

## 南極成層圏の大気の乱れが日本の南海上の台風発生域に影響することを証明

—2019年9月に南極上空で起こった成層圏突然昇温の遠隔影響とそれを利用した季節予測精度向上の可能性—

### 1. 発表のポイント

- ◆ 2019年9月に、南極上空で非常に稀な事象である成層圏突然昇温が発生した。
- ◆ シミュレーションを実施・解析した結果、成層圏突然昇温の影響で熱帯域の対流活動が活発化していたことを突き止めた。
- ◆ 対流活動の活発化は、フィリピン海・南シナ海等の日本に上陸する台風の発生場所で顕著であった。
- ◆ 季節予測の精度向上にあたっては、成層圏の現象の再現性を上げることも重要である。

### 2. 概要

国立研究開発法人海洋研究開発機構（理事長 松永 是）地球環境部門環境変動予測研究センターの野口峻佑ポストドクトラル研究員らの研究グループは、2019年9月に南極上空で発生した成層圏突然昇温（※1）の影響で熱帯域の対流活動が活発化していたことを突き止めました。

成層圏突然昇温は、冬季の成層圏において極を取り巻く大きな流れが乱れることにより極域の温度が急激に上昇する現象です。この現象に伴い、熱帯域では下部成層圏の温度が低下することが知られていましたが、近年、さらに下方の対流圏にもその影響が及ぶ可能性が指摘されてきました（図1）。しかし、熱帯域の独自の変動と成層圏突然昇温に伴う変動とを区別することは困難であり、その影響の大きさは不明でした。

そこで本研究グループでは、僅かに異なる初期値から多数の予測シミュレーションを行うアンサンブル予測を実施（図2）し、成層圏突然昇温の有無による熱帯対流活動の変化を調べました。その結果、この成層圏突然昇温の影響によって、熱帯域の北半球側において対流活動に伴う上昇流が強化されていたこと（図3）の実証に成功しました。対流活動の活発化は、特に、アジアモンスーン域の南側（フィリピン海、南シナ海、インドシナ半島等）で顕著であり、成層圏突然昇温に伴う熱帯下部成層圏の温度低下が、この領域の積雲をより強く立たせていたこと（図4）も明らかになりました。

本研究の結果は、熱帯域の対流活動の活発化が南極成層圏における顕著現象の発生と確かに結びついていることを示すものであり、台風発生等の季節予測を実現・向上させていくにあたっては、成層圏の現象の再現性を上げることも重要であることを示唆します。

なお、本研究は科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業 CREST「大型気レーダー国際

共同観測データと高解像大気大循環モデルの融合による大気階層構造の解明」(JPMJCR1663) および科学研究費補助金(19K14798)の支援を受けて行われたものです。

本成果は、「Geophysical Research Letters」オンライン版に8月7日付け(日本時間:22時)で掲載される予定です。

タイトル: Robust enhancement of tropical convective activity by the 2019 Antarctic sudden stratospheric warming

著者: 野口峻佑<sup>1,2</sup>、黒田友二<sup>2,3</sup>、小寺邦彦<sup>2</sup>、渡辺真吾<sup>1</sup>

1. 海洋研究開発機構、2. 気象研究所、3. 気象大学校

### 3. 背景

2019年の南極オゾンホール最大の面積は、大規模なオゾンホールが継続してみられるようになった1990年以降で最も小さな値となりました。これは、8月下旬から9月にかけて、成層圏突然昇温と呼ばれる、南半球においては非常に稀な現象が起こったことが原因でした(参考: [2019年11月20日気象庁発表](#))。

成層圏突然昇温は北半球の冬季においてしばしば起こる現象であり、その影響は対流圏にも及ぶことが近年の研究により明らかになってきています。特に、成層圏の熱帯域で上昇し極域で下降する大規模な子午面循環(ブリューワー・ドブソン循環 ※2: [2013年5月23日発表の解説](#)も参照)を急激に強め、冬季の中高緯度対流圏においては、偏西風を南下(赤道側へシフト)させることから、季節予測においても無視できない現象となっています。実際、2019年の南極における成層圏突然昇温は、過去最悪と言われる豪州の山火事等の南半球の異常気象に寄与していたと指摘されており、その事前からの予測と結果に注目が集まっています。

その一方、成層圏突然昇温の影響は、低緯度対流圏においても熱帯域の上昇流に伴う下部成層圏の低温化およびその直下での対流活発化の形で現れる可能性があることが、いくつかの先駆的な研究によって示されてきました(図1)。今回の南極成層圏突然昇温においても、ちょうど同時期に熱帯域の対流活動が活発化する様子が観測できたことから、その影響がうかがわれました。しかしながら、熱帯域対流圏内の対流活動に伴う上昇流は成層圏で生じる上昇流と比べて非常に大きく、独自に変動していることが殆どであると考えられており、また、観測データや通常の数値シミュレーション結果の解析からでは、成層圏の変化が本当に対流圏の変化を引き起こしているのかを検証するのは困難でした。

### 4. 成果

そこで本研究では、2019年の南極成層圏突然昇温が熱帯対流圏へ影響を与えるかを、数値実験を行い調査しました。僅かに異なる初期値から多数の予測シミュレーションを行うアンサンブル予測実験を、成層圏の状態が現実と同じになるように拘束を加えた(実際の状態に近づくようシミュレーションを随時修正した)場合と加えなかった場合の2つの条件で行い

(図 2)、それらを比較することで成層圏突然昇温の熱帯対流圏への影響を統計的に評価しました。

その結果、熱帯域の北半球側においては対流活動に伴う上昇流が、また南半球側においてはそれと対応して下降流が、強化されていたこと(図 3)が明らかになりました。これは、成層圏のブリューワー・ドブソン循環の強化によって、(この時期に上昇流のピークが北半球側に存在する)対流圏のハドレー循環(※3)の強化が引き起こされたことを意味します。対流活動の活発化は、特に、日本に上陸する台風の発生域であるフィリピン海・南シナ海およびインドシナ半島等のアジアモンスーン域の南側で顕著であり、成層圏突然昇温に伴う熱帯下部成層圏の温度低下が大気的不安定化を引き起こし、気候学的にも活発なこの領域の積雲をより強く立たせていたこと(図 4)がわかりました。

## 5. 今後の展望

本研究により、熱帯域の対流活動の活発化と成層圏突然昇温の発生が確かに結びついていることを実証しました。これは、台風発生等に関わる熱帯域の季節予測の精度を向上させていくにあたって、成層圏の現象の再現性を上げることも重要となってくることを示唆します。2019年の秋は、台風 15 号や 19 号等の大型台風が日本列島を直撃し甚大な被害をもたらしたことは記憶に新しいですが、遠く離れた南極における成層圏突然昇温と、活発な台風発生環境とが、無関係ではないかもしれません。

ただし、あくまで本研究で示しているのは「完璧な成層圏突然昇温の予測」が実現できた場合を想定した結果です。決定論的な成層圏突然昇温の発生予測には限界があるため、実際の季節予測においては原理的にどの程度までしか「完璧」に近づけないのかを把握しておくことが重要です。

また、季節予測のように多数のアンサンブルで長期間の予測を行う際には、計算コストを抑えるために雲の振る舞いを半経験的にモデル化した「積雲パラメタリゼーションスキーム」を用いることが一般的です。本研究は、異なるパラメタリゼーションスキームを用いた場合でも、熱帯域の対流活動が概ね活発化し、成層圏突然昇温の影響が確かであることも示しました。しかし、対流強化のタイミング・大きさ等の影響の詳細には、パラメタリゼーションに依存した不確実性が存在することも同時に示しました。このような不確実性を軽減し、成層圏突然昇温の熱帯対流圏への影響をより正確に予測できるようになるためには、一度コストをかけて、本研究と同様のアンサンブル予測実験を、例えば全球雲システム解像大気モデル NICAM 等の対流雲を直接表現できる数値モデルで実施し、この過程に関してより精緻な理解を得ることが必要と考えています。

#### ※1 成層圏突然昇温:

冬季の極域成層圏において、わずか数日で数十度以上温度が上昇する現象。冬季の成層圏では強い西風が極を周回しており、地球上で最も大きな渦である成層圏周極渦が形成されている。この成層圏周極渦は、対流圏から鉛直伝播してくる惑星規模の大気波動によって大きく変形し、時には崩壊することがある。この時に生じる大規模な極向きの流れ（すなわちブリュワー・ドブソン循環の急速な強化）により、極域成層圏においては空気が圧縮され、温度が急激に上昇するため、この現象は成層圏突然昇温と呼ばれる。中部成層圏（おおよそ高度 30 km）における風が東風へと逆転するほどの大きなイベントは大昇温と呼ばれ、北半球では 3 年に 2 回ほどの頻度で発生している。それに対し、南半球では、大規模な山岳が少なく、惑星規模の大気波動が北半球と比べて不活発であるため、大昇温に分類される成層圏突然昇温は、これまでの観測史上、2002 年の 1 回だけしか発生していない。2019 年の成層圏突然昇温は、（2002 年よりも早い、成層圏周極渦がより強い時期に発生しており、）大昇温にこそ至らなかったものの、2002 年に匹敵するほどの大きな変動を示した。

#### ※2 ブリュワー・ドブソン循環:

成層圏において、赤道域で上昇し、南北両半球の極域へと広がり、そこで下降する大規模な大気の循環。大気中を伝播する波動によって駆動される。水蒸気やオゾンの観測から、ブリュワー (A. W. Brewer) とドブソン (G. M. B. Dobson) が初めにその存在を推察したことから、この名称が使われる。

#### ※3 ハドレー循環:

対流圏の低緯度域において、暖かい赤道域で上昇し、緯度 30 度付近で下降する大規模な大気の循環。太陽からの放射加熱によって駆動される。この循環の概ねの機構は、ハドレー (G. Hadley) により提案されたことから、この名称が使われる。

#### ※4 外向き長波放射量:

地表面や雲頂から宇宙に向かって放射される赤外線エネルギー量。対流活動度の指標として用いられる。一般に、物質は温度に応じた赤外線を放出しているが、温度が高いほどそのエネルギー量は高くなる。熱帯域における背の高い積乱雲の雲頂は温度が低いため、その上において計測される赤外線エネルギー量は低くなる。つまり、この値が小さいほど、対流活動が活発な状態であることを意味する。

**お問い合わせ先：**

(本研究について)

国立研究開発法人海洋研究開発機構

地球環境部門 環境変動予測研究センター 雲解像モデル開発応用グループ

ポストドクトラル研究員 野口峻佑

電話：045-778-5650 E-mail：noguchis[at]jamstec.go.jp

(JST事業に関すること)

国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略研究推進部 グリーンイノベーショングループ

嶋林 ゆう子

電話：03-3512-3531 Fax：03-3222-2066 E-mail：crest[at]jst.go.jp

(報道担当)

国立研究開発法人海洋研究開発機構

海洋科学技術戦略部 広報課 電話：045-778-5690 E-mail：press[at]jamstec.go.jp

国立研究開発法人科学技術振興機構

広報課 電話：03-5214-8404 Fax：03-5214-8432 E-mail：jstkoho[at]jst.go.jp

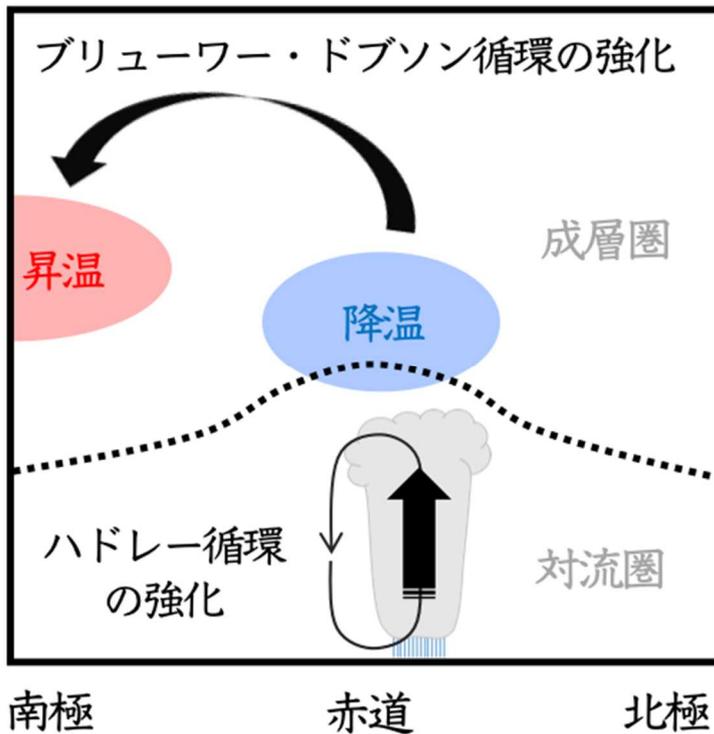


図1 本研究により実証した過程の模式図。

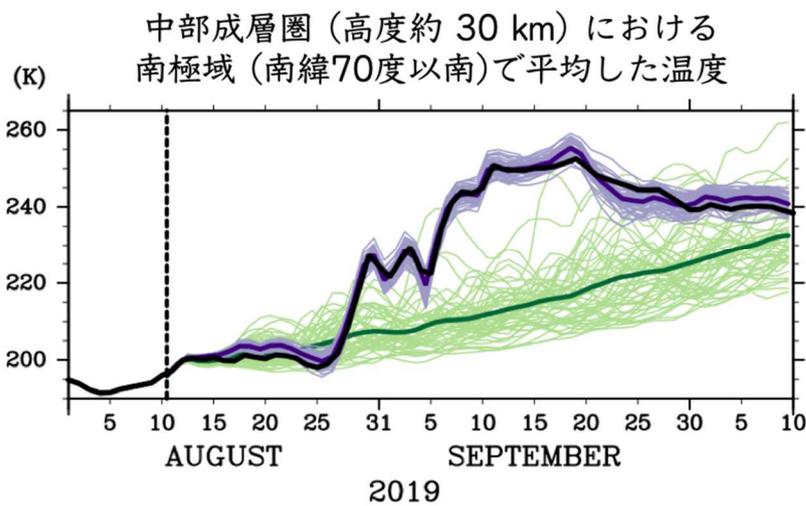


図2 中部成層圏 (高度約 30km) における南極域 (南緯 70 度以南で平均した) 温度の時系列。黒線が実際の時間発展を示し、8 月下旬から 9 月中旬にかけて成層圏温度が急激に上昇 (50 K 以上) していることがわかる。縦点線で示した予測開始日 (8 月 10 日) より、それぞれ 51 メンバーずつのアンサンブル予測を行い、緑線が通常の前測、紫線が成層圏の状態を拘束 (実際の状態に近づくようシミュレーションを随時修正) した前測を示す。各色の太線はアンサンブル平均を表す。この開始日からでは成層圏突然昇温の発生を確実に前測するのは困難であり、ほとんどの緑線は黒線を追っていない。

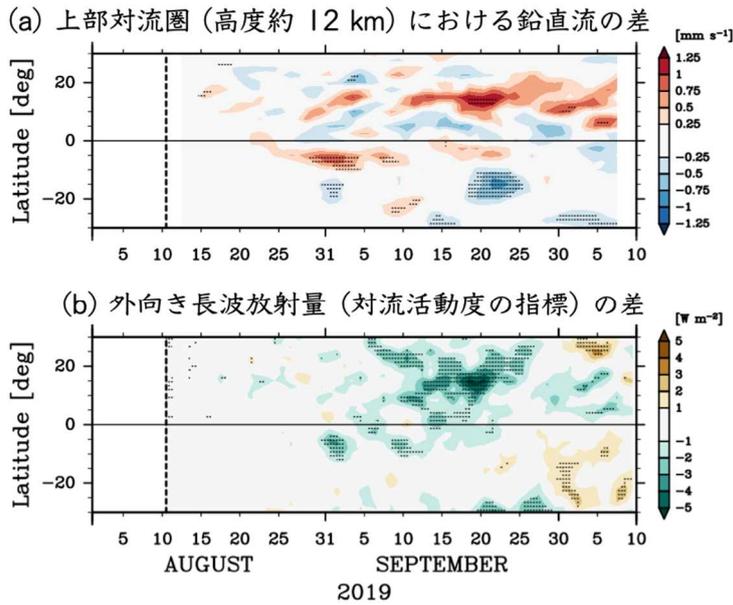


図3 成層圏突然昇温を再現したことによって生じた (a) 残差平均鉛直流と (b) 外向き長波放射量 (ともに東西平均) の差 (図2の紫線集団の緑線集団からの差のアンサンブル平均に相当) の時間-緯度断面。ハッチで統計的に有意な差を示す。外向き長波放射量 (※4) は、熱帯域における対流の活動度を示し、値が低い程、対流が活発であることを示す。これらの図より、9月中旬から下旬にかけて、北緯10-20度付近で上昇流を伴う対流活動が活発化していたことがわかる。

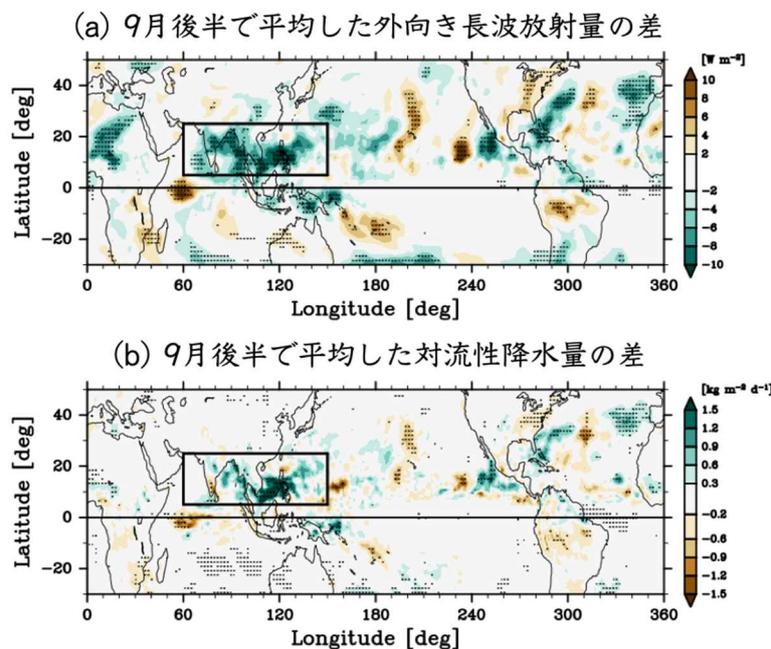


図4 成層圏突然昇温を再現したことによって生じた (a) 外向き長波放射量と (b) 対流活動に伴う降水量の差の水平分布。9月後半 (16日から30日まで) の期間平均。ハッチで統計的に有意な差を示す。四角枠で今回の成層圏突然昇温の影響が特に大きかった領域 (アジアモンスーンの南域) を示す。これらの図より、この領域における対流活動が活発化しており、積雲対流に伴う降水量も増加していたことがわかる。