

Online ISSN : 2186-490X
Print ISSN : 1346-4272

地質調査研究報告

BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 73 No. 2 2022



 **産総研** 地質調査総合センター 

令和4年

論文

第2 白嶺丸重力データの整備・公開

石原丈実・小田啓邦29

東京都世田谷区で掘削された上用賀 GS-SE-1 及び駒沢 GS-SE-3 コアの更新統東京層の有孔虫・貝形虫化石群集

金子 稔・石川博行・原島 舞・野村正弘・中澤 努 49

概報

北上山地中西部、盛岡市薮川地域の外山高原で見出されたチバニアン期後半のテフラ

内野隆之・工藤 崇・古澤 明・岩野英樹・檀原 徹・小松原 琢 67

パーリアンドトラップ法と水流法による水中非メタン炭化水素の測定：水流法データからの全濃度の計算

猪狩俊一郎 87

表紙の写真

北上山地の外山高原に分布するチバニアン期テフラ

岩手県盛岡市の北東部には、650～1,000 mの標高で緩やかな起伏をなす外山高原が広がる。その中を流れる盛岡市薮川地区の外山川では、厚さ1 m以上の泥炭層の上位に層厚80 cmのテフラが川沿い約100 mにわたって露出する。このテフラは、国道沿いに産しながらこれまで全く報告されていなかったが、本号の内野ほか(2022)によって「薮川テフラ」として記載され、また、ジルコン年代からチバニアン期後半のものであると考えられている。ちなみに、写真のテフラ層中に空いた横穴はカワガラスの巣穴である。

(写真・文：内野隆之)

Cover Photograph

Chibanian tephra distributed in the Sotoyama Plateau, Kitakami Massif

The Sotoyama Plateau, which undulates gently from 650 to 1,000 m, is located in northeastern Morioka City, Iwate Prefecture. In the Sotoyama River, which drains the plateau, a tephra layer with a thickness of 80 cm is exposed above a >1 m-thick peat layer for a distance of approximately 100 m. Despite being adjacent to a national highway, this exposed tephra layer has not been reported previously. The tephra was named the Yabukawa Tephra by Uchino *et al.* (2022) in this issue, and their zircon dating dated the tephra to the late Chibanian. The horizontal holes visible in the tephra layer shown in the photo are nesting burrows constructed by Brown dippers.

(Photograph and caption by UCHINO Takayuki)

第2白嶺丸重力データの整備・公開

石原 丈実^{1,*}・小田 啓邦²

ISHIHARA Takemi and ODA Hirokuni (2022) Preparation and release of gravity data collected by R/V Hakurei-maru No.2. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 73(2), p. 29-48, 16 figs and 2 tables.

Abstract: One-minute interval high-quality gravity data were prepared for the Hakurei-maru No.2 cruises carried out by Geological Survey of Japan from 2000 to 2010. An 8-th order Butterworth low-pass filter with the cutoff frequency of 1/480 Hz (period of 8 minutes) was applied to 1 Hz gravity raw data to make high-resolution free air anomaly data. The RMS CODs (root mean square crossover differences) of the gravity data for the intersecting survey lines are 0.86 mGal for GH00 and GH01 cruises, 1.02 mGal for GH02, GH03, GH04 and GH06 cruises, and 1.30 mGal for GH08, GH09 and GH10 cruises.

It is suggested that the following two factors are the possible sources of 3 to 5 mGal differences observed between the two free air anomalies obtained by Hakurei-maru No.2 and satellite altimetric data, i.e., 1) free air anomaly data collected by Hakurei-maru No.2 have short period anomalies which are not observed in the satellite altimetric data, and 2) the accuracy of altimetric data decreases near the coasts. The gravity data files, which include data after free air gravity anomaly calculation will be released as an open-file report of Geological Survey of Japan.

Keywords: Hakurei-maru No.2, marine geophysical survey, free air gravity anomaly, low-pass filter, data release

要 旨

地質調査総合センター(旧地質調査所を含む)による2000年から2010年の第2白嶺丸の航海に対して1分間隔の均質な重力異常データを整備した。1秒(以下s)間隔の生データにカットオフ周波数1/480 Hz(周期8分)の8次Butterworthローパスフィルターを施すことにより高精度のフリーエア重力異常データを作成した。北海道沖オホーツク海で取得されたGH00・GH01航海, 北海道南方で取得されたGH02・GH03・GH04・GH06航海, そして沖縄島周辺で取得されたGH08・GH09・GH10航海それぞれの重力異常データの互いに交差する測線間の二乗平均平方根交点誤差(RMS COD; root mean square crossover difference)は0.86 mGal, 1.02 mGal, 1.30 mGalである。

航海データと衛星アルチメトリデータの差が3~5 mGalと大きくなっているのは, (1)水深が浅い海域の第2白嶺丸のフリーエア異常データに見られる短波長の異常が衛星アルチメトリでは見られないこと, (2)衛星アルチメトリデータは陸の近傍で精度が低下すること, これら2つが要因とみられる。

航海毎のフリーエア重力異常を計算した重力データ

ファイルを地質調査総合センター研究資料集として公開予定である。

1. はじめに

石原(2021a, b)は旧工業技術院地質調査所による1974年度から1999年度までの地質調査船白嶺丸航海で取得された重磁力データを公開したが, 日本周辺海域の20万分の1の海洋地質図作成プロジェクトは引続き第2白嶺丸(石油天然ガス・金属鉱物資源機構所有)を使用して行われている。第1表に各航海の日程・寄港地, 第1図に測線図を示した。GH00・GH01航海では北海道沖オホーツク海(上嶋ほか, 2007b), GH02・GH03・GH04・GH06航海では北海道南方(上嶋・駒澤, 2011, 2014; 上嶋ほか, 2012a, b), GH08・GH09・GH10航海では沖縄島周辺(小田・佐藤, 2015; 小田, 2018, 2022)の調査を行なった。GH05・GH07航海は海洋地質図作成の航海ではないが八丈島沖と東北沖の海山域等の調査を行なっている(上嶋ほか, 2007a)。これらの航海で取得された船上重力計の生データを公開したところであるが(石原・小田, 2021), さらに, そのデータを用いて計算した重力異常のデジタルデータも公開することにした。

¹ 元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 (Former affiliation: AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

² 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表 第2白嶺丸の北海道周辺, 沖縄島周辺, 東北・八丈島沖航海
Table 1 Hakurei-maru No.2 cruises around Hokkaido and Okinawajima Is. and off Tohoku and Hachijojima Is.

Cruise	Survey area	Period	Port of call and dates
GH00	Off Esashi	2000/08/03-09/01 (30)	08/16-18 Wakkanai
GH01	Off Abashiri	2001/07/04-08/02 (30)	07/17-19 Abashiri
GH02	Off Tokachi	2002/05/29-06/27 (30)	08/14-16 Tokachi
GH03	Off Kushiro and Hidaka	2003/05/29-06/27 (30)	06/11-13 Kushiro
GH04	Off Nemuro and Hidaka	2004/07/12-08/10 (30)	07/25-27 Kushiro
GH05	Off Tohoku and Hachijojima Is.	2005/06/13-07/12 (30)	06/26-29 Funabashi
GH06	Off Hidaka	2006/08/31-09/29 (30)	09/13-15 Muroran
GH07	Off Tohoku and Hachijojima Is.	2007/06/19-07/18 (30)	07/03-05 Onahama
GH08	Okinawajima Is. North	2008/07/28-08/29 (33)	08/12-14 Naha
GH09	Okinawajima Is. South	2009/07/16-08/17 (33)	07/31-08/02 Naha
GH10	Around Kumejima Is.	2010/10/27-11/25 (30)	11/09-11 Naha

2000年の白嶺丸の廃船に伴い、同船に搭載していたLaCoste & Romberg社製のSL2船上重力計を第2白嶺丸に移設して重力測定を実施してきた。本装置は、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とするために、センサーが鉛直方向のみに動くように工夫されたストレートライン型の重力計である(LaCoste, 1983; Valliant, 1991)。なお、全ての観測が2000年以降であるため、測位については、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)が解除されたGPSデータにより10 m程度の測位精度が得られていると推定される。今回の公開にあたって、重力計のドリフトやフィルターの問題について検討してみた。

2. 船上重力計のドリフトと変換係数

船上重力計のドリフトを表すのにmeter zero (読取値が0のときの仮想的な絶対重力値; Nettleton, 1976)を使う。重力絶対値 g の港での船上重力計の読取値を G とすればmeter zero Z は

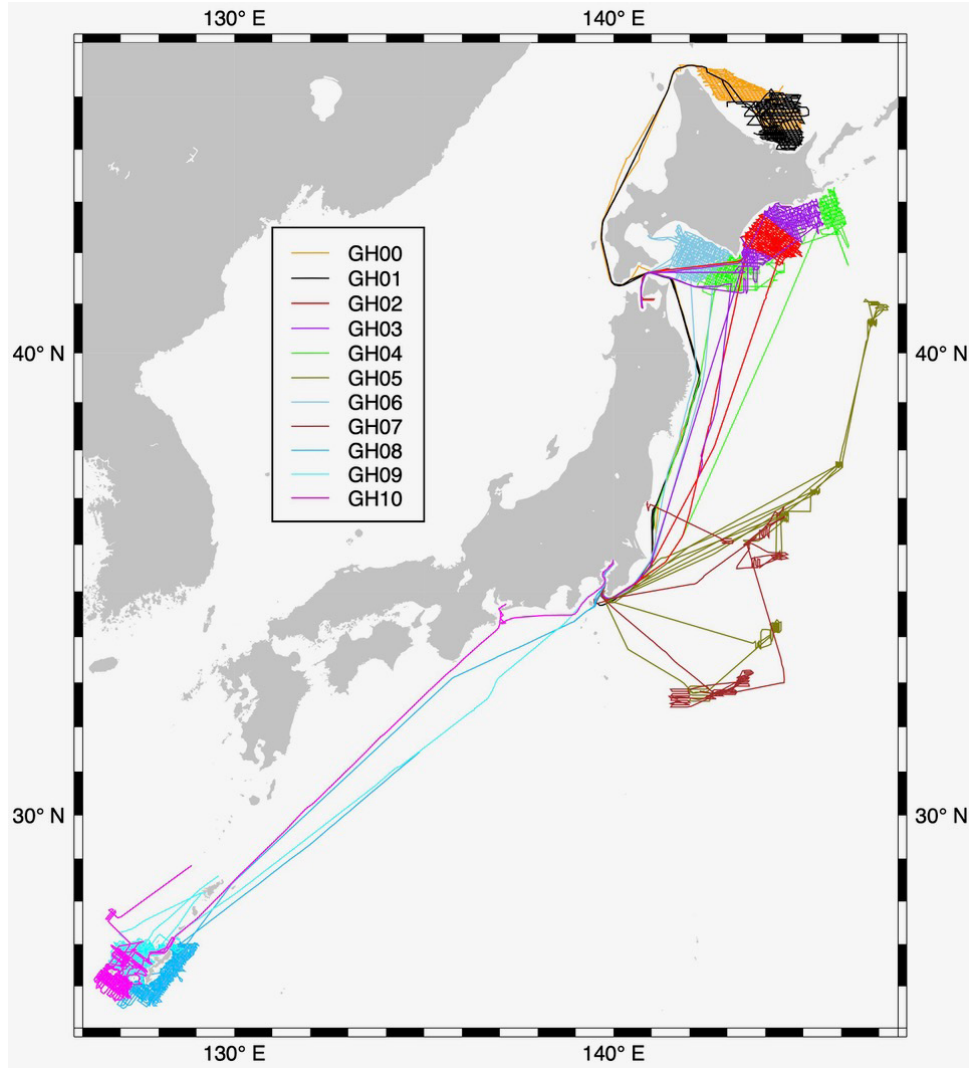
$$Z = g - cG \quad (1)$$

と表せる。ここで c は重力計の読取値をmGal単位に変える変換係数である。船橋港以外の寄港地も含めて重力計

のドリフト値(船上重力計読取値の時間変化)については既に研究資料集725(石原・小田, 2021)にあるが、第2表に再度示し、meter zeroの変化を第2図に示した。変換係数1ではほとんど全ての寄港地でのmeter zeroの値が船橋港での値のトレンドからずれているが、変換係数を0.993とするとほぼトレンド上になり、よりスムーズなドリフト曲線になった。このため、白嶺丸のデータ処理と同様に全データに対して変換係数 c を0.993として計算することにした(石原, 2021b)。なお、2004年と2005年のmeter zeroの間に約1000 mGalの大きな変化が見られるが、原因は不明である。

3. 重力データの処理方法, 特にフィルター処理

Herring and Hall (2006)はLaCoste & Romberg船上重力計には高周波成分が含まれており、GPSの測位から得られるエトベス補正量を含めて高サンプルレートで取得することにより、よりフィルターがかからない形で短波長の重力異常を再現する可能性について述べている。白嶺丸ではSL2重力計からの10 s間隔の生データに対して時間的にほぼ対称で幅520 sのガウシアンローパスフィルターに近いデジタルフィルターをかけてフィルター出力としていたが(石原, 2021b)、第2白嶺丸では重力計と



第1図 第2白嶺丸の航跡. 航海毎に別の色で示した.

Fig. 1 Track lines of Hakurei-maru No.2 with different colors for different cruises.

GPSの1 s間隔のデータが得られているのでフィルターがよりかからない形の重力計出力とエトベス補正量を求めることを試みた.

第2白嶺丸の重力生データにはフィルター出力と共に、SPRING TENSIONとAVG. BEAM (ビームの上下の位置)の値がある(石原・小田, 2021). これらの値を、それぞれSとBで表すと、重力読取値Gは、以下数式に示すように、SPRING TENSION Sに変換係数 c_0 を乗じ、さらにビームの上下位置Bの時間微分に比例係数Kを乗じた項を加算して補正することで得られる.

$$G = c_0S + KdB/dt \quad (2)$$

係数Kの値を検討するために、第3図に示すように、重力読取値GからSPRING TENSIONのSに変換係数 c_0 をかけた量を引いた値($G - c_0S$, 図中青線)と3種類の係数Kの値(20 s, 30 s, 40 s)をビーム上下位置Bの時間微分に

けた値($K \times dB/dt$, 図中3つの赤線)を比較した. 比較の結果, 係数 Kの値が40 sでは観測される振動の振幅が大きすぎ, 20 sでは小さすぎ, 30 sが最適であることがわかった.

重力読取値Gに対応する(エトベス補正を含まない)重力の絶対値 g_0 は出港地の重力絶対値 g_A とその時の重力計の読取値 G_A , 重力計のドリフト項 dt を使えば

$$g_0 = g_A + c(G - G_A - dt) \quad (3)$$

と表せる. フリーエア異常 f は

$$f = g_0 - g_n + d^2z/dt^2 - g_E \quad (4)$$

となる. ここで g_n は緯度補正, g_E はエトベス補正, d^2z/dt^2 は鉛直加速度である. (2), (3), (4)をまとめると

$$f = c(c_0S + KdB/dt) + d^2z/dt^2 - g_E - g_n + g_A - c(G_A + dt) \quad (5)$$

として求めることができる. 第2項の鉛直加速度 d^2z/dt^2 は, 船上重力計は十分長い時間で考えれば海面から一定

第2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 2 SL2 readings, gravity values and meter zero at Funabashi and other ports

Port	Cruise	Year	JD [†]	Gravity	Reading	Meter1 [*]	Meter2 ^{**}
FunabashiA	GH00	2000	216	979788.6	4199.2	975589.4	975618.8
Wakkanai	GH00	2000	231	980637.9	5055.4	975582.5	975617.9
FunabashiA	GH00	2000	245	979788.6	4200.5	975588.1	975617.5
FunabashiA	GH01	2001	185	979788.6	4198.0	975590.6	975620.0
Abashiri	GH01	2001	199	980592.7	5007.7	975585.0	975620.1
FunabashiA	GH01	2001	214	979788.6	4198.1	975590.5	975619.9
FunabashiA	GH02	2002	213	979788.6	4199.5	975589.1	975618.5
Tokachi	GH02	2002	228	980390.4	4807.1	975583.3	975616.9
FunabashiA	GH02	2002	242	979788.6	4200.7	975587.9	975617.3
FunabashiA	GH03	2003	149	979788.6	4204.4	975584.2	975613.6
Kushiro	GH03	2003	162	980601.4	5024.9	975576.5	975611.7
FunabashiA	GH03	2003	178	979788.6	4205.7	975582.9	975612.3
FunabashiB	GH04	2004	194	979788.2	4215.4	975572.8	975602.3
Kushiro	GH04	2004	207	980601.4	5035.6	975565.8	975601.0
FunabashiA	GH04	2004	223	979788.6	4216.1	975572.5	975602.0
FunabashiC	GH05	2005	164	979789.4	3195.5	976593.9	976616.3
FunabashiC	GH05	2005	177	979789.4	3198.0	976591.4	976613.8
FunabashiC	GH05	2005	180	979789.4	3196.2	976593.2	976615.6
FunabashiC	GH05	2005	193	979789.4	3196.1	976593.3	976615.7
FunabashiA	GH06	2006	243	979788.6	3198.0	976590.6	976613.0
Muroran	GH06	2006	256	980462.6	3877.4	976585.2	976612.3
Muroran	GH06	2006	258	980462.6	3877.9	976584.7	976611.8
FunabashiA	GH06	2006	272	979788.6	3198.3	976590.3	976612.7
FunabashiC	GH07	2007	170	979788.4	3217.5	976570.9	976593.4
Onahama	GH07	2007	184	980008.8	3438.1	976570.7	976594.8
Onahama	GH07	2007	186	980008.8	3438.6	976570.2	976594.3
FunabashiC	GH07	2007	198	979788.4	3217.4	976571.0	976593.5
FunabashiC	GH08	2008	210	979789.4	3219.5	976569.9	976592.4
NahaA	GH08	2008	225	979113.5	2539.9	976573.6	976591.4
NahaA	GH08	2008	227	979113.5	2540.4	976573.1	976590.9
FunabashiA	GH08	2008	242	979789.4	3219.2	976570.2	976592.7
FunabashiB	GH09	2009	197	979787.9	3249.1	976538.8	976561.5
NahaB	GH09	2009	212	979109.4	2566.7	976542.7	976560.6
NahaB	GH09	2009	214	979109.4	2566.6	976542.8	976560.7
FunabashiB	GH09	2009	229	979787.7	3250.0	976537.7	976560.5
FunabashiA	GH10	2010	300	979788.3	3251.3	976537.0	976559.7
NahaC	GH10	2010	313	979109.7	2568.6	976541.1	976559.1
NahaC	GH10	2010	315	979109.5	2569.8	976539.7	976557.7
FunabashiA	GH10	2010	329	979788.2	3251.8	976536.4	976559.2

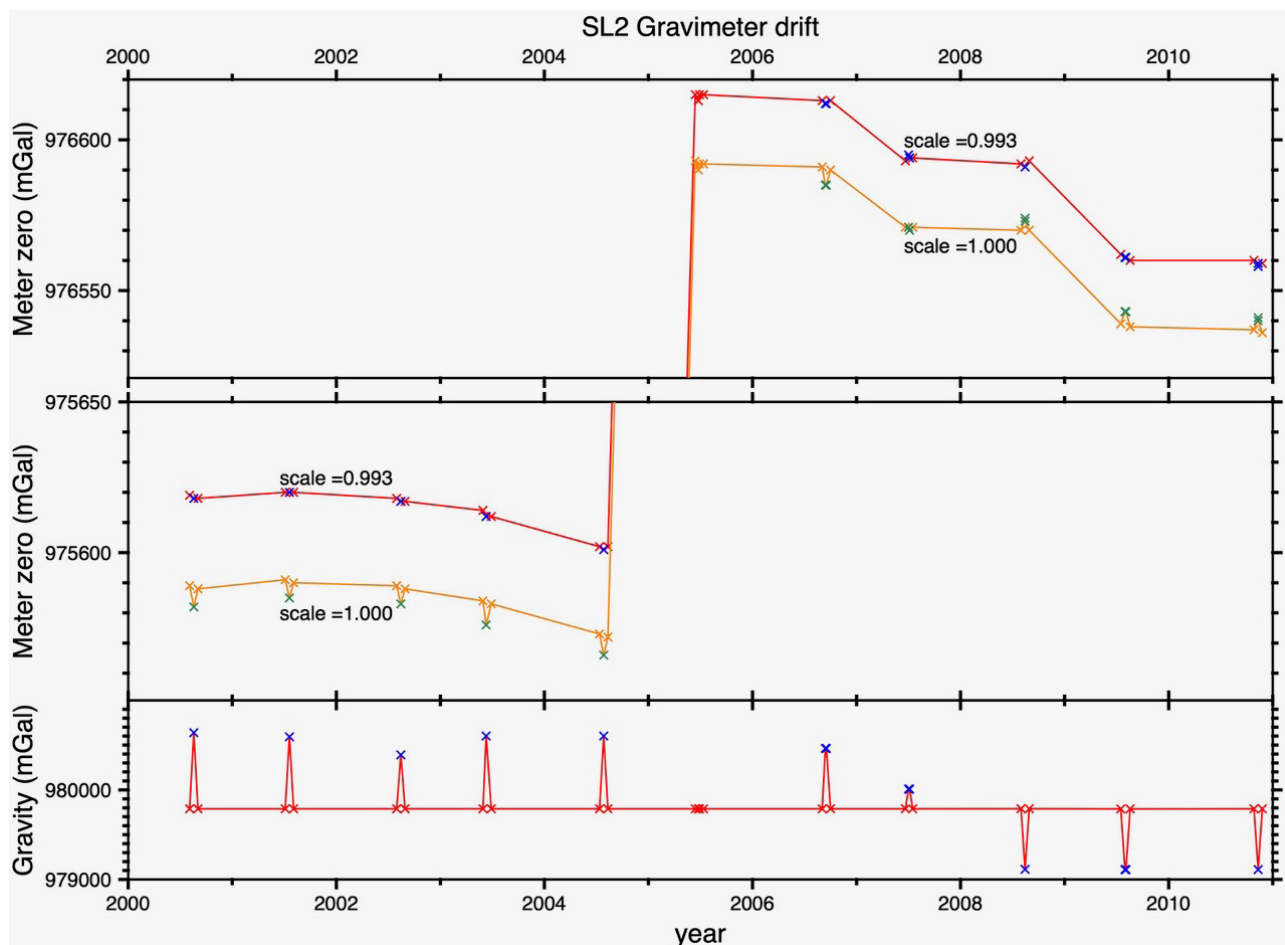
FunabashiA: east wharf A of Funabashi port ; FunabashiB: east wharf B of Funabashi port

FunabashiC: Base of Hakurei-maru No.2 in Funabashi port

NahaA: Urazoe wharf of Naha port ; NahaB: No.3 wharf of Naha Aja New port

NahaC: No. 6-1 wharf of Naha Aja New port

[†] Julian day; *Meter zero for scale =1.0; **Meter zero for scale =0.993.



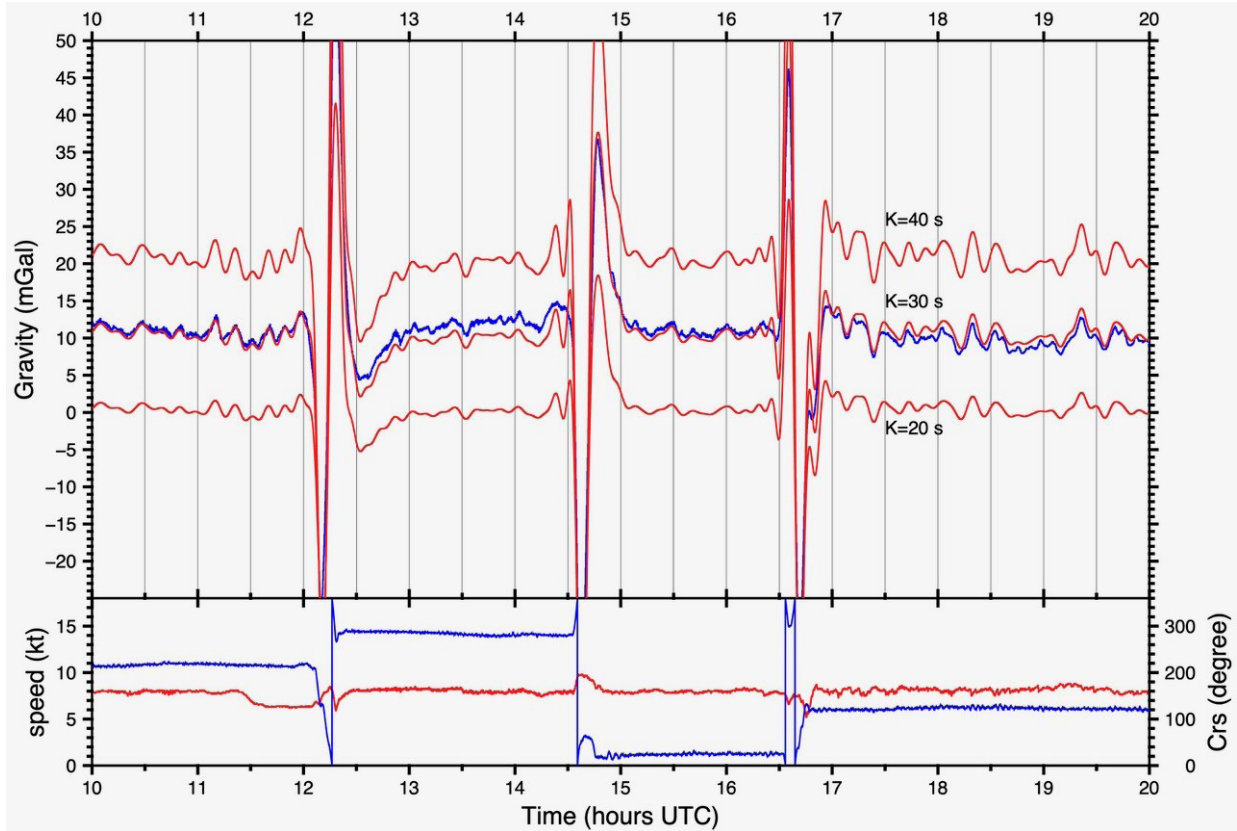
第2図 第2白嶺丸搭載SL2船上重力計のドリフト。下には重力値，上には変換係数0.993の場合のmeter zeroの値を，船橋停泊中は赤色，他の港への入港時は青色のx印で示した。上にはさらに変換係数1の場合のmeter zeroの値を茶色と緑色のx印で示している。

Fig. 2 Drift of the SL2 gravimeter on board Hakurei-maru No.2. Gravity values and meter zero values with the scale of 0.993 at ports are plotted at the bottom and top of each figure, respectively. Values at Funabashi port are shown in red (or brown for meter zero with the scale of 1), while those at other ports are shown in blue (or green for meter zero with the scale of 1).

の高さにあることから，通常この項を無視し，定数の最後の2項および緯度だけの関数でゆっくりと変化する g_n を除き，ローパスフィルターをかけてフリーエア異常を求めている。緯度補正 g_n は1980年の測地基準系に基づく正規重力式(Moritz, 2000)により求めた。エトベス補正 g_E は船の位置データ(緯度・経度)から求められる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(Glicken, 1962)。

船上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)。第4図にGH06航海で得られたエトベス補正を含まない重力値 g_0 (図の紫線)とエトベス補正 g_E (緑線)のパワースペクトル

を示した。他の航海でもほぼ同じようなパワースペクトルが得られるが，エトベス補正を施した重力データ(図の赤線)は低周波部分ではほぼ一定となっていて0.04 Hz(周期25 s)より高周波部分で大きくなっている。これは船の上下振動によるものと推定される。そこで船の動揺等のノイズを消すローパスフィルターとして，低周波側のある周波数(カットオフ周波数という)を境にして比較的シャープに変化する8次のButterworthローパスフィルター(例えばGubbins, 2004)を採用することにした。具体的には1 s間隔の元データにFFT変換を施し， $1/[1+(f/f_c)^{16}]$ (ここで f は周波数， f_c はカットオフ周波数)をかけてからFFT逆変換によってフィルター適用後のデータが得られる。いくつかの値を試した結果，カットオフ周波数が，1/600 Hz(周期10分)と1/480 Hz(周期8分)では次節で述べる得られたデータの交点誤差の値がほぼ同じであ



第3図 GH06航海の3回の変針を含む10時間のデータ。上)重力読取値GからSPRING TENSION Sに変換係数 c_0 をかけた量を引いた値(青線)とビーム速度dB/dtに20, 30, 40 sをかけた値(3つの赤線)。下)船速(赤線)と船の進行方向(青線)。

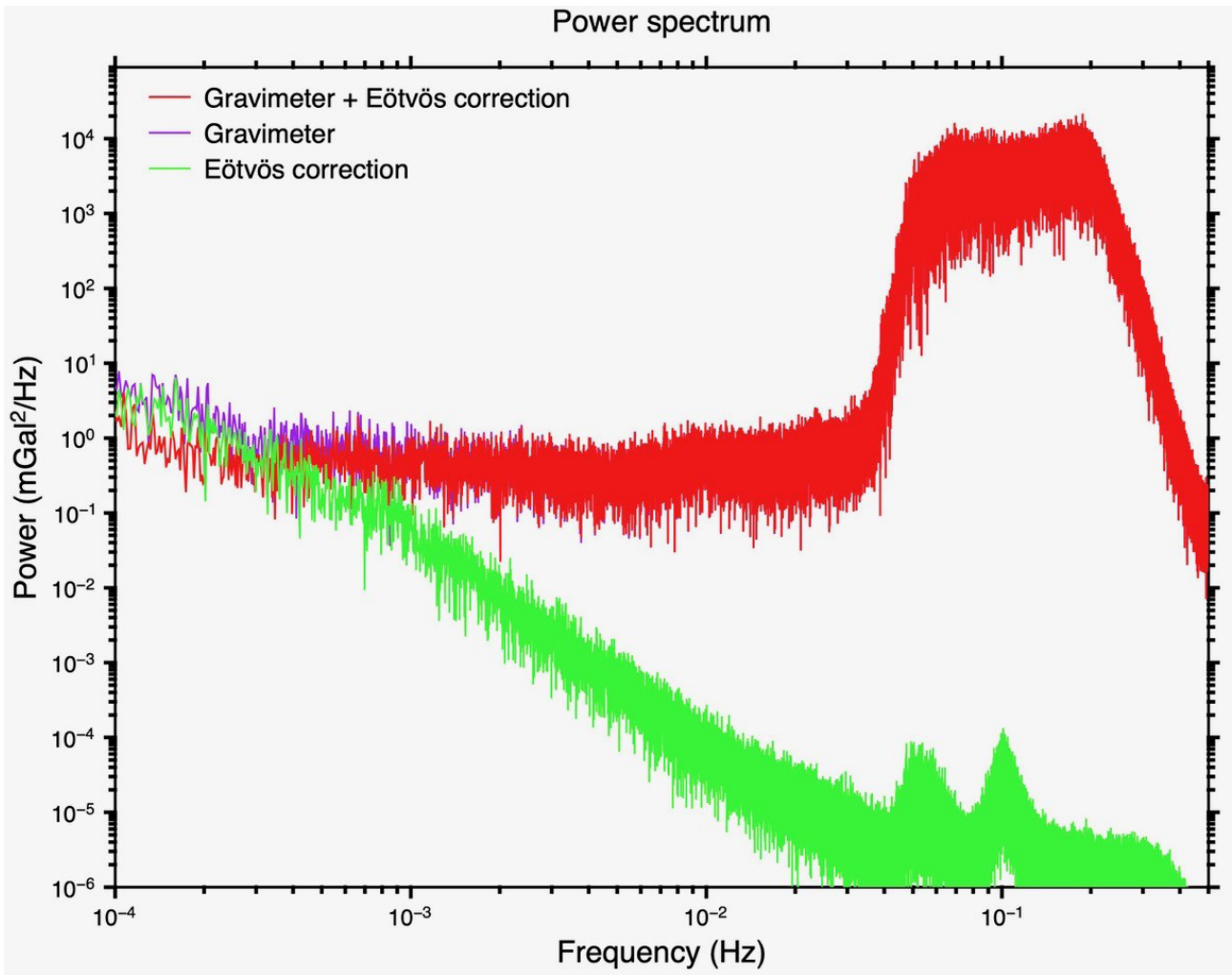
Fig. 3 Ten-hours long data collected in GH06 cruise including three course changes. Above) Gravity reading G –Spring tension $S \times c_0$ (blue line) and beam velocity dB/dt multiplied by 20, 30 and 40 s (3 red lines). Below) ship's speed (red line) and ship's course (blue line).

るが、1/300 Hz (周期5分)では大きくなることから、カットオフ周波数 f_c として1/480 Hz (周期8分)を採用することにした。第5図にこのフィルターの周波数応答特性を示した。白嶺丸のSL2重力計のデータ処理に用いた時間的にほぼ対称で幅520 sのガウシアンローパスフィルター(石原, 2021b; 図中青線)が周波数とともにゆっくりと減少していくのに比べると、ここで採用した8次のButterworthローパスフィルター(カットオフ周波数1/480 Hz, 図中赤線)は、周期500 s(周波数0.002 Hz)以上の長周期成分は減衰が少なくほぼ元データのまま保存されているがそれより短い周期成分がより大きく減衰していることがわかる。なお、各測線の端では変針に伴い針路に直交する方向に遠心力が働き重力計の鉛直性が保たれなくなり、重力測定値に誤差が生じる。Peters and Brozena (1995)によれば、これは水平方向の加速度の観測値を使って補正できるはずであるが、生データの中にある測線方向と直交方向の水平加速度データを使ってうまく補正することができず、この部分のデータは最終結果から除くこととした。

4. 交点誤差とレベリング補正

第6図にフリーエア異常値の測線間の交点誤差のヒストグラムを示した。ほとんどの変針近くを除いたデータ(青色のヒストグラム)は ± 5 mGalの中に収まっており、RMS COD (root mean square crossover difference)は北海道沖オホーツク海(GH00・GH01航海; 第6図A)と北海道南方(GH02・GH03・GH04・GH06航海; 第6図C)のデータでは1.13 mGal, 沖縄島周辺(GH08・GH09・GH10航海; 第6図D)では1.55 mGalとなった。

さらに交点での誤差を小さくするため、白嶺丸のデータ(石原, 2021b)と同様Ishihara (2015)を簡略化したレベリング補正計算を試みた。この方法では、全ての測線同士が最接近する点(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重力異常値の差を求め、各々の最接近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ガウシアン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を小



第4図 GH06航海で取得された重力データとエトベス補正データのパワースペクトル。
 Fig. 4 Power spectra of gravity and Eötvös correction data collected in GH06 cruise.

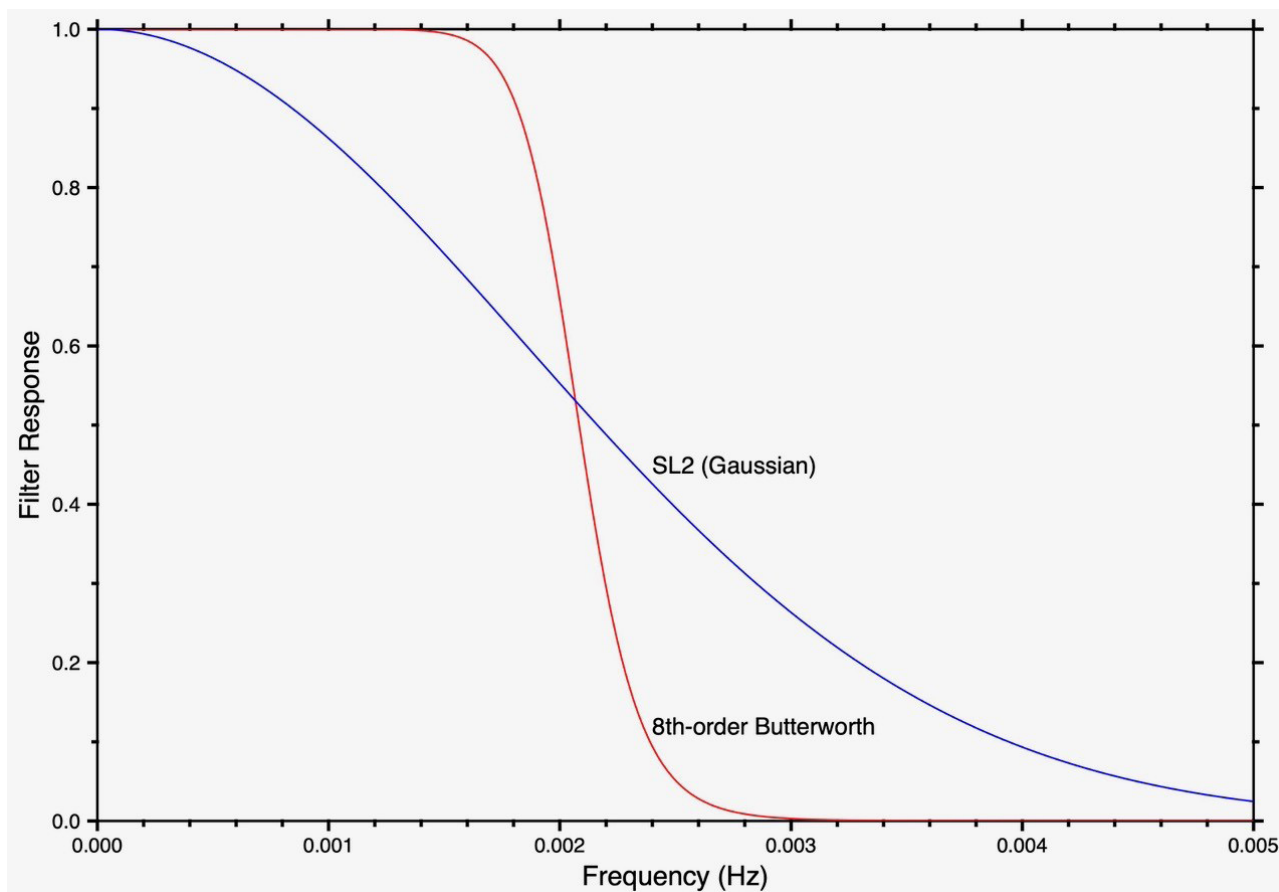
小さくすると最接近点近辺の観測データの重みが増して交点誤差が小さくなるが、実際には存在しない短波長の人為的な異常を作る危険がある。検討の結果、測線の長さより短くならない程度ということでガウシアンローパスフィルターの全長である6 σ 幅(σ はガウス関数の標準偏差)として6時間を採用することにした。オホーツク海のデータに対しては2回の繰り返し補正計算によってRMS CODを0.86 mGalまで小さくすることができたが(第6図Aの下)、他の海域では北海道南方海域で2回の繰り返し計算で1.02 mGal(第6図Bの下)、沖縄島周辺海域で5回の繰り返し計算で1.30 mGal(第6図Cの下)とRMS CODを余り小さくすることができなかった。

5. 重力異常図とアルチメトリによる重力異常との比較

上のようなデータ処理で得られたフリーエア重力異常

データについて、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のグリッドデータ(Sandwell *et al.*, 2014)と比較してみた。このグリッド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程度と推定されている。

第7図、第8図、第9図は、各々北海道沖オホーツク海、北海道南方、沖縄島周辺のアルチメトリによるフリーエア異常と第2白嶺丸航海で得られたものを比較して示したものである。大きな傾向はよく一致しているが、アルチメトリによるもの(A)は短波長成分が少なくよりスムーズなコンターで示されているのに対して、第2白嶺丸航海で得られたもの(B)は短波長の異常がより多く確認できるとともに、特に重力勾配が大きい部分の勾配と位置が明瞭である。

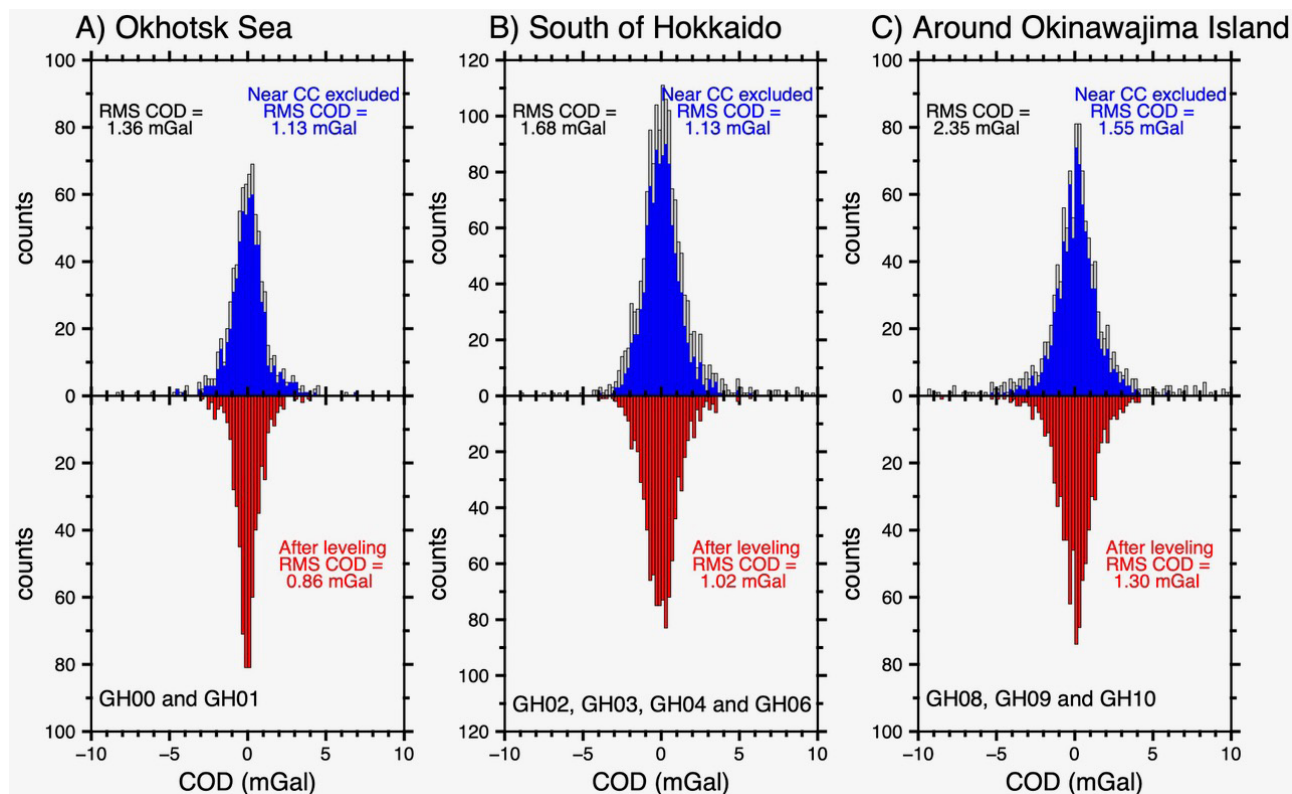


第5図 重力計データのローパスフィルターの周波数応答. SL2 (青線), カットオフ周波数1/480 Hzの8次のButterworthローパスフィルター (赤線).

Fig. 5 Responses of low-pass filters for gravity data. SL2 gravimeter (blue line) and 8-th order Butterworth low-pass filter with a cutoff frequency of 1/480 Hz (red line).

第10図, 第11図, 第12図は, 上記の各々の海域に対して第2白嶺丸航海で得られたデータとアルチメトリのグリッドデータの補間によって求めた同じ緯度・経度の点での値の差の分布である. いずれも(A)はヒストグラム, (B)はこの差の地理的分布, (C)は同じ地域の地形を示したものである. ヒストグラムを見ると大部分が ± 5 mGal以内に入っていて, 最小二乗差として北海道沖オホーツク海(第10図A)と北海道南方(第11図A)では3 mGal程度, 沖縄島周辺の海域(第12図A)では少し大きい値5.45 mGalが得られた. これらのデータの差の原因は, 北海道沖オホーツク海については, 第10図Cに示されるように東部では1000 mを越す深海が広がっているが中部から西部では500 mより浅い大陸棚が広がっていて, 浅いところに重力異常のソースとなるものが存在する可能性がある. そのため船上重力計で得られた重力異常には短波長のものがあるが, アルチメトリデータではこの海域を含めて短波長の異常が見られず, それが差を大きくしている原因と考えられる. 北海道南方(第11図)と沖縄

島周辺(第12図)でも水深が浅いところで2つの重力異常の差が大きい傾向が見られる. さらに海岸線からの距離の影響も考えられる. 陸の近傍では重力異常の差が大きくなる傾向があり, 特に沖縄島の東側ではこの差が正に, 北西側では負に偏っている等, 差が大きくなる傾向が顕著である. これは衛星から海面高度をトラッキングして得られるアルチメトリデータでは, 海岸線の近傍でデータが不連続になるため得られるデータの精度が低下するためと推定される(Sandwell and Smith, 2009). このように, (1)船上重力計のデータがカットオフ周波数1/480 Hz, これは船速10ノット(18.52 km/h)を仮定すると2.5 kmで1/2に減衰するローパスフィルターであるのに対して, 海面高度から重力異常を求めるアルチメトリデータでは波浪のノイズを取り除くため波長14 kmで1/2に減衰するローパスフィルターがかかっており(Sandwell *et al.*, 2013), 船上重力観測で確認可能な水深が500 m以浅の海域の短波長の異常がアルチメトリデータでは分解能不足のために見られないこと, (2)海岸線近傍でアルチメト



第6図 第2白嶺丸航海の測線の交点でのフリーエア重力異常値の差の分布. A) 北海道沖オホーツク海のGH00・GH01航海で灰色ヒストグラム(測線の両端の変針部分を含む場合), 青色ヒストグラム(含まない場合)及びレベリング補正後のヒストグラム(赤色)で各々RMS COD 1.36 mGal, 1.13 mGal及び0.86 mGal. B) 北海道南方のGH02・GH03・GH04・GH06航海で同様に灰色, 青色及び赤色で各々RMS COD 1.68 mGal, 1.13 mGal及び1.02 mGal. C) 沖縄島周辺のGH08・GH09・GH10航海で同様にRMS COD 2.35 mGal, 1.55 mGal及び1.30 mGal.

Fig. 6 Distribution of crossover differences (CODs) of free air gravity anomalies obtained by Hakurei-maru No.2 cruises. A) Data collected in GH00 and GH01 cruises in the Okhotsk Sea off Hokkaido with RMS CODs of 1.36 mGal, 1.13 mGal and 0.86 mGal for the line data including records near course changes (gray histogram), data excluding those records (blue histogram) and data after line leveling (red histogram), respectively. B) Data collected in GH02, GH03, GH04 and GH06 cruises south of Hokkaido with RMS CODs of 1.68 mGal, 1.13 mGal and 1.02 mGal for the gray, blue and red histograms, respectively. C) Data collected in GH08, GH09 and GH10 cruises around Okinawajima Island with RMS CODs of 2.35 mGal, 1.55 mGal and 1.30 mGal for the gray, blue and red histograms, respectively.

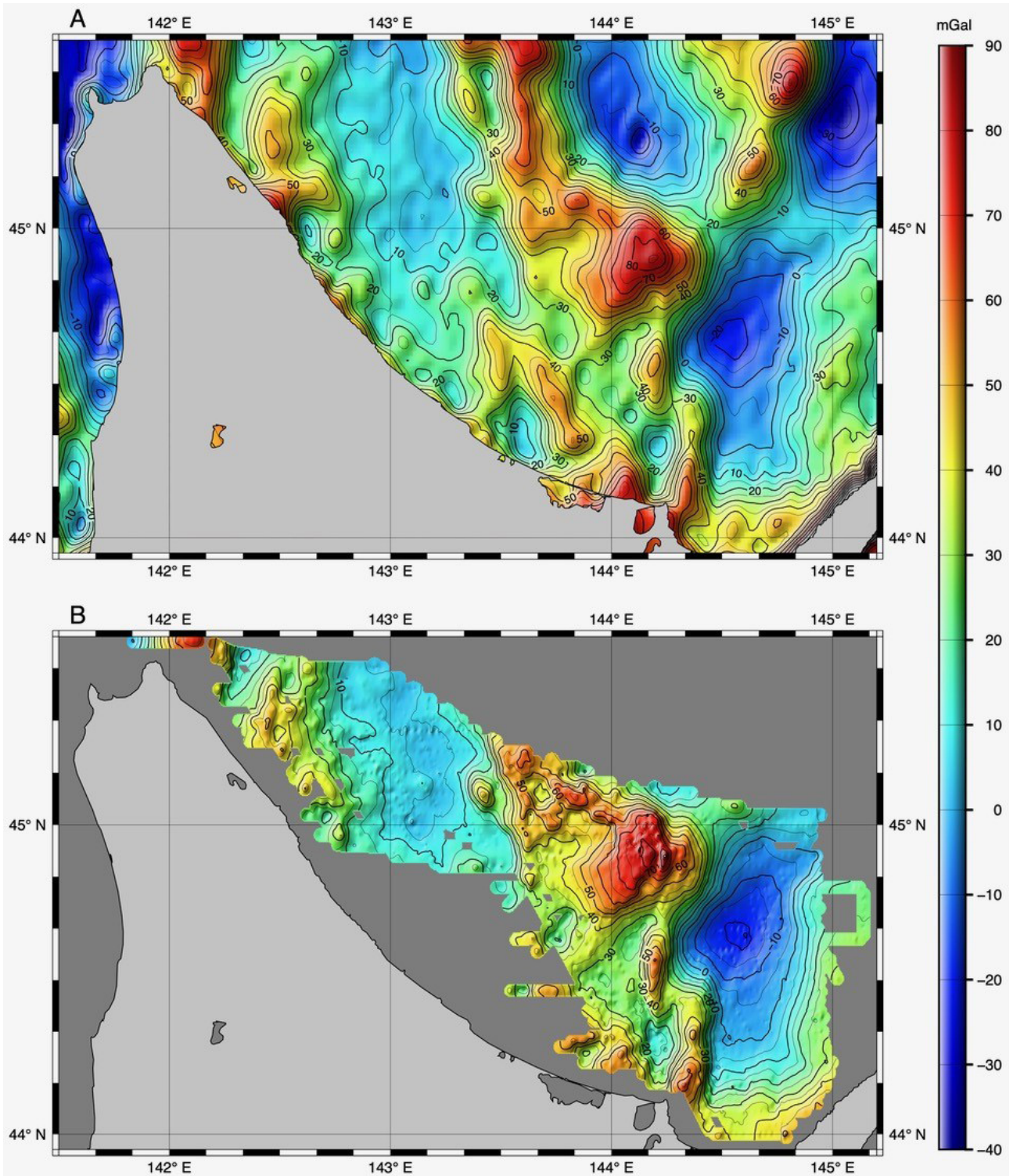
りによるデータの誤差が大きくなること, これら2つの要因が第2白嶺丸によるフリーエア異常とアルチメトリによるものとの差を大きくしていると考えられる. 上で得た第2白嶺丸のデータと, 同じ緯度・経度についてアルチメトリのグリッドデータから補間によって求めた値との差が ± 5 mGal以内のものだけを選んで最小二乗差を計算するとオホーツク海海域で2.26 mGal, 北海道南方海域で2.14 mGal, 沖縄島周辺海域で2.44 mGalとなった. アルチメトリによるフリーエア異常の精度が2 mGal程度だとすればこの程度の差があってよいと推測される.

以上のように, 船上重力計のデータとアルチメトリのデータの差が大きくなる原因は主に後者の誤差のためと考えられるが, 船上重力計の誤差の影響がある可能性も否定できない. 第13図には例として第2白嶺丸で得

られた北海道沖オホーツク海海域の北西部の東西測線のデータを示した. 測線108(赤線)には10 mGal以下の振動が見られるが, それぞれ2マイル(約3.7 km)離れた南北両隣の測線ではほとんど見られない. 周期10~12分の振動なのでカットオフ周波数1/480 Hz(周期8分)のButterworthフィルターではほとんど減衰しないで残ってしまうが, 公開データにはそのまま残した.

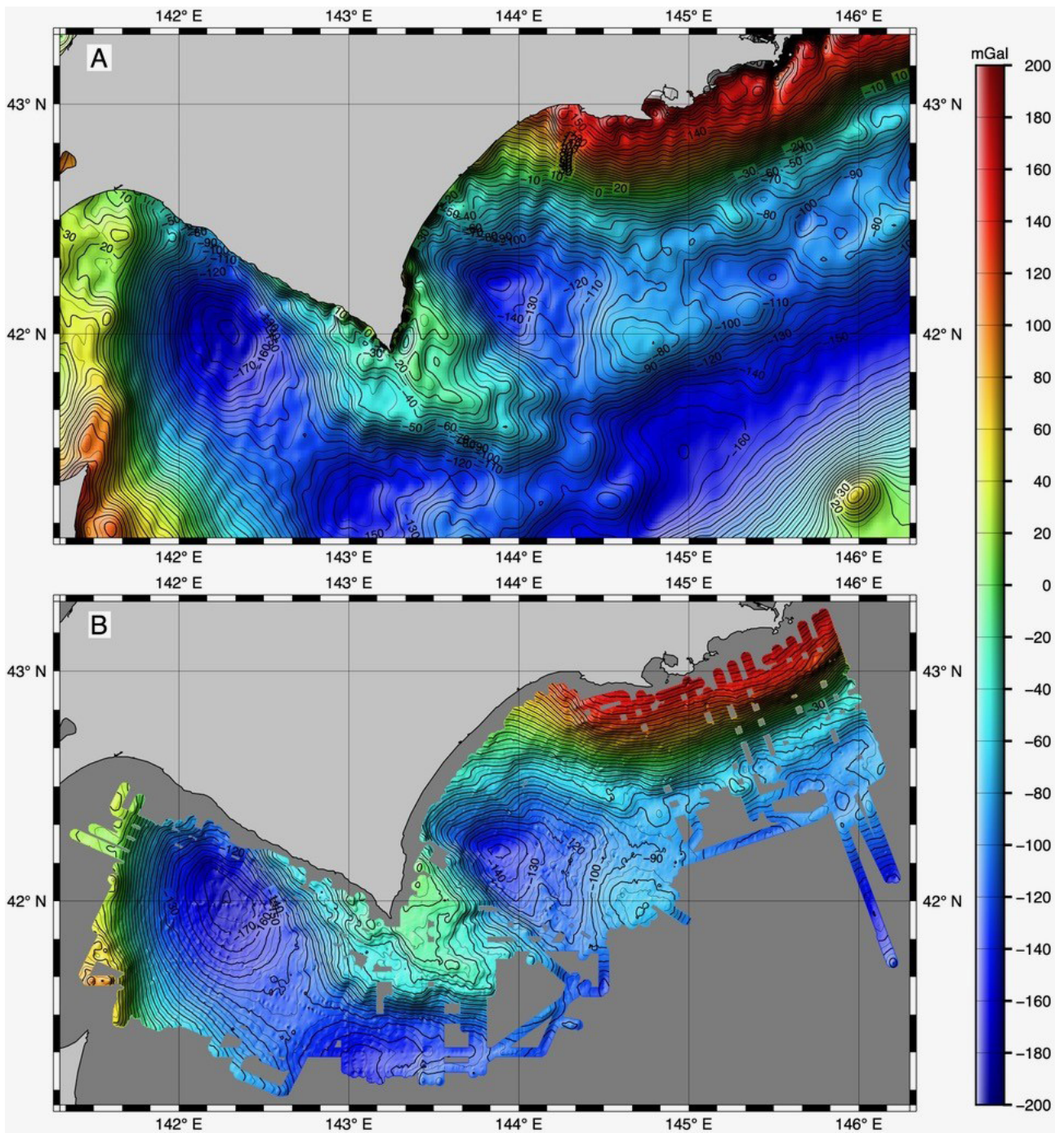
6. 考察

本報告では, Butterworthフィルターのカットオフ周波数を1/480 Hz(周期480 s)としたが, 重力データのパワースペクトルが大きくなる値0.04 Hz(周期25 s)と比べると1/20程度となっている. カットオフ周波数をもう少し大きくとって短波長の重力異常を残すことができる



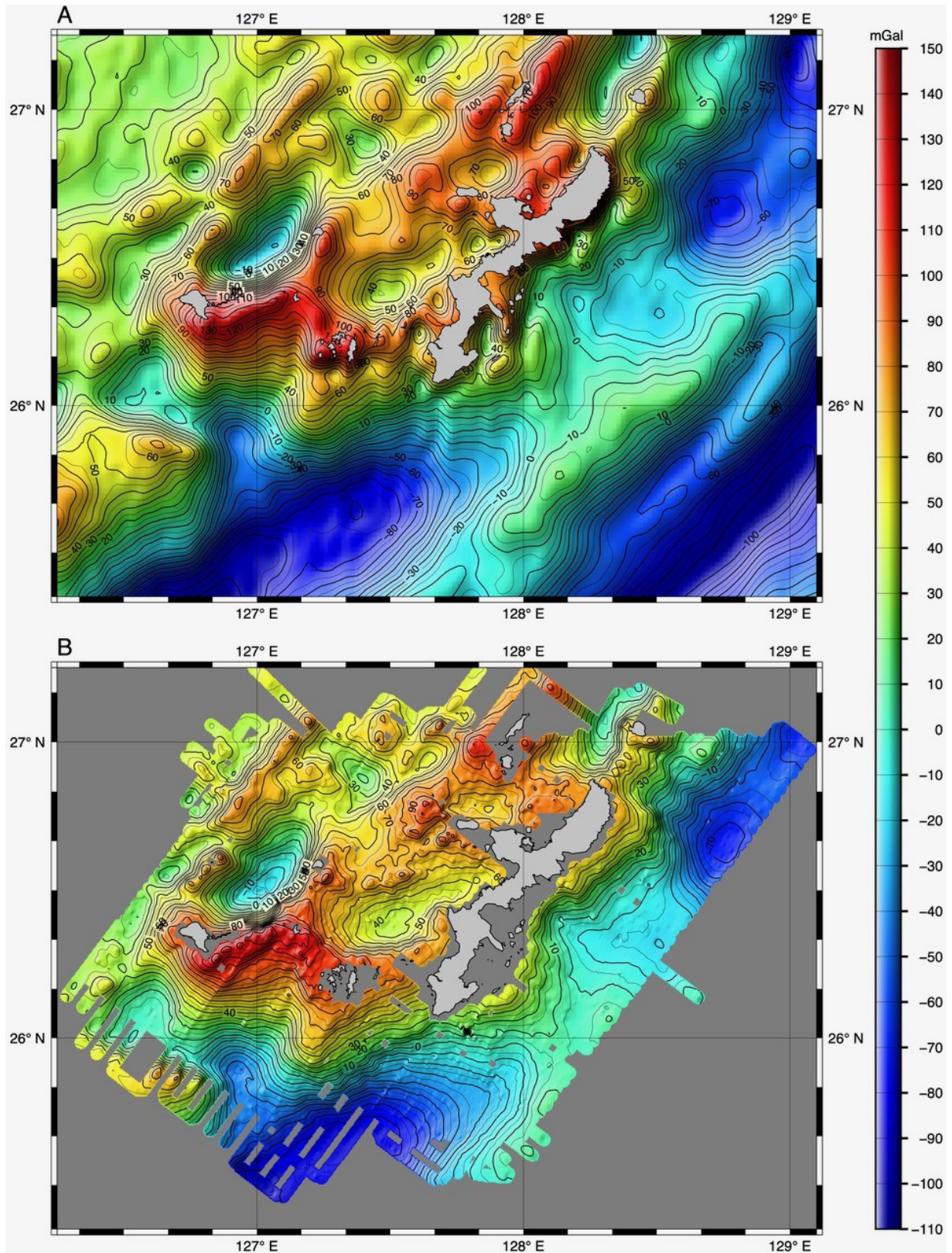
第7図 北海道沖オホーツク海域のフリーエア重力異常。 A) 衛星アルチメトリにより得られたデータ。
 B) GH00・GH01 航海で取得されたものにローパスフィルターとレベルング補正を施したデータ。

Fig. 7 Free air gravity anomalies in the Okhotsk Sea off Hokkaido. A) Data obtained by satellite altimetry.
 B) Data collected in GH00 and GH01 cruises after low-pass filtering and leveling correction.



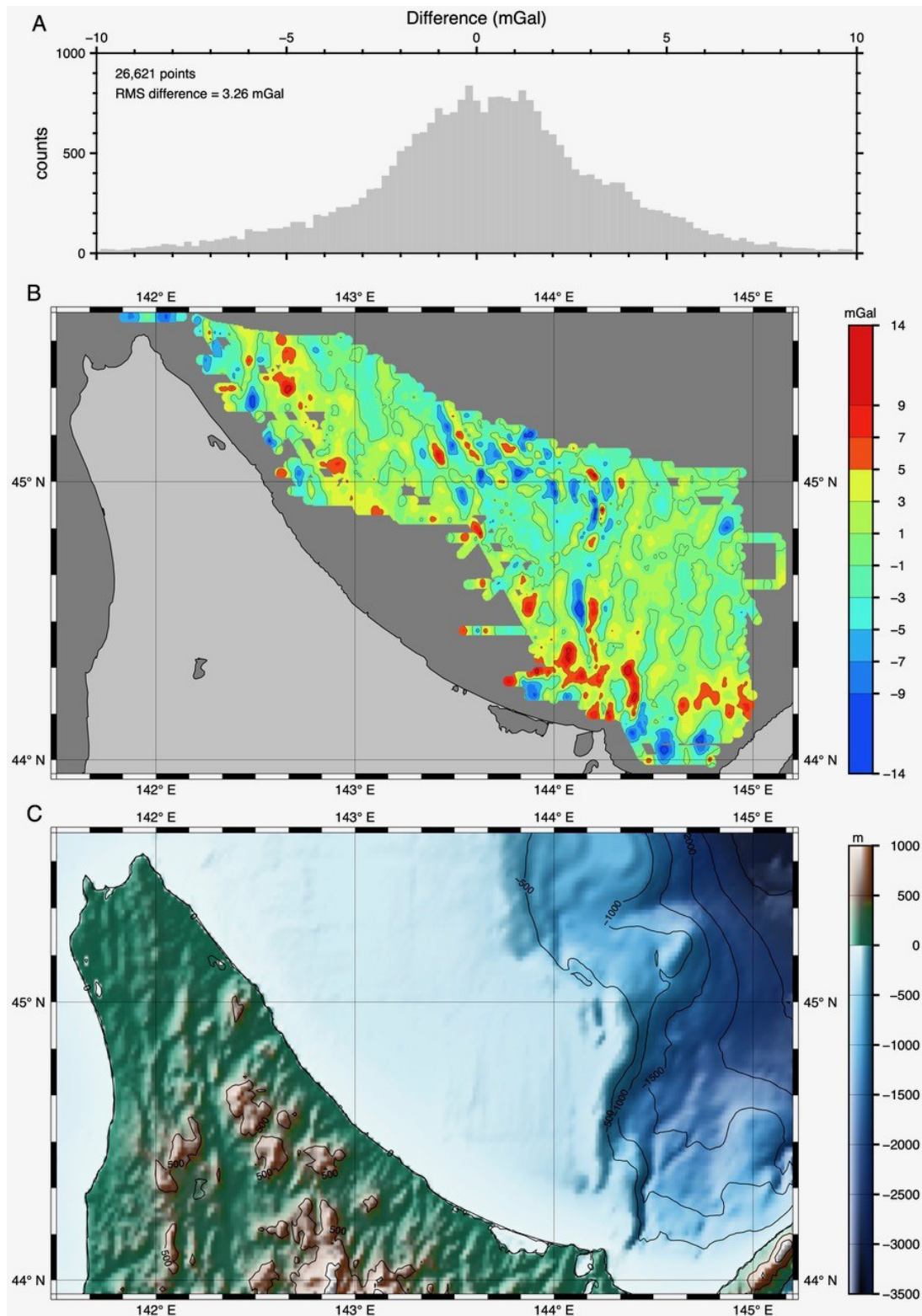
第8図 北海道南方海域のフリーエア重力異常. A) 衛星アルチメトリにより得られたデータ. B) GH02・GH03・GH04・GH06航海で取得されたものにローパスフィルターとレベルング補正を施したデータ.

Fig. 8 Free air gravity anomalies south of Hokkaido. A) Data obtained by satellite altimetry. B) Data collected in GH02, GH03, GH04 and GH06 cruises after low-pass filtering and leveling correction.



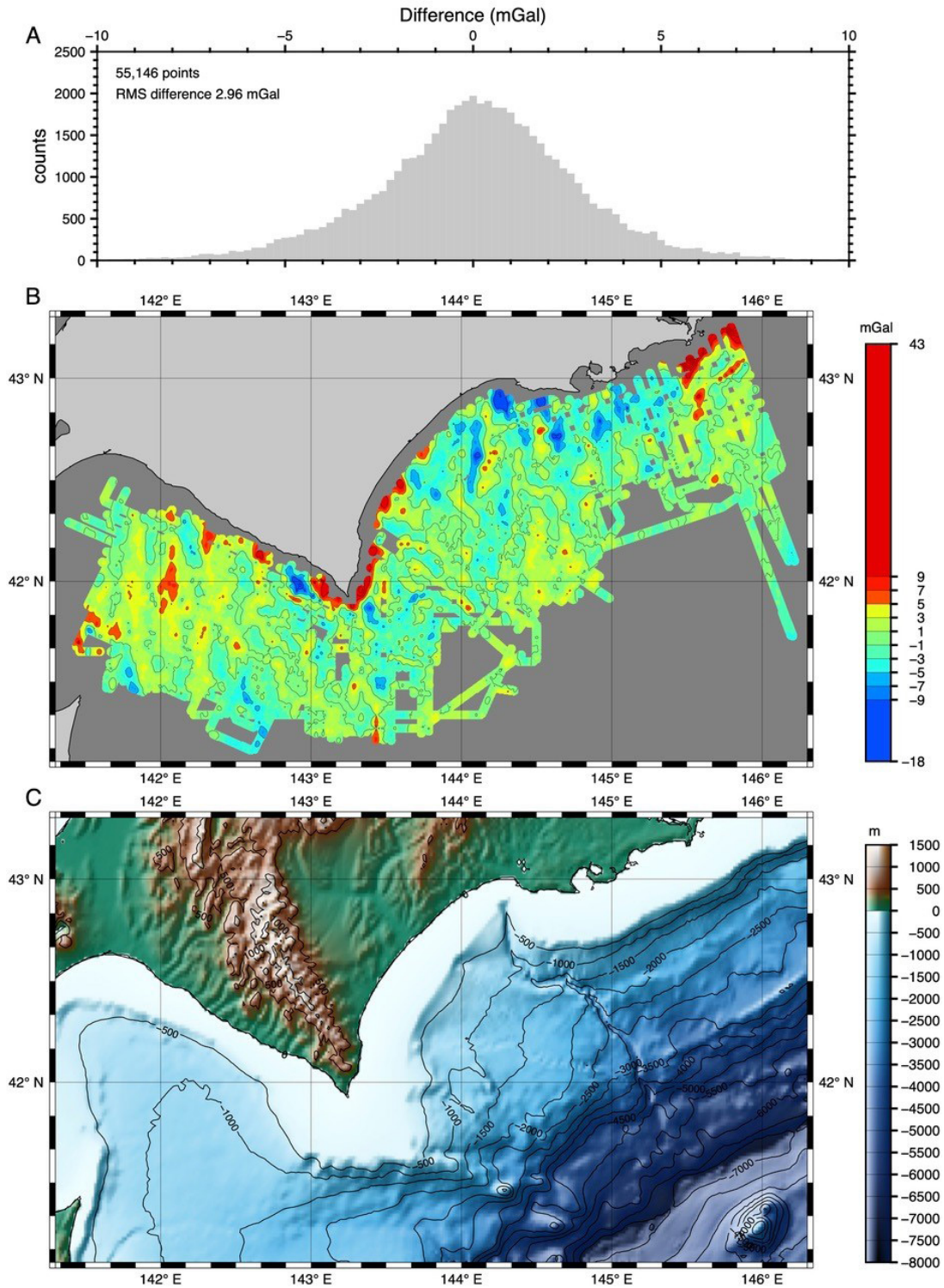
第9図 沖縄島周辺海域のフリーエア重力異常. A) 衛星アルチメトリにより得られたデータ. B) GH08・GH09・GH10航海で取得されたものにローパスフィルターとレベルング補正を施したデータ.

Fig. 9 Free air gravity anomalies around Okinawajima Island. A) Data obtained by satellite altimetry. B) Data collected in GH08, GH09 and GH10 cruises after low-pass filtering and leveling correction.



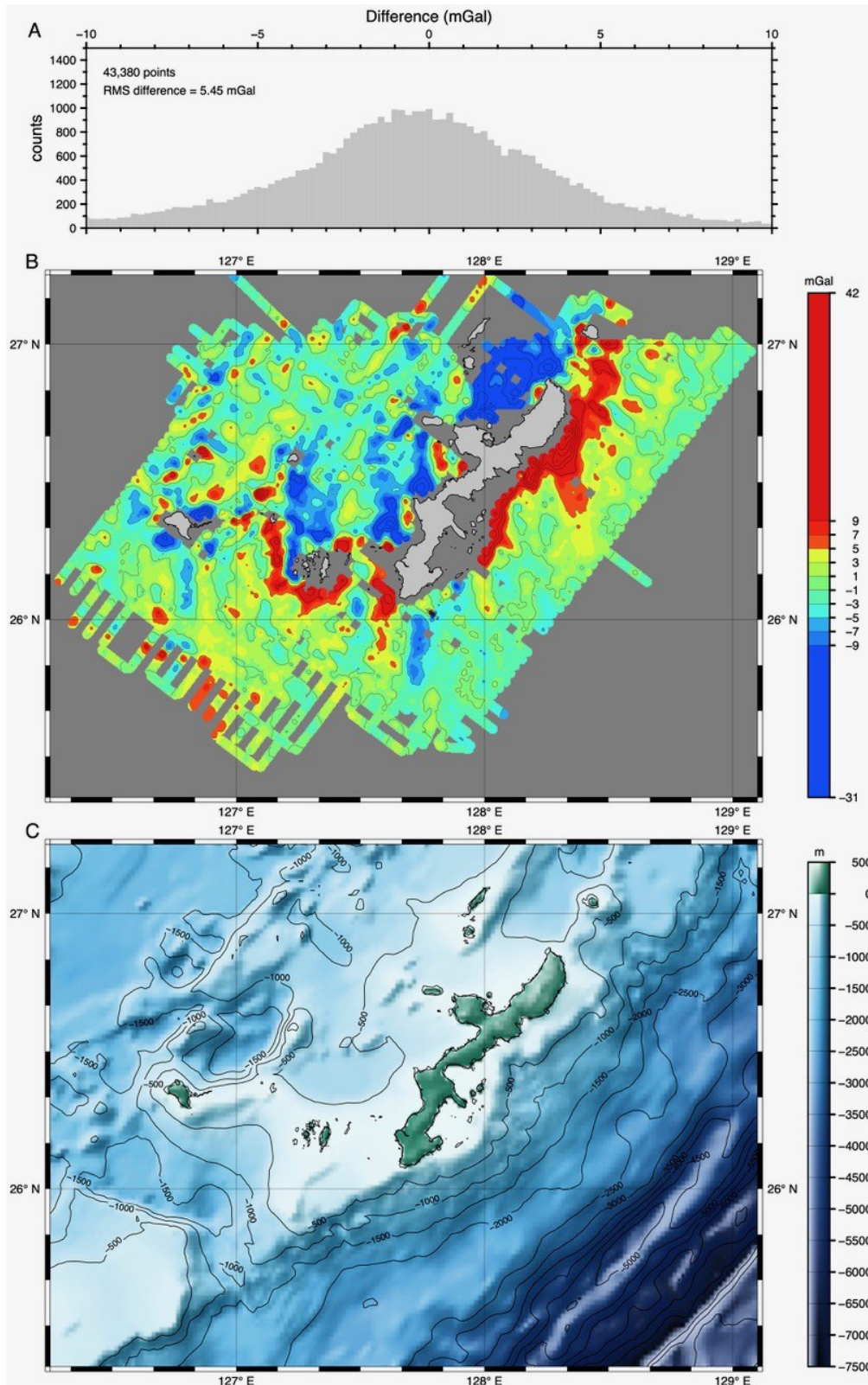
第10図 北海道沖オホーツク海域でGH00・GH01航海で取得されたフリーエア重力異常と衛星アルチメトリにより得られたデータの差の分布. A) ヒストグラム. B) 地理的分布. C) ETOPO1モデル (NOAA National Geophysical Data Center, 2009)による同地域の地形.

Fig. 10 Distribution of free air gravity anomaly differences between data collected in GH00 and GH01 cruises in the Okhotsk Sea off Hokkaido and those obtained by satellite altimetry. A) Histogram. B) Geographical data distribution. C) Topography of the same area from the ETOPO1 model (NOAA National Geophysical Data Center, 2009).



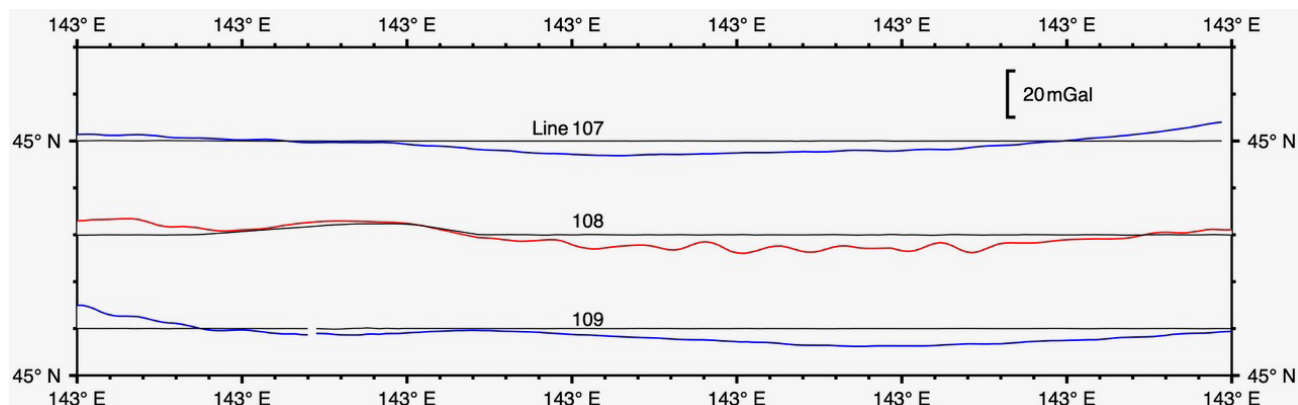
第11図 北海道南方海域のGH02・GH03・GH04・GH06航海で取得されたフリーエア重力異常と衛星アルチメトリにより得られたデータの差の分布. A) ヒストグラム. B) 地理的分布. C) ETOPO1モデル (NOAA National Geophysical Data Center, 2009)による同地域の地形.

Fig. 11 Distribution of free air gravity anomaly differences between data collected in GH02, GH03, GH04 and GH06 cruises south of Hokkaido and those obtained by satellite altimetry. A) Histogram. B) Geographical data distribution. C) Topography of the same area from the ETOPO1 model (NOAA National Geophysical Data Center, 2009).



第12図 沖縄島周辺海域のGH08・GH09・GH10航海で取得されたフリーエア重力異常と衛星アルチメトリにより得られたデータの差の分布. A) ヒストグラム. B) 地理的分布. C) ETOPO1モデル (NOAA National Geophysical Data Center, 2009)による同地域の地形.

Fig. 12 Distribution of free air gravity anomaly differences between data collected in GH08, GH09 and GH10 cruises around Okinawajima Island and those obtained by satellite altimetry. A) Histogram. B) Geographical data distribution. C) Topography of the same area from the ETOPO1 model (NOAA National Geophysical Data Center, 2009).



第13図 オホーツク海海域のGH00航海で取得された東西方向のフリーエア重力異常の3測線のプロファイル図。測線の位置は黒で、測線108の異常値は赤線、測線107と109は青線で示した。

Fig. 13 Three E-W free air anomaly profiles of data collected in GH00 cruise in the Okhotsk Sea. Track lines are shown in black, whereas anomaly values of line 108 are shown in red, and those of lines 107 and 109 are shown in blue.

のではないだろうか。Ishihara *et al.* (2018) は海中曳航体にLaCoste & Romberg社製の海中重力計を搭載して熱水鉱床域での微小な重力異常を検出するのに成功している。重力値を100 Hzで測定し水圧計で精密な深度を40 Hzで測定して鉛直加速度の補正をするなど異なる条件であるが、幅180 sのガウシアンローパスフィルターで重力異常を計算している。船上重力測定でも、GPS干渉測位などを使って船の鉛直方向の位置を精密に測定して鉛直加速度の補正ができればButterworthフィルターのカットオフ周波数を1/480 Hzより大きくすることができる可能性があり、より狭い範囲を高分解能で調査する可能性が広がる。

2000～2010年の航海の重力データはGH05・GH07の航海を除いて重力異常図として既に出版されている(上嶋・駒澤, 2011, 2014; 上嶋ほか, 2007b, 2012a, 2012b; 小田2018, 2022; 小田・佐藤, 2015)。これらはSL2重力計の生データに対して時間的にほぼ対称で幅520 sのガウシアンローパスフィルターに近いデジタルフィルターをかけて得られるデータを使用しており、第5図に示したように重力異常の1/480Hz(周期8分)より長周期の部分も減衰するフィルターがかかっている。同じ海域で両方のデータを比較してみた。第14図A, 第15図A, 第16図Aが各々北海道沖オホーツク海, 北海道南方, 沖縄島周辺の出版されたフリーエア異常図と同じSL2重力計のデジタルフィルターをかけて得られるデータで作成した異常図, 第14図B, 第15図B, 第16図Bが両者の差をプロットしたものである。観測範囲の端など測線の端, 異常値が急変しているところを除くと, 両者の差は各海域の多くで±0.5 mGal以内に収まっている。レベリング補正の影響もあって測線に沿う異常が目立つが, それでもほとんどの海域で両者の差は±1.5 mGal以内であ

る。今回公開するデジタルデータの方が短波長成分をより多く含む高分解能のデータではあるが, 出版されたフリーエア異常図のように5 mGal間隔のコンター図で示すと両者の違いはほとんどないといえる。

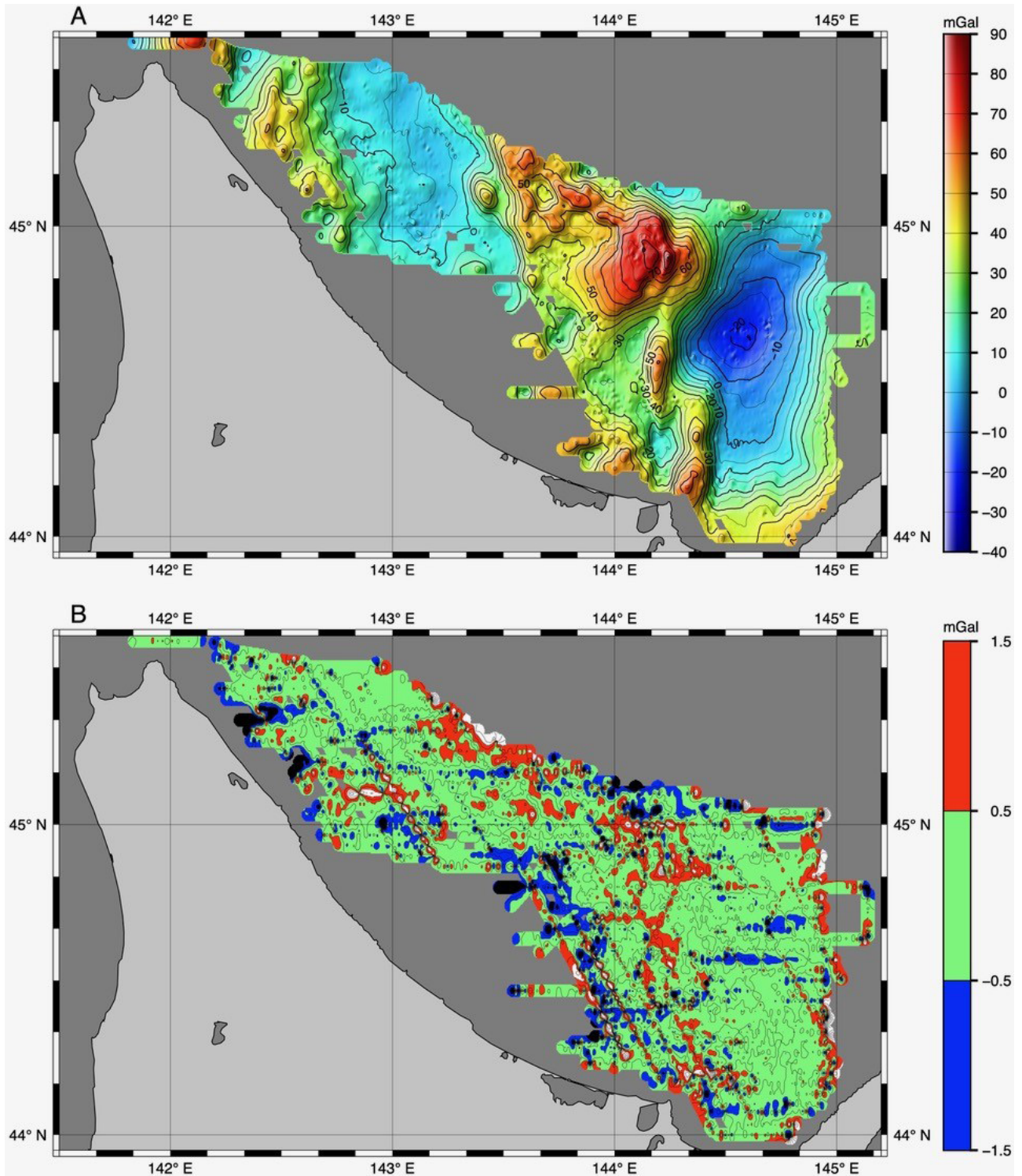
7. まとめ

第2白嶺丸の2000年から2010年までの航海で取得された1 s間隔の重力生データをもとに, 1分間隔の高精度なデータを整備することができた。カットオフ周波数1/480 Hz(周期8分)の8次Butterworthローパスフィルターを適用し, さらにレベリング補正を行った後の北海道沖オホーツク海, 北海道南方, 沖縄島周辺の各海域のデータに対するフリーエア異常のRMS CODは各々0.86 mGal, 1.02 mGal, 1.30 mGalである。

衛星アルチメトリによるデータとの比較では, 水深が浅い海域で航海データに短波長の重力異常が見られること, 衛星アルチメトリデータは陸の近傍で精度が低下すること, これ等2つの原因で航海データと衛星アルチメトリデータの差が3～5 mGalと大きくなっていると推測される。

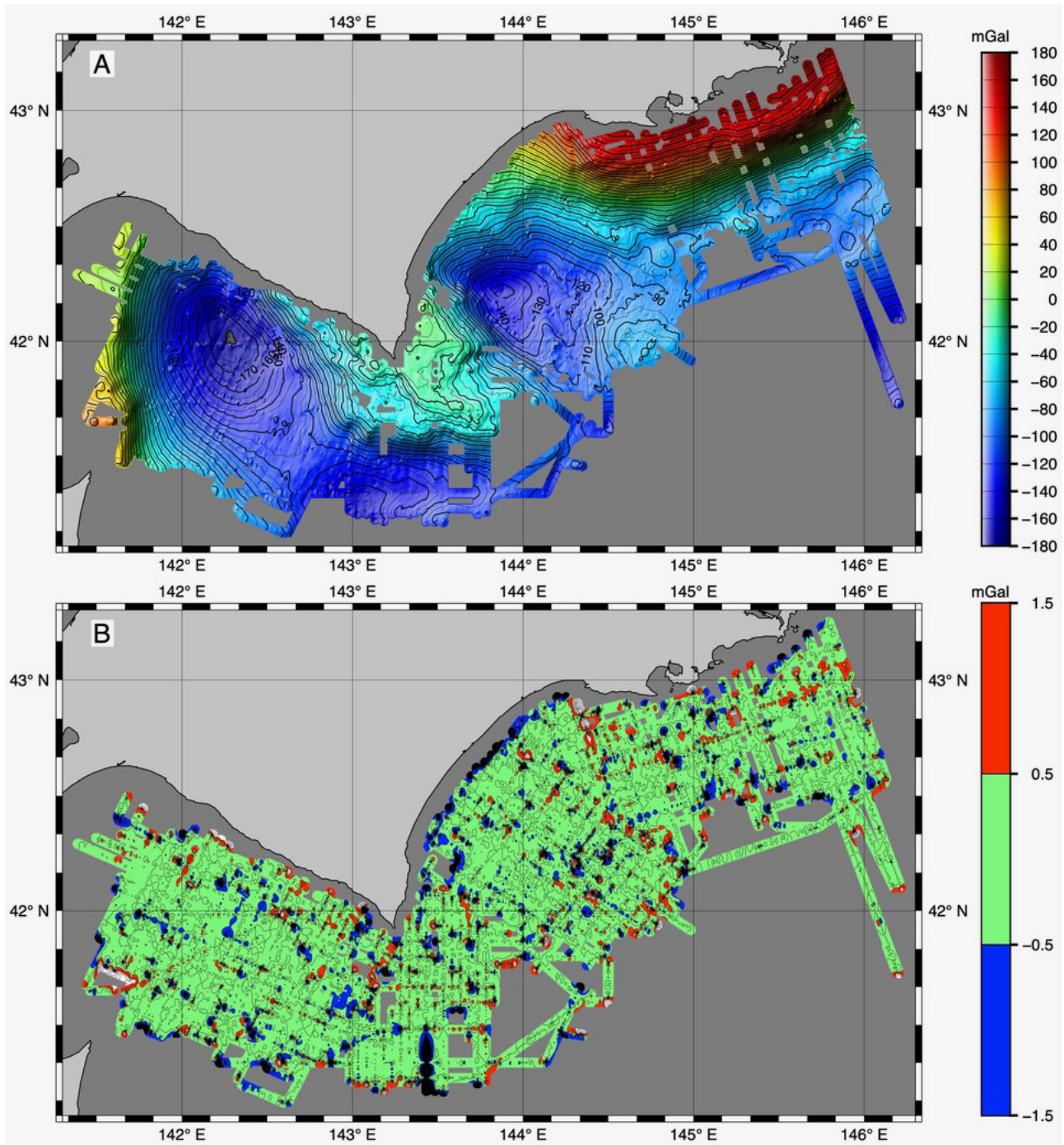
重力データファイルは地質調査総合センター研究資料集として公開予定である。

謝辞: 第2白嶺丸の船上重力計のデータ取得, およびこれまでに出版された重力異常図の作成は, 著者等の他, 上嶋正人・駒澤正夫・山崎俊嗣・佐藤太一の各氏によって行われた。また, 歴代の第2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。査読者森尻理恵博士から貴重なコメントをいただき本稿を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。



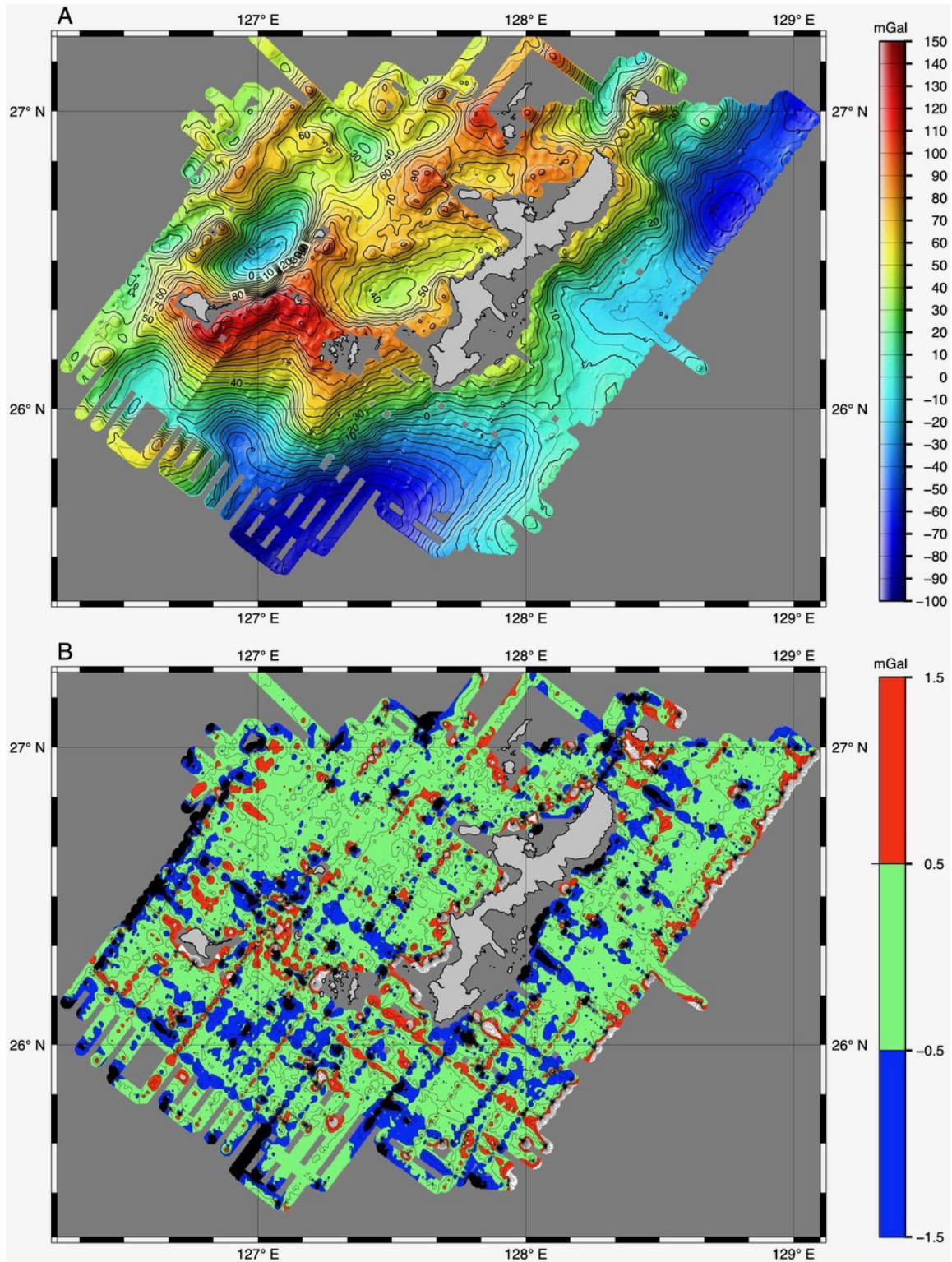
第14図 A) GH00・GH01航海で取得されたSL2重力計のデジタルフィルター出力を使用して作成した北海道沖オホーツク海域のフリーエア重力異常。 B) SL2重力計のデジタルフィルター出力とカットオフ周波数1/480 Hzの8次Butterworthローパスフィルター出力の差の同海域での分布。

Fig. 14 A) Free air anomalies in the Okhotsk Sea off Hokkaido made by using output of digital filter of SL2 gravimeter collected in GH00 and GH01 cruises. B) Distribution of free air gravity anomaly differences in the Okhotsk Sea off Hokkaido between output of the digital filter of SL2 gravimeter data and output of an 8-th order Butterworth low-pass filter with a cutoff frequency of 1/480 Hz collected in GH00 and GH01 cruises.



第15図 A) GH02・GH03・GH04・GH06航海で取得されたSL2重力計のデジタルフィルター出力を使用して作成した北海道南方海域のフリーエア重力異常。 B) SL2重力計のデジタルフィルター出力とカットオフ周波数1/480 Hzの8次Butterworthローパスフィルター出力の差の同海域での分布。

Fig. 15 A) Free air anomalies south of Hokkaido made by using output of digital filter of SL2 gravimeter collected in GH02, GH03, GH04 and GH06 cruises. B) Distribution of free air gravity anomaly differences south of Hokkaido between output of the digital filter of SL2 gravimeter data and output of an 8-th order Butterworth low-pass filter with a cutoff frequency of 1/480 Hz collected in GH02, GH03, GH04 and GH06 cruises.



第16図 A) GH08・GH09・GH10航海で取得されたSL2重力計のデジタルフィルター出力を使用して作成した沖縄島周辺海域のフリーエア重力異常. B) SL2重力計のデジタルフィルター出力とカットオフ周波数1/480 Hzの8次Butterworthローパスフィルター出力の差の同海域での分布.

Fig. 16 A) Free air anomalies around Okinawa Island made using output of digital filter of SL2 gravimeter collected in GH08, GH09 and GH10 cruises. B) Distribution of free air gravity anomaly differences around Okinawajima Island between output of the digital filter of SL2 gravimeter data and output of an 8-th order Butterworth low-pass filter with a cutoff frequency of 1/480 Hz collected in GH08, GH09 and GH10 cruises.

文献

- Childers, V.A., Bell, R.E. and Brozena, J.M. (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*. Cambridge University Press, 255p.
- Herring, A. T. and Hall, M. J. (2006) Progress in dynamic gravity since 1984. *The Leading Edge*, **25**, 246–249.
- 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*, 67:11. doi:10.1186/s40623-015-0181-7
- 石原丈実(2021a)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.
- 石原丈実(2021b)白嶺丸重磁力データの整備・公開. 地質調査研究報告, **72**, 421–445.
- 石原丈実・小田啓邦(2021)第2白嶺丸重力データ. 産総研地質調査総合センター研究資料集, No.725, 産総研地質調査総合センター, 2p.
- Ishihara, T., Shinohara, M., Fujimoto, H., Kanazawa, T., Araya, A., Yamada, T., Iizasa, K., Tsukioka, S., Omika, S., Yoshiume, T., Mochizuki, M. and Uehira, K. (2018) High-resolution gravity measurement aboard an autonomous underwater vehicle. *Geophysics*, **83**, G119–G135. doi: 10.1190/GEO2018-0090.1
- 上嶋正人・岸本清行・石原丈実(2007a) GH05航海の地形, 及び重力・磁力異常, 地質調査総合センター速報, **40**, 63–75.
- 上嶋正人・小田啓邦・駒澤正夫(2007b) 枝幸沖重力異常図・磁気異常図, 海洋地質図, No. 63 (CD), 産総研地質調査総合センター.
- 上嶋正人・駒澤正夫(2011) 釧路沖重力異常図・磁気異常図, 海洋地質図, No. 73 (CD), 産総研地質調査総合センター.
- 上嶋正人・駒澤正夫(2014) 襟裳岬沖重力異常図・磁気異常図, 海洋地質図, No. 83 (CD), 産総研地質調査総合センター.
- 上嶋正人・山崎俊嗣・駒澤正夫(2012a) 落石岬沖重力異常図・磁気異常図, 海洋地質図, No. 74 (CD), 産総研地質調査総合センター.
- 上嶋正人・山崎俊嗣・駒澤正夫(2012b) 日高舟状海盆重力異常図・磁気異常図, 海洋地質図, No. 77 (CD), 産総研地質調査総合センター.
- LaCoste, L. (1983) LaCoste and Romberg straight-line gravity meter. *Geophysics*, **48**, 606–610.
- Moritz, H. (2000) Geodetic Reference System 1980. *Journal of Geodesy*, **74**, 128–133.
- Nettleton, L. L. (1976) *Gravity and Magnetism in Oil Prospecting*, McGraw-Hill, Inc., 464p.
- NOAA National Geophysical Data Center (2009) ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model. NOAA National Centers for Environmental Information. [Accessed: 2022-6-27]
- 小田啓邦・佐藤太一(2015) 沖縄島北部周辺海域重力異常図・磁気異常図, 海洋地質図, No. 85 (DVD), 産総研地質調査総合センター.
- 小田啓邦(2018) 沖縄島南部周辺海域重力異常図・磁気異常図, 海洋地質図, No. 90 (CD), 産総研地質調査総合センター.
- 小田啓邦(印刷中) 久米島周辺海域重力異常図・磁気異常図, 海洋地質図, No. 92, 産総研地質調査総合センター.
- Peters, M.F. and Brozena, J.M. (1995) Methods to improve existing shipboard gravimeters for airborne gravimetry. *Proceedings of the IAG symposium on airborne gravity field determination*, 39–45.
- Sandwell, D.T. and Smith, W.H.F. (2009) Global marine gravity from retracked Geosat and ERS-1 altimetry: ridge segmentation versus spreading rate. *Journal of Geophysical Research*, **114**, B01411. doi:10.1029/2008JB006008
- Sandwell, D.T., Garcia, E., Soofi, K., Wessel, P., Chandler, M. and Smith, W.H.F. (2013) Toward 1-mGal accuracy in global marine gravity from Cryosat-2, Envisat, and Jason-1. *The Leading Edge*, **32**, 892–899.
- Sandwell, D.T., Müller, R.D., Smith, W.H.F., Garcia, E. and Francis, R. (2014) New global marine gravity model from Cryosat-2 and Jason-1 reveals buried tectonic structures. *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., Smith, W. H. F., Scharroo, R., Luis, J. F. and Wobbe, F. (2013) Generic Mapping Tools: Improved version released. *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, **94**, 409–410.

(受付 : 2022年2月15日 ; 受理 : 2022年5月30日)
(早期公開 : 2022年6月28日)

東京都世田谷区で掘削された上用賀 GS-SE-1 及び駒沢 GS-SE-3 コアの 更新統東京層の有孔虫・貝形虫化石群集

金子 稔^{1,*}・石川 博行²・原島 舞³・野村 正弘⁴・中澤 努⁵

KANEKO Minoru, ISHIKAWA Hiroyuki, HARASHIMA Mai, NOMURA Masahiro and NAKAZAWA Tsutomu (2022) Fossil foraminiferal and ostracode assemblages from the Pleistocene Tokyo Formation in cores GS-SE-1, Kami-Yoga and GS-SE-3, Komazawa, Setagaya, Tokyo, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 73 (2), p. 49-65, 4 figs, 2 tables and 3 plates.

Abstract: Fossil assemblages of foraminifers and ostracodes were investigated in the Pleistocene Tokyo Formation, Shimosa Group, which is distributed beneath the Musashino Upland in Setagaya, southwestern Tokyo. Fossil foraminifers and ostracodes were collected from two sediment cores: GS-SE-1, Kami-Yoga and GS-SE-3, Komazawa, Setagaya, Tokyo. Thirty-eight samples were obtained from the approximately 25-m-thick Tokyo Formation in the cores for the analysis. Of them, 40 benthic foraminiferal species belonging to 18 genera were identified from 18 samples, and 41 ostracode species belonging to 21 genera were identified from 14 samples. Planktonic foraminifers were not detected. On the basis of the fossil foraminiferal and ostracode assemblages, the Tokyo Formation is subdivided into eight zones: Zones I-VI in the lower part and Zones VII and VIII in the upper part. They are interpreted as an inner bay environment in Zone I, a middle bay environment in Zone II-IV, an inner to middle bay environment in Zone V and an outer bay environment in Zone VI in ascending order. Zones VII and VIII, which correspond to the upper part of Tokyo Formation, are considered as an outer bay environment near a coastal area.

Keywords: benthic foraminifers, ostracodes, Pleistocene, Tokyo Formation, Musashino Upland

要 旨

東京都世田谷区の武蔵野台地で掘削された上用賀GS-SE-1及び駒沢GS-SE-3コアの更新統下総層群東京層の有孔虫・貝形虫化石分析を行った。38試料を処理し18試料から有孔虫化石が産出した。底生有孔虫は18属40種が認められた。浮遊性有孔虫は認められなかった。14試料から貝形虫化石が産出した。貝形虫化石は21属41種が認められた。産出した有孔虫と貝形虫化石群集に基づき、東京層下部をI-VI帯に、東京層上部をVII-VIII帯に区分した。その結果、東京層下部のI帯は湾奥部、II-IV帯は湾中央部、V帯で湾域が縮小し湾中央部から湾奥部、VI帯で湾口部の環境が推定された。東京層上部のVII-VIII帯は、海進が進み開放的な湾の湾口部で海岸付近の環境が推定された。

1. はじめに

東京層(東京都土木技術研究所, 1996; 納谷ほか, 2021)は、東京都の武蔵野台地(むさしの)東部から東京低地の地下に分布する更新世の地層で、泥層主体で谷埋め状に分布する下部と砂層主体で広く平坦に分布する上部に分けられる。東京層の堆積年代は長らく不明であったが、模式地の代々木公園コアの東京層は、最近になってテフラや花粉化石群集、堆積相の検討により、海洋酸素同位体ステージ(marine oxygen isotope stage: 以下、MISと表記する)5eを中心に堆積し、千葉県北部の下総台地(しもつま)に分布する木下層に対比されることが明らかになった(中澤ほか, 2020)。また東京都世田谷区(せたがや)を中心に分布する世田谷層(東京都土木技術研究所, 1996)も同時期の地層であることから(中澤ほか, 2019)、納谷ほか(2021)は世田谷層も

¹ 群馬県立自然史博物館 特別研究員 (Research Fellow of Gunma Museum of Natural History, Tomioka, Gunma 370-2345, Japan.)

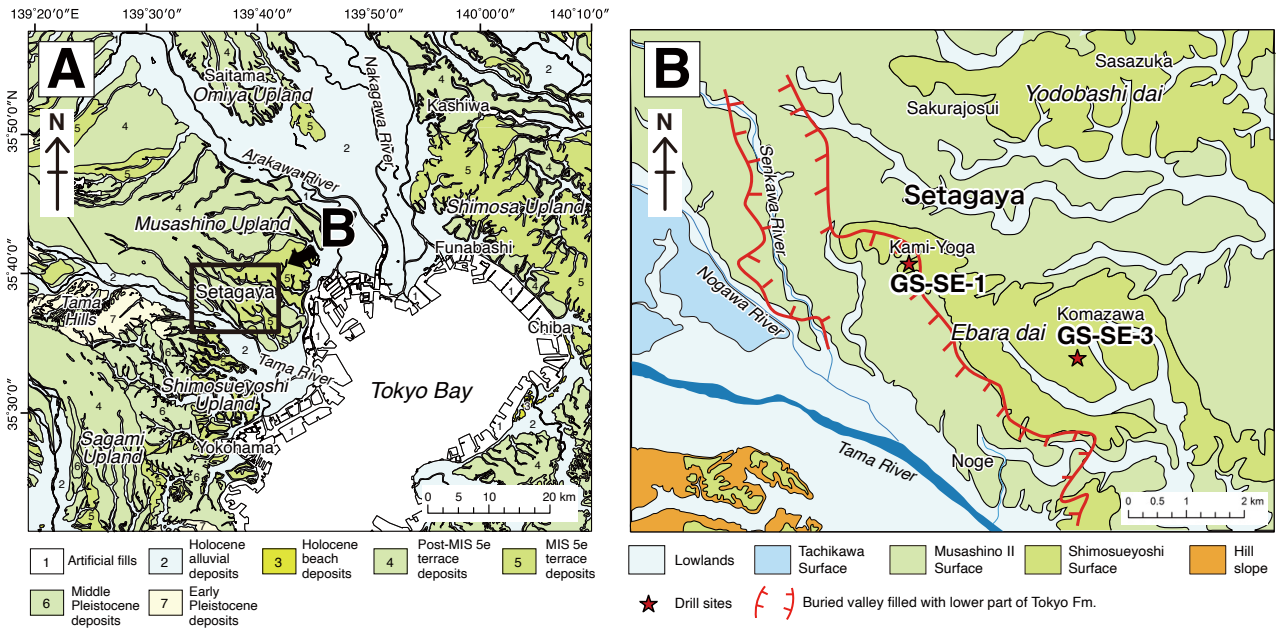
² 所属なし (No affiliation)

³ 筑波大学大学院 理工情報生命学術院 生命地球科学研究群 (University of Tsukuba, Graduate School of Science and Technology, Degree Programs in Life and Earth Sciences, Tsukuba, Ibaraki 305-8751, Japan)

⁴ 駿河台大学メディア情報学部 (Surugadai University, Faculty of Media and Information Resources, Hanno, Saitama 357-8555, Japan)

⁵ 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 (AIST, Geological Survey of Japan, Geoinformation Service Center)

* Corresponding author: KANEKO, M., 150-491 Narizuka, Ota, Gunma 376-0006, Japan. Email: fkaneko@d6.dion.ne.jp



第1図 A：世田谷及びその周辺地域の地質図。20万分の1日本シームレス地質図（産総研地質調査総合センター，2018）を参照して作図。B：世田谷地域の地形区分と掘削地点。中澤ほか（2019）を改変。

Fig. 1 A: Geologic map of Setagaya and the surrounding area. Modified from the Seamless Digital Geological Map of Japan, 1:200,000 (Geological Survey of Japan, AIST, 2018). B: Geomorphic division map of the Setagaya area showing the drill sites. Modified from Nakazawa *et al.* (2019).

東京層に含めている。

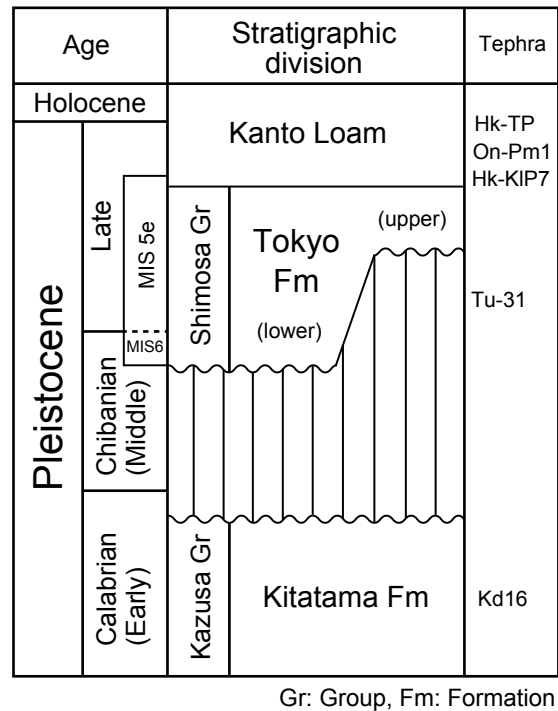
従来の世田谷層を含む東京層の堆積環境については、堆積相や珪藻化石などから、下部は河川及び静穏な内湾環境、上部は比較的広く分布するややエネルギーの高い内湾環境とされている（中澤ほか，2020；納谷ほか，2021）。しかしながら、東京層の大部分を占める内湾堆積物の詳細な環境変遷は明らかにされていない。

本論文では、古海洋環境の指標として有効な微化石である有孔虫及び貝形虫化石を用いて、中澤ほか（2019）や納谷ほか（2021）で検討されたGS-SE-1及びGS-SE-3コアの東京層の古環境変遷について考察した結果を報告する。

2. 地質概説

今回、有孔虫化石及び貝形虫化石を検討した上用質^{かみようが}GS-SE-1及び駒沢GS-SE-3コア（中澤ほか，2019；納谷ほか，2021）は、東京都世田谷区の武蔵野台地上から掘削採取したものである（第1図）。世田谷地域の武蔵野台地は下末吉面（MIS 5e後期）と武蔵野Ⅱ面（MIS 5a）に分けられ、今回検討した^{えぼらだい}両コアの掘削地点はこのうちの下末吉面に相当する荏原台に位置する（第1図）。

世田谷地域の荏原台の地下約50 mまでの深度には、更新統^{かすさ}の上総層群北多摩層、下総層群東京層、関東ローム層が分布する（第2図）。上総層群北多摩層は主に固結シルト層からなり、世田谷区内のコア試料から房総半島の



第2図 世田谷地域の武蔵野台地（荏原台）の地下層序概要。中澤ほか（2019）及び納谷ほか（2021）に基づく。

Fig. 2 Stratigraphic summary beneath the Musashino Upland (Ebara dai) in the Setagaya area. Based on Nakazawa *et al.* (2019) and Naya *et al.* (2021).

上総層群^{きわだ}黄和田層のKd16テフラがみいだされている（村田ほか，2007）。下総層群東京層は，下位の^{きわだ}上総層群を開析する谷の埋積層として局所的に分布する下部とそれとは対照的に広範囲に分布する上部に分けられる（第2図）。世田谷地域の東京層下部は東京都土木技術研究所（1996）や中澤ほか（2019）により世田谷層と呼ばれたが，その後，世田谷層は東京層の模式コアセクション（代々木公園コア）の東京層下部と同時代であることが明らかになったことから（中澤ほか，2020），納谷ほか（2021）では世田谷層を東京層下部としている。本報告でも納谷ほか（2021）に従い，従来の世田谷層を東京層下部として扱う。上用賀GS-SE-1コアには東京層の下部及び上部が観察されるが，駒沢GS-SE-3コアには東京層下部に相当する谷埋め堆積物を欠き，東京層上部のみが観察される。

世田谷地域の東京層下部は最大層厚20 mに達する内湾成の貝化石片混じり泥層を主体とし，基底付近には河川成の砂礫層及び泥質砂層，砂質泥層を伴う。一方，上部は泥質砂層あるいは砂質泥層からなり，基底には砂礫層あるいは礫混じり砂層を伴う。上部の層厚は1～4 mである。中澤ほか（2019）は上用賀GS-SE-1コアの東京層下部（世田谷層）にMIS 5eのTu-31テフラ，東京層上部を覆う関東ローム層の最下部から同じくMIS 5eのHk-K1P7テフラを見いだすとともに，産出する花粉化石群集を鹿島沖海底コアのそれと比較することにより，東京層下部の形成年代をMIS 6～MIS 5e中期，東京層上部をMIS 5e中期？～MIS 5e後期とした。東京層は火山灰土からなる関東ローム層に覆われる（第2図）。

3. 試料及び研究方法

試料は上用賀GS-SE-1コア（東京都世田谷区上用賀，35° 38′ 19.14″ N，139° 37′ 38.78″ E，孔口標高T.P.+45.52 m，掘進長50 m）と駒沢GS-SE-3コア（世田谷区駒沢，35° 36′ 21.88″ N，139° 38′ 31.22″ E，孔口標高T.P.+44.22 m，掘進長25 m）より採取した（中澤ほか，2019）。上用賀GS-SE-1コアからは，深度12.66 mから35.85 mにかけて32試料を採取し，上位から下位に向けてそれぞれSE1-01からSE1-32の試料番号を付した（第3図）。SE1-01とSE1-02は東京層上部より，SE1-03は東京層下部の最上部にある生痕中の砂層より，SE1-04からSE1-32は東京層下部の泥層から採取した。駒沢GS-SE-3コアからは深度12.80 mから15.85 mにかけて東京層上部より6試料を採取し，同様にSE3-01からSE3-06の試料番号を付した（第4図）。

試料は80℃で24時間乾燥し，20 gを計量したのち，水を加え加熱し沸騰させた。構成粒子が十分に分散したら加熱を止め，200メッシュ（目開き0.074 mm）の篩上で水洗した。篩上の残渣を電気定温器で乾燥し，検鏡用試料とした。検鏡にあたっては，有孔虫化石の個体数が200個体程度に含まれるよう残渣を分割し，115メッシュ（目開き0.125 mm）以上の個体を摘出・同定した。また，貝

形虫化石も摘出・同定した。貝形虫化石の個体数について，左右の殻が揃っているものは2個体，片殻のみのは1個体とし，破片は半分以上のものを1個体として数えた。産出個体数が少ない場合はさらに試料を追加して処理した。また，採取した試料が少なく20 gを処理できない試料もあった。代表的な種は，群馬県立自然史博物館の走査型電子顕微鏡（日立ハイテック・TM-1000）を使用して撮影した。

4. 結果

有孔虫化石は上用賀GS-SE-1コアでは32試料を処理し14試料から産出した。東京層上部から産出は認められなかった。東京層下部最上部の生痕中の砂層から採取した1試料，及び東京層下部から採取した13試料から有孔虫化石が産出した。駒沢GS-SE-3コアでは東京層上部の6試料を処理し4試料から有孔虫化石が産出した。底生有孔虫は18属40種が認められた。浮遊性有孔虫は認められなかった。底生有孔虫化石種の産出状況は第1表及び第3，4図に示す。主要な種の走査電子顕微鏡写真を図版1，2に示す。

底生有孔虫化石の産出状況から，上用賀GS-SE-1と駒沢GS-SE-3コアの各層を，下位よりI～VIII帯に区分した（第3，4図）。なお，各帯の主要種・随伴種ともに秋元・長谷川（1989）の内部浅海を上限深度帯としているので，各帯の水深は内部浅海帯と考えられる。

貝形虫化石は上用賀GS-SE-1コアから11試料，駒沢GS-SE-3コアから3試料，21属41種が認められた。貝形虫化石種の産出状況は第2表に，主要な種の走査電子顕微鏡写真を図版3に示す。全体的に貝形虫化石の産出個体数が少なく，最も産出の多かった試料SE1-15で59個体であった。統計学的に微化石を扱う場合，200個体を目安に抽出すれば母集団をおおよそ代表できるとされているが（石崎，1978），全試料がその個体数に及ばなかった。よって，貝形虫化石群集だけで化石帯を設定することが難しいため，有孔虫化石群集により区分された化石帯をもとに古環境の考察を行うこととする。

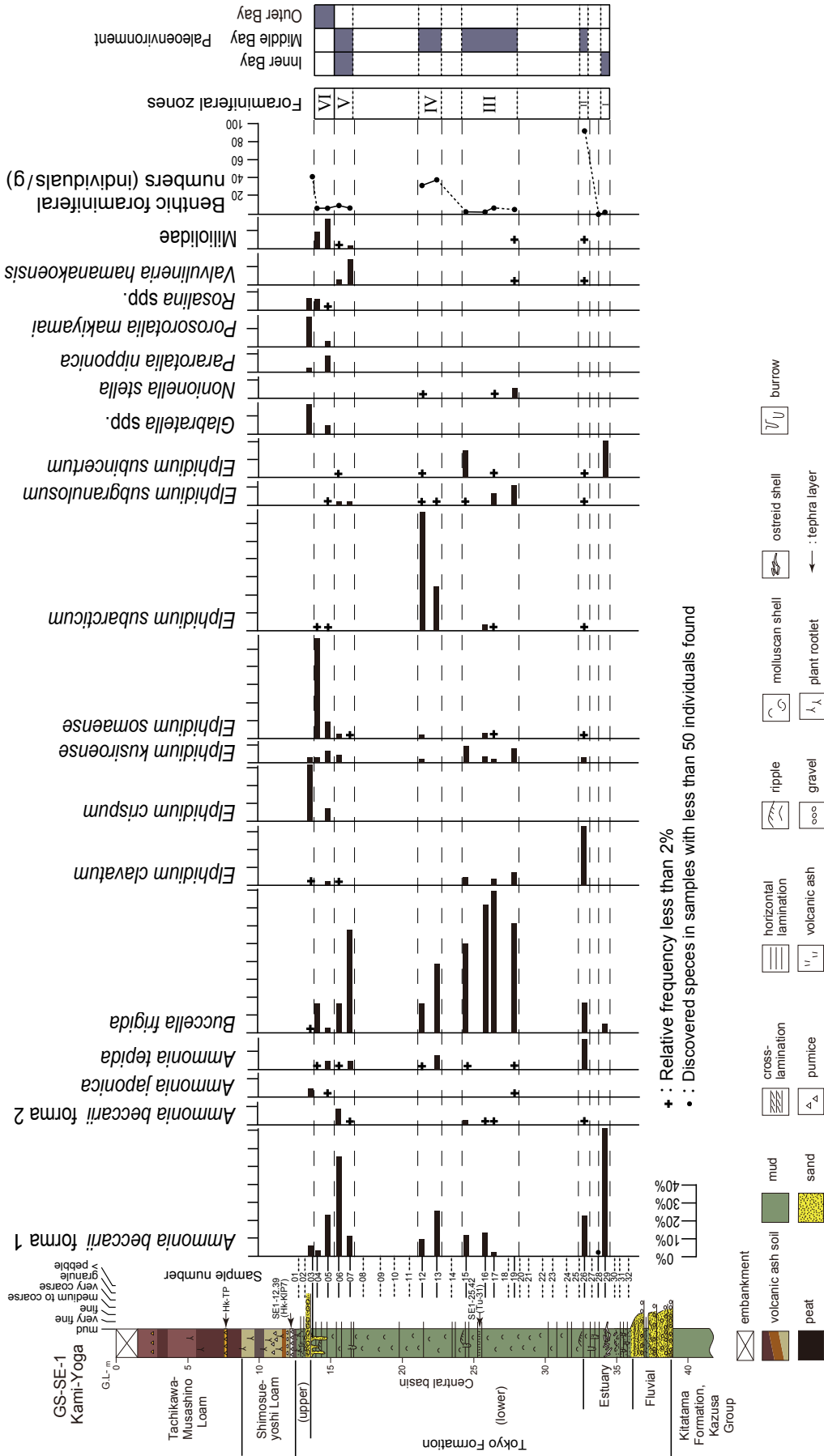
以下に，各化石帯の特徴を述べる。I～VI帯は，上用賀GS-SE-1コアに，VII～VIII帯は，駒沢GS-SE-3コアに認められる。

I帯 [試料SE1-29 (34. 25 ～ 34. 30 m)]

Ammonia beccarii forma 1 (Matoba (1970) の分類基準に基づく) と *Elphidium subincertum* の2種で群集のほとんどを占める。*Buccella frigida*, *Elphidium somaense* を伴う。試料の乾燥重量1 g当たりの底生有孔虫化石数 (以下BFN) は，2.6である。試料はマガキの密集層を含む砂質泥層から採取した。

II帯 [試料SE1-26 (32. 75 ～ 32. 80 m)]

Elphidium clavatum, *Ammonia beccarii* forma 1, *Ammonia tepida*, *Buccella frigida* を主要構成種とし *Elphidium kusiroense*

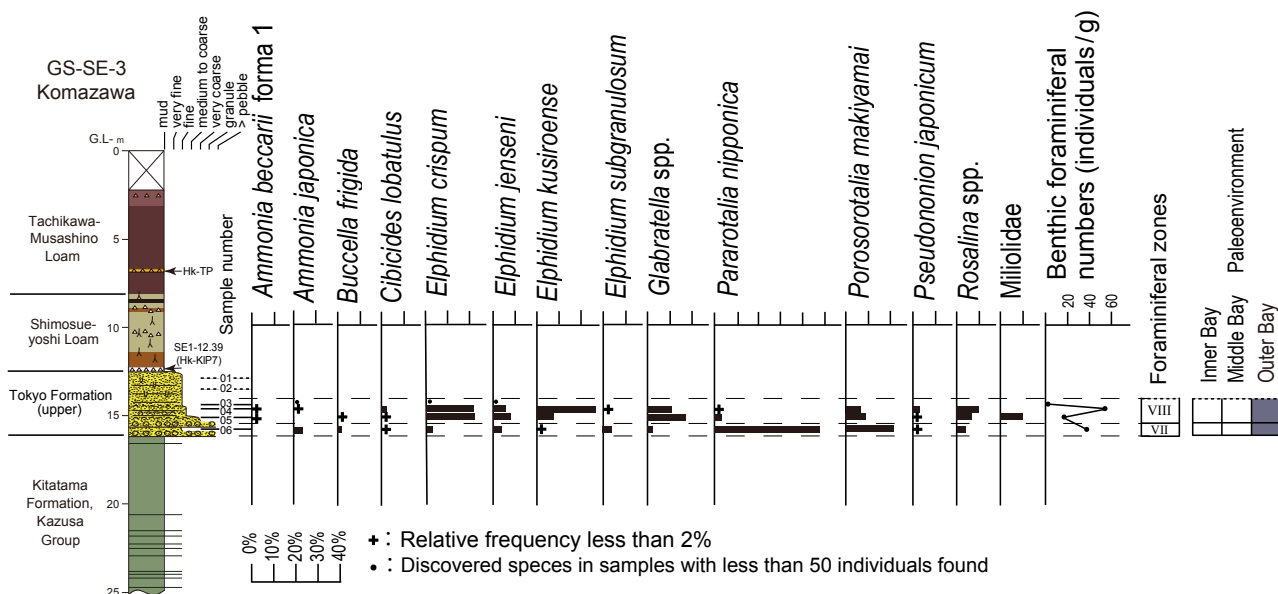


第3図 上用貫GS-SE-1コアの底生有孔虫化石の種組成、有孔虫数。

柱状図の脇に実線で示した試料は有孔虫の産出があり、産出がない場合は破線で示した。

Fig. 3 Species composition of fossil benthic foraminifers and foraminiferal numbers, in core GS-SE-1, Kami-Yoga.

Solid lines beside the column indicate the stratigraphic levels of the examined samples which yield fossil foraminifers, and broken lines indicate those of the absence.



第4図 駒沢GS-SE-3 コアの底生有孔虫化石の種組成，有孔虫数。

柱状図の脇に実線で示した試料は有孔虫の産出があり，産出がない場合は破線で示した。柱状図の凡例は第3図参照。

Fig. 4 Species composition of fossil benthic foraminifers and foraminiferal numbers, in core GS-SE-3, Komazawa.

Solid lines beside the column indicate the stratigraphic levels of the examined samples which yield fossil foraminifers, and broken lines indicate those of the absence. See Fig.3 for the legend of the columnar section.

を伴う。BFNは88で，上用賀GS-SE-1 コア中で最大である。試料は東京層下部の主部である泥層の最下部より採取した。

III帯 [試料SE1-19 (27. 78 ~ 27. 83 m) ~ SE1-15 (24. 40 ~ 24. 45 m)]

*Buccella frigida*の多産で特徴づけられる。随伴種として*Elphidium subgranulosum*, *Elphidium kusiroense*, *Elphidium clavatum*, *Ammonia beccarii* forma 1を伴う。BFNは7 ~ 3である。試料は東京層下部の主部である泥層の中部より採取した。

IV帯 [試料SE1-13 (22. 33 ~ 22. 38 m) ~ SE1-12 (21. 41 ~ 21. 46 m)]

Elphidium subarcticum, *Buccella frigida*の多産で特徴づけられる。随伴種として*Ammonia beccarii* forma 1, *Ammonia tepida*を伴う。BFNは37 ~ 32である。試料は東京層下部の主部である泥層の中部より採取した。

V帯 [試料SE1-07 (16. 45 ~ 16. 50 m) ~ SE1-06 (15. 55 ~ 15. 60 m)]

Buccella frigida, *Ammonia beccarii* forma 1, *Ammonia tepida*を主要構成種とし*Valvulineria hamanaoensis*, *Elphidium somaense*を伴う。BFNは7 ~ 3である。試料は東京層下部の主部である泥層の上部より採取した。

VI帯 [試料SE1-05 (14. 82 ~ 14. 87 m) ~ SE1-04 (14. 16 ~ 14. 21 m)]

Elphidium somaense, *Ammonia beccarii* forma 1を主要

構成種とし，*Buccella frigida*, *Rosalina* spp., *Elphidium crispum*, *Pararotalia nipponica*, *Miliolinella* spp., *Quinqueloculina* spp.を伴う。試料は東京層下部の主部である泥層の最上部より採取した。

VII帯 [試料SE3-06 (15. 80 ~ 15. 85 m)]

*Pararotalia nipponica*の多産で特徴づけられる。随伴種として*Porosotalia makiyamai*, *Elphidium jenseni*, *Elphidium crispum*, *Glabratella* spp., *Buccella frigida*を伴う。BFNは38である。東京層上部の破片化した貝化石が多く混じる砂礫層・礫混じり砂層より採取した。

VIII帯 [試料SE3-05 (15. 15 ~ 15. 20 m) ~ SE3-03 (14. 39 ~ 14. 44 m)]

Elphidium crispum, *Elphidium kusiroense*, *Glabratella* spp.を主要構成種とし，*Porosotalia makiyamai*, *Elphidium jenseni*, *Rosalina* spp., *Quinqueloculina* spp.を伴う。BFNは54 ~ 3である。試料は東京層上部の破片化した貝化石の散在するやや泥質の細粒~中粒砂層より採取した。

5. 考察

5.1 有孔虫化石群集から推定される古環境

I帯 [試料SE1-29 (34. 25 ~ 34. 30 m)]

Ammonia beccarii forma 1は，湾奥部の環境に適応した内湾奥部種群であり(小杉ほか, 1991)，日本の内湾の湾奥部に特徴的な種である(Matoba, 1970；高柳, 1955；Ikeya, 1977)。 *Elphidium subincertum*は，宮城県松島湾の

第1表 上用質GS-SE-1と駒沢GS-SE-3コアの底生有孔虫化石リスト
Table 1 List of fossil benthic foraminifers from cores GS-SE-1, Kami-Yoga and GS-SE-3, Komazawa, Setagaya, Tokyo.

SPECIES	SAMPLE NUMBER		CORE DEPTH (m)		SAMPLE WEIGHT (g)																	
	top	bottom	top	bottom	SE3-03	SE3-04	SE3-05	SE3-06	SE1-03	SE1-04	SE1-05	SE1-06	SE1-07	SE1-12	SE1-13	SE1-15	SE1-16	SE1-17	SE1-19	SE1-26	SE1-28	SE1-29
<i>Ammonia beccarii</i> (Linnaeus) forma 1			2	3					12	2	21	116	15	58	188	11	7	4	4	101	1	49
<i>Ammonia beccarii</i> (Linnaeus) forma 2								9	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	4	4		
<i>Ammonia japonica</i> (Hada)	4	5	5	8					5	1	4	74	4	5	58	1				76		
<i>Ammonia tepida</i> (Cushman)		8	2	1				5														
<i>Ammonia</i> spp.		1						1	12	3	32	75	106	287	47	38	108	73	75			
<i>Bolivina seminuda</i> Cushman			1	4					1													
<i>Buccella frigida</i> (Cushman)				3																		
<i>Cancris auriculus</i> (Fichtel and Moll)			6	2	3			1														
<i>Cibicides lobatulus</i> (Walker and Jacob)		5	2																			
<i>Cibicides</i> sp.		4	3					6	2	2	3			1				3	2			
<i>Elphidium advenum</i> (Cushman)				2				3	2	2	3				4			5	8	146		
<i>Elphidium clavatum</i> Cushman			1	5	37			64	6													
<i>Elphidium crispum</i> (Linnaeus)	1	58	17	14	9			6														
<i>Elphidium jenseni</i> (Cushman)	2	17	14	9				6	2													
<i>Elphidium kuroiense</i> Asano		73	13	2				7	2	6	10		16	9	2	3	9	14				
<i>Elphidium reticulosum</i> Cushman		2						1														
<i>Elphidium somaense</i> Takayanagi		2						51	8	11	2	13	2	1	2	1	1	1	1			2
<i>Elphidium subarcticum</i> Cushman								1	1	1	423	195										
<i>Elphidium subgranulosum</i> Asano		2		8				1	1	5	3	6	5	1	2	9	14	2				
<i>Elphidium cf. subgranulosum</i> Asano		1						7	2	6	10		4	4								
<i>Elphidium subcerium</i> Asano								1	1	1	7		2	14				1	4			14
<i>Elphidium</i> sp. A								1	1	1	1		1	3				1	5			
<i>Elphidium</i> spp.	29	30	5	1				34														
<i>G. labraella</i> spp.			3	1																		
<i>Neocorbina stachi</i> (Asano)													1									
<i>Neocorbina</i> and Moyer																						
<i>Massilina</i> sp.																						
<i>Miliolinella</i> spp.																						
<i>Murrayinella minuta</i> (Takayanagi)									8	11												
<i>Pararotalia nipponica</i> (Asano)			1	6	90				1													
<i>Pararotalia makiyamae</i> (Chiji)		17	14	40				4														
<i>Pseudononion japonicum</i> Asano		9	2	1				34														
<i>Quinqueloculina</i> spp.								1	1	1												
<i>Rosalina australis</i> (Parr)		19	9					1	2	3	1		3			1						3
<i>Rosalina bradyi</i> (Cushman)		3	1	3				3														
<i>Rosalina globularis</i> d'Orbigny									2													
<i>Rosalina vilardeboana</i> d'Orbigny		4		2					2	1												
<i>Rosalina</i> spp.		1	1	2					2													
<i>Favulineria hamanaoensis</i> (Ishiwada)																						
<i>Favulineria</i> sp.																						
gen. et spp. indet.		3	2																			
TOTAL NUMBER OF BENTHIC FORAMINIFERA (individuals)	7	272	168	189	203	86	89	270	131	634	738	94	53	136	119	441	1	69				
BENTHIC FORAMINIFERAL NUMBER (individuals/g)	2.8	54.4	16.8	37.8	40.6	6.9	5.9	13.5	6.6	31.7	36.9	3.4	2.7	6.8	6.0	88.2	0.1	2.6				

第2表 上用賀GS-SE-1と駒沢GS-SE-3コアの貝形虫化石リスト
Table 2 List of fossil ostracodes from cores GS-SE-1, Kami-Yoga and GS-SE-3, Komazawa, Setagaya, Tokyo.

SPECIES	SAMPLE NUMBER		CORE DEPTH (m)															
	top	bottom	SE3-04	SE3-05	SE3-06	SE1-04	SE1-05	SE1-06	SE1-07	SE1-12	SE1-13	SE1-15	SE1-16	SE1-17	SE1-19	SE1-26		
SAMPLE WEIGHT (g)	10	5	14.55	15.15	15.50	14.16	14.82	15.55	16.45	21.41	23.33	24.40	25.84	26.36	27.78	32.75		
<i>Aurila corniculata</i> Okubo	12	9	1			1	1									5		
<i>Aurila cymba</i> (Brady)	1		1			5	1			2		3						
<i>Aurila disparata</i> Okubo	1	3	4			1												
<i>Aurila spinifera</i> Schormikov and Tsareva						1												
<i>Aurila tosaensis</i> Ishizaki		1				2	2	14	7	2	2	9	1	2	45	16		
<i>Bicornucythere bisanensis</i> s.l. (Okubo)		1				1												
<i>Bythocythere maisakensis</i> Ikeya and Hanai		1																
<i>Callistocythere alata</i> Hanai						1				1						3		
<i>Callistocythere pumila</i> Hanai						1												
<i>Callistocythere rugosa</i> Hanai						1												
<i>Callistocythere undulatifacialis</i> Hanai	1					3												
<i>Coquimba ishizakii</i> Yajima	1																	
<i>Cythere omoienipponica</i> Hanai						1						21						
<i>Cytheroma? hanaii</i> Yajima						6	1	5	2	4	1	1	4	4	11			
<i>Cytheromorpha acupunctata</i> (Brady)						1	1	1		1								
<i>Hemicytherura cuneata</i> Hanai						2	3	1										
<i>Hemicytherura tricarinata</i> Hanai						2	3	1										
<i>Loxococoncha optima</i> Ishizaki	2					2	2											
<i>Loxococoncha pulchra</i> Ishizaki						1	1											
<i>Loxococoncha uranouchiensis</i> Ishizaki	2					1	1									1		
<i>Loxococoncha viva</i> Ishizaki						1	1			1		1		8				
<i>Loxococoncha</i> sp.						1	1											
<i>Miia? sp.</i>						3	4		1	1	1							
<i>Neomonocerotina delicata</i> Ishizaki and Kato						1	1											
<i>Paracytheridea bosoensis</i> Yajima						1	1											
<i>Paradoxostoma</i> sp.						1	1											
<i>Pontocythere kashiwarensis</i> (Hanai)	1					1	4					7	1	1				
<i>Pontocythere miurensis</i> (Hanai)	1					2	2					4						
<i>Pontocythere subjaponica</i> (Hanai)	2	2				1												
<i>Pseudosammocythere tokyoensis</i> Yajima						1												
<i>Robustaurila ishizakii</i> (Okubo)	2	1	1			4	1			5		1						
<i>Schizocythere kishinoiyei</i> (Kajiyama)						2	1			3								
<i>Semicytherura henryhowei</i> Hanai and Ikeya	2					1	1											
<i>Semicytherura kazahana</i> Yamada et al.						1	1											
<i>Semicytherura mukashimensis</i> Okubo	1					2												
<i>Semicytherura cf. obitsusensis</i> Nakao and Tsukagoshi						2				1								
<i>Semicytherura wakamurasaki</i> Yajima						3			2									
<i>Semicytherura</i> sp.						5	1	10	1	1	9	2	2	3		12		
<i>Spinileberis pulchra</i> Chen in Hou et al.						3			1									
<i>Spinileberis quadrata</i> (Brady)						5												
<i>Xestoleberis hanaii</i> Ishizaki	2					39	34	32	13	22	3	58	4	6	59	43		
TOTAL NUMBER OF OSTRACODA (individuals)	31	17	6			3.1	2.3	1.6	0.7	1.1	0.2	2.1	0.2	0.3	3.0	8.6		
OSTRACODA NUMBER (individuals/g)	6.2	1.7	1.2															

最も湾奥部を除く湾奥部や湾央部 (Matoba, 1970), 宮城県松川浦 (高柳, 1955), 静岡県浜名湖の北半部 (Ikeya, 1977) に分布する。 *A. beccarii* forma 1 と *E. subincertum* の2種を主とする群集は, 松川浦 (高柳, 1955) や浜名湖の北半部 (Ikeya, 1977) で報告されている。したがって本帯は, 湾奥部の環境が考えられる。

中澤ほか (2019) は, 35.54 m と 33.54 m から珪藻化石の海水泥質干潟指標種群や汽水～海水生浮遊性種の産出やマガキの化石が一部に密集することからエスチュアリー環境を推定した。有孔虫分析の結果もこのことを支持する。

なお, I 帯より下位の試料 SE1-32 (35.80 ~ 35.85 m) から SE1-30 (34.80 ~ 34.85 m) の3試料は有孔虫化石の産出はなかったので帯区分から除いた。また, II 帯と III 帯間の試料 SE1-28 (33.75 ~ 33.80 m) と SE1-27 (33.20 ~ 33.25 m) の2試料については, 前者から保存不良の少数の有孔虫化石が産出し, 後者から有孔虫化石は産出しなかった。有孔虫化石は溶失してしまった可能性があるため帯区分から除いた。

II 帯 [試料 SE1-26 (32.75 ~ 32.80 m)]

II 帯では, I 帯の主要種で湾奥部環境を示す *Ammonia beccarii* forma 1 が減少し, *Elphidium clavatum*, *Ammonia tepida*, *Buccella frigida* が増える。 *E. clavatum* は寒流系表層水から中層水種で弱い汽水域でもよく認められる (井上, 1980)。松島湾では最も湾奥部を除く湾奥部から湾口部に産出し (Matoba, 1970), 仙台湾の浅海の主要な構成種である (Matoba, 1976)。 *B. frigida* は親潮系表層水フォーナ, オホーツク海表層水フォーナの主要種で内湾でも広く分布する (井上, 1980)。北海道厚岸湾内の主要種 (Morishima and Chiji, 1952) で, 松島湾では最も湾奥部を除く湾全体に分布する (Matoba, 1970)。 *B. frigida* と *E. clavatum* は釧路沖浅海の主要種である (Ishiwada, 1964)。 *A. tepida* は, 和歌山県田辺湾の湾奥部を除く全域 (千地, 1969), 山陰地方の中海の *A. beccarii* forma 1 分布域より塩分の高い境水道から美保湾にかけて (Nomura and Seto, 1992), 広島湾では湾央部 (加藤, 1986) に分布している。したがって, I 帯より海進が進み, 湾央部の環境へと変化した, また, 寒流の影響があったと推測される。

なお, II 帯と III 帯の間の試料 SE1-25 (32.20 ~ 32.25 m) から SE1-20 (28.15 ~ 28.20 m) の6試料は有孔虫化石の産出がなかった。一部に赤褐色になった貝化石片があり, 有孔虫化石は溶失してしまった可能性があるため帯区分から除いた。

III 帯 [試料 SE1-19 (27.78 ~ 27.83 m) ~ SE1-15 (24.40 ~ 24.45 m)]

Buccella frigida は前述の通り親潮系表層水フォーナ, オホーツク海表層水フォーナの主要種で, 内湾にも最湾奥部を除き広く分布する。松島湾の湾央部で本種の産出頻度が高い (Matoba, 1970)。 *Elphidium subgranulosum*,

Elphidium kusiroense, *Elphidium clavatum* も最湾奥部を除く湾奥部から湾口部に分布する。したがって, II 帯と同じく湾央部の環境で寒流の影響があったと推測される。

なお試料 SE1-18 (27.35 ~ 27.40 m) と SE1-14 (23.37 ~ 23.52 m) から有孔虫化石の産出がなかった。有孔虫化石は溶失してしまった可能性があるため帯区分から除いた。 IV 帯 [試料 SE1-13 (22.33 ~ 22.38 m) ~ SE1-12 (21.41 ~ 21.46 m)]

本帯の主要種である *Elphidium subarcticum* は, 新親潮系表層水フォーナ・黒潮-親潮混合表層水フォーナの主要構成種で, 汽水域にも適応する (井上, 1980)。松島湾では湾央部から湾口に多産し (Matoba, 1970), また, 仙台湾の内部陸棚の主要構成種である (Matoba, 1976)。松島湾の *E. subarcticum* と *B. frigida* の分布を比較すると *E. subarcticum* のほうが, より湾口部や沿岸浅海部に多産する (Matoba, 1970)。したがって本帯は, 寒流の影響が大きい湾央部の環境が推定され, III 帯より湾域が拡大したと推定される。

中澤ほか (2019) は, 32.33 ~ 19.59 m から珪藻化石の海水生浮遊性種の産出や岩相より湾央部の環境を推定した。この層準は有孔虫の II-IV 帯にあたり, 有孔虫分析の結果もこのことを支持する。

なお, IV 帯と V 帯の間の試料 SE1-11 (20.40 ~ 20.45 m) から SE1-08 (17.38 ~ 17.48 m) の4試料は有孔虫化石の産出がなかった。有孔虫化石は溶失してしまった可能性があると考えられる。有孔虫化石からの考察はできないので帯区分から除いた。

V 帯 [試料 SE1-07 (16.45 ~ 16.50 m) ~ SE1-06 (15.55 ~ 15.60 m)]

本帯では III 帯の主要種の *Buccella frigida* が増え, IV 帯主要種の *Elphidium subarcticum* は産出しなくなる。また, 小杉ほか (1991) の内湾奥部種群の *Ammonia beccarii* forma 1 や *Valvulineria hamanakoensis* が産出する。したがって, 寒流の影響が大きい湾央部から湾奥部の環境が推定され, IV 帯より湾域が縮小したと推定される。

中澤ほか (2019) は, 深度 15.75 m の珪藻分析から海水泥質干潟指標種の産出により, 湾央部環境から干潟環境に変化した可能性を指摘している。有孔虫の分析からも内湾奥部種群の産出が認められ, 一時的な海退があったことを支持する。

VI 帯 [試料 SE1-05 (14.82 ~ 14.87 m) ~ SE1-04 (14.16 ~ 14.21 m)]

本帯で多産する *Elphidium somaense* は, 松島湾の最も湾奥部を除く湾全体, 特に湾口部に多産 (Matoba, 1970), 境水道の出口付近の美保湾 (Nomura and Seto, 1992), 松川浦の東側外洋浅海 (高柳, 1955) に産出する。 *Rosalina* spp., *Elphidium crispum*, *Pararotalia nipponica* は海藻の繁茂した環境に適応した藻場種群である (北里, 1986; 小杉ほか, 1991)。 *Quinqueloculina* spp., *Miliolinella* spp. は,

砂質干潟、潮下帯砂底部など潮流の影響により淘汰の良い砂が堆積する沿岸砂底部に適應した内湾沿岸砂底種群（小杉ほか，1991）である。したがって本帯は、潮通しの良い湾口部の環境が考えられる。V帯までの閉鎖的な内湾環境から、VI帯には海進が進み開放的な湾の湾口部の環境になったと考えられる。中澤ほか（2019）は、東京層上部の堆積期に開析谷がない部分も含めて広域に海域が広がるとしたが、有孔虫群集は東京層下部最上部に相当するVI帯の時期に既に開放的な湾の環境へと変化していったことを示唆する。

なお、試料SE1-03（13.72～13.77 m）は、東京層下部最上部の貝混じりの砂が充填された大型の巣穴（中澤ほか，2019）から採取した。この試料の群集は東京層上部のVIII帯の項で述べるように、上用賀GS-SE-1コアでは欠如する上位の帯に由来することが考えられることから、帯区分から除いた。

VII帯 [試料SE3-06 (15.80～15.85 m)]

Pararotalia nipponica, *Elphidium crispum*, *Glabratella* spp.は、岩礁地の潮間帯に繁茂する海藻に付着して生息する種で藻場種群である（北里，1986；小杉ほか，1991）。また、海岸砂中に多産する（樋口，1953；Harrington，1960；野村ほか，2004；新保，2006；Pilarczyk *et al.*，2020）。松島湾では、*P. nipponica*, *E. crispum*, *Porosotalia makiyamai*, *Elphidium jenseni*, *Glabratella* spp.は、湾口部に多く分布する（Matoba，1970）。以上のことから、古環境は開放的な湾の湾口部の海岸付近で、近傍の藻場よりもたらされた有孔虫群集と考えられる。

VIII帯 [試料SE3-05 (15.15～15.20 m) ～ SE3-03 (14.39～14.44 m)]

構成種はVII帯と同様海岸砂に含まれる有孔虫群集であり、古環境は開放的な湾の湾口部の海岸付近と考えられる。VII帯では*Pararotalia nipponica*が、VIII帯では*Elphidium crispum*が最も多産する。現在の海岸の砂中に含まれる*P. nipponica*と*E. crispum*の産出頻度は、海岸により異なり、例えば、逗子・小網代（樋口，1953）、伊豆下田（野村ほか，2004）の海岸砂では*E. crispum*のほうが多く、由比ヶ浜（新保，2006）、九十九里浜（Pilarczyk *et al.*，2020）では*P. nipponica*のほうが多い。北里（1991）によれば、岩礁地の海藻に棲息している有孔虫群集は、伊豆七島から伊豆半島にかけては*P. nipponica*をほとんど含まず*E. crispum*が多産し、一方、三浦半島から房総半島にかけて*P. nipponica*と*E. crispum*を含む群集があることを指摘した。駒沢GS-SE-3コアの位置が、この2つの群集の分布の境界付近にあたり、*P. nipponica*が多産する群集の上に、*E. crispum*が多産する群集が形成されたと考えられる。なお、上用賀GS-SE-1コアの試料SE1-03の群集は、その群集組成から*E. crispum*が多産するVIII帯相当の環境から東京層下部の最上部に形成された巣穴に落ち込んだものと考えられる。ただし上用賀GS-SE-1地点で

は、VIII帯に相当する地層は形成されなかったか、あるいは堆積後に削剥されたために欠如している。

5.2 貝形虫化石から推定される古環境

東京層最下部のI帯は貝形虫化石の産出がなかったため考察から省略する。

II～V帯は*Bicornucythere bisanensis* s. 1.が優占して産出し、*Cytheromorpha acupunctata*, *Spinileberis quadriaculeata*を随伴する。これら3種は日本の内湾を特徴づける種とされており、最も産出した*B. bisanensis* s. 1.は閉鎖的な内湾の湾中央部に生息し、水深約5～9 m、底質5～8 M ϕ 、塩分20～30 PSUに最もよく適應している（池谷・塩崎，1993）。したがって、II～V帯は閉鎖的な内湾の湾中央部の環境だったと推測され、有孔虫化石から推定される古環境とおおよそ一致する。

VI帯では、内湾の指標となる*B. bisanensis* s. 1., *C. acupunctata*, *S. quadriaculeata*の産出が減少し、外洋水影響下の藻場や岩礁地に生息する*Aurila*属（例えば、Kamiya，1988；山根，1998）や湾口から沿岸砂底に卓越する*Loxocochocha optima*（Ishizaki，1968；増馬・山田，2014）の産出が増加する。よって、VI帯は閉鎖的な内湾環境から藻場近傍で外洋水が流入する開放的な湾へ変化したと推定される。このことは有孔虫化石から推定される古環境と調和的である。

東京層上部について、VII帯は貝形虫化石の産出個体数が6個体と非常に少なく、古環境推定を行うことが難しいため省略する。

VIII帯は*Aurila corniculata*の産出が最も多く、*Aurila disparata*及び*Pontocythere subjaponica*を伴う。*Aurila*属は外洋水の影響下にある藻場や岩礁地に生息し（例えば、Kamiya，1988；山根，1998）、*Pontocythere*属は外洋水影響下の湾沿岸砂底に生息していることから（例えば、Ishizaki，1968；増馬・山田，2014）、近傍に藻場がある開放的な湾沿岸の環境が推定される。

また、水深10～15 m以深の泥底で普遍的に見られる*Amphileberis*属、*Krithe*属などの貝形虫（例えば、山根，1998；Irizuki *et al.*，2018）が産出しなかったことから、各帯の水深は深くても10 m程度であったと推測される。

5.3 古環境の変遷

有孔虫及び貝形虫化石群集の変遷から、東京層の古環境変遷は次のように変化したと考えられる。

東京層下部のI帯では、海水準の上昇に伴い開析谷に海水が侵入し、湾奥部に分布する*Ammonia beccarii* forma 1を主とする群集が形成された。その後、海進が進行しII～IV帯にかけては湾中央部の環境で推移した。一方、東京層下部の上部V帯の有孔虫群集は湾中央部～湾奥部を示唆し、海退に転じたことが推定される。この層準の珪藻分析でも、海水泥質干潟指標種の産出から湾中央部から干

潟環境に変化した可能性(中澤ほか, 2019)が報告されている。

東京層下部の最上部及び東京層上部に相当するVI-VIII帯では開放的な内湾環境が推定されることから、再び海進に転じたことが示唆される。有孔虫や貝形虫化石群集は東京層下部最上部に相当するVI帯の時期に既に潮通しの良い開放的な湾の環境へと変化していったことが推定される。

東京層上部のVII-VIII帯はさらに海域の拡大によって広大な開放的な湾が形成され、その湾の海岸付近に位置していたと推定される。その後、また海退に転じて土壌であるローム層が東京層を覆った。つまり東京層の堆積期(MIS 5e)には2回(I-V帯とVI-VIII帯)の海進・海退があったことが推定される。

6. まとめ

上用賀GS-SE-1コアと駒沢GS-SE-3コアの中部更新統下総層群東京層の有孔虫・貝形虫化石分析を行った結果、次のようなことが明らかになった。

- (1) 38試料を処理し18試料から有孔虫化石が産出した。底生有孔虫は18属40種が認められた。浮遊性有孔虫は認められなかった。
- (2) 産出した有孔虫化石群集に基づき、東京層の有孔虫化石産出層準を下位より、I-VIII帯に区分した。
- (3) 38試料を処理し14試料から貝形虫化石が産出した。貝形虫化石は21属41種が認められた。
- (4) 各帯の有孔虫化石群集から推測される古環境の変化は次の通りである。

I帯は海進初期の湾奥部、II-IV帯は湾央部、V帯で湾域が縮小し湾央部から湾奥部の環境が推定され、VI帯で湾域が拡大し湾口部の環境になったと考えられる。VII帯とVIII帯は、開放的な湾の湾口部の海岸付近で、近傍の藻場よりもたらされた有孔虫群集からなる。

- (5) 各帯の貝形虫化石群集から推測される古環境の変化は次の通りである。

貝形虫化石の産出個体数が少なかったI帯及びVII帯を除き、II-V帯は湾央部、VI帯及びVII帯は藻場近傍の開放的な湾沿岸の環境になったと考えられ、有孔虫群集で得られた古環境変遷とおおよそ一致する。また、貝形虫群集より水深は10m以浅であったと考えられる。

- (6) 上記の環境変遷により、東京層下部のI帯(湾奥部)からII帯(湾央部)へは海進が進行したが、IV帯(湾央部)からV帯(湾央部~湾奥部)には海退に転じたことが推定される。一方で東京層下部の最上部及び東京層上部に相当するVI-VIII帯では開放的な内湾環境が推定されることから、再び海進に転じたことが示唆される。その後、また海退に転じて土壌である

ローム層が東京層を覆った。すなわち東京層の堆積期(MIS 5e)には2回の海進・海退があったことが推定される。

謝辞：東京海洋大学の北里 洋博士には、有孔虫化石の同定などについて多岐にわたりご指導をいただいた。日本大学の小沢広和教授には、貝形虫化石の同定などについて多岐にわたりご指導いただいた。群馬県立自然史博物館には、走査型電子顕微鏡の使用の便宜を図っていただいた。査読者の熊本大学田中源吾博士と匿名の査読者及び編集担当の松本 弾博士には有益なコメントをいただき、原稿が改善された。記して感謝申し上げる。本研究には駿河台大学令和元年度特別研究助成費の一部を使用した。

文献

- 秋元和實・長谷川四郎(1989)日本近海における現生底生有孔虫の深度分布—古水深尺度の確立に向けて—。地質学論集, no. 32, 229-240.
- 千地万造(1969) *Ammonia beccarii*グループによる内湾性堆積環境推定の試み。日本地質学会第76年学術大会シンポジウム海岸平野, 75-81.
- Harrington, G. L. (1960) A Recent foraminiferal faunule from Honshu, Japan. *Science Reports of the Tohoku University, 2nd series (Geology), Special Volume*, no. 4, 45-55.
- 樋口 雄(1953)宮田層の有孔虫化石群について。地質学雑誌, **60**, 138-144.
- Ikeya, N. (1977) Ecology of foraminifera in the Hamana Lake region of the Pacific coast of Japan. *Reports of Faculty of Science, Shizuoka University*, **11**, 131-159.
- 池谷仙之・塩崎正道(1993)日本沿岸内湾性介形虫類の特性—古環境解析の指標として—。地質学論集, no. 39, 15-32.
- 井上洋子(1980)日本周辺海域の現生有孔虫の生態学的研究, 石油資源開発技研特報, no. 41, 421p.
- Irizuki, T., Fujihara, Y., Iwatani, H. and Kawano, S. (2018) Recent ostracode assemblages from Shushi Bay, Tsushima Island, southwestern Japan and their ecological and zoogeographical characteristics. *Laguna*, **25**, 39-54.
- Ishizaki, K. (1968) Ostracodes from Uranouchi Bay, Kochi Prefecture, Japan. *Science Reports of the Tohoku University, 2nd series (Geology)*, **40** (1), 1-45.
- 石崎国熙(1978)データの処理。高柳洋吉編, 微化石研究マニュアル, 朝倉書店, 東京, 129-140.
- Ishiwada, Y. (1964) Benthonic foraminifera off the Pacific coast of Japan referred to biostratigraphy of the Kazusa Group. *Report, Geological Survey of Japan*, no. 205, 1-45.
- Kamiya, T. (1988) Morphological and ethological adaptations

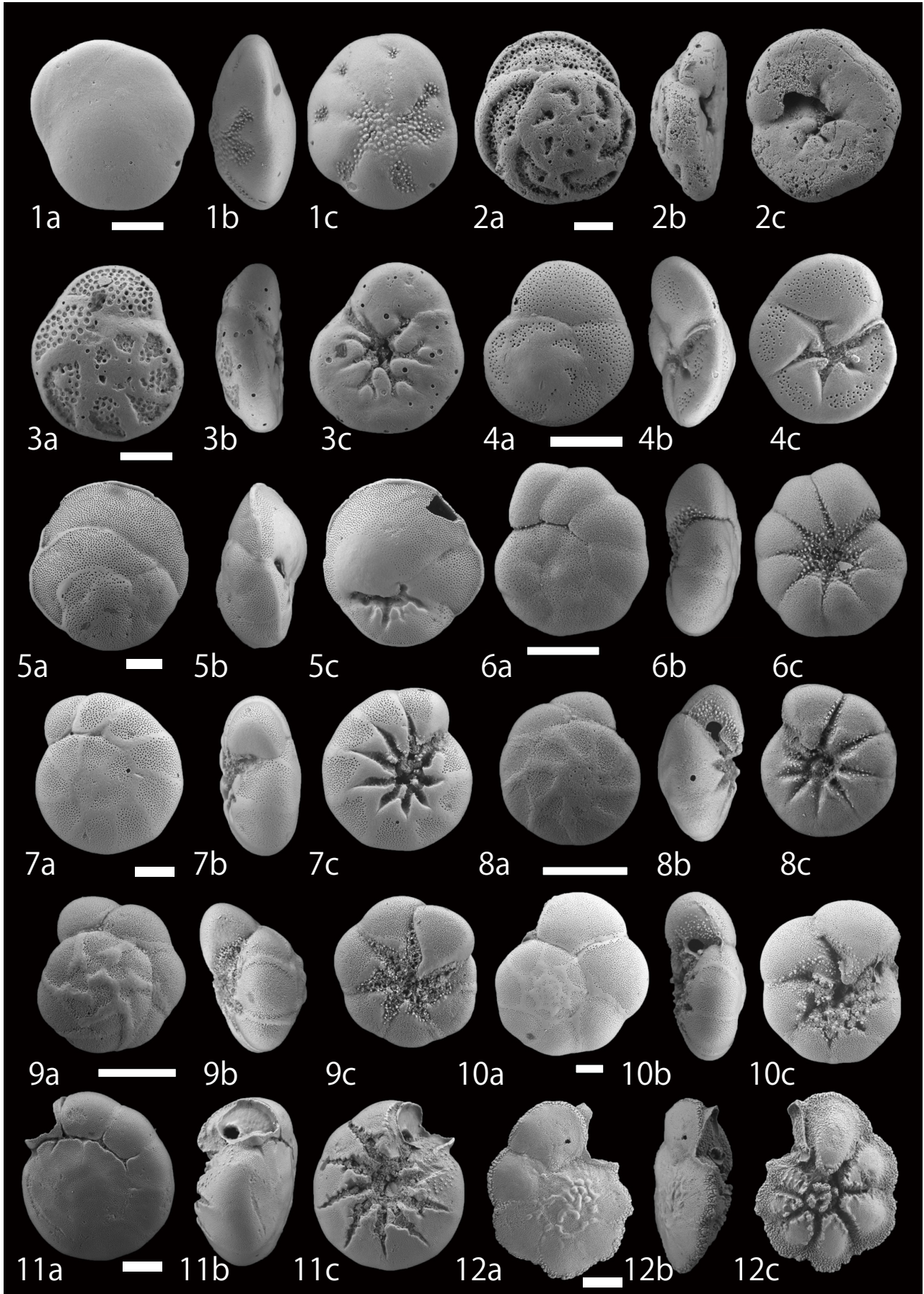
- of Ostracoda to microhabitats in *Zostera* beds. In Hanai, T., Ikeya, N., and Ishizaki, K. (eds.), *Evolutionary Biology of Ostracoda (Proceedings of the 9th International Symposium on Ostracoda)*. Kodansha, Tokyo, 303–318.
- 加藤道雄 (1986) 広島湾の現世底生有孔虫群集. 的場保望・加藤道雄編, 新生代底生有孔虫の研究, 27–42.
- 北里 洋 (1986) 岩礁地生底生有孔虫類の生態. 的場保望・加藤道雄編, 新生代底生有孔虫の研究, 1–12.
- 北里 洋 (1991) 有孔虫化石からみた丹沢とその周辺地域の生い立ち. 神奈川県立博物館編, 南の海からきた丹沢—プレートテクトニクスの不思議, 有隣堂, 横浜, 123–150.
- 小杉正人・片岡久子・長谷川四郎 (1991) 内湾域における有孔虫の環境指標種群の設定とその古環境復元への適用. 化石, **50**, 37–55.
- 増馬鉄朗・山田 桂 (2014) 京都府北部久美浜湾の現生貝形虫の分布. *Laguna*, **21**, 1–14.
- Matoba, Y. (1970) Distribution of Recent shallow water foraminifera of Matsushima Bay, Miyagi Prefecture, Northeast Japan. *Science Reports of the Tohoku University, 2nd series (Geology)*, **42**, 1–85.
- Matoba, Y. (1976) Recent foraminiferal assemblage off Sendai, Northeast Japan. *First International Symposium on Benthonic Foraminifera of Continental Margins, Maritime Sediments Special Publication*, **1**, 205–220.
- Morishima, M. and Chiji, M. (1952) Foraminiferal thanatocoenoses of Akkeshi Bay and its vicinity. *Memoirs of the College of Science, University of Kyoto, Series B, Geology and Mineralogy*, **20**, 113–117.
- 村田昌則・鈴木毅彦・中山俊雄・川島眞一・川合将文 (2007) 武蔵野台地南東部地下における上総層群のテフロクロロジー. 地学雑誌, **116**, 243–259.
- 中澤 努・長 郁夫・坂田健太郎・中里裕臣・本郷美佐緒・納谷友規・野々垣 進・中山俊雄 (2019) 東京都世田谷区, 武蔵野台地の地下に分布する世田谷層及び東京層の層序, 分布形態と地盤震動特性. 地質学雑誌, **125**, 367–385.
- 中澤 努・納谷友規・坂田健太郎・本郷美佐緒・鈴木毅彦・中山俊雄 (2020) 東京層の模式コアセクション (代々木公園コア) における層序の再検討. 地質調査研究報告, **71**, 19–32.
- 納谷友規・小松原純子・野々垣 進・尾崎正紀・宮地良典・中澤 努・中里裕臣・鈴木毅彦・中山俊雄 (2021) 都市域の地質地盤図「東京都区部」(説明書). 産総研地質調査総合センター, 82p.
- 野村正弘・金子 稔・影森 徹・井上智晴・小金沢淳・坂本広樹・鈴木純平・高田慎一郎・鎌水裕刀 (2004) 伊豆半島下田地域の潮間帯～内部浅海帯現生有孔虫. 群馬県立自然史博物館研究報告, no. 8, 93–101.
- Nomura, R. and Seto, K. (1992) Benthic foraminifera from brackish lake Nakanoumi, San-in district, southwestern Honshu, Japan. In Ishizaki K. and Saito T. (eds.), *Centenary of Japanese Micropaleontology*, Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, 227–240.
- Pilarczyk, J. E., Sawai, Y., Matsumoto, D., Namegaya, Y., Nishida, N., Ikehara, Fujiwara, O., Gouramanis, C., Dura, T. and Horton, B. P. (2020) Constraining sediment provenance for tsunami deposits using distributions of grain size and foraminifera from the Kujukuri coastline and shelf, Japan. *Sedimentology*, **67**, 1373–1392.
- 産総研地質調査総合センター (2018) 20万分の1日本シームレス地質図2018年1月10日版. 産業技術総合研究所地質調査総合センター. <https://gbank.gsj.jp/seamless/v2/viewer/> (閲覧日: 2021年7月6日).
- 新保久弥 (2006) ビーチサンドには有孔虫がいっぱい. 地質ニュース, no. 624. 42–47.
- 高柳洋吉 (1955) 松川浦付近の有孔虫. 東北大学理学部地質学古生物学教室研究邦文報告, **45**, 18–52.
- 東京都土木技術研究所 (1996) 東京都(区部)大深度地下地盤図—東京都地質図集6—. 東京都土木技術研究所.
- 山根勝枝 (1998) 瀬戸内海燧灘における現生介形虫群集. 愛媛県総合科学博物館研究報告, no. 3, 19–59.

(受 付 : 2021年8月3日 ; 受 理 : 2022年6月6日)

図版1 上用賀GS-SE-1と駒沢GS-SE-3コアの底生有孔虫化石のSEM写真(その1)
スケールは100 μm

Plate 1 Scanning electron photomicrographs of fossil benthic foraminifers from cores GS-SE-1, Kami-Yoga and GS-SE-3, Komazawa, Setagaya, Tokyo, Part 1. Scale bars = 100 μm

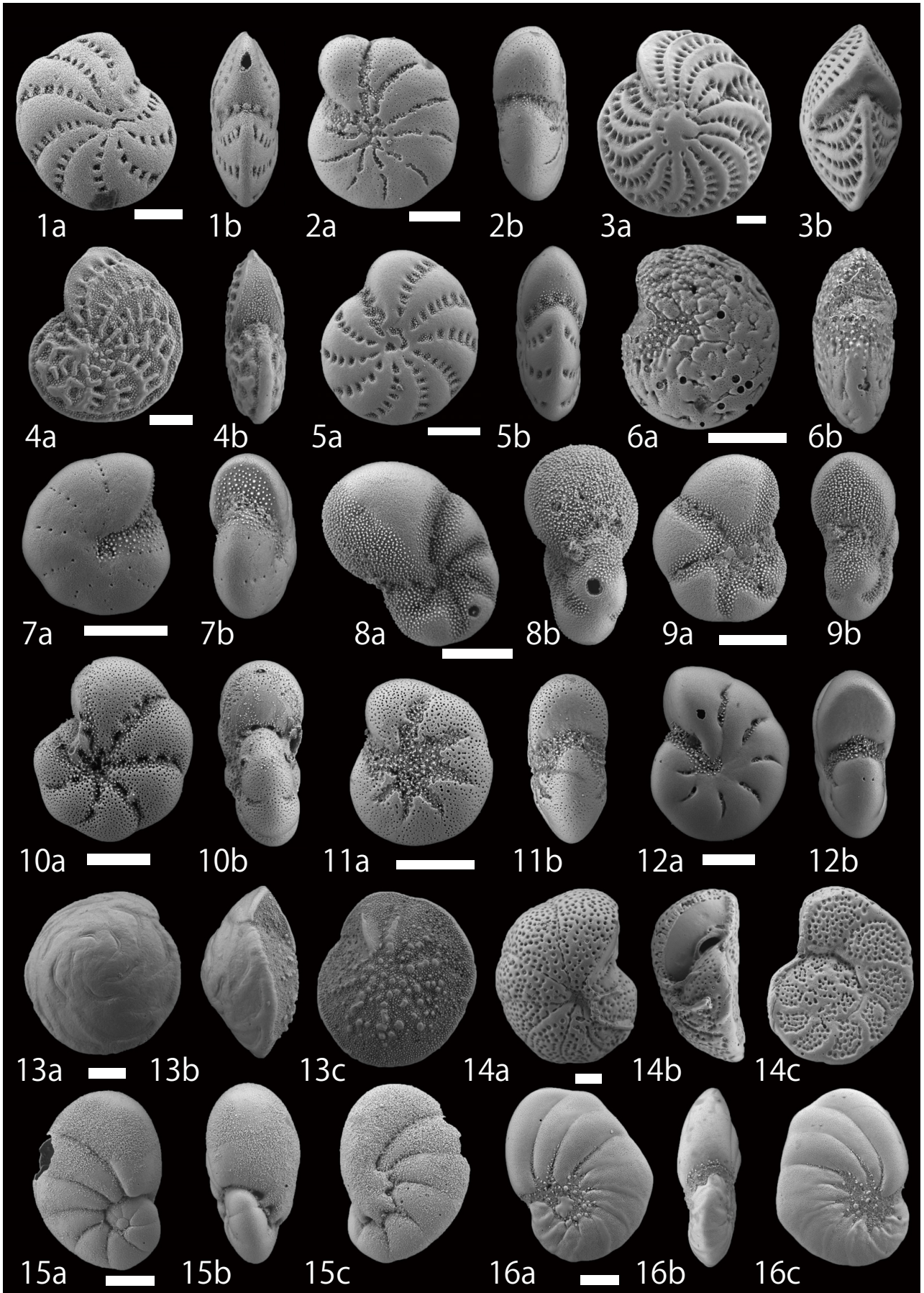
- 1a,b,c: *Buccella frigida* (Cushman)
Sample SE1-26, depth 32.75–32.80 m
2 a,b,c: *Rosalina australis* (Parr)
Sample SE1-03, depth 13.72–13.77 m
3 a,b,c: *Rosalina bradyi* (Cushman)
Sample SE1-03, depth 13.72–13.77 m
4 a,b,c: *Rosalina vilardeboana* d'Orbigny
Sample SE3-04, depth 14.55–14.60 m
5 a,b,c: *Cancris auriculus* (Fichtel and Moll)
Sample SE3-06, depth 15.80–15.85 m
6 a,b,c: *Valvulineria hamanakoensis* (Ishiwada)
Sample SE1-07, depth 16.45–16.50 m
7 a,b,c: *Ammonia beccarii* (Linnaeus) forma 1
Sample SE1-26, depth 32.75–32.80 m
8 a,b,c: *Ammonia beccarii* (Linnaeus) forma 2
Sample SE1-26, depth 32.75–32.80 m
9 a,b,c: *Ammonia tepida* (Cushman)
Sample SE1-26, depth 32.75–32.80 m
10 a,b,c: *Ammonia tepida* (Cushman)
Sample SE1-13, depth 22.33–22.38 m
11 a,b,c: *Ammonia japonica* (Hada)
Sample SE-3-06, depth 15.80–15.85 m
12 a,b,c: *Pararotalia nipponica* (Asano)
Sample SE1-05, depth 14.82–14.87 m



図版2 上用賀GS-SE-1と駒沢GS-SE-3コアの底生有孔虫化石のSEM写真(その2)
スケールは100 μm

Plate 2 Scanning electron photomicrographs of fossil benthic foraminifers from cores GS-SE-1, Kami-Yoga and GS-SE-3, Komazawa, Setagaya, Tokyo, Part 2. Scale bars = 100 μm

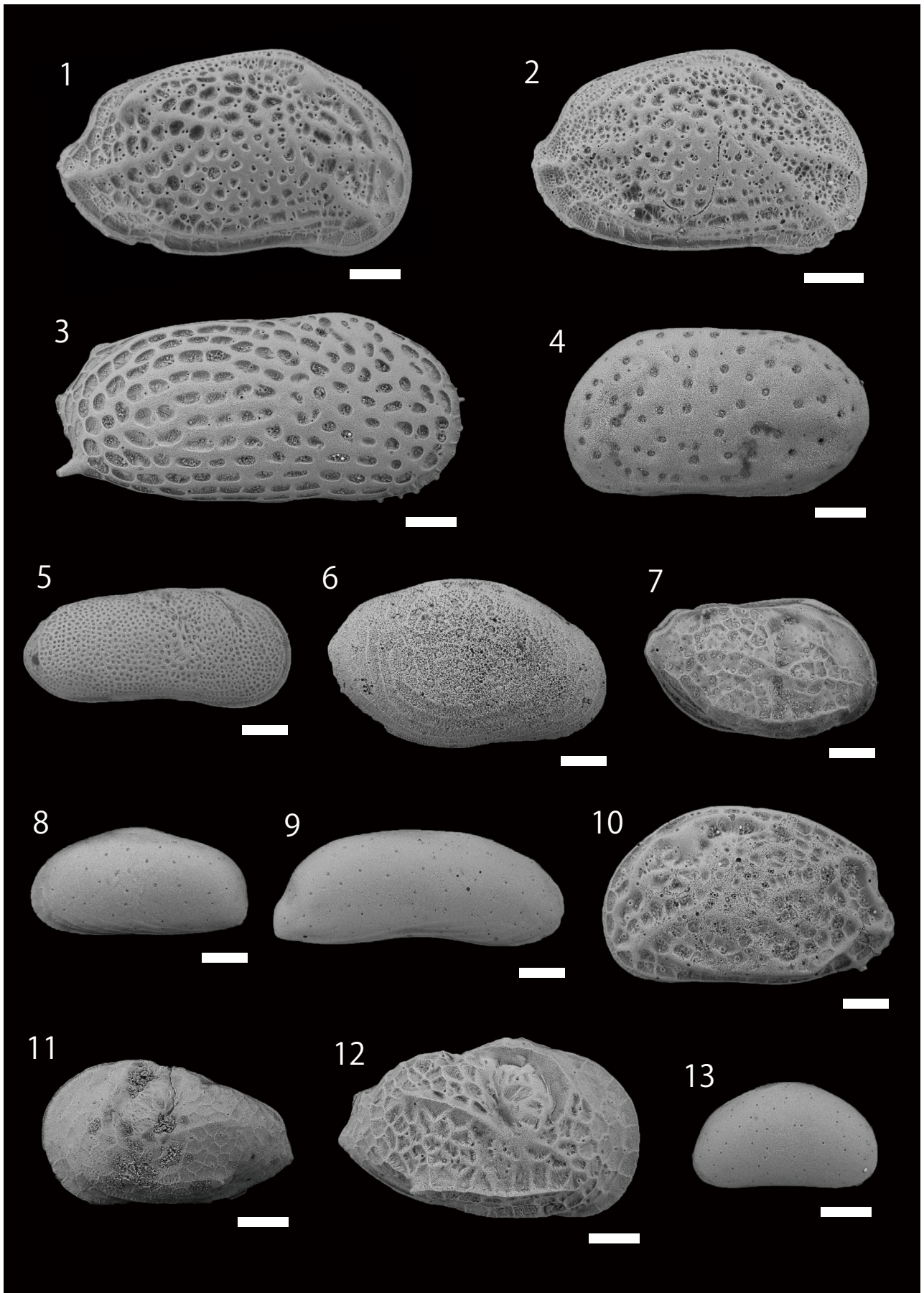
- 1 a,b: *Elphidium advenum* (Cushman)
Sample SE1-19, depth 27.78–27.83 m
- 2 a,b: *Elphidium clavatum* Cushman
Sample SE1-26, depth 32.75–32.80 m
- 3 a,b: *Elphidium crispum* (Linnaeus)
Sample SE1-05, depth 14.82–14.87 m
- 4 a,b: *Elphidium jensei* (Cushman)
Sample SE1-03, depth 13.72–13.77 m
- 5 a,b: *Elphidium kusiroense* Asano
Sample SE1-12, depth 21.41–21.46 m
- 6 a,b: *Elphidium reticulosum* Cushman
Sample SE3-04, depth 14.55–14.60 m
- 7 a,b: *Elphidium somaense* Takayanagi
Sample SE1-04, depth 14.16–14.21 m
- 8 a,b: *Elphidium subarcticum* Cushman
Sample SE1-13, depth 22.33–22.38 m
- 9 a,b: *Elphidium subarcticum* Cushman
Sample SE1-13, depth 22.33–22.38 m
- 10 a,b: *Elphidium subgranulosum* Asano
Sample SE1-17, depth 26.36–26.41 m
- 11 a,b: *Elphidium* cf. *subgranulosum* Asano
Sample SE1-13, depth 22.33–22.38 m
- 12 a,b: *Elphidium subincertum* Asano
Sample SE1-29, depth 34.25–34.30 m
- 13 a,b,c: *Porosorotalia makiyamai* (Chiji)
Sample SE1-05, depth 14.82–14.87 m
- 14 a,b,c: *Cibicides lobatulus* (Walker and Jacob)
Sample SE1-05, depth 14.82–14.87 m
- 15 a,b,c: *Nonionella stella* Cushman and Moyer
Sample SE1-12, depth 21.41–21.46 m
- 16 a,b,c: *Pseudononion japonicum* Asano
Sample SE3-04, depth 14.55–14.60 m



図版3 上用賀GS-SE-1と駒沢GS-SE-3コアの貝形虫化石のSEM写真
スケールは100 µm

Plate 3 Scanning electron photomicrographs of fossil ostracods from cores
GS-SE-1, Kami-Yoga and GS-SE-3, Komazawa, Setagaya, Tokyo.
Scale bars = 100 µm

- 1: *Aurila corniculata* Okubo
Sample SE3-05, depth 15.15–15.20 m
- 2: *Aurila disparata* Okubo
Sample SE3-05, depth 15.15–15.20 m
- 3: *Bicornucythere bisanensis* s. l. (Okubo)
Sample SE1-19, depth 27.78–27.83 m
- 4: *Cythere omotenipponica* Hanai
Sample SE1-15, depth 24.40–24.45 m
- 5: *Cytheromorpha acupunctata* (Brady)
Sample SE1-26, depth 32.75–32.80 m
- 6: *Loxococoncha optima* Ishizaki
Sample SE1-05, depth 14.82–14.87 m
- 7: *Neomonoceratina delicata* Ishizaki and Kato
Sample SE1-05, depth 14.82–14.87 m
- 8: *Pontocythere miurensis* (Hanai)
Sample SE1-05, depth 14.82–14.87 m
- 9: *Pontocythere subjaponica* (Hanai)
Sample SE1-05, depth 14.82–14.87 m
- 10: *Robustaurila ishizakii* (Okubo)
Sample SE3-04, depth 14.55–14.60 m
- 11: Juvenile of *Spinileberis quadriaculeata* (Brady)
Sample SE1-04, depth 14.16–14.21 m
- 12: *Spinileberis quadriaculeata* (Brady)
Sample SE1-26, depth 32.75–32.80 m
- 13: *Xestoleberis hanaii* Ishizaki
Sample SE3-04, depth 14.55–14.60 m



北上山地中西部, 盛岡市藪川地域の外山高原で見出されたチバニアン期後半のテフラ

内野 隆之^{1,*}・工藤 崇¹・古澤 明²・岩野 英樹³・檀原 徹³・小松原 琢¹

UCHINO Takayuki, KUDO Takashi, FURUSAWA Akira, IWANO Hideki, DANHARA Toru and KOMATSUBARA Taku (2022) Late Chibanian tephra recognized in the Sotoyama Plateau of Yabukawa area in Morioka City, Iwate Prefecture, mid-western Kitakami Massif. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 73 (2), p. 67–85, 12 figs, 4 tables and 1 appendix.

Abstract: The Sotoyama Plateau on the mid-western Kitakami Massif, Northeast Japan, displays a low-relief surface with an altitude of 650–1000 m. This topography is considered to have been formed by periglacial phenomena. We discovered the 80-cm-thick pyroclastic fall deposit, named Yabukawa Tephra in this study, from the Quaternary valley floor deposits along the Sotoyama River on the plateau. This tephra is subdivided into four subunits on the basis of their lithofacies. The tephra contains characteristically large amounts of vesiculated pumice and minor lithic fragments: andesite, dacite, rhyolite, tuffaceous mudstone, tonalite, chert, etc. It also contains grains of beta-quartz, feldspar, hornblende, orthopyroxene, ilmenite, biotite, etc. A geochemical composition of volcanic glasses from the tephra shows relatively high SiO₂ and K₂O, and low CaO, MgO and TiO₂. Their refraction indexes are 1.495–1.498.

The Yabukawa Tephra is thought to deposit in the late Chibanian on the basis of the 0.24 ± 0.04 Ma fission-track age from zircon in its pumice. Furthermore, the tephra is possibly correlated with the Odai White Volcanic Ash, which occurs in the eastern foot of Mt. Iwate, based on its petrography, refraction indexes of volcanic glasses and the zircon age.

Keywords: Chibanian, Yabukawa Tephra, zircon, fission-track age, stratigraphy, correlation, Morioka, Kitakami Massif

要 旨

盛岡市藪川地域, 外山川沿いの谷底低地を埋める第四紀堆積物から80 cm厚の降下火砕堆積物を発見し, 藪川テフラと命名した。本テフラは発泡した軽石を多く含み, 中性~珪長質火山岩, トーナル岩, チャートなどの石質岩片を少量伴う。また, テフラ中には高温型石英・長石・普通角閃石・直方輝石・チタン鉄鉱・黒雲母が含まれる。テフラに含まれる火山ガラスの組成は比較的高いSiO₂・K₂Oと低いCaO・MgO・TiO₂で特徴づけられ, またその屈折率は1.495–1.498である。軽石中のジルコンからは 0.24 ± 0.04 Maのフィッション・トラック年代が得られ, 本テフラはチバニアン期後半に堆積したと判断される。そして, 記載岩石学的特徴, 火山ガラスの屈折率, ジルコン年代などから, 岩手山東麓に分布する大台白色火山灰に対比できる可能性がある。

1. はじめに

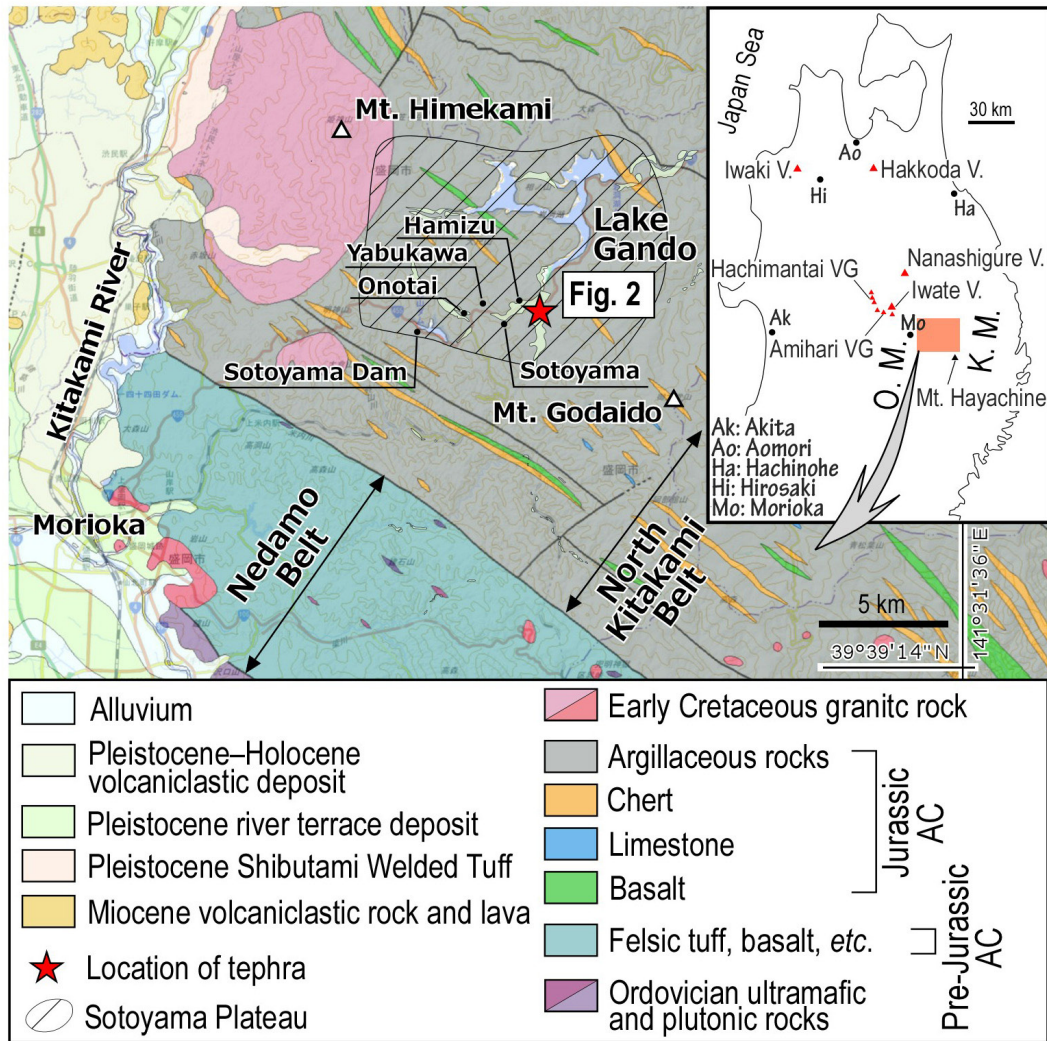
岩手県盛岡市の北東部に広がる外山高原^{そとやま}は, 北上山地中西部に位置し, 650 ~ 1,000 mの標高で緩やかな起伏を呈している。この小起伏地形は周氷河作用によって形成されたと考えられており, その時期は堆積物中に挟在する炭質層やテフラの年代から概ね5万年前以降と推定されている(例えば, 井上ほか, 1981; 檜垣, 1987)。しかし, 炭質物を対象とした¹⁴C年代測定法は約5万年前以前の地層には適用できないこともあり, 北上山地及び北上川流域における特に後期更新世よりも前のテフラ層序の編年はあまり進んでいない。このことが, 最終間氷期より前にも起こっていたとされる古い周氷河作用(例えば, 井上ほか, 1981; 檜垣, 1987)の実態をつかみにくくしている。また, 外山高原内で認められる高位段丘(例えば, 磯, 1973)についても同様にその形成年代が良く分かっておらず, 北上山地における隆起や傾動などの構

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 株式会社古澤地質 (Furusawa Geological Survey Co., Ltd., Okazaki, Aichi 444-0840, Japan)

³ 株式会社京都フィッション・トラック (Kyoto Fission-Track Co., Ltd, Kita-ku, Kyoto 603-8832, Japan)

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



第1図 北上山地中西部における地質図。20万分の1日本シームレス地質図V2（産総研地質調査総合センター，2019）を使用（基図は地理院地図）。外山高原の河岸段丘堆積物の分布は本研究での調査による。O. M.：奥羽山脈；K. M.：北上山地；VG：火山群；V.：火山。

Fig. 1 Geological map in the mid-western Kitakami Massif, Iwate Prefecture. The map was referred from the Seamless Digital Geological Map of Japan (1:200,000) V2 (Geological Survey of Japan, AIST, 2019) on the GSI map of the Geospatial Information Authority of Japan. Distribution of the river terrace deposits within the Sotoyama Plateau is painted based on the geological survey for this study.

Abbreviations: O. M. (Ou Mountain Range); K. M. (Kitakami Massif); VG (volcanic group); V. (volcano).

造運動に関して未解明な点が多い。したがって、後期更新世より前に堆積したテフラの詳細な層序の確立、とりわけ年代情報の充実が望まれている。これは、氷期-間氷期サイクルを含めた気候・環境変動のみならず、噴火の発生時期や規模、テクトニクスなどの解明にも寄与する。

このたび、盛岡市藪川地域の外山高原内を流れる外山川沿いにおいて、谷底低地を埋積する第四紀堆積物から層厚1 m弱の厚いテフラを見出した。このテフラはアクセスしやすい場所にありながら、これまで全く報告されていない。本研究では、このテフラの性状を明らかにするため、層序学的・岩石学的記載を行うとともに、ジル

コンの年代測定、火山ガラスの化学分析、含有鉱物の屈折率測定などを実施した。年代測定の結果、このテフラがチバニアン期後半を示すことが分かった。また、その他の特徴も併せ、北上川流域で認識されている鍵テフラとの対比を試みた。

2. 地形・地質概説

外山高原は、岩手県盛岡市東部(旧玉山村)に位置しており、外山ダム、^{ひめかみさん}姫神山、^{がんどう}岩洞湖の間に広がっている(第1図)。岩泉町との境界に位置する東方の早坂高原と併せた一帯は「外山早坂県立自然公園」に指定されており、旧

御料牧場（外山牧場）をはじめとする多くの牧草地のほか、シラカバやシナノキなど冷温帯の植生で特徴付けられる。外山高原内にある盛岡市の藪川地域は標高660～690 mではあるが、1945年には氷点下35℃を記録したこともある本州一寒い集落として知られる。また、澤口（2005）が示した北上山地を対象とした積算寒度図によると、藪川地域は700～750℃/日と特に寒冷で積雪量も少なく、最終氷期には永久凍土が存在した可能性も指摘されている。

河川については、外山川が標高700 m地点の分水嶺から西方の外山ダムに向かって緩やかに流れ、しかし外山ダムからは滝ノ内沢と名称を変えて、険しい侵食谷を形成しながら南西に流れる。外山川の源流部では、南方から緩やかに流れてくる大石川が合流する。一方、分水嶺より東側では湿地上に蓄えられた岩洞湖（第1図）が広がり、堰堤から西北西に向かって丹藤川が緩やかに流れ出ている。

外山高原は、定高性の良い稜線、山頂・山麓に発達する緩斜面、湿地、河岸段丘から構成されるなだらかな小起伏山地である。耕作地としての沖積低地は、外山川、大石川、丹藤川上流沿いのみに僅かに認められる。外山高原における緩斜面堆積物については、阪野（1971）、Higaki（1980）、井上ほか（1981）、澤口（1984）、檜垣（1987）などで記載があり、本高原の小起伏地形は、表層部の凍結融解による岩屑生産とソリフラクションによる斜面の削剥、すなわち周氷河作用に起因すると考えられている。また、緩斜面堆積物中に生出黒色火山灰（OBA、50–30 kyr BP：土井、2000）、小岩井浮石（KP、13.5–12 kyr BP：和知ほか、1997）及び柳沢浮石（YP、11.9–11.6 kyr BP：和知ほか、1997）など年代が判明している鍵テフラの挟在も確認されている（例えば、Higaki、1980；井上ほか、1981）。このことから、本地域の周氷河堆積物は少なくとも後期更新世以降に形成されたと考えられている。

外山川上流～中流域（藪川地域葉水周辺）及び大石川中流～下流域では、標高665 m以上において谷底低地を埋積する第四紀堆積物が分布し、少なくともその最上部は礫層を主体とする河岸段丘堆積物からなる。この段丘堆積物は岩洞湖以東を流れる丹藤川でも認められ、磯（1973）によると上流部において高位段丘及び低位段丘Ⅰ～Ⅲの4段が識別されている。本研究で報告するテフラは、葉水付近を流れる外山川の一部でのみ露出しており、下位に厚い泥炭層を伴っている。

外山高原に分布する先古第三紀の基盤岩は、主に北部北上帯に属するジュラ紀の付加体である（内野、2019、2021）。本付加体は、泥質岩を主体として、砂岩・チャート・玄武岩と僅かの石灰岩をシート状・レンズ状に含む（第1図）。地質構造は北西–南東走向及び南西傾斜であり、高峰はしばしばチャートからなる。外山川では中流部より下流側（大の平以西）でチャートや泥質岩が河床に

露出するほか、大石川でも下流部で第四紀堆積物に不整合に覆われた泥質岩が確認できる。外山高原の北西部における基盤岩は、姫神山を形成する前期白亜紀の花崗岩類（姫神岩体）である。

3. 地層の記載

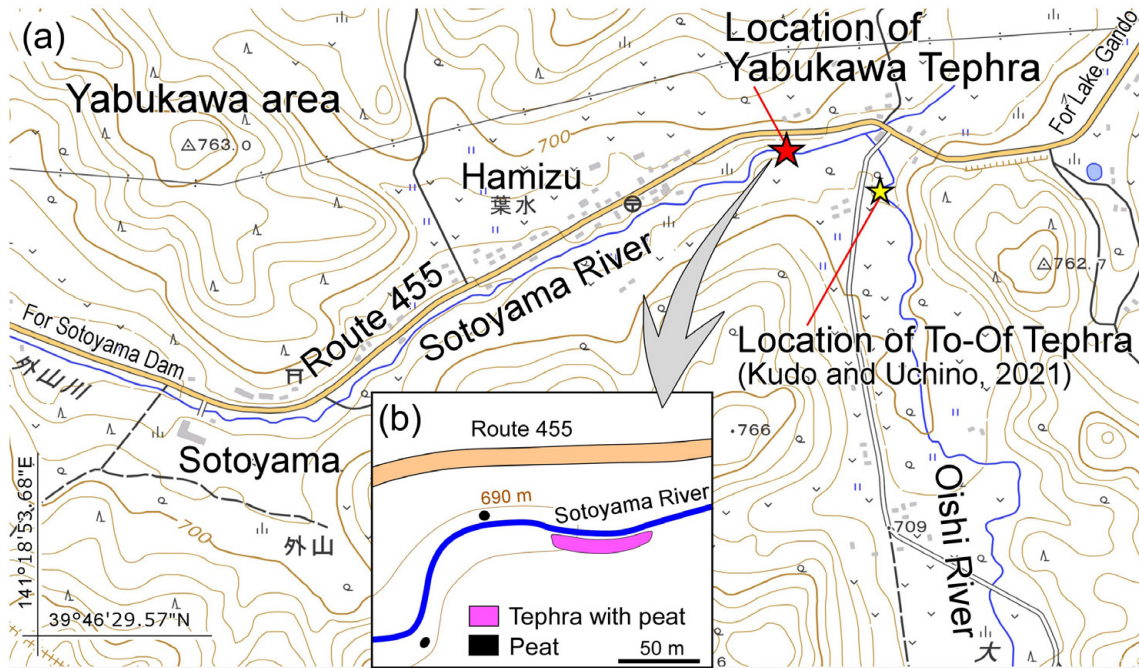
藪川地域の谷底低地を埋積する第四紀堆積物は、礫層、テフラ層、泥炭層などから構成される。今回、葉水の外山川左岸（藪川郵便局から約400 m東）（第2図）で見出された露頭は、下位よりA層（泥炭層）、B層（テフラ層）、C層（火山灰火山礫互層）、D層（礫層）の各ユニットからなり、それを表層の土壌が覆っている（第3図、第4図）。テフラ層（B層）は、層厚が約80 cmで、更に層相によってB1～B4層のサブユニットに細分される。このテフラ層（B層）については、本研究にて「藪川テフラ」と新称を与える。藪川テフラ（B層）の分布域は水平距離にして約60 m程度である（第2図b）。礫層（D層）は藪川テフラ（B層）の最上部及び火山灰火山礫互層（C層）を一部削って堆積している（第3図、第4図）。このD層を含む一連の礫層は、外山川や大石川では普遍的に見られ、これらは平坦な段丘面を構成している。段丘面の高さは、本露頭付近では河床面から約4 mである。

以下に各ユニットについて下位から順に詳しく記載する。構成粒子については、水洗・超音波洗浄して細粒懸濁物を取り除いた後の試料（残渣）を実体顕微鏡にて観察した結果による。粘土化した軽石は水洗・超音波洗浄の際に分解されているため、軽石起源と周りの基質起源との粒子の区別はつかない。したがって、観察結果は軽石火山礫を含むテフラ層全体の特徴を反映したものとなっている。なお、火山ガラスの形態分類については町田・新井（1992、2003）に従った。

3.1 A層（泥炭層）

藪川テフラ（B層）の下位には層厚1.3 m以上の厚い黒色～暗灰色の泥炭層が存在する（第3図、第4図）。泥炭層には材化石が大量に含まれ、大きいものでは太さが30 cmに及ぶ（第5図a）。この泥炭層は、藪川テフラ同様、外山川沿いに約100 mにわたってよく追跡できる（第2図b）。泥炭層の下限は現河床堆積物が埋積しているため確認できない。

第3図aの露頭の約30 m下流側では、泥炭層の上面から約70 cm下の層準に薄いテフラが認められ（第5図b）、それは更に下流側に20 m程追跡できる。このテフラを便宜的にYT2iPテフラと呼ぶ。YT2iPテフラは、厚さが2～6 cmで、脱水作用の影響とみられる側方膨縮を呈する流動変形の構造が特徴的である（第5図b、c）。本テフラは、細粒火山灰からなる薄ページュ色の下部と、粗粒火山灰からなる灰色掛かったページュ色の上部からなり、上方粗粒化（逆級化）している（第5図c）。残渣中の鉱物量比は、



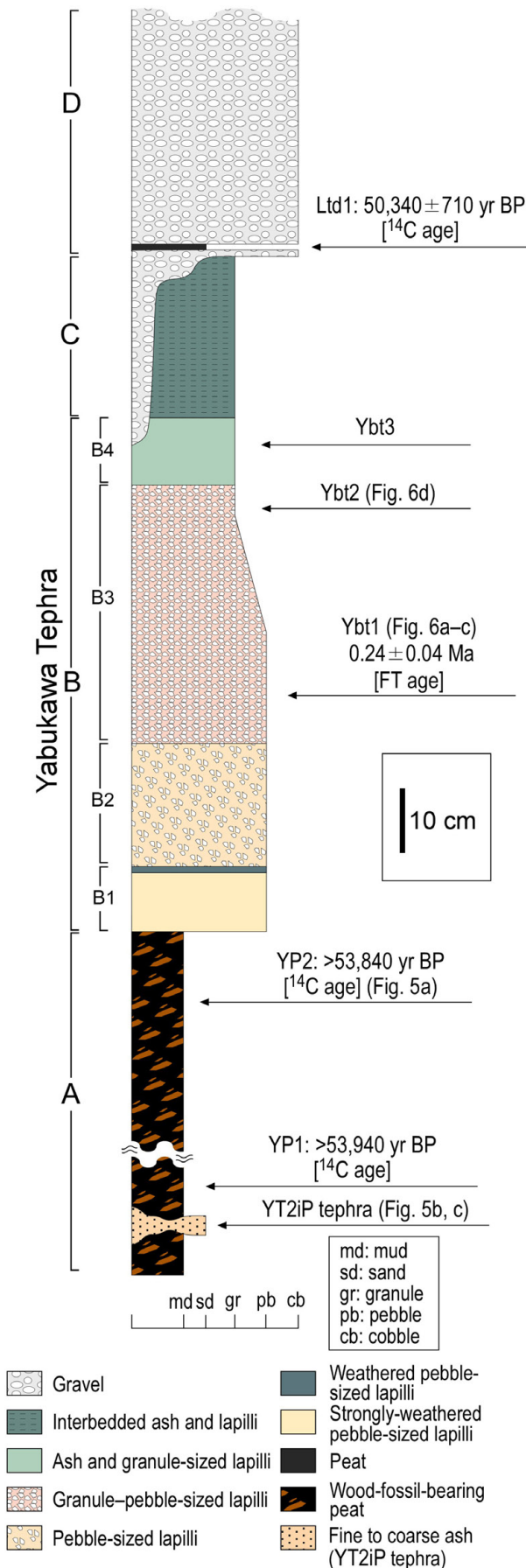
第2図 盛岡市薮川地域，薮川テフラ露頭周辺の地形図 (a) とルートマップ (b)．地形図は地理院地図を使用。

Fig. 2 Topographic map (a) and route map (b) around the outcrop of the Yabukawa Tephra, Yabukawa area in Morioka City. The topographic map is from the GSI map of the Geospatial Information Authority of Japan.



第3図 薮川テフラ (B層) の露頭写真。中央の折尺の長さは1 m。

Fig. 3 Outcrop of the Yabukawa Tephra (unit B). Straighten folding scale at the center of the outcrop is 1 m long.



下部・上部ともに，石英≫直方輝石≫チタン鉄鉱≒長石≫普通角閃石≒黒雲母≒単斜輝石である(第1表)．石英にはしばしば六方両錐形の高温型石英が認められる．本テフラは，石英を主体とすること，直方輝石が多いこと，普通角閃石が極めて少ないことが特徴的で，後述する藪川テフラ中の残渣の内容とは異なる．

3.2 B層(テフラ層)

[テフラ名]藪川テフラ(新称)

[模式地]盛岡市藪川外山葉水の外山川左岸(39° 47' 04.53" N, 141° 20' 03.66" E)

[層厚] 80 cm前後

[分布]現状確認されている限りでは，模式地の露頭を含めた外山川沿いの東西約60 mの区間

[層相]下位より，粘土化した中礫サイズの火山礫層(B1層：10 cm厚)，中礫サイズの火山礫層(B2層：19 cm厚)，細礫～中礫サイズの火山礫層(B3層：40 cm厚)，粗粒砂～細礫サイズの火山灰-火山礫層(B4層：10 cm厚)の各サブユニットからなる(第4図)．

[層序関係]泥炭層(A層)の上位に整合に堆積し，藪川テフラのリワーク堆積物と考えられる火山灰火山礫互層(C層)に整合に覆われる．

[記載]

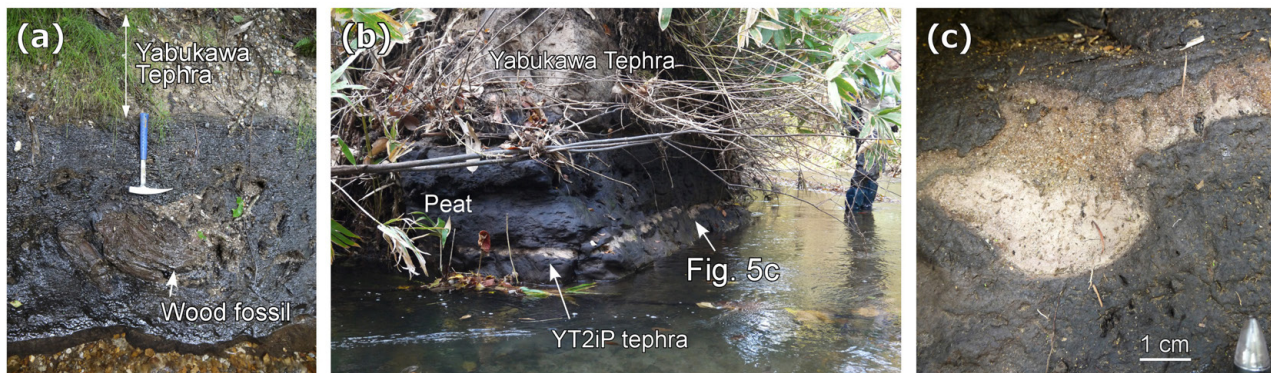
ユニット・サブユニットの特徴を第1表にまとめた．以下にサブユニットごとの詳細を述べる．なお，残渣中の鉱物及びB層主部をなすB3層中の石質岩片については次項で詳述する．

B1層は中礫サイズの火山礫からなり，薄ページュ色を呈する．火山礫の大部分は著しく粘土化した軽石からなり，石質岩片を少量伴う．軽石は粘土化のため，外形が不明瞭となっているものが多いが，確認できるサイズとしては長径5 mm程度のもが多く，最大で2 cmに達する．最上部には厚さ1～2 cmで緑灰色を呈する風化変質した軽石の濃集層が認められる(第3図，第4図)．この軽石もすべて粘土化しており外形は不明瞭であるが，一部で5 mm～1 cm径のものが確認できる．B1層中にまばらに含まれる石質岩片は，長径2～3 mmで多くが暗緑色～暗灰色の火山岩である．

B2層は中礫サイズの火山礫からなり，ページュ色を呈する．この火山礫もB1層同様，風化変質した軽石を主体とする．軽石は長径1 cm程度であり，多くが粘土化しているが，まれに粘土化が軽度で発泡組織が残されているものも認められる．石質岩片は長径数mmで，最大1 cmに及ぶ．緑灰色を呈する火山岩が多いが，赤紫色を呈するものも少量認められる．石質岩片の含有率は1割

第4図 藪川テフラを含む地層の柱状図．

Fig. 4 Columnar section of the strata containing the Yabukawa Tephra.



第5図 (a) 薮川テフラ直下の泥炭層 (A層) 中の材化石. (b) 泥炭層中のテフラ (YT2iPテフラ). (c) 脱水による膨縮構造を示すYT2iPテフラの拡大写真.

Fig. 5 (a) Wood fossil in the peat layer (unit A) underlying the Yabukawa Tephra. Hammer is 30 cm long. (b) YT2iP tephra interbedded in the peat layer. (c) Expanded photograph of the YT2iP tephra showing a pinch-and-swallow structure by dewatering.

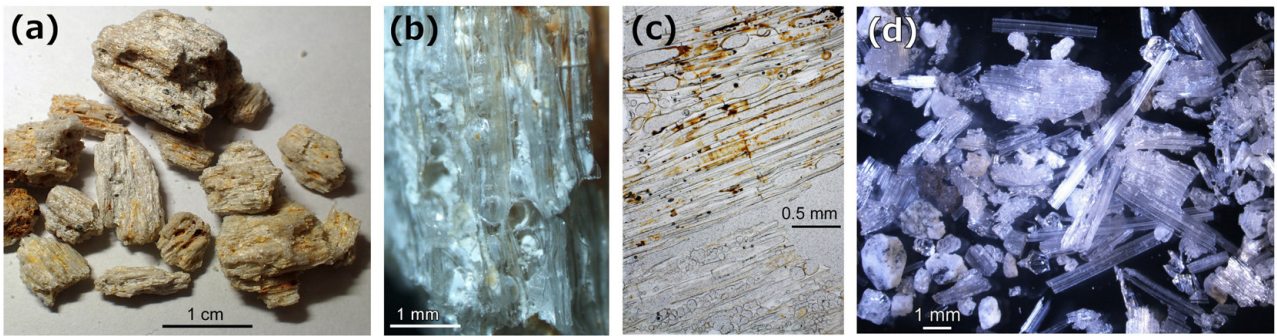
第1表 薮川テフラ及び上下層の各ユニットの特徴. 残渣に含まれる鉱物量については多い順に「+++」, 「++」, 「+」, 「*」, 「tr」と記してある.

β : 高温型石英の存在, Bt : 黒雲母, Cpx : 単斜輝石, Ep : 緑れん石, Fld : 長石, Hbl : 普通角閃石, Ilm : チタン鉄鉱, Opx : 直方輝石, Qz : 石英, L : 下部, U : 上部.

Table 1 Lithologic features of each unit of the Yabukawa Tephra and its lower and upper units. Symbols of “+++”, “++”, “+”, “*” and “tr (trace)” are written in descending order of mineral content in residues.

Abbreviations: β (presence of beta-quartz); Bt (biotite); Cpx (clinopyroxene); Ep (epidote); Fld (feldspar); Hbl (hornblende); Ilm (ilmenite); Opx (orthopyroxene); Qz (quartz); L (lower part); U (upper part).

Unit	Grain size	Color	Thickness (cm)	Mineral in residue								Remark
				Qz	Fld	Hbl	Opx	Cpx	Ilm	Bt	Ep	
C	Coarse sand to granule	Grayish green to pale green	25	+++ β	+++	+	*		tr	tr	tr	Laminated /abundant spherulites
B4	Coarse sand to granule	Pale greenish gray	10	+++ β	++	+	*		tr	*	tr	Fine/greenish
B3	U Granule	Grayish beige	40	+++ β	+++	+	*	tr	tr	*	tr	Abundant coarse pumice
	L Pebble			+++ β	+++	+	*	tr	tr	*	tr	
B2	Pebble	Beige	19	+++ β	++	+	+	tr	*	tr	*	Abundant lithic fragments
B1	Pebble	Pale beige	10	+++ β	++	+	+	*	*	tr	tr	High argillation
A (YT2iP)	Silt to coarse sand	Pale to grayish beige	2–6	+++ β	*	tr	++	tr	*	tr	tr	Reverse grading /dewatering structure



第6図 (a) 藪川テフラのB3層中のYbt1層準から得られた軽石。(b) 軽石の拡大写真。(c) 軽石の薄片写真(単ポーラー)。(d) B3層上部のYbt2層準から得られた火山ガラスを含む残渣の写真。

Fig. 6 (a) Photograph of pumice samples from the horizon Ybt1 in the subunit B3 of the Yabukawa Tephra. (b) Photomicrograph of the pumice. (c) Thin section image of the pumice, under open-polarized light. (d) Volcanic glasses in residues from the upper part (horizon Ybt2) of the subunit B3.

弱でありB層中で最も高い。

B3層は藪川テフラの主体をなす。大部分が薄橙色で、一部で灰色掛かったベージュ色を呈する(第3図)。全体的に級化しており、粒度によって下部と上部に分けられる。下部は主に中礫サイズの比較的淘汰の良い火山礫からなり、礫支持である。火山礫はほとんどが軽石で、石質岩片が少量認められる。軽石は、薄ベージュ色で繊維状発泡のため短柱状の形態を示し、最大長径は3 cmに及ぶ(第6図a)。この軽石は、著しく発泡した繊維状の火山ガラスを主体とするが、しばしば繊維状ガラス間に楕円形のバブル状ガラスを挟有する(第6図b, c)。これらの火山ガラスの内部には、火山ガラスが変質したものと思われる白色粘土が充填することが多い(第6図b)。軽石は無斑晶状ではあるが、長径0.5 mm以下の石英(高温型を含む)、長石、有色鉱物(普通角閃石、直方輝石、単斜輝石、黒雲母)、不透明鉱物(鉄鉱の集合体、チタン鉄鉱)及びジルコンなどが僅かに認められる。石質岩片は少量であり、長径は数mm～1 cm程度である。B3層上部は主に細礫サイズの火山礫からなり淘汰は良い。火山礫は下部同様にほとんど軽石で、石質岩片が少量認められる。軽石は下部に比べ粘土化が進んでいる。石質岩片は、最大長径1 cm未満で、全体的に下部より小さい。

B4層は粗粒砂～細礫サイズの火山灰～火山礫からなり、正級化している。薄い緑灰色を呈するが、橙色掛かったベージュ色の部分もある(第3図)。火山礫の多くは軽石であるが、ほぼ粘土化している。石質岩片は長径が5 mm以下で、B3層のものより小さいが、含有率はB3層より高い。これらの石質岩片や軽石は変質・粘土化によって淡緑色になっており、それがB4層の色として反映されている。

[残渣の特徴]

B1～B4層を水洗して得られた残渣中の鉱物の量比は、

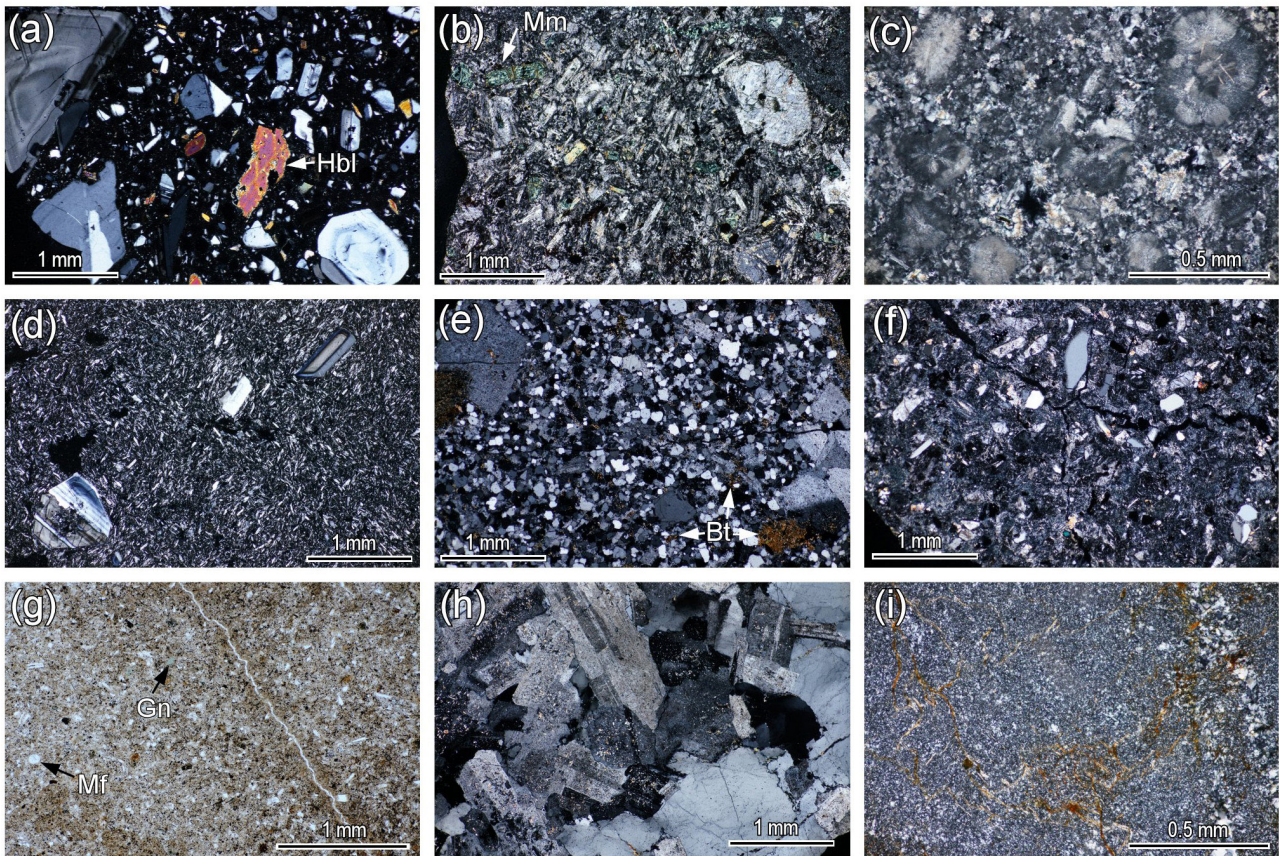
どのサブユニットも大差はない。石英・長石が多く、その次に普通角閃石、直方輝石が、そして僅かにチタン鉄鉱、単斜輝石、黒雲母、緑れん石などが含まれる(第1表)。また、すべてのサブユニットで六方両錐型の高温型石英が認められる。

B1層の残渣は中粒砂を主体とし、含有鉱物の量比は、石英>長石>直方輝石>普通角閃石>単斜輝石>チタン鉄鉱>黒雲母≒緑れん石である。B1層の火山ガラスは粘土化のためほとんど失われているが、残存している火山ガラスの形状の多くは平板状である。残渣中での石質岩片の割合は、長石と同程度である。

B2層の残渣は中粒～粗粒砂を主体とし、含有鉱物の量比は、石英>長石>普通角閃石≒直方輝石>チタン鉄鉱>緑れん石>単斜輝石≒黒雲母である。残渣中には軽石由来の火山ガラスが含まれており、そのほとんどが繊維状である。普通角閃石や緑れん石は長石を付随させていることがある。残渣中の石質岩片の割合は長石と同程度である。

B3層下部の残渣は粗粒砂を主体とし、含有鉱物の量比は、石英>長石>普通角閃石>直方輝石>黒雲母>単斜輝石≒チタン鉄鉱≒緑れん石である。残渣中には火山ガラスが極めて大量に含まれており、そのほとんどが繊維状である。黒雲母はしばしば長石を付随させている。残渣中の石質岩片の割合は黒雲母と同程度である。B3層上部の残渣も粗粒砂を主体とし、含有鉱物の量比は、石英>長石>普通角閃石>直方輝石≒黒雲母>チタン鉄鉱≒緑れん石≒単斜輝石である。下部同様、残渣中には火山ガラスが極めて大量に含まれており、そのほとんどが繊維状である(第6図d)。残渣中の石質岩片の割合は長石と同程度である。

B4層の残渣は中粒砂を主体とし、含有鉱物の量比は、石英>長石>普通角閃石>直方輝石>黒雲母>緑れん石



第7図 藪川テフラ中の石質岩片の薄片写真。(a)角閃石安山岩、(b)玄武岩質安山岩、(c)スフェルリティック(球顆状)組織を示すデイサイト、(d)デイサイト、(e)流紋岩、(f)凝灰質砂岩、(g)凝灰質泥岩、(h)トータル岩、(i)チャート。(g)のみ単ポーラーでその他は直交ポーラー。

Bt: 黒雲母, Hbl: 普通角閃石, Gn: 海緑石, Mf: 球状微化石仮像, Mm: 緑泥石に置換された苦鉄質鉱物。

Fig. 7 Thin section images of rock fragments from the Yabukawa Tephra: (a) hornblende andesite; (b) basaltic andesite; (c) dacite showing a spherulitic texture; (d) dacite; (e) rhyolite; (f) tuffaceous sandstone; (g) tuffaceous mudstone; (h) tonalite, and (i) chert.

Only Fig. 7g is under open polarized light, while the others under cross polarized light.

Abbreviations: Bt (biotite); Hbl (hornblende); Gn (glauconite); Mf (pseudomorph of spherical microfossil); Mm (mafic mineral replaced by chlorite).

>チタン鉄鉱で、B3層上部とほぼ同様である。火山ガラスも石英と同程度に多く含まれており、そのほとんどが繊維状である。残渣中の岩片の割合は長石と同程度である。

[B3層の石質岩片の特徴]

藪川テフラの主部をなすB3層に含まれる石質岩片を鏡下観察したところ、玄武岩質安山岩、安山岩、デイサイト、流紋岩、凝灰質砂岩、凝灰質泥岩、トータル岩、チャートが認められた(第7図)。量比としては安山岩とデイサイトが多くを占める。安山岩は灰色で、斜長石を斑晶とし、岩片によっては普通角閃石や石英も斑晶として認められる(第7図a)。斑晶の斜長石はときに顕著な累帯構造を示す(第7図a)。なかには石基部分がやや粗粒な鉱物で占められ、半深成岩様のものもある(第7図b)。

デイサイトは灰色～灰白色で、斜長石と石英を斑晶とするが、緑泥石に置換された有色鉱物の仮像を含むこともある。まれにスフェルリティック(球顆状)組織を示す(第7図c)。また、しばしば無斑晶状のものも認められる。斑状、無斑晶状に関わらず、デイサイトの石基中に産する斜長石は長柱状あるいは針状を呈する場合が多い(第7図d)。玄武岩質安山岩は、暗灰色で、安山岩に比べ石英が少なくかつ有色鉱物のモード比が高い。流紋岩は白色で、デイサイト同様、斜長石と石英を斑晶とし、まれに緑泥石に置換された有色鉱物の仮像を含む。流紋岩はフェルシティック組織を示す無斑晶状のものも認められる。岩片によっては、石基の石英・長石がやや粗い半深成岩様のものがある(第7図e)。なお、ほとんどの流紋岩において、長径0.2 mm以下の長柱状～粒状黒雲母が散在

し、デカッセイト組織を呈している(第7図e)。凝灰質砂岩は淡黄灰色～灰色を呈し、シリカ鉱物等に置換された火山ガラス、石英、長石のほか、針状の黒雲母粒子を含み、岩片によっては白雲母、単斜輝石、緑れん石、不透明鉱物などの粒子が認められる。中にはやや粗粒な石英や長石の粒子を含むものもある(第7図f)。凝灰質泥岩は淡黄灰色で、火山ガラスと円磨度の低い碎屑粒子を含む。また、しばしば、海緑石や球形の微化石仮像が認められる(第7図g)。トータル岩は白色で、斜長石及び石英と少量の黒雲母からなり(第7図h)、岩片によっては普通角閃石や直方輝石を含んでいたり、やや粗粒な緑れん石を含むものもある。チャートは微細な石英からなり、いくつかの岩片では細粒の黒雲母が発達している(第7図i)。

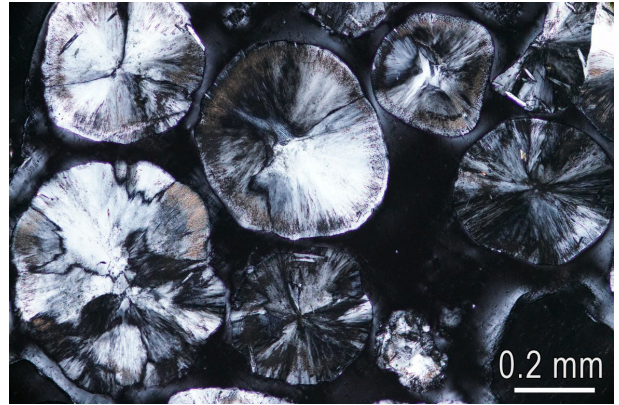
全体的に、ほとんどの石質岩片が多かれ少なかれ変質を受けており、それが著しいものでは、斜長石はソーシユライト化し、有色鉱物は緑泥石に置換されている。また細粒な緑れん石もしばしば産する。これらの緑色の変質鉱物が多産する場合、岩石全体が緑掛かり、それは特に火山岩において顕著である。また、微細な赤鉄鉱が多産する場合は全体に赤紫色を呈する。

3.3 C層(火山灰火山礫互層)

詳細については後述するが、C層は藪川テフラを主な母材とするリワーク堆積物と考えられる。本層は淡緑色～灰緑色を呈し、厚さは25 cmである。細粒～粗粒火山灰と変質した火山礫とが厚さ約2 cm以下で互層したもので構成される。特に、最下部では細粒火山灰層が、また上部では軽石からなる火山礫層が挟在している。場所によっては斜交葉理が確認できる。軽石は無斑晶状で長径最大1 cmに及び、その多くが変質によって粘土化し、ベージュ色あるいは灰緑色を呈する。変質は著しいものの、一部で繊維状の発泡組織が残存している。石質岩片は流紋岩、デイサイト、安山岩のほか、粗粒な安山岩や珪長質火山岩も認められ、それらは緑れん石や緑泥石などの変質鉱物の発達によって緑色を呈するものが多い。残渣中の鉱物の量比は、石英>長石>普通角閃石>直方輝石>黒雲母≒緑れん石≒チタン鉄鉱である(第1表)。軽石に由来する繊維状もしくは平板状の火山ガラスもしばしば認められ、特に上部で量が多い。石英はまれに六方両錐形の高熱型のものが認められる。残渣中の石質岩片の含有割合は長石と同程度である。

C層で特筆すべき点として、下部でも上部でも径1 mm以下の白色で魚卵状を呈するスフェルライトが多産することが挙げられる。鏡下では中心から外側にかけて繊維状結晶が放射状に発達した構造が認められ、また粒子のリムは隠微晶質な鉱物の晶出によって汚濁している(第8図)。スフェルライトはしばしば複数個の粒子同士が融合していることがある。

なお、C層が呈する淡緑色～灰緑色の色調は、緑れん



第8図 C層から得られたスフェルライトの薄片写真(直交ポーラー)。

Fig. 8 Thin section image of spherulite grains from the unit C, under cross-polarized light.

石や緑泥石などの変質鉱物が発達する石質岩片が多く含まれることに起因すると考えられる。

3.4 D層(礫層)

C層の直上には主に細礫と中礫とが不均質に混ざり合う淘汰の悪い礫層が約1.8 mの厚さで堆積している。角礫～垂角礫を主体として、礫支持である。礫の長径は3 cm前後のものが多く、ときに10 cm程度の大礫も認められる。礫種はチャートがほとんどで、そのほか、ジュラ紀付加体起源の泥岩や砂岩の礫も僅かに認められる。チャートの色調は多様で、灰色、暗灰色、白色が多く、それ以外では黒色、赤紫色、淡緑色がある。礫層は一部でB層(藪川テフラ)とC層を深さ20 cmほど削り込んで堆積しており(第3図)、この凹面を埋積した礫の直上には厚さ2 cm程度の炭質層が挟在する(第4図のLtd1)。なお、確認できた礫層の上限から段丘面までは、途中の露出が不明瞭ではあるが高さ約1.6 mである。

4. 火山ガラスの主成分分析

4.1 試料層準と分析手法

藪川テフラのB3層とB4層の2層準(第4図のYbt2とYbt3)に含まれる火山ガラス(試料番号はそれぞれ20181113 L1-2a, 20181113 L1-2b)について、エネルギー分散型X線マイクロアナライザー(EDX)を用いて主成分分析を行った。走査型電子顕微鏡, EDX, 検出器は、それぞれHITACHI製 SU1510, HORIBA製EMAX Evolution EX-270, 液体窒素レス検出器X-Max (80 mm²)であり、加速電圧は15 kV, 試料電流は0.3 nA, ビーム径は約90 nm (4 μm 四方を走査), ライブタイムは50秒である。主成分組成計算方法にはファイローゼット(ϕ (ρZ)補正)を適用した。スタンダードには高純度人工酸化物結晶(純度99.99%以上のSiO₂, Al₂O₃, TiO₂, MnO, MgO), 純

度99.99%以上の単結晶NaCl, KCl, CaF₂を用いた。また、測定終了時ごとに、ヨーロッパで二次標準物質となっているMPI-DINGのATHO-G (Jochum *et al.*, 2000, 2006)及びガラスの主成分がほぼ均質なATテフラの火山ガラスを用い、測定値をチェックした。

4.2 分析結果

測定した2試料の主成分分析結果を付表1に、ハーカー図を第9図に示す。両試料は主成分元素組成がほぼ一致する。B3層(Ybt2)の各主成分の平均含有率(wt.%)は、SiO₂: 78.3, TiO₂: 0.07, Al₂O₃: 12.7, FeO* (全鉄を2価で計算): 1.02, MnO: 0.12, MgO: 0.06, CaO: 0.67, Na₂O: 4.34, K₂O: 2.79, B4層(Ybt3)は、SiO₂: 78.4, TiO₂: 0.11, Al₂O₃: 12.7, FeO*: 0.90, MnO: 0.09, MgO: 0.07, CaO: 0.66, Na₂O: 4.30, K₂O: 2.77である。両者とも特に、SiO₂, K₂Oの平均含有率がそれぞれ78%, 2.8%と高く、一方でCaOが0.7%弱、MgOが0.07%程度、TiO₂が0.1%程度と低い特徴を示す。FeO*-SiO₂図ではSiO₂の含有率が高くなるにつれFeO*の含有率が低下する負の相関を示す。

5. 屈折率測定

5.1 試料層準と分析手法

主成分分析を行った藪川テフラのB3層とB4層の2層準(第4図のYbt2, Ybt3)(試料番号: 20181113 L1-2a, 20181113 L1-2b)について、火山ガラス、直方輝石及び普通角閃石の屈折率を測定した。また、藪川テフラ下位の泥炭層中のYT2iPテフラについても火山ガラスと直方輝石の屈折率を測定した。普通角閃石はほとんど含まれていないため、測定を行っていない。

屈折率測定には、浸液の温度を直接測って屈折率を求める温度変化型測定装置「MAIOT」(古澤, 1995)を使用した。

5.2 分析結果

5.2.1 藪川テフラ

20181113L1-2a (B3層のYbt2)に含まれる火山ガラスの屈折率は1.495–1.498 (中央値: 1.497, 測定数: 30)である(第10図d)。普通角閃石の屈折率(n_2)は1.673–1.685 (中央値: 1.679, 測定数: 35)で、1.677–1.680付近にピークが見られる(第10図f)。少量含まれる直方輝石の屈折率(γ)は1.706–1.711及び1.724–1.731 (測定数: 35)で双峰型の分布を示す(第10図e)。

20181113L1-2b (B4層のYbt3)に含まれる火山ガラスの屈折率は1.495–1.497 (中央値: 1.496, 測定数: 30)である(第10図a)。普通角閃石の屈折率(n_2)は1.674–1.691 (測定数: 40)で、1.679–1.682と1.690–1.691付近に2つのピークをもつ双峰型の分布を示す(第10図c)。直方輝石の屈折率(γ)は1.702–1.740 (測定数: 35)と幅広い分

布を示す(第10図b)。

両試料を比較すると火山ガラスはほぼ同様の値を示す。直方輝石は屈折率の分布パターンに違いがあるものの幅広い分布を示す特徴は類似している。普通角閃石については、B3層、B4層の試料はそれぞれ単峰型、双峰型と異なるが、前者のピークと後者の屈折率が低い方のピークは近接する。

5.2.2 YT2iPテフラ

火山ガラスの屈折率は1.498–1.503 (中央値: 1.501, 測定数: 30)で比較的良好にまとまっている(第10図g)。直方輝石の屈折率(γ)は1.720–1.725 (中央値: 1.722, 測定数: 30)とこちらもよくまとまる(第10図h)。

藪川テフラと比較すると、火山ガラスの値は両者で明らかに異なる。直方輝石は藪川テフラB4層中の値の範囲内に収まるものの、全く異なる幅を示しており、B3層中の値とも重複しない。すなわち、直方輝石についてもYT2iPテフラと藪川テフラは明確に識別可能である。

6. フィッション・トラック年代測定

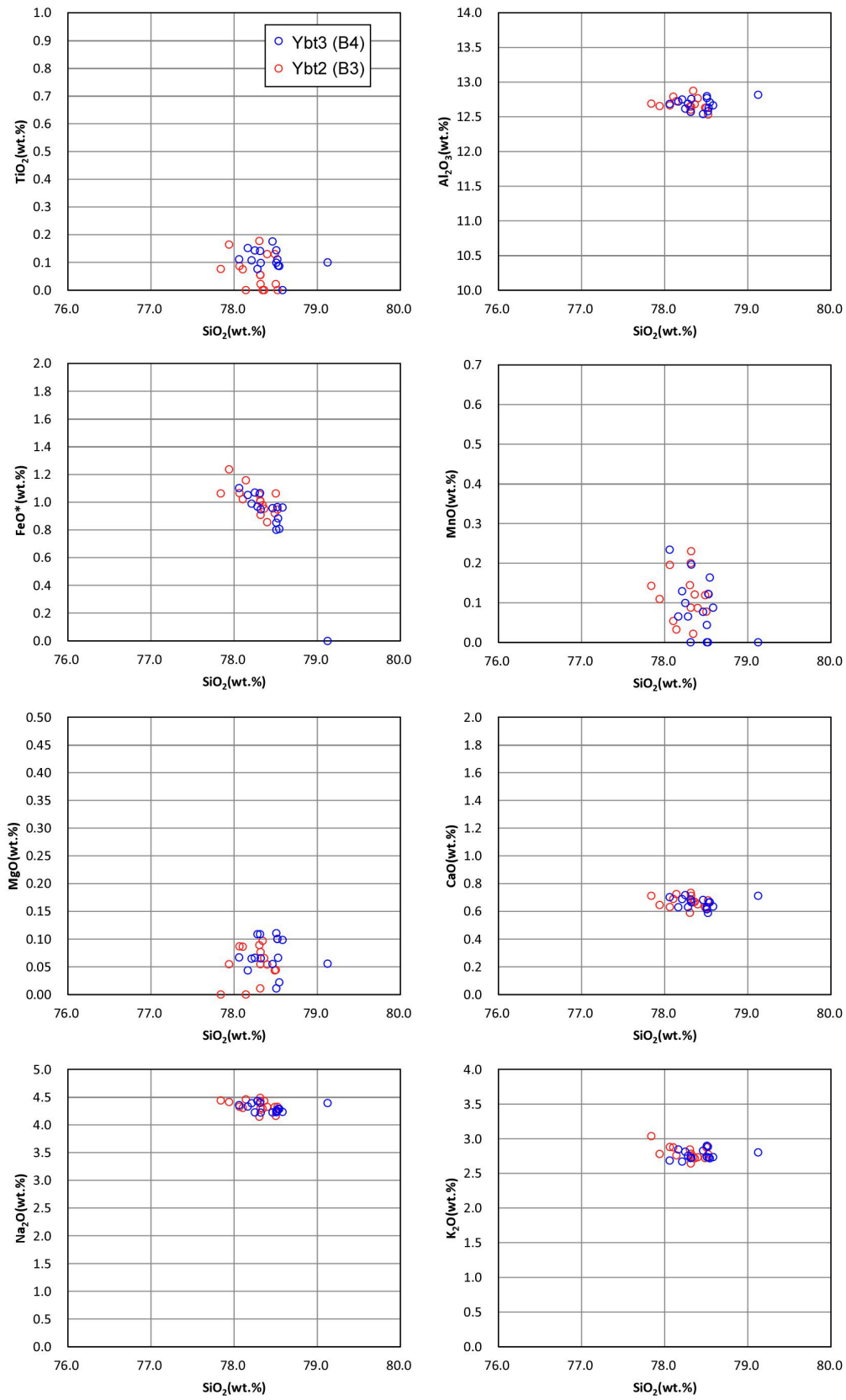
6.1 試料層準と手法

藪川テフラの主部をなすB3層下部(第4図のYbt1層準)の軽石から抽出したジルコンについて、フィッション・トラック年代(FT年代)を測定した。ジルコンは63粒子得られ、すべて透明かつ自形である。測定に際し、まずジルコンをPFAテフロンシートに埋め込み、ダイヤモンドペーストで研磨した。その後、水酸化カリウムと水酸化ナトリウム各1 mol共融液(225 °C)で40時間かけ結晶外部面の自発トラックをトラックの方位分布が等方的になるまでエッチングした。光学顕微鏡(Nikon ECLIPSE E1000)とデジタルカメラ(浜松フォトニクス C9440-05G)を通して、モニター画面(タッチパネルシステムズ17モニター: 観察倍率は2550倍)上で自発トラック密度を計測した。FT年代測定に必要なウラン濃度については、レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析装置で測るLA-ICP-MS-FT法を用いて測定した。使用機器は東京大学大学院理学研究科地殻化学実験施設の四重極型誘導結合プラズマ質量分析装置で、本装置はフェムト秒レーザーシステムを搭載している(Yokoyama *et al.*, 2011; Sakata *et al.*, 2014)。測定条件を第2表に示す。ウラン濃度の標準物質としてNancy 91500スタンダード(Wiedenbeck *et al.*, 1995)のジルコンを、またFT年代校正の一次標準試料としてFish Canyon Tuff (28.4 ± 0.2 Ma: Danhara and Iwano, 2013)のジルコンを使用した。年代算出の際のゼータ値は44.9 ± 1.8である。なお、FT年代値の計算法については細井ほか(2018)に詳しい。

6.2 測定結果

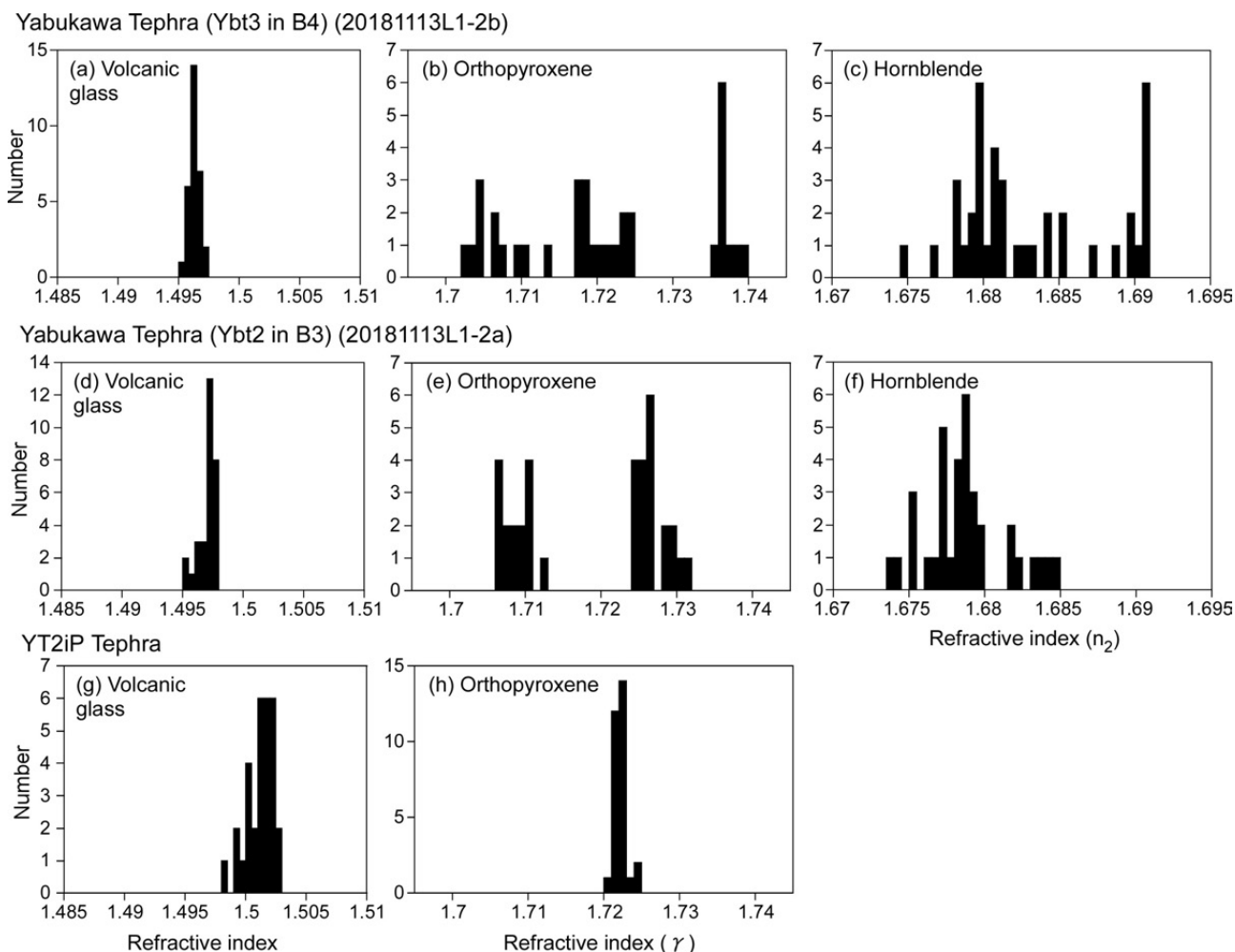
軽石から抽出された63粒子すべての値が χ^2 検定に合格

北上山地中西部，盛岡市藪川地域のチバニアン期後半テフラ（内野ほか）



第9図 藪川テフラのB3層上部及びB4層から得られた火山ガラスの主成分を示したハーカー図。

Fig. 9 Harker diagrams showing the chemical composition of major elements of volcanic glasses from the upper part of the subunit B3 and the subunit B4 in the Yabukawa Tephra.



第10図 蕨川テフラのB3層上部及びB4層ならびに泥炭層中のYT2iPテフラから得られた火山ガラス・直方輝石・普通角閃石の屈折率。

Fig. 10 Refractive indices of volcanic glasses, orthopyroxene and hornblende from the upper part of the subunit B3 and the subunit B4 in the Yabukawa Tephra and the YT2iP tephra in the unit A (peat layer).

し ($P(\chi^2)$ 値: 95%), 0.24 ± 0.04 Ma (1 σ) のFT年代 (pooled age) が得られた (第3表)。

7. ¹⁴C 年代測定

7.1 試料層準と手法

蕨川テフラ下位の泥炭層 (A層) に含まれる材化石 (第4図のYp2, 第5図a, 試料番号: 20181113L1-1) とYT2iPテフラ直上の泥炭 (第4図のYp1, 第5図b, 試料番号: 20190903L4-1), そして蕨川テフラ上位の礫層 (D層) 最下部に厚さ 2 cm で挟在する炭質層中から採取された泥炭 (第4図のLtd1, 試料番号: 20190903L3-1) について ¹⁴C 年代の測定 (AMS測定) を行った。

試料の前処理は以下の通りである。材化石については 1 mol/l (1 M) の塩酸に浸し, 次に水酸化ナトリウム水溶液で 0.001 M から 1 M まで徐々に濃度を上げながら酸処理を行う。泥炭については 1 mol/l (1 M) の塩酸のみを

用いて酸処理する。これらの処理によって不純物を化学的に取り除いた後, 超純水で中性になるまで希釈し乾燥させる。乾燥試料を燃焼させ, 二酸化炭素を発生させる。真空ラインで精製した二酸化炭素を, 鉄を触媒として水素で還元し, グラファイトを生成させる。このグラファイトについて, 加速器をベースとした ¹⁴C-AMS 専用装置 (NEC社製) で ¹⁴C の計数, ¹³C 濃度 (¹³C/¹²C) 及び ¹⁴C 濃度 (¹⁴C/¹²C) の測定を行った。標準試料は米国国立標準局 (NIST) から提供されたシュウ酸 (HOx II) であり, この標準試料とバックグラウンド試料の測定も同時に実施した。なお, ¹⁴C 年代の測定は株式会社加速器分析研究所に依頼した。

7.2 年代測定結果

7.2.1 泥炭層 (A層) 中の炭質層の ¹⁴C 年代

材化石は >53,840 yr BP, 泥炭は >53,940 yr BP の年代

第2表 フィッション・トラック年代測定における四重極型誘導結合プラズマ質量分析装置の測定条件.

Table 2 Measurement condition of the instrumentation using a quadrupole inductively coupled plasma mass spectrometry for fission-track dating.

Laser ablation	
Model	CARBIDE (Light Conversion)
Laser type	Femtosecond laser
Pulse duration	224 fs
Wave length	260 nm
Energy density	1.6 J/cm ²
Laser power	40 %
Spot size	10 μm
Repetition rate	100 Hz
Duration of laser ablation	10 s
Carrier gas (He)	0.6 L/min
ICP-MS	
Model	iCAP-TQ ICP-MS (Thermo Fisher Scientific)
ICP-MS type	Quadrupole
Forward power	1550 W
Make-up gas (Ar)	0.9 L/min
ThO ⁺ /Th (oxide ratio)	<1 %
Data acquisition protocol	Time-resolved analysis
Data acquisition	25 s (15 s gas blank, 10 s ablation)
Monitor isotopes	²⁹ Si, ²⁰² Hg, ²⁰⁴ Pb, ²⁰⁶ Pb, ²⁰⁷ Pb, ²⁰⁸ Pb, ²³² Th, ²³⁸ U
Dwell time	0.2 s for ²⁰⁶ Pb, ²⁰⁷ Pb; 0.1 s for others
Standards	
Primary standard (U content)	Nancy 91500 (Wiedenbeck <i>et al.</i> , 1995)
Primary standard (FT age)	Fish Canyon Tuff (Danbara and Iwano, 2013)

値（ともにδ¹³C補正済み）が得られた（第4表）。

7. 2. 2 礫層 (D層) 中の炭質層の¹⁴C年代

礫層中の炭質層からは，50,340 ± 710 yr BP (δ¹³C補正済み)の年代値が得られた（第4表）。

8. 考察

8. 1 外山川沿いの第四紀堆積物の層序

藪川地域葉水の外山川沿いで確認された谷底低地を埋積する第四紀堆積物の層序について改めて整理する。この第四紀堆積物は，下位より1.3 m以上の泥炭層 (A層)，80 cmの藪川テフラ (B層)，25 cmの火山灰火山礫互層 (C層)，そして約1.8 mの礫層 (D層)の各ユニットからなる（第3図，第4図）。泥炭層 (A層)は大量の材化石を含み，また，厚さ2～6 cmのYT2iPテフラを挟有する（第5図）。材化石及びYT2iPテフラ直上の泥炭の¹⁴C年代はともに約4～5万年とされる年代測定限界より古い。

藪川テフラ (B層)は，下位よりB1～B4のサブユニットに細分され，いずれも軽石（第6図a-c）を主体とし，少量の石質岩片を含む。火山礫の長径は軽石が3 cm以下，

石質岩片が1 cm以下である。軽石中に含まれるジルコンのFT年代は約0.24 Ma (チバニアン期後半)を示し，A層中の炭質物が示す¹⁴C年代の結果と矛盾しない。石質岩片は，安山岩，デイサイト，流紋岩，凝灰質砂岩，凝灰質泥岩，トータル岩，チャートなどが認められる（第7図）。凝灰質泥岩は，非変形・非変成で，浅海成の海緑石を含むものがあることから，海溝充填堆積物とは考えにくく，非付加体由来のものと判断される。したがって，藪川テフラ中の石質岩片で先古第三紀基盤岩に由来すると言えるものはトータル岩（前期白亜紀花崗岩類）とチャートである。チャートは，北部北上帯のジュラ紀付加体要素であり，多産する細粒黒雲母は前期白亜紀花崗岩類の接触変成作用によるものと考えられる。また，デッカセイト組織を示す流紋岩も，この花崗岩類の熱的影響を受けている，すなわち現在北上山地に多産する前期白亜紀岩脈（土谷ほか，1999；内野・羽地，2021）を起源とする可能性がある。藪川テフラの残渣には繊維状の火山ガラスが大量に含まれるほか（第6図d），その他，高温型石英，普通角閃石，直方輝石，チタン鉄鉱の産出で特徴付けられる。藪川テフラは全体的に淘汰が良く，発泡した軽石を主体とし礫支持であること，また本テフラ中に認められる層理が基底面とほぼ平行であることから，本テフラは降下火砕堆積物と判断できる。

火山灰火山礫互層 (C層)は，淡緑色～灰緑色を呈し，細粒～粗粒な火山灰と変質した火山礫とが細かく互層したことから構成される。火山礫は，ほとんどが変質して粘土化した軽石からなる。C層には細かい葉理が発達し，一部ではそれが斜交する部分も認められることから（第11図），水流による影響下での堆積が示唆される。C層は，繊維状に発泡した無斑晶状軽石や残渣中に石英・長石をはじめ普通角閃石・直方輝石・チタン鉄鉱を含むことから（第1表），藪川テフラ (B層)と共通した特徴を持つ。一方で，スフェルライト粒子を大量に含むという特徴も有している（第8図）。藪川テフラの残渣中にはスフェルライトは確認されていないが，本テフラのデイサイト岩片には一部でスフェルリティック組織が認められる（第7図c）。ただし，本組織を示すデイサイト岩片の量自体は少ないため，C層のスフェルライトがこの岩片に由来するのかどうかは不明である。もし岩片由来であったとすると，スフェルライト粒子のC層への大量濃集は，堆積時の水流による分級作用に起因する可能性がある。またその場合，C層は藪川テフラ (B層)を主な母材としたリワーク堆積物であり，B層の堆積後すぐにそれを整合的に覆ったと考えられる。ちなみに，藪川テフラに続く火山噴出物中に大量のスフェルライトが初生的に含まれていたという可能性もあるが，その蓋然性については現状では判断できない。

藪川テフラ (B層)及び火山灰火山礫互層 (C層)の上位には礫層 (D層)が堆積しており，D層はB層・C層を一部

第3表 藪川テフラの軽石に含まれるジルコンのフィッシュン・トラック年代.

N_s : 自発トラック数, N_{u-sp} : 未知試料における ^{238}U の領域補正されたカウント数, N_{u-std} : 標準試料のウランカウント数, ρ_s : 自発トラック密度, ρ_{u-sp} : 未知試料における ^{238}U の領域補正されたカウント密度, ρ_{u-std} : 標準試料のウランのカウント密度, U_{ICP} : ウラン濃度.

Table 3 Fission-track ages for the zircon from the pumice in the Yabukawa Tephra.

Abbreviations: N_s (number of spontaneous tracks); N_{u-sp} (area-corrected total count of ^{238}U on unknown sample); N_{u-std} (number of counted uranium of standard); ρ_s (density of spontaneous tracks); ρ_{u-sp} (density of area-corrected total count of ^{238}U on unknown sample); ρ_{u-std} (density of counted uranium of standard); U_{ICP} (uranium content).

Grain no.	N_s	ρ_s (cm^{-2})	N_{u-sp}	ρ_{u-sp}	U_{ICP} (ppm)	Age ($\pm 1\sigma$) (Ma)
1	1	1.042×10^4	14,410	3.603×10^9	96	0.41 ± 0.41
2	1	6.250×10^4	88,816	2.220×10^{10}	589	0.40 ± 0.40
3	3	2.000×10^5	75,449	1.886×10^{10}	501	1.51 ± 0.87
4	0	0.000	67,001	1.675×10^{10}	445	0.00
5	0	0.000	16,369	4.092×10^9	109	0.00
6	0	0.000	65,328	1.633×10^{10}	434	0.00
7	0	0.000	32,443	8.111×10^9	215	0.00
8	1	5.000×10^4	66,705	1.668×10^{10}	443	0.43 ± 0.43
9	0	0.000	52,638	1.316×10^{10}	349	0.00
10	0	0.000	10,153	2.538×10^9	67	0.00
11	0	0.000	9,713	2.428×10^9	64	0.00
12	0	0.000	50,706	1.268×10^{10}	336	0.00
13	0	0.000	14,895	3.724×10^9	99	0.00
14	2	6.250×10^4	57,335	1.433×10^{10}	380	0.62 ± 0.44
15	1	6.250×10^4	55,309	1.383×10^{10}	367	0.64 ± 0.64
16	0	0.000	84,971	2.124×10^{10}	564	0.00
17	1	2.500×10^4	44,776	1.119×10^{10}	297	0.32 ± 0.32
18	2	8.000×10^4	170,414	4.260×10^{10}	1131	0.27 ± 0.19
19	0	0.000	113,440	2.836×10^{10}	753	0.00
20	0	0.000	18,727	4.682×10^9	124	0.00
21	0	0.000	13,035	3.259×10^9	86	0.00
22	0	0.000	12,697	3.174×10^9	84	0.00
23	0	0.000	21,060	5.265×10^9	140	0.00
24	0	0.000	32,481	8.120×10^9	216	0.00
25	2	5.714×10^4	81,635	2.041×10^{10}	542	0.40 ± 0.28
26	2	8.333×10^4	190,857	4.771×10^{10}	1266	0.25 ± 0.18
27	2	1.000×10^5	134,065	3.352×10^{10}	890	0.42 ± 0.30
28	0	0.000	79,005	1.975×10^{10}	524	0.00
29	0	0.000	42,271	1.057×10^{10}	281	0.00
30	1	4.348×10^4	92,254	2.306×10^{10}	612	0.27 ± 0.27
31	2	4.762×10^4	33,705	8.426×10^9	224	0.80 ± 0.57
32	2	8.333×10^4	184,273	4.607×10^{10}	1223	0.26 ± 0.18
33	1	4.167×10^4	109,782	2.745×10^{10}	728	0.22 ± 0.22
34	1	6.250×10^4	66,359	1.659×10^{10}	440	0.54 ± 0.54
35	0	0.000	147,618	3.690×10^{10}	980	0.00
36	2	1.111×10^5	151,589	3.790×10^{10}	1006	0.42 ± 0.29
37	0	0.000	9,417	2.354×10^9	62	0.00
38	0	0.000	72,225	1.806×10^{10}	479	0.00
39	0	0.000	8,706	2.177×10^9	58	0.00
40	1	1.111×10^5	276,040	6.901×10^{10}	1832	0.23 ± 0.23
41	0	0.000	95,156	2.379×10^{10}	631	0.00
42	1	1.111×10^5	153,736	3.843×10^{10}	1020	0.41 ± 0.41
43	0	0.000	154,416	3.860×10^{10}	1025	0.00
44	1	5.556×10^4	95,130	2.378×10^{10}	631	0.33 ± 0.33
45	0	0.000	125,324	3.133×10^{10}	832	0.00
46	0	0.000	95,128	2.378×10^{10}	631	0.00
47	0	0.000	28,521	7.130×10^9	189	0.00
48	0	0.000	20,321	5.080×10^9	135	0.00
49	1	7.143×10^4	105,121	2.628×10^{10}	698	0.39 ± 0.39
50	1	4.167×10^4	35,505	8.876×10^9	236	0.67 ± 0.67
51	0	0.000	38,689	9.672×10^9	257	0.00
52	0	0.000	11,531	2.883×10^9	77	0.00
53	0	0.000	15,709	3.927×10^9	104	0.00
54	0	0.000	91,188	2.280×10^{10}	605	0.00
55	1	8.333×10^4	43,905	1.098×10^{10}	291	1.08 ± 1.08
56	0	0.000	32,131	8.033×10^9	213	0.00
57	0	0.000	65,179	1.629×10^{10}	433	0.00
58	0	0.000	57,714	1.443×10^{10}	383	0.00
59	0	0.000	47,197	1.180×10^{10}	313	0.00
60	0	0.000	110,939	2.773×10^{10}	736	0.00
61	0	0.000	56,614	1.415×10^{10}	376	0.00
62	2	2.222×10^5	121,525	3.038×10^{10}	806	1.04 ± 0.74
63	2	3.333×10^4	70,605	1.765×10^{10}	469	0.27 ± 0.19
Total	37	2.578×10^4				
Mean	0.6	3.036×10^4	72063	1.802×10^{10}	478	
Pooled age						0.24 ± 0.04

Zeta value (cm^2/yr): 44.9 ± 1.8 . Correlation coefficient between ρ_s and ρ_{u-sp} (r): 0.512. N_{u-std} : 12,659, ρ_{u-std} : 3.165×10^9 .

第4表 泥炭層 (A層) 及び礫層 (D層) 中の炭質物の ^{14}C 年代のリスト。層準名は第4図を要参照。pMC: 標準現代炭素に対する試料炭素の ^{14}C 濃度の割合。

Table 4 List of ^{14}C ages measured for carbonaceous materials from the peat layer (unit A) and gravel layer (unit D). Horizon names are referable to Fig. 4. pMC: percent modern carbon.

Horizon	Sample no.	Sample	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)(AMS)	Libby age (yr BP)	pMC (%)
Ltd1	20190903L3-1	Peat	-28.63 ± 0.39	$50,340 \pm 710$	0.19 ± 0.02
Yp2	20181113L1-1	Wood fossil	-26.63 ± 0.36	$>53,840$	<0.13
Yp1	20190903L4-1	Peat	-29.50 ± 0.33	$>53,940$	<0.13



第11図 C層で見られる斜交葉理。

Fig. 11 Cross lamina observed in the Unit C.

削っている(第3図, 第4図)。礫層下部に薄く挟在する炭質層の ^{14}C 年代は約 50,000 ~ 51,000 yr BP (後期更新世) であるが, ^{14}C 年代の測定限界に近い値であるため, 本泥炭層も約 4 ~ 5 万年より古い年代を示すと考えておく。この礫層は外山川沿いや東方の大石川沿いで普遍的にみられ, 本地域の低位段丘面を形成している。なお, 大石川下流部(藪川テフラ露頭から約 200 m 東: 第2図a)では, 礫層上部から漸移するシルト層中に厚さ 10 cm 程度のテフラが挟在しており, それは約 36 cal kyr BP の十和田-大不動テフラに対比されている(工藤・内野, 2021)。

以上を基に, 本地域の谷底低地を埋積する地層の総合柱状図を第12図に示した。まとめると, 藪川地域の河川沿いでは後期更新世の礫層を主体とする堆積物が低位段丘を構成しており, 外山川のごく限られた区間において礫層の基盤としてチバニアン期後半の泥炭層と藪川テフラ及びリワーク堆積物が合わせて 2.3 m 以上の厚さをもって存在することが明らかになった。

8. 2. テフラの対比

藪川テフラは, 層厚が 80 cm と厚い降下火砕堆積物であり(第3図, 第4図), また最大長径 3 cm の軽石及び最大長径 1 cm の石質岩片を含むことから, 比較的近傍の火山から飛来したと判断される。盛岡周辺において, 藪

川テフラの FT 年代 (0.24 ± 0.04 Ma) に近い 30 ~ 20 万年前頃に活動した火山としては, 西方に位置する網張火山群, 岩手火山(西岩手), 八幡平火山群, 北西方に位置する七時雨火山(第1図)などが知られており(大場・梅田, 1999; 土井, 2000; 伊藤・土井, 2005; 伊藤ほか, 2006; 藤田ほか, 2019), これらが給源の候補となり得るであろう。

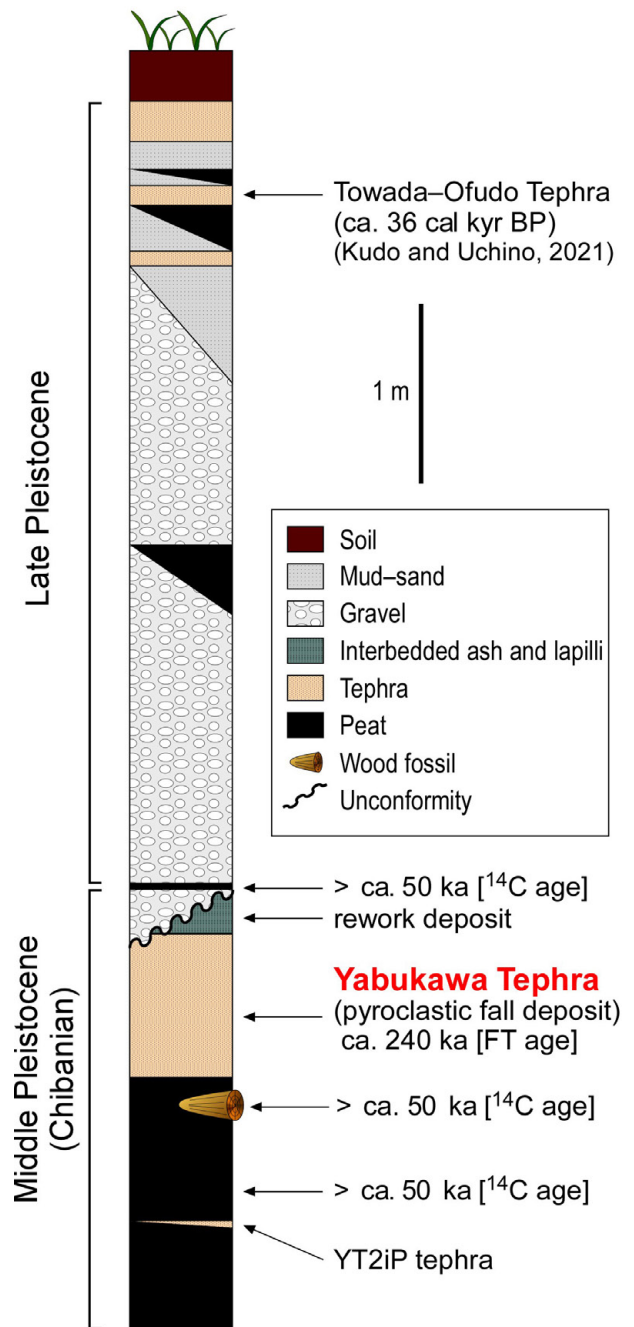
本調査地域の西方, 岩手山麓には, 上記火山を含む周辺火山を主な給源とする膨大な量の第四紀テフラが分布している。そのテフラ層序については, これまでに中川ほか(1963)を始めとして多くの研究が行われ, それらの成果は土井(2000)によって包括的にまとめられている。これらのテフラは, 段丘との関連や不整合の存在を基に, 下位より寺林, 玉山, 岩手川口, 江刈内, 沼宮内, 山崎, 松内, 外山, 洪民, 分の 10 火山灰に区分されている(例えば, 大上ほか, 1980; 土井, 2000)。なお, これらの「火山灰」は, 顕著な鍵テフラとその間に介在する小規模テフラや古土壌層を一括したものであり, それぞれの「火山灰」は, 複数回の噴火によるテフラと古土壌層の互層からなる点に注意が必要である。このうち, 外山火山灰上部には, 約 10.9 万年前の洞爺火山灰(町田ほか, 1987; 東宮・宮城, 2020)が挟在する。洞爺火山灰は, 北海道の洞爺カルデラを給源とし, 北日本に広く分布する広域テフラで, 盛岡周辺では層厚数 mm ~ 10 cm 程度の細粒火山灰層として産する(土井, 2000)。この洞爺火山灰より上位層では, 複数枚の広域テフラが認められており, 放射年代が測定されたテフラも多く, 比較的詳細な年代軸が入られている(例えば, 土井, 2000)。一方, それより下位層の年代については, 一部で層位上の位置から推定年代が示されているものの(土井, 2000), これらは洞爺火山灰より上位層から求められた外挿年代のため, 不確実な点が多く残されている。いずれにしても, 年代的に見ると藪川テフラの対比候補となり得るのは, 少なくとも洞爺火山灰よりも下位の「外山火山灰」以下の層準にあるテフラと判断される。ちなみに, 外山高原では緩斜面堆積物中から OBA, KP, YP などの鍵テフラが報告されているが(例えば, Higaki, 1980; 井上ほか, 1981), どれも後期更新世を示すものであり, 藪川テフラの対比対象となるテフラは見当たらない。

岩手山麓に分布するテフラのうち、洞爺火山灰よりも下位層準において、藪川テフラと産状及び記載岩石学的特徴が最も類似するテフラは、松内火山灰下部の大台白色火山灰 (OdWA) (大上ほか, 1980) と呼ばれる降下火砕堆積物である。土井 (2000) によると、大台白色火山灰は以下の特徴を有する。1) 白色～褐白色を呈する風化した細粒火山灰からなり、新鮮な露頭では白色で著しく発泡した軽石が認められる、2) 軽石は最大径2.5 cmで、容易につぶれ針状の細粉となる、3) 軽石は、著しく斑晶に乏しく、斜長石・石英のほか、苦鉄質鉱物として角閃石、直方輝石及び鉄鉱を含む、4) 火山ガラスの屈折率は1.496-1.498である、5) 岩片として、安山岩、角閃石黒雲母花崗岩、粘板岩が認められる。

藪川テフラも、白色～淡黄白色を呈すること、著しく繊維状に発泡した軽石 (潰すと針状の細粉状となる) を含むこと、岩片として安山岩やトータル岩を含むこと、斜長石、石英、普通角閃石、直方輝石、チタン鉄鉱の粒子を含むこと、火山ガラスの屈折率が1.495-1.498であることなど、大台白色火山灰との類似点が多い。相違点としては、藪川テフラが粘板岩岩片を含んでいないことである。ただし、凝灰質ではあるが、泥質岩自体は藪川テフラにも含まれている。その他の相違点としては、黒雲母及び緑れん石が大台白色火山灰からは報告されていないことが挙げられる。しかし、藪川テフラに含まれるこれらの含有量は極微量で、特に緑れん石はサイズも小さいため、その有無に関しては試料の処理方法や処理量に依存している可能性もある。洞爺火山灰より下位のテフラにおいては、火山ガラスの屈折率測定が行われたテフラは数が限られているものの (土井, 2000)、今のところ藪川テフラと屈折率が一致するのは大台白色火山灰のみである。なお、火山ガラスの主成分化学組成については、比較対象となり得る時代のテフラについて報告が皆無な状況のため、現状では対比検討に用いることはできない。

今回、詳細な対比のために大台白色火山灰の採取を試みたが、模式地付近における露出状況の悪化により、残念ながら本火山灰を発見するに至らなかった。今後、両者を正確に対比するために、本火山灰の露頭を確認し、年代測定、火山ガラスの主成分化学組成分析、詳細な石質岩片の比較などを実施することが必要である。よって本論では、藪川テフラは大台白色火山灰に対比される可能性があるという指摘に留めておく。

藪川テフラは、当地における厚さからみて、太平洋沿岸まで分布している可能性があり、三陸海岸北部の高位段丘堆積物 (及びその被覆層) や太平洋沖の海底コアなどから本テフラに対比されるものが検出されることは十分にあり得る。Matsu'ura *et al.* (2014, 2018) は、東北地方北部沿岸・太平洋沖の深海底コア (C9001C, ODP1150A, ODP1151C) に挟在するMIS 18以降のテフラについて、火山ガラスの主成分化学組成を報告し、詳細な対比と編



第12図 藪川地域の外山川・大石川周辺に分布する第四紀層の総合柱状図。上部更新統の情報は工藤・内野 (2021) による。

Fig. 12 Comprehensive columnar section of the Quaternary strata around the Sotoyama and Oishi rivers in Yabukawa area. Date of the Upper Pleistocene was referred from Kudo and Uchino (2021).

年を行っている。これらのコア中のテフラと藪川テフラの火山ガラス主成分化学組成を比較したところ、藪川テフラと組成が一致するものは見つからなかった。ちなみに、藪川テフラに最も類似した主成分化学組成を示すものとしては、洞爺火山灰があるが、両者にはCaO量で有意な差が認められ、直方輝石の屈折率（例えば、町田ほか(1987)では $\gamma = 1.756-1.761$ ）でも両者は明確に区別可能である。上記の深海底コア中には、藪川テフラに相当するテフラは今のところ見当たらない。

外山高原における藪川テフラを含むチバニアン期の地層の分布は、現状では極めて限定的である。今後、調査範囲を拡げ、本地層の垂直及び水平方向への追跡、複数層準における花粉分析、YT2iPテフラの化学分析などを行うことで、これまで良く分かっていない最終氷期よりも前の氷期の気候・環境やチバニアン期の周氷河作用のイメージがより正確に捉えられていくと考えられる。加えて、北上山地におけるテクトニクスや噴火に伴う影響などの解明の手掛かりになる可能性がある。

9. まとめ

- ・盛岡市東部，藪川地域の谷底低地を埋積する第四紀堆積物から厚さ約80 cmのテフラを見出し、「藪川テフラ」と新称定義した。
- ・藪川テフラは発泡した軽石を主体とし、テフラ層中には高温型石英・長石・普通角閃石・直方輝石などが認められる。また、少量含まれる石質岩片の種類は、安山岩・デイサイト・流紋岩・凝灰質泥岩・トータル岩・チャートである。
- ・火山ガラスの組成は比較的高いSiO₂・K₂Oと低いCaO・MgO・TiO₂で特徴づけられ、またその屈折率は1.495–1.498である。
- ・軽石中のジルコンから 0.24 ± 0.04 MaのFT年代が得られ、藪川テフラはチバニアン期後半に堆積したと判断される。
- ・藪川テフラの産状、記載岩石学的特徴、火山ガラスの屈折率、FT年代などから、松内火山灰層の鍵テフラである白色大台火山灰に対比できる可能性がある。

謝辞：株式会社加速器分析研究所には¹⁴C (AMS)年代を測定いただいた。産業技術総合研究所地質標本館室地質試料調製グループの諸氏には薄片を作製いただいた。岩手大学地域防災研究センターの土井宣夫氏には、岩手山麓の第四紀テフラについて貴重な情報を提供いただいた。有限会社アルプス調査所の本郷美佐緒氏には本文の内容についてご意見をいただいた。査読者の水野清秀氏及び編集担当の納谷友規氏（ともに地質情報研究部門）には、原稿改善に当たり有益なご意見を賜った。記して感謝の意を表す。

文献

- Danhara, T. and Iwano, H. (2013) A review of the present state of the absolute calibration for zircon fission track geochronometry using the external detector method. *Island Arc*, **22**, 264–279.
- 土井宣夫 (2000) 岩手山の地質：火山灰が語る噴火史。滝沢村文化財調査報告書，**32**，234p.
- 古澤 明 (1995) 火山ガラスの屈折率測定・形態分類とその統計的な解析。地質学雑誌，**101**，123–133.
- 藤田浩司・和知 剛・土井宣夫・千葉達郎・岡田智幸・吉田桂治・越谷 信・林 信太郎・斎藤徳美 (2019) 八幡平火山群形成史：1 mメッシュ DEMを用いた火山地形判読とK–Ar年代測定にもとづく解析。岩手の地学，**49**，4–25.
- Higaki, D. (1980) Tephrochronological study of slope deposits in the Northwestern Kitakami Mountains. *Science Reports of the Tohoku University, 7th Series*, **30**，147–156.
- 檜垣大助 (1987) 北上山地中部の斜面物質移動期と斜面形成。第四紀研究，**26**，27–45.
- 細井 淳・中嶋 健・檀原 徹・岩野英樹・平田岳史・天野一男 (2018) 岩手県西和賀町に分布するグリーンタフのジルコンFT及びU–Pb年代とその意味。地質学雑誌，**124**，819–835.
- 井上克弘・金子己・吉田 稔 (1981) 北上川上流域における後期更新世の周氷河現象と火山灰層序。第四紀研究，**20**，61–73.
- 磯 望 (1973) 西北部北上山地における斜面発達。日本地理学会予稿集，no. 4，36–37.
- 伊藤順一・土井宣夫 (2005) 岩手火山地質図。火山地質図13，産総研地質調査総合センター。
- 伊藤順一・土井宣夫・星住英夫・工藤 崇 (2006) 岩手火山地質データベース。数値地質図V-1 (CD-ROM)。産総研地質調査総合センター。
- Jochum, K. P., Dingwell, D. B., Rocholl, A., Stoll, B., Hofmann, A. W., Becker, S., Besmehn, A., Bessette, D., Dietze, H.-J., Dulski, P., Erzinger, J., Hellebrand, E., Hoppe, P., Horn, I., Janssens, K., Jenner, G. A., Klein, M., McDonough, W. F., Maetz, M., Mezger, K., Münker, C., Nikogosian, I. K., Pickhardt, C., Raczek, I., Rhede, D., Seufert, H. M., Simakin, S. G., Sobolev, A. V., Spettel, B., Straub, S., Vincze, L., Wallianos, A., Weckwerth, G., Weyer, S., Wolf, D. and Zimmer, M. (2000) The preparation and preliminary characterization of eight geological MPI-DING reference glasses for in-situ microanalysis. *Geostandards Newsletter*, **24**, 87–133.
- Jochum, K. P., Stoll, B., Herwig, K., Willbold, M., Hofmann,

- A.-K., Amini, M., Aarburg, S., Abouchami, W., Hellebrand, E., Mocek, B., Raczek, I., Stracke, A., Alard, O., Bouman, C., Becker, S., Dücking, M., Brätz, H., Klemm, R., de Bruin, D., Canil, D., Cornell, D., de Hoog, C.-J., Dalpé, C., Danyushevsky, L., Eisenhauer, A., Gao, Y., Snow, J. E., Groschopf, N., Günther, D., Latkoczy, C., Guillong, M., Hauri, E. H., Höfer, H. E., Lahaye, Y., Horz, K., Jacob, D. E., Kasemann, S. A., Kent, A. J. R., Ludwig, T., Zack, T., Mason, P. R. D., Meixner, A., Rosner, M., Misawa, K., Nash, B. P., Pfänder, J., Premo, W. R., Sun, W. D., Tiepolo, M., Vannucci, R., Vennemann, T., Wayne, D. and Woodhead, J. D. (2006) MPI-DING reference glasses for in situ microanalysis: New reference values for element concentrations and isotope ratios. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, **7**, Q02008. doi: 10.1029/2005GC001060
- 工藤 崇・内野隆之 (2021) 岩手県盛岡市藪川, 大石川沿いで確認された十和田大不動テフラ. 地質調査研究報告, **72**, 129–138.
- 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. 東京大学出版会, 336p.
- 町田 洋・新井房夫・宮内崇裕・奥村晃史 (1987) 北日本を広くおおう洞爺火山灰. 第四紀研究, **26**, 129–145.
- 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.
- Matsu'ura, T., Komatsubara, J. and Ahagon, N. (2018) Using Late and Middle Pleistocene tephrostratigraphy and cryptotephrostratigraphy to refine age models of Holes ODP1150A and ODP1151C, NW Pacific Ocean: A cross-check between tephrostratigraphy and biostratigraphy. *Quaternary Geochronology*, **47**, 29–53.
- 中川久夫・石田琢二・佐藤二郎・松山 力・七崎 修 (1963) 北上川上流沿岸の第四系及び地形: 北上川流域の第四紀地史 (1). 地質学雑誌, **69**, 163–171.
- 大場 司・梅田浩司 (1999) 八幡平火山群の地質とマグマ組成の時間—空間変化. 岩鉱, **94**, 187–202.
- 大上和良・畑村政行・土井宣夫 (1980) 北部北上低地帯の鮮新・更新両統の層序について (その2). 岩手大工学部研究報告, **33**, 53–73.
- 阪野 優 (1971) 北上山地・外山高原の周氷河地形. 東北地理, **23**, 18–22.
- Sakata, S., Hattori, K., Iwano, H., Yokoyama, T. D., Danhara, T. and Hirata, T. (2014) Determination of U–Pb ages for young zircons using laser ablation-ICP-mass spectrometry coupled with an ion detection attenuator device. *Geostandards and Geoanalytical Research*, **38**, 409–420.
- 産総研地質調査総合センター (2019) 20万分の1日本シームレス地質図V2. <https://gbank.gsj.jp/seamless/>. (閲覧日: 2021年8月1日)
- 澤口晋一 (1984) 北上山地北部における晩氷期以降の化石周氷河現象. 東北地理, **36**, 240–246.
- 澤口晋一 (2005) 第2章北上山地と阿武隈山地, 2-1 北上山地の地形, (4) 化石周氷河現象から見た氷期の北上川上流域と北上山地. 小池一之・田村俊和・鎮西清高・宮城豊彦編, 日本の地形3, 東北. 東京大学出版会, 55–58.
- 東宮昭彦・宮城磯治 (2020) 洞爺噴火の年代値. 火山, **65**, 13–18.
- 土谷信高・高橋和恵・木村純一 (1999) 北上山地の前期白亜紀深成活動に先行する岩脈類の岩石化学的性質. 地質学論集, no. 53, 111–134.
- 内野隆之 (2019) 岩手県外山地域の北部北上帯に分布するジュラ紀付加体中砂岩の碎屑性ジルコンU–Pb年代. 地質調査研究報告, **70**, 357–372.
- 内野隆之 (2021) 岩手県岩泉町釜津田の北部北上帯付加体砂岩から得られた中期ジュラ紀ジルコン年代: 大川試料を含む付加体の年代検証. 地質調査研究報告, **72**, 99–107.
- 内野隆之・羽地俊樹 (2021) 北上山地中西部の中古生代付加体を貫く白亜紀岩脈群の岩相・年代と貫入応力解析から得られた引張場. 地質学雑誌, **127**, 651–666.
- 和知 剛・土井宣夫・越谷 信 (1997) 秋田駒ヶ岳のテフラ層序と噴火活動. 火山, **42**, 17–34.
- Wiedenbeck, M., Allé, P., Corfu, F., Griffin, W. L., Meier, M., Oberli, F., von Quadt, A., Roddick, J. C. and Spiegel, W. (1995) Three natural zircon standards for U–Th–Pb, Lu–Hf, trace element and REE analyses. *Geostandards and Geoanalytical Research*, **19**, 1–23.
- Yokoyama, T. D., Suzuki, T., Kon, Y. and Hirata, T. (2011) Determinations of rare earth element abundance and U–Pb age of zircons using multispot laser ablation-inductively coupled plasma mass spectrometry. *Analytical Chemistry*, **83**, 8892–8899.

(受付: 2021年12月10日; 受理: 2022年6月6日)

(早期公開: 2022年7月5日)

付録

Appendix

付表1 藪川テフラのB3層上部及びB4層に含まれる火山ガラスの主要元素組成。試料20181113L1-2a及び20181113L1-2bはB3層のYbt2層準，B4層のYbt3層準からそれぞれ得られた。
SD：標準偏差，FeO*：全鉄を2価で計算した値。

Table A1 Major element chemical compositions of volcanic glasses from the upper part of the subunit B3 and the subunit B4 in the Yabukawa Tephra. Samples 20181113L1-2a and 20181113L1-2b were from the B3 (Ybt2 horizon) and B4 (Ybt3 horizon), respectively. SD: standard deviation. FeO*: total Fe as FeO.

20181113L1-2b (Ybt3)																	
Point no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Average	SD
SiO ₂	70.94	70.94	71.82	70.77	70.09	72.68	71.33	72.00	71.18	71.94	71.84	71.06	71.52	72.02	72.00	71.48	0.66
TiO ₂	0.13	0.13	0.09	0.10	0.10	0.10	0.16	0.08	0.09	0.07	0.00	0.08	0.09	0.14	0.13	0.10	0.04
Al ₂ O ₃	11.44	11.54	11.70	11.34	11.39	11.85	11.40	11.65	11.53	11.66	11.58	11.43	11.66	11.72	11.56	11.56	0.14
FeO*	0.97	0.77	0.87	0.87	0.99	0.92	0.87	0.74	0.00	0.89	0.88	0.80	0.73	0.97	0.98	0.82	0.24
MnO	0.09	0.00	0.18	0.00	0.21	0.12	0.07	0.15	0.00	0.06	0.08	0.11	0.04	0.06	0.00	0.08	0.07
MgO	0.06	0.10	0.06	0.09	0.06	0.06	0.05	0.02	0.05	0.10	0.09	0.06	0.01	0.04	0.10	0.06	0.03
CaO	0.65	0.57	0.61	0.53	0.63	0.64	0.62	0.61	0.64	0.58	0.58	0.60	0.56	0.58	0.63	0.60	0.03
Na ₂ O	3.83	3.84	3.87	3.83	3.91	4.08	3.84	3.93	3.95	4.07	3.87	3.88	3.85	3.99	4.04	3.92	0.09
K ₂ O	2.55	2.47	2.50	2.60	2.41	2.48	2.57	2.49	2.52	2.53	2.50	2.47	2.64	2.62	2.50	2.52	0.06
Total	90.66	90.36	91.70	90.13	89.79	92.93	90.91	91.67	89.96	91.90	91.42	90.49	91.10	92.14	91.94	91.14	
SiO ₂	78.25	78.51	78.32	78.52	78.06	78.21	78.46	78.54	79.12	78.28	78.58	78.53	78.51	78.16	78.31	78.42	0.25
TiO ₂	0.14	0.14	0.10	0.11	0.11	0.11	0.18	0.09	0.10	0.08	0.00	0.09	0.10	0.15	0.14	0.11	0.04
Al ₂ O ₃	12.62	12.77	12.76	12.58	12.69	12.75	12.54	12.71	12.82	12.69	12.67	12.63	12.80	12.72	12.57	12.69	0.09
FeO*	1.07	0.85	0.95	0.97	1.10	0.99	0.96	0.81	0.00	0.97	0.96	0.88	0.80	1.05	1.07	0.90	0.26
MnO	0.10	0.00	0.20	0.00	0.23	0.13	0.08	0.16	0.00	0.07	0.09	0.12	0.04	0.07	0.00	0.09	0.07
MgO	0.07	0.11	0.07	0.10	0.07	0.06	0.05	0.02	0.06	0.11	0.10	0.07	0.01	0.04	0.11	0.07	0.03
CaO	0.72	0.63	0.67	0.59	0.70	0.69	0.68	0.67	0.71	0.63	0.63	0.66	0.61	0.63	0.69	0.66	0.04
Na ₂ O	4.22	4.25	4.22	4.25	4.35	4.39	4.22	4.29	4.39	4.43	4.23	4.29	4.23	4.33	4.39	4.30	0.08
K ₂ O	2.81	2.73	2.73	2.88	2.68	2.67	2.83	2.72	2.80	2.75	2.73	2.90	2.84	2.72	2.77	2.77	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	
20181113L1-2a (Ybt2)																	
Point no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Average	SD
SiO ₂	70.45	71.49	71.81	70.49	71.52	72.55	72.46	71.58	72.33	72.21	72.89	70.91	71.19	71.02	70.53	71.56	0.80
TiO ₂	0.16	0.00	0.08	0.00	0.02	0.07	0.12	0.05	0.12	0.00	0.00	0.02	0.15	0.07	0.05	0.06	0.06
Al ₂ O ₃	11.38	11.57	11.65	11.25	11.55	11.88	11.66	11.49	11.78	11.76	11.98	11.41	11.56	11.58	11.35	11.59	0.20
FeO*	0.95	0.87	0.98	0.85	0.83	0.95	0.85	0.92	0.79	1.07	0.91	0.96	1.13	0.97	0.91	0.93	0.09
MnO	0.13	0.11	0.18	0.11	0.21	0.05	0.11	0.08	0.08	0.03	0.02	0.07	0.10	0.13	0.18	0.11	0.05
MgO	0.08	0.06	0.08	0.09	0.07	0.08	0.04	0.05	0.05	0.00	0.09	0.04	0.05	0.00	0.01	0.05	0.03
CaO	0.53	0.61	0.58	0.61	0.65	0.64	0.58	0.67	0.60	0.67	0.62	0.56	0.59	0.65	0.61	0.61	0.04
Na ₂ O	3.73	4.04	3.98	3.88	3.93	4.00	3.99	4.04	3.99	4.12	3.99	3.76	4.03	4.05	4.04	3.97	0.11
K ₂ O	2.56	2.48	2.65	2.49	2.54	2.67	2.51	2.52	2.52	2.55	2.54	2.60	2.54	2.77	2.38	2.55	0.09
Total	89.97	91.23	91.99	89.77	91.32	92.89	92.32	91.40	92.26	92.41	93.04	90.33	91.34	91.24	90.06	91.44	
SiO ₂	78.30	78.36	78.06	78.52	78.32	78.10	78.49	78.32	78.40	78.14	78.34	78.50	77.94	77.84	78.31	78.26	0.20
TiO ₂	0.18	0.00	0.09	0.00	0.02	0.08	0.13	0.05	0.13	0.00	0.00	0.02	0.16	0.08	0.06	0.07	0.06
Al ₂ O ₃	12.65	12.68	12.66	12.53	12.65	12.79	12.63	12.57	12.77	12.73	12.88	12.63	12.66	12.69	12.60	12.67	0.09
FeO*	1.06	0.95	1.07	0.95	0.91	1.02	0.92	1.01	0.86	1.16	0.98	1.06	1.24	1.06	1.01	1.02	0.10
MnO	0.14	0.12	0.20	0.12	0.23	0.05	0.12	0.09	0.09	0.03	0.02	0.08	0.11	0.14	0.20	0.12	0.06
MgO	0.09	0.07	0.09	0.10	0.08	0.09	0.04	0.05	0.05	0.00	0.10	0.04	0.05	0.00	0.01	0.06	0.03
CaO	0.59	0.67	0.63	0.68	0.71	0.69	0.63	0.73	0.65	0.73	0.62	0.65	0.71	0.68	0.67	0.67	0.04
Na ₂ O	4.15	4.43	4.33	4.32	4.30	4.31	4.32	4.42	4.32	4.46	4.29	4.16	4.41	4.44	4.49	4.34	0.10
K ₂ O	2.85	2.72	2.88	2.77	2.78	2.87	2.72	2.76	2.73	2.76	2.73	2.88	2.78	3.04	2.64	2.79	0.10
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	

パーリアントラップ法と水流法による水中非メタン炭化水素の測定： 水流法データからの全濃度の計算

猪狩 俊一郎^{1,*}

IGARI Shunichiro (2022) Measurement of non-methane hydrocarbon in water by purge and trap method and water flow method: calculation of total concentration based on data obtained using water flow method. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 73(2), p. 87-92, 2 figs and 3 tables.

Abstract: At National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), research has been conducted on changes in the concentration of non-methane hydrocarbon (NMHC) in tap water over time, and on the preparation of NMHC-free water. In these studies, the water flow method was used to measure the NMHC concentration. However, since this method detects only part of the NMHC in water, although it can be used for comparing water samples and observing changes in the NMHC content over time, it is not suitable for measuring the total NMHC concentration. In this study, we measured the NMHC concentration in water samples using both the water flow method and the purge and trap method, and compared the results. The findings showed that seven times the concentrations obtained by the water flow method approximate the total values.

Keywords: NMHC, water, water flow method, purge and trap method, calculation, total concentration

要 旨

産業技術総合研究所では、これまで水道水中の非メタン炭化水素 (NMHC) 濃度の経時変化や、脱NMHC水の作成の研究を行ってきた。これらの研究では濃度測定に水流法を用いてきた。水流法では、水中NMHCの一部のみを検出している。そのため、水試料間の比較や経時変化の観測には使用可能であるが、全濃度の評価は不可能であった。今回、水試料中のNMHC濃度を水流法で測定するとともに、パーリアントラップ法でその全濃度を評価した結果、水流法で得られた濃度の7倍が全濃度の概算値であることが明らかになった。

1. はじめに

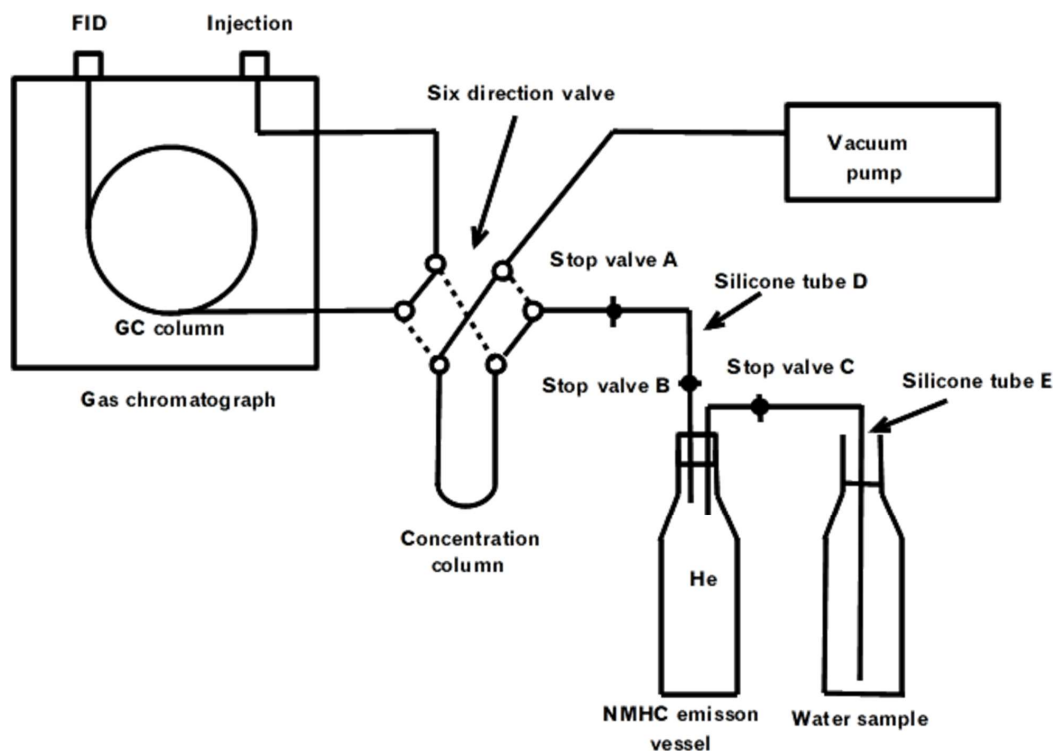
産業技術総合研究所では、急激に都市化の進むつくば市の空気中非メタン炭化水素 (NMHC) の経年変化を観測している。また、油田地帯 (新潟県) と非油田地帯 (茨城・群馬) の空気中NMHC濃度を比較し、油田地帯・非油田地帯のいずれにおいても、エタンとエチレンの間には直線関係が見られ、主な起源は自動車であるものと考えられるが、油田地帯ではこの直線関係からエタン濃度が高い方向にシフトする試料が存在し、それは飽和炭化水素のみからなる油田ガスの影響であることを明らかにした

(Igari, 2004; 猪狩, 2012a)。

空気中NMHCの測定において、当所では採取した試料容器中の空気を液体窒素で冷却したNMHC濃縮カラムに引き込むことにより濃縮を行っている (猪狩, 1995)。この際、空気を引き込んだ分だけ試料容器に水が引き込まれる構造になっており、この水から脱離するNMHCによる妨害が問題となり、その低減法の研究を進め、使用する水の加熱が有効であることを明らかにした (猪狩, 2015)。また逆に、試料容器に純ヘリウムを入れ、引き込まれる水道水の水流から放出されるNMHCの測定 (第1図; 水流法) により、水道水中のNMHCの相対的濃度変化の研究も行った (猪狩, 2018)。一般的には水中の有機ガス濃度の測定にはヘッドスペース法 (例えば早稲田・重川, 1988) やパーリアントラップ法 (例えば唐沢ほか, 2010) が用いられるが、当所既存の装置を使用でき、各種の水を用いた場合の空気中NMHCの測定値に対する影響を知ることができるため、当所では水流法を用いてきた。これらの研究で水流法により得られた水中NMHC濃度は、相対的な比較や経時変化の研究には有効である (猪狩, 2015, 2018)、一方、これらの研究では水中から一部脱離したNMHCを測定しており、測定値は水中NMHCの全濃度ではなかった。本研究では、同じ水試料について、水流法でNMHC濃度を測定するとともにパーリアント

¹ 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geo-Resources and Environment)

* Corresponding author: IGARI, S., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: s-igari@aist.go.jp



第1図 水流法による水中非メタン炭化水素測定装置。

Fig.1 Measuring system of nonmethane hydrocarbon in water by water flow method.

ラップ法でNMHCの全濃度を評価することにより、水流法測定値から全濃度を計算する方法について検討を行った。

2. 試料及び測定法

2.1 試料

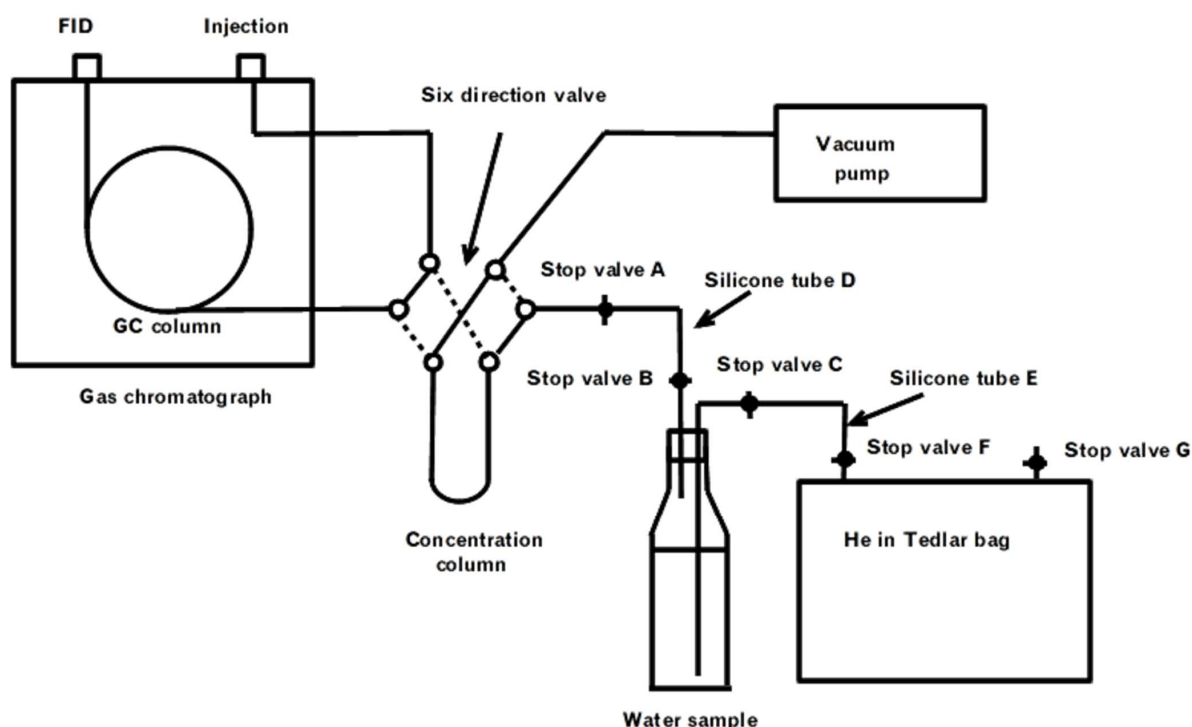
測定対象の水道水試料は産業技術総合研究所つくば中央第七事業所の水道水を採取した。この水道水を用い、測定誤差計算用の繰り返し測定試料のシリーズ、一定時間、開放系で保存した場合のNMHC保存率を調べるための試料のシリーズ、水中のNMHC全濃度を計算するための試料のシリーズの三種を準備した。

測定誤差計算用の繰り返し測定試料のシリーズに関しては、まず、水道水2Lをポリビーカーに採取し、これをガラス製試料容器(ビール瓶(660 mL)の空き瓶を450℃まで加熱したもの、使用後はその都度、風乾する。)3本に分割して満水になるまで注入する。この操作により、3本の試料ボトルには全く同じ水道水が入る。なおビール瓶は当所では以前より天然ガスやガス徴採取に利用されている(地質調査所燃料部石油課, 1959)。このうち1本は400 mLになるまで一部廃棄し、上部に純ヘリウムを注入後、第2図に示す形状の栓(二つのストップバルブB・Cを備えたシリコンゴム栓)をし、1回目のパー

ジアンドトラップ用の試料とした。残りの2本は満水の状態でガラス栓をし、PTFEテープを巻くことにより密閉した。これを測定直前に残量400 mLになるまで一部廃棄し、上部に純ヘリウムを注入後、第2図に示す形状の栓をし、2回目・3回目のパージアンドトラップ用の試料とした。

開放系で保存した場合のNMHC保存率を調べるための試料のシリーズとしてはまず、水道水2Lをポリビーカーに採取し、これを試料容器2本に分割して満水になるまで注入する。このうち1本は400 mLになるまで一部廃棄し、上部に純ヘリウムを注入後、第2図に示す形状の栓をし、1回目のパージアンドトラップ用の試料とした。残りの1本は400 mLになるまで一部廃棄し、2時間栓を外した状態で静置し、その後、上部に純ヘリウムを注入後、第2図に示す形状の栓をし、2回目のパージアンドトラップ用の試料とした。

NMHC全濃度推定用のシリーズとしては、水流法用試料とパージアンドトラップ法用試料を作成した。まずポリビーカーに2Lの水道水を採取し、これを2本の試料容器に満水になるまで注入する。そのうち1本は上部の水を20 mL程度廃棄し、水流法用試料とした。パージアンドトラップ用試料については満水の状態でガラス製の栓をしてPTFEテープを巻き、測定直前に400 mLになるま



第2図 パージアンドトラップ法による水中非メタン炭化水素測定装置。

Fig.2 Measuring system of nonmethane hydrocarbon in water by purge and trap method.

で廃棄し、上部に純ヘリウムを封入して第2図に示す形状の栓をし、第1回目パージアンドトラップ用の試料とした。第1回目のパージアンドトラップ法による測定の後、2時間栓を外した状態で静置し、その後、上部に純ヘリウムを封入して第2図に示す形状の栓をし、第2回目パージアンドトラップ用の試料とした。

2.2 測定法

猪狩 (2015, 2018) では水中のNMHC測定のために水流法が用いられている。今回は水流法に加え、全濃度計算のためにパージアンドトラップ法により測定を行った。

水流法では猪狩 (2015) による装置を一部改良した装置を用いた (第1図)。NMHC脱離容器 (一度450 °Cまで加熱したビール瓶) に純ヘリウムを封入し、そのうち400 mLを真空ポンプにより、約55秒間かけて液体窒素で冷却したNMHC濃縮カラムに引き込む。それに伴い400 mLの水道水試料がNMHC脱離容器に細い水流となって引き込まれる。その水流からNMHCが脱離しNMHC濃縮カラムに濃縮される。濃縮されるのは水道水中のNMHCの一部である。その後、真空ポンプを停止し、バルブ操作によりNMHC濃縮カラムをガスクロマトグラフ (Gas Chromatograph, 以下GC) のキャリアーガス流路に組み込み、液体窒素を室温の水に切り替えNMHCを脱着し、GCにより測定を行った。GCの測定条件は、ガスクロマ

トグラフ：島津製作所製2014A、検出器：FID、バックドカラム：GLサイエンス社製Unipak S (長さ：2 m)、キャリアーガス：純ヘリウム (流量は54 mL/min)。GCのカラム温度は40 °Cで10分保持後、4 °C/minで80 °Cまで加熱、その後160 °Cで空焼きを行った。なお、NMHC濃縮カラムは石英砂 (60-80 mesh) 2 gを充填した、内径3 mm、長さ30 cmのステンレスパイプである。また、キャリブレーションは各2 ppmvの飽和炭化水素混合スタンダードと不飽和炭化水素混合スタンダードを使用して、猪狩 (2012b) の方法で測定した場合の各成分の面積値と比較することにより行った。

パージアンドトラップ法では第2図の装置を用いた。試料容器 (一度450 °Cまで加熱したビール瓶) に水道水試料400 mLを入れておき、上部に純ヘリウムを注入し、第2図に示す形状のシリコン栓で栓をする。シリコン栓に装着した片方のチューブは液面下に浸しておき、もう一方のチューブは上部の純ヘリウム部分に先端がある。NMHC濃縮カラムを液体窒素で冷却しておき、真空ポンプを稼働させるとテドラーバッグ内に封入した純ヘリウムが、試料容器内の水道水をバブルとなって通過し、水道水中のNMHCは一部が純ヘリウムに移行する。このNMHCはNMHC濃縮カラムに濃縮される。テドラーバッグ中の純ヘリウム2 Lが通過した段階で (約6分)、バルブ操作によりNMHC濃縮カラムをGCのキャリアーガス流

路に組み込み、液体窒素を室温の水に切り替えNMHCを脱着し、GCにより測定を行った。なお、通過させる純ヘリウムの容量を2 L以上にすると、水によってNMHC濃縮カラムがつまる場合が多かった。

3. 結果及び考察

3.1 パージアンドトラップ法の測定誤差

測定誤差計算用の試料に関しては、前述した方法で、3本の同一の水道水が入った試料を作成し、そこに2 Lの純ヘリウムをバブリングさせ、水中のNMHCを測定した。この操作を3シリーズ行った。結果を第1表に示す。なお、濃度の単位としてppbvを用いているが、水1 Lに溶けているガス成分が標準状態で 10^9 Lの場合が1 ppbvであり、 $1 \text{ ppbv} = 44.6 \text{ pmol L}^{-1}$ である。平均値・標準偏差・相対標準偏差も同表内に示す。各NMHC濃度の平均値は、No. 1-1 ~ 1-3 < No. 2-1 ~ 2-3 < No. 3-1 ~ 3-3であった。水道水試料採取日はNo. 1-1 ~ 1-3は水曜日であり、No. 2-1 ~ 2-3とNo. 3-1 ~ 3-3は月曜日である。この水道では土日曜日の水道水不使用の結果、月曜日のNMHC濃度が高くなるのが知られており(猪狩, 2018)、その結果No. 1-1 ~ 1-3が低い濃度を示すものと考えられる。No. 2-1 ~ 2-3がNo. 3-1 ~ 3-3より低い理由は、明確ではないが採取前に水道水を使用したためと思われる。相対標準偏差の平均値は、No. 1-1 ~ 1-3で0.13、No. 2-1 ~ 2-3で0.09、No. 3-1 ~ 3-3で0.03であり、NMHC濃度が高くなるほど低くなる。NMHC濃度が低い場合は、ガスクロマトグラフの検出器の能力の限界に近づくため相対標準偏差が大きくなるものと考えられる。

3.2 開放系で保存した場合のNMHC保存率

全濃度計算のためには、まず開放系で一定時間静置した場合に残存するNMHCの保存率 p を求める必要がある。なお、栓をして静置すると、上部の隙間にNMHCが離脱するとともに、離脱したNMHCが再度水中に戻るようになるため、計算が困難になる。2.1章の方法により、同一の試料を2本準備し、1本を試料採取直後に、もう1本は栓を開放して2時間静置後、第2図に示す方法でパージアンドトラップ法によりNMHCの測定を行った。この測定を2シリーズ行った(No.4, No.5)。結果を第2表に示す。また、第3表に測定室空気中のNMHC濃度と、それと平衡にある水中のNMHC濃度を示す。水中のNMHC濃度の計算は、日本化学会(1993)のデータを用いて行った。なお、測定室空気中のNMHC濃度については、標準状態で空気1 L中に各NMHCが 10^9 L存在する場合を1 ppbvとした。アセチレン以外の水中平衡濃度計算値は水中NMHC濃度測定値と比べ低く、静置時間中に空気中に一方的に脱離するものと近似できるが、アセチレンは計算値が0.505 ppbvで静置時間に空気中から水中に入り、影響を及ぼす可能性があり、静置時間後の保存率 p の計

算には使用不可能である。そこでアセチレンを除いた保存率 p の平均値を第2表に示してある。No. 4のシリーズの保存率の平均値は0.81で、No. 5のシリーズの平均値は0.86、両者の平均は0.835であった。

3.3 水流法とパージアンドトラップ法を用いた全濃度の計算

2.1章に記載した方法で、同一の試料を2本準備し、1本は試料採取後直ちに第1図に示す装置で水流法によりNMHC濃度を測定した。もう1本は密栓満水状態で保存後、第2図に示す装置でパージアンドトラップ法によりNMHC濃度を測定し、測定後の試料を開栓状態で2時間保存後、もう一度パージアンドトラップ法により測定を行った。これを2シリーズ行った(第2表, No. 6, No. 7)。

水流法による測定値を C_w 、パージアンドトラップ法による1回目の測定値を C_{p1} 、2回目の測定値を C_{p2} とすると、No.6のシリーズの場合、 $C_{p1}/C_w = 3.42$ であり、これは本研究の条件下でのパージアンドトラップ法の感度は水流法の3.42倍であることを意味している。また、 $C_{p2}/C_{p1} = 0.45$ であるが、2時間開栓静置時に試料からNMHCが脱離するため、この値を保存率 p を用いて補正する必要がある。上述したとおり $p = 0.835$ であるから、パージアンドトラップ法により2回目の測定を1回目の測定の直後に行ったと仮定した場合、すなわち静置中の空気中へのNMHCの離脱が無いと仮定した場合の2回目/1回目の比を r とすると $r = 0.45/0.835 = 0.539$ となる。試料に含まれるNMHCの全濃度 C_t と表すと、 $C_t = C_{p1} + C_{p1}r + C_{p1}r^2 + C_{p1}r^3 + \dots$ と表すことができ、 $C_{p1}/(1-r)$ に収束する。No.6のシリーズの場合、 $C_t = C_{p1}/(1-0.539) = 2.17C_{p1}$ となり、これはパージアンドトラップ法による1回目の測定値の2.17倍が試料中NMHCの全濃度であることを意味している。上述のとおり、パージアンドトラップ法の感度は水流法の3.42倍であるから、 $2.17 \times 3.42 = 7.42$ となり、水流法測定値 C_w の7.42倍が全濃度 C_t となる。

No.7のシリーズに関しては、同様の計算により、パージアンドトラップ法と水流法の感度比は、 $C_{p1}/C_w = 3.75$ 、全濃度とパージアンドトラップ法1回目の測定値の比は $C_t/C_{p1} = 1.76$ 、全濃度と水流法の測定値の比は $C_t/C_w = 6.60$ となる。

4. まとめ

No.6のシリーズとNo.7のシリーズの平均により、1) 本研究の条件下でのパージアンドトラップ法の感度は水流法の 3.6 ± 0.2 倍である。2) 全濃度はパージアンドトラップ法の 2.0 ± 0.2 倍である。3) 全濃度は水流法濃度の 7.0 ± 0.4 倍である。すなわち猪狩(2015, 2018)は水流法を用いて水中のNMHC濃度を測定したが、その測定値の約7倍の値が全濃度であると考えられることができる。

水流法による非メタン炭化水素測定値からの全濃度の計算（猪狩）

第1表 パージアンドトラップ法による水中NMHCの繰り返し測定：測定誤差の計算.

Table 1 Repeated measurement of NMHC in water by purge and trap method: calculation of measurement error.

No.	Outgassing method	Storage time in open system (h)	ethane	ethylene	propane	acetylene	isobutane	n-butane	propylene	Average
			(ppbv)	(ppbv)	(ppbv)	(ppbv)	(ppbv)	(ppbv)	(ppbv)	
No.1-1	He bubbling	0	1.89	1.06	1.67	0.59	0.34	0.66	0.23	
No.1-2	He bubbling	0	1.57	0.86	1.33	0.51	0.25	0.52	0.22	
No.1-3	He bubbling	0	1.55	0.87	1.42	0.67	0.35	0.67	0.27	
Average			1.67	0.93	1.47	0.59	0.31	0.62	0.24	
Standard deviation			0.19	0.11	0.18	0.08	0.06	0.08	0.03	
SD/Ave.			0.11	0.12	0.12	0.14	0.18	0.14	0.11	0.13
No.2-1	He bubbling	0	4.01	5.09	2.82	0.79	0.49	1.24	0.60	
No.2-2	He bubbling	0	3.33	4.28	2.35	0.73	0.46	0.95	0.45	
No.2-3	He bubbling	0	3.55	4.89	2.55	0.74	0.45	1.09	0.54	
Average			3.63	4.75	2.57	0.75	0.47	1.09	0.53	
Standard deviation			0.35	0.42	0.24	0.03	0.02	0.15	0.08	
SD/Avg.			0.10	0.09	0.09	0.04	0.04	0.13	0.14	0.09
No.3-1	He bubbling	0	6.98	14.58	5.29	0.85	0.77	1.5	1.28	
No.3-2	He bubbling	0	6.87	14.81	5.17	0.79	0.83	1.4	1.15	
No.3-3	He bubbling	0	6.98	15.13	5.25	0.75	0.8	1.44	1.27	
Average			6.94	14.84	5.24	0.80	0.80	1.45	1.23	
Standard deviation			0.06	0.28	0.06	0.05	0.03	0.05	0.07	
SD/Avg.			0.01	0.02	0.01	0.06	0.04	0.03	0.06	0.03

第2表 水流法及びパージアンドトラップ法による水中NMHCの測定：全濃度の計算.

Table 2 Measurement of NMHC in water by purge and trap method and water flow method: calculation of total concentration.

No.	Outgassing method	Storage time in open system (h)	ethane	ethylene	propane	acetylene	isobutane	n-butane	propylene	Average without acetylene
			(ppbv)	(ppbv)	(ppbv)	(ppbv)	(ppbv)	(ppbv)	(ppbv)	
No.4-1	He bubbling	0	7.27	13.04	5.82	0.68	0.94	1.21	1.56	
No.4-2	He bubbling	2	5.95	10.92	4.81	0.61	0.83	0.92	1.19	
No.4-1/No.4-2			0.82	0.84	0.83	0.90	0.88	0.76	0.76	0.81
No.5-1	He bubbling	0	7.35	18.64	5.50	0.86	0.78	1.32	2.06	
No.5-2	He bubbling	2	6.50	16.92	4.91	0.94	0.72	1.07	1.50	
No.5-2/No.5-1			0.88	0.91	0.89	1.09	0.92	0.81	0.73	0.86
No.6-1	water flow	0	0.79	1.20	0.74		0.16	0.24		
No.6-2	He bubbling	0	2.92	4.73	2.63	0.64	0.45	0.74	0.44	
No.6-3	2nd time He bubbling	2	1.10	1.95	1.09	0.28	0.21	0.37	0.22	
No.6-2/No.6-1			3.70	3.94	3.55		2.81	3.08		3.42
No.6-3/No.6-2			0.38	0.41	0.41	0.44	0.47	0.50	0.50	0.45
No.7-1	water flow	0	1.86	5.38	1.46		0.19	0.40	0.36	
No.7-2	He bubbling	0	6.31	18.40	5.08	0.69	0.78	1.53	1.53	
No.7-3	2nd time He bubbling	2	2.29	5.99	1.88	0.50	0.37	0.57	0.35	
No.7-2/No.7-1			3.39	3.42	3.48		4.11	3.83	4.25	3.75
No.7-3/No.7-2			0.36	0.33	0.37	0.72	0.47	0.37	0.23	0.36

第3表 測定室空気中のNMHC濃度と、空気と平衡にある水中のNMHC濃度。

Table 3 NMHC concentration in the measurement room air and NMHC concentration in water in equilibrium with the air.

	Sampling time of day	ethane (ppbv)	ethylene (ppbv)	propane (ppbv)	acetylene (ppbv)	isobutane (ppbv)	n-butane (ppbv)	propylene (ppbv)
Air laboratory	2018/1/25 13:50	2.05	0.69	1.48	0.55	0.50	0.83	0.21
Calculated concentration in water at equilibrium	2018/1/25 13:50	0.087	0.074	0.050	0.505	0.009	0.023	0.035

謝辞：査読者である産業技術総合研究所の坂田 将博士と担当編集者である東郷洋子博士には有益なコメントをいただいた。深く感謝いたします。

文 献

地質調査所燃料部石油課 (1959) 天然ガス徴候の見方と見つけ方。地質ニュース, no. 53, 6-13.

猪狩俊一郎 (1995) 空気中の非メタン炭化水素の測定法。地質調査所月報, 46, 477-481.

Igari, S. (2004) Comparison of atmospheric nonmethane hydrocarbons from the oil and gas field area in Niigata and areas without oil and gas fields in Ibaraki and Gunma in Japan, May and June 1995. *Geochemical Journal*, 28, 285-289.

猪狩俊一郎 (2012a) 油ガス田地域 (新潟) と非油ガス田地域 (茨城・群馬) における軽質非メタン炭化水素濃度の比較Ⅱ, 1994年～1999年冬季。地球化学, 46, 51-61.

猪狩俊一郎 (2012b) メタンを主成分とするガス中の微量非メタン炭化水素の測定法の改良。地球化学, 46,

181-185.

猪狩俊一郎 (2015) 非メタン炭化水素測定時に使用する水から放出される非メタン炭化水素とその除去法。地球化学, 49, 37-44.

猪狩俊一郎 (2018) 水道管工事による水道水における軽質非メタン炭化水素のブランクの変化。地質調査研究報告, 69, 105-114.

唐沢宏樹・木村匡恵・和久田千春・栗原路子・辻野兼範・谷 幸則・橋本伸哉 (2010) パージ・アンド・トラップ-ガスクロマトグラフィー/質量分析法による揮発性有機ハロゲン化合物の同時分析法の検討と汽水・海水試料への適用。分析化学, 59, 1149-1154.

日本化学会 (1993) 化学便覧基礎編Ⅱ改訂4版, 丸善, 東京, 156-160.

早稲田 周・重川 守 (1988) ヘッドスペースガス分析からみた天然ガスの生成・移動・集積。石油技術協会誌, 53, 337-346.

(受 付 : 2021年12月15日 ; 受 理 : 2022年6月16日)
(早期公開 : 2022年7月20日)

地質調査総合センター研究資料集

- 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
- 729 粘土ノルム計算プログラム(N88 BASIC)のWindows 10®上での利用 高木 哲一・大野 哲二
- 730 地質標本館緊急展示：福徳岡ノ場火山2021年噴火とその漂流軽石 草野 有紀・及川 輝樹・川邊 禎久・池上 郁彦・Christopher Conway・岩橋 くるみ・山崎 雅・古川 竜太・森田 澄人・清家 弘司・横井 久美
- 731 磐梯・吾妻・安達太良火山周辺の中期更新世～完新世テフラ層序 山元 孝広
- 732 富士火山の完新世テフラ層序 山元 孝広
- 733 富士火山の火口位置情報 石塚 吉浩・山元 孝広・中野 俊・宝田 晋治

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	桐生及足利 和気 豊田
20 万分の 1 地質図幅	野辺地 (第 2 版)
海洋地質図	No. 91 種子島付近海底地質図 No. 92 久米島周辺海域海洋地質図
火山地質図	No. 21 恵山火山地質図
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」
大規模火砕流分布図	No. 1 始良カルデラ入戸火砕流堆積物分布図
特殊地質図	No. 42 多摩川低地の沖積層アトラス
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
東郷 洋子
持丸 華子
藤井 孝志
大谷 竜明
長森 英明
納谷 友規
天野 敦子
細井 淳
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
MOCHIMARU Hanako
FUJII Takashi
OHTANI Ryu
NAGAMORI Hideaki
NAYA Tomonori
AMANO Atsuko
HOSOI Jun
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73巻 第2号
令和4年8月29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. 73 No. 2 Issue August 29, 2022

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. 73 No. 2 2022

CONTENTS

Preparation and release of gravity data collected by R/V Hakurei-maru No.2 ISHIHARA Takemi and ODA Hirokuni	29
Fossil foraminiferal and ostracode assemblages from the Pleistocene Tokyo Formation in cores GS-SE-1, Kami-Yoga and GS-SE-3, Komazawa, Setagaya, Tokyo, central Japan KANEKO Minoru, ISHIKAWA Hiroyuki, HARASHIMA Mai, NOMURA Masahiro and NAKAZAWA Tsutomu	49
Late Chibanian tephra recognized in the Sotoyama Plateau of Yabukawa area in Morioka City, Iwate Prefecture, mid-western Kitakami Massif UCHINO Takayuki, KUDO Takashi, FURUSAWA Akira, IWANO Hideki, DANHARA Toru and KOMATSUBARA Taku	67
Measurement of non-methane hydrocarbon in water by purge and trap method and water flow method: calculation of total concentration based on data obtained using water flow method IGARI Shunichiro	87