

気候変動適応推進プログラム

東北地方のヤマセと冬季モンスーンの先進的ダウンスケール研究

平成 25 年度研究成果報告書

研究代表者 東北大学大学院理学研究科 岩崎俊樹



本報告書は、文部科学省の地球観測技術等調査研究委託事業による委託業務として、国立大学法人東北大学が実施した平成 25 年度「東北大学地方のヤマセと冬季モンスーンの先進的ダウンスケール研究」の成果を取りまとめたものです。

平成 25 年度研究成果報告書

研究課題 「東北地域のヤマセと冬季モンスーンの先進的ダウンスケール研究」

平成 25 年度 研究体制

研究代表者	東北大学大学院理学研究科	岩崎俊樹
研究分担者	東北大学大学院理学研究科	川村宏、早坂忠裕、島田照久、吉田龍平
	弘前大学大学院理工学研究科	児玉安正
	東北農業研究センター	菅野洋光、神田英司、大久保さゆり、紺野祥平
	岩手県立大学	南野謙一
研究協力者	東北大学大学院理学研究科	山崎剛、余偉明
	気象庁気候情報課	前田修平、野津原昭二、宮脇祥一郎
		大澤和裕
	気象研究所	遠藤洋和、川合秀明、瀬古弘
	仙台管区气象台	池田友紀子、須田卓夫
	岩手大学	下野裕之

## 目次

1. 研究の背景と目的	p. 1
1.1 背景	
1.2 目的	
1.2.1 局地気候の研究	
1.2.2 局地気象予測手法の研究	
1.3 年次計画	
2. 平成25年度の研究概要	p. 5
2.1 平成25年度の研究体制	
2.2 平成25年度研究概要	
2.3 平成25年度研究実績の概要	
3. 各研究分担者および協力者における研究	p. 8
3.1 局地気候の研究	
3.1.1 過去の顕著なヤマセの比較 (8-13)	
3.1.2 気候モデルデータのダウンスケーリングによるヤマセの将来変化 (14-20)	
3.1.3 ヤマセ雲の特徴と日射量の変動 (21-23)	
3.1.4 全球モデルにおける中緯度上下層雲の雲頂高度の検証 (24-27)	
3.1.5 ヤマセ時の気象庁メソモデルの日射量予測と太陽光発電への応用 (28-33)	
3.1.6 CMIP5 マルチ気候モデルにおけるヤマセの将来変化 (34-39)	
3.1.7 CMIP5 モデルで表現される三陸沖の SST (40-42)	
3.1.8 六ヶ所村で観測されたヤマセの鉛直構造 (43-44)	
3.1.9 日本の地上気温の長期トレンド-北東日本の夏季の遅い昇温- (45-47)	
3.1.10 気候変化シナリオを用いた東日本における水稻最適品種の将来変化 (48-52)	
3.1.11 いもち病発生ポテンシャルとしての水稻葉面保水量の将来変化 (53-58)	
3.2 局地気象予測の研究	
3.2.1 側面境界の最適化によるデータ同化を用いたドップラーライダーの最適観測方法の検討 (59-63)	
3.2.2 LETKF ネストシステムを用いたヤマセのアンサンブル予報実験 (64-69)	
3.2.3 空間内挿データおよび力学モデルによるダウンスケール気象データの比較 (70-72)	
3.2.4 高度農業気象情報による農業支援システムの高度化 (73-77)	
4. 研究成果	p. 78
4.1 査読付論文 (印刷済、印刷中 or 投稿中)	
4.2 そのほかの著作	
4.3 研究会での発表	

5. 研究会活動と官学連携	p. 81
5.1 ヤマセ研究会	
5.2 RECCA 農業班会議	
6. 平成26年度計画	p. 82
6.1 平成26年度の研究体制	
6.2 平成26年度研究計画	

## 1. 研究の背景と目的

### 1.1 背景

ヤマセは、梅雨期から夏季に北太平洋から東北地方の太平洋側に吹きつける冷涼な東よりの風で、しばしば冷害の原因となり、社会的・経済的に大きな損失をもたらす厄介者である。最近では、1993年、2003年と、ほぼ10年に一度の割合で、深刻なヤマセの洗礼を受けた。また、東北地方の太平洋沿岸では、温暖化にもかかわらず、いまのところ、夏の気温に顕著な上昇が見られない。これは、一つには、ヤマセの影響の可能性がある。地球温暖化によって、ヤマセは将来増えるのか減るのか、東北地方の大きな関心事である。

ヤマセによる低温が顕著な地域は、主として東北地方の太平洋沿岸であり、それほど広くはない。下層寒気は、低地に沿って侵入するため、複雑な地形効果が起きる。このため、ヤマセの諸現象を再現するためには、比較的高解像度のモデルが必要である。しかし、ヤマセは、オホーツク海高気圧と梅雨前線の作る気圧傾度などの、大規模な背景場に大きく影響される。ヤマセを再現するためには、大規模な背景場が正しく与えられなければならない。すなわち、大規模な背景場の、比較的スケールの小さな地形に対する応答が本質であり、その再現は高精度のダウンスケールシステムの恰好の課題である。

ヤマセによる低温高湿の気塊の形成には海上下層雲が大きな役割を果たしている。下層雲は雲頂からの強い放射冷却によって、気温を低下させ、雲形成を促す。それは、大気境界層を不安定化し、浅い対流を強化する。海上下層雲では、強い雲放射-雲形成フィードバックが働くとともに、大気海洋相互作用にも大きな影響を与えている。海上下層雲はまた、人為起源のエアロゾルにも影響され、温暖化を相殺する働きがある。ヤマセにおいても、海上下層雲の経年変化が注目される。

ヤマセによる農業被害を軽減するための長期的対策は、気候変化を考慮した作物を選択することである。そのためには、東北の夏が将来どうなるのか、精度の高い予測が求められる。他方、短期的対策は、日々の天気を的確に考慮した作物管理を行うことである。そのためには、きめ細かく気象予測精度を向上させるとともに、それを反映させた農業気象情報を提供することである。以上の点を考慮して、本研究では、東北地方太平洋側を主な対象とし、高精度ダウンスケールシステムを用いた局地気候と局地気象予測の研究を展開することにした。

なお、ダウンスケールシステムは、あらゆる地域のあらゆる気象現象を正確に扱えることで、その利用価値が著しく高められる。特に、東北地方においては、冬季に、大雪や強風の被害がしばしば発生するため、冬季モンスーンにおいても性能を担保することが望まれている。汎用性の高いダウンスケールシステムを開発するため、必要に応じて、冬季モンスーンについても扱うこととする。本研究課題は東北地域に密着し、基礎から応用まで含む幅広いスペクトルを有している。東北のヤマセに関心のある研究者が幅広く連携して、研究を推進したいと考えている。

## 1.2 目的

### 1.2.1 局地気候の研究

本課題の目的は、最先端のダウンスケールシステムを用いて、地球温暖化が東北地方の夏の気候にどのような影響を与えるのか調べ、農業生産活動をそれに対してどのように適応させるか検討することである。

再解析のデータを用いて、過去長期間のダウンスケールシミュレーションを実施し、当該システムの精度を確認する。ヤマセのシミュレーションの鍵となる雲物理・放射、大気海洋相互作用、陸面水文過程のパラメタリゼーションを改良し、ダウンスケールシステムの精度向上を図る。そのうえで、気候モデルの予測結果をダウンスケールし、東北の夏の温暖化影響について詳細に調査する。東北の夏の温暖化影響に基づいて、東北農業の温暖化対策を検討する。

ダウンスケールシステムによる温暖化予測精度は、境界条件に用いる気候モデルの結果の精度に大きく依存する。このため、マルチ気候モデル解析を通じて、ヤマセの背景場に対する気候モデル予測の信頼性を確認する。ヤマセの鍵は下層雲である。下層雲に関する詳細な調査により、雲物理・放射パラメータを同定し、ダウンスケールモデルの改良に利用する。また、雲物理・放射パラメータの経年変動の解析から下層雲に対する温暖化影響や人為的なエアロゾルの効果を評価する。

### 1.2.2 局地気象予測手法の研究

本課題の目的は、先端的データ同化手法を利用したダウンスケール予測システムの出力結果を利用して農業気象情報を高度化し、それを利用者に提供システムを構築することである。

局所アンサンブル変換カルマンフィルターを利用し、ダウンスケール予測システムのためのデータ同化システムを開発する。ダウンスケールのためのデータ同化の鍵となる側面境界条件の最適化に取り組み、下層風と下層雲のデータ同化手法を確立する。また、予測精度の向上と確率予報の導入に向けて、アンサンブルダウンスケール予測システムを構築し、その精度評価と利用法を開発する。

ダウンスケール予測情報を利用し、高解像度の農業気象モデル(作物の発育や病害虫の発生などを予測する)を開発する。農業気象モデルの結果を提供するため、描画・提供システムを開発する。アンサンブルダウンスケール予測情報を利用し、農業気象情報の確率表現を目指す。

### 1.3 年次計画

#### 平成 22 年度

ダウンスケールシステムのプロトタイプを作成  
統計調査のためのヤマセの指標(インデックス)の調査  
海上下層雲の雲微物理・雲放射特性の解析  
北日本の夏季気温のトレンド調  
CMIP3 の大気海洋結合モデルによる三陸沿岸海面水温の再現性調査  
局所アンサンブル変換カルマンフィルター(LETKF)のシステムへの実装  
農業気象モデルの整備および農業気象情報の画像表示ソフトウェアの開発

#### 平成 23 年度

再解析データを利用した過去 30 年のダウンスケール実験  
マルチ気候モデル解析(海水温度構造、オホーツク海高気圧、予測信頼性)  
海上下層雲の雲微物理・雲放射特性の解析  
LETKF による側面境界の最適化およびアンサンブルダウンスケール予報  
農業気象モデルの整備および農業気象情報の画像表示ソフトウェアの開発

#### 平成 24 年度

気候モデルの予測結果のダウンスケール実験  
マルチ気候モデル解析(海水温度構造、オホーツク海高気圧、予測信頼性)  
海上下層雲の雲微物理・雲放射パラメータの経年変化の解析  
LETKF による側面境界の最適化およびアンサンブルダウンスケール予報  
農業気象モデルの実運用システムの開発

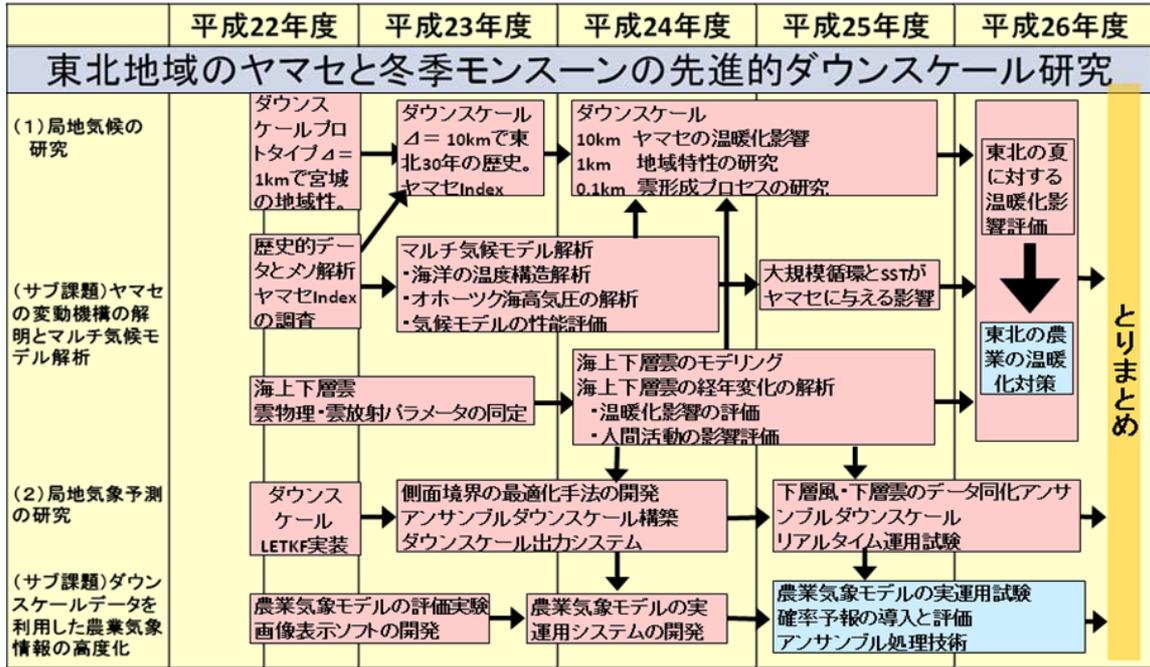
#### 平成 25 年度

気候モデルの予測結果のダウンスケール実験  
大規模循環と海面水温がヤマセに与える影響  
海上下層雲の雲微物理・雲放射パラメータの経年変化の解析  
下層風・下層雲のデータ同化およびアンサンブルダウンスケール予測  
農業気象モデルの実運用試験、確率予報の導入

#### 平成 26 年度

東北の夏に対する温暖化影響  
東北農業の温暖化対策  
下層風・下層雲のデータ同化およびアンサンブルダウンスケール予測  
農業気象モデルの実運用試験、確率予報の導入

# 気候変動適応イニシアチブ年度計画



東北の農業の温暖化対策。ダウンスケール予測情報を利用した農業気象情報。

## 2. 平成25年度の研究概要

### 2.1 平成25年度の研究体制

東北大学、弘前大学、東北農業研究センターおよび岩手県立大学の分担機関により研究を実施した。また、研究協力機関として、気象庁気候情報課、気象研究所、仙台管区气象台、岩手大学が参加した。

再生エネルギー研究をテーマに、産業技術総合研究機構が自主参加した。

### 2.2 平成25年度研究概要

平成25年度計画を以下に再録する。

#### (1) ヤマセの局地気候の研究

再解析の力学的ダウンスケール結果を利用し、冷害の規模が大きかった過去のいくつかのヤマセの特徴を整理する。力学的ダウンスケールシステムにおけるヤマセの再現性について、解像度と物理過程スキームに関する感度を明らかにし、ダウンスケールシステムによる再現精度の向上を図る。異なる気候モデルによる温暖化予測をダウンスケールし、ヤマセの温暖化予測とその不確実性について考察する。

衛星データおよび気象データから得られたヤマセ雲の雲水量及び有効半径の3次元分布とその変動特性に関する推定精度の向上を図る。日射量の経年変動を定量的に評価し、気象要素との関係を明らかにする。また、農業に重要な光合成有効放射量を調査する。

平成24年度に引き続き、マルチ気候モデルデータ解析を行い、ヤマセに関連する大規模循環について、気候モデルの予測とその精度を明らかにする。青森県六ヶ所村等で高層気象観測を行い、ダウンスケールモデルの検証に必要となるヤマセの鉛直構造や時間変動に関するデータを整備する。また、水稻の障害型冷害の被害を予測する簡易なモデルを作成するために、平成25年度の研究において世界で初めて見出した、ヤマセを想定した少照が耐冷性に及ぼす影響の再確認および定量化を行う。

#### (2) ヤマセの気象予測の研究

ヤマセの短期予測の精度向上を目指して、局所アンサンブルカルマンフィルターによるダウンスケールのデータ同化研究を推進する。GPS 掩蔽データの同化がヤマセの短期予測に対するインパクトを評価する。平成24年度に開発したダウンスケールデータ同化のための側面境界の最適化手法を利用して、ドップラーライダーデータの実データ同化試験を行う。ヤマセの中期予測の精度向上を目指して、ヤマセのアンサンブルダウンスケール予測手法の改良を図る。経験的直交関数を利用し地域に有効な予測情報を引き出すための統計手法を開発する。

アンサンブルダウンスケール予測を利用した農業気象情報の作成手法を開発する。2000年以降の夏を対象として、アンサンブル予測システムの農業モデルへの適応性を調べ、有効な情報発信方法を試作する。高度農業気象情報システムを利用し、ダウンスケール予測を利用した農業気象情報の発信に関する運用試験を行う。農業気象情報の利用者に対するアンケートを実施し、利用者の利便性の向上を図る。日射量や気温の予測に関連し、エネルギー分野の研究との情報交換を行う。

## 2.3 平成25年度研究実績の概要

### (1) 局地気候の研究

再解析のダウンスケール結果から、東北地方の夏季の気候の地域特性および各ヤマセ年における平年偏差の特徴を整理した。比較的顕著な冷夏は、1988年、1993年、2003年の7月であった。ただし、冷夏の地理的なパターンは微妙に異なり、1988年、1993年は東北地方の太平洋沿岸全体が低温となったのに対して、2003年の低温は東北北部が中心であった。さらに特定温位面以下の寒気質量の解析から、ヤマセ時の寒気の生成・移流・消滅過程の特徴を明らかにした。

次に、気象研究所および東京大学・大気海洋研究所で保有する気候モデルの温暖化予測結果をダウンスケールし、地球温暖化が東北地方に及ぼす影響を調べた。地球温暖化の進行に伴い、強いヤマセの頻度は若干減少することが確認された。ただし、平均気温からの偏差に関する限り、今後とも間欠的に襲来するヤマセに警戒が必要であることも明らかとなった。また、2つの気候予測のダウンスケール結果の比較から、ヤマセの温暖化予測の不確実性について考察した。現在気候の再現結果の検証や気候予測の比較から、現状の気候予測の不確実性は依然として大きく、その結果を利用する際には不確実性の評価が不可欠であることが確認された。

青森県六ヶ所村等でGPSゾンデによる高層気象観測を実施し、ヤマセの鉛直構造と時間変動に関する観測データを取得した。これらのヤマセ事例について、再解析を初期値・境界値とするダウンスケール数値実験を行ない、その結果を観測データにより検証し、ダウンスケールモデルの解像度依存性の評価や物理過程のパラメタリゼーションの改良を行った。解像度を増やすことにより、ヤマセ時の気温の地域特性や日変化などが、一層適切に表現できることが分かった。衛星観測データの詳細な解析から、ヤマセと移流霧の違いや地域特性の相違により、雲粒子の有効半径等の物理特性が変化することを確認した。ヤマセ雲の物理的特性を考慮し、衛星観測データから日射量を定量的に評価する手法を開発した。さらに、このようにして得られた日射量を、領域数値モデルによるシミュレーション結果と比較し、日射量の経年変動を解析した。衛星観測データを利用して、全球数値モデルの検証を行い、下層雲のパラメータ化の改良を行った。この結果、気候モデルによる下層雲の再現精度が向上することを確認した。ただし、雲の高度には観測データとなお系統的な誤差が確認され、課題も明らかとなった。

平成24年度に収集した第5期結合モデル相互比較計画(CMIP5)の現在気候および将来気候の結果を解析した。現在気候実験で再現された日本周辺海域の海面水温の長期トレンドと実際の観測データを比較した。その結果、海面水温の再現性にはまだ多くの課題があることが明らかとなった。また、東アジア・北太平洋地域ではヤマセと関係が深い北東風の頻度がやや増える傾向を示したが、その将来予測の不確実性も大きいことが明らかとなった。

気候モデルによる予測のダウンスケール結果によれば、将来は東北地方でも高温障害を警戒する必要があること示唆された。他方、いもち病は将来若干減少する可能性が示唆された。コメの収量の観点から、将来は、現在温暖な地域で栽培されている品種が東北地方の最適品種となる可能性が示された。また、水稻の障害型冷害の被害を予測するモデルを開発するために、平成24年度に続き栄養成長期に異なる照度条件で生育させたイネに冷害誘導処理を行い、耐冷性の評価および定量化を行うことで気候変動への適応策の基礎的知見を得た。

## (2) データ同化とアンサンブルダウンスケール予測実験

ダウンスケール短期予報を改善するために、データ同化手法の改善に取り組んでいる。平成 24 年度にはアンサンブルカルマンフィルターを用いた側面境界の最適化手法を開発し、観測システムシミュレーション実験により、データ同化システムの動作を確認した。平成 25 年度は実際のドップラーライダーの観測データに適用し、予報が改善することを確認した。また、ヤマセの予測を向上させるために、COSMIC 衛星の GPS 掩蔽観測から得られた屈折率データを同化に取り組んだ。データ同化により若干ではあるが雲の予測が改善された。

ダウンスケール中期予報を改善するために、アンサンブル手法（アンサンブルダウンスケール予報）を用いて、予測精度の向上と予測の不確実性を考慮した確率情報を得ることができる。特に、相対的に低解像度の全球モデルによる中期予報では、特に地上気温に対するスプレッドはたいへん小さい。これをダウンスケールすることにより、スプレッドを大幅に増加することができた。細かな地形効果や海陸分布に関連した局地循環を考慮した地上気温の確率予報の可能性を示している。さらに、予測結果を経験的直交関数によるモード展開し、モードごとの予測可能性を調べた。その結果、ヤマセに関連するモードの予測可能性は 5 日程度であり、解像度が高いほど精度が高いことが確認された。

アンサンブルダウンスケール予報結果をいもち病予測モデル(BLASTAM)に導入し、統計的ダウンスケールデータと比較検証した。特に、日射量の日照時間への変更のため、パラメータ調整を行った。アンサンブルデータ平均値による予測結果よりも、個々のメンバーによる結果の方が、統計的ダウンスケールデータによる結果により近いものとなった。今後さらに、アンサンブルデータの統計的な処理方法について検討を続ける必要がある。

農業支援システムの安定性保持のために、障害復旧ハードウェアを強化した。平成 24 年度に行った、提供可能な予測情報とユーザのニーズとの一致不一致に関する調査結果を元に、ウェブ情報の発信機能を高度化した。今年度は、新規に胴割れ注意報、収穫適期情報の情報提供をウェブ、メールにより行った。収穫後に行ったユーザへのアンケート調査結果より、概ね高評価を得られた。

### 3. 各研究分担者および協力者における研究

#### 3.1 局地気候の研究

##### 3.1.1 過去の顕著なヤマセの比較

島田照久・岩崎俊樹(東北大学)

#### a) 要旨

過去の顕著なヤマセの特徴の相互比較を行った。まず、ダウンスケーリングデータを用いて、北日本周辺の地表気温等の分布を比較した結果、ヤマセの下層冷気の南下の程度に大きな違いがあることがわかった。そして、ヤマセの下層冷気の南下の程度が雲や日射の分布の偏差の境界にとって重要なことがわかった。次に、温位が 292K 以下の下層大気に着目し、過去の顕著なヤマセ時の下層冷気の分布と変動を調べた。7月については、ヤマセが卓越した時は、北日本に到達する下層冷気は増加するものの、ヤマセと関連した変動は、オホーツク海の南部の一部と北日本周辺域に限られることがわかった。

#### b) 本文

##### 研究の目的

ヤマセの発生頻度や持続時間は、オホーツク海高気圧の消長に合わせて、経年変動が顕著であり、卓越したヤマセは夏季の異常気象(冷夏)と言われることもある。そのため、顕著なヤマセは、社会に大きな影響を与える。過去の顕著なヤマセについては、様々な観点から評価されているものの、相互比較は十分に行われてこなかった。その原因は、比較の観点が、個々の研究目的や方法によるところが大きく、また、解像度が高い長期間の均質なデータが限られていたことにある。過去の顕著なヤマセの相互比較のためには、まず、相互比較に資するデータセットが必要であるが、平成 23 年度に作成した 33 年分の再解析データ JRA-25/JCDAS(Onogi et al. 2007)からのダウンスケーリングデータは、この相互比較を可能にするデータセットとなる(島田他 2013)。

一方、ダウンスケーリング場に現れる低温分布等の違いを考察するには、北太平洋亜寒帯とその周辺域について夏季の下層冷気の分布と変動を明らかにする必要がある。しかし、下層冷気を直接解析した研究はほとんど行われていない。その理由は、下層冷気の評価に適した解析方法が適用されてこなかったからである。本研究では、下層冷気の変動解析に効果的な温位座標解析を採用する。この方法の有効性は、冬季の全球スケールの寒気流出の研究で実証されている(Iwasaki et al. 2014)。そこで本研究では、過去の顕著なヤマセ時の大気場の特徴を相互比較するために、ダウンスケーリングデータによる北日本周辺のヤマセの比較と、再解析データによる北太平洋亜寒帯域でのヤマセに関わる下層冷気の比較を行う。

##### データ

北日本周辺の解析には、平成 23 年度に作成した、33 年分(1979-2011)の再解析データ JRA-25/JCDAS(Onogi et al. 2007)からのダウンスケーリングデータを用いる(島田他 2013)。

北太平洋亜寒帯を対象とした、ヤマセに関わる下層冷気の分布と変動の解析には、再解析データ ERA interim(Dee et al. 2011)のモデル面データを用いる。水平格子間隔は  $0.75^\circ$ 、鉛直層数は 60 層(200hPa より下層で 30 層)、時間間隔は 6 時間である。各年の 6-8 月のデータを用いる。下層冷気に対する地形の影響を明らかにするために、再解析データの中では、高水平鉛直解

像度の ERA interim を利用する。また、そのモデル面データを用いることで再解析の鉛直解像度を最大限活かして、ヤマセの下層(およそ高度 1000m 以下)冷気を捉える。

#### ダウンスケーリング場における過去のヤマセの比較

まず、ヤマセが卓越し冷夏となったと言われる月(1980年8月, 1983年6月, 1988年7月, 1993年7月, 1998年7月, 2003年7月)について、月平均の気温と気候平均に対する気温偏差を比較する(図1)。顕著な低温偏差が表れる地域は、北日本の太平洋側であることは共通しているが、その南限は事例によって違う。低温偏差の中心が、南東北にまで及ぶ事例(1980年8月、1988年7月、1993年7月、2003年7月)と、北海道(1983年6月, 1998年7月)を中心とした事例に分類できる。1998年7月については、ヤマセが卓越した期間が短期間であったため、月平均で見ると他の事例よりは低温偏差が小さくなっている。

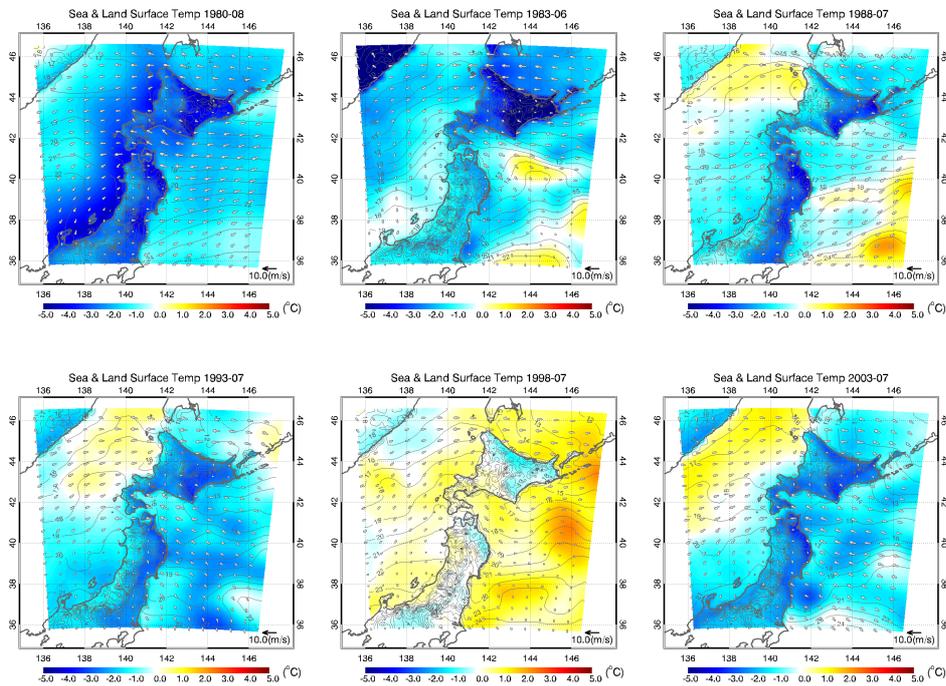


図1 月平均気温(コンター)とその平年偏差(カラー)。左上から、1980年8月, 1983年6月, 1988年7月, 1993年7月, 1998年7月, 2003年7月。

顕著な低温偏差が北海道周辺で見られた1983年6月と、南東北に及んだ2003年7月について、海面気圧、表層風、地表(2m)の相対湿度、下層雲量、14時の下向き短波放射を比較する(図2)。海面気圧の正偏差の南北位置は、低温偏差の域の南北位置に対応している。地表の相対湿度をみると、1983年6月は、相対湿度の正偏差は北海道の山脈の東側で特に大きい(>4%)。これに対し、2003年7月は、相対湿度の正偏差は東北地方の東岸に限られており、低温偏差域に完全に含まれる北海道については、日高山脈の東側以外、相対湿度の正偏差域がほとんど見られない。この相対湿度の偏差の分布は、下層雲量に反映されている。そして、この下層雲の分布は、地表に達する短波放射量にも影響していることがわかる。つまり、1983年6月は北海道を中心に、短波放射量が負偏差(約 $-150\text{Wm}^2$ )となるが、2003年7月は、南東北以南で負偏差となるものの、低温偏差域の北海道周辺では、逆に正偏差(約 $50\text{Wm}^2$ )になっている。このようなヤマセの影響に対する南

北方向の違いを明らかにするには、北日本に到達する下層冷気の分布や変動を明らかにする必要があると考えられる。

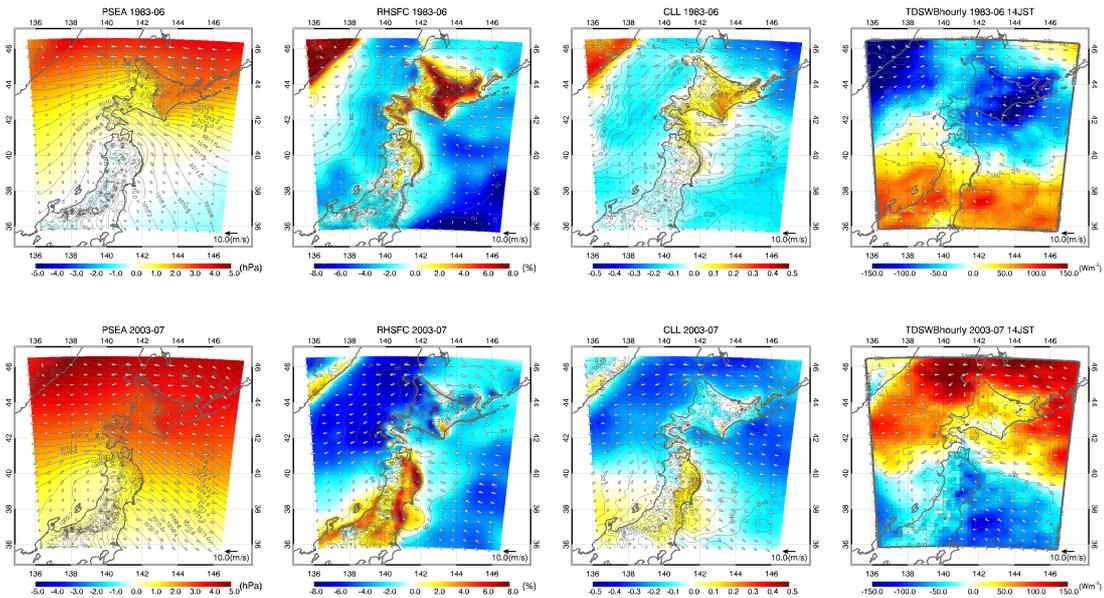


図2 (上段)1983年6月と(下段)2003年7月の平年偏差。左から、海面気圧、2m 相対湿度、下層雲量、14時の下向き短波放射。

### 過去の顕著なヤマセ時の下層冷気分布の比較

特定温位面以下の下層大気を定義して、その分布を検討する。温位座標における連続の式を、下部境界の地表から任意の温位面  $\theta_T$  まで鉛直積分した下記の式に基づいて考える (Iwasaki et al. 2014)。

$$\frac{\partial}{\partial t} DP + \nabla \cdot \int_{p(\theta_T)}^{p_s} v dp = M(\theta_T)$$

ここで、 $P$  は気圧である。 $DP = p_s - p(\theta_T)$  であり ( $p_s$  は地表面気圧)、単位面積辺りの冷気質量

を表す。また、 $H = \int_{p(\theta_T)}^{p_s} v dp$  を冷気質量フラックスと呼ぶ。 $M(\theta_T)$  は、非断熱過程による冷気の生成消滅を表す。この解析手法の利点は、気圧(あるいは高度)座標における熱力学過程の記述の煩雑さを回避でき、質量保存(連続)の式に従って冷気の温度・流出入の速度・層厚を同時に考慮

して冷気変動を簡潔に記述できることである。温位面 ( $\theta_T$ ) の値は、目的に応じて決める。ヤマセに関わる冷気の場合、逆転層のすぐ上あたりの温位面が妥当と考えられるが、代表的な温位は、6月のオホーツク海上の冷気から、8月の東北沿岸の冷気まで大きく季節変化、南北変化する。一方で、冷気の分布や変動には大きめの温位、冷気のコアを捉えるには、温位を小さくした方がよいと考えられる。ここでは、南東北に及ぶ冷気層が定義できる特定温位面として 292.0K を選んだ結果を示す。

北太平洋亜寒帯域について、ヤマセが卓越した年の7月平均の下層冷気の分布を比較する(図3)。特定温位面下で定義される下層冷気質量は、季節変化が大きいので、比較のためここでは7月とした。下層冷気の分布を全体的に見ると、ベーリング海東方に冷気質量の極大域(>150 hPa)が存在し、北アメリカ大陸へ広がっている。一方、亜寒帯域の西側では、下層冷気は、カムチャツカ半島寄りに北日本に向かって南下している。また、北日本からその東方(150°Eあたりまで)は、カムチャツカ半島より南下した冷気の先端域にあたり、かつ西向き冷気質量フラックスが大きい地域となっている。これが、ヤマセに対応している。特に、1988年、1993年、2003年は、100hPaを越える冷気質量の舌が北日本に到達しており(図4左)、300 hPams<sup>-1</sup>以上(1988年は600 hPams<sup>-1</sup>であり、1988年、1993年の約2倍である)の西向き冷気質量フラックスが見られる(図4右)。また、2003年については、最も南西に冷気質量の大きい地域が伸びている年である一方、ベーリング海での冷気質量分布はヤマセの卓越した他の月よりも小さい。

次に、7月について、ヤマセの強度と亜寒帯域全体での冷気分布・変動との関係を検証する。月平均値について、オホーツク海高気圧インデックス(ヤマセの強度や持続時間を代表する)の、冷気質量と冷気質量フラックスへの回帰係数を図5に示す。冷気質量については、150°Eより東では、ヤマセに対する有意な相関のある変動がみられない。また、オホーツク海上についても、7月の冷気質量とヤマセの強度との相関は、オホーツク海の南部の一部を除いてみられない。冷気質量フラックスについては、オホーツク海高気圧に伴う循環を示唆するが、これもカムチャツカ半島あたりから西側だけに限られている。

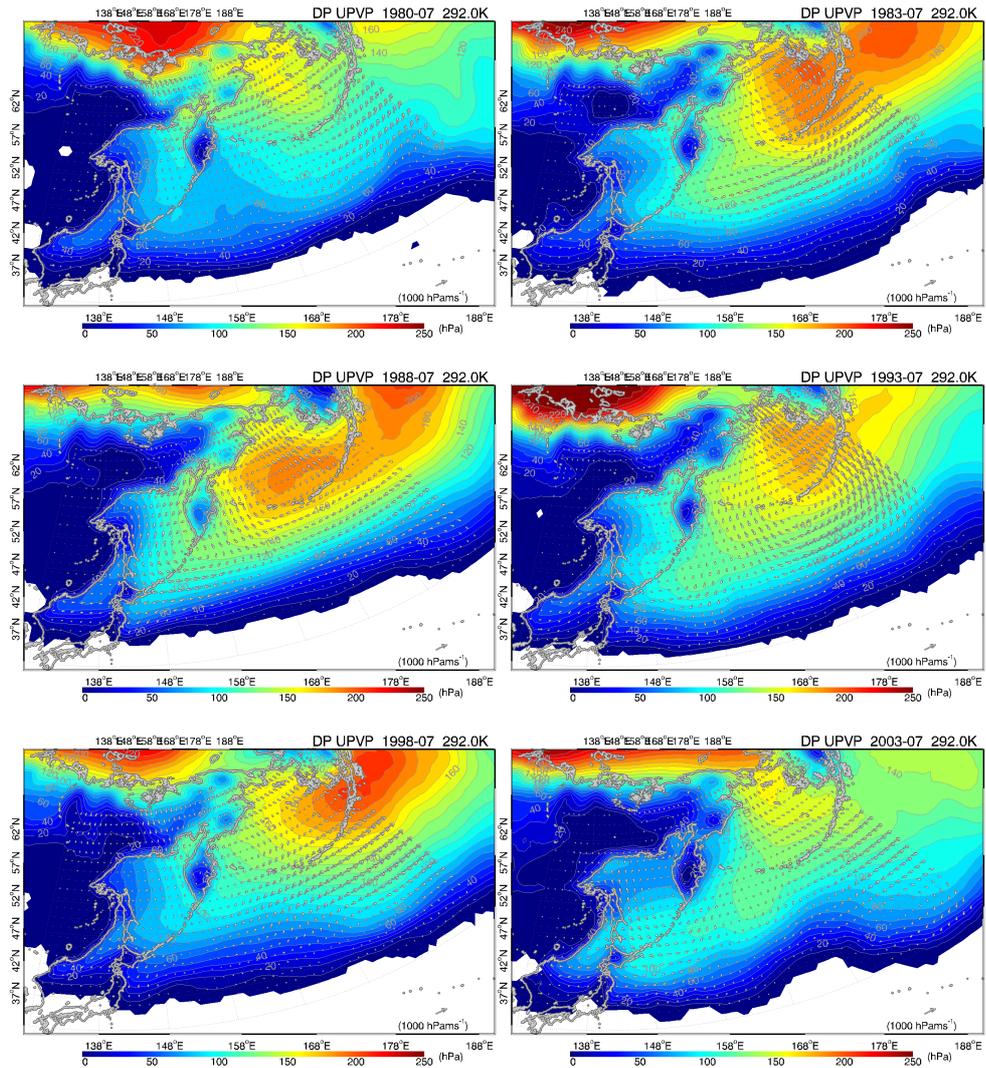


図3 ヤマセが卓越した年の7月の、特定温位面下の冷気質量(コンターとカラー)と冷気質量フラックス(ベクトル)。左上から、1980年、1983年、1988年、1993年、1998年、2003年。

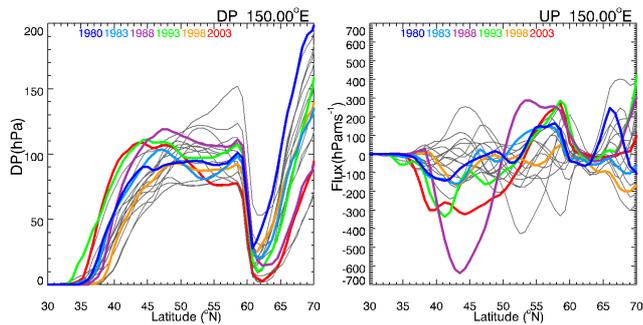


図4 (左)冷気質量と(右)冷気質量フラックスの150°Eにおける南北変化の比較。1980年、1983年、1988年、1993年、1998年、2003年については、図中に示したカラーを用いており、灰色はその他の年(2004-2011年)のものである。

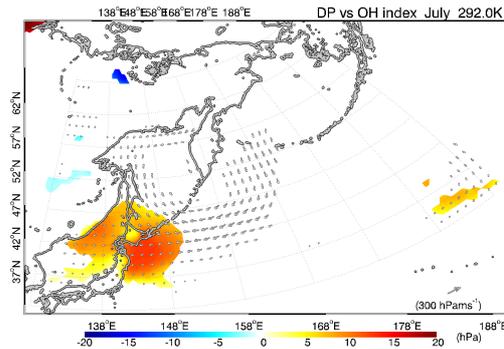


図5 月平均値について、オホーツク海高気圧インデックスの冷気質量と冷気質量フラックスへの回帰係数マップ。有意な相関を示したところだけ、回帰係数(冷気質量についてはカラー、冷気質量フラックスについてはベクトル)を示した。

#### 次年度の研究への発展

本研究では、まず、ヤマセが卓越した代表的な月について、ダウンスケーリング場から平年偏差場の特徴を明らかにした。下層冷気の南下の程度が、雲や日射の偏差場にとって重要であることがわかった。そして、北日本に到達する冷気の全体像を明らかにするため、北太平洋亜寒帯域について特定温位面下の冷気の分布と変動を解析した。その結果、7月については、北日本のヤマセに関連する冷気の変動は、北日本周辺やオホーツク海南部だけに限られるということがわかった。次年度は、本研究をさらに発展させて、北太平洋の亜寒帯域全体の下層冷気の分布や変動、生成・消滅に関して解析をする予定である。そして、オホーツク海高気圧の発達との関係、亜寒帯水温前線の役割、千島列島沿いの低水温の影響等を明らかにすることを目指す。

#### c) 参考文献

- Dee, D. P., and Coauthors, 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 137: 553-597.
- Iwasaki T., T. Shoji, Y. Kanno, M. Sawada, M. Ujiie, and K. Yakaya, Isentropic analysis of polar cold air mass streams in the northern hemispheric winter, *J. Atmos. Sci.* 2014 (in press).
- Onogi, K., J. Tsutsui, H. Koide, M. Sakamoto, S. Kobayashi, H. Hatsushika, T. Matsumoto, N. Yamazaki, H. Kamahori, K. Takahashi, S. Kadokura, K. Wada, K. Kato, R. Oyama, T. Ose, N. Mannoji and R. Taira, 2007: The JRA-25 Reanalysis, *J. Meteor. Soc. Japan*, 85, 369-432.
- 島田照久, 沢田雅洋, 岩崎俊樹, 2013: ヤマセ研究のための再解析・気候モデルデータのダウンスケーリング, *SENAC*, 46, 9-15.

### 3.1.2 気候モデルデータのダウンスケーリングによるヤマセの将来変化

島田照久・沢田雅洋・吉田龍平・岩崎俊樹(東北大学)

#### a) 要旨

2つの気候モデルを10km解像度にダウンスケーリングしたデータセットを作成して、東北地方の夏季気候に重要な役割を果たすヤマセの将来変化を検証した。用いた気候モデルは、気象研究所の超高解像度全球大気モデル(MRI-AGCM)と東京大学大気海洋研究所/国立環境研究所/海洋研究開発機構が共同開発したMIROC5である。この2つの気候モデルは、CMIP5の気候モデル群において、現在気候のオホーツク海高気圧の変動や空間分布の再現性がよいグループに属していることを確認した。また、2つの気候モデルのシナリオは、MRI-AGCMが排出シナリオのSRES1Ab,MIROC5が濃度シナリオのRCP4.5であるが、気温の将来変化を調べた結果、2つの気候モデルは、21世紀末の東北地方全体の夏季の平均気温が現在気候と比べて約2.9℃上昇する気候シナリオとして位置づけられることがわかった。どちらのダウンスケーリングデータにおいても、地球温暖化によって夏季の平均気温が上昇した後も、将来気候の平年偏差で見るとヤマセが出現していることがわかった。しかし、ヤマセの頻度はわずかに減少(1-3%)していた。MRI-AGCMでは、強いヤマセが減少し、MIROC5では、ヤマセの強弱に関わらず全体的にヤマセが減少していた。

#### b) 本文

##### 研究の目的

東北地方の夏季気候に重要な役割を果たすヤマセとその将来変化の理解を進めるために、局地気候を解析できる長期(現在気候、将来気候)データの作成とその解析を行ってきた。再解析データのダウンスケーリング(平成23年度に実施)と気象研究所の超高解像度全球大気モデル(MRI-AGCM)のダウンスケーリング(平成24年度に実施)に加えて、東京大学大気海洋研究所/国立環境研究所/海洋研究開発機構が共同開発した、MIROC5のデータのダウンスケーリングを平成25年度に実施した。本研究では、ヤマセの将来変化について、地表風の統計とCMIP3の気候モデルを用いた先行研究Endo(2012)を発展させる。まず、CMIP5の気候モデル群に対して、ダウンスケーリングに用いた2つの気候モデルの位置づけを確認する。そして、ヤマセインデックス(Shimada et al. 2014)を用いて、2つの気候モデルのダウンスケーリングデータに現れたヤマセの将来変化を系統的に評価する。

##### ダウンスケーリング

ダウンスケーリングに用いた気候モデルは、気象研究所のグループが開発した水平解像度約20km(TL959)鉛直60層の超高解像度全球大気モデル(MRI-AGCM)と東京大学大気海洋研究所/国立環境研究所/海洋研究開発機構が共同開発したMIROC5であり、それぞれの現在気候と将来気候(21世紀末)データを用いる(表1)。これらの気候モデルデータを初期・境界条件とし、気象庁・気象研究所の数値気象モデル(非静力学モデルJMA-NHM; Saito et al. 2007)を用いて、北日本全体(東北地方と北海道)を含む領域について、10km解像度までダウンスケーリングする。鉛直方向には38層設定し、1時間間隔でデータを出力する。データ作成の対象期間は、各年の6-8月である。この仕様は、平成23年度に行った、再解析データJRA-25/JCDAS(Onogi et al. 2007)

を境界条件とする現在気候データを作成したのと同じである。以上のようにして作成したデータセットは、東北地方の地域特性を考慮できる空間解像度(10km)と日変化を解析できる時間解像度(1h)を有し、ヤマセの経年変動を現在気候・将来気候ともに扱える長期間の均質な(同じモデル、スキーム、計算領域)データとなり、このような特徴を持つデータセットは初めてである。

表 1 ダウンスケーリングの境界条件に用いた再解析と気候モデルデータ

	再解析データ	気候モデルデータ	
データ/ モデル	JRA-25/JCDAS (Onogi et al. 2007)	MRI-AGCM3.2S (Mizuta et al. 2012)	MIROC5 (Watanabe et al. 2007)
種類	再解析	大気モデル	大気海洋結合モデル
期間	1979-2011年 (33年)	現在: 1979-2003年 (25年) 将来: 2075-2099年 (25年)	現在: 1981-2000年 (20年) 将来: 2081-2099年 (19年)
シナリオ	-	SRES A1b	RCP4.5
解像度	1.25°/6 h	20km/6 h	1.4°/6 h
ネスティ ング	2回 (30km, 1h)	1回	2回 (気象研究所で 20km, 1h にダウンスケーリングさ れたデータを利用*)
海面水温 (SST)	NOAA-OISST v2 (daily, 0.25°) (COBE-SST (1979-1981))	現在気候: HadISST 将来気候: CMIP3 の 18CGCM の平均のトレンド に現在気候の経年変動を加 算 (Mizuta et al. 2008)	-

\*環境省 地球環境研究総合推進費戦略研究開発プロジェクト S-5 より提供

#### CMIP5 の気候モデル群における MRI-AGCM と MIROC5 の位置づけ

まず、気候モデルデータそのものを用いて、ヤマセの発生要因となるオホーツク海高気圧の変動を中心に、CMIP5 の気候モデル群(47 個)における MRI-AGCM と MIROC5 の現在気候(1979-2003年,6-8月)の再現性を調べた。その結果、MRI-AGCM, MIROC5 の順で再現性がよく、両気候モデルは、比較的バイアスが小さく、経年変動が JRA-25/JCDAS に近いグループにあることがわかった。例えば、オホーツク海高気圧が発達した時の空間分布についてもこの特徴が確認できる(図1)。

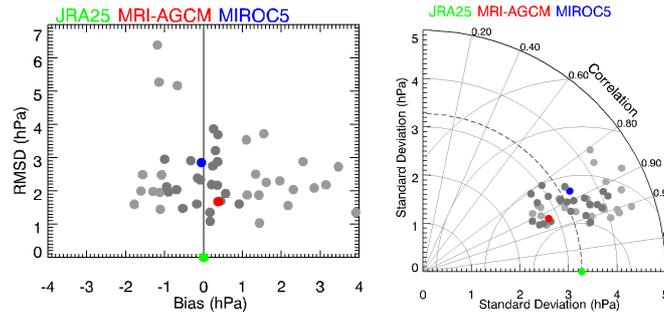


図1 月平均のオホーツク海高気圧インデックスの1979-2003年の上位8事例の平均場(30-62°N、120-165°E)についての比較。(左) JRA-25/JCDAS に対する領域平均バイアスと平均場の2乗平均平方根誤差。(右)空間相関と差の標準偏差を関連づける Taylor Diagram。灰色の点は、MIROC5 以外の CMIP5 の各モデルの結果で、濃い灰色の点はバイアスが-1hPa から 1hPa の間にあるものを示す。

次に、オホーツク海高気圧の将来変化を調べた。21世紀末のデータが存在する CMIP5 の気候モデル(39個, MIROC5 を含む)と MRI-AGCM について、現在気候と将来気候のオホーツク海高気圧の将来変化を比較した(図 2)。オホーツク海高気圧の発達指標としてよく用いられるオホーツク海高気圧インデックス(オホーツク海での領域平均海面気圧)の変化を見ると、80%以上の気候モデルがオホーツク海高気圧インデックスの下降を示し、その中に MRI-AGCM と MIROC5 も含まれる。両モデルは、0.2-0.3hPa の下降を示しており、オホーツク海高気圧インデックスの弱化を示唆するものの、その程度は比較的低い方に位置する。なお、オホーツク海高気圧インデックスの顕著な増加を示したのは、3つの気候モデルだけである。

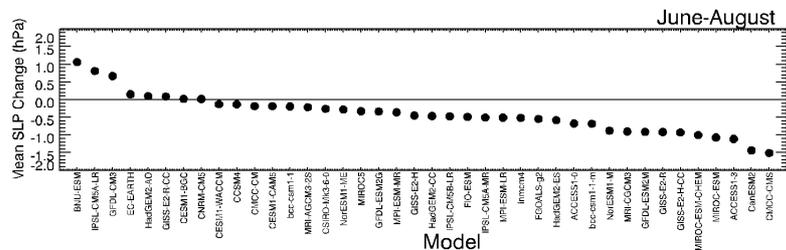


図 2 オホーツク海高気圧インデックスの将来変化 (将来気候平均と現在気候平均の差)。増加するものから大きさの順に並べた。

一方、MRI-AGCM と MIROC5 のシナリオの違いを検討した。MRI-AGCM のシナリオは、SRESA1b の排出シナリオであり、今回用いた MIROC5 データのシナリオは、濃度シナリオ RCP4.5 である。夏季(6-8月)の気温の将来変化を調べた結果、シナリオは違うものの、どちらのダウンスケーリング場においても東北地方の陸上(ドメイン全体)で約 2.9(3.0-3.2)°Cの気温上昇がみられた(図 3)。これにより、両気候モデルのデータセットは、「21世紀末に、北日本の陸上(北日本とその周辺)の気温上昇が 2.9(3.0-3.2)°Cする気候シナリオ」と位置づけることができる。つまり、シナリオの違いとモデルの気候感度を、気温が 2.9(3.0-3.2)°C上昇する時期の違いに持たせ

るのである。これにより不確実性の原因の一つ減らすことができる。ここで用いる MRI-AGCM と MIROC5 では、2.9(3.0-3.2)℃の気温上昇を示す時期も一致していることになる。なお、両モデルとも気温の分布は、海面水温の分布を反映しており、MIROC5 の北日本東方の気温極大域は、MIROC5 において黒潮が将来北上していることを示すと考えられる。

以上の結果より、MRI-AGCM と MIROC5 の特徴は下記のようにまとめられる。1)オホーツク海高気圧の変動や空間分布に関して、現在気候の再現性のよいモデル群に属し、MRI-AGCM、MIROC5 の順で現在気候の再現性がよい。 2)オホーツク海周辺の海面気圧の将来変化はやや減少であり、CMIP5 の気候モデルの 80%と一致する。3) シナリオおよび気候モデルは違うが、21 世紀末に北日本の陸上(北日本とその周辺)の気温上昇は 2.9(3.0-3.2)℃で一致している。

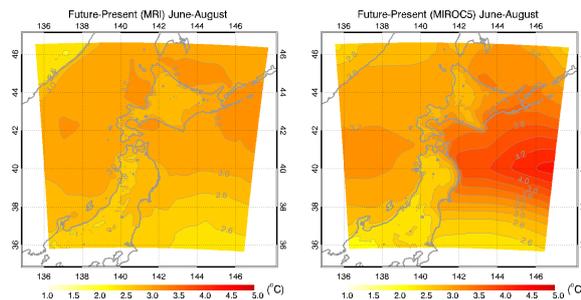


図 3 6-8 月平均の気温の将来変化。(左)MRI-AGCM、(右) MIROC5。

#### ヤマセの将来変化

気温の変動パターンを調べるために、北日本の気象官署に対応する地点のデータを用いて主成分解析を行った。北日本全体の気温変動(日変化、季節変化、トレンド)を表す第 1 モード(寄与率約 80%)、南北変動(梅雨前線等の影響)を示す第 2 モード(寄与率約 7%)に加えて、北日本の山地を境にした太平洋側と日本海側の変動(ヤマセ時に強調される)を示す第 3 モード(寄与率約 3%)が各データセット間に共通してみられる。図 4 には、各データセットについて、気象官署の観測点における気温の主成分解析による第 3 モードの空間パターンを示す。これにより、各データセットで、上位 3 モードのパターンと寄与率は同じ程度であることがわかる。この結果は、現在気候については気候モデルの再現性の良さを示す。将来気候については、ヤマセに伴う気温の変動パターンが将来気候においても見られることを示す。また、MRI-AGCM と MIROC5 の各モードの寄与率の将来変化は一致しており(表 2)、第 1 モードの寄与率は増加し気温のトレンドが強化すること、第 2 モードの寄与率は減少し北部での気温上昇が大きいこと、第 3 モードの寄与率は減少しヤマセが弱化的ることが示唆される。

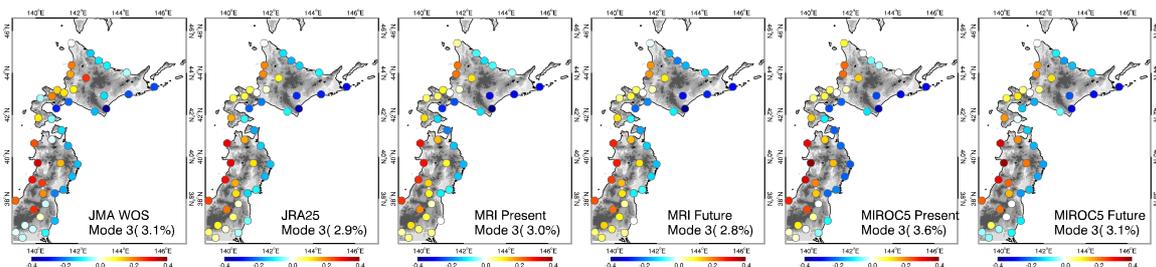


図 4 気象官署の観測地点における気温の主成分解析の第 3 モードの空間分布(6-8 月)。左から、

気象官署の観測、JRA-25 からのダウンスケーリングデータ、MRI-AGCM からの現在気候と将来気候のダウンスケーリングデータ、MIROC5 からの現在気候と将来気候のダウンスケーリングデータを用いた結果を示す。

表 2 各データセットにおける主成分解析の寄与率

	気象官署観測	JRA-25/JCDAS	MRI-AGCM 現在	MRI-AGCM 将来	MIROC5 現在	MIROC5 将来
第 1 モード	77.0	80.7	80.2	81.8	77.0	78.1
第 2 モード	6.6	6.9	7.0	6.1	8.3	8.1
第 3 モード	3.1	2.9	3.0	2.8	3.6	3.1

ヤマセの頻度と強さの将来変化をヤマセインデックスで検証する。ヤマセインデックスには、津軽海峡の東西気圧差で定義されるものを用い、このインデックスは南東北まで南下したヤマセをよく表現する(Shimada et al. 2014)。図 5 には、バイアス補正したヤマセインデックスの頻度分布の将来変化を示す。現在気候の 1 標準偏差を越える領域をヤマセ卓越時と考えると、MRI-AGCM では、低温のヤマセが減少し、MIROC5 では、全体的にヤマセの頻度が減少している。MRI-AGCM と MIROC5 の結果を、現在気候と比べると、ヤマセの頻度は 1-3%の減少となる(表 3)。また、ヤマセインデックスの変化は約-0.2hPa である。これは、ヤマセの下層冷気層の気温が上昇し日本海側との気温差が小さくなることを意味し、高度 1500m(1000m)以下で温度一定の下層冷気を仮定すれば、ヤマセの冷気が 0.3℃(0.5℃)上昇することに対応する。

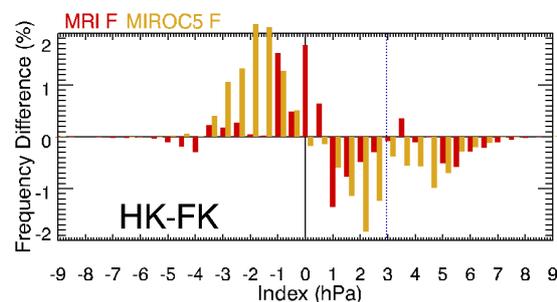


図 5 ヤマセインデックスの頻度分布の将来変化。青い点線が現在気候の 1σ を示す。

表 3 現在気候の 1 標準偏差を越えるときのヤマセインデックスの平均値と頻度

	現在気候	MRI-AGCM 将来気候	MIROC5 将来気候
平均値 (将来変化)(hPa)	4.10 -	3.89 (-0.21)	3.91 (-0.18)
頻度(%)	16.2	15.2	13.0

最後に、海面気圧、気温、地表風、下層雲水量の将来変化を図 6 に示す。北部での気圧の減少と気温の上昇、東風の弱化、太平洋上の下層雲水量の減少がみられ、ヤマセの弱化を示唆する。しかし、その変化パターンは両データで違う。特に、下層雲水量の違いは、太平洋上以外で大きい。

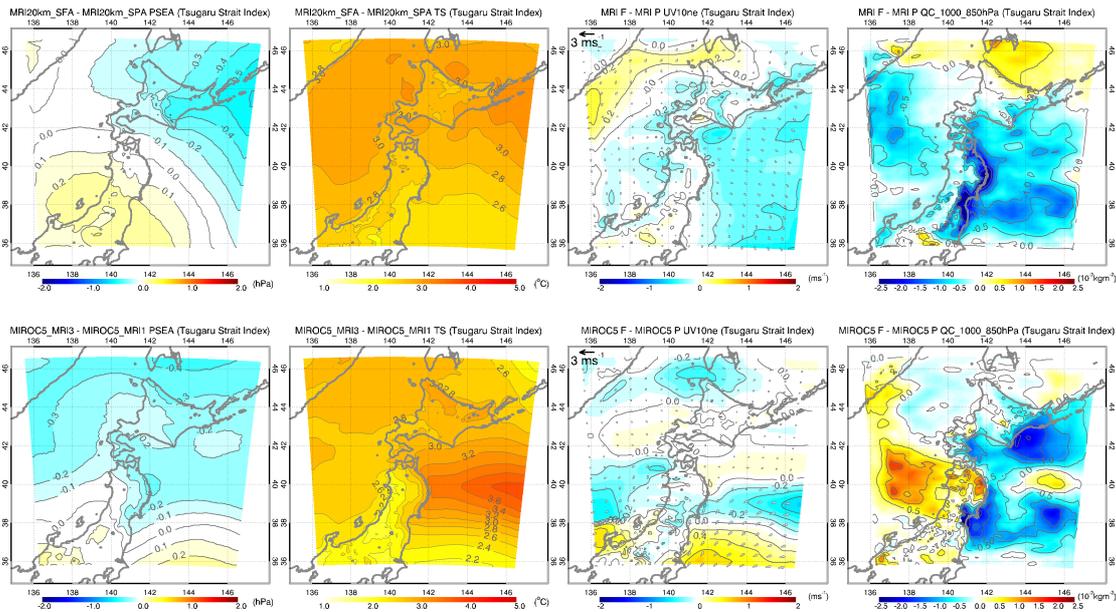


図 6 ヤマセ卓越時の場の将来変化。(上段)MRI-AGCM、(下段)MIROC5。左から、海面気圧、地表気温、10m 風ベクトルと風速、下層鉛直積算雲水量である。

#### 今後の方針

MRI-AGCM と MIROC5 の将来気候データでは、地球温暖化によって夏季の平均気温が上昇した後も、将来気候の平年偏差で見るとヤマセが出現していると言え、下層大気に対する地形の影響は現在気候のものと同様であることがわかった。しかし、ヤマセの頻度と強度はやや減少することがわかった。この2つのモデルの将来変化の原因がどこにあるのかを検証することが今後の課題である。一方、これらの気候モデルのダウンスケーリングデータを用いて影響評価を行う場合は、気温が重要な要素である場合は、両モデル間の違いが小さくなることが予想され、水蒸気や雲水量の差が重要な影響評価には、大きな違いが出る可能性が考えられる。

#### c)参考文献

- Endo, H., 2012: Future changes of Yamase bringing unusually cold summers over northeastern Japan in CMIP3 multi-models. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90A, 123-136.
- Mizuta, R., Y. Adachi, S. Yukimoto, and S. Kusunoki, 2008: Estimation of the future distribution of sea surface temperature and sea ice using the CMIP3 multi-model ensemble mean. *MRI Tech. Rep.* 56, 28 pp. [Available at [http://www.mri.jma.go.jp/Publish/Technical/DATA/VOL\\_56/56.html](http://www.mri.jma.go.jp/Publish/Technical/DATA/VOL_56/56.html).]
- Mizuta, R., H. Yoshimura, H. Murakami, M. Matsueda, H. Endo, T. Ose, K. Kamiguchi, M. Hosaka, M. Sugi, S. Yukimoto, S. Kusunoki, and A. Kitoh, 2012: Climate simulations using MRI-AGCM 3.2 with 20-km grid. *J. Meteor. Soc. Japan*, 90A, 233- 258.
- Onogi, K., J. Tsutsui, H. Koide, M. Sakamoto, S. Kobayashi, H. Hatsushika, T. Matsumoto, N. Yamazaki, H. Kamahori, K. Takahashi, S. Kadokura, K. Wada, K. Kato, R. Oyama, T. Ose, N. Mannoji and R. Taira, 2007: The JRA-25 Reanalysis, *J. Meteor. Soc. Japan*, 85, 369-432.

- 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.
- Shimada, T., M. Sawada, and T. Iwasaki, 2014: Indices of cool summer climate in northern Japan: Yamase indices, *J. Meteor. Soc. Japan*, 92, 17-35.
- Watanabe, M., and Coauthors, 2010: Improved Climate Simulation by MIROC5: Mean States, Variability, and Climate Sensitivity. *J. Climate*, 23, 6312-6335.

### 3.1.3 ヤマセ雲の特徴と日射量の変動

早坂忠裕（東北大学大学院理学研究科）

#### a) 要旨

衛星データを用いて、夏季の東北地方および三陸沖における日射量の年々変動と下層雲の関係に関する解析を行った。その結果、日射量の減少は雲量と雲の光学的厚さ両方の増大に起因することが示された。また、典型的なヤマセが見られた 2003 年について、雲の微物理特性を解析した結果、雲粒の成長は主に凝結によるもので雲粒有効半径が小さくなることが分かった。さらに海域と陸域の雲の特徴について気象データと合わせて解析を行った。その結果、陸域では海域よりも光学的厚さが大きくなる傾向が見られた。雲粒有効半径は陸域で小さくなる傾向があるが、風の収束により雲頂が高くなる場合には、陸域で有効半径が大きくなる場合もある。このような雲の特性が日射量に影響しているものと考えられる。

#### b) 本文

東北地方から三陸沖を 10 の領域に分けて、ISCCP-FD データを用いて 1983～2006 年の 6、7、8 月の月平均日射量、下層雲の雲量と雲の光学的厚さの年々変動を調べた。図 1 に 7 月の例を示す。この図から分かるように、ほぼ全ての領域で 5 年ごとに日射量が小さくなるのが分かる。その要因は雲量と光学的厚さの変動であることが推測できる。特に、光学的厚さと日射量の変動は良く対応している。8 月も同様の傾向が見られたが、6 月は顕著な 5 年周期変動は見られなかった。また、この図では 2006 年までしか示していないが、その後、2011 年まで解析期間を延長したところ、明確な 5 年周期は見られなかった。

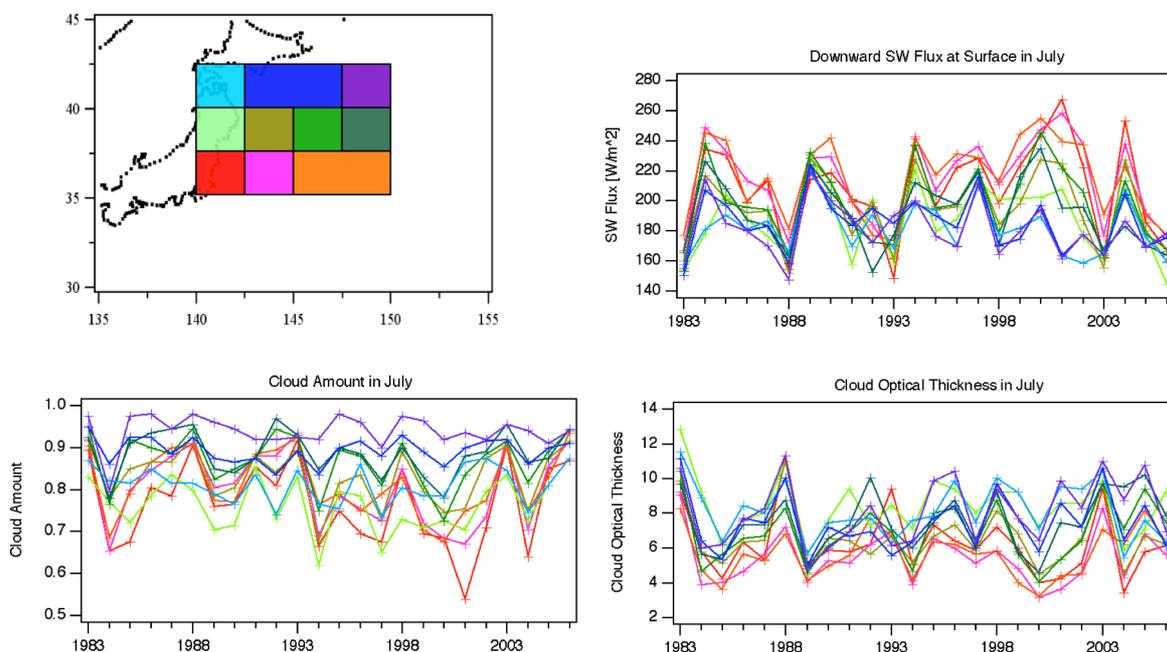


図 1. 東北地方および三陸沖の各領域 (左上) における 7 月の月平均の日射量 (右上)、下層雲の雲量 (左下)、雲の光学的厚さ (右下) の年々変動を示す。図中の線の色は対応する各領域を示す。

次に、ヤマセのときの雲の微物理特性について、Terra 衛星に搭載されている可視赤外イメージャーMODIS によって得られた雲データを用いて解析を行った。また、ECMWF の再解析データを用いて気温、風の場合と海面水温の関係を調べた。図 2 に下層雲の光学的厚さ (COT) と雲粒有効半径 (CDR) の関係を示す。データの頻度分布を色で表わしているが、それぞれの図において最大値で正規化してある。図中で斜めに描かれたいくつかの線は、左上から右下に引かれたものが雲水量の等値線を、左下から右上に引かれたものが雲粒数濃度の等値線を表わしている。左と中の図が 2003 年および 2004 年の 7 月の三陸沖の結果を表わす。また、右の図は 2003 年 7 月のカリフォルニア沖の結果である。これらの結果を見ると、三陸沖では、典型的なヤマセの年である 2003 年の場合には、そうでない 2004 年と比べて雲粒有効半径が小さいことが分かる。また、2003 年の三陸沖の下層雲はカリフォルニア沖の下層雲の特徴と類似していると言える。2003 年の三陸沖とカリフォルニア沖の場合には、雲粒数濃度の等値線に沿ってデータが分布しており、凝結過程によって雲粒が成長していることが推測される。一方、2004 年の三陸沖の場合には、雲水量の等値線に沿ってデータが分布しており、衝突併合過程によって雲粒が成長したことが示唆される。

夏季北太平洋の地上気圧の平均場を見ると、一般に北太平洋の中央よりも少し東側に中心を持つ高気圧が存在する。その結果、三陸沖では南から湿潤温暖な空気塊が比較的冷たい親潮域に移流し、移流霧ができるのと同じようなメカニズムで下層雲が形成され、維持されることが知られている。また、北太平洋の西側は下層雲とともに上層雲の出現頻度も高くなる一方で、東側では比較的暖かい海の上に冷たい空気塊が北から運ばれることにより、混合層の上部に層積雲が形成される。ところが、ヤマセのときには、オホーツク海高気圧に伴う冷たい北東気流が三陸沖に輸送され、海上気温の方が海面水温よりもわずかに高くなる。その結果、力学的に不安定な条件となり、下層雲が形成される。カリフォルニア沖ほど顕著ではないが、海面水温の方が海上気温よりも高く、やはり不安定な大気になる。このような不安定な条件下では凝結過程による雲粒の成長が卓越し、衝突併合過程による成長はあまり見られないために雲粒の大きさはそれほど大きくならないものと推測される。また、平均的には光学的厚さも若干大きくなると考えられる。雲粒がドリズルに成長しないと雲が長く維持されることになり、雲量の増大にもつながるものと考えられる。これらの特徴が相俟って、図 1 で示された日射量の変動が生じたと思われる。なお、夏季北太平洋の広い領域では海面水温よりも海上気温の方が高くなっており、図 2 の中央の図のように雲粒有効半径は比較的大きい場合が多く見られる。このように雲の形成メカニズムは一様ではないが、夏季北太平洋においては下層雲の出現頻度は高く、その維持のメカニズムも領域によって異なっている。

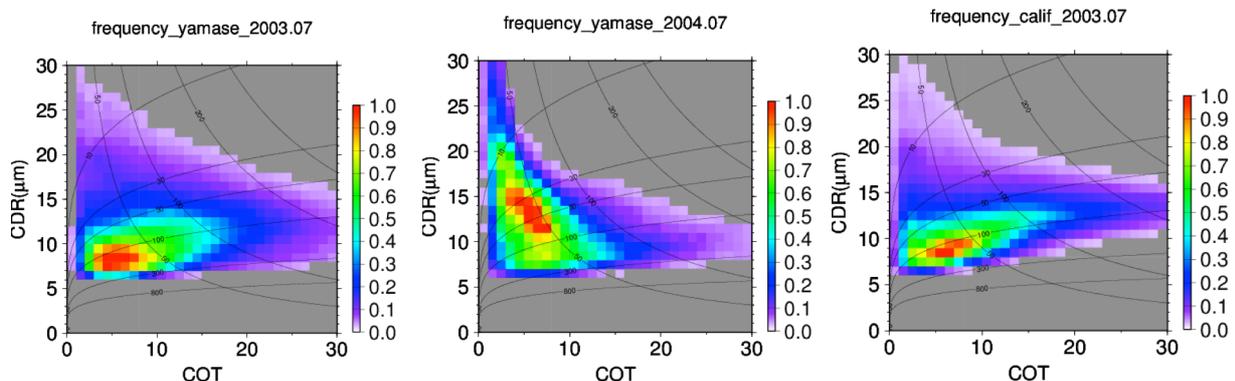


図 2. 下層雲の光学的厚さ (COT) と雲粒有効半径 (CDR) の関係について、2003 年 7 月の三陸沖 (左)、2004 年 7 月の三陸沖 (中)、および 2003 年 7 月のカリフォルニア沖 (右) の場合についてそれぞれ示す。

さらに、同様に MODIS の雲データを用いて、2003 年 7 月、8 月のヤマセに伴う下層雲の陸域と海域による違いを解析した (Eguchi et al., 2014)。図 3 に雲の光学的厚さ (左) と雲粒有効半径 (右) を示す。それぞれ、同じ日の同じ軌道によって得られたデータから三陸地方沿岸部から三陸沖にかかる領域について、縦軸に海域、横軸に陸域のデータをプロットしてある。これらの解析から、陸域の方が雲の光学的厚さは大きく、雲粒有効半径は小さくなる傾向があることが示唆された。これらの特徴には凝結核としてのエアロゾルの効果も検討する必要があるが、結果的に、海域に比べて日射量も小さくなっているものと推測される。基本的には北東や東からの風が卓越しているが、三陸地方沿岸部の地形の影響もあり、風の収束を伴う場合には、陸域で雲頂が高くなると同時に雲粒有効半径も海域に比べて大きくなる場合も見られた。

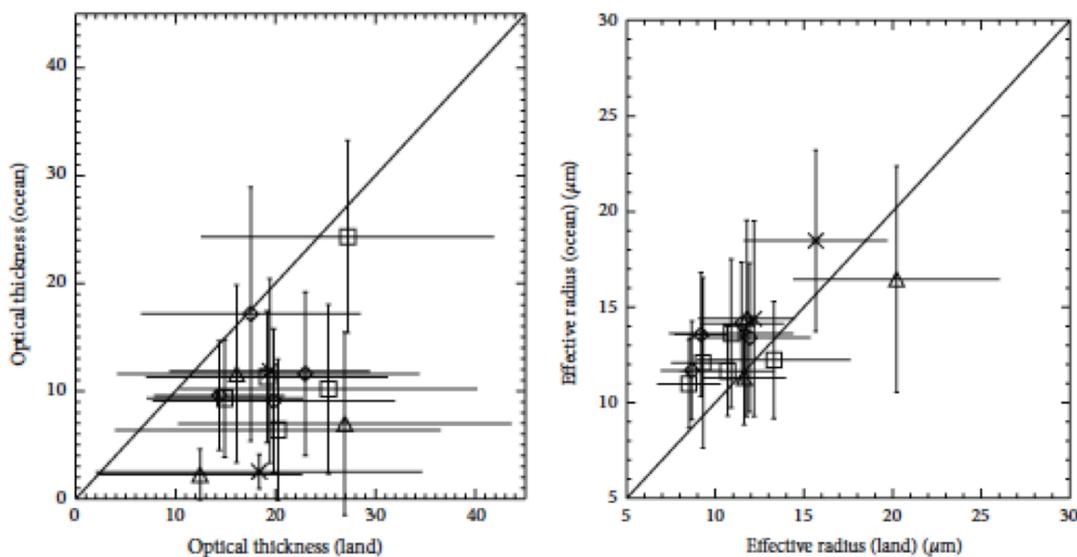


図 3. ヤマセのときの下層雲の光学的厚さ (左) と雲粒有効半径 (右) の陸域と海域による違い。同じ日の同じシーンのデータを用いて比較した。横軸に陸域、縦軸に海域を示してある。

以上をまとめると、ヤマセに伴う下層雲は、夏季の北太平洋全体の気圧場とオホーツク海高気圧の関係で、海面水温と海上気温が大気の力学的不安定の条件をもたらすことにより形成される。その特徴は、カリフォルニア沖の層積雲に主事していると言える。また、三陸地方沿岸部と三陸沖では雲の特徴が異なる。これらのことが相俟って、ヤマセ時の日射量の変動に影響を及ぼしているものと考えられる。

#### 参考文献

Eguchi, N., T. Hayasaka, and M. Sawada, 2014: The maritime--continental contrasts in the properties of low-level clouds: a case study of the summer 2003 Yamase cloud event. *Adv. Meteorol.* Volume 2014 (2014), Article ID 548091, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/548091>.

### 3.1.4 全球モデルにおける中緯度海上下層雲の雲頂高度の検証

川合秀明（気象研究所）

#### a) 要旨

海上における下層雲の雲頂高度の広域にわたる検証は困難であったため、これまでほとんどなされてこなかった。本報告では、気象庁全球モデル GSM における、北太平洋北部の海上下層雲の雲頂高度を、衛星搭載雲レーダー・雲ライダーのデータを使って検証した結果を紹介する。夏季の海上下層雲だけではなく冬季の雲や、南大洋での中緯度海上下層雲も同時に検証した。GSM では、観測で見られる北半球における季節変化（夏季：500m 程度、冬季：2000m 程度）を定性的にはある程度表現できているものの、雲頂高度の季節変化の振幅が小さく、特に、冬季における雲頂高度が低すぎるなどことがわかった。また、GSM では、南大洋での雲頂高度は年間を通じて低かった。さらに、検証における、雲オーバーラップ法の影響を見積もるため、3種類のオーバーラップ法を用いて検証を行った。これらのオーバーラップ法の仮定は、検証結果にある程度影響するものの、その影響は、モデルと観測の系統的な違いに比べて小さいこともわかった。こうした検証によって得られた、モデルと観測の雲頂高度の違いの特徴から、モデルの中緯度下層雲に関わる雲パラメタリゼーション改良の手がかりを得ることができる。

#### b) 本文

##### (1) 背景

中緯度の海上下層雲は、ヤマセ発生時に東北地方の気温を著しく下げること、また、オホーツク海や北太平洋北部の海上下層雲は、オホーツク海高気圧への影響も指摘されていることなどから、ヤマセ現象の非常に重要な要素である。だが、中緯度の海上下層雲は研究が遅れており、基本的な性質も十分には解明されていない。こうした雲の特徴は、多様な観測データを用いて様々な観点から調査されるべきであり、我々は、下層雲の鉛直構造について調査を行っている。昨年度の研究成果報告書では、CloudSat、CALIPSO の登場によって可能となった、全球スケールを対象とした、海上下層雲の鉛直構造、霧の発生頻度、及び、それらと気象要素との関係などに関する研究成果を報告した（詳しくは、昨年度の研究成果報告書、及び、Kawai et al. (2014a) を参照）。

一方で、多くの気候モデルや数値予報モデルでは、こうした海上下層雲の表現は極めて不十分である。日本付近の夏季のヤマセに伴う雲の表現も不十分であると同時に、南大洋の中緯度地域でも、夏季に雲の放射効果が過少であるために生じている大きな短波放射バイアス（入射過剰）が問題となっており、その領域の雲にも注目が集まっている。そこで、気象庁全球モデル GSM における中緯度海上下層雲の雲頂高度を、観測データを用いて検証することにした（Kawai et al. 2014b）。北太平洋北部の海上下層雲を夏季と冬季に分けて観測データと比較すると共に、モデルの南大洋の雲についても検証する。中緯度の下層雲を考える場合には、頻繁に発生する中・上層雲の影響を取り除くことが必要となる。そのため、本研究では、そうした雲の影響を排除するため、中・上層雲のない領域に占める下層雲を対象とする。また、格子スケールの大きいモデルにおける雲を、解像度の高い観測データと比較する場合には、モデルにおいて仮定される雲のオーバーラップ法が影響してくる（後で詳述する）。したがって、本研究では、雲のオーバーラップ法の仮定による、検証への影響も調査した。

## (2) データ及びデータ処理

### ( i ) 観測データ

観測データは、CloudSat、CALIPSO データから、萩原らにより作成された雲マスクデータ（九州大学雲マスク、Hagihara et al. 2010）を使用する。図1に、ある軌道に沿った九州大学雲マスクデータの例を示す。このデータの水平解像度は1.1 km、鉛直解像度は240 mであり、このデータセットのうちの“CloudSat or CALIPSO mask (C4)”データを使用した。本研究では、地球の放射収支にとっても重要な、上空に雲がない場合の下層雲の検証を目的とすることから、5km より上に雲がある場合は除外して統計を取る。統計期間は、2007–2009年の3年間である。

### ( ii ) モデルデータ

検証に使用したモデルデータは、気象庁全球モデルGSM (TL159L60を使用) の、モデル面雲量データである。ここで、観測データの水平解像度は1kmであるのに対し、モデルの水平解像度は110km とかなり粗く、各モデル格子は各高度で0–100%の任意の雲量を持っている。このため、雲頂高度を観測データと比較する場合には、モデルにおける各層の雲量がどのように重なり合っているかという、モデル鉛直カラム内の雲のオーバーラップの仮定が影響を及ぼすことになる。ここでは、モデルの放射計算でも使用されているマキシマムランダムオーバーラップに加え、マキシマムオーバーラップ、ランダムオーバーラップの3種類のオーバーラップ法を仮定して、オーバーラップ法による、検証結果への影響も調査した。図2に、それらのオーバーラップ法の概念図を示す。

また、モデルにおいて、500hPa以上の高度に雲量が多い場合のデータは統計から除外すると共に、モデルにおける雲頂高度の発生頻度は、雲が500hPaより下に雲頂を持つ場合の領域面積で規格化している。

## (3) 結果

図3に、北太平洋北部、及び南大洋の、7月、及び1月の、観測された雲頂高度の相対発生頻度、及び、モデルにおける相対発生頻度を示す。まず、モデルの放射過程でも採用されている、マキシマムランダムオーバーラップ法の結果を見ていく。図中の黒線は、上層雲のない領域に占める下層雲量だが、観測ではいずれも70%程度以上であるのに対し、モデルではそれがかなり小さいことがわかる。そして、北太平洋北部では、夏には下層雲の雲頂高度が非常に低くなり（約

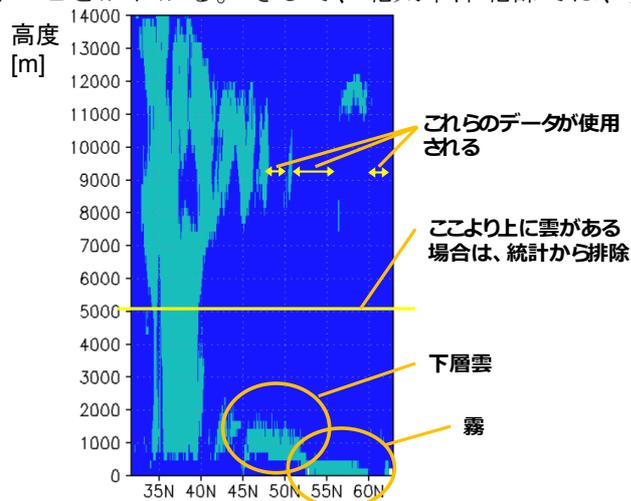


図1：九州大学雲マスクの例。175E 付近を通る軌道上のデータ。

500m)、冬には非常に高くなる（約2km）という明確な季節変化がある（観測の特徴、及び、変化をもたらす要因等の詳細については、昨年度の研究成果報告書、及び、Kawai et al. (2014a)を参照）。一方、モデルの雲頂高度の季節変化はかなり小さく、特に冬季に、観測に比べて低すぎるということがわかる。南大洋の観測データでは、夏（1月）には、北半球の夏季と異なり、高緯度に向かうほど雲頂高度が高くなっているが、モデルでのその表現は不十分である。ただし、観測において40S–45S付近で雲頂高度が低いという特徴は、モデルでも表現されている。また、観測では、40S–55S付近で、冬季の方が夏季より雲頂高度が高い。モデルはこ

の季節変化をある程度表しているが、モデルの雲頂高度は観測より低い。冬季には、ほぼ海氷領域にあたると思われる、1月の60N付近、及び7月の60S以南で、雲頂高度が低くなっているが、これはモデルでも定性的にはある程度表現されている。

また、図3において、雲オーバーラップ仮定による雲頂高度分布の違いを見ると、マキシマムオーバーラップとマキシマムランダムオーバーラップは、ほぼ同様の結果を示している。一方、ランダムオーバーラップを用いると、雲頂高度分布はより広がった分布を示し、雲頂を高く評価する傾向があることがわかる。この傾向は、図2のランダムオーバーラップの概念図における下層雲の雲頂高度を見ると、定性的に理解される。いずれにしても、オーバーラップ法の仮定による違いはある程度検証結果に影響するものの、モデルと観測の間の系統的な差よりは小さかった。

#### (4) まとめ

こうした海上における下層雲の雲頂高度の広域にわたる検証は従来は不可能であったため、これまでなされてこなかったが、CloudSat、CALIPSO 衛星の登場により初めて可能になった。こうした検証の結果から、モデルの中緯度下層雲の欠点が明らかとなり、モデルの雲パラメタリゼーション改良の手がかりを得ることができる。ここでは、中緯度海域の下層雲の気候学的な雲頂高度の特性を検証したが (Kawai et al. 2014b)、ヤマセの事例に絞ってこのような調査を行うことで、モデルにおけるヤマセに関わる下層雲の鉛直構造の特徴や欠点をさらに詳細に明らかにしていくことができると考えられる。

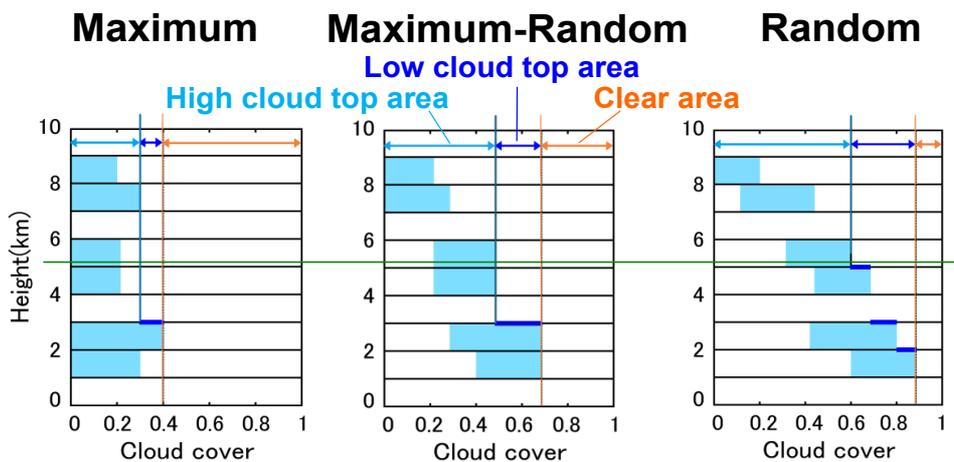


図2：本研究で比較した、3つの雲オーバーラップ法：マキシマムオーバーラップ（左図）、マキシマムランダムオーバーラップ（中図）、ランダムオーバーラップ（右図）。水色矢印の範囲が高い雲頂を持つ領域、青矢印の範囲が低い雲頂を持つ領域、オレンジ色矢印の範囲が晴天領域。Hogan and Illingworth (2000) を改変。

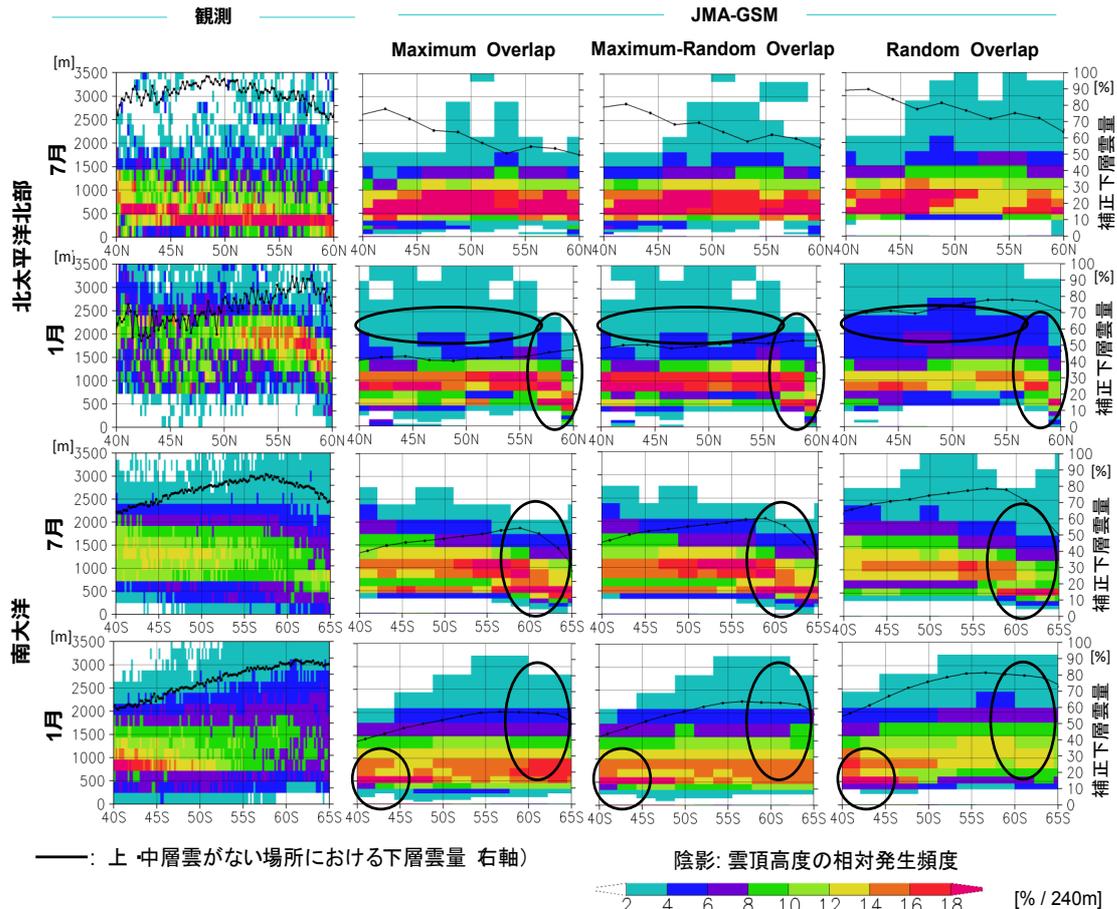


図3: 雲頂高度 (左縦軸) の相対発生頻度 (陰影、単位: % / 240m)、及び、上空に雲がない領域における下層雲量 (黒実線、右縦軸)。相対発生頻度は、下層に雲頂を持つ領域で規格化された雲頂高度の発生頻度である。左から、九州大学雲マスクデータ (CloudSat or CALIPSO mask, C4)、GSM データ (マキシマムオーバーラップ、マキシマムランダムオーバーラップ、ランダムオーバーラップの場合)。上から、北太平洋北部 165E-165W 平均 (7月、1月)、南大洋の帯状平均 (7月、1月)。(観測、モデル共に、3年分のデータを使用。5km より上層に雲がない場合のデータのみ)の統計。)

### c) 参考文献

- Kawai, H., S. Yabu, Y. Hagihara, T. Koshiro, and H. Okamoto, 2014a: Characteristics of Vertical Structures of Marine Boundary Layer Clouds over Mid-Latitudes. submitted.
- Kawai, H., S. Yabu, and Y. Hagihara, 2014b: The Evaluation of the Vertical Structures of Marine Boundary Layer Clouds over Mid-Latitude. *CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling/WMO*, in press.
- Hagihara, Y., H. Okamoto, and R. Yoshida, 2010: Development of a combined CloudSat-CALIPSO cloud mask to show global cloud distribution, *J. Geophys. Res.*, **115**, D00H33, doi:10.1029/2009JD012344.
- Hogan, R. J. and A. J. Illingworth, 2000: Deriving cloud overlap statistics from radar. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **126**, 2903-2909.

### 3.1.5 ヤマセ時の気象庁メソモデルの日射量予測と太陽光発電への応用

大竹秀明, Joao Gari da Silva Fonseca Jr. , 高島工, 大関崇

((独) 産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター)

山田芳則 (気象庁気象研究所 予報研究部第一研究室)

#### a) 要旨

太陽光による発電電力量 (以下、発電量と略す) は日射量によって変動するが、雲やエアロゾルの影響により大きな時間的・空間的な変動を引き起こす。東北地方においても今後太陽光発電システムの大量導入が計画されているが、導入量が大きくなれば、発電量が大きくなるとともに変動幅も大きくなる。前日にある程度の日射量・発電量予測が可能であれば、太陽光で発電できなかった分の需要電力量を火力発電機の運転により計画的且つ効率的に調整することが期待できる。東北地方では需要の大きい初夏から真夏にかけて、ヤマセに伴う特に下層の雲が発生することから、このタイプの雲が日射量の予測にどの程度の誤差を与えているかを知ることがまず必要である。また、電力システムの系統運用側のニーズとして、日射量の予測値のみならず、予測値の信頼性情報を付加することは、予測外れのリスクをあらかじめ把握する意味で重要とされている。そこで、まず本稿では予測値の誤差情報から予測値の信頼区間の推定方法を検討した。次に具体的なヤマセ事例について日射量予測の事例解析した結果を示し、得られた知見について記載する。

#### b) 本文

##### 1. はじめに

今後太陽光発電システムは東北・北海道地方においても大量に導入されることが検討されている。太陽光による発電量は日射量によって変動するが、雲が生成、移動、消滅するといった時間変化によって、発電量そのものも変動する。太陽光による発電量が低下した場合は、火力発電や水力、揚水発電などによる予備力の調整が必要である。特に、前日に太陽光で発電される電力量が予測できれば、火力発電機の運転計画に利用できる。このことから、日射量予測は電力分野において重要な意味を持つ。そのため、ベースとなる気象モデルから予測される日射量に関する検証を行い、予測誤差の特性について把握する必要がある。そこで、洗い出された問題点についてはモデルの改善へ向けた取り組みへフィードバックする必要もある (Shimose et al. 2013)。

東北地方ではヤマセに伴う下層の雲が生じることから、太陽光発電の発電量予測においてもこのような下層雲の予測が現状の MSM でどの程度可能かを調べる必要がある。これまで、MSM の日射量予測値の誤差解析について関東地方を中心に検証した研究 (Ohtake et al. 2013) がある。本研究では東北地方における日射量予測の予測誤差の季節性を調べた。また、その予測の実績を利用した日射量予測値の信頼区間の推定について検討を行った。さらに、ヤマセが観測された具体的な事例解析を行い、日射量予測の観点からモデルの予測の検証を行った。

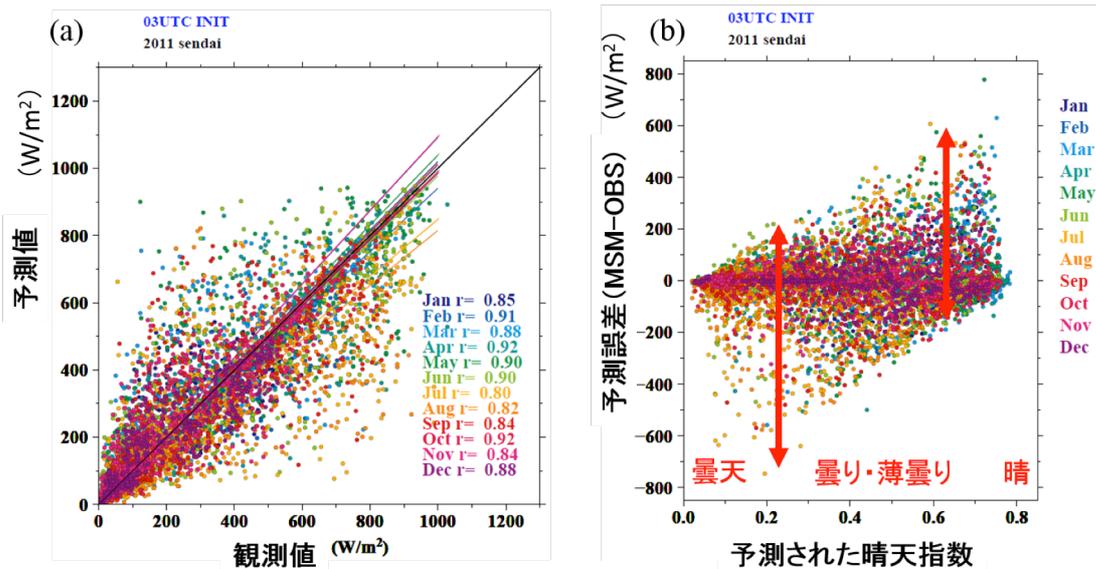


図1. (a) 気象官署（仙台）における日射量の観測値と MSM で予測された日射量予測値の特別値の散布図で 2011 年の比較。カラーは月毎に分けてプロットしており、図中の数値は各月の相関係数を示す。(b) 予測された晴天指数と予測誤差（予測値－観測値）の関係。

## 2. 日射観測データとモデル

解析した日射量データは東北地方の各気象官署（青森，秋田，盛岡，仙台，福島，山形の 6 地点）で観測された全天日射量データ（特別値）である。解析対象期間は 2008 年から 12 年であるが本稿では 2011 年のヤマセ事例を中心に解析を行った。

検証した MSM は水平解像度 5km であり，解析期間においては，1 日 8 回（15 時間または 33 時間）予測の出力が行われているが，そのうち 4 回（03, 09, 15, 21UTC の初期値を与えた 6 時間毎）の予測では 33 時間予測が行われている（現在は 2013 年 5 月以降，全初期時刻の予報時間が 39 時間予報に延長されている）。電力の運用計画では前日の夕方に翌日の発電量の予測を行うことが必要であるため，本解析においても 33 時間予報値を解析に用いた。MSM の詳細には気象庁資料を参照されたい（気象庁，2008）。

## 3. 結果

### 3-1. 予測値の誤差傾向—季節性

図 1 は 2011 年の気象官署（仙台）における日射量の観測値と MSM で予測された日射量の特別値の散布図である。大まかには特別の予測値の多くは一對一のラインの付近にあり，観測値に近い予測がされている。しかし，大きく過大，もしくは過小に予測したケースも見られる。季節別に散布図の相関係数をとると，夏季の 7 月（0.80），8 月（0.82）では他の季節に比べてやや低く，ばらつきが大きいことがわかる。

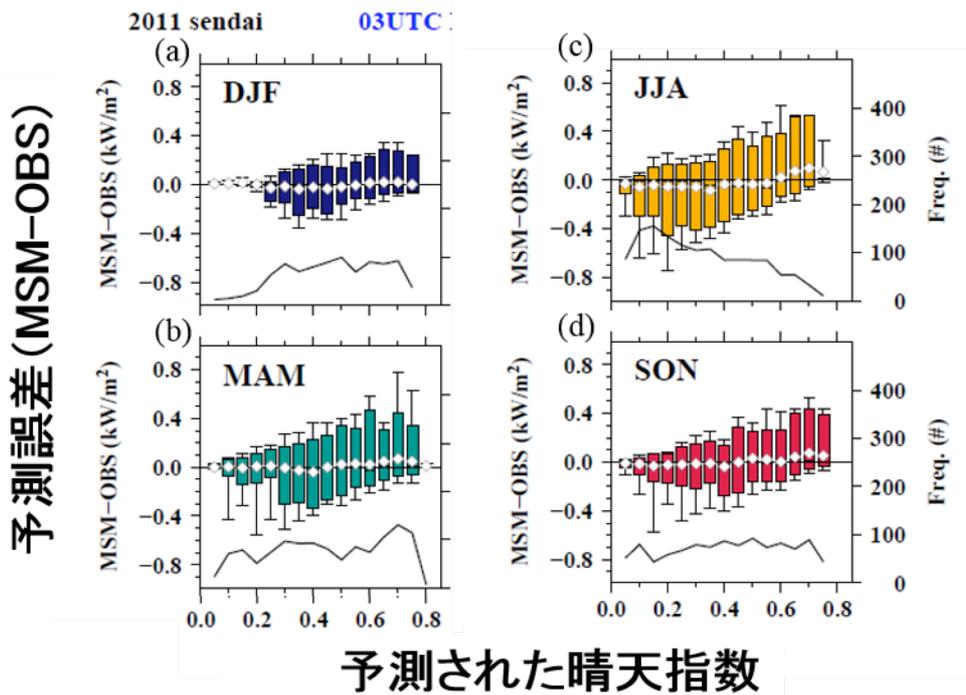


図 2. 図 1 b から作成した各季節別の予測された晴天指数 (横軸) と予測誤差 (予測値 - 観測値, 縦軸) との関係を箱ひげ図 (box-plot) で示したものを示す。(a) 冬 (12月～2月 DJF), (b) 春 (3月～5月, MAM), (c) 夏 (6月～8月, JJA), (d) 秋 (9月～11月, SON) をそれぞれ示す。2011年の仙台における結果。

次に、天候別に予測値と予測誤差との関係を調べるために、予測された晴天指数を横軸にとり、予測値の観測値からの差を縦軸にとり比較したものを図 1b に示す。これによると快晴時 (晴天指数 0.8 付近) や降雨があるような曇天時 (晴天指数 0.0 付近) においては予測誤差が小さくなる一方で、曇り時 (晴天指数 0.4 付近) では  $\pm 400 \text{ W/m}^2$  程度の予測誤差が見られる。また、やや晴れに近い薄曇り時 (晴天指数 0.6 付近) では予測過大になる傾向とやや光学的に厚い雲がある場合 (晴天指数 0.2 付近) で、予測過小になる傾向が見られた。これは MSM の日射量予測には天候によって予測誤差の傾向が異なることを意味する。

さらに、季節別に予測誤差の傾向を調べるために、各季節に分けて予測誤差の箱ひげ図を作成した。ここで季節を冬 (12月～2月, DJF と略す), 春 (3月～5月, MAM と略す), 夏 (6月～8月, JJA と略す), 秋 (9月～11月, SON と略す) と分けた。箱 (box) には予測誤差データの 80% が入る範囲を示し、またひげ部分は予測誤差の最大値, 最小値を示している。その結果、冬季は日射量が小さいために予測誤差は他の季節に比べて小さいものの、薄曇りから晴れの場合やや予測過大の傾向が見られた。つまり MSM ではモデル内で現実よりも光学的に薄い雲が予測されている、もしくは雲域の広がり狭い可能性がある。春になると薄曇りから晴れの場合 (晴天指数 0.6 付近) は予測過大、やや光学的に厚い雲がある場合 (晴天指数 0.2 付近) は予測過小であった。夏季ではその傾向がより顕著に表れていた。秋季になると太陽高度が下がるために予測誤差の幅も小さくなるが、晴天指数 0.6 付近でやや過大予測の傾向がみられた。

### 3-2. 予測値の信頼区間の推定

日射量予測値の信頼区間の推定手法について述べる。ここではMSMの日射量予測値の予測誤差情報から信頼区間の推定を行うことを検討した。具体的には、図2の季節別に得られた予測された晴天指数と予測誤差の関係について、look-up テーブルを作成した。実際には時別値毎に日射量の予測値から大気外日射量で除することで、予測された晴天指数が得られるので、このテーブルを時別値毎に参照し、動的に予測値の信頼区間を付与する比較的勘弁な方法である。日射量予測には季節変化が見られることが前節で見られた(図1, 図2)。詳細には月毎にlook-up テーブルを作成することも可能であるが、季節性を考慮しつつデータ量を確保するために、ここではlook-up テーブルを季節毎に作成した。また、図2では予測誤差のデータ数の80%が箱部分に入るように設定しているが、様々な信頼区間の推定幅についてみるために、80%, 90%, 95%, 97.5%の各幅をとったテーブルを作成した。結果については、次節の3-3で示す。

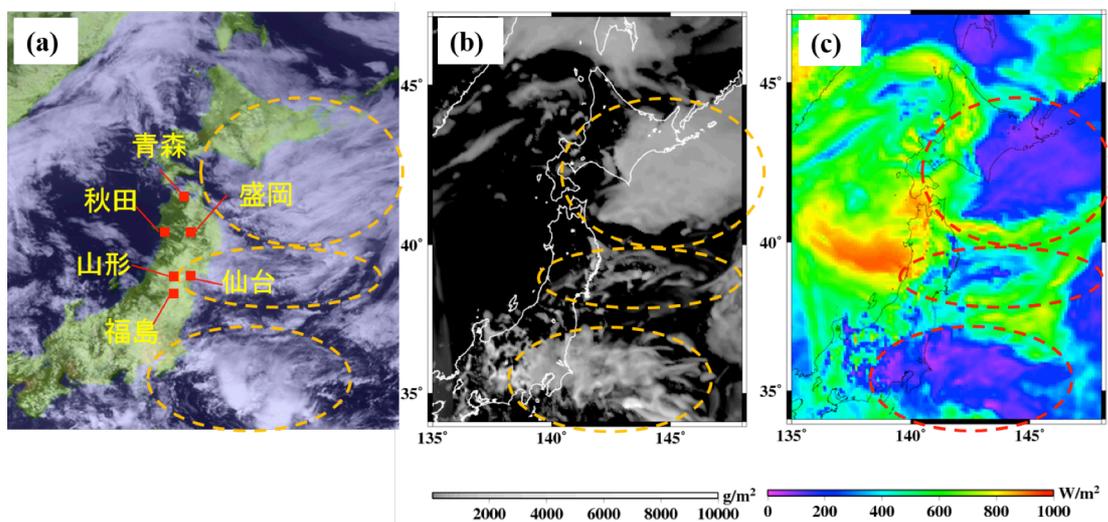


図3. 2011年7月31日日本時間12時における(a)衛星可視画像, (b)予測された雲の分布(水物質の鉛直積算量), (c)予測された日射量(下向き短波放射量)を示す。

### 3-3. ヤマセ時の事例解析—2011年7月31日の事例

具体的なヤマセが観測された事例について日射量予測に関する解析を行った。事例は2011年7月31日である。図3はその日の日本時間12時における衛星画像である。東北地方の三陸沿岸から関東地方にかけて、下層の雲とみられる雲域が太平洋側にべったりと観測されているのがわかる(図3a)。この時のMSMで予測された雲の分布の予測(鉛直積算した水物質の量)を図3bに示す。可視画像と全く同じ量を見ているわけではないため、直接的な比較はできないものの、大まかな雲の分布の比較を行うと、北海道南東部沖、岩手県三陸沖、関東の太平洋側にかかる各雲域は可視画像に近い分布をしているのがわかる。図3cはその時の日射量(下向き短波放射量)の分布を示しており、各雲域にともなう日射量の過小域の分布が表現されている。面的な日射量予測値の検証には衛星から推定された日射量も有効であるが、本稿では現在、面的な検証は実

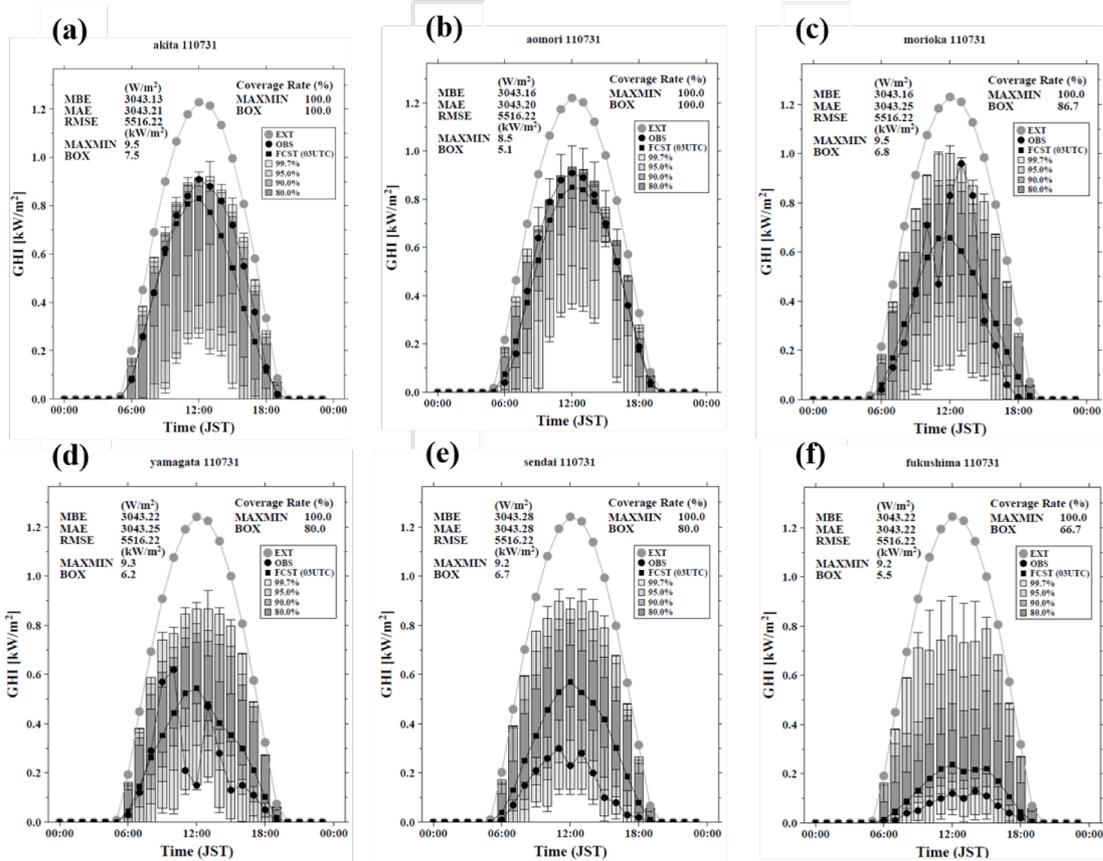


図4. 2011年7月31日における東北地方の気象官署での日射量予測値(03UTC 初期値の前日予測)と推定された信頼区間の時系列。(a) 秋田, (b) 青森, (c) 盛岡, (d) 山形, (e) 仙台, (f) 福島各地点を示す。信頼区間は box-plot で示しており, box は各 80%, 90%, 95%, 97.5%の各区間幅で示し, ひげ部分は信頼区間の最大値と最小値を示している。●は観測値(OBS), ■は予測値(FCST)を, ●は大気外日射量を示す。

施していない。また、日射量予測値については詳細な観測が気象官署のデータがあるため、ポイントでの検証については後半に述べる。また、可視画像では東北地方から関東地方の太平洋側にもびっしりと雲域が見られるが(図3a)、予測では特に東北地方太平洋側における雲域が少なく(光学的に薄く)予測されている傾向もみられた。

次に、この日の東北地方の各気象官署における日射量の観測値と予測値、及び信頼区間の推定結果について、時系列データを示す(図4)。東北地方では日射量を観測している気象官署は青森、秋田、盛岡、山形、仙台、福島のみである。秋田や青森(図4a, b)ではヤマセ事例ではあるものの付近には雲域がかかっておらず、予測値は時別値毎にみても観測値に近い。しかし、夏季(JJA)の予測誤差傾向からMSMは比較的薄曇りから晴れに近い天候では過大予測をする傾向があるために(図2c)、信頼区間の幅は予測過小側に広く推定されている。

一方、仙台(図4e)ではヤマセに伴う厚い下層の雲が観測されているが(図3a)、その時の日射量の予測値は観測値に比べて約2倍の高い値が時別値毎に予測されていた。また、福島(図4f)においてはさらに光学的に厚い雲があるため、日中の日射量も最大  $200\text{W/m}^2$  弱となっているが、予測はやや高めに出ている傾向がある。これはMSMではこの下層雲の予測を十分に表現できず、

光学的に薄い雲をモデル内部で予測してしまった結果である。また、盛岡や山形では(図 4c, d), 日中に日射量の観測値が大きく時間変動をしているが, MSM ではその急峻な変動を予測できておらず, 滑らかな変動を示している。しかし, 観測値はそのほとんどが推定した信頼区間の幅の中に収まっている。

#### 4. まとめ

日射量予測値の信頼区間については予測誤差情報から, 予測された晴天指数と予測誤差の関係を利用した look-up テーブルを作成し, 推定を行った。また, 東北地方で観測されるヤマセ事例について日射量予測に関する事例解析を行った。

その結果, ヤマセ事例の予測誤差が大きくなる場合には予測過大になる地点がいくつか見られた。これまで MSM の夏季の予測誤差が大きくなる場合には日射量予測の過小傾向になることが多いが (Ohtake et al. 2013), それとは異なる結果を得た。また, 時間的に日射量の変動が大きい場合においては, 予測値は急峻な時間変動を表現できていないことも確認された。また, 初期値を変えた場合の比較では, 前日 12 時初期値 (03UTC) と当日 6 時初期値 (21UTC) で信頼区間の幅を比較すると, 信頼区間の低減が見られた地点がみられた (図略)。一方で, ほとんどその幅の大きさが変わらない地点もみられた。

今回は 1 事例のみの事例解析を紹介した。今後の課題として, ヤマセの解析事例を増やして, ヤマセ時の日射量予測の傾向を把握する必要がある。また, 実際には発電された電力量は送電線に連系され, 電力管内など広域で運用がなされる。そのため, 単地点予測のみならず, ある程度の広さを持った広域エリアを対象とした日射量・発電量予測と予測誤差を把握する必要がある。これについては今後取り組む予定である。

#### c) 参考文献

気象庁予報部, 2008: 「気象庁非静力学モデル」, 数値予報課報告・別冊第 54 号, pp. 272.

Ohtake. H., K-I. Shimose., Fonseca. Jr., T. Takashima., T. Oozeki and Y. Yamada, 2013: Accuracy of the solar irradiance forecasts of the Japan Meteorological Agency mesoscale model for the Kanto region, Japan. *Solar Energy*, Vol.98, PartB, 138-152, doi:10.1016/j.solener.2012.10.007.

Shimose. K-I., Ohtake. H., Fonseca. Jr., T. Takashima., T. Oozeki and Y. Yamada, 2013: Improvement of the Cloud Scheme of the Japan Meteorological Agency Meso-Scale Model for the Forecasting the Photovoltaic Power Production, *Proceedings of 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, 3936 - 3939, doi: 10.4229/28thEUPVSEC2013-5BV. 4. 28.

### 3.1.6 CMIP5 マルチ気候モデルにおけるヤマセの将来変化

遠藤洋和（気象研究所）

#### a) 要旨

CMIP5 に参加した 21 の気候モデルの夏季を対象に、ヤマセおよびそれに関連する大規模場の将来変化について調べた。RCP4.5 および RCP8.5 シナリオに基づく近未来（2025～2049 年）と 21 世紀末（2075～2099 年）における変化を解析した。いずれのシナリオ/期間においても、オホーツク海高気圧は夏季前半（5～6 月）を中心に弱化し、太平洋高気圧は夏季を通して北への張り出しが弱化すると予測されており、偏差は放射強制力が大きいほど明瞭であった。これら大気循環場の変化に関連して、北日本東海上の北東風（ヤマセ）の頻度は、5～6 月に減少、7～8 月に増加する傾向にあることが予測された。このようなヤマセ頻度の変化は、モデル間のばらつきが大きく統計的有意性は小さいものの、いずれのシナリオ/期間においても共通して見られた。CMIP5 気候モデルにより予測された変化の特徴は、CMIP3 気候モデルによる予測とおおむね類似していた。

#### b) 本文

##### 1. CMIP5 データ

CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5: 第 5 期結合モデル相互比較実験) で行われた各種実験のうち、過去再現実験 (historical) と将来予測実験 (RCP4.5, RCP8.5) のデータを用いた。現在 (1981～2005 年)、近未来 (2025～2049 年)、21 世紀末 (2075～2099 年) について、月平均および日平均データが入手可能な 21 の気候モデル (各モデルにつき 1 ランズ) を解析対象とした。

##### 2. 大規模場の将来変化

図 1 は 6～8 月平均の海面水温 (SST) の将来変化である。RCP4.5/RCP8.5 シナリオに基づく近未来/21 世紀末の変化を示す。放射強制力は、RCP8.5 の 21 世紀末 (RCP8.5\_F)、RCP4.5 の 21 世紀末 (RCP4.5\_F)、RCP8.5 の近未来 (RCP8.5\_NF)、RCP4.5 の近未来 (RCP4.5\_NF) の順で大きく (図略)、SST 偏差もこの順で大きい。空間分布を見ると、北半球の昇温は南半球に比べて大きく、太平洋赤道域に昇温のピークが見られる。また、北日本東海上の昇温が顕著である。図 2 は地上 2m 気温偏差である。全般的に海上よりも陸上の昇温が大きい。極東域では東シベリア付近の昇温が相対的に大きい。

図 3 に降水量偏差を示す。太平洋赤道域、アジアモンスーン域、梅雨前線帯などでは有意に増加している。一方、インド洋東部赤道域、北太平洋亜熱帯域、カリブ海～中米、地中海などでは有意に減少している。図 4 は 200hPa 速度ポテンシャル偏差である。インド洋東部赤道域で大規模収束偏差、東部太平洋域で大規模発散偏差が分布している。これは、太平洋赤道域の東西循環 (ウォーカー循環) の弱化に対応しており、熱帯大気鉛直安定度の増加やエルニーニョ現象に似た SST 偏差 (図 1) により引き起こされていると考えられる (たとえば、Vecchi and Soden, 2007)。

図 5 に海面気圧 (SLP) の偏差を示す。ウォーカー循環の弱化に対応して、太平洋赤道域の東西気圧傾度が減少 (海洋大陸付近の気圧が相対的に上昇) している。また、太平洋高気圧は、亜熱帯域で強化する一方、中緯度 (北緯 40 度付近) で弱化する傾向にある。オホーツク海付近の

気圧は低下傾向にある。図6は日本の東方海上のSLP偏差の季節変化である。夏季は太平洋高気圧の北への張り出しが有意に弱化している。夏季以外の季節では、冬季を中心にアリューシャン低気圧の強化と北偏が有意に予測されている。これと同時に、太平洋高気圧は北側へ拡大している。すなわち、SLPの季節変化の振幅は中緯度では減少している。いずれのシナリオ/期間においてもSLP偏差のパターンは似ており、偏差の大きさは放射強制力にほぼ比例している。

### 3. ヤマセの将来変化

図7に5～8月の各月の日本付近の海面気圧および850hPa風の偏差を示す。オホーツク海高気圧は夏季前半(5～6月)を中心に弱化しており、この時期、北日本の東方海上では西風偏差が卓越している。一方、太平洋高気圧は夏季を通して中緯度(北緯40度付近)で弱化しており、夏季后半(7～8月)は北日本の東方海上で東風偏差が卓越している。

図8は地上北東風の頻度の変化である。北東風頻度は、地上10m風の日別出力値を用いて東寄りの風かつ北寄りの風(U<0 & V<0)の日をカウントした。上述の海面気圧や850hPa風の変化と整合して、北日本の東方海上における北東風(ヤマセ)の頻度は、5～6月に減少して7～8月に増加する傾向にある。このようなヤマセ頻度の変化は、モデル間のばらつきが大きく統計的有意性は小さいものの、いずれのシナリオ/期間においても共通して見られる。現在気候では6～7月にヤマセ頻度が多いことから、予測されている変化はヤマセの季節の遅れを意味する。

CMIP5気候モデルで予測された循環場およびヤマセ頻度の変化は、Endo(2012)によって示されたCMIP3気候モデルの予測結果とおおむね類似している。

### c) 参考文献

- Endo, H., 2012: Future changes of Yamase bringing unusually cold summers over northeastern Japan in CMIP3 multi-models, *J. Meteor. Soc. Japan*, **90A**, 123-136.
- Vecchi, G. A., and B. J. Soden (2007), Global warming and the weakening of the tropical circulation, *J. Climate*, 20, 4316-4340, doi:10.1175/jcli4258.1.

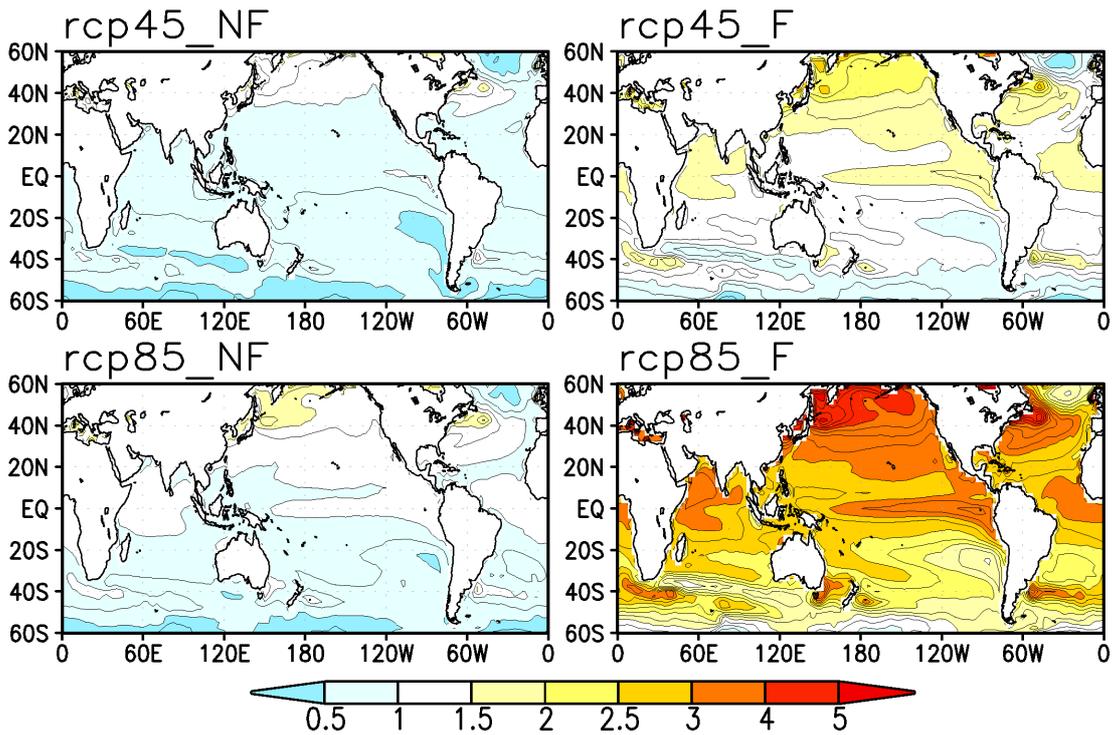


図1 CMIP5の21モデル平均の6～8月平均の海面水温偏差(°C)。上段はRCP4.5シナリオ、下段はRCP8.5シナリオ。左列は近未来(2025～2049年)、右列は21世紀末(2075～2099年)における現在気候(1981～2005年)からの偏差。等値線間隔は0.25°C。

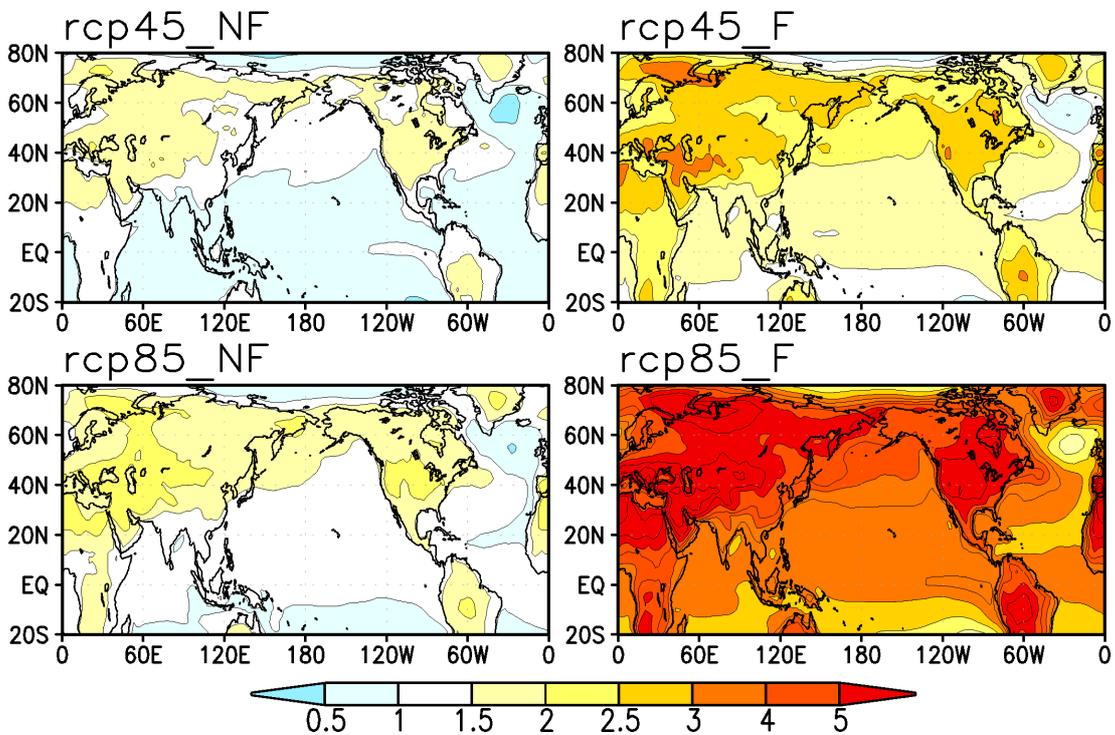


図2 地上2m気温偏差(°C)で等値線間隔が0.5°Cである以外は図1と同じ。

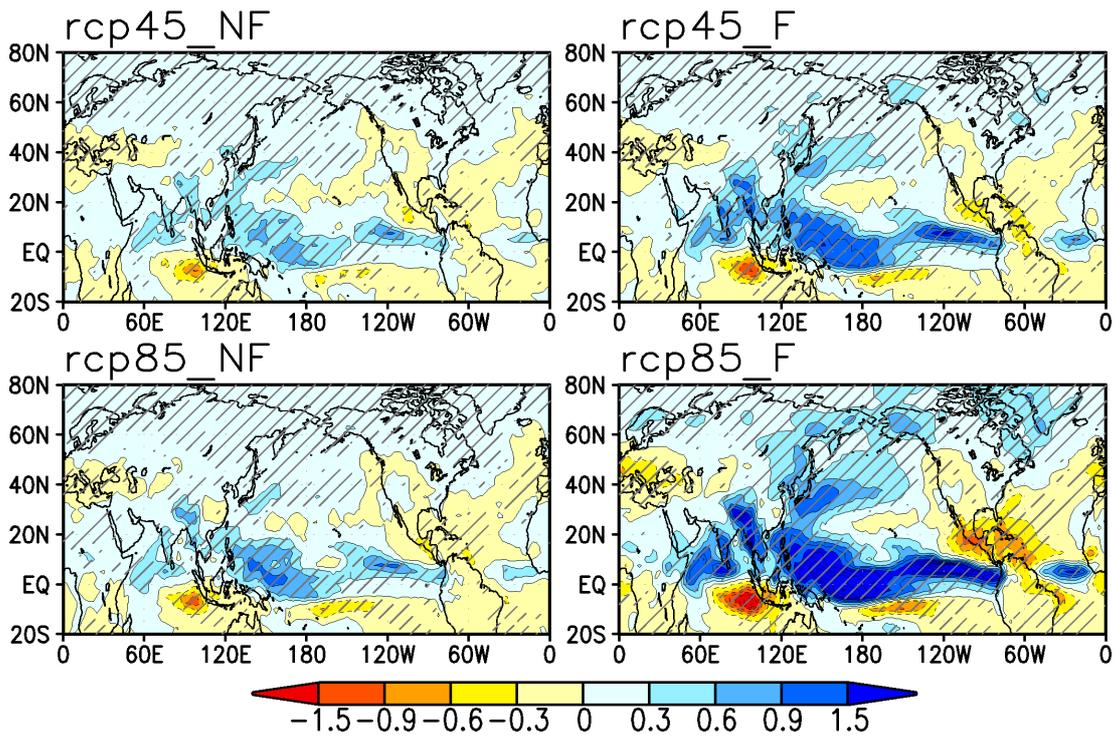


図3 降水量偏差 (mm/日) である以外は図2と同じ。有意 (信頼度 95%以上) に変化する領域に斜線。

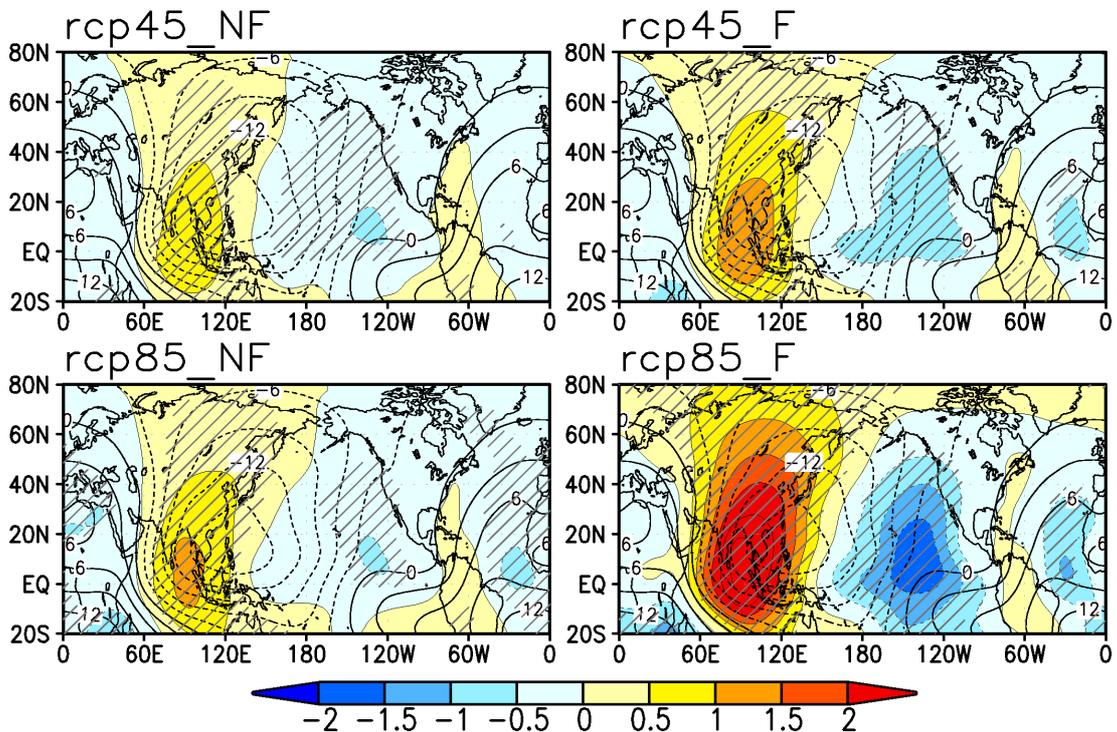


図4 200hPa 速度ポテンシャル偏差 ( $\times 10^6 \text{m}^2/\text{s}$ ) である以外は図3と同じ。太線は現在気候の値 (等値線間隔:  $3 \times 10^6 \text{m}^2/\text{s}$ )。正の値は大規模収束域に対応する。

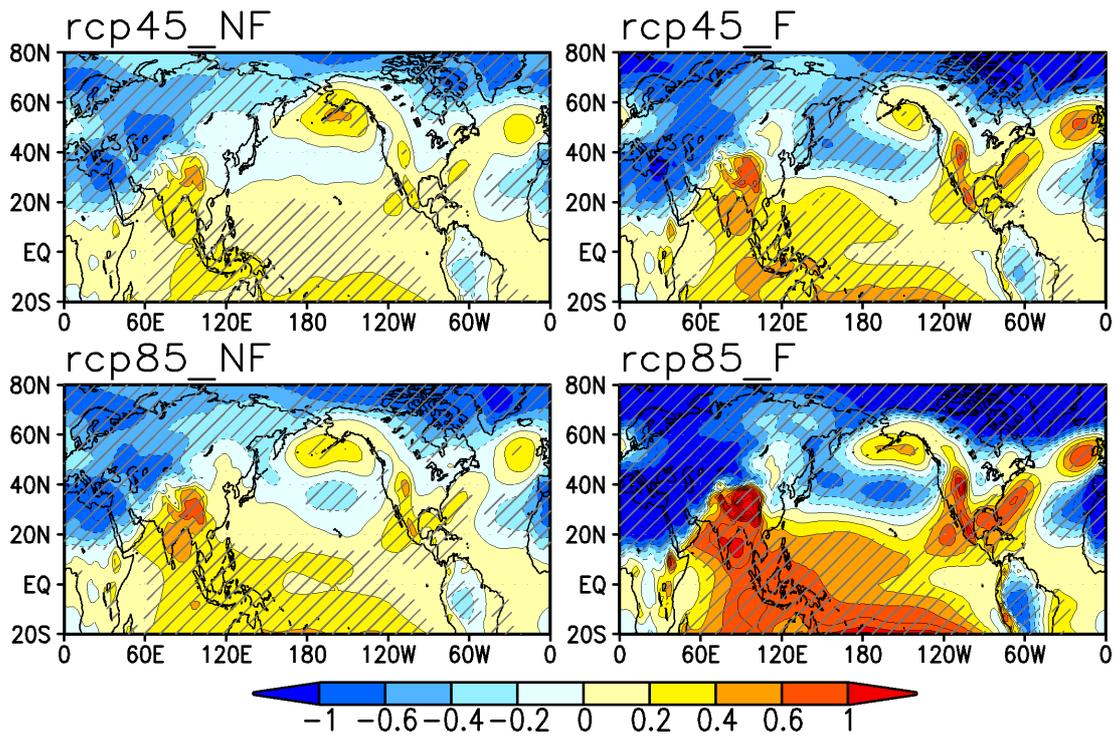


図5 海面気圧偏差 (hPa) である以外は図3と同じ。

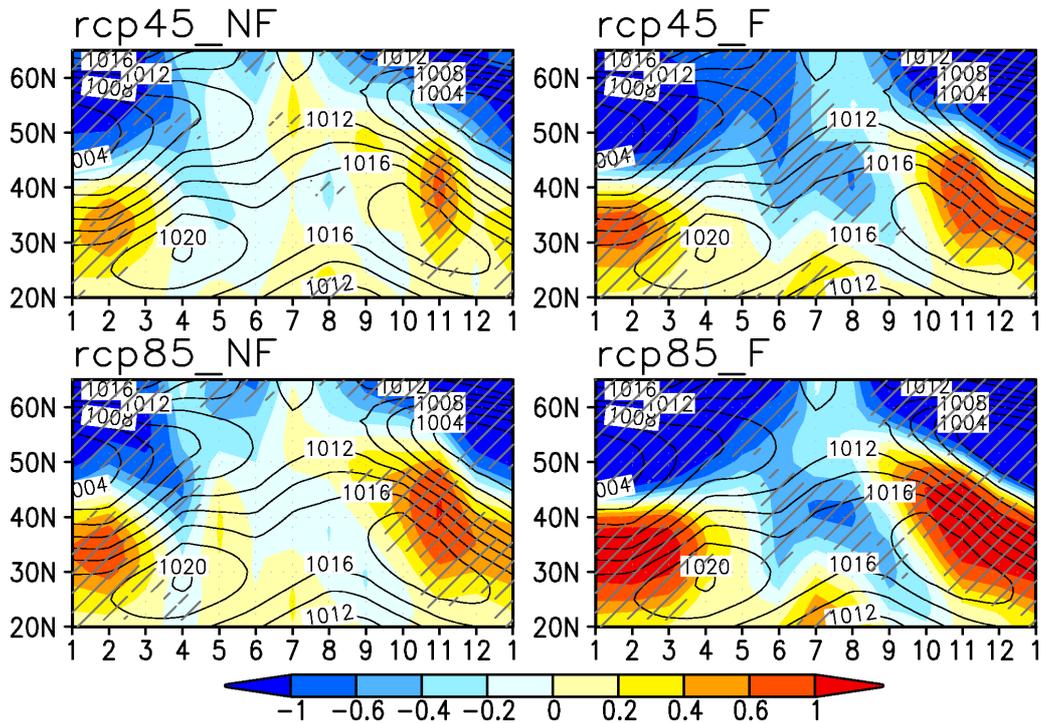


図6 東経140~180度で平均した海面気圧 (hPa) の現在気候 (等値線) と将来変化 (陰影)。有意 (信頼度 95%以上) に変化する領域に斜線。

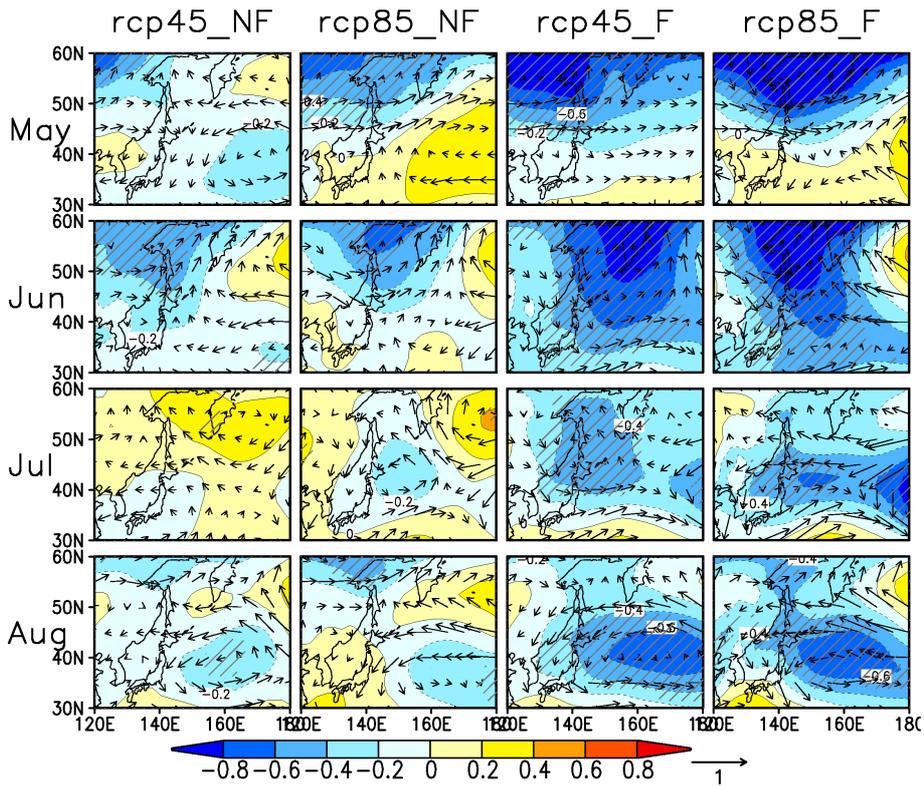


図7 5～8月における海面気圧と850hPa風の将来変化。海面気圧を陰影と等値線(hPa)、850hPa風をベクトル(m/s)で示す。海面気圧が有意(信頼度95%以上)に変化する領域に斜線。

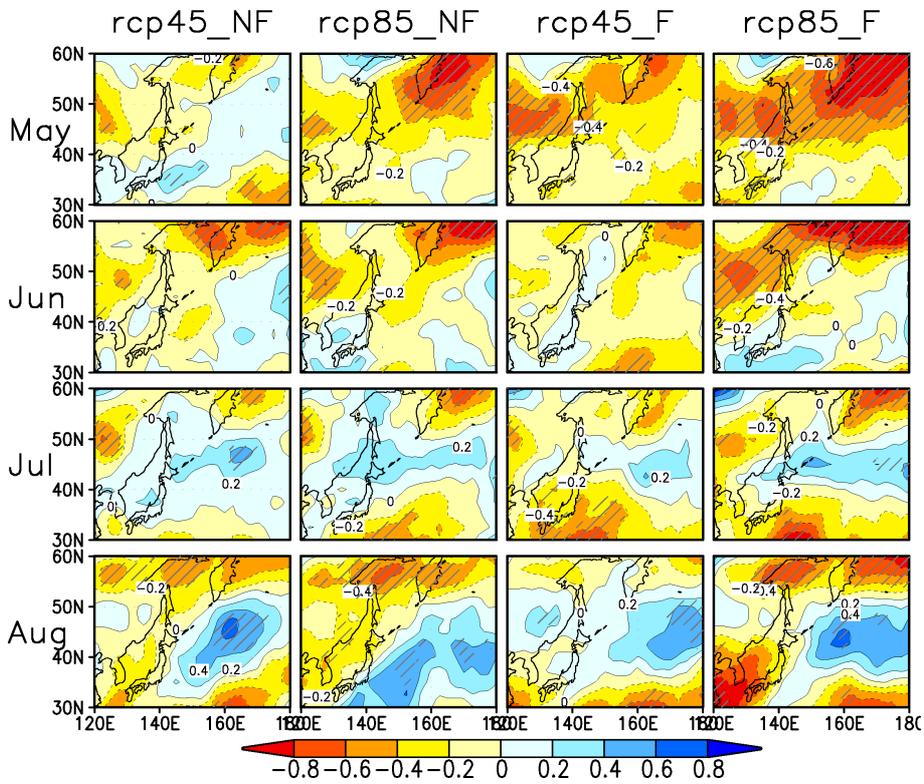


図8 地上北東風の頻度の将来変化(回/25年)である以外は図7と同じ。

### 3.1.7 CMIP5 モデルで表現される三陸沖の SST

児玉安正・Ibnu Fathrio・佐々木実紀（弘前大学大学院・理工学研究科）

#### a) 要旨

15 個の CMIP5 モデルについて、7 月の三陸沖の海水温予測のパフォーマンスを調べた。再現実験において MIROC5 は観測値やモデルアンサンブル平均にくらべて八戸沖の SST について 3~4°C 程度の大きな低温バイアスがある。MIROC5 の低温バイアスは温暖化予測 (RCP4.5 シナリオ) においても維持される。

#### b) 本文

##### 1. はじめに

地球温暖化後のヤマセの将来予測に用いられる CMIP5 の各気候モデルについて、三陸沿岸の SST の予測結果を比較した。この海域の SST を注目して調査を行った理由は以下の 2 つである。1. ヤマセは三陸沖を吹走した後に東北地方の太平洋側に吹き込むため、沿岸で観測されるヤマセの気温は三陸沖の海面水温に規定されるという観測事実がある。この状況は温暖化後においても変わらないと考えられるので、気候モデルを用いたヤマセのダウンスケーリングを実施する場合に、各気候モデルが三陸沖の海面水温をどのように予測しているかを検討しておくことが必要である。2. 三陸沖の海域は暖流と寒流が入り乱れる海域で、SST が暖水渦と冷水渦などの渦を伴い複雑に変動している。CMIP5 の各モデルで用いられる海洋モデルは、このような渦を解像できる空間分解能を有していない。従って、三陸沖の SST は、気候モデルによる再現が難しい対象であり、モデルにより SST に大きな違いが出やすい海域である。

##### 2. 三陸沖の SST : CMIP5 各モデルと観測結果の比較

再現実験 (1950~2004) と 21 世紀温暖化実験 (2005-2100) (RCP4.5 シナリオ) の結果を、15 個の CMIP5 モデルについて調べた。いくつかのモデルについては、複数のアンサンブルの平均値を解析した。八戸沖 (40.5N, 142.5E) の SST の変化を図 1 に示す。日本の MIROC5 は、八戸沖の SST について CMIP5 モデル中でも低い値を示し、その傾向は再現実験の期間から温暖化実験の期間まで継続した。再現実験の期間では、観測値に近いと考えられる再解析データ (Era-Interim, JRA-55) と比べても 3~4°C も低い SST を示した。一方、気象庁気象研究所の MRI-CGCM3 は、モデルアンサンブルの平均に近い値を示し、再現実験では再解析値にも近い値を示した。

図 2 の上段に 2001-2010 年の 10 年間で平均した MRI-CGCM3, MIROC5 の再現実験、および再解析データ ERA-Interim の 7 月の SST 分布を示す。下段には、解析した 15 個の気候モデルのアンサンブル平均からの MRI-CGCM3, MIROC5 の SST 偏差を示す。図 3 には、MRI-CGCM3, MIROC5 の温暖化予測実験 (上段)、MRI-CGCM3, MIROC5 の温暖化予測実験 (2031-2040 年) におけるアンサンブル平均からの SST 偏差を示す。MIROC5 は、再現実験でも温暖化実験でもほぼ同じ場所でモデルアンサンブルと大きな差を示す場所がある。大きな負偏差域が八戸沖にも伸びており、それが図 1 で議論した結果をもたらしている。MRI-CGCM3 は、MIROC5 のような大きな偏差は、図に示した範囲にはないが、40N 以南の三陸沖ではわずかな負偏差域が広く広がっている。再現実験において観測と近いと考えられる ERA-Interim と比較すると、MIROC5、MRI-CGCM3 共に黒潮続流域での水

温が低く、さらに MIROC5 では、三陸沿岸で大きな SST 傾度が南にシフトしている。これが MIROC5 で見られた三陸沖の大きな SST の負偏差をもたらしている。

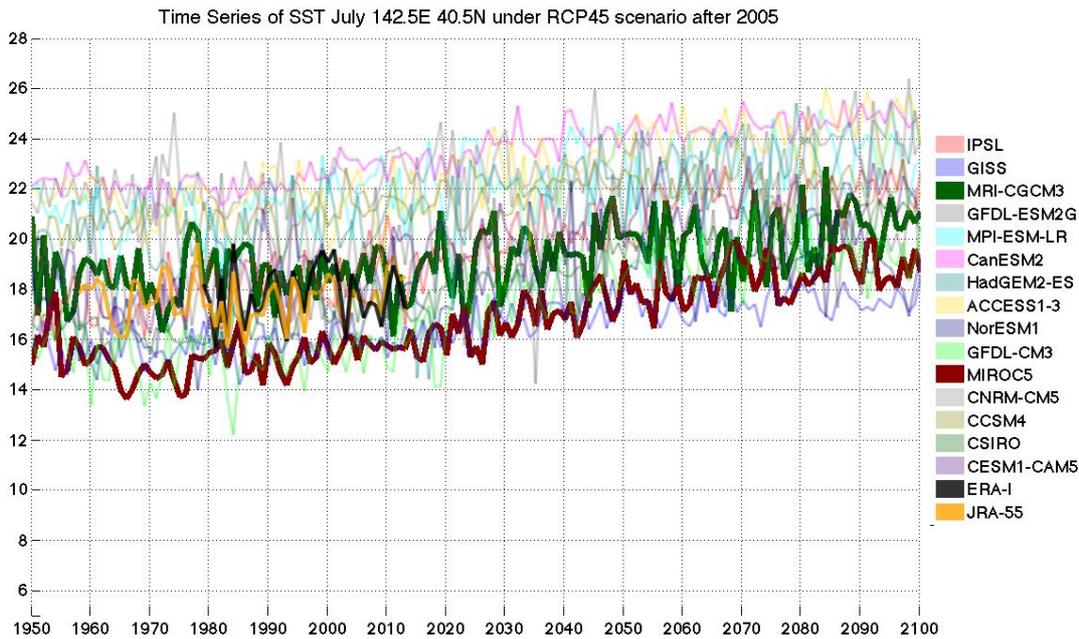


図 1 CMIP5 モデルの 7 月の SST (八戸沖 : 142. 5E, 40. 5N) の経年変化。1950~2004 年は再現実験。2005~2100 年は温暖化予測実験 (RCP4.5 シナリオ)。

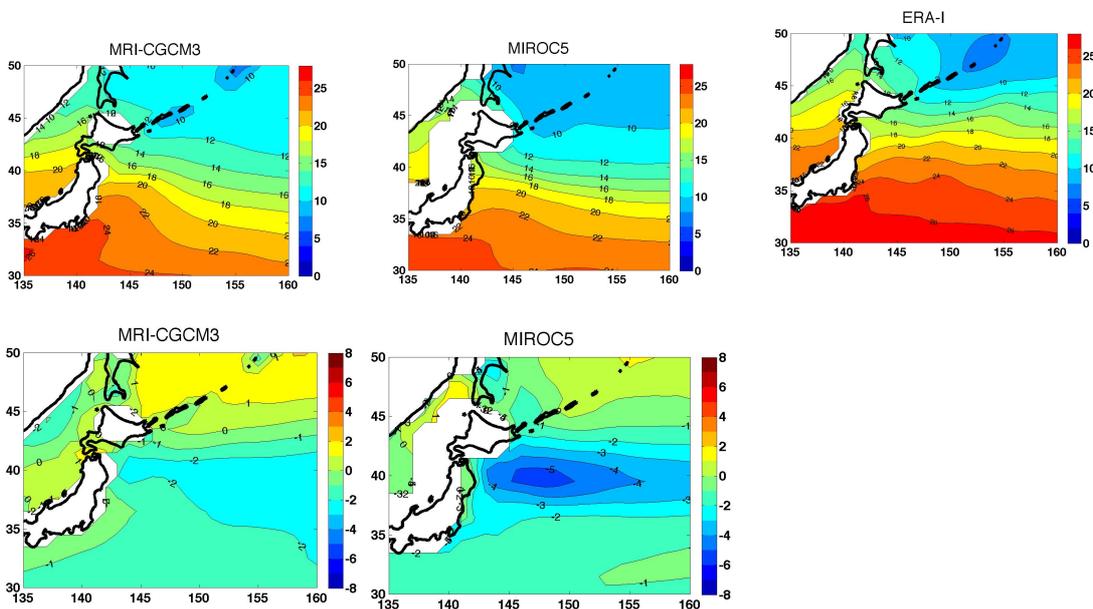


図 2 MRI-CGCM3, MIROC5 の再現実験と ERA-Interim の 7 月の 10 年平均 SST(2001~2010 年) (上段)、MRI-CGCM3, MIROC5 の 7 月の SST の CMIP5 アンサンブル平均からの SST 偏差 (下段)。

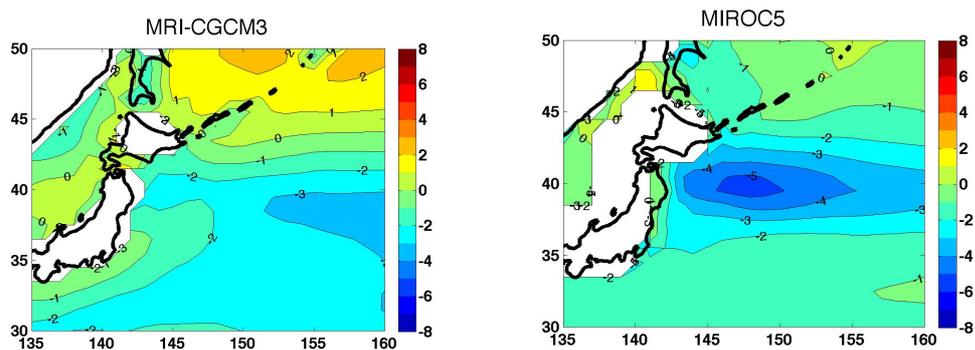


図3 MRI-CGCM3, MIROC5 の温暖化予測実験における7月のSSTのCMIP5アンサンブル平均からのSST偏差 (2031-2040年).

### 3. まとめ

CMIP5 気候モデルで用いられる海洋モデルは、海洋中のメソスケールの渦を解像できる分解能がない。このため、水温の大きく異なる海水が渦を伴って入り乱れる三陸沖のような海域では、モデルのSST予測のパフォーマンスが非常に悪い。気候モデルの結果をヤマセのダウンスケーリングに用いる場合、ヤマセに影響を与える三陸沖のSSTの再現特性を検討した上で、使用するモデルを選択することが望まれる。

### 3.1.8 六ヶ所村で観測されたヤマセの鉛直構造

児玉安正・佐藤笑（弘前大学大学院・理工学研究科）

#### a) 要旨

2013年の夏に青森県六ヶ所村で行ったヤマセの高層観測の結果を報告する。2011年と2012年に観測されたヤマセに比べて背が低かったことについて、海上の気団変質との関係を論じた。

#### b) 本文

##### 1. はじめに

2011年、2012年の夏に引き続き、2013年も青森県六ヶ所村において、ヤマセの高層気象観測を行った。これまでと同様に、放球が許可されたのは三沢基地の訓練が休みとなる土曜日と日曜日のみであったが、2013年も夏もヤマセの観測に成功することができた。

##### 2. 結果

2013年の観測は7月の3回の週末に実施したが、7月19日18UTCから21日06UTCにヤマセの観測に成功した。GPSゾンデの放球は3時間ごとに行った。上図は、相対湿度（カラー）と水平風（ベクトル）を、下図は風速（カラー）と水平風（ベクトル）を示す。東風の層のうち、湿度が90%以上の層をヤマセ層と考えることにすると、今回観測されたヤマセは、層の厚さが500m程度で、過去2シーズンに観測されたヤマセ層（厚さ1000m）よりも薄かった。これについて、後方流跡線解析を行った結果、過去2シーズンのヤマセよりもSSTの高い海域から空気塊が移流してきており、海面からの加熱による大気混合層の発達があまり期待できない状況であった。

下図に示されるように、高度2000m（気圧800hPa）付近に風速がほとんどゼロとなる弱風層が存在した。この弱風層は過去2シーズンに観測されたヤマセでも見いだされた。天気図で青森県付近の気圧（高度）分布を調べたところ、ヤマセ時には、地上付近では太平洋側と日本海側で東西の気圧差があり、これが東風（ヤマセ）の駆動力となるが、800hPa付近では、東西の気圧差が消失し、弱風層の形成に関与していることがわかった。

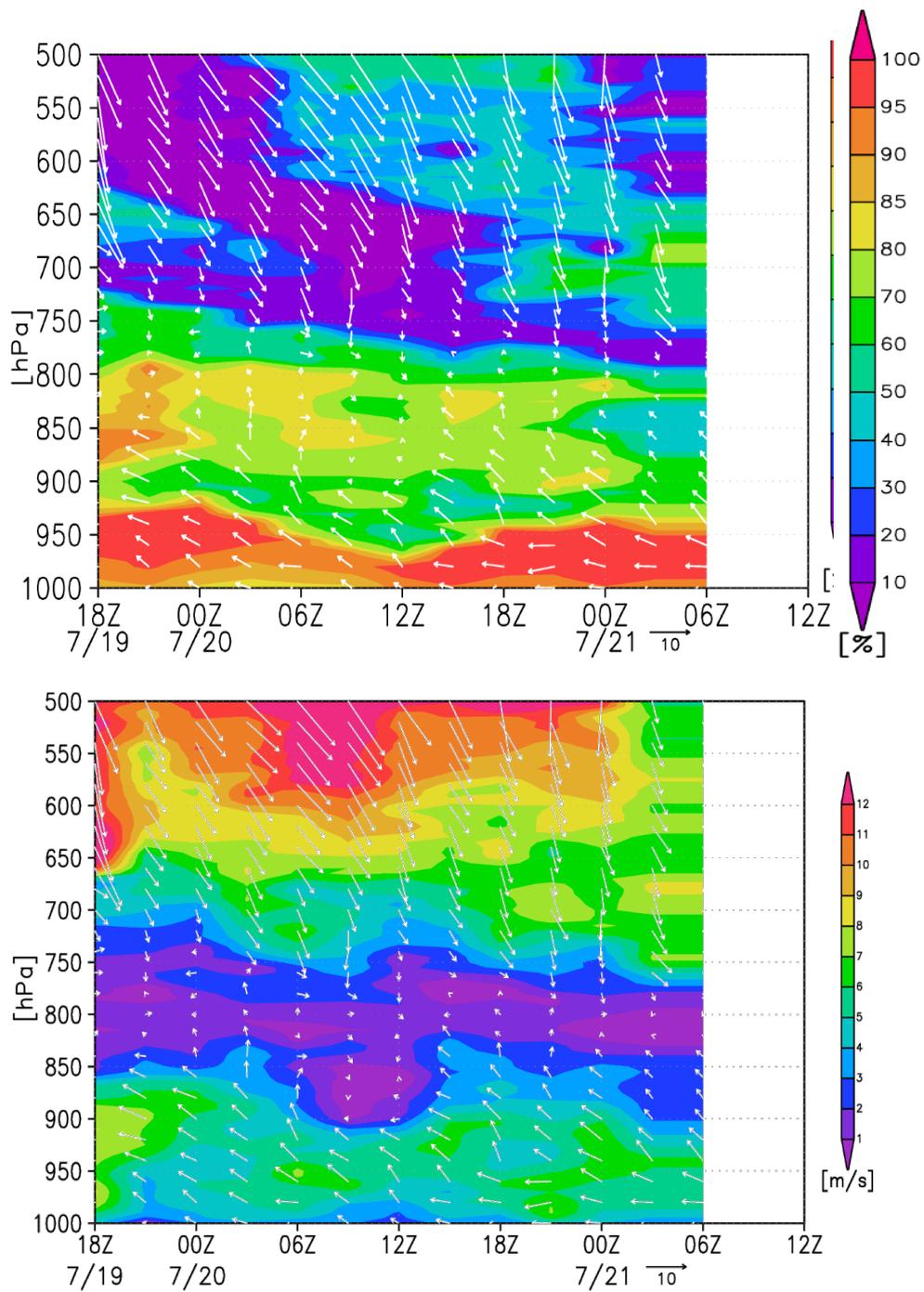


図1 青森県六ヶ所村で実施された2013年7月19日(18UTC)~21日(6UTC)の高層気象観測結果。上図は、相対湿度と水平風(ベクトル)。下図は水平風速と水平風(ベクトル)を示す。

### 3.1.9 日本の地上気温の長期トレンド ～北東日本の夏季の遅い昇温～

遠藤洋和（気象研究所）

#### a) 要旨

日本の気温の長期変化の実態について、従来研究よりも多くの地上観測地点のデータに基づいて調べた。1901～2012年の北東日本の夏季の昇温トレンドは、他の季節/地域と比べて小さいことが分かった。この期間、オホーツク海高気圧の強化と太平洋高気圧の北への張り出し弱化のトレンドが見られることから、北東日本では、オホーツク海～ベーリング海の海洋性寒帯気団の影響を受けやすくなり、気温の昇温量が抑えられたと考えられる。

#### b) 本文

##### 1. 地上気温データ

気象庁の官署における地上気温データを解析した。大野ら（2011, 測候時報）の補正手法を用いて官署移転時の統計接続を行い、できるだけ多くの観測地点で気温の長期トレンドを算出した。統計接続時の補正值の算出方法は次の通りである：移転前後の計16年間を対象に、①移転のない全国気象官署の月毎の気温データに対して主成分分析を行い、累積寄与率90%までのモードを抽出し、②各月の気温時系列を「各モードのスコア」と「移転による不連続」を説明変数とする重回帰式で表現し、不連続量（補正值）を求める。

この移転接続により、41地点で1901年～2012年の気温の長期トレンドが算出可能となった。観測地点分布を図1に示す。ただし、都市化の影響を軽減するため、人口50万人以上の都市に立地する観測点を排除している。

##### 2. 気温のトレンド

1901年～2012年の地域平均の気温トレンドを図2に示す。地域区分は気象庁の定義に従った。気温はいずれの地域/季節においても上昇傾向にある。北日本太平洋側（NP）地域では、7～8月の気温の上昇トレンドが他季節/他地域に比べて小さく、北日本日本海側（NJ）地域でも同様の傾向が見られる。一方、夏季以外の季節では、NP、NJ地域の上昇トレンドは他の地域と同程度である。

##### 3. 海面気圧のトレンド

HadSLP2 (Allan and Ansell, 2006) における1901年～2004年の7月の海面気圧トレンドを図3（左）に示す。HadSLP2は地上/海上で観測された海面気圧データを5度×5度にグリッド化したデータセットである。太平洋中緯度域で気圧が有意に低下しており、日本付近の気圧は北日本を除いて負のトレンドである。一方、北海道やオホーツク海では正のトレンドが分布する。前者は太平洋高気圧の弱化、後者はオホーツク海高気圧の強化に対応する。図3（右）はJRA-55 (Ebita et al., 2011) における1958年～2012年の海面気圧トレンドである。HadSLP2で見られるトレンドと同様、太平洋高気圧の日本付近への張り出し弱化とオホーツク海高気圧の強化が見られる。

このことを確認するため、根室と石巻の海面気圧差の時系列を図4に示す。他のデータセットで見られる特徴と同様、オホーツク海方面の気圧が相対的に上昇する傾向（有意水準10%以下）

にある。1980年代以降、気圧差が顕著に大きくなる年が多く、1988、1993、2003年は歴代トップ3に入る。

#### 4. 今後の課題

1960年代以前は気象官署における気温や気圧の観測時間/頻度の時代変遷があることから、これを補正した上で長期トレンドを算出する必要がある。

#### 謝辞

気象官署の移転補正済データを気象庁気候情報課の村井博一氏から提供して頂いた。

#### c) 参考文献

Allan, R., and T. Ansell, 2006: A new globally complete monthly historical gridded mean sea level pressure dataset (HadSLP2): 1850–2004. *J. Climate*, **19**, 5816–5842.

Ebita, A., and co-authors, 2011: The Japanese 55-year Reanalysis "JRA-55": An Interim Report. *SOLA*, **7**, 149–152, doi:10.2151/sola.2011-038.

大野ほか, 2011: 気温の時系列データから気象官署の移転にともなう影響を除去する手法について, *測候時報*, **78**, 31–41.

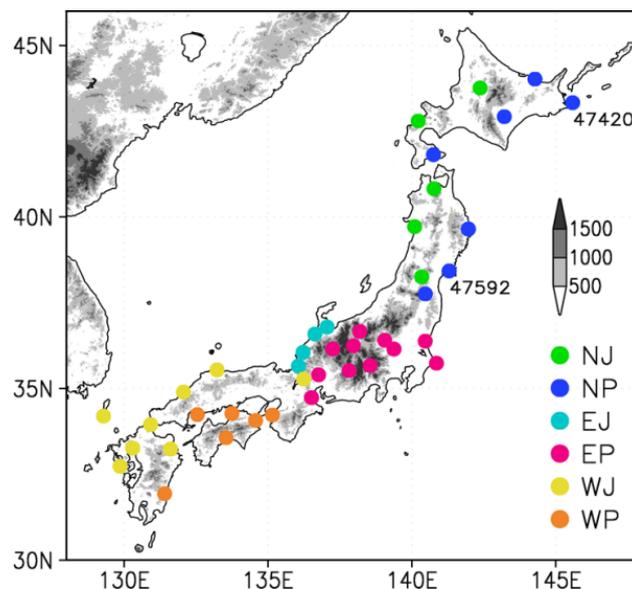


図1 1901年～2012年に継続して観測を行っている気象官署の分布（41地点）。都市化の影響を軽減するため、人口50万人以上の都市に立地する観測点を排除した。地域区分は気象庁の定義に基づく。陰影は標高（m）。図中の数字は、根室（47420）と石巻（47592）の国際地点番号。

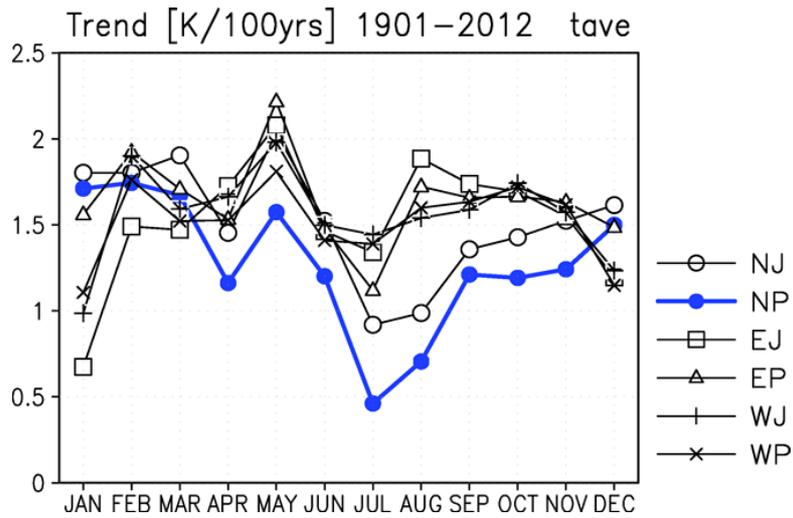


図2 1901～2012年における月平均地上気温の地域別トレンド（°C/100年）。

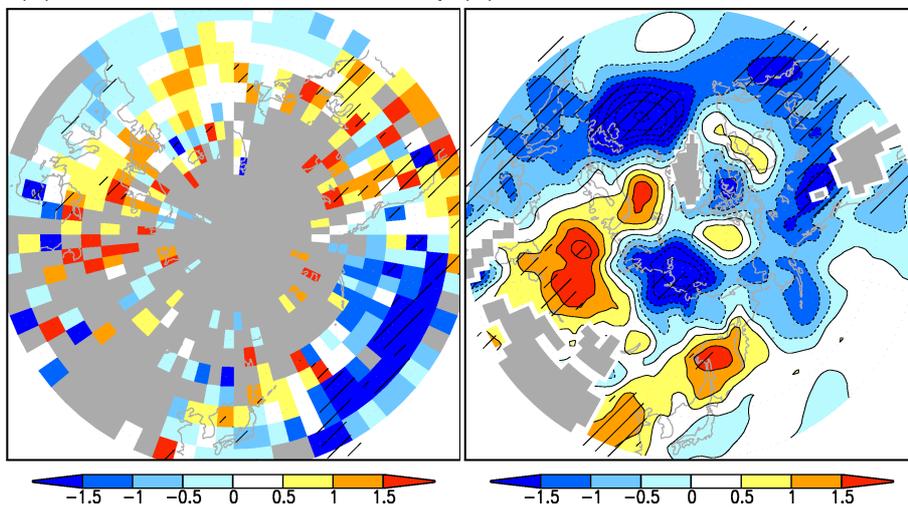


図3 7月の海面気圧の長期トレンド。(左) HadSLP2 (hPa/100年; 1901-2004年)、(右) JRA-55 (hPa/50年; 1958-2012年)。有意水準5%以下の領域を斜線で表示。左図では時間方向のデータ存在頻度が80%以下の領域、右図では標高1500m以上の領域をマスクした。

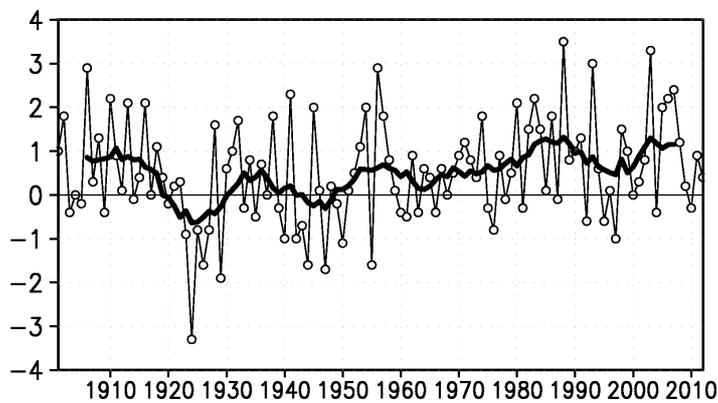


図4 7月の海面気圧の南北差(hPa)：根室(47420)－石巻(47592)。太線は5年移動平均値。

### 3.1.10 気候変化シナリオを用いた東日本における水稻最適品種の将来変化

吉田龍平<sup>1</sup>・福井眞<sup>2</sup>・島田照久<sup>1</sup>・長谷川利拡<sup>2</sup>・岩崎俊樹<sup>1</sup>

1: 東北大学、2: 農業環境技術研究所

#### a) 要旨

本 RECCA 課題で用いられている MIROC5 と MRI-AGCM の全球気候モデルの気候変化シナリオを東日本に対して 10km メッシュで高解像度化し、気象状態量の地理的分布を解像できるシナリオを構築した。作成したシナリオを水稻生育モデルの入力値として使用し、温暖化に伴うコメ収量の影響について評価した。東日本において温暖化は収量に対して正の効果となり、いずれの全球気候モデルのシナリオにおいても 3 割程度の増収が期待された。仮想的に 10 個の品種を東日本に栽培させ、各グリッドで最大収量を達成する品種の南北分布について検討した結果、最大の収量が確保できる地域はいずれの品種も北へ「移動」し、東海以西で栽培されるような、比較的温暖な気候で栽培されている品種が卓越する地域が増加した。東日本で現在栽培される品種は北海道でも大きな収量を達成するようになったことから、現在各地で栽培されている気候よりもやや温暖な気候で栽培されている品種への入替が温暖化の一つの適応策として挙げられる。

#### b) 本文

##### (1) 背景

近年、気候変化の影響が作物収量にとって正か負であるかについての関心が高まっている。世界規模では全球気候モデルの出力で作物生育モデルを駆動して大規模スケールでの温暖化の影響評価が行われている (e. g., Challinor et al. 2005)。日本においても影響評価は行われており、主要作物であるコメの収量の変化は現在置かれている環境によって大きく異なり、熊本のような南の地域では温暖化影響が負の作用となり、例えば 1990 年代に対して 100 年後の 2090 年代は減収が予測される一方、現在冷涼な環境である北海道では 3 割程度の増収が見込まれている (Iizumi et al. 2011)。平均場の他、2090 年代に減収となる確率も東日本や北海道は西日本と比較して小さく、将来水稻栽培の重要な地域となることが示唆される。また、気候変化に伴って水稻栽培時期の気象状態量が変わることから、現行の栽培品種よりも高い収量を達成しうる品種が存在する可能性がある。そこで、本研究は今後より重要な水稻の栽培地域となっていくことが期待される東日本を対象として気候変動がコメ収量に与える影響を評価し、最大収量を達成する品種の南北分布の変化について検討する。

##### (2) 方法

地域に密着した気候変動の影響をコメ収量に対して評価するため、まず全球気候モデル (以下 GCM) で出力される温暖化シナリオを領域気候モデル (以下 RCM) で高解像度化を行った。使用した GCM は MRI-AGCM (Mizuta et al. 2012) と MIROC5 (Watanabe et al. 2010) の 2 モデルで、前者の排出シナリオは SRES A1B、後者は RCP 4.5 である。また、RCM には気象庁・気象研究所で共同開発された JMA-NHM モデル (Saito et al. 2007) を用いて、図 1 に示す領域に対して力学的ダウンスケーリングを行った。解析対象領域は図 1 の (b) で東西 910km、南北 1170km 四方である。解析期間は、1981 年から 2000 年と 2081 年から 2099 年までの各年 6 月 1 日から 8 月 31 日の延べ 3588 日である。ダウンスケールデータのバイアス補正には CDF 法 (Iizumi et al. 2010) を用い、

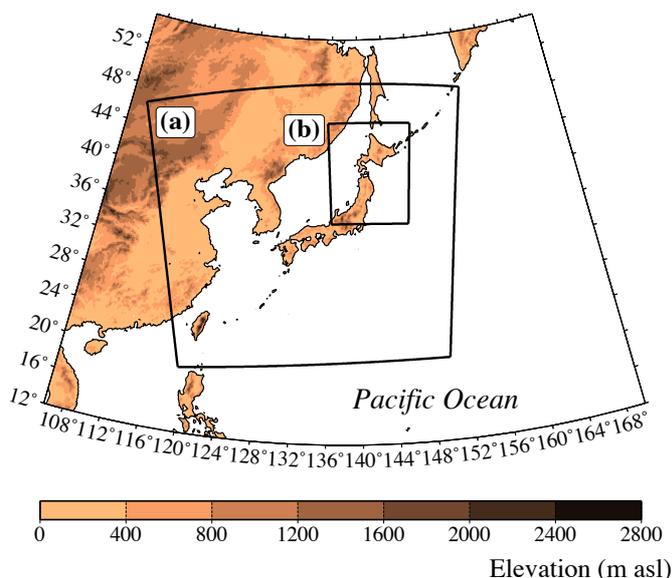


図 1: 気候変化シナリオのダウンスケール(DS)の計算領域。(a) 東西 171 格子、南北 161 格子で水平解像度は 20km、(b) 東西 91 格子、南北 117 格子で水平解像度は 10km。なお、MIROC5 モデルは気象研究所において(a)の領域に DS されており、本研究は(b)の領域へ DS を行った。MRI-AGCM は全球の結果から(a)を経ずに(b)へ DS した。

くの県でコシヒカリである)、NIAES-Rice モデルを駆動した。さらに、NIAES-Rice モデルで使用できる 10 品種(表 1)をそれぞれ単一に栽培させた場合の収量を算出し、各グリッドにおいて品種間で最大の収量を達成する品種の南北分布を調べた。

表 1: NIAES-Rice モデルで使用した品種のリスト。

1. あいちのかおり	2. あきたこまち	3. あさひの夢	4. はえぬき	5. ヒノヒカリ
6. ひとめぼれ	7. キヌヒカリ	8. きらら 397	9. コシヒカリ	10. こしいぶき

参照データとして Mesh-AMeDAS (Seino 1993) を使用した。ダウンスケールデータは 1 年を通したデータではないため、現在気候の残りの期間(1 月 1 日-5 月 31 日、9 月 1 日-12 月 31 日)については Mesh-AMeDAS のデータをそのまま利用して通年の気候データを作成した。将来気候については観測値が存在しないため、該当年の 100 年前(例: 2081 年には 1981 年)の同じ日のデータを使用した。これらにより、夏期の水稲生育期の気候変化によるコメ収量への影響を評価することが可能になる。ダウンスケーリングの詳細については島田ら(2014)を参照されたい。

水稲生育モデルとして、品種間の生育の差を表現することのできる NIAES-Rice モデル(Hasegawa and Horie 1997)を使用した。基準実験として、ダウンスケーリングした 10km 格子の計算領域に含まれる各県について、平成 22 年度「農林水産統計」を参考にして作付面積が最大である品種を生育品種としてセットして(多

### (3) 結果と考察

まず、東日本に対してダウンスケールされた夏期気候の将来変化について調べた。全球スケールで予測されている温暖化は、東北地方においても同様であり、日最高・平均・最低気温のいずれにおいてもおよそ4度の昇温が算出された(図2a-2f)。特に北海道から東北の太平洋側の気温上

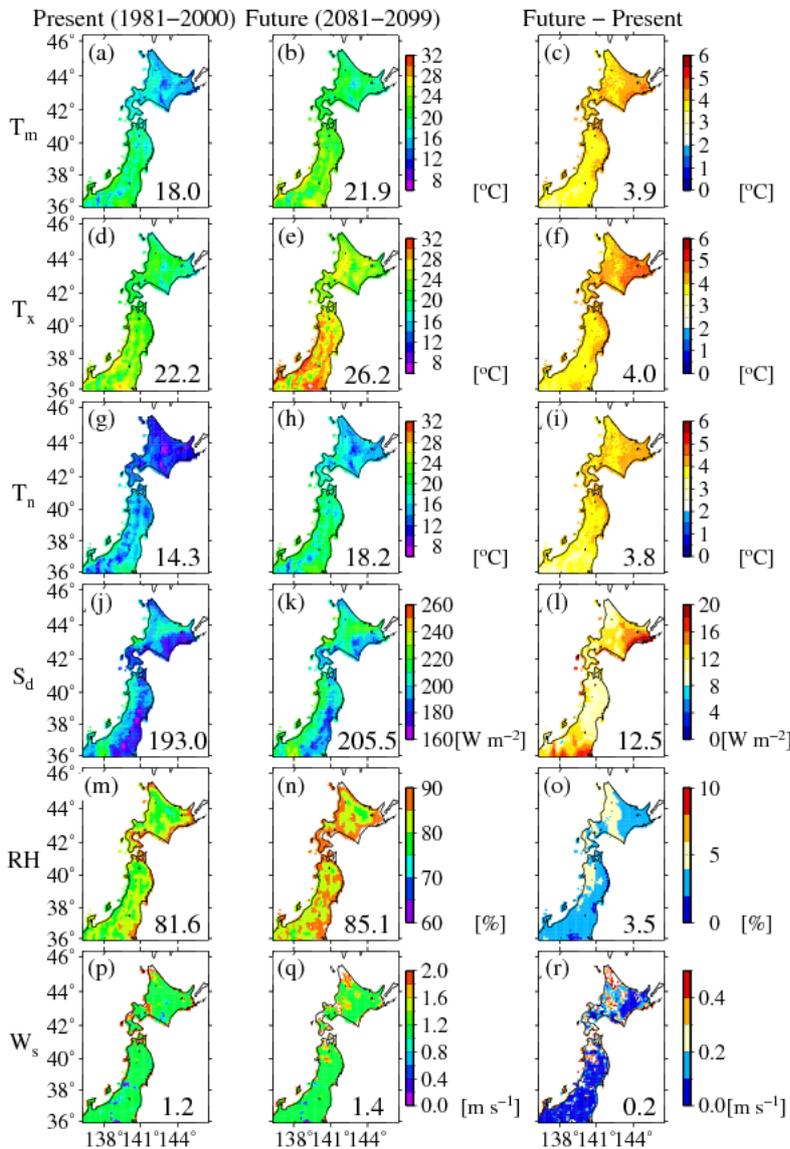


図2: 東日本における6-8月の気象状態量の将来変化(境界値はMIROC5モデル)。左列が現在気候(1981-2000の平均値)、中列が将来気候(2081-2099の平均値)、右列が将来気候と現在気候の差を表す。各行は上から順に、日平均気温、日最高気温、日最低気温、下向き短波放射量、相対湿度、風速。各図右下の値は領域平均値。

収量を得るためのモデルとして使用可能であることを確認した(表2)。

昇が顕著であった。気温の上昇が見られた地域と下向き放射量の増加した地域とはよく対応し、1割程度の増加が算出された(図2j-l)。相対湿度は東日本全域で増加したが、太平洋沿岸の地域では増加量が小さく、ほぼ変化しない地域も見られた(図2m-o)。これらの5つの気象状態量の変化と比較して、風速の変化は小さく、特徴的な地理分布も見られなかった(図2p-r)。現在気候において、北海道から東北の太平洋側はヤマセと呼ばれる下層雲を伴う冷たい北東風にさらされる地域であり、下向き短波量の増加と気温の上昇はヤマセが弱化する可能性があることを示唆している。なお、本文では省略しているがMIROC5のダウンスケールデータで見られた傾向とMRI-AGCMモデルで見られた傾向は同様であり、ヤマセの弱化に起因すると考えられる下向き短波量の増加と気温の上昇が算出された。

次に、気候変化シナリオを入力する事前準備として、Mesh-AMeDASのみを通年で入力したときの推定収量と観測収量との比較を行った。NIAES-Riceモデルによって算出されたコメ収量は観測値に対して概ね10%程度のバイアスに収まり、コメ

表 2: NIAES-Rice モデルによる東北の県平均収量の再現性。観測値は農林水産省公表の「食糧統計年報」を使用した。推定値は 1981-2000 年の 20 年平均、観測値は 2003-2008 年の 6 年平均で異なることに注意が必要。バイアスは(推定-観測)/観測×100 で算出した。

	青森	岩手	宮城	秋田	山形	福島
観測 [g/10a]	543.5	509.2	503.5	558.7	585.2	528.7
推定 [g/10a]	484.2	412.5	650.7	597.2	536.5	521.8
バイアス[%]	-10.9	-19.0	29.2	6.9	-8.3	-1.3

6 月から 8 月の気候を GCM のダウンスケールしたシナリオに入れ替え、NIAES-Rice モデルに入力して夏期の気候変化がコメ収量に与える影響を算出した。現行品種をそのまま維持した場合、東日本全域では約 3 割の増収が見込まれた(図 3)。増収の割合は標高の高いところや青森から北海道といった比較的冷涼な地域で大きく、多くの平野部では 2 割以下の増収率であった。

現行品種を維持するだけでも東日本では気候変化に伴う増収が期待できたが、より高いコメ生

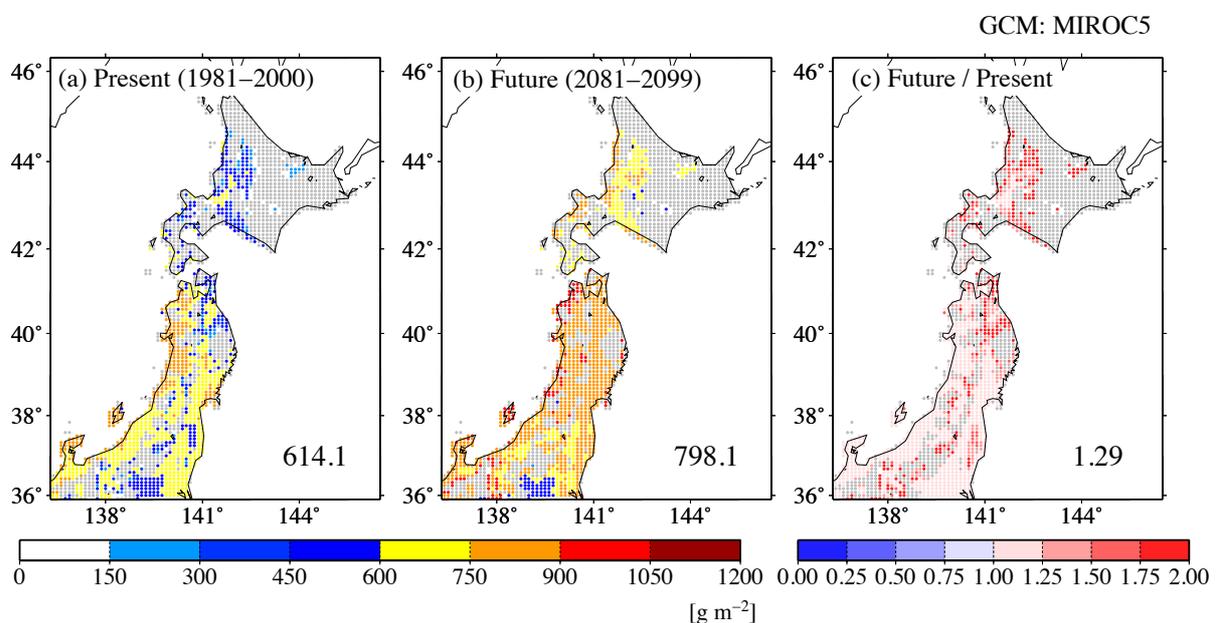


図 3: 現在各県で最大の作付面積を持つ品種を栽培させた場合の収量の将来変化。使用した全球気候モデルは MIROC5。(a)現在気候(1981-2000 の平均値)、(b)将来気候(2081-2099 の平均値)、(c)将来気候における収量の現在気候での収量に対する比。右下の値は領域平均値。

産が可能となる方策を探るため、最大収量を達成する品種の南北分布の変化を調べた。高い収量が期待できる位置はいずれの品種も気候変化に伴って北へ移動し、現在南で栽培されている品種が卓越する地域が増加した(図 4)。あきたこまち(図中 2 番)や、きらら 397(同 8 番)といった品種は現在気候において北緯 40 度以南でも最大収量となる地域は存在するが(南で該当する地域の多くは標高の高い場所である)、将来気候においては北緯 42 度以北の北海道でなければ最大となるグリッドが存在しなかった(図 4a)。グリッド数の減少はきらら 397 に顕著に表れており、現在気候では 10 品種間で最大の累計グリッド数を占めていたが、将来気候では現在気候下で占有率が高く、かつ気候変化に伴うグリッド数変化の小さいひとめぼれ(同 6 番)が最大となった。(図

4b)。また、あいちのかおり(同1番)や、あさひの夢(同3番)といった温暖な気候で生育されている品種が支配的となる地点が増加し、ひとめぼれに次ぐ占有グリッド数の多さとなった。

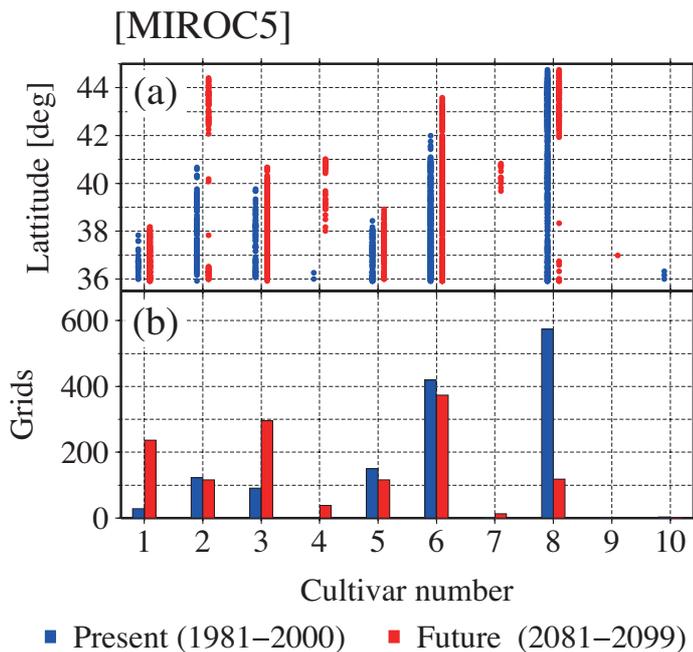


図4: 全10品種間で最大収量を達成する品種の南北分布(a)と総グリッド数の将来変化(b)。MIROC5モデルによる気候変化シナリオを使用。横軸の番号は品種の通し番号で表1の値と対応する。

#### (4) 結論

本研究では、将来気候変動の効果が水稻生育に対して好影響を与えると考えられている東日本を対象として、全球スケールの気候変化シナリオを高解像度化し、水稻生育モデルへ入力することで現行品種維持でのコメ収量に対する気候変化の影響や最大収量を達成する品種の変化について明らかにした。現状の品種をそのまま栽培した場合でも3割程度の増収が見込まれるが、より多く増収のためには全体として現行よりも温暖な気候で栽培されている品種の導入が望ましい。特に、北緯38度以南では中京で栽培されているような、より温暖な気候に対応した品種による増収が見込まれる地域が増加した。ただし、本研究の結果は使用した10品種内での相対的な順位に基づくものであるため、得られた結果は特定の品種の栽培を推奨していないことに注意が必要である。

#### 謝辞

本研究の遂行にあたり、農業環境技術研究所の石郷岡康史氏のサポートをいただいた。また、気象研究所の高藪出氏よりMIROC5モデルのダウンスケールデータを貸与していただいた。

#### c) 参考文献

Challinor A J, Wheeler T R, Slingo J M and Hemming D (2005) *Phil. Trans. R. Soc. B*, **360**, 2085-2094.

Hasegawa T and Horie T (1997) *Systems Approaches for Sustainable Agricultural Development*, **6**, 243-257.

Iizumi T, Nishimori M, Ishigooka Y and Yokozawa M (2010) *J. Agric. Meteorol.* **66**, 131-143.

Iizumi T, Yokozawa M and Nishimori M (2011) *Climatic Change*, **107**, 391-415.

Saito K, Ishida J, Aranami K, Hara T, Segawa T, Narita M and Honda Y (2007) *J. Meteorol. Soc. Japan*, **85B**, 271-304.

Seino H (1993) *J. Agric. Meteorol.* **48**, 379-383. [In Japanese.]

Mizuta R, and Coauthors (2012) *J. Meteor. Soc. Japan*, **90A**, 233- 258.

Watanabe M, and Coauthors (2010) *J. Climate*, **23**, 6312-6335.

島田照久・沢田雅洋・吉田龍平・岩崎俊樹 (2014) 大規模科学計算システム広報 SENAC (in press)

### 3. 1. 11 いもち病発生ポテンシャルとしての水稻葉面保水量の将来変化

吉田龍平・小野寺祐美・東城孝昌・山崎剛(東北大学)

#### a) 要旨

熱収支に基づくプロセスベースのモデルを用いて、水稻葉面保水量の将来予測を行った。数値モデルには植生面を2層に分けることのできる2LMモデルを用いた。2LMモデルの性能評価のため、2013年の夏期に宮城県内3地点の水田に水分センサーを置いて観測を行い、比較検証を行った。これまでの多くのプロセスモデルと同様、2LMモデルは葉面の濡れの有無を77%予測可能であった。次いで、本RECCA課題で用いられている全球気候モデルMIROC5のダウンスケールデータを2LMモデルに入力することで葉面保水量の将来変化を推定した。東日本平均で葉面保水量は15%低下し、特に太平洋側での減少が顕著であった。これには降水頻度の減少と大気飽差の増大が要因として挙げられる。将来気候において葉面保水量は少なくなるが完全には消失しないため、今後も葉面水分の存在に起因するいもち病発生への監視を続けていく必要がある。

#### b) 本文

##### (1) 背景

いもち病は水稻生育に対して重大な被害を及ぼす病害の一つとして知られており(Wang et al. 1999)、世界各地のコメ生産地で脅威となっている(Greer and Webster 2001)。コメ収量はいもち病の発生によって大きく減収となることから、事前の感染ポテンシャルを把握することが求められている。いもち病の発生には、水稻表面の水分の存在が鍵となっており(Bonman 1992; Greer and Webster 2001)、葉面保水量(以下LW: Leaf Wetness)を低下させることが感染リスクの低下に直結する(Zhu et al. 2005)。

これまでLWの予測には経験的なアプローチによるモデル(e.g., Kang et al. 2010)と物理的なアプローチによるモデル(e.g., Garratt and Segal 1988)の2種類が構築されてきた。いずれの方法も利点と欠点があり、例えば経験的なモデルはパラメータの最適化を行うことができれば物理モデルよりも高い性能を示すが(Kruit et al. 2008; Bregaglio et al. 2011)、パラメータの時空間的な外挿が不可能である。物理モデルはチューニングされた経験的モデルには性能の面で不利であるが、(例えば)温暖化に伴うモデルのアップデートが不要という利点がある。

東日本は温暖化の進行にともなって今後より水稻生育の重要な地域となっていくと考えられ、病害予測の見通しの必要性は近年さらに増している。そこで本研究は、温暖化後の東日本におけるLWの見通しを明らかにするため、物理モデルの性能評価を現地観測に基づいて明らかにした上で、温暖化シナリオと組み合わせることで将来の水稻表面の水分量の変化について推定を行う。

##### (2) 方法

温暖化シナリオには島田ら(2014)で用いられたMIROC5(Watanabe et al. 2010)モデルによる代表的濃度パス4.5のダウンスケール(DS)データを適用した。DSに必要な領域気候モデルはJMA-NHM(Saito et al. 2007)モデルを用い、現在気候データとして1981-2000年、将来気候として2091-2099年の6月から8月を使用した。計算領域は図1に示す領域で、気象研究所において20km格子にDSされたものを(領域は図1a)、10km格子へとさらにDS(図1b)を行った。解析に

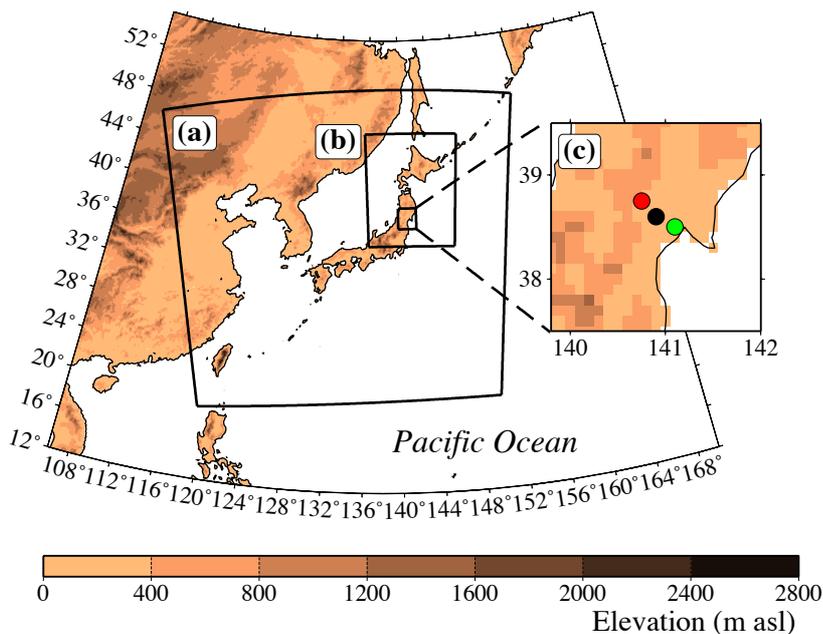


図 1: ダウンスケールに用いた計算領域。(a) 東西 171 格子、南北 161 格子で水平解像度は 20km、(b) 東西 91 格子、南北 117 格子で水平解像度は 10km。(c) 葉面保水量の観測地点。赤、黒、緑点はそれぞれ川渡、古川、鹿島台の観測点を表す。

表 1: 本研究で使用した降水指標。ただし、 $N_w$  は日降水量が  $1 \text{ mm day}^{-1}$  を越える日数(降水日と定義)、 $N_a$  は全対象日(現在気候は 1840 日、将来気候は 1748 日)、 $P$  は日降水量( $\text{mm day}^{-1}$ )、 $P_w$  は降水日の降水量( $\text{mm day}^{-1}$ )。

名称	単位	略称	計算式
平均降水量	$\text{mm day}^{-1}$	MEA	$\Sigma P/N_a$
降水頻度	none	FRE	$N_w/N_a$
降水強度	$\text{mm day}^{-1}$	INT	$\Sigma P_w/N_w$

LW の推定を行うモデルとして 2LM モデル(Yamazaki et al. 2004)を使用した。植生面を上下 2 層に分割することが特徴であり、名称の由来(two layer model)にもなっている。複数層の導入により、水稻葉面による遮断蒸発の表現がより現実に近いものになっている。

現地観測は、宮城県内 3 地点の水田で行った(図 1c)。内陸から沿岸部までの 3 地点を抽出し、それぞれの点は 20km 程度離れている。現地観測は 2013 年 6 月 4 日から 10 月 1 日までの 120 日間行った。観測項目は上記の 2LM モデルに必要な 6 要素(下向き短波放射、長波放射、気温、湿度、風速、降水量)と葉面湿潤状態である。2LM モデルの性能評価では、現地観測のデータのみを 2LM モデルに入力して得られた葉面湿潤状態を観測と比較した。ただし、3 地点で降水量の観測方法が異なるため、降水量は隣接する AMeDAS の観測値を使用した。温暖化の LW に対する影響評価では、先の DS データを入力値として 2LM モデルを駆動した。なお、2LM モデルは葉面保水の状態を水分量として算出可能であるが、観測センサーが水分の存在の有無のみを出力するため、Kruit et al. (2008)を参考に葉面上に水分が存在するかどうかで評価した(表 2)。

は 10km 格子のデータを使用した。ダウンスケールの詳細については島田ら(2014)を参照されたい。

LW 変動の多くは降水量の変動によって規定されるため、DS された降水量データを用いて、Iizumi et al. (2011)を参考に、表 1 で示される 3 つの指標を算出した。いずれの指標も 1 時間値のデータを積算して日平均値の値として解析に使用した。

表 2: 2LM モデルによる LW 再現性の評価方法。

	観測 LW あり	観測 LW なし
計算 LW あり	LW あり的中 (a)	空振り (b)
計算 LW なし	見逃し (c)	LW なしの中 (d)

(3) 結果と考察

2013 年の現地観測による葉面水分の存在の有無と 2LM モデルによる LW の比較を行った。いずれの地点においても 2LM モデルの的中率は 8 割弱 (全地点平均: 77.7%) であり、これまでの物理モデルと同等かやや高い性能を示した (表 3)。水分の存在を表現できなかった部分については、空振り率 (表 2 および 3 の b に該当: センサー×、モデル○) が見逃し率 (同 c: 表センサー○、モデル×) よりもやや多かった。表中では示していないが、2LM モデルはほぼ毎朝凝結による葉面水分の存在を予測しており、この分だけ空振り率が高くなった。

表 3: 観測値に対する 2LM モデルの統計値 (%)。a-d の記号は表 2 と対応する。

	a	b	c	d	a+d
鹿島台	37.5	19.1	5.9	37.4	74.9
古川	46.5	15.1	6.9	31.5	78.0
川渡	55.1	8.2	11.8	24.9	80.1
合計	46.4	14.1	8.2	31.3	77.7

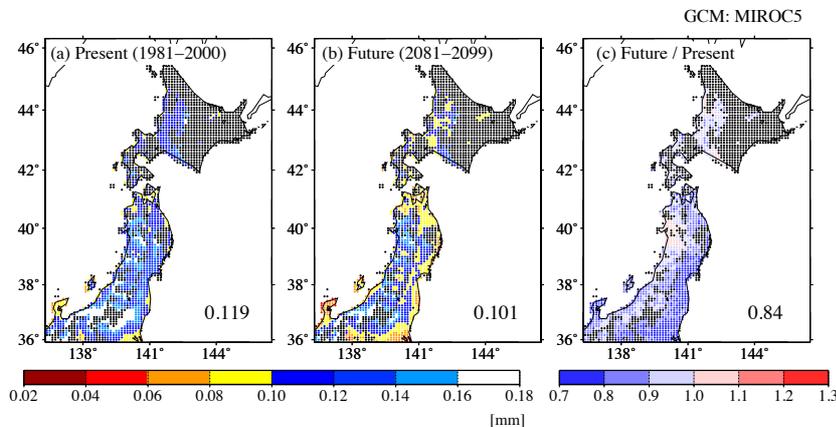


図 2: 夏期平均した葉面保水量の空間分布。(a) 1981-2000、(b) 2081-2099 年の平均値。(c) 将来気候の現在気候に対する比。右下の値は領域平均値。黒色は 2006 年に非水田の地域を表す。

2LM モデルは葉面水分の状態を表現できるモデルであると判断したため、LW の将来変化を算出した。東日本全域において水稻の LW は減少し、領域平均での減少率は 16% であった (図 2)。特に、減少率は東北の太平洋側において顕著であり、2 割から 3 割程度の減少が見込まれる地域が多かった。このため、将来気候において葉面水分の存在に起因するいもち病の発生リスクは低減されることが示唆されるが、

減少量は 2 割弱にとどまることから、引き続きいもち病の感染リスクに対する監視が必要である。

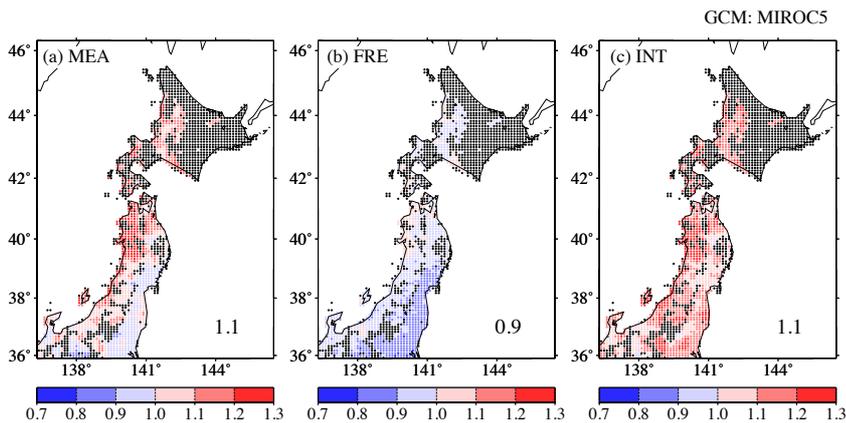


図 3: 降水指標の将来変化。各図は 1981-2000 年の平均に対する 2081-2099 年の平均の比。(a) 平均降水量(MEA)、(b) 降水頻度(FRE)、(c) 降水強度(INT)。

太平洋側での減少傾向が顕著であった(図 3b)。降水強度は降水量や頻度と比較して明確な地理分布が見られないが、いずれの地域においても増加傾向であり、10%の増加であった(図 3c)。図 2 の LW の減少地域と図 3b の FRE の減少域はよく対応しており、降水頻度の減少に起因する葉面水分捕捉の機会の減少が LW の減少に繋がったと考えられる。また、全域で INT は増加しているため、この点からは東日本太平洋側において LW は増加することが考えられるが、葉面で保水できる水分量には上限があるため、強い降水の増加は必ずしも LW の増加に繋がらない(最大保水量を降水量が上回ってしまった場合、それ以上の降水量は LW として維持されない)。さらに、激しい降雨はいもち病の発生となる菌を洗い流してしまうことから、INT の強化はいもち病の発生リスクを高めるとは言いがたい。従って、降水面では降水頻度の減少に伴う葉面保水確保の機会減少が水分量の減少に寄与していると考えられる。

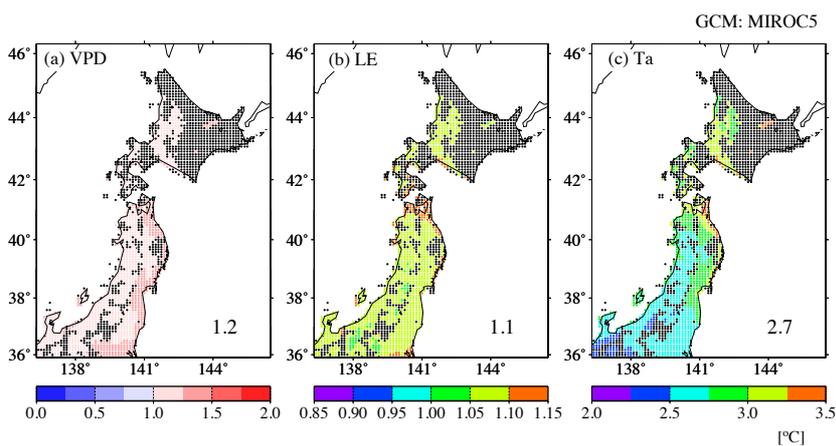


図 4: 気象状態量の将来変化。図 2 と同様に 1981-2000 年の平均に対する 2081-2099 年の平均の比。(a) 大気飽差(VPD)、(b) 潜熱フラックス(LE)、(c) 日平均気温(Ta)。

ような太平洋側での顕著な空間分布は見られないものの、全域で昇温の傾向であった(図 4c)。

ここで、LW は葉面上における水熱収支の結果決定されるものであることに注目し、葉面への水分の入力としての降水量指標の将来変化について検討した。図 3 は夏季の平均降水量(MEA)、降水頻度(FRE)と降水強度(INT)の空間分布である。降水量の増加傾向は東北の日本海側でやや大きいものの、変化量が小さい地域も多く、東日本全域としては微増にとどまった(図 3a)。また、降水の頻度は全域で 10%減少し、特に

次に葉面水分の出力としての蒸発に関する要素の将来変化について検討した。図 4a は大気飽差の将来変化の空間分布である。領域で一様に増加しており特に太平洋側での増加率が大きい。潜熱フラックスは東北北部でやや増加率が大きいものの明確な空間分布は見られず、1 割程度の増加率であった(図 4b)。また、気温についてはこれまで見

そのため、気温の上昇に伴って大気飽差が増大し潜熱フラックスの強化を引き起こしたと考えられる。

以上から東日本における LW の見通しとして、葉面に対する水分供給としての降水の機会は減少する一方で気温上昇に伴う飽差増大によって蒸発は促進されるため、葉面上の水分環境としては乾燥方向に働くと考えられる。この傾向は太平洋側で顕著である。一方で、蒸発散の空間分布には特徴的な点は確認されず、降水頻度の減少域と LW の減少域とはよく対応することから将来の LW 環境には水分入力としての降水量変化の監視がより重要になっていくと言える。

#### (4) 結論

プロセスベースの LW 予測モデル 2LM を用い、2013 年の現地観測データを用いた性能評価の後、温暖化シナリオと組み合わせることで将来の葉面水分環境の予測を行った。2LM モデルはこれまでの物理モデルと同等かやや高い性能で葉面水分の存在の有無を算出し、葉面環境の予測モデルとして十分に使用可能であった。MIROC5 モデルによる温暖化シナリオをダウンスケールしたデータで東日本の LW を推定した結果、降水頻度の減少に伴う葉面の水分補足の機会の減少、気温上昇に伴う飽差の増大に伴う蒸発促進により、LW は約 10%の低下が見込まれた。量自体に着目すると、将来のいもち病発生リスクは低下すると見込まれるが、絶対値は 0 になっていないため、現在に引き続き感染リスクの監視が求められる。また、得られた結果はコメ収量に与える要因の一面を評価しただけであるため、必ずしも病害によるコメ収量の減収がなくなることではないことに注意することが必要である。

#### 謝辞

本研究の遂行にあたり、東北農業研究センターの菅野洋光氏と大久保さゆり氏、宮城県古川農業試験場の菅野博英氏のサポートをいただいた。観測に際して、東北大学大学院生命科学研究科湛水生態系野外実験施設と農学研究科付属複合生態フィールド教育研究センターの協力をいただいた。また、東北大学大学院理学研究科の石井翔太氏、池田翔氏に観測運営のサポートをいただいた。

#### c) 参考文献

- Bonman J M (1992) *Euphytica* **63**, 115-123.
- Bregaglio S, Denatelli M, Confalonieri R, Acutis M and Orlandini S (2011) *Agric. Forest Meteorol.*, **151**, 1163-1172.
- Garrat J R and Segal M (1988) *Boundary-Layer Meteorol.* **45**, 209-236.
- Greer C. A. and Webster R. K. (2001) *Plant Disease*, **85**, 1096-1102.
- Iizumi T, Nishimori M, Dairaku K, Adachi S A and Yokozawa M (2011) *J. Geophys. Res.* **116**, D01111.
- Kang W S, Hong S S, Han Y K, Kim K R, Kim S K and Park E W (2010) *Plant Pathol. J.* **26**, 37-48.
- Kruit R J W and Jacobs A F G and Holtslag A A M (2008) *Atmospheric. Environment.* **42**, 5304-5316.

- Saito K, Ishida J, Aranami K, Hara T, Segawa T, Narita M and Honda Y (2007) *J. Meteorol. Soc. Japan*, **85B**, 271-304.
- Wang Z-X, Yano M, Yamanouchi U, Iwamoto M, Monna L, Hayasaka H, Katayose Y and Sasaki T (1999) *The Plant Journal*, **19**, 55-64.
- Watanabe M, and Coauthors (2010) *J. Climate*, **23**, 6312-6335.
- Yamazaki T, Yabuki H, Ishii Y, Ohta T, Ohata T (2004) *J. Hydrometeorol.* **5**, 504-515.
- Zhu Y-Y, Fan H, Wang Y-Y, Fan J X, Y S-S, Mew T W and Mundt C C (2005) *Ecology and Epidemiology*, **95**, 433-438.
- 島田照久・沢田雅洋・吉田龍平・岩崎俊樹 (2014) 大規模科学計算システム広報 SENAC (in press)

## 3.2 局地気象予測の研究

### 3.2.1 側面境界の最適化によるデータ同化を用いたドップラーライダーの最適観測方法の検討 吉田龍平・岩崎俊樹（東北大学）

#### a) 要旨

ドップラーライダーで使用される4つの観測モードを局所アンサンブル変換カルマンフィルタを用いてそれぞれ独立にデータ同化し、非静力学モデルで得られる下層風の再現性を向上させることのできるモードについて検討を行った。

相互比較の結果、特定の水平面や鉛直面を密に観測するよりも、疎であっても全層をスキャンしたデータを同化した方が数値計算の精度は高かった。特に、初期値のみを修正するだけではなく、境界値の最適化を含んで初期値・境界値の修正を行うと誤差の修正効果が向上し、6倍弱の平均二乗誤差の低減となった。今後は、風の全スキャンモードを同時に使用したデータの同化によって海風前線の侵入タイミングが改善されるかどうかについて総合的な検証が望まれる。

#### b) 本文

##### (1) 背景

世界や日本各地の空港において、防災の点から風の時空間変動を把握することが求められている。実況監視の点から、これまでドップラーライダー(以下 DPR)と呼ばれる観測測器が運用されてきており、視線風速を密に観測することができる強力なツールとして使用されてきた(Ishii et al. 2007)。一方で DPR データは線上に観測を行うため、風の3次元構造の同時観測は難しい。そのため、領域気候モデルを援用することで足りない空間構造を補うことが望ましい。領域気候モデルは理想的なツールとは必ずしも言えず、一般に観測値に対してバイアスを持つ(Yoshida et al. 2012)。

近年、大気モデルの精度向上のためにデータ同化と呼ばれる手法が用いられてきている。気象学の立場で用いられるデータ同化は大気モデルによる出力(第一推定値と呼ぶ)と観測値との間で内挿を行い、解析値を作成する手法のことである。作成された解析値は次のタイムステップの初期値として使用されることから、データ同化は初期値修正に主眼が置かれている(Gustafsson 2012)。データ同化にはいくつかの種類が存在するが、局所アンサンブル変換カルマンフィルタ(LETKF: Hunt et al. 2007)と呼ばれる方法が広く使用されている。

大気モデルは計算領域・格子間隔の広範高密度化に伴って計算コストが指数関数的に増加することから、通常は小領域かつ高解像度で運用される。その際、計算結果は初期値だけではなく境界値の影響も大きくなる(Errico and Baumhefner 1987)。そのため、初期値だけでなく境界値の修正も行うと風の再現性の向上が図られることが理想化実験により示されている(沢田ら 2013)。

本研究では、おろし風や海陸風といった特徴的な風が多く観測される仙台空港を対象とし、実観測の DPR データを利用したデータ同化による初期値・側面境界の修正によって空港周辺の風の再現性が向上しうるかについて検討する。特に、DPR データには複数の観測モードが存在するため、効率よく精度向上が期待できるモードについて検討した。

## (2) 方法

大気モデルには気象庁・気象研究所の非静力学モデル JMA-NHM(Saito et al. 2007)を用い、全球週間アンサンブルを初期値境界値として、水平解像度 12km、2km、0.4km へと 3 段階のダウン

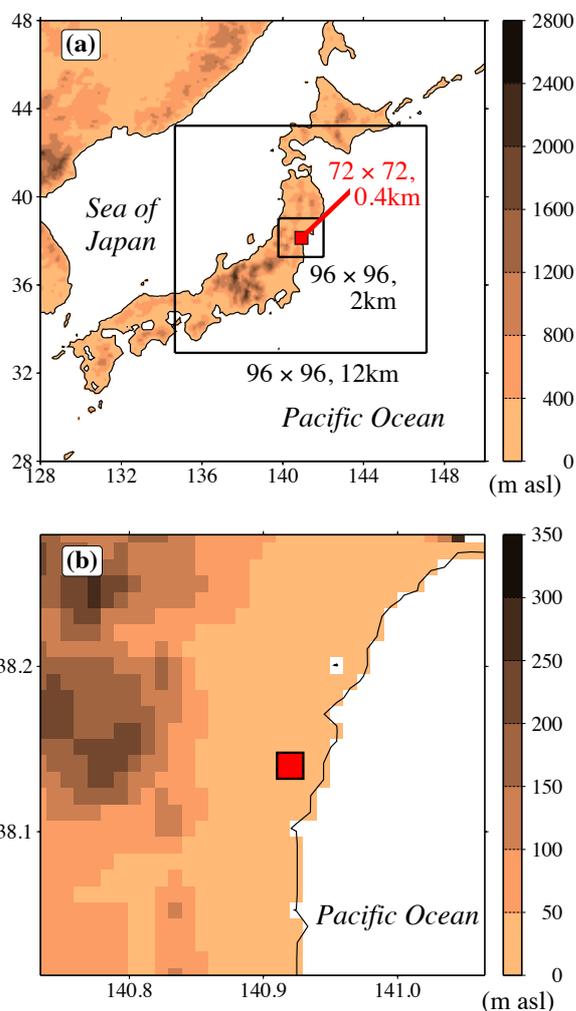


図 1: 計算領域。(a) 図中外側の四角が  $96 \times 96$  格子(水平解像度 12km)、内側の四角が  $96 \times 96$  格子(同 2km)、赤四角が  $72 \times 72$  格子(同 0.4km)。(b) データ同化検証領域で(a)の赤四角領域に対応。中央の赤四角はドップラーライダーの観測位置を表す。

目)。そのため、初期値を同化しているが第一推定値の空間分布図は非同化時の分布と近いものとなった。

スケールを行った(図 1a)。アンサンブル数は 21 である。DPR データは北緯 38.14 度、東経 140.92 度におかれた(図 1b)視線風速を用いた。同化する風のスキャンモードとして 20 度の仰角で円錐状に観測する VAD20、同 70 度の VAD70、仰角 1 度で下層のみ観測する PPI、中心から方位角 135 度(北が 0 度で時計回り)、仰角 0-180 度で半円スキャンを行う RHI の計 4 つを用いた。計算期間は沢田ら(2013)を参考に、2007 年 6 月 16 日 15 時 30 分-17 時 30 分、同 17 日 6 時 0 分-8 時 0 分、同 19 日 5 時 15 分-7 時 15 分の各 2 時間、全 3 ケースとした。観測データは 15 分ごとに LETKF を用いて同化した。

各スキャンモードのデータ同化の性能評価には、3 つの非同化モードの観測データを合成したのを用いた。それぞれの観測点の視線風速とデータ同化した結果の視線風速との比較を行った。そのため、データ同化に使用した観測点は検証には使用されていない。

## (3) 結果と考察

全 3 計算期間のうち、データ同化の結果が他ケースと比較してより明瞭であった 6 月 16 日初期値の VAD20 同化時について述べる。アンサンブル平均による非同化時の卓越風は東風であり、期間全体を通じて同様の風が吹いていた(図 2, 最上段)。初期値のみ修正した場合、データ同化により中心部には西風が卓越するようになるが、15 分の積分後には西風領域は消失した(図 2, 2-3 段

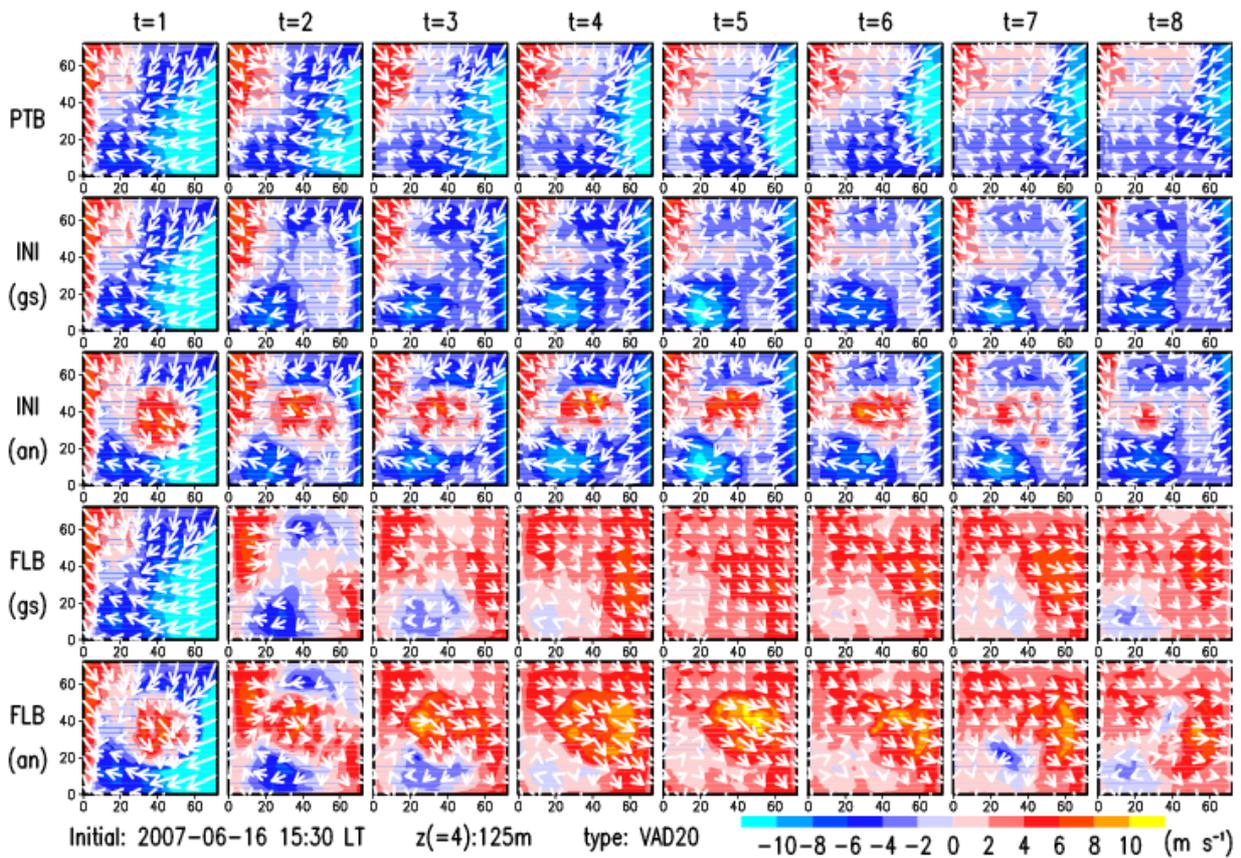


図 2: 2007 年 6 月 16 日 15 時 30 分を初期値とした VAD20 を同化した場合の高度 125m の東西風の空間分布。ベクトルが風向、色が東西風の大きさを表す。横方向に同化の各ステップ(15 分ごと)を表す。最上段がデータ同化を行わない場合、第 2 段、3 段がそれぞれ初期値を修正した場合の第一推定値と解析値。第 4 段と 5 段も同様で、初期値の他に境界値も修正した場合。

境界値も修正した場合、始めの同化ステップ(t=1)における第一推定値、解析値の空間分布は初期値のみ修正したときと同様であるが、ここでの修正情報が以降のタイムステップでも反映されるため、時間経過とともに「卓越風は西風である」情報が領域全体へと拡大している。

初期値を修正した場合と境界値も修正した場合には 2 時間の積分後には全く異なる風の間となった。データ同化の効果を定量化するため、非同化時、同化時における観測に対する二乗平均平方根誤差(以下 RMSE)を算出した。空間分布図で見た通り、VAD20 では初期値を修正した場合には同化なしの場合とほぼ同様の RMSE 時間変動となり、初期値修正版でのデータ同化の有効性は 15 分未満であった(図 3a)。加えて境界値も修正した場合には初期値版と比較して 2 割程度の改善が見られた。

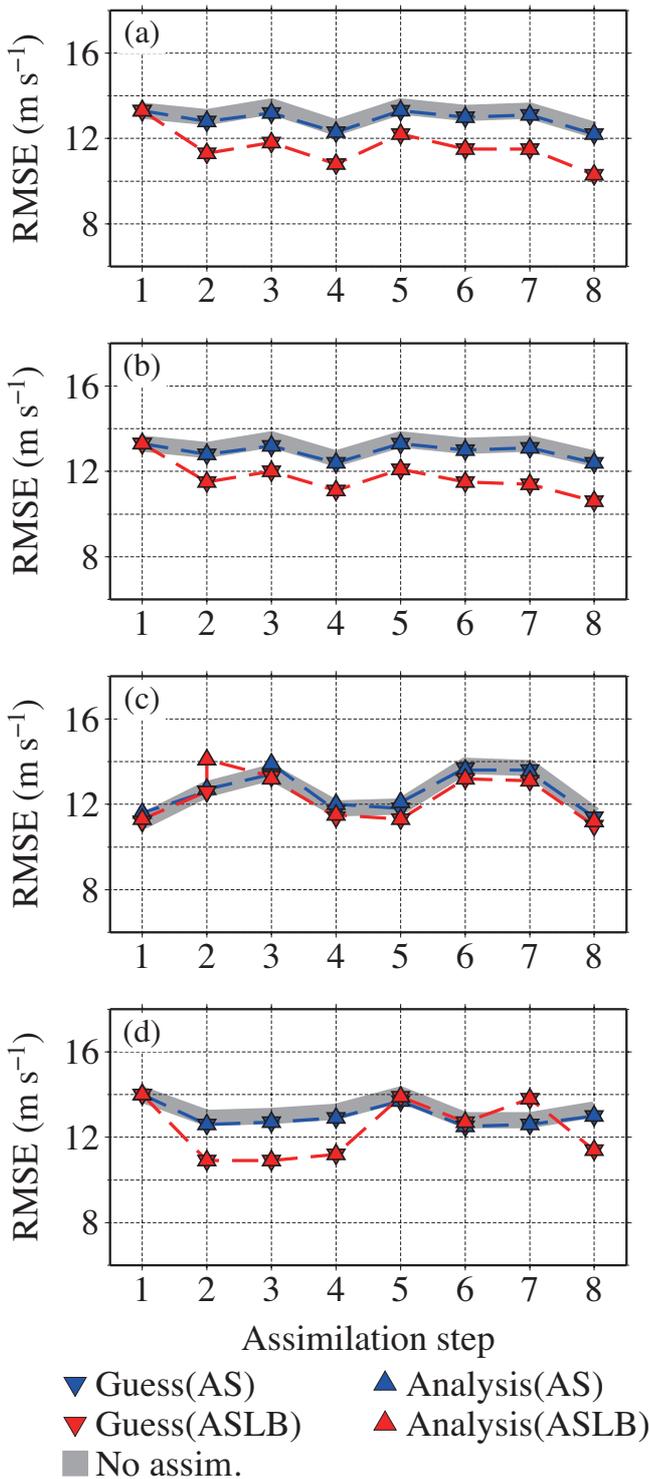


図 3: 二乗平均平方根誤差(RMSE)の時間発展。青色が初期値修正、赤色が境界値も修正。灰色はデータ同化を行わないときの RMSE。下向き三角が第一推定値、上向き三角が解析値。(a) VAD20、(b) VAD70、(c) PPI、(d) RHI を同化した場合。

VAD20 同化での傾向は VAD70 においても同様であり、初期値・境界値修正を行った場合に対初期値修正版で 2 割程度 RMSE が低減した。初期値を修正した場合の RMSE 低減効果が限定的となってしまう傾向は、他のスキャンモードでも同様であり、PPI, RHI においても非同化の場合の RMSE と同程度の時間発展であった(図 3c, 3d)。PPI では境界値を修正しても RMSE は非同化・初期値修正の場合とほぼ変わらず、下層の風観測を密に行っても空間全体へは修正効果が十分に及んでいない。この傾向は同化ステップが進んでも同じである。RHI は初期値かつ境界値を修正したときに限り VAD20, VAD70 の場合と比較して同様かやや高い修正効果が得られたが、時間による依存性が高く、安定した RMSE 改善は得られなかった。

全 3 ケース、4 スキャンモードによる RMSE の低減効果をまとめたのが図 4 である。ここまでの傾向は 1 ケースに限られたものではなく、概して VAD20, VAD70 の 2 つが 4 つのスキャンモード間において比較的高い誤差修正が期待できるモードであった。初期値のみ修正ではいずれのモードにおいても非同化における RMSE を 1% 程度低下させることが可能であった。この場合、データ同化の効果は限定的だが、境界値の修正を加えることで初期値のみ修正時の RMSE と比較して 1.5~5.5 倍の修正効果が得られた。特にモード間の低減率に着目すると、わずかながら VAD20 は VAD70 よりも修正効果が高くモード間最大の低減率であり、特定面を観測するモードにおいては RHI が PPI よりも高い低減率であった。従って、風の再現性を向上させるにはごく下層を密に観測するモードである PPI より、特定の面のみに限られるが高度方向の情報が得られる RHI や水平・鉛直方向に“薄く広く”観測する VAD モードの方が効率よく大気モデルの精度を向上させることが可能と言える。

(4) 結論

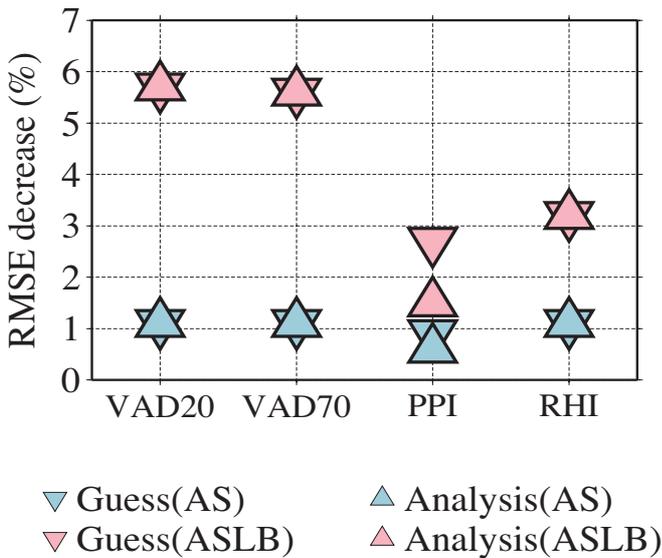


図 4: 同化を行わない場合(a)の二乗平均平方根誤差(RMSE)に対するデータ同化を行った場合(b)の RMSE 低減率。各数値は $(a-b)/a \times 100$  で算出した。全 3 ケースの平均値を表し、各記号は図 3 と同様。

研究所の沢田雅洋氏のサポートをいただいた。

c) 参考文献

Errico R and Baumhefner D (1987) *Monthly Weather Review*, **115**, 488-504.  
 Gustafsson N (2012) *Tellus A*, **64**, 17518.  
 Hunt B R, Kostelich E J and Szunyogh I (2007) *Physica D*, **230**, 112-126.  
 Ishii S, et al. (2007) *J. Meteorol. Soc. Japan*, **85**, 797-813.  
 Yoshida R, Iizumi T and Nishimori M (2012) *J. Meteorol. Soc. Japan*, **90B**, 75-82.  
 沢田・岩崎 (2013) 気候変動適応推進プログラム 東北地方のヤマセと冬季モンスーンの先進的  
 ダウンスケール研究 平成 24 年度研究成果報告書, 57-65.

本研究は局所アンサンブル変換カルマンフィルタを用いて、ドップラーライダーで多く運用される 4 つの観測モードのうちいずれのモードが大気モデルの誤差低減を効率よく実行可能であるかの検討を行った。下層のみを密に観測するよりも、各高度面でのデータ数は少なくなっても鉛直-水平方向に広く観測したデータを使用した場合の方が誤差低減には有効であった。それぞれのモードは互いを補完し合う関係のため、全データを合成して初期値および境界値の改善に使用することが望ましいと言える。そのため、今後は 4 スキャンモードを同時に同化に用い、海風前線の侵入タイミングが向上されるかについて検証を行っていく予定である。

謝辞

本研究の遂行にあたり、東京大学大気海洋

### 3.2.2 LETKF ネストシステムを用いたヤマセのアンサンブル予報実験 瀬古弘（気象研究所）

#### a) 要旨

これまで、局所アンサンブル変換カルマンフィルター（LETKF）を用いて、東北地方の東方海上にある GPS 掩蔽データの同化実験を行い、ヤマセによる北東気流の再現実験を行ってきた。GPS 掩蔽データは、GPS 衛星からの電波を低軌道衛星で受信し、電波が大気を通過する際に遅延・屈折する性質を用いて求めた屈折率の鉛直プロファイルである。推定時に水蒸気量の水平一様分布の仮定を行ない、電波の通過した経路上で最も地球に近い点（タンジェント点）での値を求めている。しかし、東北地方の東方海上は海流の境目であり、気温の南北傾度も大きい。そのため、電波の経路が南北方向にのびる場合、水平一様の仮定を満たさないと考えられる。したがって、より精度よくヤマセを再現するためには、タンジェント点ではなく、電波の経路上の屈折率として同化することが必要である。ここでは、ヤマセの同化実験に必要な手法の改良として、LETKF のスプレッド等の情報を用いて、電波の経路上の屈折率を推定する方法を提案する。

#### b) 本文

##### はじめに

ヤマセが引き起こす低温な北東気流の強さや侵入範囲をあらかじめ精度良く予測できれば、農作物の低温障害等の対策を立てることができる。ヤマセをより正確に予測・再現するためには、ヤマセの北東気流の風上側である東北地方の東方海上の海面温度や気温分布を再現することが必要である。そのために本研究では、これまでに、東北地方の東方海上で得られた GPS 掩蔽観測データ（気温や水蒸気量の関数である屈折率の鉛直プロファイル）の同化実験を行ってきた。

GPS 掩蔽観測では、GPS 衛星からの電波を COSMIC（Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere, and Climate）等の低軌道衛星（LEO）で受信し、電波が大気を通過する際に電波が遅延・屈折する性質を用いて、屈折率等のプロファイルを推定する（図 1）。この時、屈折率の水平一様性を仮定して、電波の通過した経路上で最も地球に近い点（タンジェント点）の値を求めている。しかしながら、東北地方の東方海上では気温の南北経度が大きく（図 2）、特に電波の経路が南北方向にのびる場合、この仮定は満たされない。そこで、より精度よくヤマセによる北東気流を再現するためには、タンジェント点ではなく、この仮定を適用する前の電波の経路上の屈折率として同化することが必要である。また、本研究で用いている同化システム「局所アンサンブル変換カルマンフィルター」（LETKF）は、格子点毎に同化することによって計算効

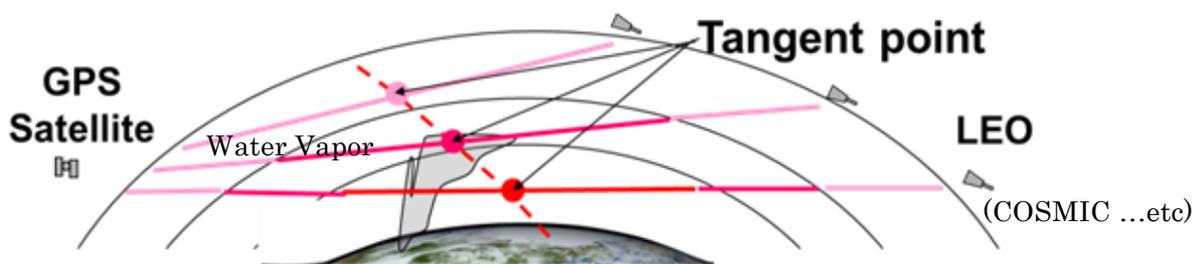


図 1 掩蔽観測の模式図

率を上げているため、経路が水平方向にのびる掩蔽データをそのまま同化することができない。

それらの理由により、タンジェント点の屈折率を経路上の複数点の値に変換する手法を開発した。また、通常の掩蔽観測では、LEO で受信したデータを利用するが、受信機を奥羽山地の山頂等に設置すれば、GPS 衛星が地平線を通る毎に図 1 のように大気を通る観測ができ、データ数が格段に増加する。この手法もヤマセによる下層の気塊の温度や水蒸気量を得るのに有効な手段と考えられるため、高地に設置した受信機による観測（ダウンルッキング観測）についても、本手法の有効性を調べる。さらに、これらの 2 つに加えて、本手法の有効性を示すため、鉛直方向の積算値である可降水量を多数与えた実験についても報告する。

### 推定手法

タンジェント点の観測データから経路上の積算値のデータにする手法については、タンジェント点の値を求める時に用いた水平一様分布の仮定を用いて算出する。詳しくは Seko et al. (2009) を参照してほしい。本報告で提案する手法は、経路に沿った積算値を経路上の複数の点に振り分ける手法であり、屈折率以外の水蒸気量にも適用可能である。掩蔽観測で得られるデータは、温度と水蒸気量の関数である屈折率であるが、ここでは現実的な分布かどうか判断しやすい水蒸気量を扱うことにした。

データ同化を行うシステムとして想定している LETKF は、アンサンブル予報を利用した手法であるため、予報時にアンサンブル予報の平均やスプレッド等の情報が得られる。提案する方法では、第一推定値であるアンサンブル平均が、実況の水蒸気分布をおおよそ再現しているという条件下で、アンサンブルメンバーで求めた経路上の水蒸気量と格子点の水蒸気量との相関が大きく、かつ、アンサンブルのスプレッドが大きいと、推定値が相関に従ってアンサンブル平均より大きく離れて観測値に近づくことができるという仮定を用いて推定する。具体的な手順は以下のとおりである。

- (i) アンサンブル平均から観測と同じ経路上の水蒸気量の積算値（第一推定値）を求める。
- (ii) アンサンブル予報の各メンバーの値を用いて、観測値に対応する経路に沿った水蒸気量の積算値と、経路上の格子点の水蒸気量との相関を求める。
- (iii) 経路上の湿度を、密度のアンサンブル平均と湿度のスプレッド、(ii) で求めた相関の積に

2011 年 6 月 31 日 15 時

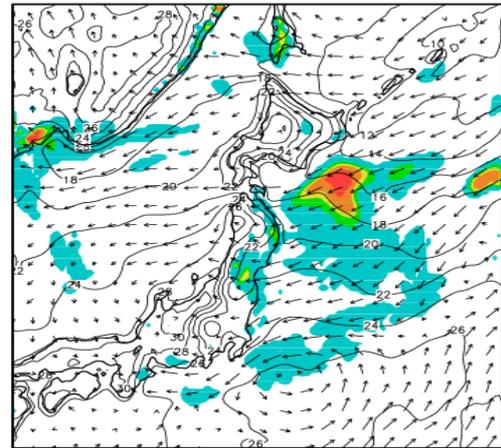


図 2 LETKF を用いて求めたヤマセ発生時 (2011 年 6 月 31 日 15 時) の気温 (実線) と雲 (色域) の分布。

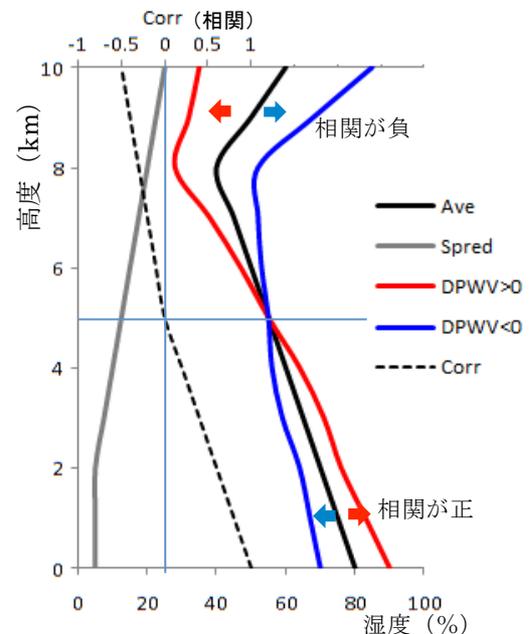


図 3 経路上の水蒸気量を推定する手法の模式図。分かりやすさのため、天頂方向の水蒸気量の積算値である可降水量の例を示す。鉛直軸は高度である。

比例して変化させ、修正した湿度を用いて積算した水蒸気量が観測値と合うように、イタレーションを行なって求める。この際、湿度が過飽和にならないようにした（可降水量の場合の模式図を図3に示す）。

上記の手法の有効性を、以下の手順で確認した。

(1) 狭領域（150km×150km、格子間隔 1.875km）と広領域（1200km×1200km、格子間隔 15km）の2つについて、LETKFをネストさせたシステム（Seko et al, 2013）を用いて気象庁現業データを同化した実験と、GPS可降水量データやGPS掩蔽データを同化データに加えた実験を行なった。本手法の有効性を、より現実に近い水蒸気分布で確認するため、狭領域には、GPS可降水量データの同化により局地的豪雨が再現できた近畿地方の実験結果を用いた。広い領域は、掩蔽データなどの経路の長い観測データを評価するため、また、陸上の観測点から海上までのびる経路の影響範囲を示すために、ヤマセの再現実験を行なった東北地方の事例の結果を用いた。

(2) GPS可降水量データやGPS掩蔽データを気象庁現業データに加えて同化すると、豪雨等が再現されるなど、予報が良くなる。GPS可降水量データ等を用いて同化した実験のメンバーの中で、最も実況に近い降水分布や雲分布を再現したものを真値として扱い、気象庁現業データのみを同化したもので、再現が良くないもの第一推定値とした。

(3) 以下の3つの模擬観測データを、真値から作成した。

a. 掩蔽データ：低軌道衛星で観測される遅延量

計算領域内の適当なモデル格子の位置（真値と第一推定値に差がある点）をタンジェント点とし、タンジェント点を通って南北にのびる経路を仮定した。経路の高度は、タンジェント点を地上から50mずつ高くして与えた。観測データには、温度の影響を含んだ遅延量ではなく、水蒸気量の総和が得られたとした。経路の位置は、地球の曲率も考慮した。経路が水平方向に長い場合、広領域に適用し、タンジェント点からのぼした経路が地面に到達したものは使わず、計算領域の側面境界から突き抜けてしまう場合は、計算領域内にある経路だけを扱った。

b. ダウンルッキングデータ：山頂等に設置した受信機で観測される低仰角の遅延量

稠密観測を想定して、全モデル格子点上に受信機があると仮定した。GPS掩蔽データと同じく、水蒸気量の総和を観測値とする。受信機を各格子点に置き、地球の曲率を考慮し、仰角を-0.5度から-2.0度毎まで、0.5度ずつ下げて作成した。GPS掩蔽データと同様に、計算領域内の問題として扱った。経路が地面に到達したものは使わず、領域の側面や上部境界に到達したものを使用した。GPS掩蔽データと同様に経路が水平方向に長いという特徴をもつが、GPS受信機の配置の密度にも依存すると考え、広領域と狭領域の結果を用いた。

c. 可降水量データ：受信機上の水蒸気の  
総和

天頂方向の水蒸気量の積算値(可降水量)を観測値とした。提案する方法の有効性を示すために稠密観測を想定し、すべてのモデル格子点上に受信機があると仮定した。狭領域の結果を用いた。

(4) 真値から計算した(a)から(c)の観測データを与えて、(i)~(iii)の方法で第一推定値を修正し、真値にどれだけ近づくかで、この手法や観測データの有効性を見る。

推定結果

a. 手法の有効性の確認

観測データが多い実験を行なって、本手法の有効性を示す。そのために、稠密観測を想定して、狭領域のすべてのモデル格子点上に受信機があると仮定した。まず、再現の目標である「真値」と「第一推定値」の水蒸気量の差を図4aに示す。左側が高度200mの水平分布、右側が領域の中心を通る南北鉛直断面図である。真値の方が大阪湾を囲む領域の水蒸気量が大きく、下層の高度850mまでと2.2~3.5kmに2層の湿った層があることがわかる。

図4bは、可降水量を与える際に、スプレッドを考慮せずに一定値として推定した結果である。図4aと同様に第一推定値を差し引いた分布を示した。スプレッドを考慮せずに可降水量を与えると、下層の水蒸気がより大きく変化し、高度と共に小さくなっている。過飽和を許さないよ

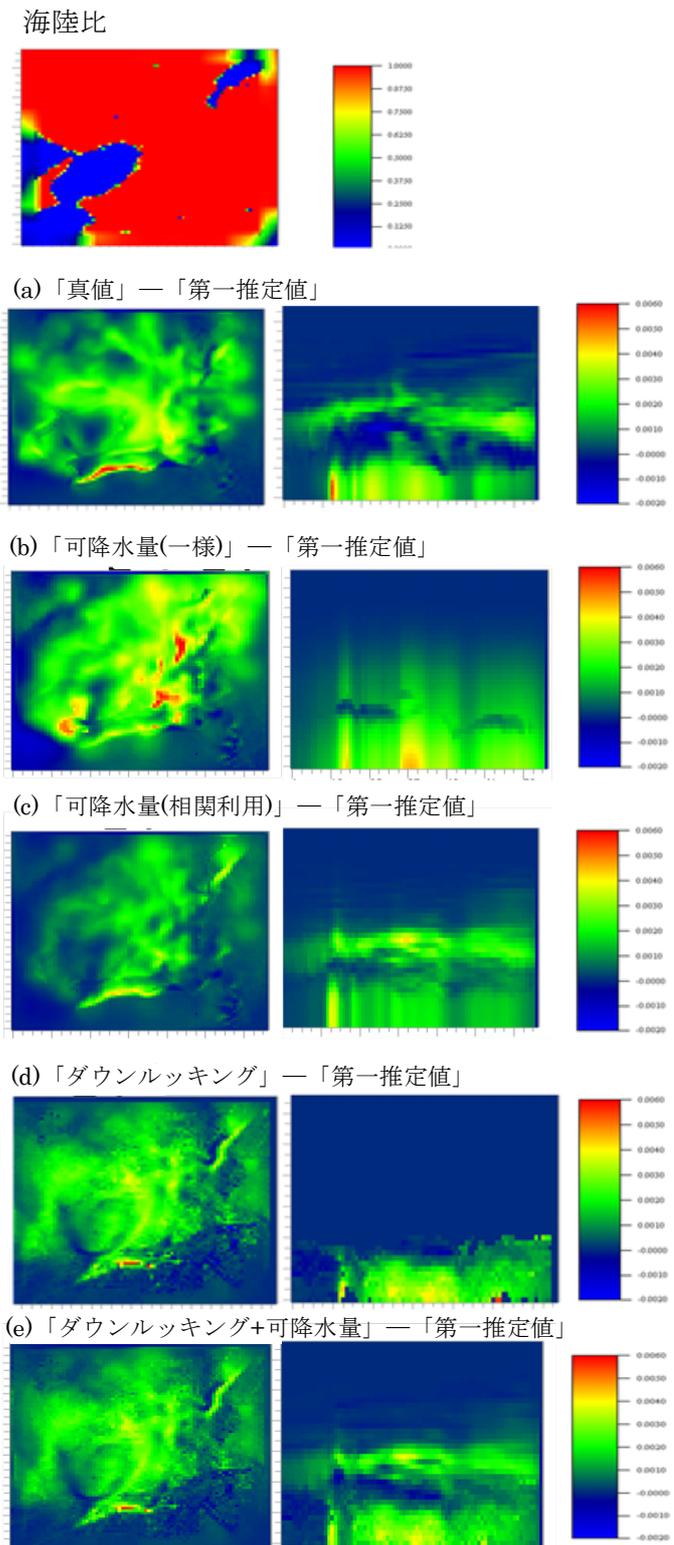


図4 提案する推定法を狭領域に適用した結果。(a)真値と第一推定値との差。左側に高度200mの水平分布、右側に領域中央を通過する南北方向の鉛直断面図を示す。鉛直断面図の縦軸はモデルの鉛直層数である。(b)スプレッドを利用しないで求めた可降水量の解析値と第一推定値との差、(c)スプレッドを利用して求めた可降水量の(b)と同様の図、(d)ダウンルッキングデータの解析値の(b)と同様の図。(e)可降水量とダウンルッキングデータの両方を用いた解析値の(b)と同様の図。

うにしたため、途中で水蒸気量の小さい所があるが、真値で示したような明瞭な2層構造は再現されていない。次に、スプレッドを考慮した場合(図4c)は、分布が図4aに似たものになり、2層構造も再現している。十分な観測データがある場合、ここで提案する手法を用いると、複雑な分布でも再現できることを示している。

次に、ダウンルッキングデータを加えた場合(図4d)、狭領域では、電波の経路が高度2.2~3.5kmの水蒸気量の多い層を通過しないため、その高度の水蒸気量は変わっていないが、経路が通過した下層の水蒸気量を定量的によく再現している。この分布は、格子点のGPS受信機の位置から、負の仰角を与えて経路をのぼし、それらの中で地面に達することなく側面境界に達したものを利用していることから、図4dの下層の水蒸気量の大きい層は、山地等の標高の高い格子点からのびた経路のデータによって再現されたものと考えられる。下層の水蒸気量を他の観測データのもの比べてみると、可降水量を与えたもの(図4c)に比べて大きく、より真値(図4a)に近い。これは、ダウンルッキングの経路が下層のみを通過するため、真値の水蒸気量が大きいという情報が、下層の水蒸気量を確実に増やすためと考えられる(可降水量は、鉛直積算値であるため、

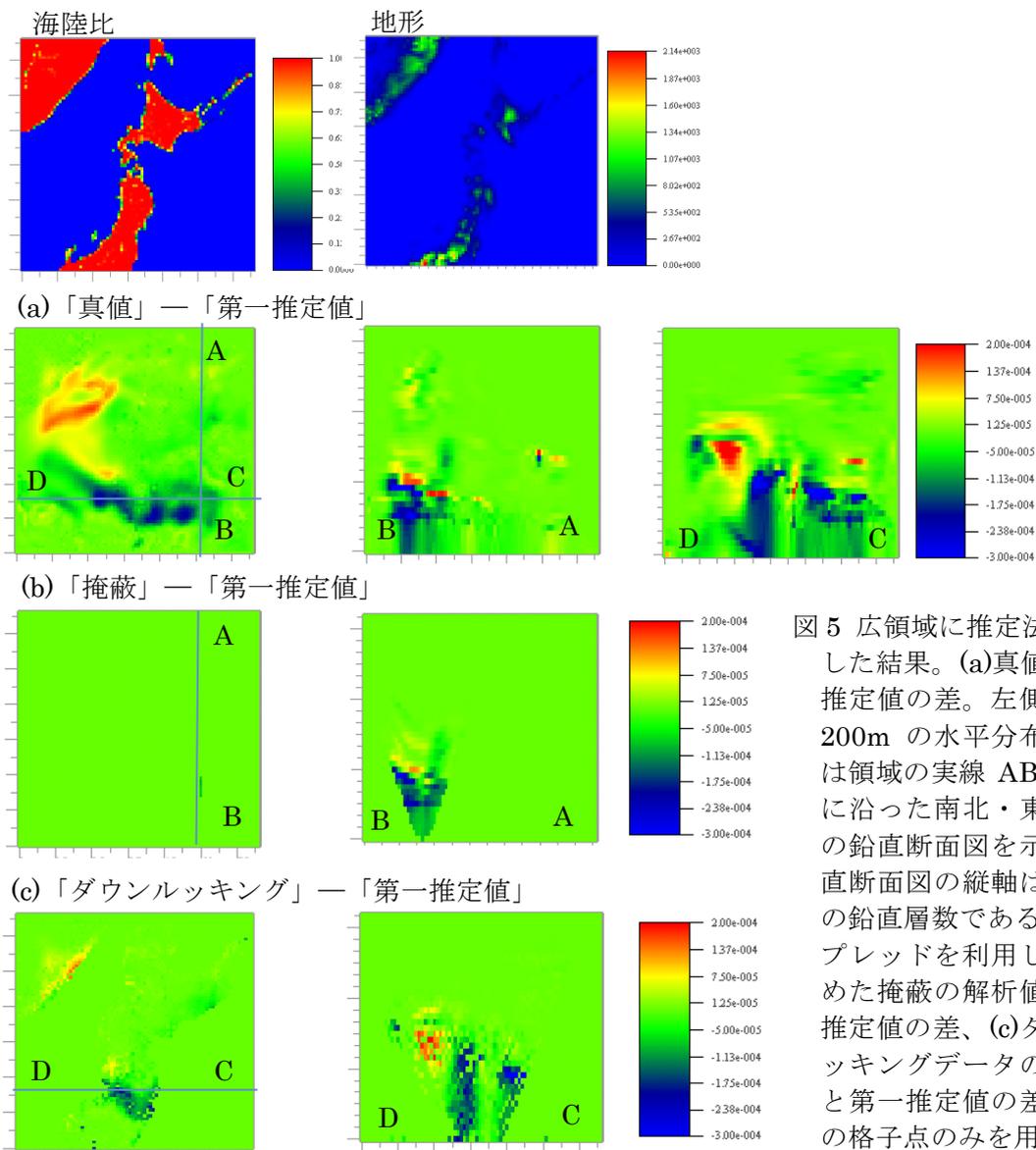


図5 広領域に推定法を適用した結果。(a)真値と第一推定値の差。左側が高度200mの水平分布、右側は領域の実線ABやCDに沿った南北・東西方向の鉛直断面図を示す。鉛直断面図の縦軸はモデルの鉛直層数である。(b)スプレッドを利用してとめた掩蔽の解析値と第一推定値の差、(c)ダウンルッキングデータの解析値と第一推定値の差。陸上の格子点のみを用いた。

下層を増やすという確証はない)。複数の模擬観測データを用いた結果を見ると、GPS 可降水量とダウンロードを同時に用いた場合 (図 4e) に、下層の水蒸気量の大きさも真値に近く、鉛直方向にも 2 層構造を再現していて、最も真値に近い分布になっていた。

#### b. 掩蔽データとダウンロード観測の水平方向に長い経路の効果

狭領域と同様に、まず ‘真値と第一推定値の差’ の分布 (図 5a) を確認すると、計算領域の南部分に真値の方が水蒸気の少ない領域があって、東西方向にのびている。実線 AB、CD に沿う鉛直断面図を見ると、差は一樣ではなく、複雑な分布をしていることがわかる。

できるだけ地形で経路が妨げられないように、また ‘真値と第一推定値の差’ が大きい福島県の東方海上に GPS 掩蔽データを与えた。その結果を見てみると (図 5b)、南北方向にのびた経路を与えているため水平方向では線に見えるが、実線 AB に沿った鉛直断面図では、地球の曲率を考慮していることから、タンジェント点から離れるほど高い高度に変化が見える分布になっている。図 5a と同じように ‘水蒸気の少ない領域の上側に多い領域がある分布’ になっており、真値の特徴が再現できていることがわかる。GPS 掩蔽データをタンジェント点で与えた場合には、その位置の値しか変えられないが、経路上の複数点で与える今回の方法では、経路上の広い範囲で変えることができ、タンジェント点よりもより効率の良い同化データになると考えられる。

ダウンロードについては、陸上の格子点のみからの経路を与えた実験を行なった (図 5c)。得られた分布は、水平・鉛直方向共に真値と同様な特徴を再現していて、変化した範囲も福島県の東方海上まで広がっている。この分布は、ダウンロードが観測点の周りの広い範囲の情報を与えることができ、掩蔽観測と同様にヤマセの有効な同化データになる可能性を示している。

#### まとめと今後

GPS 掩蔽データを用いたヤマセの再現実験の事例数を増やす前に、より効率よく掩蔽データの情報を引き出すために、タンジェント点の値から経路上の複数点のデータに変換する手法を開発した。本報告では、アンサンブル予報のスプレッドを用いるとより広い範囲で分布を改善できる可能性があること、GPS 掩蔽データの他にダウンロードという手法を用いても下層の分布を改善できることを示した。今後は、これまで LETKF を用いて行なってきたタンジェント点の実験の他に、本報告の方法を用いて推定した分布を与えた同化実験を行なって、ヤマセのより精度の良い再現をめざす。

#### c) 参考文献

- Seko, H., T. Tsuyuki, K. Saito, and T. Miyoshi, 2013: Development of a two-way nested LETKF system for cloud-resolving model. *Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrologic Applications* (Vol. II), pp. 489-507.
- Seko, H., Y. Shoji, M. Kunii and Y. Aoyama, 2009: Impact of the CHAMP occultation data on the rainfall forecast, *Data Assimilation for Atmospheric, Oceanic and Hydrologic Applications*, pp 197-218.

### 3.2.3 空間内挿データおよび力学モデルによるダウンスケール気象データの比較

菅野洋光・大久保さゆり・紺野祥平（農研機構東北農業研究センター）

#### a) 要旨

高解像度化した気象データを、個別のユーザー、圃場を対象とする農業気象情報として利用するにあたっては、気象データの数値としての精度とともに、空間的な精度も求められる。ダウンスケールデータの検証は、気象観測点など点データとの比較検証が一般的であるが、本解析では、空間内挿によって作成した高解像度気象データを用いることで、力学モデルによるダウンスケールデータの検証を高空間分解能で実施した。気温については系統誤差を適切に補正することでより現実的な値に近似できる可能性が、降水量については、長期間の観測値等を用いて統計的に補正を行なう必要性が、それぞれ示された。

#### b) 本文

##### 研究背景

近年、地域気候モデルなど様々なモデルを用いた高解像度気象データの作成が試みられている。一方で、出力されたデータにはモデルによる誤差の補正など課題も多い。全球モデルによるアンサンブル予測計算結果をダウンスケールし、農業気象情報として提供することを目的としている本課題では、農業気象情報の評価を、予測計算の誤差と、ダウンスケールによる誤差との双方について行なう必要がある。そこで今年度は、予測データの不確実性を除いた状態での力学モデルによるダウンスケールの精度について検証した。アンサンブル予測計算結果に代えて再解析データを入力値として力学モデルで作成した高解像度データを、アメダスによる観測値を空間内挿した高解像度データと比較した。

##### 研究方法

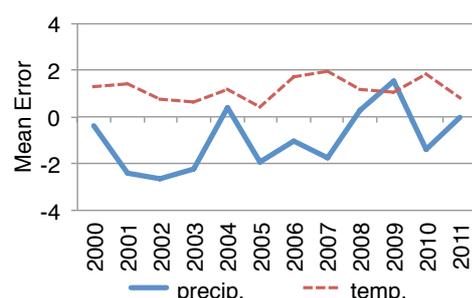
長期再解析 JRA-25 を JMA-NHM を用いて  $1.25^\circ$  から 5 km に力学的ダウンスケールしたデータ（以下、PDS メッシュ）と、アメダス観測値を距離自乗の逆数により空間内挿して 1km メッシュ化したデータ（以下、空間内挿メッシュ）を使用した。比較には日平均気温と日合計降水量を使用した。対象期間は 2009-2011 年の 8 月、対象地域を東北 6 県とし、気温と降水量について比較した。

##### 結果

#### (1) 期間を通じた平均誤差の傾向

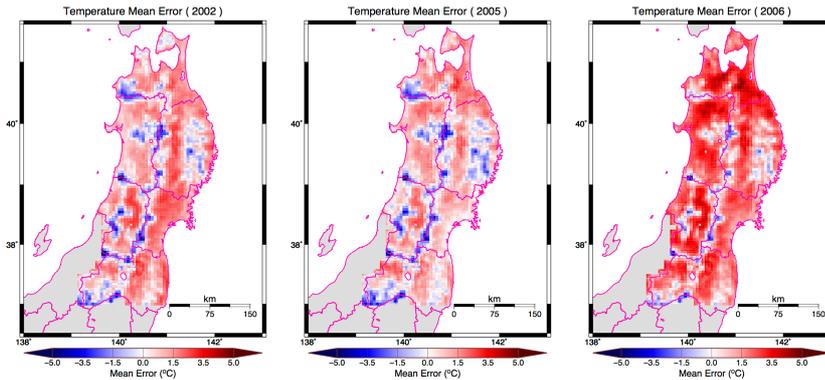
PDS メッシュ（空間解像度 5km）と空間内挿メッシュ（空間解像度 1km）の双方で日平均気温、日合計降水量を求め、力学的 DS - アメダスメッシュとして毎年の平均誤差を求めた（第 1 図）。気温では期間を通じて  $1-2^\circ\text{C}$  程度の高温傾向（PDS > 空間内挿）で推移している一方、降水量は年による変動が大きい。

第 1 図 日平均気温・日合計降水量の平均誤差  
「PDS メッシュ-空間内挿メッシュ」で求めた  
平均誤差の全地点（54,167 メッシュ）の平均を示す。

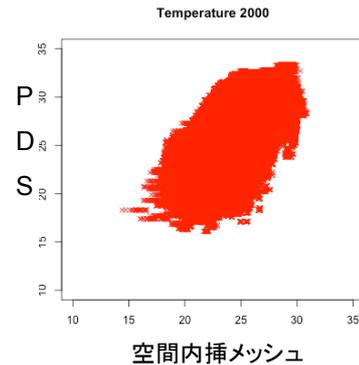


(2) 平均誤差の水平分布・気温

「PDSによる気温-空間内挿による気温」による平均誤差分布(第2図)は、期間を通じて、かつほとんどの地点で高温バイアス(PDS>空間内挿)を示した。標高の高い地点にみられる低温バイアスには、比較に用いた空間内挿メッシュが地点間の距離のみによる補間であるために、地形を反映しきれていないことによる誤差が影響しているとみられる。また、平均誤差でなく、メッシュ毎にPDS、空間内挿の双方の日平均気温を比較した散布図(第3図)では、ほぼ線形の関係がみられる。これらのことから、気温については地点毎に適切なバイアス補正を施すことにより、PDSを現実的に即した値に近似させることが可能であるといえる。



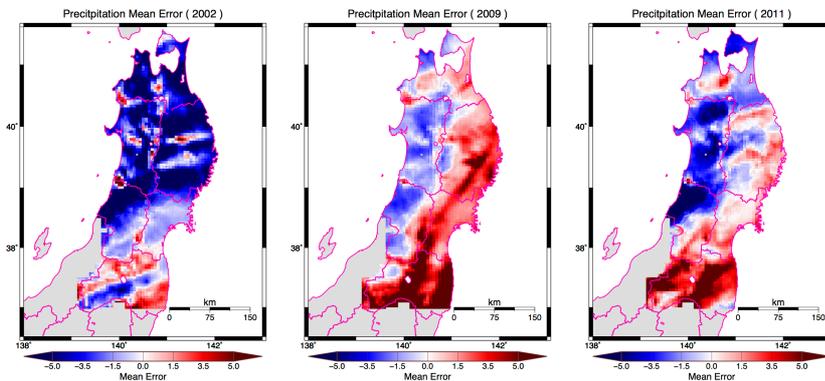
第2図 気温の平均誤差(PDS-空間内挿)の水平分布  
2002, 2005, 2006年を抜粋



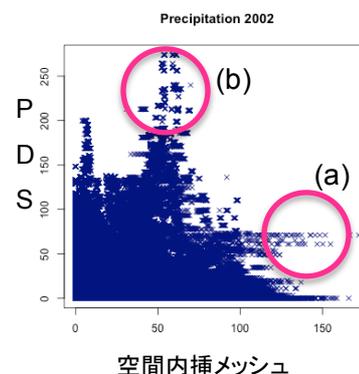
第3図 全メッシュによる日平均気温の散布図(2006年)

(3) 平均誤差の水平分布・降水量

降水量の平均誤差は、気温の場合と異なりPDSと空間内挿との差は一樣でない。平均誤差分布(第4図)は年により正負の分布が大きく異なる。各メッシュの日別の降水量を比較した第5図では、(a)の事例では空間内挿メッシュ(横軸)では100-150mmの降水がみられるのに対しPDSメッシュ(縦軸)では80mm程度、一方で(b)の事例では空間内挿メッシュでは50mm程度の降水のあったメッシュでPDSでは150-250mm程度と、強い降水強度の事例の場合に、両者の差が大きくなることを示している。第4図にみられる過大/過小評価の混在や分布域の明瞭な違いは、降水量の違いだけでなく、降水域の当たり外れによっても生じることを示唆している。特に、強い降水強度の事例で場所を外した場合、期間でみた誤差は大きくなる。



第4図 降水量の平均誤差(PDS-空間内挿)の水平分布  
2002, 2009, 2011年を抜粋



第5図 全メッシュによる日合計降水量の散布図(2002年)

まとめ

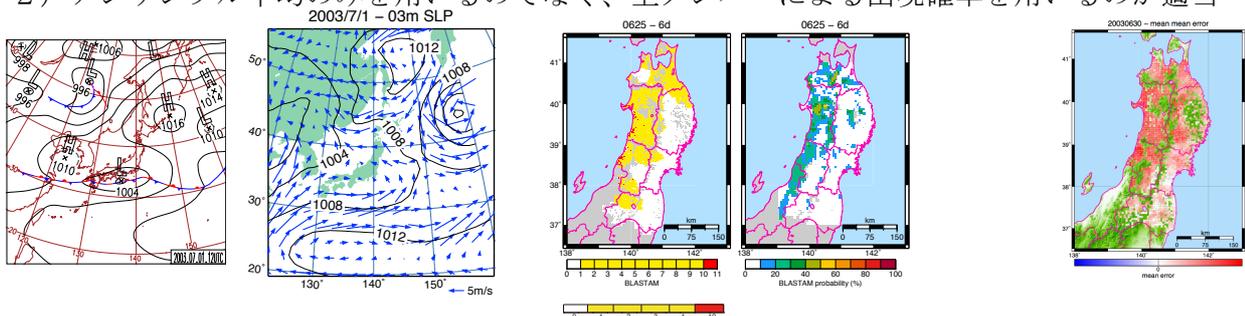
再解析データと観測データとの双方からのダウンスケールデータを比較することにより、力学モデルによるダウンスケールの検証を行なった。気温については系統誤差を適切に補正することでより現実的な値に近似できる可能性が示された。また降水量については、規模、頻度が一定でない現象であるため、長期のデータを用いて、地域ごとに降水強度の頻度などを求め、統計的な補正を行なう必要性が示された。

過年度の研究により、葉いもち発生予察モデル (BLASTAM) を例として、アンサンブル予測を農業モデルに適用する場合、複数のメンバーそれぞれで計算した結果を合算すると現象の空間分布の再現性が向上する一方で、アンサンブル平均のみを用いて計算した場合は微降水の持続時間の増加によって過大評価をもたらすということが分かっている (第6図)。加えて、本解析によってダウンスケール自体にも不確実性を伴うことが示された。本プロジェクトで目指しているアンサンブルダウンスケールデータの農業モデルへの展開は、予測自体の不確実性に加え、ダウンスケール時の不確実性もあり、各過程に不確実性を含むため、アンサンブルによる複数の予測を用いて、幅を持たせた情報として提供することが望ましいことを示唆している。

(昨年までの結果)

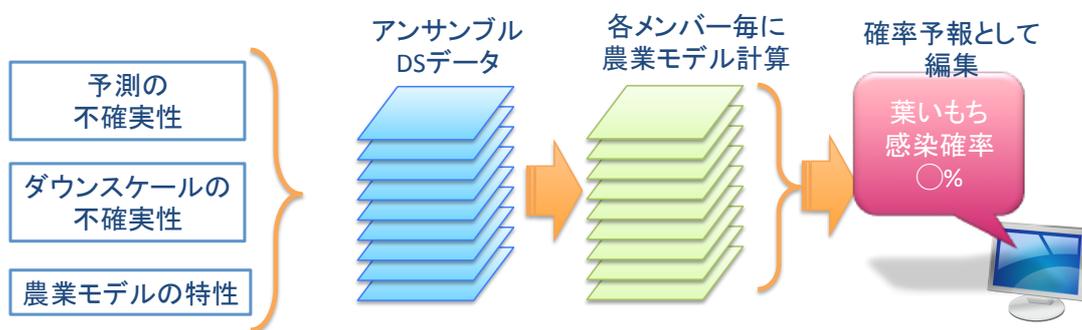
アンサンブル予測計算結果を農業モデル (ここでは BLASTAM) に適用する場合は、

- 1) 気象予測計算が合うことが重要
- 2) アンサンブル平均のみを用いるのではなく、全メンバーによる出現確率を用いるのが適当



実際の天気図 予測計算結果 左：アメダスメッシュによる BLASTAM アンサンブル平均値を用いた場合の平均誤差  
右：アンサンブル確率による結果

第6図 昨年度の成果の概要



第7図 本研究の概要

謝辞 本研究には、気象庁気候情報課によるアンサンブルハインドキャスト実験結果に、東北大学流体地球物理学講座にて力学的ダウンスケールを実施したものを使用しました。

### 3.2.4 高度農業気象情報による農業支援システムの高度化

南野謙一（岩手県立大学）

#### a) 要旨

平成 24 年度に行ったユーザのニーズ及び提供可能な予測情報に関する調査結果をもとに、ダウンスケール予測農業情報をより有効に発信できるように高度化した。具体的には、水稻気象被害予測システムにおいて、平成 24 年度のアンケート調査結果より要望の多かった高温障害の警戒情報として、胴割れ注意報と収穫適期情報を新たに追加した。

胴割れ注意報は、生育モデルにより計算される予測出穂日を用いて、予測出穂日-5 日から予測出穂日+5 日までの期間（11 日間）の各日を開始日とする 10 日間の最高気温の平均を計算して、3 つの基準で注意喚起レベルを決定し、情報提供した。

収穫適期情報は、予測出穂日-5 日、予測出穂日、予測出穂日+5 日の 3 つを開始日として、当日含む日平均気温の積算値を計算し、品種ごとの基準温度に達した場合に情報提供した。胴割れ注意報が出た圃場には、早めの刈り取りに努めるように注意を促した。

また、2 週目予測の高温についても、8 月後半からの残暑への対応のため、時期限定の基準を設け、文言についても多少変更し、1 週目予測と合わせた警戒情報の発信ができるようにした。

そして、平成 25 年度に水稻気象被害予測システムを利用したユーザのニーズ及び提供可能な予測情報に関する調査を実施した。本調査は、水稻気象被害予測システムの運用実験後にメールアンケート形式で行った。昨年度のシステムからの変更点についても調査した。調査結果から胴割れ注意報と収穫適期情報について、肯定的な回答が多く得られたことから、ダウンスケール予測農業情報を高度化により有効に発信できたことが分かった。

#### b) 本文

平成 24 年度に行ったユーザのニーズ及び提供可能な予測情報に関する調査結果をもとに、ダウンスケール予測農業情報をより有効に発信できるように高度化した。具体的には、水稻気象被害予測システムにおいて、東北農業研究センターと協議し、平成 24 年度のアンケート調査結果より要望の多かった高温障害の警戒情報として、胴割れ注意報と収穫適期情報を新たに追加した。胴割れ注意報は、生育モデルにより計算される予測出穂日を用いて、予測出穂日-5 日から予測出穂日+5 日までの期間（11 日間）の各日を開始日とする 10 日間の日最高気温の平均を計算して、表 1 のように 3 つの基準で注意喚起レベルを決定する。胴割れ注意報は、早期落水防止（出穂後 25~30 日後）、刈り遅れ防止（出穂後 35~45 日後）を促すことが目的であるため、予測値で 11 日間のすべての平均値が計算できてから情報提供を開始する。Web システムの画面出力は、図 1、2 のようになる（レベル 3 の例）。

表 1 胴割れ注意報の注意喚起レベル

レベル 3	基準	予測出穂日±3 日に、30℃以上が 4 回以上
	注意喚起文	出穂後 10 日間の日最高気温の平均値が 30℃を超えますと、高温による胴割れ増加が心配されます。 <u>出穂後 20 日頃までは掛け流しや夜間灌水によって水温の上昇を避けましょう。また、早期落水を避けるとともに、胴割れを助長する刈り遅れを避け、適期刈り取りに努めましょう。</u>

レベル 2	基準	予測出穂日±3日に、30℃以上が1～3回以上
	注意喚起文	出穂後 10 日間の日最高気温の平均値が 30℃を超えますと、高温による胴割れ増加が心配されます。下の表で出穂前後の日に日最高気温の平均値が 30℃を超えていると胴割れに注意が必要となります。早期落水を避けるとともに、胴割れを助長する刈り遅れを避け、適期刈り取りに努めましょう。
レベル 1	基準	30℃以上の日があり、レベル 2、3 以外
	注意喚起文	出穂後 10 日間の日最高気温の平均値が 30℃を超えますと、高温による胴割れ増加が心配されます。下の表で出穂前後の日に日最高気温の平均値が 30℃を超えていないか確認しましょう。日最高気温の平均値が 30℃を超えている時は、早期落水を避けるとともに、胴割れを助長する刈り遅れを避け、適期刈り取りに努めましょう。

発育モデルの予測のずれは平均±3日程度であるため、予測出穂日±3日の範囲で基準を設定している。また、10日間の日最高気温の平均には、1週目予測（当日から7日先までの予測）が含まれる。

**【胴割れ注意報】**  
 出穂後10日間の日最高気温の平均値が30℃を超えま  
 すと、高温による胴割れ増加が心配されます。  
 出穂後20日頃までは掛け流しや夜間灌水によって水温  
 の上昇を避けましょう。また、早期落水を避けるととも  
 に、胴割れを助長する刈り遅れを避け、適期刈り取りに  
 努めましょう。

出穂日から10日間の日最高気温の平均値(グラフ、表)

出穂日	日最高気温
7/26	27.3℃
7/27	27.5℃
7/28	27.7℃
7/29	28.2℃
7/30	29.0℃
7/31	30.0℃
8/1	30.9℃
8/2	32.0℃
8/3	32.9℃
8/4	33.3℃
8/5	33.7℃

水色: 予測出穂日

出穂日から10日間の日最高気温の平均値(グラフ、表)

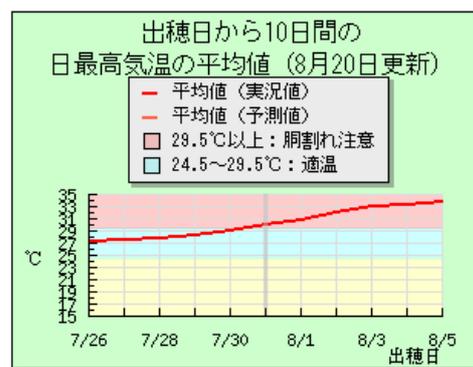


図2 グラフの画面出力

図1 注意喚起文の画面出力

収穫適期情報は、予測出穂日-5日、予測出穂日、予測出穂日+5日の3つを開始日として、当日含む日平均気温の積算値を計算し、表2のように品種ごとの基準温度に達した場合に情報提供

する。予測出穂日の誤差を考慮し、予測出穂日-5日、予測出穂日、予測出穂日+5日の3つの開始日で計算する。

表2 収穫適期情報の基準

1回目	基準	全品種で積算値が800℃日を超えたとき																										
	収穫適期情報	出穂後の積算気温が〇〇〇℃となりました。コンバインや乾燥調製施設の点検、整備を早めに行い、適期刈り取りができるように準備しておきましょう。																										
2回目	条件	<p>品種ごとの積算気温目標に到達するとき</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>品種</th> <th>温度(℃)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>かけはし</td><td>950</td></tr> <tr><td>まっしぐら</td><td>950</td></tr> <tr><td>むつほまれ</td><td>950</td></tr> <tr><td>つがるロマン</td><td>950</td></tr> <tr><td>いわてっこ</td><td>950</td></tr> <tr><td>あきたこまち</td><td>950</td></tr> <tr><td>めんこいな</td><td>950</td></tr> <tr><td>まなむすめ</td><td>950</td></tr> <tr><td>ひとめぼれ</td><td>950</td></tr> <tr><td>ササニシキ</td><td>950</td></tr> <tr><td>はえぬき</td><td>950</td></tr> <tr><td>コシヒカリ</td><td>1050</td></tr> </tbody> </table>	品種	温度(℃)	かけはし	950	まっしぐら	950	むつほまれ	950	つがるロマン	950	いわてっこ	950	あきたこまち	950	めんこいな	950	まなむすめ	950	ひとめぼれ	950	ササニシキ	950	はえぬき	950	コシヒカリ	1050
	品種	温度(℃)																										
かけはし	950																											
まっしぐら	950																											
むつほまれ	950																											
つがるロマン	950																											
いわてっこ	950																											
あきたこまち	950																											
めんこいな	950																											
まなむすめ	950																											
ひとめぼれ	950																											
ササニシキ	950																											
はえぬき	950																											
コシヒカリ	1050																											
収穫適期情報	出穂後の積算気温が〇〇〇℃となりました。刈取適期の判定は黄化率で80~90%を目安に、適期に収穫しましょう。																											
3回目	基準	品種ごとの積算気温目標を100℃超過したとき																										
	収穫適期情報	刈り遅れるほど着色粒や胴割粒等の発生が多くなり、品質低下につながります。刈り取りがまだの場合は早めに刈り取りましょう。																										
補足情報	基準	上記に当てはまり、なおかつ胴割れ注意報が出たとき(1~3回目の基準かつ胴割れ注意報のレベル1~3の基準)																										
	収穫適期情報	本年は出穂後の高温により胴割れ米が出やすい状況にあります。籾の色および水分状態を確認の上、早めの刈り取りに努めましょう。																										

Webシステムの画面出力は、図3のようになる。図3は、品種がササニシキであり、3回目の収穫適期情報を提供したときの例である。図1、2と同一の圃場であり、胴割れ注意報が出ているため、補足情報が追加されている。

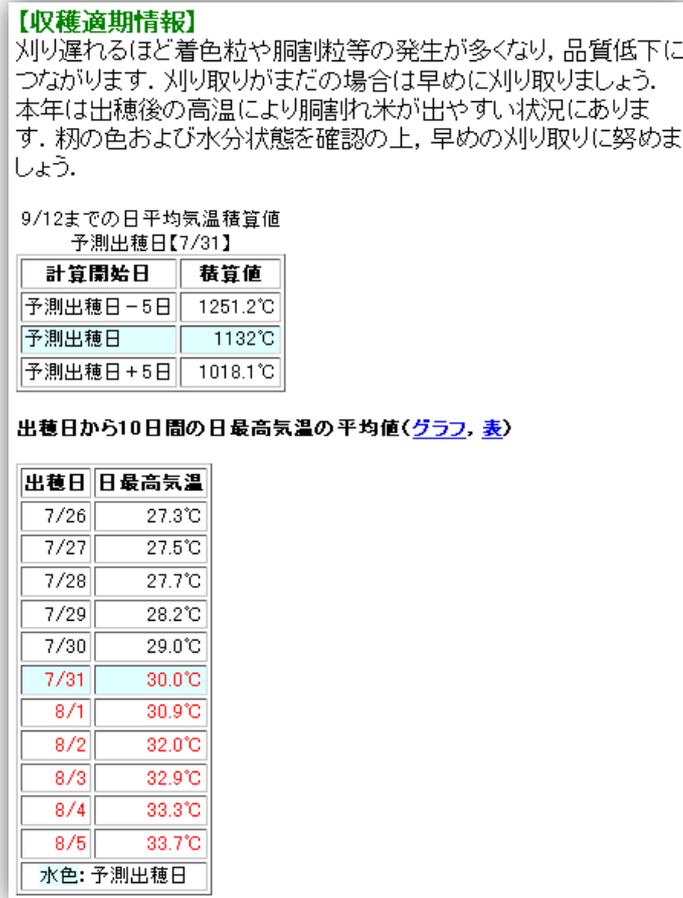


図3 収穫適期情報の画面出力

また、2週目予測の高温についても、気象庁、東北農業研究センターと協議し、図4に示すように、8月後半からの残暑への対応のため、時期限定の基準を設け、文言についても多少変更し、1週目予測と合わせた警戒情報の発信ができるようにした。

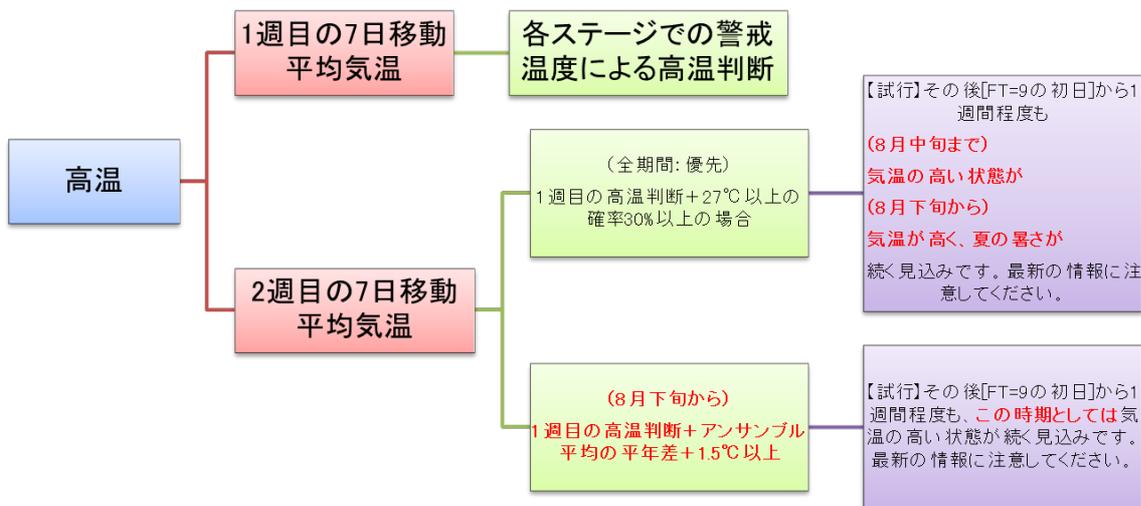


図4 2週目予測の高温

水稻気象被害予測システムを利用しユーザのニーズ及び提供可能な予測情報に関する調査を実施した。ユーザのニーズ及び提供可能な予測情報に関する調査は、水稻気象被害予測システムの運用実験後にメールアンケート形式で行った。アンケートは、各予測情報について2つの質問：“この予測から役立つ情報は得られましたか？”、“この予測は実際の状況と比べて適切だったと思いますか？”を設け、5段階評価（1. 全くそう思わない、2. そう思わない、3. どちらともいえない、4. そう思う、5. 全くそう思う）で回答する形式とした。アンケートは、2013年11月に実施し、この時点の登録ユーザのうち今年度アクセスのあった210名に対して行った（ユーザ登録は随時受け付けている）。131名のユーザから回答があった（回答率62%）。胴割れ注意報と収穫適期情報についての調査結果を図5、6に示す（この予測情報を利用したユーザのみ回答しているため回答数に違いがある）。調査結果から胴割れ注意報と収穫適期情報について、肯定的な回答が多かったことから、ダウンスケール予測農業情報を高度化により有効に発信できたことが分かった。

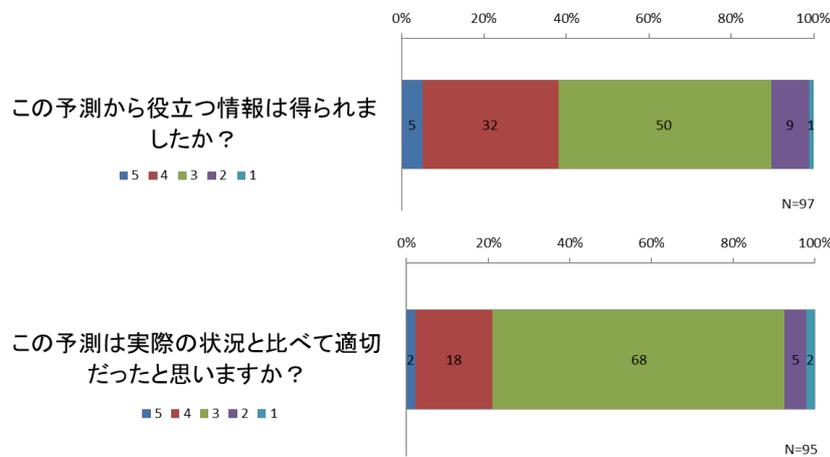


図5 胴割れ注意報についてのアンケート調査結果

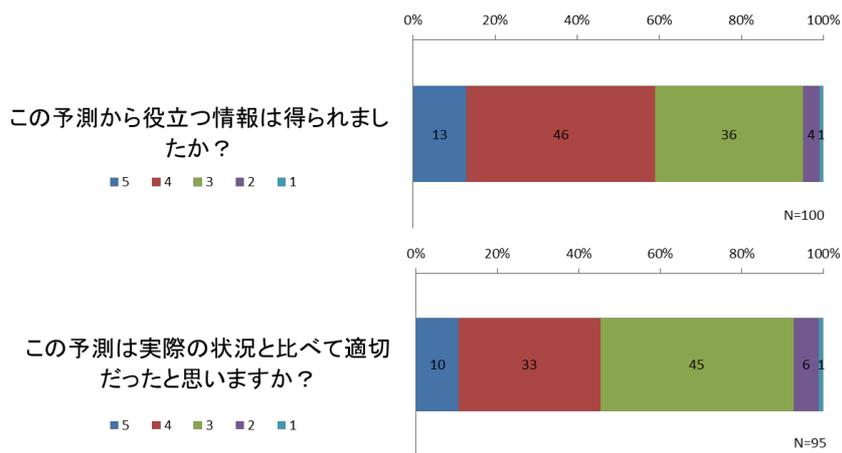


図6 収穫適期情報についてのアンケート調査結果

### c) 参考文献

農林水産省東北農業試験場(1999)：やませ気候に生きる-東北農業と生活の知恵-、東北農業試験場創設50周年記念事業会。

#### 4. 研究成果

##### 4.1 査読付論文

##### 印刷済、印刷中

Eguchi, N., T. Hayasaka, and M. Sawada, 2014: The maritime--continental contrasts in the properties of low-level clouds: a case study of the summer 2003 Yamase cloud event. *Adv. Meteorol.*, **2014**, doi:10.1155/2014/548091.

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.*, <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/JAS-D-13-058.1> in press.

Kanno, H., 2013: Strongly negative correlation between monthly mean temperatures in April and August since 1998 in Northern Japan. *Journal of Meteorological Society of Japan*, **91**, 355-373.

Kanno, H., M. Watanabe, and E. Kanda, 2013: MIROC5 predictions of Yamase (cold northeasterly winds causing cool summers in northern Japan). *Journal of Agricultural Meteorology*, **69**, 117-125.

Noda, A. T., K. Nakamura, T. Iwasaki, and M. Satoh, 2014: Responses of subtropical marine stratocumulus cloud to perturbed atmospheres, *SOLA*, **10**, 29-33, doi:10.2151/sola.2014-007

Shimada, T., M. Sawada, and T. Iwasaki, 2014: Indices of cool summer climate in northern Japan: Yamase indices, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **92**, 17-35.

Yoshida R., T. Iizumi, and M. Nishimori, 2014: Impact functions for land-use-induced surface warming, and their applications in uncertainty analysis. *Climate Research*, **59**, 77-87.

久野木梓織・佐藤和敏・黒瀧あゆみ・関真理子・児玉安正・小松健介・緒方香都・西川はつみ・大鹿美希・大富裕里子・立花義裕・三井拓・茂木耕作・川合義美・万田敦昌, 2013: 九州西方沖の東シナ海で観測された2本の降水帯からなる梅雨前線帯-2011年6月20日の観測事例-. *海と空*, **89(1)**, 9-18.

##### 投稿中

Kanda, E., H. Kanno, S. Okubo, T. Shimada, R. Yoshida, T. Kobayashi, T. Iwasaki, Estimation of cool summer damage in the Tohoku district based on the MRI AGCM, *Journal of Agricultural Meteorology* (投稿中)

Kawai, H., S. Yabu, Y. Hagihara, T. Koshiro, and H. Okamoto, 2014: Characteristics of Vertical Structures of Marine Boundary Layer Clouds over Mid-Latitudes. (投稿中)

Shimada, T., Wave height variability along the Pacific and Okhotsk Sea coasts of northern Japan induced by cool summer climate, *Climate Research*. (投稿中)

大久保さゆり・菅野洋光・小林隆: 高解像度気象データを用いた東北地方におけるイネ葉いもち発生予察モデル (BLASTAM) の検証. *天気*. (投稿中)

#### 4.2 そのほかの著作

- Kawai, H., 2013: Improvement of a Stratocumulus Scheme for Mid-latitude Marine Low Clouds. CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling/WMO, 43, 0403-0404.
- Kawai, H., S. Yabu, and Y. Hagihara, 2014: The Evaluation of the Vertical Structures of Marine Boundary Layer Clouds over Mid-Latitude. CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling/WMO, submitted.
- 島田照久、沢田雅洋、吉田龍平、岩崎俊樹、気候モデルデータのダウンスケーリングによるヤマセの将来変化、大規模科学計算システム広報 SENAC, 2014 (印刷中)

#### 4.3 研究会での発表

- Endo H., 2013: Slower warming trend in northeastern Japan summer for 1958 to 2012 seen in surface observational data and JRA-55, WMO International Workshop on Monsoons (IWM-V), Makao, China, 28-31 October 2013.
- Ibnu F. and Y.-M. Kodama, 2013: Intercomparison of CMIP5 Ocean Model Performance for SST Variations over Eastern Equatorial Indian Ocean and its Relations to Subsurface Ocean Structure (Poster). EGU General Assembly 2013. ウィーン, オーストリア(2013-4-7-12)
- Kawai, H., T. Koshiro, 2013: Improvement of a Stratocumulus Scheme for Mid-latitude Marine Low Clouds. Joint EUCLIPSE - CFMIP meeting, in Hamburg, 10 - 14 June 2013.
- Kawai, H., S. Yabu, and Y. Hagihara, 2013: Evaluation of Vertical Structures of Marine Boundary Layer Clouds over Mid-Latitudes. --- Southern Ocean and Northern Pacific in Summer ---. 4th WGNE workshop on systematic errors in weather and climate models, in Exeter, 15-19 April 2013.
- Kunoki S., Y.-M. Kodama, K. Sato, A. Manda, Y. Tachibana, and Y. Kawai, 2013: Possible influence of the Kuroshio off the southern Kyushu on the Baiu Frontal Zone. 日中韓合同気象学会, 南京, 中国(2013-10-23-25)
- Yoshida R., S. Fukui, T. Shimada, T. Hasegawa, and T. Iwasaki, 2013: Paddy rice productivity under climate and land-use change in northern Japan, AGU fall meeting, San Francisco, December.
- 遠藤洋和, 2013: 北東日本の夏季気温の長期変化とその要因, 日本気象学会 2013 年度秋季大会, 仙台国際センター, 2013 年 11 月 19 日.
- 大久保さゆり・菅野洋光・福井真・吉田龍平・岩崎俊樹: 空間内挿データおよび力学モデルによるダウンスケール気象データの比較. 日本気象学会 2013 年度秋季大会.
- 川合秀明, 神代剛, 2013: 中緯度の海洋下層雲のパラメタリゼーション. 日本気象学会, 2013 年度春季大会, 103, A402, 代々木, 2013 年 5 月 15-18 日.
- 神田英司、大久保さゆり、島田照久、吉田龍平、菅野洋光、岩崎俊樹、MRI AGCM による東北地方における冷害リスク判定の試み、日本作物学会第 236 講演会、鹿児島、3013.
- 島田照久、沢田雅洋、吉田龍平、岩崎俊樹、ダウンスケーリングを用いたヤマセの北日本への影響の将来変化(2)、日本気象学会 2013 年度秋季大会、仙台、2013.
- 島田照久、ダウンスケール気象予測情報のヤマセに関する高度利用、RECCA-S8-創生 D 研究交流

会、東京、2013.

南野謙一、東北地方の生産者向け農業支援システムの開発と運用実験、RECCA 農業課題打合せ会、  
東京都文京区、2013年10月28日

南野謙一、農作物警戒情報の運用と評価、平成25年度東北地域稲栽培研究会、岩手県盛岡市、  
2014年1月28日

吉田龍平、福井眞、島田照久、長谷川利拡、岩崎俊樹、東北地方における水稻最適品種の将来変  
化、四万十・流域圏学会、2013.

## 5. 研究会活動と官学連携

### 5.1 ヤマセ研究会

気候変動適応研究推進プログラム「東北地域のヤマセと冬季モンスーンの先進的ダウンスケール研究」では、8月に平成25年度の第1回(第8回ヤマセ研究会)、3月に同第2回(第9回ヤマセ研究会)の研究打ち合わせを実施した。この研究会はプロジェクトの会議ではあるが、ヤマセ研究会と称し、ヤマセに興味を持つあらゆる研究者にオープンに開催している。ヤマセと一言でいっても、立場によって見えるものが異なる。隣の研究者から多くのことを学ぶことができる。研究分担者のほかにも、大学関係者、気象庁気候情報課、気象研究所、仙台管区气象台、各県の農業試験場から参加を得ることができた。また、産業技術総合研究機構から、大竹秀明研究員が参加され、再生エネルギー生産における気象情報の利用に関して報告された。

活動	時期	場所
第8回やませ研究会	2013年8月20-21日	宮城県農業試験場(古川)
第9回やませ研究会	2014年3月10-11日	東北農業研究センター(盛岡)

### 5.2 RECCA 農業班会議

10月28日には、東京大学農学部において、RECCAの課題「地球環境変動下における農業生産最適化支援システムの構築」(二宮正士代表)「流域圏にダウンスケールした気候変動シナリオと高知県の適応策」(西森基貴代表)で、合同で農業分野の打ち合わせを行い、ダウンスケール気象情報の農業利用について情報交換を行った。各グループ間で、研究情報を交換したほか、「RECCA: 農業適応策の基本戦略」について議論を行った。

#### RECCA: 農業適応策の基本戦略

地球温暖化(気候)予測に基づく、適地適作と土地や水利用の最適化

温暖化適応策が機能するためには自然変動への適応策が不可欠

短期・中期・長期の気象予測を利用した数値農業情報システム

○ 高解像度気象予測(特に地上気象要素)の精度向上

○ 農業気象数値モデル(生育モデル、病虫害の発生予測、他)の開発改良と、

高度利用の推進

## 6. 平成26年度計画

### 6.1 平成26年度の研究体制

東北大学、弘前大学、東北農業研究センターおよび岩手県立大学が研究を分担する。平成26年度は、ヤマセに対する地球温暖化の影響評価、および予測情報の精度向上と高度利用に力点が置かれる。また、今年度は最終年度であるので、5年間の研究成果について整理し、将来の課題と今後の東北地区での研究体制を検討する。

気象庁の気候情報課、気象研究所、仙台管区气象台には、平成26年度も引き続き研究協力機関となることを依頼した。また、東北農業の温暖化適応策の研究に関連して、岩手大学農学部にも研究協力機関を継続することを依頼した。さらに、太陽エネルギー分野への気象情報の利用について情報交換を行うため、産業技術総合研究所との研究協力を続ける。

RECCAの課題「地球環境変動下における農業生産最適化支援システムの構築」（二宮正士代表）および「流域圏にダウンスケールした気候変動シナリオと高知県の適応策」（西森基貴代表）と、課題間の情報交換を今年も積極的に続ける。

### 6.2 平成26年度研究計画

#### (1) ヤマセの気候研究

##### a. ヤマセの現在と将来に関するダウンスケール研究

平成25年度までに作成した二つの気候モデルからのダウンスケールデータの解析を継続し、ヤマセの将来変化とその不確実性について取りまとめる。過去の顕著なヤマセについて気候学的な観点から特徴を取りまとめる。ダウンスケールによるヤマセの再現性について解像度依存性を評価する。

##### b. ヤマセ雲特性の時空間変動と日射量の関係の解明

平成25年度に引き続き、衛星データおよび気象データを用いて得られたヤマセ雲の雲物理特性を基に、日射量の経年変動を定量的に評価し、気象要素との関係を明らかにし、ダウンスケールの雲解像数値モデルの精度向上を図る。

##### c. ヤマセのマルチ気候モデル解析と高層気象観測および東北農業の適応策

再解析データを用いてヤマセ時の周辺海域の海面水温データ間の違いや三陸沿岸の気温との関係を調査し、取りまとめる。青森県六ヶ所村等で高層気象観測を行い、これまでの観測結果と合わせて沿岸域でのヤマセの鉛直構造や時間変動について取りまとめる。第5期結合モデル相互比較実験(CMIP5)について、マルチ気候データの解析を行い、気候モデルが予測するヤマセの将来変化とその精度を明らかにし、コメ収量に対する地球温暖化の影響を明らかにする。

## (2) ヤマセの気象予測の研究

### a. ダウンスケールのためのアンサンブル予報とデータ同化の研究

平成 25 年度に開発したダウンスケールのためのデータ同化手法を用いて、実際の観測データを用いた同化実験を進め、実際の観測モードによる初期値の修正効果について検証する。また、平成 25 年度に引き続き、ヤマセ事例について、局所アンサンブルカルマンフィルターによるデータ同化試験を行い、GPS 掩蔽データ等のインパクトを評価する。

### b. アンサンブル予報データを用いる農業気象情報の試作

2000 年以降の夏を対象として、アンサンブル予報システムの結果を、いもち病発生などの農業モデルへ入力し、農業気象に関する確率情報の作成と精度検証を行う。

### c. 高度農業気象情報による農業支援システムの高度化

農業支援システムによって提供された農業気象情報とその表現方法について総合的に評価する。

## (3) 地方自治体向けの小冊子

地方自治体向けに下記の小冊子を作成する。

### 東北農業の温暖化適応策

1. 東北の夏の温暖化
  - 1.1. 東北の夏への温暖化影響
  - 1.2. 東北農業の将来
2. 気象予測情報の高度利用の手引き
  - 2.1. アンサンブルダウンスケール予報
  - 2.2. 農業気象情報の数値モデル
  - 2.3. 農業支援システム
3. まとめ

## (4) ヤマセに関する一般向け啓発の書

一般向けに下記の小冊子（電子アーカイブ）を作成する  
ヤマセ（I. 気象学 II. 農業）