## 令和4年度研究成果報告書

### 『東北地域における気象・気候情報の高度利用』

令和 5 年 9 月

ヤマセ研究会

## 目次

ヤマも	2研究会3
令和	4年度成果
1.	北日本にみられる4月8月の気温の負の相関関係の「その後」と「要因」5
2.	古文書に基づく小笠原諸島 父島における 1906 年以前の降水量の復元8
3.	RRJ-Conv.の降水の検証(2001 年~2020 年の大雨)11
4.	<b>Rainscope</b> ゾンデ観測と数値モデルによる降水形成機構解明14
5.	統計的手法による気候区分の特徴とその農業利用19
6.	収量と品質の変化に基づく東北のコメ生産額の将来予測21
7.	やませの将来変化
8.	ドローンを用いた気象観測がもたらす東日本における冷夏予測への寄与27
9.	寒気質量を用いた近畿地方日本海側の大雪の大気大循環的要因の解明31
10.	多窒素施用がイネ穂ばらみ期耐冷性を低下させる要因の解明
11.	気候変化から探る近年において災害級の冷夏が発生していない理由33
12.	2019年台風 19号を対象とした山越えする降雨の特徴
13.	石狩川における塩水遡上発生時の水理・水文学的要因の分析
14.	気象庁が開発する最新の地球温暖化予測情報等の紹介44
15.	DIAS と気候予測データセット 2022 公開サイトの紹介47
16.	d4PDF5km 全国アンサンブル実験による極端降水の将来変化49

### ヤマセ研究会

ヤマセ研究会は、東北地域で最も関心の持たれる気象現象の一つであるヤマセへの理 解を深め、予測精度の向上と気象情報の高度利用を目指して、2009年に発足した。 2017年開催の第13回研究会からは、研究会のテーマはヤマセに限らず幅広く以下の 内容を対象としている。

- (1) 東北地域の温暖化とその適応策
- (2)気象観測、気象予測・気候予測情報の高度利用
- (3) 関連する数値モデル技術の向上

本研究会での議論とこの報告書が、東北地域での気象・気候情報の活用に資し、今後の新しい研究、応用の種となることを願ってやまない。

東北大学 山崎 剛

第18回ヤマセ研究会の開催

第18回ヤマセ研究会は2023年2月28日から3月1日にかけて、東北大学にて開催した。新型コロナウイルス感染症の影響により、第17回はオンライン開催としたため、2019年新庄市で開催した第16回以来の対面実施となった。多数の方にご参加いただき感謝を申し上げる。本研究会は、本研究は文部科学省気候変動予測先端研究プログラム JPMXD0722680734の助成を受けた。

# 令和4年度成果

1. 北日本にみられる4月8月の気温の負の相関関係の「その後」と「要因」 大久保さゆり\*、井上聡\*、菅野洋光\*\*(\*:農研機構 東北農業研究センター \*\*:農研機構 農 業環境研究部門)

#### a) 要旨

先行研究である Kanno(2013)が示した 1999-2011 年の北日本の4月と8月の月平均気温 が負の相関関係にあることについて、期間を2021 年まで延長して解析した。その結果、北 日本の4月と8月の気温の相関関係は1998-2021 年の間も持続していることに加え、北日 本に限らず35°以北の広い範囲でみられることを新たに確認した。また北日本の4,8月気 温それぞれの年次変動に共通する要因として、4月,8月それぞれについて200hPa高度と 5月のAAO(南極振動)指数との間に北日本付近で有意な関係が示された。

#### b) 本文

(1)方法

対象期間:1998~2021年(cf. 先行研究 Kanno (2013)では1998-2011年) 使用データ:地上気温には気象庁ホームページより取得した気象官署 83 地点の観測データ を使用した。北海道と東北6県では地域内の全ての気象官署 39 地点を、その他の地域では 各都府県から1地点、および島嶼部にある地点から選定した(図2参照)。総観場の解析に は気象庁長期再解析 JRA-55 (Kobayashi et al. 2015)を使用した。

(2)結果

2-1) 4月-8月の負相関の継続

先行研究(Kanno, 2013)に倣い、北海道と東北地域6県に所在する気象官署39地点の 月平均気温の平均値を「北日本の平均気温」と定義し、対象期間を1998年から2021年の 24年間に拡張して、月別の相関係数を求めた(表1)。その結果、隣接する月を中心に複数 のペアに正の相関関係が認められたほか、先行研究と同様に、時期が離れているにも関わ らず4月・8月との間に負の相関関係が有意に認められた。4,8月の月気温偏差の散布図 を図1に示す。

2-2) 4月-8月相関の地域分布

国内の気象観測地点ごとに、1998-2021年の4、8月の月平均気温偏差の相関係数を求めた(図2)。その結果、4、8月の気温の負の相関関係は北日本を中心に、北日本に限らず35°N以北の広い範囲でみられることが新たに示された。

5

#### 2-3)総観場の傾向

再解析データ JRA-55 で 1998-2021 年の4、8月の総観場を調査したところ、先行研究 と同様に、4月とその年の8月とで 200hPa 付近の東西風の軸が日本列島の南北どちらに位 置するかが逆転する傾向にあり、東西風の軸が北側にあれば高温、南側にあれば低温とし て北日本の気温の変動の特徴と一致することを確認した(図省略)。

#### 2-4) 4月8月の関係の要因について

北日本の4、8月双方の気温の年次変動に共通する要因について、JRA-55 の各グリッ ドごとに年次変動と北日本の4月あるいは8月平均気温の年次変動との相関を求め、類似 した年次変動を示す地域を調査したところ、5月の南極付近の気圧配置に北日本の気温偏 差との強い相関がみられた。そこで、南極振動指数(AAO index)を用い、5月のAAO 指 数により4月,8月それぞれの回帰係数分布を求めたところ(図3)4月,8月それぞれに おいて北日本付近に有意な関係がみられた。その結果、5月にAAO 指数が高い値であると その年の北日本の4月は低温,8月は高温になる関係が示唆された。南極振動指数と日本付 近の4,8月の気温の年次変動の相関関係について、今後解析を進める。



図1 北日本の4月,8月気温偏差の散布図



図2 1998-2021 年における 4月,8月平均気温偏差の相関係数分布



図3 1998-2021 年における4月(上)および8月(下)の200hPa高度の5月AAO指数による回帰係数分布(単位m, 陰影は5%有意を示す)

私II 犯百年の月十初入価による月別伯昺休妍(1990-2021 平)											
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10 月	11 月
2 月	0.58										
3月	0.24	0.48									
4月	-0.10	0.10	0.53								
5 月	0.29	0.36	0.51	0.40							
6月	0.36	0.15	-0.05	-0.47	-0.20						
7 月	-0.08	0.01	0.15	-0.01	0.11	0.19					
8月	0.17	-0.03	-0.26	-0.76	-0.23	0.48	0.24				
9月	-0.05	-0.14	-0.16	-0.39	-0.14	0.13	0.08	0.68			
10 月	-0.27	-0.34	0.08	-0.07	-0.32	0.03	0.01	0.15	0.50		
11 月	-0.08	-0.04	-0.04	-0.33	-0.21	0.56	0.17	0.11	-0.04	0.09	
12 月	0.14	0.23	0.31	-0.10	0.14	0.16	-0.05	0.08	-0.03	0.00	0.29
<b>太字</b> は 5%有意、 <mark>太字+シェード</mark> は 1%有意を示す。											

表1 北日本の月平均気温による月別相関係数(1998-2021年)

c) 参考文献

- Kanno, H. 2013. Strongly Negative Correlation between Monthly Mean Temperatures in April and August since 1998 in Northern Japan. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 91: 355-373. <u>https://doi.org/10.2151/jmsj.2013-308</u>
- Kobayashi, S. et al. 2015. The JRA-55 Reanalysis: General Specifications and Basic Characteristics. Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II, 93: 5-48. <u>https://doi.org/10.2151/jmsj.2015-001</u>

2. 古文書に基づく小笠原諸島 父島における 1906 年以前の降水量の復元 菅野洋光(農研機構 農業環境研究部門)・松山 洋(東京都立大学)

#### a) 要旨

小笠原諸島 父島では第二次世界大戦前に比べて戦後の降水量が減少したことが知られ ているが、これは父島気象観測所(大村という集落にあり)における 1907 年以降の気象デ ータを解析したものである。一方、筆者たちは母島の村民会館に、1906 年以前の気象観測 記録と天気記録が記された古文書があることを知った。北西太平洋を通じて 19 世紀の気象 観測記録が報告された例はなく、本発表ではこれらの古文書を解析して 1906 年以前の父島 の降水量を復元した結果について述べる。

#### b) 本文

(1) 史料とデータ

1906年以前の父島における気象観測は、大村から南東方向に直線距離で約3km離れた 扇浦という集落で行なわれていた。扇浦には、現在小笠原村の浄水場があって日降水量を観 測している。本研究で使用したのは以下の史料とデータである。

#### 【扇浦】

①東京府庶務課(1881~1885)『小笠原嶋日誌』… 1881年10月25日~1885年11月5日の天気記録および日降水量(後者は1882年1月1日~1883年11月8日)

②山方石之助編(1905)『小笠原島志 全 東京』東洋堂 …1902~1904 年の月降水量

③小笠原島庁(1914)『小笠原島島勢一班 第三回』… 1906年の月降水量

④地上気象観測原簿 父島… 1885 年 1~10 月および 12 月の日降水量

⑤Maejima and Oka (1980) … 1975 年 8 月~1977 年 12 月の旬降水量

⑥小笠原村建設水道課から提供していただいた日降水量… 1980年4月~2020年3月【大村】

⑦地上気象観測原簿 父島 … 1906年6月~1944年12月の日降水量

⑧Global Historical Climatology Network Version 2(Vose et al., 1992)… 1951 年 1 月~1960 年 12 月の月降水量

⑨気象庁 Web Site… 1968 年 8 月~現在の月降水量

(2) 解析方法

まず,①を用いて1882年1月~1883年11月の扇浦における天気記録から4ヶ月(12~3月,4~7月,8~11月)の降水率を求め、これから4ヶ月降水量の回帰式を算定した。 4ヶ月の区切りは父島の降水量の季節変化を考慮した。月ごとではきれいな相関関係がみら れず、4ヶ月だと1本の式で回帰できた。②~④は扇浦の月降水量観測値から4ヶ月降水量 を求めた。扇浦の月降水量は大村よりも系統的に大きいため、⑤、⑥、⑨を用いて扇浦の4 ヶ月降水量から大村のそれを推定する回帰式を作成し、これを用いて 1906 年以前の大村の 4ヶ月降水量を推定した。

1906 年以前の4ヶ月降水量を1907 年以降のものと接続し、均質性の検定(Wijngaard et al., 2003)を施した。いずれも「不均質ではない」と判定され、1906 年頃に不連続は検出されなかった

(3)結果

1882~2020年の4~7月の4ヶ月降水量を図1に示す。1906年以前の降水量はそれ以後よりも少なめであり、「父島の降水量は戦後減少した」というよりももっと長い時間スケールで変動しているようにみえる。父島近傍の格子点における地上気圧の再解析データ

(Slivinski et al., 2019)と比較すると、19世紀末は相対的に気圧が高かった時期に相当し、 降水量と整合的な結果になっている。以上の結果は、Kanno and Matsuyama (2021)に取 りまとめた。

本研究は、日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(B)「気象データと古文書の分 析に基づく小笠原諸島 父島・母島の気候変動の復元(21H00630)」(研究代表者: 松山 洋) を使用しました。

#### c) 参考文献

- Kanno H. and H. Matsuyama (2021): Pre-1906 Extension of precipitation data for Chichi-Jima in the Ogasawara (Bonin) Islands based on the analysis of historical documents. SOLA, 17,170-176.
- Slivinski, L. C., and Coauthors, 2019: Towards a more reliable historical reanalysis: Improvements for version 3 of the Twentieth Century Reanalysis system. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 145, 2876-2908, doi: 10.1002/qj.3598.
- Vose, R. S., P. M. Steurer, R. Heim, T. R. Karl, and T. Peterson, 1992: The Global Historical Climatology Network: Long-term Monthly Temperature, Precipitation, Sea Level Pressure and Station Pressure Data (ORNL/CDIAC 53, NDP-041). Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, 99 pp, doi: 10.2172/10178730.
- Wijngaard, J. B., A. M. G. Klein Tank, and G. P. Können, 2003: Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. Int. J. Climatol., 23, 679-692, doi: 10.1002/joc.906.



図1 父島大村における4ヶ月積算降水量と父島付近の気圧(SLP)の客観解析値の時系列. 1884年以前の降水量推定値には推定誤差を示す.太実線は5年移動同平均を、〇は父 島測候所または父島気象観測所の気圧観測値を示す.

3. RRJ-Conv.の降水の検証(2001 年~2020 年の大雨)

白川栄一(東北大学)、福井真(気象研究所/東北大学)

#### a) 要旨

RRJ-Conv.の降水量について検証を行った。まず、日降水量 100mm 以上の大雨の頻度に ついて、20 年間(2001 年から 2020 年)を対象に、アメダス観測と比較した。RRJ-Conv. は、年々変動と共に、西日本太平洋側を中心に大きいという地域性もよく再現していた。次 に、強い冬型の気圧配置による大雪事例に着目したところ、RRJ-Conv.は、解析雨量の降水 分布を概ね再現していた。

#### b) 本文

(1) はじめに

東北大学と気象研究所では、RRJ-Conv.(従来型観測のみを同化する日本域を対象とし た水平格子間隔 5km の長期領域再解析)(Fukui et al. 2018)を実施している。現在までに、 20 年分(2001 年から 2020 年)の再解析が完了した。福井ほか(2022)では、RRJ-Conv.を JRA-55 と比較して、台風中心気圧の誤差の軽減や、9 月の降水量の空間分布のコントラス トの改善を示した。

本報告では、RRJ-Conv.で再現された降水について、大雨と大雪に主眼を置いて検証した結果を示す。まず、日降水量100mm以上の大雨頻度の再現性について、アメダスにおける観測と比較する。そして、2020年12月14-21日の強い冬型の気圧配置による大雪事例に着目し、解析雨量と比較しながら再現性を検証する。

(2) 大雨の検証

まず、日降水量について RRJ-Conv.と JRA-55 の降水量をアメダスによる観測と比較し、 その再現性について示す。対象期間は 2001 年から 2020 年の 20 年間とし、RRJ-Conv.及び JRA-55 は各アメダス地点に内挿した値を用いた。

2001 年から 2020 年の日降水量 100mm/day 以上の発生確率は、アメダス観測によると、 約 3×10<sup>-3</sup>で、年に 1 回程度の頻度で発生していた。JRA-55 における 100mm/day 以上の 頻度は、アメダスの 20%程度にとどまり、大きく過小評価していた。一方、RRJ-Conv.に おける 100mm/day 以上の頻度は、アメダスに対して 80%程度となった。RRJ-Conv.の大雨 頻度の再現性は、JRA-55 に比べると大きく改善した。

日降水量 100mm 以上の年間日数の年々変動について着目する。ここで、年間日数は、 アメダス観測点の数は年や季節などにより変動があるので、1300 地点あたりの日数とした。 JRA-55 はアメダスとの相関係数が 0.77 で年々変動をある程度は再現してはいるが変動幅 はアメダスの 40%程度となった。RRJ-Conv.は相関係数が 0.94 で、変動幅もアメダスの 90%程度となった。この結果は、RRJ-Conv.では、JRA-55 に対して年々変動の変動パター ン及び変動幅ともに改善し、再現性が非常に高いことを示す。日降水量 100mm 以上の日数 の地域性については、西日本の太平洋側を中心に多く、北日本を中心に少ないというアメダ スによる観測されたパターンを RRJ-Conv.でもよく再現している。アメダス地点の対応関 係は、回帰係数 0.78、相関係数は 0.85 と良い。ただし、中部山岳や山陽地方東部などで過 大評価、北日本の日本海側や九州の山岳部などで過小評価する傾向があった。また、尾之間 (鹿児島県)では RRJ-Conv.の方がアメダスの観測値の 3 倍以上と極端に多くなった。佐々 木ほか. (2015) は、水平格子間隔 5 kmモデルによる力学的ダウンスケールにおいて、尾之 間では周辺の急峻な地形を十分に表現できないために降水量を過大評価してしまうことを 報告している。尾之間での RRJ-Conv.のバイアスも水平解像度不足によるためと考えられ る。

(3) 大雪事例の検証

2020年12月14日から21日にかけて、日本付近は強い冬型の気圧配置が続き、上空には強い寒気が流れ込み続けた。この影響で、東日本日本海側の山地を中心に大雪となり、記録的な大雪となったところもあった(気象庁.2020)。

12月14日から21日の8日間積算降水量は、JRA-55とRRJ-Conv.は、山陰から東北の日本海側で多くなる解析雨量の特徴を概ね再現し、領域平均も約40mmとほぼ一致していた。積算降水量が局所的に多い所に着目すると、解析雨量は約500mm程度となっていた。JRA-55が解析雨量の半分程度と過小評価していたのに対して、RRJ-Conv.は解析雨量と同程度となり、局所的に降水が多くなる特徴をよく再現していた。ただし、RRJ-Conv.は、解析雨量と比べると、沿岸部で過少、山岳部で過大であった。

(4) 今後

RRJ-Conv.は更にさかのぼった再解析の実施を計画している。本報告では 2001 年から 2020 年の 20 年間のみだったが更に数 10 年分の再解析が完了できれば、長期変動を対象 とした検証作業を行う予定である。また、今回は日本全国をまとめた検証を行ったが、地 域ごと(北海道、東北、など)に詳しく検証する必要がある。さらに、他の気象要素(気 温、風など)の統計的検証を進めるとともに、大雨や大雪などの事例検証を環境場の検証 も含め行うことも今後の課題である。 c) 参考文献

- Fukui, S., T. Iwasaki, K. Saito, H. Seko, and M. Kunii, 2018: A feasibility study on the high-resolution regional reanalysis over Japan assimilating only conventional observations as an alternative to the dynamical downscaling. J.Meteor. Soc. Japan, 96, 565-585.
- 福井真,曽我大輝,小原涼太,臼井健,瀧口海人,小野佳祐,廣瀬大河,松島沙苗,白川栄一, 伊藤純至,岩崎俊樹,山崎剛,斉藤和雄,瀬古弘,2022:長期(2001–2020)日本領域再 解析の再現性の検証.日本気象学会 2022 年度春季大会講演予稿集,121,208.
- 佐々木秀孝,村田昭彦,川瀬宏明,花房瑞樹,野坂真也,大泉三津夫,水田亮,青栁曉典, 志藤文武,石原幸司,2015:気象研究所非静力学地域気候モデルによる日本付近の将来 気候変化予測について.気象研究所技術報告,73,95pp.
- 気象庁,2020:強い冬型の気圧配置による大雪 令和2年(2020年)12月14日~12月21日.

https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2020/20201224/jyun\_sokuji2 0201214-1221.pdf (2023.03.29 閲覧) 4. Rainscope ゾンデ観測と数値モデルによる降水形成機構解明 橋本明弘(気象研究所)、鈴木賢士(山口大学)、梅原章仁(気象研究所)

#### a) 要旨

2022 年 2 月 20 日水戸市から放球された Rainscope ゾンデが捉えた降水粒子の特徴を、 素過程追跡スキームを実装した JMA-NHM を用いて再現するとともに、この時の降水形成 機構を考察した。

#### b) 本文

(1)研究の背景

日本の南岸を通り三陸沖を発達しながら北上する南岸低気圧は、冬から春にかけて、関 東甲信地方や東北地方に大雪をもたらすことがある。2014年2月関東甲信地方に記録的大 雪をもたらした南岸低気圧の例では、仙台市青葉区新川で積雪深が70 cm (2月15日)と、 年最深積雪の平年値(34 cm)に対して約2倍になるなど、東北地方でも各地で記録的な大 雪となった(気象庁, 2014)。

2022 年 2 月 19 日から 20 日にかけて、四国沖から房総沖を経て三陸沖へ、低気圧が 発達しながら通過した。同 2 月 20 日水戸市で、この南岸低気圧に伴う降水の最中、降水粒 子撮像ゾンデ Rainscope (清水ほか, 2021; 明星電気株式会社, 2023)の試験飛揚が実施さ れた (Suzuki et al., 2022)。茨城県沖から房総半島・相模湾にかけて、最大 20 mmh<sup>-1</sup> 程 度の降水が帯状に広がっており、Rainscope は、その西側縁辺にあたる層状性降水域の中 を上昇していき、凍結高度のすぐ上で霰状雪が捉えられた。これは、典型的な層状性降水 雲では霰や霰状雪は検出されない傾向があることと対照的な観測結果であった。この事例 は大雪をもたらすことはなかったが、南岸低気圧に伴う降水システムを直接観測すること に成功した貴重な事例であることから、数値実験を行い、降水形成過程を調べた。

(2) 観測結果

Rainscope は、2022 年 2 月 20 日午前 0 時 18 分 (JST) に水戸市の古吹運動公園から飛揚され、高度 5 km までは北北東に向けて進み、その後、東北東から東へ進路を変え、茨城県沖上空へと流された (図 1a)。観測された温度プロファイルを見ると (図 1b)、高度約 2000 m に凍結高度が位置していた。Rainscope によって捉えられた粒子の画像を見ると

(図略)、凍結高度より下の高度では、融解中の粒子がみとめられた。凍結高度のすぐ上の 高度では、霰状雪(雲粒捕捉成長の寄与が大きい)が捉えられ、さらに上空では、雲粒付 きの少ない雪粒子が捉えられた。

(3) 数值実験

数値実験には、素過程追跡スキーム(Hashimoto et al., 2020)を実装した気象庁非静

カ学モデル(JMA-NHM)を使用した。素過程追跡スキームは、温度・湿度別昇華成長量 と雲粒捕捉成長量を予報変数として計算することで、それら素過程の寄与を大気中から地 上にいたるまで追跡することができる。従来のJMA-NHMでは、降雪粒子は雪粒子か霰粒 子(雲粒捕捉成長が極端に進んだ状態の粒子)の2クラスしか出力できなかったが、素過 程追跡スキーム(Hashimoto et al., 2020)を実装したことで、雲粒捕捉の度合いに応じて、 雪粒子と霰粒子の中間的な特徴をもつ粒子(濃密雲粒付き・霰状雪等)の表現が可能とな った。

このモデルを用いて、日本を中心とする水平 2500km×2500km, 鉛直約 22km の計算領 域で、気象庁メソ解析を初期値・境界値として、水平解像度 5km で気象再現実験を行った (図 2). その結果を初期値・境界値とし、関東を中心とする 600 km x 600 km の範囲で、 水平解像度 1.2 km、2022 年 2 月 19 日 9 時 (JST) を初期時刻として、30 時間の時間積分 を行なった.

(4) 数値実験結果と考察

数値実験結果を見ると、水戸上空で観測された温度(T)・湿度(RH)・風速(WS)・風 向(WD)のプロファイルをよく再現していた(図 1b 赤線)。茨城県沖から相模湾にかけて 分布する降水域に対応して大気下層に収束域がみとめられた。素過程追跡スキームによっ て出力された降水粒子の特徴を見ると、収束域とその西側の水戸上空を含む層状性降水域 にかけて、凍結高度より少し上の高度で、雲粒捕捉成長の寄与が大きい雪粒子が分布して いた(図略)。さらに上空(高度 3 km)では雲粒捕捉成長の寄与が小さい雪粒子が分布し ており(図略)、Rainscopeによって捉えられた降水粒子の高度変化と整合的だった。

2月20日00時(JST)に水戸上空に位置していた空気塊の後方流跡線解析の結果、水戸上 空2.5 km に到達した空気塊(図3a)は、始め房総半島南端付近の海上の高度約2 km に位置 し、下層収束帯を南から北へ横断した後、水戸上空に達していた。収束帯では対流によっ て雲水が生成され、それが凍結高度より高い高度に運ばれることにより雪結晶の雲粒捕捉 (ライミング)成長が効果的に働いていた(図4a,赤破線)。この空気塊は、収束帯通過以 降も比較的湿った状態(概ね水飽和)が持続しており、ライミング成長が効果的に働く状 態が維持された。その結果、水戸上空には雲粒の寄与が大きい雪粒子が分布していた。一 方、水戸上空4 km に到達した空気塊(図3b)は、始め神奈川県沖の高度約2 km に位置し、 そこから高度を上げながら収束帯を横断した後、比較的乾燥した状態(水に対して未飽和 だが氷に対して過飽和)で水戸上空に達していた。後者(図4b)では、前者(図4a)の場 合と同様に、収束帯通過前後に雪結晶のライミング成長が効果的に働いていたものの、空 気塊が水戸上空へ移動する間に過冷却雲粒は枯渇し(図4b,青実線)、ライミング成長の寄 与は小さくなっていた(図4b,赤破線)。その結果、水戸上空には雲粒の寄与が小さい雪粒 子が分布していた。

観測当時、水戸は層状性降水域に位置していたが Rainscope は霰状雪を捉えており、一

見、一般的な理解とは対照的な観測結果であった。数値実験の結果によれば、凍結高度の すぐ上では、茨城県沖から相模湾にかけての収束帯からの水蒸気供給を受け、過冷却雲粒 が豊富に存在する状態が維持されており、それを上空から降下してくる雪粒子が捕捉する ことで、霰状雪の生成につながるライミング成長が効果的に働いていたことが示された。

従来の降水粒子撮像ゾンデ(ビデオゾンデ, Suzuki, et al., 2018) では、霧状雪等、雪と 霰の中間的な特徴をもつ降雪粒子を区別することが難しかったが、Rainscope ではそれが 容易になった。また、近年のモデル開発により、雪と霰の中間的な降雪粒子を再現する数 値モデルを用いた再現実験が可能となった。これら高度化された降水粒子撮像ゾンデと数 値モデルの連携により、降水形成機構解明のための新しい知見を生み出すことが期待でき る。

#### 謝辞

本研究は、気象研究所緊急研究プロジェクト「集中観測等による線状降水帯の機構解明 研究」の一環として実施され、その一部は、JSPS 科研費 22K03724 の助成を受けた。

#### c) 参考文献

- Hashimoto, A., H. Motoyoshi, N. Orikasa, and R. Misumi, 2020: Process-Tracking Scheme Based on Bulk Microphysics to Diagnose the Features of Snow Particles. SOLA, 16, 51-56, <u>doi:10.2151/sola.2020-009</u>.
- 気象庁, 2014:発達した低気圧による大雪・暴風雪 平成 26 年(2014 年)2 月 14 日~2 月 19 日(速報).
- <u>https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2014/20140214/20140214.html</u>. (2023 年 3 月 29 日閲覧)
- 明星電気株式会社, 2023: 「降水粒子撮像ゾンデ Rainscope」による線状降水帯集中観測. 明星トピックス, 197, <u>https://www.meisei.co.jp</u> (2023 年 3 月 29 日閲覧).
- 清水健作,長浜則夫,杉立卓治,鈴木賢士,藤原正智,2021:400MHz帯気象援助局による雲 /降水粒子撮像ゾンデ Cloudscope と Rainscope の開発.日本気象学会 2021 年度秋季 大会, OB-13+.
- Suzuki, K., K. Nakagawa, T. Kawano, S. Mori, M. Katsumata, F. Syamsudin, and K. Yoneyama, 2018: Videosonde-Observed Graupel in Different Rain Systems during Pre-YMC Project. SOLA, 14, 148-152, <u>doi:/10.2151/sola.2018-026</u>.
- Suzuki, K., K. Shimizu, T. Sugidachi, and M. Fujiwara, 2022: Development of a new cloud/precipitation particle imaging radiosonde. 19<sup>th</sup> Annual Meeting of the Asia Oceania Geosciences Society, A39.



図 1. (a) Rainscope の飛行経路. (b) 水戸上空の温度 (T)・湿度 (RH)・風速 (WS)・風向 (WD)。黒は観測、赤は数値実験の結果を表す。



図 2. 水平解像度 5 km (Run1) と 1 km (Run2)の計算領域。



図 3.2022年2月20日00時(JST)の降水分布(数値実験結果)と、この時刻に水戸上空(a) 2500m および(b)4000mに到達した空気塊の移動経路。破線で囲んだ領域は収束帯の大 まかな位置を表す。



図 4. 2022 年 2 月 20 日 00 時(JST)に水戸上空(a) 2500 m および(b) 4000 m に到達した 空気塊の水物質の混合比の推移。灰色の帯は収束帯の大まかな位置を表す。

5. 統計的手法による気候区分の特徴とその農業利用

井上 聡(農研機構東北農業研究センター)

#### a) 要旨

東北地方は南北約 600km・東西約 200km と広大であり、気候的に多様性に富む。農業 利用は県単位で検討されているが、行政界で区切る科学的根拠がないこと、気候変動によ って従来の適地適作の知見が変わりつつあり、最新の情報が求められているため、北海道 での先行事例に倣って、東北地方の統計的気候区分の検討を進めている。

#### b) 本文

(1) 北海道の統計的気候区分

先行研究である井上ら(2017)を紹介する。データは、気象庁平年値 2010の月平均気温、 月降水量を使用した。計算には R 言語 3.2.0 (2015)を使用した。クラスター分析には、階 層的手法である Ward 法を使用し、クラスター間には平方ユークリッド距離を使用した。ク ラスター数を5に設定した結果、以下の分類結果を得た。



図 各気候グループの地理的配置

このうち、グループ A・B は日本海側に位置し、秋冬に雨や雪が多い気候的特徴を持っていた。グループ A は、B より特徴がより強かった。グループ D・E は太平洋側に位置し、夏 に雨が多い特徴を持っていた。グループ E は D より特徴がより強かった。グループ C は、通年で降水量が少ない特徴を持っていた。一般的にはオホーツク海側気候と考えられるが、統計的区分では内陸にも広がる結果になった。

(2) 北海道の統計的気候区分の農業利用事例 先行研究である奥村ら(2016)を紹介する。まず、札幌、北見、中標津で牧草の播種期移 動栽培試験を実施し、それぞれの試験地での牧草の越冬前に必要な有効積算気温(基準温度 5℃)を求めた。札幌はグループ B(A)、北見はグループ C、中標津はグループ D(E) に属しているため、北海道内の任意の牧草地では、どの気候グループに属しているかを考えて、参照する試験地の有効積算気温を満たすような播種日を選べばよいことになる。このように、限られた試験地での試験結果を広域に適用する際、統計的気候区分を根拠とすれば、妥当な判断が得られる。

(3) 東北の統計的気候区分および農業事例

東北地方は南北約 600km・東西約 200km と広大であり、気候的に多様性に富む。農業 利用は県単位で検討されているが、行政界で区切る科学的根拠がないこと、気候変動によ って従来の適地適作の知見が変わりつつあり、最新の情報が求められている。そのため、 北海道での先行事例に倣って、東北地方の統計的気候区分の検討を進めている。畑作物の 品種、水稲直播の方式(乾いた田にまく乾田直播または水を貯めた田にまく湛水直播)の 選定などに利用できるのではないかと考えている。

#### c) 参考文献

- 井上 聡, 奥村健治, 牧野 司, 広田知良, 2017: クラスター分析とハイサーグラフによる北 海道の気候区分. 生物と気象, 17, 64-68.
- 奥村健治,井上聡,高田寛之,松村哲夫,藤井弘毅,林拓,酒井治,出口健三郎,2016: 混播 草地における夏季更新の播種晩限の推定. 北農,83(2),135-140.

6. 収量と品質の変化に基づく東北のコメ生産額の将来予測 吉田龍平(福島大),西原是良(東京大),高橋大輔(拓殖大)

#### a) 要旨

温暖化の進行による日本のコメ生産額の変化を推定した.東北のひとめぼれと九州のヒ ノヒカリを対象とし、2度上昇まではいずれの地域でも収量の増加により生産額が高まった が、4度上昇では品質の低下によって生産額の増加が一部消失した.最適な移植日の選択に より東北ではコシヒカリが代替となる可能性があるものの、九州ではヒノヒカリの維持が 有効と見込まれた.

#### b) 本文

今世紀末の日本におけるコメ収量の見通しは温暖化緩和の程度に依存している.温暖化 が強い場合には高温不稔の増加や生育期間の短縮が二酸化炭素の施肥効果を上回り、収量 は現在から20%程度低下すると予測されている(Ishigooka et al. 2021).また、九州の一 等米比率は40%低下すると見込まれている(Okada et al. 2011).移植日の調整は生育環境の 悪化を緩和する方法の一つで、高い収量の達成は移植日の早期化、品質の向上は晩期化が 有効とされている(Ishigooka et al 2017).本研究は温暖化の進行に伴う収量や品質の変化 が生産額に与える影響を定量化し、移植日の調整や作付品種の変更による効果を推定した.

収量および一等米比率の算出には Hasegawa/Horie モデル(Hasegawa and Horie 1997, Yoshida et al. 2015, Fukui et al. 2015, 2019)を用いた.大規模アンサンブル気象データ d4 (2/1.5) PDF(Imada et al. 2017, Mizuta et al. 2017, Fujita et al. 2019, Kawase et al. 2019, Nosaka et al. 2020)を入力し,現在から 1.5 度, 2 度, 4 度昇温した気候下で東北に ひとめぼれ,九州にヒノヒカリを栽培させる生育シミュレーションを実施した.同様にそ れぞれの地域にコシヒカリを生育させ,比較対象とした.解析年数は現在, 1.5 度, 2 度, 4 度上昇でそれぞれ 3000 年,5400 年,3240 年,1566 年の計 13206 年である.移植日の 調整は現行の値を基準に7 日間隔で前後 70 日の計 21 パターンとした.コメ価格は農林水 産省が公開する相対取引価格(2006–2014 年平均)を用いた.等級別の価格の下落率は Kawasaki and Uchida (2016)と同様の値とした(2 等: –8%,3 等: -18%,4 等: –43%).

現在の移植日を維持した場合,東北では4度昇温時においても現在の収量を上回った(中 央値:+34%). 一等米比率の低下は4度昇温時に顕在化した(-48%). 九州では1.5度お よび2度昇温時には現在より高い収量であったが(1.5度:+9%,2度:+8%),4度昇温で は現在と同水準へ低下した(+1%). 一等米比率は昇温に伴って低下し,4度昇温時には Okada et al. (2011)と同程度の値となった(-41%). 収量と一等米比率から得られる生産額 は,東北では収量の増加と一等米比率の低下が打ち消し合って1.5度,2度,4度いずれの 昇温においても現在に対する増加率は同様であった(1.5度:+19%,2度:+21%,4度: +19%).4度昇温時の九州は,収量は現在と同水準であるものの一等米比率の低下によっ て生産額が現在より高まる確率は20%にとどまった(1.5度:80%,2度:49%).

移植日の早期化は収量の増加を通して生産額を増加させる主要因で、35日の早期化により東北では41%、九州では25%生産額が増加した(4度昇温時).現行の移植日では東北のコシヒカリがひとめぼれの生産額を上回る確率は29%であったが、35日の早期化を実施した場合にはコシヒカリの生産額が高額となる確率は94%へ増加した.これは気温に対するコシヒカリの収量の感度が高いためである。一方で九州では移植日の調整に関わらずコシヒカリがヒノヒカリより高い生産額を達成する可能性は低いと見積もられた(現行:8%、35日早期化:13%).

#### c) 参考文献

- Fujita, M., R. Mizuta, M. Ishii, H. Endo, T. Sato, Y. Okada, S. Kawazoe, S. Sugimoto, K. Ishihara, and S. Watanabe, 2019: Precipitation changes in a climate with 2-K surface warming from large ensemble simulations using 60-km global and 20-km regional atmospheric models. *Geophys. Res. Lett.*, 46(1), 435–442.
- Fukui, S., Y. Ishigooka, T. Kuwagata, and T. Hasegawa, 2015: A methodology for estimating phenological parameters of rice cultivars utilizing data from common variety trials. J. Agric. Meteorol., 71(2), 77–89.
- Fukui, S., Y. Nishihara, E. Tamaki, D. Takahashi, Y. Ishigooka, and R. Yoshida, 2019: Estimating first-grade rice production due to high temperature after heading date utilizing the statistical data. J. Agric. Meteorol., 75(4), 217–224.
- Hasegawa, T., and T. Horie, 1997: Modelling the effect of nitrogen on rice growth and development. In: Kropff, M. S., Teng, P. S., Aggarwal, P. K., Bourma, J., Boumam, B. A. M., Jones, J. W., van Larr. H. H. (eds) Applications of systems approaches at teh field level. Kluwer, Dordrecht, 243–257.
- Imada, Y., S. Maeda, M. Watanabe, H. Shiogama, R. Mizuta, M. Ishii, M. Kimoto, 2017: Recent enhanced seasonal temperature contrast in Japan from large ensemble high-resolution climate simulations. *Atmosphere*, 8(3), 57
- Ishigooka, Y., S. Fukui, T. Hasagawa, T. Kuwagata, M. Nishimori, and M. Kondo, 2017: Large-scale evaluation of the effects of adaptation to climate change by shifting transplanting date on rice production and quality in Japan. J. Agric. Meteorol., 73(4), 156–173.
- Ishigooka, Y, T. Hasegawa, T. Kuwagata, M. Nishimori, and H. Wakatsuki 2021: Revision of estimates of climate change impacts on rice yield and quality in Japan by considering the combined effects of temperature and CO<sub>2</sub> concentration. J. Agric. Meteorol., 77(2), 139–149.

Kawasaki, K., and S. Uchida, 2016: Quality matters more than quantity: asymmetric

temperature effects on crop yield and quality grade. Amer. J. Agr. Econ., 0(0), 1-15.

- Kawase, H., Y. Imada, H. Sasaki, T. Nakaegawa, A. Murata, M. Nosaka, and I. Takayabu, 2019: Contribution of historical global warming to local-scale heavy precipitation in western Japan estimated by large ensemble high-resolution simulations, J. Geophys. Res., doi.org/10.1029/2018JD030155
- Mizuta, R., A. Murata, M. Ishii, H. Shiogama, K. Hibino, N. Mori, O. Arakawa, Y. Imada, K. Yoshida, T. Aoyagi, H. Kawase, M. Mori, Y. Okada, T. Shimura, T. Nagatomo, M. Ikeda, H. Endo, M. Nosaka, M. Arai, C. Takahashi, K. Tanaka, T. Takemi, Y. Tachikawa, K. Temur, Y. Kamae, M. Watanabe, H. Sasaki, A. Kitoh, I. Takayabu, E. Nakakita, and M. Kimoto, 2017: Over 5000 years of ensemble future climate simulations by 60 km global and 20 km regional atmospheric models. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* July 2017, 1383-1398
- Nosaka M., M. Ishii, H. Shiogama, R. Mizuta, A. Murata, H. Kawase, H. Sasaki, 2020: Scalability of future climate changes across Japan examined with large-ensemble simulations at +1.5 K, +2 K, and +4 K global warming levels. *Progress in Earth and Planetary Science*, 7, Article number: 27.
- Okada, M., T. Iizumi, Y. Hayashi, and M. Yokozawa, 2011: Projecting climate change impacts both on rice quality and yield in Japan. J. Agric. Meteorol., 67(4), 285–295.
- Yoshida, R., S. Fukui, T. Shimada, T. Hasegawa, Y. Ishigooka, I. Takayabu, and T. Iwasaki, 2015: Adaptation of rice to climate change through a cultivar-shift simulation: a possible cultivar shift in eastern Japan. *Clim. Res.*, 64, 275–290.

7. やませの将来変化-CMIP5/6 モデルの比較-小笹純輝(福島大院・理工),吉田龍平(福島大・理工)

#### a) 要旨

モデル群の違いによるやませの将来変化への影響を,発生頻度と冷夏の強度変化について CMIP5/6 モデルを用いて解析した. CMIP5 に基づく将来のやませは発生頻度が減少し, 冷夏は弱化された.一方, CMIP6 は CMIP5 より発生頻度の減少が著しく,冷夏は強化された.

#### b) 本文

(1) はじめに

東北地方において夏季平均気温が 20 ℃を下回る冷夏は 2003 年以降発生していない.地 球温暖化の影響でやませによる冷夏は発生しなくなると考えられるが,少なくともやませ によって引き起こされる冷夏は 21 世紀中においても発生し得るとされている (e.g., Endo, 2012). しかし,やませの将来変化はやませの定義と使用しているモデルに依存しており, 将来増加するのか減少するのか,冷夏が強化するのか弱化するのかは研究によって異なる. 本研究では,結合モデル相互比較計画 (CMIP)の最新モデル群である CMIP6 と一世代前の モデル群である CMIP5 を用いてやませの将来変化を解析し,使用するモデル群の世代の違 いによるやませの将来変化への影響を評価する.

(2) 方法

現在気候(1986-2005年)はJRA55(Kobayashi et al., 2015),将来気候(2081-2100年) は、CMIPの全球気候モデルの予測結果を用いた(CMIP6: 30 モデル, CMIP5: 10 モデル). また、全球気候モデルの現在気候におけるバイアスを調べるために、CMIP6の30 モデル とCMIP5の18モデル(地上気温は17 モデル)を使用した.温暖化シナリオは、CMIP6 はSSP1-2.6とSSP5-8.5、CMIP5はRCP2.6とRCP8.5である.やませの発生を判定する ために3つの指標1)オホーツク海周辺の海面更正気圧の領域平均(以下 OH index; shimada et al., 2010),2)稚内と仙台の海面更正気圧の差(PDWS index; Kanno, 2004), 3)八戸の日平均気温の平年偏差(Hachinohe index; Kanno, 1997)を用いた.やませと判定 するしきい値はモデル毎に設定しており、現在気候の上位5%-tileの値とした.また、やま せ日と判定した日でコンポジット解析を行い、平年値からの地上気温の下がり幅を冷夏の 強度とし、現在気候と将来気候で比較を行った.

(3) 結果

CMIP5, CMIP6 のモデルの再現性を調べるために, JRA55 を基準値として海面更正気 圧および地上気温の空間分布を調べた. CMIP5 は、太平洋高気圧に正のバイアスが見られ たが(平均+1.5 hPa), CMIP6 において改善された(平均+0.8 hPa). 地上気温は CMIP5 で太平洋高気圧に負のバイアスが見られたが(平均-1.4 ℃), CMIP6 では海面更正気圧と 同様に改善が見られた(平均-1.1 ℃). また, CMIP5 で見られたオホーツク海の低温バイ アス(平均-1.5 ℃) は CMIP6 でも改善が見られなかった(平均-1.7 ℃).

3つのインデックスで検出した過去の冷夏が、どのような特徴を持っているか調べるため にJRA55 でそれぞれのインデックスの上位 5%-tile をやませ日とし、コンポジット解析を 行った.OH index は3つのインデックスの中でオホーツク海高気圧の張り出しが最も大き く(最大 1021 hPa),北日本とユーラシア大陸の日本海沿岸で気温が下がった.PDWS index はオホーツク海高気圧が張り出しているが、関東地方を中心に低気圧があり(中心気圧 1004 hPa)、日本全域で低温となるパターンとなった.Hachinohe index はオホーツク海高気圧 の張り出しと日本の南沖に低気圧が発生し、八戸を中心に東日本で低温となった.

やませの発生頻度は、CMIP5,6ともに将来減少し、温暖化の強化に伴ってより大きな減 少が見られた. CMIP6 では温暖化トレンドに応じてモデル間のばらつきが大きくなり (SSP1-2.6標準偏差: 0.97, SSP5-8.5標準偏差: 1.30), CMIP5 と比較してより大きな減少 が見られた.

やませによる冷夏の強度は、CMIP5の RCP8.5 シナリオにおいて、OH index, Hachinohe index で定義されるいずれのやませにおいても将来において弱化し(OH index: +0.3 °C, Hachinohe index: +0.1 °C), PDWS index で定義されるやませでは冷夏は強化された(-0.2 °C). 一方で、CMIP6 は全ての指標において冷夏は強化され、SSP1-2.6 シナリオのト レンド(OH index: -0.2 °C, PDWS index: -0.1 °C, Hachinohe index: -0.1 °C)が SSP5-8.5 シナリオでより強化された(OH index: -0.4 °C, PDWS index: -0.2 °C).

#### c) 参考文献

- Endo, H. (2012), Future changes of Yamase bringing unusually cold summers over Northeastern Japan in CMIP3 multi-models, J. Meteor. Soc. Japan, 90A, 123-136.
- Kanno, H (2004), Five-year cycle of north-south pressure difference as an index of summer weather in Northern Japan from 1982 onwards, J. Meteor. Soc. Japan, 82 (2), 711-724.
- Kanno, H. (1997), Classification of the Yamase (cold northeasterly wind around Northeastern Japan) based upon its air-mass vertical structures, J. Meteor. Soc. Japan, 75 (6), 1053-1071.
- Kobayashi, S., Y. ota, Y. Harada, A. Ebita, M. Moriya, H. Onoda *et al.* (2015), The JRA55 reanalysis: General specifications and basis characteristics, *J. Meteor.* Soc. Japan, 93 (1), 5-48.

- Shimada, T., M. Sawada and T. Iwasaki (2014), Indices of cool summer climate in Northern Japan: Yamase indices, *J. Meteor. Soc. Japan*, **92 (1)**, 17-35.
- Shimada, T., M. Sawada, W. Sha and H. Kawamura (2010), Low-level easterly winds blowing through the Tsugaru Strait, Japan. Part I : Case study and statistical characteristics based on observations, *Mon. Weather Rev.*, 138, 3806-3821.

8. ドローンを用いた気象観測がもたらす東日本における冷夏予測への寄与 宗形烈人 (福島大院・理工),吉田龍平(福島大・理工)

#### a)要旨

ドローンに基づく気象観測網による冷夏の再現性について評価を行った.東北地方の海 岸線に沿ってドローンによる気象観測網を展開した場合主に奥羽山脈の東側で予報精度が 改善され,地上気象観測による観測結果を組み合わせた場合東北地方の大部分で予報精度 が改善された.

#### b) 本文

やませの発生は東北地方に冷害を引き起こすことから近年やませの予測精度向上にむけ た研究が活発におこなわれている.現在ではやませの発生は5日先まで予測できるが日平 均気温においては改善が認められなかったことが報告されている(Fukui et al., 2014).やませはオホーツク海由来の冷たく湿った風により主に東北地方の下層大気に影 響を与えることから,気象観測船やドップラーライダーによる観測が行われている.しか し気象観測船においては主に人的・金銭的コストが,ドップラーライダーにおいては設置 場所がそれぞれ制約となり,やませの予測に必要な沿岸部から太平洋における下層大気の 把握を継続的に行うことは難しい.この課題を解決できる方法として任意のタイミングに 任意の地点で気象観測を行えるドローンを用いた気象観測が挙げられる.ドローンによる 観測結果を用いて気温の予測を行ったところ予報値における観測値との二乗平均平方根誤 差(RMSE)が約40%低下したと報告されている(Jensen et al., 2021).本研究ではや ませを例に,地上気象観測とドローンによる気象観測システムが夏季の東北地方における 低温の予測可能性に与える影響を評価する.

数値モデル WRF(Weather Research and Forecasting Model, Skamarock W. C. et al., 2019)を用いて東北地方における観測システムシミュレーション実験を行った.解析対象 期間は衛星画像よりやませが発生したと考えられる 2021 年 7 月 13 日 06UTC-2021 年 7 月 14 日 06UTC の 24 時間とした.初期値および境界値には気象庁全球アンサンブルシステム の予報値(GEPS)を使用し,疑似観測値は気象庁メソ数値予報モデル(MSM)の解析値から作 成した.疑似観測値は従来型の地上気象観測として AMeDAS を,ドローンによる気象観測 網として東北地方の沿岸部に設置した場合を想定した.ドローンによる気象観測網は東北 地方の太平洋側における海岸線と沖合に 5 km 離れた地点に 海岸線に沿って 25 km 間隔で 観測地点を設置し,それぞれ上空 50 m, 500 m, 1000 m にて観測を行った場合を想定した. 同化アンサンブル数は 23 とし, 3 時間ごとに 4 次元変分法を用いて 6 時間の数値予報 実験を行った.

高度 500m においてドローンを想定した疑似観測値のみを用いた予報結果はデータ同化 を行わなかった場合と比べて気温の RMSE が奥羽山脈の西側で大きく東側で小さく(図 1a, b) なり、内陸部における修正量は東経 140.5 度より西側で平均+0.46 k, 東側で平均0.28 k であった(図 1c). 地上気温において東北地方の西側で大きく東側で小さい傾向は変わらず(図 2a, b),内陸部では平均 0.02 K 改善された(図 2c). AMeDAS とドローンによる観測を想定した疑似観測値を用いて予報を行った場合主に AMeDAS を想定した地点にて改善が確認され(図 3a, c),内陸部では平均 0.14 K 改善された(図 3c).



図1 2021 年 7 月 14 日 00UTC-06UTC におけるドローンによる気象観測を用いて予報を 行った場合の 500 m 気温の RMSE と 500 m 風速(a:データ同化無し, b: データ同化を行 ったもの)およびその差分 (c:a-b) 水色の点はドローンを想定した観測地点を表す.



図 2 2021 年 7 月 14 日 00UTC-06UTC におけるドローンによる気象観測を用いて予報を行った場合の地上気温の RMSE(a:データ同化無し,b: データ同化を行ったもの) とその差分 (c:a-b). 水色の点はドローンを想定した観測地点を表す.



図3 2021 年 7 月 14 日 00UTC-06UTC におけるドローンによる気象観測網と地上気象観測 を組み合わせて予報を行った場合の地上気温の RMSE(a:データ同化無し,b: データ同化 を行ったもの)とその差分(c:a-b). 赤点は AMeDAS 地点を,水色の点はドローンを想定 した観測地点を表す.

#### c)参考文献

- Fukui S., Iwasaki T., Sha W., 2014: An Ensemble Downscaling Prediction Experiment for Medium Range Forecast of the Daily Mean Surface Temperature Distribution over Northeastern Japan during Summer J. Meteor. Soc. Japan ,92(6), 505-517.
- Jensen, A.A., Pinto, J.O., Bailey, S., Sobash, R.A., Steiner, M., 2021: Assimilation of a coordinated fleet of uncrewed aircraft system observations in complex terrain: EnKF system design and preliminary assessment. Mon. Wea. Rev, 149(5), 1459–148
- Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J.; Gill, D.O., Liu, Z., Berner, J., Wang, W., Powers, J.G., Duda, M.G., Barker, D.M., 2019: A Description of the Advanced Research WRF Model Version 4. Rep. NCAR/TN-475+STR, 145 pp. Natl. Cent. for Atmos. Res., Boulder, Colo.

寒気質量を用いた近畿地方日本海側の大雪の大気大循環的要因の解明
土屋俊太・谷田貝亜紀代(弘前大学理工)

#### a) 要旨

Yatagai and Kinoshita (2022)が示した札幌の事例のように、ENSO と地域の降雪分布に 有意な関係がみられることがある。季節予報や発生中の ENSO のような広域シグナルと降 雪・豪雪との関係を明らかにすることは、水資源活用や防災上有効である。2021 年 12 月 26 日に彦根は豪雪を経験した。そこで、寒気質量流出(Iwasaki et al. 2014)を計算し、 ENSO シグナルと、北半球の循環と地域的な豪雪とのつながりを調査した。

#### b) 本文

(1) 札幌の降雪の地域性と ENSO

講演の冒頭に、背景や主旨説明のため Yatagai and Kinoshita (2022)を簡単に説明したが、 質疑応答時に、この内容について多くの関心がよせられたので報告する。札幌の冬季日降 水量(APHRODITEの方法でグリッド化)を主成分分析し、発生日数を調査した。一部の 例外(1998年)はあるが、エルニーニョの年には西側の山地や内陸で降雪が多くなり、ラ ニーニャの年には北東部や海側で降雪が多くなることがわかった。

(2) 彦根豪雪時の寒気質量解析

彦根市の大雪時(2021.12.26)には、寒気質量、寒気質量フラックスとも、大陸から日本付近にかけて広く分布し、平常時より値が大きい。対象日は、北西からの寒気質量の流れ込みと、滋賀県北部でのフラックスの水平収束が見られた。寒気が近畿地方に侵入し、 滋賀県北部で収束し大雪となった。今後、日本海からの蒸発や降雪時の凝結加熱を調べる。

(3) ENSO と日本海側地域への寒気質量流出

ラニーニャの冬季とエルニーニョの冬季を比較すると、ラニーニャの時のほうが寒気質 量の値が大きく、ラニーニャ時に日本付近で寒冬になるという広く知られた知見と一致し た。その寒気質量の差は、日本では西日本で最も大きかった。寒気質量フラックスの点で は、東北で特に差が大きいことがわかった。

#### c) 参考文献

Iwasaki, T., T.Shoji, Y. Kanno, M. Sawada, M. Ujiie and K. Takaya, 2014: Isentropic Analysis of Polar Cold Airmass Streams in the Northern Hemispheric Winter : JAS, 71, 2230-2243.

Yatagai, A. and C. Kinoshita, 2022: Winter Orographic Precipitation and ENSO in Sapporo, Japan, Atmosphere, 13(9), 1413, DOI: 10.3390/atmos13091413. 10. 多窒素施用がイネ穂ばらみ期耐冷性を低下させる要因の解明 佐藤玲央(岩手大学 作物学研究室)

#### a) 要旨

イネへの窒素多施用は、穂ばらみ期耐冷性を低下させるが、そのメカニズムは不明である。 そこで、イネの低温による影響と、耐冷性の指標である葯長の窒素応答性を品種間差に着目 して解析した。窒素の施用により、稔実歩合は低下し、葯長が短縮する傾向がみられた。葯 長の変化には品種間差がみられ、3条件で変化の傾向が一致した品種があったことから、遺 伝形質だと考えられた。品種により異なる葯長変化の傾向が耐冷性に関わる可能性が示唆 された。

#### b) 本文

(1) 材料と方法

<u>試験1耐冷性試験</u>: 2021 年と 2022 年において「ササニシキ」を栽培(1/5000 ワグネルポ ット、主茎のみ)した。2021 年は7 窒素条件(0.25g,0.75g,1.25g,1.75g,2.25g,2.75g3.25g/ ポット)、2022 年は2 窒素条件(1.25g,2.25g)で栽培し、恒温深水での冷害誘導処理(幼 穂形成後から出穂まで 19.0℃、水深 35cm)の効果を対照と比較した。調査項目は稔実歩 合、稈長、葯長とした。

<u>試験2品種比較</u>:12品種種(「ササニシキ」「ひとめぼれ」「坊主六号」「イ号」「鶴亀」 「NORTAI」「青い空」「ヒメノモチ」「REXMONT」「SURJAMUKHI」「キヌヒカリ」「真 珠一号」)を2年間(2021年、2022年)、岩手大学圃場にて2窒素条件(0g/m<sup>2</sup>,30g/m<sup>2</sup>) で栽培した。2022年にはポット栽培(1/5000ワグネルポット、主茎のみ)も行った。

(2)結果

<u>試験 1 耐冷性試験</u>:冷害誘導処理を行うと稔実歩合が低下した。高窒素条件ではさらに稔 実歩合の低下がみられた。窒素の各器官への影響を調査したところ、稈長は増加したのに対 し、葯長は施肥窒素に対して徐々に低下する傾向が観察された。

<u>試験 2 品種比較</u>: 耐冷性の指標である葯長の窒素応答性には品種間差がみられた。その中 でも高窒素条件で葯長が増加する「鶴亀」、短縮する「REXMONT」は3条件で似た傾向を 示したことから、葯長の窒素応答性は遺伝形質であることが示唆された。

以上、「ササニシキ」において窒素を施肥すると葯長が短縮した。12 品種による比較から、 窒素施肥による葯長の変化は品種により異なる遺伝形質であり、耐冷性に関わることが示 唆された。 11.気候変化から探る近年において災害級の冷夏が発生していない理由 天野未空 (三重大学)

#### a)要旨

冷夏が北日本で2010年以降に発生していないことに着目し、その理由を気候学的な観点 から考察した.近年においては冷夏発生時と同様の大気場が出現していたことが分かった. それにも関わらず冷夏とならなかったのは,亜寒帯ジェットの北への蛇行を伴う「南北傾 斜高気圧」の存在が主な理由である可能性がある.この高気圧により,やませのような北 東風自体が吹きづらく,熱帯からの遠隔影響が日本付近へ伝播しづらい環境場が形成され ていることが示唆される.

#### b) 本文

(1) はじめに

日本を含む中緯度域は、暖かい海と大気、冷たい海と大気とが隣接した地域である.こ のような地域では、風の吹き方、つまり高・低気圧の配置によって、暑夏・冷夏いずれも 発生する可能性がある.しかしながら、後述の結果の中でも示すように、近年は猛暑が頻 発している.この猛暑頻発の理由を考察した先行研究はいくつか存在するが「なぜ冷夏は 発生していないのか」という逆の視点での考察を行った先行研究は存在しない.将来にお ける冷夏発生の可能性に関する議論を進めるためにも、この視点での考察を行い、現在の 気候変化を正しく理解する必要があると考える.

そこで本研究では、災害級の冷夏が近年発生していない理由の解明を目的とした.過去 冷夏による被害が度々発生している北日本の7月に着目し、解析を行なった.冷夏時の特 徴として先行研究では、海面水温(SST)の低水温偏差、オホーツク海高気圧の発生、負の 太平洋-日本(Pacific-Japan, PJ)パターンが挙げられている.これを踏まえ本研究では、 1)SST が暖かくなっている、2)オホーツク海高気圧が発生していない、3)負のPJパタ ーンが発生していない という3つの仮説を立て、検証・考察を行なった.

#### (2) 使用データ・解析手法

大気場のデータにはJRA-55 再解析データ, SST のデータには HadISST を使用した. い ずれも7月の月平均データを1958-2022 年の 65 年分使用し,これを気候値と定義した. 近 年・冷夏年の指標には,北海道,東北六県, 新潟の気象官署 40 地点の月平均気温データ を使用した.これより気温インデックス(図 1)を作成後,値が-0.5σ以下である年を"冷夏



年",最後の冷夏年が発生した年の翌年以降を"近年"と定義した.近年・冷夏年それぞれ について合成図解析を行い,各大気海洋場の特徴を調べた.さらに,冷夏年の特徴を表す 各種インデックスを作成し,近年において冷夏が発生していない理由の考察を行った.

(3)結果と考察

(i) 近年において冷夏時と同様の特徴は現れていたのか?

抽出した冷夏年の合成図より、オホーツク海高気圧の発生、負の PJ パターンに対応する 気圧偏差が見られた. SST についても低水温偏差の領域が広がっていた. これより、冷夏 年の特徴を表すインデックスを作成し、その結果を表1にまとめた.

	北日本 気温	親潮SST	オホーツク海 高気圧	太平洋 インデックス	日本 インデックス	PJパターン
2010	+ + +	+ +	+	+++	+++	—
2011	+	+ +	+		-	—
2012	+ +	+ +	+		-	—
2013	+ +	+ + +	+	+ + +		負
2014	+ + +	+ + +			+	—
2015	+ +				+ + +	ΤĒ
2016	+	+	+ +	+ +	+	—
2017	+ + +	+ +		+ + +	+ + +	—
2018	+ +	-	+ +		+ + +	正
2019	+ +	+ + +	+ +	-	+	—
2020	+	+ + +	+ +	+ + +	+ + +	—
2021	+ +	+++	+ + +		+ +	ΤĒ
2022	+++	+++	+ +	+ +		負

表 1 近年における大気海洋場の特徴.

値の絶対値の大きさに応じて印の数を変えている.1つの+, -マークは,  $0.25\sigma$ 未満, 2つは $0.25\sigma$ 以上 $1\sigma$ 未満, 3つは $1.0\sigma$ 以上であることを示す.また, 冷夏年の特徴が現れていた場合に, 青色で塗りつぶしている.

まず,SST が暖かくなっているという,第一の仮説は支持された.2015,2018 年を除き, 近年のほとんどの年で正偏差となっていた.これは,冷夏時の低水温偏差という特徴が, 近年のほぼ全ての夏において現れていないことを示す.SST 上昇により,大気が暖められた 可能性がある.しかし反対に,大気が暖かくなっていることで SST が高くなっている可能 性もあるため,SST 原因で冷夏にならないとは言い切れない.

次に、オホーツク海高気圧が発生していないという、第二の仮説は否定された.2014, 2015,2017年を除けば、2010年以降もオホーツク海高気圧は出現していた.それにも関わ らず、日本が冷夏とならない理由の1つとして、オホーツク海高気圧だけでは、冷夏の十 分な条件にはならないことが考えられる.オホーツク海高気圧に伴い、北東風が吹き、寒 気移流が存在することが、必要な条件である可能性がある.

最後に,負の PJ パターンについては,近年も発生していたことから,第三の仮説は否定 された.しかしながら,正の PJ パターンが頻発するようになっているわけでは無かった. さらに,フィリピン海付近の SLP インンデックスについては,対流活動が活発な年,不活 発な年が近年においても同程度出現しており、正・負の PJ パターンが発生する可能性があ ったと言える. しかしながら, 日本付近の SLP インデックスは, 熱帯の変動に対応してい ない年がほとんどである. 結果, 正・負の PJ パターンの発生回数は, それぞれ 3 回と 2 回 に留まっている.これは、熱帯の対流活動とは無関係に日本付近の大気場が変化している 可能性がある.

(ii) 冷夏時の特徴が現れていたにも関わらず冷夏とならなかった理由

前節より、近年は北東風が吹いておらず、また、日本付近の大気場が熱帯の大気場に対 し、応答しづらくなっている可能性がある.この点を近年の合成図より探る.



影は(c)と同様,等値線は近年の平均東西風 (m/s)を示す.

-40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 50 60 70 80 [m]

まず,海面更正気圧の合成図を示す(図 2a).近年においては,オホーツク海高気圧の弱 まりや、正の PJ パターン強化が予想されたが、顕著な特徴は見られなかった.カムチャツ カの南東から日本の南側にかけて高気圧偏差が見られた.またこの高気圧偏差に伴い、北 東風は吹いておらず,南風および南からの暖気移流が強まっていた(図2b).

次に、250 hPa 面のジオポテンシャル高度では、近年は北半球のほとんどの領域が、高気 圧偏差となっていた(図 2c).中でも、北太平洋北東部とカムチャツカ半島付近で大きな値 を示しており, 偏西風の北への蛇行が予想される.

最後に,緯度-高度断面図を示す(図 2d).対流圏上層,オホーツク海北部や カムチャツカ半島付近において高気圧 偏差が見られ,この正偏差の尾根は下層 まで延びていた.そして,日本の位置す る北緯30度から45度付近で地表面に接 していた.つまり,南北に傾いた鉛直構 造をしており,図2aと図2cに見られる 高気圧偏差は,同一のものであることが わかる.つまり,この南北傾斜高気圧の 存在により,暖気移流が近年強められてい ることが,冷夏が発生しなかった主な要因



図 5 夏の北極振動有気の時末列. 二重人子立花前 Web ページ (https://atm.bio.mie-u.ac.jp/earth/AOindex\_index.html) より取 得可能. 毎日更新している.

である可能性が考えられる.また,対流圏上層の高気圧偏差に伴い,ダブルジェット構造 が明瞭に見られ,亜寒帯ジェトが北へ蛇行している.さらに、亜熱帯ジェットは弱化して おり,これにより熱帯からのロスビー波が伝播しづらい環境場となっており,PJパターン が発生しづらくなっているのではないかと考えられる.

この高気圧の出現, 亜寒帯ジェットの北への蛇行頻度は, 近年にかけて増加傾向にある. また, この上層大気大循環の変化は, 0gi et al. (2004) で定義された, 夏の北極振動 (Arctic Oscillation: A0) 指数においても見られる (図 3). つまり, カムチャツカ半島上層におけ るジェットの蛇行は, 北半球規模での気候変化と関係していることが示唆される.

(4) まとめ

近年の北日本において冷 夏が発生していない理由を, 合成図解析およびインデッ クスの時系列変化から探っ た.その結果,主な理由は, 亜寒帯ジェットの北への蛇 行に伴う,南北傾斜高気圧 の存在であると結論づける. これにより,北東風がそも そも吹きづらく,熱帯の対 流活動に対し,日本付近の 大気場が応答しづらい環境 場となっている可能性がある.



図42010年以降,北日本において冷夏が馳せシしなかった理由の模式図.

今後将来においても、この「南北傾斜高気圧」の存在し続けた場合、再び冷夏が発生す

る可能性は低いだろう.しかし現時点では,内部変動と外部変動を切り分けた解析は出来 ておらず,今後の動向については言及することが出来ていない.また,北極の温暖化や熱 帯の変調などとも合わせて議論する必要がある.これらの点は今後の課題としたい.

#### c) 参考文献

- Kodama, Y-M., 1997: Airmass transformation of the Yamase air-flow in the summer of 1993. *J Meteorol Soc Jpn*, **75**, 737–751.
- Ninomiya, K., Mizuno, H., 1985: Anomalous cold spell in summer over northeastern Japan caused by northeasterly wind from polar maritime airmass Part 1. EOF analysis of temperature variation in relation to the large-scale situation causing the cold summer. J Meteorol Soc Jpn, 63, 845–857.
- Nitta, T., 1987: Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the Northern Hemisphere summer circulation. *J Meteorol Soc Jpn*, **65**, 373–390.
- Ogi, M., Yamazaki, K., Tachibana, Y., 2004b: The summertime annular mode in the Northern Hemisphere and its linkage to the winter mode. J Geophys Res D: Atmos, 109.
- Sato, T., Nakamura, T., 2019: Intensification of hot Eurasian summers by climate change and land-atmosphere interactions. *Sci Rep*, **9**, 10866.

12.2019年台風 19号を対象とした山越えする降雨の特徴 岡地寛季,松岡陽生,山田朋人(北海道大学)

#### a) 要旨

本発表では,2019年台風 19号が関東山地を越えて風下側の千曲川流域にまで大雨をもたらした気象要因を類似台風の比較により分析した結果を紹介した.

#### b) 本文

2019 年台風 19 号(令和元年東日本台風,以下,台風 19 号)は,10 月 12 日 19 時前に 大型で強い勢力で伊豆半島に上陸した. その後,静岡県や新潟県,関東甲信地方,東北地方 を中心に広い範囲で記録的な大雨や暴風,高潮,堤防決壊等の甚大な被害をもたらした.多 くの地点で期間降水量が観測史上1位の値を更新した<sup>1)</sup>.長野県内を流れる千曲川流域に おいても台風19号によって甚大な被害が発生し,千曲川上流域に位置する軽井沢,鹿教湯, 北相木などで48時間総降水量が300mmを越える観測史上1位の値を記録した<sup>20</sup>.これは、 千曲川流域上流部の計画降雨量 186mm/2 日(立ヶ花地点における 1/100 確率規模)をはる かに上回る値である.千曲川流域内の長野市における年降水量の平年値は 965.1mm(1991 年から 2020 年)で、日本の全国平均値の 1718mm と比較すると降水量の少ない流域であ る 3). 本来, 南東方向から関東山地に向けて湿潤な大気が吹き付けた場合, 関東山地東側の 利根川上流域の山間部で地形性の降雨がもたらされると、山地を越えた空気は乾燥し、関東 山地の西側に位置する千曲川流域への水蒸気流入量は少なくなると考えられる.しかし,台 風 19 号では、南東方向から流入した多量の水蒸気が利根川上流域で地形性の大雨をもたら し、かつ関東山地を越え風下側の千曲川流域にまで流入し記録的な大雨をもたらした.これ は雨域の山越えを伴う地形性降雨という事例であると考えられる. そこで本研究では, 台風 19 号が関東山地を越えて風下側の千曲川流域にまで山越えして大雨をもたらした気象要因 について明らかにすることを目的とした. 本発表では, メソ数値予報モデル GPV (MSM), レーダーアメダス解析雨量,山田ほか(2018)<sup>3)</sup>が実施した 5km 解像度の d4PDF を用い た解析結果を紹介した.

#### c) 参考文献

1) 令和2年版 防災白書 | 特集 第1章 第1節 1-3 令和元年東日本台風による災害 https://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/r02/index.html

2) 令和元年東日本台風の概要-長野市

https://www.city.nagano.nagano.jp/uploaded/attachment

3) 山田ほか,2018:北海道における気候変動に伴う洪水外力の変化,河川技術論文集,24,391-396.

13. 石狩川における塩水遡上発生時の水理・水文学的要因の分析 石原道秀

#### a) 要旨

本研究では、塩水遡上には、降雨の低下に伴う流量の低下、風向風速、潮汐など様々な要 因があることを踏まえ、石狩川において各要因が塩水と淡水の相互作用にどのように影響 を与えるのか明らかにすることを目的とした研究である.また、塩水遡上発生時の気象場と その発生確率についても明らかにすることを目指したものである.

石狩川を対象に分析を実施した結果,塩水遡上が起こる気象状況として、降雨が少ないか つ南東風が卓越しているが、その中でも高温のパターンと低温のパターンがあることがわ かった。また、弱混合の二層流モデルを用いた感度分析の結果、風は塩水遡上に大きく影響 を与えることが分かった。上記の感度実験により,2021年7月後半に南東風が仮に継続し て場合,塩水が取水口に到達し、取水制限となった可能性が示唆された。

#### b) 本文

#### (1) 塩水遡上の発生に関する気象要因

石狩川河口部は南西から北東に向かって流下しており、風が上流(下流)向きに吹くと、 塩淡界面水位は低く(高く)なることが考えられる。そこで、石狩アメダスにおける風速ベ クトルを南東から北西の向きに正射影し、石狩川の流下方向の成分を取り出した。

図-1 は 1990 年から 2021 年の 7 月における石狩アメダスの風速の南東成分を示してお り、塩水遡上が発生した年は平年より風速の南東成分が大きいことが分かる。2021 年 7 月 の風速の南東成分は平年と比べて 0.5 m/s 大きかった。図-2 は 1990 年から 2021 年の 7 月 における石狩川流域の流域平均の総降水量を示しており、塩水遡上が発生した年において は平年よりも降水量が少なかったことが分かる。特に、2021 年 7 月においては 100 mm 程 度少なく、過去 32 年間で最小であった。したがって、2021 年においては、7 月を通して南 東風が卓越し、降水量が少なかったことが示され、塩水遡上が起こりやすい条件を満たして いた。図-3 は 1990 年から 2021 年の 7 月における札幌気象台の月平均の降水量を示してお り、塩水遡上発生時には高温と低温の 2 パターンあることが分かる。



(2) 2021年7月の石狩川河口域の気象状況と水文データ

2021年7月の石狩アメダスにおける総降水量は6.0 mm であり、平年値(94.9 mm)に 対して非常に少なく、7月8日から7月31日まで無降雨日が連続していた。図-4に2021 年7月の石狩アメダスにおける風速・風向を示す。南東から北西に吹く風(南東風)を赤、 北西から南東に吹く風(北西風)を青で示す。風速は1ヶ月通して5m/sより小さく、7月 1日から7月16日までは南東風が吹き、7月16日から7月22日までは南東風が止み、22





水位を示す。7月初めは小潮でその後大潮、小潮、大潮、小潮と変化していることが分かる。 図-6に2021年7月の石狩大橋(KP26.60km)における標高ごとの塩分濃度を示す。7月 23日から塩分濃度の高い領域が上昇しており、その後塩分濃度は一度下がり、再び上がっ ている挙動が見て取れる。図-4を見ると、7月20日付近では南東風が止んでいる。時間的 遅れはあるものの、この南東風が止んだことが塩分濃度の低下に影響したのではないだろ うか。次に潮汐の影響に注目する。図-5を見ると、塩水が引いたタイミングと、大潮のタ イミングが重なっていることがわかる。潮汐運動が大きくなると塩水と淡水の鉛直混合が 強くなり、緩混合型に移行し、塩水は引いていくことが予想される。2021年7月の事例で は塩水は千歳川の取水口まで到達しなかったが、もし南東風が連続する風の場が7月20日 付近も続いていた場合や、潮汐のタイミングがずれていて、7月後半に小潮であった場合、 塩水はより上流まで到達し、取水に影響した可能性がある.

(3) 風の影響を考慮した二層流モデルによる感度分析

吉田らの研究報告<sup>1)</sup>と須賀の論文<sup>2)</sup>を参考に、以下のように1次元二層流のモデルを作成 した。以下のように、塩水と淡水それぞれの連続式と運動方程式を支配方程式として用いた。 2021年7月の風速・潮汐の観測結果をモデルに適用した場合、図-7のように塩水遡上距離 は最大 KP 30km ほどであった。一方、7月中旬に南東風が止んだ部分に4m/sの南東風を 与えた場合、図-8のように塩水遡上距離は最大 KP40 km ほどであった。風を変化させた 場合と潮汐を変化させた場合の最大塩水遡上距離の感度分析結果を図-9に示す.これらの 結果から、風は塩水遡上の最大距離に大きく影響を与えることが分かった。また、上記の感 度実験により、2021年7月後半に南東風が仮に継続して場合、塩水が取水口に到達し、取 水制限となった可能性が示唆された。

c) 参考文献

- 1) 柏村正和,吉田静男:密度流の研究I塩水くさびの模型実験,北海道大学工学部研究報告, 41, p327-342, 1966
- 2) 須賀尭三:一次元二層不定流の数値計算,海岸工学講演会論文集,第24巻,pp544-548, 1977



図-8 南東風が止んだ部分に南東風を与えた場合

	観測通り	大潮を小潮に	大潮を振幅0に
観測通り	約KP30km	約KP30km	約KP30km
南東風1m/s	約KP30km	約KP30km	約KP30km
南東風2m/s	約KP30km	約KP30km	約KP30km
南東風3m/s	約KP30km	約KP30km	約KP30km
南東風4m/s	約KP40km	約KP40km	約KP40km

図-9 最大塩水遡上距離の感度分析結果

14. 気象庁が開発する最新の地球温暖化予測情報等の紹介 瀨﨑歩美・若松俊哉・平井雅之(気象庁大気海洋部気候情報課)

#### a)要旨

気象庁では、我が国における気候変動適応の取組が促進されるよう、数年ごとに最新の 気候モデルによる予測結果を公表している。最新の予測結果である「日本域気候予測デー タ」の概要を示すとともに、気候予測データの諸分野における活用を想定した事例創出の 一例として、農業における気候予測データの利用例について紹介する。本データは、気候 変動の影響評価や適応策の策定等へと利用し得るデータである。

#### b) 本文

(1)気象庁における温暖化予測情報業務

近年、国内外で極端な気象や災害等が多発しており、今後さらに気候変動に伴ってより 激甚化、頻発化することが懸念され、国内外で気候変動対策の取組が加速している。

気象庁では、地球温暖化に伴う気候変動の影響評価や緩和策及び適応策の策定等を目的 として、平成8年度から数年ごとに最新の気候モデルによる予測結果を公表している。

最新の取り組みとしては、2020 年 12 月に日本の気候変動についてこれまでに観測され た事実や「日本域気候予測データ」の NHRCM05 による将来予測をとりまとめた「日本の 気候変動 2020」を文部科学省とともに公表し、2022 年 12 月には国内の気候変動研究プロ グラム等において作成された気候変動予測データをとりまとめた「気候予測データセット 2022 (DS2022)」を文部科学省とともに公開するなど、当庁としても日本における気候変 動対策の効果的な推進に資するための取り組みをより一層進めているところである。

(2)「日本域気候予測データ」とその利活用について

「日本域気候予測データ」は、気象研究所が開発した RCP8.5 及び RCP2.6 シナリオに 基づく温暖化予測モデルのダウンスケーリング結果(NHRCM05/02)を、気象庁が解析し た日本の気候予測データである。日本域気候予測データは、従来提供していた NHRCM05 に基づく「地球温暖化予測情報第9巻データセット」に加え、NHRCM02 に基づく解析デ ータを拡充したものである。データの詳細な内容については、「気候予測データセット 2022 解説書(文部科学省及び気象庁, 2022)」の第2章に記載されている。ここでは利活用とい う点から本データの特徴について一部を以下に紹介する。

本データの特徴の一つとして、NHRCM05/02のデータを2種類の形式に解析しているこ とがあげられる。1つ目は、binary形式のモデル格子点データであり、これはNHRCM05/02 のオリジナルの予測データを期間統計(日・月・季節・年)として処理しているほか、将 来気候についてはアンサンブル平均も提供している。2つ目は、csv形式の観測地点データ である。これは、気候モデルの計算結果には気候モデル特有の系統誤差(バイアス)が含

まれているため、当庁でバイアス補正処理を行ったデータであり、加えて気温と降水につ いては猛暑日や日降水量 200mm 以上などの階級別日数のデータも提供している(図 1)。 このようにあらかじめ統計処理されたデータ、操作が比較的簡易な csv ファイル形式のデー タ、バイアス補正済のデータを作成・提供することで、ユーザがより利用し易くなること が期待されると考える。本データの利活用事例の創出として、令和3年度には長野県環境 保全研究所(信州気候変動適応センター)と協働し、将来気候における長野県のリンゴの 凍霜害リスクへの影響について解析した(図 2(瀬崎ほか, 2022))。この事例のように本 データは日本の各地域において気候変動の影響評価や適応策の策定等に活用しうるデータ である。



※地上気温、降水、雪の要素を提供

凍霜害リスク日(Day3)年間日数

図 1. 「日本域気候予測データ」の概要

発芽日(Dav2)

果樹試験場



図 2. 長野県におけるリンゴ凍霜害リスクの将来変化の解析結果(瀬崎ほか(2022)より)

45

今後も当庁では、本研究会への出席者を含む様々な有識者の意見を取り入れながら、「日本の気候変動 2020」のような刊行物へ掲載する将来変化の評価方法や、今後の温暖化予測 情報データの解析・作成方法について検討していく予定である。

#### c) 参考文献

- 文部科学省及び気象庁, 2020:日本の気候変動 2020. https://www.data.jma.go.jp/cpdinf o/ccj/index.html (2023.3.28 閲覧)
- 文部科学省及び気象庁, 2022:気候予測データセット 2022 解説書. https://diasjp.net/ds 2022/manual.html (2023.3.28 閲覧)
- 瀬崎歩美,原田昌,池田友紀子,浜田崇,2022:長野県でのリンゴ凍霜害リスクの将来変 化の解析 ~休眠打破時期の遅れに関する評価~.ヤマセ研究会,令和3年度研究成果 報告書,44-49.

15. DIAS と気候予測データセット 2022 公開サイトの紹介 遠藤伸彦 (国立研究開発法人海洋研究開発機構)

#### a)要旨

本報告では、DIAS とは何かを紹介し、さらに DIAS がホストし、文部科学省・気象庁よ り公開された気候予測データセット 2022 (DS2022) を紹介した。気候予測データは完璧 なものではないため、気象庁が推奨しているように、気候予測データと観測値を比較し、 気候予測データの特徴をよく確認することが大切であることを強調したい。

#### b) 本文

(1) DIAS とはなにか

DIAS の目的を公式 Web サイトより引用します.『データ統合・解析システム DIAS は, 地球規模/各地域の観測で得られたデータを収集,永続的な筑西,統合,解析するとともに, 社会経済情報などとの融合を行い,地球規模の環境問題や大規模自然災害等の脅威に対す る危機管理に有益な情報へ変換し,国内外に提供することにより,我が国の総合的な安全 保障や国民の安全・安心の実現に資することを目的として,2006 年度にスタートしました.』

DIAS には、気象庁の GPV データ、再解析データ、気象衛星「ひまわり 8 号」、国土交 通省の X バンド降水レーダー、統合モデル相互比較計画 CMIP3/CMIP5/CMIP6 出力、海 洋再解析データ FOR A-WNP30 等々、相当数のデータが格納され、DIAS のユーザーに提 供されています.

(2)気候予測データセット 2022 (DS2022)

文部科学省・気象庁は 2022 年 12 月に「気候予測データセット 2022」を公開しました. DS2022 はこれまで実施されてきた国内の気候変動研究プログラム等(例えば,気候変動リ スク情報創生プログラム,統合的気候モデル高度化研究プログラム,気候変動適応技術社 会実装プログラム)で作成された気候予測データを DIAS に格納し,大学や国立研究機関 のみならず,自治体や民間企業が気候変動への適応策や緩和策を策定する際の基盤情報と して使用していただくために DIAS からデータを広く公開します.

DS2022 は、1)大気の力学的ダウンスケーリングデータ、2)大気の統計的ダウンスケー リングデータ、3)海洋の力学的ダウンスケーリングデータ、に区分できます.力学的ダウン スケーリングデータは、全球を対象とした気候モデルの出力を境界条件として領域気候モ デルに与えて計算した結果で、全球気候モデルの空間解像度と比較して相対的に高い空間 分解能の出力となっています.一方、統計的ダウンスケーリングデータは、全球気候モデ ルの出力を空間的に内挿を行い、観測値とモデル出力の間の統計的関係を基盤として、バ イアス補正を行ったデータとなっています.詳細は文部科学省・気象庁(2022)を参照し てください. DS2022 のデータは気候モデルの出力であるので、現実世界を的確に再現している保証 はありません. DS2022 のデータを利用する際には、観測データが利用可能であれば観測デ ータを取得し、気候モデルの出力と観測データを比較することを強くおすすめします.気 象庁が推奨する利用方法が文部科学省・気象庁(2022)の第2章2-130ページに掲載さ れています. DS2022 を利用される際には、是非とも推奨される利用方法をお読みください.

#### c) 参考文献

文部科学省・気象庁, 2022:気候予測データセット 2022 解説書(第2章), 259pp.

16. d4PDF5km 全国アンサンブル実験による極端降水の将来変化 川瀬宏明(気象庁気象研究所)

#### a)要旨

「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース(d4PDF)」から、地域気候モ デルを用いて 5km 格子まで力学的ダウンスケーリングを実施した。本計算は、現在及び4 度上昇気候をそれぞれで 720 年間、日本全国を対象に実施しており、これにより日本の年 最大日降水量の 50 年確率値の分布や台風の再現性が向上し、極端豪雨の将来予測が可能と なった。また、5km モデルで解析可能な線状降水帯を抽出したところ、線状降水帯の出現 頻度は、4 度上昇下気候下では全国平均で約 1.6 倍に増加する可能性が示唆された。

#### b) 本文

(1) はじめに

「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース(d4PDF; Mizuta et al. 2017)」の登場により、豪雨、豪雪、台風等の極端気象の将来予測研究が飛躍的に進展した。 ただ、d4PDF は領域版であっても格子間隔が 20km と、日本の地域詳細な気候予測を行う 上では解像度がまだ粗い。SI-CAT (気候変動適応技術社会実装プログラム)では、 d4PDF20km 領域版のデータを基に、北海道 (九州、関東)、東北から九州を対象に、5km 格子間隔の地域気候モデルを用いた力学的ダウンスケーリングが実施され、それぞれの各 地域における大雨や大雪の将来予測がなされた (例えば, Kawase et al. 2018; Sasai et al. 2019)。これらの計算は同じ地域気候モデル (NHRCM; Sasaki et al. 2008) が用いられて いるが、計算領域や対象年が異なり、また標高の取り扱いや一部のモデルのパラメータも 異なる。このため、日本の極端気象の将来変化を全国一律で評価するためには、全国をカ バーする形での高解像度アンサンブル計算が必要となる。

本研究では、d4PDFから日本全国を対象としたアンサンブルダウンスケーリング実験を 実施し、将来の日本の極端気象の変化を調査した。

(2) 使用データ及び実験方法

d4PDFの 60km 全球版から、NHRCM 用いた 20km 及び 5km の 2 段ネスティングでダ ウンスケーリングを実施した。図 1 に本実験の計算領域と地形を示す。5km の計算領域が 全国を網羅できるように、20km の計算領域は d4PDF のオリジナルの領域とは異なる。計 算は過去気候 720 年(60 年×12 アンサンブルメンバー)、4 度上昇気候 720 年(60 年×6SST ×2 摂動)を対象に実施した。ここで、過去実験を HIST20 と HIST05、4 度上昇実験を+4K20 と+4K05 と表記する。後ろの 20 と 05 は格子間隔(20km と 5km)を意味する。

モデルの再現性の検証には、気象庁のアメダスや解析雨量などの観測データを用いた。



図1 計算領域と地形。(a) 外側の太枠内が 20km、内側の太枠内が 5km の計算領域。 (b)20kmNHRCM の地形、(c)5kmNHRCM の地形。

(3)結果・考察

図 2 に観測データ及びモデルから見積もられた年最大 24 時間降水量の 50 年確率値を示 す。アメダスからは東海の沿岸部から紀伊半島、四国、九州で 400mm 以上の 50 年確率値 が見積もられており、一部では 600mm を超えている。一方、HIST20 では、一部格子で 400mm を超える値も見られるが、ほとんどの地域では 400mm 以下の値を示しており、モ デルは 50 年確率値を過小評価していた。一方、HIST05 は、紀伊半島か九州にかけて、観 測と近い 50 年確率値が見積もられていることが分かる(図 2c)



図 2.年最大 24 時間降水量の 50 年確率値。(a)アメダス、(b)HIST20、(c)HIST05、(c)+4K05 と HIST05 の差。

HIST05 と+4K05 の差、つまり年最大 24 時間降水量の 50 年確率値の将来変化を図 2d に示す。全国的に増加傾向を示してるが、増加率は一律ではなく、九州西部や東海の沿岸部、北日本で特に増加率が大きくなっていることが分かる。

次に日本の梅雨期(6月中旬から8月初め)の降水量の将来変化を調べた。ここでは旬(約 10日)平均日降水量と旬最大日降水量の値で評価する。まず、HIST05において、梅雨前 線に伴うとみられる降水帯は6月下旬から7月上旬に西日本でピークを向かえており、梅 雨降水帯の季節進行は現実に近い形で再現されていた。日本付近の旬平均降水量は、九州 西部や沖縄を除いて、いずれの時期も将来、広域で減少する傾向が見られた。沖縄では、6 月中旬から下旬にかけて将来降水量が増加しており、将来の梅雨前線の北上の遅れを示唆 している。また、朝鮮半島では7月中旬から8月にかけて、顕著な降水量の増加が見られ た。旬最大日降水量の将来変化は旬平均とは異なり、全国的に増加する傾向が見られた。 旬を通した降水量が減ったとしても、一度に降る大雨は増えることを示唆している。

台風の中心気圧(最大風速)は、20kmから5kmにダウンスケーリングすることで低下 (増加)し、頻度分布が観測に近づいた。ただ、観測に比べると強度がまだ弱く、930hPa 以下の台風はほとんど再現されなかった。現在気候と4度上昇気候を比較すると、弱い台 風の頻度は減少する一方、勢力の強い台風の頻度は増加し、これまでに指摘されている傾 向と同様の傾向が本計算で確認できた。日本に近づく台風がもたらす雨の将来変化を評価 するため、台風の中心から半径500km以内の陸上で平均した24時間降水量の将来変化を 計算した。台風近傍の降水量は、20km実験より5km実験の方が多く、また、20km実験 では約300mm以上、5km実験では約500mm以上の大雨の出現頻度が温暖化によって相 対的に増加することが示唆された。

最後に、線状降水帯の将来変化を図3に示す。ここでは Hirockawa et al. (2020)に基づ き、線状降水帯の抽出を行った。720年分のデータを用いているため、観測に比べると連続 的に線状降水帯の出現頻度の水平分布が得られている(図3b)。ただ、福島県の沿岸部や 伊豆半島周辺では、観測ではほとんど線状降水帯が検出されていないにもかかわらず、モ デルでは再現されていた。これは、モデルが再現した地形性の雨を線状降水帯として検知 している可能性があり、更なる調査が必要である。HIST05と+4K05を比較すると、全国 的に線状降水帯の出現頻度が増加していることが分かる。もともと出現頻度が高かった紀 伊半島や四国、九州、沖縄では年間3回以上発生する場所が拡大しているほか、現在気候 ではほとんど発生していない北海道でも、4度上昇気候では線状降水帯が発生する可能性が 示唆された。



図3.線状降水帯の出現頻度。(a)解析雨量、Hirockawa et al. (2020)の図を引用。(b)5km 過去再現実験(HIST05)、(c)5km4度上昇実験(+4K05)。出現頻度は10年あたりの回数で示 す。

#### c) 参考文献

- Hirockawa, Y., Kato, T., Tsuguti, H., & Seino, N. (2020b) Identification and classification of heavy rainfall areas and their characteristic features in Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, **98**, 835–857.
- Kawase, H., T. Sasai, T. Yamazaki, R. Ito, K. Dairaku, S. Sugimoto, H. Sasaki, A. Murata, M. Nosaka, 2018: Characteristics of synoptic conditions for heavy snowfall in western to northeastern Japan analyzed by the 5-km regional climate ensemble experiments, *J. Meteor. Soc. Japan*, 96, 2, 161–178.
- Mizuta, R., Murata, A., Ishii, M., et al., 2017: Over 5000 years of ensemble future climate simulations by 60 km global and 20 km regional atmospheric models. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 98, 1383–1398.
- Sasai, T., H. Kawase, Y. Kanno, J. Yamaguchi, S. Sugimoto, T. Yamazaki, H. Sasaki, and T. Iwasaki, 2019: Future projection in extreme heavy snowfall event with 5-km large ensemble regional climate simulation, *JGR-Atmosphere*, 124, 13975-13990.
- Sasaki, H., K. Kurihara, I. Takayabu, and T. Uchiyama, 2008: Preliminary experiments of reproducing the present climate using the non-hydrostatic regional climate model. SOLA, 4, 25–28.