

熱帯低気圧発生に関する指標

—Genesis Potential Index—

1. はじめに

熱帯低気圧の発生は熱帯域における対流群が自己持続する総観規模スケールの渦に変遷し、最大風速が 17 ms^{-1} を超えるものとして定義されている。熱帯低気圧の発生には様々な要因が絡んでおり、海域、季節によっても異なり、影響を及ぼす時空間スケールも様々である。これらの要因のいくつかを組み合わせると熱帯低気圧の発生頻度を予測する指標 (Genesis Potential Index ; GPI) を用いた研究が近年盛んである。本稿では GPI の考え方、応用研究例、そして GPI の問題点や今後の動向を紹介する。

2. GPI とは

Gray (1975) は熱帯低気圧の発生と周辺環境場の関係を調べ、以下に挙げる 6 項目が熱帯低気圧発生の必要条件であると示した。

- ① 水平風の鉛直シアが小さいこと。鉛直シアが強いと中心付近のウォームコアが流され (換気効果) 熱帯低気圧が発達できないため。
- ② 海面付近の水温が 26°C 以上であること。熱帯低気圧のエネルギー源は暖かい海から供給される水蒸気である。水蒸気が上昇流中で凝結する際に出す潜熱が空気を暖め、さらに上昇流を強める。
- ③ 対流圏下層～中層間の相当温位の鉛直勾配が負で大きいこと (対流不安定であること)。深い対流活動が活発でないと熱帯低気圧が発生しにくいいため。
- ④ 対流圏下層における低気圧性渦度が大きいこと。境界層内の摩擦収束は相対渦度に比例するため。
- ⑤ 対流圏中層の相対湿度が高いこと。乾燥空気が対流にエンTRAINすると対流活動が抑制されるため。
- ⑥ 赤道からある程度離れていること。境界層における運動量生成はコリオリパラメータに依存しているため。

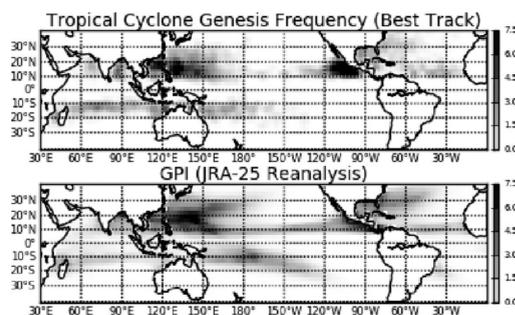
ここで必要条件とは個々の条件を満たしていても必

ずしも熱帯低気圧が発生しないことを意味する。これらの必要条件をパラメータ化し組み合わせ、観測の熱帯低気圧発生頻度の空間分布や季節変化を再現する指標が GPI である。

GPI を最初に考案したのは Gray (1975) であるが、ここでは最近良く使われている Emanuel and Nolan (2004) の GPI を紹介する。彼らが考案した GPI は Gray の GPI を改良したもので式 (1) のとおりである。

$$GPI = |10^5 \eta|^{1.5} \left[\frac{RH}{50} \right]^3 \left[\frac{V_{\text{pot}}}{70} \right]^3 (1 + 0.1 V_{\text{shear}})^{-2} \quad (1)$$

ここで η は 850 hPa 高度における絶対渦度 (s^{-1})、 RH は 600 hPa 高度における相対湿度 (%), V_{shear} は 850 hPa と 200 hPa 高度間の水平風の鉛直シア (ms^{-1}) を示す。 V_{pot} は最大ポテンシャル強度 (Maximum Potential Intensity ; MPI ; ms^{-1}) と呼ばれ、海面水温 (SST) と気温・水蒸気の鉛直構造から算



第1図 観測による1979～2003年における熱帯低気圧発生頻度 (上) と JRA-25再解析を用いて計算された GPI (下)。各グリッド毎 (2.5°間隔) で発生頻度 (または GPI) の気候平均を求め、全球空間パターンの標準偏差で割って規格化してある。図は北半球が5～11月の、南半球が12～4月の気候平均で合成してある。単位は標準偏差 (1 σ)。上下の空間パターンの相関係数は0.71。

出される理論的な最大強度である。GPIの構成要素のうち水平風の鉛直シアーのみがGPIに対して負の影響を及ぼす。第1図は観測による熱帯低気圧発生頻度とJRA-25再解析を使って計算されたGPIの気候平均空間分布を比較したものである。GPIは観測の発生頻度の空間分布をおおよそ捉えている。

3. GPIの応用例

GPIの有用性は以下のことが挙げられる。

- ① GPIが観測される（または予測された）熱帯低気圧の発生頻度分布を再現できれば、GPIを構成する要素のうちどの要素が熱帯低気圧の発生に寄与しているのかを調べることができる。
- ② 大規模場の予測値をGPIのインプットに用いれば熱帯低気圧発生可能性の予測が可能である。例えば、気候予測実験において気候モデルの水平解像度が低く、個々の熱帯低気圧の構造を表現できなくてもGPIによって熱帯低気圧の発生頻度を予測することができる。

GPIを用いた研究例をいくつか紹介する。Camargo *et al.* (2007) はエルニーニョ年とラニーニャ年の熱帯低気圧発生頻度の空間分布の違いに注目し、GPIがその違いを再現できることを示した。さらに、エルニーニョ年における北大西洋（北西太平洋）の発生頻度の減少（東方へのシフト）は相対湿度と鉛直シアー（相対湿度と下層渦度）が最も影響を及ぼしていることを示した。Camargo *et al.* (2009) は同様にしてマッデン・ジュリアン振動の対流活発フェーズで熱帯低気圧の発生頻度が増加することに注目し、GPI解析を通じて対流圏中層の相対湿度の増加が最も影響を及ぼしていると示した。

気候モデルのアウトプットを使った研究事例も数多くある。Vecchi and Soden (2007) はIPCC第4次評価報告書で引用された18の大気海洋結合モデルのアウトプットを用いて計算されたGPIが将来、北大西洋で減少していることに注目した。その結果、鉛直シアーの増大が北大西洋の熱帯低気圧発生頻度を減少させると示唆した。また、Yokoi and Takayabu (2009) は5つのモデルのアウトプットを使い、直接抽出された熱帯低気圧の発生頻度が将来、中部太平洋で増大することを示した。その要因はGPIを用いて下層渦度の増大と鉛直シアーの減少が寄与していることを示した。

4. GPIの問題点と今後の動向

GPIの問題点もいくつかある。まず、GPIは発生頻度の季節変化や気候平均の空間分布は良く再現するが年々変動の再現性は良くない。図では示さないが、観測された総発生数と総GPIの年々変動の相関は北西太平洋やインド洋ではほぼ無相関であった。式(1)は元々、観測による熱帯低気圧発生頻度の気候学的季節変化と空間分布を再現するために重回帰分析で最適化されたためである。また、Yokoi and Takayabu (2009) にあるように直接熱帯低気圧を抽出した発生頻度の将来変化とGPIの将来変化が一致しない海域も存在する。現在気候で最適化されたGPIが将来気候に適応できる保証はない。むしろ、それぞれの気候実験でGPIを最適化し熱帯低気圧発生頻度の要因を解釈するのが適切であるかもしれない。

今後は改良されたより精度の高いGPIが報告されるであろう。すでにEmanuel (2010), Murakami and Wang (2010) や Tippett *et al.* (2010) で改良されたGPIの報告もある。GPIの構成要素として計算が難しいものは除外され比較的容易に計算できるものに移行する傾向にある。

参考文献

- Camargo, S. J., K. A. Emanuel and A. H. Sobel, 2007 : Use of a genesis potential index to diagnose ENSO effects on tropical cyclone genesis. *J. Climate*, 20, 4819-4834.
- Camargo, S. J., M. C. Wheeler and A. H. Sobel, 2009 : Diagnosis of the MJO modulation of tropical cyclogenesis using an empirical index. *J. Atmos. Sci.*, 66, 3061-3074.
- Emanuel, K. A., 2010 : Tropical cyclone activity downscaled from NOAA-CIRES reanalysis, 1908-1958. *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 2, 12 pp., doi : 10.3894/JAMES.2010.2.1.
- Emanuel, K. A. and D. S. Nolan, 2004 : Tropical cyclone activity and global climate. Preprints, 26th Conf. on Hurricanes and Tropical Meteorology, Miami, FL, Amer. Meteor. Soc., 240-241.
- Gray, W. M., 1975 : Tropical Cyclone Genesis. Dept. of Atmospheric Science Paper 234, Colorado State University, Fort Collins, CO, 121 pp.
- Murakami, H. and B. Wang, 2010 : Future change of North Atlantic tropical cyclone tracks : Projection by a 20-km-mesh global atmospheric model. *J. Climate*, 23, 2699-2721.

- Tippett, M. K., S. J. Camargo and A. H. Sobel, 2010 : A Poisson regression index for tropical cyclone genesis and the role of large-scale vorticity in genesis. *J. Climate*, submitted.
- Vecchi, G. A. and B. J. Soden, 2007 : Increased tropical Atlantic wind shear in model projections of global warming. *Geophys. Res. Lett.*, **34**, L08702, doi : 10.1029/2006 GL028905.
- Yokoi, S. and Y. N. Takayabu, 2009 : Multi-model projection of global warming impact on tropical cyclone genesis frequency over the western North Pacific. *J. Meteor. Soc. Japan*, **87**, 525-538.

(海洋研究開発機構 村上裕之)
