

メソ気象モデルによる降雨・地上風シミュレーションに及ぼす 黒潮海域 SST の影響

山口弘誠*・山下隆男**・金 庚玉***

黒潮海域に面するわが国では、黒潮本体の暖流や 2 次流の熱容量が大気環境に及ぼす影響は非常に大きい。本研究では、メソ気象数値モデル (MM5) を用いて、大気の下層境界条件の中の海面温度 (SST) だけを数パターン取り替えて気象の数値計算を行い、海面温度の相違が沿岸域での大気環境 (気象場) へ及ぼす変化をシミュレーションし、降雨・地上風シミュレーションに及ぼす黒潮海域 SST の影響を検討した。その結果、わが国の黒潮海域では、ここでの SST 分布特性が再現できる海面水温データを用いることが、降雨や風域場の再現等、内陸部の気象予測に必須であることを示した。また、黒潮の離岸・接岸で降雨域が変化することも示された。

1. 緒 言

海面近傍での大気の運動、海上風は波浪や海流形成の営力である。大気のエネルギは波浪を介する運動量フラックスの輸送で、海水の運動に伝達される。一方、熱収支の観点から大気・海洋の相互作用を観る場合、大気と海洋の熱容量、貯熱量の大きさの相違は十分考慮しなければならない相違点である。陸上と海洋の熱拡散係数の大きな相違と、水の持つ太陽放射エネルギーの効果的な吸収特性は、陸上と海洋との可視光域における太陽放射エネルギーの吸収特性や長波放射特性において、陸域と海域との相違を明確にしている。いずれの場合においても、大気・陸面、大気・海洋間の運動量、熱輸送機構は、潜熱輸送、乱流特性、熱容量特性、植生等、複雑な境界層の物理問題として、数値モデルに内在する難問であることには間違いない。

海面の温度や蒸発する水蒸気は大気の構造や運動に大きな影響を与えており、大気・海洋界面での運動量、熱、気体の交換過程は地球環境の変動において重要な役割を演じている。中でも、互いの熱収支が及ぼす相互作用の効果は大きく、わが国の太平洋岸のように、沖合に黒潮暖流が流れている海域に面する地域では、黒潮の持つ膨大な熱量を無視して、大気海洋間の熱輸送、水蒸気輸送を評価することはできない。

海岸工学に関する視点からは、沿岸海域への栄養塩の供給や土砂輸送は、陸水及び外海からの進入水を介して行われるため、陸域での降雨が果たす役割は水循環の根幹をなす最も重要な事象である。また、海上風は波浪、高潮、海流を発生させる基幹営力であるため、海岸防災や沿岸環境問題を考える上で必要不可欠な外力である。

よって、陸水の起源である降水や海上風の再現または予測を行うことは、流域管理、海岸保全に関する研究上、極めて重要な基礎研究テーマである。

本研究では、大気海洋相互作用の中でも、特に熱収支に着目し、海洋の熱容量の空間分布特性が沿岸域の大気環境 (気象場) にどのようなインパクトを与え、沿岸域での降雨と地上風特性がどのように変化するのかについて、数値実験による検討を行うものである。すなわち、メソ気象数値モデル (MM5) を用いて、大気場の下層境界条件の中の海面温度 (SST) だけを数パターン取り替えて気象の数値計算を行い、海面温度の相違が沿岸域での大気環境 (気象場) へ及ぼす変化をシミュレーションし、降雨・地上風シミュレーションに及ぼす黒潮海域 SST の影響を考察する。

2. 大気場に及ぼす海面温度の影響

(1) 水面の熱収支

地球に入射する太陽放射エネルギーのうち雲や地球表面で約 30% が反射され、約 40% が海面や地表面を通して吸収され、地球流体の流動駆動力となっている。地球がほぼ一定の温度を保っていられるのは、吸収された太陽放射エネルギーに相当する量が熱赤外放射として宇宙空間に放出される量と、水蒸気や CO₂ による逆放射量 (温室効果) との差としての実質の熱赤外放射量が地球の得た太陽放射エネルギーとバランスしているからである。

地上から大気への熱放射エネルギーの大半は、地球表面からの水蒸気が凝結し、雨となるときの潜熱の放出である。熱帯域では海面温度の高い海域を中心にして強い積雲活動 (上昇気流) があり、大気の広い範囲にわたって熱を放出している。この大きな熱放出が大気の大循環の主な駆動力源となっている。大気現象には熱輸送が大きく働いている。熱輸送の主部である潜熱フラックス Q_E の算出方法には、一般的に、次式のバルク法が用い

* 学生員 京都大学大学院工学研究科
** 正会員 工博 京都大学防災研究所 助教授
*** 正会員 工博 日本原子力研究所 研究員

られる。

$$Q_E = \rho L C_E V (q_s - q_a) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 ρ 大気密度、 V ：風速、 q_s ：海面水温 T_a に対する空気飽和比湿、 q_a ：海面上の気温 T_a に対する空気の比湿、 C_E は抵抗係数、 L は水の蒸発による潜熱で温度の関数である。

(2) MM5の大気境界層モデル

MM5では、主に5つの大きな物理過程を取り扱っている。これらは、積雲パラメタリゼーション、雲物理過程、大気境界層過程、放射過程、地表面過程で、目的とする現象に合わせて選択する。表-1に本研究で選択したモデルのオプションを示す。

表-1 用いた MM5の物理過程オプション

積雲パラメタリゼーション	Grell (Domain3はNone)
雲物理過程	Simple Ice
大気境界層過程	MRF PBL
放射過程	Cloud-radiation scheme
地表面過程	5-layer soil scheme

「放射」と「地表面」間では、長波放射や短波放射、地表面からの射出やアルベドといった物理量のやり取りがモデル化されており、「大気境界層」と「地表面」間では、温度、風、潜熱・顕熱といった物理量の授受がシミュレートされている。大気・海洋間のエネルギー授受は、潜熱フラックスが主流を占め、顕熱フラックスと長波放射によるエネルギー授受を考えればよい。陸面の場合とは異なり、大きな熱容量、熱貯蔵効果は、大気・海面間のエネルギー授受のモデル化を単純化してくれている。しかしながら、海流の熱輸送に関する影響力は大きいいため、これを気象モデルに如何に正確に取り込むかという問題が重要となる。これはメソスケールの大気・海洋相互作用の根幹をなすものであり、沿岸気象の解析には必要不可欠であると考えられる。

3. 降雨・地上風シミュレーションに及ぼす黒潮海域 SST の影響の数値実験

(1) 数値実験条件

本研究手法では、メソ気象モデル、MM5を用いた数値実験を実施する。計算対象事例として台風0310号(ETAU)を取り上げ、西日本広域にもたらされた豪雨、暴風について再現計算を実施した。計算期間は台風0310号が紀伊半島を通過した2003/08/05 00:00UTC から2003/08/09 06:00UTCである。台風の経路図を図-1に示す。

メソスケールの気象の数値シミュレーションを行う場

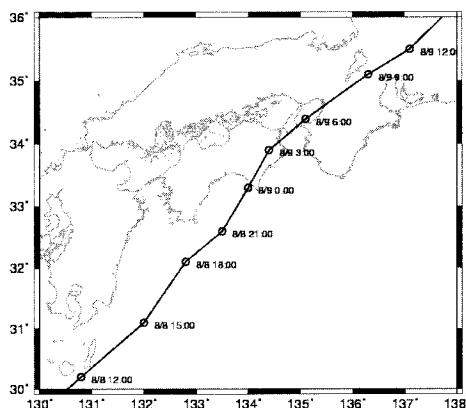


図-1 メソ気象モデル MM5で計算した台風経路
図中では日本時間 (JST)

合、全球規模での気象場の予測結果を初期条件、境界条件(バックグラウンドデータ)として、以下のようなデータセット使用可能がある。

○NCEP/NCARの全球客観解析データ(1度×1度)：海面温度のデータは、Skin Temperatureとして、同解像度で含まれている。

○ECMWFの全球客観解析データ(1度×1度)：海面温度のデータは、Surface Dataの一部として、同解像度のものが使用されている。

○気象庁の全球客観解析データ(1.25度×1.25度)：海面温度のデータは、別途入手が必要。

本研究では、NCEP/NCARの全球客観解析データをバックグラウンドデータとして6時間毎に与えた。一方、MM5による気象場の再現に大きな影響を与えられられる海面温度(SST)のデータとしては、GFS(Global Forecasting System)の気象場データセットに含まれる1度×1度のSkin Temperature(海域と陸域の表面温度)や0.5度×0.5度のNCEPのRTG_SST(Real-time global sea surface temperature analysis)があるが、これらの空間解像度はメソスケールの気象数値計算の格子の大きさ、数kmに比べると空間解像度が粗いため、気象モデルの格子への補間が必要である。

一方、地球フロンティア研究システム(現：地球環境フロンティア研究センター)が日本沿海可能性予測実験(JCOPE)として、日本沿海での海洋のシミュレーションを行っている。数値計算モデルには、POM(Princeton Ocean Model)を用いて、空間解像度1/12度、深さ方向に σ 座標45層のメッシュで計算を行い、観測データをフルに同化した再解析データを公開しているため、計算にはこのデータセットも使用できる。

本章では、以下のSSTデータを用いて計算した。

i) GFSによる気象場のデータセットに含まれるSkin

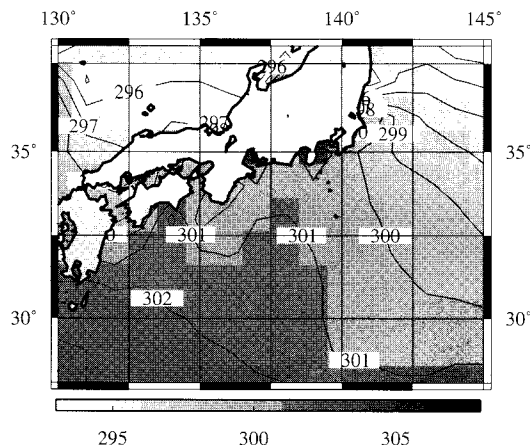
Temperature (海域と陸域の表面温度), 解像度は1度×1度と粗い. 図-2(a)に空間分布を示す.

ii) 日本沿海予測可能性実験 (JCOPE) が配布している SST, 解像度は1/12度×1/12度である. 図-2(b)に空間分布を示す.

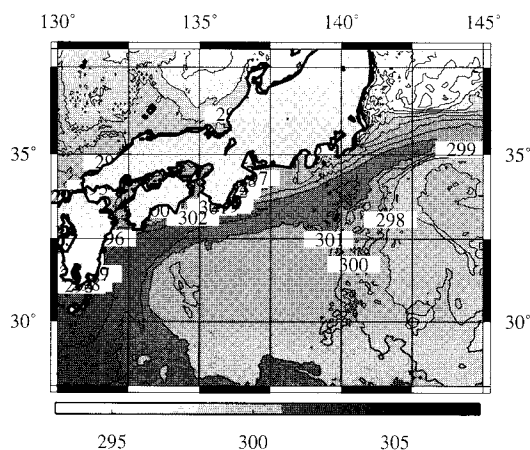
対象とした気象擾乱は台風であるが, 台風の位置や気圧深度を解像度の低いバックグラウンドデータで再現することは不可能なので, ボーガス台風が用いられることが多い. ここでは, ボーガス台風を導入せずに, 単に気圧場だけをナッジングし, 台風の進路をバックグラウンドデータに合わせる方法を用いた. 図-3に示した計算領域において, ナッジングは Domain1のみで行い, 降雨場, 地上風速場の再現計算は Domain3のものを観測値と比較する.

(2) 数値実験結果

図-2に示した海面水温を用いて MM5で計算した2003年8月8日12:00UTCの潜熱フラックスの差 (JCOPE



(a) NCEP による Skin Temperature の空間分布 [unit:K]



(b) JCOPE による SST の空間分布 [unit:K]

図-2 MM5の計算に使用した海面温度データ

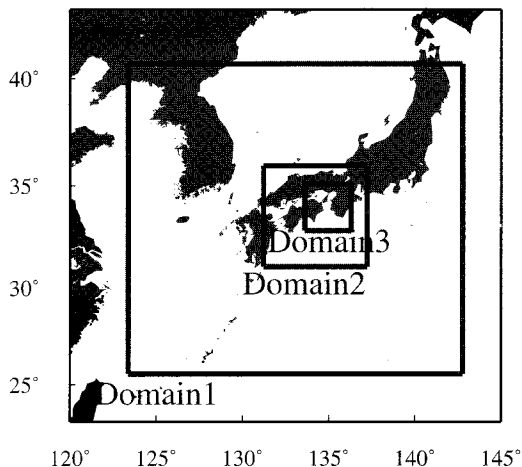


図-3 数値実験の計算領域

- NCEP) を図-4に示す. 潜熱フラックスで50~100 W/m^2 程度の差となっており, 蒸発量に換算すると1.8~3.6 mm/dayに相当する. 特に黒潮海域でその差が大きく, 黒潮接岸時には沿岸気象場に及ぼす影響は無視できないことがわかる.

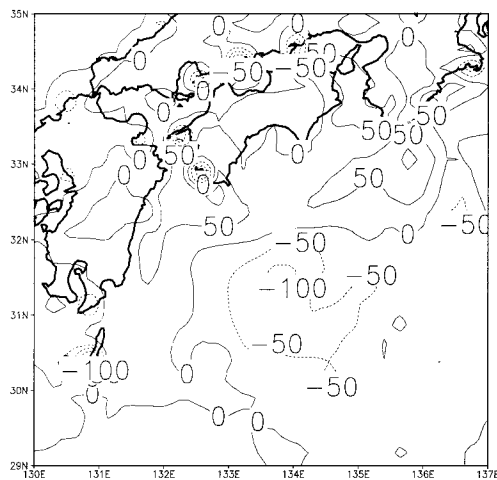


図-4 潜熱フラックスの差 (JCOPE-NCEP)
(2003年8月8日12:00 UTC) (unit: W/m^2)

さらに, 以上の数値実験により再現された風速場と観測データとの比較を図-5および図-6に示す. 図-5は和歌山のアメダスデータと JCOPE および NCEP の GFS を用いた場合の MM5の地上風の再現結果との比較である. 陸上値ではあるが, 風向, 風速ともに JCOPE データを用いることで結果が改善されていることがわかる. なお, この図において最大風速の発生時刻と強度が再現できていないのは, ボーガス台風を使用しなかったこと

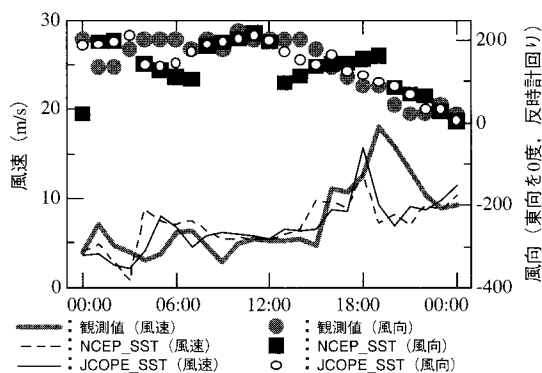


図-5 和歌山における風速と風向の観測値と再現値の比較 (2003年8月8日)

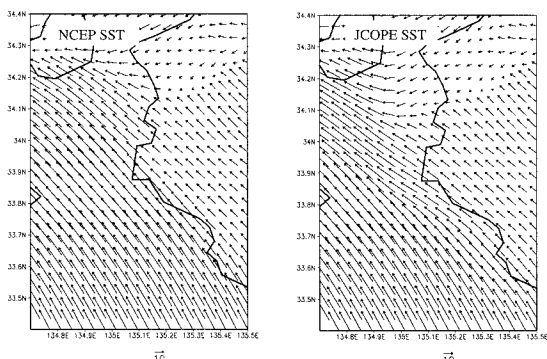
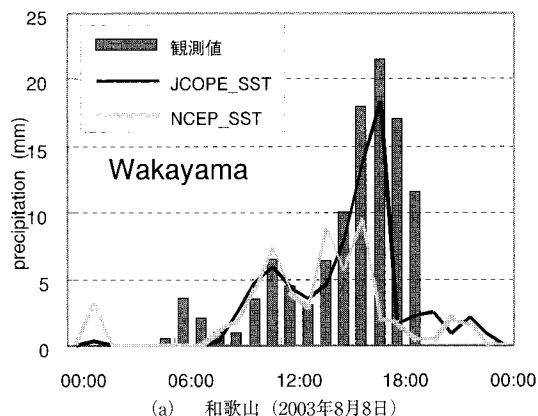


図-6 JCOPEとNCEPのSSTデータを用いた場合の海上風ベクトルの計算結果の比較

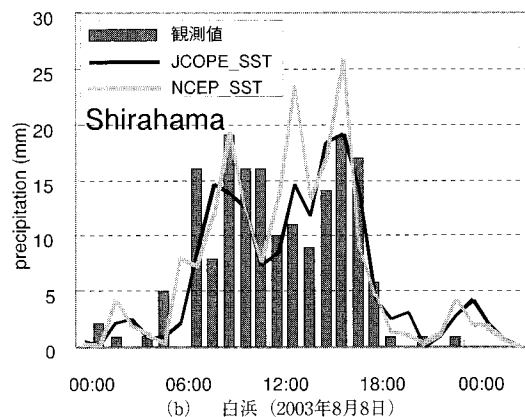


図-7 時間雨量の観測値と再現値の比較

に起因するものと思われる。

図-6には、2003年8月8日の9時UTCの海上風ベクトルの計算結果を、JCOPEとNCEPのSSTデータを用いた場合を比較して示した。風向、風速に関して海上での若干の相違が認められる。

図-7には和歌山および白浜でのアメダスデータと再現された時間降水量の比較を示した。NCEPのSSTを用いた場合には、和歌山では過小評価に、白浜では過大評価になっている時間降水量が、JCOPEデータを用いることで大幅に改善されている。

図-8には、全計算期間の総降雨量の(JCOPE - NCEP)の差の空間分布を示した。全降雨量としては±30 mm程度の差があり、特に紀伊水道、大阪湾ではJCOPEデータを用いた場合には降雨が強くなり、土佐湾ではその逆の傾向になっていることがわかる。

4. 黒潮の離・接岸の影響

黒潮の離岸・接岸で沿岸域の気象場にどの程度の影響が在るのかを検討する。2003年の夏季は黒潮が日本の太平洋岸にかなり接岸した年であるため、2004年の海洋速

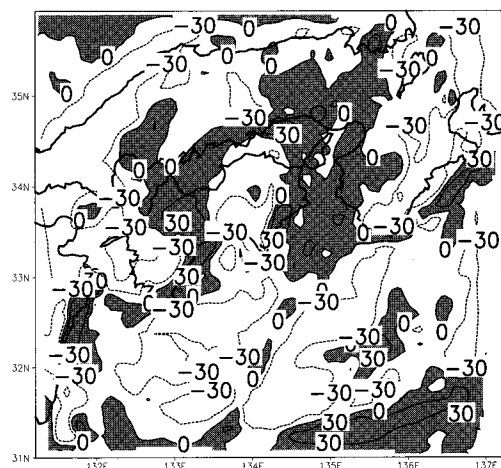


図-8 全計算期間での総降雨量の差(JCOPE - NCEP)の分布(網掛部分が正, mm)

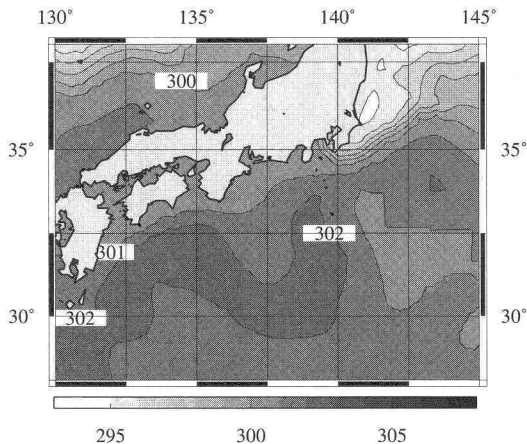


図-9 黒潮離岸時の SST の空間分布
(2004年 8月) [unit:K]

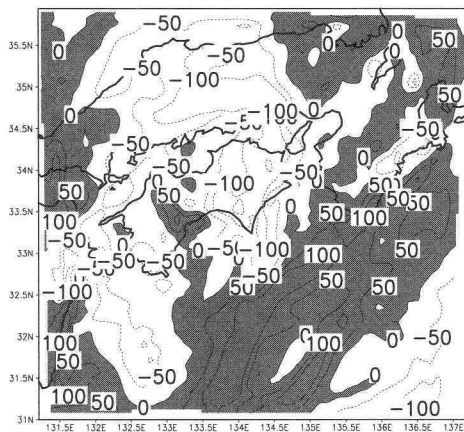


図-10 全計算期間での総降雨量分布の差 (離岸-接岸)
(網掛部分が正, mm)

報から、離岸時の夏季の SST データを作成し、MM5の海面水温条件として使用した。すなわち、以下の2通りの SST を与えた場合の MM5 の計算を実施した。

- i) 日本沿海予測可能性実験 (JCOPE) の SST (接岸ケース)。
- ii) 海上保安庁が発表している海洋速報の海面温度情報から抽出した2004年の同季節の海面温度 (離岸ケース)。

図-9 に抽出した水温分布を示す。

計算期間および用いたバックグラウンドデータは3.と同様であるが、SST データを2004年の黒潮離岸時のも

のと置き換える計算となっている。図-10 に全計算期間での総降雨量分布の (離岸時-接岸時) の差の分布を示す。図中、網掛が正の部分で単位は mm である。海面水温の絶対値は2004年のデータが高めであるため、離岸時の場合の総降雨量が多いように見えるが、(離岸時-接岸時) の差は内陸部で負、潮岬沖で正の関係が明確に出ている。すなわち、同様の台風が黒潮離岸時に来襲していたならば、四国、中国地方での総降雨量は100 mm 程度少なく、その代わり太平洋沿岸域で約100 mm 多く降っていたであろうことが再現されている。

5. 結 語

以上、メソ気象数値モデル (MM5) を用いて、大気場の最下層境界条件の中の海面温度 (SST) だけを数パターン取り替えて気象の数値計算を行い、海面温度の相違が沿岸域での大気環境 (気象場) へ及ぼす変化をシミュレーションし、降雨・地上風シミュレーションに及ぼす黒潮海域 SST の影響を検討した。これにより以下のことが示された。

- (1) 海面温度がメソスケールの気象場の再現計算に及ぼす影響が大きく、解像度の高い海面温度を用いることで、沿岸域の降雨や風域場の再現精度の向上に大きく役立つことが示された。
- (2) 特に、わが国の黒潮海域では、ここでの SST 分布特性が再現できる海面水温データを用いることが、降雨や風域場の再現等、内陸部の気象予測に必須であることを示した。また、黒潮の離岸・接岸で降雨域が変化することも示された。

なお、本研究は科学研究費補助金 (基盤研究(B)(2))、研究代表者 山下隆男、課題番号: 14350266)、研究の一部として行われた。

参 考 文 献

- 海上保安庁: 海洋速報&海流推測図, <http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KANKYO/KAIYO/qboc/index.html>, 参照2005-03-01.
- Christopher, A. D., L. N. Simon (2001): The NCAR-AFWA tropical cyclone bogussing scheme, A report prepared for the air force weather agency (AFWA).
- Kyeongok K (2005): Costal ocean model with consideration of meteorological-oceanographic mesoscale interaction, Kyoto university Ph. D dissertation.