

ベータドリフト

山 口 宗 彦*

台風やハリケーン等の熱帯低気圧は、基本的にはその周辺の大規模な大気の流れ（環境指向流，または単純に指向流と呼ばれる）によって移動する。たとえば北西太平洋域では，台風を移動させる代表的な大気の流れは，赤道近くの偏東風や中緯度帯に存在する偏西風，太平洋高気圧にともなう風などである。

一方，熱帯低気圧自身の大気の流れによっても熱帯低気圧は移動する。熱帯低気圧は近似的には海面気圧が最小となる地点から鉛直方向に伸びる軸を中心とする対称的な構造をしていると見なすことができるが，対称構造からのずれ，すなわち非軸対称構造を持っている。環境風の鉛直シア，対流活動の非対称性，海面を含む地表面の非均一性などは熱帯低気圧に非軸対称構造をもたらす要因である。

非軸対称成分の大気の流れを方位角方向の各波数に分解すると波数 1 から波数 n ($n=2, 3, 4\cdots$) までのさまざまな波数に分解することができる。このうち波数 1 の成分は波数 2 以上の成分と異なり熱帯低気圧の中心にそれを移動させる流れを作り出すことができる (ventilation flow: ベンチレーションフローと呼ばれることがある)。従って熱帯低気圧の移動を考える際は，環境場の指向流の他，熱帯低気圧自身の波数 1 の非軸対称構造にも注目することが重要となる。

熱帯低気圧に波数 1 の非軸対称構造を作り出す要因のひとつが惑星渦度の南北勾配である (ベータ効果)。北半球では第 1 図 a が示すように，ベータ効果によって熱帯低気圧の東側に時計回りの大気の流れ，西側に反時計回りの大気の流れが生じる (詳しくは後述)。この時計回りと反時計回りの渦の対をベータ

ジャイア (beta gyres) と呼ぶ。ベータジャイアは，熱帯低気圧を北西方向へ移動させる流れを作り出す。このベータ効果による熱帯低気圧の移動をベータドリフト (beta drift) と呼ぶ。

ベータ効果による熱帯低気圧の移動速度は，熱帯低気圧の強度や構造によって変わる。最大風速や最大風速半径が大きいほど，また強風域の半径が大きいほど (熱帯低気圧の大きさが大きいほど) 移動速度は速くなることが数値実験の結果から分かっている (Chan and Williams 1987; Fiorino and Elsberry 1989)。ベータドリフトによる移動速度は，平均的には自転車の速度と同程度で，秒速 2～3 m 程度 (時速約 7 km～11 km) と考えられている (DeMaria 1985)。ちなみに台風が偏西風による影響を受けて移動しているときは時速 80 km を超えることもあり，これは高速道路を走る自動車と同程度のスピードである。このように熱帯低気圧が強い指向流に流されているときはベータドリフトの影響は小さいが，熱帯低気圧が低緯度帯にあるときなど，熱帯低気圧の周辺に大規模な大気の流れがない場合にはベータドリフトの寄与が相対的に大きくなる。

ベータ効果による熱帯低気圧の移動に関する研究は 1980 年代に多い。順圧渦度方程式に基づく 2 次元の数値モデルを使用してベータドリフトのメカニズムを解明した論文がその当時に多く出版されている。順圧渦度方程式は東西，南北方向の運動方程式から，ベータ面近似を適用して以下のように書ける。

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = -u \frac{\partial \xi}{\partial x} - v \frac{\partial \xi}{\partial y} - \beta v$$

左辺は相対渦度 ξ の時間発展，右辺第 1，2 項は相対渦度の水平移流項，右辺第 3 項はベータ効果による線形項である。 u は東西風， v は南北風， β は惑星渦

* Munehiko YAMAGUCHI, 気象研究所.

myamagu@mri-jma.go.jp

© 2013 日本気象学会

度の南北勾配である。

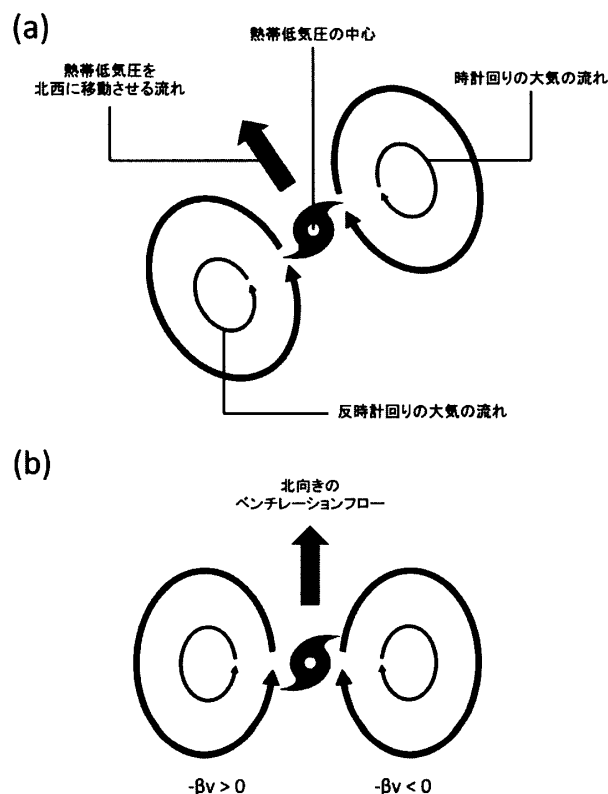
初期渦として熱帯低気圧のような軸対称的な渦が北半球にあることを想定して、渦度場の時間発展を考えることにする。まず始めに右辺第3項のベータ項に着目してみる。右辺第3項のベータ項は渦の東側で相対渦度を減少させ、渦の西側で相対渦度を増加させる。惑星ロスビー波の場合はこのメカニズムで波が西進する。

ベータドリフトの場合はこのメカニズムによる渦の西進の寄与は小さく、ベータ項は渦の非軸対称化に寄与する (Chan and Williams 1987)。ロスビー波には分散性があり、波長が長い波ほど西進速度が速くなる。そのため、渦の中でも大きなスケールの構造が、小さなスケールの構造に比べて速い速度で西進する。結果として初めは軸対称であった渦が時間とともに非軸対称化していき、渦の中心に対して東側に負の渦度偏差、西側に正の渦度偏差を持つようになる。つまりベータジャイアが形成され、北向きのベンチレーションフローが生じる (第1図b)。

ベータ項によって励起された一対の渦、ベータジャイアは渦自身の回転風の影響を受け方位角方向下流に移流される。その結果、第1図aに示したようにベータジャイアは西側に傾いた構造となり、北西方向へのベンチレーションフローが形成される。

Fiorino and Elsberry (1989) は右辺第1, 2項を非軸対称流による軸対称渦の移流と軸対称流による非軸対称渦の移流の項に分けて解析を行った。その結果、ベータ項によって励起されたベータジャイアは軸対称流によって移流されるが、その移流の効果がベータ効果とバランスして準定常状態に達することを明らかにした。

残念ながら個々の事例において、ベータジャイアの存在を観測データから証明することは難しい。Franklin *et al.* (1996) はドロップゾンデの観測データからベータジャイアの存在を確認しようとしたが、難しいと結論付けている。その理由として、熱帯低気圧の周辺の大気の流れと熱帯低気圧自身の大気の流れを原理的には分離できないこと、また熱帯低気圧の周辺の大気の流れは様ではなくさまざまなスケールの擾乱が存在していることを述べている。つまり、ある地点で風を観測してもそのうち何割が大規模な大気の流れで、何割が熱帯低気圧自身の流れで、そのうち何割がベータジャイアによる風でというふうに分離できないのである。その意味で、ベータドリフトは理屈上存在



第1図 ベータドリフトの概念図。(a)ベータ効果によってベータジャイアが形成され、北半球(南半球)では北西(南西)方向に熱帯低気圧を移動させるベンチレーションフローが生まれる。(b)ベータ効果によって波数1の非軸対称構造が形成される。熱帯低気圧自身の回転風の影響で(a)が示すように波数1の非軸対称構造は西に傾いた構造となる。

する大気の流れと言えるかも知れない。

しかし Carr and Elsberry (1990) が示すとおり、実際の熱帯低気圧の移動ベクトルと指向流による熱帯低気圧の移動ベクトルの差をとると(実際の熱帯低気圧の移動ベクトル-指向流による熱帯低気圧の移動ベクトル)、残差ベクトルは概して北西方向でその大きさは秒速1~2.5 mとなる。これは現実にはベータジャイアが存在していることを示唆するものである。

ベータドリフトに関する更なる解説は上野 (2000) や Chan (2010) にあるので興味のある読者はそちらも参照して頂きたい。

参考文献

Carr, L. E. and R. L. Elsberry, 1990: Observational evidence for predictions of tropical cyclone propagation relative to environmental steering. *J. Atmos. Sci.*, 47,

- 542-546.
- Chan, J. C. L., 2010 : Movement of tropical cyclones. *Global Perspectives on Tropical Cyclones*, World Scientific, 133-148.
- Chan, J. C. L. and R. T. Williams, 1987 : Analytical and numerical studies of the beta-effect in tropical cyclone motion. Part I : Zero mean flow. *J. Atmos. Sci.*, **44**, 1257-1265.
- DeMaria, M., 1985 : Tropical cyclone motion in a non-divergent barotropic model. *Mon. Wea. Rev.*, **113**, 1199-1210.
- Fiorino, M. and R. L. Elsberry, 1989 : Some aspects of vortex structure related to tropical cyclone motion. *J. Atmos. Sci.*, **46**, 975-990.
- Franklin, J. L., S. E. Feuer, J. Kaplan and S. D. Aberson, 1996 : Tropical cyclone motion and surrounding flow relationships : Searching for beta gyres in omega dropwindsonde datasets. *Mon. Wea. Rev.*, **124**, 64-84.
- 上野 充, 2000 : 数値モデルによる台風予報. 気象研究ノート, (197), 131-286.

気象研究ノート第226号, 第227号 「台風研究の最前線 (上), (下)」 発刊のお知らせ

気象研究ノート編集委員会

地球上で最も激しい擾乱, 台風. 古くから, 世界中の多くの研究者が台風に関わる様々な謎に挑戦してきましたが, 依然として課題は多く残されています. そのために, 台風は, 今もなお研究者を魅了する興味深い研究対象となっています. 前回の気象研究ノート台風号 (第197号, 2000年) から10年以上が経ち, 近年の地球観測網の拡充, 数値シミュレーションの進化, 国際・国内の横断的な研究プロジェクトにより, 台風の理解はあらゆる分野において飛躍的に進みました. そこで今回の台風号では, それぞれの分野で活躍している研究者に台風の基本的な知見から最新の研究成果を整理していただきました.

本号は, 多くの側面を持つ台風研究を, 上下巻の二つに大別しました. 台風の発生・発達メカニズムや, 微細な内部構造に関わる基礎研究を上巻としました. 下巻では観測や予報技術の応用研究, 地球温暖化における台風予測, 台風研究の国際協力や取り組みに焦点を当てています. なお下巻では, サブタイトル「台風予報」に関連した研究だけでなく, 数値モデルがどのようにに技術発展して台風メカニズムの研究に用いられてきたか, その歴史を読み解く内容にまで拡張されています. 本号が台風研究や気象予報や防災に従事されている方々にとって現時点で最良の解説書になると同時に, 若手研究者や大学院生に大きな刺激になることを期待しています.

【編集】筆保弘徳, 中澤哲夫

第226号「台風研究の最前線 (上) ー台風力学ー」

【目次】

- 第1章 台風概説 (杉 正人)
- 第2章 発生過程 (筆保弘徳)
- 第3章 発達過程と成熟期 (筆保弘徳・宮本佳明)
- 第4章 メソ構造 (坪木和久・伊藤耕介)
- 第5章 台風の温帯低気圧化 (北畠尚子)
- 第6章 台風と海洋 (和田章義)

第227号「台風研究の最前線 (下) ー台風予報ー」

【目次】

- 第7章 最適観測法 (中澤哲夫)
- 第8章 台風の進路予報 (山口宗彦)
- 第9章 台風強度予報と再予報実験
(斉藤和雄・川畑拓矢・国井 勝)
- 第10章 モデル研究現状と将来の展望
(大内和良・佐藤正樹・益子 渉)
- 第11章 台風と地球温暖化
(吉村 純・杉 正人・村上裕之)
- 第12章 台風のメカニズムと数値モデル
(山岬正紀)
- 第13章 熱帯低気圧と国際協力 (黒岩宏司)

第226号 B5判189ページ, 2013年1月28日発行

【価格】会員: 3,300円, 会員外: 4,900円

第227号 B5判165ページ, 2013年1月28日発行

【価格】会員: 3,100円, 会員外: 4,500円