

海外特別研究員最終報告書

独立行政法人 日本学術振興会 理事長 殿

採用年度 平成 29 年度

受付番号 62

氏名

内海信幸

(氏名は必ず自署すること)

海外特別研究員としての派遣期間を終了しましたので、下記のとおり報告いたします。

なお、下記及び別紙記載の内容については相違ありません。

記

1. 用務地 (派遣先国名) 用務地: パサデナ (国名: 米国)

2. 研究課題名 (和文) ※研究課題名は申請時のものと変わらないように記載すること。

陸域水循環に対する気象システム別の降水寄与度推定手法の開発3. 派遣期間: 平成 29 年 7 月 11 日 ~ 令和 元年 6 月 30 日

4. 受入機関名及び部局名

ジェット推進研究所 レーダーサイエンス&エンジニアリンググループ5. 所期の目的の遂行状況及び成果…書式任意 **書式任意 (A4 判相当 3 ページ以上、英語で記入も可)**

(研究・調査実施状況及びその成果の発表・関係学会への参加状況等)

(注)「6. 研究発表」以降については様式 10-別紙 1~4 に記入の上、併せて提出すること。

【研究・調査実施状況】

気象システム検出手法の改良・拡張

気象システム検出手法の改良・拡張を行った。これまでの検出手法のうち熱帯低気圧および温帯低気圧の中心候補の検出には海面高度気圧の極小点を用いてきた (Utsumi et al., 2016)。しかし本手法は陸上での地形の影響を受けやすいことが分かった。そこで 850hPa 高度における相対渦度の極大点を用いて低気圧中心の候補の検出を行ったところ、海面高度気圧を用いた場合と比較して地形の影響を受けにくくなった。

さらに、これまでの検出対象に加えてモンスーンの検出を行った。モンスーンの検出は 1) モンスーン地域の決定と 2) モンスーン地域におけるモンスーン日の検出の 2 段階からなる。

モンスーン地域の決定は既往研究を参考にした (表 1)。既往研究においては、モンスーン地域は主に降水の年内変動の大きさと、夏季と冬季の降水量の比を用いて決定される。それぞれの手法を比較検討し、本研究では Zhang and Wang (2008) の手法を踏襲した。これは 5 月—9 月の平均降水量と 11 月—3 月の平均降水量の差が 3 mm/day 以上であり、さらに夏季 (北半球では 5 月—9 月、南半球では 11 月—3 月) の降水量が年間降水量の 55% 以上であるグリッドをモンスーン地域とするものである。

表 1 モンスーン地域の決定手法の比較

	Annual range of precip.	Ratio of summer precip to annual precip.
Wang and Ding [2006]	JJA - DJF > 180mm	>35%
Zhang and Wang [2008]	MJJAS - NDJFM > 3mm/day	>55%
Wang et al. [2014]	MJJAS - NDJFM > 2mm/day	>55%

モンスーン日の検出は Zeng and Lu (2004)が提案した Normalized Precipitable Water Index (NPWI)を改変したものを用いて行った。Zeng and Lu (2004)が提案する NPWI は各グリッドにおいて日単位で

$$NPWI = (PW - PW_{Imin}) / (PW - PW_{Imax})$$

によって定義される。ここで PW は日平均の可降水量、PW_{Imin} と PW_{Imax} は参照期間 10 年間での日平均の可降水量の最大値および最小値である。Zeng and Lu (2004)は NPWI が閾値 (0.618) を初めて超える日をモンスーンの開始日、その後初めて閾値を下回る日をモンスーンの終了日とした。しかしこの方法は、モンスーン期間の開始・終了日が不安定になる傾向がある。そこで本研究ではモンスーンの開始日と終了日を決定するのではなく、NPWI が閾値を超える日をモンスーン日とした。また本研究開始時点で、気候変動影響評価に用いるデータセット (HAPPI データセット、後述) では、可降水量の代わりに比湿が利用可能であった。このため、本研究では可降水量に代えて 850、500、250hPa の比湿の平均値を用いて NPWI を算出した。なお、可降水量と比湿の両者が利用可能な再解析データ (JRA-55) を用いて検証した結果、両手法で算出した NPWI はほぼ同様の変動を示すことが確認された。

気候変動下における気象システム別の降水量変化

改良した気象システム検出手法を気候変動数値実験の出力に適用し、パリ協定の気温目標 (産業革命以前と比較した全球平均気温の上昇量が +1.5°C および +2.0°C) の気候における極端降水を、気象システム (熱帯低気圧、温帯低気圧、モンスーン) に着目して分析した。

気候変動数値実験出力としては Half a degree Additional warming, Prognosis and Projected Impacts (HAPPI) project (Mitchell et al., 2017) (以下、HAPPI データ) を用いた。これは産業革命以前と比較した全球平均気温の上昇量が +1.5°C および +2.0°C のケースを対象に行われたマルチモデル・大規模アンサンブル実験である。本研究では研究開始時に利用可能であった Model for Interdisciplinary Research on Climate (MIROC5) (Shiogama et al., 2014) による実験結果 (現在気候、1.5°C 上昇時、2.0°C 上昇時それぞれについて 10 年間×50 アンサンブル) を用いた。

極端降水 (現在気候における 99.99 パーセントイル 6 時間降水量を超える降水) の頻度は、全球平均で見ると +1.5°C 上昇時と +2.0°C 上昇時のどちらについても増加した。気象システム別にみた極端降水の頻度も同様に、+1.5°C 上昇時と +2.0°C 上昇時の両者で増加がみられた。また、+1.5°C 上昇時と +2.0°C 上昇時を比較すると、モンスーンに伴う極端降水の頻度に最も大きな差がみられた。これは、+1.5°C 上昇時から +2.0°C 上昇時までの追加的な +0.5°C の気温上昇に対して、モンスーンの極端降水が最も強く反応することを示唆している。

気温変化に対する極端降水の頻度の変化率を、現在気候～+1.5°C 上昇時と +1.5°C 上昇時～+2.0°C 上昇時の二つの期間について推定し、両者を比較した。2 期間を比較すると、解析対象とした世界の 26 地域のうち、11 地域で極端降水頻度の変化率の強化 (加速) がみられた。一方、変化率の減少 (減速) がみられた地域は 3 地域にとどまっていた。本研究の成果は、パリ協定の二つの気温目標における極端降水の違いを、原因となる気象システムに着目しながら定量的に示した点で意義がある。

全球衛星降水データの不確実性推定

全球の水循環の定量化には降水分布の把握が不可欠である。人工衛星による降水量観測は地上観測網が十分でない地域を含めて全球の降水量を推定できるほぼ唯一の手段である。現在、衛星観測を用いて全球の降水分布を 30 分～1 時間程度の時間解像度でとらえる全球衛星降水プロダクトが日本や米国で開発されている (Ushio et al., 2009; Joyce and Xie, 2011; Ashouri et al., 2015; Huffman et al., 2018)。

全球衛星降水プロダクトの多くはマイクロ波放射計観測や静止衛星からの赤外放射計観測など様々な情報を組み合わせて様々なプロセスを経て作成される。このため、各プロセスに起因する不確実性が最終的なプロダクトの不確実性につながっている。本研究では米国航空宇宙局 (NASA) が開発する全球衛星降水プロダクト IMERG (Huffman et al., 2018) について、プロダクトの作成プロセスに起因する不確実性の評価を行った。

IMERG は大きく分けて以下のプロセスによって作成される。

- 1) マイクロ波放射計による降水強度推定
- 2) マイクロ波放射計降水強度の校正 (Calibration)
- 3) 複数の衛星によるマイクロ波放射計降水強度の合成
- 4) 赤外観測を用いた降水移動ベクトルの推定
- 5) 積雪面上の降水強度推定
- 6) マイクロ波放射計降水強度の時空間移流
- 7) 赤外観測を用いた降水強度推定
- 8) カルマンフィルタを用いたマイクロ波放射計・赤外合成降水強度の推定
- 9) 地上雨量計観測を用いた補正

本研究ではこのうち 1) マイクロ波放射計による降水強度推定、2) マイクロ波放射計降水強度の校正、4) 赤外観測を用いた降水移動ベクトルの推定の 3 つのプロセスに起因する不確実性を評価した。

これには、各プロセスでの入力値やパラメータに対して複数の候補を試行するアンサンブルアプローチを用いた（表 2）。

マイクロ波放射計による降水強度推定に関しては、IMERG の標準入力データである NASA の Goddard profiling algorithm (GPROF; Kummerow et al., 2015)による推定値に加え、ジェット推進研究所で開発された降水強度推定アルゴリズム (EPC アルゴリズム; Turk et al, 2018) による推定値を用いた。

EPC アルゴリズムにはマイクロ波輝度温度と降水強度を対応付けるデータベースが用いられるが、データベース作成に利用される観測情報の違いによって降水強度の推定値が異なる。本研究では異なる観測情報に基づく 4 種のデータベースを作成し、GPROF と合わせて合計 5 種類のマイクロ波放射計降水強度データを用意した。

校正に関しては、その影響を調べるため「校正あり」と「校正なし」の 2 通りの実験を行った。

降水移動ベクトルに関しては IMERG で用いられている標準データに加え、その速度を±20%変化させた場合を考え、合計 3 通りの移動ベクトルを用意した。

これらを組み合わせ、合計で 24 通り（=4×2×3）の衛星降水プロダクトを作成し、インド洋における低気圧による降水と、北米の南東部における寒冷前線による降水を例として、不確実性の定量化を行った。その結果、マイクロ波放射計降水強度の選択と校正の有無は最終的なプロダクトに同程度の不確実性をもたらすことがわかった。移動ベクトルによる不確実性は他の 2 つのプロセスと比較すると小さい傾向があった。

また時空間スケールに着目すると、小さい領域や短い時間スケールでは校正の影響が大きく、時にはマイクロ波放射計降水強度の誤差を増幅してしまう場合があることがわかった。一方、広い領域や長い時間スケールの平均値に対しては、校正プロセスはマイクロ波放射計降水強度の選択による差を縮小する傾向があった。これは真値と考えるデータと統計的な特徴が一致するように校正を行う、統計的な校正手法全般に共通する傾向であると推察される。衛星降水プロダクトは気候学的解析に加えて防災等への利用も行われているが、気候学的解析と防災利用では対象とする時空間スケールが互いに異なる。本研究の結果は、プロダクトの利用目的に適した校正手法を選択することの重要性を示すものである。

【参考文献】

- Ashouri, H., K.-L. Hsu, S. Sorooshian, D. K. Braithwaite, K. R. Knapp, L. D. Cecil, B. R. Nelson, and O. P. Prat, 2015: PERSIANN-CDR: Daily Precipitation Climate Data Record from Multisatellite Observations for Hydrological and Climate Studies. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 96, 69–83, doi:10.1175/BAMS-D-13-00068.1.
- Huffman, G. J., and Coauthors, 2018: NASA Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG). Algorithm theoretical basis document, version 5.2 <https://pmm.nasa.gov/resources/documents/gpm-integrated-multi-satellite-retrievals-gpm-imerg-algorithm-theoretical-basis->.
- Joyce, R. J., and P. Xie, 2011: Kalman Filter–Based CMORPH. *J. Hydrometeor.*, 12, 1547–1563, doi:10.1175/JHM-D-11-022.1.
- Kummerow, C. D., D. L. Randel, M. Kulie, N.-Y. Wang, R. Ferraro, S. Joseph Munchak, and V. Petkovic, 2015: The Evolution of the Goddard Profiling Algorithm to a Fully Parametric Scheme. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 32, 2265–2280, doi:10.1175/JTECH-D-15-0039.1.
- Mitchell, D., and Coauthors, 2017: Half a degree additional warming, prognosis and projected impacts (HAPPI): background and experimental design. *Geosci. Model Dev.*, 10, 571–583, <https://doi.org/10.5194/gmd-10-571-2017>.
- Shiogama, H., M. Watanabe, Y. Imada, M. Mori, Y. Kamae, M. Ishii, and M. Kimoto, 2014: Attribution of the June–July 2013 Heat Wave in the Southwestern United States. *Sola*, 10, 122–126, <https://doi.org/10.2151/sola.2014-025>.
- Turk, F. J., Z. S. Haddad, P. Kirstetter, Y. You, and S. Ringerud, 2018: An observationally based method for stratifying a priori passive microwave observations in a Bayesian - based precipitation retrieval framework. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, doi:10.1002/qj.3203. <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/qj.3203>.
- Ushio, T., and Coauthors, 2009: A Kalman Filter Approach to the Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) from Combined Passive Microwave and Infrared Radiometric Data. *Journal of the Meteorological Society*

表 2 各プロセスのアンサンブル

Ensemble members	
PMW precip. retrievals	GPROF (Kummerow et al., 2015)
	EPC_A (Turk et al., 2018)
	EPC_B (")
	EPC_C (")
	EPC_D (")
Calibration	No calibration
	With calibration
Propagation vector	Default
	x80%
	x120%

of Japan. Ser. II, 87A, 137–151, doi:10.2151/jmsj.87A.137.

- Utsumi, N., H. Kim, S. Kanae, and T. Oki, 2016: Which weather systems are projected to cause future changes in mean and extreme precipitation in CMIP5 simulations? *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 2016JD024939, <https://doi.org/10.1002/2016JD024939>.
- Wang, B., and Q. Ding, 2006: Changes in global monsoon precipitation over the past 56 years. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L06711, <https://doi.org/10.1029/2005GL025347>.
- Wang, P. X., B. Wang, H. Cheng, J. Fasullo, Z. T. Guo, T. Kiefer, and Z. Y. Liu, 2014: The Global Monsoon across Time Scales: is there coherent variability of regional monsoons? *Climate of the Past Discussions*, 10, 2163–2291, <https://doi.org/10.5194/cpd-10-2163-2014>.
- Zeng, X., and E. Lu, 2004: Globally Unified Monsoon Onset and Retreat Indexes. *J. Climate*, 17, 2241–2248, [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<2241:GUMOAR>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<2241:GUMOAR>2.0.CO;2).
- Zhang, S., and B. Wang, 2008: Global summer monsoon rainy seasons. *Int. J. Climatol.*, 28, 1563–1578, <https://doi.org/10.1002/joc.1659>.

【成果の発表・関係学会への参加状況】

査読付き論文

- Utsumi, N., H. Kim, F. J. Turk, and Ziad. S. Haddad, 2019: Improving Satellite-Based Subhourly Surface Rain Estimates Using Vertical Rain Profile Information. *J. Hydrometeor.*, 20, 1015–1026, <https://doi.org/10.1175/JHM-D-18-0225.1>.
- Madakumbura, G. D., H. Kim, N. Utsumi, H. Shiogama, E. M. Fischer, Ø. Seland, J. F. Scinocca, D. M. Mitchell, Y. Hirabayashi, and T. Oki (2019), Event-to-event intensification of the hydrologic cycle from 1.5 °C to a 2 °C warmer world. *Scientific Reports*, 9, 3483, doi:10.1038/s41598-019-39936-2.
- Utsumi, N. and H. Kim (2018), Warm Season Satellite Precipitation Biases for Different Cloud Types Over Western North Pacific, *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, 15(6), 808–812, doi:10.1109/LGRS.2018.2815590.
- 渡部 哲史, 中村 みゆき, 内海 信幸 (2018), アメダス観測点を対象とした d4PDF バイアス補正降水量データセットの開発, *水工学論文集*, Vol.63, I_127-132
- Watanabe. S., N. Utsumi, and H. Kim (2018), Projection of the changes in weather Potentially affecting tourism in the Yaeyama islands under global warming, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. G (Environmental Research)*, Vol.74, No.5, I_19-I_24.
- 渡部哲史, 内海信幸. (2018). 大規模気候予測情報類型化に向けた d4PDF 日本域降水量の特徴の把握. *水工学論文集*, 62, I_169-174.

学会発表等

- Utsumi, N., H. Kim, F. J. Turk, and Z. S. Haddad, Using vertical rain profile information to improve satellite-based sub-hourly surface rain estimates, in 12th International Precipitation Conference, 19-21 June, 2019, Irvine, California, USA. (Poster)
- Utsumi, N., H. Kim, F. J. Turk, and Z. S. Haddad, Improving satellite-based sub-hourly surface rain estimates using vertical rain profile information, in AGU Fall meeting, 10-14 December, 2018, Washington, D.C., USA. (Poster)
- Utsumi, N., H. Kim, F. J. Turk, and Z. S. Haddad, Improving satellite-based sub-hourly surface rain estimates using vertical rain profile information, in 9TH Workshop of International Precipitation Working Group, 5-9 November 2018, Seoul, South Korea.
- Utsumi, N., and F. J. Turk, A self-consistent ensemble approach to propagate detection, estimation, and evolution uncertainties through Global Precipitation Measurement surface precipitation mapping. in SPIE Asia-Pacific Remote Sensing, 26 September, 2018, Honolulu, Hawaii, USA, No. 10782-26.
- Utsumi, N. and H. Kim, Systematic Differences in Satellite Precipitation Products Associated with Cloud Types over Western North Pacific, in AGU Fall meeting, 11 -15 December, 2017, New Orleans, USA.