

熱帯低気圧の存在頻度とサンゴ白化指標の季節予測可能性

課題責任者

Behera Swadhin 海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 アプリケーションラボ

著者

土井 威志^{*1}

^{*} 海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 アプリケーションラボ

キーワード：季節予測，熱帯低気圧の存在頻度，サンゴ白化指標，多アンサンブル，気候モデル

1. 背景

数ヶ月平均で現れる干ばつ・洪水・猛暑・暖冬などの季節の不順を現象が現れる数ヶ月前から予測する科学技術は、「季節予測」と呼ばれる。アプリケーションラボでは、欧州の研究者らと共同で「SINTEX-F 季節予測システム」と呼ばれるソフトウェアを開発し、予測可能性の発見、予測の高精度化、更には、その予測情報を応用するための先駆的な研究を進めてきた。しかし、従来の季節予測の対象は、主に、月平均のエルニーニョ現象などの指標や、3ヶ月平均の気温や降水量などにとどまっており、熱帯低気圧のような甚大な被害を引き起こす極端現象の季節的な特性(個々の台風の進路予測等ではなく、夏の間、台風が平年に比べてどこに存在しやすいか等)に関する季節予測情報は提供できていなかった。熱帯低気圧(台風を含む)は、自然災害として最も甚大な被害を及ぼす現象の一つである。天気予報、すなわち、数日前から個々の台風の進路予測に基づき、防災・減災に利活用することはもちろん大事だが、それに加えて、夏の間、台風が平年に比べてどこで活動が活発になるかを数ヶ月前から予測できれば、損害保険、農業、観光業などさまざまな産業の危機管理に応用できるであろう。近年、人為起源の地球温暖化の進行に伴い、北西太平洋低緯度域で台風の強度が増していく可能性が指摘されており、自然起源の年々変動(年毎の変動。冬は寒いが、厳しい寒さの冬やマイルドな冬などが年によって違って現れる変動)と位相が重なることで、被害が深刻化することが危惧される。そのため、熱帯低気圧の活動度の季節予測研究は益々重要になっている。

また、世界の多くのサンゴ礁が、史上最悪の白化に直面し危機的状況であるとされている。サンゴが死滅すると、地形としてのサンゴ礁も劣化・消失し、多くの海洋生物の棲み処がなくなり、海洋生態系全体の崩壊につながる負の連鎖を引き起こす。崩壊の危機にあるサンゴ礁を保全するためには、根本的には、地球温暖化の進行を遅らせるような努力、すなわち人為起源の長期的なCO₂排出を減らしていく努力などが必要である。一方で、対処療法的に、サンゴの白化が起きた時に、その被害を軽減し、サンゴ自身が自ら順調に回復できるように人間側で条件を整えることが可能かもしれない。大規模なサンゴ白化がいつ・どこで起こるのかを数ヶ月前から警戒し、それに基づき、サンゴの監視を強化したり、サンゴを保全する具体的な行動を、優先度をつけて効率的に準備・実行したりできれば、サンゴ礁崩壊の最悪のシナリオを回避できるかもしれない。

い。サンゴの白化を予測する指標としては、3ヶ月平均の水温偏差などより、週積算水温(DHW: Degree Heating Week)がよく使われている。これは、地域の平年の最暖月水温(沖縄付近なら8月の水温)を1度以上超えた水温を週単位で累積した値で、値が4(すなわち、2度越えが2週間続く、あるいは1度越えが4週間続くなど)を超えると白化が起こり、8を超えると大規模な白化や死亡が起こると判断される。

本研究では、3ヶ月平均の気温や降水量の予測する段階を超えて、熱帯低気圧や週積算水温といった甚大な被害を引き起こす極端現象の季節的な特性について、南西諸島付近で季節予測がある程度可能であることを世界で初めて示した。

予測成功の秘訣は、大規模アンサンブルにある。世界の季節予測システムのほとんどが数10程度のアンサンブルメンバー(僅かに異なる条件の下で同じ予測計算を繰り返した、それぞれの結果)で予測を実施している。それに対し、アプリケーションラボの「SINTEX-F 季節予測システム」は、「地球シミュレータ」を駆使し、108に達する大規模アンサンブルメンバー数で、過去40年程度の予測シミュレーションを実施した。大規模アンサンブルでは、予測のバラツキ(ノイズ)が大きい現象(例えば、熱帯低気圧)についても、シグナルの検出や予測成否の要因分析をしやすかったといったアドバンテージがある。

2. 沖縄・台湾付近で、夏に熱帯低気圧が増えるかを数ヶ月前から予測可能に！ —インド洋ダイポールモード現象の予測が鍵—

1982-2022年の各年の5月初旬から多アンサンブルSINTEX-F 季節予測システムの結果を解析することで、沖縄・台湾付近で、夏の熱帯低気圧の存在頻度(水平5度毎格子上で、6/1から8/31まで、6時間起きに、熱帯低気圧が存在したかをカウントした値)の予測が、ある程度可能であることがわかった(図1)。特に、2018年に、同海域で、熱帯低気圧が非常に多く存在していた事例がよく予測できていた。そこで、その事例に対して、アンサンブルメンバー間の違いを詳しく調べた結果、正のインド洋ダイポールモード現象を強く(弱く)予測するメンバーでは、沖縄・台湾付近で熱帯低気圧の存在頻度を多く予測する傾向があることを突き止めた(図2)。インド洋ダイポールモード現象の予測の精度を上げ、その不確実性を減らすことで、沖縄・台湾付近での熱帯低気圧の存在頻度の予測が

改善することが期待される。

本成果は、「npj climate and atmospheric science」に2025年4月3日付け（日本時間）で掲載された[1]。

5月初旬の時点で、6-8月で平均した熱帯低気圧の存在頻度を予測した場合の相関係数スキル

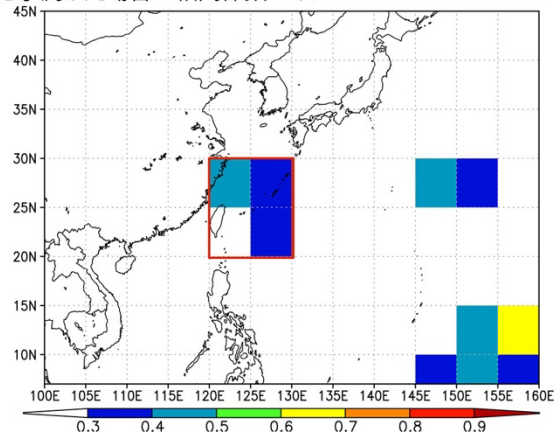


図1 1982-2022年の6-8月平均における熱帯低気圧の存在頻度を、5月初旬から予測した際の相関係数スキル。108アンサンブル平均の結果。1だと予測が最も良く、色がついているところであれば、予測がある程度可能であることを示す。

2018年6-8月で、
沖縄・台湾付近の熱帯低気圧の存在頻度の予測値と
海面水温の予測値の共変動

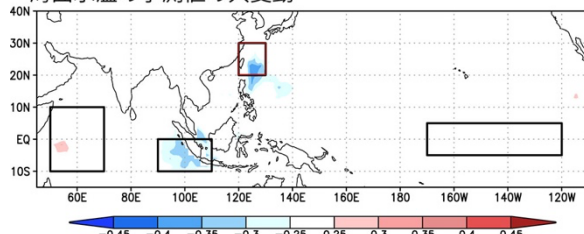


図2 沖縄・台湾付近（東経120-130度、北緯20-30度、赤いボックス）の熱帯低気圧の存在頻度の偏差（30年で平均した平年値からの差）と海面水温偏差の予測値に関する、アンサンブル位相空間での相関係数。色がついているところは、アンサンブルメンバー同士がランダムにばらついているわけではなく、ある特定の現象と連動して変動していることを示す。黒いボックスは、熱帯太平洋のエルニーニョ現象やインド洋ダイポールモードの指標に使用される領域。例えば、この図では、沖縄・台湾付近で熱帯低気圧の存在頻度を多く（少なく）予測するアンサンブルメンバーは、熱帯インド洋東部で負の海面水温偏差（つまり正のインド洋ダイポールモード現象）を強く（弱く）予測する傾向にあることを示す。

3. サンゴの白化を数ヶ月前から予測する

同じく1982-2022年の各年の5月初旬から多アンサンブルSINTEX-F季節予測システムの結果を解析することで、サンゴの大規模白化の指標である週積算水温の予測精度

を調べたところ、夏に、南西諸島付近で、サンゴの大規模白化リスクを、高い精度で予測できることを示した(図3)。同様の取り組みをしているNOAAのCoral Reef Watchと比べても、日本の南海上で精度が比較的高いことがわかった。前セクションで、沖縄・台湾付近での熱帯低気圧の存在頻度がある程度予測可能であることを示したが、熱帯低気圧に伴う海洋のかき混ぜ冷却効果の変動をよく捉えることができたことで、サンゴの白化指標をよく予測できることがわかった(図4)。

本成果は、「Scientific Reports」に2025年12月4日付け（日本時間）で掲載された[2]。

サンゴの白化指標の予測精度(相関係数スキル)

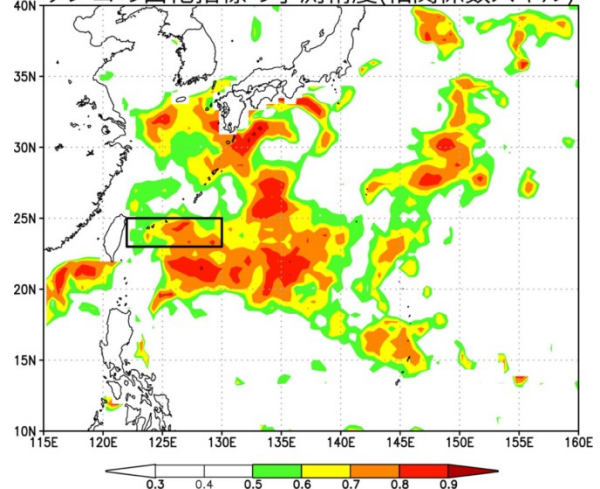


図3 6-8月のサンゴの白化指標を5月初旬時点で予測した際の精度(相関係数スキル)。サンゴ白化が頻繁に起こるようになった2012-2022年を対象とした。1に近いほど予測精度が高いことを示す。

2012-2022年夏における、サンゴの白化指標と熱帯低気圧の存在頻度の相関係数

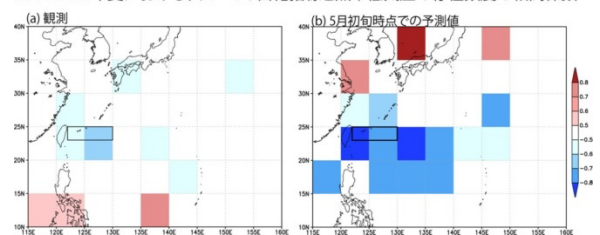


図4 2012-2022年の夏(6-8月)について、サンゴの白化指標と熱帯低気圧の存在頻度の相関係数。青い色は、熱帯低気圧がその海域に少ないほど、サンゴの白化指標が高くなることを示す。熱帯低気圧は、鉛直に海をかき混ぜて水温を冷やす効果があるが、存在頻度が少ないとその効果が弱まり、水温が高くなる(詳しい熱収支解析は論文で示した)。(a)は観測で、(b)は5月初旬時点の予測値。

謝辞

本研究はJSPS 科研費 23K03488 の助成を受けた。

文献

[1] Doi, T., Inoue, T., Ogata, T., & Nonaka M., “Seasonal

predictability of tropical cyclone frequency over the western North Pacific by a large-ensemble climate model”, npj Clim Atmos Sci 8, 112 (2025).

- [2] Doi, T., Yasunaka S., & Kurihara H., “Seasonal predictability of an indicator of mass coral bleaching between the Pacific ocean and the East China sea with a large ensemble climate model”, Scientific Reports 15, 43143(2025).