 摩周 b テフラ (Ma-b), 摩周 d テフラ (Ma-d) に対比した (広域テフラの名称は, 山田, 1958 および町田・新井, 2003 にしたがう, 以下同じ). Nakagawa *et al.* (2002) は, 国後東北東部, 爺爺岳ちちんだけの中腹において北海道起源の駒ヶ岳 c1 テフラ (Ko-c1), 樽前 a テフラ (Ta-a), 駒ヶ岳 c2 テフラ (Ko-c2), Ma-b, 大陸起源の白頭山しらがしら小牧テフラ (B-Tm) を同定し, その層序にもとづいて爺爺岳の噴火史を議論した. Iliev *et al.* (2005) は, 国後島北東部から南西部において, 津波堆積物とともに Ta-a, Ko-c2, Ma-b, 樽前 c テフラ (Ta-c) の層序を記載した. なお, Iliev *et al.* (2005, Fig. 8) は国後島南部で明瞭な 2 層のテフラを記述したが, その起源は明記していない. 以上のように国後島では, Nakagawa *et al.* (2002) による爺爺岳での事例をのぞいて, 岩石学的特徴によるテフラの同定が十分に議論されたとはいえない。

近年, 千島海溝起源の地震に由来する津波の発生履歴を堆積物によって明らかにする取り組みが, 北海道太平洋岸 (たとえば, 平川・他, 2000a, 2000b, 2005; Nanayama *et al.*, 2003, 2007; Satake *et al.*, 2005), 千島列島南部 (Iliev *et al.*, 2005), 千島列島北部およびカムチャツカ半島 (たとえば, Pinegina and Bourgeois, 2001; Pinegina *et al.*, 2003) で積極的におこなわれている. 国後島のテフラ層序を明らかにすることは, 千島海溝沿いで発生する巨大地震に伴う津波堆積物の編年学的研究にも貢献できる。

筆者らは 2007 年におこなわれた日本とロシアの共同調査により, 国後島中部および南西部の 15 地点, および国後島の東方約 100 km に位置する色丹島しこたんとうの 1 地点 (Fig. 1) においてテフラおよび津波堆積物の層序を記載するとともに, テフラ試料を得た. 調査日程は, 国後島では 2007 年 10 月 5 日から 12 日, 色丹島では 2007 年 5 月 25 日から 28 日である. 本稿では, この試料にもとづくテフラの岩石学的特徴を記載し, 北海道起源の広域テフラとの対比をおこなう. また, 国後島起源のテフラについても層序の概要を示す。

## 2. 方 法

層序の記載および試料採取をおこなったのは, 国後島中央部・古釜布村ふるかまふの 7 地点 (Locs. 1-7), 国後島南西部・泊とまり村の 8 地点 (Locs. 8-15), 色丹島太平洋岸の 1 地点 (Loc. 16), 合計 16 地点である (Fig. 1). いずれも海岸付近の泥炭地においてスコップによる掘削調査をおこなった. 岩相, 層序を記載するとともに, テフラの試料 (全 58 試料) を採取した。

広域対比のために, 以下の手順で鉱物組成, 火山ガラ

スの屈折率, 主成分化学組成を測定した. 野外で採取したテフラ試料は, 実験室において洗浄, 篩別した. Nakamura *et al.* (2002) の方法で 3-4 $\phi$  サイズ試料に含まれる火山ガラスを脱水処理し, 温度変化型屈折率測定装置 (RIMS86, 株式会社京都フィッショントラック製) により 1 試料あたり 30 粒以上の火山ガラス屈折率を測定した. このとき, 火山ガラス・軽鉱物・重鉱物の比率を計測するため, RIMS86 付属の偏光顕微鏡下で 50-100 粒子程度をカウントするとともに, 火山ガラスの形態を町田・新井 (2003) の分類にしたがって記述した. また, 重鉱物の組み合わせを求めるため, 双眼実体顕微鏡下で 2-3 $\phi$  サイズ試料をカウントした. 200 粒子以上のカウントを基準とするが, 試料の状態によって 200 粒子に満たないものがあつた. 広域テフラとの対比をより確実にするため, 代表的な試料を選んで (22 試料), 火山ガラス主成分化学組成を測定した. 測定に用いたのは 3-4 $\phi$  サイズの試料で, それぞれスライドガラスにエポキシ系接着剤 (ペトロボキシ) で固定し, 表面研磨および鏡面処理, 炭素蒸着した上で, エネルギー分散型 X 線マイクロアナライザ (EDS, JSM-5310, 日本電子株式会社製) により 1 試料あたり 10 粒以上の主成分化学組成を測定した. 測定条件は, 加速電圧 15 kV, 試料電流 -0.2 nA, 1 試料あたりの測定領域は 2.0  $\mu\text{m}$   $\times$  2.5  $\mu\text{m}$  である. 補正には ZAF 法をもちいた. また, 分析結果の合計が 100% となるよう規格化した。

## 3. 結果と対比

試料採取をおこなった 16 地点における堆積物の層序を, Fig. 2 に示す. いずれも, 泥炭層中に降下火山灰, 降下スコリア, および, 津波堆積物の可能性のある砂層が挟まれる. 採取した試料の多くは明色の火山灰または軽石だが, 試料 1-1, 1-2, 1-3, 4-2 は暗色火山灰である. 試料 14-2 にわずかに (4% 程度) 普通角閃石が含まれるほかは, すべての試料は火山ガラスおよび斜長石に富み, 斜方輝石, 単斜輝石をふくむ。

### 3-1 国後島・色丹島でのテフラの対比

国後島および色丹島で得たテフラの火山ガラス・鉱物比率, 重鉱物組み合わせ, 火山ガラス屈折率測定値  $n$  を Fig. 3 に示す. 試料 1-1, 1-2, 1-3, 4-3 の火山ガラスは多量の微細結晶を含むため, 火山ガラス屈折率を測定できなかった。

火山ガラス屈折率に着目すると, 国後島および色丹島で得たテフラはつぎの 6 種類に分類できる. (1)  $n = 1.490$  以下にモードがあり 1.495 前後まで値が分布するテフラ (試料 6-1, 9-5, 10-3, 11-1, 11-2, 12-1, 12-2, 12-6, 12-7, 12-8, 14-2, 14-4, 14-5), (2)  $n = 1.4925$  に

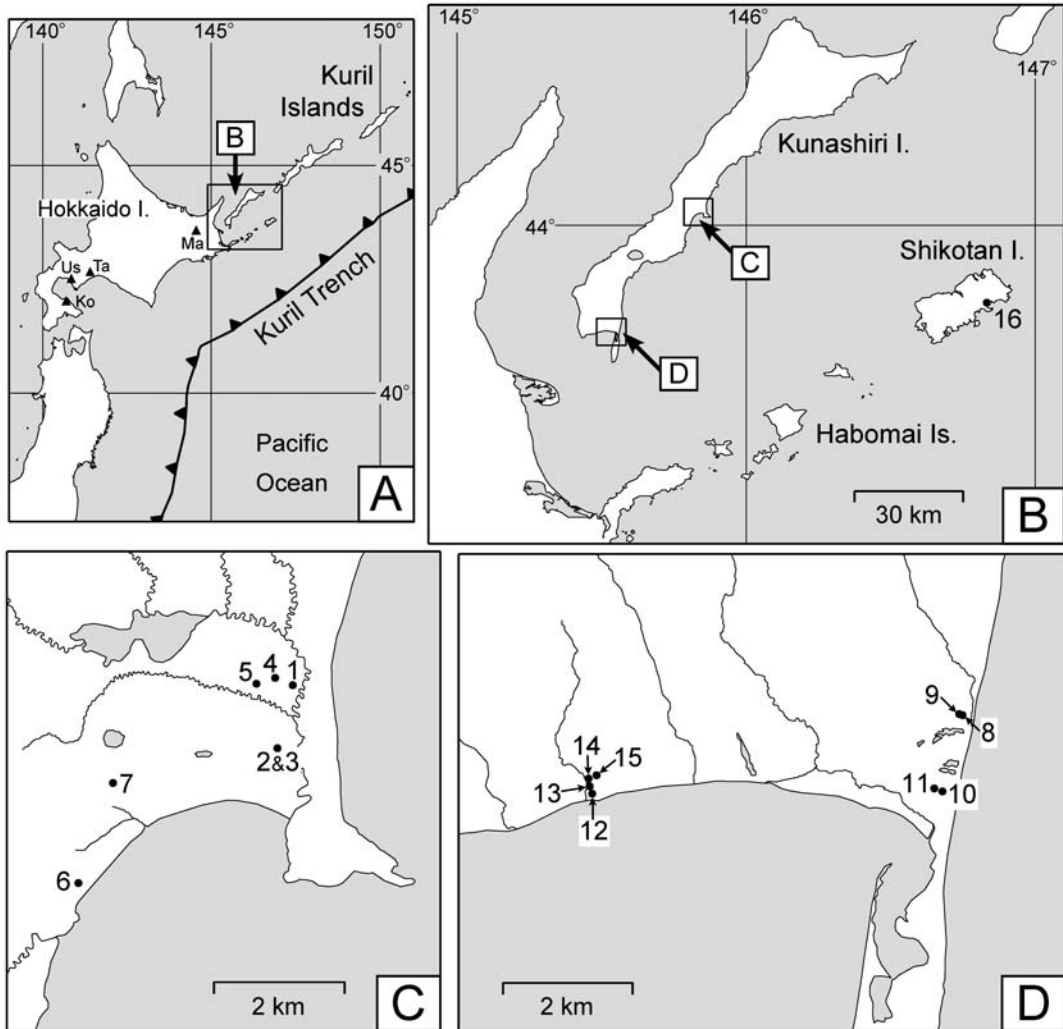


Fig. 1. Index map and sample localities in Kunashiri and Shikotan Islands. Ko: Komagatake volcano; Ma: Mashu volcano; Ta: Tarumae volcano; Us: Usu volcano.

モードがあるテフラ (試料 3-1, 4-1, 11-3), (3)  $n = 1.492\text{--}1.498$  に値が分布し  $n = 1.4935$  に明瞭なモードがあるテフラ (試料 2-1, 4-4, 5-1, 5-2, 7-2, 7-3, 8-3, 9-3, 9-4, 12-5, 13-2, 14-3, 15-3, 16-1), (4)  $n = 1.496\text{--}1.497$  に値が集中するテフラ (試料 3-2, 3-3, 6-2, 7-1, 8-1, 8-2, 9-1, 9-2, 10-1, 10-2, 11-4, 12-3, 13-1, 14-1, 15-1), (5)  $n = 1.5035$  にモードがあるテフラ (試料 10-4, 12-4), (6)  $n = 1.511$  前後にモードがあるテフラ (試料 9-6, 13-3). この分類に当てはまらない試料として, 試料 2-2, 2-3, 4-2, 4-5, 15-2 がある.

つぎに, この 6 種類のうち (1) を除く 5 種は, それぞれ異なる地点においても同様の層位に産出する. また, これらの試料の火山ガラス屈折率は, 他のテフラと

異なる狭い領域で相互によく一致するために, それぞれを同一のテフラとして対比できる可能性がある. そこで, この 5 種のテフラを上位から第 1 層~第 5 層として, 以下に記述する. なお, この 5 層のテフラを対比しても, 層序における矛盾は生じない.

第 1 層. 地表から 15 cm までの表層にある極細砂サイズの火山灰層のうち, 試料 3-1, 4-1 は, いずれも比較的発泡のよいスポンジ状火山ガラスに富み, 火山ガラス屈折率は上記 (2) の特徴をもつことから, 同一のテフラと考えられる. 試料 11-3 も同様の火山ガラス屈折率を示すが, この試料は粒径 25 mm の円磨軽石を含んでおり, 古いテフラの再堆積の可能性が高いので, ここでは議論しない.

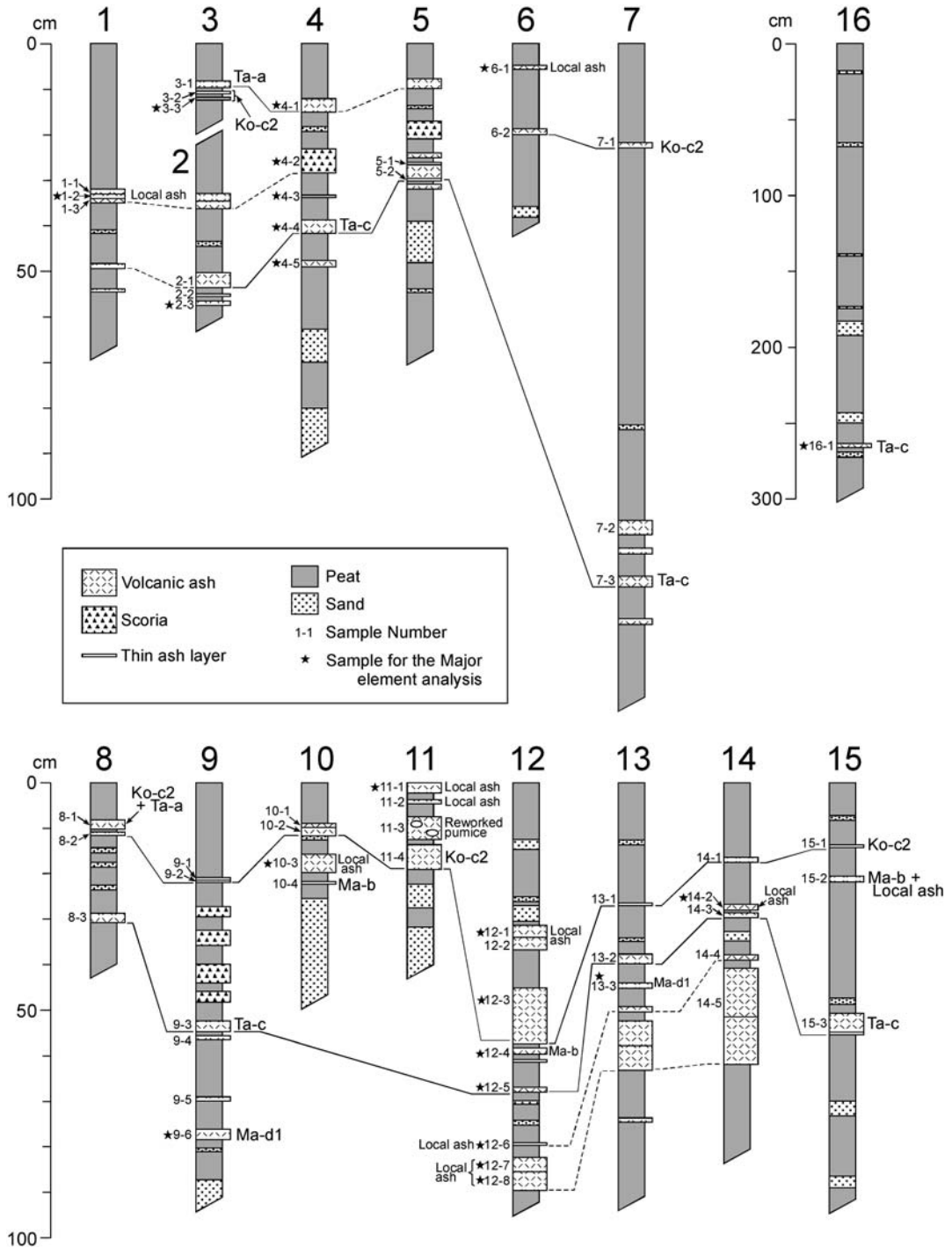


Fig. 2. Columnar sections showing sample horizons and tephrostratigraphy in the coastal lowlands of Kunashiri and Shikotan Islands. Each locality is shown in Fig. 1. Solid lines: tephra correlations based on the petrographic properties. Dashed lines: tephra correlations based on their facies.

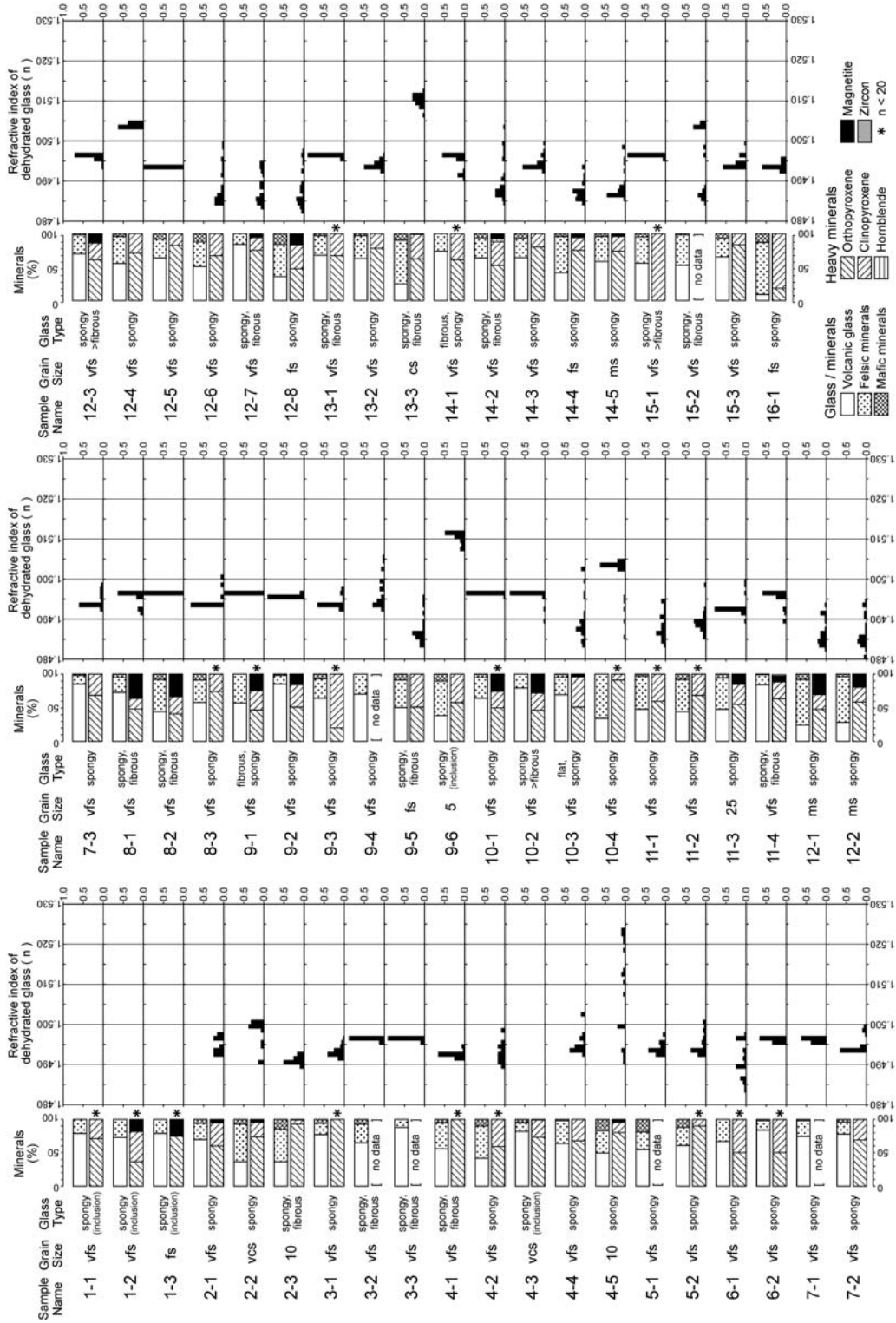


Fig. 3. Grain size, Glass/Mineral ratio, and refractive index of dehydrated glass of Holocene tephras from Kunashiri and Shikotan Islands. Legends of grain size, vcs: very coarse sand size; cs: coarse sand size; ms: medium sand size; fs: fine sand size; vfs: very fine sand size. The number shows grain diameter in mm. Refractive indices are shown in relative frequency histograms. Sample horizons are shown in Fig. 2.

第2層。地表面下10 cmから50 cm程度にある極細砂サイズの火山灰層のうち、試料3-2, 3-3, 6-2, 7-1, 8-2, 9-1, 9-2, 10-1, 10-2, 11-4, 12-3, 13-1, 14-1, 15-1は、スポンジ状の火山ガラスに富み、火山ガラス屈折率は上記(4)の特徴をもつ。このうち、試料3-2とその下位の試料3-3は、火山ガラス屈折率が一致するが、火山ガラス含有率は試料3-2のほうが低い。よって、試料3-2の層は、試料3-3のテフラに風化物が混合した再堆積物であろう。試料10-1と10-2も同様の関係と考えられる。よって、ここでは、試料3-2と10-1を除く11試料を第2層とよぶ。

第3層。テフラ試料10-4および12-4は、ともに極細砂サイズの細粒火山灰で、いずれもやや発泡の悪い灰白色のスポンジ状火山ガラスを含む。その屈折率は上記(5)の特徴をもち、他の試料と明らかに異なる(Fig. 3)。よって、試料10-4と12-4は同一のテフラの可能性が高い。

第4層。試料2-1, 4-4, 5-1, 5-2, 7-3, 8-3, 9-3, 12-5, 13-2, 14-3, 15-3は、いずれも比較的発泡のよいスポンジ状火山ガラスに富み、その屈折率は上記(3)の特徴を示す。この11試料はいずれも極細砂サイズの細粒火山灰で、同一起源の可能性が高い。試料9-4も、これらと同様のモードを示すが、屈折率のやや高い火山ガラスを含むことや、試料9-3の下位にあることから、上記の11試料とは異なるテフラと考えられる。

第5層。試料9-6および13-3は、やや発泡の悪いスポンジ状火山ガラスを25-40%含み、鉱物の組成もほぼ等しい。また、火山ガラス屈折率のモードMoは、1.511(上記(6))と他のテフラより明らかに高いことから、両者は同一のテフラと考えられる。

なお、上記(1)の火山ガラス屈折率を示すテフラは、同一の地点において複数の層位にある(Locs. 11, 12, 14)など、単一のテフラとは考えられない。

### 3-2 北海道起源の広域テフラの同定

つぎに、上記の第1層～第5層と北海道起源の広域テフラとの対比を試みる。ここではまず、Fig. 3に示した岩石学的特徴と、北海道における完新世テフラの岩石学的特徴(中村, 2006; 中村・他, 2002, 2008)を比較することで、対比の可能性のある広域テフラの候補を絞る。つぎに、給源に近い模式地で採取した広域テフラの模式試料と国後島の試料の火山ガラス主成分化学組成を測定し、比較した(Table 1, Fig. 4)。

その結果、まず明らかなのは、第2層と駒ヶ岳c2テフラ(Ko-c2)の対比である。火山ガラス屈折率が $n=1.496-1.497$ に集中するという第2層の特徴は、中村・他(2002)が示したKo-c2の特徴に一致し、他に類似するテフラは

見つかっていない。試料3-3および12-3について主成分化学組成を測定した結果、SiO<sub>2</sub>含有量は76.1-77.1%で、TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>Oなどの比率も、Ko-c2の模式試料とほぼ一致する(Table 1, Fig. 4)。よって、第2層はKo-c2に同定される。試料8-1は、 $n=1.495-1.497$ の火山ガラスが主で、 $n=1.491-1.493$ の火山ガラスを少量含むことから、Ko-c2および後述のTa-aが再堆積したものと考えられる。

次に、北海道の広域テフラの中で、Ko-c2より上位にあり第1層と火山ガラス屈折率が一致するテフラは、いまのところ樽前aテフラ(Ta-a)しか見つかっていない。Ta-aの火山ガラス屈折率は $n=1.490-1.494$ (Mo=1.4925)で(中村・他, 2002)、第1層の特徴と一致する。試料4-1の火山ガラスのSiO<sub>2</sub>含有量(77.3-78.0%)や、TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>Oなど各元素の比率を、模式地で得たTa-aのそれと比較すると、ほぼ一致する(Table 1, Fig. 4)。以上より、第1層はTa-aに同定される。

第4層は、火山ガラス屈折率が $n=1.492-1.498$ で、 $n=1.4935$ に明瞭なモードがある。この値は、中村・他(2002)が示した樽前cテフラ(Ta-c)の特徴と一致する。試料4-4および12-5について火山ガラスの主成分化学組成を測定したところ、SiO<sub>2</sub>含有量は72.3-77.5%に分布し、とくに、76.9-77.5%に値が集中する。他の元素の含有率も含めて、これらの特徴はTa-cの模式試料とほぼ等しい。よって、第4層はTa-cに同定できる。なお、ここに示すTa-cの特徴はTa-aの特徴とも類似するが、第4層はKo-c2の下位にあるのでTa-aに対比される可能性はない。なお、試料16-1は、Ta-cに同定される他の試料と比べて火山ガラス含有量が顕著に低い(Fig. 3)が、火山ガラス屈折率・主成分化学組成はTa-cと一致する。北海道では同様の特徴を持つテフラは他に見つかっていないので、ここでは、試料16-1は、Ta-cに、由来の異なる鉱物粒子が混入したものと解釈しておく。

第3層は前述のように、第2層と第4層の間、すなわちKo-c2とTa-cの間の層準にある。北海道ではこの層準にあるテフラで $n=1.503-1.504$ 前後の屈折率をもつテフラは摩周bテフラ(Ma-b)のみである。試料12-4によって主成分化学組成を求めたところ、SiO<sub>2</sub>含有量は74.4-75.2%で、その他の元素の比率もMa-bの模式試料とほぼ一致する。よって、第3層はMa-bに同定される。このほかに、試料15-2には、火山ガラス屈折率 $n=1.503-1.505$ ,  $n=1.496-1.499$ ,  $n=1.484-1.489$ のガラスがそれぞれ含まれる。この試料は、Ma-bに国後島起源のテフラ(後述)が混入したものと考えられる。

第5層は、火山ガラス屈折率が $n=1.506-1.513$ であることや、Ta-c(第4層)の10~20 cm下位にあることから

Table 1. Major element compositions of volcanic glass shards. Ratio of each oxide is shown as mean (standard deviation) of normalized weight % of 10 glass shards.

Sample No. (Tephra)	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
Samples from Kunashiri Island									
1-2	57.13 (0.65)	1.66 (0.33)	13.92 (2.04)	12.38 (1.49)	0.28 (0.08)	3.45 (0.99)	7.02 (0.51)	3.12 (0.39)	1.04 (0.16)
2-3	70.05 (4.08)	0.63 (0.21)	14.38 (1.09)	4.69 (1.74)	0.15 (0.09)	1.30 (0.60)	4.21 (1.27)	3.50 (0.22)	1.09 (0.50)
3-3 (Ko-c2)	76.59 (0.23)	0.49 (0.11)	12.61 (0.12)	2.28 (0.13)	0.07 (0.09)	0.54 (0.05)	2.20 (0.05)	3.32 (0.11)	1.89 (0.08)
4-1 (Ta-a)	77.09 (0.53)	0.40 (0.07)	12.52 (0.19)	2.01 (0.33)	0.09 (0.07)	0.44 (0.08)	1.86 (0.11)	3.20 (0.06)	2.40 (0.08)
4-2	58.05 (1.75)	1.65 (0.29)	15.07 (1.69)	11.39 (2.55)	0.17 (0.10)	2.55 (0.58)	6.49 (1.76)	3.37 (0.58)	1.25 (0.48)
4-3	71.18 (5.45)	0.80 (0.34)	13.76 (1.39)	4.10 (2.28)	0.10 (0.08)	0.99 (0.77)	2.95 (1.53)	3.41 (0.25)	2.71 (0.20)
4-4 (Ta-c)	76.37 (1.60)	0.36 (0.10)	13.04 (0.89)	2.07 (0.24)	0.04 (0.06)	0.45 (0.11)	2.14 (0.56)	3.33 (0.24)	2.21 (0.71)
4-5	71.24 (3.55)	0.71 (0.17)	13.69 (1.19)	4.59 (1.17)	0.11 (0.09)	1.13 (0.49)	3.72 (1.31)	3.47 (0.22)	1.33 (0.92)
6-1	76.79 (0.63)	0.43 (0.11)	12.79 (0.19)	2.06 (0.37)	0.15 (0.10)	0.56 (0.06)	2.20 (0.10)	3.52 (0.28)	1.51 (0.36)
9-6 (Ma-d1)	72.13 (0.76)	0.64 (0.06)	14.14 (0.31)	3.64 (0.24)	0.18 (0.05)	1.18 (0.09)	3.60 (0.27)	3.84 (0.14)	0.66 (0.05)
10-3	78.12 (1.38)	0.40 (0.10)	12.34 (0.50)	1.98 (0.63)	0.10 (0.09)	0.46 (0.16)	2.00 (0.43)	3.67 (0.30)	0.93 (0.78)
11-1	77.83 (1.24)	0.37 (0.16)	12.43 (0.63)	2.08 (0.42)	0.11 (0.07)	0.49 (0.15)	1.98 (0.55)	3.71 (0.50)	1.00 (0.54)
12-1	77.25 (2.46)	0.44 (0.24)	12.61 (0.59)	2.31 (0.95)	0.06 (0.08)	0.51 (0.26)	2.22 (0.65)	3.43 (0.28)	1.17 (0.67)
12-3 (Ko-c2)	76.66 (0.28)	0.46 (0.07)	12.67 (0.07)	2.22 (0.19)	0.08 (0.08)	0.55 (0.08)	2.17 (0.15)	3.28 (0.12)	1.92 (0.20)
12-4 (Ma-b)	74.82 (0.28)	0.65 (0.07)	13.21 (0.12)	3.05 (0.14)	0.13 (0.06)	0.86 (0.06)	2.89 (0.12)	3.62 (0.16)	0.77 (0.05)
12-5 (Ta-c)	76.51 (1.40)	0.37 (0.07)	12.82 (0.43)	2.14 (0.40)	0.05 (0.05)	0.49 (0.27)	2.06 (0.37)	3.32 (0.23)	2.24 (0.16)
12-6	78.50 (1.07)	0.31 (0.11)	12.51 (0.62)	1.63 (0.15)	0.14 (0.08)	0.38 (0.09)	1.92 (0.29)	3.79 (0.27)	0.83 (0.23)
12-7	78.78 (0.69)	0.33 (0.12)	12.18 (0.20)	1.46 (0.55)	0.08 (0.06)	0.38 (0.04)	1.80 (0.24)	3.91 (0.21)	1.08 (0.63)
12-8	78.08 (0.87)	0.37 (0.12)	12.22 (0.44)	2.02 (0.52)	0.08 (0.06)	0.42 (0.08)	1.89 (0.38)	3.70 (0.33)	1.23 (0.53)
13-3 (Ma-d1)	73.10 (2.02)	0.67 (0.15)	13.76 (0.69)	3.27 (0.56)	0.11 (0.10)	1.11 (0.26)	3.44 (0.51)	3.85 (0.14)	0.70 (0.07)
14-2	78.10 (1.27)	0.37 (0.15)	12.33 (0.36)	1.98 (0.45)	0.10 (0.05)	0.46 (0.20)	2.04 (0.34)	3.92 (0.21)	0.72 (0.05)
Sample from Shikotan Island									
16-1 (Ta-c)	76.33 (1.55)	0.43 (0.06)	12.91 (0.72)	2.06 (0.32)	0.05 (0.04)	0.40 (0.15)	2.03 (0.60)	3.32 (0.25)	2.46 (0.52)
Standard Samples (Hokkaido Island)									
Ta-a	76.34 (0.72)	0.41 (0.05)	12.78 (0.24)	2.21 (0.32)	0.07 (0.06)	0.49 (0.07)	2.08 (0.28)	3.30 (0.10)	2.33 (0.08)
Ko-c2	76.47 (0.16)	0.46 (0.07)	12.68 (0.07)	2.28 (0.10)	0.13 (0.07)	0.55 (0.07)	2.15 (0.08)	3.43 (0.10)	1.84 (0.07)
Ma-b	74.72 (0.37)	0.68 (0.08)	13.25 (0.16)	2.94 (0.12)	0.13 (0.10)	0.85 (0.09)	2.85 (0.12)	3.81 (0.22)	0.79 (0.05)
Ta-c	76.15 (1.19)	0.39 (0.05)	13.01 (0.51)	2.26 (0.35)	0.05 (0.08)	0.44 (0.13)	2.17 (0.32)	3.35 (0.18)	2.19 (0.20)
Ma-d1	72.73 (1.10)	0.66 (0.10)	14.11 (0.34)	3.37 (0.96)	0.11 (0.09)	0.97 (0.45)	3.26 (0.63)	3.85 (0.62)	0.94 (0.52)

Localities of standard samples: Ta-a and Ta-c, Tomakomai (42° 45' 35.61" N, 141° 43' 15.63" E); Ko-c2, Shikabe (42° 05' 46.90" N, 140° 46' 00.95" E); Ma-b, Shibetsu (43° 38' 40.96" N, 145° 03' 59.20" E); Ma-d1, Nakashibetsu (43° 31' 07.89" N, 144° 45' 06.51" E).

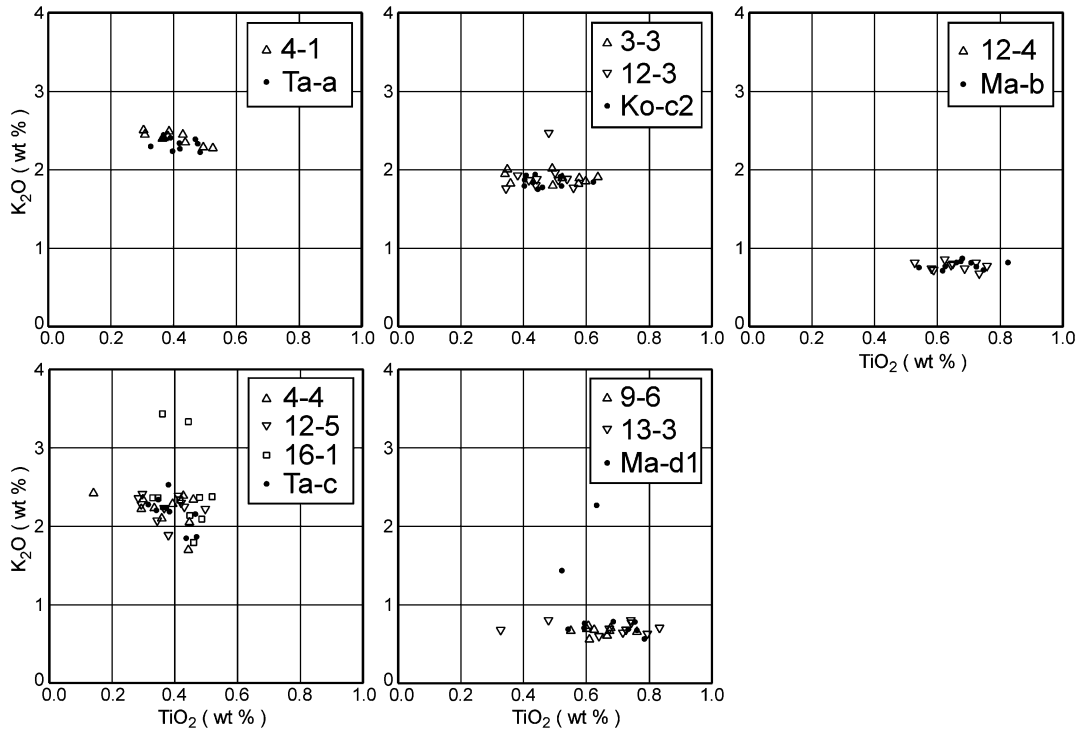


Fig. 4.  $\text{TiO}_2\text{-K}_2\text{O}$  (wt%) of glass shards from horizons shown in Fig. 2. Localities of widespread tephra samples (Ta-a, Ko-c2, Ma-b, Ta-c, and Ma-d1) are shown in the foot note of Table 1.

ら、摩周 d1 テフラ (Ma-d1) に相当すると考えられる。試料 13-3 の  $\text{SiO}_2$  含有量は、試料 9-6 や Ma-d1 の模式試料に比べてややばらつく (Table 1) が、試料 9-6、13-3 とともに  $\text{SiO}_2$  含有量は 71-73% 前後にある。これらの測定値は、Ma-d1 の標準試料での値とほぼ一致する。よって、試料 9-6、13-3 は Ma-d1 に同定される。

以上より、本研究で扱ったテフラの中には、Ta-a, Ko-c2, Ma-b, Ta-c, Ma-d1 が存在する。噴出年代はそれぞれ、Ta-a: 1739 AD (山田, 1958), Ko-c2: 1694 AD (古川・他, 1997), Ma-b: 774-976 cal BP (庄子・増井, 1974 が報告した  $^{14}\text{C}$  年代を暦年補正\*した), Ta-c: 2500-2800 cal BP (柳井・五十嵐, 1990 および Kelsey *et al.*, 2002 が報告した  $^{14}\text{C}$  年代を暦年補正\*した), Ma-d1: 3267-3368 cal BP (宮田・他, 1988 が報告した  $^{14}\text{C}$  年代を暦年補正\*した) である。

### 3-3 国後島起源のテフラ

以上のように、国後島・色丹島で得た 58 試料のうち、34 試料が北海道起源の広域テフラに同定できた。残りの 24 試料については、岩石学的特徴の類似するテフラは現

在のところ北海道で見つからない。前節において対比がおこなわれた北海道起源の広域テフラとの層位関係、およびそれぞれのテフラの特徴にもとづいて、層位・年代を特定でき、国後島内での対比が可能なテフラは、以下の 18 層 (22 試料) である。

Ta-a および Ko-c2 より上位のテフラ (試料 6-1, 11-1, 11-2, 12-1, 12-2)。このうち、試料 11-1 と 11-2 のテフラの間には土壌がある。また、両者の屈折率は近い値を示すものの、モードは若干異なる。よって、試料 11-1 と 11-2 は、異なる噴火によるテフラである。以上より、Ta-a および Ko-c2 の上位には、少なくとも 2 層のテフラが存在する (Fig. 5)。

Ko-c2 と Ta-c の間のテフラ (試料 1-1, 1-2, 1-3, 4-2, 4-3, 10-3, 14-2)。このうち、試料 10-3 は Ma-b の上位であることが Loc. 10 で確認できる。試料 14-2 は Ta-c の直上にあるが、Ma-b との関係が不明なので、試料 10-3 と同一のテフラである可能性も否定できない。火山ガラス屈折率、火山ガラス形態、鉱物組成 (Fig. 3) にも顕著な違いはないため、両者の区別は困難である。試料 1-2

脚注:\*暦年校正には、校正プログラム Calib Rev 5.0.1 (Stuiver and Reimer, 1993) および校正データ IntCal04 (Reimer *et al.*, 2004) をもちいた。ここには  $1\sigma$  の値を示す。



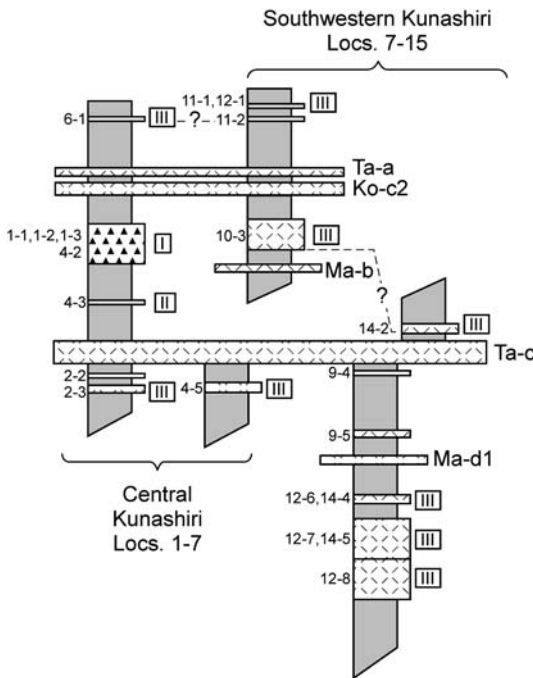


Fig. 5. Schematic tephrostratigraphy in Kunashiri Island. Sample numbers are shown at the left side of columns. A-F show the glass type classified by the  $TiO_2$ - $K_2O$  plots (see Fig. 6).

および4-2の火山ガラス主成分化学組成 (Table 1) は類似しており、試料1-1, 1-2, 1-3の一連のテフラと試料4-2のテフラは対比される可能性が高い。これら4試料の火山ガラスは、いずれも多孔質で、微細な結晶を多く内包する点でも類似する。一方、この4試料は、試料10-3および14-2とは、野外の岩相のほか火山ガラスの屈折率や主成分化学組成が異なっており、明らかに異なるテフラである。また、試料4-3については、火山ガラス主成分化学組成が他のいずれのテフラとも異なる。以上より、Ko-c2とTa-cの間には少なくとも3層のテフラが存在する (Fig. 5)。なお、試料7-2もこの層準にあるが、火山ガラス屈折率が試料7-3とほぼ等しいことから、Ta-cの再堆積の可能性もある。

Ta-cより下位のテフラ (試料2-2, 2-3, 4-5, 9-4, 9-5, 12-6, 12-7, 12-8, 14-4, 14-5)。このうち、Ma-d1より上位と確認できたのは試料9-4と9-5の2層で、Ma-d1の下位にあるのが試料12-6, 12-7, 12-8の3層である。試料12-7と12-8は、2つのフォールユニットを持つ一連のテフラと考えられ、これらはLoc. 13, 14 (試料14-5)でも認められる。試料12-6と14-4は、火山ガラスの形態および屈折率、鋳物組成などが類似しており、同一

のテフラと考えられる。また、試料2-2, 2-3, 4-5は、それぞれ火山ガラス屈折率が他のいずれのテフラとも異なる。以上より、Ta-cの下位には、試料2-2, 2-3, 4-5, 9-4, 9-5, 12-6, 12-7=12-8と、少なくとも7層の異なるテフラが識別される (Fig. 5)。ただし、試料4-5は屈折率の範囲が広いいため、複数のテフラの混合または再堆積の可能性も否定できない。

ここに示した22試料の粒径について検討すると、半数の11試料が細砂サイズ以上である (Fig. 3)。北海道起源のテフラは、Ma-d1 (試料9-6, 13-3)を除く全てが極細砂サイズであることを考慮すると、明らかに粗粒のものが多く、粒径のとくに粗い、試料2-2, 2-3, 4-3, 4-5は、ごく近傍の火山 (たとえば、国後島南部の泊山カルデラ) 起源であろう。

以上をまとめると、本研究で得た試料には、前述5層の広域テフラの他に、少なくとも12層のテフラが存在する (Fig. 5)。火山ガラス屈折率などの岩石学的特徴がこの12層と一致するテフラは、現在までに北海道の完新世テフラの中には見つかっておらず、国後島の火山に由来する可能性が高いと考えられる。このうち6層のテフラは、北海道起源の広域テフラと比べて火山ガラス屈折率が低く ( $n=1.480$ – $1.490$ )、 $SiO_2$ 含有量をみると、78–80%前後とやや高い値を示すものが多い (Table 1: 試料6-1, 10-3, 11-1, 12-1, 12-2, 12-6, 12-7, 12-8, 14-2)。北海道では、有珠山起源のテフラにこの値を示すものがあるが、いずれも小規模な噴火によるテフラ (中村・他, 2005) であり、北海道東部での分布は確認されていない。

ここに示した国後島起源と考えられるテフラについて、火山ガラスの $TiO_2$ - $K_2O$ 組成をプロットしたのが、Fig. 6である。試料1-2, 4-2, 4-3以外のほとんどの試料で、 $TiO_2$ 値1.0未満、 $K_2O$ 値2.0未満を示す。この $TiO_2$ - $K_2O$ プロットにもとづき、タイプI, II, IIIの3タイプに分類した (Fig. 6)。13試料をそれぞれタイプごとに整理すると、以下ようになる。

タイプI: 試料1-2, 4-2

タイプII: 試料4-3

タイプIII: 試料2-3, 4-5, 6-1, 10-3, 11-1, 12-1, 12-6, 12-7, 12-8, 14-2

一般に、テフラの $TiO_2$ - $K_2O$ 組成は給源火山によって異なることが多い。よって、上記の3つのタイプ区分は、テフラを供給した火山が少なくとも3座あった可能性を示唆する。このタイプ区分はFig. 5にも表記した。タイプIIIに代表される低 $TiO_2$ ・低 $K_2O$ の火山活動は、過去3000年以上にわたって継続したことが明らかである。

Nakagawa *et al.* (2002) は、爺爺岳起源のいくつかの

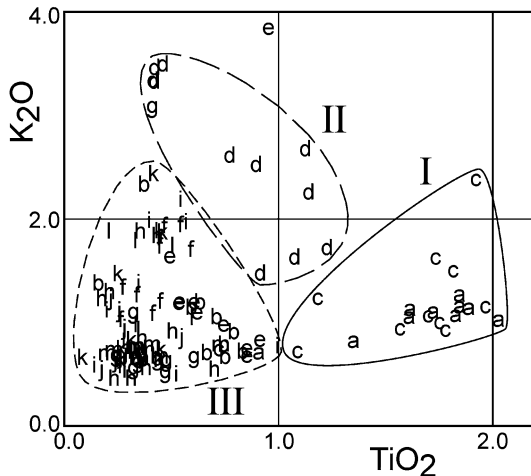


Fig. 6.  $\text{TiO}_2\text{-K}_2\text{O}$  (wt%) of glass shards of local tephras and their type classification.

a: Sample 1-2; b: Sample 2-3; c: Sample 4-2; d: Sample 4-3; e: Sample 4-5; f: Sample 6-1; g: Sample 10-3; h: Sample 11-1; i: Sample 12-1; j: Sample 12-6; k: Sample 12-7; l: Sample 12-8; m: Sample 14-2

テフラについて、その化学組成を示した。爺爺岳起源のテフラは上記のタイプ区分に当てはめるとタイプ I に相当する。しかし、すべての特徴が合致する試料は本研究では得られなかったため、爺爺岳起源と断定できるテフラは見いだされなかった。国後・択捉島の火山については、今のところ利用できるデータが少ない。本稿で扱ったテフラの給源推定は今後の課題としたい。

## 4. 考察

### 4-1 広域テフラ層序

前述のとおり、Razzhigaeva *et al.* (1998) は国後島で記載した KnIV-2, KnIV-3, KnIV-5 を、それぞれ Ma-a, Ma-b, Ma-d に対比した。このうち、Ma-a は摩周起源でなく、Ta-a または Ko-c2 に対比される (徳井, 1989)。また、Ma-d (Ma-d1 および Ma-d2) は摩周火山の東方向のみに分布 (宮田・他, 1988) するテフラで、国後島の中部以北に分布するとは考えがたい。本研究の結果を考慮するならば、KnIV-2 は Ko-c2 に、KnIV-5 は Ta-c に対比されると思われる。なお、Razzhigaeva *et al.* (1998) が示した KnIV-5 の年代値 ( $1770 \pm 40$   $^{14}\text{C}$  y.B.P.) を暦年較正すると 1613-1733 cal BP となり、これは Ta-c の年代としては新しすぎるが、Ta-c が Ma-d1 の上位にあることを考慮すれば妥当であろう。

Iliev *et al.* (2005) は、国後島の数地点で、Ta-a, Ko-c2,

Ma-b, Ta-c を記載した。詳細な岩石学的特徴が示されていないので厳密な議論はできないが、Iliev *et al.* (2005) による層序と本研究での層序を比較しても、この4つのテフラの認定はほぼ妥当と思われる。また、Iliev *et al.* (2005, Fig. 8) は国後島南部で明瞭な2層のテフラを記述した。この地域は本研究の Loc. 12~15 と同じ低地にあり、テフラ層序もほぼ等しいと思われる。おそらくこの2つのテフラは Ko-c2 と Ta-c であろう。ただし、本研究で国後島起源と推定したテフラを Iliev *et al.* (2005) は記載していない。

Nakagawa *et al.* (2002) が国後島で確認した5つの広域テフラのうち、Ko-c1 と B-Tm は、本研究では見いだされなかった。この2者は北海道東部において非常に薄い (層厚数 mm 以下) テフラだが、国後島の中・南部でも堆積・保存条件がよければ発見される可能性がある。また、近年、北海道東部の太平洋沿岸 (古川・七山, 2006) や知床半島 (宮地・他, 2000; 中村・他, 2008) において詳細なテフラ層序が解明されている。その成果によると、国後・色丹島ではさらに、羅臼2テフラ (Ra-2)、羅臼3テフラ (Ra-3)、駒ヶ岳 g テフラ (Ko-g)、摩周 g テフラ (Ma-g) の分布が予想される。これらと岩石学的特徴が一致するテフラは、本研究で得た試料 (Fig. 3, Fig. 4, Table 1) の中には存在しない。

### 4-2 津波堆積物編年への寄与

本研究で同定した5層の広域テフラは、いずれも海岸に近い低地で得たものであり、津波堆積物など海岸低地のイベント堆積物の編年に利用できる。Ta-a および Ko-c2 は、17世紀末から18世紀初頭、Ma-b は約1000年前、Ta-c および Ma-d1 は約3000年前前であるので、過去約3000年間の編年が可能となる。これまでの研究では、北海道東部の太平洋岸での古津波編年には、上記のテフラの他に、Ko-c1, 樽前 b テフラ (Ta-b, AD 1667年)、有珠 b テフラ (Us-b, AD 1663年)、B-Tm, Ko-g (約6500年前) が利用されている (古川・七山, 2006; 平川・他, 2000a, 2000b, 2005; Nanayama *et al.*, 2003, 2007)。Ta-b および Us-b は Ta-a と Ko-c2 の直下に、B-Tm は Ma-b の直下にあるので、約3000年前から17世紀末にかけての津波堆積物編年は、国後島においても北海道とほぼ同様の精度で編年が可能である。

## 5. まとめ

(1) 国後島中部～南部にかけて、北海道起源の広域テフラである Ta-a, Ko-c2, Ma-b, Ma-d, Ta-c が分布する。

(2) Ko-c2 および Ta-c は、国後島南部において顕著に認められる降下火山灰層である。とくに Ta-c は色丹島を含めて、本稿で取り上げたほぼ全ての地点で存在が確

認できた。Ko-c2 および Ta-c は、津波堆積物をはじめ完新世の諸現象を編年するにあたって、貴重な鍵層となる。

(3) 国後島の火山起源と考えられるテフラが少なくとも 12 層確認された。その多くは、北海道の完新世広域テフラよりも火山ガラス屈折率が低く ( $n = 1.480\text{--}1.490$ )、 $\text{SiO}_2$  含有量が若干高いことから、北海道起源のテフラと区別される。

(4) 国後島起源と推定されるテフラは、 $\text{TiO}_2\text{--K}_2\text{O}$  組成によって 3 つのタイプに区分できる。これらは少なくとも 3 つの火山に由来すると思われる。低  $\text{TiO}_2$ ・低  $\text{K}_2\text{O}$  タイプの火山活動は、過去 3000 年以上にわたって継続した。

### 謝 辞

本研究は、日本国およびロシア連邦両国政府の許可・援助によるビザなし渡航によって実現した。国後島での調査は、国立大学法人北海道大学大学院理学研究院が文部科学省の委託業務として平成 19 年度に実施した「択捉島沖等の地震に関する調査研究」の一環としておこなわれた。国後島での調査・研究には、科学研究費補助金(課題番号 17253002: 代表中川光弘)の一部を使用した。国後島の V.A. Smorchkov 氏には、調査団の受入代表となっていたかとともに、宿泊施設を安価で提供していただいた。国後島での現地調査では、ロシア科学アカデミー(ウラジオストック)の Kirill Ganzey 氏の御協力をいただいた。なお、日本大学文理学部の宮地直道氏から、原稿に対して有益なコメントをいただいた。査読者の松浦旅人氏、奥村晃史氏、編集委員の宮城磯治氏からは、論旨改善のための有意義な御指摘をいただいた。以上の方々に御礼申し上げます。

### 引用文献

古川竜太・七山 太 (2006) 北海道東部太平洋沿岸域における完新世の降下火砕堆積物。火山, **51**, 351–371。  
 古川竜太・吉本充宏・山縣耕太郎・和田恵治・宇井忠英 (1997) 北海道駒ヶ岳火山は 1694 年に噴火したか?—北海道における 17~18 世紀の噴火年代の再検討—。火山, **42**, 269–279。  
 平川一臣・中村有吾・原口 強 (2000a) 北海道十勝沿岸地域における巨大津波と再来間隔—テフラと地形による検討・評価—。月刊地球, 号外 **28**, 154–161。  
 平川一臣・中村有吾・越後智雄 (2000b) 十勝地方太平洋沿岸地域の巨大古津波。月刊地球, 号外 **31**, 92–98。  
 平川一臣・中村有吾・西村裕一 (2005) 北海道太平洋沿岸の完新世巨大津波—2003 十勝沖地震津波との比較を含めて。月刊地球, 号外 **49**, 173–180。  
 Iliev, A. Ya., Kaistrenko, V. M., Gretskaia, E. V., Tikhonchuk, E. A., Razjigaeva, N. G., Grebennikova, T. A., Ganzey, L. A. and Kharlamov, A. A. (2005) Holocene tsunamis

traces on Kunashir Island, Kurile subduction zone. In *Tsunamis: case studies and recent developments* (Satake, K. ed.), Springer, 171–192。  
 Kelsey, H.・佐竹健治・澤井祐紀・Sherrrod, B.・下川浩一・穴倉正展 (2002) 北海道東部における完新世後期の急激な海岸隆起の繰り返し。活断層・古地震研究報告, **2**, 223–233。  
 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。東京大学出版会, p. 336。  
 宮地直道・中川光弘・吉田真理夫 (2000) 羅臼岳火山における最近 2200 年間の噴火史。火山, **45**, 75–85。  
 宮田雄一郎・山口昇一・矢崎清貫 (1988) 計根別地域の地質 (1/50000 地質図幅)。地域地質研究報告, 地質調査所, 77p。  
 Nakagawa M., Ishizuka Y., Kudo T., Yoshimoto M., Hirose W., Ishizaki Y., Gouchi N., Katsui Y., Solovyov A. W., Steinberg G. S. and Abdurakhmanov A. I. (2002) Tyatya Volcano, southwestern Kuril arc: recent eruptive activity inferred from widespread tephra. *The Island Arc*, **11**, 236–254。  
 中村有吾 (2006) 北海道における完新世テフラの層序、分布、岩石学的特徴。日本地理学会発表要旨集, **69**, p. 221。  
 Nakamura, Y., Katayama, Y. and Hirakawa, K. (2002) Hydration and refractive indices of Holocene tephra glass in Hokkaido, Northern Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **114**, 499–510。  
 中村有吾・片山美紀・平川一臣 (2002) 水和の影響を除去した北海道の完新世テフラガラスの屈折率。第四紀研究, **41**, 11–22。  
 中村有吾・松本亜希子・中川光弘 (2005) 噴出物から推定した有珠山 1663 年噴火の推移。地学雑, **114**, 549–560。  
 中村有吾・丸茂美佳・平川一臣・澤柿教伸 (2008) 北海道東部、知床半島の完新世テフラ層序。第四紀研究, **47**, 39–49。  
 Nanayama, F., Satake, K., Furukawa, R., Shimokawa, K., Atwater, B. F., Shigeno, K. and Yamaki, S. (2003) Unusually large earthquakes inferred from tsunami deposits along the Kuril trench. *Nature*, **424–6949**, 660–663。  
 Nanayama, F. Furukawa, R., Shigeno, K., Makino, A., Soeda, Y. and Igarashi, Y. (2007) Nine unusually large tsunami deposits from the past 4000 years at Kiritappu marsh along the southern Kuril Trench. *Sedimentary Geology*, **200**, 275–294。  
 Pinegina, T. K. and Bourgeois, J. (2001) Historical and paleo-tsunami deposits on Kamchatka, Russia: long-term chronologies and long-distance correlations. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **1**, 177–185。  
 Pinegina, T. K., Bourgeois, J., Bazanova, L. I., Melekestsev, I. V. and Braitseva, O. A. (2003) A millennial-scale record of Holocene tsunamis on the Kronotskiy Bay coast, Kamchatka, Russia. *Quaternary Research*, **59**, 36–47。  
 Razzhigaeva, N. G., Korotky, A. M., Sulerzhitsky, L. D., Grebennikova, T. A., Ganzey, L. A., Mokhova, L. M. and Bazarova, V. B. (1998) Holocene tephra of Kunashir I. (Kuril Island). *Volcanology and Seismology*, **20**, 49–63。

- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Bertrand, C.J.H., Blackwell, P.G., Buck, C.E., Burr, G.S., Cutler, K.B., Damon, P.E., Edwards, R.L., Fairbanks, R.G., Friedrich, M., Guilderson, T.P., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, G., Manning, S., Ramsey, C.B., Reimer, R.W., Reimer, R. W., Remmele, S., Southon, J.R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, F.W., van der Plicht, J. and Weyhenmeyer, C.E. (2004) IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0–26 cal kyr BP. *Radiocarbon*, **46**, 1029–1058.
- Satake, K., Nanayama, F., Yamaki, S., Tanioka, Y. and Hirata, K. (2005) Variability among tsunami sources in the 17th–21st centuries along the southern Kuril trench. In *Tsunamis: case studies and recent developments* (Satake, K. ed.), Springer, 157–170.
- 庄子貞雄・増井淳一 (1974) 北海道上川郡標茶町のカムイヌプリ岳火山灰土壌の 14C 年代, 日本の第四紀層の 14C 年代 (97). 地球科学, **28**, p. 182.
- Stuiver, M. and Reimer, P.J. (1993) Extended <sup>14</sup>C database and revised CALIB 3.0 <sup>14</sup>C age calibration program. *Radiocarbon*, **35**, 215–230.
- 徳井由美 (1989) 北海道における 17 世紀以降の火山噴火とその人文環境への影響. お茶の水地理, **30**, 27–33.
- 山田 忍 (1958) 火山噴出物の堆積状態から見た沖積世における北海道火山の火山活動に関する研究. 地団研専報, **8**, 40p.
- 柳井清治・五十嵐八重子 (1990) 北海道日高地方海岸段丘地帯における斜面崩壊の発生史とその古環境. 第四紀研究, **29**, 319–336.

(編集担当 宮城磯治)