

Contents

A.	Preface	1
B.	Overview	3
B-1.	Overview of the project	3
B-2.	Overview of MRI's contribution	5
C.	Numerical experiments and verifications	7
C-1.	Statistical verification of short range forecasts by NHM and WRF-ARW with coarse resolution	7
C-2.	Statistical verification of short range forecasts by NHM and WRF-ARW with fine resolution	10
C-3.	Structure of the regional heavy rainfall system that occurred in Mumbai, India, on 26 July 2005	14
C-4.	Generation mechanisms of convections in the tropical region (role of gravity waves)	17
C-5.	Tests of cumulus schemes in JMA-NHM over Southeast Asia	22
C-6.	Model verification of HRM, NHM, WRF-ARW and WRF-NMM in predicting precipitation	26
C-7.	Numerical Experiment on the Heavy Precipitation during the Jakarta Flood Event in January-February 2007	31
C-8.	Simulation of low level cloud over western Ghats using a non-hydrostatic model	38
D.	Numerical experiments for tropical cyclones	42
D-1.	Forecast experiment with a nonhydrostatic model and simulation of storm surge on Myanmar cyclone Nargis	42
D-2.	Mesoscale LETKF data assimilation on cyclone Nargis	47
D-3.	Ensemble prediction of cyclone Nargis and the associated storm surge	50
D-4.	Mesoscale data assimilation experiment of Myanmar cyclone Nargis	54
D-5.	Near realtime retrieval of GPS precipitable water vapor in low latitudes and mesoscale data assimilation experiment of Myanmar cyclone Nargis	61
D-6.	Asymmetric features of near-surface wind fields in typhoons revealed by the JMA mesoscale analysis data	67
D-7.	Preliminary validation of TC structure function used in the JMA typhoon bogussing procedure	69
D-8.	Re-analysis and re-forecast of Typhoon Vera (1959)	75
D-9.	Development of air-sea bulk transfer coefficients and roughness length in JMA non-hydrostatic model	82
E.	Observation and NWP in Southeast Asia	86
E-1.	Towards a mesoscale observation network for Southeast Asia	86
E-2.	Development of operational rapid update non-hydrostatic NWP and data assimilation systems in the Hong Kong Observatory	87
E-3.	Available input data for NHM real-data simulation	101
F.	Decision support system	103

F-1.	Experimental development of decision support system for prevention and mitigation of meteorological disasters based on ensemble NWP data	103
G.	International partnership	109
G-1.	Workshops	109
G-2.	Newsletters	124
G-3.	Mutual visits	125
G-4.	Home page at Kyoto University	126
G-5.	Home page at MRI	128
H.	References	130
I.	Appendix	137
I-1.	Newsletters	139
I-2.	Introduction to a web-based decision support tool for ensemble numerical weather prediction with Gfdnavi	163
I-3.	Links of published papers	192

序

東南アジアはインドシナ半島を中心とするアジア大陸南東部と、海洋大陸と呼ばれるインド洋と太平洋の間に広がる領域からなり、12カ国にEUを上回る約6億人が生活している。ASEANとして近年目ざましい経済成長を遂げており、地理的に近いこともあり日本にとってその重要性が大きくなっている。その一方で、台風・洪水・地震・津波などさまざまな自然災害にも見舞われる地域であり、死者20万人以上といわれる2004年のスマトラ沖地震や死者14万人といわれる2008年のサイクロン・ナルギスなどは、近年における最大規模の自然災害として記憶に新しい。

文部科学省は、2006年3月に閣議決定された第3期科学技術基本計画においてアジア地域共通の課題への取り組みの重要性が指摘されたことを受け、アジア諸国との間での対等なパートナーシップによる共同研究を推進していくことを目標に、平成19年度科学技術振興調整費研究の5分野の一つに、「アジア科学技術協力の戦略的推進」を設けた。自然災害、感染症対策、エネルギー技術、先端技術の4つのテーマに対して128件の応募があり、最終的に11件が採択された。その中の一つが、京都大学の余田成男教授を研究代表者とする「東南アジア気象災害軽減国際共同研究」であり、東南アジア地域の気象災害軽減に資するための国際共同研究推進ネットワークを立上げることと、数値天気予報に基づく気象災害軽減のための判断支援システムのプロトタイプを構築することを主な目的とした。気象研究所は、国内参画機関としてサブ課題「実用モデル開発・応用実験」を担当するとともに、京都大学やこの国際共同研究に参加した東南アジア研究者と共同で、気象庁非静力学メソモデルを用いた数値天気予報実験などを行った。

東南アジアの大部分は熱帯に属し、そこで発生する気象現象とそのメカニズムは、日本など中緯度でのそれらと大きく異なっている。気象現象を支配する基本的な物理法則は地球上のどこでも同じであるが、大気の傾圧性や地球回転の影響の大きさ、太陽放射の強さの違いなどが、熱帯の気象を特有なものにしている。その一方で、これまでの数値天気予報では、数値モデルに用いられているパラメタリゼーションや変分法初期値解析手法の中で、必ずしも熱帯への適用を前提としない手法が用いられてきている。また、海洋大陸は地球の'boiler box'として、その大きな水蒸気潜熱の解放が地球全体のハドレー循環やウォーカー循環を支配する主要な熱源となっている。この地域での数値モデルの予測特性を改善することは、災害につながる気象現象の短期的な予測にとって直接的に重要であるばかりでなく、気候モデルの改良にも大きな意味を持っている。

本技術報告では、「東南アジア気象災害軽減国際共同研究プロジェクト」への参加を通じて行われた、気象研究所が関わったさまざまな活動についての記述が行われている。この中には、現業数値予報モデルを熱帯に適用した場合の振る舞いやその統計的検証、熱帯に適したデータ同化手法の研究、高潮のアンサンブル予測を含むサイクロン・ナルギスの予報実験など、学問的に興味深い研究成果が多く得られている。本プロジェクトは平成21年度に終了したが、平成23年度においても、京都大学に留学中のバンドン工科大学からのインドネシア政府給費生の気象研究所への滞在研究が行われるなど、さまざまな形で技術交流が継続している。本プロジェクトで培われた東南アジア研究者との研究ネットワークは、気象研究所の今後の研究活動にとっても大きな財産となったといえる。

予報研究部長
露木 義

東南アジア地域の気象災害軽減国際共同研究

齊藤和雄¹、黒田徹²、林修吾¹、瀬古弘¹、
國井勝³、小司禎教¹、上野充⁴、川畑拓矢¹
余田成男⁵、大塚成徳⁵

Nurjanna Joko Trilaksono⁶、許智揚⁷、古関俊也⁷

Le Duc⁸、Xin Kieu Thi⁹、黄偉健¹⁰、Krushna Chandra Gouda¹¹

近年、地球規模の気候変動や経済活動高度化に伴う社会の脆弱化によって、東南アジア域においても、熱帯低気圧やスコールラインなどに伴う暴風雨災害が増加しつつあり、社会的・経済的に影響の大きい気象災害の予測・低減が急務となっている。気象研究所では、京都大学と連携して、平成 19 年度から科学技術振興調整費研究「東南アジア地域の気象災害軽減国際共同研究」を実施し、数値モデルによる予測による気象災害軽減のための国際共同研究を推進した。この技術報告は、上記科学技術振興調整費研究に関連して気象研究所が京都大学や東南アジア研究者と連携して行った研究活動について記述した。

「東南アジア地域の気象災害軽減国際共同研究」は、文部科学省科学技術振興調整費研究の「アジア科学技術協力の戦略的推進」分野における「地域共通課題解決型国際共同研究」としての一課題で、京都大学の余田成男教授を研究代表者として、平成 19 年度に採択された。東南アジア諸国における大気科学研究の協力・連携を強化し、この地域の気象災害軽減に資するための「東南アジア地域気象災害軽減国際共同研究推進ネットワーク」を立上げることと、東南アジア地域での数値天気予報実験を国際的連携の下に実施して、気象災害の軽減判断支援システムを構築すること、などを主な目的とした。研究実施体制は、京都大学が代表機関となり、「基礎実験・システム開発」と国際研究集会の開催などを行い、気象研究所は国内参画機関として、サブ課題「実用モデル開発・応用実験」を担当した。また準リアルタイム実用化実験を、インドネシアバンドン工科大学(ITB)を中心とする国外参画機関が行った。

この科振費研究において、京都大学は、代表機関として「基礎実験・システム開発」を担当し、観測・予報データの統合データベース化やホームページの作成(G-4)、国際研究集会の開催(G-1)とニュースレターの発行(G-2, I-1)、災害対策判断支援システムの試作(F-1)、インドネシア政府給費生の長期滞在などを実施した。統合データベースは京都大学のサーバーにアーカイブされ、東南アジアの共同研究者がアクセスできる仕組みを構築した。国際研究集会は、2008年3月に京都大学で、2009年3月にインドネシアのITBで、2010年3月には大分県の立命館アジア太平洋大学で、それぞれ開催された。ニュースレターは年2回のペースで発行され、国際ワークショップの報告のほか、気象研究所の活動もほぼ毎号紹介された。災害対策判断支援システムでは、D-3 で記述した気象研究所でのアンサンブル予報の結果を入力データに用いた試作が行われた。

国外参画機関としては、ITB が気象庁非静力学モデル(NHM)を用いた準リアルタイム実用

-
- 1 気象研究所予報研究部
 - 2 気象研究所予報研究部/海洋研究開発機構
 - 3 気象研究所台風研究部
 - 4 気象研究所物理気象研究部
 - 5 京都大学
 - 6 インドネシアバンドン工科大学
 - 7 シンガポール南洋理工大学
 - 8 ベトナム水文気象センター
 - 9 ベトナム国立大学ハノイ校
 - 10 香港天文台
 - 11 インド科学産業研究機構

化実験や東南アジアを対象とするダウンスケール実験 (C-7) を行った。そのほか、シンガポール南洋理工大学(NTU)、ベトナム国立大学ハノイ校(VNU)、インド科学産業機構数値モデリングシミュレーションセンター(CSIR C-MMACS)などが本科振費研究に関連して、NHMの利用申請を行い、研究を実施した(C-5, C-6, C-8)。また、香港天文台は、現業気象機関として気象庁と数値予報に関連した国際業務提携を行っており、NHMの数値予報への適用例について寄稿を頂いた(D-9, E-2)。

気象研究所は、国内参画機関として京都大学と連携して「実用モデル開発・応用実験」を担当した。このサブ課題では、

- ①気象庁メソモデルの精緻化と検証、熱帯域メソアンサンブル予報技術の開発
- ②メソモデル国際共同研究のための環境整備と熱帯数値予報に関する技術情報の共有
- ③メソモデル用データ同化システムを用いた熱帯域同化実験

の3つのテーマを実施した。

①では、NHMを東南アジア地域の災害気象予測に用いるため、熱帯域ダウンスケール予報によるケーススタディ (C-3, C-4) と統計的検証(C-1, C-2) に基づくモデルの問題点の把握を行った。また後述するように NHMを用いた熱帯域メソアンサンブル予報技術を開発した。

②では、NHMを用いた熱帯域数値実験のための環境整備として、気象庁の全球解析や全球モデル予報値、気象庁週間アンサンブル予報などから NHMによる再現・予報実験を行うツールの整備を行った(E-3)。また国外研究者がそれらを研究利用するにあたって使用方法をまとめたチュートリアルを気象研究所本研究ホームページ (G-5)にアップした。また研究参加機関への相互訪問を実施し、モデル利用の説明や情報交換などを行った(G-3)。

2008年5月にミャンマーを襲ったサイクロン Nargis は、ヤンゴンをはじめとする同国南部に死者 10 万人とも言われる未曾有の高潮被害をもたらした。本研究では、この事例を東南アジアでの最大級の気象災害として、数値モデルによる研究に取り組んだ。まず気象庁全球解析を初期値とし、全球予報を境界値とする 10km 解像度の NHM によって、サイクロン Nargis の移動と発達、上陸の2日前にある程度予測可能であったことを示すとともに、プリンストン海洋モデル(POM)を用いた高潮の予報実験を行った (D-1)。次に気象庁全球アンサンブル予報の初期値・予報値からの摂動を用いて、NHMによる熱帯域メソアンサンブル予報システムを開発し、Nargis の進路予報の誤差も加味した高潮予測を示した(D-3)。このアンサンブル予測結果は前述の京都大学での判断支援システム試作の入力データとしても用いられている。

③に関連して、D-4 と D-5 では、気象庁メソ 4 次元変分法解析を熱帯域に適用できるように改良を加え、熱帯域ボーガス手法を開発するとともにベンガル湾周辺の地上 GPS 観測点から得られる可降水量などのデータ同化予報実験を行い、初期値の変更によって Nargis の進路・強度予報の改善が可能であることを示した。Nargis のデータ同化実験については、局所アンサンブル変換カルマンフィルタを用いた衛星搭載マイクロ波散乱計によるベンガル湾海上風の同化にも取り組んだ(D-2)。D-6, D-7 では、台風ボーガスの開発に関連する台風構造についての調査を載せている。日本における最大級の気象災害として 1959 年の伊勢湾台風による高潮災害があり、非静力学 4 次元変分法による再解析再予報実験が行われている。この実験は、気象庁の「伊勢湾台風再現実験プロジェクト (ReVera)」の一環として行われたものであるが、気象庁再解析データと NHM、およびその同化システムを用いた台風と高潮の再現研究として D-8 にその概要を載せた。

E 章には、東南アジア域での観測ネットワークに関するレビューについての紹介(E-1)と、前述した香港天文台の数値予報についてのレビューと東南アジア域で NHM を動かす場合のデータやツールの一覧を載せた。そのいくつかは本プロジェクトで整備されたものである。G 章には、国際パートナーシップとしての活動を載せた。また I 章には付録として、ニューズレターと災害対策判断支援システムの基になっているウェブベースの数値予報結果表示ツール Gfdnavi の解説資料(京都大学 21 世紀 COE プログラム 2009 年サマースクールでの資料)、本報告に関する発表済み論文・報告へのリンク一覧を載せた。

本プロジェクトを遂行するにあたり、多くの方々の協力・助力を頂いた。科学技術振興機構(JST)の西垣隆プログラムオフィサーと小川茂樹主任調査員には、プロジェクトの遂行にご理解とご尽力を頂いた。京都大学の古谷富美子氏には、プロジェクト全般にわたり様々なお世話になるとともに、本報告 G-1, G-2 の執筆に関しても直接のご協力を頂いた。また ITB の T. Hadi 准教授、淡路敏之副学長、津田敏隆教授、里村雄彦教授、石川裕彦教授、竹見哲也准教授をはじめとする京都大学の先生方にも、プロジェクトを通じて様々なご教示とご助力を頂いた。

本報告に関し、気象庁の高野洋雄氏には、(D-1, D-3, D-8)での POM を用いた高潮シミュレーションについて協力頂いた。気象庁の別所康太郎、本田有機、世界気象機関の中澤哲夫、気象大学の澤田謙の各位は D-8 の、香港天文台の S.T. Lai 博士とタイ気象局の S. Sumdin 博士、インド CSIR の P. Goswami 博士とシンガポール南洋理工大学の C.-K. Teo 博士は、それぞれ D-9, C-8, E-1 の共著者である。また本報告の原稿について、気象研究所の村崎万代、露木義、山田芳則の各位とシンガポール南洋理工大学の C.F. Lo 博士より、閲読の上、コメントを頂いた。これらの方々に深く感謝するものである。なお、本報告は、科学技術振興調整費研究「東南アジア地域の気象災害軽減国際共同研究」のうち気象研究所が行った活動に関連する研究をまとめたものであり、プロジェクト全体についてのレビューは日本気象学会誌「天気」に掲載されており(余田ほか、2008)、また研究成果の全体は、別途アジア科学技術協力の戦略的推進地域共通課題解決型国際共同研究の事後評価報告書として、評価結果とともに公開されている(I-3 参照)。

本報告は、B-1, G-1, G-2 を主に余田が、D-1, D-2 を主に黒田が、C-1, C-2, E-3 を主に林が、C-3, C-4 を主に瀬古が、D-4 を主に國井が、D-5 を主に小司が、D-6, D-7 を主に上野が、D-8 を主に川畑が、D-9 と E-2 を主に黄が、F-1, G-3, I-2 を主に大塚が、C-5 を主に古関が、C-6 を主に Duc と Xin が、C-7 を主に Trilaksono が、C-8 を主に Gouda が、E-1 を主に許が、それ以外を主に斉藤が書いた。