

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

地質調査研究報告

BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 75 No. 2 2024



 **産総研** 地質調査総合センター 

令和6年

概報

Zircon U–Pb age constraints on the history of Carboniferous volcanism in the South Kitakami Belt, Northeast Japan

KAWAMURA Toshio and UCHINO Takayuki 61

研究者連携システム“Ask AnyOne”その設計・実装・将来展望

城 真範・宮川歩夢・藤田 司・大知正直・岩崎雄一・保高徹生 73

表紙の写真

南部北上帯下部石炭系、尻高沢層の珪長質凝灰岩と鬼丸層のサンゴ化石

南部北上帯の下部石炭系は、下部～中部では苦鉄質及び珪長質火砕岩を伴う砂岩・泥岩を主体とし、上部ではサンゴ化石を含む石灰岩を主体とする。前者は岩相や層厚の地域差が大きいが、後者は全域でほぼ類似した岩相を示す。右上写真は、下部石炭系下部の尻高沢層の珪長質凝灰岩（層厚約 5 m）で砂質泥岩の上に累重する（場所は岩手県住田町世田米柏里）。この凝灰岩中のジルコンから約 340 Ma（ビゼーアン期前期）の年代が得られた（本号参照）。左下写真は、下部石炭系上部の鬼丸層の石灰岩に特徴的なビゼーアン期後期の貴州サンゴ（*Kueichouphyllum* sp.）の化石である（場所は岩手県陸前高田市矢作町雪沢）。レンズキャップの直径は 4 cm。

（写真・文：内野隆之・川村寿郎）

Cover Photograph

Felsic tuff of the Shittakazawa Formation and a coral fossil in the Onimaru Formation, lower Carboniferous, South Kitakami Belt

The lower Carboniferous in the South Kitakami Belt consists mainly of mafic and felsic pyroclastic rocks interbedded with sandstone and mudstone in the lower to middle part, and coral-bearing limestone in the upper part. The former rocks show large regional differences in terms of lithology and thickness, whereas the limestone is of similar lithology throughout the belt. The main photograph shows felsic tuff (ca. 5 m thick) and underlying sandy mudstone of the Shittakazawa Formation in the lower part of the lower Carboniferous (location: Kashiwari in the Setamai area, Sumida Town, Iwate Prefecture). Zircons from this tuff have been dated at ca. 340 Ma (early Visean) (see this issue). The photograph at lower left shows a fossil *Kueichouphyllum* sp., indicating a late Visean age for limestone of the Onimaru Formation in the upper part of the lower Carboniferous (location: Yukisawa in the Yahagicho area, Rikuzentakata City, Iwate Prefecture). The lens cap for scale is 4 cm across.

(Photograph and Caption by UCHINO Takayuki and KAWAMURA Toshio)

Zircon U–Pb age constraints on the history of Carboniferous volcanism in the South Kitakami Belt, Northeast Japan

KAWAMURA Toshio^{1, 2, *} and UCHINO Takayuki²

KAWAMURA Toshio and UCHINO Takayuki (2024) Zircon U–Pb age constraints on the history of Carboniferous volcanism in the South Kitakami Belt, Northeast Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 75 (2), p. 61–72, 5 figs and 3 tables.

Abstract: Carboniferous strata of the South Kitakami Belt in Northeast Japan contain large volumes of volcanoclastic rocks that indicate intense volcanism. We conducted zircon U–Pb dating on samples collected from two stratigraphic horizons: coarse felsic tuff from the middle part of the lower Carboniferous Shittakazawa Formation, and sandy tuff from the middle part of the upper Carboniferous Kidoguchi Formation. The samples yielded weighted mean ages of 339.5 ± 2.6 Ma (middle Viséan) and 313.6 ± 2.3 Ma (early Moscovian), respectively. The former age is more tightly constrained and slightly younger than the late Tournaisian age previously determined using fossil biostratigraphy and lithostratigraphic correlations. The latter age indicates that volcanism was ongoing throughout the late Carboniferous. Taking into account the occurrence of late Carboniferous granitic rocks and earliest Permian andesitic tuff in the South Kitakami Belt, our results suggest that igneous activity lasted from the Carboniferous to early Permian.

Keywords: zircon U–Pb dating, Carboniferous, Viséan, Moscovian, volcanism, South Kitakami Belt, Kitakami Massif, Setamai, Oide, Iwate Prefecture

1. Introduction

The South Kitakami Belt (SKB) in Northeast Japan contains thick sequences of coherent Carboniferous strata dominated by volcanic rocks and limestone (Kawamura and Kawamura, 1989a), in contrast to exotic bodies of seamount rocks in late Paleozoic and Mesozoic accretionary complexes such as the Akiyoshi, Mino–Tanba, and Chichibu belts. The Carboniferous sequences represent intense volcanism in and around an island arc, and subsequent less-intense but continuous minor to moderate volcanism near a carbonate shelf (Kawamura and Kawamura, 1989b). These sequences are unconformably overlain by Permian clastic sedimentary rocks that were deposited in a shelf environment (Kawamura *et al.*, 1990). This change from Carboniferous volcanism to Permian minor volcanism or quiescence represents a key tectonic transition of the SKB from an active to a passive margin (Ehiro *et al.*, 2016).

The Carboniferous sequence in the SKB comprises mainly volcanoclastic and terrigenous clastic rocks in the lower section and carbonate rocks interlayered with volcanoclastic rocks in the upper section. Volcanoclastic rocks of the lower section have both basaltic and

rhyolitic–dacitic compositions but lack typical andesite (i.e., bimodal volcanism), suggesting they formed in an extensional region such as an intra-arc or back-arc setting (Kawamura and Kawamura, 1989b). In contrast, volcanoclastic rocks of the upper section consist mainly of felsic or intermediate tuff. The contrasting lithologies of the two sections imply a minor change in volcanism and tectonic setting after the early Carboniferous. However, the ages and geochemical signatures of the rocks of the two sections have yet to be fully investigated.

The ages of these Carboniferous strata have been determined by fossil fauna and litho- and biostratigraphic correlations (e.g., Minato *et al.*, 1979). Paleontological evidence indicates that the lower section is the upper Tournaisian to middle–upper Viséan (Kawamura, 1983). The limestone in the lower part of the upper section has traditionally been assigned to the upper Viséan based on the characteristic coral fauna (UVCF; Niikawa, 1983), and the other parts of the upper section are correlated to the Namurian to lower Westphalian (i.e., Serpukhovian to Moscovian; Minato *et al.*, 1979). These ages suggest that Carboniferous volcanism in the SKB continued for much of the period but was more intense during the early Carboniferous. However, reliable radiometric ages for the

¹ Miyagi University of Education, Sendai 980-0845, Japan

² AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation

* Corresponding author: KAWAMURA T., Email: t-kawa@staff.miyakyo-u.ac.jp

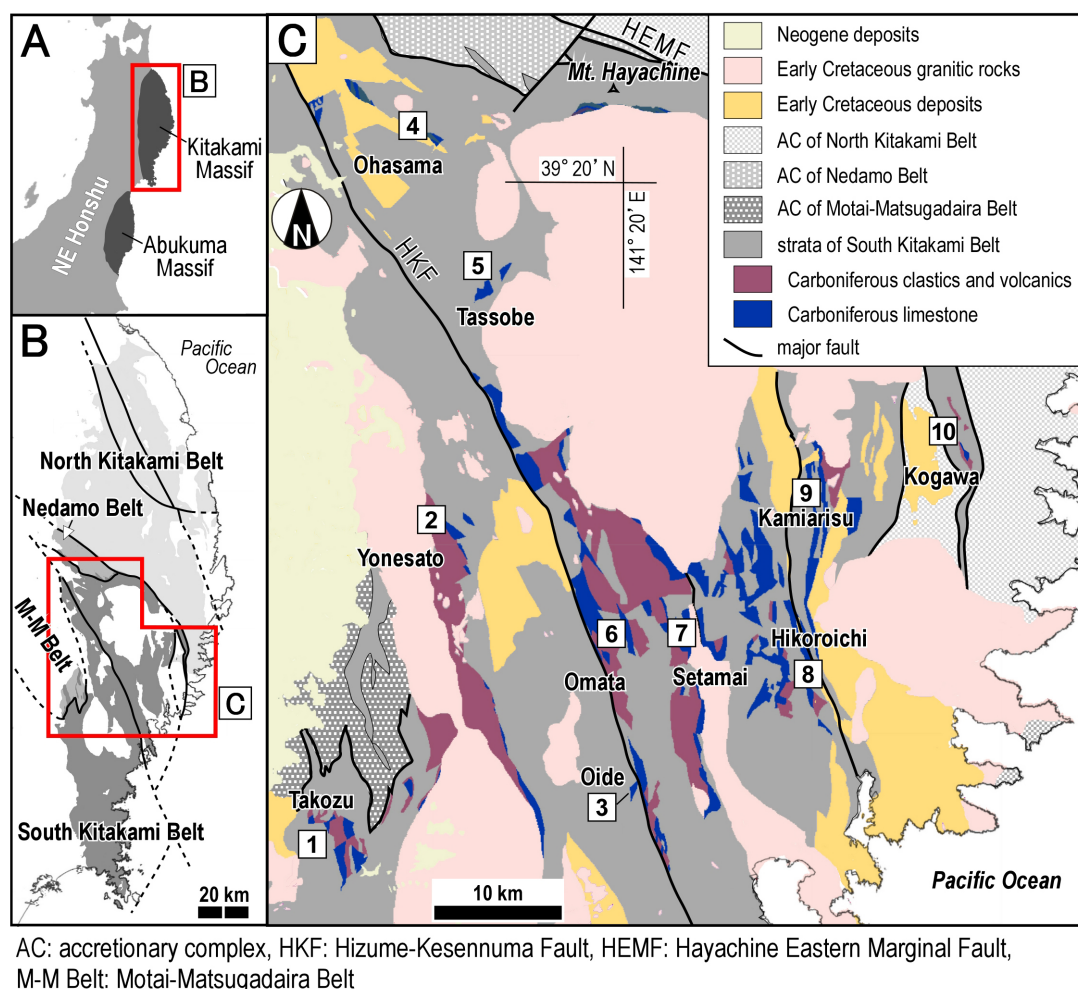


Fig. 1 (A) Index map of Tohoku district showing the Kitakami and Abukuma massifs. (B) Geologic belt in the Kitakami Massif. (C) Distributions of the Carboniferous sedimentary rocks in the South Kitakami Belt in the southern Kitakami Massif. Numbers are main areas where each Carboniferous stratigraphy is established. Distributions of the Carboniferous System is modified from the Seamless Digital Geological Map of Japan (1:200,000) V2 of the Geological Survey of Japan, AIST (2022). Quaternary covers are excluded.

clastic or volcanic rocks are limited to detrital zircon U–Pb ages for sandstones in the lower section (Okawa *et al.*, 2013; Pastor-Galán *et al.*, 2021). Accordingly, the detailed history of Carboniferous orogenic activity in the SKB remains poorly understood.

In this study, we conducted zircon U–Pb dating on two samples of felsic volcanoclastic rocks collected from the lower and upper sections. The dating results are used to cross-check fossil-based ages and constrain the history of Carboniferous volcanism in the SKB.

2. Geological outline

Carboniferous strata of the SKB are distributed mainly in the southern Kitakami Massif (Fig. 1) and at the eastern margin of the Abukuma Massif. The distribution of these strata is discontinuous due to the presence of unconformably overlying Permian and Mesozoic

sedimentary rocks, the effects of faults and folds, and Cretaceous granitoid intrusions (Fig. 1C). The lithology and age differ among the 10 identified areas of exposures of these sedimentary rocks (Fig. 1C), meaning that the stratigraphy is established separately for each area (Fig. 2). Below, we outline the characteristics of the Carboniferous strata in these areas (Figs. 1C and 2), with a particular focus on stratigraphy and ages.

Lithostratigraphic correlations among the 10 areas allow the entire Carboniferous stratigraphic profile of the SKB to be divided into two sections: a lower clastic-dominated section (i.e., the Karaumedate, Yonesato, lower–middle Karosawa, Shittakazawa–Arisu–Odaira, Hikoroichi, and lower Kogawa formations in Fig. 2) and an upper carbonate-dominated section (i.e., the Takezawa, Shiba, Kidoguchi, Funakubo, Okawame, upper Karosawa–Senbakaya, Onimaru–Nagaiwa, Takasuzuyama, and upper Kogawa formations in Fig. 2) (Kawamura and Kawamura, 1989a). The lower section is

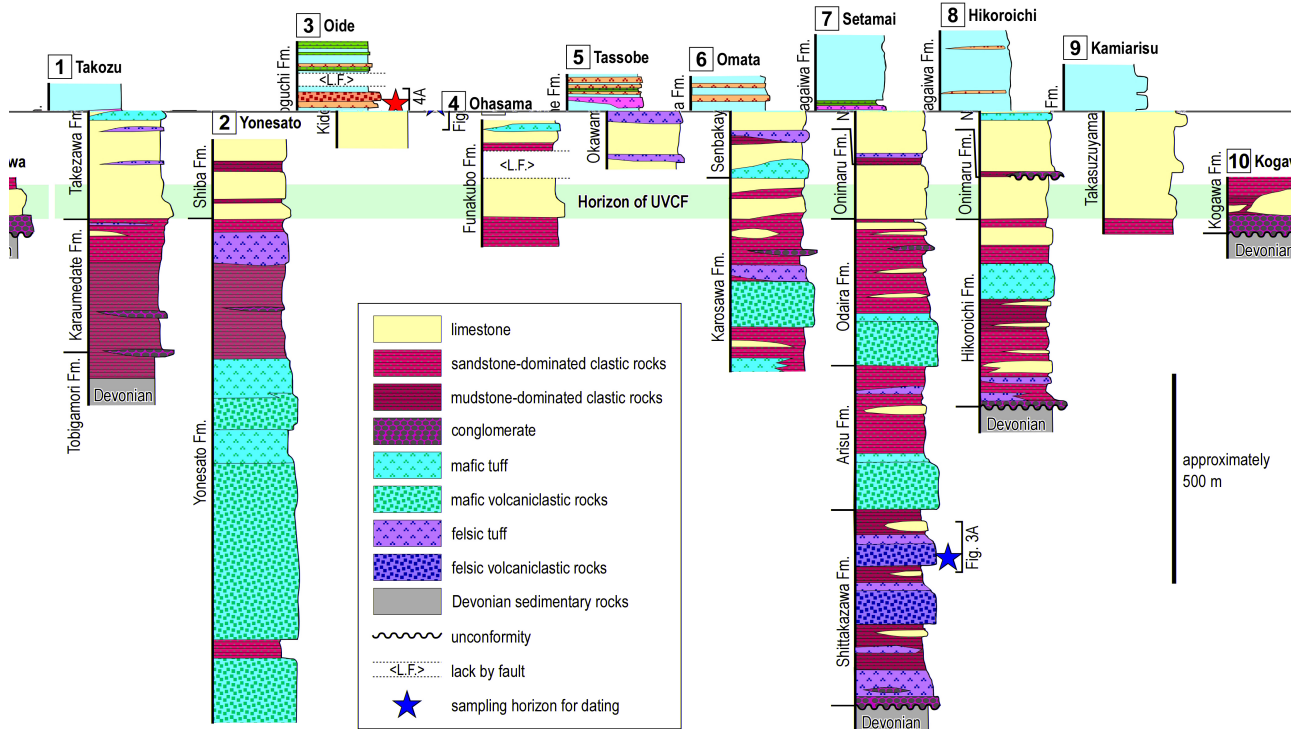


Fig. 2 Correlation of the generalized columnar sections for the Carboniferous stratigraphy in the main areas shown in Fig. 1C. Each column is arranged at the horizon of occurrences of the upper Visean coral fauna (UVC). Fm.: Formation. Red star roughly shows the sampling horizon for dating in this study. The columns are modified from Kawamura and Kawamura (1989a).

composed of sandy clastic rocks and thick volcaniclastic rocks accompanied by lenticular limestone and conglomerate. The lowermost part of the section unconformably overlies Middle Devonian strata at the base in eastern areas (areas 7, 8, and 10 in Fig. 2) and conformably overlies Upper Devonian strata in the west (area 1 in Fig. 2). The depositional facies and thickness of the clastic rocks vary among the areas, suggesting deposition in heterogeneous sedimentary basins in and around a volcanic arc (Kawamura and Kawamura, 1989b). In contrast, the upper section, which conformably overlies strata of the lower section, is composed of carbonate rocks in all 10 areas. Abundant volcaniclastic rocks are intercalated with the carbonates of the upper section, especially in western–central areas (areas 2, 6, and 7 in Fig. 2). The main carbonate rocks are stratified shallow-marine limestone with localized limestone breccia, suggesting deposition in a carbonate-platform environment and subordinately in a marginal-slope environment (Kawamura and Kawamura, 1989b).

Volcaniclastic rocks of the lower section contain both basaltic and rhyolitic–dacitic resedimented pyroclastic rocks. These rocks are geochemically bimodal, without intermediate silica contents (Kawamura and Kawamura, 1989b; Kawamura, 1997). The chemical compositions of the basaltic rocks plot in the fields of island-arc

tholeiite or calc-alkaline basalt (Kawamura, 1997). The early Carboniferous volcanism occurred in back-arc to intra-arc settings under crustal extension (Kawamura and Kawamura, 1989b). In contrast, volcaniclastic rocks of the upper section are mainly felsic or intermediate, although their geochemical signatures have yet to be defined in detail (Kawamura and Kawamura, 1989a). Their compositions suggest continuous volcanism in or around the area of carbonate deposition during the late Carboniferous.

The ages of the Carboniferous strata of the SKB have been determined using biostratigraphic correlations. The brachiopod fauna of the lower section is consistent with the late Tournaisian age for the lower part of the section and the early–middle Visean age for the upper part (Tazawa and Kurita, 2019; Tazawa, 2020). Similar age determinations have been obtained using coral and miospore fossils (Kawamura, 1983; Yang and Tazawa, 2000). A distinctive coral fauna in the lowermost limestone strata of the upper section has traditionally been regarded as being of the late Visean age (Fig. 2). The fusulinid and conodont biostratigraphy of the middle–upper strata of the upper section (Kobayashi, 1973; Minato *et al.* eds., 1979) indicates the Namurian to early Westphalian ages (i.e., Serpukhovian to Moscovian).



Fig. 3 (A) Columnar section around the horizon of the dating sample (22040401-1) in the lower Carboniferous Shittakazawa Formation. Northwest of Kashiwari, Setamai area, Sumita Town. The sampling horizon is shown as a red star. lp.: lapilli, br.: breccia. (B) Polished surface photo-image of the felsic coarse tuff in the lower part of a sequence suggesting pyroclastic density current deposits. Lithology shows inhomogeneous nature as commonly containing abundant fragments of felsic volcanic or volcanoclastic rocks. Northern creek of Kashiwari [39.16354N, 141.51363E], Setamai area, Sumita Town. (C) Thin-section photo-image of the dating specimen, plane-polarized light. Its lithology shows coarse tuff containing fragments of felsic volcanic rocks. Quartz fragments are present both in the glassy tuff matrix and the rock fragments. River cliff of the Omata River [39.16147N, 141.50637E], east of Komata, Setamai area, Sumita Town. Qz: quartz, vf: volcanic rock fragment.

3. Samples for dating

Lower Carboniferous Shittakazawa Formation

The Shittakazawa Formation represents the lowermost part of the thick Carboniferous sedimentary rocks in the Setamai area (area 7 in Fig. 2) (Kawamura and Kawamura, 1989a). The formation consists of felsic volcanoclastic rocks, mudstone, and sandstone, with minor limestone lenses. A basal conglomerate and felsic tuff unconformably overlies Devonian strata, and the uppermost sandstone underlies basaltic volcanoclastic rocks of the Arisu Formation. The felsic volcanoclastic rocks, which comprise massive lapilli tuff, tuff breccia, and coarse tuff, fine upward to laminated fine vitric tuff and also intercalate fossil-bearing sandstone and mudstone, suggesting they represent subaqueous pyroclastic density current deposits on shallow-marine substrates (Kawamura, 1985; Kawamura, 1997).

Sample 22040401-1 was obtained from the middle Shittakazawa Formation, at a cliff adjacent to the Omata River (39.16147°N, 141.50637°E), east of Komata in the Setamai area, Sumita Town. The sample is greenish-gray coarse felsic tuff. In areas near the sampling location, this tuff is interbedded with fine tuff layers and overlies thick beds of lapilli tuff to tuff breccia (Fig. 3A). Similar bedding styles have been recognized in thick volcanoclastic rock sequences of the formation (Kawamura, 1997). The sample contains abundant fragments of dacite to rhyolite or volcanoclastic rocks, clasts of entirely chloritized flat pumice, and a matrix of fine glassy tuff with quartz and plagioclase grains (Fig. 3B and C). Quartz grains are also observed within rock fragments and commonly show corroded forms. Fine zircon grains are present within

volcanic rock fragments or along dark seams in the tuff matrix.

Upper Carboniferous Kidoguchi Formation

The Carboniferous Kidoguchi Formation occurs in the Oide area (area 3 in Figs. 1C and 2) (Ehiro and Mori, 1993). The lower to middle parts of the formation are composed of limestone and volcanoclastic rocks. The upper part consists of limestone, tuff, and sandstone, unconformably overlain by the lower Permian sedimentary rocks. These units are equivalent to the Carboniferous sedimentary rocks at Tassobe (area 5 in Figs. 1C and 2) and Omata (area 6 in Figs. 1C and 2), which were probably connected to each other prior to lateral offset along a major sinistral fault (e.g., the Hizume Kesennuma Fault in Fig. 1) during the Early Cretaceous (Ehiro and Mori, 1993). Volcanoclastic rocks are generally predominant in the middle to upper Carboniferous sedimentary rocks in the western-central to northern-central areas of the SKB (3–6 in Fig. 1C).

Sample 22040115 was obtained from the lower Kidoguchi Formation at an outcrop on a forest trail in eastern Shizu (39.05935°N, 141.51294°E), Oide area, Yahagi Town, Rikuzentakata City. The sample is reddish-purple sandy tuff. At the outcrop, the tuff has a total thickness of 15 m, contains interbeds of greenish tuff, overlies gray limestone, and underlies felsic coarse tuff (Fig. 4A and B) of the middle part of the formation. The tuff consists of fragments of felsic volcanic or volcanoclastic rocks, plagioclase, and quartz in an inhomogeneous matrix of fine glassy silt (Fig. 4C). Volcanic rock fragments also contain quartz and plagioclase as phenocrysts. Concentrations of black hematite are commonly observed as grains, spots,

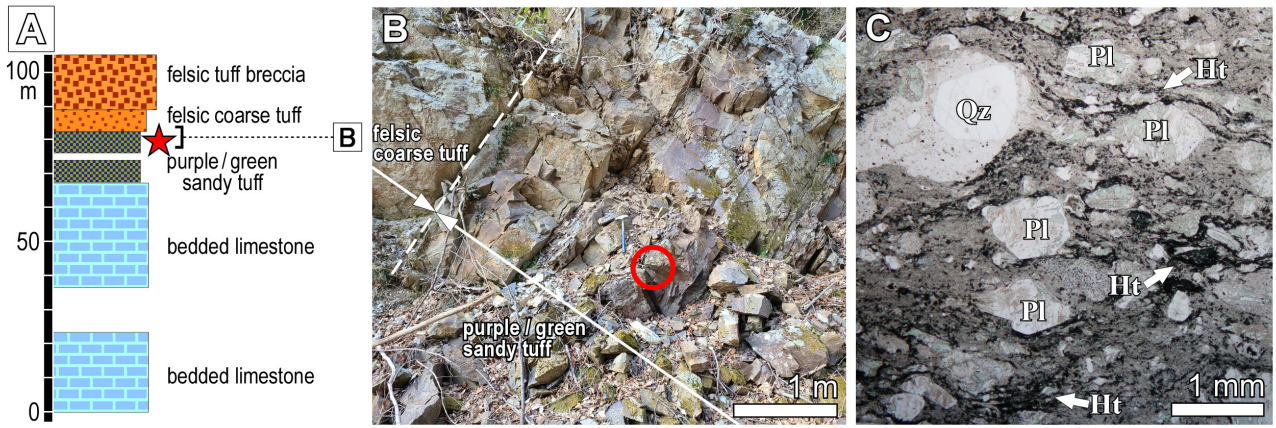


Fig. 4 (A) Columnar section around the horizon of the dating sample (22040115) in the upper Carboniferous Kidoguchi Formation. East of Shizu [39.05935N, 141.51294E], Oide area, Rikuzentakata City. The sampling horizon is shown as a red star. lp.: lapilli, br.: breccia. (B) Photo-image of the outcrop of the sample for dating. The sample was collected from the purple sandy tuff bed shown as red circle. Forest road cliff at east of Shizu, Oide area, Rikuzentakata City. Dashed line shows the boundary between the felsic coarse tuff bed and purple sandy tuff bed. (C) Thin-section photo-image of the dating sample. Its lithology shows coarse tuff containing fragments of quartz-bearing felsic volcanic rocks and grains of partly saussuritized plagioclase. Matrix is fine tuff with black hematitic spots and seams. Ht: hematite, Pl: plagioclase, Qz: quartz.

or seams in the matrix. Brown oxidized chlorite occurs in plagioclase grains and within the matrix. Rare fine zircon grains occur within the tuff matrix.

4. Analytical methods

The extraction of zircon grains from the samples and subsequent dating analyses were conducted by Kyoto Fission-Track, Japan. Zircon U–Pb dating was also conducted using a multiple collector–inductively coupled plasma–mass spectrometer at the University of Tokyo, Tokyo, Japan. Instrumentation and operating conditions for the analyses are given in Table 1. Plešovice zircon (^{238}U – ^{206}Pb age of 337.13 ± 0.37 Ma; Sláma *et al.*, 2008) was utilized as a primary standard. In addition, zircons OD-3 (^{238}U – ^{206}Pb age of 33.0 ± 0.1 Ma; Iwano *et al.*, 2013), Nancy 91500 (^{238}U – ^{206}Pb age of 1062.4 ± 0.4 Ma; Wiedenbeck *et al.*, 1995), and GJ-1 (^{238}U – ^{206}Pb age of 610.0 ± 0.9 Ma; Jackson *et al.*, 2004) were used as secondary standards for quality control. Prior to analyses, a single laser shot was used to reduce lead contamination on zircon surfaces. During analyses, the laser was directed onto the center of each polished zircon surface, avoiding cracks and inclusions to ensure accurate data.

The ^{238}U – ^{206}Pb age, which typically shows a smaller error than the ^{235}U – ^{207}Pb age, was adopted for age determinations in this study. Assuming that the ^{206}Pb – ^{238}U age is $A \pm B$ (A : age; B : 2σ error of the age) and the ^{207}Pb – ^{235}U age is $C \pm D$ (C : age; D : 2σ error of the age), we considered analytical concordance if inequality 1 holds when the ^{207}Pb – ^{235}U age is older than the ^{206}Pb – ^{238}U age or if inequality 2 holds when the ^{207}Pb – ^{235}U age is younger

than the ^{207}Pb – ^{235}U age:

$$\frac{(A + B) - (C - D)}{A} \times 100 > 0 \quad (1)$$

$$\frac{(C + D) - (A - B)}{C} \times 100 \times (-1) < 0 \quad (2)$$

Data processing was performed using Isoplot 4.15 software (Ludwig, 2012). Analytical results for the secondary standard (Tables 2 and 3) are within $\pm 5\%$ of recommended ages, suggesting that the results for the two samples (22040401-1 and 22040115) are reasonable.

5. Results

Isotopic data for sample 22040401-1 from the Shittakazawa Formation and sample 22040115 from the Kidoguchi Formation are summarized in Tables 2 and 3, respectively. We use the geological timescale of Gradstein *et al.* (2020) when considering the obtained U–Pb ages.

For sample 22040401-1, all 30 analyzed zircons yield concordant ages (Table 2; Fig. 5A). Most grains have ages of 350–330 Ma (early Carboniferous), with one Proterozoic grain (ca. 1360 Ma) that is interpreted as a xenocryst. The weighted mean age of the grains, except for the Proterozoic grain, is 339.5 ± 2.6 Ma (2σ error; $n = 29$; MSWD = 2.7, Fig. 5B).

For sample 22040115, 27 of the 30 zircons yield concordant ages (Table 3; Fig. 5C). The concordant grains have ages of 330–305 Ma (late Carboniferous). The weighted mean age of the concordant grains is 313.6 ± 2.3 Ma (2σ error; $n = 27$; MSWD = 1.6, Fig. 5D).

Table 1 Operating condition of the instrumentation of a multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry for the analysis.

Sample no.	22040401-1 (Shittakazawa Formation)	22040115 (Kidoguchi Formation)
Laser ablation		
Model	CARBIDE (Light Conversion)	same as on the left
Laser type	Femtosecond laser	
Pulse duration	290 fs	
Wave length	257 nm	
Energy density	3.8 J/cm	
Spot size	10 μm (single spot)	
Repetition rate	30 Hz	
Carrier gas (He)	0.60 L/min	
Duration of laser ablation	4 s	3.3 s
ICP-MS		
Model	Nu Plasma II (Nu Instruments)	ditto
ICP-MS type	Multi-collector	
Forward power	1300 W	0.90 L/min
Make-up gas (Ar)	0.80 L/min	
ThO ⁺ /Th (oxide ratio)	<1%	ditto
Data acquisition protocol	Time-resolved analysis	
Data acquisition	9 s (6 s gas blank, 3 s ablation signal)	
Monitor isotopes	²⁰² Hg, ²⁰⁴ Pb, ²⁰⁶ Pb, ²⁰⁷ Pb, ²⁰⁸ Pb, ²³² Th, ²³⁵ U	
Standards		
Primary standard	Plešovice ^{*1}	ditto
Secondary standard	OD-3 ^{*2, 3, 4} Nancy 91500 ^{*5} GJ-1 ^{*6}	

*1: Sláma *et al.* (2008); *2: Iwano *et al.* (2012); *3: Iwano *et al.* (2013); *4: Lukács *et al.* (2015);

*5: Wiedenbeck *et al.* (1995); *6: Jackson *et al.* (2004)

6. Discussions

Previous zircon U–Pb ages for Carboniferous clastic rocks in the SKB have been limited to data obtained from detrital grains in sandstones of the lower section. Okawa *et al.* (2013) presented a youngest concordant age of 348.9 ± 7.8 Ma (recalculated as the weighted mean age of a youngest cluster using the method of the present study: 350.3 ± 2.0 Ma [MSWD = 0.5]) for a sample from the western area (Karaumedate Formation, 1 in Fig. 2). Isozaki *et al.* (2014) presented a younger group of ages of 384–335 Ma (recalculated as above: 337.3 ± 4.0 Ma [MSWD = 1.5]) for a sample from the central area (Hikoroichi Formation, 8 in Fig. 2). In contrast to these previous data, our new zircon U–Pb ages from the sampled felsic tuffs should give more reliable depositional ages because most of the grains are syn-sedimentary. Accordingly, our new age data allow the duration of volcanism recorded in the Carboniferous strata of the SKB to be better constrained.

The age of 339.5 ± 2.6 Ma for the felsic tuff sample from the middle Shittakazawa Formation corresponds chronostratigraphically to the middle

Visean (i.e., the Holkerian Substage in western Europe). This age is younger than the late Tournaisian age determined by the previous biostratigraphic correlation of the brachiopod fauna from the upper part of the formation (Tazawa and Kurita, 2019; Tazawa, 2020) or by lithostratigraphic comparison with the well-studied lower Hikoroichi Formation in the Hikoroichi area (Kawamura, 1985; Kawamura and Kawamura, 1989a). A similar early-middle Visean age has been assigned to the overlying Arisu Formation by correlation of the brachiopod fauna (Tazawa and Iryu, 2019; Tazawa, 2020). Therefore, the ages of the Shittakazawa and Arisu formations are likely to be slightly younger than previously estimated, although the ages of the basal to lower parts have yet to be clarified.

The age of 313.6 ± 2.3 Ma for the sandy tuff sample from the middle Kidoguchi Formation corresponds chronostratigraphically to the early Moscovian (i.e., Bolsovian Substage in western Europe). Previously, the age of the formation was tentatively assigned to the late Carboniferous based on the discovery of the fossil calcisponge *Chaetetes* (Ehiro and Mori, 1993), whose genera occur over a wide interval from the Ordovician

Table 2 U–Pb–Th isotopic data and U–Pb age of the zircon in the tuff in the Shittakazawa Formation determined using a multi-collector inductively coupled mass spectrometry.

Grain no.	Total count						Isotopic ratios				U–Pb age (Ma)				Remark
	^{204}Pb	^{207}Pb	^{208}Pb	^{232}Th	^{235}U	^{238}U	Th	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	Error	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	Error	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	Error	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	
							U		2 σ		2 σ		2 σ	2 σ	
1	32227	2086	3196	215313	5470	754184	0.46	0.0535	± 0.0030	0.0544	± 0.0017	4.0016	± 0.0238	342.8	± 23.8
2	86526	9686	10648	168210	3399	468721	0.57	0.0926	± 0.0035	0.2350	± 0.0087	3.0012	± 0.1482	1407.9	± 140.3
3	74506	4862	14176	928450	12918	1781157	0.83	0.0540	± 0.0023	0.0532	± 0.0012	0.3964	± 0.0176	334.4	± 17.8
4	81987	5275	11101	743451	14184	1955698	0.61	0.0532	± 0.0023	0.0534	± 0.0012	0.3917	± 0.0170	335.1	± 17.1
5	51318	3433	5213	325348	8432	1190185	0.44	0.0553	± 0.0026	0.0549	± 0.0014	0.4189	± 0.0208	344.4	± 21.0
6	39080	2539	5486	448263	6919	953944	0.75	0.0537	± 0.0028	0.0521	± 0.0015	0.3866	± 0.0212	327.7	± 9.7
7	34776	2204	4044	262930	5949	820311	0.51	0.0524	± 0.0028	0.0540	± 0.0017	0.3902	± 0.0225	338.8	± 10.6
8	166087	10685	33865	2186801	28129	3878389	0.90	0.0532	± 0.0020	0.0545	± 0.0010	0.4001	± 0.0148	342.1	± 6.2
9	45938	2959	5629	366268	7613	1049657	0.56	0.0533	± 0.0026	0.0557	± 0.0015	0.4094	± 0.0214	349.5	± 9.9
10	53140	3459	6858	479070	9202	1268804	0.60	0.0538	± 0.0025	0.0533	± 0.0014	0.3959	± 0.0196	348.4	± 21.5
11	84583	5388	15553	976736	13835	1907578	0.82	0.0527	± 0.0022	0.0564	± 0.0012	0.4102	± 0.0178	338.7	± 19.7
12	55236	3534	3978	393235	9370	1291967	0.49	0.0529	± 0.0025	0.0544	± 0.0014	0.3972	± 0.0195	339.0	± 17.9
13	35611	2251	4506	303314	6240	860373	0.56	0.0523	± 0.0028	0.0527	± 0.0016	0.3799	± 0.0217	331.0	± 10.2
14	29403	1909	2472	161290	4943	681508	0.38	0.0537	± 0.0031	0.0549	± 0.0018	0.4068	± 0.0249	346.6	± 25.0
15	47283	3118	4292	266703	8297	1144054	0.37	0.0545	± 0.0027	0.0526	± 0.0014	0.3958	± 0.0202	330.5	± 9.1
16	40323	2722	4133	255809	6937	954495	0.42	0.0556	± 0.0027	0.0534	± 0.0015	0.4096	± 0.0212	335.5	± 10.0
17	80505	5517	14226	920234	13454	1855016	0.79	0.0564	± 0.0023	0.0550	± 0.0012	0.4281	± 0.0174	345.1	± 8.0
18	68772	4477	6462	395713	11227	1548014	0.41	0.0536	± 0.0023	0.0563	± 0.0014	0.4163	± 0.0180	353.0	± 8.7
19	24076	1603	4017	262305	4029	555463	0.75	0.0548	± 0.0033	0.0549	± 0.0020	0.4153	± 0.0267	344.7	± 12.9
20	83514	5692	13790	913269	14195	197147	0.74	0.0561	± 0.0022	0.0541	± 0.0012	0.4187	± 0.0168	339.5	± 7.7
21	218593	14421	37140	2399748	37369	5152418	0.74	0.0543	± 0.0018	0.0538	± 0.0009	0.4029	± 0.0128	337.6	± 5.9
22	141672	9255	27023	1738180	24203	3337085	0.83	0.0538	± 0.0020	0.0538	± 0.0010	0.3992	± 0.0140	341.1	± 14.1
23	56306	3677	5499	348790	9649	1330375	0.44	0.0538	± 0.0024	0.0536	± 0.0014	0.3979	± 0.0184	336.8	± 8.8
24	62096	3875	9518	626363	10259	1414504	0.70	0.0514	± 0.0023	0.0556	± 0.0014	0.3943	± 0.0179	349.0	± 8.9
25	42736	2775	3192	205223	7201	997834	0.30	0.0535	± 0.0026	0.0545	± 0.0016	0.4023	± 0.0206	342.4	± 10.0
26	82077	5438	7081	465319	14044	1936389	0.38	0.0545	± 0.0022	0.0537	± 0.0012	0.4042	± 0.0164	337.3	± 7.7
27	45380	2847	5344	334769	7518	1036621	0.51	0.0517	± 0.0025	0.0555	± 0.0016	0.3954	± 0.0200	348.0	± 10.0
28	90449	5946	12560	796381	15366	2118656	0.60	0.0541	± 0.0021	0.0541	± 0.0012	0.4040	± 0.0160	339.6	± 7.6
29	39265	2592	62981	4250842	68821	9489075	0.71	0.0544	± 0.0017	0.0525	± 0.0008	0.3937	± 0.0114	329.7	± 5.2
30	74073	4884	7535	482486	12449	1716404	0.45	0.0543	± 0.0023	0.0547	± 0.0013	0.4096	± 0.0172	343.2	± 8.2
Secondary standards															
GJ1 1-1	103368	7648	1346	56301	9659	1331755	0.07	0.0612	± 0.0021	0.0994	± 0.0027	0.8391	± 0.0316	610.7	± 17.1
GJ1 1-2	101654	7664	1455	51099	9781	1348651	0.06	0.0624	± 0.0021	0.0965	± 0.0026	0.8303	± 0.0312	593.9	± 16.5
GJ1 1-3	106436	7846	1428	38821	10224	1409745	0.04	0.0610	± 0.0021	0.0967	± 0.0025	0.8131	± 0.0302	594.8	± 16.3
GJ1 1-4	101251	7452	1422	57796	9593	1322722	0.07	0.0609	± 0.0021	0.0980	± 0.0026	0.8232	± 0.0311	602.7	± 16.9
GJ1 1-5	96498	6826	1273	50206	9237	1273625	0.06	0.0585	± 0.0021	0.0970	± 0.0026	0.7831	± 0.0303	596.8	± 16.9
OD3 1-1	8603	491	2639	1783810	15563	2145827	1.30	0.0472	± 0.0045	0.0051	± 0.0002	0.0334	± 0.0031	33.0	± 1.0
OD3 1-2	4298	272	1121	763275	8047	1109508	1.08	0.0522	± 0.0067	0.0050	± 0.0002	0.0358	± 0.0045	31.9	± 1.3
OD3 1-3	5727	269	1568	1048708	10342	1426019	1.15	0.0389	± 0.0049	0.0051	± 0.0002	0.0276	± 0.0035	33.1	± 1.2
OD3 1-4	12112	720	4023	2723533	22155	3054666	1.40	0.0491	± 0.0040	0.0051	± 0.0001	0.0344	± 0.0027	32.6	± 0.9
OD3 1-5	11190	697	3732	2475113	20329	2802929	1.39	0.0515	± 0.0042	0.0051	± 0.0001	0.0363	± 0.0029	32.9	± 0.9
91500 4-1	62880	5717	5566	115191	3345	461206	0.36	0.0737	± 0.0039	0.1753	± 0.0068	1.7821	± 0.1132	1038.9	± 108.9
91500 4-2	63952	5550	5652	112155	3345	461275	0.35	0.0703	± 0.0037	0.1782	± 0.0069	1.7298	± 0.1102	1019.7	± 106.1

Table 3 U–Pb–Th isotopic data and U–Pb age of the zircon in the tuff in the Kidoguchi Formation determined using a multi-collector inductively coupled mass spectrometry.

Grain no.	Total count							Isotopic ratios					U-Pb age (Ma)							
	²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb	²³² Th	²³⁵ U	²³⁸ U	Th	U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	Error 2σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	Error 2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	Error 2σ	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	Error 2σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	Error 2σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	Error 2σ	Remark
1	255860	16896	53410	164050	43741	6030956	0.86	0.0530 ± 0.0016	0.0498 ± 0.0010	0.3636 ± 0.0107	0.0147 ± 0.0009	313.0 ± 6.7	0.0147 ± 0.0009	313.0 ± 6.7	314.9 ± 10.8	314.9 ± 10.8	314.9 ± 10.8	314.9 ± 10.8	discordant	
2	434006	30220	121590	4310937	80819	11143279	1.22	0.0558 ± 0.0016	0.0457 ± 0.0009	0.3519 ± 0.0094	0.0127 ± 0.0007	287.9 ± 5.8	0.0127 ± 0.0007	287.9 ± 5.8	306.2 ± 9.5	306.2 ± 9.5	306.2 ± 9.5	306.2 ± 9.5	discordant	
3	56638	3585	10633	300412	9741	1343133	0.71	0.0508 ± 0.0022	0.0495 ± 0.0014	0.3464 ± 0.0157	0.0160 ± 0.0010	311.2 ± 9.1	0.0160 ± 0.0010	311.2 ± 9.1	302.0 ± 15.9	302.0 ± 15.9	302.0 ± 15.9	302.0 ± 15.9		
4	22450	1544	1820	52216	3725	513539	0.32	0.0552 ± 0.0032	0.0513 ± 0.0020	0.3902 ± 0.0253	0.0157 ± 0.0012	322.3 ± 13.1	0.0157 ± 0.0012	322.3 ± 13.1	334.5 ± 25.4	334.5 ± 25.4	334.5 ± 25.4	334.5 ± 25.4		
5	44117	2974	7416	217881	7623	1051033	0.66	0.0541 ± 0.0025	0.0492 ± 0.0015	0.3673 ± 0.0180	0.0159 ± 0.0010	309.8 ± 9.8	0.0159 ± 0.0010	309.8 ± 9.8	317.6 ± 18.1	317.6 ± 18.1	317.6 ± 18.1	317.6 ± 18.1		
6	34138	2255	3439	97689	5651	779145	0.40	0.0530 ± 0.0027	0.0514 ± 0.0017	0.3756 ± 0.0206	0.0159 ± 0.0011	323.0 ± 11.3	0.0159 ± 0.0011	323.0 ± 11.3	323.8 ± 20.7	323.8 ± 20.7	323.8 ± 20.7	323.8 ± 20.7	discordant	
7	30037	4834	10674	206364	4974	685846	0.95	0.1291 ± 0.0052	0.0514 ± 0.0018	0.9146 ± 0.0426	0.0234 ± 0.0014	322.9 ± 11.8	0.0234 ± 0.0014	322.9 ± 11.8	659.5 ± 42.4	659.5 ± 42.4	659.5 ± 42.4	659.5 ± 42.4	discordant	
8	37254	4838	4838	139368	6284	866441	0.51	0.0561 ± 0.0027	0.0504 ± 0.0017	0.3901 ± 0.0203	0.0157 ± 0.0010	317.1 ± 10.7	0.0157 ± 0.0010	317.1 ± 10.7	334.4 ± 20.4	334.4 ± 20.4	334.4 ± 20.4	334.4 ± 20.4		
9	71814	4759	12345	347047	12049	1661306	0.66	0.0531 ± 0.0021	0.0507 ± 0.0014	0.3717 ± 0.0154	0.0161 ± 0.0010	318.8 ± 8.8	0.0161 ± 0.0010	318.8 ± 8.8	320.9 ± 15.5	320.9 ± 15.5	320.9 ± 15.5	320.9 ± 15.5		
10	45970	3121	5988	168434	8086	1114955	0.48	0.0544 ± 0.0024	0.0484 ± 0.0015	0.3633 ± 0.0175	0.0161 ± 0.0010	304.4 ± 9.4	0.0161 ± 0.0010	304.4 ± 9.4	314.6 ± 17.6	314.6 ± 17.6	314.6 ± 17.6	314.6 ± 17.6		
11	33275	2252	3375	93470	5754	793384	0.37	0.0543 ± 0.0027	0.0492 ± 0.0017	0.3683 ± 0.0202	0.0163 ± 0.0011	309.5 ± 10.7	0.0163 ± 0.0011	309.5 ± 10.7	318.4 ± 20.3	318.4 ± 20.3	318.4 ± 20.3	318.4 ± 20.3		
12	62018	4063	9158	258644	10533	1452291	0.56	0.0525 ± 0.0022	0.0501 ± 0.0014	0.3631 ± 0.0158	0.0160 ± 0.0010	315.0 ± 9.0	0.0160 ± 0.0010	315.0 ± 9.0	314.5 ± 15.9	314.5 ± 15.9	314.5 ± 15.9	314.5 ± 15.9		
13	33110	2217	4798	140015	5728	789833	0.56	0.0537 ± 0.0027	0.0492 ± 0.0017	0.3642 ± 0.0201	0.0155 ± 0.0010	309.4 ± 10.7	0.0155 ± 0.0010	309.4 ± 10.7	315.4 ± 20.2	315.4 ± 20.2	315.4 ± 20.2	315.4 ± 20.2		
14	572723	37506	130549	3762396	96592	13181128	0.89	0.0525 ± 0.0014	0.0504 ± 0.0010	0.3655 ± 0.0096	0.0157 ± 0.0009	317.2 ± 6.3	0.0157 ± 0.0009	317.2 ± 6.3	316.3 ± 9.7	316.3 ± 9.7	316.3 ± 9.7	316.3 ± 9.7		
15	33642	2182	4955	150240	5566	767493	0.62	0.0520 ± 0.0026	0.0514 ± 0.0018	0.3690 ± 0.0205	0.0149 ± 0.0010	323.2 ± 11.3	0.0149 ± 0.0010	323.2 ± 11.3	318.9 ± 20.6	318.9 ± 20.6	318.9 ± 20.6	318.9 ± 20.6		
16	49516	3317	8056	230650	8374	1154604	0.63	0.0537 ± 0.0024	0.0503 ± 0.0015	0.3729 ± 0.0176	0.0158 ± 0.0010	316.3 ± 9.7	0.0158 ± 0.0010	316.3 ± 9.7	321.8 ± 17.7	321.8 ± 17.7	321.8 ± 17.7	321.8 ± 17.7		
17	42056	2899	4567	141332	7029	949114	0.46	0.0553 ± 0.0025	0.0509 ± 0.0016	0.3882 ± 0.0194	0.0146 ± 0.0010	320.0 ± 10.3	0.0146 ± 0.0010	320.0 ± 10.3	333.0 ± 19.5	333.0 ± 19.5	333.0 ± 19.5	333.0 ± 19.5		
18	49718	3508	7110	209755	8816	1215492	0.55	0.0565 ± 0.0025	0.0481 ± 0.0014	0.3753 ± 0.0176	0.0153 ± 0.0009	302.9 ± 9.3	0.0153 ± 0.0009	302.9 ± 9.3	323.6 ± 17.7	323.6 ± 17.7	323.6 ± 17.7	323.6 ± 17.7		
19	70344	4642	11931	366000	12310	1697308	0.69	0.0529 ± 0.0021	0.0487 ± 0.0013	0.3556 ± 0.0151	0.0147 ± 0.0008	306.8 ± 8.6	0.0147 ± 0.0008	306.8 ± 8.6	308.9 ± 15.2	308.9 ± 15.2	308.9 ± 15.2	308.9 ± 15.2		
20	73006	4889	10040	289742	12600	1737231	0.53	0.0537 ± 0.0021	0.0494 ± 0.0013	0.3659 ± 0.0153	0.0156 ± 0.0008	311.0 ± 8.7	0.0156 ± 0.0008	311.0 ± 8.7	316.6 ± 15.4	316.6 ± 15.4	316.6 ± 15.4	316.6 ± 15.4		
21	98706	6753	23598	668555	16887	2328441	0.92	0.0548 ± 0.0020	0.0499 ± 0.0013	0.3771 ± 0.0143	0.0159 ± 0.0008	313.6 ± 8.2	0.0159 ± 0.0008	313.6 ± 8.2	324.9 ± 14.4	324.9 ± 14.4	324.9 ± 14.4	324.9 ± 14.4		
22	63501	4597	7618	207813	10682	1472773	0.45	0.0580 ± 0.0023	0.0507 ± 0.0014	0.4058 ± 0.0175	0.0165 ± 0.0009	318.9 ± 9.3	0.0165 ± 0.0009	318.9 ± 9.3	345.8 ± 17.6	345.8 ± 17.6	345.8 ± 17.6	345.8 ± 17.6	discordant	
23	65544	4335	8657	241901	11065	1525663	0.51	0.0530 ± 0.0021	0.0505 ± 0.0014	0.3694 ± 0.0161	0.0161 ± 0.0009	317.7 ± 9.2	0.0161 ± 0.0009	317.7 ± 9.2	319.2 ± 16.2	319.2 ± 16.2	319.2 ± 16.2	319.2 ± 16.2		
24	80644	5458	14983	438083	14120	1946870	0.72	0.0542 ± 0.0021	0.0487 ± 0.0013	0.3645 ± 0.0147	0.0154 ± 0.0008	306.6 ± 8.3	0.0154 ± 0.0008	306.6 ± 8.3	315.6 ± 14.8	315.6 ± 14.8	315.6 ± 14.8	315.6 ± 14.8		
25	48126	3223	7548	224422	8121	1119715	0.64	0.0537 ± 0.0024	0.0505 ± 0.0016	0.3743 ± 0.0181	0.0151 ± 0.0008	317.9 ± 10.0	0.0151 ± 0.0008	317.9 ± 10.0	322.8 ± 18.2	322.8 ± 18.2	322.8 ± 18.2	322.8 ± 18.2		
26	31041	2065	4401	119790	5044	695436	0.55	0.0533 ± 0.0028	0.0525 ± 0.0019	0.3861 ± 0.0223	0.0165 ± 0.0010	329.8 ± 12.1	0.0165 ± 0.0010	329.8 ± 12.1	331.5 ± 22.4	331.5 ± 22.4	331.5 ± 22.4	331.5 ± 22.4		
27	52671	3524	7474	218751	8888	1225424	0.57	0.0536 ± 0.0023	0.0505 ± 0.0015	0.3739 ± 0.0175	0.0154 ± 0.0009	317.9 ± 9.7	0.0154 ± 0.0009	317.9 ± 9.7	322.6 ± 17.6	322.6 ± 17.6	322.6 ± 17.6	322.6 ± 17.6		
28	80092	5339	13343	390779	13918	1919010	0.65	0.0534 ± 0.0020	0.0491 ± 0.0013	0.3617 ± 0.0147	0.0154 ± 0.0008	308.9 ± 8.4	0.0154 ± 0.0008	308.9 ± 8.4	313.5 ± 14.8	313.5 ± 14.8	313.5 ± 14.8	313.5 ± 14.8		
29	48773	3169	6710	208326	8456	1165914	0.57	0.0521 ± 0.0023	0.0492 ± 0.0015	0.3534 ± 0.0171	0.0145 ± 0.0008	309.6 ± 9.6	0.0145 ± 0.0008	309.6 ± 9.6	307.3 ± 17.2	307.3 ± 17.2	307.3 ± 17.2	307.3 ± 17.2		
30	37727	2501	5719	169237	6495	895471	0.60	0.0531 ± 0.0026	0.0495 ± 0.0016	0.3632 ± 0.0193	0.0152 ± 0.0009	311.7 ± 10.5	0.0152 ± 0.0009	311.7 ± 10.5	314.6 ± 19.4	314.6 ± 19.4	314.6 ± 19.4	314.6 ± 19.4		
Secondary standards																				
91500 7-1	13713	13500	122536	122536	6867	946773	0.41	0.0757 ± 0.0024	0.1802 ± 0.0056	1.8831 ± 0.0725	0.0496 ± 0.0026	1068.3 ± 36.2	0.0496 ± 0.0026	1068.3 ± 36.2	1075.2 ± 71.1	1075.2 ± 71.1	1075.2 ± 71.1	1075.2 ± 71.1		
91500 7-2	12399	12543	119455	119455	6358	876577	0.44	0.0751 ± 0.0024	0.1775 ± 0.0057	1.8390 ± 0.0726	0.0472 ± 0.0025	1053.3 ± 36.6	0.0472 ± 0.0025	1053.3 ± 36.6	1059.5 ± 71.2	1059.5 ± 71.2	1059.5 ± 71.2	1059.5 ± 71.2		
GJ1 7-1	17235	3378	50921	20745	2860305	0.06	0.0599 ± 0.0018	0.0599 ± 0.0018	0.0948 ± 0.0023	0.7834 ± 0.0252	0.0299 ± 0.0018	584.0 ± 14.7	0.0299 ± 0.0018	584.0 ± 14.7	587.4 ± 25.3	587.4 ± 25.3	587.4 ± 25.3	587.4 ± 25.3		
GJ1 7-2	18034	3483	65900	21174	2919482	0.07	0.0609 ± 0.0018	0.0609 ± 0.0018	0.0955 ± 0.0023	0.8031 ± 0.0256	0.0238 ± 0.0015	588.2 ± 14.7	0.0238 ± 0.0015	588.2 ± 14.7	598.6 ± 25.7	598.6 ± 25.7	598.6 ± 25.7	598.6 ± 25.7		
OD3 7-1	11192	6663	1910007	36186	4989374	1.22	0.0452 ± 0.0029	0.0452 ± 0.0029	0.0050 ± 0.0001	0.0311 ± 0.0020	0.0016 ± 0.0001	32.0 ± 0.8	0.0016 ± 0.0001	32.0 ± 0.8	31.1 ± 2.0	31.1 ± 2.0	31.1 ± 2.0	31.1 ± 2.0		
OD3 7-2	2033	10703	3061315	56760	7826096	1.25	0.0488 ± 0.0026	0.0488 ± 0.0026	0.0050 ± 0.0001	0.0338 ± 0.0017	0.0016 ± 0.0001	32.3 ± 0.8	0.0016 ± 0.0001	32.3 ± 0.8	33.7 ± 1.8	33.7 ± 1.8	33.7 ± 1.8	33.7 ± 1.8		

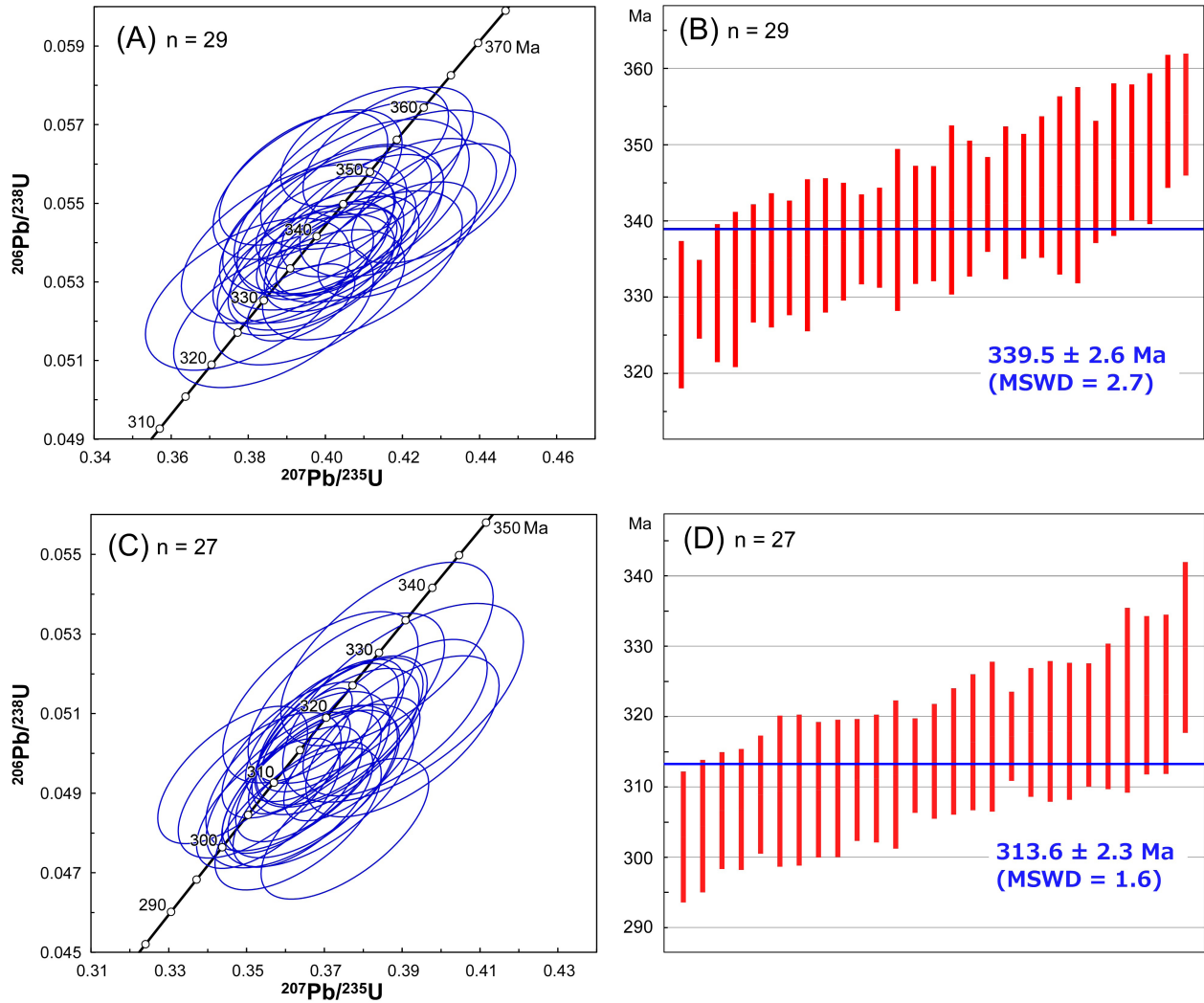


Fig. 5 Results of U–Pb dating for the concordant zircons from the coarse tuff in the Shittakazawa Formation and the sandy tuff in the Kidoguchi Formation. (A) Concordia diagram of the former except for a Proterozoic zircon grain. (B) Weighted mean age of the former. (C) Concordia diagram of the latter. (D) Weighted mean age of the latter. Error is 2σ . MSWD: mean squared weighted deviation, n: number.

to Jurassic but are most common in the middle–upper Carboniferous in Japan (Minato, 1975). Hence, the age determined in this study more tightly constrains the age of the Kidoguchi Formation in the SKB compared with previous age estimations.

The two new zircon U–Pb ages and the lithologies of the abundant volcanic rocks among the lower Carboniferous suggest continuous volcanism in the SKB from the Visean to Moscovian. The Visean volcanism, which may have begun during the late Tournaisian, is considered to have occurred in a back-arc to intra-arc setting under crustal extension, along with the formation of heterogeneous sedimentary basins (Kawamura and Kawamura, 1989b). The subsequent Serpukhovian to Moscovian volcanism appears to have been less active than that of the earlier period, resulting in the dominance of shallow-marine

carbonates influenced by sea-level fluctuations. However, it remains unclear whether the Visean bimodal volcanism continued into the late Carboniferous, as geochemical signatures for the late Carboniferous volcanic rocks have not been investigated in detail.

Tsuchiya *et al.* (2014) reported zircon U–Pb ages of 308–302 Ma for the Wariyama sheared granodiorite (Fujita *et al.*, 1988) at the eastern margin of the Abukuma Massif (Fig. 1A). Li and Takeuchi (2021) presented weighted mean ages of 311–266 Ma for the youngest clusters of zircons from five granitic clasts of Usuginu-type conglomerate. These ages are slightly younger than the age of tuff from the Kidoguchi Formation, possibly implying volcanism and plutonism within or near the SKB during the late Carboniferous. In addition, minor andesitic tuff occurs in the lowermost

Permian deposits, which overlie Carboniferous strata across a regional unconformity (Kawamura *et al.*, 1990; Yoshida *et al.*, 1994). The above synthesis of evidence indicates essentially continuous magmatism from the late Carboniferous to the early Permian, although less intense than the early Carboniferous volcanism.

7. Conclusion

Carboniferous strata in the SKB contain large volumes of volcanic rocks in the lower section and moderate volumes of volcanoclastic rocks in the upper section. According to previous studies, the former rocks were produced by bimodal volcanism in and around back-arc to intra-arc regions, whereas the latter rocks resulted from intermittent eruptions.

Zircon U–Pb dating was conducted on two tuff samples from Carboniferous felsic volcanoclastic rocks in the SKB. These samples, from the early Carboniferous Shittakazawa Formation and the late Carboniferous Kidoguchi Formation, yielded weighted mean ages of 339.5 ± 2.6 Ma (middle Viséan) and 313.6 ± 2.3 Ma (early Moscovian), respectively. These ages are slightly younger than the depositional ages of the formations, as determined from paleontological data in previous studies. These precise ages provide tighter constraints on the duration of Carboniferous volcanism in the SKB. The change from Carboniferous intense volcanism (including concurrent plutonism) to early Permian minor volcanism represents a key geotectonic transition in the long geological history of the SKB.

Acknowledgements: The author thanks Drs. Danhara T. and Iwano H. (Kyoto Fission-Track Co., Ltd.) for LA–ICP–MS analyses; We are grateful to Dr. Suzuki K. for careful reviews of the manuscript. Field works in this study were partly supported by JSPS KAKENHI (Grant Number 21K02566).

References

- Ehiro, M. and Mori, K. (1993) Discovery of *Chaetetes* from the Kidoguchi Formation of the western part of Yahagi-machi, Rikuzen-takata City, Southern Kitakami Mountains and its significance. *Journal of the Geological Society of Japan*, **99**, 407–410 (in Japanese).
- Ehiro, M., Tsujimori, T., Tsukada, K. and Nuramkhaan, M. (2016) Paleozoic basement and associated cover. In Moreno, T., Wallis, S., Kojima, T. and Gibbons, W., eds., *The Geology of Japan*, Geological Society of London, 25–60.
- Fujita, Y., Kano, H., Takizawa, F. and Yashima, R. (1988) *Geology of the Kakuda district*. With geological sheet map at 1:50,000, Geological Survey of Japan, 99p. (in Japanese with English abstract).
- Geological Survey of Japan, AIST (2022) Seamless digital geological map of Japan V2 1:200,000. <https://gbank.gsj.jp/seamless> [Accessed: 2023-09-01].
- Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Schmitz, M. D. and Ogg, G. M. (2020) *The Geologic Time Scale 2020*. Elsevier, Amsterdam, 1357p. doi:10.1016/C2020-1-02369-3
- Isozaki, Y., Aoki, K., Sakata, S. and Hirata, T. (2014) The eastern extension of Paleozoic South China in NE Japan evidenced by detrital zircon. *GFF*, **136**, 116–119.
- Iwano, H., Orihashi, Y., Danhara, T., Hirata, T. and Ogasawara, M. (2012) Evaluation of fission-track and U–Pb double dating method for identical zircon grains: Using homogeneous zircon grains in Kawamoto Granodiorite in Shimane prefecture, Japan. *Journal of the Geological Society of Japan*, **118**, 365–375.
- Iwano, H., Orihashi, Y., Hirata, T., Ogasawara, M., Danhara, T., Horie, K., Hasebe, N., Sueoka, S., Tamura, A., Hayasaka, Y., Katsube, A., Ito, H., Tani, K., Kimura, J., Chang, Q., Kouchi, Y., Haruta, Y. and Yamamoto, K. (2013) An inter-laboratory evaluation of OD-3 zircon for use as a secondary U–Pb dating standard. *Island Arc*, **22**, 382–394.
- Jackson, S. E., Pearson, N. J., Griffin, W. L. and Belousova, E. A. (2004) The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U–Pb zircon geochronology. *Chemical Geology*, **211**, 47–69.
- Kawamura, M. (1997) Occurrence and chemical composition of the Early Carboniferous island arc-type volcanic rocks of the Setamai District, South Kitakami Terrane, N. E. Japan. *Commemorative Volume for Professor Makoto Kato*, 77–92 (in Japanese with English abstract).
- Kawamura, M. (1985) Lithostratigraphy of the Carboniferous Formations in the Setamai region, Southern Kitakami Belt, Northeast Japan (part 1) – Shimoarisu district of the Setamai Subbelt–. *Journal of the Geological Society of Japan*, **91**, 165–178 (in Japanese with English abstract).
- Kawamura, M., Kato, M. and Kitakami Paleozoic Research Group (1990) Southern Kitakami Terrane. In Ichikawa, K., Mizutani, S., Hara, I. and Yao, A., eds., *Pre-Cretaceous Terranes of Japan*. Publication of IGCP Project No. 224: Pre-Jurassic Evolution of Eastern Asia. Osaka, 249–266.
- Kawamura, T. (1983) The Lower Carboniferous formations in the Hikoroichi region, southern Kitakami Mountain, northeast Japan (Part 1) – Stratigraphy of the Hikoroichi Formation –. *Journal of the Geological Society of Japan*, **89**, 707–722 (in Japanese with English abstract).
- Kawamura, T. and Kawamura, M. (1989a) The Carboniferous System of the South Kitakami Terrane, northeast Japan (Part 1) – Summary of the stratigraphy –. *Earth Science (Chikyū Kagaku)*, **43**, 84–97 (in Japanese with English abstract).

- Kawamura, T. and Kawamura, M. (1989b) The Carboniferous System of the South Kitakami Terrane, northeast Japan (Part 2) – Sedimentary and tectonic environment –. *Earth Science (Chikyu Kagaku)*, **43**, 157–167 (in Japanese with English abstract).
- Kobayashi, F. (1973) On the Middle Carboniferous Nagaiwa Formation. *Journal of the Geological Society of Japan*, **79**, 69–78 (in Japanese with English abstract).
- Li, Y. and Takeuchi, M. (2021) U–Pb dating of detrital zircon from Permian successions of the South Kitakami Belt, Northeast Japan: Clues to the paleogeography of the belt. *Island Arc*, **31**, e12435. doi: 10.1111/iar.12435
- Ludwig, K. R. (2012). Isoplot 3.75: Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. *Berkeley Geochronology Center Special Publication*, **5**, 75p.
- Lukács, R., Harangi, S., Bachmann, O., Guillong, M., Danišik, M., Buret, Y., von Quadt, A., Dunkl, I., Fodor, L., Sliwinski J., Soós, I. and Szepesi, J. (2015) Zircon geochronology and geochemistry to constrain the youngest eruption events and magma evolution of the Mid-Miocene ignimbrite flare-up in the Pannonian Basin, eastern central Europe. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **170**, 1–26.
- Minato, M. (1975) Japanese Palaeozoic corals. *Journal of the Geological Society of Japan*, **81**, 103–126.
- Minato, M., Hunahashi, M., Watanabe, J. and Kato, M., eds. (1979) *Variscan geohistory of northern Japan: The Abean Orogeny*, Tokai University Press, Tokyo, 427p.
- Niikawa, I. (1983) Biostratigraphy and correlation of the Onimaru Formation in the southern Kitakami Mountains, Part II Correlation and conclusion. *Journal of the Geological Society of Japan*, **89**, 549–557 (in Japanese with English abstract).
- Okawa, H., Shimojo, M., Orihashi, Y., Yamamoto, K., Hirata, T., Sano, S., Ishizaki, Y., Kouchi, Y., Yanai, S. and Otoh, S. (2013) Detrital zircon geochronology of the Silurian–Lower Cretaceous continuous succession of the South Kitakami Belt, northeast Japan. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum*, **12**, 35–78.
- Pastor-Galán, D., Spencer, C. J., Furukawa, T. and Tsujimori T. (2021) Evidence for crustal removal, tectonic erosion and flare-ups from the Japanese evolving forearc sediment provenance. *Earth and Planetary Science Letters*, **564**, 116893. doi:10.1016/j.epsl.2021.116893
- Sláma, J., Košler, J., Condon, J. D., Crowley, J. L., Gerdes, A., Hanchar, J. M., Horstwood, M. S. A., Morris, G. A., Nasdata, L., Norberg, N., Shaltegger, U., Schoene, B., Tubrett, M. N. and Whitehouse, M. J. (2008) Plešovice zircon – A new natural reference material for U–Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chemical Geology*, **249**, 1–35.
- Tazawa, J. (2020) Early Carboniferous (Mississippian) brachiopods from the Shittakazawa, Arisu and Odaira formations, South Kitakami Belt, Japan. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum*, **19**, 11–88.
- Tazawa, J. and Iryu, Y. (2019) Early Carboniferous (early Viséan) brachiopod fauna from the middle part of the Arisu Formation in the Shimoarisu area, South Kitakami Belt, Japan. *Paleontological Research*, **23**, 95–109.
- Tazawa, J., and Kurita, H. (2019) Early Carboniferous (late Tournaisian) brachiopod fauna from the Shittakazawa Formation in the Okuhinotsuchi area, South Kitakami Belt, Japan. *Journal of the Geological Society of Japan*, **125**, 219–225 (in Japanese).
- Tsuchiya, N., Takeda, T., Tani, K., Adachi, T., Nakano, N., Osanai, Y. and Kimura, J. (2014) Zircon U–Pb age and its geological significance of late Carboniferous and Early Cretaceous adakitic granites from eastern margin of the Abukuma Mountains, Japan. *Journal of the Geological Society of Japan*, **120**, 37–51.
- Yang, W. P. and Tazawa, J. (2000) Early Carboniferous miospores from the southern Kitakami Mountains, northeast Japan. *Paleontological Research*, **4**, 57–67.
- Yoshida, K., Kawamura, M. and Machiyama, H. (1994) Transition in the composition of the Permian clastic rocks in the South Kitakami Terrane, Northeast Japan. *Journal of the Geological Society of Japan*, **100**, 744–761 (in Japanese with English abstract).
- Wiedenbeck, M., Alle, P., Corfu, F., Griffin, W. L., Meier, M., Oberli, F., von Quadt, A., Roddick, J. C. and Spiegel, W. (1995) Three natural zircon standards for U–Th–Pb, Lu–Hf, trace element and REE analyses. *Geostandards Newsletter*, **19**, 1–23.

Received November 24, 2023

Accepted April 15, 2024

Published on-line May 16, 2024

ジルコン U-Pb 年代測定による南部北上帯の石炭紀火山活動期の制約

川村 寿郎・内野 隆之

要 旨

南部北上帯の石炭系は多量の火山碎屑岩を含み、特にそれが多い下部では当時の激しい火山活動を物語っている。今回、石炭系の下部及び上部に挟在する珪長質凝灰岩について、ジルコン U-Pb 年代測定を行った。下部に関しては尻高沢層中部の粗粒凝灰岩を、上部に関しては木戸口層中部の紫色砂質凝灰岩を対象とした。測定の結果、前者からは 339.5 ± 2.6 Ma (ビゼアン期中期)、後者からは 313.6 ± 2.3 Ma (モスコビアン期前期) の年代が得られた。前者の年代は、尻高沢層が、これまでの化石産出と岩相層序対比で想定された年代 (トルネーシアン期後期) よりも若くなることを示す。一方、後者の年代は、当該火山活動が石炭紀後期まで継続したことを確実にする。南部北上帯内における少量の石炭紀後期花崗岩類や最下部ペルム系の安山岩質凝灰岩の存在を考慮に入れると、同帯の火成活動は石炭紀前期で最も激しく、やや沈静化していくもののペルム紀前期まで長期にわたって継続したことが示唆される。

難読・重要地名

Arisu : 有住, Hikoroichi : 日頃市, Karaumedate : 唐梅館, Kashiwari : 柏里, Kidoguchi : 木戸口, Komata : 小股, Oide : 生出, Omata : 大股, Setamai : 世田米, Shittakazawa : 尻高沢, Shizu : 清水, Tassobe : 達曽部, Usuginu : 薄衣, Wariyama : 割山, Yahagi : 矢作

研究者連携システム “Ask AnyOne” その設計・実装・将来展望

城 真範^{1,2,*}・宮川 歩夢³・藤田 司⁴・大知 正直²・岩崎 雄一⁵・保高 徹生⁴

SHIRO Masanori, MIYAKAWA Ayumu, FUJITA Tsukasa, OCHI Masanao, IWASAKI Yuichi and YASUTAKA Tetsuo (2024) "Ask AnyOne" Researcher Collaboration System: Design, Implementation, and Future Prospects. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 75 (2), p. 73–81, 7 figs.

Abstract: This study proposes a new system, "Ask AnyOne", that aims to facilitate collaboration among researchers with diverse specializations within research organizations. This system enables researchers embarking on studies in new fields to ask questions about fields outside their expertise easily and receive responses from relevant experts quickly, thereby minimizing their burden. Recognizing the importance of collaboration among researchers with diverse specializations within research organizations and the need to address temporal and psychological costs, we focus on improving the shortcomings of existing systems. We analyzed the problems with existing systems and designed a system that allows collaboration through questions and answers. Subsequently, we verified the effectiveness and utility of the system through operational tests in a small-scale organization. In particular, we analyzed the trends of questions and answers and considered the effectiveness and prospects of the system. Our findings indicate that this system has the potential to facilitate communication and collaboration among researchers, thereby enhancing the quality and efficiency of research.

Keywords: researcher, collaboration, web system, question, network

要 旨

本研究では、研究組織内での多様な専門性を持つ研究者間のコラボレーションを促進するための新しいシステム「Ask AnyOne」を提案する。このシステムは、研究者が自分の専門外分野に関する質問を容易に行い、関連する専門家から迅速な回答を得ることを目的とし、新しい分野の研究に取り掛かる研究者の負担を最小限に抑えることを目指すものである。本研究では、研究組織内で多様な専門性を持つ研究者間のコラボレーションの重要性と時間的・心理的コストを意識し、現存するシステムの問題点を改善する必要性に着目した。そこで、既存のシステムの問題点を分析し、質問と回答を通じたコラボレーションに必要なシステムを設計した。その後、システムの小規模な組織での運用テストを通じて、その効果と有用性を検証した。特に、質問と回答の傾向を分析し、システムの有効性と今後の展望について考察した。この

システムは、研究者間のコミュニケーションと協力を容易にすることで、研究の質と効率を向上させる可能性を有している。

1. はじめに

研究活動によって得られる成果は社会に新しい価値を生み出す原動力の一つである。一方で、研究を実施する研究者の多くは、研究組織の構成員として研究活動を行っている。研究組織としての大学、企業の研究機関や国立の研究所には、場合によっては数万人程度の研究員が所属し、幅広い分野の研究が並行して行われている。こうした組織においては、通常、階層的な内部構造が存在する。すなわち、組織に所属する研究員は数人から数十人規模の小さなグループに属することが多い。ある明確な目標がある業務を遂行するために、個人をまとめて階層化した形態の組織は実際に効果的だろう。同時に、各研究員の専門性は細分化されていて、遂行すべき研究

¹ 産業技術総合研究所 企画本部 研究評価室 (AIST, Planning Headquarters Operation Evaluation Office/Research Evaluation Office)

² 産業技術総合研究所 情報・人間工学領域 人間情報インタラクション研究部門 (AIST, Department of Information Technology and Human Factors Human Informatics and Interaction Research Institute)

³ 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

⁴ 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute for Geo-Resources and Environment)

⁵ 産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 安全科学研究部門 (AIST, Department of Energy and Environment, Research Institute of Science for Safety and Sustainability)

* Corresponding author: SHIRO M, AIST Tsukuba Headquarters, 1-1-1 Umezono, Tsukuba, Ibaraki 305-8560 Japan, Email: m-s@aist.go.jp

テーマも製品開発に近い応用研究から、数学の定理を証明するといった基礎研究まで幅広い場合も多い。しかし、組織の階層化、細分化は異なる組織間での連携、協力を困難にする。近年、SDGsに代表されるような国際的な難題は、特定の技術開発によってのみ解決されるものではなく、様々な研究分野で協調し、研究開発を進める必要があるだろう。しかも、どのような協調、連携が成功するかは自明ではない。

そのため、専門分野の異なる多様で柔軟な研究者の集団がコラボレーションすることが、困難な課題を効果的に解決し、さらには新しい価値を創出する原動力となるだろう。研究活動に多様性が必要である事実はよく理解されていて、専門性の異なる分野との相互交流はトップマネジメントによっても推奨されることが多い。主に共著者の数や多様性で評価された共同研究が学術的インパクトを向上させることは頻繁に報告されているし(Polyakov *et al.*, 2017; Shen *et al.*, 2021; Subramanyam 1983) 共同研究の共著者概念は、検証可能性、時間的安定性、データの入手性、測定の容易さなど、いくつかの利点を持っていて(Katz and Martin, 1997), 実際に提出される論文のほとんども共著論文である(Kraut *et al.*, 1988)。

ただし、コラボレーション促進のための具体的な施策は乏しい。特に学際的なコラボレーションが必要となる難題の解決に有効な人員と専門性の選定は、大きな課題である。多くの研究機関は、先に述べたような組織だった研究体制が構築されており、そのような垣根を超えた学際的なコラボレーションが自然発生することは難しい。また、コラボレーションの結果生まれる新しい知見が未知である時点で、コラボレーションを推進するためのシステムの運用にかかる大規模なコストの支出は期待できないだろう。

産業技術総合研究所(以下「産総研」)は日本の公的研究機関の一つであり、主に鉱工業の発展に資するための広範な研究テーマを扱っている。それらは七つの大きな研究分野に編成され、常勤研究員約三千名を核に約一万名もの関係者を抱える組織である。研究員は数名から数十名規模のグループまたはチームを単位とし、それらを複数集めた研究ユニット(部門やセンターと呼ばれる)、その上位の研究領域という階層的な組織に所属している。そのなかで、研究員はグループをまたいだ他の研究員と恒常的にコミュニケーションする機会は多くなく、研究ユニットや研究領域をまたいだコミュニケーションの機会はさらに少ない。これには、多くの研究者が自身の研究テーマや与えられた研究課題の遂行に集中している、あるいは専門性が異なる研究内容を容易には理解できないといった理由が関係しているだろう。しかし、前述したように、学術的インパクトの高い革新的な研究成果やコラボレーションを生み出すためには、研究所内の多様な研究分野の研究者とのコミュニケーションをとる姿勢

が不可欠である。産総研においても当該課題を認識・重視しており、従来よりSynthesiology (シンセシオロジー) という学術誌を発行してこれを後押ししてきた(シンセシオロジー編集委員会, 2021)。近年では「領域融合連携ラボ」という組織を複数編成し、研究分野を横断して研究者を参加させることで、新たなコミュニケーションの機会を創出する取り組みを行っている。一方で、同様の課題は様々な大学や企業・研究機関が同様に抱えているだろう。

本研究では、学際的なコラボレーションが必要となる難題の解決に有効な人員と専門性の連携という大きな課題に対し、異なる研究分野のコラボレーションやコミュニケーションを促進するためのシステムを提案することを目的とする。特に、提案したシステムは、異なる専門性と連携についてのジレンマを見据え、いかに効率的に専門性の異なる分野の研究者を連携させられるかを検討し、システムとして十分許容可能なコストの中で実装でき、コラボレーションやコミュニケーションの促進に一定程度有効であることを示した。

2. 方法

2.1 既存のシステムとその問題点

どのような制度・システムであれ、利用者にとって十分な利益が得られることが重要である。研究者を利用者とした場合、研究活動のための有効な時間を創出することは大きな利益と考えられる。そこで、どこに研究者が時間を節約できる余地があるかを鑑みれば、知見に乏しい異分野の知識が必要になったときの習得時間こそは削減が期待される時間の一つである。すなわち、専門外で知識に乏しいものの課題解決には避けられない知識を気軽にそれを専門とする研究者に質問し、回答側も追加の時間的負荷を極力少なくして回答できるような質問と回答のシステムがあれば、それは異分野間の研究者を連携させる良い端緒となると考えられる。そして、そのシステムは可能な限り低コストで運用できるよう設計時から留意すべきである。

こうしたシステムの中で、最もシンプルなシステムは「質問掲示板」である。自由に質問を書き込み、誰かが回答してくれることを待つ。SNS (Social Networking Service) もそうした使い方ができるだろう。しかし、このシステムには一つの大きな難点がある。それは回答側のコストとハードルが高すぎる点である。利用者(研究者)が自発的に質問掲示板を閲覧し、自分に関係ある質問を探し出し、追加の時間をかけて回答するのは大きな負担となる。結果として、有効な回答が得られなければ質問を書き込む側も利用しなくなるため、システムが成功する可能性は低いと考えられる。

近年では、生成AI (Artificial Intelligence) の利用も有効であると考えられる。その社会的実装は近年急速に進ん

であり、単純な質問であればChatGPT (Ray, 2023) 等の対話型システムが即座に回答してくれることも多い。しかし、生成AIはその回答生成の方法から、しばしば誤った知見を提示する危険性もよく知られている (Ray, 2023)。専門性の高い質問に的確な答えを返す生成AIは今後の研究進展が待たれる分野の一つであるが、現状で達成されているとは言い難い。研究者は生成AIが提出した回答をファクトチェックする必要がある、そのためにかかる労力は無視できない。

他に考えられる方法はメーリングリスト (ML) やデスクトップ通知を備えたSNS等のシステムである。MLやSNSのデスクトップ通知は利用者に直接メールや通知が来るプッシュ型であることで、質問は強制的に参加している研究者の目に留まり、利用者は能動的に掲示板を見にゆく必要はない。ところがMLには、利用者が多くなることで質問の件数が増えると“スパム”化するという難点がある。また多様な専門性から発せられる多くの質問の中では、受信者が自分の専門性に合致することを見出し、自信を持って回答できる質問は多くないと思われる。むしろ、それらを取捨選択する時間に研究時間を浪費されることも予想される。その結果、質問が投稿されるMLは「迷惑メール」扱いされ読まれなくなり、回答の頻度が低下し、質問掲示板同様、質問を書き込む側の利用者も少なくなる。また、“私信”であるがゆえに、日本語でのメールの送信や返信自体に（暗黙の）一定の礼儀が求められることが多い。「お世話になっております」といった定型句、見知らぬ相手へ連絡することの心理的ハードルの高さや相手の組織階層によって変化する自己紹介や挨拶、これらの手間は質問者にも回答者にも利用を躊躇させる可能性が高い。

他にも、個人が持つ知識や経験を集約し、組織全体にノウハウやスキルを共有した上で、新たな知識を生み出していくためのフレームワークであり、共同化 (Socialization)、表出化 (Externalization)、結合化 (Combination)、内面化 (Internalization) のプロセスからなるSECIモデル等 (Julpisit and Esichaikul, 2019) も提案されている。しかし、それらが研究のヒントを与えることに有効であったとしても、事前にそれらの知識や経験を集約することに対するコストの観点から導入は容易ではない。

2.2 開発したシステム

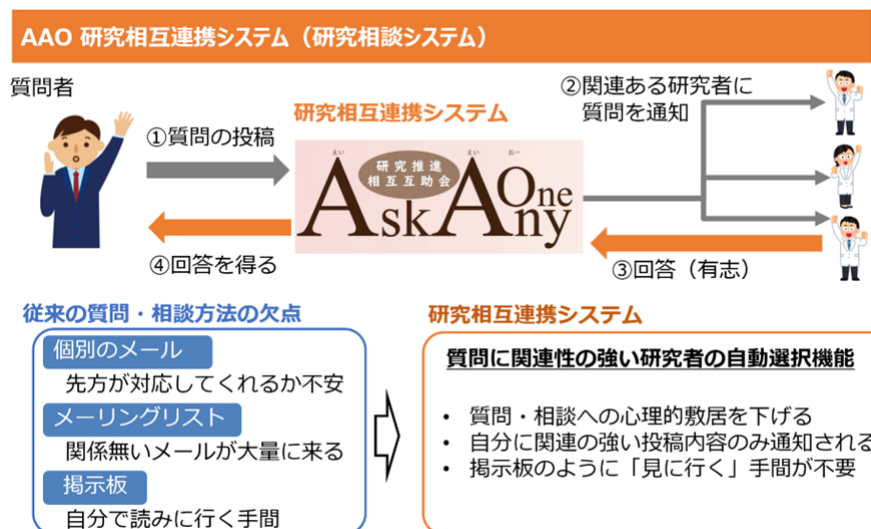
我々はこれらを同時に解決するため、次の三つの条件を満たす情報ツールが必要だと考えた。第一に、利用者にとってフレンドリーであること。すなわち、利用者である研究者が自然に利用することで共同研究が生まれやすい環境を作ることが可能で、研究者の追加の負荷が可能な限り低いこと。第二に、運用コストが低いこと。すなわち、多くの資金を投入することなく運用できること。

例えば既に所有しているパソコンでも運用できること。第三に情報セキュリティが保たれていること。言い換えれば、システムの信頼性を利用者である研究者が簡単に理解できること。

我々はこの条件に適合するシステムとして、オンライン上での質問と回答 (Q&A) のシステムに着目した。このようなシステムの提案はいくつもなされており、例えば過去には研究者同士のネットワークをWorld Wide Web (以下「Web」) から自動的に得ることで、連携相手を推薦するシステムも作られた (松尾, 2005; Matsuo *et al.*, 2006, Matsuo *et al.*, 2008)。しかし、それらのいくつかは現在ではサービスが停止し、十分に活用されているとはいえない。Wang *et al.* (2018) による報告は、Q&Aシステムについての最近の進展をよくまとめており、それによれば今までに提案されてきたシステムの欠点は、端的に言えば利用者にとってフレンドリーではないということだった。そこで、本研究における具体的な開発目的は、Q&Aシステムについて、既に示した三つの条件を満たす実際のシステムを実装し、小規模な集団に試行的に適用することで、その有用性について検討することである。

質問と回答の敷居を下げるために、我々は特殊なSNSを作るのではなく、既に多数の研究者が慣れているシステムを使う。提案システムは軽量のWebアプリケーションフレームワーク上に構築したシンプルな質問投稿用のWebページと、プッシュ型のメールシステムから成る。システム管理に要する作業は、半自動化されたシステムアップデートを除けば、システムに参加する研究者間の共同研究関係を表す共著関係ネットワークの更新と新規利用者の登録程度に過ぎない。システムに参加した研究者は、自身が困っている問題について質問をWebから書き込む。システムはその質問を分析することで、参加する研究者のうち質問内容に関連度の高い研究者 (潜在的な回答者) を質問者に対して提案する。質問者は提案された潜在的な回答者から送信先を任意に選択することで、システムから回答者あてにメールが送信される。回答者は受信したメールからWebにアクセスして回答することができる。得られた回答はメールにて質問者に返される。我々は一連の流れのスタートとなる質問の投稿に焦点を当て、このシステムを「Ask AnyOne」 (「(臆せず) 誰かに聞こう」) の以下「AAO」と名付け (城ほか, 2020) 実装した (第1図)。

重要なことは、質問メールが受信者によってスパム判定されて捨てられる可能性を最小限にするために、質問文の展開先 (すなわち、質問メール送付先) を合理的に取捨選択することである。そのために我々のシステムは、システムへの参加登録時に、研究テーマに関連するキーワードの登録を求めている。この登録された研究テーマに基づき質問文との関連性が判定され、質問に関連性の高い者に対してのみ質問内容を含んだメールが送付され



第1図 Ask AnyOneの概念図。

Fig. 1 Conceptual diagram of Ask AnyOne (AAO).

ることになる。研究テーマの表記ゆれによる処理上の不都合（検索時の見落としなど）をできるだけ避けるため、日本の研究者がよく利用する競争的資金の一種である科学研究費助成事業（科研費）が申請に用いているキーワード一覧（日本学術振興会，2024）の利用が推奨される。

質問文の内容に基づく関連性の高い回答者（潜在的な回答者）の提案から、実際に質問文を送信するまでの手順は次の通りである。質問文が入力されたとき、システムは質問文に含まれるキーワードと、既にある共著の関係ネットワークという二種類の独立な情報を使い、適切な回答者候補たちを選定し、質問者に潜在的な回答者として提案する。具体的には、まず投稿された質問文と、システム的全登録者に紐づいたキーワードを比較して、キーワードが一致する登録者を質問文展開先として提案する。利用者がストレスなく利用できるよう、これらの処理を含むレスポンスには即時性が必要であるため、2文字ごとの比較で類似度を調べるbigram（Collins, 1996）を用いて両者を比較する。また、質問者をあらかじめ知っている者は、質問者の専門性など背景的な状況を理解し、適切な回答をすることが期待される。そこで、システム参加者間の共著関係（ネットワーク）をもとに、質問者と共著関係にある研究者を探索して潜在的な回答者として提案する。質問者は上記のキーワードに基づく処理および共著関係に基づく処理それぞれから提案された潜在的な回答者を確認し、送信先の研究者を選択することで質問内容を含むメールの送信先を確定する。

質問を受け取った利用者は、質問文のメール中の回答用のWebページのリンクにアクセスすることで回答が可能である。研究者の回答にかかる負担を少なくするた

め、事前に用意された定型的な返答類（文献を紹介する、関係する研究者を紹介するなど）を選択することで、ワンクリックで簡単に返信することが可能である。さらに、自由形式のフォームを設けることで、具体的な情報を含む回答もできる。また回答を受け取った質問者も、質問者に対する謝意や返事もワンクリックで済むよう設計されている。我々は、こうした謝意の表明まで含む新たな関係性が、たとえ機械的で短文だったとしても、将来的にコラボレーションを促すために重要であると期待している。

研究者はシステムを使うことで、十分知らない学問領域を闇雲に検討することを回避し、また同じ組織のまだ知らない他の研究者と繋がりを得られる。本システムは参加した研究者内において研究に係る二度手間いわゆる「車輪の再発明」を回避し、新しいコラボレーションの成立に貢献する。システムが互恵的であることを参加登録の際に明示することで、質問だけでなく、回答することの重要性も示し、積極的な回答を促している。第2図にAAOの利用者用の質問入力画面を例として示す。ユーザーインターフェースのデザインにおいては色覚障害者に配慮した。

また、今回提案する方法は、単なる電子掲示板やメーリングリストと異なり、コミュニケーションのあいだにシステムを介在することで、どのような単語を含む質問が行われ、誰がいつどのタイプの回答をしたか、回答が有用であったかを測定することができる。データは、例えばこの論文で報告するように、より効果的なシステムの改良や、研究提案にフィードバックするための材料になる。

第2図 Ask AnyOneの質問入力画面。

Fig. 2 Ask AnyOne question entry screen.

2.3 実装と運用

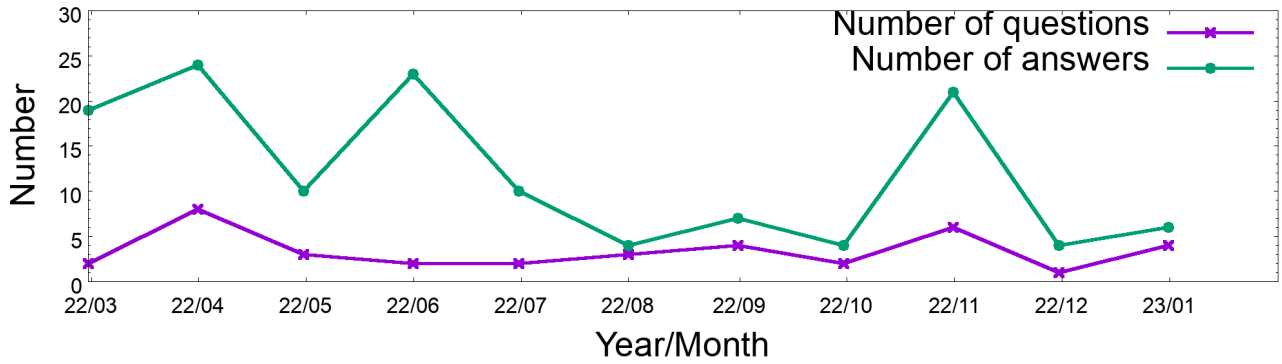
我々は、システムを状況に合わせて設計し直し適切に修正を加えるため、最初に小規模な組織で運用テストを実施することとした。その小規模な組織として、産総研における環境調和型社会の実現に向けた学際的研究組織「環境調和型産業技術研究ラボ (E-code)」環境調和型産業技術研究ラボ (2024) を対象とし、システムのパイロット運用を行った。産総研は全体で4,800人程度の研究職員（産総研レポート, 2024）に対し、E-codeの所属人数は本稿作成時点で84人であり、研究者の数において、AIST全体の1.7%程度である。正確には本システムへの参加は任意としているため、必ずしも全員が参加しているわけではなく、運用途中からE-code外の登録も受け付けたため毎月数名程度の参加者数の変動がある。なお、E-codeは産総研の中でも地球科学と環境科学を専門にする研究者が中心となっているため、システムに登録されているキーワード678種は「環境保全対策」「無機・錯体化学、分析化学」「環境解析評価」「地球惑星科学」「人間情報学」に関するキーワードが過半数を占めている。また、我々はシステムに参加する研究者同士の共著関係に基づく関係性（ネットワーク）データベースを整備した (Miyakawa *et al.*, 2022)。その上で参加者のみアクセス可能なサーバー環境でシステムの実装を行い、効果の検証を行った。

3. 結果と考察

作成したシステムの効果として、運用開始後約1年の間に得られた知見を以下に示す。まず、第3図は試験期間中の一月あたりに送られた質問の数と回答の数である。運用開始は2022年3月下旬であったが、それを鑑みると3月及び4月ともに実質的な開始時期としてそれぞれ質問数2件及び8件とよく利用された。質問の数は、6月にかけていったん少なくなったが、11月には再び質問数7件となり、毎月数件程度の質問が投稿されている。

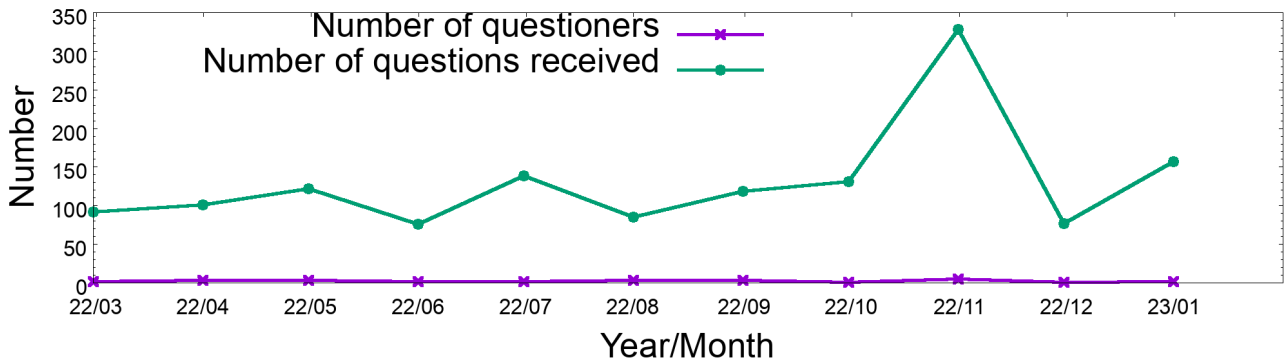
2022年3月から2023年1月までの質問数は、合計24件である。回答数と質問数の増減傾向が一致する月もあるが、両者に明瞭な関係は見られなかった (第3図)。第4図は試験期間中の一月あたりの質問者の数と、質問を受けた人の合計である。図からは捉えにくいだが、質問者は各月2名ないし3名である。質問者の数は一見少ないが、約84人中の2人あるいは3人という割合を、産総研全体に適用すると毎月113人から170人の質問者がシステムを利用することになる。これは決して少なくはない。合計で100から140件の質問メールが送られたが、これもほぼ質問者の数と明瞭な関係は見られなかった (第4図)。

第5図は質問文を展開した参加者の数と得られた有効回答の数の散布図である。有効回答とは、「専門外につき回答不能」以外を選択して何らかの有効な情報を返す



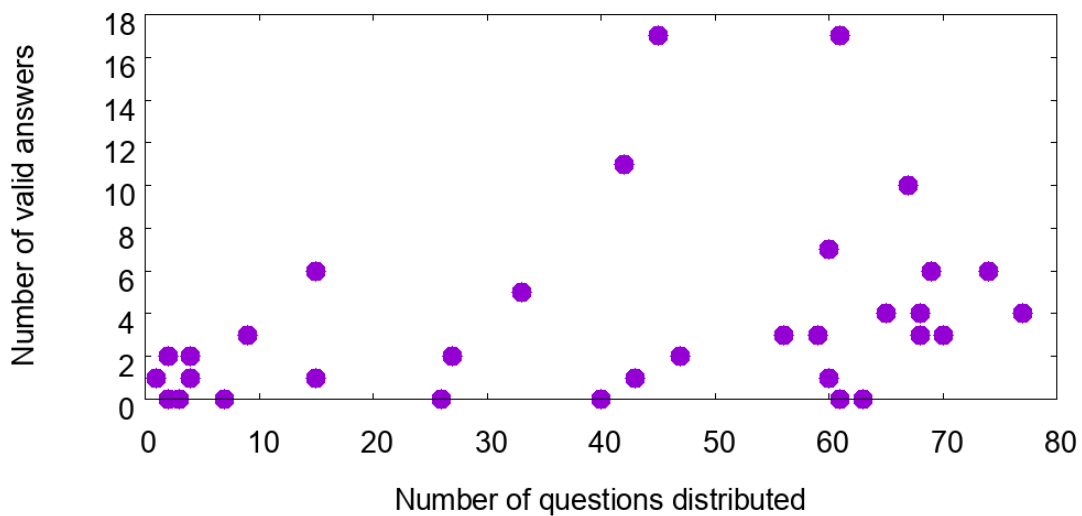
第3図 試験期間中に送られた質問の数と回答の数の変化.

Fig. 3 Change in the number of questions and answers sent during the test period.



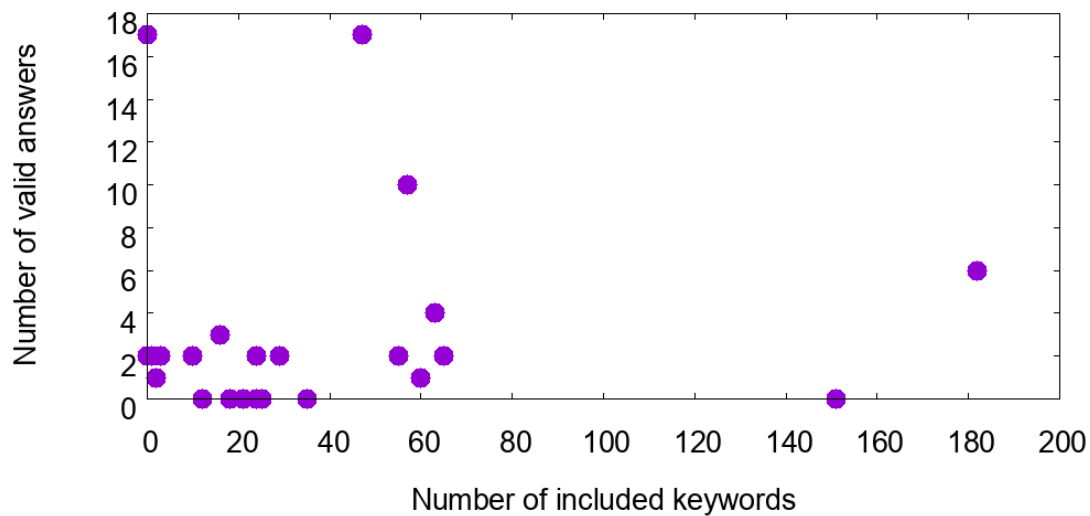
第4図 試験期間中一月あたりの質問者の数と質問を受けた人の合計.

Fig. 4 Number of questioners per month during the test period and the total number of people who received a question.



第5図 質問文展開先の数と得られた有効回答の数の関係.

Fig. 5 Relationship between the number of questions and the number of valid responses obtained.



第6図 質問文に含まれていたキーワードの数と有効回答の数の関係。

Fig. 6 Relationship between the number of keywords in the questionnaire and the number of valid responses.

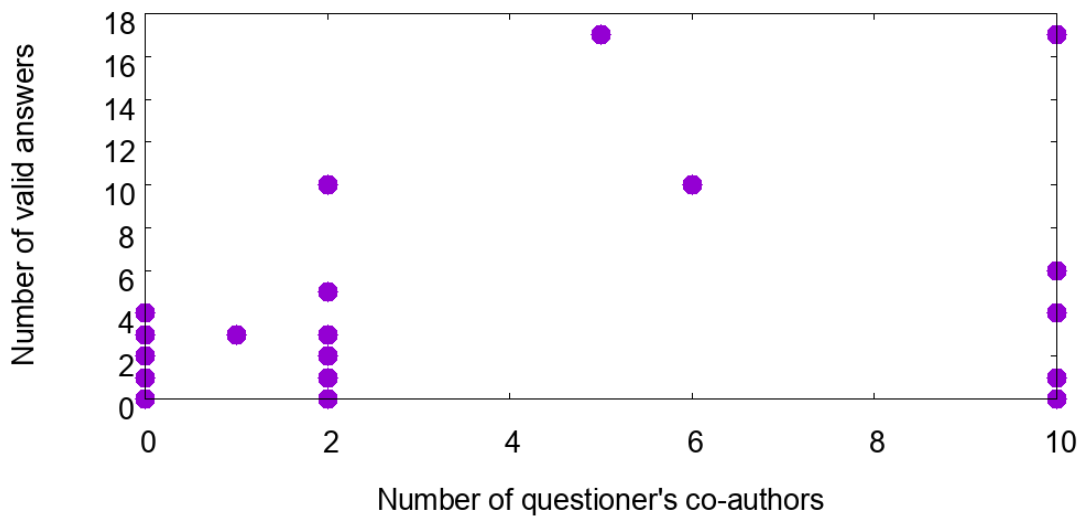
ことと定義した。質問文を展開した参加者数が多い場合に、有効回答数が10程度以上と多いケースがあり、統計学的に有意な正の相関が検出された（ピアソンの相関係数 $r=0.38$, $p=0.02$ ）。また、10個以上の有効回答を得た3つの質問は、専門的な研究内容に関するものではなく、一般的な研究活動について、あるいはE-codeの研究テーマに沿った質問であった。逆に50人以上に展開されていても8個以下の回答しか得られなかった質問は、事務手続きに関する質問あるいはE-codeの研究テーマに関係しない質問であった。このことから回答数は、質問を受けた研究者の専門性や知識に近いものほど多くなることが分かる。

第6図は質問文に含まれていたキーワードの数と有効回答の数の散布図である。キーワードが極めて多くても有効回答が得られない事例が見られたが、これは3人のユーザーにしか送られていなかった例外的な質問である。統計的に有意な相関は認められなかったが（ピアソンの相関係数 $r=0.06$, $p=0.77$ ）、キーワードを含む量が多い質問で、得られた有効回答数が多い場合があった。特に他の研究者が登録したキーワードとマッチするキーワードが38個以上あれば、何らかの回答を得ることができた。これは、質問内容が広い範囲（キーワード）に関連することと、質問内容を詳しく書くことで結果として多くのキーワードが含まれた場合とが考えられる。このことから、質問の内容自体も重要であることが示唆される。ただし、キーワードがほとんどなくても多数の回答が得られた質問もある。このことから、キーワードが多くなることで、回答を得やすくなる傾向はあるものの、必須の条件ではないようである。

第7図は質問者のシステム参加者に対する共著者数と有効回答の数の散布図である。これらの間には弱い正の相関（ $r=0.26$ ）が観測されたが、統計学的には有意ではなかった（ $p=0.13$ ）。システム内に共著者が10人いる質問者、すなわち、システム参加者内である程度関係性が構築された質問者であっても回答が得られない質問が見られる。しかし、これは15名にしか送信されなかった質問であることから、十分な対象者に送信されなかったことにより回答が得にくかったものと推測される。その質問を除けば、共著者が多い人は何らかの有効な回答を得ることができている。これは、質問者と回答者が事前の“知りあい”であることで、質問の意図が理解されやすく回答を受けやすいことや、既に“知りあい”であることによる心理的安全性など、もともとの関係性による可能性がある。あるいは、先に述べたように多くのキーワードが適合すれば回答されやすいこともあわせると、共著者が多い質問者は多くの回答者が興味を持ったり関連性のあるテーマの質問をする傾向にあるのかもしれない。これらのことから、共同研究など共著関係を構築できるような関係や連携を増やすことは、将来的な互助的な関係の構築にも有効であることが考えられる。

以上をまとめると、単相関分析による試行的な解析・解釈ではあるが、次の傾向が得られた。

- ・システムに参加する研究者の専門性に合致した質問は回答されやすい
- ・多くの研究者に展開された質問はより多くの有効回答を得やすい
- ・多くのキーワードが適合すればより多くの有効回答を得やすい



第7図 質問者の共著者数と有効回答の数の関係。

Fig. 7 Relationship between the number of questioner co-authors and the number of valid responses.

・質問者の共著者がシステム内に多ければ、回答を得やすい

E-codeは小規模の研究者集団であり、所属する研究者の専門性には前述したような偏りがある。逆に言えば、回答者の専門分野は限られているため、専門外の研究領域に関する質問は回答されにくい環境とも言える。それでも多数の研究者に質問を届けることで、何らかの回答を得ることができることが明らかになった。また、今回得られた傾向は、いずれもシステムを大規模な研究者集団で運用することで解消できる可能性がある。具体的には、産総研のように多くの研究者を有し、それらの専門が広い分野におよぶ研究所ほど、質問に関連性のある研究者が存在する可能性が高くなり、結果としてより適切な回答が得られやすくなると考えられる。また、研究者は通常、自分の専門外である他の研究者の研究に関する適切なキーワードを知らないが、我々のシステムは、個人ではアプローチできない他の研究者にも質問を届けることで、効率的なコラボレーションの下地を作る可能性がある。

4. おわりに

組織内の研究連携を推進するために、研究上の質問と回答の橋渡しを助けるシステムを構築した。特に、利用者にとってフレンドリーであること、運用コストが低いことを重視して設計した。小規模の研究者集団において試験的に実装し、研究者の専門性に合致した質問、多くユーザーに展開されたあるいはシステム参加者のキーワードに多く適合した質問、およびシステム内に共著者が多い質問者による質問は、回答を得やすいという結果

を得た。今後は産総研全体での運用を通して、より広い専門性を有する組織においての質問・回答の傾向を分析することで、本システムの有効性の検証が望まれる。また、産総研のみならず他組織での運用も視野に入れて規模を広げ、研究連携に貢献したい。

謝辞：本システムの実装・運用には産総研のセキュリティ・情報化推進部に多大な貢献を頂いた。本論文の査読者には原稿の内容において多くの重要かつ的確なコメントを頂いた。特に感謝を申し上げたい。本システムの開発はE-code関連予算の支援を受けた。開示すべき利益相反はない。

文 献

- Collins, M. J (1996) A new statistical parser based on bigram lexical dependencies. *ACL '96: Proceedings of the 34th annual meeting on Association for Computational Linguistics*, 184 – 191. doi:10.3115/981863.981888
- Julpisit, A. and Esichaikul, V. (2019) A collaborative system to improve knowledge sharing in scientific research projects. *Information Development*, **35**, 624–638. doi:10.1177/0266666918779240
- Katz, J. S., Martin, B. R (1997) What is research collaboration? *Research policy*, **26**, 1–18.
- Kraut, R., Egidio, C. and Galegher, J. (1988) Patterns of contact and communication in scientific research collaboration. *Proceedings of the 1988 ACM conference on Computer-supported cooperative work*, 1–12.
- 環境調和型産業技術研究ラボ (2024) <https://unit.aist.go.jp/>

- georesenv/e-code/（閲覧日：2024年1月13日）
- 松尾 豊（2005）POLYPHONE, 産総研, 4p. http://ymatsuo.com/papers/pamphlet_polyphonet_robot.pdf（閲覧日：2024年1月13日）
- Matsuo, Y., Mori, J., Hamasaki, M., Ishida, K., Nishimura, T., Takeda, H., Hasida, K. and Ishizuka, M. (2006) Polyphonet: an advanced social network extraction system from the web. *Proceedings of the 15th international conference on World Wide Web*, 397–406.
- Matsuo, Y., Mori, J. and Ishizuka, M. (2008) Social network mining from the web, *In: Data Mining Patterns: New Methods and Applications*, 149–175. IGI Global.
- Miyakawa, A., Kishimoto, F., Fujita, T., Shiro, M., Iwasaki, Y., Yasutaka, T. and Ochi, M (2022) Co-authorship relationship with the construction of a research laboratory: Consideration from a network perspective. *Proceedings of the joint symposium of the twenty-seventh international symposium on artificial life and robotics (AROB 27th 2022)*, International Society of Artificial Life and Robotics. (in an oral presentation)
- 日本学術振興会 (2024) キーワード一覧, <https://www.shinsei.jsp.go.jp/code/keyword.html>（閲覧日：2024年1月13日）
- Polyakov M, Polyakov S and Iftekhar MS (2017) Does academic collaboration equally benefit impact of research across topics? The case of agricultural, resource, environmental and ecological economics. *Scientometrics*, **113**, 1385–1405.
- Ray, P. P. (2023). ChatGPT: A comprehensive review on background, applications, key challenges, bias, ethics, limitations and future scope. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, **3**, 121–154.
- Subramanyam, K (1983) Bibliometric studies of research collaboration: A review. *Journal of information Science*, **6**, 33–38.
- Shen, H., Xie, J., Li, J. and Cheng, Y. (2021) The correlation between scientific collaboration and citation count at the paper level: a meta-analysis. *Scientometrics*, **126**, 3443–3470.
- 城 真範・宮川歩夢・保高徹生 (2020) 融合研究を促進するプラットフォームとしての相互連携システムの構築, *GSJ地質ニュース*, **9**, 357–358.
- 産総研レポート (2024) https://www.aist.go.jp/pdf/aist_j/aist_report/2023/aist_report_2023.pdf（閲覧日：2024年1月13日）
- シンセシオロジー編集委員会 (2021) Synthesiology誌 編集方針・投稿規定・執筆要件と査読基準. https://www.aist.go.jp/aist_j/media/publication/synthesiology/regulation.html（閲覧日：2024年2月17日）
- Wang, X., Huang, C., Yao, L., Benatallah, B. and Dong, M. (2018) A survey on expert recommendation in community question answering, *Journal of Computer Science and Technology*, **33**, 625–653.

（ 受 付：2024年1月30日； 受 理：2024年5月22日 ）

地質調査総合センター研究資料集

- | | | |
|-----|--|--|
| 743 | 産総研日高川和佐観測点の地質概要とコア資料 | 北川 有一・木口 努・松本 則夫・
千葉 昭彦・長谷 和則・小野 雅弘 |
| 744 | 津波のシミュレーション | 伊尾木 圭衣・行谷 佑一・澤井 祐
紀・田村 明子 |
| 745 | 箱根火山（箱根山）の火口データ | 及川 輝樹 |
| 746 | 口永良部島火山の降下テフラ分布の GIS データ | 河野 裕希・苅谷 恵美・宝田 晋治 |
| 747 | 斜面災害リスク評価のための地質情報集－その 1: 全国走向傾斜データ－ | 川畑 大作・阪口 圭一 |
| 748 | 斜面災害リスク評価のための地質情報集－その 2: 九州地域の地質図データ等－ | 宮地 良典・川畑 大作・星住 英夫・
下司 信夫 |
| 749 | 伊豆大島火山の火口位置データおよび噴火イベント集 | 川辺 禎久 |
| 750 | 地質粒子画像分類を支援する深層学習を活用したソフトウェア | 宮川 歩夢・松本 恵子・板木 拓也・
下司 信夫 |
| 751 | 羊蹄火山の降下テフラ分布の GIS データ | 米谷 珠萌・苅谷 恵美・宝田 晋治 |
| 752 | 湯沢地熱地域の酸性変質帯の土壤植生 | 佐々木 宗建 |
| 753 | 阿蘇・御嶽・箱根・萌消火山の噴火推移と大規模噴火の前駆活動 | 金田 泰明・宝田 晋治・河野 裕希 |

地質調査総合センターの最新出版物

5 万分の 1 地質図幅	伊予長浜 外山
20 万分の 1 地質図幅	広尾 (第 2 版修正版)
海洋地質図	No. 94 積丹半島付近海底地質図
火山地質図	No. 22 日光白根及び三岳火山地質図
海陸シームレス地質図	S-7 海陸シームレス地質情報集「相模湾沿岸域」
大規模火砕流分布図	No. 4 阿蘇カルデラ阿蘇 3 火砕流堆積物分布図
水文環境図	No. 14 越後平野 (信濃川流域)
重力図 (ブーゲー異常)	No. 36 甲府ー静岡地域重力図
土壌評価図	E-9 表層土壌評価基本図 ～九州・沖縄地方～
特殊地質図	Sr. 41 栃木県シームレス地質図 (第 2 版)
その他	東・東南アジア磁気異常図 改訂版 (第 3 版) 中部地方の地球化学図

地質調査研究報告編集委員会

委員長	鈴木 淳
副委員長	宮城 磯 治
委員	東郷 洋 子
	丸山 正 志
	藤井 孝 子
	持丸 華 志
	斎藤 健 志
	大谷 竜 竜
	長森 英 明
	納谷 友 規
	天野 敦 子
	細井 淳 子
	森尻 理 恵

事務局

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

Bulletin of the Geological Survey of Japan Editorial Board

Chief Editor: SUZUKI Atsushi
Deputy Chief Editor: MIYAGI Isoji
Editors: TOGO Yoko
MARUYAMA Tadashi
FUJII Takashi
MOCHIMARU Hanako
SAITO Takeshi
OHTANI Ryu
NAGAMORI Hideaki
NAYA Tomonori
AMANO Atsuko
HOSOI Jun
MORIJIRI Rie

Secretariat Office

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

地質調査研究報告 第75巻 第2号
令和6年6月6日 発行

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター

〒305-8567
茨城県つくば市東1-1-1 中央事業所7群

Bulletin of the Geological Survey of Japan
Vol. 75 No. 2 Issue June 6, 2024

Geological Survey of Japan, AIST

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

BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 75 No. 2 2024

CONTENTS

Zircon U–Pb age constraints on the history of Carboniferous volcanism in the South Kitakami Belt, North-east Japan

KAWAMURA Toshio and UCHINO Takayuki 61

"Ask AnyOne" Researcher Collaboration System: Design, Implementation, and Future Prospects

SHIRO Masanori, MIYAKAWA Ayumu, FUJITA Tsukasa, OCHI Masanao, IWASAKI Yuichi and
YASUTAKA Tetsuo 73