

南アジアのモンスーン降雨の過去と未来を解明

ポイント

- ・ 海底堆積物の分析により、過去 150 万年間の南アジアのモンスーン降雨の変動を復元。
- ・ モンスーン降雨が大陸氷床と大気中二酸化炭素濃度の周期的変動に応答していることを解明。
- ・ 大気中二酸化炭素増加に伴いモンスーンが今後どのように変化していくのか、予測に役立つ成果。

概要

北海道大学大学院地球環境科学研究院の山本正伸教授、ブラウン大学地球惑星環境科学科のステイブ・クレメンズ教授らの研究グループは、過去 150 万年間の南アジアのモンスーン*¹ 降雨の変動を復元し、モンスーン降雨が日射量の周期的変動*² だけでなく、大陸氷床量と大気中二酸化炭素濃度の周期的変動*³ に応答していることを明らかにしました。

地球温暖化の進行に伴い、人口稠密なアジア南部の人々の生活や農業に大きな影響を与える南アジアのモンスーンがどのように変化するのか注目されています。

研究グループは、インド東部のベンガル湾で採取した海底堆積物コアに含まれている有孔虫殻の酸素同位体比、植物ワックスの組成や同位体比、化学組成を分析し、ベンガル湾の過去 150 万年間の塩分、河川からの泥の流出量、雨水の同位体比の変動を復元しました。その結果、モンスーンによるインド東部の降水量は日射量の周期的変動だけでなく、大陸氷床量と大気中二酸化炭素濃度の周期的変動に応答していることを明らかにしました。

これは、二酸化炭素の増加による温暖化に伴い、降雨が増加するという気候モデルによる予測を支持します。

なお、本研究成果は、2021年6月4日（金）公開の *Science Advances* 誌にオンライン掲載されました。



南アジアモンスーンとモンスーン降雨の多い地域

【背景】

南アジアのモンスーンは、地球上で最大規模の季節風であり、アジア南部に多量の雨をもたらしています。なかには毎年夏には数メートル単位の雨が降る地域もあります。この雨は、この地域の農業と経済に欠かせないものですが、特に雨量が多い年には洪水や農作物の不作を引き起こし、少ない年には干ばつを引き起こします。このモンスーンは 14 億人近くの人々の生活に大きな影響を与えているため、温暖化がモンスーンにどのような影響を与えるかを理解することは非常に重要です。

将来の温暖化した世界では、大気中の水蒸気量が増えることが気候モデルで示されており、現在雨が多い地域は、将来的に雨が多くなると言われています。しかし、現実の地球でそうなるかどうか確かめる必要があります。それには、過去にモンスーンがどのように変動したかを知ることが必要です。しかし、これまで南アジアのモンスーンの過去の変動について確実性の高い復元が行われていなかったため、温暖化とモンスーン降雨の関係は不確定でした。

2014 年 11 月から翌年の 1 月にかけて、研究チームは、研究船「JOIDES Resolution」でインド沖のベンガル湾の調査を行い、海底から堆積物のコアサンプルを採取しました（図 1）。これらのコアサンプルには、数百万年に及ぶモンスーン活動の記録が残されています。

【研究手法】

毎年夏にモンスーンによってもたらされる雨水は、インド亜大陸からベンガル湾に流出します。この雨水はベンガル湾の表層に低塩分な海水の層をつくります。この表層水には、浮遊性有孔虫と呼ばれる小さな生物が生息しています。有孔虫は、水中の栄養分を利用して、炭酸カルシウム（ CaCO_3 ）のできた殻を作ります。有孔虫が死ぬと、殻は海底に沈み、堆積物の中に閉じ込められます。堆積物のコアを採取し、その化石に含まれる酸素同位体を分析することで、生物が生息していた水の塩分を知ることができます。この塩分の変動は、時系列で変化する降雨量の指標として利用することができます。

有孔虫のデータに加えて、コアからは他のデータも得られました。湾に流れ込む川の流れが大陸からの泥を運んでくるので、雨の強さの指標になります。また、植物の葉に付着しているワックスの水素同位体組成は、降雨環境の違いによって変化しますが、これも堆積物コアから復元することができます。さらにそのワックスの炭素同位体組成から陸上の植生の変化を推定できます。このような気候変化を表す指標のことをプロキシと呼びます。

これらのプロキシを用いて降雨量を復元し、他の古気候データと比較することで、モンスーンが太陽からの日射量を変化させる地球の軌道の変化のような外部要因によって駆動されているのか、それとも大気中二酸化炭素濃度、大陸氷床の大きさ、水蒸気輸送のような気候システムの内部要因がより重要なのかという、モンスーンを動かしている要因についての重要な疑問に答えることができます。

【研究成果】

得られたデータから、モンスーン風と降雨は地球の軌道の変化に対応して 10 万年、4 万年、2 万年の間隔で周期的に変動していることがわかりました。さらに 2 万年周期的変動における変動の増減のタイミングをみると、おなじように周期的に変動している大気中の二酸化炭素濃度が低くなり始め、地球上の氷床の量が次第に拡大していた時期に、モンスーン風と降雨がもっとも強くなることがわかりました（図 2）。この時期は南半球の日射が徐々に増加している時期と一致しており、モンスーンの高さには、太陽からの日射量という外的な要因と大気中二酸化炭素濃度および大陸氷床の大きさという気候システム内部の要因の両方が影響を与えていることが明確になりました。

【今後への期待】

温暖化した世界では、大気中の水蒸気量が増えることが気候モデルで示されており、現在雨が多い地域は、将来的に雨が多くなると言われています。このようなことが南アジアのモンスーンでは、過去に繰り返し起きていたことが本研究によって示されました。インド亜大陸における過去 150 万年間のモンスーン降雨に関する本研究は、将来の気候変動にモンスーンがどのように応答するかについて重要な手がかりを与えるものです。

【謝辞】

本研究は、国際深海掘削計画 (International Ocean Discovery Program)、米国国立科学財団 (OCE 1634774)、日本学術振興会 (JPMXS05R2900001 及び 19H05595)、独立行政法人海洋研究開発機構、英国自然環境研究評議会 (NERC; NE/L002493/1)、米国地質調査所、アリゾナ理事会技術・研究イニシアティブ基金の支援を受けて実施されました。

論文情報

論文名	Remote and Local Drivers of Pleistocene South Asian Summer Monsoon Precipitation: A Test for Future Predictions (更新世の南アジア夏季モンスーン降雨のリモートおよびローカルな制御因子。将来予測の試金石)
著者名	Steven C. Clemens ¹ , 山本正伸 ² , Kaustubh Thirumalai ³ , Liviu Giosan ⁴ , Julie N. Richey ⁵ , Katrina Nilsson-Kerr ⁶ , Yair Rosenthal ⁷ , Pallavi Anand ⁶ , Sarah McGrath ¹ (¹ ブラウン大学, ² 北海道大学大学院地球環境科学研究院, ³ アリゾナ大学, ⁴ ウッズホール海洋研究所, ⁵ 米国地質調査所, ⁶ 英国オープン大学, ⁷ ラトガース大学)
雑誌名	Science Advances (自然科学の専門誌)
DOI	10.1126/sciadv.abg3848
公表日	2021年6月4日(金)(オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学大学院地球環境科学研究院 教授 山本正伸 (やまもとまさのぶ)

T E L 011-706-2379 F A X 011-706-4867 メール myama@ees.hokudai.ac.jp

U R L <https://pablos.ees.hokudai.ac.jp/yamamoto/>

配信元

北海道大学総務企画部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北 8 条西 5 丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

【参考図】

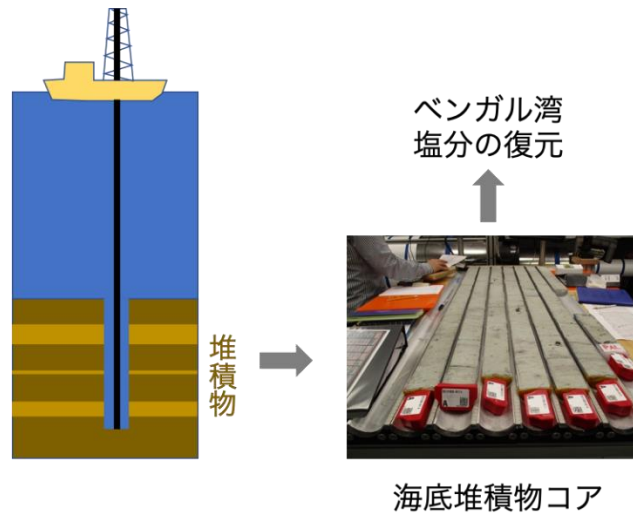


図 1. 海底掘削と海底堆積物コア

ベンガル湾の海底を掘削し、堆積物コアを採取した。採取したコアについて分析を行い、過去のベンガル湾の塩分を復元し、降水量の変動を明らかにした。

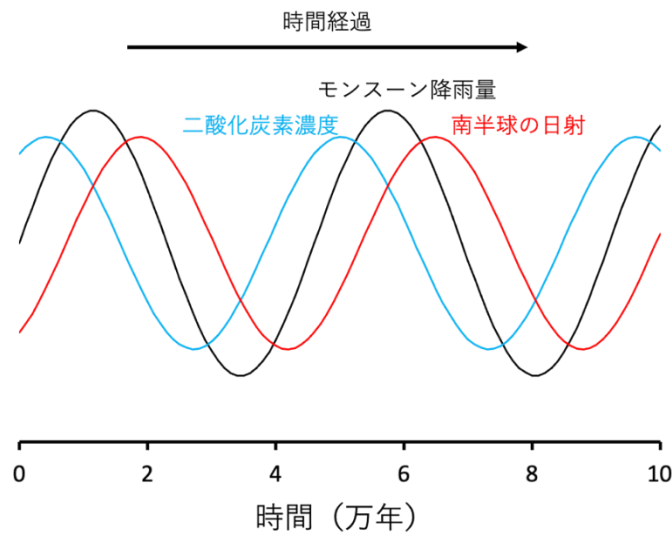


図 2. モンスーン降雨量の時間経過に伴う変化

モンスーンが周期的に変化していること、その変動が二酸化炭素濃度変動より遅れており、南半球の日射の周期的変動には先行していることが判明。モンスーン降雨量は二酸化炭素濃度が高く、かつ南半球の日射量が大きいときに最も多くなる。

【用語解説】

- *1 モンスーン … 大陸と大洋の間に吹く季節風のこと。夏季と冬季で向きが逆になる。
- *2 日射量の周期的変動 … 地球の公転軌道の離心率の周期的変化（10 万年周期）、自転軸の傾きの周期的変化（4 万年周期）、自転軸の歳差運動（2 万年周期）という 3 つの要因により、日射量が周期的に変動する。
- *3 大陸氷床量と大気中二酸化炭素濃度の周期的変動 … 上記の日射量変動に応答して、北半球の北米氷床とユーラシア氷床が周期的に変動する。またそれに同調して大気中二酸化炭素濃度も周期的に変動する。