

地球温暖化が西インド洋の気候システムに与えた影響を解明

～オマーン産サンゴから地球温暖化停滞時におけるインド洋ダイポール現象を復元～

ポイント

- ・サンゴの骨格から、オマーン湾の過去 26 年間の海水温・塩分変動を解明。
- ・1999 年以降の地球温暖化停滞時に、北西インド洋オマーン湾の海水温・塩分は低下。
- ・温暖化停滞時、西インド洋の海水温はインド洋ダイポール現象の発生にかかわらず安定して寒冷化。

概要

北海道大学大学院理学研究院, NPO 法人喜界島サンゴ礁科学研究所の渡邊 剛講師, 九州大学大学院理学研究院, 同研究所の山崎敦子助教, 北海道大学大学院理学院博士後期課程の渡邊貴昭氏らの研究グループは, 地球温暖化の停滞時に, 西インド洋の海水温がインド洋ダイポール現象と独立して変動し, 低下していたことを明らかにしました。

インド洋ダイポール現象は, 数年周期で発生するインド洋の大気と海洋の相互作用のことです。インド洋ダイポール現象発生時, 西インド洋で平年よりも多雨・温暖化, 東インド洋で乾燥・寒冷化し, インド洋周辺諸国の社会に重大な影響を及ぼします。20 世紀に確認された地球温暖化に伴って, インド洋ダイポール現象の発生頻度が増加していることが知られていましたが, 1990 年代後半から確認されていた地球温暖化の停滞がインド洋ダイポール現象へ与えた影響は未解明でした。

研究グループは, オマーン産の造礁性サンゴ*¹ 骨格中の酸素安定同位体比*² や Sr/Ca 比*³ (ストロンチウム/カルシウム比) を用いて, 過去 26 年分の西インド洋の海水温・塩分変動を調査しました。

その結果, 地球温暖化の停滞時, 西インド洋の海水温はインド洋ダイポール現象とは独立的に変化し, 低下していたことが示唆されました。

なお, 本研究成果は, 英国時間 2019 年 2 月 14 日 (木) 公開の Scientific Reports 誌に掲載されました。

【背景】

数年周期で, 西インド洋では多雨・温暖化, 東インド洋では乾燥・寒冷化することが知られており, この変化を引き起こす現象をインド洋ダイポール現象といいます。インド洋ダイポール現象は, 数年周期で発生するインド洋での大気と海洋の相互作用で, 発生するとインド洋周辺諸国で干ばつ, 山火事, 洪水などの重大な影響を及ぼします (図 1)。

これまでに, インド洋の造礁性サンゴ記録を用いた研究で, 20 世紀の地球温暖化に伴ってインド洋ダイポールの発生頻度は増加し, 西インド洋の多雨・温暖化, 東インド洋の乾燥・寒冷化が激化していたことが明らかになっています。一方で, 近年の気温・海水温観測では, 1990 年代後半から 2015 ~2016 年までの間に地球温暖化が停滞していたことが明らかになり, 太平洋やインド洋など広い範囲で気温や降水量に影響を与えたことが示唆されています。

地球温暖化の停滞現象は, インド洋ダイポール現象を停滞させていた可能性があります。

【研究手法】

研究グループは、北西インド洋のオマーン湾に生息する造礁性サンゴ群体から、長さ 71cm の骨格柱状試料を採取し、2 週間に相当する年輪ごとに区切って化学分析（酸素安定同位体比，Sr/Ca 比）を行いました（図 2）。サンゴの骨格には樹木のように年輪が刻まれており、過去の大気・海洋の環境変動が 1 週間～1 ヶ月間程度の細かい精度で記録されています。サンゴ骨格中の化学組成の変化からわかる海水温・塩分変動を基に、地球温暖化の停滞現象、北西インド洋オマーン湾の気候及びインド洋ダイポール現象の関係を調査しました。

【研究成果】

造礁性サンゴ骨格の柱状試料には、過去 26 年間の海水温・塩分変動が記録されていました（図 3）。この記録を検証した結果、1996 年に海水温の平均値の減少（レジームシフト）と、1999 年に塩分の平均値の減少が確認されました。この平均値の減少時期は、地球温暖化の開始時期に一致しており、この影響を受けたと考えられます。

次に、地球温暖化の停滞前後において、インド洋ダイポール現象発生の有無による北西インド洋オマーン湾の海水温・塩分の季節変化の違いを検討しました（図 4）。その結果、地球温暖化中はインド洋ダイポール現象が発生した年の夏よりも、発生していない年の夏の方が塩分・海水温が低いことがわかりました。これは地球温暖化の停滞時には確認されませんでした。また、1999 年以前の地球温暖化時において、活発だったインド洋ダイポール現象の発生に合わせて、西インド洋の海水温が変化していました。この海水温の変化がインド洋モンスーン*⁴を介してオマーンへと伝わったと考えられます（図 5）。

一方で、地球温暖化停滞時は、インド洋ダイポール現象の発生の有無にかかわらず、インド洋モンスーンは強い状態を維持しており、西インド洋の海水温は低かったと考えられます。

このことから、地球温暖化の停滞時に、西インド洋の海水温がインド洋ダイポール現象と独立して変動し、低下していたことが明らかになりました。

【今後への期待】

近年では地球温暖化の停滞が終わり、再び温暖化傾向にあると考えられています。過去の表層気温が異なる時代に本研究を応用することで、インド洋の気候変動メカニズムへの理解が深まることが期待されます。

論文情報

論文名	Oman coral $\delta^{18}\text{O}$ seawater record suggests that Western Indian Ocean upwelling uncouples from the Indian Ocean Dipole during the global-warming hiatus (オマーン産サンゴ記録から復元した地球温暖化の停滞下でのインド洋ダイポール現象の応答)
著者名	渡邊貴昭 ¹ ，渡邊 剛 ^{2,3} ，山崎敦子 ^{3,4} ，Miriam Pfeiffer ⁵ ，Michel R Claereboudt ⁶ （ ¹ 北海道大学大学院理学院， ² 北海道大学大学院理学研究院， ³ NPO 法人喜界島サンゴ礁科学研究所， ⁴ 九州大学大学院理学研究院， ⁵ キール大学， ⁶ スルタン・カブース大学）
雑誌名	Scientific Reports
DOI	10.1038/s41598-018-38429-y
公表日	英国時間 2019 年 2 月 14 日（木）（オンライン公開）

お問い合わせ先

北海道大学大学院理学研究院 講師 渡邊 剛 (わたなべつよし)

T E L 011-706-4637 F A X 011-706-4637 メール nabe@sci.hokudai.ac.jp

U R L <https://www.sci.hokudai.ac.jp/~nabe/>

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 kouhou@jimuhokudai.ac.jp

【参考図】

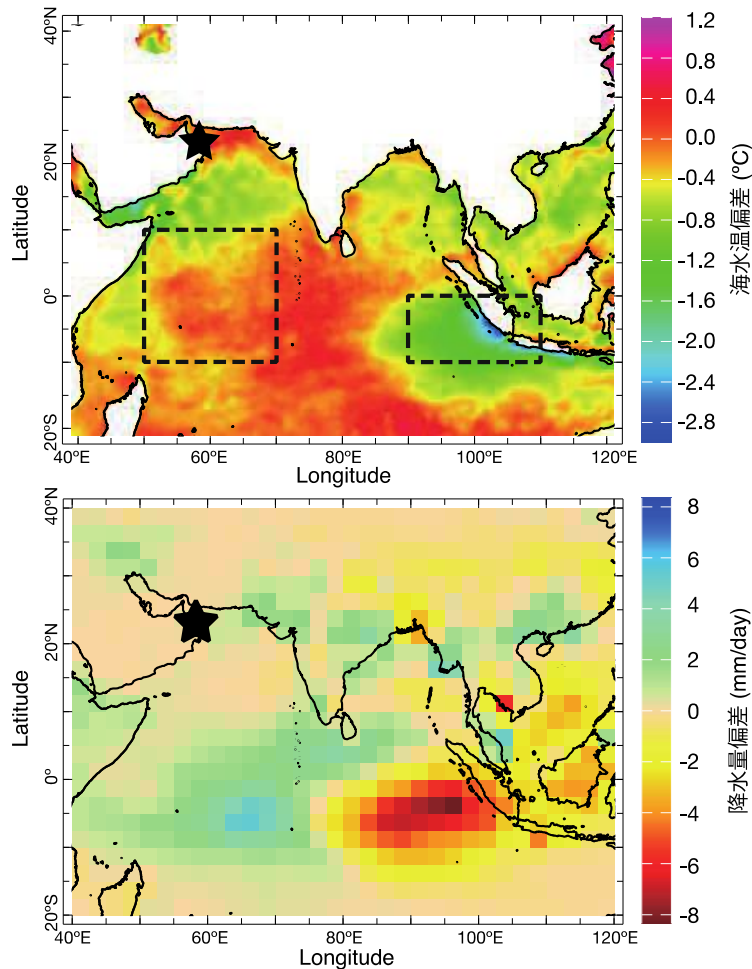


図 1. インド洋ダイポール現象発生時の海水温偏差（偏差：平均値との差）と降水量偏差。赤い地域では平年よりも海水温が高く，降水量が少ないことを示す（★印は本研究の試料採取地）。



図 2. 採取したサンゴの骨格柱状試料の軟 X 線画像。白線部位から粉末試料を採取し，化学分析に使用した。

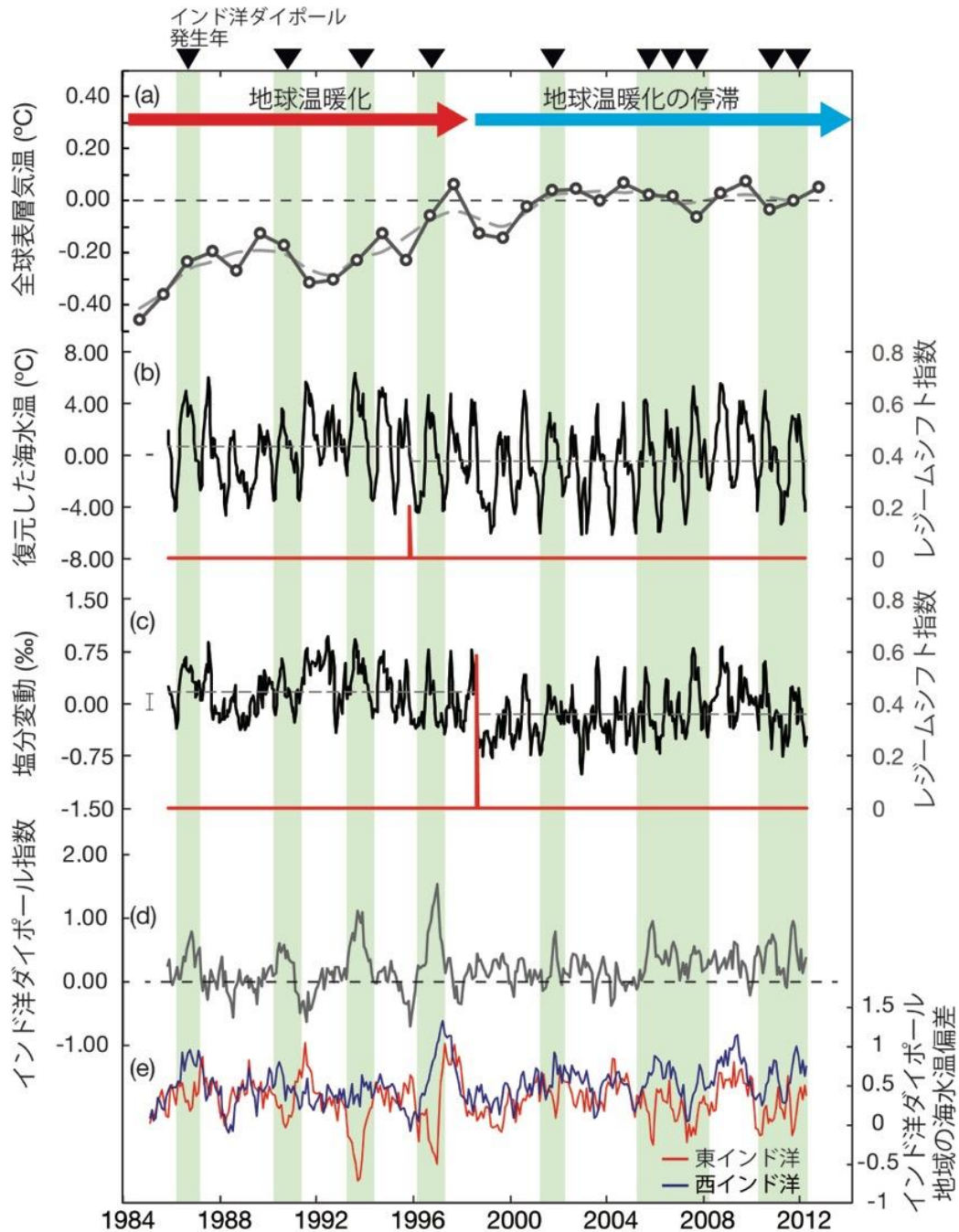


図 3. 観測記録とサンゴ骨格の化学分析記録。

- (a) 全地球（全球）の表層気温。1999 年までは気温は温暖化傾向にあるのに対し、1999 年以降は温暖化傾向は確認されない。
- (b) サンゴ骨格の Sr/Ca 比から復元した海水温変動。サンゴ骨格は海水温の季節変動を正確に反映するため、Sr/Ca 比の変動を参考にして、他の指標に日付をつけることができる。赤線は海水温変動がレジームシフトした時期を統計的に示すための指標（レジームシフト指数）を示す。
- (c) サンゴ骨格の酸素同位体比及び Sr/Ca 比から計算した海水の酸素同位体比。海水の酸素同位体比は塩分のみの指標となる。赤線は塩分変動のレジームシフト指数を示す。
- (d) インド洋ダイポール現象の指数。値が高い時にインド洋ダイポール現象が発生していたことを示す。
- (e) 東西インド洋の海水温変動。東西インド洋の海水温差からインド洋ダイポール現象の指数を算出する。

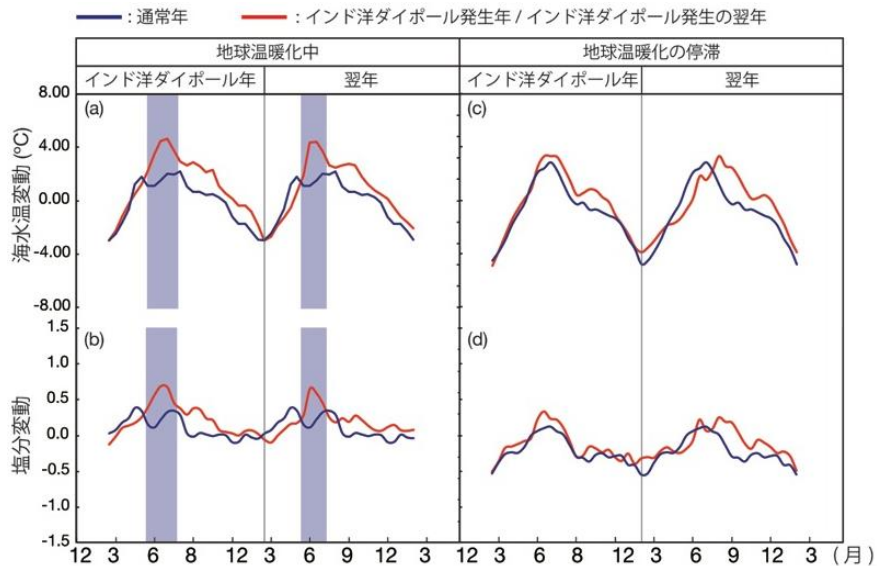


図 4. 地球温暖化傾向中及び地球温暖化停滞中のインド洋ダイポール現象発生年・翌年（赤線）とそれ以外の年（通常年：青線）の海水温（上図）と塩分（下図）の季節変動の平均を示す。地球温暖化中において、インド洋ダイポール現象発生年の方が通常年よりも海水温塩分変動が高く（青網部）、地球温暖化の停滞中にはこれが確認されなくなる。

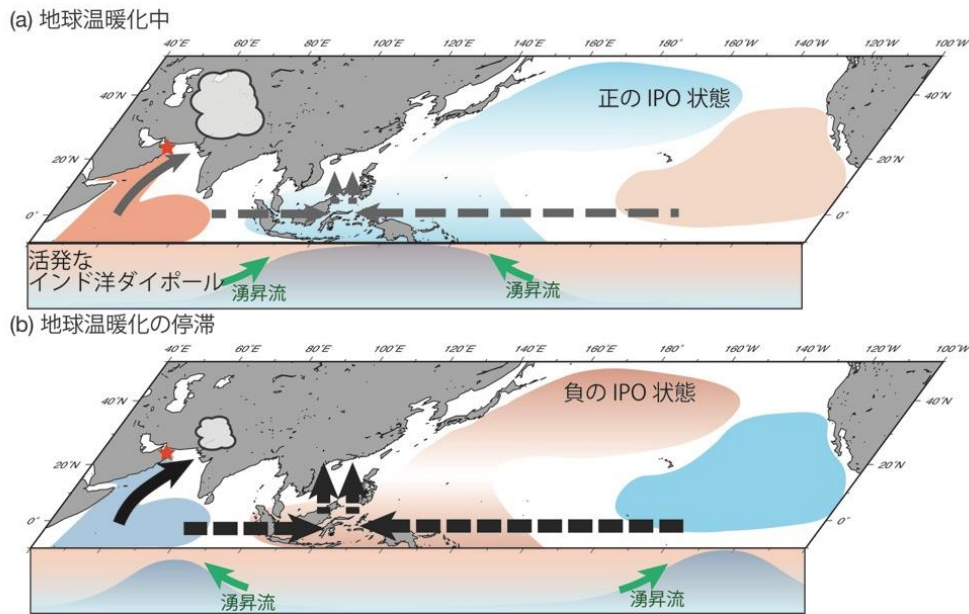


図 5. 地球温暖化の停滞がインド洋ダイポール現象とオマーン産サンゴ記録に与えるメカニズム。赤い地域ほど海水温が高く、青い地域ほど低いことを示す。

上図：地球温暖化傾向中を示し、インド洋ダイポール現象の状態の変化に合わせて、西インド洋の海水温は変化していた。インド洋モンスーンも強弱を変化させていた。このため、インド洋ダイポール現象時のオマーンの夏の海水温・塩分は低下していた。

下図：地球温暖化の停滞中には、地球温暖化を停滞させた要因ある太平洋の大規模な大気海洋の相互作用（太平洋数十年規模振動）がインド洋-太平洋の赤道上の東西方向の風循環（ウォーカー循環）を介して伝わり、西インド洋の湧昇流^{ゆうせいりゅう}*5 が活発になったと考えられる。西インド洋で湧昇流が活発になった結果、インド洋ダイポール現象の状態にかかわらず西インド洋の海水温は低下していた。この結果、インド洋モンスーンは恒常的に強くなったためにオマーンの夏の海水温・塩分はインド洋ダイポール現象の状態にかかわらず低かった。

【用語解説】

- *1 造礁性サンゴ … サンゴの中でも、体内に褐虫藻^{かっちゅうそう}と呼ばれる藻を共生させることで骨格の成長速度を速めている造礁性サンゴのこと。造礁性サンゴは、共生している褐虫藻が光合成で得たエネルギーを利用することで、骨格の成長速度を速めている。造礁性サンゴの骨格は炭酸カルシウムからなり、樹木の年輪のような骨格を形成する。この年輪に沿って化学分析を行うことで、1週間～1ヶ月程度の細かい精度で古環境を復元できる。

- *2 酸素安定同位体比 … 酸素には質量数 16, 17, 18 の 3 つの酸素安定同位体比が存在する。造礁性サンゴなどの炭酸カルシウム骨格は質量数 16 の酸素に対する質量数 18 の酸素の割合（酸素同位体比）が骨格形成時の水温や海水の酸素同位体比（塩分指標）に依存することが知られている。このため、海水温のみに依存する他の指標（例えば Sr/Ca 比）と組み合わせて検証することで海水の酸素同位体比（塩分指標）を復元できる。

- *3 Sr/Ca 比 … 造礁性サンゴ骨格中の陽イオンはほぼカルシウムイオン (Ca^{2+}) であるが、ごくわずかに別の元素も含まれている。たとえば、ストロンチウムイオン (Sr^{2+}) が造礁性サンゴ骨格に取り込まれる割合は、骨格形成時の海水温に依存することが知られているため、骨格中の Sr と Ca の比を検証することで、過去の海水温を調べることができる。

- *4 インド洋モンスーン … 季節変化するインド洋の風。特に夏には強い風がインド洋からインドに向かって吹き、インド洋で夏に雨を降らせるため、気候学・社会的に重要な気候要素である。アラビア海では夏のインド洋モンスーンの影響を受けて湧昇流が発生する。

- *5 湧昇流 … 海洋において、海水が深層から表層に湧き上がる現象のこと。