

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25287121

研究課題名(和文) 台風強度を規定するアウトフローレイヤーの氷晶粒子直接観測と上層加熱率推定

研究課題名(英文) An estimation of the upper-layer heating rate and in-situ observation of cloud ice of the typhoon-outflow layer controlling typhoon intensity

研究代表者

坪木 和久 (Tsuboki, Kazuhisa)

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・教授

研究者番号：90222140

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円

研究成果の概要(和文)：台風の最大強度は海洋と対流圏上層の温度が第一義的にコントロールする。後者の温度を決める上層の加熱率は、台風の中心から周辺に広がるアウトフローレイヤーの雲粒子の特性に大きく依存する。そこで本研究では台風周辺に広がるアウトフローレイヤーの巻雲の特性を明らかにすることを目的として、巻雲に顕微鏡を投入し、粒子の形、大きさ、数などを直接観測した。観測は2013年と2014年の台風について沖縄本島で実施した。2事例の台風について観測を実施することができ、台風に伴う巻雲の粒子特性を明らかにされた。これにより雲解像モデルによる台風のシミュレーションにおける巻雲の表現についての理解が進んだ。

研究成果の概要(英文)：The maximum intensity of typhoon is largely controlled by temperature of the sea and that of the upper troposphere. The latter is determined by the heating rate in the upper troposphere, which is strongly dependent on the characteristics of cloud ice in the outflow layer extending from the typhoon center. The purpose of the present study is to clarify the characteristics of the cloud ice in the typhoon outflow layer. Shape, size and number density of cloud ice are directly observed by a balloon-borne microscope. The observation was performed in the Okinawa main island in 2013 and 2014. Two cases of typhoon were observed and characteristics of cloud ice were revealed. This result contributed to the improvement of cloud ice process of the cloud-resolving model.

研究分野：気象学

キーワード：台風強度 アウトフローレイア - 氷晶粒子 巻雲 雲解像モデル 雲粒子ゾンデ 偏波レーダ 台風最大

1. 研究開始当初の背景

台風やハリケーンの理解の進展とシミュレーションの高度化により、国内外の気象機関の予報モデルは、それらの進路予測の精度を年々向上させてきた。一方で台風強度の予測については過去 20 年にわたってほとんど改善がみられない。このことは台風の強度を決定する要因が十分理解されていないことを示している。本申請課題は台風の強度に関する 2 つの問題点の解決に向けた研究として位置づけられる。一つは理論的な到達可能最大強度の問題であり、もう一つは台風シミュレーションにおける台風の最大強度の問題である。

台風の理論最大強度とは、発達の阻害要因を除いた理想的な構造を考えたとき、海面水温と対流圏上端の温度で決まる台風の強度である (Emanuel 1986; Bister and Emanuel 1998)。台風は熱機関と考えることができ、空気塊が下層のインフローレイヤーで高熱源の海面から熱を取得し、台風上部のアウトフローレイヤーで低熱源の対流圏上端に熱を排出する。このプロセスの結果決まる強度が台風の最大可能強度であり、高熱源と低熱源の温度差で決まる熱力学的効率が大きいほど台風の最大強度は大きくなる。高熱源の海面水温については、長期にわたる全球の詳細な観測データが存在し、シミュレーションや理論において容易に与えられる。一方、対流圏上部の放射による加熱率は環境場の温度だけでなく、眼の壁雲から外向きに広がるアウトフローレイヤーの雲に大きく依存する。アウトフローレイヤーの雲粒子は氷晶粒子であるが、どのような形状の粒子で、どれくらいの密度で存在するのかについて、直接粒子をとらえた観測はほとんどない。このため雲の放射による加熱率の見積には大きな不確実性が含まれる。

もう一つの雲解像モデルを用いた台風のシミュレーションにおいても台風強度について同様の問題がある。対流圏上部で形成される氷晶粒子は落下による除去だけが、粒子密度を減少させるプロセスなので、氷晶粒子の雲は一旦形成されると長時間にわたって台風周辺に広がる。このため雲解像モデルでその広がりを正確に計算するためには、落下過程を規定する粒子の粒径分布を知る必要がある。しかしながら、これらについてはほとんどデータがないため、正確なモデル化ができておらず、台風上部の氷晶粒子の広がりを正確にシミュレーションできていない。

これらの問題を解決し、理論及び数値モデルによる台風強度推定の精度を向上させるためには、アウトフローレイヤーの氷晶粒子の粒径や粒子タイプなどの特性を明らかにすることが不可欠である。そのために氷晶粒子を直接観測することが不可欠である。

2. 研究の目的

台風の最大強度は海の温度と対流圏上層

の温度との差で決まり、後者の温度を決める上層の加熱率は、台風を中心から周辺に広がるアウトフローレイヤーの雲粒子の特性に大きく依存する。シミュレーションでも台風強度は放射過程を通して上層雲に大きく依存することが示されている。しかしながら、アウトフローレイヤーの雲は氷晶粒子で構成されており、その粒子タイプや粒径、さらに粒径分布については観測がほとんどなく、上層加熱率さらには台風強度の推定における大きな不確定要因となっている。本研究では台風のアウトフローレイヤーの雲に雲粒子ゾンデを打ち上げ、粒子の直接観測を行う。これにより粒径、形、数密度などの粒子の特性を明らかにすることを目的とする。これにより台風上部の雲の放射過程による加熱率推定と雲解像モデルの巻雲プロセスの改善に寄与する。

3. 研究の方法

これまでの観測に基づいて改良をしてきた雲粒子ゾンデ HYVIS の新型版を、名古屋大学と沖縄の情報通信研究機構の偏波ドップラーレーダーと共に用いて、台風のアウトフローレイヤーの雲の観測を実施する。観測は平成 25、26 年度の 2 年に渡って沖縄本島とその西にある粟国島で実施する。各年の 6 月～10 月の期間で、観測点に台風の接近が予測された場合、機動的に観測班を観測点に送り込み、観測を実施する。このとき雲解像モデル CReSS による予測シミュレーションを行い、観測をサポートする。雲粒子ゾンデ HYVIS は台風のアウトフローレイヤーの雲に放球し、同時にレーダーで HYVIS の通過する領域を観測する。観測された粒子のデータは、画像解析を行い、粒子タイプ、粒径、数濃度について統計をとる。

4. 研究成果

台風のアウトフローレイヤーの巻雲の観測は、2013 年と 2014 年に沖縄本島で雲粒子ゾンデを用いて実施した。2013 年の観測プロジェクトでは、雲粒子ゾンデ観測を沖縄県恩納村にある国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT) 沖縄電磁波技術センターで実施した。また、NICT の偏波レーダーによる観測を実施した。雲粒子ゾンデは明星電気により改良された新型で、本観測では特に巻雲粒子を観測するために強制吸引型を用い、顕微鏡画像のみを観測する特別なタイプを用いた。雲粒子ゾンデには明星電気製の GPS ゾンデを装着し、気温・湿度などの気象要素を同時に観測した。

観測事例は 2013 年 10 月 23～24 日に沖縄本島に接近した台風第 27 号 (FRANCISCO) である。この台風は沖縄本島に南東から接近し、24 日 00UTC に最接近し、その後北東に転向した。23 日から 24 日にかけての遅い移動速度時に台風の中心に相対的に様々な位置で 7 機の雲粒子ゾンデを放球した。

表1に雲粒子ゾンデの放球時刻、台風中心までの距離及び中心気圧をまとめた。No.1からNo.7まで徐々に台風が接近している。図1に雲粒子ゾンデ No.7 の放球時刻の赤外画像を示す。台風中心は×で示した放球点の東南東約230kmにあり、沖縄本島付近には低温の巻雲がみられる。高度4km以下はほぼ飽和で、多くの水滴がみられたが、4km~8kmは乾燥しており雲粒子は存在していなかった。この乾燥層は7回の観測すべてに共通してみられた。この乾燥層の上は氷について過飽和の層があり、台風の上部吹き出し層と考えられる。図2は高度8518mで観測された巻雲粒子である。約200 μm の板状の結晶や数10 μm の氷晶がみられる。氷過飽和の層はNo.2~No.7でみられ、台風中心に近くなるほど顕著になった。巻雲内の氷晶の粒子は、中心から遠い、No.1~No.5では極めて少なく、中心に近づいたNo.6とNo.7でようやく粒子数が増加した。これら結果から、台風の上部吹き出し層の巻雲は、中心から離れたところでは、粒子数が極めて少なく、中心に200~300km程度の近い所で比較的粒子が多くなり、数100 μm の大きな粒子が存在するようになることが示された。

表1. 雲粒子ゾンデ放球時刻、放球点から台風中心までの距離、台風を中心気圧。

No.1	10月22日 17:49UTC	550km	945hPa
No.2	10月22日 20:31UTC	510km	947hPa
No.3	10月23日 06:37UTC	360km	955hPa
No.4	10月23日 08:37UTC	350km	955hPa
No.5	10月23日 15:58UTC	290km	957hPa
No.6	10月23日 20:40UTC	260km	960hPa
No.7	10月24日 04:34UTC	230km	960hPa

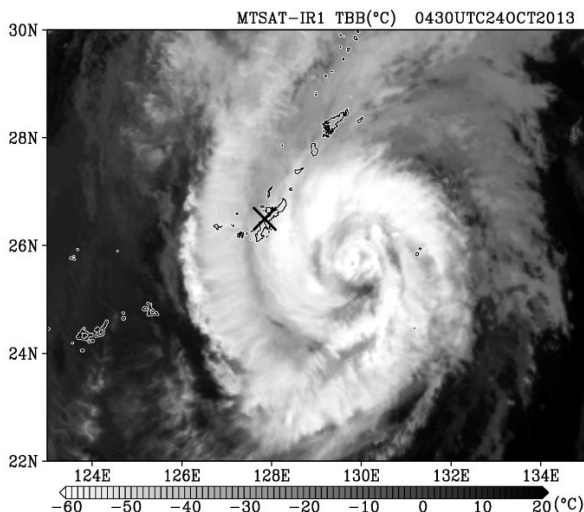


図1. 2013年10月24日04:30UTCの台風第

27号 FRANCISCO の MTSAT 赤外画像。×はゾンデ放球地点の NICT 沖縄電磁波技術センター。

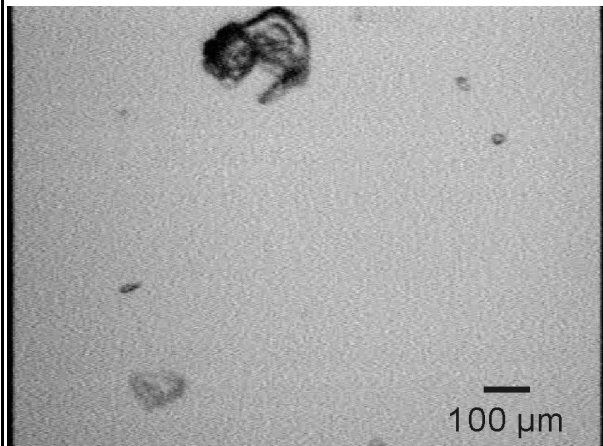


図2.雲粒子ゾンデ No.7 で観測された台風の上部吹き出し層の巻雲粒子の顕微鏡画像。標高8518m、気温-20。画像の横幅は1.3mmである。

2014年の台風についても、雲粒子ゾンデを用いた観測を実施した。観測は沖縄本島の国頭群恩納村の独立行政法人情報通信研究機構沖縄電磁波技術センターで実施した。同時に琉球大学理学部の屋上に設置した名大地球水循環研究センターのXバンド偏波レーダによる観測を実施した。観測対象とした台風は2014年8月8日に沖縄本島に接近した台風第11号である。この台風に対して、8月7日から9日にかけて観測を実施した。沖縄本島の東側を通過した中心の西側に広がる巻雲と降雨帯に伴う雲を対象として、雲粒子ゾンデを放球した。8月8日1246時(日本時間)のレーダ画像では、高度10~13kmに巻雲の弱いエコ-が観測された。雲粒子ゾンデで捕捉された氷晶粒子を、粒子板状粒子・柱状粒子・過冷却水滴・凍結降水・凝集体・不定形の6種類に分類した。氷晶粒子は高度9.5~13.25km付近で捕捉された。粒径を測定した結果、300 μm 程度の大きさの板状粒子が高度11km付近で数個観測された。しかし全高度において大半は目視で形状が判断できない10~数10 μm 程度の粒子で占められており、形状が判断できる場合でも100 μm を超えるような粒子はあまり存在していなかった。観測された数濃度は高度により異なっており、またほとんどが粒径100 μm 以下の粒子であった。この結果より、台風の上層巻雲の数濃度は高度ごとに一様ではなく、一方で氷晶粒子の粒径はほぼ一様に数10 μm 程度の大きさを持つことがわかった。

本研究では2事例の台風の観測を実施することができた。これにより台風の巻雲に対して雲粒子ゾンデを用いた観測方法が確立したとともに、台風に伴う氷晶粒子の形や大きさ及び数密度についてのデータを得ることができた。形については不定形のものが多く、数値モデルにおいて特定の氷晶形状を仮定

することが実際とあわないことが示された。これにより台風の巻雲のモデル表現について理解が進んだ。

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 8 件)

1. Sun, W.-Y., O. M. Sun, and K. Tsuboki: A modified atmospheric non-hydrostatic model on low aspect ratio grids: part II. *Tellus*, 65A, p1-10, 19681, 2013. (査読あり)
 2. Mori, N., M. Kato, S. Kim, H. Mase, Y. Shibutani, T. Takemi, K. Tsuboki and T. Yasuda: Local amplification of storm surge by Super Typhoon Haiyan in Leyte Gulf. *Geophys. Res. Lett.*, 41, 5106-5113, doi:10.1002/2014GL060689, 2014. (査読あり)
 3. Oue, M., K. Inagaki, T. Shinoda, T. Ohigashi, T. Kouketsu, M. Kato, K. Tsuboki and H. Uyeda: Polarimetric Doppler radar analysis of organization of a stationary rainband with changing orientations in July 2010. *J. Meteor. Soc. Japan*, 92, DOI:10.2151/jmsj.2014-503, 2014. (査読あり)
 4. Akter N. and K. Tsuboki: Role of synoptic-scale forcing in cyclogenesis over the Bay of Bengal. *Climate Dynamics*, 43, 2651-2662, doi:10.1007/s00382-014-2077-9, 2014. (査読あり)
 5. Kouketsu, T., H. Uyeda, T. Ohigashi, M. Oue, H. Takeushi, T. Shinoda, K. Tsuboki, M. Kubo, and K. Muramoto: A hydrometeor classification method for X-band polarimetric radar: Construction and validation focusing on solid hydrometeors under moist environments. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, doi:10.1175/JTECH-D-14-00124.1, 2015. (査読あり)
 6. Oue, M., T. Ohigashi, K. Tsuboki, and E. Nakakita: Vertical distribution of precipitation particles in Baiu frontal stratiform intense rainfall around Okinawa Island, Japan. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, 5622-5637, doi:10.1002/2014JD022712, 2015. (査読あり)
 7. Tsuboki, K., M. K. Yoshioka, T. Shinoda, M. Kato, S. Kanada, and A. Kitoh: Future increase of supertyphoon intensity associated with climate change. *Geophys. Res. Lett.*, 42, 646-652, doi:10.1002/2014GL061793, 2015. (査読あり)
8. 坪木和久: 2015年9月の関東・東北豪雨はなぜ起こったのか. *現代化学*, 536, 32-33, 2015. (査読なし)
- [学会発表](計 19 件)
1. Kouketsu, T., M. Oue, T. Ohigashi, K. Tsuboki, H. Minda, H. Uyeda, K. Suzuki, Y. Wakazuki and E. Nakakita: Validation of Hydrometeor Classification Method for X-band Polarimetric Radars Using Balloon-borne Instruments. 9th Conference on MCSs and High-Impact Weather in East Asia (ICMCS-IX), China Meteorological Administration, Beijing, China, 27-29 Mar. 2013. (28 Mar., oral)
 2. 小関麻真・坪木和久・瀧澤文晴・大東忠保・中北英一: 梅雨期降水システムの融解層より上空の固体降水粒子分布特性. 日本気象学会 2013 年度 秋季大会, 仙台国際センター, 仙台, 2013 年度秋季大会講演予稿集 B303 (p.378), 2013 年 11 月 18 日 - 21 日, (口頭).
 3. Tsuboki, K., C. Velden and T. Nakazawa: Re-estimation of the maximum intensity of the most intense typhoon using the Advanced Dvorak Technique. 日本気象学会 2013 年度 秋季大会, 仙台国際センター, 仙台, 2013 年度秋季大会講演予稿集 D164 (p.173), 2013 年 11 月 18 日 - 21 日, (口頭).
 4. 坪木和久: 気象庁ベストトラック強度データの経験的補正と強い台風の経年変化. 日本気象学会 2013 年度 春季大会, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 東京, 2013 年度春季大会講演予稿集 B309 (p.272), 2013 年 05 月 15 日 - 18 日, (口頭).
 5. 坪木和久: 雲解像大気・海洋・波浪結合モデルによる台風のシミュレーション. 平成 25 年度京都大学防災研究所共同研究集会「台風研究会」, 京都大学宇治構内総合研究実験棟, 宇治, 2013 年 09 月 09 日 - 10 日, (招待講演).
 6. Tsuboki, K., H. Hiki, A. Morimoto, T. Shinoda and M. Kato: Typhoon simulations using a coupled atmosphere-wave-ocean non-hydrostatic model. International Workshop on Risk Information on Climate Change, Miyoshi Memorial Hall Yokohama Institute for Earth Sciences, JAMSTEC, Yokohama, Japan, 25-27 Nov. 2014 (oral)
 7. Tsuboki, K.: Simulation Experiment of

- Tirnadoes Associated with a Typhoon Using a Cloud-resolving Model. Asia Oceania Geosciences Society 2014 Annual Meeting, Royton Sapporo Hotel, Sapporo, Japan, AOGS 11th Annual Meeting AS34-D4-AM2-RD-011, 31 Jul. 2014 (oral)
8. Kanada, S., A. Wada and K. Tsuboki: Impact of Ice-phase Microphysics on Inner-core Processes in Simulated Extremely Intense Tropical Cyclones. Asia Oceania Geosciences Society 2014 Annual Meeting, Royton Sapporo Hotel, Sapporo, Japan, AOGS 11th Annual Meeting AS07-25-D1-AM2-RD-013, 28 Jul. 2014 (oral)
 9. Ohigashi, T., K. Tsuboki and M. Oue: Videossonde observations of supercooled cloud droplet layers at the tops of wintertime stratiform clouds in northern Japan. 14th Conference on Cloud Physics, 52, Boston, MA, USA, American Meteorological Society, Jul. 7, 2014.
 10. 坪木和久・大東忠保・加藤雅也・一瀬明良・牛田祐貴・大脇良夫・酒井貴紘・中川勝広・岩井宏：雲粒子ゾンデを用いた台風 FRANCISCO(2013)の上部吹き出し層の巻雲の観測。日本気象学会 2014 年度春季大会，横浜市開港記念館，横浜，2014 年度春季大会講演予稿集 A401，2014 年 5 月 24 日，(口頭)。
 11. 大東忠保・坪木和久：梅雨期に発生したクラウドクラスターに関する雲解像モデル CReSS と観測との雲物理量の比較。日本気象学会 2014 年度春季大会，横浜市開港記念館，横浜，2014 年度春季大会講演予稿集 P311，2014 年 5 月 23 日，(ポスター)。
 12. 坪木和久：現在及び将来気候における台風の最大強度の推定。国立大学付属研究所・センター長会議 第 1 部会シンポジウム「激変する地球環境の現状と未来像」，京王プラザホテル札幌，札幌，2014 年 10 月 09 日，(招待講演)
 13. Suzuki, Y., T. Ohigashi, T. Hikida, M. Kukiya, K. Katsuno, T. Morino, Y. Ohwaki, T. Kouketsu, H. Yamada, H. Iwai, K. Nakagawa, and K. Tsuboki: Hydrometeor characteristics of cirrus clouds in the upper outflow layer of typhoons observed by the hydrometeor videossondes. The 9th Workshop of the Virtual Laboratory for the Earth's Climate Diagnostics Program, and the University Allied Workshop (UAW), Kashiwa, Japan, 29 Sep. 2015. (oral)
 14. Shinoda, T., Y. Ohwaki, T. Kouketsu, T. Ohigashi, K. Tsuboki, R. Shirooka, and H. Uyeda: Microphysical structure of a mesoscale convective system observed by hydrometeor videossondes (HYVISs) and a polarimetric radar over the western tropical Pacific Ocean. 37th Conference on Radar Meteorology, Norman, Oklahoma, USA, 15 Sep. 2015 (poster)
 15. Shinoda, T., Y. Ushita, T. Ohigashi, H. Yamada, R. Shirooka, K. Tsuboki, and H. Uyeda: Supercooled water droplets observed in an upper part of a precipitation cell over the western tropical Pacific Ocean. 26th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG2015), Prague, Czech Republic, 1 Jul. 2015 (oral)
 16. 坪木和久・吉岡真由美・加藤雅也・相木秀則・伊藤耕介：非静力学大気海洋結合モデルを用いた低緯度の台風第 1330 号 Haiyan のシミュレーション実験 日本気象学会 2015 年度秋季大会，京都テルサ，京都市，2015 年度秋季大会講演予稿集 A305 2015 年 10 月 30 日，(口頭)。
 17. 鈴木祐人・大東忠保・一瀬明良・牛田祐貴・大脇良夫・酒井貴紘・岩井宏徳・中川勝弘・坪木和久：雲粒子ゾンデ HYVIS により観測された台風上部巻雲の数濃度の水平分布の特徴。日本気象学会 2015 年度秋季大会，京都テルサ，京都市，2015 年度秋季大会講演予稿集 D108 2015 年 10 月 28 日，(口頭)。
 18. Tsuboki, K., T. Shinoda, T. Ohigashi: Observations and simulations of cloud ice and aerosol. 日本地球惑星連合大会 2015，幕張メッセ，千葉，2015 年 5 月 24 日，(口頭)。
 19. 鈴木祐人・坪木和久・大東忠保・疋田文晴・久木山真衣子・勝野継太・森野達也・大脇良夫・瀧澤文晴・山田広幸：雲粒子ゾンデ HYVIS により観測された台風上部吹き出し層の氷晶粒子の粒径・数濃度分布。日本気象学会 2015 年度春季大会，つくば国際会議場，つくば，2015 年度春季大会講演予稿集 P307，2015 年 5 月 23 日，(ポスター)。
- 〔図書〕(計 1 件)
1. 坪木和久・伊藤耕介(共著)：気象研究ノート第 226 号「台風研究の最前線(上)」- 台風力学 -、第 4 章メソ構造、日本気象学会、p93-126, 2013.
- 〔産業財産権〕
- 出願状況(計 0 件)
取得状況(計 0 件)
- 〔その他〕
- テレビ報道:35 件(以下主要なもののみ記載)
2. 坪木和久・金田幸恵：スーパー台風に

- ついて. NHK Eテレ サイエンスゼロ, 11月24日, 2013.
3. 坪木和久: 台風 30 号について. NHK クローズアップ現代, 11月18日, 2013.
 4. 坪木和久: 台風の中で直接観測. TBS News23, 10月31日, 2013.
 5. 坪木和久: 台風 26 号による伊豆大島での豪雨. NHK クローズアップ現代, 10月17日, 2013.
 6. 坪木和久: 地球温暖化による極端気象現象について. テレビ朝日 報道ステーション, 10月14日, 2014.
 7. 坪木和久: スーパー台風について. NHK NHK スペシャル, 8月31日, 2014.
 8. 坪木和久: スーパー台風について. NHK NHK 国際放送(Web), 7月11日, 2014.
 9. 坪木和久: 台風15号について テレビ朝日 報道ステーション, 8月26日, 2015.

新聞報道:

1. 坪木和久: スーパー台風に関するコメント 産経新聞 (夕刊), 11月13日, 2013.
2. 坪木和久: 台風 30 号の高潮に関するコメント 毎日新聞, 11月12日, 2013.
3. 坪木和久: スーパー台風に関するコメント 日本経済新聞, 10月27日, 2013.
4. 坪木和久: 台風 26 号による伊豆大島豪雨に関するコメント 日本経済新聞, 10月22日, 2013.
5. 坪木和久: スーパー台風についてのコメント 毎日新聞, 9月28日, 2013.
6. 篠田太郎: 2013 年夏のパラオにおける雲粒子ゾンデ観測について 日本経済新聞 (朝刊), 9月7日, 2014.
7. 坪木和久: 2013 年の沖縄台風観測を含む研究について 日本経済新聞 (朝刊), 8月12日, 2014.
8. 坪木和久: 人物特集記事「台風予測 より高精度で」 読売新聞 (夕刊), 7月24日, 2014.
9. 坪木和久: 台風 8 号に関するコメント 読売新聞 (朝刊), 7月8日, 2014.
10. 坪木和久: 人物特集記事「台風予測 より高精度で」 読売新聞 (朝刊), 9月15日, 2014.
11. 坪木和久: スーパー台風の脅威と備えについての解説 毎日新聞(朝刊), 10月2日, 2015.
12. 坪木和久: 地球温暖化に伴いスーパー台風はどこまで強くなるのか リスク対策.com Vol 51, 9月25日, 2015.
13. 坪木和久: スーパー台風に関するコメント 読売新聞, 1月7日, 2015.
14. 坪木和久: スーパー台風に関するコメント 時事通信, 1月7日, 2015.
15. 坪木和久: スーパー台風に関するコメント 中日新聞, 1月7日, 2015.

受賞:

日本地球惑星科学連合 2013 年学生優秀発表賞(大気海洋・環境科学セクション) 辻野智紀・坪木和久: 2012 年台風 15 号における多重壁雲の数値実験. 日本地球惑星科学連合 2013 年度 連合大会, 幕張メッセ, 千葉, 2013

6. 研究組織

(1)研究代表者

坪木 和久 (Kazuhisa Tsuboki)
名古屋大学宇宙地球環境研究所・教授
研究者番号: 90222140

(2)研究分担者

上田 博 (Hiroshi Uyeda)
名古屋大学宇宙地球環境研究所・教授
研究者番号: 80184935

篠田 太郎 (Taro Shinoda)

名古屋大学宇宙地球環境研究所・准教授
研究者番号: 50335022

大東 忠保 (Tadayasu Ohigashi)

名古屋大学宇宙地球環境研究所・助教
研究者番号: 80464155

山田広幸 (Hiroyuki Yamada)

琉球大学・理学部・教授
研究者番号: 30421879

(3)連携研究者

若月泰孝 (Yasutaka Wakazuki)

筑波大学・生命環境科学研究科・助教
研究者番号: 70455492

中川勝広 (Katsuhiko Nakagawa)

国立研究開発法人情報通信研究機構・電磁波計測研究所・主任研究員
研究者番号: 80359009