

令和 6 年 5 月 30 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H01355

研究課題名（和文）超高精度時間軸で迫る、古代マヤ人が経験した「リアルな」気候変動

研究課題名（英文）Revealing the "real" climate change that ancient Mayan people witnessed, based on high-resolution chronology

研究代表者

北場 育子 (Kitaba, Ikuko)

立命館大学・総合科学技術研究機構・准教授

研究者番号：60631710

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,500,000円

研究成果の概要（和文）：古代マヤの都市の衰退と、気候変動の因果関係を探るため、メキシコのサン・クラウディオ遺跡内にある湖で年縞堆積物を採取した。この堆積物をもとに、数週間～数か月の時間スケールで起こる気候変動（極端気象）の歴史を、過去5,000年間にわたって復元した。その結果、西暦900年ごろに少なくとも約15年間、気候が不安定になった（＝極端気象が増加した）時期があったことがわかった。この結果を、同じ試料から復元した人間の居住パターンと比較すると、極端気象の増加は、サン・クラウディオの都市が放棄された時代に一致した。このことは、極端気象の増加が、古典期マヤが衰退した原因の一つである可能性を示している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球温暖化とともに増加する極端事象の増加が危惧されている（IPCC第6次報告書など）。とくに農耕と定住を基本とする文明にとって（現代的文明はその典型例である）、短期間に「暴れる」気候は、長い時間をかけて大きく変動する気候よりもやっかいだ。極端気象が文明に与えるダメージを検証することができる、唯一の地質学的試料が年縞である。本研究によって、気候がいつどのように暴れた（＝不安定化した）のか、そして暴れる気候によって文明がどのようなダメージを受けたのか、その実像に実証的に迫ることができた。

研究成果の概要（英文）：We collected annually laminated sediment core from Lake San Claudio, Mexico, located inside of a Mayan archaeological site, in order to investigate the causal relationship between climate change and decline of Maya civilization. Using the core, we reconstructed the history of extreme weather for the last 5,000 years. The result showed that the climate was particularly unstable for about 15 years around 900 CE. When compared with the record of presence or absence of human settlements around the lake, the period during which humans abandoned the settlements coincided with the period when climate became unstable. This implies that the increasing instability of climate constituted a part of the reason why the Classic Maya had to decline.

研究分野：古気候学

キーワード：マヤ文明 極端気象 気候安定性 放射性炭素年代 気候変動 人間活動 年縞 メキシコ

1. 研究開始当初の背景

考古学にとって、編年が絶対的に重要であることは論を待たない。事件 A と事件 B の因果関係を考察するとき、時間的な前後関係はしばしば決定的な意味を持つ。しかし、正確な層が存在しない時代の出来事が「いつ」起こったかを知るのとは簡単なことではない。

考古学の分野で、現在もっとも広く使われている年代決定手法は、放射性炭素 (^{14}C) 年代測定である。とくに近年、複数の試料の年代を、層位学的な上下関係によって制約しながら較正曲線にあてはめる「ベイズ統計モデル」と呼ばれる手法が確立し、 ^{14}C による年代決定の精度は飛躍的に向上した (Bronk Ramsey 2009 など多数)。考古学はこの技術から直接的な影響を受け、エジプトの王朝の編年や、マヤの都市衰退の編年に新たな視点が導入されたことは記憶に新しい (Bronk Ramsey et al. 2010 ; Inomata et al. 2017)。

ベイズ統計モデルによって正確な年代を知るには、基準とする「較正曲線」が正確である必要がある (メートル原器が正確でなかったら、正確な長さは決して測り得ない)。北半球の高緯度地域では、世界標準の年代較正モデルである IntCal の整備が進んでおり、少なくとも過去およそ 1 万 4,500 年までについては、ほぼ決定版といえる年代を算出することが可能になっている (Reimer et al. 2013)。しかし同時期に形成された年輪から得られる ^{14}C 年代を比較すると、北半球と南半球の間には放射性炭素濃度の変動パターンに数十年程度の遅延が生じており、南半球では IntCal をそのまま使用することができない (Hogg et al., 2013)。また北半球でも、低緯度地域には南半球の影響が部分的に見られることが知られており (Reimer et al. 2013)、マヤ文明の主要な舞台であるユカタン半島 (北緯 15~22 度) に、IntCal をそのまま適用していいかどうかには議論の余地がある。しかしながら、マヤ地方ではこれまで、長期にわたる ^{14}C 年代較正データは得られておらず、問題は先送りされていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、サン・クラウディオ湖の年縞堆積物を採取し、2 つの独立した手法による年縞の計数と、多数の放射性炭素年代をおこない、ベイズ統計モデルによって組み合わせることで、最高精度の年代較正曲線を構築することである。また、年縞の元素組成をもとに、季節ごとの降水量の復元をおこなう。主観の入る余地のない、「圧倒的に」高品質な年代軸と古気候データを、歴史記録と比較することで、気候変動と文明盛衰の因果関係に迫る。

3. 研究の方法

2020 年 3 月、サン・クラウディオ湖で掘削調査をおこなった。リムノスサンプラーとロシア式サンプラーをもちいて、堆積物コア (SLC20) 68 本を採取し、全長 6.5m の完全連続な堆積物を得ることに成功した (図 1)。

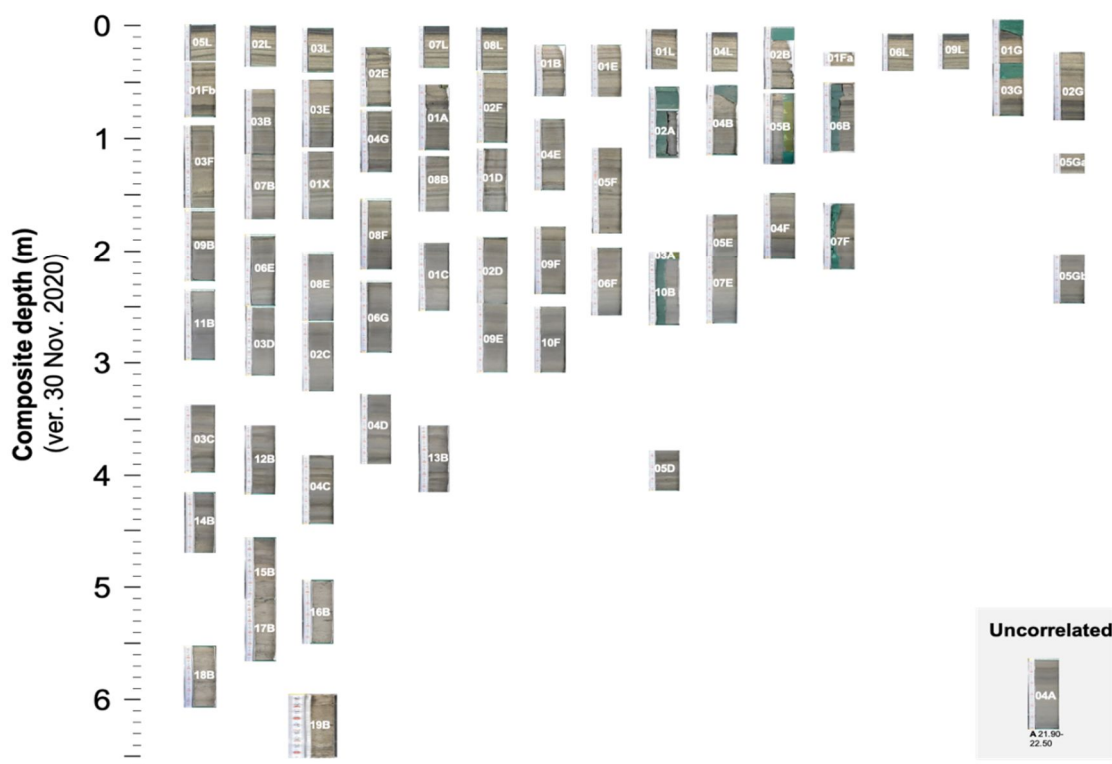


図 1 サン・クラウディオ湖で採取した堆積物

採取したボーリングコアすべてについて、岩相と年縞パターンにもとづき、精密対比をおこなった。その結果、年縞堆積物については誤差 1mm 以内、粘土堆積物については誤差 1cm 以内の精密さですべての地層を共通深度軸の上に落とし込むことに成功した(図 1)。さらに、誰がどの地層を分析しても、上述の精度で地層の上下関係が瞬時にわかるようなプラットフォームも整備した。

すべてのコアから視認できる大型植物遺骸を 1 つ残らず洗い出し、放射性炭素 (^{14}C) 年代を測定した。ベイズモデルをもちいて ^{14}C 較正曲線にウイグルマッチングすることで、深度—年代モデルを得た。

過去の気候変動を復元するため、SCL20 の蛍光 X 線分析をおこなった。分析には、アペリストウィス大学所有の蛍光 X 線分析装置 (Itrax) をもちいた。時に厚さ 300 μm にも満たないサン・クラウディオの年縞から、数週間スケールの良質な「気象」変動の記録を取り出すため、Itrax の X 線検出管をアップグレード入し、年縞の分析に最適化した。これをもちいて、長さ 4.6m の完全連続な地層を全層準にわたって 40 ミクロン間隔 (平均 0.5 カ月の時間分解能に相当) でスキャンすることができた。また、人間の居住に関する手がかりを得るため、同堆積物の窒素安定同位体比 ($d^{15}\text{N}$) の測定もおこなった。

4. 研究成果

コアの精密対比の結果にもとづけば、サン・クラウディオ湖の年縞は、共通深度 0~2.8m の部分に発達していた。放射性炭素年代測定によって、年縞はマヤ文明がさかんに盛衰した時代のほぼすべてをカバーしていることが明らかになった。得られた地層の最下部は、紀元前 5000 年にさかのぼることもわかった。ちょうどこの頃、サン・クラウディオ湖が形成されたものと考えられる。

年縞を構成する白縞・黒縞それぞれについて、鉱物分析をおこなった。白い縞はカルサイト、黒い縞はカルサイトとパイライトが主成分であった。白い縞は乾季に、黒い縞は雨季に堆積したことが確認できた。SCL20 の蛍光 X 線分析によって、乾季・雨季の乾湿変動が取り出せていることも確認した。

過去 4600 年間にわたる気候・気象変動を復元した結果、西暦 900 年ごろに少なくとも約 15 年間、気候が不安定になった (= 極端気象が増加した) 時期があったことが判明した。また、西暦 1000 年ごろを境に、乾燥化が起こったこともわかった。加えて、西暦 1000 年以前と以降を比べると、西暦 1000 年以降、気候が不安定化する時期が増えたことも明らかになった。

さらに、窒素安定同位体比分析の結果、この値の変動は、当時、湖の周辺に住んでいた人々の排泄物の痕跡を反映しているらしいことがわかった。つまり、この分析によって、湖周辺の人間活動 (= 人の居住) の密度を推定することができた。サン・クラウディオに都市が築かれるよりもずっと前から、人間がたびたび湖の周りで生活を営んでいたことがわかった。人が湖周辺の土地を放棄した時には、毎回、表土の流出に起因するとみられる地層の形成も確認できた。

得られた結果を比較すると、西暦 900 年ごろの極端気象の増加は、サン・クラウディオの都市が放棄された時代に一致した。このことは、極端気象の増加が、古典期マヤが衰退した原因の一つである可能性を示している。

今回のプロジェクトでは、サン・クラウディオ湖に暮らした古代マヤ人たちが直面した極端気象の歴史をあきらかにすることができた。しかしながら、新型コロナウイルス感染拡大にとともに、海外研究機関で予定していた年縞計数ができなかったこと、また、年縞に含まれる大型植物遺骸の含有量が少なかったため、われわれが目指す「すべての時代で誤差 10 年未満の高精度編年」の構築は道半ばである。しかしながら、2022 年には追加の掘削調査をおこない、この目標を達成できる量の堆積物試料 (長さ 4m x 20 本; SCL22) の採取にも成功した。後続のプロジェクトでは、このコアに含まれる大型植物遺骸 200 点の放射性炭素年代測定を目指して、分析を継続している。また、薄片観察にもとづく年縞計数をポツダム地球科学研究センターでおこなう予定である。これらのデータをもちいて、マヤ地域における放射性炭素年代較正曲線の決定版を構築し、数年スケールの時間分解で人の居住史をあきらかにしていく予定である。それらの記録を正確な暦を持つマヤの歴史記録と比較することで、気候変動や極端気象によって文明がどのようなダメージを受けたのか、何が都市を持続不可能にしたのかを実証的に解明していく。

< 引用文献 >

- Bronk Ramsey (2009) Bayesian Analysis of Radiocarbon Dates. *Radiocarbon*, 51, 337–360.
Bronk Ramsey et al. (2010) Radiocarbon-Based Chronology for Dynastic Egypt. *Science*, 328, 1554–1557.
Hogg et al. (2013) SHCal13 Southern Hemisphere Calibration, 0–50,000 Years cal BP. *Radiocarbon*, 55, 1889–1903.
Inomata et al. (2017) High-precision radiocarbon dating of political collapse and dynastic origins at the Maya site of Ceibal, Guatemala. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 114, 1293–1298.
Reimer et al. (2013) IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0–50,000 Years cal BP. *Radiocarbon*, 55, 1869–1887.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名	Ikuko Kitaba, Takayuki Omori, Takeshi Nakagawa, Hiroo Nasu, Miguel Mollinedo, Henry Lamb, Sarah Davies, Kouhei Yamazaki, Saori Sakaguchi, Flory Pinzon, Kazuyoshi Nagaya, Tania Torres, Kazuki Kurahashi, Takeshi Inomata
2. 発表標題	Quasi-persistent rhythm in the climate and human activity recorded in a varved sediment from Mayan lowland
3. 学会等名	XXI INQUA Congress 2023 (国際学会)
4. 発表年	2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<ul style="list-style-type: none"> ・わにのにわ (サン・クラウディオ年縞プロジェクトHP) https://www.maya-varves.com/ ・わにのにわのぼきんばこ https://maya-varves.kas-sai.jp/ ・年縞博物館 特別企画展 Varves in Maya マヤの年縞をめぐる冒険 2021 https://www.youtube.com/watch?v=t4wcBwKexjA ・年縞博物館 特別企画展記念シンポジウム 年縞・遺跡 マヤ文明の足跡 ・年縞博物館 ミニ展示 速報 マヤの年縞をめぐる冒険 https://www.youtube.com/watch?v=aP3RmapKvtk
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	大森 貴之 (Omori Takayuki) (30748900)	東京大学・総合研究博物館・特任研究員 (12601)	
研究分担者	中川 毅 (Nakagawa Takeshi) (20332190)	立命館大学・総合科学技術研究機構・教授 (34315)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	那須 浩郎 (Nasu Hiroo) (60390704)	岡山理科大学・基盤教育センター・准教授 (35302)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
英国	Aberystwyth University			
米国	University of Arizona			
ドイツ	GFZ Potsdam			
メキシコ	Middle Usumacinta Archaeological Project			