



Title	Histories of covariation between the Indian Monsoon and human-activities since the dawn of the civilized-era [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	渡邊, 貴昭
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第13580号
Issue Date	2019-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/74465
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Takaaki_Watanabe_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（理 学） 氏 名 渡 邊 貴 昭

学 位 論 文 題 名

Histories of covariation between the Indian Monsoon and human-activities since the dawn of the civilized-era

(文明黎明期以降のインド洋モンスーンと人類活動の共変遷史)

1. はじめに

季節変化するインド洋モンスーンはインド洋における重要な気候要素の一つである。インド洋モンスーンはインド洋の諸国で雨を降らせる。インド洋の諸国はこの季節性の雨水を利用して農業を営んでいる。完新世にはモンスーン性の雨水と大規模な河川水を利用した文明が西アジアやインドなどで始まって以来、様々な国家が栄枯を繰り返して来た。これまでインド洋モンスーンが、インド・西アジアの文明社会にどのように影響を与えてきたかは未解明である。インド洋モンスーンと過去から現在までの人間活動との関わりを議論するためには、インド洋モンスーンの復元記録が不可欠となる。季節変化するインド洋モンスーンの変遷を正しく評価するためには、季節以上の時間解像度を有する古気候指標を用いて、各季節のインド洋モンスーンの強さを独立的に復元する必要がある。そこで、本博士論文では現生および化石の造礁サンゴ(以下、サンゴ)骨格から得られる古気候記録を用いた。

サンゴは速く成長し(>1cm/年)、骨格中の元素・同位体比組成を成長軸に沿って分析することで、高時間分解能な古気候記録を得ることができる。本論文では、アラビア半島オマーンで採取したサンゴ試料を使用した。この地域はインド洋の外縁部に位置し、インド洋モンスーンの影響を受ける。中期完新世から中世の温暖期や小氷期などの様々な時代の化石と現生のサンゴ骨格をもちいて人類活動とインド洋モンスーンの相互関係を明らかにした。

2. 試料と方法

本研究では 2013 年 2 月 23 日にオマーン湾で採取したハマサンゴ(*Porites.sp*)骨格の柱状試料と 2015 年 3 月 9 日にアラビア半島南岸のアラビア海マシラ島で採取したハマサンゴ群体を用いた。また、オマーン北東岸で発見された完新世のサンゴ礁段丘上の化石ハマサンゴとサイクロンや津波などの高波でマシラ島に漂着した化石ハマサンゴを用いた。放射性炭素同位体や U-Th 年代測定の結果 4,330~3,140 年前の時代の 6 試料(オマーン北東岸産)と小氷期・中世の温暖期を含む 4 試料(マシラ島産)であった。

サンゴ骨格試料から 5mm 厚で切り出し、軟 X 線写真を撮影し、年輪様の密度バンドと成長方向を可視化した。サンゴの最大成長軸に沿って 0.4 もしくは 0.5mm 間隔で化学分析用の粉末を採取した。化学分析用の粉末から質量分析計を用いて酸素・炭素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}_\text{c}$, $\delta^{13}\text{C}_\text{c}$) を、誘導結合プラズマ発光分光分析計を用いてサンゴ骨格中のカルシウム (Ca) とストロンチウム (Sr) の濃度の比 (Sr/Ca 比) を分析した。Sr/Ca 比記録を衛星観測の海面水温 (SST)記録と比較して、Sr/Ca 比から SST 変動を見積もる換算式を作成した。Sr/Ca 比と $\delta^{18}\text{O}_\text{c}$ を組み合わせることで、塩分変動の指標である海水の酸素同位体比($\delta^{18}\text{O}_\text{sw}$)変動を算出した。

3. インド洋ダイポールとインド洋モンスーンに与える地球温暖化の停滞の影響

全球での気温観測によると、20 世紀に全球の気温が上昇傾向にあったことが確認された。インド洋における大規模な大気海洋相互作用であるインド洋ダイポールは、20 世紀の地球温暖化に伴って活発化していたことがサンゴ骨格を用いた復元記録から明らかになった。1990 年代後半以降に地球温暖化の傾向は緩やかになっていた(地球温暖化の停滞)。この地球温暖化の停滞現象に対してインド洋ダイポールがどのように応答するかは未解明であった。地球温暖化の停滞現象がインド洋ダイポールとインド洋モンスーンに与える影響についてオマーン産の過去 26 年分のサンゴ記録を用いて解明した。

オマーン産サンゴから復元した SST・塩分変動には 1990 年代後半に SST と $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ の低下 (レジームシフト) が確認された。この低下時期は地球温暖化の停滞時期に一致した。地球温暖化の停滞を引き起こした一因と考えられている 1990 年代後半のウォーカー循環の強化の影響により、西インド洋の湧昇流の強化がオマーン産現生サンゴに記録された。

地球温暖化時には、インド洋ダイポール発生時の夏の SST と $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ が通常年よりも高かった。これは、インド洋ダイポール現象が発生時の西インド洋に生じる暖水塊が夏のインド洋モンスーンを強化したことで、夏のオマーン湾の SST と $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ が通常年よりも高くなったと考えられる。しかし、地球温暖化の停滞時に、通常年とインド洋ダイポール発生時の復元記録 (SST と $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$) の差は確認されなかった。これは、地球温暖化の停滞時に、インド洋ダイポール現象とは独立的に西インド洋の SST が変動することと、夏のインド洋モンスーンが安定して強くなったことを示した。

4. サンゴ骨格中の炭素同位体比を用いたオマーン湾における過去の湧昇流の復元

オマーン湾では、夏の SST の衛星観測が実際の SST の変動を反映していないため、発生が示唆されていた湧昇流に関する議論は困難であった。そこで、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{coral}}$ がオマーン湾の湧昇流の発生を反映するか検討した。 $\delta^{13}\text{C}_{\text{coral}}$ では負のピークを夏期に記録しており、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{coral}}$ のピークの時期は先行研究で記録されているオマーン湾内の湧昇流の発生時期にほぼ一致する。これは湧昇流によって発生するプランクトンブルームによる濁度低下、給餌の増加と深層水の流入によるものと考えられる。 $\delta^{13}\text{C}_{\text{coral}}$ のピークの減少量は湧昇流の発生期間に一致することから、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{coral}}$ から湧昇流の発生頻度とその期間を復元できることを示した。

5. アラビア海産現生・化石サンゴを用いた過去 1000 年のインド洋モンスーンの復元

夏のインド洋モンスーンはアラビア海で湧昇流を引き起こし、インドで夏に雨を降らせる。アラビア海マシラ島の現生および化石サンゴを用いて、この湧昇流がインドの降水量に及ぼす影響について検討した。マシラ島の現生サンゴは夏の湧昇流による夏の SST 低下と、深層からの低 $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ 値をもつ海水の湧き上がりを海水温と $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ の低下として記録していた。このため、マシラ島のサンゴ記録は湧昇流を記録していると考えられる。また、マシラ島の SST とインドの降水量は相関関係にあった。これは湧昇流が弱く、アラビア海の活発な蒸発がインドに到達する水蒸気量とインドの降水量が増加させると考えられる。

この結果を化石サンゴに適用した結果、中世の温暖期～現在まで夏の SST に有意な差は確認されなかった。しかし、小氷期の夏の $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ は現在よりも低く、1624 年には湧昇流による $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ の低下期間が現在よりも短かった。これは小氷期にアラビア海で短期間に強い湧昇流が発生していたことを示唆している。この小氷期における現在よりも短期間の $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ の減少はインドでの降水量を減少させ、乾燥化させたと考えられる。

6. インド洋モンスーン変動が古代文明の変遷に及ぼした影響

オマーン産化石サンゴを用いて、インダス・メソポタミア文明が発展・衰退した時代の古気候を復元した。この結果、4,000 年前に冬の 3 ヶ月の間に SST・塩分が現在よりも低下しており、3,500 年以降に安定して高くなっていた。特に強い冬の風が短期間に吹くイベント (シャマル) が西アジア社会に乾燥化、農作物の減収といった影響を与える。現生サンゴ記録の冬 (12-2 月) の平均値とシャマルの発生日数とを比較した結果、オマーン湾の SST と塩分の低下はシャマルの頻発で引き起こされることが示された。また、シャマルの発生日数が特に増加は乾燥化、農作物の減収といった影響を与える。このことから、4,000 年前にシャマルが現在よりも頻発していたことを示唆した。頻発するシャマルが引き起こす西アジアの冬の乾燥化は、メソポタミア文明初の国家の農業に深刻な影響と社会不安を引き起こし、衰退した一因となった。また、3500 年前以降にシャマルが安定したことで、人々がメソポタミア地域に再定住できたと考えられる。

一方で、夏の SST・塩分は 4300~3500 年前にかけて低下傾向にあった。これは夏のインド洋モンスーンが冬のモンスーンよりも徐々に変化していたことを示し、緩やかな気候変化に対して、インダス文明の人々は文明の中心を移動させることで対応したと考えられる。

7. まとめ

本研究では、オマーン産の現生および化石サンゴから復元した夏および冬のインド洋モンスーン記録をもとに古代文明が遷移した時代の気候背景を季節ごとに復元した。本博士論文は、サンゴ骨格を用いた月単位の古気候記録は、季節変化 (雨季⇄乾季など) にあわせて生活様式を変える人間社会の変遷と比較する上で強力なツールになり得ることを示した。人類が実際に体感できる時間解像度で気候変動を復元可能なサンゴ記録は、人類史や歴史上の事変と気候事変との関係を紐解く重要な手がかりになることが期待される。