

# JMANHM を利用したハイブリッド低気圧の理想化実験

柳瀬 亘 (東京大学・大気海洋研究所)

## 1. 研究の背景

全球大気モデルの格子データに低気圧のトラッキング手法を適用すると、低気圧の気候学的な分布を求めることができる。さらに、Cyclone Phase Space (CPS; Hart 2003) という手法を利用すると、総観スケールの低気圧を客観的に分類することもできる。CPS では熱帯低気圧 (熱低) は深い暖気核構造、温帯低気圧 (温低) は深い寒気核構造、および、熱低と温低の中間的な性質を持つハイブリッド低気圧は下層暖気核・上層寒気核の構造を持つ低気圧として分類される。

Yanase et al. (2014) では、JRA-25 再解析データに Hodges (1994,1995,1999) のトラッキング手法を用いて低気圧を検出し、CPS により熱低・温低・ハイブリッド低気圧の気候学的分布を求めた (図 1)。南半球では低気圧の分布は比較的に東西一様であり (図 1a)、夏季 (12~2 月) には熱帯域で熱低、温帯域で温低が活発である一方で、その中間の亜熱帯域では低気圧は比較的に不活発である。また、北半球では海洋の西側で低気圧が活発であり (図 1b)、秋季 (9~11 月) には熱低や温低に加え、ハイブリッド低気圧も亜熱帯域で多く見られる。ハイブリッド低気圧は西部北大西洋で最も顕著であるが、日本周辺を含む西部北太平洋でもその発達が確認できる。

ハイブリッド低気圧の実態を把握することは、低気圧の気候学的分布を解釈する上で、また、低気圧のメカニズムを包括的に理解する上で重要である。ハイブリッド低気圧の一種である亜熱帯低気圧の雲パターンを図 2 に示す。亜熱帯低気圧の形状は事例によって異なるが、図 2 の事例では中心部に熱低のような積雲対流の集中域が存在する一方で、全体としては北東から東にかけて雲が多い非軸対称構造をしている。発達メカニズムとしては、熱低が凝結熱によってエネルギーを生成し、温低が環境場の水平温度勾配からエネルギーを引き出しているのに対し、ハイブリッド低気圧では両方のエネルギー源を利用していると考えられる。

複数のメカニズムで発達し複雑な構造を持つハイブリッド低気圧は、熱低の CISK・WISHE のように軸対称構造を仮定したり、温低の傾圧不安定のように波型の構造を仮定したりして、単純化した理論を構築することが困難である。このように現実的で多様な低気圧を理論的研究の延長で理解するためには、非静力学モデルを利用した理想化実験が有効なアプローチとなる。各海域での環境場を非静力学モデルで一様な初期値として与え、その中で低気圧の発達の有無や特徴の違いを検証することで、低気圧の発達と環境場との関係を明らかにすることができる。

Yanase and Niino (2015) では夏季の南半球の環境場を比較する理想化実験を行ない、熱帯の環境場では熱低が発達、温帯の環境場では温低が発達、亜熱帯の環境場では低気圧が発達できないことを再現した。さらに、環境場の要素を部分的に入れ替える感度実験を行ない、亜熱帯は熱帯よりも気温が低く鉛直シアが強いことで熱低が発達しにくく、また、温帯よりもコリオリパラメー

タが小さく鉛直シアが弱いことで温低も発達しにくいことを明らかにした。

本研究では、理想化実験のアプローチを利用して、図 2 のようなハイブリッド低気圧をどこまで再現できるか、というテーマに取り組んでいる。手始めに西部北大西洋の環境場を与えた理想化実験を行なったので、今回はその速報を紹介する。

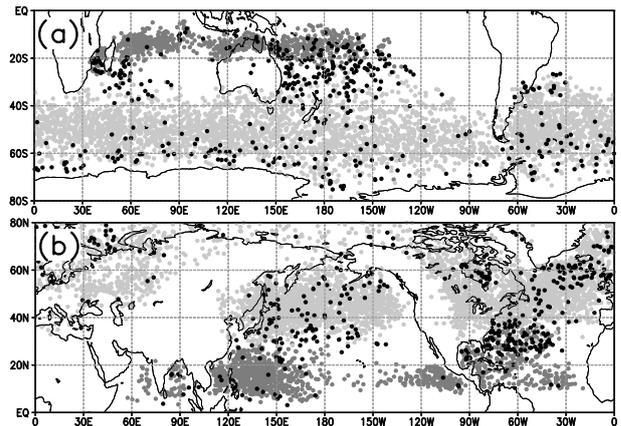


図 1: 1981 年 12 月 ~ 2011 年 11 月の JRA-25 再解析データを利用して得られた熱低 (濃灰丸)・温低 (薄灰丸)・ハイブリッド低気圧 (黒丸) の発達の気候学的分布。(a) 南半球の夏季 (6~8 月)。(b) 北半球の秋季 (9~11 月)。Yanase et al. (2014) の図を白黒にして転載。

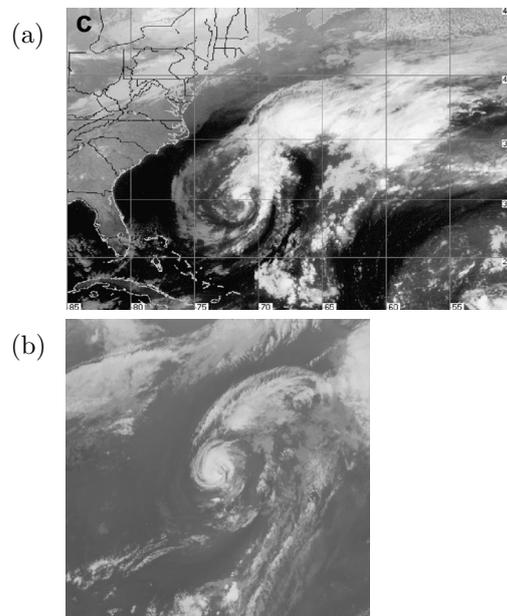


図 2: 亜熱帯低気圧の雲パターン。(a) 2000 年 10 月 16 日 12UTC の西部北大西洋の亜熱帯低気圧。Guishard et al. (2009) より転載。(b) 1989 年 9 月 12 日 03UTC の西部北太平洋の亜熱帯低気圧。藤田 (1995) で報告された事例の雲画像をデジタル台風のサイトより取得。

## 2. 実験設定

理想化実験には気象庁非静力学モデル (JMA-NHM) の rel-03-03 版を利用する。チャンネル型 (東西周期・南北壁) の実験を行なえるように境界条件のコードを修正し、また、長時間積分で環境場を維持するために東西平均値を初期の値に緩和するスキーム (東西波数 0 のスペクトルナッシングに相当する) を組み込んでいる。計算領域は東西 6000km、南北 4000km、鉛直 24.52km であり、格子間隔は水平方向には 10km で一様、鉛直方向には最下層 40m、最上層 1360m で可変とする。湿潤過程には、雲水・雲氷・雨・雪・霰の混合比を予報する雲微物理スキームと、Kain-Fritsch の積雲対流スキームを用いる。放射過程は考慮しない。下部境界は海面とし、摩擦と顕熱・潜熱の供給を考慮する。

ハイブリッド低気圧が頻繁に観測される秋季の北大西洋の環境場として、 $310^{\circ}\text{E}$ ,  $35^{\circ}\text{N}$  を中心に  $20^{\circ}\times 10^{\circ}$  で領域平均した東西風・温位・相対湿度の鉛直分布と海面水温を用いる。コリオリパラメータは  $35^{\circ}\text{N}$  の値で一定の  $f$  面近似を考える。基本場の分布は水平一様に与えると解釈がしやすいが、実験設定の都合上、南北方向には必要最低限の変化を与えている。温位場はまず水平一様に気候値の鉛直分布を与えた後、東西風の鉛直シアとの温度風バランスを満たすように南北勾配を加える。相対湿度場は水平一様に気候値の鉛直分布を与えるため、温位の南北勾配に応じて水蒸気の混合比は南北方向に変化する。東西風の場合は水平一様に与えると、温度風バランスによって領域の端で温位が非現実的に大きな値になってしまう。これを避けるため、領域中心から南北に 1000km まではほぼ一様に気候値の鉛直分布を与えるが、1000km より先は東西風を hyperbolic tangent 型の関数で減らしていき、南北境界のある 2000km で東西風が 0 に近づくような分布を与える。海面水温は最下層大気の温度との差が一定になるように与え、温度風バランスに応じた南北勾配を持つ。海面水温が領域の端で高くなり過ぎないように、領域中心から 1500km 以内の最下層気温の値を上限として設ける。

初期場には低気圧の発達のトリガーとなる軸対称の渦を領域の中心に与える。渦は半径 100km で接線風速  $10\text{ms}^{-1}$  を持ち、振幅は高度とともに減少し高度 10km で  $0\text{ms}^{-1}$  とする。積分時間は 800 時間とする。

## 3. 結果

海面更正気圧偏差の最小値の時間発展を図 3 に示す。低気圧は 400hr までは緩やかに発達するが、450~600hr に急速に深まる。400~700hr の雲パターン (鉛直積算した凝結水) と海面更正気圧の東西偏差を図 4 に示す。400hr には温低のようなコマ状の雲パターンを伴う大きなスケールの低気圧が形成しているが、500hr 以降には大きな低気圧の西側の部分に熱低のような小さなスケールの低気圧が発達する。図 2 の衛星画像と比較すると、全体として北東から東にかけて雲が多い非軸対称構造をしていることや、中心部に雲域が集中していることなど、定性的に似ている特徴が見られる。擾乱場の有効位置エネルギーの収支を解析すると (図 5)、凝結熱による生成と基本場の有効位置エネルギーからの変換という 2 つのエネルギー源によって発達していることが確認された。これらの特徴は熱低とも温低とも異なり、ハイブリッド低気圧をある程度再現できていると考えられるが、詳細は解析中である。

## 謝辞

JMA-NHM における東西周期・南北壁の境界条件の組み込みには、気象研究所の林修吾さん・横田祥さんのご協力を頂きました。

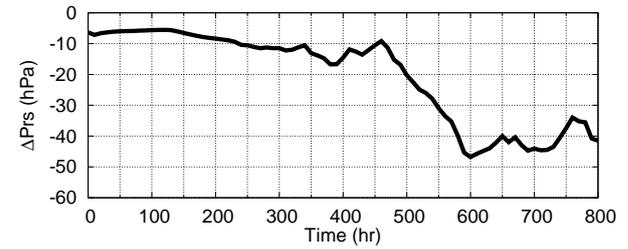


図 3: 低気圧中心の気圧偏差 (東西平均からの差) の時間発展。

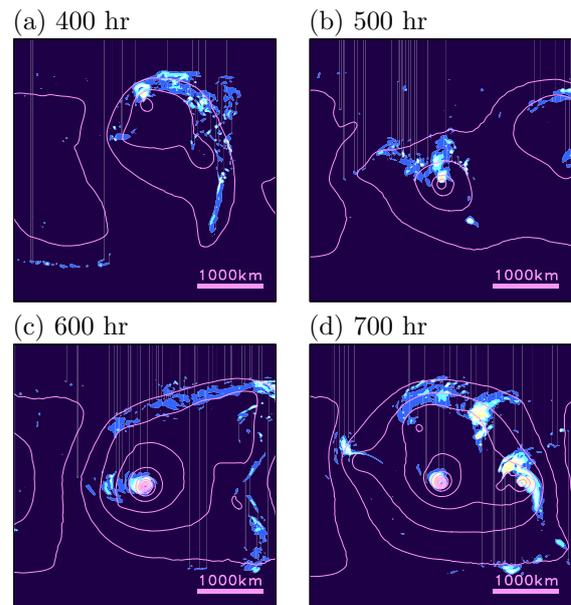


図 4: 鉛直積算した凝結水 (シェード) と海面更正気圧の東西偏差 (コンター間隔 5hPa)。 (a)400hr, (b)500hr, (c)600hr, (d)700hr。

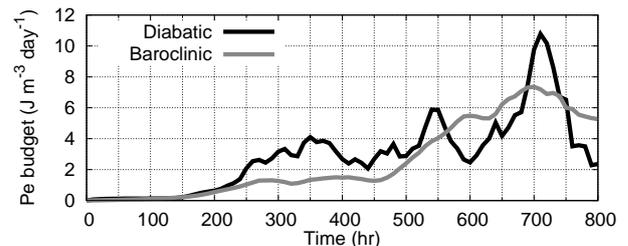


図 5: 有効位置エネルギー収支の時間発展。凝結熱による生成 (黒線) と東西平均場の有効位置エネルギーからの変換 (灰線)。

## 参考文献

- Yanase, W., H. Niino, K. Hodges and N. Kitabatake (2014): Parameter spaces of environmental fields responsible for cyclone development from tropics to extratropics. *J. Clim.*, 27, 652-671.
- Yanase, W. and H. Niino (2015): Idealized numerical experiments on cyclone development in the tropical, subtropical, and extratropical environments. *J. Atmos. Sci.*, 72, 3699-3714.