

# 令和元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 2 年 12 月

ヤマセ研究会

## 目次

ヤマセ研究会.....	3
令和元年度成果 .....	4
1. 2週間気温予報の使い方 .....	5
2. 2週間気温予報を用いた気仙沼湾水温予測の精度調査について .....	8
3. 2週間気温再予報データの紹介と過去のヤマセ事例について .....	11
4. ヤマセ日の判定アルゴリズム（2） .....	14
5. ヤマセ時に発生する襟裳岬沖の強風 .....	19
6. 防災科研新庄雪氷環境実験所の概要の概要 .....	21
7. 地球温暖化に伴う山岳降雪の極端化 .....	22
8. 力学ダウンスケールによる高解像度気候予測値を利用した北アルプスにおける ライチョウの潜在的生息適地評価 .....	27
9. 極端な高温による不作の発生に温暖化が与えた影響 .....	30
10. APHRODITE：冬季降水量の定量評価ー内挿誤差と捕捉率の補正ー .....	32

# 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16回ヤマセ研究会の開催

第16回ヤマセ研究会は2019年11月28日から29日にかけて、山形県新庄市の国立研究開発法人防災科学研究所新庄雪氷環境実験所において開催した。開催にあたり、防災科学研究所雪氷環境実験室長の小杉健二氏をはじめとする方々に大変お世話になった。また、気候変動適応技術社会実装プログラム（SI-CAT）の補助を受けた。

## 令和元年度成果

## 1. 2週間気温予報の使い方

池田友紀子（仙台管区気象台 気象防災部 地球環境・海洋課）

### a)要旨

気象庁では2019年6月から「2週間気温予報」「早期天候情報」を開始した。ウェブサイトでは前1週間の実況から2週間先までの予測を一括表示し、気温の推移を時系列的に把握できる。これらが東北地方の農業・水産業等の高温・低温によるリスク回避を支援する情報であることを紹介する。

### b)本文

#### (1) 7月の天候不順、8月の高温

2019年7月上旬の半ばから、オホーツク海高気圧からの冷たく湿った空気（ヤマセ）の影響で、低温、日照不足の日が多くなったことにより、夏野菜や果物に生育不良がみられた。一方、東北日本海側では北部を中心に少雨となった（図1）。

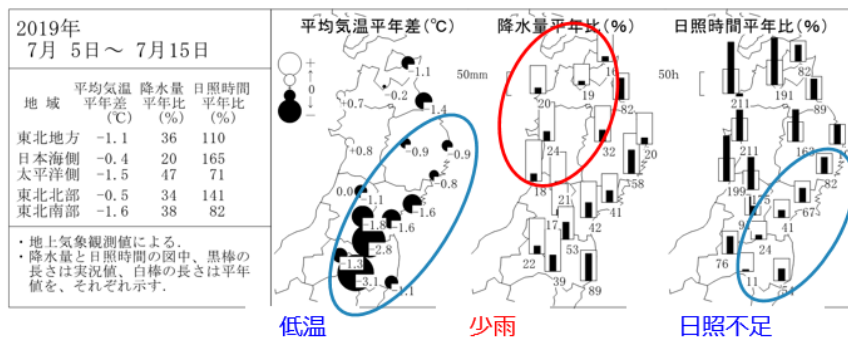


図1：7月5日～15日の東北地方の平均気温平年差、降水量・日照時間平年比

7月末には梅雨前線が一気に北海道まで北上し、太平洋高気圧の勢力が強まって8月中旬にかけて猛暑が続いた（図2）。報道によれば、9月末現在で宮城県の一等米比率59%となり過去10年で最低となった。出穂後の7月下旬から8月上旬にかけて、夜間の最低気温が下がらなかったため、でんぷんが米粒に十分に蓄えられずに乳白色に濁る白未熟粒が発生したとのことである。観測データからも、仙台の日最低気温25度以上（熱帯夜）の年間日数が11日と観測開始以来最多となったのをはじめ、東北地方の多くの観測地点で熱帯夜の年間日数の記録を更新し、最低気温が高かったことを裏付けた。また、8月15日には山形県庄内地方では40.4°Cの日最高気温を観測し、日本海側を中心に猛烈な暑さとなった。

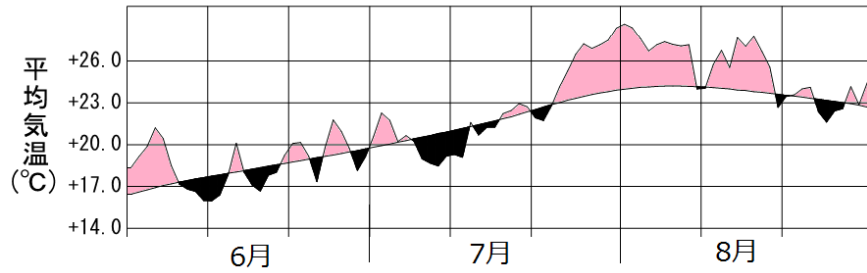


図 2：6～8月の東北地方の平均気温の推移  
 東北地方にある17地点の観測値から作成。  
 折れ線は2019年、細線は平年値（1980～2010年）

(2) 2週間気温予報・早期天候情報の実例

気象庁では2019年6月から「2週間気温予報」を開始した。一例として、7月8日に「東北太平洋側の日照不足と低温に関する気象情報」を発表し今後の低温と日照不足に注意をよびかけた際の2週間気温予報を示す(図3)。この先10日間程度は低温が続き、最低気温が17℃を下回る日もある見込みであることがわかる。7月のヤマセによる低温では、宮城県農作物技術対策情報に2週間気温予報が掲載されるなど、気象庁の情報を有効に活用いただいた。

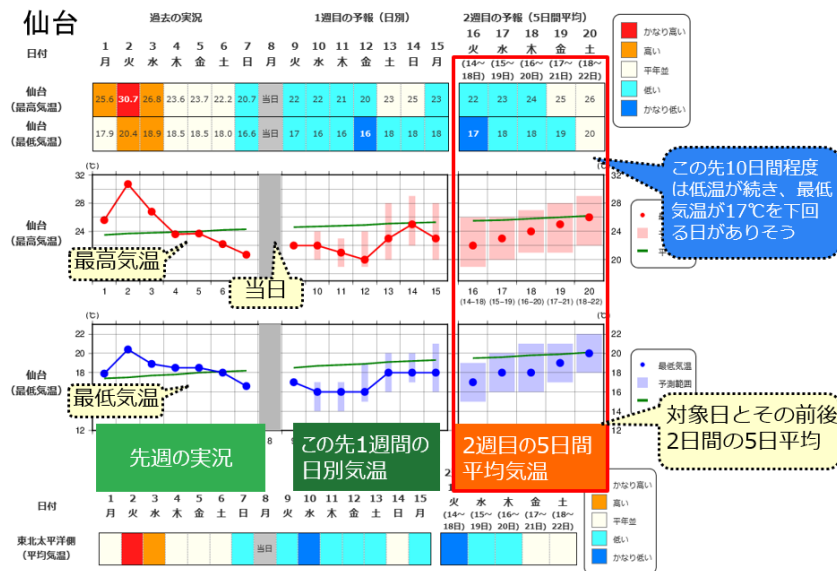


図 3：気象庁ホームページ 2週間気温予報  
 7月8日14時30分発表の実例(仙台)

また、早期天候情報は、2週間気温予報に基づき、原則として毎週月・木曜に、2週目の

5 日間平均で「かなりの高温（低温）」または冬季日本海側の「かなり多い降雪量」の可能性（30%以上）が見込まれたとき、発表するものである。7 月 8 日に低温、8 月 8 日に高温の早期天候情報を発表した例を示す（図 4）。7 月 8 日の情報では、最低気温が水稻の不稔が発生する目安の 17℃を下回る見込みであることを記述し、注意喚起を行った。

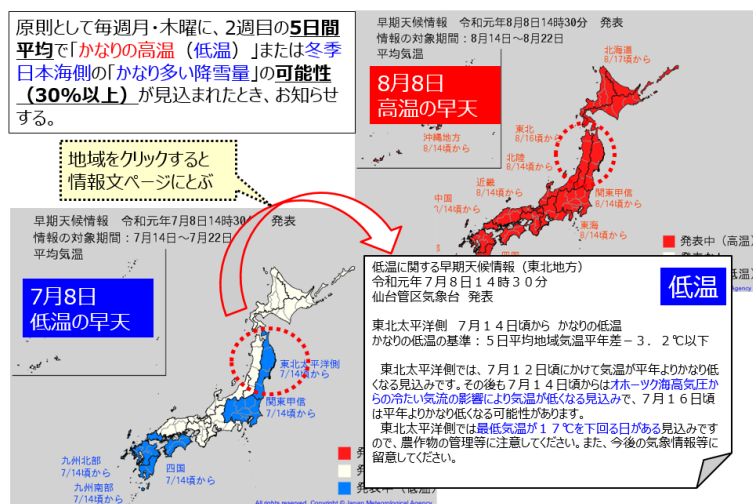


図 4：気象庁ホームページ 早期天候情報  
7 月 8 日の低温と 8 月 8 日の高温 発表の実例

### (3) 2 週間気温予報の活用について

農業分野では、2 週間先までの予報を使って事前に高温や低温への対策を行うことにより、農作物の被害を軽減できる可能性がある。また、製造・販売・飲食分野においても、気温によって需要の変動がある商品やユーザーの動向を予測することが可能となり、発注や在庫調整に役立つことが期待される。活用例として、気仙沼水産試験場では、ワカメの養殖漁業のため、気仙沼湾の水温予測式に 2 週間気温予報のデータを利用している。現在、農業・水産業等の機関を対象に 2 週間気温予報利用に関する調査を実施しており、今後、各分野のニーズに合った情報提供に取り組んでいきたい。

### c)参考文献

- [1] 気象庁ホームページ：2 週間気温予報  
<https://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/twoweek/>
- [2] 気象庁ホームページ：早期天候情報  
<http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/souten/>
- [3] 気象庁ホームページ：気象情報を活用して気候の影響を軽減してみませんか？（気候リスク管理ポータルサイト）  
<https://www.data.jma.go.jp/risk/>  
(上記リンク先は 2019 年 12 月に閲覧確認)

## 2. 2週間気温予報を用いた気仙沼湾水温予測の精度調査について

中川憲一（仙台管区气象台 気象防災部 地球環境・海洋課）

### a)要旨

気象庁では2019年6月から「異常天候早期警戒情報（早警）」に代わり、「2週間気温予報」と「早期天候情報」の運用を開始した。これに伴い、ワカメの養殖漁業のために気仙沼水産試験場と共同で開発した気仙沼湾水温予測式について、早警から2週間気温予報の気温予測ガイダンス（大船渡）を使用した予測式に変更し、9月から運用を開始している。本稿では今回変更した予測式の精度検証を2017年のデータを用いて行ったので紹介する。

### b)本文

#### (1) はじめに

仙台管区气象台は宮城県水産技術総合センター気仙沼水産試験場（以下、気仙沼水試）と連携し、ワカメ養殖漁業に資するために、平成26年度に異常天候早期警戒情報（以下、早警）の気温予測ガイダンス（大船渡）を利用した6～12日先の7日間平均の沿岸水温（気仙沼湾岩井崎）を予測する方法を開発し、気仙沼水試で運用が始まった。気仙沼水試が発行するワカメ養殖通報に岩井崎の水温予測値が掲載されている（中川ほか（2018））。

この予測式については、今年6月に早警の運用が終了し、2週間気温予報と早期天候情報の運用が開始されたため、これまでの早警の気温予測ガイダンスデータ（7日間平均）から、2週間気温予報の気温予測ガイダンスデータ（5日間平均）へ利用データを更新する必要がある。このため、気仙沼水試と連携して8～12日先の予測式（5日間平均）を作成し直し、9月下旬からのワカメ養殖通報に水温予測値が掲載されている。また今回、より先の予測も可能なので、気仙沼水試と調整し12～16日先の予測式も作成した。今回の更新の利点の一つとして、2週間気温予報のガイダンスデータが毎日更新されるため、より最新のデータを水温予測に利用できることが挙げられる（早警のガイダンスデータは週2回の更新）。本調査では、今回作成した岩井崎の水温予測式の精度検証を行った。岩井崎の位置を図1に示す。

#### (2) 使用データと調査方法

水温観測データは、岩井崎観測点（水温測定深1m、10時）の観測データ（日毎）を使用した。気温予測データは、大船渡の2週間気温予報の気温予測ガイダンスデータ（平均気温：5日間平均）を使用した。今回の岩井崎の水温予測式は、2006～2016年の9～12月の岩井崎の水温観測値（前日までの5日間平均値）と大船渡の平均気温の予測値（8～12日先または12～16日先の5日間平均値：2週間気温予報のハインドキャストデータ）を説明変数とし、岩井崎の8～12日先または12～16日先の水温観測値を目的変数として、それぞれ重回帰分析を行い求めた（MOS方式）。本調査では予測精度について2017年9～12月の



データを用いて RMSE (2乗平均平方根誤差) を算出し検証を行った。また、これまでの早警を利用した予測式の精度との比較も行った。7日間平均と5日間平均という違いや予報対象期間の違い等があり単純な比較はできないが、参考として行った。

### (3) 結果と考察

まず早警の予測式(6~12日先)と2週間気温予報(8~12日先、12~16日先)の予測式について、2017年9~12月におけるRMSEを月ごとに計算した(図2)。図2をみるとRMSEは早警と2週間気温予報ともに9月と10月は0.5℃前後と比較的良好な精度であったが、11月と12月は1℃前後でやや精度が低下していた。両者に精度の差はほとんど無く、更新後も予測精度はおおむね維持できていると言える。また2週間気温予報で比較すると、8~12日先より12~16日先の方がRMSEの値が大きく、気温の予測精度自体の低下により、水温の予測精度が低下している可能性が考えられる。

次に、2週間気温予報の水温予測式について、8~12日先と12~16日先の予測値(青線)と実際の観測値(オレンジ線)の推移をみる(図3と図4:ともに5日間平均)。9~10月では予測値が観測値をある程度追従しているのに対し、11~12月ではあまり追従できていない傾向があり、結果として図2のような予測精度となっていることがわかる。また、8~12日先(図3)と12~16日先(図4)を比較すると、12~16日先の方は予測値の変動が鈍く、より追従できていない傾向がある。

### (4) まとめ

岩井崎の水温予測式について、これまでの早警の気温予測ガイダンスデータ(7日間平均)から、2週間気温予報の気温予測ガイダンスデータ(5日間平均)へと予測式の更新を行い、精度検証を行った。予測精度は、9月と10月は0.5℃前後と比較的良好で、11月と12月は1℃前後でやや低下しているが、早警とは同程度の予測誤差で、精度はおおむね維持できていることがわかった。今後は、予測精度の改善のため、引き続き調査等を行う予定である。



図1 岩井崎の位置(地図出典:国土地理院地図データを加工)

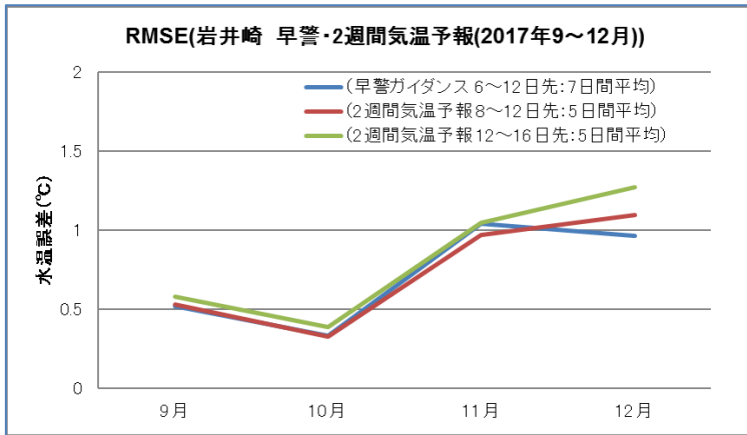


図2 岩井崎のRMSE(月別 早警の気温ガイダンスと2週間気温予報 2017年9,10,11,12月)

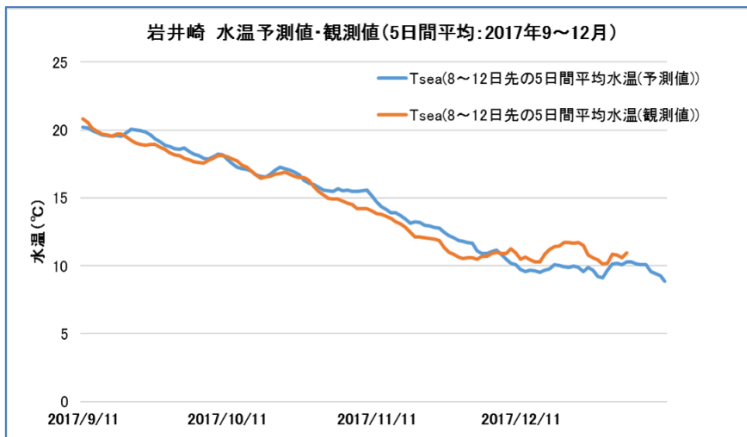


図3 岩井崎 8~12日先の水温予測値(青線)と観測値(オレンジ線)(2017年9~12月)

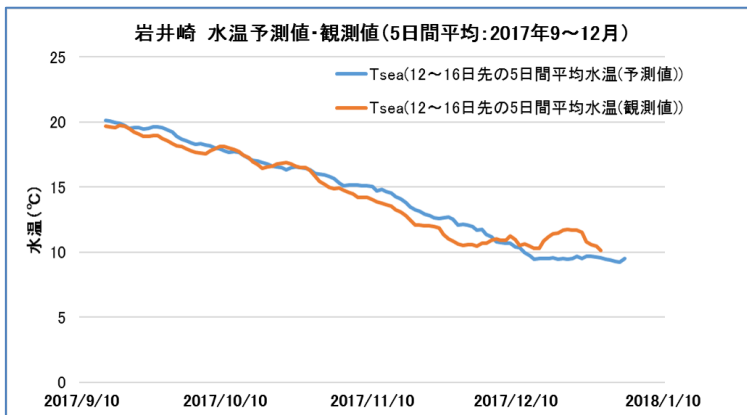


図4 図3に同じ。但し12~16日先

c)参考文献

中川憲一, 福田義和, 金子秀毅, 中村寛, 中村 辰男 2018 : 東北地方の養殖漁業のための沿岸水温予測方法の紹介. 測候時報, 85, 13-29.

### 3. 2週間気温再予報データの紹介と過去のヤマセ事例について

宮脇祥一郎（気象庁気候情報課）

#### a)要旨

気象庁では2019年6月から「2週間気温予報」を開始し、その基礎的な数値データ（確率予測資料）についてもウェブサイトから提供している。また、再予報データ（最新の数値予報モデルでの過去の予測実験）についても提供しており、統計的な予測精度の把握や、過去事例での予測の有効性の評価ができる。本稿では、ヤマセが影響した夏季の東北地方の再予報による予測事例を紹介する。

#### b)本文

##### (1) 確率予測資料（2週間気温予報）提供ページについて

2週間気温予報では、その基礎資料となる予測データ（確率予測資料）を産業等の高度利用者向けに提供している（図1、参考文献[1]）。確率予測資料とは気象用語でいうガイダンスである。ガイダンスとは、数値予報モデルの格子点値を、統計処理等により特定の観測地点や地域平均のデータに翻訳したプロダクトで、計算過程で系統的な誤差が取り除かれ、誤差情報（予測の幅）も最適化されている。データはCSV形式ファイルで取得でき、ファイルには0.1℃単位の累積確率値として気温予測データが格納されており、表計算ソフト等を利用した数値的な利用に適している。

確率予測資料のダウンロード

最初に選択してください → 地域 関東甲信地方 地点 都道府県から選ぶ

最新の確率予測資料：関東甲信地方

初期値 2019年12月10日 ← 過去の初期値も選択できます

ダウンロード

ボタンをクリックしてダウンロードできます。(CSVファイル：約25KB)

▶ 確率予測資料(2週間気温予報)ビュー (ZIPファイル：約200KB)

最新のデータをグラフ表示して確認できるExcel用のワークブックです。データ利用の際の参考(サンプル)として提供しています。ご利用の際は、最初にファイルの「解説」シートをご覧ください。

- ※ ZIPファイルに圧縮していますので、ダウンロードの上、解凍してご利用ください。
- ※ 全ての機能を使うにはマクロの機能が必要です。
- ※ 個々のサポートは致しません。また、動作や内容について保証するものではありません。

再予報データ(1981年1月~2017年3月)：関東甲信地方

再予報とは、現在の技術で過去の予測を再度行ったもので、予測の有効性の調査等に利用できます。ご利用にあたっては、最初に再予報データの仕様等について(PDFファイル：約27KB)をご覧ください。また、過去の予測データの利用例に参考事例を紹介しています。

ダウンロード

ボタンをクリックしてダウンロードできます。(ZIPファイル：約1.6MB、解凍してご利用ください。)

※ 掲載している再予報データは、2019年7月時点の内容になります。

図1：2週間気温確率予測資料提供サイトの概要

([https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/probability/guidance/csv\\_k2w.php](https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/probability/guidance/csv_k2w.php))

## (2) 再予報データについて

再予報（ハインドキャストともいう）は最新の数値予報モデルで実験的に行った過去の予測である（参考文献[2]）。数値予報モデルは、時代とともに精度が改善されている。気象庁の季節予報では現在、予測性能・特性の把握のため、モデルの更新のたびに、過去30年以上の過去事例の再予報を行っている。再予報によるガイダンスについても、事前の予測精度の把握、気象予測を用いた場合の有効性の評価等の活用を想定し、ウェブサイトより提供している。気温予測を用いた新たな対策等を導入する際の説得材料として利用してほしい。なお、再予報データの利用例等について参考文献[3]でも紹介している。

## (3) 過去のヤマセ時の予測事例の紹介

東北地方の稲作はヤマセによる低温で大きな被害を受けてきた。稲作では、穂ばらみ期の5日間平均気温が20℃以下の場合、収量減のおそれがある（参考文献[4]）。ここでは、収量減が顕著であった1993年、2003年の同時期の事例を取り上げる。図2は仙台における再予報の事例だが、2週目付近の予測を見ても、気温が20℃以下となる予測がされている。これは、現在の予測技術では、同事例を1週間程度の猶予期間をもって対策（深水管理等）が行えたことを意味する。

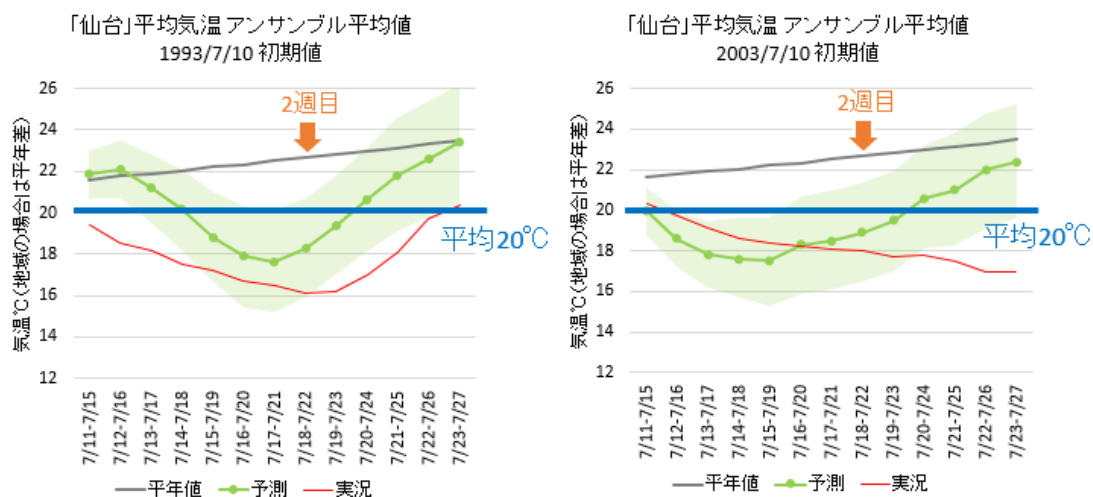


図2：再予報データによる夏季低温の再現（仙台、1993、2003年）

緑の陰影は予測範囲（80%）を表す

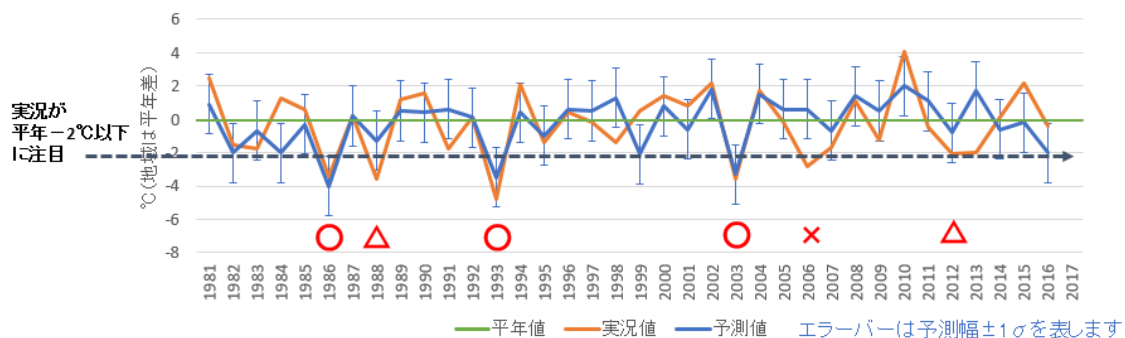


図3：再予報データによる2週目予測（各年7月10日初期値）の年々グラフ  
（東北地方、1981～2016年）

図3は図2で示す「2週目」と同時期の予測値と実況値を年々で並べたグラフである。図中の低温（平年-2℃程度）となった年に着目すると、

- （よく予測できている） 3例
- △（平年からの傾向は予測できている） 2例
- ×（平年からの傾向も違う） 1例

であった。

数値予報の精度は時代とともに向上してはいるが、現在でも、2週目の予測となると、顕著な事例を全て十分に捉えるのは難しいことが分かる。予測値を利用する際は予測精度に注意し、できるだけ最新の予測を参照することが望ましい。

以上のような過去の事例検証等でも、再予報データを役立てていただきたい。

#### c)参考文献

- [1] 気象庁：確率予測資料（2週間気温予報）提供ページ  
[https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/probability/guidance/csv\\_k2w.php](https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/probability/guidance/csv_k2w.php)  
(2019年12月閲覧確認)
- [2] 高谷祐平, 2012: 再予報・ハインドキャスト. 天気, 59, 493-495.
- [3] 気象庁：過去の予測データの利用例の紹介  
[https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/probability/info/kakodata\\_kensho.html](https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/probability/info/kakodata_kensho.html)  
(2019年12月閲覧確認)
- [4] 秋田県農林水産部, 2019: 稲作指導指針.

#### 4. ヤマセ日の判定アルゴリズム (2)

土屋 幸男 (五戸再生可能エネルギー研究所)

##### a) 要旨

ヤマセ日を判定する問題を非線形計画法問題(NLP)として解く新たなアルゴリズムを提案する。このNLPの目的関数は対象とする観測期間中の累積ヤマセ時間の最大化であり、付随して得られる数値の1つは最高最低気温差、同湿度差の制約値  $\{T_{\Delta}^{max}, H_{\Delta}^{max}\}$  の組み合わせである。 $\{T_{\Delta}^{max}, H_{\Delta}^{max}\}$  の数値が確定することにより、ヤマセ日の判定、等価的ヤマセ吹走日の日数決定やヤマセ出現マップの作成が可能になる。

##### b) 本文

###### (1) はじめに

オフグリッド住宅の電気エネルギー供給では、ヤマセ吹走は発電障害の要因になることが定性的に知られている。この現象は日毎のヤマセ累積時間(Cumulative Time of Yamase, CTY)と日消費電力量の関係に於いて両者に負の相関があること(土屋<sup>[1]</sup>, 2019)によると説明されている。なお日毎のヤマセ累積時間の算定ではヤマセ日判定アルゴリズム(土屋<sup>[2]</sup>, 2019)が使用されている。しかしこのアルゴリズムで使用する最高最低気温差、同湿度差の制約値  $\{T_{\Delta}^{max}, H_{\Delta}^{max}\}$  は計測値の最大値を採用しているだけであり、数理的な裏付けに欠ける。そこで本論文ではヤマセ日判定アルゴリズムをCTYの最大化問題に置き換えて、実際の観測値を用いて  $\{T_{\Delta}^{max}, H_{\Delta}^{max}\}$  を逆に確定するという非線形計画法問題(nonlinear programming, NLP)アルゴリズムについて述べる。演算結果をヤマセ日の判定や等価的ヤマセ吹走日の算定に適用し、さらにヤマセ出現マップの作成に応用する。

###### (2) モデルの定式化

本章ではCTYのモデル化について述べる。まず観測期間中のCTYの最大化に関わる目的関数と制約式を(2-1)~(2-7)でNLPとして定式化する。

$$\text{Maximize } CTY \quad \text{[目的関数]} \quad (2-1)$$

$$\text{Subject to } T_0 \leq T^{max} \quad \text{[最高気温制約]} \quad (2-2)$$

$$H_0 \geq H^{min} \quad \text{[最低湿度制約]} \quad (2-3)$$

$$T_{\Delta} < T_{\Delta}^{max} \quad \text{[最高最低気温差制約]} \quad (2-4)$$

$$H_{\Delta} < H_{\Delta}^{max} \quad \text{[最高最低湿度差制約]} \quad (2-5)$$

$$W_D \in \{NE \sim ESE\} \quad \text{[風向制約]} \quad (2-6)$$

$$W_S \geq 1 \quad \text{[風速制約]} \quad (2-7)$$

ここで (2-1) 式は観測期間中の CTY の最大化を表す目的関数である。また (2-2)～(2-7) 式はヤマセ状態を満たす気温、湿度、風向、風速に関わる制約式である。式で用いる記号や意味は既報（土屋<sup>[1]</sup>, 2019）とほぼ同様であるのでそちらを参照されたい。図 1 に  $\{T_{\Delta}, H_{\Delta}\}$  2次元直交座標を使った場合の可能解の存在域 (feasible region) のイメージを示す。

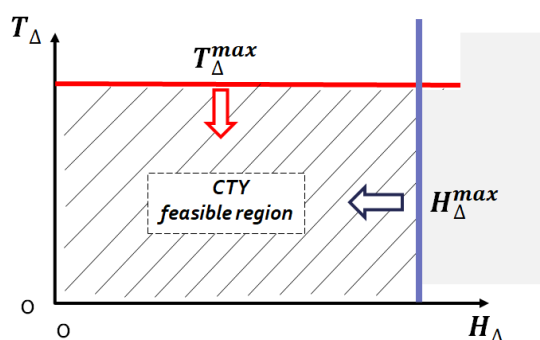


図 1.  $T_{\Delta}^{max}$  と  $H_{\Delta}^{max}$  の両制約のイメージ

### (3) CTY と $\{T_{\Delta}^{max}, H_{\Delta}^{max}\}$ の決定

(i) CTY の最大値の決定 NLP 式で (2-4)、(2-5) の両式を外した形でこの問題を解くと CTY の最大値を求めることができる。本研究では CTY の単位を[分]で表すことを第一とするが、該当月の全時間に対する累積ヤマセ時間の比率で表現する方が分かりやすい場合もあり、この時は[%]表示を使う。

(ii) CTY を満たす  $\{T_{\Delta}^{max}, H_{\Delta}^{max}\}$  の決定の NLP アルゴリズム NLP の (2-1) ～ (2-7) 式を使う。CTY は地図の等高線と同様のイメージを持つため、ここでは 2次元直交座標を使いコンターマップで表現する方が理解しやすい。図 2 は CTY を満たしつつ  $\{T_{\Delta}^{max}, H_{\Delta}^{max}\}$  を求めるための説明図である。

① まず  $\{T_{\Delta}^{max}, H_{\Delta}^{max}\}$  の両値の初期値をかなり大きな値、例えば●1を  $\{20^{\circ}\text{C}, 60\%$  に設定し NLP 最大化問題を解く。このような場合は (2-4)、(2-5) の両式の制約が無い場合と同じで、CTY は飽和領域 (Saturation Region, SR) に入り、その値は最大値 (単位は[分]または[%]) である。

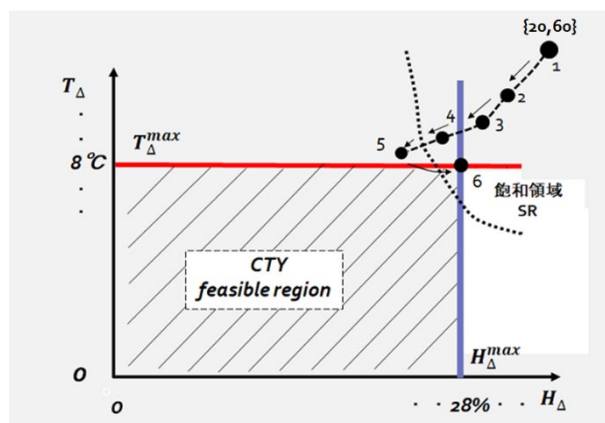


図 2. CTY を満たす  $\{T_{\Delta}^{max}, H_{\Delta}^{max}\}$  の決定過程

② ここで  $T_{\Delta}^{max}$  と  $H_{\Delta}^{max}$  のそれぞれの

値を逡減しつつ、CTY に対する抑制を徐々に効かせる (同図では●1→●2→●3→●4)。

③ さらに逡減すると、CTY が飽和領域から外れる点が発生する (同図では●4→点線→●5)。ここで逡減に関わるアルゴリズムを停止する。なお点線の右上部分は SR である。

④ 次に●5の近傍で CTY を飽和領域に含みつつ  $T_{\Delta}^{max}$  と  $H_{\Delta}^{max}$  のそれぞれがともに最小

となる最適な組み合わせ（同図では●6であり、その値は{8℃, 28%}。）を探索する別のアルゴリズムに移る。得られた探索結果を該当月の  $\{T_{\Delta}^{max}, H_{\Delta}^{max}\}$  とする。

⑤ 最後に5～8月のそれぞれの月で得られた値を比較し、原点 (0, 0) に最も近い  $\{T_{\Delta}^{max}, H_{\Delta}^{max}\}$  を該当する年の共通の制約値とする。

#### (4) 数値例

本研究で対象とする地点と時期は青森県五戸町上市川（2019年5～8月）である。

(i) 解析された数値と共通の制約値  $\{T_{\Delta}^{max}, H_{\Delta}^{max}\}$  表1に各月毎のCTYの最大値、ひと月の時間、比率、 $\{T_{\Delta}^{max}, H_{\Delta}^{max}\}$ 、ヤマセ吹走日及びヤマセ日（定義は（土屋<sup>[2]</sup>, 2019)。）の数を示す。ここでヤマセ日の合計値は21[日]である。なお5～8月のCTYの最大値それぞれを合計し、これを日換算した等価的ヤマセ吹走日は29.4[日]である。

$$(4,100 + 16,580 + 14,680 + 6,950) / (24 \times 60) \doteq 29.4 \quad (2-8)$$

2019年の  $\{T_{\Delta}^{max}, H_{\Delta}^{max}\}$  の共通の制約値は (3) (ii) ⑤に従い7月の{8℃, 28%}とする。図3に  $\{T_{\Delta}^{max}, H_{\Delta}^{max}\}$  の変域を示す。

表1. CTYの最大値,  $\{T_{\Delta}^{max}, H_{\Delta}^{max}\}$  及びヤマセ日

月	CTYの最大値 [分]	等価的ヤマセ吹走日 [日]	ひと月の時間 [分]	比率 [%]	【最高最低気温差, 湿度差】の制約値	参考文献、土屋[1]			7月; {8℃, 28%} 制約下	
						ヤマセ日	小計 [日]	合計 [日]	CTYの最大値 [分]	等価的ヤマセ吹走日 [日]
5	4,100	29.4	44,640	9.2	{ 11, 48 }	なし	0	21	3,550	28.3
6	16,580		43,200	38.4	{ 10, 39 }	6,7,8,11,12,16,23,24,28,30	10		15,950	
7	14,680		44,640	32.9	{ 8, 28 }	6,7,10,11,14,15,16,21	8		14,680	
8	6,950		44,640	15.6	{ 12, 31 }	11,14,21	3		6,640	

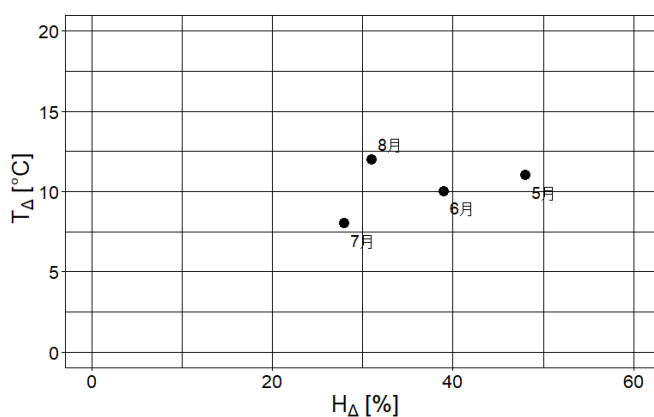


図3.  $\{T_{\Delta}^{max}, H_{\Delta}^{max}\}$  の変域



(ii) CTY のコンターマップによる表示の例 図 4a) と同 b) は  $\{T_{\Delta}, H_{\Delta}\}$  2 次元直交座標に CTY を表したコンターマップの例で、a) は 6 月、b) は 7 月である。図の右上部分の淡い黄色の個所は CTY の飽和領域  $\overline{\text{SR}}$  である。下側と左側の黄色や、黄色から赤色に変わる部分は  $T_{\Delta}$  と  $H_{\Delta}$  それぞれの減少で CTY が敏感に低下する「崖」領域に当たる。◎印はそれぞれの月の  $\{T_{\Delta}^{max}, H_{\Delta}^{max}\}$  の点である。なお、CTY の値は [%] で記載している。

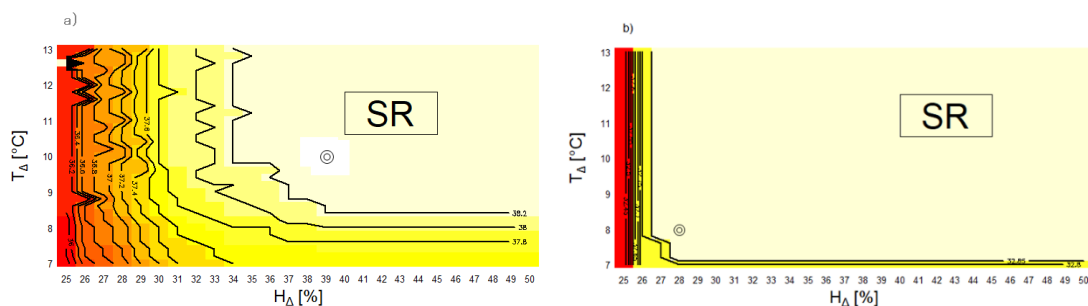


図 4. ヤマセ累積時間を表すコンターマップの例

(iii) ヤマセ出現マップ 「ヤマセ出現マップ」 (Yamase Occurrence Map) を図 5 として提案し、これを示す。これは通日 (本例では横軸、5 月 1 日 : N=121, 8 月 31 日 : N=243。) と時刻 (縦軸 : 10 分単位、1,440 [分/日]) で表す 2 次元直交座標にヤマセ吹走の検出を●単色でプロットしたものである。図中の赤色点線は 5~8 月の初日、青色点線は 8 月 31 日を表す。  $T_{\Delta}$  と  $H_{\Delta}$  の算定のための観測対象期間は 6 時間で、7 月の  $\{8^{\circ}\text{C}, 28\%\}$  を共通の制約値としていることにより、同図キャプションに (6|8|28) を付記する。

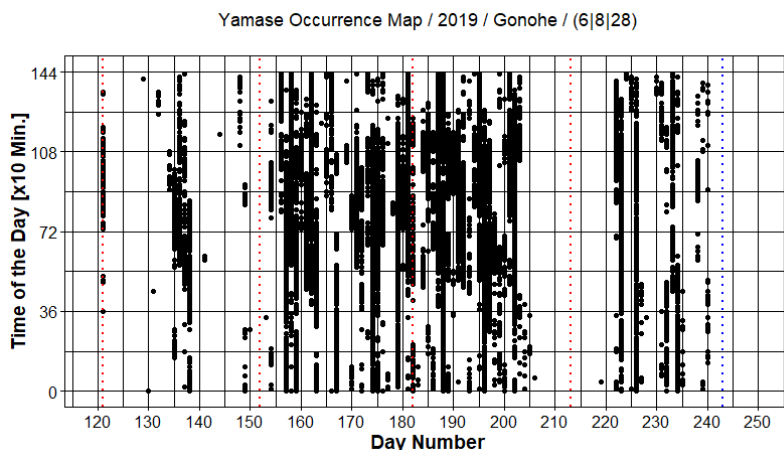


図 5. ヤマセ出現マップ (単色)

図 5 をアレンジした例として、気温とヤマセ吹走の関係を表すヤマセ出現マップを図 6 に示す。これは気温に閾値 (本例は  $18^{\circ}\text{C}$ ) を設け、ヤマセ吹走を検出した時点の気温で●を色分け表示したものである。  $18^{\circ}\text{C}$  未満を低温ヤマセ (青色)、  $18^{\circ}\text{C}$  以上を高温ヤマセ (赤色) とすると、このヤマセ出現マップ (2 色) から日付、時間の詳細やヤマセ強度の

クロ推移に関する潜在的な情報を得ることができる。以下に6点記す。

- ① 低温ヤマセは5月～7月中旬で支配的である。
- ② 高温ヤマセは5月上旬に昼間に始まり、日を追うごとに強まり、7月下旬には全日で支配的になる。
- ③ 5月上旬と同下旬ではヤマセ吹走がほとんど見られない。
- ④ 7月25日～8月上旬ではヤマセ吹走が皆無である。
- ⑤ 8月中旬～下旬で高温ヤマセが再度出現する。
- ⑥  $\{8^{\circ}\text{C}, 28\%\}$  を共通の制約値とした等価的ヤマセ吹走日は28.3[日](表1の最後の項目。)で、低/高温ヤマセの内訳はそれぞれ57.3, 42.7[%] (16.2, 12.1[日]) である。

$$(3,550 + 15,950 + 14,680 + 6,640) / (24 \times 60) \cong 28.3 \quad (2-9)$$

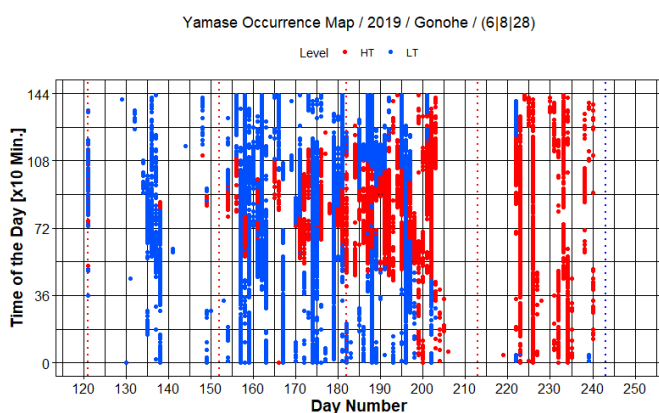


図6. ヤマセ出現マップ (2色)

### (5) まとめ

ヤマセ日判定アルゴリズムで使用する制約値  $\{T_{\Delta}^{max}, H_{\Delta}^{max}\}$  の数理的な裏付けのために、既報で提案されたアルゴリズムを継承しつつ実際の観測値を用いて求める新たな NLP アルゴリズムを提案した。次いで5～8月で共通に使うことのできる制約値の定め方を提案した。これによりヤマセ日の判定や等価的ヤマセ吹走日の数値化が容易になった。応用としてヤマセ出現マップを提案し、単色と2色の例を示した。

### c) 参考文献

- 土屋<sup>[1]</sup>, “ヤマセが太陽光／風力発電利用住宅の消費電力量に及ぼす影響”, 2019年度日本太陽エネルギー学会研究発表会, P1, (2019).
- 土屋<sup>[2]</sup>, “ヤマセ日の判定アルゴリズム (1)”, ヤマセ研究会, 平成30年度研究成果報告書, 番号4, 平成31年1月, (2019).

## 5. ヤマセ時に発生する襟裳岬沖の強風

島田照久 (弘前大学大学院理工学研究科)

### a)要旨

ヤマセに伴う東風が北日本に吹いている状況で、襟裳岬の南西に扇型の強風域が頻繁に現れる。日本の沿岸海域で発生する局地的強風としては、最大規模である。この局地的強風の発生メカニズムについて明らかにするために、2018年8月上旬に発生した事例について気象シミュレーションを行い、その解析を行った。その結果、襟裳岬の南西で発生する強風は、北太平洋亜寒帯域に分布する下層の冷気が北日本に向かって進入する過程で発生し、北海道南部の日高山脈の地形の効果が大きいことがわかった。

### b)本文

#### (1) 研究の目的

襟裳岬の周辺は、日本で有数の強風域である (NeoWins 洋上風況マップ)。このこと自体は古くから知られているが、襟裳岬周辺で発生する強風についての研究例はほとんどないのが実情である。夏季については、衛星観測などから、北日本に低温をもたらすヤマセが発達したときに、襟裳岬の南西に強風が発生することがわかっている (Shimada and Kawamura, 2007)。本研究では、気象シミュレーションデータの解析を中心に、ヤマセ発達時に発生した強風について事例研究を行い、強風の分布と構造・ヤマセに伴う下層冷気との関係を明らかにすることを目的とする。

#### (2) データと方法

衛星観測の海上風データと気象モデル WRF によるシミュレーションを用いる。襟裳岬の南西に大規模な地形性強風が発生した事例 (2018年8月上旬) の研究を行う。

#### (3) 結果

襟裳岬の南西に扇型に広がる強風域が再現され、合成開口レーダによる海上風場とよく一致した。強風の北側では風速は急速に減少し、大きな風速差が生じている。この状況の時、北海道に北東から押し寄せた下層の冷気は、日高山脈の東側でせき止められることがわかった。また、日高山脈によってせき止められた下層の冷気が南に流れ、強風形成に寄与することがわかった。日高山脈の影響を確認するために、日高山脈を滑らかに除去した地形を入力した感度実験を行なった。現実地形を用いた結果と比較すると、日高山脈がない場合は、局地的な強風が発生せず、北東からの気流はそのまま津軽海峡付近に吹き込む。つまり、日高山脈は、北東からの気流をせき止めた後、南側に向きを変えることに寄

与していると言える。

**c)参考文献**

NeoWins (洋上風況マップ) [http://app10.infoc.nedo.go.jp/Nedo\\_Webgis/top.html](http://app10.infoc.nedo.go.jp/Nedo_Webgis/top.html)

Shimada, T. and H. Kawamura, Case study of wind jet transition and localized responses of wind wave along the Pacific coast of northern Japan by synergetic use of satellite and in situ observations, J. Oceanogr., 63,953-966, 2007.

## 6. 防災科研新庄雪氷環境実験所の概要の概要

国立研究開発法人防災科学技術研究所雪氷防災研究センター 小杉健二

### a)要旨

国立研究開発法人防災科学技術研究所雪氷防災研究センター新庄雪氷環境実験所においては、降積雪の観測研究、気象の予測情報に基づく雪氷災害の発生予測に関する研究、及び降雪装置を備えた大型の低温実験施設「雪氷防災実験棟」を用いた実験研究を実施し、雪氷災害の軽減・防止に関する研究開発を推進している。本発表ではその概要を紹介する。

### b)本文

新庄雪氷環境実験所は山形県の北東部に位置し、冬季季節風の影響を受け冬季最大積雪深が平均で1.3mに及ぶ豪雪地帯にある。実験所の露場においては、積雪深や日降雪深のほか気象の定常観測が長期にわたり実施されてきた。また、雪崩等の雪氷災害の発生と関連の深い雪質の長期観測も継続されている。さらに、データの少ない山地の降積雪の変動を把握するために、積雪・気象の観測点を設置し観測を行っている。

積雪の変質過程を予測して雪崩の発生予測を行うために、積雪変質モデルの開発を行っている。また、吹雪や着雪の発生・発達と気象条件の関係を明らかにし、吹雪や着雪のハザードマップを作成する技術開発を進めている。

「雪氷防災実験棟」は-30℃まで冷却可能な大型の低温実験室の中に、降雪装置、風洞、日射装置、降雨装置、傾斜可能な実験テーブル等が備えられており、冬季に限らず降雪・積雪の環境を作り出すことが可能となっている。雪氷防災実験棟では、大学等の外部研究機関との共同研究が年間を通じ活発に行われている。

災害調査も新庄雪氷環境実験所の重要な活動である。雪崩等の災害が発生した際には現地調査を実施し、国や自治体の現場管理担当者へ災害対応について助言を行っている。また、大雪時には災害の未然防止のために管理担当者とともに現場の点検を行い、実社会の雪氷防災に協力している。

### c)参考文献

防災科学技術研究所雪氷防災研究センター要覧

## 7. 地球温暖化に伴う山岳降雪の極端化

川瀬宏明（気象庁気象研究所）

### a) 要旨

大規模アンサンブル気候変化予測データから豪雪年・少雪年を抜き出し、格子間隔 1km の地域気候モデルを用いて力学的ダウンスケーリングを行うことで、地球温暖化に伴う将来の北アルプス周辺の積雪変化を調査した。北アルプス北部の高標高域を対象に解析したところ、産業革命前に比べて気温が 4 度上昇した将来において、厳冬期の降雪量は現在よりも多くなることが分かった。また、厳冬期には現在と同等の積雪が再現された。一方、少雪年は現在と比べて大幅に積雪が減少することから、今後、北アルプスでは豪雪と少雪の極端化が懸念される。

### b) 本文

#### (1) はじめに

地球温暖化に伴い、将来の降積雪の減少が懸念されている。本州の日本海側は温暖な積雪地帯に属するため、他の地域に比べ温暖化の影響が出やすいとされる。気象庁の観測データの分析から、東日本や西日本では年最大積雪深の減少が確認されている。一方、標高 2000m を超える中部山岳域は、冬季の気温がかなり低く、温暖化による積雪への影響が小さい地域と言われている (Kawase et al. 2013; 気象庁, 2017)。日本海に面した北アルプスは、中部山岳の中でも特に積雪が多い。北アルプスは多量の積雪は、春から初夏の水資源の役割も担っている。過去の研究から、北陸地方の山沿いで発生頻度が稀な短期間の大雪が増えることが指摘されているが (Kawase et al. 2016; Sasai et al. 2019)、年間を通した豪雪を対象とした研究はなかった。また、予測に用いたモデルの分解能は 20km や 5km であり、複雑地形を有する北アルプスの気象を計算するためには、より高分解能のモデルを用いる必要がある。そこで本研究では、解像度 1km の領域気候モデルを用いて、豪雪年と少雪年における北アルプスの降雪・積雪の将来変化を調査した。

#### (2) 使用データ及び実験方法

「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)」の 20km 領域版を基に、気象庁気象研究所で開発した地域気候モデル NHRCM (Sasaki et al. 2008) 用いた 5km ダウンスケーリング (d4PDF-5kmDS) を実施した (Kawase et al. 2018; Sasai et al. 2019) (図 1 左)。d4PDF-5kmDS は、過去、2 度上昇及び 4 度上昇 (産業革命以前から) した将来を対象としており、それぞれ 372 年の計算がなされている。本研究では、1km 格子間隔の NHRCM を用いて、さらなる力学的ダウンスケーリングを実施する (d4PDF-1kmDS) (図 1 右)。ここでは、図 1 左の赤枠内の標高 1000m 以上において領域平均した年最大積雪深を基に、上位 5 年を豪雪年、下位 5 年を少雪年、中央 5 年を中央年とした。過去、

2度上昇、4度上昇のそれぞれの気候下において対象年を抽出し、1km 分解能の力学的ダウンスケーリングを実施した。

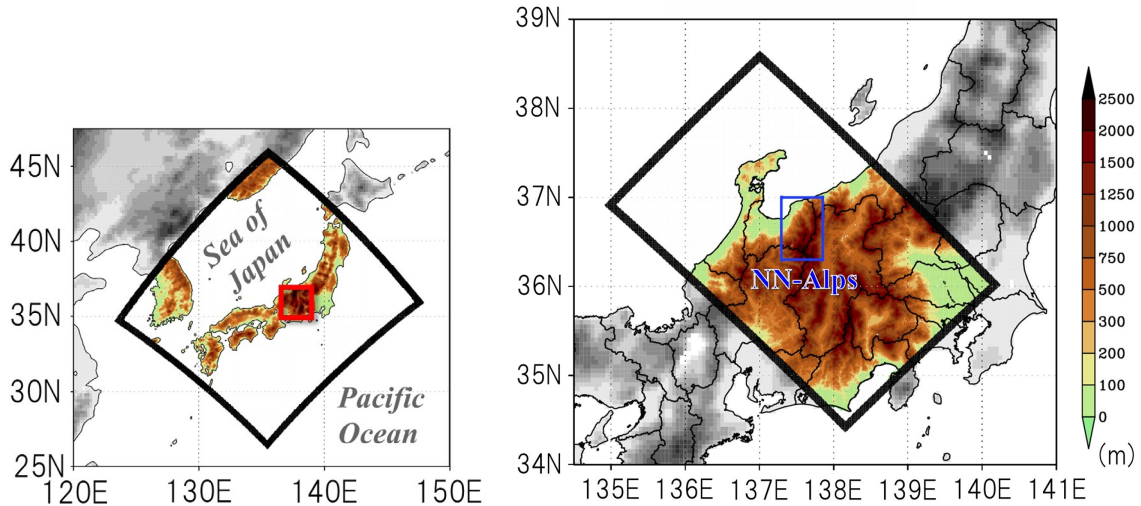


図1 計算領域と地形。(左) d4PDF-5kmDS と (右) d4PDF-1kmDS。左図の赤枠内の標高 1,000m 以上の地域で年最大積雪深を計算し、d4PDF-1kmDS の事例を選定した。右図青枠が解析対象領域の北アルプス北部の場所を示す。

### (3) 結果・考察

北アルプス北部の標高 2000m 以上の山岳域における積雪深の日々の変化を図2に示す。豪雪年は、10月から1月にかけては過去実験の積雪深が最も多く、4度上昇実験で最も少なくなった。一方、1月後半から2月にかけては、過去実験、2度上昇実験、4度上昇実験ともに、同等の積雪深が再現された。3月以降の融雪期には、再び過去実験と4度上昇実験の間で差が開いた。少雪年はいずれの時期も過去実験が最も多く、4度上昇実験では積雪量が大きく減少した。

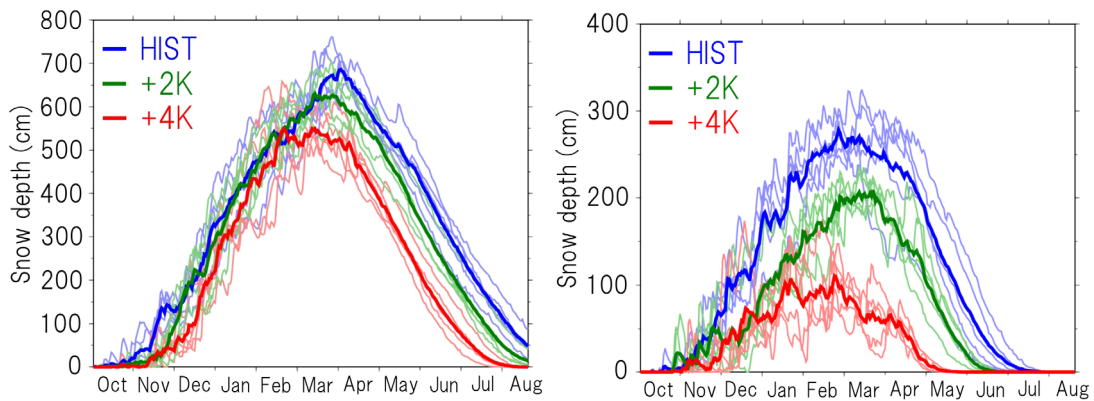


図2 日々の積雪深の変化。(左) 豪雪年と (右) 少雪年。青が過去実験、緑が2度上昇実験、赤が4度上昇実験。細線は各年の値、太線は5年平均。

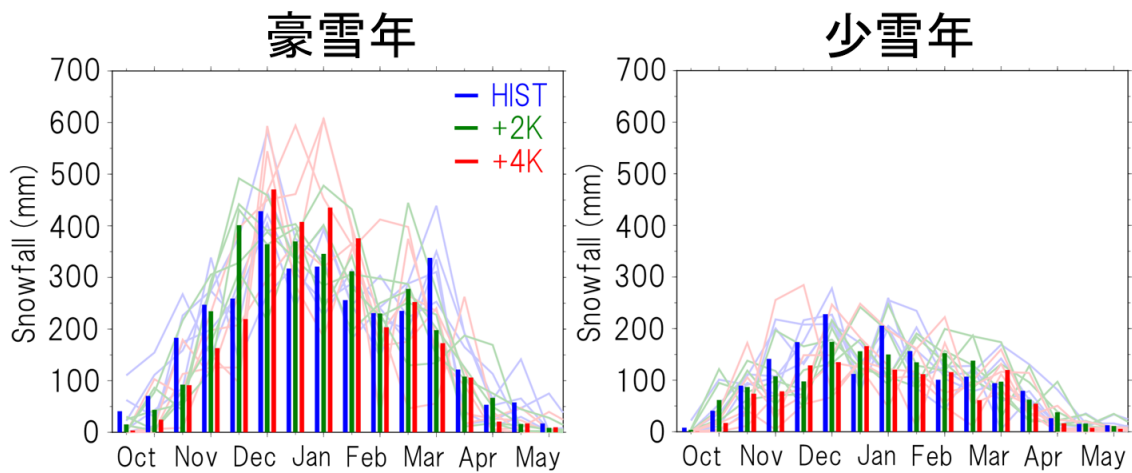


図3. 半月積算降雪量の季節変化。(左) 豪雪年と (右) 少雪年。棒グラフは5年平均、細線は各年の値。青が過去実験、緑が2度上昇実験、赤が4度上昇実験。

次に、豪雪年における半月積算降雪量の季節変化に着目する (図3)。秋から初冬にかけては、4度上昇実験で降雪量が大きく減少したが、12月下旬から2月上旬にかけては4度上昇実験が最も多くの降雪量を計算した (図3左)。一方、少雪年では一部の期間を除き、そのような傾向は見られなかった。

豪雪年と少雪年における総観場の状況を d4PDF-5kmDS を用いて調べたところ、いずれの年も北西の風が卓越する状況であったが、豪雪年はより北西風が強く、日本海側の降水量も多かった (図4上)。また、日本海には風の収束域 (日本海寒帯気団収束帯: JPCZ) 及び降水量の多い領域が見られた。

4度上昇実験と過去実験の差を図4下に示す。豪雪年においては、日本海上で帯状に降水量が増加しており、JPCZが強化した結果と考えられる (図4左下)。また、北陸や東北では山岳の日本海斜面でも降水量の増加が見られた。一方、少雪年は、多雪年とは大きく異なる変化を示した。総観場の風は南東風偏差を示しており、北西の冬季季節風の弱化を示唆している (図4右下)。それに伴って日本海側では降水量の減少も見られた。日本海では降水量が増加する海域もあるものの、豪雪年で見られたような JPCZ の強化に伴う降水量増加は見られなかった。

以上の結果から、地球温暖化が進んだ場合、北アルプス北部の高標高域では、豪雪年は現在よりも多くの雪が厳冬期に降り、現在に匹敵するほどの積雪となる一方、少雪年は現在よりも大きく積雪や降雪量が減少することが分かった。つまり、将来の北アルプスの積雪は、より豪雪と少雪に極端化されることが懸念される。豪雪年は、JPCZ の強化と地形性上昇の強化が顕著に見られ、その結果、山岳域で降雪量が増えると考えられる。



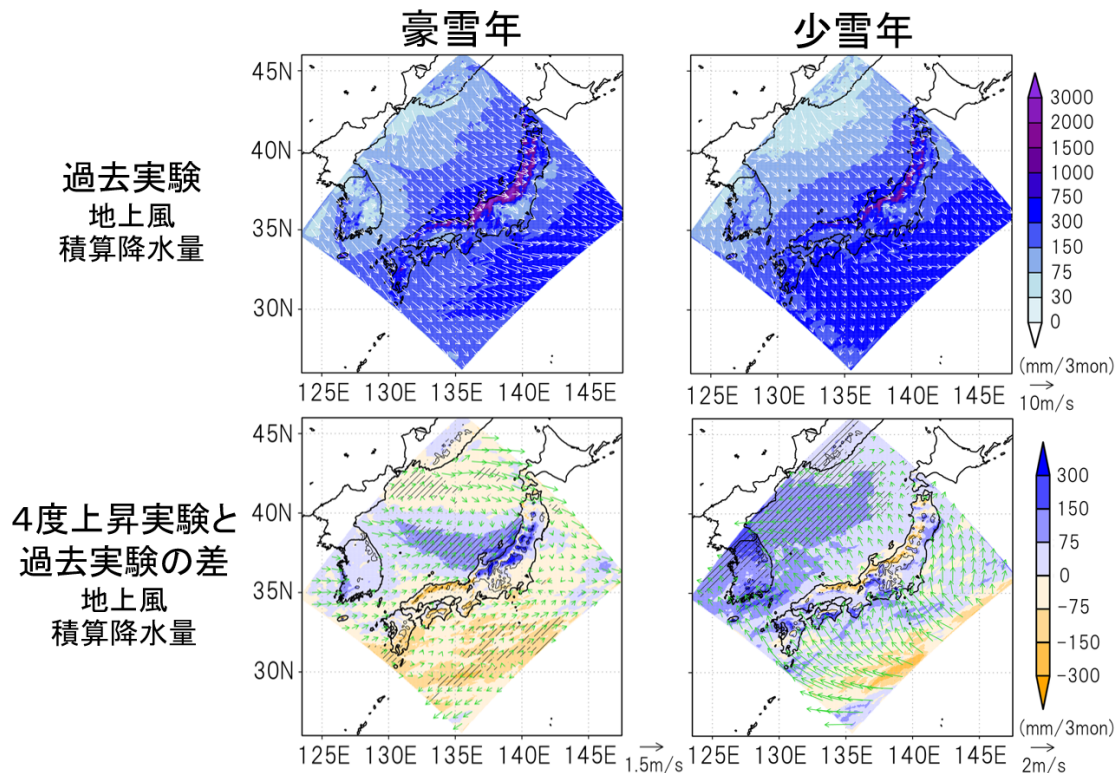


図4. 豪雪年、少雪年における総観場の合成解析。d4PDF-5kmの結果を使用している。(上)過去実験の地上風と積算降水量、(下)過去実験と4度上昇実験の差。青色は4度上昇実験で増加する地域。ハッチはU検定で有意な変化を示した場所。

#### c) 参考文献

気象庁, 2017, 地球温暖化予測情報第9巻.

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.

Kawase, H., M. Hara, T. Yoshikane, N. N. Ishizaki, F. Uno, H. Hatsushika, and F. Kimura, 2013: Altitude dependence of future snow cover changes over the Central Japan evaluated by a regional climate model. *J. Geophys. Res.*, **118**, doi:10.1002/2013JD020429.

Kawase, H., A. Murata, R. Mizuta, H. Sasaki, M. Nosaka, M. Ishii, and I. Takayabu, 2016: Enhancement of heavy daily snowfall in central Japan due to global warming as projected by large ensemble of regional climate simulations. *Climatic Change*, doi:10.1007/s10584-016-1781-3.

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.

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, accepted.

## 8. 力学ダウンスケールによる高解像度気候予測値を利用した北アルプスにおけるライチョウの潜在的生息適地評価

栗林 正俊, 尾関 雅章, 浜田 崇, 堀田 昌伸 (長野県環境保全研究所)

### a)要旨

本研究は将来のニホンライチョウの潜在的生息適地を評価する目的で、現在気候・2°C上昇時・4°C上昇時の3つの時代に関して力学的ダウンスケーリングにより中部山岳域を1km格子で計算した気候予測値をライチョウモデルの入力値に利用した。その結果、4°C上昇時にはニホンライチョウの潜在的生息適地がほぼ消失することが示されたが、高山帯は地形が急峻なので今後は100m格子で評価できるようにすることが課題である。

### b)本文

ニホンライチョウは中部山岳域にのみ隔離分布した国の天然記念物であり、絶滅危惧種にも指定されているが、低山野生動物の高山帯への侵入や地球温暖化により生息環境が脅かされている。このため、長野県は2012年から保護増殖事業に取り組んでおり、効果的な対策を進めていく上で将来気候下における生息適地を高精度に評価する必要がある。ニホンライチョウの生息適地を評価するためには、ニホンライチョウが営巣するハイマツなどの高山植生の分布をまずは評価する必要がある。高山植生の分布の支配因子の1つに積雪がある。しかし、地形が急峻で積雪の観測点が乏しい高山帯においては、将来の積雪深や積雪水量、根雪期間に関する予測情報が得ることが困難である。そこで、本研究では文部科学省の気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT)により、東北大学や気象研究所、海洋研究開発機構の研究チームが、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)の20km格子の計算結果から地域気候モデル(NHRCM)で1km格子まで力学的にダウンスケールした気候予測値(Kawase *et al.*, (under review); 山崎ら(2019))を利用して、産業革命前に対して2°C上昇時、4°C上昇時の高山植生の分布を予測し、ニホンライチョウの潜在的な生息適地を推定した。

ニホンライチョウは北アルプス、南アルプス、御嶽山、乗鞍岳、頸城山系に分布することが知られているが、本研究ではニホンライチョウの縄張りや高山植生の分布情報が比較的豊富で、先行研究(Hotta *et al.*, 2019)もある北アルプス南部を解析対象地域とした。また、d4PDFからNHRCMで1km格子にダウンスケールしたデータは、現在気候、2°C上昇時、4°C上昇時の3つの時代を対象に、1時代あたり極端な多雪年5年、標準的な積雪の年5年、極端な少雪年5年の合計15年分の計算結果があるが、今回は各時代の標準的な積雪の年を利用して評価を行った。高山植生の分布を評価するためには、気候データを地形データや植生データと同じ3次メッシュの格子に変換する必要がある。今回は格子変換の方法に直近点法を利用した。本来は地形が急峻なので、標高データを利用して気温を標高補正などの処理を施して100m格子に加工したうえで、高山植生分布を100m格子で評価する必要

があるが、100m 格子で評価するためには気候データの格子変換方法を工夫する必要があるため、今回は 1km 格子での評価とした。ライチョウモデルは、最寒月最低気温や夏季(5～9 月)の降水量、最大積雪深、根雪期間などの気候データと地形データから高山植生の分布確率を推定し、これとニホンライチョウの縄張りの分布からニホンライチョウの生息適域を評価する構造である。ただし、気候データを NHRCM で計算する際には、山岳域の積雪深を表現できるように 9 月 1 日に計算を開始し、翌年 8 月 31 日に計算を終了するデザインとなっている。よって、夏季降水量に関しては、NHRCM の 5～8 月の積算降水量に、長野県内の気象庁の観測点(AMeDAS や旧測候所、官署)において 1979～2015 年の期間で平均した 5～9 月の積算降水量の 5～8 月の積算降水量に対する比率を乗じて、5～9 月の積算降水量とした。

結果として、どの時代についてもライチョウモデルが高山植生の分布確率をきちんと表現できる事例があれば、不安定な挙動を示して異常値が発生してしまう事例もあった。高山植生の分布確率をきちんと表現できる場合は、北アルプスの稜線上に高山植生の分布確率が高い領域が広がり、これが現在気候から 2℃上昇、4℃上昇と気温が上がるに従い狭まっていく。一方、ライチョウモデルが不安定な挙動を示す場合の多くは、根雪期間が短い格子を多く含む事例に見られるので、根雪期間と高山植生の分布確率の間の評価関数に問題が発生している可能性が高い。高山植生の分布確率をきちんと表現できる事例について、ライチョウの潜在的な生息適域を評価した結果、現在気候下に比べて 2℃上昇下では生息適域が狭まり分布確率も低下するものの、生息適域は稜線上を中心に残ることが示された。しかし、4℃上昇下では生息適域がほぼ消失することも示され、将来的な温暖化を 2℃未満に抑えることがニホンライチョウを保護する上で重要であることが明らかになった。今後は、100m 格子で評価できるように、格子変換方法の高度化、統計的ダウンスケールによる 1km 格子の気温、降水量、相対湿度などの要素から積雪深や根雪期間を推定する技術の開発、北アルプス南部以外の地域にも適用可能なライチョウモデルの改良、極端な多雪年や少雪年の事例を活用した高山生態系への影響評価方法の検討など、様々な課題に取り組む必要がある。

#### c)参考文献

- Hotta, M., I. Tsuyama, K. Nakao, M. Ozeki, M. Higa, Y. Kominami, T. Hamada, T. Matsui, M. Yasuda, and N. Tanaka, 2019: Modeling future wildlife habitat suitability: serious climate change impacts on the potential distribution of the Rock Ptarmigan *Lagopus muta japonica* in Japan's northern Alps. *BMC Ecology*, **19:23**, <https://doi.org/10.1186/s12898-019-0238-8>
- Kawase, H., T. Yamazaki, S. Sugimoto, T. Sasai, R. Ito, T. Hamada, M. Kuribayashi, M. Fujita, A. Murata, M. Nosaka, H. Sasaki, (under review): Changes in extremely heavy and light snow-cover winters due to global warming over high mountainous areas in central Japan. *PEPS*.

山崎剛, 佐々井崇博, 川瀬宏明, 杉本志織, 大楽浩司, 伊東瑠衣, 佐々木秀孝, 藤田実季子,  
2019: 5km 力学的ダウンスケーリングデータセット(SI-CAT DDS5TK)の概要. シミュ  
レーション, **38**, 145-149.

## 9. 極端な高温による不作の発生に温暖化が与えた影響

吉田龍平（福島大），飯泉仁之直（農研機構）

### a)要旨

過去の収量変動に対して温暖化が与えた影響を解析した。豊作時には温暖化が収量を増加させたケース（光合成の促進）と抑制（高温障害）させたケースに別れた一方，不作時には温暖化による収量の差が明瞭ではなかった。極端な高温下では CO<sub>2</sub> の施肥効果は限定的で，収量の低下を緩和できないことが明らかになった。今後，この効果を考慮して温暖化が進んだ将来の収量変動を見積もることが必要である。

### b)本文

#### （1）はじめに

農業生産は気象の変化に敏感であり，気温や降水はその年の収量を決定する要素である。地上気象は人為起源による放射強制力の変化のほか，自然変動によっても変動している。極端な偏差は気象災害と呼ばれ，そのうち農業生産に大きな影響を与えるのは高温と干ばつである。例えば 2003 年のヨーロッパ熱波や 2006-7 年のオーストラリアの干ばつは穀物生産に大きな影響を与えた。こうした気象災害および収量の変動は温暖化が原因であると言えるだろうか。本研究は，過去の収量変動に対する温暖化の影響を明らかにする。

#### （2）方法

気象データには，観測値は CRU データ（Harris et al., 2014），計算値はバイアス補正済み d4PDF（Iizumi et al., 2018; 過去実験：ALL，非温暖化実験：NAT，いずれもアンサンブル数は 100）を用いた。対象期間は 1971-2009 年の 39 年間である。収量データは，観測値は FAO 統計値，計算値は d4PDF の ALL および NAT 実験データを作物生育モデル CYGMA に入力して得られた結果（Iizumi et al., 2017）を用いた。なお，気象の変動は解析期間である 1971-2009 年の生育期間における CRU 観測値の標準偏差を基準とした。

#### （3）結果と考察

豊作が発生した年では，ALL 実験と NAT 実験の差が正負いずれにも拡大した。これは，温暖化が好条件（CO<sub>2</sub> 施肥効果）となってさらに増収，あるいは温暖化が悪条件（高温障害）となって増収が伸び悩む両方のケースが起こりうることを示している。一方で不作年には ALL 実験と NAT 実験の差が縮小する例が多く現れた。これは不作の発生には温暖化の影響が顕著ではないことを示唆している。

一般的に，穀物収量は気温が上昇すると低下する。この傾向は本研究においても同様であり，不作の発生は気温の上昇によるものと考えられる。そこで国ベースで気温の変動に対する収量応答を検討すると，極端な高温（年々変動の 3 倍超）の発生時には ALL 実験と NAT

実験の差はなくなっていた。高温時には生育が加速し、十分な光合成が行われずに登熟することから収量の低下が発生するが、CO<sub>2</sub>の施肥効果による光合成の促進はこの影響をオフセットできないことが示唆された。本研究は過去の収量変動に対する温暖化影響を解析した。今後、将来気候において高温下のCO<sub>2</sub>施肥効果が収量へ与える影響を詳細に検討していくことが必要である。

#### c)参考文献

- Harris, I., P. D. Jones, T. J. Osborn, and D. H. Lister, 2014: Updated high-resolution grids of monthly climatic observations - the CRU TS3.10 Dataset, *Int. J. Climatol.*, **34**, 623-642.
- Iizumi, T., J. Furuya, Z. Shen, W. Kim, M. Okada, S. Fujimori, T. Hasegawa, and M. Nishimori, 2017: Responses of crop yield growth to global temperature and socioeconomic changes. *Scientific Reports*, **7**, 1-10.
- Iizumi, T., H. Shiogama, Y. Imada, N. Hanasaki, H. Takikawa, and M. Nishimori, 2018: Crop production losses associated with anthropogenic climate change for 1981-2010 compared with preindustrial levels. *Int. J. Climatol.*, **38**, 5405-5417.

## 10. APHRODITE : 冬季降水量の定量評価—内挿誤差と捕捉率の補正—

谷田貝亜紀代・増田南波 (弘前大学大学院理工学研究科)

### a) 要旨

東北地域における気象・気候情報の高度利用、温暖化影響評価の点から、APHRODITE プロジェクト成果物の利活用、増田南波の 2019 年 1 月提出修士論文研究、2020 年 2 月に実施する国際ワークショップについて講演した。

### b) 本文

#### (1) APHRODITE-2 プロジェクト

2016-2018 年度、弘前大学を代表機関として「極端降水評価と気象解析のための APHRODITE アルゴリズムの改良」(Asian Precipitation – Highly-Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation (APHRODITE) of the Extreme Events, APHRODITE-2) を実施した。アジアモンスーン地域の日界補正降水プロダクト作成のほか、日本域データの更新、モンスーンアジア気温データの更新も行った。さらに、時別(hourly)降水グリッドデータも作成し、2018 年西日本豪雨の評価も行った。

#### (2) APHRODITE-3 (弘前大学機関研究) とワークショップ

2019 年 10 月から 2 年半、弘前大学機関研究「アジア降水データ APHRODITE の改良更新と降雪過程理解への応用」が採択された。APHRODITE アルゴリズムの寒冷域について改良するほか、ひろだい白神レーダーとの併用、降雪プロセスの理解・メソモデル利用も行う予定である。弘前大学からほかに国際拠点形成事業予算を得、さらに JST さくらサイエンスの支援により、2020 年 2 月、International workshop on snow cover changes and its modeling over Northern Eurasia を弘前にて開催する。

#### (3) 増田修士論文から

降雪は重要な水資源であり、近年の地球温暖化による水資源への影響を明らかにするためにも、降雪量の定量評価は重要である。それには雨量計を基にした降水グリッドデータが適しているが、系統誤差である内挿誤差と観測誤差を含む。日降水グリッドデータ APHRO\_JP (Kamiguchi et al., 2010) を用い北日本のダムにおける水収支を評価すると、河川流入量と蒸発散量の和を約 70%しか表せず、増田 (2017), Masuda et al. (2019) による捕捉率補正を適用しても降水量を過小評価していた。本研究は北日本の降水量の定量評価を目的として、APHRO\_JP の系統誤差を非静力学気候モデルの降水量を用いて調査し、その補正を行い、補正プロダクトを作成することを目的とする。

まず気象庁非静力学領域気候モデル NHRCM (Sasaki et al., 2011) による時別降水量データ (空間解像度 2 km) から、アメダス雨量計分布を基にした日降水グリッドデータを作



成し、元の NHRCM 降水分布と比較した。その結果、APHRO\_JP 作成時に使用する JMA 作成メッシュ気候値が、雨量計が疎である山岳域の降水量を平均して 3 mm/day 以上過小評価していることがわかった。気候値を NHRCM による降水量に差し替えたところ、日降水量の系統誤差は従来の半分となった。残りの誤差の要因として、雨量計が疎である山岳域における標高増加に伴う降水量増加の割合をその季節に代表的な気候値で与えるために発生したことをつきとめ、主成分分析 (EOF 解析) を用いて降水パターンごとに内挿誤差を補正することで誤差を修正した。

その結果、日本全域における年間降水量は従来の APHRO\_JP より 18%増加して 2054 mm/year となった。また、系統誤差の北日本冬季 (12-2 月) 降水量の定量評価への気候値の変更、降水パターンごとの補正、雨量計の捕捉率補正の、各補正の寄与を明らかにした。北日本について、気候値の変更で 11%、捕捉率補正で 12%増加し、効果はほぼ同等であった。4 つのダム集水域で集計すると、気候値の変更で 18%、捕捉率補正で 7%、降水パターンごとの補正で 4%増加した。ダムごとに各補正の効果の寄与は異なり、高標高地域ほど気候値の効果が大きいことを明らかにした。

これらの補正の適用の結果、ダム集水域で水収支を調査したところ系統誤差を 1%に縮めることが出来、水収支 (降水、蒸発散量、河川流入量) を 99%説明できた。

#### c)参考文献

増田南波 (2019) 「北日本の冬季降水量の定量評価—雨量計を基にした日降水量グリッドデータの内挿誤差と捕捉率の補正—」 2018 年度弘前大学大学院理工学研究科理工学専攻地球環境学コース修士論文, 46pp.

Kamiguchi, K., O. Arakawa, A. Kitoh, A. Yatagai, A. Hamada, and N. Yasutomi, 2010: Development of APHRO\_JP, the first Japanese high-resolution daily precipitation product for more than 100 years, *Hydrological Research Letters*, **4**, 60-64.

Masuda, M., A. Yatagai, K. Kamiguchi and K. Tanaka (2019) : Daily adjustment for wind-induced precipitation undercatch of daily gridded precipitation in Japan, *Earth and Space Sciences*, **6** (8), 1469-1479 , DOI:10.1029/2019EA000659.

Sasaki, H., A. Murata, M. Hanafusa, M. Oh'izumi, and K. Kurihara, 2011: Reproducibility of present climate in a non-hydrostatic regional climate model nested within an atmosphere general circulation model. *SOLA*, **7**, 173-176, DOI: 10.2151/sola.2011-044.