

● Bulletin of the Tohoku University Museum

Bulletin of the Tohoku University Museum

● Bulletin of the Tohoku University Museum

No.20 2021

No.20
2021

Bulletin of the Tohoku University Museum

Editors

- Ryusaku NGAOAKA** Professor of Art History
Department of Integrated Human Sciences, Graduate School of Arts and Letters, Tohoku University
- Atsushi FUJISAWA** Professor of Archaeology
The Tohoku university Museum, Tohoku University
- Yoshitaka KANOMATA** Professor of Archaeology
Department of Japanese Studies, Graduate School of Arts and Letters, Tohoku University
- Reishi TAKASHIMA** Professor of Geology and Stratigraphy
The Tohoku university Museum, Tohoku University

March, 2021

© **The Tohoku University Museum, Tohoku University**
6-3 Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai 980-8578, Japan

Printed by

Sendaikyodo Printing Co., Ltd
*2-4-2, Hinodemachi, Miyaginoku,
Sendai 983-0035, Japan*
Telephone : 022-236-7161

Cover image: Body design of Final Jomon Pottery drawn by the technique of "erased-over cord impressions". Original photograph by Miki Kikuchi.

Contents

Shuji Niko : Late Silurian orthocerid cephalopods from the Suberidani Group, Tokushima Prefecture, Southwest Japan	1
Reishi Takashima and Hiromichi Saito : Identification of source area of stone material for the Baji Museum, Takekoma Shrine based on trace-element chemistry of apatite, and its significance in the architectural history	9
Yoshitaka Kanomata, Andrey V. Tabarev, Alexander N. Popov, Boris V. Lazin, Tatiana A. Gavrilina, Maxim K. Rudenko and Jorge G. Marcos : Stone Tool Functions in the Preceramic Period at the Loma Atahualpa Site in Ecuador	21
Taichi Hattori, Junmei Sawada, Yoshitaka Kanomata, Kaoru Akoshima and Takao Sato : Animal utilization of the Epi-Jomon and Okhotsk cultures in Sakhalin: A zooarchaeological analysis of the Nobuo Ito Collection	41
Harumasa Kano and Atsushi Fujisawa : 3-D measurement of open-air structures using mini drone with SfM method	67

Late Silurian orthocerid cephalopods from the Suberidani Group, Tokushima Prefecture, Southwest Japan

Shuji Niko

Department of Environmental Studies, Faculty of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University, 1-7-1 Kagamiyama, Higashihiroshima City, Hiroshima 739-8521, Japan

Abstract: Orthocerid cephalopods are described for the first time from the Ludlow (early late Silurian) limestone of the Suberidani Group in the Kurosegawa Belt. The examined specimens occur from float brocks collected in the Katuura area, Tokushima Prefecture, Southwest Japan. Four species, *Michelinoceras (Michelinoceras) alticameratum* Kobayashi, 1984, *Kopaninoceras kobayashii* Niko, Hamada and Yasui, 1989, *Orthocycloceras* sp., and *Arionoceras tokushimaense* sp. nov., are identified. The Suberidani assemblage belongs to the *Kopaninoceras* Fauna developed in the northern margin of Gondwana. This discovery is new evidence suggesting a Gondwana origin of the Kurosegawa Belt.

Introduction

The Silurian to Devonian Suberidani Group (Hirayama et al., 1956) is an unmetamorphosed constituent of the Kurosegawa Belt that crops out in the Katuura area of Tokushima Prefecture, Southwest Japan (Figures 1.A, 1.B). It is divided into the lowest limestone dominant unit (10–19 m thick) and the main clastic unit (more than 475 m thick), which consists mostly of sandstone with intercalations of volcanic and volcanoclastic rocks (Hamada, 1959; Hamada, 1965; Wakamatsu et al., 1990). Although limestone of the lowest unit yields diverse marine fauna, they have been undocumented with the exception of some tabulate corals including halysitids (Yamashita, 1946), aulocystids (Niko, 2001), and pachyporids (Niko, 2003). Among the unestablished taxa, the present paper focuses on cephalopods for the first time and discusses their paleobiogeographic significance. The examined fossil specimens herein occur in float brocks of limestone collected from the river-bed of the Miyaga-dani Valley (Loc. 1) and an abandoned quarry in the Chouzuga-dani Valley (Loc. 2). Detailed geographic positions of the both localities are given in Figure 1.C. Coral data indicate that the limestone dominant unit can be correlative with the Ludlow (lower upper Silurian) G3 Member of the Gionyama Formation (Yamashita, 1946; Niko, 2001, 2003).

Except for preliminary reports, such as Hamada (1961; *Geisonoceras?* sp. from the Gionyama Formation) and

Hirata (1965; *Orthoceras* sp. from the Yokokurayama Group), the first reliable study about Silurian cephalopods in Japan was conducted by Kobayashi (1983), in which the presence of six Ludlow species of orthocerids from the Yokokurayama Group was revealed. The specific composition of the assemblage subsequently compensated by Kobayashi (1894) and Niko et al. (1989, 2017) is as follows: *Michelinoceras (Michelinoceras) alticameratum* Kobayashi, 1984 (? = *M. mizobuchii* Kobayashi, 1984), *Kopaninoceras kobayashii* Niko, Hamada and Yasui, 1989, *Orthocycloceras gomiense* Kobayashi, 1983, *O. aff. gomiense*, *Leurocycloceras?* sp. indet., *Arionoceras densiseptum* Kobayashi, 1983, *Protokionoceras fessicancellatum* Kobayashi, 1984, and geisonoceratid gen. et sp. indet. These strata, as with the Suberidani Group, belong to the Kurosegawa Belt. Additionally, the other structural belts, South Kitakami and Hida-Gaien, containing Middle Paleozoic rocks, also yield Silurian cephalopods. Of those, Niko (2016) described only a single species, *Bandoceras gifuense* Niko, 2016, from the Ludlow Hitoegane Formation belonging to the Hida-Gaien Belt. It can be said that our knowledge on Japanese Silurian cephalopods is still insufficient; therefore, the present new discovery from the Ludlow unit of the Suberidani Group is noteworthy.

Repository.—All specimens are stored in the Tohoku University Museum (Institution abbreviation: IGPS = Institute of Geology and Paleontology, Faculty of Science, Tohoku University, Sendai).

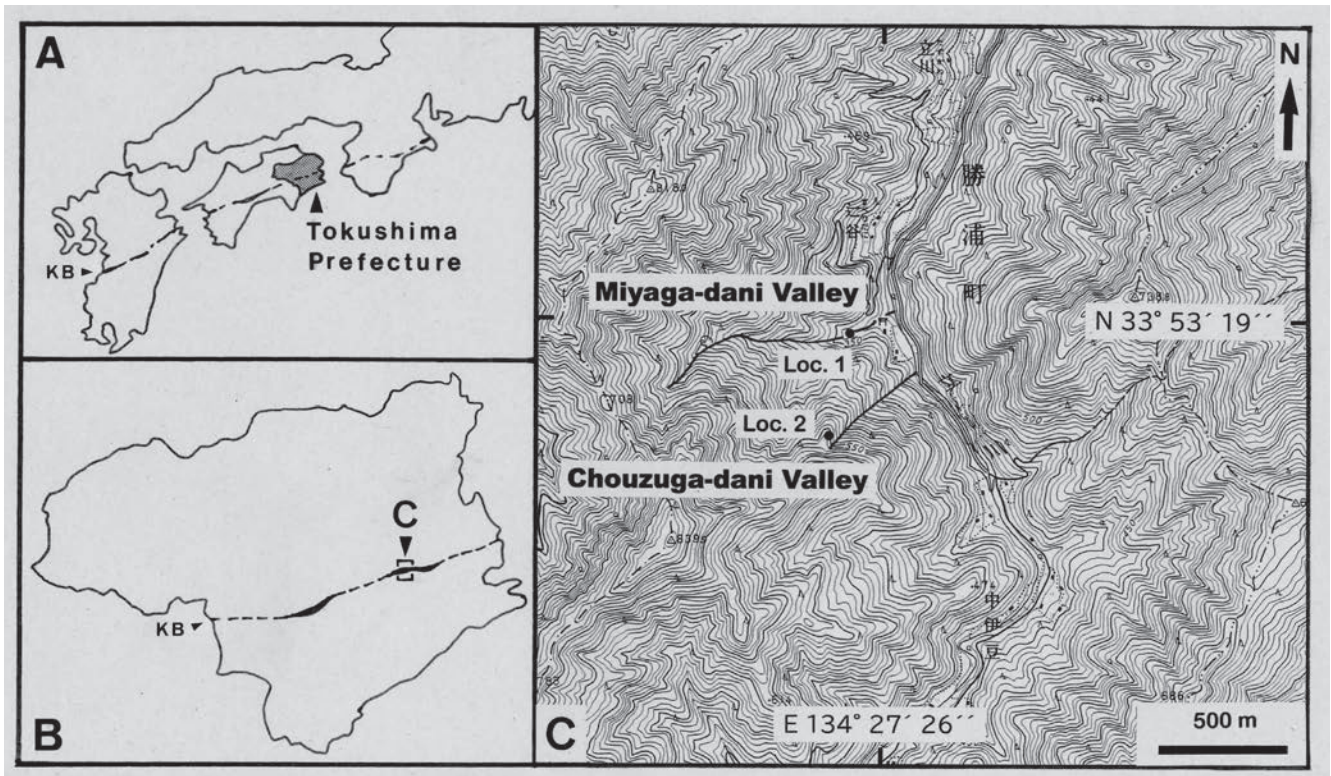


Figure 1. Maps showing distribution of the Kurosegawa Belt (KB) and location of Tokushima Prefecture in Southwest Japan (A), distribution of the Kurosegawa Belt and location of studied area in Tokushima Prefecture (B), detailed locations of collecting sites of cephalopods in the Katuura area (C). Used topographic map is “A” scale 1:25,000 published by the Geospatial Information Authority of Japan.

Systematic Paleontology

Order Orthocerida Kuhn, 1940
 Superfamily Orthoceratoidea M'Coy, 1844
 Family Orthoceratidae M'Coy, 1844
 Subfamily Michelinoceratinae Flower, 1945
 Genus *Michelinoceras* Foerste, 1932
Type species.—*Orthoceras michelini* Barrande, 1866.
 Subgenus *Michelinoceras* Foerste, 1932,
 emend. Kiselev and Gnoli, 1992

Michelinoceras (Michelinoceras) alticameratum

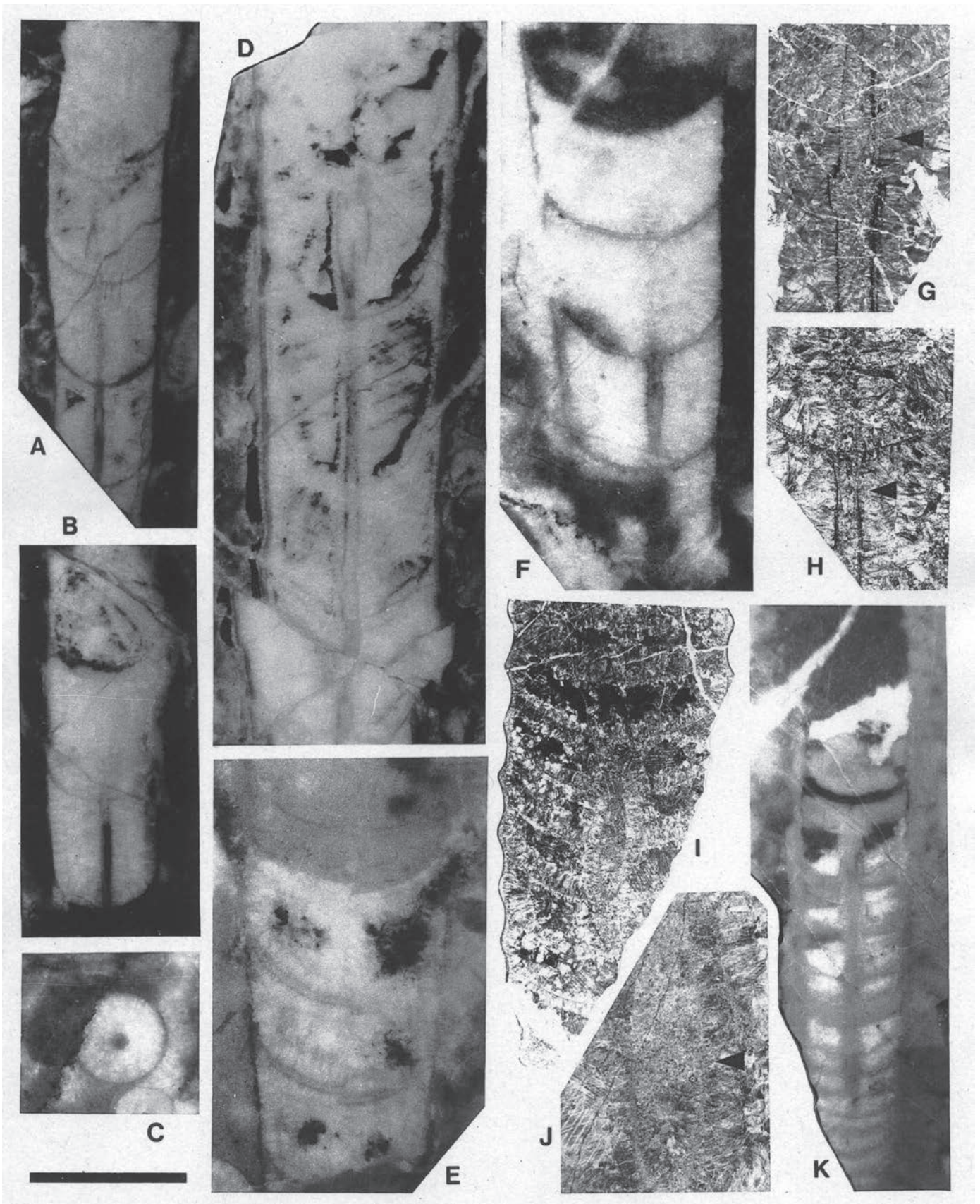
Kobayashi, 1984
 Figures 2.A–2.D, 2.G

Michelinoceras sp. α , sp. nov., Kobayashi, 1983, p. 293, fig. 1.
Michelinoceras alticameratum Kobayashi, 1984, p. 245, pl. 3,
 fig. 1; 1988, p. 1.

Description.—Longiconic large orthocones with circular cross section; conch expansion is gradual, approximately 4° in angle; the largest specimen (IGPS coll. cat. no. 112448)

→

Figure 2. A–D, G. *Michelinoceras (Michelinoceras) alticameratum* Kobayashi, 1984. A, IGPS coll. cat. no. 112446, longitudinal polished section: B, IGPS coll. cat. no. 112447, longitudinal (dorsoventral) polished section, venter on right: C, IGPS coll. cat. no. 112449, transverse polished section, venter down: D, G, IGPS coll. cat. no. 112448; D, longitudinal polished section; G, longitudinal thin section, showing siphuncular structure, arrow indicates septal neck. E, F, H. *Kopaninoceras kobayashii* Niko, Hamada and Yasui, 1989. E, IGPS coll. cat. no. 112455, longitudinal (slightly off conch center) polished section: F, H, IGPS coll. cat. no. 112452; F, longitudinal (dorsoventral) polished section, venter on right; H, longitudinal thin section, arrow indicates septal neck. I–K. *Orthocycloceras* sp., IGPS coll. cat. no. 112456. I, longitudinal thin section: J, partial enlargement of I, arrow indicates septal neck: K, longitudinal polished section. Scale bar is 15 mm in A, B, D, K; 6 mm in C, E–G, I; 3 mm in H, J.



attains 20 mm in conch diameter; shell surface probably smooth; apex and body chamber are not preserved. Camerae long to relatively long with form ratios (maximum width/length) of 1.0–1.4; septa deep; sutures directly transverse; siphuncle narrow and slightly subcentral in position; siphuncular wall consists of orthochoanitic septal necks and cylindrical connecting rings; length of septal neck is very long, attaining 2.5 mm at approximate conch diameter of 13 mm. Cameral deposits episeptal-mural.

Material examined.—IGPS coll. cat. nos. 112443–112450.

Occurrence.—Locs. 1 (IGPS coll. cat. nos. 112443–112449) and 2 (IGPS coll. cat. no. 112450).

Discussion.—The present material including large specimens from the Suberidani Group is assigned to *Michelinoceras* (*Michelinoceras*) *alticameratum* from the Yokokurayama Group in the Yokokurayama area, Southwest Japan, based on angles of conch expansion and slightly subcentral siphuncular position. Because *M. (M.) alticameratum* was represented by an only known holotype whose adoral end has 9 mm in diameter, the new specimens indicate more adoral shell characters.

Genus *Kopaninoceras* Kiselev, 1969

Type species.—*Orthoceras jucundum* Barrande, 1870.

Kopaninoceras kobayashii Niko,
Hamada and Yasui, 1989
Figures 2.E, 2.F, 2.H

Kopaninoceras kobayashii Niko, Hamada and Yasui, 1989,
p. 61, 63, figs. 2.A, 2.B.

Description.—Longiconic orthocones with circular cross section; conch expansion is relatively rapid, approximately 9° in angle; the largest specimen (IGPS coll. cat. no. 112455) attains 8 mm in conch diameter; shell surface probably smooth; apex and body chamber are not preserved. Cameral length varies from short to relatively long with form ratios (maximum width/length) of 1.4–3.5; septa relatively deep; sutures slightly oblique; siphuncle narrow and subcentral in position; siphuncular wall consists of orthochoanitic septal necks and cylindrical connecting rings; length of septal neck is long, 1.2 mm at conch diameter of 5 mm; septal necks converge faintly adapically and indicate narrow funnel-shape, where siphuncle shallowly constricted. Camera filled with calcite that may be recrystallized cameral deposits.

Material examined.—IGPS coll. cat. nos. 112451–112455.

Occurrence.—Locs. 1 (IGPS coll. cat. nos. 112451–112453) and 2 (IGPS coll. cat. nos. 112454, 112455).

Discussion.—The author cannot detect differences in most of the important taxonomic criteria, including general conch shape, cameral length, siphuncular position and nature of

siphuncular wall, between the Suberidani specimens and the type series of *Kopaninoceras kobayashii*, that was collected from the Yokokurayama Group (Niko et al., 1989).

Subfamily Leurocycloceratinae Sweet, 1964

Genus *Orthocycloceras* Barskov, 1972

Type species.—*Orthocycloceras alayense* Barskov, 1972.

Orthocycloceras sp.

Figures 2.I–2.K

Description.—A single longiconic specimen of annulated orthocone was available for study, whose cross section is circular and adoral part represents body chamber; conch expansion is gradual, approximately 3° in angle; conch diameter attains 10 mm; there are 4–5 annuli in length of corresponding conch diameter; apex and peristome are not preserved. Camerae short to very short with approximate form ratios (maximum width/length) of 3–6 in usual camerae and attaining 15 in the last camera; sutures slightly oblique; siphuncle relatively large for the family and central in position; siphuncular wall consists of orthochoanitic septal necks and weakly inflated connecting rings; length of septal neck is short, 0.4 mm at conch diameter of 8 mm. Cameral deposits episeptal-mural.

Material examined.—IGPS coll. cat. no. 112456.

Occurrence.—Loc. 2.

Discussion.—This poorly preserved specimen shows close similarities to *Orthocycloceras gomiense* Kobayashi, 1983, from the Yokokurayama Group, but differs by its shorter camerae and weakly inflated connecting rings. Because of insufficient material, it is left in open nomenclature.

Family Arionoceratidae Dzik, 1984

Genus *Arionoceras* Barskov, 1966

Type species.—*Orthoceras arion* Barrande, 1866.

Arionoceras tokushimaense sp. nov.

Figures 3.A–3.I

Diagnosis.—Species of *Arionoceras* with depressed conch cross sections; camerae short; cameral form ratios ranges from 3.0 to 4.9; sutures slightly incline toward dorsum; siphuncle nearly central in apical and subcentral in more adoral shells, thus its position ratios decrease to 0.4; septal necks orthochoanitic and very short, 0.19–0.63 mm.

Description.—Conchs longiconic orthocones with moderate to relatively rapid expansion, whose angle ranges from 8° to 10°; cross sections of conch are dorsoventrally depressed oval with approximate form ratio (lateral diameter/dorsoventral diameter) of 1.3; the largest specimen of fragmentary phragmocone (holotype) has 15

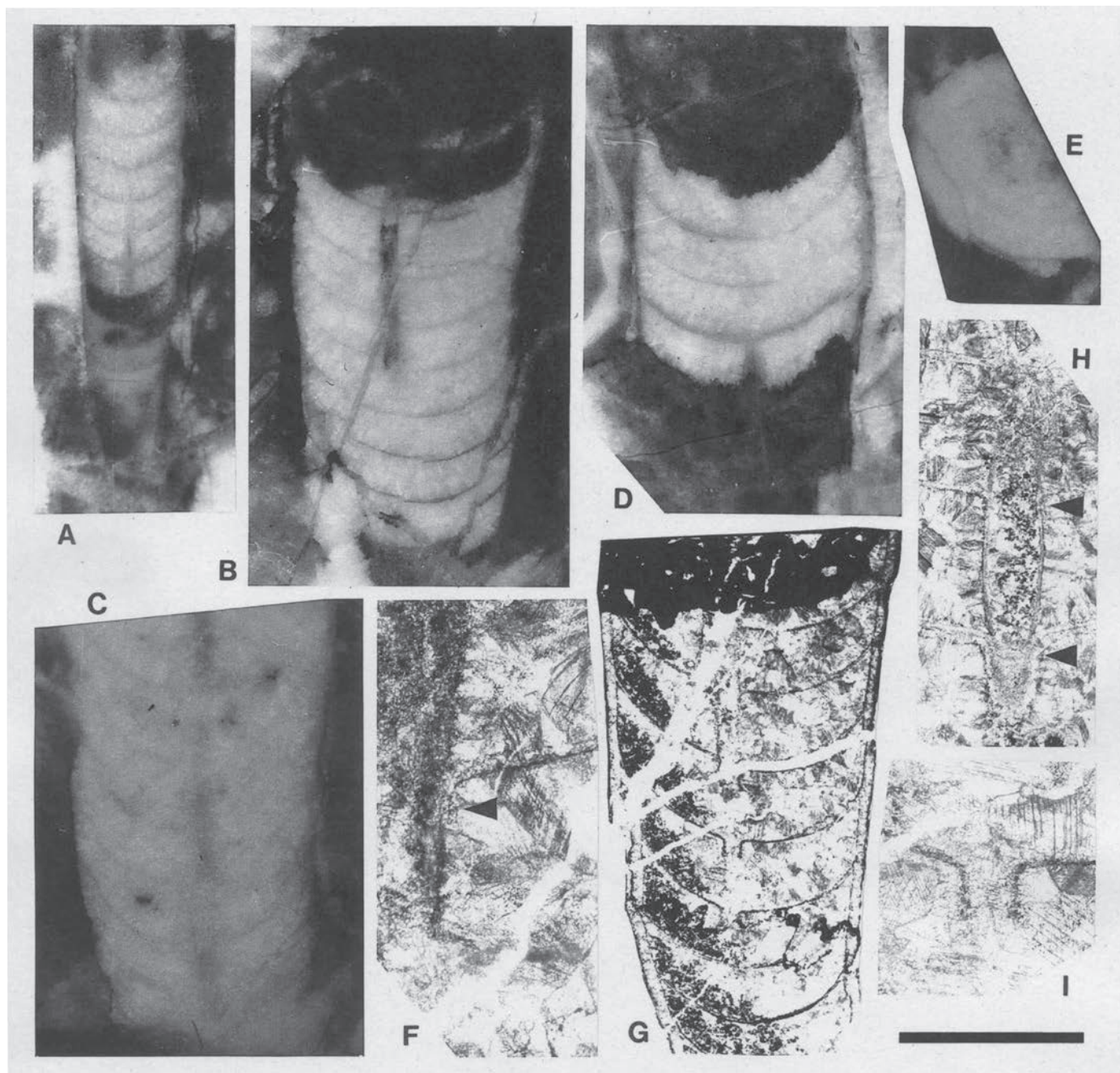


Figure 3. *Arionoceras tokushimaense* sp. nov. **A.** Paratype, IGPS coll. cat. no. 112458, longitudinal (slightly oblique) polished section; venter on right. **B, F.** Holotype, IGPS coll. cat. no. 112461: B, longitudinal (dorsoventral) polished section, venter on left; F, longitudinal (dorsoventral) thin section, showing ventral siphuncular wall, arrow indicates septal neck. **C, E.** Paratype, IGPS coll. cat. no. 112463: C, longitudinal (slightly off conch center) polished section; E, transverse polished section, venter down. **D, H.** Paratype, IGPS coll. cat. no. 112462: D, longitudinal (slightly oblique) polished section; H, longitudinal (slightly oblique) thin section, arrows indicate septal necks. **G, I.** Paratype, IGPS coll. cat. no. 112457: G, longitudinal (dorsoventral) thin section; I, partial enlargement of G to show details of septal neck. Scale bar is 6 mm in A–E; 0.6 mm in F, I; 2.1 mm in G, H.

mm in length and 8 mm in adoral dorsoventral diameter; shell surface probably smooth; apex and body chamber are not preserved. Camerae short with form ratios (maximum dorsoventral width/length) of 3.0–3.9 in a paratype (IGPS coll. cat. no. 112457, approximately 3 mm in dorsoventral diameter) representing apical shell and 4.1–4.9 in the holotype; sutures straight and slightly incline toward dorsum; siphuncle narrow; diameters of siphuncle are 0.21 mm in apical shell and 0.73 mm in the holotype; siphuncular position nearly central in apical shell, then it becomes subcentral with 0.4 in position ratios (distance between central axis of siphuncle and surface of ventral shell surface/ corresponding dorsoventral conch diameter) at more adoral shells; siphuncular wall consists of orthochoanitic septal necks and cylindrical connecting rings; length of septal neck is very short, 0.19 mm in apical shell and 0.63 mm in the holotype; connecting rings thin, undifferentiated. Cameral deposits episeptal-mural; no endosiphuncular deposits developed.

Material examined.—Holotype, IGPS coll. cat. no. 112461. Paratypes, IGPS coll. cat. nos. 112457, 112458, 112462, 112463. In addition, four poorly preserved specimens, IGPS coll. cat. nos. 112459, 112460, 112464, 112465, were also examined.

Occurrence.—Locs. 1 (IGPS coll. cat. nos. 112457–112463) and 2 (IGPS coll. cat. nos. 112464, 112465).

Etymology.—The specific name is derived from Tokushima Prefecture.

Discussion.—*Arionoceras tokushimaense* sp. nov. is somewhat similar to *A. densiseptum* Kobayashi, 1983, but the new species has shorter camerae and more eccentric siphuncular position in the adoral shells than those of the previously known species from the Yokokurayama Group. The type species of the genus, *A. arion* from the Prague Basin in Bohemia, differs from the new species by its circular cross sections of the conch and nearly central siphuncular position even in the adoral shells. *Arionoceras mahsuri* Niko, Sone and Leman, 2017, from the Langkawi Islands, Malaysia, clearly differs from the new species by its much longer camerae.

Significance

The orthocerid cephalopod assemblage of the Suberidani Group described here is composed of *Michelinoceras* (*Michelinoceras*) *alticameratum*, *Kopaninoceras kobayashii*, *Orthocycloceras* sp., and *Arionoceras tokushimaense* sp. nov. It has greater affinity with that of the Yokokurayama Group. *Michelinoceras* (*M.*) *alticameratum* and *K. kobayashii* are common to both assemblages. In addition, there are related species in the Yokokurayama assemblage for a species of *Orthocycloceras* left in open nomenclature and *A.*

tokushimaense, i.e., *O. gomiense* and *A. densiseptum*. Niko et al (2017) posted the *Kopaninoceras* Fauna and indicated that it includes a local cephalopod assemblage from the Yokokurayama Group. Consequently, the Suberidani assemblage also belongs to the *Kopaninoceras* Fauna. Because the main territory of the *Kopaninoceras* Fauna was the northern margin of Gondwana including North Africa, Variscan Europe, southern Afghanistan, western Tibet, and Malaysia (Niko et al., 2017), this new discovery provides additional paleontological evidence supporting Hada and Yoshikura's (1999) theory that the Kusosegawa Belt has a Gondwana origin.

Acknowledgements

The author is indebted to Yoshihito Senzai and Noboru Okitsu for providing the important cephalopod specimens from their personal collections, on which this study was based. Furthermore, they kindly helped in my field work. The manuscript benefited from the helpful review of Masayuki Ehro.

References

- Barrande, J., 1866, *Système Silurien du Centre de la Bohême, Première Partie: Recherches Paléontologiques, Volume 2, Classe des Mollusques, Ordre des Céphalopodes, 2me Série*. Prague and Paris, pls.108–244.
- Barrande, J., 1870, *Système Silurien du Centre de la Bohême, Première Partie: Recherches Paléontologiques, Volume 2, Classe des Mollusques, Ordre des Céphalopodes, 4me Série*. Prague and Paris, pls. 351–460.
- Barskov, I. S., 1966, *Cephalopods of Late Ordovician and Silurian of Kazakhstan and Middle Asia*. Avtoreferat Dissertatsii na Soiskanie Uchenoi Stepeni Kandidata Geologo-Mineralogicheskikh Nauk. Izdatel'stvo Moskovskogo Universitete, Moscow, 200 p. (in Russian)
- Barskov, I. S., 1972, *Late Ordovician and Silurian Cephalopod Molluscs of Kazakhstan and Middle Asia*. Akademia Nauk SSSR, Moscow, 112 p. (in Russian)
- Dzik, J. 1984, Phylogeny of the Nautiloidea. *Palaeontologia Polonica*, vol. 45, p. 1–219, pls. 1–47.
- Flower, R. H., 1945, Classification of Devonian nautiloids. *The American Midland Naturalist*, vol. 33, p. 675–724, pls. 1–5.
- Foerste, A. F., 1932, Black River and other cephalopods from Minnesota, Wisconsin, and Ontario (Part I). *Denison University Bulletin, Journal of the Scientific Laboratories*, vol. 27, p. 47–136, pls. 7–37.
- Hada, S. and Yoshikura, S., 1999, Geologic evolution of the Kurosegawa Terrain and Gondwanaland. *Earth Monthly*, vol. 21, p. 845–850. (in Japanese)
- Hamada, J., 1965, An investigation of Silurian limestone in the central and eastern parts of Shikoku, Japan. *Chigakukenyu*, vol. 16, p. 171–186. (in Japanese)
- Hamada, T., 1959, Gotlandian stratigraphy of the Outer Zone of Southwest Japan. *The Journal of the Geological Society of Japan*, vol. 65, p. 688–700. (in Japanese with English abstract)
- Hamada, T., 1961, The Middle Palaeozoic group of Japan and its

- bearing on her geological history. *Journal of the Faculty of Science, University of Tokyo, Section 2*, vol. 13, p. 1–79.
- Hirata, M., 1965, Discovery of orthocerid cephalopod and graptolite from the Gotlandian of Mt. Yokokura-yama in Ochi-town, Takaoka-gun, Kochi Prefecture. *Chigakukenyu*, vol. 16, p. 247–248. (in Japanese)
- Hirayama, K., Yamashita, N., Suyari, K. and Nakagawa, C., 1956, *Geological Map of Kenzan, Tokushima Prefecture, with an explanatory text*. Prefectural Office of Tokushima, Tokushima, 52 p. (in Japanese)
- Kisselev, G. N., 1969, Silurian cephalopods of the Bol'shezemel'skaya Tundra of the northern Urals. *Avtoreferat Kandidat Dissertatsiya, Izdatel'stovo Leningradskogo Universiteta, Leningrad*, p. 1–22. (in Russian)
- Kisselev, G. N. and Gnoli, M., 1992, About revision of the genus *Michelinoceras* Foerste, 1932 (Cephalopoda). *Vestnik Sankt-Petersburgoko Universiteta, Series 7*, vol. 2, p. 74–75. (in Russian)
- Kobayashi, T., 1983, On the Silurian cephalopod faunule from Mt. Yokokura, Kochi Prefecture, Shikoku, Japan. *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, vol. 59, p. 293–295.
- Kobayashi, T., 1984, Silurian cephalopods from Yokokura-yama, Kochi Prefecture, Japan. *Research Reports of the Kochi University*, vol. 32, p. 240–251, pls. 3, 4.
- Kobayashi, T., 1988, The Silurian cephalopods and trilobites from the Yokokurayama Formation, Shikoku, Japan. *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, vol. 64, p. 1–8.
- Kuhn, O., 1940, *Paläozoologie in Tabellen*. Fischer, Jena, 50 p.
- M'Coy, F., 1844, *A Synopsis of the Characters of the Carboniferous Limestone Fossils of Ireland*. Privately published, 274 p. (reissued by Williams and Norgate, London, 1862)
- Niko, S., 2001, *Aulocystis okitui*, a new Silurian tabulate coral from the Suberidani Group, Tokushima Prefecture. *Bulletin of the National Museum of Nature and Science, Series C*, vol. 27, p. 7–13.
- Niko, S., 2003, Ludlow (late Silurian) pachyporid tabulate corals from the Suberidani Group, Tokushima Prefecture. *Bulletin of the National Museum of Nature and Science, Series C*, vol. 29, p. 9–18.
- Niko, S., 2016, *Bandoceras*, a new late Silurian genus of orthocerid cephalopod from the Hitoegane Formation, Gifu Prefecture, Central Japan. *Bulletin of the Tohoku University Museum*, no. 15, p. 5–8.
- Niko, S., Hamada, T. and Yasui, T., 1989, Silurian Orthocerataceae (Mollusca: Cephalopoda) from the Yokokurayama Formation, Kurosegawa Terrane. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series*, no. 154, p. 59–67.
- Niko, S., Sone, M., and Leman, M. S., 2017, Late Silurian cephalopods from Langkawi, Malaysia, with peri-Gondwanan faunal affinity. *Journal of Systematic Palaeontology*, vol. 16, p. 595–610.
- Sweet, W. C., 1964, Nautiloidea—Orthocerida. In, Teichert, C., Kummel, B., Sweet, W. C., Stenzel, H. B., Furnish, W. M., Glenister, B. F., Erben, H. K., Moore, R. C. and Nodine Zeller, D. E., *Mollusca 3, Cephalopoda—General Features—Endoceratoidea—Actinoceratoidea—Nautiloidea, Bactritoidea*. Moore, R. C. ed., *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part K*. Geological Society of America, New York, and University of Kansas Press, Lawrence, p. K216–K261.
- Wakamatsu, H., Sugiyama, K. and Furutani, H., 1990, Silurian and Devonian radiolarians from the Kurosegawa Tectonic Zone, Southwest Japan. *The Journal of Earth Sciences, Nagoya University*, vol. 37, p. 157–192, pls. 1–13.
- Yamashita, N., 1946, Discovery of the Gotlandian deposits in Tokushima Prefecture. *The Journal of the Geological Society of Japan*, vol. 52, p. 17. (in Japanese)

アパタイト微量元素組成に基づく竹駒神社馬事博物館の腰部石材の産地同定と建築史的意義

高嶋礼詩¹⁾・斎藤広通²⁾

¹⁾ 東北大学学術資源研究公開センター・総合学術博物館

²⁾ 仙台市立仙台工業高等学校

Identification of source area of stone material for the Baji Museum, Takekoma Shrine based on trace-element chemistry of apatite, and its significance in the architectural history

Reishi Takashima¹⁾, Hiromichi Saito²⁾

¹⁾ The Center for Academic Resources and Archives, Tohoku University Museum, Tohoku University

²⁾ Sendai Technical High School

Abstract: Apatite is highly resistant to burial diagenesis, welding and weathering processes, and its trace-element composition is known to change with crystallization in response to various magmatic conditions. By utilizing such characteristics, the apatite trace-element compositions of tephra and ash-flow tuffs have been used for identifying source calderas as well as source regions of stone materials of the historical building. The Takekoma Shrine had to identify the source region of stone material used in the basal part of the Baji Museum in order to renovate the museum. This study demonstrates that the stone material of the basal part of the Baji Museum is the Akiu Stone (Upper Miocene Yumoto Formation) based on apatite trace-element compositions. Furthermore, we clarified that the Tomizawa Stone (Middle Miocene Tsukinoki Formation), yielded near the Takekoma Shrine, was widely used for warehouses in Iwanuma City and Iwanuma Church.

1. はじめに

1-1. 竹駒神社馬事博物館

宮城県岩沼市にある竹駒神社は伏見稻荷の分霊として承和9年(842)頃創建と伝えられ、日本三稻荷の一つとして有名である。大鳥居の北側に位置しているのが昭和14年(1939)に開館した馬事博物館で(図1上)、桃生郡北村村長で全国町村会会長だった木村匡が台湾で収集した馬に関する収集品の寄贈を受けて建設された。館内には、当時の岩沼町長で竹駒神社総代・渡邊豊蔵との縁がある彫刻家・小室達の伊達政宗騎馬塑像が奉納されている。

設計は元宮城県技師の我妻駒之進(我妻建築事務所・仙

台市)、施工は木村伸太郎(仙台市)。鉄材不足で鉄筋コンクリート造(RC造)から木造への設計変更を行い、職人不足や入札不調の中、昭和13年(1938)に竣工した。予算を超過したが、耐震・耐火構造の重厚な建築になった。

建物は木造平屋建、桁行方向10×梁間方向4間、面積は約42坪。寄棟屋根に鴟尾が載り、懸魚・墓股の付いた和風スタイルである。一方、外壁のスクラッチ風タイル、柱の洗出し仕上げ、セセッション風の縦溝など近代の意匠も取り入れ、神社境内の景観に配慮した和洋折衷の建物となっている(斎藤, 2019)。腰部に凝灰岩が用いられており、秋保石と言われながら産地は不明であった(図1下)。



図1 竹駒神社馬事博物館
(上) 竣工当時 (図版提供: 竹駒神社)
(下) 馬事博物館の腰石

Fig. 1 Photos of Baji Museum, Takekoma Shrine. Upper: Baji Museum at the time of completion of construction (provided by Takekoma Shrine), Lower: Base-stone of the Baji Museum.

1-2. 腰部石材の劣化状況と分析に至る経緯

腰部石材(腰石・基壇石)の特に基壇の凝灰岩は以前から傷んでいたが、近年の大雨や猛暑などの気候変化により崩落が目立つようになった。基壇の上部(縁)には亀裂が一周し、少しの荷重で崩落する恐れがあり、下部(地面との接触点)は、土壌の酸性化によって日々粉状化している(図2上)。これらの原因は複数あるものの、筑波大学松井敏也教授(保存科学)からは、雨水の浸食による可能性が最も大きいと指摘されている。

馬事博物館は国登録有形文化財を目指しており、デザインの構成要素である石材の凹凸が失われることは、文化財的景観にとって大きなマイナス要素になる。したがって、保存対策と将来的な修復の必要性から石材の特定が急務となった(斎藤ほか, 2020)。

1-3. アパタイト微量元素組成に基づく石材産地の同定

凝灰岩は火山灰の固結した岩石を指し、石材に用いられ



図2 馬事博物館の腰部石材の劣化状況 (図版提供: 竹駒神社)
(上) 基壇の亀裂の状況 (南側)
(下) 基壇崩落石 (採取試料)

Fig. 2 Damaged part of the Baji Museum. Upper: crack developed in base-stone, Lower: collapsed stone of base-stone (Sample material).

るものは火砕流によって堆積した火山灰が溶結(高温の火山灰が厚くたまった場合、自身の熱と重量により、堆積後に再び溶けて圧縮されること)あるいは埋没続成(堆積した後、さらに上に厚い地層が積み重なることにより、重みと熱で圧縮・変質する)により固まったものが多い。これら凝灰岩は基本的に、火山灰、軽石、結晶および異質岩片から構成される。通常、個々の火山灰や火砕流堆積物の識別と対比は、含まれる結晶鉱物の種類の違いと、火山ガラスの化学成分を基に行われるが、火山ガラスは脆弱なため、石材に用いられるような凝灰岩の場合、ほとんどが変質して、噴出直後の化学組成を保持していない。また、結晶鉱物組み合わせについても、類似したものが多いことから、これまで個々の凝灰岩の識別、対比は困難であった。アパ

タイトは安山岩質～流紋岩質の火成岩や凝灰岩に多く含まれる重鉱物で、埋没続成に非常に強い耐性を持つ (Morton et al., 2007)。さらにその化学組成は溶結や埋没続成の影響を全く受けないことも示されている (Takashima et al., 2017)。アパタイトの基本化学式は、 $\text{CaPO}_4 (\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$ として表現され、このうちカルシウム (Ca) はマグマの条件 (マグマの化学組成や酸素分圧、温度) によって、マグネシウム (Mg)、マンガン (Mn)、鉄 (Fe)、セリウム (Ce)、イットリウム (Y) などの元素に置換されることがある。一方、塩素 (Cl) はマグマのハロゲン分圧によってその含有量が大きく変化する。このようなことから、アパタイトの化学組成 (特に微量成分である Cl, Mg, Mn, Fe, Ce, Y の含有量) は、指紋や DNA のように火山灰や火砕流堆積物の元となるマグマの違いを識別したり、同一のものかどうかを対比するのに有効であることが示されてきた (Samson et al., 1995; Sell and Samson, 2011a, b; Sell et al., 2015)。宮城県の凝灰岩についても、これまでアパタイトの微量元素組成を基に識別・対比を行った研究例がいくつかあり、石材の産地の特定や火砕流堆積物の給源火山の特定に役立っている (高嶋, 2018; 内山・高嶋, 2020; Takashima et al., 2020)。本研究では、アパタイト微量元素組成に基づき、竹駒神社馬事博物館腰部石材の産地の同定を行った。

2. 試料と方法

2-1. 試料の採取地点

本研究では、馬事博物館の基壇上部を一周する亀裂 (図 2 上) から崩落したと思われる長径 20~25 cm の凝灰岩片 (図 2 下) を採集し、分析に用いた。

また、比較対象として、竹駒神社近傍の岩沼教会の庭に放置されていた教会外壁に由来すると思われる凝灰岩転石と、竹駒神社から最も近い場所で採掘されていた凝灰岩石材である富沢石を採集した。なお、教会外壁と、今回用いた教会の転石は肉眼・ルーペによる観察の結果、同じものであると判断した。富沢石は宮城県柴田郡柴田町富沢に露出する厚い軽石凝灰岩で、地質学的には槻木層中部凝灰岩部層という名称がつけられている (生出・藤田, 1975)。この石材は現在採掘されていないが、本研究では (有) 富沢石材建設の採石場跡地において試料を採取させていただいた。これら各試料の採集地点は図 3 に示した。

また、高嶋 (2018) や内山・高嶋 (2020) において既に報告されている宮城県内の各凝灰岩石材 (秋保石 [名取層群湯元層]、塩釜石 [松島湾層群網尻層最下部]、潜ヶ浦石 [松島層群松島層 Mt₃ 部層]、野蒜石 [松島湾層群松島層 Mt₅ 部層]) の結果も併せて検討した。

2-2. 分析方法

馬事博物館の基壇から落下・破損した石材、富沢石材建設採石場の富沢石、岩沼教会の壁に用いられたと推察される転石をそれぞれ 500g 測り取り、下記の方法でアパタイトの抽出を行った。各試料は、100℃の恒温乾燥器で約 24 時間乾燥させた後、(株) レッチェ製の粉砕機 (BB-50) を用いて、0.7mm以下の粒子に粉砕した。開口径 0.18mmのふるいを用いて、粉砕した岩石粉末から 0.18mm以上の粗い粒子を除去し、細粒な残渣を椀掛けし、軽鉱物や岩片成分を取り除いた。これら一連の作業により残った粒子に対して、ネオジム磁石を用いて磁性鉱物を取り除き、さらに比重 2.9 に調整した重液 (ポリタングステン酸ナトリウム溶液) により、

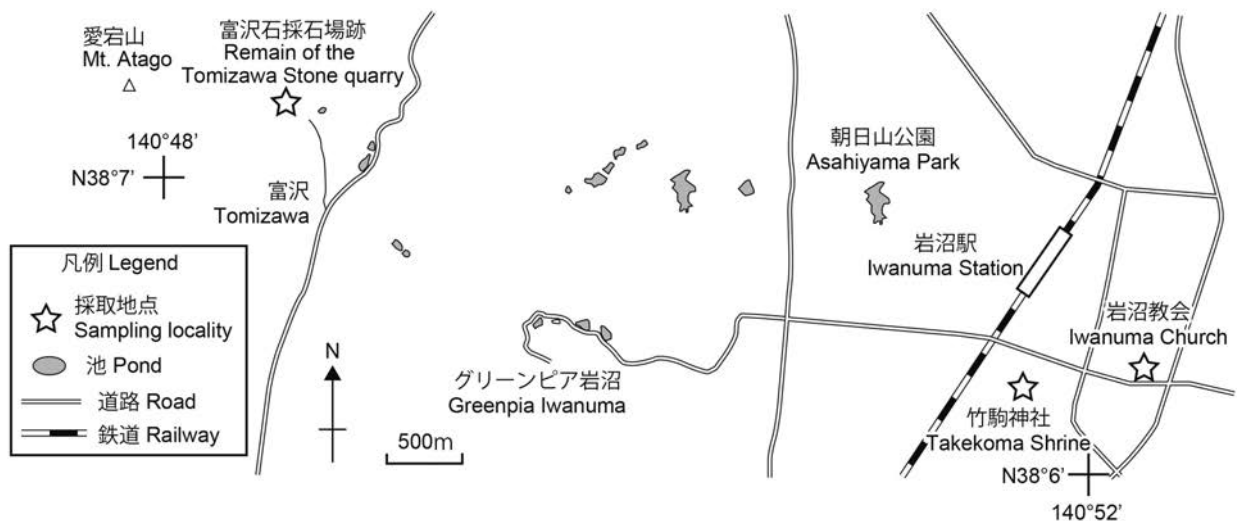


図 3 サンプル採取地点
Fig. 3 Sampling points.

磁性を有しない重鉱物のみを抽出した。重鉱物粒子は実体顕微鏡 Zeiss 社製 AxioCam HRc を用いて写真撮影するとともに、構成鉱物の同定を行った。また、実体顕微鏡下でアパタイト（燐灰石）を 50 個拾い出し、樹脂（ペトロポキシ）に封入した後、直径 3 μm のダイヤモンドペーストを用いて表面を鏡面研磨した。

アパタイトの微量元素組成の分析は、東北大学産学連携先端材料研究開発センター設置の波長分散型電子マイクロアナライザー JXA-8570F（日本電子製）を使用した。試料は分析に際し、炭素蒸着を行った後、アパタイト粒子 30 個に対し、主成分、微量成分の定量を行った。測定条件は Takashima et al. (2017) に基づき、加速電圧 15 KeV、電流 2 nA、ビーム径 10 μm 、ピーク時間 30 秒、バックグラウンド時間 15 秒で実施した。

3. 結果

3-1. 岩相・重鉱物組み合わせ

竹駒神社馬事博物館の基壇の石材は、薄茶色の火山灰基質中に直径 4 cm 以下の軽石と異質岩片の角礫から構成される（図 4A, B）。角礫は、白色流紋岩、明灰色デイサイト、灰色安山岩、暗灰色ないし黒色玄武岩、変質した緑色の流紋岩など多様で、淘汰も悪い。軽石は著しく風化して茶色～濃茶色を呈し、岩石から抜け落ちていることが多い。重鉱物としては、斜方輝石、単斜輝石、角閃石、磁鉄鉱、チタン鉄鉱、黄鉄鉱と少量のジルコン、アパタイトを含む。特に、非磁性の重鉱物としては黄鉄鉱が大部分を占め、ジルコン、アパタイトは少ない（図 5A）。このような特徴は秋保石と類似する（図 4G, H、図 5D）。

岩沼教会の凝灰岩石材と富沢石は、火山灰中に直径 3 cm 以下の軽石を含み、異質岩片角礫を含む。異質岩片は黒色の玄武岩がほとんどで、サイズも 5 mm 以下と小型である（図 4C—F）。岩沼教会の石材と富沢石は、ともに重鉱物組み合わせやそれらの量比もほぼ同じで、斜方輝石、単斜輝石、角閃石、磁鉄鉱、チタン鉄鉱、アパタイト、ジルコンの順に多い（図 5B, C）。非磁性の重鉱物として黄鉄鉱を全く含まない点で、秋保石とは区別される（図 5D）。

3-2. アパタイト微量元素組成

アパタイト微量元素組成のうち、塩素 (Cl)、マグネシウム (Mg)、マンガン (Mn)、鉄 (Fe) が各凝灰岩によって大きな違いがみられる元素である（例えば Takashima et al., 2017）ため、これらの 4 つの元素の含有量を基に本研究結果を図示する（図 6）。アパタイトの分析値については、東北大学総合学術博物館の Website に掲載している（http://www.museum.tohoku.ac.jp/press_info/bulletin/bulletin_index.html）。

3-3-1. Cl - Mg 図（図 6A）

竹駒神社馬事博物館の基壇石のアパタイトは大きく 3 つのクラスターに区分され、最も多数の粒子を含むクラスターは、塩素が 0.72 ~ 1 wt%、マグネシウムが 0.045 ~ 0.095 wt% の範囲に入る。一方、塩素、マグネシウムともに低い値を示す粒子 (Cl: 0.35~0.45 wt%, Mg: 0~0.03 wt%) からなるクラスターと、わずか 2 粒子であるが、塩素が低くマグネシウムが高い値 (Cl: 0.45 wt%, Mg: 0.07 wt%) を示すクラスターも認められる。

富沢石と岩沼教会の凝灰岩試料は、このダイアグラムでほとんど区別できずほぼ一致する。両岩石のアパタイトはともに塩素が 0.3 ~ 0.4 wt%、マグネシウムが 0.03 ~ 0.12 wt% の値を示し、馬事博物館のアパタイトと異なり 1 つのクラスターからなる。

3-3-2. Mn - Fe 図（図 6B）

竹駒神社馬事博物館の基壇石のアパタイトはおおよそ 1 つのクラスターからなり、マンガンが 0.06 ~ 0.1 wt%、鉄が 0.18 ~ 0.34 wt% の範囲にプロットされる。このダイアグラムにおいても富沢石と岩沼教会の凝灰岩はほぼ同じ領域にプロットされ、マンガンが 0.06~0.1 wt%、鉄が 0.2 ~ 0.25 wt% の範囲に限られる。組成範囲は馬事博物館・腰石と重なるが、富沢石と岩沼教会凝灰岩はより鉄の含有量が狭い範囲に集中している点で異なる。

4. 考察

4-1. アパタイト微量元素組成に基づく竹駒神社馬事博物館の腰部石材と岩沼教会外壁石材の起源の特定

図 7 は宮城県内の主な石材のアパタイト微量元素組成をグラフ上に示したもので、それぞれ、アパタイト中の塩素とマグネシウムの含有量（図 7A）、マンガンを鉄の含有量（図 7B）をプロットしている。図 7A をみて明らかのように、アパタイト微量元素組成のうち、塩素とマグネシウムの含有量が、様々な火砕流、火山灰の識別には最も有効で、その傾向は他の地質時代や地域の凝灰岩のアパタイトにも当てはまる（Takashima et al., 2017；高嶋, 2018；Kuwabara et al., 2019；内山・高嶋, 2020；Takashima et al., 2020）。一方、図 7B のマンガンを鉄のダイアグラムでは、石材によって重なる部分が多いものの、富沢石、塩釜石、野蒜石などのように、いくつかのものは明瞭に区別される。

秋保石と潜ヶ浦石については、図 7A, B のいずれにおいてもプロットが集中する部分と、明らかに集中する領域から外れるものがあり、ばらつきが他の石材よりも大きい。これらの岩石には、アパタイトを比較的多く含む流紋岩～デイサイト質の異質岩片が含まれているために、これらのアパタイトに由来した値を反映していると思われる。同様の傾向は鮮新世広瀬川凝灰岩にも認められており、軽石のみ

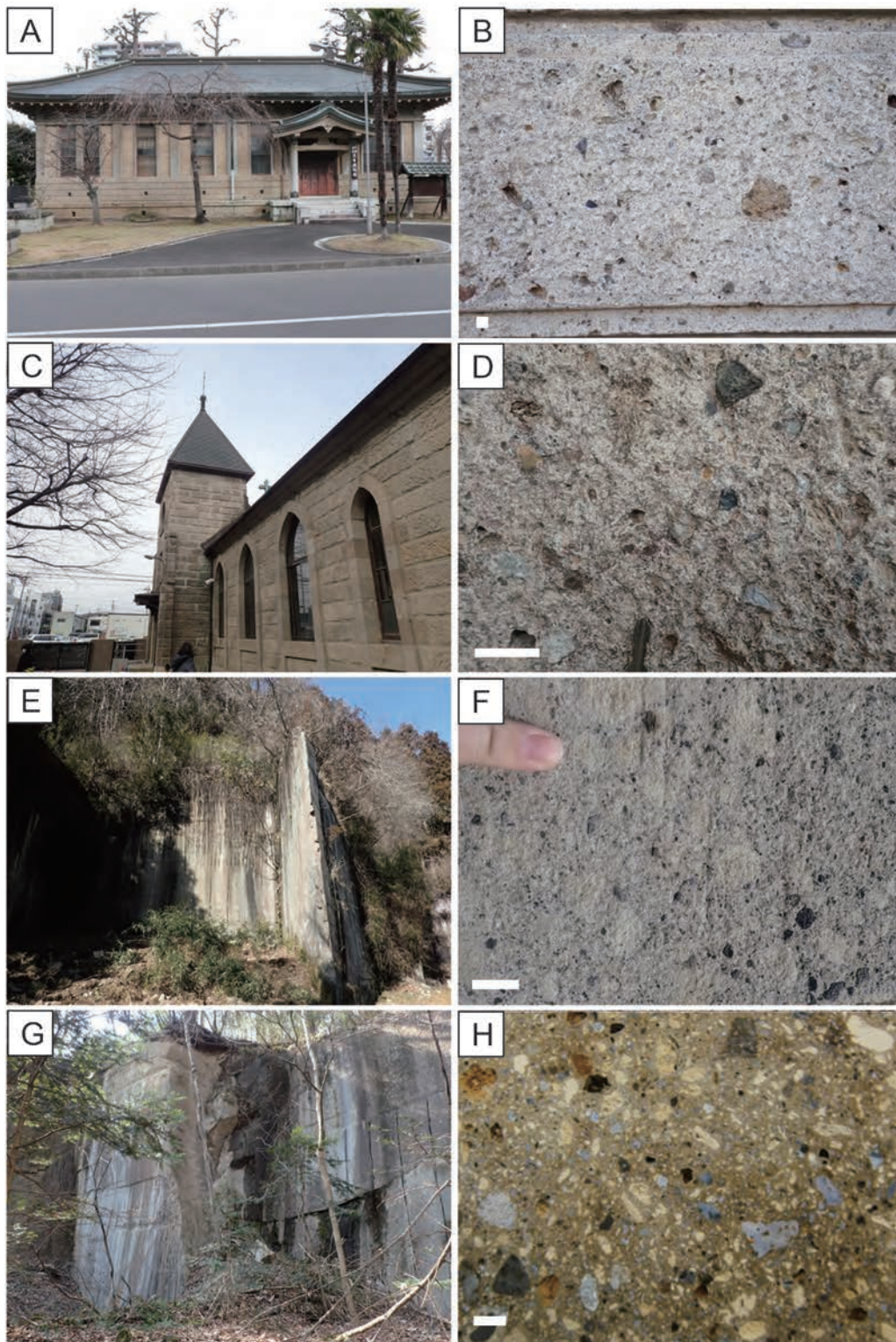


図4 試料採集地点の写真とその岩相。A-B. 竹駒神社馬事博物館（図版提供 A:竹駒神社）；C-D. 岩沼教会；E-F. 富沢石、G-H. 秋保石. 白色のスケールバーは1 cm。

Fig. 4 Photographs of outcrop or building of samples. A-B. Baji Museum, Takekoma Shrine; C-D: Iwanuma Church; E-F: Tomizewa Stone; G-H: Akiu Stone. White scale bar shows 1 cm.

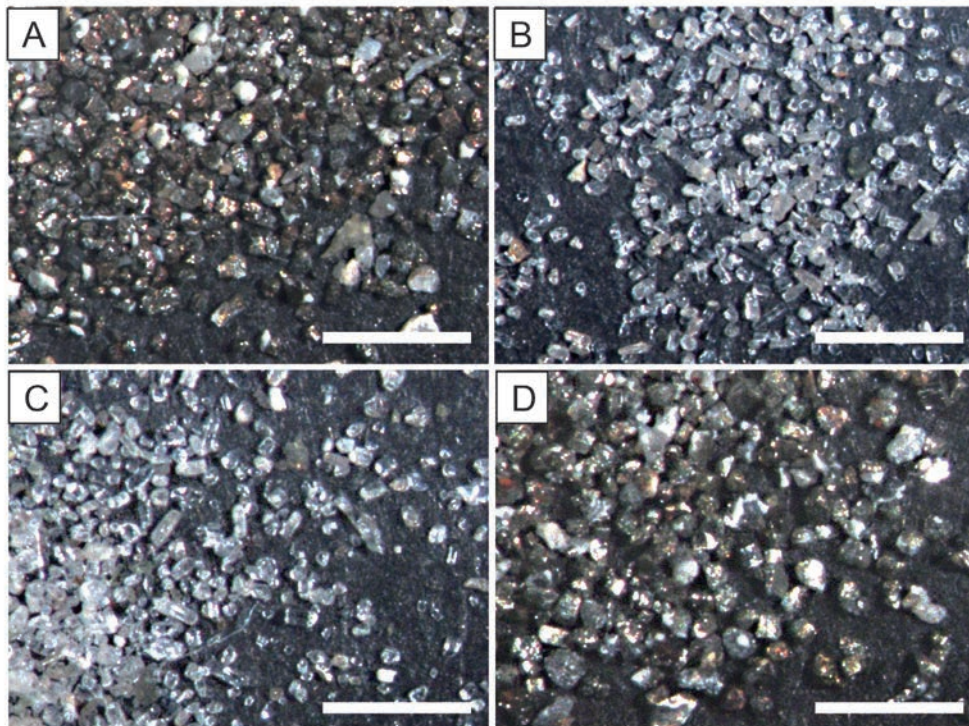


図5 各試料の重鉱物の実体顕微鏡写真。白色のスケールバーは1 mm。

A. 竹駒神社馬事博物館・基壇崩落石；B. 岩沼教会・転石；C. 富沢石；D. 秋保石

Fig. 5 Stereomicroscopic photographs of the heavy mineral from the studied samples. A. Base-stone from the Baji Museum, Takekoma Shrine. B. Rolling stone from the Iwanuma Church. C. Tomizawa Stone material, D. Akiu Stone material. White scale bar shows 1 mm.

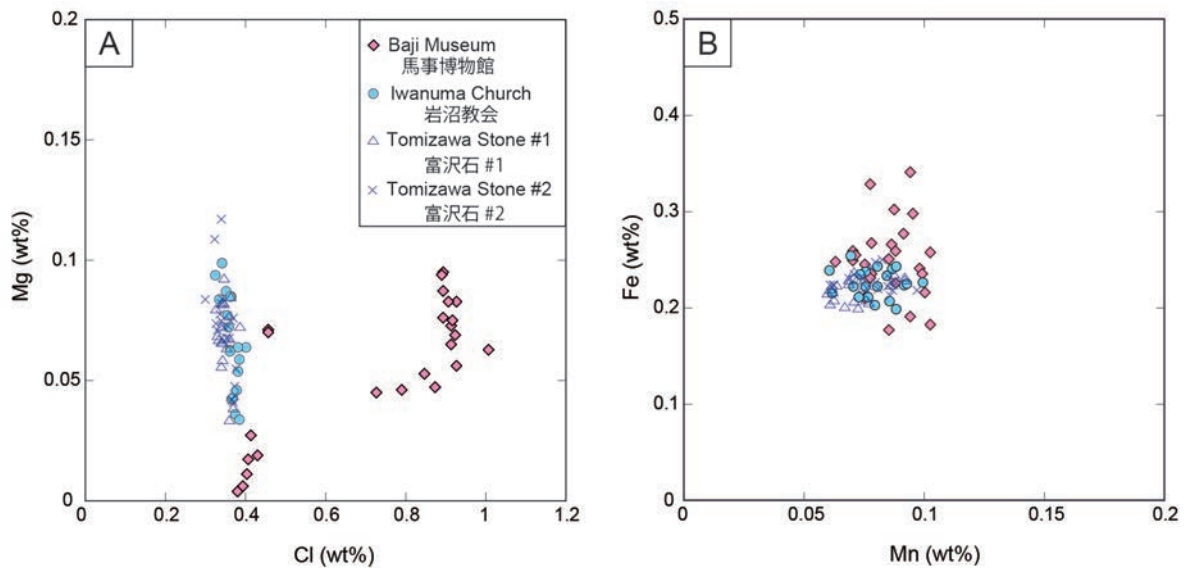


図6 竹駒神社馬事博物館・基壇崩落石および岩沼教会・壁石由来の転石、富沢石のアパタイト中のCl-Mg (A)、Mn-Fe (B) 含有量のダイアグラム。

Fig. 6 Cl-Mg (A) and Mn-Fe (B) plots of apatite from the base-stone of the Baji Museum, Takekoma Shrine, rolling stone in the Iwanuma Church and Tomizawa Stone.

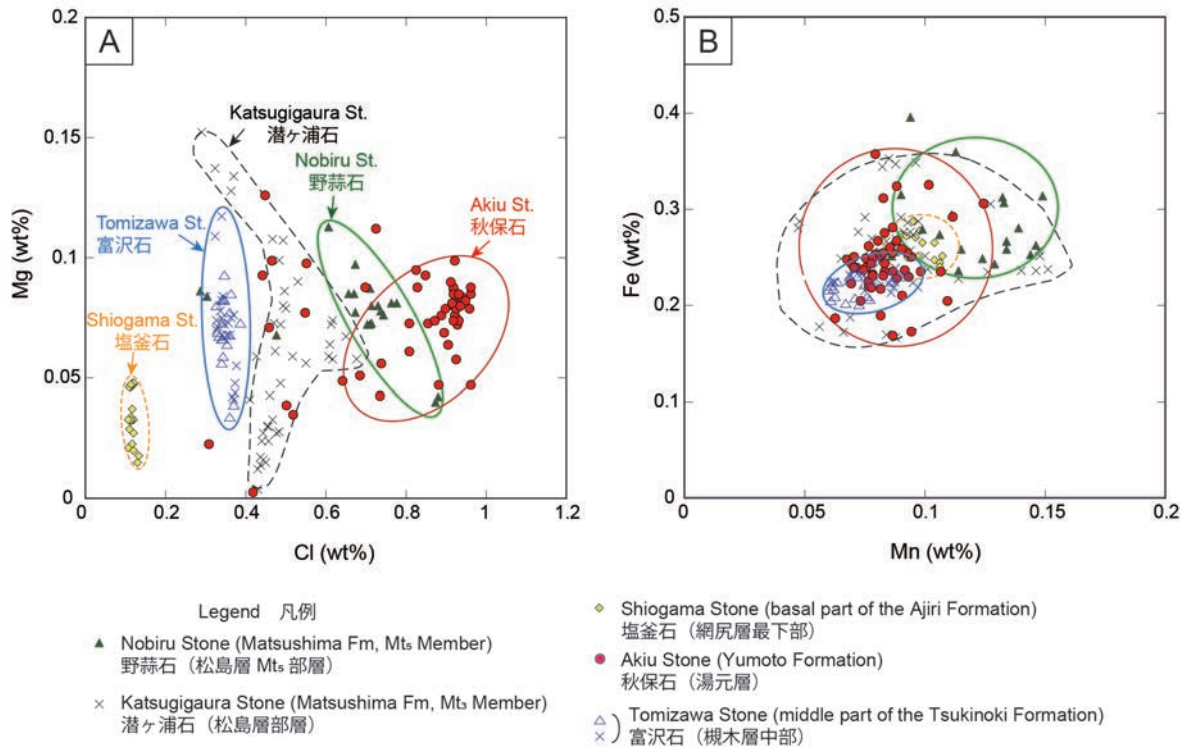


図7 宮城県の名凝灰岩石材のアパタイト中のCl-Mg (A) とMn-Fe (B) ダイアグラム。データは高嶋 (2018) および内山・高嶋 (2020) から引用。

Fig. 7 Cl-Mg (A) and Mn-Fe (B) plots of apatite from the tuff stone materials in Miyagi Prefecture. Data are from Takashima (2018) and Uchiyama and Takashima (2020).

から分離したアパタイトは狭い範囲の値を示すことが明らかになっている (Takashima et al., 2020)。以上のことから、秋保石、潜ヶ浦石の各図の中において、値が集中する領域が本来のマグマ由来の成分であると思われる。

図8は馬事博物館と岩沼教会の石材中に含まれるアパタイトの塩素-マグネシウム (図8A)、マンガン-鉄 (図8B) の含有量をそれぞれプロットしたものである。馬事博物館のアパタイトの多くは、両方のダイアグラムにおいて赤枠で示した秋保石の値の範囲とほぼ一致する。また、赤枠から外れたものについても、秋保石の外れ値の範囲とそれほど大きな違いはない。鉱物組み合わせや岩相を考慮しても、この石材は秋保石と一致するものと考えられる。Perkins et al. (1995, 1998) によって提案された統計的距離に基づき、両者を比較したところ、両者は99%の信頼度で一致することが示された。一方、岩沼教会の石材は明らかに富沢石の領域と一致し (99%の信頼度)、この結果は岩相や鉱物組み合わせがほぼ等しいことから支持される。

4-2. 秋保石使用の建築と馬事博物館

秋保石は、秋保層群湯元層に区分され、およそ800万年前に白沢カルデラにおいて噴出した火砕流堆積物である

(高嶋ほか, 2018)。多孔質で柔らかい軽石と硬質の基盤岩由来の異質岩片から構成され、外壁の石材として仙台周辺で広く流通してきた。石材を外壁に用いる場合、積石 (厚さ約30cm) と張石 (約15~18cm) に大別される。秋保石の建築への使用は明治30年代から始まり、大正元年 (1912) 秋保石材軌道株式会社の設立により本格化した。その頃の建築への使用は躯体としての「積石」で、耐火・耐久性が求められる銀行 (東北実業銀行)、商店 (三浦善作商店・志ら梅酒造等)、倉庫 (宮城倉庫等) に多い (図9左・右下)。建築以外にも門・塀・敷石・柵などに多く使用された。秋保石採掘のピークは大正13年 (1924) で、関東大震災以降の鉄筋コンクリート造の普及が大きく影響し、その後は減少していく (秋保町史編纂委員会編, 1976)。一方、仕上材 (張石) としては、東北学院専門部本館 (大正15年・RC造) や斎藤報恩会博物館 (昭和8年・RC造) の外壁、仙台政府倉庫 (木造) の腰壁に使用されている (図9右上、内山・高嶋, 2020; 伊藤他, 2009)。

馬事博物館は当初鉄筋コンクリート造で設計し基礎まで完成したが、鉄材高騰により上部を木造へと変更している。我妻駒之進が馬事博物館に秋保石を用いたのは、県土木技師時代、信用購買組合等から県に農業倉庫建築の申請があ

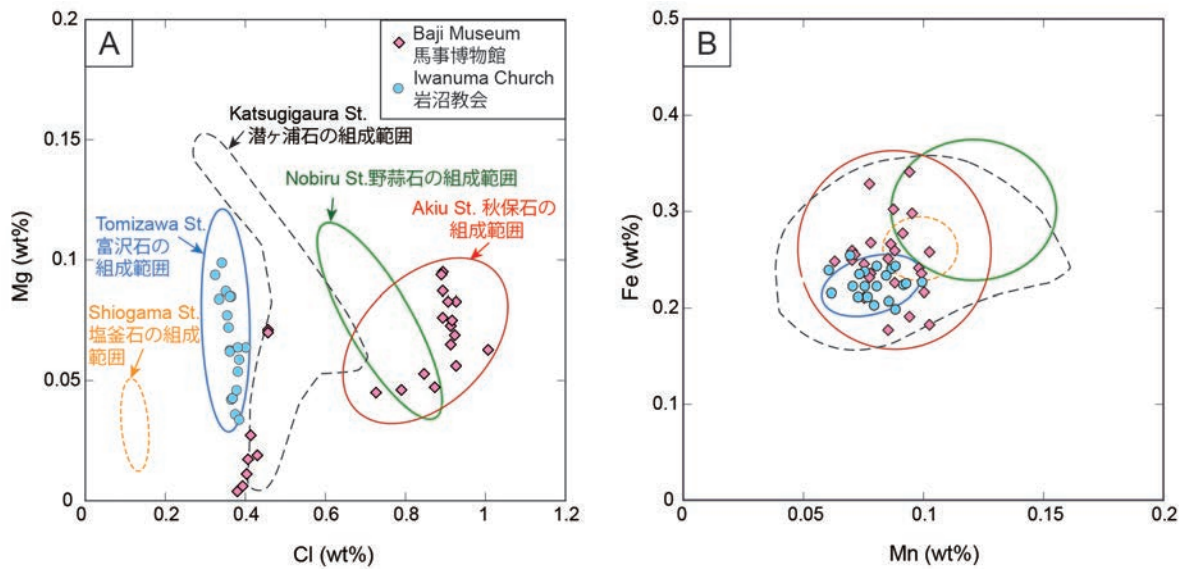


図 8 アパタイト微量元素組成に基づく竹駒神社馬事博物館・基壇崩落石および岩沼教会・転石と宮城県の各凝灰岩石材との対比。

Fig. 8 Correlation among these-stone of the Baji Museum, Takekoma Shrine, rolling stone in the Iwanuma Church and tuff stone materials in the Miyagi Prefecture.

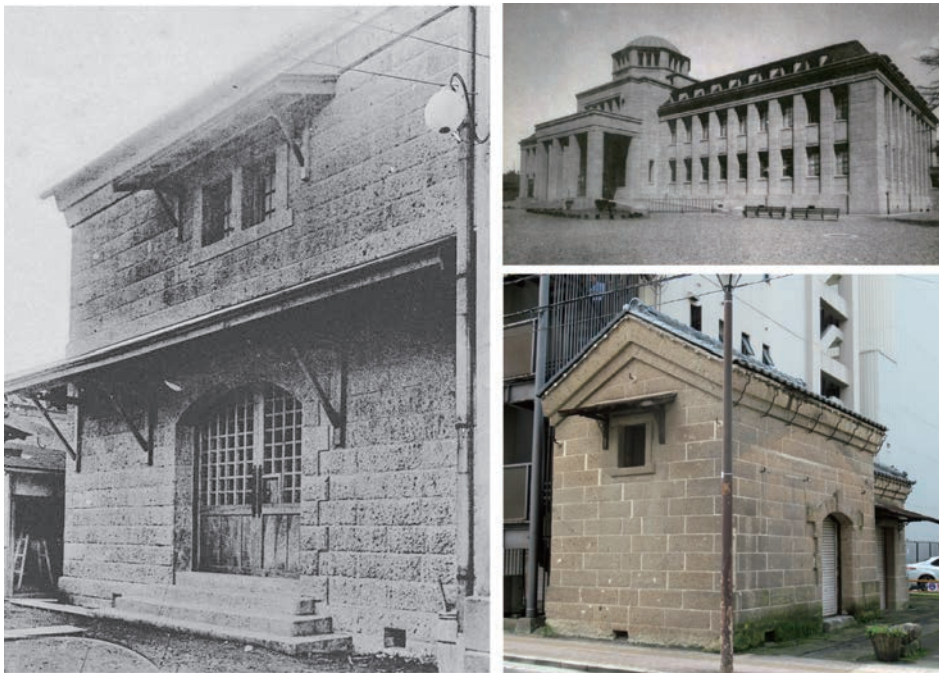


図 9 秋保石の建築
 (左) 宮城倉庫 (図版：『秋保石材軌道株式会社』より)
 (右上) 斎藤報恩会博物館 (図版：仙台市民映像プロジェクト制作「よみとき仙台写真集」<https://photo-sendai.com>)
 (右下) 旧志ら梅酒造石蔵 (現存)

Fig. 9 Building using the Akiu Stone. Left: Miyagi storehouse, Upper right: Saito Ho-onkai Museum, Lower right: paleo-Shiraume Shuzo storehouse.



図 10 富沢石の建築
 (上左) 旧高橋養吉商店袖蔵 積石 現存せず (図版提供：千葉宗久氏)
 (上右) 旧高橋養吉商店邸内社
 (下左) 旧松浦呉服店石蔵 積石 (図版提供：竹駒神社)
 (下右) 旧岡崎文助商店石蔵 張石

Fig. 10 Building using the Tomizawa Stone. Upper left: The storehouse of the Takahashi Yokichi Shop. Upper right: Shrine in the garden of the Takahashi Yokichi Shop. Middle. Lower left: Paleo-Matsu'ura dry store's storehouse. Lower right: Paleo-Okazaki Bunsuke shopping store's storehouse.

り多くの「木骨石造」の倉庫に接したことが考えられ、増田農業倉庫（大正 13 年）仕様書で秋保石使用が確認された（農商工 農業・農業倉庫関係文書，1925）。また、材料としての堅牢さと入手のし易さの他に、斎藤報恩会博物館・東北帝国大学の建築物（腰壁に秋保石使用）の影響、それらを設計した小倉強と仙台建築会（大正 12 年設立の建築の横断的な親睦・研究団体）での交流があったからと思われる。馬事博物館の積石は丁寧な「二段淀（ヨド）切り」で目地を強調し、小口と L 字形加工の石が交互に積まれている。積石を選択しながらも装飾性と安定感を持たせる我妻のこだわりが窺える。木構造の腰部に積石の秋保石を回した、いわば混構造の建築は、管見の限り例がなく貴重なものといえる。

4-3. 岩沼市内の石造建築と岩沼教会

旧奥州街道沿いの岩沼市街地には商家の店蔵など多くの石造建築があったが（図 10）、都市化や震災に遭うなどして少なくなった。2020 年 8 月、岩沼教会・商家石蔵のいくつか石材調査を行い、文献資料を加え表 1 のようにまとめた。

秋保石・富沢石の目視での判別は難しいが、秋保石には緑色の異質岩片の中に黄鉄鉱が多く含まれるのに対して、富沢石には黄鉄鉱が含まれないため、ルーペで識別可能である。この観察結果は、重液を用いた重鉱物の分離作業によっても、秋保石に多量の黄鉄鉱がみられるのに対して、富沢石には黄鉄鉱が全く検出されない点からも支持される。この方法により、石蔵や邸内社に使用されている石材のほとんどが富沢石であることが判明した。旧高橋養吉商店の邸内社裏面に「明治 16 年 11 月建立」、旧岡崎文助商店の

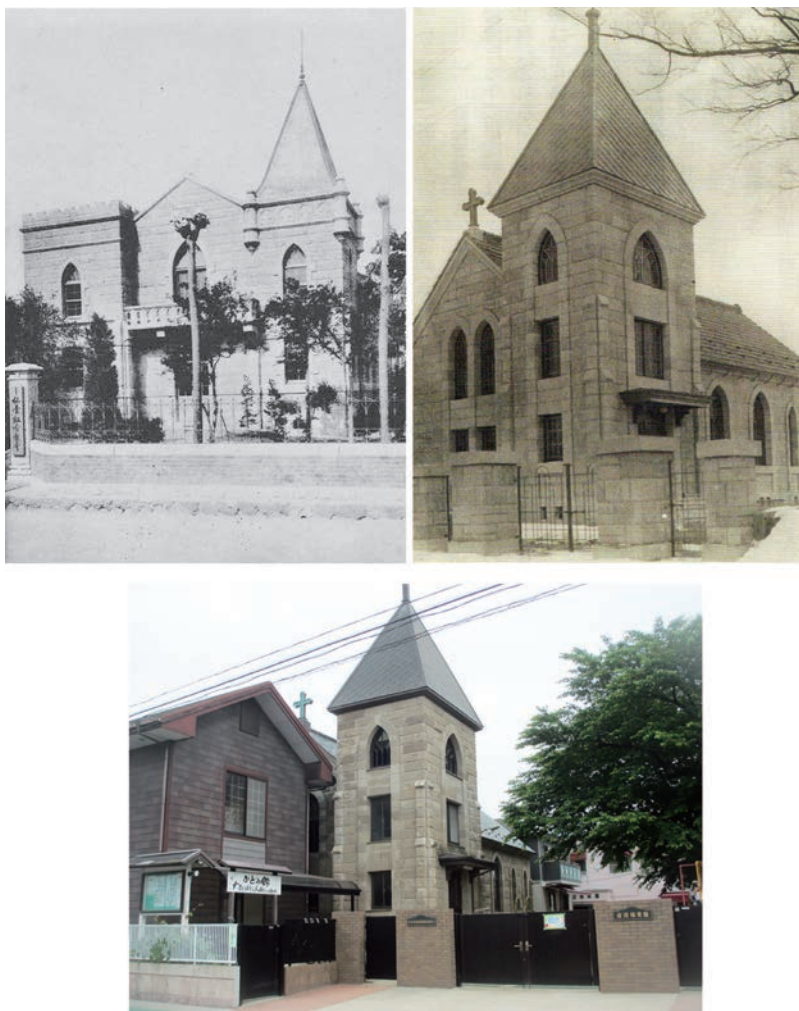


図 11 石材を用いた教会
 (上左) 仙台組合教会 (図版:『秋保石材軌道株式会社』より)
 (上右) 竣工時の岩沼教会 (図版提供:岩沼教会)
 (下) 現在の岩沼教会

Fig. 11 The church using stone material. Upper left: Sendai Kumiai Church. Upper right: Iwanuma Church during final completion. Lower: Present Iwanuma Church.

『大正式年 普請雑費帳』に「富沢石百九十七銭八分」などの記述があり、富沢石は少なくとも明治時代には普及していたことが確認できた。遡っては八島家(南町検断・本陣)や旧相傳酒造店の門塀に残る基礎に富沢石が観察されることから、江戸時代からの流通ルートがあったと推察される。富沢石は槻木層の中部に挟まる中新世中期(およそ1600万年前)に堆積した火砕流堆積物で、秋保石よりも形成年代がはるかに古い。この石材は柴田郡旧富沢村で産出し、戦前は「石材用手押軌道」で国鉄槻木駅へと運ばれていた。槻木と岩沼は近く、富沢石は岩沼市内の商家の蔵に多く使われたと推察できる。槻木では富沢石以外に槻木石・入間田石(凝灰岩)が産出していた記録があるが(日本石材史

編纂委員会編, 1956)、これらは富沢石の別の呼称、あるいは同じ「槻木層中部凝灰岩部層」から採掘されるものであることから、今回調査では富沢石として扱った。

日本基督教団岩沼教会(図11)は、奥州街道に面した南町に明治18年(1885)岩沼一致教会として設立され、昭和5年(1930)現在地に移転した(岩沼市史編纂委員会編, 2017)。石造一部3階建の会堂は昭和5年12月に竣工したが、設計者は不明であった(東北歴史博物館編, 2005)。教会所蔵の竣工写真の工事関係者の半纏から「佐藤工務所」と見てとれるが、『仙台建築会会報第7号』より「佐藤(源)工務所」の設計・施工であることを確認した。同工務所の代表は佐藤源吉、仙台市北一番丁にある会社(建築科学社、

表 1 岩沼市内の石造建築
Table1 Building using stone material in Iwanuma City.

※ 張石	建築名	所在地	建築年	構造概要	現存	備考 <出典> ()内は石材厚
※	旧高橋養吉商店店蔵・袖蔵・邸内社	岩沼市中央1丁目	M16	石3	○	富沢石 門塙は現存 ☆1
※	旧岡崎文助商店石蔵	岩沼市中央1丁目	T3	土2	○	腰壁 富沢石張(15cm) ☆2
	旧松浦呉服店石蔵	岩沼市中央1丁目	T6?	石2	○	富沢石(30cm)
	渡兵商店2・3号倉庫	岩沼市中央2-5-22	T11	石1		旧政府指定倉庫 <近>
※	旧森喜商店邸内社	岩沼市中央1丁目	T15	石	○	産地不明凝灰岩 ☆3
	日本基督教団岩沼教会	岩沼市桜2-3-2	S5	石1	○	富沢石(30cm)
	旧岩沼米穀商業組合倉庫	岩沼市館下2丁目	S8	石1		<近>
参考	竹駒神社馬事博物館	岩沼市稲荷町1-1	S13	木1	○	腰壁 秋保石積(30cm) <総><近>

註) <総> 日本建築学会編 1989.7『新版 日本近代建築総覧』p40 技報堂出版
 <近> 東北歴史博物館編 2005.3『宮城県の近代化遺産—宮城県近代化遺産総合調査報告書—』pp146-147 (財)宮城県文化財保護協会
 ☆1 邸内社裏面に「明治16.11建立、昭4.5.31奉遷」の銘
 ☆2 同店の『大正貳年 普請雑費帳』に富沢石と記載
 ☆3 邸内社裏面に「大正15.11.11, 仙台土橋通・石匠高橋ほか」施工の銘

1941)で東北学院中学部奉安殿を秋保石(壁・積石)と花崗岩(蛇腹回り)を用いて設計・施工(昭和15年)している(東北学院御真影奉安殿建築関係文書, 1941)。会堂内部は同時期建築の新庄教会・喜多方教会会堂(ともに木造)と類似しており、雛形があったものと考えられる。

仙台の代表的教会であった仙台組合教会・デフォレスト記念会堂は秋保石の積石で建築(大正3年)されており(日本基督教団仙台北教会, 1983)、岩沼教会会堂はそれを手本とし、市内の石蔵で身近にあった富沢石を使用したものと推察される。デフォレスト記念会堂の写真(日本基督教団仙台北教会編, 2010)と比較すると、岩沼教会会堂と類似していることが見てとれる。ちなみに同時期、宇都宮の教会(カトリック松が峰教会・昭和7年、日本聖公会宇都宮聖ヨハネ教会・昭和8年)は鉄筋コンクリート造に大谷石の張石仕上で建築されている(宇都宮市教育委員会文化課編, 1997)。石材は積む時代から貼り付ける材料へと推移していく中(水野, 2007)、岩沼教会会堂は貴重なものとなっている。

謝 辞

本研究を行うにあたり、竹駒神社学芸員の渡辺清子氏、(有)森幸石材工業所の森利幸氏には調査・研究に際し数々の便宜を図っていただいた。

引用文献

1916 頃『秋保石材軌道株式会社』(写真帖) 編集・発行者不明

秋保町史編纂委員会編 1976『秋保町史 本編』pp.323-327
 伊藤則子・西大立目祥子・大沼正寛「仙台政府倉庫の建築的特徴」2009『仙台政府倉庫建造物調査報告書』仙台市文化財調査報告書第351集
 岩沼市史編纂委員会編 2017『岩沼市史第7巻 資料編IV近代』pp.428-439
 建築科学社 1941『日本満洲支那土木建築名鑑 昭和16年度版』(国立国会図書館デジタルコレクション) p.4 宮城県
 Kuwabara, S., Takashima, R., Orihashi, Y., Nishi, H., Satoh, T. & Hayashi K., 2019. Preliminary tephrochronological study of the Yezo Group (uppermost Albian-basal Campanian) in north Japan. *Cretaceous Research*, 109, doi:10.1016/j.cretres.2019.06.004.
 Morton, A. & Hallsworth, C., 2007. Stability of detrital heavy minerals during burial diagenesis. In: Mange, M. A., Wright, D. T. (Eds.), *Heavy Minerals in Use: Developments in Sedimentology*, 58, pp. 215-245.
 水野信太郎 2007「石材と石造」『日本産業技術史事典』pp.100-101 日本産業技術史学会編
 日本建築学会編 1989『新版 日本近代建築総覧』p.40 技報堂出版
 日本基督教団仙台北教会 1983『仙台北教会95年記念誌』p.10
 日本基督教団仙台北教会編 2010『日本キリスト教団仙台北教会120年史』p.42
 日本石材史編纂委員会編 1956『日本石材史』(国立国会図書館デジタルコレクション) pp.457-458
 農業倉庫関係文書 1925「大正14-22 農商工 農業・農業倉庫関係」宮城県公文書館蔵
 生田慶司・藤田至則 1975「岩沼地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1図幅)」地質調査所
 Perkins, M.E., Nash, W.P., Brown, F.H. & Fleck, R.J., 1995. Fallout tuffs of Trapper Creek, Idaho—A record of Miocene explosive volcanism in the Snake River plain volcanic province. *Geological Society of America Bulletin*, 107, 1484-1506.

- Perkins, M.E., Brown, F.H., Nash, W.P., McIntosh, W. & Williams, S.K., 1998. Sequence, age, and source of silicic fallout tuffs in middle to late Miocene basins of the northern Basin and Range province. *Geological Society of America Bulletin*, 110, 344-360.
- 斎藤広通 2019 「竹駒神社馬事博物館の設計者・我妻駒之進について」『日本建築学会東北支部研究報告集 計画系第82号』 pp.131-134
- 斎藤広通・相模誓雄・高橋直子 2020 「竹駒神社馬事博物館の調査報告について」『日本建築学会東北支部研究報告集 計画系第83号』 pp.161-164
- Samson, S. D., Matthews, S., Mitchell, C. E., Goldman, D., 1995. Tephrochronology of highly altered ash beds: The use of trace element and strontium isotope geochemistry of apatite phenocrysts to correlate K-bentonites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59, 2527-2536.
- Sell, B. K., Samson, S. D., 2011a. A tephrochronologic method based on apatite trace-element chemistry. *Quaternary Research*, 76, 157-166, doi:10.1016/j.yqres.2011.03.007
- Sell, B. K. & Samson, S.D., 2011b. Apatite phenocryst compositions demonstrate a miscorrelation between the Millbrig and Kinnekulle K-bentonites of North America and Scandinavia. *Geology*, 39, 303-306, doi: 10.1130/G31425.1.
- Sell, B. K., Samson, S.D., Mitchell, C.E., McLaughlin, P.I., Koenig, A.E. & Leslie, S.A., 2015. Stratigraphic correlations using trace elements in apatite from Late Ordovician (Sandbian-Katian) K-bentonites of eastern North America. *Geological Society of America Bulletin*, 127, 1259-1274, doi: 10.1130/B31194.1.
- 仙台建築会 1931 『仙台建築会会報 第7号』 p.27
- 仙台市民映像プロジェクト制作 『読み解き仙台写真集』 <https://photo-sendai.com>
- Takashima, R., Kuwabara, S., Sato, T., Takemura, K., Nishi, H., 2017. Utility of trace elements in apatite for discrimination and correlation of Quaternary ignimbrites and co-ignimbrite ashes, Japan. *Quaternary Geochronology*, 41, 151-162, doi: 10.1016/j.quageo.2017.04.001.
- Takashima, R., Kusakawa, H., Kuwabara, S., Orihashi, Y., Nishi, H., Niwano, M. & Yoshida, T., 2020. Identification of the source caldera for a Pliocene ash-flow tuff in Northeast Japan based on apatite trace-element compositions and zircon U-Pb ages. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 401, 106948, doi:10.1016/j.jvolgeores.2020.106948.
- 高嶋礼詩 2018 仙台市文化財調査報告書第464集、平成28年度貞山堀本発掘調査1区石積みの石材鑑定。平成27・28年度蒲生北部被災市街地復興土地区画整理事業関係遺跡発掘調査報告書、pp.92 - 97
- 高嶋礼詩・桑原里・草川遥・庭野道夫 2018 東北福祉大学・横向山校地及び朴木山キャンパス周辺に露出する新第三系一第四系の層序。東北福祉大学感性福祉研究所年報、19巻、p.79 - 92
- 東北学院御真影奉安殿建築関係文書 1941 「昭和16-0013 学事 私立学校」宮城県公文書館蔵
- 東北歴史博物館編 2005 『宮城県の近代化遺産—宮城県近代化遺産総合調査報告書一』 pp146-147 (財)宮城県文化財保護協会
- 内山隆弘・高嶋礼詩 2020 東北大学片平キャンパスの歴史的建造物に用いられた凝灰岩についての研究。Bulletin of the Tohoku University Museum, No. 19, pp. 39-50
- 宇都宮市教育委員会文化課編 1997 『宇都宮の石造建造物』 pp.2-10

Stone Tool Functions in the Preceramic Period at the Loma Atahualpa Site in Ecuador

Yoshitaka Kanomata¹⁾, Andrey V. Tabarev²⁾, Alexander N. Popov³⁾, Boris V. Lazin³⁾,
Tatiana A. Gavrilina²⁾, Maxim K. Rudenko³⁾ and Jorge G. Marcos⁴⁾

¹⁾ Tohoku University, Sendai, Japan

²⁾ Institute of Archaeology and Ethnography, Novosibirsk, Russia

³⁾ Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

⁴⁾ Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador

Abstract: The excavations at the Loma Atahualpa site (Atahualpa-66) in the Santa Elena Province of Ecuador were conducted by Russian, Ecuadorian, and Japanese archaeologists in 2017 and 2018. Three human burials were discovered approximately 100 cm below the ground surface, indicating that they probably originated from the Late Las Vegas culture of the preceramic period. This study aims to understand the technological and functional features of stone tools from the preceramic period at the Loma Atahualpa site. In addition, technological and functional changes between the Early-Middle Las Vegas and Early Valdivia cultures were examined in comparison to the materials already analyzed.

1. Introduction

Since the late 1950s, the earliest pottery has been attributed to the materials of the Early Formative Valdivia culture in coastal Ecuador. The Real Alto site, one of the most significant sites of the Valdivia culture, was excavated in the 1970s and 1980s. A series of field studies provided extensive and precise information on the evolution of small sites of early agriculturalists into huge settlements with artificial mounds and plazas and, later, into one of the earliest regional ceremonial centers in South America (Marcos 1988). Unfortunately, intensive expeditions of Valdivia culture sites were interrupted after the mid-1980s. Consequently, several important archaeological questions have remained unanswered for approximately 30 years.

In 2014, 2015, and 2017, new excavations of the Real Alto site were conducted by Russian, Ecuadorian, and Japanese archaeologists (Popov et al. 2017). The main goal of their research was to discover the oldest cultural layer containing Valdivia I and San Pedro pottery in the early ceramic period. At last, the authors discovered the oldest non-ceramic culture at the Real Alto site, dated around 5,800 BP (6655-6563calBP). In addition, numerous lithic artifacts were unearthed and analyzed based on techno-typology and use-wear (Tabarev and Kanomata 2015, Kanomata et al. 2019b). The authors proposed the original model of the “Tropical package” for the transitional period from hunter-gatherers to

early agriculturalists in coastal Ecuador. Moreover, the new radiocarbon dates of Valdivia I and San Pedro potteries ($n=5$) could be attributed to 4640 to 4450BP (5470-4880calBP) (Tabarev et al. 2016, Kanomata et al. 2019b). In the case of the Santa Elena Peninsula, we suggest the existence of pre-Valdivia without pottery as well as Las Vegas with pottery. The next target was to understand the dates and features of the Late Las Vegas culture.

2. New Excavation at the Loma Atahualpa Site

A small test pit was excavated at the Loma Atahualpa site (Atahualpa-66) in Santa Elena Province in October 2017, in which a human burial was discovered 95cm below the ground surface. The burial was attributed to the preceramic period because this cultural level contains no pottery. Accelerator Mass Spectrometry (AMS) dates were obtained from the charcoal samples situated 80–100 cm below the ground surface (Table 1). A radiocarbon date near the burial indicated a preceramic age (5,340±30BP) and another, farther away from burial, yielded a younger age (3,280±30BP). Based upon these results, the burial can be attributed to the Late Las Vegas culture, and this site is deemed the most suitable target to achieve our research goal.

In 2018, the second excavation was directed by J. G. Marcos, A. N. Popov, and A. V. Tabarev. This project was

Tab.1 Radiocarbon dates at the Loma Atahualpa site. *OxCal v.4.4.2 (Bronk Ramsey 2020) and Intcal 20

Lab Number	Sample	Sample Provenance	Material Type	Pre-treatment	Carbon recovery (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) (AMS)	Data with $\delta^{13}\text{C}$ Correction			
							Conventional		pMC (%)	
							^{14}C Age (yrBP)			
IAAA-181070	1	level 5, burial 1, 80-100cm	Charred material	AaA	66	-25.44 ± 0.24	5,340 ± 30	51.44 ± 0.18		
IAAA-181071	2	level 5, 80-100cm	Charred material	AaA	70	-26.93 ± 0.29	3,280 ± 30	66.48 ± 0.23		
IAAA-190093	3	N103/E105, dark spot under shell mound burial 3, 100-120cm	Charred material	AaA	68	-26.43 ± 0.27	2,950 ± 30	69.31 ± 0.22		

Lab Number	Data without $\delta^{13}\text{C}$ Correction		Age for Calibration (yrBP)	Calibrated Age (1 σ)	Calibrated Age (2 σ)
	Age (yrBP)	pMC (%)			
IAAA-181070	5,350 ± 30	51.39 ± 0.18	5,340 ± 27	6196calBP - 6172calBP (13.9%)*	6268calBP - 6245calBP (6.1%)*
				6149calBP - 6113calBP (22.0%)*	6205calBP - 6105calBP (47.5%)*
				6078calBP - 6058calBP (10.3%)*	6089calBP - 6001calBP (41.9%)*
				6050calBP - 6011calBP (22.1%)*	
IAAA-181071	3,310 ± 30	66.21 ± 0.22	3,279 ± 27	3556calBP - 3530calBP (21.3%)*	3567calBP - 3447calBP (95.4%)*
				3494calBP - 3454calBP (46.9%)*	
IAAA-190093	2,970 ± 20	69.1 ± 0.21	2,945 ± 25	3160calBP - 3069calBP (68.2%)	3205calBP - 3196calBP (1.3%)
					3176calBP - 3000calBP (94.1%)

*OxCal v.4.4.2: Bronk Ramsey (2020) ; r5; Atmospheric data from Reimer et al. (2020)

conducted with the cooperation of Russian-Ecuadorian and Japanese archeologists. The area of the main unit (no.1) was 28 m² and accompanied by a trench (no.1, 4 m²) and five test pits (no.1-5, each 2 m²). The basic stratigraphy in the main unit comprised six layers as follows:

- 1st: Solid grayish sand (10-40cm depth).
- 2nd: Sandy loam of dark brown-greyish color (40-60cm depth).
- 3rd: Sandy loam of dark brown-greyish color with *Anadara* shells (60-80cm depth).
- 4th: Sandy loam of dark brown-greyish color (80-100cm depth).
- 5th: Sandy loam of dark brown-greyish color with *Anadara* shells (100-120cm depth).
- 6th: Solid yellow-brownish sand (deeper than 120cm) – sterile horizon.

Three burials were discovered in the lower levels of the main unit, situated approximately 100 cm below the ground surface. Burial no.2 was contained in the layer with shells (5th layer), which covered burials no.1 and 3. Burial no. 1 was discovered in the test pit in 2017. The closest charcoal of burial no. 3 was selected as a sample for radiocarbon determination. Unfortunately, the date measured by the AMS method, 2,950±30BP, was more recent than two dates attributed to the upper level (5th level). This suggests that the 6th layer was contaminated from the upper layers due to elements such as animal burrows or dry cracks under

the ground. Soil cracks identified on the sterile horizon at the bottom of the main unit may have contributed to this contamination.

A number of pottery fragments were recovered from the main unit. More than 95 % of the potteries were unearthed from a depth of 0-80 cm (levels 1-3). These are typologically attributed to the Late Valdivia, Machallilla, and Guangala-Manteña cultures. Therefore, the artifacts situated greater than 80 cm in depth can be attributed to the preceramic culture.

Because precise analysis of ceramics and lithic tools is in progress, the authors explain the characteristics of lithic tools in preceramic culture from the viewpoint of technology and function.

3. Technology

The authors selected 30 lithic tools from more than 3,000 materials (99% is represented by the by-products of percussion) and created the illustrations presented in Fig. 1, 2 and 3. These tools included denticulates (8), an end scraper (1), flakes (3), flakes with microflaking (3), notches (2), a notched scraper (1), retouched flakes (9), and scrapers (2) (Tab. 2) made from chalcedony (10), chert (16), jasper (2), and quartzite (2). The raw material composition indicates that artisans intentionally selected hard and silicified stones for manufacturing flake tools. The average

size of the flake tools was 37.4 mm long, 26.6 mm wide, and 12.1 mm thick. The average striking angle was 109.3°. Blank flakes were removed by direct knapping using hard stone hammers. The existence of a bipolar technique is unclear. Secondary retouch flake removals were performed using

the same method. Multiple circular cracks formed by hitting were observed on the surface of three flake tools (Fig. 13–4, 11, and 14–13). These traces indicate failures in knapping during secondary removals.

Tab.2 Attributes and use-wear of lithic tools at the Loma Atahualpa site in 2018

no.	square	depth	tool type	length (mm)	width (mm)	thickness	raw material	striking angle	used position	polish type	worked material	striation	operation	
1	N104-106 /E104	80-100 cm	retouched flake	37.3	22.1	8.7	chalcedony	120	dorsal/left/low	B? or D2?	wood, bone/antler	parallel	cut/saw	
2			retouched flake	27.8	36.2	11	jasper	119	-	-	-	-	-	
3			retouched flake	19	19.6	2.7	chert	-	ventral/left middle	-	-	-	vertical	whittle
4			denticulate	24.7	29.6	10.3	chert	-	-	-	-	-	-	-
5	N102-106 /E105		retouched flake	49.2	34.3	9.7	jasper	94	both/both/low	D2?	bone/antler ?	parallel	cut/saw	
6			flake with microflaking	46	54	9.5	chalcedony	91	dorsal/right/low, ventral/left/low	D2? or B?	wood, bone/antler	parallel	cut/saw	
7			notched scraper	66.9	27.8	20.7	chert	117	-	-	-	-	-	
8			notch	28.6	20.6	10.1	chert	-	-	-	-	-	-	
9			snapped flake	33.6	24.4	9.9	chert	-	-	-	-	-	-	
10	N102-106 /E101		retouched flake	25.4	11.7	7	chert	-	-	-	-	-	-	
11			denticulate	20	24.5	15.2	chert	-	-	-	-	-	-	
12			denticulate	31	24.7	17.4	chalcedony	-	ventral/notched edge	D1?	bone/antler ?	vertical	whittle	
13			denticulate	26.4	17.5	12.4	chalcedony	127	-	-	-	-	-	
13(2)	N102-106 /E103		end scraper	42	25.7	15.1	chert	126	ventral/notched edge	?	-	vertical	whittle	
14			notch	40.5	40.5	12.1	chalcedony	93	ventral/notched edge	B? or D2?	wood, bone/antler	parallel	cut/saw	
15			scraper	60.7	30.5	21.6	quartzite	-	-	-	-	-	-	
16			flake	48	17.4	7.7	quartzite	108	-	-	-	-	-	
17			flake	41.8	30.5	15.9	chalcedony	120	-	-	-	-	-	
18	N102-106 /E102		snapped flake with retouch	24.2	20.4	8	chert	-	-	-	-	-	-	
19			retouched flake	25.1	37.2	9.5	chalcedony	-	ventral/base	D1?	bone/antler ?	?	-	
20		denticulate	36.8	33.1	12.9	chalcedony	-	ventral/notched edge	D1, D2	bone/antler	vertical	whittle		
21		flake with microflaking	36.5	16.5	12.7	chert	133	-	-	-	-	-		
22	N102 /E106	100-110 cm	flake with microflaking	39.4	28.9	9.9	chert	105	dorsal/left, ventral/right	D2	bone/antler	parallel	cut/saw	
23			denticulate	45.7	42.7	24	chalcedony	90	dorsal/right, ventral/left	D2	bone/antler	parallel	cut/saw	
24			denticulate	39.2	29.2	19.2	chert	-	-	-	-	-	-	
25	denticulate		43.3	24.7	17.9	chert	100	ventral/notched edge	D1, D2	bone/antler	vertical	whittle		
26	N102 /E105		scraper	33.5	20.2	8.7	chert	103	dorsal/left, ventral/right	B? or D2?	wood, bone/antler	parallel	cut/saw	
27			retouched flake	35.3	18.1	6.7	chert	-	-	-	-	-	-	
28			flake	55.2	17.4	3.1	chalcedony	103	-	-	-	-	-	
29			retouched flake	39.9	17.2	13.2	chert	-	-	-	-	-	-	
30	burial no.2			axe	76.2	52.3	31.5	green madstone	-	-	-	-	-	

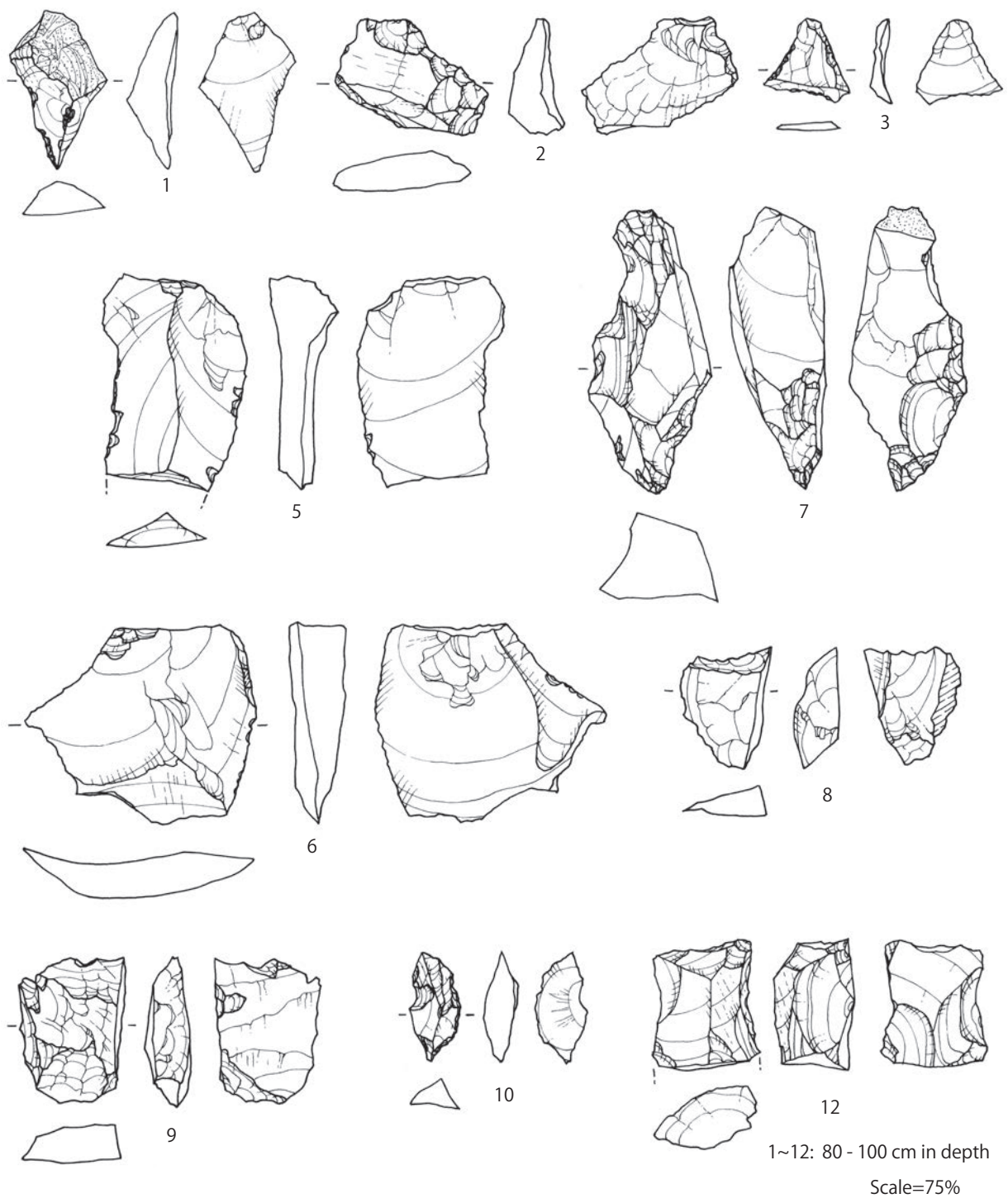


Fig.1 Lithic artifacts at the Loma Atahualpa site in 2018.

Based upon research conducted by the authors, these technological characteristics are common to the Las Vegas and Early Valdivia cultures (Tabarev and Kanomata 2015).

From a techno-typological point of view, it is difficult to distinguish which culture these lithic tools belong to.

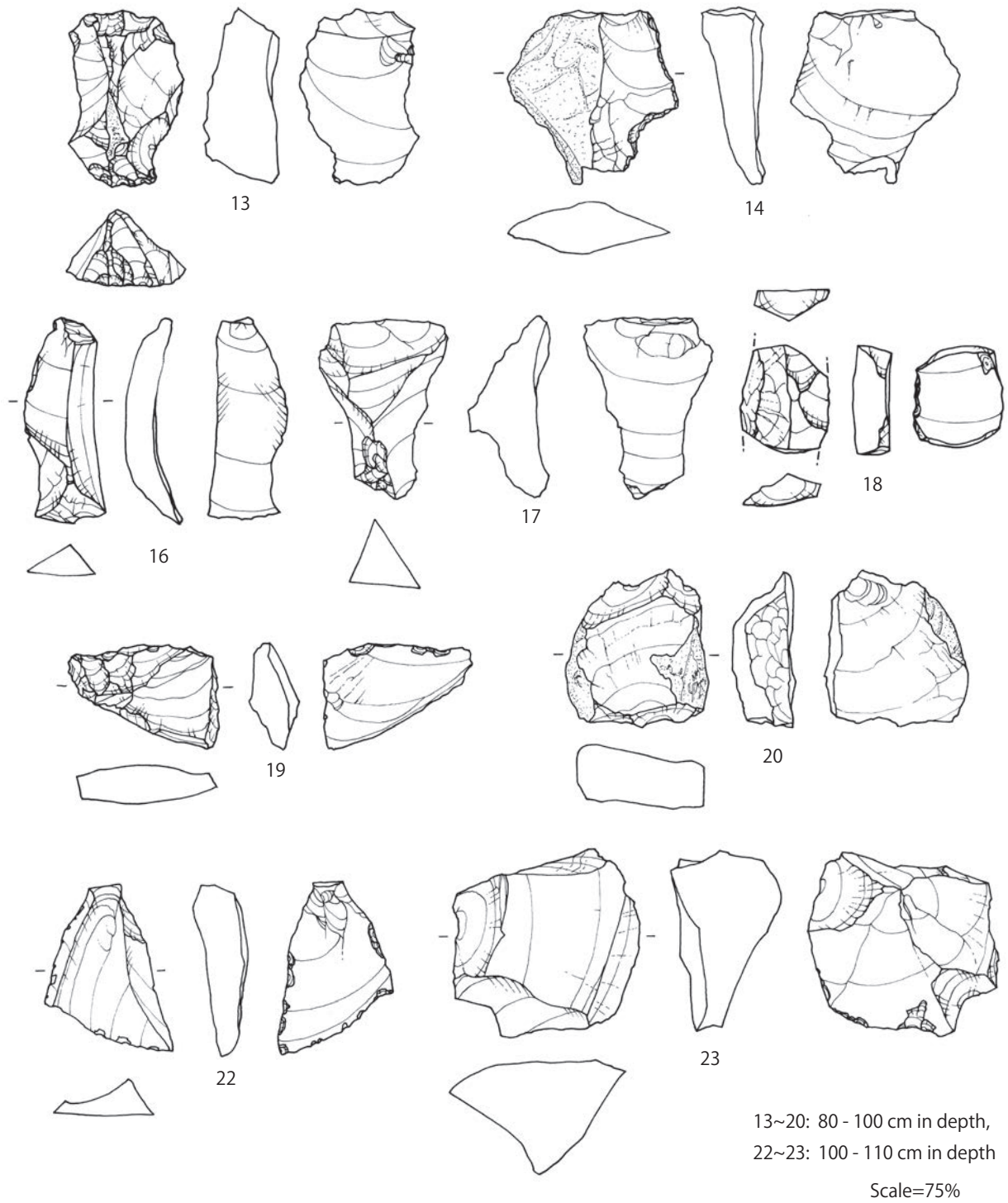


Fig.2 Lithic artifacts at the Loma Atahualpa site in 2018.

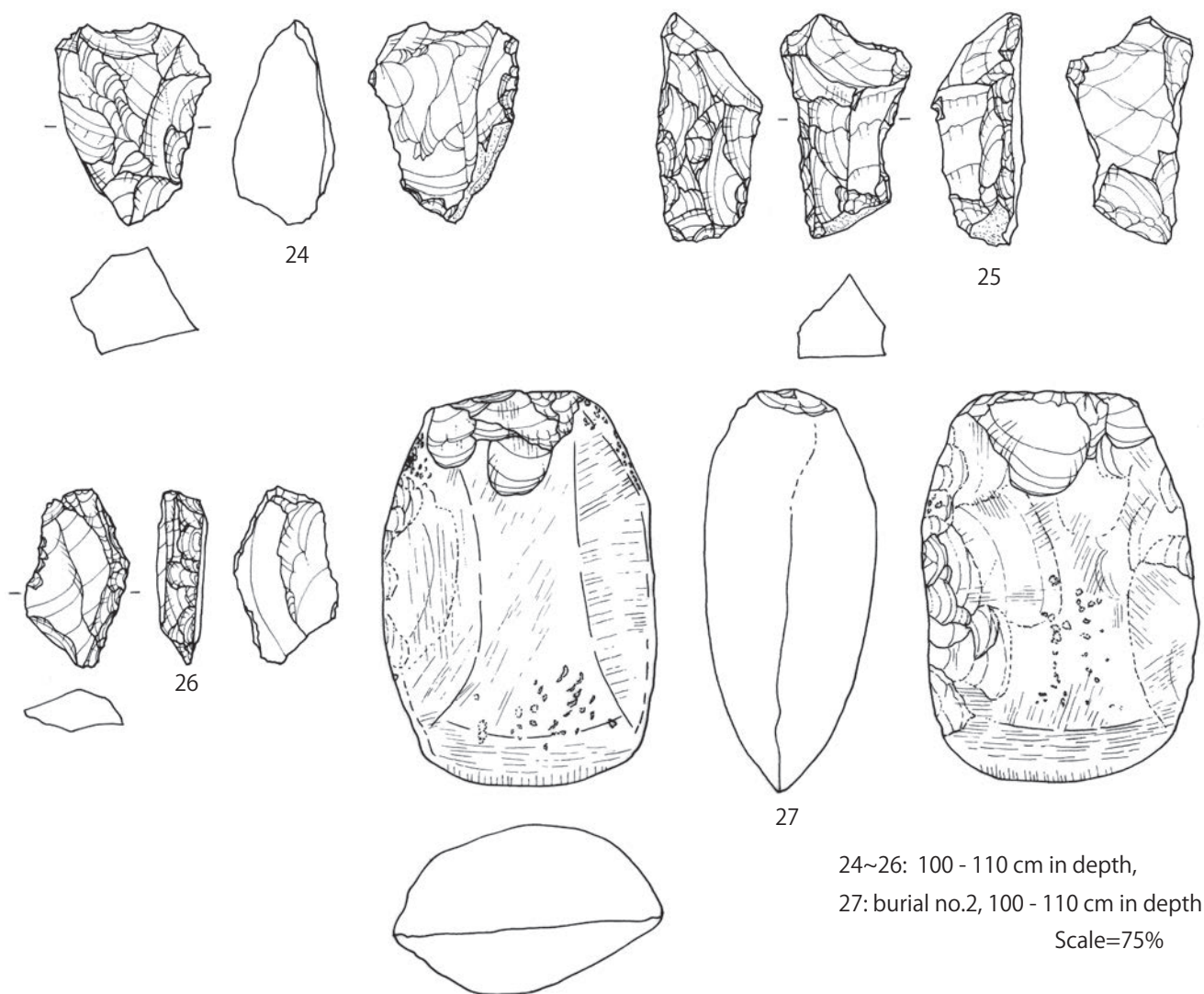


Fig.3 Lithic artifacts at the Loma Atahualpa site in 2018.

4. Function

1)Object

Object materials for use-wear analysis were unearthed from 80 to 100 cm (level 4) and 100 to 110 cm (level 5) below the ground surface. The vertical distribution of pottery and characteristics of lithic technology indicate that a cultural layer deeper than 80 cm from the surface would belong to the Late Las Vegas or Post Las Vegas period. Therefore, the objective of the use-wear analysis is to understand the function of stone tools in this period.

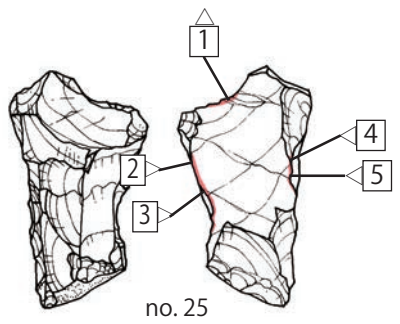
2)Method

Use wear analyses were carried out by one of the authors

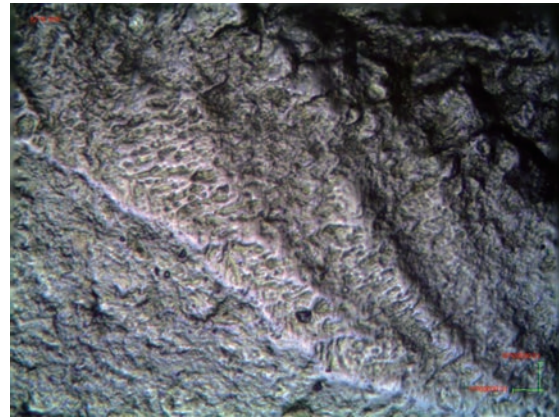
(Kanomata) at the Real Alto site from 2014 to 2017. The raw materials of the lithic tools recovered from the Real Alto and Loma Atahualpa sites included chalcedony, chert, and quartzite. Thus, the same methodology was applied in this analysis. As the authors excavated all of the materials in 2018, specific items were intentionally selected just after discovery and carefully washed. The authors observed lithic artifacts from 80 to 110 cm below the surface (levels 4 and 5) with the naked eye and tried to find stone tools that exhibited retouch, micro-flaking, and abrasion. Next, these materials were carefully examined under a metallurgical microscope (**OLYMPUS BH**). Microscopic photos were taken using a digital USB camera, and some of them were processed using image-composing software (**Helicon Focus**). Although

most lithic artifacts exhibited no apparent use-wear, four lithic tools with relatively obvious use-wear polishes and seven tools with unapparent use-wear were identified (Tab. 2). A microscope with magnification between 100× and 400×

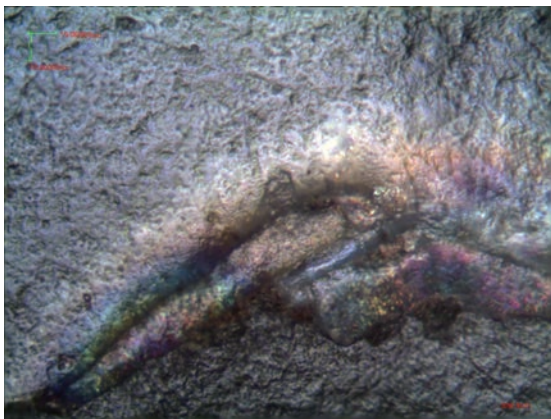
was used to classify micro-wear polishes. Systematic use-wear analysis was conducted using the “Keely method” (or the “high power approach”) to identify worked material and operation (Keely 1980, Akoshima 1989).



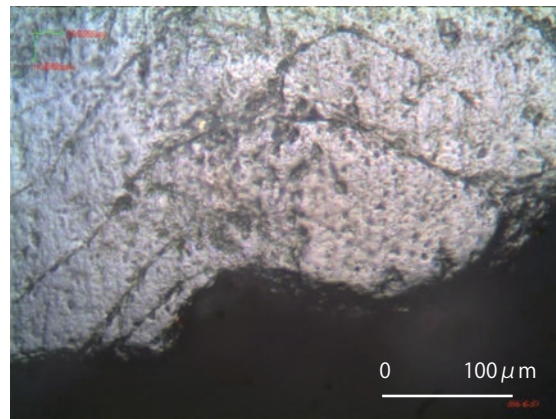
Scale=75%



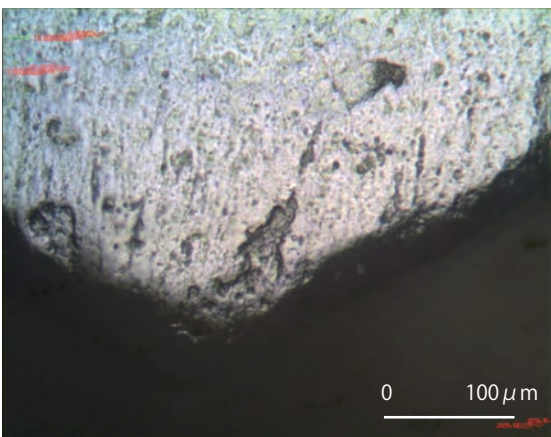
1 bone/antler polish and vertical striation (x200)



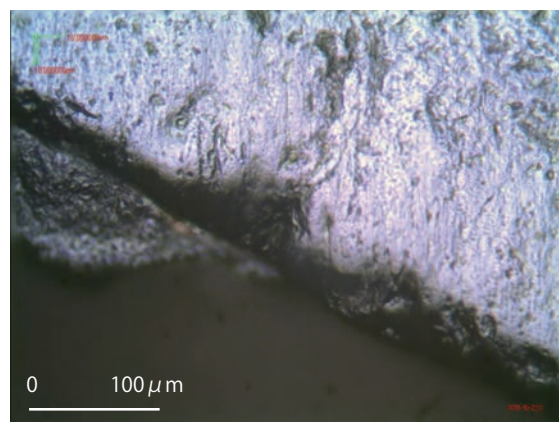
2 bone/antler polish and vertical striation (x200)



3 bone/antler polish and vertical striation (x200)



4 bone/antler polish and vertical striation (x200)



5 bone/antler polish and vertical striation (x200)

Fig.4 Use-wear on lithic artifacts at the Loma Atahualpa site in 2018.

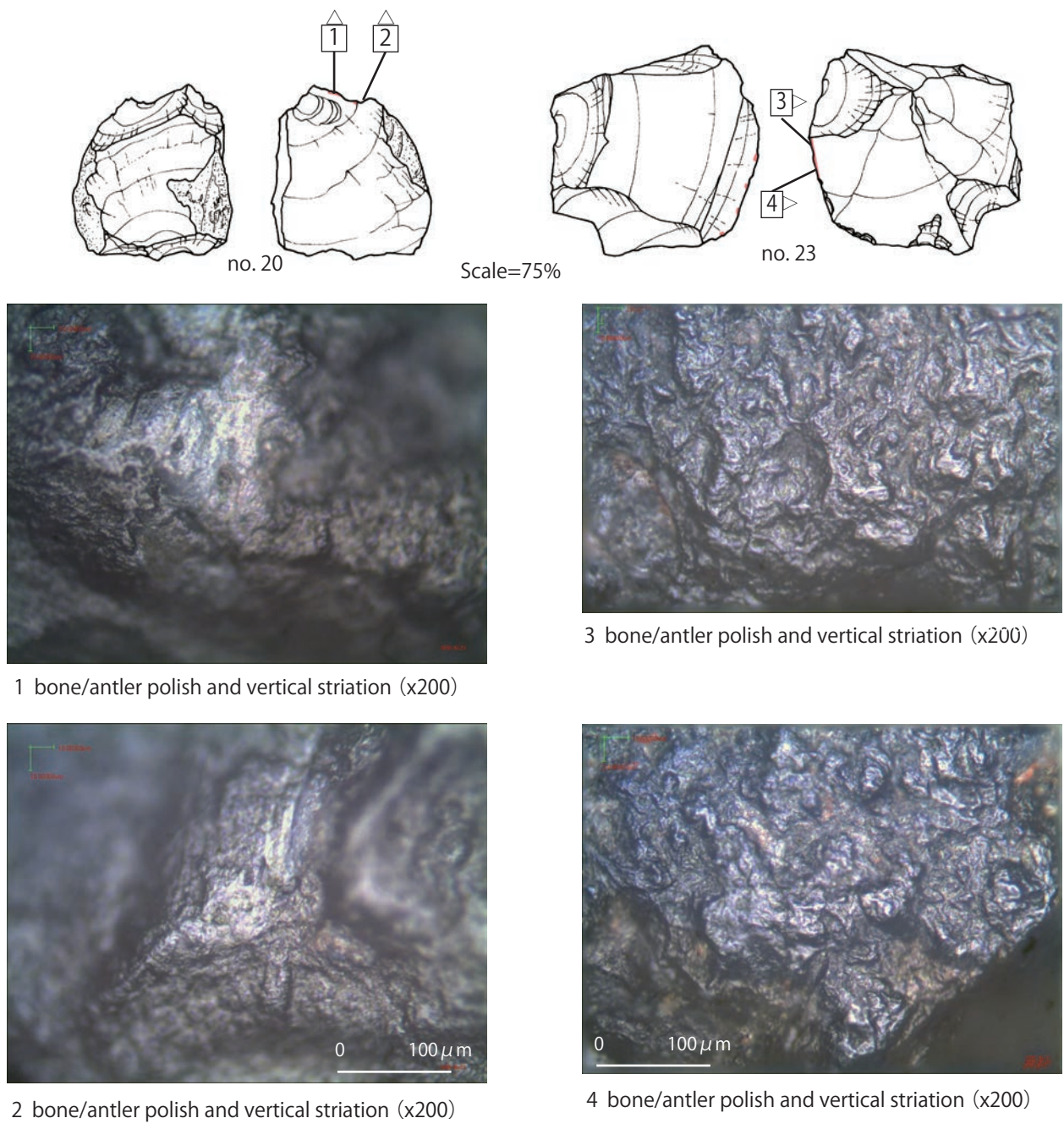
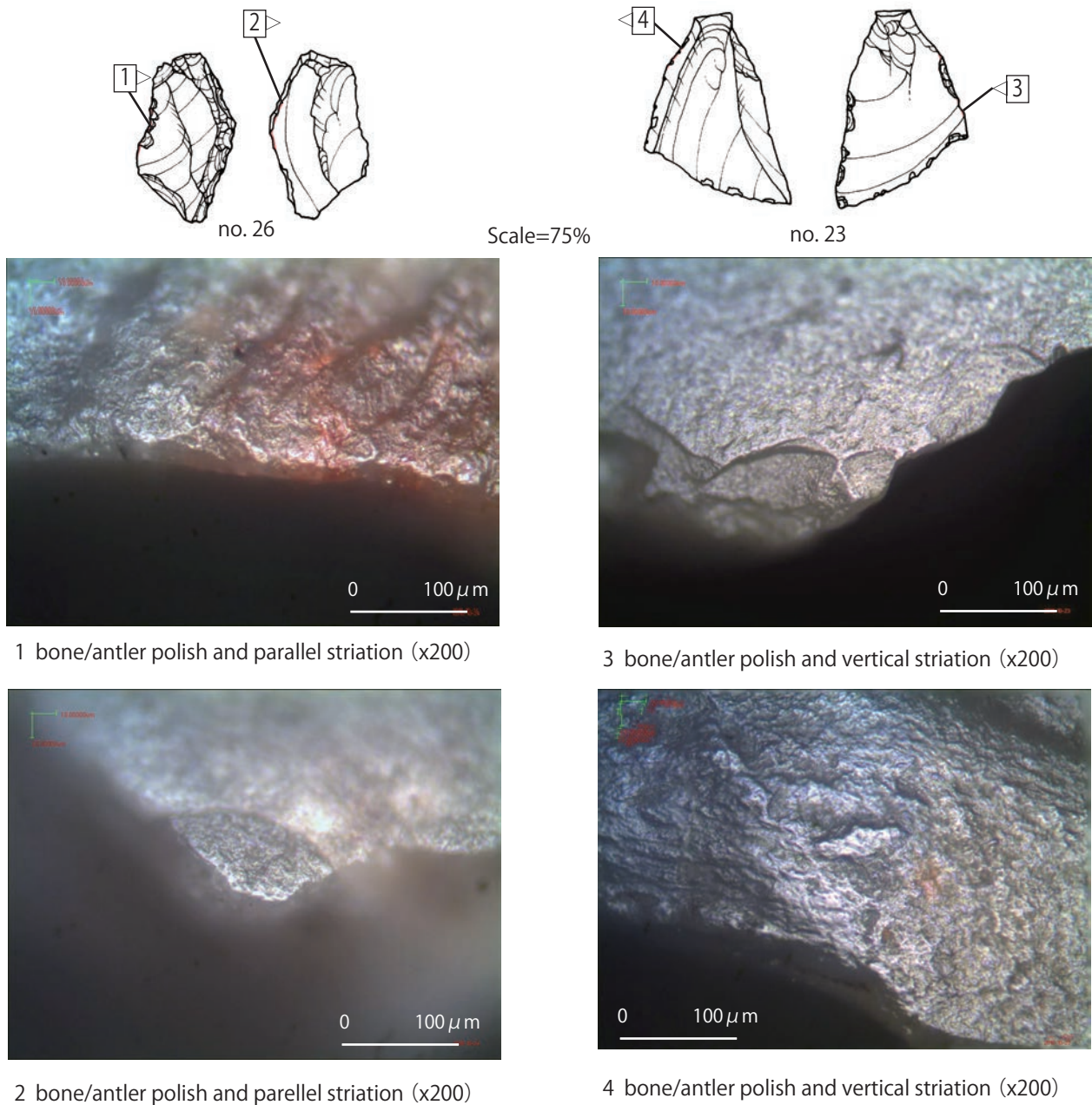


Fig.5 Use-wear on lithic artifacts at the Loma Atahualpa site in 2018.



1 bone/antler polish and parallel striation (x200)

3 bone/antler polish and vertical striation (x200)

2 bone/antler polish and parallel striation (x200)

4 bone/antler polish and vertical striation (x200)

Fig.6 Use-wear on lithic artifacts at the Loma Atahualpa site in 2018.

3) Result

Denticulate no. 25 exhibited the most apparent use-wear pattern. This tool has three notched edges, with use-wear polishes formed at the central part of all edges (Fig.4). Polished surfaces with vertical striations exhibited characteristics of bone/antler use-wear pattern— a bright/flat surface, narrow/highly dense striations, and rounded edges. This means three independent use zones (IUZ: defined by Vaughan [1985a,]) for whittling bone/antler were recognized

on a lithic tool.

Notching and denticulate are related to whittling bone/antler. No. 20 exhibits a use-related polish with vertical striations on the center of the notched edge (Fig. 5–1 and 2). No. 12 shows the same traces on the notched edge at the distal end (Fig. 7–1 and 2).

The other tools were utilized for cutting/sawing activities. Edges that were not retouched were sharp enough to cut and saw relatively hard materials. The polished surface

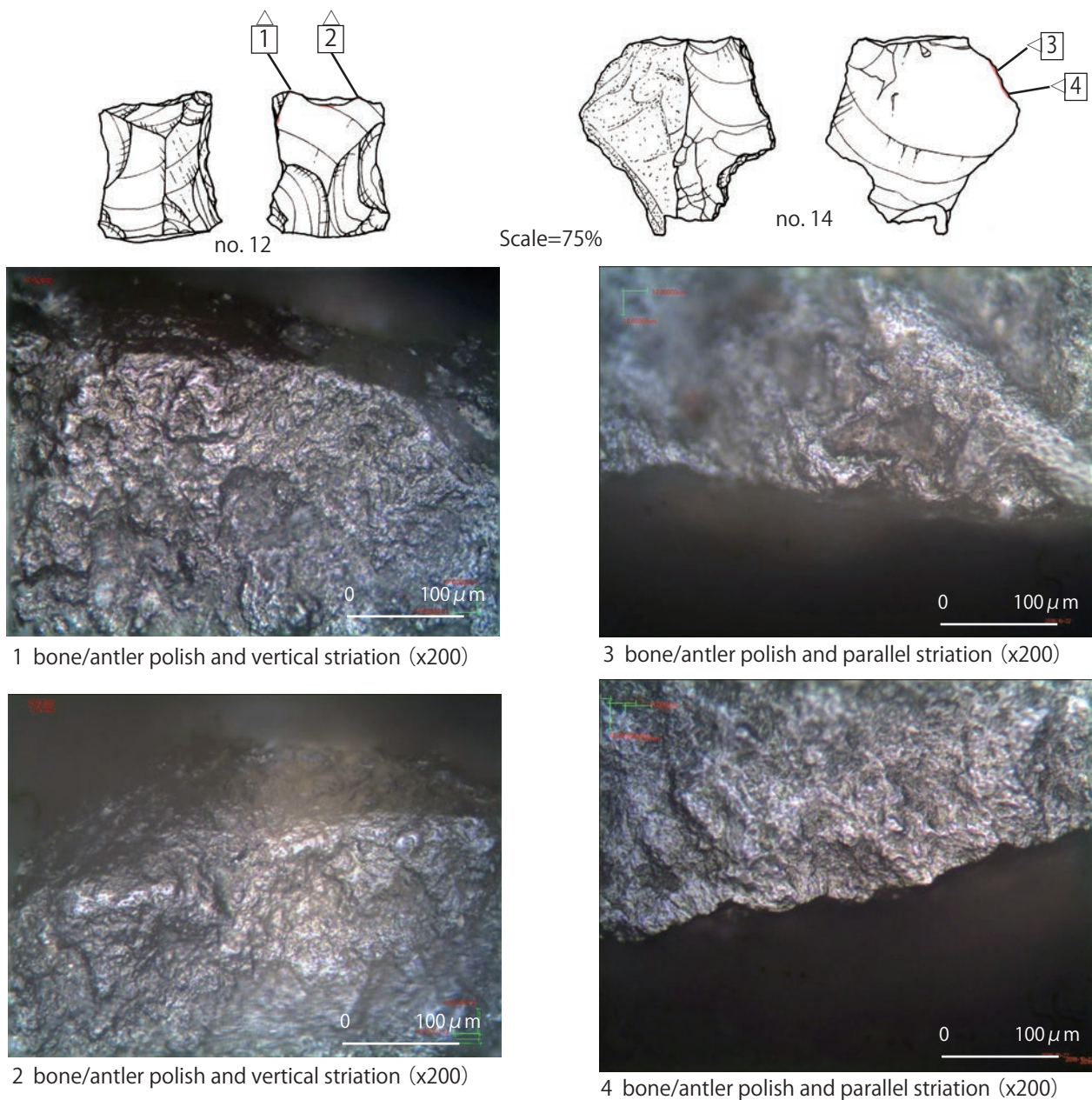


Fig.7 Use-wear on lithic artifacts at the Loma Atahualpa site in 2018.

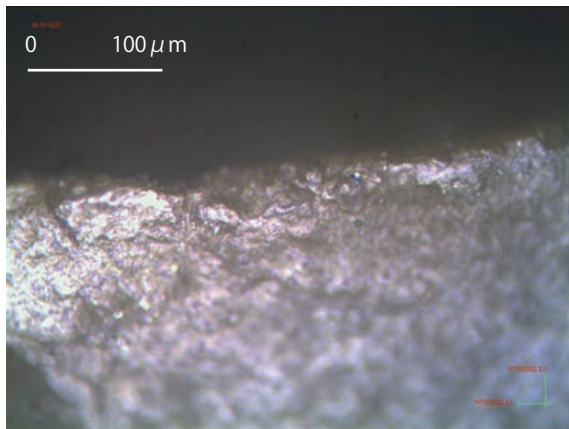
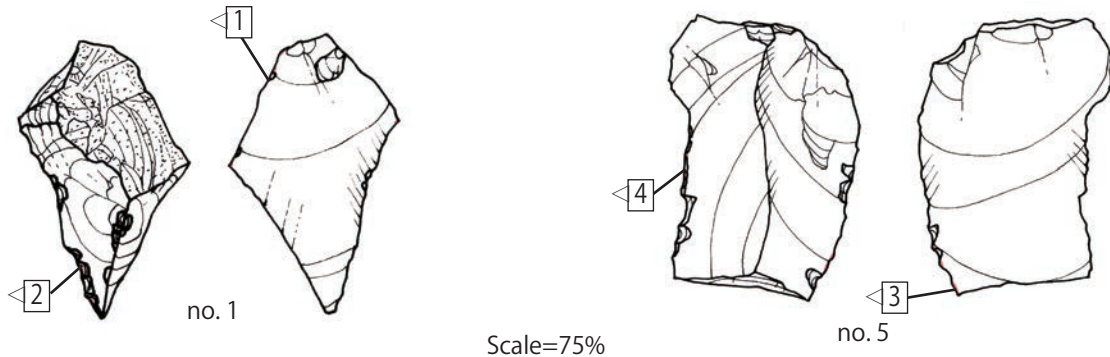
exhibits characteristics of cutting/sawing relatively hard materials such as wood and bone/antler (Fig. 5–3, 4, 6–3, 4, 7–3, 4, and 8). Although the development of the polish is not sufficient to classify worked material into wood or bone/

antler, the most probable worked material is bone/antler because there is no developed polish typical of working wood in this industry.

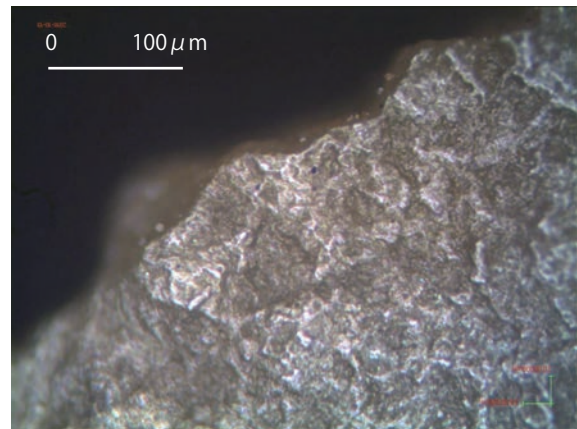
5. Polishing technology of the axe

Because an axe was discovered with burial no.2, it is important to know whether this axe was used. The axe was made of green mudstone with pecking, flaking, and polishing techniques. The author examined all the surfaces and edges of the axe not only to recognize use-wear but also to classify polishing technologies.

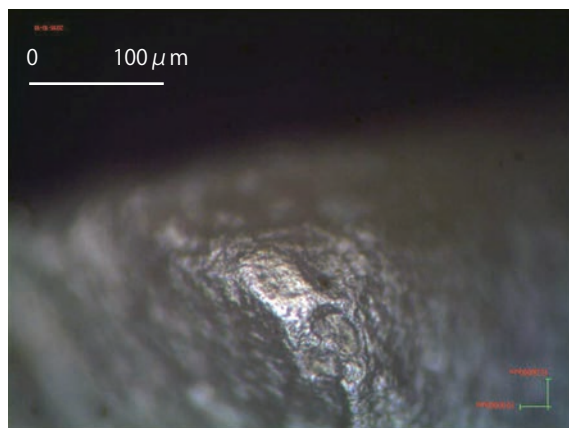
Removal of the face by knapping exhibits no striation in the area except for the ridge that contacted the polishing tool (Fig. 9-1). Pecking traces show overlapping pits without striation and polishing (Fig. 9-2). The polishing area indicates apparent and parallel striations with polish (Fig. 9-3 -6, 10-1 -6). The development of polish differs according to the degree of polishing activity. The brightest polish is shown in the central area of the axe. According



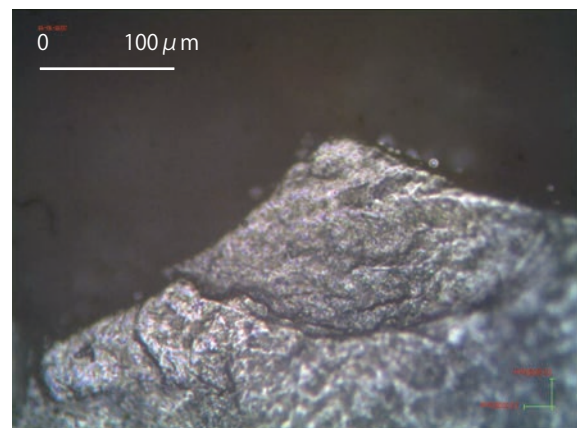
1 bone/antler polish and vertical striation (x200)



3 bone/antler polish and parallel striation (x200)



2 bone/antler polish and vertical striation (x200)



4 bone/antler polish and parallel striation (x200)

Fig.8 Use-wear on lithic artifacts at the Loma Atahualpa site in 2018.

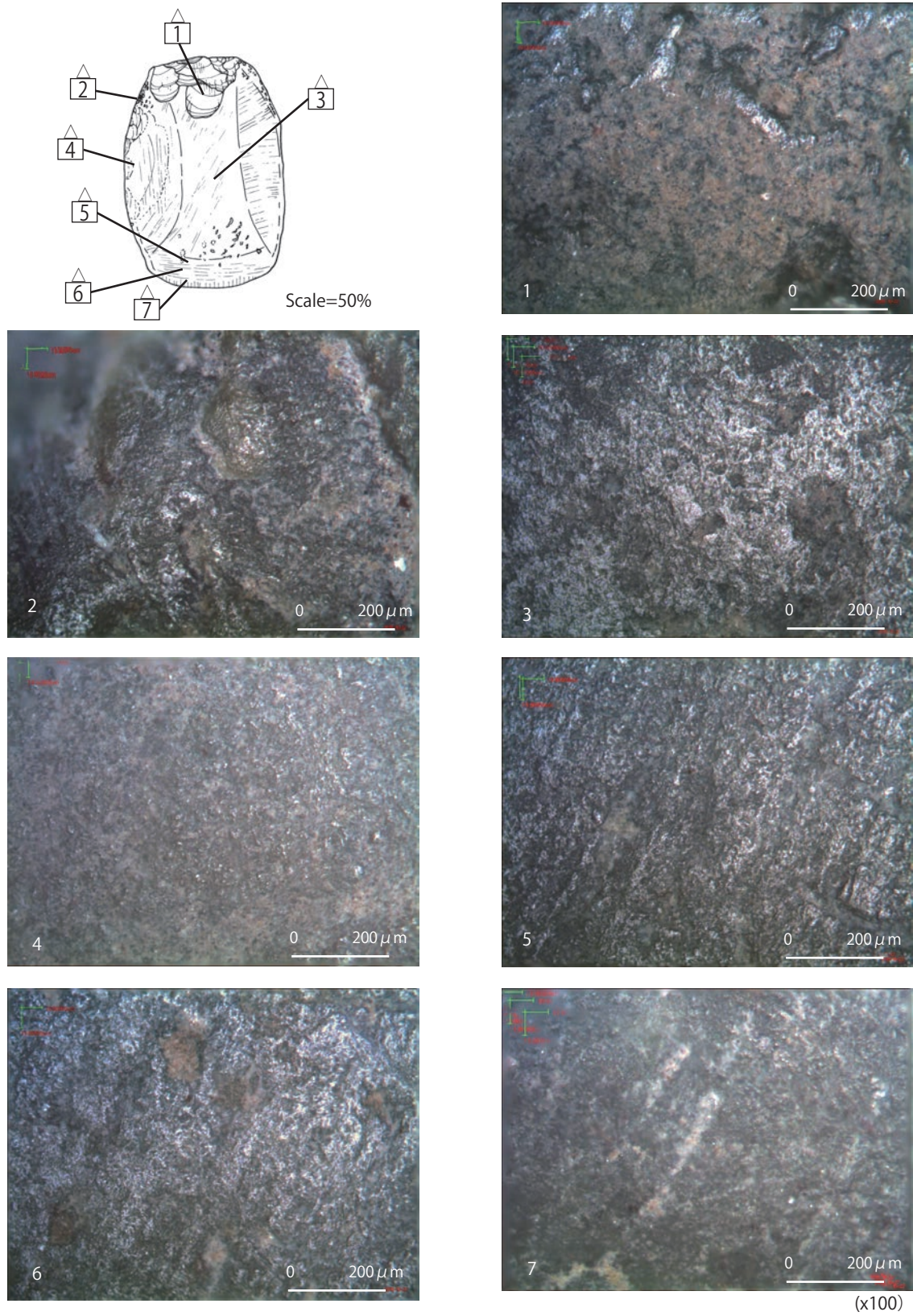


Fig.9 Polished surface and striations on the axe at the Loma Atahualpa site in 2018.

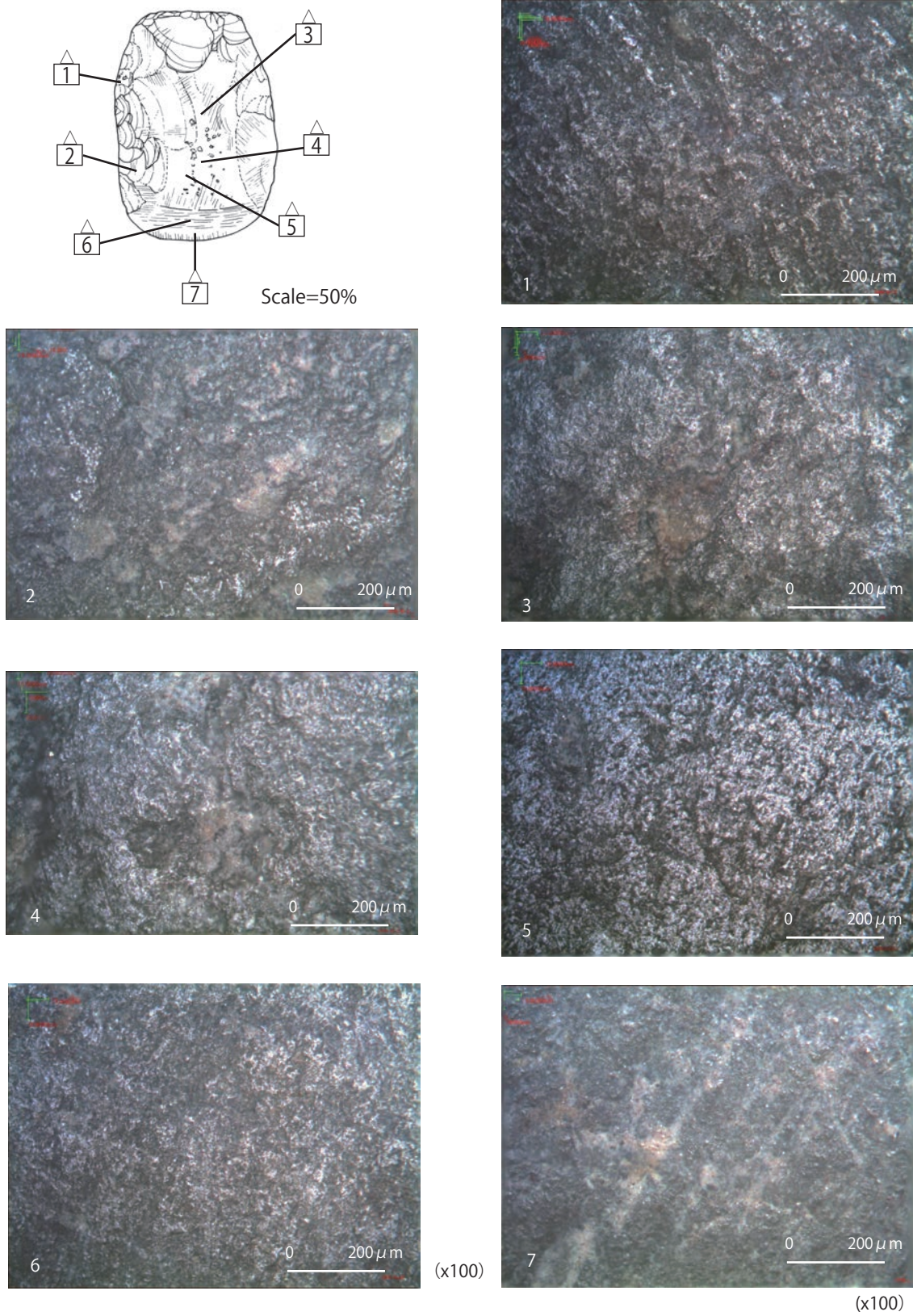


Fig.10 Polished surface and striations on the axe at the Loma Atahualpa site in 2018.

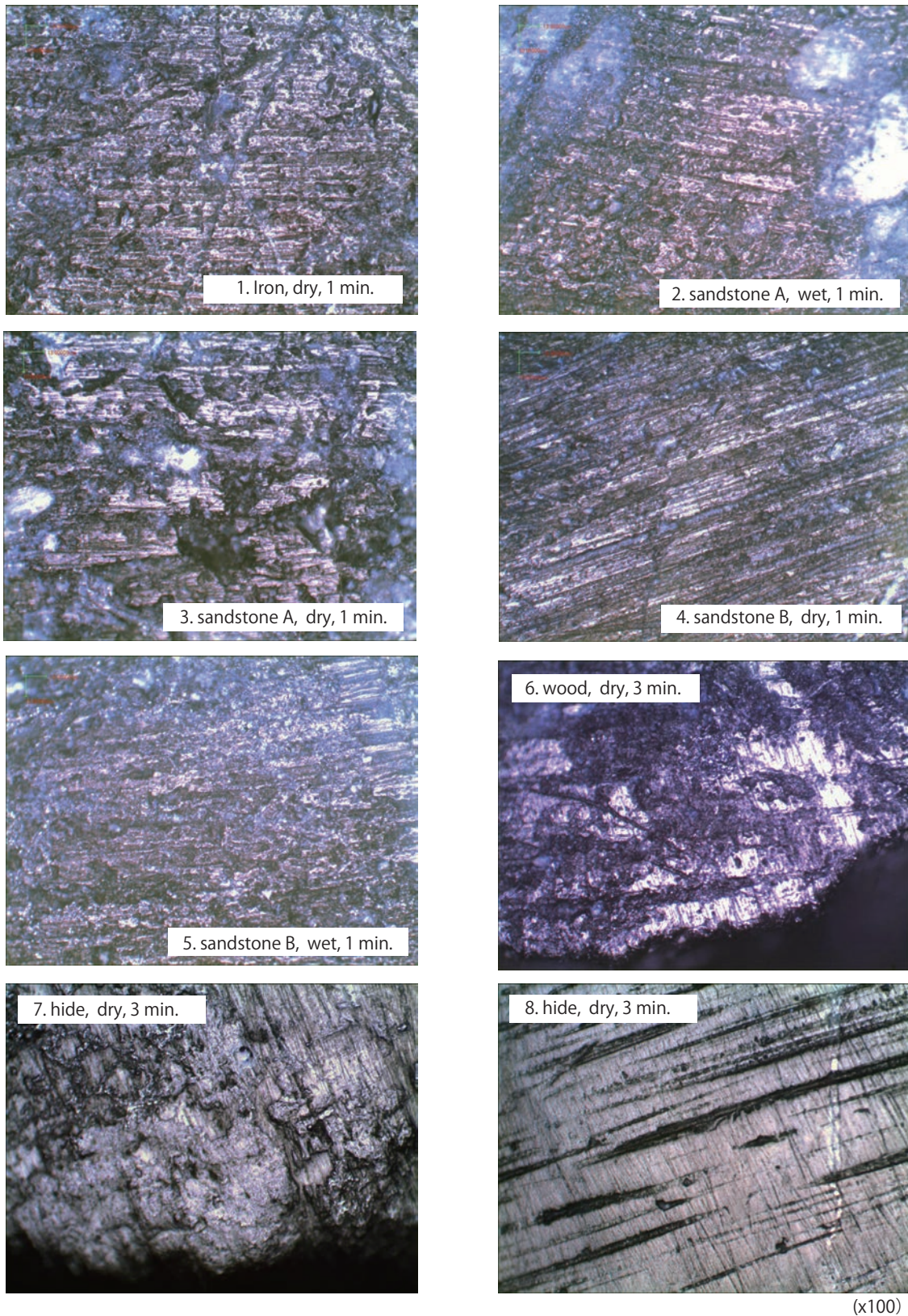


Fig.11 Polished surface and striations formed by experimentations.

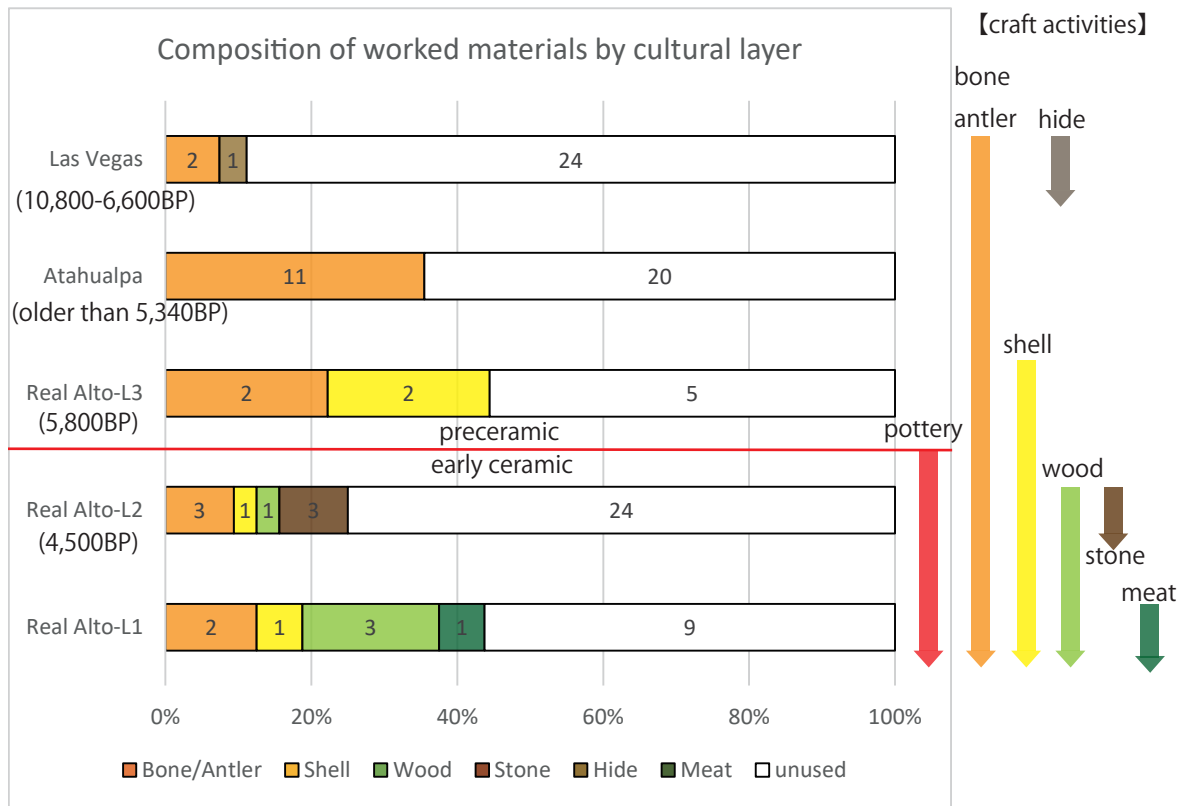


Fig. 12 Changes of lithic usage between Las Vegas and Early Valdivia cultures

to the experimentations, these traces are similar to those created by repetitive contact with sandstone under wet conditions (Fig.11-2 and 5). The supposed edge does not exhibit any polish despite the existence of apparent striations (Fig. 9–7 and 10–7). In general, soft materials, such as wood and hide, will produce a bright and rounded polish with narrow/sharp striations (Fig. 11–6, 7, and 8). In summary, it is highly probable that an unused or resharpened axe was buried with human body no. 2. The hafting trace is also unclear.

6. Summary and Further Prospects

Technological and functional research results were gradually accomplished by the authors at the Las Vegas OGSE-80 (Kanomata et al. 2014), Real Alto (Kanomata et al. 2014, Tabarev and Kanomata 2015, Kanomata et al. 2019a), and Loma Atahualpa sites. Because these materials belonged to the Early-Middle Las Vegas and Early Valdivia cultures, technological and functional changes could be examined chronologically. Twenty-seven lithic artifacts were analyzed using a microscope and three tools exhibiting use-

wear were identified at the OGSE-80 Las Vegas type site (Fig. 12). It was determined that two of them were used for bone/antler processing and the third for hide scraping. In the lower level of the Loma Atahualpa site, attributed to the Late Las Vegas culture, lithic tools were used for basic bone/antler processing. Tools recovered from the lowest level of the Real Alto site, also attributed to the Late Las Vegas culture, were used primarily for bone/antler and shell processing. These sites and cultural layers were commonly attributed to the preceramic period. In the Early Valdivia culture, various processing activities were identified at levels 2 and 1 at the Real Alto site. Wood and stone processing were identified in addition to bone/antler and shell workings. In addition, extensive use wear traces were created by the larger number of lithic tools. Thus, it can be inferred that various natural resources have been utilized for processing activities since the emergence of pottery. Such changes in lithic tool usage reflect developments in the social-economic structure, including a transition in subsistence from mobile hunter-gatherers to early agriculturists.

ACKNOWLEDGEMENT

Research was supported by Grants-in-Aid for Scientific Research from the Japan Society for the Promotion of Science (No. 16K03149).

REFERENCES

- Akoshima, K. (1989) *Use-wear of stone tools*. New Science Co. (in Japanese)
- Bronk Ramsey, C. (2009) Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51(1): 337-360 <https://doi.org/10.1017/S0033822200033865>
- Kanomata, Y., Tabarev, A. V., Tabareva, J. V. and Stothert, K. E. (2014) Functional Analysis of Prehistoric Artifacts from Coastal Ecuador. *Bulletin of the Tohoku University Museum*, No.13, pp.31-42
- Kanomata Y., A. V. Tabarev, A. N. Popov, B. V. Lazin and J. G. Marcos (2019a) Flake Tool Functions in Early Ceramic Culture at the Real Alto Site in Coastal Ecuador. *Bulletin of the Tohoku University Museum*, No.18, pp. 11-29
- Kanomata Y., J. Marcos, A. Popov, B. Lazin & A. Tabarev (2019b) New data on early pottery traditions in South America: the San Pedro complex, Ecuador. *Antiquity*, 93 369, e17 (2019) , pp. 1-6 論 DOI: 10.15184/aqy.2019.56
- Keeley, L. H. (1980) *Experimental Determination of stone tool Uses*. University of Chicago Press.
- Marcos, G. J. (1988) *Real Alto: La Historia de un Centro Ceremonial Valdivia (Primera parte, Segunda parte)*. ESPOL.
- Marcos, J. G., A. N. Popov and A. V. Tavarev (eds.) (2018) *Research Report "Archaeological Excavations of Loma Atahualpa Site in 2018"*. Real Alto Museum
- Meggers, B. J., C. Evans and E. Estrada. (1965) *Early formative period of coastal Ecuador: the Valdivia and Machalilla phases*. Smithsonian Contributions to Anthropology vol.1.
- Popov A. N., A. V. Tabarev, B. V. Lazin and M. K. Rudenko 2017 *Real Alto-old and new questions, excavations of 2014-2017- Various models of Neolithization*.
- Tabarev A.V. and Kanomata Y. (2015) "Tropical package": Peculiarities of the lithic industries of the most ancient cultures, coastal Ecuador, Pacific basin. *Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia*, 43 (3): 64-76.
- Tabarev, A. V., Kanomata Y., J. G. Marcos, A. N. Popov and B. V. Lazin (2016) Insights into the Earliest Formative Period of Coastal Ecuador: New Evidence and Radiocarbon Dates from the Real Alto Site. *Radiocarbon*, 58-2, pp.323-330 DOI: 10.1017/RDC.2015.23, Published online: 13 January 2016 doi:10.1017/RDC.2015.23
- Vaughan, P. C. (1985) *Use-wear analysis of flaked stone tools*. The University of Arizona Press.

和文要旨

エクアドル・ロマ アタウアルパ遺跡の先土器時代における石器の機能

鹿又喜隆¹⁾・タバレフ V. アンドレイ²⁾・ポポフ N. アレクサンダー³⁾・ラジン V. ボリス³⁾・ガヴリリーナ A. タチアナ²⁾・ルデンコ K. マキシム³⁾・マルコス G. ホルヘ⁴⁾

¹⁾ 東北大学

²⁾ ロシア科学アカデミーシベリア支部考古学民族学研究所

³⁾ ロシア・極東連邦大学

⁴⁾ エクアドル・文学工科大学

1. はじめに

1950年代以降、最古の土器は、エクアドル沿岸の形成期・前期バルディビア文化の資料に属していた。バルディビア文化の最も重要な遺跡のひとつが、1970～80年代に発掘

されたレアルアルト遺跡である。一連のフィールド調査は、初期農耕民の小さな居住地から、人工的なマウンドや広場をもつ巨大な集落、そして後に南米最古の地域センターへ至る進化に関する多くの正確な情報をもたらした (Marcos 1988)。不運にも、バルディビア文化遺跡群の集中的な調査

は1980年代半ば以降中断した。そのため、幾つかの重要な考古学的な課題が30年近く未解答のまま残されている。

2014、2015、2017年に、ロシアとエクアドル、日本の考古学者によって、レアルアルト遺跡の新たな発掘が実施された (Popov et al 2017)。その第一の目的は、前期土器時代のバルディビア I やサンペドロ土器を含む最古の土器文化を発見することであった。そして、ついに筆者らはレアルアルト遺跡における最古の文化、約 5,800 BP (6655-6563calBP) の無土器文化を発見した。そこでは多数の石器が出土し、技術型式学と使用痕分析の観点で分析された (Tabarev and Kanomata 2015, Kanomata et al. 2019b)。筆者らは、エクアドル沿岸部の狩猟採集民から初期農耕民への移行期のために「トロピカルパッケージ」というオリジナルのモデルを提示した。さらに、バルディビア I やサンペドロ土器の新たな放射性炭素年代が 4640-4450BP (5470-4880calBP) と提示された (Tabarev et al 2016, Kanomata et al. 2019b)。サンタエレナ半島では、土器を伴うラスベガス文化と同様に、土器をもたない前バルディビア文化を指摘できた。したがって、次の標的は後期ラスベガス文化の正確な年代と特徴を理解するために選ばれた。

2. ロマアタウアルパ遺跡における新たな発掘

2017年10月、サンタエレナ州のロマアタウアルパ遺跡 (アタウアルパ66) で、小さな試掘区が掘られ、地表下95cmから埋葬人骨1体が発見された。文化層には土器が含まれないので、この埋葬は先土器時代に属したであろう。AMS年代は地表下80~100cmに位置する炭化物試料から得られた (Tab. 1)。埋葬近くの1点の放射性炭素年代は先土器時代の年代 (5,340±30BP) を示し、埋葬から少し離れたものはより新しい年代 (3,280±30BP) を示した。これらの結果によれば、埋葬はラスベガス文化に属し、この遺跡が我々の研究目的に最適の遺跡であることを示している。

2018年、J. G. マルコスと A. N. ポポフ、A. V. タバレフによって、第2次発掘調査が企画された。このプロジェクトは、ロシアとエクアドル、日本の考古学者の協力によって再び実践された。中央発掘区 (no.1) の面積は 28 m² であり、一つのトレンチ (no.1, 4 m²) と5つの試掘区 (no.1-5、各 2 m²) を伴う。中央発掘区の基本層序は、以下の6つの層で構成される。

- 1層：灰色がかかった固い砂 (深さ 10-40cm)
- 2層：暗褐色から暗灰色の砂質粘土 (深さ 40-60cm)
- 3層：アカガイを伴う暗褐色から暗灰色の砂質粘土 (深さ 60-80cm)
- 4層：暗褐色から暗灰色の砂質粘土 (深さ 80-100cm)
- 5層：アカガイを伴う暗褐色から暗灰色の砂質粘土 (深さ 100-120cm)
- 6層：黄色がかかった茶色の固い砂 (深さ 120cm 以下) 無遺物の基盤

3体の埋葬人骨が中央調査区の下層から発見された。それらは地表下100cm程に位置する。2号埋葬は、1・3号埋葬を覆う貝層に含まれていた。1号埋葬は2017年に試掘区から見つかったものである。3号埋葬に最も近い炭化物を放射性炭素年代のサンプルとして取り上げた。不運にも、AMS法で測定された年代は 2,950±30BP であり、より上位の2点の年代よりも新しかった。言い換えれば、放射性炭素年代測定の結果は、地表下の動物の巣穴や乾裂など、上層からのコンタミの存在を意味している。中央調査区底部の基盤層に認められる土壌亀裂は、コンタミの形成と関係するに違いない。

中央調査区では、たくさんの土器片が出土した。その95%以上は、地表下0~80cmから出土した。これらは、型式学的に後期バルディビアかマチャリーラ、ワンガラ-マンテーニャ文化に属する。したがって、80cm以下の遺物は、先土器時代に属すると考えられる。

現在、土器や石器に関する詳細な分析が進められているので、以下では、技術と機能の観点から先土器文化の石器の特徴を概説する。

3. 石器の技術

筆者らは3000点以上の資料 (その99%が剥離時の副産物) の中から30点の石器を抽出し、Fig.1~3に示す実測図を作成した。選ばれた資料は、鋸歯縁石器8点、エンドスクレイパー1点、剥片3点、微小剥離痕ある剥片3点、ノッチ2点、ノッチのあるスクレイパー1点、二次加工ある剥片9点、スクレイパー2点である (Tab. 2)。これらは、玉髓 (10点)、チャート (16点)、ジャスパー (2点)、石英 (2点) から作られる。この石材組成は、剥片石器の製作のために、製作者が意図的に硬くてケイ酸分に富んだ原石を選択したことを示している。剥片石器の平均的な法量は、長さ37.4mm、幅26.6mm、厚さ12.1mmである。剥離角の平均値は109.3°である。素材剥片の剥離は、ハードハンマーによる直接打撃によって行われ、両極剥離の存在は不明瞭である。二次加工は、同様な剥離法で行われる。打撃で生じた多くの円形のクラックが剥片石器の表面に観察される (Fig. 13-4, 11, 14-13)。これらの痕跡は、二次加工時の剥離の失敗を示している。

筆者らの研究に基づけば、これらの技術的特徴は、ラスベガス文化や前期バルディビア文化と共通する (Tabarev and Kanomata 2015)。技術型式学的な観点では、これらの石器がラスベガス文化と前期バルディビア文化のいずれに属するかを区別することは難しい。

4. 石器の機能

1) 対象

使用痕分析の対象資料は、地表下80~100cmと100~

110cmから出土している。土器の垂直分布と石器の技術的特徴は、地表下 80cm以下が先土器時代であることを示し、後期ラスベガスか後ラスベガス文化に属するだろう。したがって、使用痕分析の目的は、この時期の石器の機能を明らかにすることである。

2) 方法

筆者の一人（鹿又）によって、2014～2017年にリアルアルト遺跡の使用痕分析が実施された。リアルアルト遺跡の石器石材は、基本的に玉髓とチャート、石英であり、ロマアタウアルパ遺跡と同様である。したがって、同じ方法が本分析でも実践された。全ての遺物は、我々自身の手で2018年に発掘されたので、対象資料は発見直後に意識的に選択され、注意深く洗浄された。筆者らは、地表下 80～110cmの石器を肉眼で観察し、二次加工や微小剥離痕、摩滅がある石器を見つけようと試みた。その後、これらの資料が金属顕微鏡（OLYMPUS BH）を使って詳細に観察された。顕微鏡写真は USB カメラを使って撮影され、その一部は画像合成ソフト（Helicon Focus）によって加工された。ほとんどの資料には明瞭な使用痕が確認できなかったが、比較的明瞭な使用痕光沢が確認される石器 4 点と、不明瞭ながら使用痕が確認された石器 7 点が結果的に抽出された (Tab.2)。顕微鏡倍率は 100～400 倍が使われ、微小な使用痕光沢を分類するために用いられた。被加工物や操作方法を推定するために、システムティックな使用痕分析が「キーリーメソッド」や「高倍率法」を用いて行われた (Keely 1980, Akoshima 1989)。

3) 結果

最も明瞭な使用痕パターンが鋸歯縁石器 (no. 25) に認められた。この石器には 3 か所のノッチ状の刃部が認められ、使用痕光沢はこれら全ての刃部の中央に形成されている (Fig.4)。直交の線状痕をもつ光沢面は、明るく平坦な表面で、細く高密度の線状痕と丸い刃縁をもち、骨・角の使用パターンの特徴がある。つまり、骨角削りに用いられた 3 つの独立使用部位 (IUZ (Vaughan 1985a)) が 1 点の石器に認められる。ノッチと鋸歯縁石器は基本的に骨角削りと関係する。No.20 は直交の線状痕をもつポリッシュがノッチ状の刃部の中央に位置する (Fig.5-1, 2)。No. 12 は遠位端のノッチ状の刃縁に同様の痕跡をもつ (Fig.7-1, 2)。

他の石器は、切断行為に用いられた。二次加工のない使用刃部は、比較的硬い物質を切断するのに十分に鋭利である。使用痕光沢は木や骨角のような比較的硬質の資料の切断の特徴を示す (Fig. 5-3, 4, 6-3, 4, 7-3, 4, fig. 8)。ポリッシュの発達は、被加工物が木か骨角かを区別するには十分ではないが、本石器群には発達した木の使用痕がないため、おそらく被加工物は骨角であろう。

5. 石斧の研磨技術

石斧 1 点が 2 号埋葬に伴って発見されたので、その石斧が使用されたか否かを知ることは重要である。石斧は緑色泥岩製で敲打と剥離、研磨の技術によって製作された。筆者は使用痕を確認するためだけでなく、研磨技術を分類するために、石斧の表面と刃部を観察した。

打撃による剥離面は、研磨具と接触した稜線を除き、その範囲に線状痕がない (Fig.9-1)。敲打痕は線状痕や光沢のない重複するピットを呈している (Fig.9-2)。研磨された範囲は、光沢を伴って明瞭な平行の線状痕が認められる (Fig.9-3~6, 10-1~6)。光沢の発達は、研磨行為の程度によって異なる。最も明るい光沢は、石斧の中央部に認められる。実験によれば、これらの痕跡は砂岩製砥石との反復的な接触による痕跡に似ている (Fig.11-2, 5)。推定される刃部には、明瞭な線状痕があるにも関わらず、全く光沢がない (Fig. 9-7, 10-7)。一般に、木や皮のような柔らかい物体は、細く鋭い線状痕を伴った明るく丸みのある光沢を生じる (Fig. 11-6, 7, 8)。結論として、未使用または刃部再生された石斧が埋葬人骨 no.2 と共に埋納された可能性が高い。石斧には着柄痕も不明瞭であった。

6. 総括と展望

技術と機能に関する研究結果は筆者らによるラスベガス OGSE-80 遺跡 (Kanomata et al 2014) やリアルアルト遺跡 (Kanomata et al. 2014, Tabarev and Kanomata 2015, Kanomata et al. 2019a)、そして本論のロマアタウアルパ遺跡で徐々に蓄積されてきた。これらの資料は前～後期ラスベガス文化や前期バルディビア文化に属するため、技術と機能の変化が編年的に説明できる。ラスベガス文化の標識遺跡である OGSE-80 遺跡では、石器 27 点が顕微鏡を使って分析され、うち 3 点に使用痕が確認された (Fig. 12)。そのうち 2 点は骨角加工に、もう 1 点が皮なめしに用いられている。後期ラスベガス文化に属するロマアタウアルパ遺跡の下層では、石器が基本的に骨角加工に使用されている。後期ラスベガス文化に属するリアルアルト遺跡の最下層では、主に骨角と貝の加工に用いられている。これらの遺跡と文化層は共通して先土器時代に属する。前期バルディビア文化では、リアルアルト遺跡のレベル 1 と 2 で様々な加工活動が認められる。木と石の加工が骨角と貝の作業に加えられる。さらに、過度な使用痕がより多くの石器の上に生じている。したがって、土器の出現以降、様々な自然資源が工芸的活動に利用されるようになった。そのような石器使用の変化は、社会経済構造の変化を反映している。また、移動的な狩猟採集民から初期農耕民への生業の移行をも反映している。

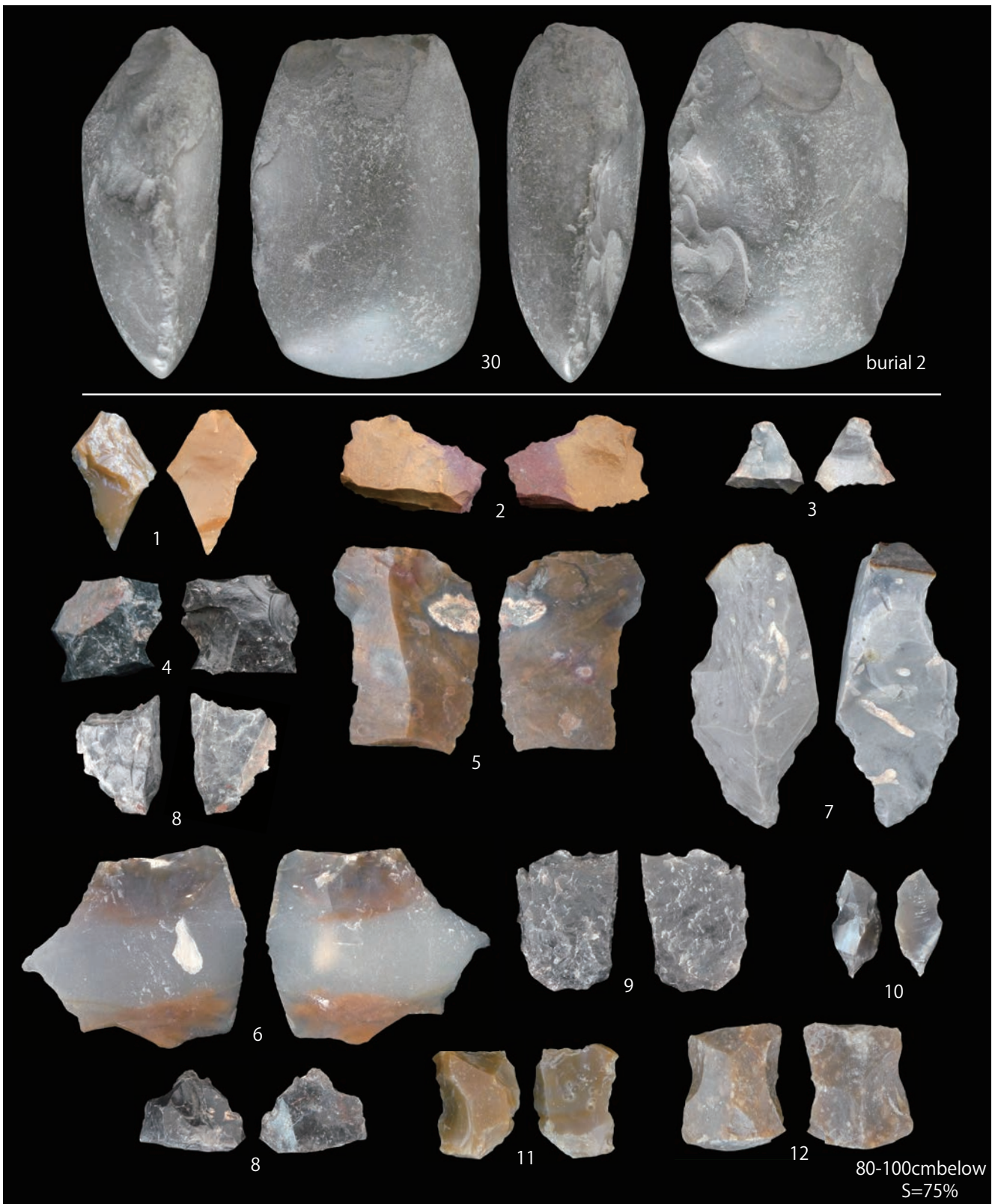


Fig.13 Lithic artifacts at the Loma Atahualpa site in 2018.



Fig.14 Lithic artifacts at Loma Atahualpa site in 2018.

Animal utilization of the Epi-Jomon and Okhotsk cultures in Sakhalin: A zooarchaeological analysis of the Nobuo Ito Collection

Taichi Hattori¹⁾, Junmei Sawada²⁾, Yoshitaka Kanomata³⁾, Kaoru Akoshima³⁾ and Takao Sato⁴⁾

¹⁾ *Officer, Tsuchiura Office, Department of Public Works, Ibaraki Prefectural Government, 3-11-5 Nakatakatsu, Tsuchiura 300-0815, JAPAN*

²⁾ *Associate Professor, Department of Physical Therapy, Faculty of Rehabilitation, Niigata University of Health and Welfare, 1398 Shimami-cho, Kita-ku, Niigata 950-3198, JAPAN*

³⁾ *Professor, Department of Archaeology, Graduate School of Arts and Letters, Tohoku University, 27-1 Kawauchi, Aoba-ku, Sendai 980-8576, JAPAN*

⁴⁾ *Professor, Department of Archaeology and Ethnology, Faculty of Letters, Keio University, 2-15-45 Mita, Minato-ku, Tokyo 108-8345, JAPAN*

Introduction

The Okhotsk culture thrived along the southern coast of the Sea of Okhotsk from the fifth to the twelfth century CE. In addition to the remains of fish and marine mammals, large fishhooks, fishing weights and harpoon heads have also been excavated from Okhotsk culture sites. These show that the people of the Okhotsk culture mainly subsisted on fishing and the hunting of marine mammals. Furthermore, they raised dogs and pigs, which is a notable feature of the livelihood of Okhotsk culture humans (Nishimoto 1984).

Regional differences in pottery types and burial practices of the Okhotsk culture have been revealed (Nishimoto 1984, Takabatake 2003, Naito et al. 2010), and there are also discernable regional differences in terms of animal utilization. Nishimoto compared faunal remains from the Kafukai 1 Site in Rebun Island and the Onnemoto Site in Nemuro, and he pointed out that whereas there was a marked dependence on fishing in the northern part of Hokkaido (hereafter referred to as Northern Hokkaido), the hunting of marine and terrestrial mammals was more prominent in the eastern part of Hokkaido (hereafter referred to as Eastern Hokkaido). Meanwhile, Uchiyama reported that more domestic animal remains were excavated from the Promyslovoye II Site in central Sakhalin than sites in Hokkaido (Uchiyama 2002).

It is essential to collect data from each region in order to elucidate regional differences in subsistence strategies. In Northern Hokkaido, several studies have been done on faunal remains excavated from the Kafukai 1 Site and other

sites, and these have yielded a large amount of data. In addition, there are also numerous reports on faunal remains from sites in Eastern Hokkaido, such as the Moyoro Shell Mound. On the other hand, there is very little information on faunal remains from sites in Sakhalin, except for the Promyslovoye II Site. In fact, almost no quantitative data on remains in Southern Sakhalin, the region where the Okhotsk culture formed, have been reported so far. Therefore, this study aims to provide basic information on zooarchaeological studies of Okhotsk culture sites by reporting on a collection of faunal remains excavated in Sakhalin. These research materials, titled the “Nobuo Ito Collection,” are currently in storage at Tohoku University.

Research Materials

Southern Sakhalin (Japanese name: Karafuto) was a Japanese territory between the years 1904 and 1945, so quite a few archaeologists and ethnologists came to the area to conduct fieldwork during this period. Nobuo Ito, who collected the research materials this study focuses on, was one of them. In 1933, Ito became a lecturer at the Second Senior High School, the precursor to the present-day Tohoku University. In the summer of the same year, he explored archaeological sites on the east coast of Sakhalin and along Aniva Bay under the commission of the local government, and the following year, he explored sites on the west coast of the island. Ito established the chronological order of unearthed pottery in Sakhalin at this time and added some of

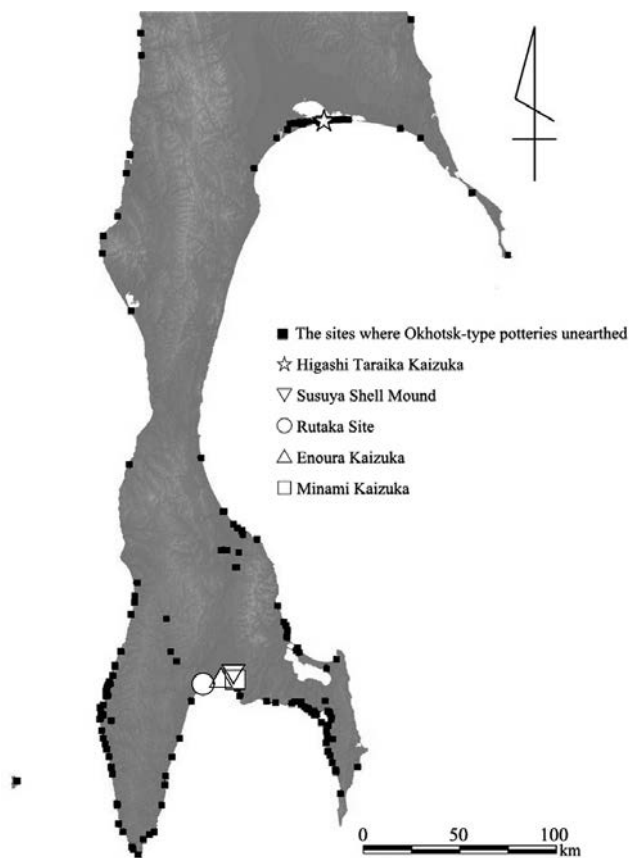


Fig. 1. Sites of the final period of the Epi-Jomon era and the Okhotsk culture period in the southern Sakhalin

his own amendments and corrections in subsequent years. This order is still useful today. We believe the materials this study focuses on are from the 1933 investigation because they were excavated from the Higashi Taraika Kaizuka (Promyslovoye-1 Shell Mound) located on the east coast of Sakhalin, as well as four sites located on Aniva Bay: the Susuya Shell Mound (Susuya-1), the Minami Kaizuka (Solovievka Site), the Rutaka Site (Rutaka-Luoga Site) and

the Enoura Kaizuka (Ozeretskoye Site) (See Fig. 1). With the exception of materials from the Rutaka Site, Ito marked all of these remains in his chronology, and, therefore, it may be possible to estimate the approximate time period of the faunal remains due to being stored with pottery and stone implements. An outline of the sites is listed below and in Table 1.

Susuya Shell Mound (Susuya-Kita Kaizuka, Susuya-1)

The Susuya Shell Mound is located at the southern tip of Sakhalin, on the left bank of the estuary where the Susuya River flows into Aniva Bay (See Fig. 2). To avoid confusion with the Minami Kaizuka, which means “Southern Shell Mound” in English, it is also known as the Kita Kaizuka, or “Northern Shell Mound.” Beginning with Shogoro Tsuboi’s work in 1907, various Japanese and Russian archaeologists have continued to study this site over the years (Baba 1940, Niioka & Utagawa 1990). Most of the pottery unearthed from this site belongs to the Susuya type. Some researchers consider this type of pottery to come from the Okhotsk culture, but this study considers this type of pottery to be that of the Susuya period, the latter period of the Epi-Jomon era (third to fourth century CE).

Rutaka Site (Rutaka-Lutoga Site)

The Rutaka Site is located on the left bank of the estuary of the Lyutoga River, about two km upstream. As many as thirty to forty pit dwellings can be seen within this site, with five shell mounds scattered among them (Wada 1943, Niioka & Utagawa 1990). Pottery collected with the faunal remains include examples of the Susuya type and Towada type (third to sixth century CE) (Vasilyevsky et al. 2006).

Enoura Kaizuka (Ozeretskoye Site)

The Enoura Kaizuka lies along Aniva Bay, about eight km east of the Lyutoga River (Sakazume 1956). This shell mound is located on a sandbank in a wetland. Both Enoura A and B type pottery were excavated from this site (Vasilyevsky et al. 2006). Therefore, most of the research materials from this site also likely belong to the mid to late Okhotsk culture period (seventh to ninth century CE).

Table 1 Outlines of Sites

Site	Pottery type	Age	NISP
Susuya Shell Mound	Susuya type	3-4C A.D.	178
Rutaka Site	Susuya type / Towada type	3-6C A.D.	8
Enoura Kaizuka	Enoura B type / Enoura A type	7-9C A.D.	165
Minami kaizuka	Minami Kaizuka type	10-12C A.D.	13
Higashi Taraika Kaizuka	Higashi Taraika type / Minami Kaizuka type	10-12C A.D.	13

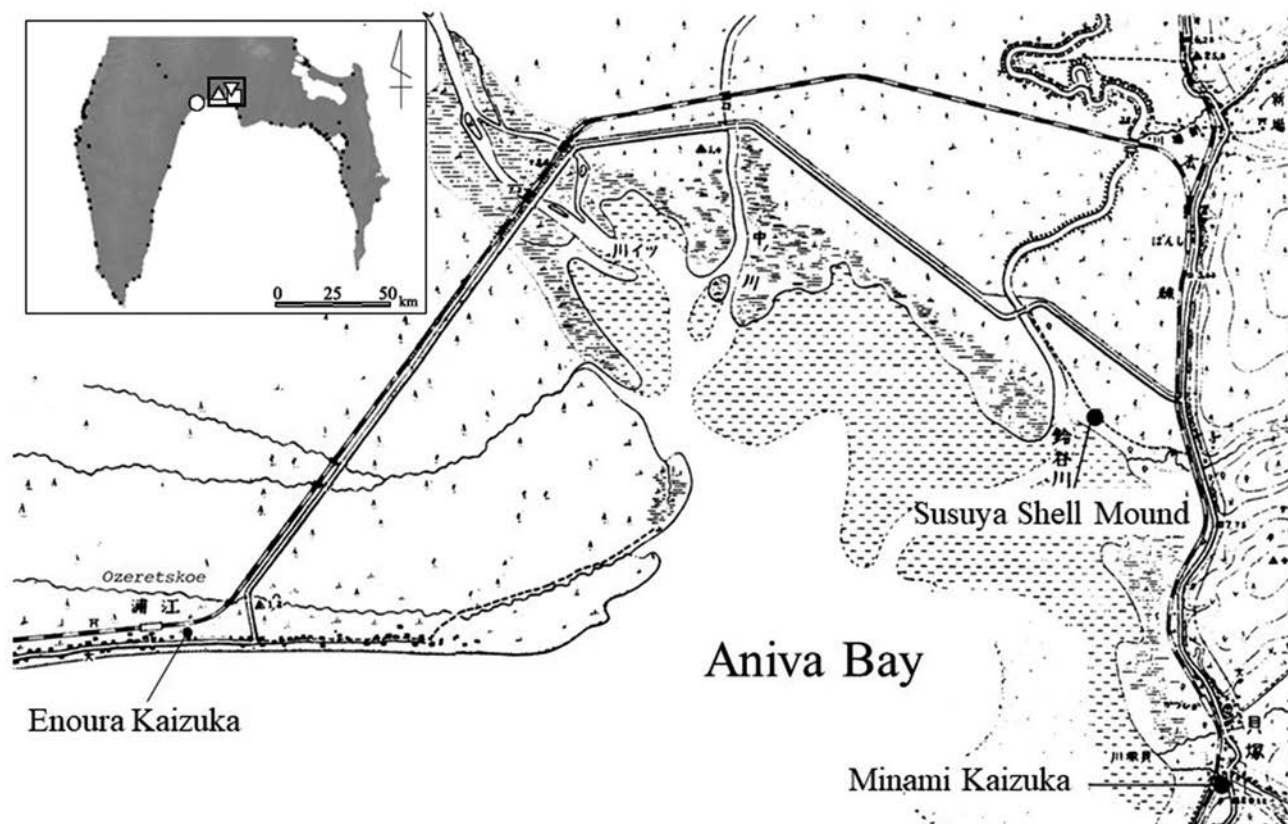


Fig. 2. Sites of the final period of the Epi-Jomon era and the Okhotsk culture period located around the Aniva Bay

Minami Kaizuka (Solovievka Site)

Isao Iijima discovered the Minami Kaizuka in 1905, and it is a shell mound located on the terrace of the left bank near the mouth of the river. It also has pit dwellings and the moat of a *chashi* (an Ainu fortification) (See Fig. 2). Ito classified pottery unearthed from this site as the Minami Kaizuka type of the late Okhotsk culture period (tenth to twelfth century CE).

Higashi Taraika Kaizuka (Promyslovoye-1 Shell Mound)

The Higashi Taraika Shell Mound is in Central Sakhalin, on the long and narrow sandbank that separates Lake Nevskoye from the Gulf of Terpenya (Gulf of Patience, or Taraika Wan in Japanese). The shell mound extends to approximately 250 m × 40 m and mainly comprises remains of Pacific oyster, a species which no longer lives in this area (Oka & Baba 1938, Kouno 1938, Nomura 1990, Uchiyama

2002). Most of the pottery unearthed from this site belongs to the Higashi Taraika type or Minami Kaizuka type in terms of Ito's classification. Therefore, this site likely formed in the late Okhotsk culture period (tenth to twelfth century CE) (Ito 1942, Uchiyama 2002).

Fedorchuk's investigations in 1994 and 1995 provided details on faunal remains, which include mammals (Uchiyama 2002), birds (Пантелеев 1997), and fish (Сафронов et al. 2001). Reports dating back to before World War II also mention the excavation of large quantities of both pig and dog remains and, according to Uchiyama's studies, the MNI (minimum number of individuals) came to sixty-seven dogs and thirty-four pigs. Other studies found that both species made up a large proportion of the mammal remains at 67.4% (Oka & Baba 1938, Kouno 1938, Baba 1940, Okuyama 1941, Nomura 1990, Uchiyama 2002). In addition to dogs and pigs, there was also an MNI of forty-two earless seals, which amounted to 28% of the mammal

remains, and the remains of a few other mammals, such as reindeer, eared seals, brown bears, and foxes, were unearthed with an MNI of only one or two each. The reindeer may have been domestic animals, but it is unlikely that people of the Okhotsk culture raised these animals as it is possible the remains come from reindeer with antlers that shed naturally in the summer (Uchiyama 2002). Although there was a small number of unearthed bird remains, species included albatross, pelagic cormorant, swan goose, black-tailed gull, spectacled guillemot, and thick-billed murre (Пантелеев 1997). Unearthed fish remains were mainly that of coastal fish, such as Pacific herring and saffron cod, and it appears the people used resources to catch brackish lake fish, such as pike, Japanese dace, and starry flounder (Сафронов et al. 2001).

Analysis Methods

We identified animal species and parts of the bones through macroscopic comparisons with modern skeletal collections that belong to the Department of Archaeology and Ethnology at Keio University. We counted the number of identified specimens (NISP) and also estimated the minimum number of individuals (MNI) for each identified taxon. We considered the actual body parts, whether a given part came from the left or right side of an individual animal, and the age of each specimen while estimating the MNI. In principle, we measured bones and teeth according to the methods of Driesch (1976). The measurements of pig teeth were followed the method of Anezaki (2003).

Results

Table 2 shows the species and number of animal remains excavated at each site. The raw data are listed in appendix 1 to 4.

Susuya Shell Mound (Late Epi-Jomon, third to fourth century CE, Fig. 3)

1) Species and NISP

Terrestrial mammals: Hare (3), Dog (80), Canidae (5), Otter (1), Pig (2), Deer (1), Brown bear (3).

Marine mammals: Northern fur seal (4), Eared seal (22), Spotted seal (2), Ringed seal (2), Ribbon seal (1), Bearded seal (8), Earless seal (10), Whale (14).

Birds: Subfamily Duck (3), Swan (4), Crane (1), ?Raptor (1).

Fishes: Salmon shark (4), Flatfish (2).

Shellfish: Pacific oyster (5).

2) Characteristics of faunal remains

We identified a total of 178 specimens. The majority of these were mammal remains with 158 specimens, and there

were nine bird, six fish and five shellfish remains. Among the mammals, there were eighty dog remains, with an MNI of nine consisting of infant, juvenile, and adult individuals, while there were only two remains from infant pigs. In regard to wild mammals, meanwhile, there were twenty-three earless seal family remains, twenty-six eared seal family remains, fourteen cetacean (whale) remains, three each of brown bear and hare remains, and one specimen of otter remains. It is possible that some of the eared seal family remains that could not be identified as a species are those of sea lions or Steller's sea lions. Of the seven cetaceans in the order, one was from a large cetacean and six were from a small cetacean.

Among the birds, we identified four swan remains, three from the duck subfamily, one specimen of crane remains, and one specimen of raptor remains. The three remains from the duck subfamily were about the same size as a black duck (*Melanitta nigra*), larger than a mallard duck (*Anas platyrhynchos*), smaller than a mandarin duck (*Aix galericulata*), and slightly smaller than a tufted duck (*Aythya fuligula*). All four swans were smaller than a mule swan (*Cygnus olor*). The cranes were juvenile birds about the same size as a red-crowned crane (*Grus japonensis*), and thus, the hunting season was likely summer. There are no cranes in Sakhalin at present, so it is possible that the cranes entered or were introduced to Sakhalin through habitat changes or via coastal areas of Hokkaido (according to Dr. Eda's instructions). We determined there were remains of a raptor based on the specimen size and morphology, but we could not identify the species.

Rutaka Site (Late Epi-Jomon to early Okhotsk culture, third to sixth century CE, Fig. 3)

1) Species and NISP

Terrestrial mammals: Dog (4), Pig (1).

Marine mammals: Grey seal (1), Earless seal (1), Whale (1).

2) Characteristics of faunal remains

We identified eight specimens. These included four dog remains, one specimen of pig remains, two earless seal family remains, and one specimen of small cetacean remains. We estimated an MNI of two dogs and there appeared to be one juvenile and one adult. We determined the specimen of pig remains was from a juvenile as both the proximal and distal epiphyseal closures were incomplete.

Enoura Kaizuka (Mid to late Okhotsk culture, seventh to ninth century CE, Figs. 4 and 5)

1) Species and NISP

Terrestrial mammals: Dog (7), Pig (45), Brown bear (1).

Marine mammals: Eared seal (2), Spotted seal (16), Ringed seal (9), Ribbon seal (1), Bearded seal (21), Earless

Table 2 NISP and MNI of research materials

Taxa	Susuya Shell Mound		Rutaka Site		Enoura Kaizuka		Minami Kaizuka		Higashi Taraika Kaizuka	
	NISP	MNI	NISP	MNI	NISP	MNI	NISP	MNI	NISP	MNI
Shellfish (Mollusca)										
Bivalve (Bivalvia)										
Pacific oyster (<i>Crassostrea gigas</i>)	5	1			1	1				
Bivalvia indet.	7				1					
<i>Total number of shellfish</i>	12	1			2	1				
Vertebrate (Vertebrata)										
Cartilaginous fish (Chondrichthyes)										
Salmon shark (<i>Lamna distropis</i>)	4	1								
Bony fish (Osteichthyes)										
Flatfish (Pleuronectiformes indet.)	2	1			1	1				
Osteichthyes indet.	2				1					
<i>Total number of fishes</i>	8	2			2	1				
Bird (Aves)										
Loon (Gaviidae indet.)					1	1				
Swan (<i>Cygnus</i> sp.)	4	1								
Duck subfamily (Anatinae indet.)	3	1								
Crane (Gruidae indet.)	1	1								
?Raptor (?Accipitriformes)	1	1								
Aves indet.	8									
<i>Total number of birds</i>	17	4			1	1				
Mammal (Mammalia)										
Hare (<i>Lepus</i> sp.)	3	1								
Brown bear (<i>Ursus arctos</i>)	3	1			1	1				
Dog (<i>Canis lupus familiaris</i>)	80	9	4	2	7	2	3	1	1	1
Canid (Canidae indet.)	5	1								
Otter (<i>Lutra lutra</i>)	1	1								
Northern fur seal (<i>Callorhinus ursinus</i>)	4	2								
Eared seal (Otariidae indet.)	22	1			2	1	1	1		
Spotted seal (<i>Phoca largha</i>)	2	1			16	7	1	1		
Ringed seal (<i>Pusa hispida</i>)	2	1	1	1	9	2				
Ribbon seal (<i>Phoca fasciata</i>)	1	1			1	1				
Bearded seal (<i>Erignathus barbatus</i>)	8	3			21	5			1	1
Earless seal (Phocidae indet.)	10	1	1	1	42	2				
Pinniped (Pinnipedia indet.)					7					
Pig (<i>Sus scrofa domesticus</i>)	2	1	1	1	45	4	8	1	5	1
Reindeer (<i>Rangifer tarandus</i>)									3	1
Deer (Cervidae indet.)	1	1							1	1
Whale (Cetacea indet.)	14	1	1	1	18	1			2	1
Terrestrial Mammalia indet.	15				17					
Marine Mammalia indet.	28		1		47		1			
Mammalia indet.	34		1		17		1		11	
<i>Total number of mammals</i>	235	26	10	6	250	26	15	4	24	6
<i>Total number of vertebrates</i>	260	32	10	6	253	28	15	4	24	6

seal (42), Pinniped (7), Whale (18).

Birds: Loon (1).

Fishes: Flatfish (1).

Shellfish: Pacific oyster (1).

2) Characteristics of faunal remains

We identified 165 specimens and 162 of these were from mammals. The remaining three specimens consisted of one shellfish, one fish, and one bird. Among the mammal remains, there were forty-five pig remains and seven dog remains. Most of the excavated pig remains were from juvenile and adult individuals, with just a few infants. It is worth noting that there was a remarkable imbalance in the NISP of both domestic species. In addition, we found a large number of marine mammal remains. Specifically, we identified eighty-nine remains from four species of the earless seal family, as well as two eared seal remains and eighteen cetacean remains. This suggests that Okhotsk culture humans actively hunted marine mammals. In regards to terrestrial mammals, meanwhile, we identified one specimen of brown bear remains.

In addition to the faunal remains listed above, we also collected one specimen each of fish, bird and shellfish remains. We identified the specimen of bird remains as being a radius of a loon (red-throated loon or related species) which was larger than that of a Pacific loon (*Gavia pacifica*).

Minami Kaizuka (Late Okhotsk culture, tenth to twelfth century CE, Fig. 6)

1) Species and NISP

Terrestrial mammals: Dog (3), Pig (8).

Marine mammals: Eared seal (1), Ringed seal (1)

2) Characteristics of faunal remains

We identified thirteen mammal remains including eight pig remains, three dog remains, one specimen of spotted seal remains, and one specimen of eared seal remains. The pig bones may have all come one juvenile pig with unfused epiphyseal plates.

Higashi Taraika Kaizuka (Late Okhotsk culture, tenth to twelfth century CE, Fig. 7)

1) Species and NISP

Terrestrial mammals: Dog (1), Pig (5), Reindeer (3), Deer (1)

Marine mammals: Bearded seal (1), Whale (2)

2) Characteristics of faunal remains

We identified thirteen specimens of faunal remains, including one specimen of dog remains, five pig remains, three reindeer remains, one specimen of deer remains, one specimen of bearded seal remains, and two cetacean

remains. One specimen of pig remains consisted of a maxilla from a one-year-old infant, with complete eruption of the first molar and the second molar alveolus beginning to open. The specimens identified as coming from reindeer were all antlers, and we could identify traces of human processing.

Discussion

We identified a total of 577 faunal remains from the Nobuo Ito Collection. Most of these came from mammals, with a total of 535 specimens. However, this may be the result of overlooking small animals while collecting with the naked eye. Therefore, we should not view these materials as being representative of the Okhotsk culture on Sakhalin as a whole, even more so given the likelihood that materials were not collected as comprehensively from the three sites that had very little material (Higashi Taraika Kaizuka, Rutaka Site, and Minami Kaizuka). Nevertheless, it is worth discussing the utilization of animals on Sakhalin based on the faunal remains identified in this study, even if the record is fragmentary.

First, it is noteworthy that domestic animals (pigs and dogs) accounted for a large proportion of the fauna excavated at all the sites. This confirms the conventional view that livestock rearing was prevalent in the Okhotsk culture of Southern Sakhalin.

Secondly, differences between the Susuya and the Okhotsk culture periods are also noteworthy. By paying close attention to the species of domestic animals, more dog remains than pigs have been found in the Susuya Shell Mound and Rutaka Site, which date from the Epi-Jomon period to the early stages of the Okhotsk culture; while there were more pigs than dogs in the Enoura Kaizuka and Minami Kaizuka, which date from the middle to late Okhotsk culture (See Figs. 8 and 9). This suggests a close relationship between the development of pig farming and the development of the Okhotsk culture.

Comparing the faunal assemblages of the Susuya Shell Mound and the Enoura Kaizuka reveals that the Enoura Kaizuka had a higher proportion of marine mammals. This demonstrates that the maritime adaptation of the inhabitants of Southern Sakhalin may have been advanced during the Okhotsk culture period. Smaller terrestrial mammals, such as hares and otters, were also identified at the Susuya Shell Mound, whereas only one brown bear and one red-throated loon were identified at the Enoura Kaizuka. Although there may have been a sampling bias, these remains suggest that there were likely differences in hunting strategies between the Epi-Jomon and Okhotsk cultures.

Furthermore, the Enoura Kaizuka had a greater number of earless seals than eared seals, while the Susuya Shell Mound had almost the same number of eared and earless

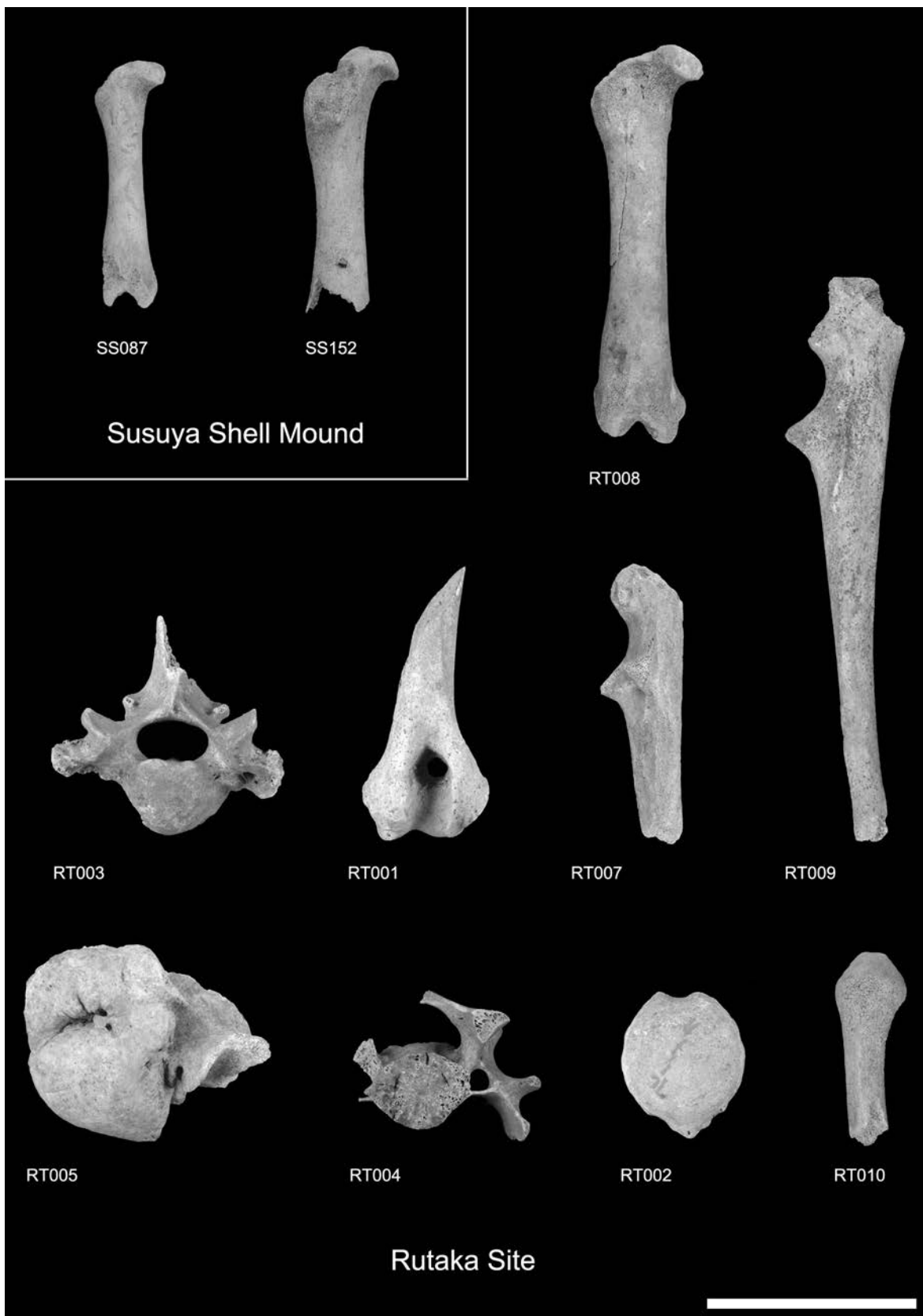


Fig. 3. Animal remains from the Susuya Shell Mound and Rutaka Site (Scale bar is 5 cm)

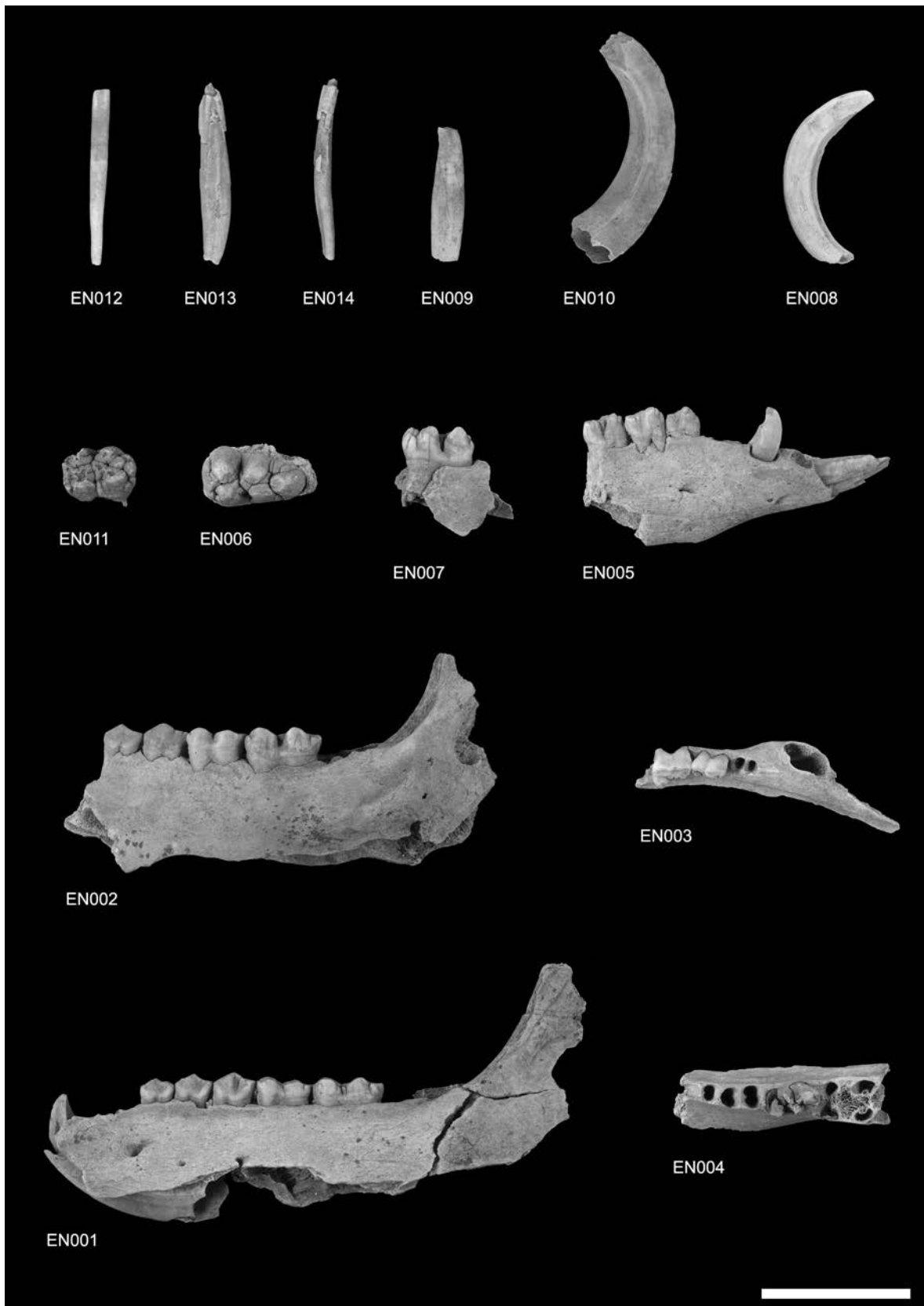


Fig. 4. Animal remains from the Enoura Kaizuka (1) (Scale bar is 5 cm)

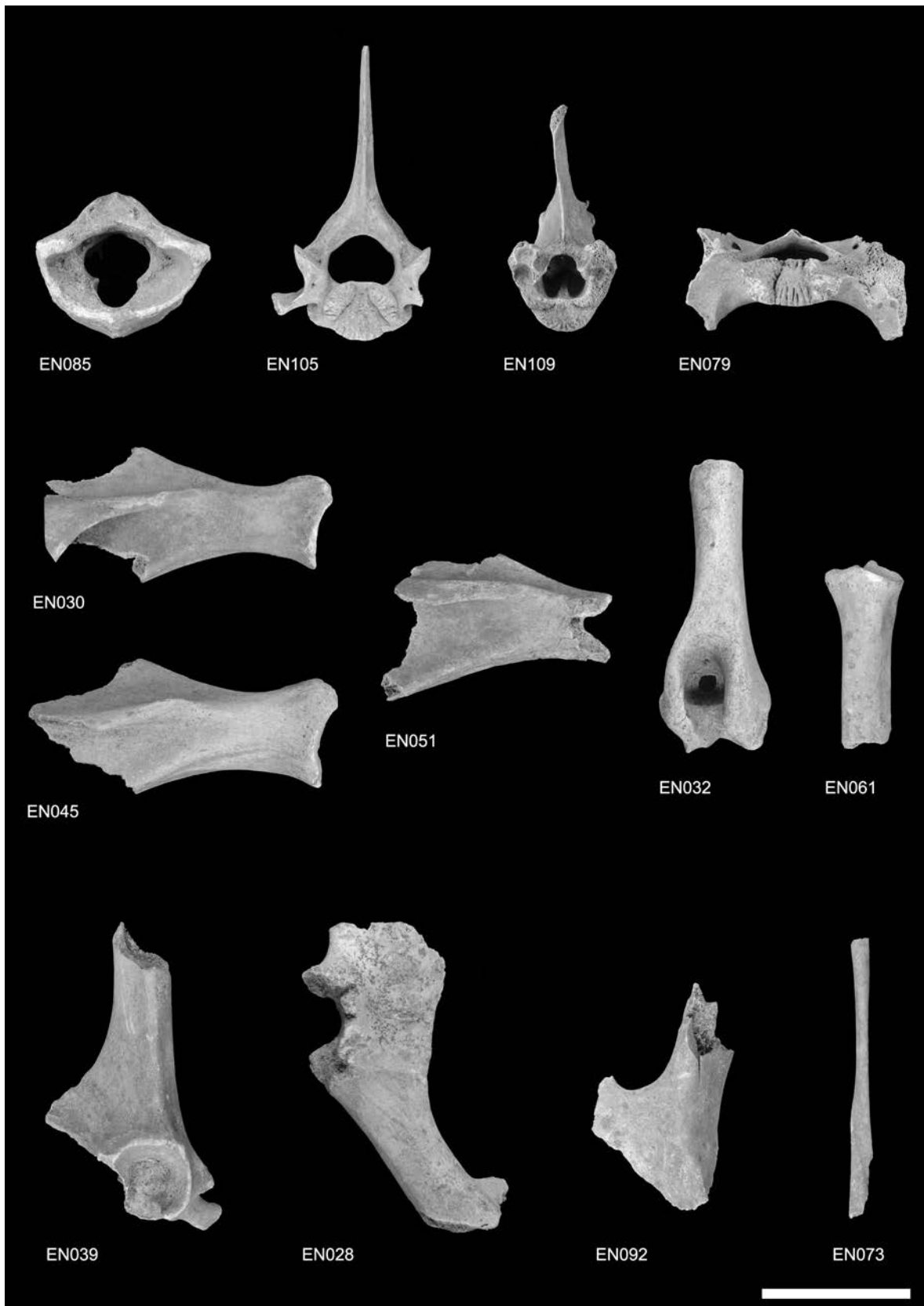


Fig. 5. Animal remains from the Enoura Kaizuka (2) (Scale bar is 5 cm)

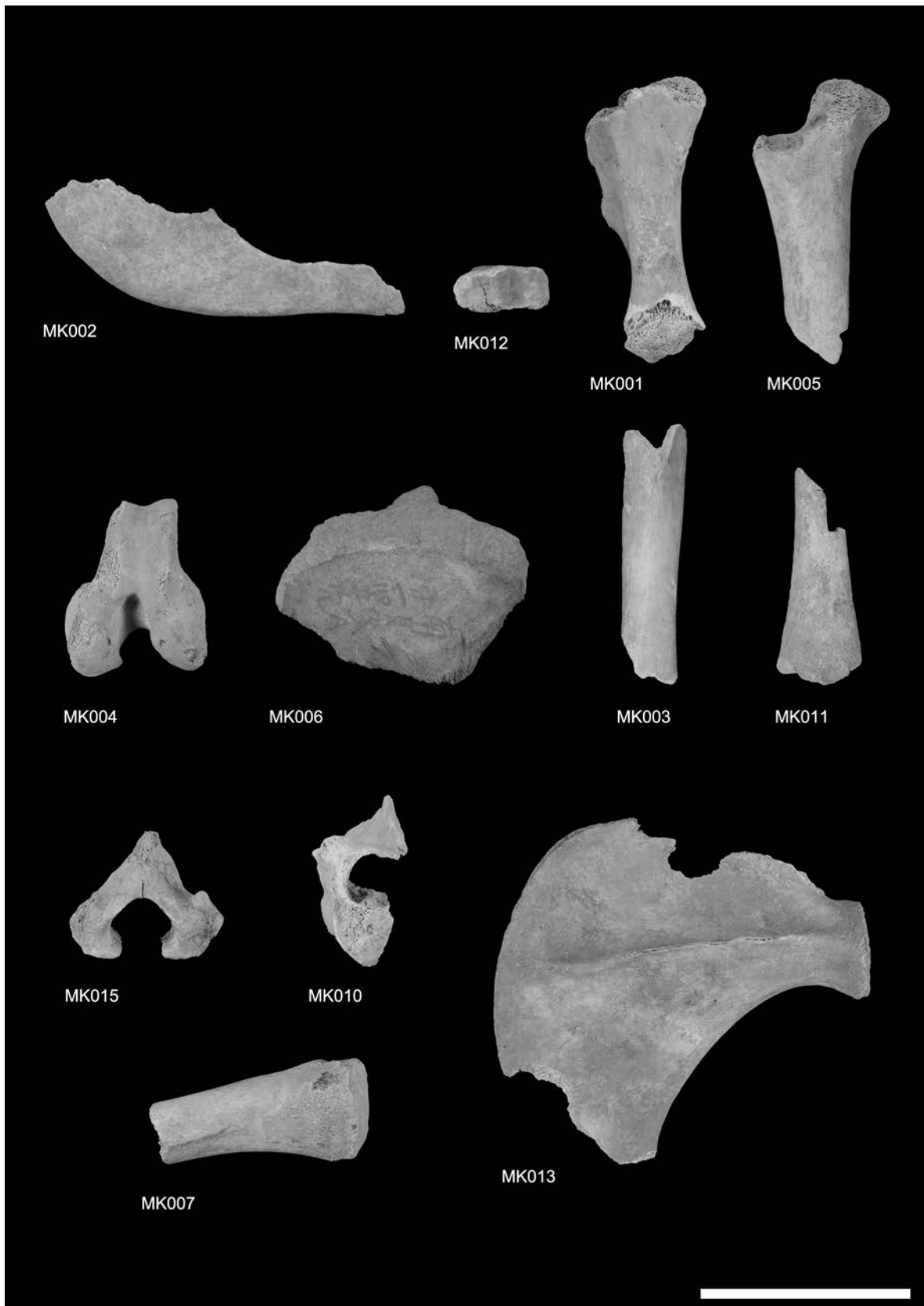


Fig. 6. Animal remains from the Minami Kaizuka (Scale bar is 5 cm)

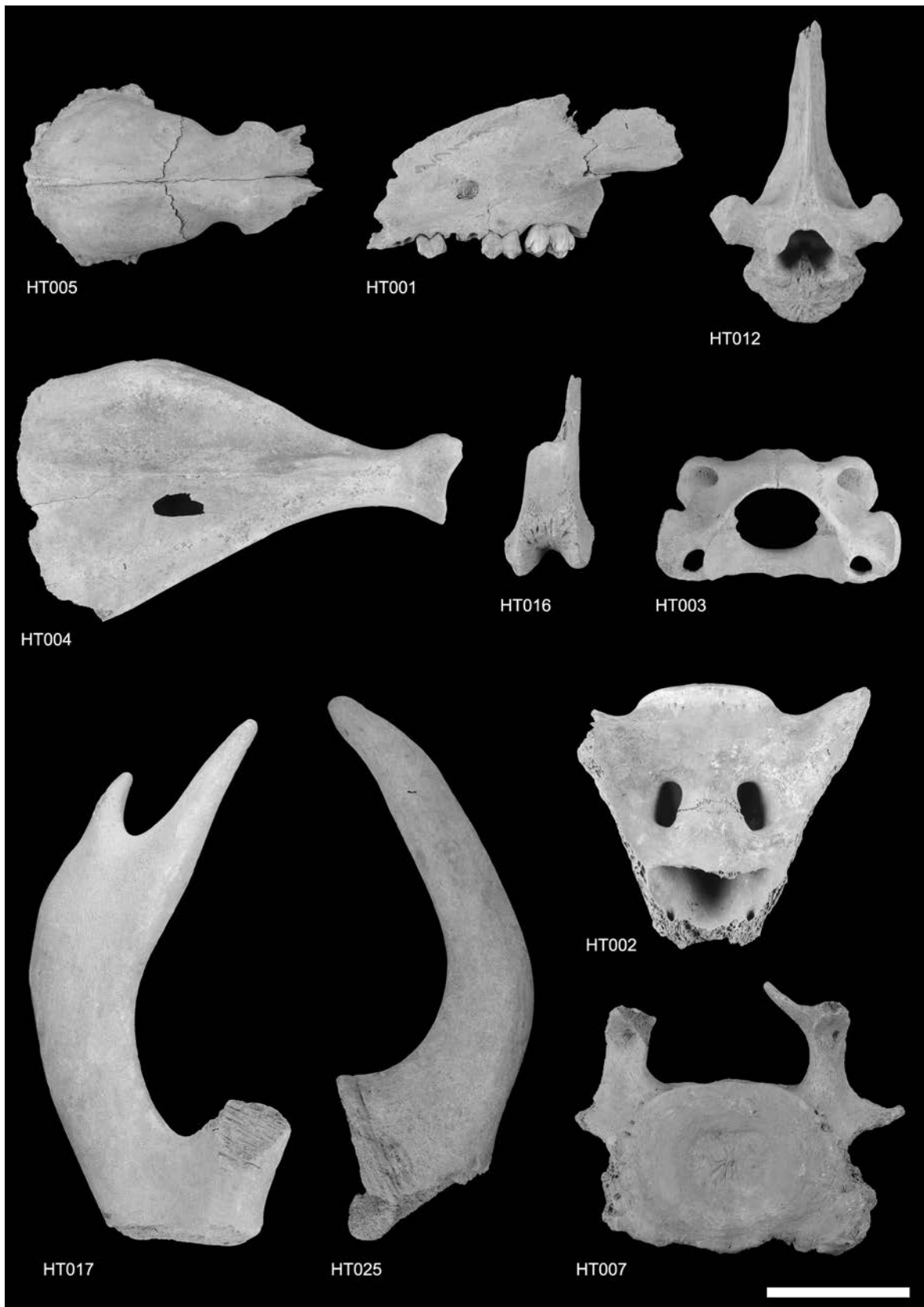


Fig. 7. Animal remains from the Higashi Taraika Kaizuka (Scale bar is 5 cm)

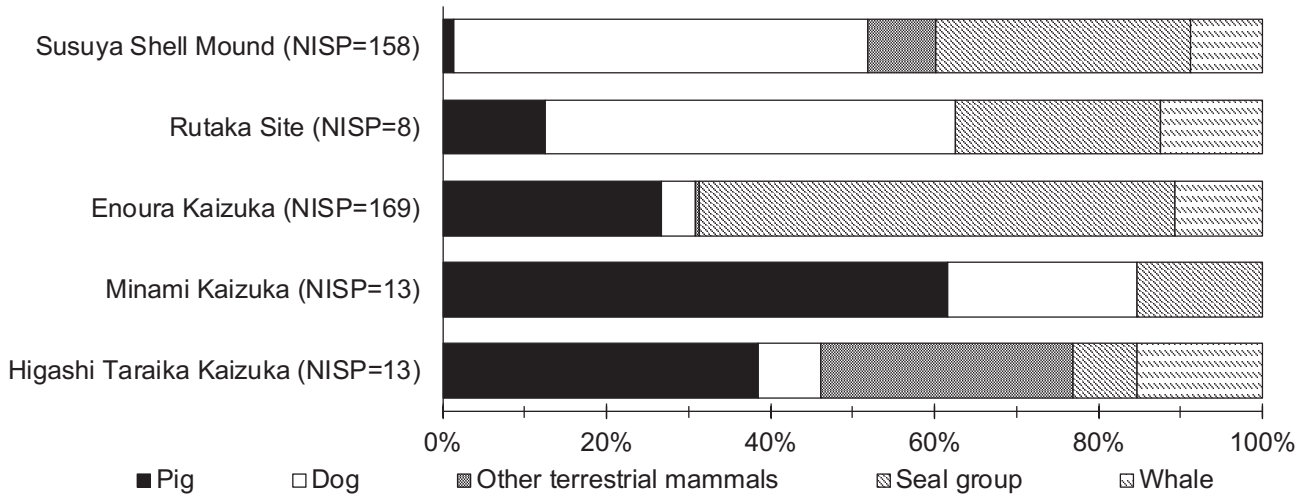


Fig. 8. Species composition of mammals based on NISP of materials identified to order

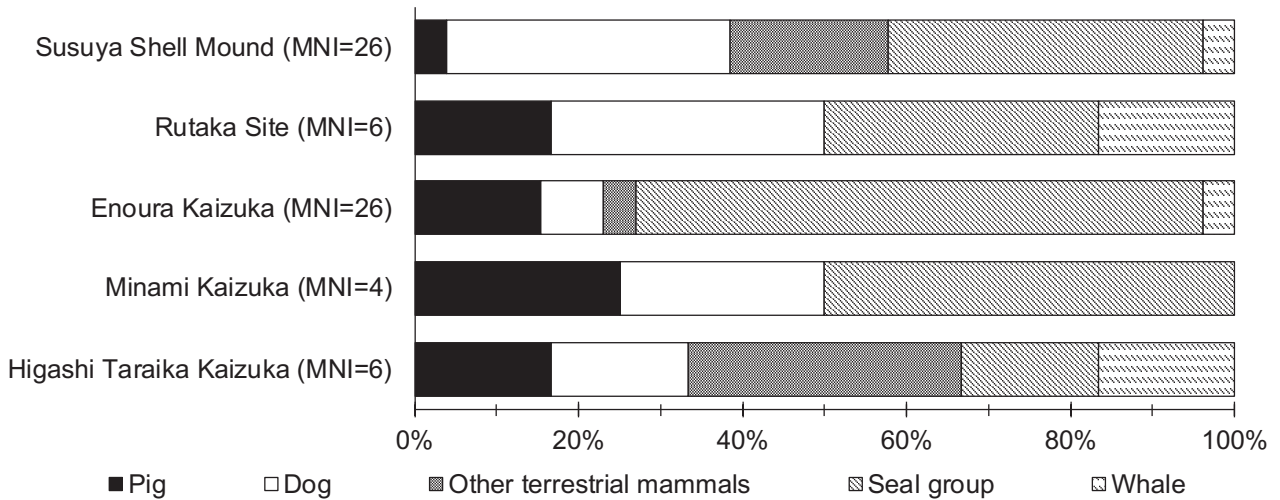


Fig. 9. Species composition of mammals based on MNI of materials identified to order

seals. This indicates that Okhotsk culture groups in Southern Sakhalin may have specifically targeted earless seals over other marine mammals. According to Uchiyama, reports from the Promyslovoye II Site also show overwhelmingly more earless seals than eared seals. Therefore, it appears that Okhotsk culture groups in Sakhalin developed hunting methods that targeted earless seals (Uchiyama 2002).

Conclusion

This analysis partially clarified the nature of animal utilization by the Okhotsk culture in Southern Sakhalin. Specifically, an increasing dependence on pigs and a corresponding decrease on dogs from the late Epi-Jomon era to the Okhotsk culture period appears to have been a trend in Sakhalin. The presence of shell mounds from which more pigs were excavated than dogs has been pointed out in the past (Uchiyama 2005 etc.), and the results of our analysis confirm this. This study also proved that human

adaptation to the ocean is a feature of the Okhotsk culture, as past researchers have also pointed out, and it clarified that the relative prevalence of marine mammals increased toward the mid Okhotsk culture period with a focus on earless seals. However, given the paucity of research on animal remains in Sakhalin, there are many points that remain unclear such as whether this is a phenomenon widely observed in Southern Sakhalin. Therefore, further research with a larger number of samples is required.

Finally, we would like to mention that in addition to our research, we owe a great deal to the late Professor Nobuo Ito, who actively engaged in the collection of faunal remains as well as artifacts, for providing a background to animal utilization in Sakhalin. Much of what we learned from him appears in the explanation in this report. The authors would like to pay tribute to the late Professor Ito who laid the foundation of archaeology on Sakhalin with his meticulous research.

Acknowledgement

We would like to thank Dr. Masaki Eda of the Hokkaido University Museum for his help in the analysis of birds. This work was supported by JSPS KAKENHI Grant Number JP16H01954 (Principal Researcher: Hirofumi Kato) and Keio Gijyuku Academic Development Funds 2016-2019 (Principal Researcher: Takao Sato).

Bibliography

(In Japanese)

- 姉崎智子 2003 「イノシシの家畜化に関する動物考古学的研究」 2002 年度慶應義塾大学大学院文学研究科学学位（博士）申請論文. (Anezaki, T. (2003) Zooarchaeological Studies on the Domestication of Wild Boars. PhD Thesis, Keio University, Tokyo.)
- 伊東信雄 1942 「樺太先史時代土器編年試論」 東北帝国大学国史学会（編）『喜田博士追悼記念 國史論集』 大東書館, pp.19-44. (Ito, N. (1942) Studies on the pottery sequence in the prehistoric Sakhalin. In Tohoku Imperial University KOKUSHIGAKKAI (ed.), *KIDA HAKUSHI TSUITO KINEN: KOKUSHI RONSHU*, Daitoshokan, Tokyo, pp. 19-44.)
- 内山幸子 2002 「オホーツク文化の動物利用についてープロムイソロヴォエII遺跡（東多来加貝塚）を中心にー」 『サハリンにおけるオホーツク文化の形成と変容・消滅』 北海道大学総合博物館, pp.124-130. (Uchiyama, S. (2002) Animal use of Okhotsk culture - with a focus on the Promyslovoye II site (Higashi Takaraka Kaizuka). In: *Okhotsk Culture Formation, Metamorphosis and Ending: Japan and Russia Cooperative Symposium*, Hokkaido University Museum, Sapporo, pp. 124-130.)
- 内山幸子 2005 「海獣狩猟文化における動物飼養の研究：続縄文・オホーツク文化両文化に見るその変遷と意義」 (筑波大学学位所得論文) つくばリポジトリ. (Uchiyama, S. (2005) Animal Husbandry in Marine Animal Hunting Culture: Transition and Significance in the Epi Jomon and Okhotsk Cultures. PhD Thesis, Tsukuba University, Tsukuba.)
- 岡正雄・馬場脩 1938 「北千島千寿島及び樺太多来加地方に於ける考古学的調査予報」 『民族学研究』 4(3): 117-180. (Oka, M. & Baba, O. (1938) Archaeological surveys in the northern Kuril Islands and the Taraika region of Sakhalin. *MINZOKUGAKU KENKYU*, 4: 117-180.)
- 奥山隳吉 1941 「東多来加貝塚の考古学的調査」 『樺太時報』 54: 59-69. (Okuyama, K. (1941) Archaeological survey of the Higashi Taraika Kaizuka. *KARAFUTO JIHO*, 54: 59-69.)
- 甲野勇 1938 「北方調査団考古学班小報」 『考古学雑誌』 28(12): 63-65. (Kono, I. (1938) A small report from the Northern Research Mission's archaeological team. *The journal of the Archaeological Society of Nippon*, 28: 63-65.)
- 酒詰仲男 1956 「貝塚資料より見たる樺太の文化とその概観」 『人文学』 24: 53-93. (Sakazume, N. (1956) An overview of the culture of Sakhalin from the shell mound materials. *JINBUNGAKU*, 24: 53-93.)
- 高島孝宗 2003 「オホーツク文化の信仰と儀礼」 野村崇・宇田川洋（編）『新北海道の古代2 続縄文・オホーツク文化』 北海道新聞社, pp.162-181. (Takabatake, T. (2003). Beliefs and rituals in the Okhotsk culture. In: Nomura, T. and Utagawa, H. (eds.) *SHIN HOKKAIDO NO KODAI 2: ZOKU JOMON, OKHOTSUKU BUNKA*, Hokkaido Shinbunsha, Sapporo, pp.162-181.
- 新岡武彦・宇田川洋 1990 『サハリン南部の遺跡』 北海道出版企画センター. (Niioka, T. & Utagawa, H. (1990) *SAKHALIN NANBU NO ISEKI*, Hokkaido Publication Project Center, Sapporo.)
- 西本豊弘 1984 「オホーツク文化の生業」 高倉新一郎（監修）・野村崇（編）『北海道の研究2 考古篇II』 清文堂出版, pp.105-126. (Nishimoto, T. (1984) Subsistence of the Okhotsk culture. In: Nomura T. (ed.) *HOKKAIDO NO KENKYU 2: KOUKOHEN II*, Seibundo, Osaka, pp. 105-126.)

野村崇 1990 「サハリン州中部ネフスコイエ湖岸遺跡群出土の考古資料」『北海道開拓記念館研究年報』18: 89-100. (Nomura, T. (1990) Archaeological materials of the sites at Lake Nevskoye region, middle Sakhalin. *The Annual Report of the Historical Museum of Hokkaido*, 18: 89-100.)

馬場脩 1940 「樺太の考古学的概観」『人類学・先史学講座17』雄山閣, pp.9-127. (Baba, O. (1940) An archaeological overview of Karafuto. In: *JINRUIGAKU SENSIGAKU KOUZA* 17, Yuzankaku, Tokyo, pp. 9-127.)

和田文治郎 1943 「留多加遺跡（貝塚）の概報」『樺太廳博物館報告』5(1): 147-153. (Wada, B. (1943) Summary report of the Rutaka site. *Reprinted from the Transactions of the Saghalien Locality Museum*, 5: 147-153.)

(In English)

Driesch, A. (1976) *A Guide to the Measurement of Animal Bones from Archaeological Sites*, Peabody Museum Bulletin 1. Harvard University Press, Harvard.

Naito, I.Y., Chikaraishi, Y., Ohkouchi, N., Mukai, H., Shibata, Y., Honch, N.V., Dodo, Y., Ishida, H., Amano, T., Ono, H., and Yoneda, M. (2010) Dietary reconstruction of the

Okhotsk culture of Hokkaido, Japan, based on nitrogen composition of amino acids: implications for correction of ^{14}C marine reservoir effects on human bones. *Radiocarbon*, 52: 671-681.

Vasilevski, A., Suto, T., Akoshima, K., Haneishi, T., Yanagida, T. (2006) The list of Professor of Tohoku University Ito Nobuo's collections made up in Karafuto-Sakhalin during his personal scientific trip around the Middle and Southern parts of the island in 1933-1934. *Bulletin of the Tohoku University Museum*, 5: 57-82.

(In Russian)

Пантелеев, А.Б. (1997) Кости из поселений древнего человека на острове Сахалин. *ВЕСТНИК Сахалинского Музея*, 4: 281-285.

Сафронов, С.Н., Федорчук, В.Д., Чепелев, Д.В. (2001) Рыбы и рыбный промысел на побережье залива терпения в эпоху охотской культуры (по материалам поселения Промысловое-2). *Ученые записки Сахалинского государственного университета*, 2: 55-63.

Appendix 1. Taxonomic identification of faunal remains

Sample No.	Site	Taxon	Skeletal part	LR	Remarks
EN001	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Mandible (with C, P2-4 and M1-3)	L	M3 is unerupted. Subadult. Male.
EN002	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Mandible (with P3-4 and M1-3)	R	M3 is unerupted. Subadult.
EN003	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Mandible (with I1-2, C and P2-4)	R	Female.
EN004	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Mandible (with P4)	R	Male.
EN005	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Maxilla (with P2-3)	R	Female.
EN006	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Maxilla (with M3)	R	Adult.
EN007	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Mandible (with M2)	L	
EN008	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Tooth (LC)	L	Female.
EN009	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Tooth (LI2)	R	
EN010	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Tooth (LC)	R	Male.
EN011	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Tooth (UM2)	L	
EN012	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Tooth (LI1)	L	
EN013	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Tooth (LM2)	L	
EN014	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Tooth (LI2)	R	
EN015	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Proximal phalanx		
EN016	Enoura Kaizuka	Cetacea indet.	Vertebra		
EN017	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Tooth (lower molar)	L	
EN018	Enoura Kaizuka	<i>Canis lupus familiaris</i>	Metacarpal	R	
EN019	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Cranium (both frontal bones and right parietal bone)		
EN020	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Cranium fragment		
EN021	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Talus	R	
EN022	Enoura Kaizuka	<i>Phoca largha</i>	Humerus (distal)	R	Distal end is unfused. Infant/subadult.
EN023	Enoura Kaizuka	<i>Pusa hispida</i>	Humerus	R	Both ends are unfused. Infant/subadult.
EN024	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Metatarsal		Both ends are unfused. Infant/subadult.
EN025	Enoura Kaizuka	<i>Phoca largha</i>	Tibia	L	Both ends are unfused. Infant/subadult.
EN026	Enoura Kaizuka	<i>Erignathus barbatus</i>	Humerus	R	Both ends are unfused. Infant/subadult.
EN027	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Metatarsal		Proximal end is unfused and distal end is fused. Subadult. ? <i>Erignathus barbatus</i> .
EN028	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Coxal bone	R	Cut mark.
EN029	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Metatarsal		Proximal end is unfused and distal end is fused. Subadult. ? <i>Erignathus barbatus</i> .
EN030	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Scapula	R	Glenoid cavity is fused. Cut mark.
EN031	Enoura Kaizuka	<i>Phoca largha</i>	Radius (proximal)	L	Proximal end is unfused. Infant/subadult.
EN032	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Humerus (distal)	R	Distal end is fused.
EN033	Enoura Kaizuka	Cetacea indet.	Rib		
EN034	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Fibula	R	Both ends are unfused. Infant/subadult.
EN035	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN036	Enoura Kaizuka	<i>Phoca largha</i>	Tibia	R	
EN037	Enoura Kaizuka	Gaviidae indet.	Radius	L	Both ends are fused. Adult.
EN038	Enoura Kaizuka	<i>Erignathus barbatus</i>	Tibia (proximal)	L	Proximal end is unfused. Infant/subadult.
EN039	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Coxal bone	R	
EN040	Enoura Kaizuka	Cetacea indet.	Rib		
EN041	Enoura Kaizuka	<i>Erignathus barbatus</i>	Tympanic bulla	L	
EN042	Enoura Kaizuka	<i>Erignathus barbatus</i>	Tympanic bulla	R	
EN043	Enoura Kaizuka	<i>Phoca largha</i>	Tympanic bulla	R	
EN044	Enoura Kaizuka	<i>Phoca largha</i>	Tibia	L	
EN045	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Scapula	R	Glenoid cavity is fused.
EN046	Enoura Kaizuka	<i>Erignathus barbatus</i>	Tympanic bulla	L	
EN047	Enoura Kaizuka	<i>Pusa hispida</i>	Tympanic bulla	L	
EN048	Enoura Kaizuka	<i>Pusa hispida</i>	Tympanic bulla	L	
EN049	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Talus	L	
EN050	Enoura Kaizuka	<i>Phoca largha</i>	Tibia (proximal)	L	Proximal end is unfused. Infant/subadult.
EN051	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Scapula	R	
EN052	Enoura Kaizuka	<i>Erignathus barbatus</i>	Tympanic bulla	R	
EN053	Enoura Kaizuka	<i>Erignathus barbatus</i>	Tympanic bulla	R	
EN054	Enoura Kaizuka	<i>Erignathus barbatus</i>	Tympanic bulla	R	
EN055	Enoura Kaizuka	<i>Erignathus barbatus</i>	Tympanic bulla	L	
EN056	Enoura Kaizuka	<i>Erignathus barbatus</i>	Tympanic bulla	L	
EN057	Enoura Kaizuka	<i>Pusa hispida</i>	Coxal bone	R	
EN058	Enoura Kaizuka	<i>Phoca largha</i>	Tympanic bulla	R	
EN059	Enoura Kaizuka	<i>Erignathus barbatus</i>	Tympanic bulla	L	
EN060	Enoura Kaizuka	<i>Erignathus barbatus</i>	Tibia	R	
EN061	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Radius (proximal)	R	Proximal end is fused.
EN062	Enoura Kaizuka	<i>Pusa hispida</i>	Femur (proximal)	R	Proximal end is unfused. Infant/subadult.
EN063	Enoura Kaizuka	<i>Erignathus barbatus</i>	Radius (proximal)	R	Proximal end is unfused. Infant/subadult.
EN064	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Metatarsal	R	

Sample No.	Site	Taxon	Skeletal part	LR	Remarks
EN065	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Fibula (distal)	R	Distal end is unfused. Infant/subadult.
EN066	Enoura Kaizuka	<i>Pusa hispida</i>	Tibia (proximal)	R	Proximal end is unfused. Infant/subadult.
EN067	Enoura Kaizuka	Pinnipedia indet.	Scapula fragment		
EN068	Enoura Kaizuka	<i>Phoca largha</i>	Ulna (distal)	L	Distal end is unfused. Infant/subadult.
EN069	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Coxal bone	R	
EN070	Enoura Kaizuka	Terrestrial Mammalia indet.	Rib		
EN071	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Fibula (distal)	L	Distal end is unfused. Infant/subadult.
EN072	Enoura Kaizuka	Pinnipedia indet.	Rib		
EN073	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Fibula	L	
EN074	Enoura Kaizuka	Pleuronectiformes indet.	First interhaemal spine		
EN075	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Fibula	L	
EN076	Enoura Kaizuka	Pinnipedia indet.	Rib		
EN077	Enoura Kaizuka	Cetacea indet.	Vertebra		
EN078	Enoura Kaizuka	Cetacea indet.	Vertebra		
EN079	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Sacrum		Unfused. Infant/subadult.
EN080	Enoura Kaizuka	<i>Erignathus barbatus</i>	Femur	R	Both ends are unfused. Infant/subadult.
EN081	Enoura Kaizuka	<i>Canis lupus familiaris</i>	Axis		
EN082	Enoura Kaizuka	<i>Pusa hispida</i>	Atlas		
EN083	Enoura Kaizuka	<i>Erignathus barbatus</i>	Atlas		
EN084	Enoura Kaizuka	<i>Erignathus barbatus</i>	Tympanic bulla	L	
EN085	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Atlas		
EN086	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Lumber vertebra		Unfused. Infant/subadult.
EN087	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Frontal bone	L	
EN088	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Temporal bone (zygomatic process)	R	
EN089	Enoura Kaizuka	<i>Pusa hispida</i>	Femur	L	Both ends are fused. Adult.
EN090	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Ulna (proximal)	L	Proximal end is unfused. Infant/subadult.
EN091	Enoura Kaizuka	Cetacea indet.	Vertebra		Small whale.
EN092	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Coxal bone	L	
EN093	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Cervical vertebra		Infant.
EN094	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Scapula	L	Glenoid cavity is unfused. Infant/subadult.
EN095	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Radius (proximal)		Proximal end is unfused. Infant/subadult.
EN096	Enoura Kaizuka	<i>Erignathus barbatus</i>	Femur (proximal)	R	Proximal end is unfused. Infant/subadult.
EN097	Enoura Kaizuka	<i>Canis lupus familiaris</i>	Metatarsal	L	Both ends are fused.
EN098	Enoura Kaizuka	<i>Phoca largha</i>	Tibia (proximal)	R	Proximal end is unfused. Infant/subadult.
EN099	Enoura Kaizuka	<i>Erignathus barbatus</i>	Humerus	L	Both ends are unfused. Infant/subadult.
EN100	Enoura Kaizuka	<i>Phoca largha</i>	Tibia (proximal)	L	Proximal end is unfused. Infant/subadult.
EN101	Enoura Kaizuka	<i>Phoca largha</i>	Ulna	R	Both ends are unfused. Infant/subadult.
EN102	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Thoracic vertebra		
EN103	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Cervical vertebra		Infant.
EN104	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Talus	R	
EN105	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Thoracic vertebra		Unfused. Infant/subadult.
EN106	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Cervical vertebra		
EN107	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Thoracic vertebra		
EN108	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Femur (proximal)	L	Proximal end is unfused. Infant/subadult.
EN109	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Thoracic vertebra		Unfused. Infant/subadult.
EN110	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Lumber vertebra		
EN111	Enoura Kaizuka	<i>Phoca largha</i>	Tibia	L	
EN112	Enoura Kaizuka	<i>Erignathus barbatus</i>	Tibia	L	
EN113	Enoura Kaizuka	<i>Erignathus barbatus</i>	Mandible (coronoid process and condylar process)	L	
EN114	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Frontal bone	L	
EN115	Enoura Kaizuka	<i>Phoca largha</i>	Tibia	L	
EN116	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib	R	
EN117	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN118	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Cervical vertebra		Infant.
EN119	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Scapula fragment	R	
EN120	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN121	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN122	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Cervical vertebra		
EN123	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Humerus (head)	R	Unfused. Infant/subadult.
EN124	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Atlas fragment		
EN125	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Thoracic vertebra		Unfused. Infant/subadult.
EN126	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Cervical vertebra		
EN127	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Mandible fragment		
EN128	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Atlas fragment		
EN129	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Cervical vertebra		

Sample No.	Site	Taxon	Skeletal part	LR	Remarks
EN130	Enoura Kaizuka	<i>Phoca fasciata</i>	Tibia	L	
EN131	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Phalanx		
EN132	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Coxal bone	R	
EN133	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Cervical vertebra		
EN134	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Metatarsal	R	
EN135	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Radius (proximal)	L	Proximal end is unfused. Infant/subadult.
EN137	Enoura Kaizuka	Pinnipedia indet.	Cervical vertebra fragment		
EN138	Enoura Kaizuka	Otariidae indet.	Lumber vertebra		Unfused. Infant/subadult.
EN139	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Phalanx		
EN140	Enoura Kaizuka	Terrestrial Mammalia indet.	Tympanic bulla		
EN141	Enoura Kaizuka	<i>Phoca largha</i>	Tibia	R	
EN142	Enoura Kaizuka	<i>Pusa hispida</i>	Ulna (distal)	L	Distal end is unfused. Infant/subadult.
EN143	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Mandible fragment	R	
EN144	Enoura Kaizuka	Cetacea indet.	Bone fragment		Material for bone tool.
EN145	Enoura Kaizuka	Terrestrial Mammalia indet.	Bone fragment		
EN146	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN147	Enoura Kaizuka	Pinnipedia indet.	Vertebra fragment		
EN148	Enoura Kaizuka	Mammalia indet.	Scapula fragment		
EN149	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Thoracic vertebra		
EN150	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Sacrum fragment		
EN151	Enoura Kaizuka	Cetacea indet.	Bone fragment		Material for bone tool.
EN152	Enoura Kaizuka	Terrestrial Mammalia indet.	Bone fragment		
EN153	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Vertebra fragment		
EN154	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN155	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN156	Enoura Kaizuka	Pinnipedia indet.	Atlas fragment		
EN157	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Coxal bone	R	
EN158	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Metacarpal	R	
EN159	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN160	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN161	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Scapula	R	Glenoid cavity is unfused. Infant/subadult.
EN162	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Bone fragment		
EN163	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN164	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Scapula	fr.	
EN165	Enoura Kaizuka	Cetacea indet.	Vertebra		
EN166	Enoura Kaizuka	Terrestrial Mammalia indet.	Bone fragment		
EN167	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Cervical vertebra		
EN168	Enoura Kaizuka	<i>Canis lupus familiaris</i>	Mandible		Infant.
EN169	Enoura Kaizuka	Mammalia indet.	Bone fragment		
EN170	Enoura Kaizuka	Cetacea indet.	Vertebra fragment		
EN171	Enoura Kaizuka	Cetacea indet.	Vertebra		Large whale.
EN172	Enoura Kaizuka	<i>Erignathus barbatus</i>	Tibia (proximal)	L	Proximal end is unfused. Infant/subadult.
EN173	Enoura Kaizuka	<i>Ursus arctos</i>	Lumber vertebra		Unfused. Infant/subadult.
EN174	Enoura Kaizuka	Cetacea indet.	Caudal vertebra		
EN175	Enoura Kaizuka	Cetacea indet.	Bone fragment		Material for bone tool.
EN176	Enoura Kaizuka	Cetacea indet.	Phalanx		
EN177	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Maxilla fragment		
EN178	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Thoracic vertebra (spinous process)		
EN179	Enoura Kaizuka	Cetacea indet.	Bone fragment		Material for bone tool.
EN180	Enoura Kaizuka	Terrestrial Mammalia indet.	Ulna fragment		
EN181	Enoura Kaizuka	Mammalia indet.	Bone fragment		
EN182	Enoura Kaizuka	Cetacea indet.	Bone fragment		Material for bone tool.
EN183	Enoura Kaizuka	<i>Canis lupus familiaris</i>	Coxal bone	R	
EN184	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Bone fragment		
EN185	Enoura Kaizuka	Terrestrial Mammalia indet.	Bone fragment		
EN186	Enoura Kaizuka	Cetacea indet.	Bone fragment		Material for bone tool.
EN187	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN188	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN189	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN190	Enoura Kaizuka	Otariidae indet.	Thoracic vertebra		
EN191	Enoura Kaizuka	Cetacea indet.	Vertebra		
EN192	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN193	Enoura Kaizuka	<i>Canis lupus familiaris</i>	Ulna (proximal)	R	Proximal end is fused.
EN194	Enoura Kaizuka	<i>Canis lupus familiaris</i>	Ulna (proximal)	R	Proximal end is fused.
EN195	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Mandible	R	

Sample No.	Site	Taxon	Skeletal part	LR	Remarks
EN196	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN197	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN198	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Rib		
EN199	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN200	Enoura Kaizuka	Terrestrial Mammalia indet.	Rib		
EN201	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN202	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN203	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN204	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN205	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN206	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN207	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN208	Enoura Kaizuka	Terrestrial Mammalia indet.	Rib		
EN209	Enoura Kaizuka	<i>Phoca largha</i>	Tibia	L	
EN210	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN211	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN212	Enoura Kaizuka	Mammalia indet.	Rib		
EN213	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN214	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN215	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN216	Enoura Kaizuka	Mammalia indet.	Bone fragment		
EN217	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN218	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN219	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN220	Enoura Kaizuka	Mammalia indet.	Bone fragment		
EN221	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Vertebra fragment		
EN222	Enoura Kaizuka	Terrestrial Mammalia indet.	Rib		
EN223	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN224	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Thoracic vertebra		
EN225	Enoura Kaizuka	Terrestrial Mammalia indet.	Rib fragment		
EN226	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN227	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Coxal bone fragment		
EN228	Enoura Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Nasal bone		
EN229	Enoura Kaizuka	Terrestrial Mammalia indet.	Bone fragment		
EN230	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib fragment		
EN231	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib fragment		
EN232	Enoura Kaizuka	Terrestrial Mammalia indet.	Bone fragment		
EN233	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib		
EN234	Enoura Kaizuka	Mammalia indet.	Scapula fragment		
EN236	Enoura Kaizuka	Terrestrial Mammalia indet.	Bone fragment		
EN237	Enoura Kaizuka	Phocidae indet.	Radius (shaft)	L	
EN238	Enoura Kaizuka	Terrestrial Mammalia indet.	Bone fragment		
EN239	Enoura Kaizuka	Mammalia indet.	Bone fragment		
EN240	Enoura Kaizuka	Terrestrial Mammalia indet.	Bone fragment		
EN241	Enoura Kaizuka	Pinnipedia indet.	Radius (head)		Unfused. Infant/subadult.
EN242	Enoura Kaizuka	Mammalia indet.	Scapula fragment		
EN243	Enoura Kaizuka	Mammalia indet.	Bone fragment		
EN244	Enoura Kaizuka	Mammalia indet.	Bone fragment		
EN245	Enoura Kaizuka	Osteichthyes indet.	Bone fragment		
EN246	Enoura Kaizuka	<i>Crassostrea gigas</i>	Shell fragment		
EN247	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib fragment		
EN248	Enoura Kaizuka	Mammalia indet.	Bone fragment		
EN249	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Vertebra fragment		
EN250	Enoura Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Rib fragment		
EN251	Enoura Kaizuka	Mammalia indet.	Zygomatic bone (arch fragment)		
EN252	Enoura Kaizuka	Mammalia indet.	Rib		
EN253	Enoura Kaizuka	Bivalvia indet.	Shell fragment		
EN254	Enoura Kaizuka	Terrestrial Mammalia indet.	Humerus fragment		
EN255	Enoura Kaizuka	Mammalia indet.	Bone fragment		
EN256	Enoura Kaizuka	Mammalia indet.	Rib		
EN257	Enoura Kaizuka	Mammalia indet.	Bone fragment		
HT001	Higashi Taraika Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Maxilla (with dm1-dm4 and M1-2)	L	M2 is unerupted. Infant.
HT002	Higashi Taraika Kaizuka	Cervidae indet.	Sacrum		?Rangifer tarandus.
HT003	Higashi Taraika Kaizuka	<i>Erignathus barbatus</i>	Atlas		
HT004	Higashi Taraika Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Scapula	R	Glenoid cavity is fused.

Sample No.	Site	Taxon	Skeletal part	LR	Remarks
HT005	Higashi Taraika Kaizuka	<i>Canis lupus familiaris</i>	Cranium		
HT007	Higashi Taraika Kaizuka	Cetacea indet.	Cervical vertebra		
HT009	Higashi Taraika Kaizuka	Cetacea indet.	Vertebra		
HT010	Higashi Taraika Kaizuka	Mammalia indet.	Bone fragment		
HT011	Higashi Taraika Kaizuka	Mammalia indet.	Bone fragment		
HT012	Higashi Taraika Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Thoracic vertebra		Unfused. Subadult.
HT013	Higashi Taraika Kaizuka	Mammalia indet.	Scapula fragment		
HT014	Higashi Taraika Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Lacrimal bone	L	
HT015	Higashi Taraika Kaizuka	Mammalia indet.	Bone fragment		
HT016	Higashi Taraika Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Femur (distal)		Distal end is unfused. Subadult.
HT017	Higashi Taraika Kaizuka	<i>Rangifer tarandus</i>	Antler		Material for bone tool.
HT018	Higashi Taraika Kaizuka	<i>Rangifer tarandus</i>	Antler		Material for bone tool.
HT019	Higashi Taraika Kaizuka	Mammalia indet.	Bone fragment		
HT020	Higashi Taraika Kaizuka	Mammalia indet.	Bone fragment		
HT021	Higashi Taraika Kaizuka	Mammalia indet.	Bone fragment		
HT022	Higashi Taraika Kaizuka	Mammalia indet.	Bone fragment		
HT023	Higashi Taraika Kaizuka	Mammalia indet.	Bone fragment		
HT024	Higashi Taraika Kaizuka	Mammalia indet.	Bone fragment		
HT025	Higashi Taraika Kaizuka	<i>Rangifer tarandus</i>	Antler		Material for bone tool.
HT026	Higashi Taraika Kaizuka	Mammalia indet.	Bone fragment		
MK001	Minami Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Ilium	R	Infant.
MK002	Minami Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Mandible fragment	R	
MK003	Minami Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Tibia	L	Infant.
MK004	Minami Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Femur (distal end)	L	Unfused. Subadult.
MK005	Minami Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Femur (proximal)	R	Proximal end is unfused. Subadult.
MK006	Minami Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Parietal bone	L	
MK007	Minami Kaizuka	Otariidae indet.	Rib		
MK009	Minami Kaizuka	Marine Mammalia indet.	Bone fragment		
MK010	Minami Kaizuka	<i>Canis lupus familiaris</i>	Thoracic vertebra		
MK011	Minami Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Tibia (distal)	R	Distal end is unfused. Infant.
MK012	Minami Kaizuka	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Radius (proximal)	R	Proximal end is unfused. Infant.
MK013	Minami Kaizuka	<i>Phoca largha</i>	Scapula	R	Glenoid cavity is unfused. Infant/subadult.
MK014	Minami Kaizuka	Mammalia indet.	Scapula fragment		
MK015	Minami Kaizuka	<i>Canis lupus familiaris</i>	Vertebra (spinous process)		Unfused. Infant/subadult.
MK016	Minami Kaizuka	<i>Canis lupus familiaris</i>	Vertebra (spinous process)		Unfused. Infant/subadult.
RT001	Rutaka Site	<i>Canis lupus familiaris</i>	Humerus (distal)	R	Distal end is fused.
RT002	Rutaka Site	Cetacea indet.	Lumber vertebra		Small whale.
RT003	Rutaka Site	<i>Canis lupus familiaris</i>	Thoracic vertebra		
RT004	Rutaka Site	Phocidae indet.	Cervical vertebra		Infant.
RT005	Rutaka Site	<i>Pusa hispida</i>	Tympanic bulla (phocidae)	R	
RT006	Rutaka Site	Mammalia indet.	Bone fragment		Burned bone.
RT007	Rutaka Site	<i>Canis lupus familiaris</i>	Ulna (proximal)	L	Proximal end is unfused. Subadult.
RT008	Rutaka Site	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Femur	R	Both ends are unfused. Infant.
RT009	Rutaka Site	<i>Canis lupus familiaris</i>	Ulna (proximal)	L	Proximal end is unfused. Subadult.
RT010	Rutaka Site	Marine Mammalia indet.	Rib		
SS001	Susuya Shell Mound	<i>Erignathus barbatus</i>	Tympanic bulla	R	
SS002	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Maxilla (with P4)	R	
SS003	Susuya Shell Mound	<i>Lepus</i> sp.	Mandible	L	
SS004	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Axis		
SS005	Susuya Shell Mound	Gruidae indet.	Tibiotarsus	R	Infant/subadult.
SS006	Susuya Shell Mound	Phocidae indet.	Tympanic bulla	L	
SS007	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Humerus	R	Both ends are unfused. Infant.
SS008	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Cervical vertebra		
SS009	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Maxilla (with dc and dm2-3)	L	Infant.
SS010	Susuya Shell Mound	Otariidae indet.	Thoracic vertebra (arch)		
SS011	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Zygomatic bone and maxilla fragment	L	
SS012	Susuya Shell Mound	Phocidae indet.	Tympanic bulla	R	
SS013	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Mandible (with dm4)	L	Infant.
SS014	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Bone fragment		Material for bone tool.
SS015	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Maxilla (with dc and dm2-4)	L	Infant.
SS016	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Maxilla	L	
SS017	Susuya Shell Mound	Otariidae indet.	Scapula	L	
SS018	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Maxilla	L	
SS019	Susuya Shell Mound	Terrestrial Mammalia indet.	Bone fragment		
SS020	Susuya Shell Mound	<i>Lama distropis</i>	Vertebra		

Sample No.	Site	Taxon	Skeletal part	LR	Remarks
SS021	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Rib		
SS022	Susuya Shell Mound	Otariidae indet.	Rib		
SS023	Susuya Shell Mound	Otariidae indet.	Scapula fragment	L	
SS024	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Parietal bone	L	
SS025	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Frontal bone	L	
SS026	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Parietal bone	L	
SS027	Susuya Shell Mound	Aves indet.	Bone fragment		
SS029	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Ulna (proximal)	L	Proximal end is unfused. Infant.
SS030	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Rib		
SS031	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Radius (distal)		Distal end is unfused. Infant.
SS032	Susuya Shell Mound	Terrestrial Mammalia indet.	Femoral head fragment?		
SS033	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Scapula fragment		
SS034	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS036	Susuya Shell Mound	Aves indet.	Bone fragment		
SS037	Susuya Shell Mound	Otariidae indet.	Rib	R	
SS038	Susuya Shell Mound	Bivalvia indet.	Shell fragment		
SS039	Susuya Shell Mound	Bivalvia indet.	Shell fragment		
SS040	Susuya Shell Mound	Bivalvia indet.	Shell fragment		
SS041	Susuya Shell Mound	Bivalvia indet.	Shell fragment		
SS042	Susuya Shell Mound	Bivalvia indet.	Shell fragment		
SS045	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS046	Susuya Shell Mound	Cetacea indet.	Bone fragment		
SS047	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Rib		
SS048	Susuya Shell Mound	Cetacea indet.	Bone fragment		
SS049	Susuya Shell Mound	Cetacea indet.	Bone fragment		
SS050	Susuya Shell Mound	Cetacea indet.	Bone fragment		Material for bone tool.
SS051	Susuya Shell Mound	Cetacea indet.	Bone fragment		Material for bone tool.
SS052	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Bone fragment		
SS053	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Bone fragment		
SS054	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Mandible (with P4 and M1)	L	
SS055	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Mandible (with P2-4 and M1-2)	R	
SS056	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Mandible (with P3 and M1)	L	
SS057	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Mandible (with P4 and M1-3)	R	Adult.
SS058	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Mandible (with C, P3-4 and M1)	R	
SS059	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Coxal bone	R	
SS060	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Coxal bone	L	
SS061	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Radius (distal)	L	Distal end is fused.
SS062	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Atlas		
SS063	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Femur (proximal)	R	Proximal end is fused.
SS064	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Humerus	R	Both ends are fused. Adult.
SS065	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Ulna (proximal)	L	Proximal end is fused.
SS066	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Tibia	L	Both ends are fused. Adult.
SS067	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Maxilla (with dm2)	L	Infant.
SS068	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Tibia (distal)	L	Distal end is fused.
SS069	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Tibia (proximal)	R	Proximal end is fused.
SS070	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Atlas		
SS071	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Ulna (proximal)	R	Proximal end is fused.
SS072	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Ulna	L	
SS073	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Tibia (distal)	R	Distal end is fused.
SS074	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Mandible (with dm2)	L	Infant.
SS075	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Maxilla (with dm3 and dm4)	L	Infant.
SS076	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Tooth (UM1)	L	
SS077	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Radius (proximal)	L	Proximal end is fused.
SS078	Susuya Shell Mound	<i>Erignathus barbatus</i>	Tympanic bulla	L	
SS079	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Scapula	L	Glenoid cavity is fused.
SS080	Susuya Shell Mound	<i>Pusa hispida</i>	Tympanic bulla	R	
SS081	Susuya Shell Mound	<i>Erignathus barbatus</i>	Tympanic bulla	L	
SS082	Susuya Shell Mound	<i>Phoca largha</i>	Ulna	L	Both ends are unfused. Infant/subadult.
SS083	Susuya Shell Mound	<i>Erignathus barbatus</i>	Mandible	R	
SS084	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Mandible (with P3)	L	
SS085	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Maxilla (with M1 and M2)	R	
SS086	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Femur (proximal)	L	Proximal end is fused.
SS087	Susuya Shell Mound	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Femur	R	Both ends are unfused. Infant/subadult.
SS088	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Radius (proximal)	R	Proximal end is unfused. Infant/subadult.
SS089	Susuya Shell Mound	<i>Cygnus sp.</i>	Femur (proximal)	R	Proximal end is fused.

Sample No.	Site	Taxon	Skeletal part	LR	Remarks
SS090	Susuya Shell Mound	Otariidae indet.	Scapula	R	Glenoid cavity is unfused. Infant/subadult.
SS091	Susuya Shell Mound	<i>Ursus arctos</i>	Calcaneus	L	Proximal end is fused.
SS092	Susuya Shell Mound	Cetacea indet.	Vertebra (arch)		Large whale.
SS093	Susuya Shell Mound	<i>Cygnus sp.</i>	Humerus	R	
SS094	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Radius (proximal)	R	Proximal end is fused.
SS095	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Radius	L	Both ends are fused. Adult.
SS096	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Maxilla	L	Infant.
SS097	Susuya Shell Mound	<i>Callorhinus ursinus</i>	Radius	R	Male.
SS098	Susuya Shell Mound	<i>Cygnus sp.</i>	Ulna (distal)	R	Distal end is fused.
SS099	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Rib		
SS100	Susuya Shell Mound	<i>Lepus sp.</i>	Tibia	R	
SS101	Susuya Shell Mound	<i>Lutra lutra</i>	Ulna	R	
SS102	Susuya Shell Mound	Otariidae indet.	Humerus	R	
SS103	Susuya Shell Mound	Phocidae indet.	Fibula	R	
SS104	Susuya Shell Mound	<i>Erignathus barbatus</i>	Femur	L	Both ends are unfused. Infant/subadult.
SS105	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Radius (proximal)	L	Proximal end is fused.
SS106	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Lumber vertebra		
SS107	Susuya Shell Mound	Phocidae indet.	Cervical vertebra		
SS108	Susuya Shell Mound	Phocidae indet.	Lumber vertebra		Unfused. Infant/subadult.
SS109	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Thoracic vertebra		
SS110	Susuya Shell Mound	<i>Pusa hispida</i>	Femur (proximal)	L	Proximal end is unfused. Infant/subadult.
SS111	Susuya Shell Mound	Phocidae indet.	Thoracic vertebra		Unfused. Infant/subadult.
SS112	Susuya Shell Mound	Phocidae indet.	Lumber vertebra		
SS113	Susuya Shell Mound	Cetacea indet.	Vertebra		Small whale.
SS114	Susuya Shell Mound	Cetacea indet.	Vertebra		Small whale.
SS115	Susuya Shell Mound	Cetacea indet.	Vertebra		Small whale.
SS116	Susuya Shell Mound	Cetacea indet.	Vertebra		Small whale.
SS117	Susuya Shell Mound	Cetacea indet.	Vertebra		Small whale.
SS118	Susuya Shell Mound	Cetacea indet.	Vertebra		Small whale.
SS119	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Tooth (UP4)	R	Uncompleted root.
SS120	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Metatarsal	R	Both ends are fused.
SS121	Susuya Shell Mound	Anatinae indet.	Humerus	R	
SS122	Susuya Shell Mound	Otariidae indet.	Rib		
SS123	Susuya Shell Mound	Otariidae indet.	Metacarpal or phalanx		Unfused. Infant/subadult.
SS124	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Metatarsal	L	Both ends are fused.
SS125	Susuya Shell Mound	Otariidae indet.	Metacarpal or phalanx		Unfused. Infant/subadult.
SS126	Susuya Shell Mound	<i>Lamna distropis</i>	Vertebra		
SS127	Susuya Shell Mound	<i>Lamna distropis</i>	Vertebra		
SS128	Susuya Shell Mound	<i>Lamna distropis</i>	Vertebra		
SS129	Susuya Shell Mound	Otariidae indet.	Metacarpal	R	Both ends are fused.
SS130	Susuya Shell Mound	Otariidae indet.	Humerus fragment		
SS131	Susuya Shell Mound	<i>Ursus arctos</i>	Cervical vertebra		Infant.
SS132	Susuya Shell Mound	Cetacea indet.	Bone fragment		
SS133	Susuya Shell Mound	Aves indet.	Bone fragment		
SS134	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS135	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Ulna (distal)	L	Distal end is fused.
SS136	Susuya Shell Mound	Aves indet.	Bone fragment		
SS137	Susuya Shell Mound	Otariidae indet.	Thoracic vertebra		
SS138	Susuya Shell Mound	?Accipitriformes	Radius (distal)	R	Distal end is fused.
SS139	Susuya Shell Mound	Otariidae indet.	Vertebra		
SS140	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Occipital bone		
SS141	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Maxilla (with dm3 and dm4)	L	Infant.
SS142	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Thoracic vertebra		
SS143	Susuya Shell Mound	Cervidae indet.	Atlas fragment		
SS144	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Occipital bone (right condyle)		
SS145	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Coxal bone	L	
SS146	Susuya Shell Mound	Canidae indet.	Tympanic bulla	L	
SS147	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Occipital bone (left condyle)		
SS148	Susuya Shell Mound	Otariidae indet.	Phalanx		
SS149	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Maxilla (with dm3 and dm4)	R	Infant.
SS150	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Temporal bone (zygomatic process)	L	
SS151	Susuya Shell Mound	Otariidae indet.	Scapula fragment	R	
SS152	Susuya Shell Mound	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Femur (proximal)	R	Proximal end is unfused. Infant/subadult.
SS153	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Atlas		
SS154	Susuya Shell Mound	Terrestrial Mammalia indet.	Tympanic bulla fragment		

Sample No.	Site	Taxon	Skeletal part	LR	Remarks
SS155	Susuya Shell Mound	Canidae indet.	Femur (head fragment)		Proximal end is fused.
SS156	Susuya Shell Mound	<i>Callorhinus ursinus</i>	Femur	R	Female or subadult/infant.
SS157	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Rib		
SS158	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Rib		
SS159	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Tooth (UC/LC)		
SS160	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Maxilla (with dm2-4)	L	Infant.
SS161	Susuya Shell Mound	Canidae indet.	Temporal bone (zygomatic process)	L	
SS162	Susuya Shell Mound	<i>Erignathus barbatus</i>	Tibia	R	
SS163	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Maxilla (with P4)	L	
SS164	Susuya Shell Mound	<i>Phoca largha</i>	Ulna (distal)	R	Distal end is unfused. Infant/subadult.
SS165	Susuya Shell Mound	<i>Callorhinus ursinus</i>	Ulna (proximal)	L	Proximal end is fused. Male.
SS166	Susuya Shell Mound	<i>Callorhinus ursinus</i>	Radius (distal)	R	Distal end is unfused. Infant/Subadult. Male.
SS167	Susuya Shell Mound	<i>Ursus arctos</i>	Humerus (distal)	L	Distal end is fused.
SS168	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Tibia (proximal)	L	Proximal end is fused.
SS169	Susuya Shell Mound	Terrestrial Mammalia indet.	Rib		
SS170	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Tibia	L	
SS171	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Sacrum		
SS172	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Metatarsal	R	Both ends are unfused. Infant/subadult.
SS173	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Sacrum		
SS174	Susuya Shell Mound	<i>Phoca fasciata</i>	Tibia	R	Both ends are unfused. Infant/subadult.
SS175	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Lumber vertebra		
SS176	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Humerus	R	
SS177	Susuya Shell Mound	Otariidae indet.	Rib		
SS178	Susuya Shell Mound	Phocidae indet.	Tibia	L	
SS179	Susuya Shell Mound	Otariidae indet.	Carpal	L	
SS180	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS181	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Metacarpal	R	Both ends are fused.
SS182	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Vertebra (body)		
SS183	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Metacarpal	L	Both ends are unfused. Infant/subadult.
SS184	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Vertebra fragment		
SS185	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Rib		
SS186	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS187	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Rib		
SS188	Susuya Shell Mound	Aves indet.	Bone fragment		
SS189	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Rib		
SS190	Susuya Shell Mound	Bivalvia indet.	Shell fragment		
SS191	Susuya Shell Mound	Canidae indet.	Vertebra fragment		
SS192	Susuya Shell Mound	Terrestrial Mammalia indet.	Bone fragment		
SS193	Susuya Shell Mound	Phocidae indet.	Femur (distal fragment)	R	
SS194	Susuya Shell Mound	Otariidae indet.	Scapula fragment		
SS195	Susuya Shell Mound	Terrestrial Mammalia indet.	Tympanic part fragment		
SS196	Susuya Shell Mound	Anatinae indet.	Femur (proximal)	R	Proximal end is fused.
SS197	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Vertebra fragment		
SS198	Susuya Shell Mound	Anatinae indet.	Femur	L	Both ends are fused. Adult.
SS199	Susuya Shell Mound	Terrestrial Mammalia indet.	Bone fragment		
SS200	Susuya Shell Mound	Terrestrial Mammalia indet.	Bone fragment		
SS201	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Rib		
SS202	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS203	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Tibia (distal)	L	Distal end is unfused. Infant/subadult.
SS204	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Vertebra fragment		
SS205	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Tibia	L	
SS206	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Vertebra fragment		
SS207	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS208	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Rib		
SS209	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Cranium fragment		
SS210	Susuya Shell Mound	Terrestrial Mammalia indet.	Bone fragment		
SS211	Susuya Shell Mound	Canidae indet.	Coxal bone fragment		
SS212	Susuya Shell Mound	Phocidae indet.	Femur (distal fragment)		
SS213	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS214	Susuya Shell Mound	Otariidae indet.	Scapula fragment		
SS215	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Rib		
SS216	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Cranium fragment		
SS217	Susuya Shell Mound	Cetacea indet.	Rib		Large whale.
SS218	Susuya Shell Mound	<i>Cygnus</i> sp.	Humerus	L	
SS219	Susuya Shell Mound	Terrestrial Mammalia indet.	Rib		

Sample No.	Site	Taxon	Skeletal part	LR	Remarks
SS220	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Rib		
SS221	Susuya Shell Mound	Otariidae indet.	Thoracic vertebra		
SS222	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS223	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS224	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Rib		
SS225	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Rib		
SS226	Susuya Shell Mound	Aves indet.	Bone fragment		
SS227	Susuya Shell Mound	<i>Lepus</i> sp.	Femur	R	
SS228	Susuya Shell Mound	Aves indet.	Bone fragment		
SS229	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS230	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Rib		
SS231	Susuya Shell Mound	Terrestrial Mammalia indet.	Bone fragment		
SS232	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS233	Susuya Shell Mound	Terrestrial Mammalia indet.	Tympanic bulla fragment		
SS234	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS235	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS236	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS237	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS238	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS239	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS240	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS241	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS242	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Rib		
SS243	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS244	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS245	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Bone fragment		
SS246	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Rib		
SS247	Susuya Shell Mound	Aves indet.	Bone fragment		Cut mark.
SS248	Susuya Shell Mound	Terrestrial Mammalia indet.	Rib		
SS249	Susuya Shell Mound	Terrestrial Mammalia indet.	Bone fragment		
SS250	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Incisor	L	
SS251	Susuya Shell Mound	Terrestrial Mammalia indet.	Bone fragment		
SS252	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Vertebra fragment		
SS253	Susuya Shell Mound	<i>Canis lupus familiaris</i>	Tooth (LM3)	L	
SS254	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Bone fragment		
SS255	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS256	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS257	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Vertebra fragment		
SS258	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS259	Susuya Shell Mound	<i>Crassostrea gigas</i>	Shell fragment		
SS260	Susuya Shell Mound	Marine Mammalia indet.	Bone fragment		
SS261	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS262	Susuya Shell Mound	<i>Crassostrea gigas</i>	Shell fragment		
SS263	Susuya Shell Mound	<i>Crassostrea gigas</i>	Shell fragment		
SS264	Susuya Shell Mound	<i>Crassostrea gigas</i>	Shell fragment		
SS265	Susuya Shell Mound	<i>Crassostrea gigas</i>	Shell fragment		
SS266	Susuya Shell Mound	Bivalvia indet.	Shell fragment		
SS268	Susuya Shell Mound	Pleuronectiformes indet.	Vertebra		
SS269	Susuya Shell Mound	Pleuronectiformes indet.	Vertebra		
SS270	Susuya Shell Mound	Osteichthyes indet.	Bone fragment		
SS271	Susuya Shell Mound	Osteichthyes indet.	Bone fragment		
SS272	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS273	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Scapula fragment		
SS274	Susuya Shell Mound	Mammalia indet.	Bone fragment		
SS281	Susuya Shell Mound	<i>Erignathus barbatus</i>	Tympanic bulla	L	
SS282	Susuya Shell Mound	<i>Erignathus barbatus</i>	Humerus	L	Both ends are unfused. Infant/subadult.
SS283	Susuya Shell Mound	Otariidae indet.	Phalanx		

Appendix 2. Dental measurements of *Sus scrofa domesticus* (mm)

Sample No.	Upper/Lower	LR	dm4M	dm4D	P2W	P3W	P4W	M1M	M1D	M2M	M2D	M3W	M3L
EN001	Lower	L			5.50	7.20	9.23	12.00	12.36	15.80	15.42		
EN002	Lower	R				6.83	8.87	12.02	12.34	15.76	15.43		
EN003	Lower	R			5.35	7.04	9.40						
EN004	Lower	R					10.05						
EN005	Upper	R			6.66	9.97							
EN006	Upper	R										19.57	31.25
EN007	Lower	L								14.53	14.65		
EN013	Upper	L									18.36		
HT001	Upper	L	11.60	12.27				14.21	13.71				

Appendix 3. Dental measurements of *Canis lupus familiaris* (mm)

Sample No.	Upper/Lower	LR	dm3L	dm3B	dm4L	dm4B	P3L	P3B	P4L	P4GB	P4B	M1L	M1B	M2L	M2B
SS002	Upper	R							20.58	9.95	7.78				
SS009	Upper	L	10.43	4.65											
SS013	Lower	L			11.66	4.63									
SS015	Upper	L	10.65	4.34	7.78	8.89									
SS054	Lower	L							10.81		5.28	20.47	8.50		
SS055	Lower	R					10.08	4.32	10.32		4.80	20.13	8.61	8.03	5.36
SS056	Lower	L					9.08	3.58				19.21	8.04		
SS057	Lower	R					10.16	4.03	10.84		4.72	19.38	8.26	7.40	5.38
SS058	Lower	R					10.05	4.49	11.85		5.67	20.65	8.57		
SS075	Upper	L	10.72	4.56	6.96	8.39									
SS076	Upper	L										17.78	12.17		
SS084	Lower	L					10.42	4.60							
SS085	Upper	R										9.86	12.36	4.86	7.60
SS119	Upper	R								10.92					
SS141	Upper	L	10.42	4.42	7.14	8.27									
SS149	Upper	R	10.64	4.13	7.67	8.85									
SS160	Upper	L	9.95	4.62	7.82	8.62									
SS163	Upper	L							18.30		9.76				

Appendix 4. Bone measurements of mammal and bird remains

Sample No.	Taxon	Skeletal part	LR	Measurements (mm)
EN016	Cetacea indet.	Vertebra		HFcr 29.6; BFcr 34.3
EN022	<i>Phoca largha</i>	Humerus	R	SD 11.12
EN023	<i>Pusa hispida</i>	Humerus	R	SD 10.6
EN025	<i>Phoca largha</i>	Tibia	L	Bp 28.8
EN026	<i>Erignathus barbatus</i>	Humerus	R	Bp 39.4; SD 16.2
EN030	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Scapula	R	SLC 22.3; LG 31.0; BG 18.6
EN032	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Humerus	R	Bd 35.8; BT 27.5
EN037	Gaviidae indet.	Radius	L	GL 159.9; Bd 13.1
EN038	<i>Erignathus barbatus</i>	Tibia	L	Bp 39.7
EN039	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Coxal bone	R	LA 26.7; LAR 30.5
EN045	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Scapula	R	SLC 24.8; LG 34.51; BG 23.5
EN050	<i>Phoca largha</i>	Tibia	L	Bp 27.4
EN051	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Scapula	R	SLC 22.5
EN061	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Radius	R	Bp 26.8
EN062	<i>Pusa hispida</i>	Femur	R	SD 14.4; Bp 28.6
EN080	<i>Erignathus barbatus</i>	Femur	R	SD 22.5; Bp 46.0
EN081	<i>Canis lupus familiaris</i>	Axis		LCDe 51.4; LAPa 57.6; BFcr 33.2; BPacd 33.9; SBV 24.9; BFcd 20.8; H 43.2
EN082	<i>Pusa hispida</i>	Atlas		GL 38.3; BFcr 53.4; BFcd 41.0; LAd 19.2; H35.0
EN083	<i>Erignathus barbatus</i>	Atlas		GB 94.0; GL 46.1; BFcr 66.1; BFcd 53.5; LAd 23.3; H 48.9
EN085	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Atlas		LAd 17.7; H 47.6
EN089	<i>Pusa hispida</i>	Femur	L	Bp 46.4; DC 18.1; SD 21.7
EN090	Phocidae indet.	Ulna	L	BPC 19.0
EN094	Phocidae indet.	Scapula	L	LG 25.5
EN096	<i>Erignathus barbatus</i>	Femur	R	Bp 41.0; SD 22.8
EN098	<i>Phoca largha</i>	Tibia	R	Bp 28.3
EN099	<i>Erignathus barbatus</i>	Humerus	L	Bp 34.0; SD 15.8; Bd 47.3
EN101	<i>Phoca largha</i>	Ulna	R	BPC 13.7
EN108	Phocidae indet.	Femur	L	SD 17.2
EN161	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Scapula	R	SLC 15.9
EN171	Cetacea indet.	Vertebra		HFcr 135.1; BFcr 170.3
EN172	<i>Erignathus barbatus</i>	Tibia	L	Bp 46.3
EN174	Cetacea indet.	Caudal vertebra		HFcr 64.7; BFcr 75.2
EN193	<i>Canis lupus familiaris</i>	Ulna	R	DPA 28.2; SDO 21.9; BPC 19.6
EN194	<i>Canis lupus familiaris</i>	Ulna	R	BPC 18.8
HT002	Cervidae indet.	Sacrum		BFcr 44.9; HFcr 21.5
HT003	<i>Erignathus barbatus</i>	Atlas		GB 84.3; GL 44.2; BFcr 71.1; BFcd 50.3; LAd 20.1; H 46.0
HT004	<i>Sus scrofa domesticus</i>	Scapula	R	SLC 20.3; LG 31.0; BG 21.4
HT005	<i>Canis lupus familiaris</i>	Cranium		(7) 74.3; (23) 61.5; (26) 47.1; (28) 15.1; (29) 56.0; (31) 28.9; (32) 38.2; (33) 27.5; (40) 46.5
HT007	Cetacea indet.	Cervical vertebra		HFcr 59.9
HT009	Cetacea indet.	Vertebra		BFcr 78.7
MK013	<i>Phoca largha</i>	Scapula	R	SLC 20.8; LG 22.9; BG 16.8
SS002	<i>Canis lupus familiaris</i>	Maxilla	R	(16) 30.6
SS003	<i>Lepus</i> sp.	Mandible	L	(3) 22.0
SS004	<i>Canis lupus familiaris</i>	Axis		LCDe 56.1; LAPa 59.0; BFcr 34.4; BPacd 35.3; BPtr 49.7; SBV 25.0 BFcd 21.9
SS005	Gruidae indet.	Tibiotarsus	R	Bd 24.3; Dd 21.4
SS020	<i>Lamna distropis</i>	Vertebra		HFcr 30.3; BFcr 33.1
SS029	<i>Canis lupus familiaris</i>	Ulna	L	BPC 14.8
SS054	<i>Canis lupus familiaris</i>	Mandible	L	(19) 31.98
SS055	<i>Canis lupus familiaris</i>	Mandible	R	(8) 65.3; (9) 60.7; (10) 32.6; (11) 33.7; (12) 29.0; (19) 25.1; (20) 20.1
SS056	<i>Canis lupus familiaris</i>	Mandible	L	(11) 33.5; (12) 29.6; (20) 20.0
SS057	<i>Canis lupus familiaris</i>	Mandible	R	(1) 121.2; (4) 105.9; (7) 67.2; (9) 51.1; (10) 30.7; (19) 24.9; (20) 17.8
SS058	<i>Canis lupus familiaris</i>	Mandible	R	(1) 138.9; (3) 129.7; (4) 123.4; (5) 113.9; (7) 74.8; (10) 31.6; (18) 55.1; (19) 28.8; (20) 20.2
SS059	<i>Canis lupus familiaris</i>	Coxal bone	R	LA 22.5; SH 20.2
SS060	<i>Canis lupus familiaris</i>	Coxal bone	L	LA 18.5; SH 17.7
SS061	<i>Canis lupus familiaris</i>	Radius	L	Bd 24.2; BFcd 20.6
SS062	<i>Canis lupus familiaris</i>	Atlas		GB 69.6; GL 38.3; BFcr 34.0; BFcd 26.8; LAd 10.8
SS063	<i>Canis lupus familiaris</i>	Femur	R	Bp 35.3; DC 18.8
SS065	<i>Canis lupus familiaris</i>	Ulna	L	LO 20.2; DPA 27.4; BPC 20.3
SS066	<i>Canis lupus familiaris</i>	Tibia	L	Bd 22.5; Dd 17.3
SS068	<i>Canis lupus familiaris</i>	Tibia	L	Bd 24.4; Dd 17.8
SS069	<i>Canis lupus familiaris</i>	Tibia	R	Bp 28.7
SS070	<i>Canis lupus familiaris</i>	Atlas		BFcr 41.7; BFcd 33.7; LAd 18.1
SS071	<i>Canis lupus familiaris</i>	Ulna	R	LO 18.0; DPA 27.2; SDO 22.8; BPC 18.8
SS072	<i>Canis lupus familiaris</i>	Ulna	L	DPA 23.7; BPC 15.6

Sample No.	Taxon	Skeletal part	LR	Mearsurements (mm)
SS073	<i>Canis lupus familiaris</i>	Tibia	R	Bd 22.0; Dd 16.4
SS077	<i>Canis lupus familiaris</i>	Radius	L	BP 17.7
SS079	<i>Canis lupus familiaris</i>	Scapula	L	SLC 25.0; GLP 28.7; BG 16.81
SS082	<i>Phoca largha</i>	Ulna	L	BPC 13.9
SS086	<i>Canis lupus familiaris</i>	Femur	L	DC 17.2
SS089	<i>Cygnus</i> sp.	Femur	R	Bp 23.6
SS090	Otariidae indet.	Scapula	R	SLC 38.9; LG 42.2; BG 32.7
SS091	<i>Ursus arctos</i>	Calcaneus	L	GB 57.7
SS094	<i>Canis lupus familiaris</i>	Radius	R	BP 16.7
SS095	<i>Canis lupus familiaris</i>	Radius	L	GL 140.3; BP 14.8; Bd 23.4; Bfd 18.6
SS098	<i>Cygnus</i> sp.	Ulna	R	Did 20.5
SS101	<i>Lutra lutra</i>	Ulna	R	BPC 8.9
SS104	<i>Erignathus barbatus</i>	Femur	L	SD 22.4
SS105	<i>Canis lupus familiaris</i>	Radius	L	BP 16.2
SS110	<i>Pusa hispida</i>	Femur	L	SD 13.9
SS113	Cetacea indet.	Vertebra		HFcr 30.3; BFcr 34.9
SS114	Cetacea indet.	Vertebra		HFcr 31.2; BFcr 34.1
SS115	Cetacea indet.	Vertebra		HFcr 30.8; BFcr 33.4
SS116	Cetacea indet.	Vertebra		HFcr 32.1; BFcr 36.4
SS117	Cetacea indet.	Vertebra		HFcr 33.7; BFcr 37.8
SS118	Cetacea indet.	Vertebra		HFcr 32.8; BFcr 38.8
SS121	Anatinae indet.	Humerus	R	Bp 18.1
SS126	<i>Lamna distropis</i>	Vertebra		HFcr 29.6; BFcr 30.4
SS127	<i>Lamna distropis</i>	Vertebra		HFcr 30.5; BFcr 31.8
SS128	<i>Lamna distropis</i>	Vertebra		HFcr 44.5
SS138	?Accipitriformes	Radius	R	Bd 12.5
SS140	<i>Canis lupus familiaris</i>	Occipital bone		(25) 34.5; (27) 18.1; (28) 12.7
SS145	<i>Canis lupus familiaris</i>	Coxal bone	L	LA 19.7
SS153	<i>Canis lupus familiaris</i>	Atlas		BFer 35.1; BFcd 31.8; LAd 14.8
SS156	<i>Callorhinus ursinus</i>	Femur	R	SD 17.9
SS165	<i>Callorhinus ursinus</i>	Ulna	L	DPA 64.2; SDO 54.2; BPC 45.0
SS166	<i>Callorhinus ursinus</i>	Radius	R	Bd 59.3
SS167	<i>Ursus arctos</i>	Humerus	L	Bd 91.2; BT 63.4
SS174	<i>Phoca fasciata</i>	Tibia	R	Bp 35.9
SS196	Anatinae indet.	Femur	R	Bp 10.2
SS198	Anatinae indet.	Femur	L	GL 41.0; Lm 36.6; Bp 9.6; Bd 9.2
SS282	<i>Erignathus barbatus</i>	Humerus	L	Bp 28.0; SD 12.0

The symbols for the measurement items were according to Driesch (1976).

小型ドローンを利用したSfM法による屋外構造物の三次元計測

鹿納晴尚*・藤沢 敦*

* 東北大学総合学術博物館

3-D measurement of open-air structures using mini drone with SfM method

Harumasa Kano*, Atsushi Fujisawa*

* The Tohoku University Museum

Abstract: Recently, 3-D measurement from unmanned aerial vehicles (UAV / drone) using structure from motion (SfM) photogrammetry is become popular in measuring. SfM measuring using drone usually applies in good visibly area, however, reconstructed 3-D data by SfM of complicated constructions in the open air located urban area are poor accuracy measurements. In this paper, we report that 3-D measurement by SfM photogrammetry applied for complicated constructions located outdoor city area, combined with aerial photographs using drone and photographs of hand-held camera. We measured the main gate of Tohoku University and Ogawa Memorial Park located in Katahira Campus of Tohoku University, Sendai City, Miyagi Prefecture. As a result, SfM photogrammetry used photographs taken by a small drone and hand-held camera is applicable to high-precise measurement for complex objects in outside.

Keywords: 3-D measurement, SfM, aerial and hand-held camera photographs, complex objects in outside.

はじめに

異なる位置から撮影した多数の写真を利用した SfM (Structure From Motion) 法による三次元計測は、近年急速に普及してきた。文化財の記録方法としても、その有効性が確認され、活用が急速に進んでいる (金田 2014)。ただ、SfM 法による三次元計測は、撮影に使用する機材や撮影方法などによって、その精度などが大きく変わる。しかし文化財調査においては、必要とされる精度や、その精度を確保するための具体的撮影方法などを検討した論考は極めて少ない。

著者の所属する東北大学総合学術博物館では、東日本大震災の震災遺構の 3 次元アーカイブ構築事業を行ってきた (鹿納ほか 2018)。その一環として、福島県の大塚原事故による帰還困難区域に所在する装飾古墳の清戸迫横穴の 3 次元計測も行ってきた (藤沢・鹿納・吉野・小池 2017)。これらの 3 次元計測では、対象資料の特質に合わせて、SfM 法

を含むさまざまな計測方法を試みてきた。それらの知見を踏まえ、2020 年度からは、科学研究費補助金 (基盤研究 A) による「石材構築文化財の保全のための 3 次元デジタルアーカイブの標準化の研究」を、藤沢が研究代表者となって行っている。

東北大学では、創立当初から続く片平キャンパスに残っている歴史的建造物などを、国の登録有形文化財 (建造物) に登録し、その価値を明確化するとともに、市民に広く公開する取り組みを進めている。2017 年に 5 件について登録がなされ、2020 年度には残る 9 件の建造物の登録のために準備を進めてきた。登録にあたっては平面図などの資料提出が求められるが、登録候補の一つである東北大学正門については図面が作成されていなかった。また、片平キャンパスの一角にある小川記念園は、第 4 代総長小川正孝を偲んで 1933 年に造られた小公園である。小川記念園は、名勝地関係として登録記念物に登録することを目指しており、建造物とは扱いが異なるが登録の準備を進めており、こち

らも図面作成の必要があった。

この東北大学正門と小川記念園は、門柱や擁壁の一部に、花崗岩を使用している部分もあり（内山・蟹澤 2020）、上記した科研費の研究の一環として3次元計測を行い、そのデータから図面を作成することとした。両者とも、屋外の比較的面積のある対象であったため、比較的広い範囲を俯瞰して撮影することが望ましいと考えられた。しかし片平キャンパスは、航空法の人口密集地となるため、UAV（ドローン）の飛行には制限がある。そのため、航空法の規制を受けない小型ドローンを利用した SfM 法で3次元化することを試み、撮影方法と精度の関係などを検証することを目的とした。

なお本論は、両名の協議をもとに、はじめにとまとめを藤沢が、それ以外を鹿納が分担して執筆した。

1. 計測概要

本研究で3次元計測を実施した対象は、宮城県仙台市青葉区片平の東北大学片平キャンパスにある東北大学正門と小川記念園である。

片平キャンパスは、原稿執筆時の2020年現在、航空法で人口密集地に分類され、機体重量200g以上のUAV（ドローン）では、その飛行に許可申請が必要となる。一方、重量が200グラム未満のUAV（ドローン）は空港周辺等の規制空域を除き、規制対象外となり、申請等は不要となる¹⁾。本研究では、市街地における屋外構造物として、東北大学正門と小川記念園について、200グラム未満の模型飛行機であるDJI社製Mavic Mini（以下Mavic Mini）での上空からの写真撮影（以下空中撮影）を行い、SfM法による3次元計測を実施した。さらに、Mavic Miniでは撮影できなかった箇所や詳細なデータが必要な場所についてデジタル一眼レフカメラを使用して手持ちで撮影（以下地上撮影）を行い、これらの撮影したデータを基にAgisoft社製のMetashape Professionalを用いて色付き点群データ形式の3次元化処理を行った。

1-1. 使用機材について

本研究において空中撮影に使用した小型ドローンは、DJI社製Mavic Miniである。Mavic Miniのカメラスペックは以下のとおりである²⁾。

センサーサイズ 1/2.3インチ CMOS（6.2×4.7mm）、有効画素数：12MP、レンズ 視野角（Field of View、以下FOV）：83°、35mm判換算：24mm。絞り：F/2.8、撮影範囲：1m～∞、ISO感度 写真：100～1600（オート）、100～3200（マニュアル）、シャッター速度 電子シャッター：4～1/8000秒、静止画サイズ 4.3：4000×3000 16:9:4000×2250というスペックであり、絞り値（F値）が固定である。なお、本研究では、16:9のサイズで撮影している。一方、地上撮影で使用したデジタル一眼レフカメラは、

ボディはキヤノン製EOS6D Mark IIで、使用した交換レンズは、EF16-35mm F2.8L III USMとEF24mm F2.8 IS USMである。センサーサイズは、約35.9×24.0mm、記録画素数は約2600万（6240×4160）画素である。ズームレンズのEF16-35mmを使用した撮影では、焦点距離を16mmに固定して行った。16mmレンズでの視野角FOVは約107°である。本レンズでは、F値を16に固定し撮影した。一度目の撮影データを処理した結果、撮影不足分があったことから、追加として24mmのレンズで撮影を行っている。24mmレンズのFOVは84°であり、F値は10に設定した。

1-2. 撮影距離と地上分解能について

空中撮影および地上撮影では、センサーのサイズ、使用レンズの焦点距離と撮影距離により、その分解能が変化する。一般的な航空測量では、必要な地上分解能を以下の式を用いて算出している（石塚ほか、2018）。

$$H(m) = \{px(\text{pixel}) \times FL(\text{mm}) \times Lpx(\text{m}/\text{pixel})\} / SZ(\text{mm}) \cdots \text{式}(1)$$

式(1)では、H(m)＝撮影高度、px＝画像サイズ(pixel数)、FL(mm)＝焦点距離、Lpx(m/pixel)＝地上画素寸法、SZ(mm)＝センサーサイズである。

この計算式から、撮影距離と焦点距離をもとにグラフ化することで、Mavic Mini、DJI Phantom 4 Pro（総合学術博物館で所有）、EOS6D Mark II（焦点距離16mm、24mm）での撮影距離と画素寸法の変化を表すことができる（図1）。

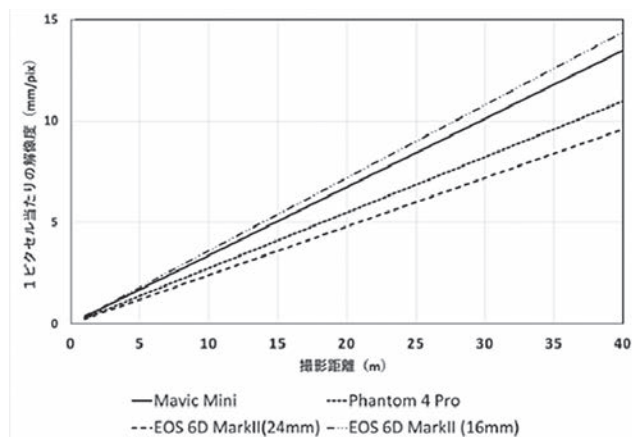


図1. 機材ごとの撮影距離と解像度の関係

図1は、横軸を撮影距離、縦軸を1ピクセル当たりのサイズとしたとき、DJI Phantom 4 Pro、Mavic Mini、EOS 6D Mark II（レンズ焦点距離16mmと24mm）それぞれの場合の関係を示したグラフである。地上解像度1cmのものを見分けるためには、サンプリング定理から、1ピクセル当たり5mm未満の地上解像度が必要である。Mavic Miniは15m

の距離で約 5.05mm であり、1 cm の分解能を持つ解像度を出すためには、地上から 15m 弱ほどの高度で空中撮影する必要がある。同様に Phantom 4 Pro では、約 18m、EOS6D Mark II では、焦点距離 24mm レンズの時に約 20 m からの撮影、16mm レンズの時に約 14 m からの撮影で 1cm の分解能を持つ解像度の撮影ができることを示す。なお、本研究では、Mavic Mini での空中撮影高度を、主に 3m ~ 10m 程度とした。上空 10 m で撮影した場合 3.4mm ほどの地上分解能があることになる。一方、地上撮影では、本研究、計測の目的が図面作成であるため、計測対象の解像度が数 mm 以下の解像度になるように、対象から 5 m 以内に近づいて撮影を行うようにした。

1-3. 被写界深度

写真撮影では、ピントを合わせた面の前後にある程度ピントが合う範囲がある。これを被写界深度といい、これは、1 画素ごとのセンサーサイズ (画素ピッチ)、撮影距離 (ピント面)、レンズの焦点距離と F 値 (絞り) で決まる。三次元化のための画像は、ピントが合っている部分が多いほど、特徴点を抽出できるため、対象と被写界深度の関係を考慮に入れて撮影する必要がある。図 2 にピント距離と被写界深度、F 値の関係を示す。

計算式は一般に

$$\text{前方被写界深度} = (\text{許容錯乱半径} \times F \text{ 値} \times \text{物体距離}^2) / (\text{焦点距離}^2 + \text{許容錯乱円径} \times F \text{ 値} \times \text{物体距離}) \quad \dots \text{式 (2-1)}$$

$$\text{後方被写界深度} = (\text{許容錯乱半径} \times F \text{ 値} \times \text{物体距離}^2) / (\text{焦点距離}^2 - \text{許容錯乱円径} \times F \text{ 値} \times \text{物体距離}) \quad \dots \text{式 (2-2)}$$

である。この場合、許容錯乱円径を画素ピッチに読み替えて計算を行うと、図 2 のようなグラフとなる。

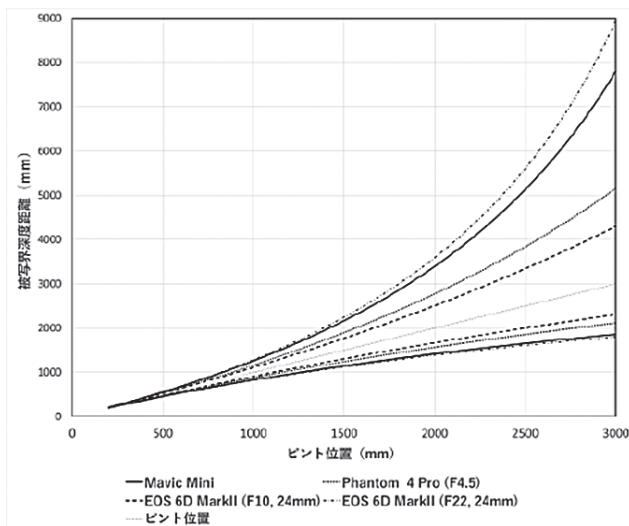


図 2 撮影距離と被写界深度幅

前方被写界深度と後方被写界深度の間がピントの合う範囲となる。図 2 に示したグラフに用いた数値は以下の通りである。

機種	画素ピッチ	F 値	レンズ焦点距離
Mavic Mini	約 0.0015mm (1.55 μm)	F2.8	4.49mm
Phantom 4 Pro	約 0.0024mm (2.4 μm)	F4.5	8.8mm
EOS 6D Mark II	約 0.0058mm (5.8 μm)	F10 および F22	24mm

図 2 で示したように、計算上では、EOS 6D Mark II に 24mm レンズで F 値を 22 にしたものと Mavic Mini はかなり近い被写界深度が得られる。しかし、1 ピクセル当たりの解像度が異なることを考慮に入れる必要がある。Mavic Mini は、画像センサーが小さく、F 値が小さいが、大きな被写界深度を得ることができるため、比較的三次元化に向いていると考えられる。しかし、Mavic Mini の解像度は、EOS 6D Mark II に比べると相当劣ること、さらに、センサーサイズが小さいため、詳細な三次元化のための、3mm 以下の地上解像度でブレのない写真を撮影するためには、日中の屋外のような比較的明るい環境下で、10 m 以下の低空から撮影する必要がある。

なお、画素ピッチが大きいほど、センサーで拾う光の量が大きくなるため画質が良くなる。この場合、EOS 6D Mark II が有利である。一方、F 値は一眼レフカメラで、絞りがあるレンズや絞りを搭載した Phantom 4 Pro では調整できるが、Mavic Mini では、F 値は 2.8 で固定である。三次元化を目的とした撮影では、使用するカメラの特性を十分把握しておく必要がある。

2. 空中撮影について

Mavic Mini (小型ドローン) での撮影では、操縦者の他に周囲の状況を確認する要員の、複数での作業を原則とした。実際には、気象条件の確認、周辺の人通りや交通状況、さらに上空の様子等に十分注意を払って空中撮影を行った。最近の小型ドローンは、ホバリングが比較的安定しているので、強風や雨天でない限り比較的安全に滞空し、安定した撮影が可能となっている。なお、空中撮影は、ホバリングの状態で行っている。これは、ローリングシャッターによる歪みができるだけ出ないようにするためである。ここでは、気象条件により、飛行時間、撮影時に注意を要した部分や撮影方法について、東北大学正門と小川記念園に分けて記載する。

2-1. 東北大学正門

東北大学正門の空中撮影は 2020 年 9 月 19 日 (土) に行った。正門は、4 本の石造の門柱とその間に鉄の門扉があり、広場が市道側に台形に広がっている (図 3)。中央の門柱の間は約 4.5 m、最も高い門柱の高さは約 4.2 m、門扉中央と市道歩道まで距離は約 10 m である。正門と正門前広場周辺

には、樹高が高く、枝が横に広がるマツやスギなどの樹木が多くあり、広く地上が目視できる位置は南側の門柱2つを通る動線に限られていた。正門の空中撮影を実施するにあたり、計測範囲を東側の構内（範囲 A）と西側の広場（範囲 B）の二つに分け、両方をつなぐ測線として、図4に示した上空が空いていて見通せる動線に測線 A-B を設定し、空中撮影を行った。なお、測線 A-B は、土日に人の出入りがある通用口（図3の右二つの門柱の間）の上を通らないように設定している。撮影高度は、地上から5m～8m程度である。標定点は4か所設定し、トータルステーションとレベルを用いて別途計測した。なお、標定点は、図5のように、1辺10cmの四角をX字に白と黒で色分けした標識を作成し、中心に穴をあけて測量釘が中央に来るように設置した。



図5 標定点の例

まず、範囲 A、B において、基本的な構造物を計測・把握するため、下向きで撮影を行い、水平移動を繰り返して、撮影範囲が他の写真と8割程度重なるように撮影を行った。さらに斜め撮影で門柱などの構造物の形状が分かるように多視点からの撮影も実施した（図6）。なお、空中撮影では、4本ある門柱のうち、北側2本の門柱は、マツの枝が垂れ下がり、その上面を Mavic Mini で視認、撮影することができなかった。



図3 市道側から見た東北大学正門（地上撮影）。
右が南側、左が北側。

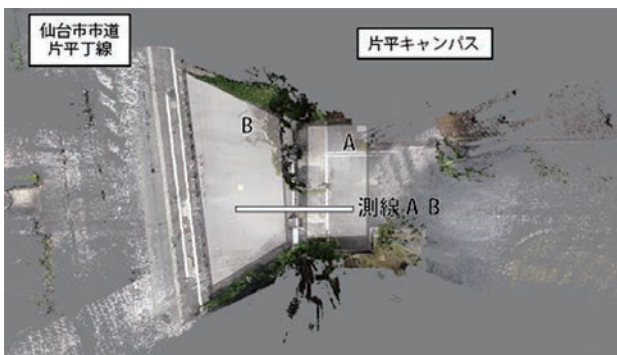


図4 正門での撮影エリアの区分



図6 上空撮影による斜め撮影の例

空中撮影で撮影した枚数は243枚である。飛行回数は3回で、1回の飛行時間は約8分であった。なお、Mavic Mini搭載のGPSでGPS信号が得られた場合は、撮影データ内に緯度経度及び高度の位置情報が保存されている。空中撮影位置は図7に示した。

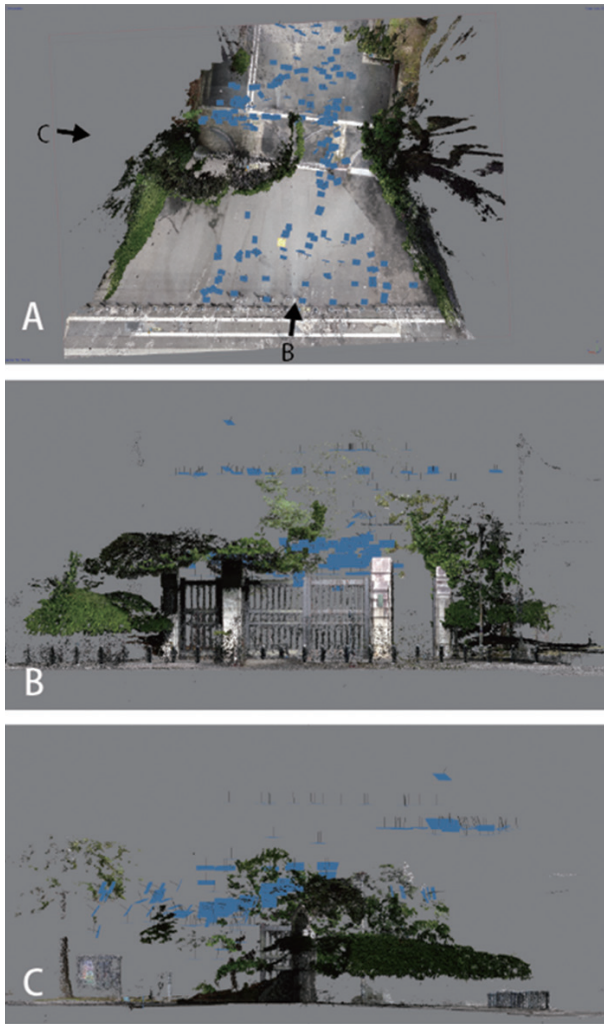


図7 東北大学正門の空中撮影位置（青で示した位置）
A: 平面図 B: 立面図 C: 側面図

次に、Mavic Mini で上空撮影を実施した日時での気象概要を示す。東北大学正門を空中撮影した2020年9月19日（土）は、小雨のち晴れであった（表1）。仙台気象台で記録された平均風速は2.9～5.2m/sで、瞬間最大風速も6.1～8.3m/sと比較的強い。飛行時間については、比較的風が強かったためホバリングでの電池使用量が多く、一回の飛行で8分ほどの飛行時間となった。一方、風の影響で、植木の枝が揺れたり、Mavic Mini が風に煽られたりすることもあり、枝葉や構造物と Mavic Mini との距離は最低でも1m程度は開けるように撮影を行った。

2-2. 小川記念園

小川記念園は、図8Aに示すような扇形状をしており、交差点の角を軸としたとき、その扇の辺の部分の長さはおおよそ17m、扇の頂点を結ぶ直線距離はおおよそ25mの広さである。小川記念園の空中撮影は2020年11月6日に実施した。Mavic Mini での空中撮影は、地上から約3～5mの高度で撮影し、計測対象範囲を網羅するように撮影した。さらに全体の位置関係が分かるように約10mと20mの高度で場所を移動して30枚弱の撮影、同様に25～30mの高度で5枚の空中撮影を実施し、合計で320枚の空中撮影を行った（図8）。小川記念園のキャンパス側壁の裏手には、ヒマラヤスギが15本ほど壁に沿って植えられており、枝が記念園の敷地内まで伸びてきており、キャンパス側の壁面直上からの空中撮影は断念し、枝葉が入らない離れた上空から斜め下方向にカメラを向けて構造物前面の撮影を実施した（図9）。標定点は4か所設置し、トータルステーションとレベルで別途測量を行った。空中撮影では、壁面裏側にある標定点は撮影できないため、地上撮影で補った。

表1 2020年9月19日の仙台気象台での観測データ 気象庁ホームページより抜粋

時分	気圧(hPa)		降水量 (mm)	気温 (°C)	相対湿度 (%)	風向・風速(m/s)				日照 時間 (分)
	現地	海面				平均	風向	最大瞬間	風向	
11:10	1007.4	1012.4	--	24	55	4.9	西北西	8	北西	0
11:20	1007.5	1012.5	--	24	54	5.2	西北西	8.3	北西	0
11:30	1007.4	1012.4	--	24.4	55	3.2	西北西	6.4	西北西	0
11:40	1007.2	1012.2	--	24.7	55	4.2	西北西	6.4	西北西	1
11:50	1007.1	1012.1	--	25	56	2.9	西北西	6.1	西北西	3

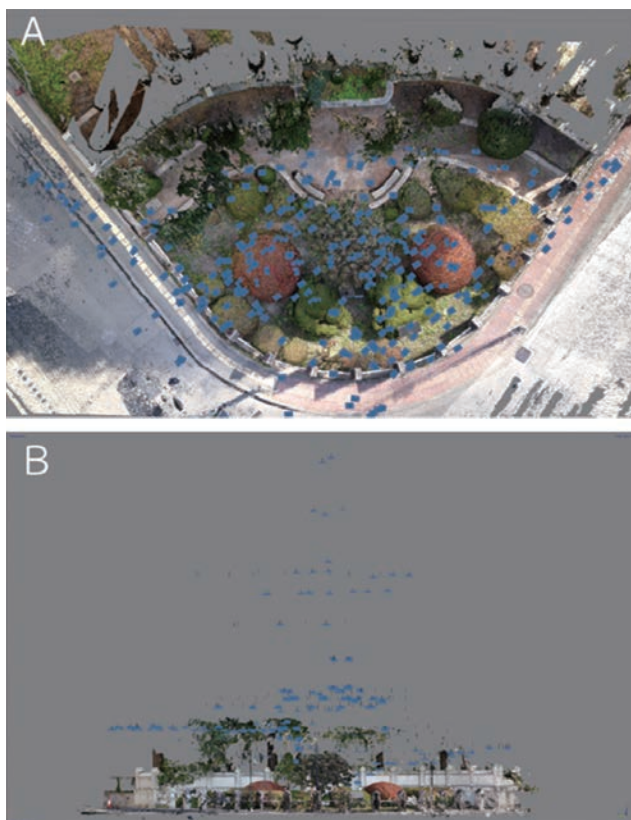


図8 小川記念園の空中撮影位置（青色の四角）
A: 平面図。B: 立面図

空中撮影時の天候は表2に示した通り、曇のち晴で、仙台気象台での観測データでは、平均風速0.9～3m/s、最大瞬間風速2.1～5.1m/sと比較的穏やかであった。風が穏やかで、ホバリングでの電池使用量が抑えられたため、一回の飛行で10～11分ほどの飛行時間となり、正門での撮影時に比べ2分ほど長い滞空時間となった。小川記念園での空中撮影の飛行回数は3回である。



図9 小川記念園での空中斜め撮影の例。上にヒマラヤスギの枝葉が写る

3. 地上撮影について

地上撮影は、空中撮影で撮影できなかった範囲を補足するために実施したものである。以下に正門と記念園に分けて撮影条件等について記載する。

3-1. 東北大学正門

正門での地上撮影は、まず、Mavic Miniで空中撮影した後、撮影で十分撮影できなかった範囲を確認してから実施した。計測対象とした構造物からの撮影距離は普通2～4mほどであった。2020年9月19日（空中撮影と同日）に使用した機材は、ボディがEOS 6D Mark II、レンズはEF16-35mmを使用し、焦点距離を16mm、F値を16で固定し撮影した。ブレを減らすため、ISO感度を3200に設定し、絞り優先モードで574枚撮影した。撮影では、Mavic Miniによる撮影データとの合成をすることから、主要な門柱や地面等も合わせて三次元化できるように、これらの対象を含む広範囲な撮影を心掛けた。空中撮影、地上撮影のデータから、ソフトウェア（Agisoft社製Metashape）を使い、空中撮影データと合わせて三次元化処理を行った。生成された三次元データを検証後、

表2 2020年11月6日の仙台気象台での観測データ 気象庁ホームページより抜粋

時分	気圧(hPa)		降水量 (mm)	気温 (°C)	相対湿度 (%)	風向・風速(m/s)				日照 時間 (分)
	現地	海面				平均	風向	最大瞬間	風向	
10:10	1020.1	1025.4	--	15.2	60	0.9	西北西	2.1	西	7
10:20	1020.1	1025.4	--	15.4	58	1.7	西南西	2.9	南	2
10:30	1020	1025.2	--	16.6	57	2.2	南西	3.3	南南西	5
10:40	1019.9	1025.1	--	16.7	55	2.6	南南西	4.2	南	10
10:50	1019.7	1024.9	--	16.8	52	3	南	5.1	南	10

撮影が不十分な箇所について、同年 10 月 13 日（撮影枚数：38）、11 月 6 日（撮影枚数：207）に再撮影を行った。特に、正門前広場の壁面とその裏側は Mavic Mini で撮影できなかった上、同日の地上撮影データで合成がうまくいかなかったので、地上撮影を念入りに実施した。撮影方法は、対象となる面に対しできるだけ正対して 2～3 m ほど離れて立ち、対象面に対し並行に移動しながら撮影を行った。撮影間隔は、普通に歩く程度の歩幅程度（50～60cm）である。三次元化に使用できた地上撮影データの撮影位置は図 10 のピンク色で示した位置となった。

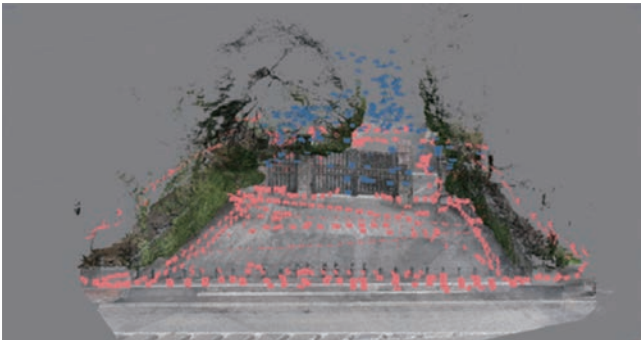


図 10 東北大学正門の地上撮影位置（ピンクで示す）。

3-2. 小川記念園での地上撮影

小川記念園での地上撮影は、空中撮影後に実施し、使用機材は EOS 6D Mark II、使用レンズは単焦点 24mm である。ISO は 1250、F 値は 10 に設定し、絞り優先モードで 639 枚撮影した。撮影位置を、図 11 に示した。地上撮影では、歩道（道路）に面した小さな柱の側面と、キャンパス側の壁面裏のヒマラヤスギが植えられている周辺および壁面裏周辺を重点的に撮影した。さらに、壁面の裏のヒマラヤスギ周辺は盛土がされており、壁面近くに立つと、壁越しに記念園を見渡することができることから、壁裏側から記念園内の撮影および壁面裏側、記念園内部と壁面が同時に写る撮影（図 12）も行った。

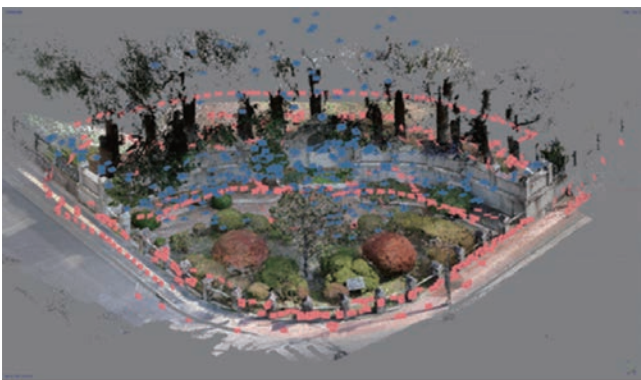


図 11 小川記念園での地上撮影位置（ピンクで示す）



図 12 地上撮影による壁面裏側からの写真の例

4. SfM による三次元化

空中撮影と地上撮影で得られた写真から、SfM ソフトウェアである Agisoft 社製 Metashape Professional（使用バージョン：1.6.5）を使い、三次元化を行った。初めは、空中撮影と地上撮影で得られたすべての写真を取り込み、写真のアライメント（位置合わせ）を実行し、その後、高密度クラウドを作成した。また、Mavic Mini で撮影したデータだけを使って三次元化処理を行い、全体を使った場合との比較を行った。Metashape での写真のアライメント処理時の設定は、精度を高く、キーポイントおよびタイポイント設定を 0 にしてそれぞれのポイント制限数をなくした状態で計算を行った。その後、アライメントの計算ができない写真については、写真毎に再度アライメントの計算を実行した。この処理でもアライメントの位置が計算できない場合は、撮影範囲のまとまりごと（chunk）にわけ、それぞれアライメントの計算と高密度クラウド作成を行い、それぞれのチャンクに共通する特徴点にポイントを 4 か所以上設定し、そのポイントを基準にして位置合わせを順々に実行し合成（merge）を行った。最終的に、9 割程度の写真についてアライメントの計算ができた。全体で写真のアライメントの計算が終わった後で、高密度クラウドの作成を行った。高密度クラウドの作成では、信頼度の計算を行い、信頼度の低いもの（信頼度 0～3 と計算されたもの）については削除した。以下に東北大学正門と小川記念園について詳述する。

4-1. 東北大学正門での三次元化

東北大学正門の撮影データによる Metashape での三次元化は、空中撮影 242 枚、地上撮影 667 枚を合成して完成した。信頼度の比較的高い点（Metashape で信頼度 4 以上）を採用したところ、点群数は、155,336,024 点となった。全体の様子を図 13 に示す。

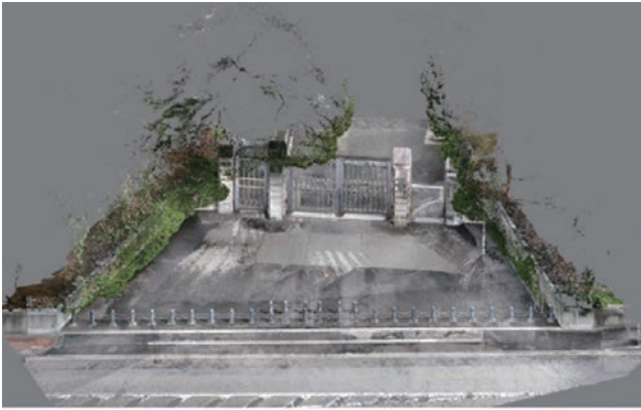


図 13 斜め上から見た東北大学正門の正射影画像

空中撮影だけで三次元化した場合、空中撮影では、安全を考えて、人や構造物に衝突しないように安全な距離をあけて撮影したり、測線を設定しているため、どうしても撮影および三次元化できない場所が発生した。その結果、図 14 の東北大学の銘板ある門柱の側面（図 14 - A）、木の陰に隠れていた門柱の側面および広場の壁面（図 15-A）のようにデータが欠損することが多数発生した。地上撮影で欠損部分を撮影して、空中、地上両方のデータを組み合わせることによって三次元化した場合を、図 14 - B、図 15 - B にそれぞれ示した。

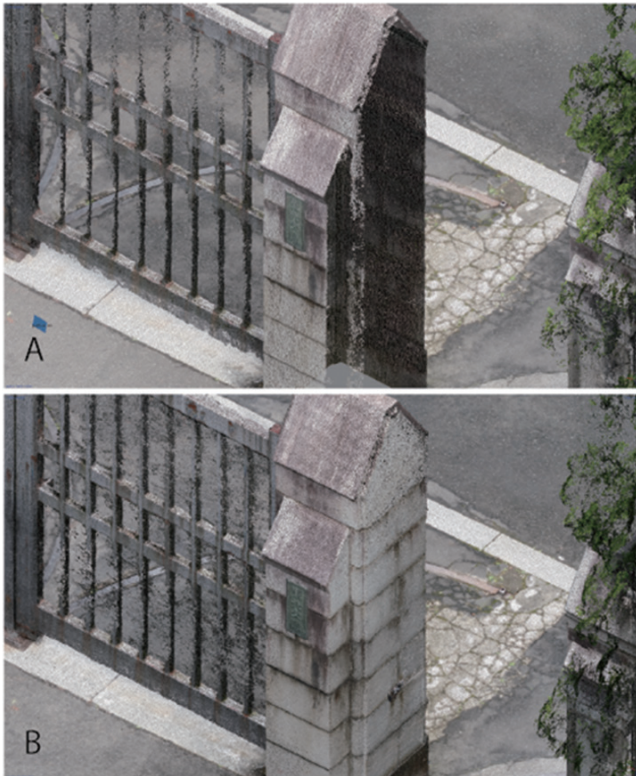


図 14 東北大学の銘板がある門柱の三次元データ（正射影）。
A：Mavic Mini の写真だけで再構成したもの。
B：地上撮影を追加して再構成したもの。

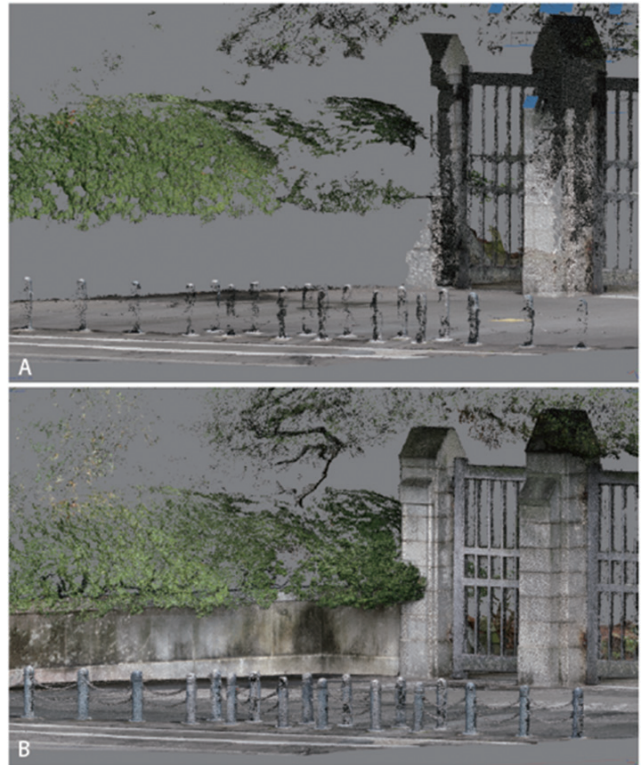


図 15 木の陰に隠れていた北側の門柱と壁面の三次元データ（正射影）。A：Mavic Mini の写真だけで撮影再構成したもの。B：地上撮影を追加して再構成したもの。

空中撮影と地上撮影を組み合わせることで、Mavic Mini での欠損部分が三次元化できていることが分かった。空中撮影データだけでは三次元化できないところについては、地上撮影で補うという方法は非常に有効である。一方、地上撮影で補う場合、例えば、門柱の三次元データは、Mavic Mini と EOS 6D Mark II では色味が異なるため、若干色が変化した結果になることがある。これは、Metashape でデータ作成時に信頼度でフィルタリングすることで、より高精度の地上撮影のデータが選択されることが多く、結果としてあまり気にならないようになる。

次に解像度について述べる。地上面の解像度については、点群データ中の一辺 10cm の標定点を示すマーカーの一辺あたりの点群を数えたところ、40～42 個であった。これは、1cm 当たり 4 個ほどであり、1 点当たり 2.5mm ほどの分解能であった。Mavic Mini の撮影高度が 5～8m であるので、図 1 のグラフでの 8m の値にほぼ合致している。一方、門柱表面と広場壁面で同様に数えてみたところ、1 点当たり約 1.5～2.0mm の分解能であった。これは EOS 6D Mark II の焦点距離 16mm のレンズで約 4～6m の距離、焦点距離 24mm のレンズで約 6～9m 離れた場合の解像度に一致する。実際の主要な地上撮影では 16mm のレンズで撮影距離

を 2～3 m、感度 (ISO) を 3200 にして撮影したため、微細構造が詳細にとらえられていなかった可能性がある。



図 16 点群データで表示した一辺 10cm の標定点マーカー。

一方で、データ作成時に思うように合成できない場合が認められた。これは広場北側の壁面の上面及び裏側である (図 17)。この場所は植樹が密集し、枝や葉が長く伸びて、広場から構造物上面部分が植え込みによって見ることができない状態であった。また、裏側から広場側と歩道側の撮影も試みたが、植栽でほとんど様子を確認することができなかった。さらに、市道にある歩道から構造物上面及び裏面の撮影を試みたものの、同様に壁面裏側はほとんど見通せなかった。最終的には、広場を含む表側の高密度クラウ

ドと、壁面裏側の高密度クラウドデータから、おおよその特徴点を見つけ、そこにマーカーを追加して設置し、何度も表示を入れ替えながらマーカー基準で複数の chunk 間で位置合わせをして、より正確な位置合わせになるようにした。位置合わせ終了後にすべての chunk を合成した後で、高密度クラウド作成処理を行った。その結果が図 17 である。このことから、見えにくい構造物の撮影については、共通の特徴点をとらえられるように撮影位置を相当考慮する必要がある。

なお、東北大学正門の計測は、登録有形文化財の申請用の図面を作成することが一つの目的であるため、作成した点群データを標定点でスケール合わせしたのち、信頼度の低い点群を除いてファイルに出力した。出力した点群データをエリジオン社製の大規模点群処理ソフトウェア InfiPoints で読み込み、平面図と立面図の基本となるオルソ画像を出力するとともに、必要な寸法の計測を行い、その画像と計測データをもとに、構造物を Adobe 社の Illustrator でトレースして図面を作成した (図 18)。

4-2. 小川記念園での三次元化

空中撮影と地上撮影のデータを使用して三次元化した結果は、図 19 に示した。空中撮影だけで三次元化した場合は、対象とする記念園内の大構造については相当の範囲で三次元化できた (図 20)。しかしながら、壁面裏側と、歩道横の柵柱の側面については、空中撮影ができなかったため、三次元化できていない。そこで、地上撮影と組み合わせることで三次元化を実施したところ、壁面裏側の 9 割ほどが写真のアライメントが成功した。一方、歩道横の柵柱周辺や壁面裏側の一部については合成がうまくいかず、いくつかの合成できる範囲に分けて三次元化を行い、それぞれの範囲に 4

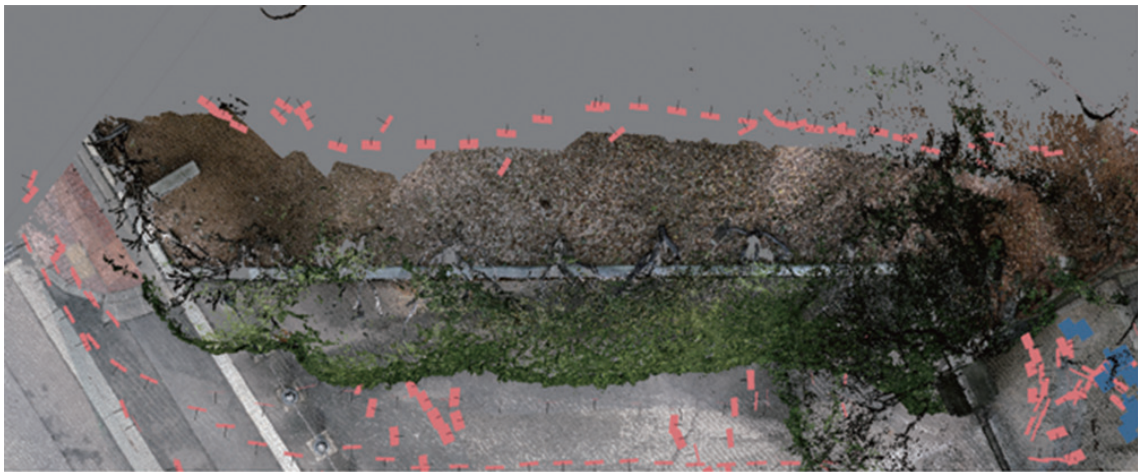


図 17 再構成された広場北側の壁面と裏側部分の平面図。空中撮影では植木に遮られ、三次元化されていない部分を地上撮影で補ったもの。

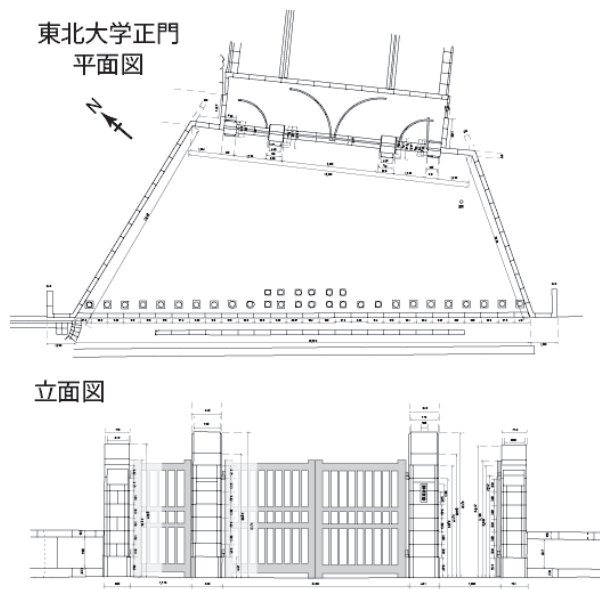


図 18 三次元点群データから作成した東北大学正門の図面



図 20 空中撮影だけで三次元化した小川記念園
(A: 俯瞰図、B: 歩道側門柱、C: 壁面裏)

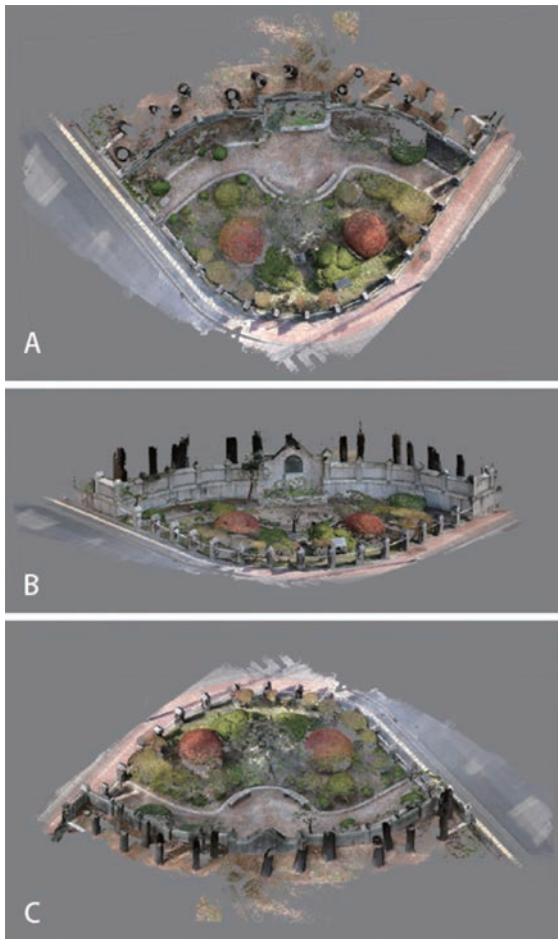


図 19 小川記念園の空中および地上撮影データから作成した三次元データ
A: 平面図 B: 俯瞰図 C: 記念園裏からの俯瞰図

つ以上の特徴点を設定し、それらの点を基準に位置合わせを行うことで全体の合成を行った。最終的には、空中撮影の 320 枚、地上撮影の 578 枚、合計 898 枚の写真で合成でき、出力された色付き点群数は 99,212,008 個の三次元データができた (図 19)。歩道側の門柱の一部については、点群の精度と密度が落ちている。これについては、交差点に近く、撮影が十分にできなかったためと考えられる。

空中撮影だけのデータと、地上撮影を追加したデータを比較したところ、明らかに解像度に違いがみられた。例として、交差点近くにある幅 90cm の解説板のデータを図 21 に示した。空中撮影で作成した場合の解像度は、点群の大きさやコントラストを調整しても、解説文の文字がつぶれて解読が難しい状態であるが、地上撮影を追加したデータでは、コントラストを操作すれば解説文を読むことができる解像度になっている。

なお、小川記念園での計測は、登録記念物の登録に向けた基本情報の提供を目的としていたため、詳細な線画図面は作成せず、点群データから作成した平面図と立面図と、植樹された種類の位置 (図 22) に利用した。

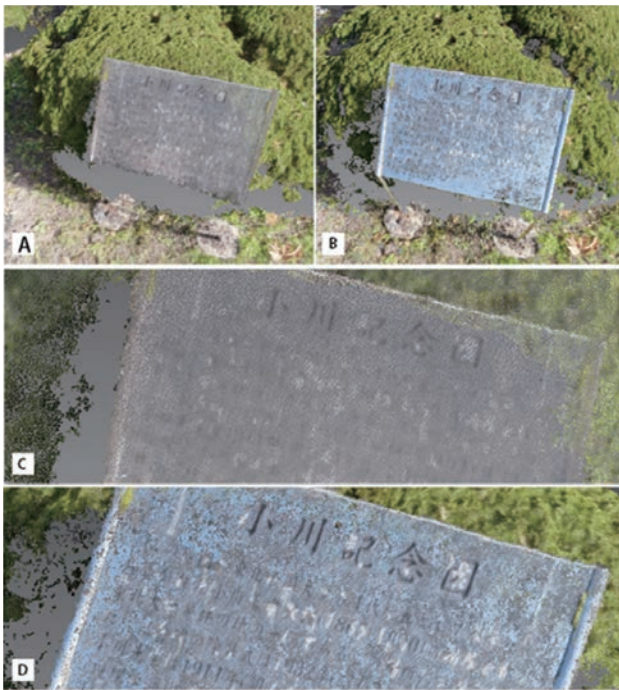


図 21 小川記念園の解説板の三次元データ
A：空中撮影だけのデータ B：地上撮影を追加したデータ C：Aの拡大図 D：Bの拡大図

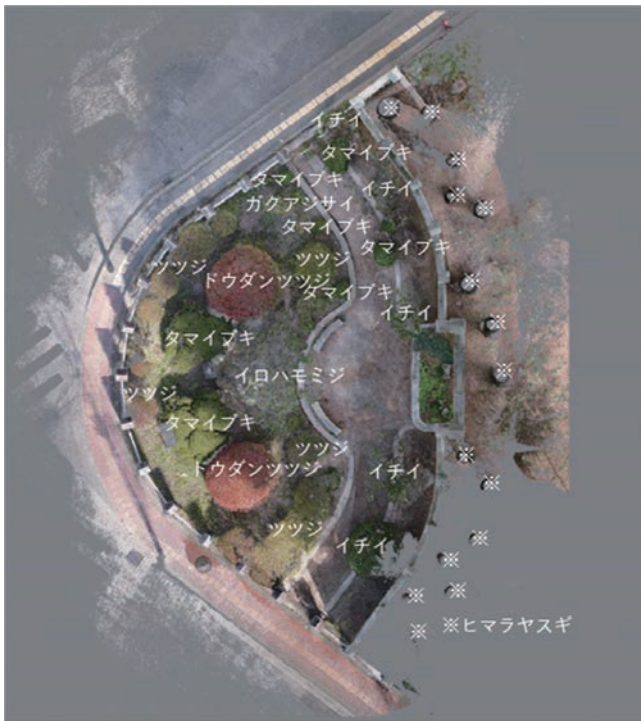


図 22 植樹の種類位置図（樹種同定は東北大学植物園伊東拓朗氏による）

まとめ

小型ドローンによる多視点空中撮影を使った、屋外にある構造物の三次元化を行った結果、撮影ができる範囲での三次元化は、良好な結果を示した。計測範囲の一边が20m前後と、やや広い範囲の計測のため、小型ドローンでの撮影は、効率的であった。1点あたり2.5mm程度の分解能があり、門柱などの構造物以外の舗装路面などは、この方法から得られる精度でも充分であると考えられる。正門門柱のように、高さが2mを越える構造物の場合、地上据え置き型のレーザー計測機器では、高い部分の計測に欠損が生じる危険性がある。この点でも、小型ドローンを利用した方法は有効である。ただ本研究のように、市街地の屋外にある構造物の計測で、小型ドローンを使う場合は、一般の航空測量に比べると相当低い高度で撮影する必要がある。このため、ドローンでの撮影時には周辺に十分気を付けて実施する必要がある。このような点に留意して実施するならば、比較的広い範囲の計測については、非常に効率的な計測方法である。

一方、ドローンでの多視点撮影ができない場所については、地上撮影で補うことで、詳細に三次元化をすることができた。ドローンでの撮影だけでは、精度が充分でない部分も、地上撮影で補うことで、1点あたり1.5～2.0mm程度の分解能となり、精度を高めることができた。しかし、石材の経年劣化を点検するために、亀裂の詳細な変化を捉えるためには、より高い精度が必要となる。そのような目的のためには、SfM法では撮影方法を工夫することが必要となり、あるいは計測方法自体を変えることが必要となる。

このように、屋外構造物の三次元化には小型ドローンでの空中撮影は非常に有効であり、必要な精度を出すためには、地上撮影も組み合わせて計測することで、かなりの精度を出すことができることが明らかになったと考えられる。今後も、計測事例を増やし、計測方法と精度についての知見を蓄積していきたい。

謝辞

本論文の査読者の国立文化財機構奈良文化財研究所の金田明大埋蔵文化財センター遺跡・調査技術研究室長には、有益な指摘をいただきました。ここに感謝いたします。本研究はJSPS科研費20H00019および18H00014の助成を受けたものです。

註

- 1) 2020年12月8日の朝日新聞の報道では、国土交通省が規制の強化の検討をはじめ、今後は100g未満が規制対象外となる政令改正が検討されているとのことであり、改正された場合、人口密集地等での三次元データ用デジ

タルカメラ撮影に支障を及ぼすと考えられる。

- 2) <https://www.dji.com/jp/mavic-mini/specs> 2020 年 11 月 13 日閲覧。

引用・参考文献

石塚直樹・岩崎亘典・坂本利弘 2018 『ドローンを用いた
ほ場計測マニュアル（不陸（凹凸）編）』国立研究開発
法人農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境変動研
究センター

[https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/
publication/files/drone_unevenness.pdf](https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/drone_unevenness.pdf)

内山隆弘・蟹澤聰史 2020 「東北大学片平キャンパスにお

ける歴史的建造物の石材に関する研究」『Bulletin of the
Tohoku University Museum』No.19、21～37 頁、東北
大学総合学術博物館

金田明大 2014 「Structure from Motion による遺構計測
の試行」『奈良文化財研究所紀要』44～45 頁、奈良文
化財研究所

鹿納晴尚・西弘嗣・藤澤敦・佐々木理・高嶋礼詩・根本潤
2018 「東日本大震災遺構 3 次元クラウドデータアー
カイブ構築公開事業中間報告」『Bulletin of the Tohoku
University Museum』No.17、139～183 頁、東北大学
総合学術博物館

藤澤敦・鹿納晴尚・吉野高光・小池雄利亜 2017 「福島県
清戸迫横穴の高精細 3 次元計測—原発事故帰還困難区域
所在文化財の保全と活用—」『日本文化財科学会第 34 回
大会研究発表要旨集』pp.60～61、日本文化財科学会

東北大学総合学術博物館紀要 (Bulletin of the Tohoku University Museum) 編集委員会規定

2004年1月31日

(設置)

第1条 東北大学総合学術博物館(以下「博物館」という。)に東北大学総合学術博物館紀要編集委員会(以下「委員会」という。)を置く。

(任務)

第2条 委員会は、館長の求めに応じ、『東北大学総合学術博物館紀要』(以下「紀要」という。)に掲載する論文等の審査及び編集に当たるとともに、これに関する事項について審議する。

(組織)

第3条 委員会は、次に掲げる者をもって組織する。

- 一. 博物館の教官で館長が指名した者。
- 二. 博物館の運営委員及び兼任教官で館長が委託した者。
- 三. その他、特に館長が必要と認めた者。

(委員長)

第4条 委員会に、委員長を置く。

- 一. 委員長は、第3条第1項、及び第2項の委員の互選によって定める。
- 二. 委員長は、委員会を召集し、その議長となり、会務を掌理する。

(任期)

第5条 第3条に定める委員の任期は、1年とし、再任を妨げない。

(議事)

第6条 委員会は、委員の過半数の出席がなければ会議を開くことができない。

2. 委員会の議事は、出席入数の過半数をもって決し、可否同数の時は、委員長が決するところによる。

(論文等の審査)

第7条 委員会は、寄稿された論文等について審査をおこなう。

2. 審査は掲載の可否、修正範囲、掲載分類等とする。
3. 審査にあたって、査読を実施する。

(委員以外の出席)

第8条 委員長が必要と認めた時は、委員以外の者を委員会に出席させ、意見を求めることができる。

(査読者の委託)

第9条 委員会は、論文等の審査にあたり、委員以外の者に査読を委託することができる。

(審議結果の報告)

第10条 委員会は、審議結果について、館長に報告する。

(庶務)

第11条 委員会の庶務は、博物館の事務において処理する。

(雑則)

第12条 この規定に定めるもののほか、論文等の審査及び編集に関し必要な事項は、委員会が別に定める。

附則

この規定は、2004年1月31日から施行する。

東北大学総合学術博物館『紀要』寄稿要項

- 1 東北大学総合学術博物館紀要(以下「紀要」という。)は総合学術博物館(以下「博物館」という。)に関連する諸科学に関する研究報告、調査報告等を掲載・発表することにより、それらの学問の発展に寄与するものである。
- 2 紀要に寄稿することができる者は、次の通りとする。
 - ① 東北大学の教職員(同客員教官を含む)
 - ② 東北大学の名誉教授
 - ③ その他、博物館において適当と認められた者
- 3 原稿執筆における使用言語は英語・日本語を原則とする。
- 4 寄稿する原稿には英文要旨(300語程度)を添付する。
- 5 原稿はA4判横書き、1ページ1段組で1,000字(40字×25行)とし、十分な余白を取る。英文の場合はこれに準ずる。(図、写真、表、図版などはそれぞれ別ページとして準備する。さらにそれらのキャプションを別途準備する。)図、写真類のできあがりの最大の大きさは1ページ縦22cm×横17cmとする。
- 6 原稿はデジタルデータで提出する。
- 7 原稿の提出は10月末とする。
- 8 原稿の提出は、紀要編集委員会とする。
- 9 原稿は編集委員会から委託した査読者の審査を経て編集委員会が採択する。
- 10 掲載した一論文につき、別刷り30部まで無償とし、それ以上は著者の負担とする。
- 11 紀要に掲載された論文等の著作権は、博物館に帰属するものとする。