

MITgcm・MM5 による台風・海洋の相互作用に関する数値実験

Numerical Experiment for Typhoon and Ocean Interaction by MITgcm-MM5 Coupling Model

山口弘誠¹・山下隆男²・李 漢洙³・大城亨太⁴

Kosei YAMAGUCHI, Takao YAMASHITA, HanSoo LEE, and Ryota OHSHIRO

Numerical experiments for typhoon and ocean interaction was conducted by means of MITgcm-MM5 coupling model. Non-hydrostatic mode of MITgcm was employed to simulate the upwelling of ocean circulation near the surface mixed layer. The coupled model was applied to the Typhoon 0310 of which track crossed the Kuroshio warm current. It was made clear that typhoon and ocean interaction caused the 3 degree reduction in SST, net heat flux loss of 400 W/m², about 5 % reduction in precipitation in the right and rear area of the typhoon.

1. はじめに

よく知られているように、台風が発生、発達する海水温は 26 度以上で、コリオリ力が渦やコンベクションタワーの回転運動を発生させ、大規模な熱帯低気圧へと発達する。台風のエネルギー供給源は、海面からの熱輸送である。海洋から大気への向かう熱フラックスは低気圧を発達させ、その逆の場合は衰弱する。

海面水温が低気圧の発達に及ぼす理論や、数値実験による検討は、1970 年代後半から 1980 年代前半頃に行われている (Emanuel, 1986, Chang, 1979, Tuleya & Kurihara, 1982) が、熱帯低気圧と海洋との相互作用に関する検討は、大気・海洋の数値モデルが進歩した 1990 年代になってからである (Bender et.al. 1993)。

最近では、気象モデル、海洋の非静力学 3 次元モデルにより大気と海洋が結合した数値解析が可能となり、高潮解析のような実務的なレベル浸透してきている。大気、海洋の相互作用を考慮した海面での熱フラックス機構を適切にモデルに組み込むことは、台風の発達・衰滅、台風に伴う降雨場の正確な再現に貢献することになる。具体的には、台風と海洋の応答現象を考慮して、海面に於ける熱フラックスの収支を検討する場合、台風の通過後に海面水温が低下する現象まで考慮する必要があるのかどうかという疑問がある。この現象は、台風進行方向右側で卓越する乱流混合、台風進行方向後方で生じる湧昇により発生すると考えられているが、その影響度を明確にすることは、海岸工学研究においても重要であり、現在われわれが使用している気象モデルと海洋モデル (非静力学モード) により海面水温低下が台風に与える影響を定量的に検討する数値実験に興味をそそられる。

本研究では、気象モデル MM5 と海洋モデル MITgcm の非静力学モードにより、台風と海洋との相互作用を検討する。対象とした台風は黒潮海域を通過した台風 0310 号で、台風と海洋との相互作用により発生する海水の湧昇流が下層の冷水を海面に持ち上げ、海面水温が下がることで台風の構造がどのように変化し、降水量がどの程度減少するのかを定量的に検討する。

2. 数値実験の方法

本研究では、気象モデル MM5 と海洋モデル MITgcm の非静力学モードとで 1 時間毎の計算を交互に繰り返すレベルでの相互作用を検討した。すなわち、MM5 の結果から海面風速場と気圧場が MITgcm に与えられ、海水の 3 次元流動が計算される。これにより発生した湧昇流が海面水温を下げる。計算された海面水温は潜熱輸送、顕熱輸送を通して気象モデル MM5 へ影響が受け渡される。

MM5 による気象場の計算領域は、図-1 に示すような

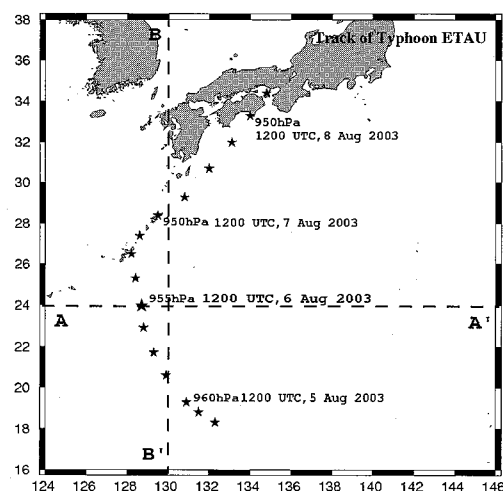


図-1 台風 0310 号の経路と計算領域

1 学生会員 工修 京都大学大学院 工学研学科
2 正 会 員 工博 広島大学教授 大学院国際協力研究科
3 学生会員 工修 京都大学大学院 工学研学科
4 学生会員 東京大学大学院新領域創成科学研究科

125E-144E, 15N-36N の範囲で、水平格子数は 172×172 、鉛直方向には高さ 10 km まで 23 層の格子網を設定した。台風による対流性降雨を対象とするため、霰を計算する微物理過程や、積雲対流スキームを用いた。具体的に適用した物理パラメータは、1) 微物理過程: Graupel moist scheme, 2) 積雲対流: Grell cumulus scheme, 3) 大気境界層過程: MRF planetary boundary layer, 4) 放射過程: Cloud atmosphere radiation scheme である。6 時間毎に台風ボーガスを適用し、風速、気温、相対湿度に 4 次元同化 (FDDA) を行った。

一方、海洋モデルとしては、MITgcm 非静力学モードを用いた。水平方向には 18 km の刻み幅で、鉛直方向には 26 層分割とし、数値的な安定条件から、 $dz(k+1)/dz(k)$ が 1.4 を超えないように刻み幅を設定した。すなわち、上から 10, 12, 14, 17, 20, 24, 28, 33, 40, 50, 65, 82, 104, 125, 160, 200, 250, 310, 380, 460, 550, 650, 760, 880, 1010, 1010 m 以下とした。鉛直混合層は KPP モデルを用いた。

実験期間は 2003 年 8 月 5 日 00:00Z から 8 日 18:00Z の 90 時間。対象とした台風は T0310 で 6 時間毎のボーガスをかいた。気象場のバックグラウンドデータとしては、NCEP/NCAR の FNL データを用い、海洋計算の初期・境界条件として、JCOPE データ (1/12 度解像度) の水温、塩分濃度、流速ベクトル分布を用いた。

3. 台風・海洋の相互作用の実験結果と考察

海洋と台風との相互作用を考慮しない場合 (海面水温 (Sea Surface Temperature) を一定とし、海洋の流れを計算しない) と、海洋の変化も考慮した場合とについて、海面水温、熱フラックス、計算期間の総降水量、海洋の流れによる変化、海洋の変化を受けて変化する台風構造の変化について、数値実験結果を示し考察を行う。

(1) 海面水温の低下: 図-2 に計算開始から 36 時間後の海面水温 (上図) 左は JCOPE の SST, 右は大気の変化 (海面せん断応力, 気圧, 熱フラックス) を考慮した海面水温を示す。さらに、下図は両者の差、すなわち、海水流動により発生した海面水温の低下分を示す。図中の星印は台風を中心位置 (8 月 6 日 12 時) を示す。図からわかるように、計算された水温低下は台風の進路右側後方で顕著であり低下温度は約 3 度である。これは、これまでの数値実験や観測値で得られた値 (3 度から 6 度程度) と同程度の変化量で、海水混合による海面水温低下が再現できている。なお、本台風の場合には最大 6.3 度の海面水温低下が観測されている。

(2) 熱フラックス: 相互作用を考慮した場合の潜熱フラックスと相互作用を考慮しない場合とでは 300 W/m^2 程度の明確な相違があり、蒸発量に換算すると 10

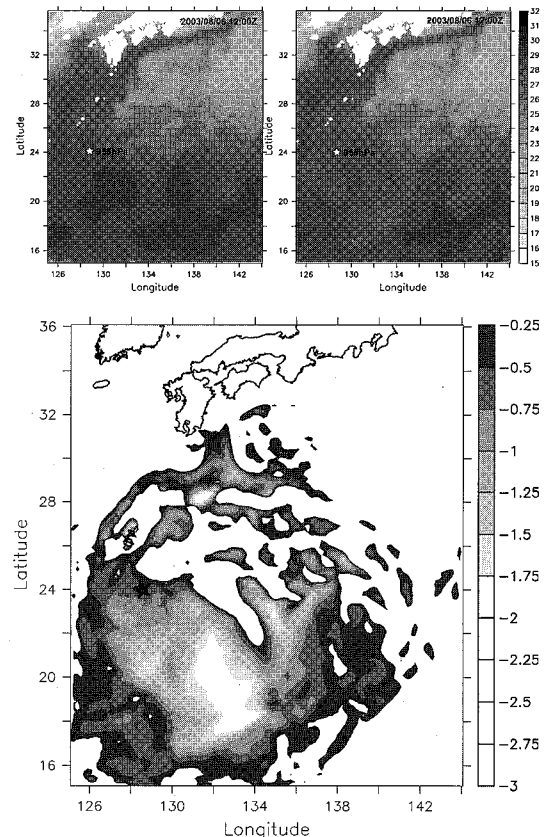


図-2 計算開始から 36 時間後の海面温度 (上図) 左は JCOPE の SST, 右は MITgcm で計算された水温分布。下図は低下水温分布 (両者の差) を示す。

mm/day 以上に相当する。顕熱フラックスは潜熱フラックスに比べて小さく、1/4 程度である。また、計算期間中で積分した値で比較しても、台風の進路右側で顕著な差が見られ、時間平均して 200 W/m^2 程度の潜熱フラックスの差が確認できた。

図-3 は潜熱フラックスおよび顕熱フラックスの相違分を示す。ここで、正は海洋への流入、負は流出である。図-4 に計算開始から 36 時間後の全熱フラックス (日射 - (顕熱 + 潜熱フラックス)) を示す。上図は、SST 一定の場合 (左) と海洋の流動を考慮した場合 (右) の全熱フラックスの分布で、下図は両者の差を示す。全熱フラックスの差異は、最大で 400 W/m^2 程度の低下が計算され、降水分布・風速分布が変化し得るのに十分大きな値である。

(3) 総降水量の相違: 図-5 に計算期間 3 日間の全降水量の平面分布を示す。相互作用を考慮すると降水量が減少した。これを空間積分してみると、7.5% の減少となる。雲物理過程における微物理として simple ice を使用した場合の全領域の総降水量の相違の場合も同様に、

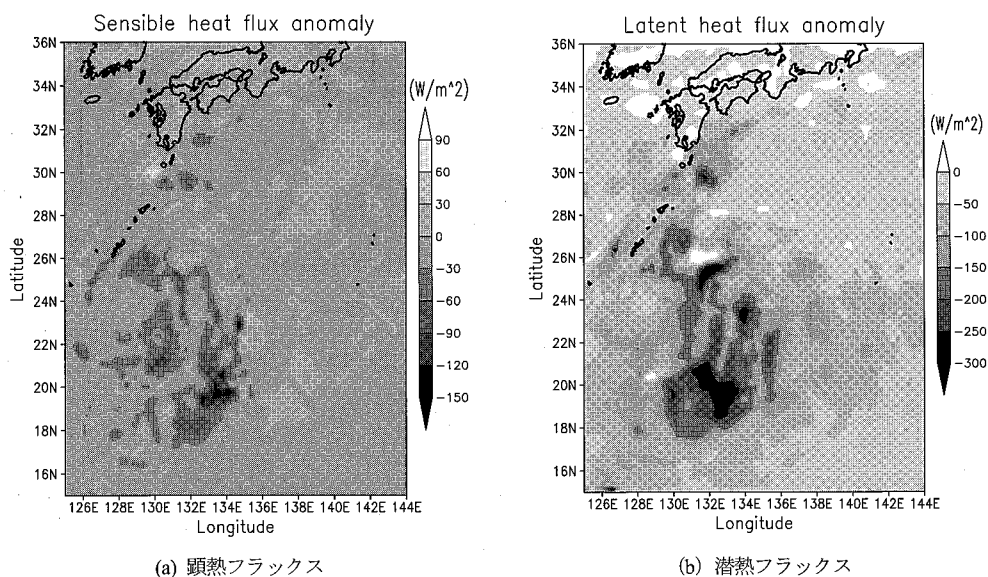


図-3 36時間後の潜熱フラックスおよび顕熱フラックスの相違

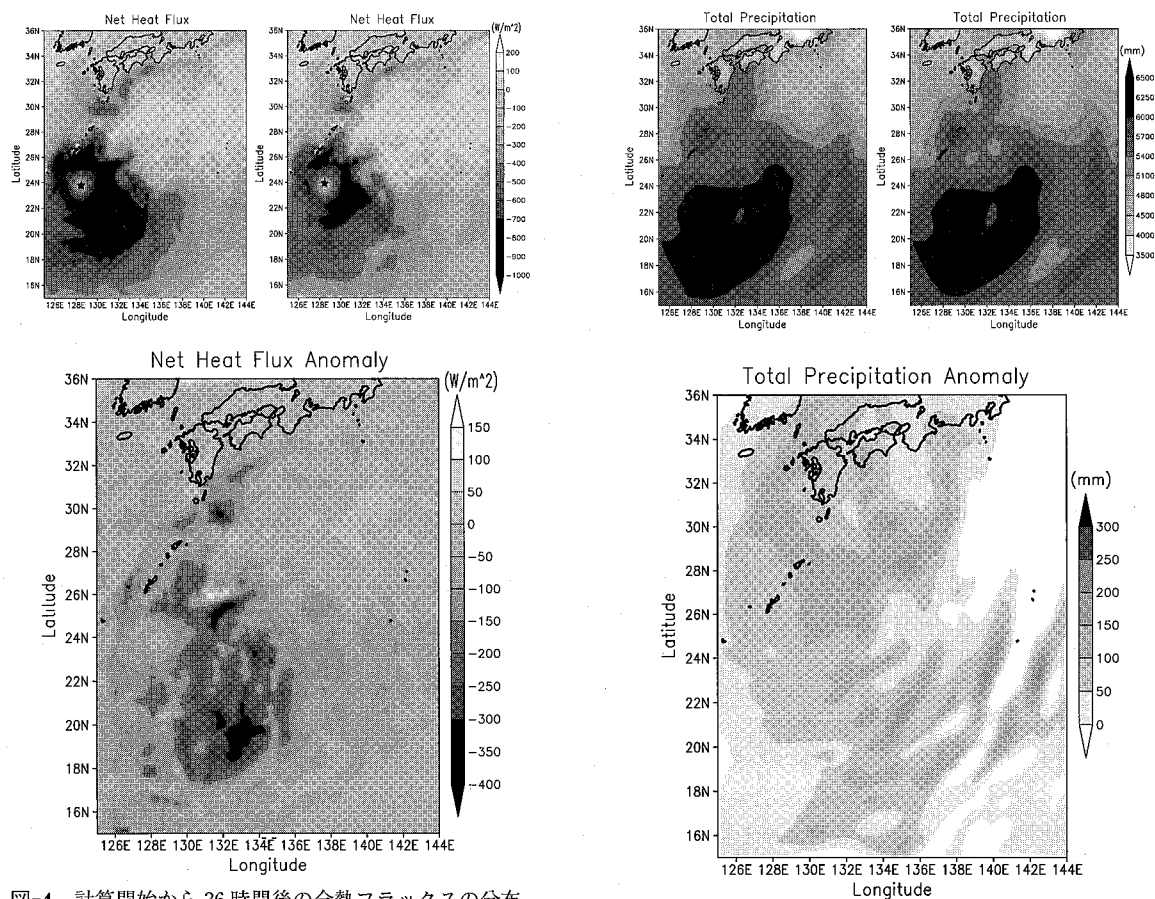
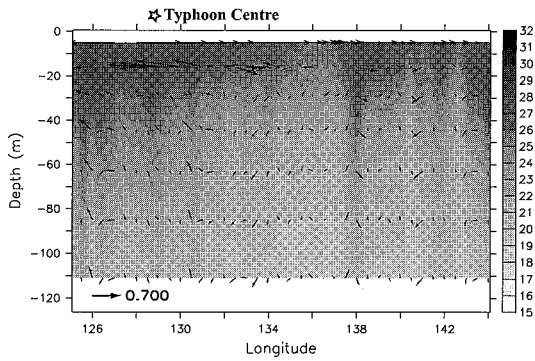
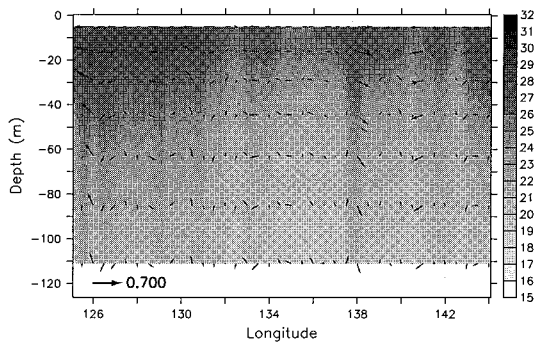
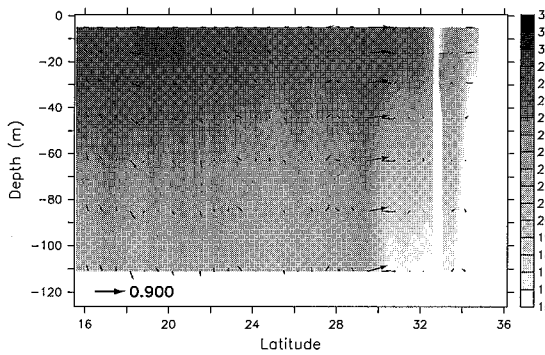


図-4 計算開始から36時間後の全熱フラックスの分布 (上図) 左が相互作用無し, 右が有りの場合. 相互作用の有無による全熱フラックスの差 (下図).

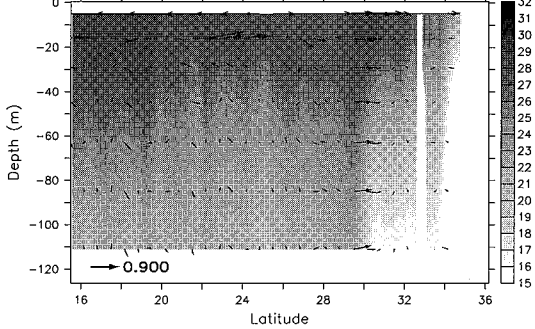
図-5 計算期間3日間の全降水量の平面分布 (上図) 左が相互作用無し, 右が有りの場合. 相互作用の有無による降水量の差 (下図).



(a) A-A'断面



☆ Typhoon Centre



(b) B-B'断面

図-6 36時間後の断面水温分布と流速ベクトル (図-1のA-A', B-B'断面)

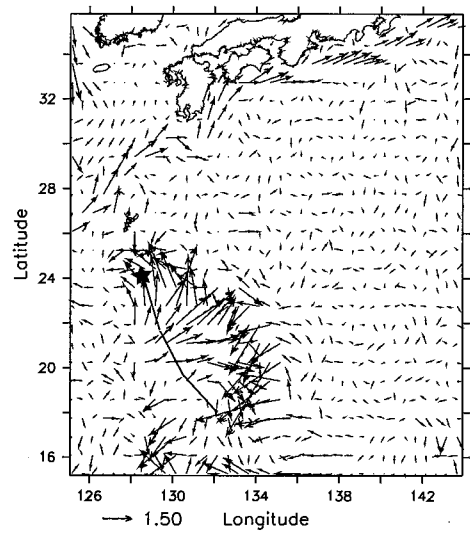


図-7 36時間後の海洋の混合層内での流速ベクトル

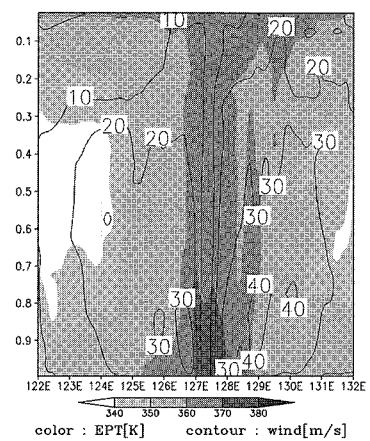
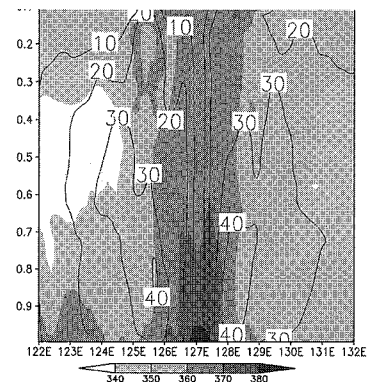


図-8 台風中心位置における相当温位 (シェイド) と風速 (コンター) の鉛直断面 (上図: SST一定, 下図: SST変化)

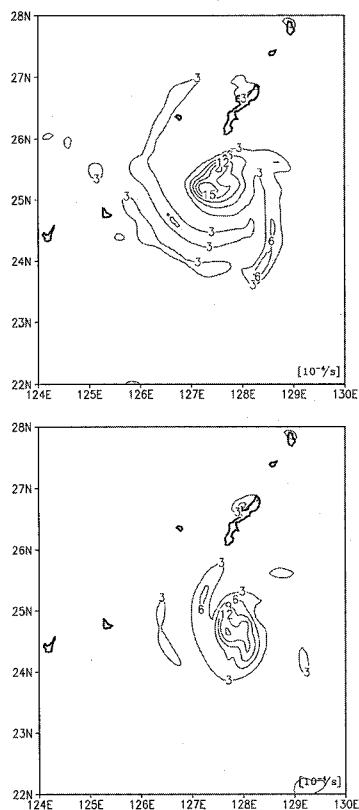


図-9 計算開始1.5日後の大気下層における渦度
(上図：SST一定，下図：SST変化)

降水量の空間積分をしてみると，相互作用を考慮した場合には約5%の降水量の減少が見られた。また，降水量が減少する場所と海面水温の低下する場所には直接的な関係は見られない。

(4) 海洋の構造変化：図-6に，図-1のA-A'断面，B-B'断面の水温分布と流速ベクトルを示す。上図はJCOPEデータ，下図が台風による海水流動を考慮した計算結果。これらの図から，台風じょう乱による海面近傍での海水混合で，海面水温の顕著な低下と，混合層内における発散流の発生による3次元流れ構造が形成されていることが確認できる。図-7に海洋の混合層内(水面下10m水深の位置)での流れの分布を示す。台風から発散流速ベクトルが再現されていることがわかる。

(5) 台風の構造：SSTの変化により，海洋から大気への潜熱・顕熱フラックスが減少することで，台風が減衰する。図-8は計算開始36時間後の台風中心位置における相当温位と風速コンターの鉛直断面分布を示す。上

図はSSTを一定にした場合，下図は海洋の流れを解析し，SSTを変化させた場合である。大気・海洋相互作用を考慮することで，台風構造に，最大で，風速10 m/s，相当温位5K，渦度 2×10^{-4} の減少があることが分かる。

図-9には，計算開始1.5日後の大気下層における渦度を，SST一定の場合(上図)およびSSTを変化させた場合(下図)について示した。相互作用を考慮した場合，台風の渦度そのものが小さくなることが確認でき，最大で渦度 $2 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ の減少であった。

4. ま と め

台風と海洋との相互作用を検討した結果，以下のような成果を得た。

(1) 計算による海面水温低下分は，約3度であった。(2) 全熱フラックスの差異は，最大で 400 W/m^2 の低下が計算され，無視できないオーダーであった。(3) 全降水量は，相互作用を考慮した場合には約5%の減少が見られたが，海面水温の低下する場所との直接的な関係はない。(4) 大気・海洋相互作用を考慮することで，台風構造に，最大で，風速10 m/s，相当温位5K，渦度 $2 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ の減少があることが示された。また，海洋の構造変化としては，台風じょう乱による海水面近傍での海水混合で，海面水温の顕著な低下と，混合層内における発散流の発生による3次元流れ構造が形成されていることが確認できた。ただし，台風の勢力を強化するのではなく弱体化させるという意味からは，工学的には安全側に働く現象であると言える。

本研究は，科学研究費基盤研究(B)(No.183101128，およびNo.18404003)の研究成果の一部である。

参 考 文 献

- Chang, S.W. (1979) : The response of an axisymmetric model tropical cyclone to local variations of sea surface temperature, Mon. Weather Rev., 107, 662-666.
- Emanuel, K. A. (1986) : An air-sea interaction for tropical cyclones, 1. Steady-state maintenance, J. Atmos. Sci., 43, 585-604.
- Tuleya, R.E. and Y. Kurihara (1982) : A note on the sea surface temperature sensitivity of a numerical model to tropical storm genesis, Mon. Weather Rev., 110, 2063-2069.
- Bender, M.A., I. Ginis and Y. Kurihara (1993) : Numerical simulations of tropical cyclone-ocean interaction with a high-resolution coupled model, Jour. Geophys. Res., 98, D12 23245-23263.