

## 台風初期渦形成について

中野, 満寿男  
九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻

<https://doi.org/10.15017/1467686>

---

出版情報 : 九州大学情報基盤センター広報 : 全国共同利用版. 6 (3), pp.176-179, 2007-03. Computing and Communications Center Kyushu University

バージョン :

権利関係 :

# 台風初期渦形成について

中野 満寿男 (九州大学大学院理学府 地球惑星科学専攻)

## 概要

台風が発生するには地表付近にある程度強い渦が存在することが必要である。この渦がどのようにして形成されるのかについては諸説あるが、筆者はこの問題にアタックするため、3次元大気力学モデルを開発している。夏のキャンペーンではプログラムのデバッグと簡単なテスト計算を行ったので報告する。

## 1 はじめに

### 1.1 台風発生と水平風の鉛直シア

地表付近に渦があれば、地表摩擦によって渦の中心向きの流れが形成され、渦の中心付近では上昇流が生じる。このため渦の中心付近では雲ができ、潜熱が解放される。その結果、渦の中心付近の地上気圧は低下し、中心向きの流れがますます強化され、渦の中心付近ではどんどん雲ができる。このような自己励起的なメカニズムによって台風は維持・発達している。この地表付近の渦が最初にどのように作られるのか(台風初期渦形成)は台風発生の研究のキーとなる部分である。

また、このメカニズムは水平風の鉛直方向のシアに弱いことが知られている。これは、シアがあると解放された潜熱が水平方向に分散してしまい、その結果、地表気圧の低下が妨げられてしまうからである。台風は水平風の鉛直シアが大きいところで発生しないことがよく知られており、これは上記のメカニズムがうまく機能しないためと考えられている。

### 1.2 台風初期渦形成メカニズム

先に述べたように台風発生には初期渦が必要である。この渦がどのように作られるのかは諸説あるが、ここでは Bister and Emanuel (1997, 以下 BE)[1] が提案した初期渦形成メカニズムを紹介する。

まず、熱帯でよくある対流雲活動の寿命の後半に層状雲が形成される。この層状雲からの雨が落下中に蒸発することによって雲の下の大気は冷却される。すると雲の下では下降流がおこり、雲の直下で風の収束、地表付近で発散がおこる。また、地球の自転の影響で雲の直下で低気圧回転の渦が、地表付近では高気圧回転の渦が形成される。時間がたつとともに、雲の直下でできた低気圧回転の渦が下降流によって地表面にまで運ばれる。その後雨が止むとこの地表面に達した渦によって前節で示した台風発達のメカニズムが働くようになり、渦は台風へと発達する。彼らはこの初期渦形成メカニズムを観測と数値実験の両面から示した。

### 1.3 BEの初期渦形成メカニズムと鉛直シア

BEは思考実験によって、彼らが提案した初期渦形成メカニズムが鉛直シアに対して弱いであろうと述べている。

筆者はこれまでに、自家製の3次元乾燥大気力学モデルに水平風の鉛直シアと雨の蒸発による冷却を模した冷却域を導入することによって系統的なパラメータ数値実験を行い、BEの初期渦形成メカニズムが鉛直シアによってどのような影響を受けるのかを調べた。その結果、冷却域の上端（現実大気中では層状雲の直下にあたる）で形成された渦が地表にまで達するか否かは冷却の強さと冷却域の半径、鉛直シアの大きさから計算される無次元数の大小によって決まることを明らかにした。現実大気中では、冷却の半径100km, 冷却の強さ10K/dayを仮定すると、対流圏で10m/sの鉛直シアがあるとBEの台風初期渦形成メカニズムが阻害されてしまう計算になる。

### 1.4 BEの初期渦形成メカニズムに対する鉛直シアの役割の理解に向けて

前節で紹介した筆者の数値実験にはいくつかの難がある。その中でいちばん大きいのは、雨の蒸発による冷却を陽に計算するのではなく、冷却の強度が一定の冷却域として与えたことである。筆者はこの問題を解消するべく、3次元乾燥大気力学モデルに雲微物理過程を導入することによって、雨の蒸発による冷却を陽に計算できるようになるだけでなく、層状雲からの雨が止んだ後、台風発生への様子をも計算できるモデル作成を行っている。

## 2 数値モデル

雲を表現するためには水平格子間隔を細かくしなくてはならない。するとモデルで表現される現象のアスペクト比が1よりも大きくなるため、静力学平衡の仮定はもはや成り立たなくなる。すなわち鉛直方向の運動方程式を陽に解かなくてはならない。今回開発されたモデルの方程式はKlemp and Wilhelmson (1978)[2]に準拠しており、非静力学非弾性準圧縮系の方程式である。この方程式の解には音波が含まれる。

音波の位相速度はおよそ350m/sであり、これは気象現象の風速や波動の位相速度に比べて圧倒的に大きい。雲を表現する気象モデルにおいては計算コストを安くするため、音波に関係する項のみを小さな時間ステップで積分し、その他の項を大きな時間ステップで積分するという方法がとられる。さらに雲を表現する気象モデルでは、水平格子間隔(数km)に比べて鉛直格子間隔(数10~数100m)が小さい。このため音波を解に含む方程式を時間積分する際、時間ステップが鉛直格子間隔によって非常に制限を受けることになる。この問題を回避するために音波項の時間積分は水平方向には陽解法を、鉛直方向に陰解法をもちいて解かれる(HE-VI法)。陰解法においては連立1次方程式を解かなくてはならない。この方程式の係数行列は3重対角行列となっており、本モデルではLAPACKのサブルーチンDGTTRSを用いて解いている。モデルの概要を表1にまとめる。

計算領域	1500km × 1500km × 30km
格子点数	300 × 300 × 60
時間ステップ	(大) 4 秒、(小) 1 秒
境界条件	(水平) 周期、(上下) 壁面
予報変数	風 3 成分、温位、圧力、水蒸気、雲水、雨水
時間積分法	HE-VI 法
乱流拡散係数	1.5 次の TKE クロージャーモデルより算出
地表面フラックス	バルク式により算出

表 1: 開発したモデルの概要

### 3 テスト計算

BE が行った数値実験とほぼ同じ設定でテスト計算を行った。これは領域の中心に半径 100km の層状降水域を強制する実験である。層状降水は高度 5km の雨水混合比を一定 (0.1425g/kg) とすることで強制する。雨滴の蒸発によって大気が冷やされ、BE が示したように台風の初期渦が形成されるはずである。

結果を図に示す。これをみると水平風の鉛直シアアの有無にかかわらず降水強制開始から 10 時間程度で渦が接地している様子わかる。

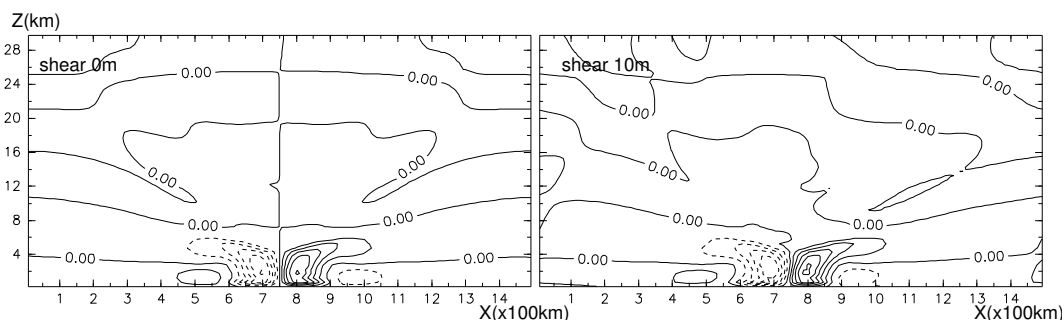


図 1: 層状降水域の中心における南北風の分布。(左) 水平風の鉛直シアアがない場合。(右) 水平風の鉛直シアアがある場合。

### 4 kyu-cc における自動並列化と料金

作成したモデルのコードそのものは並列化されていない。しかしながら kyu-cc においてはコンパイラによる自動並列化が利用できる。表 2 にモデルを 40 秒 (10 ステップ) 時間積分した際の real time, user time、計算にかかる料金をしめす。コンパイルオプションは “-O3 -qarch=pwr5 -qtune=pwr5 -qstrict -qsmp=auto” とした。また LAPACK は “-llapack\_smp -lessl\_smp” でリンクした。比較の為 kyu-vpp における結果も示している。kyu-vpp の計算にかかる料金は 15 分以降のもので計算した。なお kyu-vpp ではセンター標準の LAPACK のサブルーチン DGTTRS がベクトル

チューニングされてなかったためソースコードを改変したものを使用した(中島・中野: 2006年春のキャンペーン報告K)。これをみるとCPU数を増やす程並列化効率

マシン	CPU数	real time	user time	料金
kyu-cc	4	104 秒	325 秒	6.5 円
	8	75 秒	373 秒	7.5 円
	16	60 秒	505 秒	10.1 円
kyu-vpp	1	38 秒	38 秒	15.2 円

表 2: 計算時間と料金

が悪化していることがわかる。kyu-vppと比較すると計算にかかる時間ではkyu-cc 4並列の場合kyu-vppに比べて2.7倍遅い。料金は2.3倍安い。すなわちkyu-vppの方が速くて(速い分以上に)安いと言う結果になった。間近に迫っている超並列時代にあわせ、今後モデルのソースコード自体を並列化し並列化効率を向上させることの必要性を感じる結果である。

並列化の作業にはソースコードの改変とテスト計算が必要であり、そのためにセンターの計算機を利用するとお金がかかる。筆者のような貧乏院生だと、並列化のためのテストだけで予算を使いきってしまい、肝心な研究のための計算が行えないという悲しい事態も起こりかねない。今回のように無料で使えるキャンペーンはありがたい存在であるが、今後、並列化をソースコードに直接施すユーザーをサポートするような料金体系(並列化のためには5万円分無料や並列化テスト用ジョブクラスを作りそこの計算は課金されないなど)の検討もお願いしたい。

## 謝辞

図1の計算は九州大学情報基盤センターの「夏休みに思いっきり計算しようキャンペーン」で行った。またkyu-vppでの計算時間測定は九州大学情報基盤センターの公募研究課題の支援を受けた。

## 参考文献

- [1] Bister, M. and Emanuel, K. A.: The genesis of Hurricane Guillermo: TEXMEX analyses and a modeling study, *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 2662-2682, 1997.
- [2] Klemp, B. J. and Wilhelmson, R. B.: The simulation of three-dimensional convective storm dynamics, *J. atmos. Sci.*, **35**, 1070-1069, 1978.