

パレオアジア 文 化 史 学

計画研究A03 2020年度 研究報告書

アジアにおけるホモ・サピエンス定着期の 気候変動と居住環境の解明

2016-2020年度 文部科学省科学研究費補助金(新学術領域研究) 16H06410

目次
はじめに
2020年度研究組織 ii
【研究報告·······1】
アラビア半島におけるホモ・サピエンスの定着:オマーン内陸部 ワディ・タヌーフ1号洞穴遺跡の土層堆積状況と年代について 近藤康久、北川浩之、三木健裕、黒沼太一 1
モンゴル北部ウランブルガス湖湖底堆積物による 約3200年間の植生変化
ホモ・サピエンスの拡散モデルの構築に向けた過去25万年間の気候変動の再現
モンゴル北部サンギンダライ湖の湖底堆積物から復元される最終氷期以降の植生変遷 ~周辺地域の植生変遷との比較~
モンゴル南西部・オログ湖湖底堆積物の最終氷期における 硫黄安定同位体組成変動
中期~後期旧石器時代の移行期の炭素14年代測定プロトコルの確立:2020年度研究活動報告 山根雅子 32
死海地溝帯南部Wadi Gharandalにおける湖・河川堆積物のOSL年代田村 亭、門脇誠二 34
2020年度 研究成果

はじめに

約20万年前頃のアフリカ大陸で誕生した現生人類ホモ・サピエンス(新人)は、10~5万年前以降、 ユーラシア大陸各地の多様な環境やダイナミックに変化した気候に適応しつつ拡散し、先住者たる 旧人たちと交替した。新人が定着した時代のアジア(以後、「パレオアジア」という。)の文化史を探 求し、新人文化の形成過程の実態とその背景を明らかにすることを研究課題とするのが、プロジェ クト「パレオアジア文化史学-アジア新人文化形成プロセスの総合的研究-」(文部科学省科学研究費 補助金新学術領域研究(研究領域提案型)、2016年度~2021年度)である。このプロジェクトの計画研 究A03「アジアにおけるホモ・サピエンス定着期の気候変動と居住環境の解明」では、新人がアジア に拡散し定着した時代の気候・環境に関わる証拠を集約し、アジア各地の新人の居住環境や生活様 式(生活の痕跡)を探り、新人文化の形成過程の理解を促すことを目的としている。

本プロジェクト最終年度となる2020年度には、これまで4年間で十分でなかった調査・分析・取 得データの解析を行い、「アジアにおけるホモ・サピエンス定着期の気候変動と居住環境」について 研究の総括を行う予定であった。しかし、新型コロナウイルス感染症 (COVID-19)の拡大によって 予定した国内・海外での野外調査が実施できなく、研究成果のとりまとめは次年度以降に行うこと とした。本報告書では、アラビア半島 (オマーン)の遺跡発掘調査およびその解析結果、東北アジア (モンゴル)の湖沼堆積物の古環境復元研究 (3件)、ホモ・サピエンスのアジアへの拡散を検討する シンプル古気候候モデルの開発の状況、パレオアジアの理解に向けた¹⁴C年代測定・OSL年代測定に 関わる研究 (2件)の成果を取りまとめている。

アジア各地の野外調査を進めるうえで、イスラエル地質調査所、ヘブライ大学、オマーン遺産文 化省・シャー・アブドゥル・ラティーフ大学、シンド文化遺産保存信託基金記録修復センター、ポ ンペウ・ファブラ大学、ベトナムアカデミー地理研究所・地質研究所、カシミール大学中央アジア 研究センター、モンゴル科学アカデミー古生物地質研究所、モンゴル国立大学地理地質学科の関係 者にはご多大な協力をいただいた。ここに記して感謝を申し上げます。

i

研究組織

[計画研究A03]

アジアにおけるホモ・サピエンス定着期の気候変動と居住環境の解明

2020年度研究組織

研究代表者

北川浩ノ	II. II	D4	
	JE JE	治人	

名古屋大学宇宙地球環境研究所教授・環境学/編年学

研究分担者

藤木利之	岡山理科大学理学部准教授・古植生復元/花粉分析
長谷川精	高知大学理工学部講師・堆積学/古気候復元/古環境復元
近藤康久	総合地球環境学研究所研究基盤国際センター・准教授・考古情報学/遺跡生態学的分析
田村 亨	国立研究開発法人産業技術総合研究所地質情報研究部門主任研究員・堆積学/
	地形学/年代学/遺跡周辺地形解析

研究協力者

Christian Leipe	名古屋大学客員准教授・ベルリン自由大学 地質科学研究所・助手古生態学/東アジア考古学
三木健裕	ベルリン自由大学 近東考古研究所 (JSPS海外特別研究員)・西アジア考古学
黒沼太一	総合地球環境学研究所(JSP特別研究員)・西アジア考古学
Mordechai (Moti) Stein	イスラエル地質調査所上級研究員・ヘブライ大学教授・地球化学
Jaesoo Lim	韓国地質資源研究所上級研究員・第四紀学/地球化学
Dang Xuan Phong	ベトナム科学技術アカデミー地理研究所上級研究員・地球化学/地理学
Niiden Ichinnorov	モンゴル科学アカデミー古生物・地質研究所上級研究員・花粉分析/古植生復元
Marco Madella	ポンペウ ファブラ大学人文科学部教授・植物考古学/環境考古学
Carla Lancelott	ポンペウ ファブラ大学人文科学部研究員・植物考古学/環境考古学

招待研究者 (公募研究)

勝田長貴	岐阜大学 教育学部准教授・地球環境システム学/地球物理学/古環境変動解
	研究課題「過去10万年間におけるバイカル集水域の水環境復元と人類史への影響評価」
山根雅子	名古屋大学 宇宙地球環境研究所特任助教・年代測定/地球化学
	研究課題「中期~後期旧石器時代の移行期の炭素14年代測定プロトコルの確立」

*所属、肩書きは2021年3月31日現在のもの。

アラビア半島におけるホモ・サピエンスの定着: オマーン内陸部ワディ・タヌーフ1号洞穴遺跡の 土層堆積状況と年代について

- 近藤 康久 総合地球環境学研究所
- 北川 浩之 名古屋大学宇宙地球環境研究所
- 三木 健裕 ベルリン自由大学古代近東考古学研究所
- 黒沼太一 総合地球環境学研究所

筆者らのチームは、インド洋モンスーンの影響 下にあるアラビア半島南東部すなわち「モンスーン アラビア」における後期更新世の環境変動と人類 の定着プロセスの関係性を再評価することを目的 として、2016年度よりオマーン内陸部のアッダーヒ リーヤ地方で遺跡分布調査を実施し(近藤2016, 2017;近藤他2018)、2017年度からは、ワディ・タ ヌーフ1号洞穴遺跡(現地名ムガーラ・アルキャフ; 図1・図2)において発掘調査を進めてきた(近藤



図1 ワディ・タヌーフ1号洞穴遺跡の位置



図2 ワディ・タヌーフ1号洞穴遺跡開口部の発掘調査風景

他2018, 2019, 2020)。

2020年度は新型コロナウイルス感染症 (COVID-19)のパンデミックによる渡航制限に伴い、現地での調査を実施することができなかった。 本稿では、昨年度にこの洞穴遺跡で採取した炭化 物の放射性年代測定の結果を報告し、その利用 時期および対応する土層堆積について考察する。

ワディ・タヌーフ1号洞穴遺跡の堆積状況

ワディ・タヌーフ1号洞穴遺跡は、峡谷の河床 から水平距離にして約600 m離れた崖面に開口 している。河床からの比高は約200 mであり、



図3 ワディ・タヌーフ1号洞穴の内部構造。上:断面。下:平面 とトレンチTP1の位置 (Miki et al., 2020: Figure 5) 洞穴に達するには崖錐斜面を30分強かけて登 攀する必要がある。開口部の幅は約8 m、奥行 きは約18 mである。良好な土層堆積が想定さ れる開口部近くに2 m四方のトレンチTP1を設 定し、発掘を行なった(図2・図3)。

TP1の土層堆積は上層 (I層、Laver I) と 下層 (II層、Layer II) に大別される (図4)。 上層はさらに上半のIa層と下半のIb層に分け られる。Ia層はしまりの弱い表土で、岩石 屑、藁編物屑を含む遺物包含層である。Ib層 はIa層より暗い色をしたしまりの弱い堆積土 からなる遺物包含層で、炭化した有機物を含 む。このIb層からは土器片に加え、ヤギのも のとみられる糞石とナツメヤシなどの植物種 子、炭化材が大量に出土した。下層は岩石屑 を含む硬質でセメント化した堆積層であり、 石灰分を多く含む堆積物が流水により硬化し たトラバーチンと推定される。下層からは遺 物はほとんど出土しなかったが、複数の灰層 (上側はContext 3、下側はContext 5) が嵌 入した状態で検出された。地表面から約80 cm掘り下げたところで洞穴の岩盤に到達し た。年代測定試料は上下両層から採取し、オ マーン遺産文化省(現・遺産観光省)の許可 を受けて日本へ輸出した。



 図4 ワディ・タヌーフ1号洞穴遺跡TP1南壁セクション。上層 (Layer I; 表1のContext 1に相当) la: 岩石屑、藁編物 屑を含むしまりの弱い表土。lb: より暗色で、炭化した 有機物を含むしまりの弱い堆積土。下層(Layer II) 岩 石屑を含む、硬質でセメント化した堆積物(トラバーチ ン)。複数の灰層(上側はContext 3、下側はContext 5) が嵌入する。

年代測定の結果と考察

年代測定試料は名古屋大学宇宙地球環境 学研究所においてAMS放射性炭素年代測定 を実施した。その結果を表1に示す。放射性 炭素年代はIntCal20 (Reimer et al., 2020) データセットを用い年代較正した。試料の 採取日(2019年12月29日と2020年1月1日) を地層の掘り下げ順(仮想層序)とみなして グループ化の上、ベイズ推定を実行し、年 代期間を求めた。その結果、年代期間の開 始は紀元前2900年頃、終了は前1500年頃で あった。較正値の確率分布は前2900年から 2500年と紀元前2000年から1500年の二峰に 分かれる(図5・図6)。前者の年代は中期完 新世のハフィート期(紀元前3200~2700年) からウンム・アンナール期(前2700~2000 (年)前半にかけての時代に相当する。また、 後者の年代はワディ・スーク期(前2000 ~1600年)から後期青銅器時代(前1600~ 1300年)の前半期に相当し、地表面及びTP1 上層から回収された土器片等 (Miki et al. 2020)の帰属時期と整合している。紀元前 2500年から2000年の時期に相当する年代測 定試料が得られなかったため、この時期の 洞穴内における人類活動の有無はTP1の発 掘調査からは確認できなかった。とはいえ、 上下の試料グループを採取した層位の中間 にあたる遺物包含層は現時点で明瞭に認識 できず、出土遺物も違いはみられない。本 洞穴におけるこの時期の人類活動の有無に ついては、今後別の箇所を発掘し、再度年 代測定を行うことで改めて検討したい。

結果として、洞穴遺跡の発掘調査からは 本新学術領域が目的とする更新世の人類の 定着に関する証拠を得ることはできなかっ た。その代わりに中期完新世のアラビア乾 燥地の山麓峡谷における洞穴利用の稀有な 証拠を得ることができた。このことは、当 該地域における人類の定着プロセスと環境 変動の関わりを理解するために重要と考え られる。今後は、人工遺物および糞石の安 定同位体分析や古代ゲノム分析等を通じて、 当時の生態・環境と人間文化の関わりを総 合的に解明していく。

Name Show all		Unmo	delled (E	BC/AD)	Mode	lied (B(C/AD)	Indice Amode Aovers	9 = 102.1 = 102.	7		Select	Page
Show structure		from	to	%	from	to	%	Acomb	A	LI	P C	Visible	
Sequence WTN01	11											22	
Boundary Start	-		1		-3225	-2895	95.4			0	95.6	Ø3	
T Phase 2020101	-											224	
R_Date NUTA2-27838	11	-3090	-2885	95.4	-3020	-2885	95.4		108.2	8.1	99.3	2 5	
FLDate NUTA2-27839		-3010	-2700	95.4	-2930	-2700	95.4	1.0	101.2	1	99.4	Ø ⁶	C.
R_Date NUTA2-27840	=	-2895	-2670	95.4	-2900	-2670	95.4		99	П	99.6	07	
R_Date NUTA2-27841	Ħ	-2880	-2630	95.4	-2880	-2630	95.4		99.7	1	99.4	(C) 6	
R_Date NUTA2-27842	1	-2920	-2695	95,4	-2920	-2695	95.4		99.4	n	99.2	22	0
R_Date NUTA2-27843	11	-2840	-2470	95.4	-2840	-2470	95.4		99,8	Π	99.3	10	0
T Phuse 20191229	=											11	
A_Date NUTA2-27828	Ð	-1685	-1500	95.4	-1685	-1505	95,4		101	П	99.5	12	
R_Date NUTA2-27827	=	-1875	-1615	95.4	-1875	-1615	95.4	1	99.7	I.T.	99.3	Ø 13	
R_Date NUTA2-27829	=	-1735	-1515	95.4	-1735	-1515	95.4		100.4	ET.	99.6	Ø14	
R_Date NUTA2-27830	13	-1670	-1455	95.4	-1675	-1495	95.4		101.5	T	99,6	15	9
R_Date NUTA2-27831	1	-1740	-1530	95.4	-1740	-1530	95.4		100.2	1	99.5	16	
R_Date NUTA2-27832	11	-1635	-1455	95.4	-1670	-1495	95.4		101.6		99.5	Ø 17	G.

図5 ワディ・タヌーフ1号洞穴遺跡TP1の年代測定値(表1) をIntCal20データセットにより較正した年代とベイズ 推定法により求めた開始・終了年代



図6年代測定値(表1)の確率分布

引用文献

- Miki T, Kuronuma T, Kitagawa H, Noguchi A, Kondo Y, 2020. Bronze Age vessel remains from the cave of Mugharat al Kahf in the Wādī Tanūf: a preliminary report of the 2017/18 and 2018/19 seasons. *The Journal of Oman Studies* 21:128-143.
- Reimer, PJ, Austin WEN, Bard E, Bayliss A, Blackwell PG, Bronk Ramsey C, Talamo S et al., 2020. The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0-55 cal kBP). *Radiocarbon* 62(4) :725-757. https://doi. org/10.1017/RDC.2020.41
- 近藤康久,2016. アラビア半島におけるホモ・サピエンス の定着:オマーンでの調査計画. 西秋良宏編『第1回研 究大会 パレオアジア文化史学:アジア新人文化形成プ ロセスの総合的研究』78頁.
- 近藤康久,2017. アラビア半島におけるホモ・サピエンス の定着:オマーンでの予備調査.北川浩之編『パレオア ジア文化史学計画研究A03平成28年度研究報告書ア ジアにおけるホモ・サピエンス定着期の気候変動と居 住環境の解明』31-34頁.
- 近藤康久・三木健裕・黒沼太一・野口淳・北川浩之, 2018. アラビア半島におけるホモ・サピエンスの定着: オマーンでの予備調査(第2報).北川浩之編『パレオ アジア文化史学計画研究A03平成29年度研究報告書 アジアにおけるホモ・サピエンス定着期の気候変動と 居住環境の解明』44-45頁.
- 近藤康久・三木健裕・黒沼太一,2019. アラビア半島に おけるホモ・サピエンスの定着:オマーンでの予備調査 (第2報).北川浩之編『パレオアジア文化史学計画研 究A03 2018年度研究報告書アジアにおけるホモ・サピ エンス定着期の気候変動と居住環境の解明』38-39頁.
- 近藤康久・三木健裕・黒沼太一,2020. アラビア半島に おけるホモ・サピエンスの定着:オマーン内陸部ワディ・ タヌーフにおける遺跡調査. 北川浩之編『パレオアジア 文化史学計画研究A032019年度研究報告書アジアに おけるホモ・サピエンス定着期の気候変動と居住環境 の解明』13-17頁.

Lab Number	Sample ID	Context	Type	¹⁴ C age	Calibrated age
Bas Humber	oumpie in	context	rype	(BP)	(cal BC 95.4%
					Confidence interval)
NILITA 2 27927	202001_1	1	Carbonized	2415 + 25	1974 1944 (7.60/)
NUTA2-27027	202001-1	1	Carbonized	5413 ± 53	1074-1044 (7.0%)
			date seed		1820-1799 (2.6%)
	000001.0			0010 05	1///-1617 (85.2%)
NUTA2-27828	202001-2	1	Carbonized	3310 ± 35	1684-1652 (4.8%)
			date seed		1643-1503 (90.7)
NUTA2-27829	202001-3	1	Carbonized	3335 ± 35	1735-1717 (3.8%)
			date seed		1691-1516 (91.7)
NUTA2-27830	202001-4	1	Carbonized	3295 ± 35	1669-1686 (1.1%)
			date seed		1635-1497 (93%)
					1474-1460 (1.3%)
NUTA2-27831	202001-5	1	Carbonized	3345 ± 35	1738-1715 (6.5%)
			date seed		1694-1532 (89.0%)
NUTA2-27832	202001-6	1	Carbonized	3290 ± 35	1631-1496 (93.0%)
			date seed		1478-1456(2.4%)
NUTA2-27833	202001-7	1	Carbonized	3335 ± 35	1735-1717 (3.8%)
			date seed		1691-1516 (91.7)
NUTA2-27834	202001-8	1	Carbonized	3430 ± 35	1877-1842 (13.1%)
	202001 0	*	date seed	0100 ± 00	1824-1794 (6.5%)
			uate seeu		$1780_{-}1642$ (75.8%)
NULTAD 07925	202001-0	1	Carboniand	2260 ± 20	1740 1712 (10.70/)
NU1A2-27855	202001-9	1	Carbonized	3300 ± 30	1740-1712(10.7%)
	000001 10		date seed	0500 00	1696-1539 (84.7%)
NUTA2-27836	202001-10	1	Carbonized	3580 ± 30	2028-1878 (90.9%)
			date seed		1841-1824(3.4%)
					1791-1782 (1.1%)
NUTA2-27837	202001-11	1	Carbonized	3560 ± 30	2020-1996 (4.7%)
			seed		1980-1872 (71.2%)
					1848-1812 (11.5%)
					1806-1774 (8.0%)
	202001-12	1	Carbonized	Not measured	
			seed	(poor	
				preservation)	
NUTA2-27838	202003-1	1	Charcoal	4340 ± 40	3087-3058 (6.0%)
					3031-2889 (89.4%)
NUTA2-27839	202003-2	1	Charcoal	4265 ± 35	3006-2990 (1.4%)
					2929-2860 (79.8%)
					2806-2754 (12.1 %)
					2721-2703 (2.1%)
NUTA2-27840	202003-3	1	Charcoal	4200 ± 30	2895-2843 (27.1%)
					2814-2671 (68.4%)
NUTA2-27841	202003-4	1	Charcoal	4155 ± 30	2877-2630 (95.4%)
NUTA2-27842	202003-5	1	Charcoal	4245 + 35	2919-2851 (61.4%)
	202000 0	*	Charcola	1210 ± 00	2810-2747 (27.2%)
					2726-2607 (6.8%)
NI ITA2 27942	202002 4	1	Characel	4055 + 20	2120-2021 (0.070)
110172-2/043	202003-0	1	CharCoal	$\pm 000 \pm 20$	2040-2010 4.0%)
NUT 40.07047	202002 7	1	Char 1	E600 + 25	4527 4517 (500/)
NUTA2-27847	202003-7	1	Charcoal	5620 ± 35	4537-4517 (5.2%)
					4506-4359 (90.3%)
	202003-8	1	Charcoal	Not measured	
				(poor	
				preservation)	
NUTA2-27848	202003-9	1	Charcoal	4085 ± 30	2857-2807 (16.6%)
					2752-2722 (5.7%)
					2702-2566 (65.3%)
					2531-2495 (7.8%)
NUTA2-27849	202003-14	5	Charcoal	1065 ± 35	892-1030 cal AD

モンゴル北部ウランブルガス湖湖底堆積物による約3200年間の植生変化

モンゴル北部ウランブルガス湖湖底堆積物による 約3200年間の植生変化

- 藤木利之 岡山理科大学理学部
- 那須浩郎 岡山理科大学基盤教育センター
- 勝田長貴 岐阜大学教育学部

1. はじめに

モンゴルはユーラシア大陸の内陸部に位置 し、季節変動が大きい大陸性気候を呈する。ま た、モンゴルの植生は森林から砂漠まで分布 し非常に多様性が高いのが特徴で (Gunin et al., 2011)、北部にタイガ林が分布し、南に向かっ て草原、砂漠へと変化している (Farukh et al. 2009)。特に草原は世界有数の広さを誇り、そ の面積は国土面積の80%におよぶ (Hilbig, 1995)。また、東シベリアは夏に非常に乾燥す る地域であるが、夏期の永久凍土の融解水を 利用して植生が維持されており (Sugimoto et al., 2002)、モンゴルのタイガ林も永久凍土の融 解水を利用しているとみられる。さらに、中 央アジアの気候変動は、東アジア夏季モンスー ンの変動が極めて重要な役割を果たしており、 東アジア夏季モンスーンが強化されると湿潤 化しており (Hong et al., 2014)、東アジア夏季 モンスーンの強弱により、モンゴルの気候は 湿潤・乾燥化に変化するとみられ、モンゴル は様々な変動に対し、気候が敏感に変化する 地域である。

これまでモンゴルでは、タイガ帯に属する フブスグル湖 (Lake Hovsgol: Prokopenko et al., 2007)、森林ステップ帯に属するテルメン湖 (Lake Telmen: Peck et al., 2002; Fowell et al., 2003) やグン湖 (Lake Gun: Feng et al., 2013)、 ステップ帯に属するアチト湖 (Lake Achit: Sun et al., 2013) やウギ湖 (Lake Ugii: Wang et al., 2011) など、様々な植生帯で多くの古環境 解析のための花粉分析研究が行われているが、 そのほとんどは湖が点在する中部~西部に集中 し、東部ではブイル湖 (Lake Buir: Tarasov, 1996)のみで、花粉分析による古環境解析の研 究が行われていないのが現状である (Gunin *et al.*, 2011)。本研究では、モンゴル中央北部のウ ランブルガス湖 (Lake Ulaan Burugas) におい て2.5 mの湖底堆積物を採取し、約3200年間の 古環境解析を行ったので報告する。

2. 調査地点の概況および試料

ウランブルガス湖は、モンゴル北部のセレ ンゲ県のロシア国境に接する街であるアルタ ンブラク (Altanbulag) から南方に約5 km、 かつGun湖の西方に約10 kmに位置する小さな 円形の湖である (図1)。アルタンブラクの年 平均気温は-1.1℃で、年間降水量は131.1 mm で (Purevsuren et al., 2012)、冬は降水量が 著しく少なく乾燥し、気温が低い。一方、夏 は降水量があり、気温も高くなる。湖周辺は 草原であるが (図1)、湖の北部にヨーロッパ アカマツ (Pinus sylvestris) やシラカバ (Betula *platyphylla*)、ヤナギ類 (Salix spp.) が点在す る疎林がみられ、南部の河川周辺にイネ科 (Poaceae) やカヤツリグサ科 (Cyperaceae) を主体とするステップが広がっている。湖周 辺には、ガマ類 (Typha spp.) やアリノトウグ ザ (Haloragis micrantha) などの湿性植物が生 育し、湖の中にはヒルムシロ類 (Potamogeton spp.) がみられた。

2018年9月に湖にボートを浮かべ、ほぼ中央 の北緯50°14'24.64″、東経106°27'30.14″で、ピー トサンプラーを用いて湖底堆積物を採取した (図1)。得られた全長250 cmの湖底堆積物は、 深度0~210 cmが砂質シルトで、多くの植物片



図1 モンゴルの植生図と試料採取地点地図 (Wang *et al.*, 2013を改変)





を含んでいた。深度210~250 cmがシルト質砂 で、多くの小さな巻貝を含んでいた (図2)。花 粉分析用試料は、5 cm間隔でサブサンプリン グを行い、今回は10 cm間隔で花粉分析を行っ た。また、深度9 cm、79 cm、127 cm、190 cm、236 cmで放射線炭素年代測定をそれぞれ 実施した。

3. 方法

3-1. 放射性炭素年代測定用試料作製方法

¹⁴C年代測定用試料は、深度9 cm、79 cm、 127 cm、190 cmと236 cmの堆積物中に含ま れる植物片について酸-アルカリ-酸 (AAA) 処理を行い、 オートクレーブで試料を滅 菌・乾燥させた後、(株)加速器分析研究所 (IAAA) に加速器質量分析 (AMS) による ¹⁴C年代測定を依頼した。得られた¹⁴C年代 (BP) はコンピュータープログラムCalib 8.2 (Stuiver *et al.*, 2020) とデータセットIntCal 20 (Reimer *et al.*, 2020) を使用して、暦年代 (cal BP) に較正した。

3-2. 化石花粉·化石胞子抽出方法

化石花粉と化石胞子の抽出は、水酸化カリ ウム処理、塩酸処理、塩化亜鉛比重分離処理、 アセトリシス処理を施し、抽出された化石花 粉と化石胞子は、エタノールで脱水後、キシ レンに置換し、オイキットで封入し、観察用 プレパラートを作成した。化石花粉と化石胞 子の測定は、木本類花粉と草本類花粉が500個 以上になるまで測定をし、樹木花粉を基本数 とし、各分類群の出現率を求め花粉変遷図を 作成した。

4. 結果と考察

4-1. 放射性炭素年代測定

¹⁴C年代測定の結果、深度9 cmが780 ± 20 BP (較正中央値:770 cal BP) で、深度79 cm が1760 ± 20 BP (1661 cal BP)、深度127 cm が2160 ± 20 BP (2160 cal BP)、深度190 cm が2020 ± 20 BP (1968 cal BP) で、深度236 cmが2940 ± 20 BP (3103 cal BP) であった (表1)。堆積速度は、深度236~9 cmが約0.97 mm/yrで、深度9 cm以浅で約0.12 mm/yrと、 上部の堆積速度が急激に緩やかとなっていた。 また、深度236 cm以深の堆積速度は、236 cm 以浅の堆積速度の平均値と仮定すると、本堆 積物は約3200年間の古環境の記録を含んでい ると推定された(図2)。 4-2. 花粉分析による古植生変化

花粉分析の結果、木本類花粉11種類、草本 類花粉22種類、シダ胞子2種類の合計35種類の 化石花粉と化石胞子を確認した(表2)。そのう ち主要な化石花粉と化石胞子の光学顕微鏡写 真を図3に、主要な化石花粉・化石胞子変遷図 を図4に示した。

Depth (cm)	¹⁴ C date (BP)	δ ¹³ C _{PDB} (‰)	Labo. no. (IAAA-)	Age range (cal BP) (2 σ probability %)	Median probability (cal BP)
9	780 ± 20	-15.21	191098	730 – 792 (91.9) 870 – 898 (8.1)	770
79	1760 ± 20	-19.27	190290	1611 - 1719 (100.0)	1661
127	2160 ± 20	-23.85	191099	2067 - 2081 (2.1) 2107 - 2181 (52.4) 2239 - 2303 (45.5)	2160
190	2020 ± 20	-27.52	181066	1901 - 1912 (2.5) 1921 - 2004 (95.6) 2026 - 2036 (1.9)	1968
236	2940 ± 20	-22.5	191100	3005 - 3015 (2.5) 3020 - 3164 (97.5)	3103

表1 モンゴル・ウランブルガス湖湖底堆積物の放射性炭素年代測定結果

表2 モンゴル・ウランブルガス湖湖底堆積物から得られた化石花粉・化石胞子一覧

Tree	Larix, Abies, Picea, Pinus, Ephedra, Carpinus, Betula, Quercus subgen. Lepidobalanus, Ulmus, Salix, Alnus
Herb	<i>Typha</i> , Liliaceae, Poaceae, Cyperaceae, <i>Persicaria</i> , other Polygonaceae, Caryophyllaceae, Chenopodiaceae, <i>Thalictrum</i> , other Rananculaceae, <i>Sanguisorba</i> , <i>Haloragis</i> , <i>Plantago</i> , <i>Menyanthes</i> , Labiata, <i>Tribulus</i> , <i>Geranium</i> , Umbelliferae, Cichorioideae, <i>Artemisia</i> , other Compositae, <i>Potamogeton</i>
Fern	monolete type FS, trilete type FS

研究報告

PaleoAisa Project Series 34



図3 モンゴル・ウランブルガス湖湖底堆積物から得られた主要な化石花粉の光学顕微鏡写真 1:モミ属,2:トウヒ属,3:カラマツ属,4:マツ属,5:マオウ属,6:ヤナギ属,7:カバノキ属,8:ハンノキ属,9:ニレ属,10:イネ科,11:カ ヤツリグサ科,12:ガマ属,13:タデ属,14:アカザ科,15:カラマツソウ属,16:アリノトウグサ属,17:オオバコ属,18:ミツガシワ 属,19:ワレモコウ属,20:セリ科,21:タンポポ亜科,22:ヨモギ属,23:ヒルムシロ属,スケールは10 µm.



木本類花粉が若干多いが、木本類花粉と草本 類花粉は、どちらも多く出現した。本湖は森林 ステップ帯に位置しているとみられる。マツ 属花粉は下部から増加し優占する。カバノキ 属花粉は下部で減少傾向を示した。その後、両 花粉は数回の微増減を繰り返した。マオウ属 花粉は中部層以深で出現する傾向がみられた。 ガマ属花粉は200 cmで急増し、その後は急減 して、非常に低率ではあるが連続して出現し た。イネ科とカヤツリグサ科花粉は200 cmか ら増加し、3回の微増減を繰り返した。アカザ 科花粉は下部層と上部層で若干多く出現した。 カラマツソウ属とオオバコ属花粉は、下部層で 若干出現した。ヨモギ属花粉は最下部層で減 少傾向を示し、その後3回の増減を繰り返した。 その他の花粉とシダ胞子は散発的に出現した。

ウランブルガス湖近くのグン湖では、約3000 cal BPと約2000 cal BPでマツ属花粉の増加が みられ、約2000 cal BPでヨモギ属花粉の増加 がみられる (Feng *et al.*, 2013)。この現象は、 本湖の分析結果と調和的である。これを考慮 すると、本堆積物は過去約3200年間の古環境 の記録を含んでいる可能性がある。グン湖で は、2500 cal BP以降にTOC値とCaCO₃含有量 が高く、比較的高い湖水位であったことが示 され、さらに270 cm以深で腹足類の貝殻が多 産している (Zhang *et al.*, 2012)。本湖において も210 cm以深で巻貝が多産していることから、 両湖は類似した湖水環境であったとみられる。 さらに、グン湖では2000 cal BPで δ^{18} Oと δ^{13} C が高い値を示し、湖水位の低下が示唆されて いる (Zhang *et al.*, 2012)。本湖でも、200 cm (約2800 cal BP) でガマ属花粉が急増しており、 湖水位の低下による湿地化がうかがえる。

モンゴル北部のフブスグル湖の堆積物の分 析では、13,700 cal BPと11,000 cal BPの温暖期 に、永久凍土が急激に融解し、その融解水に より土壌が湿潤化しシベリアトウヒなどのタ イガ林が増加したことが明らかとなっており (Katsuta *et al.*, 2019)、タイガ林要素の増加は 気温の上昇および、土壌の湿潤化を示すと考え られる。そこで、Tarasov *et al.* (2000)に基づ くバイオーム復元とFeng *et al.* (2013)に基づ く湿潤指数の復元を行った (図5)。Fukumoto



図5 モンゴル・ウランブルガス湖湖底堆積物の各バイオームと湿潤指数の変化

et al. (2014) によれば、モンゴルは約3000 cal BP以降に気候が湿潤化に転じており、本分 析はすでに湿潤期に入っているため、非常に 分かりにくいが、約2800 cal BP、約2000 cal BP、約1400 cal BP、約800 cal BP辺りにタイ ガ林要素と湿潤指数のピークがみられ、過去 に4回の気候の湿潤化があったと推定された。 グン湖においては、約3000 cal BP、約2300 cal BP、約1600~1400 cal BP、約800 cal BPに湿 潤化を示すピークが示されており (Feng et al., 2013)、かなり一致していると思われる。しか し、本湖のタイガ林要素のピークが、本当に 湿潤期とリンクしているかは、今後さらに検 討する必要がある。

引用文献

- Farukh, M.A., Hayasaka, H., and Mishigdorj, O. (2009) Recent tendency of Mongolian wildland fire incidence: analysis using MODIS hotspot and weather data. *Journal of Natural Disaster Science*, 31: 23–33.
- Feng, Z,D,. Ma, Y.Z., Zhang, H.C., Narantsetsega, T., and Zhang, X.S. (2013) Holocene climate variations retrieved from Gun Nuur lake-sediment core in the northern Mongolian Plateau. *The Holocene*, 23: 1721–1730.
- Fukumoto, Y., Kashima, K., Orkhonselenge, A., and Ganzorig, U. (2012) Holocene environmental changes in northern Mongolia inferred from diatom and pollen records of peat sediment. *Quaternary International*, 254: 83–91.
- Fukumoto, Y., Kashima, K., and Ganzorig, U. (2014) The Holocene environmental changes in boreal fen peatland of northern Mongolia reconstructed from diatom assemblages. *Quaternary International*, 348: 66–81.
- Fowell, S.J., Hansen, B.C.S., Peck, J.A., Khosbayar, P., and Ganbold, E. (2003) Mid to Late Holocene climate evolution of the Lake Telmen Basin, North Central Mongolia, based on palynological data. *Quandary Research*, 59: 353–363.

Gunin, P.D., Vostokova, E.A., Dorofeyuk, N.I.,

Tarasov, P.E., and Black, C.C. (2011) Vegetation Dynamics of Mongolia. Kluwer Academic Publishers.

- Hilbig, W. (1995) The vegetation of Mongolia. SPB Academic Publishing, Amsterdam.
- Hong, B., Gasse, F., Uchida, M., Hong, Y.T., Leng,
 X.T., Shibata, Y., An, N., Zhu, Y.X., Wang, Y. (2014)
 Increasing summer rainfall in arid eastern-Central
 Asia over the past 8500 years. *Scientific Reports*, 4: 5279.
- Katsuta, N., Matsumoto, G.I., Hase, Y., Tayasu, I., Haraguchi, T.F., Tani, E., Shichi, K., Murakami, T., Naito, S., Nakagawa, M., Hasegawa, H., and Kawakami, S. (2019) Siberian permafrost thawing accelerated at the Bølling/Allerød and Preboreal warm periods during the last deglaciation. *Geophysical Research Letters*, 46: 13961–13971.
- Mandakh1, U. (2009) Pasture condition of the dry steppe in Mongolia. International Symposium on "The Impact of Climate Change on Region Specific Systems". 6 November 2009. Sapporo, Japan.
- Peck, J.H., Khosbayar, P., Fowell, S.J., Pearce, R.B, Ariunbileg, S., Hansen, B.C.S., and Nergui Soninkhishig, N. (2002) Mid to Late Holocene climate change in north central Mongolia as recorded in the sediments of Lake Telmen. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 183: 135–153.
- Prokopenko, A.A., Khursevich, G.K., Bezrukova, E.V., Kuzmin, M.I., Boes, X., Williams, D.F., Fedenya, S.A., Kulagina, N.V., Letunova, P.P., and Abzaeva, A.A. (2007) Paleoenvironmental proxy records from Lake Hovsgol, Mongolia, and a synthesis of Holocene climate change in the Lake Baikal watershed. *Quaternary Research*, 68: 2–17.
- Purevsuren, T., Hoshino, B., Ganzorig, S., and Sawamukai, M. (2012) Spatial and temporal patterns of NDVI response to precipitation and temperature in Mongolian steppe. *Journal of arid land studies*, 22: 247–250.
- Reimer, P., Austin, W.E.N., Bard, E., Bayliss, A.,

PaleoAisa Project Series 34

Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Butzin, M., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A., Kromer, B., Manning, S.W., Muscheler, R., Palmer, J.G., Pearson, C., van der Plicht, J., Reim Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Turney, C.S.M., Wacker, L., Adolphi, F., Büntgen, U., Fahrni, S., Fogtmann-Schulz, A., Friedrich, R., Köhler, P., Kudsk, S., Miyake, F., Olsen, J., Sakamoto, M., Sookdeo, A., Talamo, S. (2020) The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kBP) . Radiocarbon 62: 725–757.

- Stuiver, M., Reimer, P.J., and Reimer, R.W. (2020) CALIB 8.2 [WWW program] at http://calib.org, accessed 2020-12-7.
- Sugimoto, A., Yanagisawa, N., Naito, D. (2002)
 Importance of permafrost as a source of water for plants in east Siberian taiga. *Ecological Research*, 17: 493–503.
- Sun, A., Feng, Z.D., Ran, M., and Zhang, C.J. (2013) Pollen-recorded bioclimatic variations of the last ~22,600 years retrieved from Achit Nuur core in the western Mongolian Plateau. *Quaternary International*, 311: 36–43.
- Tarasov, P.E. (1996) Lake status records from the Former Soviet Union and Mongolia: documentation of the second version of the databases. World Data Center-A for Paleoclimatology, Boulder, Colorado.
- Tarasov, P.E., Volkova, V.S., Webb, T., Guiot, J., Andreev, A.A., Bezusko, L.G., Bezusko, T.V., Bykova, G.V., Dorofeyuk, N.I., Kvavadze, E.V., Osipova, I.M., Panova, N.K., and Sevastyanov, G.V. (2000) Last glacial maximum biomes reconstructed from pollen and plant macrofossil data from northern Eurasia. *Journal of Biogeography*, 27: 609–620.
- 津久浦朱美・星野仏方・杉本敦子 (2010) モンゴル 国における森林限界の分布とその変動要因の推定。 *酪農学園大学紀要自然科学編、*35:55-64。
- Wang, W., Ma, Y.Z., Feng, Z.D., Narantsetseg, T., Liu,K.B., and Zhai, X.W. (2011) A prolonged dry mid-Holocene climate revealed by pollen and diatom

records from Lake Ugii Nuur in central Mongolia. *Quaternary International*, 229: 74–83.

- Wang J, Brown DG, Agrawal A. (2013) Sustainable Governance of the Mongolian Grasslands: Comparing Ecological and Social-Institutional Changes in the Context of Climate Change in Mongolia and Inner Mongolia Autonomous Region, China. In: Chen JQ, Wan SQ, Henebry G., Qi JU, Gutman G, Sun G, Kappas M. Eds. Dryland East Asia: Land Dynamics amid Social and Climate Change (Ecosystem Science and Applications). De Gruyter. 425–446.
- Zhang, C.J., Zhang, W.Y., Feng, Z.D., Mischke, S., Gao, X., Gao, D., and Sun, F.F. (2012) Holocene hydrological and climatic change on the northern Mongolian Plateau based on multi-proxy records from Lake Gun Nuur. *Palaeogeography*, *Palaeoclimatology*, *Palaeoecology*, 323–325: 75–86.

ホモ・サピエンスの拡散モデルの構築に向けた 過去25万年間の気候変動の再現

北川 浩之 名古屋大学宇宙地球環境研究所

1. はじめに

気候は現生人類ホモ・サピエンスの拡散や 行動様式を規定する重要な要素の一つである。 アフリカ起源のホモ・サピエンスがアジアへ進 出する過程に気候が関わっている可能性が指 摘されている。しかし、ホモ・サピエンス拡散 の気候の影響についての検討は、高い時間的・ 空間解像度の古気候変動の復元・再現の欠如 から、未だ十分とは言い難い。アフリカ起源 のホモ・サピエンスの拡散についての諸仮説 の検証には、更新世及び完新世の地理的な広 がりをもって気候変動を復元することが重要 である (Nogués-Bravo et al., 2018)。

グリッド対応型の惑星システムモデル PLASIM-GENIE (Planet Simulator-Grid-Enabled Integrated Earth system model. Lenton et al., 2007; Holden et al., 2014) は、氷 床・地球軌道・CO2濃度の時代変化の効果を考 慮した中程度の複雑さを再現できる大気海洋 結合全球気候モデル (intermediate-complexity climate model) である。最先端の高解像な気 候モデルと比較すると、時間・空間分解能が 低く、特定の地域 (例えば、極域や地形の急な 変化がある地域) での再現に不確かさが残され るが、スペクトル法 (複数の周期関数の組み合 わせによって近似表現したものを計算し、そ の振舞いによってシミュレーションする方法) を使うことで、計算時間を格段に短縮できる メリットがある。過去の気候変動を再現する 有力な方法である(一般的なパーソナルコン ピュターでも計算可能である)。人類を含む生 物の移動や気候変動の影響、気候変動に伴う人

類の行動様式の変化などを検討するうえで有 効な気候シミュレーションツールとされてい る (Svenning et al., 2015; Nogués-Bravo et al., 2018)。

本研究では、AOGCM (atmosphere-ocean general circulation model) ベースのPLASIM-GENIE (Holden et al., 2016) を用い (以後、 「AOGCM-PLASIM-GENIE」)、過去25万年間 の気候変動 (気温と降水量) を再現した。実際 のモデル計算では、主因子分析で得られる主 要成分を使ったスペクトル法を使い、空間場 の主要なパターンに着目することで低次元化 を図り (「パターンスケーリング法」と呼ばれ ている。Tebaldi and Arblaster, 2014)、計算 時間の短縮を図った。

本モデルでは、緯度方向32分割、経度方向 64分割で、全球を2048に分割、各格子の気候 変動の再現が可能な仕様である。さらに、ホモ・ サピエンスの拡散や行動様式を規定する様々な 仮説についての検討を行うため、ダウンスケール 法を用いて空間解像度を高めた(本研究で用い たダウンスケール法の有効性については今後検討 していく必要がある)。本報告では、AOGCM-PLASIM-GENIEを使い推定した過去25万年間 の気温・降水量の変動についてまとめる。

2. AOGCM-PLASIM-GENIEで用いた気候 変動をもたらす強制力とモデル出力

図1には、AOGCM-PLASIM-GENIEモデル の入力である気候変動強制力(モデル入力)と 過去25万年間の全球平均気温を再現結果を示し た。過去25万年間の氷期一間氷期の気温変化が



図1. AOGCM-PLASIM-GENIEの入力に使った気候変動 強制力と過去25万年間の全球平均気温変化のシミュ レーションの結果。軌道要素に関わる気候強制力は Berger and Loutre (1991; 1999)、氷床の拡大・縮 小に関わる気候強制力による強制力は海面変動から 推定 (Stap et al., 2017)、大気中の二酸化炭素濃度 による気候強制力は氷床コアの分析で得られたデー タ (Luethi et al., 2008)を利用。氷床拡大・縮小に 関わる気候強制力に関しては、海水準変動 (底生有 孔虫の酸素同位体から推定)と氷床の地理的分布と の関係を推定するPeltier ICE-5Gアイスモデルで求め た (Peltier、2004)。

よく再現されていることが確認できる。最終氷 期極大期 (22 ky BP)の四半期ごとの気温 (図2) と降水量 (図3)の再現結果を示す。氷期間氷期 の気候変動サイクル、最終氷期に赤道周辺の一 部の地域の降水量が増加する現象など、高解像 気候モデルを用いた再現結果や氷床コアから復 元された古気候変動と整合的である。

3. AOGCM-PLASIM-GENIEの推定と死海 湖底堆積物からの乾・湿変動の比較

国際陸上科学掘削計画 (ICDP-DSDDP) 死海 深層掘削プロジェクトでは、湖心部から最終さ れた掘削長456 mの湖底コア (Hole 5017-1-A) の 堆積物の解析をもとに過去22万年間の乾・湿 変動(水文学的変化)が復元された(Goldstein et al., 2021)。本コアの年代は、U-Th年代 (Torfstein et al., 2015)、炭素14年代(Kitagawa et al., 2017)、死海周辺の露頭とHole 5017-1-A の対応、死海堆積物のアラゴナイトと死海周辺 の洞窟炭酸塩堆積物のδ¹⁸Oマッチングなどを 総合的に検討することで構築され、優れた年代 軸を有している。AOGCM-PLASIM-GENIEを 使った気候変動再現とHole 5017-1-Aの堆積層 の解析から推定された乾・湿変動との比較を図 5a~図5dに示す。

AOGCM-PLASIM-GENIEの降水量の再現 と死海の湖底堆積物から復元された水文学的 変化には類似した変化パターンが認められる。 死海堆積物コアからの乾・湿変動の復元は、 主に湖底堆積物の堆積層の変化から推定され たもので、死海の湖水準と密に関係している。 湖水準が降水量の変化だけの理由で変化する わけでないが、AOGCM-PLASIM-GENIEでの 再現と死海の湖水準には類似した変動が認め られ、地中海東部レバントの気候変動をほぼ 再現していると考えられる。ホモ・サピエン スの拡散や行動の様式を規定する気候因子の 検討に利用可能である。

4. ダウンスケール

AOGCM-PLASIM-GENIEの出力の空間分 解能は経度方向64×緯度方向32(全球を2048 分割で約5.625°×5.625°のグリッド)であり、 ホモ・サピエンスの拡散や行動様式に対する 気候の影響を推定するためには空間分解能を 高める必要がある。低空間分解能の気候再 現データを現代の高空間分解能の観測デー タを用い補間する方式(Osborn et al., 2016; Melchionna et al., 2018)を採用することでダ ウンスケールする方法が提案されている(現 代の気候の地域パターンを利用する)。本研 究では、WorldClim(Hijmans et al., 2005)の 15000から50000地点の気象観測データを解 析して作成されたデータセットを用いての約 20 km×20 kmのグリッドデータを用いダウン

再

現

研究報告

ホモ・サピエンスの拡散モデルの構築に向けた過去25万年間の気候変動の再現



図2 AOGCM-PLASIM-GENIEモデルを用いて再現された最終氷期最盛期(22kyr BP)の四半期ごとの気温。現在 (0-1000 年) からの偏差で表示。気温の単位は℃。



図3 AOGCM-PLASIM-GENIEモデルを用いて再現された最終氷期最盛期(22kyr BP)の四半期ごとの降水量(mm/d)。 現在-1000年前の降水量からの偏差で表示。



図4 AOGCM-PLASIM-GENIEによる気候の再現領域(左) (グリッド、33.8-39.4°E、28.1-33.8°N) と過去25万年間の四半 期ごとの気温復元(右)



図5a. 国際陸上科学掘削計画 (ICDP-DSDDP) 死海深層掘削計画からの乾湿変動 (Goldsteinet al., 2021) とAOGCM-PLASIM-GENIEモデルを使い再現した降水量(mm/day)の比較

スケールする方法を採用した。グリッドS、時間T におけるモデル出力M(S,T)と現代(0-1000年 前)のモデル出力M(S,0)の違いを高解像度デー タC0に適用し(グリッド内の気候の地域パターンは 維持されると仮定)、時間Tの気候推定Ctを、

Ct=C0 + (M (S,T) - M (S,0))

として求めた。図4で示す領域(グリッド、 33.8-39.4°E、28.1-33.8°N)の最終氷期期(22 ky BP)のAOGCM-PLASIM-GENIEで再現された 年間平均気温M(S,22k)は16.76℃、現在の年間 平均気温(観測値)の再現値M(S,0)は19.81℃で ある(この領域の平均値)。最終氷期最盛期には モデルでは現在より-3.05℃だけ気温が低下したこ とになる。現代の気象観測をもとに作成された高 解像度データ(Hijmans et al., 2005)を-3.05℃だ け補正することで、最終氷期の高解像データセッ トを得た(図6)。降水量に関しても同様のダウン スケールテクニックが利用することができるが、M (S,0) >C0の場合には、モデルの特性上(特に乾 燥地帯)のバイアスから、

 $Ct = C0 \times M (S,T) / M (S,0)$



図6 33.8-39.4°E、28.1-33.8°Nのグリッドの最終氷期最 盛期(22 kr BP)の年平均気温再現のダウンスケール。 AOGCM-PLASIM-GENIEで再現された本グリッドの 最終氷期最盛期の年間平均気温は16.76℃、現在の年 間平均気温は19.81℃である。最終氷期最盛期には約 3℃の気温低下があったことになる。WorldClimの現代 の気象観測をもとに作成された高解像度のデータセット (Hijmans et al., 2005)を用いて、空間分解能を約20 km×20 km(10 minutes) にダウンスケールしている。

の方式を採用したほうがより正確な再現が可能 となる (Holden et al., 2019)。

まとめ

AOGCM-PLASIM-GENIEは限られた気候強 制力を入力としたシンプルなGCMである。地 球上のすべての地域での気候変動が必ずしも正 しく再現できているとは限らない。高解像モデ ル出力と本研究で利用したAOGCM-PLASIM-GENIEの出力を比較すると、氷床周辺部、複雑 な地形の地域、極度な乾燥地域(ダウンスケー ル法を工夫することで改善することが可能)な どでの違いが顕著である。実際に研究に用いる 場合は、本モデルでの気候の再現の限界を十分 に理解する必要がある。再現結果を古気候復元 などのデータと比較することで、再現結果の信 頼性を評価することが望まれる。

引用文献

- Berger, A. and Loutre, M.-F. (1991) Insolation values for the climate of the last 10 million years, Quaternary Sci. Rev. 10, 297-317, doi. org/10.1016/0277-3791 (91) 90033-Q.
- Berger, A. and Loutre, M.-F. (1999) Parameters of the Earth's orbit for the last 5 Million years in 1 kyr resolution, PANGAEA, doi.org/10.1594/ PANGAEA.56040.
- Goldstein, SL., Kiro, Yael., Torfstein A., Kitagawa, H., Tierney, J., Stein, M. (2020) Revised chronology of the ICDP Dead Sea deep drill core relates drierwetter-drier climate cycles to insolation over the past 220 kyr, Quaternary Science Reviews 244, doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106460.
- Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis (2005) Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology 25, 1965-1978, doi.org/10.1002/joc.1276.
- Holden, P.B., Edwards, N.R., Garthwaite, P.H., Fraedrich, K., Lunkeit, F., Kirk, E., Labriet, M., Kanudia, A., and Babonneau, F. (2014) PLASIM-ENTSem v1.0: a spatio-temporal emulator of

future climate change for impacts assessment, Geosci. Model Dev. 7, 433-451, doi.org/10.5194/ gmd-7-433-2014.

- Holden, P.B., Edwards, N.R., Rangel, T.F., Pereira.,
 E.B., Tran, G.F., and Wilkinson, R. D. (2019)
 PALEO-PGEM v1.0: a statistical emulator of
 Pliocene-Pleistocene climate. Geosci. Model Dev.,
 12, 5137–5155. doi.org/10.5194/gmd-12-5137-2019
- Nogués-Bravo, D., Rodríguez-Sánchez, F., Orsini, L., de Boer, E., Jansson, R., Morlon, H., Fordham, D. A., and Jackson, S. T. (2018) Cracking the Code of Biodiversity Responses to Past Climate Change, Trend. Ecol. Evolut. 33, 765–776, doi.org/10.1016/ j.tree.2018.07.005, 1–12.
- Melchionna, M., Di Febbraro, M., Carotenuto, F., Rook, L, Mondanaro, A., Castiglione, S., Serio, C., Vero, V. A., Tesone, G., Piccolo, M., Diniz-Filho, J. A. F., and Raia, P. (2018) Fragmentation of Neanderthals' pre-extinction distribution by climate hange, Palaeogeogr. Paleoclim. Palaeoecol. 496, 146–154, doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.01.031.
- Lenton, T. M., Williamson, M. S., Edwards, N. R., Marsh, R., Price, A. R., Ridgwell, A. J., Shepherd, J. G., Cox, S. J., and The GENIE team (2006) Millennial timescale carbon cycle and climate change in an Efficient Earth system model, Clim. Dynam. 26, 687–711, doi:10.1007/s00382-006-0109-9.
- Lüthi, D., Le Floch, M., Bereiter, B., Bluner, T., Barnola, J.-M.,Siegenthaler, U., Raynaud, D., Jouzel, J., Fischer, H., Kawamura, K., and Stocker, T. F. (2008) High-resolution carbon dioxide concentration record 650,000–8 00,000 years before present, Nature, 453, 379–382, 2008.
- Osborn, T. J., Wallace, C. J., Harris, I. C., and Melvin, T. M. (2016) Pattern scaling using ClimGen: monthlyresolution future climate scenarios including changes in the variability of precipitation, Clim. Change, 134, 353–369, doi.org/10.1038/nature06949.
- Peltier, W. (2004) Global isostasy and the surface of the ice-age Earth: The ICE-5G (VM2) model and GRACE, Annu. Rev. Earth Pl. Sc., 32, 111–149, doi. org/10.1146/annurev.earth.32.082503.144359.

- Rahbek, C. (2005) The role of spatial scale and the perception of largescale species-richness patterns, Ecol. Lett. 8, 224–239. doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00701.x
- Rasmussen, C. E. (2004) Gaussian processes in machine learning, in: Advanced Lectures on Machine Learning, edited by: Bousquet, O., von Luxburg, U., and Rätsch, G., Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- Svenning, J. C., Eiserhardt, W. L., Normand, S., Ordonez, A., and Sandel, B. (2015) The Influence of Paleoclimate on Present-Day Patterns in Biodiversity and Ecosystems, Annu. Rev. Ecol. Evolut. System. 46, 551–572, doi.org/10.1146/ annurev-ecolsys-112414-054314.
- Tebaldi, C. and Arblaster, J. M. (2014) Pattern scaling: Its strengths and limitations, and an update on the latest model simulations, Clim. Change 122, 459–471, dio/org/10.1007/s10584-013-1032-9.

モンゴル北部サンギンダライ湖の湖底堆積物 から復元される最終氷期以降の植生変遷 ~周辺地域の植生変遷との比較~

- 長谷川 精 高知大学 理工学部
- 今岡 良介 高知大学大学院 理工学専攻
- 志知 幸治 森林総合研究所 四国支所
- **イチノロフ** N. モンゴル古生物研究所
- 勝田 長貴 岐阜大学 教育学部
- 出穂 雅実 都立大学 人文社会学部

はじめに

本研究では、ホモ・サピエンスのアジア拡 散期の北ルートに位置する、モンゴル北部〜ザ バイカル地域 (Mongolia – The Baikal: MOTB と呼ぶ)における最終氷期以降の古環境変動お よび植生変遷の解明を目的としている。モン ゴル北部およびザバイカル地域に分布する遺 跡の発掘調査から、上部旧石器時代初期 (約4.5 〜4万年前)の複数の遺跡群が発見されている (Zwyns et al., 2014; Rybin et al., 2016; Izuho et al., 2019)。しかし、この時代のMOTB地域の 古環境変動は、バイカル湖やコトケル湖、フブ スブル湖の堆積物記録の解析などに限り (e.g., Shichi et al., 2009, 2013; Katsuta et al., 2018, 2019)、十分には解明されていない。

我々は、モンゴル北西部フブスグル県南部に 位置するサンギンダライ湖 (N49°15'42.8"; E98° 56'5.8";標高1885 m;水深約25 m;図1)におい て、2016年7月に表層コア (16SD01,02)の採取 を、2019年3月にボーリング掘削を行い、5本 のボーリングコア試料 (19SD01~05)を採取し た。そして採取したコア試料を日本に輸送し、 含有花粉化石分析と、主要・微量元素組成分析 を行い、最終氷期以降のモンゴル北部の古環境 変動と植生変遷を復元した (長谷川ほか2020、 A03班2019年度研究報告書)。



図1 サンギンダライ湖と掘削地点の位置

本報告では、現時点までに得られている最終氷 期以降のモンゴル北部の植生変遷の結果を示すと 共に、周辺地域の花粉記録から復元される植生 変遷と比較することにより、最終氷期以降の北アジ アにおける植生変遷を時空間的に考察する。

研究方法

サンギンダライ湖でボーリング掘削により 採取された湖底堆積物コア試料は、高知大学 海洋コア総合研究センターに輸送し、半割や スラブ試料およびLLチャネル試料への分割作 業を行った。スラブ試料は、XRFコアスキャ ナー(Itrax)を用いて、0.2 mm解像度で主要・ 微量元素組成分析を行った。その後、得られ た元素組成データに基づき、5本のコアの対比 と、複合コア柱状図の作成を行った。その結 PaleoAisa Project Series 34



図2 サンギンダライ湖コア (16SD02, 19SD01~05)の対 比と複合柱状図の構築

果、コア間の未回収堆積物の間隙が部分的に見 られるものの、ほぼ連続的な約13 m長の複合 柱状図が構築された(図2)。

湖底堆積物の年代モデルは、土壌試料の ¹⁴C年代により算出した。現時点では表層コア (16SD02)の¹⁴C年代のみが得られている(長谷 川ほか、2020)。19SD01, 19SD02, 19SD05から 分取した土壌試料16試料の¹⁴C年代測定は東濃 地科学センターに依頼中である。現時点では 岩相が茶灰色シルトから茶褐色泥へと岩相が 大きく変化する、湖底面からの深度4 mのとこ ろを更新世/完新世境界とした暫定的な年代モ デルで以下の考察を進める。

花粉分析と植生 (バイオーム) 復元

花粉の抽出・観察は、森林総合研究所におい て以下の手順で行った。①試料を秤量し、2万 個/mLに調整したマーカーを入れる。②アル カリ可溶成分の除去(KOH処理)。③炭酸塩の 除去(HCl処理)。④重液分離による花粉の抽 出(ZnCl₂処理)。⑤植物質の分解(アセトリシ ス処理)。⑥プレパラートへの封入。⑦顕微鏡 での観察と花粉種の同定。

現時点では、①16SD02から34試料(過去2800 年間)、②19SD01から10試料(5~18ka頃)、③ 19SD02から2試料(18~22ka頃)、④19SD03 から12試料(退氷期頃)、⑤19SD05から9試料 (22~29ka頃)の、合計67試料の花粉分析を行っ た。1試料につき花粉を300~500個カウントし、 花粉含有量をマーカーから定量的に復元した。

同定した花粉種の割合から、バイオマイゼーション 法 (Prentice *et al.*, 1996; Tarasov *et al.*, 2000; 五 反田・福澤、2002)を用いて植生帯 (バイオーム)の 変遷を復元した (図3)。更に本研究では、Harrison & Prentice (2003) やFletcher *et al.* (2010)、 Feurdean *et al.* (2014) で用いられたメガバイオーム 区分を東アジアの花粉種に適用し、植生の割合の 変化を復元することを試みた (図4、図5、表1)。

ここで上記2つの植生復元法の違いについて概 説する。バイオマイゼーション法では花粉群集組 成を植物機能型 (Plant Functional Type: PFT) に分類し、PFTに含まれる花粉種の産出率から 0.5を引いて平方根を取った値を、PFTのスコア として計算し、各PFTの合計値で植生 (Biome) のスコアを算出する (Prentice et al., 1996)。例 えばヨモギ属 (Artemisia) の花粉は砂漠草本とス テップ草本の2つのPFTに分類され、一方でイ ネ科 (Poaceae) の花粉はイネ科草本という1つの PFTに分類される。仮にヨモギ属が25.5%である 場合、ヨモギ属が属する砂漠草本PFTとステッ プ草本PFTのそれぞれのPFTスコアは25.5-0.5 の平方根をとった5となる。そして、各PFTが属 する植生に分類し、各PFTスコアを全て足した 値がその植生のスコアとなる。例えば、砂漠草本 PFTは砂漠とステップの2つの植生に分類され、 イネ科草本PFTはステップとツンドラの2つの植 生に分類される。仮に砂漠草本とステップ草本 のPFTスコアがそれぞれ5と7の場合、それら2つ から構成される砂漠植生は、5+7で12というスコ アとなる。このように植生のスコアを計算するや り方がバイオマイゼーション法であり、図3に示 したグラフはこの計算法によるものである。

バイオマイゼーション法を用いて現生の表 層花粉の記録から復元した植生 (Biome) は、 実際の植生分布とも比較的良く一致している (Binney et al., 2017)。しかしながら、バイオ マイゼーション法では最も優占した植生のみ を示すため、幾つか混在する植生がどの程度

研究却

の割合で存在しているかを示すことができず、 Biomeスコアと実際の植生とが必ずしも一致し ない地域が出るという問題が生じる。また、植 生の割合の時空間的変化を示せないという問 題がある。例えばこの手法でサンギンダライ 湖の植生を復元すると、最終氷期から現在まで 一貫してステップ植生となるが、実際は最終氷 期から完新世にかけてステップ植生の割合は 減少し、完新世にはタイガ針葉樹の植生の割合 が相対的に増加している(図3)。

そこで我々は、ヨーロッパの花粉データを 基にメガバイオーム区分に基づいて植生の割 合の変化を示したFeurdean *et al.* (2014)の手 法を踏襲し、東アジア〜北アジアの花粉記録 と植生帯の関係 (Tarasov *et al.*, 2000; Cao *et al.*, 2019)と統合することにより、東アジア〜北ア ジアから産する花粉群集に対応するメガバイ オーム区分の構築を試みた (表1)。

Feurdean et al. (2014)の用いた手法では、 各メガバイオームに含まれる花粉種の産出率 を足し合わせて、全メガバイオームの産出率の 合計を分母に取った百分率で計算する。この 手法を我々のメガバイオーム区分に基づき東 アジア〜北アジアの植生の割合の時空変遷を 復元した結果が図4、図5である。この結果を見 ると、ロシア極北地域でツンドラ植生が多く、 モンゴル南部やタジキスタンで砂漠植生が多 いという、緯度帯に応じた顕著な傾向が出てお り、我々の手法で植生の時空変遷を定量的に復 元できるようになったと評価できる。

ただし我々が構築した現状の区分では、同一 花粉種が異なるメガバイオーム区分にまたがっ て存在するため(表1)、各メガバイオームのみに 存在する単一の花粉種の産出比率に基づいて、 複数のメガバイオームに存在する花粉の割合を 計算するという方法を取っている。このやり方 では、例えば砂漠植生やステップ植生の両者で 産出するアカザ科 (Chenopodiaceae) やヨモギ属 (Artemisia) の産出率を、砂漠植生においてのみ 存在する単一花粉であるマオウ属 (Ephedra) の 産出率に応じて計算することになるため、結果 がマオウ属の花粉の産出率に大きく依存するこ とになる。この問題は特に植生帯の境界部に位 置する、本研究対象のサンギンダライ湖の結果 に大きく影響しており、砂漠植生とステップ植生 の割合の変化が現状では正確に復元できていな い可能性がある。したがって、本報告で示した メガバイオーム区分(表1)と、それを基に植生 の時空間変遷を復元した結果 (図4、図5) は未だ 改良の余地があり、暫定的なものである。



図3 サンギンダライ湖堆積物コアから復元された元素組成および植生帯の変化と, 暫定的な年代モデルに基づくグリーンランド 氷床コアの気温偏差記録との比較

下線は単一のメガバイオームで見られる花粉種を示す.					
Mega-biome	Characteristic pollen taxa				
Tundra (ツンドラ)	Poaceae (イネ科), Cyperaceae (カヤツリグサ科), <u>Betula nana (カバノキ属矮性タ イプ)</u> , Asteraceae (キク科), Brassicaceae (アブラナ科), <i>Thalictrum</i> (カラマツソウ 属), <i>Salix</i> (ヤナギ属), Ranunculaceae (キンポウゲ科)				
Conifer (針葉樹)	<u>Pinus(マツ属)</u> , Larix(カラマツ属), <u>Picea(トウヒ属)</u>				
Cold deciduous (寒带落葉樹)	<u>Betula tree-type(カバノキ属高木タイプ)</u> , Larix (カラマツ属), Almus (ハンノキ属), Salix (ヤナギ属)				
Temperate deciduous (温帯落葉樹)	<u>Tilia (シナノキ属)</u> , Almus (ハンノキ属)				
Steppe (ステップ)	<i>Artemisia</i> (ヨモギ属), Poaceae (イネ科), Cyperaceae (カヤツリグサ科), Asteraceae (キ ク科), Chenopodiaceae (アカザ科), Brassicaceae (アブラナ科), <i>Thalictrum</i> (カラ マツソウ属), Ranunculaceae (キンポウゲ科), <u>Apiaceae (セリ科)</u> , <u>Fabaceae (マメ科)</u> , <u>Lamiaceae (シソ科)</u> , <u>Rosaceae (バラ科)</u>				
Desert (砂漠)	Artemisia (ヨモギ属), Chenopodiaceae (アカザ科), <u>Ephedra (マオウ属)</u>				

表1 本研究で用いた東アジア〜北アジアのメガバイオーム区分と対応する主な産出花粉.



図4 本研究で構築したメガバイオーム区分に基づく東アジア〜北アジアにおける植生の割合の時空間的変遷.

研究報告



図5 本研究で構築したメガバイオーム区分に基づく東アジア〜北アジアにおける植生の割合の時空間的変遷と、グリーン ランド氷床コア記録および夏季日射量変動との比較

結果・考察

元素組成変化から復元される モンゴル北部の古環境変動

まずXRFコアスキャナー分析による元素組成変 動、特に炭酸塩量を示すCa/Ti比、湖底還元度 の指標となるMn/Fe比、砂量を示すSi/Ti比の変 化から明らかになったモンゴル北西部の古環境変 動について概説する。

最終氷期に対応すると考えられる湖底面からの 深度4~13 mは、黒灰色砂と緑灰色シルト質砂、 茶灰色シルトの互層からなり、Ca/TiとMn/Feは 特に茶灰色シルト層で高く、湖底が酸化的な塩湖 環境が断続的に発達していたと解釈される。暫定 的な年代モデルによると、Ca/TiとMn/Feが高い 層準はB/A (ベーリング/アレレード) 温暖期やDO (ダンスガードオシュガー) サイクルの亜間氷期の ような、最終氷期の中での温暖期に対応している (図3)。このことから、最終氷期の中でも急激な 温暖化が起こった時には、サンギンダライ湖は干上 がった氾濫原の環境から、相対的に湿潤な塩湖環 境に変わったことが示唆される。一方でSi/Ti比は 黒灰色砂層で高く、特に最終氷期最寒期 (LGM) に対応する層準で厚い砂層が発達していた。この ことから、最終氷期の中での寒冷期には、サンギ ンダライ湖は干上がった氾濫原の環境であったと考

えられる。

次に完新世に対応すると考えられる湖底面から の深度0~4 mは、茶褐色泥を主体とし、部分的に 年稿と考えられるラミナも発達する。完新世前期に はCa/Ti比がやや高い傾向を示すが、Mn/Feと の相関は悪く、Si/Ti比は一貫して低い。年稿ラミ ナが発達することと合わせて考えると、この時期に は塩湖環境ではなく、比較的湖水位が高い環境で あったと考えられる。

以上のことから、最終氷期にサンギンダライ湖は 浅い塩湖環境、もしくは湖が干上がって氾濫原環 境であったと考えられる。LGMの寒冷期には干上 がった氾濫原環境だったのに対して、B/AやDO 亜間氷期の温暖期には降雨量が増えることにより、 浅い塩湖環境に変わったと示唆される。一方で完 新世には現在のサンギンダライ湖と同様に、湖水 位が高く湖底が還元的な環境が維持されていたと 考えられる。

花粉組成変化から復元されるモンゴル北 部の植生変遷

次に花粉分析に基づく植生変遷の結果を考察 する。最終氷期は全層準でArtemisia (ヨモギ属) が最も多く、48~71%を占めていた。次に多いのは Chenodiaceae (アカザ科)で8~36%であった。一 研究報

方で、過去2800年間や退氷期には多く産出する Pinus (マツ属) がほとんど産出せず、0~1%であっ た。また低木・草本花粉 (Non-Arboreal Pollen: NAP) が全層準で97%以上を占めていた。これら のことから、最終氷期においてサンギンダライ湖周 辺は、ステップ・砂漠植生が優占した、植生に乏 しい乾燥した環境であったと示唆される。

次に退氷期に対応する層準では、Artemisia (ヨ モギ属)が最も多く産出したが、28~52%と最終氷 期よりも減少した。次点はChenodiaceae (アカザ 科)で8~27%であり、最終氷期と同程度だった。 次に多いのがPinus (マツ属) であり、4~21%と最 終氷期に比べて急増していた。さらに完新世後期 の過去2800年間では、Artemisia (ヨモギ属) が最 も多く(42~66%)、次に多いのは高木のPinus (マ ッ属)、草本のGramineae (イネ科)、Cyperaceae (カヤツリグサ科) で、それぞれ5~24%、4~17%、 6~13%であった。また試料中の花粉含有量は、最 終氷期には非常に少ないが、完新世に入ると急増 していた。これらのことから、退氷期には依然とし てステップ植生が優占するものの、タイガやツンドラ 要素の割合も増加し、比較的湿潤な環境に変わっ たことが示唆される。

以上のことから、最終氷期では植生が乏しい乾 燥環境であったのに対し、完新世には依然として ステップが優占的ではあるものの、タイガやツンドラ 要素も増加して湿潤な環境に変わったことが明らか になった(図3)。この花粉分析からの植生復元の 結果は、上述した元素組成変化から推定される古 環境変動とも整合的である。

周辺地域の花粉記録との比較に基づく 東アジア〜北アジアの時空間的植生変遷

最後に、本研究で構築したメガバイオーム区分 (表1)に基づいて復元された、最終氷期から完 新世における周辺地域の時空間的な植生変遷の 結果について考察する(図4、図5)。まず研究対 象地域の南部に位置するタジキスタンのKarakul 湖(Aichner *et al.*, 2019)、モンゴル南部のOrog 湖(Yu *et al.*, 2019)、そしてモンゴル北部のサンギ ンダライ湖(本研究)の花粉記録から復元されたメ ガバイオームの割合を見ると、最終氷期から完新 世にかけて総じて砂漠およびステップの優占する植 生であったことがわかる。ただし、オログ湖の記録 を見ると、最終氷期にはステップ植生が優占する のに対し、15ka以降に砂漠植生に急激に変化した ことを示している(図5)。この植生変化のタイミング は夏季日射量変動と良く対応していることから、砂 漠植生とステップ植生の境界が日射量変動に対応 して15ka辺りに大きく変化した可能性を示す。ま たサンギンダライ湖の記録を見ると、総じて砂漠や ステップの植生が優占するものの、3番目の要素を 見ると最終氷期にはツンドラ植生が優占するのに対 し、完新世には針葉樹植生へと移り変わっており、 サンギンダライ湖も最終氷期から完新世にかけて植 生が移り変わったことを示唆する。

一方で研究対象地域の北部に位置するロシア 南部のKotokel湖 (Shichi et al., 2009)、ロシア中 部のBillyakh湖 (Müller et al., 2010)、極東ロシ アのAlut湖 (Lozhkin & Anderson, 2011)、そ してロシア極北のTaymyr Lake永久凍土セクショ ン (Andreev et al., 2003) の花粉記録から復元さ れたメガバイオームの割合を見ると、最終氷期に は総じてステップおよびツンドラの優占する植生で あったことがわかる。一方で14ka頃には寒帯落葉 樹植生の割合が相対的に増大し、完新世後期以 降になると針葉樹植生の割合が増加したことを示す (図4、図5)。この植生変化のタイミングも夏季日 射量変動との良い相関がみられる。さらに、Alut 湖およびKotkel湖の記録に関しては、DO12の亜 間氷期に対応すると考えられる針葉樹および落葉 樹植生の増大が見られる。

以上のことから、東アジア〜北アジアの植生は最 終氷期から完新世にかけて日射量変動とも対応した 植生変遷が見られることが明らかになった。特に対 象地域南部 (タジキスタン〜モンゴル)と北部 (ロシア) で優占する植生に顕著な違いが見られ、モンゴル北 部辺りに植生帯の境界が見られることが明らかになっ た。さらにDOイベントに伴う急激な気候変化に対し て、植生変化も応答していた可能性が示唆された。

サンギンダライ湖の記録はこの植生帯の境界付 近に位置するという点で非常に重要であると言え る。ただし現状では、サンギンダライ湖の花粉記録 から復元されたメガバイオームは総じて砂漠および

較

\$

ステップ植生が優占したことを示しており、最終氷 期から完新世にかけて周辺地域に比べると大きな 植生変遷の結果が見られない。これは、現状では 草本花粉の中で同定ができていないものが幾つか あるのが原因の可能性があり、今後この結果の妥 当性を評価して行く予定である。

まとめと今後の方針

本報告では、サンギンダライ湖の湖底堆積物試 料を用いて、モンゴル北部の最終氷期~完新世の 古環境変動と植生変遷を復元した。その結果、モ ンゴル北部は最終氷期に置いてステップ・砂漠植 生が支配的な乾燥環境であり、湖水がほぼ干上 がった氾濫原環境と、湖水位の低い塩湖環境で あったことが明らかになった。一方で、完新世には 比較的湿潤でステップとタイガ植生が混在する環 境であり、現在と同程度の湖水位が高く湖底が還 元的な環境に変わったことが示唆された。このよう にサンギンダライ湖堆積物は、最終氷期から完新 世の環境変動や植生変遷を鋭敏に記録している 可能性が明らかになった. 今後は¹⁴C年代測定に基 づく正確な年代モデルの構築と、未分析層準の花 粉分析を継続し、最終氷期から完新世にかけての 環境・植生変遷を詳細に復元する。特に、元素 組成変化として表れているBAやDO亜間氷期の急 激な温暖化イベントに対して、同地域の植生がど のように応答したのかを検証する。

本報告ではまた、独自に構築したメガバイオー ム区分に基づき、最終氷期から完新世における MOTBおよび周辺地域の時空間的な植生変遷の 復元を試みた。手法の妥当性を検討する必要があ るが、東アジア〜北アジアの植生は最終氷期から完 新世にかけて夏季日射量変動に対応した植生変遷 が見られることが明らかになった。特に対象地域南 部 (タジキスタン〜モンゴル)と北部(ロシア)で優占 する植生に顕著な違いが見られ、モンゴル北部辺 りに植生帯の境界が見られることが明らかになった。 さらにDOイベントに伴う急激な気候変化に対して、 植生変化も応答していた可能性が示唆された。

本研究で得られた時空間的な植生変遷の結果 は、O'ishi & Abe-Ouchi (2013)による植生結合 モデルの結果とも整合的であり、LGMに森林が減 少し、草本が増加した地域の分布が、本研究で 花粉記録から復元した植生変遷の結果と概ね一致 していた。今後はこの植生結合モデルのグループ とも連携して研究を進め、最終氷期以降の東アジ ア〜北アジアの古環境変動および植生変遷の詳細 を復元することを進める予定である。

そしてMOTBおよびその周辺地域の古環境およ び植生変遷の実態と、遺跡記録から得られている 石器の特徴や産出動物骨化石などと比較検討する ことにより、東アジア〜北アジアにおけるホモ・サピ エンスの行動や居住環境の動態との対応関係が、 より詳細に議論できると期待される。

引用文献

- Aichner, B., Makhmudov, Z., Rajabov, I., Zhang, Q., Pausata, F. S., *et al.* (2019). Hydroclimate in the Pamirs Was Driven by Changes in Precipitation - Evaporation Seasonality Since the Last Glacial Period. *Geophysical Research Letters*, 46(23), 13972-13983.
- Andreev, A. A., Tarasov, P. E., Siegert, C., Ebel, T., Klimanov, V. A., *et al.* (2003) . Late Pleistocene and Holocene vegetation and climate on the northern Taymyr Peninsula, Arctic Russia. *Boreas*, 32 (3) , 484-505.
- Binney, H., Edwards, M., Macias-Fauria, M., Lozhkin, A., Anderson, P., Zernitskaya,V. (2017) Vegetation of Eurasia from the last glacial maximum to present: Key biogeographic patterns. *Quaternary Science Reviews*, 157, 83-90.
- Cao, X., Tian, F., Li, F., Gaillard, M. J., Rudaya, N., *et al.* (2019). Pollen-based quantitative land-cover reconstruction for northern Asia covering the last 40 ka cal BP. *Climate of the Past*, 15(4), 1503-1536.
- Feurdean, A., Perşoiu, A., Tanţău, I., Stevens, T., Magyari, E. K., *et al.* (2014). Climate variability and associated vegetation response throughout Central and Eastern Europe (CEE) between 60 and 8 ka. *Quaternary Science Reviews*, 106, 206-224.
- Fletcher, W. J., Goni, M. F. S., Allen, J. R., Cheddadi, R., Combourieu-Nebout, N., *et al.* (2010). Millennialscale variability during the last glacial in

研究報告

vegetation records from Europe. *Quaternary Science Reviews*, 29 (21-22), 2839-2864.

- 五反田克也、福澤仁之 (2006) バイオマイゼーション (Biomization) 法を用いた日本列島の過去 2 万年間 のバイオーム分布復元. *地学雑誌*, 115, 125-135.
- Harrison, S. P., & Prentice, C. I. (2003) . Climate and CO2 controls on global vegetation distribution at the last glacial maximum: analysis based on palaeovegetation data, biome modelling and palaeoclimate simulations. *Global Change Biology*, 9 (7), 983-1004.
- 長谷川精、今岡良介、志知幸治、N. イチノロフ、勝田 長貴、出穂雅実(2020)、モンゴル北部サンギンダライ 湖の湖底堆積物から復元される最終氷期~完新世の 古環境変動と植生変遷(予察)、パレオアジア文化史学 A03班2019年度研究報告書、7-12.
- Izuho, M., Terry, K., Vasil'ev, S., Konstantinov, M., Takahashi, K. (2019) Tolbaga revisited: Scrutinizing occupation duration and its relationship with the faunal landscape during MIS 3 and MIS 2. *Archaeological Research in Asia*, 17, 9-23.
- Katsuta, N., Ikeda, H., Shibata, K., Saito-Kokubu,
 Y., Murakami, T., *et al.* (2018) . Hydrological and climate changes in southeast Siberia over the last 33 kyr. *Global and Planetary Change*, 164, 11-26.
- Katsuta, N., Matsumoto, G. I., Hase, Y., Tayasu, I., Haraguchi, T. F., *et al.* (2019) Siberian permafrost thawing accelerated at the Bølling/Allerød and Preboreal warm periods during the last deglaciation. *Geophysical Research Letters* 46. https://doi.org/10.1029/ 2019GL084726.
- Lozhkin, A. V., & Anderson, P. M. (2011) . Forest or no forest: implications of the vegetation record for climatic stability in Western Beringia during Oxygen Isotope Stage 3. *Quaternary Science Reviews*, 30 (17-18) , 2160-2181.
- Müller, S., Tarasov, P. E., Andreev, A. A., Tütken, T., Gartz, S., Diekmann, B. (2010) . Late Quaternary vegetation and environments in the Verkhoyansk Mountains region (NE Asia) reconstructed from a 50-kyr fossil pollen record from Lake Billyakh. *Quaternary Science Reviews*, 29 (17-18) , 2071-2086. North Greenland Ice Core Project members (2004)

High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period. *Nature*, 431, 147-151.

- O'ishi, R., & Abe-Ouchi, A. (2013) . Influence of dynamic vegetation on climate change and terrestrial carbon storage in the Last Glacial Maximum. *Climate of the Past*, 9 (4) , 1571-1587.
- Prentice, C., Guiot, J., Huntley, B., Jolly, D., Cheddadi, R. (1996) Reconstructing biomes from palaeoecological data: a general method and its application to European pollen data at 0 and 6 ka. *Climate Dynamics*, 12 (3), 185-194.
- Rybin, E.P., Khatsenovich, A.M., Gunchinsuren, B., Olsen, J. W., Zwyns, N. (2016) The impact of the LGM on the development of the Upper Paleolithic in Mongolia. *Quaternary International*, 425, 69-87.
- Shichi, K., Takahara, H., Krivonogov, S. K., Bezrukova, E. V., Kashiwaya, K., Takehara, A., & Nakamura, T. (2009) . Late Pleistocene and Holocene vegetation and climate records from Lake Kotokel, central Baikal region. *Quaternary International*, 205 (1-2) , 98-110.
- Shichi, K., Takahara, H., Hase, Y., Watanabe, T., Nara, F. W., et al. (2013) . Vegetation response in the southern Lake Baikal region to abrupt climate events over the past 33 cal kyr. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 375, 70-82.
- Tarasov, P. E., Volkova, V. S., Webb III, T., Guiot, J., Andreev, A. A., *et al.* (2000) Last glacial maximum biomes reconstructed from pollen and plant macrofossil data from northern Eurasia. *Journal of Biogeography*, 27, 613-614.
- Yu, K., Lehmkuhl, F., Schlütz, F., Diekmann, B., Mischke, S., et al. (2019). Late Quaternary environments in the Gobi Desert of Mongolia: Vegetation, hydrological, and palaeoclimate evolution. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 514, 77-91.
- Zwyns, N., Gladyshev, S. A., Gunchinsuren, B., Bolorbat, T., Flas, D., *et al.* (2014). The openair site of Tolbor 16 (Northern Mongolia): Preliminary results and perspectives. *Quaternary International*, 347, 53-65.

モンゴル南西部・オログ湖湖底堆積物の 最終氷期における硫黄安定同位体組成変動

- 勝田 長貴 岐阜大学 教育学部
- 世一 実紅 岐阜大学 教育学部
- 内藤さゆり 岐阜大学教育学部
- 香川 雅子 岐阜大学 教育学部

はじめに

新人(ホモ・サピエンス)がユーラシアを 拡散した最終氷期(約70 ka~約11.7 ka. 1 ka = 1000年前)は、大陸内陸では顕著な寒冷乾燥化 が進んだ。これは、地質学・生態学的証拠や 数値実験により1980年代には明らかにされて いた (Manabe and Broccoli, 1985)。また、グ リーランド氷床コアや北大西洋の深海堆積物 の研究からは、最終氷期にダンスガードエシュ ガーサイクル (DOC) やハインリッヒイベント (HE)と呼ばれる、数十年で10℃の急激な温暖 化が百年~千年単位で生じたことが報告され (NGRIP, 2004)、その影響はユーラシア内陸の バイカル湖の湖底堆積物の記録でも見出され た (Katsuta et al., 2018)。このうち、最終氷期 から完新世へ移行する最終退氷期(約15 ka~約 0.8 ka) においては、シベリア永久凍土の融解 が進んだことがモンゴル北部のフブスグル湖 の湖底堆積物記録から示された (Katsuta et al., 2019)。特に、HE0に対応するベーリング・ア レレード (BA) 温暖期や、ヤンガードリア寒 冷期(12.9 ka~11.5 ka)の直後に生じたプレボ リアル (PB) 温暖期では、永久凍土の融解が加 速し、それに伴って、シベリアトウヒなどの 植生がバイカル湖周辺地域に広がったことが 示された。さらに、トランスバイカルやアムー ル流域の遺跡の土器年代がBAやPBに対応する ことが報告された (Iizuka, 2019)。こうした古 気候記録と考古学研究の結果の対応性は、最 終氷期における急激な温暖化に伴い、新人の居 住範囲が一時的に北方へ拡大したことを示唆 する。さらには、ユーラシア大陸における新人 の拡散は、北ルートと南ルートに分かれて考え られてきたが、最終氷期の寒冷期には新人が南 ルートまで南下し、温暖期には北ルートまで北 上したとする新たな仮説の提示につながる(図 1;勝田, 2020)。

フブスグル湖湖底堆積物の最終退氷期にお ける永久凍土融解の証拠は、硫黄濃集層とそ



図1 ユーラシアにおける遺跡の分布と新人の移動ルート (Goebel, 2007を一部改変)。赤線はアラビア半島か らバイカル湖に至る北ルート、青線はアラビア半島 からインド半島に至る南ルートを示す。新人は、アラ ビア半島から北ルートと南ルートに分かれてユーラ シアを拡散したと考えられている(Goebel, 2007)。 これに対して、本研究は、北ルートを新人が最終氷 期におけるDOCやHEの温暖期に北上したライン、南 ルートがDOCやHEの温暖期の寒冷期に南下したライ ン、を意味する仮説を提唱する。つまり、最終氷期 の急激な気候変動に伴って、新人は南北方向に大陸 スケールで移動したということである。 PaleoAisa Project Series 34

の安定同位体比 (δ³⁴S)の正の異常から導き 出された (Katsuta et al., 2019)。本研究では、 こうした永久凍土変動に伴う環境中での硫黄 の挙動が他地域の永久凍土地帯でも見られる のかを検証することを目的とし、ゴビ砂漠西 部のオログ湖における最終氷期の湖底堆積物 と2014年に採取したオログ湖の湖水と河川水 の分析を実施した。本稿では、その結果と安 定硫黄同位体比変動の陸水学的意味を報告す る。

堆積物コア、水と分析方法

オログ湖でのボーリング掘削は、2017年 1月に結氷した湖上(水深約2m)で行われ、 Orog01(約24 m長; N45°47.2", E100°36'31.5")、 Orog02 (約21 m長; N45° 47.3", E100° 36'32.3") の2本のコアが採取された (図2と図3; 長谷川ほ か2019)。本研究で用いた試料はOrog01であ り、Uチャンネンルで分取された連続試料を2 cm毎に分取し、凍結乾燥させた。その後、約 0.1 gの乾燥試料をメノウ乳鉢で粉砕混合した。 水の試料については、2014年8月に、オログ 湖と流入河川 (Tuyn川) にて、現地で0.2 μ m フィルタで濾過した。そしてHClとBaCl₂を用 いてBaSO₄粉末試料を準備した。堆積物中の硫 黄含有量 (TS) 分析は岐阜大学既設のマイクロ コーダー (J-Science Lab JM10)、 δ^{34} S分析は 総合地球環境学研究所既設のS-IRMS (Thermo Scientific Flash 2000とDelta V Plus) を用いて 行った。



図2 モンゴル南西部のオログ湖と永久凍土分布



図3 オログ湖と掘削地点

研究却

結果と考察

Orog01コアの年代は、¹⁴C年代測定を行うた めに試料準備と全有機炭素量の分析を行った。 Orog01コアの堆積物は、コア深度0~500 cmで はシルトを主体とするが、500~2200 cmではシ ルト~砂質であった。¹⁴C年代測定は、シルトの 層準を選択して測定を依頼したが、測定に必要 な全有機炭素が含まれていなかったため、再度 試料を選び、測定依頼中である。また、OSL年 代測定が実施されてきたが、コア深度1100 cm 以深では、層準に対する年代値の逆転などが見 られ、精度良く決まらなかった(長谷川私信)。

そこで本研究では、Yu et al. (2019)で報告 されたオログ湖湖底堆積物の年代軸をもとに、 Orog01の堆積年代の推定を行った。オログ湖で は、2007~2008年にかけて湖水がほぼ完全に干上 がった。この期間において、ドイツのLehmkuhl 教授らのグループは、Orog01から西方に約2 km の地点ONW Bで掘削を行い、その研究成果が 2019年に公表された (図4: Yu et al. 2019)。その 研究結果と本研究結果を比較すると、ONW B のコア深度0~200 cm (~11 ka) は~18 cm/kyrs の堆積速度を持ち、この層準はOrog01の0~500 cmに対応する (~45 cm/kyrs)。このことか ら、Orog01はONW Bに比べて約2.5倍の堆積速 度を持つことが分かった。ONW Bのコア深度 200~1335 cm (11~45 ka) については堆積速度が ~33 cm/kyrsであり、完新世の堆積速度に比べ て1.8倍であった。この結果と、S含有量データ のOrog01とONW Bの比較から、Orog01のコア 深度500~2200 cmは11~30 kaの期間に対応する

と考えられる。この場合のOrog01の堆積速度は ~89 cm/kyrsとなり、完新世の堆積速度の約2.0 倍となる。これは、ONW Bの結果とほぼ整合す る。そこで本研究では、こうしたONW B の堆 積年代から推算されるOrog01の堆積速度を用い て、Orog01のTS含有量と δ^{34} S変動の古気候学 的考察を行った。

図5に、Orog01コアの含水率、TS、 δ^{34} Sと グリーランド氷床コアδ¹⁸Oを示す。コア深度 0-500 cmにおける含水率の上昇は、炭酸塩を主 体とする細粒堆積物から構成されることに起 因している。この原因は、完新世における炭酸 塩の沈殿が、気温上昇に伴い、永久凍土や山岳 氷河から物質(土壌とイオン)の増加と、蒸発 の促進によって生じたためと考えられている (Yu et al. 2019)。その一方で、コア深度500-2200 cmに対応する最終氷期の堆積物には、炭 酸塩を含まず、砕屑物を主体とする鉱物粒子か ら構成される。この最終氷期の堆積物中のTS 含有量はほとんどの層が0.5%以下であったが、 深度900 cm、1100 cm、1800~2150 cmでは0.5% 以上のTS含有量の増加が認められた。これら の層準では5‰以上の δ^{34} S値を示し、それ以外 の層準の多くは負の値を示した。

表1に、オログ湖と流入河川の水の硫酸イオ ン (SO_4^2) の $\delta^{34}S$ の結果を示す。現在のオログ湖 の湖水と水における硫酸イオン (SO_4^2) の $\delta^{34}S$ は 8.17~8.37‰であり、流入河川は6.83‰であった。

有機物を含む湖底の堆積物中では、硫酸還 元バクテリアがSO4²の酸素を利用して有機物 を分解し、硫化水素、元素状硫黄などの硫黄



図4 オログ湖で掘削されたONW B (ドイツグループ; Yu et al. 2018) とOrog01 (本研究)の対比

硫化物を放出する。このときの動的同位体効 果によって生成する硫化化合物には³²S、残 りのSO₄²⁻には³⁴Sが濃縮する(Canfield and Thamdrup, 1994)。それらの同位体比の差は、 16~42‰(平均で28‰)とされる。そして硫酸 還元で生じた硫化化合物はFe²⁺として、鉄硫化 物として保持される。これをもとに、オログ湖 の湖底堆積物の³²Sが鉄硫化物として完全に堆 積物中に保持されたと仮定すると、現在の湖水 $OSO_4^2 - \delta^{34}Sid、約-20‰となる。これにより、$ 図5に見られる約-20‰を示す層準は、現在の湖 $水と類似<math>OSO_4^2 - \delta^{34}Sid$ であったと見なすこと ができる。

その一方で、Orog01コアの深度900 cm、 1100 cm、1800~2150 cmで見られた5‰以上の δ^{34} S値の層準では、先に述べたように、³²Sの 濃縮した硫化化合物が堆積物中にすべて保持 されたと仮定すると、堆積時の湖水のSO₄²- δ^{34} Sは、30~40‰であったと予想される。した



図5 Orog01コアの堆積記録とグリーランド氷床コア記録 ^{5 18}O (NGRIP, 2004)の比較

表1 オログ湖とTuyu川の水質

Location	Water temperature	pН	SO4 ²⁻	δ^{34} S
(2014.8.28)	(°C)		(mg/L)	(‰)
Tuyu River	23.4	8.63	19.63	6.83
Lake Orog				
0 m	21.8	9.11	281.7	8.37
0.6 m	20.5	9.12	326.9	8.17

がって、この時期のSO₄²- δ ³⁴Sの上昇は、永 久凍土の融解によって説明することできる (Katsuta et al., 2019)。これは、永久凍土の融 解に伴って活動層が拡大すると、硫酸還元バ クテリアによる有機物分解で硫化水素が発生 し、これにより、河川や地下水を通じて集水域 から供給される水のSO₄²- δ ³⁴Sは増加するとい うことである。現在のオログ湖周辺の永久凍 土は、Tuyn川の上流域に分布しており(図2)、 その川のSO₄²- δ ³⁴Sは湖水に比べて約1.5‰低い 値を示す(表1)。この差の原因は地下水の寄与 によるものと考えられ、Tuyu川は降水(~6‰) の影響を受けたことで、湖水と河川水(地表 水)の差が生じたと説明することができる。

最終氷期におけるオログ湖周辺の永久凍土融 解の原因については、グリーンランド氷床コアる ¹⁸Oとの比較から、フブスグル湖の湖底堆積物で 観察された最終退氷期のBAやPB、ハインリッヒ イベントH2の温暖期によるものと予察的結果か ら推察される。これは、現在のオログ湖周辺に は永久凍土が分布していないが、最終氷期には ゴビ砂漠南部まで連続永久凍土地帯が広がって いたことで説明することができる (Owen et al., 1998)。今後は、(1) Orog01コアの堆積年代を確 立することで永久凍土変動を誘因するトリガー を解明すること、(2) 今回得られた、河川水、湖 水及び堆積物のる³⁴Sの関係性は永久凍土融解を 示す証拠となり得るかを他の永久凍土地帯の湖 沼で検証していくこと、が課題となる。

引用文献

- Canfield, D., Thamdrup, B., 1994. The production of ³⁴S-depleted sulfide during bacterial disproportionation of elemental sulfur. Science 266, 1973-1975.
- 長谷川精・勝田長貴・田村亨・出穂雅実(2019): モン ゴル南西部オログ湖堆積物から復元される最終氷 期~完新世の古環境変動(予察).科学研究補助金 新学術領域研究「パレオアジア文化史」,計画研究 A03 平成30年度研究報告書, 9-13.

Iizuka, F., 2019. The timing and behavioral context

of the Late-Pleistocene adoption of ceramics in greater East and Northeast Asia and the first people (without pottery) in the Americas. PaleoAmerica 4, 267-327.

- 勝田長貴(2020): 最終退氷期におけるシベリア永久凍 土の大規模融解と人類への影響. 科学研究補助金新 学術領域研究「パレオアジア文化史」, 計画研究A03 平成31年度研究報告書, 17-22.
- Katsuta, N., Ikeda, H., Shibata, K., Saito-Kokubo, Y., Murakami, T., Tani, Y., Takano, M., Nakamura, T., Tanaka, A., Naito, S., Ochiai, S., Shichi, K., Kawakami, S.-I., Kawai, T., 2018. Hydrological and climate changes in southeast Siberia over the last 33 kyr. Global and Planetary Change 164, 11-26.
- Katsuta, N., Matsumoto, G. I., Hase, Y., Tayasu, I., Haraguchi, T. F., Tani, E., Shichi, K., Murakami, T., Naito, S., Nakagawa, M., Hasegawa, H., Kawakami, S.-I., 2019. Siberian permafrost thawing accelerated at the Bølling/Allerød and Preboreal warm periods during the last deglaciation. Geophysical Research Letters 46, 13961-13971.
- Manabe, S., Broccoli, A. J., 1985. The influence of continental ice sheets on the climate of an Ice Age. Journal of Geophysical Research D1, 2167-2190.
- North Greenland Ice Core Project, 2004. Highresolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period. Nature 431, 147-151.
- Owen, L. A., Richards, B., Rhodes, E. J., Cunningham,
 W. D., Windley, B. F., Badamgarav, J., Dorjnamjaa,
 D., 1998. Relic permafrost structures in the Gobi of Mongolia: Age and significance. Journal of Quaternary Science 13, 539-547.
- Yu, K., Lehmkuh, F., Schlütz, F., Diekmann, B., Mischke, S., Grunert, J., Murad, W., Nottebaum, V., Stauch, G., Zeeden, C., 2019. Late Quaternary environments in the Gobi Desert of Mongolia: Vegetation, hydrological, and palaeoclimate evolution. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeocology 514, 77-91.

中期~後期旧石器時代の移行期の炭素14年代 測定プロトコルの確立:2020年度研究活動報告

山根 雅子 名古屋大学宇宙地球環境研究所

はじめに

中期~後期旧石器時代の移行期(5万年前から3 万年前頃)は、西アジアでは旧人ネアンデルター ル人から現生人類ホモ・サピエンスへの交替期で ある。この時代は炭素14年代測定法が適用でき る限界(およそ5万年前)に近く、試料に含まれる 炭素14は僅かな量にまで減っている(図1)。した がって、二次的に混入した炭素の影響を大きく受 けるため(図2)、得られた炭素14年代についての 十分な検討が必要である。

公募研究「中期~後期旧石器時代の移行期の炭 素14年代測定プロトコルの確立」の2020年度の研 究活動報告として、第9回及び第10回研究大会で の研究発表の概要、並びに、パレオアジア文化 史学プロジェクト試料の炭素14年代依頼測定の実 施状況について報告する。

第9回及び第10回研究大会での研究発表

2020年5月16日にオンラインで開催された第9回 研究大会では「炭化物の炭素14年代測定法:前処 理法の提案および測定結果の評価」というタイトル で、2020年12月18 - 20日にオンラインで開催され た第10回研究大会では「中期~後期旧石器時代移 行期における炭素14年代の信頼性の評価方法」と いうタイトルで発表を行った。

測定試料の種類や年代測定の信頼性、測定試 料と考古学情報との関連などの項目から、既存の 炭素14年代を評価する方法は先行研究により考 案されている(例えば、Pettitt *et al.*, 2003; Graf, 2009)。これらの既存の評価基準の問題点とし て、1)年代測定の信頼性に関わる評価項目と得 られた年代の解釈に関わる評価項目の重み付け が同じであること、2)単一のデータよりもデータ



図1 試料に元々含まれる炭素14の経過時間による変化



図2 様々な割合で現代炭素の混入が起きた場合の真の炭素 14年代と測定で得られる炭素14年代の差。真の炭素 14年代が古いほど、僅かな現代炭素の混入でも測定 で得られる炭素14年代が大きくずれる

研究報

セットの評価が高いこと、3)年代データの採用/ 不採用の判断基準が恣意的であることが挙げら れる。研究内容や研究地域の特性により判断の 基準は異なるため、評価基準を設定するのでは なく、年代データの信頼性について、どこまで言 えるのか明確にする必要がある。そのために、各 補正の有無や、補正無しの場合の年代の最大の ずれ幅を具体的に示す。

また、近年の報告にある通り(例えば、Higham, 2011; Bird et al., 2014)、試料処理の方法は最終 的な炭素14年代の信頼性に大きな影響を与える。 このため、用いた試料の処理方法を明示するこ とは重要である。さらに、中期~後期旧石器時代 移行期の試料では、"ラボで混入した現代炭素" の影響が大きく、補正の有無や補正の方法により 最終的な年代値が大きく異なる。この混入した現 代炭素は、適切なバックグラウンド用参照試料を 用いて、年代測定試料とともに試料処理及び測 定を行わない限り、影響を評価することが出来な い。したがって、中期~後期旧石器時代移行期の 試料は、入念な準備の上、年代測定を行う(依頼 する)ことが重要である。

しかし、試料の種類や状態によっては、不確か さが残ってしまう。考古学分野の炭素14年代測定 において、広く用いられる測定対象である炭化物 は、1)試料の状態によっては、二次的な炭素を取 り除くための化学処理を完全に行うことができない (例えば、もろい状態の炭化物には、フミン酸を除 去するためのアルカリ処理が適用できない)、2)二 次的な炭素の除去効率を定量的に確認する方法が ないという問題がある。試料の種類や状態に応じ て、最善の試料処理方法を適用することは勿論で あるが、得られた年代には不確さが含まれている 可能性があることを認識することが最も大切では ないだろうか。

パレオアジア文化史学プロジェクト試料の 炭素14年代依頼測定の実施状況

昨年度に引き続き、名古屋大学宇宙地球環境 研究所「加速器質量分析装置等利用(委託分析)」 の枠組みに準じて、当該プロジェクト試料の炭素 14年代依頼測定を実施した。本年度は、試料の 種類に応じた募集期間を設けずに、随時募集を 受け付ける形式を採った。試料募集の告知は第 10回研究大会にて行った。併せて、2020年6月1 日及び2021年1月15日に依頼測定の案内メールを プロジェクトメンバー全員に送信した。

プロジェクト試料の炭素14年代依頼測定には 5件の応募があり、依頼試料の総数は62試料に 上った。試料の種類は、炭化物が52試料、骨が 5試料、貝が4試料、泥炭が1試料であった。名 古屋大学宇宙地球環境研究所にて炭素14測定 のための試料調整を行い、同研究所が運営する HVEE社製3MVタンデトロン加速器質量分析装 置でAMS測定を実施した。依頼試料とともに試 料調整とAMS測定を行った標準試料や参照試 料の測定結果を踏まえて、試料調整の過程で混 入した炭素の影響やAMSの安定性の検討を行っ た。これらの影響を考慮して計算した、依頼試 料の炭素14年代を依頼者に報告した。

謝辞

炭素14測定のための試料調整では名古屋大学 宇宙地球環境研究所の北川浩之教授に、加速器 質量分析では同研究所の中村俊夫招聘教授の支 援を受けた。ここに感謝を記す。

参考文献

- Bird et al. (2014) The efficiency of charcoal decontamination for radiocarbon dating by three pre-treatments – ABOX, ABA and hypy. Quaternary Geochronology, 22, 25-32.
- Graf (2009) "The Good, the Bad, and the Ugly": evaluating the radiocarbon chronology of the middle and late Upper Paleolithic in the Enisei River valley, south-central Siberia. *Journal of Archaeological Science*, 36, 694-707.
- Higham et al. (2009) Problems with radiocarbon dating the Middle to Upper Palaeolithic transition in Italy. Quaternary Science Reviews, 28, 1257–1267.
- Pettitt et al. (2003) Palaeolithic radiocarbon chronology: quantifying our confidence beyond two half-lives. Journal of Archaeological Science, 30, 1685-1693.

研究報告

死海地溝帯南部Wadi Gharandalにおける 湖・河川堆積物のOSL年代

田村 亨 産業技術総合研究所

門脇 誠二 名古屋大学博物館

1. はじめに

現在のヨルダンの死海地溝帯は乾燥気候によ る砂漠地帯だが、南部のWadi Gharandalとい う場所には中部旧石器から上部旧石器時代の遺 跡とともに、現在よりも湿潤な気候を示唆する 湖から河川の堆積物からなる段丘が認められる (Henry, 2001)。また、この地点はJebel Qalkha の遺跡群(Kadowaki et al., 2019)から間に2000 m級の山地を挟むものの距離は20 km弱しか離れ ていない(図1)。このため、Wadi Gharandalに おいて詳細な研究を行うことで、Levant地方で 旧人から新人に交替したプロセスを理解するのに 有用な古環境情報が得られる可能性がある。

こうした背景から、2019年9月にWadi Gharandal において現地調査を行い、地形測量、地層



図1 ヨルダン南部の衛星画像(Google Earthから使用)。

 の記載、光ルミネッセンス (OSL: Optically Stimulated Luminescence) 年代測定用試料の 採取を行った。ここでは、記載した地層の特 徴と解釈とともに、採取した試料に対する年 代測定の結果について報告する。

2. 調査地、現地調査の結果

Wadi Gharandalは死海地溝帯の低地と山 地とが接する東縁断層に面している。そこで は基盤岩で囲まれた東西600 m南北400 m程 度の狭いくぼ地に、現在の谷底よりも15 m程 度の高さに段丘面が認められる(図2,図3A)。 Henry (2001)はこの段丘を取り囲む丘陵地の 複数地点において、中部旧石器時代後期から 上部旧石器時代前期にあたる約4~7.5万年前の ものと考えられる石器が散乱していることを 報告した。また石器の中にはJebel Qalkhaと類 似のものも含まれる。

現地調査は、くぼ地西部の1地点を選定して 行った(図2、図3B,図4)。露頭の基底部には 石灰岩の基盤が観察され、その凹凸の上に厚 さ約15 mの未固結堆積物が重なる。堆積物は 全体に泥を含む砂礫から構成される。露頭の 下部と中部で観察されるウェーブリップル(図 3C)は、かつてそこに水塊、すなわち湖があっ たことを示している。また、露頭下部から中 上部に観察される平行葉理(図3D)は強い一方 向流による堆積構造であり、河川や洪水流の 流れ込みによる堆積を示す。さらに、根痕が 全体に認められることから(図3D)、土砂の堆



図2 Wadi Ghrandalおよび調査地点の衛生画像(Al-Saqarat et al., 2020). 段丘が発達し湖が広がった と考えられるくぼ地と西端の狭窄部を破線で示す。



図3 (A) Wadi Gharandalに発達する段丘面(矢印). (B) 露頭での調査風景. (C) 露頭中部に認められる ウェーブリップル(矢印). (D) 露頭中部に認められる平行葉理と根痕(鉛直の筋)。

積とともに湖の水位が上昇することで浅瀬が 保たれていたと考えられる。こうした湖と河 川堆積物による段丘の分布はWadi Gharandal のくぼ地に限定される。図2に示す通り、くぼ 地の西端は狭窄部になっており、ここが土砂く ずれなどのきっかけでせき止められて湖が形 成され、されにその後せき止めが決壊して現在 に至ると考えられる。

一方、2020年になって別の研究グループによ りほぼ同じ場所の地質調査の結果が公表され た(Al-Saqarat et al., 2020)。このグループも 我々と同様に、くぼ地西端の狭窄部が死海地溝 帯東縁の断層での地震で地滑りが起こり、せき 止湖ができたと解釈している。



図4 調査地点の露頭柱状図. 柱状図左側に4試料の pIRIR₁₅₀年代を示す。

3. OSL年代測定

Wadi Gharandalの露頭で採取した4試料 (OSL-72~74,76;図4)に対してOSL年代測定 を行った。OSL年代は、ルミネッセンスの強度 から求められる鉱物粒子の放射線被爆量(蓄積 線量)、および単位時間あたりの放射線量(年 間線量)、の2つの要素で決定される。蓄積線量 を年間線量で除することにより、鉱物粒子の地 層中での埋積時間(地層の形成年代、OSL年代) が求められる。

OSL年代 (year)

= 蓄積線量 (Gy) / 年間線量 (Gy/year)

3-1. 試料の採取

鉱物粒子が埋積中に蓄積されたOSLは太陽光 等にあたると放出してしまうため、年代測定試 料は遮光状態で採取する必要がある。試料は 直径4~5 cmで長さ15 cmの塩ビ管および金属 管をトレンチ壁面に水平に打ち込むことによ り採取した。

3-2. 試料の調整

塩ビ管で採取した堆積物試料のうち、試料 管の両端1~2 cmは露光のおそれがあるため含 水率測定とICP-MSによる元素(U、Th、Rb、 K) 濃度の測定に用い、残りの中央部をルミ ネッセンス測定に用いた。元素濃度の測定に 用いた試料は、乾燥させてミルにより粉末に し、オーストラリアのSGS Minerals Service に分析を依頼した。ルミネッセンス測定用試 料の調整は、全て暗室内で赤色光下において 行った。試料は全て砂から成るため、塩酸と 過酸化水素により炭酸塩鉱物と有機物を取り 除いた後、乾式の篩により粒径62~90 umの 粒子を抽出した。さらに、ポリタングステン 酸ナトリウム (SPT) を水に溶解させた重液に より、比重2.53~2.58の粒子、および比重2.58 ~2.70の粒子を抽出した。比重2.53~2.58の粒 子はそのままカリ長石としてOSL測定に用い た。抽出した試料は直径9.8 mmのステンレス ディスクの上にシリコンスプレーでのり付け し、測定に用いた。

3-3. ルミネッセンス測定

ルミネッセンス測定は、産業技術総合研究 所地質調査総合センターのルミネッセンス年 代測定装置TL-DA-20 Risø readerを用いて行っ た。この装置には、青色LEDおよび赤外線 LEDと⁹⁰Sr密封ベータ線源が備わっている。青 色LEDは石英試料の励起に用い、赤外線LED はカリ長石試料と、細粒の多鉱物試料の励起に 用いる。⁹⁰Sr密封ベータ線源は試料への放射線 照射に用いる。

ルミネッセンスの測定では、Schott BG3 (厚 さ3 mm)、BG39 (2 mm)、GG400 (3 mm)、の 3枚の光学フィルターを通過した青~紫色の成 分をフォトマルで測定し、赤外線LEDの励起 光を遮断する。カリ長石のOSL信号のうち、年 代測定に用いられるのは、赤外励起ルミネッ センス (Infrared-Stimulated Luminescence, IRSL)と呼ばれる。試料はプレヒートを加え た後、50℃まで加熱して赤外励起してIRSLを 得て、さらに150℃まで加熱して再び赤外励起 することにより、post-IR IRSL (pIRIR) を得 る。これら信号の略称は、測定時の加熱温度 をつけて、50℃のIRSLはIR₅₀、150℃のpIRIR はpIRIR₁₅₀と示す。励起時間はIR₅₀、pIRIR₁₅₀ ともに100秒間である。測定される信号のう ち最初の2秒間の平均から最後の20秒間の平均 によるバックグラウンド強度を差し引き、信 号強度とする。蓄積線量は、pIRIR法のため のSAR (Single Aliquot Regenerative) プロト コル (Buylaert et al., 2012) を用いて測定した pIRIR₁₅₀信号から求めた。pIRIR信号では低減 されるものの、anomalous fading (以下フェー ディングとする)という現象により年代値の 過小評価が起こる。この過小評価を補正する ため、フェーディングテストをAuclair et al. (2003)に従って行い、フェーディング率を求 めた。

3-4. 年間線量・フェーディング補正・年代値

年間線量は、堆積物中に含まれる天然の放射 性核種の濃度と宇宙線強度に基づいて算出し た。放射性核種による線量は、ICP-MSによる4 元素(U、Th、Rb、K)の濃度から、Adamiec and Aitken (1998)の変換係数に従って求め た。ベータ線およびアルファ線減衰係数は、そ れぞれMejdahl (1979)、Bell (1980)に基づく。 アルファ線効率 (a-value:0.15) は、Balescu and Lamothe (1994) による。また、カリ長石のK 濃度は12.5±0.5% (Huntley and Baril, 1997) とした。宇宙線量は、Prescott and Hutton (1994) から求めた。

ルミネッセンス年代は、蓄積線量を年間線 量で割り、さらに得られたフェーディング率 から、Huntley & Lamothe (2001)の手法に従 い、R Luminescence Package (Kreutzer et al, 2012; Fuchs et al, 2015)を用いて補正を行っ た。

3-5. OSL年代測定の結果

得られたカリ長石pIRIR₁₅₀年代は、下位より、 71±6 ka、70±7 ka、57±5 ka、81±7 kaとなっ た。若干の逆転が見られるものの、おおむね 57~81 kaの中部旧石器時代後期の年代となり、 段丘周辺に認められる石器と同じ時代である。 一方で、これはAl-Saqarat et al. (2020) によ り同じ場所から報告された石英OSL年代 (70~ 138 ka) よりも若く、またMischke et al. (2017) で報告された石英OSL年代 (25~32 ka) よりも 古い。

4. 考察・まとめ

本研究で行った現地調査とOSL (pIRIR) 年 代測定の結果に基づくと、中部旧石器時代後 期のWadi Gharandalにはせき止め湖が発達し、 周辺にヒトが生活したり移動の際に立ち寄る ような場所であったことが推定される。死海 の堆積物コアや集水域での露頭調査と年代測 定による古環境復元では、この地域は後氷期や 間氷期に乾燥し、氷期には湿潤であったこと が示されている (Torfstein et al., 2013, 2015)。 Wadi Gharandalのせき止湖も、当時の湿潤な 気候を反映していると考えられる。一方で、こ こで得られたカリ長石のpIRIR₁₅₀年代は、既存 研究の石英OSL年代とは食い違っている。OSL 年代は一般に、プレテストを行った上で最適な 測定条件を求めるが、これら既存研究ではOSL 年代測定の詳細が示されておらず、妥当性の評 価を行うことができない。Jebel Qalkhaでは石 研究報告

英OSLに深刻な感度変化の問題が見られ、測定 条件により大きく年代結果が左右される現象 が観察された。今後、我々が採取した試料で検 証を行うことが必要だが、Jebel Qalkhaからわ ずか20 km弱の距離であるWadi Gharandalの 石英でも同様の問題があり、こうした年代結果 の食い違いにとなった可能性が高い。

引用文献

- Adamiec, G., Aitken, M., 1998. Dose-rate conversion factors: update. Ancient TL 16, 37–50.
- Al-Saqarat, B., Abbas, M., Gong, S., Abu Hamad, A., Carling, P., Jansen, J, 2020. A wetland oasis at Wadi Gharandal spanning 125–70 ka on the human migration trail in southern Jordan. Quaternary Research 1-16.
- Auclair M., Lamothe M. and Huot S., 2003. Measurement of anomalous fading for feldspar IRSL using SAR. Radiation Measurements 37, 487-492.
- Balescu S., Lamothe M., 1994. Comparison of TL and IRSL age estimates of feldspar coarse grains from waterlain sediments. Quaternary Science Reviews 13, 437-444.
- Bell W. T., 1980. Alpha dose attenuation in quartz grains for thermoluminescence dating. Ancient TL 12, 4-8.
- Buylaert J. P., Jain M., Murray A. S., Thomsen K. J., Thiel C. and Sohbati R., 2012. A robust feldspar luminescence dating method for Middle and Late Pleistocene sediments. Boreas 41, 435-451.
- Fuchs MC, Kreutzer S, Burow C, Dietze M, Fischer M, Schmidt C, Fuchs M, 2015. Data processing in luminescence dating analysis: an exemplary workflow using the R package 'Luminescence'. Quaternary International 362, 8–13.
- Henry, D.O., Bauer, H.A., Kerry, K.W., Beaver, J.E.,White, J.J., 2001. Survey of prehistoric sites, WadiAraba, southern Jordan. Bulletin of the AmericanSchools of Oriental Research 323, 1–19.
- Huntley DJ and Baril MR, 1997. The K content of the K-feldspars being measured in optical dating

or in thermoluminescence dating. Ancient TL 15, 11-13.

- Huntley D.J. and Lamothe M., 2001. Ubiquity of anomalous fading in K-feldspars and the measurement and correction for it in optical dating. Canadian Journal of Earth Science 38, 1093-1106.
- Kadowaki, S., Tamura, T., Sano, K., Kurozumi, T., Maher, L.A., Wakano, J. Y., Omori, T., Kida, R., Hirose, M., Massadeh, S., Henry, D.O., 2019. Lithic technology, chronology, and marine shells from Wadi Aghar, southern Jordan, and Initial Upper Paleolithic behaviors in the southern inland Levant. Journal of human evolution 135, 102646.
- Kreutzer S, Schmidt C, Fuchs MC, Dietze M, Fischer M, Fuchs M, 2012. Introducing an R package for luminescence dating analysis. Ancient TL 30, 1–8.
- Mejdahl V., 1979. Thermoluminescence dating: betadose attenuation in quartz grains. Archaeometry 21, 61-72.
- Mischke, S., Ginat, H., Al-Saqarat, B., Faershtein, G., Porat, N., Braun, P., Rech, J., 2017. Fossil-based reconstructions of ancient water bodies in the Levantine deserts. In: Enzel, Y., Bar-Yosef, O., (Eds.), Quaternary of the Levant: Environments, Climate Change, and Humans. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 381–390.
- Prescott J. R. and Hutton J. T., 1994. Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: large depths and long-term time variations. Radiation Measurements 23, 497-500.
- Torfstein, A., Goldstein, S.L., Stein, M., Enzel, Y., 2013. Impacts of abrupt climate changes in the Levant from Last Glacial Dead Sea levels. Quaternary Science Reviews 69, 1–7.
- Torfstein, A., Goldstein, S.L., Kushnir, Y., Enzel, Y., Haug, G., Stein, M., 2015. Dead Sea drawdown and monsoonal impacts in the Levant during the last interglacial. Earth and Planetary Science Letters 412, 235–244.

2020年度研究成果

【著書・論文・雑誌】

- 近藤康久,大西秀之(編)(2021)『環境問題を解くひら かれた協働研究のすすめ』かもがわ出版(240ページ)
- Miki, T., Kondo, Y., Kuronuma, T., Kitagawa H. and Noguchi A. (2020) . Bronze Age vessel remains from the cave of Mugharat al Kahf in the Wādī Tanūf: a preliminary report of the 2017/18 and 2018/19 seasons. The Journal of Oman Studies 21, 128-143.
- Naito, Y. I. Yamane M. and Kitagawa H. (2020) A protocol for using ATR FTIR for pre screening ancient bone collagen prior to radiocarbon dating.
 Rapid Communications in Mass Spectrometry 34 (10) , e8720, doi.org/10.1002/rcm.8720
- Crosta, X., Kumar, S., Ther, S. O., Ikehara, M., Yamane M. and Yokoyama Y. (2020) Last Abundant Appearance Datum of Hemidiscus karstenii driven by climate change. Marine Micropaleontology, 157, 101861.
- Goldstein, S. L., Kiro, Y., Torfstein, A., Kitagawa, H., Tierney J. and Stein, M. (2020) Revised chronology of the ICDP Dead Sea deep drill core relates drierwetter-drier climate cycles to insolation over the past 220 kyr. Quaternary Science Reviews 244, article id. 106460, 10.1016/j.quascirev.2020.106460
- Kasai, Y., Leipe, C., Saito, M., Kitagawa, H., Lauterbach, S., Brauer, A., Tarasov, P. E., Gosla, T. and Sakuma, A. (2021) Breakthrough in purification of fossil pollen for dating of sediments by a new large-particle on-2 chip sorter, Scientific Advances (in press)
- Collins, D. S., Nguyen, V. L., Ta, T. K. O., Maoc, L., Ishiia, Y., Kitagawa, H., Nakashima, R., Vo, T. H. Q. and Tamura T. (2020) Sedimentary evolution of a

delta-margin mangrove in Can Gio, northeastern Mekong River delta, Vietnam. Marine Geology (online) doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106417

- 長友拓磨·奥野 充·藤木利之·中村俊夫·南 雅代·成尾英仁· 寺田仁志 (2020)「鹿児島県湧水町の三日月池の堆積物 の層序と年代」名古屋大学年代測定研究4,35-38.
- Kawai, K. Moriwaki, H. Okuno, M., Fujiki, T., Mccormack, G., Cowan G. and Maoate, T.P. (2020)
 Shell color polymorphism in populations of the intertidal gastropod nerita plicata (L., 1758) from the Cook Islands. South Pacific Studies 40, 63–72.
- Katsuta, N., Naito, S., Ikeda, H., Tanaka, K., Murakami, T., Ochiai, S., Miyata, Y., Shimizu, M., Hayano, A., Fukui, K., Hasegawa, H., Nagao, S., Nagashima, K., Niwa, M., Murayama, M., Kagawa, M., Kawakami, S.-I. (2020). Sedimentary rhythm of Mncarbonate laminae induced by East Asian summer monsoon and human activity in Lake Ohnuma, southwest Hokkaido, northern Japan. *Quaternary Science Reviews* 248, 106576. doi.org/10.1016/ j.quascirev.2020.106576
- 奥泉舞桜・北川浩之 (2020)「タンデトロン論加速器質量 分析法による炭素14測定データの解析パッケージ」名古 屋大学年代測定研究 vol. 4, 39-47.
- Gao, L., Long, H., Tamura, T., Hou, Y. and Shen, J. (2021) A ~130 ka terrestrial-marine interaction sedimentary history of the northern Jiangsu coastal plain in China. Marine Geology, in press, doi. org/10.1016/j.margeo.2021.106455
- Oliver, T.S.N, Tamura, T. (2021) Sub-centennially resolved behaviour of an accreting sandy shoreline over the past ~1000 years. Journal of Sedimentary Research, in press.
- McBride, R. A., Oliver, T. S. N., Dougherty, A. J.,

Tamura, T., Carvalho, R. C., Short, A. D. and Woodroffe, C. D. (2021) The turnaround from transgression to regression of Holocene barrier systems in south-eastern Australia: Geomorphology, geological framework and geochronology. Sedimentology, in press.

- Tamura, T., Komatsubara, J., Sugisaki, S. and Nishida, N. (2021) Residual dose of K-feldspar post-IR IRSL of beach-shoreface sands at Kujukuri, eastern Japan. Geochronometria, in press.
- Ta, T. K. O., Nguyen, V. L., Saito, Y., Gugliotta, M., Tamura, T., Nguyen, T. M. L., Truong, M. H. and Bui, T. L. (2021) Latest Pleistocene to Holocene stratigraphic record and evolution of the Paleo-Mekong incised valley, Vietnam. Marine Geology 433, 106406, doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106406
- Ishii, Y., Tamura, T. and Ben, B. (2021) Holocene sedimentary evolution of the Mekong River floodplain, Cambodia. Quaternary Science Reviews 253, 106767, doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106767
- Kennedy, D. M., Oliver, T. S. N., Tamura, T., Murray-Wallace, C. V., Thom, B. G., Rosengren, N. J., Lerodiaconou, D., Augustinus, P., Leach, C., Gao, J., McSweeney, S. L., Konlechner, T. and Woodroffe, C. D. (2020) Holocene evolution of the Ninty Mile Beach sand barrier, Victoria, Australia: the role of sea level, sediment supply and climate. Marine Geology 430, 106366, doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106366
- Gugliotta, M., Saito, Y., Ta, T. K. O., Nguyen, V. L., Uehara, K., Tamura, T., Nakashima, R. and Lieu, K.
 P. (2020) Sediment distribution along the fluvial to marine transition zone of the Dong Nai River System, southern Vietnam. Marine Geology 429, 106314, doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106314
- Oliver, T. S. N., Tamura, T., Brooke, B. P., Short, A. D., Kinsela, M. A., Woodroffe, C. D. and Thom, B. G. (2020) Holocene evolution of the wave-dominated embayed Moruya coastline, southeastern Australia: sediment sources, transport rates and alongshore interconnectivity. Quaternary Science Reviews 247, 106566, doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106566

- Tamura, T., Ta, T. K. O., Saito, Y., Bateman, M. D., Murray-Wallace, C. V., Nguyen, T. M. L., Sato, T. and Nguyen, V. L. (2020) Seasonal control on coastal dune morphostratigraphy under a monsoon climate, Mui Ne dune field, SE Vietnam. Geomorphology 370, 107371, doi.org/10.1016/ j.geomorph.2020.107371
- Gao, L., Long, H., Tamura, T., Ye, L., Hou, T. and Shen, J. (2020) Refined chronostratigraphy of a late Quaternary sedimentary sequence from the Yangtze River delta based on K-feldspar luminescence dating. Marine Geology, 427, 106271, doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106271.
- Tamura, T., Nguyen, V. L., Ta, T. K.O., Bateman, M. D., Gugliotta, M., Anthony, E. J., Nakashima, R.and Saito, Y. (2020) Long-term sediment decline causes ongoing shrinkage of the Mekong megadelta, Vietnam. Scientific Reports, 10, 8085.
- Tõnisson, H., Suursaar, Ü., Rivis, R., Tamura, T., Aarna, T., Vilumaa, K. and Kont, A. (2020) Characteristics and formation of a solitary dune belt encountered along the coast of Estonia. Journal of Coastal Research, 95 (sp1), 689-694, doi. org/10.2112/SI95-134.1.
- Brill, D. and Tamura, T. (2020) Optically stimulated luminescence dating of tsunami and storm deposits.
 In: Engel M., Pilarczyk J., May, S. M., Brill, D., Garrett E. (eds.) Geological Records of Tsunamis and Other Extreme Waves, Elsevier, pp. 705-727, doi.org/10.1016/B978-0-12-815686-5.00032-8

【学会発表・講演】

- Yasuhisa Kondo, Mapping possible migration routes of early modern humans through an integrative spatial analysis of archaeological and palaeoecological data 日本地球惑星科学連合2020年 大会 2020年7月10日, オンライン開催 (ポスター)
- Yasuhisa Kondo, Interdisciplinary challenges of the Cultural History of PaleoAsia project and its database development: Lessons learnt. Human Origins - Digital Future (HODiF) ROCEEH Online Conference 2020 (招待講演) 2020年7月30日

- 近藤康久・三木健裕・黒沼太一「南東アラビア前2千 年紀ワディ・スーク文化の再検討:ハジャル山脈南 麓タヌーフ峡谷での調査から」金沢大学国際文化 資源学研究センター公開シンポジウム2020「西ア ジアにおける先史遊牧民と古代文明の成立」(招待 講演)2020年12月12日
- 福本 侑・藤木利之・那須浩郎・Davaadorji Saindovdon (2020)「モンゴル北部ウランブルガス湖の珪藻化 石群集と完新世後期の環境変化」 珪藻学会第40回 研究集会オンライン開催,2020年12月5-6日.
- 原 慎治・奥野 充・藤木利之・木村勝彦・中村俊夫・ 小林哲夫(2020)「霧島・新燃岳火山の享保噴火に よる埋没樹幹を用いた放射性炭素ウイグルマッチ ング年代」国際火山噴火史情報研究集会2020-1オ ンライン開催,2020年9月26日.
- 藤木利之・長友拓磨・奥野充・成尾英仁・寺田仁志 (2020)「鹿児島県湧水町の三日月池の花粉分析に よる古植生変遷(予報)」国際火山噴火史情報研究 集会2020-1オンライン開催,2020年9月26日.国際火 山噴火史情報研究集会2020-2オンライン開催,2021 年9月26日.
- Uyangaa, U., Hasebe, N., Fukushi, K., Tanaka, Y., Davaasuren, D., Sambo, M., Gankhurel, B., Katsuta, N., Ochiai, S., Gerelmaa, T. (2019) Characteristics of lake sediment from southern part of Mongolia and comparison to meteorological data. 『日本地球惑星科学連合 2019年大会』幕張メッセ (千葉県千葉市)、2019 年5月.
- Asahara, Y., Yoshida, H., Yamamoto, K., Katsuta, N., Minami, M., Metcalfe, R. (2019) Age determination of spherical carbonate by Sr isotope stratigraphy. 『日本地球惑星科学連合2019 年大会』幕張メッセ (千葉県千葉市)、2019年5月.
- 宮西勇太・高村一希・勝田長貴・森本真紀・安田 敦・ 川上紳一(2019)「原生代前期ストロマトライトの 稿状構造における高分解能解析:安定同位体比と化 学組成分析」『日本地球惑星科学連合2019年大会』 幕張メッセ(千葉県千葉市)、2019年5月.
- 大野優美子・内藤さゆり・勝田長貴・村上拓馬・落合伸也・ 長谷部徳子・川上紳一(2019)「後期更新世における モンゴル北部の環境変動復元:ダラハド盆地湖成層の

化学分析」『日本地球惑星科学連合2019年大会』幕張 メッセ(千葉県千葉市)、2019年5月.

パレオアジア文化史学第9回研究大会

- 藤木利之・那須浩郎・D. Saindovdon (2020)「モ ンゴル北部ウランブルガス湖湖底堆積物による 約3200年間の植生変化に関する予察的研究」『文 部科学省科学研究費補助金・新学術領域研究 2016-2020:パレオアジア文化史学第9回研究大会』 オンライン開催、2020年5月16日(予稿集83頁)。 Fujiki, T., H. Nasu, and D. Saindovdon (2020) Environmental hazards and human imagination: Case study on thunder and lightning. The 9th Conference on Cultural History of PaleoAsia, online, May 16, 2020 (Proceedings, p. 84).
- 藤木利之・酒井恵祐・奥野 充 (2020)「東ポリネシア・ クック諸 島アチウ島における約2000年間の植生変 遷と人類到達年代に関する予察的研究」『国際火山 噴火史情報研究集会2019-2』 鹿児島大学、2020年1 月25日。
- 藤木利之・長友拓磨・奥野 充・成尾英仁・寺田仁志 (2020)「花粉分析からみた鹿児島県湧水町の三日 月池における古植生変遷」『文部科学省科学研究費 補助金・新学術領域研究2016-2020:パレオアジア文 化史学第10回研究大会』オンライン開催、2020年 12月20日(予稿集44頁)。Fujiki, T., T. Nagatomo, M. Okuno, H. Naruo and H. Terada (2020) The history of vegetation change reconstructed by pollen analysis of cored samples from Mikazukiike Pond, Yusui-Cho, Kagoshima Prefecture, SW Japan The 10th Conference on Cultural History of PaleoAsia, online, Dec 20, 2020 (Proceedings, p. 45).
- 福本 侑・藤木利之・奥野 充・森 脇広・河合 渓・ 酒井恵祐 (2020)「クック諸島ラロトンガ島カレ カレ湿原の海成堆積物における完新世の珪藻群集 変」『国際火山噴火史情報研究集会2019-2』 鹿児島 大学、2020年1月25日。
- 原 慎治・奥野 充・藤木利之・木村勝彦・中村俊夫・ 小林哲夫 (2020)「霧島・新燃岳享保噴火による埋 没樹木の¹⁴Cウイグルマッチング年代 (予報)」『国 際火山 噴火史情報研究集会2019-2』 鹿児島大学、 2020年1月24日。

PaleoAisa Project Series 34

長谷川精・今岡良介・志知幸治・N. Ichinnorov (2020)「サンギンダライ湖の湖底堆積物から復元 するMIS3以降のモンゴル北西部の古環境変動と 植生変遷」『文部科学省科学研究費補助金・新学 術領域研究2016-2020:パレオアジア文化史学第9 回研究大会』オンライン開催、2020年5月16日(予 稿集22頁)。Hasegawa, H., R. Imaoka, K. Shichi, and N. Ichinnorov (2020) Paleoenviromental and paleovegetation changes in northwestern Mongolia since MIS 3 reconstructed form sediments of Sangiin Dalai Lake. The 9th Conference on Cultural History of PaleoAsia, online, May 16, 2020 (Proceedings, p. 23).

パレオアジア文化史学第10回研究大会

- 出穂雅実・長谷川精 (2020)「上部旧石器時代のモ ンゴルおよびザバイカルにおける環境変化と人類 の適応動:研究の現状と課題」『文部科学省科学研 究費補助金・新学術領域研究2016-2020:パレオア ジア文化史学第10回研究大会』オンライン開催、 2020年12月18日 (予稿集6頁)。Izuho, M. and H. Hasegawa (2020) Human behavioral adaptation to the environmental changes during MIS 3 and MIS 2 across Mongolia and Transbaikal, Russia: Recent progress and problems The 10th Conference on Cultural History of PaleoAsia, online, Dec 18, 2020 (Proceedings, p. 7).
- 勝田長貴(2020)「湖沼堆積物を用いた最終氷期の モンゴル北西部における環境変動と人類史への 影響」『文部科学省科学研究費補助金・新学術 領域研究2016-2020:パレオアジア文化史学第9回 研究大会』オンライン開催、2020年5月16日(予 稿集60頁)。Katsuta, N. (2020) Environmental variation in northwest Mongolia during the last glacial periods revealed by lacustrine sediment cores analyses: its impact on modern humans' activity. The 9th Conference on Cultural History of PaleoAsia, online, May 16, 2020 (Proceedings, p. 61).
- 勝田長貴(2020)「モンゴル・永久凍土地帯の湖沼 堆積物の硫黄による古環境変動復元の高精度化に 向けて」『文部科学省科学研究費補助金・新学術 領域研究2016-2020:パレオアジア文化史学第10回

研究大会』オンライン開催、2020年12月19日 (予稿 集76頁)。Katsuta, N. (2020) Toward high precise reconstruction for paleoenvironmental variations by sulfur in lake sediments in permafrost zones, Mongolia The 10th Conference on Cultural History of PaleoAsia, online, Dec 19, 2020 (Proceedings, p. 77).

- 河合 渓・藤木利之 (2020)「アジア太平洋島嶼沿岸 域に生息する貝類の殻色と基質の関係」『国際火山 噴火史情報研究集会2019-2』鹿児島大学、2020年1 月25日。
- 北川浩之 (2020)「初期現生人類の環境適応モデル: 低コスト拡散ルートの検討」『文部科学省科学研究 費補助金・新学術領域研究2016-2020:パレオアジ ア文化史学第9回研究大会』オンライン開催、2020 年5月16日 (予稿集6頁)。Kitagawa, H. (2020) A least-cost path migration route inferred with an environmental adaptation model of early modern humans. The 9th Conference on Cultural History of PaleoAsia, online, May 16, 2020 (Proceedings, p. 7).
- 北川浩之 (2020)「ホモ・サピエンスのアジアへの 拡大における環境適応」『文部科学省科学研究費 補助金・新学術領域研究2016-2020:パレオアジア 文化史学第10回研究大会』オンライン開催、2020 年12月19日 (予稿集34頁)。Kitagawa, H. (2020) Environmental adaptation in the spread of Homo sapiens to Asia The 10th Conference on Cultural History of PaleoAsia, online, Dec 19, 2020 (Proceedings, p. 35).
- 北川浩之 (2020)「炭素14年代キャリブレーショ ンデータセットIntCal20」『文部科学省科学研 究費補助金・新学術領域研究2016-2020:パレオ アジア文化史学第10回研究大会』オンライン開 催、2020年12月19日 (予稿集36頁)。Kitagawa, H. (2020) Radiocarbon calibration dataset IntCal20 The 10th Conference on Cultural History of PaleoAsia, online, Dec 19, 2020 (Proceedings, p. 37).
- 小林豊・田村光平・鈴木美保・中村光宏・加藤真 二・中川和哉・高倉純・山岡拓也・野口 淳・近 藤康久・西秋良宏 (2020)「パレオアジアモード存

|〇二〇年度 研究成果|

在・非存在データの探索的統計解析」『文部科学省 科学研究費補助金・新学術領域研究2016-2020:パ レオアジア文化史学第10回研究大会』オンライン 開催、2020年12月18日(予稿集4頁)。Kobayashi, Y., K. Tamura, M. Suzuki, M. Nakamura, S. Kato, K. Nakagawa, J. Takakura, T. Yamaoka, A. Noguchi, Y. Kondo, and Y. Nishiaki (2020) Exploratory statistical analyses of the Paleo-Asia Mode presence/absence data The 10th Conference on Cultural History of PaleoAsia, online, Dec 18, 2020 (Proceedings, p. 5).

- 近藤康久・三木健裕・黒沼太一・北川浩之(2020) 「オマーン、ワディ・タヌーフ1号洞穴遺跡の発掘 調査概報」『文部科学省科学研究費補助金・新学 術領域研究2016-2020:パレオアジア文化史学第9回 研究大会』オンライン開催、2020年5月16日(予稿 集40頁)。Kondo, Y., T. Miki, T. Kuronuma, and H. Kitagawa (2020) Preliminary report of the excavations at the cave site of Wadi Tanuf 1, Oman. The 9th Conference on Cultural History of PaleoAsia, online, May 16, 2020 (Proceedings, p. 41).
- 近藤康久・三木健裕・黒沼太一・北川浩之(2020) 「南東アラビア山麓峡谷における人類の定着と環 境:4年間のまとめと今後の展望」『文部科学省科 学研究費補助金・新学術領域研究2016-2020:パ レオアジア文化史学第10回研究大会』オンライ ン開催、2020年12月20日(予稿集38頁)。Kondo, Y., T. Miki, T. Kuronuma and H. Kitagawa (2020) Human settlement and environment in a piedmont canyon in Southeast Arabia: summary of four years of fieldwork and future directions for research The 10th Conference on Cultural History of PaleoAsia, online, Dec 20, 2020 (Proceedings, p. 39).
- 近藤康久・大西秀之・池内有為・中島健一郎 (2020) 「パレオアジア研究観調査 (第2回)」『文部科学 省科学研究費補助金・新学術領域研究2016-2020: パレオアジア文化史学第9回研究大会』オンライ ン開催、2020年5月16日 (予稿集42頁)。Kondo, Y., H. Ōnishi, U. Ikeuchi, and K. Nakashima (2020) Second survey of the research mind-set

of the PaleoAsia Project. The 9th Conference on Cultural History of PaleoAsia, online, May 16, 2020 (Proceedings, p. 43).

- 近藤康久・大西秀之・岩本葉子・池内有為・中島 健一郎 (2020)「パレオアジア文化史学と学際新 領域への挑戦:研究観調査のまとめと今後の展望」 『文部科学省科学研究費補助金・新学術領域研究 2016-2020:パレオアジア文化史学第10回研究大会』 オンライン開催、2020年12月20日(予稿集60頁)。 Kondo, Y., H. Ōnishi, Y. Iwamoto, U. Ikeuchi and K. Nakashima (2020) Interdisciplinary challenges of the PaleoAsia project: Summary of the research mindset surveys and future directions The 10th Conference on Cultural History of PaleoAsia, online, Dec 20, 2020 (Proceedings, p. 61).
- 国武貞克・田村 亨・山根雅子・村田泰輔 (2020)「カ ザフスタン南部チョーカン・バリハノフ遺跡最下 層の年代と堆積構造」『文部科学省科学研究費補 助金・新学術領域研究2016-2020:パレオアジア文 化史学第9回研究大会』オンライン開催、2020年5 月16日 (予稿集75頁)。Kunitake, S., T. Tamura, M. Yamane, and T. Murata (2020) Dating and the sedimentary structure of the lowest cultural layers in Chokan-Varihanova site in the southern Kazakhstan. The 9th Conference on Cultural History of PaleoAsia, online, May 16, 2020 (Proceedings, p. 76).