

非断熱ロスビー波 (Diabatic Rossby Wave)

栃本 英 伍^{*1}・柳 瀬 亘^{*2}

1. はじめに

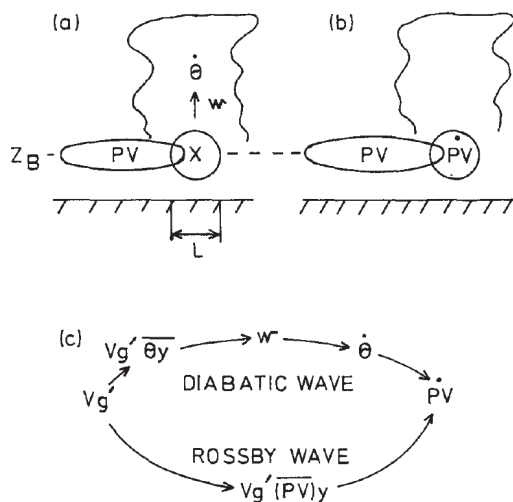
中緯度傾圧帯において、主に水蒸気の凝結に伴う非断熱加熱をエネルギー源として生ずる擾乱のメカニズムが提案されており、Diabatic Rossby Wave (DRW) あるいは Diabatic Rossby Vortex と呼ばれる。これは、傾圧性をエネルギー源とする温帯低気圧とは異なるが、急発達する温帯低気圧の先駆的な擾乱となることがあり、欧米では注目を集めている。また DRW は、メソ対流系の組織化や、前線形成において重要な役割を果たすことが指摘されている。本稿では、DRW のメカニズム、現実大気における例、気候学的特徴について記述する。

2. DRW のメカニズム

DRW の伝播メカニズムは以下の通りである (詳しくは、Parker and Thorpe 1995などを参照)。まず南北温度勾配を伴う傾圧帯において、対流圏下層に正の渦位偏差が存在する場合、バランスまたは準平衡状態において低気圧性循環が誘起される。このとき、正の渦位偏差の東側では南よりの暖気移流が卓越し、等温位面を上昇する運動により凝結高度に達すると非断熱加熱が生じる。これに伴い、非断熱加熱のピーク高度より下層では正の渦位偏差が生成される (第1図 a)。正の渦位偏差は低気圧性循環を誘起し、さらにその東側で非断熱加熱による正の渦位偏差を生成しながら東進する (第1図 b)。このような非断熱加熱によって伝播する擾乱は、地表の境界面に捕捉されたロスビー波

(境界波) の伝播特性と類似性を有することから DRW、すなわち非断熱ロスビー波と名付けられた (第1図 c)。

DRW の発達メカニズムは、温帯低気圧の発達を説明する理論である傾圧不安定とは異なる。Eady (1949) の傾圧不安定波の発達は、上下境界面に捕捉されたロスビー波に基づく温位偏差の相互作用として理解され (Hoskins *et al.* 1985)、ロスビー深さが小さく相互作用が働かない短い波長では波が発達しない。



第1図 Diabatic Rossby Wave の力学の概念図。ここで、 L は渦位偏差の東側でのジェットの水平スケール、 Z_B は加熱の下端高度、 w は上昇流、 $\dot{\theta}$ は非断熱加熱、 PV は渦位。(a) 下層渦位偏差に関連した極向きジェット (×印) が正の温度移流を与え、上昇運動と非断熱加熱を生じる。(b) この非断熱加熱は下層渦位偏差の東側で渦位の時間変化を生じる。(c) Diabatic Rossby Wave と古典的なロスビー波において渦位の時間変化が生ずるプロセスの比較 (Parker and Thorpe (1995) による)。ここで、 V_g' は地衡風の南北成分。

^{*1} (連絡責任著者) Eigo TOCHIMOTO, 防災科学技術研究所。

tochimoto@bosai.go.jp

^{*2} Wataru YANASE, 気象研究所。

© 2022 日本気象学会

Eady (1949) のモデルにおいて、下層ほど強い非断熱加熱をパラメタ化して与えると、既存の傾圧不安定波の発達率が増加することに加え、短い波長では DRW が発達するようになる (Moore and Montgomery 2004)。傾圧不安定波で重要な役割を担う上部境界面の温位偏差に代わり、DRW では上層ほど小さくなる非断熱加熱によって生じる負の渦位偏差が、下層の正渦位偏差あるいは下部境界面の温位偏差と相互作用することによって不安定化が生じる。擾乱場の有効位置エネルギー収支を見ると、基本場の有効位置エネルギーからの変換項に相対的な非断熱加熱による生成項の寄与は、傾圧不安定波よりも DRW の方で大きい。発達メカニズムに関しては非断熱加熱のパラメタ化に大きく依存するため、現実の気象では上記以外のメカニズムが働くことも考えられる。

DRW の主な特徴をまとめると、

- ・非断熱加熱によって駆動される
- ・上層トラフなどの上層強制がなくとも発達する
- ・傾圧帯を移動し、東進速度が速い

となる。

3. 急発達する温帯低気圧との関係

DRW は、急発達する温帯低気圧の先駆的現象として現れることがある。例えば、1999年12月に欧州で甚大な被害をもたらした Lothar と名付けられた爆弾低気圧は、その発生時において上層トラフが存在していなかったが、DRW が上層のトラフの発達を促し、その結果上層と下層の相互作用により温帯低気圧として急発達したとされる (Wernli *et al.* 2002)。一方、接近する上層トラフと DRW の上下結合の重要性も指摘されている。Boettcher *et al.* (2011) は、ECMWF の予報データを解析し、DRW の強度予報には下層の水蒸気と傾圧性が重要であり、低気圧の急発達には上層トラフの強度及び、上層トラフと DRW の相互作用が重要であることを示唆した。Boettcher *et al.* (2013) による10年間の統計的な報告によると、北太平洋では約14.7%、北大西洋では12.5%の DRW が爆弾低気圧へと急発達していた。

4. DRW の気候学

DRW の気候学的な特徴について、Boettcher *et al.* (2013) は、上層強制の有無、移動速度、傾圧性などの条件によって DRW を客観的に抽出し、その全球分布を調査した。北太平洋では6月、7月に DRW の発

生が最も多いが、これは東アジアの梅雨前線上の擾乱に対応する。一方、北大西洋では8月に DRW の発生が最も多い。彼女らはさらに、DRW 発生の総観規模環境場を以下の5つの種類に分類した。

- a. 亜熱帯高気圧の西辺で傾圧帯に向かう流れに起因する非断熱加熱によって渦位が生成
- b. 先駆的に存在していた低気圧性擾乱が傾圧帯に侵入し、擾乱の東側の暖湿気塊を極向きに輸送
- c. 上層トラフの東側での大規模上昇流強制によって非断熱加熱が生じて渦位が生成。温帯低気圧発達のメカニズムと似ているが、上層トラフによる擾乱の強化は上下結合がないため起こらない
- d. メソ対流系などで強化された渦擾乱が傾圧帯へ侵入。東アジアにおける梅雨前線上の擾乱が中国大陸から東シナ海や日本列島に移動する場合など
- e. 熱帯低気圧が温低化を経て生き残った擾乱が傾圧帯に侵入

5. まとめ

中緯度帯で非断熱加熱を駆動源とする擾乱である DRW の構造・メカニズムや現実気象における特徴を概観した。DRW は、時に急発達する温帯低気圧の先駆的擾乱となることがある。また、梅雨前線上の低気圧の発達メカニズムの一つとしても考えられている (例えば、Shibuya *et al.* (2021) ; Tochimoto and Kawano 2017a, b)。したがって、DRW の形成・発達メカニズムやその予測可能性の理解は、豪雨・豪雪、突風など極端な現象を生ずる温帯低気圧や、梅雨前線上の低気圧の発生・発達メカニズムの理解、予測精度向上のためにも重要であると考えられる。一方、極端現象を生ずる温帯低気圧において DRW が先駆的に存在している割合がどの程度なのか、また梅雨低気圧のメカニズムが DRW でどこまで説明できるのかは、今後の課題として残されている。

参 考 文 献

- Boettcher, M. and H. Wernli, 2011: Life cycle study of a diabatic Rossby wave as a precursor to rapid cyclogenesis in the North Atlantic—Dynamics and forecast performance. *Mon. Wea. Rev.*, **139**, 1861–1878.
- Boettcher, M. and H. Wernli, 2013: A 10-yr climatology of diabatic Rossby waves in the Northern Hemisphere. *Mon. Wea. Rev.*, **141**, 1139–1154.
- Eady, E. T., 1949: Long waves and cyclone waves. *Tellus*, **1**, 33–52.

- Hoskins, B. J., M. E. McIntyre and A. W. Robertson, 1985: On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **111**, 877–946.
- Moore, R. W. and M. T. Montgomery, 2004: Reexamining the dynamics of short-scale, diabatic Rossby waves and their role in midlatitude cyclogenesis. *J. Atmos. Sci.*, **61**, 754–768.
- Parker, D. J. and A. J. Thorpe, 1995: Conditional convective heating in a baroclinic atmosphere: A model of convective frontogenesis. *J. Atmos. Sci.*, **52**, 1699–1711.
- Raymond, D. J. and H. Jiang, 1990: A theory for long-lived mesoscale convective systems. *J. Atmos. Sci.*, **47**, 3067–3077.
- Shibuya, R., Y. N., Takayabu, and H. Kamahori 2021: Dynamics of widespread extreme precipitation events and the associated Large-scale environment using AMeDAS and JRA-55 Data. *J. Climate*, **34**, 8955–8970.
- Snyder, C. and R. S. Lindzen, 1991: Quasi-geostrophic wave-CISK in an unbounded baroclinic shear. *J. Atmos. Sci.*, **48**, 76–86.
- Tochimoto, E. and T. Kawano, 2017a: Numerical investigation of development processes of Baiu frontal depressions. Part I: Numerical investigation of development processes of Baiu frontal depressions. *J. Meteor. Soc. Japan*, **95**, 91–109, doi:10.2151/jmsj.2017-005.
- Tochimoto, E. and T. Kawano, 2017b: Numerical investigation of development processes of Baiu frontal depressions. Part II: An Idealized study. *J. Meteor. Soc. Japan*, **95**, 217–237, doi:10.2151/jmsj.2017-012.
- Wernli, H., S. Dirren, M. A. Liniger and M. Zillig, 2002: Dynamical aspects of the life cycle of the winter storm ‘Lothar’ (24–26 December 1999). *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **128**, 405–429.