

海面フラックスに対する台風の最大強度依存性(レビュー)

辻野 智紀

名古屋大学 地球水循環研究センター 博士課程(前期課程) 2年

1. はじめに

熱帯海洋上で発生する台風は、海面からの潜熱が渦に供給されることで発達する。一方、その渦は海面での摩擦による運動エネルギーの散逸によって発達を妨げられる。成熟期における台風はこの潜熱の供給と運動エネルギーの散逸がほぼつりあった(準定常)状態にあると考えられる。よって、台風の最大強度(ここでは、最大風速で評価する)は海面での熱交換、運動量交換過程に大きく依存すると考えられる。

本ポスターでは、過去に行われている海面での熱・運動量交換過程と台風の最大強度の関係についての研究を簡単にレビューし、3次元非静力学モデルを用いて理想化した台風について、海面フラックスと最大強度の関係を調べる。

2. 過去の研究

<理論的研究>

[Emanuel (1986)]

台風を回転軸対称な渦と仮定し、その準定常状態での理論的な研究から、台風の最大風速が熱交換係数(CE)と運動量交換係数(CD)の比(CE/CD)とともに増加することを示した。

$$\tau_s = -C_D C_\theta V |(\ln \theta_e - \ln \theta_{es})| \quad -- (1)$$
$$\tau_M = -C_D V |rV| \quad -- (2)$$

τ_s = 海面からの熱フラックス, τ_M = 海面での運動量フラックス, C_θ = 熱交換係数(以下、CEと同じ意味), C_D = 運動量交換係数, V = 風速, C_p = 大気の大定圧比熱, θ_e = 相当温位, θ_{es} = 海面での相当温位, r = 台風中心からの距離。

これらの値が境界層上端でつりあうという条件から、台風の最大風速 V_{max} について、

$$V_{max}^2 = \frac{C_\theta}{C_D} Lq_{\alpha}^*(1 - RH_{\alpha}) \frac{1 - \frac{1}{4} \frac{f^2 r_0^2}{\beta R T_s}}{1 - \frac{1}{2} \frac{C_\theta}{C_D} \frac{Lq_{\alpha}^*(1 - RH_{\alpha})}{\beta R T_s}}$$

という関係を得た。 $V_{max}^2 \approx \left(\frac{C_\theta}{C_D}\right)$

<数値的研究>

[Bryan and Rotunno (2009)]

2次元の軸対称非静力学モデルを用いて、台風の最大強度がこれらの海面交換過程に依存するという結果を得た(図2)。

[Emanuel (1995b)]

Emanuel (1986) の理論値と Rotunno and Emanuel (1987) で開発された2次元軸対称非静力学モデルと Emanuel (1995a) で開発された2次元軸対称静力学モデルとの間で、(CE/CD) に対する台風の最大強度の感度実験を行い、理論値とモデル結果が整合的であることを示した。

これらの数値的研究から、台風の最大強度が海面交換係数の比と関係をもつことが明らかである。

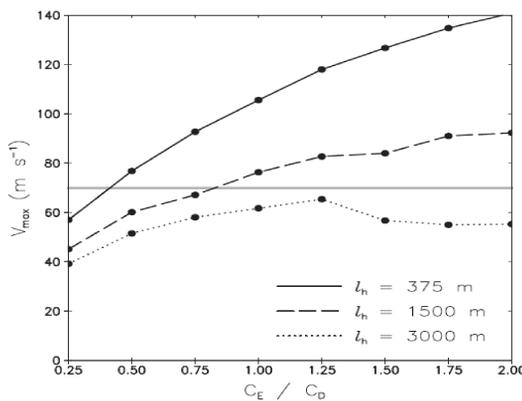


図2: Bryan and Rotunno (2009) における台風の最大風速と CE/CD の関係。(線の種類は乱流パラメタリゼーションを変えた実験。)

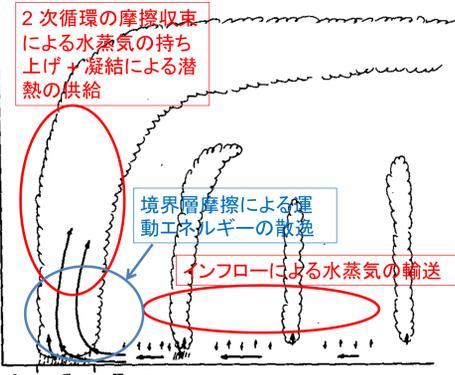


図1: 水蒸気の供給と境界層摩擦 (Emanuel, 1986 を改変)。

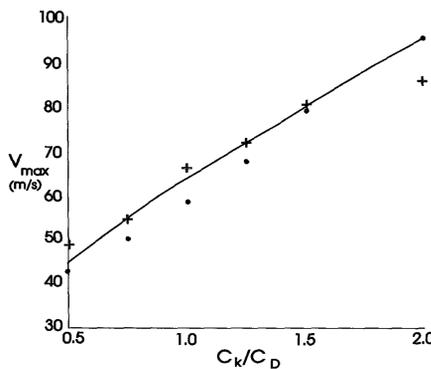


図3: Emanuel (1995b) における台風の最大風速と CE/CD の関係。黒点は Emanuel (1995a) の静力学モデル、+ 点は Rotunno and Emanuel (1987) の非静力学モデル。どちらも軸対称モデル。直線は Emanuel (1986) で提案される理論値。

4. まとめ

- 過去に行われている台風の最大強度と海面フラックスの関係についてレビューを行った。
- 台風の最大強度は海面フラックスをバルク法で評価した際の熱交換係数(CE)と運動量交換係数(CD)の比(CE/CD)に依存することが理論的研究(たとえば Emanuel, 1986)と数値的研究(たとえば、2次元軸対称非静力学モデルでは Bryan and Rotunno, 2009)から得られている。
- 3次元の非静力学モデル(CReSS)を用いて、理想化した台風の最大強度(準定常状態での最大風速)と海面交換過程との関係を調べた。
- 3次元非静力学モデルにおいて、表現された理想化した台風の最大強度は、海面交換係数の比(CE/CD)の変化とともに変化することが得られた。

参考文献

- Bryan, H. G., and R. Rotunno, 2009: The maximum intensity of tropical cyclones in axisymmetric numerical model simulations. *Mon. Wea. Rev.*, **137**, 1770-1789.
- Emanuel, K. A., 1986: An Air-Sea Interaction Theory for Tropical Cyclones. Part I: Steady-State Maintenance. *J. Atmos. Sci.*, **43**, 585-605.
- Emanuel, K. A., 1995: The Behavior of a Simple Hurricane Model Using a Convective Scheme Based on Subcloud-Layer Entropy Equilibrium. *J. Atmos. Sci.*, **52**, 3960-3968.
- Emanuel, K. A., 1995: Sensitivity of Tropical Cyclones to Surface Exchange Coefficients and a Revised Steady-State Model incorporating Eye Dynamics. *J. Atmos. Sci.*, **52**, 3969-3976.
- Rotunno, R., and K. A. Emanuel, 1987: An Air-Sea Interaction Theory for Tropical Cyclones. Part II: Evolutionary Study Using a Nonhydrostatic Axisymmetric Numerical Model. *J. Atmos. Sci.*, **44**, 542-561.

3. 数値実験

2節で示された熱・運動量交換係数の比と台風の最大強度の関係を実際に3次元非静力学モデルを用いて調べる。

<数値モデル>

ここでは、名古屋大学地球水循環研究センターで開発された3次元雲解像モデル(CReSS: Cloud Resolving Storm Simulator)を用いて実験を行った。モデルの基本設定は右の表に示す。また、初期に与えた渦は以下の式で表される。

$$V(r, z) = \frac{z_0 - z}{z_0} \frac{40 \times (r/r_0)}{1 + (r/r_0)^2} \quad (z \leq 10\text{km}).$$

(r, z) = 円筒座標系の動径, 鉛直座標。
 V = 接線方向の速度(低気圧性回転が正)。
 $z_0 = 10\text{ km}$, $r_0 = 120\text{ km}$ 。

表1: CReSS の基本設定

項目	設定
水平格子解像度	4 km x 4 km
計算領域	2000 km x 2000 km
鉛直層数	40 層
初期値	温度, 湿度場は熱帯北西太平洋上で高層気象観測データから, 初期渦は(1)式。
水平境界条件	Open boundary
鉛直境界条件	Rigid lid (上層 17km 以上にスポンジ層を設置)
乱流過程	1.5 次の乱流エネルギーによるパラメタリゼーション
雲物理過程	氷相過程を含むバルク法
コリオリパラメータ	緯度 15° で固定
SST	303 K で水平一様
積分時間	200 時間

<実験設定>

バルク法で評価される海面摩擦抵抗(2)と海面からの熱フラックス(1)の係数 C_D , C_E についてのパラメタスイープ実験を行う。コントロールラン(CTL)では、CReSSのデフォルト値(Kondo, 1975)を用い、この C_E , C_D の値から、1.5倍に増加させた値と0.5倍に減少させた値を以下の表のように組み合わせた実験を行った。

表2: 各実験設定

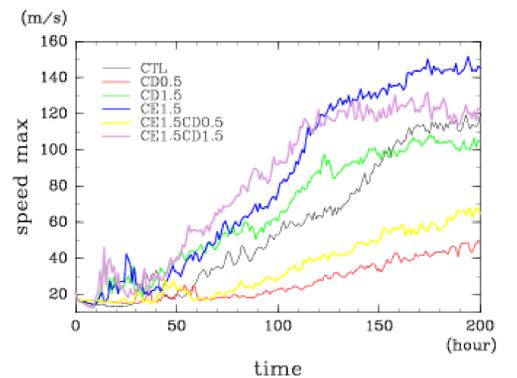
実験名	CTL	CE1.5	CD1.5	CD0.5	CE1.5CD1.5	CE1.5CD0.5
CE	x 1.0	x 1.5	x 1.0	x 1.0	x 1.5	x 1.5
CD	x 1.0	x 1.0	x 1.5	x 0.5	x 1.5	x 0.5
CE/CD	x 1.0	x 1.5	x 2/3	x 2.0	x 1.0	x 3.0

<計算結果・考察>

図4は上で設定した各実験における、最大風速の時間変化を表している。

準定常状態における各実験での最大風速を比較すると、海面交換係数の比(CE/CD)が変化するとともに、最大風速も顕著に変化する傾向がみられる。さらに、

- “CE1.5”, “CTL”, “CD1.5” の比較から熱交換係数が大きくなると最大風速が強くなり、摩擦係数が大きくなると逆に弱くなる。
- “CE1.5CD1.5”, “CTL” の比較から、CE/CDの比が同じ実験では準定常状態での最大風速はほぼ変化しない。
- “CD0.5”, “CE1.5CD0.5”, “CTL” の比較から、摩擦係数を小さくした実験では、200時間の積分後においても、準定常状態に到達していない。



これらから以下のようなことがわかる。 図4: 各実験における台風の最大風速の時間変化。

- 海面からの熱フラックスの増加によって、台風に供給される熱エネルギーが増加することで、最大風速が強くなる。逆に海面での摩擦散逸による運動エネルギーの減少によって、最大風速は弱くなる。
- この結果は、Emanuel (1986) の理論と整合的な結果を示し、また、2次元軸対称モデルを用いた Bryan and Rotunno (2009) の結果と同様の傾向を示した。
- CDの値を減少させた実験では、海面での摩擦による2次循環(インフロー)が弱くなったことにより、初期の発達に必要な壁雲への水蒸気輸送が少なくなったため、CTLより発達に時間を要したと思われる。

表3: 海面交換係数の比と海面交換過程と最大強度の関係。

CE/CD	海面交換過程	最大風速
大きい	熱フラックスの供給が大 .or. 海面での摩擦散逸が小	強い
小さい	熱フラックスの供給が小 .or. 海面での摩擦散逸が大	弱い