

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料
〔令和3（2021）年度 中間評価用〕

令和元年度採択分
令和3年3月31日現在

過去 600 万年間にわたる大気中二酸化炭素濃度と気候の相互作用の解明

Reconstruction of atmospheric carbon dioxide concentration during 6 million years and the study of the interaction between atmospheric carbon dioxide and climate

課題番号：19H05595

山本 正伸（YAMAMOTO Masanobu）

北海道大学・大学院地球環境研究院・教授



研究の概要（4行以内）

ベンガル湾の国際深海掘削科学計画（IODP）U1445 地点の堆積物コアに含まれる長鎖脂肪酸の安定炭素同位体比（ $\delta^{13}\text{C}_{\text{FA}}$ ）を測定し、過去 600 万年前の大気中 CO_2 濃度を復元する。得られたデータにもとづき、鮮新世における気候感度を推定し、温暖期における CO_2 濃度と全球気温の関係を検討する。さらに、 CO_2 濃度変動の原因を考察し、 CO_2 と気候の相互作用を解明する。

研究分野：地球惑星科学

キーワード： CO_2 、気候

1. 研究開始当初の背景

温室効果は地球表層の温度を決める重要な要素である。大気中 CO_2 濃度の連続的な測定は 1957 年以降であり、それ以前の CO_2 濃度はアイスコア気泡中のガス測定により復元されている（Luthi et al., 2008 など）。しかし、アイスコアの最古の氷は 80 万年前のものであり、それ以前の CO_2 濃度の精密復元は行われていない。

代表者らは、インド洋ベンガル湾 U1446 地点の過去 80 万年間の海底堆積物コア中の長鎖脂肪酸の安定炭素同位体比（ $\delta^{13}\text{C}_{\text{FA}}$ ）の変動がアイスコア CO_2 濃度変動と高い負の相関を示すことを見いだした（相関係数=-0.88）。陸上植物の葉ワックスに由来する長鎖脂肪酸はインド東部から河川を通じてベンガル湾に流入しており、海底堆積物中の $\delta^{13}\text{C}_{\text{FA}}$ はインド東部の C_3 植物と C_4 植物の植生比を反映している。 CO_2 濃度が低い条件では C_4 植物が生育に有利であるため、 C_4 植物の割合が高くなり、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{FA}}$ が高くなる。この関係を利用して $\delta^{13}\text{C}_{\text{FA}}$ から 80 万年前以前の CO_2 濃度を復元することができるはずである。

2. 研究の目的

本研究では、ベンガル湾の国際深海掘削科学計画（IODP）U1445 地点の堆積物コアに含まれる長鎖脂肪酸の安定炭素同位体比（ $\delta^{13}\text{C}_{\text{FA}}$ ）を測定し、600 万年前から 150 万年前の CO_2 濃度を約 1700 年解像度で復元する。得られたデータにもとづき、鮮新世における

気候感度を推定し、温暖期における CO_2 濃度と全球気温の関係を検討する。さらに、過去 600 万年間の CO_2 濃度と海洋深層水温度・気温・氷床量変動との関係から、 CO_2 濃度変動の原因を考察し、 CO_2 と気候の相互作用を解明する。

3. 研究の方法

ベンガル湾インド沖の国際深海掘削科学計画（IODP）U1445 地点で掘削された過去 600 万年間の堆積物コア試料を 20 cm 間隔（1500-2000 年間隔）で分取した。

過去 600 万年前の 3200 試料について $\delta^{13}\text{C}_{\text{FA}}$ を測定し、 CO_2 濃度を復元する。U1445 地点は U1446 地点よりも 190 km 南西に位置しているため、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{FA}}$ がマハナディ川流域の南方に位置する小河川流域の $\delta^{13}\text{C}_{\text{FA}}$ の影響を受けている可能性がある。これを検討するために過去 80 万年間の $\delta^{13}\text{C}_{\text{FA}}$ とアイスコア CO_2 濃度を比較し、U1445 地点で有効な関係式を求める。ついで 150 万年前以前の $\delta^{13}\text{C}_{\text{FA}}$ を分析し、その値から上記関係式を用いて CO_2 濃度を復元する。

底生有孔虫の酸素同位体比を既知の酸素同位体比変動曲線と比較し、当てはめることにより、堆積物試料の年代を決定する（酸素同位体層序）。底生有孔虫の酸素同位体比を分析し、酸素同位体層序にもとづく年代モデルを確立する。

氷期-間氷期変動が開始し、次第に振幅が拡大した時代（300 万年前から 150 万年前）の CO_2

濃度の時代的な変化と、太平洋深層水の温度変動、全球平均気温変動、氷床体積変動を比較することにより、CO₂濃度変動の原因と全球気候変動における役割を考察する。

570 万年前から 550 万年前の 20 万年間の CO₂濃度変動と同時期の全球海面温度の変化を比較することにより CO₂濃度が全球気温に及ぼした影響を評価する。

前期鮮新世の 550 万年前から 500 万年前、後期鮮新世の 350 万年前から 300 万年前の CO₂濃度と同時期の全球平均気温を比較することにより、温暖期における CO₂濃度の全球気温に及ぼす影響を評価する。

4. これまでの成果

分取した試料について、抽出は現在 3200 試料中 3000 試料が終了した。脂肪酸の分離精製は 2400 試料が終了し、同位体比測定は 2400 試料の 1 回目の測定が終了した。現在、残りの試料の抽出、分離精製、同位体比測定 (2 回目分析を含む) を実施中である。

過去 80 万年間の CO₂濃度復元値は、アイスコアの CO₂濃度および U1446 地点での CO₂濃度復元値と良い一致を示し、当研究で用いている CO₂濃度復元手法を U1445 地点に適用することが妥当であることが確かめられた。

国際深海掘削科学計画 (IODP) U1445 地点での船上分析により得られた生層序と非破壊分析の結果に基づき仮の年代モデルを作成した。さらに、底生有孔虫の拾い集め、同位体比質量分析計を用いて酸素同位体比を分析した。現在まで 2700 試料のうち 400 試料の分析が終了した。

U1446 地点で得られた CO₂濃度変動記録と堆積物中の GDGT、浮遊性有孔虫の酸素同位体比、脂肪酸の水素同位体比にもとづく過去 150 万年間の降水量変動を比較し、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{FA}}$ 変動の 2-10% は降水量変動により、78% が CO₂濃度変動でより説明可能であることを示した。 $\delta^{13}\text{C}_{\text{FA}}$ 変動は基本的に CO₂変動を反映していることが明らかになった。

CO₂濃度と降水量の変動がインド東部の C₃/C₄ 植生に与える影響を植生モデルを用いて検討した。その結果、CO₂濃度変動は降水量変動の 7.5 倍 $\delta^{13}\text{C}_{\text{FA}}$ 変動に影響を与えることが示された。このモデルの結果からも、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{FA}}$ 変動は基本的に CO₂変動を反映していることが明らかになった。

5. 今後の計画

2021 年度内に未測定 of $\delta^{13}\text{C}_{\text{FA}}$ 800 試料とすべての試料の 2 回目の $\delta^{13}\text{C}_{\text{FA}}$ 分析を完了する。2022 年度中には全 2000 試料の同位体比測定を完了する。年代モデルは 2022 年度内の完成を

予定している。

本研究データにもとづき、気候モデルを用いた 600 万年間から 150 万年前の期間の氷床体積のシミュレーションを実施する。熱帯西部太平洋を中心に世界各地の水温古記録をコンパイルし、CO₂変動との関係を統計的に解析する。

570 万年前から 550 万年前の 20 万年間の CO₂濃度変動と同時期の全球海面温度の変化を比較することにより CO₂濃度が全球気温に及ぼした影響を評価する。

前期鮮新世の 550 万年前から 500 万年前、後期鮮新世の 350 万年前から 300 万年前の CO₂濃度と同時期の全球平均気温を比較することにより、温暖期における CO₂濃度の全球気温に及ぼす影響を評価する。

U1445 地点での CO₂濃度復元は、降水量の変動範囲が CO₂濃度変動による影響よりも十分に小さい条件でのみ有効である。これを確認するため、U1445 地点における過去 600 万年間の降水量復元を実施する。

堆積物供給源の変化は $\delta^{13}\text{C}_{\text{FA}}$ に影響する可能性があるため、X線粉末解析による高時間解像度の鉱物組成の分析を行う。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

McGrath, S. M., Clemens, S. C., Huang, Y., & Yamamoto, M. (2021). Greenhouse gas and ice volume drive Pleistocene Indian Summer Monsoon precipitation isotope variability. *Geophysical Research Letters*, 48, e2020GL092249.

O'ishi, R., Chan, W.-L., Abe-Ouchi, A., Sherriff-Tadano, S., Ohgaito, R., & Yoshimori, M. (2021). PMIP4/CMIP6 last interglacial simulations using three different versions of MIROC: importance of vegetation. *Clim. Past*, 17, 21–36.

吉森正和 2020 年度日本気象学会賞。古気候シミュレーションを活用した気候感度および気候フィードバックのメカニズムに関する研究。

7. ホームページ等

<https://pablos.ees.hokudai.ac.jp/yamamoto/project/KakenSCO2.html>