

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 1 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2011

課題番号：20310111

研究課題名（和文） IPCC 温暖化予測数値情報による極端気象現象と災害発現特性の研究

研究課題名（英文） Research on extreme weather and the related natural hazards using CMIP3 Global warming data archive

研究代表者 石川 裕彦（ISHIKAWA HIROHIKO）

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：60263159

研究成果の概要（和文）：

IPCC5 に向けた温暖化研究では、従来からの気象学的気候学的知見に加え、極端現象など災害に直結する影響評価が求められている。本研究では IPCC 4 で実施された温暖化予測計算のデータアーカイブに基づいて、疑似温暖化実験による力学ダウンスケーリングを行い、台風などの極端現象による災害評価を行った。台風に関しては「可能最悪ケース」の概念を導入し、ある事例に関して経路が少しずつ異なる事例を多数計算し、その中から最大被害をもたらす事例を抽出する手法を開発した。これらの事例について、河川流出計算、高潮計算、強風被害の見積もり等を実施して、被害発生情報を作成した。

研究成果の概要（英文）：

It is required to evaluate the magnitude of disasters in addition to the meteorological and climatological evaluation of global warming itself toward IPCC 5. Using data archive of IPCC4 pseudo-warming experiments are conducted with dynamic downscaling approach. In evaluating typhoon induced hazards “possible maximum hazard” is searched by considering a variety of typhoon track. This is applied to the pseudo-warming experiment for existing typhoon and for the dynamic downscaling for a severe typhoon case. For derived severer cases river discharge, storm surge and high-wind disaster are evaluated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2009 年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2010 年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2011 年度	2,600,000	780,000	3,380,000
年度			
総計	11,700,000	3,510,000	15,210,000

研究分野：気象災害学

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：気象災害、極端現象、地球温暖化、海象災害、IPCC

1. 研究開始当初の背景

2007年に発表されたIPCC第4次評価報告では、地球温暖化の進行とともに極端現象の発生頻度や強度がどのように変動し、どのような災害が生じうるかという影響に関する議論が展開されている。地球温暖化がもはや避けることのできない現実のものとして社会に広く認識され、今後の対応策を検討する必要性が高まってきたのである。これを反映して、IPCC5に向けた研究では、単に気候変化のみならず、それによってもたらされる災害評価が求められるようになった。

IPCC AR4においては、地球シミュレータの開発と運用および文部科学省主導による「人・自然・地球共生プロジェクト」の実施によって、日本の研究グループの貢献が顕著になった。中でも、地球大気全体を20 km格子幅で解像した気候モデルによる予測研究において、熱帯低気圧活動の変動に関して発生頻度は減少するものの強度は強まるという結果が得られ、梅雨活動に関しては日本の多くの地域で降水強度が増大し梅雨期がより長期に持続する可能性が指摘されている。すなわち、台風にしても梅雨前線にしても現象の極端化が進行することが予測されている。このことは、温暖化時の災害がより甚大になることを強く示唆している。自然災害は一般市民の生活への影響が極めて大きいため、今後予測しうる温暖化環境において、災害発生がどのように変動するのかについての定性的のみならず定量的な評価がますます強く求められている。

2. 研究の目的

本申請課題では、地球温暖化時の環境変動が与える極端現象の発生とそれに伴う災害発生の発現特性を明らかにすることを目的とする。すなわち、極端現象の発生に係わる環境要素を温暖化時および現在気候時とで比較することにより解析し、現象の極端化の特性を物理機構に注目して解明する。さらに、極端化する現象により生じる災害の発現特性への影響を明らかにする。想定する極端現象は、日本の災害をもたらすものとして最も重要である梅雨期の集中豪雨や台風、冬季爆弾低気圧に伴う暴風現象といったメソスケール気象現象である。IPCC AR4により公開された気候シミュレーション結果をメソスケール気象現象の環境変動という観点から詳細に解析し、温暖化時および現在気候時の環境場を利用し、領域気象モデルによる多重ネスティングにより災害発生スケール(1 km)の格子幅でのシミュレーション実験を行い、極端気象現象の発生機構を調べ、それに伴う災害発生の発現特性を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

災害を評価するためには、災害発生の要因となる局地スケールの現象を再現する必要がある。IPCC4に貢献した温暖化実験では、モデルの水平解像度は100 kmを越えるため局地的な気象環境は表現されていない。そこで、温暖化実験の結果を初期値、境界値とするダウンスケーリング実験をメソ気象モデルを用いて実施し、局地スケールの気象状態を創り出し、これを解析することにより災害評価を実施することとした。

計画時には、CMIP3と呼ばれるIPCC4に向けた温暖化実験データのアーカイブをそのまま用いてダウンスケール実験を実施する予定であったが、公開されたデータは多くの要素が省略されていて、そのままダウンスケール実験に使えないことが分かった。そこで、CMIP3から見積もった温暖化バイアスを現在気候実験に上乗せして計算する、疑似温暖化の手法を用いることに変更した。

さらに、IPCC5に向けて気象研究所で進めている超高解像度温暖化実験結果を用いた解析も一部実施した。

4. 研究成果

4.1 温暖化による温帯低気圧の変化

日本を含む中緯度帯の日々の天候変化は、高気圧と温帯低気圧の移動で特徴づけられる。この天候変化が周期的な日照と降水をもたらし、様々な恵みをもたらしている。研究初年度には、本番のダウンスケーリングの準備をする傍ら、低気圧活動に関する解析的な研究を実施した。

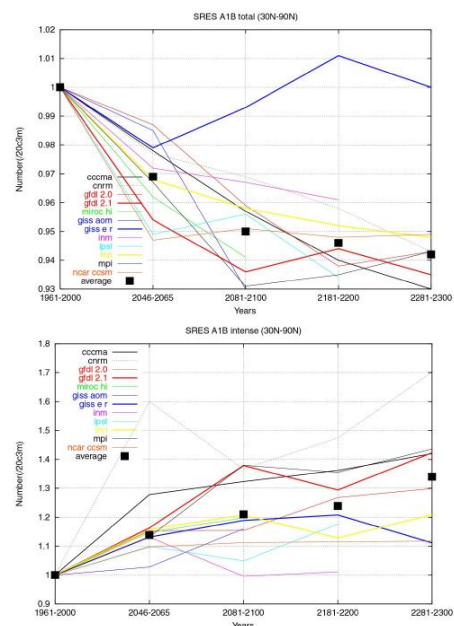


図1 低気圧数の相対変化。上は全ての低気圧、下は970hPaの低気圧のみ。

これまで IPCC 報告の中で、低気圧活動については、それほど多くは記載されていないが、Lambert and Fyfe (2006) は、IPCC AR4 温暖化予測実験データを使用し、多数のモデル、シナリオによる計算結果を用いて、温暖化気候における冬季の低気圧数の変化を調べ、低気圧の総数は全てのモデル、シナリオで減少し、970hPa 以下の強い低気圧数は大部分のモデル、シナリオで増加することを示した。この傾向は、温室効果ガス濃度の上昇率が高いシナリオほど顕著であること、低気圧の地理的な分布には、大きな変化はないとしている。

本研究では日本付近を対象に、この結果の追試を行った。低気圧探索プログラムを作成し、寒候期（11-3月）に関して5度格子ごと低気圧の存在確率を計算し、現在気候に対する増減を相対値で図1に示してある。これを見ると対応低気圧の総数は温暖化と共に減少するが970hPa以下の強い低気圧は増加する様子が確認された（図1）。別に、緯度帯を区切った解析を行ったところ、この傾向は中緯度帯で顕著であることも分かった。特に日本付近では、温暖化とともに偏西風の強い領域が北東方向へ少し移動し、これとともに温帯低気圧活動の活発な領域も北東方向へ移動する様子が分かる（図2）。

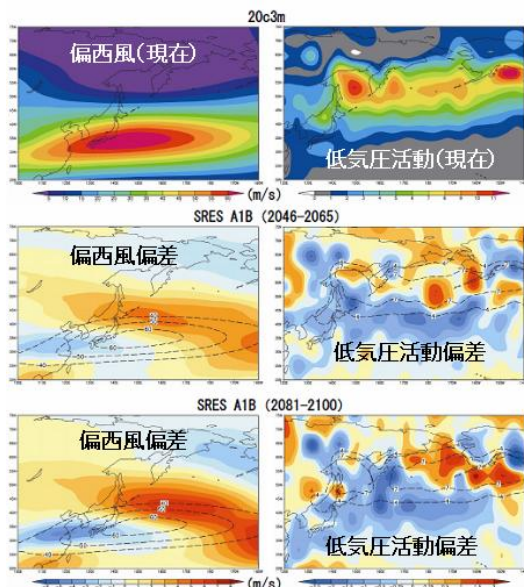


図2 Miroc モデルの結果から描いた、冬期日本付近の偏西風の変化とストームトラックの変化

4.2 台風に伴う災害の可能最悪ケース評価 —疑似温暖化実験による評価—

台風によってもたらされる災害を評価する時に重要となるのは台風経路である。北半球では台風の周囲では反時計回りに強風が吹くので、台風の進行方向右側の象限で風が強くなり、強風災害や高潮の発生が増幅され

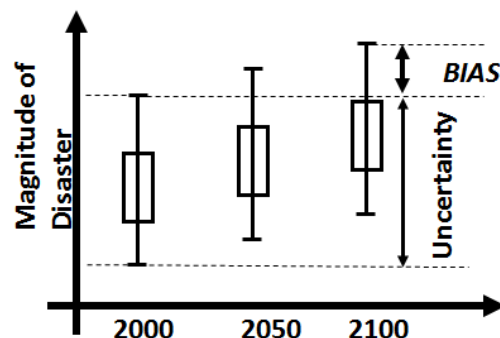


図3 台風事例数が少ないことに起因する不確実性と温暖化バイアスとの関係

る。台風に伴う強雨は山岳地形に湿った空気が長時間吹き込むことによりもたらされるため、これも台風の経路と山岳の相対的な位置関係が重要になる。

過去50年の統計によれば、日本に接近して影響を与える台風は、年平均で11.5個、上陸する台風は2.9個である。事例数そのものが少なく、現在気候においても、実際に経験された事例が少ないために、これまで経験されている以上に甚大な被害をもたらす台風が発生する可能性がある。このことは、温暖化の影響を調べる上で、大きな障害となる。この様子を図3に示す。現在、近未来、過去において、気象外力の変化（図中のBias）を知りたいのであるが、それぞれの期間内での、外力の振れ幅を知るのに充分なだけの事例数が実現していないことが、問題を難しくしている。

そこで、本研究では事例数の不足を補うために、既存の台風を元に、台風経路が僅かにずれた場合を多数作成する方法を開発した。この手法を用いて様々な経路を持つ台風を計算機でシミュレートし、これらのそれぞれに対する降水分布や強風分布を算出した。これらの算出結果を用いて、強風災害た洪水、高潮の発生状況を計算で求める体系を作成した。以下に、淀川流域に大量の降水をもたらした台風7916号に手法を適用した結果を紹介する。

図4には、台風7916号の実際の経路（破線で示した気象庁ベストトラック）、これをメソ気象モデルで再現した経路（黒実線で示したコントロールラン）、さらに図中で赤い星印で示した位置に心を持つ台風を、赤枠で示した範囲で移動させたものを初期値として計算を示してある。それぞれの経路は、台風中心がその地点に合ったときの中心気圧（海面校正気圧）で色分けしてある。台風中心が海上を移動している間は比較的強い強度が保持されているのに対して、台風が上陸すると急速に弱まる（中心気圧が高くなる）様子が、きれいに現れている。

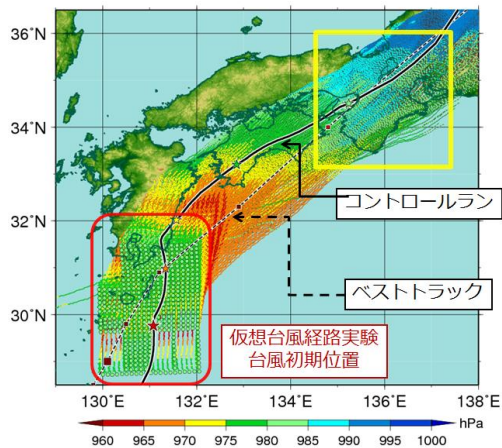


図4 仮想台風計算で得られた経路と中心気圧

次に、このようにして得られた 509 例について、例えば淀川水系の積算降水量が最大となるケースを探してみる。すると、台風経路が東にずれたケースで、現実のおよそ 1.5 倍の総降水量を淀川水系にもたらす可能性があることが分かった。

このようにして T7916 号に関しては、現在気候に於ける振れ幅を評価し、その上限（現在気候に於ける最悪ケース）が評価できた。

次に、この台風がもし温暖化環境下で襲来したらどのような総降水量をもたらすかを調べてみた。温暖化実験にはいくつかの方法があるが、ここでは現在気象の結果に、気象場の温暖化バイアスを加えて計算を実行する疑似温暖化手法を用いた。IPCC4 で用いられた温暖化計算のデータアーカイブ (CMIP3) より、多くのモデルの平均として算出した日本付近での温暖化バイアスをくわえて、T7916 号の計算を実施した。図 5 に、温暖化実験で得られた最悪ケースの積算降水量分布を示す。温暖化実験では、現在気候に於ける再現計算の 2.26 倍、現在気候における最悪ケースの約 1.5 倍の総降水量が淀川水系にもたらされると計算された。

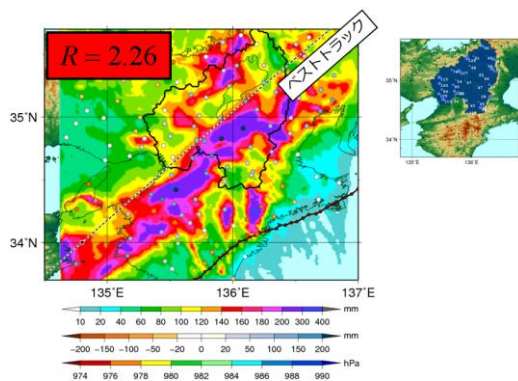


図5 疑似温暖化実験で得られた積算雨量に関する最悪ケース

4.3 台風に伴う災害の可能最悪ケース評価 —温暖化実験のダウンスケーリング—

IPCC5 に向けて気象研究所が実施した温暖化実験の中で、いくつかの強い台風が日本付近に襲来した。しかし、それらは必ずしも日本に最悪の被害をもたらす経路をとらなかった。そこで、これら温暖化実験で得られた台風について、ダウンスケーリングによる高分解能実験を行った後、様々な台風経路を生成して、最悪ケースを探索した。

図 6 に示した台風は、関東地方接近時に中心気圧 920 hPa という強い勢力を維持するが、幸いにも上陸せず北上する。この台風に関して経路摂動を与えて、上陸するような台風を数値的に創り出した。この台風は利根川水系に大量の降水をもたらす。利根川水系の河川流出モデルを用いて、この事例にともなう河川流出の様子を計算した。その結果、最悪ケースでは想定を大きく越える河川流量が生じる可能性を示唆する結果が得られた。また、東京湾の高潮の計算評価も、それぞれのケースに基づいて実施した。

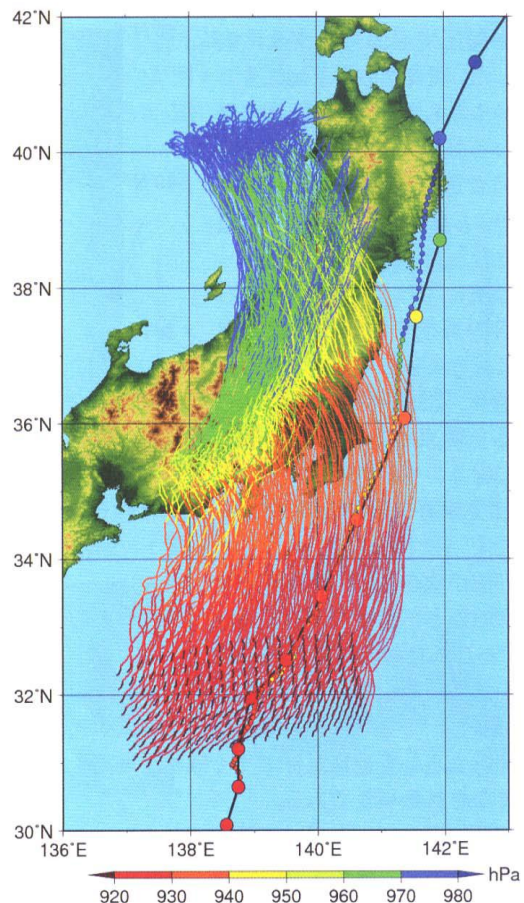


図6 気象研究所の超高解像度温暖化実験の中で得られた台風（経路を黒線で示す）に基づく 189 例のダウンスケール実験結果。各線は中心の経路を示し、線のカラーは中心気圧を示す。

4.4 夏期午後の降水現象に関する大気安定度の将来変化の研究

総観規模の影響が顕著でない状況で急発達する積乱雲とそれに伴う強雨（俗にいうゲリラ豪雨）の理解は災害の防止・軽減の観点から重要である。このような積乱雲の急発達の原因となる大気環境場の安定度について、20km 解像度の超高解像度温暖化実験のデータを用いて、関東平野に関して調べた。

大循環モデルの現在気候再現実験における信頼性をゾンデ観測やメソ客観解析値との比較で確認した後、IPCC の A1B シナリオにもとづく温暖化計算結果も用いて、将来気候に於ける午後の降水に関する環境場安定度の将来変化を統計的に調べ、考察した。

将来気候では、対流圏全層で水蒸気混合比が増加し下層では気温減率が減少すること、これら鉛直分布の変化により可降水量と対流有効位置エネルギーが増加することなど、降水現象を強化する傾向が見られることを示した（図7）。また、降水の有無を峻別する環境パラメータについて現在と将来の比較を行い、現在気候で有効なパラメータを、将来気候においても同じように使うことができることを示す結果を得た。

4.5 強風被害の評価に関する研究

強風被害を評価するときには、平均風速を利用する場合や瞬間風速を用いる場合がある。数値モデルで計算される風を使い被害予測を行うときに、モデルで計算される風が実際の風とどのように関連しているかを知っておく必要がある。この目的で、台風襲来時の事例を対象に計算風と観測風の比較を行った。この結果、メソモデルで計算される風速は、観測風に 10 分余りのタイム・フィルターをかけた風におよそ対応することが分かり、突風率を別途考慮する必要があることが示唆された。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 7 件）

1. Tetsuya TAKEMI, Projected regional-scale changes in atmospheric stability condition for the development of summertime convective precipitation in the Tokyo metropolitan area under global warming, *Hydrological Research Letters*, Vol. 6, 17-22, 2012, (Peer reviewed).
2. Tetsuya TAKEMI, Shohei NOMURA, Yuichiro OKU and Hirohiko ISHIKAWA: A Regional -Scale Evaluation of Changes in Environmental Stability for Summertime Afternoon Precipitation under Global Warming

from Super-High-Resolution GCM Simulation: A Study for the Case in the Kanto Plain, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 90A, 189-212, 2012, (Peer reviewed).

3. Yuichiro Oku, Tetsuya Takemi, Hirohiko Ishikawa, Sachie Kanada and Masuo Nakano : Representation of Extreme Weather during a Typhoon Landfall in Regional Meteorological Simulations: A Model Intercomparison Study for Typhoon Songda (2004), *Hydrological Research Letters*, Vol. 4, 1-5, 2010, (Peer reviewed).
4. Takashi Maruyama, Eriko Tomokiyo, Junji Maeda: Simulation of Strong Wind Field by Non-hydrostatic Mesoscale Model and Its Applicability for Wind Hazard Assessment of Buildings and Houses, *Hydrological Research Letters*, Vol. 4, 40-44, 2010, (Peer reviewed).
5. 石川裕彦: 巨大台風災害の可能性と極端気象現象、*高圧ガス*, Vol. 49(9), 24-29, 2010.
6. 奥勇一郎・吉野純・石川裕彦・竹見哲也・中北英一: 将来の極端台風の複数経路計算による可能最大被害予測, *京都大学防災研究所年報*, 52B, 371-380, 2010.
7. 奥勇一郎・Sunmin Kim・中北英一: 超高解像度全球大気モデルの温暖化予測実験データを用いた日本陸域の極端気象現象の抽出方法, *京都大学防災研究所年報*, Vol. 52B, 439-448, 2009.

〔学会発表〕（計 12 件）

1. 石川裕彦: 台風による可能最大被害推定, 自然災害学会, 東京, 2011/11/19.
2. Eiichi NAKAKITA: Overview of Climate Change Assessment on Disaster Environment in DPRI, International Symposium on Earth-science Challenges (ISEC), Norman OK, USA, 2011/9/15.
3. Hirohiko ISHIKAWA: Estimation of possible maximum damage caused by tropical cyclone, International Symposium on Earth-science Challenges (ISEC), Norman OK, USA, 2011/9/15.
4. Takashi MARUYAMA: Downscaling of mesoscale meteorological calculations into engineering unsteady flow calculations, International Symposium on Earth-science Challenges (ISEC), Norman OK, USA, 2011/9/14.
5. Kazuyoshi Nishijimaa, Takashi Maruyama b, Mathias Graf: Preliminary study on impact assessment of climate change on building risks induced by typhoons in Japan, 5th International Symposium on Wind Effects on Buildings and Urban Environment Wind Hazard Resilient Cities: New Challenges, Switzerland, 2011/3/7-8.

6. 奥勇一郎・吉野純・石川裕彦・竹見哲也・中北英一：既往台風による可能最大風速・降水量の推定とその妥当性の検証、日本気象学会、東京、2010/10/28.
7. 奥勇一郎・吉野純・石川裕彦・竹見哲也・中北英一：台風による影響評価を目的とした可能最大風速・降水量の推定、日本気象学会、東京、2010/5/25.
8. ISHIKAWA, Hirohiko: Probable maximum damage estimation of the tropical cyclone in future climate, 2010 International Workshop of TCCIP Project on Climate Change, Taipei, November 1-3, 2010.
9. 奥勇一郎、吉野純、石川裕彦、竹見哲也、中北英一：可能最大被害予測を目的とした渦位逆変換法による台風ポーガシング、日本気象学会、福岡市、2009/11/15.
10. ISHIKAWA, Hirohiko : Integration of observation, modeling, data communication and other measures toward the mitigation of weather hazards, International conference on Radar and Modeling Studies of the Atmosphere, Uji, 2009/11/13.
11. 丸山 敬・友清衣利子・前田潤滋：メソスケール気象モデルにより再現された強風場による建物被害の推定について、極端気象現象とその気候変動による影響評価に関するシンポジウム、宇治市、2009/11/6.
12. 石川裕彦・阿部良・横木研：温暖化予測数値情報による極端気象現象と災害発現特性の研究、日本自然災害学会、九州大学伊都キャンパス、2008/9/25

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

石川裕彦 (ISHIKAWA HIROHIKO)
京都大学・防災研究所・教授
研究者番号：60263659

(2)研究分担者

竹見哲也 (TAKEMI TETSUYA)
京都大学・防災研究所・准教授
研究者番号：10314361

中北英一 (NAKAKITA EIICHI)
京都大学・防災研究所・教授
研究者番号：70183506

丸山 敬 (MARUYAMA TAKASHI)
京都大学・防災研究所・准教授
研究者番号：00190570

安田誠宏 (YASUDA TOMOHIRO)
京都大学・防災研究所・助教
研究者番号：60378916

(3)連携研究者