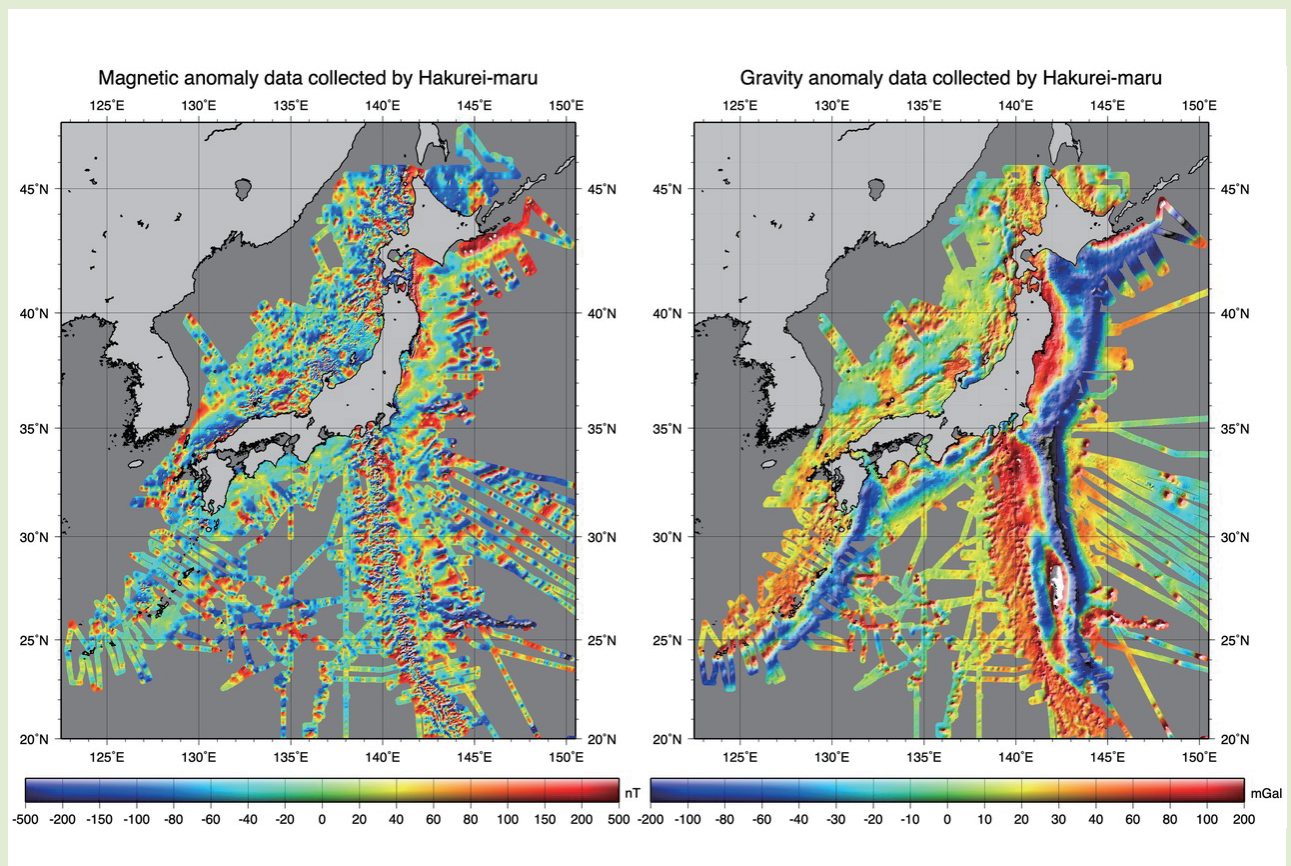


地質調査研究報告

BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 72 No. 5 2021



論文

那須火山群周辺の中期～後期更新世テフラ層序：川谷降下火砕物の新記載と余笹川・東岩崎岩屑なだれ堆積物の層準

山元孝広 397

白嶺丸重磁力データの整備・公開

石原丈実 421

概報

関東山地東縁部に分布する蛇紋岩のクロムスピネル化学組成

原 英俊・久田健一郎 447

表紙の図

日本周辺海域の磁気異常図とフリーエア重力異常図

磁気異常図(左)と重力異常図(右)。地質調査所(現、産業技術総合研究所地質調査総合センター)で実施した1974-1999年の白嶺丸航海で取得したプロトン磁力計による全磁力データ、船上重力計による重力データを使用して作成した。全磁力データからCM4モデルにより永年変化と日変化の補正を行い、レベルリング補正を行って磁気異常データを求めた。重力計のドリフトと変換係数を求め、低周波フィルタリング、アルチメトリ重力異常による補正とレベルリング補正により重力異常を求めた。

(図・文：石原丈実)

Cover Figure

Magnetic anomaly map and free air gravity anomaly map around Japan

Magnetic anomaly map (left) and gravity anomaly map (right). The maps were created with the proton magnetometer and marine gravimeter data obtained in the cruises of the Hakurei-maru from 1974 to 1999, which were carried out by the Geological Survey of Japan. The magnetic anomaly data were calculated using the CM4 model to reduce magnetic secular and diurnal variations, and applied with leveling correction. The gravity anomaly data were obtained by applying the gravimeter drift and scale conversion correction, low-pass filtering, altimetric gravity data correction and leveling correction.

(Figure and Caption by ISHIHARA Takemi)

那須火山群周辺の中期～後期更新世テフラ層序： 川谷降下火砕物の新記載と余笹川・東岩崎岩屑なだれ堆積物の層準

山元 孝広^{1,*}

YAMAMOTO Takahiro (2021) The Middle to Late Pleistocene tephrostratigraphy around the Nasu Volcano Group, NE Japan: new description of the Kawatani Pyroclastic Fall Deposit and the horizon of the Yosasagawa and Higashi-iwazaki Debris Avalanche Deposits. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 72 (5), p. 397-420, 10 figs, 7 tables, 1 appendix.

Abstract: The stratigraphy and lithology of the Late to Middle Pleistocene pyroclastic fall deposits (PFDs) and debris avalanche deposits (DADs) distributed in the eastern foothills of the Nasu Volcano Group have been redescribed with new data of major element compositions of glass shards in pyroclastic materials. In Mafune-Kawatani, Nishigo Village, there is un-named dacite pumice lapilli layer immediately above the Nasu-Shirakawa PFDs, which were erupted from Asahidake and Minamigassan Volcanoes of the group during 0.16 to 0.12 Ma; this unit have been newly defined as the Kawatani PFD. Its distribution and glass composition suggest that this fall deposit also originated from the Nasu Volcano Group. The chemical composition of the pumice gravel below the Yosasagawa DAD is consistent with that of the Otawara Pyroclastic Flow Deposit of 0.32 Ma. Therefore, the tephrostratigraphic age of the Yosasagawa DAD is 0.32 to 0.23 Ma. On the other hand, the Higashi-iwazaki DAD, which is defined in this study and thought to originate from the Nasu Volcano Group, has been identified in the lower part of the Mafune PFDs. The tephrostratigraphic age of the Higashi-iwazaki DAD is estimated to be 0.35 to 0.34 Ma.

Keywords: Nasu Volcano Group, tephrostratigraphy, Kawatani Pyroclastic Fall, Yosasagawa Debris Avalanche, Higashi-iwazaki Debris Avalanche

要 旨

那須火山群の東山麓に分布する後期～中期更新世の降下火砕物、岩屑なだれ堆積物の岩相と層序の再記載を行った。西郷村真船川谷では、16～12万年前に朝日岳・南月山火山から噴出した那須白河降下火砕物群の上位に未記載のデイサイト軽石火山礫が存在し、今回、これを川谷降下火砕物と新称する。その分布と火山ガラスの主成分化学組成は、この火砕物も那須火山群起源であることを示唆している。また、那須火山起源の余笹川岩屑なだれ堆積物直下の軽石を分析し、その火山ガラス主成分化学組成が32万年前の大田原火砕流堆積物と一致することを明らかにした。従って、余笹川岩屑なだれ堆積物のテフラ層序学的年代は32～23万年前である。一方、更に下位の真船降下火砕物群間から、那須火山群起源と考えられる東岩崎岩屑なだれ堆積物(新称)の存在を確認した。この堆積物はApmテフラ群に対比される根元13降下火砕物の下位にあることから、テフラ層序学的年代は35～34万年前とみられる。

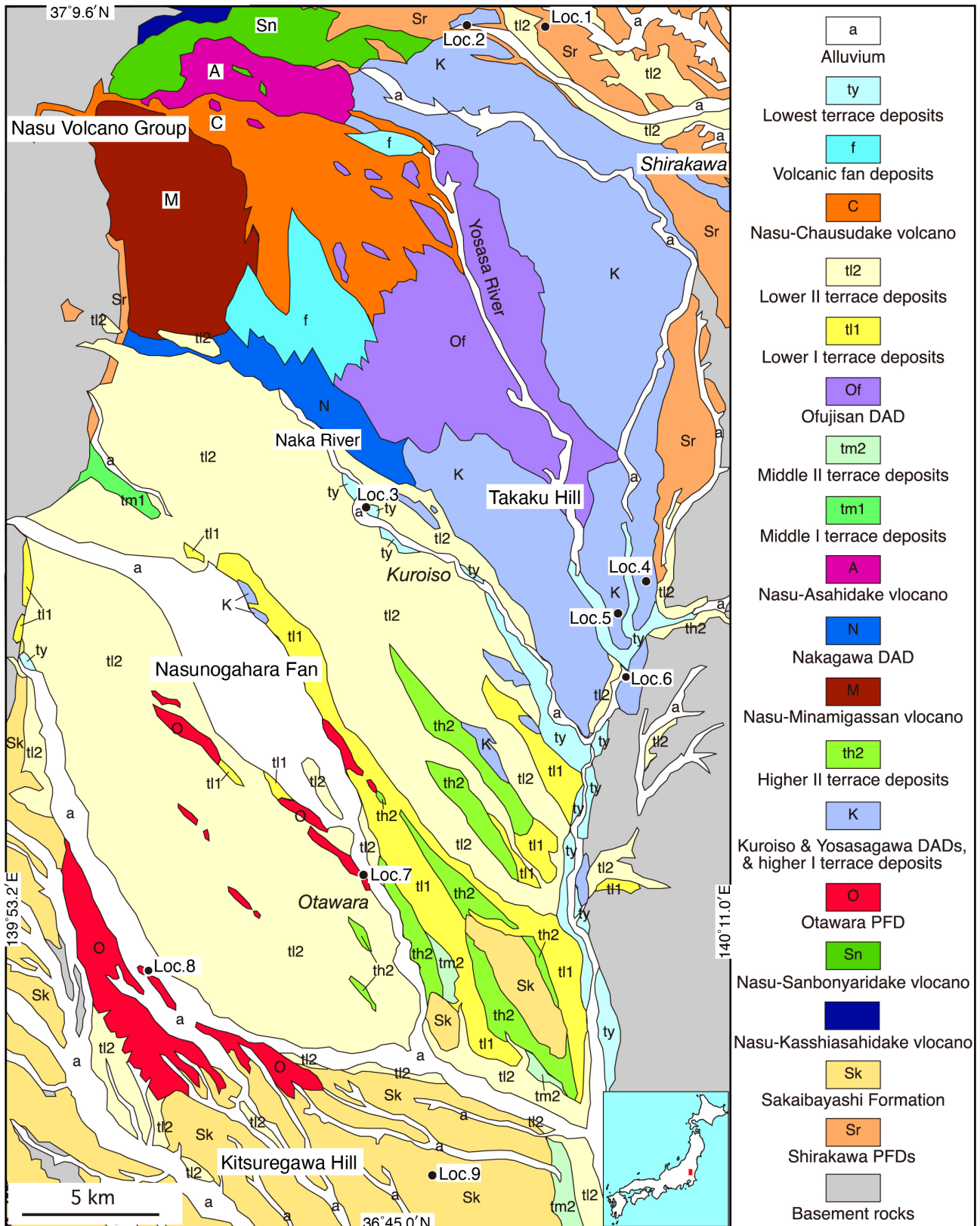
1. はじめに

テフラと呼ばれる火砕物は、爆発的噴火により破砕されたマグマが火口から放出され地表に定置したものである。地層として保存されたテフラは過去に起きた爆発的噴火の証拠であるだけでなく、広域に分布するものは地層中の同一時間面を示す鍵層であることから、多くのテフラが記載されてきた(町田・新井, 1992; 2003)。特に列島規模の分布を持つ始良Tnテフラ(AT: 町田・新井, 1976)、大山倉吉テフラ(DKP: 町田・新井, 1979)、阿蘇4テフラ(Aso4: 町田ほか, 1985)、御岳第1テフラ(On-Pm1: 小林ほか, 1967)は後期更新世の時間指標面として重要性が高く、多くの地域でそれらの層準が確認されている。しかしながら、分布が地域的なテフラについての記載は不十分なものもあり、個々の火山の定量的な活動履歴評価や第四紀層の編年のためには、更にテフラの記載を積み重ねていく必要がある。

本報告では、東北日本南部の那須火山群周辺(第1図)に分布する中期～後期更新世テフラの再記載を行う。当

¹ 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 活断層・火山研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Earthquake and Volcano Geology)

* Corresponding author: YAMAMOTO, T., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: t-yamamoto@aist.go.jp



第1図 那須火山群及び那須野が原扇状地周辺の第四紀層地質図。DAD = 岩屑なだれ堆積物。PFD = 火砕流堆積物。山元(2006)による。

Fig. 1 Simplified geologic map of the Quaternary deposits around the Nasu Volcano Group and Nasunogahara Fan. DAD = debris avalanche deposit, PFD = pyroclastic flow deposit. After Yamamoto (2006).

地域のテフラの記載は、鈴木(1992)、山元(1999; 2012; 2013)が報告しており、その大枠は既に明らかにされている。それでも、福島県西郷村の真舟川谷(Loc. 1)には、未記載の後期更新世軽石降下火砕物(本報で川谷降下火砕物と新称)がまだ残されており、層厚分布と火山ガラスの化学組成から、その給源火山を考察する。また、那須火山南東山麓の中期更新世余笹川岩屑なだれ堆積物(山元, 2006)は、その岩相分布や運搬過程が菊地・長谷川(2020)により詳細が明らかにされている。しかし、この堆積物のテフラ層序学的層準については、菊地・長谷川(2020)の記載に不十分な部分があるので、再検討を行い、那須火山起源の新たな岩屑なだれ堆積物を追加する。さらに、東麓に分布する中期～後期更新世の那須白河降下火砕物群(鈴木, 1992)についても、再記載し、その層厚分布を明らかにする。なお、那須火山群周辺のテフラ露頭層序の詳細と火山ガラスの主成分化学組成については、地質調査総合センター研究資料集, no.712 (山元, 2021)として別途公表している。火山ガラスの主成分分析は(株)古澤地質に依頼し、エネルギー分散型X線分光法(EDX)で行われている。

2. 地質概略

那須火山群は、栃木県と福島県の境に位置する第四紀の火山群で、南から北へ南月山(M)・茶臼岳(C)・朝日岳(A)・三本槍岳(Sn)・甲子旭岳の順に連なる成層火山の集合体である(第1図; 伴・高岡, 1995; 山元・伴, 1997)。このうち茶臼岳火山だけが有史以来何回かの噴火記録のある活火山である。最も古い甲子旭岳火山は50万年前頃に活動した玄武岩-安山岩の成層火山体で、福島県内に分布の中心がある。この火山は現在著しい開析を受けており、火山の原地形をとどめていない。甲子旭岳火山のすぐ南の栃木・福島県境に位置する三本槍火山は、36～27万年前に活動した成層火山で、玄武岩-安山岩の溶岩・火砕岩からなる前期噴出物と安山岩-デイサイトの厚い溶岩からなる後期噴出物に区分される。三本槍火山はこれよりも新しい噴出物に顕著な不整合で覆われており、新期噴出物を除去すると三本槍火山には南東向きに開いた馬蹄形の大きな火口地形が復元できる。那須火山群東山麓の丘陵地から南の那須野が原にかけて分布する約23万年前の黒礫岩屑なだれ堆積物(第1図のK; 山元, 2013)は、この部分が山体崩壊を起こして発生したのと考えられている。次の朝日岳火山は17～7万年前に活動した安山岩の成層火山で、三本槍火山の崩壊地形を埋めて成長した。その南にある南月山火山も、朝日岳火山とほぼ同時期の21～8万年前に活動した成層火山であるが、朝日岳火山とは独立した山体を形成している。那須火山群で最も新しい茶臼岳火山は約1.9万年前(16 kaの放射性炭素年代を暦年校正した年代)から活動を開始している(山元, 1997)。

那須火山群周辺に分布する中期～後期更新世テフラは、山麓の岩屑なだれ堆積物群(第1図のK, N, Of)・前期更新世の白河火砕流堆積物群(第1図のSr; 吉田・高橋, 1991; 山元, 2006)・前期更新世の境林層(第1図のSk)や高位・中位段丘堆積物(第1図のth1, th2, tm1, tm2)を被覆する土壌化した風成層中に挟まれている。その構成物は朝日岳・南月山火山起源の那須白河降下火砕物群(鈴木, 1992)、大部分が三本槍火山起源とみられる真船降下火砕物群(山元, 1999)が主体を占め、これらの間に北から沼沢火山、燧ヶ岳火山、高原火山、鬼怒沼火山、日光火山群、赤城火山等(第2図)の噴出物やいわゆる広域テフラが挟まれている(山元, 2012; 2013)。各テフラの名称、岩質、年代、引用文献は、第1表に一覧として示している。このうち、テフラ編年上、重要なものは燧ヶ岳田頭降下火砕物(Hu-TG; 鈴木, 1992; 山元, 2012)で、海洋酸素同位体ステージ(MIS)5cの最大海進時直前に降下したことが、福島県浜通りの海成層で確認されている(鈴木, 1999)。また、那珂川沿い(Loc. 3)で黒礫岩屑なだれ堆積物の下位にある大田原火砕流堆積物(Sb-OT; 第1図のO)は高原火山北麓の塩原カルデラ(第2図)から噴出したものである(尾上, 1989)。Sb-OT直下の風成層には黒雲母が特徴的に含まれる大町Apmテフラ群に対比される根本13・14降下火砕物(Nm13, Nm14)があり、MIS9中頃の約32万年前に噴出したと考えられている(鈴木ほか, 2004; Matsu'ura *et al.*, 2014)。更に、Sb-OTに伴う降下火砕物の分布軸は塩原カルデラから北東～北北東に伸び、郡山市周辺から福島市まで追跡されている(笠原ほか, 2017; 山田ほか, 2018)。また、山元(2013)は、山田ほか(2018)の示した主軸沿いの西郷村堀川ダム(Loc. 2)で記載された真船6降下火砕物を、直方輝石の屈折率からSb-OTに対比している。

3. 川谷降下火砕物の層序と主成分化学組成

本降下火砕物(KW)は、西郷村真船川谷(Loc. 1)で日光満美穴降下火砕物(Nk-MA; 阿久津, 1957; 山元, 2012)と沼沢芝原降下火砕物(Nm-SB; 鈴木, 1992; 山元, 1999; 2012)の間の土壌化した風成層中に位置する軽石降下火砕物で(第3図, 第4図)、本報告で新称するものである。この露頭の風成層層序は、山元(2016)のLoc. 21柱状図として公表済みであるが、この図では未命名の降下火砕物としてその存在を示していた。鈴木(1992)も、本文中に記載はないものの、川谷周辺の柱状図にはNk-MA・Nm-SB間の層準に未命名の堆積物を示しており、同じものである可能性がある。また、そのテフラ層序から、噴出年代は11～10万年前である。

Loc. 1の本火砕物は、層厚10 cmで、最大径0.4 cmの細礫サイズの軽石火山礫を多く含む結晶質の塊状粗粒火山灰である。火山灰の淘汰は良く、斜長石、単斜輝石、直方輝石、普通角閃石の結晶片に富んでいる。その軽石や

第1表 テフラ一覧. *Bt* = 黒雲母; *Cpx* = 単斜輝石; *Cum* = カミングトン閃石; *Hb* = 普通角閃石; *Opx* = 直方輝石. ^{a)} 青木ほか (2008); ^{b)} Matsu'ura *et al.* (2014).

Table 1 List of tephra units in this study. *Bt* = biotite; *Cpx* = clinopyroxene; *Cum* = cummingtonite; *Hb* = hornblende; *Opx* = orthopyroxene. ^{a)} Aoki *et al.* (2008); ^{b)} Matsu'ura *et al.* (2014).

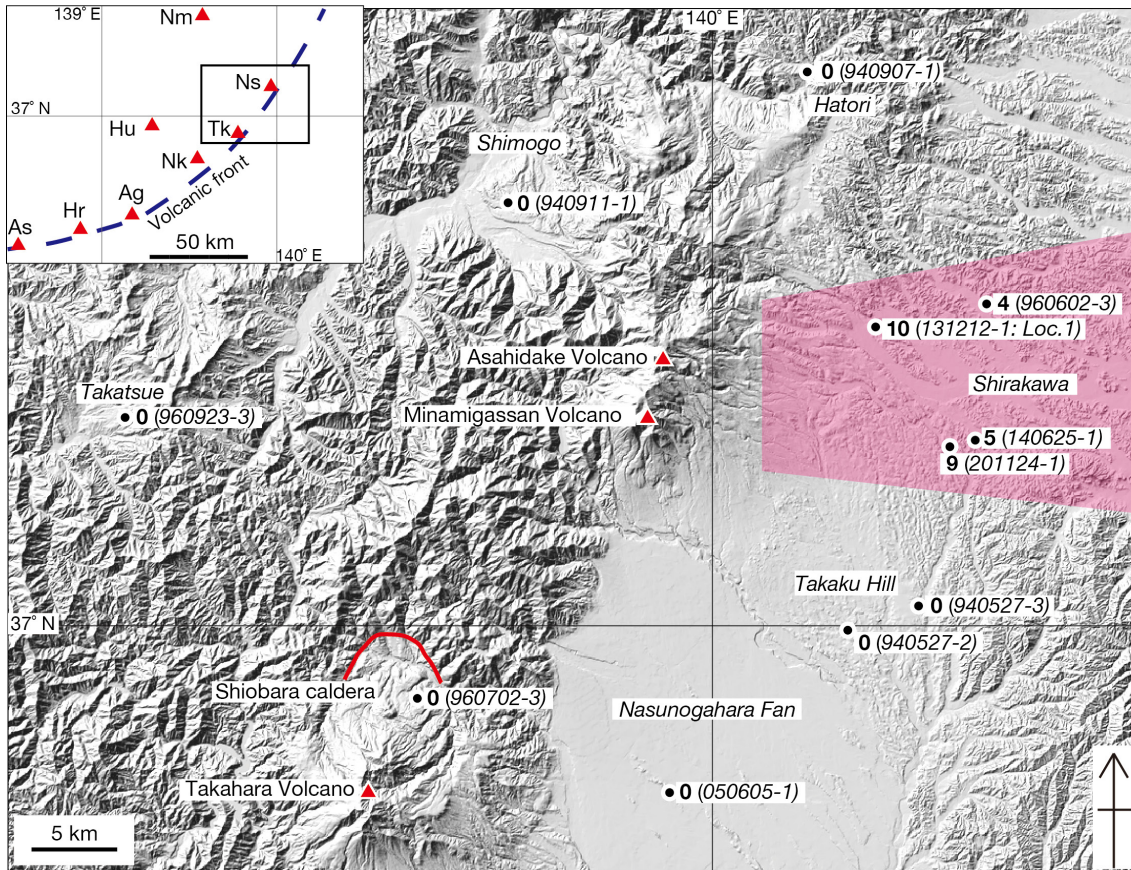
Tephra	Name	Age	Rock type	Reference	
Hr-FP	Haruna-Futatsudake-Ikaho	榛名二ツ岳伊香保	1.5 ka	Opx Hb andesite	Arai (1962); Yamamoto (2013)
Nm-NK	Numazawa-Numazawako	沼沢沼沢湖	5.4 ka	Opx Hb dacite	Yamamoto (1995; 2003)
Nt-S	Nantai-Shichihonzakura	男体七本桜	17 ka	Hb-bear Opx Cpx dacite	Akutsu (1955); Yamamoto (2013)
Nt-I	Nantai-Imaichi	男体今市	17 ka	Opx Cpx dacite to andesite	Akutsu (1955); Yamamoto (2013)
As-YP	Asama-Itahana-Yellow	浅間板鼻黄色	17 ka	Opx Cpx dacite	Arai (1962)
Nt-OG	Nantai-Ogawa	男体小川	ca 23 ka	Basaltic andesite	Muramoto (1992); Yamamoto (2013)
As-BP	Asama-Itahana-Brown	浅間板鼻褐色	ca 23 ka	Opx Cpx dacite	Arai (1962)
Ag-KP	Akagi-Kanuma	赤城鹿沼	44 ka ^{a)}	Hb-bear Opx Cpx dacite	Akutsu (1955); Yamamoto (2013)
Ag-NM1	Akagi-Namekawa 1	赤城行川1	ca 50 ka	Hb Opx Cpx andesite-dacite	Suzuki (1990); Yamamoto (2013)
Nm-MZ	Numazawa-Mizunuma	沼沢水沼	ca 56 ka	Bt Cum Hb dacite	Yamamoto (1995; 2003)
Ns-KR	Nasu-Kuromori	那須黒森	ca 80 ka	Andesite	Suzuki (1992)
Nk-MA	Nikko-Mamiana	日光満美穴	ca 0.10 Ma	Opx Cpx andesite	Akutsu (1957); Yamamoto (2012)
Ns-KW	Nasu-Kawatani	那須川谷	ca 0.11 Ma	Opx Cpx dacite	This study
Nm-SB	Numazawa-Shibahara	沼沢芝原	0.11 Ma	Cum-bear Hb Bt rhyolite	Suzuki (1992); Yamamoto (2003; 2012)
Ns-SR1'	Nasu-Shirakawa 1'	那須白河1'	ca 0.12 Ma	Andesite	This study
Ns-SR1	Nasu-Shirakawa 1	那須白河1	ca 0.12 Ma	Andesite	Suzuki (1992)
Hu-TG	Hiuchigatake-Tagashira	燧ヶ岳田頭	0.129 Ma	Bt Hb Opx Cpx dacite	Suzuki (1992; 1999); Yamamoto (2012)
Ns-SR2	Nasu-Shirakawa 2	那須白河2	ca 0.13 Ma	Andesite	Suzuki (1992)
Ns-SR3	Nasu-Shirakawa 3	那須白河3	ca 0.14 Ma	Andesite	Suzuki (1992)
Ns-SR4	Nasu-Shirakawa 4	那須白河4	ca 0.14 Ma	Andesite	Suzuki (1992)
Tk-Ub	Takahara-Ubasawakita	高原姥沢北	ca 0.15 Ma	Opx Cpx dacite	Suzuki (1992); Yamamoto (2013)
Ns-SR5	Nasu-Shirakawa 5	那須白河5	ca 0.15 Ma	Andesite	Suzuki (1992)
Ns-SR6	Nasu-Shirakawa 6	那須白河6	ca 0.15 Ma	Andesite	Suzuki (1992)
Ns-SR7	Nasu-Shirakawa 7	那須白河7	ca 0.15 Ma	Andesite	Suzuki (1992)
Ag-OrP	Akagi-Origuchihara	赤城折口原	ca 0.15 Ma	Hb-bear Opx Cpx andesite-dacite	Suzuki (1992); Yamamoto (2016)
Ns-SR8	Nasu-Shirakawa 8	那須白河8	ca 0.15 Ma	Andesite-dacite	Suzuki (1992)
Ns-SR9	Nasu-Shirakawa 9	那須白河9	ca 0.15 Ma	Andesite	Suzuki (1992)
Ns-SR10	Nasu-Shirakawa 10	那須白河10	ca 0.16 Ma	Andesite	Suzuki (1992)
Hu-NN	Hiuchigatake-Nanairi	燧ヶ岳七入	0.16-0.17 Ma	Opx Cpx dacite	Watanabe (1989); Yamamoto (1999; 2012)
YG	Yaguchi	矢口	ca 0.20 Ma	Andesite	Suzuki (1993)
Ns-SR11	Nasu-Shirakawa 11	那須白河11	ca 0.20 Ma	Andesite	Suzuki (1992)
Ns-SR12	Nasu-Shirakawa 12	那須白河12	ca 0.20 Ma	Andesite	Suzuki (1992)
Ij-MO	Iiji-Moka	飯士真岡	ca 0.22 Ma	Cum-bear Opx Hb dacite	Yamamoto (2007; 2013)
Kn-KD	Kinunuma-Kurodahara	鬼怒沼黒田原	ca 0.23 Ma	Opx Hb dacite	Suzuki (1993); Yamamoto (1999; 2012)
Tk-TM2	Takahara-Tomuroyama 2	高原戸室山2	ca 0.24 Ma	Cum-bear Opx Hb dacite	Yamamoto (1999; 2013)
Sb-OT	Shiobara-Otawara	塩原大田原	0.32 Ma ^{b)}	Opx Cpx dacite	Suzuki <i>et al.</i> (2004); Yamada <i>et al.</i> (2018)
Nm-13	Nemoto 13	根本13	ca 0.34 Ma	Hb-bear Bt rhyolite	Koike <i>et al.</i> (1985)
MF7	Mafune 7	真船7	0.34-0.36? Ma	Andesite	Yamamoto (1999)
MF9	Mafune 9	真船9	0.34-0.36? Ma	Andesite	Yamamoto (1999)
MF11	Mafune 11	真船11	0.34-0.36? Ma	Andesite-dacite	Yamamoto (1999)
MF12	Mafune 12	真船12	0.34-0.36? Ma	Andesite-dacite	Yamamoto (1999)
MF14	Mafune 14	真船14	0.34-0.36? Ma	Andesite	Yamamoto (1999)
Nm14	Nemoto 14	根本14	ca 0.36 Ma	Hb-bear Bt rhyolite	Koike <i>et al.</i> (1985)
Nm16	Nemoto 16	根本16	ca 0.40 Ma	Hb-bear Bt rhyolite	Koike <i>et al.</i> (1985)

結晶片の粒径の揃った岩相は、同じ露頭の赤城行川1降下火砕物 (Ag-NM1; 鈴木, 1992; 山元, 2012) や赤城折口原降下火砕物 (Ag-OrP; 鈴木, 1992; 山元, 2016) と良く似ている。一方で、その岩相は、更に粗粒でやや淘汰の悪い那須白河降下火砕物群 (次項) とは明らかに異なっている。本火砕物は、周辺の西郷村羽太 (960602-3)、同村黒川 (201124-1) や白河市白坂 (140625-1) でも確認できるが (山元, 2021)、南の栃木県高久丘陵や北西の福島県下郷町の鶴ヶ池岩屑なだれ堆積物、西の南会津町たかつえスキー場の斜面堆積物の風成被覆層中には見つからない (第2図; 山元, 2012; 2013; 2021)。従って、那須火山群東麓の狭い範囲にしか分布していないものと判断できる。

Loc. 1で採取した試料1212-1-5の火山ガラスの主成分化学組成の平均値は、SiO₂ = 77.51 wt%, Al₂O₃ = 11.71 wt%, FeO = 2.00 wt%, MgO = 0.37 wt%, CaO = 1.73 wt%, Na₂O = 3.11 wt%, K₂O = 3.08 wt%であった (第2表)。

4. 那須白河降下火砕物群の層序と岩相

真船川谷 (Loc. 1) は、那須白河8降下火砕物よりも上位の同火砕物群が全て観察できる良好な露頭でもある (第3図, 第4図)。この降下火砕物群は安山岩スコリアを主とし、一部で発泡の良い軽石を伴っている。17~8万年前頃に同時に活動していた南月山火山と朝日岳火山 (第1図; 伴・高岡, 1995) のどちらから噴出した降下火



第2図 那須火山群周辺の陰影起伏図と川谷降下火砕物の層厚。ボールド体数字は層厚(単位はcm)で、イタリック体数字は山元(2021)の地点番号。ピンク色部分は、この降下火砕物の分布範囲を示す。Ag = 赤城火山, As = 浅間火山, Hr = 榛名火山, Hu = 燧ヶ岳火山, Nk = 日光火山群, Nm = 沼沢火山, Ns = 那須火山群, Tk = 高原火山。背景図は地理院地図 (<https://maps.gsi.go.jp>) からの出力。

Fig. 2 Shaded-relief map around the Nasu Volcano Group and the thickness of the Kawatani Pyroclastic Fall Deposit. Bold numerals are the thickness in cm, and italic ones are the locality # in Yamamoto (2021). The pink area shows the distribution of this fall deposit. Ag = Akagi Volcano, As = Asama Volcano, Hr = Haruna Volcano, Hu = Hiuchigahara Volcano, Nk = Nikko Volcanoes, Nm = Numazawa Volcano, Ns = Nasu Volcanoes, Tk = Takahara Volcano. This topographic image was outputted from GSI Maps (<https://maps.gsi.go.jp>) by the Geospatial Information Authority of Japan.

砕物であるものの(山元, 2012), 本報告で示す層厚分布(第5図)でも噴出地点までは特定出来ていない。以下に、上位から順にその岩相を記載する。

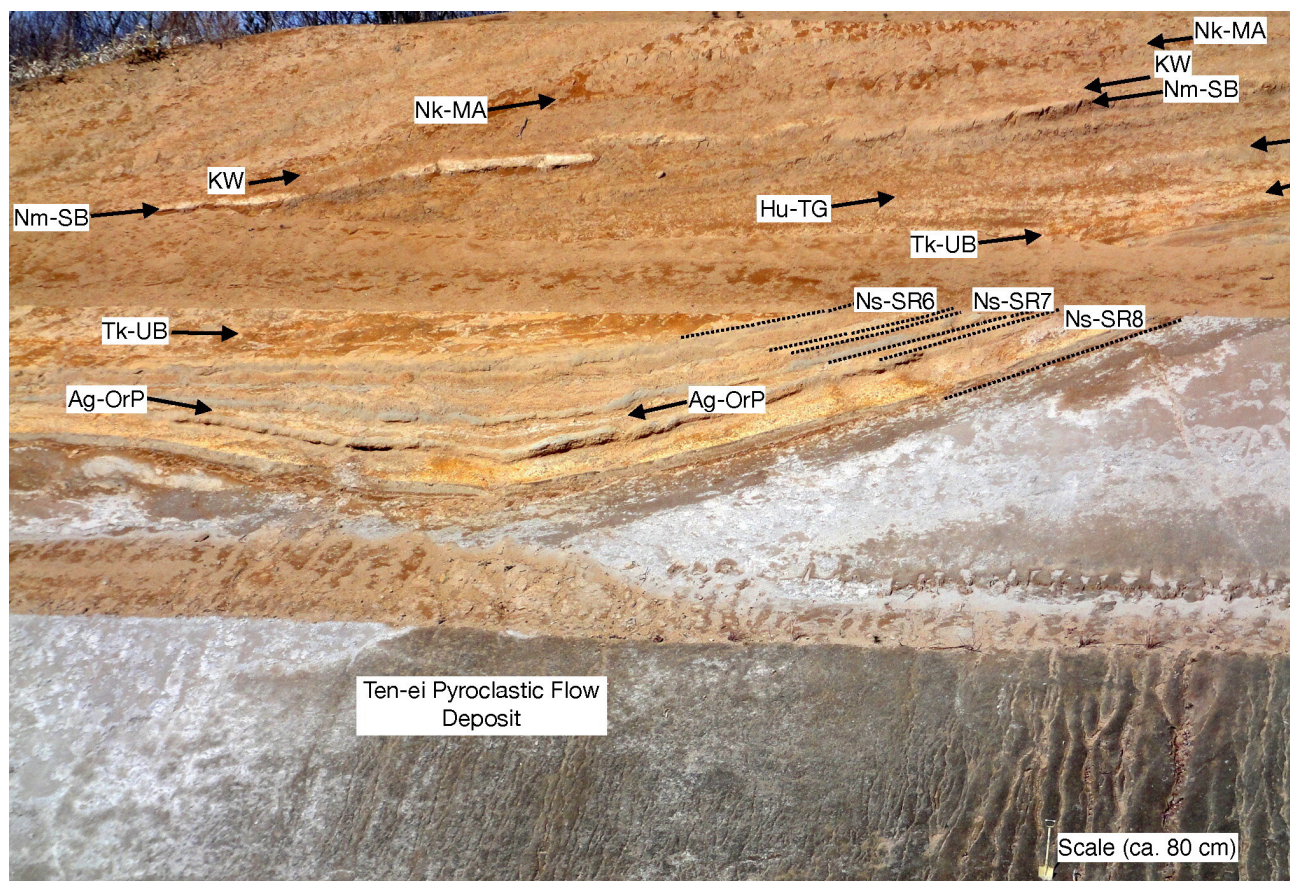
那須白河1'降下火砕物(Ns-SR1')は、本報でLoc. 1を模式地に新称するものである。褐色土壌を挟んでNm-SBの30 cm下位にある、灰色粗粒火山灰基質を持つ暗褐色、発泡不良の細礫サイズのスコリア火山礫で、層厚は12 cmである。鈴木(1992)が北赤田降下火砕物と呼んだ堆積物で、南の那須野が原に向かって層厚・粒径が増すとされていた。しかし、那須野が原の手前の高久丘陵南部では、本火砕物の分布が確認できず、那須野が原の北赤田降下火砕物とは別の堆積物と判断した。その分布は、那須火山群東麓の狭い範囲に限定されている(第5図)。

那須白河1降下火砕物(Ns-SR1; 鈴木, 1992)は、褐色土壌を挟んでHu-TGの20 cm上位にある、橙色～赤褐色

の発泡の良い中礫サイズのスコリア火山礫で、層厚は14 cmである。同じ堆積物は、高久丘陵北部から白河市周辺の各地に広く追跡できる(第5図)。

那須白河2降下火砕物(Ns-SR2; 鈴木, 1992)は、褐色土壌を挟んでHu-TGの32 cm下位にある、暗灰色の発泡不良の中礫サイズのスコリア火山礫混じりの粗粒火山灰で、層厚は7 cmである。その分布は、那須火山群東麓の狭い範囲に限定されている(第5図)。

那須白河3降下火砕物(Ns-SR3; 鈴木, 1992)は、褐色土壌を挟んでNs-SR2の20 cm下位にある、赤褐色で発泡の良い中礫サイズのスコリア火山礫と暗灰色で発泡不良の中礫サイズのスコリア火山礫からなり、層厚は7 cmである。他の地点では、下部に暗灰色スコリア、上部に赤褐色スコリアが多く、逆級化している。その分布は、那須火山群東麓の狭い範囲に限定されている(第5図)。



第3図 天栄火砕流堆積物を覆う風成層。福島県西郷村真船川谷 (Loc. 1)。Ag-OrP = 赤城降口原降下火砕物, KW = 川谷降下火砕物, Hu-TG = 燧ヶ岳田頭降下火砕物, Nk-MA = 日光満美穴降下火砕物, Nm-SB = 沼沢芝原降下火砕物, Ns-SR6 to 8 = 那須白河6 ~ 8降下火砕物, Tk-UB = 高原姥沢北降下火砕物。天栄火砕流は、白河火砕流群(第1図のSr)の一部層である。

Fig. 3 Eolian veneer deposits upon the Ten-ei Pyroclastic Flow Deposit at Mafune-Kawatani, Nishigo Village, Fukushima Prefecture (Loc. 1). Ag-OrP = Akagi-Origuchihara Pyroclastic Fall Deposit, KW = Kawatani Pyroclastic Fall Deposit, Hu-TG = Hiuchigatake-Tagashira Pyroclastic Fall Deposit, Nk-MA = Nikko-Mamiana Pyroclastic Deposit, Nm-SB = Numazawa-Shibahara Pyroclastic Deposit, Ns-SR6 to 8 = Nasu-Shirakawa 6 to 8 Pyroclastic Deposits, Tk-UB = Takahara-Ubasawakita Pyroclastic Deposit. The Ten-ei Pyroclastic Flow is the member of the Shirakawa Pyroclastic Flows (Sr in Fig. 1).

那須白河4降下火砕物(Ns-SR4; 鈴木, 1992)は、褐色土壌を挟んで高原姥沢北降下火砕物(Tk-UB; 鈴木, 1992; 山元, 2013)の7 cm上位に位置している。下部は暗灰色~褐色で発泡不良の中礫サイズのスコリア火山礫、上部は黄色~橙色で発泡の良い中礫サイズの軽石火山礫からなり、両者は漸移する。また、層厚は13 cmである。上部の軽石火山礫はLoc. 1で明瞭であるが、他の地点では、暗灰色~褐色スコリアが卓越している。その分布は、高久丘陵北部から白河市周辺の各地に広く追跡できる(第5図)。

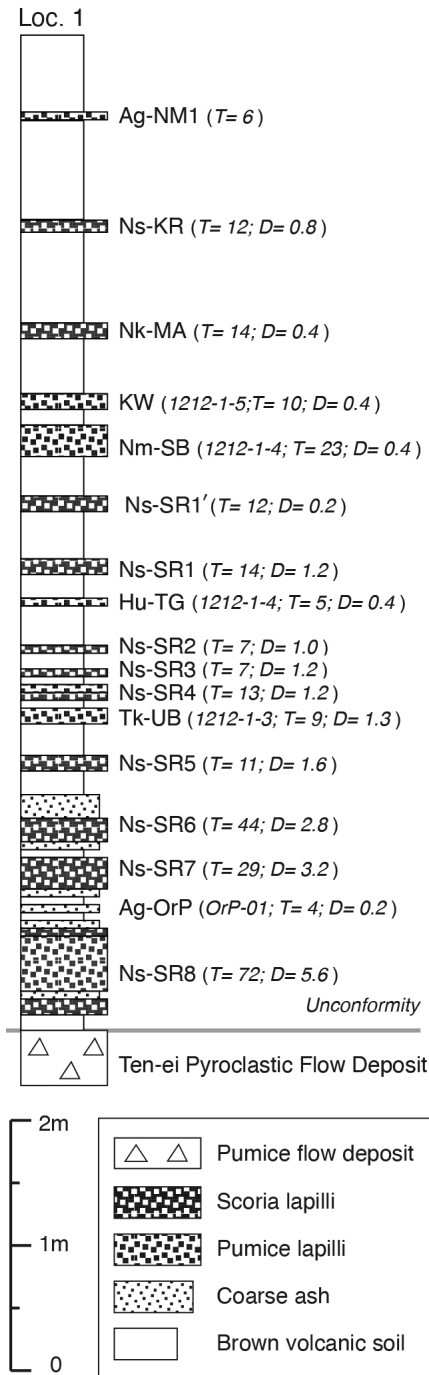
那須白河5降下火砕物(Ns-SR5; 鈴木, 1992)は、褐色土壌を挟んでTk-UBの22 cm下位にある、少量の火山灰基質を伴った赤褐色~暗灰色の中礫サイズのスコリア火山礫からなり、層厚は11 cmである。その分布は、那須火山群東麓の狭い範囲に限定されている(第5図)。

那須白河6降下火砕物(Ns-SR6; 鈴木, 1992)は、褐色

土壌を挟んでNs-SR5の20 cm下位にある、複数のユニットからなる成層したスコリア火山礫~火山灰である。下部は灰色の粗粒火山灰、中部は赤褐色で発泡不良の中礫サイズのスコリア火山礫、上部は暗褐色~赤褐色で細礫サイズのスコリア火山礫の混じった粗粒火山灰からなり、全体の層厚は44 cmである。その分布は、高久丘陵北部から白河市周辺の各地に広く追跡できる(第5図)。

那須白河7降下火砕物(Ns-SR7; 鈴木, 1992)は、褐色土壌を挟んでAg-OrPの4 cm上位にある、複数のユニットからなる成層したスコリア火山礫~火山灰である。下部は灰色の粗粒火山灰、中部は暗灰色で発泡不良の細礫サイズのスコリア火山礫、上部は赤褐色で発泡不良の中礫サイズのスコリア火山礫からなり、全体の層厚は29 cmである。その分布は、高久丘陵北部から白河市周辺の各地に広く追跡できる(第5図)。

那須白河8降下火砕物(Ns-SR8; 鈴木, 1992)は、褐色



第4図 真船川谷 (Loc. 1) における降下火砕物を挟む風成層の柱状図。テフラの名称とその特徴は第1表を参照のこと。1212-1-5, OrP-01などは試料番号。T = テフラ層の厚さで、単位はcm。D = テフラの平均最大粒径で、単位はcm。山元 (2016) による。

Fig. 4 Stratigraphic column of eolian veneer deposits intercalating with pyroclastic fallouts at Mafune-Kawatani (Loc. 1). See Table 1 for the tephra names and its compositions. 1212-1-5, OrP-01, etc. are the sample number. T = thickness of the tephra unit in centimeters. D = averaged maximum diameter of grains of the tephra unit in centimeters. After Yamamoto (2016).

土壌を挟んでAg-OrPの3 cm下位にある、複数のユニットからなる成層した軽石火山礫・スコリア火山礫～火山灰である。最下部は逆級化した暗灰色で発泡の良い中礫サイズのスコリア火山礫、暗灰色の粗粒火山灰を挟んで、中部は黄色の良く発泡した中礫サイズの軽石火山礫、上部は灰色で発泡不良の中礫サイズのスコリア火山礫、最上部は灰色で発泡不良の細礫サイズのスコリア火山礫からなり、全体の層厚は72cmである。鈴木(1992)が記載したように、本降下火砕物はNs-SR群で最も層厚が大きく、かつ軽石が特徴的で、野外での認定が容易い。その分布は、高久丘陵北部から白河市周辺の各地に広く追跡できる(第5図)。

Loc. 1で欠落している那須白河9～12降下火砕物(Ns-SR9～Ns-SR12; 鈴木, 1992)は、白河市から泉崎村にかけての丘陵地で確認できる(山元, 1999; 2012)。Ns-SR9・Ns-SR10は、Ns-SR8と燧ヶ岳七入降下火砕物(Hu-NN; 山元, 1999; 2012)の間に、Ns-SR11・Ns-SR12はHu-NNと鬼怒沼黒田原降下火砕物(Kn-KD; 山元, 1999; 2012)の間に、それぞれ位置している。これらのうち、Ns-SR9は、高久丘陵北部から白河市周辺の各地に広く追跡でき(第5図)、その規模はNs-SR8に次いでいる。これも複数のユニットからなる成層したスコリア火山礫～火山灰を主体とし、分布主軸で基底部に白色軽石火山礫を伴っている。

5. 余笹川岩屑なだれ堆積物直下の軽石礫の主成分化学組成

余笹川岩屑なだれ堆積物は、栃木県那須町余笹(Loc. 6)の余笹川左岸を模式地に、河川堆積物を挟んで黒礫岩屑なだれ堆積物の下位にある山体崩壊堆積物を対象に命名されたものである(山元, 2006)。この堆積物は層厚3.5 m前後の塊状で基質支持の凝灰角礫岩で、その基質は結晶片・白色軽石火山礫・木片を含んだ灰色の淘汰不良安山岩質火山灰からなり、破碎して角礫岩化した安山岩の岩塊や未破碎の軽石火山礫凝灰岩の岩塊を包有している。また、堆積物の下位にある河川堆積物にも良く円磨された単斜輝石直方輝石流紋岩の白色軽石礫(IO-101)が大量に含まれている(第6図)。山元(2006)は、試料IO-101の斑晶組合せや火山ガラスの屈折率($n: 1.502 \sim 1.507$)、直方輝石の屈折率($\gamma: 1.715 \sim 1.717$)から、これを大田原火砕流堆積物(Sb-OT)起源と考えていた。これに対して、菊地・長谷川(2020)は、同じ地点で採取された軽石礫ガラスとSb-OT中の軽石の主成分化学組成を明らかにし、両者は一致しないとしている。しかしながら、菊地・長谷川(2020)の示したSb-OT火山ガラスの化学組成は、山田ほか(2018)の示したSb-OTの分析値と比べ、 SiO_2 量が多く、FeO量がかなり少ない点で、大きく異なっている。

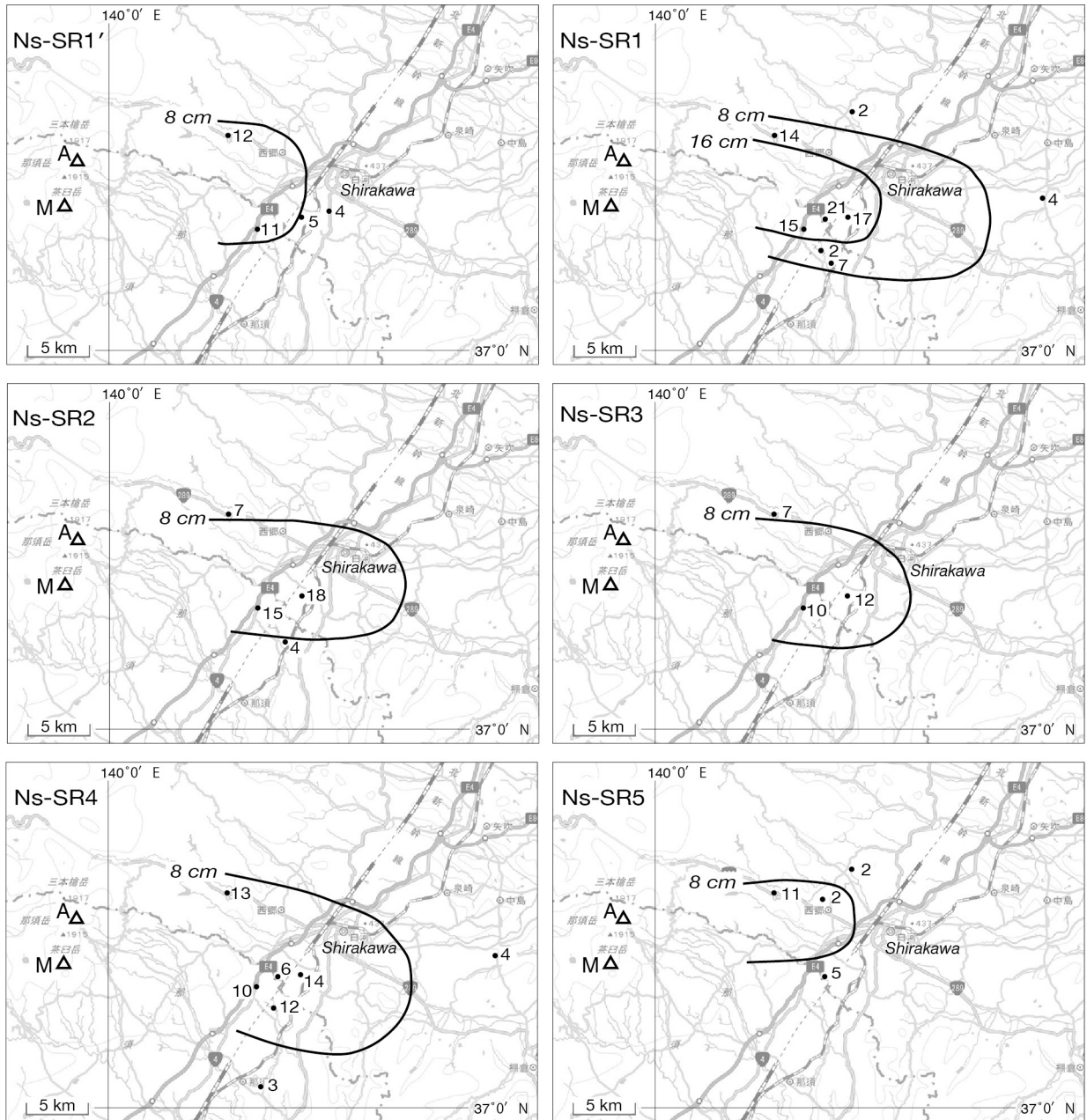
本報告では、比較のため試料IO-101とSb-OTの本質軽石3試料(KT103, 950605-3, 030426-1)、余笹川岩屑な

第2表 川谷降下火砕物(試料1212-1-5 : Loc. 1), 火山ガラスのEDXによる主成分分析結果, S.D. = 標準偏差
 Table 2 Major element contents of volcanic glass shards in the Kawatani Pyroclastic Fall Deposit (1212-1-5 in Loc. 1) by EDX measurements, S.D. = standard deviation.

point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Average	S.D.
SiO ₂	74.11	73.78	73.97	72.06	73.48	73.29	72.19	71.78	73.09	72.91	73.26	72.79	70.90	72.60	73.46	72.91	0.88
TiO ₂	0.33	0.40	0.52	0.39	0.36	0.27	0.47	0.37	0.32	0.43	0.60	0.43	0.41	0.48	0.46	0.42	0.08
Al ₂ O ₃	10.57	10.51	11.78	11.02	11.42	11.75	10.64	10.52	10.62	10.79	11.19	11.25	11.02	11.59	10.67	11.02	0.45
FeO	1.38	1.51	2.24	1.99	2.01	1.69	1.78	1.62	1.56	1.67	2.28	2.15	2.17	2.47	1.69	1.88	0.33
MnO	0.05	0.00	0.10	0.01	0.00	0.00	0.02	0.13	0.06	0.02	0.08	0.11	0.00	0.01	0.09	0.05	0.05
MgO	0.24	0.19	0.48	0.34	0.39	0.36	0.30	0.25	0.22	0.36	0.43	0.37	0.41	0.54	0.34	0.35	0.10
CaO	1.24	1.19	1.94	1.73	1.77	1.71	1.55	1.25	1.33	1.63	1.91	1.83	1.86	2.06	1.49	1.63	0.28
Na ₂ O	2.95	3.00	3.07	2.96	3.01	3.21	2.89	2.86	2.80	2.64	2.95	2.93	2.89	2.83	2.86	2.92	0.13
K ₂ O	3.15	3.24	2.85	2.85	2.76	2.60	2.86	2.98	3.05	2.93	2.86	2.89	2.74	2.74	2.90	2.89	0.16
Total	94.02	93.82	96.95	93.35	95.20	94.88	92.70	91.76	93.05	93.38	95.56	94.75	92.40	95.32	93.96	94.07	

point No.	Average	S.D.
SiO ₂	77.51	0.88
TiO ₂	0.44	0.09
Al ₂ O ₃	11.71	0.36
FeO	2.00	0.33
MnO	0.05	0.05
MgO	0.37	0.10
CaO	1.73	0.28
Na ₂ O	3.11	0.12
K ₂ O	3.08	0.19
Total	100.00	100.00

那須火山群周辺の中期～後期更新世テフラ層序 (山元)



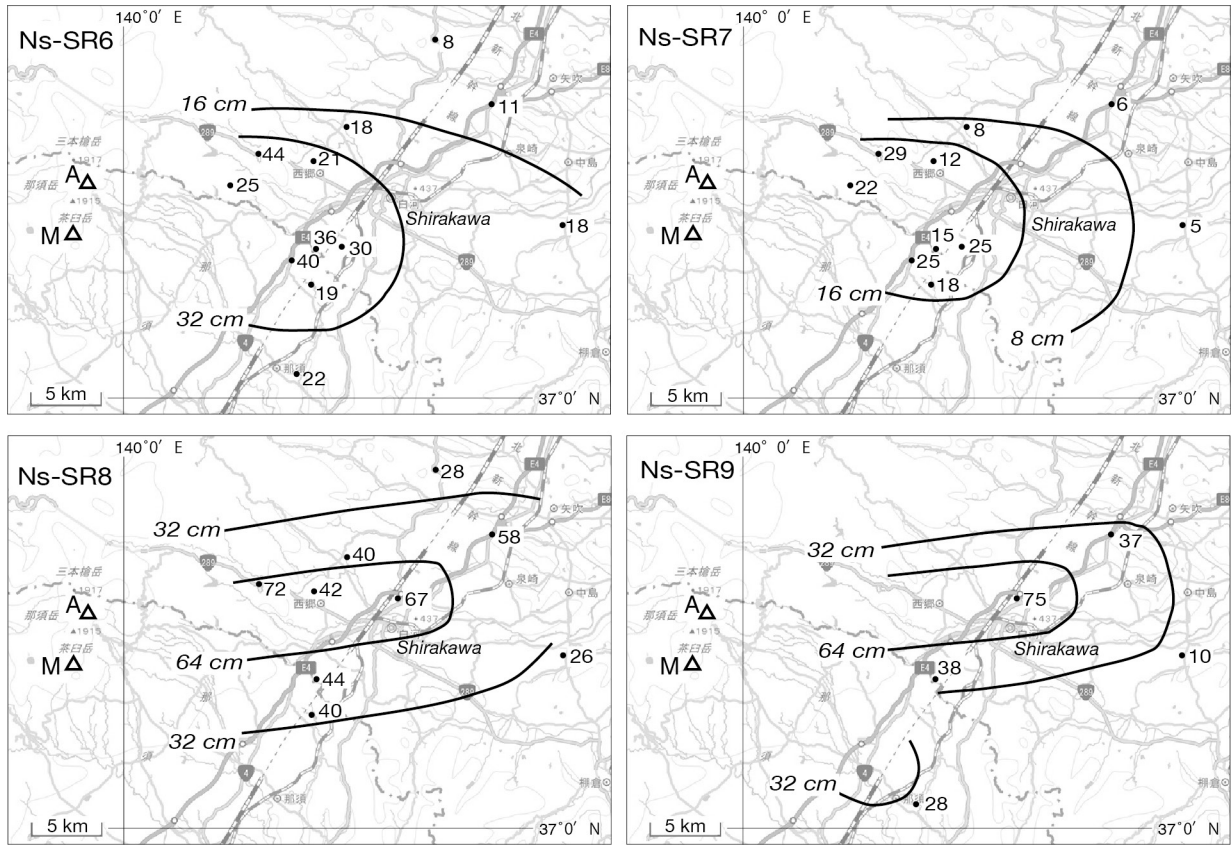
第5図(1/2) 那須白河降下火砕物群(Ns-SRs)の分布. 数字は降下火砕堆積物の層厚で, 単位はcm. 太線は等層厚線. A = 朝日岳火山; M = 南月山火山. 背景図は地理院地図 (<https://maps.gsi.go.jp>) からの出力.

Fig. 5 (1/2) Distribution of the Nasu-Shirakawa Pyroclastic Fall Deposits (Ns-SRs). Numerals are measured thickness of the pyroclastic fall deposit in centimeters. Solid lines are isopachs. A = Asahidake Volcano; M = Minamigassan Volcano. This topographic image was outputted from GSI Maps (<https://maps.gsi.go.jp>) by the Geospatial Information Authority of Japan.

だれ堆積物の下位にある前期更新世芦野火砕流堆積物(As04; 第1図の白河火砕流群の一部層)の火山ガラスの主成分化学組成を分析した. 試料KT103は山元(2006)が大田原火砕流堆積物として火山ガラス・直方輝石の屈折率を測定した矢板市金和崎岩(Loc. 8)の軽石の残り, 山田ほか(2018)のLoc.13とほぼ同じ地点で採取している. また, 試料950605-3は那須塩原市鳥野目河川公園対岸の那珂川左岸(Loc. 3)で, 黒礫岩屑なだれ堆積物に直

接覆られるSb-OTから採取した. 試料030426-1は大田原市城山の蛇尾橋下(Loc. 7)のSb-OTから採取したもので, 位置は菊地・長谷川(2020)のLoc. 9に近い. 試料As04はYamamoto(2011)が全岩化学組成分析を行い, 芦野火砕流であることを確認した軽石の残りである.

Sb-OT, 3試料の火山ガラスの主成分化学組成(第3表, 第4表, 第5表)は, $\text{SiO}_2 = 76.54 \sim 77.78 \text{ wt\%}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 12.06 \sim 12.57 \text{ wt\%}$, $\text{FeO} = 1.01 \sim 2.00 \text{ wt\%}$, $\text{MgO} = 0.20 \sim 0.38 \text{ wt\%}$,



第5図(2/2) 続き.
Fig. 5 (2/2) Continued.

CaO = 1.72 ~ 2.14 wt%, Na₂O = 3.36 ~ 3.93 wt%, K₂O = 2.30 ~ 2.65 wt%の範囲に良くまとまる。また、試料IO-101の火山ガラスの主成分化学組成の平均値は、SiO₂ = 77.36 wt%, Al₂O₃ = 12.09 wt%, FeO = 1.91 wt%, MgO = 0.32 wt%, CaO = 2.03 wt%, Na₂O = 3.26 wt%, K₂O = 2.61 wt%であった(第6表)。試料IO-101は、Al₂O₃とNa₂O量がSb-OTよりもやや少ないものの、全体としては組成が類似している。一方、試料As04の火山ガラスの主成分化学組成の平均値は、SiO₂ = 78.73 wt%, Al₂O₃ = 11.79 wt%, FeO = 1.36 wt%, MgO = 0.27 wt%, CaO = 1.75 wt%, Na₂O = 3.54 wt%, K₂O = 2.19 wt%で、Sb-OTやIO-101とは大きく異なっている(第7表)。

6. 真船降下火砕物群の層序と岩相

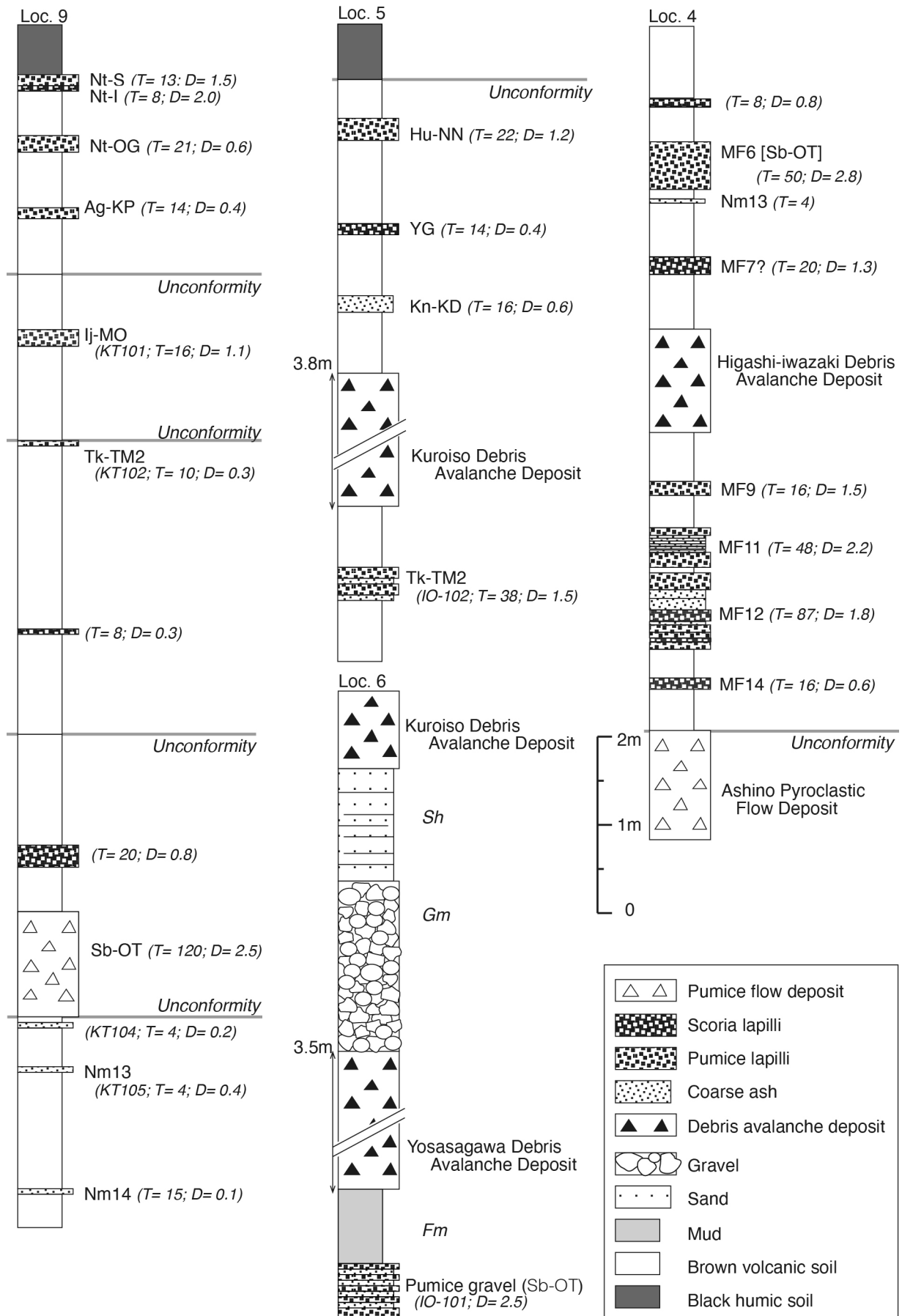
菊地・長谷川(2020)は、栃木県那須町芦野のピレッジ那須ゴルフ場跡地(原著のLoc. 1; 本報告のLoc. 4)で、余笹川岩屑なだれ堆積物の上位に、下位からNS02 ~ NS11の火砕物を記載し、このうちNS04がApmテフラ群に対比されるとした。しかし、彼らの示した露頭柱状図はゴルフ場跡地に点在する離れた露頭を、全てが水平に堆積したとして標高で積み重ね示したもので、実際に連続露頭があるわけではない。ゴルフ場跡地の東には層厚50 m前

(→ p. 407)

第6図 Locs. 4, 5, 6及び9における露頭柱状図。テフラの名称とその特徴は第1表を参照のこと。Fm = 塊状泥; Gm = 岩片支持で塊状の礫; Sh = 平行層理を持つ砂。KT101, IO-101などは試料番号。T = テフラ層の厚さで、単位はcm。D = テフラの平均最大粒径で、単位はcm。芦野火砕流は、白河火砕流群(第1図のSr)の一部層である。Locs. 5, 6及び9柱状図は、山元(2013)による。

Fig. 6. Stratigraphic columns at Locs. 4, 5, 6 and 9. See Table 1 for the tephra names and its compositions. Fm = massive mud; Gm = clast-supported, massive gravel; Sh = horizontal-bedded sand. KT101, IO-101, etc. are the sample number. T = thickness of the tephra unit in centimeters. D = averaged maximum diameter of grains of the tephra unit in centimeters. The Ashino Pyroclastic Flow is the member of the Shirakawa Pyroclastic Flows (Sr in Fig. 1). Columns at Locs. 5, 6 and 9 are taken from Yamamoto (2013).

那須火山群周辺の中期～後期更新世テフラ層序 (山元)



第3表 大田原火砕流堆積物(試料KT103: Loc. 8), 火山ガラスのEDXによる主成分分析結果. S.D. = 標準偏差
 Table 3 Major element contents of volcanic glass shards in the Otawara Pyroclastic Flow Deposit (KT103 in Loc. 8) by EDX measurements. S.D. = standard deviation.

point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Average	S.D.
SiO ₂	72.48	73.61	73.41	74.45	74.10	74.12	73.81	73.83	73.44	73.87	73.65	74.22	73.99	73.28	72.82	73.67	0.53
TiO ₂	0.18	0.25	0.36	0.25	0.23	0.25	0.23	0.33	0.31	0.21	0.30	0.29	0.26	0.29	0.24	0.27	0.05
Al ₂ O ₃	11.62	11.79	11.74	11.94	11.84	11.87	11.91	11.97	11.77	11.78	11.77	11.90	11.92	11.91	11.70	11.83	0.10
FeO	1.09	1.37	1.83	1.27	1.67	1.78	1.60	1.79	1.70	1.49	1.65	1.69	1.61	1.89	1.90	1.62	0.23
MnO	0.17	0.17	0.08	0.12	0.00	0.10	0.09	0.18	0.00	0.18	0.10	0.08	0.14	0.11	0.17	0.11	0.06
MgO	0.27	0.23	0.33	0.23	0.22	0.29	0.28	0.20	0.27	0.23	0.23	0.23	0.32	0.19	0.33	0.26	0.05
CaO	2.00	1.93	2.01	1.94	1.90	1.87	1.90	1.94	1.93	1.89	1.92	1.96	1.96	1.92	1.97	1.94	0.04
Na ₂ O	3.58	3.36	3.42	3.44	3.47	3.56	3.50	3.45	3.54	3.47	3.47	3.42	3.47	3.48	3.74	3.49	0.09
K ₂ O	2.29	2.51	2.33	2.43	2.33	2.35	2.33	2.32	2.38	2.41	2.24	2.21	2.30	2.37	2.26	2.34	0.08
Total	93.68	95.22	95.51	96.07	95.76	96.19	95.65	96.01	95.34	95.53	95.33	96.09	95.97	95.44	95.13	95.53	

point No.	Average															S.D.	
SiO ₂	77.37	77.31	76.86	77.50	77.38	77.06	77.17	76.90	77.03	77.33	77.26	77.24	77.10	76.78	76.55	77.12	0.26
TiO ₂	0.19	0.26	0.38	0.26	0.24	0.26	0.24	0.34	0.33	0.22	0.31	0.30	0.27	0.30	0.25	0.28	0.05
Al ₂ O ₃	12.40	12.38	12.29	12.43	12.36	12.34	12.45	12.47	12.35	12.33	12.35	12.38	12.42	12.48	12.30	12.38	0.06
FeO	1.16	1.44	1.92	1.32	1.74	1.85	1.67	1.86	1.78	1.56	1.73	1.76	1.68	1.98	2.00	1.70	0.24
MnO	0.18	0.18	0.08	0.12	0.00	0.10	0.09	0.19	0.00	0.19	0.10	0.08	0.15	0.12	0.18	0.12	0.06
MgO	0.29	0.24	0.35	0.24	0.23	0.30	0.29	0.21	0.28	0.24	0.24	0.33	0.33	0.20	0.35	0.27	0.05
CaO	2.13	2.03	2.10	2.02	1.98	1.94	1.99	2.02	2.02	1.98	2.01	2.04	2.04	2.01	2.07	2.03	0.05
Na ₂ O	3.82	3.53	3.58	3.58	3.62	3.70	3.66	3.59	3.71	3.63	3.64	3.56	3.62	3.65	3.93	3.66	0.10
K ₂ O	2.44	2.64	2.44	2.53	2.43	2.44	2.44	2.42	2.50	2.52	2.35	2.30	2.40	2.48	2.38	2.45	0.08
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

第4表 大田原火砕流堆積物(試料950605-3: Loc. 3), 火山ガラスのEDXによる主成分分析結果, S.D. = 標準偏差
 Table 4 Major element contents of volcanic glass shards in the Otawara Pyroclastic Flow Deposit (950605-3 in Loc. 3) by EDX measurements. S.D. = standard deviation.

point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Average	S.D.
SiO ₂	73.42	74.62	73.87	73.07	73.66	73.65	74.41	73.80	73.61	73.84	74.27	74.20	73.78	73.32	73.67	73.81	0.42
TiO ₂	0.27	0.16	0.35	0.30	0.29	0.32	0.22	0.26	0.32	0.27	0.37	0.29	0.32	0.24	0.21	0.28	0.06
Al ₂ O ₃	11.85	12.00	11.84	11.70	12.01	11.87	12.06	11.95	11.87	11.84	12.03	11.90	11.76	11.79	11.79	11.88	0.11
FeO	1.31	0.97	1.31	1.12	1.50	1.66	1.37	1.61	1.23	1.00	1.50	1.37	1.33	1.74	1.75	1.38	0.25
MnO	0.12	0.20	0.07	0.07	0.04	0.14	0.06	0.07	0.12	0.08	0.00	0.10	0.16	0.07	0.11	0.09	0.05
MgO	0.30	0.25	0.28	0.30	0.32	0.30	0.27	0.29	0.28	0.26	0.29	0.30	0.29	0.32	0.36	0.29	0.03
CaO	1.97	1.86	1.88	1.92	1.95	2.01	1.92	2.01	1.95	1.81	1.88	1.97	1.97	2.04	2.04	1.95	0.07
Na ₂ O	3.33	3.39	3.50	3.39	3.45	3.23	3.38	3.33	3.20	3.31	3.33	3.25	3.27	3.36	3.21	3.33	0.09
K ₂ O	2.44	2.55	2.32	2.29	2.30	2.38	2.40	2.31	2.36	2.52	2.38	2.35	2.29	2.29	2.38	2.37	0.08
Total	95.01	96.00	95.42	94.16	95.52	95.56	96.09	95.63	94.94	94.93	96.05	95.73	95.17	95.17	95.52	95.39	

point No.	Average															S.D.	
SiO ₂	77.28	77.73	77.42	77.60	77.11	77.07	77.44	77.17	77.53	77.78	77.32	77.51	77.52	77.04	77.13	77.38	0.24
TiO ₂	0.28	0.17	0.37	0.32	0.30	0.33	0.23	0.27	0.34	0.28	0.39	0.30	0.34	0.25	0.22	0.29	0.06
Al ₂ O ₃	12.47	12.50	12.41	12.43	12.57	12.42	12.55	12.50	12.50	12.47	12.52	12.43	12.36	12.39	12.34	12.46	0.07
FeO	1.38	1.01	1.37	1.19	1.57	1.74	1.43	1.68	1.30	1.05	1.56	1.43	1.40	1.83	1.83	1.45	0.25
MnO	0.13	0.21	0.07	0.07	0.04	0.15	0.06	0.07	0.13	0.08	0.00	0.10	0.17	0.07	0.12	0.10	0.05
MgO	0.32	0.26	0.29	0.32	0.34	0.31	0.28	0.30	0.29	0.27	0.30	0.31	0.30	0.34	0.38	0.31	0.03
CaO	2.07	1.94	1.97	2.04	2.04	2.10	2.00	2.10	2.05	1.91	1.96	2.06	2.07	2.14	2.14	2.04	0.07
Na ₂ O	3.50	3.53	3.67	3.60	3.61	3.38	3.52	3.48	3.37	3.49	3.47	3.39	3.44	3.53	3.36	3.49	0.09
K ₂ O	2.57	2.66	2.43	2.43	2.41	2.49	2.50	2.42	2.49	2.65	2.48	2.45	2.41	2.41	2.49	2.49	0.08
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

第5表 大田原火砕流堆積物(試料030426-1: Loc. 7), 火山ガラスのEDXによる主成分分析結果, S.D. = 標準偏差
 Table 5 Major element contents of volcanic glass shards in the Otawara Pyroclastic Flow Deposit (030426-1 in Loc. 7) by EDX measurements. S.D. = standard deviation.

point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Average	S.D.
SiO ₂	72.48	73.16	73.21	73.04	73.24	74.03	72.11	73.15	72.53	72.41	73.47	72.78	72.66	72.13	72.75	72.88	0.52
TiO ₂	0.31	0.30	0.29	0.34	0.15	0.27	0.20	0.30	0.31	0.20	0.30	0.33	0.22	0.27	0.32	0.27	0.06
Al ₂ O ₃	11.46	11.42	11.52	11.46	11.88	11.18	11.49	11.37	11.52	11.69	11.60	11.50	11.54	11.39	11.45	11.50	0.16
FeO	1.64	1.78	1.65	1.72	1.83	1.48	1.73	1.84	1.72	1.64	1.61	1.81	1.63	1.77	1.60	1.70	0.10
MnO	0.04	0.13	0.09	0.14	0.11	0.06	0.13	0.06	0.10	0.07	0.16	0.12	0.02	0.09	0.14	0.10	0.04
MgO	0.30	0.29	0.24	0.23	0.29	0.15	0.19	0.24	0.26	0.30	0.25	0.25	0.19	0.30	0.28	0.25	0.05
CaO	1.77	1.76	1.79	1.71	1.81	1.54	1.77	1.64	1.81	1.73	1.67	1.73	1.76	1.60	1.79	1.73	0.08
Na ₂ O	3.35	3.37	3.27	3.38	3.42	3.27	3.39	3.28	3.25	3.29	3.43	3.34	3.28	3.31	3.42	3.34	0.06
K ₂ O	2.27	2.31	2.26	2.38	2.36	2.17	2.39	2.37	2.38	2.28	2.39	2.29	2.31	2.39	2.33	2.33	0.06
Total	93.62	94.52	94.32	94.40	95.09	94.15	93.40	94.25	93.88	93.61	94.88	94.15	93.61	93.25	94.08	94.08	
point No.																	
SiO ₂	77.42	77.40	77.62	77.37	77.02	78.63	77.21	77.61	77.26	77.35	77.43	77.30	77.62	77.35	77.33	77.46	0.36
TiO ₂	0.33	0.32	0.31	0.36	0.16	0.29	0.21	0.32	0.33	0.21	0.32	0.35	0.24	0.29	0.34	0.29	0.06
Al ₂ O ₃	12.24	12.08	12.21	12.14	12.49	11.87	12.30	12.06	12.27	12.49	12.23	12.21	12.33	12.21	12.17	12.22	0.16
FeO	1.75	1.88	1.75	1.82	1.92	1.57	1.85	1.95	1.83	1.75	1.70	1.92	1.74	1.90	1.70	1.80	0.11
MnO	0.04	0.14	0.10	0.15	0.12	0.06	0.14	0.06	0.11	0.07	0.17	0.13	0.02	0.10	0.15	0.10	0.04
MgO	0.32	0.31	0.25	0.24	0.30	0.16	0.20	0.25	0.28	0.32	0.26	0.27	0.20	0.32	0.30	0.27	0.05
CaO	1.89	1.86	1.90	1.81	1.90	1.64	1.90	1.74	1.93	1.85	1.76	1.84	1.88	1.72	1.90	1.83	0.08
Na ₂ O	3.58	3.57	3.47	3.58	3.60	3.47	3.63	3.48	3.46	3.51	3.62	3.55	3.50	3.55	3.64	3.55	0.06
K ₂ O	2.42	2.44	2.40	2.52	2.48	2.30	2.56	2.51	2.54	2.44	2.52	2.43	2.47	2.56	2.48	2.47	0.07
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
Average																	
S.D.																	

第6表 試料IO-101 (Loc. 6), 火山ガラスのEDXによる主成分分析結果, S.D. = 標準偏差
 Table 6 Major element contents of volcanic glass shards of IO-101 (Loc. 6) by EDX measurements. S.D. = standard deviation.

point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Average	S.D.
SiO ₂	73.28	72.50	72.38	72.96	71.00	72.76	72.23	72.47	72.58	72.11	73.13	72.94	72.25	72.53	71.98	72.47	0.55
TiO ₂	0.29	0.36	0.39	0.37	0.33	0.34	0.35	0.25	0.20	0.41	0.31	0.46	0.40	0.37	0.34	0.34	0.06
Al ₂ O ₃	11.35	11.25	11.28	11.35	12.17	11.23	11.22	11.06	11.29	11.27	11.29	11.29	11.40	11.13	11.33	11.33	0.25
FeO	1.99	1.74	1.77	1.87	2.27	1.48	1.87	1.88	1.88	1.64	1.82	1.80	1.63	1.57	1.71	1.79	0.19
MnO	0.00	0.05	0.03	0.01	0.03	0.03	0.01	0.11	0.20	0.15	0.00	0.18	0.04	0.02	0.01	0.06	0.07
MgO	0.26	0.24	0.30	0.29	0.36	0.26	0.32	0.33	0.29	0.33	0.27	0.32	0.31	0.25	0.33	0.30	0.04
CaO	1.79	1.85	1.91	1.88	2.55	1.79	1.84	1.83	1.82	1.92	1.98	1.93	1.81	1.83	1.83	1.90	0.19
Na ₂ O	3.09	3.01	3.07	3.19	3.02	3.01	3.07	2.93	3.07	3.05	3.00	3.02	3.10	3.09	3.05	3.05	0.06
K ₂ O	2.51	2.49	2.42	2.41	2.28	2.53	2.49	2.57	2.49	2.36	2.35	2.48	2.40	2.41	2.49	2.45	0.08
Total	94.56	93.49	93.55	94.33	94.01	93.43	93.40	93.43	93.72	93.24	94.15	94.42	93.34	93.20	93.07	93.69	

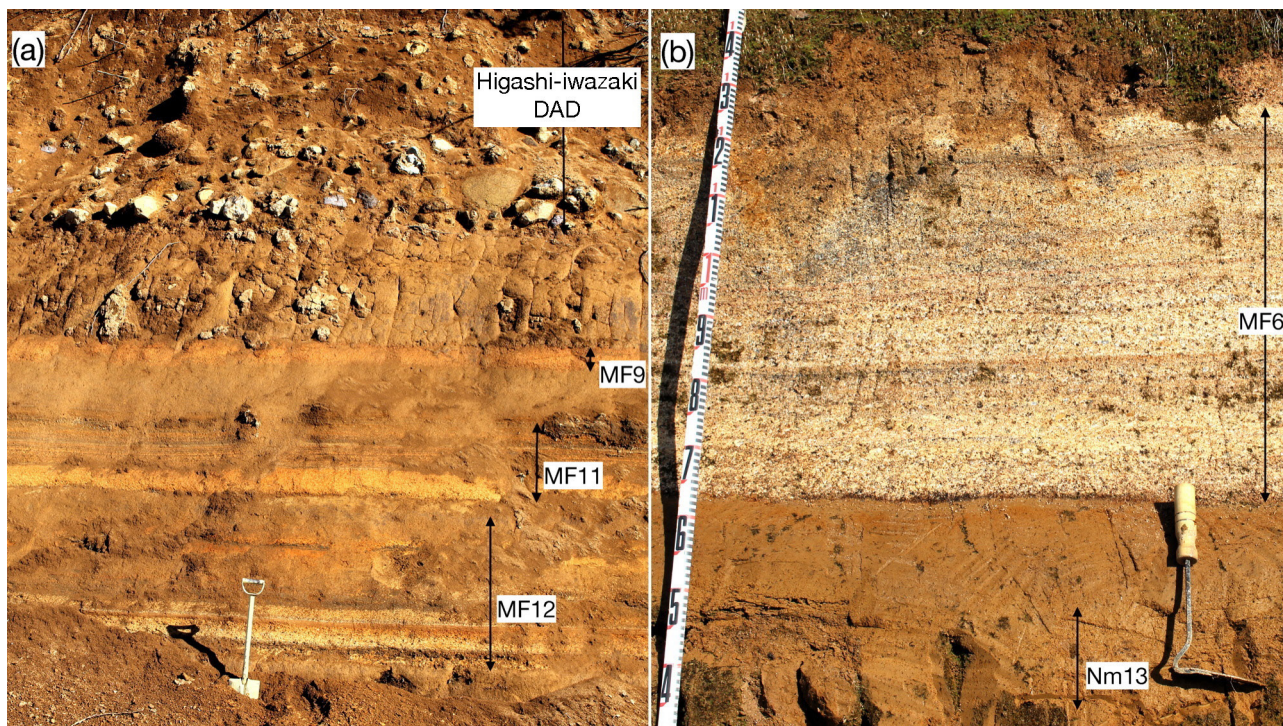
point No.	Average															S.D.	
SiO ₂	77.50	77.55	77.37	77.35	75.52	77.88	77.33	77.57	77.44	77.34	77.67	77.25	77.41	77.82	77.34	77.36	0.54
TiO ₂	0.31	0.39	0.42	0.39	0.35	0.36	0.37	0.27	0.21	0.44	0.33	0.49	0.43	0.40	0.37	0.37	0.07
Al ₂ O ₃	12.00	12.03	12.06	12.03	12.95	12.02	12.01	11.84	12.05	12.09	11.99	11.96	12.21	11.94	12.17	12.09	0.25
FeO	2.10	1.86	1.89	1.98	2.41	1.58	2.00	2.01	1.90	1.76	1.93	1.91	1.75	1.68	1.84	1.91	0.19
MnO	0.00	0.05	0.03	0.01	0.03	0.03	0.01	0.12	0.21	0.16	0.00	0.19	0.04	0.02	0.01	0.06	0.07
MgO	0.27	0.26	0.32	0.31	0.38	0.28	0.34	0.35	0.31	0.35	0.29	0.34	0.33	0.27	0.35	0.32	0.04
CaO	1.89	1.98	2.04	1.99	2.71	1.92	1.97	1.96	1.94	2.06	2.10	2.04	1.94	1.96	1.97	2.03	0.20
Na ₂ O	3.27	3.22	3.28	3.38	3.21	3.22	3.29	3.14	3.28	3.27	3.19	3.20	3.32	3.32	3.28	3.26	0.06
K ₂ O	2.65	2.66	2.59	2.55	2.43	2.71	2.67	2.75	2.66	2.53	2.50	2.63	2.57	2.59	2.68	2.61	0.09
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

第7表 芦野火砕流堆積物(試料As04: Yamamoto, 2011), 火山ガラスのEDXによる主成分分析結果. S.D. = 標準偏差

Table 7 Major element contents of volcanic glass shards in the Ashino Pyroclastic Flow Deposit (As04: Yamamoto, 2011) by EDX measurements. S.D. = standard deviation.

point.No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Average	S.D.
SiO ₂	74.08	73.63	74.15	76.05	75.32	74.10	73.82	74.24	73.20	74.36	74.37	74.63	73.74	74.05	75.33	74.34	0.74
TiO ₂	0.19	0.34	0.32	0.29	0.16	0.37	0.34	0.35	0.34	0.33	0.31	0.25	0.22	0.19	0.17	0.28	0.07
Al ₂ O ₃	11.16	11.09	10.99	11.00	11.30	11.22	10.84	11.42	11.01	11.26	11.26	11.24	10.97	11.16	11.10	11.13	0.15
FeO	1.19	1.27	1.28	1.24	1.23	1.38	1.32	1.16	1.26	1.25	1.29	1.32	1.46	1.31	1.33	1.29	0.07
MnO	0.11	0.07	0.19	0.04	0.03	0.05	0.03	0.13	0.06	0.10	0.00	0.00	0.00	0.08	0.13	0.07	0.06
MgO	0.23	0.30	0.22	0.20	0.26	0.26	0.27	0.20	0.28	0.32	0.24	0.27	0.24	0.25	0.32	0.26	0.04
CaO	1.65	1.62	1.60	1.67	1.72	1.61	1.66	1.63	1.60	1.73	1.67	1.63	1.62	1.69	1.62	1.65	0.04
Na ₂ O	3.38	3.34	3.29	3.35	3.46	3.28	3.30	3.34	3.26	3.33	3.39	3.39	3.34	3.35	3.33	3.34	0.05
K ₂ O	2.12	2.02	1.98	2.13	2.09	1.99	2.08	2.03	2.03	2.12	2.11	2.04	2.10	2.05	2.09	2.07	0.05
Total	94.11	93.68	94.02	95.97	95.57	94.26	93.66	94.50	93.04	94.80	94.64	94.77	93.69	94.13	95.42	94.42	

point.No.	Average															S.D.	
SiO ₂	78.72	78.60	78.87	79.24	78.81	78.61	78.82	78.56	78.68	78.44	78.58	78.75	78.71	78.67	78.95	78.73	0.19
TiO ₂	0.20	0.36	0.34	0.30	0.17	0.39	0.36	0.37	0.37	0.35	0.33	0.26	0.23	0.20	0.18	0.29	0.08
Al ₂ O ₃	11.86	11.84	11.69	11.46	11.82	11.90	11.57	12.08	11.83	11.88	11.90	11.86	11.71	11.86	11.63	11.79	0.15
FeO	1.26	1.36	1.36	1.29	1.29	1.46	1.41	1.23	1.35	1.32	1.36	1.39	1.56	1.39	1.39	1.36	0.08
MnO	0.12	0.07	0.20	0.04	0.03	0.05	0.03	0.14	0.06	0.11	0.00	0.00	0.00	0.08	0.14	0.07	0.06
MgO	0.24	0.32	0.23	0.21	0.27	0.28	0.29	0.21	0.30	0.34	0.25	0.28	0.26	0.27	0.34	0.27	0.04
CaO	1.75	1.73	1.70	1.74	1.80	1.71	1.77	1.72	1.72	1.82	1.76	1.72	1.73	1.80	1.70	1.75	0.04
Na ₂ O	3.59	3.57	3.50	3.49	3.62	3.48	3.52	3.53	3.50	3.51	3.58	3.58	3.56	3.56	3.49	3.54	0.04
K ₂ O	2.25	2.16	2.11	2.22	2.19	2.11	2.22	2.15	2.18	2.24	2.23	2.15	2.24	2.18	2.19	2.19	0.05
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	



第7図 福島県那須町芦野(Loc. 4)における露頭写真. 真船9・11・12 (MF9, MF11, MF12)降下火砕物とこれらを覆う東岩崎岩屑なだれ堆積物(a). 東岩崎岩屑なだれ堆積物は、塊状で基質支持の安山岩角礫からなる. 真船11・12降下火砕物は成層し、多数の降下ユニットからなる. 真船6 (MF6)降下火砕物と根元13 (Nm13)降下火砕物(b). 真船6降下火砕物は粘土化した軽石火山礫を主体とし、火山灰薄層を挟む. 一方、根元13降下火砕物は、黒雲母を多く含む火山灰である. スコップの長さは約80 cm.

Fig. 7 Outcrop photographs at Ashino, Nasu Town, Tochigi Prefecture (Loc. 4). The Mafune 9, 11 and 12 (MF9, MF11 and MF12) Pyroclastic Fall Deposits and the overlying Higashi-iwazaki Debris Avalanche Deposit (a). The Higashi-iwazaki Debris Avalanche Deposit are massive, matrix-supported andesite breccia. The Mafune 11 and 12 Pyroclastic Fall Deposits are well-stratified and consist of many fall units. The Mafune 6 (MF6) Pyroclastic Fall Deposit and the Nemoto 13 (Nm13) Pyroclastic Fall Deposit (b). The Mafune 6 Pyroclastic Fall Deposit are mainly made up of pumice lapilli altered as clay and intercalated with thin ash layers. the Nemoto 13 Pyroclastic Fall Deposit is ash having abundant biotite. The length of the shovel is about 80 cm.

後の芦野火砕流堆積物の模式露頭(館山城址の急崖)があり、岩屑なだれ堆積物を挟んだ風成層は、侵食された芦野火砕流堆積物の南西向き片斜面をマントル被覆している。そのため彼らの露頭柱状図では、最下位にあるはずの芦野火砕流堆積物が中位のNS06として図示され、上下関係が混乱している。本報告では、改めて同地点のテフラ層序を記載し、菊地・長谷川(2020)の柱状図の間違いを修正する。すなわち、Loc. 4に露出する降下火砕物は、山元(1999)が西郷村堀川ダム(Loc. 2)で記載した黒礫岩屑なだれ堆積物に覆われる真船降下火砕物群の下部に相当している(第6図)。火砕物の粘土化が著しく、一部の黒雲母や鉄鉱を除いて、有色鉱物は分解しているものの、その特徴的な岩相と層序から、対比は容易であった。以下に上位から岩相を示す。

真船6降下火砕物(MF6)は、層厚50 cmの降下火砕物で、粘土化した白色～クリーム色の軽石火山礫を主体とし、灰色～暗灰色石質安山岩火山礫を伴っている。軽

石の最大粒径は2.8 cmである。細礫サイズの軽石火山礫～粗粒火山灰の薄層を多数挟み、成層している(第7図)。この成層した軽石降下火砕物の岩相は、MF6を特徴付けるものである(山元, 1999)。本地点からは有色斑晶鉱物が分離できなかったが、模式地(Loc. 2)のものは直方輝石・単斜輝石を含み、直方輝石の屈折率(n)は、1.715～1.717である(山元, 1999)。前述のように山元(2013)は、MF6をSb-OTに伴う降下火砕物と考えている。また、菊地・長谷川(2020)ではNS05と呼ばれている。MF6の上位約40 cmの位置には、層厚8 cmの粘土化した径8 mm以下の明褐色～暗灰色の火山礫を含む降下火砕物があるが、Loc. 8の真船降下火砕物群には対比可能なものはない。

根元13降下火砕物(Nm13)は、褐色土壌を挟んでMF6の14 cm下位にある、黒雲母の濃集した層厚約10 cmの火山灰である(第7図)。単層境界は不明瞭で、上下の土壌層と混合が進んでいる。黒雲母以外にも石英、普通角閃石、鉄鉱が含まれている。菊地・長谷川(2020)では

NS04と呼ばれ、普通角閃石と磁鉄鉱の化学組成がApmテフラ群と類似することが示されている。喜連川丘陵には、Apmテフラ群に対比される黒雲母に富んだ降下火砕物が3枚存在し(上位から根本13・根本14・根本16；小池ほか, 1985), このうち根本13がSb-OTの直下に位置している(第6図；鈴木ほか, 1998；山元, 2013), NS04をNm13に対比した。

真船7降下火砕物(MF7)は、褐色土壌を挟んでNm13の60 cm下位にある、赤褐色スコリア火山礫からなる層厚20 cmの降下火砕物である。単層境界は不明瞭で、上下の土壌層と混合が進んでいる。スコリアの最大粒径は1.3 cmである。模式地(Loc. 2)ではMF6の下位に外見の良く似た赤褐色スコリアの降下火砕物が2枚あり(MF7, MF8；山元, 1999), このうちの粒径の大きな方のMF7に対比した。

東岩崎岩屑なだれ堆積物(新称)は、褐色土壌を挟んでMF7の40 cm下位にある、基質支持の塊状角礫層である(第6図, 第7図)。最大層厚は150 cmで、最大径30 cmの安山岩角～亜角礫に富む。基質は無淘汰で、多様な径の粒子が混在している。この角礫層は、膨縮しながら芦野火砕流堆積物の片斜面をマントル被覆し、Loc. 4の尾根上にも堆積している。その分布形態は、この角礫層が土石流のように谷沿いを流下・定置したものでないことを意味しており、長距離高速移動地すべりである岩屑なだれ堆積物に特徴的なものである。Loc.2の真船降下火砕物群模式地には本堆積物の分布はなく、現在Loc.4でのみ確認されている。山体の破片である岩塊相は確認できないものの、那須火山群東麓にあり、安山岩角礫から構成されることから本火山群起源であることは確実である。堆積物の大部分は、地表に広く分布する黒磯岩屑なだれ堆積物下に大半が埋没しているものとみられ、縁辺相のみが本地点に露出している。菊地・長谷川(2020)は、本堆積物を黒磯岩屑なだれ堆積物に対比しているが、層準が全く異なるので新たな堆積物として命名する。東岩崎は、Loc.4の東にある那須町大字芦野の字の一つである。

真船9降下火砕物(MF9)は、褐色土壌を挟んで東岩崎岩屑なだれ堆積物の55 cm下位にある、明褐色軽石火山礫からなる層厚16 cmの降下火砕物である。軽石の最大粒径は1.5 cmである。模式地(Loc. 2)での層厚は12 cmで、軽石の最大粒径は3.0 cmとより粗い(山元, 1999)。菊地・長谷川(2020)のNS03・NS11に相当する。

真船11降下火砕物(MF11)は、褐色土壌を挟んでMF9の40 cm下位にある、成層した軽石火山礫～石質安山岩粗粒火山灰からなる層厚48 cmの降下火砕物である(第6図, 第7図)。軽石の最大粒径は2.2 cmである。最上部8 cmは灰色石質安山岩火山礫を伴った桃色軽石火山礫層、その下位には厚さ4 cmで正級化した暗灰色で石質安山岩の細礫サイズ火山礫～粗粒火山灰層、更にその下位には厚さ18 cmの桃色軽石火山礫～石質安山岩粗粒火山灰互

層、最下部には厚さ18 cmの桃色軽石火山礫層からなり、最下部が最も粗粒である。模式地(Loc. 2)での層厚は22 cm、軽石の最大粒径は2.5 cmで、軽石と石質安山岩の成層したその岩相は本地点と共通している(山元, 1999)。菊地・長谷川(2020)のNS02・NS10に相当する。

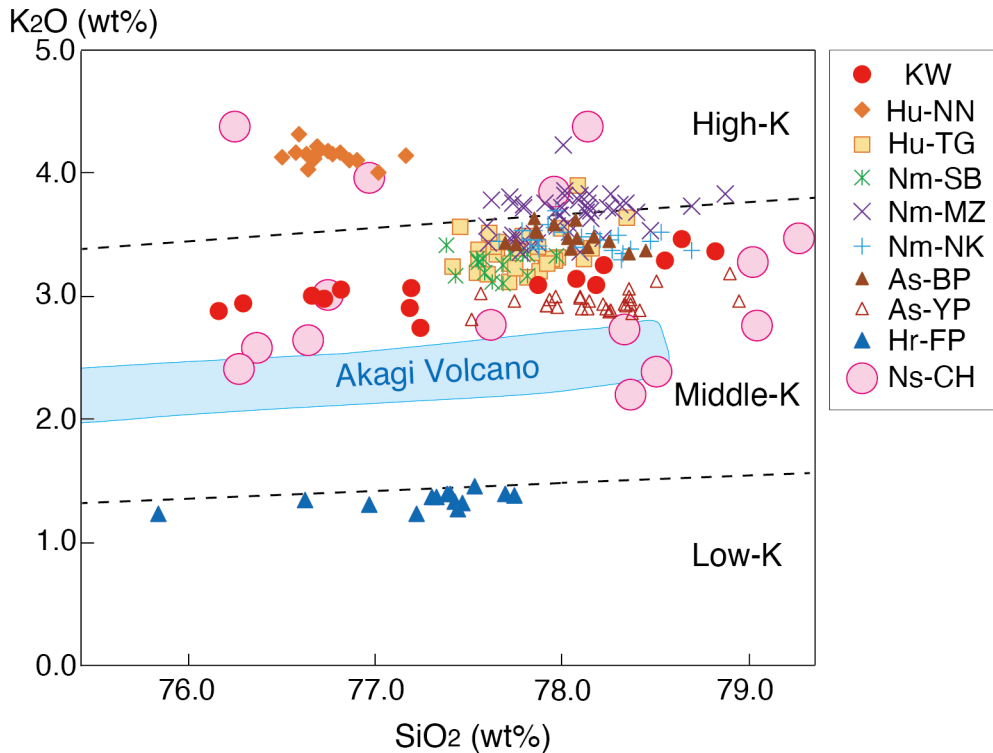
真船12降下火砕物(MF12)も、褐色土壌を挟んでMF11の8 cm下位にある、成層した軽石火山礫～石質安山岩粗粒火山灰からなる層厚87 cmの降下火砕物である(第6図, 第7図)。軽石の最大粒径は1.8 cmである。最上部18 cmは灰色石質安山岩火山礫を伴った桃色～明褐色軽石火山礫層、その下位には厚さ1 cmの暗灰色石質安山岩粗粒火山灰層、更にその下位には厚さ10 cmの桃色軽石火山礫層、厚さ16 cmの褐色～暗褐色石質安山岩粗粒火山灰層、厚さ14 cmの暗灰色石質安山岩粗粒火山灰層、厚さ8 cmの石質安山岩火山礫混じりの桃色軽石火山礫層、厚さ2 cmの褐色粗粒火山灰層、厚さ10 cmの石質安山岩火山礫混じりの桃色～明褐色軽石火山礫層、厚さ1 cmの暗灰色石質安山岩粗粒火山灰層、厚さ7 cmの石質安山岩火山礫混じりの桃色～明褐色軽石火山礫層からなる。模式地(Loc. 2)での層厚は74 cm、軽石の最大粒径は5.0 cmで、軽石と石質安山岩の成層したその岩相は本地点と共通している(山元, 1999)。菊地・長谷川(2020)のNS08とNS09を合わせたものに相当する。

真船14降下火砕物(MF14)は、褐色土壌を挟んでMF12の32 cm下位にある褐色のスコリア火山礫からなる層厚16 cmの降下火砕物である。スコリアの最大粒径は0.6 cmである。一方、模式地(Loc. 2)での層厚は26 cm、スコリアの最大粒径は1.5 cmである(山元, 1999)。菊地・長谷川(2020)のNS07に相当する。

7. 考察

7.1 川谷降下火砕物の給源火山

Nk-MAとNm-SBの間にある本降下火砕物は、分布が那須火山群の東麓に限られることから(第2図)、同火山群の噴出物である可能性が大きい。ただし、本降下火砕物の火口近傍相は見つかっておらず、その粒径も下位の那須白河降下火砕物群よりも明らかに小さく、遠方の火山由来の可能性もある。そのため、化学組成の特徴からも、給源火山の可能性について検討する。特に、火山ガラスの主成分化学組成は、奥村(1991)、長橋ほか(2000)、青木・町田(2006)など以前からテフラの対比に用いられ、地域毎の特徴が明らかにされている。しかも東北日本弧では噴出物の K_2O 量が、火山フロント沿いで最も低く、背弧側に向かって増加する特徴が顕著である(例えばSakuyama & Nesbitt, 1986；Kimura & Yoshida, 2006)。その傾向は、那須火山群周辺に分布する降下火砕物の火山ガラス組成でも明瞭で、 K_2O 量は榛名火山、赤城火山、浅間火山、沼沢火山、燧ヶ岳火山の順に大きくなる(第8図)。一方、川谷降下火砕物の火山ガラス組成は平



第8図 那須火山群周辺に分布する降下火砕物火山ガラスの SiO_2 - K_2O 含有量図. *As-BP* = 浅間板鼻褐色降下火砕物 (SK102: 山元, 2021); *As-YP* = 浅間板鼻黄色降下火砕物 (IM103: 山元, 2021); *Hr-FP* = 榛名二ッ岳伊香保降下火砕物 (*Hr-FP*: 山元, 2018); *Hu-NN* = 燧ヶ岳七入降下火砕物 (*Hu-NN*: 山元, 2021); *Hu-TG* = 燧ヶ岳田頭降下火砕物 (1212-1-3: 山元, 2021); *KW* = 川谷降下火砕物 (1212-1-5: 本報); *Nm-MZ* = 沼沢水沼降下火砕物 (MF102・KR202: 山元, 2021); *Nm-NK* = 沼沢沼沢湖降下火砕物 (*Nm-NK*: 山元, 2021); *Nm-SB* = 沼沢芝原降下火砕物 (1212-1-4: 山元, 2021); *Ns-CH* = 那須茶臼岳火山噴出物の斜長石斑晶中のガラス包有物 (Ban and Yamamoto, 2002). 赤城火山起源の火山ガラス組成域は、山元 (2016) による.

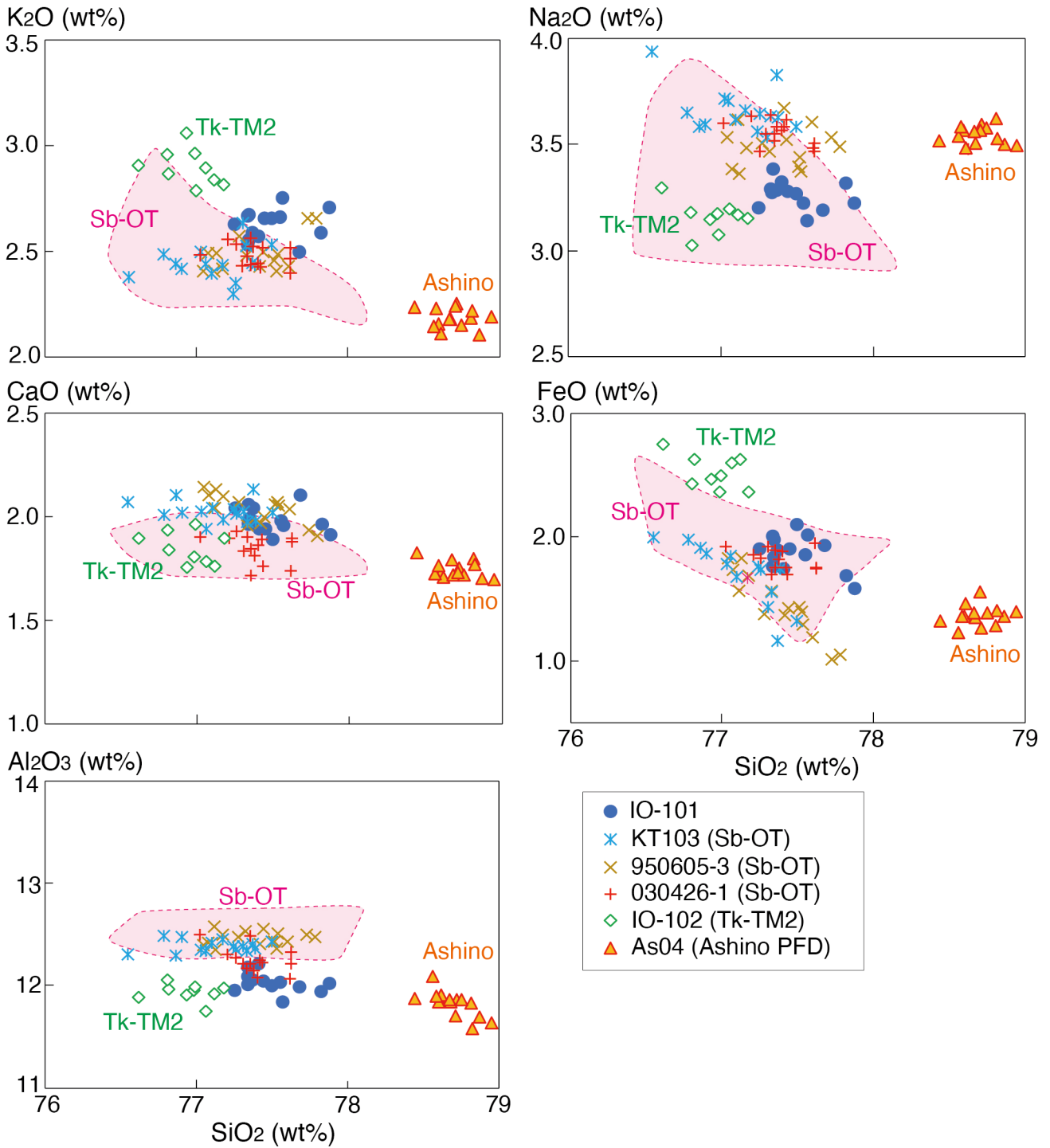
Fig. 8 SiO_2 - K_2O variation diagram for the volcanic glass shards in the pyroclastic fall deposits around the Nasu Volcano Group. *As-BP* = Asama-Itahana-Brown Pyroclastic Fall Deposit (SK102: Yamamoto, 2021); *As-YP* = Asama-Itahana-Yellow Pyroclastic Fall Deposit (IM103: Yamamoto, 2021); *Hr-FP* = Haruna-Futatsudake-Ikaho Pyroclastic Fall Deposit (*Hr-FP*: Yamamoto, 2018); *Hu-NN* = Hiuchigatake-Nanairi Pyroclastic Fall Deposit (*Hu-NN*: Yamamoto, 2021); *Hu-TG* = Hiuchigatake-Tagashira Pyroclastic Fall Deposit (1212-1-3: Yamamoto, 2021); *KW* = Kawatani Pyroclastic Fall Deposit (1212-1-5: this study); *Nm-MZ* = Numazawa-Mizunuma Pyroclastic Fall Deposit (MF102 and KR202: Yamamoto, 2021); *Nm-NK* = Numazawa-Numazawako Pyroclastic Fall Deposit (*Nm-NK*: Yamamoto, 2021); *Nm-SB* = Numazawa-Shibahara Pyroclastic Fall Deposit (1212-1-4: Yamamoto, 2021); *Ns-CH* = glass inclusions in plagioclase phenocrysts of the Nasu-Chausudake volcanic products (Ban and Yamamoto, 2002). The field for the volcanic glass of the Akagi volcanic products is taken from Yamamoto (2016).

均値で77.51 wt%の SiO_2 量, 3.08 wt%の K_2O 量を持つ(第2表). 周辺火山起源の火砕物と比較すると, その組成は火山フロント沿いの赤城火山と背弧側の沼沢・燧ヶ岳火山の間にあり, かつ, どちらの領域とも重ならない(第8図). 那須火山群起源の降下火砕物火山ガラスの化学組成はこれまで報告されていないものの, 川谷降下火砕物と活動時期が重なる南月山火山のカルクアルカリ噴出物はやや高めの中K系列安山岩～デイサイトである(伴, 1991). さらに, 噴出時期は異なるものの茶臼岳火山噴出物の斜長石斑晶中のガラス包有物の化学組成 (Ban and Yamamoto, 2002) はやや値が分散するが, その範囲内に川谷降下火砕物の火山ガラスは含まれている(第8図).

従って, 化学組成の特徴からも, 本降下火砕物を那須火山群起源と考えて矛盾は無い. ただし, その分布と化学組成からからは11～10万年前に同時に活動していた南月山火山と朝日岳火山(伴・高岡, 1995)のどちらから噴出したのかまでは判断できていない.

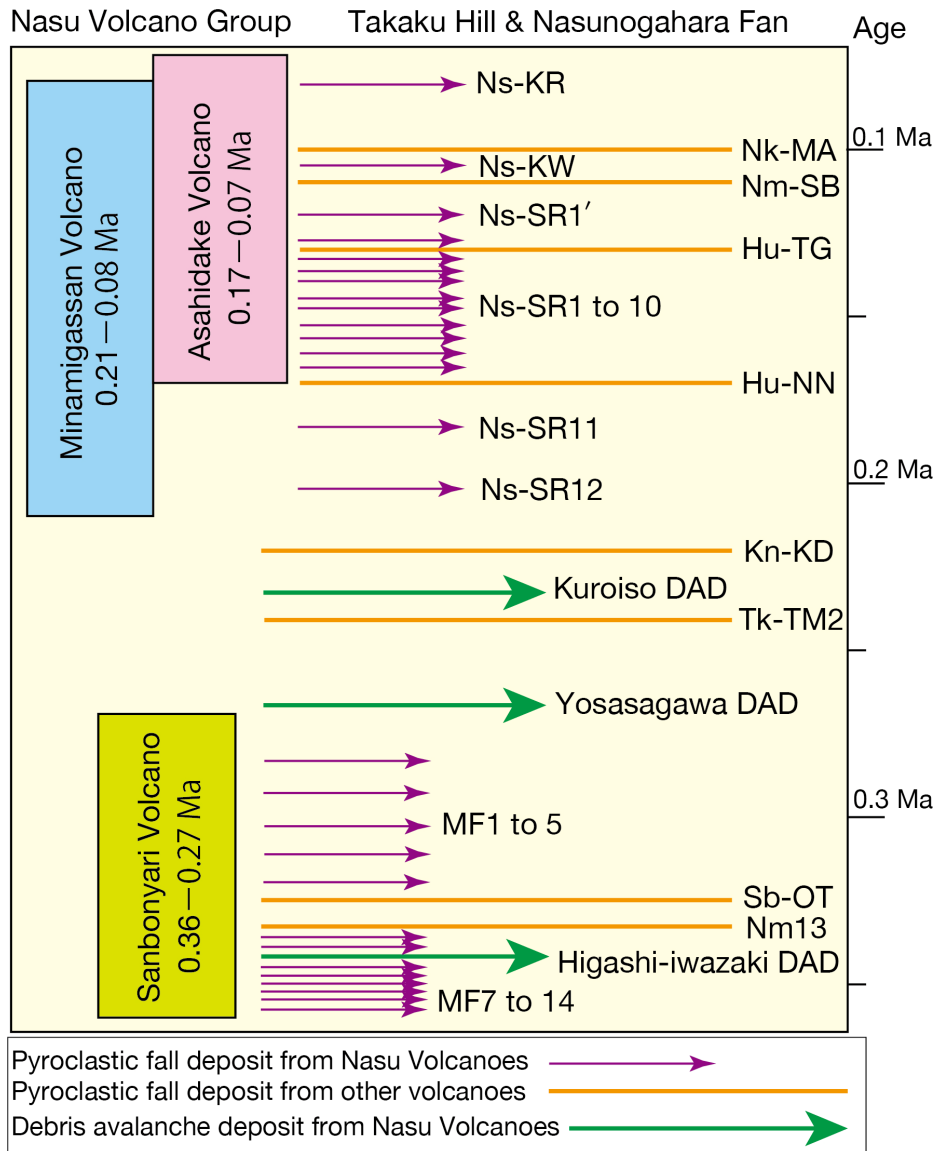
7.2 余笹川岩屑なだれ堆積物のテフラ層序学的層準

本岩屑なだれ堆積物を編年する上で鍵となるのは, Loc.6 (第6図)で直下にある河川堆積物中の白色軽石礫 (IO-101)の対比である. 前述のように山元 (2006)は, 試料IO-101の斑晶組合せや火山ガラスの屈折率, 直方輝石の屈折率から, これをSb-OT起源と考えていた. これに



第9図 軽石試料IO-101と大田原・芦野火砕流堆積物火山ガラスのSiO₂-K₂O含有量図. IO-102 (Tk-TM2: 高原戸室山2降下火砕物)の組成は山元(2013)による. また, ピンク色のSb-OT火山ガラス組成域は, 山田ほか(2018)による.

Fig. 9 SiO₂-K₂O variation diagram for the volcanic glass shards of IO-101, the Otawara Pyroclastic Flow Deposit and the Ashino Pyroclastic Flow Deposit. Data for IO-102 (Tk-TM2: Takahara-Tomuroyama 2 Pyroclastic Fall Deposit) and the pink field for Sb-OT are taken from Yamamoto (2013) and Yamada *et al.* (2018), respectively.



第10図 那須火山群, 岩屑なだれ堆積物及び指標テフラ層の層序関係. テフラの名称とその特徴は第1表を参照のこと. 那須火山群のK-Ar年代値は, 伴・高岡(1995)による. 山元(2006)を改変.

Fig. 10 Stratigraphic relationship among the Nasu Volcano Group, debris avalanche deposits and key tephra layers. See Table 1 for the tephra names and its compositions. K-Ar ages for the Nasu Volcano Group are from Ban and Takaoka (1995). Modified from Yamamoto (2006).

対して, 菊地・長谷川(2020)は, 同じ地点で採取された軽石礫ガラスとSb-OT中の軽石の主成分化学組成を明らかにし, 両者は一致しないとしていた. ただし, 菊地・長谷川(2020)のSb-OTの分析値は, 山田ほか(2018)のSb-OT分析値とは全く一致しない.

今回のSb-OT本質軽石3試料(KT103, 950605-3, 030426-1)の火山ガラスの主成分分析結果(第3表, 第4表, 第5表)と山田ほか(2018)のSb-OT分析値を比較すると, 両者は良く一致している(第9図). 更に, 試料IO-101の分析値(第6表)は, Sb-OTの3試料と比べNa₂O量が少ないものの, 山田ほか(2018)のSb-OT分析値でも, Sb-OT上部

でNa₂O量の減少が認められ, その範囲内に試料IO-101の分析値も含まれている. Al₂O₃量のずれは, 試料の変質か分析条件の違いによるものかもしれない. また, 比較の対象とした芦野火砕流の試料As04の化学組成は, これら4試料と明瞭に異なっている(第9図). 従って, 試料IO-101をSb-OTに対比した山元(2006)の指摘は間違いではない. 一方で, 試料IO-101と同じ軽石を分析した菊地・長谷川(2020)の分析値(KT01)は, 本報の分析値とほぼ一致している. これに対して, 菊地・長谷川(2020)のSb-OT分析値はFeO量が1.0 wt%以下と山田ほか(2018)や本報告分析値よりもかなり少なく, Sb-OTの試料選定

か化学組成分析に問題があったものとみられる。

余笹川岩屑なだれ堆積物の上位にある黒磯岩屑なだれ堆積物は、層序学的にKn-KDとTk-TM2の間にあることから(第6図)、その発生年代は約23万年前と考えられている(山元, 2013)。今回、余笹川岩屑なだれ堆積物の直下にある白色軽石礫(IO-101)が、山元(2006)が指摘していたように約32万年前のSb-OT由来と確認されたことから、その発生年代は32～23万年前の何時かとなろう(第10図)。

7.3 東岩崎岩屑なだれ堆積物のテフラ層序学的層準

菊地・長谷川(2020)がLoc. 4で記載したApmテフラ群に対比されるNS04(本報告のNm13)を挟んだ降下火砕物群は、山元(1999)の真船降下火砕物群の下部(MF6～MF14)である(第6図、第7図)。山元(1999)は、この降下火砕物群をK-Ar年代が0.36～0.27 Maの三本槍火山(伴・高岡, 1995)の活動と関連するものと考えていたが、菊地・長谷川(2020)の対比はこの考えと矛盾しない。そして、既に述べたようにNm13の上位にあるMF6は、Sb-OTに伴う降下火砕物と考えられている(山元, 2013)。

本報では同地点においてMF7～MF9間に、黒磯・余笹川岩屑なだれとは別の堆積物が存在することを明らかにし、東岩崎岩屑なだれ堆積物と新称した。上述の降下火砕物との層序関係から、本岩屑なだれの年代は35～34万年前と絞り込み、三本槍火山の活動中に山体崩壊が発生したものとみられる(第10図)。ただし、その大半は、高久丘陵に広く分布する黒磯岩屑なだれ堆積物下に埋没しているとみられ、分布や体積については不明な点が多い。Loc. 6の余笹川沿いやより下流の那珂川沿いで余笹川岩屑なだれ堆積物と基盤の間に、本堆積物が見つからないことを考えると、黒磯・余笹川岩屑なだれよりも体積規模はかなり小さかったものと予想されよう。

8. まとめ

本報では、那須火山群東麓の後期～中期更新世川谷降下火砕物(新称)、那須白河降下火砕物群、真船降下火砕物群の層序と岩相を記載するとともに、複数火砕物の火山ガラス化学組成分析から、テフラの対比を試みた。川谷降下火砕物は11～10万年前の普通角閃石単斜輝石直方輝石デイサイト軽石からなるテフラで、その分布と火山ガラス化学組成から、那須火山群起源と判断された。また、那須火山起源の余笹川岩屑なだれ堆積物が32万年前の大田原火砕流堆積物の上位にあるとした山元(2006)の主張を否定する見解が出されたものの、今回の火山ガラス化学組成による大田原火砕流との対比は従来の考えと矛盾しない。従って、余笹川岩屑なだれ堆積物のテフラ層序学的年代は32～23万年前である。一方、更に下位の真船降下火砕物群間から、那須火山群起源と考えられる東岩崎岩屑なだれ堆積物(新称)の存在を確認した。

この堆積物はApmテフラ群に対比される根元13降下火砕物の下位にあることから、テフラ層序学的年代は35～34万年前とみられる。

謝辞: 本報告は、地質調査所での那須火山地質図、産総研での20万分の1「白河」図幅の調査研究で得られた知見に、近年の追加調査の成果を加えたものである。当時の研究責任者の方々には、様々な便宜を図って頂いた。また、茨城大学の長谷川 健さん、アジア航測の菊地瑛彦さんにはLoc. 4のテフラ露頭に関する未公表調査資料を見せて頂いた。査読者、及川輝樹さんの指摘により、本稿は改善された。以上の方々に感謝いたします。

文献

- 阿久津 純(1955)宇都宮周辺の関東火山灰層と河岸段丘。宇都宮大学学芸学部研究論集, no. 4, 33-46.
- 阿久津 純(1957)宇都宮付近の関東ローム(火山灰)層。地球科学, **33**, 1-11.
- 青木かおり・町田 洋(2006)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。地質調査研究報告, **57**, 239-258.
- 青木かおり・入野智久・大場忠道(2008)鹿島沖海底コアMD01-2421の後期更新世テフラ層序。第四紀研究, **47**, 391-407.
- 新井房夫(1962)関東盆地北西部地域の第四紀編年。群馬大学紀要自然科学編, no. 10, 1-79.
- 伴 雅雄(1991)東北日本弧、那須火山群, 南月山火山の岩石学的モデル。火山, **36**, 255-267.
- 伴 雅雄・高岡宣雄(1995)東北日本弧、那須火山群の形成史。岩鉱, **90**, 195-214.
- Ban, M. and Yamamoto, T. (2002). Petrological study of Nasu-Chausudake Volcano (ca. 16 ka to Present), northeastern Japan. *Bulletin of Volcanology*, **64**, 100-116.
- 笠原天生・鈴木毅彦・河合貴之・今泉俊文(2017)東北地方南部、郡山盆地地下における更新世テフラ層序と堆積物。地学雑誌, **126**, 665-684.
- 菊地瑛彦・長谷川 健(2020)栃木県北部、余笹川岩屑なだれ堆積物の層序・年代と運搬過程。地質学雑誌, **126**, 293-310.
- Kimura, J. I. and Yoshida, T. (2006) Contributions of Slab Fluid, Mantle Wedge and Crust to the Origin of Quaternary Lavas in the NE Japan Arc. *Journal of Petrology*, **47**, 2185-2232.
- 小林国夫・清水英樹・北沢和男・小林武彦(1967)御嶽火山第一浮石層。地質学雑誌, **73**, 291-308.
- 小池一之・岩崎孝明・壇原 徹・百瀬 貢(1985)下野火山灰下部層のフィッシュン・トラック年代とその地史的意義。駒澤地理, **21**, 39-67.
- 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**, 339-347,
- 町田 洋・新井房夫(1979) 大山倉吉軽石層-分布の広域性と第四紀編年上の意義. 地学雑誌, **88**, 313-330,
- 町田 洋・新井房夫(1992) 火山灰アトラス. 東京大学出版会, 276p.
- 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, 336p.
- 町田 洋・新井房夫・百瀬 貢 (1985) 阿蘇4火山灰-分布の広域性と後期更新世指標層としての意義-. 火山, **30**, 49-70.
- Matsu'ura, T., Furusawa, A., Shimogama, K., Goto, N. and Komatsubara, J. (2014) Late Quaternary tephrostratigraphy and cryptotephrostratigraphy of deep-sea sequences (Chikyu C9001C cores) as tools for marine terrace chronology in NE Japan. *Quaternary Geochronology*, **23**, 63-79.
- 村本芳英(1992) 日光火山群東方地域に分布する中・後期更新世テフラ: 日光火山群の噴火史. 静岡大地球科学研究報告, no. 18, 59-91.
- 長橋良隆・里口保文・吉川周作(2000) 本州中央部における鮮新世-更新世の火砕流堆積物と広域火山灰との対比および層位噴出年代. 地質学雑誌, **106**, 51-69.
- 奥村晃史(1991) 北海道地方の第四紀テフラ研究. 第四紀研究, **30**, 379-390.
- 尾上 亨 (1989) 栃木県塩原産更新世植物化石群による古環境解析. 地質調査所研究報告, no. 269, 1-207.
- Sakuyama, M. and Nesbitt, R. W. (1986) Geochemistry of the Quaternary volcanic rocks of the northeast Japan arc. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **29**, 413-450.
- 鈴木毅彦(1990) テフロクロノロジーからみた赤城火山最近20万年間の噴火史. 地学雑誌, **99**, 182-197.
- 鈴木毅彦(1992) 那須火山のテフロクロノロジー. 火山, **37**, 251-263.
- 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.
- 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・藤原 治・檀原 徹(2004) 東北南部, 会津地域周辺における中期更新世テフラの層序と編年. 地学雑誌, **113**, 38-61.
- 渡邊久芳(1989) 尾瀬燧ヶ岳火山の地質. 岩鉱, **84**, 55-69.
- 山田真嵩・河合貴之・西澤文勝・鈴木毅彦(2018) 栃木県北部, 福島県南部に分布する中期更新世火砕流堆積物群の層序. 地質学雑誌, **124**, 837-855.
- 山元孝広(1995) 沼沢火山における火砕流噴火の多様性: 沼沢湖および水沼火砕堆積物の層序. 火山, **40**, 67-81.
- 山元孝広(1997) テフラ層序から見た那須茶臼岳火山の噴火史. 地質学雑誌, **103**, 676-691.
- 山元孝広(1999) 福島-栃木地域に分布する30-10万年前のプリニー式降下火砕物: 沼沢・燧ヶ岳・鬼怒沼・砂子原火山を給源とするテフラ群の層序. 地質調査所月報, **50**, 743-767.
- 山元孝広(2003) 東北日本, 沼沢火山の形成史: 噴出物層序, 噴出年代及びマグマ噴出量の再検討. 地質調査研究報告, **54**, 323-340.
- 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(2007) テフラ層序からみた新潟県中期更新世飯士火山の形成史: 関東北部での飯士真岡テフラと MIS7 海面変動の関係. 地質調査研究報告, **58**, 117-132.
- 山元孝広(2012) 福島-栃木地域における過去約30万年間のテフラの再記載と定量化. 地質調査研究報告, **63**, 35-91.
- 山元孝広(2013) 栃木-茨城地域における過去約30万年間のテフラの再記載と定量化. 地質調査研究報告, **64**, 251-304.
- 山元孝広(2016) 赤城火山軽石噴火期のマグマ噴出率と組成の変化. 地質学雑誌, **122**, 109-126.
- 山元孝広(2018) 磐梯火山, 最新期の火山活動. 火山, **63**, 37-48.
- 山元孝広(2021) 那須火山群・高原火山・日光火山群周辺の中期～後期更新世テフラ層序と火山ガラスの主成分化学組成. 地質調査総合センター研究資料集, no. 712. 産総研地質調査総合センター.
- Yamamoto, T. (2011) Origin of the sequential Shirakawa ignimbrite magmas from the Aizu caldera cluster, northeast Japan: Evidence for renewal of magma system involving a crustal hot zone. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **204**, 91-106.
- 山元孝広・伴 雅雄(1997) 那須火山地質図. 地質調査所.
- 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.

(受付: 2021年1月7日; 受理: 2021年6月18日)

付録：露頭位置

- Loc. 1：福島県西郷村川谷, 37.15390°N, 140.10574°E, 山元(2016)のLoc. 21.
- Loc. 2：福島県西郷村堀川ダム, 37.15600°N, 140.07464°E, 山元(1999)のLoc. 28.
- Loc. 3：栃木県那須町筒池, 36.99333°N, 140.03383°E.
- Loc. 4：栃木県那須町東岩崎, 37.10946°N, 140.34662°E.
- Loc. 5：栃木県那須町沼野井, 36.95983°N, 140.13869°E, 山元(2013)のLoc. 23.
- Loc. 6：栃木県大田原市大戸, 36.93637°N, 140.14087°E, 山元(2006)のLoc. 6.
- Loc. 7：栃木県大田原市城山, 36.87042°N, 140.03366°E.
- Loc. 8：栃木県矢板市金和崎岩, 36.83905°N, 139.94462°E, 山元(2006)のLoc. 7.
- Loc. 9：栃木県那珂川町芳井, 36.77284°N, 140.05753°E, 山元(2013)のLoc. 25.

Appendix: Locations for the outcrops

- Loc. 1: Kawatani, Nishigo Village, Fukushima Prefecture, 37.15390°N, 140.10574°E, Loc. 21 in Yamamoto (2016).
- Loc. 2: Horikawa Dam, Nishigo Village, Fukushima Prefecture, 37.15600°N, 140.07464°E, Loc. 28 in Yamamoto (1999).
- Loc. 3: Tsutsuike, Nasu Town, Tochigi Prefecture, 36.99333°N, 140.03383°E.
- Loc. 4: Higashi-iwazaki, Nasu Town, Tochigi Prefecture, 37.10946°N, 140.34662°E.
- Loc. 5: Numanoi, Nasu Town, Tochigi Prefecture, 36.95983°N, 140.13869°E, Loc. 23 in Yamamoto (2013).
- Loc. 6: Ooto, Otawara City, Tochigi Prefecture, 36.93637°N, 140.14087°E, Loc. 6 in Yamamoto (2006).
- Loc. 7: Shiroyama, Otawara City, Tochigi Prefecture, 36.87042°N, 140.03366°E.
- Loc. 8: Kanawazaki-iwa, Yaita City, Tochigi Prefecture, 36.83905°N, 139.94462°E, Loc. 7 in Yamamoto (2006).
- Loc. 9: Yoshii, Nakagawa Town, Tochigi Prefecture, 36.77284°N, 140.05753°E, Loc. 25 in Yamamoto (2013).

白嶺丸重磁力データの整備・公開

石原 丈実^{1,*}

ISHIHARA Takemi (2021) Preparation and release of gravity and magnetic data collected by R/V Hakurei-maru. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 72 (5), p. 421-445, 15 figs, 4 tables.

Abstract: One-minute interval good-quality gravity and magnetic data were prepared for most of the Hakurei-maru cruises carried out by Geological Survey of Japan from 1974 to 1999. The RMS COD (root mean square crossover difference) of all the magnetic data after leveling correction is 26.1 nT, while that of all the gravity data after altimetry and leveling corrections is 3.2 mGal. These data can create a magnetic anomaly map without false lineations along survey lines and a free air gravity anomaly map, which has better quality than a map created using satellite altimetry data.

Three types of data files were released as an open-file report of Geological Survey of Japan, no. 714: a master data file, which has corrected navigation data and observed data, a gravity and depth data file and a magnetic data file, which include data after gravity and magnetic anomaly calculation.

Keywords: Hakurei-maru, marine geophysical survey, gravity anomaly, magnetic anomaly, low-pass filter, data release

要 旨

地質調査所による1974年から1999年の地質調査船白嶺丸のほとんどの航海に対して1分間隔の均質なデータを整備した。GPSが一般的になる前は、船舶の位置データの精度が悪いため測線間の交点誤差が大きく、広範囲の磁気図・重力図の作成は困難だった。こうしたデータが多く含まれる白嶺丸の重力・全磁力データに対して、フィルターや衛星データの活用も含む各種補正により、測線に沿う不自然な異常のない磁気異常データ、アルチメトリによるものよりノイズの少ないフリーエア異常データを作成し、公開した。全航海に対するレベリング補正後の磁気異常データの二乗平均平方根交点誤差(RMS COD; root mean square crossover difference)は26.1 nT, アルチメトリ補正・レベリング補正後のフリーエア異常データのRMS CODは3.2 mGalである。

測位データ補正後の観測値のみのマスターデータファイル, 重力異常を計算した重力・測深データファイル, 磁気異常を計算した磁力データファイルの3種類のデータを地質調査総合センター研究資料集No.714として公開した。

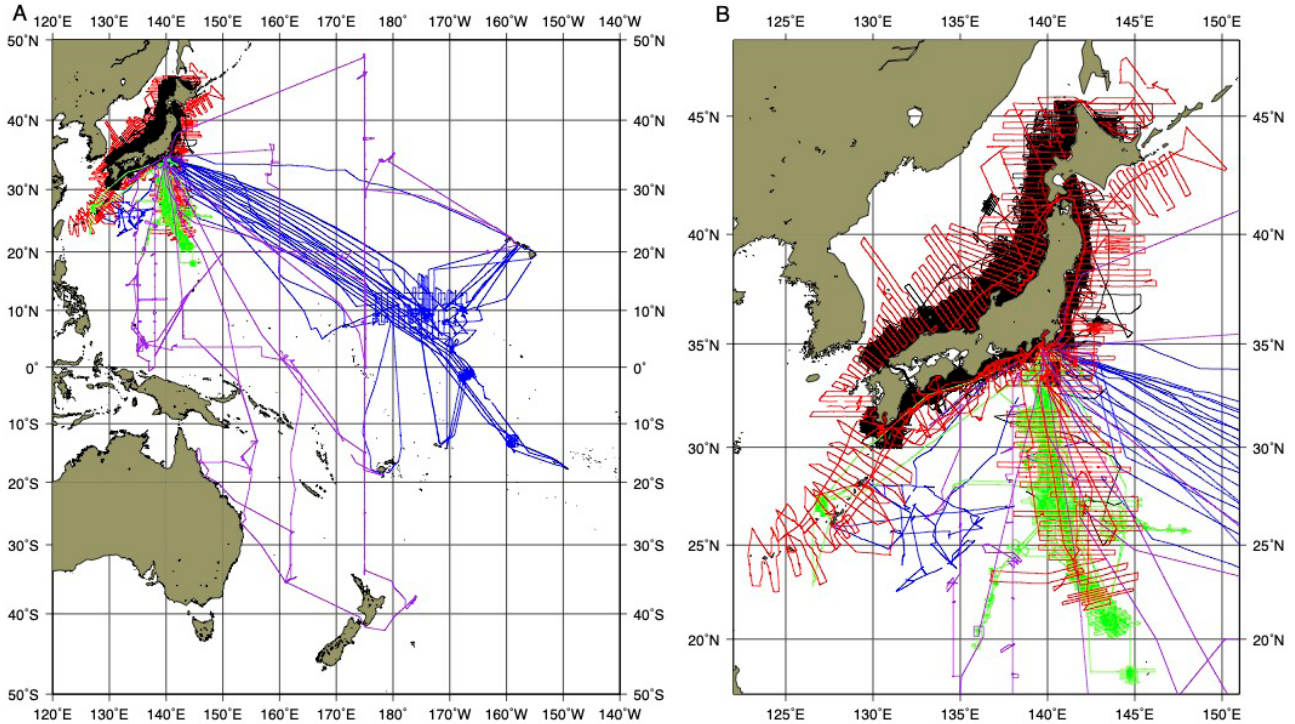
1. はじめに

旧工業技術院地質調査所では地質調査船白嶺丸に

よる航海を1974年度から1999年度まで実施してきた(1980年代前半までの白嶺丸を使用した調査研究の紹介は例えば, 水野, 1985)。第1表に航海の一覧, 第1図に白嶺丸の全航跡を示したが, 全期間に亘る日本周辺海域の100万分の1(第1表の種別1a)及び20万分の1(第1表の種別1b)の海洋地質図作成プロジェクトの航海(以下「海洋地質図航海」と略す), 1983年度まで実施されたマンガン団塊を対象とした深海底鉱物資源に関する研究航海(第1表の種別2, 以下「マンガン航海」と略す), その後1989年度まで主に伊豆小笠原海域を対象にした「海底熱水活動に伴う重金属資源の評価手法に関する研究航海」(第1表の種別3, 以下「伊豆小笠原航海」と略す)である。これらの航海では船上重力計による重力調査は当初から, プロトン磁力計による調査はGH745航海から実施している。得られた重磁力データの多くは海域毎の重力異常図・磁気異常図として公開しているが, 今回全体を取りまとめ, デジタルデータとして公開することにした。NH901, NH911, NH921, NH931, NH942, NH951, NH961(第1表の種別4)はNEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)のプログラムで関西総合環境センターにより実施された「海洋中の炭素循環メカニズムの調査研究航海」(「炭素循環航海」と略す)であるが, 同時に重磁力調査を含む工業技術院特別研究が行われており, これらの航海で取

¹ 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

* Corresponding author: ISHIHARA, T., Email: takemishihara@gmail.com



第1図 白嶺丸の航跡。赤線、黒線、青線、緑線、紫線は、それぞれ100万分の1海洋地質図航海(種別1a)、20万分の1海洋地質図航海(種別1b)、マンガン航海(種別2)、伊豆小笠原航海(種別3)、炭素循環航海(種別4)。A)全航跡。B)日本周辺域。
 Fig. 1 Track lines of Hakurei-maru. Red, black, blue, green and purple lines show surveys for 1:1,000,000 marine geological maps (group 1a), 1:200,000 marine geological maps (group 1b), manganese nodule surveys (group 2), surveys in Izu-Ogasawara area (group 3) and marine carbon cycle surveys (group 4), respectively. A) Whole track lines. B) Track lines in areas around Japan.

得られた重磁力データについても合わせて公開することにした。なお、これ以外の白嶺丸の調査としては、1980年度から石油公団で実施した南極周辺海域の調査があるが、今回公開するデータには含めていない。データの公開に際して、白嶺丸の測位・船上重力調査・海上磁気調査に関する問題についてまとめた。

この間1974年から1999年の間に1982年と1990年の2回、航法装置(いずれもMagnavox社製)の更新を行なっている。また、船上重力計は当初のS63重力計から1987年SL2重力計(両者ともLaCoste & Romberg社製)に、磁力計は当初のG801プロトン磁力計から1990年G866プロトン磁力計(両者ともGeometrics社製)に更新されている(第2表)。

2. 航法装置と測位

白嶺丸建造当初の航法装置については石原(1977)で記述しているが、1974年から1982年までは、NNSS (Navy Navigation Satellite System) 衛星(或いはTransit衛星とも呼ばれる衛星)からの電波を受信してその周波数のドップラーシフトを元に計算され、10分程度から10時間程度の間隔で得られる比較的正確な位置(以下、衛星測位と呼ぶ)と電磁誘導の原理を応用して船首方向の対水速

度が10%程度の精度で得られる電磁ログ(あるいはEMログ)による船速データ・ジャイロコンパスで得られる船首方位を組み合わせた推測位置(以後、実時間船位という)が航法装置で得られていた。船速データとしては海底から船の前後左右の4方向からの反射波を受けてその周波数のドップラーシフトから対地速度が0.5%程度とより正確にわかるドップラーソナーも装備していたが、日本周辺海域では海岸近くの浅い海域を除いて安定して使用できる場所がなく、ほとんどの海域では電磁ログを使用して測位を実施した(電磁ログ及びドップラーソナーについて詳しくは米澤(1995)参照)。電磁ログでは対水速度が得られるので、それに海水の流れの速度を加えて対地速度にし、それを時間的に積分して実時間船位を求める。なお、白嶺丸のブリッジではこれとは別にLORAN-CやDeccaといった電波航法装置も備えていたが、これらの電波航法装置から得られる測位データは1982年以前の重磁力データの測位には利用していない。実際の観測では、より精度の良い衛星測位の結果が得られるとその時点でそれまでの推測位置を置き換えることになり、船位の突然の跳びが生じる(第2図)。これをupdateと呼んでおり、この位置の跳びはほぼ推測位置の誤差を示している。この実時間船位の精度を示す例として、

白嶺丸重磁力データの整備・公開 (石原)

第1表 白嶺丸航海と取得された磁力・重力デジタルデータ

Table 1 Hakurei-maru cruises and magnetic and gravity data collected in the cruises

Group	Cruise	Survey area	Survey period	Port of call and dates	Existing digital data (time interval)	Scanned or digitized analog data	Final digital data
1b	GH741	Japan Trench	04/17-04/21 (5 days)	—	No	gravity data scanned	
1b	GH742	Sagaminada Sea	05/10-05/29 (20 days)	05/17-18 Tateyama 05/23-25 Motomachi	No	gravity data scanned	
1a	GH743	Izu-Ogasawara Islands	06/10-06/29 (20 days)	06/15-16 Futami 06/22-23 Kaminato	CR80 (5 minutes)	gravity data digitized	1 minute gravity data
1b	GH744	South of Kii Channel	07/08-07/27 (20 days)	07/13-14 Kushimoto 07/20-21 Komatsujima	CR80 (5 minutes) + PR79 (10-30 s)	gravity data digitized	1 minute gravity data
2	GH745	Eastern part of Central Pacific Basin	08/14-10/17 (65 days)	08/26-31 Honolulu 09/16-20 Hilo 09/21-22 Honolulu	CR80 (5 minutes)	gravity data scanned	5-minute gravity 5-minute magnetic data
1a	GH746	Izu-Ogasawara Islands	10/27-11/01 (5 days)	—	CR80 (5 minutes)	gravity data digitized	1-minute gravity 5-minute magnetic data
2	GH747	East of Okinawa	11/12-12/16 (35 days)	11/22-25 Koniya 12/04-07 Naha	MR (10 s) + CR80 (5 minutes)	gravity data digitized	1-minute gravity 30-second magnetic data
1a	GH751	Ryukyu islands	01/20-02/18 (30 days)	01/24-25 Kagoshima 02/03-05 Miyako 02/12-13 Naha	MR (10 s)		1-minute gravity 30-second magnetic data
1b	GH752	Sagaminada Sea	04/17-04/26 (10 days)	—	CR80 (5 minutes)	gravity data digitized	1-minute gravity 5-minute magnetic data
1b	GH753	Sagaminada Sea, south of Kii Channel	05/09-06/07 (30 days)	05/19-21 Toba 05/30-6/01 Komatsujima	CR80 (5 minutes)	gravity data digitized	1-minute gravity 5-minute magnetic data
1a	GH754	Southwest of Japan	06/16-07/07 (22 days)	06/25-28 Kochi	MR (10 s)		1-minute gravity 30-second magnetic data
1a	GH755	Ryukyu Islands	07/16-08/22 (38 days)	07/27-30 Koniya 08/09-13 Naha 08/18-19 Kagoshima	MR (10 s)		1-minute gravity 30-second magnetic data
2	GH761	Mid-eastern part of Central Pacific Basin	01/10-03/09 (60 days)	02/05-09 Honolulu 02/10-13 Kauai	CR80 (5 minutes)	magnetic data digitized gravity data scanned	5-minute gravity 1-minute magnetic data
1a	GH762	Off Tohoku Japan	04/17-06/04 (49 days)	05/02-05 Kamaishi 05/19-21 Hakodate	CR80 (5 minutes) + MR (30 s)	gravity data digitized	1-minute gravity 5-minute magnetic data
1b	GH763	Off Hachinohe, West Tsugara Basin	06/15-08/04 (51 days)	06/30-07/02 Hachinohe 07/21-22 Aomori	CR80 (5 minutes) + MR (30 s)	gravity data digitized	1-minute gravity 5-minute magnetic data
2	GH771	Mid-western part of Central Pacific Basin	01/12-03/12 (60 days)	01/21-24 Majuro 02/13-18 Apia	CR80 (5 minutes)	gravity data scanned	5-minute gravity 5-minute magnetic data
1a	GH772	Off Kyushu	04/19-05/28 (40 days)	04/30-05/04 Hakata 05/14-17 Sakaiminato	CR80 (5 minutes)	gravity data digitized	1-minute gravity 5-minute magnetic data
1a	GH773-1	Around Hokkaido	06/14-07/09 (26 days)	06/25-27 Otaru 07/09-12 Niigata	MR (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH773-2	West Tsugaru Basin	07/10-08/12 (34 days)	07/22-23 Hakodate 08/06-07 Niigata	MR (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
2	GH781	Western part of Central Pacific Basin	01/07-03/07 (60 days)	01/15-18 Majuro 02/08-13 Suva	CR80 (5 minutes)	magnetic data digitized gravity data scanned	5-minute gravity 1-minute magnetic data
1a	GH782	Central part of Japan Sea	04/18-06/02 (46 days)	05/02-04 Niigata 05/17-20 Hakodate	MR (30 s)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH783	Around Oki Islands	06/13-07/04 (22 days)	06/23-25 Sakaiminato	CR80 (1 minute) + CR80 (5 minutes)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH784	Off Monbetsu	07/12-08/12 (32 days)	07/22-24 Abashiri 08/07-08 Hakodate	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
2	GH791	Northern part of Central Pacific Basin	01/13-03/13 (60 days)	02/06-09 Honolulu 02/10-14 Kahului	CR80 (5 minutes)	gravity data scanned	5-minute gravity 5-minute magnetic data
1a	GH792	Southern part of Ogasawara Islands	04/16-05/15 (30 days)	05/01-03 Futami	MR (30 s)	gravity data digitized	1-minute gravity 1-minute magnetic data
1a	GH793	Norther part of Ogasawara Islands	05/28-07/06 (40 days)	06/08-10 Futami 06/23-25 Futami	MR (30 s)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1a	GH794	Izu Islands	07/13-08/11 (30 days)	07/23-25 Hachijo 08/05-06 Oshima	MR (30 s)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
2	GH801	Wake-Tahiti Transect	01/12-03/11 (60 days)	02/06-13 Papeete	PR79 (30 s)	magnetic data scanned	1-minute gravity 1-minute magnetic data

第1表 続き.

Table 1 Continued.

Group	Cruise	Survey area	Survey period	Port of call and dates	Existing digital data (time interval)	Scanned or digitized analog data	Final digital data
1b	GH802	Off Boso Peninsula	04/18-05/17 (30 days)	05/02-05 Chiba	CR80 (5 minutes)	gravity data digitized	1-minute gravity 5-minute magnetic data
1a	GH803	Kashimanada Sea, northern part of Izu Islands	05/22-06/25 (35 days)	05/30-31 Kashima 06/05-07 Kashima	MR (30 s) + CR80 (5 minutes)	No charts for 2nd half	1-minute gravity 1-minute magnetic (5 minutes for 2nd half)
1b	GH804	Northwest of Hachijo Island	07/02-08/05 (35 days)	07/17-19 sokodo	MR (30 s)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
2	GH805	Magellan Trough	08/11-10/09 (60 days)	09/05-08 Honolulu 09/09-12 Hilo	PR79 (30 s)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH811	Off Kamaishi	04/15-05/14 (30 days)	04/28-05/01 Kamaishi	CR80 (1 minute) + CR80 (5 minutes)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH812	Off Sendai-Hitachi	05/22-06/30 (40 days)	06/02-04 Shioyama 06/16-17 Onahama	MR (10 s)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH813	Off Sendai-Hitachi	07/08-08/06 (30 days)	07/20-22 Shioyama	PR79 (10 s) + CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
2	GH814	East of Gilbert Islands	08/14-10/12 (60 days)	09/10-16 Pagopago	CR80 (5 minutes)	magnetic data digitized gravity data scanned	5-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH821	Off Muroto Cape	04/15-05/19 (35 days)	05/01-04 Kochi	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH822	Kumanonada Sea	05/27-06/25 (30 days)	06/09-12 Toba	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH823	Off Shimokita Peninsula	07/02-08/05 (35 days)	07/16-19 Hakodate	CR80 (5 minutes) + PR82 (10 s)	gravity data digitized	1-minute gravity 5-minute magnetic data
2	GH824	Nova-Canton Trough	08/14-10/12 (60 days)	09/10-16 Apia	CR80 (5 minutes)	gravity data scanned	5-minute gravity 5-minute magnetic data
1b	GH831	Off Ashizurimisaki, south of Bungo Channel, Hyuganada Sea	04/15-05/24 (40 days)	05/02-05 Kochi	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH832	Off Ashizurimisaki, south of Bungo Channel, Hyuganada Sea	06/03-08/01 (60 days)	06/18-20 Aburatsu 07/07-09 Kochi	PR82 (10 s) + CR80 (5 minutes)		1-minute gravity 10-second magnetic data
2	GH833	Penrhin Basin	08/08-10/06 (60 days)	09/06-12 Papeete	CR80 (5 minutes)	magnetic data digitized gravity data scanned	5-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH841	South of Kyushu	04/16-05/15 (30 days)	05/02-04 Kagoshima	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
3	GH842	Izu-Ogasawara Islands	05/21-06/29 (40 days)	06/11-13 Hachijo	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH843	South of Kyushu	07/05-08/23 (50 days)	07/28-31 Kagoshima	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
3	GH844	Izu-Ogasawara Islands	08/30-10/08 (40 days)	09/21-22 Futami	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
3	GH851	Izu-Ogasawara Islands	04/15-05/24 (40 days)	05/05-08 Futami	PR82 (10 s) + CR80 (1 minute)		1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH852	Hibikinada Sea, Off Mishima Island	05/31-07/19 (50 days)	06/19-22 Hakata 07/11-13 Hakata	PR82 (10 s) + CR80 (1 minute)		1-minute gravity 10-second magnetic data
3	GH853	Izu-Ogasawara Islands	07/26-09/03 (40 days)	08/12-15 Futami	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH854	Hibikinada Sea, Off Mishima Island	09/10-10/09 (30 days)	09/25-28 Hakata	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
3	GH861	Central part of Izu-Ogasawara Islands	04/15-05/29 (45 days)	04/28-30 Futami 05/13-15 Futami	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH862	Off Hinomisaki, off Tottori	06/04-07/23 (50 days)	06/20-23 Sakaiminato 07/12-14 Sakaiminato	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
3	GH863	Central part of Izu-Ogasawara Islands	07/29-09/01 (35 days)	08/17-18 Futami	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH864	Off Hinomisaki, off Tottori	09/08-10/07 (30 days)	09/21-24 Sakaiminato	PR82 (10 s) + CR80 (1 minute)		1-minute gravity 10-second magnetic data
3	GH871	Izu-Ogasawara Islands	04/15-05/29 (45 days)	04/30-02 Futami 05/19-21 Futami	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data

白嶺丸重磁力データの整備・公開 (石原)

第1表 続き.

Table 1 Continued.

Group	Cruise	Survey area	Survey period	Port of call and dates	Existing digital data (time interval)	Scanned or digitized analog data	Final digital data
1b	GH872	Off Kyogamisaki, Gentatsuse	06/05-07/24 (50 days)	06/23-26 Nishimaizuru 07/13-15 Nishimaizuru	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
3	GH873	Izu-Ogasawara Islands	07/31-09/03 (35 days)	08/15-18 Futami	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH874	Off Kyogamisaki, Gentatsuse	09/10-10/09 (30 days)	09/25-28 Nishimaizuru	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
3	GH881	Izu-Ogasawara-Mariana	04/14-05/23 (40 days)	05/07-10 Futami 05/21-21 Futami	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH882	Around Noto Peninsula	05/30-07/18 (50 days)	06/20-23 Fushiki 07/07-09 Fushiki	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
3	GH883	Izu-Ogasawara-Mariana	07/25-09/02 (40 days)	08/10-13 Futami 08/24-25 Yaene	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH884	Around Noto Peninsula	09/08-10/07 (30 days)	09/20-24 Fushiki	PR82 (10 s) + CR80 (1 minute)		1-minute gravity 10-second magnetic data
3	GH891	Northern part of Mariana Islands	04/12-05/15 (34 days)	04/30-03 Futami	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH892	Eastern margin of Japan Sea	05/22-07/10 (50 days)	06/12-15 Niigata 06/29-01 Niigata	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
3	GH893	Hydrothermal area in Okinawa Trough	07/18-09/01 (46 days)	08/02-05 Naha 08/19-22 Naha 08/26-27 Koniya	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH894	Eastern margin of Japan Sea	09/07-10/06 (30 days)	09/21-23 Niigata	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH90	Off Niigata	04/13-05/22 (40 days)	05/01-04 Niigata	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
4	NH901	North Pacific	06/13-08/11 (60 days)	07/12-16 Apra	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
4	NH911	Hawaii-Mariana	04/27-06/10 (45 days)	05/20-22 Apra	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH91	Off Sakata	06/20-07/29 (40 days)	07/05-08 Sakata 07/22-24 Sakata	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
4	NH921	Western Pacific	04/23-06/13 (52 days)	05/13-16 Suva	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH92	Off Akita	06/22-07/31 (40 days)	07/10-13 Sakata	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
4	NH931	Western Pacific	04/13-06/11 (60 days)	05/07-12 Honolulu	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH93	Japan Basin, Okushiri Island	06/21-07/30 (40 days)	07/09-12 Niigata	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH94	Around Okushiri Island	06/20-07/29 (40 days)	07/08-11 Hakodate	NS (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
4	NH942	Northwestern Pacific	08/08-10/06 (60 days)	09/08-13 Majuro	gmt dat (1 minute)	No chart	1-minute gravity 1-minute magnetic data
4	NH951	Western Pacific	04/14-06/12 (60 days)	05/05-10 Brisbane	NS (10 s)	No chart	1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH95	Off Shakotan Peninsula	06/19-07/28 (40 days)	07/07-10 Otaru	NS (10 s) + CR80 (1 minute)		1-minute gravity 10-second magnetic data
4	NH961	Western Pacific	04/12-06/12 (62 days)	05/10-13 Wellington 05/23-25 Townsville 05/29-30 Cairns	NS (10 s)	No chart	1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH96	Ishikari Bay	06/21-07/30 (40 days)	07/08-11 Otaru	NS (10 s)	No chart	1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH97	Suruganada and Enshunada Seas	04/11-05/20 (40 days)	04/29-05/02 Shimizu	NS (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH98	Off Rumoi	06/25-08/03 (40 days)	07/13-16 Otaru	NS (10 s)	No chart	1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH99	West of Wakkanai	06/25-08/03 (40 days)	07/13-16 Otaru	NS (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data

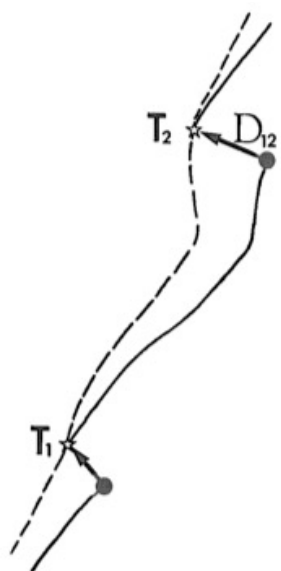
Groups: 1a Survey for 1:1,000,000 marine geological maps; 1b 1:200,000 marine geological maps; 2 Manganese nodule survey; 3 Survey in Izu-Ogasawara area; 4 Marine carbon cycle survey (Conducted by KEEC)

Test of equipments and training of people from developing countries were carried out in GH741, GH743 and GH746 cruises.

第2表 白嶺丸の航法装置・重力計・磁力計と白嶺丸航海の既存の重磁力データファイル

Table 2 Navigation system, gravimeter and magnetometer on board R/V Hakurei-maru and existing files for gravity and magnetic data collected by Hakurei-maru cruises

Navigation system, gravimeter and magnetometer						
Device		Manufacturer		Period		
				1974-1982/06	1982/07-1986	1987-1989
Navigation system		Magnavox		Model 200	Model 200 integrated system	Series 5000
Gravimeter		LaCoste & Romberg		S63		SL2
Magnetometer		Geometrics		G801		G866
Existing files for gravity and magnetic data						
Type	Processing step	Data interval	Format	Period		
				1974-1982/06	1982/07-1989	1990-1999
Preserved	Unprocessed data	10 s	Binary	PR79	PR82	NS
Intermediate	Recalculated navigation data	10 s - 1 minute	Ascii	MR		
Final	Navigation + anomaly data	1 - 5 minutes	Ascii	CR80		



第2図 updateと実時間船位・再計算船位(石原, 1977). 航法装置から得られる実時間船位(実線)では衛星測位の位置(星印)が得られるごとにupdateと呼ばれる推測航法の位置(黒丸)からの跳びが発生する. 時刻 T_2 のupdateの跳びのベクトル D_{12} を一つ前の衛星測位からの時間差 T_2-T_1 で割って海水の流れのベクトルの修正量を計算し, それを T_1 から時間で積分して T_1 から T_2 までの修正位置(再計算船位; 破線)を求める.

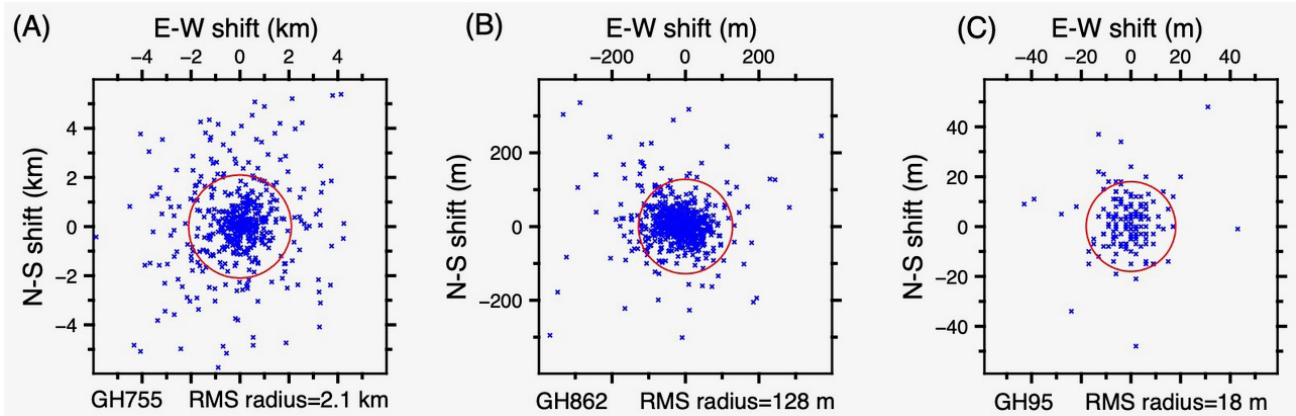
Fig. 2 Updates at satellite fixes and real-time and recalculated ship's positions (after Ishihara, 1977). Jumps from dead reckoning positions (black circles) to satellite fixes (star marks), which are called "updates", occur in real-time ship's positions obtained from the navigation system (solid line). A correction for the water velocity vector is calculated using D_{12} at satellite fix time T_2 divided by the time difference T_2-T_1 . Recalculated ship's positions (broken line) are calculated by integrating this correction term over the time from T_1 and adding it to the real-time positions.

第3図AにGH755航海のupdateのときの位置の跳びの分布を示した. RMS誤差円半径として2.1 kmの跳びとなった. 実際には海水の流れの誤差によりこの跳びが生じたと考え, 得られたデータに位置の跳びがなくなるように海水の流れの再計算を行い, 直前の衛星測位からこの新しい海水の流れを加えた対地速度を時間的に積分して推測位置の再計算を行なっている(第2図; 以後, 再計算後の位置を再計算船位という). 海水の流れも2回の衛星測位の間一定ということは考えにくいので, この再計算船位の誤差も衛星測位の近傍を除いてRMS誤差半径の半分程度(1 km程度)かそれ以上になる可能性がある.

航法装置の更新に伴い, 1983年から1989年まではLORAN-C電波航法データ, 1990年からはGPS航法データも合わせた複合航法が可能になり, 測位精度が向上した. 第3図Bには1983年から1989年までのLORAN-C電波航法を使用した場合のupdateのときの位置の跳びの分布の例としてGH862航海の結果を示したが, RMS誤差円半径は128 mとなった. 第3図Cには1990年以降のGPSも使用可能となった時の例としてGH95航海の結果を示した. GPSの測位精度を100 m程度にまで劣化させるSA (Selective Availabilityという米国国防総省のポリシー)が適用されていたはずであるが, RMS誤差円半径として18 mが得られている. NNSSの衛星測位にも誤差があるが, これはそれを考慮したもともと確からしい位置への跳びの値である (NNSSの陸上固定点での結果では誤差円半径は35 m程度になる; 石原, 1977). 1990年からGPSが利用できる時間帯が徐々に増え, 測位精度が向上した. 1983年以後の測位データにもupdateに伴う位置の跳びが小さいながらもあるので, 擬似的な海水の流れの変化と考えて1982年以前と同じ推測位置の再計算を行なっている.

3. マスターデータの整備とアナログデータのデジタル化

航法装置は重力・磁力・水深データの収録装置も兼ね



第3図 衛星測位時updateの位置の跳び(青色のx印)の分布. RMS誤差円を赤色で示した. A)はGH755航海(電磁ログによる推測航海法), B)はGH862航海(LORAN-Cを含む複合航海システム), C)はGH95 (さらにGPSを含む複合システム)で得られたデータ. A)とB)とC)ではスケールが違うのに注意.

Fig. 3 Distribution of position jumps at satellite fixes (blue x marks) and RMS error circle in red. A) Data collected in GH755 cruise with EM-log dead reckoning. B) Data collected in GH862 cruise with integrated navigation system including Loran-C. C) Data collected in GH95 cruise with integrated navigation system including GPS and Loran-C. Note the difference of scales of graphs in A, B and C.

ており, 取得されたデータはオープンリールの磁気テープに記録され, 船上でさらに圧縮・再編成した保存用の磁気テープを作成していた. 当初は測位の精度・電算機的能力等を考慮して5分間隔で処理を行い, 処理結果を別の磁気テープに記録していた. 保存用の磁気テープには10秒間隔のデータが記録されていたが, 時間の経過とともに読取不能となってしまった磁気テープが多く, データ処理後の5分間隔のデジタルデータしか残っていない航海が多かった. これらの航海に対して今回残されていた重力・磁力データのチャート記録をデジタル化して1分間隔のデータを作成することにした. なお, 水深のデータについては, 航海中に, 5分間隔で読みとるか1分間隔でデジタル化していたが, 今回は新たなデジタル化は行わず, 既存のデータのエラーの除去に留めた.

3.1 残存するデジタルデータの確認

第1表のexisting digital dataの欄は見つかった各航海のデジタルデータである. 第2表にはデータファイルについてもまとめてあるが, 保存用のデータファイルには, 衛星から受信したデータ, 衛星測位のデータ, 実時間船位のデータ等が混在しており, その形式も航海装置の更新とともに変更になり, 1982年の更新前のものをPR79, 更新後のものをPR82と表している. 1990年の更新に伴っては元の磁気テープをそのまま保存用ファイル(NSとして表している)としてデータ処理に使った. これらのデータはバイナリ形式で記録されている. これらのデータを元にして処理した結果は当初5分間隔, 途中から1分間隔のデータとしてCR80フォーマット(岸本ほか, 1984)というファイルにまとめていた他, 一部の航海についてはMRファイルという10秒から1分の間隔のデータを

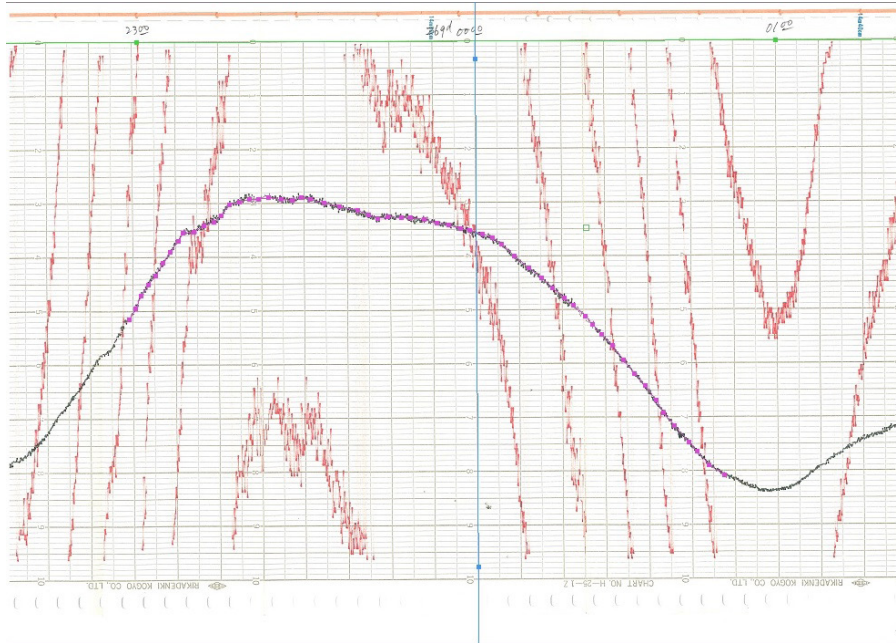
作成していたものが残っていた. CR80ファイルでは重力異常・磁気異常の計算まで済ませているが, MRファイルでは再計算船位までで異常値の計算は行っていない. PR79のデータはほとんど読取不能となっているものが多く, CR80かMRを元データとして使用せざるを得なかった. これらのデータをもとに, 測定値のとび等があるエラーデータは除去し, 再計算船位を求めたものに対して旧日本測地系から世界測地系(WGS84)への変換を行なった. なお, NH942の航海では処理ずみの水深値, 磁気異常値, 重力異常値しか見当たらず, そのまま公開することにした.

3.2 アナログデータのデジタル化

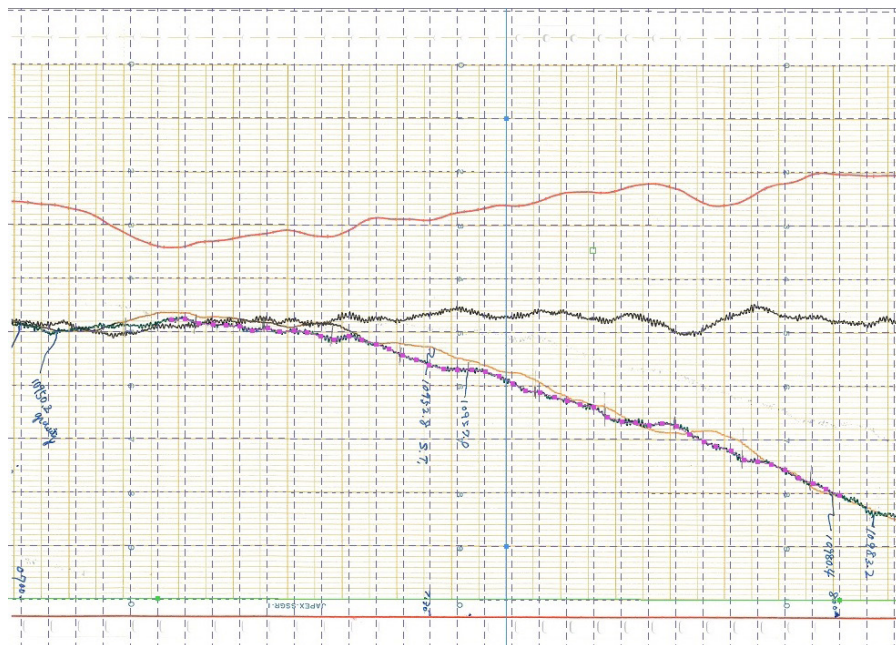
5分間隔のデジタルデータしか残存しない航海について, チャート記録のデジタル化作業を行なった(第1表). 磁力計のチャートは残存しているものが少なく, マンガン航海を中心にデジタル化した. 船上重力計のチャートはほぼ全ての航海のものが残っていた. このうち海洋地質図航海はデジタル化まで行ったが, マンガン航海については時間的制約のため, チャートをスキャンしたjpegファイルを作成するまでに留めた.

第4図に磁力計のチャートのデジタル化の例を示した. まず, 磁力計の長いチャート用紙から1時間程度の時間に相当するA3サイズに分けてスキャンしたjpegの画像ファイルを作成してデジタル化ソフトウェアで読取っていく. フルスケール100 nTの赤線と1000 nTの黒線があるが, 黒線にそって1~3分間隔の点の時刻と磁力値を読取り1分間隔の値をAkimaの補間法(Akima, 1970)で求めた.

第5図には重力計のチャートのデジタル化の例を示し

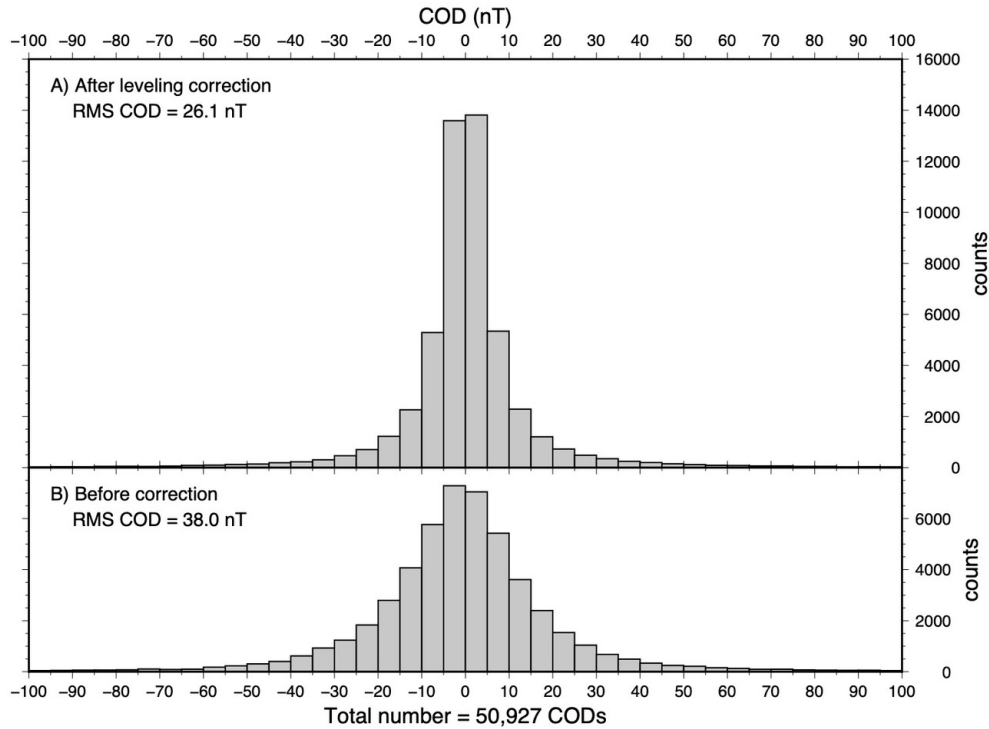


第4図 デジタイズした磁力計のチャートの例。横軸(時間)の2点(緑色)と縦軸(磁力値)の2点(青色)により(時間, 磁力値)のxy座標を決めた後, 黒線(フルスケール 1000 nT)に沿って1~3分おき(紫の点)にデジタイズする。
 Fig. 4 An example of digitized magnetometer chart. Time and magnetic values were defined by two points in green and two points in blue along the horizontal and vertical axes, respectively, and those values at the purple points at 1 to 3 minutes interval were obtained by digitization.



第5図 デジタイズした船上重力計のチャートの例。横軸(時間)の2点(緑色)と縦軸(重力読取値)の2点(青色)により(時間, 重力読取値)のxy座標を決めた後, 緑線(フルスケールほぼ 100 mGal)に沿って1分おきの破線との交点(紫の点)をデジタイズする。

Fig. 5 An example of digitized marine gravimeter chart. Time and gravimetric readings were defined by two points in green and two points in blue along the horizontal and vertical axes, respectively, and those values at the purple points, which are the intersections of green curve and the broken lines at 1 minute interval, were obtained by digitization.



第6図 白嶺丸航海の測線の交点50,927点での磁気異常値の差の分布. A) はレベリング補正後で二乗平均平方根交点誤差(RMS COD) 26.1 nT, B) は補正前でRMS COD 38.0 nT.

Fig. 6 Distribution of 50,927 crossover differences (CODs) of magnetic anomalies obtained by Hakurei-maru cruises. A) After leveling correction with a root mean square (RMS) of 26.1 nT. B) Before correction with an RMS of 38.0 nT.

た. この場合もチャートを45分程度の時間に分けてスキャンしたjpegの画像ファイルを作成してデジタイズのソフトウェアで読取っていく. 値の読み取りは1分間隔の破線の縦線と重力読取値(緑線)との交点で行った. 縦軸のフルスケールは100 (ほぼ100 mGal)であるが, 重力値がチャートの両端にくるとフルスケールの半分(50)移動して真ん中から記録するようになっているので, 読み取った値に100以上の桁の数値と±50を追加して重力値とした.

3.3 デジタルマスターデータの作成

こうしてチャート記録から得られた1分間隔の重磁力データに対しては位置データも必要になるが, これは5分間隔の緯度・経度別々のデータに対してAkimaの補間法(Akima, 1970)を用いて計算し, 以後のデータ処理に使用可能なデジタルマスターデータを作成した.

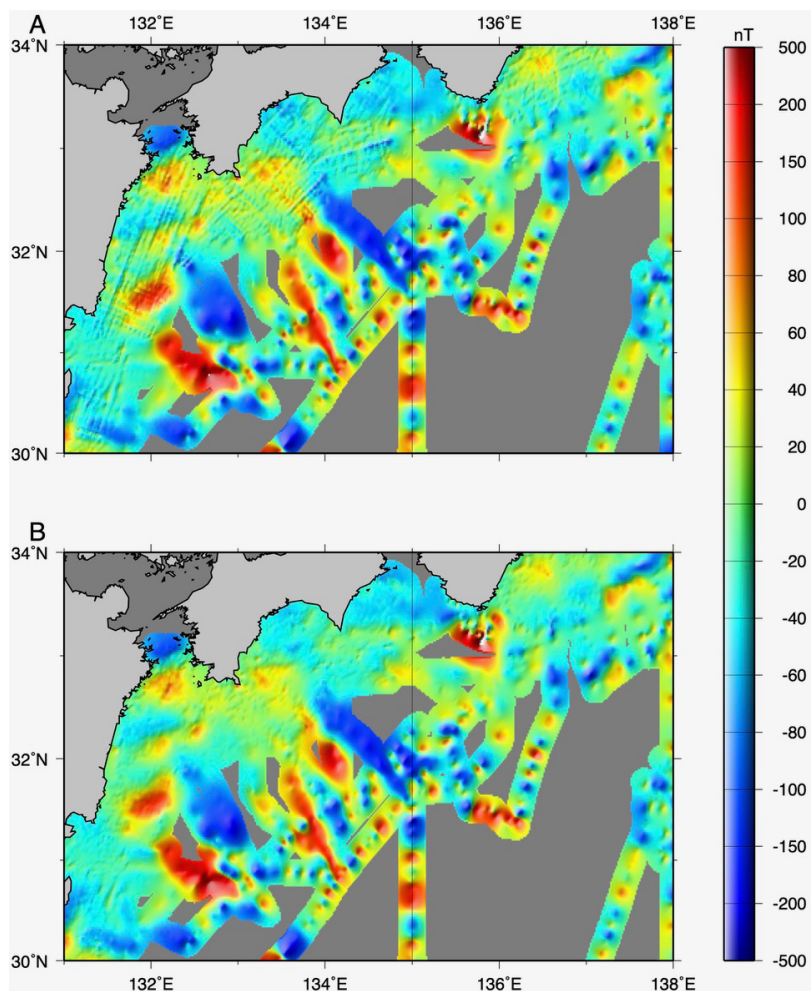
4. 磁力データの処理

地磁気全磁力測定にはGeometrics社製のプロトン磁力計を使用し, 船体磁気の影響を避けるためセンサーを船尾から後方で曳航しているため, 再計算船位から航跡に沿って200 mに相当する時間を遡った位置を地磁気の観測位置とした. 第4図の磁力計のチャート記録からわか

るように, 磁力デジタルデータには短周期のノイズが含まれているので, 幅2分(ノイズの振幅が大きい場合には幅5分)のガウシアンフィルターをかけ, これを磁力データの観測値とした.

4.1 磁気異常値の計算

磁気異常の計算にはCM4モデル(Sabaka *et al.*, 2004)を使用した. このモデルは, 白嶺丸の調査期間全体をカバーする1960.0年から2002.5年にかけての地磁気の永年変化について2.5年間隔の球面調和関数の係数を与えてその間を3次スプライン関数で補間するようになっていて, jerkと呼ばれる5年より短い時間の変動もよく表されており(Chambodut and Manda, 2005), IAGA (国際地磁気・超高層物理学会)が5年間隔で決定しているIGRF (国際標準地球磁場)によるものより永年変化の近似が良い. このモデルには磁気異常を構成するリソスフェアに起源を持つ高次の項も含まれているが, 地球の中心核に起源を持つと考えられている15次までの球面調和関数を使って求めた主磁場モデルの値, そして電離層や磁気圏を流れる電流による日変化のモデルの値が含まれている. これらのモデルの値を全磁力観測値から差引いて磁気異常値とした.



第7図 白嶺丸航海で得られたフィリピン海北部日本沿岸海域の磁気異常. A) レベリング補正前のデータを使ったもの. B) レベリング補正後のもの.

Fig. 7 Magnetic anomalies collected by Hakurei-maru cruises along the Japanese coast in the northern Philippine Sea. A) Before leveling correction. B) After leveling correction.

4.2 レベリング補正

得られた磁気異常値は永年変化や日変化の影響が取り除かれているはずであるが、これらの補正が不正確な場合がある。Ishihara (2015)は周りの観測点からの距離に応じた重みつき平均値で各観測点の補正量を計算し、各測線に沿った時間領域でのローパスフィルターを用いてレベリング補正する方法を考案した。ここでは、この方法を簡略化したレベリング補正の方法をデータに適用した。まず、データをほぼ直線で近似できる測線に分割する。Ishihara(2015)では全ての観測点に対してその周りの観測点の寄与を計算する必要があったが、新しい方法では重み付きの補正量は測線間の計算だけでよい。全ての測線同士の最接近する点(一般には観測点を補間した点で交点を含む)の距離が15 km以下のものについて両者の磁気異常値の差を求め、各々の再接点での距離の関数の重み付きの補正量を与える。それらに測線に沿った時間領域でのローパスフィルターをかけて各観測点での補正量を求める。ローパスフィルターの時間幅としては6時間を採用した。計算された補正量を用いて新たな補正量の計算を行い、この計算を補正量に変化しなくなるまで30回繰り返した。このレベリング補正により、測線

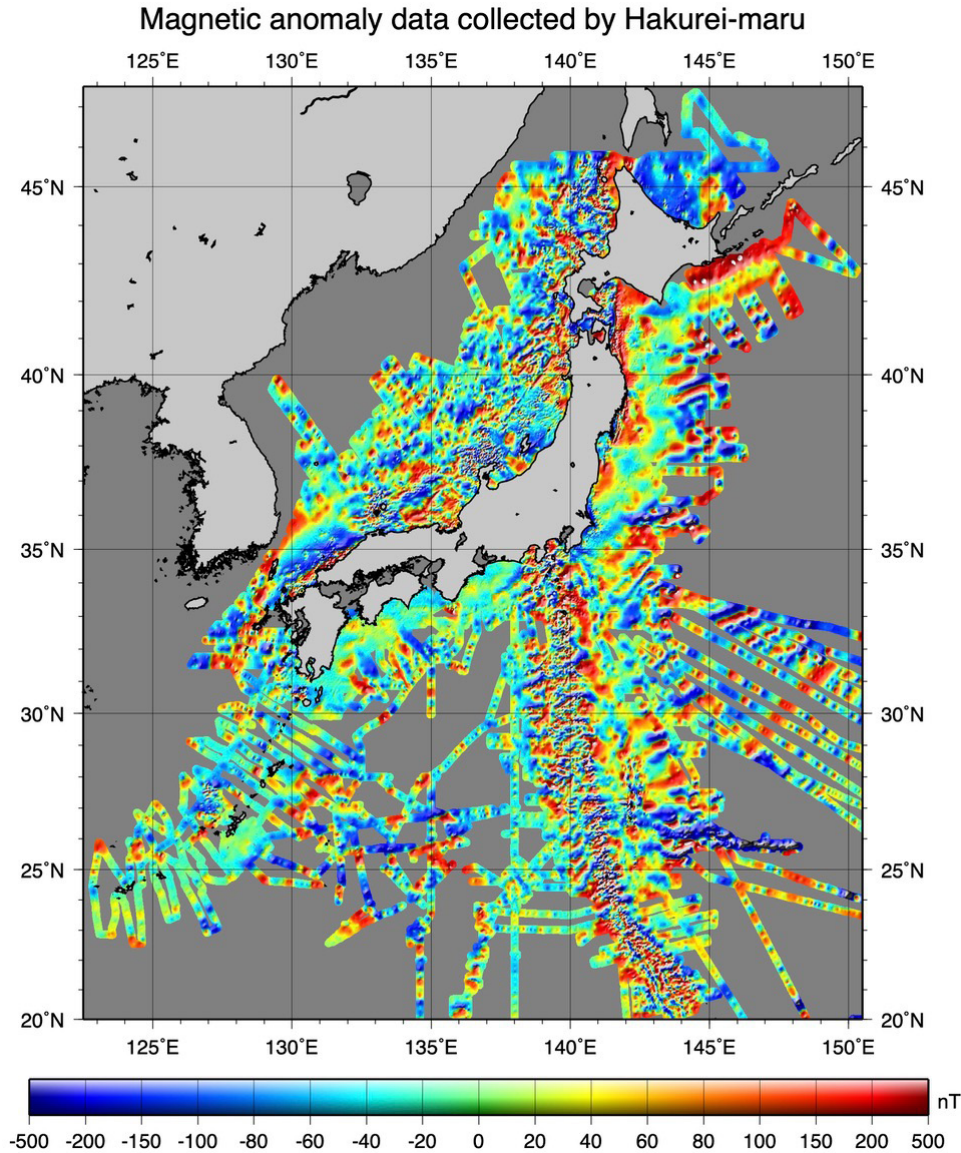
間の全交点50,927点に対する磁気異常値のRMS CODが38.0 nTから26.1 nTへと減少した(第6図)。

4.3 磁気異常図

第7図にはフィリピン海の日本列島沿岸部について、上述のレベリング補正前後の磁気異常図を比較して示した。補正前の図の日向灘から高知沖、熊野灘にかけての沿岸近くに見られる測線に沿って直線上に伸びる不自然な異常が、補正後の図にはほぼ完全に消えていることがわかる。第8図にレベリング補正後のデータを使った日本列島周辺の磁気異常図を示した。

5. 重力データの処理

重力測定は1986年まではLaCoste & Romberg社製S63船上重力計、1987以降は同じ同社製のSL2船上重力計を使用した。後者はセンサーが鉛直方向のみに動くように工夫してビーム型重力計にみられるクロスカップリング補正を不要にしたストレートライン型の重力計であるが、精度はビーム型重力計とほとんど変わらない(LaCoste, 1983; Valliant, 1991)。旧地質調査所による白嶺丸航海のほぼ全てのデータが集まったので、重力計のドリフト



第8図 白嶺丸航海で取得されたレベリング補正後のデータを使って作成した日本周辺の磁気異常図。

Fig. 8 Magnetic anomaly map around Japan created using data obtained by Hakurei-maru cruises after leveling correction.

やフィルターの問題について検討してみた。なお、入港地での重力計読取値、絶対重力値については石油公団による南極調査のデータも含めて検討した。

5.1 ドリフトと変換係数

船上重力計による観測は相対測定なので、船橋港埠頭での陸上の重力値と出港時及び入港時の船上重力計の読取値を既知の絶対重力値に接続することで海上での重力値を計算している。船橋港以外での入港地も含めて重力計のドリフト(船上重力計読取値の時間変化)を調べた(第3表、第4表)。異なる重力値のデータを比較するためmeter zeroという値を使う(Nettleton, 1976)。これは各点での絶対重力値から読取値にmGal単位への変換係数

を乗じた値を差引いたもので、読取値が0のときの仮想的な絶対重力値を意味している。線型性の良いセンサーを使っているのでメーカーから全測定範囲に対して1つの変換係数(S63に対しては0.9992, SL2に対しては読取値が既に変換済みということなので1)が与えられているが、この変換係数が正確なら、船橋港以外の入港地も含めてスムーズなドリフトの曲線が得られるはずである。

第9図A, BはそれぞれS63重力計, SL2重力計のドリフトをmeter zeroで示したものである。S63重力計(第9図A)では1年程度の周期的な変化を除くと、船橋港以外も含めてスムーズなドリフト曲線が得られたが、SL2重力計(第9図B)の場合、変換係数1では船橋港からの重力値の差に比例してスムーズな曲線からのズレが大きくなる

第3表 船橋基地及び寄港地でのS63重力計読取値と重力値・meter zero

Table 3 S63 readings, gravity values and meter zero at Funabashi and other ports

Port	Cruise	Year	JD	Gravity	Reading	Meter zero
Chiba	GH742	1974	129	979763.4	10635.3	969136.6
Chiba	GH742	1974	149	979763.4	10636.2	969135.7
Chiba	GH743	1974	161	979763.4	10641.2	969130.7
Futami	GH743	1974	166	979441.4	10318.7	969131.0
Chiba	GH743	1974	180	979763.4	10642.0	969129.9
Chiba	GH744	1974	189	979763.4	10641.6	969130.3
Chiba	GH744	1974	226	979763.4	10654.3	969117.6
Chiba	GH745	1974	226	979763.4	10654.3	969117.6
Chiba	GH745	1974	290	979763.4	10642.8	969129.1
Funabashi	GH745	1974	291	979789.4	10667.4	969130.5
Funabashi	GH746	1974	301	979789.4	10673.0	969124.9
Funabashi	GH746	1974	305	979789.4	10672.5	969125.4
Funabashi	GH747	1974	316	979789.4	10671.4	969126.5
Funabashi	GH747	1974	349	979789.4	10669.0	969128.9
Funabashi	GH751	1975	19	979789.4	10678.6	969119.3
Funabashi	GH751	1975	49	979789.4	10672.0	969125.9
Funabashi	GH752	1975	107	979789.4	10675.2	969122.7
Funabashi	GH752	1975	116	979789.4	10676.0	969121.9
Funabashi	GH753	1975	128	979789.4	10679.0	969118.9
Funabashi	GH753	1975	162	979789.4	10676.0	969121.9
Funabashi	GH754	1975	167	979789.4	10677.8	969120.1
Kochi	GH754	1975	176	979621.8	10512.0	969118.2
Funabashi	GH754	1975	188	979789.4	10679.0	969118.9
Funabashi	GH755	1975	197	979789.4	10678.5	969119.4
Funabashi	GH755	1975	234	979789.4	10679.1	969118.8
Funabashi	GH761	1976	10	979789.4	10679.2	969118.7
Honolulu	GH761	1976	36	978929.5	9817.5	969119.9
Funabashi	GH761	1976	69	979789.4	10681.7	969116.2
Funabashi	GH762	1976	108	979789.4	10687.0	969110.9
Kamaishi	GH762	1976	123	980247.2	11141.0	969115.1
Funabashi	GH762	1976	156	979789.4	10678.2	969119.7
Funabashi	GH763	1976	167	979789.4	10683.8	969114.1
Shiogama	GH763	1976	212	980132.3	11026.5	969114.6
Funabashi	GH763	1976	217	979789.4	10683.8	969114.1
Funabashi	GH771	1977	12	979789.4	10695.6	969102.4
Funabashi	GH771	1977	70	979789.4	10688.4	969109.6
Funabashi	GH772	1977	109	979789.4	10698.8	969099.2
Sakaiminato	GH772	1977	135	979809.0	10710.3	969107.3
Funabashi	GH772	1977	148	979789.4	10686.2	969111.7
Funabashi	GH773-1	1977	165	979789.4	10694.9	969103.1
Niigata	GH773-1	1977	191	979978.8	10877.7	969109.8
Niigata	GH773-2	1977	218	979978.8	10873.5	969114.0
Funabashi	GH773-2	1977	224	979789.4	10687.0	969110.9
Funabashi	GH781	1977	355	979789.4	10749.4	969048.6
Funabashi	GH781	1977	356	979789.4	10749.4	969048.6
Funabashi	GH781	1977	358	979789.4	10749.4	969048.6
Funabashi	GH781	1977	365	979789.4	10746.5	969051.5
Funabashi	GH781	1978	5	979789.4	10726.1	969071.9
Funabashi	GH781	1978	7	979789.4	10723.1	969074.9
Suva	GH781	1978	40	978610.1	9513.3	969104.4
Funabashi	GH781	1978	65	979789.4	10692.5	969105.5
Funabashi	GH782	1978	108	979789.4	10688.0	969110.0
Niigata	GH782	1978	122	979978.8	10877.5	969110.0
Hakodate	GH782	1978	140	980377.5	11278.4	969108.1
Funabashi	GH782	1978	153	979789.4	10690.5	969107.5
Funabashi	GH783	1978	164	979789.4	10691.2	969106.8
Sakaiminato	GH783	1978	174	979808.8	10712.6	969104.8
Funabashi	GH783	1978	185	979789.4	10694.0	969104.0

白嶺丸重磁力データの整備・公開 (石原)

第3表 続き.

Table 3 Continued.

Port	Cruise	Year	JD	Gravity	Reading	Meter zero
Funabashi	GH784	1978	193	979789.4	10698.9	969099.1
Hakodate	GH784	1978	219	980377.5	11288.9	969097.6
Funabashi	GH784	1978	224	979789.4	10700.4	969097.6
Funabashi	GH791	1979	13	979789.4	10691.9	969106.1
Honolulu	GH791	1979	36	978929.5	9835.5	969101.9
Funabashi	GH791	1979	72	979789.4	10703.2	969094.8
Funabashi	GH792	1979	106	979789.4	10696.4	969101.6
Futami	GH792	1979	122	979441.7	10351.6	969098.4
Funabashi	GH792	1979	135	979789.4	10701.8	969096.2
Funabashi	GH793	1979	148	979789.4	10703.7	969094.3
Futami	GH792	1979	159	979441.7	10354.7	969095.3
Futami	GH792	1979	174	979441.7	10355.2	969094.8
Funabashi	GH793	1979	187	979789.4	10706.0	969092.0
Funabashi	GH794	1979	194	979789.4	10708.6	969089.4
Okada	GH794	1979	217	979855.4	10775.3	969088.7
Funabashi	GH794	1979	223	979789.4	10709.1	969088.9
Funabashi	GH801	1980	12	979789.4	10699.4	969098.6
Papeete	GH801	1980	38	978700.2	9615.7	969092.2
Papeete	GH801	1980	45	978700.2	9617.5	969090.4
Funabashi	GH801	1980	71	979789.4	10712.4	969085.6
Funabashi	GH802	1980	109	979789.4	10704.6	969093.4
Chiba	GH802	1980	123	979763.4	10674.5	969097.4
Funabashi	GH802	1980	138	979789.4	10707.8	969090.2
Funabashi	GH803	1980	143	979789.4	10707.6	969090.4
Funabashi	GH804	1980	184	979789.4	10714.2	969083.8
Okada	GH804	1980	213	979855.4	10782.1	969081.9
Funabashi	GH804	1980	218	979789.4	10716.4	969081.6
Funabashi	GH805	1980	223	979789.4	10717.2	969080.8
Honolulu	GH805	1980	249	978929.5	9854.7	969082.7
Hilo	GH805	1980	253	978864.6	9790.9	969081.5
Funabashi	GH805	1980	283	979789.4	10717.4	969080.6
Val Paraiso	TH80	1981	14	979621.5	10544.1	969085.8
Funabashi	GH811	1981	105	979789.4	10700.1	969097.9
Kamaishi	GH811	1981	118	980247.2	11156.4	969099.7
Funabashi	GH811	1981	134	979789.4	10700.7	969097.3
Funabashi	GH812	1981	142	979789.4	10702.0	969096.0
Shiogama	GH812	1981	153	980132.3	11045.7	969095.4
Onahama	GH812	1981	167	980008.8	10923.2	969094.3
Funabashi	GH812	1981	181	979789.4	10705.1	969092.9
Funabashi	GH813	1981	189	979789.4	10706.4	969091.6
Shiogama	GH813	1981	203	980132.3	11051.2	969090.0
Onahama	GH813	1981	211	980008.8	10928.5	969089.0
Funabashi	GH813	1981	218	979789.4	10711.4	969086.6
Funabashi	GH814	1981	226	979789.4	10722.3	969075.7
Funabashi	GH814	1981	285	979789.4	10723.2	969074.8
Funabashi	TH81	1981	328	979789.4	10717.3	969080.7
Val Paraiso	TH81	1981	360	979621.5	10550.6	969079.3
Val Paraiso	TH81	1982	40	979621.5	10542.0	969087.9
Funabashi	GH821	1982	71	979789.4	10719.6	969078.4
Funabashi	GH821	1982	105	979789.4	10717.0	969081.0
Kochi	GH821	1982	121	979621.8	10552.8	969077.4
Funabashi	GH821	1982	139	979789.4	10724.4	969073.6
Funabashi	GH822	1982	147	979789.4	10724.8	969073.2
Funabashi	GH822	1982	176	979789.4	10728.4	969069.6
Funabashi	GH823	1982	183	979789.4	10728.4	969069.6
Hakodate	GH823	1982	200	980377.5	11315.7	969070.9
Funabashi	GH823	1982	217	979789.4	10729.0	969069.0
Funabashi	GH824	1982	226	979789.4	10730.6	969067.4
Funabashi	GH824	1982	285	979789.4	10732.9	969065.1

第3表 続き.

Table 3 Continued.

Port	Cruise	Year	JD	Gravity	Reading	Meter zero
Funabashi	TH82	1982	332	979789.4	10730.3	969067.7
Sydney	TH82	1982	351	979675.1	10616.7	969066.9
Sydney	TH82	1983	52	979674.8	10605.1	969078.2
Funabashi	GH831	1983	105	979789.4	10722.9	969075.1
Kochi	GH831	1983	122	979621.8	10568.0	969062.3
Funabashi	GH831	1983	144	979789.4	10735.3	969062.7
Funabashi	GH832	1983	154	979789.4	10737.8	969060.2
Kochi	GH832	1983	188	979621.8	10578.9	969051.4
Kochi	GH832	1983	207	979621.8	10572.0	969058.3
Funabashi	GH832	1983	213	979789.4	10738.4	969059.6
Funabashi	GH833	1983	220	979789.4	10741.0	969057.0
Papeete	GH833	1983	250	978700.2	9650.5	969057.4
Papeete	GH833	1983	256	978700.2	9648.8	969059.1
Funabashi	GH833	1983	279	979789.4	10739.9	969058.1
Sydney	TH83	1983	347	979672.2	10619.4	969061.3
Fremantle	TH83	1984	5	979402.9	10343.5	969067.7
Sydney	TH83	1984	49	979672.2	10613.0	969067.7
Funabashi	GH841	1984	107	979789.4	10723.3	969074.7
Funabashi	GH841	1984	136	979789.4	10727.5	969070.5
Funabashi	GH842	1984	142	979789.4	10727.9	969070.1
Funabashi	GH842	1984	181	979789.4	10736.8	969061.2
Funabashi	GH843	1984	187	979789.4	10737.6	969060.4
Funabashi	GH843	1984	243	979789.4	10745.0	969053.0
Futami	GH844	1984	266	979441.4	10397.9	969051.8
Funabashi	GH844	1984	282	979789.4	10745.6	969052.4
Fremantle	TH84	1984	346	979402.9	10366.0	969045.2
Fremantle	TH84	1985	7	979402.9	10359.1	969052.1
Fremantle	TH84	1985	11	979402.9	10359.7	969051.5
Fremantle	TH84	1985	46	979402.9	10357.1	969054.1
Funabashi	GH851	1985	105	979789.4	10735.6	969062.4
Futami	GH851	1985	128	979441.4	10394.3	969055.4
Funabashi	GH851	1985	144	979789.4	10744.8	969053.2
Funabashi	GH852	1985	150	979789.4	10745.9	969052.1
Funabashi	GH852	1985	200	979789.4	10752.8	969045.2
Funabashi	GH853	1985	207	979789.4	10753.8	969044.2
Futami	GH853	1985	224	979441.4	10407.0	969042.7
Funabashi	GH853	1985	246	979789.4	10756.2	969041.8
Funabashi	GH854	1985	253	979789.4	10756.5	969041.5
Funabashi	GH854	1985	282	979789.4	10753.3	969044.7
Port Moresby	TH85	1985	355	978907.5	9873.9	969041.5
Port Moresby	TH85	1986	35	978907.5	9862.5	969052.9
Funabashi	GH861	1986	105	979789.4	10733.0	969065.0
Futami	GH861	1986	118	979441.4	10399.1	969050.6
Futami	GH861	1986	120	979441.4	10398.8	969050.9
Futami	GH861	1986	133	979441.4	10402.2	969047.5
Futami	GH861	1986	135	979441.4	10402.7	969047.0
Funabashi	GH861	1986	149	979789.4	10751.2	969046.8
Funabashi	GH862	1986	155	979789.4	10751.5	969046.5
Funabashi	GH862	1986	204	979789.4	10756.3	969041.7
Funabashi	GH863	1986	210	979789.4	10754.8	969043.2
Ftami	GH863	1986	228	979441.4	10404.1	969045.6
Funabashi	GH863	1986	244	979789.4	10754.6	969043.4
Funabashi	GH864	1986	251	979789.4	10754.7	969043.3
Funabashi	GH864	1986	280	979789.4	10749.4	969048.6
Val Paraiso	TH86	1987	1	979621.5	10582.2	969047.8

白嶺丸重磁力データの整備・公開（石原）

第4表 船橋基地及び寄港地でのSL2重力計読取値と重力値・meter zero

Table 4 SL2 readings, gravity values and meter zero at Funabashi and other ports

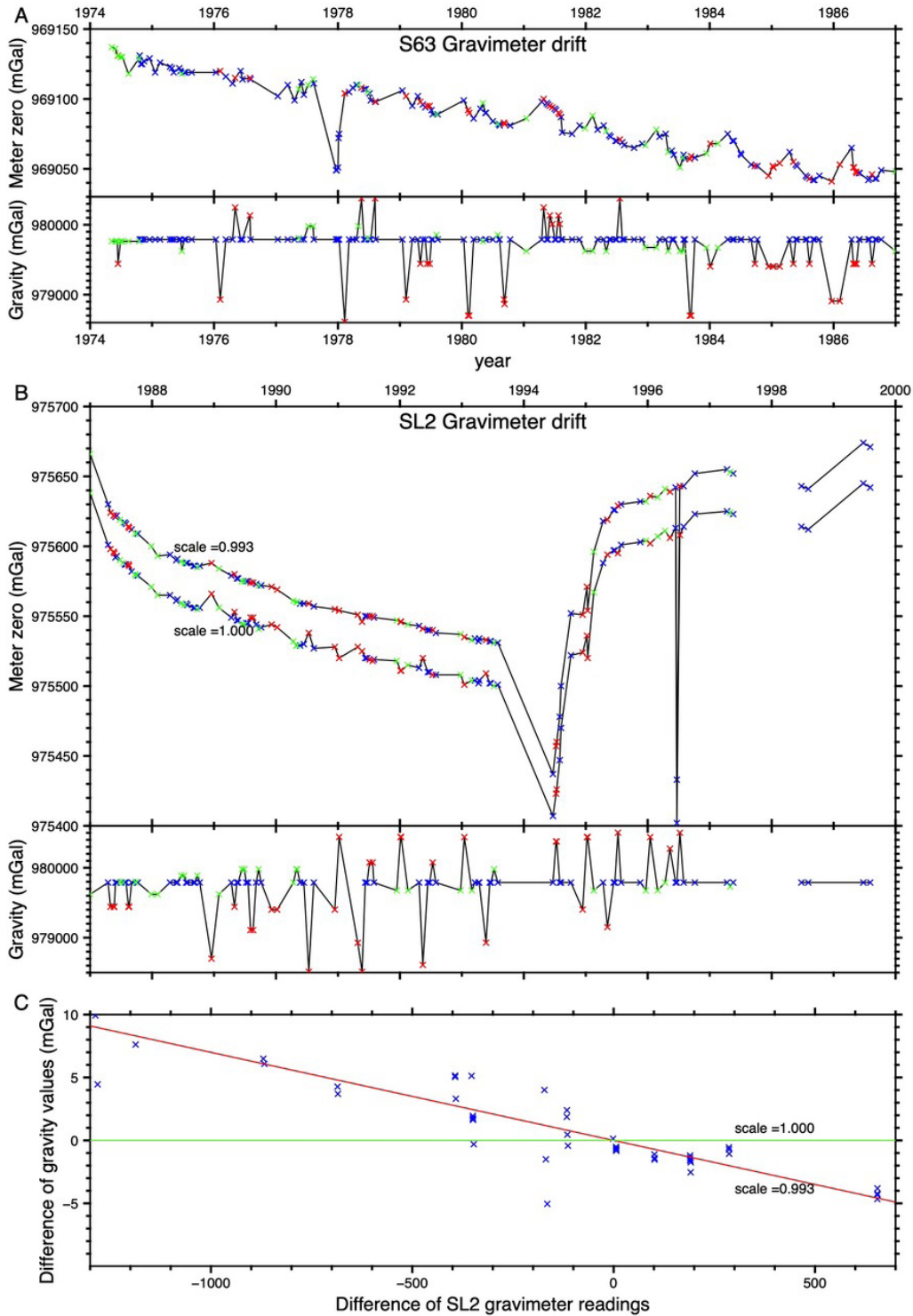
Port	Cruise	Year	JD	Gravity	Reading	Meter1*	Meter2#
Valparaiso	TH86	1987	1	979619.7	3981.6	975638.1	975666.0
Funabashi	GH871	1987	105	979789.4	4188.5	975600.9	975630.2
Futami	GH871	1987	120	979441.7	3844.2	975597.5	975624.4
Futami	GH871	1987	139	979441.7	3846.2	975595.5	975622.4
Futami	GH871	1987	141	979441.7	3846.3	975595.4	975622.3
Funabashi	GH871	1987	149	979789.4	4197.6	975591.8	975621.2
Funabashi	GH872	1987	156	979789.4	4196.8	975592.6	975622.0
Maizuru	GH872	1987	174	979795.0	4205.2	975589.8	975619.2
Maizuru	GH872	1987	177	979795.0	4205.5	975589.5	975618.9
Maizuru	GH872	1987	194	979795.0	4207.1	975587.9	975617.3
Funabashi	GH872	1987	205	979789.4	4202.2	975587.2	975616.6
Funabashi	GH873	1987	212	979789.4	4202.4	975587.0	975616.4
Futami	GH873	1987	227	979441.7	3855.1	975586.6	975613.6
Futami	GH873	1987	230	979441.7	3855.4	975586.3	975613.3
Funabashi	GH874	1987	246	979789.4	4207.1	975582.3	975611.7
Maizuru	GH874	1987	268	979795.0	4215.3	975579.7	975609.2
Maizuru	GH874	1987	271	979795.0	4215.6	975579.4	975608.9
Funabashi	GH874	1987	282	979789.4	4210.3	975579.1	975608.6
Valparaiso	TH87	1987	363	979619.6	4048.2	975571.4	975599.7
Valparaiso	TH87	1988	34	979619.6	4054.5	975565.1	975593.5
Funabashi	GH881	1988	105	979789.4	4224.7	975564.7	975594.3
Futami	GH881	1988	128	979441.7	3877.7	975564.0	975591.1
Funabashi	GH881	1988	144	979789.4	4228.6	975560.8	975590.4
Funabashi	GH882	1988	151	979789.4	4227.5	975561.9	975591.5
Fushiki	GH882	1988	173	979889.5	4330.6	975558.9	975589.2
Fushiki	GH882	1988	191	979889.5	4331.4	975558.1	975588.4
Funabashi	GH882	1988	200	979789.4	4230.8	975558.6	975588.2
Funabashi	GH883	1988	207	979789.4	4231.1	975558.3	975587.9
Futami	GH883	1988	226	979441.7	3882.2	975559.5	975586.7
Funabashi	GH883	1988	246	979789.4	4233.0	975556.4	975586.0
Funabashi	GH884	1988	252	979789.4	4233.1	975556.3	975585.9
Fushiki	GH884	1988	265	979889.5	4334.6	975554.9	975585.2
Funabashi	GH884	1988	281	979789.4	4233.1	975556.3	975585.9
Papeete	TH88	1988	351	978700.4	3134.7	975565.7	975587.6
Valparaiso	TH88	1989	31	979621.5	4065.7	975555.8	975584.3
Funabashi	GH891	1989	102	979789.4	4240.4	975549.0	975578.7
Futami	GH891	1989	122	979441.7	3888.6	975553.1	975580.3
Funabashi	GH891	1989	135	979789.4	4242.1	975547.3	975577.0
Funabashi	GH892	1989	142	979789.4	4242.5	975546.9	975576.6
Niigata	GH892	1989	163	979978.0	4434.4	975543.6	975574.6
Niigata	GH892	1989	180	979978.0	4434.1	975543.9	975574.9
Funabashi	GH892	1989	191	979789.4	4244.3	975545.1	975574.8
Funabashi	GH893	1989	199	979789.4	4244.0	975545.4	975575.1
Naha	GH893	1989	214	979108.4	3559.8	975548.6	975573.5
Naha	GH893	1989	231	979108.1	3559.5	975548.6	975573.5
Funabashi	GH894	1989	250	979789.4	4245.7	975543.7	975573.4
Funabashi	GH894	1989	263	979978.9	4437.7	975541.2	975572.3
Funabashi	GH894	1989	279	979789.4	4247.4	975542.0	975571.7
Fremantle	TH89	1989	341	979400.9	3857.2	975543.7	975570.7
Fremantle	TH89	1990	8	979400.9	3859.1	975541.8	975568.8
Funabashi	GH90	1990	103	979788.1	4256.5	975531.6	975561.4
Niigata	GH90	1990	121	979978.0	4448.9	975529.1	975560.2
Niigata	GH90	1990	124	979978.0	4448.9	975529.1	975560.2
Funabashi	GH90	1990	142	979789.4	4260.1	975529.3	975559.1
Funabashi	NH901	1990	164	979789.4	4259.8	975529.6	975559.4
Apra	NH901	1990	193	978512.5	2974.2	975538.3	975559.1
Funabashi	NH901	1990	223	979789.4	4262.3	975527.1	975556.9
Fremantle	TH90	1990	347	979400.9	3873.4	975527.5	975554.6
Fremantle	TH90	1991	7	980440.6	4920.8	975519.8	975554.2
Funabashi	NH911	1991	118	978925.9	3398.4	975527.5	975551.3
Funabashi	NH911	1991	142	978512.5	2987.6	975524.9	975545.8
Funabashi	NH911	1991	161	979789.4	4269.4	975520.0	975549.9

第4表 続き.

Table 4 Continued.

Port	Cruise	Year	JD	Gravity	Reading	Meter1*	Meter2#
Funabashi	GH91	1991	171	979789.4	4269.2	975520.2	975550.1
Sakata	GH91	1991	186	980075.1	4556.5	975518.6	975550.5
Sakata	GH91	1991	203	980075.1	4556.6	975518.5	975550.4
Funabashi	GH91	1991	210	979789.4	4270.6	975518.8	975548.7
Sydney	TH91	1991	348	979674.9	4157.0	975517.9	975547.0
Hobart	TH91	1992	3	980440.1	4928.8	975511.3	975545.8
Hobart	TH91	1992	8	980440.1	4928.8	975511.3	975545.8
Sydney	TH91	1992	47	979674.9	4159.7	975515.2	975544.3
Koror	NH921	1992	114	978367.6	2844.4	975523.2	975543.1
Suva	NH921	1992	134	978610.1	3090.6	975519.5	975541.1
Funabashi	NH921	1992	164	979789.4	4279.8	975509.6	975539.6
Funabashi	GH92	1992	174	979789.4	4279.3	975510.1	975540.1
Sakata	GH92	1992	192	980075.1	4566.6	975508.5	975540.5
Funabashi	GH92	1992	213	979789.4	4281.2	975508.2	975538.2
Sydney	TH92	1992	359	979675.8	4167.7	975508.1	975537.3
Hobart	TH92	1993	14	980439.4	4938.7	975500.7	975535.3
Sydney	TH92	1993	57	979675.4	4171.2	975504.2	975533.4
Funabashi	NH931	1993	76	979789.4	4285.1	975504.3	975534.3
Funabashi	NH931	1993	97	979789.4	4287.0	975502.4	975532.4
Funabashi	NH931	1993	103	979789.4	4285.5	975503.9	975533.9
Honolulu	NH931	1993	144	978928.1	3419.4	975508.7	975532.6
Funabashi	NH931	1993	164	979789.4	4287.4	975502.0	975532.0
Funabashi	GH93	1993	172	979789.4	4287.6	975501.8	975531.8
Niigata	GH93	1993	190	979978.0	4478.2	975499.8	975531.1
Funabashi	GH93	1993	211	979789.4	4288.6	975500.8	975530.8
Funabashi	GH94	1994	171	979789.4	4382.6	975406.8	975437.5
Hakodate	GH94	1994	189	980377.3	4954.7	975422.6	975457.3
Hakodate	GH94	1994	192	980377.3	4951.7	975425.6	975460.3
Funabashi	GH94	1994	210	979789.4	4342.1	975447.3	975477.7
Funabashi	NH942	1994	219	979789.4	4319.4	975470.0	975500.2
Funabashi	NH942	1994	279	979789.4	4267.7	975521.7	975551.6
Fremantle	TH94	1994	347	979401.8	3878.1	975523.7	975550.8
Hobart	TH94	1995	6	980439.1	4902.6	975536.5	975570.8
Hobart	TH94	1995	10	980439.1	4919.1	975520.0	975554.4
Sydney	TH94	1995	49	979675.1	4107.7	975567.4	975596.2
Funabashi	NH951	1995	104	979789.4	4200.9	975588.5	975617.9
Brisbane	NH951	1995	129	979150.7	3557.0	975593.7	975618.6
Funabashi	NH951	1995	163	979789.4	4192.4	975597.0	975626.3
Funabashi	GH95	1995	170	979789.4	4192.7	975596.7	975626.0
Otaru	GH95	1995	188	980501.8	4906.8	975595.0	975629.3
Otaru	GH95	1995	191	980501.8	4906.8	975595.0	975629.3
Funabashi	GH95	1995	209	979789.4	4188.5	975600.9	975630.2
Sydney	TH95	1995	355	979674.9	4070.9	975604.0	975632.5
Hobart	TH95	1996	15	980439.1	4836.9	975602.2	975636.1
Sydney	TH95	1996	59	979674.9	4068.3	975606.6	975635.1
Funabashi	NH961	1996	103	979788.3	4176.9	975611.4	975640.6
Wellington	NH961	1996	131	980273.5	4667.6	975605.9	975638.6
Funabashi	NH961	1996	164	979789.4	4176.7	975612.7	975641.9
Funabashi	GH96	1996	173	979789.4	4387.0	975402.4	975433.1
Otaru	GH96	1996	191	980501.2	4892.8	975608.4	975642.6
Funabashi	GH96	1996	212	979789.4	4175.4	975614.0	975643.2
Funabashi	GH96	1996	278	979789.4	4166.3	975623.1	975652.3
Funabashi	GH97	1997	101	979789.4	4164.0	975625.4	975654.5
Funabashi	GH97	1997	120	979729.9	4105.4	975624.5	975653.2
Funabashi	GH97	1997	140	979789.4	4166.2	975623.2	975652.4
Funabashi	GH98	1998	176	979789.4	4175.8	975613.6	975642.8
Funabashi	GH98	1998	215	979789.4	4177.3	975612.1	975641.3
Funabashi	GH99	1999	164	979789.4	4170.0	975619.4	975648.6
Funabashi	GH99	1999	185	979789.4	4170.0	975619.4	975648.6

*Meter zero for scale =1.0; #Meter zero for scale =0.993 mGal.



第9図 白嶺丸搭載船上重力計のドリフト。A) S63重力計。B) SL2重力計。各図の下には入港時の重力値，上にはmeter zeroの値をx印で示している。船橋停泊中を青色で，他の港への入港時は船橋からの重力値の差が200 mGal以上の場合を赤色，それ未満の場合を緑色で示している。C) 船橋港以外と対応する船橋港の重力値とSL2重力計読取値の比較。横軸に読取値の差，縦軸に重力値の差-読取値の差の点をx印で示した。緑線と赤線はそれぞれ変換係数が1と0.993の場合に相当する。

Fig. 9 Drift of the gravimeters on board Hakurei-maru. A) S63 gravimeter. B) SL2 gravimeter. Gravity values and meter zero values at ports are plotted at the bottom and top of each figure, respectively. Values at Funabashi port are shown in blue, while those at other ports with difference of gravity values from Funabashi > 200 mGal and < 200 mGal are shown in red and green, respectively. C) Difference of gravity values from Funabashi port - difference of SL2 gravimeter readings from Funabashi port as function of difference of gravimeter readings from Funabashi port. Green and red lines show the cases of conversion factors of 1 and 0.993, respectively.

ような曲線が得られた。SL2重力計の変換係数の影響について第9図Cで検討した。長い期間のドリフト変化の影響を避けるため、船橋港以外の港での重力計読取値からその日の船橋港での仮想読取値(直前と直後の船橋港での読取値から時間的に線型のドリフト変化を仮定して得られる値)を差し引いた値(Aとする)に対して、両港の絶対重力値の差からAの値を差し引いた値をプロットした。変換係数が1であれば水平な直線(緑線)の上に乗るはずであるが、右下がりの傾向が明瞭である。ばらつきもあるが、変換係数を0.993とする赤線ではほぼ近似できることがわかった。第9図Bには変換係数が0.993の場合も示しているが、よりスムーズなドリフト曲線になった。このため、SL2の全データに対しては変換係数を0.993として再計算することにした。なお、S63重力計のドリフトでは1978年初めに50 mGalを越すような変化が見られるが、これは1977年の航海後にセンサーのヒーターの電源をオフにしていたためとみられ、その後はセンサーのヒーターを常時通電するようにした結果、大きな変化はみられなくなった。SL2重力計についても1994年、1996年の2回にわたり大きな変化が見られるが、原因は不明である。

5.2 フィルター処理

S63船上重力計からの出力は船の動揺による鉛直方向の高周波の加速度等の影響を取り除くため、アナログの電子回路を通して3段階の時定数20秒のRCフィルターと2段階の時定数60秒のRCフィルターがかけられ、計3分の遅延が生じる(Valliant, 1991)。この出力に対して時間的に対称で遅延がなくなるようにデジタルフィルターをかけることにした。このため、1分間隔のデータに対してはまずAkimaの補間法(Akima, 1970)を用いて10秒間隔の時系列データを作成した(5分間隔のデータについてはこの計算は実施せず元のデータをそのまま使用している)。この時系列データに対して、時定数20秒のもの3回と60秒のもの2回の逆方向のRCデジタルフィルターを通して時間に対して対称で遅延がないデータを作成することができた。なお、SL2重力計では10秒間隔の値に対して幅520秒のガウシアンフィルターに近いデジタルフィルターがかかって時間的にほぼ対称で5分遅延したデータが出力されるようになっているので5分前の時刻のデータとした。

フリーエア異常値を求めるためには、こうして得られた重力観測値に緯度補正とエトベス補正を施す必要がある。緯度補正は1980年の測地基準系に基づく正規重力式により求めた(Moritz, 2000)。エトベス補正は船速と船の進行方向のデータを用いて計算することができるが(Glick, 1962)、いくつかの航海のエトベス補正のデータでフィルター結果を見たところ、重力観測値と同じローパスフィルター(S63重力計の場合には上記の時間

に対して対称なフィルター)をかけただけでは高周波のノイズが残っていたので、さらに時定数1分のRCフィルターを正逆方向に2回ずつかけたものをエトベス補正值とし、フリーエア異常値を計算した。

5.3 交点誤差とアルチメトリ重力異常による補正

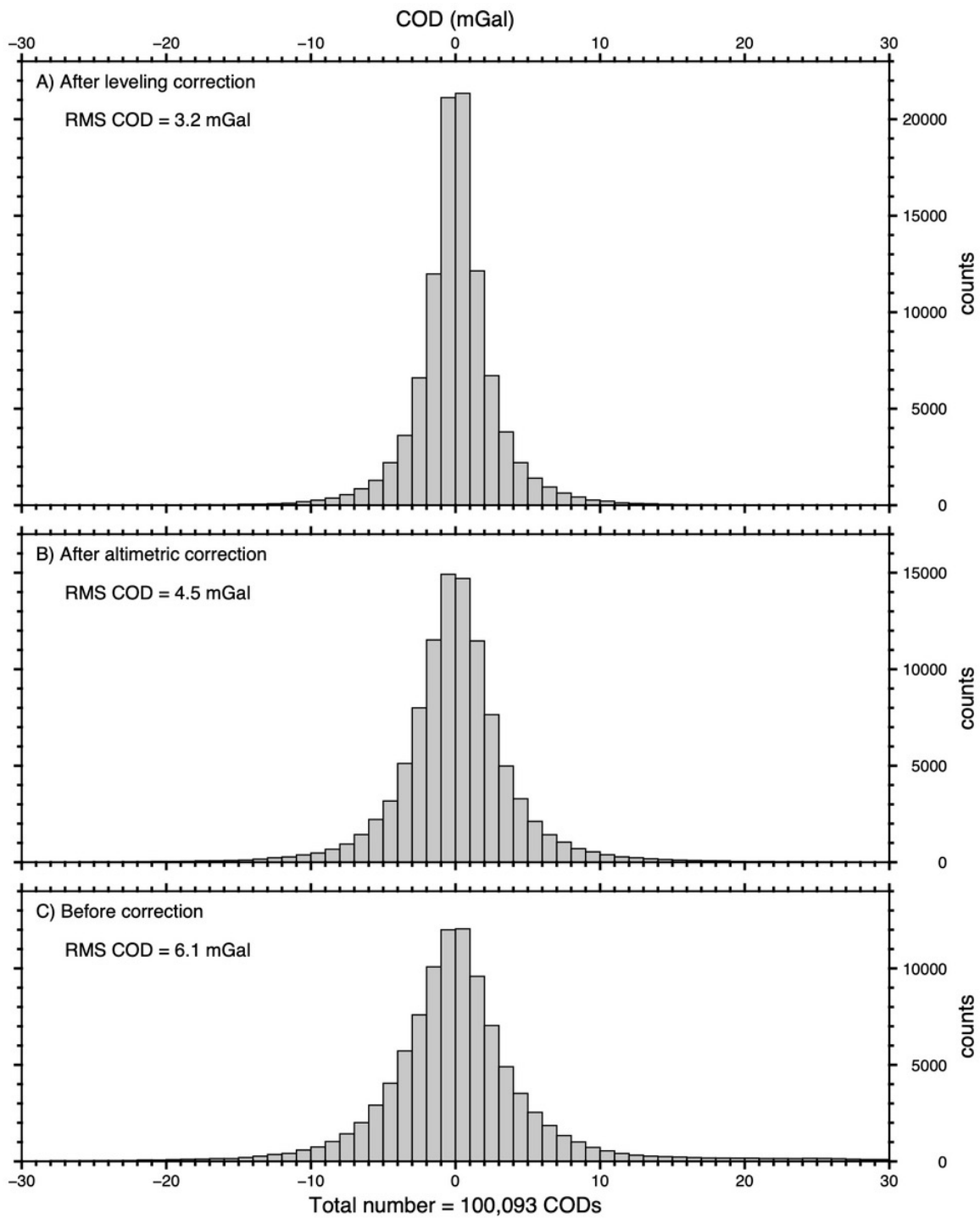
得られたフリーエア異常値の測線間の交点誤差の分布の幅は比較的大きい(RMS COD = 6.1 mGal; 第10図C)。このため、公開されている人工衛星アルチメトリで得られた緯度・経度1分間隔のフリーエア異常グリッドデータ(Sandwell *et al.*, 2014)を使って補正することとした。このデータは海洋の広範囲を十分な密度で均質にカバーする軌道の衛星データから計算されたもので、誤差0.5~2 mGalの精度の良い船上重力計のデータとの比較から精度2 mGal程度と推定され、特に重力異常の長波長成分として利用することができる。第11図には1例としてGH762航海で得られたフリーエア異常値とアルチメトリのグリッドデータから補間で求めた同じ緯度・経度のフリーエア異常値を比較する形で示した。長周期成分はほぼ一致しているが、138日から148日までは40 mGalを越えるような差がある。こうした長周期成分の差を修正するため、アルチメトリのフリーエア異常値を船上重力計のフリーエア異常値から引いたものに対して白嶺丸の測線に沿って幅720分(半日)のガウシアンローパスフィルターをかけ、得られたものを元の船上重力計のフリーエア異常値から差し引いた。こうして高周波部分は船上重力計、低周波(長波長)部分はアルチメトリの特性を持ったデータが作成できる。この操作により測線間の全交点100,093点のRMS CODは6.1 mGalから4.5 mGalへ小さくすることができた(第10図B)。

5.4 レベリング補正

さらに交点での誤差を小さくするため、磁気異常と同様なレベリング補正計算を行なった。ローパスフィルターの時間幅としては1時間を採用し、15回の繰り返し計算を行なった。この補正によりRMS CODは4.5 mGalから3.2 mGalへと小さくなった(第10図A)。

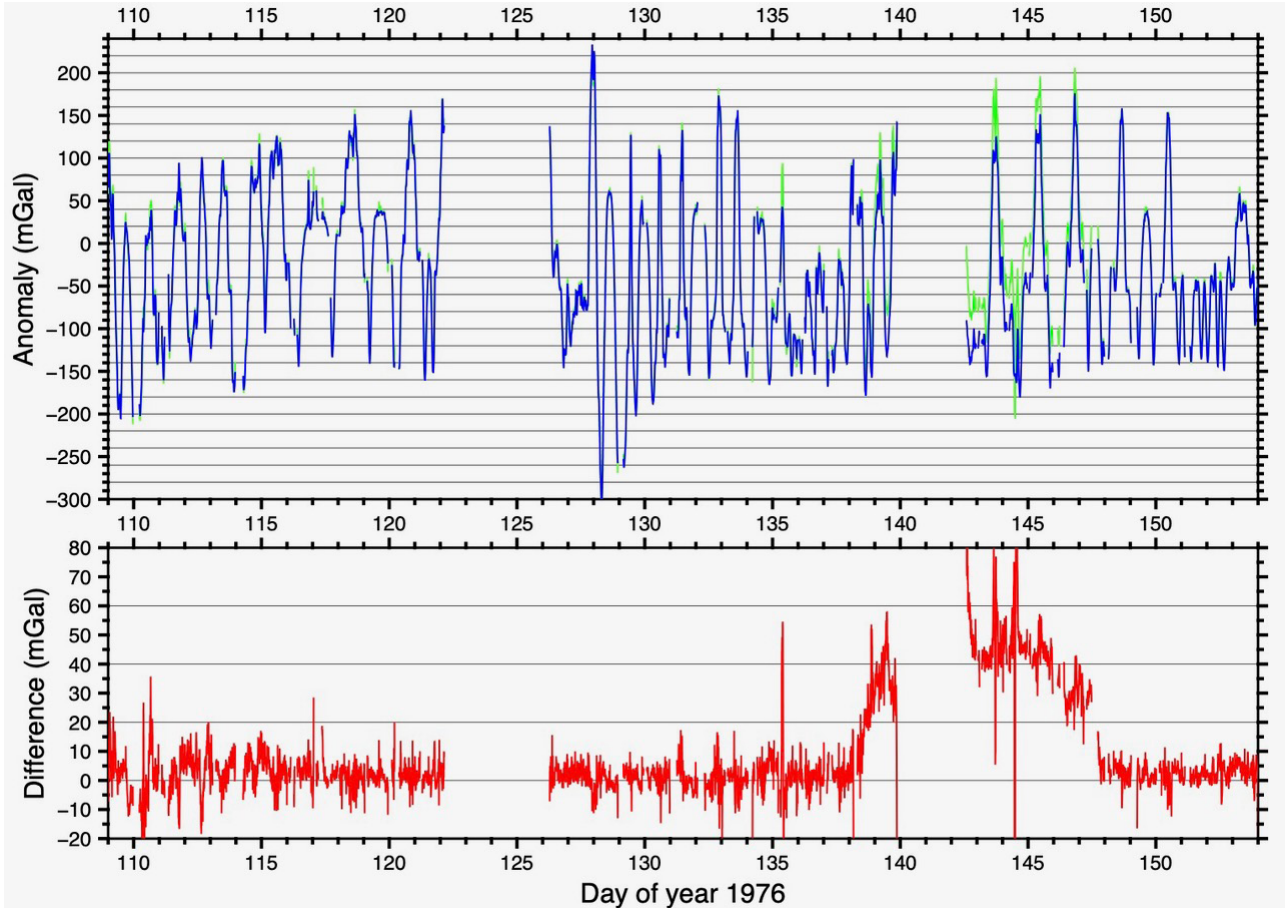
5.5 重力異常図

第12図は日本海南部のアルチメトリによるフリーエア重力異常と白嶺丸航海で得られたものを比較したものである。北西側の部分は後者のデータが十分でないので比較できないが、山陰から北陸にかけての日本沿岸では前者(第12図A)ではNS方向の短波長のノイズで線状の異常がやや不明瞭になっているのに対し、後者(第12図B)では主にNE-SWからENE-WSW方向の線状の異常がより明瞭に確認される。また、西側の水深が深くスムーズな海底地形の対馬海盆では、アルチメトリによるデータには短波長のノイズが残っているが、航海データはより



第10図 白嶺丸航海の測線の交点100,093点でのフリーエア重力異常値の差の分布. A) アルチメトリ補正及びレベリング補正後でRMS COD 3.2 mGal, B) アルチメトリ補正後でRMS COD 4.5 mGal, C) 補正前でRMS COD 6.1 mGal.

Fig. 10 Distribution of 100,093 crossover differences (CODs) of free air gravity anomalies obtained by Hakurei-maru cruises. A) After altimetry and leveling corrections with an RMS of 3.2 mGal. B) After altimetry correction with an RMS of 4.5 mGal. C) Before correction with an RMS of 6.1 mGal.



第11図 上図) GH762航海のS63船上重力計で得られたフリーエア異常値(緑線)とアルチメトリデータから得られる同一地点のフリーエア異常値(青線)の比較。下図)船上重力計の値—アルチメトリから得られた値。

Fig. 11 Above) comparison of free-air anomalies obtained by S63 gravimeter in GH762 cruise (green line) and those obtained by interpolation of gridded altimetry data (blue line). Below) Difference of gravimeter data from the altimetry data.

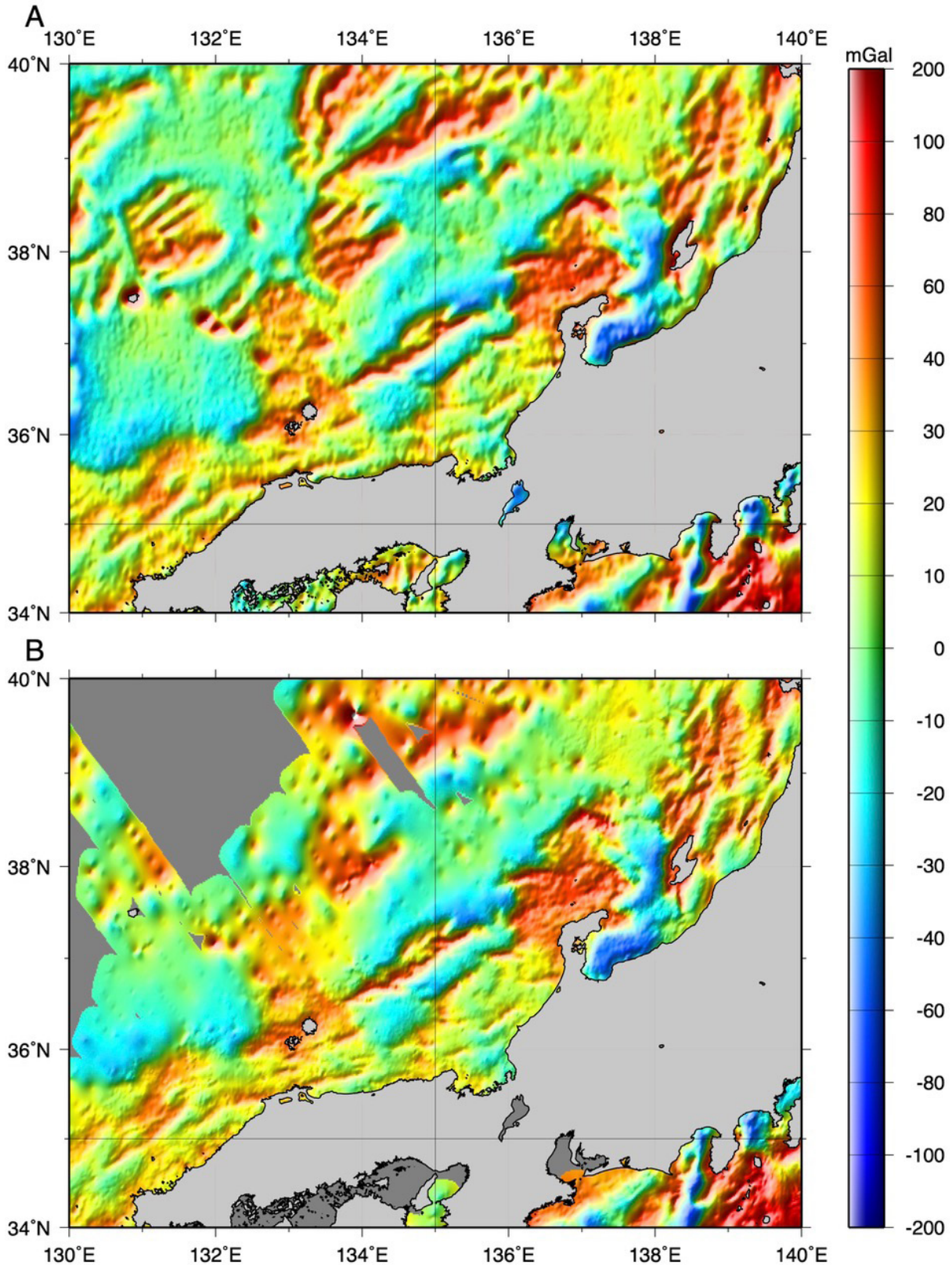
滑らかな重力異常となっている。

第13図は上記のアルチメトリ補正とレベリング補正後のデータを用いて作成した日本周辺海域全域のフリーエア異常図である。

6. 考察

重力データではフィルター処理が問題になる。重力計で取得されるデータでは、船の動揺等のノイズがより高周波側に、海底下の地質構造を反映する重力異常がより低周波側にあることを利用して、最適なローパスフィルターを使ってノイズを消して重力異常のみをとりだすことになる(Childers *et al.*, 1999)。本研究で重力データ処理に使われているフィルターの周波数応答を比較検討してみる。よく知られているように、ガウス関数のフーリエ変換はガウス関数になり(例えば, Gubbins, 2004), 周波数を f , 標準偏差を σ とすると、周波数応答は $\exp[-(2\pi f\sigma)^2/2]$ となる。SL2重力計のフィルターの応答はフルスケール520 sのガウシアンフィルターで近似すると、

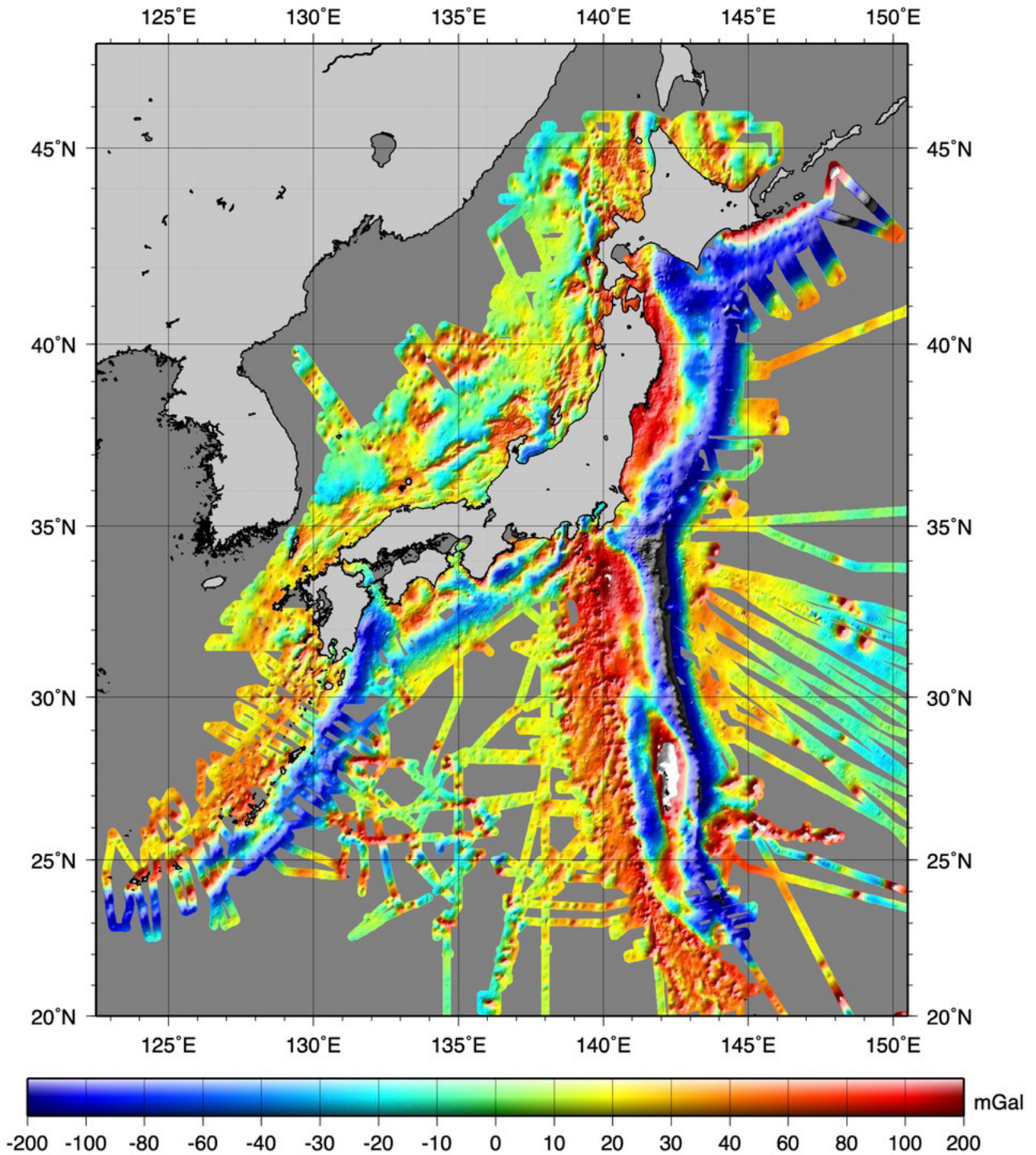
$6\sigma = 520$ sより $\sigma = 86.7$ sを入力すれば良い。一方、S63重力計の場合、時定数 T のRCフィルターを時間について正逆方向1回ずつかけた場合の周波数応答は $1/[1+(2\pi fT)^2]$ で表され、正方向のみの場合はこの平方根となる。この関数を時定数20 sのもの3回、60 sのもの2回を掛け合わせるとフィルターの周波数応答が得られる。第14図にはこのような計算による各重力計のフィルターの周波数応答を示した。各フィルターの応答の半減する周波数(周期)はSL2重力計0.00216 Hz (463 s), S63重力計0.00232 Hz (431 s), S63重力計に逆方向の同じRCフィルターをかけた時間について対称にしたもの(本報告のデータ)0.00154 Hz (649 s)である。船速10 kt (ノット, 1 kt = 1.852 km/h)を仮定すると、SL2重力計のデータでは周期7.5分(波長2.3 km), S63重力計に逆方向の同じRCフィルターをかけたデータでは周期10分(波長約3.1 km)より短周期(短波長)の重力異常は大きく減衰することになる。SL2重力計の場合は大きな問題にはならないかもしれないが、1986年以前の大陸棚などの水深が浅いとこ



第12図 日本海南部海域のフリーエア重力異常. A)衛星アルチメトリにより得られたデータ. B)白嶺丸航海で得られたアルチメトリ補正及びレベルング補正後のデータを使ったもの.

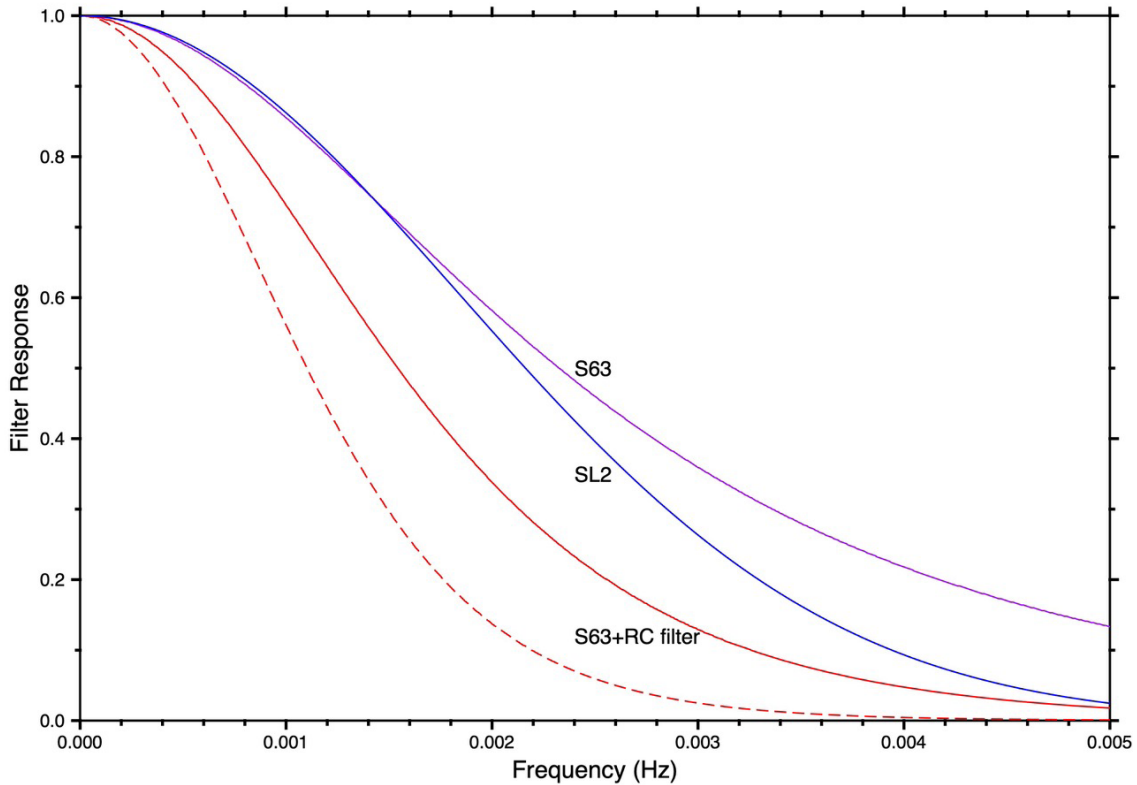
Fig. 12 Free air gravity anomalies in the southern part of Japan Sea. A) Data obtained by satellite altimetry. B) Data obtained by Hakurei-maru cruises after altimetry and leveling corrections.

Gravity anomaly data collected by Hakurei-maru



第13図 アルチメトリ補正及びレベリング補正後の白嶺丸で取得されたデータを使って作成した日本周辺のフリーエア重力異常図.

Fig. 13 Free air gravity anomaly map around Japan created using data obtained by Hakurei-maru cruises after altimetry and leveling corrections.



第14図 重力計データの周波数応答. SL2 (青色), S63 (紫色), S63に逆向きで同じRCフィルターをかけたもの (赤色), さらに時定数120 sのRCフィルターを正逆方向2回ずつかけたもの (赤破線).

Fig. 14 Filter responses of gravity data. SL2 gravimeter (blue), S63 gravimeter (purple), S63 gravimeter after applying the same RC filters but in the reverse time direction (red), and S63 gravimeter after further applying two times of normal and reverse RC filters with time constant of 120 s (red dashed lines).

ろで観測されたS63重力計のデータでは短波長の重力異常の振幅がフィルターのために減衰しているものがあるかもしれない。水深1,000 m以上の深海部ではソースから遠いので海上で測定される短波長の異常は元々測定にかからないくらい小振幅になっていてあまり問題にならないと推定される。

ただ、本報告のデータでもノイズが取りきれていないケースがある。第15図に対馬北東沖の海域でGH854航海により取得されたデータを示したが、周期10～15分程度で連続する高周波のノイズがまだ残っている(図の中央部11～16時の青線)。このノイズを取り除くため、重力計とエトベス補正のデータの各々にさらに時定数2分($\Delta t/T = 1/12$)のRCフィルターを正逆両方向に2回かけた(赤線、周波数応答は第14図の赤破線)。このフィルター処理により、この高周波ノイズは取り除くことができたが、こうした処理を施すと、ノイズだけでなく有用なシグナルも取り除くことにつながりかねないので公開するデータには含めないことにした。

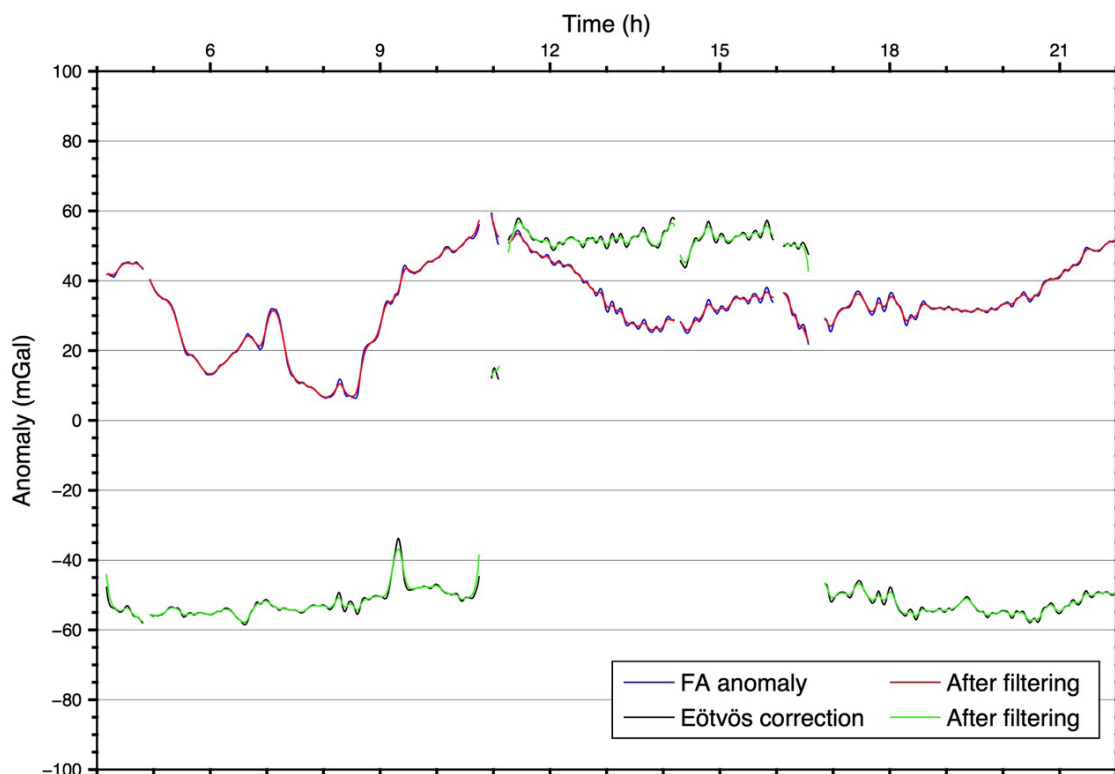
7. まとめ

白嶺丸の最初の航海から50年近く、最終航海から20

年以上が過ぎ、データ取得の担当者の多くが退職等ではなくなりデータ保存が難しくなる中、旧地質調査所によるほとんどの航海の重力・磁力データを整備し、マンガ航海の一部とGH803航海後半部分を除いて、1分間隔の均質なデータを作成することができた。

整備した航海の全データに対する磁気異常のRMS CODは38.0 nT, レベリング補正後26.1 nTとなった。フリーエア異常のRMS CODは6.1 mGal, アルチメトリ補正・レベリング補正後のRMS CODは3.2 mGalとなった。これらの補正により、測線に沿う不自然な異常のない磁気異常図、アルチメトリによるフリーエア異常よりノイズの少ない重力異常図を作成することができた。

LaCoste & Romberg社製船上重力計の公称精度は1 mGalといわれていて、それと比較すると上記結果はかなりよくない。原因の一つはフリーエア異常を計算するためには、標準重力値のために緯度の情報、エトベス補正のために東向きの船速と緯度の情報が必要となることである。標準重力値は赤道から北極・南極へ緯度とともに単調に増加するが、緯度1分の誤差で最大1.5 mGal程度の誤差が生じるので、測位精度の悪い1982年以前のデータにはこの影響もあるかもしれない。ただ、船速の



第15図 フリーエア重力異常(青線)とエトベス補正(黒線)とそれらに時定数120 sのRCフィルターを正逆方向に2回かけた値(赤線と緑線). S63重力計データ(GH854航海の9月12日)の例.

Fig. 15 Free air anomalies (blue) and Eötvös corrections (black) and the values after further applying two times of normal and reverse RC filters with time constant of 120 s (red and green). An example of S63 gravimeter data collected on September 12 during GH854 cruise.

精度の方がもっと重要で、エトベス補正を1 mGalの精度で得るためには船速を0.1 ~ 0.2 ktの精度で求めなければならない。電磁ログの船速の精度は10 %程度(船速10 ktなら1 kt)といわれていて、再計算船位でも船速は十分な精度で得られていないと推定される。実際、フリーエア異常の交点誤差では船速として電磁ログのみを用いていた1982年以前のデータのRMS CODがそれ以後のものに比べて大きい傾向がある。地域を限ってもう一度解析してみれば、より良い結果が得られるかもしれないが、その際は、今回整備したマスターデータが利用できるであろう。2000年以降の海洋地質図航海は第2白嶺丸を使用して行われた。測位にはSAなしのGPSが使用されており、1秒間隔のデータが取得されている。交点誤差の小さいより高精度の重力異常が得られていると期待される。

8. 公開するデータについて

地質調査総合センター研究資料集no. 714として公開している(石原, 2021)。1974年から1999年までの地質調査船白嶺丸の82回の航海で取得された測位・重力・水深・地磁気のデータを、航海毎にファイルを分け、wnav_files (マスターデータ)、wgdl_files (重力・水深データ)、

wmag_files (磁力データ)の3種類のフォルダーに納めている。

データがないところは、水深観測値、水深補正值、水深補正表番号、磁力観測値、重力読取値、重力値は0、エトベス補正とフリーエア異常、フリーエア異常値は9999.9としている。重力・水深データには測位データだけのところも含むが、磁力データはデータがあるところのみのデータである。

謝辞：白嶺丸の船上重力計・磁力計のデータ取得は、著者の他、村上文敏・中条純輔・宮崎光旗・西村清和・上嶋正人・奥田義久・玉木賢策・山崎俊嗣・棚橋 学・岸本清行・木川栄一・森尻理恵・佐柳敬造・駒澤正夫・小田啓邦の各氏によって行われた。また、歴代の白嶺丸船長をはじめとする乗組員に大変お世話になった。チャートのスキャンの一部は井上絵里さんに手伝っていただいた。査読者小田啓邦博士、編集委員森尻理恵博士から貴重なコメントをいただき本稿を大幅に改善することができた。図面の作成にはGMT (Generic Mapping Tools ; Wessel *et al.*, 2013)を使用した。

文 献

- Akima, H. (1970) A new method of interpolation and smooth curve fitting based on local procedures. *Journal of the Association for Computing Machinery*, **17**, 589–602.
- Chambodut, A. and M. Manda (2005) Evidence for geomagnetic jerks in comprehensive models. *Earth Planets Space*, **57**, 139–149.
- Childers, V.A., R.E. Bell and J.M. Brozena (1999) Airborne gravimetry: an investigation of filtering. *Geophysics*, **64**, 61–69.
- Glicken, M. (1962) Eötvös corrections for a moving gravity meter. *Geophysics*, **27**, 531–533.
- Gubbins, D. (2004) Time series analysis and inverse theory for geophysicists. 255pp. Cambridge University Press.
- 石原丈実 (1977) 人工衛星測位装置 (NNSS) による位置測定. 地質ニュース, no. 280, 30–35.
- Ishihara, T. (2015) A new leveling method without the direct use of crossover data and its application in marine magnetic surveys: weighted spatial averaging and temporal filtering. *Earth Planets Space*, **67**. doi:10.1186/s40623-015-0181-7
- 石原丈実 (2021) 白嶺丸重磁力データ. 産総研地質調査総合センター研究資料集, no. 714, 産総研地質調査総合センター. 2p.
- 岸本清行・石原丈実・玉木賢策 (1984) 地質調査所における海洋地球物理データ処理の現状. 最近の海底調査—その4—, 39–45.
- LaCoste, L. (1983) LaCoste and Romberg straight-line gravity meter. *Geophysics*, **48**, 606–610.
- 水野篤行 (1985) 海洋地質部の研究の概要 (昭和59年度). 地質ニュース, no. 367, 6–12.
- Moritz, H. (2000) Geodetic Reference System 1980. *Journal of Geodesy*, **74**, 128–133.
- Nettleton, L. L. (1976) Gravity and Magnetics in Oil Prospecting, 464 pp. McGraw-Hill, Inc.
- Sabaka, T. J., Olsen, N. and Purucker, M. E. (2004) Extending comprehensive models of the Earth's magnetic field with Ørsted and CHAMP data. *Geophysical Journal International*, **159**, 521–547.
- Sandwell, D.T., R.D. Müller, W.H.F. Smith, E. Garcia, and R. Francis (2014) New global marine gravity model from Cryosat-2 and Jason-1 reveals buried tectonic structure. *Science*, **346**, 65–67.
- Valliant, H. D. (1991) The LaCoste & Romberg air/sea gravity meter: an overview. *CRC Handbook of Geophysical Exploration at Sea, 2nd Edition, Hydrocarbons*, 141–176.
- Wessel, P., W. H. F. Smith, R. Scharroo, J. F. Luis and F. Wobbe (2013) Generic Mapping Tools: Improved version released, *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, **94**, 409–410.
- 米澤弓雄 (1995) 基礎航海計器 (改訂版). 航海計器シリーズ1, 169pp. 成山堂書店.

(受 付 : 2021年2月22日 ; 受 理 : 2021年6月18日)

関東山地東縁部に分布する蛇紋岩のクロムスピネル化学組成

原 英俊^{1,*}・久田 健一郎²

HARA Hidetoshi and HISADA Ken-ichiro (2021) Geochemistry of chromian spinels from serpentinites distributed in eastern margin of the Kanto Mountains. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 72 (5), p. 447-458, 5 figs, 2 tables.

Abstract: We report geochemistry of chromian spinels from serpentinites distributed in the eastern margin of the Kanto Mountains. The serpentinites in this area are observed in three geological units, 1) Sanbagawa metamorphic rocks (Kobunoyama Serpentinite), 2) Mikabu greenstones, 3) Chichibu accretionary complex (Komataka Serpentinite). The geochemical data of chromian spinels were examined using Cr-Al-Fe³⁺ relationship, Cr# = Cr/(Cr+Al) atomic ratio, Mg# = Mg/(Mg+Fe²⁺) atomic ratio, Y_{Fe} = Fe³⁺/(Cr+Al+Fe³⁺) atomic ratio, and TiO₂ wt%. The chromian spinels of the Kobunoyama Serpentinite within the Sanbagawa metamorphic rocks present Cr# (0.49-0.50) and Mg# (0.56-0.60), and TiO₂ concentration (less than 0.04 wt%). The chromian spinels of serpentinites within the Mikabu greenstones show a negative correlation between Cr# (0.33-0.66) and Mg# (0.01-0.38), and TiO₂ concentration (3.6-13.3 wt%). In addition, Mg# and Fe³⁺ concentration suggest that the chromian spinels were subjected to alternation and metamorphism, and have no original geochemical information in the Mikabu greenstones. The chromian spinels of the Komataka Serpentinite within the Chichibu accretionary complex present Cr# (0.37-0.49), Mg# (0.63-0.66), and TiO₂ concentration (less than 0.4 wt%), presenting similar geochemical data from the Kobunoyama Serpentinite. The chromian spinels of the Komataka and Kobunoyama serpentinites are characterized by lower Cr# and higher Mg# against those of the serpentinites interpreted as eastern extension of the Kurosegawa Belt (Southern margin of Sanchu Cretaceous System, Naguri Fault, Kiroko Mélange).

Keywords: Serpentinite, chromian spinel, Sanbagawa metamorphic rocks, Mikabu greenstones, Chichibu accretionary complex, Kanto Mountains

要 旨

関東山地東縁部に分布する蛇紋岩のクロムスピネル化学組成について報告を行う。この地域の蛇紋岩は、1) 三波川変成岩類(古武ノ山蛇紋岩)、2) 御荷鉾緑色岩類、3) 秩父帯付加コンプレックス(駒高蛇紋岩)と3つの地質体の分布域に認められる。クロムスピネルの化学組成の検討は、Cr-Al-Fe³⁺の関係、Cr# = Cr/(Cr+Al)原子比、Mg# = Mg/(Mg+Fe²⁺)原子比、Y_{Fe} = Fe³⁺/(Cr+Al+Fe³⁺)原子比及びTiO₂ wt%を用いた。Cr#、Mg#及びTiO₂ wt%に着目すると、三波川変成岩類に伴う古武ノ山蛇紋岩のクロムスピネルについては、Cr#とMg#は、それぞれ0.49～0.50及び0.56～0.60の狭い組成範囲に集中する。TiO₂は0.04 wt%以下を示す。御荷鉾緑色岩類中の蛇紋岩のクロムスピネルでは、Cr#とMg#はそれぞれ0.33～0.66及び0.01～0.38と相対的に広い組成範囲を示し、両者には負

の相関が認められる。TiO₂は3.6～13.3 wt%を示す。またMg#やFe³⁺含有量などから、クロムスピネルは変質及び変成作用の影響を受け、初生的な化学組成を保持していないと考えられる。秩父帯付加コンプレックス中の駒高蛇紋岩のクロムスピネルは、Cr#が0.37～0.49、Mg#が0.63～0.66と狭い組成範囲を示し、またTiO₂は0.4 wt%以下である。駒高蛇紋岩のクロムスピネルは、古武ノ山蛇紋岩のクロムスピネルとよく似た化学組成を示す。既存のデータによると、駒高蛇紋岩と古武ノ山蛇紋岩のクロムスピネルは、黒瀬川帯東方延長と考えられる蛇紋岩(山中白亜系南縁、名栗断層、木呂子メランジュ)のクロムスピネルより低いCr#と高いMg#を特徴とする。

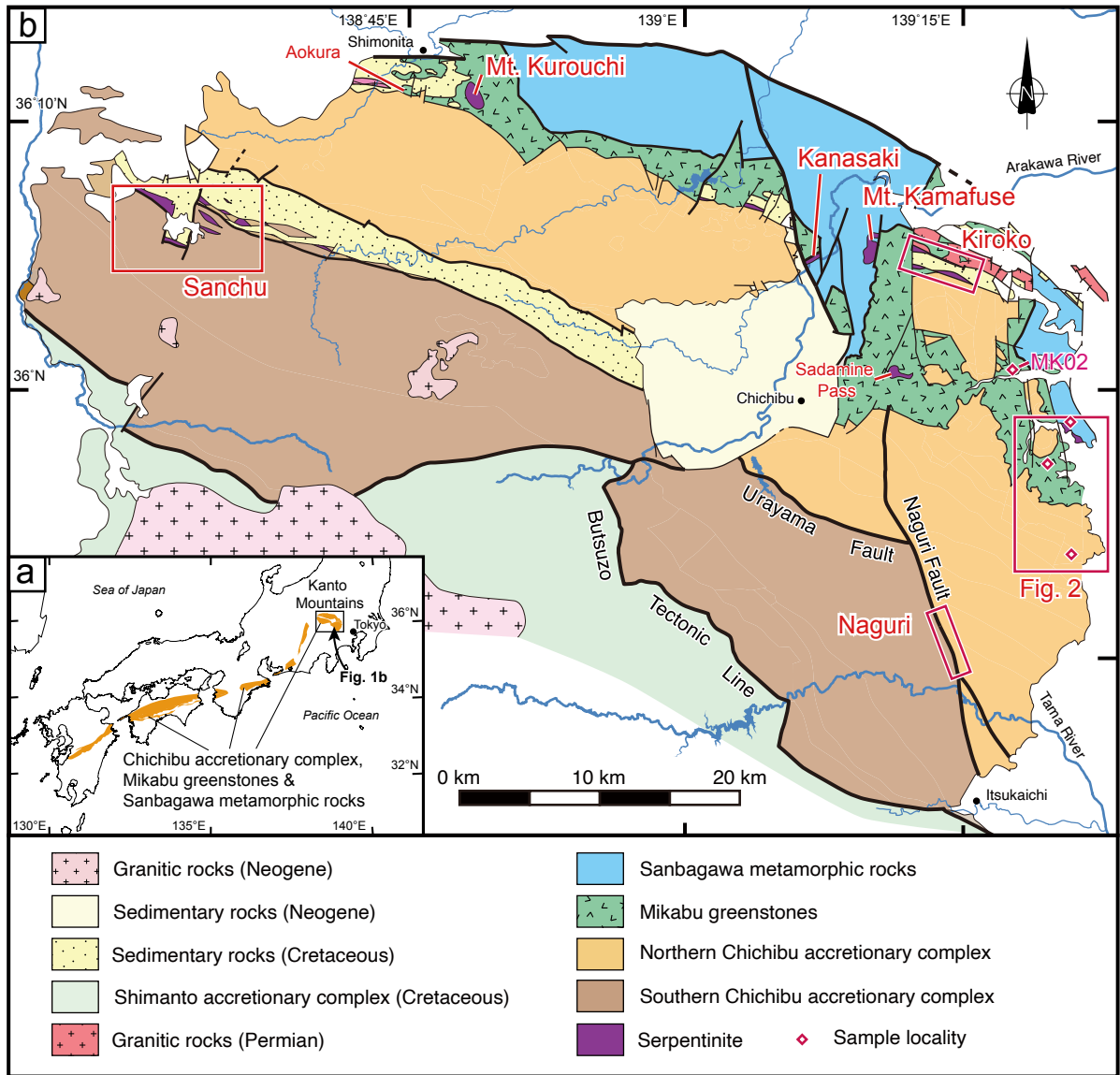
1. はじめに

関東山地の先白亜系には、超塩基性岩である蛇紋岩の分布が認められる(第1図)。関東山地の代表的な蛇紋

¹産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

²文教大学教育学部 (Faculty of Education, Bunkyo University, 3337 Minami-Ogishima, Koshigaya, Saitama 343-8511, Japan)

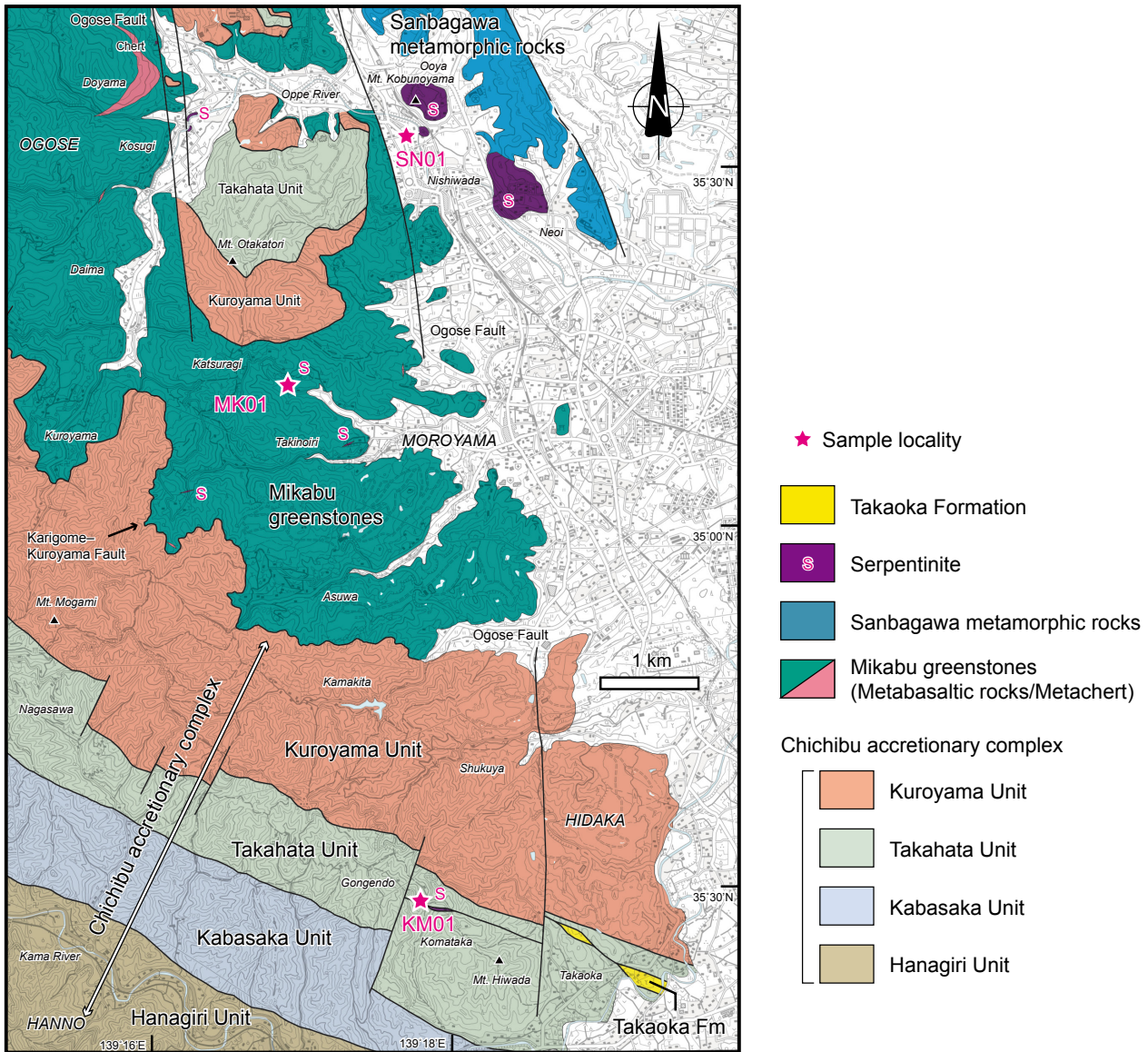
* Corresponding author: HARA, H., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: hara-hide@aist.go.jp



第1図 関東山地の地質概略。(a) 関東山地の位置図。(b) 関東山地の地質図及び蛇紋岩の分布。
 地質図は牧本・竹内(1992)及び20万分の1日本シームレス地質図V2(産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2020)を参照した。
 Fig. 1 Geological outline of the Kanto Mountains. (a) Location of the Kanto Mountains. (b) Geological map of the Kanto Mountains and distribution of serpentinite.
 Geological map is based on Makimoto and Takeuchi (1992) and the Seamless Digital Geological Map of Japan (1:200,000) V2 (Geological Survey of Japan, AIST, 2020).

岩としては、^{さんちゅう}山中地溝帯の白亜系(以後、山中白亜系)の南縁部に沿う蛇紋岩(平野・飯泉, 1973; 久田ほか, 1987; Hirauchi, 2006), 跡倉ナップの主に南縁部を占める緑色岩メランジュ(木呂子メランジュ)に伴う蛇紋岩(平島, 1984; 牧本・竹内, 1992; 小川町史編さん委員会, 1999; 坂ほか, 2005), また名栗断層沿いには小規模ながら点在して蛇紋岩(小澤・小林, 1985; Hisada and Arai, 1989; 坂ほか, 1989; 島村ほか, 2003)が露出することが知られている。これらの蛇紋岩は、しばしば黒

瀬川帯の蛇紋岩に対比されるとして議論されている(平島, 1984; Hisada and Arai, 1989; 坂ほか, 1989)。他にも、三波川変成岩類や御荷鉾緑色岩類中に蛇紋岩の岩体の存在が知られている(Seki and Kuriyagawa, 1962; Tazaki, 1966; Hisada *et al.*, 1993; 牧本・竹内, 1992; 小林, 2012; 井澤, 2018)。一方これら以外に、関東山地東縁部において小規模ながら蛇紋岩の分布が認められている(日高町史編集委員会, 1991; 埼玉県地質図編纂委員会, 1999)。しかし関東山地東縁部に分布する蛇紋岩



第2図 関東山地東縁部の地質図及び試料採取地点。

地形図は北海道地図株式会社GISMAP50000R+「川越」による。基図については、国土地理院長の承認を得て、同院発行の2万5千分の1地形図を使用した(承認番号：R2JHs 66-GISMAP44734号)。

Fig. 2 Geological map of eastern margin of the Kanto Mountains and sample localities.

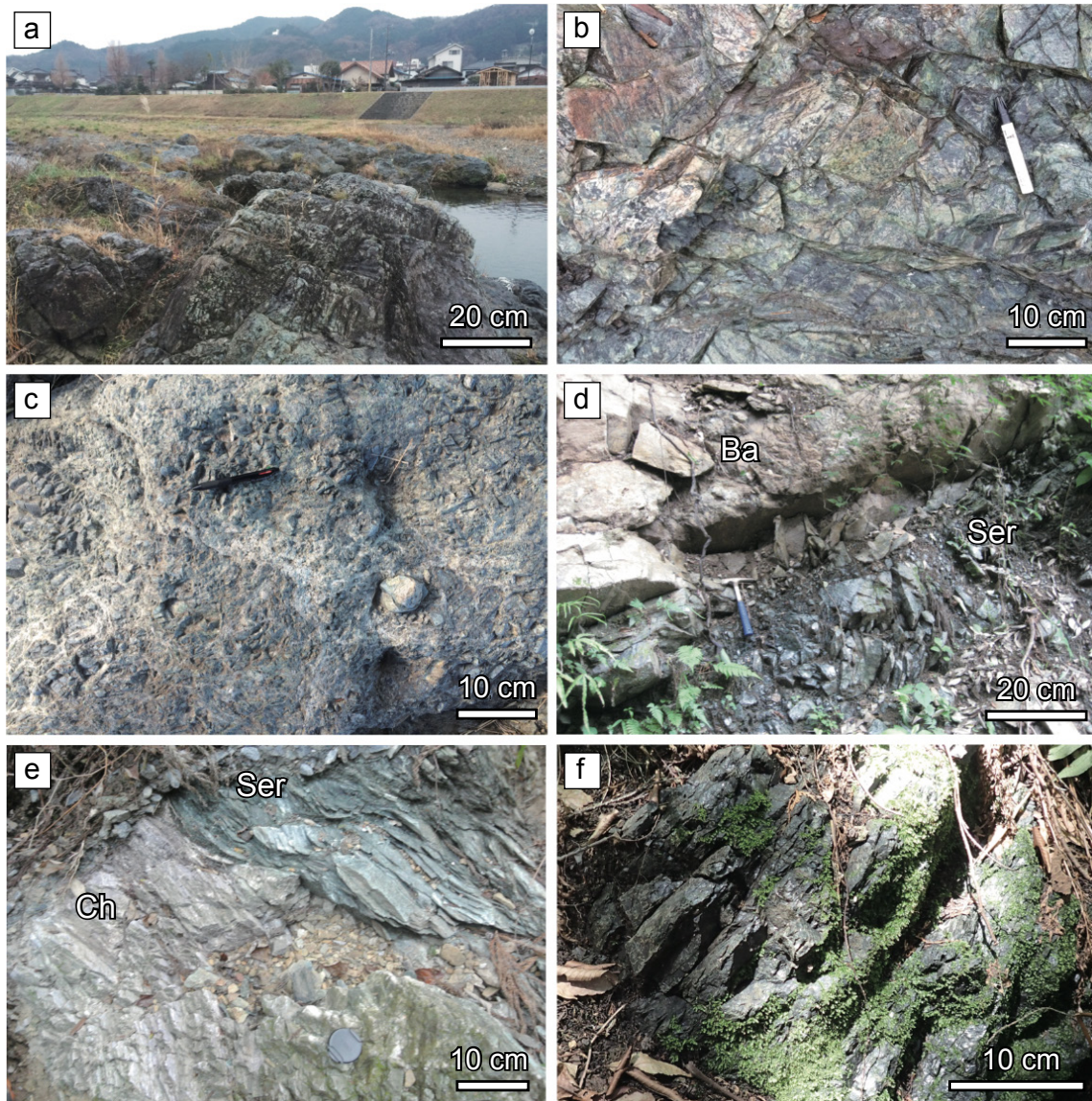
Topographic map is based on GISMAP50000R+ “Kawagoe” by Hokkaido-Chizu Co. Ltd. Base map used 1:25,000 topographic map by the Geospatial Information Authority of Japan with its approval (Approval number: R2JHs 66-GISMAP44734).

は、岩石記載などの詳しい報告はこれまでに行われていない。本報告では、関東山地東縁部に分布する蛇紋岩について記載するとともに、それぞれの蛇紋岩中で観察されたクロムスピネルの化学組成を報告する。クロムスピネルは、上部マントル起源のかんらん岩類やMgに富む火成岩に含まれ、その化学組成は岩石の形成条件に関して有益な情報をもたらす(荒井, 1992; Arai, 1992; Arai *et al.*, 2011)。そこで、関東山地東縁部における蛇紋岩と、すでに報告されている関東山地の蛇紋岩について、クロ

ムスピネル化学組成の比較を行う。

2. 関東山地東縁部の蛇紋岩

関東山地東縁部の蛇紋岩は、越生町古武ノ山周辺の三波川変成岩類に伴う岩体(古武ノ山蛇紋岩)、毛呂山滝ノ入〜桂木の御荷鉾緑色岩類中の小規模な岩体、日高市駒高の秩父帯付加コンプレックス中の岩体(駒高蛇紋岩)と3つの産状に区別される(第2図)。それぞれの蛇紋岩について、以下に記載する。



第3図 蛇紋岩の露頭写真.

(a-c) 三波川変成岩類に伴う古武ノ山蛇紋岩. (a) 越辺川沿いの露頭. (b) 葉状な蛇紋岩. (c) 塊状な蛇紋岩. (d, e) 御荷鉾緑色岩中の蛇紋岩. (d) 変成玄武岩と接する蛇紋岩. (e) 変成チャートと接する蛇紋岩. (f) 秩父帯付加コンプレックス中の駒高蛇紋岩. Ser: 蛇紋岩, Ba: 変成玄武岩, Ch: 変成チャート.

Fig. 3 Outcrop photographs of serpentinite.

(a-c) Kobunoyama Serpentinite within the Sanbagawa metamorphic rocks. (a) Outcrop along the Oppe River. (b) Foliated serpentinite. (c) Massive serpentinite. (d, e) Serpentinite within the Mikabu greenstones. (d) Serpentinite contacted with metabasalt. (e) Serpentinite contacted with metachert. (f) Komataka Serpentinite within the Chichibu accretionary complex. Ser: Serpentinite, Ba: Metabasalt, Ch: Metachert.

2.1 三波川変成岩類に伴う蛇紋岩

越生町大谷及び西和田の古武ノ山、如意の山吹の里歴史公園周辺の2地域で、蛇紋岩がまとまって露出する(以後、古武ノ山蛇紋岩). 古武ノ山蛇紋岩は、越辺川の河床で新鮮な露頭が露出する(第3図a). 古武ノ山蛇紋岩からはクロムの採掘が行われ、またクロムざくろ石(灰クロムざくろ石)の産出が知られている(小林, 1986; 越生

町教育委員会, 2008). 古武ノ山蛇紋岩は、最大幅約800 m, 長さ約2000 mで、三波川変成岩類の西側に、苦鉄質片岩ないし泥質片岩の片理面の構造に対し平行に分布する. なお蛇紋岩と三波川変成岩類の関係は露頭で見出せていないため不明である. 蛇紋岩は、一般に葉片状であり、表面光沢がよく観察される(第3図b). 一部に塊状な蛇紋岩が産出する(第3図c). 蛇紋岩は、主に蛇紋石か

らなり、クロムスピネルや磁鉄鉱を伴う。蛇紋岩化が進み、残存かんらん石は未確認である。蛇紋石は網目状の組織を示し、蛇紋石中にクロムスピネルが点在して存在する。また約1～数mmのバスタイト化した斜方輝石の仮像が認められる(第4図a, b)。まれに単斜輝石が残存するが、1 mm以下で斜方輝石に比べ小さく、その多くは変質が進んでいる。クロムスピネルは、暗赤褐色ないし不透明であり、長径0.3 mm以下が多く、最大長径0.5 mm程度の大きさからなる。自形～半自形をなし、蛇紋石中に点在し認められる。反射顕微鏡下では、クロムスピネルの縁に沿って明るい帯をなす変質部がわずかに観察される(第4図g)。

2.2 御荷鉾緑色岩類中の蛇紋岩

関東山地東部の御荷鉾緑色岩類は、上部と下部に分けられている(牧本・竹内, 1992)。上部は主に變成玄武岩類からなり、下部は主に泥質片岩からなり變成玄武岩類を含む地質体である(牧本・竹内, 1992)。徳田・原(1979)及び徳田(1986)は、御荷鉾緑色岩類の下部は、御荷鉾緑色岩類と三波川變成岩類が接合した際に発達した断層剪断帯(テクトニックメランジュ)と解釈した。また20万分の1シームレス地質図(産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2020)では、この下部を三波川變成岩類に帰属させている。関東山地東縁部では、御荷鉾緑色岩類の上部のみが分布し、そこに含まれる蛇紋岩について検討を行った。

御荷鉾緑色岩類の上部に含まれる蛇紋岩は、毛呂山町滝ノ入や桂木付近に、厚さ数m～10 mで、變成玄武岩中に小規模に点在する。この他にも、御荷鉾緑色岩類の上部には、厚さ100 m以下の岩体が變成玄武岩類中に多数分布する(牧本・竹内, 1992)。また貫入岩体として、變成玄武岩や變成チャートに接して露出することもある(第3図d, e)。一般に、蛇紋岩化の程度は比較的弱く、主にやや蛇紋石化したかんらん石と単斜輝石及び蛇紋石からなる(第4図c, d)。かんらん石は、約1～2 mmで円形ないし楕円形を示す。結晶内部に形成された割れ目に沿って蛇紋石化している。また蛇紋石の中には、円形ないし楕円形の形状をなし、かんらん石の仮像を残していることもある。単斜輝石は、約1 mm以下で、かんらん石もしくはその仮像を充填し産出する。一般に自形をなし、劈開が発達する。クロムスピネルは、不透明ないし赤褐色を呈し、約0.5 mm以下の大きさからなる。かんらん石及び蛇紋石中に認められ、かんらん石中では0.2 mm以下、蛇紋石中では0.5 mm以下の大きさをなすことが多い。反射顕微鏡下では、不均質な表面構造を示し、縁辺部の変質とともに多数の空隙が観察される(第4図h)。

2.3 秩父帯付加コンプレックス中の蛇紋岩

秩父帯付加コンプレックス中の蛇紋岩は、日高町史編

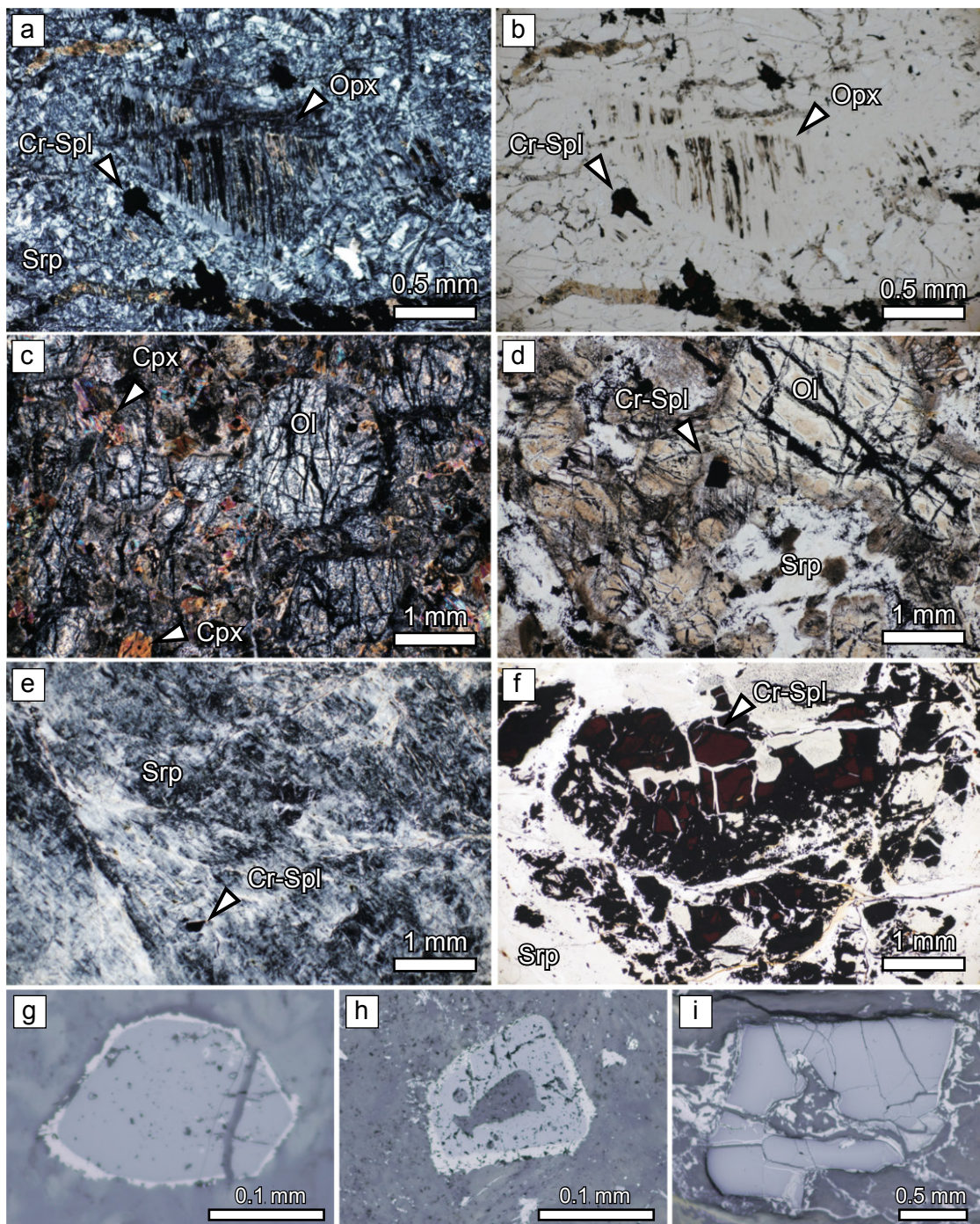
集委員会(1991)により、日高市駒高の道路沿いで報告された。本報告では、この岩体を駒高蛇紋岩と呼ぶ。駒高蛇紋岩は、高畑ユニットのチャート内に、幅数10 m及び長さ400 mで露出する(第2図)。チャートとの直接の関係は見出せていないが、チャート内を通る断層に沿って露出すると推定される。駒高蛇紋岩は葉状構造をなし(第3図f)、主に網目状ないしモザイク状の組織を示す蛇紋石からなり、蛇紋岩化が著しく進んでいる(第4図e)。またクロムスピネルや磁鉄鉱を伴う。クロムスピネルは、自形をなし、赤褐色～暗褐色を呈し、長径0.2～0.5 mmの大きさで蛇紋石中に点在して認められる。また1 mm以下のクロムスピネルの濃集部も認められる(第4図f)。反射顕微鏡下では、割れ目が認められるが、変質などのない均質な表面が観察される(第4図i)。

3. クロムスピネルの化学組成

化学組成の分析は、筑波大学研究基盤総合センターの電子線マイクロアナライザー(EPMA: Electron Probe Micro Analyzer)を用いた。古武ノ山蛇紋岩と御荷鉾緑色岩類中の蛇紋岩のクロムスピネルについては日本電子社製JXA-8621(加速電圧20 kV, 電流10 nA, ビーム径10 μm)、駒高蛇紋岩のクロムスピネルについては日本電子社製JXA-8530F(加速電圧15 kV, 電流10 nA, ビーム径5 μm)を用いて分析を行った。第1表及び第2表に分析値を示す。クロムスピネルの化学組成上の多様性を表すため、Cr-Al-Fe³⁺の関係、Cr# = Cr/(Cr+Al)原子比、Mg# = Mg/(Mg+Fe²⁺)原子比、Y_{Fe} = Fe³⁺/(Cr + Al + Fe³⁺)原子比が広く用いられている(荒井, 1992; Arai, 1992; Arai *et al.*, 2011)。本報告では、Cr-Al-Fe³⁺の三角ダイアグラム、Mg#とCr#, Cr#とTiO₂ wt%, Y_{Fe}とTiO₂ wt%の組成関係を用いてクロムスピネルの化学組成の検討を行った(第5図)。

三波川變成岩類に伴う蛇紋岩は、古武ノ山南方の越辺川河床より試料(SN01)を採取した(第2図)。Cr-Al-Fe³⁺三角ダイアグラムでは、分析値はほぼCr-Al辺上で両者の中間にプロットされる。Cr#は0.49～0.50、Mg#は0.56～0.60、Y_{Fe}は0.02以下であり、狭い組成範囲に集中している。TiO₂の含有量は0.04 wt%以下である。

御荷鉾緑色岩類中の蛇紋岩は、毛呂山町桂木西方の道路沿いより試料(MK01)を、ときがわ町別所の堂山北麓から試料(MK02)を採取した(第1図, 第2図)。Cr-Al-Fe³⁺三角ダイアグラムでは、分析値はFe³⁺ないしCr-Fe³⁺辺に向かい組成が変化する。試料MK01では、Cr#は0.33～0.66、Mg#は0.07～0.38、Y_{Fe}は0.12～0.53と相対的に広い組成範囲を示し、Cr#とMg#では負の相関が認められる。またTiO₂は3.6～13.3 wt%である。試料MK02では、Cr#は0.61～0.64、Mg#は0.01～0.02、Y_{Fe}は0.62～0.66である。またTiO₂の含有率は4.7～5.9 wt%である。試料MK02は、試料MK01のCr#とMg#が示す負の相関



第4図 蛇紋岩の顕微鏡写真。

(a, b) 三波川変成岩類に伴う古武ノ山蛇紋岩。 (c, d) 御荷鉾緑色岩類中の蛇紋岩化したかんらん岩。 (e) 秩父帯付加コンプレックス中の駒高蛇紋岩。 (f) 駒高蛇紋岩中のクロムスピネル。 (a, c, e)はクロスニコル, (b, d, f)はオープンニコルで撮影。 (g, h, i)クロムスピネルの反射顕微鏡写真。 (g) 古武ノ山蛇紋岩。 (h) 御荷鉾緑色岩類中の蛇紋岩化したかんらん岩。 (i) 駒高蛇紋岩。 Cpx: 単斜輝石。 Cr-Spl: クロムスピネル, Ol: かんらん石, Opx: 斜方輝石, Srp: 蛇紋石。

Fig. 4 Photomicrographs of serpentinite.

(a, b) Kobunoyama Serpentinite within the Sanbagawa metamorphic rocks. (c, d) Serpentinite within the Mikabu greenstones. (e) Komataka Serpentinite within the Chichibu accretionary complex. (f) Chromian spinels in the Komataka Serpentinite. Photographs present under cross polarized light (a, c, e) and plane polarized light (b, d, f). (g, h, i) Reflected plane polarized light of chromian spinels. (g) Kobunoyama Serpentinite. (h) Serpentinite within the Mikabu greenstones. (i) Komataka Serpentinite. Cpx: Clinopyroxene, Cr-Spl: Chromian spinel, Ol: Olivine, Opx: Orthopyroxene, Srp: Serpentine.

第1表 古武ノ山蛇紋岩及び駒高蛇紋岩中のクロムスピネルのEPMA分析結果.

Table 1 Result of EPMA analysis of chromian spinels from the Kobunoyama and Komataka serpentinites.

Kobunoyama Serpentinite with the Sanbagawa metamorphic rocks						Komataka Serpentinite with the Chichibu accretionary complex						
Sample No.	SN01					KM01						
Grain No.	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	0.03	0.01	0.08	0.03	0.00	0.02	0.05	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00
TiO ₂	0.00	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	0.10	0.13	0.14	0.23	0.13	0.40
Al ₂ O ₃	27.68	27.15	27.34	27.50	27.32	27.47	29.65	27.52	28.21	26.53	28.41	35.64
Cr ₂ O ₃	40.17	40.26	40.11	39.47	40.42	40.10	38.02	40.01	39.16	37.85	39.56	31.66
FeO	17.48	17.04	17.31	17.65	15.24	18.23	16.75	16.52	16.87	15.02	16.11	15.93
MnO	0.33	0.35	0.31	0.39	0.29	0.30	0.25	0.23	0.20	0.26	0.23	0.27
MgO	12.87	12.77	12.27	12.74	13.03	12.33	14.45	14.37	13.88	13.82	14.56	14.91
NiO	0.06	0.11	0.04	0.09	0.04	0.02	0.14	0.14	0.20	0.09	0.09	0.18
CaO	0.03	0.00	0.03	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.03
K ₂ O	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
Total	98.65	97.73	97.53	97.92	96.36	98.54	99.40	98.98	98.73	93.82	99.09	99.01
Atoms per formula unit												
O = 4												
Ti	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.002	0.003	0.003	0.006	0.003	0.009
Al	0.993	0.984	0.995	0.994	1.000	0.991	1.038	0.975	1.002	0.989	1.001	1.220
Cr	0.967	0.979	0.979	0.957	0.992	0.970	0.893	0.951	0.933	0.947	0.935	0.727
Fe	0.445	0.438	0.447	0.453	0.396	0.467	0.416	0.415	0.425	0.397	0.403	0.387
Mn	0.009	0.009	0.008	0.010	0.008	0.008	0.006	0.006	0.005	0.007	0.006	0.007
Mg	0.584	0.586	0.565	0.582	0.603	0.562	0.640	0.644	0.624	0.652	0.649	0.645
Fe ²⁺	0.415	0.412	0.433	0.416	0.396	0.436	0.356	0.351	0.371	0.342	0.347	0.344
Fe ³⁺	0.038	0.033	0.021	0.046	0.006	0.037	0.062	0.064	0.053	0.052	0.056	0.032
Mg#	0.58	0.59	0.57	0.58	0.60	0.56	0.64	0.65	0.63	0.66	0.65	0.65
Cr#	0.49	0.50	0.50	0.49	0.50	0.49	0.46	0.49	0.48	0.49	0.48	0.37
Y _{Fe}	0.02	0.02	0.01	0.02	0.00	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02

する値の範囲の中にある。いずれの試料も高いTiO₂含有量を示す。

秩父帯付加コンプレックス中の駒高蛇紋岩は、日高町史編集委員会(1991)による道路沿いの露頭では、現在では植生が茂り風化が進んでいる。そのため、この岩体の西方延長の沢沿いの露頭から試料(KM01)の採取を行った(第2図)。Cr-Al-Fe³⁺三角ダイヤグラムでは、分析値はほぼCr-Al辺上で両者の中間にプロットされる。Cr#は0.37~0.49, Mg#は0.63~0.66, Y_{Fe}は0.02~0.03であり、狭い範囲に集中する。TiO₂の含有量は0.1~0.4 wt%である。

4. クロムスピネル化学組成の特徴

4.1 三波川変成岩類に伴う蛇紋岩

関東山地東部の三波川変成岩類に伴う蛇紋岩は、厚さ数100m以下の岩体として泥質片岩中に岩体として分布するほか、かまふせやま釜伏山及びかなさき皆野町金崎の荒川沿いで比較的大

きな岩体が認められる(第1図)。釜伏山の蛇紋岩は、東西1 km及び南北1.5 kmの岩体として分布し(牧本・竹内, 1992)、三波川変成作用を受けていることが指摘されている(小林, 2012)。金崎の蛇紋岩は、泥質片岩中に幅数100 mの岩体として分布し、ヒスイのノジュールを産することで知られている(Seki, 1961; Seki and Kuriyagawa, 1962)。これらのうち、金崎の蛇紋岩中の蛇灰岩からクロムスピネルの報告がある(Hisada *et al.*, 1993)。Hisada *et al.* (1993)による蛇灰岩のクロムスピネルの化学分析値を第5図に示す。Cr#は0.35~0.55, Mg#は0.53~0.67, Y_{Fe}は0.03~0.12の範囲にあり、TiO₂の含有量が0.3 wt%以下と非常に低い特徴を示す。古武ノ山蛇紋岩のクロムスピネルのCr#, Mg#, Y_{Fe}, TiO₂ wt%値は、金崎の蛇灰岩から得られた分析値のほぼ範囲内にある。これらの値は、Arai (1992)及びArai *et al.* (2011)による中央海嶺玄武岩類ないし島弧玄武岩類の領域にプロットされる。一方、反射顕微鏡下で、古武ノ山蛇紋岩のクロムスピネ

第2表 御荷鉾緑色岩に含まれる蛇紋岩のクロムスピネルのEPMA分析結果.

Table 2 Result of EPMA analysis of chromian spinels from serpentinites within the Mikabu greenstones.

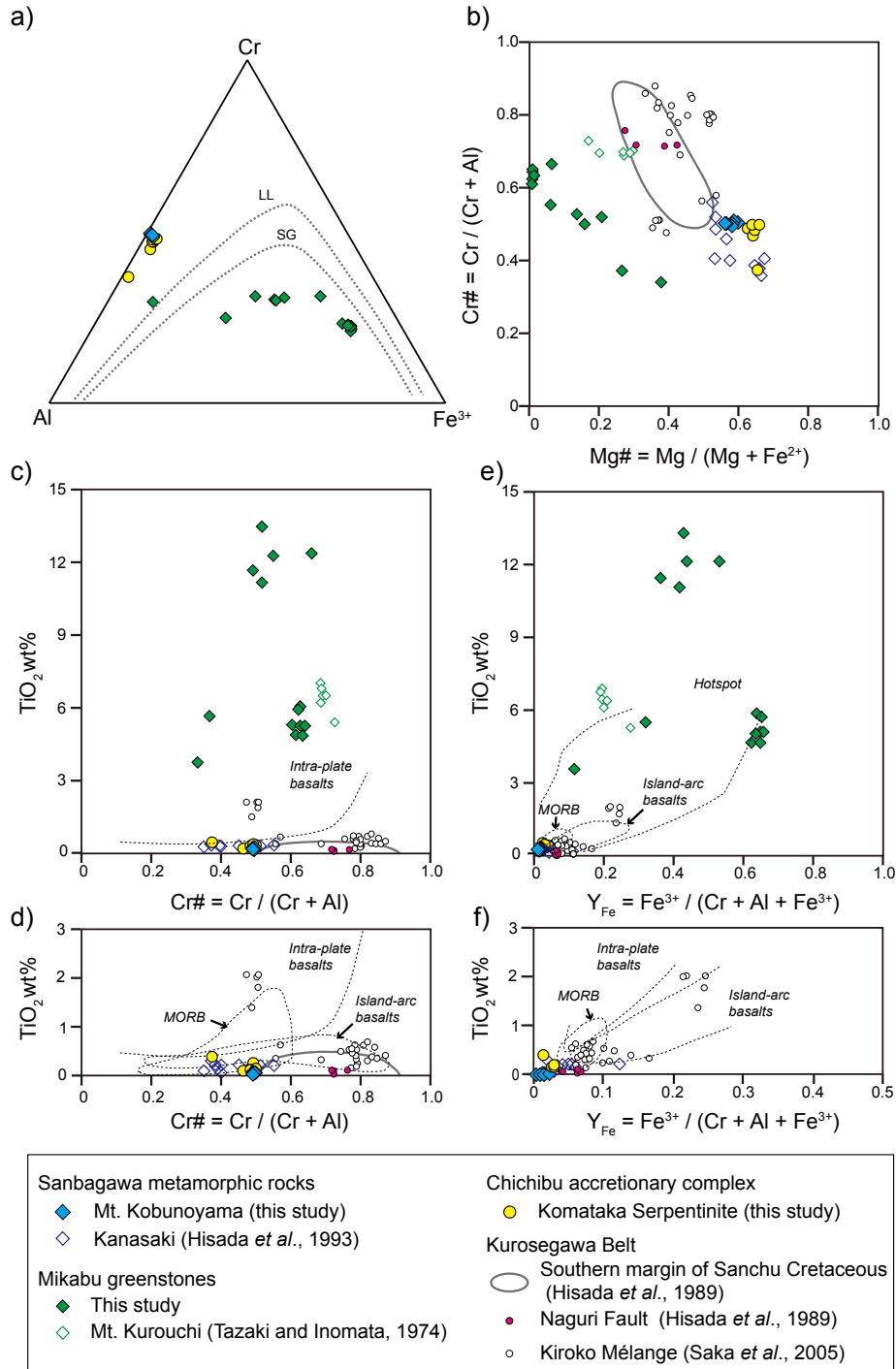
Serpentinite with the Mikabu greenstones														
Sample No.	MK01							MK02						
Grain No.	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	0.02	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02
TiO ₂	3.62	11.07	5.52	12.16	12.19	11.50	13.29	5.76	5.08	5.15	5.91	5.12	4.73	4.70
Al ₂ O ₃	29.27	9.37	18.45	7.69	4.84	10.69	8.51	4.94	5.15	4.85	5.08	5.15	4.88	5.60
Cr ₂ O ₃	21.94	14.92	15.84	13.94	14.04	15.36	13.61	12.14	13.29	12.94	12.57	11.96	12.67	13.36
FeO	35.98	57.64	50.86	59.85	63.56	56.45	59.84	70.66	70.35	70.20	69.44	70.45	69.09	68.62
MnO	0.41	0.37	0.47	0.85	0.74	0.64	0.77	1.01	1.05	1.02	0.92	0.88	1.03	0.86
MgO	7.49	2.78	4.58	0.81	0.83	2.12	1.70	0.23	0.19	0.18	0.27	0.14	0.19	0.18
NiO	0.08	0.11	0.20	0.00	0.09	0.11	0.28	0.33	0.35	0.35	0.30	0.34	0.36	0.33
CaO	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
Na ₂ O	0.02	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03	0.06	0.01	0.00	0.00
K ₂ O	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02
Total	98.86	96.32	95.99	95.33	96.32	96.89	98.04	95.07	95.47	94.73	94.57	94.07	92.98	93.69
Atoms per fomula unit														
O = 4														
Ti	0.085	0.297	0.141	0.338	0.339	0.307	0.356	0.162	0.142	0.145	0.167	0.145	0.136	0.134
Al	1.074	0.394	0.738	0.335	0.211	0.448	0.357	0.218	0.225	0.214	0.225	0.229	0.219	0.249
Cr	0.540	0.421	0.425	0.407	0.410	0.432	0.383	0.358	0.391	0.383	0.373	0.357	0.382	0.399
Fe	0.937	1.721	1.443	1.848	1.966	1.678	1.781	2.207	2.187	2.201	2.178	2.222	2.206	2.169
Mn	0.011	0.011	0.014	0.027	0.023	0.019	0.023	0.032	0.033	0.032	0.029	0.028	0.033	0.028
Mg	0.348	0.148	0.232	0.045	0.046	0.112	0.090	0.013	0.011	0.010	0.015	0.008	0.011	0.010
Fe ²⁺	0.566	0.552	0.625	0.617	0.614	0.579	0.551	0.822	0.843	0.840	0.814	0.843	0.849	0.852
Fe ³⁺	0.213	0.585	0.550	0.582	0.698	0.503	0.542	1.093	1.092	1.103	1.060	1.116	1.118	1.077
Mg#	0.38	0.21	0.27	0.07	0.07	0.16	0.14	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
Cr#	0.33	0.52	0.37	0.55	0.66	0.49	0.52	0.62	0.63	0.64	0.62	0.61	0.64	0.62
Y _{Fe}	0.12	0.42	0.32	0.44	0.53	0.36	0.42	0.65	0.64	0.65	0.64	0.66	0.65	0.62

ルには縁辺部に弱い変質部が認められ、蛇紋岩は変成作用を受けている可能性もある。

4.2 御荷鉾緑色岩類中の蛇紋岩

御荷鉾緑色岩類に伴う蛇紋岩は、一般に厚さ数100 m以下の岩体として変成玄武岩類に貫入して分布するほか、関東山地東部上峯峠付近や関東山地北部の黒内山に東西1 km及び南北2 kmの岩体が認められる(第1図、田崎・猪俣, 1974; 牧本・竹内, 1992; 井澤, 2018)。一般に、御荷鉾緑色岩類中に含まれる蛇紋岩は、蛇紋岩化の程度が弱く、ダナイト〜ウェールライト起源であり、全岩化学組成ではFeやTiに富む特徴が指摘されている(Research Group of Peridotite Intrusion, 1967, Tazaki, 1966)。関東山地では黒内山の蛇紋岩から、クロムスピネル(クロム鉄鉱)の化学組成値が報告されている(田崎・猪俣, 1974; 井澤, 2018)。田崎・猪俣(1974)によれば、クロムスピネルは累帯構造を持ち、縁辺部は変質を受けていることが指摘されている。未変質とされるコアの組成は、Cr#は約0.69 ~ 0.73、Mg#は約0.17 ~ 0.3の範囲を、Y_{Fe}

は約0.2及び1データのみ0.28の値を示す(第5図)。またTiO₂は、約5.3 ~ 7 wt%の含有量を示す。井澤(2018)は、生データを示していないが、黒内山のクロムスピネルからCr#が0.59 ~ 0.72、TiO₂が1.4 ~ 8.4 wt%の範囲を示すことを報告している。また井澤(2018)は、黒内山の西方の青倉から、Cr#が0.42 ~ 0.61、TiO₂が0.25 ~ 3.65 wt%と、黒内山の蛇紋岩に比べTiO₂の含有量が低いクロムスピネルの化学組成も報告している。黒内山の分析値は、関東山地東縁部から得られた御荷鉾緑色岩類中の蛇紋岩から得られた分析値に対して、やや高いCr#を示す。御荷鉾緑色岩類中のクロムスピネルは、Arai (1992)及びArai *et al.* (2011)によるプレート内玄武岩類やホットスポットの玄武岩類の領域にプロットされる。一方、Cr-Al-Fe³⁺三角ダイヤグラムでは、Fe³⁺ないしCr-Fe³⁺辺に向かう組成の変化が認められた。このようなスピネルは、サブソリダスでの溶融が生じている可能性がある(Tamura and Arai, 2005)。実際に、反射顕微鏡下においても縁辺部の変質とともに溶融跡と見られる多数の空隙が観察される(第4図h)。またMg#においても0.1以下の値を示す



第5図 クロムスピネルの化学組成.

(a) Cr, Al, Fe³⁺の原子比三角ダイアグラム. (b) Mg#とCr#との関係. (c, d) Cr#とTiO₂ wt%含有率との関係. (d)はTiO₂ < 3 wt%の範囲を表示. (e, f) Y_{Fe}とTiO₂ wt%含有率との関係. (f)はY_{Fe} < 0.5及びTiO₂ < 3 wt%の範囲を表示. 蛇紋岩を含む地質体毎に、本報告の分析値及び先行研究の分析値をまとめてプロットした. テクトニクスを示す領域は、Arai (1992) and Arai *et al.* (2011)に基づく. LLとSGは、それぞれLoferski and Lipin (1983)及びSack and Ghiorso (1991)によって提唱された600°Cでのソルバスを示す.

Fig. 5 Geochemistry of chromian spinels.

(a) Ternary diagram of C, Al, and Fe³⁺ atomic ratio. (b) Variations in Mg# and Cr#. (c, d) Variations in Cr# and TiO₂ wt%. Fig. 5d presents range of TiO₂ < 3 wt%. (e, f) Variations in Y_{Fe} and TiO₂ wt%. Fig. 5f presents range of Y_{Fe} < 0.5, and TiO₂ < 3 wt%. Analytical data in this study and data from previous studies were compiled and plotted by each geological unit including serpentinite. Tectonic fields are based on Arai (1992) and Arai *et al.* (2011). Dotted line of LL and SG indicate a solvus at 600°C proposed by Loferski and Lipin (1983), and Sack and Ghiorso (1991), respectively.

場合があり、超苦鉄質岩中のクロムスピネルから報告されているMg#と比較して低い値を示す(例えば、荒井, 1992; Arai *et al.*, 2011). これらのことは、クロムスピネルのFe-Mg分配関係が初生的な値を保持していないことを示唆する。御荷鉾緑色岩類中のクロムスピネルは、変質・変成作用を受け、高いFe³⁺含有量と低いMg#とによって特徴づけられる。

4.3 黒瀬川帯及び秩父帯付加コンプレックス中の蛇紋岩

秩父帯付加コンプレックス中の駒高蛇紋岩の東方の高麗川沿いには、秩父帯付加コンプレックスに狭し山中白亜系の三山層さんやまに対比される高岡層が分布する(第2図; 石井・田口, 1986; 原, 2020). そのためこの駒岡蛇紋岩は、秩父帯付加コンプレックスに密接に伴って露出し、黒瀬川帯の東方延長と考えられている山中白亜系南縁や名栗断層沿いの蛇紋岩との関連を示唆する。

山中白亜系南縁の蛇紋岩は、ダナイトとハルツパージャイトまたはウェールライトを起源とし、単斜輝石岩、斑れい岩、ロジン岩を伴うことが知られている(平野・飯泉, 1973). 一般に、蛇紋岩化が進み、かんらん石や輝石類は残存していないことが多い(久田・荒井, 1986; 平内ほか, 2006). 名栗断層沿いに露出する蛇紋岩は、完全に蛇紋岩化し、かんらん石は残存していない(Hisada and Arai, 1989; 坂ほか, 1989; 島村ほか, 2003). 山中白亜系南縁の蛇紋岩のクロムスピネルは、Cr#が0.5~0.7と変化を示すこと、Cr#とMg#は負の相関があること、TiO₂が0.4 wt%以下である特徴が示されている(Hisada and Arai, 1989, 1993). また名栗断層沿いの蛇紋岩中のクロムスピネルは、Cr#が0.71~0.76, Mg#が0.28~0.46と集中した範囲を示し、TiO₂が0.2 wt%以下で、山中白亜系南縁のクロムスピネルから得られた化学組成の範囲にあることが指摘されている(Hisada and Arai, 1989). さらにクロムスピネルの化学組成から、蛇紋岩は島弧から前弧域のかんらん岩を起源とし、かんらん岩が山中白亜系の南縁をなす地形的な高まりを形成していたと考えられている(久田・荒井, 1986; 荒井・久田, 1991; Hisada and Arai, 1993). また参考までに、坂ほか(2005)による木呂子メランジュの蛇紋岩から得られたクロムスピネル化学組成も第5図に示した。木呂子メランジュのクロムスピネルでは、Mg#及びCr#ではらつきが認められるが、TiO₂は0.64 wt%以下を示し、概ね山中白亜系南縁のクロムスピネルに近似した傾向を示すことが指摘されている(坂ほか, 2005). また一部のクロムスピネルは、TiO₂が1.4~2.1 wt%を示し、御荷鉾緑色岩類中のクロムスピネルと類似することも指摘されている(坂ほか, 2005).

駒高蛇紋岩のクロムスピネル化学組成は、山中白亜系南縁や名栗断層沿いの蛇紋岩及び木呂子メランジュ中の蛇

紋岩のクロムスピネルに比べて、TiO₂ wt%はほぼ同様の値を示すが、Cr#が低くMg#が高い傾向がある。また山中白亜系南縁のクロムスピネルが持つCr#とMg#との負の相関に対して、より低いCr#と高いMg#を示す。一方、三波川変成岩類に伴う古武ノ山蛇紋岩のクロムスピネルと比較すると、Cr#, Mg#, Y_{Fe}とTiO₂ wt%は非常に近似した値を示す。そのためクロムスピネル化学組成に基づく、駒高蛇紋岩は黒瀬川帯に露出する蛇紋岩より、古武ノ山蛇紋岩と関連性があると言える。

5. まとめ

関東山地東縁部の蛇紋岩は、三波川変成岩類に伴う古武ノ山蛇紋岩、御荷鉾緑色岩類中の岩体、秩父帯付加コンプレックス中の駒高蛇紋岩と3つの産状に区別される。これらの岩体からクロムスピネルの化学分析を行い、Cr-Al-Fe³⁺の関係、Cr#, Mg#, Y_{Fe}及びTiO₂ wt%について検討を行った。古武ノ山蛇紋岩と駒高蛇紋岩のクロムスピネルは、よく似た化学組成を示す。既存報告と比較すると、黒瀬川帯東方延長と考えられる蛇紋岩のクロムスピネル(山中白亜系南縁、名栗断層、木呂子メランジュ)より、低いCr#と高いMg#を特徴とする。御荷鉾緑色岩類中の蛇紋岩は変質及び変成作用を受け、クロムスピネルの化学組成は初生的な情報を保持していないと考えられる。これらの蛇紋岩の成因や帰属については、岩石のモード組成、残存する他の初生鉱物の化学組成の検討など、さらなる検討を要する。

謝辞：本研究は、筑波大学第一学群自然科学類の佐藤幸江氏による平成11年度卒業研究(佐藤, 1999)、及び筑波大学生命環境学群地球学類の田中基成氏による平成28年度卒業研究(田中, 2017)の一部である。また産業技術総合研究所地質調査総合センターが発行する5万分の1「川越」図幅の研究成果の一部である。静岡大学理学部地球科学科の平内健一博士及び株式会社大林組技術研究所の三宅由洋氏には、蛇紋岩及びクロムスピネルについてご教授頂いた。筑波大学生命環境科学研究科(現：つくば市ジオパーク室、筑波山地域ジオパーク推進協議会)の富永紘平博士には、野外調査への同行及び図面の一部を作成して頂いた。本研究に用いた岩石薄片は、地質標本館室地質試料調製グループの制作による。担当編集委員の高木哲一博士及び査読者の山崎 徹博士には、大変有益なコメントを頂いた。以上の方々に感謝いたします。

文 献

- Arai, S. (1992) Chemistry of chromian spinel in volcanic rocks as a potential guide to magma chemistry. *Mineralogical Magazine*, **56**, 173-184.
- 荒井章司(1992) 碎屑性クロムスピネル及び碎屑性蛇紋岩の重要性. 地質学論集, no. 38, 329-344.

- 荒井章司・久田健一郎(1991) 関東山地, 山中白亜系石室層中の碎屑性クロムスピネル. 岩鉱, **86**, 540–553.
- Arai, S., Okamura, H., Kadoshima, K., Tanaka, C., Suzuki, K. and Ishimaru, S. (2011) Chemical characteristics of chromian spinel in plutonic rocks: implications for deep magma processes and discrimination of tectonic setting. *Island Arc*, **20**, 125–137.
- 原 英俊 (2020) 関東山地東縁部, 白亜系高岡層の石灰質砂岩から得られた碎屑性ジルコンU–Pb年代. 地質調査研究報告, **71**, 509–516.
- 日高町史編集委員会(1991) 日高町史自然史編. 日高町, 530p.
- 平島崇男(1984) 関東山地北東部, 寄居地域の緑色岩メラングジュ. 地質学雑誌, **90**, 629–642.
- 平野英雄・飯泉 滋(1973) 関東山地西部, 秩父帯の超苦鉄質岩. 岩石鉱物鉱床学会誌, **68**, 132–137.
- Hirauchi, K. (2006) Serpentinite textural evolution related to tectonically controlled solid-state intrusion along the Kurosegawa Belt, northwestern Kanto Mountains, central Japan. *Island Arc*, **15**, 156–164.
- 平内健一・久田健一郎・伊庭靖弘(2006) 関東山地北西部, 山中白亜系と蛇紋岩の不整合露頭の発見とその意義. 地質学雑誌, **112**, 452–458.
- Hisada, K. and Arai, S. (1989) Itsukaichi serpentinites in the Kanto mountains, central Japan—possibility of eastern extension of Kurosegawa Tectonic Zone. *Annual Report of the Institute Geosciences, the University of Tsukuba*, no. 15, 78–82.
- Hisada, K. and Arai, S. (1993) Detrital chrome spinels in the Cretaceous Sanchu sandstone, central Japan: indicator of serpentinite protrusion into a fore-arc region. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **105**, 95–109.
- 久田健一郎・荒井章司(1986) 関東山地の蛇紋岩および白亜系含蛇紋岩礫岩の産状. 地質学雑誌, **92**, 391–394.
- 久田健一郎・荒井章司・宮田隆夫(1987) 関東山地山中地溝帯南縁部における蛇紋岩岩体の分布とそのテクトニックな意義. 大阪教育大学紀要 第三部門, **36**, 129–134.
- Hisada, K., Nakazawa, E. and Arai, S. (1993) Sedimentary origin of ophicalcite in the Sambagawa metamorphic rocks, Kanto Mountains, central Japan. *Annual Report of the Institute Geosciences, the University of Tsukuba*, no. 19, 43–47.
- 石井 醇・田口聡史(1986) 関東山地東縁部, 下部白亜系高岡層. 東京学芸大学紀要4部門, **38**, 97–115.
- 井澤一輝(2018) 関東山地北部, 三波川帯御荷鉾緑色岩類の超苦鉄質岩体: ジュラ紀海台火成活動との関連. 下仁田町自然史館研究報告, no. 3, 33–44.
- 小林まさ代(2012) 関東山地の三波川帯, 釜伏山に産出する超苦鉄質岩の岩石記載. 埼玉県立自然の博物館研究報告, no. 6, 11–17.
- 小林暉子(1986) 日本産含クロムざくろ石の化学組成. 岩石鉱物鉱床学会誌, **81**, 399–405.
- 牧本 博・竹内圭史(1992) 寄居地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 136p.
- 小川町史編さん委員会(1999) 小川町の歴史 別編 小川町の自然 地質編. 283p.
- 越生町教育委員会(2008) 越生の自然. 越生町史自然史編, 585p.
- 小澤智生・小林文夫(1985) 関東山地南部の中・古生層の層序と地質構造. 兵庫教育大研究紀要(自然系教育, 生活, 健康系教育), **6**, 103–141.
- Loferski, P.J. and Lipin, B.R. (1983) Exsolution in metamorphosed chromite from the Red Lodge district, Montana. *American Mineralogist*, **68**, 777–789.
- Research Group of Peridotite Intrusion (1967) Ultrabasic rocks in Japan. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **73**, 543–553.
- Sack, R.O. and Ghiorso, M.S. (1991) Chromian spinels as petrogenetic indicators: thermodynamics and petrological applications. *American Mineralogist*, **76**, 827–847.
- 埼玉県地質図編纂委員会(1999) 埼玉県地質図(山地・丘陵地)解説書. 埼玉県農林部林務課, 242p.
- 坂 幸恭・平 明夫・小笠原義秀(1989) 関東山地東縁部, 秩父帯の名栗断層—黒瀬川構造帯の東端(?)—. 地質学雑誌, **95**, 339–342.
- 坂 幸恭・猿渡ふみよ・大竹奈保(2005) 関東山地北縁部 小川町～神泉村の緑色岩メラングジュ. 早稲田大学教育学部学術研究 生物学・地球科学編, no. 53, 1–26.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2020) 20万分の1日本シームレス地質図v2, <https://gbank.gsj.jp/seamless/> (閲覧日: 2020年7月15日).
- 佐藤幸江(1999) 関東山地北東部に分布する木呂子メラングジュの帰属. 筑波大学第一学群自然科学類地球科学主専攻, 卒業論文, 75p.
- Seki, Y. (1961) Notes on rock-forming minerals (17) jadeite from Kanasaki (Kanegasaki) of the Kanto Mountains, central Japan. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **67**, 101–104.
- Seki, Y. and Kuriyagawa, S. (1962) Mafic and leucocratic rocks associated with serpentinite of Kanasaki, Kanto Mountains, central Japan. *Japanese Journal of Geology and Geography*, **33**, 15–32.
- 島村哲也・藤田和弘・猿渡ふみよ・松田将志・坂 幸恭(2003) 関東山地東縁部の黒瀬川地帯—名栗断層帯. 地質学雑誌, **109**, 116–132.

- Tamura, A. and Arai, S. (2005) Unmixed spinel in chromitite from the Iwanai-dake peridotite complex, Hokkaido, Japan: a reaction between peridotite and highly oxidized magma in the mantle wedge. *American Mineralogist*, **90**, 473–480.
- 田中基成 (2017) 関東山地東縁部日高市に産出する蛇紋岩に関する研究. 筑波大学生命環境学群地球学類地球進化学主専攻, 卒業論文, 38p.
- Tazaki, K. (1966) Ultramafic rocks in the northern Kwanto Mountains, central Japan. *Earth Science*, no. 84, 14–25.
- 田崎耕市・猪俣道也 (1974) 北関東山地, 単斜輝石かんらん岩の金雲母とパーガス閃石. 岡山大学温泉研究所報告, no. 43, 1–13.
- 徳田 満 (1986) 関東山地三波川帯・秩父帯の地質構造の研究. 広島大学地学研究報告, **26**, 195–260.
- 徳田 満・原 郁夫 (1979) みかぶ緑色岩類下底のメラングジュ帯の地質—関東山地大霧山地域を例として. 中生代造構作用の研究(総合研究連絡会誌), no. 1, 51–57.
- (受 付 : 2020年10月8日 ; 受 理 : 2021年9月17日)

地質調査総合センター研究資料集

- | | | |
|-----|--|-----------------------------------|
| 718 | 東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測施設整備工事（愛媛県松山市地区）報告書 | 佐藤 努・北川 有一・小泉 尚嗣・木口 努・名取 二郎・芳賀 政蔵 |
| 719 | 伊豆大島火山地質図（暫定版 2021） | 川辺 禎久 |
| 720 | 中国地域の地殻内応力マップデータ | 今西 和俊・内出 崇彦・椎名 高裕・松下 レイケン・中井 未里 |
| 721 | 始良カルデラ大隅降下軽石の地点層厚データ | 下司 信夫・西原 歩亮 |
| 722 | 大規模火砕噴火推移時系列データ集 その2 | 下司 信夫・池上 郁彦・西原 歩 |
| 723 | 日光白根火山の噴火記録集 | 及川 輝樹 |
| 725 | 第2白嶺丸重力データ | 石原 丈実・小田 啓邦 |
| 726 | 産総研地下水等総合観測井における透水性評価のための孔井内測定手法の適用事例：主に測定時の制約に対応するために | 木口 努・桑原 保人 |
| 727 | 蛍石の「履歴書」（補遺） | 佐脇 貴幸 |
| 728 | 屈斜路・三瓶・鬼界・十和田・鬱陵島・白頭山火山の大規模噴火の前駆活動と噴火推移 | 金田 泰明・宝田 晋治・下司 信夫 |

地質調査総合センターの最新出版物

5万分の1地質図幅	池田 陸中関
20万分の1地質図幅	野辺地（第2版）
土壌評価図	E-8 表層土壌評価基本図～四国地域～
水文環境図	No. 6 山形盆地（第2版） No. 12 紀の川平野
空中磁気図	No. 48 仙台平野南部沿岸地域高分解能空中磁気異常図
重力図	No. 34 名古屋地域重力図（ブーゲー異常）
海陸シームレス地質図	S-7 海陸シームレス地質情報集「相模湾沿岸域」
その他	東・東南アジア磁気異常図 改訂版（第3版） 中部地方の地球化学図

地質調査研究報告編集委員会

委員長 鈴木 淳
副委員長 佐々木 宗建
委員 宮城 磯 治
松本 弾 子
東郷 洋 子
高木 哲 一
川辺 能 成
大谷 竜 竜
長森 英 明
納谷 友 規
工藤 崇 崇
板木 拓 也
森 尻 理 恵

Bulletin of the Geological Survey of Japan Editorial Board

Chief Editor: SUZUKI Atsushi
Deputy Chief Editor: SASAKI Munetake
Editors: MIYAGI Isoji
MATSUMOTO Dan
TOGO Yoko
TAKAGI Tetsuichi
KAWABE Yoshishige
OHTANI Ryu
NAGAMORI Hideaki
NAYA Tomonori
KUDO Takashi
ITAKI Takuya
MORIJIRI Rie

事務局

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター
地質情報基盤センター 出版室
<https://www.gsj.jp/inquiries.html>

Secretariat Office

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
Geological Survey of Japan
Geoinformation Service Center Publication Office
<https://www.gsj.jp/en/>

地質調査研究報告 第72巻 第5号
令和3年12月2日 発行

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター

〒305-8567
茨城県つくば市東1-1-1 中央第7

Bulletin of the Geological Survey of Japan
Vol. 72 No. 5 Issue December 2, 2021

Geological Survey of Japan, AIST

AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1, Higashi,
Tsukuba, Ibaraki 305-8567 Japan

BULLETIN
OF THE
GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 72 No. 5 2021

CONTENTS

- The Middle to Late Pleistocene tephrostratigraphy around the Nasu Volcano Group, NE Japan: new description of the Kawatani Pyroclastic Fall Deposit and the horizon of the Yosasagawa and Higashi-iwazaki Debris Avalanche Deposits
YAMAMOTO Takahiro 397
- Preparation and release of gravity and magnetic data collected by R/V Hakurei-maru
ISHIHARA Takemi 421
- Geochemistry of chromian spinels from serpentinites distributed in eastern margin of the Kanto Mountains
HARA Hidetoshi and HISADA Ken-ichiro 447