

平成 28 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』

平成 29 年 5 月

ヤマセ研究会



## 目次

ヤマセ研究会 .....	5
平成 28 年度成果 .....	7
1. SI-CAT 気候変動適応技術社会実装プログラムの状況.....	11
2. 気候変動適応に関する自治体ニーズと社会実装に向けた取り組みについて .....	12
3. SI-CAT・東北大グループにおける力学的ダウンスケーリングの取り組み.....	14
4. SI-CAT で実施する 5km アンサンブル実験から分かること.....	16
5. レポート「東北地方の気候の変化」について .....	19
6. 冬の北極振動と東北地方の気候変化に関する統計的解析 .....	21
7. 秋田県横手市のカマクラの変容における気候変動の関与.....	23
8. 電力・エネルギー分野における気象データの高度利用.....	26
9. 水稲栽培の低温出現の長期変化と意思決定支援.....	29
10. ヤマセに伴う下層冷氣.....	31
11. 寒気流出解析ツールを用いたメソスケール現象の理解.....	33
12. 領域気候モデル用の湖沼水温モデル .....	35
13. NHRCM への湖沼水温予報モデルの導入 .....	40
14. 従来観測のみを用いた長期領域再解析に向けた取り組み .....	47
15. 2013 年 5 月 13 日の仙台山形の気温差について(続報) .....	49
16. 北日本への台風 4 個上陸に関連した 2016 年 8 月の大気循環場の異常.....	53
17. d4PDF のアンサンブルが見せるやませ。再現性と将来変化 .....	56
18. アンサンブル気象予測を用いた例外の品種別推定 .....	58
19. イネ葉面濡れ時間の相対湿度を用いた推定方法.....	62



## 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。研究会の基盤であった文部科学省受託研究「気候変動適応研究推進プログラム」(RECCA、2011～2015年度)の終了を受け、研究会の今後について検討した。その内容は昨年度の成果報告書である平成27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』に「ヤマセ研究会のこれから」(岩崎俊樹)として記されている。研究会の新たな目標として、気候変動・温暖化情報の高精度化と気象・気候情報の高度利用技術の開発を掲げ、継続することとした。新目標の全文は、昨年度成果報告書の冒頭に掲載されている。

新たな目標と、開催の補助を受けた文部科学省の「気候変動適応技術社会実装プログラム」(SI-CAT)に対応して、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た。

- (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

## 平成 28 年度成果

## 1.SI-CAT 気候変動適応技術社会実装プログラムの状況

山崎 剛 (東北大学)

### a)要旨

文部科学省の事業「気候変動適応技術社会実装プログラム」(SI-CAT: Social Implementation Program on Climate Change Adaptation Technology)の全体に関する概要と進捗状況を紹介する。

### b)本文

#### (1) 概要

気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT)は文部科学省の事業で、平成27年度から31年度まで実施される。平成26年度まで実施された気候変動適応推進プログラム(RECCA)の後継と位置付けられ、自治体等が行う気候変動適応策の検討・策定に汎用的に生かされるような信頼性の高い近未来の気候変動予測技術や気候変動影響の評価を可能とする技術を開発する。ニーズ・シーズ一体の開発を通じた社会実装の実現を図っていく。平成29年度の前半に中間評価が行われる。

#### (2) 体制

目的を達成するため、技術開発機関、社会実装機関、モデル自治体が選定された。技術開発機関は以下の三つの課題が掲げられている。

- ① 信頼度の高い近未来予測技術の開発
- ② 超高解像度ダウンスケーリング技術の開発
- ③ 気候変動の影響評価等技術の開発

それぞれの主管機関は課題①と②が海洋研究開発機構、課題③が国立環境研究所である。社会実装機関の主管は科学技術振興機構である。モデル自治体等として長野、岐阜、茨城、埼玉、鳥取、高知、佐賀の7団体が選定されている。

#### (3) 近未来・ダウンスケールの課題

課題①は、2030年から2050年ころをターゲットとした水平解像度20kmの全国を対象とする近未来予測を実施する。平成28年度は全国版2°C上昇時の20km予測データのおよそ9割が作成された。

課題②は統計的ダウンスケーリングにより水平解像度1kmの確率情報を付加した全国を対象とした気候シナリオを作成する。さらに、モデル自治体等を対象として、地域特性を考慮した力学的ダウンスケーリングを実施する。平成28年度は、統計的ダウンスケーリングは整備に向けた排出シナリオ、期間、手法などの仕様を決定した。力学的ダウンスケーリングの進捗状況は、佐々井および川瀬の報告を参照されたい。

2. 気候変動適応に関する自治体ニーズと社会実装に向けた取り組みについて  
 田中 博春（法政大学地域研究センター）

**a)要旨**

文部科学省気候変動適応技術社会実装プログラム（SI-CAT）の概要と、SI-CAT 社会実装機関としての法政大学の取り組み、すなわち気候変化予測に資する自治体のニーズ調査と、地域における気候変動適応策の円滑な導入に向けた支援について報告した。

**b)本文**

(1) 気候変動適応技術社会実装プログラム（SI-CAT）の概要

気候変動適応技術社会実装プログラム（SI-CAT）は、現在実施中の文部科学省の気候変動適応プロジェクトであり、実施期間は2015～19年度である。SI-CATの実施体制を図1に示す。SI-CATでは、気候変動適応策の検討・策定に貢献する技術として、技術開発機関が1) 2030年頃を対象とした信頼度の高い近未来予測技術、2) 超高解像度のダウンスケール技術、3) 適応策の効果を評価する技術等、を開発する。また社会実装機関は、適応技術の開発に資する自治体ニーズの収集分析や、開発した適応技術の自治体への普及支援等を行う。SI-CATの目標は、開発した適応技術が7以上の自治体において、社会実装されることにある。

(2) SI-CAT 社会実装機関としての法政大学の取り組み

SI-CAT 社会実装機関に所属する法政大学の取り組みとして下記2件を紹介する。

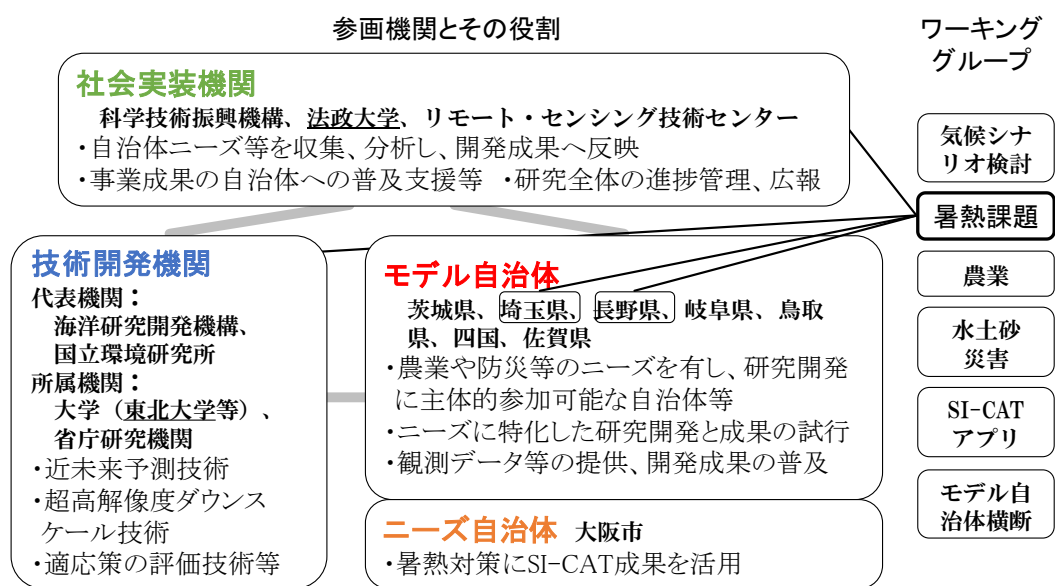
(i) 気候変化予測に資する自治体のニーズ調査

2015年度末に、日本全国の都道府県、政令指定都市、中核市、施行時特例市等の環境部局職員に対して郵送による質問票調査を実施した（有効回答数123件）。質問の内容は、気候変動の影響に対する認識や適応計画の策定状況、今後の計画策定に向けた課題や期待する支援事項等についてである。結果の速報版を法政大学作成の2015年度版「地域適応白書」（法政大学地域研究センター、2016）に、完成版を法政大学の2015年度研究成果報告書（法政大学、2016）に掲載した。

また、上記質問紙調査にて特徴的な回答が寄せられた21自治体等を対象とした訪問調査を2016年度夏期に実施した。調査項目は、気候変動適応に向けた取り組みや気候変化予測に関する

ニーズなど  
 訪問主に  
 体の部局  
 り、で他  
 や自の研  
 究、CAT  
 機関席を  
 た。本  
 では、  
 CAT  
 リに

気候変動適応技術社会実装プログラム（SI-CAT）



ズな  
 ある。  
 先は  
 自治  
 環境  
 であ  
 一部  
 部局  
 自治  
 体研  
 究機  
 SI-  
 研究  
 に同  
 頂い  
 調査  
 SI-  
 アプ  
 関す

図1 気候変動技術社会実装プログラム（SI-CAT）の参画機関とその役割、分野別ワーキンググループ（WG）の関係図。分野別WGについては、暑熱課題WG参画機関の例。SI-CAT プロシージャ掲載図を基に作成



る聞き取り調査を合わせて行った。SI-CAT アプリとは、SI-CAT で開発された技術や成果を全国の自治体や企業で容易に利用できるようにするためのツールであり、各種影響評価データや適応策の実施効果を表示するウェブアプリケーションとしての提供を予定している。本調査では、SI-CAT アプリの概要や画面表示イメージを提示したうえで、十数件の設問に対する回答を得た。収集した SI-CAT アプリに関する自治体ニーズ 702 件を SI-CAT アプリのワーキンググループ（以下、WG と略）に提供した。SI-CAT アプリ WG では、個々のニーズへの対応の可否や対応の分担先、アプリへの実装時期などについての検討を行った。

以上の気候変化予測に資する自治体ニーズ調査の結果は、自治体向けには、2016 年 8 月に法政大学で開催した「適応自治体フォーラム」等の会合等で、SI-CAT 技術開発機関宛には、農業、暑熱課題、SI-CAT アプリなどの各種 WG 等で報告した。

（ii）地域における気候変動適応策の円滑な導入に向けた支援

地域における気候変動適応策の社会実装に向け、主に以下 3 件の内容を実施した。1) SI-CAT におけるワークグループとワークショップの主催、2) モデル自治体内の行政と研究機関の会合開催支援、3) 地域適応シナリオ作り支援、および地域住民による適応行動調査である。

1) について、SI-CAT では、分野別または分野横断の WG が 6 件設置されており、適応技術の社会実装に向けた議論が行われている。法政大学は、農業 WG とモデル自治体横断 WG を主催し、暑熱課題 WG の開催に積極的に関与した。2016 年 8 月には、自治体と SI-CAT 技術開発機関がワークショップ形式で意見交換等を行う「適応自治体フォーラム」を開催した。モデル自治体以外に 16 自治体から参加頂き、5 つの分科会で「自治体の適応計画立案に役立つ技術開発とは」をテーマに議論を行った。

2) について、農業分野においては、モデル自治体長野県内の農業分野の会合の開催支援を行った。長野県環境部は、2016 年 10 月に「信州・気候変動適応プラットフォーム」を設立し、2017 年 2 月にその農業部会の第 1 回会合を開催した。第 1～4 回会合の主な内容は、長野県農政部、農業関係試験場宛に、SI-CAT 農業分野の技術シーズを伝えることにある。長野県の農業分野のニーズに合わせた SI-CAT 技術シーズのマッチングや、会合開催に向けた SI-CAT 側の調整作業等を実施した。

3) について、モデル自治体岐阜県においては、モデル自治体付きの研究機関である岐阜大学と連携し、地域の主要なステークホルダーへのヒアリングを実施した。その結果を受け、気候変動への適応に向けた地域シナリオ作成の支援を行う予定である。また、長野県下伊那郡高森町の特産品である干し柿「市田柿」への気候変動影響調査や、北海道北見地域に急速に普及気候変動適応技術「雪踏み」に関する訪問調査などを実施した。

### c)参考文献

法政大学地域研究センター，2016：2015 年度版地域の気候変動適応白書－社会実装の推進に向けて－，34pp.

法政大学，2016：平成 27(2015)年度「気候変動適応技術社会実装プログラムにおける社会実装の着実な推進」法政大学委託業務研究成果報告書，122pp.

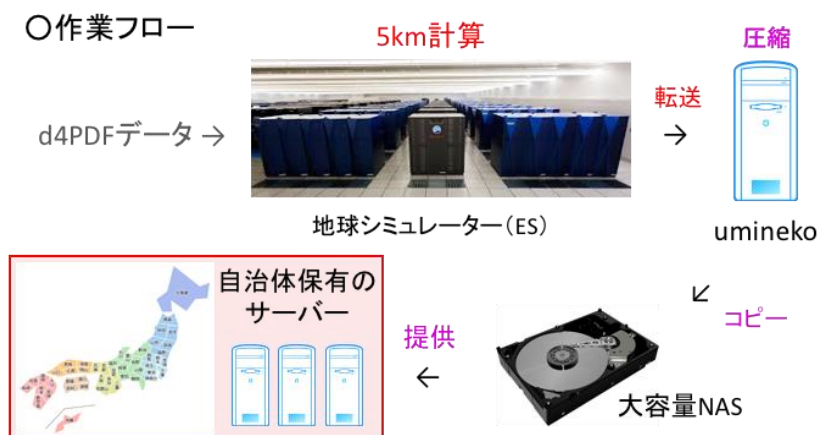
### 3.SI-CAT・東北大グループにおける力学ダウンスケーリングの取り組み 佐々井 崇博（東北大学）

#### a)要旨

文部科学省の事業「気候変動適応技術社会実装プログラム」(SI-CAT: Social Implementation Program on Climate Change Adaptation Technology)、力学ダウンスケーリング課題の東北大学グループが取り組んでいる今年度の活動内容と進捗状況を紹介した。主な活動内容として、自治体ニーズをもとにダウンスケーリングの関係者と協議して長野県生態系グループが要望する積雪データを主に担当することとなったことを踏まえ、力学的ダウンスケーリングの方針、課題に関する整理を行なった上で、近未来の気候変動予測結果を用いた非静力学モデルによる水平 5km レベルの超高解像度ダウンスケールシミュレーションを実施した。

#### b)本文

モデル自治体（長野県、岐阜県、高知県、埼玉県）との合意事項を元に、近未来の気候変動予測結果(d4PDF データ)を用いて、気象庁気象研究所が開発した非静力学地域気候モデル (Nonhydrostatic Regional Climate Model: NHRCM) による水平 5km レベルの超高解像度ダウンスケールシミュレーションを行った。今年度は大規模計算の初年度にあたり、地球シミュレーター（以下、ES）の利用登録などを含む資源利用に関する準備作業や力学ダウンスケーリングのエンジニアリング的な準備作業、モデル自治体（特に、長野県）のニーズと計算コストのバランスを考慮した計算領域の選定などを行うことで、5km アンサンブル計算から自治体へのデータ提供までのフローを構築した（図1）。



大規模計算に関する具体的な作業は、①試計算による計算資源の見積もり（複数のモデルセッティングによる1ステップ計算当たりの資源消費量の把握、5km 解像度計算の領域選定）（図2）、②領域力学モデルのセッティング作業全般（複数のプロセスを切り替えてのES計算速度のチェック、計算結果や計算資源のスペックについて防災科研スパコンとの比較）、③大容量データのサーバー間転送（JAMSTEC 内にあるサーバーへのデータ格納を目的とし、自動転送シェルの作成やサーバー間の自動転送方法の確認、ストレージ容量とのバランスを考慮したデータ圧縮形式の選定など）、④ESの動かし方に関するESサポートとの確認（ジョブの大量投入に伴うエンジニアリング的な確認作業全般、領域力学モデルの大規模計算に合わせた機能拡張のやりとり）、⑤ES から自治体（長野県）までのデータフローの確認作業、および来年度以降の作業に向けた協議（ストレージと必要なデータ容量の確認、データ転送速度の見積もり、データ受け渡しに関するフォーマットの確認、1km 解像度計算の領域選定など）である（図2）。一連の計算準備作業は、ESで作業するユーザー間で情報共有しながら、ダウンスケーリング計算アプローチの手順決定を慎重に執り行った。

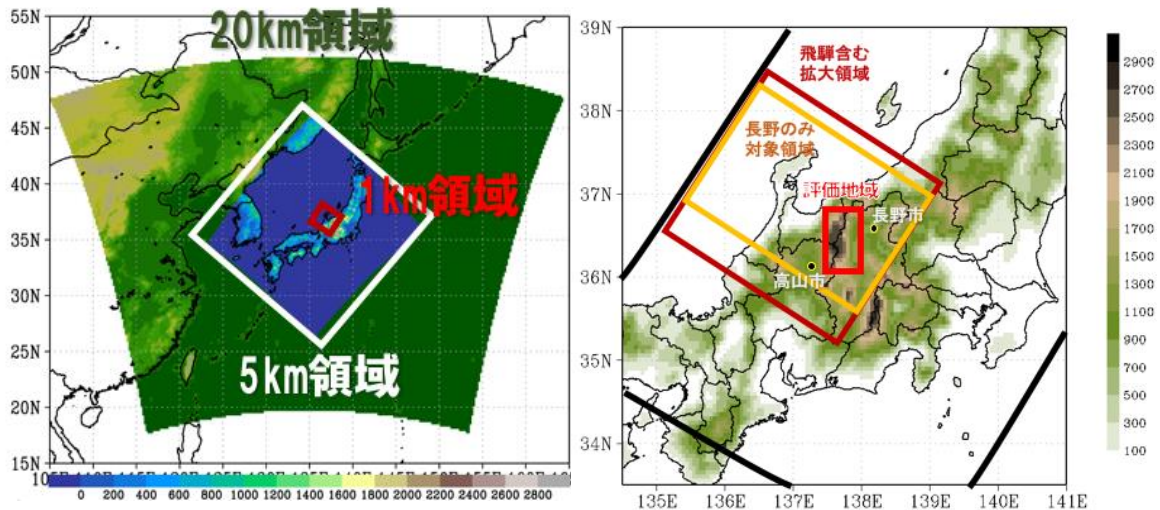


図2 ダウンスケーリング全体の計算領域（左）、および1km解像度計算の計算領域（右）

次に、温暖化適応策を検討できる時間スケールでの予測実験を行うため、現在気候の計算を実施した。自治体のニーズをもとに、近未来に気温が $2^{\circ}\text{C}$ （もしくは、 $4^{\circ}\text{C}$ ）程度上昇することを想定し、d4PDFデータを用いて領域気象モデルによる5kmダウンスケーリングの現在実験を実施した。現在実験は、d4PDFの現在気候20km解像度のデータを5km解像度へダウンスケーリングする作業であり、31年分を1メンバーとして6メンバー、約180年分計算を完了することができた。計算作業では、1)本計算前に地形ファイルや境界値の作成処理を行う。2)15日分を1ステップとしてモデルをリスタート計算させる形でESへ連続でジョブ投入する。1年分を13ヶ月分として26ステップを連続的に投入するシェル群を作成し、複数年分のシェルを同時並行で実行した。3)ES内で割り当てられている計算資源量とストレージ容量を念頭に、使用資源率とストレージ使用率を監視しながら計算作業を繰り返した。4)出力データ、リスタート用データ、ログの3ファイル群をJAMSTEC内のサーバーへ自動転送した。本データ転送を確実な作業にするため、手動での確認作業も行なった。

5kmダウンスケーリングの計算結果（気温、降水量、および海面気圧）を20km解像度のd4PDFと比較し、両者の整合性を確認した。また、協議決定された作業フローに従い、5km解像度の各出力ファイル（地上大気データ、熱力学関連2次元データ、大気3次元気圧面データ）を圧縮フォーマットに変換するための計算スクリプトを編集・完成させた。なお、データ圧縮作業については、順次実施している。

#### 4.SI-CAT で実施する 5km アンサンブル実験から分かること

川瀬宏明 (気象庁気象研究所 環境・応用気象研究部)

##### 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)」をもとに、5 km 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を実施している。計算が終了した実験結果を解析し、気温の頻度分布や強い降雪の出現特性などを調査した。長野と岐阜における1月と8月の最高気温の頻度分布を調べたところ、d4PDFの20km格子間隔の実験ではいずれの地点にも明瞭な低温バイアスがあったが、5km格子間隔の実験では低温バイアスが軽減した。一方、極端に強い降雪に関して日本の各地点において合成解析を行ったところ、地点に応じて南岸低気圧型や冬型などの特徴的な総観場が現れた。特に長野県では、近傍点であっても大雪が降るときのメカニズムが大きく異なることが分かった。

##### b)本文

気候変動適応技術社会実装プログラム (SI-CAT) の一環で、「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)」を境界値とした5 km 格子間隔の力学的ダウンスケーリングを実施している。領域大気モデルには気象研究所で開発された非静力学地域気候モデル (NHRCM) を用い、対象は過去実験の1980年~2010年までの31年間である。本研究はSI-CATのモデル自治体である長野県と岐阜県とともに行っており、計算領域は中部地方を中心に東北北部から九州まで含まれる。ここでは計算が終了した6メンバー (最大186年) を用いた初期解析の結果を示す。

図1にd4PDF (格子間隔20kmのNHRCM, 以後20kmNHRCM) と格子間隔5kmのNHRCM (以後、5kmNHRCM) で計算された1月の最高気温の頻度分布を示す。左図が補正なし、右図がPiani et al. (2010)の補正を施した結果である。長野・岐阜ともに20kmNHRCMには低温バイアスがあったが、5kmNHRCMではこの低温バイアスが改善された。一方、バイアス補正を施すと、20kmNHRCM, 5kmNHRCMともに観測の頻度分布に近づいた。ただ、岐阜の20kmNHRCMについては、補正前の頻度分布の形が観測と大きく異なっていたため、補正後も頻度分布の形が観測とずれていた。

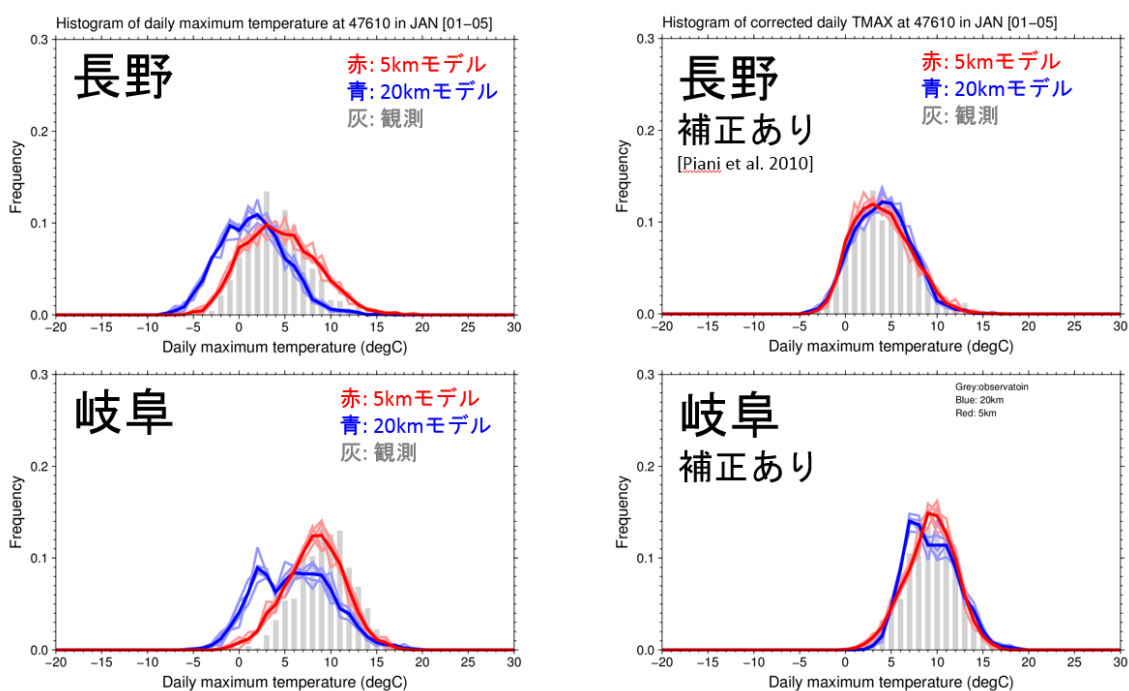


図1 現在気候における長野と岐阜の1月の最高気温の頻度分布。赤線がNHRCM05、青線がNHRCM20。細線が各メンバー(31年)、太線が5メンバー(155年)の平均値。灰色棒グラフは観測値。

次に、長野県で発生する強い降雪に着目した解析を行った。Kawase et al. (2016)では、d4PDFのデータを解析し、現在10年に1度の頻度で発生する強い日降雪が、将来、中部地方の内陸部で増加する可能性があることを指摘した。しかし、20kmNHRCMは中部山岳の複雑な地形を十分に解像することができず、長野県内の詳細な降雪や積雪分布を再現することはできていなかった。一方、5kmNHRCMでは北アルプスや長野盆地などの地形の再現性が良くなり、それに応じた積雪量の違いが再現可能となった。そこで、長野県の3地点（野沢温泉、長野、松本）において極端に強い日降雪が発生した事例を抽出し、その時の大気場を調査した（表1）。山沿いの野沢温泉で極端に強い降雪が発生する時は、上位20事例すべてが冬型の気圧配置であった。松本ではすべて南岸低気圧が関連した事例であった。長野では南岸低気圧の事例が多かったが、冬型の事例も4事例あった。いずれの地点においても、冬型や南岸低気圧に加えて日本海低気圧やJPCZなどの複合要因で強い降雪が発生した事例が数事例あった。

表1 長野県内の3地点における日降雪量上位20事例の発生要因。全6メンバー（186冬季）を対象。複数の要因が関連する場合は重複でカウントしている。JPCZは日本海寒帯気団収束帯（Japan sea Polar air mass Convergence Zone）の略称。

	冬型	JPCZ	日本海低気圧	南岸低気圧	前線
野沢温泉	20	8	2	0	2
長野	4	0	5	14	0
松本	0	0	2	20	0

一方、東京や仙台において大雪が発生するのは、南岸低気圧が通過する時である。これらの地点の降雪上位20事例の海面更正気圧と降雨量、降雪量を合成した結果を図2に示す。東京で大雪となる際には、関東の南に低圧部がみられ、房総半島や茨城県の東部を除いて関東平野の広い範囲で大雪となった。仙台で大雪となる場合は、関東付近に低圧部があり、関東平野は雨、東北の太平洋側や甲信地方で大雪となっていた。

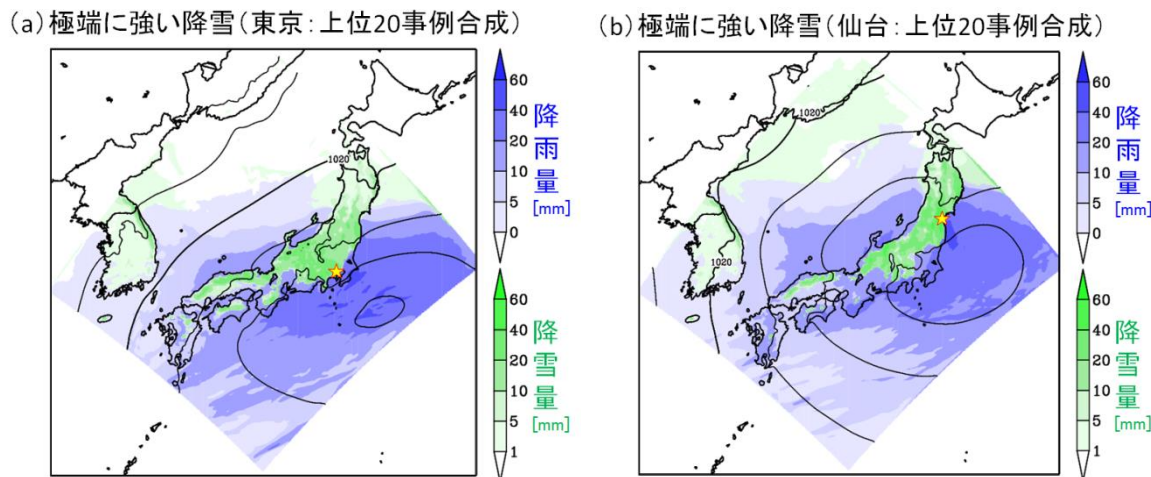


図2 極端に強い日降雪上位20事例の合成図。コンターは気圧、青色は降雨量、緑色は降雪量を示す。降雪と降雨が混在する場合、50%を超えたものを色付けしている。

今後、5kmNHRCMの計算をさらに進め、アンサンブル数を増やす予定である。また、将来予測実験も行い、極端な降雪や降雨、高温、低温などの将来変化を明らかにしていきたい。

### c) 参考文献

Piani, C., G. P. Weedon, M. Best, S. M. Gomes, P. Viterbo, S. Hagemann, and J. O. Haerter, 2010: Statistical bias correction of global simulated daily precipitation and temperature for the application of hydrological models. *J.*

*Hydrol.*, 395, 199–215, doi:10.1016/j.jhydrol.2010.10.024.  
Kawase, H., A. Murata, R. Mizuta, H. Sasaki, M. Nosaka, 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.

## 5 レポート「東北地方の気候の変化」について 渊上隆雄（仙台湾区気象台 気象防災部 地球環境・海洋課）

### a)要旨

仙台湾区気象台は2016年12月にレポート「東北地方の気候の変化」を更新した。これに記載された東北地方における長期的な気温の上昇や短時間強雨の増加傾向は、全国的な特徴及び将来気候のシミュレーション結果との整合から地球温暖化の影響が現れている可能性がある。

### b)本文

#### (1) はじめに

2011年11月に公開された「東北地方の気候の変化」は、東北地方の長年にわたる観測記録を中心に、気温、雨、雪、サクラの開花時期などの気象現象や海流、海面水温などの海洋の現象の長期変化を調査した結果や、将来気候の予測をまとめたものである。その後5年を経て2016年12月に、最新のデータによって記述を更新すると共に、「IPCC 第5次評価報告書」（IPCC, 2013）や「異常気象レポート 2014」（気象庁, 2015）における最新の知見を追加した。この中に掲載した仙台湾区気象台による主な調査結果について紹介する。

#### (2) 主な調査結果

##### (i) 観測値による長期変化傾向

東北地方の年平均気温（青森、秋田、宮古、石巻、山形、福島それぞれの年平均気温の1981～2010年平均からの差の平均値）は1890～2015年において、100年あたり1.2℃の割合で上昇している（図略）。東北地方のアメダス164地点による、短時間強雨（1時間降水量50mm以上の非常に激しい雨）の年間発生回数には、1979～2015年において増加傾向が現れている（図1）。ただし、アメダスの観測期間は比較的短いことから、長期変化傾向を確実に捉えるためには、今後の更なるデータ蓄積が必要である。

##### (ii) シミュレーション結果から見た東北地方の将来の気候変化

気象庁による温室効果ガス排出シナリオ（SRES A1B）に基づいたシミュレーション結果（気象庁, 2013）について、東北地方における現在気候（1980～1999年の20年平均値）に対する将来気候（2076～2095年の20年平均値）の変化を解析した。その結果、東北地方では概ね3℃程度の年平均気温の上昇が見られ（図略）、1時間降水量50mm以上の年間発生回数では、現在気候の年々変動の標準偏差を超える明確な増加が見られた（図2）。

#### (3) まとめ

東北地方の気温は長期的に上昇している。これまでの変化傾向は100年あたり1.2℃だが、シミュレーション結果からは、今世紀末までのおよそ100年で3℃程度の上昇が予測されており、今後更なる気候の変化が起こる可能性を示している。

また、1時間降水量50mm以上の非常に激しい雨の発生回数にも増加傾向が現れており、気温の上昇傾向と共に、全国的な特徴及びシミュレーション結果との整合から地球温暖化の影響が現れている可能性がある。

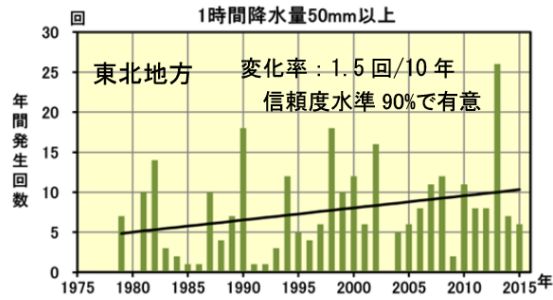


図1 東北地方の1時間降水量50mm以上の年間回数の推移(1979~2015年)  
東北地方のアメダス164地点のデータから集計した1時間降水量50mm以上の年間発生回数。直線は長期変化傾向を表す。

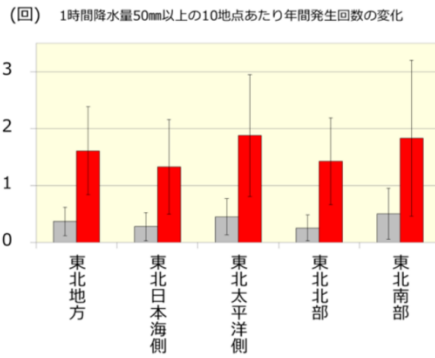


図2 東北地方における1時間降水量50mm以上の10地点あたりの年間発生回数の変化  
赤棒は将来気候、灰棒は現在気候の値。細線はそれぞれにおける年々変動の標準偏差。温室効果ガス排出シナリオ(SRES A1B)に基づき気象庁の気候予測モデルで将来気候(2076-2095年平均)と現在気候(1980~1999年平均)の値を計算。

### c)参考文献

- 気象庁, 2013: 地球温暖化予測情報第8巻.
- 気象庁, 2015: 異常気象レポート2014.
- 仙台管区气象台, 2016: 東北地方の気候の変化(第2版).
- IPCC, 2013: IPCC第5次評価報告書.



6.冬の北極振動と東北地方の気候変化に関する統計的解析  
 工藤千明, 阿部真治 (仙台管区気象台・秋田地方気象台)

a)要旨

冬の北極振動指数(冬 A0)と東北地方の気温の関係について、統計的手法により解析した。結果、1989年の気候ジャンプ後は東北各地域の冬平均気温偏差と冬 A0 に有意な正の相関がみられ、両者の変動パターンの相似性も高かった。よって冬 A0 は東北地方の気候の変化に大きく関連しているということが改めて確認された。

b)本文

(1) はじめに

山崎(2007)は、冬 A0 と日本の気温には有意な正の相関があり、地球温暖化に伴い A0 指数は正のトレンドをもつ可能性が高いとしている。また、竹川(1999)は東北地方の平均気温には1989年頃に気候ジャンプがみられたとしている。

そこで、気候ジャンプ前後に着目し、東北地方の各地方細分\*<sup>1</sup>における気候の変化と冬 A0 との関連を改めて調査・整理した。

\*<sup>1</sup> 北部・南部、日本海側・太平洋側に分類(気象観測統計指針に準ずる)

(2) データと方法

対象期間は1958/1959年～2015/2016年。使用データは、冬 A0 東北地方の地域平均冬平均気温偏差(以下、気温偏差)、地域平均冬平均降水量比(以下、降水量比)で、全て12月～2月の月別値の3ヶ月平均を用いた。相関係数算出、トレンド解析については Spearman の順位相関係数及び無相関検定を行った。このとき有意水準 5%とした(本調査全てに適用)。気候ジャンプの判定には、①Welch の t 検定で有意差あり②効果量の 95%信頼区間に 0 は含まれない③検定力 $\geq 0.8$ 、の条件を用いた。極端な値の算出には箱ひげ図による外れ値を用い、冬 A0 はフーリエ解析によって周期分析した。

(3) 結果

調査期間において全ての地域で気温偏差は有意な正のトレンドがみられた。気温の気候ジャンプが検出されたのは1989年頃で、気候ジャンプ以前の期間は、気温偏差と冬 A0 に有意な相関がみられなかった。一方で、気候ジャンプ後は、全ての地域で有意な正の相関がみられた(図1)。冬 A0 はフーリエ解析では卓越周期が8年と解析され、気候ジャンプ後は気温偏差と冬 A0 の変動パターンの相似性も高い(図2)。このことから気候ジャンプによって気温と A0 の関係が強まった可能性が示唆される。

今後は冬 A0 の変動が東北地方の気候変化を捉えるシグナルとして資するものであるか否か、データの推移に注目すると共に、東北以外の地域にも調査範囲を広げる予定である。

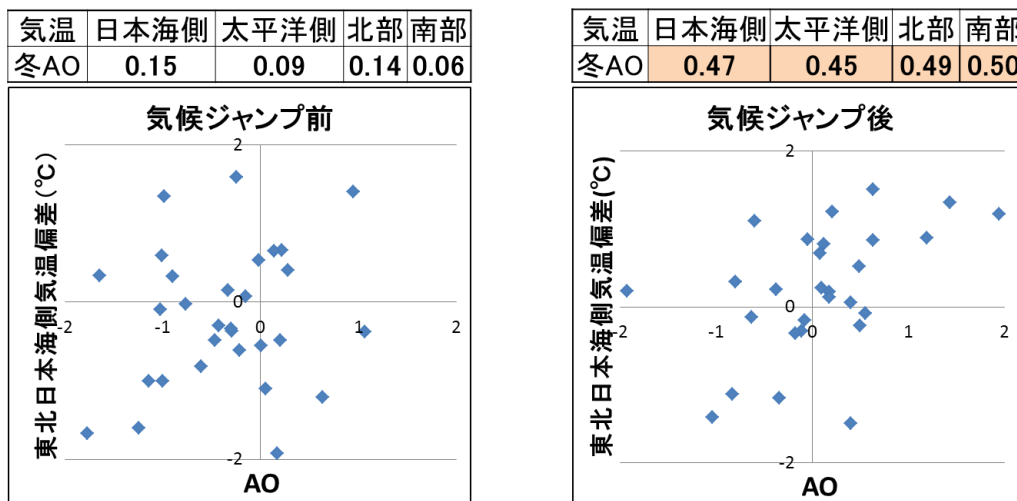


図1 気候ジャンプ前後の冬 A0 と気温平年差の相関係数と散布図

(ハッチ部は相関係数が有意) ※気温平年差は長期変化傾向によりデトレンド

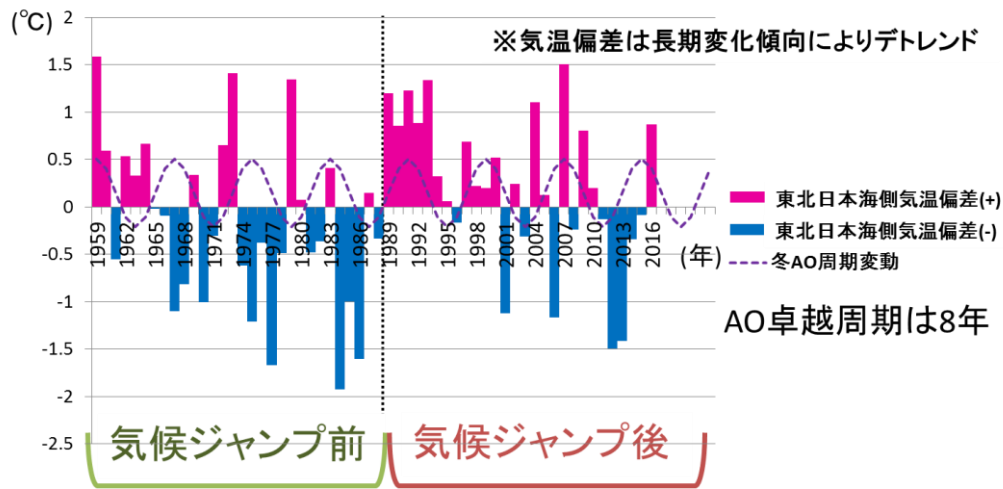


図2 冬 AO 周期変動と東北日本海側気温偏差時系列

### c)参考文献

- 竹川元章, 1999: 東北地方の気候変動. 東北技術だより, Vol. 16, No. 4.
- 田中博, 2009: 異常気象をもたらすと北極振動の力学. てんきすと, 第 56 号.
- 山崎孝治, 2007: 北極振動と日本の気候. 低温科学, 65 巻.

## 7.秋田県横手市のカマクラの変容における気候変動の関与－風土の視点から－ 木村浩巳（法政大学）

### a)要旨

気候変動下において、気候風土に密接な地域文化への影響が懸念されている。雪中行事を事例として、風土の視点から変容過程の解明に迫る。

### b)本文

#### (1) 研究の背景と視点

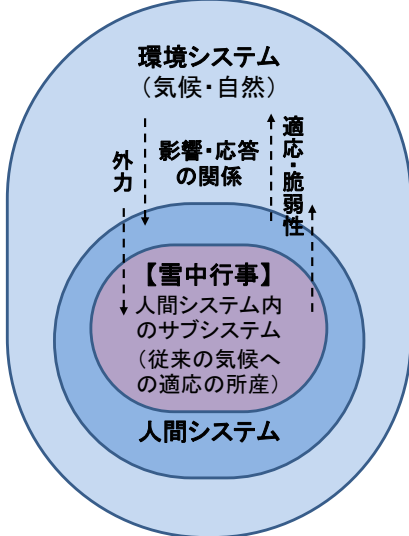
気候変動に関する研究は、人文科学の領域でも広がりが見られるようになっており、文化にも関心が向けられている。海外では一定の知見の蓄積があり、文化は既に AR4 で取り上げられ、AR5 でその影響評価が行われている (IPCC WG II、2007・2014)。一方、日本国内においても、気候風土に立脚した生業、行事、景観等の地域文化が各地に現存していることから、気候変動影響の知見の集積や影響評価が期待されている (環境省、2008)。しかし、その成果はいまだ乏しい状況にある。

これらの地域文化は気候や自然と人間の暮らしとの調和的所産の様式であり (安田、2011)、それ自体がまた環境中の資源、アメニティ要素 (吉野・福岡、2003) となって地域の環境を特徴づけるという相互性を持っている。また、文化は時間軸が長く、中長期的な変化も伴うため、影響の知覚さえ動態的となる点で可変的である。すなわち、相互性に関して固定的構造と可変的構造の両側面を持っている。このため、地域文化に顕在化した影響が短期的に従来的調和の様式の乱れ (結果的脆弱性) に見えたとしても、中長期的には新たな調和の様式 (適応) に構造化される可能性さえある (木村・福岡、2016)。この点で文化を対象とする研究においては、生命や財産等を影響の対象とする研究とは異なり、現在を基準とした一時的な影響事象のみをもって危害やリスクへと一方向的に定めることは必ずしも適切ではない。このような点で影響評価の基盤的概念枠組として CIVA (Climate Impacts Vulnerability Adaptation) のみに依拠することには限界があり、別の概念枠組を用意する必要がある。

WG II AR5 では、文化を対象とした研究の方法論として全体論的アプローチの実績を紹介している (IPCC WG II、2014)。A. ベルクが提唱する風土学もこの類に入る。ベルクの風土学は、現象学をベースとし、環境 (自然) と社会 (人間) との関係性を説明するものである (ベルク、1994・2011)。環境と社会との関係性という風土の定義は、一見すると二元論的ではあるが、ベルクは「通態」という概念を編み出して環境と社会の境界の曖昧性を指摘することに成功し (木村・福岡、2016)、風土学を全体論的に仕上げている (ベルク、2002)。

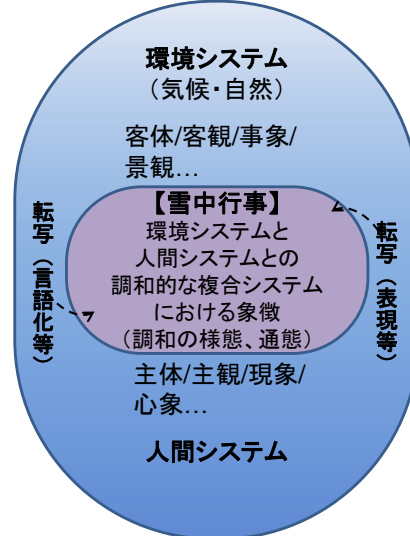
本稿においては、地域文化を対象とした影響評価に向けて、CIVA の二元論を留保しつつ、ベルクの風土学の構図を用いて事例の検討を行う。

CIVA (Climate Impact, Vulnerability, Adaptation)  
:二元論的



・従来の気候への適応の所産として雪中行事がある。  
・気候変動により雪中行事に影響が及ぶ⇒適応策を講じる。

風土(ある社会の自然との関係)  
:通態的



・気候と人間の相互関係で調和の様態が更新されていく  
(「風土」「通態」:O.ベルク、図:筆者)

図1 CIVAと風土の視点

(2) 具体的な検討課題と調査概要

本稿では地域文化の事例として雪中行事を取り上げた。

東北地方は、その大半が豪雪地帯に指定されており、日本海側には、鳥追い、カマクラ等地域の伝統と結びついた雪中行事が残っている(後藤、2012)。今世紀前半から今世紀末に渡って、降雪量・積雪量が減少し、降雨量が増加すると見込まれており(気象庁、2008・2013)、行事の実施環境や地域の風土性は変化していくと見込まれる。また、こうした気候変動の長期的な過程と並行して、他方では住民自身の世代交代も進んでいく。気候と雪中行事との従来の調和的な関係性に変化が生じていく過程で、変化を帯びた行事は住民各世代の目にどのように映り、どのように経験されていくのか—この経験と心象の総体が行事における適応あるいは脆弱性を長期的に方向づける大きな要因となるのではないか。これが本稿の具体的な問題関心であり、仮説である。この仮説に対し、具体的な検討対象を横手のカマクラに設定し、住民三世代を対象とした質問紙調査により近接を試みた。

なお、横手のカマクラは、雪室をつくって行われる小正月行事であり、子どもを主役として行われる。そこで質問紙では、学童期における行事の原体験とその印象、その後の行事の観光経験及びその印象について調査を行った。また、各世代の原体験期から現在に至る行事期の気候を気象庁の観測記録により把握し、質問紙の回答データに統合して分析を行った。

(3) 調査結果

横手のカマクラの継承は、住民の好印象によって支えられていた。詳述すれば、住民の原体験期の行事に対する肯定的印象が同世代や次世代に伝達される好循環があり、また、肯定的印象により大人になってからも行事観光に出かける好循環もあり、これらによって行事参加層は厚く確保されていた。特に行事の原体験期に暖冬少雪を経験していない人や暖冬少雪がまれなかった人では、大人になってからも行事観光に出かける割合が高かった。逆に原体験期に暖冬少雪の頻度が高かった人では、大人になってから行事観光に出かける割合が低かった。また、原体験期に暖冬少雪を経験していない人や暖冬少雪がまれなかった人では、暖冬少雪時の行事に対して否定的な印象を持つ人の割合が高い傾向があった。このことから、原体験期における数年の暖冬少雪頻度が大人になってからの行事との関わり方に関係している可能性があるかと推察される。気候変動によって、原体験期に暖冬少雪の頻度が高まったり、あるいは、原体験期の行事実施環境や風土性とその後の行事実施環境や風土性が変化したりする場合には、行事に対する好印象や行事観光意欲が低下していく可能性がある。その結果として、行事継承の好循環

が弱まっていく可能性がある。これは、二元論的にとらえた場合には脆弱性の顕在化といえる。ただし、原体験期に少雪経験がよくある人では、暖冬少雪時の行事に対しても肯定的印象を持つ人の割合が相対的に高くなっている。この肯定的印象は二元論的にかつ一時的には適応と解釈される。そして、この肯定的印象が行事に物理的に転写され、通態化されていけば、行事が変容していく可能性がある。

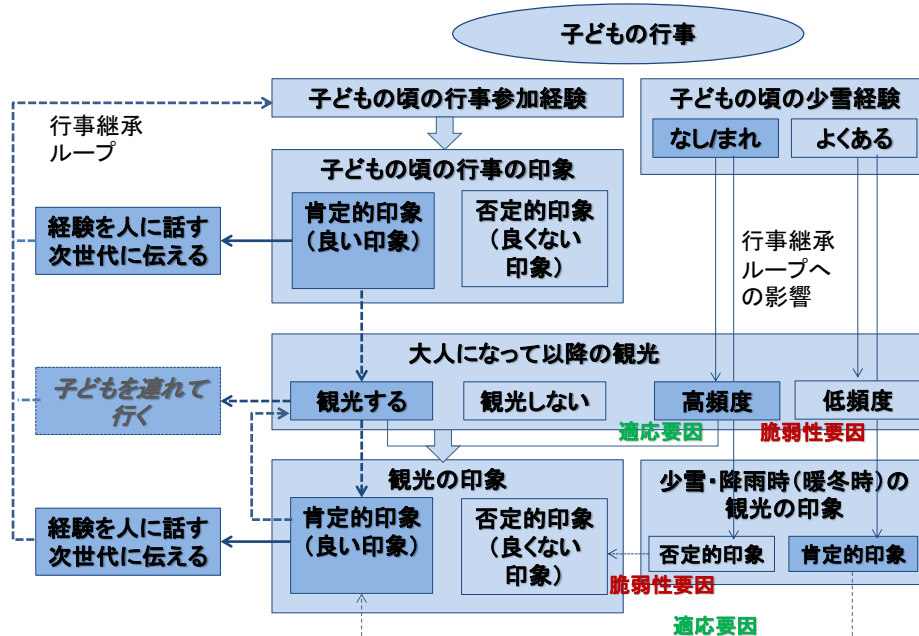


図2 横手のカマクラの行事継承への気候変動の関与

### c)参考文献

IPCC Working Group II, Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability Working Group II Contribution to AR5, 2014.

IPCC Working Group II, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.

オギュスタン・ベルク, 風土の日本—自然と文化の通態. 筑摩書房, 2011

オギュスタン・ベルク, 風土学序説—文化をふたたび自然に、自然をふたたび文化に. 筑摩書房, 2002.

オギュスタン・ベルク, 風土としての地球. 筑摩書房, 1994

環境省 地球温暖化影響適応研究委員会, 気候変動への賢い適応—地球温暖化影響・適応研究委員会報告書, 2008.

気象庁, 地球温暖化予測情報 第8巻 IPCC 温室効果ガス排出シナリオ A1B を用いた非静力学地域気候モデルによる日本の気候変化予測, 2013

気象庁, 地球温暖化予測情報 第7巻 IPCC 温室効果ガス排出シナリオ A1B および B1 による日本の気候変化予測, 2008

木村浩巳・福岡義隆, 気候変動下における豪雪地帯の風土性の変化: 雪中行事における気候影響に注目して. 地球環境 21(2), 137-148, 2016

後藤麻衣子, カマクラと雪室—その歴史の変遷と地域性. 岩田書院, 2012.

安田喜憲, 日本文化の風土 (改訂版). 朝倉書店, 2011.

吉野正敏・福岡義隆, 環境気候学. 東京大学出版会, 2003.

## 8.電力・エネルギー分野における気象データの高度利用

大竹秀明（国立研究開発法人 産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター）

### a)要旨

本稿では気象観測・予測技術の電力・エネルギー分野への応用について米国における応用例を交えて解説する。また、日本国内における再生可能エネルギー分野に気象現象が与える課題についても解説する。

### b)本文

#### (1) 電力システムにおける気象データの応用利用

今後再生可能エネルギーが大量に導入された場合には、自然エネルギーだけに時間・空間的に大きく変動する電源が系統に連系されることになる。そのため、電力需給が安定的にバランスを保って運用されるためには、他の予備力（火力発電や水力発電など）の運転計画・出力調整の上でも再生可能エネルギーの出力把握や出力予測技術が重要となる。そのためには、気象情報（観測・予測の両技術）の高度利用が求められる。

#### ( i ) 太陽光発電の出力把握

電力会社などにおいても、太陽光発電などの発電電力量（以下、発電量）をモニタリングする設備を備えているところは部分的であり、完全に把握されていないのが現状である。いつ、どこで、どの程度発電するのかといった情報が重要となっている。最近では気象衛星から観測された日射量推定データなどが太陽放射コンソーシアム（太陽放射コンソーシアム ホームページ参照）から提供され、面的な日射量分布の情報が準リアルタイムで得られるようになっている。これに太陽光や風力発電システムの設備導入量を加味し、電力会社が管轄するエリアなどを対象に発電量を把握する技術開発が求められる。

#### ( ii ) 再生可能エネルギーの出力予測

太陽光発電における短時間の予測リードタイム（数十分から5、6時間先まで）については日射量の実測データ（地上での日射観測や気象衛星データから推定した日射量推定値）の活用が行われる。太陽光発電の他、風力発電を含めた出力予測について、数時間先から翌日、週間程度先までの予測情報は、気象予報モデルをベースとした日射量や風向風速の予測を行い、最終的には発電量の出力予測が行われる。予測データには予測誤差が含まれるため、実績データを活用した機械学習モデルの構築も行われ、系統的な予測誤差の軽減を行う post-processing も活用される。

#### ( iii ) 気象データの燃料電池への活用

再生可能エネルギーは既存の電源のみならず、家庭用の燃料電池や電力事業者などが保有する大型の蓄電池などバッテリーの運用にも気象予報技術の活用先が見込まれている。過剰になった再生可能エネルギーを燃料電池によって充電をし、電力不足の場合は放電をする上でも、気象予測情報を使って効率的に運用することが求められる。電池の残量を把握しつつ、いつ太陽光発電が多くなり、そのエネルギーを充電するか、また太陽光発電が期待できない場合、あるいは夜間の電力需要に対してどの程度放電すべきかといった検討もなされている（加藤ら、2017）。燃料電池の制御は火力発電機などに比べて時間応答が素早く制御することが可能であるため、数時間先の予測情報の活用などが期待される。

#### ( iii ) 海外での気象データの活用例—送電線運用への活用—

気象データの電力・エネルギー分野での応用例として、送電分野における気象予測データの活用例を紹介する。送電線においては電流・電圧が適切に制御されながら電力が送られているが、同時に熱を発生する。日本国内では送電線の温度を約90度に維持するように制御されて

いる。送電線周りの気象環境（気温、風向、風速、日射量など）を考慮して、送電線の熱容量（送電線の太さなどにも関連）が計算され、送電線の容量が計画される。2017年米国気象学会の年次大会のエネルギーセッション（以下、AMS 2017）の議論の中では、カナダ・ブリティッシュコロンビア大学の研究チームは（参考、<https://ams.confex.com/ams/97Annual/webprogram/Paper310394.html>）、気象予報モデルWRFを用いたアンサンブル予報を活用し（アンサンブルメンバー：37個）、アンサンブル平均、気象場の最悪シナリオを想定した送電運用のあり方について研究がなされている。この予測情報は最終的には送電事業者に提供される。太陽光発電や風力発電設備が送電線に系統連系された場合には、電流・電圧が大きく変動した成分も送電線に乗るため、その安定的な送電線の運用のために気象予報技術を活用する研究開発が進められている。

#### （iv）予測誤差のコスト試算

AMS 2017の議論の中では、Jeffrey K. Lazo氏らの（NCAR）の研究チームにおいて（参考、<https://ams.confex.com/ams/97Annual/webprogram/Paper313289.html>）、エクセルエナジーとの共同研究の中で2024年時に1,800GWの太陽光発電設備がコロラド州に大量導入されたケースを想定し、太陽光発電出力の予測精度の改善率とその経済的な効果（コスト）について試算を行っている。現状の予測精度よりも約半分の予測誤差を達成できた場合には、日本円にして約9000万円相当の他の予備力に利用される燃料費などのコスト軽減に役立つことを示している。気象予報を利用した場合の予測精度向上による経済コストの軽減については全米を対象に検討されており、数百億円のコスト軽減に役立つとの試算もなされている（UCAR ホームページ、2016）。

### （2）再生可能エネルギーの課題

#### （i）積雪

電力の系統運用においては、近年積雪が一つの課題としてトピックになっている。積雪の荷重による太陽光発電システムの倒壊や積雪があることによる発電量の低下が指摘されている（阿部ら、2016）。冬場の降雪があった場合は、太陽光発電システムに積雪が観測されるため、日射量のみから発電量を予測した場合と比べると、実際には発電量は低下してしまい、供給支障（停電）が起こる恐れが生じる。また、気温が上昇し融雪が進むと、太陽光発電システムに積もっていた雪が一気に落雪すると、あるエリアで急激に太陽光発電システムから出力が増加し、電流、電圧が上昇し、余剰電力や電力の周波数の上昇が生じる。気象観測や予測情報を活用し、いつ降雪があり、融雪が生じやすい気象環境になるのかといった情報も電力システムの運用に重要な情報となる。

#### （ii）火山灰

近年、日本列島では火山活動が活発になっている。火山活動にともなう火山灰が太陽光発電システムの上に降灰することによって、発電量が低下することが報告されている（宇野ら、2016）。そのため、太陽光発電システムに降灰があることで、日射量が実際には高くなったとしても発電量が期待通り出力されない場合には出力予測と実際の出力が乖離し、電力の安定運用に大きな影響（供給支障）を起こす恐れがある。気象庁では、ホームページ（気象庁ホームページ「降灰予報の発表状況」参照）から防災情報として降灰予測の情報公開を行っているが、この情報は電力システム側への応用利用としても活用が期待される。火山灰が大気の流れによってどの程度広がるか予測できることで、太陽光発電システムの保守や電力システムの安定運用に資する技術となるであろう。

### （3）まとめ

電力・エネルギー分野においては、気象データの高度利用の幅が広がりつつある。気象庁や各研究機関、民間の気象会社などが有する気象データ（予測、観測データ）や将来の気候予測データ（様々なシナリオを含む温暖化予測データ）については様々な利用価値があると考えられる。予測データの公開においては、予測パラメータの精度（予測誤差）が注目されるが、予

測データを提供する側は現時点でできるだけ精度の良い予測データを公開するとともに、現状の基礎的な予測誤差などの分析情報を付加した形で提供されることが望ましい。ここで筆者が強調したいのは、予測精度が低いからデータを公開しないのではなく、予測精度が低いかどうかは予測データのユーザー側が判断すべきであるという点である。

例えば、電力・エネルギー分野においては、これまで述べたように太陽光発電や風力発電の出力予測、蓄電池などのバッテリー、送電分野、電力需給解析など様々な分野・用途で予測データの活用が検討されている。実際に使う側にとっては、構築したシステムやサービスの中で、予測データが活用可能か、予測データを活用することでどの程度効率や収益、コストの軽減がなされるのかを事前に分析を行う。その予測データが利用するに値するかどうかはユーザー側が判断することである。データを提供する側が、あらゆる分野に対応した予測精度を分析・検証することは不可能である。そのデータがどのように活用され、応用の価値があるのか、シーズとニーズのマッチングを行う上でも、まずは各種気象データを公開することが重要である。

### c)謝辞

本研究は、JST CREST「分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論及び基盤技術の創出と融合展開」（研究総括 東京工業大学工学院 藤田 政之教授）の「太陽光発電予測に基づく調和型電力系統制御のためのシステム理論構築」（研究代表者 東京工業大学大学院情報理工学研究科 井村 順一教授）の一部として実施された。

### d)参考文献

- 太陽放射コンソーシアム ホームページ, <http://amaterass.org/> (2017年2月22日閲覧確認)
- 加藤 丈佳, 真鍋 勇介, 栗本 宗明, 舟橋 俊久, 2017, 「住宅用燃料電池の出力調整力からみた太陽光発電出力予測誤差の評価」第33回エネルギーシステム 経済・環境コンファレンス講演論文集, 24-1, 501-506.
- UCAR ホームページ, 2016 News release, <https://www2.ucar.edu/atmosnews/news/122429/solar-energy-gets-boost-new-forecasting-system> (2017年2月27日閲覧確認)
- 阿部祐希, 阿部公哉, 上塚裕之, 花岡 伸, 平田飛仙, 佐野正裕, 2016, 「東北電力エリアを対象とした太陽光発電出力予測・推定システムの開発」, 平成28年電気学会電力・エネルギー部門大会 講演論文集, 126, 1-3-17 - 1-3-18.
- 宇野 史睦, 新堀 敏基, 橋本 明弘, 大竹 秀明, 石井 徹之, 2016, 「降灰予測モデルの検証のための太陽電池発電量を利用した降灰量推定」, 日本地球惑星科学連合2016年大会講演予稿集, MIS26-11, <https://confit.atlas.jp/guide/event-img/jpgu2016/MIS26-11/public/pdf?type=in>
- 気象庁ホームページ, 「降灰予報の発表状況」  
<http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/kouhai/jishin/ashfall.html> (2017年2月22日閲覧確認)
- JST CREST「分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論及び基盤技術の創出と融合展開」,  
[https://www.jst.go.jp/kisoken/crest/research\\_area/ongoing/bunyah24-1.html](https://www.jst.go.jp/kisoken/crest/research_area/ongoing/bunyah24-1.html) (2017年2月27日閲覧確認)
- JST CREST HARPS「太陽光発電予測に基づく調和型電力系統制御のためのシステム理論構築」, <http://harps-crest.jpn.org/> (2017年2月27日閲覧確認)



## 9. 水稻栽培の低温出現の長期変化と意思決定支援 大久保さゆり（農研機構東北農業研究センター）

### a) 要旨

低温の事例を中心に、農業分野での意思決定の事例を紹介した。気象の分野での気象予測あるいは将来気候予測による意思決定と別に、過去の実況値により統計的に無降水日などを求め、年間の作業予定を立てるといった試みがなされている。また2016年7月の低温時には、低温の出現と長くは続かないことが異常天候早期警戒情報によって判断され、現場への情報伝達に活用された。

### b) 本文

#### (1) 農業分野での意思決定の例

時間スケールで区切ると、大まかに以下に分けられる。

- 1) 直近の気象予測データに基づくもの：生育予測、高/低温などリスク回避
- 2) 長期の気候予測に基づくもの：産地、品種の変化の予測

これらに加え、農業経営などの分野では、年間の作業を計画するために

3) 過去の長期の実況値を用いて、統計的に作業に適した日を暦日で判断する手法がある。特に（作業に適した）無降水日が知りたいという動機によるものであり、複数年のアメダスデータ等から降水の少ない日を抽出するなどして根拠のある作業暦の作成が試みられている。背景には、農業経営主体の大規模化に伴う細かな作業管理への需要がある。

#### (2) 低温（積算冷却量）の長期変動

東北地方の気象官署について、1978年以降の5日間積算冷却量の変化を調べた。日本海側の地点ではほとんど危険となる低温の持続はなく、特に青森県、岩手県の太平洋側の地点で危険とされる値を超えることが多かった。しかしながら2010年以降では値の小さい年が増加している。これらの変化と水稻生育時期の変化との関連について、今後検討したい。

#### (3) 2016年7月の低温と異常天候早期警戒情報

2016年7月21-25日にかけて、東北地方太平洋側の北部を中心に低温が出現した。この低温は7/11付の異常天候早期警戒情報の時点で予測されており、7/14付の低温に関する情報、7/19の警戒事項なしの情報と、引き続いて発表された。7/19時点で、地点ごとの7日平均気温予測など異常天候早期警戒情報のバックデータから、低温は出現するが長くは続かないということが判断された。この情報により、早期に農業現場への指導がなされるとともに、低温が続かないことも早期に判断され、行政、現場の意思決定に役立てられた。

## 10. 2014～15年のエルニーニョ現象とその影響 前田修平（気象研気候）、安田珠幾・ト部佑介（気象庁気候情報）

現在(2015/16年の冬)発生中のエルニーニョ現象とその影響について速報的に報告した。用いたデータは、気象庁の海面水温解析データ(COBE-SST、Ishiiら2005)、海洋内部の解析データ(MOVE-G2、Toyodaら2013)、大気の大気長期再解析データ(JRA-55、Kobayashiら2015)、気象官署における気象観測データである。

2015年夏に発生したエルニーニョ現象は、2015/16年冬にピークを迎えた。気象庁が監視しているエルニーニョ監視指数(NINO.3指数；北緯5度～南緯5度、西経90度～150度で平均した月平均海面水温の直近30年平均値との差)が2015年12月には+3.0℃とな

り、ピーク時の値としては、1997/98年の $+3.6^{\circ}\text{C}$ （1997年11月）、1982/83年の $+3.3^{\circ}\text{C}$ （1982年12月）に次ぐ、1950年以後では第3位の大きな値となった。太平洋赤道域の海洋表層・亜表層の水温偏差も大きく、1950年以降では1982/83年、1997/98年と並んで「三大エルニーニョ現象」のひとつに数えられるような強いエルニーニョ現象に発達したといえる。

エルニーニョ現象発生時には全球平均気温が上昇することが知られている（Trenberthら2002）。今回の強いエルニーニョ現象に伴って、2015年の年平均世界気温は記録的に高くなり、平年偏差（1981～2010年の30年平均からの差）は $+0.42^{\circ}\text{C}$ と、これまでの1位（2014年の $+0.27^{\circ}\text{C}$ ）を大きく上回り、気象庁が統計を行っている1891年以降で最も高温となった。

日本では、エルニーニョ現象発生時には秋の後半から春にかけて高温傾向、夏から秋の前半にかけて低温傾向となり、季節の変化が小さくなる傾向があることが知られている（Urabe and Maeda 2014）。2015年の日本の気温は、こういったエルニーニョ現象発生年の傾向をよく示した。西日本では秋前半の低温傾向と後半の高温傾向の対比が明瞭で、11月の気温平年偏差と9月の平年偏差との差が記録的に大きくなった。2015年夏以降は、熱帯域を中心に大気循環場にもエルニーニョ現象の特徴がよく現われた。日本の天候に関する循環偏差の特徴は、①夏季における弱い太平洋高気圧とチベット高気圧、②夏から秋前半にかけてのユーラシア大陸における亜熱帯ジェット気流の南偏、③冬季における日本付近での弱い季節風、などである。

## 10. ヤマセに伴う下層冷気

島田照久 (弘前大学大学院理工学研究科)

### a) 要旨

夏季に北太平洋亜寒帯域・オホーツク海上に分布する下層の冷気が、北日本のオホーツク海/太平洋側に押し寄せて低温をもたらす。このとき、北日本とサハリンの地峡・海峡から、ヤマセの冷気が日本海に流出し、さらに流出した冷気が大陸の日本海沿岸の山脈に捕捉されて大規模な地形性強風を引き起こすことを衛星観測と気象シミュレーションによって確認した。

### b) 本文

#### (1) 研究の目的

ヤマセは、北日本に沿って南下してくる下層冷気といえ、ヤマセに関する研究の主な研究対象域は北日本のオホーツク海/太平洋沿岸である。しかし、ヤマセ卓越時には、北日本の太平洋沿岸とユーラシア大陸沿いの日本海上に、低温高圧域が舌状に南下することが多い(図1; 木村1995)。本研究では、このユーラシア大陸沿いの低温高圧域とヤマセとの関連、発生の原因と実態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。2005年7月上旬の事例研究を行う。

#### (3) 結果

衛星観測の海上風データによると、2005年7月3-5日にかけて津軽海峡以北の地峡海峡の日本海側で強風が発生しており(Shimada et al. 2010; Shimada and Kawamura 2011)、ユーラシア大陸に向かって伸び、やがて地形に沿う様子が見られた。この状況を気象モデルで再現実験を行った。その結果、地峡海峡の日本海側で発生する強風は、低温・低比湿の気流の流出に対応しており、ヤマセに伴う冷気が地峡海峡から日本海に流出していることがわかった。

Iwasaki et al. (2014) の定義に従って、特定の温位面(ここでは292Kの温位面)下の冷気質量と冷気質量フラックスを求めた。オホーツク海/太平洋から押し寄せる厚い冷気(>100hPa)が、北日本の太平洋側にせき止められている様子が見られた。また、地峡海峡からは下層冷気が流出していることが確認できた。今後は、特定温位面以下の冷気の変動を詳細に解析し、日本海への冷気流出の分布・時間発展を明らかにする。

### c) 参考文献

- 木村龍治, 1995: ヤマセの地球流体力学的側面, 気象研究ノート, 183, 91-107.
- Iwasaki, T., T. Shoji, Y. Kanno, M. Sawada, M. Ujiie, and K. Takaya, 2014: Isentropic analysis of polar cold air mass streams in the Northern Hemispheric winter. *J. Atmos. Sci.*, 71, 2230-2243. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JAS-D-13-058.1>
- 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. Wea. Rev.*, **138**, 3806-3821.
- Shimada, T. and H. Kawamura, 2011: Summertime gap winds of the Soya Strait induced by the developed Okhotsk high. *Atmos. Sci. Lett.*, **12**, 316-320.

2005-07-04T12:00

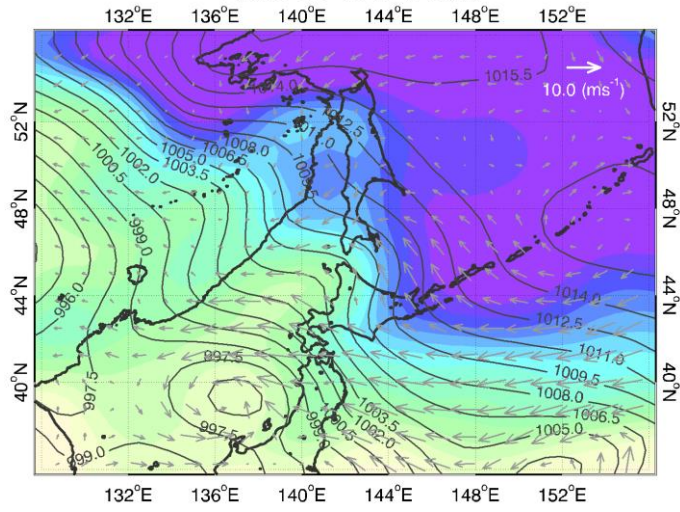


図1 SLP と気温、10m 風 (2005-07-04T12:00, JRA25)

11. 寒気流出解析（寒気質量収支解析）ツールを用いたメソスケール現象の理解  
福井真、岩崎俊樹\*（東北大学大学院理学研究科）

**a)要旨**

特定の温位をしきい値とする寒気の質量とその水平フラックスを用いた寒気質量収支の解析手法を開発している。これまで主としてグローバルな現象の理解を中心に解析してきたが、メソスケール現象解析への利用について検討する。本稿では、中部日本の気候学的な寒気流および南岸低気圧による豪雪について調べる。

**b)本文**

(1) 寒気質量と寒気質量水平フラックス

極域からの寒気流出について、特定の温位をしきい値とする新しい解析手法を提案してきた(Iwasaki et al., 2014)。温位は断熱保存量であるので、寒気の量は気圧変化に伴う断熱昇温・断熱加熱に左右されず、かつ、高緯度の下層にある寒気を特定することが可能となる。任意の地点における寒気質量  $DP$  と寒気質量の水平フラックス  $H$  を以下のように定義する。直感的にわかりやすいように、単位面積当たりの寒気質量は静力学平衡における気圧差で表した。

$$DP \equiv p_s - p(\theta), \quad H \equiv \int_{p(\theta)}^{p_s} \mathbf{v} dp$$

各地点における温位  $\theta$  以下の寒気質量は次のような保存則を満足する。

$$\frac{\partial DP}{\partial t} = -\nabla \cdot \mathbf{H} + \frac{\partial p}{\partial \theta} \dot{\theta}$$

右辺の第2項は非断熱加熱による寒気質量の生成消滅項であり、温位面  $\theta$  を鉛直方向に通過する質量フラックスである。また、寒気の半球総量は断熱保存量となる。同手法を用いてこれまで北半球で2つの寒気流(東アジア寒気流と北アメリカ寒気流)の存在を確認するとともに、東アジアの寒気流出プロセス(Shoji et al., 2014)、南北半球間の比較(Kanno et al., 2015a)、寒気の蓄積と放出の関係(Kanno et al., 2015b)、地球温暖化の影響(Kanno et al., 2016)などについて調べてきた。本稿ではメソ現象への利用を試みる。

(2) 長野県・山梨県は山岳が障壁となり寒気流入から守られている？

図は本州中部地域における2009/2010 ~ 2014/2015年の12~2月の6冬季で平均した温位280 K面の高度(左)と寒気質量の水平フラックス(右)を表したものである。基本的に緯度が高いほど寒気質量が多いので、280 K面高度も北に行くほど高い。しかし、長野や山梨などの盆地地域では、280 K面高度が周囲に比べて著しく低い。これは、中部山岳(北アルプス)および上信越国境(妙高~上越の山々)が、冬季の季節風卓越時に顕著な障壁効果を起こしているためである。実際に、等温位面は山岳の上流側(北西側)でやや盛り上がり、下流側で著しく低くなっている。長野や山梨などの盆地地区では、周囲の山岳により寒気の流入が少ない。盆地の底は夜間の放射冷却により気温が下がるが、その上では比較的気温が高く、成層が安定化することを示唆している。

寒気はこれらの高い山岳を迂回して本州を通過する。気候学的に最も顕著なルートは若狭湾・関ヶ原・伊勢湾ルートであり、緯度が低いにもかかわらず1000 hPa m sec<sup>-1</sup>に達している。関東平野は上越・奥羽山脈により寒気はブロックされているが、三国峠付近より流入が見られる。さらにその北では、阿賀野川~郡山の通過が顕著である。他方、長野・山梨の盆地地域では200 hPa m sec<sup>-1</sup>と小さくなり、やはり障壁効果を示唆している。

(3) 2014年2月14日~15日、関東甲信での大雪

関東甲信地域では、2014年2月14日~15日に南岸低気圧による大雪を記録した。東北地方南部~関東東部の太平洋側から寒気が入り、東北南部太平洋沿岸から関東平野、甲府盆地などに寒気が蓄積されたことが、寒気流出解析ツールを用いることで示された。他方、南岸低気圧の前面では南東風により多量の暖湿気塊が寒気の上に乗り上げ、断熱冷却を起こし、大量の降雪が発生した。この様子は米国のアパラチア山脈の東麓に発生するCold Air

Damming とよく似ている (e. g., Uccellini and Kocin, 1987; Bell and Bosart, 1988; 荒木, 2015)。この時の寒気流出解析の結果は以下の Web に掲載している。なお、この事例解析は田ノ下潤一君の卒業研究による。

[http://www.data.jma.go.jp/gmd/extreme/kaigi/2017/0302\\_teirei/h28gidai3-1.pdf](http://www.data.jma.go.jp/gmd/extreme/kaigi/2017/0302_teirei/h28gidai3-1.pdf)

### c)参考文献

荒木健太郎, 天気, **62**, 545-547 (2015).

Bell, G. D. and L. F. Bosart, *Mon. Wea. Rev.*, **116**, 137-161 (1988).

Iwasaki T., et al., *J. Atmos. Sci.*, **71**, 2230-2243 (2014).

Kanno, Y., et al., *J. Geophys. Res. Atmos.*, **121**, 10138-10152 (2016).

Kanno, Y., et al., *Atmos. Sci. Lett.*, **16**, 70-76 (2015a).

Kanno, Y., et al., *Geophys. Res. Lett.*, **42**, 7187-7193 (2015b).

Shoji, et al., *J. Clim.*, **27**, 9337-9348 (2014).

Uccellini, L. W., and P. J. Kocin, *Wea. Forecasting*, **2**, 289-308 (1987).

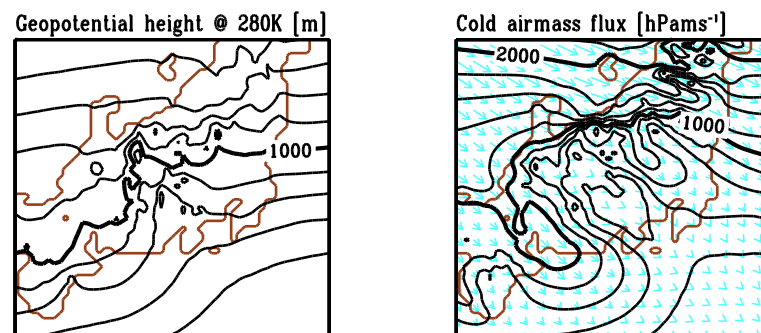


図 温位 280K をしきい値とする寒気質量収支解析

左：温位 280K 面高度 (m)、右：寒気質量フラックス強度 (hPa m sec<sup>-1</sup>) と向き (矢印)

## 12. 領域気候モデル用の湖沼水温モデル 田村美紗、大泉三津夫（気象大学校）

### a) 要旨

気象研究所非静力学領域気候モデル NonHydrostatic Regional Climate Model (NHRCM) (Sasaki et al., 2008) に組み込むべく、オフライン版の湖沼熱モデルの開発を行った。構築した湖沼熱モデルの湖水面温度の再現性のパフォーマンスを、霞ヶ浦および猪苗代湖において、国立環境研究所ならびに福島県環境創造センターの水温観測データと比較することにより検証した。その結果、湖沼を多層化した熱モデル（多層熱伝導モデル）が、湖沼の平均水深を与えることで、湖沼に依らず湖水面温度の日変化や季節変化を精度よく表現できるということがわかった。大気モデルでは湖水面温度を下部境界条件としているが、本研究で構築した多層熱伝導モデルによって良好な境界条件を与えることが可能になるため、本モデルを結合モデルに組み込むことで天気予報や季節予報への貢献が期待できる。

### b) 本文

#### (1) はじめに

現行の気象研究所非静力学領域気候モデル NHRCM の陸面過程には湖沼熱モデルが組み込まれておらず、湖水面温度には海面温度 SST に基づく温度が使用されている。図1は、前述の温度を湖水温として使用した場合の2009年1月15日における中部～東北地方南部の地表面温度分布を表しており、桃色の円で囲った領域が猪苗代湖である。図より、猪苗代湖の水温が周囲よりも明らかに高温となっていることが確認できる。モデルの高解像度化に伴い、この問題は深刻化しており、大気モデルの予測値が悪影響を受けかねない例が顕在化しつつある。そのため、陸面過程への湖沼熱モデルの導入が求められていることを受け、本研究では NHRCM に組み込むべく、湖沼熱モデルの開発を行った。

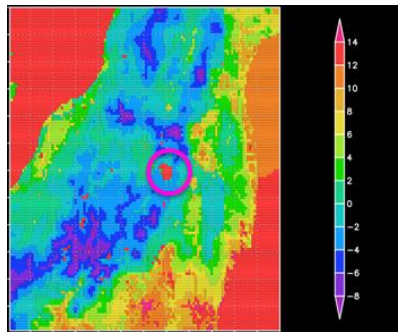


図1 現行のNHRCMにおける2009年1月15日の地表面温度分布(中部～東北地方南部). 猪苗代湖周辺を桃色の円で囲った。

#### (2) 構築した湖沼熱モデル（多層熱伝導モデル）の概要

本研究では、Momii and Ito(2008)を参考に、湖を多層化して考える「多層熱伝導モデル」を構築した(図2)。この多層熱伝導モデルは、湖の面積の深度分布や日射の減衰を考慮した熱伝導方程式を解く鉛直1次元のモデルである。底面では断熱条件を課しており、時間積分法としてクラック・ニコルソン法を採用した。本モデルでは、顕熱・潜熱フラックスはバルク式から求められ、バルク係数は大気の安定度(大気・湖水面の温度差と風速から算出)の1次式で表現される。また、湖内の熱伝導は分子拡散と渦動拡散によって表現される。ここで渦動拡散はリチャードソン数の関数で表され、湖内が不安定であるほど渦動拡散係数が大きくなり、湖内の熱輸送が活発になる。

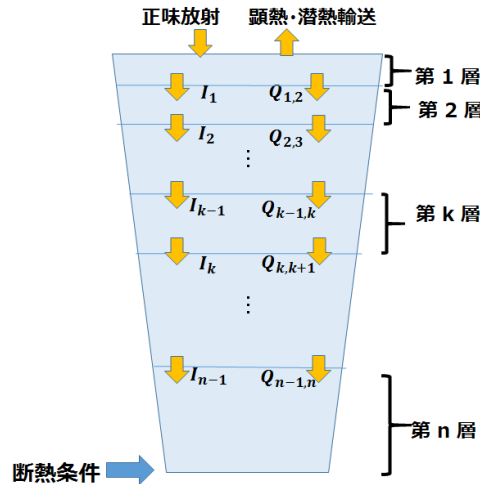


図2 多層熱伝導モデルの概念図.  $I_k, Q_{k,k+1}$  は、各々、第  $k$  層下面での日射、伝導熱を表す。

### (3) 数値実験

#### (i) 実験条件

本研究では、水深の浅い霞ヶ浦(平均水深 4 m)と深い猪苗代湖(平均水深 50 m)を対象に実験を行った。最上層の厚さは 0.05 m とし、下層に行くにしたがって公比 1.5 で厚さが増す設定にしており、霞ヶ浦では 9 層モデル、猪苗代湖では 15 層モデルとなっている。計算初期日は 1 月 1 日であるため、水温初期値は、全層で一律 4 °C であるとした。初期値の影響をなくすために、7 年間の助走ランを行い、十分に安定したと考えられる最後の 1 年間(8 年目)のシミュレーション結果を用いて検証した。積分時間間隔は 1800 秒とする。モデルパラメータは両湖で同一である。使用した PC のプロセッサは Intel(R) Core(TM) i3-4005U @ 1.70 GHz、実装メモリ (RAM) は 4.00 GB である。多層熱伝導モデルの場合は層数によって異なるが、1 地点の 1 年間の計算に 15 層だと 5 秒程度かかる。計算は、検証データの取得期間に応じて、霞ヶ浦では 2000~09 年、猪苗代湖では 2005~09 年について行った。

#### (ii) 大気強制力

本研究は、大気モデルから切り離されたオフライン上で実験を行った。このため、大気モデルから大気最下層の気象データを与える代わりに、大気強制力として気圧、水蒸気圧、気温、風速、下向き短波・長波放射の毎時のデータを与える。ここで、気圧と水蒸気圧については、湖の近隣の 3 官署での観測値を平均したものをを用い、高層データの統計処理で高度補正を行っている。気温と風速については、最も距離の近い 1 地点のアメダスでの観測値を用い、下向き短波・長波放射については近藤(1994)、Kondo and Xu(1997)の推定式から算出する。

#### (iii) 検証に用いた水温観測値

構築した多層熱伝導モデルの再現性の検証に用いた水温観測データとして、霞ヶ浦では国立環境研究所で観測された 2000~09 年の毎時の水温データ(水深 0.2, 0.75, 1.5 m)、猪苗代湖では福島県環境創造センターで観測された 2005~09 年の毎日の水温データ(水深 0.5, 5, 15, 30 m)を用いている。なお、欠測期間を考慮し、霞ヶ浦では 2006 年、猪苗代湖では 2009 年の結果を図示している。

### (4) 結果と考察

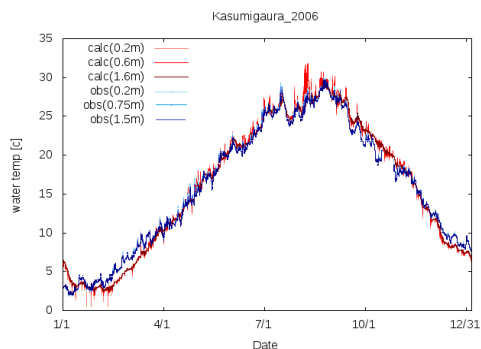
実験ではモデルの主要なパラメータに対する感度実験や、熱収支・渦動拡散の季節特性等



も調べたが、それらは本報告では割愛し、以下、(i)水温季節変化の再現実験、(ii)湖水面近傍での水温日変化の再現実験、(iii)水温深度分布の再現性、の順に結果を示し、考察を加える。

(i) 水温季節変化の再現実験

(a)



(b)

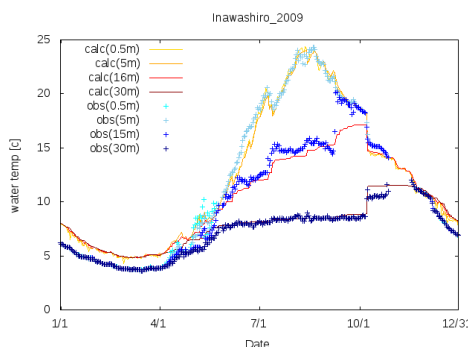


図3 水温季節変化の計算値の推移と観測。(a)は霞ヶ浦(2006年),薄青線・青線・濃青線:観測値(順に水深0.2,0.75,1.5m),薄赤線・赤線・濃赤線:計算値(順に水深0.2,0.6,1.6m)。(b)は猪苗代湖(2009年),薄水色点・水色点・青点・濃青点:観測値(順に水深0.5,5,15,30m),黄色線・橙線・赤線・濃赤線:計算値(順に水深0.5,5,16,30m)。

図3では、多層熱伝導モデルの水温季節変化の再現性を検証している。横軸が期間(1年間)、縦軸が水温(°C)である。(a)は霞ヶ浦における2006年の水温計算結果である。薄青線・青線・濃青線は水温観測値(順に水深0.2,0.75,1.5m)、薄赤線・赤線・濃赤線は水温計算値(順に水深0.2,0.6,1.6m)を示す。水温観測値は水深に依らずほぼ同じ値となり、水温計算値も同様の結果となった。冬季に1~2°Cのバイアスが存在するものの、水温の季節変化を比較的精度よく再現できている。(b)は猪苗代湖における2009年の水温計算結果である。薄水色点・水色点・青点・濃青点は水温観測値(順に水深0.5,5,15,30m)、黄色線・橙線・赤線・濃赤線は水温計算値(順に水深0.5,5,16,30m)を示す。1月~4月、11月~12月の水温計算値は水深に依らず概ね同じ値であり、水温観測値と同様の結果になった。冬季において1~2°Cの高温バイアスがかかっているものの、各水深において水温計算値と実測値がほぼ同じ値であり、水温の季節変化を精度よく再現できている。また、台風による湖の攪拌で生じる水温変動もおおよそ再現できている。

(ii) 湖水面近傍での水温日変化の再現実験

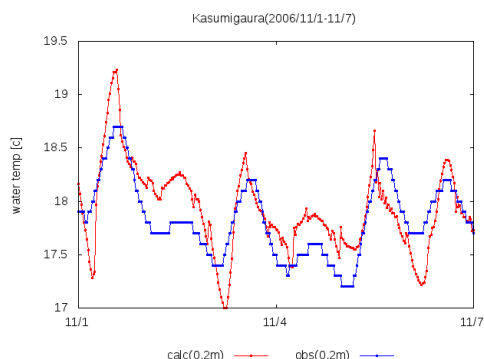


図4 湖水面近傍での水温日変化の計算値の推移と観測(霞ヶ浦(2006/11/1~11/7)).赤線:計算値(水深0.2m),青線:観測値(水深0.2m)。

図4では、多層熱伝導モデルの湖水面近傍での水温日変化の再現性を検証している。ここでは、毎時の水温観測データが存在する霞ヶ浦においてモデルパフォーマンスを確認した。横

軸が期間(2006/11/1~11/7)、縦軸が水温(°C)であり、赤線は水深 0.2 m での水温計算値、青線は水深 0.2 m での水温観測値である。水温計算値は観測値よりも振幅がやや大きいものの(0.5 °C程度)、水温日変化を比較的良く再現できることを確認できた。

(iii) 水温深度分布の再現性

(a)

(b)

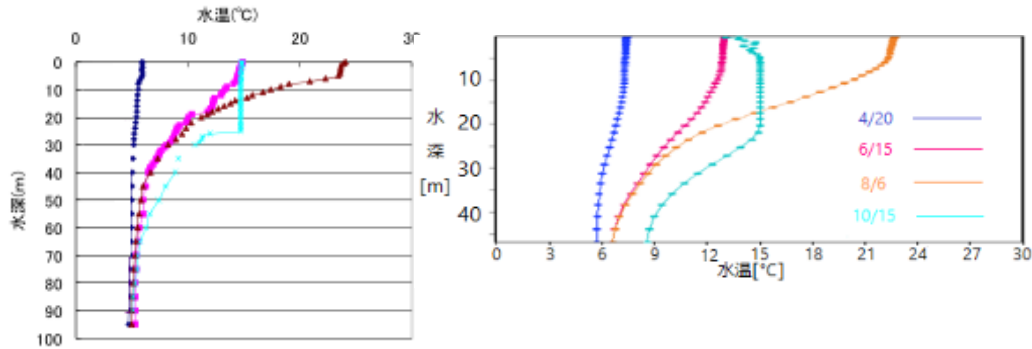


図5 水温深度分布の計算値と観測(猪苗代湖(2009)). (a)湖水温深度分布の観測値. 青線・桃線・茶線・水色線:水温観測値(順に4月20日,6月15日,8月6日,10月15日). (平成21年度猪苗代湖水質モニタリング調査事業報告書(2010)より). (b)湖水温深度分布の計算値. 線種は(a)と同様.

図5では、多層熱伝導モデルの湖内部の水温季節変化の再現性を検証している。ここでは、水深の深い猪苗代湖においてモデルパフォーマンスを確認した。平成21年度猪苗代湖水質モニタリング調査事業報告書(2010)に、2009年における水深方向の水温実測値をプロットした図が掲載されているため、この年における水温計算値とのおおよその比較を行うことが可能である。なお、モデルは猪苗代湖の平均水深50mの計算結果で、観測は湖心(最大水深100m)における結果である。図5(a)は水温観測値、図5(b)は水温計算値であり、青線・桃線・茶線・水色線は順に4月20日,6月15日,8月6日,10月15日を示す。横軸は水温(°C)、縦軸は深さ(m)である。多層熱伝導モデルは精度よく湖内部の水温を計算できており、湖内の躍層や混合層の形成を再現できている。

(5) 結論と今後の課題

本研究で構築した湖沼を多層化した熱モデル(多層熱伝導モデル)は、湖沼の平均水深を与えさえすれば、湖沼に依らず同一のパラメータで湖水面温度の日変化や季節変化を精度よく表現できる。大気モデルでは湖水面温度を下部境界条件としているが、本研究で構築した多層熱伝導モデルによって良好な境界条件を与えることが可能になるため、多層熱伝導モデルを結合モデルに組み込むことで天気予報や季節予報への貢献が期待できる。

今後は、湖沼に多量の降雪水があった場合や湖沼が全面結氷する場合を考慮し、プログラムに修正を加えることが課題である。また、多層熱伝導モデルを結合モデルに組み込む際は、インターフェースの再検討が必須である(多層熱伝導モデルで用いている大気強制力の高度と、大気モデルの最下層の高度が異なるため)。

謝辞 本研究を行うにあたって、福島県環境創造センター調査・分析部環境調査課の吉田安伸主任には猪苗代湖の水温観測データを提供していただきました。ここに心より感謝を申し上げます。

c)参考文献

Kondo, J. and J. Xu., 1997: Seasonal Variations in the Heat and Water Balances for Nonvegetated Surfaces, J. Appl. Meteorol., 36, pp.1676-1695  
 Momii, K. and Ito, Y. 2008: Heat budget estimates for Lake Ikeda, Japan, J. Hydrol.,

361, pp. 362-370

Sasaki, H. Kurihara, K. Takayabu, I. and Uchiyama, T. 2008: Preliminary Experiments of Reproducing the Present Climate Using the Non-hydrostatic Regional Climate Model. SOLA., 4, pp. 25-28

近藤純正, 1994: 水環境の気象学—地表面の水収支・熱収支—, 朝倉書店, pp. 57, pp. 89-91, pp. 163

福島県環境センター, 2010: 平成 21 年度猪苗代湖水質モニタリング調査事業報告書.

### 13.NHRCM への湖沼水温予報モデルの導入 大泉三津夫、田村美紗（気象大学校）

#### a)要旨

非静力学領域気候モデルNHRCM用に別途オフライン版として開発された多層の湖沼水温予報モデルMTL(Multi-layer Thermal Lake Model)を導入することによって、湖面水温の日変化を計算しより正確な下部境界条件をNHRCMに与える開発を行った。猪苗代湖を中心とする5km水平分解能・50x50格子の領域についてメソ解析から完全境界条件を作成し、MTLを結合したNHRCMを2008年1月1日～12月31日の1年間走らせ、観測値と比較した。比較の結果、以下の2点が明らかになった；1) 結合モデル版MTLにオフライン版MTLで最良となったパラメータを用いると渦温度拡散が大き過ぎて全層等温に近い結果となり観測を再現できないが、渦温度拡散を抑えるために大気最下層の風速から摩擦速度を求める1次式の係数を小さくするとオフライン版とほぼ同様な結果が再現できる、2) 湖面上ではMTL導入のインパクトが水温、気温、顕熱・潜熱フラックスで認められる。

#### b)本文

##### (1) はじめに

これまで非静力学領域気候モデル NHRCM の湖沼表面水温には、海洋の SST を内陸部に空間外挿し、一定あるいは境界条件の更新に合わせて線形変化する SST が与えられていた。この際、湖沼の標高は考慮されず、標高の高い湖沼では（特に冬季）境界条件である湖面水温が高すぎて、大気に過大な顕熱・潜熱フラックスが与えられていた（田村・大泉, 2017）。モデルの水平分解能が上がるにつれて周囲とのこれら熱的諸量の乖離が目立ってきたため、湖沼の緯度・標高を変数にして統計的に月平均湖面水温を与える方式に改められた。しかし、この改良によっても 1~2°Cに及ぶ湖面水温の日変化を与えることはできないため、オフラインモデル版として開発された多層の湖沼水温予報モデル MTL(Multi-layer Thermal Lake Model)（田村・大泉, 2017）を NHRCM に導入することによって湖面水温の日変化を予測し、より正確な下部境界条件を NHRCM に与える改良を実施することになった。

##### (2) MTL と NHRCM とのインターフェースの概略

NHRCM には既に植生キャノピーモデル MJ-SiB（あるいはその改良型である iSiB）と都市キャノピーモデル SPUC (Aoyagi and Seino, 2011)が組み込まれている。MJ-SiB は全球モデルから移植したため、そのモデル構造が NHRCM の元モデルである NHM でのデフォルト陸面モデル (SLAB モデル) とは大きく異なる。一方、SPUC は SLAB モデルと並立するように開発されてきたために、NHRCM の他の物理過程との親和性がよい。MTL が適用される湖沼の地表面被覆は SPUC が使用する国土数値情報から得られるので、MTL のモデル構造・計算アルゴリズムを SPUC に似せて開発した方がモデルのメンテナンスの面で都合が良い。このような事情からオフラインモデル版 MTL（以下、オフライン版と略す）の各要素を一旦分解し、（MJ-SiB ではなく）SPUC のサブモデルとして再編し、MTL を SPUC 経由で NHRCM に組み込ん

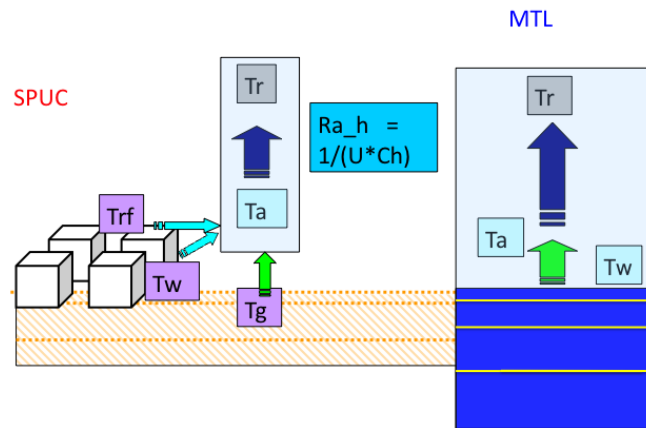


図1 大気最下層と多層湖沼水温予報モデル MTL および都市キャノピーモデル SPUC 間の顕熱フラックス輸送. 温度の予報変数は, 大気最下層が気温  $T_r$ , MTL が湖水面温度  $T_w$ , SPUC ではビル屋上温度  $T_{rf}$ ・ビル壁面温度  $T_w$ ・ビル周囲の地面温度  $T_g$  である.  $T_a$  は陸面格子を代表するキャニオン空間の気温である.

だ (結合モデル版 MTL、以下、結合版)。

ここで SPUC と MTL における顕熱フラックス輸送について詳述する。図1に示すように、地物各面 (ビル屋上、壁面、地面、湖水面) から陸面格子を代表するキャニオン空間までの顕熱フラックスは地物各面の温度とキャニオン空間の気温  $T_a$  との差、及び、地物各面～キャニオン空間間の境界層抵抗  $r_s (=1/(U_s * C_s))$ ; ここで  $C_s$  と  $U_s$  は地物各面～キャニオン空間間のバルク係数と代表的な風速を表す) で求まる。また、キャニオン空間から大気最下層への顕熱フラックス輸送は、温度差  $(T_r - T_a)$  と接地境界層での Beljaars and Holtslag (1991) によるバルク係数  $Ch$ 、キャニオン空間～大気最下層間の代表的な風  $U$  で決まる。 $T_a$  は地物各面からキャニオン空間への顕熱フラックスの合計が、キャニオン空間から大気最下層への顕熱フラックスと等しくなるように診断的に求められる。潜熱フラックスについても同様にキャニオン空間比湿  $q_a$  を導入し、地物各面上の比湿と  $q_a$  との差で駆動される。なお、MTL では水面上の比湿は湖水面温度  $T_w$  で飽和していると仮定している。

### (3) MTL の概要

田村・大泉 (2017) はオフラインの湖沼水温予報モデルとして、1) SiB の地温予報式に做った強制復元法モデル、2) 多層化した熱伝導方程式に対流による熱輸送を加味したモデル、の2つを開発した。本研究では NHRCM へ導入する際のチューニングに要する労力の少なさから、上記の2)を採用することにした。モデルの概要については田村・大泉 (2017) を参照されたい。

### (4) 再現実験

MTL 導入の効果を確認するために、猪苗代湖 (面積  $103.3\text{km}^2$ ) を中心とする東北地方南部～中部・関東に至る領域を水平分解能  $5\text{km}$ 、 $50 \times 50$  格子で覆って再現実験を行った。 $5\text{km}$  分解能で国土数値情報を使い、NHRCM の海陸比閾値  $0.5$  に做って湖陸比  $0.5$  を閾値として採用して地形を作成すると、猪苗代湖本体および周辺 (北部の檜原湖・小野川湖・秋本湖と南部の羽鳥湖) は猪苗代湖本体の赤・黄の3格子だけとなる。積分期間は2008年1月1日～12月31日の1年間である。メソ解析から完全境界条件を作成し、MTL を結合した

NHRCM を福島県環境創造センターによる水温観測値と比較した。湖水の初期水温は初期日が1月1日であることから、複数年の1月の観測値を参照して全層4℃とした。なお、MTLを組み込んだNHRCMはMTLのインパクトを確認するための試験モデルであり、目下のところ並列計算はできない。気象研究所のFX-100；1ノードによる計算で1年間の積分に40時間ほど掛かっており、並列計算化が必須である。

数値実験では、Ⅰ)結合版 MTL を使わないコントロール実験以外に、Ⅱ) オフライン版で最適であったパラメータを結合版に用いたデフォルト実験、Ⅲ) 観測水温を再現するためにパラメータチューニングを施した2つのテスト実験、の2種類を行った。このチューニングは以下に示す熱の渦動拡散係数  $k$  に関するもので、

$$k = k_0 * (1 + a * Ri^b)^c.$$

ここで、 $k_0$  は中立時の渦動拡散係数、 $Ri$  はリチャードソン数、 $a, b, c$  は定数である。 $k_0$  は考えている点の緯度・水面下の深さ・水体内部の摩擦速度  $u_{w*}$  に依存し、 $Ri$  は水中の密度傾度と湖水内部の鉛直シアに依存する。この湖水内の鉛直シアは摩擦速度  $u_{w*}$  に依存するので、結局、渦動拡散係数  $k$  は水体内部の摩擦速度  $u_{w*}$  に大きく依存することになる。水体内部の摩擦速度  $u_{w*}$  は水面上の空気の摩擦速度  $u_*$  と水と空気の密度比から求められ、空気の摩擦速度  $u_*$  は10m 高度での風速  $u_{10}$  と1次の統計的關係( $u_* = A * u_{10}$ )にあるので、 $A$  は謂わば摩擦速度換算係数ともいえるチューニングパラメータである。本研究ではこの  $A$  を変えて、チューニングを行った。

#### (5) 結果と考察

以下、(i) 湖水温の再現実験、(ii) MTL による大気へのインパクト、の順に結果を示し、考察を加える。

##### (i) 湖水温の再現実験

図2 上段に摩擦速度換算係数  $A=3.6 \times 10^{-3}$  (以下、簡単のため本文・キャプションともに、 $\times 10^{-3}$  を省略する) とした時のオフライン版の湖水温の推移を、下段に  $A$  を 0.6, 1.2, 3.6 とした時の結合版によるテスト実験・デフォルト実験の湖水温の時系列を示す。黒線は水面下 0.18m, 緑線は 4.71m, 黄線は 10.7m, 赤線は 24.2m での計算値であり、オフライン版の三角シンボルは 0.18m 深に対応した観測水温である。図から  $A=1.2$  のテスト実験の場合がオフライン版に似た結果となっていることが分かる。8月に表面近くの層で台風11号に伴う強い攪拌が起きて水温の急激な低下が発生したが、2つのテスト実験では再現できている。しかしながら、オフライン版で最適であった  $A=3.6$  を用いたデフォルト実験では渦動拡散が大きすぎ、全層ほぼ等温となり観測を全く再現できなかった。

図3に毎月1日の水温プロファイルの推移を示す。(a)はオフライン版の結果で、(b)は結合版のテスト実験結果で  $A=1.2$ , (c)も同じくテスト実験で  $A=0.6$  の結果である。図2同様、

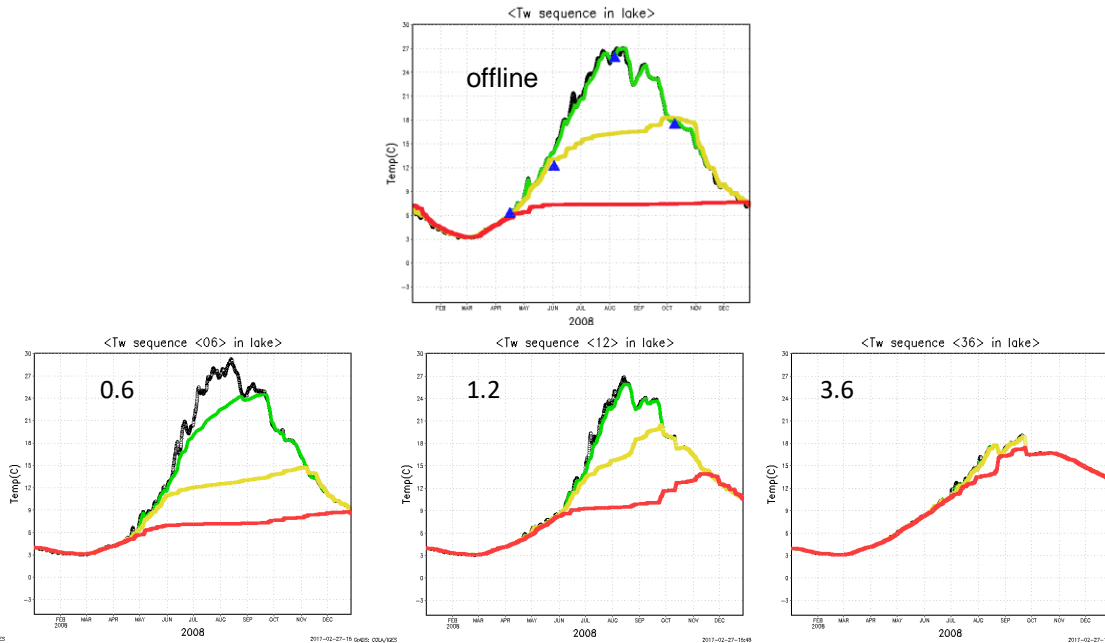


図2 オフライン版と結合版による水温計算値の推移と観測（三角シンボル）。黒線は水面下 0.18m, 緑線は 4.71m, 黄線は 10.7m, 赤線は 24.2m での計算値で、観測は黒線に対応した深さである。上段はオフライン版, 下段は, 左から摩擦速度換算係数  $A=0.6$ ,  $1.2$  のテスト実験, 及び,  $A=3.6$  のデフォルト実験。

$A=1.2$  がオフライン版に近い結果となった。

結合版では先に述べたように 40m 高度でのモデル大気最下層の風を使って摩擦速度を計算している。一方、オフライン版では猪苗代アメダス観測点の 6.5m 高度の風が湖上 10m を吹いているものと仮定してチューニングを行っている。ここで中立成層を仮定し湖面上の粗度長を  $10^{-4}$  とすると、対数分布の関係から 40m と 10m の風の比は 1.2 倍以下となる。

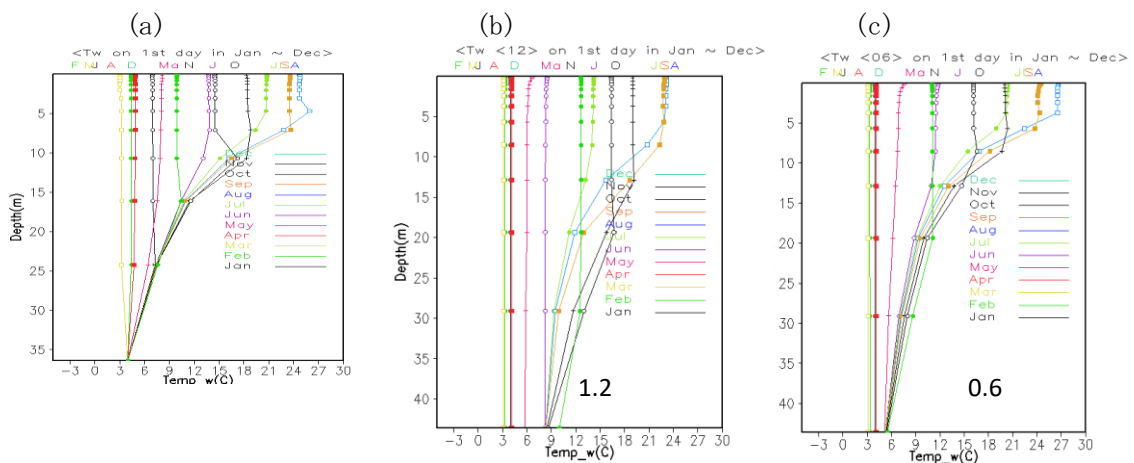
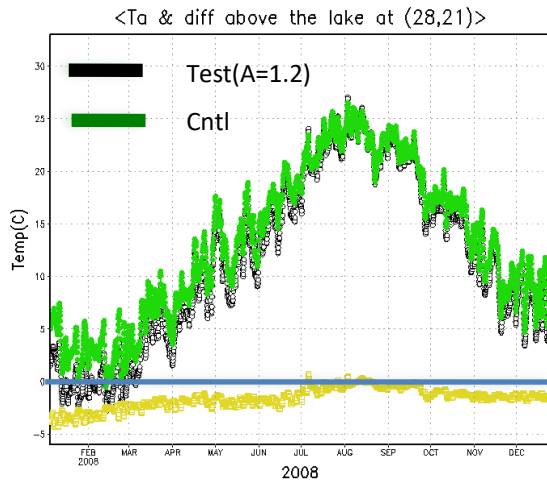


図3 各月 1 日の水温分布。(a)はオフライン版で摩擦速度換算係数  $A$  の値は  $A=3.6$ , (b)は結合版のテスト実験結果で  $A=1.2$ , (c)同じくテスト実験で  $A=0.6$  のプロフィール。

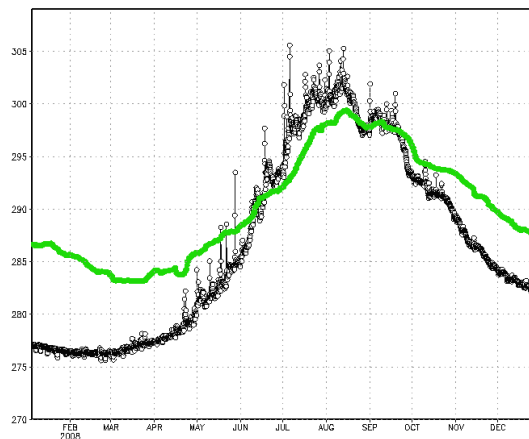
これはオフライン版の最適値である  $A=3.6$  と結合版の最適値である  $A=1.2$  の比の 3 には遠く及ばない。このことから、安定・不安定時の風のプロファイルの影響が結合版のパフォーマンスに大きく効いていることが考えられる。

(ii) MTL による大気へのインパクト

摩擦速度換算係数  $A=1.2$  とした場合のテスト実験と、湖を考慮せず 6 時間毎に更新される SST を下部境界条件としたコントロール実験を比較し、MTL のインパクトを調べた。図 4



気温 & 気温差



地表面(水面) 温度

図4 (左図) 結合版 MTL(A=1.2)を使ったテスト実験の湖面上(黒)の気温と湖がないコントロール実験(緑)の地上気温、及び、(テスト実験 - コントロール実験)の気温差の推移。(右図) テスト実験での表層水温(黒)とコントロール実験で下部境界条件として与えられる SST(緑)。

左図は湖面上の気温と対応する座標の気温を比較した図である。右図は表層の水温と下部境界条件である SST の推移を示している。右図から初期値の影響がなくなる1年後で約5°C程度表層水温が低くなっていることがわかる。湖面上の気温差も1年後の冬季で約2°C生じており(MTLの方が低い)、明らかに MTL 導入のインパクトがある(夏季にはほぼ等しい気温となりインパクトは認められない)。

図5に、冬季(1~3月)平均のテスト実験の湖面上の表層熱収支(左図)と対応するコントロール実験での地表面熱収支(右図)を示す。テスト実験と比べて、コントロール実験の高い SST によって、上向き長波放射が増え、その結果、正味長波の負値の絶対値が大きくなる。また、高温の SST によって潜熱・顕熱フラックスが大きくなり、その結果、大気への熱輸送の誤差が拡大してしまう。なお、他の季節では熱収支にあまり差が生じていなかった。

図6は MTL の導入による湖周辺の気温へのインパクトを示す。上段は猪苗代湖周辺 80km

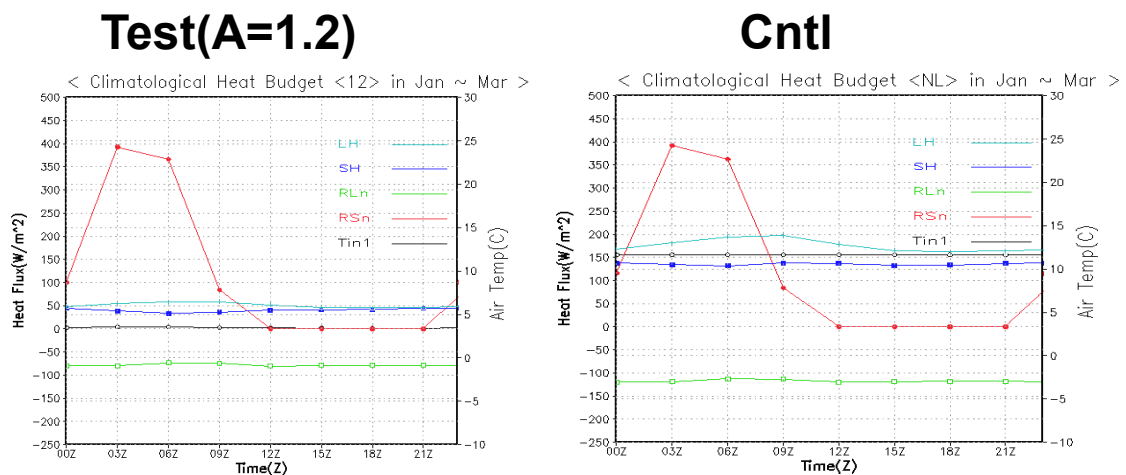


図5 (左図) 冬季(1~3月)平均のテスト実験(A=0.6)の湖面上の表層熱収支と、(右図) 対応する座標のコントロール実験での地表面熱収支



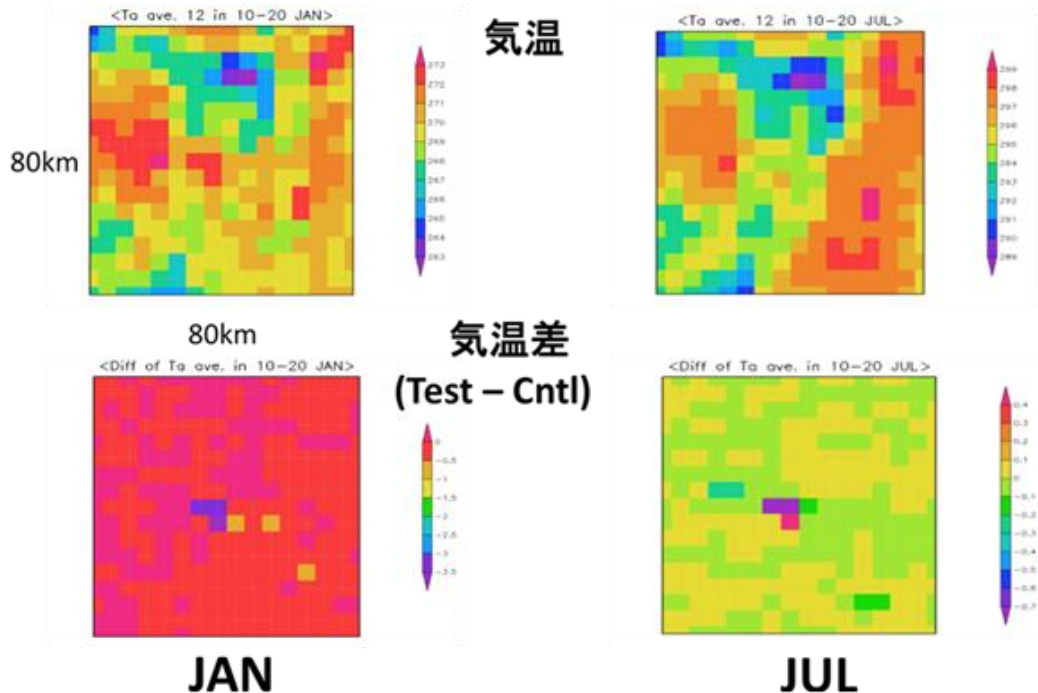


図6 (上段) 猪苗代湖周辺 80km 四方の  $A=0.6$  のテスト実験による地上気温と (下段) MTL を入れた場合の地上気温のインパクト (テスト - コントロール) . (左図) 1月 10~20 日の平均, (右図) 7月 10~20 日の平均

四方の気温の分布で、左側は 1 月中旬の旬平均、右側は 7 月中旬の旬平均である。下段のインパクトの図を見ると、右図の夏季は湖以外の格子は  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  に入っており、インパクトがあるとは認められない。左図の冬季には、湖の 3 格子以外にも東~東南東にコントロールより  $0.5\sim 1^{\circ}\text{C}$  低温になっている格子がある。但し、初期設定の湖水温が低すぎた可能性もあり、本当にインパクトがあるかどうかは断定できない。水平解像度を上げて、もう少し長期にわたる積分を行う必要がある。

### (7) 結論

再現結果と水温観測値を比較した結果、以下のことがわかった。1) 現行のキャニオン空間での気温  $T_a$  と比湿  $q_a$  を診断して顕熱・潜熱フラックスを計算する方式では、オフライン版 MTL で最良となったパラメータを用いると温度の渦動拡散が大き過ぎて全層等温に近い結果となり観測を再現できないが、温度の渦動拡散を抑えるために大気最下層の風速から摩擦速度を求める 1 次式の係数  $A$  を小さくするとオフライン版同様の結果が再現できる、2) 湖面上では MTL 導入のインパクトが水温、気温、顕熱・潜熱フラックスで認められる、3) 5 km 解像度では湖沼水面温度の周辺大気への影響は不明確であり、より高解像度の積分が必要である、4) 観測値に近いと思われる水温分布から結合版を 1 年積分してもモデル気候値に達していないことから、陸面解析の一環としての湖面解析が必要である。

一方、オフライン版でのチューニングを結合版にそのまま活かすには、摩擦速度推定に用いる風速に大気モデル最下層 (NHRCM では 40m 高度) の風を用いるのではなく、オフライン版で使用している 10m 高度の風を診断サブルーチンで求め、これを使って摩擦速度を推定する必要がある。この場合、最適な摩擦速度換算係数  $A$  はオフライン版での最適値に近づいてくる可能性がある。

今後、緊急に取り組む必要がある課題は、i) MTL の MPI 化、ii) モデル実行以前の前処理で各湖沼の緯度経度・平均水深・最深水深・水温気候値を備えた湖沼ファイルを作成し、NHRCM で読み込めるように入力を整備すること、の 2 つである。これらなしでは、全国の湖沼を NHRCM で計算することは不可能である。また、現在は海陸比に倣って湖陸比 0.5 を閾値

にして陸面格子を湖沼と陸に分けて計算しているが、将来的には、陸面過程全般のモザイク化を図ることによって、より複雑な地表面被覆を現実ものに近づける必要がある。

### c)参考文献

- Aoyagi, T., and N. Seino, 2011: A Square Urban Canopy Scheme for the NHM and Its Evaluation on Summer Condition in the Tokyo Metropolitan Area, Japan. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **50**, 1476-1496.
- Beljaars, A. C. M., and A. A. M. Holtslag, 1991: Flux parameterization over land surface for atmospheric models. *J. Appl. Meteor.*, **30**, 327-341.
- 田村美紗, 大泉三津夫, 2017: 領域モデル用の湖沼水温モデル, 平成 28 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』, ヤマセ研究会

## 14.従来型観測のみを用いた長期領域再解析に向けた取り組み 福井真(東北大/気象研)

### a)要旨

気候変動に対する局地的な応答の把握、メソスケールの極端現象の理解、及び農業や水資源管理での気象情報を活用する技術の開発などにおける基盤データとなりうる、高解像度でかつ長期間の均質な気象データセット提供を目指し、従来型観測のみを同化する長期領域再解析システム構築に向けた同化実験を行った。そして、独立観測である解析雨量を用いて領域再解析システムを検証した。水平解像度の粗い全球再解析や観測を同化しない力学的ダウンスケールに対する優位性について調査した。システムには、降水量過小評価傾向がみられたが、第一推定値を摂動メンバーのアンサンブル平均ではなく、解析からのランに変更することで、降水量過小評価傾向が軽減することを確かめた。

### b)本文

#### (1) はじめに

気候変動に対する局地的な応答の把握、メソスケールの極端現象の理解、及び農業や水資源管理における気象情報の利活用を目指した研究において、高解像度でかつ長期間の均質な気象データセットは非常に有効である。こうしたデータセット作成として、既に力学的ダウンスケール(DS)がよく行われているが、必ずしも個々の事例についての精度が十分とは言えない(e.g. Kayaba et al., 2016)。そこで、単なるDSではなく、測候所などでの地上観測やラジオゾンデによる高層観測といった60年程度遡ってデータが入手可能な従来型観測を同化することで、長期間均質でかつ高精度な気象データセット作成の可能性を考える。

#### (2) 手法

領域再解析は、気象庁非静力学モデル(NHM; Saito et al., 2007)によるアンサンブル予報及び局所アンサンブル変換カルマンフィルタ(LETKF; Hunt et al., 2007)による同化を行う一方向ネスト型のNHM-LETKF(Kunii, 2014)を用いて行う。側面境界値にJRA-55(Kobayashi et al., 2015)を用いて、水平格子間隔25 kmで東アジア域を覆う領域を、さらに水平格子間隔5 kmで日本及びその周辺地域を覆う領域を計算した。アンサンブルサイズは10とした。同化に用いた観測は、気象庁現業解析用いられた従来型観測(SYNOP, SHIP, BOUY, TEMP, PILOT)である。期間は2014年8月の1カ月間である。比較のために、この領域再解析実験(RRA)に加え、同化を行わない2種類のDSも行った。一方は、側面境界だけでなく7 kmを超える高度でスペクトル境界結合(Yasunaga et al., 2005)を併用した一連の長期積分によるDS(DS1)、他方は、DSJRA-55(Kayaba et al., 2016)に倣った、6時間毎に短期(12時間)積分を行い、その後半6時間の結果を繋ぎ合わせるDS(DS2)である。

検証は、独立観測である解析雨量の6時間積算値を用いて行った。ある閾値以上の現象について、発現頻度の再現性指標であるバイアスコア(BS; 本田, 2005)及び時空間パターンも含めた再現精度の指標であるスレットスコア(TS; 本田, 2005)を用いる。

#### (3) 結果

水平解像度が60 kmと粗いJRA-55は、降水強度の閾値が大きくなるに従いBSが小さくなった一方、水平解像度5 kmのRRA、DS1、DS2ではBSの閾値依存は殆ど見られなかった。これは、高解像度化により、強雨まで扱うことができるようになったことを示す。ただし、閾値に依らずBSが1より小さい、すなわち、システムが降水量を過小評価していた。予報モデルのNHMだけではなく、JRA-55を利用している側面境界も含めて原因を調査する必要がある。そして、この過小評価はRRA及びDS2で顕著でBSが0.6程度となっていた。RRAでは、第一推定値としてアンサンブル平均を用いるため、場が平滑化されてしまう。また、DS2では低解像度ランからの値を用いており、両者ともスピニングアップが不十分であるという問題を抱えていることが原因として考えられる。RRAにおいて、第一推定値としてアンサンブル平均を用いずに解析値からのランを用いることで、TSを大きく悪化させずにスピニングアップの問題が

改善し降水量の過小評価を軽減することを確認した。

TS をみると、DS1 が顕著に悪く RRA と比べ 0.1 程度低い値となっていた。長期積分による DS では、内部の擾乱が一般的に用いられるような側面及び波数境界からの強制のみではコントロールしきれないことを示している。そして、従来型観測しか同化していないが、長期積分による場の悪化を抑制することが分かった。一般にアンサンブルカルマンフィルタにおいてアンサンブルメンバー数を増やすことで偽の相関が抑えられ、解析精度が上がる。ただし、アンサンブルメンバーを増やすとその分計算コストが掛かる。本実験では、アンサンブルメンバーが 10 と極めて少ないため、今後は、アンサンブルメンバー数増加による精度への影響を見ながら、計算コストを考慮し効率的なメンバー数について調べる必要がある。

謝辞

本研究は、文部科学省フラッグシップ 2020 プロジェクト（ポスト「京」の開発）「ポスト「京」で重点的に取り組むべき社会的・科学的課題」における重点課題④「観測ビッグデータを活用した気象と地球環境予測の高度化」の成果である。本研究は、東北大学サイバーサイエンスセンターのスーパーコンピュータを利用することで実現することができた。

### c)参考文献

- 本田有機, 2005: 統計的検証で利用される代表的な指標. 平成 17 年度数値予報研修テキスト, 気象庁予報部, 77-78.
- Hunt, B., E. Kostelich, I. Szunyogh, 2007: Efficient data assimilation for spatiotemporal chaos: A Local Ensemble Transform Kalman Filter. *Physica D*, **230**, 112-126.
- Kayaba, N., T. Yamada, S. Hayashi, K. Onogi, S. Kobayashi, K. Yoshimoto, K. Kamiguchi, and K. Yamashita, 2016: Dynamical Regional Downscaling Using the JRA-55 Reanalysis (DSJRA-55). *SOLA*, **12**, 1-5, doi:10.2151/sola.2016-001.
- Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebita, M. Moriya, H. Onoda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka, and K. Takahashi, 2015: The JRA-55 Reanalysis: General specifications and basic characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 5-48, doi:10.2151/jmsj.2015-001.
- Kunii, M., 2014: Mesoscale data assimilation for a local severe rainfall event with the NHM-LETKF system. *Wea. Forecasting*, **29**, 1093-1105.
- Saito, K., J. Ishida, K. Aranami, T. Hara, T. Segawa, M. Narita and Y. Honda, 2007: Nonhydrostatic atmospheric models and operational development at JMA. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85B**, 271-304.
- Yasunaga, K., T. Kato, Y. Wakazuki, H. Sasaki, C. Muroi, K. Kurihara, Y. Sato, M. Yoshizaki, S. Kanada, and A. Hashimoto, 2005: Performances of long-term integrations of Japan Meteorological Agency Nonhydrostatic Model with the Spectral Boundary Coupling Method, *Wea. Forecasting*, **6**, 1061-1072.

15.2013年5月13日の仙台山形の気温差について（続報）  
岩場遊、岩崎俊樹、福井真（東北大院・理）

## 要旨

2013年5月13日、仙台と山形の最高気温差が過去最大の17.7℃に達した。この現象が発生したメカニズムを明らかにするため、JMA-NHMを用いて水平解像度2kmのシミュレーションと流跡線解析や感度実験を行った。その結果、奥羽山脈の地形の効果により気温差が生じていたことが分かった。また、仙台の空気が北東の海上から一旦南下後北上して到達していたことにより、下層雲が発達していたことが分かった。

## 1. はじめに

2013年5月13日、仙台と山形の最高気温差が17.7℃に達した。図1に15時の気温を示す。奥羽山脈を挟んだ明瞭な気温コントラストがみられる。図2に9時の天気図を示す。オホーツク海に高気圧があり、太平洋側に張り出している。

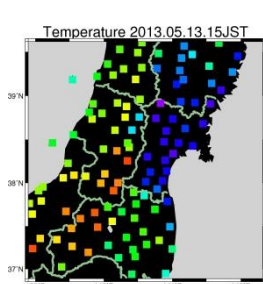


図1  
15時の気温  
(アメダス)

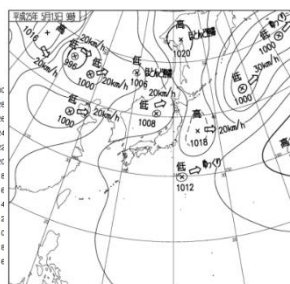


図2  
9時の天気図

## 2. 手法

JMA-NHMを用いてウンスケールを行った。水平解像度を2kmとし、初期値境界値には気象庁現業メソ解析、SSTにはMGDSSTを用いた。初期時刻は5月11日21時とした。

## 3. 結果と考察

### 3.1 ダウンスケーリング

ダウンスケールの結果を示す。図4は15時の地上の気温と風の結果、図5は温位と風のz-x断面図である。

仙台と山形の気温差は約12℃であった。仙台の最高気温が観測より4℃程度高かった。

太平洋側は東寄り、日本海側は西寄りの風が吹いており、太平洋側の東寄りの風が冷気を伴っている。この冷気層が奥羽山脈より低かったため、山形に到達できず、大きな気温差が生じていた。

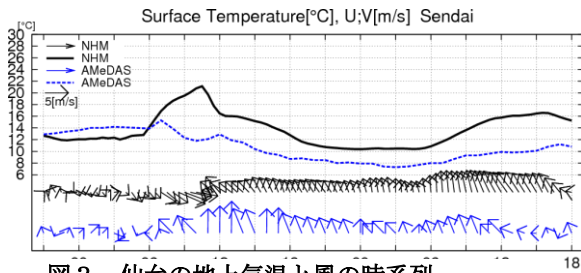


図3 仙台の地上気温と風の時系列  
黒：NHM 青：観測

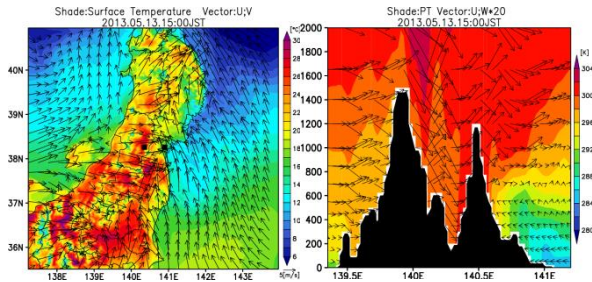


図4  
15時の地上気温と  
地上10mの風

図5  
15時の温位と風  
鉛直風速は20倍に誇張

### 3.2 後方流跡線解析

ダウンスケールの結果から後方流跡線解析を行った。仙台と山形の地上50mにそれぞれ10個のパーセルをランダムに配置し、到達した空気塊の流跡線を平均した。計算時間は仙台が30時間前まで、山形が6時間前までである。

図6に15時に到達した空気の流跡線を示す。仙台の空気の起源は太平洋から、山形の空気は日本海から到達しており、奥羽山脈の効果によって両地点の空気が全く異なるものであったことが確かめられた。図7に流跡線に沿った物理量の変化を示す。13日6時頃までの南下する過程においては、気温はSSTより低く、海面付近の空気は加熱されている。このとき潜熱フラックスがせいで、水蒸気も多量に供給されている。その後の北上する過程においては、気温はSSTより高く、海面付近の空気は冷却されている。その結果凝結が起りやすくなり、下層雲や霧が発達したと考えられる。

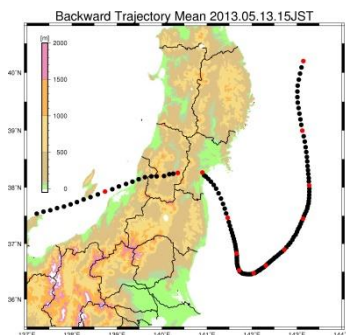


図6  
15時に到達した流跡線  
赤は3時間毎

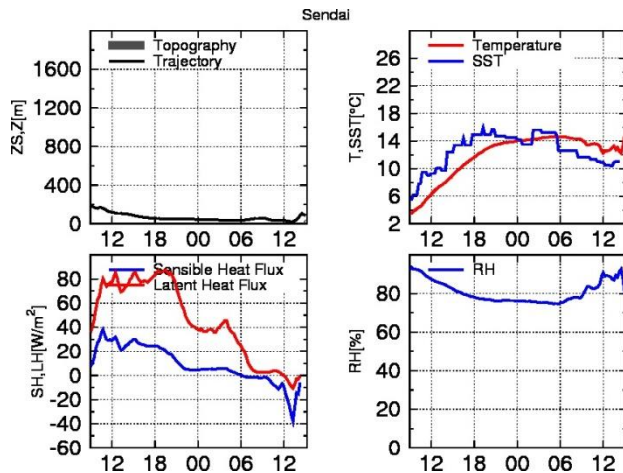


図7 仙台に到達した流跡線に沿った変化  
 左上：高度 右上：気温、SST  
 左下：潜熱、顕熱 右下：相対湿度

#### 4. NHM-LETKF

NHM で計算された 13 日の仙台の最高気温は観測に比べて 4 °C 程度高かった。この原因の一つとして気圧場の誤差により風の場合に誤差が生じ、気温が外れていたことが考えられた。このことを確かめるため、NHM-LETKF を用いて地上気圧を同化した計算を行い、NHM の場合と比較した。水平解像度を 2 km とし、初期値境界値には気象庁現業メソ解析、SST には MGDSST を用いた。初期時刻は 5 月 5 日 21 時とした。

図 8 は仙台と山形の海面更正気圧である。NHM では 12 日、13 日ともに日中に誤差が大きくなっていたが、NHM-LETKF では改善された。図 9 は 13 日 15 時のアメダス地点における地上気温である。NHM では観測に比べて高く計算された地点が多数みられたが、NHM-LETKF では大きく改善された。このように、地上気圧の同化により他の要素の場も改善することが確かめられた。

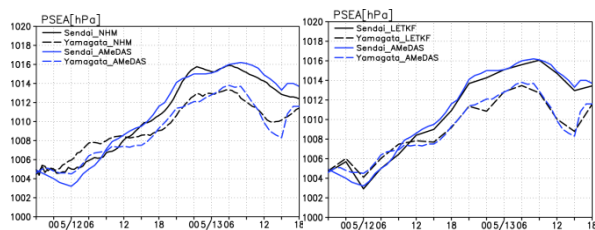


図8 仙台と山形の海面更正気圧  
 左：NHM 右：NHM-LETKF  
 実線：仙台 破線：山形 黒：計算 青：観測

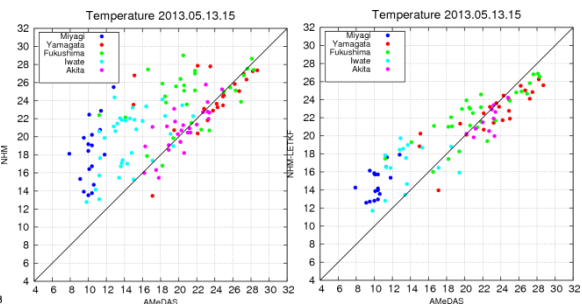


図9 13日15時のアメダス地点における地上気温  
 横軸：アメダス 縦軸：計算  
 左：NHM 右：NHM-LETKF

#### 5. まとめ

2013年5月13日に観測された仙台と山形の気温差のメカニズムを調べた。奥羽山脈の付近で下層の東風と西風が収束しており、太平洋側の冷氣が奥羽山脈より低かったため両地点の空気の違いが生じていた。仙台に到達した空気は一旦南下後北上して到達しており、この軌跡が下層雲の発達に寄与していた。

また、本事例に対しNHM-LETKFを用いてシミュレーションを行った。地上気圧のみを同化した。風場が改善し、その結果地上気温も改善することが確かめられた。



16.日本への台風4個上陸に関連した2016年8月の大気循環場の異常  
前田修平（気象研究所気候研究部）、竹村和人・久保勇太郎（気象庁気候情報課）

### a)要旨

2016年8月は1951年以後で初めて台風が東北太平洋側に上陸するなど、台風の動向が顕著に平年と異なった。関連する大気循環場も、①日本の南海上の低気圧、②北海道東方海上の高気圧、③北海道東方海上の上層のリッジ・低渦位、④日付変更線付近の亜熱帯域の上層のトラフ・高渦位、そして⑤日本の南東海上の積雲対流活動の強さ、がそれぞれ1979年以降で最も偏差が大きく、「異常」であった。また、大気循環場のそれぞれの「異常」が互いに関係していることを、データ解析と数値実験で示した。

### b)本文

(1)はじめに

2016年8月の台風の動向に関連した大気循環場の特徴とその形成要因を、長期再解析データ（JRA-55）、NOAA提供の外向き長波放射量データ（OLR）、線形傾圧モデル（LBM；Watanabe and Kimoto, 2000）と気象庁の現業で用いられている1か月アンサンブル予報システム（1か月EPS（V1403）；平井ほか, 2015）を用いた数値実験で調べた。

(2)2016年8月の循環場・積雲対流活動の特徴

(i)概要

海面気圧では、2016年8月は、平年に比べ日本の南海上で高気圧が弱く低気圧が解析される一方、北海道の東海上で高気圧が強い。1979年以後で比べると、日本の南海上で平均（25-35N、130-140E）した海面気圧はもっとも低く、北海道の東海上で平均（40-50N、160-170E）した海面気圧は最も高い。一方、対流圏上層ではユーラシア大陸上から日付変更線付近にかけて偏西風が大きく南北に蛇行した。温位350K面で見ると、北海道の東海上で平均（40-50N、160-170E）した渦位は過去と比べて最も低く（リッジが強い）、その東南東の日付変更線付近（35-45N、180-190E）で平均した渦位は最も高い（トラフが強い）。また、フィリピン東方海上から日付変更線にかけて積雲対流活動が活発で、活発域が平年に比べて東に伸びている。日本の南東海上で平均（15-25N、140-180E）したOLRは過去もっとも小さい（積雲対流活動が最も活発）。この活発な積雲対流域で発生した複数の台風が、平年から大きく偏った循環場の影響で、平年には見られないコースを通過して北進し、北日本に上陸した。以下、この顕著な循環偏差の形成要因を、相互の関係を中心に調べる。

(i i)日本の南海上の低気圧と積雲対流活動の関係

日本の南海上の低気圧と南東海上の対流活動は関係が深い。両者の位置関係に注目すると、OLR偏差のやや北西側に低気圧が位置しており、積雲対流活動に伴う凝結加熱の応答のロスビー波が低気圧と関係していることを示唆している。このことは、2016年8月の熱帯の非断熱加熱偏差をLBMに与えた数値実験で確認できる（図略）。

(i i i)北海道の東方海上の高気圧、上層のリッジと日本の南海上の低気圧の関係

Takaya and Nakamura(2001)の波活動度フラックス（WAF）から、日本の南海上の低気圧と北海道の東海上の高気圧は、南西から北東の方向に向けての対流圏下層を中心としたロスビー波列であることがわかる。また対流圏上層における北海道の東海上のリッジや南東海上のトラフは、西シベリアのブロッキング高気圧と関連するアジアジェット気流沿いのロスビー波列の一環であることがわかる（図略）。これらのことは、北海道東方海上の高気圧と上層のリッジには、起源の違う二つのロスビー波列が関係していることを示している。WAFの鉛直成分をみると北海道の東海上では上向きである。基本場が鉛直に西風シアを持つ場合、鉛直上向き伝播するロスビー波は基本場からの傾圧エネルギー変換で増幅する。平年値を基

本場として2016年8月の傾圧エネルギー変換 (Kosaka et al., 2009) の分布を見ると、確かに北海道の東方海上で基本場から擾乱にエネルギーが変換されている。起源が違う下層中心のロスビー波と上層中心のロスビー波が鉛直上向きに伝播する位相で相互に干渉し、基本場からエネルギーを受けつつ増幅した、といえる。

(i v) 日付変更線付近のトラフと日本の南東海上の積雲対流活動の関係

図1の陰影は、地衡風による渦度移流の鉛直差 (200hPa-850hPa) である。日付変更線付近から南西に延びるトラフ前面の亜熱帯域 (図中の楕円で囲った領域) では正の渦度移流鉛直差が見られる。500hPaのQベクトルは収束しており、準地衡風 (QG) 的な上昇流場となっている。この領域 (15-25N, 150-180E) で平均したQベクトルは、平年では発散となるが、2016年は収束で、1979年以後では最も強い (図略)。中層の温度移流には大きな特徴はなく、上層の渦度移流が記録的に強いQG的な上昇流をもたらした、といえる。日別のQベクトル収束 (図2) を見ると、7月末~8月5日頃と8月10日~20日過ぎに収束が続き、対応してOLRの値も小さかった (積雲対流活動が活発)。これらのことは、増幅した日付変更線付近のトラフが、QG的な上昇流をもたらし、亜熱帯海域での積雲対流活動を活発化させた可能性を示している。また、(2)を考慮すると、このトラフは日本の南海上の低気圧の形成にも寄与した可能性がある。1か月EPSを用いた、日付変更線付近のトラフを解析値に緩和する数値実験の結果は、これらの可能性を支持した。

(3) おわりに

2016年8月の日本付近の循環場は、地上付近、対流圏上層、積雲対流活動ともに顕著な偏差を示し、相互に関連していた。これらの顕著な偏差は大気の内変動動的な性質が強いと推察されるが、海面水温など大気境界条件の影響はないのだろうか。2016年8月は、強いエルニーニョ現象の終息後の時期にあたっている。エルニーニョ現象の長引く影響のひとつとして、フィリピン東方海上における積雲対流活動の活発化を指摘する研究 (Kumar and Hoerling 2003 など) もあり、季節予報の予測可能性の観点からも、2016年8月の循環場異常との関連が興味深い。なお、本調査は、気象庁異常気象分析検討会のメールでの議論をおおいに参考にした。

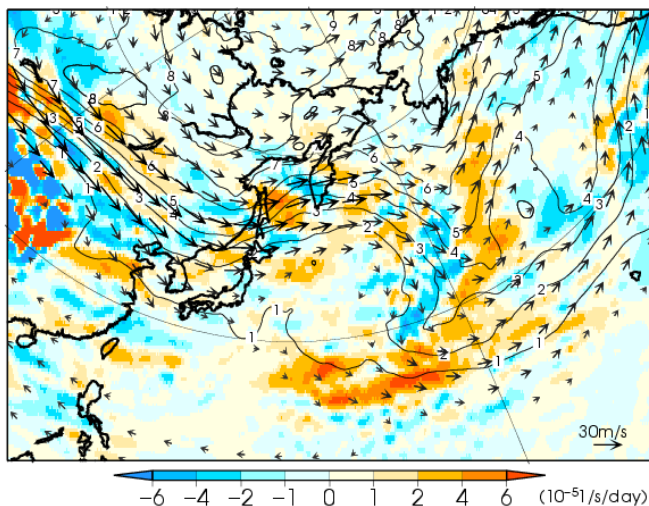


図1 地衡風による渦度移流の鉛直差 (200hPa-850hPa)。2016年8月。陰影が渦度移流の鉛直差 (単位:  $10^{-5}/s/day$ ) で矢印が200hPaの地衡風。等値線は350K温位面の渦位 (単位: PVU)。

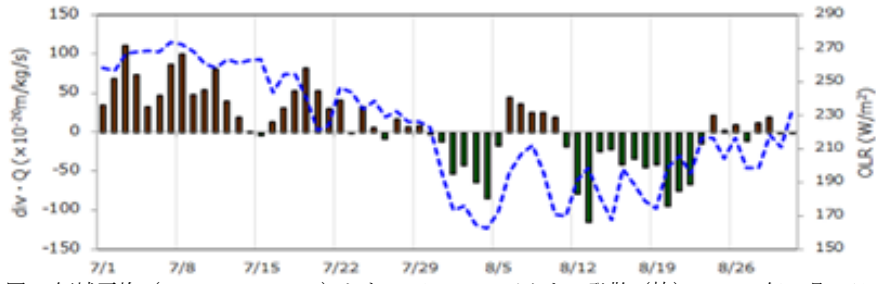


図2 領域平均 (15-25N, 150-180E) した 500hPa の Qベクトル発散 (棒)、2016年7月1日~8月31日)。折れ線は対応する領域で平均した OLR。

### c)参考文献

- 平井雅之, 宮岡健吾, 佐藤均, 杉本裕之, 南敦, 松川知紘, 高谷祐平, 新保明彦, 2015: 1か月予報システムの変更の概要. 平成26年度季節予報研修テキスト, 気象庁地球環境・海洋部, 1-5.
- Watanabe, M., and M. Kimoto, 2000: Atmosphere-ocean thermal coupling in the North Atlantic: A positive feedback. *Quart. J.R. Met. Soc.*, 126, 3343-3369.

## 17.d4PDFのアンサンブル実験が見せるやませ。再現性と将来変化 川添祥（海洋研究開発機構）

### a)要旨

d4PDF 大規模アンサンブル実験を使用し、やませ現象の再現性や地球温暖化における将来変化を調べた。現在の解析では、将来のやませ頻度に比較的变化は見られない。過去および将来のやませに実質的な相違が無いことに、北日本の温暖化予測にやませなどの極端現象を無視してはならないことの重要性を表す。

### b)本文

#### (1) 実験設定

「地球温暖化に資するアンサンブル気候予測データベース（d4PDF）」(Mizuta et al. 2016)の一環として、気象研究所（MRI）の全球気候モデルと領域気候モデルの大規模アンサンブル実験を解析した。全球モデルの結果は水平解像度 60km の MRI-AGCM3.2 から得られ、領域モデルの結果は水平解像度が 20km にダウンスケールされた NHRCM を使用する。

過去実験では対象期間を 1951-2011 にしてあり、各メンバーに海氷と海面水温に摂動を与えてられる。AGCM3 は 100 メンバー、NHRCM は 50 メンバーのアンサンブル実験が行われた。将来実験では対象期間を 2051-2111 にしてあり、CMIP5 から 6 種類の海面水温(SST)の摂動が与えられている。各 SST に 15 メンバーが加わっており、計 90 メンバーアンサンブル実験は全球平均温度が 4°C 上昇した世界を表している。

#### (2) 平年気候値解析

d4PDF アンサンブルからの地上気温、降水量、海面気圧の夏季(6 - 8月) 将来変化を解析した(図1)。平均地上気温においては、3.5°C~5°C 程度上昇し、各 SST を比べると、三陸沖の気温偏差で最も大きな違いが見れた。降水量では、北海道、西東北沿岸添えに降水量の増加が現れるが、北日本は主に降水量減少が予測。海面気圧では各 SST に隔たりが見えるが、西太平洋高気圧及び熱帯モンスーン低気圧が弱化する事は共通している。オホーツク海周辺では各 SST により海面気圧が強化/弱化するパターンが両方出るが、今時点の解析ではこれによってやませの影響するとは示されていない。

#### (3) やませ発生時気候解析

東東北を中心に行い、夏季 10 日間地上気温が平年値より 2°C 下回る時をやませ現象時とした。やませ発生の頻度を解析すると、観測 (AMeDAS) と JRA55 に比べ、モデルのやませ頻度が少ない事が分かった。7 月中旬から 8 月上旬がやませ発生時のピークと微妙に表れ、頻度分布は将来も余り変化は見られない(図2)。しかし、Endo (2012) で使用された平均地上風手法で解析してみると、分布が大きく変わり、8 月中旬から下旬がやませ発生のピークで、頻度も多少上がる事が分かった。

やませ時の全アンサンブルコンポジットを解析すると、発達したオホーツク高気圧(及び西太平洋高気圧弱化)の影響で、北日本太平洋側に北東/東風が発生する。その際、やませ風は内陸に浸透しないため、沿岸添えが最も冷え、-2~-4°C 程度の気温偏差が示された。この特徴そのものには過去/将来実験に大きな変化は見られない。

### c)参考文献

Endo, H, 2012: Future changes of Yamase bringing unusually cold summers over Northeastern Japan in CMIP3 multi-models. *J. Meteorol. Soc. Jpn.* **90A**, 123–136.

Mizuta, R., and Coauthors, 2016: Over 5000 years of ensemble future climate simulations by 60 km global and 20 km regional atmospheric models. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* doi:10.1175/BAMS-D-16-0099.1, in press.

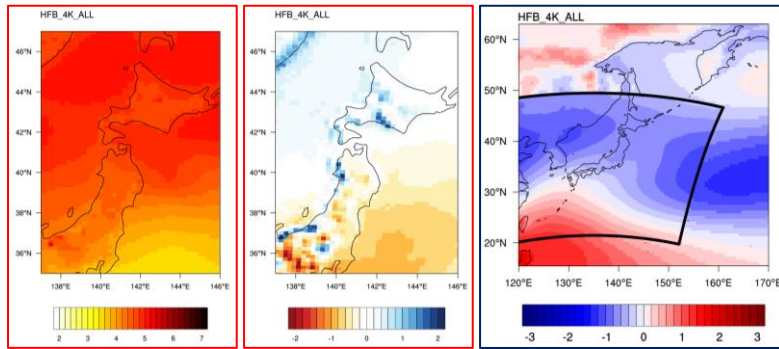


図 1 : d4PDF アンサンブル実験からの夏季(6 - 8 月)将来変化。(左) 平均地上気温[°C]、(中) 平均降水量 [mm day<sup>-1</sup>]、(右) 平均海面気圧[hPa]。

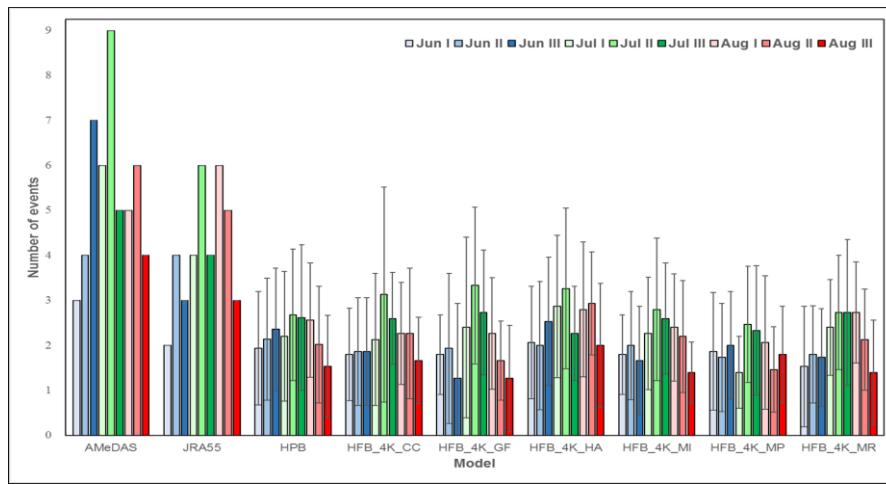


図 2 : d4PDF 領域モデルからのやませ頻度解析。HPB は過去実験、HFB は各 SST 摂動の将来実験を示す。

## 18. アンサンブル気象予測を用いた冷害の品種別推定

吉田龍平（福島大学）

### a)要旨

アンサンブル気象予測データと水稻生育モデルを組み合わせ、水稻に対する冷却量の予測実験を行った。予測誤差は期間の延長とともに拡大し、特に8月下旬での拡大が顕著であった。11-14日予報のRMSEに対し、1-4日予報のRMSEの低下率は7月では20%程度であるものの8月では概ね60%を超え、冷害予測における”予報鮮度”の低下のペースは季節によって大きく異なることが明らかになった。

### b)本文

#### (1) はじめに

冷害の事前予測は古くて新しい問題であり、これまでも北日本を中心に予測の試みが多く行われてきた。気象庁と東北農業研究センターでは1kmメッシュの平年気温と早期警戒気温ガイダンスを組み合わせ、2週間までの気温予測値を作成している。こうした予測は詳細かつ比較的長期の気温の情報を提供するが、実際の各地の生育状況は不明のため、推定される低温がどの程度生育に影響を与えるかを定量化することが望ましい。

近年、水稻生育モデルの高度化により品種ベースでの水稻生育シミュレーションが可能となり、気象予測データと組み合わせることで現地の生育段階を考慮した冷害の発生予測が可能になると期待される。こうした背景に基づいて本研究は東北地方の水稻に対する冷却量の再現実験を行い、季節による予測精度の違いについて検討を行った。

#### (2) データ

入力する気象データは気象研究コンソーシアムで提供されている1ヶ月ハインドキャストを東北地方に対して5km格子に高解像度化されたもの(Fukui et al., 2014)を用いた。本データのメンバー数は9で、2000-2009年の7月10, 20, 30日、8月10, 20日をそれぞれ初期値とする14日予報である。水稻生育モデルは品種ごとの生育の差を考慮できるHasegawa/Horieモデル(Yoshida et al. 2015)を用い、生育パラメータはFukui et al. (2015)を用いた。栽培させる品種は各県で作付面積が1位のもの(表1)とした。

冷却量の再現実験は2通りの設定(CTLおよびENS)で行った。いずれの設定においても、予報開始前日まではMesh-AMeDASでH/Hモデルを駆動して生育段階を共通にし、CTL設定は14日先までも引き続きMesh-AMeDASで計算し、ENS設定は各アンサンブルメンバーで計算した。CTL設定で得られる冷却量を真とし、ENS設定の冷却量の評価を行った。いずれの計算においても冷却量( $Q_T$ )は次式で算出した。

$$Q_T = \int_{DVI=1.5}^{2.2} \max(22 - T_a, 0)$$

ただし、DVIは成長段階(0:出芽、3:成熟)、 $T_a$ は日平均気温(°C)、である。

#### (3) 結果と考察

気温の予測精度は予報期間の延長とともに低下し、11-14日予報では最大で5度程度のRMSEであった(図1)。東北の太平洋側や山岳域の冷涼なところでRMSEが大きい一方、日本海側の平地では期間を通して高い再現性が得られた。領域平均した誤差の時間発展に着目すると、いずれの初期値においても14日間の予報で0.5~1度のRMSEの増加が見られた(図2)。スプレッドの拡大傾向は初期値によらず、予報期間の延長とともに単調に増加していた。こうした傾向を反映して領域内の空間相関は次第に低下し、7日目には0.6~0.8、14日目には0.3前後まで下がっていた。

冷却量は5日程度先までは東北全体で良好に再現可能であるものの、14日先では気温のRMSEが高い東北北部を中心に再現性が低下していた(図3)。秋田や新潟では14日先でも2

度以下の誤差に収まっているが、これは冷却量自体が予測されていないことが要因である。気温と同様に初期値の違いによる誤差の時間発展の特徴を見ると、季節の進行とともに誤差の成長速度が大きくなっていった（図4）。RMSEの時間発展傾向はスプレッドに対しても同様で、8月の10日および20日を初期値とするスプレッドの増加が大きかった。日数経過による空間相関の低下は冷却量に対しても同様であったが、14日目で最も高い相関係数を与えるのは8月20日初期値であった。冷却量は特定の日の気温だけではなく過去の気温の情報も含んで算出されるため、Mesh-AMeDASで予測開始前の生育段階を共通にしていることが大きく影響していると考えられる。一方で7月10日初期値の傾向は他のケースと異なるが、これは冷害警戒期間に入るタイミングが各グリッドで正しく表現されていないことが原因である。

同日を対象に11-14日予報と1-4日予報のRMSEを比較すると、季節の進行とともに改善率は増加し、対象期間の最後にあたる8月21-24日では約8割の改善が見込まれた（図5）。この時期は多くの地点で基準の気温を割り込むようになり、気象データのバイアスがより反映されるようになったため11-14日予報の精度がより低下していることが原因と考えられる。8月は概ね6割を超える改善率が見込まれ、直近の予報を使うことによる予測精度の向上が期待される。7月下旬は予報の改善は限定的であるが、これは冷害警戒時期に入っていないためである。こうした冷却量の傾向は品種ベースで予測実験を行うことで明らかになることであり、より実態にあった冷害予測を行うために生育状況を考慮したモデルの利用が望ましいといえる。

### c)謝辞

本研究を進めるにあたり、東北大学大学院理学研究科の福井真氏と早稲田大学人間科学研究科の福井眞氏のサポートをいただきました。Mesh-AMeDASは農研機構 農業環境変動研究センターの石郷岡康史氏から提供していただきました。

### d)参考文献

- Fukui S., T. Iwasaki, and W. Sha, 2014: An ensemble downscaling prediction experiment for medium-range forecast of the daily mean surface temperature distribution over northeastern Japan during summer. *J. Meteorol. Soc. Japan*, **92(6)**, 505-517, 2014
- 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, 2015.
- 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-based simulation: a possible cultivar shift in eastern Japan. *Clim. Res.*, **64**, 275-290, 2015.

表1：本研究で設定した栽培品種。各県で作付面積が1位の品種を設定したが、青森は1位のまっしぐらのパラメータが利用できないため、比較的近いあきたこまちの値を用いた。

青森	あきたこまち	秋田	あきたこまち	岩手	ひとめぼれ
山形	はえぬき	宮城	ひとめぼれ	福島	コシヒカリ

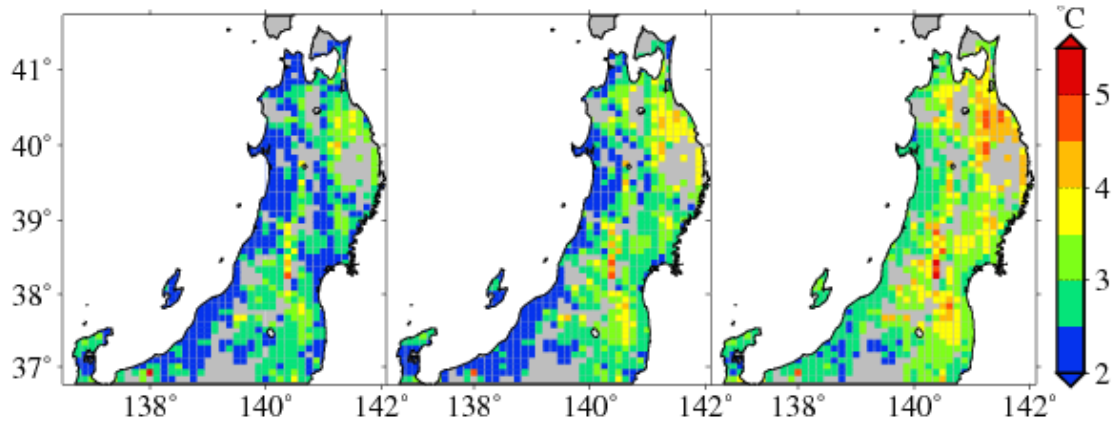


図1: 気温のRMSEの空間分布。(左) 1-5日予報、(中) 6-10日予報、(右) 11-14日予報。

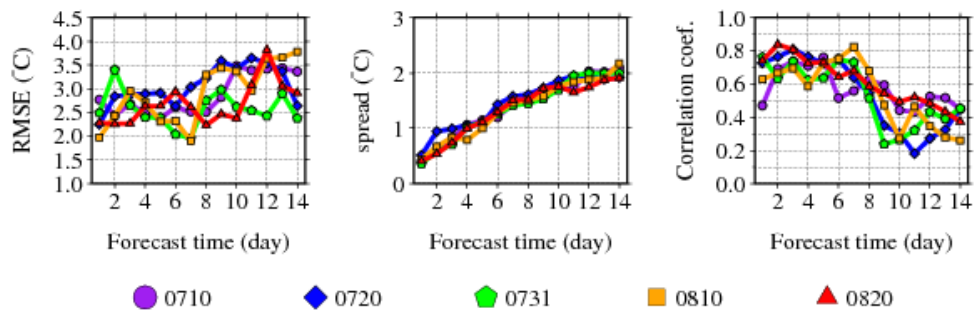


図2: 気温の(左) RMSE、(中) スプレッド、(右) 空間相関。色は初期値の違いを表す。

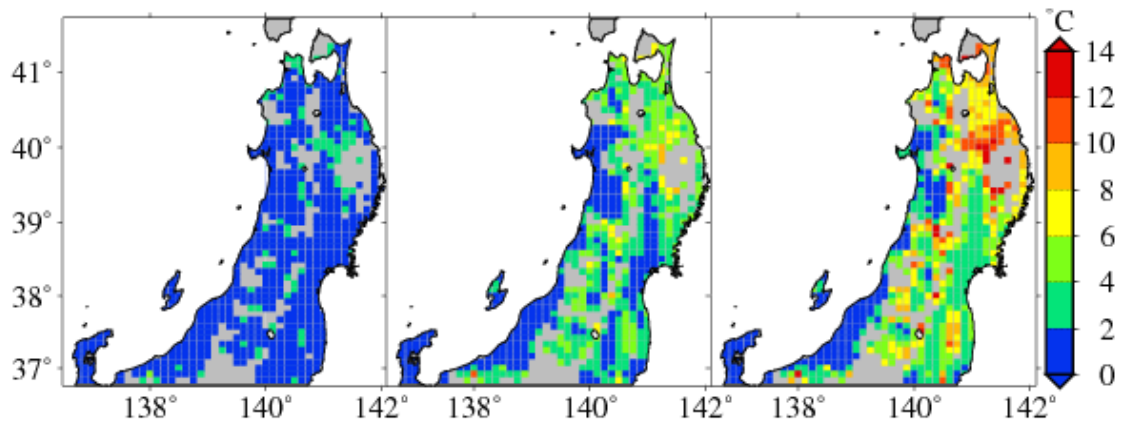


図3: 冷却量のRMSEの分布。(左) 1-5日予報、(中) 6-10日予報、(右) 11-14日予報。

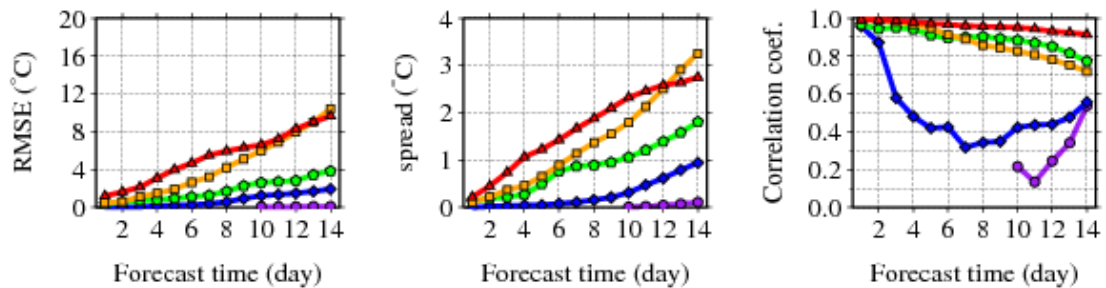


図4: 冷却量の(左) RMSE、(中) スプレッド、(右) 空間相関。色は図2と同様である。



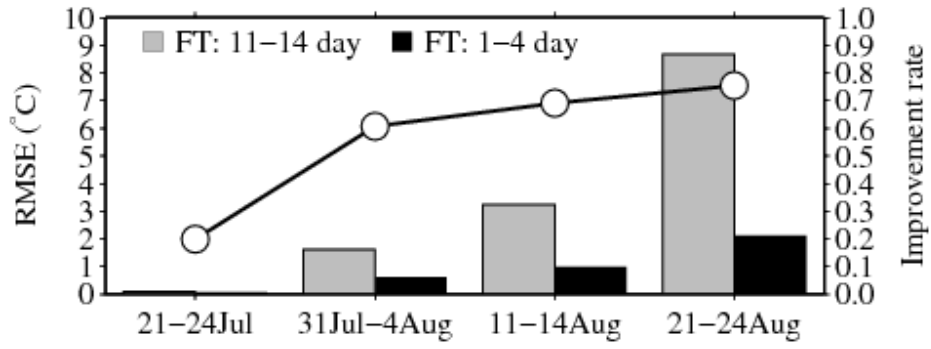


図 5 : 同じ日に対する 11-14 日予報と 1-4 日予報の比較。棒は RMSE、点は改善率 (11-14 日予報/1-4 日予報) を表す。

## 19. イネ葉面濡れ時間の相対湿度を用いた推定方法

菅野洋光（農研機構農業環境変動研究センター）・山崎 剛（東北大学）・大久保さゆり（農研機構東北農業研究センター）・岩崎俊樹（東北大学）・神田英司（鹿児島大学）・小林 隆（山形大学）・吉田龍平（福島大学）

### a)要旨

本研究では、イネいもち病等の植物病害の発生に直接的に関連し、農業上の重要性も高い葉面の濡れについて、アンサンブル予測データに物理モデルを導入することで予測を行い、その精度の検証・実用性の評価を行うことを目的とし、2016年度は葉面熱収支モデルを用いた試験結果を報告した。今年度は、農業現場での実用化を目指して、相対湿度を用いた予測手法を作成し、その予測精度を検討した。その結果、特別相対湿度の積算カウント数で、葉面濡れセンサーの濡れ時間を予測できることが明らかとなった。

### b)本文

#### (1) 方法

アンサンブル気象予測データは、「気象研究コンソーシアム」よりダウンロードし、気象庁静力学モデルNHMを用いて10kmx10kmの格子点データにダウンスケールした。濡れを予測するための物理モデルはYamazaki et al. (2004)による植生熱収支モデル2LMを用い、アンサンブル27メンバーの気温、風速、降水量、相対湿度、日射量、長波放射量を用いてイネ葉面の保水率を計算した。2016年度の現地気象観測は宮城県内2カ所（鹿島台、名取）で実施し、上記気象要素のほか、葉面濡れセンサー(DECAGON, LWS)を用いたイネ葉面濡れ観測も行った。これらの現地圃場において、アンサンブル予測値と観測値とから2LMを用いてイネ葉面濡れデータを計算した。また、2015年の観測データと合わせて、特別相対湿度から葉面濡れ時間を推定する回帰式を作成し、センサーによる実測値およびBLASTAM（アメダスデータによる葉いもち感染好適日推定モデル）によるいもち病発生予察結果と比較・検証を行った。

#### (2) 結果と考察

2016年は、名取観測点で、気象ロボットから約300m離れた水田の中に葉面濡れセンサーを、水面からの高さ50cmに設置した。その結果、2015年と同様に、明瞭な濡れの日変化が観測された。2015年と2016年の2年分について、1日(1時~24時)のうちにカウントされた特別相対湿度と、葉面濡れセンサーの濡れ割合 $\geq 0.1$ 、 $\geq 0.2$ 、 $\geq 0.3$ の特別値カウント数との相関係数をみたところ、相対湿度89%以上のカウント数を葉面濡れ予測最適インデックスとして判定できた。図1には、相対湿度89%以上の特別値と葉面濡れセンサー $\geq 0.1$ の特別値のカウント数の散布図を示す。決定係数は0.49、RMSEは3.4である。直線回帰式は $y=0.5001x+9.986$ で、y切片が10時間近くになっている。これは、夜間にはイネの葉面が部分的かつ定常的に結露することを示している可能性がある。図2には、2015年7月に観測された1日の葉面濡れ時間および得られた予測式を用いて計算された濡れ時間予測値を、気象ロボットによる観測値とアンサンブル平均値について示す。18日と19日にはBLASTAMの10が算出されている。葉面の濡れ時間はBLASTAMの計算2日前から24時間を示し、予測値も高い。これは、BLASTMが降水を観測してから計算を始めるのに対して、葉面の濡れは、実測・予測とも、降水をもたらす前の気団の変化を感知しているためであると考えられる。本研究は、総合科学技術・イノベーション会議のSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「次世代農林水産業創造技術」（管理人：農研機構生物系特定産業技術研究支援センター）の支援を受けて行った。本研究で使用した気象庁データは気象庁と（社）日本気象学会の研究協力の枠組みである「気象研究コンソーシアム」を通じて提供されました。

### c) 参考文献

Yamazaki T., H. Yabuki, Y. Ishii, T. Ohta, and T. Ohata (2004): Water and energy exchanges at forests and a grassland in Eastern Siberia evaluated using a one-dimensional land surface model. *Jour. Hydromet.*, 5, 504-51

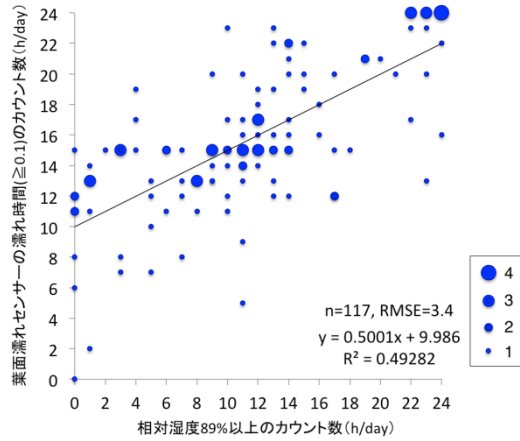


図1 名取観測点における相対湿度89%以上の時別値のカウント数(1日)と葉面濡れセンサー $\geq 0.1$ のカウント数(1日)の散布図。右下の数字は出現回数。

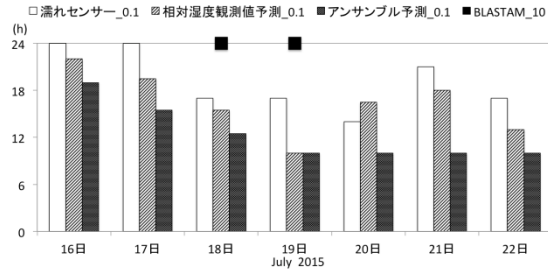


図2 観測された1日の葉面濡れ時間および図1の回帰式を用いて計算された濡れ時間予測値。

## 第13回ヤマセ研究会の開催

第13回ヤマセ研究会を、平成29年2月15-16日に会津若松市の末廣酒造嘉永蔵において、SI-CAT（気候変動適応技術社会実装プログラム）のPD裁量経費を受けて開催した。今回は、初日に気候変動適応策に関わる自治体、社会実装に関心のある方を対象とした話題を配した。2日目は主に研究者を対象とする話題とした。

（謝辞）

第13回ヤマセ研究会の開催に際して、会津大学のSaji Hameed氏、木村優介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。