

熱帯・亜熱帯・温帯における低気圧の環境場の比較

柳瀬 亘・新野 宏（東大 大気海洋研）

1. はじめに

地球上には様々な種類の低気圧が形成している。代表的な低気圧としては、積雲対流の凝結熱をエネルギー源とする熱帯低気圧と、傾圧不安定により水平温度勾配をエネルギー源とする温帯低気圧がある。さらに、これらの中間的な種類として、亜熱帯低気圧や、温帯低気圧化・熱帯低気圧化の過程がある（ここではハイブリッド低気圧と呼ぶ）。

本研究の第1の目的は、各種類の低気圧が地球上のどのような場所で発達しているか、という気候学的分布を把握することである。そのためには、再解析データから低気圧を検出し、その種類を客観的に分類する必要がある。Hart (2003)は低気圧の構造を上層と下層の暖気核・寒気核という指標で表し、上層・下層ともに暖気核を持つものを熱帯低気圧、上層・下層ともに寒気核を持つものを温帯低気圧と分類した。この指標では、ハイブリッド低気圧は、上層が寒気核、下層が暖気核の低気圧として分類できる。

イメージをつかみやすくするため、気候学的分布を求めた結果を先に示す。図1は夏季の北半球(6-8月)と南半球(12-2月)における低気圧の発達の位置のプロットである。低気圧の発達は、熱帯と温帯で活発であり、亜熱帯では不活発である。低気圧の発達の頻度の緯度分布を見ても(図2)、この特徴は北半球・南半球ともに顕著である。

本研究の第2の目的は、「低気圧の発達が活発な熱帯と温帯、不活発な亜熱帯」という特徴を、環境場の観点から理解することにあ

る。この特徴は、特に陸地の影響が小さい南半球で明瞭である。本研究では、解釈のしやすさから、主に夏季の南半球の低気圧について紹介する。本研究の詳細は、Yanase et al. (2014; 以下 Y14)で報告されている。

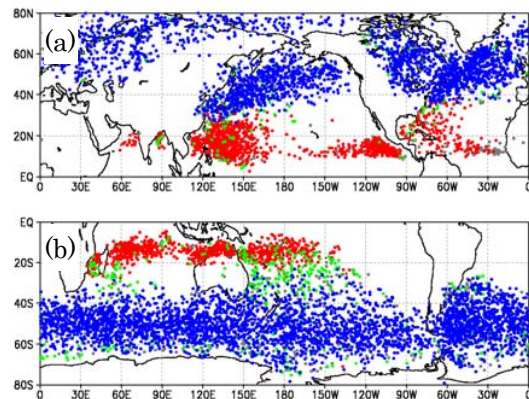


図1：30年間の低気圧の発達の位置を1日ごとにプロットした分布図。(a)北半球の夏季; (b)南半球の夏季。熱帯低気圧(赤)、温帯低気圧(青)、ハイブリッド低気圧(緑)。Y14より転載。

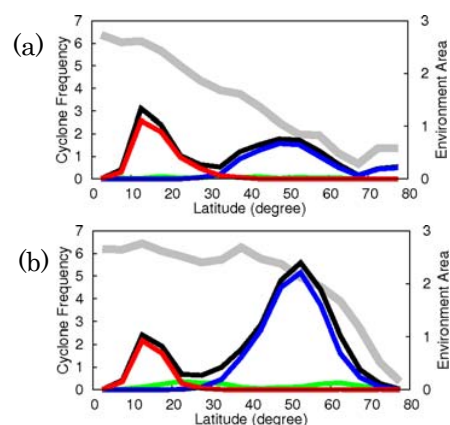


図2：低気圧発達の頻度の緯度分布(左側の目盛; 単位は個/日/80°)。全低気圧(黒)、熱帯低気圧(赤)、温帯低気圧(青)、ハイブリッド低気圧(緑)を示す。灰色の太線は各緯度で海洋が占める面積(右側の目盛; 単位は10⁶km²/日/80°)。Y14より転載。

2. 手法

解析には1981年12月～2012年11月の30年分のJRA-25再解析データ(格子間隔1.25°)を使用する。再解析データから低気圧を検出するために、Hodges (1994, 1995, 1999)のトラッキング手法を利用した。まず、1000km以下の微細構造を除くため、850 hPa面の渦度場を切断波数T42の解像度に変換し、その極大の位置を6時間ごとに検出した。次に、前後の時間ステップの渦度の極大(複数ある)を比較して、同一の低気圧と考えられる極大を結びつけて、低気圧の一生を追跡する。この際に、トラックが滑らかになるような極大の組み合わせを評価する。

低気圧がある程度の強さを持ち、かつ、発達中のものを解析するため、トラックに沿って1日平均した渦度が $5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 以上、発達率が 0.1day^{-1} 以上のものを拾った。1つの低気圧において、この条件を満たす期間がn日あれば、n個分のデータとして解析を行う。さらに、Hart(2003)の手法に従って、低気圧を熱帯低気圧、温帯低気圧、ハイブリッド低気圧と分類した。

このようにして得られた低気圧の発達の気候学的分布が図1である。低気圧の種類の情報をつ加することで、分布の解釈がしやすくなっている。この後の解析では、海上で発達する低気圧のみを議論する。

次に、低気圧の分布を理解する上で重要な要因となる環境場について考える。図3に600hPa面の相対湿度(RH)、Potential Intensity (PI)、Baroclinicity(BC)の気候値を示す。PIは熱帯低気圧の発達と関係した環境場の指標であり、海面水温が高く、大気が湿潤的に不安定であるほど高い値を持つ(Bister and Emanuel, 2002)。BCは温帯低気圧が発達しやすい環境場の指標となる

850hPa面のEady発達率であり、水平温度勾配が大きいほど高い値を持つ(Hoskins and Valdes, 1990)。低気圧の分布(図1b)と比較すると、熱帯低気圧も温帯低気圧もRHが高い環境場で発達し、熱帯低気圧はPIが高い環境場で、温帯低気圧はBCが高い環境場で多く発達していることが確認できる。

実際には、低気圧の環境場は季節進行や季節内変動、年々変動などにより時間とともに変化するため、季節平均した気候値で議論するには限界がある。そこで、1日ごとの環境場を解析するが、単純な1日平均のデータは低気圧自身のシグナルを強く含み、環境場とみなすには不適切である。そこで、1000km以下のシグナルを除く空間フィルタと、20日の移動平均による時間フィルタをかけた場を環境場として扱う。

低気圧の発達と環境場との直接的な対応

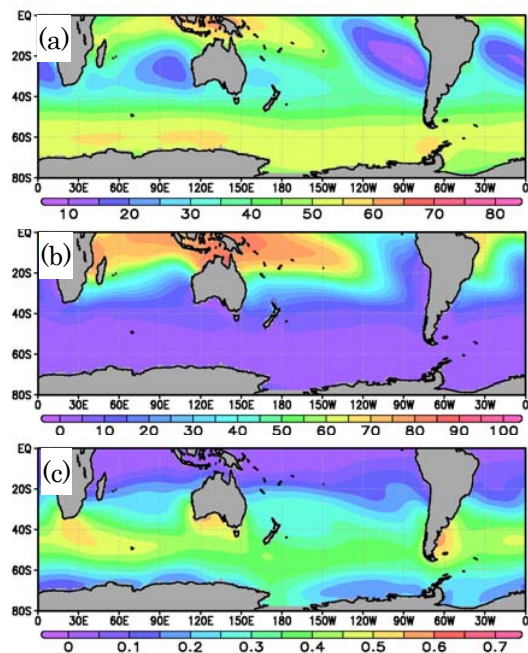


図3：夏季の南半球の環境場の気候値。(a)600hPa面の相対湿度(%). (b) Potential Intensity (ms^{-1}). (c) Baroclinicity (day^{-1}). Y14より転載。

を調べるため、本研究では低気圧の環境場を座標軸にとるパラメータ空間を考え、低気圧の頻度を解析する。例として RH を座標軸にとった空間を考える (図 4 a)。全低気圧の発達 (黒線) が起きているのは、主に RH が 30~60% の環境場である。

RH のパラメータ空間での低気圧の頻度の分布を理解するのに、もう一つ重要な情報は、各 RH の値を持つ環境場がどのくらいの広さを持っているかという点である。この値を環境場の面積と呼び、低気圧の有無に関係なく、夏季の南半球の海洋上における全期間・全地点の面積を RH の値ごとに計算する (灰色の線)。環境場の面積の情報が加わる

ことにより、RH が 70% 以上の環境場で低気圧の頻度が低いのは、そのような場所がそもそも南半球に存在しない (面積が 0 に近い) ためであることがわかる。一方で、RH が 20% 以下の環境場については、面積がある程度の大きさを持っているにもかかわらず、低気圧の頻度は低いので、RH が低い環境場は、低気圧の発達にとっては不利であると解釈できる。

以上のことを言い換えると、環境場のパラメータ空間での「低気圧の頻度」を「環境場の面積」で割ると、その環境場が低気圧を発達させやすいかどうかという「効率」を表すことになる。

3. 結果

低気圧の発達が熱帯と温帯とで 2 つのピークを持つという分布を理解するために、熱帯低気圧と温帯低気圧が区別されるような環境場を座標軸にとったパラメータ空間を考える。

PI を座標軸にとったパラメータ空間を図 4b に示す。全低気圧の頻度 (黒線) は、2 つのピークを持ち、60~80ms⁻¹ の高い PI は熱帯低気圧 (赤線) によるピーク、0~20ms⁻¹ の低い PI は温帯低気圧 (青線) によるピークであることがわかる。ここで環境場の面積 (灰色の線) を見ると、やはり 2 つのピークを持っているので、低気圧の頻度の 2 つのピークは環境場の面積によって、ある程度説明される。しかしながら、2 つのピークの形状は、低気圧の頻度に比べて環境場の面積の方がなだらかであるので、低気圧の頻度の分布は環境場の面積だけでなく効率の寄与もあることがわかる。このことは、低気圧の発達が環境場 PI の値に敏感であることを意味する。

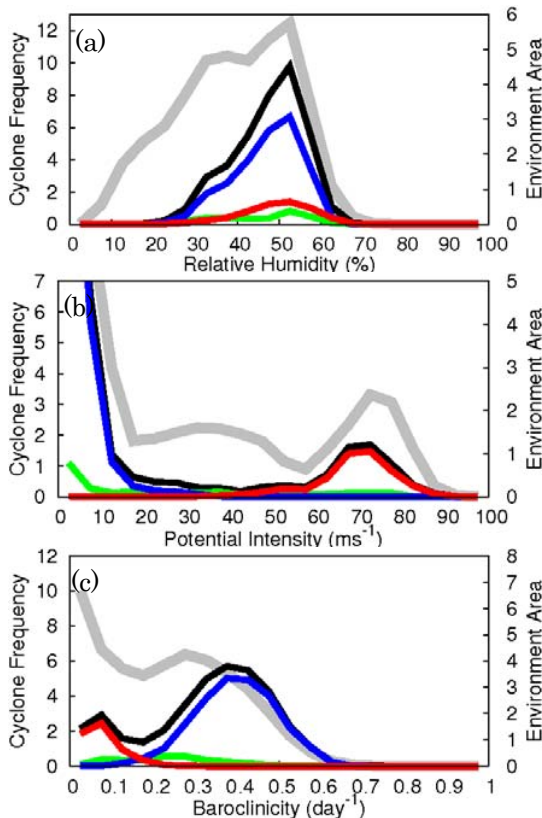


図 4：環境場のパラメータ空間における低気圧の頻度(event day⁻¹ range⁻¹)と環境場の面積(10⁶km² day⁻¹ range⁻¹)。 (a) RH, (b) PI, (c) BC。単位に現れる range とは各パネルの横軸の範囲(例えば RH なら 0~100)であり、この範囲で頻度を積分すると、1 日当たりの頻度となる。Y14 より転載。

BC のパラメータ空間 (図 4c) に関しても、低気圧の頻度と環境場の面積との両者に 2 つのピークが見られるが、やはり後者の方がよりなだらかな形状をしているため、効率も影響していると言える。

ここで改めて RH のパラメータ空間 (図 4a) を見ると、全低気圧の頻度は 1 つのピークしか持たず、RH は熱帯低気圧と温帯低気圧を区別する環境場とはなっていない。ただし、前述のように低気圧の発達を促進・抑制する要因として、熱帯・亜熱帯・温帯の低気圧の頻度のコントラストを強化する役割はあると考えられる。

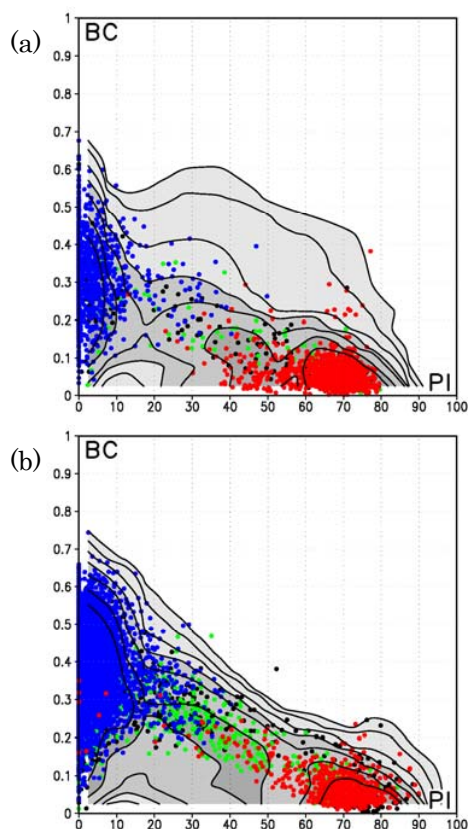


図 5: PI-BC のパラメータ空間における低気圧のプロットと環境場の面積 (シェード)。(a) 北半球の夏季; (b) 南半球の夏季。熱帯低気圧 (赤)、温帯低気圧 (青)、ハイブリッド低気圧 (緑)。環境場の面積のコンターは 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 $\times 10^6 \text{km}^2 \text{day}^{-1} \text{range}^{-1}$ 。Y14 より転載。

ここまでは PI と BC を独立に見てきたが、2 つの環境場の間の関係を見るために、座標の横軸に PI、縦軸に BC をとった 2 次元のパラメータ空間を、夏季の南半球について示す (図 5b)。熱帯低気圧 (赤) は熱帯に相当する高 PI 低 BC の環境場で多く、温帯低気圧 (青) は温帯に相当する高 BC 低 PI の環境場で多いという特徴が明瞭である。

比較のために、夏季の北半球の PI-BC のパラメータ空間を図 5a に示す。地理空間では北半球と南半球は東西方向の一様性などに違いが見られたが (図 1)、環境場の空間では熱帯低気圧と温帯低気圧は似た分布を示し、低気圧の発達が環境場に大きくコントロールされていることが確認できる。

5. まとめ

本研究では、環境場のパラメータ空間の解析により低気圧の発達と環境場の直接的な関係を調べた。現実の低気圧の発達は近傍の擾乱 (上層擾乱や熱帯波動) の影響なども受けていると考えられるが、環境場のパラメータ空間の限られた領域に低気圧が分布しているという結果 (図 4, 5) は、低気圧の発達における環境場の重要性を確認するものである。この解析は、現在気候の低気圧だけでなく、温暖化時の低気圧の活動の変化の解釈などにも利用できることが期待される。

参考文献

- Bister, M. and K. A. Emanuel (2002) J. Geophys. Res. 107, doi:10.1029/2001JD000776.
- Hart (2003) Mon. Wea. Rev. 131, 585-615.
- Hodges, K. I. (1994) Mon. Wea. Rev. 122, 2573-2586.
- Hodges, K. I. (1995) Mon. Wea. Rev. 123, 3458-3465.
- Hodges, K. I. (1999) Mon. Wea. Rev. 127, 1362-1373.
- Hoskins, B. J. and P. Valdes (1990) J. Atmos. Sci. 47, 1854-1864.
- Yanase W., H. Niino, K. I. Hodges and N. Kitabatake (2014) J. Clim. 27, 652-671.