

平成 21 年 4 月 30 日 現 在

研究種目：基盤研究 (A)

研究期間：2006～2008

課題番号：18201035

研究課題名 (和文) 台風に伴う豪雨の高精度量的予測と降水形成機構の解明

研究課題名 (英文) Highly accurate and quantitative prediction of typhoon precipitation and mechanism of rain production.

研究代表者

坪木 和久 (TSUBOKI KAZUHISA)

名古屋大学・地球水循環研究センター・准教授

研究者番号：90222140

研究成果の概要：

2006 年にドップラーレーダを、宮古島と多良間島に移設し観測を行った。2006 年は梅雨、台風 3、5、13 号の観測を実施した。2007 年は台風 12 号と 15 号の観測を行い、これらの台風の詳細な構造を明らかにした。観測領域の 36 時間予報実験を毎日行った。雲解像モデルを用いて観測された台風の超高解像度のシミュレーションを行い、発達メカニズムや構造を明らかにした。レーダデータの雲解像モデルへのデータ同化法を開発し、高精度量的予測に向けた開発を行った。台湾の研究者と国際協力を進めた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	19,500,000	5,850,000	25,350,000
2007年度	9,600,000	2,880,000	12,480,000
2008年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
総計	34,800,000	10,440,000	45,240,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学、自然災害科学

キーワード：台風、豪雨、強風、雲解像モデル、高精度量的予測、梅雨、降水機構、データ同化

## 1. 研究開始当初の背景

台風はしばしば豪雨を伴い、日本をはじめとして東アジアの国々に洪水や土砂崩れなどの災害をもたらす。2004 年の例では台風 21 号と 23 号が特に大規模な豪雨災害をもたらした。これら 2 つの台風でこの年の台風による総死者数のほぼ半分にまで及んだ。台風の豪雨を量的に高精度で予測することこそ

が、災害の軽減に最も重要であるにもかかわらず、その豪雨形成過程、特に台風を構成する雲の中の物理過程がほとんどわかっていないために、量的予測、特に局地的豪雨の予測は非常に困難であった。豪雨はしばしば局所的に 100mm/hr 近くにまで達するが、当時の予報に用いられている数値モデルではその予報降水強度が 10mm/hr にも達しない。こ

れは計算格子の解像度が粗いからだけではなく、雲の物理過程が適切に表現されていなかったからである。1998年から研究代表者は雲を解像する数値気象モデル CReSS (Cloud Resolving Storm Simulator)を開発していた。これにより台風を構成する個々の雲を解像しつつ、台風全体の大規模シミュレーションを行っていた。近年のコンピューターの高速化と数値気象モデルの高度化により、台風の数値モデル研究が加速されつつあった。さらに我が国では地球シミュレータの稼動により、台風の大規模シミュレーションが可能になりつつあった。一方で2004年の多くの台風災害や都市の高度化に伴う豪雨への脆弱化、さらに温暖化により台風が強化されるといふ予測などにより、台風災害の軽減に関する研究は緊急の課題であった。米国においても2005年に上陸したハリケーンカトリーナの高解像度シミュレーションなどの研究が始まっていた。本研究は固体降水粒子を含む雲物理過程に着目し、台風に関して観測と数値モデルを結合したこれまでにない研究として、また、雲解像モデルを用いた大規模並列シミュレーションによる台風に伴う豪雨の量的な高精度予測の初めての本格的取り組みとして立案・計画された。

## 2. 研究の目的

本研究課題では雲の物理過程を正確に計算する数値モデルを用いて、高解像度のシミュレーションを観測と結合しながら実行することで、台風に伴う豪雨の形成機構を解明し、その量的高精度予測を行うシステムを確立することが目的である。それにより台風に伴う豪雨災害の軽減に寄与することが本研究の目標である。具体的には主な研究として次の内容を行う。雲解像モデルを用いて台風のシミュレーション実験を行い豪雨の高精度量的予測を行う。その精度向上のために、台風に伴う降水形成機構の解明を観測に基づいて行う。特に台風に伴う降雨帯の雲力学と、雲・降水の微物理を中心に観測を行う。数値モデルのシミュレーションの解析と観測との比較による精度検証を行う。観測データを雲解像モデルに取り込む方法を開発し、予測精度の向上を図る。東アジア域の研究者と研究協力を行い、台風に伴う豪雨の高精度予測により、台風災害の軽減を目指す。

## 3. 研究の方法

本研究では台風のドップラーレーダを主体とした観測と、雲解像モデルによるシミュレーションを緊密に連携しつつ研究を進めた点が特徴である。台風観測の最も重要な点は、台風が通過する可能性が最も高い領域である、沖縄県、宮古島領域に観測点を設定したことである。2006年度と2007年度の2年

にわたって、名古屋大学のドップラーレーダを、1台は宮古島の下地島に、もう1台は多良間島に設置して観測を行った。観測には2つのタイプの観測期間を設定した。一つは「特別観測期間」で、台風の接近・通過が期待される6月1日～10月31日とした。この期間のうち、約3週間を「集中観測期間」とし、この期間は観測地点に人員を常時配置し観測を実施した。集中観測期間以外の特別観測期間中は、台風の接近が予想される時にのみ観測人員を配置した。

集中観測期間および特別観測期間の観測中は、名大の研究室において雲解像数値モデルによる観測領域の降水予測を毎日定時に行った。計算領域は観測領域を含む東シナ海、太平洋および九州・四国領域である。

観測された台風について、雲解像モデルを用いて超高解像度で、広領域のシミュレーション実験を行った。

レーダを中心とした観測により、降雨形成過程を、特に2台のドップラーレーダ観測から得られる速度や降水強度などの量と、マルチパラメータレーダから得られる雲・降水の微物理的量(雪、あられ、雨など)に着目して調べた。この観測結果に基づいて、モデルの雲・降水の微物理過程の改良を行った。

最終年度には沖縄本島における情報通信研究機構(NICT)沖縄亜熱帯計測技術センターのマルチパラメータレーダ観測、および同地点における特殊ゾンデを用いた雲粒子観測を行った。

海洋研究開発機構の地球シミュレータを用いた大規模な超高解像度のシミュレーション実験を行う。このとき雲物理過程を改良したモデルによる高解像度シミュレーションを行う。

## 4. 研究成果

2006年5月に名古屋大学のドップラーレーダを、宮古島市下地島南端部と多良間島南部に移設した。6月1日～6月25日にかけて、梅雨を中心とする1次～3次観測を実施した。台風0603号を観測対象として7月6日～7月10日に第4次観測を、台風0605号を観測対象として7月22日～7月25日に第5次観測を、台風0613号を観測対象として9月14日～9月18日に第6次観測を実施した。

梅雨の観測では宮古島～沖縄付近に1週間にわたって、梅雨前線に伴う降水システムの形成、発達、通過、停滞が観測された。また、台風観測では台風に伴う降水システムの観測を行った。特に石垣島を中心が通過した台風0613号については、台風の接近時に台風の眼の北側に形成された降雨帯を観測した。

上記の台風および梅雨の観測時には沖縄本島に設置された(独)情報通信研究機構のマルチパラメータレーダおよび地上における雨滴粒径分布計の観測を実施し、沖縄付近で形成および通過した降水システムの観測を行った。

計算領域を、上記観測領域を含む東シナ海、太平洋および九州・四国領域に設定し、1日に1回の36時間気象予報実験を毎日継続して行った。これによりレーダ観測のサポートを行っただけでなく、観測領域を通過した台風についてのシミュレーション結果が得られた。

台風 0613 号は観測点通過後、九州西方を北上したが、そのとき台風の降雨帯が通過した宮崎県では多数の竜巻が発生した。この台風について地球シミュレータを用いた水平解像度 500m の超高解像度シミュレーションを行い、降雨帯を形成する雲がスーパーセルであったことを示した(図1)。また解像度 75m の実験を行いその雲の中に竜巻を再現するシミュレーションに成功した。

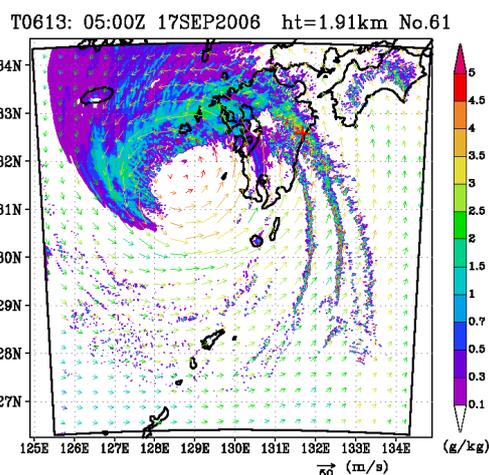


図1：雲解像モデル CReSS で解像度 500m で再現された台風 0613 号。赤十字は竜巻の発生した延岡市。

2007年5月29日～6月19日にかけて、梅雨を中心とする観測を実施した。この期間、多良間島では高層気象観測を実施するとともに、気象庁の石垣島高層ゾンデデータを収集した。

台風 0711 号と 0712 号を観測対象として9月11日～9月19日に観測を実施した。台風 11 号は宮古島地方をそれたため観測できなかったが、12号は宮古島・多良間島の南側を通過し、顕著な降雨帯を観測した。さらに台風 0715 号を観測対象として10月3日～10月8日に観測を実施した。台風 15 号も多良間島の南を通過し、顕著な降雨帯を観測した。2007年度の観測期間を通して、

多良間島では自動地上観測を実施し、長期にわたる時間解像度の高い地上気象データを取得した。

梅雨観測では、梅雨前線に伴う降水システムの形成、発達、通過、停滞が観測された。また、台風観測では台風に伴う降雨帯の観測を行うことができた。特に石垣島を中心が通過した台風 0712 号(図2)、0715 号については、台風の接近時に台風の眼の北側に形成された降雨帯が、対流雲だけではなく、比較的層状の構造を持つ降水システムがあることを示した。また、同時に実施した高層観測により、そのときの大気構造を明らかにした。

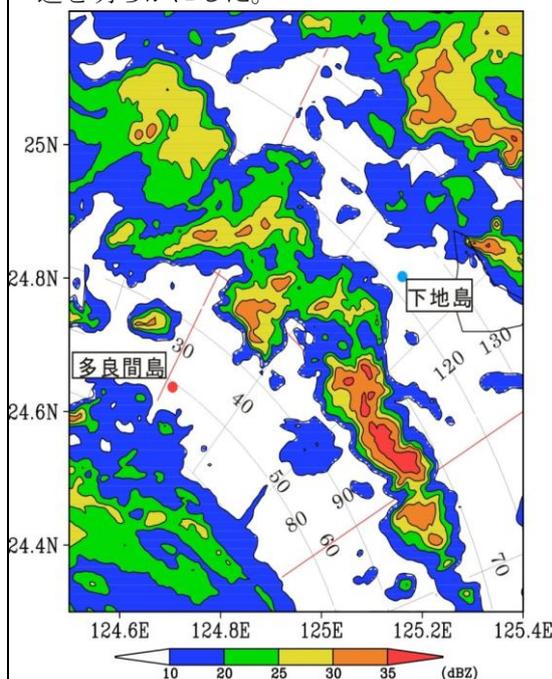


図2：宮古島市下地島と多良間島に設置したドップラーレーダで観測された台風 0712 号のスパイラルレインバンド。

2007年度も計算領域を、観測領域を含む東シナ海、太平洋および九州・四国領域に設定し、1日に1回の36時間気象予報実験を毎日継続して行った。また、観測後に台風について高解像度のシミュレーションを行い、台風詳細構造の再現を行った。

2008年度はレーダによって観測される降水粒子の実態を明らかにするために、沖縄本島における情報通信研究機構(NICT)沖縄亜熱帯計測技術センターのマルチパラメータレーダ観測、および同地点における特殊ゾンデを用いた雲粒子観測を実施した。これにより降水雲中の降水粒子および雲粒子、氷晶粒子のタイプおよび数濃度の情報を得ることができた。

台湾大学および米国の研究者と協力し、台湾南部に名古屋大学のドップラーレー

ダシステムを輸送し、2008年5月～7月にかけて、東アジア域の暖候期に発生する豪雨システムの観測を行った。これにより台湾南部で発生する豪雨システムについてのレーダや地上観測のデータを得ることができた。また、台湾の研究者と観測データの交換、および名古屋大学で開発している雲解像モデルの提供など、本研究課題の目的の一つである国際協力を活発に進めることができた。

上記の沖縄および台湾における観測期間中、雲解像モデルを用いた予報実験を実施し、観測プロジェクトを支援するとともに、シミュレーションのデータの蓄積を行った。このデータを解析し亜熱帯域の雲の特性パラメータを明らかにした。

昨年度、沖縄県宮古島・多良間島域で観測された台風0712号についての観測データの解析を行い、台風周辺に発達した降雨帯の詳細な構造を明らかにした。また、同様に観測された台風0715号についても解析を進めている。

観測された台風について雲解像モデルを用いて、超高解像度のシミュレーションを行い、観測結果と比較しつつ、その発達メカニズムや構造を明らかにした(図3)。また、レーダデータの雲解像モデルへのデータ同化法を開発し、雲解像モデルを用いた高精度量的予測に向けた開発を行った。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 15 件)

中北英一・山口弘誠・隅田康彦・竹畑栄伸・鈴木賢士・中川勝広・大石哲・出世ゆかり・坪木和久・大東忠保：偏波レーダとビデオゾンデの同期観測および降水粒子タイプ判別，*水工学論文集*，第53巻，361-366，2009。(査読有)

中北英一・山口弘誠・隅田康彦・竹畑栄伸・鈴木賢士・中川勝広・大石哲・出世ゆかり・坪木和久：Cバンド偏波レーダを用いた降水粒子識別とビデオゾンデを用いた集中同期検証観測，*京都大学防災研究所年報*，第51巻B，519-533，2009。(査読無)

Chung-Chieh Wang, George Tai-Jen Chen, Shan-Chien Yang, Kazuhiisa Tsuboki：Wintertime Supercell Thunderstorms in A Subtropical Environment: Numerical Simulation. *Monthly Weather Review*, (in press), Release Date: December 18, 2008. (査読有)

Shinichiro Maeda, Kazuhiisa

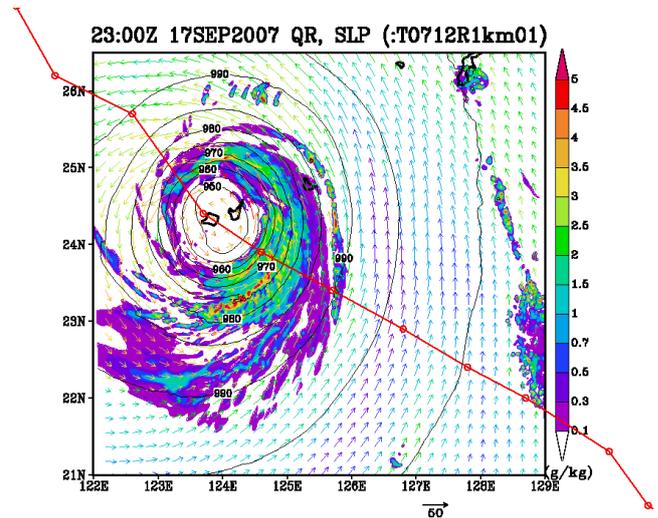


図3：台風T0712号の水平解像度1kmで行った雲解像シミュレーション。高度2kmの雨水混合比(カラースケール； $g\ kg^{-1}$ )と水平速度(矢印、カラーは湿度)、および地上気圧(等値線；hPa)。

Tsuboki, Qoosaku Moteki, Taro Shinoda, Haruya Minda and Hiroshi Uyeda, 2008: Detailed Structure of Wind and Moisture Fields around the Baiu Frontal Zone over the East China Sea. *SOLA*, Vol. 4, 141-144. Release Date: December 26, 2008. (査読有)

Kazuhiisa Tsuboki, 2008: High-Resolution Simulations of High-Impact Weather Systems Using the Cloud-Resolving Model on the Earth Simulator. *High Resolution Numerical Modelling of the Atmosphere and Ocean*, Hamilton, Kevin; Ohfuchi, Wataru (Eds.), Springer New York, 141-156. (査読有)

坪木和久, 2008: 雲解像モデルで見た台風の構造. 「天気, 2006年度秋季大会シンポジウム「台風-伊勢湾台風から50年を経て-」の報告, No. 55, Vol. 5, 379-384. (査読無)

山口弘誠・中北英一：アンサンブルカルマンフィルタを用いたドップラーレーダ情報の4次元同化設計，*水工学論文集*，第52巻，343-348，2008。(査読有)

坪木和久：台風0423号に伴う局地豪雨の量的予測実験. *月刊海洋「台風研究-II」*，Vol. 39, No. 3, 198 - 210, 2007. (査読無)

坪木和久：1 kmメッシュの気象学. 「天気」，No. 54, Vol. 10, 873-876, 2007. (査読有)

坪木和久・榊原篤志：雲解像モデルを用いた台風に伴う局地豪雨の量的予測実験，*自然災害科学*，Vol25, No. 3, 351 - 373, 2006. (査読有)

Yukari Shusse and Kazuhiisa Tsuboki：

- Dimension characteristics and precipitation efficiency of cumulonimbus clouds in the region far south from the Mei-yu front over eastern Asian continent. *Monthly Weather Review*, **134**, 1942 - 1953, 2006. (査読有)
- Yasutaka Wakazuki, Kazuhisa Tsuboki and Takao Takeda: Periodic evolution of multiscale precipitation systems developed within a Baiu frontal cloud cluster. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol. **84**, No. **3**, 497 - 518, 2006. (査読有)
- 出世ゆかり・坪木和久: 非定常で短寿命の対流セルのもたらす降雹の水平規模と雹の大きさ. 「天気」, Vol. **53**, No. **11**, 871 - 877, 2006. (査読有)
- Zhang, C. Z., H. Uyeda, H. Yamada, B. Geng: Characteristics of Convections of Medium Depth to South of the Meiyu Front Analyzed by Using Numerical Simulation. *SOLA*, **2**, 160-163, 2006. (査読有)
- Y. Yamane and Taichi Hayashi: Evaluation of environmental conditions for the formation of severe local storms across the Indian subcontinent. *Geophysical Research Letters* **33**, L17806, 2006. (査読有)
- [学会発表] (計 15 件)
- 坪木和久・榊原篤志・渡部雅浩・篠田太郎・吉岡真由美: 雲解像モデルのタイリング領域法とその台風シミュレーションへの応用, 日本気象学会 2008 年度秋季大会(仙台), 仙台国際センター, 2008 年度秋季大会講演要旨集, D114(281p), 11 月 19 日-21 日, 2008.
- Nasreen Akter and Kazuhisa Tsuboki: Simulation of Cyclone Sidr and Analysis of the Rainband Formation Using CReSS, 日本気象学会 2008 年度秋季大会(仙台), 仙台国際センター, 2008 年度秋季大会講演要旨集, D115(282p), 11 月 19 日-21 日, 2008.
- 佐野哲也・坪木和久: 発達する台風に伴う降水帯を構成する対流性降水の構造, 日本気象学会 2008 年度秋季大会(仙台), 仙台国際センター, 2008 年度秋季大会講演要旨集, D116(283p), 11 月 19 日-21 日, 2008.
- 吉岡真由美・坪木和久・榊原篤志: 全球静力モデルと雲解像非静力モデルにおける台風発生過程の比較, 日本気象学会 2008 年度秋季大会(仙台), 仙台国際センター, 2008 年度秋季大会講演要旨集, D112(279p), 11 月 19 日-21 日, 2008.
- 日置智仁・坪木和久: 雲解像モデルで再現された発達する台風の中心部の構造, 日本気象学会 2008 年度秋季大会(仙台), 仙台国際センター, 2008 年度秋季大会講演要旨集, P308(453p), 11 月 19 日-21 日, 2008.
- 佐野哲也・坪木和久・大東忠保・遠藤智史・日置智仁・深町有佑: ドップラーレーダー観測された発達する台風に伴う降水帯の内部構造. 日本気象学会 2008 年度春季大会, 横浜市開港記念会館・横浜情報文化センター, 2008 年度春季大会講演予稿集, P121(334p), 5 月 18 日-5 月 21 日, 2008.
- Kazuhisa Tsuboki, 2008: Tiling Domain Technique of the Cloud-Resolving Model and its Application to a High-Resolution Simulation of Typhoons. *Third Workshop on High-resolution and Cloud Modeling Tropical Cyclones and Climate*, December 2-4, 2008, University of Hawaii at Manoa.
- Kazuhisa Tsuboki, 2008: Simulation experiments of typhoons and tornadoes using the cloud resolving model. *The First International Workshop on Prevention and Mitigation of Meteorological Disasters in Southeast Asia*, Palace Side Hotel, Kyoto, Japan, 3-5 March 2008.
- Kazuhisa Tsuboki, 2007: Simulation Experiments of Supercells and Tatumaki along Typhoon Rainbands. *Conference on Mesoscale Meteorology and Typhoon in East Asia (ICMCS-VI)*, 20-26, Taipei, Taiwan, 6-9 November 2007
- 坪木和久・榊原篤志・渡部雅浩・篠田太郎・吉岡真由美: 雲解像モデルのタイリング領域法とその台風シミュレーションへの応用, 日本気象学会 2008 年度秋季大会(仙台), 仙台国際センター, 2008 年度秋季大会講演要旨集, D144(281p), 11 月 19 日-21 日, 2008.
- 坪木和久: 台風 0613 号の外域降雨帯に発生したスーパーセルに伴う竜巻のシミュレーション. 日本気象学会 2007 年度春季大会(東京), 国立オリンピック記念青少年総合センター, 2007 年度春季大会講演要旨集, B202(91p), 5 月 13 日-16 日, 2007.
- 野村光春・坪木和久: 雲解像モデルを用いた台風のスパイラルバンドにおける降水強化過程の研究. データ同化および雲解像モデルに関する研究集会, 名古屋大学地球水循環研究センター, 3 月 20 日, 2007.
- Tsuboki, K.: The formation process of heavy rainfall caused by the typhoon T0423 in the mid-latitude. Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 3rd Annual Meeting, Singapore, 59-AS-A0773, July 10-14, 2006.

Tsuboki, K., : Typhoon simulations using the cloud-resolving model, CReSS. The Workshop on the Meiyu/Baiu frontal precipitation systems around Shanghai and over East China Sea, Shanghai, China, September 25, 2006.

野村光春・坪木和久：雲解像モデルを用いた台風のスパイラルバンドにおける降水強化過程の研究。台風の機動的観測に基づいた予報精度の向上と災害軽減に関する研究集会，京大生存圏研究所木質ホール，12-15p，12月13-14日，2006。

[図書] (計 1 件)

Kazuhisa Tsuboki and Atsushi Sakakibara, 2007: Numerical prediction of high-impact weather systems. *The Textbook for Seventeenth IHP Training Course in 2007*, 281pp.

[その他]

ホームページ

研究代表者のホームページに本科研費研究課題のページを作成している。

[http://www.rain.hyarc.nagoya-u.ac.jp/~tsuboki/kakenhi\\_typhoon/index\\_kaken\\_a\\_jpn.html](http://www.rain.hyarc.nagoya-u.ac.jp/~tsuboki/kakenhi_typhoon/index_kaken_a_jpn.html)

アウトリーチ活動情報

2008年9月12日午前7時50分、NHK、おはよう東海、金曜トーク(報道)。「増える局地的豪雨・メカニズムと対策」「平成20年8月末豪雨」についてメカニズムと対策を解説。

2007年9月29日午後11時00分、テレビ朝日、すてきな宇宙船地球業スペシャル(環境番組)。「竜巻・豪雨・超熱帯夜 予測不能の異常気象にあなたは耐えられるか」延岡などの台風に伴う竜巻と温暖化に伴う竜巻の変化についてコメントと解説。

2007年9月6日午後6時20分、中京テレビ、リアルタイム(ニュース・報道)。台風に伴う災害と防災についてコメントと解説。

2006年9月4日午前7時30分、NHK、おはよう東海、「水害対策最前線」台風に伴う豪雨についての予測についてコメント。

2006年8月8日(火)毎日新聞 夕刊。台風「内視鏡」名大・京大チーム 沖縄にレーダ設置 豪雨、強風予測目指す研究チーム坪木和久・名古屋大助教授。コメント掲載。

2006年6月16日(金)宮古毎日新聞 台風に伴う豪雨と暴風の量的高精度予測

を目指す観測プロジェクトが始まり、坪木和久・地球水循環研究センター助教授が代表を務める研究組織は、下地島・多良間島に降雨観測用ドップラーレーダを設置。

平成20年(2008)9月27日「台風のシミュレーション」。第14回名古屋大学博物館企画展「計算機シミュレーションで解き明かされる世界—計算科学の最前線—」，名古屋大学博物館，名古屋。坪木和久。

平成19年(2007)10月20日 台風・竜巻のふしぎ。第9回子ども雪博士教室，中谷宇吉郎雪の科学館，石川県加賀市。坪木和久。

平成18年(2006)10月26日 日本気象学会2006年度秋季大会公開シンポジウム「台風—伊勢湾台風から50年を経て」において講演。「雲解像モデルで見た台風の構造」，名古屋，ウィルあいちウィルホール。坪木和久。

平成18年(2006)7月9日 第21回名古屋大学 防災アカデミー，「竜巻と台風の話—地上におけるもっとも激しい気象を如何にコンピューターで再現するか—」，名古屋大学環境総合館。坪木和久。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

坪木 和久 (TSUBOKI KAZUHISA)

名古屋大学・地球水循環研究センター・准教授

研究者番号：90222140

### (2) 研究分担者

上田 博 (UYEDA HIROSHI)

名古屋大学・地球水循環研究センター・教授  
研究者番号：80184935

篠田 太郎 (SHINODA TARO)

名古屋大学・地球水循環研究センター・助教  
研究者番号：50335022

出世 ゆかり (SHUSSE YUKARI)

名古屋大学・地球水循環研究センター・研究員

研究者番号：80415851

### (3) 連携研究者

中北 英一 (NAKAKITA EIICHI)

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：70183506

林 泰一 (HAYASHI TAIICHI)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：10111981