

令和元年6月20日現在

機関番号：18001

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04053

研究課題名（和文）南西諸島とフィリピンのドップラーレーダーを用いた台風の構造と強度の関係解明

研究課題名（英文）Understanding of the relationship between typhoon structure and intensity using Doppler radars in the Ryukyu Islands and Philippines

研究代表者

山田 広幸（YAMADA, Hiroyuki）

琉球大学・理学部・准教授

研究者番号：30421879

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：南西諸島とフィリピンで運用される気象ドップラーレーダーを用いて、台風の気流構造と中心気圧を推定し、台風の構造と強度の関係を調べた。3年の研究期間において、レーダー観測範囲を通過した台風48事例について強度推定を実施した。強度が急速に増加する事例について、目を取り囲む壁雲の収縮（半径の減少）が強度の変化と関係することを明らかにした。また、小さい目を持つ台風は強度の時間変化が大きいことも明らかにした。さらに、フィリピンを通過する猛烈な勢力の台風について、移動が速い場合は海洋の冷却の影響を受けずに強度を維持できることを観測と数値実験から明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

気象庁など現業機関が運用するドップラーレーダーを用いて、台風の強度を5分間隔の高頻度で推定することが可能になり、壁雲の軸対称性や半径の変化など、台風の中心近く（半径約100キロ以内）の構造変化が、強度変化と密接に関係することを明らかにした。この手法を用いることで、急速に発達（または衰退）する台風の強度変化を、台風が接近する半日～6時間前から的確に把握することが可能になった。さらに事例を増やし、推定結果の精度が保証されれば、台風防災情報の高度化につなげることができると考えられる。

研究成果の概要（英文）：The minimum central pressure and flow structure of typhoons were estimated using weather Doppler radars operated in the Ryukyu Islands and the Philippines. Using the results of estimation, a relationship between the structure and intensity of typhoons was investigated. In the 3-year research period, intensity estimation was made for 48 cases of typhoons that passed through the coverage of a radar. Using typhoons undergoing rapid intensification, we clarified that the eyewall contraction (i.e., reduction in radius) is related to the intensity change. We also revealed that a typhoon with a small eye undergoes large intensity changes. In addition, we clarified from observations and numerical simulations that a violent typhoon passing through the Philippines can maintain its strength without suffering ocean cooling if the typhoon can move faster than usual.

研究分野：気象学

キーワード：台風 強度 気象観測 ドップラーレーダー

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 台風の強度は、海上の観測が乏しいため、主に気象衛星の画像を用いて推定される。しかし、雲パターンの判定に主観を排除できないことや、急速な発達・衰退に対応できない問題を抱えている。警報の発表と防災への利用において、この不確実性は障害になりうるが、北西太平洋では航空機による定常的な直接観測が行われていないため手法の改良ができない状態にある。また、観測データの欠落は、台風の発達機構の理解も阻んでいる。

(2) 我々は先行する科研費（基盤 C, 25400468, 2013-2015 年度）により、ドップラーレーダーの動径風速データを用いて、台風の強度を推定する手法を確立した。この方法では風の回転成分を 5 分間隔の高頻度で精度良く推定でき、急速な強度変化を捉えることができる。この手法を実況監視に応用できれば、台風が陸に近づく半日～6 時間前までに正確な強度を提供できるので、防災情報の高精度化に貢献すると考えられた。

2. 研究の目的

(1) 南西諸島で運用されるドップラーレーダーを用いて、台風の気流構造と中心気圧を推定し、構造と強度の関係を明らかにする。これにより、台風の発達に関わる物理機構の解明と、強度推定の性能向上をめざし、社会的要望の高い台風予報の精度向上へ貢献する。気流構造と中心気圧の推定には、先行する科研費研究で開発したアルゴリズムを使用し、本課題にて自動処理化と精度検証を行う。また、中心気圧の推定と大気成層状態の把握に必要な気象観測を実施し、推定強度の検証のため、高解像度の大気海洋結合モデルを用いたシミュレーションを実施する。

(2) 南西諸島では、温帯低気圧への変質や、地形による構造の変質が起きる前の、台風本来の構造がレーダーで捉えられる利点があるが、より強い台風の多くは低緯度のフィリピン周辺を通過する場合が多い。このため、近年フィリピンに整備されたドップラーレーダーを用いて、甚大な災害に結びつく猛烈に発達した台風の構造の調査も行う。このため、フィリピン大気地球物理天文局 (PAGASA) で取得しているデータを使用する。

3. 研究の方法

(1) 先行する科研費研究で開発した強度推定手法を自動処理化し、精度検証を行うことで、リアルタイムでの実況監視に耐えうるものへ向上させる。また、南西諸島で地上・高層気象観測を実施し熱力学的なデータを取得し、レーダーで得られる風速分布と他の観測データをあわせて台風の構造と強度の関係を調べる。さらに、大気海洋結合モデルによるシミュレーションを実施し、観測データとの比較を行う。

(2) 南西諸島におけるドップラーレーダーの極座標データは、気象庁および研究協力者が所属する情報通信研究機構より取得し、データの処理（折り返し補正、ノイズ除去等）と、台風気流構造の計算、および中心気圧の推定は、琉球大学に設置した計算サーバーにて実施した。計算結果は琉球大学内の web サーバーにて公開した。

4. 研究成果

(1) 2015 年 8 月 23～24 日に気象庁石垣島レーダーの観測範囲内を通過した台風第 15 号 (Goni) について、強度の推定を行った。その結果を図 1 に示す。解析期間において、中心気圧は約 960hPa から約 925hPa まで低下しており、先島諸島の通過時に急速に発達していたことがわかった。最盛期の風速分布では中心の北東側（進行方向の前方）で風速が 80m/s に達しており、石垣島の最接近時（23 日 21 時頃）に地上で瞬間風速 71m/s を記録したと概ね整合した。この急速な発達は、2 重の輪として形成された壁雲のうち、内側のものが消失した後、外側の壁雲が内側に向かって収縮するときに起きており、推定された風を用いた解析により、角運動量の内向き輸送によって風速が増加していたことが明らかになった。この成果は米国気象学会の雑誌 *Journal of Atmospheric Sciences* に掲載された (Shimada et al. 2018, 雑誌論文)。

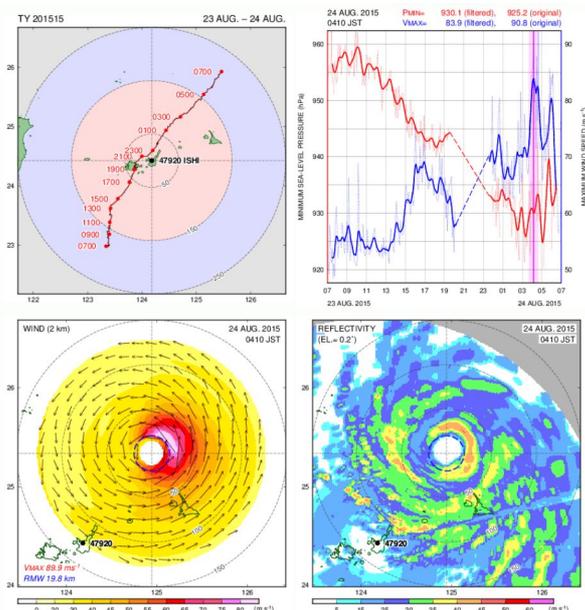


図 1 2015 年台風第 15 号の強度推定結果。左上は進路、右上は風速と中心気圧、左下は風速分布、右下は反射強度（降雨強度に対応）の分布。

(2) レーダーで推定された中心気圧の精度を検証するため、2015年までに推定を行った28事例について気象庁台風ベストトラックの中心気圧と比較した(図2上, Shimada et al. 2016, 雑誌論文)。両者の二乗平均平方根誤差(RMSE)は10hPa以下であり、概ね整合する結果が得られたが、いくつかの事例で大きな乖離が見られた。両者の乖離が30hPa以上と最も大きかった2010年台風7号(赤で強調)は、沖縄本島を通過する際に気象庁系数レーダーだけでなく情報通信研究機構Cバンド偏波レーダーでも観測することができたため、2台のレーダーで得た動径風速のベクトル合成により、直接的で高い精度で風速分布が得られる「デュアルドップラー」法をもとに中心気圧の推定を行った(図2下)。その結果、1台のレーダーによる推定結果とよく整合する気圧を推定しており、気象庁(JMA)や米軍合同台風警報センター(JTWC)の解析では急速な発達と衰退が捉えられていなかったことがわかった。この台風は目の半径が8km程度と非常に小さく、コンパクトな台風がしばしば急速な強度変化を伴うという過去の研究の主張と整合し、レーダーの高頻度かつ高精度な強度推定の利点が示された(山田他 2016, 学会発表 20)。

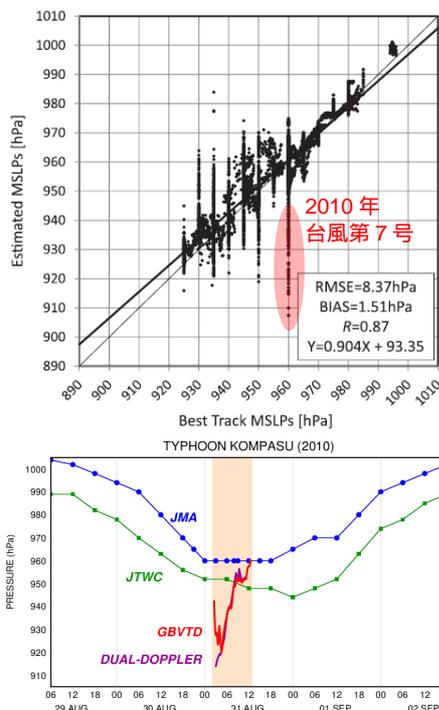


図2 (上)28事例における、推定された中心気圧と気象庁ベストトラック中心気圧の比較。(下)両者の差が最も大きかった2010年台風7号の中心気圧の推定結果。GBVTDが1台のレーダー、DUAL-DOPPLERが2台のレーダーを用いた推定結果。

(3) フィリピンでは、2013年台風第30号(Haiyan)の通過時にレイテ島で6メートルを超す高潮が発生し大きな被害があった。この台風に類似する経路を持ちレイテ島に上陸した台風は、過去122年の間に5事例あったが、その中で最も勢力の強い台風であった(Kubota et al. 2018, 雑誌論文)。太平洋沿岸のギワンで運用されるPAGASAのレーダーは、この台風の最接近時の暴風で本体が破壊される直前までのデータを取得したので、そのデータを使用して上陸直前の最盛期における強度推定を行った(図3)。太い黒矢印で示す西北西の進行方向に対し、右(北北東)側において風速が101m/sに達する結果が得られた。推定された中心気圧は906hPaだった(Shimada et al. 2017, 雑誌論文)。このように本事例では猛烈な勢力を推定することに成功したが、フィリピンのレーダーの信号処理方法に起因する課題も浮かび上がった。このレーダーではハードウェア上で速度データの平滑化が行われるため、73.6m/sを越える風速が現れた際に速度の補正を正しく行うことが難しくなるということである。この解決にはハードウェアの設定変更が必要になるため、PAGASAと協議する必要があり、今後の課題として残された。

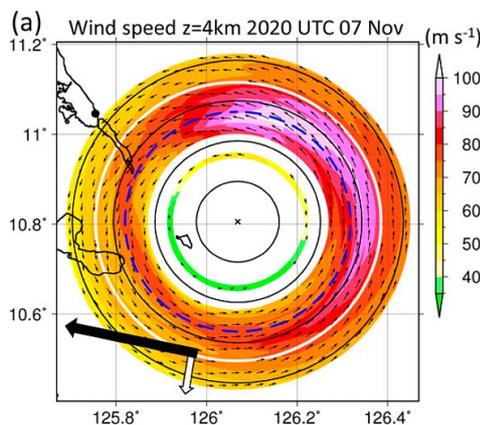


図3 フィリピン中部に上陸する直前に推定した2013年台風第30号(Haiyan)の風速分布。

(4) 台風Haiyanは、11m/sという比較的速度でフィリピンに接近し、勢力を維持したまま上陸したことが特筆された。海洋表面からの熱・水蒸気の供給が強度に与える影響を詳しく調べるため、大気海洋結合モデルを用いた数値実験を行った。通常、最も風速が強くなる壁雲の直下における海洋表層の水温は、強風による海洋の混合で低下し、海面熱フラックスが減少し、台風の発達を抑制することが知られている。しかしこの台風の場合、移動速度が比較的速度いことにより、海洋が冷却するよりも前に台風が進行することで、その前方にある冷却されていない海面からのエネルギー供給を継続的に受けることができ、それによって衰退することなくフィリピンに上陸したことを明らかにした(Wada et al. 2018, 雑誌論文)。大気海洋結合モデルを用いた数値実験は、このほか2016年台風第1号に伴うレインバンドの伝搬とシールド状の降水域の形成に対しても行った(Wada et al. 2018, 雑誌論文)。

(5) 以上のように、台風の強度推定手法を自動処理化し、精度検証を行い、リアルタイムでの実況監視に耐えうるものへ向上させることができた。急速な強度変化を高頻度の観測により捉える利点があるため、今後もさらに改良を進め、防災への利用の検討と、台風の発達メカニズムの理解へ向けてさらに研究を進めたい。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計14件)

Shimada, U., M. Sawada, and H. Yamada, 2018: Doppler radar analysis of the rapid intensification of Typhoon Goni (2015) after eyewall replacement. *Journal of Atmospheric Sciences*, **75**, 143-162, 査読あり.

<https://doi.org/10.1175/JAS-D-17-0042.1>

Kubota, H., 2018: Comparison of tropical cyclones Haiyan and Talas with tropical cyclones having similar tracks in the past 120 years. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **127**, 471-482, 査読あり.

<https://doi.org/10.5026/jgeography.127.471>

Shimada, U., H. Kubota, H. Yamada, E. O. Cayan, and F. Hilario, 2018: Intensity and inner-core structure of Typhoon Haiyan (2013) near landfall: Doppler radar analysis. *Monthly Weather Review*, **146**, 583-597, 査読あり.

<https://doi.org/10.1175/MWR-D-17-0120.1>

Ito, K., H. Yamada, M. Yamaguchi, T. Nakazawa, N. Nagahama, K. Shimizu, T. Ohigashi, T. Shinoda, and K. Tsuboki, 2018: Analysis and forecast using dropsonde data from the inner-core region of Tropical Cyclone Lan (2017) obtained during the first aircraft missions of T-PARCII. *Scientific Online Letters on the Atmosphere*, **14**, 105-110, 査読あり.

<https://doi.org/10.2151/sola.2018-018>

Wada, A., S. Kanada, and H. Yamada, 2018: Effect of air-sea environmental conditions and interfacial processes on extremely intense typhoon Haiyan (2013). *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, **123**, 10,379-10,405, 査読あり.

DOI:10.1029/2017JD028139

Wada, A., H. Tsuguti, H. Yamada, 2018: Formation and propagation of shield-like precipitation pattern in the Eastern China Sea remotely enhanced by Typhoon Nepartak (2016) simulated by an atmosphere-wave-ocean coupled model. *Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling*. **48**, 5-13. 査読なし.

Thorne, P.W., H. Kubota, 他, 2017: Toward an Integrated Set of Surface Meteorological Observations for Climate Science and Applications. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **98**, 2689-2702, 査読あり.

DOI:10.1175/BAMS-D-16-0165.1

Wada, A., and M. Kunii, 2017: The role of ocean-atmosphere interaction in Typhoon Sinlaku (2008) using a regional coupled data assimilation system. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. **122**, 3675-3695, 査読あり.

DOI: 10.1002/2017JC012750

Kubota, H., R. Shiroya, J. Matsumoto, E. O. Cayan, F. D. Hilario, 2017: Tropical cyclone influence on the long-term variability of Philippine summer monsoon onset. *Progress in Earth and Planetary Science*, **4**:27, 査読あり.

DOI: 10.1186/s40645-017-0138-5

Nakano M., H. Kubota, T. Miyakawa, T. Nasuno, and M. Satoh, 2017: Genesis of Super Cyclone Pam (2015): Modulation of Low-Frequency Large-Scale Circulations and the Madden-Julian Oscillation by Sea Surface Temperature Anomalies. *Monthly Weather Review*, **145**, 3143-3159, 査読あり.

<https://doi.org/10.1175/MWR-D-16-0208.1>

Shimada, U., M. Sawada, and H. Yamada, 2016: Evaluation of the accuracy and utility of tropical cyclone intensity estimation using single ground-based Doppler radar observations. *Monthly Weather Review*, **144**, 1823-1840, 査読あり.

DOI:10.1175/MWR-D-15-0254.1

Yamada, H., T. Nasuno, W. Yanase, and M. Satoh, 2016: Role of the vertical structure of a simulated tropical cyclone in its motion: A case study of Typhoon Fengshen (2008). *Scientific Online Letters on the Atmosphere*, **12**, 203-208, 査読あり.

DOI: 10.2151/sola.2016-041

Nasuno, T., H. Yamada, M. Nakano, H. Kubota, M. Sawada and R. Yoshida, 2016: Global cloud-permitting simulations of Typhoon Fengshen (2008). *Geoscience Letters*, **3**:32, 査読あり.

DOI: 10.1186/s40562-016-0064-1

熊澤里枝, 筆保弘徳, 久保田尚之, 2016: 1900年から2014年における日本の台風上陸数. *天気*, **63**, 855-861, 査読あり.

<https://ci.nii.ac.jp/naid/40021024053>

〔学会発表〕(計22件)

- (1) Yamada, H. 他: New observation strategies for typhoon intensity over the western North Pacific. The 13th Conference on Mesoscale Convective Systems and High-Impact Weather in East Asia. 2019年3月6~8日, 沖縄県立博物館・美術館, 沖縄県那覇市, 招待講演.
- (2) Wada, A., Y. Oikawa: The impacts of cold eddies on the intensity changes during the mature phase of Typhoon Trami (2018). The 13th Conference on Mesoscale Convective Systems and High-Impact Weather in East Asia. 2019年3月6~8日, 沖縄県立博物館・美術館, 沖縄県那覇市.
- (3) Yamada, H.: Typhoon Intensity Observation Through Upper-Tropospheric Aircraft Reconnaissance in the Western North Pacific. 51st Session of the ESCAP/WMO Typhoon Committee. 2019年2月25~27日, Guanzhou, China, 招待講演.
- (4) Yamada, H.: New observation strategies for typhoon intensity over the western North Pacific. 9th World Meteorological Organization International Workshop on Tropical Cyclones. 2018年12月4~7日, Honolulu, Hawaii, United States, 招待講演.
- (5) Yamada, H.: New observation strategies for typhoon intensity over the western North Pacific. APEC Research Center for Typhoon and Society 2018 Workshop. 2018年11月26~27日, Taipei, Taiwan, 招待講演.
- (6) Yamada, H.: Typhoon observation with aircraft reconnaissance in the western North Pacific. 日本気象学会秋季大会・小倉特別講義連携セッション, 2018年10月29~11月1日, 仙台国際会議場, 宮城県仙台市, 招待講演.
- (7) Yamada, H. 他: Double warm-core structure of Typhoon Lan (2017) observed by dropsondes during T-PARCII. Japan Geophysical Union annual meeting. 2018年5月20~23日, 幕張メッセ, 千葉市, 招待講演.
- (8) 和田章義, 津口裕茂, 山田広幸: 2016年台風第1号による南西諸島及び九州南部のシールド状降水域形成プロセス. 日本気象学会2018年度春季大会. 2018年5月16~19日. つくば国際会議場, 茨城県つくば市.
- (9) Yamada, H. 他: Double warm-core structure of Typhoon Lan (2017) observed by dropsondes during T-PARCII. 33rd conference on hurricanes and tropical meteorology. 2018年4月16~20日, Jacksonville, Florida, United States.
- (10) Yamada, H., U. Shimada, 他: Doppler radar observations on the intensity and structure of typhoons in the Ryukyu Islands and the Philippine Islands. International Conference on Mesoscale Convective Systems and High-Impact Weather in East Asia, 2017年10月17~20日, Taipei, Taiwan.
- (11) Tamori, C., H. Yamada, U. Shimada: Doppler Radar Observations on the Relationship between the Eyewall Slope and Intensity of Tropical Cyclones passing the Ryukyu Islands. International Conference on Mesoscale Convective Systems and High-Impact Weather in East Asia, 2017年10月17~20日, Taipei, Taiwan.
- (12) 田盛智翔也, 山田広幸: 気象レーダーで観測された台風の壁雲の傾斜と強度の関係. 京都大学防災研究所共同研究集会, 2017年9月28~29日, 京都大学防災研究所.
- (13) 山田広幸: 2016年8月に出現した「モンスーン渦」の特徴. 日本気象学会春季大会, 2017年5月25~28日, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 東京都渋谷区.
- (14) 嶋田宇大, 小山亮: 2016年台風第18号の眼の壁雲交換に伴う構造変化プロセス. 日本気象学会春季大会, 2017年5月25~28日, 国立オリンピック記念青少年総合センター, 東京都渋谷区.
- (15) Shimada, U.: Doppler radar analysis of intensity and inner-core structure of Typhoon Haiyan (2013) near landfall. J-POW special seminar on tropical cyclone. 2017年4月20日, Quezon City, Philippines, 招待講演.
- (16) 山田広幸: 2016年台風第5-7, 9-11号の発生に関わるモンスーン渦の特徴と成因. 日本気象学会関西支部第2回例会, 2016年12月9~10日, 高知大学, 招待講演.
- (17) 和田章義: 非静力学大気波浪海洋結合モデルを用いた台風海洋相互作用研究. 平成28年度京都大学防災研究所一般研究集会「台風研究会」, 2016年11月26~27日, 京都大学防災研究所.
- (18) 嶋田宇大, 沢田雅洋, 山田広幸 他: 2015年台風第15号の壁雲交換後の急発達に関する観測的研究. 日本気象学会秋季大会, 2016年10月26~28日, 名古屋大学.
- (19) 田盛智翔也, 山田広幸, 嶋田宇大: 2015年台風第15号の急発達期における壁雲の構造変化. 日本気象学会秋季大会, 2016年10月26~28日, 名古屋大学.
- (20) 山田広幸, 嶋田宇大, 岩井宏徳: 2010年第7号は「猛烈な」台風だった. 日本気象学会秋季大会, 2016年10月26~28日, 名古屋大学.
- (21) Shimada, U.: Observational study on rapid intensification of Typhoon Goni (2015) after eyewall replacement. 台風セミナー2016, 2016年8月4~5日, 名古屋大学.
- (22) Kubota, H. 他: Tropical cyclone landfall in Japan during 1900-2014. 32th AMS Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, 2016年4月17~22日, Puerto Rico,

United States.

〔図書〕(計3件)

- [1] 山田 広幸 他, ベレ出版, 台風についてわかっていること知らないこと, 2018, 344.
- [2] 山田 広幸 他, ジャムハウス, 世界気象カレンダー 2019年版, 2018, 28
- [3] 山田 広幸 他, 朝倉書店, 気候変動の辞典, 2017, 472.

〔その他〕

ホームページ等

レーダー台風強度推定のページ

http://sm1022.skr.u-ryukyu.ac.jp/met_rq/ty_int/

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 嶋田 宇大

ローマ字氏名: (SHIMADA, Udai)

所属研究機関名: 気象庁気象研究所

部局名: 台風研究部

職名: 研究官

研究者番号(8桁): 60750651

研究分担者氏名: 和田 章義

ローマ字氏名: (WADA, Akiyoshi)

所属研究機関名: 気象庁気象研究所

部局名: 台風研究部

職名: 主任研究官

研究者番号(8桁): 20354475

研究分担者氏名: 久保田 尚之

ローマ字氏名: (KUBOTA, Hisayuki)

所属研究機関名: 北海道大学

部局名: 理学研究員

職名: 特任准教授

研究者番号(8桁): 40359211

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 岩井 宏徳

ローマ字氏名: (IWAI, Hironori)

研究協力者氏名: 伊藤 耕介

ローマ字氏名: (ITO, Kosuke)

研究協力者氏名: 山本 真之

ローマ字氏名: (YAMAMOTO, Masayuki)

研究協力者氏名: 北島 尚子

ローマ字氏名: (KITABATAKE, Naoko)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。