

2.3. 研究終了報告

本節には、気象研究所が実施し、平成16年度に終了した研究課題のうち気象研究所予算による下記課題について、課題毎に計画と研究成果等を掲載した。

2.3.1. 気候変動予測研究費による研究

- ・地球温暖化によるわが国の気候変化予測に関する研究…………… 132

2.3.2. 融合型経常研究

- ・平成16年上陸台風に関するデータベース作成と
それらの台風に伴う強風、大雨、高潮に関する速報解析（緊急研究）…………… 144

2.3.3. 一般経常研究

- ・短期間・短時間の量的予測技術の改善に関する研究…………… 148
- ・温暖化予測情報評価にかかわる基礎的研究…………… 154
- ・気候変動の実態把握と物理過程に関する解析的研究…………… 158
- ・水の相変化を考慮した大気境界層の構造の研究…………… 164
- ・局地環境気象に関する基礎的研究…………… 170
- ・地域気候系のモデル化に関する研究…………… 174
- ・ドップラーレーダーによる降水・風観測技術の高度化に関する研究…………… 180
- ・気候変動に係わる大気化学組成の長期的変動とそのアジア大陸からの影響に関する研究…………… 184

2.3.4. 地方共同研究

- ・ウインドプロファイラと非静力学モデル等によるメソスケール現象の研究…………… 192
- ・顕著現象の監視・解析技術の高度化に関する研究…………… 196
- ・ウインドプロファイラを用いた沖縄地方における大雨の解析的研究…………… 202
- ・九州・山口県における台風進路と高潮との関係の解析…………… 204

地球温暖化によるわが国の気候変化予測に関する研究に関する研究

研究期間：平成12年度～平成16年度

研究代表者：近藤洋輝¹⁾、松尾敬世²⁾、青木 孝³⁾、野田 彰⁴⁾、(気候研究部長)

課題構成及び担当者

(1) 地域気候モデルの高度化

野田 彰、行本誠史（気候研究部）、佐藤康雄⁵⁾、高藪 出、佐々木秀孝、村崎万代、栗原和夫⁶⁾（環境・応用気象研究部）、北村佳照¹⁾、石崎 廣⁷⁾、辻野博之⁷⁾（海洋研究部）

(2) 全球気候モデルによる地球温暖化予測の高度化

野田 彰、行本誠史、前田修平⁸⁾、内山貴雄、吉村裕正⁹⁾、楠 昌司⁴⁾、鬼頭昭雄、保坂征宏（気候研究部）、北村佳照¹⁾、石崎 廣⁷⁾（海洋研究部）

(3) 地球温暖化予測のためのモデル検証と温暖化メカニズムの解明

野田 彰、行本誠史、前田修平⁸⁾、内山貴雄、吉村裕正⁹⁾、鬼頭昭雄（気候研究部）、佐藤康雄⁵⁾、佐々木秀孝、村崎万代、栗原和夫⁶⁾（環境・応用気象研究部）、石崎 廣¹⁰⁾、辻野博之⁷⁾（海洋研究部）、佐藤康雄⁵⁾、佐々木秀孝、村崎万代、栗原和夫⁶⁾（環境・応用気象研究部）、竹内綾子⁸⁾、石原幸司⁹⁾、福山幸生¹¹⁾、齊藤仁美⁴⁾（気象庁気候情報課）

研究の目的

我が国特有の現象である、冬の日本海の降雪、冬の関東地方の乾燥気候、梅雨末期の豪雨、西日本の干ばつ傾向、東日本のやませ等の地域的気候や異常気象の発生傾向などが地球温暖化によりどのような影響を受けるかが、科学的及び社会的経済的に問題となっている。本研究では、これらのことを明らかにすることを目的とする。

研究の概要

本研究では、上記の目的を達成するために、当研究所の気候変化の研究に取り組んでいる気候、環境・応用気象、海洋研究部によって研究を推進した。具体的には、地域気候モデルの開発を行うとともに、その境界条件及び初期条件となる全球気候モデルによる地球温暖化予測技術の高度化も図ることを目標に研究を進めた。

その結果、地域気候モデルおよび大気海洋結合地域気候モデルの開発を行い、地球温暖化によるわが国の気候変化を予測した。また、地域気候モデルの境界条件及び初期条件となる全球気候モデルによる地球温暖化予測技術の高度化も達成した。

研究成果の要約

(1) 温暖化による日本の気候変化を予測できる20kmメッシュの高分解能地域気候大気モデルを開発した。日本周辺の詳細な海況の変動予測のために、高分解能北太平洋海洋モデルの改良を行った。これらを結合し、大気海洋結合地域気候モデルを開発した。

(2) これらのモデルを用いて、地球温暖化に伴う日本周辺の気候および海洋の変動を予測した。

1) 平成12年度～平成13年度、2) 平成14年度、3) 平成15年度、4) 平成16年度、5) 平成12年度～平成15年度、6) 平成15年度～平成16年度、7) 平成14年度～平成16年度、8) 平成12年度、9) 平成13年度～平成16年度、10) 平成15年度、11) 平成14年度～平成15年度

(3) 全球気候モデルを高度化し、高分解能地域気候モデルに与える境界条件を高精度化し、日本の気候予測の向上を果たすとともに、日本の気候に大きな影響を与える世界的な気候変動の解明を行った。

今後に残された問題点

高分解能大気地域気候モデル、大気海洋結合地域気候モデル、全球気候モデルの現在気候再現実験や過去気候再現実験の詳細な解析により、モデルの誤差の原因を究明し、誤差をさらに軽減する。IPCC第4次報告書へ提出した様々な温暖化実験結果をさらに詳細に解析し、他機関による実験結果との比較などにより、温暖化による気候の変化に関する詳細な情報や不確実性の情報の提供を目指す。

成果の活用に対する意見

気象庁により「地球温暖化予測情報第6巻」が平成17年3月に発行され、本研究計画で開発された高分解能地域気候モデルの計算結果が一般に公表された。

気象庁により発行される「異常気象レポート（平成17年度秋発行予定）」に全球気候モデル、および高分解能地域気候モデルに関する成果が反映される。

本研究で開発された地域気候モデルにより計算された結果が、「地球温暖化研究イニシャティブ」の「温暖化影響・リスク評価研究プログラム」に「気候統一シナリオ」として提供された。

IPCC第4次報告書へ貢献すべく、温暖化予測結果をIPCCへ提出した。

鉛直保存セミラグランジュ法を用いた全球大気モデルが、気象庁の現業ルーチンモデルとして2005年2月17日から採用された。

成果発表状況

- ・論文発表件数 19件
- ・口頭発表件数 24件

(1) 地域気候モデルの高度化

研究の方法

相対的に分解能の粗い全球気候モデルによる温暖化実験の計算結果を初期・境界条件として、高分解能の領域大気モデル、太平洋海洋モデルを長時間積分し、更に、それらのモデル同士を結合した高分解能の地域気候モデルの長時間積分によって、日本列島周辺の地域気候変化予測を行う。

研究の結果

A. 高分解能大気地域気候モデルの高度化

- ①スペクトル境界結合の組み込み
- ②積雪量、土壌水分を予測できる陸面水文過程の開発及び組み込み
- ③20kmメッシュの高分解能大気地域気候モデルの開発

B. 高分解能北太平洋海洋モデル（緯度1/6°、経度1/4°分解能）の高度化

- ①海洋混合層過程の組み込み
- ②大気境界条件から海洋表面でのフラックスを計算する過程の導入
- ③海水過程への動力学モデルの導入などの改良
- ④計算効率の向上（並列化により、4並列で計算速度が約2.5倍に改良）

C. 地域気候モデルの高度化（大気海洋結合地域気候モデル）

- ①高分解能大気地域気候モデルと高分解能北太平洋海洋モデルを結合した大気海洋結合地域気候モデル

を開発

- ②再現実験において海面水温、日本の気温、降水量などが改善
- ③高分解能大気地域気候モデルと定性的に一致

D. 地球温暖化予測実験（2081年～2100年）

①高分解能大気地域気候モデル

- ・日本の地域的気候や極端な現象の発生傾向の変化を予測
- ・温暖化時には、日本において気温が夏季は1.4℃以上、冬季は2.4℃以上上昇
- ・北海道のオホーツク海沿岸では、4℃以上上昇する領域が存在
- ・日本周辺で6－9月に降水量が増大
- ・他の季節について降水量は、大きな増大なし、減少が予測される期間もある。
- ・夏季の降水量の増大は、西日本を中心
- ・冬季については、降雪量が、北陸地方を中心に減少

②高分解能北太平洋海洋モデル

- ・再現実験において、黒潮の離岸、解氷の状況が適切に再現
- ・海面水温の再現性が向上
- ・温暖化時に東北沖において、暖水塊が存在しやすくなる。
- ・平均海面水温の上昇及びそれに伴う海面高度の上昇が現れる。（平均で20cm程度）

③大気海洋結合地域気候モデル

- ・気温の上昇が大気のみにならなくなる。
- ・海面水温上昇域が北海道南東部に局在し、三陸沖では海面水温が夏季に低下するなど、地域性が明瞭に表現

研究の成果

高分解能大気地域気候モデル、高分解能北太平洋海洋モデルを開発した。更に、それらのモデル同士を結合した大気海洋結合地域気候モデルも開発した。高分解能大気地域気候モデルにより、温暖化予測実験を行い、日本列島周辺の地域気候変化予測を行った。

(2) 全球気候モデルによる地球温暖化予測の高度化

研究の方法

全球気候モデルの大気部分の物理過程を改善し、誤差を軽減する。また、大気部分の計算の高速化を図り、長期積分の効率化を行う。全球気候モデルの現在気候による基準実験や二酸化炭素増加実験より、モデルの特性を把握する。アンサンブル温暖化実験を行う。

研究の結果

A. 全球気候モデルの高度化

- ①雲の診断方式と放射過程の改良により、大気モデル上端での放射収支のバイアスを改善
- ②積雪層を多層化して精緻化した陸面モデルを開発し、地表気温と積雪時期のバイアスを改善
- ③大気モデル、海洋モデルともに任意の格子でフラックス等物理量を保存させて交換することができる「カップラー」を開発
- ④モデルの大気部分を高速に計算するセミラグランジュ法を開発
- ⑤上記①～④及び河川モデルを全球大気海洋結合モデルに組み込み完成（MRI-CGCM3）

B. 全球気候モデルによる長期積分（MRI-CGCM2.3.2）

- ①産業革命前の強制力による基準実験の実施
- ②現在気候による基準実験の実施
- ③20世紀気候再現実験の実施
- ④強制力を2000年の値で固定し、2100年まで時間積分の実施
- ⑤二酸化炭素1%複利漸増実験の実施
- ⑥IPCCのSRESシナリオA1B、A1T、A1FI、A2、B1、B2に従う温暖化実験の実施

C. アンサンブル実験（MRI-CGCM2.3.2）

- ①IPCCのSRESシナリオ、A1B、A2、B1シナリオについて5メンバーのアンサンブル温暖化予測実験の実施

研究の成果

IPCCの様々なSRESシナリオについて温暖化実験を行い、IPCC第4次報告書へ貢献すべく、温暖化予測データをIPCCへ提出した。

(3) 地球温暖化予測のためのモデル検証と温暖化メカニズムの解明

研究の方法

地域気候モデルおよび全球気候モデルの現在気候実験を詳細に解析し、モデルの緻密な検証を行う。また、温暖化予測結果を詳細に解析し、温暖化メカニズムの解明を行う。

研究の結果

A. 地域気候モデル

- ①夏季の日本周辺の降水量の変化は、将来における東部太平洋赤道域の海面水温の上昇により、日本南方の亜熱帯高気圧の循環が強まり、その周辺で水蒸気フラックスが増大して、西日本へ大量の水蒸気が輸送されるという、日本付近の大気循環の変化に原因があると考えられる。
- ②日本周辺の海面水温が、日本の気候に及ぼす影響について調べた。海面水温は冬季に日本の気温に大きな影響を与えるが、夏季には影響が小さいことがわかった。
- ③太平洋海洋モデルにより、温暖化時には、全般的な水温上昇に加えて、風系の変化に伴い亜熱帯・亜寒帯循環境界が北へシフトするため、東北沖に暖水塊が存在しやすくなり、平均海面水温の上昇は35-45°Nの緯度帯で大きく、2℃以上になることがわかった。

B. 全球気候モデル

- ①土壤凍結過程の有無でツンドラ地帯の温暖化時の土壤水分量変化の符号が異なり、温暖化の大きさにも影響が出ることを示した。
- ②温暖化シナリオ（IPCC-SRES-A2）実験において、海面の風応力を介して海洋の循環に力学的影響を与える北極振動に似た海面気圧パターンのトレンドが再現された。
- ③モデルに現れる北極振動に似た地上気圧パターンの数十年変動を解析し、内部変動が波・平均流相互作用に関連する力学的な要因であるのに対し、外部強制に対する応答は放射強制による熱的構造が要因であることを明らかにした。
- ④MRI-CGCM2.2の日降水量の出力結果を用いて、日本付近の梅雨による雨の変化について解析した。温暖化時には梅雨明けは遅くなるが梅雨入りの時期及び梅雨期間中の雨の強さについてはあまり変化がなく、その結果として梅雨の期間が長くなって梅雨期間の降水量が増加してことがわかった。

研究の成果

地域気候モデルおよび全球気候モデルの温暖化予測結果を詳細に解析し、温暖化に伴う気候変化をもたらすメカニズムを解明した。

成果発表一覧

(論文)

- Ashrit, R.G., A. Kitoh, and S. Yukimoto, 2005: Transient response of ENSO-monsoon teleconnection in MRI-CGCM2.2 climate change simulation. *J. Met. Soc. Japan*, **83**, 273-291.
- Covey, C., A. Noda, 他21名, 2000: The seasonal cycle in coupled ocean-atmosphere general circulation models. *Climate Dynamics*, **16**, 775.
- Davey, M. K., Kitoh, A., S. Yukimoto, 他33名, 2002: STOIC: a study of coupled model climatology and variability in tropical ocean regions. *Climate Dynamics*, **18**, 403-420.
- 鬼頭昭雄, 2004: 日本気象学会2003年春季大会シンポジウム「ヒートアイランドー熱帯夜の熱収支ー」の報告, 1-2, 地球温暖化と都市化による気温変化について, 天気, **51**, 93-95.
- Kitoh, A., 2006: Asian Monsoons in the Future. *The Asian Monsoon*, Bin Wang (Ed), Praxis Publishing., pp. 631-649.
- Kitoh, A., M. Hosaka, Y. Adachi, and K. Kamiguchi, 2005: Future projections of precipitation characteristics in Est Asia simulated by the MRI CGCM2. *Advances in Atmospheric Sciences*, **22**, 467-478.
- Noda, A., S. Yukimoto, S. Maeda, T. Uchiyama, K. Shibata, S. Yamaki, 2001: A new Meteorological Research Institute coupled GCM (MRI-CGCM2): Transient response to greenhouse gas and aerosol scenarios. *CGER's Supercomputer Monograph Report*, Vo1. 7, National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan, 63 pp.
- Sugi, M., A. Noda, and N. Sato, 2002: Influence of the Global Warming on Tropical Cyclone Climatology: An Experiment with the JMA Global Model. *J. Met. Soc. Japan*, **80**, 249-272.
- Sugi, M., and J. Yoshimura, 2004: A mechanism of tropical precipitation change due to CO₂ increase. *J. Climate*, **17**, 238-243.
- Takayabu, I, and S. Takehiro, 2003: Wave over-reflection and baroclinic instability of the Eady problem, American Meteorological Society, *J. Atm. Sci.*, **60**, No. 19.
- Tokioka, T., A. Noda, 2001: Global warming projection studies at the Meteorological Research Institute/ JMA. *The 14th Toyota Conference, "Present and Future of Modeling Global Environmental Change -Toward Integrated Modeling-*", Matsuno, T. eds., Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, 1-14.
- Yukimoto, S., A. Noda, A. Kitoh, M. Sugi, Y. Kitamura, M. Hosaka, K. Shibata, S. Maeda, and T. Uchiyama, 2001: The new Meteorological Research Institute coupled GCM (MRI-CGCM2) – model climate and its variability—. *Pap. Met. Geophys.*, **51**, 47-88.

(報告)

- 岩嶋樹也, 久保田拓志, 鬼頭昭雄, 2003: 大気中二酸化炭素濃度漸増モデル実験による降水量極値に関する解析. 京都大学防災研究所年報, **46B**, 479-486.
- 鬼頭昭雄, 2004: 気候感度に関するIPCCワークショップについて. 東京・環境省, 第1回IPCC国内連絡会.
- 鬼頭昭雄, 2004: アジアにおける降水特性と温暖化による変化について. 東京・日本治山治水協会, 林野庁水循環勉強会.
- Kitoh, A., 2004: A comparison of climate sensitivity among the Japanese models. IPCC Workshop on Climate Sensitivity, July 26-29, 2004, Paris, France.
- Kitoh, A., 2005: Changes of the Asian-Australian monsoon by global warming simulated by the 20-km mesh

- MRI/JMA AGCM. The Suki Manabe Symposium, January 9-13, 2005, San Diego, CA, USA
- Kitoh, A., 2005: Projections of the future Asian-Pacific climate by coupled atmosphere-ocean GCMs. International Workshop on Variability and Predictability of the Earth Climate System, January 26-27, 2005, Sanjo Conference Hall, The University of Tokyo, Tokyo, Japan
- Kitoh, A., 2005: Baiu-Cahngma-Meiyu rain and its future change. International Workshop on IPCC Model Analysis, March 1-4, 2005, Honolulu, HI, USA
- Kitoh, A., 2005: Impact of climate change on river runoff. International Workshop on IPCC Model Analysis, March 1-4, 2005, Honolulu, HI, USA
- 近藤洋輝, 鬼頭昭雄, 北島尚子, 2000: 日本気象学会2000年春季大会シンポジウム「21世紀の気候変化—予測とそのままのもの—」の報告 はじめに. 天気, 47, 691-692.
- 近藤洋輝, 2000: 日本気象学会2000年春季大会シンポジウム「21世紀の気候変化—予測とそのままのもの—」の報告 1. 学際的観点から見たIPCCの経緯と現状. 天気, 47, 692-694.
- 近藤洋輝, 2001: IPCC最新報告書の読み方②: 観測・再現実験で温暖化を立証—科学的知見の集積で解明に向かう気候システム. 日経エコロジー, 6月号, 62-64.
- 近藤洋輝, 2001: IPCC最新報告書の読み方③: 気温, 海面の上昇など確実に影響—気候モデルによる再現実験で温暖化の原因特定. 日経エコロジー, 7月号, 74-77.
- 近藤洋輝, 2001: 気候モデルによる過去の再現と将来の予測. グローバルネット, 6月号 (通巻127号), 2-3.
- 近藤洋輝, 2002: IPCC第三次評価報告書 (科学的基礎) の概要～観測・実験に基づいた気象変化予測～. 気候影響・利用研究会会報, 20号, 5-16.
- 栗原和夫, 2003: 日本の気候はどうなる?, 常陽新聞, 2003年12月.
- Kurihara, K., H. Sasaki, I. Takayabu, K. Murazaki, H. Tsujino, H. Ishizaki, K. Yasunaga, C. Muroi, M. Yoshizaki, S. Yukimoto, and A. Noda, 2004: Regional Climate Modeling for Global Warming Projection in MRI/JMA. *Proceeding of AGU Fall Meeting*, 13-17 December 2004. San Francisco, California.
- 栗原和夫, 馬淵和雄, 佐々木秀孝, 高藪 出, 小畑 淳, 村崎万代, 山本 哲, 清野直子, 三上正男, 佐藤康雄, 長友利晴, 石原幸司, 真木貴史, 増田真次, 2004: 日本の地域気候変動予測をめざして. 気象研究所, 研究成果発表会発表用要旨集, 20-21.
- Kurihara, K., H. Sasaki, I. Takayabu, K. Murazaki, K. Yasunaga, C. Muroi, M. Yoshizaki, S. Yukimoto, A. Noda and K. Ishihara, 2005: Performances of Atmospheric Regional Climate Models Developed in MRI and Projections of Climate Change over Japan due to Global Warming. *Abstracts of the 4th Workshop of Regional Climate Model Studies*, Soul, p7.
- 村崎万代, Peter Hess, 2004: 地球温暖化は地表面オゾンにどのような影響を与えるのか?. 日本気象学会, 2004年春季大会講演予稿集.
- 室井ちあし, 豊田英司, 吉村裕正, 保坂征宏, 杉 正人, 2002: 標準コーディングルール. 天気, 91-95.
- Noda, A., 2000: Relationship between natural variability and global warming over the Pacific Ocean. National Institute of Environment Research, Korea, Direction for atmospheric environmental research toward 21st century. Extended abstracts, 65-82.
- 野田 彰, 2001: 21世紀の気候変化予測. グローバルネット, 127, 4-5.
- 野田 彰, 2001: 気候モデルと気候予測. 日本気象学会, 第35回夏季大学「新しい気象学」, 54-63.
- Sasaki, H., K. Kurihara, I. Takayabu, K. Murazaki and H. Tsujino, 2005: Development of the Meteorological Research Institute Coupled Atmosphere-Ocean Regional Climate Model. *Abstracts of the 4th Workshop of Regional Climate Model Studies*, Soul, p12.
- 佐藤伸亮, 岩嶋樹也, 鬼頭昭雄, 2002: 大気中二酸化炭素濃度漸増モデル実験における全球的水収支と

- 降水量極値に関する解析. 京都大学防災研究所年報, 45B, 245-259.
- 佐藤康雄, 2000: CO₂倍増時の日本列島周辺域の冬の気候変化予測実験. 気象, 519, 16708-16712.
- 佐藤康雄, 2000: 日本気象学会2000年春季大会シンポジウム「21世紀の気候変化—予測とそのもたらすもの—」の報告 4. 地球温暖化に伴う日本域の気候変化予測. 天気, 47, 708-716.
- 佐藤康雄, 2001: 地球温暖化に伴う日本域の気候変化予測実験. つくば研究支援センター掲載刊行物, *Science & Technonews Tsukuba*, 57, 16-18.
- 佐藤康雄, 2002: 地球温暖化—観測と予測の現状. 自然災害科学.
- Sato, Y., S. Yukimoto, H. Tsujino, H. Ishizaki, and A. Noda, 2004: Change due to global warming of atmospheric circulation in the Northern Hemisphere and oceanic circulation in the North Pacific. *Proceedings of 1st International CLIVAR Science Conference*.
- 佐藤康雄, 行本誠史, 辻野博之, 石崎 廣, 野田 彰, 2004: 地球温暖化による北半球大気大循環と北太平洋海洋循環の変化. 月刊海洋, 号外38・「総特集・流体力学からみた大気と海洋 —木村龍治教授退官記念論文集—」, 225-229.
- 高藪 出, 2004: ストームトラックに係わる傾圧不安定波の理論的研究と理想化されたモデル研究について. 月刊海洋, 号外38・「総特集・流体力学からみた大気と海洋 —木村龍治教授退官記念論文集—」, 188-192.
- Takayabu, I., H. Kato, K. Nishizawa, S. Emori, K. Dairaku, Y. Sato, H. Sasaki, K. Kurihara and Y. N. Takayabu, 2004: A comparison of Asian summer monsoon precipitation simulated with three regional climate models nested into global circulation models. *Proceedings of 8th International conference on precipitation*. Vancouver, Canada, Aug. 8-11, 2004.
- Takayabu, I., H. Sasaki, K. Murazaki, K. Kurihara and T. Hirota, 2004: Tibetan plateau's accumulation estimated from regional climate model simulation. *Proceedings of 6th International GAME conference*, Kyoto, December 3-5, 2004.
- Yoshimura, H. and T. Matsumura, 2003: A semi-Lagrangian scheme conservative in the vertical direction. *Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling*.
- 吉村裕正, 2004: 3.2 セミラグランジュ統一モデル. 数値予報課報告, 別冊50号「全球モデル開発プロジェクト」.
- Yoshimura, H. and T. Matsumura, 2004: A Vertically Conservative two-time-level semi-Lagrangian semi-implicit scheme. *The 2004 Workshop on the Solution of Partial Differential Equations on the Sphere*, Yokohama.
- 吉村裕正, 2005: 3.1.4節「2 タイムレベル時間積分法」. 数値予報課報告, 別冊51号「全球モデル開発プロジェクト」.
- Yoshimura, H. and T. Matsumura, 2004: A two-time-level vertically-conservative semi-Lagrangian semi-implicit double Fourier series AGCM. *CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Ocean Modeling*, 35, 3.19-3.20.
- Yukimoto, S. and A. Noda, 2002: Improvements of the Meteorological Research Institute Global Ocean-Atmosphere Coupled GCM (MRI-CGCM2) and its climate sensitivity. *CGER's Supercomputer Activity Report*, 10, 37-44.

(出版物) (論文以外のもの, 本など)

- Cubasch, U., G. A. Meehl, G. J. Boer, R. J. Stouffer, M. Dix, A. Noda, C. A. Senior, S. Raper, K. S. Yap, 2001: Projections of future climate change., IPCC, Climate Change 2001: The Scientific Basis. *Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J. T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, C. I. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, 525-582.

- 野田 彰, 磯部英彦, 鬼頭昭雄, 佐藤康雄, 杉 正人, 西森基貴, 松本 淳, 2001: 1. 気候（過去の気候変化の解析及び気候変化の予測）. 地球温暖化の日本への影響2001, 1-1~1-54.
- 野田 彰, 2002: 地球の温暖化—メカニズム. 環境ハンドブック, 359-364.
- 野田 彰, 松野太郎, 住 明正, 2003: 第2部第2章 気候モデルと温暖化の予測. 「総合科学技術会議地球温暖化研究イニシャティブ気候変動研究分野報告書: 地球温暖化研究の最前線」.
- 野田 彰, 磯部英彦, 鬼頭昭雄, 佐藤康雄, 杉 正人, 西森基貴, 松本 淳, 2003: 第1章「気候（過去の気候変化の解析及び気候変化の予測）」. 古今書院, 地球温暖化と日本 第3次報告—自然・人への影響予測—, 原沢英夫・西岡秀三編, pp.7-55.
- (口頭発表) (学会等での発表)
- Ashrit, R., A. Kitoh and S. Yukimoto, 2003: Transient response of ENSO-monsoon teleconnection in MRI-CGCM2 climate change simulations. 日本気象学会, 2003年春季大会講演予稿集 (83), A307.
- 石崎紀子, 田中 博, 鬼頭昭雄, MRI CGCM1のCO₂漸増実験データに見られるウォーカー循環・モンスーン循環・ハドレー循環の変動. 日本気象学会, 2002年秋季大会予稿集 (82) P339, 2002年10月
- Kitoh, A., K. Yamaguchi and A. Noda, The changes of permafrost induced by greenhouse warming: a numerical study applying multiple layer ground model. IARC Workshop on the Modeling of the Arctic Atmosphere, 2002年5月
- Noda, A., K. Yamaguchi, T. Uchiyama and S. Yamaki, Why does precipitation decrease initially in transient response to CO₂ doubling? American Geophysical Union, Fall Meeting, Abstracts, A12A-0128, San Francisco, December 6-10, 2002.
- 野田 彰, 行本誠史, 前田修平, 内山貴雄, 柴田清孝, 八牧幸子, 気象研究所新大気海洋結合モデル (MRI-CGCM2) による地球温暖化実験. 日本気象学会, 2000年春季大会予稿集, 2000年5月
- 野田 彰, Hamiltonの原理から導かれる離散化流体運動方程式. 日本気象学会, 2000年秋季大会予稿集, 2000年10月
- 野田 彰, 回転楕円対上のプリミティブ方程式系. 日本気象学会, 2003年秋季大会予稿集 (84), D105, 2003年10月
- Rajendran, K., A. Kitoh and S. Yukimoto, Impact of global warming on the onset of regional monsoons over Asia. 日本気象学会, 2003年春季大会講演予稿集 (83), B455, 2003年5月
- 佐々木秀孝, 佐藤康雄, 気象研究所地域気候モデルのSST分解能による感度実験, 日本気象学会, 2000年秋季大会予稿集, 2000年10月
- 佐々木秀孝, 佐藤康雄, アンサンブル手法を用いたMRI地域気候モデルのSST分解能による感度実験. 日本気象学会, 2002年秋季大会予稿集, 2002年10月
- Sasaki, H., Sensivity Experiments of the MRI-RCM to SST Resolutions. APN, The 3rd workshop of regional climate model studies, 2003年8月
- 佐々木秀孝, 栗原和夫, 高藪 出, 村崎万代, 石崎 廣, 辻野博之, 野田 彰, 行本誠史, 佐藤康雄, 大気・海洋結合地域気候モデルの開発. 日本気象学会, 2004年秋季大会講演予稿集, 2004年
- 佐藤伸亮, 岩嶋樹也, 鬼頭昭雄, 二酸化炭素増加時の全球的水収支—気象研究所大気海洋結合モデルによる実験結果—. 日本気象学会, 日本気象学会2001年秋季大会予稿集 (80), 2001年10月
- 佐藤伸亮, 岩嶋樹也, 鬼頭昭雄, 大気中二酸化炭素濃度漸増モデル実験における降水量極値の長期変動. 日本気象学会, 2002年秋季大会予稿集 (82) A172, 2002年10月
- Sato, Y., K. Murazaki, H. Sasaki, S. Yukimoto, A. Noda, A. Takeuchi, and S. Kobayashi, Regional climate change projection over Japan in winter due to global warming using an MRI-CGCM1/regional climate model nesting system. Abstracts of IUGG 2003, Sapporo, Japan, B440. 2003年7月
- 佐藤康雄, 辻野博之, 行本誠史, 石崎 廣, 村崎万代, 内山 達, 野田 彰, 地球温暖化時の日本近海

- における海面水温・水位の予測について－高解像度太平洋域海洋モデルの結果－. 日本気象学会, 2003年度秋季大会講演予稿集 (84), B160, 2003年10月
- Sato Y., H. Tsujino, S. Yukimoto, H. Sasaki, I. Takayabu, H. Ishizaki and A. Noda, Regional climate projection over Japan due to global warming using an MRI-CGCM2.2/ regional climate model system with projected SST by a high-resolution OGCM. Meteorological Research Institute, Tsukuba, Japan, Proceedings of Water Resource Symposium on Asia in the 21st century, 2004年3月
- 竹内綾子, 古林慎哉, 諸岡浩子, 国松洋, 野田 彰, 時岡達志, 温暖化時の降水の変化. 日本気象学会. 日本気象学会2001年春季大会予稿集 (79) P206, 2001年5月
- 辻野博之, 安田珠幾, 北西太平洋の混合層構造とモード水形成過程. 日本海洋学会 春季大会, 講演要旨集, 2002年3月
- 高藪出, 加藤央之, 西澤慶一, 江守正多, 大楽浩司, 佐藤康雄, 佐々木秀孝, 栗原和夫, 領域気候モデルによる現在気候の再現性について. 日本気象学会, 2003年度秋季大会講演予稿集 (84), B166, 2003年10月
- 高藪 出, 佐々木秀孝, 栗原和夫, 地域気候モデル (MRI-RCM) におけるアジア大陸上の低気圧活動. 日本気象学会, 2004年春季大会講演予稿集, 2004年
- Takayabu, I., H. Kato, K. Nishizawa, S. Emori, K. Dairaku, Y. Sato, H. Sasaki and K. Kurihara, Simulation of Asian climate by using regional climate models nested in global circulation models, Symposium on Water Resource and Its Variability in Asia in the 21st Century, Proc. of Symposium on Water Resource and Its Variability in Asia in the 21st century, 2004年3月
- 内山貴雄, 野田 彰, 行本誠史, 前田修平, 八牧幸子, 地球温暖化の三次元構造. 日本気象学会, 2000年秋季大会予稿集, 2000年10月
- 内山貴雄, 鬼頭昭雄, 野田 彰, 地球温暖化時の梅雨の変化について. 日本気象学会, 2003年秋季大会講演予稿集 (84), B161, 2003年10月
- Uchiyama T. and A. Kitoh, Changes in Baiu-Changma-Meiyu rain by global warming in MRI-CGCM. International Conference on High-Impact Weather and Climate: Understanding. Prediction and Socio-Economic Consequences (ICHWC2004), March 22-26, 2004, Seoul, Korea. 2004年3月
- 吉村裕正, 2重フーリエ級数を使用したセミインプリシット・セミラグランジュ法 全球モデルの開発. 気象学会, 2002年度春季大会講演予稿集, 2002年5月
- Yoshimura, H. and T. Matsumura, A semi-Lagrangian advection scheme conservative in the vertical direction. The 5th International Workshop on Next Generation Climate Models for Advanced High Performance Computing Facilities, Rome, 3-5 March 2003.
- 吉村裕正, 松村崇行, 大内和良, 水田 亮, 片山桂一, 鉛直方向に保存性のあるセミラグランジアン法の開発. 日本気象学会, 2003年春季大会予稿集 (83), P333, 2003年5月
- 吉村裕正, 松村崇行, 2タイムレベルセミラグランジュ法の開発. 日本気象学会, 2003年春季大会講演予稿集 (84), A202, 2003年10月
- Yoshimura, H., R. Mizuta, K. Oouchi, K. Katayama, A. Noda, Development of a super high resolution global model. (2) simulations in climate mode. The First International "Kyosei" Workshop, 2004年2月
- 吉村裕正, 松村崇行, 2タイムレベルセミラグランジュ法の開発 (2). 日本気象学会, 2004年春季大会予稿集 (85), P263, 2004年
- Yoshimura, H. and T. Matsumura, A Vertically Conservative two-time-level semi-Lagrangian semi-implicit scheme. The 2004 Workshop on the Solution of Partial Differential Equations on the Sphere, Yokohama, 2004年
- 吉村裕正, 2重フーリエ級数を使用した全球大気スペクトルモデルの開発. 日本気象学会, 2004年秋季

- 大会予稿集 (86), D362, 2004年
- 行本誠史, ENSOの変調—エルニーニョの大きさを決めるもの—. 日本気象学会, 2000年春季大会予稿集, 2000年5月
- 行本誠史, 前田修平, ENSOにおける大気海洋の熱収支と南北熱輸送. 日本気象学会, 2000年秋季大会予稿集, 2000年10月
- 行本誠史, 鬼頭昭雄, 野田 彰, 杉 正人, 気象研究所全球大気海洋結合モデル (MRI-CGCM2) の改良—フラックス調整の有無による比較—. 日本気象学会, 日本気象学会2001年秋季大会予稿集 (80), 2001年10月
- 行本誠史, 野田 彰, 気象研究所気候モデルMRI-CGCM2の気候感度. 日本気象学会, 2002年度春季大会予稿集, 2002年5月
- 行本誠史, 石崎 廣, 野田 彰, 地球温暖化に伴う北半球大気循環場と北太平洋海面推移の変化. 日本気象学会, 2004年秋季大会講演予稿集 (84), B159, 2003年10月
- (講演) (依頼等によるもの)
- Kitoh, A., Permafrost and climate change by greenhouse warming. IARC seminar, 2002年7月
- 鬼頭昭雄, 気候モデルによる地球温暖化の将来予測. 鳥取・鳥取大学乾燥地研究センター, 気候モデルによる地球温暖化の将来予測についての公開セミナー, 2002年10月
- 鬼頭昭雄, 地球温暖化と都市化による気温変化について, つくば・エポカルつくば, 2003年日本気象学会春季大会シンポジウム「ヒートアイランド—熱帯夜の熱収支—」シンポジウム予稿集, 2003年5月
- 近藤洋輝, 日本気象学会2000年春季大会シンポジウム「21世紀の気候変化—予測とそのもたらすもの—」の報告 1. 学際的観点から見たIPCCの経緯と現状. 日本気象学会, シンポジウム資料集, 2000年5月
- 近藤洋輝, 「地球の悲鳴—温暖化は確実に進んでいる—」. 通信工業新聞社, 2001年2月
- 近藤洋輝, 「気候変動に関する最近の知見」. 第64回気候問題懇談会 (気象庁), 会議配付資料, 2001年2月
- 近藤洋輝, IPCC第三次評価報告書 (科学的基礎) の概要—観測・再現実験に基づいた気候変化予測—. 第34回気候影響・利用研究会, 第34回気候影響・利用研究会講演要旨集, 2001年3月
- 近藤洋輝, 気候変動についての最近の知見—新しい海洋観測にむけて—. 神戸海洋気象台, 2001年3月
- Kondo, H., Outline of the First IPRC/WG1 third assessment report. 環境省その他, 2001年8月
- 近藤洋輝, 地球温暖化. 高分子学会 / 高分子同好会, 2001年9月
- 近藤洋輝, 地球温暖化に関する最新の知見. 栃木県気象予報士会, 2001年9月
- Kondo, H., Modelling initiative towards dynamical prediction of SST and its effect on seasonal forecasting. アジア太平洋地球変動研究ネットワーク<APN>, 2002年2月
- Kondo, H., Research Activities at the NMA/MRI and Climate Modelling in Japan. オーストラリア気象研究センター<BMRC>, 2002年3月
- 近藤洋輝, 人が地球温暖化を招くのか ~IPCC最新報告でわかったこと~. 気象庁及び (財) 日本気象協会, 2002年3月
- 近藤洋輝, 地球温暖化予測と全球的観測. 宇宙開発事業団及び<独法>国立環境研究所, 2002年3月
- 西森基貴, 鬼頭昭雄, 気象研究所大気海洋結合モデル (MRI-CGCM1) による夏季東アジアの気候の再現とその予測. 日本農業気象学会気候変化影響研究部会第13回研究会, 講演予稿集, 2000年8月
- 野田 彰, 日本気象学会2000年春季大会シンポジウム「21世紀の気候変化—予測とそのもたらすもの—」の報告 3. 地球温暖化に伴う全球的な気候変化予測. 日本気象学会, シンポジウム資料集, 2000年5月

- Noda, A., Intercomparison Study of Arctic Oscillation (AO) and AO-like Climate Change Simulated by MRI and various CGCMs. ACIA workshop Stockholm Sweden, 2001年1月
- 野田 彰, 八牧幸子, 地球温暖化におけるエーロゾルの影響評価. 日本気象学会, 日本気象学会2001年春季大会予稿集 (79) P110, 2001年5月
- 野田 彰, 気候に関する最新の研究-IPCC第三次評価報告書 (TAR) -. 気象庁気候・海洋気象部, 平成13年度気候情報業務研修資料, 2001年6月
- 野田 彰, 近年の気象の状況について-自然変動と地球温暖化-. 水源地生態研究会議, 第4回水源地生態研究会議報告書, 1-29, 2001年9月
- 野田 彰, 将来気候, 気候影響・利用研究会ワークショップ. 2001年11月
- 野田 彰, Projection of Global Warming. 気象庁, JICA集団研修「気象学II」, 2002年11月
- 野田 彰, Climate model study of global warming at the MRI. 環境省, JICA地球温暖化対策コース, 2003年1月
- 野田 彰, 佐藤康雄, 地球温暖化によるわが国の気候変化予測の研究. 気象研究所研究活動報告会, 佐藤康雄, 日本気象学会2000年春季大会シンポジウム「21世紀の気候変化—予測とそのもたらすもの—」の報告 4. 地球温暖化に伴う日本域の気候変化予測. 日本気象学会, シンポジウム資料集, 2000年5月
- Sato, Y., K. Mabuchi, H. Sasaki, K. Adachi, I. Takayabu, Present View on Development of MRI Regional Climate Models. IPRC, Univ. of Hawaii, Proceedings of the First IPRC Regional Climate Modeling, 2001年10月
- 佐藤康雄, 21世紀の気候変動—日本周辺を中心にして—. 第18回雪工学会福井大会, 講演予稿集, 2001年11月
- 佐藤康雄, 温暖化によって日本の気候はどのように変わるか. 気象庁・(財)日本気象協会, 気候講演会, 2004年1月
- 辻野博之, 安田珠幾, Distribution of mixed-layer depth and formation of mode waters in a high resolution model of the North Pacific. 東京大学気候システム研究センター主催ワークショップ「次世代気候モデルの更なる発展について」, Abstracts, 2002年3月
- 内山貴雄, 地球温暖化の話. つくば市立吾妻中学校, つくば科学出前レクチャー, 2002年11月
- 山口和貴, 野田 彰, 鬼頭昭雄, 温暖化に伴う永久凍土帯の変化—多層土壌モデルによる予測—. 日本気象学会, 2000年春季大会予稿集, 2000年5月
- Yamaguchi, K., A. Noda, A. Kitoh, The Changes of Permafrost Induced by Greenhouse Warming: A Numerical Study Applying Multiple-Layer Ground Model. Second Wadati Conference, Tsukuba, Extended Abstracts, 2001年3月
- 横田寛伸, 佐藤康雄, 気象庁/気象研版日本域気候シナリオVer.1.5. 総合科学技術会議地球温暖化研究イニシアティブ温暖化影響・リスク評価研究プログラム, 2002年11月
- 吉村裕正, 標準コーディング技術・f90プログラミングルール. 気象庁, 平成13年度気候情報業務研修資料, 2001年6月
- 吉村裕正, 数値気象モデルでの並列化とFortran90のコーディングのあり方について. 高度情報科学技術研究機構 (RIST), 第2回並列気象モデルセミナー, 2001年9月
- 吉村裕正, 全球モデル特論「力学」. 気象庁, 平成15年度モデル開発者研修, 2003年6月

平成16年上陸台風に関するデータベース作成とそれらの台風に伴う強風、大雨、高潮に関する速報解析（緊急研究）

研究期間：平成16年度

研究代表者：榊原 均（台風研究部長）

研究代表者：上野 充、村田昭彦、高野洋雄、和田章義、益子 渉、國井勝、中澤哲夫、北島尚子、森 一正、別所康太郎、星野俊介（台風研究部）、吉崎正憲、加藤輝之、藤部文昭（予報研究部）、中里雅久、石部 勝、鈴木 修、足立アホロ、笹岡雅宏（気象衛星・観測システム研究部）、石崎 廣、石川一郎、辻野 博之（海洋研究部）

目 的

本研究では平成16年に日本に上陸した10個の台風（04、06、10、11、15、16、18、21、22、23号）に関する観測データを収集・整理してデータベースを作成し、それを用いてこれらすべての台風の特徴を明らかにすることを目的とする。また、すべての上陸台風について台風の特徴を記述することにより、今後の詳細な解析をすべき対象の絞り込みに役立てることを目標とする。更に、データベースを用いて強風、大雨、高潮について速報のための解析と数値モデルによる再現実験を行い、構造、機構を明らかにし、順次速報的に発表する。

研究の方法

本プロジェクトは以下の方法による。

①上陸台風に関するデータベースの作成

平成16年に日本に上陸した台風についての大気、海洋の観測データ、客観解析データ等を収集・整理し、データベースを作成し、それを用いてすべての上陸台風の特徴を調べる。

②上陸台風の日本付近における強風、降雨構造の変化に関する解析

上陸した台風の日本付近における構造の変化を、特に強風、豪雨に注目して解析とモデルによる実験を行う。

③上陸台風による高潮に関する解析

上陸台風のうちの台風16号、23号により引き起こされた四国周辺の高潮について解析を行う。また、その背景にある黒潮離接岸による四国周辺の水位変化の推算を行う。

研究の結果

①平成16年上陸台風に関するデータベースの作成

データ収集・整理、データベース作成

平成16年に日本に上陸した台風に関連する大気、海洋の観測データ、客観解析データ、災害データ等を収集整理した。整理したデータは気象庁の観測・解析値の大気19要素、海洋6要素に加え外部機関から収集したデータ18要素（大気11、海洋7）である。

更に、平成16年の上陸台風およびそれに伴う災害に関する研究調査に資するデータベースを作成した。このシステムではユーザーがインタラクティブにメニューを選び、データを直接画面に表示でき、そこからダウンロードが可能である。検索項目としては年、台風番号、年月日、時刻、データ、領域、断面図種別を用意している。このシステムは動作環境としてデータ可視化ソフトの一つであるGrADSを採用している。現在は平成16年の上陸台風に関するデータを格納しているが、他の年の台風も取り扱えるように拡張性を持たせてある。

平成16年の台風の全般的特徴

平成16年には合計29個の台風が発生し、そのうち、10個の台風が日本に上陸した。上陸した台風は、4、6、10、11、15、16、18、21、22、23号である。台風の発生数は平年で26.7個、上陸数は平年で2.6個で

ある。発生数が平年並みであるのに対し、上陸数が異常に多いことが特徴である。また、日本に接近した台風は19個（平年値10.8個）であり、これも平均を大幅に超えている。10個の上陸台風は、6月前半から10月後半までに発生・上陸しており、台風シーズン全体にわたった。これら10個の上陸台風のうち、「強い」台風は6個であり、半数以上の台風が強い勢力を維持したまま、上陸したことが分かる。

多くの台風が日本に上陸する進路を取った理由として、太平洋高気圧が例年よりおおむね北寄りに張り出していたことが上げられる。また、季節内変動を解析した結果、季節内変動に伴う下層西風により、指向流が通常より北西に向きを変え、台風が日本へ上陸するのに適する風系となっていたことも確認された。さらに、台風が強い勢力を維持したまま上陸することが多かった原因を調べるため、海洋の影響について解析した。太平洋中央部から日本南方海域にかけて海洋の貯熱量は大きく、また日本に上陸した台風の発生域も平年と比べて東よりであったため、比較的大きく、強い台風が形成されていた。

上陸時の台風については、後半の台風には中心で前線帯が強まっている場合が多かった（秋台風。特に最後3例21、22、23号）のに対し、前半の台風（4～11号）は顕著な前線を伴わなかった（夏台風）。このため、前半の台風では、台風中心のまわりの対称な風の場に台風の移動速度が加わって、経路の左右の風速非対称が目立った。

上陸した10個のうち、10号・11号は衰弱して熱帯低気圧に変わり、他の8個は温帯低気圧に変わった。

中緯度に北上した台風（熱帯低気圧）は進行方向右側で降水量が多くなるが、温帯低気圧化の進んだ段階では進行方向左側（前線帯の寒気側）で降水量が多くなる傾向がある。日本本土では特に22号・23号で寒気側の大雨が顕著であった。

16号・18号・23号は温帯低気圧に変わった後に再発達が見られたが、温帯低気圧化終了と再発達開始の時間差や、温帯低気圧化後の構造は事例によってかなり異なっていた。このような差異は地上の風や降水の分布に直接反映するので、何がこのような差異をもたらすのかを調べる必要がある。

②上陸台風の日本付近における強風、降雨構造の変化に関する解析

西日本と北海道の広い範囲に暴風被害をもたらした台風18号の構造と強度の変化について、解析と再現実験および考察を行った。台風の西日本通過時は見かけ上はまだ軸対称構造を比較的良好に保っていたが、上層ジェットストリークに伴う発散が台風の強度維持に寄与していたことが考えられる。また台風が日本海を北上する際には、西進してきたメソ α スケールの顕著な上層トラフの寄与による傾圧性発達で、日本海北部で最盛期に達したと考えられる。その気圧分布や強風分布の特徴を、よく似た経路をたどった平成3年（1991年）の台風19号（以下、台風9119号と呼ぶ）と比較、解析した。西日本通過時には台風9119号に比べて左後面の風が弱かった。また、台風18号は北海道へ接近する際に温帯低気圧化して再発達し、台風9119号に比べて強風域が中心付近に集中する傾向が見られた。この北海道の強風について、5 km水平分解能の非静力学モデルで再現を試みたところ、実況より3時間早いものの札幌付近で20m/sを越える強風を再現することができた。

三重県、愛媛県で大雨災害をもたらした台風21号について解析を行った。領域・メソの両客観解析の下層風をみると、九州に上陸した台風に伴う南風と関東地方に存在した高圧部に伴う東風が紀伊半島南海上で合流していた。合流した空気は南東風となって紀伊半島に向かい、東岸に顕著な下層収束を作り出しており、これと対応して紀伊半島では1時間に100mmを超える豪雨が発生した。

③上陸台風による高潮に関する解析

上陸台風の中で特に顕著な高潮を起こした台風16号と23号の事例について、数値計算を行って検証を行った。台風16号では瀬戸内海沿岸で大きな浸水災害が発生した。これは、高潮のピークが大潮時期の満潮と重なったためであるが、このピークは台風によって直接引き起こされたのではなく、台風の移動に伴って瀬戸内海を移動した海水によることが示唆された。また、台風23号では室戸岬で異常に大きな高潮が観測されたが、これには波浪の影響が大きくかかわっていることが示された。

四国周辺では台風による高潮とは別に、黒潮の離接岸の影響による水位の変化が考えられるので、そ

の推算を行った。高解像度北太平洋モデル気候値ランの50年分のデータを用いて、東経132～140度での黒潮の平均流路位置を、この範囲での200m深18℃等温線の緯度の平均値として定義した。この平均流路位置と各地点の水位との同時相関分布を調べると瀬戸内を含む四国周辺では0.4程度の正相関となり、四国周辺平均水位偏差に対しては0.72の高い値となる。平均流路位置に対する四国周辺平均水位偏差の1次回帰式は

$$Y = 13.0 * (X - 32.4)$$

となる。ここに、Xは緯度で表した黒潮の平均流路位置、Yはセンチメートルで表した四国周辺平均水位偏差である。

一方、海洋データ同化システム（MOVE）によって同化した平成16年8月下旬及び9月初旬の状態から求めた黒潮の平均流路位置は32.2及び32.0で、上記回帰式から得られる四国周辺平均水位偏差は-2.7cm及び-5.1cmと負偏差であった。以上のことから、少なくとも台風0416号による高松での高潮に対しては、黒潮流軸の接近による水位上昇の影響はなかったと考えられる。

成果の要約

平成16年に日本に上陸した10個の台風（04、06、10、11、15、16、18、21、22、23号）に関する観測データ、客観解析データを収集・整理し、データベースを作成した。これをもとに平成16年の台風の全般的特徴を調べ、更に、台風の構造変化及び高潮について速報解析を行った。

データベースではユーザーがインタラクティブにメニューを選び、データを表示できるようにした。検索項目としては年、台風番号、年月日、時刻、データ、領域、断面図種別がある。

平成16年には台風発生数が29個と平常並みであったのに対し、上陸数が10個と異常に多かったことが特徴である。これら10個の上陸台風のうち、「強い」台風は6個であり、半数以上の台風が強い勢力を維持したまま、上陸したことが分かる。

太平洋中央部から日本南方海域にかけて海洋の貯熱量が大きく、また日本に上陸した台風の発生域も平常と比べて東よりであったため、比較的大きく、強い台風が形成された。多くの台風が日本に上陸する進路を取ったが、季節内変動に伴う下層西風により、指向流が通常より北西に向きを変え、台風が日本へ上陸するのに適する風系となっていた。

西日本と北海道の広い範囲に暴風被害をもたらした台風18号の西日本通過時は上層ジェットストリークに伴う発散が台風の強度維持に寄与し、台風が日本海を北上する際には、西進してきたメソ α スケールの顕著な上層トラフの寄与による傾圧性発達で、日本海北部で最盛期に達したと考えられる。

台風16号では瀬戸内海沿岸で大きな浸水災害が発生した。高潮のピークは台風によって直接起こされたのではなく、台風の移動に伴って瀬戸内海を移動した海水によるものであることが示唆された。また、瀬戸内海沿岸での高潮に対し、黒潮流軸の接近による水位上昇の影響はなかったと考えられる。

今後に残された問題点

平成16年上陸台風の研究に必要とするデータの収集は終了し、データベースを構築した。格子点データ（衛星雲画像、レーダー・アメダス解析雨量、客観解析データ）についてはすべてデータベースで扱えるようになっているが、観測点データの一部はデータベースでまだ扱えない。これらについても早期に使えるようにする必要がある。

本研究で「上陸台風の日本付近における強風、降雨構造の変化に関する解析」、「上陸台風による高潮に関する解析」を行ったが、あくまで速報のための解析であり、詳細な解析はまだ十分に進められていない。今後、中緯度における台風の構造変化過程、及び暴風、豪雨、高潮などの発生と台風の構造変化過程との関連を調べる必要がある。

研究成果の活用に対する意見

本研究において作成したデータベースは17年度以降の台風研究の基盤となるものであり、今後庁内に向

けて公開するので、台風に関する調査・研究に積極的に活用してほしい。さらに本研究における速報解析の結果は早期に成果発表されたが、これらはまた今後の関連する研究への足がかりとなる。

成果発表状況

- ・論文発表件数 0件
- ・口頭発表件数 4件

短期間・短時間の量的予測技術の改善に関する研究

研究期間：平成13年度～平成16年度

研究代表者：平沢正信¹⁾、藤部文昭²⁾（予報研究部 第三研究室長）

研究担当者：武田重夫、藤部文昭¹⁾、大関 誠³⁾、柳野 健²⁾、原 昌弘⁴⁾（予報研究部）、
高野 功⁵⁾、益子直文⁶⁾（気象庁予報課）

研究の目的

気象災害の防止・軽減と天気予報の充実に向け、ニューラルネットワーク（NN）等の情報処理技術を開発・高度化するとともに、災害をもたらす顕著現象の実態を解明し、それらの結果に基づいて短期間・短時間の量的予測技術の改善を行う。

研究の方法

NN（ニューロンネットワーク）手法の高度化と新たな予測手法の開発等により、24時間程度先までの量的予測技術の改善を行う。また、降水系の発達・衰弱の実態と降水短時間予報の特性の調査結果に基づき、強雨域の検出・追跡ソフト等を作成し、これを用いて降水系の発達・衰弱を考慮した降水短時間予測手法を開発する。さらに、これらの予測手法の検討に必要な研究として、大雨（雪）等の災害をもたらす顕著現象等について各種観測データや数値モデルの予測結果等を用いて解析し、これらの現象の実態や環境場との関係等を調べる。

研究の結果

①短期間の量的予測技術の改善に関する研究

a. 天気予報ガイダンスの開発・改良

SOMによるデータの自動的層別分類を取り入れた2段階型NNシステムを開発した。2～5分類までのSOM2次元特徴マップを新たに作り、その中で最適な分類を自動的に選択できるアルゴリズムを考案した。この手法を天気予報（晴れ曇り判別）における分類に適用した結果、自動的に3分類されることが確認された。

希少現象も分類できるようにするため、データ空間における参照ベクトル間の距離を考慮して分類数を増やすかどうか決定するようにアルゴリズムを変更した。対流性降水と密接に関連する夏季の発雷について予測実験を行った結果、上述の変更により熱雷のカテゴリーが新たに分類でき、予測精度が向上することがわかった。

降水の量的予測のため、誤差逆伝搬法より収束の速い非線形共役勾配法を用いた一括学習型3層NNを構築した。夏季について入力層の変数の種類と数、隠れ層のユニット数等の適切な組み合わせについて検討した。

b. 顕著現象の実態と影響要因の解明

冬の南岸低気圧の事例について主要な気流系と降水形成過程を数値モデルを使って調べた。温暖コンベアベルトの気塊の上昇に伴う強い降水の形成や、寒冷コンベアベルトの寒気移流に伴う降雪の持続が見出された。また、急上昇する気流の内部で降水形成に伴う非断熱加熱の効果が上空での前線強化に寄与したことを示した。

1999年10月27日の関東平野東部の豪雨について、豪雨をもたらした低気圧の立体構造の解析と、非静力学モデルによる感度実験を行った。その結果、豪雨をもたらした低気圧は中心付近の不安定度と下層の水蒸気収束が大きく、対流圏中層の低気圧後面からの乾燥空気侵入と、低気圧の中心～北側の降雨域

1) 平成13年度～15年度, 2) 16年度, 3) 15年度～16年度, 4) 13年度～14年度, 5) 13年度, 6) 14年度～15年度

における凝結熱の放出が、低気圧の発達に寄与したことが分かった。

都市域周辺の強い降水の増加傾向について取りまとめ、ヒートアイランドに伴う地上風の収束の強化が関与している可能性を指摘した。また、夏季の著しい高温について、地域特性と経年変化の実態を明らかにした。

②降水短時間予測技術の改善に関する研究

a. 降水系の発達・衰弱や移動に関する予測手法の開発

降水短時間予報の特性を調査した結果、前線性強雨時の山岳風下側や台風接近時の山岳風下側等で強雨予報の空振りが顕著なことが分かった。山岳の影響による衰弱を考慮した補正手法を改良し、山岳周辺の強雨の空振りを軽減する汎用的な修正ソフトを開発した。この結果、バイアス・スコアが改善された。

強雨域の検出・追跡ソフトを開発し、急発達する強雨域に対応できるよう改良を加えた。また、対象事例を増やして強雨域の検出・追跡ソフトを適用し、ソフトを汎用化するとともに、主要な強雨域の実況に関する情報を作成するソフトの改良を行った。この結果、外挿による予測精度が向上した。

過去数時間の降水短時間予報と解析雨量から、20kmメッシュの1、3時間最大雨量を計算する重回帰式を開発した。

b. 短時間豪雨をもたらす降水系の実態と知見の整理

関東平野における夏の午後の降水分布と地上風の関係を統計的に調べ、東京23区の短時間強雨と地上風の収束との対応関係を見出すとともに、降水日と非降水日との大気状態の違い（特に対流圏中・下層の湿りの差）を確認した。また、近年全国的に強い降水の発生が増えていることを示した。

対流雲の発達・衰弱について、力学モデル（サーマルモデル）に基づいて考察し、その結果に基づいて雲内の3次元的な降水領域の振舞をレーダーデータから解析した。また、降雨域の詳細な風の場を算定するため、ドップラーレーダーデータの解析手法の高精度化手法を開発し、実用化に向けた要点を取りまとめた。

研究成果の要約

天気予報ガイダンスの改善のため、2段型NNシステムについてSOMによる自動的層別分類の導入、希少現象を扱うためのアルゴリズム改良等を行った。また、降水の量的予測のため非線形共役勾配法を用いた一括学習型3層NNを構築し、入力層の適切な与え方を検討した。降水短時間予報の改善のため、山岳による衰弱の補正手法の改良、強雨域の検出・追跡ソフトの開発・改良およびソフトの汎用化を行った。得られた成果は懇談会等を通じて予報部に提供された。

冬の南岸低気圧や、関東平野に豪雨をもたらした温帯低気圧の事例について、その立体構造の解析と数値モデル実験を行い、非断熱加熱の役割など降水形成・強化のメカニズムを明らかにした。また、夏の午後の降水分布と地上風の関係、強い降水の増加傾向等について統計的な解析を行った。対流雲の発達・衰弱を力学モデルに基づいて考察し、レーダーデータに基づく3次元的な解析手法を検討して要点を取りまとめた。

今後に残された問題点

当研究計画の開始以降、気象庁に「モデル技術開発推進本部」が立ち上がり、モデル開発の長期目標の1つとしてメソアンサンブル予報の試験運用に向けた技術的基盤の整備を進めていく必要性が予報研究部内で認識された。また、ウィンドプロファイラの全国展開や一般レーダーの多仰角化・ドップラー化が進みつつあり、これら新しい観測手段によるデータを実況監視や防災情報に有効に利用していく方法を見出す必要が生じ、これに対応して観測部を事務局とする「レーダー情報高度利用ワーキンググループ」に予報研究部からも委員が参加した。さらに、平成16年に多発した台風災害等、メソスケールの顕著現象による災害が相次ぎ、社会的に影響の大きいメソスケールの顕著現象や異常気象の解明や数値予報を支援する

ための大気状態解析技術の研究に対する必要性が増している。これらの要請に応えるべく、今後の研究においてはメソアンサンブル予報の基盤的研究、リモートセンシングデータを用いた大気状態解析技術の研究、日本における近年の異常気象の実態解明、台風による暴風の実態解明を進めていく必要がある。

成果の活用に対する意見

本研究計画を取り巻く諸情勢の変化により、本研究は計画より一年早く終了し、メソアンサンブル予報の基盤的研究などの研究課題を新たに実施することとなったが、短期間・短時間の量的予測のためのガイダンスやアルゴリズムの改良に関する本研究の成果は、業務に一定の貢献が期待できるものであり、その成果を、実際の業務の改善に直接的または間接的に役立てることが望まれる。また、冬の南岸低気圧に伴う豪雨や、都市型集中豪雨などの顕著現象の実態に関する研究の成果は、これら顕著現象の解明に向けた新しい知見を加えるものであり、今後、これらの成果を顕著現象の予測技術の改善に活用していくことが望まれる。

成果発表状況

- ・論文発表件数 14件
- ・口頭発表件数 26件

取得した知的財産（特許、実用新案など）

なし

成果発表一覧

(論文)

- 藤部文昭, 2001: JMA-80型地上気象観測装置の導入に伴う気象官署の風速観測値の変化. 天気, 48, 219-228.
- Fujibe, F., 2001: On the near-0°C frequency maximum in surface air temperature under precipitation – A statistical evidence for the melting effect. *J. Met. Soc. Japan*, **79**, 731-739,
- 小泉 耕, 平沢正信, 2001: 降水量予測に適したニューラルネットワーク構造, 天気, 48, 885-892.
- 藤部文昭, 坂上公平, 中鉢幸悦, 山下浩史, 2002: 東京23区における夏季高温日午後の短時間強雨に先立つ地上風系の特徴. 天気, **49**, 395-405
- 藤部文昭, 2002: 東京都心における高温日の湿度の経年変化. 天気, **49**, 473-476.
- Takano, I., 2002: Analysis of an intense winter extratropical cyclone that advanced along the south coast of Japan. *J. Met. Soc. Japan*, **80**, 669-695.
- Misumi, Y., 2002: Distribution of precipitating clouds up to the meso- α scale in radar echo composite charts over Japan. *J. Met. Soc. Japan*, **80**, 1247-1259.
- Fujibe, F., 2003: Long-term surface wind changes in the Tokyo Metropolitan Area in the afternoon of sunny days in the warm season. *J. Met. Soc. Japan*, **81**, 141-149.
- 藤部文昭, 中鉢幸悦, 2003: 10分ごとの資料を使った場合と毎時資料だけを使った場合とのひと雨期間最大1時間降水量の比較. 天気, **50**巻4号.
- 藤部文昭, 2003: アメダス地点における風速観測値の経年変化. 天気, **50**巻6号.
- 藤部文昭, 瀬古 弘, 小司禎教, 2003: 関東平野における夏季高温日午後の降水分布と地上風系との関係, 天気, **50**, 777-786.
- 藤部文昭, 2004: 日本における近年の著しい夏季高温の発生状況. 地理学評論, **77**巻3号.
- F. Fujibe, N. Yamazaki, and M. Katsuyama, 2005: Long-term trends in the diurnal cycles of precipitation frequency in Japan. *Pap. Met. Geophys.*, **55**, 13-20.
- S. Takeda, 2005: A low order thermal model with a flow pattern similar to Hill's spherical vortex. *Pap.*

Met. Geophys., **55**, 45-54.

(報告)

藤部文昭, 2001: 都市が降水に及ぼす影響, 水利科学, **45**巻1号.

藤部文昭, 2004: ヒートアイランドに伴う局地循環, 月刊海洋, 号外**38**, 84-88.

藤部文昭, 2004: ヒートアイランドが降水におよぼす影響—夏の対流性降水を中心にして—, 天気, **51**巻2号.

藤部文昭, 2004: ヒートアイランドに伴う局地循環, 月刊海洋, 号外**38**.

金井秀元, 新野 宏, 藤部文昭, 加藤輝之, 田中恵信, 2004: 集中豪雨をもたらす低気圧とそのメソスケール構造. 月刊海洋, 号外**38**, 206-210.

藤部文昭, 2005: 都市化の進展にともなう気温上昇. 理戦, **79**, 18-25.

(口頭発表)

金井秀元, 新野 宏, 藤部文昭, 田中恵信, 2001: 1999年10月27日の低気圧に伴う関東地方東部の大雨(その3) —乾燥貫入がもたらした局地的強雨—. 日本気象学会2001年度春季大会.

平沢正信, 2001: 組織的降水系に伴う強雨の短時間予報の特性と修正手法(1). 日本気象学会2001年度秋季大会.

金井秀元・新野 宏, 藤部文昭, 加藤輝之, 2001: 1999年10月27日の低気圧に伴う関東地方東部の大雨(その4) —数値シミュレーションを用いた現象の理解—. 本気象学会2001年度秋季大会.

藤部文昭, 坂上公平, 中鉢幸悦, 山下浩史, 2001: 東京23区の短時間強雨に先立つ局地風系の特徴. 日本気象学会2001年度秋季大会.

藤部文昭, 2001: 東京都心部における夏季高温日の湿潤化傾向. 日本気象学会2001年度秋季大会.

高野 功, 2001: 急発達した南岸低気圧('94年2月12日)の流跡線解析. 日本気象学会2001年度秋季大会.

原 昌弘, 2001: 自動選択型SOMを用いたニューラルネットワークの構築. 日本気象学会2001年度秋季大会.

藤部文昭, 2002: 関東平野における春・夏季晴天日午後の気圧と風の長期変化. 日本地理学会, 日本地理学会予稿集.

藤部文昭, 中鉢幸悦, 2002: 10分値を使った場合と毎時値だけを使った場合とのひと雨期間最大1時間降水量の比較. 日本気象学会2002年度春季大会.

藤部文昭, 2002: 関東平野における春・夏季晴天日午後の地上風系の長期変化. 日本気象学会2002年度春季大会.

金井秀元, 新野 宏, 藤部文昭, 加藤輝之, 2002: 1999年10月27日の低気圧に伴う関東地方東部の大雨(その5). 日本気象学会2002年度春季大会.

平沢正信, 2002: 強雨域の検出・追跡ソフトの開発とその利用. 日本気象学会2002年度秋季大会.

武田重夫, 2002: Hillの球形渦類似の流れパターンによるシンプルな対流モデルの検討. 日本気象学会2002年度秋季大会.

藤部文昭, 2002: 関東平野における夏季高温日午後の降水分布と地上風系との関係. 日本気象学会2002年度秋季大会.

原 昌弘, 2002: 自動選択型SOMの分類数決定手法の改善. 日本気象学会2002年度秋季大会.

藤部文昭, 2002: 日本における近年の著しい高温の発現状況. 日本地理学会, 日本地理学会予稿集, 15年3月

藤部文昭, 2003: 国内における近年の著しい高温と熱帯夜の発現状況. 日本気象学会2003年度春季大会.

平沢正信, 2003: 強雨域の検出・追跡ソフトの開発とその利用(2). 日本気象学会2003年度秋季大会.

武田重夫, 2003: Hillの球形渦類似の流れパターンによるシンプルな対流モデルの検討(その2; 予備的テストとしての「水蒸気」の移流について). 日本気象学会2003年度秋季大会.

- 藤部文昭, 山崎信雄, 勝山 税, 2003: 日本における降水頻度の時刻別比率の経年変化. 日本気象学会2003年度秋季大会.
- 藤部文昭, 山崎信雄, 勝山 税, 2004: 日本における雷の頻度の時刻別長期変化. 日本気象学会2004年度春季大会.
- 藤部文昭, 山崎信雄, 勝山 税, 小林健二, 2004: 日本における短時間降水量の強度別の長期変化 (106年間の統計). 日本気象学会2004年度秋季大会.
- 武田重夫, 藤部文昭, 2004: 3次元レーダーデータによる対流性エコーの特徴についての調査 (序) (2003年6月17日に沖縄周辺で観測された対流システムを例として). 日本気象学会2004年度秋季大会.
- 柳野 健, 2004: 1台のドップラーレーダーによる上層風の詳細解析の研究. 日本気象学会2004年度秋季大会.
- 藤部文昭, 山崎信雄, 勝山 税, 小林健二, 2004: 日本における短時間降水量の強度別の長期変化 (106年間の統計). 日本気象学会2004年度秋季大会.
- 藤部文昭, 北畠尚子・別所康太郎・星野俊介, 2005: 台風0418の強風分布の特徴: 台風9119との比較. 風に関するシンポジウム, 第51回風に関するシンポジウム講演要旨集.

(講演) (依頼等によるもの)

- 藤部文昭, 2003: ヒートアイランドが降水現象におよぼす影響. 日本気象学会2003年度春季大会シンポジウム.
- 藤部文昭, 2003: 都市の気象の実態—ヒートアイランドを中心として—. 日本気象学会, 日本気象学会第37回夏季大学テキスト.
- 藤部文昭, 2005: 近年の日本の気候変化. 日本学術会議等, 水資源学シンポジウム「国連水の日—気候変動がもたらす水問題」資料.
- 藤部文昭, 2005: 日本における著しい高温と強雨の増加実態. 気候影響・利用研究会, 第42回気候影響・利用研究会資料.

温暖化予測情報評価にかかわる基礎的研究

研究期間：平成12年度～平成16年度

研究代表者：野田 彰¹⁾、楠 昌司²⁾、(気候研究部 第四研究室長)

研究担当者：野田 彰、行本誠史、内山貴雄、前田修平³⁾、吉村裕正⁴⁾、楠 昌司²⁾ (気候研究部)

研究の目的

特別研究「地球温暖化によるわが国の気候変化予測に関する研究」(平成12年度～平成16年度)で行われた気候変化シナリオ作成のためのモデルの開発・高度化とそのモデルを用いた計算の成果を、温暖化情報として他の地球温暖化の影響評価研究者や行政機関の政策決定者に有効活用されるために必要な予測の不確実性の評価などの基礎データを与えることを目的とする。

研究の方法

研究開始時点では、計算機資源が十分でないことから、週間予報で行われているアンサンブル予測手法を温暖化予測の不確実性の評価や解明の研究に用いることは想定できなかった。そのため、研究手法としては、他機関の温暖化データを出来るだけ沢山集めた相互比較解析、大気モデル、海洋モデルに含まれる気候感度を決める上で重要なパラメータに関する感度実験を採用した。しかし、この間、計算資源の飛躍的増大により、メンバー数は少ないが、アンサンブル手法による統計的手法も利用可能となった。

研究の結果

温暖化時の気候変化の空間構造を、自然変動で卓越する海面水温の偏差(エルニーニョカラニーニャ)と北極振動に注目し、世界の予測モデルの結果を分類した。気象研究所の結果は、MRI-CGCM1では低緯度の応答はラニーニャ型、高緯度は北極振動の正偏差の変化、MRI-CGCM2では低緯度エルニーニョ型、高緯度北極振動正差を示した。世界のモデルは、低緯度エルニーニョ型、高緯度北極振動正偏差が多いが、自然変動に見られる地上気圧偏差は北太平洋で偏差が逆になっている。このことは、北太平洋における温暖化パターンがモデル間でばらつく要因となっていることが分かった。この成果は、地域気候モデルによる日本付近の温暖化予測の不確実性を議論する上で重要な知見であり、現在準備中の地球温暖化予測情報第6巻の解説に活用される。

世界のモデルで予測した温暖化パターンの時間的な形成過程を調べた。その結果、多くのモデルで太平洋の温暖化パターンにはモデルがシミュレートする自然変動のENSOのどちらかの極性のパターンが卓越するが、20世紀後半に温暖化とは逆の極性を持ち、振幅の大きなパターンが出現することが分かった。統計的有意性を検定するには、モデル結果の事例数が不足していたので、IPCCで現在集約中のアンサンブル計算の結果を加えることにより、20世紀の気候変動の要因として有意性を検定する予定である。

大気海洋結合モデルにおいて海洋の鉛直拡散係数の違いによる効果について、二酸化炭素1%漸増及び安定化に対する海洋の温暖化の応答について解析を行った。その結果、強制力に対する気候システムの応答の海洋の熱慣性に対する依存特性が明らかになり、海洋大循環の不確実性が気候変動予測の不確実性に及ぼす影響を評価できた。この成果はMRI-CGCM2およびMRI-CGCM3の開発に活用された。

さまざまな排出シナリオに対する温暖化実験の結果を解析し、シナリオの違いによる予測のばらつきを評価した。排出シナリオA1Bの場合について、アンサンブル・サイズが5の温暖化実験結果の解析を行った。アンサンブル間のばらつきは、モデルの大気と海洋の内部変動に起因するものである。温暖化時の地上気温と降水量の変化量に対するアンサンブル間のばらつきの相対的な大きさは、予測の不確実性の指標となる。一般に、高緯度地方より熱帯で不確実性が小さいこと、降水量より地上気温の不確実性が小さいことがわかった。温暖化予測情報第7巻では、MRI-CGCM2の全球予測の成果が掲載予定であり、結果に

1) 平成12年度～平成15年度、2) 平成16年度、3) 平成12年度、4) 平成13年度～平成16年度

含まれる不確実性の定量的記述に活用される。

研究成果の要約

北太平洋における温暖化パターンがモデル間でばらつく要因として、高緯度の北極振動の偏差の符号による寄与が大きいことが分かった。多くのモデルで太平洋の温暖化パターンには、モデルがシミュレートする自然変動のENSOのどちらかの極性のパターンが卓越するが、20世紀後半に温暖化とは振幅の大きな逆の極性を持つことが分かった。大気海洋結合モデルは海洋の鉛直拡散係数に敏感で、その結果、海洋大循環の不確実性が結合系全体の不確実性に大きく影響することが分かった。温暖化予測の不確実性を調べたところ、一般に、高緯度地方より熱帯で不確実性が小さいこと、降水量より地上気温の不確実性が小さいことがわかった。

今後に残された問題点

温暖化予測の政治・社会的影響が増大するにつれて、不確実性の定量的評価がより一層求められている。このような要請に応える手法として、アンサンブル予測手法が世界の主流になりつつあり、この手法による研究は更に発展させる必要がある。しかし、一方、温暖化予測は、温室効果ガスの増大による放射強制力の変化にたいする強制応答問題であるから、気候システムの構造的性を考慮することにより、初期値問題よりはもっと定量的に不確実性を評価できる可能性が大きい。本研究で基礎的研究が行われたこれらの課題は、次期特別研究とより一層深い関わりを持っており、計算資源、研究体制の両方の面から、次期特別研究の枠組みの中で行うことが効率的である。

成果の活用に対する意見

温暖化予測の不確実性について基礎的な評価が得られたので、研究成果は出た。しかし、成果発表に関しては、速報的な発表と一般向け解説が主で、査読論文としての発表は不十分であった。ここで得られた成果を、系統的にモデル結果の相互比較をできるCMIP2+やIPCC第4次評価報告書のために収集されたデータと比較検討することにより、今後査読論文として研究成果を社会に還元すべきである。

成果発表状況

- ・論文発表件数 1件
- ・口頭発表件数 7件

成果発表一覧

(論文)

Maeda, S. C. Kobayashi, K. Takano, T. Tsuyuki, 2000: Relationship between singular modes of blocking flow and high-frequency eddies. *J. Met. Soc. Japan*, **78**, 631-646.

(口頭発表) (学会等での発表)

Noda, A., 2002: odeling global environmental change - Toward integrated modeling -.

前田修平, 野田 彰, 行本誠史, 内山貴雄, 八牧幸子, 2000: 温暖化による平均子午面循環の変化. 日本気象学会2000年秋季大会, C359, 年10月。

Noda, A. and K. Yamaguchi, Intercomparison Study of Arctic Oscillation (AO) and AO-like Climate Change Simulated by Various Coupled General Circulation Models. In Extended Abstracts. Second Wadati Conference, Tsukuba, March 2001.

野田 彰, 行本誠史, 山口和貴, 2001: 地球温暖化パターンの時間変化. 日本気象学会2001年秋季大会, B356.

野田 彰, 2002: 地球温暖化予測研究の最先端, 日本気象学会2002年春季大会, A109.

Noda, A. and K. Yamaguchi, and S. Yukimoto, 2003: Comparison of response patterns in CMIP runs between MRI-CGCM1 and MRI-CGCM2. CMIP workshop, Hamburg, Germany.

(報告) (他機関が作成する報告集への掲載、ただし口頭発表したものは除く)

野田 彰, 2003地球温暖化のメカニズムと気候モデルによる予測. 生物の科学 遺伝, 別冊17号, 裳華房, pp.27-35.

(出版物) (論文以外のもの、本など)

野田 彰 (共著), 2003: 第2章気候モデルと温暖化の予測. 総合化学技術会議地球温暖化研究イニチヤチブ気候変動研究分野報告書「地球温暖化研究の最前線 -環境の世紀の知と技術2002-」, 総合化学技術会議環境担当議員, 内閣府政策統括官 (科学技術政策担当) 共編.

野田 彰 (代表執筆者), 2003: 第1章気候 (過去の気候変化の解析及び気候変化の予測). 「地球温暖化と日本 第3次報告-自然・人への影響予測-」, 原沢英夫・西岡秀三編著, 古今書院.

3. 口頭発表

- (1) 国際会議・学会等での口頭発表件数: 3件
- (2) 国内会議・学会等での口頭発表件数: 4件

気候変動の実態把握と物理過程に関する解析的研究

研究期間：平成14年度～平成16年度

研究代表者：山崎信雄（気候研究部 第五研究室長）

研究担当者：井上豊志郎¹⁾、田中 実、釜堀弘隆、高橋清利（気候研究部）

研究の目的

「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC) 報告書は中高緯度大陸域では降水量とともに豪雨等の極端な現象の発生頻度が多くなっているとまとめているが、東アジア域では豪雨などの長期変動はまだ十分調べられていない。また南アジア域に比較して東アジア地域気候変動に対する長期間のENSOの影響は明らかにされていない。当研究においては東アジア域における気候変動の特性の理解のために、年々から数十年にわたる変動の解析、極端な現象の把握や他地域との比較とともに、ENSOなどの変動が東アジアの気候にどのように影響しているのか、どのような場に伴って極端な現象が起きていたのかを明らかにする。

またIPCC報告書においてはモデルの信頼性は増してきたが、雲の取り扱い及び、雲と放射やエーロゾルとの相互作用に関しては不確実性があるとまとめられている。このため衛星データを用いた観測に基づいて、雲情報や放射、それに関連する水蒸気、海上風、海面水温などの変動、それらの間の相互作用を調べる。

研究の方法

長期間の地上観測により、日本における短時間豪雨などの極端な現象の出現頻度・経年変化を解析する。衛星データや海面水温データも併せて、日本を含む東アジア域の年々から数十年の地域的な気候変動の解析及び南アジアモンスーン・ENSOなどの変動との関連を明らかにする。またデータが豊富な最近の極端な現象の解析を行い、長期間の解析で得られた結果と比較する。これらの解析により極端な現象の発生時の場を推定し、東アジア域における気候変動の実態把握と物理過程の理解、変動のメカニズム解明に役立てる。

気候モデルの不確実性の一因に雲の取り扱いが挙げられる。衛星データは広範な観測範囲を持つため雲の変動や光学的特性を調べるのに有効である。衛星データから雲パラメーター（雲型、雲頂温度、光学的厚さなど）の解析を行い、雲パラメータの各種時間変動を解析し、それに伴う海面温度、水蒸気、海上風との相互作用について調べる。

研究の結果

南アジアの極端な小雨年（1899, 1918, 1972, 2002年）はすべてエルニーニョ年でインド西部で海面気圧が高く、南西諸島で低い特有の気圧配置が7月に観測された。またこれらの年は日本付近で冷夏は観測されなかった。

エルニーニョ現象及びインド洋海面水温と日本付近の夏の天候の関係を100年以上解析しエルニーニョ年E (0)、エルニーニョの翌年E (+1) 共に7月を中心として暑夏年が出現しやすい期間1914-1930年、1957-1975年と上記以外の冷夏が出現しやすい期間が有ることがわかった。

冷夏が出現しやすい期間はE (+1) 年にアジアモンスーンは弱くインド洋の海面水温が7月に高く日本付近で前線帯を伴う低気圧が観測された。日本付近の低気圧とインド洋の海面水温は冷夏が出現しやすい期間は負の相関が有り、E (+1) 年にインド洋の海面水温が日本付近の夏の天候に重要な影響を及ぼしていることがわかった。

気象庁で電子化された時間降水量データを用いて日本の7つの都市の1891年から1960年の時間降水量よ

1) 平成14年

り豪雨の経年変動を調べ、日・3時間降水量も1960年まで増大傾向であるが、1990年代はさらにそれよりも大きい傾向を示すことがわかった。

日本の日・時間豪雨の発生数には数十年の変動があり、1940年頃と近年に大きな増加がみられ、相対的に強い大雨（例：100mm/日以上）は関西などを除き、1951年以降でも増大している。

相対的に強い（弱い）降水の割合は100年間、季節、地域、人口規模を問わず、一様に増大（減少）し、定量的には、夏・秋、南日本、早朝により増大傾向が大きいことがわかった。

季節的にみると夏季前半後半で豪雨の傾向は異なり、前半（後半）は減少（増大）傾向が多くみられる。

過去45年間で地上5700m付近の夏季気圧場は日本の南の亜熱帯とオホーツク付近で上昇、日本付近で下降の傾向があり、この夏季気圧場の変化により、特に夏季後半では豪雨がおりやすい気圧場のパターンとなっていると考えられる。

GMSデータから1980-2003年の閾値別雲量データを作成し、1980-2000年における雲量変動を調査した結果、西太平洋赤道域では雲量の減少トレンドを持つ地域があることがわかった。

過去22年間（1979-2000）の中国における積雪（1979-2000）、天気現象の出現頻度（1979-95）を中国地面気象月報に基づいて調査した。有意ではないものの積雪初日は遅れ、積雪終日は早まる傾向があること、塵煙霧、風塵の日数は一般的に減少傾向だが、ゴビ砂漠周辺では横ばい、または、増加傾向の地点もあることを確認した。

ISCCPのデータおよびReynoldsの海面温度およびSSM/Iの海上風の1983年から10年間の月平均値を用いて、ペルー沖の海上に発生する下層雲の雲量と海面温度、海上風の季節変化について調べた。100W-80W、10S-30Sの領域では下層雲量と海面温度は負の相関を持ち、3月に海面温度が最大で下層雲量が最小になるが、下層雲の最大は8月に現れ、海面温度の最小は9月となる年変化が見られた。海上風は6ヶ月周期がみられ、4月と10月に極大を示した。10月極大は海面温度の最小期にあたる。130W-110W、5S-5Nの領域でも下層雲量と海面温度は負の相関が見られたが、より西側では相関が見られなかった。

Split Window を用いて可降水量を推定する手法を開発した。豪雨の数値実験でも晴天域の下層からの水蒸気の補給が重要な役割を果たしていることが示された。

衛星で解析された雲型とラジオゾンデ観測の比較から、晴天域では湿度の鉛直プロファイルは下層に高湿度で、700hPaより上層では非常に乾燥していることが統計的に示された。

Split Windowを用いて深い対流雲の判別、晴天域での海面温度、可降水量が算定できる。これらの情報から、海面温度が高いほど、可降水量が多いほどより深い対流が発生することが示された。さらに対流の深さには海面温度より可降水量がより強い影響があることが分かった。たとえばITCZとSPCZにはさまれる海域では海面温度が高くても深い対流は発生しない。その海域では下降気流を示唆するように可降水量は小さい値を示していた。

静止衛星で観測される1時間間隔のSplit Windowデータを用いて、対流活動のライフサイクルに伴う雲型の変化を調べた。Split Windowにより深い対流雲の中心部とアンビルに伴う巻雲域を判別することができる。対流雲の発達期は積雲型のみで、成熟期には積雲型と巻雲型が混在し、消滅期には巻雲型が卓越することを示すことができた。253Kで深い対流雲域を定義すると巻雲型が20%以下であれば発達期から成熟期に相当し、巻雲型がそれ以上の場合には消滅期に相当することが示された。PR/TRMMと同期した観測から、発達期から成熟期にかけては対流性の降水が卓越し、消滅期には層状性の降水が対応していることが示された。また、積雲対流活動の継続時間の長いものほど、成熟期の面積が大きいことも確認できた。

研究成果の要約

エルニーニョ現象及びインド洋海面水温と日本付近の夏の天候の関係を100年以上解析し、エルニーニョ年とその翌年共に7月を中心として暑夏が出現しやすい期間1914-1930年、1957-1975年と上記期間以外の冷夏が出現しやすい期間が有ることがわかった。

冷夏が出現しやすい期間には、(1) エルニーニョの翌年にアジアモンスーンは弱くインド洋の海面水温が7月に高く日本付近で前線帯を伴う低気圧が観測される、(2) 日本付近の低気圧とインド洋の海面水温は負の相関が有り、エルニーニョの翌年にインド洋の海面水温が日本付近の夏の天候に重要な影響を及ぼしている、ことがわかった。

気象庁で電子化された時間降水量データを用いて日本の7つの都市の1891年から1960年の時間降水量より豪雨の経年変動を調べ、日・3時間降水量も1960年まで増大傾向であるが、1990年代はさらにそれよりも大きい傾向を示すことがわかった。相対的に強い(弱い)降水の割合は100年間、季節、地域、人口規模を問わず、一様に増大(減少)し、定量的には、夏・秋、南日本、早朝により増大傾向が大きいことがわかった。

強い雨の傾向は季節的にみると夏季前半後半で異なり、前半(後半)は減少(増大)傾向が多くみられる。過去45年間で地上5700m付近の夏季気圧場は日本の南の亜熱帯とオホーツク付近で上昇、日本付近で下降の傾向があり、この夏季気圧場の変化により、特に夏季後半では豪雨がおりやすい気圧場のパターンとなっていると考えられる。

衛星で解析された雲型とラジオゾンデ観測の比較から、晴天域では湿度の鉛直プロファイルは下層に高湿度で、700hPaより上層では非常に乾燥していることが統計的に示された。また1時間間隔のSplit Windowデータを用いて、対流活動のライフサイクルに伴う雲型の変化を調べ、対流雲の発達期は積雲型のみで、成熟期には積雲型と巻雲型が混在し、消滅期には巻雲型が卓越することをわかった。

今後に残された問題点

冷夏が出現しやすい期間は数十年スケールの変動があることがみいだされたが、これがなぜ起こるかをアジアモンスーンに長期のトレンドが見られることと関連させて今後の研究で解析を行う予定である。

積雪等の変動トレンドの解析は地点毎独立に行ったが、今後、気候変動の把握には複数地点、複合要素を対象とした解析手法の適用を検討して行く必要がある。

雲量は気候変動に伴い大きな変動を示している可能性があることがわかったので、今後、衛星間個体差の較正、特に140Eではなく155Eに位置するGOESによる代替期間の扱いを検討する必要がある。

成果の活用に対する意見

過去100年間にわたる気温や降水量の異常気象の解析の成果は気象庁の気候系監視報告の基礎的な資料となり、異常気象レポートなどに活用できる。今後は2004年に見られた台風の上陸数、接近数の増大等も視野に入れることによって、更に「なぜ異常気象がおこるのか」「自然変動が異常気象の長期変動をどの程度説明可能か?」などの質問に答えていくことが望まれる。また豪雨の長期変動に及ぼす日本周辺の大規模場のトレンド解析が行われ、大規模場の変動が豪雨の長期変動と関連している示唆を得たが、今後は、この成果を更に長期変動全体に発展させる必要がある。

気象庁で電子化された時間降水量データを用いて予備的解析を行い、時間降水量で見た豪雨が増大しているという成果を得たが、このデータはまだ十分品質チェックが行われていないので、それを行い、十分にその活用を図る必要がある。

成果発表状況

- ・論文発表件数 6件
- ・口頭発表件数 35件

成果発表一覧

(論文)

- Inoue, T. and S. Ackerman, 2002: Radiative effects of various cloud types as classified by the split window technique over the eastern sub-tropical Pacific derived from collocated ERBE and AVHRR data. *J. Met. Soc. Japan*, **80**, 1383 - 1394
- Luo, Z., W. B. Rossow, T. Inoue, and C. J. Stubenrauch, 2002: Did the Eruption of the Mt. Pinatubo Volcano Affect Cirrus Properties?. *J. Climate*, **15**, 2806 - 2820
- Lutz, H., T. Inoue and J. Schmetz, 2003: Optically thin clouds observed from multi-channel observations of MODIS. *J. Met. Soc. Japan*, **81**, 623-631.
- Kato, T., M. Yoshizaki, K. Bessho, T. Inoue, Y. Sato and X-BAIU-01 observation group, 2003: Reason for the failure of the simulation of heavy rainfall during X-BAIU-01 – Importance of a vertical profile of water vapor for numerical simulations-. *J. Met. Soc. Japan*, **81**, 993-1013.
- 井上豊志郎・釜堀弘隆, 2003: 全球客観解析と静止衛星から推定される水蒸気場の比較, *天気*, **50**, 335-339.
- Fujibe T, N. Yamazaki, M. Katsuyama and K. Kobayashi, 2005: The Increasing Trend of Intense Precipitation in Japan Based on Four-hourly Data for a Hundred Years. *SOLA*, **1**, 41-44.

(報告)

- 高橋清利, 2003: Report on the GAIN activity, GAME Phase1 Summary Report, GAME国内事務局.

(口頭発表) (学会等での発表)

- 田中実, 2002: 過去122年間のインド洋海面水温のダイポール現象とENSOの10年スケールの関係. 日本気象学会2002年度大会.
- 井上豊志郎, 河本和明, 増永浩彦, 2002: VIRS/TRMMのSplit Windowによる晴天海洋域での可降水量の推定. 日本気象学会2002年度大会.
- Inoue, T., 2002: Life cycle of deep convection and rainfall type by PR/TRMM. *Proceedings of 9th remote sensing symposium*.
- Inoue, T., 2002: Characteristics of deep convection over the Amazonia during LBA using GOES and PR/TRMM data. *Abstract of Second LBA Scientific Conference*.
- 井上豊志郎, 2002: Characteristics of deep convection over the Amazonia during LBA using GOES and PR/TRMM data. 日本気象学会2002年度大会.
- 高橋清利, 山崎信雄, 2002: GAME再解析Ver1.5, Ver1.1と地点観測dataとの比較. 日本気象学会2002年秋季大会.
- Kiyotoshi Takahashi and Nobuo Yamazaki, 2002: Status of the GAME Reanalysis and its Validation. 2002 Workshop on GAME-T and Hydrometeorological studies in Thailand and Southeast Asia, *Proceedings of 2002 Workshop on GAME-T and Hydrometeorological Studies in Thailand and Southeast Asia*.
- Kiyotoshi Takahashi, 2002: GAME Archive and Information Network (GAIN). *WMO expert meeting on Hydrological Data for Global Studies*, WMO/TD-No.1156.
- 高橋清利, 山崎信雄, 2002: FY-11を用いた南アジア域における対流活動の日変化及び水蒸気変動の解析. 第5回CERES環境リモートセンシングシンポジウム.
- Inoue, T., 2003: Cloud and rainfall observed from TRMM. *Simpson Symposium (AMS)*.
- 田中実, 2003: 2002年夏のインド少雨と過去134年間のENSO・東・南アジアモンスーンの関係. 日本気象学会2003年度大会.

- 山崎信雄, 2003: 東インド洋と西太平洋の対流活動の関係, 日本気象学会2003年度大会.
- 井上豊志郎, 釜堀弘隆, 2003: 全球客観解析と静止衛星から推定される水蒸気場の比較—2002年6月27日の事例—. 日本気象学会2003年度大会.
- Inoue, T., 2003: Convective/stratiform rain by PR/TRMM and life stage of deep convection defined by the cloud type of GOES snap shot image. 3rd GPM Workshop.
- Inoue, T., 2003: Deep Convection Observed from Split Window of GOES and PR/TRMM, LIS/TRMM. IGARSS2003.
- Inoue, T., 2003: Comparison between TMI/TRMM and PR/TRMM near surface rainfall estimation in terms of cloud information. IUGG.
- 井上豊志郎, 2003: 下層雲と気象要素の解析, 日本気象学会2003年度大会.
- 井上智亜・井上豊志郎・植田宏昭, 2003: Split Windowデータを用いた熱帯地域における雲型分類. 日本気象学会2003年度秋季大会.
- Inoue, T., 2004: Life stage of deep convection defined by the split window of GOES, AMS Annual Meeting.
- 田中実, 2004: 2003年の日本の冷夏と過去121年間の冷夏とENSO・アジアモンスーンの関係. 日本気象学会2004年度春季大会
- 山崎信雄, 2004: 極値順位データによる短時間豪雨の経年変化. 日本気象学会2004年度春季大会
- 藤部文昭, 山崎信雄, 勝山税, 2004: 日本における雷の頻度の時刻別長期変化. 日本気象学会2004年度春季大会
- 井上豊志郎・牛尾知雄, 2004: MSGの赤外多チャンネルデータによる降水域推定について. 日本気象学会2004年度春季大会
- 井上智亜・井上豊志郎・植田宏昭, 2004: Split Windowデータを用いたベンガル湾における雲型判別. 日本気象学会2004年度春季大会
- 高橋清利, 2004: 中国地上気象記録資料による現在気候シミュレーションの検証: その2. 日本気象学会2004年春季大会
- Inoue T., 2004: Development of a technique to define the life stage of deep convection using the split window data of GOES. 2nd TRMM International Science Meeting, JAXA and NASA
- Inoue T., Hans-Joachim Lutz and J. Schmetz, 2004: The life cycle of deep convection defined by the MSG multi-channel data. IRS2004
- 山崎信雄, 2004: 日本の豪雨の長期変動と周辺の大規模場の変化の関連. 日本気象学会2004年度秋季大会
- 山崎信雄, 高橋清利, 2004: 2002年夏季のインド旱魃とインド洋の海面水温の影響. 日本気象学会2004年度秋季大会
- 井上豊志郎, 2004: Meteosat-8による下層雲の解析とTMIによる観測要素の対応. 日本気象学会2004年度秋季大会
- 井上豊志郎・河本和明, 2004: Split Windowデータによる下層雲の光学的厚さの推定について. 日本気象学会2004年度秋季大会
- 井上智亜・植田宏昭・井上豊志郎, 2004: Split WindowデータおよびTRMMから見たベンガル湾における雲の時空間的特徴. 日本気象学会2004年度秋季大会
- Inoue, T., and T. Ushio, 2004: Rainfall Type Estimation from the Information on Life Stage of Deep Convection. WMO, 2nd IPWG Workshop, Monterey, Ca, USA
- Inoue, T., K. Kawamoto, H. Lutz and J. Schmetz, 2005: Retrieval of optical thickness of low-level water cloud using the MSG multi-channel data. ARM Science Team Meeting, Daytona Beach, FL, USA
- Inoue, T., 2005: Life stage of deep convection defined by the split window and rainfall type observed by PR/TRMM. ARM Science Team Meeting, Daytona Beach, FL, USA

(講演)

山崎信雄, 2004: 日・時間降水量でみた日本の豪雨の長期傾向. 四国地方整備局防災講演会

水の相変化を考慮した大気境界層の構造の研究

研究期間：平成12年度～平成16年度

研究代表者：山内豊太郎¹⁾、栗原和夫²⁾、井上豊志郎³⁾（物理気象研究部 第二研究室長）

研究担当者：萩野谷成徳、木下宣幸、毛利英明（物理気象研究部）

研究の目的

風速・気温・湿度の鉛直分布、拡散係数などの大気境界層の構造は地球表面から種々の影響を受けながら時間や場所によって大きく変化する。こうした大気境界層の構造変化に対して水の相変化に伴う潜熱の影響は大きい。水の相変化を考慮した風洞実験、野外観測及び数値実験が有機的に連携した研究を実施することによって、霧や結露などの水の相変化と大気境界層の構造の関係を明らかにすることが本研究の目的である。

風洞実験では、水の相変化による霧の形成を再現し、霧密度、風速、気温、湿度、乱流フラックス等を測定する。また霧の形成に関わる乱流の微細構造の解析を行う。これらから、霧発生時を含む水蒸気フラックスの輸送係数を求め、霧輸送のメカニズムについて議論する。野外観測では、特に夜間の安定成層条件下における結露量に着目し、その条件下での潜熱フラックス推定精度の向上を目指す。

研究の方法

水の相変化を伴う大気境界層の構造を調べるために、風洞実験、野外観測、数値実験を実施する。風洞実験では、風洞内に水の相変化が観察できる状況を再現し、霧密度、風速、気温、湿度、乱流フラックス、乱流の微細構造等を測定する実験手法を開発し、測定を行う。潜熱フラックスを渦相関法により精度よく測定できるセンサはこれまでになく、本研究では新しいセンサを開発する。風洞内に水の相変化が観察できるような状況を再現し、開発したセンサや既存の測定機等を用いて霧密度、風速、気温、湿度、乱流フラックス等を測定する。また境界層における熱・水蒸気輸送の担い手である乱流の微細構造を測定し、解析を行う。さらに現実の大気では地表面が不均一であるために、境界層の構造は均一な表面の場合と異なると考えられる。このために床面に不均一な表面を再現して潜熱等のフラックスを測定する。

湿潤草地と半乾燥裸地面という異なる地表面状態で得られた既存の気象観測データと地表面熱収支式を用いて、夜間の結露量を見積もり、その季節変化と時間変化の特徴を見出す。日中の蒸発量を求める手法として確立している2つの方法（ポーエン比法とライシメータ測定法）で夜間の結露量の測定が可能かどうかを検討し、結露量の実測手法を見出す。地表面熱収支式で使われている水蒸気フラックスの輸送係数について、結露時の観測データを再現する値と従来から知られている値や風洞実験から得られた値とを比較し、結露条件下の潜熱輸送のメカニズムについて検討する。

研究の結果

風洞実験において温度、湿度の鉛直分布を正確に測定するために、超小型で安価な熱電対乾湿計を開発した。湿球製法として、セルロース繊維を熱電対接合部に熱伝導性接着剤で接着するという極めて容易な製法である。さらに、吸収剤を充填した熱電対保護管を通して湿球に自動吸水を可能にした。これにより、ミリ単位の空間分解能で相対湿度を $\pm 0.6\%$ の精度で連続測定が可能になった。さらに、素線径 $78\mu\text{m}$ の熱電対を用いることで応答速度の時定数を 0.4s （流速 0.5m/s に対応）に高めることができた。

熱電対乾湿マイクロセンサとレーザードップラー流速計（LDV）を用いて風洞実験で水蒸気フラックスを渦相関測定する手法として、測定値を冷線温度計で測定した温度変動を利用して補正する方法を開発した。しかし、乾湿センサをシーディング粒子に長時間曝すと、センサの応答速度が落ちるという問題が生じた。3 cmスパン超音波流速計による温度（音仮温度）と冷線温度計による気温から比湿を求め、水蒸

1) 平成12年度～平成13年度、2) 平成14年度、3) 平成15年度～平成16年度

気乱流フラックスを求めることを試みた。この方法で求めたフラックスは、流れ方向2点での比湿鉛直プロファイルの違いから見積もった水蒸気フラックスと比較し2倍程度過大であることがわかった。これは用いた超音波風速計による温度の乱流変動が冷線温度計で得られる気温の乱流変動に比べ過大であることによる。以上から明らかになった測定上の問題点を解決するため、光ファイバーを用いた2波長式赤外線湿度計を開発した。プローブの直径1.5cm、測定スパン7cmでディテクタや光源とはファイバーで結ぶことで測定部の小型化が図られている。恒温恒湿槽や風洞試験から、平均比湿を誤差1%で測定可能、比湿乱流変動も測定可能であることが示された。この湿度計と3cmスパン超音波風速計を用いた風洞での水蒸気フラックスの渦相関測定から、

- ・安定成層した境界層では運動量に対する拡散係数 (K_m) に比べ顕熱や潜熱に対する拡散係数 (K_h と K_e) は共に1/2程度の大きさであるが、床面温度が気流の露点温度に近い場合については比湿の鉛直傾度も水蒸気フラックスも小さくなるのでより高い精度での測定が必要である。
- ・安定成層した境界層でMellar & YamadaのLevel 2.5や3の K_m は風洞測定値から求めたものに良く一致するが、 K_h は過大であること、特にLevel 2.5では $K_h > K_m$ となり適切な表現ではない。

ことなどが分かった。

熱線風速計に霧粒が衝突した際に生じる信号から霧粒を計数できる可能性があることが分かった。風洞実験において霧粒の数濃度を測定するために、レーザードップラー流速計 (LDV) を用いた新しい手法を開発した。LDVから出力される信号のEnvelope成分とPedestal成分に閾値を設定し、この閾値を越えた信号の数をカウントする方法である。この手法には、霧粒の数濃度とともに流速が同時に得られるという長所がある。しかし、熱線風速計やLDVを用いた方法には霧の粒径が測定できないという欠点があり、サンプリング体積は霧の粒径により変化するため正確な数濃度や霧水量を求めることは困難である。そこで、レーザードップラー流速計 (LDV) にディテクタを追加して位相差を検出し霧の粒径を測定可能にした (Particle Dynamic Analyzerまたは Phase Doppler Anemometer)。PDAとファイバー式赤外線湿度計及び3cmスパン超音波風速計による霧と水蒸気乱流フラックスの測定から、風洞冷却床面上に発生した霧の上端付近で強制的に乱れを与えると下向きの水蒸気フラックスが増えて風下で霧が濃くなることがわかった。

風洞気流の改善のため「境界層漏出スロット」を考案し、高い効果が確かめられた。

乱流の空間構造を明らかにするために、ウェーブレット関数を用いた、乱流内の微細構造を検出するアルゴリズムを開発し、大型風洞で得られた一様等方乱流のデータを解析することにより、微細構造がバークス渦と呼ばれるナビエ・ストークス方程式の軸対称解で良く表現できることを示した。渦の直径はコロモゴロフ長の数倍程度、空間密度は積分長あたり数本程度である。また微細構造の強度分布より、これらの構造が乱流の間欠性に大きく寄与していることを示した。

現実の大気境界層を再現するため、大型風洞で現実大気に近い高レイノルズ数の境界層の微細構造の測定を行った。高レイノルズ数の境界層乱流において渦管と呼ばれる微細構造を検出し、その半径が、コロモゴロフ長の数倍程度であることを示した。また、この渦管と呼ばれる微細構造が普遍的に存在することが分かった。

現実の地表面は非一様であるが、非一様な表面状態の場合の境界層の構造を風洞実験で調べた。一部が加熱された床面上に発達した境界層内の温度分布を測定し、境界層の厚さ程度のスケールで熱が境界層内で一様に拡散する事を明らかにした。

既存の観測データの解析から結露発生条件時の気象条件を調べた。地表面状態が湿潤草地と半乾燥地の2種類の場所のデータを解析した。地表面温度が高度1mにおける露点温度よりも低くかつ気温0℃以上、相対湿度90%以上のデータを抽出し、その出現頻度を調べた。発生月では、4月から11月に結露条件を満たす頻度が多く、特に7月ないし8月にピークが見られた。一方、発生時刻はほとんど夜間に集中し、ピークは明け方に見られた。

また、既存観測データと地表面熱収支式を用いて結露量を理論的に求めた。結露時は地表面が地表面温

度で飽和していると見なせるため、地表面温度のみを未知数として熱収支式を解くことができる。地表面状態が湿潤草地の場合は、1998年1月から2001年9月までの気象研究所構内露場で得られたデータから結露量の時間-季節変化を求めた。時間変化では結露は夜間に集中し、特に夜中から明け方に結露量が多いことが示された。一方、季節変化では春と秋に極大を示し、特に11月の結露量が最大で2.9mm~6.7mm、6~8月が最小で0.2mm~1.9mmであった。1年間の総結露量は、16.0mm~42.4mmとなり、これは、年降水量の1.1%~2.7%に相当することがわかった。11月の結露量が最大となった理由は、水蒸気量が多いこと、夜間の冷却量が大きいこと、による。地表面状態が半乾燥裸地の場合については1997年10月から2000年7月までに西チベットで得られた観測データを解析し、雨季に結露量が多くなる傾向を得た。年間の総結露量は、1.0mm~2.6mmと湿潤草地に比べて少ないが、降水量に対する割合は0.8%~1.8%程度となり、湿潤草地と同程度であった。

ライシメータとポーエン比法により求めた日中の蒸発量は、蒸発量自体が1.7mm~4.2mmあるので観測が可能で、両者が良く対応していることを確認した。しかしながら、夜間の結露量は0.1mm程度であり、ライシメータの実質の分解能では測定が難しい。またポーエン比法でも2高度の湿度差の精度に問題があり観測が困難であった。そこで、結露量の自動観測装置を開発し、熱収支式による結露量の算定結果との比較を行なった。本結露計では1時間~1晩の結露量を測定できることが確認された。実測した結露量を再現するようにして求めた輸送係数は、裸地面上で中立付近の値に近い。これは、結露計として使用したClass-A-Panの形状(有限の面である、地面から35cmの高さに突き出ている)が一様面の輸送係数に比べて乱流が発生し易い構造であることに起因していると思われる。本結露計で観測される結露量は車の屋根や葉面などのように、下からの伝導熱が小さい有限面上の値に近いと考えられる。熱収支式各項目が結露量に及ぼす敏感度を調べたところ結露量推定には、下向き長波放射量と地中伝導熱の高精度の推定が重要であることが明らかとなった。

研究成果の要約

風洞で水蒸気乱流変動を測定するためプローブを小さくしたファイバー式2波長赤外線湿度計を開発した。超音波風速計と組み合わせることで渦管関による水蒸気乱流フラックスの測定が可能となった。この測定法で行った風洞実験からは、安定成層した境界層では運動量に対する拡散係数(K_m)に比べ顕熱や潜熱に対する拡散係数(K_h と K_e)は共に1/2程度の大きさであること、Mellar&YamadaのLevel 2.5や3の K_m は風洞測定値から求めたものに良く一致するが、 K_h は過大であることが示された。PDAを用いた霧の測定から、風洞冷却床面上に発生した霧の上端付近で強制的に乱れを与えると下向きの水蒸気フラックスが増えて風下で霧が濃くなることがわかった。

気象研究所大型・小型風洞において、広い範囲のレイノルズ数の乱流を生成し、その速度場の時系列データから、渦管と呼ばれる微細構造が、乱流の間欠性に卓越した影響を及ぼしていることを明らかにした。高いレイノルズ数において、渦管の半径がコルモゴロフ長に比例し、渦管の巡回速度が乱流の1点速度変動に比例するという漸近的振舞を明らかにした。本研究で達成されたレイノルズ数は、他の数値計算・室内実験グループが達成した値に比べてきわめて大きく、現実の大気乱流に非常に近い値となっている。

従来、風の弱い安定成層時のエネルギー輸送は乱流フラックス自体が小さいので測定が困難であった。しかし、夜間の結露条件下に着目すると、結露量という積分量を測ることで潜熱輸送量が求められる。本研究では高精度の結露計を開発し、結露量の自動観測から、微小な潜熱輸送量の測定を可能とした。また結露条件下という制限を設けたことで、地表面湿潤度が完全飽和と仮定でき、地表面熱収支式の解法が簡略化され熱収支パラメータの特性を詳しく調べることができた。本研究で使用した結露計の輸送係数は、裸地面上で中立付近の値に近い。熱収支式による結露量推定では、下向き長波放射量と地中伝導熱の高精度の推定が重要である。熱収支式と風速、気温などの気象観測データを用いて、結露量の通年の見積もりをしたところ、結露量が多いのは、春と秋であることを確認した。また湿潤地域と半乾燥地域では、大気中の水蒸気量の違いを反映して結露量にも大きな差異が見られた。

今後に残された問題点

赤外線湿度計については、更にセンサーの性能評価や実測例を積み上げ、改良を図っていくことが必要である。

熱収支式による推定値と良い対応を示していた結露量測定装置については、結露面を現実の地表面状態に近づける、装置の温度依存性を抑えるなどの改良を図り、精度を高めていく必要がある。また、モデル計算による通年結露量の見積もりについて、今後実測によるチェックを行っていく必要である。

今後は、本研究で得られた乱流微細構造の性質の普遍性を、さまざまな乱流場（境界層乱流・噴流など）で確認していくとともに、乱流の大スケールにおける振舞との関連を調べていくことが重要である。

成果の活用に対する意見

風洞実験では、今回、水蒸気センサーと霧測定手法の開発に時間を要したが、開発された湿度計の評価や実測例を積み上げることにより、新たな成果がえら得ることが期待される。乱流の微細構造について他の数値計算・室内実験グループが達成した値に比べてきわめて大きなレイノルズ数での成果が得られており、今後の進展が期待される。また、結露量の実測と地表面熱収支解析から確認されたように、今後の研究の進展により地表面状態を指定すれば結露量予報が可能となると考えられる。

成果発表状況

- ・ 論文発表件数 14件
- ・ 口頭発表件数 25件

成果発表一覧

(論文)

- Xu, J. and S. Haginoya, 2001: An Estimation of Heat and Water Balances in the Tibetan Plateau. *J. Met. Soc. Japan*, **79**, 485-504.
- Takayabu, I., K. Takata, T. Yamazaki, K. Ueno, H. Yabuki, S. Haginoya, 2001: Comparison of the Four Land Surface Models Derived by a Common Forcing Data Prepared from GAME/Tibet POP'97 Products. — Snow Accumulation and Soil Freezing Processes —. *J. Met. Soc. Japan*, **79**, 535-554.
- Li G., T. Duan, S. Haginoya, L. Chen, 2001: Estimates of the bulk transfer coefficients and surface fluxes over the Tibetan Plateau using AWS data. *J. Met. Soc. Japan*, **79**, 625-535.
- 萩野谷成徳, 2002: 1次元線熱源を備えた温度測定装置を用いた土壌の熱伝導率観測, *天気*, **49**, 763-772
- Kinoshita, N., 2002: Fabrication of the thermocouple micro psychrometers by the bonding cellulose method. *Pap. Met. Geophys.*, **53**, 85-90.
- Kinoshita, N., 2003: Nonuniform distribution of high-frequency turbulence in the unstable boundary layer. *Boundary-Layer Meteor.*, **106**, 61-91.
- Kinoshita, N., 2004: Effect of a boundary layer leak slot for the improvement in the test section flow quality in an open return type meteorological wind tunnel, *Pap. Met. Geophys.*, (accept).
- Mouri, H., Hori, A., & Kawashima, Y. 2000: Vortex tubes in velocity fields of laboratory isotropic turbulence, *Physics Letters*, **A276**, 115-121.
- Mouri, H., and M. Takaoka, 2002: Wavelet analysis of vortex tubes in experimental turbulence. *Physical Review E*, **65**, 0273021-0273024.
- Mouri, H., Takaoka, M., A. Hori, and Y. Kawashima, 2002: Probability density function of turbulent velocity fluctuations. *Physical Review E*, **65**, 056304.
- Mouri, H., M. Takaoka, A. Hori and Y. Kawashima 2003: Probability density function of turbulent velocity

- fluctuation in a rough-wall boundary layer. *Physical Review E*, 68, 036311-1-036311-6.
- Mouri, H., A. Hori, and Y. Kawashima, 2003: Vortex tubes in velocity fields of laboratory isotropic turbulence: Dependence on the Reynolds number. *Physical Review E*, **67**, 016305.
- Hatano, Y., Kanda, Y., Udo, K., Takewaka, S., Ueki, R., Hatano, N., Mouri, H., Chiba, M., Kurihara, K., and Nishimura, H. 2004: A wind tunnel experiment of sand transport and its comparison with the Werner model., *J. Geophys. Research*, **109**, F01001.
- Mouri, H., Hori, A., & Kawashima, Y. 2004, *Physical Review E* : Vortex tubes in turbulence velocity fields at Reynolds numbers $Re = 300-1300$, (in press)
- (報告)
- Liu J., J. Yu, Y. Ding, and S. Haginoya, 2000: Characteristics of surface fluxes in western area of Tibetan Plateau. 第二次青藏高原大気科学試験理論研究進展 (三), 気象出版社, 196-203.
- 萩野谷成徳・門田 勤, 2003: 半乾燥地域における土壌水分量の測定, 8-19. 山中 勤 (編) 多様な地域における土壌水分モニタリングの実際. 電子モノグラフ No.1, 筑波大学陸域環境研究センター. (http://www.suiri.tsukuba.ac.jp/terc_em01/index.html)

(口頭発表) (学会等での発表)

- Haginoya, S., 2000: Study on the surface heat balance in the Tibetan Plateau-Precision of Bowen ratiomethod-, TIPEX and GAM/Tibet
- 萩野谷成徳, 2000: ボーエン比法による熱収支の推定精度. 日本気象学会2000年度秋季大会
- 木下宣幸, 2000: 熱電対マイクロ乾湿センサの試作. 日本気象学会2000年度秋季大会
- 木下宣幸, 堀晃浩, 2000: 熱線風速計を用いた霧粒計数の試み. 日本気象学会2000年度秋季大会
- 毛利英明・堀晃浩・川島儀英, 2000: 格子乱流の速度場内の渦管構造. 2000年流体力学会
- Haginoya, S., 2001: Seasonal and annual variation of heat balance in the western Tibet
- 毛利英明, 高岡正憲, 2001: 格子乱流の渦管構造のウエーブレット解析. 2001年日本流体力学会
- 萩野谷成徳, 2001: 西チベットの熱収支の季節変化と年々変動. 日本気象学会2001年秋季大会
- 木下宣幸, 堀 晃浩, 2001: LDVを用いた霧粒計数の試み. 日本気象学会2001年秋季大会
- 木下宣幸, 2001: 境界層内の水の相変化を考慮した風洞実験. 京都大学防災研究所研究集会「最新の風洞実験法に関する比較研究」
- 毛利英明, 堀 晃浩, 川島儀英, 2002: 乱流速度場内の渦管構造の実験的研究. 第51回理論応用力学講演会
- 毛利英明, 堀 晃浩, 川島儀英, 高岡正憲, 乱流速度場内の渦管構造の実験的検出. 京都大学数理解析研究所研究会「ラグランジュ描像での乱流解析とその可視化」
- 木下宣幸, 堀晃浩, 2002: 渦相関法を用いた水蒸気フラックスの風洞測定実験. 日本気象学会2002年度秋季大会
- 木下宣幸, 堀晃浩, 林孝明, 内山慎司, 2003: 3 cmスパン超音波風速計の風洞試験への適応性, 日本気象学会2003年秋季大会
- 木下宣幸, 堀晃浩, 2003: 応答速度の速い水蒸気センサを用いずに水蒸気乱流輸送量を渦相関で測定する方法について. 日本気象学会2003年秋季大会
- 木下宣幸, 堀晃浩, 山元浩行, 2004: 光ファイバーを用いた2波長赤外線湿度計の試作. 日本気象学会2004年秋季大会
- 萩野谷成徳, 2002: チベット高原の気候湿潤度. 日本気象学会2002年度春季大会
- 萩野谷成徳, 2003: チベット高原の気候湿潤度と地表面状態. 日本気象学会2003年度秋季大会
- 毛利英明, 2004: Vortex tubes in velocity fields of laboratory turbulence at microscale Reynolds numbers 400-1300. 京大数理解析研究所研究会「乱流の解剖-構造とはたらきの解明」
- 萩野谷成徳, 2004: 結露量の測定. 日本気象学会2004年度秋季大会

井上豊志郎：Meteosat-8による下層雲の解析と観測要素の対応．日本気象学会2004年度秋季大会
毛利英明，堀晃浩，川島儀英：高レイノルズ数の乱流速度場における渦管構造の実験的研究．2004年流体力学会
毛利英明，高岡正憲：エネルギー散逸率の大スケール変動．乱流現象と力学系的縮約研究会
Mouri, H., A. Hori and Y. Kawashima, Vortex tubes in velocity fields of laboratory turbulence at high Reynolds numbers. IUTAM Symposium on elementary vortices and coherent structure

局地環境気象に関する基礎的研究

研究期間：平成15年度～平成16年度

研究代表者：千葉 長（環境・応用気象研究部 第二研究室長）

研究担当者：千葉 長、栗田 進、山本 哲、清野直子、栗原和夫（環境・応用気象研究部）

研究の目的

関東平野程度のスケールを対象とした、局地前線や霧などの局地気象現象の発生、発達機構の解明や複雑地形表面上で吹く風の分布、変動特性の評価法について基礎的な研究を行う。同時に、近年特に大きく取り上げられるようになっている都市化に伴う気象変化に関連して、地表面に存在する構造物による熱的、力学的効果を明らかにする。

研究の方法

- ①局地気象現象の機構の解明
 - ・微量物質の大気拡散過程の数値モデル化
 - ・霧の発生、予測に関する観測と数値モデルによる再現実験
 - ・NHMによる局地前線の実験
- ②都市気象の基礎過程の解明
 - ・粗度模型による熱・運動量の鉛直輸送およびキャノピー構造の解明
 - ・風洞実験結果をLESモデルで再現する

研究の結果

①局地気象現象の機構の解明

Heガスにより浮力を与え一般風速を変化させた噴煙放出実験を行った。浮力の大きさによる噴煙の拡散状況の変化を捉えることはできなかった。噴火口周辺における乱流エネルギーの計測を行った。

NHMの乱流強度分布を解析し、風洞実験の結果と同様の分布をすることがわかった。

霧の観測を釧路空港近傍で2003年7月24日から8月3日まで行い、霧の発生事例について微物理特性や鉛直構造とその時間変化を捉えた

関東域で発達したシアーラインについてモデルの分解能による再現性の違いを調べた。シアーラインは低気圧の後面で発生し、局地的な大気汚染分布に影響を与えた。20km格子間隔の現業領域解析や気象研で実験を行った10km格子のRSMではシアーラインとして認められなかったが、2km格子のNHMでは明瞭に表現される。さらに、シアーラインや前線の発達と維持に関わる過程として境界層内の鉛直流と鉛直乱流混合に着目し、これらの局地現象がモデルで適切に再現されるかどうかを数値実験によって調べた。鉛直乱流混合の強さと大気下層の安定度の関係を整理し、どのような条件下でシアーラインの再現性が影響を受けるかを確認した。

②都市気象の基礎過程の解明

LESモデルで再現可能な条件を探るためによりシンプルなブロックの配置を取り、少数ブロックの作るキャノピー層内の構造と、これが作る境界層の全体構造を同時に測定した。また風洞実験において本来予想される対称性が一部の場所で崩れて測定される現象を防ぐために、LDVプローブを対称的な位置に付け替えて測定する方法を開発した。LESモデルを用い風洞のキャノピー実験の再現性を調べた。モデルではブロック間の回転流などは再現するものの、運動量フラックスは全く再現できていない。

今後に残された問題点

①局地気象現象の機構の解明

噴煙の火口での広がりや鉛直三宅島火山実験において高温高圧の水蒸気噴出を行うことにより噴煙自

体のシミュレーションを試みる必要がある。

シアーライン形成の重要な要因と考えられる、乱流鉛直輸送を表現するためには、大気境界層内の物理過程の改良が必要なのか、地表面条件の扱いを改善すべきなのかについて検討が必要である。

②都市気象の基礎過程の解明

LESモデルと風洞実験の不一致が空間分解能に起因している可能性があり、これに関する感度実験を行う必要がある。また、ヒートアイランドに関する問題が大きく取り上げられていることから、本研究の成果をもとにヒートアイランド現象の解明に結び付けていく必要がある。

以上を踏まえ17年度は新規にヒートアイランド現象に関する研究課題を設定することとなった。

成果の活用に対する意見

本研究により得られた結果を平成17年度以降のヒートアイランド現象に関する研究に生かすことが望ましい。特に「都市気象の基礎過程の解明」は、本来関係が深い課題である。得た結果をすぐにNHMに組込むのは難しいが、その実現へ向けた具体的道筋を探る必要がある。「微量物質の拡散過程の数値モデル化」と「(シアーラインや霧などの)局地現象の再現実験」の結果は、それぞれNHMの高度化と計算結果の検証に資するはずのものである。なお、これら成果を広く還元するためにはこれまでの観測及び実験結果を活用して論文を発表することが必要である。

成果発表状況

- ・論文発表件数 2件
- ・口頭発表件数 15件

成果発表一覧

(論文)

- Seino, N., H. Yoshikado, F. Kobayashi, J. Sato and Members of Tsukuba Area Precipitation Studies, 2003: Vertical Structure of Local Fronts Observed in Kanto, Japan. *J. Met. Soc. Japan*, **81**, 367-391.
- Seino, N., H. Sasaki, J. Sato and M. Chiba, 2004: High-resolution simulation of volcanic sulphur dioxide dispersion over the Miyake Island. *Atmospheric Environment*, **38**, 7073-7081.

(口頭発表)

- 山本 哲, 赤枝健治, 鈴木 修, 石元裕史, 中里真久, 2003: ミリ波レーダー・シーロメータ・視程計等による釧路の霧の同時観測, 日本気象学会2003年度春季大会
- 植松明久, 橋口浩之, 手柴充博, 平島弘一, 林泰一, 山本哲, 深尾昌一郎, 2003: ミリ波ドップラーレーダー・ドップラーソーダーによる釧路における霧の観測, 日本気象学会2003年度春季大会
- 山本 哲, 佐々木秀孝, 清野直子, 千葉 長, 2003: 1977年有珠山噴火および1707年富士山噴火の降下火砕物の数値シミュレーション, 地球惑星科学関連学会2003年合同大会
- A. Yamamoto, H. Sasaki, N. Seino, M. Chiba, 2003: NUMERICAL SIMULATION OF TEPHRA FALL DEPOSITION FROM MT. USU 1977 ERUPTION AND MT. FUJI 1707 ERUPTION. The 23rd International Union of Geodesy and Geophysics General Assembly
- N. Seino, A. Yamamoto, M. Chiba, 2003, NUMERICAL SIMULATION OF MESOSCALE CIRCULATIONS ASSOCIATED WITH THE DUST STORM IN THE TARIM BASIN. The 23rd International Union of Geodesy and Geophysics General Assembly
- A. Yamamoto, K. Akaeda, O. Suzuki, H. Ishimoto, M. Nakazato, 2003: FOG OBSERVATION USING MILLIMETER-WAVE RADAR AND OTHER INSTRUMENTS. The 23rd International Union of Geodesy and Geophysics General Assembly

- A. Uematsu, H. Hashiguchi, M. Teshiba, H. Tanaka, K. Hirashima, T. Hayashi, A. Yamamoto, S. Fukao, 2003: OBSERVATIONS OF FOGS WITH A MILLIMETER-WAVE DOPPLER RADAR AND A DOPPLER SODAR AT KUSHIRO. The 23rd International Union of Geodesy and Geophysics General Assembly
- A. Uematsu, H. Hashiguchi, M. Teshiba, H. Tanaka, K. Hirashima, T. Hayashi, A. Yamamoto, and S. Fukao, 2003: OBSERVATIONS OF FOGS WITH A MILLIMETER-WAVE DOPPLER RADAR AND A DOPPLER SODAR AT KUSHIRO. The 23rd International Union of Geodesy and Geophysics General Assembly
- A. Uematsu, H. Hashiguchi, M. Teshiba, K. Hirashima, T. Hayashi, A. Yamamoto, and S. Fukao, 2003: OBSERVATIONS OF FOGS, WITH A MILLIMETER-WAVE DOPPLER RADAR. 31st International Conference on Radar Meteorology
- 山本哲, 鈴木修, 赤枝健治, 中里真久, 石元裕史, 植松明久, 橋口浩之, ミリ波レーダーとシーロメータによる霧の微物理量のリモートセンシング. 日本気象学会2003年度秋季大会
- 山本哲, 佐々木秀孝, 清野直子, 千葉 長, 2003: 高解像度数値気象モデルに基づく1977年有珠山噴火降灰シミュレーション (2) 水平解像度 1 kmの数値気象モデルによる計算. 日本気象学会2003年度秋季大会
- 石元裕史, 山本 哲, 鈴木 修, 真野裕三, 霧画像を用いた消散係数と有効半径の推定. 日本気象学会2003年度秋季大会
- Kurita S. 2003: Effect of stability within sparse canopys on aerodynamic resistance in roughness sublayer obtained by wind tunnel experiment. IUGG Sapporo, Japan
- 栗田 進, 2004: 局在するブロックキャノピーとその周囲の風洞実験. 日本気象学会2004年度秋季大会
- 清野直子, 佐々木秀孝, 佐藤純次, 千葉 長, 2003: 三宅島における地上SO₂濃度の数値シミュレーション. 地球惑星科学関連学会2003年合同大会

(講演)

- 山本 哲, 2003: 1977年有珠山噴火および1707年富士山噴火の降下火砕物の数値シミュレーション. 第8回つくば火山学セミナー
- 清野直子, 佐々木秀孝, 佐藤純次, 千葉 長, 2003: 三宅島における地上SO₂濃度の数値シミュレーション. 日本風工学会 広域風環境研究会

地域気候系のモデル化に関する研究

研究期間：平成14年度～平成16年度

研究代表者：佐藤康雄¹⁾、栗原和夫²⁾（環境・応用気象研究部 第三研究室長）

研究担当者：栗原和夫²⁾、馬淵和雄、佐々木秀孝、高藪 出、小畑 淳、村崎万代、
山本 哲¹⁾、清野直子²⁾、三上正男（環境・応用気象研究部）、
増田真次（気象庁 気候・海洋気象部 海洋気象課 汚染分析センター）

研究の目的

本研究では、地域気候系の機構解明と将来予測のために必要な基礎的知見の獲得とモデル技術の開発のために、以下の目的に沿って研究を実施する。第1に陸面過程等の必要な物理過程を組み込んだ雲解像大気モデルをベースにした5kmメッシュ非静力学地域気候モデルを開発し、月・季節程度以上の時間スケールで連続積分可能なモデルを構築する。また同時にこれまでに開発された静力学地域気候モデルを使用して、地域気候、水循環等の様々な現象の機構解明を行うことと、その成果を雲解像大気モデルベースの非静力学地域気候モデル開発に役立てることが第2の目的である。また、陸面過程の一環として大気と陸上生態系間の二酸化炭素交換を時々刻々計算できるモデルを用いた大気中二酸化炭素濃度の年々変動の機構を解明することが第3の目的である。

研究の方法

陸面過程等の物理過程を組み込んだ、高分解能の非静力学地域気候モデルを開発する。このモデル、あるいは既に開発済みの静力学地域気候モデルを用いて、地球温暖化や地表面状態の変化に伴う地域の気候変化や水循環変動等の解明や予測の研究に下記の3つの副課題の下で取り組む。

- ①非静力学地域気候モデルの開発
- ②静力学地域気候モデルを用いた地域気候、水循環変動の解明に関する研究
- ③全球及び地域規模の二酸化炭素循環の解明に関する研究

研究の結果

①非静力学地域気候モデルの開発

5kmメッシュ非静力学地域気候モデルの開発のためには、まず短期予報用の雲解像非静力学大気モデルをベースとして、気候再現・予測のための長時間積分が可能であるモデルを開発しなければならない。このために、全球気候モデルなどから大規模場の情報を適切に取り込むことのできる側面境界条件を与える手法が重要である。これまで使用されてきた静力学地域気候モデルでは、気象研究所で開発されたスペクトル境界結合（SBC）とともにDavisの境界条件を併用してきた。本研究では、非静力学大気モデル用のスペクトル結合（SBC）法を開発して組み込むと同時に、Davisの境界条件を併用することにより、非静力学地域気候モデルのプロトタイプを作成し、長時間積分が安定に行われることを確認した。

非静力学地域気候モデルによる長時間積分の結果を検討し、現在気候がある程度の精度で再現できることを確認した。しかし、時間積分期間が1ヶ月を越えると予測場のバイアスが大きくなることが示された。これについては今後の改良が必要である。

②静力学地域気候モデルを用いた地域気候変化、水循環変動の解明に関する研究

気候モデルでは積雪などの陸面水文過程は重要な構成要素である。しかしこれまでに開発された静力学地域気候モデルでは陸面水文過程は簡単なものしか使われておらず、土壌水分量などの情報を得ることは出来なかった。このため、地表面温度、地中温度、土壌水分量、積雪量などを予測できる新しい陸

1) 平成14年度、2) 平成15年度～平成16年度

面水文過程を開発し、地域気候モデルに組み込んだ。

この新しい陸面水文過程を組み込んだ地域気候モデルにより、分解能を60kmとし、ユーラシア大陸東半分を領域として実施した現在気候に関する長時間積分の結果を解析した。チベット高原周辺では、南斜面に年間を通して積雪が存在し、氷河が形成され、またチベット高原の西部でも積雪が再現されるなど、モデルの結果は観測値とよく一致していることが示された。一方、熱帯地方では降水量が過大である欠点も明らかになった。これは境界条件を与える全球気候モデルの特性を引き継いでおり、全球気候モデルの改良が必要であることを確認した。さらに温暖化時における長時間積分の結果を用いて、温暖化によるユーラシア大陸東部における気候変化を解析した。ベンガル湾やインドシナ半島周辺で降雨が増加する一方、中国中部周辺で降雨が減少する傾向が見られた。

日本周辺においては、陸面水文過程を組み込んだ高分解能の日本域地域気候モデル（20kmメッシュ）の現在気候に関する長時間積分結果を解析し、降雨や気温が精度よく再現されることを示した。さらに、日本域地域気候モデルによる温暖化予測実験の解析を行った。その結果によれば、温暖化時には、日本域の夏季で、太平洋高気圧の周辺を流れる水蒸気のフラックスが増大し、その収束により西日本を中心に降雨が増加することがわかった。一方冬季には北陸を中心とする日本海側の地域で降雪量が減少することが明らかになった。気温については夏季の昇温よりも冬季の昇温の方が大きく、昇温の大きさの差は約1℃にもなることが示された。

③全球及び地域規模の二酸化炭素循環の解明に関する研究

二酸化炭素循環を解明するには、海洋と大気、陸面の植生と大気間の二酸化炭素の交換を精密に取り扱うモデルが必要である。この目的のために、これまで陸面植生モデルJSM-BAIMと、大気海洋二酸化炭素交換モデルを開発してきた。本研究では、以下のように、これらのモデルを改良し、二酸化炭素循環のための基礎的な技術を整備するとともに、これらによる長時間積分を実施し、二酸化炭素循環の解析を行った。

大気と陸面植生間の二酸化炭素循環を精密に解明するために、陸面植生モデルBAIMを組み込んだ地域気候モデル（JSM-BAIM）による東アジア域における長時間積分により、JSM-BAIMは二酸化炭素循環の年々変動をよく再現していること、また季節変動や年々変動と陸面植生活動との間に密接な関係があることを示した。さらにBAIMの高精度化を目指して、葉、根、腐植土層などの植生の各層に蓄積される炭素量を予測できるBAIM-Ver.2を開発した。

一方、二酸化炭素循環の総合的な解明と予測を目指して、大気海洋結合モデル（分解能T42）に大気・海洋二酸化炭素交換モデル、二酸化炭素の人為排出源データ、大気・陸域生態系二酸化炭素交換モデルを組み込んだ気候炭素循環モデルを開発した。この気候炭素循環モデルにより、産業革命以前の気候および大気中の二酸化炭素濃度をよい精度で再現できることを示した。さらに、産業革命以後から現代までの歴史再現実験を実施し、20世紀後半の大気二酸化炭素濃度の急増と全球平均気温約0.8度上昇に代表される温暖化が再現された。

気候炭素循環モデルを用いて、西暦2100年までの温暖化予測実験を行った。この実験では将来における二酸化炭素の人為排出源データを与えることにより、大気、陸面植生、海洋間の二酸化炭素交換を精密に計算しながら、大気中の二酸化炭素濃度を予測することが出来る。予測結果によれば、2100年には二酸化炭素濃度が約700ppmに達し、気温上昇は約1.5度となる結果を得た。

研究成果の要約

①非静力学地域気候モデルの開発

非静力学地域気候モデルによる長期時間積分のための境界条件を与える手法として、気象研究所で開発されたスペクトル境界結合（SBC）とDavisの境界条件を併用することが有効であることを確認した。この境界条件を組み込んだ、5kmメッシュの非静力学地域気候モデルのプロトタイプを作成して、長時間積分が安定に行われること、現在気候がある程度の精度で再現できることを確認した。

②静力学地域気候モデルを用いた地域気候変化、水循環変動の解明に関する研究

長期時間積分のための、地表面温度、地中温度、土壌水分量、積雪量などを予測できる新しい陸面水文過程を開発し、これを組み込んだ地域気候モデルを開発した。新しい陸面水文過程を組み込んだ地域気候モデル（60kmメッシュ）により、ユーラシア大陸東半分を領域として現在気候に関する長時間積分を実施し、チベット高原周辺の南斜面や西部の積雪など、観測値とよく一致した結果が得られることを示した。

また新しい陸面過程を組み込んだ高分解能の日本域地域気候モデル（20kmメッシュ）を開発し、現在気候に関して降雨や気温が精度よく再現されることを示した。さらに、温暖化予測実験の結果を解析して温暖化時の日本の気候変化を明らかにした。

③全球及び地域規模の二酸化炭素循環の解明に関する研究

大気と陸面植生間の二酸化炭素循環を解明するために開発された陸面植生モデルBAIMを組み込んだ地域気候モデル（JSM-BAIM）により、東アジア域の二酸化炭素循環の年々変動がよく再現されることを示した。またBAIMの高精度化を目指し、葉、根、腐植土層などの植生の各層に蓄積される炭素量を予測できるBAIM-Ver.2を開発した。

二酸化炭素循環の総合的な解明と予測のために、大気海洋結合モデル（分解能T42）に大気海洋二酸化炭素交換モデル、二酸化炭素の人為排出源データ、大気陸域生態系二酸化炭素交換モデルを組み込んだ気候炭素循環モデルを開発した。このモデルにより産業革命以前の気候および大気中二酸化炭素濃度がよく再現されること、産業革命以後から現代までの歴史再現実験により20世紀後半の大気中の二酸化炭素濃度の急増と全球平均気温約0.8度上昇に代表される温暖化が再現されることを示した。また、西暦2100年までの温暖化予測実験を行い、大気二酸化炭素濃度が約700ppmに達し、気温上昇は約1.5度となる結果を得た。

今後に残された問題点

2003年の冷夏及び2004年の暑夏、豪雨の頻発、台風の上陸数最多の記録などの異常気象と地球温暖化に対する社会的な関心はきわめて大きく、これに対して現在および将来の気候変動、水循環変動を明確にし、社会に情報を提供して行くことは、気象庁の気候研究にとって重要な責務となってきている。これらの社会的要請に答えるためには、本研究課題をさらに発展させる必要がある。

豪雨等の顕著現象に関する気候変化の解明と予測のためには、非静力学地域気候モデルの開発と高精度化が不可欠である。今回非静力学地域気候モデルの長期積分の可能性が明らかにされたが、さらにモデルを改良して現在気候の再現精度向上を目指す必要がある。さらに非静力学地域気候モデルに境界条件を与える静力学地域気候モデルについても、熱帯地方などを含めた再現精度の向上を図らねばならない。

二酸化炭素循環に関しては、これまで温暖化予測に用いられてきた大気中二酸化炭素濃度の変化シナリオが必ずしも精密な計算に基づいたものではないこと、また大気と海洋、大気と陸面植生との間の二酸化炭素交換量の情報が求められていることから、これらを表現できるモデルの開発は温暖化予測の高度化にとって重要である。個々の交換過程に関してはまだ多くの不確定要素があるが、これらについて可能な限り改良を進めるとともに、より精密な大気海洋結合モデルへの組み込みを行い、高精度のモデルの開発と予測を行う必要がある。

これらの研究は、各分野の協力があって初めて研究成果をあげることができる。このため地球温暖化に関する特別研究、共生プロジェクトその他の研究と連携を図りながら効率的に実施していく必要がある

成果の活用に対する意見

本研究の成果は、気象庁より「地球温暖化予測情報第6巻」として刊行される。国際的には、「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」が平成19年にまとめる予定の第4次報告書のための情報を提供した。この報告書を通じて、全世界の温暖化に対する各種政策決定に役立てられることが期待される。

また、日本の地球温暖化影響評価研究のための基礎データとするため、「気候統一シナリオ」第1版、第2版として「地球温暖化研究イニシャティブ」の「温暖化影響・リスク評価研究プログラム」に計算結

果を提供した。これにより温暖化が日本の環境、産業、健康等に及ぼす影響が、同一の気候変化のシナリオに基づいて統一的、総合的に研究されることになり、影響評価分野の研究の進展に役立つことが期待される。

この他、国土交通省水資源局、国土総合政策研究所、港湾空港技術研究所の要請によりデータ提供を行った。

地球温暖化に伴う気候変化に関する関心は高く、今後も政策決定者や一般への情報提供が求められると考えられる。より高精度のデータ提供のためには地域気候モデルの整備、特に高分解能の非静力学地域気候モデルの開発とその高精度化、および二酸化炭素循環研究のためのモデルの高精度化が不可欠である。また、提供するデータを広範囲の研究者が容易に利用できるような体制を整備することが望ましい。気象庁では一般への情報提供のために「地球温暖化予測情報」を公表しているが、数値情報提供に関する方策を具体的に検討する必要がある。

成果発表状況

- ・論文発表件数 7件
- ・口頭発表件数 42件

成果発表一覧

(論文)

- Mabuchi, K., Y. Sato and H. Kida, 2002: Verification of the Climatic Features of a Regional Climate Model with BAIM. *J. Met. Soc. Japan*, **80**, 621-644.
- Kurihara, K., 2003: Quasi-six-year fluctuation in summer surface air temperature in Japan. *J. Met. Soc. Japan*, **81**, 1289-1297.
- Takayabu, I., and S. Takehiro, 2003: Wave over-reflection and baroclinic instability of the Eady problem, *J. Atm. Sci.*, **60**, 2404-2412.
- Obata, A., and Y. Kitamura, 2003: Interannual variability of the sea-air exchange of CO₂ from 1961 to 1998 simulated with a global ocean circulation-biogeochemistry model. *J. Geophys. Res.*, **108** (C11), 3337, doi: 10.1029/2001JC001088.
- 小畑淳, 2004: 海洋化学物質循環モデルの現状, 気象庁測候時報, 第71巻特別号. S143-S148.
- Mabuchi, K., Y. Sato, and H. Kida, 2005a: Climatic impact of vegetation change in the Asian tropical region Part I: Case of the Northern hemisphere summer. *J. Climate*, **18**, 410-428.
- Mabuchi, K., Y. Sato, and H. Kida, 2005b: Climatic impact of vegetation change in the Asian tropical region Part II: Case of the Northern hemisphere winter and impact on the extratropical circulation. *J. Climate*, **18**, 429-446.

(報告) (他機関が作成する報告集への掲載、ただし口頭発表したものは除く)

(出版物) (論文以外のもの、本など)

(口頭発表) (学会等での発表)

- 馬淵和雄, 佐藤康雄, 木田秀次, 2002: アジア域熱帯植生の変動が気候に与える影響に関する数値実験
日本学術会議, IGBP/GAIM研究会・日本学術会議, IGBP/GAIM研究会講演予稿集
- 山本哲, 赤枝健治, 石元裕史, 2002: 釧路の霧の微物理量の統計的特徴. 日本気象学会2002年度春季大会
- 馬淵和雄, 佐藤康雄, 木田秀次, 2002: アジア域熱帯植生の変動が気候に与える影響に関する数値実験.
IGBP/GAIM通信, 24, 6.

- 馬淵和雄, 2002: 熱帯林の減少—気候への影響—. 環境ハンドブック, 76-479.
- 馬淵和雄, 佐藤康雄, 木田秀次, 2002: 地域気候モデル (JSM-BAIM) を用いた数値実験—1997年及び1998年の東アジアの気候—. 日本気象学会2002年度秋季大会
- 馬淵和雄, 佐藤康雄, 木田秀次, 2002: 地域気候モデル (JSM-BAIM) を用いた数値実験. 筑波大学科研費研究会
- 山本哲, 赤枝健治, 藤吉康志, 橋口浩之, 2002: 釧路における霧の特別観測 (KUMAFOX2002). 日本気象学会2002年度秋季大会
- 馬淵和雄, 2002: 地球のエネルギー収支と陸面植生. 京都大学理学研究科セミナー
- 馬淵和雄, 2002: JSM-BAIMを使った黄河領域の1997-98年の特徴. 総合地球環境学研究所
- 栗原和夫, 2003: 2002年のエルニーニョ現象の発生時期について. 日本気象学会2003年度春季大会, 講演予稿集, A306.
- 馬淵和雄, 佐藤康雄, 木田秀次, 2003: 地域気候モデル (JSM-BAIM) を用いた数値実験 (2) —1997年及び1998年の東アジアの気候と植生活動—. 日本気象学会2003年度春季大会, 講演予稿集, A301.
- 小畑淳, 行本誠史, 千葉長, 佐藤康雄, 2003: 気候—炭素循環結合モデルの開発. 日本気象学会2003年度春季大会, 講演予稿集, P447.
- 高藪出, 竹内真一, 2003: Eady解への過剰反射の適用について. 日本気象学会2003年度春季大会, 講演予稿集, B162.
- 高藪出, 竹内真一, 2003: Eadyの傾圧不安定問題への過剰反射の適用. 地球惑星科学関連学会2003年合同大会, J028-003.
- Sato, Y., K. Mabuchi, S. Kadokura, H. Kato, 2003: Simulations of East Asia summer monsoon climate in 1997 and 1998 using two regional climate models: MRI-JSM-BAIM and CRIEPI RegCM3. Conference on Regional Climate Modeling, Trieste, Italy.
- Kurihara, K., 2003: Mechanisms of El Nino events and their impacts on the Indian summer monsoon. IUGG, Abstracts of IUGG 2003 weekA, Sapporo, Japan, A130.
- Mabuchi, K., Y. Sato, and H. Kida, 2003: Numerical study of the impact of vegetation changes on climate in Asian tropical region. IUGG, Abstracts of IUGG 2003, Sapporo, Japan, B396.
- Sato, Y., K. Murazaki, H. Sasaki, S. Yukimoto, A. Noda, A. Takeuchi, and S. Kobayashi, 2003: Regional climate change projection over Japan in winter due to global warming using an MRI-CGCM1/regional climate model nesting system. IUGG, Abstracts of IUGG 2003, Sapporo, Japan, B440.
- Sasaki, H., 2003: Sensivity Experiments of the MRI-RCM to SST Resolutions. The 3rd workshop of regional climate model studies, APN.
- Mabuchi, K., Y. Sato, and H. Kida, 2003: Numerical study of the impact of vegetation changes on climate in Asian tropical region. Proceedings of International Conference on Earth System Modeling, 286.
- 馬淵和雄, 2003: 植生モデルBAIMを導入した地域気候モデルの降水再現性の検証, 筑波大学科研費研究会
- 馬淵和雄, 佐藤康雄, 木田秀次, 2003: 地域気候モデル (JSM-BAIM) を用いた数値実験 (3) —降水再現性に関する検証—. 2003年度秋季大会, 講演予稿集, B167.
- 高藪出, 加藤央之, 西澤慶一, 江守正多, 大楽浩司, 佐藤康雄, 佐々木秀孝, 栗原和夫, 2003: 領域気候モデルによる現在気候の再現性について. 日本気象学会2003年度秋季大会, 講演予稿集, B166.
- 馬淵和雄, 2003: 熱帯モンスーンアジアにおける降水変動が熱帯林の水循環・生態系に与える影響研究計画. 東京大学CREST研究会
- 馬淵和雄, 2003: 陸域生態系吸収・放出の近未来予測モデルの開発②. 環境省地球環境研究総合推進費平成14年度研究成果報告書 (I), 195-196.

- 佐藤康雄, 2004: 温暖化によって日本の気候はどのように変わるか. 気象庁・(財)日本気象協会, 気候講演会
- 小畑淳, 行本誠史, 千葉長, 佐藤康雄, 2004: 炭素循環を含む全球大気海洋結合大循環モデルによる温暖化予測. 2004年度日本海洋学会春季大会
- 小畑淳, 2004: 炭素循環気候モデルによる温暖化予測. 地球フロンティア研究システム地球温暖化予測研究ワークショップ発表要旨集
- 馬淵和雄, 2004: 植生モデルBAIMを導入した地域気候モデルの降水再現性の検証. 各種陸上生態系における炭素・水・熱フラックスの相互関係の微気象生態学的解析研究成果報告書, 47-48.
- Sato Y., H. Tsujino, S. Yukimoto, H. Sasaki, I. Takayabu, H. Ishizaki and A. Noda, 2004: Regional climate projection over Japan due to global warming using an MRI-CGCM2.2/ regional climate model system with projected SST by a high-resolution OGCM. Proceedings of the Symposium on Water Resource and Its Variability in Asia in the 21st Century, Tsukuba, Japan.
- Takayabu, I., H. Kato, K. Nishizawa, S. Emori, K. Dairaku, Y. Sato, H. Sasaki and K. Kurihara, 2004: Simulation of Asian climate by using regional climate models nested in global circulation models. Proceedings of the Symposium on Water Resource and Its Variability in Asia in the 21st Century, Tsukuba, Japan.
- Sato Y., H. Tsujino, S. Yukimoto, H. Sasaki, I. Takayabu and A. Noda, 2004: Regional climate projection over Japan due to global warming using an MRI-CGCM2.2/ regional climate model system with projected SST by a high-resolution OGCM. Proceedings of the International Conference on High-Impact Weather and Climate, Seoul, Korea.
- 村崎万代, Peter Hess, 2004: 地球温暖化は地表面オゾンにどのような影響を与えるのか?. 日本気象学会2004年度秋季大会, 講演予稿集, P111.
- 小畑淳, 行本誠史, 千葉長, 佐藤康雄, 2004: 炭素循環気候モデルによる温暖化予測. 日本気象学会2004年度春季大会, 講演予稿集, B413.
- 馬淵和雄, 木田秀次, 2004: 陸面植生モデルBAIM Ver.2 (BAIM2) とそれを組み込んだ地球気候モデルによる予備的数値実験. 日本気象学会2004年度秋季大会, 講演予稿集, B114
- 小畑淳, 2004: 地球温暖化における陸と海の炭素循環の役割. 日本気象学会2004年度秋季大会, 講演予稿集, B115.
- 馬淵和雄, 2004: 陸面植生モデルBAIM Ver.2 (BAIM2) とそれを導入した気候モデルによる予備的数値実験. 筑波大学科研費研究会
- Mabuchi, K., Y. Sato, and H. Kida, 2004: Climatic impact of vegetation change in the Asian tropical region, Extended abstracts of The 6th International Study. Conference on GEWEX in Asia and GAME.

ドップラーレーダーによる降水・風観測技術の高度化に関する研究

研究期間：平成14年度～平成16年度

研究代表者：高山陽三（気象衛星・観測システム研究部 第二研究室長）

研究担当者：高谷美正¹⁾、鈴木修¹⁾、中里真久²⁾、山内 洋、石部 勝²⁾（気象衛星・観測システム研究部）

研究の目的

気象ドップラーレーダーは、広い範囲を短時間に高分解能で観測でき、台風やメソ気象現象を的確に捉える測器として期待されている。しかし、観測機能では、一般レーダーに比べ探知範囲が狭い、精度の高い風の観測手法が確立されていない、一般レーダー同様降水観測精度が悪いという問題がある。これらの問題を解決しドップラーレーダーの風・降水観測の観測性能の向上を図ることを目的とする。

研究の方法

最近進歩してきたレーダー関連技術を取り入れることにより、ドップラースペクトル等従来利用していなかった観測パラメータを新たな推定要素として利用し、降水・風推定方法の精度向上を図る。レーダー反射強度やドップラースペクトル信号の性質、信号処理方法を詳細に調べ、ドップラーレーダーの探知範囲拡大と風観測技術の向上を図る。降水とレーダー観測の関係を調べ、レーダーによる降水観測の高精度化を図る。また1台の送信機で風観測が可能とされるバイスタティック方式の可能性について調べ、正確な風の観測ができる観測手段の開発を図る。このため以下の研究を行なう。

- ①ランダム位相信号方式を採用した領域拡大方法で、1パルス目と2パルス目の反射信号が重なる場合エコーが正しく検出されないという問題に対し、ドップラー信号の降水・地形エコーの性質を調べ、改善する手法を開発する。
- ②ドップラー速度から風を推定する方法として、従来のVVP法では推定精度が悪かった台風周辺の風の場合に対し、台風中心位置情報・移動速度を利用するよう推定方法の改良を行い、その風推定精度向上の検証を行う。
- ③レーダー装置と別に受信機を離れた場所に設置し、風ベクトルの異なる成分を測定することで風の場の推定が可能となるバイスタティック方式について、風を精度よく決定するための観測アルゴリズムを開発し、その観測精度の評価を理論的に行なう。
- ④レーダー観測と降雨の性質を明らかにするため、降雨粒径分布と落下速度の鉛直分布を測定する光学式降水粒子計とレーダー式降雨計を整備して観測を実施し、レーダー降雨強度と実降雨強度との差異の解析を行う。雹、霰や雨など降水の識別を行う方法を調べ、降水の観測精度の向上を図る。
- ⑤地形のエコー成分を除去するMTIフィルターの使用によりドップラー速度ゼロ付近の降水エコーが弱まるという問題を改善する手法を検討する。

研究の結果

- ①探知範囲が400kmある一般レーダーに比べドップラーレーダーはドップラー速度観測範囲50m/s程度を確保するために観測範囲を決める送信のパルス繰り返し周波数を一般レーダーの様に低くできず探知範囲が140km程度と狭かった。この探知範囲はランダム位相検出方法と異なる繰り返し周波数の2パルス信号を利用すれば拡大できることが知られていたが、1パルス目と2パルス目のエコー信号が重なり信号強度比が15dB以上ある場合弱いエコーが正しく検出できない問題が残っていた。この研究では、異なる3つ以上の送信パルス繰り返し周波数（マルチPRF）とランダム位相方式を併用して、改善する方法を開発した。その結果、観測範囲を2倍に拡大できた。

1) 平成14年度、2) 平成15年度～平成16年度

- ②一台のドップラーレーダー観測から風の様子を推定するため従来VVP法が広く用いられている。しかしこの方法は、台風のような回転の場では風の推定精度は悪くその改善を図る必要があった。台風周辺の風を推定するため、台風の中心位置・移動速度の情報を利用するように従来のVVP法を改良した。まだ一事例の解析であるがこの方法による風推定結果は中心から30km以内で5 m/sの誤差であった。従来のVVP法に比べ、台風周りの風の様子をよく再現できるようになったが、この手法は台風の非対称性による限界があると考えられるので、今後事例解析を増やしこの手法が適応できる場合など性能検証を行う必要がある。
- ③バイスタティック方式の研究では、ドップラー速度の測定誤差を考慮し、主送受信装置に対するバイスタティック受信機の配置地点による測風誤差を理論的に求める方法を開発した。これにより観測したい範囲を与えたときに、それに対し最適な受信機の配置を決めることができる。
- ④降雨とレーダー降雨観測の関係を調べるため、マイクロレインレーダーと降水粒子計を利用して降水粒子の粒径分布、落下速度、レーダー反射強度、降水量の観測を行った。レーダーによる降水量測定に関わる要素である大気鉛直風の推定を、マイクロレインレーダーと降水粒子計を利用して行う方法を開発した。この方法で推定した降水時の大気鉛直速度から、比較的一様性が期待できる層状性の雨において、実降水強度とレーダー降水強度の差が10分程度で100%以上開く場合があることがわかり、この原因は局所的な鉛直風が、落下速度のみならず降水粒径分布も変化させているためと推察された。観測データを解析した3事例で、この鉛直風で降水落下速度を補正することにより、レーダー観測雨量の相対誤差が130%から36%に改善された。レーダー降水観測には、降水粒径分布とともに、鉛直風を共に評価する手段の開発が必要であることがわかった。
- ⑤地形からのエコー成分を除去するため使用しているMTIフィルターによりドップラー速度ゼロ付近の降水エコーが弱まるという問題に対し、ドップラースペクトル信号の特性を調べ、複数の地形除去フィルターをあらかじめ準備しておき受信エコー信号の性質に応じて最適なフィルターの出力を使用する手法（選択的MTI）を考案した。この手法によりドップラー速度ゼロの領域でのエコー強度の低下を解消できるようになった。

研究成果の要約

- ①ドップラーレーダーの探知範囲を2倍化する場合に問題となっていた、異なる送信波のエコーが重なるため、降水信号が正しく検出されない問題を、異なる3つの送信パルス繰返し周波数とランダム位相方式を併用して解決し、観測範囲の2倍化を図った。
- ②台風周辺の風を推定するため、台風の中心位置・移動速度の情報を利用するように従来のVVP法を改良した。中心から30km以内で5 m/sの測風誤差の事例を得た。
- ③バイスタティック方式の研究では、ドップラー速度の測定誤差を考慮し、風を観測したい範囲を与えたときに、それに対する最適な受信機の配置を求める方法開発した。
- ④降雨粒子分布と降雨時の上下風の推定を、マイクロレインレーダーと粒子計を利用して行う方法を開発した。これを用いレーダー降水強度観測の改善を試みた。
- ⑤地形エコー成分を除去するMTIフィルターにより降水エコーが弱まる問題を、複数の地形除去フィルターを受信エコー信号の性質に応じて選択することにより解決を図った。

今後に残された問題点

解析方法、問題解決の方法をこの研究で明らかにすることができた。しかし事例解析が少なく、性能評価、利用の限界などについて今後事例を増やし明らかにする必要がある。

成果の活用に対する意見

現在ドップラーレーダー観測で一般に利用されているVVP手法では推定困難であった台風周りの風の推定ができる可能性が判り、この研究で開発したドップラーレーダーの探知範囲の拡大技術とともに上陸前洋上にある台風の監視に活用を図る。

安価な受信装置の追加により、ドップラーレーダー観測から拘束条件を利用することなく決定的な風の場を測定するバイスタティック方式の最適なシステム構築のための知見が得られ、バイスタティックシステム開発の基礎となる。

降水観測で得られた知見は、降雨の性質（降水量、粒径、落下速度等）を考慮したドップラーレーダーによる観測精度の向上に利用を図る。

この研究で得られた、地形エコー消去のためドップラー速度ゼロ付近で降水エコーが消える問題の解決手法の簡略版は、次期レーダー信号処理装置の選択的MTI機能として採用される予定。

成果発表状況

- ・論文発表件数 1件
- ・口頭発表件数 10件

成果発表一覧

(論文)

Takaya, Y., M. Nakazato, 2003: Anisotropic Error distributions in a Bistatic Doppler Radar System. *J. Atm. Oceanic Technol.*

(口頭発表)

赤枝健治, 山内洋, 2004: ランダム位相変調方式による1次・2次エコーの分離再現性能, 日本気象学会2004年度春季大会

山内洋, 赤枝健治, 2002: マルチPRF手法によるドップラーレーダーの探知範囲拡大, 日本気象学会2002年度春季大会

山内洋, 赤枝健治, 2002: 台風0115の高層風解析, 日本気象学会2002年度春季大会集

高谷美正, 中里真久, 2002: Bistatic Radarにおける速度の観測誤差評価, 複数の受信機を用いた場合, 日本気象学会2002年度秋季大会

H. Yamauchi, O. Suzuki, K. Akaeda, 2002: Asymmetry in Wind Field of Typhoon 0115 analyzed by Triple Doppler Radar Observation, Japan Science and Technology Corporation and Chinese Academy of Meteorological Sciences. Preprints, International Conference on Mesoscale Convective Systems and Heavy Rainfall in East Asia

Y. Takaya, M. Nakazato, 2002: Estimating errors in the velocities obtained by a multiple bistatic Doppler radar, Second European Conference on Radar Meteorology, ERAD Publication Series Vol.1

高山陽三, 佐々木政幸, 2003: マイクロレインレーダーによる降雨の観測. 日本気象学会2003年度春季大会

石部勝, 2003: 千葉・茨城県で突風災害をもたらしたストームの3次元構造の推移. 日本気象学会第1回天気予報研究会

高山陽三, 2004: 降水粒子計によるレーダー降雨観測の解析. 日本気象学会2004年度春季大会

気候変動に係わる大気化学組成の長期的変動とそのアジア大陸からの影響に関する研究

研究期間：平成12年度～平成16年度

研究代表者：松枝秀和（地球化学研究部 第一研究室長）

研究担当者：石井雅男、時枝隆之、廣瀬勝己、青山道夫、五十嵐康人、斉藤秀、吉川久幸¹⁾、根本和宏¹⁾、伏見克彦²⁾、廣田道夫³⁾、澤 庸介⁵⁾（地球化学研究部）、林 和彦⁴⁾、和田 晃⁵⁾（気象大学校）

研究の目的

将来の気候変動を導く大気微量化学成分の変動の研究は、長期的かつ地球規模の見地から、WMO/GAWやIGBP/IGACなどの国際的な協同研究課題として推進されている。特に、今後の気候変動にとって最も重要な東アジア地域における人類活動の増大に伴う陸域発生源の変化を評価し、今後の予測と対策を講じることが強く望まれている。気候変動に係わる温室効果気体やエアロゾルの動態は、1990年代に起こったピナツボ噴火やエル・ニーニョ現象に連動した様々な変化が観測されているが、依然としてその原因となる大陸上の発生・吸収源が十分解明されていない。特に、東アジア大陸の発生・吸収源は、今後の人類活動の増大によって大きく変化し、地球規模の大気化学組成に重大な影響を与えることが懸念されている。

本研究ではこれらの課題を解明するために、陸上の様々な自然及び人為的発生源から放出される微量気体組成の特徴を把握し、それらの発生源の変化が大気化学環境に与える影響を解明することを目的とした。また、西太平洋地域の酸性雨の広域化に関連したエアロゾルや降水などの化学成分組成の変動を観測し、東アジア大陸からの影響を解明することを目的とした。

研究の方法

西部北太平洋地域を中心とした大気微量化学成分組成の長期変動とその変動に係わるアジア大陸からの影響を研究するため、以下の3つのサブテーマを実施した。

①大気中の微量気体の立体的観測と解析

気象研究所構内の露場及び铁塔を利用して、二酸化炭素（CO₂）、メタン（CH₄）、一酸化炭素（CO）、オゾン（O₃）等の微量気体濃度を連続観測し、陸域の人為活動や自然生態系の様々な発生源が引き起こす大気中の化学組成変動の特徴を解明する。また、1993年から継続している日航財団との共同研究による定期航空機観測や気象庁のWMO/GAW観測所で長期に測定されている微量気体データについて、その時空間分布の変動を解析し、東アジア大陸起源の発生・吸収源の影響を受けた化学組成変動の特徴を把握し、その変動を導く輸送過程を明らかにする。

②エアロゾルと降水の化学成分組成の観測と解析

気象研究所構内の露場における降水やエアロゾルの微量化学成分を測定し、地上付近の化学成分の除去過程や降雨の酸性化を研究する。また、自由対流圏での動態については、富士山山頂におけるエアロゾルの採取・分析と平行して、CO及びO₃等の微量気体濃度の連続観測を実施し、それらの微量化学成分の相互関係を解析することによって、自由対流圏に対する東アジア大陸起源の人為汚染物質の長距離輸送過程並びに、下部成層圏からの化学成分の流入過程を評価する。

③大気微量化学成分の分析法の開発

上記の（1）及び（2）の研究をより効果的かつ効率的に実施するため、微量気体分析法の改良と開発を行う。

研究の結果

①大気中の微量気体の立体的観測と解析

1) 平成12年度～平成13年度、2) 平成12年度、3) 平成12年度～平成16年度、4) 平成12年度～平成13年度、5) 平成14年度～平成16年度

- (a) 気象研究所構内の露場及び鉄塔を利用して接地境界層内での微量気体濃度 (CO_2 、 CH_4 、 CO 、 H_2 、 O_3 等) の変動を連続観測した結果、接地逆転層が発達する際には顕著な日変動が地上付近の高度1.5mに現れることが認められた。鉄塔の高度200mの濃度変動と地表付近とを比較すると、多くの微量気体が夜間に接地境界層下部において蓄積する一方、大気の下混合が活発となる日中には境界層内の濃度がほぼ一樣になることがわかった。夜間に蓄積する微量気体の濃度変動を相互に比較することによって、陸域の人為汚染源と生態系からの自然発生源が引き起こす大気化学組成の違いを明瞭に把握することができた。筑波における接地境界層内での CO_2 や CO 濃度の変動は主に人為発生源の影響を強く受けている場合が多く認められた。これに対して、地表付近の H_2 濃度は夜間に高度200mよりも大きく低下する現象がしばしば見られたことから、土壌の生物分解が濃度変動を支配する重要な要因の一つであることがわかった。 O_3 の場合には、夜間に光化学生成が停止すると同時に地面との接触による分解のために、夜間の地表付近では濃度がほぼゼロに近い値となることが多く観測された。これら露場及び鉄塔を利用した観測の結果、陸上の地表付近で生じる大気微量気体の組成変動の特徴とその変動を支配する主要な要因を明らかにすることができた。
- (b) 1993年以来継続して実施している日本航空の定期旅客機を利用した長期間観測 (JAL観測) によって得られた CO_2 、 CO 及び CH_4 の過去10年以上にわたるデータを解析した結果、バックグラウンド・レベルの長期的増減傾向及び季節変動の特徴を把握することができた。高度約10kmの上空の CO_2 濃度は毎年上昇傾向を示し、その長期的増加は地上でも上空でもほぼ同じ傾向であったが、季節変動のパターンは上空と地上では異なることがわかった。平均的な季節変動パターンは緯度帯によって変化しており、地球規模での CO_2 発生・吸収源の地理的分布や上部対流圏への輸送過程を反映していることがわかってきた。一方、上空における CO 濃度は特に顕著な長期的増減傾向は見られなかったが、上空の季節変動に対して、熱帯の森林火災や焼畑などのバイオマス燃焼が大きな影響を及ぼしていることが判明した。バイオマス燃焼の影響はエル・ニーニョ現象と関連しており、その影響の程度は年によって大きく異なっていることが観測データから示された。

上空の CH_4 の濃度はこれまで系統的な観測データがなく、その時空間変動については極めて限られた知見しか得られていなかったが、今回のJAL観測データの解析によってそのバックグラウンド変動をほぼ把握することができた。 CH_4 濃度の長期的増減傾向としては1990年代後半まで緩やかな増加を示していたが、その後は濃度の上昇がほとんど停止する状況に変わったことが確認された。このような CH_4 の長期的トレンドの変化は地上観測所におけるデータの傾向とも一致しており、地球規模での CH_4 の発生・吸収源のバランスに変化が起きていることを示唆した。さらに、 CH_4 の観測データで興味深い特徴の一つとして、北半球の北緯30度から15度の西部北太平洋上空において、7、8、9月の夏期に濃度の変動が極めて大きいことが見出された。これは、季節変動よりも短い周期の CH_4 濃度の変動が夏期に頻発していることを反映している結果であった。同時に観測している CO との対応関係から、 CH_4/CO 組成比を検討した結果、 CH_4/CO 比が夏期に大きく上昇することがわかった。このことは、燃焼起源の CH_4 ではなく、還元環境下で生成する微生物起源の CH_4 の寄与を示すものであった。従って、アジア大陸の水田、家畜及び湿地帯から放出されるメタンが強い影響を与えているものと考えられた。3次元の輸送モデルの結果を検討してみると、夏期の上部対流圏には南アジアからの流入気塊が増大することが示されており、インドを中心とした南アジア地域からの影響を強く示唆するものであった。これらJAL観測による長期データの解析の結果、上空における微量気体の長期トレンド、季節変動並びに短周期の濃度変動の特徴とそれらを支配する要因が明らかとなった。

- (c) 気象庁が運営している3つのWMO/GAW観測所 (綾里、南鳥島、与那国島) で得られている微量気体 (CO_2 、 CH_4 、 CO 、 O_3) の連続観測データを解析した結果、大陸からの汚染気塊の流入の影響による短周期の顕著な濃度増加現象が明瞭に捉えられていることがわかった。特に、汚染気塊の流入現象は冬に多く発生しており、夏季にはその頻度が比較的少ないことが認められた。気象データを利用した流跡線解析及び、濃度上昇時における化学組成比の特徴を解析した結果、季節によって大陸の異なる発生源の影響を受けていることが判明した。冬期は主に中国大陸の人為的発生源の影響が卓越し

ていたのに対し、春から夏には東南アジアあるいはシベリア地域からの影響が増大することが判明した。特に、夏期には、南アジアや東南アジア地域における人類活動と同時に陸上生態系からの微量気体の発生・吸収が西部北太平洋に影響を及ぼしていることが示唆された。

② エロゾルと降水の化学成分組成の観測と解析

- (a) 2000年9月に富士山頂において集中観測を実施した。その結果、観測後半期にエロゾル中の硫酸イオン濃度が顕著に増加する現象が見出された。この時、富士山山頂では前線の停滞によって海洋性の気塊流入を受けており、三宅島の火山噴火による活発な二酸化硫黄ガスの放出の影響によることが示された。同様に、2001年7月における富士山頂のエロゾルの短期集中観測においても、三宅島噴火の影響を受けてエロゾル中の硫酸イオン濃度が急激に上昇する現象が観測された。同じ時期に観測された化学成分組成や気象データを用いた流跡線解析からも、硫酸エロゾルの増加が三宅島噴火の影響であることが確認された。
- (b) 2001年7月に富士山頂にハイボリュームサンプラーを設置し、通年を通じたエロゾル採取を開始した結果、下部成層圏大気に由来するエロゾル中の ^{7}Be の観測が可能となった。観測されたエロゾル中の ^{7}Be と O_3 変動を比較した結果、成層圏からの気塊の降下現象を反映した ^{7}Be と O_3 の増加が同時に生じる濃度変動を明瞭に捉えることができた。これら ^{7}Be と O_3 の正の相関関係から、対流圏 O_3 全体に占める成層圏由来の O_3 寄与を試算することが可能となった。
- (c) 富士山山頂におけるキャンペーン観測で得られたデータを利用し、大気寿命の短い二酸化硫黄の変動を解析した結果、 CO 濃度が大きく上昇するイベントと強い相関があることが認められた。そこで、富士山頂において2000年9月から2004年7月までの長期間にわたる CO 濃度の通年連続観測を実施した。観測データには、バックグランド大気の濃度を反映した明瞭な季節変動が捉えられていた。これは、ハワイのマウナロア山で観測された季節変動と良い一致を示した。一方、富士山の観測で最も興味深い特徴としては、数日から1週間程度の短い間隔で CO 濃度が顕著に増加する現象が見出された。 CO の濃度上昇はピーク時に400ppb近くまで達することもあり、予想を上回る大きな上昇が見られた。これら短周期の濃度増大の現象は、冬から春にかけて頻発していることがわかった。 CO の短周期変動は、同時に観測された CO_2 濃度の上昇と連動していた。この時の CO/CO_2 組成比を解析した結果、化石燃料起源の他に、森林火災などのバイオマス燃焼起源の CO が寄与している場合も認められた。また、トラジェクトリー解析の結果、中国の人為発生源の影響を受けた汚染気塊の他に、東南アジアやインドなどの南アジア方面の空気塊も長距離輸送されていることが示唆された。さらに、2003年5及び6月には CO の異常上昇が観測され、シベリアの森林火災の影響が富士山頂まで及んでいることを明瞭に捉えた。これらの観測データと解析結果に基づいて、3次元の全球輸送モデルを用いた地域別放出実験を実施し、東アジアの様々な地域の発生源の影響をほぼ定量的に評価することができた。これらの結果から、アジア大陸の様々な汚染地域から上昇した気塊が迅速に富士山山頂に輸送されていることが解明された。

③ 大気微量化学成分の分析法の開発

- (a) 露場及び鉄塔の微量気体連続観測システム対して、測定手法の改良を行い、長期に安定してデータが収集できる手法を確立した。特に、除湿システムの自動水分排出、測定装置のキャリアーガスの浄化及び、クロマトデータの処理条件などの改善に関して、微量気体の連続測定を実施しながら随時改良を施してきた。その結果、データの精度向上が計られ、データ収集の欠損率を大幅に改良することができた。これらの測定技術は、今後の気象庁の現業観測における長期観測に対して有効に活用されることが期待される。
- (b) 大気中ラドン濃度を連続して測定するために、測定装置の感度及び精度試験などを実施すると同時に、気象研究所構内の露場や鉄塔における1年以上の実用試験によって大気の変動を長期に安定して観測できる性能を有していることがわかった。特に、長期わたって良好なデータを取得するために

は、フィルター及び除湿剤の定期的交換が重要であることが示された。これらの試験を終えて、気象庁WMO/GAW観測所である南鳥島及び与那国島等において大気中ラドン濃度の変動の長期に観測できる技術が確立された。また、露場や鉄塔で観測されている他の微量気体の濃度変動と比較・解析した結果、ラドン測定が他の微量気体の輸送に係わる動態を理解する上で極めて有効な化学トレーサーであることが実証された。

- (c) 気象庁海洋観測船である凌風丸を利用した洋上の微量気体観測システムを構築するため、CO及びO₃観測装置を設置し、試験運用観測を実施した。
- (d) 気象研究所と気象庁で微量気体濃度観測のために使用している標準ガスの濃度スケールを維持するために、年2回の定期的な相互比較実験を実施した。また、これらの実験結果を含めて、気象庁の長期観測で使用された過去のCO₂濃度スケールの詳細な履歴調査を行うと同時に、CH₄の濃度スケールの妥当性を検証した。

研究成果の要約

気象研究所の露場や鉄塔に加え、航空機、山岳（富士山）、離島などのプラットフォームを利用することによって、西太平洋域の大気中の微量気体（二酸化炭素、一酸化炭素、メタン、オゾン、水素など）やエアロゾル中の化学成分の4次元的数据を取得することができた。これらのデータから、人類起源の汚染物質による大気環境の変動を明らかにして、その変動の要因について調査を行った。その結果、エル・ニーニョなどの大規模な気候変動に伴い大気微量成分が変化している他、東アジア起源の汚染物等の影響が広がっていることが明らかになった。これらの成果から、気候変動にとって最も重要な要因の一つである東アジア地域における人類活動の増大に伴う汚染物質の陸域発生源の変化を評価するための基礎資料が得られた。さらに、大気中ラドン等、新たに観測法を確立することができた。

今後に残された問題点

微量気体の観測データをさらに長期にわたって継続的に収集することによって、西太平洋全域の大気化学環境の変化とその影響の予測精度を向上させることが期待されることから、今後の観測継続の推進に当たっては、観測データの多方面での利用価値を高めていく努力が必要であろう。このためには、国連環境計画が主導するUNEP/ABC国際共同研究と密に連携して観測を進めることが不可欠である。一方、本研究で試験的に取り組んだ3次元の輸送モデルの進展とさらなる活用が、観測データの定量的な解析に今後必要となるであろう。

成果の活用に対する意見

本研究で得られた多くの観測データは、気象庁が運営するWMO/WDCGGのデータセンターを通じて世界に公表され、アジア大陸の発生・吸収源をモデルによって定量的に評価する研究や、衛星観測による微量気体観測の検証研究に対して、貴重な観測データを提供してきた。また、微量気体を高精度かつ長期に観測するために開発・改良された測定技術や、アジア大陸からの影響を評価するために確立された観測データの解析技術は、気象庁で実施されている環境気象業務の高度化に大いに活用されることが期待できる。

成果発表状況

- ・論文発表件数 16件
- ・口頭発表件数 45件

成果発表一覧

(論文)

Tsutsumi, Y., and H. Matsueda, 2000: Relationship of ozone and CO at the summit of Mt. Fuji (36.35°N,

- 138.73°E, 3776m above sea level) in summer 1997. *Atm. Environ.*, **34**, 553-561.
- Matsueda, H., H.Y. Inoue, I. Asanuma, M. Aoyama, and M. Ishii, 2000: Carbon monoxide and methane in surface seawater of the tropical Pacific Ocean. *In Dynamics and Characterization of Marine Organic Matter*, edited by N. Handa, E. Tanoue, and T. Hama, pp. 485-508.
- Inoue, H.Y., and H. Matsueda, 2001: Measurements of atmospheric CO₂ from a meteorological tower in Tsukuba, Japan. *Tellus*, **53B**, 205-219.
- Hayashi, K., Y. Igarashi, Y. Tsutsumi, Y. Dokiya, 2001: Aerosol and precipitation chemistry during the summer at the summit of Mt. Fuji, Japan (3776m a.s.l.). *Water, Air, and soil Pollution*, **130**, 1667-1672.
- Matsueda, H., H.Y. Inoue, and M. Ishii, 2002: Aircraft observation of carbon dioxide at 8-13 km altitude over the western Pacific from 1993 to 1999. *Tellus*, **54B**, 1-21.
- Taguchi, S., H. Matsueda, H.Y. Inoue, and Y. Sawa, 2002: Long-range transport of CO from tropical ground to upper troposphere: A case study in October 1997. *Tellus*, **54B**, 22-40.
- Dokiya, Y., T. Yoshikawa, T. Komada, I. Suzuki, A. Naemura, K. Hayashi, H. Naoe, Y. Sawa, T. Sekiyamama, Y. Igarashi, 2001: Atmospheric Chemistry at the Summit of Mt. Fuji: A Challenging Field for Analytical Chemists, *Analytical Sciences*, **17**, 809.
- Murakami, K., H. Yonekura, T. Yoshikawa, Y. Dokiya, K. Hayashi, Y. Sawa, Y. Igarashi, Y. Tsutsumi, 2002: Chemical Species in Aerosol at The Summit of Mt. Fuji During July 5-12, 1999. *J. Field Science*, **1**, 55-62.
- Matsueda, H., S. Taguchi, H.Y. Inoue, and M. Ishii, 2002: A large impact of tropical biomass burning on CO and CO₂ in the upper troposphere. *Science in China (Series C)*, **45**, 116-125.
- Duncan, B.N., I. Bey, M. Chin, L.J. Mickley, T.D. Fairlies, R.V. Martin, and H. Matsueda, 2003: Indonesian wildfires of 1997: Impact on tropospheric chemistry. *J. Geophys. Res.*, **108(D15)**, 4458, doi : 10.1029/2002JD003195.
- Hirota, M., K. Miyagawa, K. Yoshimatsu, K. Shibata, T. Nagai, T. Fujimoto, Y. Makino, O. Uchino, K. Akagi, H. Fast, 2003: Stratospheric ozone loss over Eureka in 1999/2000 observed with ECC ozonesondes, *J. Met. Soc. Japan*, **81**, 295-304.
- Naoe, H. J. Heizenberg, K. Okada, Y. Zaizen, K. Hayashi, T. Tateishi, Y. Igarashi, Y. Dokiya, K. Kinoshita, 2003: Composition and size distribution of submicrometer aerosol particles observed on Mt. Fuji in the volcanic plumes from Miyakejima, *Atm. Environ.*, **37**, 3047-3055.
- Sawa, Y., H. Matsueda, Y. Makino, H.Y. Inoue, S. Murayama, M. Hirota, Y. Tsutsumi, Y. Zaizen, M. Ikegami, and K. Okada, 2004: Aircraft observation of CO₂, CO, O₃ and H₂ over the North Pacific during the PACE-7 campaign. *Tellus*, **56B**, 2-20.
- Matsueda, H., Y. Sawa, A. Wada, H.Y. Inoue, K. Suda, Y. Hirano, K. Tsuboi, and S. Nishioka, 2004: Methane standard gases for atmospheric measurements at the MRI and JMA and intercomparison experiments. *Pap. Met. Geophys.*, **54**, 91-109.
- Igarashi, Y., Y. Sawa, K. Yoshioka, H. Matsueda, K. Fujii, and Y. Dokiya, 2004: Monitoring of the SO₂ concentration at the summit of Mt. Fuji and a comparison with other trace gases during winter. *J. Geophys Res.*, **109**, doi : 10.1029/2003JD004428.

(報告)

松枝秀和, 須田一人, 西岡佐喜子, 平野礼朗, 澤庸介, 坪井一寛, 堤之智, 神谷ひとみ, 根本和宏, 長井秀樹, 吉田雅司, 岩野園城, 山本治, 森下秀昭, 鎌田匡俊, 和田晃, 2004 : 気象庁及び気象研究所における二酸化炭素の長期観測に使用された標準ガスのスケールとその安定性の再評価に関する調査・研究. 気象研究所技術報告, 第45号, 1-64.

- 松枝秀和, 末永民樹, 2000: 地球温暖化と航空 (その1). 航空技術, No.541, 17-24.
- 松枝秀和, 末永民樹, 2000: 地球温暖化と航空 (その2). 航空技術, No.542, 35-42.
- 松枝秀和 2000. 定期航空機を用いた上部対流圏における微量気体分布の観測研究—1999年度堀内賞受賞記念講演—. 天気, 47, 767-775.
- 広瀬勝己, 2002: 続 身近な地球環境問題—酸性雨を考える—. (社) 日本化学会・酸性雨問題研究会
- 松枝秀和, 2004: 2002年度大気観測分析結果 (気象研究所), 10年間の観測の総括. 定期航空機による上層大気中の温室効果気体の観測プロジェクト報告書 (財団法人日航財団)
- 堤之智, 須田一人, 吉田雅司, 岩野園城, 山本治, 森下秀昭, 鎌田匡俊, 西岡佐喜子, 平野礼朗, 坪井一寛, 根本和宏, 神谷ひとみ, 長井秀樹, 松枝秀和, 澤庸介, 和田晃, 2003: 気象庁における二酸化炭素観測の基準となる標準ガスの維持—観測データの時間的な連続性の確保について—. 測候時報, 70, 217-236.
- Tsutsumi, Y., H. Matsueda, and Y. Makino, 2004: Consistency of the CO₂ primary standards in JMA. *WMO CO₂ Expert Meeting*, (in press).
- 松枝秀和, 2005: 2003年度大気観測分析結果 (気象研究所). 定期航空機による上層大気中の温室効果気体の観測プロジェクト報告書 (財団法人日航財団), (印刷中)

(口頭発表)

- 松枝秀和, 吉川久幸, 石井雅男, 田口彰一, 2000: 上部対流圏に対するバイオマス燃焼の影響. 日本気象学会2000年度春季大会
- 松枝秀和, 澤庸介, 井上久幸, 牧野行雄, 2000: 航空機によるCO₂とCOの連続測定の結果について. 2000年度日本地球化学会年会, 講演要旨集
- 林 和彦, 立石貴広, 五十嵐康人, 直江寛明, 澤 庸介, 関山 剛, 駒田 強, 鈴木一成, 吉川哲生, 苗村晶彦, 土器屋由紀子, 2001: 富士山頂における大気化学観測 —降水・エアロゾルの化学成分の変動要因. 日本気象学会2001年度春季大会
- H. Matsueda, H.Y. Inoue, M. Ishii, 2001: Aircraft observation of carbon dioxide at 8-13km altitude over the western Pacific from 1993 to 2001. 2001 Sixth International Carbon dioxide Conference
- H.Y. Inoue, H. Matsueda, M. Aoyama, Y. Igarashi, K. Nemoto, H. Sartorius, 2001: Measurements of atmospheric CO₂ and ⁸⁵Kr in Tsukuba, central Japan. 2001 Sixth International Carbon dioxide Conference
- 山本太基, 廣田道夫, 2001: 茨城県における大気メタン濃度について, 日本気象学会2001年度秋季大会
- 齋藤拓也, 河村公隆, 角皆 潤, T. Chen, 松枝秀和, B.J. Huebert, 中塚 武, 蒲生俊隆, 2001: 東アジア域における炭化水素の炭素安定同位体比の高度分布: ACE-Asia速報. 日本気象学会2001年度秋季大会
- 松枝秀和, 坪井一寛, 須田一人, 大友 猛, 2001: 大気中のメタン濃度測定のための標準ガスについて. 2001年度日本地球化学会第48回年会
- 松枝秀和, 2001: 航空機を利用した温暖化気体の観測. 日本航空50周年記念環境シンポジウム
- H. Matsueda, S. Taguchi, H.Y. Inoue, Y. Sawa, 2001: Upper tropospheric trace gases observed using an airliner and their interpretation using a global chemical transport model. Symposium on Atmospheric Composition Change -Toward the Integration of observation and Modeling-
- 五十嵐康人, 堤 之智, 澤 庸介, 直江寛明, 関山 剛, 時枝隆之, 岡田菊夫, 林 和彦, 立石貴広, 秋広道子, 塩水流洋樹, 木戸瑞佳, 米倉寛人, 村上健太郎, 吉川哲生, 駒田 強, 鈴木一成, 苗村晶彦, 阿部圭恵, 坂根基文, 下村紘子, 百武 剛, 藤川恭司, 土器屋由紀子, 2001: 富士山頂夏季大気化学観測1997-2001, 第12回大気化学シンポジウム
- 坂根基文, 鈴木一成, 畠山史郎, 五十嵐康人, 直江寛明, 土器屋由紀子, 2001: 富士山頂における夏季の過酸化水素濃度について. 第12回大気化学シンポジウム

- 阿部圭恵, 高橋 宙, 吉川哲生, 駒田 強, 鈴木一成, 土器屋由紀子, 五十嵐康人, 直江寛明, 2001: 富士山頂の春—夏の降水の化学成分について. 第12回大気化学シンポジウム
- 大森正雄, 伏見克彦, 松枝秀和, 2002: オゾンゾンデデータの解析による日本上空の対流圏オゾンの濃度変動. 日本気象学会2002年度春季大会
- 澤 庸介, 堤 之智, 松枝秀和, 関山 剛, 2002: 富士山頂における大気オゾンと一酸化炭素濃度観測, 2002年度日本地球化学学会年会
- 松枝秀和, 澤 庸介, 吉川久幸, 石井雅男, 2002: 定期航空観測による上部対流圏のメタン濃度の変動について. 2002年度日本地球化学学会年会
- 廣田道夫, 吉松和義, 池田友紀子, 永田和彦, 藤本敏文, 牧野行雄, 2002: 渦位から極渦の境界を求める方法について. 第25回極域気水圏シンポジウム
- 赤木 右, 五十嵐康人, 片山葉子, 土器屋由紀子, 2003: 富士山頂の大気化学観測. 文部科学省学研究費補助金特定領域研究「東アジアにおけるエアロゾルの大気環境インパクト」平成14年度研究発表会
- 鈴木一成, 吉川哲生, 駒田強, 苗村晶彦, 木戸瑞佳, 阿部圭恵, 尾近茂, 坂根基文, 下村紘子, 百武剛, 小倉紀雄, 土器屋由紀子, 林和彦, 直江寛明, 澤庸介, 関山剛, 五十嵐康人, 2002: 富士山頂におけるエアロゾル観測. 第11回環境化学討論会
- 阿部圭恵, 高橋宙, 鈴木一成, 駒田強, 吉川哲生, 土器屋由紀子, 林和彦, 直江寛明, 五十嵐康人, 自由対流圏化学観測プラットフォームとしての高所山岳の利用—富士山頂, ヒマラヤ, カラコロムの積雪試料について. 日本気象学会2002年度春季大会
- 坂根基文, 鈴木一成, 尾近 茂, 木戸瑞佳, 阿部圭恵, 下村紘子, 百武 剛, 吉川哲生, 駒田 強, 苗村晶彦, 佐々木健一, 土器屋由紀子, 高橋 宙, 畠山史郎, 林 和彦, 五十嵐康人, 直江寛明, 澤 庸介, 関山 剛, 富士山頂の大気中の過氧化物濃度、エアロゾル、微量気体濃度について—2001年の夏季集中観測を中心に—. 日本気象学会2002年度春季大会
- K. Watanabe, Y. Takebe, N. Sode, Y. Igarashi, H. Takahashi, W. Sawa, I. Suzuki, Y. Dokiya, Measurement of Fog and Rain Water Chemistry, Atmospheric O₃ and the Number Concentrations of Aerosol Particles at Mt. Fuji. 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ATMOSPHERIC SCIENCES AND APPLICATIONS TO AIR QUALITY
- T. Abe, H. Takahashi, Y. Igarashi, Y. Sawa, H. Naoe, I. Suzuki, Y. Dokiya, 2003: Snow Samples Obtained at High Mountains: A Candidate for Free Troposphere Index. 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ATMOSPHERIC SCIENCES AND APPLICATIONS TO AIR QUALITY
- M. Kido, S. Okon, I. Suzuki, H. Takahashi, Y. Igarashi, Y. Sawa, Y. Dokiya, K. Osada, 2003: Size-Separated Aerosol Chemistry and Water-Soluble Gases at the Summit of Mt. Fuji July 7-19, 2001, 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ATMOSPHERIC SCIENCES AND APPLICATIONS TO AIR QUALITY
- Y. Sawa, H. Matsueda, Y. Tsutsumi, Y. Igarashi, T. Sekiyama, S. Taguchi, 2003: A Large Variability of Carbon Monoxide in Winter Season at the Summit of Mt. Fuji, 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ATMOSPHERIC SCIENCES AND APPLICATIONS TO AIR QUALITY
- H. Matsueda, S. Taguchi, Y. Sawa, H. Y. Inoue, M. Ishii, A Large Impact of Biomass Burning in South East Asia on the Upper Tropospheric Environment, 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ATMOSPHERIC SCIENCES AND APPLICATIONS TO AIR QUALITY
- Y. Igarashi, Y. Sawa, H. Matsueda, K. Fujii, Y. Dokiya, 2003: Monitoring of SO₂ Concentration at the Summit of Mt. Fuji, 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ATMOSPHERIC SCIENCES AND APPLICATIONS TO AIR QUALITY
- H. Naoe, J. Heintzenberg, K. Okada, Y. Zaizen, K. Hayashi, T. Tateishi, Y. Igarashi, Y. Dokiya, K. Kinoshita, 2003: Composition and Side Distribution of Submicrometer Aerosol Particles Observed

in the Volcanic Plumes from Miyake-Jima. 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ATMOSPHERIC SCIENCES AND APPLICATIONS TO AIR QUALITY

- N. Kaneyasu, Y. Igarashi, C.H. Kang, H. Kumata, K. Fujiwara, 2003: Characteristics of Aerosol Transport over the Asia-Pacific Rim : Based on the Measurement at Chichi-Jima Island, Japan, the Summit of Mt. Fuji, Japan, and Mt. Harura, Korea, 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ATMOSPHERIC SCIENCES AND APPLICATIONS TO AIR QUALITY
- 津野宏, 五十嵐康人, 鈴木一成, 澤庸介, 高橋宙, 林和彦, 渡辺幸一, 赤木右, 土器屋由紀子, 2003 : 富士山大気化学観測グループ, 富士山山頂における大気化学観測: 自由対流圏により長期輸送されるエアロゾルのアプローチ. 地球惑星科学関連学会2003年合同大会
- Sawa, Y., H. Matsueda, S. Taguchi, Y. Tsutsumi, Y. Igarashi, T. Sekiyama, 2003: Long-range transport of enhanced carbon monoxide in winter season at the summit of Mt. Fuji, Goldschmidt 2003
- Matsueda, H., Y. Sawa, A. Wada, K. Tsuboi, K. Suda, Y. Tsutsumi, 2003: Impact of Asian emissions on the western North Pacific regions observed at JMA monitoring stations. Goldschmidt 2003
- 廣田道夫, 宮川幸治, 永田和彦, 柴田清孝, 永井智広, 藤本敏文, 牧野行雄, 内野修, H. Fast, 2003 : ECCオゾンゾンデで観測されたカナダ・ユーレカ基地上空における成層圏オゾンの減少について. 第26回極域気水圏シンポジウム
- 五十嵐康人, 澤庸介, 吉岡勝廣, 松枝秀和, 藤井憲治, 土器屋由紀子, 富士山頂におけるSO₂濃度, 第14回大気化学シンポジウム
- 土器屋由紀子, 赤木右, 片山葉子, 五十嵐康人, 富士山頂の大気化学観測2003年5月26日~6月13日, 土器屋由紀子, 赤木右, 片山葉子, 五十嵐康人, 2004 : 富士山頂の大気化学観測2003年5月26日~6月13日. 平成15年度特定領域「微粒子の環境影響」AIEシンポジウム
- 五十嵐康人, 2004 : 冬季における富士山頂のSO₂観測と他の微量気体との予備的比較: 通年観測のデータより. 平成15年度特定領域「微粒子の環境影響」AIEシンポジウム
- 五十嵐康人, 吉岡勝廣, 澤庸介, 小村和久, 高橋宙, 堤之智, 土器屋由紀子, 松枝秀和, 2004 : ⁷Beと²²²Rnを大気トレーサーとして利用した富士山頂での大気化学観測. 第5回環境放射能研究会
- Dokiya, Y., Y. Igarashi, Y. Sawa, H. Takahashi, N. Kaneyasu, K. Yoshioka, Y. Katayama, T. Akagi, Atmospheric chemistry observation at the summit of Mt. Fuji: A proposal for a permanent ground base platform of free troposphere. IGOSに関する世界会議, 平成16年5月
- 和田晃, 澤庸介, 松枝秀和, 堤之智, 村山昌平, 2004: 南鳥島に出現する顕著なCO₂濃度低下現象について. 日本気象学会2004年度春季大会
- 町田敏暢, 松枝秀和, 石川和敏, 友澤勝, 菅原寿, 中澤高清, 末永民樹, 2004 : 民間航空機を使った大気中温室効果気体の定期観測計画. 第10回大気化学討論会
- 松枝秀和, 澤庸介, 和田晃, 2004 : 上部対流圏におけるメタン濃度の分布と変動について. 第10回大気化学討論会
- 和田晃, 澤庸介, 松枝秀和, 堤之智, 村山昌平, 2004 : 南鳥島に出現する顕著なCO₂濃度低下現象とその要因. 第10回大気化学討論会
- Matsueda, H., A. Wada, Y. Sawa, H.Y. Inoue, 2004: A long-term record of methane in the upper troposphere over the western Pacific from 1993 to 2004. 8th International Global Atmospheric Chemistry (IGAC) Conference
- Wada, A., H. Matsueda, Y. Sawa, Y. Tsutsumi, S. Murayama, 2004: Extremely low CO₂ observed at Marcus Island in the western North Pacific. 8th International Global Atmospheric Chemistry (IGAC) Conference

ウィンドプロファイラと非静力学モデル等によるメソスケール現象の研究

研究期間：平成14年度～平成16年度

研究代表者：川上正志¹⁾、市川 寿²⁾、中村直治³⁾（東京管区気象台 気候・調査課）

研究担当者等：藤部文昭（予報研究部）、東京管区気象台、新潟地方気象台、名古屋地方気象台

研究の目的

短時間強雨は大きな災害をもたらす、警報業務にとって重要な気象現象である。このことから、非静力学モデルを用いた数値実験やウィンドプロファイラ等で観測される短時間強雨のメカニズムに関する知見を得て、地域特有の現象を時間的・空間的視点に立って調査する。また、現業モデルに近い将来非静力学モデルに移行する予定であることから、各スケールおよび地域や現象に応じたモデルの特徴を把握して整理する。これらにより、防災情報の高度化を目指す。

研究の方法

短時間強雨等が発生した場合や過去の顕著現象の事例について、これまで得た知見をもとに従来から使用されてきた観測データによる解析を行うと同時に、近年得られるようになったウィンドプロファイラ等の観測データの解析結果と非静力学モデルの実行結果を使って、現象の総合的な解析を行う。これらの解析結果から、現象の時間的・空間的構造を概念モデルとしてとりまとめる。この過程で得られた概念モデルや非静力学モデルの特性、観測データの利用方法を予報現場でも容易に参照できる形態にとりまとめる。

研究の結果

東京では、「作図作業の迅速化・効率化」と「メソ現象の3次元的可視化」を目的として、10分毎に得られるレーダー、ウィンドプロファイラ、アメダスや1時間毎に得られる地上気象観測の各データを任意の組合せでプロットできるWebアプリケーション「かさねーる3D」を作成し、気象庁イントラHP内で公開した。「かさねーる3D」は、平成15年12月の公開以降、各種調査業務において広く利用され、本研究においても現象の立体構造解析や作図作業に活用されている。また、災害発生時の解説資料作成時には資料作成の迅速化に大きく貢献している。

新潟では、平成16年7月新潟・福島豪雨をはじめとする梅雨前線近傍での大雨事例を対象にして、現象の振る舞いや構造について解析を行った。解析を行った事例は、線状エコーの発生により大雨がもたらされたという特徴が共通しており、線状エコー発生時の特徴を総観場解析、メソ解析、ウィンドプロファイラ解析などから把握した。また、NHMによる再現実験を行い、線状エコーが維持された要因について考察した。以上の結果から、梅雨前線近傍に発生する線状エコーの概念モデルを作成するとともに、現業で利用しているワークシートに今回の研究で得られた知見を追加し、より精度の高い資料とした。

名古屋では、東海豪雨をはじめとして愛知県に大雨をもたらす線状エコーを対象に事例解析を行い、現象の構造や振る舞いについて特徴を調査した。調査事例は、ここ数年に大雨をもたらした南北走向の線状エコーと北東－南西走向の線状エコーの2つのタイプを対象とし、総観場解析、メソ解析、ウィンドプロファイラ解析などから線状エコー発生時の類似点、相違点などの知見を得ることができた。また、NHMによる再現実験からも現象構造の把握を行い、これらの結果から線状エコーの概念モデルを作成した。また、得られた知見を基に線状エコー形成のワークシートを作成し、予警報業務で利用できる形態とした。

さらに、新潟・名古屋では多重ネスティングによるNHMを用いた再現実験から、より高解像度のモデルが現象をより詳細に再現できることを明らかにした。

1) 平成14年度、2) 平成15年度、3) 平成16年度

研究成果の要約

レーダー、ウィンドプロファイラ、アメダス等のデータを同時にプロットできるWebアプリケーション「かさねーる3D」を作成した。平成16年7月新潟・福島豪雨や「東海豪雨」をはじめとする大雨事例を対象にして、ウィンドプロファイラその他の資料から総観場や線状エコーの特徴を解析するとともにNHMによる再現実験を行い、豪雨をもたらす線状エコーの概念モデルを作成してワークシート化した。

今後に残された問題点

本研究で得られた知見は今後の予警報業務に大きく寄与するものと考えられるが、ウィンドプロファイラの利用については水平分解能が低いため、その時間分解能と鉛直分解能の高さという特性を十分生かし切れていない面もある。現在は一般レーダーのドップラー化も行われようとしており、今後はこうした新たなデータや数値予報結果の活用方法を検討しつつ、多種多様なメソスケール現象の解析を蓄積していくことによって、その実態把握や実況監視の改善方策を見出していく必要がある。

成果の活用に対する意見

成果を活用するためには、上記の問題点を解決し、多数の事例について、ウィンドプロファイラだけでなく、様々な観測データとモデルの予測結果などを総合的に解析していくことが重要である。ほかの管区・地域での同様な解析との比較検討を行い、共通点と違いを明確にしていくことも必要である。

成果発表状況

- ・論文発表件数 なし
- ・口頭発表件数 38件

成果発表一覧

(口頭発表)

- 平原洋一，ネスティング版NHMによる降水の統計的調査．東京都調査研究会，東京管区調査研究会誌，平成14年12月
- 柴田のり子，東京で夜間に発達した雷雨の発生と発達のメカニズムについて．東京都調査研究会，東京管区調査研究会誌，平成14年12月
- 柴田のり子，東京で夜間に発達した雷雨の発生と発達のメカニズムについて．関東甲信地区調査研究会，東京管区調査研究会誌，平成15年1月
- 横井貴子，群馬県南部で夜間に発達した雷雨について．東京都調査研究会，東京管区調査研究会誌，平成14年12月
- 川上正志，関東の熱雷において最初に雷雲が発生するメカニズムの考察．東京都調査研究会，東京管区調査研究会誌，平成14年12月
- 大久保篤，日射の違いによる気温差がトリガーになって発生したと考えられる雷雲．東京都調査研究会，東京管区調査研究会誌，平成14年12月
- 大久保篤，日射の違いによる気温差がトリガーになって発生したと考えられる雷雲．関東甲信地区調査研究会，東京管区調査研究会誌，平成15年1月
- 小泉友延，夜間に群馬県で発達した雷雲の発生から消滅まで．東京都調査研究会，東京管区調査研究会誌，平成14年12月
- 中村真也，上空寒気の流入に伴う雷雲の発達．東京都調査研究会，東京管区調査研究会誌，平成14年12月
- 石橋俊之，WPRとNHMを用いた事例解析．新潟県調査研究会，東京管区調査研究会誌，平成14年12月
- 石橋俊之，WPRとNHMを用いた事例解析．北陸地区調査研究会，東京管区調査研究会誌，平成15年1月

- 丸山俊朗, 斎藤寿秋, 土田覚, 足達晋平, 2002年7月17日の突風事例調査その1. 新潟県調査研究会, 東京管区調査研究会誌, 平成14年12月
- 丸山俊朗, 斎藤寿秋, 土田覚, 足達晋平, 2002年7月17日の突風事例調査その1. 北陸地区調査研究会, 東京管区調査研究会誌, 平成15年1月
- 丸山俊朗, 斎藤寿秋, 土田覚, 足達晋平, 2002年7月17日の突風事例調査その2. 新潟県調査研究会, 東京管区調査研究会誌, 平成14年12月
- 中村直治, 森岩聰, 非静力学モデルによる再現実験-2002年1月21日に発生した線状エコー-. 愛知県調査研究会, 東京管区調査研究会誌, 平成14年12月
- 中村直治, 森岩聰, 非静力学モデルによる再現実験. 東海地区調査研究会, 東京管区調査研究会誌, 平成15年1月
- 中村直治, 森岩聰, 鈴木徹, 中嶋隆, 非静力学モデルによる再現実験-2002年1月21日に発生した線状エコー-. 日本気象学会中部支部, 平成14年度気象学会中部支部・長野地方気象台合同研究会要旨集, 平成14年11月
- 渡辺真二, 森岩聰, 寺澤等, 川本直樹, 線状に組織化される降水システムについて. 愛知県調査研究会, 東京管区調査研究会誌, 平成14年12月
- 渡辺真二, 森岩聰, 寺澤等, 川本直樹, 線状に組織化される降水システムについて. 東海地区調査研究会, 東京管区調査研究会誌, 平成15年1月
- 平原洋一, 柴田のり子, 市川寿, 宮城仁史, 気象観測データ統合描画Webアプリケーションの開発. 東京都調査研究会, 東京管区調査研究会誌, 平成15年12月
- 市川寿, 2003年7月3日の静岡県の大雨について. 東京都調査研究会, 東京管区調査研究会誌, 平成15年12月
- 小泉正之, 川端昇, 佐藤和典, 足達晋平, 上越地方の短時間強雨. 新潟県調査研究会, 東京管区調査研究会誌, 平成15年12月
- 中村直治, 森岩聰, 2002年6月14日の線状エコー発生時の特徴(その1) - 事例解析 -, 愛知県調査研究会, 東京管区調査研究会誌, 平成15年12月
- 中村直治, 2002年6月14日の線状エコー発生時の特徴(その2) - 非静力学モデルによる再現実験 -. 愛知県調査研究会, 東京管区調査研究会誌, 平成15年12月
- 中村直治, 森岩聰, 2002年6月14日の線状エコー発生時の特徴, 東海地区調査研究会, 東京管区調査研究会誌, 平成16年1月
- 中村直治, 森岩聰, 線状エコー発生時の特徴-2002年6月14日に発生した線状エコー-. 日本気象学会中部支部, 平成15年度気象学会中部支部研究会講演要旨集, 平成15年11月
- 梶野芳樹, 山本暁子, 中村直治, 岡田京, 森岩聰, 非静力学モデルを用いた再現実験-2003年7月3日~4日の事例-. 愛知県調査研究会, 東京管区調査研究会誌, 平成15年12月
- 河野耕平, 柴田のり子, 中村直治, 宮城仁史, 気象観測データ統合描画Webアプリケーション「かさねる3D」の機能拡充. 東京都調査研究会, 東京管区調査研究会誌, 平成16年12月
- 小泉正之, 伊藤肇, 川端昇, 石川治美, 平成16年7月新潟, 福島豪雨、環境の場からみた特徴. 新潟県調査研究会, 東京管区調査研究会誌, 平成16年12月
- 伊藤肇, 川端昇, 小泉正之, 非静力学モデルで見た平成16年7月新潟, 福島豪雨. 新潟県調査研究会, 東京管区調査研究会誌, 平成16年12月
- 伊藤肇, 川端昇, 小泉正之, 非静力学モデルで見た平成16年7月新潟, 福島豪雨. 北陸地区調査研究会, 東京管区調査研究会誌, 平成17年1月
- 町田俊宏, 木下信好, 川崎斉彦, 岡田京, 高柳伸野, 前兆現象の把握を重視した解析手法に関する調査について—南北走向の線状エコーがもたらす大雨事例—. 愛知県調査研究会, 東京管区調査研究会誌, 平成16年12月

- 木下信好, 町田俊宏, 川崎斉彦, 岡田京, 高柳伸野, 前兆現象の把握を重視した解析手法に関する調査について—南北走向の線状エコーがもたらす大雨事例—. 東海地区調査研究会, 東京管区調査研究会誌, 平成17年1月
- 川崎斉彦, 辻川才太, 中村健二, 木下信好, 棚瀬由勝, 窪田邦晃, 山本浩之, 2004年7月10日に愛知県一宮市で発生した短時間強雨について(その1). 愛知県調査研究会, 東京管区調査研究会誌, 平成16年12月
- 中村健二, 辻川才太, 川崎斉彦, 木下信好, 棚瀬由勝, 窪田邦晃, 山本浩之, 2004年7月10日に愛知県一宮市で発生した短時間強雨について(その2)—NHM再現実験—. 愛知県調査研究会, 東京管区調査研究会誌, 平成16年12月
- 窪田邦晃, 辻川才太, 中村健二, 川崎斉彦, 木下信好, 棚瀬由勝, 山本浩之, 2004年7月10日に愛知県一宮市で発生した短時間強雨について—事例解析及びNHM再現実験—. 東海地区調査研究会, 東京管区調査研究会誌, 平成17年1月
- 梶野芳樹, 中村健二, 寺澤等, 宮地順三, 鈴木章祥, 本田彰, 森岩聰, 2001年6月19日の線状エコー発生時の特徴について—非静力学モデルによる水平分解能別再現実験—. 愛知県調査研究会, 東京管区調査研究会誌, 平成16年12月
- 辻川才太, 川崎斉彦, 中村健二, 木下信好, 棚瀬由勝, 窪田邦晃, 山本浩之, 2004年7月10日に愛知県一宮市で発生した短時間強雨について. 日本気象学会中部支部, 平成16年度気象学会中部支部研究会講演要旨集, 平成16年11月

顕著現象の監視・解析技術の高度化に関する研究

研究期間：平成15年度～平成16年度

研究代表者：熊原義正（大阪管区気象台 気候・調査課）

研究担当者等：瀬古弘（予報研究部）、大阪管区気象台、管内各地方気象台（航空を除く）、
神戸海洋気象台、舞鶴海洋気象台

研究の目的

災害をもたらす大雨のメソ現象の三次元構造とその推移を把握し、現象の発生・発達・衰弱を予測する際の着目点を見出すことを目的とする。

そのために、大雨事例についての観測データやNHMによる数値実験結果に加え、新たな資料としてGPSから推定される水蒸気量を用いた解析を行い、既存の観測システムのデータによる予測着目点の抽出を進める。そこから得られた知見の共有・活用方策としてデータベース化を進める。

地方官署における予報担当者の重要な役割は、災害をもたらすメソ現象等の推移を的確に把握し、地方自治体を初めとする防災機関に対し適時適切な防災情報を提供することである。それには、現象の構造を理解し、発生・発達・衰弱を予測する際の着目点を見出し、現象の特徴と着眼点についての知見を系統的に蓄積し、現業での効率的な予測・監視を行うための共有・活用化の方策が必要となる。

研究の方法

①メソ現象等のメカニズムの理解と解析手法の整理

シヤールラインの存在・移動、収束発散域の分布状況、気温急変化域等の前駆現象の定性的・量的特徴を既存の観測システムのデータ、GPSから推定される水蒸気量、モデル実験の結果等から理解する。また、解析手法の知見を整理する。

②顕著現象のライフステージ・スケール別整理

これまで蓄積された予報作成技術や新たに行う事例調査を基に、大雨のライフステージとスケールに注目して、成因の考察や解析上の着目点を一覧表に整理する。

③まとめ

顕著現象の気象学的な考察と解析手法の知見について、共有し、簡単に参照できるように整理し、データベース化への検討を行う。

研究成果を大阪管区気象台特別調査報告第19号として刊行する。

研究の結果

①メソ現象等のメカニズムの理解と解析手法の整理

大阪管区、地方気象台、海洋気象台では、既存の観測データ、数値モデルの実験結果等のデータにより、それぞれ数例の顕著な大雨を対象として解析し、現象の特徴と着目点を整理した。

管区観測課では、水平2.5km格子、鉛直19層のレーダーデータを10分間隔に作成し、さらに降水の3次元構造を見るための可視化ソフトを解析ツールとして開発した。

解析結果からは、短時間強雨の発生時には下層の収束の強まりや温度傾度が大きくなるという特徴がみられた。寒冷前線の事例では、移動してきたエコーが収束線上で発達していた。また、寒冷渦の事例では強雨の発生10～30分前に、冷氣外出流と思われる気温急下降がみられた。

非静力学モデルの再現実験からは、大雨最盛期には上層に低相当温位乾燥域が存在するということやライン状の強雨域に対応する収束域がみられることが多く、降水帯成因の考察に利用できる場合があることがわかった。

大阪・広島・高松では、気象研究所から提供されたGPS可降水量データを用いて、総観スケールの現象と空間・時間的に小さなスケールの熱雷等について、GPS可降水量データと強雨域や降水量との対応

を調べた。その際、総観スケールの現象に対しては3時間毎のGPS可降水量を、小さなスケールの現象に対しては5分毎のGPS可降水量を用いた。

管区気候・調査課では、GPS可降水量データを効率よく利用するために、GPS可降水量データを簡単に表示できるプログラムを開発した。

総観スケールの現象による雨と3時間GPS可降水量との対応では、3時間GPS可降水量の絶対値の分布が強雨域の移動に先行していることが示された。さらに、総観スケールの現象の降水量との関係については、3時間GPS可降水量やその変化量と明瞭な対応が見られなかったが、3時間GPS可降水量の絶対値がある基準（45～50mm程度）を超える場合には、まとまった降水になる事例があった。

夏季の熱雷と5分間GPS可降水量との対応では、1時間に50mm以上の強雨発生日では、活発な水蒸気の輸送を示すと思われる午前中の急激なGPS可降水量の増加がみられた。また、強雨域の近傍のGPS観測地点では、総観規模の降水と同様に降水のピークの1～2時間前にGPS可降水量の変化量のピークが現れるという変化の他に、さらに変化量のピークの1～2時間前に、一旦、変化量が減少した事例があった。

② 顕著現象のライフステージ・スケール別整理

・調査表作成

各解析事例について、観測データや非静力学モデルの再現実験結果を用いて、ライフステージ（発生期・発達期・最盛期・衰弱期）毎の総観場場の状況とその着目点、メソ的状況やその仕組みに関する着目点を調べた。それをもとに調査表を作成して、着目点やその利用法を統一した形式で整理した。この調査表からは、現象が発生～発達～衰弱する間に現れる特徴とそれを監視するツールをどのように利用するか容易に読み取れる。

多くの事例で、現象が発達から最盛期となる過程において、アメダス風・気温による収束線の位置、気温分布の変化、風解析・ウィンドプロファイラーによる収束の強まり等の観測データの監視が有効な方法とされた。

例えば、平成15年4月8日に大阪府で発生した寒冷前線南下時の大雨の場合、調査表には次のように現象の特徴と着目点をまとめた。

(現象の特徴)

現象に先立って京都府中部から兵庫県南東部に延びる収束線が現れる。紀淡海峡付近では南風が強まり、大阪湾付近でエコーが発生・発達しながら内陸部に侵入する。

(着目点)

収束線が明瞭化する過程では、アメダス気温・風、下層風解析、高松・和歌山のウィンドプロファイラー等により、紀淡海峡の南風の強まりと瀬戸内側からの低温な西風の侵入に注目する。

・実況監視イラスト作成

事例解析と調査表から得られた現象の発達期の特徴とその着目点をイラスト、解説文、解説文から選び出したキーワードの統一した形式にまとめた。これにより、予報担当者が実況監視時の着目点を容易に理解できるようになる。また、解説文から選び出したキーワードは、データベース検索キーのひとつとして利用した。

③ まとめ

・データベースの試作

管区気候・調査課では、研究実施官署で作成した実況監視イラストと調査表の内容をデータベース化した。これはネットワークを介して、各官署から新たに解析した事例の追加、既存事例の内容変更、現象の種類・現象の成因を表すキーワードから、実況監視イラストや現象のライフステージ別の特徴と着目点等の検索ができる。

これは予報担当者の現象への理解を助けるとともに、現象ごとの特徴や着目点を対比させる等により、新たな着目点を見出すことも期待できる。

・報告書の作成

研究実施官署の研究成果をまとめ大阪管区気象台特別調査報告第19号として刊行した。これは、地方官署において、予報技術の向上、地方ガイダンスの開発・改良、予報作業のためのワークシートの改良・評価の際に、有効に活用されるものと期待できる。

研究成果の要約

大阪管区、地方気象台、海洋気象台では、既存の観測データや数値モデルの実験結果等を用いて、顕著な大雨の事例を解析し、現象の特徴と着目点をライフステージ・スケール別に抽出した。

短時間強雨発生時には、下層の収束の強まりや温度傾度が大きくなるという特徴がみられた。寒冷前線の事例では、移動してきたエコーが収束線上で発達していた。また、寒冷渦の事例では強雨の発生前に、冷氣外出流と思われる気温急下降がみられた。多くの事例で、現象が最盛期を迎える過程の着目点として、アメダス風・気温による収束線の位置、気温分布の変化、風解析・ウィンドプロファイラーによる収束の強まり等があげられた。

さらに、フォーマットを統一した調査表を用いて、現象の特徴と着目点などを整理し、データベース化を行った。この調査表やデータベースは、予報作業や実況監視等に容易に利用できるものになっている。

管区観測課では、10分間隔のレーダーデータを作成し、降水の3次元構造を見る可視化ソフトを開発した。また、管区気候・調査課ではGPS可降水量分布を表示できるプログラムを開発した。

新たな観測データとしてGPS可降水量を取り上げ、降水との関係について調べた。総観スケールの現象による雨と3時間GPS可降水量との対応では、GPS可降水量の絶対値の分布が強雨域に先行して移動していること、夏季の熱雷と5分間GPS可降水量との対応では、1時間に50mm以上の強雨発生日に、活発な水蒸気の輸送を示すと思われる午前中の急激なGPS可降水量の増加がみられることが示された。

今後に残された問題点

事例解析とそれから得られた現象の着目点の整理により、ライフステージ毎にみられる気象要素（収束、温度分布、冷氣の存在等）の特徴について理解を深めることができた。これは、現業での効率的な予測・監視を行うために役立つものと期待できる。

さらに、何が現象の発達に最も重要な役割を果たしているのか、また、現象の振る舞いに地形の影響や気象要素がどのように関係しあっているかを調べるために、非静力学モデルを用いて、気象現象の環境や地形等を変更した再現実験を行い、これらの影響を評価することを検討している。

成果の活用に対する意見

本研究の成果は、現業での適切な防災情報提供に役立つものであり、各官署で現業担当職員が活用のための研修を実施することが望まれる。また、今回の調査で明らかになった現象の特徴が、一般的なものか、事例あるいは地域に特有のものかを明らかにするために、今後調査を継続して事例の蓄積を行うことが重要である。大阪管区だけでなく、ほかの管区でも同様の調査を実施し、学会や技術検討会などの場で比較検討することが望まれる。

成果発表状況

- ・口頭発表件数 46件

成果発表一覧

(口頭発表)

- 野々村努, 高橋弘次, 原 浩司, 山田 崇, 2003年4月8日の大阪府の強雨 (事例解析). 大阪府気象研究会, 平成15年度大阪管区気象研究会誌, 平成15年11月
- 小川安清, 吉田 稔, 若山郁生, 池田 徹, 2003年5月8日の大雨. 大阪府気象研究会, 平成15年度大阪管区気象研究会誌, 平成15年11月
- 中山繁樹, 金田芳彦, 末永和貴, 澤田 謙, 2003年6月24日の大雨. 大阪府気象研究会, 平成15年度大阪管区気象研究会誌, 平成15年11月
- 笠谷博幸, 溝本 悟, 田中真裕美, 多層レーダー表示プログラムの検証について. 大阪府気象研究会, 平成15年度大阪管区気象研究会誌, 平成15年11月
- 溝本 悟, レーダーデータ 3次元表示プログラムの紹介 (T0310の表示例). 大阪府気象研究会, 平成15年度大阪管区気象研究会誌, 平成15年11月
- 大奈 健, 溝本 悟, 多層レーダーデータで見たT0310の立体表示. 日本気象学会, 日本気象学会関西支部例会講演要旨集第号101号, 平成15年11月
- 山下 寛, 橋本久夫, 守谷史夫, 新納孝寿, 2003年6月24日の滞留寒気による大雨. 滋賀県気象研究会, 平成15年度大阪管区気象研究会誌, 平成15年11月
- 真木敏郎, 松下一雄, 吉田克巳, 武丸光悦, 2003年5月8日の前線南下による大雨について. 京都府気象研究会, 平成15年度大阪管区気象研究会誌, 平成15年11月
- 松下一雄, 亀田 夫, 大久保卓治, 出崎浩三, 2003年6月24日の大雨 (梅雨前線と寒冷渦による京都府南部の大雨). 京都府気象研究会, 平成15年度大阪管区気象研究会誌, 平成15年11月
- 高木重信, 山本光徳, 下田和宏, 小林祥悟, 藤原 昇, 2002年7月16日の前線通過に伴う大雨事例について. 京都府気象研究会, 平成15年度大阪管区気象研究会誌, 平成15年11月
- 高木重信, 山本光徳, 下田和宏, 小林祥悟, 藤原 昇, 2002年9月7日の前線通過に伴う大雨事例の解析 (伊根町の局地的大雨). 京都府気象研究会, 平成15年度大阪管区気象研究会誌, 平成15年11月
- 水津俊二, 寺田仁一郎, 弘田 実, 田中裕吉, スプリット前線通過時の強雨について. 兵庫県気象研究会, 平成15年度大阪管区気象研究会誌, 平成15年12月
- 神例孝典, 2003年5月8日の前線南下による大雨について. 奈良県気象研究会, 平成15年度大阪管区気象研究会誌, 平成15年11月
- 西垣 賢治, 2003年5月23日の熱的不安定降水について. 奈良県気象研究会, 平成15年度大阪管区気象研究会誌, 平成15年11月
- 藤崎幹夫, 北川和男, 籾内保昭, 羽田 茂, 沖 要一, 蓬台正信, 向井直人, レーダー多層データを用いた顕著現象の事例解析. 和歌山県気象研究会, 平成15年度大阪管区気象研究会誌, 平成15年11月
- 中内義貴, 井上芳郎, 宮廻祐一, 小川則行, 寺尾克彦, 須磨雄一郎, 山崎智也, 下層冷気による暖域内での降雨強度の概算. 広島県気象研究会, 平成15年度大阪管区気象研究会誌, 平成15年10月
- 濱子訓志, 吉田康夫, 川崎泰典, 吉原華子, 2003年6月7日の寒冷渦による大雨. 岡山県気象研究会, 平成15年度大阪管区気象研究会誌, 平成15年11月
- 出宮 稔, 宇野田隆司, 吉原華子, 谷口典史, 平成15年7月19日の日本海低気圧から延びる寒冷前線前面の大雨について. 岡山県気象研究会, 平成15年度大阪管区気象研究会誌, 平成15年11月
- 吉原範行, 牧田広道, 濱田岩彦, 遠藤敬裕, 田邊秀樹, 下層北東風による大雨 事例1-1. 鳥取県気象研究会, 平成15年度大阪管区気象研究会誌, 平成15年11月
- 吉原範行, 牧田広道, 山本悦雄, 濱田岩彦, 下層北東風による大雨 事例1-2. 鳥取県気象研究会, 平成15年度大阪管区気象研究会誌, 平成15年11月
- 佐藤祐一, 武田寅彦, 鎌倉和夫, 平井明宏, 山岡和弘, 土井ひかる, 山神政司, GPS可降水量を利用した大雨ポテンシャルの予測 (その1). 香川県気象研究会, 平成15年度大阪管区気象研究会誌,

平成15年11月

- 山本武志, 大田 泰, 近沢 淳, 武田真治, 弱まるエコー強度 (2001年10月10日). 徳島県気象研究会, 平成15年度大阪管区気象研究会誌, 平成15年11月
- 布 裕喜, 松岡政幸, 西森誠人, 愛媛県の前線南下に伴う大雨の事例. 愛媛県気象研究会, 平成15年度大阪管区気象研究会誌, 平成15年11月
- 清水栄一, 堀田和彦, 林 哲也, 縁辺流と上層寒冷低気圧による大雨. 高知県気象研究会, 平成15年度大阪管区気象研究会誌, 平成15年11月
- 中山繁樹, 金田芳彦, 末永和貴, 澤田 謙, 2003年6月24日の大雨. 近畿地区気象研究会, 平成15年度大阪管区気象研究会誌, 平成16年1月
- 真木敏郎, 松下一雄, 吉田克己, 武丸光悦, 2003年5月8日の前線南下による大雨について. 近畿地区気象研究会, 平成15年度大阪管区気象研究会誌, 平成16年1月
- 中内義貴, 井上芳郎, 宮廻祐一, 小川則行, 寺尾克彦, 須磨雄一郎, 山崎智也, 下層冷氣による暖域内での降雨強度の概算. 中国地区気象研究会, 平成15年度大阪管区気象研究会誌, 平成16年1月
- 金田芳彦, 吉田 稔, 高橋清和, 新道義孝, 土井ひかる, 澤田 謙, 2004年5月13日の大雨についての事例解析. 大阪府気象研究会, 平成16年度大阪管区気象研究会誌, 平成16年11月
- 金田芳彦, 新道義孝, 古田 圭, 2004年5月13日の大雨についてNHMを用いた調査. 大阪府気象研究会, 平成16年度大阪管区気象研究会誌, 平成16年11月
- 橋本久夫, 瓜生由明, 前線南下による大雨について. 滋賀県気象研究会, 平成16年度大阪管区気象研究会誌, 平成16年11月
- 並羅勝美, 松下一雄, 山本伸二, 出崎浩三, 大久保卓治, 吉田克己, 武丸光悦, 2004年5月13日の前線南下による京都府南部の大雨. 京都府気象研究会, 平成16年度大阪管区気象研究会誌, 平成16年11月
- 若葉信幸, 山本光徳, 藤原 昇, 下田和宏, 2003年8月24日の短時間強雨 (第2報). 京都府気象研究会, 平成16年度大阪管区気象研究会誌, 平成16年11月
- 並羅勝美, 松下一雄, 山本伸二, 出崎浩三, 大久保卓治, 吉田克己, 武丸光悦, 京都府南部の寒冷前線による大雨について. 京都府気象研究会, 平成16年度大阪管区気象研究会誌, 平成16年11月
- 秋山幸三, 藤江孝昭, 武部悦次, 2004年7月10日の兵庫県東部の強雨. 兵庫県気象研究会, 平成16年度大阪管区気象研究会誌, 平成16年11月
- 高橋幸二, 加藤伸一, 畑 安治, 榎本静男, 高辻慎也, 平成16年5月13日寒冷前線南下による大雨. 奈良県気象研究会, 平成16年度大阪管区気象研究会誌, 平成16年11月
- 高橋幸二, 加藤伸一, 畑 安治, 榎本静男, 高辻慎也, 平成16年7月10日UCL及び高気圧縁辺流による大雨について. 奈良県気象研究会, 平成16年度大阪管区気象研究会誌, 平成16年12月
- 瀬尾友也, 向井直人, 沖 要一, 羽田 茂, 徳田祥如, 小川則行, 北川和男, 2003年10月13日の大雨について. 和歌山県気象研究会, 平成16年度大阪管区気象研究会誌, 平成16年11月
- 東山昭弘, 岩本久雄, 浦戸宏一, 菅原道智, 「広島・呉」における短時間強雨の実況監視の着目点. 和歌山県気象研究会, 平成16年度大阪管区気象研究会誌, 平成16年10月
- 石川陽一, 岡崎賢治, 岩本久雄, 金森恒雄, GPS可降水量とレーダー・アメダス解析雨量の比較調査. 広島県気象研究会, 平成16年度大阪管区気象研究会誌, 平成16年10月
- 出宮 稔, 宇野田隆司, 鈴木 崇, 谷口典史, 平成15年8月8日の台風第10号による短時間強雨について. 岡山県気象研究会, 平成16年度大阪管区気象研究会誌, 平成16年11月
- 山本悦雄, 牧田広道, 坂井めぐみ, 田中裕一, 鳥羽亜希子, メソ現象の3次元構造の解析. 鳥取県気象研究会, 平成16年度大阪管区気象研究会誌, 平成16年11月
- 柳田雄一郎, 大槻道久, 浜田卓二, 吉村 満, 岡 泰広, 2004年6月26日、27日の明け方の大雨について. 鳥根県気象研究会, 平成16年度大阪管区気象研究会誌, 平成16年11月
- 久重和久, 楠田和博, 佐藤祐一, 小西誠二, 橋本 修, 山岡和弘, 峯松宏明, GPS可降水量を利用した

- 大雨ポテンシャルの予測（その2）. 香川県気象研究会, 平成16年度大阪管区気象研究会誌, 平成16年11月
- 久重和久, 楠田和博, 佐藤祐一, 小西誠二, 橋本 修, 山岡和弘, 峯松宏明, 寒冷低気圧と太平洋高気圧縁辺流による引田の大雨. 香川県気象研究会, 平成16年度大阪管区気象研究会誌, 平成16年11月
- 清水栄一, 亀山俊二, 堀田和彦, 田口雄大, 有村雄一, 上里 至, 縁辺流による高知県の大雨特性について. 高知県気象研究会, 平成16年度大阪管区気象研究会誌, 平成16年11月
- 若葉信幸, 山本光徳, 藤原 昇, 下田 和宏, 2003年8月24日の短時間強雨, 近畿地区気象研究会, 平成16年度大阪管区気象研究会誌, 平成17年1月
- 高橋幸二, 加藤伸一, 畑 安治, 榎本静男, 高辻慎也, 平成16年5月13日寒冷前線南下による大雨. 近畿地区気象研究会, 平成16年度大阪管区気象研究会誌, 平成17年1月
- 高橋清和, 吉田 稔, 金田芳彦, 新道義孝, 土井ひかる, 古田 圭, 澤田 謙, 2004年5月13日の大雨についての事例調査. 近畿地区気象研究会, 平成16年度大阪管区気象研究会誌, 平成17年1月

ウィンドプロファイラを用いた沖縄地方における大雨の解析的研究

研究期間：平成15年度～平成16年度

研究代表者：比嘉正則¹⁾、石垣雅和²⁾（沖縄気象台 予報課）

研究担当者：武田重夫（予報研究部）、沖縄気象台、南大東島地方気象台、宮古島地方気象台、石垣島地方気象台、与那国島測候所

研究の目的

沖縄地方に大雨をもたらす気象現象について、過去の調査研究による知見を系統的に整理するとともに、平成13年から運用している管内のウィンドプロファイラのデータを用いて新たな事例解析を行い、地域特有な現象の構造を把握する。このことにより、現業におけるウィンドプロファイラの利用法を見出し、更に注・警報の精度を向上させる。また、これらのことを通して、地方自治体等の防災活動を支援する。

研究の方法

平成15年度は、過去の調査研究を系統的に整理するとともに、主にウィンドプロファイラで捉えられた大雨の事例を抽出し着目する現象の分類を行なった。また、それぞれの現象について、過去の知見を参考に三次元的な大気構造の未解明な点を洗い出して事例解析を行なった。

平成16年度は、解析事例を8事例と大幅に増やし、解析にはウィンドプロファイラ以外にもドップラーデータ、レーダー三次元情報といった最新の観測技術資料等も利用した。更に、ネスティング技術によりNHMを気象庁の現業数値予報モデルのRSM（領域スペクトルモデル）による出力データと接続した予報実験も行ない、事例の再現を試みた。

研究の結果

平成15年、16年に沖縄管内で発生した、前線性及び暖域内（高気圧縁辺流を含む）の大雨について大雨の前兆として、ウィンドプロファイラデータによる下層の暖気移流（或いは時計回りの鉛直シアー）ないし南寄りの風の強化が発現している解析例が多く見出され、従来の高層気象観測データによる風と大雨との同様或いは類似の関連性が確認された形になった。しかし、量的な関連性確認までは至らなかった。また、衛星画像や数値予報資料等を利用した解析により、下層風或いは地上風の収束域やシアーラインと、上層からの乾燥大気の流れによる大雨が多く見出された。

調査結果のまとめとして、次の大雨概念モデルを考案した。

- ① スコールラインと水蒸気前線による大雨モデル
- ② 上層トラフの通過に伴う乾燥大気の流れと水蒸気前線による大雨モデル
- ③ 上層トラフによる前線強化と下層擾乱の接近で発生した低気圧による大雨モデル
- ④ 台湾地形による収束ラインと前線の接近による大雨モデル
- ⑤ カタ型前線による大雨モデル

また、文献調査から得た知見を基に以下の大雨概念モデルを考案した。

- ⑥ 梅雨前線と水蒸気前線による大雨モデル
- ⑦ 上層トラフとのカップリングに伴う低気圧の発生・発達と大雨モデル
- ⑧ 台湾地形による収束ラインと上層トラフによる大雨モデル
- ⑨ 梅雨前線上におけるメソ対流系による大雨モデル
- ⑩ バックビルディング型降雨帯による大雨モデル

更に、大雨概念モデルを基に大雨チェックシートを考案した。これらの大雨概念モデルと大雨チェックシートは、更に調査を進めて改善し、将来、現業的な予測資料として利用することを考えている。

1) 平成15年度、2) 平成16年度

研究成果の要約

調査の結果、寒冷前線の前面に当たる暖域内の降水域の発生メカニズムについて重要な知見が得られた。特に暖域内で発生する線状の降水系については、スコールラインと暖域内の水蒸気傾度の大きい収束域(水蒸気前線)で発生した降水域に分類でき、それらの併合による降水域の発達が解析できた。また、上層トラフの接近と中層からの乾燥大気の流れによる水蒸気前線での降水域の発達が解析できた。沖縄地方の気象特性として、台湾の地形の影響が挙げられるが、大雨パターンとして、台湾山脈を南北に回り込む気流により形成された収束域に発生した降水域と寒冷前線の併合による降水域の発達が解析できた。その他にも寒冷前線の接近時にカタ型の事例が解析されたが、その際、中層からは乾燥大気の流れが顕著であった。

今後に残された問題点

大雨概念モデル、大雨チェックシートを考案したが、メソ現象は多様であることから、多くの事例について解析をおこなう必要がある。このため、今後も事例を増やし、今回の調査で考案した大雨概念モデルの確認を行うことが必要と考える。また、予報現場でチェックシートを使用し改良を加えていくことが必要である。なお、最終的には定量的な項目を追加することが必要と考える。

成果の活用に対する意見

概念モデルおよび大雨チェックシートの作成の基となる事例解析の経験が少ないため、今後も他の事例も含めて更なる改善が必要である。多様なメソスケール現象の解析には、多くの事例について、ウィンドプロファイラ以外にもドップラーデータ、レーダーなどの観測データとNHMなどのモデルの結果を総合的に解析を積み重ねていくことが重要である。

成果発表状況

- ・論文発表件数 なし
- ・口頭発表件数 5件

成果発表一覧

(口頭発表)

- 裁吉信, 平成16年7月9日の沖縄本島地方での大雨事例について. 平成16年度沖縄管内気象研究会, 平成16年度沖縄管内気象研究会誌, 平成16年11月
- 裁吉信, 2004年7月4日の本島北部における大雨事例. 平成16年度沖縄管内気象研究会, 平成16年度沖縄管内気象研究会誌, 平成16年11月
- 石垣雅和, 台風通過後の前線帯での2004年5月23日の大雨. 平成16年度沖縄管内気象研究会, 平成16年度沖縄管内気象研究会誌, 平成16年11月
- 本山龍也, 平成16年4月1日の寒冷前線による石垣島地方の大雨について. 平成16年度沖縄管内気象研究会, 平成16年度沖縄管内気象研究会誌, 平成16年11月
- 井出和彦, 平成16年5月13日の与那国島地方の大雨について. 平成16年度沖縄管内気象研究会, 平成16年度沖縄管内気象研究会誌, 平成16年11月

九州・山口県における台風進路と高潮との関係の解析

研究期間：平成14年度～平成16年度

研究代表者：大矢正克¹⁾、緒方洋一²⁾、林 洋一³⁾（福岡管区気象台 予報課）

研究担当者等：高野洋雄（台風研究部）、福岡管区気象台

研究の目的

福岡管内は勢力の強い台風が接近・通過する機会が多く、高潮の被害を受けることも多い。特に1999（平成11）年9月には、台風第18号が強い勢力を保ったまま九州を通過したため、熊本県沿岸や福岡県・山口県の瀬戸内海沿岸で高潮が発生し、熊本県不知火町で12名の死者が出るなど大きな被害が発生した。有明海や瀬戸内海は中小の様々な湾が多く存在し複雑な海岸線を有しているため、台風の進路や勢力によって潮位が大きく変化し、高潮の予測が困難である。本研究は、台風進路や勢力の違いによって有明海や瀬戸内海などで発生する高潮の分布状況やタイミング、最大潮位などを調査し、高潮注意報・警報の的確な発表、量的予想精度の向上など高潮に関する防災気象情報の適正化に資することを目的とした。

研究の方法

①パソコン版数値高潮モデルの開発

気象研究所で開発された調査用数値高潮モデルは、高潮の主要メカニズムである気圧低下による海面の吸い上げと、風による海水の吹き寄せを考慮して、潮位偏差を推算するものである。高潮には波浪の碎波（wave set-up）なども影響するが、このモデルでは考慮していない。気象庁の現業モデルは線形モデルであるが、このモデルには非線形である移流項が含まれている。海陸境界は固定であるとして、陸上への浸水は起こらないものとしてある。台風の気圧分布はFujitaの公式を用い、気圧分布から傾度風を計算し、これに台風の移動速度を加えて風の分布を決める。この数値高潮モデルをパソコンで動作するようにプログラムを改修した。また、中小の湾の高潮を表現するために、格子間隔を経度・緯度1分から20秒に高解像度化し、これに合わせて水深及び海岸線のデータを、海上保安庁水路部（現・海洋情報部）作成の500メートルメッシュの水深データ、及び国土地理院の数値地図50メートルメッシュのデータから、九州全域を含む緯度・経度6.5×6.5度の範囲で作成した。パソコン版数値高潮モデルの計算領域は、広域化のための改修を順次進めた結果、現在は最大で緯度・経度2×2度である。さらに、モデル実行のためのデータ入力を対話的に設定できるメニュープログラムを作成し、インターフェースの改良を行うと共に、計算結果を表示するためのビューワーソフトも開発した。パソコン版数値高潮モデルの精度を検証するため、1999（平成11）年18号台風などについてハインドキャストを行った。

②パソコン版数値高潮モデルによるシミュレーションの実行と結果のデータベース化

パソコン版数値高潮モデルを用いて、仮想の台風の進路と勢力を様々に変えて潮位偏差のシミュレーションを実行した。この計算により様々な進路、勢力を持つ台風の通過・接近に際し予想される高潮の分布状況、発生タイミング、最大潮位などのデータベースを作成した。

研究の結果

①ハインドキャストの結果

1999（平成11）年9月24日に熊本県に上陸して、その後山口県から日本海へ進み、熊本・福岡・山口各県で高潮被害が発生した台風第18号について、ベストトラックデータを入力値としてパソコン版数値高潮モデルにより潮位偏差の計算を行い、八代の検潮所における観測値との比較を行った結果、実測値に近い表現が可能なことを確認した。潮位偏差のピークについて、計算値は観測値より約20cm大きく、また発生時刻は約40分遅れている。檜垣（気象庁技術報告第122号、2000）によれば、現業用数値高潮モデルによる計算結果も、ピークが観測値より過大でしかも発生時刻が遅く、この原因をモデルの台風西側の風が実況に比べて過大だったためとしており、パソコン版モデルも同様と推測される。

②シミュレーション結果の解析

2004（平成16）年9月7日に九州北部を通過した台風第18号に近い勢力（中心気圧940hPa、1000hPa等圧線の半径は緯度で5度に相当）の台風の接近・通過により、有明海や八代海で発生する潮位偏差のシミュレーション結果の解析事例を以下に述べる。

(a) 進路が北の場合

速さは15ktとし、東経128度、129度、……と進路を経度1度ずつずらしてシミュレーションを行った。

有明海・八代海の西側で最も近い、長崎県から佐賀県を縦断する東経130度を北上するコースの場合、潮位偏差は有明海北東岸の佐賀県から福岡県沿岸と、八代海の北東湾奥部（熊本県宇城市（旧・不知火町など）付近）で280～290cmと最大となった。また潮位偏差が最大となるタイミングは、熊本県宇城市付近では台風中心の最接近から約4時間半遅れ、福岡県柳川市付近でも約2時間半遅れとなり、これは湾が南または南西に伸びていることと、台風の最接近から通過後にかけての非常に強い南から南西の風による海水の吹き寄せの効果が重なったことが、高潮の大きな原因になっているためと考えられる。

長崎県五島列島付近を通過する東経129度を北上するコースでは、台風中心は上記の東経130度コースより離れているが、有明海北端から北東岸にかけては東経130度コースとほぼ同じかそれ以上の潮位偏差が計算され、300cmを超えている所もある。潮位偏差の最大は、台風中心の最接近から約1時間半遅れて出ている。

有明海・八代海より東の、鹿児島県大隅半島から福岡県にかけて九州を縦断する東経131度を北上するコースでは、有明海・八代海とも台風中心に近い東岸で潮位偏差が大きく、有明海東岸で約200cm、八代海の北東湾奥部では約250cmとなった。

(b) 進路が北東の場合

速さは20kt、進路は図の破線で示すように経度で1度ずつずらしてシミュレーションを行った。

有明海北西岸を通過するコースの場合、潮位偏差の最大は有明海東岸で約250cm、八代海北東湾奥部では約300cmとなり、八代海北東湾奥部では有明海東岸より台風中心から遠いにもかかわらず潮位偏差は大きくなった。また八代海湾奥部で潮位偏差が最大となるタイミングは、台風中心の最接近から約2時間半遅れている。これらは八代海が北東から南西に伸びる形状で、しかも北東の湾奥部では湾の幅が狭くなることから、台風中心の最接近から通過後に吹く南西風による海水の吹き寄せの影響が大きいためと考えられる。

台風中心が八代海の真上を通過するコースでは、八代海の潮位偏差の最大は約240cmと、上に述べた有明海北西岸を通過するコースの場合より約60cm小さくなった。

また、台風が五島列島から壱岐を通過するコースの場合（図5の1）、有明海の北端から北東岸にかけての潮位偏差の最大は約300cmと、有明海北西岸を通過するコースより約50cm大きくなった。

研究成果の要約

九州沿岸の高潮の状況を調べられるようにPC版高潮モデルの計算環境を整備した。また、このモデルを用いて、高潮の数値計算を行い、精度検証を行なった。さらに、仮想の台風に対する高潮の計算を行い応答特性の調査を行なった。

今後に残された問題点

高潮シミュレーションデータの蓄積がまだ十分ではないので、今後も進路や勢力を様々に変えてシミュレーションを行い、データベースの充実を進めたい。また、昨年の台風など検証事例も増やして、シミュレーション結果の信頼性向上を図りたい。また、高潮シミュレーションデータベースを利用するためのソフトウェアもさらに使いやすいものに改善し、高潮に関する防災気象情報の参考となるようにさらに利用しやすいものとした。

成果の活用に対する意見

仮想的に台風のコースを変更させた場合に、わずかな違いでも各湾においてそのピーク値や発現時刻が大きく変わることが示唆された。今後は、台風の事例数を増やして、高潮特性の更なる把握に努めるとともに、この結果を参考にすることで、本庁ガイダンスの適正な解釈と正確な防災情報への貢献が期待できる。

成果発表状況

- ・論文発表件数 0件
- ・口頭発表件数 2件

成果発表一覧

(口頭発表)

大矢正克，PC版数値高潮モデルの開発について，福岡県気象研究会，平成14年11月12日

緒方洋一，PC版数値高潮モデルの開発について (2)，福岡県気象研究会，平成15年11月18日