

令和 5 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 6 年 7 月

ヤマセ研究会

# 目次

ヤマセ研究会.....	3
令和 5 年度成果 .....	4
1. 青森県三戸町におけるリンゴの発芽日・開花日の将来予測.....	5
2. 東北地域における過去の水稻高温障害リスク評価 .....	7
3. 東北地域の農地における 2023 年夏季の猛暑評価および気候変動との関係.....	9
4. 質と量に基づく今後のコメ生産額変動の推定.....	10
5. 精密時別日射量メッシュデータの作成.....	12
6. これまでに取り組んだ凍霜害研究.....	15
7. ドローン観測の高密度化による沿岸気象予測の精度評価.....	17
8. 低解像度グリッドデータを用いたヤマセを抽出する指標の作成.....	20
9. ヤマセ強度の数値化.....	22
10. 夏季の極端現象発生時の日射の分布と変動.....	26
11. 2023 年夏の気象状況と東北近海の海況について.....	27
12. 自身のこれまでの研究と近年のヤマセ日の減少について.....	29
13. 近年は“暖かいヤマセ”になっているのか?.....	31
14. 2022 年 5 月 21 日に茨城県坂東市で目撃された漏斗雲とそれをもたらした積乱雲の MP-PAWR による観測結果.....	32
15. 令和 5 年 7 月以降の記録的大雨による秋田県での心理的影響に関する縦断研究: 6 ヶ月経過時点の調査.....	34
16. 夏季の大雨発生時の亜寒帯海域から日本海への下層冷気の流出.....	38
17. RRJ-Conv の降水の検証 (1981 年~2020 年の大雨) .....	40
18. 2013 年北東北で発生した線状降水帯の数値シミュレーション.....	43

# 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19回ヤマセ研究会の開催

ヤマセ研究会（東北地域における気象・気候情報の精度向上と高度利用に関する研究会）は、弘前大学工学部気象学研究室および弘前大学大学院理工学研究科寒地気象実験室との共催で、2024年2月27日から2月28日にかけて、弘前大学にて第19回の研究会を開催した。約30名の参加と、19件の発表をいただき、感謝を申し上げます。本研究会は、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。

本研究会の発展、開催に2014年まで尽力いただいた児玉安正先生が2024年6月10日に逝去された。ここに謹んでご冥福をお祈りいたします。

## 令和5年度成果

## 1. 青森県三戸町におけるリンゴの発芽日・開花日の将来予測

石田祐宣・馬場晴生・伊藤大雄（弘前大学）

### a) 要旨

青森県三戸町を対象に、現在・過去および将来予測された気温データを用いて、リンゴの発芽日・開花日をモデルにより推定した。その結果、ほとんどのパターンで発芽日・開花日ともに早期化が予測された。しかし、その変化は単調ではなく、極端に高温な条件になると自発休眠の長期化が影響し、逆に発芽日・開花日が遅れるパターンも見られた。

### b) 本文

一般に果樹は一度植栽すると 30 年程度は栽培が続くため、栽培過程において気候変動の影響を非常に受けやすい作物であるといえ、気候変動による将来の高温に対する確実な備え、つまり適応策の実施が必要であるといえる。

本研究では、リンゴの生産が盛んな青森県三戸町を対象に、リンゴの発芽日・開花日を予測する「改良朝倉モデル」(伊藤, 2019) に農研機構「メッシュ農業気象データ」(大野ら, 2016; 西森ら, 2019) による現在・過去・将来における気温データを入力し、リンゴの発芽日・開花日を推定した。将来予測においては、2 つの温室効果ガス排出シナリオ (RCP2.6, RCP8.5) を用い、中庸な気温変化を示した全球気候モデル CSIRO-Mk3-6-0 の出力値を使用した。対象期間は、現在を 2013~2023 年、過去を 1980~1990 年、将来を 21 世紀中盤: 2050~2060 年及び 21 世紀末: 2090~2100 年として、計算開始日を各年 9 月 14 日とし、翌年 6 月 1 日まで計算を行った。また、晩霜害発生年・高温年について考察を行った。高温年の計算には、RCP2.6, RCP8.5 の両シナリオにおいて、比較的予測結果が高温がある全球気候モデル GFDL-CM3 の出力値を使用した。

モデルの検証として、三戸町から 15 km 程度離れた青森県五戸町にあるりんご研究所の発芽日・開花日実測データを参照したところ、現在気候の三戸町梅内でのモデル計算値との誤差は平均 1~2 日ほどで、誤差の最大は 5 日であった。モデルの推定では、過去から将来にかけて発芽日・開花日は早まり、梅内では RCP8.5 において 20 日前後早まった。梅内では RCP8.5 において発芽日と比較して開花日はさらに 4 日ほど早まり、RCP2.6 においては発芽日と開花日の早期化の差はほとんど見られなかった。将来については RCP8.5 において、発芽日・開花日が RCP2.6 の場合と比較して 7 日・12 日ほど早まった。また、過去から現在にかけて低標高地で発芽日・開花日が早まり、現在から将来にかけての変化は時代やシナリオによって地域毎に異なった。発芽から開花に要する日数は、現在と比較して過去・21 世紀中盤は梅内において 1~2 日ほど短く、21 世紀末においては RCP2.6 の場合に現在と一致し、RCP8.5 の場合に 3 日ほど短かった。

過去から将来にかけての気温の上昇とそれによる自発休眠の長期化が確認でき、それが発芽日・開花日の変動に与えた影響は大きいと考えられる。晩霜害年 (2001 年) において

は、発芽日と開花日の間に最低気温が $-2.4^{\circ}\text{C}$ まで低下していた日を確認でき、この日に実際に霜害が発生していた。また、高温年においては、発芽日・開花日の地域間差が大きく、現在と比較して発芽日・開花日が1ヶ月以上進む地域と反対に7日ほど遅れる地域が存在した。気温の上昇が顕著になると、自発休眠覚醒日の遅れが大きく、対象期間内に自発休眠覚醒が発生しない地域も存在したことで、このような結果を示したと考えられる。

#### 謝辞

本研究は、青森県三戸町委託研究「青森県三戸町における中長期的な気候変動と作物の生育」の一環として実施された。

#### c) 参考文献

伊藤大雄, 2019: 気候変動に伴うリンゴ‘ふじ’の休眠覚醒日, 発芽日および開花日の経年変動予測. 東北の農業気象, **63**, 28-29.

西森基貴, 石郷岡康史, 桑形恒男, 滝本貴弘, 遠藤伸彦, 2019: 「農業利用のための SI-CAT 日本全国 1 km 地域気候予測シナリオデータセット (農研機構シナリオ 2017) について」. 日本シミュレーション学会誌, **38**, 150-154.

大野宏之, 佐々木華織, 大原源二, 中園 江, 2016: 「実況値と予報値, 平年値を組み合わせたメッシュ気温・降水量データの作成」. 生物と気象, **16**, 71-79.

## 2. 東北地域における過去の水稻高温障害リスク評価 大久保さゆり、井上聡（農研機構東北農業研究センター）

### a) 要旨

2023年夏は全国的に記録的な猛暑となり、北日本では特に平年差が大きかった（気象庁、2023）。本報告では、水稻の高温によるリスクの指標であるヒートドース値（HD\_m26）を用いて東北地域の水稲高温障害リスクについて評価した。2023年においては、水稻の出穂後の高温リスクの出現が、過去の高温年と比べてもかなり長期かつ広域に及ぶことが確認された。

### b) 本文

#### （1）対象地域および解析方法

対象地域：東北地域6県

使用データ：農研機構メッシュ農業気象データの日平均気温

水田またはその他の農用地を含む三次メッシュ（約36,000点）を使用

対象期間：1999年～2023年

方法：出穂後20日間の日平均気温のうち26°C超過分の積算値として定義されるヒートドース値（以下、HD\_m26）をメッシュごとに算出した。通常、HD\_m26は出穂後の20日間の値で求めるが、ここでは7/1から9/30までの毎日について、20日先までの日平均気温を用いてHD\_m26を計算した。

#### （2）結果

##### 2-1) HD\_m26の高リスクの持続期間

HD\_m26は、20を超えると白未熟粒の発生リスクが高くなるとされる（西森ら2020）。HD\_m26が20を超えたメッシュ数の推移を図1に示す。東北地域では基本的にはHD\_m26 $\geq$ 20となる地域は僅かであり、図1にはまとまった地点数を示した年のみを抜粋して示している。過去の年では、東北地域で大規模な高温障害が報告された1999年や2019年に、出穂期の前後の時期に高温リスクが高いメッシュが多く出現していた。これに対して2023年は7月下旬から8月下旬にかけて1ヶ月近く、地域の半数以上のメッシュでリスクの高い値がみられた。出現期間、メッシュ数ともに過去の年と比べて著しく大きい。2023年は、多くの地域で高温障害リスクの高い状態が長期に持続したことで、例年であれば出穂期が前後することによりリスクを回避できていたケースも含めて、個々の出穂の遅速を問わず出穂期の高温リスクが高い年であったといえる。

##### 2-2) 2023年出穂期のHD\_m26分布

2023年の出穂期のHD\_m26の分布を調査した。2023年の各県の出穂期を中心とした9

日間で平均した HD\_m26 の分布を示す (図2)。2023 年は、もともと高温の頻度が高い日本海側の秋田、山形両県のほか、青森県の津軽地域、八戸地域など例年あまり高温にならない地域でも、高リスクとされる 20 を大きく超える値を出穂期に示していた。これらの結果から、2023 年の東北地域では、高温リスクが過去の年と比較し著しく長期、広域に及ぶことが確認された。

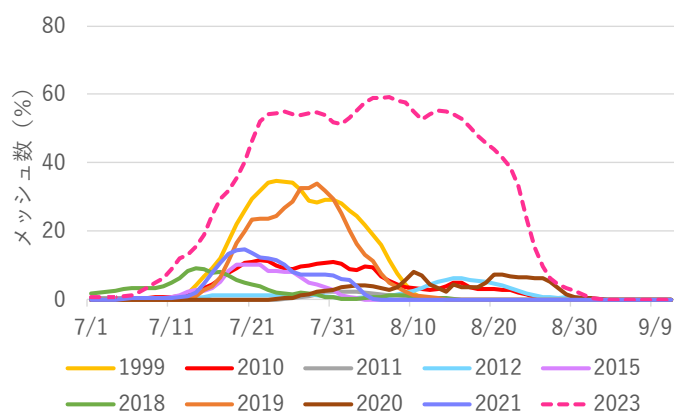


図1. HD\_m26 が 20 以上となったメッシュ数の推移  
HD\_m26 は日毎に 20 日先までの気温により求め、その起算日を x 軸に表示。地点数は HD\_m26 ≥ 20 に該当したメッシュ数 / 対象メッシュ全数の割合で表示。

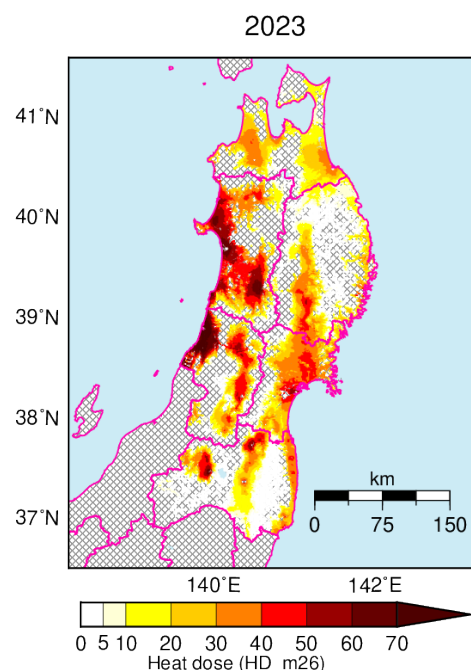


図2. 2023 年における出穂期の平均 HD\_m26  
各県の出穂期 (出穂盛期) を中心とする 9 日間の平均値を表示。

### c) 参考文献

西森基貴, 石郷岡康史, 若月ひとみ, 桑形恒男, 長谷川利拓, 吉田ひろえ, 滝本貴弘, 近藤始彦, 2020: 作況基準筆データを用いた近年の日本のコメ品質に対する気候影響の統計解析. 生物と気象, 20, 1-8.

気象庁 2023, 夏 (6 ~ 8 月) の天候. <https://www.jma.go.jp/jma/press/2309/01b/tenko230608.html> (2023 年 12 月 26 日閲覧)



### 3. 東北地域の農地における 2023 年夏季の猛暑評価および気候変動との関係 井上 聡, 大久保さゆり (農研機構東北研)

#### a) 要旨

2023 年は東北地域において記録的な猛暑となり、農作物への影響も大きかった。過去に例を見ない長期間の高温であったことが確認できた。これは、排出削減を行わないシナリオである RCP8.5 における 21 世紀後半の気候に匹敵する。

#### b) 本文

2023 年は東北地域において記録的な猛暑となり、農作物への影響も大きかった。本項では気候的評価について報告する。

#### 方法

過去値として農研機構メッシュ農業気象データ、将来予測値として農研機構メッシュ地域気候シナリオデータセットのうち MIROC5 の RCP8.5 および RCP2.6 の日最高気温および日平均気温を使用し、東北 6 県における「その他農用地」メッシュを抜き出して解析に使用した。日最高気温から 6 月から 9 月までの 4 か月間の真夏日（日最高気温が 30℃以上の日）日数を計算し、日平均気温から年平均気温を計算した。

#### 結果と考察

多くのメッシュで 2023 年夏季は、過去の年と比べて真夏日日数が 30 日以上と極めて多く、長期間高温であったことが確認できた。これは、排出削減を行わないシナリオである RCP8.5 における 21 世紀後半の気候に匹敵する。また、全メッシュ平均の 2023 年平均気温も高く、12℃を超えていた。これは、RCP8.5 の 2040 年代、厳しく排出削減するシナリオである RCP2.6 における 2050 年代に相当する。牧草を例に挙げると、東北地域においては寒地型牧草が栽培されているが、その栽培の目安は年平均気温 12℃であり、気候変動が進行すると、21 世紀半ばには排出シナリオに関わらず適地ではなくなる可能性がある。また、2023 年夏季のような極端な猛暑の発生が増えると牧草の夏枯れが生じて草地の被覆度が下がり、雑草の侵入が懸念されるなど、通年で栽培される作物（永年生作物）であるため、高温リスク対策を考えていく必要がある。

#### 4. 質と量に基づく今後のコメ生産額変動の推定

吉田龍平（福島大）、西原是良（東京大）、高橋大輔（拓殖大）

##### a) 要旨

東北のひとめぼれと九州のヒノヒカリを対象に、気候変動が進行した将来におけるコメ生産額の変化を推定した。気候変動が緩和されない場合、いずれの地域においても生産額は低下し、毎年の生産額は不安定化した。気候変動が緩和された場合であっても九州の生産額は現在を下回るものの、東北では収量の増加によって生産額は高まった。生産額の低下を抑えるためには、一等米比率を向上させる移植日の晩期化より収量を増加させる早期化が効果的であると見込まれる。

##### b) 本文

日本の今後のコメ生産の見通しはこれまで多くの研究が行われている。収量は現在冷涼な地域での増加と温暖な地域での減少（Ishigooka et al., 2021）、品質は西日本の平野を中心に低下すると推定されている（Masutomi et al., 2023）。これらの研究は量あるいは質の変化に着目して行われているものの、コメの生産額全体としての評価は簡易な統計モデルによる推定（Kawasaki and Uchida, 2016）を除いて明らかではない。本研究は気候変動シナリオに基づく品種別の水稻生育シミュレーションを実施し、収量と一等米比率の変化を統合してコメ生産額の将来変化を推定した。

気候変動シナリオは d4PDF（Mizuta et al., 2017; Fujita et al., 2019）を用いた。現在気候（1981–2010 年×50 メンバー = 1500 メンバー）、産業革命以前からの昇温が 4℃に達する+4K シナリオ（5400 メンバー）、同+2K シナリオ（3240 メンバー）の 3 つを対象とし、各シナリオの気象データを水稻生育モデル Hasegawa/Horie（Yoshida et al., 2015）に入力して東北のひとめぼれと九州のヒノヒカリの生育シミュレーションを実施した。

気候変動が緩和されない+4K シナリオの場合、東北の生産額は現在に対して 6%低下し、九州では 24%低下した。変動係数は東北では 1.6 倍、九州では 2.6 倍に増加し、どちらの地域においても毎年の生産額は不安定化した。東北では日本海側、九州では全域で変動係数が増加し不安定化が顕著であった。極端現象の一つとして挙げられる 25 年に一度発生する生産額の低下は九州でより顕著であった（東北：14%→25%、九州：10%→46%）。

これらの傾向は気候変動が緩和された+2K シナリオでは異なり、東北では収量が 11%増加することによって生産額は現在よりも 10%高まった。九州では収量および一等米比率の傾向は+4K シナリオと同様であるものの、生産額の低下は 4%に縮小した。いずれの地域においても一等米比率は現在より小さくなるものの（東北：-5.6%、九州：-19.3%）、東北では収量の増加が牽引し 25 年に一度の生産額の低下は現在よりも小さくなった（東北：14%→2%、九州：10%→15%）。

温暖化の緩和の程度によらず移植日を現在より早期化することにより生産額の低下は抑

制された。温暖化が著しい+4K シナリオでは 14 日（東北）と 42 日（九州）、緩和された +2K シナリオでは 7 日（九州）以上それぞれ早期化することで生産額は現在と同等となった。なお、+2K シナリオの東北では現在の移植日であっても生産額は現在より高まった。移植日の調整は有効な適応策の一つとなりうるものの、気候変動に伴う水資源の変化は本研究では考慮されていない。移植日の調整を行った場合でも現在と同様の取水が可能であるか検討することが必要である。

#### 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.
- 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.
- Masutomi Y, Takimoto T, Manabe T, et al., 2023: Breeding targets for heat-tolerant rice varieties in Japan in a warming climate. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* **28**, 2.
- 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.
- 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.

## 5. 精密時別日射量メッシュデータの作成

石郷岡 康史（農研機構）

### a) 要旨

気象庁から提供される推計気象分布データおよび数値予報データを活用し、予報値を含む 1 km 解像度の時別メッシュ日射量データを準リアルタイムで作成するシステムを開発した。さらに、50m 解像度の標高から得られる地形情報を考慮することで、高解像度化を図った。標高データを利用した周辺地形による直達日射の遮蔽の妥当性を、アメダス実測値を使用して検証したところ、概ね適切な結果が得られた。

### b) 本文

#### (1) はじめに

日射量は、生物生産に必要不可欠な気象要素である。観測点のない任意地点の日射量情報を得るため、1 km 解像度の日射量を含む日別メッシュ気象値が作成されているが（例えば、大野ほか, 2016）、より詳細な日射量情報のニーズに対応するため、①時別化、②高分解能化による高精度化が求められている。本研究では、先ず①について、毎時の日照時間から時別日射量を推定する既存の手法を用い、1 km 解像度の時別日射量メッシュデータを作成する。その際、2020 年より気象庁が提供を開始した日照時間の推計気象分布 ([https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/suikiei\\_kishou/kaisetsu.html](https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/suikiei_kishou/kaisetsu.html)) を使用する。推計気象分布は人工衛星由来の情報から気象値を算定しているため、空間的に均質な日射量情報の取得が期待できる。一方、②については、1 km より詳細な日射量分布情報が得られることで、複雑地形条件における農業生産力の精密な評価に応用が可能である。

#### (2) 手順

時別日射量の推定には、Masaki *et al.* (2010) の手法を使用する。この手法では、時別日照時間を入力値として時別日射量を算定するが、その際に降水や積雪の有無などの条件によりそれぞれ個別の算定式を使用することで精度向上が図られている。また、大気混濁度や水蒸気量の短・長期的な変化の影響を考慮することも可能である。1 km メッシュごとの毎時の推計気象分布を入力値として、前日分までの日本全国陸域の 1 km メッシュ時別日射量を作成する。当日分以降は予報値を利用し、10 時間先までは局地数値予報モデル (LFM)、78 時間先まではメソ数値予報モデル (MSM)、9 日先までは全球数値予報モデル (GSM) 出力値を使用する。その際、各予報値を 1 km メッシュごとに空間補間し、30 日間の過去値に一致するように補正することで予報値のバイアスを除去し、過去からそれぞれの予報期間まで連続的に結合する。

作成した 1 km メッシュ時別日射量に基づき、精密メッシュ標高データ (50m 解像度) を使用して、対象メッシュの傾斜角 (勾配) と方位角、さらには周辺地形による遮蔽の影響を

定量化し、推定精度の向上を図る。地形遮蔽は、対象メッシュから北方向を起点として1°刻みで50m標高値を読み取り、方向別に最大仰角を抽出する。処理の負荷を考慮し、標高値の読み取りの範囲は対象メッシュから30km以内とした。これらの地形による影響は日射量の直達成分と散乱成分で異なるため、両者を分離する必要がある。ここでは、比較的簡易で精度の高いErbsのモデル(Erbs *et al.* 1982)を使用し、水平面の全天日射量を各成分に分離した。

## (2) 結果

全国1km時別メッシュ日射量データに基づく高解像度(50m)日射量メッシュデータ作成例として、2023年6月1日6時および15時の、北海道十勝総合振興局芽室町における時別斜面日射量(前1時間積算値)の分布を図1に示す。芽室町は北東部から中部にかけては十勝平野の畑作地帯で比較的平坦、南西部は日高山脈の山岳地帯で急峻な地形的な特徴を持つ。6時(左図)においては東側斜面、15時(右図)においては西側斜面の値が高く、斜面方位による対比は地形が複雑であるほど顕著に現れており、推定された日射量に対する地形的な特徴が明確に反映されている状況が確認できる。

今回実施した標高データによる日照に対する地形遮蔽の妥当性を検証するため、日照時間を継続測定しているアメダス地点における実測値を利用した。図2は、日高アメダス(北海道日高振興局)を例として、上図は標高データから抽出した全方位遮蔽仰角で表される地形と季節ごと(春秋分、夏至、冬至)の太陽の軌跡、右図は地形遮蔽を受ける条件での最大日照率(黒色の太実線)とアメダス実測日照率上限値(赤色シンボル:毎日の2011~2020における最大値)の季節変化と地形の仰角(2°~20°)の関係を示している。右図における地形から算定した最大日照率とアメダス観測値の上限値は季節を通して良く一致しており、日照に対する地形遮蔽の影響が適切に表現されていることが確認できる。但し、地形以外の地物(樹木や建物)の影響を受ける地点は、実態との乖離が大きい場合が見られた(図略)。

なお、斜面日射量算定値の厳密な検証は未実施であり、今後の課題である。

## c) 参考文献

- Erbs, D.G., S.A. Klein and J.A. Duffie, 1982: Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation. *Solar Energy*, 28(4), 293-302.
- Masaki, Y., T. Kuwagata and Y. Ishigooka, 2010: Precise estimation of hourly global solar radiation for micrometeorological analysis by using data classification and hourly sunshine. *Theoretical and Applied Climatology*, 100, 283-297, DOI 10.1007/s00704-009-0191-0.
- 大野宏之, 佐々木華織, 大原源二, 中園江, 2016: 実況値と数値予報, 平年値を組み合わせたメッシュ気温・降水量データの作成. *生物と気象*, 16, 71-79.

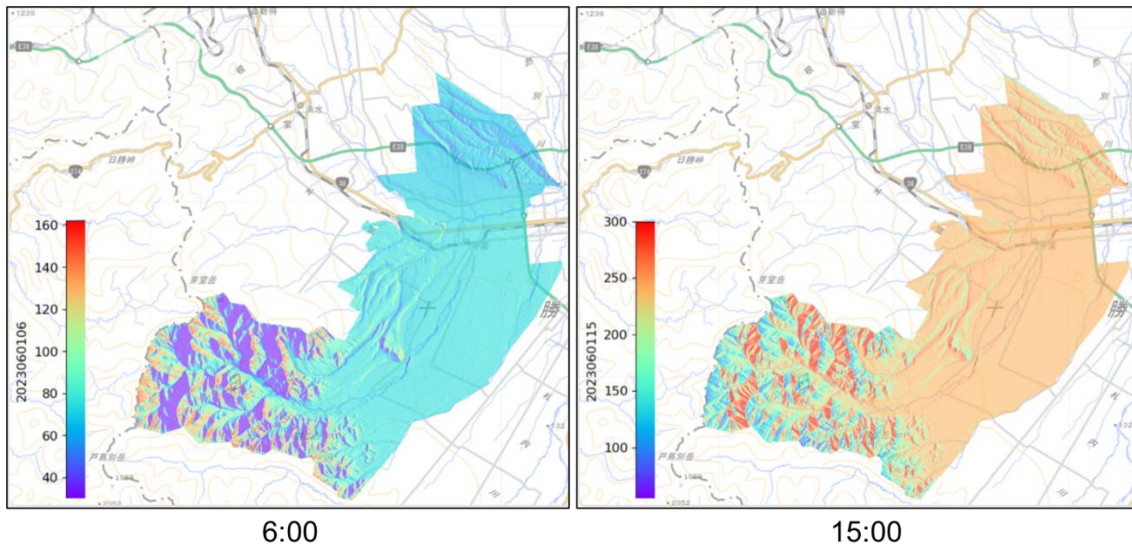
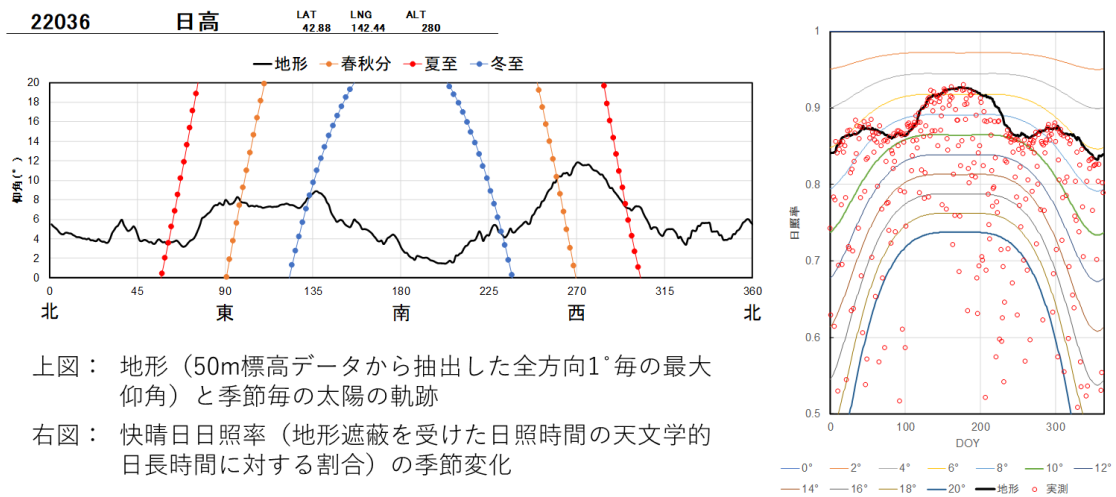


図1 50mメッシュ特別日射量メッシュの作成例（2023年6月1日、北海道十勝総合振興局芽室町、左：6:00JST、右：15:00JST）



上図： 地形（50m標高データから抽出した全方向1°毎の最大仰角）と季節毎の太陽の軌跡

右図： 快晴日照率（地形遮蔽を受けた日照時間の天文学的日長時間に対する割合）の季節変化

図2 地形による日照時間への影響の検証（北海道日高振興局日高アメダスにおける例）

## 6. これまでに取り組んだ凍霜害研究

池田 翔（仙台管区気象台予報課），山崎 剛（東北大）

### a) 要旨

凍霜予測における空振りを減らすために、葉面温度や放射量等、凍霜に関連する観測を実施し予測手法の比較を行った。熱収支法（陸面過程）は、気温法（気温のみを指標）よりも予測精度が高く、曇天・降水時の空振りの抑止に有効と考えられた。

### b) 本文

今後は気候変動タイプの凍霜害リスク（発育早期化＋寒の戻り）にも注意が必要である[1]。気象庁の霜注意報は、気温のみを指標とし、早霜、晩霜期に概ね最低気温 $2^{\circ}\text{C}$ 以下[2]を見込む場合に発表することが多い。また、凍結・降霜を直接予測する予想資料（凍霜害ガイドンス等）は現状みられない。そこで、気象台の霜注意報などの的確な発表に資する知見を蓄積することを目的に、共同観測（東北大と仙台管区気象台における霜についての調査）を実施し調査を進めている。

まず、問題点とニーズを確認するために、山形県の農業関係者にアンケートを実施し28件の回答を得た。その結果、(1) 曇天・降水時も霜注意報を発表している場合があるため予測頻度（空振り）が多い、(2) 霜に加え安全限界温度の指標に植物体温の予測情報も参考になる、(3) 気候変動下では今後も必要な時期に活用度の高い凍結・降霜情報が必要、との回答が多かった。そこで、これらを検証するために、葉面温度計（霜害検知センサー）を用いて夜間の時別の観測値に対し、凍結・降霜の予測手法の比較を行った。なお、観測は仙台管区気象台で2022年3～5月に実施した（図1）。凍結・降霜の指標は、葉面温度が $0^{\circ}\text{C}$ 以下とする。予測手法は、経験的な気温法（気温のみ指標）と物理的な熱収支法（陸面過程モデル[3]）を比較し、図2のPOD-SRダイアグラム[4]にスコアを示す。気温法では、空振りを抑え適中率を上げるには、気温 $+2^{\circ}\text{C}$ が最適だった。熱収支法は、気温法（ $+2^{\circ}\text{C}$ ）よりも更に空振りが減り適中率も改善した。ここで、気温 $+2^{\circ}\text{C}$ 以下にもかかわらず凍結温度（ $0^{\circ}\text{C}$ 以下）とならなかった37事例の気象状況は、ほぼ曇天・降水時（下向き大気放射量が大きく、静穏ではない風速）となっていた。熱収支法は、これら34/37事例でプラスの葉面温度を予測し空振りを抑えたため（表略）、気温法よりも精度が上がった。最後に、各予測手法の長所・短所を表1に整理する。空振りを減らし、他地域への汎用性も高い凍霜害ガイドンスの開発に向けては、気温以外も考慮した陸面過程の利用が有効と考えられる。

### c) 参考文献

[1] 京都気候変動適応センター, [https://kccac.jp/wp-content/uploads/2023/03/tsushin\\_vol2.pdf](https://kccac.jp/wp-content/uploads/2023/03/tsushin_vol2.pdf), (2024/3/1 閲覧)

[2] 気象庁, [https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kijun/yamagata/0\\_yamagata.pdf](https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kijun/yamagata/0_yamagata.pdf), (2024/3/1 閲覧)

[3] Yamazaki et al., 2004, J. Hydrometeor.

[4] Roebber, P. J., 2009, Wea. Forecasting.

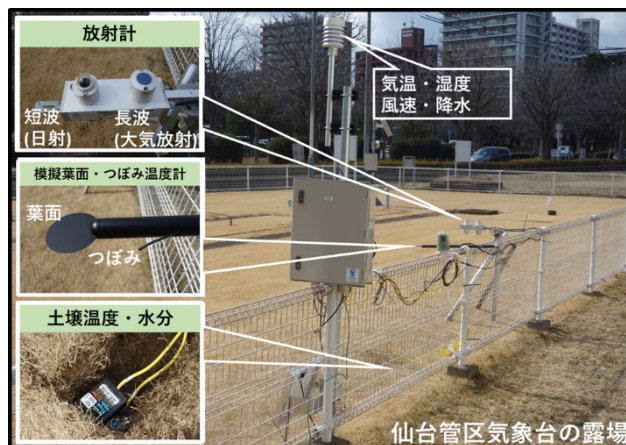


図1 凍霜に関連する気象観測.

2022年3~5月に仙台管区気象台の露場にて実施。気温、相対湿度、風速、降水、日射量、下向き大気放射量、葉面・つぼみ温度、土壤温度・水分を観測。

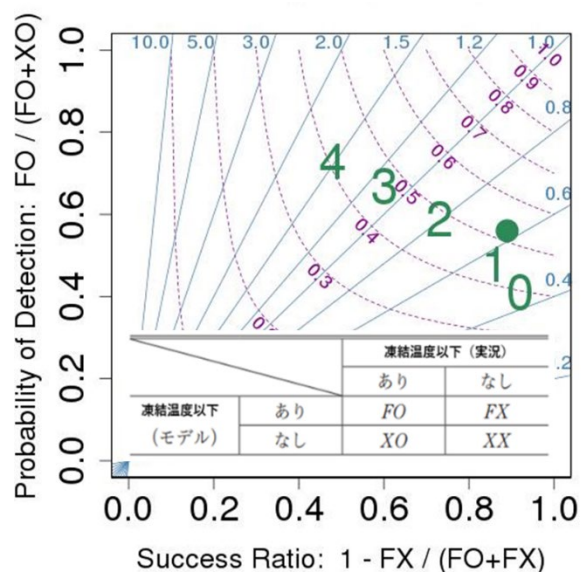


図2 凍結温度 (葉面が0°C以下) の予測手法の比較.

横軸:  $1 - \text{空振り}$ 、縦軸: 検出率、直線群: 頻度バイアス ( $=(\text{FO}+\text{FX})/(\text{FO}+\text{XO})$ )、曲線群: 適中率 ( $=\text{FO}/(\text{FO}+\text{FX}+\text{XO})$ )。丸は熱収支法、各数字は気温法 (その気温以下となれば凍結温度に達したとする手法)。2022年3/1~5/10夜間の時間値より算出 (全840事例)。

表1 経験的・物理的手法の長所と短所.

気温法 (経験的)	
長所	・気温の閾値が合えば簡便
短所	・農作物の種類 (熱容量) や予報地点ごとに気温の閾値が異なることが想定され、観測とチューニングのコストがかかる
熱収支法 (物理的)	
長所	・気象要素の閾値の複雑なチューニングの手間が不要なので、 多くの予報地点で適用可能 (面的なガイダンスとしての汎用性) ・地域の気候が変化しても信頼性が高い
短所	・放射量など多くの気象データが必要 (=大気放射量、日射量、気温、湿度、風速、降水)



## 7. ドローン観測の高密度化による沿岸気象予測の精度評価

宗形烈人 (福島大学大学院共生システム理工学研究科), 皆川好則 (株式会社 e ロボティクス), 中野修三 (株式会社東日本計算センター), 吉田龍平 (福島大学共生システム理工学類)

### a) 要旨

福島県南相馬市の沿岸部で実施した海上気象観測の結果を用いてデータ同化実験を行った。ドローンによる観測結果は地上気温の予測精度を 9%改善し, その効果は 2 時間以上続いた。一方, ドローンによる観測密度を南北方向に増加させることによる予報精度への寄与は小さく, 最も予測精度が高い場合と低い場合の差は 0.68%であった。

### b) 本文

ドローンは任意の地点・タイミングで必要な情報を取得できることから, 下層大気の詳細な観測結果を入手し, 数値気象予測の精度向上を図る取り組みが進んでいる。例えば 7 台の気象観測専用ドローンによる沿岸部の観測値を用いた場合, 高度 1.5 km 地点の温位の予測精度が 0.11 K 改善している (Flagg et al. 2018)。ただし必ずしも気象観測用ドローンを用いる必要はなく, 汎用ドローンに市販の観測測器を搭載した場合でも観測精度は専用機と同程度である (Inoue and Sato 2022)。本研究ではクリマテック社の iMet-XQ2 を Flee-fly 社のドローン ALTA-X に搭載し, 得られる沿岸気象観測の結果を用いて数値気象予測の精度評価を行った。

福島県南相馬市の沿岸部に観測システムを南北 1 km 間隔で 5 台配置し, 海岸線から東に 2 km および地上から海拔高度 450 m を飛行させた。期間は 2023 年 7 月 31 日から 8 月 4 日の 5 日, 観測時刻は各日 6 時, 9 時, 12 時である。得られた観測値を数値気象モデル WRF (Weather Research and Forecasting Model, Skamarock et al. 2019) と WRF-LETKF (Miyoshi and Kunii 2012) に入力して福島県沿岸部の数値シミュレーションを行った。同化時刻は 6 時から 12 時の 3 時間間隔, 検証時刻は 12 時から 15 時とした。

データ同化によって 13 時の地上気温の二乗平均平方根誤差 (RMSE) は 9%改善し, その効果は 2 時間以上続いた。検証期間全体の RMSE の低下量は 9 地点平均で 3%であった (図 1)。ドローンによる観測網の密度を南北方向に増加した場合, 40 台設置した場合と 5 台設置した場合の差は 0.68%であった一方, 40 台以上では改善は見られなかった (図 2)。これは最大の 200 台を用いた場合であっても同化地点は計算領域の全グリッドの 0.009%に限られることと WRF-LETKF で設定した局所化距離は 1 km であったことが要因であると考えられる。

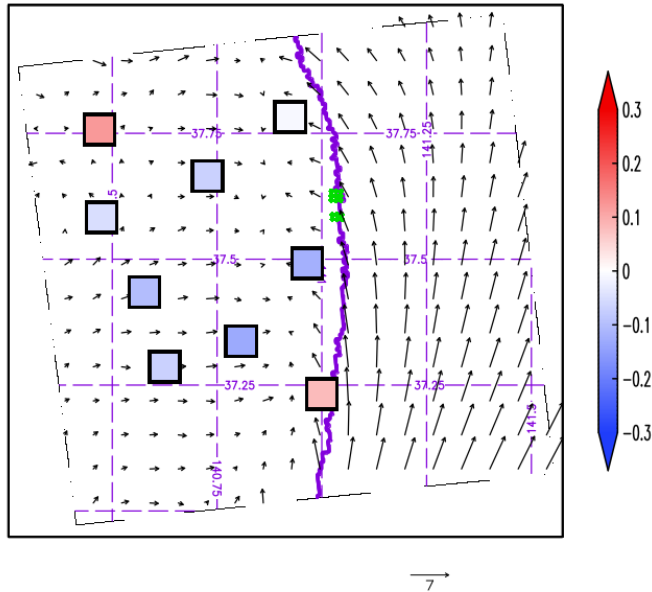


図1 データ同化によって得られた地上気象の空間分布 (2023年7月31日-8月4日平均). 四角は同化による地上気温予測の改善度 (同化後-同化前の RMSE, °C) を, ベクトルは同化後の地上風速 ( $\text{m s}^{-1}$ ), 緑点はドローンによる観測地点を表す.

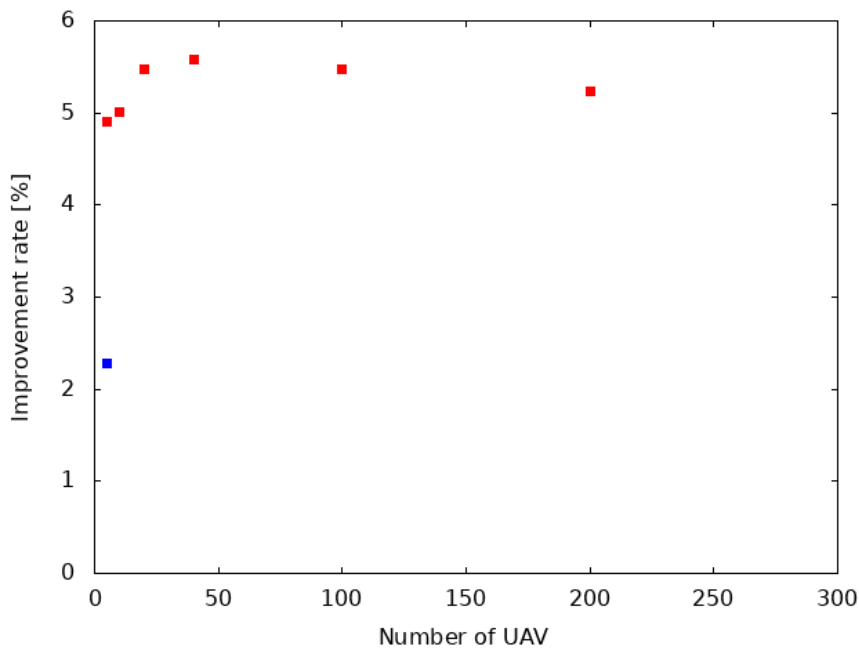


図2 (赤点) 福島県沿岸部にドローンを仮想的に南北 200 台 (0.5 km 間隔), 100 台 (同 1.0 km), 40 台 (同 2.5 km), 20 台 (同 5.0 km), 10 台 (同 10.0 km), 5 台 (同 20.0 km) 配置した場合の地上気温の RMSE (FT=1-2) の改善率. (青点) 2023 年 7 月-8 月に行った気象観測値を用いた結果で 5 台のところにプロットしている. ただし, 仮想的に 5 台使用したケースとは配置地点が異なるため両者の結果は一致しない.

c) 参考文献

- Flagg, D. D., J. D. Doyle, T. R. Holt, D. P. Tyndall, C. M. Amerault, D. Geiszler, T. Haack, J. R. Moskaitis, J. Nachamkin, and D. P. Eleuterio, 2018: On the impact of unmanned aerial system observations on numerical weather prediction in the coastal zone. *Mon. Weather Rev.*, **146**(2), 599–622.
- Inoue, J., and K. Sato, 2022: Toward sustainable meteorological profiling in polar regions: Case studies using an inexpensive UAS on measuring lower boundary layers with quality of radiosondes. *Environ Res*, **205**(September 2021), 112468.
- Skamarock, W.C., J.B. Klemp, J. Dudhia, D.O. Gill, Z. Liu, J. Berner, W. Wang, J.G. Powers, M.G. Duda, and D.M. Barker, 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.
- Miyoshi, T., and M. Kunii, 2012: The local ensemble transform kalman filter with the weather research and forecasting model: Experiments with real observations. *Pure Appl Geophys.*, **169**(3), 321–333.
- Jensen, A. A., J. O. Pinto, S. C. C. Bailey, R. A. Sobash, G. Romine, G. D. E. Boer, A. L. Houston, S. W. Smith, D. A. Lawrence, C. Dixon, J. K. Lundquist, J. D. Jacob, J. Elston, S. Waugh, D. Brus, and M. Steiner, 2022: Assimilation of a Coordinated Fleet of Uncrewed Aircraft System Observations in Complex Terrain: Observing System Experiments. *Mon. Weather Rev.*, **150**(10), 2737–2763.

## 8. 低解像度グリッドデータを用いたヤマセを抽出する指標の作成

小山大次郎 (福島大・理工), 島田照久 (弘前大・理工), 吉田龍平 (福島大・理工)

### a) 要旨

粗いグリッドデータで解析可能なヤマセを判別するための指標を作成し, その性能を既存の指標と比較した. 作成した指標はヤマセ時の特徴であるオホーツク海の高気圧偏差および太平洋の低気圧偏差や東北地方の低温の分布をよく表現し, これまで用いられてきた指標との空間相関係数は 0.69 以上であった. 産業革命以前より世界の平均気温が 4 度昇温した将来ではヤマセに伴う気圧の南北傾度は強化される一方 (13.80 hPa→15.74 hPa), 気温の低下量は現在より弱化した (1.07 °C→0.94 °C). また, 現在と同程度の気圧傾度となるヤマセが発生する頻度は 5.36%に低下した.

### b) 本文

過去発生した東北の冷夏や気候変動による影響を予測する研究はこれまでも多数報告されている (e.g., Endo et al., 2012; Kanno, 2013; Kawazoe et al., 2020). しかし, ヤマセの定量的な定義が決められていないことが要因で, それぞれの研究例が示す冷夏の将来変化は定性的には同様であるものの強度や頻度の変化は着目する変数によって異なっている. 加えて, 既存の指標の算出には気象官署の観測値または高解像度なグリッドデータが求められるが, 多くの気候変動シナリオは高いものでも数十 km 程度の格子間隔で提供されるため, 力学的あるいは統計的ダウンスケールを用いない限り将来気候に適用することは困難である. 本研究は既存の地点観測に基づくヤマセの指標を代替する方法を開発し, 東北地方太平洋側のヤマセの将来変化を解析した.

現在気候は気象庁 55 年長期再解析 (JRA-55; Kobayashi et al. 2015) と東日本の気象官署 (稚内, 羽幌, 北見枝幸, 函館, 深浦, 仙台) の観測値, 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) の過去実験 (1951–2011, 100 メンバー, 以下 HPB シナリオ) を用いた. 将来気候は d4PDF の 4 度昇温実験を用いた (90 メンバー, 以下+4K シナリオ). オホーツク海高気圧領域 (北緯 45 度–北緯 60 度, 東経 140 度–東経 155 度) と日本南沖低気圧領域 (北緯 30 度–北緯 38 度, 東経 130 度–東経 150 度) の 6–8 月平均した海面更正気圧の差を新たな指標とした (以下, **Pressure Difference between North South index, PDNS index**). JRA-55 再解析で算出した PDNS index を標準化して昇順に並べ替え, 上位 5%-tile 以上をヤマセの発生と定義した. なお, 得られた index の値は+9.88 hPa である. このしきい値を d4PDF の HPB シナリオ, +4K シナリオにも適用し, ヤマセの発生頻度と強度の変化を調べた. また, 既存の指標との整合性を調べるために PDNS index と既存の 4 指標 (1. Okhotsk high index, 2. Pressure Difference between Wakkanai Sendai index : 以下 PDWS index, 3. Tsugaru Strait index, 4. Soya Strait index; Shimada et al. 2014) によってヤマセと定義された時の, 平均的な気象場とその平年差の空間相関を海面更正気圧と地上気温につ

いて調べた。なお、ヤマセの定義は PDNS index と同様の上位 5%-tile である。

PDNS index に対する既存の 4 指標の空間相関係数は気圧偏差がいずれも 0.92 以上、気温偏差がいずれも 0.69 以上であった。現在気候下において、JRA-55 再解析で求めた PDNS index はヤマセ時にオホーツク海を中心とした高気圧偏差 (+9.74 hPa) が現れた。一方で四国南沖を中心に明瞭な低気圧偏差 (最大 -5.96 hPa) が見られた。ヤマセ発生時には日本周辺に広く低温偏差領域が分布しており、特に北海道から岩手県の太平洋沿岸 (最大 -3.3 °C) とユーラシア大陸の日本海沿岸に明瞭な低温偏差が見られた (最大 -2.8 °C)。また、気圧場と同様に北海道から東北の太平洋側に低温部が見られた。

将来気候のヤマセ発生時のオホーツク海と日本南部の気圧傾度は強まった (現在 13.80 hPa → 将来 15.74 hPa)。一方で低温偏差は弱化了 (-1.1 °C → -0.9 °C)、発生頻度は低下した (5.8% → 5.4%)。これらの結果は温暖化の進行に伴ってヤマセによる低温リスクは少なくなる可能性があるものの、その変化は小さいために継続して警戒が必要であることを示唆している。

### 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., M. Watanabe and E. Kanda (2013), MIROC5 predictions of Yamase (cold northeastern Japan), *J. Agric. Meteorol.*, **69 (3)**, 117-125.
- Kawazoe, S., M. Fujita, S. Sugimoto, Y. Okada and S. Watanabe (2020), Projected changes of extremely cool summer days over Northeastern Japan simulated by 20 km-mesh large ensemble experiment, *J. Meteor. Soc. Japan*, **98 (6)**, 1305 -1319.
- Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebita, M. Moriya, H. Onoda et al. (2015), The JRA55reanalysis: General specifications and basis characteristics, *J. Meteor. Soc. Japan*, **93 (1)**, 5-48.
- 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.
- 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.

## 9. ヤマセ強度の数値化

土屋 幸男 (五戸再生可能エネルギー研究所)

### a) 要旨

本研究の目的は定点観測点のヤマセの強度を数値化することである。その過程は2つである。第一に全日有効温度(AEHU)とヤマセ有効温度(YEHU)それぞれで回帰分析モデルを作り、これらを2次元化したヤマセ指標モデル(Yamase Index Model :YIM)を構成する。第二に対象とする通日Nについて観測値とYIMのそれぞれの(AEHU, YEHU)座標をAEHU=YEHU平面に投影する。そのときの二点間の距離を求め、この値をヤマセ強度として数値化する。

### b) 本文

#### (1) はじめに

ヤマセの定点観測において、時を異にするヤマセ強度の相互比較ではヤマセ強度の数値化が必須である。1つの試みとしてAEHUとYEHU及びこれらの積算値からヤマセの特異日を抽出し、2021年の低温被害の発生過程を説明(土屋 2022)しているが、ヤマセの特異日の属性である「強度」との関係が明らかでない。そこで本報告ではYIMを用いてヤマセ強度を数値化する手法を提案する。

#### (2) 方法

##### (i) 全日有効温度(AEHU)モデル

観測地は青森県五戸町である。まず通日N(本報告では121~253、5月1日~9月10日)を変数として、2019~23年の5年間の全日の平均気温(図1, 黒)に回帰分析を行ない、基準平均温度(同、茶)を作成する。このモデルの半値(同、青)を有効下限温度とした(土屋 2022)が、本報告ではこれを全日有効温度(All-day Effective Heat Unit : AEHU)モデルと呼ぶ。

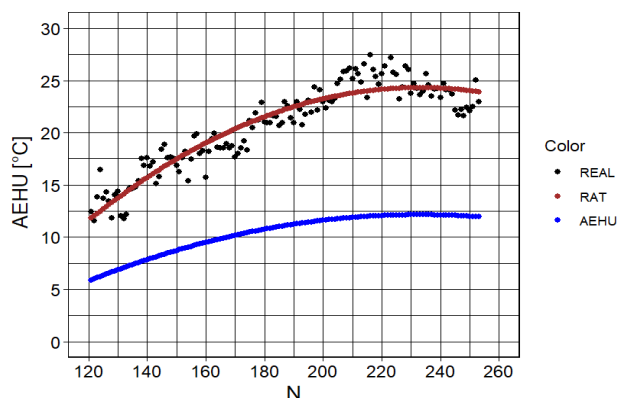


図1: 全日有効温度モデル(青).

(ii) ヤマセ有効温度(Yamase Effective Heat Unit : YEHU)モデル 以下でモデルの作成手順を記す。

- ① AEHUモデルを作成する全ての日のそれぞれでヤマセが吹走する累積時間を調べ、累積時間が閾値S以上(本報告ではS=12時間。)となる日を抽出する。
- ② 抽出された日でヤマセが吹走している時の最高・最低気温を基に平均気温を求める。

- ③ ②の平均気温について（5年間の）平均気温を求める。
- ④ ③項の平均気温と有効下限温度（=AEHUモデル）を基に、ヤマセ吹走時の有効温度（図2、黒点）を求める。
- ⑤ 変数をNとして回帰分析を行い、ヤマセ有効温度(YEHU)モデル（同、赤）を作成する。

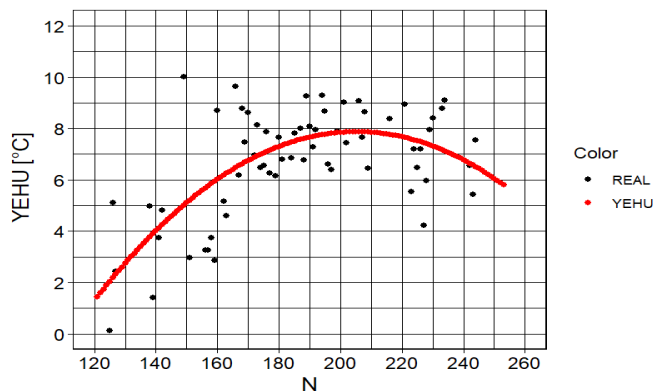


図 2 : ヤマセ吹走時の有効温度(黒点)と YEHU モデル(赤).

(iii) ヤマセ指標モデル : YIM 横軸に AEHU モデル、縦軸に YEHU モデルを設定する座標系を作ると、N を共通にする曲線（図 3，オレンジ）が構成される。これをヤマセ指標モデル (YIM) とする。YIM を構成する要素のそれぞれの座標は変数を N とする関数の値で決まり、杖形状を成し、本例では N=215（同図、8 月 3 日）が折り返し点となっている。

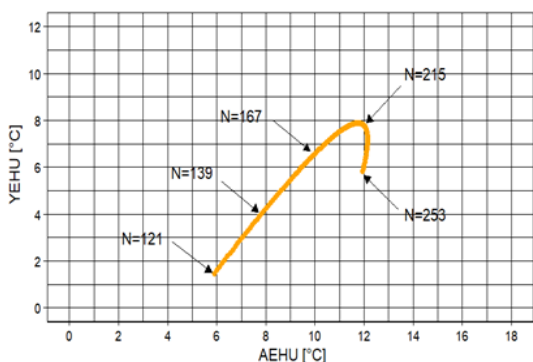


図 3 : ヤマセ指標モデル .

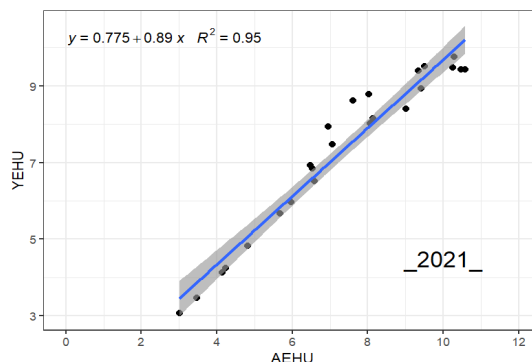


図 4 : AEHU と YEHU の線形回帰特性.

(iv) 観測値の線形特性 図 4 に示す黒点は 2021 年、S=12 とした観測値（総数 24 日）の分布である。同図には回帰分析を施した場合の回帰直線、標準誤差範囲及び回帰直線式も載せる。回帰直線の傾きとその決定係数から観測値の集合には強い線形性が見られる。しかし、これら観測値の中で AEHU=YEHU となる日は 7 日、AEHU≠YEHU は 17 日であり、後者において完全一致しないことが回帰式の傾きと決定係数がともに 1 以下になる要因である。よって回帰直線の理想形として AEHU=YEHU を考える。

(v) 観測値と YIM の相互特性 観測値と YIM の個別の特性や相互特性を調べるために、2021 年を例にとり、両者を同一の (AEHU, YEHU) 図に載せる（図 5）。同図で点 p と点 q（とも

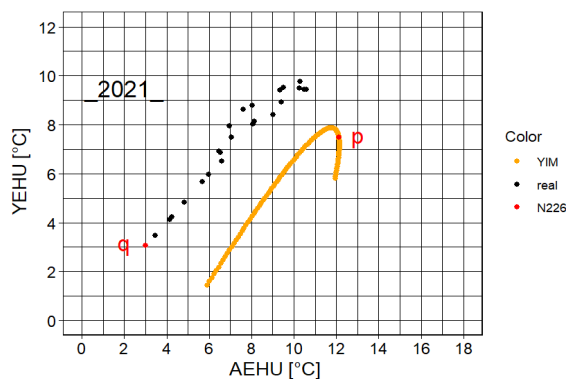


図 5 : YIM と 2021 年の観測値.

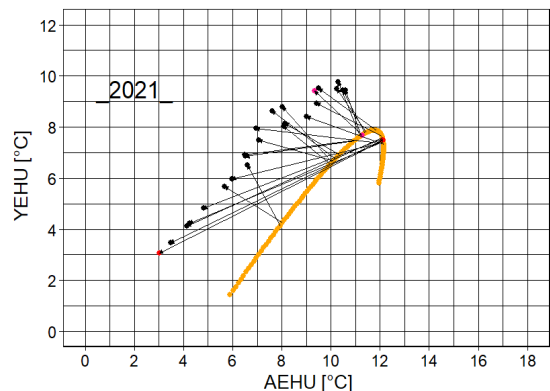


図 6 : YIM と観測値の各要素を結ぶ直線群.

に赤色点) はそれぞれの集合で  $N=226$  の場合である。(vi)で説明する。

- ① YIM 側 : YIM を構成する要素の座標は図 3 にすでに示したように  $N$  値に依存し、 $N=121$  から 253 まで連続する。
- ② 観測値側 : 構成する要素の座標は日々 24 時に決まる値であり、 $N$  値に依存しない。強いヤマセが吹走する日は (AEHU, YEHU) 値は  $AEHU \approx YEHU$  または  $AEHU = YEHU$  でともに低い。
- ③ YIM と観測値の相互の関係 : YIM の折り返し点以後を除くと、両者はほぼ平行でありその間隔の平均値はおおよそ  $2.9[^\circ\text{C}]$  である。一方、対象となる YIM と観測値の各要素を結ぶ直線を作図すると、 $AEHU = YEHU$  平面の鉛直方向に向かう直線群と鉛直方向から大きく離れる直線群が複雑に交差している (図 6)。また YIM の  $N=141, 169, 185$  および 226 付近に収束点 (または発散点) があるようにも見える。

(vi) ヤマセ強度 (Yamase Scale) 農作業や日常生活で「今日のヤマセは強い/弱い」といわれる。ここでは数値化された“強さ”に基づいているわけではなく、体験的・主観的であると思われる。このため時を異にするヤマセの比較を行う際、数値化されていなければありがたい。

そこで有効温度に着目し、(iv) 観測値の線形特性や (v) の 3 つの特性を考慮し、第  $N$  日の観測値の座標と YIM 上の座標をそれぞれ  $AEHU = YEHU$  平面に投影し、投影された 2 点間の距離をヤマセ強度  $D$  として数値化することを提案する。

図 7 は図 5 の点  $p$  と点  $q$  を例にした模式図である。点  $p'$  と  $q'$  は  $AEHU = YEHU$  平面に投影した点である。この例では  $D \approx 9.6$  である。数値範囲は原理上、最小値 0、最大値は杖の頂点から原点までを前提として、おおよそ 14 である (次章参照)。

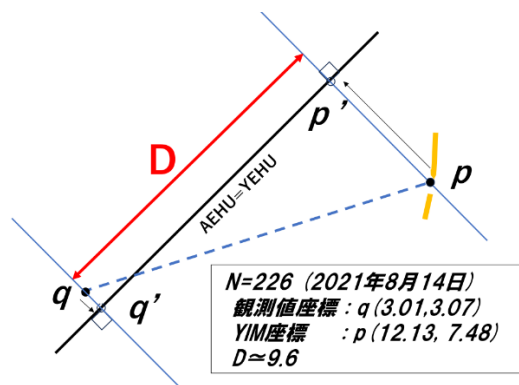


図 7 : 投影方法.

### (3) ヤマセ強度の比較

以下では 2 つの結果を示す。



(i) ヤマセ強度 2019年～23年のヤマセ強度の分布域を図8に示す。最大値は2022年N=215(8月3日)の14.0である。この日は「日々の天気図」(気象庁)によると“東北・北陸記録的大雨”との記述がある。当日の全日側とヤマセ側の平均気温が有効下限温度をともに下回る、いわゆるヘビサイド関数値がゼロとなる特異日の一例である。

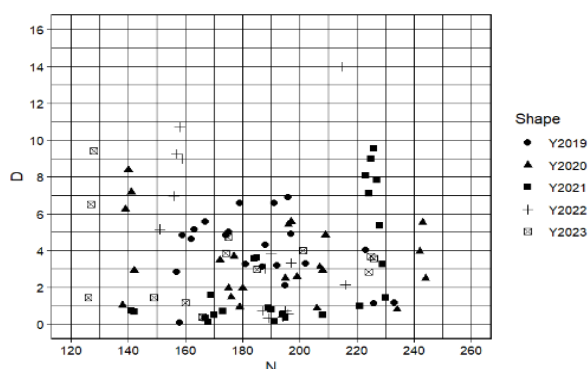


図8：ヤマセ強度の分布域。

(ii) 168時間(1週間)累積ヤマセ強度 強いヤマセは連続的または断続的に数日以上続く。そこで調査対象日を中心に前後3日の合計7日(168時間)の累積ヤマセ強度を示す。図9は1993年と2019～23年の値であり、各日のヤマセ強度を赤色の縦棒グラフ、累積値を黒色の線グラフで示す。なお、1993年は“平成の大凶作”(卜藏 2001)と名付けられた年である。1993年の図は「過去の気象データ・八戸」(気象庁)、2019～23年の図は定点観測値(五戸)に基づいて作成した。

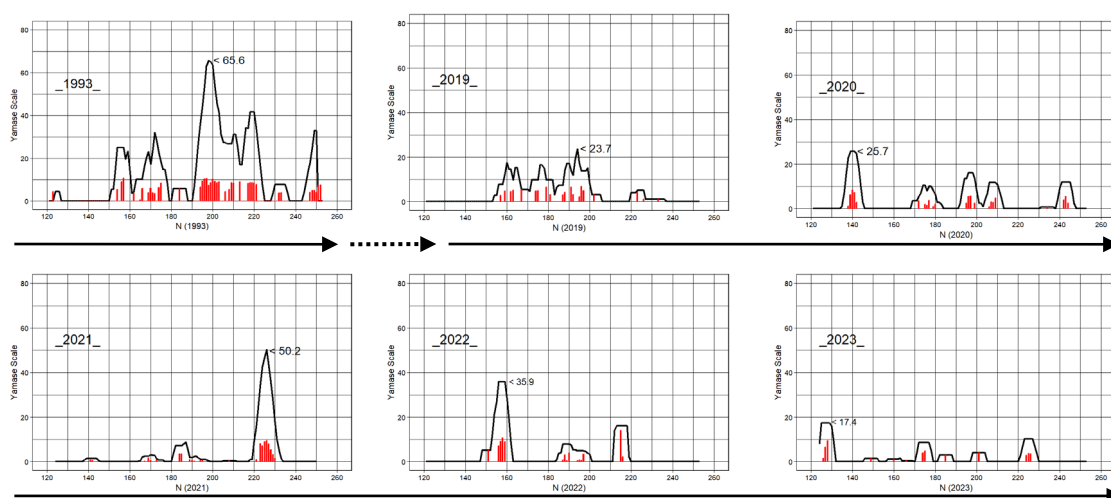


図9：168時間累積ヤマセ強度。

#### (4) まとめ

- ① 定点観測の値をもとにYIMを構成し、ヤマセ強度を数値化する手法を提案した。
- ② 2019～23年のヤマセ強度の分布域を示した。
- ③ 1993年と2019～23年の168時間累積ヤマセ強度を例示した。

#### c) 参考文献

土屋, ”ヤマセ日の判定アルゴリズム(3/3)”, ヤマセ研究会, 令和3年度研究成果報告書, 2, 2022.  
 卜藏, “ヤマセと冷害”, 気象ブックス010, 成山堂書店, pp.75-77, ©2001.

## 10. 夏季の極端現象発生時の日射の分布と変動

森岡聡真 島田照久 (弘前大学)

### a) 要旨

変動性再生可能エネルギーの導入が進む一方で、近年の気候変化により極端気象が増加している。そこで、気象観測データと大気再解析データを用いて、夏季の豪雨事例に伴う日射の分布・変動を明らかにし、それらの経年変動への影響を考察した。

### b) 本文

#### (1) 背景

脱炭素社会の構築に向けて再生可能エネルギーの大量導入に向けた取り組みが活発化しており、特に太陽光発電の導入量が大幅に増加している。一方、近年は気候変動の影響で極端現象が頻発している。広域かつ長期間の豪雨や猛暑などの極端現象は、日射の変動および電力系統運用に大きな影響を与える。この影響は、当面の気候変化の進行に加えて、太陽光発電の導入量の増加に伴ってさらに大きくなると考えられる。そのため、太陽光発電の出力予測の精度向上や、極端現象の発生時における日射量の変動の特徴や要因のさらなる理解が求められている。これまでに、風力・太陽光の出力が同時に減少する曇天無風条件の研究や低日射日に関する研究は行われているが（例えば、Ohba et al. 2022）、広域で長期間持続する極端現象を考慮した研究は少ない。本研究では、気象観測データと大気再解析データ ERA5 を用いて、夏季の豪雨事例を対象に、日射の分布・変動を明らかにする。また、経年変動への影響も調べる。

#### (2) 結果と考察

主に解析した事例は、2018年7月豪雨、2020年7月豪雨、2021年8月豪雨である。比較のために、2003年7月のヤマセについても検討した。まず、対象とした事例の期間について、平年からの偏差を明らかにした。例えば、2018年7月上旬は、九州から北海道まで日射の負偏差が広がっていた。

代表的な地点における日射の時系列によると、断続的に大きく減少する期間が見られた。晴天時の日射と実際の日射の日平均の比は、豪雨の期間は0.2を下回る期間が持続する。7月に、この比が0.2および0.3となるのは統計的には下位約10%にあたり、日射の減少が大きかった。また、地域ごとおよび観測地点ごとの日射量の経年変動を調べたところ、近年の豪雨の年の月平均値の減少が顕著であることがわかった。

### c) 参考文献

Ohba, M., Y. Kanno, D. Nohara, 2022: Climatology of dark doldrums in Japan. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 155, 111927. doi:10.1016/j.rser.2021.111927.

## 1 1. 2023 年夏の気象状況と東北近海の海況について

中川憲一（仙台管区气象台）

### a) 要旨

2023 年夏は統計開始以来の記録的な高温となったが、この要因に関して大気と海洋の影響について、2023 年 8 月末に開催された異常気象分析検討会の内容に沿った形で大気や海洋の場を確認した。また、近年のヤマセの状況について、仙台管区气象台の目視観測データから霧雨や霧データ日数を用い、その経年変化を調査した。その他、今年 2 月に発表された暖候期予報の紹介及び解説を行った。

### b) 本文

2023 年夏（6～8 月）には日本の平均気温は 1898 年以降で夏として最も高かった。特に北・東日本は期間中平年より低い時期がほぼなく高温傾向が持続した。そこで特に高温傾向が顕著だった 7 月下旬について、2023 年 8 月末に開催された異常気象分析検討会資料<sup>1)</sup>に沿った内容で JRA-3Q（気象庁 3 次長期再解析）を用いて大気場の特徴をみた。図 1 は 850hPa 流線関数と OLR（外向き長波放射量）であるが、左の実況図からはフィリピン付近のモンスーントラフと東・西日本付近に伸びるリッジが明瞭である。右の偏差図からはフィリピン付近の低気圧性循環偏差と東・西日本付近の高気圧性循環偏差が明瞭であり PJ パターン（Pacific-Japan パターン）が卓越していることがわかる。このため上層ではリッジ軸は北日本に位置し、北日本では上層～下層まで高圧部となったことが、猛暑の要因の一つとしてあげられる（他にも地球温暖化の影響や偏西風の蛇行など様々な要因が重なった）。

また、大気と同様に 2023 年夏の東北近海では海面水温が高く経過し、8 月頃には平年差 +5～6℃程度の海域が広範囲に広がった。三陸沖では黒潮続流の北偏により水深の深いところでも海水温は上昇しており、2023 年 8 月の気象庁の観測船による観測結果等から水深によっては平年差+10℃程度ほど上昇していることが明らかとなった<sup>2)</sup>。この黒潮続流の北偏は 2024 年 3 月現在も持続している。

このように 2023 年の夏は記録的な猛暑となりヤマセが吹く日はほぼ無かったが、近年のヤマセ吹走時に三陸沖から流入する冷たい風や霧雨、霧について調査したいと考え、仙台管区气象台の霧雨と霧の目視観測データを用いて、2000 年以降のトレンドをみた（図 2）。年毎の変動はあるが、霧雨や霧は長期的には減少傾向で、2023 年は霧雨が 2 日、霧は 1 日観測されたのみであり、気候が変わりつつあることを示す結果となった。

2024 年 2 月に気象庁から発表された 6 月～8 月の暖候期予報では、東北地方を含む全国的に高温傾向となる予測が示された。エルニーニョ現象は春まで続きその後収束する見込みだが、この春まで続くエルニーニョ現象と地球温暖化の影響もあって日本付近では夏に暖かい空気に覆われやすい見込みとなっている。

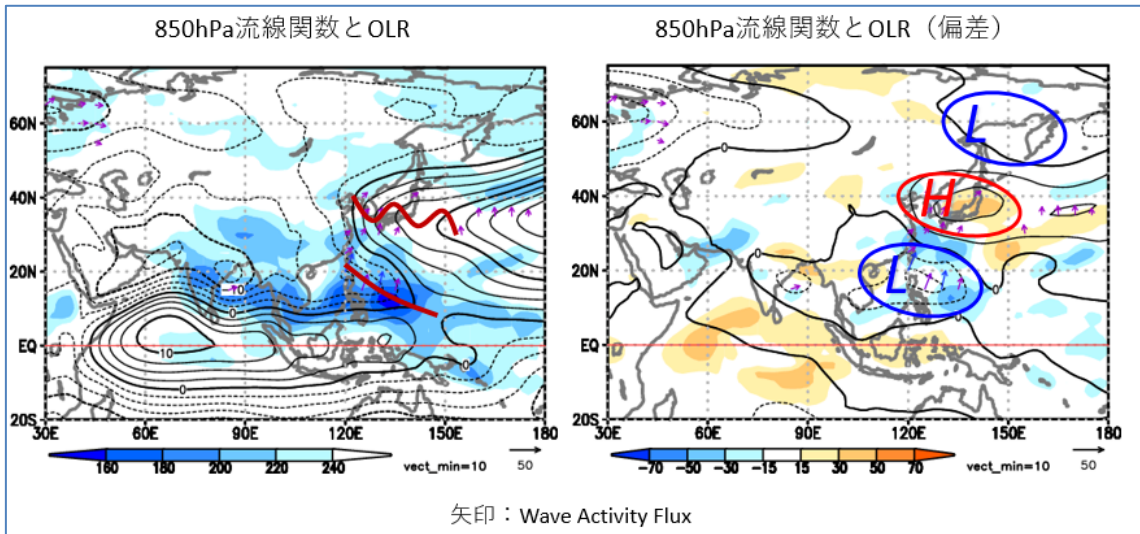


図1：2023年7月下旬の850hPa流線関数（実線と点線）とOLR（外向き長波放射量：色付き）（左：実況、右：偏差）。

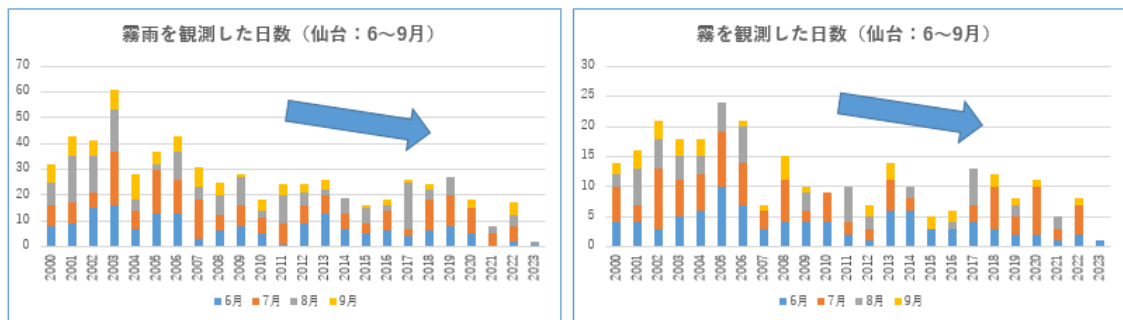


図2：仙台管区気象台における目視観測データ（霧雨と霧）の2000年以降の観測日数経年グラフ（6月～9月）（左：霧雨、右：霧）

### c) 参考文献

1)：気象庁,2023,異常気象分析検討会資料（1）

「令和5年梅雨期の大雨事例と7月後半以降の顕著な高温の特徴と要因について」

[https://www.data.jma.go.jp/gmd/extreme/kaigi/2023/0828/r05\\_1st\\_gidai1\\_202308.pdf](https://www.data.jma.go.jp/gmd/extreme/kaigi/2023/0828/r05_1st_gidai1_202308.pdf)

2)：気象庁,2023,報道発表資料 「三陸沖の海洋内部の水温が記録的に高くなっています」

[https://www.jma.go.jp/jma/press/2308/09a/20230809\\_sanriku\\_seatemp.pdf](https://www.jma.go.jp/jma/press/2308/09a/20230809_sanriku_seatemp.pdf)

## 1 2. 自身のこれまでの研究と近年のヤマセ日の減少について

菅野洋光（農業・食品産業技術研究機構 農業環境研究部門 {農環研}

### a) 要旨

大学時代から足掛け 40 年以上の研究者生活の取りまとめと、近年のヤマセ日の変動と気温偏差について考察する。

### b) 本文

これまでの研究成果については、スライドで紹介してあるので、そちらをご参照いただきたい。

ヤマセ日については、菅野(1993、天気)に基づき、青森県八戸アメダスの特別風向が、1 日 24 回のうちその 4 分の 3 の 18 回が北～南南東で、気温偏差が 0℃以下をカウントした。結果を以下に示す。

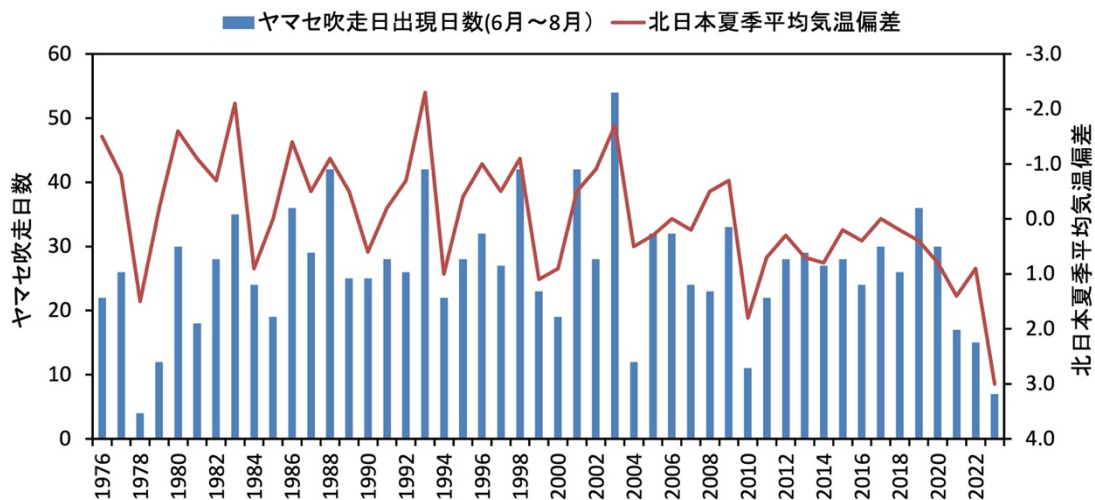
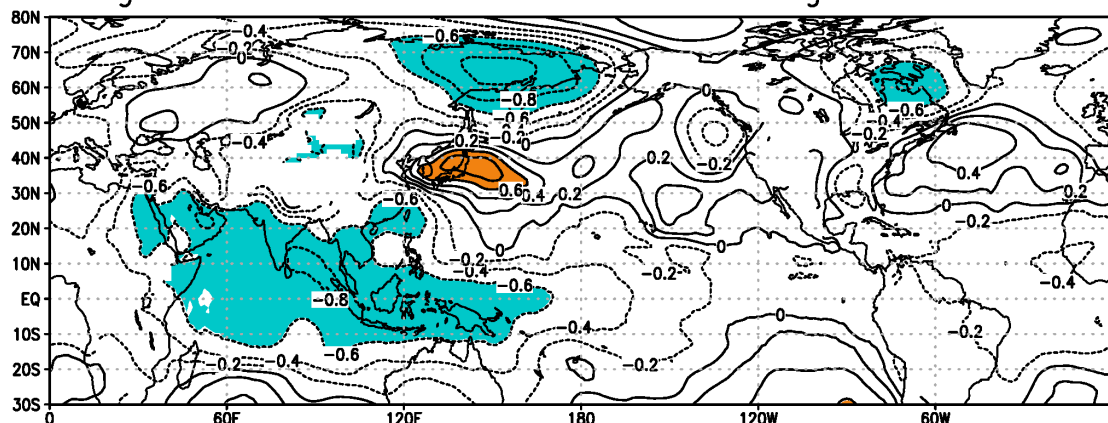


図1 ヤマセ吹走日積算値と北日本夏季(JJA)平均気温偏差との関係(1976-2023年)

ヤマセ日は天気(1993)に準じて判定。2023年のヤマセ吹走日は7日である。

2011年以降、ヤマセ吹走日はそれほど減少していないが、北日本の気温偏差は高くなっており、それ以前の周期的に低温が発生していた期間とは大きく異なっている。また、特に2021年以降はヤマセ吹走日も不連続的に減少しており、気候ステージの変化が生じつつあることを示唆させる。

Regressed correlation 850z and NJT in August 1978–1997



Regressed correlation 850z and NJT in August 1998–2017

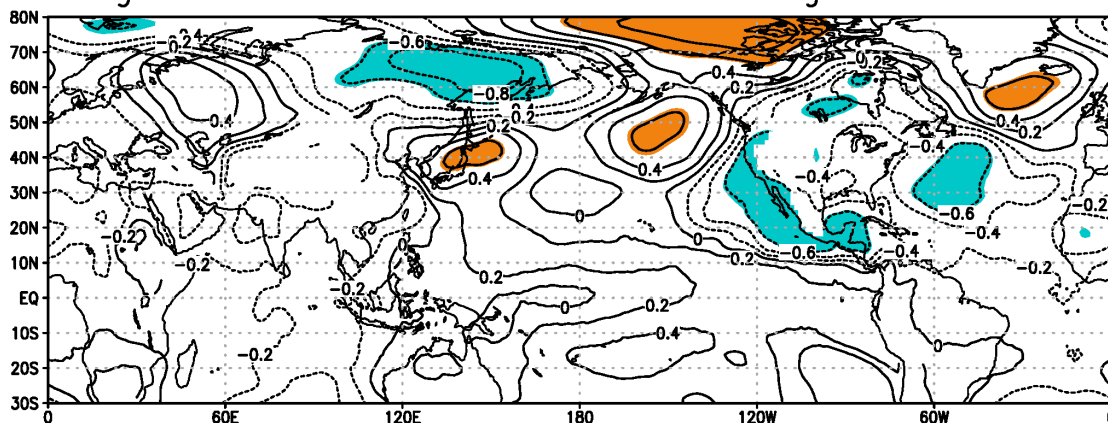


図2 8月における北日本月平均気温偏差と 850hPa 高度との回帰。

上) 1978-1997 年、下) 1998-2017 年、着色域は危険率 5%以下で統計的に有意。

1997 年以前では PJ パターンがみえるが、1998 年以降では南からの影響は全くみられない。1998 年以降は-IPO のラニーニャモードなので、SST の応力が弱かったと考えられる。最近 3 年間のヤマセ吹走日の減少とも合わせて、今後の気候の不連続的な変動を考えていく必要があるのでは無いだろうか。

#### c) 参考文献

菅野洋光(1993): 青森県八戸におけるヤマセと海風の気温・湿度の差異とその季節変化。  
 天気, 40, 751-757.

### 13. 近年は“暖かいヤマセ”になっているのか？

天野未空 (三重大学)

#### a) 要旨

本研究では、SST 変化がヤマセに与える影響について調べることを目的とする。今回は初期解析として、冷夏であった 2003 年の SST を、過去最高を記録した 2023 年の SST に変化させた解析結果を発表した。実験の比較から、目的に対する考察を試みた。

#### b) 本文

2010 年以降、北日本地域では猛暑が頻発しており、冷夏は発生していない。Amano et al (2023) では、月スケールの解析結果より、主要因は、新型の高気圧（南北傾斜高気圧）の発生と、気候レジームシフトの発生であると結論づけている。近年においてもオホーツク海高気圧は発生しているものの、南北傾斜高気圧による風が、ヤマセを阻害しているため、東寄りの風自体が吹いていないとしている。しかしながらこの研究は、大気の変調に関する議論が主であり、近年の海洋の変化がヤマセに与える影響については議論の余地がある。

近年は親潮域をはじめ、日本周辺の海面水温 (SST) が急速に上昇している (Miyama et al. 2021; Hayashi et al. 2022)。特に 2023 年は、黒潮の北上などに伴い、親潮域が平年よりも高 SST となった。このような SST の変化が、ヤマセ風の温度や、下層雲の発生状況など、ヤマセの性質に影響を与えている可能性は十分に考えられる。今後十数年間における北日本あるいは日本の温暖化適応策、農作物・水稲の品種改良、栽培品種の意思決定をするために、過去類を見ないスピードで上昇している SST を考慮し、ヤマセに関して議論することは必須である。

そこで本研究では、SST 変化がヤマセに与える影響について調べることを目的とする。初期解析として、2023 年の高 SST が、ヤマセの性質に与える影響について調べた。冷夏であった 2003 年 7 月を対象に、領域気象モデル WRF (Weather Research and Forecasting) を用いた解析結果を紹介した。

#### c) 参考文献

Amano, M., Y. Tachibana, and Y. Ando (2023), Consideration of Whether a Climatic Regime Shift Has Prevented the Occurrence of a Cold Summer in Northeast Eurasia since 2010, *J. Clim.*, **36** (23), 8059-8071.

Miyama, T., S. Minobe, and H. Goto (2021), Marine Heatwave of Sea Surface Temperature of the Oyashio Region in Summer in 2010–2016, *Frontiers in Marine Science*, **7**.

Hayashi, M., H. Shioyama, and T. Ogura (2022), The Contribution of Climate Change to Increasing Extreme Ocean Warming Around Japan, *Geophys. Res. Lett.*, **49** (19).

#### 1 4. 2022 年 5 月 21 日に茨城県坂東市で目撃された漏斗雲とそれをもたらした積乱雲の MP-PAWR による観測結果

鈴木 真一<sup>1</sup>・前坂 剛<sup>2</sup>・出世 ゆかり<sup>2</sup>・木枝 香織<sup>2</sup>・花土 弘<sup>3</sup>・川村 誠治<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>東北大学, <sup>2</sup>国立研究開発法人防災科学技術研究所, <sup>3</sup>国立研究開発法人情報通信研究機構)

##### a) はじめに

現在, 雨の観測に広く用いられている気象レーダーは, 地表近くの降雨強度など, 面的な情報を網羅的に把握することに長けており, 積乱雲などの比較的狭い範囲に限られる現象も捉えやすい。しかしながら他に面的あるいは立体的に現象を捉える観測装置がないことから, その観測データあるいは解析結果の検証には困難が付きまとう。雨量強度については, 雨量計のデータを数多く集めることで, 統計的な検証が行われてきた。その中で, X バンド二重偏波レーダー(X バンド MP レーダー)については, 雨量強度の測定精度の高さが確認され, 国土交通省が国内各所に配置して運用をしている。その結果, 雨についてはレーダーを用いて網羅的な把握ができるようになった。

一方で, 積乱雲に関連した降雹や突風など, その水平スケールの小ささから, 十分な面的な把握がなされていない現象がある。これらについては, 風速計や検出装置類などの観測装置も存在するものの, その場のみの観測装置であるために, 実際に発生していても, ほとんどが観測できていない結果となっている。

防災科研で運用している「ふるリポ!」は, 人間の目が捉えた現象をネットワーク経由で報告してもらい, レーダーの観測結果と照らし合わせ, レーダー観測の解析精度を高めることを目的とした web システムである( <https://mizu.bosai.go.jp/key/fururipo> )。近年普及が進んでいるスマートフォンなどで撮影された画像の投稿も行えるようになっている。

2022 年 5 月 21 日の 19 時頃, ふるリポ! に漏斗雲の写真の投稿があった。投稿された場所の情報は野田市北部であり, その周辺には積乱雲と思われる雲の降水が各種レーダー観測から解析されていた。

本発表では, 一般市民が写真撮影によって存在が判明した現象のレーダー観測事例として, 「ふるリポ!」に投稿された写真の漏斗雲をもたらしたと思われる積乱雲について, Multi-Parameter Phased Array Weather Radar (MP-PAWR) (Takahashi et al., 2019) による観測データの解析結果を紹介する。

##### b) ふるリポ! への投稿写真

投稿された写真からは, 上空から濃い灰色の漏斗雲が垂れ下がっている様子が見えた。写真に写っている風景と, 投稿された付近の道からの Google のストリートビューで見られる風景を見比べたところ, 利根川を渡る芽吹大橋の茨城県坂東市側から, 南東方向を見た写真であると判断することができた。また, 漏斗雲は上ほど右へ傾いており, 地面近くは摩擦が大きく働くことを考えると, 雲は写真の右側の方向へ動いていると推測することができた。



### c) MP-PAWR の観測

この積乱雲が観測された際には、MP-PAWR は最大観測距離 60 km で 30 秒に一度のボリュームスキャン

の Mode 2 (Maesaka et al., 2019) で観測されていた。18 時 35 分(日本時間)に観測された高さ 1 km における反射強度 (ZH) を見ると、雨域の分布が南北に延びているが、南端に 55 dBZ を超える強い反射強度をもつエコーが観測されていた。このエコーの南端部の東側が、漏斗雲が撮影された位置とほぼ一致する。このエコーは 18 時 12 分頃から検知されており、北西へ進んで 18 時 30 分頃には漏斗雲の撮影された位置でやや停滞した。その後、18 時 35 分頃からは新しいエコーがその西側に発生し、進路を西向きに変えていった。ここでは反射因子差 (ZDR) の大きな領域が柱上に見られる ZDR column も観測されるとともに、漏斗雲が見られた付近では高気圧性の回転を示すシアーが観測された。

### d) まとめ

一般の方から報告のあった漏斗雲について、レーダーによる積乱雲の観測結果と照らし合わせるという試みを行った。写真の漏斗雲に対して、そのような現象と整合性のある積乱雲が存在し、進行速度や方向の変化の様子、地上付近の回転方向など、竜巻を発生させやすい積乱雲の特徴も捉えることが出来た。

### 参考文献

Maesaka et al., (2019), 39th Int. Conference of Radar Meteor.

Takahashi et al., (2019), J. Disaster Res., 14, 235 - 247.

### 謝辞

ふるりポ！に漏斗雲の写真を投稿してくださった方に感謝申し上げます。

## 1 5. 令和 5 年 7 月以降の記録的大雨による秋田県での心理的影響に関する縦断研究: 6 ヶ月経過時点の調査

門廻充侍（秋田大学 新学部設置準備担当/地域防災減災総合研究センター）

奥山純子（東北大学病院 リハビリテーション科）

### a) 要旨

近年、気象災害が心理状態に与える影響に注目が集まっているが、日本国内においては府報告例がほとんどない。そこで本研究では、秋田県での令和 5 年 7 月 14 日以降の記録的大雨の、被災後 6 ヶ月経過時点の心理的状況を明らかにした。秋田県在住の Web モニター登録者 800 名の中で、抑うつは 45.0%、不安は 58.62%、ストレスは 33.75%が症状ありと認められた。

### b) 本文

#### (1) はじめに

近年、気象災害が心理状態に与える影響に注目が集まっている。例えば、2021 年に中国北部で発生した鄭州豪雨後の心理的影響の調査結果（Wang et al. 2023）などが報告されている。一方、日本国内においては、気象災害が心理状態に与える影響に関して調査された例は、これまでほとんどない（Ohtomo&Kimura, 2021）。そこで本研究では、秋田県内の地域住民を対象に、令和 5 年 7 月 14 日以降の記録的大雨により生じた心理的影響に関する調査を行い、被災後の心理的状況を明らかにすることを目的とした。

#### (2) 方法

本研究では、発災から 6 ヶ月経過した令和 6 年 1 月 12 日を調査開始日とし、アイブリッジ株式会社のアンケートツール Freeasy を用いた Web 調査を行った。調査対象を秋田県在住のモニター登録者とし、調査規模を 800 名（男性：400 名、女性：400 名）と設計した。

調査項目として、①居住市町村、②物的被害/生活への影響（5 段階から単独選択：影響なし、仕事等への影響、居住地区冠水、車など資産被害、自宅が浸水）、③睡眠への影響（心理検査票：アテネ式不眠尺度）、④心理的影響（心理検査票：Depression, Anxiety, Stress (DASS)-21：抑うつ、不安、ストレス）を設定した。

#### (3) 結果

##### (i) 回答者の属性

調査は調査開始日に完了し、800 名（男性：10 代～80 代、400 名 / 女性：10 代～70 代、400 名）の回答が得られた。県内 23 自治体のモニター登録者により回答され、上位 3 市町

村は次の通りであった：秋田市 330 名（41.25%）、大仙市 66 名（8.25%）、由利本荘市 60 名（7.5%）。

（ii）被害程度

被害程度の回答結果を図-1（a）に示す。回答者の 33.12%（265 名）が何らかの影響/被害を受けており、最も程度の大きい住家被害は 2.37%（19 名）であった。

（iii）不眠症状

図-1（b）に示すとおり、回答者の 47.87%（383 名）が不眠症の可能性が高い、20.12%（161 名）が不眠症の疑いがあると判定された。

（iv）抑うつ，不安，ストレス

図-1（c）に示すとおり、抑うつは 45.0%（360 名）の有病率（重症度：軽い以上）が確認され、重症度：非常に重いは 14.5%（116 名）であった。不安は回答者の 58.62%（469 名）、ストレスは 33.75%（270 名）の有病率が確認された。

（4）考察

図-2（a）に被害程度と不眠症の関係を示す。被害の有無にかかわらず、不眠症の可能性が高い判定が確認された。さらに、同判定の割合は、被害が生じた場合に増加する傾向が確認された。図-2（b）に被害程度と抑うつ重症度の関係を示す。被害の有無にかかわらず、一定の有病率が確認された。さらに、有病率は、被害が生じた場合に増加する傾向が確認された。

秋田県での令和 5 年 7 月 14 日以降の記録的大雨後 6 ヶ月経過時点においても、大雨の被害程度にかかわらず心理的影響を受けた者が存在していることが示され、大雨被害後の長期的心理支援の必要性が示された。

**謝辞** 本研究は、東北大学災害科学世界トップレベル研究拠点の助成を受けた。また、本研究は、秋田大学内に設置された手形地区における人を対象とした倫理委員会により審査および承認されている。

**参考文献**

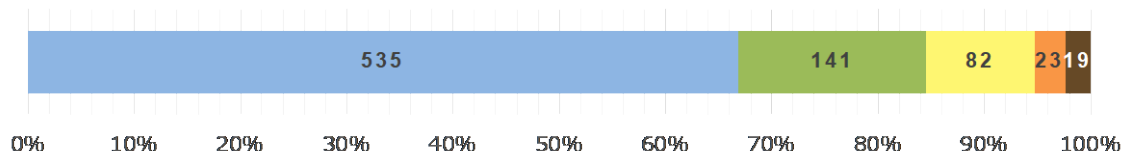
- Zhifeng, W., Bing, J., Xingtong, W., Dongxu, W., Haihong, X, 2023: As a library, NLM provides access to scientific literature. Inclusion in an NLM database does not imply endorsement of, or agreement with, the contents by NLM or the National Institutes of Health. BMC Psychol. 11, 3.
- Ohtomo, S., Kimura, R., 2021: The Influence of Residents' Resilience on the Recovery in the Torrential Rain in Western Japan in 2018. Risk Analysis. 41(10), 1860-1872.

設問：令和5年7月以降の記録的大雨により受けた被害/影響をお答えください。

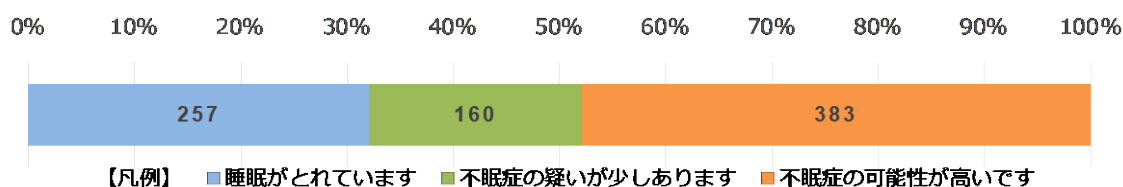
(\*自身にとって、最も被害/影響の大きかったものを一つ選択)

【凡例 / 回答選択肢】

- 選択肢にあてはまる被害にあっていない
- 仕事や生活に影響があった (例: 冠水により通勤経路が変更になった / 職場が被害を受けた)
- (自宅は浸水しなかったが) 居住地区が浸水/冠水した
- 車や倉庫などの資産が被害にあった (例: 車が冠水した)
- 住家被害を受けた (例: 自宅が浸水した)

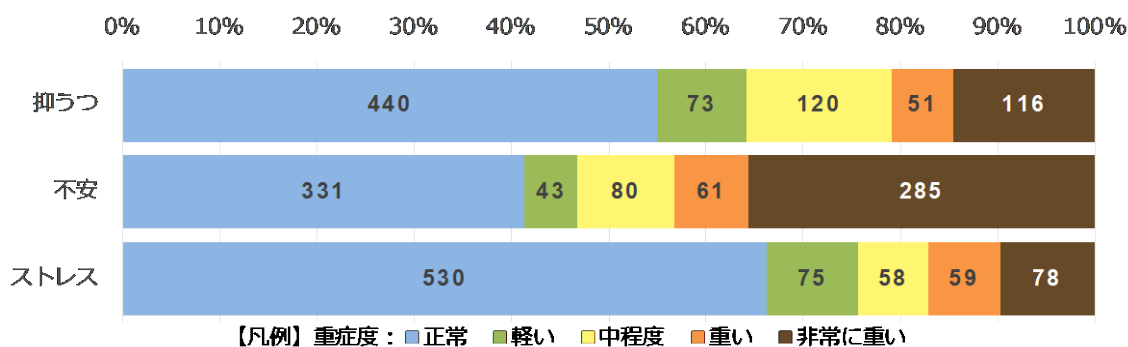


(a) 被害程度



【凡例】 ■ 睡眠がとれています ■ 不眠症の疑いが少しあります ■ 不眠症の可能性が高いです

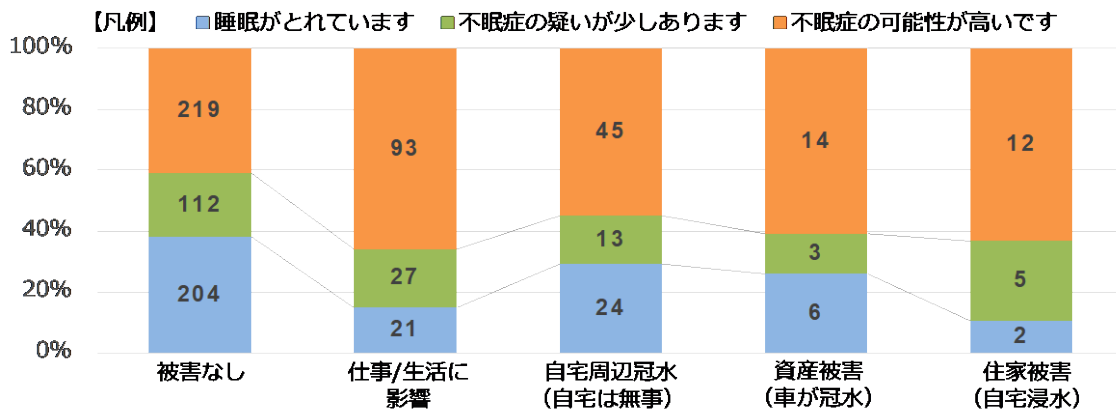
(b) 不眠症状



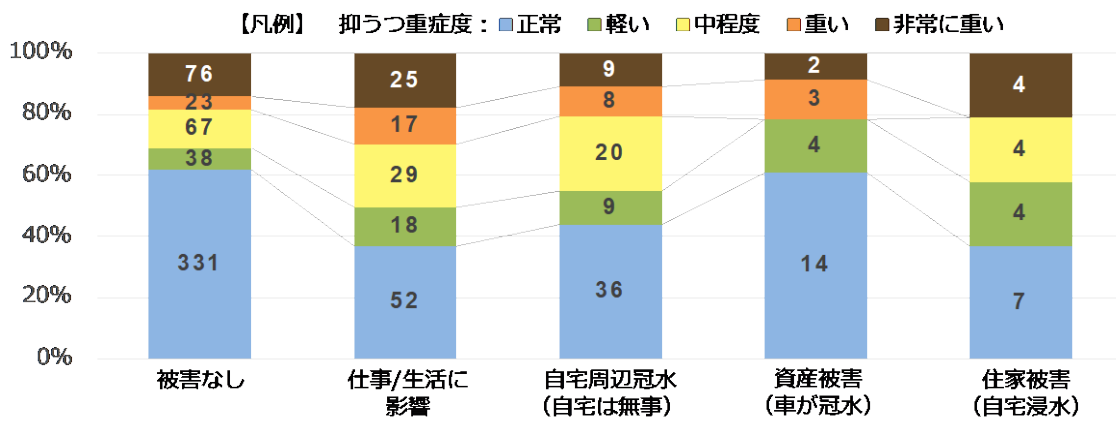
【凡例】 重症度：■ 正常 ■ 軽い ■ 中程度 ■ 重い ■ 非常に重い

(c) 抑うつ, 不安, ストレス

図-1 6ヶ月経過時点での Web 調査結果



(a) 不眠症状



(b) 抑うつ

図-2 被害程度と心理状態の関係

## 16. 夏季の大雨発生時の亜寒帯海域から日本海への下層冷気の流出

岩本黎 島田照久 (弘前大学)

### a) 要旨

夏季の大雨の発生について様々な気象条件が考察されているが、研究例の少ないオホーツク海からの下層冷気に着目し、下層冷気の分布や日本海への流出経路を明らかにした。

### b) 本文

気候変化とともに極端現象の発生頻度が高まる可能性があることから、極端現象の発生メカニズムの解明が求められている。特に、近年日本では、記録的な大雨が頻繁に発生しており、大雨を正確に予測することが課題である (Sekizawa et al. 2019)。夏季の大雨の発生要因の一つとして、オホーツク海で発達するオホーツク海高気圧から、下層の冷気が日本海に流出し、前線帯に流入することが指摘されている (例えば、気象庁、2018)。しかしながら、オホーツク海周辺の下層冷気の詳細な分布や日本海への流出経路について着目した研究は少ない。本研究では、大気再解析データ ERA5 を用いて、夏季の豪雨事例を対象に、下層冷気の 3 次元構造や流出経路を明らかにする。そして、下層冷気と大雨の発生との関係を考察することを目指す。今回、下層冷気の解析には、温位座標解析 (Iwasaki et al. 2014) を適用し、温位 296 K 以下の大気を下層の冷気と定義した。

主に解析した事例は、2018 年 7 月豪雨、2020 年 7 月豪雨、2021 年 8 月豪雨である。まず、北日本からサハリンにかけて、寒気質量フラックスの緯度時間図を作成し、冷気の流入場所・時間変化・流入の期間を明らかにした。時間変化については、サハリン・宗谷海峡から下層冷気が流入したのち、津軽海峡周辺域から日本海への冷気の流入が増加していた。次に、大気鉛直構造を調べると、ユーラシア大陸沿いのシホテハリニ山脈に沿って冷気が存在していた。さらに、冷気は、シホテハリニ山脈に沿って南下している様子を明らかにできた。最後に、寒気質量フラックスの分布から寒気の流入を調べたところ、日本海に冷気が流入した後に、大雨が発生していることがわかった。

### 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. *J. Atmos. Sci.*, **71**, 2230–2243. <https://doi.org/10.1175/JAS-D-13-058.1>.
- Sekizawa, S., T. Miyasaka, H. Nakamura, A. Shimpo, K. Takemura, and S. Maeda, 2019: Anomalous moisture transport and oceanic evaporation during a torrential rainfall event over western Japan in early July 2018. *SOLA*, **15A**, 25-30.
- 気象庁、2018 : 「平成 30 年 7 月豪雨」及び 7 月中旬以降の記録的な高温の特徴と要因につ

いて. <https://www.jma.go.jp/jma/press/1808/10c/h30goukouon20180810.html> (2024年3月7日)

## 1 7. RRJ-Conv の降水の検証 (1981 年~2020 年の大雨)

白川栄一, 岩崎俊樹 (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, 40 年間 (1981 年から 2020 年) を対象に, アメダス観測と比較し検証を行った. まず, 日降水量 100mm 以上の大雨の発生頻度について, 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, 経験的に再現値を推定する手法を検討した. この手法で推定した再現期間 1~100 年の再現値を超える大雨の発生頻度について, RRJ-Conv は, 年々変動をよく再現していた.

### b) 本文

#### (1) はじめに

東北大学と気象研究所では, 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 RRJ-Conv (Fukui et al. 2018)を実施している. これまでに, 40 年分 (1981 年から 2020 年) の再解析が完了した. 福井ほか(2023)は, 気象庁の地上気象観測所での観測に見られる 1980 年代と 2010 年代の 7 月平均降水量の分布の違いを, RRJ-Conv は概ね再現できており, 降水の長期変動把握に役立つ可能性を示した.

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 以上の大雨の発生頻度の再現性について, 次に日降水量が再現期間 1~100 年の再現値を超える大雨の発生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.

#### (2) 日降水量 100mm 以上の大雨の発生頻度による検証

日降水量 100mm 以上の年間日数の年々変動について, 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 1981 年から 2020 年の 40 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. 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 0.78 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 0.95 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.



### (3) 日降水量が再現期間 1~100 年の再現値を超える大雨の発生頻度による検証

大雨の指標として、日降水量 100mm などの固定値を日本全国一律に当てはめた場合、日降水量の多い西日本の情報が強調され、日降水量の少ない北日本の情報は表れにくい。西日本ではあまり珍しくない程度の日降水量でも、北日本では記録的な日降水量となることがある。そこで日降水量の再現期間  $\tau$  の再現値を指標とし、再現値を超える大雨の発生頻度による検証を行った。そのために再現値を観測所毎の再現期間 1 年の再現値と非局所的増倍率の積で求める手法を提案した。1981~2020 年のアメダス観測データから、増倍率  $\alpha$  と再現期間  $\tau$  に次の経験式が得られた。

$$\alpha \approx 1 + 0.9 \log \tau$$

この手法によって求めた再現値は、気象庁が 1901~2006 年の 106 年間の最大日降水量からの確率分布を当てはめて推定した 51 地点の再現値と、再現期間 30 年で相関係数 0.95、再現期間 50 年で相関係数 0.94 と高い相関を示し、この手法が十分使えることを示した。

再現期間 1 年の再現値について、RRJ-Conv は、西日本の太平洋側を中心に大きく、北日本を中心に小さいというアメダスによる観測されたパターンをよく再現しており、再現値はアメダスの 90% 程度となった。再現期間 30 年と 50 年の増倍率について、RRJ-Conv はアメダスの  $\pm 5\%$  程度でおおむね一致した。

全国の再現値以上の年間日数の年々変動のトレンドを見ると、アメダスと RRJ-Conv でそれぞれ、再現期間 1 年で 91 日/10 年と 91 日/10 年、再現期間 100 年で 2.5 日/10 年と 2.1 日/10 年でおおむね一致した増加トレンドを示した。気候区域ごとの再現期間 30 年のトレンドでも、西日本太平洋側の増加トレンドを良く再現している。

一方、再現期間 30 年の北日本日本海側のトレンドは、1981 年 8 月の北海道を中心とした記録的大雨の影響を強く受けて、アメダスと RRJ-Conv 共に減少トレンドとなっている。期間を 1982 年から 2020 年とした場合は増加トレンドとなる。このことから、地域や長い再現期間のトレンドは、顕著なイベントの影響が大きいことに注意する必要がある。

### (4) 今後

RRJ-Conv は更にさかのぼった再解析を実施している。本報告では 1981 年から 2020 年の 40 年間だったが更に約 20 年分の再解析を完了し、長期変動を対象とした検証を行う予定である。また、今回は日本全国をまとめた検証を主に行ったが、地域ごと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, 白川栄一, 曾我大輝, 小原涼太, 臼井健, 瀧口海人, 小野佳祐, 廣瀬大河, 松島沙苗, 岡西望, 米井潤風, 伊藤純至, 岩崎俊樹, 山崎剛, 2023: 日本域の降水の長期変動把握に向けた領域再解析. 日本気象学会 2023 年度秋季大会講演予稿集, **124**, 101.

気象庁: 確率降水量 地点別一覧表 (51 地点)

[https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/riskmap/qt\\_table.html](https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/riskmap/qt_table.html) (2024.02.27 閲覧)

## 18. 2013年北東北で発生した線状降水帯の数値シミュレーション

伊藤純至・小野圭佑（東北大学）

### a) 要旨

2013年8月9日に北東北地域で発生した線状降水帯を数値気象シミュレーションで再現し、山岳域が対流系のトリガーとなっていること、およびバック・アンド・サイドビルディング構造を示した。

### b) 本文

日本で夏季に局地的に発生する豪雨は、特に西日本で特に顕著である。典型的には、「線状降水帯」と呼ばれる停滞性の線状の対流系によってもたらされる。風上に新たな対流雲が連続して発生し、各々の対流雲の寿命を超えて維持するバックビルディング構造が見られる。本研究では、2013年8月9日に北東北地域で発生した稀な豪雨事例を対象に、数値気象シミュレーションを用いてその発生メカニズムと気流構造を解析した。

数値シミュレーションには、気象庁の非静力学モデル(JMA-NHM)を使用した。計算は、2013年8月8日21時から8月10日3時までの30時間分を行った。計算領域は600 km × 600 kmであり、水平解像度は1 kmである。初期および境界条件には、気象庁のメソ解析データを使用した。

太平洋高気圧が西端の太平洋まで張り出しており、総観規模で顕著な前線は存在しなかった。しかし、白神—鹿角(S-K)および太平—雫石(T-S)ラインに沿って局地的な豪雨が発生し、約3時間以上にわたって持続した。

シミュレーションは観測された累積降水量をよく再現しており、特にS-KおよびT-Sラインにおける豪雨の位置と量がともに観測と合致していることが確認された(図)。対流セルは、上流で次々に発生し、下流で消滅している。対流系の周辺の気流構造を調べるために、シミュレーション結果を基に前方軌跡線を計算した。一部の軌跡は、S-KおよびT-Sラインの上流に位置する山岳地帯で上昇し、他の軌跡は、山岳域のない下流域で上昇する。これらの結果は、山岳域が対流系のトリガーとなっていることを示す。また山岳域を除去した感度実験では極端な降水が発生しなくなることが確認された。

対流コアのコンポジット解析を行った。上流域と下流域の間に系統的な違いが見られ、特下流域では、CCの下に下降流が存在し、地表付近で発散流を形成している。

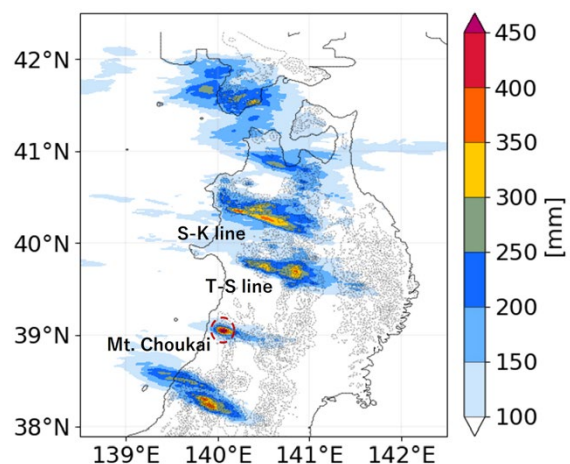


図 シミュレーションによる積算雨量

これらの発散流は、南西からの暖湿流と収束し、対流系の維持に寄与している。上流域では風上からの水蒸気フラックスが卓越する一方で、下流域では側面からの水蒸気フラックスが卓越している。これは「バック・アンド・サイドビルディング」構造を示している。

**c) 参考文献**

Keisuke Ono and Junshi Ito, Numerical Simulation of a Case of Heavy Rainfall in the Northern Tohoku Region of Japan on 9 August 2013, SOLA, 2024, 20A, 1-9.