

Online ISSN : 2186-490X
Print ISSN : 1346-4272
CODEN : CCKHA7

地質調査研究報告

BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 65 No. 3/4 2014



独立行政法人
産業技術総合研究所
地質調査総合センター



平成26年

論文

Variation of mineralogical compositions in sequential extraction procedure adapted to geochemical reference materials (sediment series)

Atsuyuki Ohta and Ran Kubota and Takashi Okai..... 23

概報

筑波花崗岩と旧筑波町に残る石造物の帯磁率

長 秋雄..... 37

沖積層の基底にみられる起伏地形：その成因の予察的解釈

田辺 晋・石原武志・小松原 琢..... 45

フランス地質・鉱山研究所と地質調査総合センターのオープンデータ政策への対応の比較

岩男弘毅・吉川敏之..... 57

表紙の写真

フランス地質・鉱山研究所 (Bureau de Recherches Geologiques et Minieres, BRGM)

BRGM はパリ市内から 130km ほど南下したオルレアンにメインキャンパスを有する。

BRGM は数ある世界の地質調査所の中で、OneGeology の運用を技術支援していることで特に知られているが、フランス国内においては地質のデータのみならず、様々な地理空間データの配信機能も担っている。これらの配信システムはオルレアンのキャンパス内で運用している。

産総研地質調査総合センターは本年 6 月に BRGM との個別 MOU を締結し、地震、地質情報、沿岸域、気候変動、地熱、CCS、土壌汚染、地下水といった研究分野での協力を強化する予定である。

(写真：内田 利弘，文：岩男 弘毅)

Cover photograph

The Bureau de Recherches Geologiques et Minieres, BRGM

BRGM campus is located in Orleans 130km south of Paris. BRGM is known as the technical support to the operation of the OneGeology among the geological surveys in the world.

In France, BRGM plays not only distribution of geology, but also plays a distribution function of wide variety of geospatial data. The distribution system is operated by themselves in their campus.

AIST Geological Survey of Japan signed a MOU with the BRGM in June this year. It is expected to strengthen cooperation in the research field of earthquake, geological information, coastal areas, climate change, geothermal, CCS, soil pollution, and groundwater, and so on.

(Photograph by Toshihiro Uchida, Caption by Koki Iwao)

Variation of mineralogical compositions in sequential extraction procedure adapted to geochemical reference materials (sediment series)

Atsuyuki Ohta^{1,*}, Ran Kubota¹, Takashi Okai¹

Atsuyuki Ohta and Ran Kubota and Takashi Okai (2014) Variation of mineralogical compositions in sequential extraction procedure adapted to geochemical reference materials (sediment series). *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 65 (3/4), p. 23-36, 6 figures, 3 table.

Abstract: We have applied the sequential extraction procedure developed by the Community Bureau of Reference (BCR) to eight Japanese geochemical reference materials. By using this method, we attempt to extract exchangeable and carbonate phases in step 1, extract iron hydroxide and manganese oxide in step 2, and extract metal sulfide and organic material in step 3. We use X-ray diffractometry (XRD) to measure untreated samples and the residue of samples after each step of the extraction process to determine whether the target material is satisfactorily decomposed during the procedure. For JSd-1 and JSd-3, XRD patterns do not change significantly by using the BCR procedure. Actually, most of the elements in these materials are scarcely extracted by BCR scheme. The peaks of calcite in JSd-4, JMs-1 and JMs-2 disappear in the XRD patterns after the first extraction procedure. The result suggests that the target phase of step 1 process is fully decomposed. Jlk-1 and JMs-2 show high concentrations of the Fe and Mn extracted in step 2. However, it is difficult to clearly confirm the full decomposition of iron hydroxide and manganese oxide in step 2 because these materials do not show distinct peaks in the XRD patterns. Pyrite in JMs-1 disappears in step 3 of the extraction, which suggests that sulfide is satisfactorily decomposed in this process. X-ray reflection intensities of some peaks for quartz and plagioclase in JSO-1 increase significantly after step 3 of the extraction. It is assumed that organic material thickly covered the mineral surfaces and reduced the X-ray reflection from the minerals prior to the third procedure. Although this evidence is indirect, we conclude that organic material is successfully decomposed and removed from the mineral surface during the third extraction procedure. On the basis of these results, it is confirmed that the BCR protocol can properly extract target materials from the geochemical reference materials.

Keywords: geochemical reference material, sequential extraction, BCR protocol, X-ray diffractometry, speciation

1. Introduction

The Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), conducted nationwide geochemical mapping both on land and in a marine environment (Imai *et al.*, 2004, 2010). These maps provide the spatial distribution of elemental concentrations on the earth's surface for environmental assessment. However, because physico-chemical properties and toxicities of elements in the materials change according to their chemical species, elemental speciation in materials must be obtained to conduct

more appropriate risk assessment. A sequential extraction method widely used to identify chemical species in sediment and in soil materials has been standardized by the Community Bureau of Reference (BCR) (Crosland *et al.*, 1993; Ure *et al.*, 1993), which provides reference material for quality control of sequential extraction procedures (BCR-701: lake sediment) (e.g., Sutherland, 2010). Geochemical mapping is conducted by using various sample media such as soil, regolith, and drainage system sediment (Darnley *et al.*, 1995). Therefore, a wide variety of reference material should be prepared for quality control of speciation studies. For such a purpose, Kubota *et al.*

¹ AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation

*Corresponding author: A.Ohta, Central 7,1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: a.ohta@aist.go.jp

Table 1 List of eight geochemical reference materials provided by Geological Survey of Japan, AIST

Name	Category	Na	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Mn	Fe	Total C	Total S	Cl	Ref.
		(wt. %)	(wt. %)	(wt. %)	(wt. %)	(wt. %)	(wt. %)	(wt. %)	(wt. %)	(wt. %)	(wt. %)	(wt. %)	(wt. %)	
JLk-1	Lake sediment	0.78	1.05	8.85	26.72	0.091	2.33	0.49	0.206	4.85	1.503	0.1052	n.d.	a, b
JSO-1	Soil	0.50	1.27	9.56	17.94	0.209	0.28	1.82	0.153	7.96	8.91	0.2	n.d.	c
JSd-1	Stream sediment	2.02	1.09	7.75	31.11	0.053	1.81	2.17	0.072	3.54	0.111	0.0068	0.00675	b, d
JSd-2	Stream sediment	1.81	1.65	6.51	28.41	0.046	0.95	2.61	0.093	8.15	0.316	1.31	0.0028	b, d
JSd-3	Stream sediment	0.30	0.71	5.24	35.53	0.036	1.64	0.40	0.115	3.06	0.62	0.06	0.0039	b, d
JSd-4	Stream sediment	1.69	2.44	7.00	23.90	0.196	1.16	3.98	0.083	5.64	2.896	1.1489	n.d.	e, f
JMs-1	Marine sediment	3.02	1.73	8.37	25.12	0.079	1.86	1.52	0.079	4.83	1.69	1.32	2.69	c
JMs-2	Marine sediment	4.30	1.95	7.50	19.53	0.550	2.24	3.34	1.75	7.67	0.39	0.29	4.05	c

a) Ando *et al.* (1990); b) Imai *et al.* (1996); c) Terashima *et al.* (2002); d) Terashima *et al.* (1990); e) Certificate of GSJ CRM JSd-4; f) Kubota (2009)

(2014) applied the BCR protocol to eight series of Japanese geochemical sedimentary reference materials. However, this method extracts various elemental forms by using chemical reagents. In some cases, a reagent extracts only a part of the targeted phase or decomposes an unintended phase (e.g., Martin *et al.*, 1987; Coetzee *et al.*, 1995). Thus, X-ray diffraction (XRD) analysis is used to elucidate the adequateness of the BCR protocol. The objectives of this study are to examine the manner in which the mineralogical composition of the geochemical reference material changes during the sequential extraction procedure and to compare the variation of mineralogical compositions to concentrations of elements extracted. The methods for these objectives are based on BCR protocol.

2. Sample materials

The eight series of the Japanese geochemical sedimentary reference materials were used for the sequential extraction study. JLk-1 is muddy sediment occurring 63 m below the surface of Lake Biwa (Ando *et al.*, 1990). The surface part of the sediments (uppermost 0–20 cm) was used for the production of JLk-1. JSO-1 contains Kuroboku soils (Andosol) collected from the Kanto region that originated from volcanic ash and is rich in organic materials (Terashima *et al.*, 2002). JMs-1 is muddy inner bay sediment from Tokyo Bay that has anoxic facies (Terashima *et al.*, 2002). The bottom sediment (0–2 m) including a small amount of shell fragments was collected for the production of JMs-1. JMs-2 is a composite material of pelagic sediments obtained from the South Pacific Ocean (Terashima *et al.*, 2002). Biogenic calcareous and siliceous materials are not abundant in these sediments because the sampling locations are below the calcium carbonate compensation depth and are not in the high biogenic productivity zone (Nishimura and Saito, 1994). JSd-1–4 are stream sediment materials collected from drainage basins containing granitic

rocks (JSd-1), metamorphic rocks associated with a Cu mine (JSd-2), accretionary complexes associated with chert (JSd-3), and an alluvial basin associated with an urban area (JSd-4) (e.g., Terashima *et al.*, 1990). Table 1 summarizes the concentrations of Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Mn, Fe, C, S, and Cl in the eight geochemical reference materials.

3. Analytical methods

3.1 Sequential extraction procedure (BCR protocol)

Sequential extraction was performed according to the BCR scheme proposed by Rauret *et al.* (1999). The actual extraction procedure has been carefully summarized by Kubota *et al.* (2014). The BCR scheme divides elemental binding forms into four associations. In step 1, the carbonate and exchangeable phases, elements in the carbonate form and those weakly adsorbed on mineral surfaces are extracted by using acetic acid at 0.11 mol L⁻¹ concentration. In step 2, the reducible phase, the elements bound to iron hydroxide and manganese oxide are extracted by using hydroxylamine hydrochloride at 0.5 mol L⁻¹ concentration. In step 3, the oxidizable phase, metal sulfide and elements bound to organic matter are extracted by using hydrogen peroxide and ammonium acetate. The final residue is decomposed by using an HF–HNO₃–HClO₄ solution. Although the decomposition of final residue is not part of the original BCR extraction scheme, it is termed “step 4” in this study (Kubota *et al.*, 2014). The concentrations of 38 elements extracted in each step were measured by using inductively coupled plasma atomic emission (ICP–AES) and ICP–mass spectroscopy (MS; Kubota *et al.* 2014). Table 2 summarizes the concentrations of the Na, Mg, Al, P, K, Ca, Mn, and Fe extracted in each step.

3.2 X-ray diffractometry

For XRD analysis, the residues from respective steps of the

Table 2 Concentrations of major elements in steps 1–4 obtained from BCR extraction procedure (Kubota *et al.*, 2014)

	Na (wt. %)	Mg (wt. %)	Al (wt. %)	P (mg/kg)	K (wt. %)	Ca (wt. %)	Mn (mg/kg)	Fe (wt. %)
JLk-1	0.0066	0.029	0.022	4.3	0.026	0.145	1260	0.029
JSO-1	0.0079	0.029	0.22	4.5	0.022	0.520	140	0.0077
JSd-1	0.024	0.035	0.13	3.5	0.027	0.110	92	0.032
JSd-2	0.027	0.056	0.10	21	0.027	0.80	151	0.46
JSd-3	0.003	0.010	0.11	2.9	0.026	0.062	190	0.0023
JSd-4	0.75	0.65	0.069	8.1	0.118	2.57	179	0.037
JMs-1	1.86	0.36	0.080	6.0	0.221	0.61	159	0.034
JMs-2	2.69	0.47	0.031	73	0.225	1.14	368	0.0004
25023*	1.80	0.36	0.043	29	0.180	0.62	370	0.021

*Ohta *et al.* (2007)**Step 2**

	Na (wt. %)	Mg (wt. %)	Al (wt. %)	P (mg/kg)	K (wt. %)	Ca (wt. %)	Mn (mg/kg)	Fe (wt. %)
JLk-1	0.0013	0.067	0.37	450	0.027	0.076	361	1.44
JSO-1	0.0008	0.042	1.69	52	0.006	0.066	613	0.61
JSd-1	0.008	0.082	0.38	293	0.035	0.094	99	0.41
JSd-2	0.023	0.13	0.41	261	0.049	0.52	174	1.83
JSd-3	0.0005	0.008	0.28	39	0.014	0.020	268	0.22
JSd-4	0.021	0.63	1.03	386	0.061	0.225	173	1.40
JMs-1	0.049	0.20	0.75	272	0.112	0.13	135	0.91
JMs-2	0.47	0.22	0.75	1990	0.63	0.95	14780	1.55

Step 3

	Na (wt. %)	Mg (wt. %)	Al (wt. %)	P (mg/kg)	K (wt. %)	Ca (wt. %)	Mn (mg/kg)	Fe (wt. %)
JLk-1	0.004	0.047	0.15	97	0.010	0.031	102	0.11
JSO-1	0.002	0.025	1.74	165	0.003	0.013	99	0.45
JSd-1	0.010	0.034	0.07	44	0.012	0.072	26	0.016
JSd-2	0.009	0.037	0.14	109	0.004	0.036	27	0.52
JSd-3	0.002	0.006	0.11	10	0.006	0.008	43	0.032
JSd-4	0.012	0.14	0.51	210	0.011	0.054	45	0.16
JMs-1	0.020	0.089	0.37	73	0.009	0.056	89	0.44
JMs-2	0.024	0.10	0.63	620	0.18	0.057	363	0.022

Step 4

	Na (wt. %)	Mg (wt. %)	Al (wt. %)	P (mg/kg)	K (wt. %)	Ca (wt. %)	Mn (mg/kg)	Fe (wt. %)
JLk-1	0.80	0.77	4.90	440	1.96	0.13	365	2.96
JSO-1	0.48	1.13	3.34	1790	0.20	1.08	640	6.15
JSd-1	2.11	0.90	4.23	239	1.62	1.69	542	2.75
JSd-2	1.75	1.39	3.40	281	0.80	0.98	545	4.65
JSd-3	0.32	0.67	3.56	367	1.35	0.22	697	2.71
JSd-4	0.96	0.91	3.11	1200	0.82	0.75	409	3.63
JMs-1	1.03	1.00	4.10	427	1.29	0.41	351	3.16
JMs-2	0.73	1.14	4.14	2880	1.02	1.03	507	5.57

BCR extraction applied to duplicated samples were filtrated by using a 0.45 μm cellulose–acetate membrane filter. The samples on the filters were washed five times with deionized water and were then freeze-dried. Samples with no treatment were also prepared for comparison. Each sample was characterized in the $2\theta = 5^\circ\text{--}70^\circ$ range by a powder diffractometer (Rigaku RINT-2500) with $\text{CuK}\alpha$ radiation. The X-ray tube was operated at 40 kV with a 100 mA current. The scanning velocity was $2^\circ (2\theta) / \text{min}$. Each sample was placed in a concave region (15 mm \times 20 mm \times 0.2 mm) of a reflection-free sample holder and was pressed vertically by using a glass microscope slide to planarize the surface and to remove excess sample powder. The detection limit for identification of unknown crystalline materials using by XRD was at least a few percentages of each sample.

BCR protocol extracts metals bound to iron hydroxide and manganese oxide at the extraction of step 2. However, these materials produced very broad diffraction peaks (halo) rather than distinct peaks in the XRD patterns at $20^\circ\text{--}30^\circ (2\theta)$. Therefore, the degree of crystallization was useful for elucidating the decomposition of iron hydroxide and manganese oxide after step 2 of the extraction. The degree of crystallization (%) is calculated by the following equation in the range of $10^\circ\text{--}40^\circ (2\theta)$ after removal of background scattering unrelated to amorphous and crystalline materials:

$$\text{degree of crystallization (\%)} = 100 \times I_c / (I_c + I_a),$$

where I_c and I_a indicate the integrated intensity of all crystalline sharp peaks above background and that of amorphous broad peak that is the area under the smooth curve above background, respectively. The degree of crystallization was estimated by using JADE 6.0 (Materials Data, Inc.). The degree of crystallization estimated here has a large margin of error because it is difficult to plausibly approximate a background curve. The obtained data are summarized in Table 3.

4. Results

4.1 Sequential extraction of major elements in Japanese geochemical reference materials

Figure 1 shows the distribution of Al, P, Na, K, Mg, Ca, Mn, and Fe concentrations in samples for four fractions obtained by the BCR scheme (Table 2). We explain the distribution of elements in the geochemical reference materials in a straightforward manner because Kubota *et al.* (2014) carefully explained the method in which the speciation of elements extracted by the BCR protocol reflects their origins or sedimentation environments. Essentially, step 4, the final residue step, is the most dominant fraction for all elements except for Mn. The Ca is strongly extracted in step 1; P and Fe are removed in step 2; and Mn is abundantly extracted in steps 1 and 2. The high percentages of P, Mn, and Fe extracted in step 2 are explained by the iron–manganese (hydro–) oxide phase. The high proportions of Na and K in JSd-4, JMs-1, and JMs-2 extracted in step 1 are explained by sea salt contamination because marine sediments were not desalinated (Terashima *et al.*, 2002; Kubota *et al.*, 2014). The high percentages of Ca and Mg in step 1 for JSd-4, JMs-1, and JMs-2 indicate the digestion of calcium carbonate. Al in JSO-1 is strongly extracted in steps 2 and 3. This fact indicates that JSO-1 is abundant in amorphous aluminum–iron hydroxide and in Al bound to organic material. Fe in JSd-2 is expected to be highly extracted in step 3 of the process because it is originated from metamorphic rocks associated with the Hitachi copper mine (Omori *et al.*, 1986). However, the proportion of Fe in JSd-2 was higher in the step 2 extraction at approximately 20 % but was lower in step 3 at 10 % (Fig. 1). Kubota *et al.* (2014) assumed that pyrite may have been oxidized to iron hydroxide or that the relative abundance ratio of pyrite to crystalline minerals containing Fe would be small.

Table 3 Degree of crystallization (%) of geochemical reference materials

Name	Untreated	Step 1*	Step 2*	Step 3*
JLk-1	39%	40%	40%	41%
JSO-1	13%	17%	16%	24%
JSd-1	65%	68%	69%	69%
JSd-2	63%	66%	68%	66%
JSd-3	67%	71%	71%	72%
JSd-4	36%	41%	44%	47%
JMs-1	40%	42%	45%	47%
JMs-2	28%	29%	36%	35%

* Steps 1, 2, and 3 represent the residues of the samples after steps 1, 2, and 3 of the extraction, respectively. Degree of crystallization (%) was estimated within the range of $10^\circ\text{--}40^\circ (2\theta)$ after back ground removal.

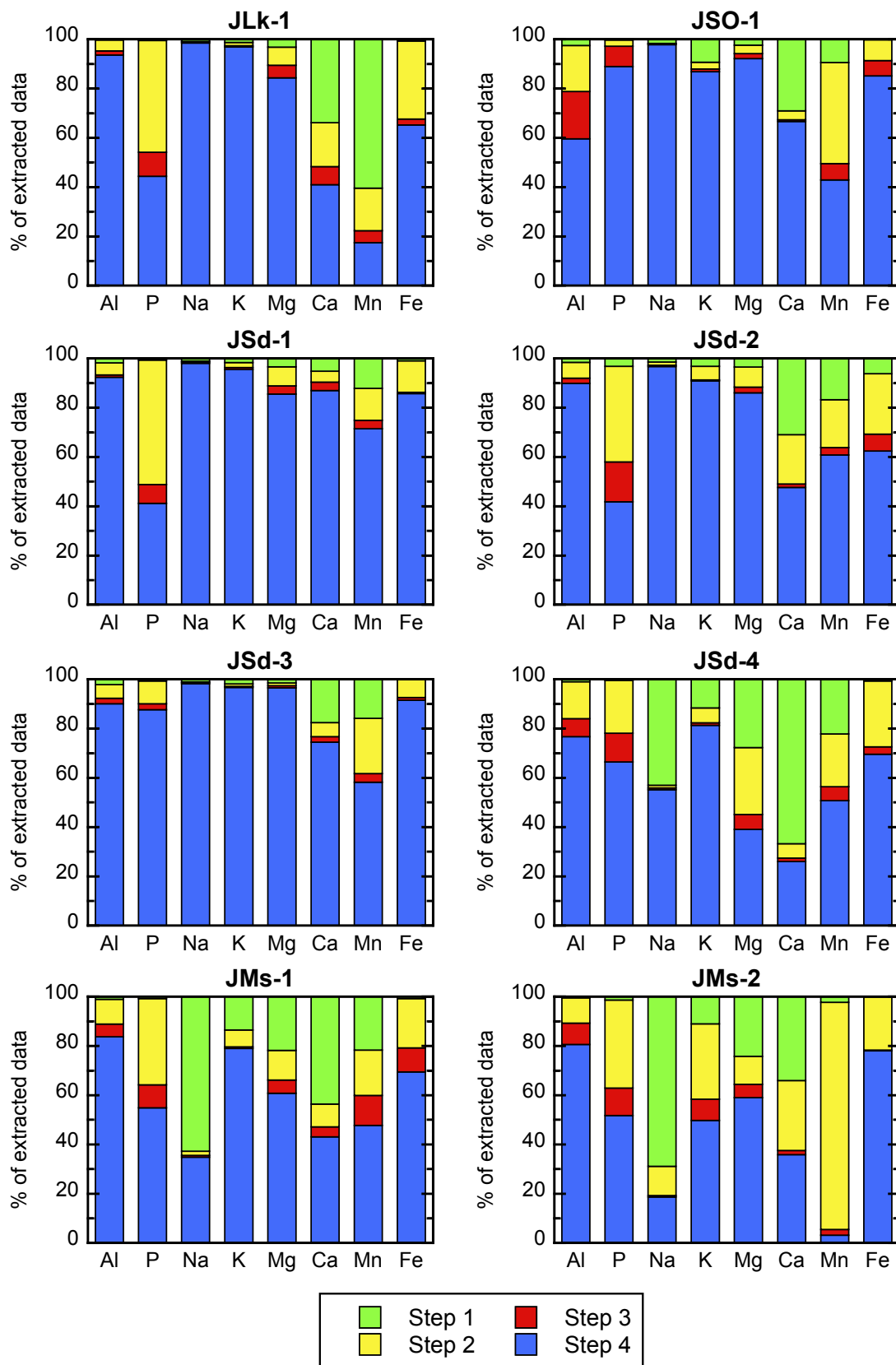


Fig. 1 Distribution of Al, P, Na, K, Mg, Ca, Mn, and Fe concentrations in geochemical reference materials for four the fractions obtained by the Community Bureau of Reference (BCR) scheme. The data were obtained from Kubota *et al.* (2014).

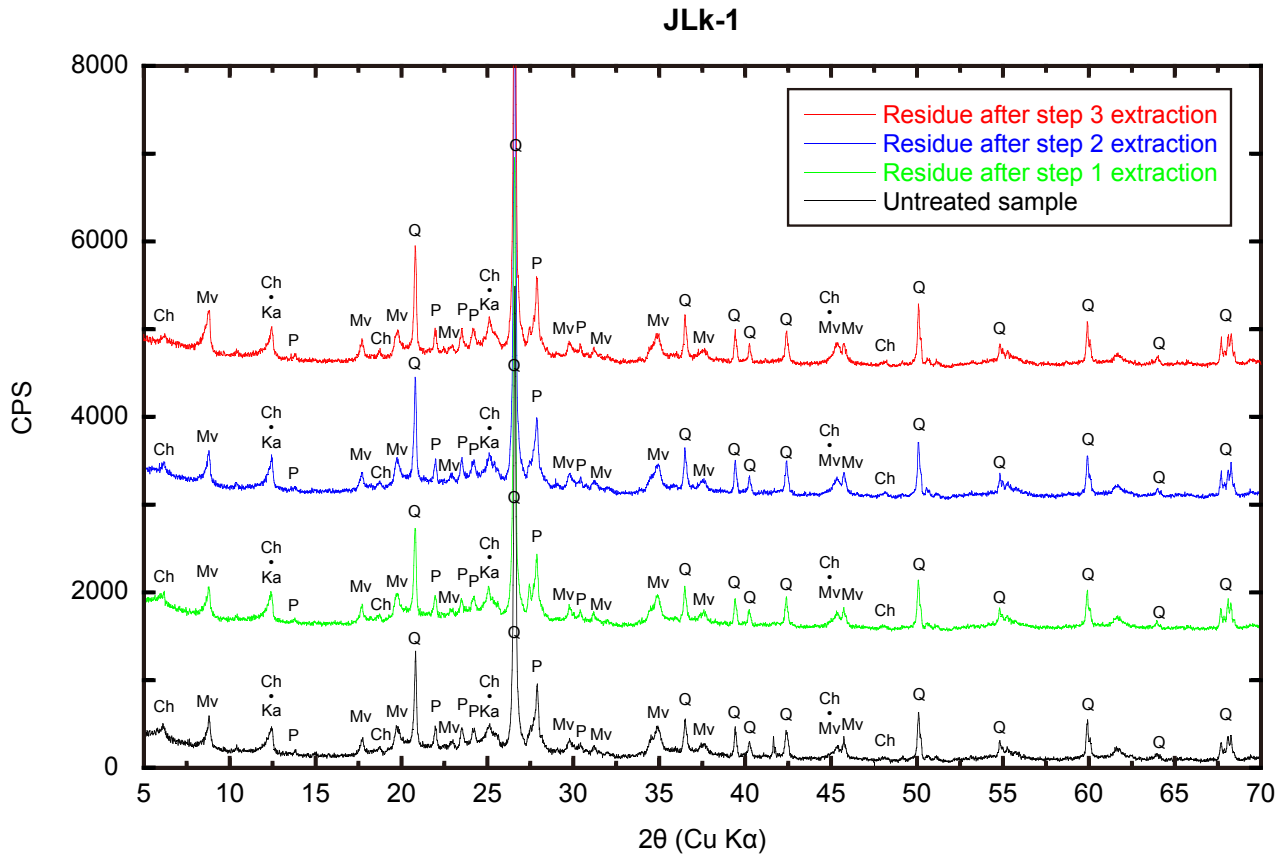


Fig. 2 X-ray diffractometry (XRD) patterns of JLk-1.

Q: quartz, P: plagioclase, K: K-feldspar, Mv: muscovite, Ch: chlorite, Ka: kaolinite.

4.2 XRD patterns of untreated samples and residue of samples after sequential extraction

Figures 2–5 show XRD patterns of samples with no treatment and the residue of those after steps 1–3 of the extraction. The XRD peaks of calcite, gypsum, and halite in JMs-1, JMs-2, and JSd-4 disappeared after step 1 of the extraction; that of pyrite in JMs-1 disappeared after step 3. The intensities of XRD peaks of quartz and plagioclase in JSO-1 increased after the third extraction procedure. For JLk-1, JMs-1, JSd-1–4, the intensities of XRD peaks of chlorite, kaolinite, and muscovite, which are clay and mica minerals, did not change after steps 1, 2, and 3. The fact suggests that following BCR protocol does not result in damage to these fragile minerals. It is expected that the decomposition of the iron–manganese (hydro-) oxide phase at step 2 of the extraction elevates the degree of crystallization; nevertheless, the value scarcely changed except for the case of JMs-2 (Table 3). In addition, the diffraction peaks of magnetite and hematite in JSO-1, JMs-1, JSd-1, JSd-2, and JSd-4, which are iron oxide minerals, did not change during the sequential extraction procedure.

5. Discussion

5.1. JLk-1

The diffraction peaks of quartz, plagioclase, muscovite, chlorite, and kaolinite were recognized in the untreated JLk-1 sample. The peak intensities of these minerals scarcely changed after steps 1, 2, and 3 of the extraction procedures. The JLk-1 sample is characterized by high extraction percentages of Ca and Mn in step 1 and those of Fe and P in step 2 (Fig. 1). It is known that the surface sediments of Lake Biwa are highly enriched in P, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Cd, and Pb as a result of early diagenetic processes (Kobayashi *et al.*, 1975; Nakashima, 1982). The Ca and Mn in the step 1 are assumed to exist as an exchangeable phase (Kubota *et al.*, 2014), which cannot be detected through XRD. More than 30 % of the Fe in JLk-1 was extracted in step 2; however, a significant increase in the degree of crystallization percentage was not evident after this step. The value, 39 % – 41 %, was nearly constant during the sequential extraction procedure. In addition, the degree of crystallization was relatively lower in this sample than that in JSd-1–4 and

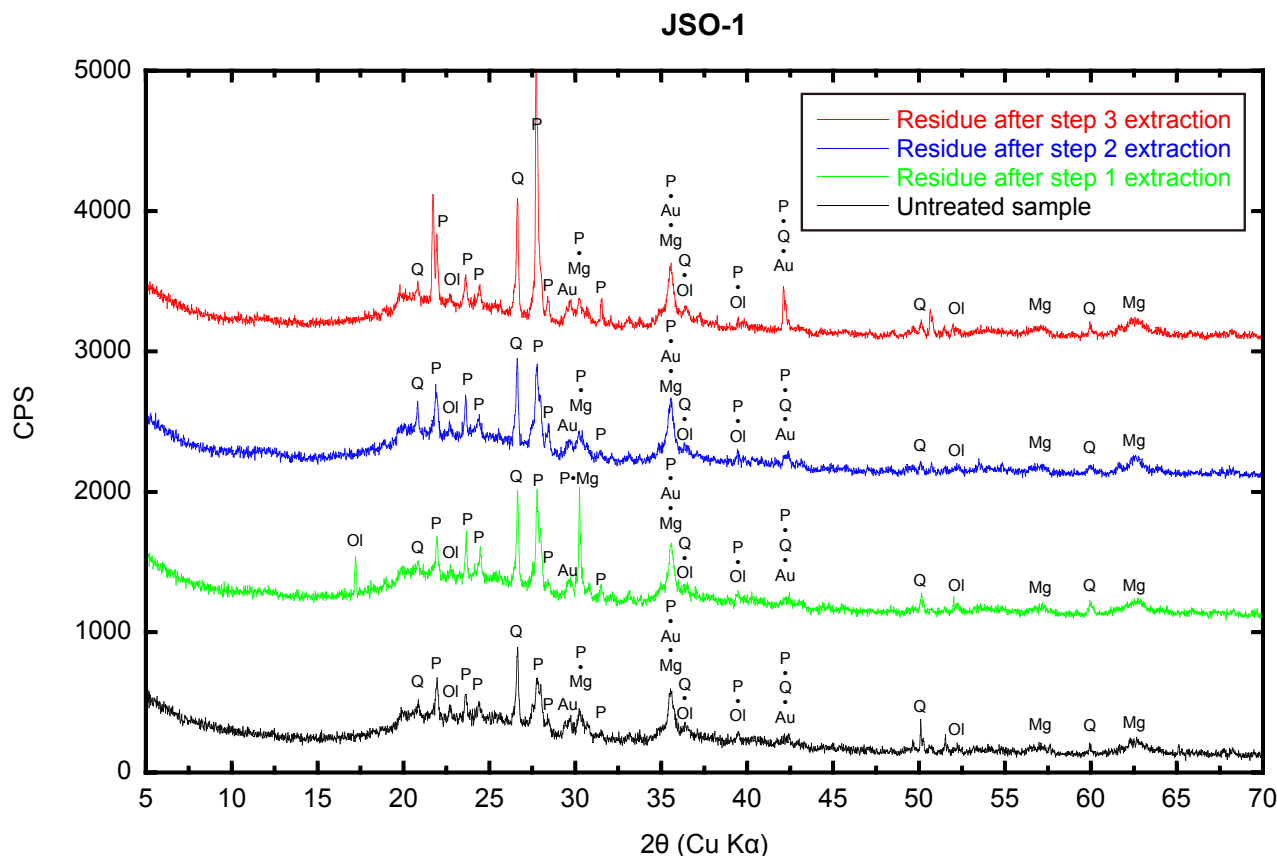


Fig. 3 X-ray diffractometry (XRD) patterns of JSO-1.
Q: quartz, P: plagioclase, Au: augite, Ol: olivine, Mg: magnetite.

JMs-1. This fact may indicate that the amorphous phase in JLk-1 is composed dominantly of opal diatoms that were not decomposed during the sequential extraction procedure. The presence of such diatoms was previously reported by Ando *et al.* (1990).

5.2. JSO-1

The XRD patterns of untreated JSO-1 presented small peaks of plagioclase, quartz, olivine, augite, and magnetite (Fig. 3). The presence of olivine and augite imply the influence of volcanic materials (Terashima *et al.*, 2002). The amorphous halo pattern was characteristic in this sample. Although Terashima *et al.* (2002) suggested that allophane, a non-crystalline hydrous aluminosilicate, is the most dominant species in JSO-1, volcanic glassy material was present as a rather minor species. Such amorphous materials are not intended to be decomposed during the BCR procedure. Table 3 indicates that the degree of crystallization increases significantly after the step 3 extraction procedure. Such a significant increase was detected for only JSO-1. Thus, the increase of the degree of crystallization relates

to decomposition of organic matter. JSO-1 is highly enriched in organic matter. At 8.91 %, the total C concentration in JSO-1 was much higher than that in the other samples (Table 1). The XRD patterns show that the peak intensities of quartz and plagioclase increased significantly after step 3. We assumed that organic matter thickly covering the crystalline minerals reduced the reflection intensity from those materials. Kodama (1995) reported that a mineral surface coated with an amorphous substance in soil material provides an amorphous halo with less intensive peaks in the XRD patterns. After extraction of the amorphous material from soil by using sequential extraction methods, its XRD peaks were those of distinct minerals (Kodama, 1995). That is, the changes in the XRD patterns after the step 3 were caused by decomposition of organic material on the mineral surfaces.

5.3. JMs-1 and JMs-2

The XRD patterns of untreated JMs-1 contain quartz, plagioclase, chlorite, mica, pyrite, halite, calcite, and gypsum (Fig. 4a). The XRD peaks of halite, calcite, and gypsum disap-

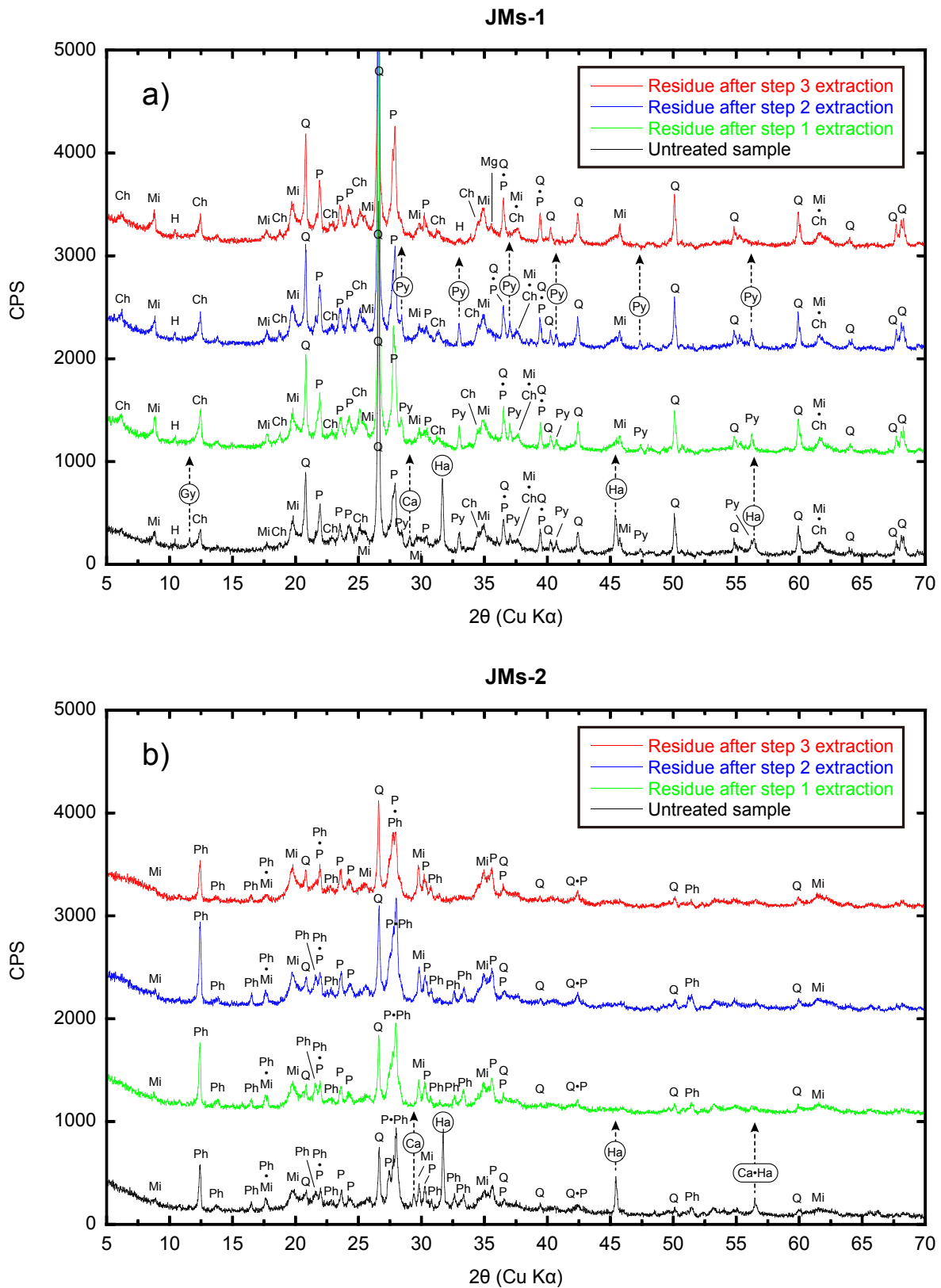


Fig. 4 X-ray diffractometry (XRD) patterns of JMs-1 and JMs-2. Q: quartz, P: plagioclase, H: hornblende, Mi: mica, Ph: phillipsite, Ch: chlorite, Ca: calcite, Py: pyrite, Mg: magnetite, Gy: gypsum. Circle and dashed arrow indicate that the mineral has been decomposed by the sequential extraction procedure.

peared after step 1 of the extraction. Halite and gypsum were crystallized from sea salt during the drying process because JMs-1 was not desalinated. This feature corresponds to the high proportions of Na, K, Mg, and Ca extracted in step 1 (Fig. 1). JMs-1 has a high Cl concentration of 2.69 % (Table 1). Considering the total Cl percentage originated from sea salt, the Na concentration in the halite (NaCl) was calculated to be 1.74 %, which corresponds to the 1.86 % Na extracted in step 1 (Table 2). 10 % of the total Fe was extracted in step 3; this percentage is the highest among those of the geochemical reference materials (Fig. 1). Accordingly, the XRD peaks of pyrite disappeared after step 3. BCR procedures successfully decomposed sulfide in step 3. The pyrite in JMs-1 should be an authigenic phase because Tokyo Bay frequently becomes a dysoxic environment; Terashima *et al.* (2002) reported that the collected sediment had mostly anoxic facies. JMs-1 has a high total S concentration of 1.32 % (Table 1). Considering that the Fe extracted in step 3 was composed of only pyrite, which is not an organic phase, the S concentration of the pyrite phase is estimated to be 0.51 %. This value is significantly smaller than the total S concentration. The sulfate minerals such as gypsum and the organic materials could be the dominant sources of S in JMs-1.

Figure 4b shows that phillipsite is the dominant mineral of JMs-2. Quartz, plagioclase, and mica appeared slightly in the XRD patterns (Fig. 4b). JMs-2 contains a large amount of amorphous material such as basaltic hyaloclastite (volcanic glass), aluminum hydroxide, and opal (Terashima *et al.*, 2002), which explains the lower than 50 % degree of crystallization (Table 3). Considering that the Na and Ca extracted in step 1 originated from halite and calcite, the concentrations of Cl in halite and C in calcite were calculated to be 4.14 % and 0.32 %, respectively. These values correspond to the concentrations of total Cl (4.05 %) and C (0.39 %) in JMs-2 (Table 2). Therefore, the contribution of organic material to the C concentration was very small. In addition, the total S concentration was low at 0.29 % (Table 1). Therefore, it is expected that the concentrations of elements extracted in step 3 are also low. However, Kubota *et al.* (2014) reported that non-negligible amounts of Al, K, and Rb in JMs-2 were extracted in step 3, which is a characteristic feature of JMs-2. Accordingly, the peak intensities of phillipsite at 12.4° and 27.9° (2θ) weakened after step 3 of the extraction. In that process, the samples were reacted with H₂O₂ at room temperature for 1 h and were then heated at 85 °C for 1 h (Rauret *et al.*, 1999). Marine phillipsite, belonging to a zeolite group, formed from hyaloclastite and is highly enriched in K (e.g., Sheppard *et al.*, 1970). Therefore, phillipsite would be partly decomposed in this process.

Figure 1 shows that Na, Mg, P, K, Ca, Mn, and Fe in JMs-2

were strongly extracted in step 2; an extremely high proportion of Mn, 92 %, was extracted in this process (Kubota *et al.*, 2014). The Na, Mg, K, and Ca extracted in step 2 would be incorporated into the Mn dioxide (e.g., Moorby *et al.*, 1984). The degree of crystallization of JMs-2 increased significantly after that step (Table 3), which may indicate that amorphous iron hydroxide and manganese dioxide were decomposed in step 2. Although such a large increase in the degree of crystallization was not detected in the other geochemical reference materials, 10 % – 30 % of the total Fe was extracted in step 2 for all samples (Fig. 1). The amounts of crystalline materials such as quartz and plagioclase were small in JMs-2 (Fig. 4b). Therefore, the relative ratios by weight of iron hydroxide and manganese dioxide in JMs-2 would be much larger than those in Jlk-1, JSd-1–4, and JMs-1.

5.4. JSd-1–4

JSd-1 is stream sediment originating from granitic rocks. Quartz, plagioclase, K-feldspar, hornblende, biotite, kaolinite, and magnetite were recognized in its XRD patterns (Fig. 5a). The peak intensities of respective minerals did not change after the sequential extraction procedure. This fact corresponds to the low extraction ratios in steps 1–3 for major elements according to BCR protocol (Fig. 1).

JSd-2 is composed of stream sediment collected from a drainage basin containing high-temperature metamorphic rocks (Hitachi metamorphic rock) and those from Hitachi Cu mine. The XRD patterns of the untreated JSd-2 sample showed quartz, plagioclase, K-feldspar, chlorite, hornblende, muscovite, epidote, calcite, and magnetite (Fig. 5b). The chlorite, hornblende, muscovite, epidote, and calcite correspond to mineralogical compositions of Hitachi metamorphic rock (Omori *et al.*, 1986). The calcite, which showed a very weak peak in the XRD patterns of the untreated sample at $2\theta = 29.4^\circ$, disappeared after step 1 of the extraction. The Hitachi Cu mine yields pyrite and chalcocopyrite as dominant ore deposits. The high concentration of S at 1.32 % (Table 1) in JSd-2 may indicate the inputs of these sulfide minerals. However, the XRD patterns of JSd-2 showed no distinct diffraction peaks of chalcocopyrite. The 1100 mg/kg of Cu in JSd-2 (Terashima *et al.*, 1990) would be too low to be visible in the XRD patterns even if the total Cu exists as chalcocopyrite. Moreover, the existence of pyrite is difficult to be recognized in the XRD chart because the dominant peaks attributed to this mineral were superimposed by those of other minerals such as plagioclase, hornblende, and epidote. Very weak X-ray intensities of pyrite were scarcely observed at 37.1°, 40.7°, and 47.4° (2θ); the peaks at 40.7° and 47.4° (2θ) seemed to disappear after step 3. The concentration of Fe extracted in step 3 of JSd-2 was 0.59 %, which is higher

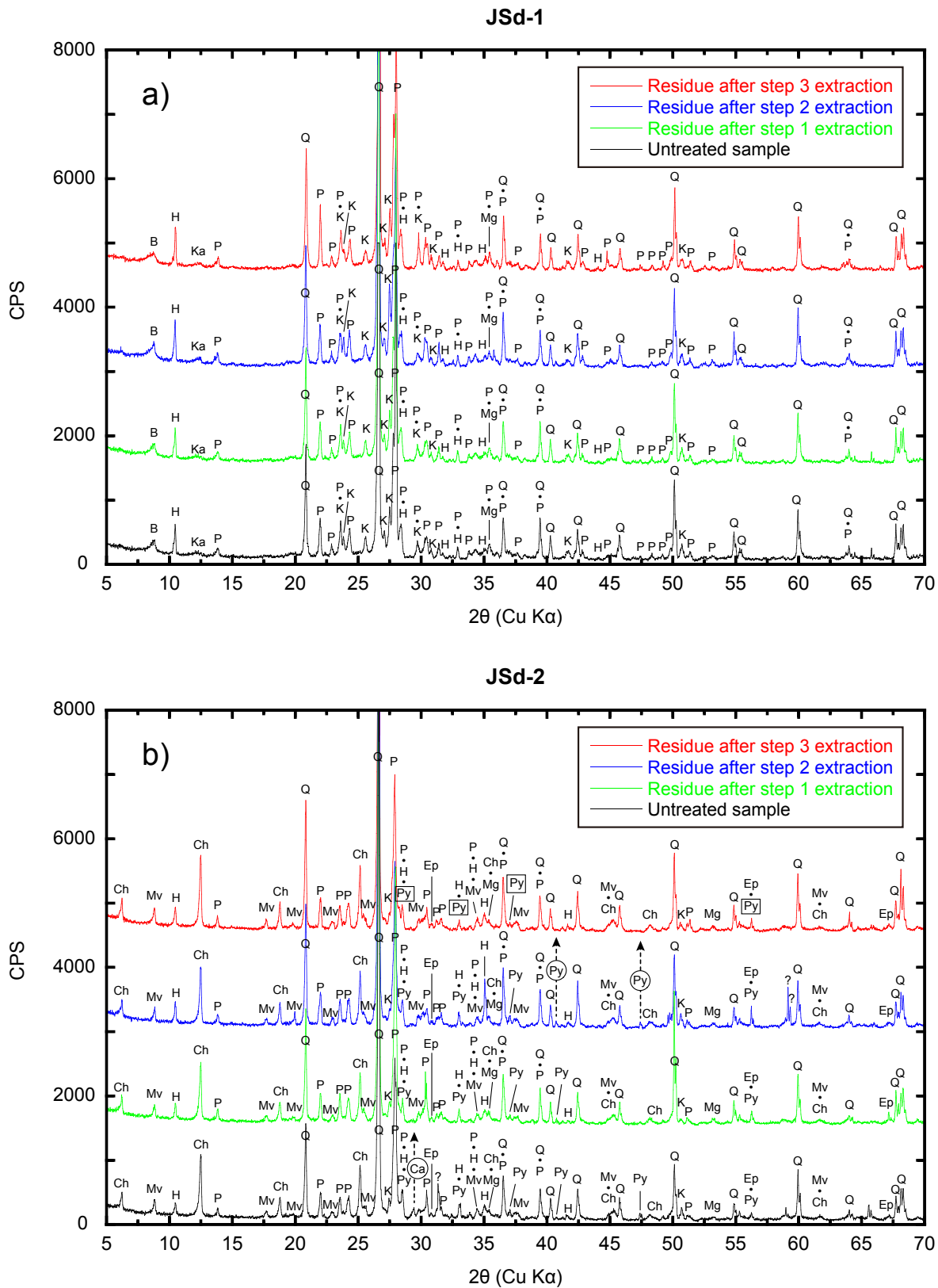


Fig. 5 a), b) X-ray diffraction (XRD) patterns of JSd-1–4. Q: quartz, P: plagioclase, K: K-feldspar, H: hornblende, Au: augite, B: biotite, Mv: muscovite, Ch: chlorite, Ka: kaolinite, Ep: epidote, Ca: calcite, Py: pyrite, Hm: hematite, Mg: magnetite, Gy: gypsum, Un: unknown material. Circle and dashed arrow indicate that the mineral has been decomposed by the sequential extraction procedure. Square indicates that the peaks related to pyrite did not disappear after step 3 of the extraction.

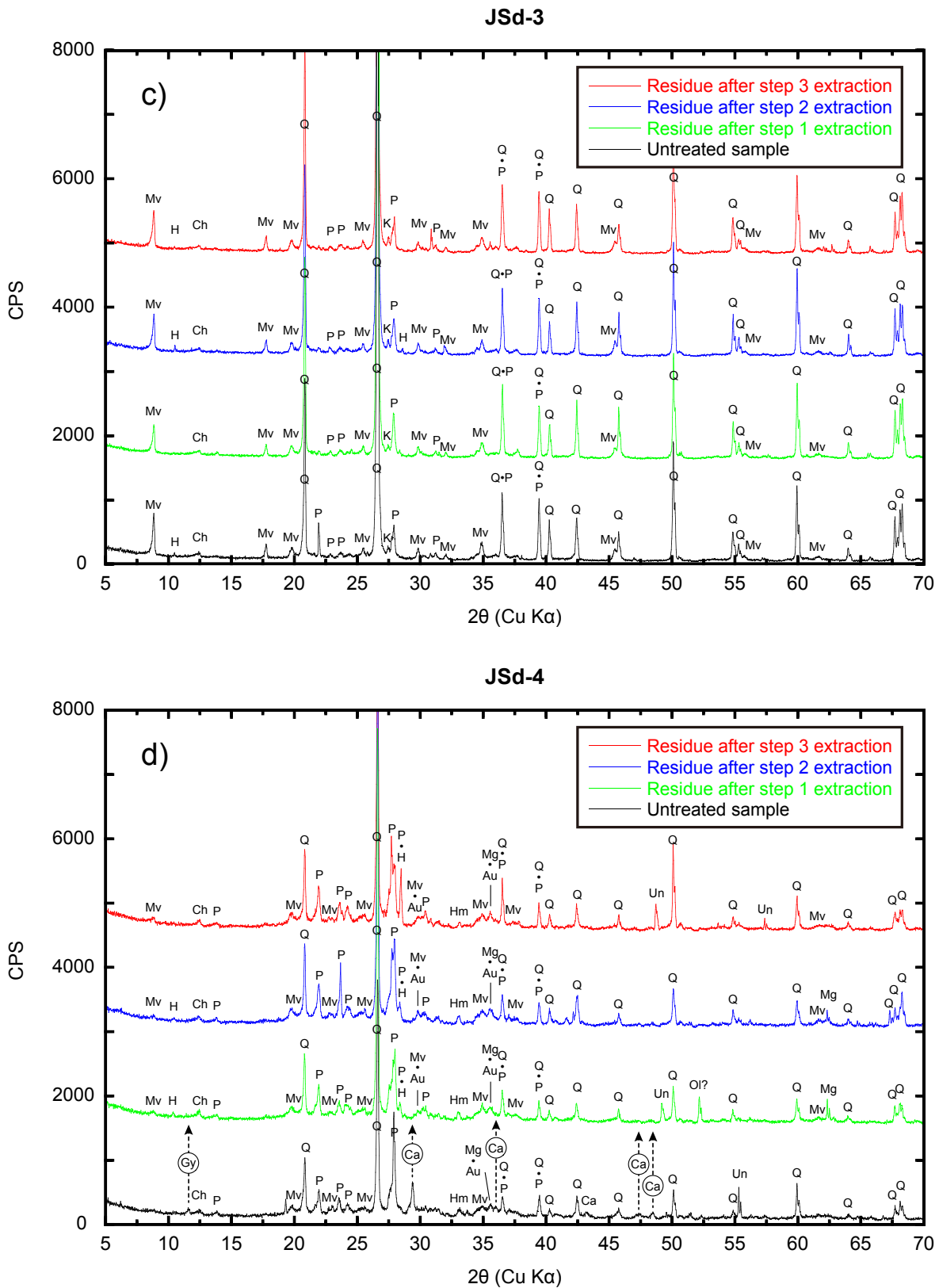


Fig. 5 c), d) X-ray diffractometry (XRD) patterns of JSd-1–4. Q: quartz, P: plagioclase, K: K-feldspar, H: hornblende, Au: augite, B: biotite, Mv: muscovite, Ch: chlorite, Ka: kaolinite, Ep: epidote, Ca: calcite, Py: pyrite, Hm: hematite, Mg: magnetite, Gy: gypsum, Un: unknown material. Circle and dashed arrow indicate that the mineral has been decomposed by the sequential extraction procedure.

than that of JMs-1 at 0.44 % (Table 2); however, the relative abundance ratio of Fe extracted in step 3 to the total Fe was only 8 % (Fig. 1). Although pyrite is a minor mineral in JSd-2, it seemed to be decomposed in step 3 extraction processes. The low content of pyrite is attributed to its oxidation to iron hydroxide during the weathering process or to dilution by the input of the other minerals enriched in Fe such as chlorite, hornblende, and epidote, as suggested by Kubota *et al.* (2014).

JSd-3 is composed of stream sediment derived from mélange matrix and chert blocks of accretionary complexes distributed in the central part of Ibaraki Prefecture. A very intensive peak of quartz in the XRD pattern may represent origins of sandy sediments or chert of accretionary complexes distributed near the sampling location (Fig. 5c). Muscovite, plagioclase, K-feldspar, and chlorite were also recognized (Fig. 5c). No systematic changes after the sequential extraction procedure was detected in the XRD patterns, as was the case for JSd-1. The extraction ratios of major elements at steps 1–3 according to the BCR protocol were also very low (Fig. 1).

JSd-4 was collected from an urban river flowing through an alluvial plain in Kanto Plain. The XRD patterns of the untreated bulk sample showed quartz, plagioclase, muscovite, chlorite, hornblende, augite, hematite, calcite, and gypsum (Fig. 5d). This sample is characterized by a lower degree of crystallization than that in JSd-1–3. Kubota *et al.* (2014) assumed that the high percentages of Na, Mg, K, and Ca extracted in step 1 could be explained by the digestion of sea salt and calcium carbonate (Fig. 1). However, halite was not recognized in the XRD patterns. The concentrations of Na and K extracted in step 1 for JSd-4 were lower than those of JMs-1 and JMs-2 (Table 2). The concentrations of Mg and Ca extracted in step 1 for these reference materials showed opposite characteristics (Table 2). Table 2 also shows the data of stream sediment (no. 25023) collected from the estuarine region in Osaka Plain; however, this sample was contaminated by sea salt (Ohta *et al.*, 2007). The concentrations of Na, Mg, K, and Ca extracted in step 1 of no. 25023 correspond to those of the JMs-1 well. Therefore, it is concluded that JSd-4 was not influenced by sea salt. Nevertheless, a distinct peak of calcite and a small peak of gypsum were detected in the XRD patterns of the untreated sample, which both disappeared after step 1 of the extraction. JSd-4 did not contain biogenic carbonates such as coral or shell fragments. Such conflicting results can be explained by contamination by cement fragments. Cement is used everywhere in urban areas, and urban streams flow through concrete embankments. The Japan Cement Association (<http://www.jcassoc.or.jp/>, accessed March 19, 2014.) has defined cement as being composed of calcite, gypsum, and aggregates such as a river or sea gravel. Therefore, the high

extraction percentages of Ca in step 1 and the presence of calcite and gypsum in the untreated sample can be attributed to contamination by cement materials. However, Na and K are not abundant in cement because they accelerate its deterioration. Magnesium is also not abundant in cement. These elements may have been simply absorbed onto the mineral surfaces without crystallization because they exist as an exchangeable phase. Alternatively, Kubota *et al.* (2014) reported that JSd-4 is contaminated by industrial slag material because it consists of oxides of Mg, Al, Si, Ca, Na, and K and has been widely used for construction materials such as cement, soil stabilizer, road pavement, and building brick (e.g., Nagano *et al.*, 2007; Nishi and Kawabata, 1990). In particular, the high percentages of Na, Mg, and K extracted in step 1 may be explained by construction materials including slag. Slowly cooled slag is composed of gehlenite ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$), åkermanite ($\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$), wollastonite (CaSiO_3), and dicalcium silicate ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) (Nishi and Kawabata, 1990). However, XRD peaks of those minerals were not observed for JSd-4. It is possible that JSd-4 contains granulated slag of which hypercalcified aluminosilicate glass (amorphous phase) is the dominant phase (Nishi and Kawabata, 1990). In this regard, the lower degrees of crystallization of JSd-4 than those of JSd-1–3 may be attributed to contamination by industrial slag. Eto and Yamamoto (2002) examined the origin of riverbed sediments (mainly gravels) collected from the Katabira River flowing in Yokohama City, which is an urban river. They detected a maximum of 27 % of artificial gravel in the riverbed that was composed predominantly of concrete and brick fragments. Therefore, although Eto and Yamamoto (2002) examined gravels rather than fine sediments, our assumption that JSd-4 contains cement and slag materials is reasonable.

6. Summary

We have examined the manner in which the mineralogical composition of Japanese geochemical reference materials changes by application of the sequential extraction procedure. This procedure, developed by the BCR, decomposes and extracts exchangeable and carbonate phases in the first step (step 1), iron hydroxide and manganese oxide in the second step (step 2), and metal sulfide and organic material in the third step (step 3). Calcite, halite, and gypsum were decomposed satisfactorily in step 1 extraction; pyrite was decomposed in step 3 of the extraction. These results are comparable to those of respective target phases. In contrast, it was difficult to determine whether iron hydroxide and manganese oxide were decomposed in step 2 of the extraction because these materials did not show distinct peaks in the XRD patterns, unlike those

exhibited by the other minerals. Essentially, XRD peak intensities of crystalline minerals did not change significantly after the sequential extraction procedure. One exception, phillipsite in JMs-2, was partially decomposed in step 3. Moreover, the peak intensities of quartz and plagioclase in JSO-1 increased after that step. These results indicate that organic material was removed totally by the third extraction procedure because organic materials covering the mineral surfaces reduced the X-ray reflections of the minerals.

Acknowledgments: The authors are grateful to Masaya Suzuki for his technical support in the XRD measurement.

References

- Ando, A., Okai, T., Inouchi, Y., Igarashi, T., Sudo, S., Marumo, K., Itoh, S. and Terashima, S. (1990) JLs-1 and JDo-1, GSJ rock reference samples of the "Sedimentary rock series" *Bull. Geol. Surv. Japan*, **41**, 27-48.
- Crosland, A. R., McGrath, S. P. and Lane, P. W. (1993) An inter-laboratory comparison of a standardized EDTA extraction procedure for the analysis of available trace-elements in two quality-control soils. *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, **51**, 153-160.
- Coetzee, P. P., Gouws, K., Plüddemann, S., Yacoby, M., Howell, S. and den Drijver, L. (1995) Evaluation of sequential extraction procedures for metal speciation in model sediments. *Wat. SA.*, **21**, 51-60.
- Darnley, A. G., Björklund, A., Bølviken, B., Gustavsson, N., Koval, P. V., Plant, J. A., Steenfelt, A., Tauchid, M., Xie, X., Garrett, R. G. and Hall, G. E. M. (1995) *A global geochemical database for environmental and resource management: recommendations for international geochemical mapping*. UNESCO Publishing, Paris, 122 pp.
- Eto, T. and Yamamoto, S. (2002) Origin of riverbed sediments in the River Katabira in Yokohama, central Japan. *Journal of the Faculty of Education and Human Sciences, Yokohama National University. The natural sciences*, **4**, 25-38 (In Japanese with English abstract).
- Imai, N., Terashima, S., Ohta, A., Mikoshiba, M., Okai, T., Tachibana, Y., Togashi, S., Matsuhisa, Y., Kanai, Y. and Kamioka, H. (2004) *Geochemical map of Japan*. Geological Survey of Japan, AIST, 209 pp (In Japanese with English abstract).
- Imai, N., Terashima, S., Itoh, S. and Ando, A. (1996) 1996 compilation of analytical data on nine GSJ geochemical reference samples, "Sedimentary rock series". *Geostand. Newsl.*, **20**, 165-216.
- Imai, N., Terashima, S., Ohta, A., Mikoshiba, M., Okai, T., Tachibana, Y., Togashi, S., Matsuhisa, Y., Kanai, Y. and Kamioka, H. (2010) Elemental distribution in Japan -Geochemical map of Japan-. (Imai, N., ed.). *Geological Survey of Japan*, AIST, Tsukuba (In Japanese with English abstract).
- Kobayashi, J., Muramoto, S., Nakashima, S., Teraoka, H. and Horie, S. (1975) Distribution of arsenic, cadmium, lead, zinc, copper, and manganese contained in the bottom sediment of Lake Biwa. *Jap. J. Limnol.*, **36**, 6-15 (In Japanese with English abstract).
- Kodama, H. (1995) Identification and quantification of non-crystalline inorganic materials in soils by selective chemical dissolution method. *Chishitsu News*, **496**, 26-35 (In Japanese).
- Kubota, R. (2009) Simultaneous determination of total carbon, nitrogen, hydrogen and sulfur in twenty-seven geological reference materials by elemental analyser. *Geostand. Geoanal. Res.*, **31**, 271-283.
- Kubota, R., Ohta, A. and Okai, T. (2014) Speciation of 38 elements in eight Japanese geochemical reference materials sediments series determined using sequential extraction technique. *Geochem. J.*, **48**, 165-188.
- Martin, J. M., Nirel, P. and Thomas, A. J. (1987) Sequential extraction techniques: Promises and problems. *Mar. Chem.*, **22**, 313-341.
- Moorby, S. A., Cronan, D. S. and Glasby, G. P. (1984) Geochemistry of hydrothermal Mn-oxide deposits from the S.W. Pacific island arc. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **48**, 433-441.
- Nagano, N., Takahashi, T., Tomita, K., Wakasugi, M., Kudo, K. and Omote, R. (2007) Study on chemical properties of molten slag derived from municipal solid waste. *Reports of the Hokkaido Industrial Research Institute*, **306**, 47-53 (In Japanese with English abstract).
- Nakashima, S. (1982) Partitioning of heavy metals (Mn, Fe, As, Cd, Pb, Cu, Zn, Co and Ni) into selective chemical fractions in sediment cores from Lake Biwa. *Jap. J. Limnol.*, **43**, 67-80 (In Japanese with English abstract).
- Nishi, M. and Kawabata, K. (1990) Some basic and mechanical properties of iron and steel slags as base-course materials. *Journal of geological engineering*, **414**, 89-98 (In Japanese with English abstract).
- Nishimura, A. and Saito, Y. (1994) Deep-sea sediments in the Penrhyn Basin, South Pacific (GH 83-3 area). In: Usui, A. (Ed.), *Geological Survey of Japan Cruise Report 23*, Geol. Surv. Japan, Tsukuba, pp. 41-60.
- Ohta, A., Imai, N., Terashima, S. and Tachibana, Y. (2007) Preliminary study for speciation geochemical mapping using a sequential extraction method. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **58**, 201-237.

- Omori, M., Hayama, Y. and Horiguchi, M. (1986) *Regional Geology of Japan. Part 3 (KANTO)*. Kyoritsu Shuppan Co., 350 pp (In Japanese).
- Rauret, G., López-Sánchez, J. F., Sahuquillo, A., Rubio, R., Davidson, C., Ure, A. and Quevauviller, P. (1999) Improvement of the BCR three step sequential extraction procedure prior to the certification of new sediment and soil reference materials. *J. Environ. Monit.*, **1**, 57-61.
- Sheppard, R. A., Gude, A. J. and Griffin, J. J. (1970) Chemical composition and physical properties of phillipsite from the Pacific and Indian Ocean. *Am. Mineral.*, **55**, 2053-2062.
- Sutherland, R. A. (2010) BCR[®]-701: A review of 10-years of sequential extraction analyses. *Anal. Chim. Acta*, **680**, 10-20.
- Terashima, S., Ando, A., Okai, T., Kanai, Y., Taniguchi, M., Takizawa, F. and Itoh, S. (1990) Elemental concentrations in 9 new GSJ rock reference samples sedimentary-rock series. *Geostand. Newsl.*, **14**, 1-5.
- Terashima, S., Imai, N., Taniguchi, M., Okai, T. and Nishimura, A. (2002) The preparation and preliminary characterisation of four new Geological Survey of Japan geochemical reference materials: Soils, JSO-1 and JSO-2; and marine sediments, JMS-1 and JMS-2. *Geostand. Newsl.*, **26**, 85-94.
- Ure, A. M., Quevauviller, P., Muntau, H. and Griepink, B. (1993) Speciation of heavy-metals in soils and sediments - an account of the improvement and harmonization of extraction techniques undertaken under the auspices of the BCR of the commission-of-the-European-communities. *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, **51**, 135-151.

Received March 13, 2014

Accepted June 30, 2014

地球化学標準物質（堆積物シリーズ）に逐次溶解法を適用した際に生じる鉱物組成変動

太田充恒・久保田蘭・岡井貴司

要 旨

我々は Community Bureau of Reference (BCR)によって確立された逐次溶解法を、8つの日本の地球化学標準物質へ適用することを試みた。この方法は、step 1 で交換態・炭酸塩態、step 2 で鉄水酸化物態・マンガン酸化物態、step 3 で金属硫化物態・有機物態をそれぞれ分解抽出する事を目的としている。本研究では、未処理の試料と各stepで抽出作業を行った後の残渣試料に対してX線回折 (XRD) パターンを調べることで、抽出目的相が適切に分解されているかを確認することを目的とした。JSd-1 と JSd-3 に対してBCR法を適用した際、XRDパターンには有意な変化は認められなかった。この結果は、これらの物質に含まれる元素の多くがBCR法によってほとんど抽出されなかった事実と調和的である。これに対し、JSd-4, JMs-1, JMs-2 に含まれる方解石由来のピークは step 1 適用後にXRDパターンから全て消滅した。この結果は、step 1の目的相が十分に分解されたことを示す。JLk-1 や JMs-2 では、高い濃度の鉄とマンガンが step 2 で抽出される。しかし、鉄水酸化物態・マンガン酸化物は明瞭なピークをXRDパターンに示さないため、これらの物質が step 2 で十分に分解されたかどうかを明らかにすることは困難であった。一方、JMs-1 中のパイライトのピークが step 3 抽出後に消滅したことから、硫化物がこの過程で適切に分解される事が明らかとなった。また、JSO-1 において、step 3 抽出後に石英や斜長石のピーク強度 (X線回折強度) が大きく増加することが認められた。step 3 以前では有機物が鉱物表面を厚く覆っているために、鉱物からのX線回折強度を下げているためと推測された。従って、間接的な証拠であるものの、step 3 抽出手順において有機物が適切に分解除去されたと言える。これらの結果より、BCR法によって地球化学標準物質から目的物質を適切に分離抽出することが可能であることが確認された。

筑波花崗岩と旧筑波町に残る石造物の帯磁率

長 秋雄

Akio Cho (2014) Magnetic susceptibility of Tsukuba granite and stone sculptures in old Tsukuba town. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol.65 (3/4), p37-43, 1 fig, 3 table.

Keywords: Tsukuba granite, magnetic susceptibility, stone sculptures, old Tsukuba town

1. はじめに

茨城県つくば市北部の北条は、天和2 (1626) 年の常陸北条藩の成立を契機に筑波地域の政治と経済の中心地として栄え、土蔵造りの店蔵をはじめとする歴史的建造物が多く残り、それらからなる地域特有の町並みを残していた。2011年3月11日の東日本大震災では、100近い土蔵の大半が傷み、10棟以上が倒壊し、毎月1棟以上が取り壊されてきた(朝日新聞2012年5月9日報道)。翌2012年5月6日に北条市街地を通過した竜巻は、前年の大震災を超える被害をもたらした。

北条の住民や商工会・筑波大学・つくば市でつくる「北条復興まちづくり協議会」は、2012年7月と8月に行った住民アンケート調査の結果に基づき、「筑波山麓の観光拠点としての復興」・「歴史的な町並みを活かした復興」を目指している(嶋・安藤, 2013)。筆者は、北条の復興を支援するために、北条を含む旧筑波町に分布する筑波花崗岩と旧筑波町に残る歴史的な石造物を調べ、2013年産総研つくばセンター一般公開に「筑波山花こう岩と人の営み」を展示した(長, 2013a)。

本稿では、旧筑波町に分布する4種の筑波花崗岩(片状花崗岩・斑状花崗岩・中粒花崗岩・細粒花崗岩)と旧筑波町に残る石造物の岩相と帯磁率測定結果を報告し、両者の関係を考察する。

2. 筑波花崗岩

第1図は、真岡・真壁・土浦地域地質編集図(高橋, 2007)から筑波花崗岩の分布域を抜粋したものであり、本文中の地名を加筆した。5万分の1地質図「真壁」の説明(宮崎ほか, 1996)によれば、筑波花崗岩は次の5種類に分類されている。

筑波花崗岩1 (Ts1 細粒黒雲母角閃石閃緑岩・中粒黒雲母角閃石トータル岩)

斑状黒雲母花崗閃緑岩・中粒黒雲母トータル岩・粗

粒黒雲母花崗岩(いずれもTs3)中の捕獲岩として産し、白滝(筑波山南麓)などに比較的まとまった分布が見られる。分布域が小さく、第1図では判読できない。

筑波花崗岩2 (Ts2 片状黒雲母トータル岩)

筑波山西側の桜川市真壁町酒寄から権尾にかけての地域とつくば市国松周辺に分布し、明瞭な片状構造を持つ。第1図では明るい紫色で表示されている。

筑波花崗岩3 (Ts3 斑状黒雲母花崗閃緑岩など、筑波花崗岩の主岩相)

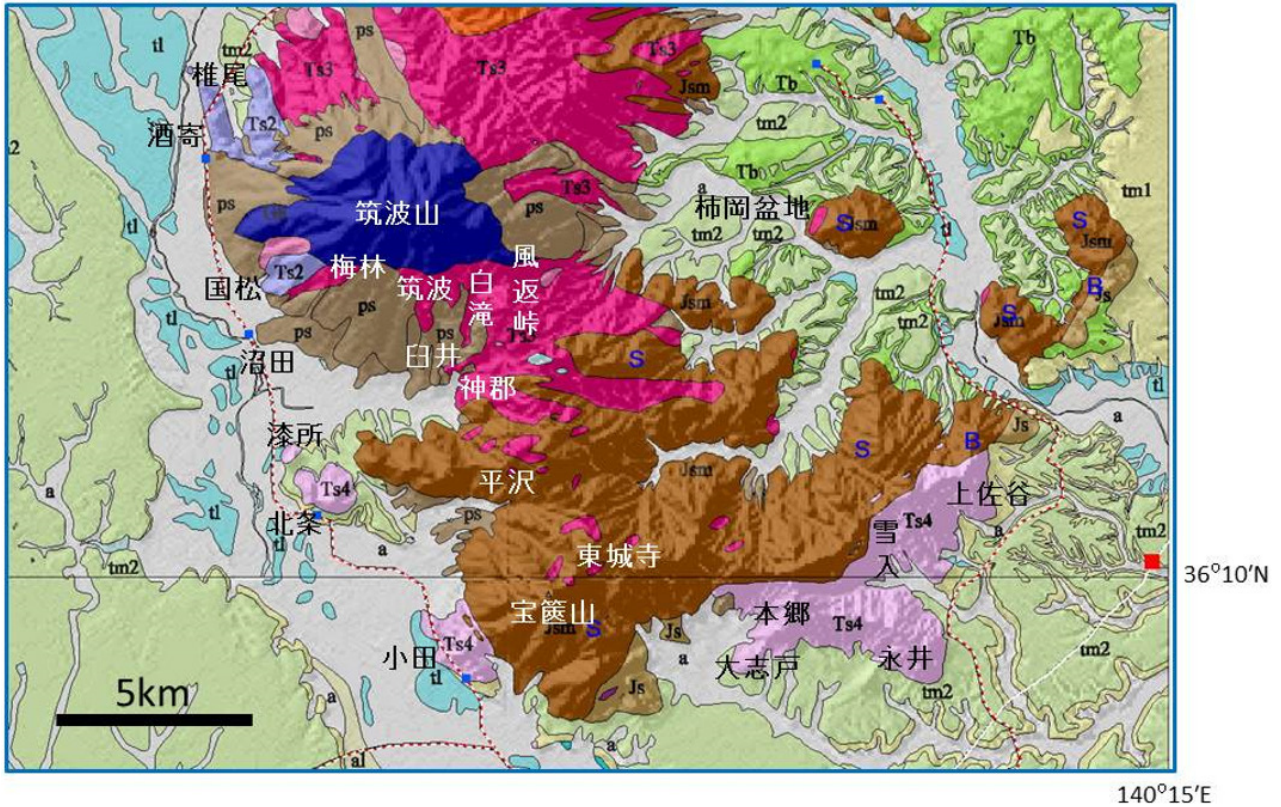
筑波山の山腹から山麓に広く分布し、表筑波スカイラインから柿岡盆地(八郷盆地)にかけての筑波変成岩類(第1図でのJsm)の分布域に数100 m規模の小岩体として散在する。斑状黒雲母花崗閃緑岩はカリ長石の斑状結晶を含み、その長径は10 cmに及ぶものもある。第1図では赤色で表示されている。斑状黒雲母花崗閃緑岩が最も広く分布し、他に斑状白雲母黒雲母花崗閃緑岩、粗粒黒雲母花崗岩、粗粒黒雲母花崗閃緑岩、中粒黒雲母トータル岩の計5つの岩相が漸移関係となっている。

筑波花崗岩4 (Ts4 中粒白雲母黒雲母花崗岩)

かすみがうら市千代田町と石岡市八郷町の町境を東北東に走る尾根の南斜面(かすみがうら市雪入^{かみさや}・上佐谷)に約4 kmの広がりをもって分布する。5万分の1地質図「真壁」の南側で、つくば市小田(前山)、かすみがうら市大志戸・本郷・永井にも分布する。第1図では薄い桃色で表示されている。

筑波花崗岩5 (Ts5 細粒花崗岩類)

筑波花崗岩3及び筑波変成岩類(Jsm)の分布域に径数100mから1km程度の小岩体として産し、国松・風返峠^{うるしじよ}・漆所(土塔山)・北条(城山)などに分布する。第1図では、濃い桃色で表示されている。第1図に用いた真岡・真壁・土浦地域地質編集図(高橋, 2007)では、漆所(土塔山)と北条(城山)の花崗岩は筑波花崗岩4に分類されている。



第1図 筑波花崗岩4種の分布域と本文中にある地名の位置

真岡・真壁・土浦地域地質編集図(高橋、2007)から筑波花崗岩分布域を抜粋し、地名を加筆した。

薄い紫(Ts2)：筑波花崗岩2，赤(Ts3)：筑波花崗岩3，薄い桃(Ts4)：筑波花崗岩4，濃い桃(Ts5)：筑波花崗岩5

Fig. 1 Distribution area of 4 Tsukuba granites (Ts2, Ts3, Ts4, Ts5) after Takahashi (2007). Japanese characters show village name and location.

3. 筑波花崗岩の帯磁率

れないか少ない箇所を選定し帯磁率を測定した。

3.1 帯磁率測定法

帯磁率測定には携帯型帯磁率計KT-6 (Satis Geo製)を用いた。露頭や大きな転石を選び、目視により表面の凸凹が小さい箇所を5点選定し、5点の平均値を代表値とした。測定箇所表面の凸凹により測定値は真の帯磁率より小さい値(みかけの帯磁率)となるが、補正は行わなかった。金沢城石垣に使われた戸室石(安山岩)の事例では、補正係数は1.5以下である(長, 2013b)。そのため、本報での帯磁率の値は、みかけの帯磁率である。

帯磁率は、与えた磁場の強さ(H)に対する誘導磁化の強さ(M)の比(M/H)で表され、SI単位系では無次元である。岩石などの地質試料では含有強磁性鉱物の量・鉱物組成・粒径分布等に支配され、特に磁鉄鉱の含有量との相関が高い(山崎, 1996)。KT-6では、厚さ50 mm程度の深さまでが測定対象となるので(KT-6取扱説明書より)、表層での風化や変質は測定値に大きな影響(測定値の低下)を及ぼさないと考える。また、風化や変質による影響を少なくするために、目視により風化や変質が認めら

3.2 筑波花崗岩の帯磁率測定結果

第1表に、筑波花崗岩の帯磁率測定結果を、測定場所を概ね北西から南東の順に、測定場所・岩相とともに示す。筑波花崗岩2～5の分布域は、5万分の1地質図「真壁」(宮崎ほか, 1996)に基づく。一般に、地質図に示される各地質の分布域は、その地質図の縮尺に応じた主要な岩種や岩相の分布域であり、それぞれの分布域の全域が同一の地質であるとは限らない。また、有限の調査日数や地形による調査の難易などの理由で、それぞれの全域を網羅的に踏査することは不可能である。したがって、地質図での分類とは異なる岩種や岩相が現れることがある。今回の調査でも、地質図とは異なる岩相が確認された。

5万分の1地質図「真壁」(宮崎ほか, 1996)と真岡・真壁・土浦地域地質編集図(高橋, 2007)では「細粒花崗岩」・「中粒花崗岩」・「粗粒花崗岩」の分類がなされているが、結晶粒の大きさに基づく数値的区分は示されていない。そのため、前述の筑波花崗岩5で述べたように、両者で分類の違いが生じているのであろう。新版地学事典で

筑波花崗岩と旧筑波町に残る石造物の帯磁率（長）

帯磁率測定場所	岩相	帯磁率($\times 10^{-3}$ SI)
筑波花崗岩5分布域		
国松 上郷-1	中粒	0.18
国松 上郷-2	中粒	0.14
国松 上郷-3	中粒	0.15
筑波花崗岩2分布域		
国松 椎木坪-1	中粒	0.17
国松 椎木坪-2	中粒	0.17
国松 椎木坪-3	斑状	0.13
国松 椎木坪-4	片状	0.15
国松 椎木坪-5	片状	0.14
国松 椎木坪-6	片状	0.18
国松 椎木坪-7	中粒	0.19
筑波花崗岩3分布域		
国松 下郷-1	長石に富む、白雲母	0.06
国松 下郷-2	斑状	0.10
国松 下郷-3	中粒、長石脈	0.06
国松 下郷-4	長石に富む	0.03
沼田 梅林付近	中粒、弱風化	0.13
筑波 東山 風返峠への道	粗粒	0.06
筑波 風返峠手前	粗粒	0.07
筑波 風返峠の富士見橋付近	粗粒	0.04
臼井 六所皇大神宮奥-1	斑状	0.19
臼井 六所皇大神宮奥-2	斑状	0.17
臼井 六所皇大神宮奥-3	斑状	0.18
臼井 六所皇大神宮奥-4	斑状	0.20
臼井 六所の滝-1	斑状	0.20
臼井 六所の滝-2	斑状	0.21
神郡 つくばねCCへの道-1	斑状	0.13
神郡 つくばねCCへの道-2	斑状	0.19
神郡 つくばねCCへの道-3	斑状	0.19
神郡 つくばねCCへの道-4	斑状	0.19
平沢 表筑波スカイライン	斑状	0.19
東城寺 表筑波スカイライン	斑状	0.18
帯磁率測定場所	岩相	帯磁率($\times 10^{-3}$ SI)
筑波花崗岩5分布域		
漆所 土塔山-1	細粒	0.06
漆所 土塔山-2	細粒	0.07
北条 城山-1	細粒	0.05
北条 城山-2	細粒	0.05
北条 城山の採石場跡	細粒	0.07
北条 北条保育所脇	斑状	0.17
北条 熊野神社の祠脇	斑状	0.07
筑波花崗岩4分布域		
小田 前山の前山城展望場	中粒	0.07
小田 前山のA採石場跡	中粒	0.09
小田 前山のB採石場跡-1	中粒	0.11
小田 前山のB採石場跡-2	中粒	0.08
小田 前山のB採石場跡-3	中粒	0.09
小田 前山の磨崖不動明王立像岩盤	中粒	0.09
小田 前山の愛宕神社裏	斑状まじり中粒	0.09
小田 前山の愛宕神社奥	斑状まじり中粒	0.09
大志戸 甲山城跡	細粒	0.09
大志戸 新治浄水場裏-1	細粒	0.08
大志戸 新治浄水場裏-2	中粒	0.06
本郷 中央青年の家の西方	中粒	0.11
永井 中央青年の家の東方	中粒	0.09
永井 泉	中粒	0.06
雪入 弓弦峠への道 麓から1	中粒	0.12
雪入 弓弦峠への道 麓から2	中粒	0.10
雪入 弓弦峠への道 麓から3	中粒	0.10
雪入 弓弦峠への道 麓から4	中粒	0.05
雪入 弓弦峠への道 麓から5	中粒	0.06
雪入 弓弦峠への道 麓から6	中粒	0.03
雪入 弓弦峠への道 麓から7	中粒	0.05

第1表 露頭と大きな転石での筑波花崗岩の帯磁率測定結果

Table 1 Magnetic susceptibility of Tsukuba granite measured on outcrop

は、主要構成鉱物の直径が、一般に直径1 mm以下を細粒、一般に1～5 mmまたは1～10 mmを中粒、一般に5 mm以上を粗粒としている(藤井, 1996a; 藤井, 1996b; 藤井, 1996c)。本稿での「細粒花崗岩」・「中粒花崗岩」・「粗粒花崗岩」の分類は、野外での目視観察と撮影写真の拡大画像での目視判読により、結晶粒の大きさ1 mm以下、同1 mm～5 mm, 同5 mm以上を目安とした。

筑波花崗岩5の分布域にあたる国松北部(上郷)の中粒花崗岩(測定数3)の帯磁率は、 $0.14 \times 10^{-3} \text{ SI} \sim 0.18 \times 10^{-3} \text{ SI}$ であった。国松にある性山寺の土止めと沼田の茨城百景筑波山の石碑は、昭和期(1925年以降)になって性山寺の奥の山から採掘された石材から作られた(性山寺住職からの私信)。これらは細粒花崗岩で、その帯磁率はともに $0.10 \times 10^{-3} \text{ SI}$ であった。

筑波花崗岩2の分布域にあたる国松中央部(榎木坪)の片状花崗岩(測定数2)の帯磁率は $0.15 \times 10^{-3} \text{ SI}$ と $0.18 \times 10^{-3} \text{ SI}$ で、中粒花崗岩(測定数3)の帯磁率は $0.17 \times 10^{-3} \text{ SI} \sim 0.19 \times 10^{-3} \text{ SI}$ で、斑状花崗岩(測定数2)の帯磁率は $0.13 \times 10^{-3} \text{ SI}$ と $0.14 \times 10^{-3} \text{ SI}$ であった。

筑波花崗岩3の分布域にあたる国松南部(下郷)の花崗岩は長石に富み、帯磁率は $0.1 \times 10^{-3} \text{ SI}$ 以下(測定数4)であった。

筑波花崗岩3の分布域にあたる旧筑波町東山や風返峠付近の粗粒花崗岩(測定数3)の帯磁率は、 $0.04 \times 10^{-3} \text{ SI} \sim 0.07 \times 10^{-3} \text{ SI}$ であった。同じく筑波花崗岩3の分布域にあたる白井・神郡・表筑波スカイライン沿い(平沢・東城寺)の斑状花崗岩(測定数12)の帯磁率は、ほとんどが $0.17 \times 10^{-3} \text{ SI} \sim 0.21 \times 10^{-3} \text{ SI}$ であった。

筑波花崗岩5の分布域にあたる漆所(土塔山)と北条(城山)の細粒花崗岩(測定数5)の帯磁率は、 $0.05 \times 10^{-3} \text{ SI} \sim 0.07 \times 10^{-3} \text{ SI}$ であった。城山の麓2箇所で斑状花崗岩を認め、それらの帯磁率は $0.17 \times 10^{-3} \text{ SI}$ と $0.07 \times 10^{-3} \text{ SI}$ であった。

筑波花崗岩4の分布域にあたる小田(前山)とかすみがうら市大志戸・本郷・永井・雪入の中粒花崗岩(2地点では斑状花崗岩が混じる。測定数19)の帯磁率は、ほとんどが $0.06 \times 10^{-3} \text{ SI} \sim 0.12 \times 10^{-3} \text{ SI}$ であった。大志戸の2地点で細粒花崗岩を認め、その帯磁率は $0.08 \times 10^{-3} \text{ SI}$ と $0.09 \times 10^{-3} \text{ SI}$ であった。

4. 旧筑波町にある石造物の帯磁率

4.1 旧筑波町にある石造物

旧筑波町南部の小田には、鎌倉時代にこの地を本拠とした西大寺系真言律宗教団が引き連れた石工集団の制作と考えられる宝篋山山頂の宝篋印塔(県指定文化財)・長久寺の石灯籠(県指定文化財)・極楽寺入口の地藏菩薩立像(県指定文化財)・極楽寺跡の五輪塔(市指定文化財)などが残されている(千葉, 2008)。

旧筑波町南部の北条は、天和2(1626)年の常陸北条藩の成立を契機に、筑波地域の政治と経済の中心地として栄えた(筑波町史編纂専門員会, 1989)。熊野神社参道の鳥居には寛永13(1663)年と刻まれ、年号の分かるものでは茨城県内最古級である(井坂, 2011)。他に、多気太郎五輪塔(多気太郎義幹之墓)や八坂神社の五輪塔(天文6(1537)年建造、県指定文化財)などがある。

平沢に産する平沢石(雲母片岩、筑波変成岩類)を使った中世の板碑が、筑波地方に数多く残されている。小田に残る三村山不殺生界碑(建長5(1253)年建立)、北条に残る毘沙門天種子碑(鎌倉時代)などである。常陸型板碑と称され、最小限度の加工によっていわば自然石を利用した形で作られている点に特徴がある(筑波町史編纂専門員会, 1989)。

4.2 旧筑波町に残る石造物の帯磁率測定結果

第2表に、旧筑波町に残る石造物の帯磁率測定結果を示す。第3表に、筑波花崗岩の帯磁率(第1表)と旧筑波町に残る石造物の帯磁率(第2表)の比較を、片状花崗岩・斑状花崗岩・中粒花崗岩ごとに示す。

片状花崗岩が使われた石造物で確認したものは旧筑波町北部の国松の性山寺の常夜燈と石垣の2つであるが、これらの帯磁率は $0.21 \times 10^{-3} \text{ SI}$ と $0.20 \times 10^{-3} \text{ SI}$ であった。この値は、露頭や転石では測定面の凸凹の大小により帯磁率が小さく測定されることがあることを考慮すれば、性山寺の背後である榎木坪での片状花崗岩の帯磁率 $0.15 \times 10^{-3} \text{ SI}$ および $0.18 \times 10^{-3} \text{ SI}$ と一致する。

旧筑波町北部(白井・筑波・神郡)に残る石造物は、斑状花崗岩であった。また、小田の宝篋山山頂に残る五輪塔も斑状花崗岩であった。北条に残るつくば道の道標では、竿は中粒花崗岩と思われるが、台は斑状花崗岩であった。これら石造物に使われた斑状花崗岩の帯磁率は $(0.22 \pm 0.04) \times 10^{-3} \text{ SI}$ であり、露頭や転石では測定面の凸凹の大小により帯磁率が小さく測定されることがあることを考慮すれば、白井・神郡・平沢・東城寺で測定した斑状花崗岩の帯磁率 $(0.19 \pm 0.02) \times 10^{-3} \text{ SI}$ と一致する。今回の調査では確認していないが、第1図に示すように、宝篋山山頂付近に筑波花崗岩3(主岩相は斑状花崗岩)が分布している。岩相と帯磁率の一致から、旧筑波町北部(白井・筑波・神郡)に残る斑状花崗岩製の石造物と宝篋山山頂に残る五輪塔には、近くに分布する斑状花崗岩が使われたと考えられる。

旧筑波町南部(北条・小田)に残る石造物は中粒花崗岩であった。北条に残る石造物に使われた中粒花崗岩の帯磁率は $(0.08 \pm 0.03) \times 10^{-3} \text{ SI}$ で、小田に残る石造物に使われた中粒花崗岩の帯磁率は $(0.08 \pm 0.01) \times 10^{-3} \text{ SI}$ であり、両者に違いを認めなかった。これらの値は、小田(前山)に分布する中粒花崗岩の帯磁率 $(0.09 \pm 0.01) \times 10^{-3} \text{ SI}$ と一致する。岩相と帯磁率の一致から、旧筑波町南部(北

筑波花崗岩と旧筑波町に残る石造物の帯磁率（長）

第2表 旧筑波町に残る石造物の帯磁率測定結果
Table 2 Magnetic susceptibility of stone sculptures in old Tsukuba town

所在地	寺社など	石造物(測定箇所)	建立年	岩相	帯磁率(×10 ⁻³ SI)
1. 花崗岩を使った石造物					
細粒花崗岩（筑波花崗岩5）					
国松	性山寺	土止め	昭和	細粒	0.10
沼田		茨城百景筑波山の石碑	昭和	細粒	0.10
片状花崗岩（筑波花崗岩2）					
国松	性山寺	常夜燈		片状	0.21
	性山寺	石垣の角石		片状	0.20
斑状花崗岩（筑波花崗岩3）					
臼井	飯名神社	鳥居（柱）		斑状	0.21
	六所皇大神宮	鳥居（柱）		斑状	0.20
	六所皇大神宮	鳥居（笠木）		斑状	0.26
筑波	筑波山神社	つくば道一の鳥居	宝暦9年(1759)	斑状	0.26
	八坂神社	鳥居（柱）	享保18年(1733)	斑状	0.17
神郡	普門寺	九重層塔	慶長	斑状	0.22
	普門寺	常夜燈	弘化3年(1846)	斑状	0.25
	蚕影神社	鳥居（柱）		斑状	0.25
	蚕影神社	常夜燈1		斑状	0.24
	蚕影神社	常夜燈2	文政8年(1825)	斑状	0.26
北条		つくば道の道標（台）		斑状	0.26
小田	宝篋山山頂	宝篋印塔		斑状	0.14
中粒花崗岩（筑波花崗岩4）					
国松	性山寺	山門の石碑	寛政6年(1794)	中粒	0.09
北条		露盤石	奈良？	中粒	0.05
	日向廃寺	礎石	平安末～鎌倉	中粒	0.08
		多気太郎五輪塔	鎌倉？	中粒	0.07
	無量院	多層塔	延文6年(1361)	中粒	0.08
	熊野神社	鳥居（柱）	寛永13年(1636)	中粒	0.10
	鹿島神社	鳥居（柱）		中粒	0.15
	八坂神社	五輪塔	天文6年(1537)	中粒	0.07
	八坂神社	石柱	明治24年(1891)	中粒	0.07
		つくば道の道標（竿）	寛政10年(1798)	中粒？	0.11
		如意輪観音の道標	寛延4年(1751)	中粒	0.08
		西の市の神（屋根）		中粒	0.04
		西の市の神（祠）		中粒	0.11
		東の市の神（屋根）		中粒	0.09
小田	極楽寺跡入口	地藏菩薩立像	天応2年(1289)	中粒	0.09
	極楽寺跡	五輪塔	鎌倉後期	中粒	0.10
		磨崖不動明王立像が彫られた岩盤		中粒	0.09
	延寿院薬師堂	五輪塔	天文5年(1538)	中粒	0.09
	長久寺	石灯籠	鎌倉中期	中粒	0.06
	天満神社	鳥居（柱と笠木）	●永14年	中粒	0.07
2. 雲母片岩(平沢石)を使った石造物					
北条		毘沙門天種子板碑	鎌倉		0.21
		二十三夜塔			0.27
	八坂神社	板碑1			0.24
	八坂神社	板碑2			0.24
	八坂神社	板碑3			0.19
	八坂神社	板碑4			0.18
	八坂神社	板碑5			0.17
小田		三村山不殺生界碑	鎌倉		0.22

注：天満神社鳥居の建立年「●永14年」の●は、判読不能を示す。

第3表 筑波花崗岩の帯磁率(第1表)と旧筑波町に残る石造物の帯磁率(第2表)の比較

Table 3 Comparison of magnetic susceptibility of Tsukuba granite (Table 1) and stone sculptures in old Tsukuba town (Table 2)

	測定数	帯磁率(×10 ⁻³ SI)		
		最小値	最大値	平均値
片状花崗岩 (筑波花崗岩2)				
表1 国松(椎木坪)	2	0.15	~ 0.18	0.17
表2 国松性山寺の常夜燈・石垣	2	0.20	~ 0.21	0.21
斑状花崗岩 (筑波花崗岩3)				
表1 臼井・神郡・平沢・東城寺	12	0.13	~ 0.21	0.19 ± 0.02
表2 臼井・筑波・神郡・北条・宝篋山に残る石造物	12	0.14	~ 0.26	0.22 ± 0.04
中粒花崗岩 (筑波花崗岩4)				
表1 小田(前山)	6	0.07	~ 0.11	0.09 ± 0.01
表1 大志戸・本郷・永井・雪入	11	0.03	~ 0.12	0.07 ± 0.03
表2 北条に残る石造物	13	0.04	~ 0.15	0.08 ± 0.03
表2 小田に残る石造物	6	0.06	~ 0.10	0.08 ± 0.01
細粒花崗岩 (筑波花崗岩5)				
表1 漆所(土塔山)と北条(城山)	5	0.05	~ 0.07	0.06 ± 0.01

第4表 4つの五輪塔の各部位の帯磁率(×10⁻³SI)

Table 3 Magnetic susceptibility of each part of 4 gorinto stone sculptures (×10⁻³SI)

部位	多気太郎五輪塔	八坂神社の五輪塔	延寿院の五輪塔	極楽寺跡の五輪塔
空風輪	0.07	0.07	0.09	0.05
火輪	0.09	0.06	0.09	0.10
水輪	0.07	0.06	0.10	0.09
地輪	0.06	0.07	0.09	0.10
台座				0.11

条・小田)に残る中粒花崗岩製の石造物には、小田(前山)の中粒花崗岩が使われたと考えられる。

漆所(土塔山)と北条(城山)に分布する細粒花崗岩の帯磁率は $(0.06 \pm 0.01) \times 10^{-3} \text{SI}$ であった。昭和期に国松北部から採掘された細粒花崗岩で作られた性山寺の土止めと沼田の石碑の帯磁率は $0.10 \times 10^{-3} \text{SI}$ であった。

第4表に、旧筑波町に残る著名な4つの五輪塔(多気太郎義幹之墓・八坂神社の五輪塔・延寿院の五輪塔・極楽寺跡の五輪塔)の風空輪・火輪・水輪・地輪・台座の帯磁率を示す。いずれも中粒花崗岩が使われていた。前3つの五輪塔では各部位の帯磁率はほとんど一致しており、同じ場所で採石された花崗岩が使われたと考えられる。極楽寺跡の五輪塔では、最上部の空風輪の帯磁率だけが火輪・水輪・地輪・台座の帯磁率の半分の値であり、この空風輪は後補であるかもしれない。

4.3 岩相により帯磁率が異なる理由

前節で述べたように、4種の筑波花崗岩(片状花崗岩・斑状花崗岩・中粒花崗岩・細粒花崗岩)の帯磁率に違いが認められた。すなわち、それぞれの帯磁率は、 $(0.15 \sim 0.18) \times 10^{-3} \text{SI}$, $(0.19 \pm 0.02) \times 10^{-3} \text{SI}$, $(0.09 \pm 0.01, 0.07 \pm 0.03) \times 10^{-3} \text{SI}$, $(0.06 \pm 0.01) \times 10^{-3} \text{SI}$ であった(位置が特定できる露頭や大きな転石での測定結果)。帯磁率が異なる理由として、これら花崗岩の元となったマグマの組成変化が考えられる。これまでに報告されている放射年代は、斑状花崗岩で63Maと53Ma, 中粒花崗岩で59Ma, 細粒花崗岩で59Maである(宮崎ほか, 1996)。細粒花崗岩が斑状花崗岩に貫入していることから、細粒花崗岩の方が斑状花崗岩より新しい(宮崎ほか, 1996)。片状花崗岩は、放射年代は測定されておらず、貫入関係も確認されていないが、斑状花崗岩・中粒花崗岩と同時期もしくは記載順からこれらより古いと考えられている(宮崎ほか, 1996)。古い片状花崗岩と斑状花崗岩の帯磁率が大きく、新しい細粒花崗岩の帯磁率が小さかった。

5. まとめ

旧筑波町に分布する4種の筑波花崗岩(片状花崗岩・斑状花崗岩・中粒花崗岩・細粒花崗岩)の帯磁率は $0.05 \times 10^{-3} \text{SI} \sim 0.22 \times 10^{-3} \text{SI}$ であり、岩相による違いが認められた。

岩相と帯磁率の一致から、旧筑波町北部(臼井・筑波・神郡)に残る斑状花崗岩の石造物と宝篋山山頂に残る五輪塔には、近くに分布する斑状花崗岩が使われたと考えられる。同様に、旧筑波町南部(北条・小田)に残る中粒花崗岩の石造物には、小田(前山)の中粒花崗岩が使われたと考えられる。

謝辞：露頭と石造物の調査と結果の公表を許可いただいた地権者および管理者の皆様に謝意を表します。御子柴真澄博士(産業技術総合研究所地質情報研究部門)の査読意見は、調査結果のまとめ方や記述の改善内容を指摘したものであり、本稿の修正にあたり非常に有益でした。

文 献

- 千葉隆司(2008) 筑波山周辺の石材加工の歴史, 地質ニュース, 643, 48-51.
- 長秋雄(2013a) 筑波花こう岩と人の営み—文化地質学による地域振興の試み—, 地圏資源環境研究部門成果報告書2013, 58-59.
- 長秋雄(2013b) 戸室石の帯磁率測定, 戸室石切丁場確認調査報告書Ⅱ, 金沢城史料叢書18, 石川県金沢城調査研究所, 216-228.
- 藤井義雄(1996a) 細粒, 地学団体研究会新版地学事典編集委員会編, 新版地学事典, 平凡社, 482.
- 藤井義雄(1996b) 中粒, 地学団体研究会新版地学事典編集委員会編, 新版地学事典, 平凡社, 833.
- 藤井義雄(1996c) 粗粒, 地学団体研究会新版地学事典編集委員会編, 新版地学事典, 平凡社, 731.
- 井坂敦実(2011) 歩いて発見! 北条マップ, アースディつくば実行委員会編, つくば市.
- 宮崎一博・笹田政克・吉岡敏和(1996) 真壁地域の地質, 地質調査研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 103p.
- 嶋真史・安藤邦廣(2013) つくば市北条の歴史的町並みの復興まちづくりに関する基礎的研究—竜巻災害による被害建物の修復の実態と住民意識—, 筑波大学知的コミュニティ基盤研究センターシンポジウム「大災害における文化遺産の救出と記憶・記録の継承」での配布資料.
- 高橋裕平(2007) 筑波山とその周辺の地質ガイド(真岡・真壁・土浦地域地質編集団), 地質標本館.
- 筑波町史編纂専門委員会(1989) 筑波町史上巻, つくば市, 735p.
- 山崎俊嗣(1996) 帯磁率, 地学団体研究会新版地学事典編集委員会編, 新版地学事典, 平凡社, 741-742.

(受 付 : 2014年1月15日 ; 受 理 : 2014年6月30日)

沖積層の基底にみられる起伏地形：その成因の予察的解釈

田辺 晋^{1,*}・石原武志¹・小松原 琢¹

Susumu Tanabe, Takeshi Ishihara and Taku Komatsubara (2014) Undulating topography at the base of the Alluvium: Preliminary interpretation on the formation. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 65 (3/4), p. 45-55, 5 figs.

Abstract: Recently, undulating topographies have been revealed at the base of the Alluvium under the coastal lowlands of Japan. These topographies are reconstructed on the basis of spatial interpolation of the basal depth of the Alluvium interpreted from numerous numbers of borehole logs. However, the undulating topographies have been ignored in previous studies because they have been considered as a result of defective description of borehole logs. The age of the Basal Gravel of the Alluvium and the sea-level curve, which are recently reported, suggest that the undulating topographies are natural features, and they have been formed as a result of overlap of incised valleys and buried terraces of the several Marine Isotope Stages.

Keywords: Basal Gravel, incised valley, buried terrace, sea-level change, borehole log, Marine Isotope Stage (MIS) 3

要 旨

多数のボーリング柱状図資料から読み取った沖積層基底深度の分布を内挿法によって描写することで、近年日本全国の平野地下の沖積層基底に起伏地形が存在することが明らかにされつつある。しかし、これらの起伏地形はボーリング柱状図資料の不完全な記載によるものとして従来は捨象されてきた。最近の沖積層基底礫層の年代と海水準変動曲線に基づくと、これらの起伏地形は複数の海洋酸素同位体ステージの開析谷と埋没段丘が重複した結果と解釈され、本来的に形成された可能性が高い。

1. はじめに

近年、平均して 500 m×500 m に 1 本以上という高密度のボーリング柱状図資料を用いて、沖積層の基底面に相当する開析谷や埋没段丘の地形を詳細に復元する研究が行われている。これらの恣意的な解釈を介さない逆距離加重法やクリギング法などの空間補間によって復元された沖積層の基底面には多くの起伏地形が存在することが明らかにされている(三田村・橋本, 2004; 田辺ほか, 2008; 石原ほか, 2011 など)。しかしこれらの起伏地形は、従来はボーリング柱状図資料の不完全な記載によるものとして捨象されてきた。一方、開析谷底や埋没段丘の地形面は平坦であり、下刻崖は急峻であるという概念のも

と、ボーリング柱状図資料が存在しない地域に補填データを内挿することによって、沖積層基底面を復元する試みも行われている(木村ほか, 2013)。

木村ほか(2013)やその基準となっている Matsuda (1974) や遠藤ほか(1988)などの沖積層基底図は、Kaizuka *et al.* (1977)、遠藤ほか(1983)、貝塚ほか(2000)によって示された、海洋酸素同位体ステージ(Marine Isotope Stage: MIS) 5e以降の海水準変動に規制された地形発達概念に基づいて復元が行われている。すなわち、武蔵野台地などを構成する地形面のうち、下末吉面(S)はMIS5eに、武蔵野(M) 1~3面はそれぞれMIS5c, 5a, 4に、立川(Tc) 1・2面はそれぞれMIS3とMIS2初めに形成された。このうち埋没段丘は、武蔵野面の一部と立川面、埋没波食台からなり、MIS2初めにかけての海水準低下に伴って立川面までが段階的に形成され、その後の最終氷期最盛期(Last Glacial Maximum: LGM)に開析谷が、完新世の海水準上昇期に波食台が形成されたという概念に基づいている。

しかし、Kaizuka *et al.* (1977)などの解釈の根拠となった海水準変動は、それ以降の研究の蓄積によって、より正確かつ詳細になっており、開析谷や埋没段丘の地形発達概念も海水準変動研究の進展に伴い詳細化するべき時期にきている。例えば、MIS5やMIS4, MIS3における海水準は研究の進展に伴って変化しており、海水準が違えば

¹ 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Institute of Geology and Geoinformation)

*Corresponding author: S. TANABE, Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. E-mail: s.tanabe@aist.go.jp

それと対応する地形面の形成年代も再検討する必要がある。さらに、MIS5やMIS3は短周期の海水準の昇降によって特徴づけられることが近年明らかにされつつあり (Lambeck *et al.*, 2002; Siddall *et al.*, 2003), このような海水準の昇降に伴う地形面の形成も無視できない。

本論では、沖積層の基底に起伏地形は本来的に存在するもので、ボーリング柱状図資料の不完全な記載や偏在によるものではない可能性が高いことを、最近の国内外の研究を踏まえて紹介する。なお、沖積層基底の起伏地形を図示している例としては、三田村・橋本(2004)や田辺ほか(2008)、石原ほか(2011)などがあるが、同地形の成因を解釈している例はまだない。本論では、東京低地と中川低地における沖積層基底面図(田辺ほか, 2008)を例に、最初にその復元方法について説明したあとに、最新の海水準変動曲線などに基づき、開析谷と埋没段丘に分けて起伏地形の形成過程について予察的な解釈を述べる。

2. 沖積層基底面の復元方法

本論では、田辺ほか(2008)による東京低地と中川低地における沖積層基底面図を例として示す(第1図・第2図)。この図は、7,021本のボーリング柱状図資料をもとに作成したものであり(第1図)、沖積層基底の解釈の根拠として2007年までに掘削・解析された田辺(2013)による18本の基準ボーリングコアを用いている(第2図)。これらの基準コアはGS-KTS-1(第2図)を除く全てが沖積層の基底を貫通しており、詳細な堆積相解析と多数の放射性炭素年代値に基づいて沖積層の基底が確認されている。その結果、中川開析谷と荒川開析谷が合流し、古東京川開析谷となって東京湾へ流下する開析谷形状が明らかにされた。田辺ほか(2008)は、基準コアの岩相をボーリング柱状図資料の岩相とその色調、化石相、 N 値と対比することによって、沖積層の基底を解釈している。また、その対比にあたって、 N 値の垂直変化を粒度のそれとみなして解釈を行っている。 N 値の垂直変化は、半定量的なデータとして岩相記載に加えて沖積層の基底を解釈する際の重要な根拠としている。紙媒体のボーリング柱状図資料から直接読み取った沖積層の基底深度は標高に直し、緯度経度とともに数値データとして整備している。なお、ボーリング柱状図資料の孔口標高は各自治体の発行している1/2500地形図や国土地理院の5m DEMなどから読み取っている。第2図はこれらの沖積層基底深度の分布を逆距離加重法によって内挿したものである。

第3図には、調査地域の断面図のうち代表的なものを示した。これらの断面図は、田辺ほか(2008)の執筆の際に数値化した6,100本のボーリング柱状図資料の岩相と N 値を、石原ほか(2013)の補間方法によって表示したものである。なお、これらの数値化したボーリング柱状図資料は第2図の作成に用いたボーリング柱状図資料とは

別のものである。第3図の断面図のうち、例えばEE'断面におけるGS-KNJ-1の東やFF'断面におけるGS-KTS-1の東の矢印で示した地点に着目すると、水平に連続する均質な岩相と N 値に対して明らかに細粒で N 値の低いボーリング柱状図資料が含まれていることが分かる。これは特に N 値について顕著に表れており、ボーリング柱状図資料の不完全な記載によると考えられる。しかし、その他の地域では、周りと比べて岩相と N 値が急変する柱状図は存在しない。また、これらの断面図ではその上部において岩相や N 値の顕著な比高のギャップが認められないことから、孔口標高が問題となるボーリング柱状図資料も含まれないと考えられる。なお、田辺ほか(2008)では後述する沖積層の基底を捉えていないボーリング柱状図資料は使用しておらず、第1図には使用した7,021本全てのボーリング柱状図資料のポイントをプロットした。その結果、多少の粗密はあるものの、下総台地の西縁や大宮台地の東縁を除いてほぼ余すところなくボーリング柱状図資料が存在する。従って、本論で扱うボーリング柱状図資料には、沖積層の基底面や内部構造を復元するうえで顕著に問題となるものは含まれず、それらを用いた500 mオーダーでの沖積層の基底面や内部構造に関する議論は可能と考えられる。

次に沖積層基底面の解釈の根拠を述べる。田辺ほか(2008)では、開析谷底では沖積層基底面として、沖積層基底礫層を貫通するボーリング柱状図資料が全ての地域で5%以下と少ないため、沖積層基底礫層の上面を採用している。しかし、基準コアによると、基底礫層が中川開析谷では3~5 m、荒川開析谷では5~7 m、古東京川開析谷では7~10 mの層厚を有することから、基準コアに基づいてそれぞれの開析谷における沖積層基底礫層の層厚を類推することができる(田辺ほか, 2010a)。また、田辺ほか(2008)は、埋没段丘面上では沖積層基底面として埋没段丘礫層もしくは下総層群の上面を採用している。ただし、埋没段丘礫層に被覆するローム層はごく限られたボーリング柱状図資料にしか記載がないため、礫層の上面をおおよそその沖積層基底面としている。また、下総層群は沖積層と比べて明らかに高い N 値を有しており、その解釈は比較的行いやすい。ただし、注意が必要なのは下総層群(木下層)の軟弱な谷埋め泥層(中澤・遠藤, 2002)に沖積層の泥層が被覆する場合で、これらはGS-AHH-1(第3図)などの基準コアにおいて認められる。この場合、ボーリング柱状図資料における両層の違いは、主に N 値の垂直変化や色調の変化として表れる。すなわち、木下層の泥層は沖積層よりも相対的に固結している N 値5前後の垂直変化のない層相から構成されるのに対して、沖積層の泥層は基底面の直上において N 値が5から0に上方に減少する層相から構成されており、木下層との境界は緑灰色を呈する(田辺ほか, 2010c)。

なお、同じ地域の沖積層基底面を復元している田辺ほ

か(2008)と木村ほか(2013)とでは、木下層と沖積層の泥層の解釈が異なっており、GS-AHH-1が立地する埋没段丘の形状に大きな違いが生じている。木村ほか(2013)は、 N 値0前後の海成泥層(デルタシステム)の下限を沖積層の基底として認定しており、埋没段丘に被覆する海進期の堆積層(エスチュアリーシステム)は局所的にしか考慮に入れていない。また、木村ほか(2013)では、現在の台地を開析する全ての枝谷を開析谷の本谷まで伸ばしているが、全ての枝谷がLGMまでに形成されたとは限らない。少なくとも既存のボーリング柱状図資料からは、台地から伸張する小規模な開析谷は限られたものしか確認することができず、その形状も谷筋が滑らかに伸びるようなものではなく、起伏に富んでいる(第2図)。

3. 開析谷における起伏地形の形成過程

沖積層の基底にみられる礫層は沖積層基底礫層と命名され、LGMの低海水準期に形成されたとされてきた(井関, 1975)。また、東京低地と中川低地の開析谷底を構成する沖積層基底礫層は、網状河川堆積物と解釈され、LGMの低海水準期もしくはLGMに至る海水準低下期に形成されたと考えられている(田辺ほか, 2010a)。一方、牧野内ほか(2001)は、基底礫層の上面から、およそ30 cal kyr BP (ka)の年代を示す始良Tnテフラ(AT)が産出することから、基底礫層がMIS3からLGMにかけての海水準低下に伴って形成されたとした。これを支持するように、霞ヶ浦周辺の沖積層の開析谷軸部からは、33 kaを超える放射性炭素年代値が得られている(遠藤ほか, 1983; 鈴木ほか, 1993)。しかし、この沖積層基底礫層からは、東京低地と中川低地のみならず日本のいずれの沖積低地からも放射性炭素年代値がほとんど得られていないことから、その形成年代を議論するのは難しかった。ところが近年、台湾では多数のボーリングが行われ、沖積層基底礫層の年代値が測定されつつある。

台湾の西部は相対的な沈降域にあたり、その沿岸には沖積低地が広く分布する。なかでも南西部の嘉南平野には層厚約250 mの沖積層(台南層)が分布しており、地下水探査を目的として中央地質調査所(Central Geological Survey: CGS)によって数多くのオールコアボーリングが行われている(CGS, Hua-Wen Chen, 2010, 私信)。これらのコアの沖積層基底礫層からは数十点の放射性炭素年代値が得られており、それらの年代は、Lu (2006)によると33 ~ 36 ka, Chen *et al.* (2010)によると24 ~ 38 kaを示す。Chen *et al.* (2010)のデータは、一部に埋没段丘や扇状地を含むと考えられるが、Lu (2006)は開析谷軸部における多数の木片を扱っており、その年代値は沖積層基底礫層の堆積年代とみなすことができる。Lu (2006)のデータに基づけば、台湾西部における沖積層基底礫層が明らかにMIS3からLGMにかけての海水準低下期に形成されたこと

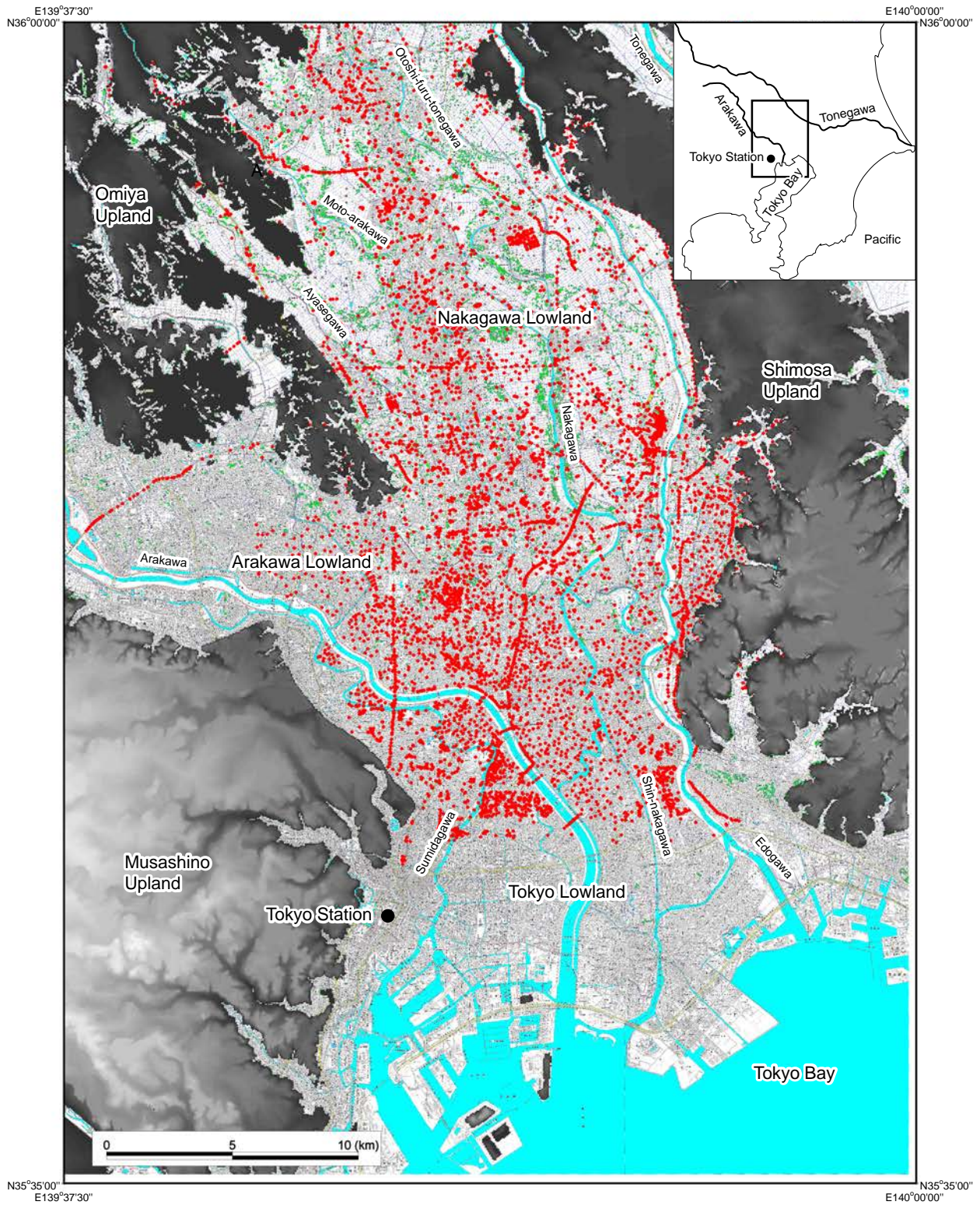
を物語っている。

濃尾平野、嘉南平野、東京低地と中川低地は、それぞれ河川の土砂供給量や地震性地殻変動量が異なるものの、沖積層は基本的には下位より礫質河成層、砂質河成層、泥質海成層から構成されており(牧野内ほか, 2001; Chen *et al.*, 2010; 田辺ほか, 2010aなど)、これは海水準変動が沖積層の形成を支配する主要因であったことを意味する。海水準の変動の時期は汎世界的に一致するので、これらの沖積層サクセションは、日本の沖積層基底礫層も台湾と同様に、LGMの低海水準期ではなく、MIS3からLGMにかけての海水準低下期に形成された可能性を示唆する。その場合、MIS3からLGMにかけて形成された礫層はLGMに形成された礫層と癒着(amalgamate)して分布することになり、沖積層基底礫層をひとつの単層として捉えると長期間にわたって形成されたことになる。

以上のような沖積層基底礫層の発達概念に基づくと、例えば中川開析谷や古東京川開析谷に、なだらかな下刻崖を持つ幅4 kmの広い谷が分布することや、広い谷幅に一樣に沖積層基底礫層が分布することも理解できる(田辺ほか, 2010b) (第3図)。また、なだらかな下刻崖はMIS3からLGMにかけて数回の昇降を繰り返しながら低下する海水準変動に伴って形成された可能性がある(Lambeck *et al.*, 2002; Siddall *et al.*, 2003)。なお、牧野内ほか(2001)は、沖積層基底礫層が海水準の低下に伴って堆積したことから、その年代が上流ほど古く、下流ほど新しいことを推測したが、広い谷幅に一樣に礫層が分布する地域では、開析谷の縁でその年代が古く、軸部で新しい可能性もある。また、中川開析谷や荒川開析谷では、沖積層基底面に蛇行形態を示す多数のピットホールが確認され、河川の下刻が攻撃斜面において淵を形成するようなものであったことが推察できる(第2図の矢印)。ちなみに、田辺ほか(2008)は沖積層基底面として沖積層基底礫層の上面を採用しているが、このようなピットホールは、幅が1 km以下の不規則な形状の凹地から構成されるうえ、5 mほどの比高があり、基準コアにおける礫層の層厚を考慮すると、起伏地形は沖積層基底礫層の下面にも存在する。なお、このようなピットホールは、東京低地の上流の妻沼低地においても多数確認されており、それらの比高は5 m以上ある(石原ほか, 2011)。このように、MIS3からLGMにかけての海水準低下に伴って形成された淵が残存した結果、東京低地を含む広い範囲において開析谷底に本来的に起伏地形が形成された可能性が高い。

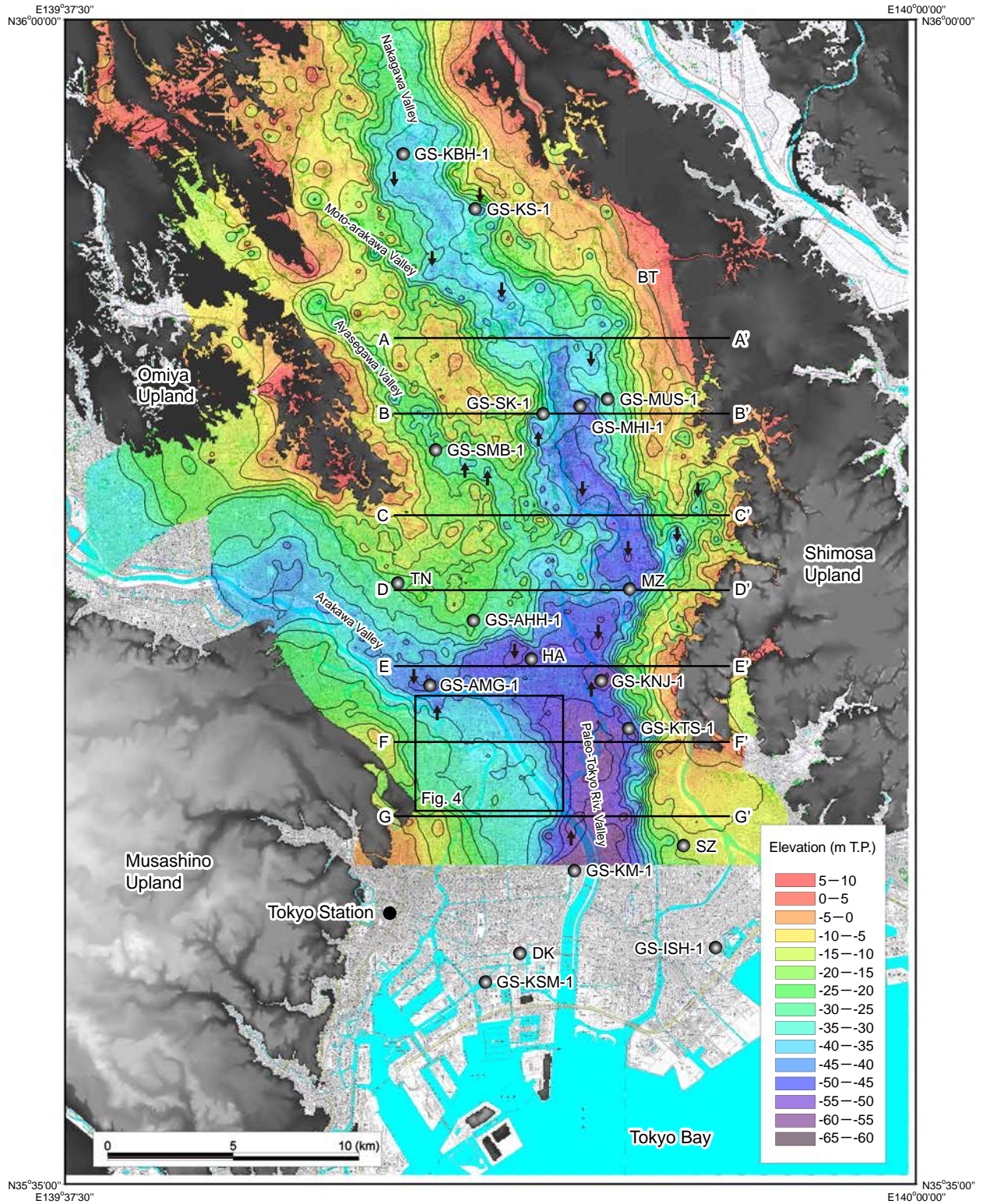
4. 埋没段丘における起伏地形の形成過程

東京低地と中川低地では、開析谷底のみならずGS-AMG-1の南の本所埋没段丘面などにおいても多数の起伏地形が認められる(第2図・第4図)。本所埋没段丘では、



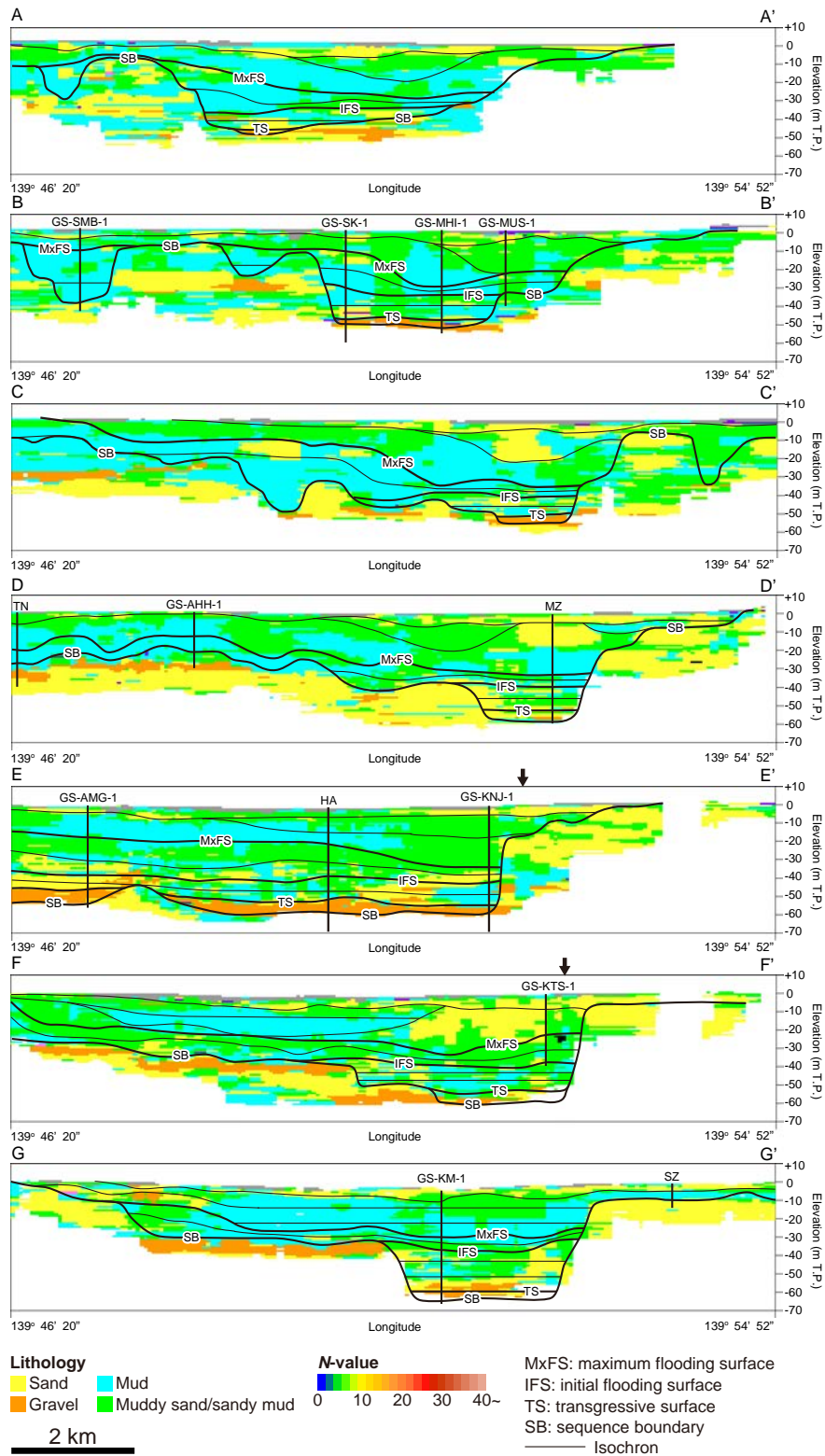
第1図 沖積層基底面図の作成に用いたボーリング柱状図資料のプロット. 田辺ほか(2008)を一部改変.
Fig. 1 Distribution of borehole logs used for reconstruction of basal topography of the Alluvium.
Modified after Tanabe *et al.* (2008).

沖積層の基底にみられる起伏地形 (田辺・石原・小松原)



第2図 東京低地と中川低地における沖積層基底面図。矢印は河川の攻撃斜面において形成されたと考えられるピットホールを示す。ピットホールは2本以上のボーリング柱状図で確認されたものを示した。BTは下総台地の西縁の平坦面を示す。逆距離加重の際、セルサイズを250 mにした。田辺ほか(2008)を一部改変。

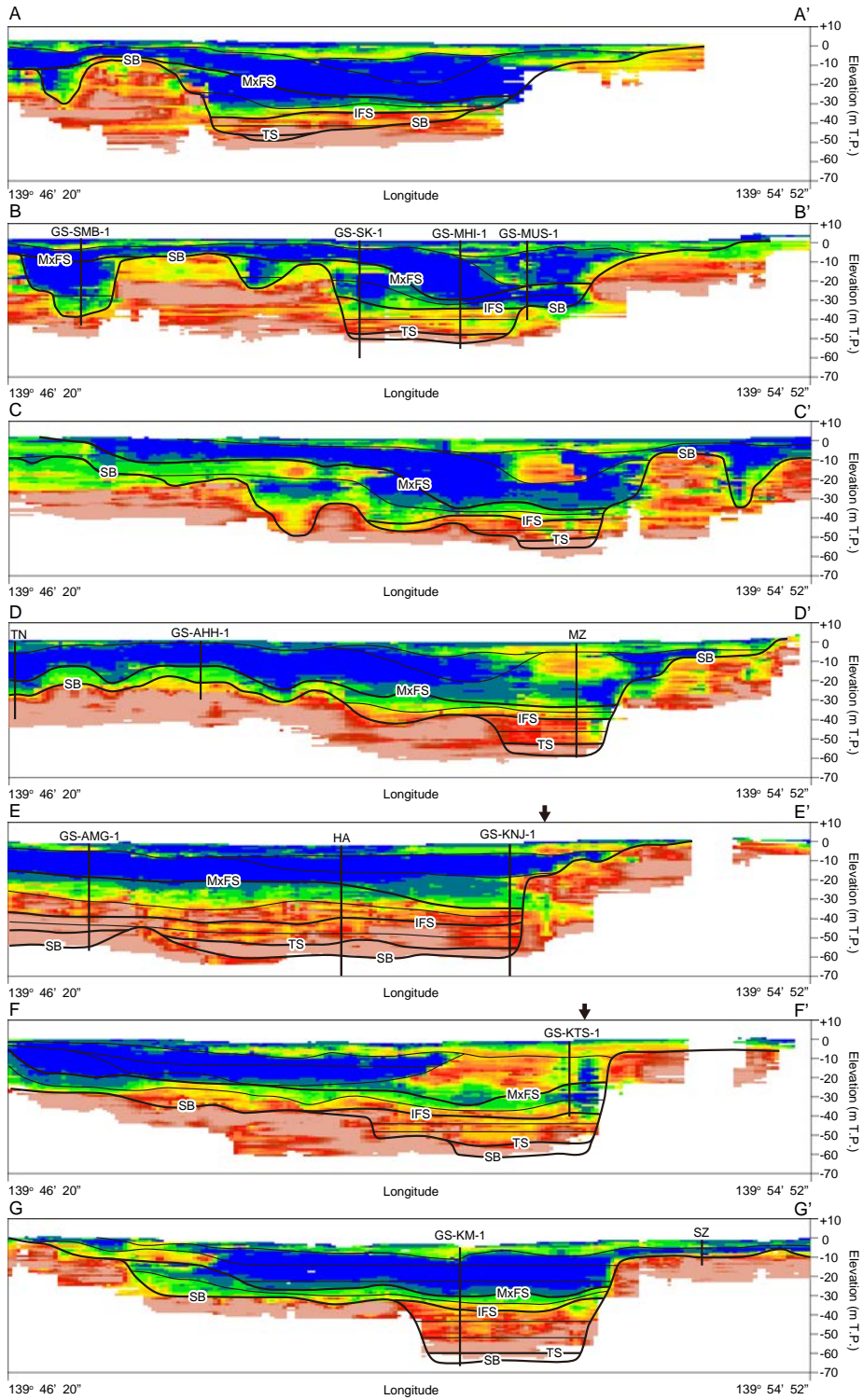
Fig.2 Basal topography of the Alluvium under the Tokyo and Nakagawa Lowlands. Black arrows show pit holes formed as a result of channel scar at undercut slope. Pit holes have been confirmed by two or more borehole logs. BT shows buried terrace along the western margin of the Shimosa Upland. Cell size of inverse distance weighting interpolation (IDW) is 250 m. Modified after Tanabe *et al.* (2008).



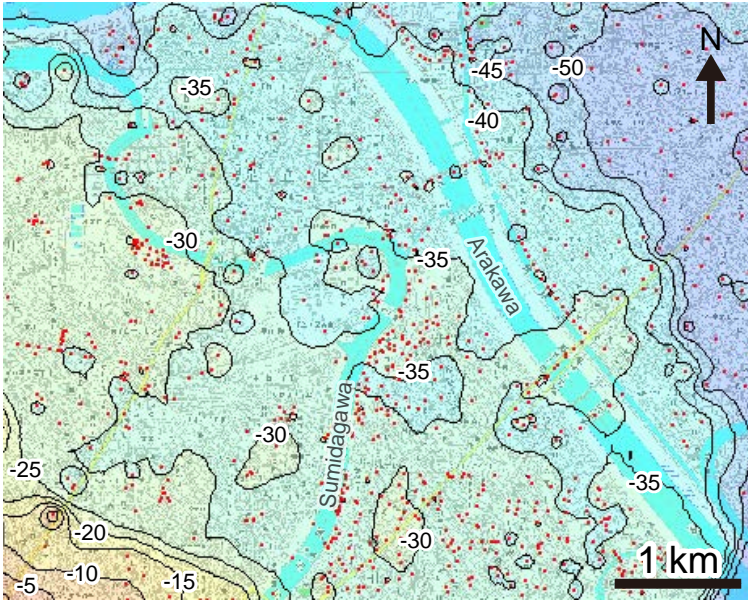
第3図 東京低地と中川低地における岩相(左)とN値(右)の断面図。SBは沖積層基底面を示す。埋没段丘ではSBを便宜的に礫層の上面においた。矢印は岩相とN値が不完全なボーリング柱状図資料を示す。位置は第2図を参照。

Fig.3 Cross sections of lithology (left) and N-value (right) in the Tokyo and Nakagawa Lowlands. SB shows the base of the Alluvium. Expediential SB has been drawn at the top of the buried terrace gravel. Black arrows show borehole logs with defective lithology and N-value. See Fig. 2 for location.

沖積層の基底にみられる起伏地形 (田辺・石原・小松原)



第3図 つづき
Fig.3 Continued.



第4図 本所埋没段丘における起伏地形。コンターの間隔は5 m で標高を示す。赤い点はボーリング柱状図の位置を示す。逆距離加重の際、セルサイズを100 m にした。

Fig.4 Undulating topography on the Honjo Buried Terrace. Depth contours of the base of the Alluvium are 5-m T.P. interval. Red spots indicate location of borehole logs. Cell size of IDW is 100 m. See Fig. 2 for location.

起伏地形は幅が1 km 以下の不規則な形状の凹地や凸地から構成されており、それらの比高は5 m 以上ある。これらの起伏地形は複数のボーリング柱状図資料で確認され、一部のボーリング柱状図資料で確認できるローム層の3 m 以下の層厚を考慮しても、起伏地形はなお存在する。それでは、これらの起伏地形は本来的に形成されたのであろうか。

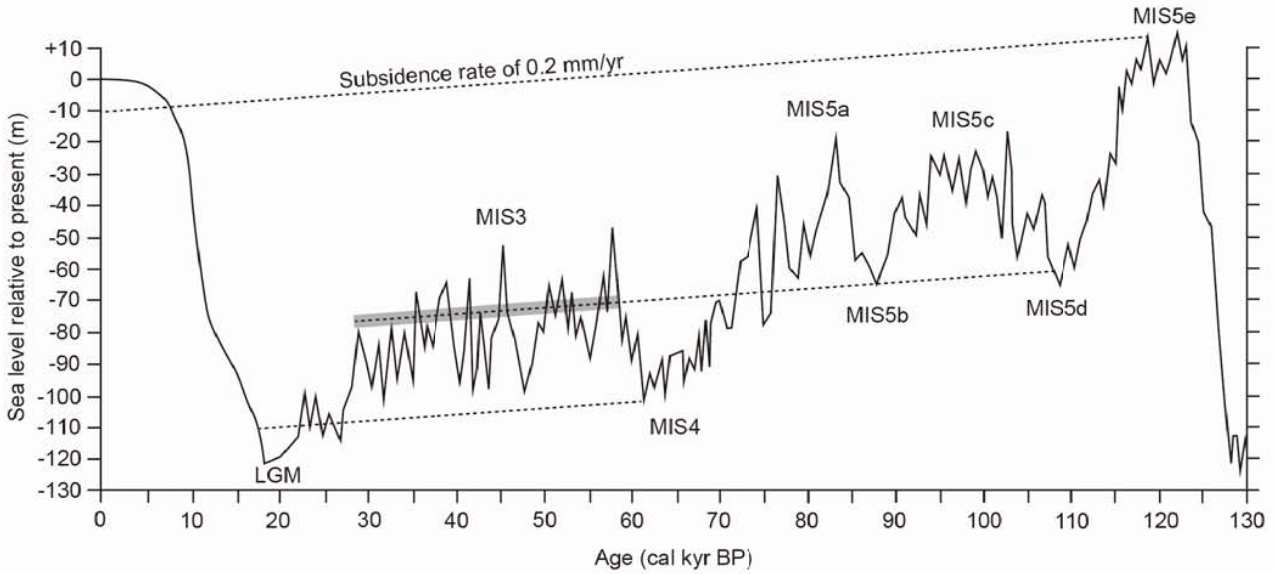
第5図に紅海におけるMIS5eから現在にかけての海水準変動曲線を示す(Siddall *et al.*, 2003; Dutton and Lambeck, 2012)。この海水準変動曲線は有孔虫の $\delta^{18}\text{O}$ 値を基に計算されたもので、Chappell (2002)やCutler *et al.* (2003)による隆起サンゴ礁の海水準測定値ともチューニングされている。MIS5eから現在にかけての連続した海水準変動曲線としては、この記録は現在最も精度の高いものの一つである。この海水準変動曲線によると、海水準はMIS5eには標高+10 m、MIS5d ~ aには標高-20 ~ -60 m、MIS4には標高-100 m、MIS3には標高-50 ~ -100 m、LGMには標高-120 m 付近にあった。第5図には、これに東京低地と中川低地における沈降速度(0.2 mm/yr)の点線を加筆した。

中川低地の沈降速度は、山口ほか(2009)によるMIS5eに相当する木下層の前浜堆積物の分布深度に基づき算出した。山口ほか(2009)によると、埼玉県久喜市ではMIS5eの前浜堆積物が標高-10 m 付近に分布しており、MIS5eにおける海水準を標高+10 m とすると、20 m 沈降していることになる。これをMIS5eの年代(120 ka)で割ると、0.16 mm/yr の平均沈降速度が得られる。日本列島ではハイドロアイソスタシーの影響によって、MIS5eにおいてもユースタシーと比べて相対的に海水準が高かった可能性がある。ちなみに、完新世中期の海水準高頂

期には日本列島ではユースタシーと比べて海水準が3 m 以上高かったとされる(Nakada *et al.*, 1991)。以上のことから、本論では沈降速度を0.2 mm/yr と概算した。なお、MIS5e以降の海水準変動についてもハイドロアイソスタシーの影響を受けている可能性が高いが、そのトレンドは変わらないと考えられる。

第5図によると、(1) MIS5eの高頂面が標高-10 m 付近にくることや、(2) MIS5d, bとMIS3の平均海水準がほぼ重なること、(3) MIS4とLGMの海水準が10 m 前後の違いでほぼ重なることが分かる。

(1)からは、例えば下総台地の西縁に分布する標高-10 m 以浅の平坦面(第2図のBTなど)は、MIS5に形成されたことが推察できる。木村ほか(2013)によるとこの平坦面は完新世の波食台とされている。しかし、完新世における奥東京湾では波浪よりも潮汐が卓越していた(田辺, 2013)。また、波浪が影響したとしても、奥東京湾の湾奥では現在の東京湾の平均波高である0.3 m よりもさらに波高は小さかったと考えられる。潮流や0.3 m 以下の波浪によって、木下層のN値20以上の固結した泥層が3 km 以上にわたって侵食され、このような広い平坦面が形成されたとは考えにくい。この平坦面は、標高-10 ~ 0 m にかけて分布しており、その深度は8.5 ~ 7.5 ka において海水準が一定の速度で上昇した時期にあたるが、この時期に波浪の影響する水深で平坦面を形成するような海水準の停滞はなかった(田辺ほか, 2012)。また、この平坦面には、完新世中期の海水準高頂期にあたる7 ~ 4 ka にかけて、下総台地の縁から奥東京湾の軸部にかけて泥質碎屑物が堆積しており、波浪による侵食地形というよりも堆積地形が形成されていた(田辺, 2013)。更に下総台地の標高-10 m 付近には木下層中にラビーンメン



第5図 MIS5eから現在にかけての海水準変動曲線。Siddall *et al.* (2003) の海水準変動曲線に東京低地と中川低地における沈降速度 (0.2 mm/yr) の点線を加筆した。灰色の太線はMIS3の平均海水準を示す。MIS5eの海水準についてはDutton and Lambeck (2012)をもとに標高+10 m付近に修正した。

Fig.5 Sea-level curve since MIS5e. Subsidence rate of 0.2 mm/yr is added to the sea-level curve of Siddall *et al.* (2003). Thick gray line shows mean sea-level during MIS3. Sea level during MIS5e is regarded as ca. T.P. +10 m on the basis of Dutton and Lambeck (2012).

ト面を介して貝殻密集層が被覆することから(中澤・田辺, 2011), この平坦面はMIS5e以降の河川侵食によって洗い出された地形面であった可能性もある。その場合、平坦面に被覆するはずのローム層は8.5~7.5 kaの海水準上昇に伴い軽微に削剥される。しかし、ボーリング柱状図資料のなかには、ローム層と解釈できる黄褐色の泥層が平坦面を構成する木下層に被覆するものも存在し、局地的にはローム層が残存する可能性がある。このため、上記の解釈には、この平坦面の直上に分布するローム層の確認や貝殻密集層の今後の年代測定が必要である。

(2)については、MIS5d, bにおける開析谷がMIS3の埋没段丘と重複することを意味する。従来、GS-AMG-1の南の本所埋没段丘は立川面(Tc1・2)として区分され、MIS3~LGMにかけて形成されたとされてきた(Kaizuka *et al.*, 1977) (第4図)。しかし、第5図は複数の時代の河川下刻が重複し、河川礫層が癒着した可能性を示す。この場合、MIS5d, bに形成された開析谷の基底礫層は、その後のMIS4の海水準低下によって形成された開析谷軸部において削剥された可能性がある。そして、部分的に残ったMIS5d, bの基底礫層は、引き続きMIS3の低海水準期に小規模に削剥された。その結果、本所埋没段丘の標高-40~-30 mの平坦面には、起伏の高いところにMIS5d, b, 起伏の低いところにMIS3の礫層が分布した可能性がある(第4図)。両礫層はほぼ同じ高さで切り合い

の関係にあることから、礫層は癒着し、複数の時代に形成された礫層が埋没段丘礫層としてみかけ上連続して分布する。このような発達概念に基づくと、起伏は礫層の上面にも下面にも形成される。また、MIS3における低海水準期は期間が5千年以下と短かったため、仮に河川下刻による削剥がなく、MIS3の平均海水準付近で形成された河床礫が、同じ高さに分布するMIS5d, bの基底礫層を側方移動によって全て削剥したとしても、河川の淵で形成された起伏地形がピットホールとして残存した可能性がある。

(3)については、MIS4とLGMの開析谷が重複することから、MIS4の開析谷がLGMの開析谷によってさらに広げられた可能性を示唆する。その結果、上述したような開析谷における広い谷幅や淵の形成がより顕著になった可能性がある。

なお、本論では東京低地と中川低地における沈降速度を概念的に0.2 mm/yrとしたが、沈降速度がさらに遅い場合や仮に沈降していない場合でも、(2)についてはMIS5d, bの開析谷とMIS3の埋没段丘が、(3)についてはMIS4の開析谷とMIS2の開析谷、そしてさらにはMIS6の開析谷が重複する可能性がある。

上述したように、複数のステージの開析谷や埋没段丘がほぼ同じ高さで重複すると、海水準や河川の下刻深度の違いによって、そこに形成される礫層には比高差が生

じうる。このことは、東京低地と中川低地と地震性地殻変動量の異なる他の沖積平野においても、沖積層基底面の地形が複数のステージに形成された地形面の重複の結果である可能性を示しており、その場合、いずれの平野においても起伏地形は本来的に存在することになる。

東京低地と中川低地のような沖積層基底の起伏地形は、大阪平野や北海道の黒松内低地と勇払平野沖合、そしてミシシッピ川流域においても確認されつつある。大阪平野では多数のボーリング柱状図資料によって、開析谷底に2 mほどの比高のピットホールが認められる(三田村・橋本, 2004)。また、黒松内低地と勇払平野沖合の音波探査側線では埋没段丘面に5 m前後の比高の起伏が認められる(杉山ほか, 2011; 佐藤, 2013)。さらに、ミシシッピ川の中流部では高密度のボーリング柱状図資料によって開析谷の基底や斜面に10 m前後の比高を持つ多数のピットホールの存在が明らかにされている(Van Arsdale *et al.*, 2014)。これらの起伏地形は、その規模と形態が東京低地と中川低地のものと類似しており、沖積層基底面の起伏地形が普遍的な特徴である可能性を支持している。これは言い換えれば、Kaizuka *et al.* (1977)などの従来の地形発達概念に基づく開析谷や埋没段丘のいわゆる“きれいな”面区分が不可能であることを意味する。

5. まとめ

本論では、最近の国内外の研究に基づき、東京低地と中川低地における沖積層基底の起伏地形の成因について、予察的な解釈を行った。台湾の研究は沖積層基底礫層がMIS3からLGMにかけた海水準低下によって形成されたことを示唆する。また、精度の高い海水準変動曲線に基づいて開析谷や埋没段丘の形成過程を検討した結果、複数の海洋酸素同位体ステージのものが同じ高さで重複する可能性が出てきた。このような事象を勘案すると、沖積層基底の起伏地形は本来的に形成されうるものであり、今後はこのような概念も念頭に沖積層基底面の形状を詳細化したうえで、開析谷と埋没段丘の地形発達史を読み解いていく必要がある。

謝辞：石原与四郎氏には岩相とN値の断面図を作成して頂きました。水野清秀氏と中澤 努氏には草稿の段階で有益なコメントを頂きました。また、編集委員の片山肇氏と査読者の尾崎正紀氏には有益なコメントを頂きました。以上の方々に記して謝意を表します。

文献

Chappell, J. (2002) Sea level changes forced ice breakouts in the Last Glacial cycle: new results from coral terraces.

Quatern. Sci. Rev., **21**, 1229–1240.

Chen, H., Lee, T. and Wu, L. (2010) High-resolution sequence stratigraphic analysis of Late Quaternary deposits of the Changhua Coastal Plain in the frontal arc-continent collision belt of Central Taiwan. *Jour. Asian Earth Sci.*, **39**, 192–213.

Cutler, K.B., Edwards, R.L., Taylor, F.W., Cheng, H., Adkins, J., Gallup, C.D., Cutler, P.M., Burr, G.S. and Bloom, A. L. (2003) Rapid sea-level fall and deep-ocean temperature change since the last interglacial period. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **206**, 253–271.

Dutton, A. and Lambeck, K. (2012) Ice volume and sea level during the last interglacial. *Science*, **337**, 216–219.

遠藤邦彦・関本勝久・高野 司・鈴木正章・平井幸弘(1983) 関東平野の沖積層。アーバンクボタ, no. 21, 26–43.

遠藤邦彦・小杉正人・菱田 量(1988) 関東平野の沖積層とその基底地形。日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, no. 23, 37–48.

井関弘太郎(1975) 沖積層基底礫層について。地学雑, **84**, 1–18.

石原武志・須貝俊彦・八戸昭一(2011) 荒川低地中・上流域と妻沼低地における最終氷期の埋没地形面群。第四紀研究, **50**, 113–128.

石原与四郎・宮崎友紀・江藤稚佳子・福岡詩織・木村克己(2013) 東京港湾地域のボーリング情報を用いた浅層3次元地質・地盤モデル。地質雑, **119**, 554–566.

Kaizuka S., Naruse Y. and Matsuda I. (1977) Recent formations and their basal topography in and around Tokyo Bay, Central Japan. *Quatern. Res.*, **8**, 32–50.

貝塚爽平・小池一之・遠藤邦彦・山崎晴雄・鈴木毅彦編(2000) 日本の地形4関東・伊豆小笠原。東京大学出版会, 349 p.

木村克己・花島裕樹・石原与四郎・西山昭一(2013) 埋没地形面の形成過程を考慮したボーリングデータ補間による沖積層基底面モデルの三次元解析：東京低地北部から中川低地南部の沖積層の例。地質雑, **119**, 537–553.

Lambeck, K., Yokoyama, Y. and Purcell, T. (2002) Into and out of the Last Glacial Maximum: sea-level change during Oxygen Isotope Stages 3 and 2. *Quatern. Sci. Rev.*, **21**, 343–360.

Lu, C. (2006) *Stratigraphy and tectonics of southwestern plain of Taiwan since the last glacial period*. Master Thesis, National Central Univ., Taiwan, 143 p.

牧野内猛・森 忍・檀原 徹・竹村恵二・濃尾地盤研究委員会断面WG (2001) 濃尾平野における沖積層基底礫層(BG)および熱田層海成粘土層の年代—臨海部ボーリング・コアのテフラ分析に基づく成果—。

- 地質雑, **107**, 283–295.
- Matsuda, I. (1974) Distribution of the Recent Deposits and Buried Landforms in the Kanto Lowland, Central Japan. *Geogr. Rep. Tokyo Metropolitan Univ.*, no. 9, 1–36.
- 三田村宗樹・橋本真由子(2004)ボーリングデータベースからみた大阪平野難波累層基底礫層の分布. 第四紀研究, **43**, 253–264.
- Nakada, M., Yonekura, N. and Lambeck, K. (1991) Late Pleistocene and Holocene sea-level changes in Japan: implications for tectonic histories and mantle rheology. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **85**, 107–122.
- 中澤 努・遠藤秀典(2002)大宮地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 41 p.
- 中澤 努・田辺 晋(2011)野田地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 72 p.
- 佐藤智之(2013)勇払平野沿岸域における反射法音波探査結果概要. 地質調査総合センター速報, no. 62, 1–8.
- Siddall, M., Rohling, E.J., Almogi-Labin, A., Hemleben, Ch., Meischner, D., Schmelzer, I. and Smeed, D.A. (2003) Sea-level fluctuations during the last glacial cycle. *Nature*, **423**, 853–858.
- 杉山雄一・内田康人・村上文敏・津久井朗太(2011)黒松内低地帯南方延長部(内浦湾)の地質構造と活動性. 活断層・古地震研究報告, **11**, 21–53.
- 鈴木正章・吉川昌伸・遠藤邦彦・高野 司(1993)茨城県桜川低地における過去32,000年間の環境変遷. 第四紀研究, **32**, 195–208.
- 田辺 晋(2013)東京低地と中川低地における最終氷期最盛期以降の古地理. 地学雑, **122**, 949–967.
- 田辺 晋・中西利典・木村克己・八戸昭一・中山俊雄(2008)東京低地北部から中川低地にかけての沖積層の基盤地形. 地調研報, **59**, 497–508.
- 田辺 晋・石原与四郎・中西利典(2010a)東京低地から中川低地にかけての沖積層の層序と物性: 沖積層の2部層区分について. 地質雑, **116**, 85–98.
- 田辺 晋・中西利典・中島 礼・石原与四郎・内田昌男・柴田康行(2010b)埼玉県の中川開析谷における泥質な沖積層の埋積様式. 地質雑, **116**, 252–269.
- 田辺 晋・中島 礼・吉岡秀佳・竹内美緒・柴田康行(2010c)東京都足立区平野地区から採取した沖積層コア(GS-AHH-1)の堆積相と放射性炭素年代. 地調研報, **61**, 453–463.
- 田辺 晋・中島 礼・内田昌男・柴田康行(2012)東京低地臨海部の沖積層にみられる湾口砂州の形成機構. 地質雑, **118**, 1–19.
- 山口正秋・水野清秀・納谷友規・本郷美佐緒・中里裕臣・中澤 努(2009)関東平野中央部, 埼玉県菖蒲町で掘削された350 mボーリングコア(GS-SB-1)の層相と堆積物物性. 地調研報, **60**, 147–197.
- Van Arsdale, R.B., Cupples, W.B. and Csntos, R.M. (2014) Pleistocene–Holocene transition in the central Mississippi River valley. *Geomorphology*, **214**, 270–282.

(受 付 : 2014年3月4日 ; 受 理 : 2014年6月30日)

フランス地質・鉱山研究所と地質調査総合センターのオープンデータ政策への対応の比較

岩男 弘毅*, 吉川 敏之

Koki Iwao and Toshiyuki Yoshikawa (2014) Comparison of the correspondence to the open data policy between BRGM and GSJ. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 65 (3/4), p. 57-65, 1 Table, 2 figs, 1 Appendix.

Abstract: The objective of this report is to disclose the technical and organization system obstacles which Geological Survey of Japan (GSJ) should take into consider under the open data policy in Japan by reviewing the French Geological Survey (BRGM) activities under the French open data policy and/or European Union activities. BRGM is carrying out technical assistance of the employment of the international project OneGeology, which distribute the world geologic map of scale 1: 1 million via the Internet and BRGM is one of the most advanced organizations in distribution of geologic maps in digital form. We clarified about the technical issues which should be work on actively when GSJ will offer geologic data to society from now on. On the other hand, from the circumstances of organization establishment, BRGM has taken the position of as both public and private institutions, and we found that the GSJ is easier than BRGM in respect of maintenance of the organization system containing a distribution rule or a copyright employment rule.

Keywords: Open data, BRGM, Creative Commons license, digital map distribution

要 旨

オープンデータ政策に対するフランス地質・鉱山研究所(BRGM)の取り組みと、産業技術総合研究所地質調査総合センター(GSJ)の取り組みを比較検討することで、今後GSJが社会に対して地質データを提供していくうえで取り組むべき技術的課題、整備すべき制度を考察することが本報告の目的である。今回着目したBRGMは縮尺100万分の1の世界地質図をインターネットで配信する国際プロジェクトOneGeologyの運用を技術支援しており、地質図のデジタル配信分野で先進的な機関の一つである。フランス政府が進めるオープンデータ、あるいは欧州議会が定めた欧州域内の地図・空間情報の統合・共有政策の潮流の中で、BRGMが進めている地質データ管理・提供の動向を検証し、今後GSJがデータ配信に関して取り組むべき技術的な課題について明らかにした。一方で、BRGMは組織設立の経緯から、官と民の両方の立場をとっており、配信ルール、あるいは著作権運用ルール等を含む制度の整備の面ではBRGMよりもGSJのほうが容易であることが分かった。

1. はじめに

2012年、高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部(IT戦略本部)は行政機関等が保有するデータ(公共データ)の民間事業者等による活用が進むよう、機械判読可能な形でデータを提供する「オープンデータ」の取組を電子行政オープンデータ戦略として決定した(内閣官房, 2012)。この決定を受け、例えば経済産業省はIT融合フォーラム・公共データワーキンググループを設置し、オープンデータを実践するために試験サイトOpen DATA METI(β版)の運用を開始した(経済産業省, 2013)。このサイトは公共データとして無償公開されたデータの所在を一元的に管理し、ユーザに提供するためのポータルサイトであるが、取り扱うデータの著作権の運用も整備し、その運用にはクリエイティブ・コモンズ・ライセンス(CCライセンス)の表示2.1(CC BY)を採用している(クリエイティブ・コモンズ・ジャパン, 2004)。

地質情報のデジタル配信の状況としては、産業技術総合研究所地質調査総合センター(GSJ)が、保有する地質情報の配信について、二次利用の促進のための環境を技術面・制度面から整備した(吉川ほか, 2013)。公開データのうちCC BYを適応したデータについては既にOpen DATA METI(β版)に登録済みである。

一方、フランスでは2010年よりetalabというオープンデータ推進に関するプロジェクトを推進している(Secrétariat Général Pour la modernisation de l'action publique, 2010). このうち、各機関が提供する地理空間情報を検索するためには、クリアリングハウスの構築やリンク、世界標準に基づいたメタデータの整備が必要になる(脇田, 2003). フランス地質・鉱山研究所(Bureau de Recherches Géologiques et Minières, BRGM)がそのメタ情報の管理、すなわちクリアリングハウス機能を担っており、地質情報に限らず、フランスの公的機関に関するすべての地理空間情報の管理を担当する。BRGMは縮尺100万分の1の世界地質図をインターネットで配信する国際プロジェクトOneGeologyの運用を技術支援しており、世界的にも地理空間情報の発信に関して先進的な機関の一つである(脇田, 2009). 同研究所のオープンデータに対する取組を技術面・制度面からGSJと比較・検討することで、今後GSJがデータ配信に関して取り組むべき技術的課題、整備すべき制度を考察することが本研究の目的である。

2. フランスのオープンデータ化と BRGM の対応

フランスの地質情報を管理するフランス地質・鉱山研究所(BRGM)は、フランス政府が推進するオープンデータ化の中で、特に地理空間情報の整備において大きな役割を担っている。本章ではBRGMの現状、特にフランス政府のオープンデータへの取組における役割、さらに欧州全体でのオープンデータに対する取組との関係について整理・検証する。

2.1 BRGMの概要

BRGMグループはフランス海外鉱山局、地質・地球物理研究所を前身とする公的機関(Public Industrial Institution)としての側面と、鉱山会社とその系列会社で構成された私企業(Commercial Institution)の側面を併せ持った機関である。2012年の総職員数は約1,100名(うち研究者・技術者が700名程度)で総収入が139.16M€(約190億円程度)の巨大組織である(BRGM, 2012a)。

BRGMはGSJと同様に、自国の地質情報を整備・配信する公的な機関として法律で規定されている(ただし、無償で提供するという記載はない)。現在は、フランス環境省、科学省、工業省の共管下におかれているが、地質情報の整備に関する管轄は環境省の管轄で行っている。

営利活動については、例えば英国地質調査所(British Geological Survey, BGS)が海外での営利活動について、資本関係を継続しない別組織(BGS International, 2010年12月発足)として運営しているのに対し、BRGMは時に公的機関として、時に私企業として一つの組織で運営を

行っている。なお、BRGMの営利活動のほとんどはBGS International同様、海外での活動に現在のところ限定されている。その資金は資源保有国からの委託調査、世界銀行、フランス政府などさまざまである。

BRGMでは地質図、鉱物資源情報、地熱、CO₂地中貯留、地下水資源、ポストマイニング、自然災害、土壌汚染といった情報を提供している。私企業としての側面もあることから、非公開のデータも保有し、かつ公開対象のデータのうち一部は有償配布している。ただし、有償の場合はメディア配布のみ(DVD-ROM等)で、インターネットからの地図配信機能を用いた有償配布は行っていない。

このような有償データ、あるいは非公開データを保有する一方で、BRGMは公的機関として地質に限らないフランス全体の地理空間情報クリアリングハウスであるジオカタログを管理する責務を負っている(Le ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2007)。このほかにもフランスの環境系のデータベースであるCARMENの運用も担当している(BRGM, 2012b)。これはフランス首相直属の行政事業近代化事務総局(Secrétariat Général Pour la modernisation de l'action publique)が推進するオープンデータのためのetalabプロジェクトの一環で行っている。ただし、前述のとおり、BRGMは2014年3月時点において、保有する地質データの公開に対して慎重な姿勢を取っている。これは、BRGMが官としての機能と、民としての機能を併せ持った機関であることが一因となっていると考える。

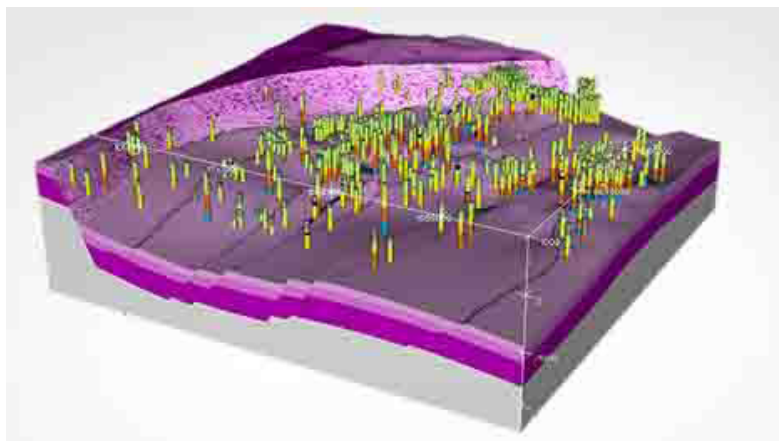
2.2 フランスのオープンデータ戦略

フランスにおける政府情報のオープンデータは2011年頃から当時のサルコジ大統領の下で急速に推進され、前述のetalabカタログサイトを2010年に開設し、政府全体のオープンデータポータルサイトdata.gouv.frも2011年12月に開設している(data.gouv.fr, 2011a)。

BRGMが管理するジオカタログには地理空間情報を配信する機関の保有する全ての地理空間メタ情報が登録されており、BRGMが保有する公開データ、非公開データ、公開・非公開の不明なデータの全てのメタデータも登録されている。一方で、data.gouv.frには公開データのみメタデータを提供している。公開データについては、地図デジタル配信技術を用い、二次利用可能な形式として公開しており無償で提供している。

2.3 欧州のPSI指令とINSPIRE

欧州は2003年にPublic Sector Information (PSI)指令を制定した。PSI指令は、欧州の公共部門情報を国民に公開し二次利用を促進することを目的としている。なお、データの二次利用促進はデータの無償化と混同されがちであるが、PSI指令の扱う地理空間データは必ずしも無償データに限定されていない(The European Union, 2003)。



第1図 RGFプロジェクトの成果の例 (Pechelbronn地域)
ライン地溝帯三畳系地域の3次元地下構造モデルの可視化の例 (Loiselet, C., and Courrioux, G., 2013 より抜粋)

Fig.1 3D model of the Rhine Graben basement and Triassic zone (Pechelbronn region), produced by C. Loiselet and G. Courrioux. © Geoderis (Quote from Loiselet, C., and Courrioux, G., 2013)

さらに、地理空間情報については2007年にINSPIRE指令を制定した(The European Union, 2007)。INSPIRE指令では原則無償公開データを扱うことになってはいるが、必ずしもすべてのデータが無償である必要はない。一方のdata.gouv.frは無償公開データを対象とする。

このような違いがあるため、BRGMはdata.gouv.frに対してはBRGMが保有する無償公開データについてのみメタデータを登録しているが、INSPIREについてはBRGMの保有する全てのメタデータ(無償公開データ、有償公開データ、非公開データ、公開・非公開の区分が未定なデータ)を登録している。

3. BRGM における地質図類のデジタル配信

BRGMは100万分の1世界地質図をインターネットで配信する国際プロジェクトOneGeologyの運用を技術的に支援しており、世界的にみても地質図類のデジタル配信分野で先進的な機関と位置づける。さらに前述のとおり、地質図類のデジタル配信のみならず、フランス全体の地理空間情報クリアリングハウスや環境系のクリアリングハウスの配信を担っている。そこで、BRGMがオープンデータへの対応にあたって進める技術的な整備、すなわちデジタル地質図の整備状況、配信体制、標準化への対応と相互互換性の確保、個人情報管理の観点から調査を行った。

3.1 デジタル地質図の整備状況

フランスでは2011年にフランス全土の5万分の1の地質図の整備を完了した(脇田, 2011)。これらの地質図はデジタル地図としてラスター化のみならず、ベクトル化も完了している。ただし、地質図幅間の接合部分についてのシームレス化(統一凡例で図幅間のつなぎ目が整合)は進んでいない。そこで、フランスでは2011年から10年計画でフランス全土の5万分の1の3次元シームレス地質図の作成プロジェクトThe French Geological Reference

Platform (RGF)がBRGMを中心とした国家プロジェクトとして始まった (BRGM, 2011)。RGFは単にフランス全土のシームレスかつ統一凡例の5万分の1地質図を整備するだけでなく、フランスの地下に関するボーリングデータ等の全ての情報を一元的に管理することを目指した意欲的なプロジェクトで、大学や企業も参加している。現在は地域ごとに整備を進めており、2013年6月時点でフランス東部Vosges-Rhine Grabenゾーンについてオペレーショナルな環境の整備を完了している(第1図, Loiselet and Courrioux, 2013)。このような大規模の整備プロジェクトが進行する一方で、既存データについては作成時の経緯などを考慮し、フォーマットやファイル名の統一化は行われていない。

3.2 配信体制

BRGMのInfrastructure部門には約100名の人員が配置されており、そのうち約15名のエンジニアがBRGMの約20台の独自サーバを管理することでジオカタログやCARMENを含むデジタルデータの配信システムを運用している。クラウド環境への移行は実験的には行っているが、運用での利用には至っていない。有償データ配布も行っていることから、24時間体制のユーザ向けヘルプデスクを設置し、4人の専門家が対応にあっている。現在、地図データの配信には、オープンソースソフトウェアの一つであるMapServerを利用している。ただし、MapServerはベクトルデータをサポートしていないことから、ベクトルデータ配信のために同じくオープンソースソフトウェアであるGeoServerも導入している。さらに、現在MapServerのベクトルデータ配信の対応についてもソフトウェア会社に業務委託する形で準備を進めている。

3.3 標準化への対応と相互互換性の確保

BRGMは保有する地質科学データを無償オンライン提供するサービスInfo Terreを運用している(BRGM, 2013a)。

第1表 カタログと取り扱うデータ種の対応関係
 フランス政府が運用するオープンデータカタログサイトdata.gouv.frにはBRGMの無償公開データのみが登録されている。一方で、INSPIREのカタログには無償・有償を問わず、全てのデータが登録されている。

Table 1 Correspondence between a catalog and the data publicity level
 BRGM holds open data, closed data and unknown data about the data publicity level, among which only the open data is registered to the French open data catalogue site, data.gouv.fr, while all the BRGM holds data are registered to the INSPIRE catalogue.

管理機関	カタログ	カタログサーバ	データの種類				個人情報
			公開データ(無償)	公開データ(有償)	非公開データ	公開・非公開が不定のデータ	
etalab	data.gouv.fr	CKAN	公開データ(無償)				(一部個人情報除)
Joint Research Center	INSPIREカタログ	geonetwork	公開データ(無償)	公開データ(有償)	非公開データ	公開・非公開が不定のデータ	(一部個人情報除)
BRGM	ジオカタログ	Exalead	公開データ(無償)	公開データ(有償)	非公開データ	公開・非公開が不定のデータ	(一部個人情報除)
	BRGM カタログ (所外向け)	geosource	公開データ(無償)	公開データ(有償)	非公開データ	公開・非公開が不定のデータ	(一部個人情報除)
	BRGM カタログ (所内限定)	Oracle	公開データ(無償)	公開データ(有償)	非公開データ	公開・非公開が不定のデータ	(全個人情報含)

データ提供にあたっては、INSPIRE指令の規定する標準に準拠する。具体的には、ISO19111 (座標による空間参照)、ISO 19115 (メタデータ)、ISO 19119 (サービス)、ISO 19139(メタデータXML スキーマによる実装)である。地質情報の相互運用実現のための地質情報構造規格GeoSciMLへの対応も進む。また、地図データはISO 19128(ウェブマップサーバインタフェース)を用いた配信を行うほか、Open Geospatial Consortium (OGC)のウェブフィーチャーインターフェース(Web Feature Service)での配信も行っている。地理空間情報の著作権などをデジタル管理するための国際規格であるISO 19153 (地理空間デジタル権利管理参照モデル Geospatial Digital Rights Management Reference Model)についての検討も行っているが、2014年1月時点においてGeoDRMは採用していない。BRGMは所有するデジタルデータについてINSPIRE指令の規定する標準に準拠する一方で、BRGMが運用するジオカタログのメタデータはData Catalog Vocabulary (DCAT)を採用している。DCATはW3Cが勧告したWebで公開されるデータ・カタログ間の相互運用性(いわゆるLinked Open Data)を促進するためのRDFボキャブラリ(メタデータを記述するために利用するボキャブラリ)である。BRGMではDCATとISO間の相互互換性を確保するためのマッピングも現在整備中である。

3.4 クリアリングハウスの運用体制

BRGMでは同機関が保有するデータのクリアリングハウスに加え、フランス全土の地理空間情報のクリアリングハウスであるジオカタログ等を運用している。このうちBRGMが独自に保有するデジタルデータについてはオープンソースの地理情報カタログサービスソフトウェアGeoNetworkのフランス語版Geosourceを利用している

(BRGM, 2013b)。対してジオカタログには商用ソフトウェアであるDassault社のExaleadを採用している。さらにdata.gouv.frではオープンソースソフトウェアのデータ管理システムCKANを採用している。BRGMのクリアリングハウス(Geosource)とジオカタログ、さらにdata.gouv.frあるいはINSPIREのクリアリングハウスの間は、ハーベスティング機能でメタデータの同期がとられている。ハーベスティング機能とは、クリアリング間でメタ情報を自動収集し、同期する仕組みの一つであり、現在週に一回、同期がとられている。BRGMのクリアリングハウスに含まれるメタデータは全てジオカタログに登録されるが、data.gouv.frには無償公開のデータのみがハーベストされる。INSPIREへのデータ登録はBRGMのクリアリングハウスから直接ハーベストするのではなく、ジオカタログからハーベストする。このようなデータベース間の同期のルールが確立されている(第1表)。

3.5 個人情報

BRGMが扱う情報のうちボーリングデータにはボーリング孔地点の土地の所有者に関する個人情報が含まれる。BRGMにはGeosourceで管理するデータベースとは別に、オラクルデータベースで管理したデータベースが存在し、オラクルデータベース上では個人情報を含む全メタデータを管理し、Geosourceに登録する際に個人情報をフィルタリングすることで、個人情報を保護する仕組みを有する。

4. BRGM の配信制度

ユーザの利便性を考慮したデータ配信の環境を整備するためには技術的な環境整備だけでなく、制度の整備も

必要となる。配信するデータの著作権の運用(利用規約)、配信するデータの品質管理、個人情報の保護の観点からBRGMの配信制度について検討を行った。

4.1 著作権の運用

BRGMが作成した地質図を含む成果物は、公的機関(Public Industrial Institution)としての成果、私企業(Commercial Institution)としての成果の如何を問わず、BRGMが所有権および著作権を有する。フランスでは日本を含むほぼすべての国が採用する無方式主義(著作物を著作もしくは発表した時点で自動的に著作権が発生する)を採用しているのではあるが、著作権の運用にあたっては、有償データ、若しくは現時点で有償・無償が定められていないデータについての著作権表記には慣例としてコピーライトマークを用いている。無償公開データの提供にあたってのライセンス(利用規約)にはetalabがフランスの公共データについて独自のライセンス(Open License)を策定している(data.gouv.fr, 2011b)。これはクリエイティブ・コモンズ・ライセンスのCC BYとも互換性のあり、BRGMが提供する無償データについてもOpen Licenseが適用される。

4.2 品質管理

BRGMは品質マネジメントシステムの国際標準であるISO 9001を取得している。ISO 14001環境マネジメントシステムも取得している。BRGMはISO9001の取得により企業活動を行う上で、クライアントやパートナー企業に対し品質の保証をISO9001の形で示している(BRGM, 2013c)。

BRGMが新たに主導しているRGFプロジェクトにおいては、成果物としての地質図をデジタル管理するだけでなく、地質図作成に関連する現地踏査のデータ等すべての情報をイントラ上で一元管理するウェブインターフェースを現在構築中である。一方、BRGMではデータ配信・管理にクラウド環境を採用していない。その理由としては、独自環境でサーバを維持するだけの人員、サーバ環境が確保されているというのが最大の理由であるが、非公開のデータの管理、あるいは個人情報を含むデータの管理について、クラウド環境を用いることに抵抗もあると考える。

4.3 個人情報管理

ボーリングデータの管理において、個人情報を非公開とする仕組としてフィルタリング機能を用いる技術的な仕組は有しているが、個人情報は原則公開としている。本人からの削除依頼があった場合にのみフィルタリングの対象とするオプトアウト方式を採用している。

5. GSJ が取り組むべき今後の課題：BRGM と GSJ の配信技術・制度の比較

オープンデータ政策に対してBRGMが進めてきた地質情報の配信についての取り組みを技術面、制度面からGSJが取り組む地質情報の配信と比較することで、今後GSJが推進すべき課題について考察を行う。

5.1 データの整備

BRGMは2011年に5万分の1の地質図の全国的な整備を完了している。GSJは20万分の1の地質図の整備を全国的に完了しているが、5万分の1の地質図については都市部を中心に現在も整備を進めているところである。日本の国土面積に対してフランスの国土面積は約1.5倍であるが、地質構造が複雑な日本の5万分の1地質図の整備が困難であることが推察される。BRGMもGSJも地質図は紙媒体として整備を進めてきた。オープンデータへの対応、すなわち機械判読可能な形式でのデータの提供のためには、紙媒体の地質図をスキャンし位置情報を付加したラスターデータとしてのデジタル地質図とすることが第一段階であり、両機関とも既にラスター化は完了している。ただし、従来の紙媒体の地質図は背景となる基図(日本の場合は国土地理院の地形図等)上に描画されており、ラスター化された地質図を利用する際に、著作権運用ルールの異なる他機関のデータが含まれる可能性が生じるため、ユーザはそれぞれの利用規約に対応する必要が生じ、複数のデータを組み合わせる利用が難しくなるため地質図のレイヤーのみを分離することが望ましい。この作業がベクトル化でありBRGMでは既にベクトル化を完了している。一方、GSJは現在もベクトル化を行っており、地質図のベクトルデータ整備が急務である。ただし、国土のシームレスな地質図情報の提供との観点においてはBRGMが2011年にRGFプロジェクトにおいて5万分の1シームレス地質図作成を開始したのに対し、GSJでは2006年には20万分の1シームレス地質図の整備を完了するとともに、既に配信を行っている(脇田ほか, 2008)。

5.2 品質管理

BRGMは企業としての側面もあることから製品やサービスの品質保証を通じて、顧客満足向上と品質マネジメントシステムの継続的な改善を実現するISO9001を取得している。国内では例えばロケット開発などを行っている宇宙航空研究開発機構(JAXA; 前組織は宇宙開発事業団, NASDA)が第三者認証取得を受けている(宇宙開発事業団, 2003)。衛星打ち上げの受注などの際に、海外機関に対して開発した成果の品質を担保する手段として有効であると考えうる。ただし、地質図の場合は、ロケットのエンジンといった製品ではなく、研究者の解釈図、す

要がある。複数のクリアリングハウスに対して手動で定期的にメタ情報を更新することは現実的ではない。そのためにはクリアリングハウスに適切な標準を採用し、標準仕様に則ったシステムを構築することにより、クリアリングハウス間の同期を自動で行う仕組みが必要とされる。同期を行う際には、著作権の運用ルールを同一とするデータについて自動的に同期を行うことでユーザが複数の著作権ルールが適応されたデータを扱わずにすむ仕組みも検討する必要がある。DCATとISO間の相互互換性を確保するためのマッピングについても異種データとの統合を実現するために今後検討が必要である。

5.5 著作権の運用

BRGMではdata.gouv.frに提供する無償公開データについてetalabが定めた独自のライセンス(Open License)を採用している。これはクリエイティブ・コモンズ・ライセンスのCC BYとも互換性があるとはいえ、国際的にも広く使われているライセンスを導入するほうが、独自のライセンスを導入する場合よりもユーザへのデータの利便性は高まる。GSJではクリエイティブ・コモンズ・ライセンスのCC BY (表示)またはCC BY-ND (表示-改変禁止)を2013年10月31日より採用した(産総研地質調査総合センター, 2013)。さらにCC BY-NDを採用したデータについても、本来であれば改変に当たる形式の変換(翻訳・ファイル形式の変換等)や部分を切り出して利用する場合、改変部分が原著と明確に区別されている場合については許諾申請手続きを不要とすることでユーザの利便性を高めている。

5.6 二次利用の現状

オープンデータの実利用につながることを目的に、BRGM, GSJ両機関ともオープンデータに対応したデータの整備、配信ルールの統一を図ってきた。GSJにおいては2013年10月に著作権運用ルールの改正を行って間もないこともあり、今までに用いられてこなかった異業種でのデータの利用率は確認ができていない。一方、先行してオープンデータに対応中のBRGMについても、異業種の企業がデータを利用する例は確認が取れなかった。ただし、EU 第7次研究枠組み計画(FP7)のプロジェクトの一つであるEarth Observation and Environmental Modelling for the Mitigation of Health Risks (EO2HEAVEN, 2007)プロジェクトにおいて、住民の健康状況を評価するための地下水に関する様々なデータを提供する仕組みが構築されている(BRGM, 2012a)。学生から専門家までの幅広いユーザ層を対象としている。このように異業種でのデータ利用を促進するためには、継続的な利活用研究への予算および体制の支援も必要であると考えられる。

6. まとめ

オープンデータ政策に対するBRGMの取り組みと、GSJの取り組みを比較検討し、今後GSJがデータ配信に関して取り組むべき技術的課題、整備すべき制度を検討した。データ整備の面で、5万分の1地質図の整備促進や出版済み地質図のベクトル化が必要と考える。整備の際には、現地踏査の情報等を含む一次データについても一元的に管理し、品質を担保する必要がある。整備したデータについての標準化対応については、INSPIRE指令に見られるような統一的な国際標準の利用についての規定が国内ではないが、GSJにおいては地図配信について国際標準を一部すでに採用している。地図配信に係る国際標準の国内外での運用状況の動向をモニタリングし、対応していく必要がある。特に、今後クリアリングハウスの運用を行う上でさらなる標準化対応が必要と考える。クリアリングハウス間のデータの同期は情報の鮮度を保つために定期的に行うことが望ましいが、これは国全体の方針として同期先を一元的に決定する枠組みが必要である。データ公開にあたっての著作権については、GSJは国際的に普及しているクリエイティブ・コモンズ・ライセンスを採用し、かつCC BY-ND(改変禁止)を採用したデータについても一部許諾申請手続きを不要とすることでユーザの利便性を高めている。BRGMは私企業としての側面を持つため、非公開データや有償データを含み、一元的なライセンスでの運用が困難であると考えうる。このようにBRGM, GSJともにオープンデータに対応した整備を技術面・制度面から進めているが、オープンデータの目的の一つである二次利用の促進、特に新たな産業の創出には、欧州のFP7プロジェクトにみられるように、まずは研究としてパイロットプロジェクトを実施し、実証を積み上げていくことが必要である。

謝辞：今回、BRGMのHead of Department Scientific Information and Digital Technologies Information Systems DivisionであるPierre Lagarde氏から多数の貴重な意見を頂戴した。特に第3章BRGMにおける地質図類のデジタル配信は氏との指針のやり取りを通じ調査を行った。

文献

- Bureau de Recherches Geologiques et Minières (2011) The French Geological Reference Platform (RGF), <http://www.brgm.eu/content/french-geological-reference-platform> (2014年4月10日参照)
- Bureau de Recherches Geologiques et Minières (2012a) BRGM French National Geological Survey ANNUAL REPORT 2012, <http://www.brgm.eu/sites/default/brgm/>

- publications/ra2012_ipad/ra2012_brgm_ipad_en.pdf (2014年4月10日参照)
- Bureau de Recherches Geologiques et Minieres (2012b) Carmen, <http://carmen.naturefrance.fr/> (2014年4月10日参照)
- Bureau de Recherches Geologiques et Minieres (2013a) Infoterre, <http://infoterre.brgm.fr/> (2014年4月10日参照)
- Bureau de Recherches Geologiques et Minieres (2013b) Geosource, <http://www.geosource.fr/> (2014年4月10日参照)
- Bureau de Recherches Geologiques et Minieres (2013c) ISO 9001 and ISO 14001 certification, <http://www.brgm.eu/content/iso-9001-iso-14001-certification> (2014年4月10日参照)
- クリエイティブ・コモンズ・ジャパン (2004) Creative Commons - 表示2.1 日本 - CC BY 2.1 JP, <http://creativecommons.org/licenses/by/2.1/jp/> (2014年4月10日参照)
- data.gouv.fr (2011a) data.gouv.fr, <http://www.data.gouv.fr/> (2014年4月10日参照)
- data.gouv.fr (2011b) Open License, https://wiki.data.gouv.fr/images/0/05/Open_Licence.pdf (2014年4月10日参照)
- EO2HEAVEN (2007), Earth Observation and Environmental Modelling for the Mitigation of Health Risks, <http://www.eo2heaven.org> (2014年4月10日参照)
- 経済産業省 (2013) Open DATA METI|経済産業省のオープンデータカタログサイト <http://datameti.go.jp/> (2014年4月10日参照)
- Le ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (MEDDE) (2007) Geosource ver. 2.9.1, <http://www.geosource.fr/> (2014年4月10日参照)
- Loiselet, C., and Courrioux, G. (2013) 3D model of the Rhine Graben basement and Triassic zone (Pechelbronn region), <http://www.brgm.eu/content/rgf-vosges-rhine-graben-demonstrator> (2014年4月10日参照)
- 内閣官房(2012) 電子行政オープンデータ戦略, <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/denshigyousei.html> (2014年4月10日参照)
- 産総研地質調査総合センター (2013) 産総研地質調査総合センターの研究成果情報の利用について, <https://www.gsj.jp/license/index.html> (2014年4月10日参照)
- Secrétariat Général Pour la modernisation de l'action publique (2010) etalab, <http://www.etalab.gouv.fr/> (2014年4月10日参照)
- The European Union (2003) DIRECTIVE 2003/98/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 17 November 2003 on the re-use of public sector information, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:345:0090:0096:EN:PDF> (2014年4月10日参照)
- The European Union (2007) Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE), http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2007.108.01.0001.01.ENG (2014年4月10日参照)
- 宇宙開発事業団 (2003) 宇宙開発事業団 本社部門のISO9001 第三者認証取得について, http://www.jaxa.jp/press/nasda/2003/iso_20030423_j.html (2014年4月10日参照)
- 脇田浩二 (2003) 地質図の数値化と標準化: 最近の国際動向. 地質ニュース, No. 588, 40-54.
- 脇田浩二 (2009) OneGeology 世界の地質図がインターネットで手元に!. 地質ニュース, No. 664, 62-71.
- 脇田浩二 (2011) 5万分の1シームレス地質図 日本とフランスの場合. 地質ニュース, No. 678, 36-49.
- 脇田浩二・井川敏恵・宝田普治・伏島祐一郎 (2008) シームレスな20万分の1日本地質図の作成とウェブ配信—地質図情報の利便性向上と有用性拡大を目指して—. シンセシオロジー, 1, No. 2, 82-93
- 吉川敏之・岩男弘毅・山本直孝 (2013) オープンデータ時代の地質情報発信, 産総研 TODAY, 13, No. 12, 21p.

(受付 : 2014年5月7日 ; 受理 : 2014年6月30日)

補遺 用語解説

用語	解説	備考
オープンデータ	デジタルデータを機械判読に適したデータ形式で、二次利用が可能な利用ルールでデータを公開すること	
オープンデータ政策	特に公的機関のデータをオープンデータとして公開することで、透明性・信頼性の向上、経済の活性化・行政の効率化を目指す取り組み	
クリエイティブ・コモンズ・ライセンス	インターネットでやり取りを行うデジタルデータに関する著作権の運用に関する国際ルールでGSJでも2013年10月より地質情報に適用を開始	引用文献 クリエイティブ・コモンズ・ジャパン (2004)
クリアリングハウス	省庁や公的研究機関などが保有する情報(主にGIS情報)を検索・利用できるように公開するシステムやサービスで、保有する機関間での情報共有も可能とする	
メタ情報	データそのものではなく、データの作成日時や作成者、データ形式、タイトル、注釈など、対象地域などデータに関する情報	
INSPIRE 指令	欧州議会が、EU域内の公共機関が保有する地理空間情報の統合・共有化の共通基盤構築を目的に2007年に施行した指令	
オープンソースソフトウェア	ソースコードが公開され、商用利用の有無を問わず改変、再配布が認められたソフトウェア	
空間参照	地理情報を地球上の位置と関連付けること。座標による空間参照と地理識別子による空間参照がある	
XML	「タグ」と呼ばれる特定の文字列で、文書やデータの意味や構造を記述するためのマークアップ言語の一つ	
XML スキーマ	XMLの文書中でどのようなタグや属性が使われているかなど、具体的な構造を定義する言語	
W3C (World Wide Web Consortium)	World Wide Webで使用される各種技術の標準化を推進する為に設立された標準化団体	
Linked Open Data	ウェブ上でコンピュータ処理に適したデータを公開・共有するための技術の総称	
RDFボキャブラリ	メタデータを記述するために利用するボキャブラリ	3.3 本文中説明有
ハーベスティング機能	クリアリング間でメタ情報を自動収集し、同期する仕組みの一つ	3.4 本文中説明有
EU 第7次研究枠組み計画(FP7)	ヨーロッパにおける研究活動を助成する欧州委員会(EC)の政策。第7次:2007～2013	

地質調査総合センター研究資料集

- | | | |
|-----|---|---|
| 590 | 北海道長沼町南長沼で掘削された 180m ボーリングコアのテフラ分析 | 木村 克己 |
| 592 | 富士山地質図 第2版 (Ver.1) | 高田 亮・山元孝広・石塚吉浩・
中野 俊 |
| 595 | GSJ コア須崎大谷観測点資料 | 板場智史・梅田康弘・小泉尚嗣・
渡辺 寛・中山伸朗・酒井誠志 |
| 596 | GSJ コア新居浜黒島観測点資料 | 佐藤隆司・佐藤 努・木口 努・
小泉尚嗣・渡辺 寛・酒井誠志・
鈴木悠爾 |
| 597 | GSJ コア西尾善明観測点資料 | 北川有一・高橋 誠・小泉尚嗣・
伊藤 勉・堀 信雄・長藤亮輔 |
| 598 | 南海トラフ巨大地震予測のための地下水等総合観測点の孔井における物理
検層資料 | 木口 努・桑原保人・小泉尚嗣・
塚本 斉・板場智史・佐藤 努・
佐藤隆司・関 陽児・梅田康弘・
北川有一・重松紀生・高橋 誠 |
| 599 | 南海トラフ巨大地震予測のための地下水等総合観測点整備における地下構
造調査 (反射法地震探査) 資料 | 山口和雄・伊藤 忍・加野直巳・
小泉尚嗣 |
| 600 | つくばエキスポセンター館内の石材と化石 | 井川敏恵・中澤 努・利光誠一・
兼子尚知・住田達哉・徂徠裕子・
神田久生 |
| 601 | 富士火山東山麓におけるテフラ層序記載 | 山元孝広 |
| 602 | 第 22 回 GSJ シンポジウムアカデミックから身近な地質情報へ | 地質調査総合センター |
| 603 | 地質標本館所蔵鉱物標本写真集 | 地質標本館 |
| 604 | 化学式の元素組成と式量を求めるプログラム formulaweight | 竹野直人 |
| 605 | 地質標本館 2014 年夏の特別展「地質アナログ模型の世界」 | 高橋雅紀・芝原暁彦 |
| 606 | 富士火山南西部の地質 | 山元孝広 |

地質調査総合センターの最新出版物

200 万分の 1 地質編集図	No. 4 日本地質図 (第 5 版)
	No. 11 日本の火山 (第 3 版)
20 万分の 1 地質図幅	伊勢・静岡及び御前崎 (第 2 版)・与論島及び那覇・八代及び野母崎の一部・新潟 (第 2 版)
5 万分の 1 地質図幅	新居浜・青森西部・今庄及び竹波・早池峰山・南部・八王子
海外地球科学図	アジア地質図 (1:500 万)
	中央アジア鉱物資源図 (1:300 万)
海洋地質図	No. 81 日高舟状海盆表層堆積図 (1:20 万)
	No. 82 奥尻海盆表層堆積図 (1:20 万)
構造図	No. 14 全国主要活断層活動確率地図
火山地質図	No. 1 桜島火山地質図 (第 2 版) (1:3 万)
	No. 16 十勝岳火山地質図 (1:3 万)
	No. 17 諏訪之瀬島火山地質図 (1:3 万)
鉱物資源図	No. 7 南西諸島 (1:50 万)
特殊地質図	No. 40 関東平野中央部の地下地質情報とその応用
重力図	No. 29 姫路地域重力図 (ブーゲー異常)
	No. 30 徳島地域重力図 (ブーゲー異常)
	S3 甲府地域重力構造図 (ブーゲー異常)
空中磁気図	No. 44 岩手火山地域高分解能空中磁気異常図
	No. 45 福井平野地域高分解能空中磁気異常図
水文環境図	No. 7 熊本地域
数値地質図	G-16 20 万分の 1 日本シームレス地質図 DVD 版
	G-17 九州地質ガイド
	FR-2 燃料資源地質図「東部南海トラフ」
	GT-4 全国地熱ポテンシャルマップ
	S-2 海陸シームレス地質情報集「新潟沿岸域」 DVD 版
	S-3 海陸シームレス地質情報集「福岡沿岸域」 DVD 版
	V-3 口永良部島火山地質データベース
	P-2 日本重力データベース DVD 版
	G20-1 20 万分の 1 数値地質図幅集「北海道北部」第 2 版
	G20-2 20 万分の 1 数値地質図幅集「北海道南部」第 2 版
	E-5 表層土壌評価基本図 ～富山県地域～
その他	日本の熱水系アトラス
	海と陸の地球化学図

地質調査研究報告編集委員会

委員長	佐脇貴幸
副委員長	鈴木淳
委員	大谷竜
	長森英明
	藤原治
	柳澤教雄
	川邊禎久
	神宮司元治
	内野隆之
	森尻理恵
	高橋浩
	工藤崇
	田中明子
	板木拓也

事務局

独立行政法人 産業技術総合研究所
地質調査情報センター
地質・衛星情報サービス室
Tel : 029-861-3601
<https://www.gsj.jp/inquiries.html>

地質調査研究報告 第65巻 第3/4号
平成26年7月17日 発行

独立行政法人 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
つくば中央第7

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

Bulletin of the Geological Survey of Japan Editorial Board

Chief Editor: Takayuki Sawaki
Deputy Chief Editor: Atsushi Suzuki
Editors: Ryu Ohtani
Hideaki Nagamori
Osamu Fujiwara
Norio Yanagisawa
Yoshihisa Kawanabe
Motoharu Jinguuji
Takayuki Uchino
Rie Morijiri
Yutaka Takahashi
Takashi Kudo
Akiko Tanaka
Takuya Itaki

Secretariat

National Institute of Advanced Industrial
Science and Technology
Geological Survey of Japan
Geo-information Center Geoinformation Service Office
Tel: +81-29-861-3601
<https://www.gsj.jp/inquiries.html>

Bulletin of the Geological Survey of Japan
Vol.65 No.3/4 Issue July 17, 2014

National Institute of Advanced Industrial
Science and Technology
Geological Survey of Japan
AIST Tsukuba Central 7, 1-1, Higashi 1-chome,
Tsukuba, Ibaraki 305-8567 Japan

All rights reserved.

BULLETIN
OF THE
GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 65 No. 3/4 2014

CONTENTS

Variation of mineralogical compositions in sequential extraction procedure adapted to geochemical reference materials (sediment series) Atsuyuki Ohta and Ran Kubota and Takashi Okai.....	23
Magnetic susceptibility of Tsukuba granite and stone sculptures in old Tsukuba town Akio Cho.....	37
Undulating topography at the base of the Alluvium: Preliminary interpretation on the formation Susumu Tanabe, Takeshi Ishihara and Taku Komatsubara.....	45
Comparison of the correspondence to the open data policy between BRGM and GSJ Koki Iwao and Toshiyuki Yoshikawa.....	57

GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

1-1, Higashi 1-chome, Tsukuba, Ibaraki, 305-8567 Japan

地 調 研 報
Bull. Geol. Surv. Japan
Vol. 65, No. 3/4, 2014