

Cyclone Phase Space (低気圧位相空間)

天気図上の低気圧には、大きく分けて、台風を含む熱帯低気圧と、その他の低気圧があり、後者は大部分が温帯低気圧である。擾乱が台風かそうでないかは、天気図上の名前が異なるだけでなく、警報の発表形式などが大きく異なり、社会への影響が大きい。しかし「天気」の読者は、台風が中緯度に進むと温帯低気圧に変わる(温低化する)こと、そしてそれが不連続的に変化するのではなく徐々に変化することを知っている。それでは、台風と温帯低気圧の区別はどこで線引きするのだろうか？また変化がどの程度進んだかを定量的に表現する方法はあるのだろうか？

低気圧種別の問題は北米ではさらに深刻になりうる。米国では熱帯低気圧(ハリケーン)の監視・警報は米国ハリケーンセンター(NHC)が、その他の低気圧に関しては米国気象局(NWS)が担当するので、低気圧の性質に関する問題は、ひとつの低気圧に関する監視・警報をどちらの機関が担当するかという行政問題にもなる。同時に、同じ低気圧に関して独立に監視・警報を行っているカナダの気象機関が発表する情報との比較にも常にさらされているので、判定には説得力のある科学的根拠が必要とされる。

熱帯低気圧にも温帯低気圧にも分類されにくい低気圧は温低化の場合以外にも少なからず存在する。NHCのBeven(1997)は、暖気核を持っているが同時に前線を伴う低気圧や、あるいは寒候期の高緯度で熱帯低気圧のような構造を持つ、典型的な熱帯低気圧とも温帯低気圧ともいえない「ハイブリッド低気圧」に関する問題提起をした。彼は低気圧の構造を表現するために横軸で前線性/非前線性、縦軸で暖気核/寒気核を表した二次元の位相空間(平面)を導入した。彼は、寒気核・前線性構造の温帯低気圧と暖気核・非前線性構造の熱帯低気圧を平面上の対角に位置づけ、さらに図の中央に「変なハイブリッド低気圧(strange hybrids)」を位置付けた。このことは、熱帯低気圧にも温帯低気圧にも分類されにくい低気圧が

従来は単に「変な低気圧」とされて積極的に議論されてこなかったことを示している。そして、このような位相空間に何らかの線引きをすれば、客観的な低気圧種別判定となりうる。しかし彼の提案は主観的な概念図にとどまっていた。

Hart(2003a)は定量的なパラメータに基づく低気圧位相空間(cyclone phase space, 以後CPS)を提案した。彼は低気圧の構造を3つのパラメータ

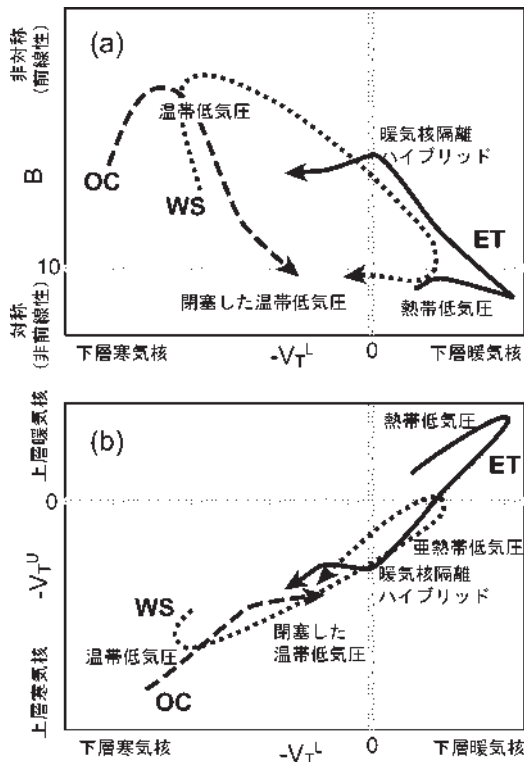
$$B = h \left(\overline{Z_{600\text{hPa}} - Z_{900\text{hPa}}}_{\text{Right}} - \overline{Z_{600\text{hPa}} - Z_{900\text{hPa}}}_{\text{Left}} \right) \quad (1)$$

$$-V_T^L = \left. \frac{\partial(\Delta Z)}{\partial \ln p} \right|_{900\text{hPa}}^{600\text{hPa}} \quad (2)$$

$$-V_T^U = \left. \frac{\partial(\Delta Z)}{\partial \ln p} \right|_{600\text{hPa}}^{300\text{hPa}} \quad (3)$$

で表現した。 Z は等圧面上のジオポテンシャル高度、 p は気圧、 ΔZ は低気圧中心から半径500 km以内の Z の最大値と最小値の差である。 h は北半球で1、南半球で-1である。(1)式は低気圧中心から500 km以内の600-900 hPaの層厚について、擾乱の移動方向に対して右側と左側の平均の差を取ったもので、移動方向の左右の気温差を表す。(2)式と(3)式は温度風に関連したパラメータであり、それぞれ下層と上層について暖気核構造か寒気核構造かを表す。第1図aは $-V_T^L$ (横軸)と B (縦軸)、第1図bは $-V_T^L$ (横軸)と $-V_T^U$ (縦軸)で表したもので、この2枚の図で三次元空間を表す。熱帯低気圧は基本的に暖気核・熱的対称構造なので第1図aの右下と第1図bの右上にほぼ位置し、典型的な温帯低気圧はその対角に位置する。その他にも亜熱帯低気圧(北島2010)などが図のように位置付けられる。第1図aはBevenの概念図を定量化したもので、 $-V_T^U$ (第1図b)を加えたことにより熱帯低気圧と亜熱帯低気圧の区別が可能になる。

ある熱帯低気圧が温低化せずに消滅する場合、第1



第1図 CPS上の低気圧の構造変化の例。(a) 横軸は下層暖気核/寒気核, 縦軸は熱的非対称性(前線性)/熱的対称性(非前線性). 太実線(ET)は温低化する熱帯低気圧, 破線(OC)は古典的閉塞する温帯低気圧, 点線(WS)は暖気核隔離する温帯低気圧。(b) (a)と同じ, ただし縦軸は上層暖気核/寒気核. Hart (2003a)をもとに作成。

図aの右下象限及び第1図bの右上象限にとどまることになるのに対して, 温低化する熱帯低気圧は, 多くの場合は図中の太実線(ET)のように第1図aで右下から右上象限を経由して左上象限に達する. Evans and Hart (2003)はECMWF再解析データセットを用いて温低化開始を $B=10$, 温低化完了を $-V_T^U=0$ と定義し, NHCによる大西洋の熱帯低気圧の解析と比較して統計的には大きな矛盾はないとした. これらのしきい値は人為的に設定したもので, 気象学的な根拠が明確にあるわけではないが, これらを導入したことで, 温低化の開始・完了が定義され, その間の遷移期間には擾乱の名称は熱帯低気圧だがハイブリッド構造を持ち独特な災害を引き起こす可能性があるという説明が可能になったという意義があ

る。

ただし, 個別事例のパラメータ計算結果は用いるデータセットに依存し, あるデータセットで計算すると温低化完了したと判定された事例でも別のデータセットで計算すると温低化完了なしと判定されることが少なからず生じる. また図の太実線のような明瞭な変化をする事例ばかりではなく, しきい値付近に1日以上停滞して判定しにくい事例や, 遷移期間が計算上0や負の値になって不自然に見える例も生じる. HartはCPSはガイダンスとしての利用が有効としている。

このように, HartのCPSによる擾乱構造の判定も万能ではないが, 現業予警報では解析者や解析機関による相違が生じないことが望ましいので, 2006年に開催された第6回熱帯低気圧に関する国際ワークショップではCPSの利用を念頭に置いて, すべての現業気象機関が温低化の開始・完了に関して共通の定義を用いて判定すべきだとの勧告が出された(WMO 2007). また数値モデルへの依存を排除するために衛星観測データを用いたCPSの開発を進めることもあわせて勧告された。

HartのCPSでは熱帯低気圧以外の低気圧の特徴も表現される. 例えば古典的閉塞する温帯低気圧は生涯を通して寒気核構造で図中の破線(OC)のように変化するのに対して, 暖気核隔離する温帯低気圧(Shapiro and Keyser 1990)は図中の点線(WS)のように変化する. Hart (2003b)はいくつかの気象機関との協力により現業数値予報プロダクトで全球すべての低気圧について彼の手法によるCPSを作成しインターネットで公開している. 各モデルによるCPSの比較により, モデルの改善へのフィードバックも行われているようである。

CPSの特長は低気圧の構造を定量的・客観的に表現する点にあり, 使用目的やモデルの特性によっては上述のしきい値とは異なる値を用いることもありうる. 例えばGuishard *et al.* (2009)は亜熱帯低気圧の構造の条件として $-V_T^U > -10$ と $-V_T^U < -10$ を採用した. モデルの解像度などの改善によっては, パラメータの計算式にも改善の余地があるかもしれない. CPSのさらなる改善と共に, 低気圧の多様性の議論が進むことが期待される。

参考文献

Beven, J. L., II, 1997: A study of three "hybrid" storms.

- Preprints, 22nd Conf. on Hurricanes and Tropical Meteorology, Fort Collins, CO, Amer. Meteor. Soc., 645-646.
- Evans, J. L. and R. E. Hart, 2003 : Objective indicators of the life cycle evolution of extratropical transition for Atlantic tropical cyclones. *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 909-925.
- Guishard, M. P., J. L. Evans and R. E. Hart, 2009 : Atlantic subtropical storms. Part II : Climatology. *J. Climate*, **22**, 3574-3594.
- Hart, R. E., 2003a : A cyclone phase space derived from thermal wind and thermal asymmetry. *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 585-616.
- Hart, R. E., 2003b : Cyclone phase evolution : Analyses & Forecasts. <http://moe.met.fsu.edu/cyclonephase/> (2011.7.14閲覧).
- 北畠尚子, 2010 : 亜熱帯低気圧. *天気*, **57**, 342-344.
- Shapiro, M. A. and D. Keyser, 1990 : Fronts, jet streams and the tropopause. *Extratropical Cyclones : The Eric Palmén Memorial Volume*, C. W. Newton and E. O. Holopainen, Eds., Amer. Meteor. Soc., 167-191.
- WMO, 2007 : Sixth WMO International Workshop on Tropical Cyclones (IWTC-VI). WMO/TD-No. 1383, Rep. WWRP 2007-1, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 94pp.

(気象研究所 北畠尚子)