

ISSN 1346-4272  
CODEN : CCKHA7

# 地質調査研究報告

BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 62 No. 7/8 2011



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23年

論文

- Indium concentration in zinc ores in plutonic and volcanic environments: examples at the Dulong and Dachang mines, South China  
Shunso Ishihara, Hiroyasu Murakami and Xiaofeng Li..... 259

概報

- 新潟県加茂地域, 三条市塩野淵の中部中新統七谷層中に見つかったテフラの記載岩石学的特徴とフィッ  
ション・トラック年代  
工藤 崇・檀原 徹・岩野英樹・山下 透・柳沢幸夫..... 273

- 関東平野中央部埼玉県菖蒲町で掘削された 350m ボーリングコア (GS-SB-1) から産出した花粉化石群集  
本郷美佐緒・納谷友規・山口正秋・水野清秀..... 281

資料・解説

- 新解析戦略の組み込みによる産総研GPS定常解析システムの更新  
大谷 竜・板場智史・梅田康弘・北川有一・松本則夫・高橋誠・小泉尚嗣..... 319

---

表紙の写真

華南の鉱山町, 大廠 (ダーチャン)

華南の著名な花崗岩地帯を通りすぎるとベトナムにかけて石灰岩を主とする堆積岩地帯であり, そこでは遠方に小さな角張った稜線が連なる独特の石灰岩地形がみられる. 近づくと, この大廠に見られるように三角形のピークが連なる. 河川によりそれぞれの麓が溶解したものが, 桂林に見られるような見事な石灰岩タワーを形成する. 大廠はこの様なデボン紀の石灰質岩中に発見された錫含有鉛亜鉛鉱床を採掘するために作られた鉱山町であり, その為に鉱山開発が最優先されて狭い傾斜地に数多くの鉱山設備や住宅が作られている. 鉱石は, 主に不純なドロマト質石灰岩類の層理面に沿うが, スカルン化は受けていない. また角礫パイプ状・脈状などの産状も多く, 鉱化作用は白亜紀花崗岩質斑岩類と密接に産し, 微量成分としてのスズ・インジウムにするため, 火成鉱床と考えられる(本文, p. 259-272 参照).

(写真・文: 石原舜三)

Cover page

The mining town, Dachang, in South China

The southern China is covered by abundant carbonate rocks of Paleozoic age, as best represented by carbonate towers in Guilin, but forming generally triangle peaks along common ridges, as seen in this mining town of Dachang. This town was constructed here in the mountain area with limited flat land, because of unique ores of Sn-In-bearing lead-zinc discovered at this area. These ores are hosted along the bedding plane in impure dolomitic limestones of Devonian age having no skarn minerals. The ores occur also in breccias pipes and veins, closely related to small Cretaceous high-level intrusives of granitic compositions. Tin and indium are abundant in many of these ore deposits.

(Photograph and Caption by Shunso Ishihara)

## Indium concentration in zinc ores in plutonic and volcanic environments: examples at the Dulong and Dachang mines, South China

Shunso Ishihara<sup>1,\*</sup>, Hiroyasu Murakami<sup>1</sup> and Xiaofeng Li<sup>2</sup>

Shunso Ishihara Hiroyasu Murakami and Xiaofeng Li (2011) Indium concentration in zinc ores in plutonic and volcanic environments: examples at the Dulong and Dachang mines, South China. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 62 (7/8), p. 259-272, 6 figs, 4 tables, 2 plates.

**Abstract:** Two largest indium ore deposits of 5,000 tons In class in China, Dulong and Dachang mines, were studied geochemically. The Dulong deposits have 1000In/Zn value of 4.1 in the average, which is similar to 2.6 of the Changpo-Tongkeng orebody and 3.1 of the Longtaoshan orebody of the Dachang mine. Yet the Dulong ores are depleted in silver and antimony, and enriched in tungsten among the ore metals, while the Dachang ores are rich in silver and antimony similarly to the Toyoha ores occurring in the volcanogenic Green Tuff belt in Japan. Concentration of indium in sphalerites is homogeneous in the Dulong ores but is strongly banded in the Toyoha ores. It is suggested that the Dulong ore deposits were formed in a plutonic environment related to S-type ilmenite-series granite, while the Dachang deposits were formed at shallower level, related to subvolcanic intrusions. A volcanogenic environment is necessary to concentrate indium in tin-polymetallic ore deposits.

**Keywords:** Dulong, Dachang, base metal, indium, two-mica granite

### 1. Introduction

Indium of industrial level is mostly extracted from zinc concentrates of base metal deposits formed under volcanogenic vein-type ore deposits in Japan (Ishihara *et al.*, 2006) and Bolivia (Ishihara *et al.*, 2011), which occur mostly in volcanic lavas and tuffs intruded by felsic dikes. In China, however, a variety of economic trace components is concentrated in various ore deposits (Zhang *et al.*, 2005). Two of the largest In-bearing deposits, Dulong and Dachang (Zhang *et al.*, 1998), appear to be formed in a plutonic environment, because the ore bodies occur in metamorphic and sedimentary rocks associated with granitic intrusions.

In autumn of 2008, a short visit was made to the Dulong mine of Yunnan Province and the Dachang mine of Guangxi Province, and we observed small parts of their geologic constituents and the ore deposits (Murakami and Ishihara, 2008). This short paper is a preliminary result of the field observation and chemical analyses on these ore deposits. The visited mines, together with other small indium-rich mines, are shown in Figure 1.

### 2. Geological background

The studied region of Yunnan and Guangxi Provinces is underlain by the Precambrian basement rocks composed of various metamorphic rocks called Jiannan old-land, and overlying younger sedimentary rocks of mostly Devonian to Permian in age. The Jiannan old-land is widely distributed in the northwestern part of South China and sporadically in the other southeastern parts (Fan *et al.*, 2004, see also Fig. 2). Mesozoic granitic rocks of the Yanshanian stage intrude into these sedimentary rocks widely in South China, but their exposure is generally rare in the studied region. The Dulong deposits occur in the metamorphic rocks, and the Dachang deposits are seen in the sedimentary rocks, intruded by small granitic intrusions.

#### 2.1 Dulong ore deposits

The ore deposits were once mined by underground method for the high-grade parts, but now bulk mining by open pit elongated along NNW-SSE direction (Plate I A), which follows major tectonic elements. Late Yanshanian S-type granite (Plate II F) intrudes into the northern part of the orebodies, which terminate at the Maguan-Dulong giant fault of NW-NNW direction. The

<sup>1</sup>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

<sup>2</sup>Institute of Mineral Resource, Chinese Academy of Geological Sciences

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



Fig. 1 Distribution of major indium-bearing base metal deposits in China. Size of solid circle implying relative amounts of indium (see Table 4; revised from Ishihara and Murakami, 2008).

orebodies are divided into the main indium-bearing zinc orebody called Zone I and subsidiary silver-lead-zinc orebody called Zone II. The rock constituents of the pit are composed of Cambrian chlorite-muscovite schists and marble. Their metamorphic age is considered as the Indosinian stage, which is Permo-Triassic in age (Liu *et al.*, 1999). We visited a few places at 1170 mL of the main open pit.

Major ore constituents are composed of magnetite, cassiterite, sphalerite, pyrrhotite, actinolite, chlorite, sericite, quartz and calcite. Magnetite is locally abundant in the ore zone; we obtained the highest magnetic susceptibility of  $600 \times 10^{-3}$  SI unit by KT-5 magnetic meter, which is equivalent to about 20 vol. % of magnetite. The main ore minerals of sphalerite, magnetite and pyrrhotite (Plate I B, C, D) occur as massive lens with minute layering and veining (Plate I B, C). Black-colored sphalerite occurs together with mafic silicates (Plate I E), magnetite and carbonates, and contains many chalcopryrite dots under the microscope (Plate I F). Indium is contained homogeneously in sphalerite (Murakami and Ishihara, 2008), and its content seems higher in cassiterite (Plate I F, G) than in sphalerite.

Liu *et al.* (1999) tried Rb-Sr isotopic dating using quartz and sphalerite from the ore deposits, and obtained an isochron age of  $79.08 \pm 9.11$  Ma and initial  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$ ) of 0.716771 with correlation coefficient of 0.9991. The metamorphosed marble has the  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$  ratio of 0.709922, which is almost the same as that of Cambrian sea water. The altered two-mica granite has an isochron age of  $68.03 \pm 7.23$  Ma with the  $Sr_i$  ratio of 0.730132. Therefore, they considered that the mineralization occurred in the late Yanshanian stage (Liu *et al.*, 1999).

## 2.2 Dachang deposits

The Dachang ore deposits consist of seven main orebodies (Fig. 3) with three kinds of the mode of occurrence of the ore minerals (Peng *et al.*, 1999), as (1) veins including veinlets and networks (e.g., upper part of the Changpo-Tongkeng, Longtaoshan and Dafulou orebodies), (2) stratiform ores (e.g., Nos. 91 and 92 orebodies of the Changpo-Tongkeng orebody, and (3) skarn ores (e.g., Lamo). They occur in Devonian to Permian sedimentary area of  $40 \text{ km}^2$ , which is rich in carbonates (Plate II A), and marginal parts of the gra-

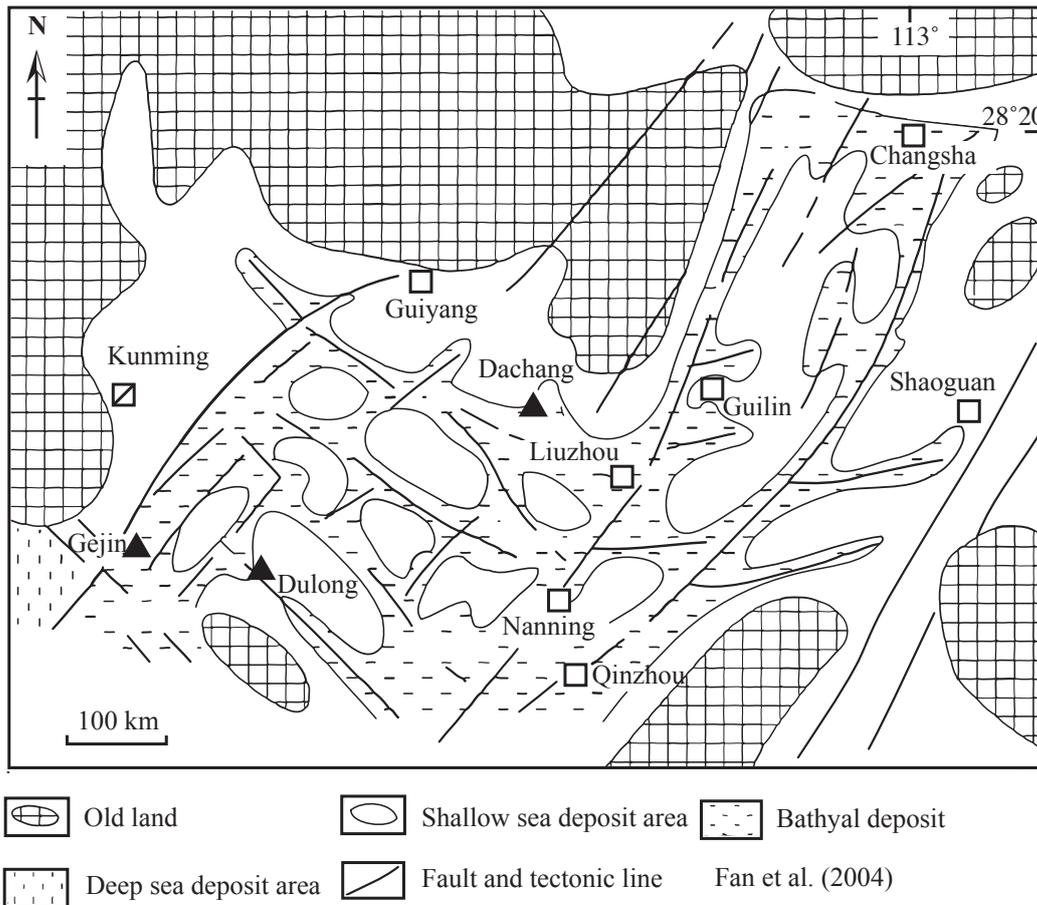


Fig. 2 Sedimentary facies map of South China (Fan *et al.*, 2004) and location of the studied mines.

nitic intrusions.

The total ore reserves discovered in the Dachang mine is said about 80 million tons, in which 70 percent occurs in the largest Changpo-Tongkeng orebody. Averaged ore grades of the orebody are Sn 1%, Cu 2%, Zn 3.5%, Pb 5 %, Sb 4 % and Ag 100 ppm. It means that the Changpo-Tongkeng orebody contains ore metals of 560,000 tons Sn, 1,120,000 tons Cu, 2,800,000 tons Pb, 1,760,000 tons Zn, 2,240,000 tons Sb and 8,000 tons Ag. These ores are mined by underground truck-less mining method (Plate II B). The total indium content is estimated as 4,000 tons, in which 2,000 tons occurred in the Longtaoshan (or No. 100) orebody (Zhang *et al.*, 1998). We visited only the Changpo-Tongkeng orebody, No. 92, at 445 mL.

The sedimentary rocks of the mine area consist of the lower Devonian to Permian sequence of impure carbonates and intercalated sandstone, shale and chert. The mineralizations are seen mostly along bedding plane of the sedimentary rocks (Plate II C, D), which were intruded by small bodies of the Yanshanian diorites and granitic rocks (Fig. 3). The Yanshanian granitic rocks occur widely below the Changpo-Tongkeng and Longx-

ianggai orebodies, and are considered to be genetically related (Peng *et al.*, 1997). The granitic rocks are sub-volcanic looking at margins of the intrusive bodies (Plate II E).

Both epigenetic and syngenetic sources of the ore solutions were examined by strontium and neodymium isotopic ratios on tourmalines of Type I occurring in stratiform ores and their host siliceous rocks, and those of Type II from quartz-tourmaline veins in or near the granites by Jiang *et al.* (1999). Type-I tourmalines have  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios of 0.71339-0.71818 and  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ratios of 0.51201-0.51210, yet Type-II tourmalines have more variable  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios of 0.71187-0.72735 and slightly higher  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ratios of 0.51210-0.51224. They interpreted that the Type-I tourmaline formed by deeply circulating submarine hydrothermal fluids during the Devonian time, and the Type-II one formed by the Yanshanian magmatic-hydrothermal fluids mixed with Sr and Nd from the host Devonian rocks.

### 3. Chemical compositions

Seven Zn-rich ores (8112202, 6, 9, 14, A1, A2, A3, Table 1), two Cu-rich ores (8112211, 17) and magne-

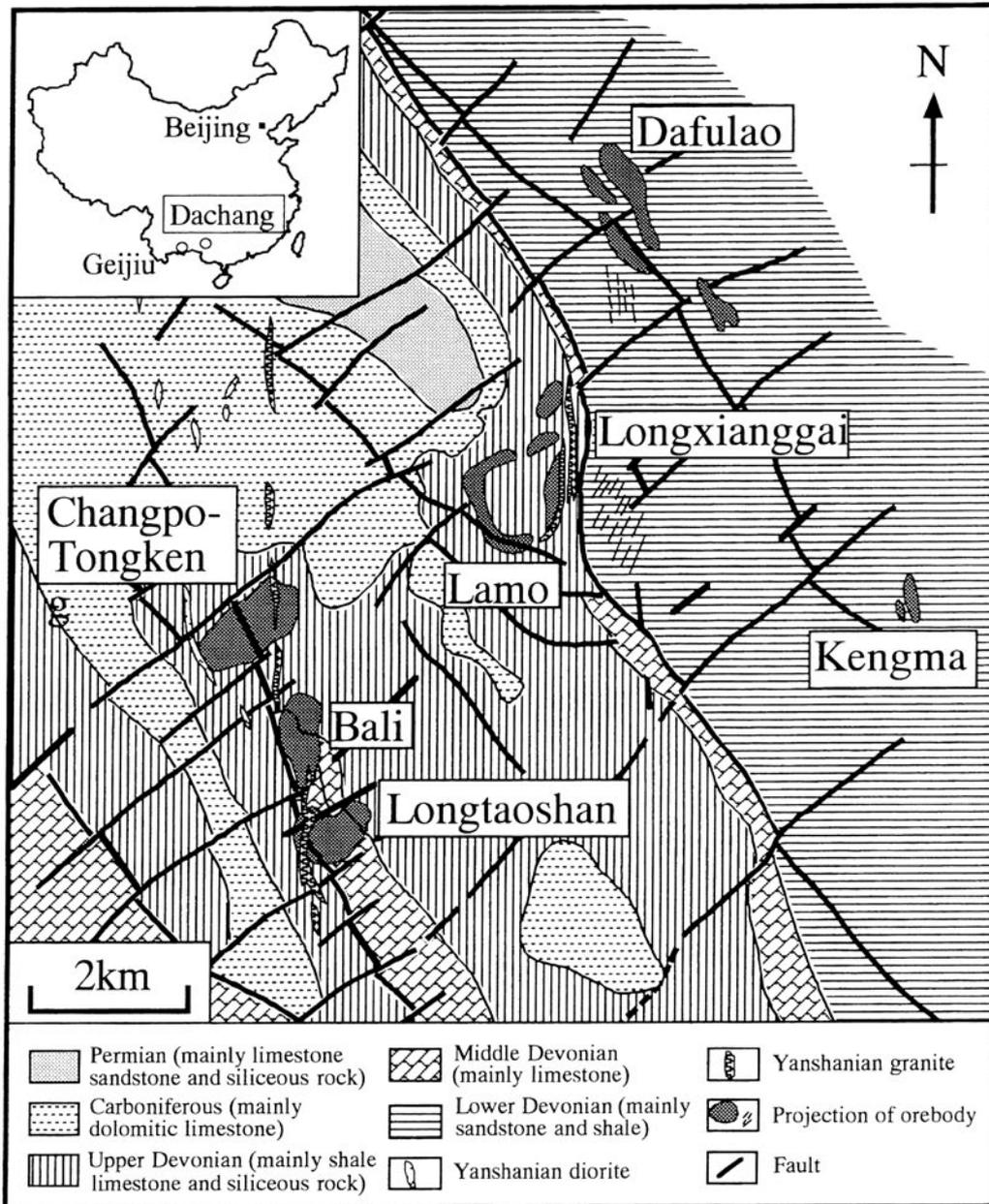


Fig. 3 Geologic map and seven orebodies at the Dachang ore deposits (Peng *et al.*, 1999).

tite-rich ores (8112208, 10) were taken from the high-grade parts of the 1170 mL and analyzed for major ore components at the Dulong mine. From the Dachang mine, representative two high-grade and two moderate-grade ores were selected from underground level of the Changpo-Tongkeng orebody.

The ore samples were powdered at the Geological Survey of Japan and analyzed at Actlabs, Canada, by ICP/MS method after total digestion (TD). The results are listed in Table 1. Although number of the samples is very limited, there are distinct differences on the two ore deposits, as seen in the average contents of the table. The Dulong ores are higher in the Fe contents

(31.0 % vs. 19.3 %), Mg contents (4.7 vs. 0.2 %) and Li (97 ppm vs. 4 ppm), which may substitute Mg position. That is, ferromagnesian components are richer in the Dulong ores, possibly reflecting relatively mafic host rocks of this mine. The sedimentary components of manganese, 1,211 ppm vs. 1,975 ppm and vanadium 5 vs. 41 ppm, are somewhat dominant in the Changpo-Tongkeng ores.

On the contrary, granitic components are richer in the Dulong ores, as averaged as 0.68 % vs. 0.26 % K, 139 ppm vs. 59 ppm Rb, 24 ppm vs. 6 ppm Cs, 17.6 ppm vs. 0.3 ppm Ge and 10.3 vs. 0.2 ppm Be. Yet, zirconium 6 vs. 31 ppm, tungsten 55 ppm vs. 238 ppm and

Table 1 Analytical results of zinc ores from the Dulong and Dachang mines.

Analvt. Sym.	1000 In / Zn	In ppm	Sn ppm	Cd ppm	Zn ppm	Pb ppm	Cu ppm	As ppm	Co ppm	Ni ppm	Bi ppm	Sb ppm	Ag ppm	Se ppm	Fe %	Mn ppm	Mg %	Li ppm	V ppm	Cr ppm	Al %
Unit Symbol	In / Zn	ppm	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%												
Detect. Lmt.	0.1	1	0.1	0.1	0.2	0.5	0.2	0.1	0.1	0.5	0.02	0.1	0.05	0.1	0.01	1	0.01	0.5	1	0.5	0.01
<b>Dulong deposits</b>																					
8112202	0.8	21	55	111	25300	236	71	66	1	5	7	22.8	7.5	1.3	15.4	2200	11.5	4	5	6	0.31
8112206	8.4	527	13	470	62600	33	3460	22	1	3	131	1.2	5.0	2.8	27.9	237	5.3	454	6	10	0.69
8112208	3.5	11	106	17	3120	59	343	23	1	3	136	7.3	2.8	0.4	56.0	323	2.7	58	4	7	0.19
8112209	1.4	99	18	313	69700	86	614	12	5	4	90	4.4	6.5	2.8	49.1	687	0.8	1	<1	4	0.02
8112210	1.1	1	189	5	1160	59	12	70	1	3	5	14.2	2.7	0.2	51.2	319	4.2	8	4	7	0.06
8112211	24.5	296	547	116	12100	289	96900	533	308	119	465	4.1	149.0	5.2	18.9	426	0.3	102	2	1	1.65
8112214	0.7	89	55	552	131000	140	374	19	3	3	85	1.9	5.2	5.9	22.9	2460	5.4	6	2	4	0.11
8112217	18.2	248	439	117	13600	265	51000	228	141	99	371	4.7	148.0	6.3	14.8	729	0.7	357	13	7	4.59
81122A1	2.7	234	123	349	88100	222	2010	60	25	3	41	2.1	13.3	3.7	41.5	644	4.3	19	3	11	0.23
81122A2	2.2	344	13	720	159000	14	2580	160	39	4	83	3.4	10.5	6.7	23.8	596	3.8	21	4	5	0.27
81122A3	2.3	24	87	42	10400	84	3680	21	16	3	10	2.3	13.2	1.5	19.6	4700	12.3	42	4	7	0.52
Average	6.0	172	150	256	52371	135	14640	110	49	23	129	6.2	33.1	3.3	31.0	1211	4.7	97	5	6	0.79
<b>Dachang deposits</b>																					
8111904A	0.9	94	416	862	107000	5050	2760	2250	84	200	194	33.9	157.0	60.5	31.8	1890	0.2	5	106	27	2.75
8111905	2.5	50	270	227	20200	6670	615	639	109	46	5	431.0	31.9	5.0	7.3	149	0.1	6	42	9	0.67
8111907	3.3	1370	2380	3670	413000	261	5060	12000	104	5	49	229.0	89.1	18.0	17.0	3140	0.2	3	10	7	0.80
8111908	3.6	126	126	352	35300	1830	2360	94	43	12	26	27.7	62.8	3.1	21.2	2720	0.5	4	7	8	0.75
Average	2.6	410	798	1278	143875	3453	2699	3746	85	66	69	180.4	85.2	21.7	19.3	1975	0.2	4	41	13	1.24
<b>Dulong deposit</b>																					
8112202	12.20	0.01	<0.01	1	1	211	1	0.4	7	0.1	1.7	0.3	<0.1	1.3	0.2	0.6	0.9				
8112206	0.15	0.04	1.04	304	52	3	21	7.2	1.3	6	0.2	3.6	1.8	0.1	11.4	<0.1	2.6	1.4			
8112208	0.04	0.01	0.24	103	15	2	1	21.1	9.1	2	<0.1	8.2	0.4	<0.1	2.8	0.4	0.3				
8112209	1.45	0.01	<0.01	2	0	24	<1	0.3	1.4	1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.2	0.1	<0.1				
8112210	0.07	0.02	<0.01	3	1	3	1	11.2	141.0	3	<0.1	39.4	0.4	<0.1	136.0	0.2	0.5	0.3			
8112211	15.60	0.01	0.76	264	40	28	9	1.6	0.2	2	<0.1	5.4	0.1	<0.1	6.1	0.5	0.1	0.2			
8112214	4.73	0.01	<0.01	3	6	47	<1	1.3	2.4	1	<0.1	1.7	<0.1	<0.1	116.0	0.2	0.3	0.2			
8112217	12.40	0.01	2.47	813	105	10	13	7.3	0.1	<1	<0.1	18.3	0.2	<0.1	1.9	3.1	<0.1	<0.1			
81122A1	0.27	0.01	0.03	7	17	5	2	10	17.3	13	<0.1	14.6	0.4	<0.1	149.0	<0.1	0.7	0.8			
81122A2	0.68	0.01	0.17	25	8	9	6	11.9	13.9	10	<0.1	2.0	1.2	<0.1	107.0	<0.1	0.9	1.1			
81122A3	1.94	0.01	0.02	6	16	27	2	4.4	6.2	11	0.2	8.1	0.6	<0.1	67.9	0.1	1.1	0.9			
Average	4.50	0.01	0.68	139	24	33	6	7	17.6	6	0.2	10.3	0.6	0.1	54.5	0.6	0.7	0.7			
<b>Dachang deppo.</b>																					
8111904A	0.25	0.05	0.69	151	13	20	3	7.6	0.7	54	1.4	0.4	5.8	0.2	386.0	0.3	5.3	2.2			
8111905	0.77	0.01	0.14	22	3	12	38	4.4	0.2	11	0.2	0.1	<0.1	324.0	<0.1	1.3	1.1				
8111907	0.22	0.01	0.09	28	5	5	31	44.3	0.2	39	0.4	<0.1	0.6	<0.1	114.0	1.0	4.0	0.5			
8111908	14.10	0.03	0.12	33	4	87	27	7.6	0.2	20	0.5	0.1	0.5	<0.1	129.0	0.3	2.9	0.4			
Average	3.84	0.02	0.26	59	6	31	25	16	0.3	31	0.6	0.2	2.3	0.2	238.3	0.5	3.4	1.1			

uranium plus thorium 1.4 ppm vs. 4.5 ppm predominate in the Changpo-Tongkeng ores.

About chalcophile components (Table 1), the zinc grades were much lower in the studied Dulong ores, as 5.2 % vs. 14.4 %. Therefore, related elements of cadmium and indium are also lower as 256 ppm vs. 1,278 ppm Cd, and 172 ppm vs. 410 ppm In. Yet, 1000In/Zn ratios are 6.0 vs. 2.6, indicating the Dulong ores are twice as much as the indium of the Changpo-Tongkeng sphalerites. Cadmium contents as shown by the 1000Cd/Zn ratios are 4.9 vs. 8.9, and higher in the Changpo-Tongkeng sphalerites.

Copper is definitely rich in the Dulong ores as 14,640 ppm vs. 2,699 ppm. The other ore elements are generally poor in the Dulong ores, as 150 ppm vs. 798 ppm Sn, 110 ppm vs. 3,746 ppm As, 49 ppm vs. 85 ppm Co, 23 ppm vs. 66 ppm Ni, 6 ppm vs. 180 ppm Sb, 33 ppm vs. 85 ppm Ag, 3 ppm vs. 22 ppm Se. However, bismuth 129 ppm vs. 69 ppm, is richer in the Dulong ores.

### 3.1 Correlation coefficient

Among the major ore components of the Dulong ores (Table 2), high correlation coefficients are obtained from Cd-Zn (0.97), Cu-Co (0.95), Cu-Ag (0.95), Cu-Bi (0.92) and Cu-Ni (0.91). High values are also observed on some minor elements; e.g., Cr-V (0.98), Bi-Ag (0.93), Ni-Ag (0.92), Co-Ni (0.89), Co-Ag (0.86), Bi-Co (0.82) and Sn-Ag (0.80). These high correlation coefficients are quite distinct among the previously studied ore deposits, such as those of the Toyoha mine and Bolivia.

Indium is best correlated with selenium (In-Se 0.59) and cadmium (In-Cd=0.52) in the correlation coefficient. Tin is the best correlated with not indium but silver (Sn-Ag=0.80) and copper (Sn-Cu=0.79).

### 3.2 Binary diagrams

In Figure 4, indium of the Dulong ores is plotted against commonly related elements such as tin and zinc, and also so-called low temperature components of silver and antimony. Their correlation coefficients are very low as follows: In-Sn (0.08), In-Zn (0.34), In-Ag (0.37), and In-Sb (-0.32). However, indium looks fairly well correlated with zinc (see solid triangle of Fig. 4B). For comparison, four samples from the Changpo-Tongkeng orebody of the Dachang mine and data from the Shinano Vein of the Toyoha mine (Ishihara and Matsueda, 2011), are also plotted.

In the In-Sn diagram, the Shinano ores are plotted toward the highest indium and tin area, and the Changpo-Tongkeng ores are plotted in similar area. The Dulong ores are, however, plotted toward a low tin (and indium) area (Fig. 4A). In the indium vs. zinc diagram (Fig. 4B), the Dulong ores are plotted to follow the In/Zn =0.001 at the low-grade side, but the Toyoha ores

Table 2 Correlation coefficients of the zinc ores from the Dulong mine.

	In	Sn	Cd	Zn	Pb	Cu	Fe	Mn	V	Cr	Ni	Co	Ga	Mo	As	Bi	Ag	Sb	Se
In	1.00																		
Sn	0.08	1.00																	
Cd	0.52	-0.26	1.00																
Zn	0.34	-0.30	0.97	1.00															
Pb	0.20	0.56	-0.20	-0.21	1.00														
Cu	0.37	0.79	-0.19	-0.26	0.67	1.00													
Fe	-0.01	-0.13	0.12	0.17	-0.07	-0.20	1.00												
Mn	-0.39	0.23	-0.07	-0.03	-0.12	-0.20	-0.32	1.00											
V	-0.22	0.02	-0.28	-0.28	-0.30	-0.12	-0.42	0.27	1.00										
Cr	-0.22	0.11	-0.27	-0.26	-0.34	-0.21	-0.35	0.22	0.98	1.00									
Ni	0.26	0.75	-0.31	-0.38	0.59	0.91	-0.36	-0.16	0.25	0.15	1.00								
Co	0.33	0.72	-0.16	-0.21	0.49	0.95	-0.29	-0.18	0.03	-0.04	0.89	1.00							
Ga	-0.25	-0.27	-0.29	-0.28	-0.53	-0.31	-0.16	-0.22	0.36	0.40	-0.15	-0.16	1.00						
Mo	0.08	0.43	-0.30	-0.33	0.43	0.46	-0.26	-0.21	-0.07	-0.21	0.55	0.36	0.07	1.00					
As	-0.15	0.01	0.22	0.33	-0.26	0.00	0.16	-0.05	-0.05	-0.10	-0.06	0.11	-0.03	0.00	1.00				
Bi	0.49	0.71	-0.02	-0.12	0.64	0.92	-0.04	-0.32	-0.24	-0.33	0.83	0.82	-0.31	0.54	-0.02	1.00			
Ag	0.37	0.80	-0.19	-0.26	0.73	0.95	-0.21	-0.19	-0.11	-0.23	0.92	0.86	-0.32	0.67	-0.04	0.93	1.00		
Sb	-0.32	0.00	-0.39	-0.36	0.36	-0.04	0.08	-0.11	-0.31	-0.32	-0.11	-0.17	-0.14	0.10	-0.17	-0.10	-0.01	1.00	
Se	0.59	0.30	0.70	0.67	0.34	0.45	-0.08	-0.12	-0.28	-0.35	0.36	0.44	-0.47	0.26	0.16	0.57	0.51	-0.36	1.00

tend to have higher ratio around In/Zn =0.01. Absolute amounts of indium are much higher in the Shinano ores than the Dulong ores.

The Dulong ores are depleted in silver and antimony. A weak positive correlation is observed on the In-Ag

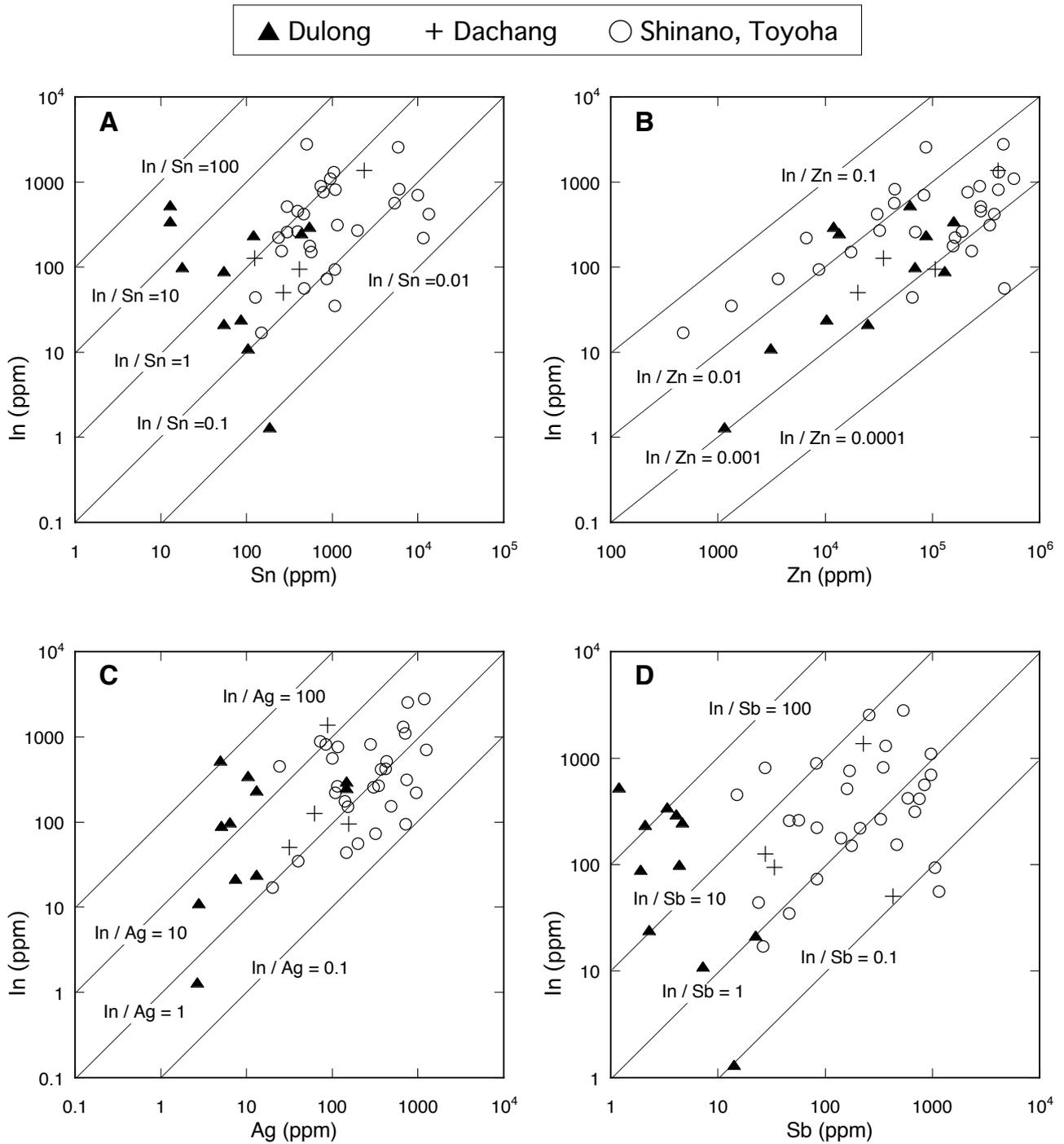


Fig. 4 Binary diagrams of indium and selected ore components of the Dulong, Dachang and Toyoha deposits.

diagram of the Dulong ores, while the Changpo-Tongkeng ores are plotted together with the Shinano ores (Fig. 4C). Antimony contents of the Dulong ores are clearly separated toward the low content area, less than 10 ppm, against the Toyoha ores (Fig. 4 D), while those of the Changpo-Tongkeng ores are plotted in similar area to those of the Shinano ores.

Among the other ore components, cadmium is always well correlated with zinc. Here, with this condition, the

Dulong ores seem to have lower Cd/Zn ratios than the Changpo-Tongkeng and Shinano ores (Fig. 5A). Arsenopyrite occurs often in tin-bearing ore deposits, and cobalt can be contained in this mineral by its chemical affinity. The Dulong ores have higher Co/As ratio (Fig. 5B) than the Shinano ores, which has correlation coefficient of 0.93. Arsenic is low among the Dulong ores, relative to the Dachang and Shinano ores (Fig. 5C). Tungsten is much dominant in the Changpo-Tongkeng

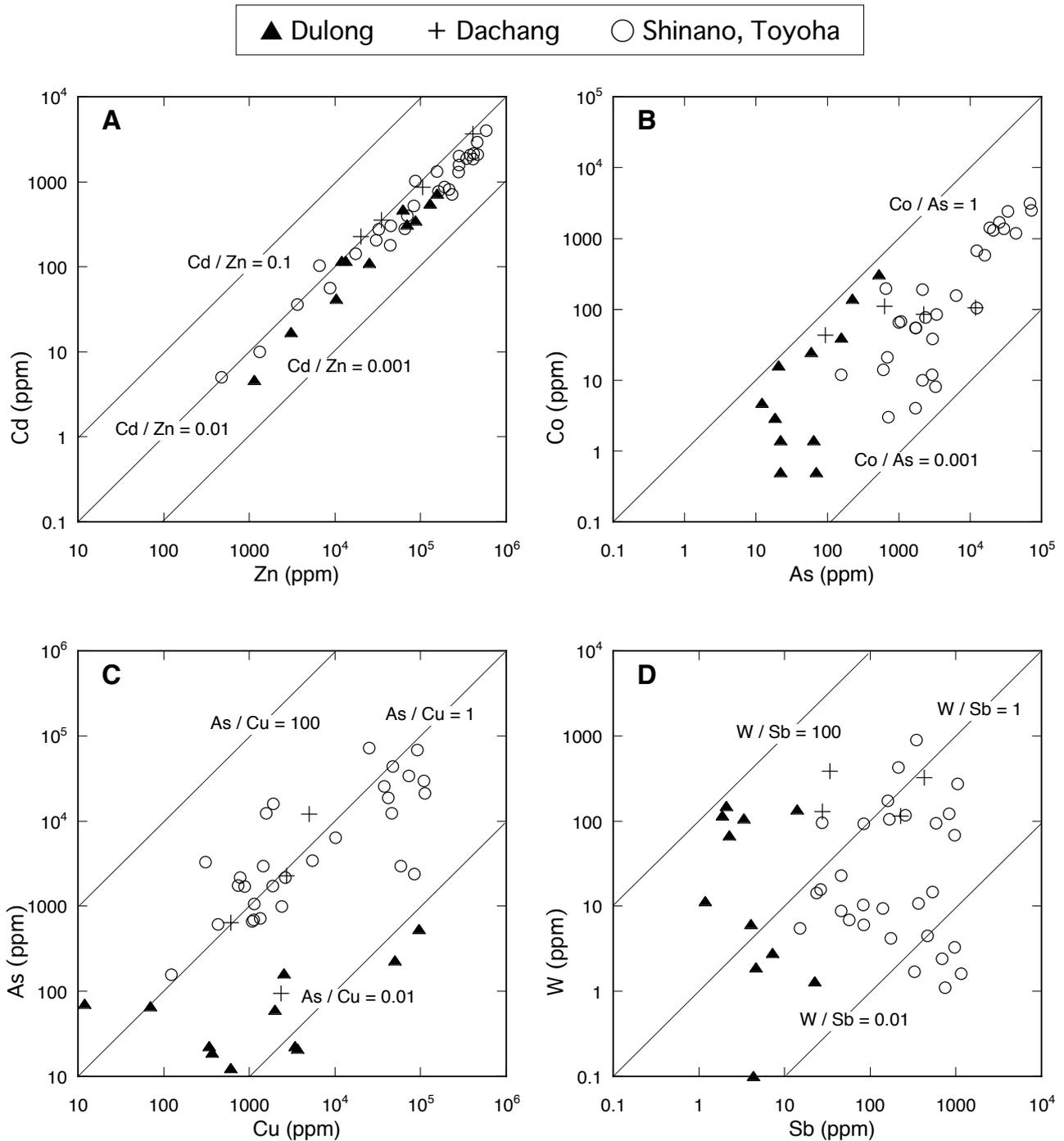


Fig. 5 Binary diagrams of selected ore components of the Dulong, Dachang and Toyoha deposits.

ores than the Dulong ores (Table 1). In the tungsten-antimony diagram, the Dulong ores are plotted in an area below 10 ppm Sb, while the Changpo-Tongkeng and Shinano ores above 10 ppm Sb (Fig. 5D).

#### 4. Indium concentration and genetic problems

Zhang *et al.* (1998, 2003) reported an averaged indium content of 139 ppm (n=35) and 1000In/Zn ratio of 0.8 for the Dulong ores (Table 4). Our average is 172 ppm

In (n=11) but its 1000In/Zn value is 6.0, much higher than their value in the In/Zn ratio. At the famous Toyoha mine, the whole average of 62 samples is 854 ppm In (n=62) and the 1000In/Zn ratio is 14.2 (Ishihara and Matsueda, 2011). It means that many indium minerals are contained in the Toyoha ores. Ohta (1989) considered economically most important minerals are Zn-In mineral which has an intermediate composition of sphalerite and roquesite, and indium-bearing sphalerites

Table 3 Indium contents of ores from the lead-zinc ore deposits in South China.

Locality	No. sample	In (ppm)	Zn(%)	Sn(ppm)	1000In/Zn	Tot.In
Dulong	35	139	18.2	n.d.	0.8	>3,500
Our study	11	172	5.2	150	6.0	n.d.
Dachang, Changpo-Tonkeng	16	95	15.0	960	1.6	>4,000
Our study	4	410	14.4	798	2.6	n.d.
Ditto, Dafulou	9	105	19.0	1,050	0.6	n.d.
Ditto, Longtaoshan	n.d.	310	10.1	17,900	3.1	2,000
Gejiu	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	>500
Jinziwo, Guangdong	8	92	17	900	0.5	400
Jubankeng, ditto	5	87	7	910	1.2	n.d.

n.d.: Not studied, Tot. In: Estimated total In tonnages by Zhang *et al.* (1998).

whose In-contents go up to a few percent. A complete solid solution was observed between the Zn-In mineral and sphalerite. The other important indium carriers are kesterite, stannite, and anisotropic chalcopyrite.

#### 4.1 Indium contents of zinc concentrates and sphalerites

For industry purpose, indium content of sphalerite concentrates is most significant. At the Toyoha mine, zinc concentrates of 2005 contained 1,030 ppm In for 48.3 % Zn, 6.2% Fe and 1.3% Pb (Ishihara *et al.*, 2006), thus the 1000In/Zn ratio is 2.1. This decreasing of 1000In/Zn of 14.2 to 2.1 indicates removal of indium minerals from the zinc concentrates. In South China, zinc concentrates were not available, but mineralogical data on sphalerites are given by Zhang *et al.* (2003), as follows: Changpo-Tongkeng orebody (n=16): 1,010 ppm In for 59.4 % Zn and 6.2% Fe, 1000In/Zn=1.7, and Dafulou orebody (n=2): 1,300 ppm In for 57.8 % Zn and 7.9 % Fe. 1000In/Zn=2.3.

Sphalerites are black by naked eyes and reddish under microscope at the Dulong deposits (Plate I E). The mineral occurs filling host silicates and magnetite crystals. Electron-micro-probe analyses indicate that indium in the Dulong ores is highly concentrated in cassiterite, other than sphalerite, and its distribution is homogeneous, unlike most of the sphalerites in the Toyoha ore deposits (Ohta, 1989).

The ore data are given in Table 3, together with total indium tonnages of major ore deposits estimated by Zhang *et al.* (1998).

Table 4 Chemical composition of two-mica granite at north of the Dulong mine.

Elements	%	Elements	ppm
SiO <sub>2</sub>	72.93	Ge	1.3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.01	Zr	113
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.49	Hf	3.4
MnO	0.04	Nb	21.7
MgO	0.30	Ta	5.99
CaO	0.63	V	9
Na <sub>2</sub> O	3.09	Cr	<20
K <sub>2</sub> O	5.44	Co	15
TiO <sub>2</sub>	0.20	Ni	< 20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.25	Cu	< 10
F	0.18	Pb	81
LOI	1.10	Zn	70
Total	99.49	Tl	3.79
Rb(ppm)	403	As	< 5
Cs	25.5	Sc	3
Sr	86	Be	7
Ba	336	Mo	< 2
Ga	24	W	108
A/CNK	1.16	Sn	26
NK/A	0.78	Bi	1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /MgO	4.97	In	< 0.1
Ga*10000/A	3.24	Sb	7.6
Rb/Sr	4.69	Th	31
Zr-T(°C)	769	U	11

#### 4.2 Volcanic vs. plutonic environment

All the major indium deposits in Japan, such as the Toyoha, Ashio and Ikuno-Akenobe deposits, are hosted

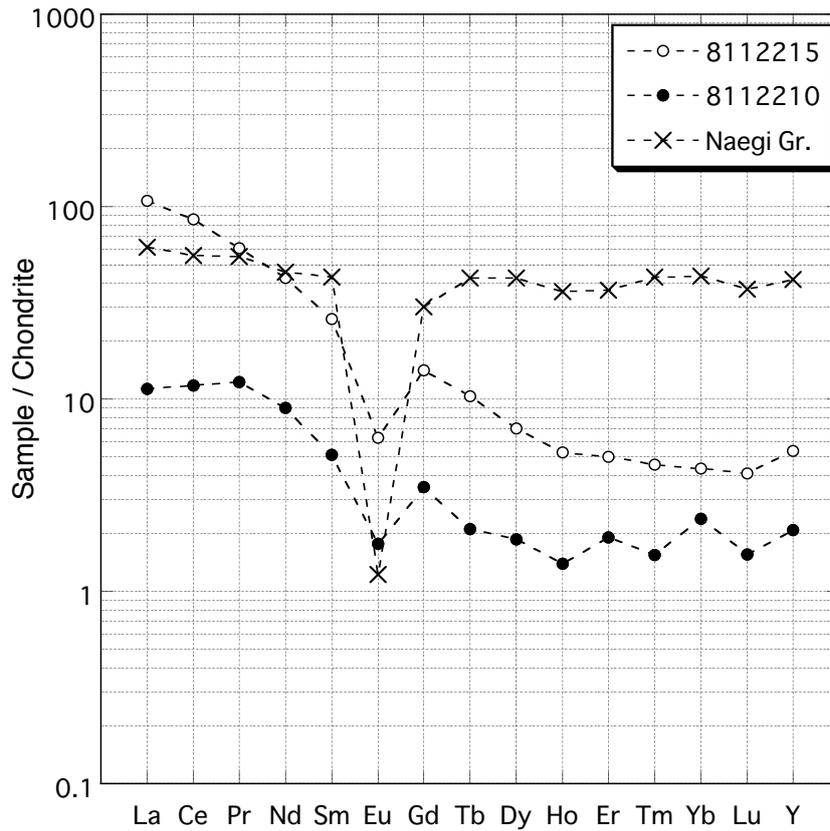


Fig. 6 REE patterns of the two-mica granite (8112215) and nearly barren zinc ore (8112210) from the Dulong mine.

in coeval volcanic rocks and occur with subvolcanic dikes (Ishihara *et al.*, 2006). Here at the Dulong mine, holocrystalline muscovite-bearing biotite granite (Plate II F) intrudes metamorphic rocks at north of the Dulong ore deposit. The granite has A/CNK higher than 1.1, rich in K<sub>2</sub>O (5.44%), F (1,800 ppm), Rb (403 ppm), W (108 ppm) and tin (26 ppm, Table 4); thus considered as S type. Cassiterites are mined by small-scale mining within the granites. Therefore, tin is enriched in the late stage of granitic magmatism, which may have caused tin-rich character of the Dulong ore deposits.

Granitic rocks also occur in the Dachang mine area. They are often subvolcanic in texture (Plate II E) and seem to have been crystallized in shallower level than the granite in the Dulong mine area. Moreover, many ore components of the Changpo-Tongkeng orebody in the binary diagrams are similar to those of the Toyoha deposits, which have been formed under a volcanic environment because only a few quartz porphyry dikes are seen in the volcano-sedimentary host rocks of Miocene age. The Dulong ores are, however, poor in so-called volcanogenic ore components, such as antimony, silver and selenium, and plotted differently from the Changpo-Tongkeng and Toyoha ores. These facts suggest that the Dulong ores were formed under a plutonic environment.

### 4.3 Source of ore metals

Tin is typical recycling element in the continental crust through ilmenite-series magmatic activities (Ishihara, 1981). Indium may have similar genetic background since high In sphalerite tends to occur tin-rich base metal ore deposits.

#### (1) Dulong mine

Muscovite-biotite granite at Dulong mine has very low magnetic susceptibility less than  $10 \times 10^{-3}$  SI unit and belongs to ilmenite series. Its rare earth element (REE) content is 150 ppm and Y content is 12 ppm and its LREE/HREE ratio is 15.6 (La/Yb=36.6). A typical tin granite in the Japanese Islands is Naegi granite in central Japan. Its western body which hosts the largest Ebusu deposits has an average is 152 ppm REE (n=5), and Y content is 92 ppm and LREE/HREE ratio is 2.4 (La/Yb=2.1; Ishihara and Murakami, 2006). REE patterns of the Dulong granite and Naegi granite are similar each other, but the Dulong granite is less fractionated having shallow Eu negative anomaly and less amounts of HREE (Fig. 6).

REE contents of the altered wall rocks and ores are very low, 24 ppm at maximum. REE pattern of this highest REE content is similar to that of the Dulong granite, implying that the REE is derived from the granite. Thus, tin in the orebody must have come from

the Dulong granite.

Strontium initial ratio of sphalerite and quartz at the Dulong mine,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.716771$ , is high enough to think the source in the felsic crustal materials, as mentioned previously. The very high Sri ratio indicates that the granite was generated by remelting of underlying old crustal rocks. The ore elements must have derived from the same source in the crust, and transported to the ore deposit site by ilmenite-series magmatism.

## (2) Dachang mine

At the Dachang mine area, a variety of the mineralizations is observed (Peng *et al.*, 1997). The largest Changpo-Tongkeng ore deposits occur at a margin of the granite porphyry intrusion (Plate II E) and in the overlying Devonian strata following the bedding plane (Plate II D). At the indium-rich Longtaoshan deposits, orebodies occur also in carbonate rocks intruded by felsic dikes. Therefore, the tin-zinc mineralizations are affected by both magmatic and sedimentary source rocks.

One of the most important ore components, sulfur, shows a big variety in the  $\delta^{34}\text{S}$  ratio. Averaged  $\delta^{34}\text{S}$  values are mostly negative down to -10 per mil. The Changpo ores show ca. -5 per mil and the Tongkeng ores are around -3 per mil. These negative values depend upon availability of sulfur from black shale of the host rocks. On the contrary, the indium-rich Longtaoshan orebody has  $\delta^{34}\text{S}$  values around +9 per mil. For the  $^{34}\text{S}$  enrichment, both magmatic sulfur and sulfate sources from the carbonate beds (Ishihara *et al.*, 2002) are possible.

About indium, there have been no sedimentary rocks containing anomalous amounts of the element by the reconnaissance study (Ishihara *et al.*, 2009). We need further study for the provenance of these important ore components.

As mentioned previously, tourmalines in the ore deposits were studied for Sr and Nd isotopes (Liu *et al.*, 1999), and Type-I tourmaline was considered formed by deeply circulating submarine hydrothermal fluids during the Devonian time, and the Type-II tourmaline formed by the Yanshanian magmatic-hydrothermal fluids mixed with Sr and Nd from the host Devonian rocks. Thus, the mineralizations occurred having both syngenetic ore fluids in the Devonian sea bottom and magmatic fluids from the Yanshanian tin granites.

## 5. Conclusions

Reconnaissance geochemical studies were made on the ores from 1170 mL of the Dulong open pit, and 445 mL of the Changpo-Tongkeng orebody, No. 92, Dachang mine, and the following conclusions were obtained:

(1) Dulong ores contain a maximum of 527 ppm In and averaged 1000In/Zn ratio is 4.1, while the Changpo-Tongkeng deposit contain up to 1,370 ppm

In, but an average 1000In/Zn ratio is 2.6. These values are much lower than 854 ppm In (n=62) and 7.1 1000In/Zn (n=61) of the Toyoha deposits.

(2) The Dulong ores are depleted in silver and antimony, and enriched in tungsten among the ore metals, while the Dachang ores are rich in silver and antimony similarly to the Toyoha ores occurring in the volcanogenic Green Tuff belt in Japan. Concentration of indium in sphalerites is homogeneous in the Dulong ores but is strongly banded in the Toyoha ores. The Dulong ore deposits were formed in a plutonic environment related to S-type ilmenite-series granite, while the Dachang deposits were formed at shallower level, related to subvolcanic intrusions. A volcanogenic environment appears to be better to concentrate indium.

**Acknowledgement:** The authors are indebted to Prof. W. Mao for the arrangement of this field trip. We also thank to the staff members of the Dulong and Dachang mines for guiding us to the outcrops.

## References

- Fan, D., Zhang, T. Ye, J., Pasava, J., Kribek, B., Dobes, P. Varrin, I. and Zak, K. (2004) Geochemistry and origin of tin-polymetallic sulfide deposits hosted by the Devonian black shale series near Dachang, Guangxi, China. *Ore Geology Rev.*, **24**, 103-120.
- Ishihara, S. (1981) The granitoid series and mineralization. *75<sup>th</sup> Anniv. Vol., Econ. Geol.*, 458-484.
- Ishihara, S. and Matsueda, H. (2011) Chemical characteristics of the indium- polymetallic ores from the Toyoha mine, Hokkaido, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, (in press).
- Ishihara, S. and Murakami, H. (2006) Fractionated ilmenite-series granites in Southwest Japan: Source magma for REE-Sn-W mineralization. *Resource Geol.*, **56**, 245-256.
- Ishihara, S. and Murakami, H. (2008) Geologic background of In-resources in the southern China, with special reference to genesis of the Dachang deposits. *Shigen-Chishitsu*, **58**, 139-150 (in Japanese with English abstract).
- Ishihara, S., Murakami, H. and Marquez-Zavalía, M. F. (2011) Inferred indium resources of the Bolivian tin-polymetallic deposits. *Resource Geol.*, **61**, 174-191.
- Ishihara, S., Kajiwara, Y. and Jin, M-S. (2002) Possible carbonate origin of ore sulfur from Geumseong Mo deposit, South Korea. *Resource Geol.*, **52**, 279-282.
- Ishihara, S., Hoshino, K., Murakami, H. and Endo, Y. (2006) Resource evaluation and some genetic aspects of indium in the Japanese ore deposits. *Resource Geol.*, **56**, 347-364.

- Ishihara, S., Ishiyama, D., Sato, H. and Murakami, H. (2009) Indium contents of some sedimentary and igneous rocks in the In-mineralized areas in China, Japan and Bolivia. *Shigen-Chishitsu*, **59**, 219-222 (in Japanese with English abstract).
- Jiang, S-Y., Han F., Shen, J-Z., Palmer, M. R. (1999) Chemical and Rb-Sr, Sm-Nd isotopic systematics of tourmaline from the Dachang Sn-polymetallic ore deposit, Guangxi province, P. R. China. *Chem. Geol.*, **157**, 49-67.
- Liu, Y., Li C., Zeng, Z. and Wang, J. (1999) Monomineral Rb-Sr dating contour determination of Dulong tin and zinc deposits. *Bull. Kunmin Metallurgy College*, **15**, 5-8 (in Chinese with English abstract).
- Murakami, H. and Ishihara, S. (2008) Indium deposits of South China: Dachang and Dulong. *Shigen-Chishitsu*, **58**, Frontispiece 1-2 (in Japanese).
- Ohta, E. (1989) Occurrence and chemistry of indium-containing minerals from the Toyoha mine, Hokkaido, Japan. *Mining Geol.*, **39**, 355-372.
- Pasava, J., Kribek, B., Dobes, P., Vavrin, I., Zak, K., Fan, D, Zhang, T. and Boiron, M. C. (2003) Tin-polymetallic sulfide deposits on the eastern part of the Dachang tin field (South China) and the role of black shale in their origin. *Mineral. Deposita*, **38**, 39-66.
- Peng, Z., Watanabe, M. and Hoshino, K. (1997) Overview of tin-polymetallic mineralization in the Dachang ore field, Guangxi, China. *Shigen-Chishitsu*, **47**, 331-340 (in Japanese with English abstract).
- Peng, Z., Watanabe, M., Hoshino, K. and Shibata, Y. (1999) Ore mineralogy of tin-polymetallic (Sn-Sb-Fe-Pb-Zn-Cu-Ag) ores in the Dachang tin field, Guangxi, China, and their implications for the ore genesis. *N. Jb. Miner. Abh.*, **175**, 125-151.
- Zhang, Q., Zhan, X., Pan, J. and Shao, S. (1998) Geochemical enrichment and mineralization of indium. *Chinese Jour. Geochemistry*, **17**, 221-225.
- Zhang, Q., Liu, Z., Zhan, X., and Shao, S. (2003) Specialization of ore deposit types and minerals from enrichment of indium. *Ore Deposit Geol.*, **22**, 309-316 (in Chinese with English abstract)
- Zhang, Q., Zhu, X-Q., Gao, Z-M. and Pan, H-Y. (2005) A review of enrichment and mineralization of the dispersed elements in China. *Bull. Mineralogy, Petrology, Geochemistry*, **34**, 342-349 (in Chinese with English abstract).

Received April 8, 2011

Accepted June 16, 2011

## 深成・火山性環境下の亜鉛鉱石におけるインジウム濃集：華南の都龍と大廠鉱床の場合

石原舜三・村上浩康・李 曉峰（リーシャオフエン）

### 要 旨

中国を代表する5,000トンIn級のインジウム鉱床、都龍と大廠の鉱石を分析し、その地球化学的な考察を行った。都龍鉱床の鉱石は、平均1,000 In/Zn比=4.1を持ち、大廠鉱床の鉱石は、2.6-3.1と同程度である。しかし都龍鉱床の鉱石は銀とアンチモンに乏しく、タングステンに富んでいる。大廠鉱床の鉱石は銀とアンチモンに富んでおり、2成分図上で豊羽鉱床の鉱石と類似した領域にプロットされる。これらの性質・母岩・貫入花崗岩類を考慮すると、都龍鉱床はS-タイプチタン鉄鉱系花崗岩の貫入により“深成環境”で、大廠鉱床はより浅い垂火山性環境で生成した可能性が大きく、インジウムの濃集には“深成岩”よりも、より浅成の火山性環境が適しているものと考えられる。

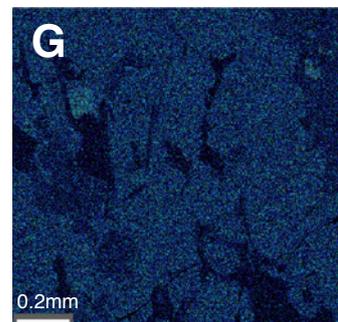
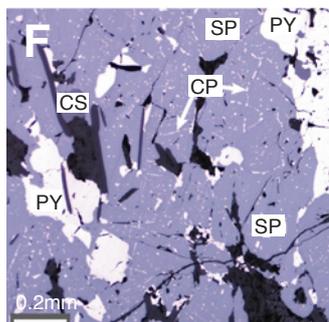
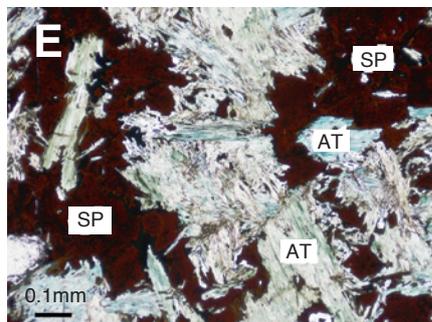
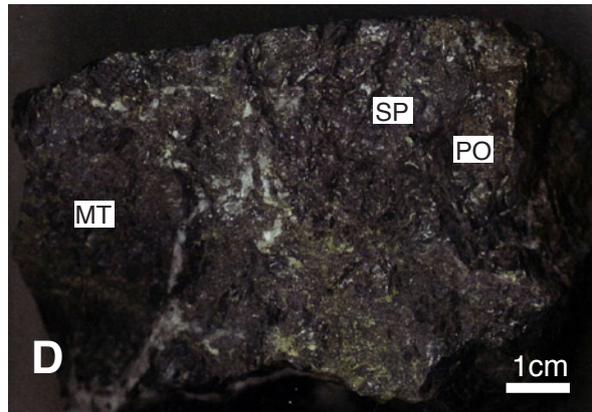
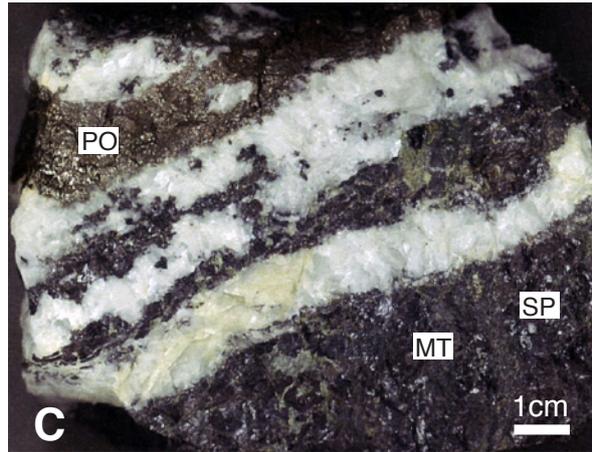


Plate I Selected photographs of the studied ore deposits at the Dulong open pit.

A: The northern part of the Dulong open pit. Flat and wide.

B: An old adit and mineralized sheared zone. See veinlets above the portal. No. 24 orebody, 1170 mL.

C: Magnetite (MT), pyrrhotite (PO) and sphalerite (SP) alternated with carbonates (white). Sample no.: 8112214.

D: High-grade sphalerite (SP)-pyrrhotite (PO)-magnetite (MT) ore. Sample no.: 8112209.

E: Euhedral actinolite (AT) replaced by reddish sphalerite (SP) under microscope. Single nicol.

F: Ore microscopy of sphalerite (SP) with chalcopyrite (CP) dots, and pyrite (PY) and cassiterite (CS).

G: Compositional image of indium ( $L\alpha$ ). Note homogeneous In-distribution in sphalerite and cassiterite, and higher In-values on cassiterite.

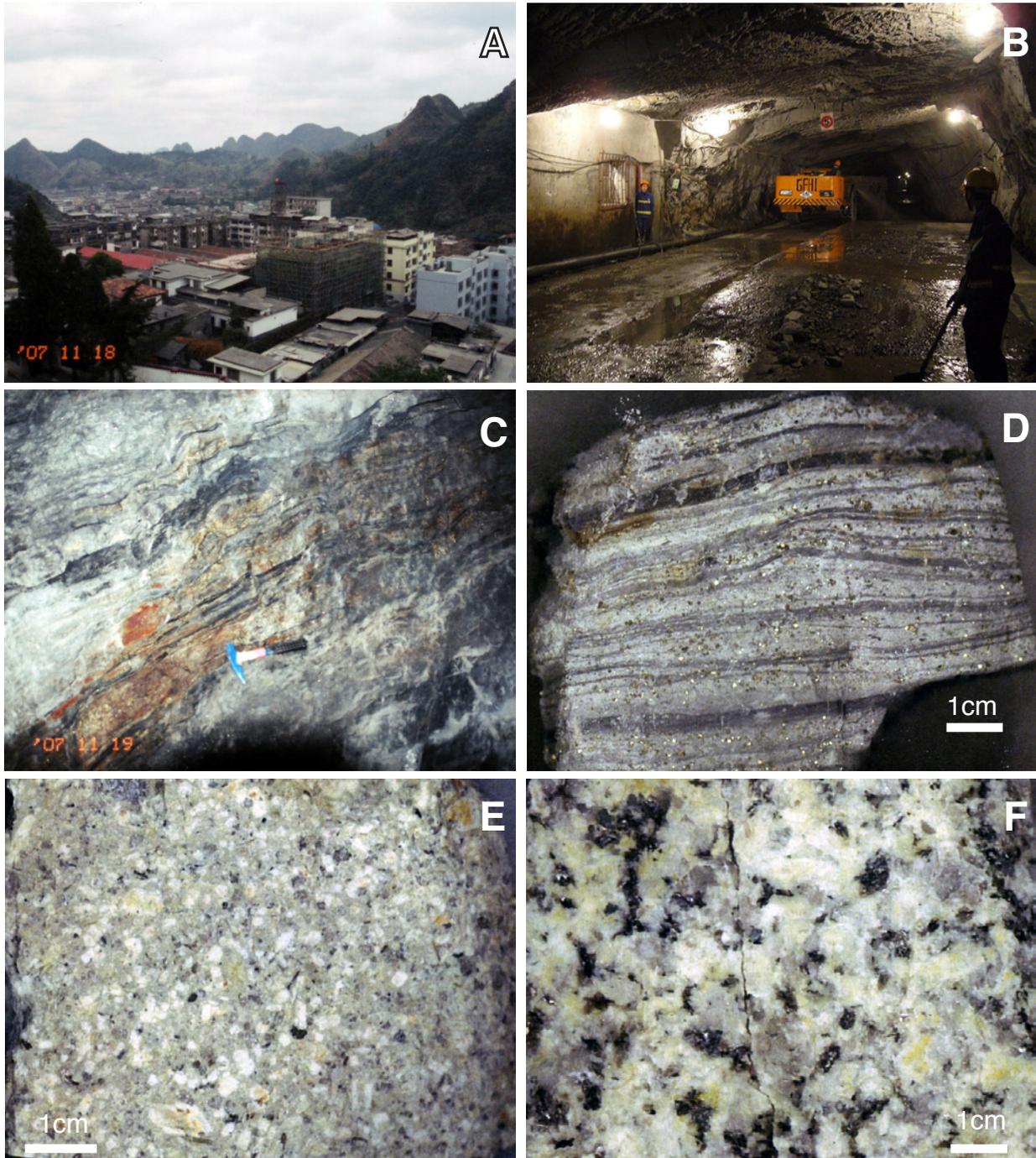


Plate II Photographs of the Dachang mine (A~E) and the Dulong mine (F).

A: Mining town, Dachang, with a unique limestone topography.

B: Modern underground mining of the Dachang mine at 445 mL.

C: Syn-sedimentary-looking ore beds of the Changpo-Tongkeng orebody, No. 92, 445 mL.

D: Close-up of the synsedimentary ore with euhedral pyrite disseminated.

E: Subvolcanic looking of the granite in the Dachang mine area.

F: Muscovite-bearing biotite granite to the north of the Dulong mine.

## 新潟県加茂地域, 三条市塩野淵の中部中新統七谷層中に見つかった テフラの記載岩石学的特徴とフィッション・トラック年代

工藤 崇<sup>1,\*</sup>・檀原 徹<sup>2</sup>・岩野英樹<sup>2</sup>・山下 透<sup>2</sup>・柳沢幸夫<sup>1</sup>

Takashi Kudo, Tohru Danhara, Hideki Iwano, Tohru Yamashita and Yukio Yanagisawa (2011) Petrographical feature and fission-track age of a tephra found from the Middle Miocene Nanatani Formation at Shionofuchi, Sanjo City, Kamo District, Niigata Prefecture. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 62 (7/8), p. 273-280, 5 figs, 1 table.

**Abstract:** The Shionofuchi-biotite (Sbi) tephra was found from the Middle Miocene Nanatani Formation at Shionofuchi, Sanjo City, Kamo District, Niigata Prefecture. The Sbi tephra is a crystal-rich coarse tuff layer (9 cm thick) intercalated between the basalt to andesite volcanoclastic rocks and light gray massive mudstone of the Nanatani Formation. This tephra contains plagioclase (oligoclase and bytownite in composition), quartz, sanidine, biotite, opaque minerals and a trace amount of zircon and allanite. Fission-track age of Sbi tephra was determined to be  $13.8 \pm 0.3$  Ma (1 $\sigma$ ). This age is consistent with the biostratigraphic data. The Kbi tephra that is correlated to the Muro Pyroclastic Flow Deposit in Kii Peninsula is intercalated in the similar horizon to the Sbi tephra. Furthermore, the lithofacies of the Sbi tephra resembles that of the Kbi tephra. However, according to the inconsistency of plagioclase composition, trace heavy mineral assemblage and uranium contents in zircon, the Sbi tephra is not correlated to the Kbi tephra. Therefore, we have to pay attention to correlate these tephras.

**Keywords:** Middle Miocene, Sbi tephra, petrography, fission-track age, correlation, Nanatani Formation, Niigata sedimentary basin

### 要 旨

新潟県加茂地域, 三条市塩野淵において, 中部中新統の七谷層から黒雲母に富むテフラを発見し, 塩野淵バイオタイト (Sbi) テフラと命名した。本テフラは灰色を呈する層厚 9 cm の結晶質中粒~極粗粒砂サイズの凝灰岩で, 七谷層の玄武岩~安山岩火山砕屑岩と明灰色塊状泥岩の間に挟在する。本テフラの構成鉱物は, 斜長石 (オリゴクレーヌ及びバイトゥナイト組成), 石英, サニディン, 黒雲母, 不透明鉱物を主体とし, 微量のジルコンと褐れん石を伴う。本テフラのジルコン FT 年代は  $13.8 \pm 0.3$  Ma であり, 微化石層序と調和する。本テフラは, 同じく七谷層に挟在し, 紀伊半島の室生火砕流堆積物に対比される Kbi テフラと同様な層準にあり, 非常によく似た層相を示す。しかし, Sbi テフラと Kbi テフラは, 斜長石組成の不一致, 微量に含まれる重鉱物の組み合わせの不一致, ジルコンのウラン濃度の不一致から対比されない。したがって, 今後, 両者の対比にあたっては注意が必要である。

### 1. はじめに

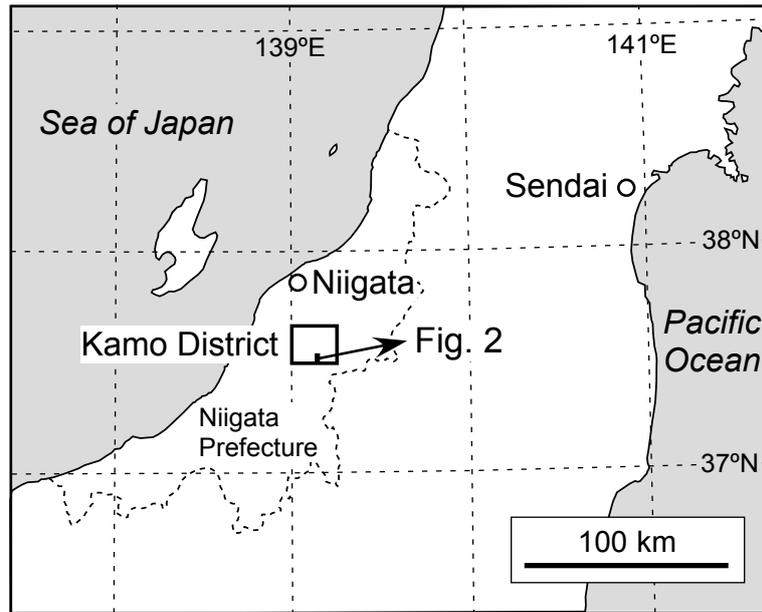
加茂地域は新潟県中部に位置し (第 1 図), 新潟地域坑井層序 (工藤ほか, 印刷中; 片平 (1974) などによる「新潟標準層序」に相当) の 1 つである中部中新統七谷層の模式地として知られている。そのため, 本地域の七谷層については, これまでに多くの層序学的研究が行われ, 本邦の新第三系の年代層序を確立するための基礎資料を提供してきた (大村, 1928; 橋本, 1941; 茅原ほか, 1967; 三梨・宮下, 1970, 1974; 片平, 1974; 米谷, 1978, 1988; 佐藤, 1982; 津田ほか, 1984; 島津・高野, 1986; 佐藤ほか, 1991; 柳沢, 1993; 平松ほか, 1997; 工藤ほか, 印刷中)。しかしながら, 七谷層のテフラ層序に関しては, 中期中新世テフラのデータ蓄積が進んでいないことに加え, 時代が古く変質が進んでいることが多く, 火山ガラスや苦鉄質鉱物の特性を用いた対比が困難である等の理由から, 未だ十分な検討は行われていない。

七谷層のテフラ層序については, これまでに黒川ほか

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

<sup>2</sup> (株)京都フィッション・トラック (Kyoto Fission-Track Co., Ltd., 44-4 Minamitajiri-cho, Omiya Kita-ku, Kyoto 603-8832, Japan)

\* Corresponding author: T. KUDO, Central 7, Higashi 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. E-mail: kudo-taka@aist.go.jp



第1図 新潟県加茂地域の位置図.

Fig.1 Locality map of Kamo District, Niigata Prefecture.

(1998) 及び工藤ほか (2011) の報告がある。黒川ほか (1998) は、三条市駒出川ルート<sup>こまでがわ</sup>の七谷層に挟在するテフラの記載岩石学的特徴を報告した。しかし、他の地域との対比や給源に関する検討は行われていない。その後、工藤ほか (2011) は、同一のルートにおいて、黒川ほか (1998) が未記載の黒雲母に富む1枚のテフラを発見し、これを駒出川バイオタイト (Kbi) テフラと命名した。そして、このテフラが紀伊半島の室生火砕流堆積物及び房総半島木の根層中の Kn-1 テフラに対比され、熊野酸性岩の形成に関連した広域テフラの可能性が高いことを示した。しかし、これまでのところ、Kbi テフラは駒出川ルートの1箇所のみで見つかっていない。

今回、駒出川ルートの南方約 3 km に位置する三条市塩野淵<sup>しおのふち</sup> (第2図) における七谷層中に、Kbi テフラとよく似た層相を示す1枚のテフラを新たに見いだした。このテフラを塩野淵バイオタイト (Sbi) テフラ (新称) と命名する。このテフラについて、記載岩石学的特徴を明らかにし、フィッシュン・トラック (FT) 年代を測定することで、Kbi テフラとの対比を検討した。その結果、両者は対比されることがわかったので、ここに報告する。

## 2. 地質概説

Sbi テフラは、加茂地域南東部、三条市塩野淵の七谷層中に産する。三条市北五百川～塩野淵付近の地質図を第2図に示す。なお、第2図では簡略化のため沖積層及び段丘堆積物を省略した。地層の定義及び区分は、工藤ほか (印刷中) に従った。

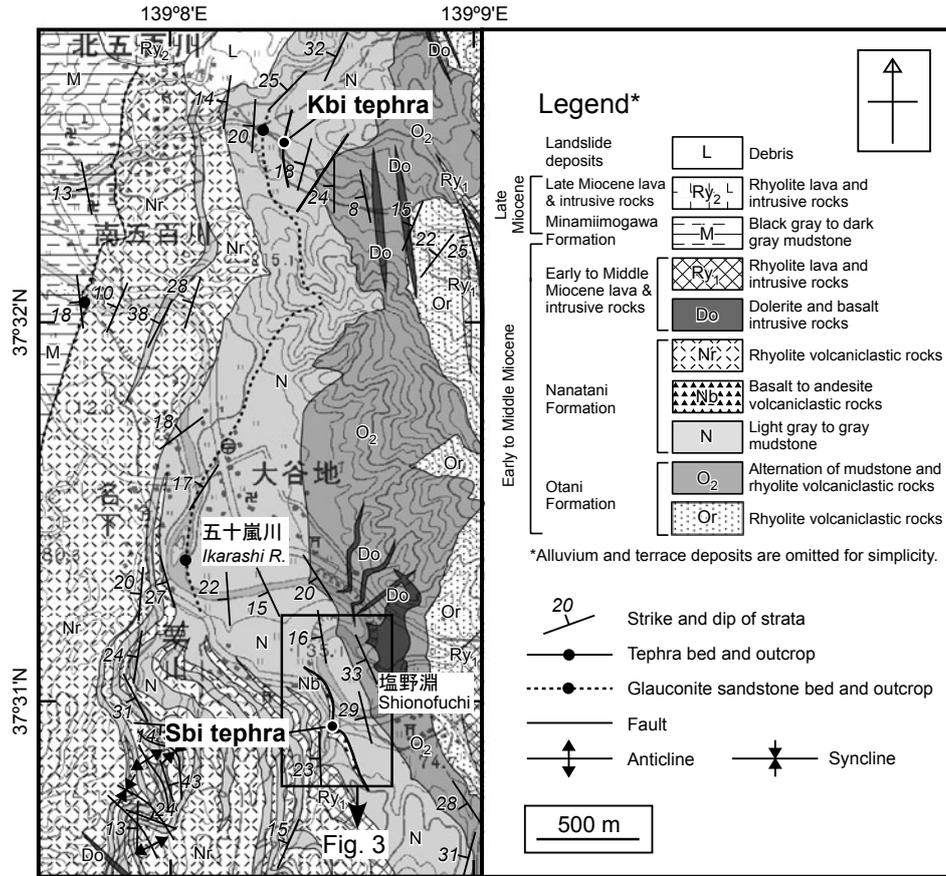
北五百川～塩野淵付近の新第三系は、下部～中部中新統からなり、下位より大谷層、七谷層、南五百川層の順に東から西に向かって累重し、前期～後期中新世の貫入岩がこれらを一貫している (第2図)。

七谷層は、大村 (1928) により命名され、工藤ほか (印刷中) により再定義された。本層の模式地は、三条市北五百川の駒出川及び祓川<sup>はらいがわ</sup>流域である。北五百川～塩野淵付近での本層は、南北に帯状に分布し、南北～北東方向の走向を示し、10～40°で西方～北西方に傾斜する (第2図)。本層は、主部を占める明灰色～灰色塊状泥岩 (N)、中～上部に挟在する玄武岩～安山岩火山碎屑岩 (Nb) 及び流紋岩火山碎屑岩 (Nr) から構成される。また、本層の中部と最上部には、層厚数 10 cm～数 m の海緑石砂岩層が認められる (第2図)。本層は、下位の大谷層の泥岩・流紋岩火山碎屑岩互層 (O<sub>2</sub>) を整合に覆い、上位の南五百川層の黒灰色～暗灰色泥岩 (M) に整合に覆われる。また、本層は前期～中期中新世の流紋岩 (R<sub>Y1</sub>) 及びドレライト・玄武岩 (Do)、後期中新世の流紋岩 (R<sub>Y2</sub>) の貫入を受けている。

## 3. Sbi テフラの産状

塩野淵バイオタイト (Sbi) テフラは、三条市塩野淵の五十嵐川本流から南方に延びる枝沢左岸の露頭において、七谷層中に挟在する (第3図及び第4図)。この地点 (世界測地系で北緯 37° 30' 56", 東経 139° 8' 32") を Sbi テフラの模式地とする。

Sbi テフラは、七谷層・大谷層境界より約 63 m 上位の層準において、層厚約 8 m の玄武岩～安山岩質のスコ



第2図 加茂地域、北五百川～塩野淵付近の地質図及び地形図。位置を第1図に示す。国土地理院発行5万分の1地形図「加茂」を使用。簡略化のため、沖積層及び段丘堆積物を省略してある。

Fig.2 Geological and topographical map of Kita-imogawa and Shionofuchi area in the Kamo District. Its locality is shown in Fig. 1. A part of 1:50,000 topographic map “Kamo” published by the Geographical Survey Institute is used. Alluvium and terrace deposits are omitted for simplicity.

リア火山礫凝灰岩と明灰色塊状泥岩の間に挟在する(第3図及び第4図)。スコリア火山礫凝灰岩は、長径6 cm以下の変質した無斑晶質スコリアで構成され、五十嵐川本流左岸においても露出する(第3図)。しかし、ここではスコリア火山礫凝灰岩と泥岩の境界部分の露頭が欠如しており、Sbiテフラを確認することはできなかった。Sbiテフラ直下の明灰色塊状泥岩中には、海緑石が散在する。ただし、これが七谷層中部の海緑石砂岩層に相当するものかどうかは不明である。

Sbiテフラは、灰色を呈する結晶質中粒～極粗粒砂サイズの凝灰岩で、不明瞭な平行葉理が認められる。模式地における層厚は9 cmである。肉眼で大量の比較的新鮮な黒雲母(最大で長径1 mm程度)を確認できる。

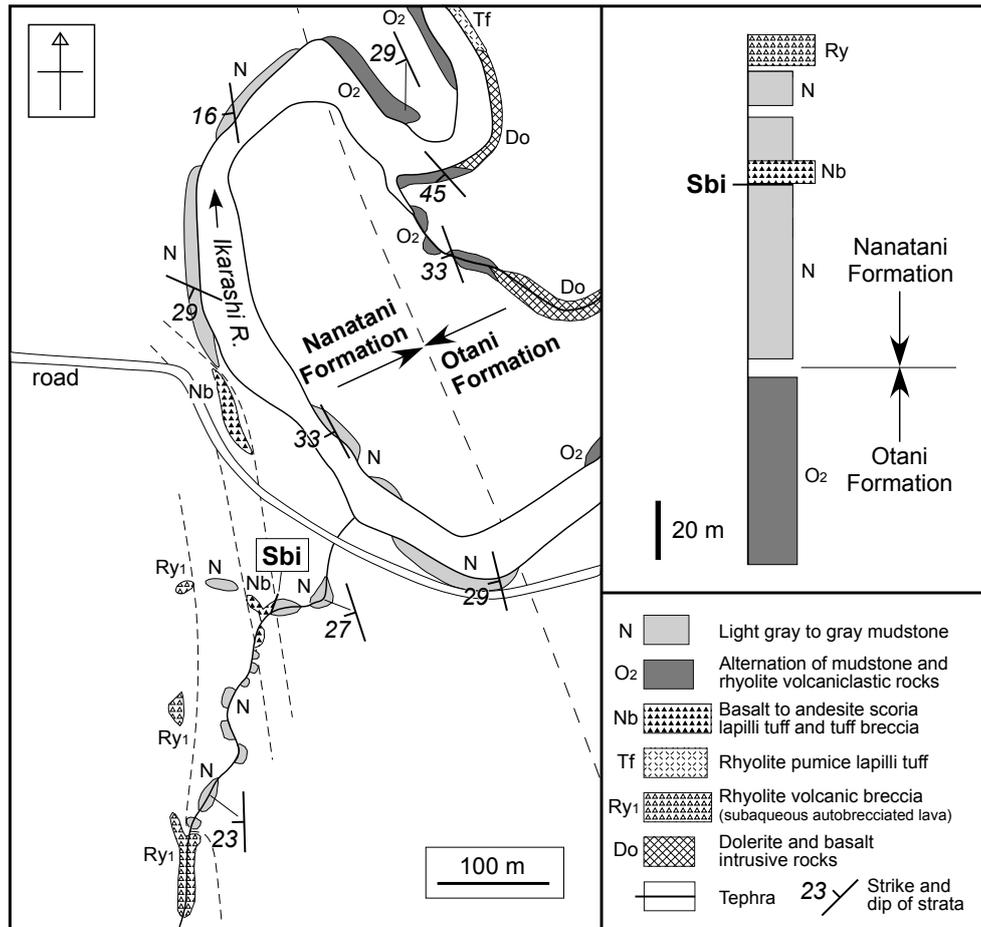
#### 4. 試料及び分析手法

Sbiテフラの記載岩石学的特徴及び堆積年代を明らかにするため、本テフラ試料を対象として、鉍物組成分析、軽鉍物の屈折率測定などのテフラ分析及びFT年代・

FT長測定を行った。

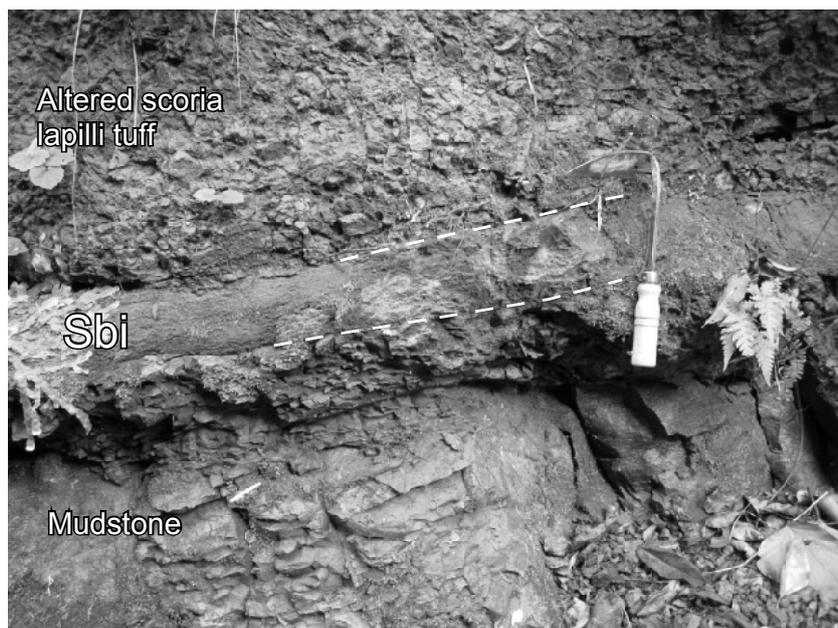
#### 4.1 テフラ分析

Sbiテフラ試料30 gをステンレス乳鉢で1 mm以下になるように粉碎した後、超音波洗浄器を用いて極細粒物を懸濁させ、上澄み液の濁りがなくなるまで水を替えながら取り除いた。使い捨てメッシュ(60, 120, 250メッシュ)を用いて水中で篩い分け、各フラクションの試料を乾燥・回収した。120-250メッシュ(1/8-1/16 mm)の試料の一部を光硬化剤(屈折率:  $n_d=1.54$ )でスライドガラス上に封入し、偏光顕微鏡下でこの薄片を観察し、全鉍物組合せモード分析(火山ガラス、軽鉍物、重鉍物、岩片、その他を対象)と重鉍物組合せモード分析(かんらん石、斜方輝石、単斜輝石、角閃石、黒雲母、燐灰石、ジルコン、不透明鉍物を対象)を行った。次に、温度変化型屈折率測定装置(RIMS: 檀原, 1991; Danhara *et al.*, 1992)を用い、軽鉍物の屈折率測定を行った。屈折率から軽鉍物は、斜長石、石英、カリ長石に分



第3図 三条市塩野淵付近のルートマップと柱状図。位置を第2図に示す。

Fig.3 Route map and columnar section at Shionofuchi, Sanjo City. Its locality is shown in Fig. 2.



第4図 Sbi テフラの産状を示す露頭写真。位置を第2図及び第3図に示す。ねじり鎌の長さは約25 cm。

Fig.4 Field occurrence of the Sbi tephra. Its locality is shown in Figs. 2 and 3. Length of the sickle is about 25 cm.

類し、斜長石は更に6つの組成(アルバイト, オリゴクレーズ, アンデシン, ラブラドライト, バイトゥナイト, アノーサイト)に分類した。なお、火山ガラスは変質のため消失しており、屈折率測定は不可能であった。これらの分析方法のより詳しい説明は山下ほか(2007)に記載されている。

#### 4.2 FT 年代及び FT 長測定

Sbi テフラ試料をステンレス乳鉢で粉碎し、水洗、篩分後、磁性分離と重液による比重分離を行い、60メッシュより細かいジルコン結晶を得た。年代測定には色調による区別を行わずランダムに約100粒子を選び、マウント材に埋め込んだ。測定方法は外部ディテクター法(Gleadow, 1981)を採用した。本研究では、結晶を研磨して露出させた結晶内部面を測定するED1法を選択し、コンファインドFT長を測定することで、再加熱の影響の有無を評価した。コンファインドFT(confined fission track)とは、FTの両端が結晶内部にあり、エッチングされたFTの全長が観察できるもので(Wagner, 1988)、ジルコンでは10–12  $\mu\text{m}$ の長さ(平均値は10.5–11.0  $\mu\text{m}$ ; Hasebe *et al.*, 1994)をもつ。FTは熱を受けると短縮する性質があることから、その短縮率から敏感に熱影響を検知できる。以下では、コンファインドFT長を単にFT長と略す。

具体的な年代測定手順はDanbara *et al.* (1991, 2003)に、FT長測定はIwano *et al.* (1996)に準拠した。ジルコン中の自発トラックのエッチングはKOH-NaOH共融液(225  $^{\circ}\text{C}$ )で31時間行い、ジルコンマウントは2セット用意した。誘導FTの外部ディテクターにはDAP(diallyl phthalate)樹脂を用いた。熱中性子照射は日本

原子力研究開発機構のJRR-3号炉気送管(Auに対するCd比は24)で2回行った。その際、熱中性子線量測定用の標準ガラスはNIST-SRM612を用いた。年代較正はゼータ法(Hurford and Green, 1983)で行い、ゼータ値は $414 \pm 3$ である(Danbara and Iwano, 2009)。ウラン濃度は、原子炉での熱中性子照射によって一定の確率で誘導核分裂が生じる $^{235}\text{U}$ の濃度(誘導FT密度に比例)と、天然の $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ 同位体比が一定であることを利用して求めた(岩野ほか, 2000)。FT長の測定システムはIwano *et al.* (1996)を利用した。

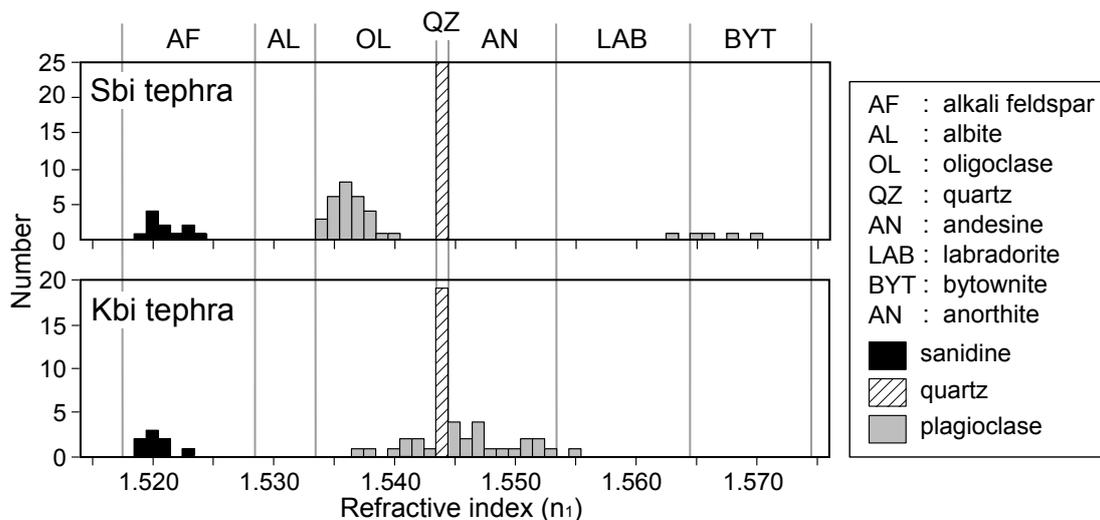
## 5. 分析結果

### 5.1 テフラ分析

Sbi テフラの主要構成鉱物は、斜長石、石英、サニディン、黒雲母、不透明鉱物からなり、微量のジルコンと褐れん石を含む。軽鉱物と重鉱物の量比は85:15である。斜長石の屈折率は、 $n_1=1.534-1.540$ のオリゴクレーズ組成領域のものが主体であるが、 $n_1=1.563-1.570$ のラブラドライト～バイトゥナイト組成領域のものを伴い、バイモーダルな分布を示す(第5図)。火山ガラスは変質のため失われている。変質鉱物として方解石を多く含む。

### 5.2 FT 年代及び FT 長測定

Sbi テフラは赤色と淡桃色を呈する2種類の自形ジルコン結晶と外来結晶を含む。本質結晶と思われる前2者のウラン濃度は約1,000 ppmと非常に高い。Sbi テフラに含まれるジルコンのFT年代測定を2回行った結果、 $13.3 \pm 0.4$  Maと $14.5 \pm 0.5$  Ma(誤差は1 $\sigma$ , 以下同じ)が得られ、両測定とも $\chi^2$ 検定(Galbraith, 1981)に合



第5図 Sbi テフラ及び Kbi テフラに含まれる軽鉱物の屈折率ヒストグラム。Kbi テフラのデータは工藤ほか(2011)による。

Fig.5 Refractive index histograms of light minerals from the Sbi tephra and Kbi tephra. Data for the Kbi tephra are from Kudo *et al.* (2011).

第1表 Sbi テフラのジルコンフィッション・トラック年代測定結果.

Table 1 Zircon fission track ages for the Sbi tephra.

Sample name	n	Spontaneous $\rho_s (cm^{-2})$ (Ns)	Induced $\rho_i (cm^{-2})$ (Ni)	Dosimeter $\rho_d (cm^{-2})$ (Nd)	$P(\chi^2)$ (%)	$r$	U (ppm)	Age ( $\pm 1\sigma$ )
08100802 Sbi Tef.2	20	$7.69 \times 10^6$ (2216)	$1.53 \times 10^7$ (4398)	$1.275 \times 10^5$ (4591)	58	0.91	1130	$13.3 \pm 0.4$
08100802 Sbi Tef.3	20	$7.31 \times 10^6$ (1631)	$1.49 \times 10^7$ (3327)	$1.430 \times 10^5$ (3432)	21	0.84	980	$14.5 \pm 0.5$
Weighted average								$13.8 \pm 0.3$

n, number of grains;  $\rho$  and  $N$ , density and total number of counted tracks, respectively; Analyses were made by using the external detector method that applied to internal surface of zircon (ED1: Danhara *et al.*, 1991); NIST-SRM612 standard glasses were used as a dosimeter;  $P(\chi^2)$ , probability of obtaining the  $\chi^2$  value for  $\nu$  degrees of freedom ( $\nu$  = number of crystals - 1) (Galbraith, 1981);  $r$ , correlation coefficient between  $\rho_s$  and  $\rho_i$ ; U, uranium content calculated based on the induced track densities (Iwano *et al.*, 2000); Zircon grains were irradiated using the pneumatic tube of reactor unit JRR-3 at the Japan Atomic Energy Agency, Japan; Ages were calculated by using a zeta calibration factor of  $\zeta_{ED1} = 414 \pm 3$  (1 $\sigma$ ) for HI with DAP detectors (Danhara and Iwano, 2009).

格した。Sbi テフラの年代の代表として、Taylor (1982) による加重平均値を求めると、 $13.8 \pm 0.3$  Ma となった。35本のコンファインド FT 長は 9.8–11.9  $\mu\text{m}$  に集中し、平均値として  $11.0 \pm 0.5$   $\mu\text{m}$  が得られた。

## 6. 考察

### 6.1 堆積年代

今回、Sbi テフラから  $13.8 \pm 0.3$  Ma のジルコン FT 年代が得られた。コンファインド FT 長分布は 10–12  $\mu\text{m}$  に1つのピークをもち、有意な短縮化は認められないことから、本試料は二次的な再加熱を受けていないと判断される。したがって、得られた年代  $13.8 \pm 0.3$  Ma は Sbi テフラの堆積年代を示すと解釈される。

七谷層は、これまでに多くの微化石層序学的研究 (三梨・宮下, 1970, 1974; 菅野・中世古, 1975; 米谷, 1978, 1988; 佐藤, 1982; 佐藤ほか, 1991; 柳沢, 1993; 平松ほか, 1997; 柳沢・工藤, 2011; 工藤ほか, 2011) が行われてきた。それらによると、七谷層からは、浮遊生有孔虫化石帯区分 (Blow, 1969) の N.8 から N.10 帯、石灰質ナノ化石帯区分 (Okada and Bukry, 1980) の CN3 から CN5a 帯、底生有孔虫化石帯区分 (米谷, 1987) の BF1 帯 (三梨・宮下, 1970, 1974; 米谷, 1988)、珪藻化石帯区分 (Akiba, 1986; Yanagisawa and Akiba, 1998) の NPD4Bb ~ 5B 帯下部に相当する化石が報告されている。これらの微化石層序データによれば、七谷層の堆積年代は 15.2–12.3 Ma と推定され (工藤ほか, 印刷中)、今回得られた FT 年代との矛盾は認められない。

七谷層は主に泥岩から構成されるが、中部~上部には玄武岩~安山岩及び流紋岩火山砕屑岩を挟在する。Sbi テフラはこれらの火山砕屑岩の基底に挟在する。した

がって、今回得られた年代は、七谷層堆積期における火山活動の開始時期を示す年代として重要である。

### 6.2 Kbi テフラとの対比の検討

Sbi テフラは Kbi テフラと非常によく似た層相を示す。両者とも層厚が同程度であり、肉眼で容易に黒雲母を確認でき、主要構成鉱物の組み合わせも似る。挟在する層準も七谷層・大谷層境界から前者が約 63 m 上位、後者が約 80 m 上位と比較的近く、ジルコン FT 年代も前者が  $13.8 \pm 0.3$  Ma、後者が  $14.6 \pm 0.3$  Ma (工藤ほか, 2011) と近い。しかし、両者には以下の違いが認められる。

(1) Sbi テフラに含まれる斜長石は主にオリゴクレーヌとバイトゥナイトであるが、Kbi テフラに含まれる斜長石はオリゴクレーヌ~ラブラドライトであり、頻度分布に大きな差が認められる (第5図)。

(2) Sbi テフラに含まれるジルコンは赤色・淡桃色の組み合わせであるが、Kbi テフラに含まれるジルコンは赤色・無色ジルコンの組み合わせである。

(3) Sbi テフラには微量の褐れん石が含まれるが、Kbi テフラには含まれない。また、Kbi テフラには少量の燐灰石と微量のざくろ石が含まれるが、Sbi テフラには含まれない。

(4) ジルコンのウラン濃度が Sbi テフラでは約 1,000 ppm であるのに対し、Kbi テフラでは 400 ppm と低く、有意な違いがある。

以上の違いから、Sbi テフラは Kbi テフラには対比されず、両者は別のテフラであると判断される。また Sbi テフラは、黒川ほか (1998) が駒出川ルートで記載したいずれのテフラとも鉱物組み合わせが一致せず、対比されない。

以上のように、七谷層のテフラ層序については、現時

点では断片的にデータが報告されている段階にあり、今後の更なる検討が必要である。Sbi テフラと Kbi テフラは、両者とも黒雲母が目立つ特徴から露頭での検出は比較的容易であり、今後の発見地点の増加が期待される。しかし、両者は近接する層準に挟在されることは事実であるが、層序関係については今のところ不明である。また、両者は非常によく似た層相を示し、詳細な顕微鏡観察や分析を行わないと判別が難しいことから、今後、対比にあたっては注意が必要である。

謝辞：加茂地域の調査・研究を進めるにおいて、産業技術総合研究所の内野隆之氏、小松原 琢氏、高橋 浩氏、中江 訓氏には諸般にわたってお世話になった。査読者の中澤 努氏及び編集委員の川邊禎久氏には、本論を改善する上でお世話になった。ここに記して深く感謝申し上げます。

## 文 献

- Akiba, F. (1986) Middle Miocene to Quaternary diatom biostratigraphy in the Nankai Trough and Japan Trench, and modified Lower Miocene though Quaternary diatom zones for middle-to-high latitudes of the North Pacific. In Kagami, H., Karig, D. E., Coulbourn, W. T. et al., *Initial Report of Deep Sea Drilling Project*, no.87, 93-480.
- Blow, W. H. (1969) Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. In Brönnimann, P. and Renz, H. H. eds., *Proc. First International Conference on Planktonic Microfossils (Geneve, 1976)*, Leiden, no.1, 199-421.
- 茅原一也・津田禾粒・須田光治・島津光夫・吉村尚久・佐藤 彬・百武松児・宮沢勝雄・石橋輝樹 (1967) 新潟県五十嵐川上流地域黒鈹床調査報告書. 26 p.
- 檀原 徹 (1991) RIMS による屈折率測定とその応用. *地球*, **13**, 193-200.
- Danhara, T. and Iwano, H. (2009) Determination of zeta values for fission-track age calibration using thermal neutron irradiation at the JRR-3 reactor of JAEA, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **115**, 141-145.
- Danhara, T., Iwano, H., Yoshioka, T. and Tsuruta, T. (2003) Zeta calibration values for fission track dating with a diallyl phthalate detector. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **109**, 665-668.
- Danhara, T., Kasuya, M., Iwano, H. and Yamashita, T. (1991) Fission-track age calibration using internal and external surfaces of zircon. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **97**, 977-985.
- Danhara, T., Yamashita, T., Iwano, H. and Kasuya, M. (1992) An improved system for measuring refractive index using the thermal immersion method. *Quaternary International*, **13/14**, 89-91.
- Galbraith, R. F. (1981) On statistical models for fission track counts. *Jour. Math. Geol.*, **13**, 471-478.
- Gleadow, A. J. W. (1981) Fission-track dating methods: what are the real alternatives? *Nuclear Tracks*, **5**, 3-14.
- Hasebe, N., Tagami, T. and Nishimura, S. (1994) Towards zircon fission-track thermochronology: Reference framework for confined track length measurements. *Chemical Geology*, **112**, 169-178.
- Hurfurd, A. J. and Green, P. F. (1983) The zeta age calibration of fission-track dating. *Isotope Geoscience*, **1**, 285-317.
- 橋本克巳 (1941) 新潟県加茂・七谷地方の地質. *石油技誌*, **9**, 27-35.
- 平松 力・三輪美智子・井上洋子・深沢和恵 (1997) 東北地方の日本海沿岸地域における中新統の石灰質ナンノ化石層序. 瑞浪市化石博物館研究報告, no. 24, 27-38.
- Iwano, H., Yamashita, T. and Danhara, T. (1996) Three-dimensional analysis of fission track length in minerals — A measuring system and its application —. *Fission Track News Letter*, no. 9, 13-22.
- 岩野英樹・吉岡 哲・檀原 徹 (2000) フィッション・トラック法による年代及びウラン濃度算出式の再検討：次世代年代測定システムに向けて. *フィッション・トラックニュースレター*, no. 13, 1-10.
- 片平忠実 (1974) 新潟県中部・北部地域の含油新第三系の層序—新潟県中越・下越地方の石油地質学的研究 (その I) —. *石油技誌*, **39**, 167-178.
- 工藤 崇・内野隆之・小松原 琢・高橋 浩・柳沢幸夫 (印刷中) 加茂地域の地質. 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.
- 工藤 崇・檀原 徹・岩野英樹・山下 透・三輪美智子・平松 力・柳沢幸夫 (2011) 新潟堆積盆七谷層中に見つかった中期中新世広域テフラ：Kbi テフラと紀伊半島室生火砕流堆積物の対比. *地質雑*, **117**, 277-288.
- 黒川勝己・星野勝紀・石田隆一 (1998) 新潟県下田村五百川周辺の七谷層相当層 (中新世中期) 中の凝灰岩層. 新潟大学教育学部紀要, **39**, 47-75.
- 米谷盛寿郎 (1978) 東北日本油田地域における上部新生界の浮遊性有孔虫層序. 日本の新生地地質 (池辺展生教授記念論文集), 35-60.
- 米谷盛寿郎 (1987) 裏日本油田地域における底生有孔虫化石帯区分の現状と問題点. *石油技誌*, **52**, 351.
- 米谷盛寿郎 (1988) 有孔虫化石群の変遷に見られる新第三紀イベント. 土 隆一ほか編, 新第三紀にお

- る生物の進化・変遷とそれに関するイベント, 大阪市立自然史博物館, 31-48.
- 三梨 昂・宮下美智夫 (1970) 日本油田・ガス田図 no. 9, 「七谷」, 地質調査所.
- 三梨 昂・宮下美智夫 (1974) 七谷・大谷川流域の層序及び構造. 地質調査所報告, no. 250-1, 25-50.
- Okada, H. and Bukry, D. (1980) Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude cocolith biostratigraphic zonation. *Marine Micropaleont.*, **5**, 321-325.
- 大村一蔵 (1928) 石油地質学概要 (十七). 地球, **9**, 215-223.
- 佐藤時幸 (1982) 石灰質微化石群集に基づく七谷層と西黒沢層の生層序的考察. 石油技誌, **48**, 88-92.
- 佐藤時幸・馬場 敬・大口健志・高山俊昭 (1991) 日本海側における海成下部中新統の発見と東北日本の台島期—西黒沢期における環境変動. 石油技誌, **56**, 263-279.
- 島津光夫・高野 肇 (1986) 五十嵐川上流, 七谷層中の酸性火山岩類—グリーンタフ貯留岩のガス田の坑井地質との比較—. 田口一雄教授退官記念論文集, 127-135.
- 菅野耕三・中世古幸次郎 (1975) 新潟堆積盆地中部の化石放散虫群集について. 大阪教育大学紀要, **24**, 159-166.
- Taylor, J. R. (1982) *An introduction to error analysis: The study of uncertainties in physical measure-*ments. Univ. Sci. Books, Mill Valley, CA, 270 p.
- 津田禾粒・白井健裕・長谷川美行・新川 公 (1984) 表層地質図「加茂」, 土地分類基本調査「加茂」説明書, 新潟県, 27-43.
- Wagner, G. A. (1998) Apatite fission-track geochronometer to 60°C: Projected length studies. *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)*, **72**, 145-153.
- 山下 透・檀原 徹・岩野英樹・星 博幸・川上 裕・角井朝昭・新正裕尚・和田穰隆 (2007) 紀伊半島北部の室生火砕流堆積物と周辺に分布する凝灰岩の対比及びそれらの給源: 軽鉱物屈折率を用いたモード分析によるアプローチ. 地質雑, **113**, 340-352.
- 柳沢幸夫 (1993) 新潟堆積盆地の七谷層及び寺泊層相当層の炭酸塩団塊から産出した中期中新世珪藻化石群. 日本珪藻学会誌, **8**, 51-62.
- Yanagisawa, Y. and Akiba, F. (1998) Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **104**, 395-414.
- 柳沢幸夫・工藤 崇 (2011) 5万分の1地質図幅「加茂」地域 (新潟県) の新第三紀及び第四紀の珪藻化石層序資料. 地質調査総合センター資料集, no. 537, 59 p.

(受付: 2011年4月11日; 受理: 2011年6月16日)

## 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) から産出した花粉化石群集

本郷美佐緒<sup>1,2,\*</sup>・納谷友規<sup>1</sup>・山口正秋<sup>1,3</sup>・水野清秀<sup>1</sup>

Misao Hongo, Tomonori Naya, Masaaki Yamaguchi and Kiyohide Mizuno (2011) Pollen assemblages of GS-SB-1 drilling core at Shobu Town, Saitama Prefecture, central Kanto plain, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 62 (7/8), p. 281-318, 4 figs, 2 Appendixes.

**Abstract:** Pollen data from Pleistocene sediments in the GS-SB-1 drilling core, obtained from Shobu Town, Japan, provide a basis on which a pollen biostratigraphy for subsurface geology of the central Kanto plain is constructed. In this study, 150 sediment samples were collected at ca. 2 m intervals from the GS-SB-1 core, which consists mainly of marine and fluvial sediments intercalated with two major Pleistocene marker tephtras. The Pleistocene sediments in the GS-SB-1 core were divided into 35 local pollen assemblage zones in an informal nomenclature by a distinctive assemblage of taxa, indicating local environmental conditions as a rudimentary biostratigraphic classification. Each of the marker horizons for Upper, Middle and Lower Pleistocene pollen biostratigraphy was discussed. Moreover, stratigraphy of local pollen assemblage zones was established on the basis of magneto-, litho- and tephrostratigraphy. On the other hand, the SB-Pol-9 and SB-Pol-24 zones in the core are currently a barren interval with the significantly low occurrence of tree and shrub pollen grains. Therefore, the pollen biostratigraphic characters of these zones need to be investigated in other cores further.

**Keywords:** pollen, subsurface geology, Saitama Prefecture, central Kanto plain, Japan, Pleistocene

### 要 旨

関東平野中央部の地下に分布する更新統の標準となる花粉層序を構築するため、埼玉県菖蒲町で掘削されたボーリングコアを対象として花粉分析を行った。花粉分帯の初歩段階として、局地的な植生変化を示唆する分類群の組み合わせに基づき、35 帯の地域花粉群集帯に区分した。また、花粉化石による上部更新統、中部更新統及び下部更新統の各指標層準について検討した。これらと古地磁気、岩相、テフラ層序の対応を検討し、地域花粉帯の層序学的位置を明らかにした。一方、区分した 35 帯のうち、SB-Pol-9 帯（深度 61.610–68.390 m）及び SB-Pol-24 帯（深度 237.460–241.940 m）は、木本植物花粉の産出粒数が著しく少ない層序区間であった。これらの帯の特徴や生層序学的位置づけは今後他地点の調査により明らかにしていく必要がある。

### 1. はじめに

平野地下の地質情報は、都市基盤整備や産業立地計画、防災計画など多方面に利用されており、地下構造モデルの高精度化が求められている。そのため、地層の形成過程やその年代をできるだけ詳しく明らかにする必要がある。

花粉・胞子化石は、粘土やシルトのような細粒物質を含む水成層にはほとんどの場合含まれている。このため、非海成相から海成相の領域まで連続的に産出する微化石のひとつである（栗田ほか、2000）。このような花粉・胞子化石の特性を利用した地層区分や対比の研究は、首都圏に先駆けて京阪神圏で 1960 年代以降盛んに行われており、層序研究のひとつの柱とされている（Tai, 1973; Furutani, 1989; 本郷, 2009）。そこで本報告では、関東平野中央部で掘削された菖蒲コアから得られた花粉化石群集を示し、分帯の初歩段階として、局地的な植生

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

<sup>2</sup> 有限会社アルプス調査所（Alps Technical Research Laboratory Co., Ltd., Toyoshina-takibe 2287-27, Azumino, Nagano, 399-8204 Japan）

<sup>3</sup> 株式会社クインテッサジャパン（Quintessa Limited K.K., Queen's Tower A 7-707, Minatomirai 2-3-1, Nishi-ku, Yokohama, 220-6007 Japan）

\* Corresponding author: M. HONGO, Alps Technical Research Laboratory Co., Ltd., Toyoshina-takibe 2287-27, Azumino, Nagano, 399-8204 Japan. E-mail: misao-alps@mint.odn.ne.jp

変化を示唆する分類群の組み合わせに着目して区分した地域花粉帯の特徴について述べる。更に、花粉化石による更新統の指標層準及び生層序学的に未解決の層序区間について報告する。

## 2. 菖蒲コア (GS-SB-1) の地質層序概要

著者らは首都圏の中心を占める関東平野中央部の地下に分布する更新統の標準層序を確立することを目的として、ボーリング調査を主体とした地質調査を行ってきた。菖蒲コア (GS-SB-1) は、前述の目的及び地震波速度、電気抵抗値などの物理データと水質データを総合した地下地質標準を確立するため、2006年11月～2007年5月にかけて埼玉県南埼玉郡菖蒲町上大崎の低地（世界測地系で北緯36°3'22"、東経139°36'04"、標高11.736 m）から深度350.20 mまで掘削されたオールコアボーリングである（第1図）。ボーリング孔を用いた弾性波速度、自然電位、電気比抵抗などの物理検層やコアの層相、<sup>14</sup>C年代、テフラ、堆積物の密度、帯磁率、古地磁気及び珪藻化石の調査結果は既に報告されている（山口ほか、2009；植木ほか、2009；納谷ほか、2009）。

菖蒲コアの層相は、主として厚い礫層とそれを覆う砂層と泥層の互層、貝化石を含む砂質シルト層、ローム層からなる（第2図；山口ほか、2009）。コアの詳細な岩相記載は山口ほか（2009）に示されており、表土（深度0–0.50m）以深の堆積物は層相の垂直方向の連続性をともに上位より1–69のユニットに区分されている。更に、コアの層相と納谷ほか（2009）による珪藻分析結果が総合的に検討され、9層準の海成層（上位よりM1–M9）が識別されている（山口ほか、2009）。

次に菖蒲コアの年代観を制約する既往資料について述べる。本コアの古地磁気層序は、古地磁気・岩石磁気測定結果から、深度0–266.755 mの正磁極帯と深度276.9–330.37 mの逆磁極帯に区分され、それぞれ Brunhes Chronozone 及び Matuyama Chronozone に対応することが明らかにされている（植木ほか、2009）。

また、テフラ層は39層準認められる（山口ほか、2009）。これらのうち、深度9.90–10.90 mの SBT-10.90 テフラと深度182.85–182.87 mの SBT-182.87 テフラは火山ガラスの化学分析及び屈折率測定結果から、広域テフラの御岳 Pm1 テフラ（On-Pm1: 町田・新井、2003；小林ほか、1967の Pm- I）及び房総半島上総層群笠森層中の Ks5（河井、1952；町田ほか、1980）火山灰に対比される可能性が高い（山口ほか、2009）。

## 3. 分析方法

### 3.1. 分析試料

花粉分析に用いた試料は、菖蒲コアの深度2.610–350.150 mまでの層準から150試料を採取した（第2図、付表1）。試料の厚さは最大10 cm、最小3 cmであり、

試料の採取間隔は約2 mである。試料番号は採取したコア試料の上限の深度（m単位で表示）に対応している。

### 3.2. 花粉・孢子化石の分離

全150試料中95試料の花粉・孢子化石の分離及びプレパラートは、砂や粘土鉱物を傾斜法のみで除去する Hongo (2007) の方法で作成した。一方、粘土・シルト分が多く粘着性の高い55試料については、文化財調査コンサルタント株式会社に依頼し、粘土鉱物を振動篩によって除去する方法を取り入れた渡辺 (1995) の方法でプレパラートを作成した。試料番号と分離方法の対応は付表1に示した。

### 3.3. 花粉化石の同定、計数とその表示

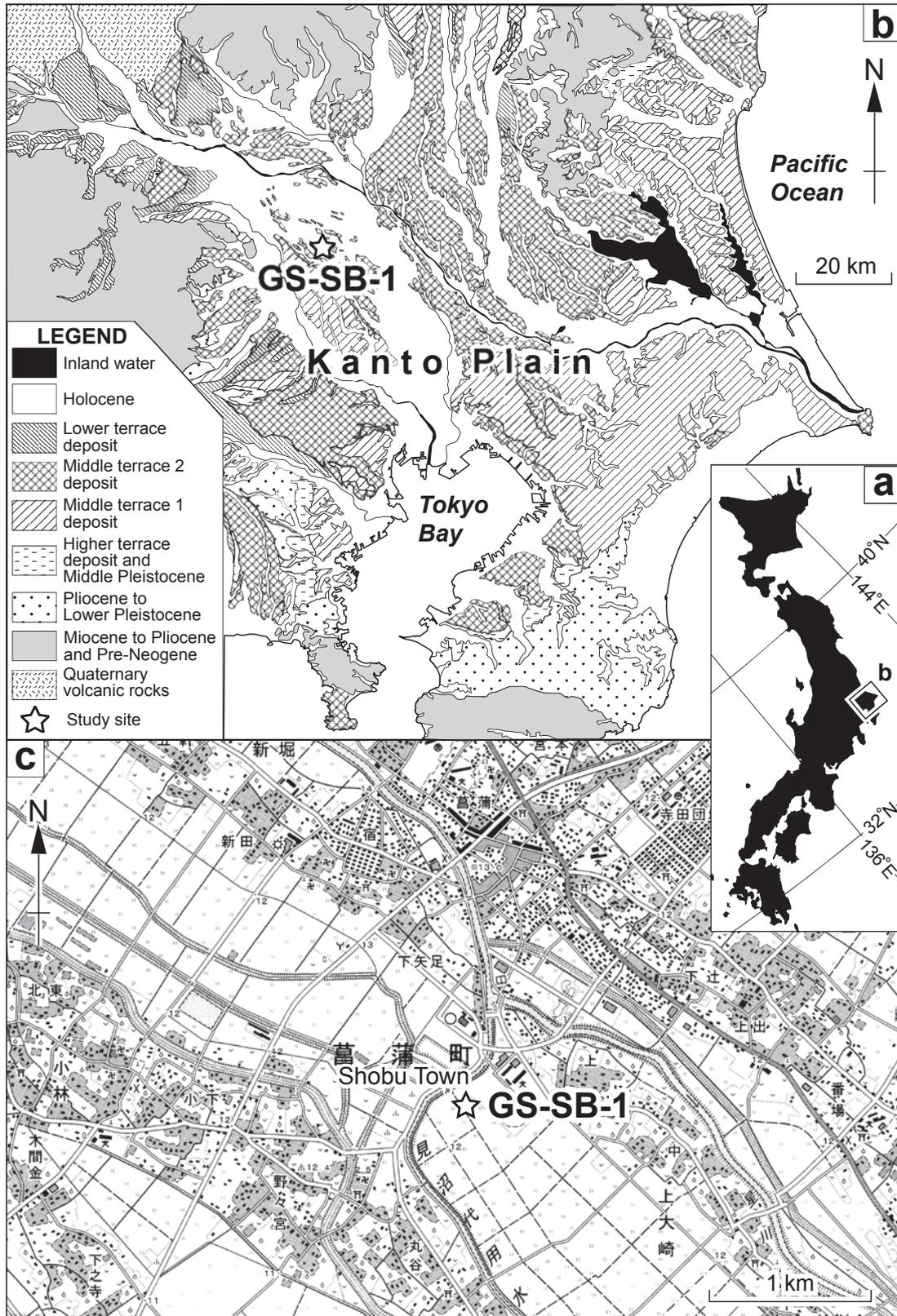
花粉化石の形態観察及び同定は、生物顕微鏡400倍及び1,000倍を用いて行った。花粉化石の同定にあたっては、島倉 (1973)、中村 (1980)、Wang *et al.* (1995)、応・張 (1994)、Stone and Broom (1975) 及び Huang (1972) などを参考にした。また、孢子化石については那須・瀬戸 (1986)、Zhang *et al.* (1990) 及び Huang (1981) などを参考にして分類群の同定を行った。

なお、本論文では *Quercus* (subgen. *Lepidobalanus*) (コナラ属コナラ亜属) を *Quercus* と表示し、*Quercus* (subgen. *Cyclobalanopsis*) (コナラ属アカガシ亜属) を *Cyclobalanopsis* と表示する。また、*Carpinus* / *Ostrya* (クマシデ属/アサダ属) を *Carpinus* と表示する。

花粉化石の計数は同定された花粉・孢子化石のうち、破片の場合は半分以上残っていたものを対象とした。木本植物の花粉化石総数が1試料につき250個を越えるまで計数した。また、この過程で観察される草本植物の花粉化石及びシダ植物・コケ植物の孢子化石も集計した。

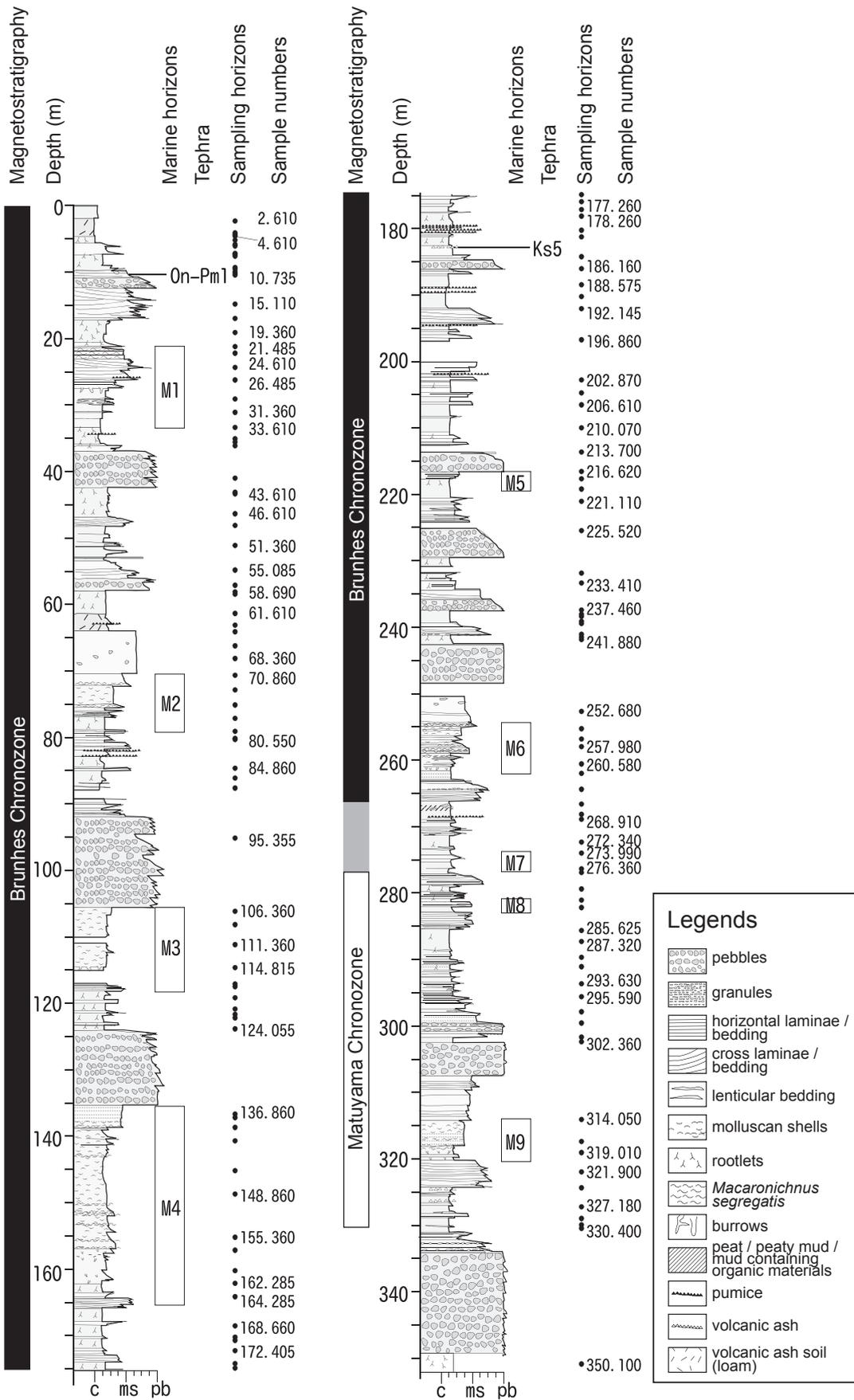
## 4. 分析結果

花粉及び孢子化石は全ての試料から得られた（付表2）。木本植物の花粉は40科67属の82分類群、草本植物の花粉は34科40属の53分類群、シダ植物の孢子は形態分類群を含めて25分類群が同定された。その他にコケ植物の孢子も認められた。なお、草本花粉またはシダ植物孢子の多い試料の場合、同定総数は最大2,714粒に達した。また、試料番号 No. 2.610, 4.610, 4.860, 6.110, 6.360, 7.485, 7.610, 7.860, 9.610, 9.860, 10.235, 10.485, 17.235, 21.485, 35.360, 35.860, 36.360, 43.610, 57.360, 58.690, 63.360, 64.360, 66.385, 68.360, 70.860, 75.360, 77.360, 80.360, 84.860, 86.315, 95.355, 106.360, 117.295, 119.360, 121.860, 136.860, 137.360, 164.285, 170.360, 237.460, 238.090, 238.450, 239.120, 241.120, 241.550, 241.880, 268.190, 268.910 及び 302.360 では、木本植物の花粉化石総数が1試料につき250個に満たなかった。



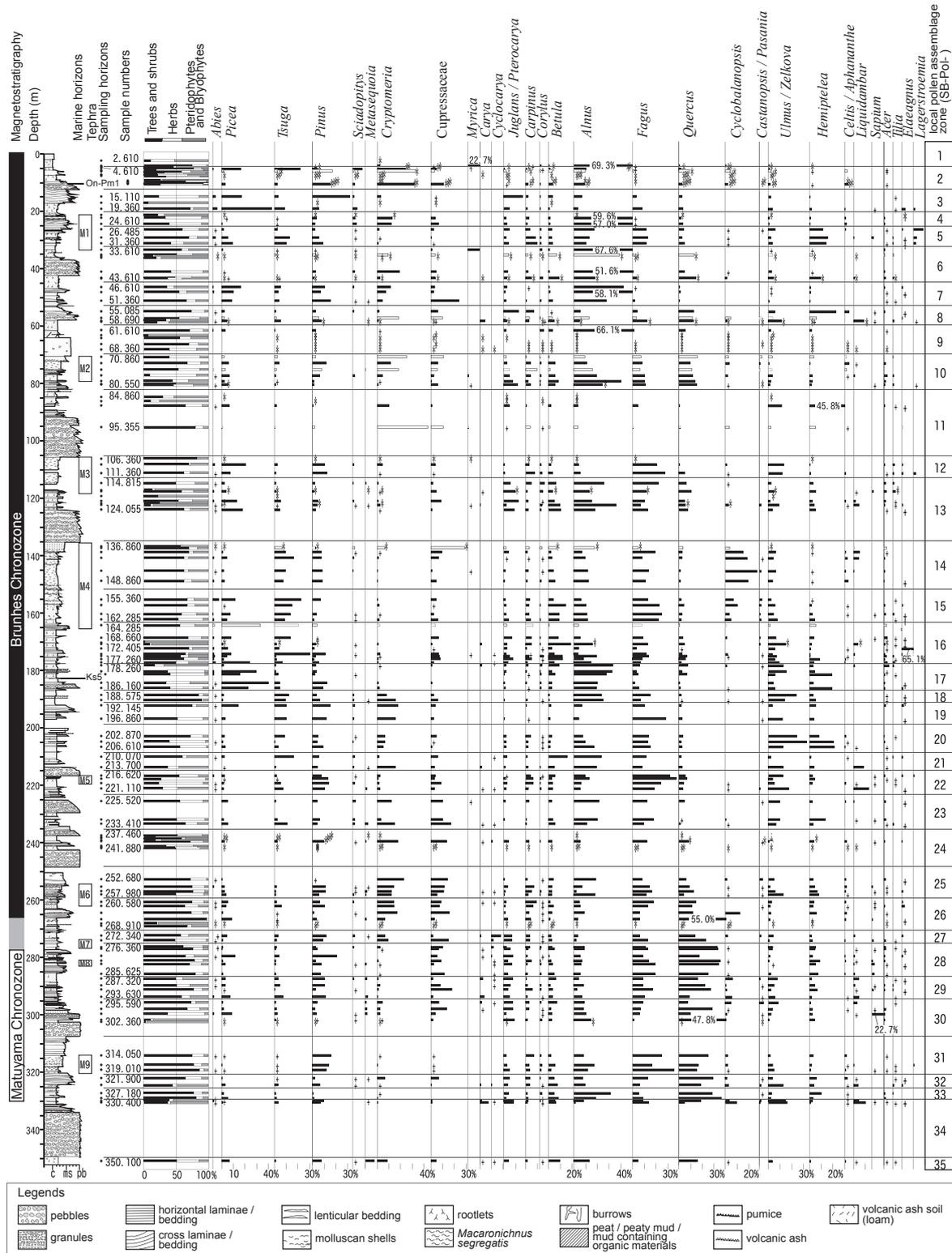
第1図 関東平野の地質図と GS-SB-1 コアの掘削地点. (a) 関東平野の位置. (b) 関東平野の地質図. 杉山ほか (1997) を簡略化. (c) GS-SB-1 コアの掘削地点. 基図には国土地理院発行 25,000 分の 1 地形図「鴻巣」を使用.

Fig.1 Geologic map of Kanto Plain and locality of the GS-SB-1 core. (a) Index map of Kanto Plain. (b) Geologic map of Kanto Plain simplified after Sugiyama *et al.* (1997). (c) Locality map showing borehole site of GS-SB-1. Base map is 1:25,000 scale topographic map of "Konosu" published by Geographical Survey Institute of Japan.



第2図 花粉分析試料の採取層準、GS-SB-1 コアの岩相、テフラ及び古地磁気層序は山口ほか (2009) 及び植木ほか (2009) による。  
 Fig. 2. Sampling horizons for this palynological study. The lithostratigraphy, tephrostratigraphy and magnetostratigraphy of the GS-SB-1 core are after Yamaguchi et al. (2009) and Ueki et al. (2009).

埼玉県菖蒲町 GS-SB-1 ボーリングコアの花粉化石群集 (本郷ほか)



第3図 GS-SB-1 コアの主要花粉ダイアグラム。左側のダイアグラムには木本植物、草本植物及びシダ・コケ植物の割合を示した。中央のダイアグラム（分解図）には主要な木本植物の産出率のみ示した。各分類群の産出率は、木本植物花粉の総数を基数として産出した。\*：木本植物花粉の総数が250粒に達しなかった試料からの産出。+：稀産（0.5%未満）。

Fig.3 Pollen diagram of the GS-SB-1 core. The relative percentages of trees and shrub, herb and spores are shown in the left-hand column. The resolved diagram, showing only the main tree and shrub taxa. Each pollen frequency (%) value is based on the total sum of trees and shrub pollen. An asterisk symbol indicates occurrence from samples in which the total sum of tree and shrub pollen was less than 250 grains. + indicates rare (less than 0.5%).

花粉・孢子総数に対する木本植物花粉・草本植物花粉及びシダ植物・コケ植物の孢子の割合は、これらの同定・計数結果から算出し、第3図左側に示した。

木本植物花粉の割合は1.5–100%の範囲で層位的に変化し、50%以上に達した試料は88試料であった。草本植物花粉の割合は0–72.6%、シダ植物・コケ植物孢子の割合は0–98.4%の範囲で層位的に変化した。シダ植物・コケ植物孢子の割合が50%以上に達した試料は27試料であった。これらのうちの2試料は肉眼観察(山口ほか, 2009)と珪藻分析(納谷ほか, 2009)の結果から海成層と判断された層準から採取した試料であったが、大部分を占める25試料は非海成層から採取した試料であった。

次に、木本植物の主要分類群に関する産出率を第3図中央に示した。各分類群の産出率は木本植物花粉の総数を基数として算出した。

## 5. 考察

### 5.1. 菖蒲コアの花粉化石群集に基づく地域花粉帯

花粉・孢子化石は風や流水による運搬過程を経て堆積するため、異地性が強い。すなわち、花粉・孢子化石群集は、後背地の植生や花粉・孢子自体の運搬・堆積機構など複雑な古環境要因が絡んで形成されている。

母植物からの花粉散布、堆積水域及び堆積物に含まれる花粉化石の量の関係については、現世堆積物に含まれる花粉・孢子群集と現存植生との関係に関する多数の基礎研究がなされており(例えばMuller, 1959; Groot, 1966; 松下, 1981)、一般には、水域近くの植生に由来する花粉の産出頻度が高くなる。ただし、海成層の場合は、花粉・孢子化石は運搬や沈積過程の影響を一層強く受ける。このため、後背山地の植生由来の花粉でも飛散距離が大きく、かつ海水中で浮遊しやすい形態の場合、その相対的産出頻度は沖合の堆積物で高くなる(Traverse, 1988)。

菖蒲コアの場合、関東平野中央部の堆積物であり、花粉・孢子化石も含めた堆積物構成粒子の供給範囲は、関東平野へ流れ込む広範囲な水系の分布範囲であると考えられる。更に花粉・孢子化石が風による運搬で水系分布範囲に搬入されることもある。また、コアの層相及び珪藻化石の産出状況から、9層準の海成層(上位よりM1–M9)が認められており(山口ほか, 2009; 納谷ほか, 2009)、本調査地の堆積環境は河川など陸水の営力による低湿地環境が卓越したが、少なくとも9回は海水の浸入を受ける場に変化したと推定される。したがって、海成層準の花粉・孢子化石群集が後背地の広域的な古植生を反映している一方で、非海成層準の花粉・孢子化石群集は堆積地周辺の局地的な古植生をより強く反映していると判断した。

関東平野中央部の下総層群は層相の側方変化が著しい

(中澤・中里, 2005)ことも考慮すると、花粉化石による分帯の初歩段階としては、局地的な植生変化を示唆する分類群の組み合わせに着目した区分(地域花粉帯)が適当であると考えられる。そこで、本報告の分帯では、河畔林などの局地的な植生に由来する可能性がある*Alnus*(ハンノキ属)、*Juglans* / *Pterocarya*(クルミ属 / サワグルミ属)及び*Ulmus* / *Zelkova*(ニレ属 / ケヤキ属)の産出率の増減も分帯の基準を決定する要素に含め、木本植物花粉の分類群の組み合わせに基づいて菖蒲コアを35帯の地域花粉群集帯に区分した(第3図)。なお、各帯の名称は、非公式な命名としての位置づけで、菖蒲コアの略号(SB)、花粉の略号(Pol)及びアラビア数字の組み合わせで表した。以下に、各地域花粉群集帯の特徴を上位より述べる。

SB-Pol-1帯(試料番号2.610–4.360): *Alnus*が極めて高率を占め、*Myrica*(ヤマモモ属)がこれに次ぐ。*Pinus*(マツ属)、*Cryptomeria*(スギ属)、*Cupressaceae*(ヒノキ科)、*Carpinus*、*Corylus*(ハシバミ属)、*Betula*(カバノキ属)、*Fagus*(ブナ属)、*Quercus*、*Cyclobalanopsis*及び*Ulmus* / *Zelkova*は極めて低率である。*Abies*(モミ属)、*Picea*(トウヒ属)、*Tsuga*(ツガ属)、*Sciadopitys*(コウヤマキ属)、*Metasequoia*(メタセコイア属)、*Carya*(ペカン属)、*Cyclocarya*(サイクロカリア属)、*Juglans* / *Pterocarya*、*Castanopsis* / *Pasania*(シイノキ属 / マテバシイ属)、*Hemiptelea*(ハリゲヤキ属)、*Celtis* / *Aphananthe*(エノキ属 / ムクノキ属)、*Liquidambar*(フウ属)、*Sapium*(シラキ属)、*Acer*(カエデ属)、*Tilia*(シナノキ属)、*Elaeagnus*(グミ属)及び*Lagerstroemia*(サルスベリ属)はほとんど産出しない。

SB-Pol-2帯(試料番号4.610–10.735): *Cryptomeria*が高率を占め、*Pinus*、*Cupressaceae*及び*Alnus*がこれに次ぐ。本帯最上部では*Picea*及び*Tsuga*の産出率が高い。*Sciadopitys*、*Carpinus*、*Betula*、*Quercus*、*Cyclobalanopsis*、*Ulmus* / *Zelkova*及び*Celtis* / *Aphananthe*は低率である。*Abies*、*Myrica*、*Carya*、*Juglans* / *Pterocarya*、*Corylus*、*Fagus*、*Castanopsis* / *Pasania*、*Hemiptelea*及び*Acer*は極めて低率である。*Metasequoia*、*Cyclocarya*、*Liquidambar*、*Sapium*、*Tilia*、*Elaeagnus*及び*Lagerstroemia*はほとんど産出しない。

SB-Pol-3帯(試料番号15.110–19.360): *Picea*が高率を占め、本帯最上部では*Pinus*及び*Juglans* / *Pterocarya*も高率となる。*Abies*、*Tsuga*、*Sciadopitys*、*Carpinus*、*Betula*、*Alnus*、*Fagus*、*Quercus*及び*Ulmus* / *Zelkova*は低率である。*Cryptomeria*、*Cupressaceae*、*Corylus*、*Hemiptelea*、*Celtis* / *Aphananthe*、*Sapium*、*Tilia*、*Elaeagnus*及び*Lagerstroemia*は極めて低率である。*Metasequoia*、*Myrica*、*Carya*、*Cyclocarya*、*Cyclobalanopsis*、*Castanopsis* / *Pasania*、*Liquidambar*及び*Acer*はほとんど産出しない。

SB-Pol-4 帯 (試料番号 21.485-24.610) : *Alnus* が極めて高率を占め, *Cryptomeria* がこれに次ぐ。 *Pinus*, *Sciadopitys*, *Cupressaceae*, *Juglans* / *Pterocarya*, *Carpinus*, *Betula* 及び *Quercus* は低率である。 *Picea*, *Tsuga*, *Fagus*, *Ulmus* / *Zelkova*, *Hemiptelea*, *Celtis* / *Aphananthe*, *Acer* 及び *Elaeagnus* は極めて低率である。 *Abies*, *Metasequoia*, *Myrica*, *Carya*, *Cyclocarya*, *Corylus*, *Cyclobalanopsis*, *Castanopsis* / *Pasania*, *Liquidambar*, *Sapium*, *Tilia* 及び *Lagerstroemia* はほとんど産出しない。

SB-Pol-5 帯 (試料番号 26.485-31.360) : *Alnus*, *Fagus* 及び *Hemiptelea* が優勢で, *Picea*, *Tsuga*, *Pinus* 及び *Carpinus* がこれらに次ぐ。 *Lagerstroemia* が低率ながらも安定して産出するほか, *Juglans* / *Pterocarya*, *Corylus*, *Betula*, *Quercus* 及び *Ulmus* / *Zelkova* も低率に産出する。 *Abies*, *Sciadopitys*, *Cryptomeria*, *Cupressaceae*, *Cyclobalanopsis*, *Castanopsis* / *Pasania*, *Celtis* / *Aphananthe*, *Liquidambar*, *Sapium*, *Acer*, *Tilia* 及び *Elaeagnus* は極めて低率である。 *Metasequoia*, *Myrica*, *Carya* 及び *Cyclocarya* はほとんど産出しない。

SB-Pol-6 帯 (試料番号 33.610-43.610) : *Alnus* が高率を占め, *Cryptomeria* 及び *Quercus* がこれに次ぐ。本帯最下部では *Hemiptelea* が高率を示す。 *Pinus*, *Cupressaceae*, *Juglans* / *Pterocarya*, *Carpinus*, *Corylus*, *Betula*, *Ulmus* / *Zelkova* 及び *Acer* は低率である。 *Abies*, *Picea*, *Tsuga*, *Sciadopitys*, *Carya*, *Fagus*, *Cyclobalanopsis*, *Liquidambar* 及び *Tilia* は極めて低率に産出する。 *Metasequoia*, *Cyclocarya*, *Castanopsis* / *Pasania*, *Celtis* / *Aphananthe*, *Sapium*, *Elaeagnus* 及び *Lagerstroemia* はほとんど産出しない。

SB-Pol-7 帯 (試料番号 46.610-51.360) : *Alnus* が高率を占め, *Picea*, *Pinus*, *Cryptomeria* 及び *Cupressaceae* がこれに次ぐ。 *Tsuga*, *Juglans* / *Pterocarya* 及び *Betula* は低率に産出する。 *Abies*, *Sciadopitys*, *Metasequoia*, *Carpinus*, *Corylus*, *Fagus*, *Quercus*, *Ulmus* / *Zelkova*, *Hemiptelea*, *Acer*, *Tilia* 及び *Elaeagnus* は極めて低率である。 *Myrica*, *Carya*, *Cyclocarya*, *Cyclobalanopsis*, *Castanopsis* / *Pasania*, *Celtis* / *Aphananthe*, *Liquidambar*, *Sapium* 及び *Lagerstroemia* はほとんど産出しない。

SB-Pol-8 帯 (試料番号 55.085-58.690) : *Quercus* が比較的優勢であるが, 本帯上部では *Hemiptelea* の産出率が高い。 *Alnus*, *Corylus*, *Ulmus* / *Zelkova*, *Juglans* / *Pterocarya*, *Carpinus*, *Picea*, *Tsuga*, *Pinus*, *Cryptomeria* 及び *Cupressaceae* は低率に産出する。また, 本帯下部では *Carya*, *Betula*, *Cyclobalanopsis* 及び *Liquidambar* が低率に産出し, 本帯上部では *Celtis* / *Aphananthe* が低率に産出する。 *Abies*, *Sciadopitys*, *Metasequoia*, *Corylus*, *Castanopsis* / *Pasania*, *Sapium*, *Acer*, *Tilia*, *Elaeagnus* 及び *Lagerstroemia* は極めて低

率に産出する。 *Myrica* 及び *Cyclocarya* はほとんど産出しない。

SB-Pol-9 帯 (試料番号 61.610-68.360) : 木本植物花粉の産出粒数が著しく少ない層序区間であるが, 最上部では *Alnus* が極めて高率を占め, *Quercus*, *Fagus*, *Juglans* / *Pterocarya*, *Corylus*, *Betula*, *Ulmus* / *Zelkova*, *Hemiptelea*, *Picea* 及び *Pinus* が低率に, *Abies*, *Tsuga*, *Cryptomeria* 及び *Acer* は極めて低率に産出する。また, 本帯からは, *Cupressaceae*, *Carya*, *Cyclocarya*, *Carpinus*, *Cyclobalanopsis*, *Castanopsis* / *Pasania*, *Celtis* / *Aphananthe* 及び *Liquidambar* が産出する。 *Sciadopitys*, *Metasequoia*, *Myrica*, *Sapium*, *Tilia*, *Elaeagnus* 及び *Lagerstroemia* はほとんど産出しない。

SB-Pol-10 帯 (試料番号 70.860-80.550) : *Alnus*, *Quercus* 及び *Fagus* が優勢である。 *Picea*, *Cupressaceae*, *Juglans* / *Pterocarya*, *Carpinus*, *Corylus*, *Betula*, *Tsuga*, *Ulmus* / *Zelkova*, *Hemiptelea* 及び *Acer* は低率であり, 本帯下部では *Pinus* 及び *Cryptomeria* は低率であるが, 中・上部では産出率が増加する。 *Abies*, *Sciadopitys*, *Metasequoia*, *Myrica*, *Cyclobalanopsis*, *Castanopsis* / *Pasania*, *Celtis* / *Aphananthe*, *Liquidambar*, *Sapium*, *Tilia* 及び *Lagerstroemia* が極めて低率かつ断片的に産出する。 *Carya*, *Cyclocarya*, *Castanopsis* / *Pasania* 及び *Elaeagnus* はほとんど産出しない。

SB-Pol-11 帯 (試料番号 84.860-95.355) : 木本植物花粉の産出粒数が少ない層序区間であるが, 上部では *Hemiptelea* が高率で, *Ulmus* / *Zelkova*, *Cryptomeria* 及び *Picea* がこれに次ぐ。また, 本帯下部の礫層中の層準では, *Cryptomeria* 高率で, *Cupressaceae* や *Hemiptelea* がこれに次ぐ。 *Tsuga*, *Juglans* / *Pterocarya*, *Betula*, *Alnus* 及び *Fagus* は低率である。 *Abies*, *Pinus*, *Cupressaceae*, *Carpinus*, *Corylus*, *Quercus*, *Cyclobalanopsis*, *Celtis* / *Aphananthe*, *Acer*, *Tilia* 及び *Elaeagnus* は極めて低率に産出する。 *Sciadopitys*, *Metasequoia*, *Myrica*, *Carya*, *Cyclocarya*, *Castanopsis* / *Pasania*, *Liquidambar*, *Sapium* 及び *Lagerstroemia* はほとんど産出しない。

SB-Pol-12 帯 (試料番号 106.360-111.360) : *Fagus* が優勢で, *Picea*, *Pinus* 及び *Ulmus* / *Zelkova* がこれに次ぐ。 *Carpinus*, *Corylus*, *Betula*, *Alnus*, *Tsuga*, *Cryptomeria*, *Cupressaceae*, *Juglans* / *Pterocarya*, *Quercus*, *Hemiptelea*, *Tilia* 及び *Elaeagnus* は低率である。 *Abies*, *Sciadopitys*, *Myrica*, *Cyclobalanopsis*, *Celtis* / *Aphananthe*, *Acer* 及び *Lagerstroemia* は極めて低率に産出する。 *Metasequoia*, *Carya*, *Cyclocarya*, *Castanopsis* / *Pasania*, *Liquidambar* 及び *Sapium* はほとんど産出しない。

SB-Pol-13 帯 (試料番号 114.815-124.055) : *Alnus* 及び *Fagus* が優勢で, *Juglans* / *Pterocarya*, *Betula*,

*Quercus* 及び *Ulmus / Zelkova* がこれらに次ぐ。また、本帯下部では *Picea* が優勢だが、本帯上部に向かって減少し低率となる。*Tsuga*, *Pinus*, *Cupressaceae*, *Carpinus*, *Corylus* 及び *Hemiptelea* は低率である。また、本帯下部では *Liquidambar* が低率に産出する。*Abies*, *Sciadopitys*, *Metasequoia*, *Cryptomeria*, *Myrica*, *Carya*, *Cyclobalanopsis*, *Castanopsis / Pania*, *Celtis / Aphananthe*, *Acer* 及び *Elaeagnus* が極めて低率かつ断片的に産出する。*Cyclocarya* 及び *Lagerstroemia* はほとんど産出ししない。

SB-Pol-14 帯 (試料番号 136.860-148.860) : *Cyclobalanopsis* が優勢で、*Fagus*, *Alnus*, *Tsuga*, *Pinus* 及び *Cupressaceae* がこれに次ぐ。*Ulmus / Zelkova*, *Betula*, *Picea*, *Juglans / Pterocarya*, *Carpinus*, *Celtis / Aphananthe* 及び *Quercus* は低率である。また、本帯上部では *Liquidambar* が低率に産出する。*Abies*, *Sciadopitys*, *Cryptomeria*, *Myrica*, *Corylus*, *Castanopsis / Pania*, *Hemiptelea*, *Acer* 及び *Elaeagnus* は極めて低率かつ断片的に産出する。*Metasequoia*, *Carya*, *Cyclocarya*, *Sapium* 及び *Lagerstroemia* はほとんど産出ししない。

SB-Pol-15 帯 (試料番号 155.360-162.285) : *Fagus* 及び *Tsuga* が優勢で、*Alnus*, *Betula*, *Picea*, *Cyclobalanopsis* 及び *Ulmus / Zelkova* がこれらに次ぐ。*Abies*, *Pinus*, *Cryptomeria*, *Cupressaceae*, *Juglans / Pterocarya*, *Carpinus*, *Quercus*, *Castanopsis / Pania* 及び *Hemiptelea* は低率である。また、*Sciadopitys*, *Corylus*, *Celtis / Aphananthe*, *Sapium*, *Acer*, *Tilia* 及び *Elaeagnus* は極めて低率かつ断片的に産出する。*Metasequoia*, *Myrica*, *Carya*, *Cyclocarya*, *Liquidambar* 及び *Lagerstroemia* はほとんど産出ししない。

SB-Pol-16 帯 (試料番号 164.285-177.260) : *Alnus*, *Fagus*, *Betula*, *Picea* 及び *Tsuga* が優勢で、*Ulmus / Zelkova*, *Pinus*, *Cupressaceae*, *Juglans / Pterocarya*, *Carpinus*, *Quercus* がこれらに次ぐ。*Abies*, *Hemiptelea* 及び *Acer* は低率ながら連続的に産出する。また、本帯中～下部では *Carya* 及び *Liquidambar* が低率に、*Cyclocarya* が極めて低率に産出するほか、*Elaeagnus* が著しく高率に産出する層準がある。*Sciadopitys*, *Cryptomeria*, *Myrica*, *Corylus*, *Cyclobalanopsis*, *Castanopsis / Pania*, *Celtis / Aphananthe*, *Sapium* 及び *Tilia* は極めて低率かつ断片的に産出する。*Metasequoia* 及び *Lagerstroemia* はほとんど産出ししない。

SB-Pol-17 帯 (試料番号 178.260-186.160) : *Picea* 及び *Alnus* が高率を占め、*Ulmus / Zelkova* 及び *Hemiptelea* がこれらに次ぐ。*Tsuga*, *Pinus*, *Betula*, *Fagus* 及び *Quercus* は低率ながらも安定して産出する。*Juglans / Pterocarya*, *Carpinus*, *Corylus* 及び *Acer* は極めて低率である。*Abies*, *Sciadopitys*, *Cryptomeria*, *Cupressaceae*, *Carya*, *Cyclobalanopsis*, *Castanopsis /*

*Pania*, *Liquidambar*, *Tilia* 及び *Elaeagnus* は極めて低率かつ断片的に産出する。

*Metasequoia*, *Myrica*, *Cyclocarya*, *Celtis / Aphananthe*, *Sapium* 及び *Lagerstroemia* はほとんど産出ししない。

SB-Pol-18 帯 (試料番号 188.575-190.360) : *Alnus* 及び *Ulmus / Zelkova* が高率を占め、*Cryptomeria*, *Fagus* 及び *Tsuga* がこれらに次ぐ。*Picea*, *Pinus*, *Sciadopitys*, *Cupressaceae* 及び *Hemiptelea* は低率である。*Abies*, *Metasequoia*, *Juglans / Pterocarya*, *Carpinus*, *Corylus*, *Betula*, *Quercus*, *Cyclobalanopsis*, *Castanopsis / Pania*, *Acer* 及び *Elaeagnus* は極めて低率である。*Myrica*, *Carya*, *Cyclocarya*, *Celtis / Aphananthe*, *Liquidambar*, *Sapium*, *Tilia* 及び *Lagerstroemia* はほとんど産出ししない。

SB-Pol-19 帯 (試料番号 192.145-196.860) : *Fagus* 及び *Cryptomeria* が優勢で、*Pinus* 及び *Tsuga* がこれらに次ぐ。また、本帯下部では *Ulmus / Zelkova* がやや多く産出し、本帯上部では *Picea* がやや多く産出する。*Alnus*, *Hemiptelea*, *Sciadopitys*, *Cupressaceae*, *Betula* 及び *Quercus* は低率である。*Abies*, *Juglans / Pterocarya*, *Carpinus*, *Castanopsis / Pania*, *Acer* 及び *Elaeagnus* は極めて低率である。*Metasequoia*, *Myrica*, *Carya*, *Cyclocarya*, *Corylus*, *Cyclobalanopsis*, *Celtis / Aphananthe*, *Liquidambar*, *Sapium*, *Tilia* 及び *Lagerstroemia* はほとんど産出ししない。

SB-Pol-20 帯 (試料番号 202.870-206.610) : *Ulmus / Zelkova* 及び *Hemiptelea* が高率を占め、*Fagus*, *Alnus*, *Cryptomeria* 及び *Pinus* がこれらに次ぐ。*Picea*, *Tsuga*, *Cupressaceae*, *Juglans / Pterocarya*, *Carpinus*, *Betula* 及び *Quercus* は低率に産出する。また、*Abies*, *Sciadopitys*, *Corylus*, *Celtis / Aphananthe*, *Liquidambar*, *Acer* 及び *Tilia* が極めて低率に産出する。*Metasequoia*, *Myrica*, *Carya*, *Cyclocarya*, *Cyclobalanopsis*, *Castanopsis / Pania*, *Sapium*, *Elaeagnus* 及び *Lagerstroemia* はほとんど産出ししない。

SB-Pol-21 帯 (試料番号 210.070-213.700) : *Alnus* が優勢で、*Betula* 及び *Fagus* がこれに次ぐ。また、本帯下部では *Cryptomeria*, *Ulmus / Zelkova* 及び *Liquidambar* がやや多く産出し、本帯上部では *Tsuga* がやや多く産出する。*Pinus*, *Cupressaceae*, *Juglans / Pterocarya*, *Carpinus*, *Quercus* 及び *Hemiptelea* は低率に産出する。*Abies*, *Picea*, *Sciadopitys*, *Metasequoia*, *Carya*, *Cyclocarya*, *Corylus*, *Celtis / Aphananthe*, *Acer*, *Tilia* 及び *Elaeagnus* が極めて低率ながら産出する。*Myrica*, *Cyclobalanopsis*, *Castanopsis / Pania*, *Sapium* 及び *Lagerstroemia* はほとんど産出ししない。

SB-Pol-22 帯 (試料番号 216.620-221.110) : *Fagus* が優勢で、*Pinus*, *Ulmus / Zelkova* 及び *Alnus* がこれに次ぐ。また、本帯下部で *Liquidambar* がやや多く産出する。*Cupressaceae*, *Carpinus*, *Betula*, *Quercus*, *Picea*,

*Tsuga*, *Cryptomeria*, *Juglans* / *Pterocarya* 及び *Hemiptelea* は低率に産出する。 *Abies*, *Sciadopitys*, *Metasequoia*, *Carya*, *Cyclocarya*, *Corylus*, *Cyclobalanopsis*, *Castanopsis* / *Pasania*, *Celtis* / *Aphananthe*, *Sapium*, *Acer*, *Tilia*, *Elaeagnus* 及び *Lagerstroemia* が極めて低率に産出する。 *Myrica* はほとんど産出しない。

SB-Pol-23 帯 (試料番号 225.520-233.410) : *Alnus*, *Fagus*, *Cupressaceae* 及び *Cryptomeria* が優勢で, *Ulmus* / *Zelkova* がこれらに次ぐ。本帯下部では *Tsuga* 及び *Hemiptelea* がやや高率を示すことがある。 *Picea*, *Pinus*, *Sciadopitys*, *Betula*, *Carpinus* 及び *Quercus* は低率である。 *Metasequoia*, *Myrica*, *Carya*, *Cyclocarya*, *Juglans* / *Pterocarya*, *Cyclobalanopsis*, *Castanopsis* / *Pasania*, *Celtis* / *Aphananthe*, *Liquidambar*, *Sapium*, *Acer*, *Tilia* 及び *Elaeagnus* が極めて低率ながら産出する。 *Abies*, *Corylus* 及び *Lagerstroemia* はほとんど産出しない。

SB-Pol-24 帯 (試料番号 237.460-241.880) : 木本植物花粉の産出粒数が著しく少ない層序区間であるが, 中部では *Cryptomeria* が優勢で, *Cupressaceae*, *Fagus*, *Pinus*, *Quercus* がこれに次ぐ。 *Juglans* / *Pterocarya*, *Carpinus*, *Betula*, *Alnus*, *Ulmus* / *Zelkova*, *Hemiptelea*, *Picea*, *Tsuga* 及び *Celtis* / *Aphananthe* は低率に産出する。また, *Sciadopitys*, *Metasequoia*, *Carya*, *Cyclocarya*, *Corylus*, *Castanopsis* / *Pasania*, *Sapium*, *Acer* 及び *Elaeagnus* が極めて低率に産出する。 *Abies*, *Myrica*, *Tilia* 及び *Lagerstroemia* はほとんど産出しない。

SB-Pol-25 帯 (試料番号 252.680-257.980) : *Cryptomeria*, *Alnus*, *Fagus* 及び *Cupressaceae* が優勢で, *Quercus*, *Pinus*, *Ulmus* / *Zelkova* 及び *Hemiptelea* がこれらに次ぐ。 *Carpinus*, *Picea*, *Juglans* / *Pterocarya* 及び *Betula* が低率ながら安定して産出する。また, *Abies*, *Tsuga*, *Sciadopitys*, *Metasequoia*, *Carya*, *Cyclocarya*, *Corylus*, *Cyclobalanopsis*, *Castanopsis* / *Pasania*, *Celtis* / *Aphananthe*, *Sapium*, *Acer* 及び *Elaeagnus* が極めて低率に産出する。 *Myrica*, *Liquidambar*, *Tilia* 及び *Lagerstroemia* はほとんど産出しない。

SB-Pol-26 帯 (試料番号 260.580-268.910) : *Cryptomeria*, *Quercus*, *Fagus* 及び *Cupressaceae* が優勢であり, 本帯下部では *Quercus* が極めて高率に産出することがある。また, 本帯中部では *Cyclobalanopsis* が 12.2% 産出する。 *Carpinus*, *Alnus*, *Betula*, *Juglans* / *Pterocarya*, *Ulmus* / *Zelkova*, *Hemiptelea*, *Celtis* / *Aphananthe*, *Pinus* 及び *Picea* は低率である。一方, *Abies*, *Tsuga*, *Sciadopitys*, *Metasequoia*, *Carya*, *Cyclocarya*, *Corylus*, *Castanopsis* / *Pasania*, *Sapium*, *Acer* 及び *Elaeagnus* は極めて低率に産出する。 *Myrica*, *Liquidambar*, *Tilia* 及び *Lagerstroemia* はほとんど産出しない。

SB-Pol-27 帯 (試料番号 272.340-273.990) : *Quercus*

が優勢で, *Fagus*, *Pinus*, *Cryptomeria*, *Cupressaceae*, *Juglans* / *Pterocarya* 及び *Cyclocarya* がこれに次ぐ。 *Picea*, *Tsuga*, *Carpinus*, *Betula*, *Alnus*, *Ulmus* / *Zelkova* 及び *Hemiptelea* は低率である。 *Abies*, *Sciadopitys*, *Metasequoia*, *Carya*, *Corylus*, *Cyclobalanopsis*, *Castanopsis* / *Pasania*, *Celtis* / *Aphananthe*, *Liquidambar*, *Sapium*, *Acer*, *Tilia* 及び *Elaeagnus* は極めて低率に産出する。 *Myrica* 及び *Lagerstroemia* はほとんど産出しない。

SB-Pol-28 帯 (試料番号 276.360-285.625) : *Quercus* が高率で, *Fagus*, *Pinus*, *Cupressaceae*, *Juglans* / *Pterocarya*, *Alnus* 及び *Hemiptelea* がこれに次ぐ。 *Picea*, *Tsuga*, *Carpinus*, *Betula* 及び *Ulmus* / *Zelkova* は低率である。 *Abies*, *Sciadopitys*, *Metasequoia*, *Cryptomeria*, *Carya*, *Cyclocarya*, *Corylus*, *Cyclobalanopsis*, *Celtis* / *Aphananthe*, *Liquidambar*, *Sapium*, *Acer*, *Tilia* 及び *Elaeagnus* は極めて低率に産出する。 *Myrica*, *Castanopsis* / *Pasania* 及び *Lagerstroemia* はほとんど産出しない。

SB-Pol-29 帯 (試料番号 287.320-293.630) : *Quercus* が高率で, *Fagus*, *Pinus*, *Cupressaceae*, *Juglans* / *Pterocarya*, *Alnus* 及び *Ulmus* / *Zelkova* がこれに次ぐ。 *Picea*, *Tsuga*, *Metasequoia*, *Cryptomeria*, *Carya*, *Carpinus*, *Betula*, *Cyclobalanopsis*, *Hemiptelea* 及び *Liquidambar* は低率である。 *Abies*, *Sciadopitys*, *Cyclocarya*, *Corylus*, *Castanopsis* / *Pasania*, *Celtis* / *Aphananthe*, *Sapium*, *Acer*, *Tilia* 及び *Elaeagnus* は極めて低率に産出する。 *Myrica* 及び *Lagerstroemia* はほとんど産出しない。

SB-Pol-30 帯 (試料番号 295.590-302.360) : *Quercus* が優勢で, *Alnus*, *Juglans* / *Pterocarya*, *Cupressaceae* 及び *Fagus* がこれに次ぐ。また, 本帯中部では *Sapium* が 22.7% 産出する。 *Picea*, *Tsuga*, *Pinus*, *Metasequoia*, *Cryptomeria*, *Carpinus*, *Betula*, *Cyclobalanopsis*, *Ulmus* / *Zelkova* 及び *Hemiptelea* は低率である。 *Abies*, *Sciadopitys*, *Carya*, *Cyclocarya*, *Corylus*, *Castanopsis* / *Pasania*, *Celtis* / *Aphananthe*, *Liquidambar*, *Acer* 及び *Tilia* は極めて低率に産出する。 *Myrica*, *Elaeagnus* 及び *Lagerstroemia* はほとんど産出しない。

SB-Pol-31 帯 (試料番号 314.050-319.010) : *Fagus* が優勢で, *Quercus*, *Pinus*, *Alnus* がこれに次ぐ。 *Juglans* / *Pterocarya*, *Carpinus*, *Betula*, *Ulmus* / *Zelkova* 及び *Hemiptelea* は低率である。 *Abies*, *Picea*, *Tsuga*, *Cryptomeria*, *Cupressaceae*, *Corylus*, *Cyclobalanopsis*, *Celtis* / *Aphananthe*, *Liquidambar*, *Sapium*, *Acer*, *Tilia* 及び *Lagerstroemia* は極めて低率に産出する。 *Sciadopitys*, *Metasequoia*, *Myrica*, *Carya*, *Cyclocarya*, *Castanopsis* / *Pasania* 及び *Elaeagnus* はほとんど産出しない。

SB-Pol-32帯(試料番号321.900-324.300): *Quercus* が高率で, *Fagus*, *Alnus* 及び *Ulmus / Zelkova* がこれに次ぐ. *Pinus*, *Juglans / Pterocarya*, *Carpinus*, *Betula* 及び *Hemiptelea* は低率である. 本帯下部では *Cryptomeria*, *Cupressaceae* 及び *Celtis / Aphananthe* が極めて低率だが, 本帯上部では産出率がやや増加する. *Picea*, *Tsuga*, *Sciadopitys*, *Metasequoia*, *Carya*, *Cyclocarya*, *Corylus*, *Cyclobalanopsis*, *Castanopsis / Pasionia*, *Liquidambar*, *Tilia* 及び *Elaeagnus* は極めて低率に産出する. *Abies*, *Myrica*, *Sapium*, *Acer* 及び *Lagerstroemia* はほとんど産出しない.

SB-Pol-33帯(試料番号327.180-328.910): *Quercus* 及び *Alnus* が高率で, *Fagus*, *Betula* 及び *Hemiptelea* がこれらに次ぐ. *Picea*, *Ulmus / Zelkova* 及び *Juglans / Pterocarya* は低率である. *Abies*, *Tsuga*, *Pinus*, *Cryptomeria*, *Carpinus*, *Corylus*, *Castanopsis / Pasionia*, *Celtis / Aphananthe*, *Acer* 及び *Tilia* は極めて低率に産出する. *Sciadopitys*, *Metasequoia*, *Myrica*, *Carya*, *Cyclocarya*, *Cupressaceae*, *Cyclobalanopsis*, *Liquidambar*, *Sapium*, *Elaeagnus* 及び *Lagerstroemia* はほとんど産出しない.

SB-Pol-34帯(試料番号329.870-330.400): *Quercus*, *Ulmus / Zelkova* 及び *Fagus* が優勢で, *Cyclobalanopsis*, *Liquidambar*, *Alnus*, *Juglans / Pterocarya*, *Carya*, *Betula* 及び *Pinus* がこれらに次ぐ. *Tsuga*, *Carpinus*, *Hemiptelea* は低率である. *Abies*, *Picea*, *Metasequoia*, *Cryptomeria*, *Cupressaceae*, *Cyclocarya*, *Corylus*, *Castanopsis / Pasionia*, *Celtis / Aphananthe*, *Sapium*, *Acer*, *Tilia* 及び *Elaeagnus* は極めて低率に産出する. *Sciadopitys*, *Myrica* 及び *Lagerstroemia* はほとんど産出しない.

SB-Pol-35帯(試料番号350.100): *Quercus* 及び *Alnus* が優勢で, *Betula*, *Cryptomeria*, *Metasequoia*, *Pinus* 及び *Picea* がこれらに次ぐ. *Cupressaceae*, *Juglans / Pterocarya*, *Fagus* 及び *Ulmus / Zelkova* は低率である. *Tsuga*, *Sciadopitys*, *Carya*, *Cyclocarya*, *Carpinus*, *Corylus*, *Cyclobalanopsis*, *Hemiptelea*, *Celtis / Aphananthe*, *Liquidambar*, *Acer* 及び *Tilia* は極めて低率に産出する. *Abies*, *Myrica*, *Castanopsis / Pasionia*, *Sapium*, *Elaeagnus* 及び *Lagerstroemia* はほとんど産出しない.

## 5.2. 花粉化石による更新統の指標層準について

関東地方中・南部における更新統の花粉群集は, 丘陵地の露頭試料(島倉, 1961; 大西 1969; 西村 1980; 辻, 1980; 宮下, 1986 など) や台地の地下を掘削したボーリングコア試料(遠藤, 1978; 関東平野中央部花粉グループ, 1994; 水野ほか, 2004; 中澤ほか, 2006; Okuda et al., 2006; 本郷・水野, 2009 など) から得られた分

析結果として多数集積され, 各々の研究目的に沿った基準で花粉帯が設定されている. これらのうち, 本郷・水野(2009)は, 本調査と同様に, 関東平野中央部における地下更新統の標準となる花粉層序の構築を目的としており, 局地的な植生変化を示唆する分類群の組み合わせを基準とした地域花粉帯を28帯設け, それらの中から中部更新統の生層序対比の指標となる2層準(*Cyclobalanopsis*の多産層準及び*Quercus*の相対的多産層準の上限)の存在について上述の既往研究や大阪堆積盆地での研究(Furutani, 1989; 本郷, 2009)との比較から論じた. 本節では, 本調査で明らかにした菖蒲コアの花粉化石群集における*Cyclobalanopsis*の多産層準及び*Quercus*の相対的多産層準の上限にする層序学的位置を示し, 岩相及びテフラ層序(山口ほか, 2009), 古地磁気層序(植木ほか, 2009)との対応関係を述べる. また, 上部更新統や下部更新統の生層序対比の指標となる層準についても既往研究(中澤ほか, 2006; 大西 1969; 関東平野中央部花粉グループ, 1994)との比較から論述する.

### 5.2.1 *Cyclobalanopsis* 多産層準の層序学的位置

菖蒲コアの花粉化石群集は, 大部分の層準で温帯落葉広葉樹や温帯針葉樹の分類群が優占しており, SB-Pol-14帯及び15帯でのみ暖温帯常緑広葉樹の*Cyclobalanopsis*が多産する(第3図). SB-Pol-14帯及び15帯は海成層M4層に相当する. 海成層M4層は古地磁気極性では正帯磁の層準にあり, 中部更新統中部に挟在するKs5テフラより上位に位置し, 上部更新統に挟在する御岳Pm1テフラに対比される可能性のあるテフラよりも下位に位置する. なお, これまでに花粉層序の検討が行われた関東平野中央部のコア(関東平野中央部花粉グループ, 1994; 水野ほか, 2004; 本郷・水野, 2009)や千葉県銚子で掘削されたコア(Okuda et al., 2006)でも*Cyclobalanopsis*の多産層準の存在は認められていたが, これらのコアでは広域テフラであるKs5テフラが検出されていなかったため, *Cyclobalanopsis*の多産層準とKs5テフラの直接的な層位関係を示す資料は得られていなかった.

一方, Ks5テフラは大阪平野のMa9海成粘土層直下の非海成層中に存在する港島火山灰Iに対比される可能性が高い(吉川ほか, 2000)こと, Ma9海成粘土層の層準(*Cyclobalanopsis* ~ *Castanopsis / Pasionia*帯)では*Cyclobalanopsis*花粉が多産することから, 菖蒲コアと大阪平野における*Cyclobalanopsis*花粉が多産する層準の層序的位置はほぼ同じであると考えられる(第4図). また, 大阪平野のMa9海成粘土層は, 大阪平野の第四系層序と深海底の酸素同位体比層序との対応から, 酸素同位体ステージ11に形成されたと考えられている(吉川・三田村, 1999). これを考慮すると, 菖蒲コアのSB-Pol-14-15帯及びこれを含む海成層M4層は酸素同位体ステージ11に形成された堆積物の可能性がある.

これに対し、銚子コアは、主に海成泥岩からなり、層序欠落の少ない記録が得られると期待され、岩相、テフラ、古地磁気及び石灰質ナノ化石や花粉化石による層序に加え、 $\delta^{18}\text{O}$  を直接測定した結果による海洋酸素同位体比層序が同一のコアで明らかにされている (Kameo *et al.*, 2006; Okuda *et al.*, 2006; El-Masry, 2002). しかしながら、先述のとおり銚子コアでは Ks5 テフラが未検出のため、Ks5 テフラによる対比は検討できない。そこで、菖蒲コアの花粉分帯を銚子コアのそれと対比することにより、*Cyclobalanopsis* 花粉が多産する層準と酸素同位体比層序との対応を検討した。

銚子コアの花粉分析結果で *Cyclobalanopsis* 花粉が相対的に多産する層準は、地域花粉帯の CH4 帯上部、CH5a 帯下部及び CH9 帯に認められる (Okuda *et al.*, 2006). テフラ層序との対応関係では、CH4 帯上部及び CH5a 帯下部は Kh5a (Ks11) や Kh4a (Ks15) テフラより下位にあり、CH9 帯は Kh8.9 (J1) テフラと Ty1 (J4) テフラの間にある (Okuda *et al.*, 2006; 第4図). 房総地域のテフラ層序 (石和田ほか, 1971; 徳橋・遠藤, 1984) に従うと、前述の Ks5 テフラは Ks11 と J1 の間に存在することから、菖蒲コアで *Cyclobalanopsis* が優勢な SB-Pol-14-15 帯は銚子コアの CH9 帯に対比されると考えられる (第4図). また、CH9 帯は  $\delta^{18}\text{O}$  の測定結果 (El-Masry, 2002) から、海洋酸素同位体比層序のステージ 11 の堆積物に相当するとされており (Okuda *et al.*, 2006), 前々段で述べた大阪平野との対比の可能性とも調和することが確認された。

菖蒲コアでは銚子コアの CH9 帯の下位や上位から検出された Kh8.9 (J1) テフラや Ty1 (J4) テフラは検出されていないが、*Cyclobalanopsis* の多産する SB-Pol-14-15 帯が CH9 帯に対比されることから、SB-Pol-14-15 帯を含む海成層 M4 層は、CH9 帯に相当する銚子地域の犬吠層群倉橋層及び房総半島の下総層群地蔵堂層の海成層準に対比されると考えられる。

### 5.2.2. 中部更新統の *Quercus* の相対的多産層準上限

関東地方中・南部の既往調査資料 (関東平野中央部花粉グループ, 1994; 大西, 1969; Okuda *et al.*, 2006; 本郷・水野, 2009) から、前項で述べた *Cyclobalanopsis* の多産層準より下位に認められる、*Quercus* が相対的に多産する層準及び、*Quercus* が減少して、*Fagus* が相対的に多産する層準は、調査地間で互に対比可能であると考えられている (本郷・水野, 2009). また、これらの境界 (*Quercus* の相対的多産層準上限) は、銚子コアにおける花粉帯及び海洋酸素同位体比層序との対応 (Okuda *et al.*, 2006) から、海洋酸素同位体ステージ 15/16 境界付近であると考えられている (本郷・水野, 2009).

本調査で得られた菖蒲コアの花粉化石群集でも、上述の産出傾向の変化が認められた。すなわち、SB-Pol-26-34 帯の層準は、*Quercus* が高率に産出するという共通

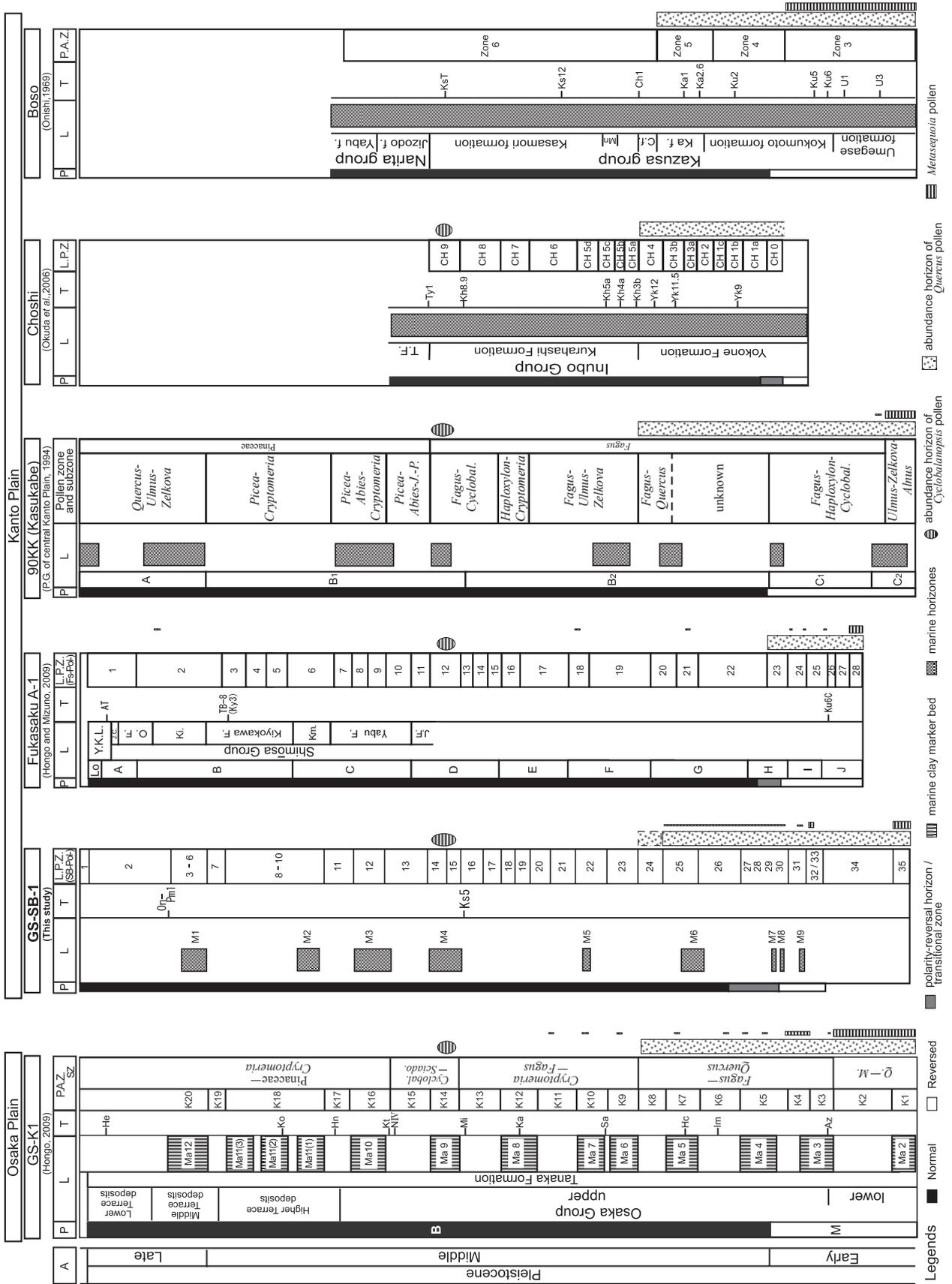
した特徴を持ち、SB-Pol-25 帯及び SB-Pol-24 帯の一部でも、より上位の帯と比較して優勢である (第3図). また、SB-Pol-23 帯より上位の層準では、*Quercus* の産出率が全体的に低率となる代わりに、*Fagus* 及び *Ulmus / Zelkova* の増加が認められる。これらのことから、菖蒲コアにおける *Quercus* の相対的多産層準上限は SB-Pol-24 帯となる可能性がある。しかしながら、5.1 節で述べたように、SB-Pol-24 帯は木本植物花粉の産出粒数が少ない層序区間として設定されたものである。これを考慮して、菖蒲コアにおける *Quercus* の相対的多産層準上限は SB-Pol-25 帯とする。なお、SB-Pol-25 帯は正磁極期の層準に対応していることから、*Quercus* の相対的多産層準上限は正磁極期内に存在することが明らかとなった。また、岩相層序との層位関係では、*Quercus* の相対的多産層準上限は海成層の M6 層と M5 層の間に位置することが明らかとなった。

### 5.2.3. 大宮台地の上部更新統の花粉帯との対比

大宮台地の地下に分布する上部更新統の下総層群木下層は、中澤ほか (2006) により 4 地点のボーリングコア試料 (GS-UR-1, 浦和; GS-OK-1, 北本; GS-KG-1, 川口; GS-KB-1, 春日部) の層相及び産出した貝化石、珪藻化石及び花粉化石群集が総合的に調査され、これらに基づくシーケンス層序学的な地層の形成過程が考察されている。大宮台地周辺における木下層の地域花粉帯は、特徴的に産出する花粉化石群集により下位より、P-1 帯及び P-2 帯に区分されている (中澤ほか, 2006). P-1 帯は *Hemiptelea* が高率で産出するほか、*Carpinus* や *Alnus* がやや高率で産出し、*Lagerstroemia* が低率ながらほぼ連続的に産出することで特徴付けられる。P-2 帯は下部では *Cryptomeria* が卓越し、上部では *Picea*, *Tsuga* 及び *Pinus* などの針葉樹の卓越で特徴づけられる。

これらと同様の産出傾向は、菖蒲コアの SB-Pol-5 帯及び SB-Pol-4 帯に認められる。すなわち、SB-Pol-5 帯は *Hemiptelea* が *Carpinus* を伴って高率で産出するほか、*Lagerstroemia* が低率ながら安定して産出することから、中澤ほか (2006) の P-1 帯に対比される。また、SB-Pol-4 帯は *Alnus* が極めて高率を占め、*Cryptomeria* がこれに次いで優勢である。浦和コアや川口コアの P-2 帯と比較して *Alnus* の産出率が著しく高率であるが、これは局地的な植生の違いによるものと考えられる。これらのことから、SB-Pol-4 帯は中澤ほか (2006) の P-2 帯に対比される。

山口ほか (2009) による菖蒲コアの地層対比では、大宮台地付近の地下 150m 以浅の海成層 (中澤・遠藤, 2002; 中澤・中里, 2005) との層相対比から、御岳 Pm1 テフラの下位に認められる海成層 M1 が木下層に対比される可能性が高いと考えられた。今回の花粉分析結果から、海成層 M1 は SB-Pol-5 帯及び SB-Pol-4 帯の 2 帯に対応していること、これらの地域花粉帯が中澤ほか



(2006) の P-1 帯及び P-2 帯にそれぞれ対比可能であることが明らかとなった。P-1 帯は木下層下部に、P-2 帯は木下層上部に相当することから (中澤ほか, 2006), 菖蒲コアの海成層 M1 は木下層下部から上部に対比されるところと考えられる。

#### 5.2.4. 第三紀型植物群要素の産出について

菖蒲コアの堆積物より産出した花粉化石群集の中には、現在の日本列島には自生していない *Daerydium*, *Pseudolarix*, *Metasequoia*, *Cunninghamia*, *Carya*, *Cyclocarya* 及び *Liquidambar* などの分類群が含まれていた (第3図, 付表2)。これらの分類群は日本列島各地の第三系から遺体化石が産出することから第三紀型植物群の要素として知られている。これまでの研究で、第三紀型植物群要素の多くは後期鮮新世における気候の寒冷化及び第四紀における氷期と間氷期の繰り返しの過程で次第に消滅していったと考えられ、市原 (1960) は大阪層群を例にとって第三紀型植物群の要素が次第に消滅してゆく前期更新世を *Metasequoia* 植物群消滅期と呼んだ。また、花粉化石群集による分帯の際にも、*Metasequoia* などの第三紀型植物群要素の産出を基準とした帯の設定が行われており (田井, 1966; Tai, 1973; 那須, 1970;

本郷, 2009), 岩相, テフラ及び古地磁気層序との対応が明らかにされている。このため、関東平野の下部更新統上部における花粉層序の研究 (大西, 1969; 関東平野中央部花粉グループ, 1994) でも、*Metasequoia* などの第三紀型植物群要素の産出を基準とした帯の設定が行われ、大阪層群との対比が議論されてきた。

菖蒲コアでは、第三紀型植物群要素の分類群の産出は大部分の層準で認められるが、それらの産出率は低率 (5%未満) であることが多い (第3図, 付表2)。また、花粉外壁の残存状態からみて再堆積であろうと判断される化石も少なからず含まれていた。ただし、*Liquidambar* は SB-Pol-8 帯, SB-Pol-21 帯, SB-Pol-22 帯, SB-Pol-34 帯で 10%前後産出しており、他の第三紀型植物群要素の分類群と比較して産出頻度が高い (第3図)。 *Liquidambar* が関東平野の中部更新統でも産出することは、西村 (1980) や関東平野中央部花粉グループ (1994) でも既に報告されており、*Liquidambar* は更新世初頭に消滅したのではないことを示唆しているとの見解が示されてきた。この見解の妥当性が本調査結果からも追認された。

また、下部更新統上部の花粉分帯の基準とされる

←

第4図 関東平野及び大阪平野の花粉層序。見出しの略号, A: 地質時代; P: 古地磁気層序; L: 岩相層序; T: 指標テフラ; P.A.Z.: 花粉化石群集帯; sz.: 超帯; L.P.Z.: 局地花粉化石群集帯。古地磁気層序の略号, B: Brunhes Chron; M: Matuyama Chron. 岩相層序の略号, Lo: ローム層; T.F.: 豊里層; Ka.F.: 柿の木台層; Ch.F.: 長南層; Mn: 万田野層; J.F.: 地藏堂層; Km.: 上泉層; Ki.: 木下層; O.F.: 大宮層; J.C.: 常総粘土層; K.L.: 関東ローム層; Y.K.L.: 新期関東ローム層。指標テフラ名の略号, Az: アズキ; Im: 今熊 II; Hc: 八町池; Sa: サクラ; Ka: カスリ; Mi: 港島 I; NIV: 鳴尾浜 IV; Kt: 加久藤; Hn: 八田; Ko: 甲子園浜; He: 平安神宮。花粉化石群集帯の略号, K1: *Quercus - Metasequoia* zone; K2: *Picea - Quercus* zone; K3: *Quercus - Cyclobalanopsis* zone; K4: *Fagus - Tsuga* zone; K5: *Fagus - Quercus* zone; K6: *Quercus - Betula* zone; K7: *Fagus - Cryptomeria* zone; K8: *Betula - Quercus* zone; K9: *Fagus - Cyclobalanopsis* zone; K10: *Cryptomeria - Fagus* zone; K11: *Sciadopitys - Tsuga* zone; K12: *Cryptomeria - Tsuga* zone; K13: *Picea - Betula* zone; K14: *Cyclobalanopsis - Castanopsis / Pasionia* zone; K15: *Sciadopitys - Picea* zone; K16: *Fagus - Picea* zone; K17: *Cryptomeria - Picea* zone; K18: *Tsuga - Fagus* zone; K19: *Picea - Cryptomeria* zone; K20: *Tsuga - Cyclobalanopsis* zone; Q. - M.: *Quercus - Metasequoia*; Cyclobal. - *Sciado.*: *Cyclobalanopsis - Sciadopitys*; Cyclobal.: *Cyclobalanopsis*.

Fig.4 Pollen biostratigraphy in the Kanto and Osaka Plains. Abbreviations for column caption are A: Age; P: geomagnetic polarity; L: lithostratigraphy; T: marker tephra; P.A.Z.: pollen assemblage zones; sz.:superzones; L.P.Z.: local pollen zones. Abbreviations for names of geomagnetic polarity are B: Brunhes Chron; M: Matuyama Chron. Abbreviations for names of lithostratigraphy are Lo: loam; T.F.: Toyosato Formation; Ka.F.: Kakinokidai formation; Ch.F.: Chonan formation; Mn: Mandano formation; J.F.: Jizodo Formation; Km.: Kamiizumi Formation; Ki.: Kioroshi Formation; O.F.: Omiya Formation; J.C.: Joso Clay; K.L.: Kanto Loam; Y.K.L.: Younger Kanto Loam. Abbreviations for names of marker tephra are Az: Azuki; Im: Imakuma II; Hc: Hacchoike; Sa: Sakura; Ka: Kasuri; Mi: Minatojima I; NIV: Naruohama IV; Kt: Kakuto; Hn: Handa; Ko: Koshienhama; He: Heianjingu. Abbreviations for names of pollen assemblage zones and superzones are K1: *Quercus - Metasequoia* zone; K2: *Picea - Quercus* zone; K3: *Quercus - Cyclobalanopsis* zone; K4: *Fagus - Tsuga* zone; K5: *Fagus - Quercus* zone; K6: *Quercus - Betula* zone; K7: *Fagus - Cryptomeria* zone; K8: *Betula - Quercus* zone; K9: *Fagus - Cyclobalanopsis* zone; K10: *Cryptomeria - Fagus* zone; K11: *Sciadopitys - Tsuga* zone; K12: *Cryptomeria - Tsuga* zone; K13: *Picea - Betula* zone; K14: *Cyclobalanopsis - Castanopsis / Pasionia* zone; K15: *Sciadopitys - Picea* zone; K16: *Fagus - Picea* zone; K17: *Cryptomeria - Picea* zone; K18: *Tsuga - Fagus* zone; K19: *Picea - Cryptomeria* zone; K20: *Tsuga - Cyclobalanopsis* zone; Q. - M.: *Quercus - Metasequoia*; Cyclobal. - *Sciado.*: *Cyclobalanopsis - Sciadopitys*; Cyclobal.: *Cyclobalanopsis*.

*Metasequoia* は、SB-Pol-7帯～SB-Pol-35帯の層準から0.4–7.8%の範囲で変化しながら低率かつ断片的に産出し、本コア下部のSB-Pol-21帯～SB-Pol-30帯では *Carya*, *Cyclocarya* 及び *Liquidambar* などの第三紀型植物群要素の分類群も伴って、やや連続的に産出する(第3図)。更に、最下位のSB-Pol-35帯では *Metasequoia* は7.8%産出しており、かつ、*Dacrydium*, *Carya*, *Cyclocarya* 及び *Liquidambar* を随伴する。本帯は、菖蒲コア最下部の泥層(ユニット69; 山口ほか, 2009)に対応しており、これより下位のコア試料は得られていない。このため、本調査結果のみでの花粉帯の対比には不確かさがあるが、SB-Pol-35帯は *Metasequoia* など第三紀型植物群要素の産出を基準とした帯(下部更新統上部)に対比される可能性がある。

### 5.3. 木本植物花粉の産出粒数が著しく少ない層序区間について

SB-Pol-9帯及びSB-Pol-24帯は、5.1節で述べたように、木本植物花粉の産出粒数が著しく少ない層序区間として設定したが、両帯ともに草本植物花粉やシダ・コケ植物胞子の産出粒数も少ない。本節では、各帯と層相の対応から、花粉・胞子の産出粒数が著しく少ないことの原因について考察する。また、各帯の層序学的位置に関する問題点について述べる。

#### 5.3.1. SB-Pol-9帯

本帯は、層相のユニット20–19(山口ほか, 2009)の一部に相当し、不淘汰な礫混じり砂層(ユニット20)及び直立した植物根痕と植物片を含む緑灰色シルト～砂質シルト(ユニット19)までの区間である。ユニット20から採取し花粉分析に用いた試料(試料番号64.360, 66.385及び68.360)は、泥の含有量が非常に少なかった。花粉・胞子粒は水域での運搬・堆積過程においてシルトや粘土と同様の挙動を示すことが報告されている(松下, 1982ほか)。このことを考慮すると、ユニット20の試料で花粉・胞子の産出粒数が著しく少なかったのは、泥の含有量が少ないことと関連が深いと考えられる。また、ユニット20の上部はコア採取時の攪乱により初生的堆積構造が乱されている。攪乱による泥分の流出に伴って花粉・胞子粒数が減少した可能性も考えられる。一方、ユニット19最下部から採取した試料(試料番号63.360)は、泥の含有量が高かったにもかかわらず、花粉・胞子の産出粒数が著しく少なかった。試料採取層準の下位(深度63.600–63.850 m)には、逆級化する極細粒砂～細粒砂が挟在することから、ユニット19最下部は洪水堆積物に由来するものと推察される(伊勢屋, 1982)。試料を採取したシルト～砂質シルトも洪水に関連して短期間に堆積したため、花粉・胞子が少量しか堆積物中に含まれなかったと推察される。また、母集団は小さいが、花粉・胞子総数に対する木本植物花粉、草本植物花粉、シダ植

物・コケ植物胞子の割合で、シダ植物・コケ植物胞子が著しく多産する試料(試料番号63.360)がある。堆積地の近傍にシダ植物・コケ植物が生育していたためであると推測されるほか、シダ植物の胞子は花粉よりも地表での風化現象に対する抵抗力が強いため(中村, 1967; 那須・松江, 1985)にシダ植物の胞子が選択的に残ったことに起因するという可能性もある。

山口ほか(2009)による層相對比では、SB-Pol-9帯直下に認められる海成層M2は下総層群上層層に対比される可能性が高く、その上位の比較的厚い陸成層は下総層群清川層に相当する層準を含んでいる可能性があると考えられている。SB-Pol-9帯に相当する層準付近の花材構成の特徴は今後他地点の調査結果により明らかにする必要がある。

#### 5.3.2. SB-Pol-24帯

本帯は層相のユニット46–44(山口ほか, 2009)に相当する。この層準の主な層相は、下位より、緑灰色のシルト～砂質シルト(ユニット46)、細礫、シルトからなるマッドクラスト及び斜交葉理の認められる中粒砂～粗粒砂(ユニット45)、成層構造の認められるシルト～シルト質極細砂及び緑灰色のシルト～砂質シルト(ユニット44)からなる。分析試料は、泥質なユニット46とユニット44からそれぞれ3試料及び5試料を採取したが、木本植物花粉の産出粒数が250粒を超えた試料は、試料番号239.470のみであった。この試料は、ユニット44の成層構造の認められるシルト～シルト質極細砂から採取したものである。残りの7試料は、直立した植物根痕を伴う緑灰色のシルト～砂質シルトから採取から採取されたものであり、泥の含有量が高かったにもかかわらず、花粉・胞子の産出粒数は著しく少ない。また、前述のユニット19最下部と同様に、母集団は小さいが、花粉・胞子総数に対する木本植物花粉、草本植物花粉、シダ植物・コケ植物胞子の割合で、シダ植物・コケ植物胞子が多産する試料(試料番号238.090及び239.120)があることから、本帯の泥質堆積物も、短期間に堆積した可能性、堆積地近傍にシダ植物・コケ植物が生育していた可能性、地表での風化現象に対してシダ植物の胞子が選択的に残った可能性が挙げられる。

木本植物花粉の産出粒数が250粒を超えた試料番号239.470では、*Quercus* が10%程度産出する。この試料の木本植物花粉の構成が帯全体の特徴を示すものだと考えるならば、本帯は前節5.2.2項で述べた *Quercus* の相対的多産層準の上限となる可能性も出てくる。このため、本帯に相当する層準付近の花材構成の特徴は今後他地点の調査結果により明らかにする必要がある。

## 6. まとめと今後の課題

関東平野中央部の地下に分布する更新統の標準となる花粉層序を構築するため、埼玉県菖蒲町で掘削された

ボーリングコアを対象として詳細な花粉化石群集の変遷を調査し、以下のことを明らかにした。

1. 局地的な植生変化を示唆する分類群の組み合わせに基づき、35帯の地域花粉群集帯に区分した。
2. SB-Pol-14-15帯は、花粉化石による中部更新統の指標層準の一つである、*Cyclobalanopsis* の多産層準 (海洋酸素同位体ステージ 11) に対比される層準である。この層準は、菖蒲コアに挟在する広域テフラの Ks5 テフラより上位に認められる海成層 M4 層に対応することが明らかとなった。一方、SB-Pol-25帯は現段階の資料では *Quercus* が相対的に多産する層準の上限 (海洋酸素同位体ステージ 15/16 境界付近) に対比される層準であると考察した。また、この層準は正磁極期内に存在しており、菖蒲コアの海成層 M6 層と M5 層の間に位置することが明らかとなった。
3. SB-Pol-4-5帯は、中澤ほか (2006) による大宮台地の上部更新統下総層群木下層の花粉帯 P2 帯及び P1 帯にそれぞれ対比されることが明らかとなった。また、これらの帯は、菖蒲コアの海成層 M1 層に対応していることから、海成層 M1 層は木下層に対比されることが確かめられた。
4. SB-Pol-35帯は、*Metasequoia* が比較的高率に産出し、かつ、*Dacrydium*, *Carya*, *Cyclocarya* 及び *Liquidambar* などの第三紀型植物群要素も産出する層準である。これらのことから、本帯は *Metasequoia* など第三紀型植物群要素の産出を基準とした帯 (下部更新統上部) に対比される可能性がある。
5. SB-Pol-9帯及び SB-Pol-24帯は木本植物花粉の産出粒数が著しく少ない層序区間である。各帯の層相との対応から、花粉産出粒数が少ない原因について考察した。洪水等で短期間に堆積したことや地表での風化現象で花粉化石が失われたことが原因と考えられる。また、SB-Pol-9帯は上泉層と清川層の境界層準付近と考えられること、SB-Pol-24帯は *Quercus* の相対的多産層準の上限となる可能性があることから、これらの帯の特徴や生層序学的位置づけは今後他地点の調査により明らかにしていく必要がある。

謝辞：本研究を進めるにあたり、産業技術総合研究所の國本節子氏には花粉化石の分離作業に協力していただきました。ここに記して、厚く御礼申し上げます。

本研究には、文部科学省科学技術振興調整費「統合化地下構造データベースの構築」(平成 18-20 年度) 及び産業技術総合研究所の運営費交付金「関東平野の地震動特性と広域地下水流動系の解明に関する地質学的総合研究」(平成 18-20 年度) を使用した。

## 引用文献

El-Masry M. M. I. (2002) *Sedimentation and physical*

*property variability of hemipelagic mudstone in response to the Pleistocene glacial and interglacial cycles*. PhD dissertation, University of Tokyo, Japan.

遠藤 毅 (1978) 東京都付近の地下に分布する第四系の層序と地質構造. 地質学雑誌, **84**, 505-520.

Furutani, M. (1989) Stratigraphical subdivision and pollen zonation of the Middle and Upper Pleistocene in the coastal Area of Osaka Bay, Japan. *Journal of Geosciences, Osaka City University*, **32**, 91-121.

Groot, J.J. (1966) Some observations on pollen grains in suspension in the estuary of the Delaware River. *Marine Geology*, **4**, 409-416.

Hongo, M. (2007) Stratigraphic distribution of *Hemiptelea* (Ulmaceae) pollen from Pleistocene sediments in the Osaka sedimentary basin, southwest Japan. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **144**, 287-299.

本郷美佐緒 (2009) 大阪堆積盆地における中部更新統の花粉生層序と古環境変遷. 地質学雑誌, **115**, 64-79.

本郷美佐緒・水野清秀 (2009) 埼玉県さいたま市で掘削された深作 A-1 ボーリングコアの花粉化石群集. 地質調査研究報告, **60**, 559-576.

Huang, T.C. (1972) *Pollen flora of Taiwan*. Botany Department, National Taiwan University, Taipei, 297p.

Huang, T.C. (1981) *Spore flora of Taiwan*. Botany Department, National Taiwan University, Taipei, 111p.

伊勢屋ふじこ (1982) 茨城県桜川における逆グレーディングをした洪水堆積物の成因. 地理学評論, **55**, 597-613.

石和田靖章・三梨 昂・品田芳二郎・牧野登喜男 (1971) 日本油田・ガス田図 10「茂原」. 地質調査所.

市原 実 (1960) 大阪, 明石地域の第四紀層に関する諸問題. 地球科学, **49**, 15-25.

Kameo, K., Okada, M., El-Masry, M., Hisamitsu, T., Saito, S., Nakazato, H., Ohkouchi, N., Ikehara, M., Yasuda, H., Kitazato, H. and Taira, A. (2006) Age model, physical properties and paleoceanographic implications of the middle Pleistocene core sediments in the Choshi area, central Japan. *Island Arc*, **15**, 366-377.

関東平野中央部花粉グループ (1994) 関東平野中央部ボーリングコアの花粉層序-春日部 (90KK) 及び川島 (84KJ) ボーリングコアの花粉分析- 地圏研専報, no. 42, 121-150.

河井興三 (1952) 茂原ガス田西方周辺地域 (茂原-

- 鶴舞地域)の地質及び天然ガス. 石油技術協会誌, **17**, 1-21.
- 小林国夫・清水英樹・北沢和男・小林武彦(1967) 御岳火山第一浮石層—御岳火山第一浮石層の研究その1—. 地質学雑誌, **73**, 291-308.
- 栗田裕司・松岡敷充・小布施明子(2000) 海陸リンクエッジ域におけるパリノロジーの役割. 月刊地球, 号外29, 99-108.
- 町田 洋・新井房夫(2003) 新編火山灰アトラス〔日本列島とその周辺〕. 東京大学出版会, 東京, 336p.
- 町田 洋・新井房夫・杉原重夫(1980) 南関東と近畿の中部更新統の対比と編年—テフラによる一つの試み—, 第四紀研究, **19**, 233-261.
- 松下まり子(1981) 播磨灘表層堆積物の花粉分析—花粉組成と現存植生の比較—. 第四紀研究, **20**, 89-100.
- 松下まり子(1982) 播磨灘表層堆積物の花粉分析—内海域における花粉・胞子の動態—. 第四紀研究, **21**, 15-22.
- 宮下 治(1986) 多摩丘陵北域における上総層群の花粉群集. 地質学雑誌, **92**, 517-524.
- 水野清秀・須貝俊彦・八戸昭一・中里裕臣・杉山雄一・石山達也・中澤 努・松島紘子・細矢卓志(2004) ボーリング調査から推定される深谷断層南東部の地質構造と活動性. 活断層・古地震研究報告, **4**, 69-83.
- Muller, J. (1959) Palynology of recent Orinoko delta and shelf sediments: Report of the Orinoko shelf expedition. *Micropaleontology*, **5**, 1-32.
- 中村 純(1967) 花粉分析. 232p, 古今書院.
- 中村 純(1980) 日本産花粉の標徴I・II. 大阪市立自然史博物館収蔵試料目録第13集, 91p.
- 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, 41p.
- 中澤 努・中島 礼・植木岳雪・田辺 晋・大嶋秀明・堀内誠示(2006) 大宮大地の地下に分布する更新統下総層群木下層のシーケンス層序学的研究. 地質学雑誌, **112**, 349-368.
- 中澤 努・中里裕臣(2005) 関東平野中央部に分布する更新統下総層群の堆積サイクルとテフロクロロジー. 地質学雑誌, **111**, 87-93.
- 那須孝悌(1970) 大阪層群上部の花粉化石について—堺港のボーリングコアを試料として—. 地球科学, **24**, 25-34.
- 那須孝悌・松江実千代(1985) 袋井市坂尻遺跡の花粉・胞子分析. 一般国道1号袋井バイパス(袋井地区)埋蔵文化財発掘調査報告書 坂尻遺跡—自然科学編—, 59-69.
- 那須孝悌・瀬戸 剛(1986) 日本産シダ植物の胞子形態I. 大阪市立自然史博物館収蔵試料目録第18集, 42p.
- 納谷友規・山口正秋・水野清秀(2009) 関東平野中央部埼玉県菖蒲町で掘削された350mボーリングコア(GS-SB-1)の珪藻化石産出層準と淡水成層準及び海成層準の識別. 地質調査研究報告, **60**, 245-256.
- 西村祥子(1980) 横浜市における中・上部更新統の花粉群変遷. 地質学雑誌, **86**, 275-291.
- Okuda, M., Nakazato, H., Miyoshi, N., Nakagawa, T., Okazaki, H., Saito, S. and Taira, A. (2006) MIS11-19 pollen stratigraphy from the 250-m Choshi core, northeast Boso Peninsula, central Japan: Implications for the early/mid-Brunhes (400-780 ka) climate signals. *Island Arc*, **15**, 338-354.
- 大西郁夫(1969) 房総半島・上総層群の花粉フローラ. 地球科学, **23**, 236-242.
- 島倉巳三郎(1973) 日本植物の花粉形態. 大阪市立自然史博物館収蔵試料目録第5集, 60p.
- 島倉巳三郎(1961) 本邦新生代の花粉層序学的研究V 東京・横浜附近の第四系. 奈良学芸大学紀要, 自然科学, 第10巻, No.1, 23-35.
- Stone, D.E. and Broom, C.R. (1975) Juglandaceae. In: Nilsson, S. (chief Ed.), *World Pollen and Spore Flora 4*. Almqvist and Wiksell Periodical Company, Stockholm, pp 1-35.
- 杉山雄一・須貝俊彦・井村隆介・水野清秀・遠藤秀典・下川浩一・山崎晴雄(1997) 50万分の1活構造図8〔東京〕(第2版), 地質調査所.
- 田井昭子(1966) 大阪市におけるボーリング(OD-1)コアの花粉分析(その1・その2)—近畿地方の更新統下総層群の研究V—. 地球科学, **83**, 25-33; 84, 31-38.
- Tai, A. (1973) A study on the pollen stratigraphy of the Osaka Group, Plio-Pleistocene deposits in the Osaka Basin. *Memoirs of the Faculty of Science, Kyoto University, Series of Geology and Mineralogy*, **39**, 123-165.
- 徳橋秀一・遠藤秀典(1984) 姉崎地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 136p.
- Traverse, A. (1988) *Paleopalynology*. Unwin Hyman, Boston, 600p.
- 辻 誠一郎(1980) 大磯丘陵の更新世吉沢層の植物化石群集(I). 第四紀研究, **19**, 107-115.
- 植木岳雪・山口正秋・本郷美佐緒・納谷友規・水野清秀(2009) 関東平野中央部, 埼玉県菖蒲町で掘削されたGS-SB-1コアの古地磁気・岩石磁気測定. 地質調査研究報告, **60**, 199-243.
- Wang, F., Chien, N., Zhang, Y. and Yang, H. (1995) *Pol-*

*len flora of China. Second edition.* Science Press, Beijing, China, 461p.

渡辺正巳 (1995) 花粉分析法. 考古資料分析法, 84-85, ニュー・サイエンス社.

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 350m ボーリングコア (GS-SB-1) の層相と堆積物物性. 地質調査研究報告, **60**, 147-197.

応俊生・張玉龍 (1994) 中国種子植物特有属. 科学出版社, 北京, 699p.

吉川周作・三田村宗樹 (1999) 大阪平野第四系層序と

深海底の酸素同位体比層序との対比. 地質学雑誌, **105**, 332-340.

吉川周作・水野清秀・加藤茂弘・里口保文・宮川ちひろ・衣笠善博・三田村宗樹・中川康一 (2000) 神戸市東灘 1,700m ボーリングコアの火山灰層序. 第四紀研究, **39**, 505-520.

Zhang, Y., Xi, Y., Zhang J., Gao, G., Du, N., Sun, X. and Kong, Z. (1990) *Spore morphology of Chinese Pteridophytes.* Science Press, Beijing, China, 592p.

(受付: 2011 年 4 月 20 日; 受理: 2011 年 6 月 16 日)

付表1 試料番号, 深度, 層相及び花粉化石分離手順の対応. 花粉化石分離手順の略記 W:渡辺 (1995), H: Hongo (2007).  
Appendix 1. Correlation of sample numbers with depth in core, sediment type and pollen extraction methods. Abbreviations for extraction methods are W: Watanabe (1995); H: Hongo (2007).

Sample numbers	Depth below ground level (m)	Cube No.	Material	Extraction methods
2.610	2.610 ~ 2.640	16	volcanic ash soil, containing organic material	H
4.360	4.360 ~ 4.390	3	volcanic ash soil	H
4.610	4.610 ~ 4.640	5	tuffaceous clay to silt	H
4.860	4.860 ~ 4.890	7	tuffaceous clay to silt	H
5.485	5.485 ~ 5.515	11	sandy silt	H
6.110	6.110 ~ 6.140	19	tuffaceous silty fine sand	H
6.360	6.360 ~ 6.390	21	silty very fine sand, containing plant fragments	H
7.485	7.485 ~ 7.515	29	silt	W
7.610	7.610 ~ 7.640	30	sandy silt	H
7.860	7.860 ~ 7.890	32	tuffaceous clay	H
9.610	9.610 ~ 9.640	37	silt, containing plant fragments	H
9.860	9.860 ~ 9.890	39	silty medium sand	H
10.235	10.235 ~ 10.265	41	fine sand, containing plant fragments	H
10.485	10.485 ~ 10.515	43	fine sand, containing pumice	H
10.735	10.735 ~ 10.765	45	medium to very coarse sand with pebble	H
15.110	15.110 ~ 15.140	70	granule to coarse sand	H
17.235	17.235 ~ 17.265	85	sandy silt, containing plant fragments	H
19.360	19.360 ~ 19.390	93	sandy silt, containing plant fragments	H
21.485	21.485 ~ 21.515	108	sandy silt	H
22.485	22.485 ~ 22.515	115	fine to medium sand with parallel laminae	H
24.610	24.610 ~ 24.640	130	fine to medium sand	H
26.485	26.485 ~ 26.515	143	fine to very fine sand	H
29.360	29.360 ~ 29.390	155	sandy silt, containing shell fragments	H
31.360	31.360 ~ 31.390	163	sandy silt	H
33.610	33.610 ~ 33.640	172	silt, containing pumice	H
35.360	35.360 ~ 35.390	182	clay	H
35.860	35.860 ~ 35.890	184	sandy silt	W
36.360	36.360 ~ 36.390	179	silty fine to medium sand	H
41.235	41.235 ~ 41.265	236	very coarse sand to granule	H
43.360	43.360 ~ 43.390	186	sandy silt to silty fine sand	w
43.610	43.610 ~ 43.640	187	silt to silty fine sand	W
46.610	46.610 ~ 46.640	193	sandy silt	H
48.360	48.360 ~ 48.390	201	silt, containing organic material	H
51.360	51.360 ~ 51.390	213	silt, containing organic material	H
55.085	55.085 ~ 55.115	228	fine sand	W
57.360	57.360 ~ 57.390	240	very coarse sand to granule	H
58.360	58.360 ~ 58.390	233	silt	H
58.690	58.690 ~ 58.720	234	tuffaceous sandy silt	H
61.610	61.610 ~ 61.640	245	silt, containing plant fragments	H
63.360	63.360 ~ 63.390	250	silt to sandy silt	H
64.360	64.360 ~ 64.390	254	coarse to very coarse sand	H
66.385	66.385 ~ 66.415	262	medium sand	H
68.360	68.360 ~ 68.390	270	coarse sand	H
70.860	70.860 ~ 70.890	276	fine sand, containing shell fragments	H
73.110	73.110 ~ 73.140	289	fine sand, containing shell fragments	H
75.360	75.360 ~ 75.390	291	medium sand, containing shell fragments	H
77.360	77.360 ~ 77.390	295	sandy silt	H
79.310	79.310 ~ 79.340	299	silt	W
80.360	80.360 ~ 80.390	301	silty very fine sand	H
80.550	80.550 ~ 80.580		silty very fine sand	W

Appendix 1. Correlation of sample numbers with depth in core, sediment type and pollen extraction methods. Abbreviations for extraction methods are W: Watanabe (1995); H: Hongo (2007).

埼玉県菖蒲町 GS-SB-1 ボーリングコアの花粉化石群集 (本郷ほか)

付表1 続き.  
Appendix 1. Continued.

Sample numbers	Depth below ground level (m)	Cube No.	Material	Extraction methods
84.860	84.860 ~ 84.890	308	silt, containing plant fragments	H
86.315	86.315 ~ 86.345	310	silt	H
87.860	87.860 ~ 87.890	322	silt, containing plant fragments	H
95.355	95.355 ~ 95.385	313	coarse sand	H
106.360	106.360 ~ 106.390	318	very fine to fine sand	H
108.360	108.360 ~ 108.390	320	sandy silt, containing shell fragments	H
111.360	111.360 ~ 111.390	326	sandy silt, containing shell fragments	H
114.815	114.815 ~ 114.845	280	silt, containing plant fragments	H
117.295	117.295 ~ 117.325	281	very fine sand	H
117.700	117.700 ~ 117.730		silt, containing organic material	W
119.360	119.360 ~ 119.390	277	very fine sand	H
121.060	121.060 ~ 121.100		silty fine sand	W
121.860	121.860 ~ 121.890	332	silt, containing plant fragments	H
122.365	122.365 ~ 122.395	333	silt, containing plant fragments	W
124.055	124.055 ~ 124.085	337	sandy silt	H
136.860	136.860 ~ 136.890	340	fine sand	H
137.360	137.360 ~ 137.390	341	fine sand, containing shell fragments	H
138.860	138.860 ~ 138.890	343	silt	H
140.860	140.860 ~ 140.890	345	silty very fine sand, containing shell fragments	H
145.360	145.360 ~ 145.390	354	silt, containing shell fragments	H
148.860	148.860 ~ 148.890	361	silty very fine sand, containing shell fragments	H
155.360	155.360 ~ 155.390	373	silty very fine sand, containing shell fragments	H
157.305	157.305 ~ 157.335	377	silty very fine sand	H
160.360	160.360 ~ 160.390	381	silt	H
162.285	162.285 ~ 162.315	385	silt, containing plant fragments	H
164.285	164.285 ~ 164.315	389	very fine sand, containing plant fragments	H
168.660	168.660 ~ 168.690	397	silt, containing plant fragments	H
170.360	170.360 ~ 170.390	401	clay to silt	H
170.865	170.865 ~ 170.895	402	silt	W
172.405	172.405 ~ 172.435	406	clay to silt, containing plant fragments	H
174.360	174.360 ~ 174.390	407	silty fine sand	H
175.030	175.030 ~ 175.060		silt to very fine sand, containing plant fragment	W
176.060	176.060 ~ 176.090		clay to silt, containing plant fragments	W
177.260	177.260 ~ 177.290		silt, containing plant fragments	H
178.260	178.260 ~ 178.290		silt, containing plant fragments	W
180.360	180.360 ~ 180.390		silt, containing organic material	W
181.360	181.360 ~ 181.390	420	sandy silt, containing organic material and plant	H
184.360	184.360 ~ 184.390	424	very coarse sand	H
186.160	186.160 ~ 186.190	425	silt, containing organic material	H
188.575	188.575 ~ 188.605	430	silt, containing plant fragments	H
190.360	190.360 ~ 190.390	432	clay to slit	H
192.145	192.145 ~ 192.175	435	sandy silt with laminae	H
196.860	196.860 ~ 196.890	441	silt, containing plant fragments	H
202.870	202.870 ~ 202.920		silt	W
204.830	204.830 ~ 204.880		clay	W
206.610	206.610 ~ 206.670		silt, containing plant fragments	H
210.070	210.070 ~ 210.150		silt, containing plant fragments	H
213.700	213.700 ~ 213.750		sandy silt	H
216.620	216.620 ~ 216.700		silty fine sand, containing plant fragments	H
217.710	217.710 ~ 217.780		silt	W

付表1 続き.  
Appendix 1. Continued.

Sample numbers	Depth below ground level (m)	Cube No.	Material	Extraction methods
219.280	219.280 ~ 219.330		silt	W
221.110	221.110 ~ 221.170		silt	W
225.520	225.520 ~ 225.620		coarse sand	H
231.900	231.900 ~ 231.960		sandy silt	H
233.410	233.410 ~ 233.460		silty very fine sand	W
237.460	237.460 ~ 237.520		silt with parallel laminae	W
238.090	238.090 ~ 238.180		silt	W
238.450	238.450 ~ 238.510		sandy silt	W
239.120	239.120 ~ 239.200		sandy silt	W
239.470	239.470 ~ 239.570		fine sand	W
241.120	241.120 ~ 241.200		tuffaceous sandy silt	W
241.550	241.550 ~ 241.610		sandy silt	W
241.880	241.880 ~ 241.940		silty fine to medium sand	W
252.680	252.680 ~ 252.780		medium sand	H
255.290	255.290 ~ 255.360		fine sand	H
256.850	256.850 ~ 256.910		fine sand to silt	W
257.980	257.980 ~ 258.030		sandy silt	W
260.580	260.580 ~ 260.650		silty very fine sand	W
262.020	262.020 ~ 262.070		sandy silt, containing plant fragments	H
264.410	264.410 ~ 264.470		medium sand	H
266.640	266.640 ~ 266.700		sandy silt	W
268.190	268.190 ~ 268.250		sandy silt	W
268.910	268.910 ~ 268.990		silty fine sand	W
272.340	272.340 ~ 272.400		silt	W
273.990	273.990 ~ 274.040		sandy silt	W
276.360	276.360 ~ 276.420		sandy silt	W
276.930	276.930 ~ 276.990		sandy silt	W
279.410	279.410 ~ 279.440		sandy silt	H
281.060	281.060 ~ 281.090	462	sandy silt	W
282.180	282.180 ~ 282.210	463	silt	H
285.625	285.625 ~ 285.655		silt	H
287.320	287.320 ~ 287.350	468	silt	W
289.650	289.650 ~ 289.700		silt	W
291.070	291.070 ~ 291.130		silt	W
293.630	293.630 ~ 293.700		very fine sand	W
295.590	295.590 ~ 295.660		sandy silt	W
297.850	297.850 ~ 297.910		very fine sand	W
299.570	299.570 ~ 299.590		medium sand	H
301.840	301.840 ~ 301.910		sandy silt	W
302.360	302.360 ~ 302.420		silty fine sand, containing pumice	W
314.050	314.050 ~ 314.100		medium sand	W
317.340	317.340 ~ 317.410		fine sand, containing shell fragments with parall	H
319.010	319.010 ~ 319.070		sandy silt	W
321.900	321.900 ~ 321.990		coarse sand	H
324.300	324.300 ~ 324.360		silty fine sand	W
327.180	327.180 ~ 327.240		silt	W
328.910	328.910 ~ 328.980		silty fine sand	W
329.870	329.870 ~ 329.920		sandy silt	W
330.400	330.400 ~ 330.480		silt	W
350.100	350.100 ~ 350.150		silt	W

埼玉県菖蒲町 GS-SB-1 ボーリングコアの花粉化石群集 (本郷ほか)

付表 2 GS-SB-1 コアの花粉・孢子化石の産出数量表. +記号は稀産 (木本植物花粉の計数範囲外で認められたもの). 分類コードの略記 1: 木本植物 (針葉樹類), 2: 木本植物 (広葉樹類), 3: 草本植物, 4: シダ植物, 5: コケ植物, 6: 不明花粉・孢子.

Appendix 2. Occurrence chart of pollen and spores in the GS-SB-1 core.

+ indicates rare (not included in the 250-grain count of tree and shrub pollen, but found in the sample later).

Abbreviations for classification code (Cf. code) are 1: Trees and shrubs (Conifer); 2: Trees and shrubs (Broad-leaved); 3: Herbs; 4: Pteridophytes; 5: Bryophytes; 6: unknown pollen and spores.

Cf. code	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	
Taxa	<i>Torreya</i>	<i>Cephalotaxus</i>	<i>Dacrydium</i>	<i>Podocarpus</i>	<i>Pseudolarix</i>	<i>Abies</i>	<i>Picea</i>	<i>Tsuga</i>	<i>Larix</i>	<i>Pinus</i> (subgen. <i>Haploxyylon</i> )	<i>Pinus</i> (subgen. <i>Diptoxyylon</i> )	<i>Pseudotsuga</i>	<i>Sciadopitys</i>	Taxodiaceae	<i>Taxodium-Gryptostrobus</i>	<i>Cunninghamia</i>	<i>Metasequoia</i>	<i>Cryptomeria</i>	Cupressaceae	<i>Salix</i>	<i>Myrica</i>	Juglandaceae	<i>Carya</i>	<i>Cyclocarya</i>	<i>Juglans / Pterocarya</i>	<i>Carpinus</i>	<i>Corylus</i>	
Sample No.																												
2.610																		3										
4.360																		6	1		60						1	3
4.610																		5	2									
4.860										1								25	3			2			3	1		
5.485						2	46	61		4	8			23				66	13	1					2	2	1	
6.110							4	5		5	18	15		3				73	7	1		1			4	3	2	
6.360								1										7									2	
7.485								1		2	1		5					5					1		1			
7.610									1									7										
7.860							3	5		1		3	1					25							1			
9.610				1							1	2						11	6						1	1		
9.860											1	2						9	1									
10.235												2						14	2									
10.485																		10	1								1	
10.735				1			9	7		3	15	23		4				85	30	3					1	6	2	
15.110							7	48	9	64	11	15		4				9	1						46	5	2	
17.235		1									2							3	3									
19.360				1		10	119	24		4	5	6		10											13	4	2	
21.485							1				5	4		1				4										
22.485							1	+		2	6	1		5				33	9	3					5	7		
24.610							2	1			4	2		9				31	17	3					7	3		
26.485						1	4	7		3	3			1				4	6	2					13	10	3	
29.360				+		8	19	43		3	11	5		1				1	2	1					7	27	3	
31.360						1	27	29		9	7	10						3	1	1					11	27	3	
33.610							3	1			1			1				3			28						5	
35.360							1	1			1	2						11	4						5	2	1	
35.860						1	3	1		1	2			2				3	2						2	1	1	
36.360											3							1										
41.235							1			1	1	6		5				55	13	2					9	6		
43.360			1				1	1			3							6	9	1					7	13	6	
43.610							20	3		3	3	2		3				8	1			1			4	1		
46.610							2	48	15		7	15	9		3			34	10						7	1		
48.360						4	35	12		13	3	8						26	8						5			
51.360							24	11		7	22	13		1			1	12	64						5	2	3	
55.085		3				1	6	3		1		6		2				4	16	3					35	19		
57.360							3	2		2	5							24	13	3					2	4	1	
58.360				1		1	13	15		1	17	3		1				3	1	1			12		8	8	1	
58.690							5			1	4						1	3	3						2		1	
61.610						2	10	2		9	1							1							7		12	
63.360											1								1									
64.360		1						1			2	1						19	3				1		1			
66.385											3	3						23	5							2	1	
68.360		1								1	1							6	4				1	1		2	1	
70.860							4	5			5							46	20	1					4	1	1	
73.110							16	11		8	15	8			2			30	16	1					7	11	3	
75.360						1	4	2		3	3	4				1	23	7	1						6	12		
77.360						+	16	2		1	15	1		4				12	7		2				12	10	3	
79.310							6	1			2	2						1	2	3					20	6	2	
80.360							1																					
80.550						1	14	3		3	1							3	15		1				31	10	2	

付表2 続き.  
Appendix 2. Continued.

Cf. code	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	
Taxa	<i>Torreya</i>	<i>Cephalotaxus</i>	<i>Dacrydium</i>	<i>Podocarpus</i>	<i>Pseudolarix</i>	<i>Abies</i>	<i>Picea</i>	<i>Tsuga</i>	<i>Larix</i>	<i>Pinus</i> (subgen. <i>Haploxylo</i> )	<i>Pinus</i> (subgen. <i>Diploxylo</i> )	<i>Pseudotsuga</i>	<i>Sciadopitys</i>	Taxodiaceae	<i>Taxodium-Glyptostrobus</i>	<i>Cunninghamia</i>	<i>Metasequoia</i>	<i>Cryptomeria</i>	Cupressaceae	<i>Salix</i>	<i>Myrica</i>	Juglandaceae	<i>Carya</i>	<i>Cyclocarya</i>	<i>Juglans / Pterocarya</i>	<i>Carpinus</i>	<i>Corylus</i>	
Sample No.																												
84.860							1																					
86.315										1																3		
87.860						1	18	5		1	1							28	3	1					13	2		
95.355		2					2	2		2	3							115	28	1	2				1	10	1	
106.360		1					6			3								5	3		1					1		
108.360						5	54	7		4	20	3		3				12	10	1					2	8	3	
111.360				1		1	32	6		7	36	10						2	1						4	32	9	
114.815						1	7	4		1	4			2			2	3	5						16	13	11	
117.295							13	5		1	2						1	2								2		
117.700						3	11	4		2	2		1					1	13				1		27	3	6	
119.360								1																				
121.060						3	33	13		4	8			2				2	22						31	5	1	
121.860							2			1		1						3										
122.365						1	2	1			9	2		1			1	7			1		2		6		4	
124.055						+	46	11		6		1						1	3	1					23	6	3	
136.860						1	4	12		2	3	1						2	4									
137.360		2					1	11		2	2			3		1		11	48						3	5	3	
138.860							3	25		7	11	2	+	1				1	25	4					10	4		
140.860				1		3	12	47		7	12	2		3				4	19	1					1	1	1	
145.360	1					1	7	31		12	14	3		2				2	3		1				5	8	1	
148.860						3	8	26		13	11	5						2	16						3	5	5	
155.360	2					14	32	62		7	11	1						2	13	2					4	9		
157.305							1	40										5	1						5	7	2	
160.360		6				2	26	46		8	4		1	+				1	8	2					6	10		
162.285		3				3	11	23		2	1			1				4	16	2					10	10	2	
164.285		1				2	42	26		4		1						3	5						3	8		
168.660		16				3	23	39		1									18	7					19	14	2	
170.360							2	1			2																	
170.865							3	5			6	2		1				3	2	1			4		7	13	2	
172.405						3	16	12		2	1	2							1						8	3	1	
174.360						3	22	82	1	6	17	7		1				6	18		1			1	5	1		
175.030		3				5	12	4		1	3	3						1	20	1					14	8	8	
176.060		11				3	4	4		4								3	21	1					21	13	1	
177.260						7	76	22		8	9							3	7	3				1	12	5		
178.260						4	3			1	7							1	3						5	5	5	5
180.360						3	98	4		8	3									1					7	3	2	
181.360						2	42	9		1	5			1											2	1	4	
184.360		1		1		1	128	14		31	7	1						4	3						3	3	3	
186.160						2	63	13		12	8	5						6							3	1	3	
188.575						1	5	35		8	1	1		3				23	7									
190.360							3	25		12	2	3	2	2		2		1	42	16	1				2	3	1	
192.145						1	38	27	1	29	7	5		5				48	10							2		
196.860						1	8	28		19	13	1		3				43	6	1					2	1		
202.870							8	28		11	4			1		1		21	16	1					7	14	1	
204.830						1	4	2		3	8	1		2				19	1			1			6	6	1	
206.610							10	11		21	7	1						16	3	1					6	6	1	
210.070			1			1	9	58		10	8			5				6	20	2				1	10	4		
213.700			2				1	3		3	7	2		2		4		1	42	8	1		5		3	5	2	
216.620						2	7	5		13	5	1		1				7	9	1		2			1	10	1	
217.710							1	1		14	17	3						3	8						4	16	3	

埼玉県菖蒲町 GS-SB-1 ボーリングコアの花粉化石群集 (本郷ほか)

付表2 続き.  
Appendix 2. Continued.

Cf. code	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	
Taxa	<i>Torreya</i>	<i>Cephalotaxus</i>	<i>Dacrydium</i>	<i>Podocarpus</i>	<i>Pseudolarix</i>	<i>Abies</i>	<i>Picea</i>	<i>Tsuga</i>	<i>Larix</i>	<i>Pinus</i> (subgen. <i>Haploxylo</i> )	<i>indistinct Pinus</i>	<i>Pinus</i> (subgen. <i>Diploxylo</i> )	<i>Pseudotsuga</i>	<i>Sciadopitys</i>	Taxodiaceae	<i>Taxodium-Cryptostrobus</i>	<i>Cunninghamia</i>	<i>Metasequoia</i>	<i>Cryptomeria</i>	Cupressaceae	<i>Salix</i>	<i>Myrica</i>	Juglandaceae	<i>Carya</i>	<i>Cyclocarya</i>	<i>Juglans / Pterocarya</i>	<i>Carpinus</i>	<i>Corylus</i>
Sample No.																												
219.280		1				1	6	14		13	23	3							5	24						8	18	2
221.110						1	4	18		2	19	5						3	6	8				1	1	5	6	3
225.520							14	3		6	5			6					33	27	1	1				4	7	
231.900			1				4	6		14	1	1		4					9	26	1					2	2	
233.410			1				14	28		3	6	1		4				6	37	43	2			1	1		2	
237.460												1						1	6									
238.090							2	2		2																		
238.450							5	10		3	2	2																
239.120											1																	
239.470		1					7	7		9	14	4		1				2	50	38				1	3	11	8	2
241.120										2	1								1	1								
241.550							1	4		4	4	1							5	4						3	1	
241.880										1													1					
252.680						1	2			1									60	37	4		2			2	4	1
255.290						2	6	4		4	21	3		1				1	36	29						8	18	
256.850	1						7	3		7	17	4		1				4	31	28				1	1	3	13	3
257.980							12	4		5	6	6		4				2	37	16	2		1			2	7	2
260.580						1	15	5		8	9			2					39	24				1	1	5	25	1
262.020			2			1	10	17		17	9	2					1		40	20	2					4	17	1
264.410							3	+		1	2	1		1					49	46						4	8	1
266.640							24	1		3	6							3	18	8						9	12	1
268.190						1	1	5			8								3	1						1	1	
268.910											1								4	2								1
272.340						1	13	10		12	16	6	1	5				1	20	5				3	24	20	10	1
273.990						1	3	6		15	8	2							27	43					5	19	10	1
276.360		1				1	3	4		4	3			2					7	26					5	6	9	3
276.930							2	3		6	5								1	18	2			1		15	5	2
279.410			1			1	33	12		33	18	9					1		16					1	2	23	4	1
281.060							2	3		4	3				1				3	22					1	9	12	2
282.180							8	3		13	2	5		1				3	1	6					1	18	4	3
285.625							4	3		12	6	3							1	34	1				1	10	5	4
287.320			4			1	9	9		1	23	2		2				4	3	5				7	1	20	2	
289.650						1	10	13		10	13	8							7	23	2				1	17	5	4
291.070							1	2		3	4			1					4	53	1					11	17	3
293.630		1					2	20	21		26	5						5	2	5				10		14	3	1
295.590		1				6	3	3			11	1						3	13	21	1			5	1	23	9	3
297.850						1	5	4		1	4	1						4	7	36	2			1		21	7	1
299.570							2	20	5	1	6	1		1	1			4	6	9	4		1			4		1
301.840			1					2			1			1					1	5						23	4	4
302.360							1	1			1								2							1		
314.050						1	1	1		21	17	5							1	1						6	18	3
317.340			1				2	1		28	12	3							2	1	2					8	9	5
319.010						1	1	1		7	22	2					3			1	2					13	9	3
321.900			1	1			2	1		1	4			1				1	17	18	3					13	10	2
324.300			2	1			9	9		18	2			1			2		1	2				3	2	10	10	1
327.180							6	3			2								1		1					14	4	6
328.910						1	15	5		1	2								2							5	5	1
329.870						2	1				20	5			1			1		2				4	1	22	5	2
330.400			2		1	1	3	9		1	17						1		2	2				19		21	4	1
350.100			6				18	3		3	14	3		1				20	22	12	4			1	+	10	4	+

付表2 続き.  
Appendix 2. Continued.

Cf. code	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Taxa																																
Sample No.	<i>Betula</i>	<i>Alnus</i> (subgen. <i>Alnus</i> )	<i>Alnus</i> (subgen. <i>Alnaster</i> )	<i>Fagus crenata</i> type	<i>Fagus japonica</i> type	<i>Fagus</i> other type	Indist. <i>Quercus</i>	<i>Quercus</i>	<i>Cyclobalanopsis</i>	<i>Castanea</i>	<i>Castanopsis / Pasania</i>	<i>Ulmus / Zelkova</i>	<i>Zelkova</i>	<i>Ulmus</i>	<i>Hemiptelea</i>	<i>Celtis / Aphananthe</i>	<i>Magnolia</i>	<i>Illicium</i>	Hamameridaceae	<i>Liquidambar</i>	<i>Deutzia</i>	Rosaceae	Rutaceae	<i>Orixa</i>	<i>Sapitum</i>	<i>Mallotus</i>	<i>Rhus</i>	<i>Ilex</i>				
2.610																																
4.360	2	131	52	1				2	2			2																				
4.610	1	2	1									1			+																	
4.860		7	3					5	3																					1		
5.485	4	14	14	1				6				2									1										1	
6.110	7	9	13	1	2			20	9	1		2	3		1	5					3	2										
6.360								6	3			1																				
7.485		3						1	3			2																				
7.610		1						4		1																						
7.860	2	7	2		2			6	2			1										1										
9.610	1	1						5	5		1						1															
9.860	1	1	2	1				2	1																							
10.235								3			1		2			1																
10.485		2	1					3	3			2				1																
10.735	9	8	16					8	6			5		1	8						2	3										
15.110	10	11	8	7	1			7				6		2								1	1									
17.235	1																															
19.360	3	3	7	12	11			10				10			5	2					1						+	1				
21.485		1	1					5				1																				
22.485	4	76	75	1				5				2	1		2	2						1									1	
24.610	3	55	92		1			9		1		1	1		2	4						3									1	
26.485	8	26	19	26	5			11	1		1	16		30	2							2	3						10	1		
29.360	9	23	21	28	16			8	1			8		52						2	2						5					
31.360	10	16	14	23	11			14	1			10		40		1							1									
33.610	3	64	126									1			1																	
35.360	8	8	37		1			15				2	2		3							1	1							2		
35.860	3	6	7	5				4				2	3		1						1										1	
36.360				1																												
41.235	3	51	95		2			13	1	1		8			1																1	
43.360	23	19	26	5	3			37	4			8	4		25						3		4	2						11		
43.610	3	4	2	2	1			4				3			1						1											
46.610	2	55	68	1				2				1			3																	
48.360	4	88	112					5				1			4							3	1									
51.360	9	22	52	5				2				2			2							1										
55.085	1	8	7	9	2			35				15			62	10						5	2			1					1	
57.360	4	12	5	4				15	6		2	5			8						1		2								5	
58.360	14	5	8	22	11	1		34	3			25	6		1						25						1				1	
58.690	2	26	20	2	3			9	1		2	6			5						3											
61.610	11	79	145	4				19				7			7							1	3									
63.360		1	2					1	1			1																				
64.360		5						8	4			1			1																	1
66.385	1	3	12		1			7	3		1	1			1	2													1			
68.360	1	3	3		8			8	1	1		2			1	1					4	1	1									
70.860	1	6	11	10	3			29	5		4	6			7	3						2	1									
73.110	15	9	19	12	9			25	9	1	2	2			2	10					1	1										
75.360	2	10	10	6	2			14			1	4				2						1	1							1		
77.360	14	33	17	22	5			31	4			8	1		6	1					3	1	1	2								
79.310	23	51	57	26	1			37				6			7																	1
80.360		1																														
80.550	15	41	23	18	11			39	1			4			4							1	3			1						

埼玉県菖蒲町 GS-SB-1 ボーリングコアの花粉化石群集 (本郷ほか)

付表2 続き.  
Appendix 2. Continued.

Cf. code	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Taxa																																
Sample No.	<i>Betula</i>	<i>Alnus</i> (subgen. <i>Alnus</i> )	<i>Alnus</i> (subgen. <i>Alnaster</i> )	<i>Fagus crenata</i> type	<i>Fagus japonica</i> type	<i>Fagus</i> other type	Indist. <i>Quercus</i>	<i>Quercus</i>	<i>Cyclobalanopsis</i>	<i>Castanea</i>	<i>Castanopsis / Pasania</i>	<i>Ulmus / Zelkova</i>	<i>Zelkova</i>	<i>Ulmus</i>	<i>Hemiptelea</i>	<i>Celtis / Aphananthe</i>	<i>Magnolia</i>	<i>Illicium</i>	Hamameridaceae	<i>Liquidambar</i>	<i>Deutzia</i>	Rosaceae	Rutaceae	<i>Orixa</i>	<i>Sapitum</i>	<i>Mallotus</i>	<i>Rhus</i>	<i>Ilex</i>				
84.860		1	1									1																				
86.315		2																														
87.860	6	1	9	6	6			2				32			126						5	4	2									
95.355	3	7	2	1	1			3	9	1		6			14	1																
106.360	1	1		3	1										1																	1
108.360	5	4	6	30	23			2	3			35			2				1			2	1						2	3		
111.360	15	6	16	50	64	3		22	1			50			5	4					1						8			2		
114.815	18	29	42	38	23			18	1			5	2		8							1					+	5				
117.295	1	2	2	2	2							1												1								
117.700	10	14	22	18	11	2		29				10	3		15					1		4	3		3			5				
119.360												1																				
121.060	13	23	15	19	6	1		13	1			4			6	2				4		5	2					1				
121.860								2	2																							
122.365	26	47	47	9	8			15	7		4	23	1		11	1				13								1	1			
124.055	26	15	31	17	15			19				9			13							3	1							+		
136.860	2	3		1	2							1			1																	
137.360	11	5	24	4	4			6	6			1								1	1							1	1			
138.860	5	7	10	34	15	1		8	40			16			1	2				13		2						2				
140.860	9	7	21	12	10	1		8	52		+	12			6				1	12	4	2					1					
145.360	15	14	27	29	17			5	91		4	22			1	3				2	2						1	1	2			
148.860	18	17	26	26	9	2	17	4	65			13			1	10																
155.360	11	7	9	20	16		11	5	19	1	5	7			1																	
157.305	40	2	26	41	20		1	12	27		4	16			5	1					1	1										
160.360	31	13	26	49	36	1		9	12		2	16			9	1				3	1	1		1								
162.285	23	5	26	34	23			5	13		3	20			12						4											
164.285	1		5	6	4			1	1			2			7																	
168.660	23		15	12	12	1		9	4		2	19			11						1	3	4	1	1			2	1			
170.360		1										3								1												
170.865	50	20	21	12	21			12			2	31	8		4					10								2	1			
172.405	9	8	4	6	3			1				17			3	1					1							1				
174.360	13	4	6	24	8			7	5		1	9			2					3		1	1									
175.030	33	39	15	35	3			19	1			14	6		2	1								2					3			
176.060	33	7	14	12	10			15				15	14		22	2						5	1				1					
177.260	15	8	39	16	2	3		6				30			12	2						1	4									
178.260	24	21	68	13	3			20	3		1	30	5		8					3		2	3									
180.360	9	31	78	9	2			8				51			15																	
181.360	15	14	61	9	3			19				16			52						3											
184.360	9	16	49	3	2			3				14			11						5											
186.160	7	22	32	11	4			3	1			16			54						4											
188.575	3	28	41	29	15			5				70			9																1	
190.360	2	23	44	9	8			1	1		1	37			14																	
192.145	5	6	12	17	10			5				9			15				1													
196.860	4	7	5	70	7	1		8			1	17	17		10													1				
202.870	9	10	15	36	8			11				79			27	4						3									1	
204.830	5	8	20	19	18			5				38	57		59	1																
206.610	5	33	20	42	6			8				15	24		67	2				1		1									1	
210.070	56	44	38	36	4			6				6	2		5	1																
213.700	14	27	25	17	4			8				25	10		11					23											1	
216.620	14	13	11	66	15			14				15	17		7						1				1							
217.710	7	5	28	65	27	2		17				10			11						1							1	1			

付表2 続き.  
Appendix 2. Continued.

Cf. code	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Taxa																																
Sample No.	<i>Betula</i>	<i>Alnus</i> (subgen. <i>Alnus</i> )	<i>Alnus</i> (subgen. <i>Alnaster</i> )	<i>Fagus crenata</i> type	<i>Fagus japonica</i> type	<i>Fagus</i> other type	Indist. <i>Quercus</i>	<i>Quercus</i>	<i>Cyclobalanopsis</i>	<i>Castanea</i>	<i>Castanopsis</i> / <i>Pasania</i>	<i>Ulmus</i> / <i>Zelkova</i>	<i>Zelkova</i>	<i>Ulmus</i>	<i>Hemiptelea</i>	<i>Celtis</i> / <i>Aphananthe</i>	<i>Magnolia</i>	<i>Illicium</i>	Hamameridaceae	<i>Liquidambar</i>	<i>Deutzia</i>	Rosaceae	Rutaceae	<i>Orixa</i>	<i>Sapitum</i>	<i>Mallotus</i>	<i>Rhus</i>	<i>Ilex</i>				
219.280	10	11	6	52	15			11	1			11	4		7	3																1
221.110	9	6	7	36	10			8	1		2	23	21							33		2									2	
225.520	7	34	23	26	7			13			1	16	10		6	2				2											2	
231.900	10	32	20	30	16			1	2			9	17		35					1		4					+			3		
233.410	14	16	12	16	7	1		3	1			11	6		8							1										
237.460		2						1																								
238.090												1																				
238.450															1																	
239.120								3			1		1																			
239.470	9	11	4	21	13			23			1	11			11	5						1	1			1					+	
241.120			1																													
241.550	2	4	1	5	1			1				2	4		1	1				1												
241.880				1				2	1													1										
252.680	11	35	14	16	5			16	4	1	7	7	6		8	3					1								1		1	
255.290	8	11	7	35		1		23	+	1	1	4			11	4					1					2		4			+	
256.850	7	3	2	29	11	1		32				14	1		17	2										1	1					
257.980	9	28	28	26	10			12	1		1	18	22		24	1					2	2					1					
260.580	4	7	5	42	6			39				7		1	10	3						1			1						1	
262.020	12	9	5	36				31			1	4	1		9	1									1						1	
264.410	9	19	6	15	2			35	35			5	1		17	5					1	4	2					1				
266.640	4	6	3	15	2			154				4			+	3							1		2							
268.190	1		1	5	2			38	1			1	1		1							1										
268.910	1							2	1																							
272.340	7	9	1	12	6			41	5		3	12			5					4	1											
273.990	8	2	4	24	13			66				3			7	2					1				3	1						
276.360	8	16	7	25	2	1		83	1			10			13																	
276.930	14	12	12	28	6			89				6	3		13					1	5	2			1							
279.410	2	11	4	22	3			51				4			8	2				3											1	
281.060	6	15	3	30	5			90	1			2			23	2				1					2							
282.180	9	15	2	38	15			92				1			14					2	1	1			6						1	
285.625	15	9	8	41	15	2		75	1			6			22	2				3	1				6							
287.320	16	6	5	15	7	1		42	15		2	10	10		5					11	1	3									+	
289.650	5	15	10	22	3			66	2		1	15			14					4	2				1							
291.070	10	4	4	32	17			80	3			7			19					1					3							
293.630	9	7	12	22	4	1		24	15		1	8	7		5	1				13					2						3	
295.590	22	16	11	17	9	1		22	15		11	25			3					9	1	2									1	
297.850	5	14	8	14	4			76	1			10			7	1					1		1		1						1	
299.570	7	22	2	10	4			23	3		1	6			5					1		1			52						5	
301.840	7	15	22	1	1			120	2			2			11							1										
302.360			3					14			1																					
314.050	6	15	7	47	18	1		67	5			4	1		9	4					1										2	
317.340	17	37	15	38	11	2	8	50	6	2		10	2		6	1				2	4									1	2	
319.010	6	27	4	80	11	1		39	+			13			3	2									1							
321.900	12	13	7	22	11	1		76	4		1	6	4		16	6				1	1											
324.300	24	14	15	10	6	2		58	9		3	26	14		12	1				13	1										1	
327.180	16	88	16	14	3			95			1	9			33	1						1	2									
328.910	23	23	27	21	3			98			3	3			8	1						1	+								1	
329.870	14	9	13	12	10	1		48	8		3	37	1		7	1				11	2				1					1		
330.400	16	1	2	18	16	1		12	25		2	8	33		3	1				27	3											
350.100	25	18	17	11	1			41	1			9			3	2				+											1	







付表2 続き.  
Appendix 2. Continued.

Cf. code	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
Taxa																																		
Sample No.	<i>Cannabis</i>	Urticaceae	<i>Polygonum</i>	<i>Rumex</i>	<i>Bistorta</i>	<i>Persicaria / Echinocaulon</i>	<i>Reynoutria</i>	Chenopodiaceae	<i>Nuphar</i>	<i>Alternanthera</i>	Caryophyllaceae	Ranunculaceae	<i>Ranunculus</i>	<i>Thalictrum</i>	Cruciferae	Rosaceae (herb)	<i>Rubus</i>	<i>Sanguisorba</i>	Leguminosae	<i>Geranium</i>	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia</i>	<i>Lythrum</i>	<i>Trapa</i>	<i>Epilobium</i>	<i>Haloragis</i>	<i>Myriophyllum</i>	Umbelliferae						
2.610																																		
4.360																																		
4.610																																		
4.860																																		
5.485					1	31		+			2	2	55	1				1	1				1				1				28			
6.110				1		3					2		7	1				2	2													30		
6.360						1																												
7.485			1																															
7.610				1																														
7.860						3							1					1													1			
9.610																																		
9.860																																		
10.235																																		
10.485																																		
10.735			1	3	1	5		2				2	8	1		1																19		
15.110						48		+												1									1			36		
17.235																																		
19.360					2							1		1																				
21.485								1																										
22.485	1					6		1		1		2	6			1														1		7		
24.610						2						2	4																				10	
26.485						2		1												4														
29.360						2		+	4							1																		
31.360					26	1	1					1				1			1				2									2		
33.610														1																				
35.360												1																						
35.860																																		
36.360																																		
41.235				1	1	2		2			1		8					+	2													6		
43.360					2			1				2		1		2																		
43.610						4																												
46.610					5	4						6																						
48.360					1	12						1																			+			
51.360																1						2											2	
55.085																1																		
57.360					1							1																					1	
58.360												3		1																				
58.690						1					3					1				1														
61.610		1				17						1																					2	
63.360																																		
64.360																	1																	
66.385				1	1																													1
68.360												1	1																					
70.860				1				4		2	1	3																						
73.110						1																												
75.360						1		1																										
77.360						11		4			1	4								+													3	
79.310					3								3							1													1	
80.360																																		
80.550						1	1					1	2	+																			+	

埼玉県菖蒲町 GS-SB-1 ボーリングコアの花粉化石群集 (本郷ほか)

付表2 続き.  
Appendix 2. Continued.

Cf. code	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3						
Taxa																																					
Sample No.	<i>Cannabis</i>	Urticaceae	<i>Polygonum</i>	<i>Rumex</i>	<i>Bistorta</i>	<i>Persicaria / Echinocaulon</i>	<i>Reynoutria</i>	Chenopodiaceae	<i>Nuphar</i>	<i>Altemanthera</i>	Caryophyllaceae	Ranunculaceae	<i>Ranunculus</i>	<i>Thalictrum</i>	Cruciferae	Rosaceae (herb)	<i>Rubus</i>	<i>Sanguisorba</i>	Leguminosae	<i>Geranium</i>	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia</i>	<i>Lythrum</i>	<i>Trapa</i>	<i>Epilobium</i>	<i>Haloragis</i>	<i>Myriophyllum</i>	Umbelliferae									
84.860																																					
86.315																																					
87.860						3				1		2	1			1						1															
95.355																							1														
106.360																																					
108.360						+																															
111.360	1				1																	1															
114.815						1						1																						1			
117.295																		1																			
117.700								1				1	2	1		3						1												1			
119.360																																					
121.060						9	1					1		1																							
121.860																																					
122.365								1				2		1		3																		1			
124.055																																				1	
136.860																	1																			1	
137.360																	1																			1	
138.860																																				1	
140.860												1		1																					2		
145.360					1			1																												2	
148.860								1				1																								2	
155.360								1				2								1			2													1	
157.305								1										1																		2	
160.360												2								1																	
162.285					1												1																		1	2	
164.285								1		2																											
168.660										+			1				1					1														2	
170.360												1																									
170.865										3			3			1				1																	
172.405					1			1					2																							1	
174.360								1									1				1	1														1	
175.030													2				2																				
176.060						1							1			1																			1	3	
177.260					1		2						2					1	1																	1	
178.260						2		6				2	3	1	1		1				1																
180.360					1			5				1	3							2																1	
181.360								11				1																								1	34
184.360					3			5									2																			1	
186.160						2	3			1			+																							14	
188.575											1																							8		+	
190.360								1			+																										
192.145														1			1																			1	
196.860												1																							1		1
202.870								1	1			1					1																			3	
204.830								4				1		1		1																		1		1	
206.610								10				3									2												1			1	
210.070					1							1		1			4																			1	
213.700								1				1				2	1																			6	
216.620								1		1									1																		
217.710								1		3																											

付表2 続き.  
Appendix 2. Continued.

Cf. code	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Taxa																														
Sample No.	<i>Cannabis</i>	Urticaceae	<i>Polygonum</i>	<i>Rumex</i>	<i>Bistorta</i>	<i>Persicaria / Echinocaulon</i>	<i>Reynoutria</i>	Chenopodiaceae	<i>Nuphar</i>	<i>Altemanthera</i>	Caryophyllaceae	Ranunculaceae	<i>Ranunculus</i>	<i>Thalictrum</i>	<i>Cruciferae</i>	Rosaceae (herb)	<i>Rubus</i>	<i>Sanguisorba</i>	Leguminosae	<i>Geranium</i>	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia</i>	<i>Lythrum</i>	<i>Trapa</i>	<i>Epilobium</i>	<i>Haloragis</i>	<i>Myriophyllum</i>	Umbelliferae		
219.280						2		2																						
221.110						1						2								2									1	
225.520						2				1					1	2			1					1					6	
231.900						2						1				1								5						
233.410						1	1	+				1							1										2	
237.460																														
238.090																														
238.450																														
239.120																														
239.470						1		1																						
241.120																														
241.550						1																								
241.880																														
252.680								2																						7
255.290						1																								
256.850						+		1				1																		
257.980						3		1																					1	
260.580						2						1																		
262.020						1		1																						
264.410				1		1					+					2						3								
266.640																														
268.190																														
268.910																														
272.340						1				1																				
273.990						1								1																
276.360												2																		
276.930												1																		
279.410						7			1																					
281.060																														
282.180						3						1										1								1
285.625																														
287.320																														1
289.650					1	4		1								1														
291.070						3																								
293.630								1						1		1						2						1	1	3
295.590				1				1				1																		
297.850						3		+																						
299.570					1	15		1				1									1									1
301.840						6						2		1		2														
302.360																														
314.050												1										1								
317.340							2							1																2
319.010						+	2																							
321.900								1		1									+							1				
324.300						1		1			1	1		2						2										
327.180						1	1				1																			
328.910											1									1										
329.870												1																		1
330.400						1																1								
350.100						1		1				2										1						+		1









埼玉県菖蒲町 GS-SB-1 ボーリングコアの花粉化石群集 (本郷ほか)

付表2 続き.  
Appendix 2. Continued.

Cf. code	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	6
Taxa																														
Sample No.	<i>Lycopodium</i> (subgen. <i>Lycopodium</i> )	<i>Selaginella</i>	<i>S. selaginoides</i>	<i>Isoetes</i>	<i>Equisetum</i>	<i>Ophioglossum</i>	<i>Botrychium</i> (subgen. <i>Osmundopteris</i> )	<i>B.</i> (subgen. <i>Sceptridium</i> )	<i>Osmunda</i>	<i>O.</i> (subgen. <i>Osmundastrum</i> )	<i>Pteris</i>	<i>Davallia</i>	Aspidaceae / Aspleniaceae	Polypodiaceae	Plagiogyria	<i>Lygodium</i>	<i>Salvinia</i>	monolete type spores	trilete type spores	alate type spores	other spores	Bryophyta	<i>Sphagnum</i>	unknown pollen and spores						
84.860												1						14	1											4
86.315							8	3				2		4				18	5											19
87.860												1						31	3									4		40
95.355																		20	1											96
106.360								1				2						3												3
108.360												7	2	8	2			70	4			4	1	1						24
111.360	1							1			12	21	10	1				128	12				2	1					56	
114.815						5	1		2	1	12	1	3	4				76	5			1							53	
117.295	1								4		66		38	5				123	5		2	1							19	
117.700	2					2		1	8	3	1	3		6	1			71			1	3							79	
119.360											1	1						4												
121.060	2		1			1			16	1		3		3	1			79	1		2								60	
121.860												8						16												
122.365	40		2			2		4	84	1	3	9	3	136	20			1621	62		39	2	29						225	
124.055	1											2	1	12	4			90							1				22	
136.860												9		7				8	2	1									2	
137.360								1				2	5	3	1			25		1				1					31	
138.860		1									2	14	2	13	12			42											46	
140.860		1										37	1	16	6			69			1	1							39	
145.360								2				54	5	15	6			72	2	1	6								104	
148.860												13	1	17				85	7										26	
155.360		2					1	2	2			13		13				49	5			1							82	
157.305												19		17	1			35	7											139
160.360		5						1				6	1	7	13			74	3										71	
162.285		2										3	1	6	+			24					2						46	
164.285								2				2		5	2			33	2										14	
168.660		1						1				5		7	1			29	1									+	78	
170.360												599		51	1			80	2											4
170.865	2	137				5		1	14		4	382	1	284	6	1		1392	26		90			2					182	
172.405	1	1						1				16		23	3			56	2	2		1							49	
174.360		1						3				21	2	21	13			57	3			1	1						27	
175.030	1							6	2			4	1	8	13			105	10										65	
176.060		+						1				6		9	1			41			2	1							159	
177.260		2				1		1				23	1	49	1			102	5				1						73	
178.260	10	8				1		2	36		1	37		47	12			763	13		63			3					178	
180.360								1										53	1											40
181.360							1	2										2	21	2	2	1								18
184.360	+	1							18	3		1	2	8				222	4	1									30	
186.160					2							3			1			3	33	3						13			47	
188.575												4		1				13	8										14	
190.360								1				3	1	1				2	10	1									25	
192.145		1										10		6				2	43	3					+				40	
196.860					7									1	2	1		18	10	4									18	
202.870								1						2	2			1	25	4									53	
204.830												1		1				2	16	8									64	
206.610										1								3	9	2									34	
210.070								2					2	16	2				166	4				1					48	
213.700								10		4		6	1	1				282	5							1			116	
216.620										1		2	1	15	3			1	38	3		2	1						30	
217.710						1						3	1	1				1	24	5									44	

付表2 続き.  
Appendix 2. Continued.

Cf. code	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	6
Taxa																								
Sample No.	<i>Lycopodium</i> (subgen. <i>Lycopodium</i> )	<i>Selaginella</i>	<i>S. selaginoides</i>	<i>Isoetes</i>	<i>Equisetum</i>	<i>Ophioglossum</i>	<i>Botrychium</i> (subgen. <i>Osmundopteris</i> )	<i>B.</i> (subgen. <i>Sceptridium</i> )	<i>Osmunda</i>	<i>O.</i> (subgen. <i>Osmundastrum</i> )	<i>Pteris</i>	<i>Davallia</i>	Aspidaceae / Asplenaceae	Polypodiaceae	Plagiogyria	<i>Lygodium</i>	<i>Salvinia</i>	monolete type spores	trilete type spores	alate type spores	other spores	Bryophyta	<i>Sphagnum</i>	unknown pollen and spores
219.280						4		6	1	1	3	4		5			56	5						75
221.110					67			19		12	27	1	38	5			1	217	4		3			155
225.520								3			3	2	3				+	23	1		1			53
231.900											1					2	11	13						
233.410	1							4			1		3	6		+	47	2						60
237.460																		2						1
238.090											25							4	2					2
238.450											6							1			7			
239.120											23							5	1					3
239.470								1			1			1				27						81
241.120											1							3						2
241.550											4						+	9	4	1				14
241.880																		2						1
252.680								2									+	4	3					74
255.290								2					1					14	1			1		18
256.850											1	1						16						68
257.980	1							1			2	1	2	1				28	2		2			55
260.580	1							2			1	2						17						111
262.020										2	4	2	7	3				42	2					35
264.410								1				2	1					25	3			1		72
266.640																								26
268.190										4	211		5					68	4					12
268.910											1							4						6
272.340								1		1	6		12	10				99	7					53
273.990								2			1		1	1			+	13	1					36
276.360						2		1					3	1				23	3					58
276.930								1	2	1	2							23	1					54
279.410								8			3	1	6	8			+	61	8					37
281.060								5					1					20	1			1		45
282.180						4		1			1		3	4				29	1					40
285.625								1	2									16	2		6			50
287.320								1	25	6	2	4		4	2			136	11			2		154
289.650								17			2	2	4	9				114	9					243
291.070								2		1				2				24	6			1		67
293.630	2					1		15	1	1	9		4					85	2		1			185
295.590	2		+					3			4		1	1				59	2					239
297.850								1			1		1					39	7					106
299.570					1			7			8		1	1				20						75
301.840						2		21	3		1		3	1				1903	2		10			50
302.360						1					4			3				869	2					6
314.050								1	1		1		1					17	1					60
317.340								1	1		1		1					33	1			1		85
319.010								1			1						2	17						51
321.900								5	+				1	2			2	24	4	2				75
324.300	1					1		20	2	2	10		12	4			2	247	7		5		1	277
327.180								1	1				1					34	3					73
328.910								1	2									24	2					36
329.870	3			1				3	42		4	4		9	2			265			14	1		170
330.400	4							15	1	4	9			1				348	7		8	2		160
350.100						2		2			2		3	1				58	3		3			113

## 新解析戦略の組み込みによる産総研 GPS 定常解析システムの更新

大谷 竜<sup>1,\*</sup>・板場智史<sup>2</sup>・梅田康弘<sup>2</sup>・北川有一<sup>2</sup>・松本則夫<sup>2</sup>・高橋 誠<sup>2</sup>・小泉尚嗣<sup>2</sup>

Ryu Ohtani, Satoshi Itaba, Yasuhiro Umeda, Yuichi Kitagawa, Norio Matsumoto, Makoto Takahashi, and Naoji Koizumi (2011) Implementation of a New Analysis Strategy to the Routine Processing System of the Continuous GPS Network of the Geological Survey of Japan, AIST, *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol.62 (7/8), p. 319-328, 3 figs.

**Abstract:** We implemented a new analysis strategy for the routine GPS data analysis system of the continuous GPS network of the Geological Survey of Japan, AIST when two new continuous GPS observation stations in Shikoku and Kii Peninsula were installed in 2010. We updated the Bernese GPS software package from Version 4 to 5, and implemented some new methods such as estimation of the troposphere delay gradient as well as the zenith total delay. Comparing the result with that of the previous analysis strategy, we found that the repeatability of the GPS station coordinates were reduced especially in summer, which we inferred was due to the reduction of troposphere delay errors caused by the spatial variation of water vapor that dominated in summer season.

**Keywords:** continuous GPS network, displacement, new analysis strategy, Bernese software, atmospheric delay gradient, seasonal variation

### 要 旨

2010 年に行った四国と紀伊半島への新たな GPS 観測局の新設を契機として、産業技術総合研究所地質調査総合センターの GPS 連続観測網で得られたデータの定常解析戦略の更新を行った。今回の更新では、解析ソフトウェアを、従来の Bernese ソフトウェアの Version 4 から Version 5 に切り替えると共に、大気遅延勾配の推定などの新たな定常解析戦略を導入した。従来の GPS 連続観測システムの定常解析結果と比べた結果、新解析で推定された GPS 局の座標値のばらつきが夏季において見られた。

### 1. はじめに

産業技術総合研究所（以下、産総研と呼ぶ）地質調査総合センターでは 2009 年までに、愛知県から紀伊半島～四国にかけて、GPS 連続観測局の増設、及び定常解析システムの全面的な改定を行った（大谷ほか、2010）。また 2010 年には、高知県須崎市と三重県安濃町に新たな 2 局が設置された。その結果、2011 年 2 月現在、観測局は 11 局に上る。2010 年の観測局の新設に伴い、座標値算出用のソフトウェアを、Bernese ソフトウェア（Astronomical Institute, University of Berne, 2001）の Version 4 から Version 5 に切り替えると共に、新たな

解析戦略の導入も行い（以降、解析戦略第 4 版と呼ぶ）、2010 年より新たな定常解析を開始した。これは同時期に国土地理院が、GPS 連続観測網（GEONET）の定常解析の戦略（国土地理院、2004）を新たなものに切り替えたことにも対応したものである（中川ほか、2009）。本報告では、今回の GPS 連続観測システムの定常解析戦略の更新について説明すると共に、その初期成果について紹介する。なお、解析戦略第 4 版のコアとなる解析処理については、一つ前の解析戦略（大谷ほか、2010）をベースとしている。そのため、本報告では大谷ほか（2010）の記述に基づきつつ、新たに追加された機能に重点を置いた紹介を行う。

### 2. GPS システムの定常解析戦略の更新

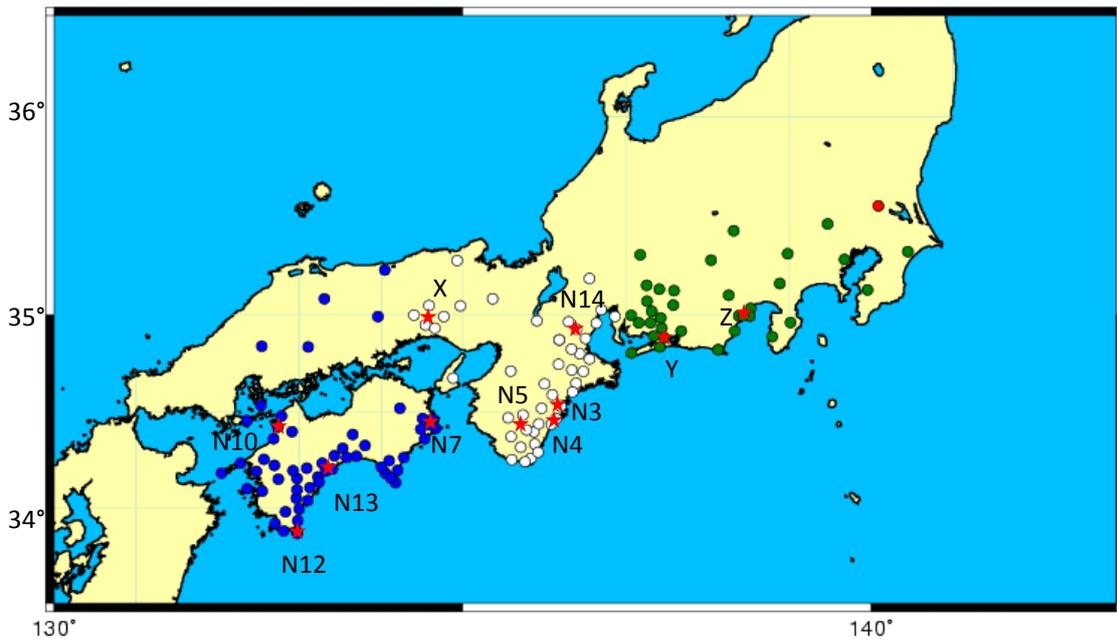
#### 2.1 GPS 連続観測システムの概要

2010 年においては新たに 2 局の GPS 観測局が、高知県須崎市（第 1 図の N13）と三重県安濃町（第 1 図の N14）に新設された。受信機のタイプとしては、これまでに新設されたものと同じ Trimble 社製の NetRS を使用しており、30 秒サンプリングでの観測を行っている。受信データは一日一回、アナログ回線で茨城県つくば市にある産総研つくばセンターに転送され、観測局座標値を推定するためのデータ解析が行われる。ピラーも

<sup>1</sup> 地質情報研究部門（Institute of Geology and Geoinformation, GSJ）

<sup>2</sup> 活断層・地震研究センター（Active Fault and Earthquake Research Center, GSJ）

\* Corresponding author: R. OHTANI, Central 7, Higashi 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. E-mail: ohtani-ryu@aist.go.jp



第1図 産総研 GPS 連続観測網の定常解析に使われている GPS 観測局分布. 産総研の GPS 観測局は赤い☆で示してある. これらの記号は便宜的に大谷ほか (2010) で使用されたものと統一してある (観測局の正式名称等については第1表を参照). また, 赤丸は解析基準局 (国土地理院のつくば観測局 (92110) もしくは IGS のつくば観測局 (TSKB). 緑丸はクラスター1, 白丸はクラスター2, 青丸はクラスター3の国土地理院の GPS 観測局.

Fig.1 Location of the new GPS stations of the Integrated Groundwater Well Network for Earthquake Observation of the Geological Survey of Japan, AIST. Red stars represent the AIST GPS stations, and blue, white, and green dots represent the GEONET GPS stations of the Geospatial Information Authority of Japan (former Geographical Survey Institute) used in the daily routine analysis of AIST. The red dot is the location of the reference stations of TSKB and 92110 in Tsukuba.

第1表 産総研 GPS 連続観測網の観測局の概要

Table 1 Summary of the GPS stations of the AIST network. From left to right, the symbol (corresponding to Fig.1), name, and code of the stations, the location, monument type, and installed or re-installed date of the stations, are shown.

	名称	名称(英語)	コード	住所	モニュメント	新設・更新時期
N3	海山	Miyama	GYM	三重県紀北町	観測小屋屋上	2008.3.17
N4	井内浦	Ichiura	A002	三重県熊野市	5mピラー	2007.3.9
N5	本宮三越	Hongumikoshi	A001	和歌山県田辺市	5mピラー	2007.3.8
N7	阿南桑野	Anankuwano	GANK	徳島県阿南市	観測小屋屋上	2008.3.24
N10	松山	Matsuyama	GMAT	愛媛県松山市	5mピラー	2008.3.5
N12	土佐清水	Tosashimizu	GTSS	高知県土佐清水市	3mピラー	2008.3.4
N13	須崎AIST	SusakiAIST	GSSK	高知県須崎市	5mピラー	2010.1.26
N14	安濃	Anou	GANO	三重県安濃町	6mピラー	2010.1.26
X	安富	Yasutomi	YSTM	兵庫県姫路市	5mピラー	2007.2.14
Y	豊橋	Toyohashi	TYHS	愛知県豊橋市	建物屋上	2007.3.3
Z	草薙	Kusanagi	KSGI	静岡県静岡市	観測小屋屋上	2007.3.4

これまでの物と同様で, 二重管構造により日射による熱膨張変形を押さえ, マルチパス防止のための電波吸収材が設置されている, 誤差軽減のための最新の構造のものとなっている. 2011年現在設置されている GPS 観測局を第1図, 第1表に, それぞれの観測局の写真を第2図

に示す.

## 2.2 定常解析戦略について

座標値推定の定常解析において, これらの観測局の基準となる局として, 国際 GNSS サービス (International



第2図 産総研 GPS 観測局の外観。  
各写真の記号は第1図を参照のこと。  
Fig.2 Appearance of the GPS stations of AIST.

GNSS Service : IGS) の TSKB 観測局と、92110 という GEONET の観測局の 2 つを選んでいるのは従前通りである。またこれまで通り、速報暦、精密暦、2 種類の衛星暦による解析をそれぞれ実施している。その結果、上記の基準局の違いによる 2 種類の解析と併せて、合計 4 種類の解析結果が一日のデータについて得られることになる (第 2 表)。

今回、国土地理院の定常解析で使用されている GPS データ解析ソフトウェアである Bernese ソフトウェアが、旧来の Version 4.2 から 5.0 へ更新されたことに伴い、国土地理院の定常解析に準じた新たな解析戦略を導入した。前述のように、産総研においてこれを我々は「解析戦略第 4 版」と呼んでいる。この解析戦略のもと、速報暦、精密暦を用いた解析を行っており、更にそれぞれについて、つくばにある 92110 局、TSKB 局を基準とした解析を行っている。こうした様々な解析による結果は、使用する暦や基準局による違いを表す「アルファベット 1 文字」+ 解析戦略の版を表す「数字」の組合せのコードとして表しており、解析戦略第 4 版では、精密暦を用いた解析 (92110 基準 : G4, TSKB 基準 : T4)、速報暦を用いた解析 (92110 基準 : H4, TSKB 基準 : U4) の

4 種類の解析を行っている。なお、産総研の定常解析では従来の Version 4.2 を使った定常解析 (解析戦略第 3 版) も併行して行っている。即ち、精密暦を用いた解析 (92110 基準 : G3, TSKB 基準 : T3) と、速報暦を用いた解析 (92110 基準 : H3, TSKB 基準 : U3) である (大谷ほか, 2010)。その結果、現行では合計で 8 種類の解析結果が得られることとなる (第 2 表の、G3, T3, H3, U3, と G4, T4, H4, U4)。第 2 表には参考のため、産総研の旧来の解析結果のもの (大谷ほか, 2003) も加えている。

解析方法としては、以下の通りである。まず産総研の一つの観測局につき、最低 4 局以上の周囲の GEONET 観測局を含めた 3 つの「地域クラスター」を作り、各地域クラスターに含まれる「バックボーン観測局 (BB 局)」を軸として、全観測局の変位をつくばの観測局を基準として推定する。その上で、まず前処理として、データの品質の悪いものやはずれ値の除去を行った後、対象となるクラスター内の解析局で構成される最短基線を結成する。サイクルスリップを検出・修復する処理を行い、整数バイアスを推定した後、固定した整数バイアスを既知のものとして、対流圏遅延量を与えられたパラメータ数にセットして推定し、そこで整数化できなかったバイア

第2表 産総研 GPS 連続観測網の定常解析戦略の変遷

Table 2 Summary of the routine analysis strategy of the AIST GPS network. From left to right, the analysis GPS software, period, reference station, the names of the strategies with ambiguity fix and free (both using precise orbit analysis), and the rapid orbit analysis, are shown.

ソフトウェア	解析実行期間	固定点	精密暦 1 ambiguity fix	精密暦 2 ambiguity free	速報暦
gipsy	1999 年以前	tskb-IGS	T1	A1	-
	1999 年以降	tskb-IGS	T2	A2	-
	池田 IKDA (1999 年以降)	tskb-IGS	I2	B2	-
	王滝 GOTK (1999 年以降)	tskb-IGS	O2	C2	-
Bernese ver4.2	2007/2~	92110	G3	-	H3
		tskb-IGS	T3	-	U3
Bernese ver5.0	2010/2~	92110	G4	-	H4
		tskb-IGS	T4	-	U4

スの整数化を試みる。これらの一連の処理で整数化できなかったバイアスを正規方程式から消去した後、基準局観測局について強い拘束条件を与えた条件で正規方程式を解くことで、観測局座標を求めている (Astronomical Institute, University of Berne, 2001)。GPS データ解析手法の詳細に関して、辻 (1998) や日置ほか (1998) を参照されたい。

### 2.3 更新内容の詳細

こうした解析の過程において、以下のような新しい変更が行われている。まず、旧来の Bernese Version 4.2 には、固体地球潮汐補正においてバグがあることが報告されている。中川ほか (2009) によれば、このバグは、座標値解のスケールで、4ppb 程度の季節変動の原因となっており、その修正が急がれていた。今回の Bernese Version 5.0 の導入により、このバグは修正された。

次に、大気遅延による誤差軽減のため、天頂大気遅延量のみでなく、新たにその勾配成分 (大気遅延の空間不均質の内の一次成分) も推定することにした。大気遅延勾配パラメータは 3 時間毎の線型関数として推定すると共に、天頂遅延量の推定についても、従来の 3 時間毎に“区間内での定数”として推定する方式から、3 時間間隔の“区分的線型関数”によりモデル化する方式に変更し、大気の変動をよりよく追従できるような変更を行った (GPS 解析における大気遅延推定の分かりやすい解説については、大谷・内藤 (1998) を参照されたい)。

また、受信アンテナの位相特性モデル (越智・畑中, 1996) は、これまでの National Geodetic Survey (NGS)

の検定による相対位相モデルから、絶対位相モデルのものに変更した。IGS では既に、受信アンテナの位相特性モデルを“相対”モデルから“絶対”モデルに変えており、これに整合させるため、電波の送信側である GPS 衛星のアンテナについても絶対位相特性モデルを採用している。そこで、これに対応して新解析戦略でも、GPS 衛星の送信側のアンテナの位相特性モデルについても IGS05 モデルに変更を行って、整合性を保つようにした。

更に、座標系として ITRF2005 の導入を行った。この座標系は、既に 2006 年 11 月 5 日より IGS が軌道や暦など、その種々の成果物を計算する際に使われていたものである。しかし従来の解析では、国土地理院の定常解析に合わせて、ITRF2000 を使っていた。今回の新たな解析戦略では、解析が準拠する座標系として ITRF2005 を正式に採用し、この点についても整合性の調整を行った (座標系については飛田 (2004) に詳しい)。

こうした新戦略の導入により、GEONET の標準的な解析方法となっている、国土地理院の定常解析にできるだけ近い解析方法にするようにした。解析方法、及び以上の変更をまとめたものを第 3 表に示す。

### 3. 結果

解析結果の内、精密暦による G3 解析、G4 解析の結果を第 3 図に示す。つくばにある国土地理院の観測局 92110 に対するそれぞれの観測局の変位 (斜距離、東西、南北、高さ各成分) を示す。但し、2010 年以降に設置されたため、G3 解析による解析結果の存在しない安濃局と須崎 AIST 局及び受信機の調子の悪い本宮三越局の

第3表 解析戦略第3版と第4版の違い

Table 3 Difference between the previous and current routine analyses.

	解析戦略第3版	解析戦略第4版
GPS解析ソフトウェア	Bernese version 4.2	Bernese version 5.0
大気遅延推定	天頂大気遅延: 観測局毎に3時間毎の区間内で定数としてモデル化 大気遅延勾配: 推定しない	天頂大気遅延: 観測局毎に3時間毎の区分的線形関数としてモデル化 大気遅延勾配: 観測局毎に3時間毎の区分的線形関数としてモデル化
固体地球潮汐モデル	バグあり	バグ修正済み
座標系	ITRF2000	ITRF2005
地上受信アンテナ位相特性モデル	NGSによる相対位相モデル	NGSによる絶対位相モデル
衛星送信アンテナ位相特性モデル	位相中心の公称値	IGS05モデル

結果は除いてある。

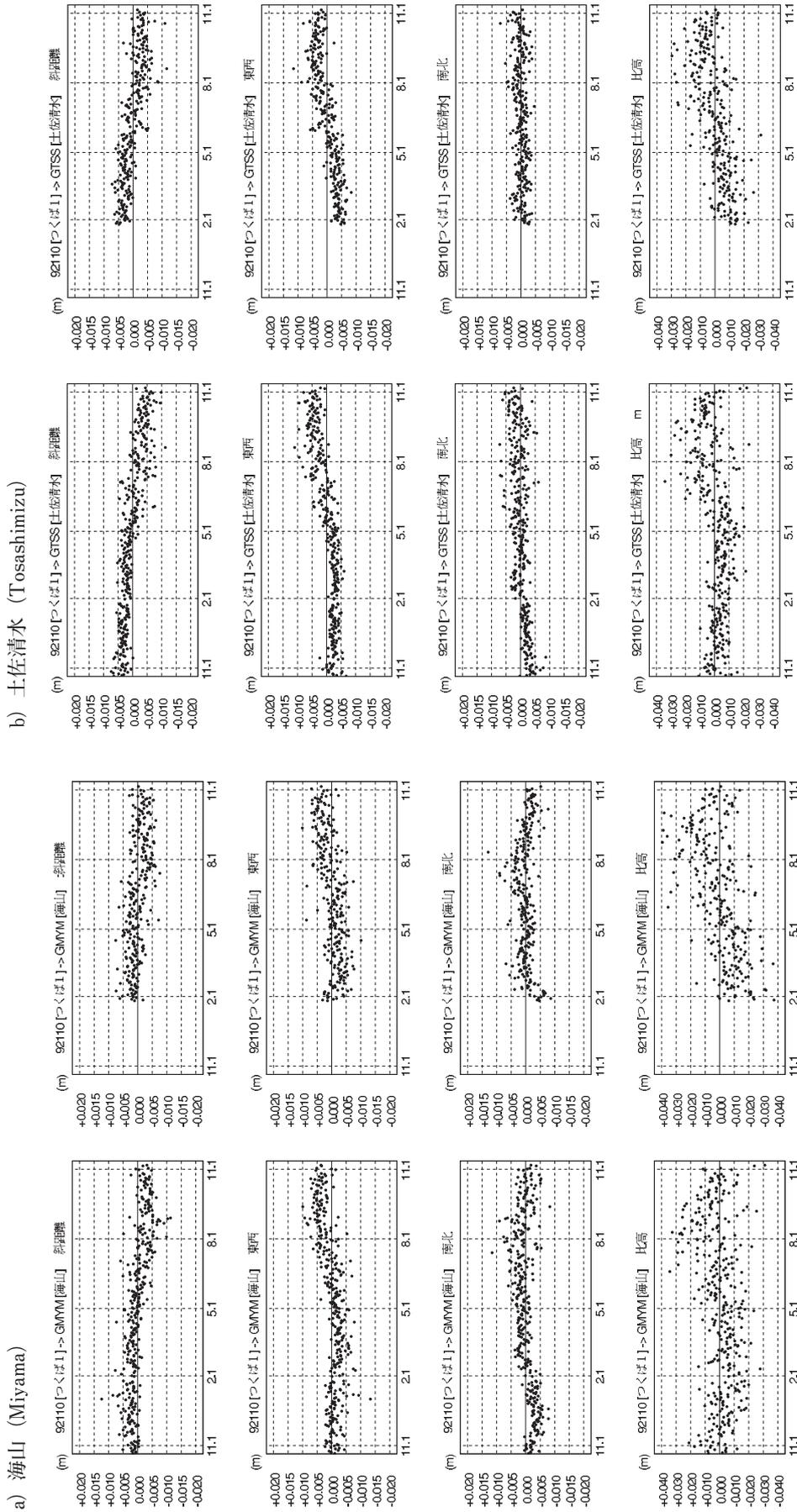
大きな傾向としては、新解析戦略の導入による大きな差が出ていないことが分かる。そのことから、旧来のG3解析においても十分に安定した解析が行われていたことが示唆される。但し、詳細に見てみるといくつかの点について違いが見られる。

まず多くの観測局で、6月から9月くらいの間を中心に、座標値のばらつきは新解析による結果の方が小さくなっていることが分かる。また、どの観測局にも振幅は異なるものの季節的な変動が見られているが、新解析戦略による結果では夏季における座標値のばらつきの減少の効果もあり、若干ではあるがその振幅が減少する傾向が認められる。

前者の原因の一つとしては、新解析戦略の導入によって、大気遅延誤差が減少したためであることが考えられる。夏季における座標値のばらつきが小さくなった点については、夏季に多くなる水蒸気による大気遅延誤差が、新解析戦略によって導入された大気遅延勾配の推定によって軽減されたためだと思われる。実際、両貝・石本(2007)は、国土地理院のGPS連続観測網の定常解析に見られる広域的な系統の変位が、前線の時空間的な変動とよく対応しており、こうした系統的な変動が真の

地殻変動ではなく、大気中の水蒸気の不均質な分布に起因する可能性があることを示している。彼らは、大気遅延勾配を新たに推定することによって、そうした系統的な変位を特に夏季を中心に減少させることに成功しているが、本新解析でも夏季のばらつきが他の季節に比べて小さくなっていることから、大気遅延勾配推定が座標値推定の誤差軽減に貢献しているものだと考えられる。実際、本新解析と同様の解析戦略を導入した国土地理院の定常解析においても、こうした改善が見られたことが報告されている(中川ほか, 2009)。

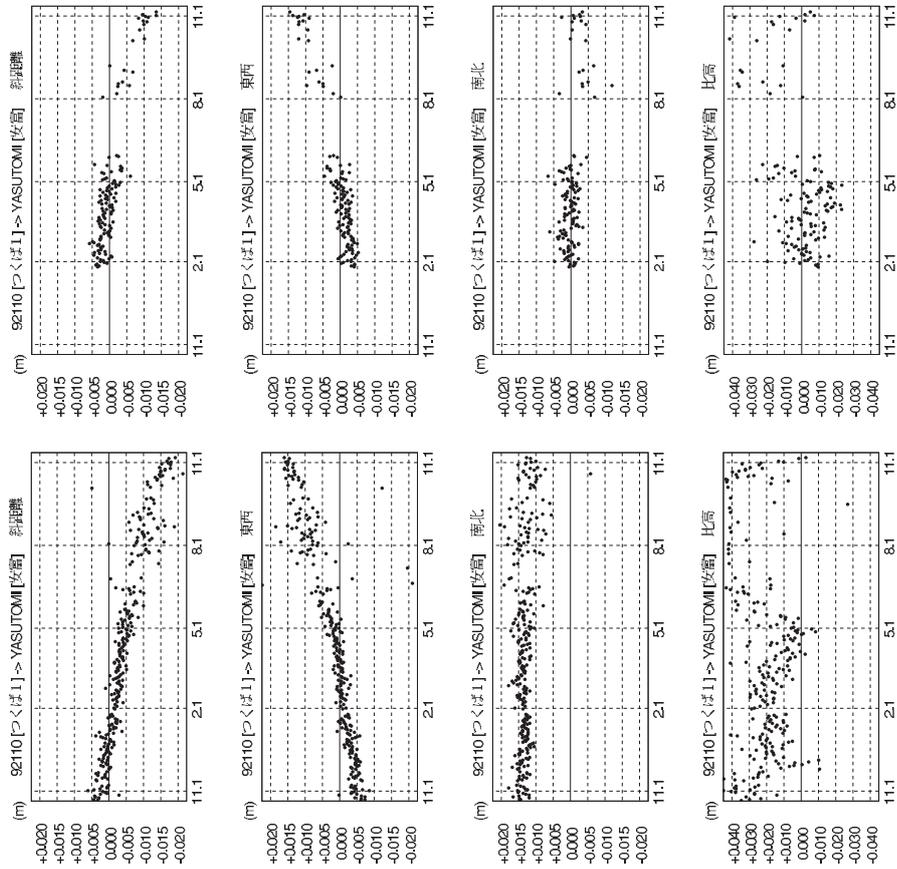
一方、季節変動の振幅の減少については、新解析戦略では、国土地理院の結果で見られたような顕著な効果(中川ほか, 2009)は見られていない。但し、国土地理院でも全ての観測局について改善が見られたというわけでは必ずしもなく、いくつかの観測局では逆に季節変動の振幅が大きくなるといった現象が見られるところもあった。中川ほか(2009)によれば、解析戦略の変更に伴う季節変動の振幅の減少の程度は、観測局周辺の個々のローカルな環境にも影響されることが指摘されており、単純ではない。本新解析戦略でも今後データの蓄積を待ってそうした点についても検証を行っていく必要がある。



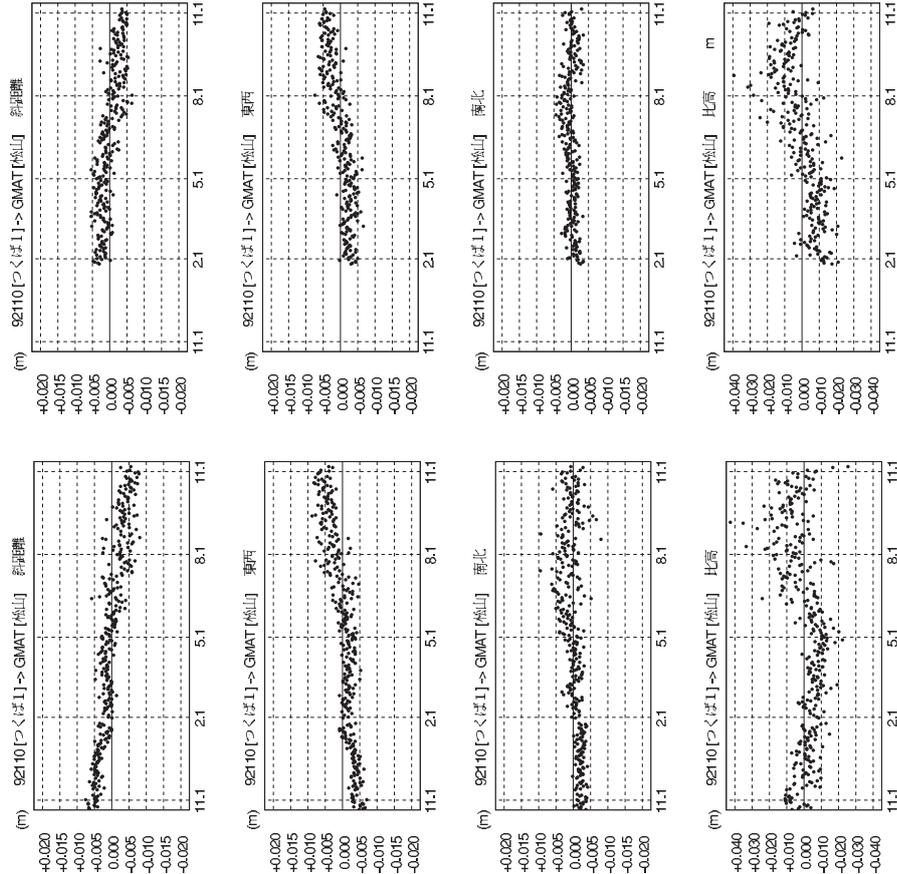
第3図 つくばにある基準局92110に対する、産総研GPS観測局の相対変位(斜距離、東西、南北、高さ成分)。各局の左段はG3解析、右段はG4解析によるもの。座標系はWGS-84。横軸は2009年11月1日～2010年11月1日までの日付(例えば3.1は3月1日)。高さ方向の目盛りは、他の成分と違うことに注意。

Fig. 3. Relative displacement in meter (slope distance, EW (east-west), NS (north-south), and difference height components) of the AIST stations with respect to the 92110 station in Tsukuba from November 1, 2009 to November 1, 2010 obtained by the G3 (left) and G4 (right) analysis strategies. Note that the unit in height is different from the other components. The coordinate system is WGS-84.

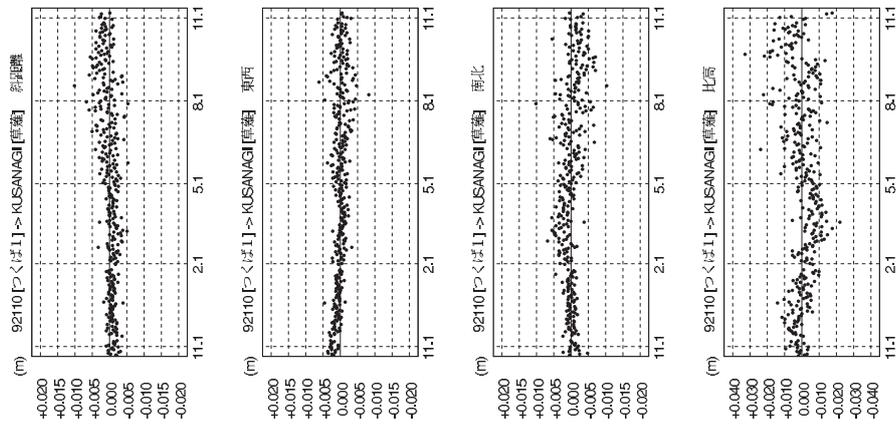
c) 安富 (Yasutomi)



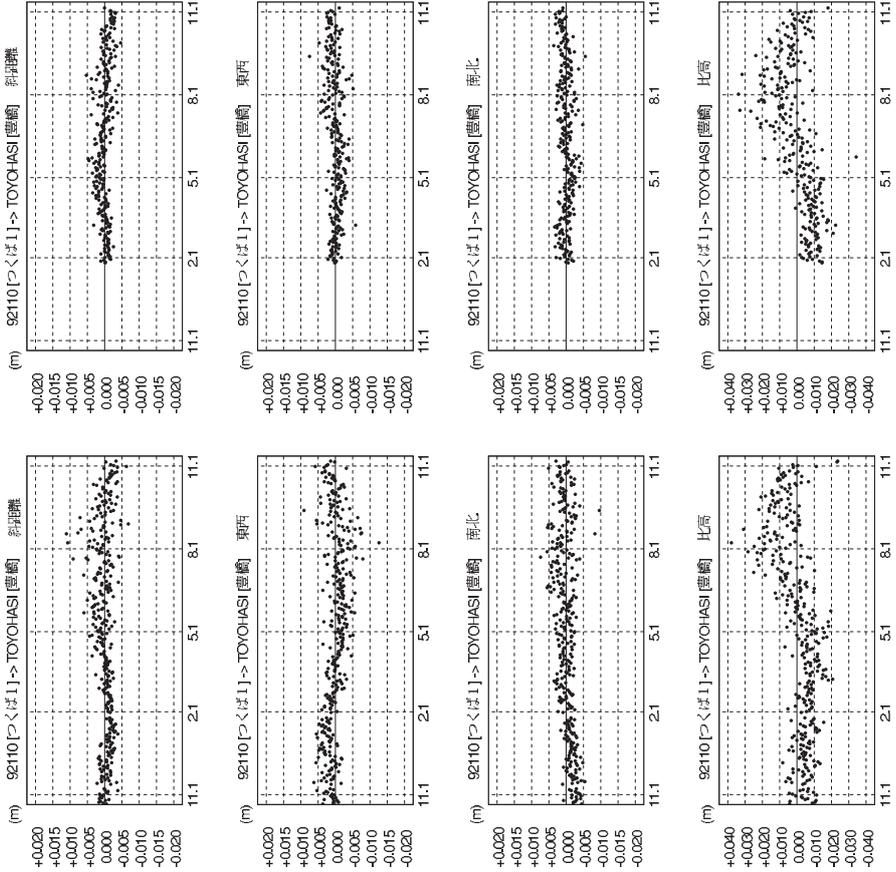
d) 松山 (Matsuyama)



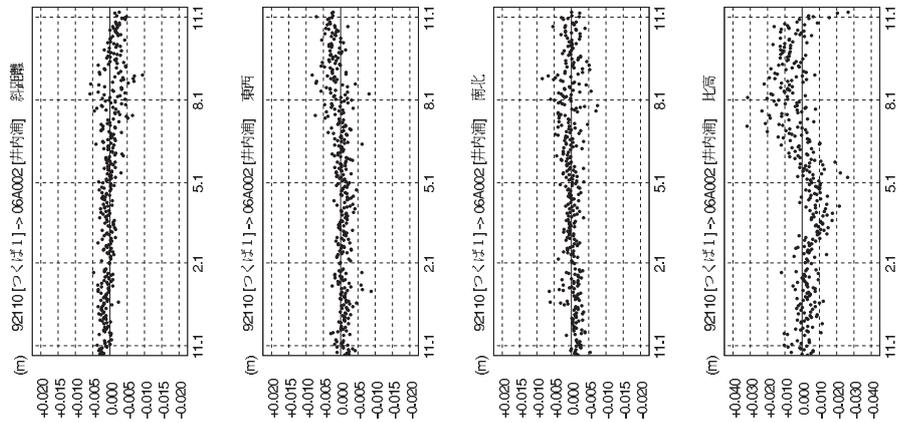
e) 草薙 (Kusanagi)



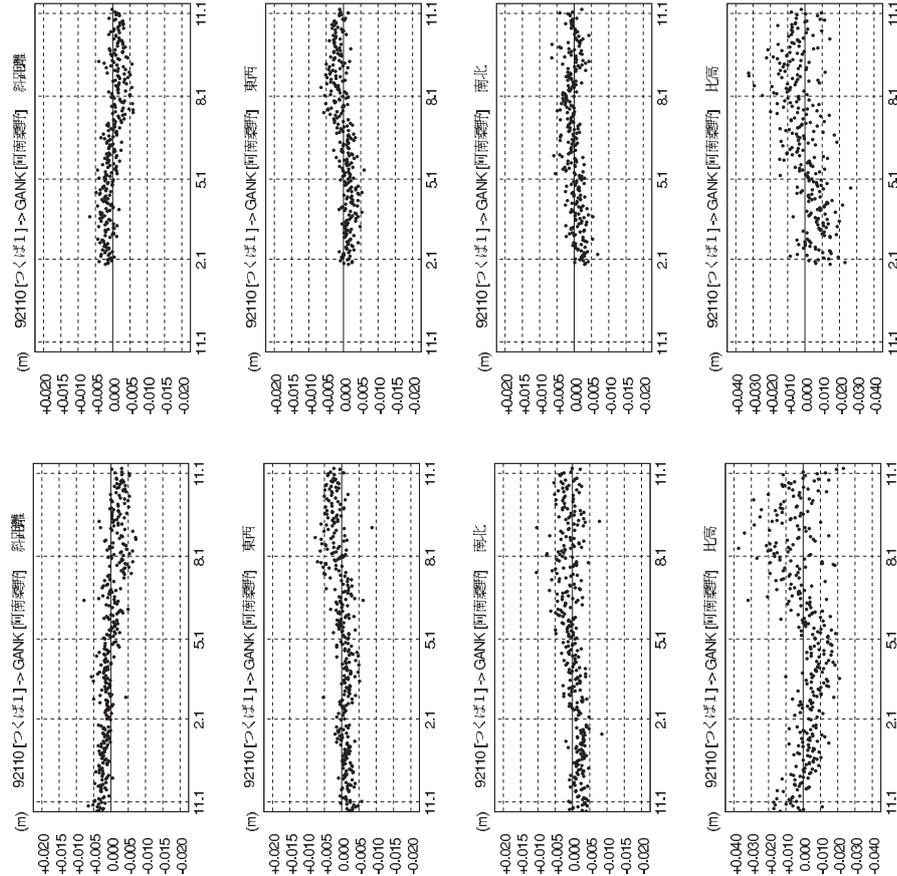
f) 豊橋 (Toyohashi)



g) 井内浦 (Ichiura)



h) 阿南桑野 (Anan Kuwano)



謝辞：国土地理院にはGPSの観測データと定常解析システムによって得られた座標値データの提供を受けております。図表の一部は日立造船の松浦友紀氏から提供を受けました。地下水等総合観測網の観測局設置においては産総研、地方自治体を始めとする多くの関係者の協力を得ています。ここに記して感謝します。

## 文 献

- 雨貝知美・石本正芳 (2007) GEONETに見られる大気擾乱の広域的な影響について, 国土地理院時報, 112, 41-49.
- Astronomical Institute, University of Berne (2001) Documentation of the Bernese GPS Software Version 4.2, Edit. U. Hugentobler, S. Schaer, P. Fridez.
- 日置幸介・島田誠一・大谷竜 (1998) GPS解析ソフトウェア, 気象研究ノート, 192, 日本気象学会, 73-92.
- 国土地理院 (2004) 電子基準局1200局の全国整備について, 国土地理院時報, 103, 3-51.
- 中川弘之・豊福隆史・小谷京湖・宮原伐折羅・岩下知真子・川元智司・畑中雄樹・宗包浩志・石本正芳・湯通堂亨・石倉信広・菅原安広 (2009) GPS連続観測システム (GEONET) の新しい解析戦略 (第4版) によるルーチン解析システムの構築について, 国土地理院時報, 118, 1-8.
- 越智久巳一・畑中雄樹 (1996) GPS異機種間解析における系統誤差の補正方法について, 国土地理院時報, 85, 23-28.
- 大谷竜・内藤勲 (1998) GPS可降水量の物理と評価, 気象研究ノート, 192, 日本気象学会, 15-33.
- 大谷竜・松本則夫・小泉尚嗣・高橋誠・佐藤努・北川有一・佃栄吉・佐藤隆司・伊藤久男・桑原保人 (2003) 産業技術総合研究所地質調査総合センターにおけるGPS連続観測, 地質調査研究報告, 54, 193-212.
- 大谷竜・塚本斉・佐藤努・木口努・重松紀生・板場智史・北川有一・松本則夫・高橋誠・小泉尚嗣 (2010) 産総研地質調査総合センターにおける新GPS連続観測システム, 地質調査研究報告, 61, 57-74.
- 飛田幹夫 (2004) 世界測地系と座標変換, 日本測量協会, p 174.
- 辻宏道 (1998) GPSの原理, 気象研究ノート, 192, 日本気象学会, 1-13.

(受付2011年1月31日;受理2011年7月27日)

地質調査総合センター研究資料集

- 516 日本空中磁気 DB による対地 1,500m 平滑面での磁気異常分布データの編集 中塚 正・大熊茂雄
- 518 地球物理データの解析処理・図化表現のためのライブラリ (3) 中塚 正
- 519 Software system for aeromagnetic data processing, grid data manipulation, and reduction and quantitative interpretation of magnetic anomaly data (2) Tadashi Nakatsuka
- 520 デジタル版仙台西部の地質案内 高橋裕平
- 521 5 万分の 1 シームレス地質図「中部・近畿地域」 脇田浩二・井川敏恵・尾崎正紀編
- 522 第 8 回水文学的・地球化学的手法による地震予知研究についての日台国際ワークショップ予稿集 謝 正倫・小泉尚嗣・松本則夫編
- 523 揺れる日本列島 堀川晴央・澤田結基
- 525 山口鎌次氏撮影の桜島噴火写真 川辺禎久, 中野俊
- 526 GSJ 第 16 回シンポジウム「20 万分の 1 地質図幅全国完備記念シンポジウムー全国完備後の次世代シームレス地質図を目指してー」 地質調査総合センター編
- 527 地質情報展 2010 とやま 海・山ありて富める大地 川畑 晶・中島和敏・大熊洋子・百目鬼洋平
- 528 地下地質・地盤の模式柱状図モデル(暫定版)ー東京低地北部から中川低地南部地域の例ー 木村克己, 石原与四郎, 根本達也, 康 義英
- 529 地質標本館 2010 秋の特別展 イーハトープの石たちー宮沢賢治の地的世界ー 加藤禎一・青木正博・長森英明・澤田結基
- 530 新地球化学標準試料作製のための, 北海道におけるかんらん岩の採取概要報告 御子柴(氏家)真澄・中川 充・新井田清信
- 531 Contour maps of some useful petrological parameters on P-T plane: A case of the eruptive products of the Asama volcano on 1 September 2004 Isoji Miyagi
- 532 深層地下水データベース 高橋正明・風早康平・安原正也・塚本 斉・佐藤 努・高橋 浩・森川徳敏・大和田道子・尾山洋一・芝原暁彦・稲村明彦・鈴木秀和・半田宙子・仲間純子・松尾京子・竹内久子・切田 司・大丸 純
- 533 5 万分の 1 地質図幅「戸賀及び船川」地域(男鹿半島)の新第三紀及び第四紀の珪藻化石層序資料 柳沢幸夫・渡辺真人
- 534 Contour maps of some useful petrological parameters on P-T plane: A case of Hijiori volcano, NE Japan Isoji Miyagi
- 535 日本の地質図史 加藤禎一・脇田浩二・菅原義明・宮野素美子・宮崎一博
- 536 地質調査総合センター第 17 回シンポジウム「地質地盤情報の法整備を目指して」 地質調査総合センター編
- 537 5 万分の 1 地質図幅「加茂」地域(新潟県)の新第三紀及び第四紀の珪藻化石層序資料 柳沢幸夫・工藤 崇
- 538 Proceedings of the 9th Japan-Taiwan International Workshop on Hydrological and Geochemical Research for Earthquake Prediction Edited by Naoji Koizumi, Norio Matsumoto and Chjeng-Lun Shieh
- 539 沖積層の三次元グリッドモデルとその作成手法(概要)ー東京低地北部から中川低地南部の例ー 木村克己・石原与四郎・花島裕樹・根本達也
- 540 日本及び周辺地域の泥火山データベース 高橋正明・切田 司・大丸 純・風早康平
- 541 世界石紀行 加藤禎一・青木正博・須田郡司・芝原暁彦
- 542 桜島昭和火口の噴煙の時間的変化の観察 西来 邦章・宮城 磯治

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
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
5万分の1地質図幅		三峰・大洲・佐賀・宇都宮・小滝・西郷・延岡・野田・戸賀及び船川(第2版)・熱海
海外地球科学図		中央アジア地質図(1:300万) アジア地質図(1:500万)
海洋地質図	No. 70	落石岬沖表層堆積図(1:20万)
	No. 71	釧路沖表層堆積図(1:20万)
	No. 72	襟裳岬沖表層堆積図(1:20万)
	No. 73	釧路沖海底地質図(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.15	樽前火山地質図(1:3万)
	No.16	十勝岳火山地質図(1:3万)
鉱物資源図	No. 7	南西諸島(1:50万)
特殊地質図	No. 39	千葉県清和県民の森周辺の地質図
水文環境図	No. 6	山形盆地(1:20万) CD-ROM
重力図	No. 27	岡山地域重力図(ブーゲー異常)
	No. 28	高知地域重力図(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
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-1	海陸シームレス地質情報集「能登半島北部沿岸域」 DVD版
	S-2	海陸シームレス地質情報集「新潟沿岸域」 DVD版
	V-3	口永良部島火山地質データベース
	P-7	有珠火山地域地球物理総合図
	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
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 森下祐一  
副委員長 佐脇貴幸  
委員 大谷竜  
中江訓之  
吉川敏之  
長森英明  
鈴木淳  
片山肇  
澤井祐紀  
月村勝宏  
川邊禎久  
神宮司元治  
牧野雅彦  
松浦浩久

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 地質情報出版室  
Tel : 029-861-3601  
E-mail : bull-gsj@m.aist.go.jp

---

地質調査研究報告 第62巻 第7/8号  
平成23年12月31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。

印刷所 谷田部印刷株式会社

---

©2011 Geological Survey of Japan, AIST  
<http://www.gsj.jp/>

Bulletin of the Geological Survey of Japan Editorial Board

Chief Editor: Yuichi Morishita  
Deputy Chief Editor: Takayuki Sawaki  
Editors: Ryu Ohtani  
Satoshi Nakae  
Toshiyuki Yoshikawa  
Hideaki Nagamori  
Atsushi Suzuki  
Hajime Katayama  
Yuki Sawai  
Katsuhiko Tsukimura  
Yoshihisa Kawanabe  
Jinguuji Motoharu  
Masahiko Makino  
Hirohisa Matsuura

Secretariat

National Institute of Advanced Industrial  
Science and Technology  
Geological Survey of Japan  
Geo-information Publishing Office  
Tel: +81-29-861-3601  
E-mail: bull-gsj@m.aist.go.jp

---

Bulletin of the Geological Survey of Japan  
Vol.62 No.7/8 Issue December 31, 2011

National Institute of Advanced Industrial  
Science and Technology  
**Geological Survey of Japan**  
AIST Tsukuba Central 7, 1-1, Higashi 1-chome,  
Tsukuba, Ibaraki 305-8568 Japan

All rights reserved.

Yatabe Printing Co., Ltd

---

©2011 Geological Survey of Japan, AIST  
<http://www.gsj.jp/>

BULLETIN  
OF THE  
GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 62 No. 7/8 2011

CONTENTS

- Indium concentration in zinc ores in plutonic and volcanic environments: examples at the Dulong and Dachang mines, South China  
Shunso Ishihara, Hiroyasu Murakami and Xiaofeng Li.....259
- Petrographical feature and fission-track age of a tephra found from the Middle Miocene Nanatani Formation at Shionofuchi, Sanjo City, Kamo District, Niigata Prefecture  
Takashi Kudo, Tohru Danhara, Hideki Iwano, Tohru Yamashita and Yukio Yanagisawa.....273
- Pollen assemblages of GS-SB-1 drilling core at Shobu Town, Saitama Prefecture, central Kanto plain, Japan  
Misao Hongo, Tomonori Naya, Masaaki Yamaguchi and Kiyohide Mizuno.....281
- Implementation of a New Analysis Strategy to the Routine Processing System of the Continuous GPS Network of the Geological Survey of Japan, AIST  
Ryu Ohtani, Satoshi Itaba, Yasuhiro Umeda, Yuichi Kitagawa, Norio Matsumoto, Makoto Takahashi, and Naoji Koizumi.....319

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. 62, No. 7/8, 2011