

基礎研 レター

気候変動と熱帯低気圧の変化

高緯度まで低速度で移動することで、災害が激甚化

保険研究部 主席研究員 篠原 拓也

(03)3512-1823 tshino@nli-research.co.jp

1—はじめに

気候変動問題を巡る動きが世界中で活発になっている。地球温暖化により、世界各地で海面水位の上昇や、干ばつ、大規模な山林火災などの脅威が増している。併せて、強風や豪雨に伴う、洪水や土砂災害の発生も懸念が高まっている。特に、熱帯低気圧(ハリケーン、サイクロン、台風等)¹がもたらす極端な気象現象により、風水災の激甚化・頻発化が進むことが恐れられている。

ただ、そもそも気候変動問題と熱帯低気圧の発生の間にはどのような関係があるのだろうか。各国で予測モデルによるシミュレーション等を通じて、熱帯低気圧の変化についての研究が進んでいるが、まだ未解明な点も多いとされている。

本稿では、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第1ワーキンググループ(WG1)が2021年に公表した、第6次評価報告書(AR6)(以下、「報告書」と呼称)の内容を中心に、気候変動問題が、熱帯低気圧にどのような影響を及ぼすのか、現在までに得られた知見を概観していくこととしたい。

2—熱帯低気圧の発生数

まず、近年、世界で発生した熱帯低気圧の数を見ておこう。

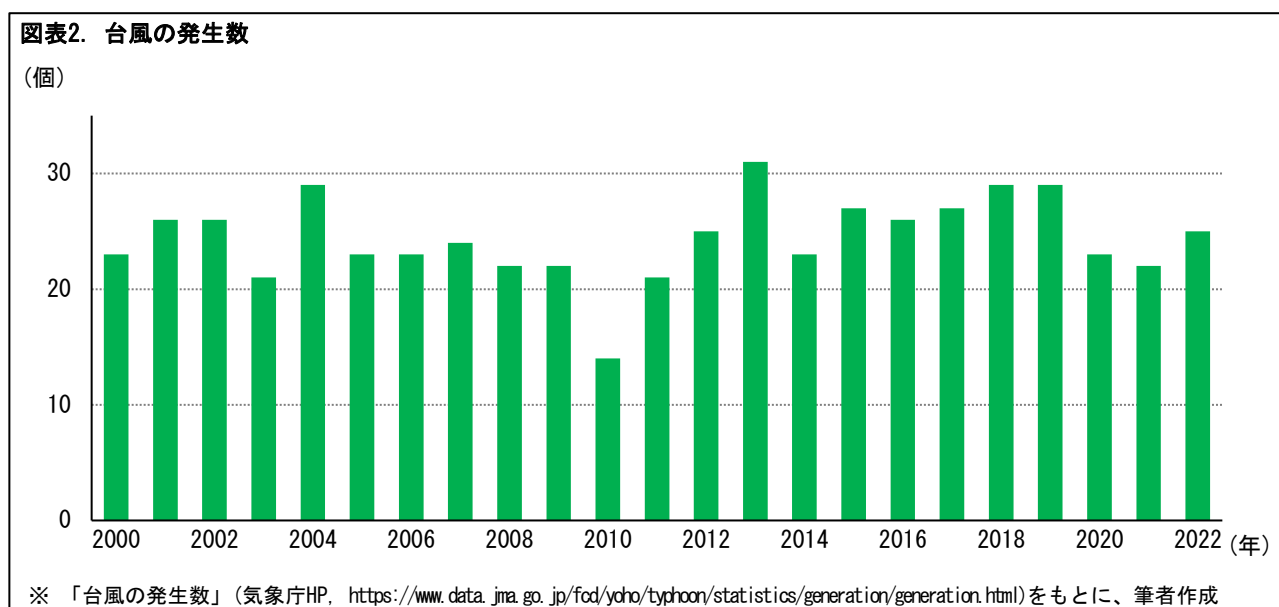
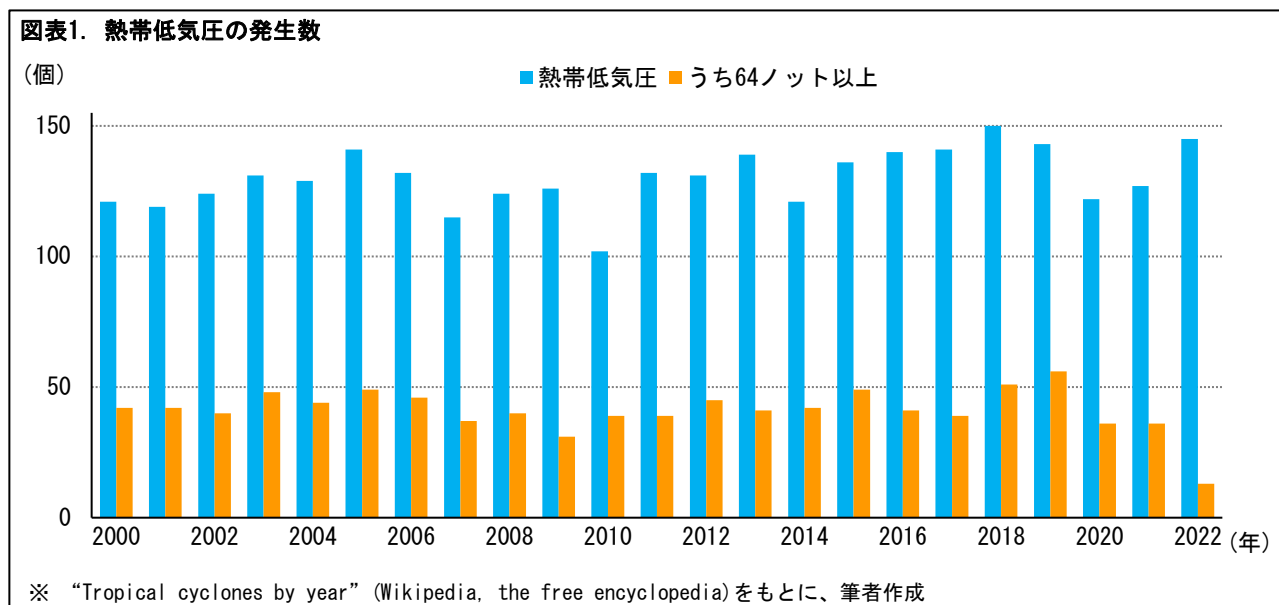
世界では、2000～22年の間、熱帯低気圧が毎年100～150個程度(平均して年に130個)。そのうち勢力の強い64ノット(秒速約33メートル)以上のものは、毎年40個前後(同41.1個)発生している。熱帯低気圧の発生数は、この20年あまり、概ね横這いで推移していると言える。

また、気象庁のホームページから、北西太平洋または南シナ海で発生した台風の発生数を見ると、2000～22年の間は2010年を除いて²、毎年20～30個程度で、平均すると年に24.4個の発生となっ

¹ 熱帯低気圧は、熱帯から亜熱帯の海洋上で発生する低気圧の総称。世界気象機関(WMO)の規定する国際分類をもとに、最大風速(1分間平均)が64ノット(秒速約33メートル)以上のもので、発生した海域が北西太平洋なら「タイフーン」、北大西洋・北東太平洋なら「ハリケーン」、インド洋・南西太平洋なら「サイクロン」(厳密には、72ノット以上で南西インド洋ではトロピカル・サイクロン、南太平洋ではシビア・トロピカル・サイクロン等)と呼ばれている。(地域によって、多少差異のある分類法が使用されている。)一方、気象庁は、北西太平洋または南シナ海に存在し、低気圧域内の最大風速(10分間平均)が秒速約17メートル(34ノット、風力8)以上のものを「台風」と定義している。

² 1951年の統計開始以降、台風の発生数が20個に満たなかったのは1969年、1998年、2010年のみ。

いる。これも、大きくは横這いで推移していると見ることができるだろう。



3—熱帯低気圧の頻度と強度の予測の難しさ

気候変動問題、特に地球温暖化と熱帯低気圧の発生の間にはどのような関係があるのだろうか。研究者のみならず、誰にとっても関心が高い事項だろう。ただ、一般に、熱帯低気圧の頻度と強度を予測することは困難とされる。その理由について、報告書をもとに簡単に確認しておこう。

1 | 熱帯低気圧には大気と海洋の大規模循環が作用する

気象学では、大気と海洋の大規模な循環がいくつか発見されている。例えば、季節単位ではマッデ

ン・ジュリアン振動³。年単位だと、エルニーニョ・南方振動(ENSO)⁴。十年単位だと、太平洋十年規模振動⁵などが挙げられる。

こうした大規模な循環があると、その循環そのものの変化や、各循環が熱帯低気圧に与える影響の変化がなかなか見通しにくい。また、こうした循環とは別に、熱帯低気圧の発生に人為的な影響がどのくらい寄与しているのか、といった検出も困難となる。その結果、熱帯低気圧の活動を予測する上で、不確実性が高まるとされる。

2 | 観測機器の技術進歩により、大昔と近年とでデータの品質が異なる

気象観測機器は、技術進歩が続いている。その結果、熱帯低気圧の頻度や強度の長期的な傾向を見ようとする、大昔と近年とで、データの品質が異なっていることに直面する。ここで悩ましいのは、実績データに長期的な一定の変化が見られた場合に、それが、気候自体の物理的傾向が変化したことによるものなのか、それともデータの品質の違いによるものなのか、解釈しがたい点だ。

そこで最近では、観測期間をあまり長期間とせず、過去40年程度に絞って、その間のデータの均質化(技術進歩分の調整)を行ったうえで、熱帯低気圧の傾向分析を行う研究が行われている。そうした均質化されたデータをもとに見ていくと、熱帯低気圧の強度は増加傾向にあるが、その変動は小さくなる傾向である、といった分析結果が公表されている。^{6,7}

このように、熱帯低気圧の頻度と強度については、データ品質の問題が影響するため、長期間の傾向分析が難しいという問題がある。

4—熱帯低気圧の変化に関する知見

一方、熱帯低気圧の変化として、データ品質の影響によらず、長期に渡り特定されている知見もある。それを見ていこう。

1 | 熱帯低気圧の極方向への移動が進んでいる

一般に、熱帯低気圧は、赤道付近で発生後、しばらくの間成長して強度を高めていく。その強度がピークに達する地点の緯度をみると、極方向への移動が進んでいるという。

これは、赤道付近で発生した熱帯低気圧が勢力を拡大しながら緯度の高い温帯地域に移動するケースが増えていることを表している。従来は達することのなかったような高緯度の地域でも、熱帯低気

³ 「おもにインド洋で発生する数千キロメートルスケールの巨大雲群が、赤道に沿って毎秒約5メートル程度の速度で東へ進み、多くは太平洋の日付変更線付近で消滅する現象のこと。名称の由来は、1972年にアメリカの気象学者Roland A. Madden(1938-)とPaul R. Julian(1929-)によって赤道上の風と気圧に40~50日の周期性があることが発見されたことによる。」(「マッデン・ジュリアン振動」饒村 曜(日本大百科全書(ニッポニカ), 小学館, 2020年3月18日)より)

⁴ 「エルニーニョの本来の意味は、エクアドルとペルー沿岸で定期的に起こり、現地の漁業に被害をもたらす暖水流のことである。この海洋現象は、南方振動とよばれるインド洋と太平洋の赤道域で起こる海面気圧分布パターンと海水循環の揺動に伴って発生する。この大気-海洋の連動現象は合わせてエルニーニョ南方振動として知られている。」(「エルニーニョ南方振動(ENSO)」(「IPCC AR4 WG2 付録 i 用語解説」, 国立環境研究所)より。)

⁵ 「主に、北太平洋の海面水温に見られる、10年から数10年規模の不規則な周期性をもつ変動。北太平洋中央部と北米沿岸で、平均水温からの正負の偏差が逆になることが知られる。」(「太平洋十年規模振動」(デジタル大辞泉, 小学館)より。)

⁶ “Trend Analysis with a New Global Record of Tropical Cyclone Intensity” Jamez P. Kossin, Timothy L. Olander, Kenneth R. Knapp (Journal of Climate, 26(24), 9960-9976, doi:10.1175/jcli-d-13-00262.1., 2013)

⁷ “Recent intense hurricane response to global climate change” Greg Holland, Cindy L. Bruyère (Climate Dynamics, 42(3-4), 617-627, doi:10.1007/s00382-013-1713-0., 2014)

圧の襲来リスクにさらされつつあることを示している。つまり、リスク地域の拡大と言える。こうした熱帯低気圧の極方向への移動は、特に、北太平洋海盆西部で顕著とされる。熱帯低気圧の極方向への移動については、多数の記録が示されている。^{8,9}

2 | 熱帯低気圧の移動速度が低下している

通常、熱帯低気圧は発生後、高緯度方向に移動していく。報告書によると、その移動速度が低下しているという。これにより、熱帯低気圧の襲来時間が長くなるため、局地的な降雨量の増大につながっている。また、風による災害や、沿岸地域の高潮にも影響を与えている。¹⁰

なお、北米沿岸地域では移動速度の低下とともに、移動方向が変化することが一般的となっており、地域の降雨量の増加につながっているという。¹¹

5——熱帯低気圧の予測モデル

熱帯低気圧の影響範囲が広がり、速度低下による被害の甚大化が進むなかで、モデルを通じた予測の重要性が高まっている。熱帯低気圧の予測モデルについて、報告書の内容をごく簡単に見ていこう。

1 | 予測モデルの要件：熱帯低気圧の環境要因と活動を正確に表現すること

将来の熱帯低気圧の活動を正確に予測することは、防災や減災の活動を進める上で重要である。報告書によると、予測モデルには大きく2つの要件があるとされている。

(1) 熱帯低気圧の環境要因を正確に表現すること

第5次評価報告書では、確信度のステートメントは、地球の表面温度と水分に基づいていた。しかし、熱帯低気圧の発生、強度、軌跡等の特性には、海面水温の地域構造が影響する。また、周辺の大規模な大気の流れ(環境指向流)や、高層と低層での地衡風の鉛直方向での風向・風速の違い(鉛直シア)といった、大気循環の変化も影響を及ぼす。だが、第5次評価報告書は、これらには基づいていなかった。

熱帯低気圧には、海盆全体の活動、他の熱帯低気圧との間の空間的な分布なども影響するとされており、環境要因を正確に表現することが必要となる。

(2) 実際の熱帯低気圧の活動を正確に表現すること

熱帯低気圧の構造を把握して、モデル化することが必要となる。当然のことだが、一般に、モデルの解像度が高くなるにつれて、予測の確信度は高まる。空間を細かく区切って予測する際のグリッド間隔が100~200キロメートルといった粗いモデルでは、熱帯低気圧のシミュレーションに難が生じる。グリッド間隔を1~10キロメートルとする対流許容モデルを用いることで、熱帯低気圧でよく見

⁸ “Past and Projected Changes in Western North Pacific Tropical Cyclone Exposure” James P. Kossin, Kerry A. Emanuel, Suzana J. Camargo (Journal of Climate, 29(16), 5725-5739, doi:10.1175/jcli-d-16-0076.1, 2016)

⁹ “Third assessment on impacts of climate change on tropical cyclones in the Typhoon Committee Region – Part I: Observed changes, detection and attribution” Tsz-Cheung Lee, Thomas R. Knutson, Toshiyuki Nakaegawa, Ming Ying, Eun Jeong Cha (Tropical Cyclone Research and Review, 9(1), 1-22, doi:10.1016/j.tcr.2020.03.001.)など。

¹⁰ “A global slowdown of tropical-cyclone translation speed” James P. Kossin (Nature, 558(7708), 104-107, doi:10.1038/s41586-018-0158-3., 2018)

¹¹ “Hurricane stalling along the North American coast and implications for rainfall” Timothy M. Hall, James P. Kossin (npj Climate and Atmospheric Science, 2(1), 1-9, doi:10.1038/s41612-019-0074-8.)

られる目の壁雲¹²の構造を把握し、現実的なシミュレーションが可能となる。また、15～50 キロメートルのグリッド間隔を持つ地域気候モデルは、水平境界条件と地表境界条件のさまざまな組み合わせをとることができ、予測の不確実性を調べることに役立つ。これらは、ベトナムやフィリピンなど、特定地域での熱帯低気圧の特性の変化を研究するために用いられる。

2 | 人為的な影響があったことは合意されているが、その影響の大きさに関するコンセンサスははない

世界中の研究者の間で、さまざまな予測モデルが構築され、シミュレーションが行われている。

現在までに、報告書が参照している文献の間では、温室効果ガスやエアロゾルの人為的な排出が、熱帯低気圧が発生しやすい地域で観測された海洋と大気の変動に測定できる範囲で影響を与えていることについて、一般的な合意がなされている。

しかし、例えば、大西洋のハリケーン活動の過去の変化に、人間と自然変動が影響した相対的な大きさや、どの要因が大きく寄与したかといった点については、コンセンサスは得られていない。大西洋の熱帯低気圧の活動の変化が、大気と海洋の大規模循環といった自然変動の範囲を超えているかについては、依然として不明となっている。

6—おわりに（私見）

本稿では、気候変動問題と熱帯低気圧の関係について、現在得られている知見を見ていった。高緯度に至るまで、低速度で移動する熱帯低気圧が多くなることで、風水災の被害範囲や激甚性は高まっているものと考えられる。

ただ、一方で、両者の間の作用機序は複雑であり、エルニーニョ・南方振動(ENSO)など、大気や海洋の大規模循環も熱帯低気圧の発生や発達に影響を与えていると考えられる。熱帯低気圧による風水災の被害を防いだり減じたりするためには、現在進行中の様々な研究の成果をもとに、さらに知見を高めていくことが必要と考えられる。

引き続き、気候変動の動向や、熱帯低気圧等の極端な気象現象に、注意していくこととしたい。

(参考資料)

“Climate Change 2021 – The Physical Science Basis” (IPCC WG1, 2021)

“Tropical cyclones by year” (Wikipedia, the free encyclopedia)

「台風の発生数」(気象庁 HP)

<https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/statistics/generation/generation.html>

¹² 台風の目のまわりには円筒形の領域に密集した高度十数 km に達する背の高い積乱雲群が発生する。この円筒状の雲全体は目の壁雲と呼ばれる。(「図解・気象学入門—原理からわかる雲・雨・気温・風・天気図」古川武彦・大木勇人著(ブルーバックス, B-1721, 講談社, 2011年)をもとに、筆者がまとめた。)

「マッデン・ジュリアン振動」 饒村 曜 (日本大百科全書(ニッポニカ), 小学館, 2020年3月18日)

「エルニーニョ南方振動(ENSO)」 (「IPCC AR4 WG2 付録 i 用語解説」, 国立環境研究所)

「太平洋十年規模振動」 (デジタル大辞泉, 小学館)

“Trend Analysis with a New Global Record of Tropical Cyclone Intensity” James P. Kossin, Timothy L. Olander, Kenneth R. Knapp (Journal of Climate, 26(24), 9960-9976, doi:10.1175/jcli-d-13-00262.1., 2013)

“Recent intense hurricane response to global climate change” Greg Holland, Cindy L. Bruyère (Climate Dynamics, 42(3-4), 617-627, doi:10.1007/s00382-013-1713-0., 2014)

“Past and Projected Changes in Western North Pacific Tropical Cyclone Exposure” James P. Kossin, Kerry A. Emanuel, Suzana J. Camargo (Journal of Climate, 29(16), 5725-5739, doi:10.1175/jcli-d-16-0076.1, 2016)

“Third assessment on impacts of climate change on tropical cyclones in the Typhoon Committee Region – Part I: Observed changes, detection and attribution” Tsz-Cheung Lee, Thomas R. Knutson, Toshiyuki Nakaegawa, Ming Ying, Eun Jeong Cha (Tropical Cyclone Research and Review, 9(1), 1-22, doi:10.1016/j.tcrr.2020.03.001.)

“A global slowdown of tropical-cyclone translation speed” James P. Kossin (Nature, 558(7708), 104-107, doi:10.1038/s41586-018-0158-3., 2018)

“Hurricane stalling along the North American coast and implications for rainfall” Timothy M. Hall, James P. Kossin (npj Climate and Atmospheric Science, 2(1), 1-9, doi:10.1038/s41612-019-0074-8.)

「図解・気象学入門—原理からわかる雲・雨・気温・風・天気図」 古川武彦・大木勇人著 (ブルーバックス, B-1721, 講談社, 2011年)