

|          |   |         |          |
|----------|---|---------|----------|
| 氏名       | リー<br>李   | ハン<br>漢 | スウ<br>洙  |
| 学位(専攻分野) | 博士(工学)  |         |          |
| 学位記番号    | 工博第2844号  |         |          |
| 学位授与の日付  | 平成19年9月25日  |         |          |
| 学位授与の要件  | 学位規則第4条第1項該当  |         |          |
| 研究科・専攻   | 工学研究科社会基盤工学専攻   |         |          |
| 学位論文題目   | Regional Disaster Events and Environment Simulations by<br>Atmosphere-Ocean Coupled Model<br>(大気・海洋結合モデルによる地域環境・災害事象シミュレーション) |         |          |
| 論文調査委員   | (主査)<br>教授 関口 秀雄  | 教授 間瀬 肇 | 教授 中北 英一 |

### 論文内容の要旨

本研究は、沿岸域における高潮高波災害リスクの軽減および水域環境マネジメントに資するために、メソ気象モデル(MM5)および海洋モデル(MITgcm, POM)、海洋波浪モデル(SWAN, WW3)を基盤モデルとして、それらの合理的な結合系を実現するために新たなカップラーによる並列計算システムを構築し、その適用性を、大気と海洋の相互作用が重要な役割を果たす沿岸域の複雑な流れ場の実問題に照らして検討したものである。

本論文はそれらの成果をまとめたもので、7章から成る。

第1章は序論であり、従来の研究のレビューをふまえて、本研究の動機と背景を述べている。

第2章では、気象および海洋モデルの結合系を用いて、「地域環境・防災シミュレーター」を構築し、その理論的特徴を述べている。すなわち、メソ気象モデル(MM5)および海洋モデル(MITgcm, POM)、海洋波浪モデル(SWAN, Wave WatchⅢ:以下WW3と記す)を基盤モデルとして、それらの基礎方程式系を提示するとともに、カップラーによる並列計算システムを構築し、大気・海洋の相互作用を導入した数値モデルを実現している。相互作用は、モデル間の変数を交換することで導入されているが、大気から海洋への運動量フラックス輸送には波浪の影響を考慮した白波砕波せん断応力、波浪の発達を考慮した波浪せん断応力を考慮した相互作用系を構築している。

第3章では、2005年のハリケーン(カトリーナ)によるメキシコ湾の高潮・高波解析、および人類の観測史上最低気圧を記録した台風7920号(TIP)の高波について再解析を行い、メソ気象モデルで台風やハリケーンのような局所的で強力な気象場を再現するためのボーガス台風モデルについての検討を行った。瀬戸内海のような周囲を複雑な陸上地形で囲まれた内海の風域場の再現にはメソ気象モデルの適用が極めて有効なことは幾人かの研究者によって明確にされているが、外洋での強大な熱帯低気圧に対して、これを適用する場合の気象モデルの適用方法、さらには高潮に及ぼす波浪の影響について検討し、大気・海洋結合モデル(MM5, SWAN, WW3, POM)の適用性を示し、台風ボーガスの有用性、極浅海域での白波砕波応力の必要性を明確にした点が、本章の大きな特徴である。

第4章では、静力学モデルPOMとともに、MITgcmの非静力学モードを用いた大気・海洋結合モデルにより、台風と海洋表層の3次元流動場との相互作用に関する数値実験を行った。すなわち、黒潮海域を横断した台風0310号を対象とし、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した。その結果、(1)計算による水温低下分は、約3度であった。(2)全熱フラックスの差異は、最大で400W/m<sup>2</sup>の低下が計算され、無視できないオーダーであった。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。この効果は、台風の勢力を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。

第5章では、閉境界条件が使える、かつ密度変化が水温のみで議論できる等の計算上の簡易さの利点のあるダム湖の流れを

対象として、MITgcmの非静力学モードによる3次元パロクリニックな数値解析を行った。対象とした土師ダム湖（八千代湖）は、広島県の中央部に位置し、水温分布、栄養塩、流入河川流量等の観測データが豊富にあるため、モデルの検証にも適している。本研究では、夏季（2006年7月）の温度成層の形成過程を再現することを目的とし、メソ気象モデルで再現された気象場の変化（流域からの降水の流入、雲による日射の変化、風の影響を考慮する）により、湖水の加熱・冷却の日変化と風による吹送流の影響を与えながら、ダム湖内で温度成層が形成される過程を再現し、観測データと比較検証した。その結果、以下のような成果を得た。1) ダム湖の流れは、風による運動量flux、湖水面での日射の変化と大気圧変化と上流の河川からの流入（河川水の流速、水温）によって規定されることが再現できた。2) 風による流れでは表層と中層の間のせん断流（velocity shear）の存在とこれによる混合過程が確認できた。3) 1ヶ月間に渡る水温分布の時間変化シミュレーション結果では、湖水の加熱・冷却による日変化特性と河川水の流入とによる変化特性が観測データをよく再現できた。4) 湖水の鉛直混合とそれに対する内部波の役割が、風による運動量flux、等水温線、浮力振動数の計算値でうまく説明できた。

第6章では、「地域環境・防災シミュレーター」の海岸環境、防災研究への適用として、周囲を複雑な陸上地形で囲まれた九州西部海岸での過去50年間の主要気象擾乱による風域場の再解析と有明海における吹送流の残差流成分解析、および高潮時の高波による越波解析を行った。まず、メソ気象モデルMM5を九州西部海域に適用し、この海域での1959年以降の主要47気象じょう乱（台風42）を対象とした局地気象の再解析を行い、解析結果をデータセット化した。さらに、推算結果を利用して非常に閉鎖性が強く、山岳地形の影響が顕著である大村湾海域の風特性を検討した。また、台風による有明海の吹送流の残差流は、台風経路によって時計回り、反時計回りの2タイプの循環流を熊本沖（島原湾）に形成するが、これによる海水循環量は1ストーム当たり $10^9$  (m<sup>3</sup>) のオーダーであることを示した。さらに、大気・海洋モデルと結合して越波解析を行う、海岸防災のためのシミュレーション法を例示した。

第7章は結論であり、各章で得られた成果をまとめるとともに、「地域環境・防災シミュレーター」のさらなる発展の方向性について見解を述べている。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、沿岸域における高潮高波災害リスクの軽減および水域環境マネジメントに資するために、メソ気象モデル（MM5）および海洋モデル（MITgcm, POM）、海洋波浪モデル（SWAN, WW3）を基盤モデルとして、それらの合理的な結合系を実現するために新たなカップラーによる並列計算システムを構築し、その適用性を、大気と海洋の相互作用が重要な役割を果たす沿岸域の複雑な流れ場の実問題に照らして検討したものである。

得られた主な研究成果は以下のとおりである。

1. 大気・波浪・海洋結合モデルを用いて、極浅海域を含む広い陸棚で特徴づけられるメキシコ湾岸を対象としてハリケーン カトリーナ来襲時の高潮高波過程の追算を行った。その結果、観測高潮高波場を再現するうえに、①メソ気象モデルにおいて台風ポーガスが有効であること、②大気から海洋への運動量フラックス輸送において、白波砕波にともなう海水流動の活発化を適切に考慮すること（白波砕波せん断応力の導入）が重要であることを明らかにした。

2. 大気・海洋結合モデルを用いて、台風と海洋表層の3次元流動場の相互作用に関する一連の数値実験を行った。その結果、①台風通過にともない海水の湧昇流が生じること、②これにより下層の冷水が海面に持ち上げられ、顕著な海面水温低下をもたらすこと、③このような海面水温低下は台風の勢力を弱体化させる傾向があることを指摘した。

3. 複雑地形を有するダム湖内の流れを対象として、3次元パロクリニック解析を行った。具体的には、メソ気象モデルにより気象場の変化（降雨、日射、風の影響等）を再現し、それに対応してダム湖内に温度成層が形成される過程をMITgcmの非静力学モードにより解析した。その結果、①ダム湖内の流れは、風による運動量フラックス、湖水面での日射の変化と大気圧変化、上流からの河川流入によって規定されること、②吹送流の特徴として、湖水表層と中層の間にせん断流が形成され、混合に寄与することを明らかにした。

4. メソ気象モデルMM5を九州西部海域に適用し、1959年以降の主要47気象じょう乱（台風42個を含む）を対象とした局地気象の再解析を行い、解析結果をデータベース化した。その成果を利用して、非常に閉鎖性が強く山岳地形の影響が顕

著である大村湾海域の風特性の検討を可能とした。

5. 海洋モデルPOMに基づいた一連の解析により，台風による有明海の吹送流の残差流は，台風経路に応じて時計回り，あるいは反時計回りとなることを明らかにした。さらに，1ストーム当たりの海水循環量の定量的評価を可能とした。

以上，本論文は，大気・海洋結合モデルに基づく高潮高波災害過程および水域環境変動の高度な予測解析システムを開発したもので，学術上，實際上，寄与するところが少なくない。よって，本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また，平成19年8月28日，論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果，合格と認めた。