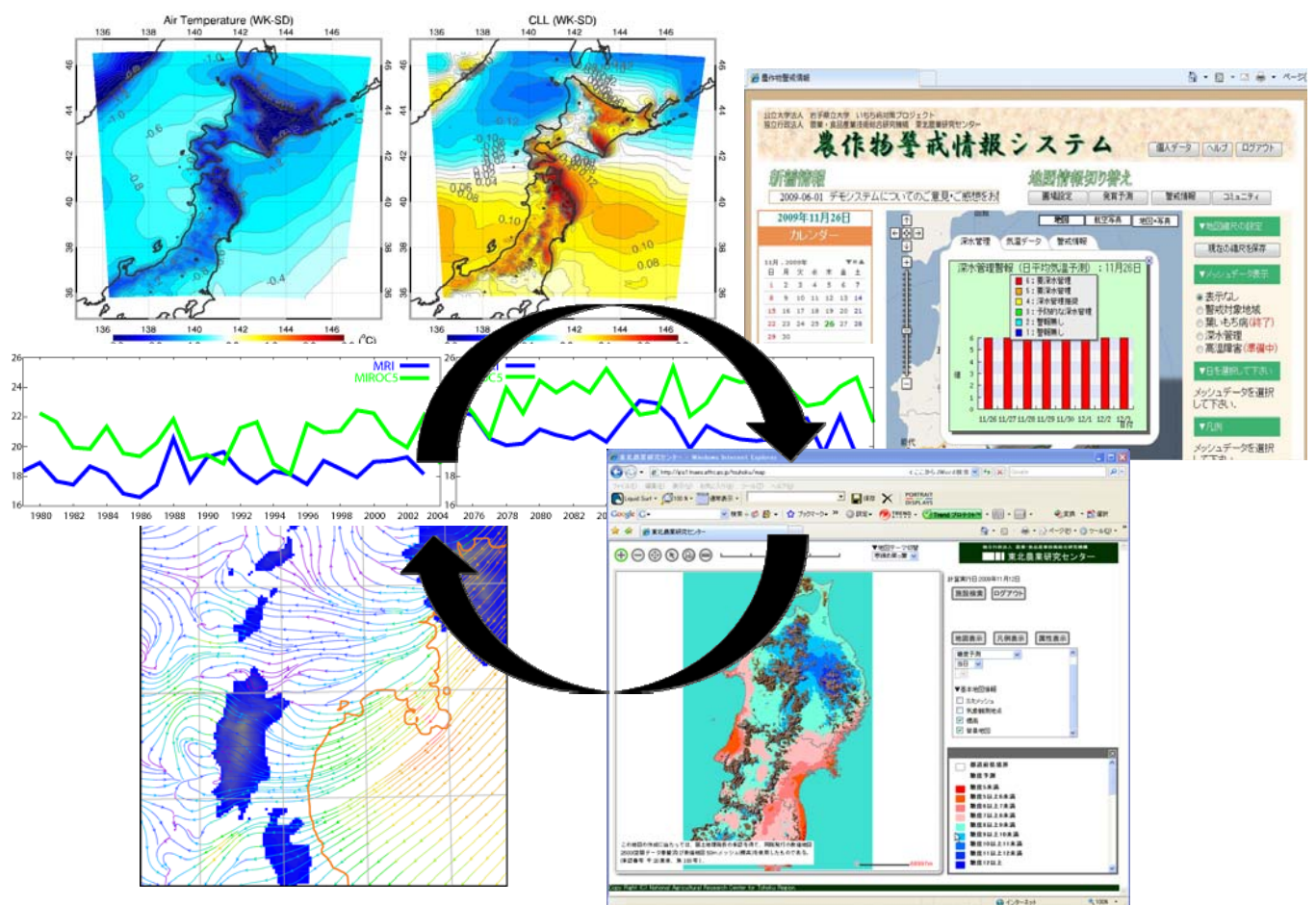


気候変動適応研究推進プログラム

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

平成 23 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 23 年度「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」の成果をとりまとめたものです。

平成 23 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 23 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、早坂忠弘、島田照久、沢田雅洋
	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
	岩手県立大学	プリマ・オキ・ディッキ、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
	気象研究所	瀬古弘、遠藤洋和、川合秀明

目次

1. 研究の背景と目的	p. 6
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23年度の研究概要	p. 10
2.1 平成23年度の計画概要	
2.1.1 局地気候の研究	
2.1.2 局地気象予測の研究	
2.2 平成23年度の研究成果の概要	
2.2.1 局地気候の研究	
2.2.2 局地気象予測の研究	
3. 各研究分担者および協力者における研究	p. 13
3.1 局地気候の研究	
3.1.1 宮城県周辺のヤマセの地域性－2003年と2004年の気温場－	
3.1.2 再解析データからの現在気候のダウンスケーリング	
3.1.3 ヤマセの長期変動評価のためのインデックス	
3.1.4 将来気候における東北地方の夏季気候とヤマセの変動	
3.1.5 蔵王おろしに伴う強風の再現性	
3.1.6 中緯度の海上下層雲の特徴、及び下層雲に関する大気場の特徴	
3.1.7 CMIP5 マルチ気候モデルで再現された海洋の温度構造解析	
3.1.8 CMIP5 マルチ気候モデルのオホーツク海高気圧とヤマセの再現性	
3.2 局地気象予測の研究	
3.2.1 アンサンブルダウンスケールによるヤマセの予報実験	
3.2.2 青森県六ヶ所村で実施したヤマセの高層気象観測	
3.2.3 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	
3.2.4 ダウンスケールのためのデータ同化スキームの開発と予備実験	
3.2.5 力学的ダウンスケール予測データを用いる農業気象情報の試作	
3.2.6 高度農業気象情報による農業支援システムの設計と開発	
4. 研究成果	p. 79
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. 82
6. 平成24年度計画	p. 86
6.1 平成24年度の研究体制	
6.2 ヤマセの気候研究	
6.3 ヤマセの気象予測の研究	

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、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査
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

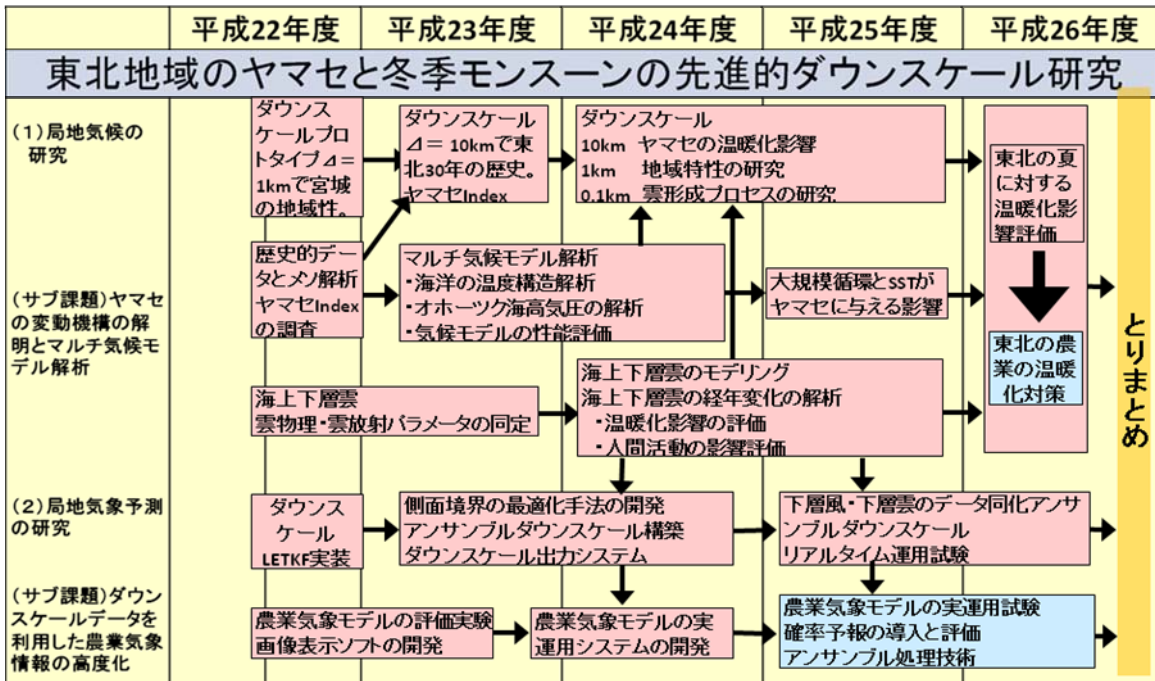
平成 25 年度

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 22 年度の研究概要

2.1 平成 23 年度の研究体制

当初の計画通り東北大学、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。ただし、研究内容は、弘前大学がヤマセの高層観測を実施したり、東北農業研究センターが気候予測に関する研究を実施するなど、当初の分担範囲を超えて、積極的に推進した。

研究協力機関の気象研究所には、新たに下層雲の専門家やデータ同化の専門家が研究協力者に加わり、ヤマセの下層雲のモデリングやダウンスケールに関わるデータ同化研究を実施した。

気象庁・気候情報課とは、ヤマセを中心に長期予報の現状について情報を提供していただいた。また、過去の長期予報実験に関するデータ提供などについて協力していただいた。仙台管区气象台にはヤマセに関わる地域社会への情報提供のあり方や東北地方でのヤマセの研究の歴史などについての情報を提供していただいた。また、東北地方の各県の農業の試験研究機関等は、研究会への参加を通じて、積極的な情報交換を実施した。

RECCA の課題「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」(代表 西森基貴)とも情報交換を行った。

2.2 局地気候の研究

2.2.1 ダウンスケール研究

ヤマセの年々変動や経年変動に関する気候特性を調べるために、気象庁の再解析(JRA-25)を側面境界値とする 10km メッシュモデルによる長期ダウンスケールシミュレーションを実施した。10 kmメッシュによる長期積分の結果、トレンドや年々変動は、気象官署やアメダスなどの地上観測データとよく一致した。また、数値モデルの格子点値から求めたヤマセ指標は、地上気象観測値から求めたヤマセ指標と、同等な総観状況を反映した。すなわち、10 kmメッシュのダウンスケールシステムは、ヤマセに関わる地域の気候特性とその変動を十分表現できることが分かった。ヤマセの地球温暖化を調べるツールとしても十分利用できることが示唆される。

1km メッシュのダウンスケールシステムを宮城県に適用し、ヤマセの地域特性を詳細に調べた。地形に関わる循環や日変化のメカニズムをよく表現し、地域特性を理解する上で、1 kmメッシュモデルの有効性が示された。地上観測による検証では、解像度を増すにつれて系統的な誤差は減少し、精度が向上した。とくに、ヤマセの再現性能の鍵を握るのは、下層雲である。海上下層雲は雲頂からの放射冷却を通じて寒気を醸成する。また、陸上の斜面を滑昇する際に形成される下層雲は、日傘効果により日中の昇温を抑える。下層雲のモデリングがダウンスケールモデルの重要な課題である。

1 kmメッシュのダウンスケールシステムについて、誤差特性を詳細に調べた。解像度を増すにつれて局地循環はたいへんリアルに表現される。しかしながら、気温の誤差に関しては必ずしも減少しない。側面境界値や陸面水文過程のパラメタリゼーションなど、解像度以外にも様々な誤差要因があり、ダウンスケールモデルの性能を総合的に考える必要がある。

2.2.2 雲の観測データの解析とヤマセのマルチ気候モデル

オホーツク海から北太平洋にかけての海上下層雲の特性について衛星観測データなどに基づき調べた。夏季には、同地域は、中程度の厚みの下層雲で90%が覆われている。特に高緯度は安定でエントレインメントが起きにくく、このことが下層雲の維持に寄与していると推察された。また、海上下層雲と陸上での滑昇域での下層雲の雲物理特性を系統的に調べ、その相違を明らかにした。

ヤマセに関連した海面水温について、CMIPに参加している気候モデルの比較(マルチモデル解析)を行っている。ヤマセに深く関係する三陸沖に貫入する親潮の表現は、まだどの気候モデルも十分とは言えない。解像度不足による限界が一つの理由と考えられる。気候モデルのオホーツク海高気圧の再現性についても調べた。気候モデルの多くがオホーツク海高気圧を観測に較べて過小評価し、ヤマセによる寒気の南下も弱い。全体的な傾向として、CMIP3からCMIP5に代わっても、オホーツク海高気圧の表現はそれほど改善されていない。気候モデルの解像度を大幅に増やすことは難しいので、ダウンスケールが有効であろう。

気候モデルの未来予測結果の解析にも取り組んでいる。例えば、MRI-AGCMやMIROC-5では、北日本の太平洋側でもベースが2~3°C上昇している。しかし、年々変動の大きさは、現在気候とほとんど変わらない。数年~10年程度の間隔で襲う異常低温に対する備えを忘れることはできない。今後、以上のような前提に立ち、東北の太平洋沿岸地域の農業の温暖化対策を考える。

2.3 ヤマセの気象予測の研究

2.3.1 データ同化とアンサンブルダウンスケール予測実験

ヤマセは間欠的に発生する現象である。1か月平均値でさえ、その年々の変動は、温暖化による平均気温の上昇に較べて、同程度かあるいはそれ以上である。従って、ヤマセの場合、温暖化に対する最適な対処法は、大きな年々変動を乗り切るために、予測情報を高度利用し異常気象に備えることである。

本研究では、短期予報を改善するためにダウンスケールのデータ同化手法を、ヤマセに焦点を当てながら開発している。データ同化手法は複雑な物理過程にも適用が容易な、アンサンブルカルマンフィルター(EnKF)を用いる。気象研究所の瀬古はGPS掩蔽観測データを同化することにより、ダウンスケールシステムにおいても、下層の水蒸気量と下層雲の予報が改善されることを示した。また、ドップラーライダーで観測された下層風の視線方向成分を同化することにより、下層風の解析予測精度が向上した。これらの成果は、将来、身近な天気予報の精度向上に寄与することが期待される。

中期予報を改善するために、アンサンブルダウンスケール予測システムを、ヤマセに焦点を当てながら開発している。ダウンスケールを行うことによって、地域の気温バイアスを減少させることができた。とくに、20 km→5 kmで改善率が大きく、5 km→1 kmでは改善はそれほど顕著ではない。実用的には、5 kmまで力学的なダウンスケールを行い、それより細かいメッシュに対しては統計的なダウンスケールを利用することが効率的であることを示唆する。もちろん、1 kmメッシュのとくに制約となっている物理過程の改善を図る必要もある。スプレッド(予測値の分散)の解像度依存性はたいへん興味深い。低解

像度モデルによるアンサンブル予報の場合は、メソ現象に対してはあまりスプレッドを持たないのに対し、高解像度モデルは雲の有無や局地循環に伴うスプレッドが大きくなる。これは、アンサンブルダウンスケール予報は、低解像度モデルのアンサンブル予報に較べて、メソ現象の確率過程を反映したより適切な確率予報を与える可能性があることを示唆している。

2.3.2 農業気象情報の高度化に関する研究

東北地方で冷害の影響の最も大きいイネのいもち病に焦点を当てて、農業気象情報に関する研究を進めている。東北農業研究センター作成の統計的ダウンスケール 1km メッシュデータを用いて、2010 年度に整備したいもち病の発生予測モデル BLASTAM を評価した。過去 33 年間の東北全域の計算で病害実績と比較することで、推定精度を長期的、空間的に検証した。また、東北大学作成の力学的ダウンスケールデータを用い、2003 年冷夏および 2004 年暑夏を対象とした BLASTAM 予測実験を行い、力学モデルによるダウンスケールデータへの適用の実用性について検討した。さらに、統計的ダウンスケールと力学的ダウンスケール双方のメッシュ気象データを用いた BLASTAM 計算結果を比較することで、両者の特性の違いを評価した。

高度農業気象情報の農業支援システムの設計・開発を行った。特に、2011 年は、水稻気象被害予測、寒締めハウレン草およびマルチ解像度グリッドデータ配信システムの実稼働システムを開発した。特に水稻被害予測システムや 2 週目の気温予測について、実際に農業従事者に提供し、利用価値についてのメールアンケートを実施した。ユーザーより、どの情報も大変有効であるとの回答が寄せられた。

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 南東北のヤマセ—2003年と2004年の気温場—

沢田雅洋・岩崎俊樹（東北大学）

a) 要旨

宮城県・山形県・岩手県南部におけるヤマセ時の地域気候特性を理解するため、力学的ダウンスケールを用いて2カ月分（2003年7月（冷夏）と2004年7月（暑夏））の1km格子データを作成した。2003年7月と2004年7月の気温日変化の違いを調べると、日中の宮城県南と県北太平洋岸沿いで大きな気温差が見られた。この地域ではヤマセに伴う下層雲量が2003年で多く、2004年に比べて日中の昇温が抑えられるために低温になることが分かった。力学的ダウンスケールによる誤差を調べるため、AMeDASによる地上気温の観測値との比較を行った。気温のRMSEは時刻・場所に応じて誤差が異なることが分かった。誤差要因を調べると、雲量の再現性に課題があると考えられた。ダウンスケールすることで、下層雲量が増加し、高温バイアスが軽減することが分かった。RMSEを系統誤差とランダム誤差を分けて評価したところ、ランダム誤差はあまり改善しないことが分かった。高解像度化することによって、再現された月平均した雲分布は衛星による月平均した可視画像とよく一致し、これは地形に沿った雲分布を表現できたためである。

b) 本文

(1) 研究背景・目的

ヤマセはオホーツク海高気圧から吹き出す湿潤冷涼な北東気流で、しばしば下層雲を伴い日射を遮ることで東北地方太平洋側に冷害をもたらす。陸域におけるヤマセに関する研究は霧（井上・阿部 1988, 1990）、気団変質（Kodama 1997）、鉛直構造（Kanno 1997）など観測的研究が行われ、ヤマセの基本的な特徴が明らかにされてきた。しかし、これらの研究はヤマセの常襲地帯である北東北がほとんどであり、宮城県周辺域でのヤマセに関する研究は少ない。近年、計算機能力の飛躍的な向上を背景として、水平数 km 程度の細かな地形を表現できる数値モデルによる長期解析が精力的に進められている。観測では捉え切れない構造や物理量を再現し、ヤマセの詳細な地域特性の理解が期待できる。また、数値モデルによる計算領域を絞ることで、高解像度の予測データを作成・提供するシステムを構築・運用することが可能となりつつある。Ishizaki et al (2012)では、20km格子を用いた5つの領域モデルでの日本域の長期再現を行い、1993年7月の冷夏（ヤマセ）についての事例解析から、東北域で見られた気温偏差の東西コントラストを20km格子で捉えていることを示した。また、この長期再現実験で見られたバイアスは、不十分な水平解像度や積雲対流パラメタリゼーションに起因することを示唆する。高解像度の数値モデルを用いたヤマセの先行研究として、Nagasawa et al (2006)による1993年8月の海上でのヤマセに関する事例解析が行われている。彼らは一事例について再現された雲量などの解像度依存性について議論しているが、長期間での系統的な解析は行われていない。

本研究では、ヤマセによる農被害の軽減に向けて、宮城県周辺域を対象として1km格子を用いることで詳細な地形効果や雲を直接表現し、ヤマセの詳細な地域特性の理解、予測を

行うダウンスケーリングシステムの構築を行う。1km 格子で数十年分の再現実験を行うのは、計算コストの面から困難である。そこで、顕著なヤマセ年であった 2003 年 7 月の再現実験を行い、ヤマセ時の気温日変化の特徴や地域性を詳細に調べる。比較として 2004 年 7 月の再現実験を行う。また、現在の数値予報モデルでどの程度ヤマセに伴う気象場を捉えることができるのかは分かっていないので、気温の精度検証を行う。その誤差要因についても考察する。

(2) 数値モデルの概要と実験設定

使用した数値モデルは気象庁・気象研究所の非静力学モデル (JMA-NHM) である。初期値・境界値には再解析データ (JRA25) を用いて 20km 格子にネストし、それを 5km 格子、さらに 1km 格子へとネストする。5km, 1km 格子の計算領域はそれぞれ 600km 四方、240km 四方である。鉛直には最下層 40m で 40 層取り、上端で約 22.6km である。1km 格子では対流パラメタリゼーションは用いない。その他の物理過程の設定は、気象庁の現業で用いられているものとはほぼ同等である。SST は新世代海面水温データ NGSST (0.05 度格子) を使用した。解析期間は 2003 年と 2004 年の 7 月 1 日から 31 日までのそれぞれ 31 日間である。

(3) 結果

(i) 気温日較差の地域特性

1km 格子で再現された冷夏年と暑夏年の地域特性とその年による違いを調べるため、図 1 に 1km、5km、20km 格子で再現された気温日較差 (DTR: 日最高気温 (T_x) と日最低気温 (T_n) の差) を示す。ヤマセ時は下層雲がしばしば伴われるため、日中気温が上がらず、DTR が小さくなることが知られている。2003 年 (ヤマセ年) では、5km、1km 格子のどちらでも DTR は日本海側に比べて太平洋側で小さい傾向が再現された。20km 格子では東西の違いは明瞭ではなかった。5km と 1km は 20km 程度のスケールの空間パターンはほぼ同じであるが、それより小さいスケール (小さな山地や谷) で違いが見られた。これは地形に応じて冷気流の侵入の仕方や下層雲の分布の差異が影響するためと考えられる。領域平均した日較差は、解像度が上がるにつれて小さくなった。これは、20km 格子では過少であった雲量が 5km 格子、1km 格子では増加し、日中の下向き短波放射が減少する (日最高気温が低下する) ためである。2004 年も、20km 格子では東西の DTR の違いは不明瞭だが、5km 格子、1km 格子では日本海側の海岸沿いと内陸の DTR の違いは明瞭であった。2003 年と 2004 年の DTR の差をみると (図 1g-i)、どの解像度でも東西の違いを再現した。20km 格子では 2003 年と 2004 年の DTR の差は最大で 2 度弱で、東西の勾配が緩いのに対し、5km 格子と 1km 格子では差は 2.5 度を超え、勾配も急である。また、DTR の差の大きい地域は、5km 格子と 1km 格子では脊梁山脈に沿って太平洋側に見られるが、20km 格子では海岸沿いに位置した。

(ii) 気温再現性の水平解像度依存性

ダウンスケーリングで再現された DTR の再現性を検証する。図 2 は 2003 年、2004 年 7 月において月平均した DTR の根二乗平均誤差 (RMSE) の分布である。観測値はアメダスおよび測候所の 1 時間ごとの地上観測値を用いた。比較した観測地点は、1km 格子の計算領域に含まれる 74 地点 (側面から 10km 内側にある観測地点は含めない。江ノ島と飛島は 1km 格子で表現できないため、解析から除く) である。観測地点とモデルの標高が異なるため、モデル出力について高度補正を行った。1km 格子による 2003 年の結果は (図 2a)、

海岸沿い、特にその太平洋側で RMSE が小さく (1.6-2.0 度)、太平洋側の内陸で大きい (2.6-3.0 度)。5km 格子、20km 格子と比べると、宮城県南部や福島北部、山形東部 (内陸) において 1km 格子で 0.5 度以上の RMSE の減少が見られた。これらの地域の共通点は、雲量が水平解像度の違いによって大きく変化することである。次に、1km 格子による 2004 年の結果は、太平洋側で RMSE が小さく、特に海岸沿い (盛岡を除く) で小さい (1.6-2.0 度) のは 2003 年と共通である。2003 年との違いは、太平洋側の内陸での RMSE は小さい点 (2.0-2.4 度) と、日本海側の一部で大きな RMSE (2.6-3.0 度) となる点である。解像度による違いを見ると、20km 格子、5km 格子に比べて太平洋側ではやや RMSE が小さくなった。日本海側の一部 (山形県南部、秋田県南部) では RMSE の増加がみられた。このように、大まかな傾向として、2003 年と 2004 年のどちらでも高解像度化によって RMSE は減少するが、2003 年と 2004 年では、RMSE の地域分布が異なること、解像度による改善度合も異なることに留意する必要がある。

DTR の RMSE の要素について調べるため、ここでは RMSE を系統誤差 (ME) とランダム誤差 (RE) に分けて評価する。また、DTR は Tx と Tn から計算されるので、この 2 つの誤差要素についても評価する。表 1 は各解像度における DTR, Tx, Tn の RMSE, ME, RE を 74 地点で平均したもので、2003 年と 2004 年について示す。まず DTR は、どちらの年、どの解像度でも ME に比べて RE が大きい。ME の年による違い (1.34-1.82 度) は、ME の解像度による違い (0.29-0.77 度) より大きく、環境場の違いが ME (バイアス) に影響することを示唆する。RE は年による違い、解像度による違いは相対的に小さい。Tx は DTR と似た誤差特性が見られた。つまり、ME の年による違い (1.56-1.75 度) は、ME の解像度による違い (0.29-0.57 度) より大きく、RE のそれらの違いは相対的に小さい (0.02-0.22 度)。Tn は DTR, Tx と異なり、ME の年による違い (0.01-0.25 度) は解像度の違い (0.00-0.36 度) と同程度に小さく、高温バイアスとなる。夜間の放射冷却が不十分か、地面の熱慣性が大き過ぎるのか、侵入する気塊が高温バイアスを持つのか、現時点では特定できていない。1km 格子による改善点をあげると、2003 年では Tx (DTR) の ME の減少 (約 0.6K)、Tn (DTR) の RE の減少である。2004 年は明瞭な改善は見られず、DTR の ME が増加した。

各時刻での誤差を調べるため、RMSE, ME, RE の日変化を図 3 に示す。RMSE は 2004 年に比べて 2003 年の方が日中で大きく、主に ME の違いによる。2003 年では ME は日中に 1.7-2.5 度に達するが、2004 年では、朝方の 1.3 度をピークに、徐々に下がる。1km 格子では 5km、20km 格子に比べて 2003 年、2004 年ともに日中の高温バイアスが減少する。ただし、夜間から早朝にかけて、2003 年において 1km (5km) 格子は 20km 格子に比べて高温バイアスが増加する。RE は 2003 年、2004 年ともに明瞭な日変化は見られない。

(iii) 衛星観測とモデルで再現された雲分布の比較

日中の気温誤差は下向き短波放射量 (雲量) の再現性と関係している。そこで、雲量の再現性を調べるため、衛星 (GOES9) による可視画像 (アルベド) とモデルで再現されたアルベド (モデル上端での上向き短波放射/モデル上端での下向き短波放射) と比較する (図 4)。衛星によるプロダクトの空間解像度は約 10km である。値は 2003 年、2004 年 7 月の 12 時での月平均値である。2003 年と 2004 年の特徴を衛星画像からみると (図 3d, h)、2003 年は太平洋側内陸に反射率の高い雲 (下層雲など) が形成され、2004 年は太平洋側にはそのような雲は見られない。また、2004 年は日本海側の方が相対的に反射率の高い雲が多い。

再現された雲は、20km 格子では 2003 年、2004 年どちらも地域性は十分に再現されているとは言えない。5km 格子では地域性がよく再現され、1km 格子ではさらに細かい地形性の雲分布を捉えている。特に、2003 年では宮城県北部や盛岡の海岸沿いや山形県内陸で見られる高反射率域を再現している。Tx の ME が改善した地域は、雲パターンの改善した地域と一致する。

(4) まとめと次年度への課題

衛星データを用いた雲の面的な比較から、高解像度化は地形に応じた雲分布を再現することで、気温バイアスの減少に貢献することを示した。信頼性の高い将来気候を作成するには、高解像度化が有効な事例（特に、雲が関わる事例）があると言える。予報の観点からは、ランダム誤差の改善が必須なので、1km 格子データを用いて、どのような事例で誤差が大きいのか、系統的に調べる。また、高解像度化のメリットを定量的に示す方法と、改善要因について調べ、ダウンスケーリングシステムの改良について検討する。

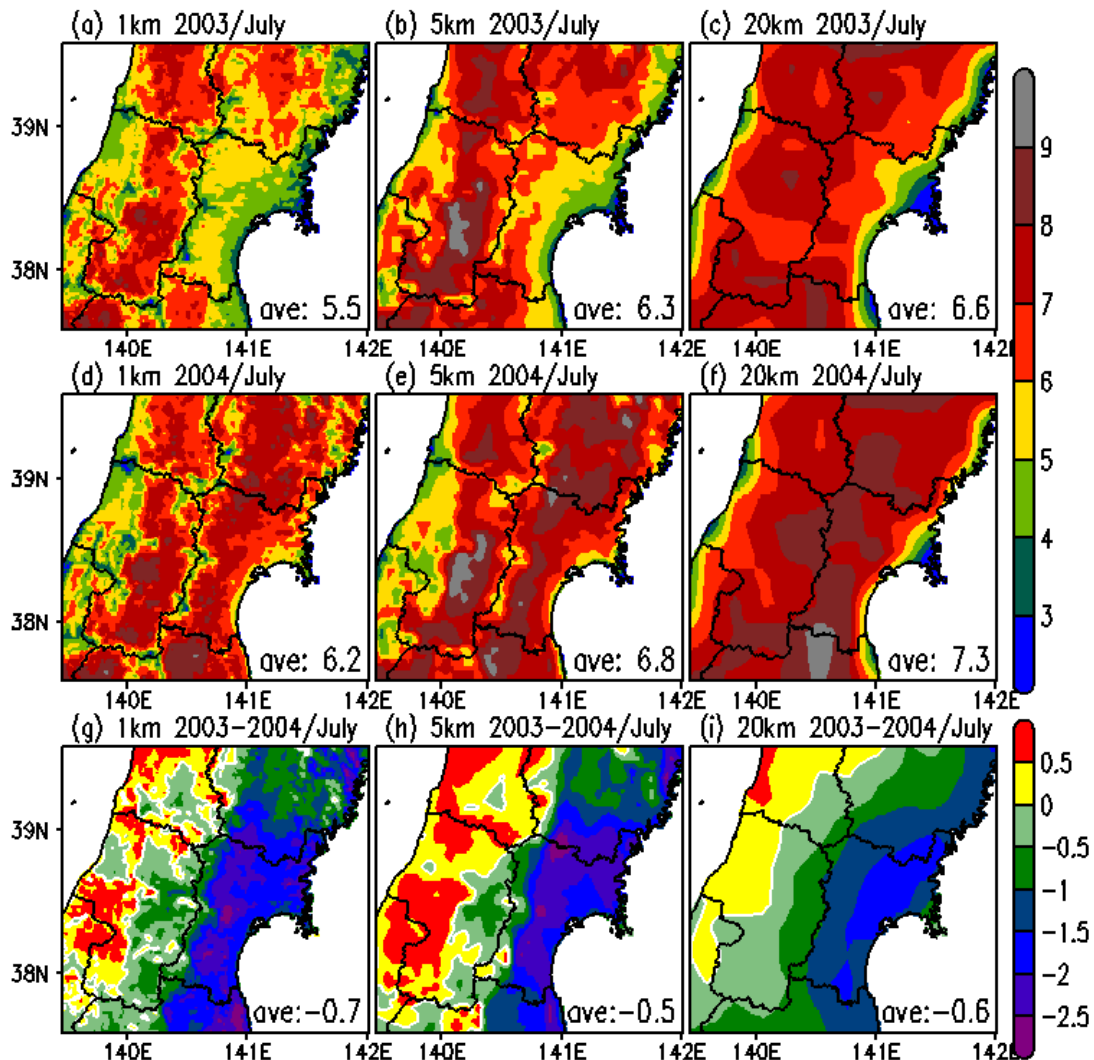


図1 左から 1km、5km、20km 格子で再現された、1ヶ月平均した気温日較差（地上2m）。上から 2003 年、2004 年、2003 年と 2004 年の差を示す。各図の右下の数字は陸域での平均値。

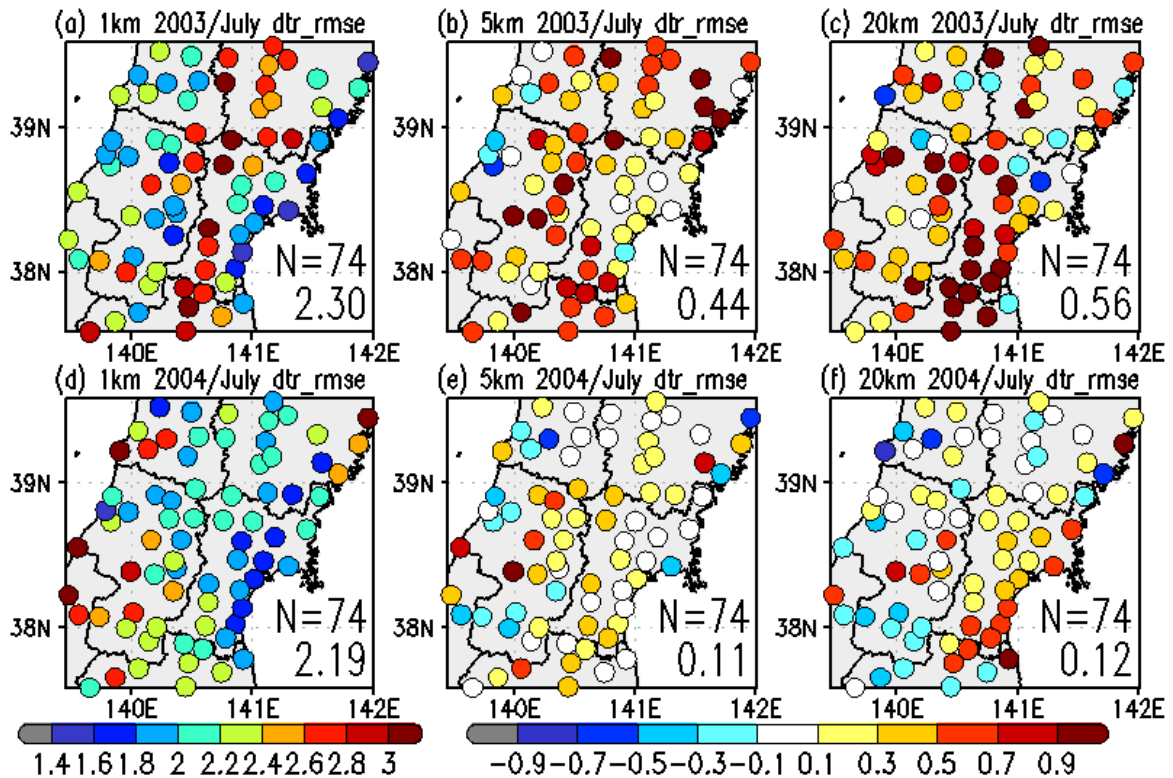


図2 各アメダス地点における1ヶ月平均した気温日較差のRMSEの分布。左から1km、5km、20km格子の結果。上から2003年、2004年の誤差を表す。各図の右下の数字は観測数とRMSEの平均値。ただし、5km、20km格子の結果は1km格子からの差（正なら1kmよりRMSEが大きい）を示す。

表1 各解像度における2003/2004年7月のDTR, T_x , T_n のRMSE, ME, RE。74地点で平均した値。単位はK。赤字は5km(20km)格子に比べて1km(5km)格子の誤差が1割以上減少した場合。青字は5km(20km)格子に比べて1km(5km)格子で誤差(絶対値)が増加した場合。

誤差		RMSE			ME(系統誤差)			RE(ランダム誤差)		
		1km	5km	20km	1km	5km	20km	1km	5km	20km
DTR	2003年	2.30	2.74	2.86	0.62	1.28	1.39	2.08	2.27	2.31
	2004年	2.19	2.30	2.31	-0.72	-0.39	-0.43	1.94	2.09	2.05
T_x	2003年	2.38	2.76	2.62	1.38	1.95	1.79	1.82	1.86	1.80
	2004年	1.74	1.89	1.87	-0.18	0.20	0.11	1.60	1.72	1.71
T_n	2003年	1.55	1.76	1.71	0.77	0.67	0.41	1.27	1.51	1.49
	2004年	1.43	1.53	1.45	0.54	0.59	0.54	1.26	1.31	1.24

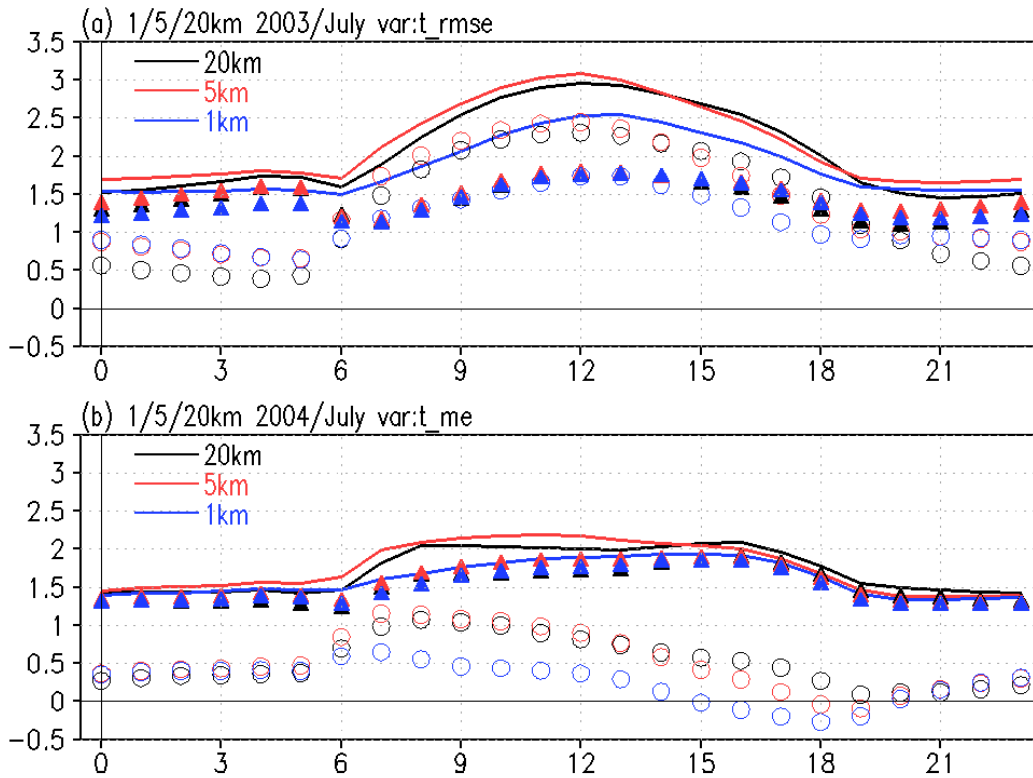


図3 各解像度に対する RMSE, ME, RE の日変化。上が 2003 年 7 月、下が 2004 年 7 月の月平均値。図 2 に含まれる 74 地点での平均。実線が RMSE, ○が ME, ▲が RE。黒 : 20km 格子, 赤 : 5km 格子, 青 : 1km 格子。

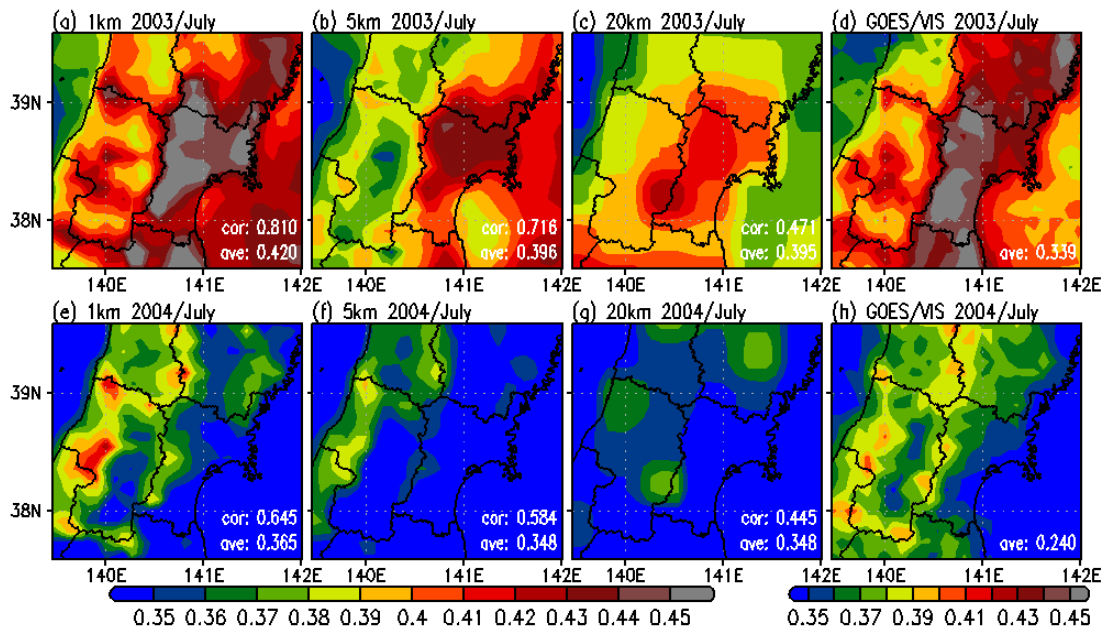


図4 左から 20km、5km、1km 格子で再現された大気上端でのアルベド、GOES9 による可視 (アルベド) の比較。上は 2003 年、下は 2004 年 7 月 12 時での月平均した値。モデルと衛星でカラーバーが異なることに注意。

c) 参考文献

井上君夫, 阿部博史, 1988: やませに伴う霧層中の日射と気温の鉛直分布. 東北の農業気象, No.33,68-73.

井上君夫, 阿部博史, 1990: 久慈沿岸で観測される海霧の微気象特性. 東北の農業気象, No.33,68-73.

Ishizaki, N., I. Takayabu, M. Oh'izumi, H. Sasaki, K. Dairaku, S. Iizuka, F. Kimura, H. Kusaka, S. A. Adachi, K. Kurihara, K. Murazaki, and K. Tanaka, 2012 : Improved Performance of Simulated Japanese Climate with a Multi-Model Ensemble, *J. Meteorol. Soc. Japan*, in press.

Kodama, Y., 1997: Airmass transformation of the Yamase air-flow in the summer of 1993. *J. Meteorol. Soc. Japan*, 75, 737-751.

Kanno, H., 1997: Classification of the Yamase (cold northeasterly wind around northeastern Japan) based upon its air-mass vertical structures. *J. Meteorol. Soc. Japan*, 75, 1053-1071.

3.1.2 再解析データからの現在気候のダウンスケーリング

島田照久・沢田雅洋・岩崎俊樹（東北大学）

a) 要旨

ヤマセに関する局地気候を解析するために、北日本全体について 10km 解像度のダウンスケーリングデータを 30 年分(1982-2011)作成し、解析を行った。ダウンスケーリングには、再解析データ JRA-25 と最適内挿法で作成された海面水温データ NOAA OISSTver2 を境界条件とし、気象庁・気象研究所の非静力学モデル(JMA-NHM)を用いた。10km 解像度では、長期間のデータ作成に必要な計算時間を妥当な範囲に抑えつつも、北日本の重要な地形を平野や地峡海峽といったスケールまで解像する。地表面パラメータについてダウンスケーリングデータを観測と比較して再現性を検証した結果、10km 解像度のダウンスケーリングデータによって、ヤマセを特徴づけるパラメータの変動を観測と同等に表現できることがわかった。このデータは、30 年にわたって地域特性や日変化を解析できる初めてのデータとなる。平成 24 年度以降、同様の仕様で将来気候データのダウンスケーリングを行い、現在気候データの解析結果を基準にして、将来気候の評価につなげる。

b) 本文

研究の目的

ヤマセに関する研究は、気象観測所の観測や衛星観測、数値実験を用いて、東北地方の太平洋側や三陸沖海域を主な対象域として長い間行われてきた。しかしながら、東北地方全体を扱える長期の均質なデータはないのが現状である。つまり、東北全体を含み、長期間のデータがあり、ヤマセにとって重要な地形を十分に解像できる空間解像度をもち、日変化を考慮できる時間解像度があり、ヤマセにとって重要な下層雲等を評価できるデータである。このようなデータがあれば、地域ごと、時期ごとにこれまで得られてきた知見を統合して解析できるようになり、さらに地域性を考慮した研究を行うことができる。また、将来気候における地域気候を解析する際の基準データとして用いることができる。

上記の要請に応えるためには、ダウンスケーリングが有効である。平成 23 年度は、再解析データを用いて現在気候のダウンスケーリングを行い、過去 30 年の東北地方の夏季について均質なデータを作成した。ここでは、このダウンスケーリングデータの再現性や特徴、現在気候の気温上昇トレンドについて解析した結果をまとめた。

ダウンスケーリングの方法

気象庁・気象研究所の非静力学モデル (JMA-NHM) を用いて、ダウンスケーリングを行う。境界条件には、再解析データ JRA-25(1.125 度格子)、最適内挿法で作成された NOAA OISSTver2(0.25 度格子) (Reynolds et al., 2007)を用いる。対象期間は 1982-2011 年の 6-8 月である。解析する領域の解像度は、10km である。10km という解像度は、北日本全体の長期積分に必要な計算機資源や計算時間が妥当な範囲でありながら、ヤマセにとって重要な東北地方の地形(脊梁山脈、その他の山地、平野部、海峽や地峡、半島等)を解像し、地域スケールの解析が可能となる解像度である。10km にダウンスケーリングを行うために、2 回のネスティングを行う。外側の計算領域(図 1)の解像度は 30km である。10km 解像度の内側の領域

(北日本全体(東北地方と北海道)を含む。)のデータを解析する。また、日変化を十分に解析するため1時間ごとにデータを出力する。以上の特徴を、表1にまとめた。東北地方のヤマセに関する地域特性を考慮できる空間解像度(10km)、日変化を解析できる時間解像度(1h)、30年という長期間の均質なデータは、これが初めてである。

結果

(1)再現性の検証

ダウンスケーリングにおける気温の再現性について検証する。図2に八戸と酒田における気象官署観測とダウンスケーリングデータの地表気温の比較を示す。全体的に観測とモデルはよく一致しているが、回帰直線の傾きが1より小さく、低(高)温域で高(低)温バイアスを持つことがわかる。この傾向は、酒田では小さいが、八戸では、例えば15°C付近では、約1.5°Cの高温バイアスとなる。八戸の例は、最も誤差が大きい例ではあるが、上記の八戸と酒田の気温の特徴は、それぞれ太平洋沿岸、内陸と日本海側に共通する特徴である。しかしながら、観測とダウンスケーリングデータによる気温は高い相関を示し、気温の変動はよく再現されていることを示す。

気温の誤差について、時間依存性を調べるために、Taylor Diagram上に、観測とダウンスケーリングデータの1時間ごとの相関係数と標準偏差をプロットした(図2)。内陸や日本海側の地点(酒田等)では、プロットの分布はほぼ一カ所に分布しているのに対し、誤差が大きくなる太平洋側の地点(八戸等)では、日中の相関係数の低下傾向が見られた。これに影響する要因の一つとして、太平洋側の雲の再現精度に解像度依存性があることを確認した。

(2)解像度による違い

記録的な冷夏となった2003年7月と暑夏となった2004年7月の月平均について比較を行い、10km解像度で表現できるスケールを確認した(図3)。地表気温の分布からは、山地の構造(例 峰や地峡部)や平野の形状(例 北上川沿いの平野)が推察できるものとなっている。2003年7月と2004年7月の気温の差を見ると(図3右)、北西-南東方向に沿う地形の東側(十勝平野、三陸海岸中部-八甲田山東部、宮城県南部(白石)-相馬)で気温差が顕著になっている。これは、北東気流が吹き付ける面であり、ヤマセの影響が大きい地域である。図3には、14時の例を示したが、このような気温差は日中に増大し、夜間には小さくなる。日射を遮る下層雲や陸上に吹く冷たい海上風の影響を示唆する。

次に、上記の気温差の分布について解像度による違いを示す。図4には、30km解像度、10km解像度、アメダス観測による2003年7月と2004年7月の気温差の平均を示す。30km解像度と10km解像度の場を比較すると、前述の気温差が大きい3つの地域は、特定できるものの、宮城県南部から相馬にかけての極大域は見られなくなっている。また、極大値の大きさは1°C程度低くなっている。10km解像度の場とアメダス観測を比較すると、気温差のパターンはよく似ているが、観測の方が気温差が全体的に大きい。表2に、代表的な4地点について、気温差を比較した。1km解像度の値は、宮城県付近だけのダウンスケーリングで得られたものである(平成22年度の研究成果報告書3.1.1)。高解像度化とともに、気温差の大きさが観測に近づくことがわかる。しかし、観測値と同程度(例えば1°C程度の差)の気温差を表現するには、地形が複雑なところでは1km程度の解像度が必要と言える。ただ、10kmでも地形が複雑ではないところ(例 十勝平野)では再現性は比較的良い。このような特徴を考慮した上で、

10km 解像度のダウンスケーリングデータを利用していく。

(3) 日変化成分の変動

今回作成したダウンスケーリングデータの利点の一つは、1 時間ごとの出力によって日変化を表現している点である。日変化の効果を示すために、日変化成分による水平熱輸送について 2003 年 7 月と 2004 年 7 月を比較した(図 5)。各月について、地表気温と地表風について、毎時平均のデータを作成し、月平均からの偏差を求めて変動成分(T', v')とした。これを時間ごとにかけたものを平均した($\langle v'T' \rangle$)。2004 年 7 月と比べて、2003 年 7 月は、八戸周辺から八甲田山東部、宮城県白石付近で、大きい値を示し、ヤマセによって東からの冷氣流入が強化されていることを示す。一方、北上山地の西部や十和田湖の西部では、ヤマセによって日変化の影響が抑制されていることがわかる。

(4) 気温上昇トレンド

東北地方の気温トレンドについて、ダウンスケーリングデータを用いて検証した。東北地方の夏季の気温トレンドについては、トレンドが小さい、あるいは有意なトレンドないことが大きな特徴とされてきた。しかしながら、これまでの報告(例 Schaefer and Domroes 2009; 仙台管区气象台 2012)では、解析期間が 100 年から 30 年にわたり様々で、対象時期も夏季平均や月平均を用いるなど研究ごとに違っていた。解析対象も、気象観測所の地点についてだけで、地域の代表性は検証できていなかった。ここでは、直近の過去 30 年について、月ごと、時間ごとの気温トレンドの地域性について解析した。

まず、代表的な地点において、気温トレンドの再現性を確認する。図 6 に、八戸における 7 月と 8 月のトレンドを示した。(1)で述べたように、7 月にはダウンスケーリングデータには、やや高温バイアスが見られるが、線形トレンドは観測と一致している。8 月は、ダウンスケーリングデータと観測との差が小さく、気温上昇が起きていないことがわかる。次に、6-8 月の気温の線形トレンド分布を示す(図 7 上)。6 月は、東北太平洋側で $0.4^{\circ}\text{C}/10\text{year}$ 程度の気温上昇を示している。北海道と特に道東ではさらに気温上昇が顕著である。7 月は、同じく太平洋側で正のトレンドが見られるものの、有意な正のトレンドは岩手県以南の太平洋側に限られている。8 月は、北日本全体で有意なトレンドがみられない。これらの特徴は、気象官署の観測に基づく結果と整合している(図 7 下)。また、解析期間の違う他の研究と比べると、解析期間が現在(2011 年)に近づくほど、正のトレンドが大きいことがわかり、加速度的に気温が上昇していることがわかった。一方で、時間別に気温トレンドを検証した。全体的なパターンは月平均のものと同様であるが、6(7)月は日中(夜間)のトレンドが夜間(日中)に比べてやや大きい($0.1^{\circ}\text{C}/10\text{year}$)ことがわかった。この特徴も、気象官署の観測ともよく一致している。まとめると、気温の低い月や時間帯の気温上昇が大きいと言える。

次年度の研究への発展

再解析データのダウンスケーリングを行うことにより、地域特性や日変化を解析できる 30 年分のデータを初めて作成し、利用できるようになった。このデータの意義として、次の 2 つが考えられる。まず、平成 24 年度以降、同じ仕様で将来気候データのダウンスケーリングを行って、現在気候データを基準にして、将来気候の評価を行う点である。もう一つは、地域特性や日変化を解析できる利点を生かして、ヤマセの地域気候への影響を解析できる点である。ヤマセの長期変動の再検証、ヤマセが卓越した年ごとの違いなどを今後検討していく。

表1 ダウンスケーリングの概要

数値モデル	JMA-NHM(気象庁非静力学モデル)
初期値・境界条件	JRA-25 (1.25°, 6 hourly)
海面水温	NOAA-OISST ver2 (daily, 0.25°) (Reynolds et al., 2007)
水平解像度	外側ドメイン 30km (81x61) / 内側ドメイン 10km(91x117)
鉛直解像度	38層(40-1120m)
計算期間	1982-2011年各年5月28日0時-9月1日0時(UTC)(96日)
計算領域	図1
出力時間間隔	1 hourly
コンピュータ	東北大学サイバーサイエンスセンター SX-9

表2 2004/2003年7月の気温差の解像度による違い

エリア 解像度	宮城県南部(白石) (05JST/14JST)	三陸海岸中部(宮古) (05JST/14JST)	三陸海岸北部(八戸) (05JST/14JST)	十勝平野 (05JST/14JST)
30km	3.1/4.2	3.4/4.6	4.0/5.1	4.1/4.5
10km	3.3/4.4	4.0/5.5	3.9/5.8	4.4/5.9
1km	4.0/7.0	-	-	-
アメダス観測	3.8/7.2	3.5/7.8	4.0/7.4	3.6/5.2

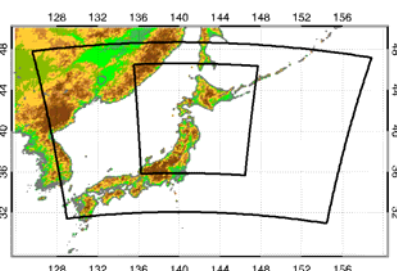


図1 モデルの計算領域(外側が30km解像度、内側が10km解像度)。

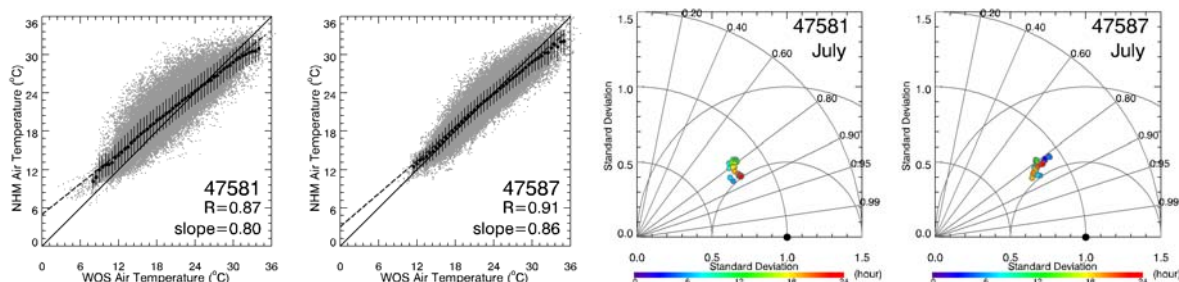


図2 (左)八戸(47581)と酒田(47587)における気象官署観測とダウンスケーリングデータの地表気温の比較。相関係数(R)と回帰直線の傾き(slope)、0.5°Cごとのダウンスケーリングデータの平均値(黒丸)と±1標準偏差を平均値の上下に縦線で示している。

(右)八戸(47581)と酒田(47587)における7月の気象官署観測とダウンスケーリングデータについて、時間ごと(色)にTaylor Diagramにプロットしたものを。原点からの距離が、標準偏差(観測の標準偏差で規格化している)で、角度が相関係数(図中の数字)を示している。

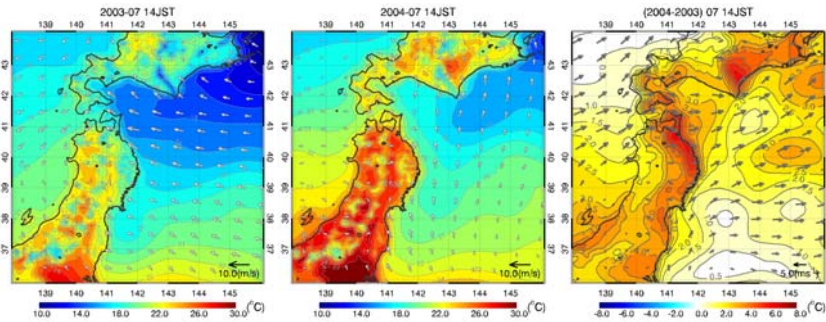


図3 (左)2003年7月と(中)2004年7月の気温と地表風と(右)その差(2004年-2003年)。

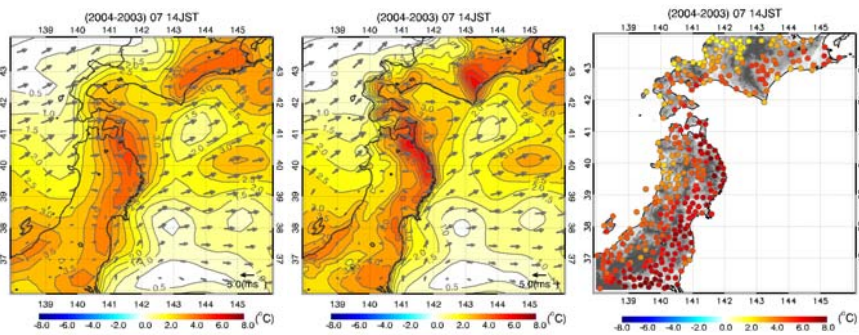


図4 2003年7月と2004年7月の気温の差(2004年-2003年)。(左)30km解像度、(中)10km解像度、(右)アメダス観測。

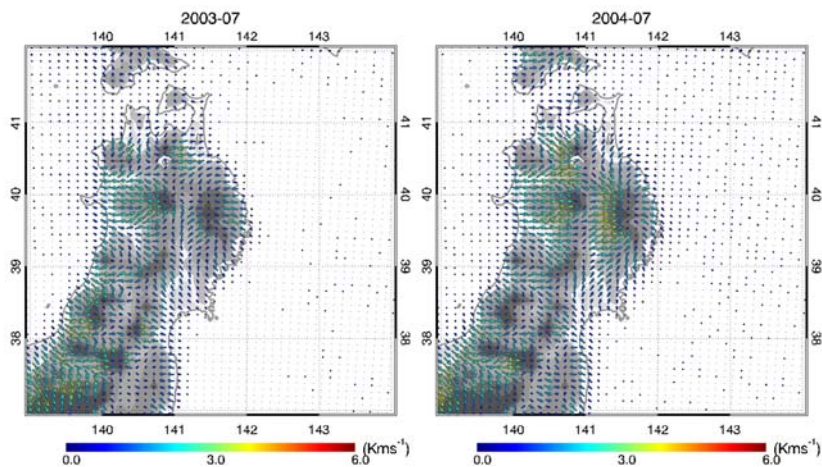


図5 日変化成分による水平熱輸送フラックス(Kms^{-1})。矢印が日変化成分による水平熱輸送で、灰色のコンターは標高を示す。(左)2003年7月、(右)2004年7月。

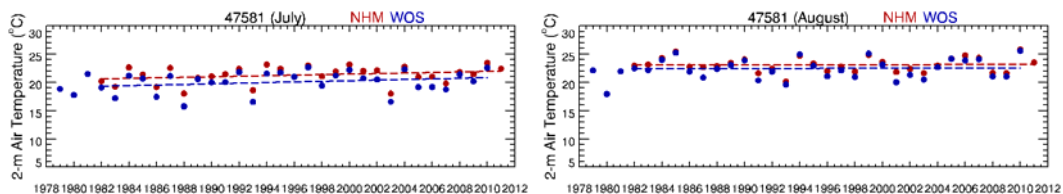


図6 八戸における(左)7月と(右)8月のトレンド。(赤)ダウンスケーリングデータと(青)気象官署の観測。

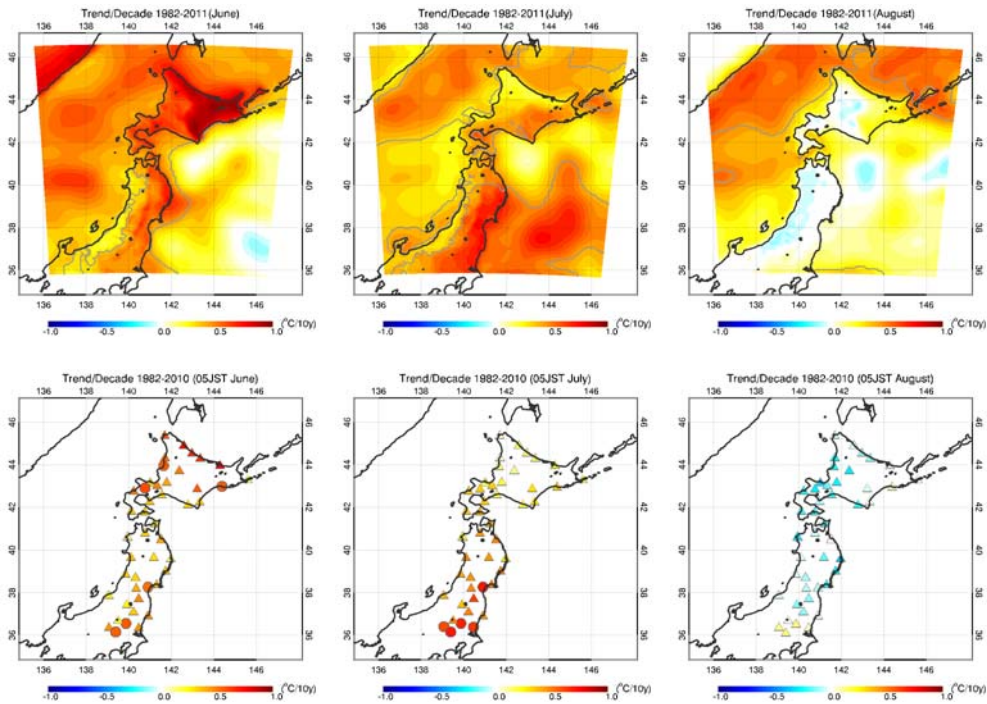


図7 地表気温のトレンド(°C/10yr)。(上)ダウンスケーリングデータ(1982-2011年)と(下)気象官署の観測(1982-2010)。(上)コンターで有意となる協会を示す。(下)丸印(三角印)で有意である(有意でない)ことを示す。左から6、7、8月。

c) 参考文献

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.

Reynolds, R. W., T. M. Smith, C. Liu, D. B. Chelton, K. S. Casey, M. G. Schlax, 2007: Daily High-Resolution-Blended Analyses for Sea Surface Temperature. *J. Climate*, 20, 5473-5496.

Schaefer, D. and Domroes, M. (2009) Recent climate change in Japan – spatial and temporal characteristics of trends of temperature, *Clim. Past*, 5, 13-19, doi:10.5194/cp-5-13-2009.

仙台管区気象台、東北地方の気候の変化、

<http://www.jma-net.go.jp/sendai/wadai/kikouhenka/kikouhenka-index.html>

3.1.3 ヤマセの長期変動評価のためのインデックス

島田照久・岩崎俊樹（東北大学）

a) 要旨

本研究では、地上気温と気圧を用いて、ヤマセを特徴づける7つの指標をヤマセインデックスとして提案した。全球再解析データと10kmダウンスケーリングデータを用いて、各ヤマセインデックスが表現する場の代表性と過去30年の変動を比較検討した。総観スケールで見ると、どのヤマセインデックスを用いても、ヤマセ卓越時の典型的な特徴(オホーツク海高気圧の発達、北日本太平洋側と大陸沿岸の低温高圧の舌、東風偏差の増大)が共通して確認できた。地域スケールで見ると、ヤマセインデックスごとに違うヤマセの局地性が明らかになった。その違いは、北海道から南東北の間のヤマセの顕著な地域、太平洋沿岸の冷気の南下の程度、太平洋/オホーツク海側と日本海側との対照性にみられた。インデックスごとに表現する地域特性が違うので、対象目的に応じてヤマセインデックスを使い分けることができる。これらのヤマセインデックスを用いることにより、現在気候から将来気候にかけて、ヤマセの系統的な長期変動評価ができるようになった。

b) 本文

研究の目的

ヤマセの発生頻度や強度は年々変動が大きいので、北日本の夏季気候のさらなる理解や将来気候におけるヤマセの影響評価のためには、長期変動の理解が重要な課題となっている。過去と将来を含めて長期変動を系統的に評価するためには、様々な現象の理解に用いられているようなインデックス(例モンスーンインデックス等)をヤマセ研究についても利用することが有効である。実際、ヤマセに関する統計解析や長期変動解析には、ヤマセ卓越時の場を特徴づける指標が定義され、利用されてきた。例えば、八戸や宮古等の太平洋沿岸の観測に基づく様々な条件(日平均気温偏差、卓越風向、東風吹続時間等)をもとに、ヤマセ日を特定するための指標が定義されてきた(e.g., Takai et al. 2006)。しかしながら、各研究の趣旨に合わせて定義は様々であり、各指標の特徴やその指標が表現する場の代表性の比較検討は不十分である。そのため、これまでの指標の多くはヤマセ研究のためのインデックスとして、十分に確立されたものにはなっていない。一方で、これまでにヤマセの影響が大きかったとされる年については、冷害の程度に依存している可能性も大きく、気象場の客観的評価が必要である。よって、ヤマセを特徴づける指標について、それが表す場の代表性を比較検討した上で、ヤマセインデックスとして確立できれば、長期変動の系統的評価が可能になる。つまり、同じインデックスによって、過去のヤマセの長期変動を再検討し、将来気候データにおけるヤマセの発生や変動を明らかにすることができる。

本研究では、過去の研究をもとに、ヤマセを特徴づける7つの特徴量を、ヤマセインデックスとして再/新提案し、各インデックスが表す場の代表性や特徴を比較検討する。また、これらのヤマセインデックスを用いて、過去30年のヤマセの長期変動を再評価する。まず、再解析データJRA-25を用いて、総観スケールの特徴を検証した。その結果、どのインデックスもヤマセ卓越時の特徴(オホーツク海高気圧の発達、北日本太平洋側と大陸沿岸の低温高圧の舌、東風偏差の増大)を示すことがわかった。さらに、インデックスごとに違う地域スケール

の特徴が示唆された。ここでは、地域性を考慮できる 10km ダウンスケーリングデータを用いた結果を示し、各ヤマセインデックスの特徴を明らかにする。

データ

平成 23 年度に作成した 10km ダウンスケーリングデータを用いる。気象庁・気象研究所の非静力学モデル (JMA-NHM) を用いて、再解析データ JRA-25 を境界条件として、ダウンスケーリングを行った。北日本の気象官署 (45 地点、図 1) に対応した地点の気温と海面更正気圧をインデックス作成に用いる。対象期間は、1982-2011 年の 6-8 月である。

本研究で提案するヤマセインデックス

本研究でヤマセインデックスとして再/新提案する指標を表 1 にまとめた。ヤマセインデックスは、基本的な観測要素で定義されること、長期データがあること、単一のパラメータで定義されること、季節変化の影響を受けにくく夏季を通じて定義できること、が利用上便利である。上記を考慮し、気温と気圧データから下記のインデックスを作成した。

(1) オホーツク海上の領域平均海面気圧: ヤマセにとって重要なオホーツク海高気圧の発達や減衰を、オホーツク海上の領域平均海面更正気圧で表現する。オホーツク海高気圧インデックスと呼ぶ研究もある(e.g, Ogi et al. 2004)。領域の定義は研究によってわずかに違うが、本研究では、オホーツク海全体を含む領域(45°-60°N, 140°-155°E)とした。このインデックスの作成には、オホーツク海を含んだ全球再解析データや気候モデルデータが必要になる。

(2) 南北気圧差: 北日本の南北気圧差(稚内と仙台の気圧差)が北高型の気圧場(オホーツク海高気圧の発達)を表現し、ヤマセの指標となることが Kanno (2004)によって示されている。

(3) 津軽海峡の東西気圧差: ヤマセ卓越時には、下層の冷気が地形に遮られることにより、津軽海峡付近に局地的に大きな東西気圧差が生じる (Shimada et al. 2010)。この東西気圧差は、函館と深浦の気圧差で定義され、太平洋側と日本海側の下層の気温差や太平洋側の冷氣層の厚さを反映するのでヤマセインデックスとなる。

(4) 宗谷海峡の東西気圧差: 津軽海峡の東西気圧差と同じ考え方で、宗谷海峡に沿った東西気圧差(北見枝幸と羽幌の気圧差)が、オホーツク海の低温や冷氣層の厚さを反映しており、ヤマセインデックスとなる(Shimada and Kawamura 2011)。

(5) 気温: 多くの過去の研究は、八戸や宮古等の太平洋側の気象観測所での低温日をヤマセの指標として、ヤマセの研究に利用してきた(例 Takai et al. 2006)。平年値からの偏差等で低温日が定義されているが、低温日の場合の代表性、選択した地点による違いについての議論はほとんどない。ここでは、日変化と季節変化を除くようにバンドパスフィルター(カットオフ周期 2-30 日)をかけた気温時系列から低温を検出した。今回は八戸の気温を用いた。

(6) 気温の日変化の分散: ヤマセは、低温をもたらすと同時に、冷氣移流や下層雲に伴う日射の減少により、日昇温を抑制する。よって、太平洋/オホーツク海側において、気温の日振幅の大きさをヤマセのインデックスにすることができる。本研究では気温の 0.5-1.5 日の周期帯のウェーブレット分散をインデックスとした。このインデックスの作成に適した地点は、八戸等の太平洋/オホーツク海側の地域で、今回は八戸の気温を用いた。

(7) 北日本の気温の東西振動モード: ヤマセ卓越時は、太平洋/オホーツク海側と日本海側の気温差が強調される。気象官署の位置の気温データを用いて、太平洋/オホーツク海側と日

本海側の気温差を強めるモードを EOF 解析により求め(Takai et al. 2006、Shimada et al. 2010)(図 1)、その時係数をヤマセインデックスとした。

結果

前述した 7 つのインデックスの時系列を 2003 年の 6-8 月について示す(図 2)。6 月の下旬から 7 月末、8 月中旬は、記録的な低温状態が続いた。低温時期は、オホーツク海高気圧インデックスは、1010hPa を越えており、南北気圧差、津軽海峡と宗谷海峡の東西気圧差インデックスも正の値をとっている。気温も低下傾向がみられ、日変化インデックスは、 $1.0(^{\circ}\text{C})^2$ 程度に小さく、EOF インデックスは、太平洋側の気温を下げるように正の値をとる。ヤマセの卓越時には、オホーツク海高気圧が発達しており、北日本の南北気圧差、日本列島を境にした東西気圧差が増大する。一方、太平洋側では、気温の低下と日変化の抑制が起こり、太平洋/オホーツク海側と日本海側の気温コントラストを強調する。これらの特徴が、それぞれのインデックスで表現されている。

各インデックスの変動を比べる。規格化したインデックスについて、6-8 月のヒストグラムを図 3 に示す。いずれのインデックスも、月別頻度差が小さく、夏季を通じて定義可能であることを示している。

次に、各インデックスが示す場の特徴を検討する。図 4 は、規格化した各インデックスが 1 標準偏差を越えたときの 10km ダウンスケーリング場の海面気圧のコンポジットである。ただし、日変化の分散については、累積頻度が 16%となる値以下でコンポジットした。オホーツク海高気圧の発達、大陸と北日本太平洋側への高圧舌が共通してみられ、全体的な気圧パターンは似ている。しかし、気候値(30 年夏季平均)からの偏差にすると、各インデックスの違いが明らかになる(図 5)。オホーツク海上の領域平均海面気圧インデックスは、北日本全域での変化を示す。南北気圧差インデックスは北東北に中心に、宗谷海峡インデックスは北海道に中心に、地形を境にした東西の気圧偏差が強調されている。津軽海峡インデックスと EOF インデックスは、東北沿岸の高圧舌の南下と日本海側との対照性を強調している。定点で定義する気温インデックスと日変化分散インデックスは、インデックスを作成する地点を八戸から南に変えるにつれて、東北太平洋側の高圧舌も南下することを確認している。

津軽海峡インデックスを例に、気温、地表風、下層雲量の場の特徴を示す(図 6)。気温については、太平洋側と日本海側の対比が明瞭である。地表風は津軽海峡付近で東風が強化されている。下層雲量については、正偏差の極大を示す地域が複数存在する。同じ低温域であっても、地形の影響によって下層雲量の分布の変動が大きいことを示している。

各インデックスを用いて、1982-2011 年の 7 月のヤマセの変動を比較する。図 7 には、上記のコンポジット作成に用いた 1 標準偏差を越える頻度をインデックスごとに示した。ヤマセが特に卓越した 1988 年、1993 年、1998 年、2003 年で各インデックスが高頻度を示している。その他の年についても各インデックスの頻度の変化が全体的に一致している。一方で、同時期であってもインデックス間に違いがあるが、これはヤマセの局地的な特徴を表している。上記の経年変化は、気象観測署のデータから作成したインデックスと整合していることを確認している。これにより、10km ダウンスケールデータを用いて、観測と同等の変動をもつヤマセインデックスが作成可能であることがわかった。よって、10km ダウンスケーリング場によって、ヤマセの長期変動の評価が可能であることが実証された。

次年度の研究への発展

本研究で提案したヤマセインデックスにより、ヤマセの発生頻度や強度の系統的な長期変動が評価できるようになった。各ヤマセインデックスは、将来気候データにも適用可能であり、現在気候を基準にして、将来気候におけるヤマセの変動を明らかにすることができる。また、各インデックスが代表する場の違いによって明らかになったヤマセの局地性は、ダウンスケーリングデータを利用した局地気候解析に重要な示唆を与えている。ダウンスケーリングデータを利用して、ヤマセの影響の局地性を明らかにすることを今後の課題としている。

表1 本研究で提案するヤマセインデックス

ヤマセインデックス(略称)	インデックスが表現する特徴	Reference
オホーツク海上の領域平均海面気圧(OH)	オホーツク海高気圧の発達	例 Ogi et al. (2004)
南北気圧差(稚内-仙台)(WK_SD)	北高型の気圧場を表現	Kanno (2004)
津軽海峡の東西気圧差(函館-深浦)(HK_FK)	津軽海峡東西の下層の気温差、冷気層厚	Shimada et al. (2010)
宗谷海峡の東西気圧差(北見枝幸-羽幌)(KE_HB)	宗谷海峡東西の下層の気温差、冷気層厚	Shimada and Kawamura (2011)
八戸等の太平洋側の気温(T_AIR)	定点における低温	例 Takai et al. (2006)
八戸等の太平洋側の気温の日変化の分散(DIURNAL)	定点の気温の日変化の分散	例 Shimada et al. (2010)
北日本の気温の東西振動モードの時係数(EOF)	ヤマセ時の太平洋側の低温傾向	Takai et al. (2006) Shimada et al. (2010)

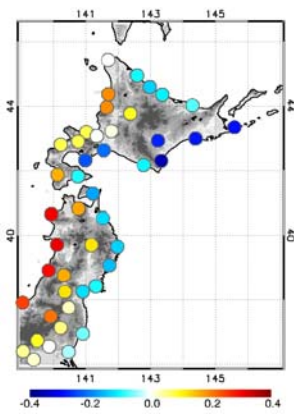


図1 EOF 東西振動モードの空間分布

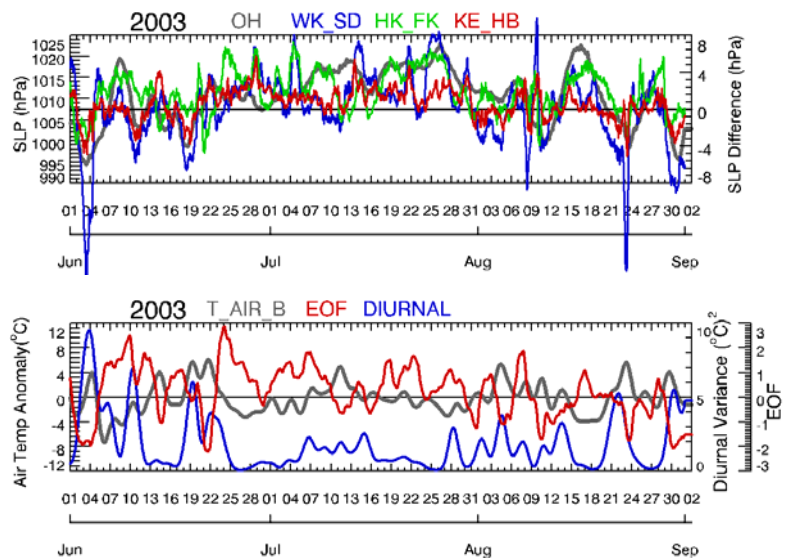


図2 2003年6-8月の各インデックスの時系列。(上)気圧(下)気温で定義されるインデックス。

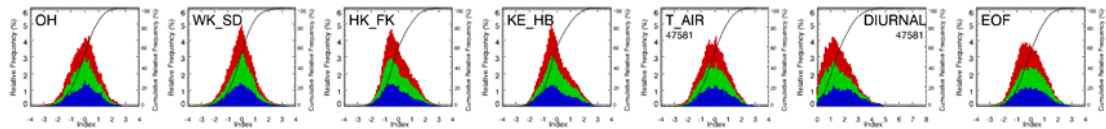


図3 規格化した各インデックスの(青)6月、7月(緑)、(赤)8月のヒストグラム(1982-2011年)。ただし、日変化(DIURNAL)インデックスについては、標準偏差で割るだけで規格化した。曲線は、累積頻度である。

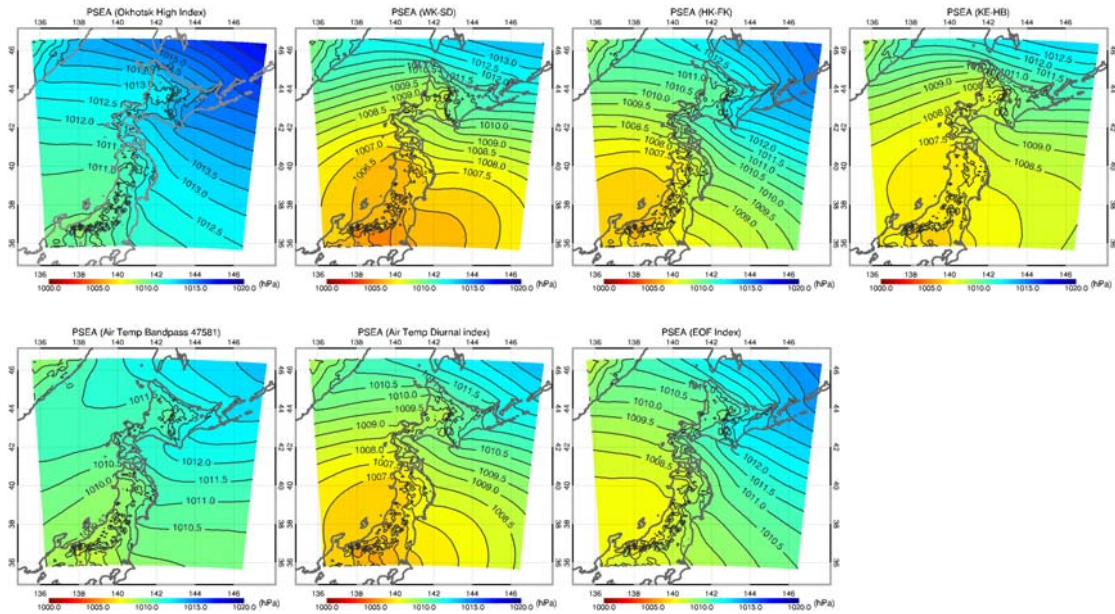


図4 各インデックスが1標準偏差を越えるときの海面気圧のコンポジット場。左上から、順にオホーツク海上の領域平均海面気圧インデックス(OH)、南北気圧差インデックス(WK_SD)、津軽海峡の東西気圧差インデックス(HK_FK)、宗谷海峡の東西気圧差インデックス(KE_HB)、気温インデックス(T_AIR)、気温の日変化の分散インデックス(DIURNAL)、北日本の気温の東西振動モードインデックス(EOF)。

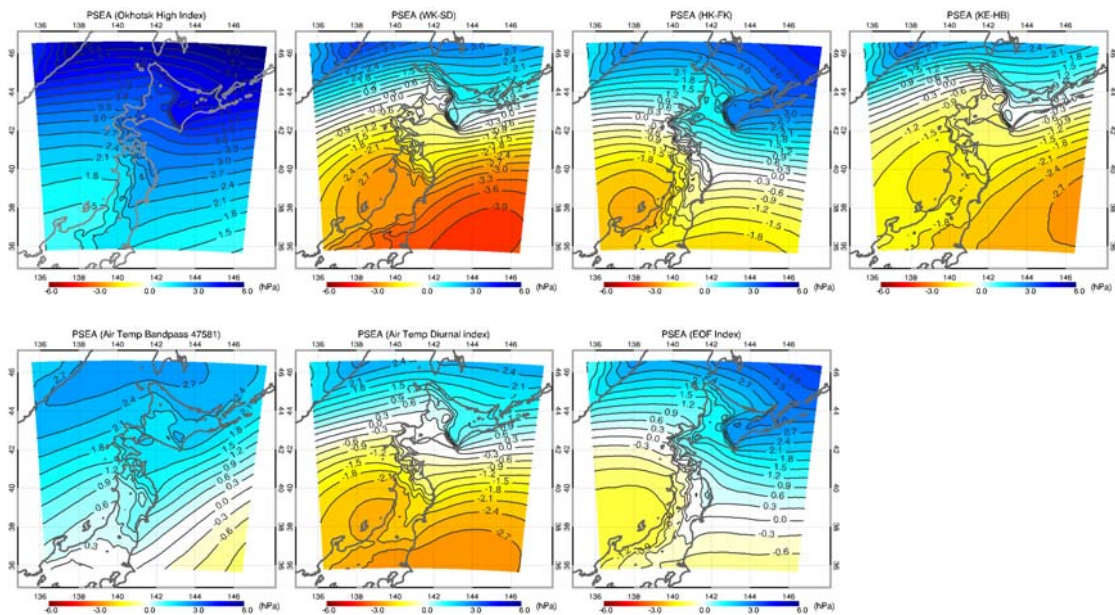


図5 図4のコンポジット場から、気候平均(1982-2011年の6-8月)を引いた海面気圧の偏差場。

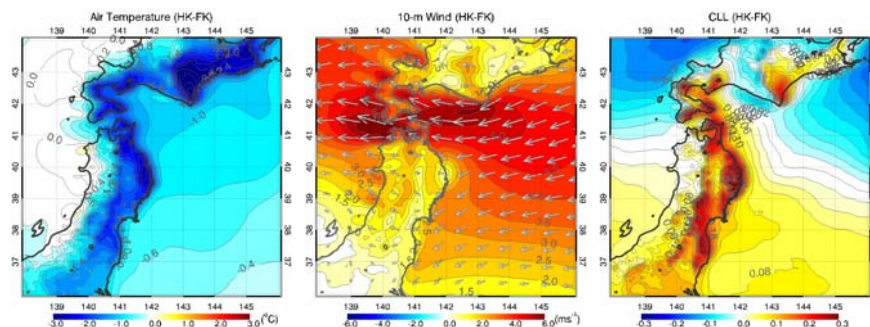


図6 津軽海峡インデックスに基づいて求めた(左)地表気温、(中)地表風、(右)下層雲量の気候平均(1982-2011年の6-8月)からの偏差場。

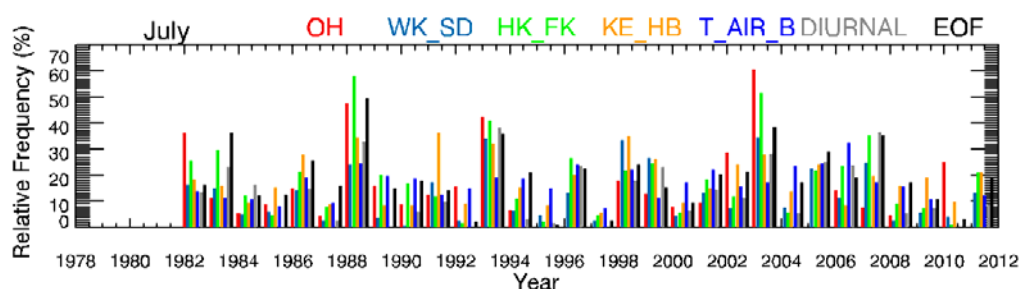


図7 1982-2011年の7月について、各インデックスが1標準偏差を越える頻度。

c) 参考文献

- Kanno, H., 2004: Five-year cycle of north-south pressure difference as an index of summer weather in northern Japan from 1982 onwards, *J. Meteor. Soc. Japan*, 82, 711-724.
- Ogi, M., Y. Tachibana, and K. Yamazaki, 2004: The connectivity of the winter North Atlantic Oscillation (NAO) and the summer Okhotsk High, *J. Meteor. Soc. Japan*, 82, 905-913.
- Shimada T., Sawada M., Sha W., Kawamura H., 2010: Low-level easterly winds blowing through the Tsugaru Strait, Japan. Part I: Case study and statistical characteristics based on observations, *Mon. Wea. Rev.* 138: 3806-3821.
- Shimada, T. and H. Kawamura, 2011: Summertime gap winds of the Soya Strait induced by the developed Okhotsk high, *Atmos. Sci. Lett.*, 12, 316-320.
- Takai, H., H. Kawamura, and O. Isoguchi, 2006: Characteristics of the Yamase Winds over oceans around Japan observed by the scatterometer-derived ocean surface vector winds, *J. Met. Soc. Japan*, 84, 365-373.

3.1.4 将来気候における東北地方の夏季気候とヤマセの変動

島田照久・沢田雅洋・岩崎俊樹（東北大学）

a) 要旨

将来気候データのダウンスケーリング(平成24年度に予定)に向けて、境界条件に用いる気候モデルデータについて、東北地方の夏季気候とヤマセの変動を解析した。今回用いた気候モデルデータは、SRES A1B シナリオに基づいて、気象研究所が開発した超高解像度全球大気モデル(20km 解像度)によって作成されたものである。この将来気候(2075-2099年)データでは、東北地方全体で、現在気候と比べて約 3°C の気温上昇がみられた。また、年間最高気温の到達時期が現在の8月上旬から7月末へと早くなり、年間最高気温に近い気温が、8月中旬まで続いていた。ヤマセの発生の指標となるオホーツク海高気圧インデックス、南北気圧差(稚内-仙台)インデックスは、夏季を通じて、現在気候と同じ変動幅を持つことがわかった。そして、この将来気候データには、ヤマセ傾向(脊梁山脈等を境にした東西気温のコントラスト)が現在気候とほぼ同じ程度に現れていた。この結果をもとに、平成24年度以降は、温暖化時のヤマセが地域気候や農業気象に与える影響について、ダウンスケーリングデータを用いて考察していく。

b) 本文

研究の目的

東北地方の夏季について、将来気候の農業への影響評価に貢献するために、ヤマセに関する局地気候を解析できる長期(現在気候、将来気候)データを作成し、そのデータ解析を進めている。平成23年度は、現在気候のダウンスケーリングを実施した。再解析データ JRA-25 と最適内挿法によって作成された海面水温データ NOAA OISST を境界条件とし、気象庁・気象研究所の非静力学モデルを用いて、北日本全体について10km 解像度のダウンスケーリングデータを30年分(1982-2011)作成した。10km 解像度では、計算時間を適切な範囲に抑えつつも、北日本の地形を、平野や地峡海峡といったスケールまで解像する。このダウンスケーリングデータにより、30年間の地域特性や日変化を解析できるようになった。

平成24年度には、気候モデルを一つ選択し、現在気候のダウンスケーリングと同様の仕様で、将来気候のダウンスケーリングデータを作成し、その解析を行う計画である。この計画に向けて、気象研究所が開発した超高解像度全球大気モデルの気候データをまずダウンスケーリングすることを選択した。その理由は、すでに将来気候実験が終了していること、力学的ダウンスケーリングのために必要なデータが保管されていること、20km という高解像度によってより精度の良い現在気候の再現性、将来気候の予測が期待されること、にある。ここでは、境界条件として用いるこの気候モデルデータにおける、将来気候と現在気候の差やヤマセの変動を検証した。その結果と今後の方針についてまとめる。

データ

今回用いるのは、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)によるタイムスライス実験データである。現在気候(1979~2003年)、将来気候(2075~2099年)の各25年間を解析対象とする。境界条件は、

海面水温、海氷密接度、温室効果気体の濃度である。温室効果気体の濃度は、SRES A1B シナリオに基づいている。下部境界条件の海面水温と海氷密接度は、現在気候実験では、英国ハドレーセンターの HadISST データセットを用いている。将来気候については、CMIP3（第3次結合モデル相互比較プロジェクト）の18の大気海洋結合モデルの平均から作成されており、線形トレンドを除去した後の経年変動については、現在気候の経年変動に置き換えられている（Murakami et al. 2010 の Fig. 1）。6時間ごとのデータが保管されており、この気候モデルデータから、日変化を含めた力学的ダウンスケーリングが可能である。この気候モデルデータを用いて、熱帯低気圧や梅雨前線の将来予測が気象研究所のグループによって進められている（Murakami et al. 2010 等）。一方で、この気候モデルデータを、将来気候における局地気候の理解に向けてダウンスケーリングするという利用はまだほとんどない。

結果

(1) 20km 解像度の地形

20km という解像度は、気候モデルとしては格段に高い解像度を持つ（図1）。脊梁山脈等のヤマセにとって重要な地形が解像でき、大きな平野も再現されている。20km データで解像できない地形には、半島、小スケールの山地、地峡や海峡部等がある。その結果、例えば、ヤマセ卓越時は、津軽海峡の東西方向に局地的に大きな気圧差が生じるが、20km データでは最大40%程度も過小評価になる。一方、10km 解像度のデータでは、観測と同等の変動が再現できる（図1）。地形については、10km 解像度へのダウンスケーリングによって、大きく改善される。

(2) 将来気候における気温上昇

将来気候と現在気候の違いとして、まず平均気温の上昇を確認する。図2に6-8月の月平均気温の差（将来気候-現在気候）を示す。今回用いた気候シナリオや気候モデル等の条件では、東北地方では、2.6-3.2°Cの気温上昇がみられた。特に、7月に気温上昇が大きくなっており、8月は比較的小さい。また、7月について、3時と15時における将来気候と現在気候の気温の差をみると、陸上では、3時の気温上昇は、15時に比べて約0.2°C大きい。この特徴は6-8月に共通しており、温暖化により最低気温の上昇量が大きくなると言える。

(3) 将来気候における夏季の気温の季節変化

将来気候と現在気候データの気候平均から、夏季の季節変化を比較する。図3に、仙台の気象官署地点における現在気候と将来気候の気温の時系列を示す。気候モデルによる現在気候の気温は、観測とよく一致する。他の気象官署地点についても、ヤマセの影響を受ける太平洋側の地点ほど観測と現在気候データ差がやや大きいものの、気温は現在気候のものとはほぼ一致する。現在気候と将来気候の気温の季節変化を比べると、現在気候では、8月上旬に年間最高気温に達するが、将来気候では、7月末に年間最高気温に達し、その後の下降が小さい。この特徴は、将来気候と現在気候の気温の変化率からも確認でき、将来気候では、気温変化率が0となる（つまり最高気温となる）時期が現在気候よりも早くなり、その後の気温変化率も小さい。つまり、やや季節進行が早くなり、年間最高気温に近い気温が長く続くことを示している。この特徴は、北日本全体で共通してみられる。これが、7月の気温上昇量が大きく、8月は現在気候との差が比較的小さくなる原因である。

次に最高気温と最低気温の季節変化を検証した。図4には、宮古と盛岡における現在気候

と将来気候の15時と3時の気温の変化を示す。宮古では、現在気候の最高気温が、将来気候の最低気温の水準になることを示しており、この特徴は気温の日振幅の小さい太平洋沿岸域に共通した特徴である。一方、盛岡などの気温の日振幅の大きい内陸や日本海側の地域では、将来気候の最低気温は、現在気候の最高気温と最低気温のほぼ中間に位置する程度になり、温暖化による気温上昇は、日振幅の半分程度になっている。

(4) 将来気候におけるヤマセの変動

将来気候におけるヤマセの変動(ヤマセが発生しているのか、ヤマセに伴う気温低下はどの程度なのか)を、ヤマセを特徴づけるヤマセインデックスを用いて検証した。まず、ヤマセの変動にとって重要なオホーツク海高気圧の変動についての結果を示す。オホーツク海上の領域平均海面気圧が、オホーツク海高気圧の発達指標として用いられている(オホーツク海高気圧インデックス)。今回は、提供を受けたデータで検討できるオホーツク海南部の領域(東経140-155度、北緯45-50度)でインデックスを定義した。月平均のオホーツク海高気圧インデックスには、現在気候データ、将来気候データともピークがいくつか確認でき、ヤマセが卓越する月を示している(図5上)。図6左に6時間間隔データのヒストグラムを示す。ヒストグラムの標準偏差は、現在気候データと将来気候データともに、再解析データJRA-25によるものとほぼ同じである。また、稚内と仙台の南北気圧差によって、北高型の気圧配置を表現するヤマセインデックスについても、現在気候と将来気候の変動幅は同じである(図5下、図6右)。まとめると、再解析データと現在気候データのヤマセインデックスの変動幅がほぼ同じということは、現在気候の再現の妥当性を意味する。現在気候データと将来気候データの変動幅が同じことは、将来気候においても、ヤマセ傾向が現れていることを示している。

(5) 将来気候と現在気候のヤマセ卓越時の場の比較

南北気圧差によって定義されるヤマセインデックスが、1標準偏差を越えるときの海面気圧と地表気温のコンポジット場を作成して、ヤマセ卓越時の場の特徴を比較する(図7)。まず、気圧については、再解析データからダウンスケーリングした現在気候データと比べると、現在気候データと将来気候データは、やや全体的に気圧が高く(1hPa)なっているが、どれも北高型の気圧パターンを示している。現在気候と将来気候の差をみると、将来気候では、やや気圧傾度が減少して北東-南東よりに変化していることがわかる。ヤマセの吹き込みの弱화가示唆されるが、将来気候においてもヤマセに特有の気圧分布が明瞭に見られる。

次に、地表気温場を図8に示す。気温の分布についても、再解析データからダウンスケーリングした現在気候データと比べると、現在気候データと将来気候データともに類似している。将来気候においては、ヤマセ卓越時についても、現在気候と比べて気温は上昇(2.5-3.3℃)している。各データの気候平均からの偏差場を比較すると(図8下)、気温上昇した将来気候においても、平年偏差は現在気候と同じパターンになることがわかる。ただ、低温傾向が0.2℃ほど小さくなっている。以上より、将来気候データには、現在気候よりはやや弱い、ヤマセ傾向(脊梁山脈等を境にした東西気温のコントラスト)が現れていることがわかった。

次年度の研究への発展

MRI-AGCMの将来気候データには、地球温暖化により気温上昇した後も、現在気候と同程度のヤマセ傾向が現れていることがわかった。将来気候のヤマセによって、地域気候や農業気象への影響がどう変化するかを考察することが今後の課題である。例えば、ヤマセの発生

時期の変化、気温上昇の雲分布への影響、将来気候データの生育予測モデルへの適用などである。こうした課題に取り組むために、平成 24 年度は、現在気候のダウンスケーリングデータと同じ仕様で、この将来気候データを 10km にダウンスケーリングする。現在、10km ダウンスケーリング場の作成の準備を進めている。20km 解像度では、東北地方全体の特徴は現れるが、局地気候の解析にはまだ解像度が足りない面もある。地形の解像の改善、日変化の表現、他のパラメータ解析という点において、10km 場へのダウンスケーリングは有効である。

将来気候データの不確実性を考慮するために、気候シナリオと気候モデルの位置づけを、マルチモデル解析から把握することが重要である。また、同じ気候モデルデータを用いた他の分野(台風など)の将来予測研究では、どのような気候モデルの特徴が現れているかも考慮しておく必要がある。一方で、適応策の観点から将来気候データの位置づけを行うことも重要であると考えている。つまり、用いた将来気候データでは、作物の生育にとって重要な条件(例えば、作物の栽培時期、生育最低最高温度、高温障害や低温障害を起こす危険期の温度条件等)が、現在気候と比べてどの程度変化しているのか、その際どの程度の対策が必要となるのかによって、将来気候データを評価することも検討している。

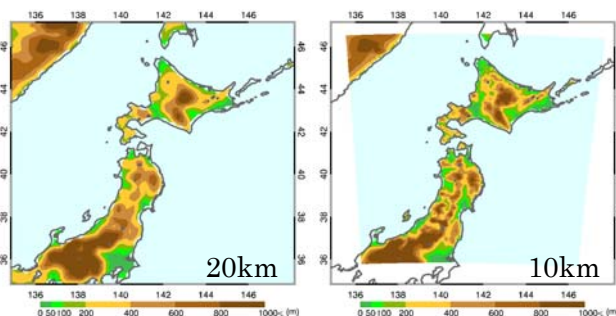


図 1 (左)20km 解像度(気候モデルの地形)と (右) 10km 解像度(ダウンスケーリングに使用)。

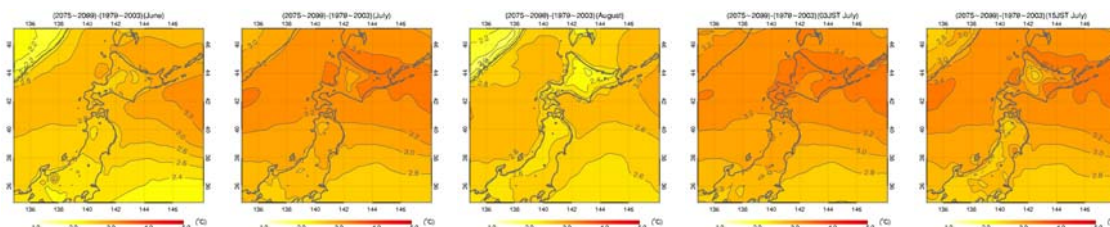


図 2 6-8月の月平均についての将来気候と現在気候の気温差。左から、6月、7月、8月、7月の3時(JST)、7月の15時(JST)。

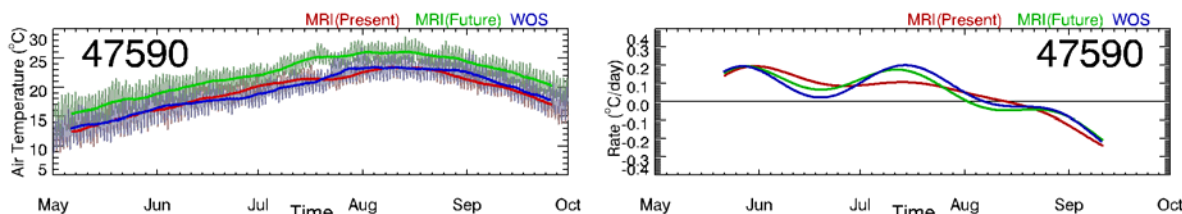


図 3 仙台の気象官署地点における地表気温と気温の変化率。(青)気象官署の観測、(赤)気候モデルによる現在気候、(緑)気候モデルによる将来気候である。気温については、灰色は6時間毎の時系列で、太線は10日の移動平均をかけたものである。気温の変化率については、ローパスフィルター(30日のカットオフ周期)をかけた時系列から計算している。

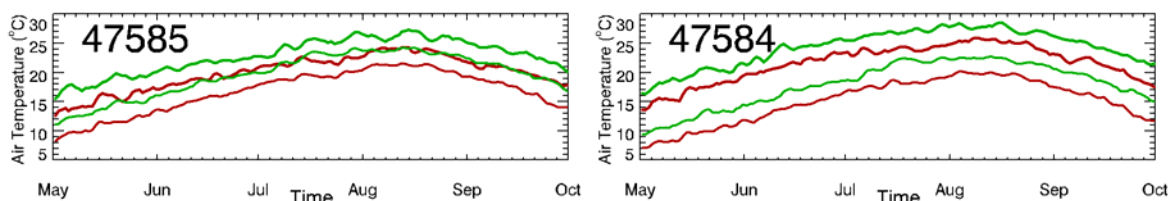


図4 (左) 宮古と (右) 盛岡の (赤) 現在気候と (緑) 将来気候の 15 時 (JST) と 03 時 (JST) の気温の変化。

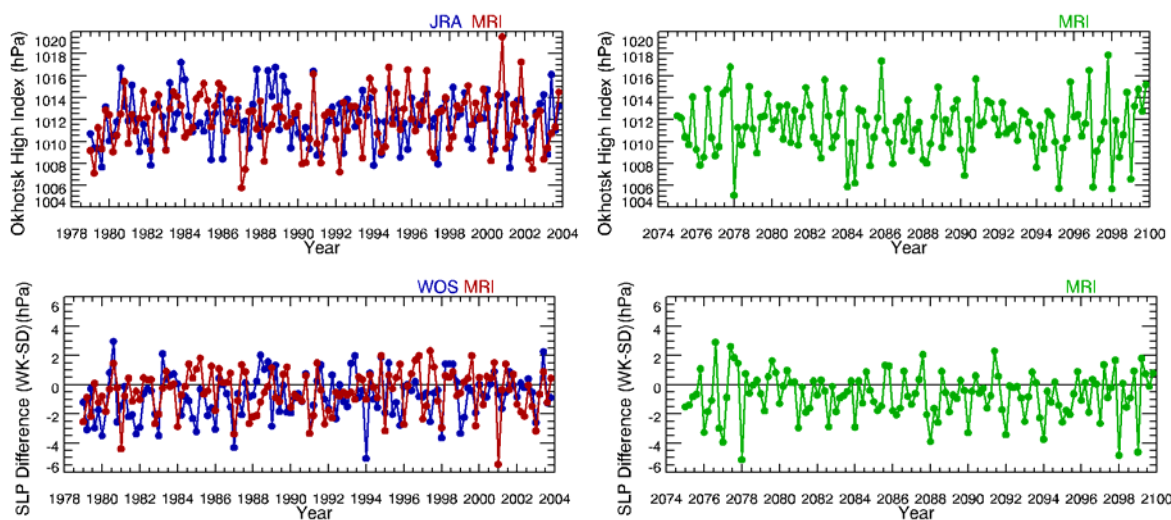


図5 (左) 現在気候と (右) 将来気候におけるオホーツク海高気圧インデックス (上段) と南北気圧差 (稚内-仙台) インデックスの経年変化。各年の 5-9 月平均を示す。青が、(上) JRA-25 と (下) 気象官署の観測、赤が現在気候データ、緑が将来気候データを示す。

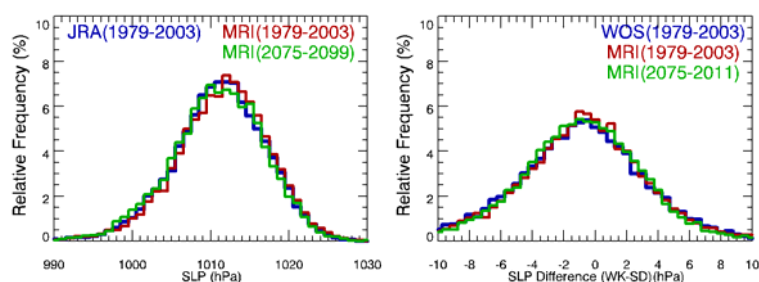


図6 現在気候と将来気候における (左) オホーツク海高気圧インデックスと (右) 南北気圧差 (稚内-仙台) インデックスの 6 時間データから作成したヒストグラム (5-9 月)。標準偏差は、オホーツク海インデックスについては、JRA-25 5.93、現在気候データ 5.98、将来気候データ 6.01 である。南北気圧差については、標準偏差は、気象官署の観測 2.13、現在気候データ 2.05、将来気候データ 1.97 である。

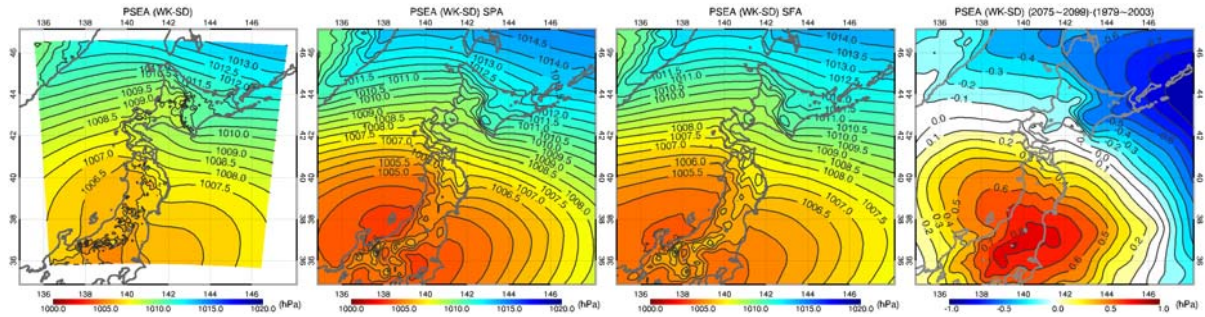


図7 南北気圧差インデックスによるヤマセ卓越時の海面気圧のコンポジット。左から、再解析データ JRA-25 からの現在気候ダウンスケーリングデータ、現在気候データ、将来気候データ、将来気候データと現在気候データの差である。

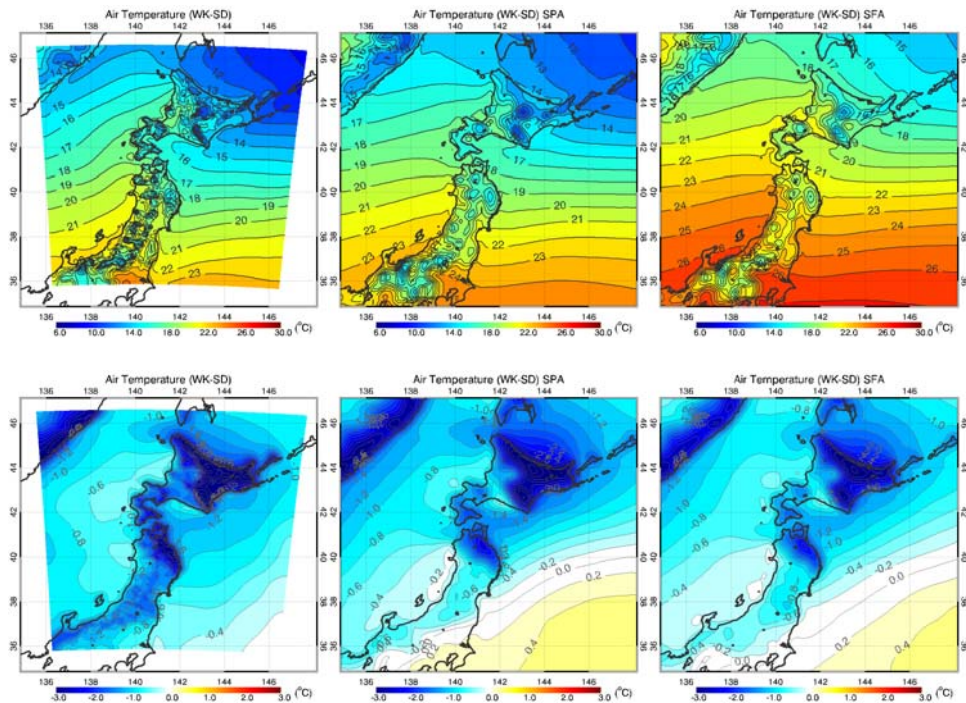


図8 南北気圧差インデックスによる(上)ヤマセ卓越時の地表気温のコンポジットと(下)各データセットの気候平均からの偏差場。(左)再解析データ JRA-25 からの現在気候ダウンスケーリングデータ、(中)現在気候データ、(右)将来気候データである。

c) 参考文献

Murakami, H. and B. Wang, 2010: Future Change of North Atlantic Tropical Cyclone Tracks: Projection by a 20-km-Mesh Global Atmospheric Model. *J. Climate*, 23, 2699–2721.

3.1.5 蔵王おろしに伴う強風の再現性

沢田雅洋・岩崎俊樹（東北大学）

a) 要旨

太平洋側東北地方では、冬季に北西からのモンスーンが卓越するので、山脈風下において強風や乱気流がもたらされる。下層風の風速変動の水平解像度依存性を調べたところ、100m 格子では 500m 格子に比べて、風速の標準偏差は数倍大きかった。しかし、地上観測と比較すると、数値モデルは高波数域でエネルギースペクトルの減衰が見られた。非定常な風を捉えるには、解像度だけではなく、乱流スキームは数値拡散などの適切な設定が不可欠ということが示唆された。

b) 本文

研究目的

蔵王おろしとは北西からの季節風が卓越する冬季において、蔵王山系から太平洋側へ吹き下ろす強風のことである。おろしは下層での風の鉛直シアや乱気流などを伴うので、おろしの詳細な構造や振舞を知ることは防災・航空気象において有用である。そこで、本研究では力学的ダウンスケーリングによって風速変動をどの程度再現できるのか調べるため、仙台空港周辺を対象として、100m 格子データを作成し、解析する。仙台空港では定常的な地上観測が行われており、それを用いて数値モデルの検証を行える。また、2008 年 2 月 13-18 日において仙台空港でドップラーライダー (Ishii et al., 2007, Iwai et al., 2008, Sawada et al. 2012) を用いた風の観測の実績もあり、解析対象として選んだ。

数値モデル概要と実験設定

数値モデルは気象庁・気象研究所で共同開発された非静力学モデル (JMA-NHM) を使用した。メソ客観解析値から 5km→1.5km→500m→100m とネストした。100m 格子の計算領域は 50km×24km で、仙台空港周辺を含む。鉛直には約 14.6km までに 70 層取り、下層 1km は 40m 間隔である。乱流クロージャには乱流エネルギーを予報するスキーム (Deardorff, 1980) を用いた。100m 格子での計算期間は 2008 年 2 月 14 日 15-21 JST の 6 時間である。

結果

非定常風の変動が各解像度によってどのように表現されるのか調べるため、高度 10m における風速の標準偏差を計算し、それを変動の大きさの指標として用いた (図 1 左)。1.5km 格子では風速変動の最大値はせいぜい 2.0m/s 弱で、山岳風下以外の領域では 0.3m/s 以下であった。500m 格子を用いると、風速の標準偏差は 4.0m/s 近いところが見られ、それが山岳風下直下ではなく、海岸付近で見られる。これは、山岳波の谷と尾根の間に位置し、鉛直シアの大きい領域にあたる。100m 格子では、様相が変わり、標準偏差が 5m/s を超える領域が多くみられる。1.5km 格子に比べて、1 桁以上大きく、500m 格子に比べても数倍大きい変動が形成される。変動要因としては、山岳波に伴う鉛直シアだけではなく、細かな地形 (谷) に沿って形成される吹き出しや渦なども寄与している。

100m 格子で再現された風速変動はどの程度現実を捉えているのかを調べるため、地上観測

で得られた風速のエネルギースペクトルと 100m 格子によるものを比較した (図 1 右)。地上観測はおおむね、 $-5/3$ のべき法則に沿っている。一方、100m 格子は約 100 秒周期より長い変動に対しては再現されているが、それより短い時間スケールの変動で急激なスペクトルの減衰が見られた。つまり、100m 格子を用いても現実の細かなスケールの変動を捉えるには不十分であった。この原因として、解像度の問題だけではなく、乱流スキーム、数値拡散、移流スキームなどの適切な設定がなされていたかどうかを詳細に検討する必要がある。

今後の課題

非定常な変動を捉えるのに必要な要員を調べるため、乱流スキームや数値拡散などに対する感度実験を行いたい。また、解析期間が数時間と短いため、数日~1 カ月と期間を延ばし、より普遍的な解析につなぐことを検討する。

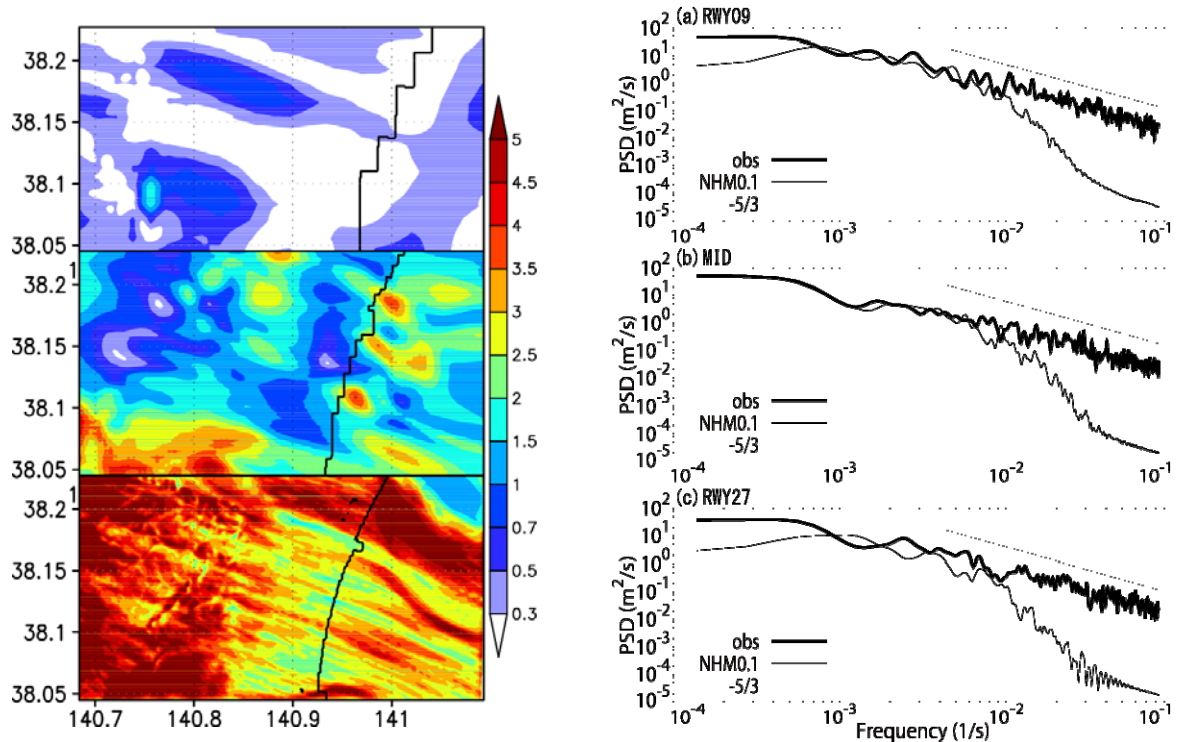


図 1 左図：高度 10m の風速の標準偏差。上から 1.5km、0.5km、0.1km 格子の 1 分間隔の出力から計算。2008 年 2 月 14 日 18:30-19:30 の 1 時間。右図：東西風のスペクトル解析 (Sawada et al (2012) より引用)。太実線は地上観測、灰色線は 100m 格子で再現されたもの。地上観測は仙台空港測候所で行われたもので、3 秒間隔のデータである。100m 格子データも同様に 3 秒間隔で出力した。

c) 参考文献

Sawada, M., T. Iwasaki, W. Sha, T. Yamazaki, H. Iwai, S. Ishii, K. Mizutani, T. Itabe, I. Yamada, Transient Downslope Winds under the Influence of Stationary Lee Waves from the Zao Mountain Range. *J. Meteorol. Soc. Japan*, 90, 79-100, DOI: doi:10.2151/jmsj.2012-105

3.1.6 中緯度の海上下層雲の特徴、及び下層雲に関係する大気場の特徴（川合） 川合秀明（気象研究所）

a)要旨

ヤマセに関連する、オホーツク海や北日本太平洋側周辺海域の海上下層雲の特徴をよく理解するため、衛星観測データに基づくデータセットを使い、下層雲量分布や光学的厚さについて調査した。その結果、夏季の北太平洋には、平均して90%以上の下層雲が存在すること、また、これらの雲は光学的には中程度の厚さであり、霧が多いことが示唆された。また、大気再解析データを用い、下層雲と気象場との関係を調べたところ、夏季の北太平洋では、下層の大気安定度が高いうえに、雲頂エントレインメントの起こりにくい大気状態であることが、下層雲の維持に大きく寄与している可能性が示された。

b)本文

(1) 背景

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が、モデルにおける下層雲の現実的な再現は、いまなお非常に困難である。モデルでの再現が困難な原因の一つは、下層雲は、雲頂の放射冷却、水蒸気の乱流輸送、雲頂における自由大気からの乾燥気塊の流入、雲中における凝結熱の発生、雲層中の雲水の降水への変換と霧雨の発生、そして、霧雨の雲層以下での蒸発による大気の冷却など、数多くの物理プロセスの微妙なバランスによって形成・維持されているためである。さらに、日中には、短波放射が雲層を加熱することで雲水を蒸発させたり、雲層以下の大気の安定性を変化させることで水蒸気輸送を抑えることによって雲を減少させる方向に働く、といった日変化も存在し、物理プロセス間のバランスはさらに複雑になる。

下層雲の研究は、亜熱帯の海上下層雲を中心に、世界の研究者たちによりこれまでも精力的に進められてきているが、中緯度の下層雲は、上・中層雲がかかって処理が難しいこともあり、あまり研究が進んできていない。一方で、オホーツク海をはじめとして、北日本付近の下層雲や霧の研究も、主として日本の研究者たちによりなされてきてはいるが、そうした研究はローカルな地形や海面水温分布などとの関係を調べる局地的な視点に基づく研究が

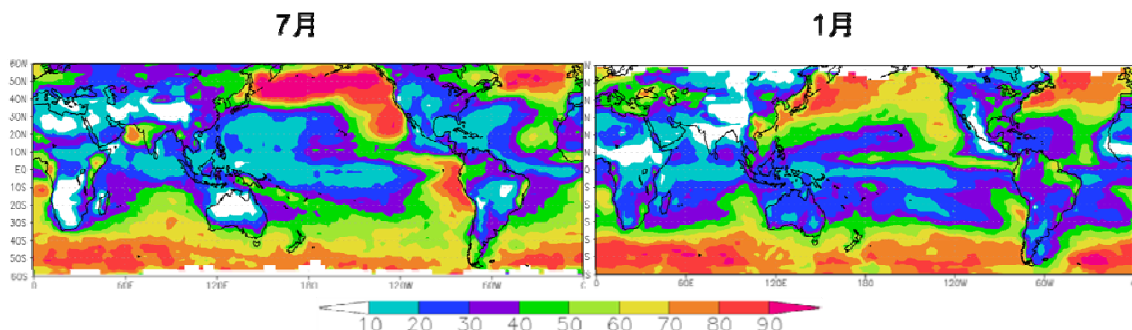


図1：上の雲に隠されていない部分に占める下層雲量。7月及び1月の気候値（1999–2001の3年分のデータを使用）。

多い。だが、そもそもヤマセ時の下層雲を含む中緯度の下層雲が、研究が進んでいる亜熱帯の下層雲と比較して、どのような点が異なっており、また、どのような共通する特徴があるのか、そして、雲層を維持するうえでの重要な物理プロセスが、両者の間で違いがあるのかどうかを理解しなければ、ヤマセに関連する下層雲をモデルで再現することが難しいという問題に対する本質的な解決を望むことはできない。

(2) 衛星データからわかる中緯度海上下層雲の特徴

そこで、まず、中緯度の下層雲の特徴をおおまかに把握するため、ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project) データを用いて、調査を行った。ここでは、ISCCPの可視及び赤外チャンネルから求められた雲頂高度別、光学的厚さ別雲量データを用いた。上層雲・中層雲(680hPaより上層)に隠されたところは除き、それに覆われていない領域のみの下層雲量(680hPaより下層)をまず計算した。その結果を図1に示す。図より、オホーツク海から北日本太平洋側周辺海域を含む北半球中緯度の下層雲量は、夏季には、下層雲の多い領域としてよく知られている、亜熱帯大陸西岸よりむしろ多く、90%以上の雲量であることがわかる。南半球夏季(1月)の南半球中緯度の下層雲量もやはり多いが、60-80%程度であり、北半球夏季に比べて少ないこともわかる。

次に、これらの雲の特徴を見るため、光学的厚さ別に分けて見てみる。図2は、光学的厚さ別に分けた、上の雲に隠されていない部分に占める下層雲量である。7月の図(図2左列)を見ると、亜熱帯の下層雲は、特に陸に近い領域では、光学的に厚いもの($\tau > 9.38$)が多いのに対し、北太平洋夏季の中緯度の下層雲は、光学的に中程度($3.55 < \tau < 9.38$)のものが最も多い。このことは、北半球夏季の中緯度においては、光学的に非常に厚い下層雲よりも、光学的には中程度の霧が多いことを示していると考えられる。そして、北半球では、夏(7月)には光学的に薄い雲の割合は非常に小さいが、冬(1月)には、光学的に薄い雲が

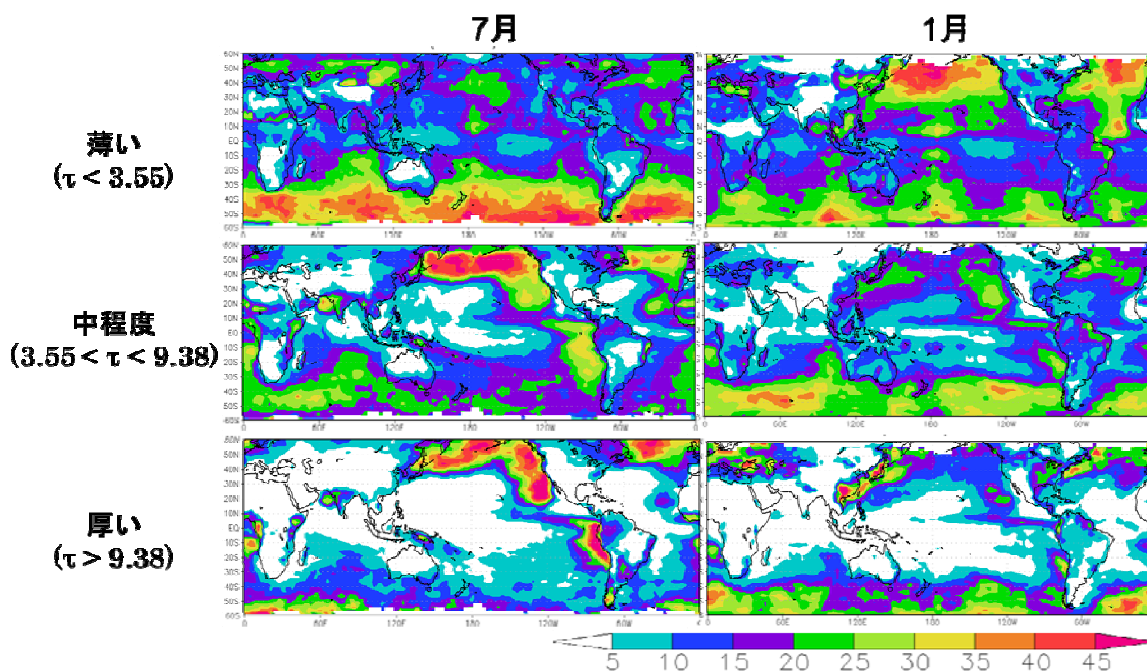


図2：上の雲に隠されていない部分に占める下層雲量。ただし、光学的厚さ別に分けたもの。7月及び1月の気候値(1999-2001の3年分のデータを使用)。

圧倒的に多くなることがわかる。これは、冬には光学的に薄い浅い積雲系の雲が多くを占めることに対応していると考えられる。これらの特徴を南半球と比較すると、南半球では、冬（7月）に光学的に薄い雲が多くなるという特徴は北半球と似ているものの、夏（1月）には、北半球のように光学的に中程度・または厚い雲が多くなり、光学的に薄い雲もかなり存在しており、北半球と南半球の中緯度の下層雲は、対称なふるまいをしていないこともわかる。

ヤマセにとって重要な、オホーツク海や北日本太平洋側周辺海域の下層雲を理解していくうえで、この海域では、夏季には平均して90%程度の下層雲量があること、そして、この雲は、亜熱帯の陸の近くの層積雲に比べると光学的にはやや薄い雲（おそらく霧）であるといった、ここで明らかになったような特徴を把握しておくことは重要である。また、南半球の同程度の緯度の夏季の海洋下層雲は、北半球に比べて雲量がやや少なめで、光学的にも薄い傾向があり、雲の性質が異なっていることもわかった。このような、海域によって異なる下層雲の性質を理解することが、オホーツク海や北日本太平洋側周辺海域の下層雲の形成・維持のメカニズムの理解を大きく前進させることにつながるだろう。

（3）海上下層雲と気象場との関係

海上下層雲を決定づける気象要素を調べるため、ISCCP データから得られる、上の雲に隠されていない部分に占める下層雲量と、ERA-Interim 再解析データから得られる気象要素の関係を調べた。上・中層雲が30%を超える場合は除外した。図3に示した各地点のデータを用い、まずは、Klein and Hartmann (1993)による LTS（下層安定度）と下層雲量の関係を求めた（図4）。だが、安定度が大きくなるほど下層雲量が大きくなるという関係はそれほど明瞭ではない。次に、Wood & Bretherton (2006)による EIS（推定逆転強度）と下層雲量との関係を求めたところ、こちらは下層雲量とよい相関があるという結果が得られた（図略）。だが、再解析データを詳しく調べると、EIS を計算する際に仮定されている、700hPa 以下の自由大気中では、温度が湿潤断熱減率で下がっていくという前提が満たされていないことがわかった。したがって、EIS と下層雲量とのよい関係は、相当程度、見かけのものである可能性がある。

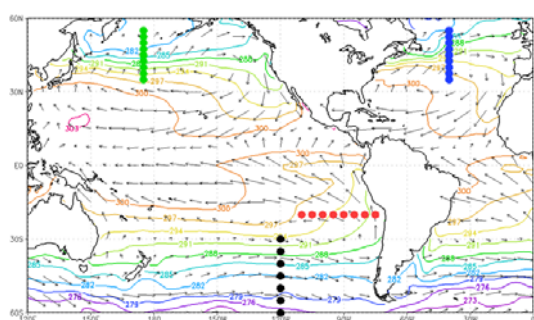


図3：調査に使用した地点。背景は、海面水温（等値線）及び海上風（矢印）。

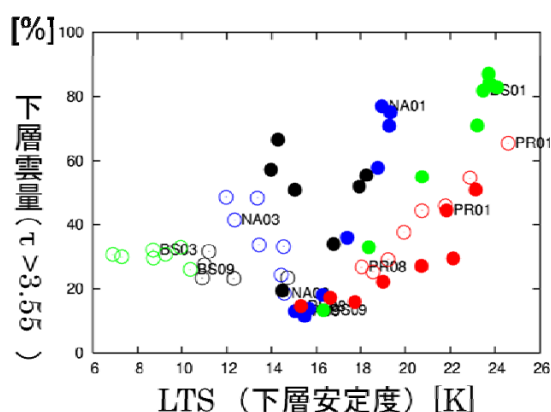


図4：LTS（下層安定度）と下層雲量の関係。点の色は、図3の各地点の色に対応。塗りつぶしが夏、白抜きが冬。

そこで、下層雲にとって本質的に重要となる気象要素について考えるため、温位プロファイルと比湿プロファイルを見た（図5）。まず、温位プロファイル（図5左図）から、亜熱帯では、海面近くの大気が中立となっており、はっきりした混合層が見られるのと対照的に、北太平洋及び北大西洋では、海面近くでも大気が安定になっていることがわかる。これは、北太平洋及び北大西洋では、海面より大気の方が暖かく、暖気移流により移流霧が発生しているような環境場にあることを示唆している。

さて、亜熱帯の雲に関して、雲頂エントレインメントと呼ばれる、自由大気の乾いた空気が下層雲の雲層に取り込まれ、下層雲を崩壊させる過程が重要であることがよく知られている（例えば、Randall 1980、Deardorff 1980）。これについて考察するため、比湿プロファイルを見ることにする（図5右図）。亜熱帯では、雲層及びそれ以下の混合層内で比湿が大きい、その直上で比湿が急激に小さくなっている。このため、この大きな差により雲頂エントレインメントがある程度起こりやすい環境になっている。それに対し、北太平洋・北大西洋では、雲層は1000m付近以下にあることが多いと考えられるが、それより上の高度でも比湿が急激には下がり、雲頂エントレインメントが非常に起こりにくいことを示唆している。雲頂エントレインメントが起こらなければ、雲層は乾燥空気によって崩壊させられにくくなり、下層雲はかなり維持されやすくなると考えられる。

話がやや複雑になるが、この雲頂エントレインメントについてさらに考察する。雲頂エントレインメントの起きる条件は、 k を定数、 L を潜熱比熱、 C_p を定圧比熱、 $\Delta_{EZ} \theta_e$ 、 $\Delta_{EZ} q_t$ を雲層中と雲頂直上の自由大気の間相当温位及び総水量のジャンプの大きさとして、

$$\Delta_{EZ} \theta_e < k \frac{L}{c_p} \Delta_{EZ} q_t \quad (1)$$

と表せる。図6は、雲頂エントレインメントについて議論される際によく使用される、上の式を図示したものであり、端的に言えば、図中の線分で区切られる区画Aが最も雲頂エントレインメントが起こりにくく、区画B、区画C、区画Dの順に、雲頂エントレインメントが起こりやすくなる。図6では、図4でプロットした点に対応するデータを用い、 Δ は、気塊の浮力のなくなる高度の直上の値から、海上の値を引いたものとして計算してプロットした。この結果、南北半球の緯度が高い地点に対応する多くの点が区画Aの領域に位置しており、雲頂エントレインメントが非常に起こりにくい湿度プロファイルになっていることがわかった。さらに、図4のLTSと下層雲量の散布図の各点を、図6の区画A-Dに入る点ごとに色分けしてプロットしたのが図7である。すなわち、プロットされた各点は、雲頂エントレインメントが起こりにくい方から、灰色、オレンジ色、水色、ピンク色の順で色分けされている。図4の散布図では、一見大きなばらつきが見られたが、同じ大気安定度（LTS）でも下層雲量に大小があるのは、雲頂エントレインメントが起こりにくいほど下層雲量が多いというもう一つのファクターが存在することが図7から示唆されている。

すなわち、下層雲量を決めるのには、温度のプロファイルから決まる大気の安定度だけではなく、雲頂エントレインメントの起こりやすさを決定するのに重要な役割を果たす湿度のプロファイル（特に、雲中と自由大気の差）も非常に需要であるということになる。そして、こうした雲頂エントレインメントの起こりやすさの違いをしっかりと認識し、このプロセスをモデルで適切に表現しないことには、中緯度の下層雲と亜熱帯の下層雲を、そのメカニズムまで含めてきちんと表現できないことをこの結果は示唆している。

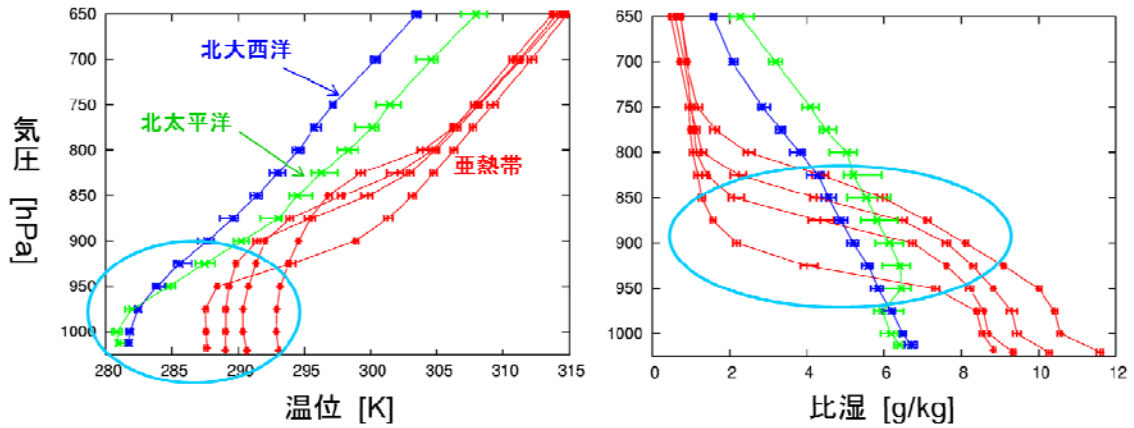


図5：北太平洋、北大西洋、亜熱帯の下層雲が発生している領域の、温位プロファイル（左）及び、比湿プロファイル（右）。7月及び1月の気候値（1999–2001の3年分のデータを使用）。上・中層雲量が30%以下の場合のみのプロファイル。

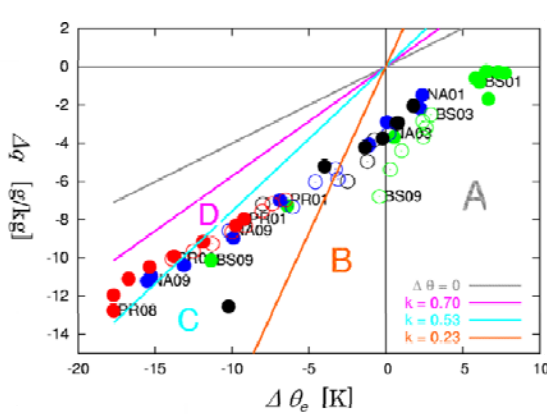


図6：図3の地点におけるデータを、 $\Delta\theta_e$ 、 Δq_t 図にプロットした。各点の凡例は図4と同様。（1）式の異なる k に対応する直線も描かれている。

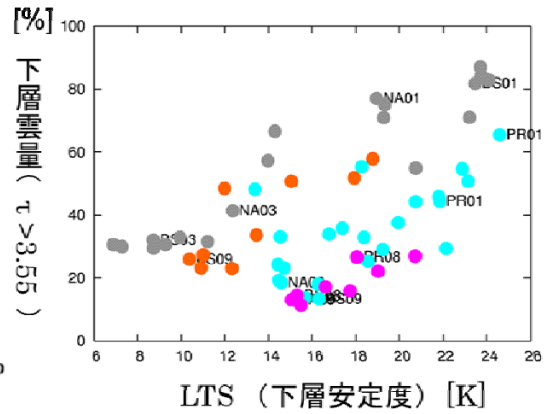


図7：図4のデータ点を、図6の区画A, B, C, Dに入った点ごとに色分けした散布図。色は、図6のA-Dの色に対応。

c)参考文献

- Klein, S.A., and D.L. Hartmann, 1993: The Seasonal Cycle of Low Stratiform Clouds. *J. Climate*, **6**, 1587–1606.
- Randall, D.A., 1980: Conditional Instability of the First Kind Upside-Down. *J. Atmos. Sci.*, **37**, 125–130.
- Deardorff, J., 1980: Cloud Top Entrainment Instability. *J. Atmos. Sci.*, **37**, 131–147.
- Wood, R., and C.S. Bretherton, 2006: On the Relationship between Stratiform Low Cloud Cover and Lower-Tropospheric Stability. *J. Climate*, **19**, 6425–6432.

3.1.7 CMIP5 マルチ気候モデルで再現された海洋の温度構造解析 (児玉)

児玉安正・Ibnu Fathrio・佐々木実紀 (弘前大学)

a)要旨

大気海洋結合モデルによる 21 世紀温暖化予測実験結果を収集し、日本周辺の海洋温度構造がどのように表現され、また温暖化後の変化がどのように予測されているかを昨年度に引き続き検討した。CMIP3 と CMIP5 から 4 つの MIROC モデルの結果を収集し検討したところ、ヤマセに大きな影響を与える三陸沿岸の親潮貫入を再現できているのは海洋モデルの空間分解能の高い MIROC3.2-High と MIROC4h であり、空間分解能が低い MIROC3.2-Middle と MIROC5 では再現できていなかった。分解能の低いモデルでは黒潮の表現が不十分であり、それがモデルの三陸沖の海面水温分布の不自然さと関係していた可能性がある。

b)本文

東北地方の局地気候は周囲の海洋の影響を強く受けており、ヤマセは典型的な例だといえる。例えば、Kodama (1997)によると、ヤマセ時に三陸沿岸で観測される気温は、沿岸の海面水温よりも 2°C 以上下回らない。ヤマセ気団が海から暖められた後に三陸に上陸するためと考えられる。Kodama et al.(2009)は、ヤマセが海上の経路上で海洋フロントを通過するとヤマセの混合層の上方への発達を促されることを指摘している。

現実大気の子マセが海洋の影響を強く受けていることから、地球温暖化後の子マセの局地的気候予測においても、親モデルである大気海洋結合モデルの海洋の予測結果の影響が大きいことが予想される。そこで昨年度は、海洋の予測結果を検討するため、CMIP3 のいくつかのモデルのデータを収集し、三陸沖の海面水温や海洋表層構造が各モデルでどのように予測されているかを検討した。その結果、多くのモデルが子マセに大きな影響を与える三陸沖の親潮貫入の再現に失敗しており、成功しているのは、我々が調査した範囲では、高分解能の海洋モデルを使用した MIROC3-High だけであることがわかった。

その後、IPCC の第 5 次報告書に向けて CMIP5 のデータ公表が始まった。最近、菅野と渡部(2012)は、MIROC3.2-H と MIROC5 における子マセの将来予測が大きく異なるという興味深い指摘を行った。MIROC3.2-H では温暖化に伴って 7 月の気温は上昇していくが、MIROC5 では将来も 7 月に子マセの低温がしばしば現れるというものである。筆者は、この違いにはモデル海洋の予測結果が関係しているのではないかと考えた。そこで、本年度は以下のような研究活動を行った。

1. CMIP5 に向けて作成された MIROC4h(高分解能)と MIROC5(中分解能)の RCP4.5 シナリオによる温暖化予測実験の結果(海洋)の収集。
2. MIROC3.2_H, MIROC3.2_M, MIROC4h, MIROC5 の温暖化実験における海洋モデルの予測結果の解析、および海洋観測データとの比較。

表 1 に、各海洋モデルの分解能を示す。MIROC5 は MIROC3.2_M と同等、MIROC4h は MIROC3.2_H と同等の分解能である。

図 1 に最近の 10 年間で平均された 7 月の各モデルの海面水温分布を示す。親潮貫入が再

現されているのは分解能の高い MIROC3.2_H と MIROC4h であり、最新の MIROC5 は、MIROC3.2_M と同じく再現が良くないことがわかる。

図 2 に 7 月の表面流速の分布を分解能の異なる MIROC4h と MIROC5 について示す。参照のために海洋客観再解析データである JCOPE2 (Miyazawa et al. 2009) による 2011 年 7 月の流速分布も示す。JCOPE2 の図からもわかるように、黒潮は幅の狭い海流であり、分解能の低い海洋モデルでは十分な表現はできない。黒潮は大量の熱を熱帯から中緯度に運び込み、大気に熱を受け渡しているため、黒潮の表現が不十分なモデルでは、SST 分布が不自然になることが想像できる。

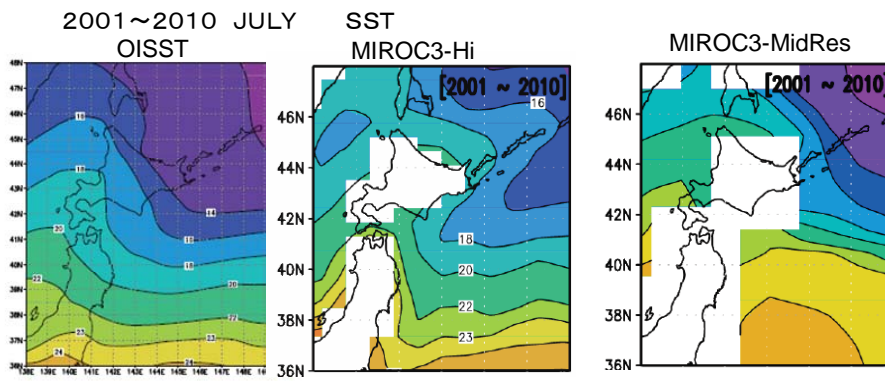
図 3 に、三陸沖で平均した 7 月の SST の将来予測を 4 つのモデルについて示したものである。海洋再解析データ JCOPE2 による 2011 年 7 月の値も記入されている。MIROC3.2_H と MIROC4h は将来にわたって近い値を示しており、2011 年で再解析値ともよく一致している。これに対して、分解能の低い MIROC3.2_M と MIROC5 では再解析値よりも 2～3℃ 程度低いか高い値を示しており、観測と合わない予測となっていることがわかる。

MIROC5 が MIROC3.2_H よりも低い SST を予測していることが、菅野と渡部(2012)が指摘した将来の 7 月の低温出現頻度の違いと関係している可能性がある。このことを確認するには、MIROC5 における大気循環と SST の長期変化を合わせて検討する必要がある。

謝辞：JCOPE2 データを利用させて頂いた海洋研究開発機構の宮澤泰正様、章若潮様、利用に当たりお世話頂いた長崎大学の万田敦昌様に深謝します。

表 1 解析した海洋モデル

Originating Group	Scenario	Model Name	Grid (degree) Lat×Lon	Level
CCSR, NIES, FRCGC	SERS A1b	MIROC3.2 Hi (High resolution)	0.28125× 0.1875	47
CCSR, NIES, FRCGC	SRES A1b	MIROC3.2 Mid (Middle resolution)	1.4× (0.5~1.4)	43
CCSR, NIES, FRCGC	RCP4.5	MIROC4h (till 2045)	0.28° ×0.19°	48
CCSR, NIES, FRCGC	RCP4.5	MIROC5	1.4° × (0.5~1.4°)	49



MIROC4h

MIROC5

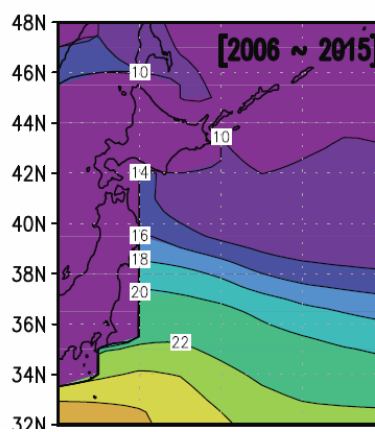
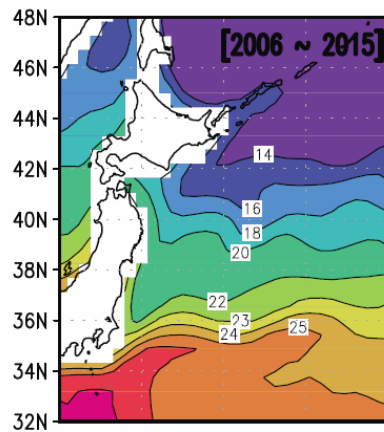


図1 現実海洋 (OISST) と解析した各モデルの7月の海面水温分布. ただし, 上段は2001年から2010年の平均. 下段は2006年から2015年の平均.

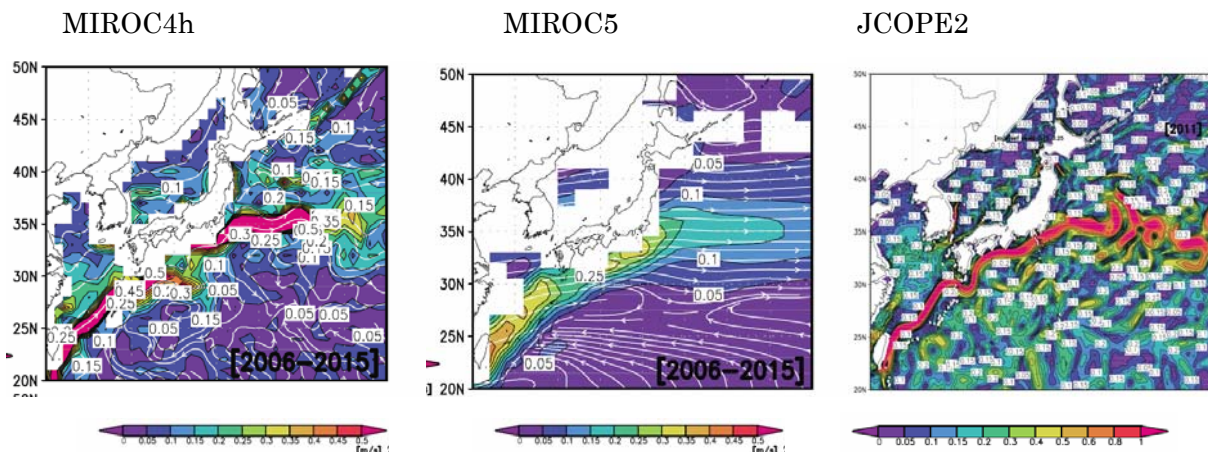


図2 各モデルの7月の海面付近の流速分布(MIROC4h(左) MIROC5(中)), および JCOPE2 海洋客観解析データによる2011年7月の海流(右).

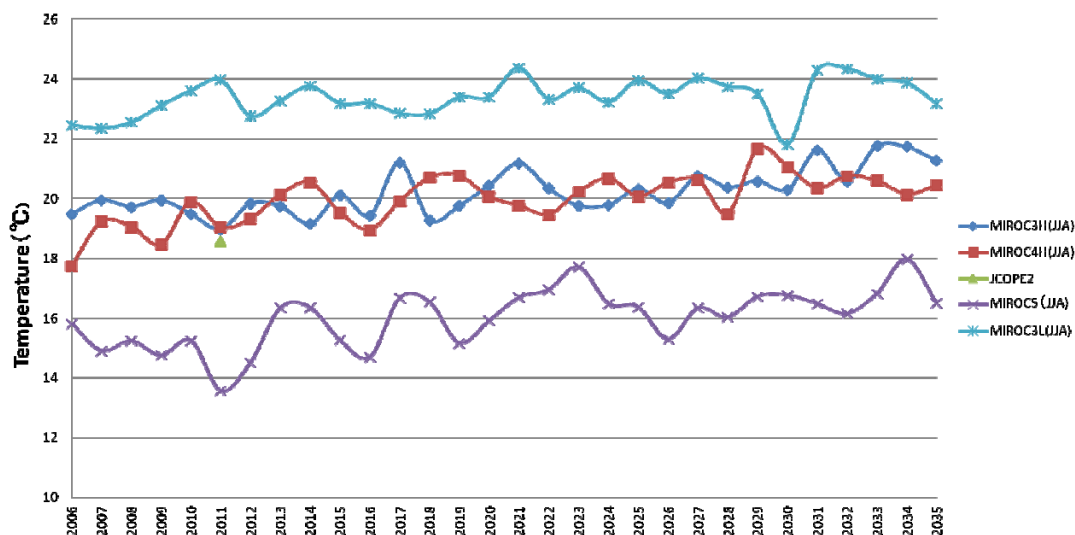


図3 6～8月で平均した三陸沖海域（40N-41N 141E-142E）の SST 将来予測結果と 2011 年の観測値.

c)参考文献

菅野洋光・渡部雅浩,2012: 全球気候モデル MIROC5 によるヤマセ型気圧配置の再現性. 日本地理学会 2012 年春季学術大会講演要旨集,181.

Y.-M. Kodama, 1997: Airmass transformation of the Yamase Air-flow in the summer of 1993. Journal of the Meteorological Society of Japan, 75, 737-751.

Y.-M. Kodama, Y. Tomiya and S. Asano, 2009: Air mass transformation along trajectories of airflow and its relation to the vertical structures of the maritime atmosphere and clouds in Yamase events. Journal of the Meteorological Society of Japan, 87, 665-685.

Miyazawa, Y., R. Zhang, X. Guo, H. Tamura, D. Ambe, J.-S. Lee, A. Okuno, H. Yoshinari, T. Setou, and K. Komatsu, 2009: Water mass variability in the western North Pacific detected in a 15-year eddy resolving ocean reanalysis, J. Oceanogr. 65, 737-756.

3.1.9 CMIP5 マルチ気候モデルのオホーツク海高気圧とヤマセの再現性 遠藤洋和（気象研究所）

a) 要旨

CMIP5 に提出されたマルチ大気海洋結合モデルにおけるオホーツク海高気圧とヤマセ頻度の再現性を調べた。モデルが再現するオホーツク海高気圧は、観測に比べて北東側に偏って発達する傾向がある。また、モデルによっては、独立した高気圧としては存在せず、太平洋高気圧の一部として現れている。このため、多くのモデルではオホーツク海高気圧発達に伴う東北地方への寒気南下は観測よりも弱く、ヤマセ頻度は少ない傾向がある。最新気候モデルの多くは東北地方に冷夏をもたらす大規模大気循環の特徴を十分に再現していないことが示唆された。

b) 本文

(1) CMIP5 データ

CMIP5（第5期結合モデル相互比較実験：5th phase of the Coupled Model Intercomparison Project）で実施された20世紀気候再現実験のうち、現時点（2012年2月末）で入手可能な実験データ——月平均データ：25モデル、日平均データ：17モデル——について各モデル1ランずつ収集・解析した。モデルリストを表1に示す。1981～2005年の25年間を解析期間とした。大気モデルの水平解像度は、最高解像度がMIROC4hの約60km、平均的には数100kmである。

加えて、気象研究所の全球20km大気モデル（MRI-AGCM3.2S; Mizuta et al. (2012)）の現在気候再現実験（1981～2005年）を解析した。この実験では観測された海面水温を与えている。この実験データは、本研究プロジェクトで実施する力学的ダウンスケールの境界値の一つとして用いられる予定となっている。

(2) オホーツク海高気圧の再現性

図1上段に海面更正気圧（以後、海面気圧）の気候値（1981～2005年平均）を示す。25モデル平均（以後、MME25平均）は再解析（JRA25; Onogi et al. 2007）に比べ、オホーツク海や沿海州沿岸で気圧が低く、太平洋高気圧の中心付近で気圧が高い傾向がある。

観測におけるオホーツク海高気圧は年々の変動が大きく、気候平均値では独立した高気圧として現れない。このため、オホーツク海高気圧が発達した事例を抽出した。モデルと再解析ともに、オホーツク海付近（45-60° N, 140-160° E 平均）の海面気圧の上位5事例（上位20%; 以後、OHTK-TOP5）を月毎に選択し、平均した（図1下段）。OHTK-TOP5平均のバイアスは、気候値のそれと似ているが、6月と7月はオホーツク海付近の負バイアスが一層明瞭である。特に、現実のオホーツク海高気圧の南西象限に位置するオホーツク海南部や沿海州沿岸における負バイアスは多くのモデルで一致している。

各モデルのOHTK-TOP5平均海面気圧および平年偏差を図2に示す。再解析では、オホーツク海高気圧および、梅雨前線に相当する本州南岸から東海上の低圧域が明瞭で、北日本で北東風が卓越する気圧配置である。各モデルの気圧分布は千差万別である。モデルによっては、オホーツク海付近に独立した高気圧としては存在せず、太平洋高気圧の一部として現れ、南よりの風が卓越するような気圧配置も見られる。気候値を差し引いた平年偏差では、モデル

は再解析に比べてオホーツク海付近の正偏差がやや小さく、南西への張り出しが弱い傾向にある。

925hPa 気温に関する同様の図を図 3 に示す。再解析では、北緯 40 度付近に東西に広がる負偏差および、北日本太平洋側沿岸と沿海州沿岸に局所的な負偏差ピークがみられる。モデルでは、北緯 40 度付近に負偏差が分布するが、CNRM-CM5、CSIRO-MK3-6-0、GFDL-ESM2M など一部のモデルを除き負偏差の大きさは再解析に比べかなり小さい。6 月についても同様の傾向が見られる（図略）。MRI-AGCM3.2S は解像度が細かいため、地形効果による北日本太平洋側沿岸の局所的低温を再現するポテンシャルをもつと考えられるが、大規模スケールの低温傾向が十分に再現されていないため、他の気候モデルとの違いが不明瞭である。水平解像度 60km の MIROC4h は、程度は弱いものの、山脈東側の寒気南下を再現している。

(3) ヤマセ頻度の再現性

Endo(2012)の定義に基づいて5月～8月のヤマセ頻度を数えた(表2)。累年の旬平均値において、北日本東海上(40-45° N, 142.5-155° E 平均)の地上風が北寄りかつ東寄りの場合(すなわち、 $U < 0$ & $V < 0$)をヤマセ出現と定義した。再解析では、6月に最もヤマセの頻度が多く、次いで7月、8月、5月の順に多い。モデルでは、6月のヤマセ頻度極大を再現するものの、頻度は明らかに少ない。ヤマセ頻度が再解析よりも多いモデルは、6月は2個、7月は1個のみである。

(4) CMIP3 マルチモデルとの比較

Endo(2012)はCMIP3マルチモデルのバイアスとして、弱いオホーツク海高気圧、強い太平洋高気圧、少ないヤマセ頻度を指摘している。先に示したように、CMIP5マルチモデルもこれと同様のバイアスをもつ。総モデル平均による比較では、モデルバイアスはCMIP3と比べて大きくは改善されていない(図略)。次に、CMIP5とCMIP3の個々のモデルを対象に、7月のOHTK-TOP5平均の海面気圧分布(25° -60° N, 120° -170° E 領域)の再現性能を評価した(図4)。RMSEやテイラー図(Taylor, 2001)から見た再現性能は、CMIP5の上位スキルモデルは、CMIP3のそれと比べて向上している。一方、CMIP5の下位スキルモデルはCMIP3のそれよりも悪化している。すなわち、CMIP5ではモデル間の再現性能のばらつきが増大している。なお、MRI-AGCM3.2Sの再現性能は最上位グループのモデルと同程度である。

以上の結果は、最新気候モデルの多くは東北地方に冷夏をもたらす大規模大気循環の特徴を十分に再現していないことを示唆しており、地球温暖化に伴う将来変化予測においては再現性能に基づき気候モデルを取捨選択する必要性を示唆する。

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. and Coauthor (2012), Climate simulations using MRI-AGCM3.2 with 20-km grid, *J. Meteor. Soc. Japan.*, 90A, 233-258.
- Onogi, K. and Coauthor (2007), The JRA-25 reanalysis. *J. Meteor. Soc. Japan*, 85, 369-432.
- Taylor, K. E. (2001), Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *J. Geophys. Res.*, 106, 7183-7192.

表 1 解析した CMIP5 マルチモデル。丸印は利用可能な 20 世紀再現実験データ。

ID	Model	Grid size	Monthly	Daily
A	bcc-csm1-1	128x64	○	○
B	CNRM-CM5	256x128	○	○
C	CSIRO-Mk3-6-0	192x96	○	○
D	CanCM4	128x64	○	○
E	CanESM2	128x64	○	○
F	FGOALS-g2	128x60	○	
G	FGOALS-s2	128x108	○	○
H	GFDL-CM3	144x90	○	
I	GFDL-ESM2G	144x90	○	○
J	GFDL-ESM2M	144x90	○	
K	GISS-E2-H	144x89	○	
L	GISS-E2-R	144x90	○	
M	HadCM3	96x73	○	
N	HadGEM2-CC	192x145	○	
O	HadGEM2-ES	192x145	○	
P	inmcm4	180x120	○	○
Q	IPSL-CM5A-LR	96x96	○	○
R	IPSL-CM5A-MR	144x143	○	○
S	IPSL-CM5B-LR	96x96		○
T	MIROC-ESM	128x64	○	○
U	MIROC-ESM-CHEM	128x64	○	○
V	MIROC4h	640x320	○	○
W	MIROC5	256x128	○	○
X	MPI-ESM-LR	192x96	○	○
Y	MRI-CGCM3	320x160	○	○
Z	NorESM1-M	144x96	○	
a	MRI-AGCM3.2S	1920x960	○	○

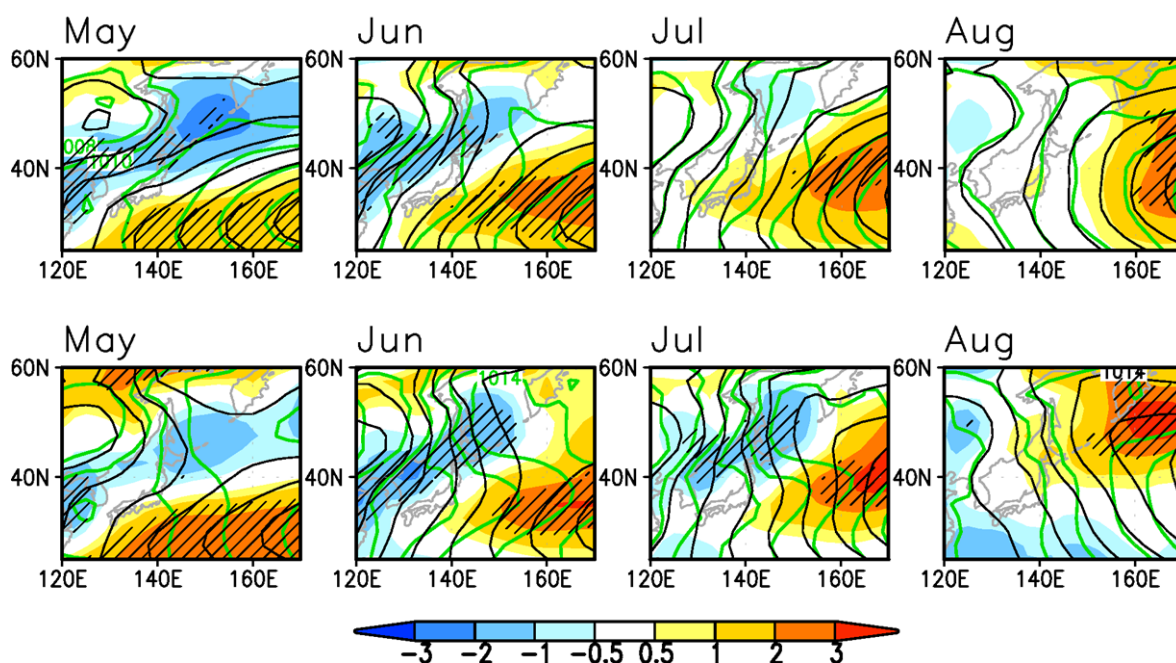


図 1 海面更正気圧の（上段）気候値および（下段）OHTK-TOP5 平均値。黒線は MME25 平均（25 モデル平均）、緑線は JRA25、陰影は MME25 のバイアス (hPa)。等値線間隔：2hPa。80% 以上（20 個以上）のモデルが同じ符号のバイアスをもつ領域に斜線。

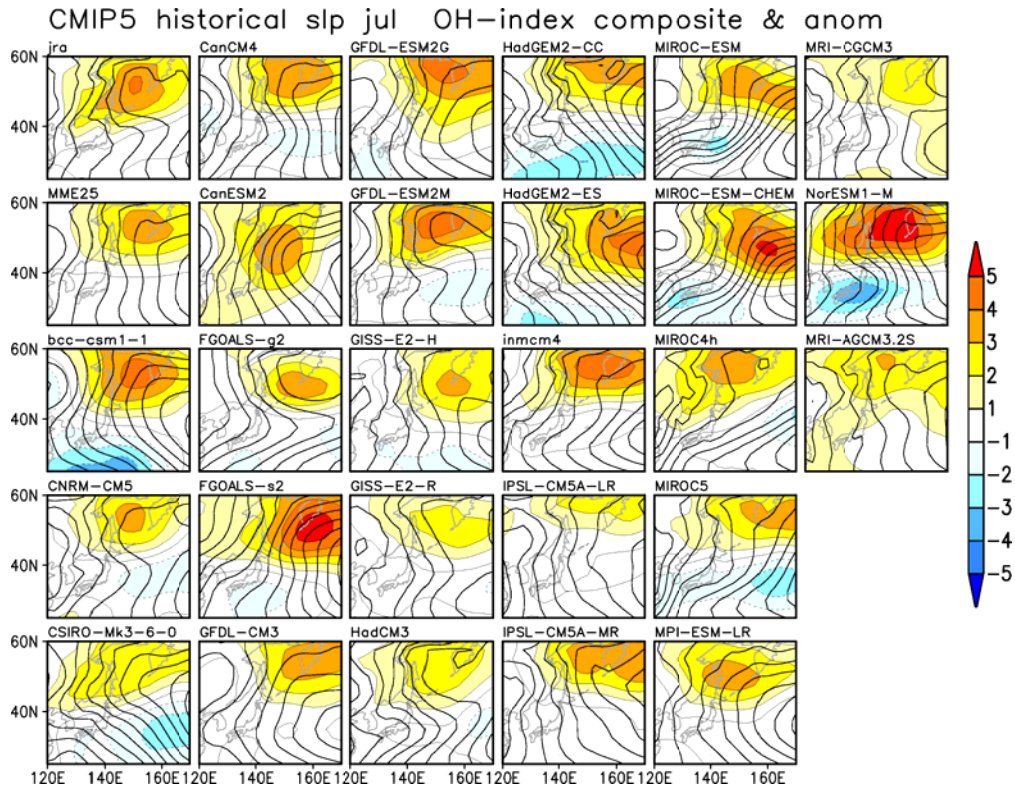


図2 OHTK-TOP5 平均の海面更正気圧 (線、hPa) と平年偏差 (陰影)。左上図は JRA25。等値線間隔は 2hPa。

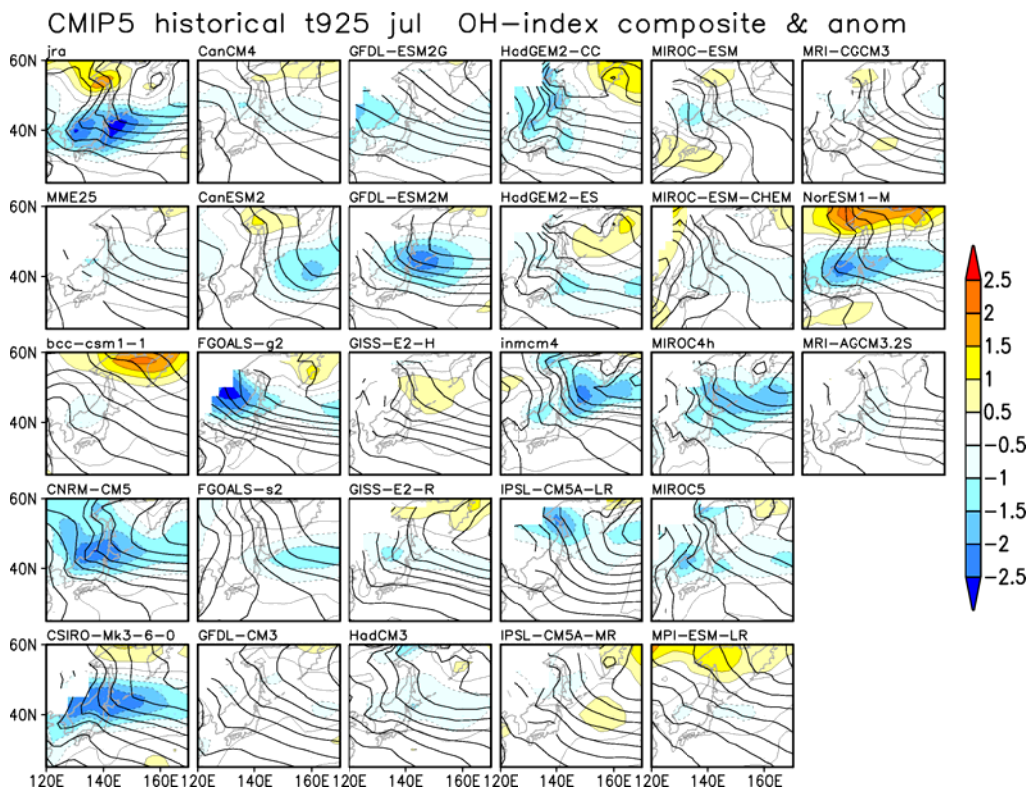


図3 925hPa 気温 (°C) 以外は図2と同じ。モデルによっては、地面以下のデータが存在ないため山岳地域で描画されていない。

表2 ヤマセ頻度の月別気候値 (1981~2005年合計)。再解析データよりもヤマセ頻度が多いモデルの値を赤色で示す。MME17は17気候モデルの平均値。

ID	Model	Yamase frequency (per 25years)				
		May	Jun	Jul	Aug	JJ
A	bcc-csm1-1	1	1	3	6	4
B	CNRM-CM5	7	23	18	4	41
C	CSIRO-Mk3-6-0	12	12	14	15	26
D	CanCM4	3	5	2	11	7
E	CanESM2	3	7	3	10	10
G	FGOALS-s2	3	4	3	4	7
I	GFDL-ESM2G	9	7	3	8	10
P	inmcm4	7	4	4	9	8
Q	IPSL-CM5A-LR	9	13	11	13	24
R	IPSL-CM5A-MR	5	18	8	20	26
S	IPSL-CM5B-LR	28	27	13	8	40
T	MIROC-ESM-CHEM	4	9	1	2	10
U	MIROC-ESM	8	8	1	4	9
V	MIROC4h	3	14	3	8	17
W	MIROC5	5	4	7	4	11
X	MPI-ESM-LR	7	4	3	3	7
Y	MRI-CGCM3	6	6	8	14	14
a	MRI-AGCM3.2S	5	9	11	8	14
MME17		7.1	9.8	6.2	8.4	15.8
JRA-25		10	19	16	11	35

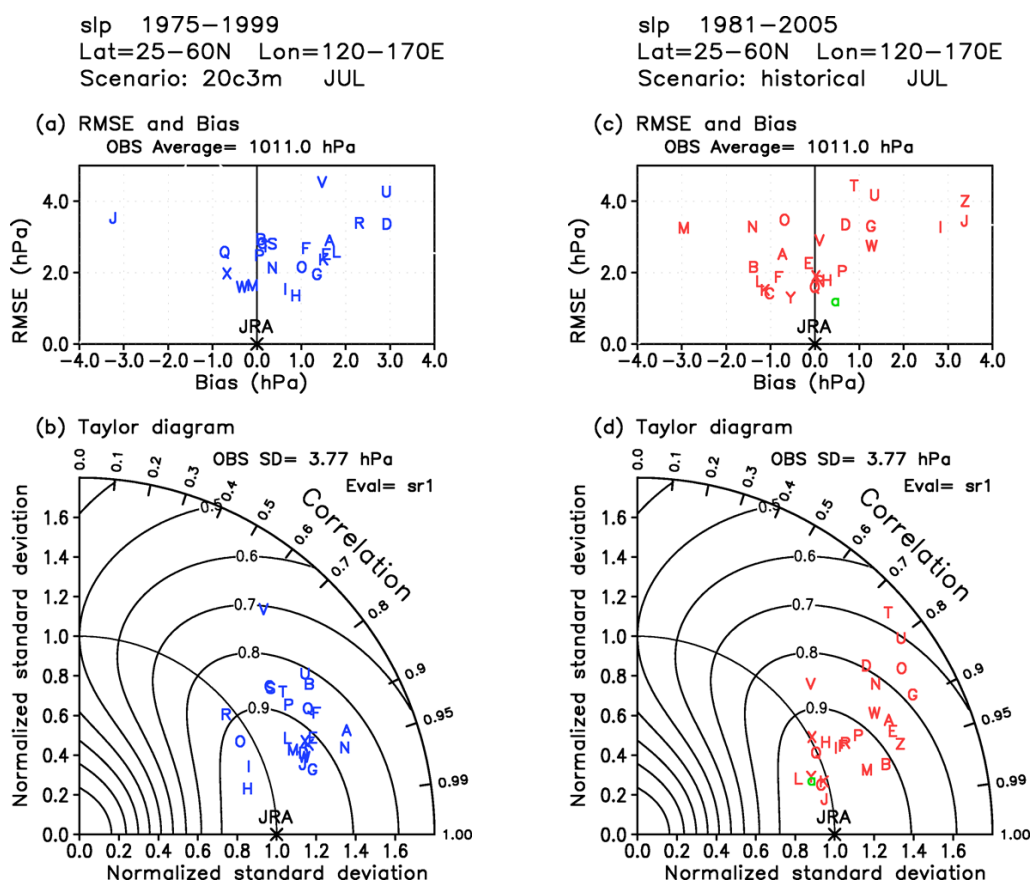


図4 7月のOHTK-TOP5平均の海面更正気圧分布の各モデルの再現性能。対象領域は25° - 60° N、120° -170° E。(a), (b):CMIP3。(c), (d):CMIP5。(a), (c):領域平均バイアスとRMSE。(b), (d):Taylor図。MRI-AGCM3.2Sを緑色でプロット。検証用データはJRA25。Taylor図の詳細はTaylor(2001)を参照。

3.2 局地気象予測の研究

3.2.1 アンサンブルダウンスケールによるヤマセの予報実験

福井真・岩崎俊樹（東北大学）

a) 要旨

力学的ダウンスケールによる予報の誤差は、側面境界値の不完全性の影響を大きく受ける。そのため、予報の信頼性を高めるために、側面境界値の不完全性を考慮することが重要である。そこで、全球アンサンブル予報値を側面境界値とした力学的ダウンスケール実験を行った。実験対象としたのは、2003年7月20日を初期値とする14日間であり、水平解像度 1.25° のアンサンブル予報値を $25\text{ km}\rightarrow 5\text{ km}\rightarrow 1\text{ km}$ の順にダウンスケールを行った。高解像度化することで、日平均気温の高温バイアスの軽減がみられた。これは、雲量の解像度による違いが一因として考えられる。また、ダウンスケールにより、陸と海との違いを適切に表現できるようになり、気温の日較差を表現できるようになった。そのため、アンサンブル平均の誤差は大きくなったものの、それと共に、スプレッドが大きくなった期間があった。これは、アンサンブルダウンスケールにより高解像度化することで初めて、気温の日較差を表現でき、さらにその信頼性についても予報できる可能性を示唆している。

b) 本文

(1) 背景・目的

ヤマセは、背が低いため、地形の影響を大きく受けたり（工藤 1984）、下層雲を伴い日射を遮ったりする。そのため、ヤマセによる局地的な影響を予報するには、詳細な地形や雲の効果を陽に扱うことのできる力学的ダウンスケールが有効な手段であると考えられる。しかし、力学的ダウンスケールによる予報も誤差を持つ。力学的ダウンスケールによる予報誤差の要因として、力学的ダウンスケールに用いる領域モデルの不完全性と、初期値・側面境界値の不完全性が考えられる。力学的ダウンスケールでは、側面境界値が特に大きな役割を果たす（岩崎・沢田 2010）。力学的ダウンスケールによる予報の信頼性を高めるには、側面境界値の不完全性を考慮することが重要である。そこで、本研究では、全球アンサンブル予報値を側面境界値として用いた力学的ダウンスケールを行った。

(2) 実験設定

力学的ダウンスケールに用いたモデルは、気象庁非静力学モデル(JMA-NHM ; Saito et al. 2007)である。アンサンブル予報値である1ヶ月アンサンブルハインドキャスト(水平解像度 1.25° ; メンバー数 9)を、水平解像度 $25\text{ km}\rightarrow 5\text{ km}\rightarrow 1\text{ km}$ の順に力学的ダウンスケールした。計算領域は、最終的な水平解像度 1 km への力学的ダウンスケールにおいて、ヤマセの影響を大きく受ける東北太平洋側地域に属する宮城県が中心となるように定めた。計算期間は、2003年7月20日からの14日間である。この期間の前半は、オホーツク海高気圧から吹き出すヤマセの影響で低温となり、後半は、オホーツク海高気圧の勢力が弱まり、南からの暖気移流により徐々に気温が上昇した。尚、その他の詳細な計算設定は、表1を参照されたし。

(3) 結果

アンサンブルダウンスケールによる予報の精度を調べるため、気温について、各解像度おける計算結果を、水平解像度 1 km の計算領域内の AMeDAS(19 地点)と比較した。

図 1 は、日平均気温について AMeDAS19 地点平均の計算結果と観測値を、図 2 は、その誤差とスプレッドを示したものである。解像度によらず、「計算期間の前半は気温が低く、その後徐々に上昇する」という傾向が捉えられていた。誤差については、25 km→5 kmの力学的ダウンスケールにより、大きな軽減が見られる一方で、5 km→1 kmの力学的ダウンスケールでは、顕著な違いが見られなかった。誤差が軽減された一因として、高解像度化した結果の方が、下層雲量が多くなり(図 5)、下向き短波放射をより遮ること(図 6)により、気温の高温バイアスが軽減されたことが考えられる。また、スプレッドに関しては、解像度による違いは、顕著ではなかった。

図 3 は、気温の日較差について AMeDAS19 地点平均の計算結果と観測値を、図 4 は、その誤差とスプレッドを示したものである。気温の日較差に関しては、ダウンスケール前の全球モデルの結果では、期間を通して、スプレッドが一定であったのに対して、ダウンスケールによる高解像度化で、スプレッドが大きくなる期間ができた。低解像度の全球モデルでは陸地を十分に表現できていないために、晴れて気温の日変化が大きくなるメンバーと雲が出て気温の日変化が小さくなるメンバーの違いを表せていなかった。水平解像度 25 kmに力学的ダウンスケールにより陸上での気温の日変化を表せたことにより、アンサンブル平均の誤差が大きくなったものの、それと共にスプレッドが大きくなった期間が生じるようになった。力学的ダウンスケールにより初めて、気温の日較差を表現でき、その信頼性についても予報できる可能性を示唆している。

(4) 今後の課題

高温バイアスを高解像度化により、ある程度軽減できたが、依然として、2°C程度残っている。この高温バイアスの要因の究明、除去することが課題である。本研究では、1 事例のみしか対象にしておらず、今回の結果が、他の事例に対しても言えることか確認することが必要である。

表 1. 計算設定

使用モデル	気象庁非静力学モデル (JMA-NHM) (Saito et al. 2007)		
水平解像度(格子数)	25km (100×70)	5km (80×80)	1km (125×125)
初期値・境界値	1ヶ月アンサンブル ハインドキャスト* (水平解像度 1.25 度)	水平解像度 25km への ダウンスケール結果	水平解像度 5km への ダウンスケール結果
メンバー数	9		
計算時間	2003年7月20日 21JST ～8月4日 00JST (14days)	2003年7月21日 00JST ～8月4日 00JST	2003年7月21日 03JST ～8月4日 00JST
時間間隔	40s	20s	5s
鉛直格子	42層 (20-840m) 地形に沿うハイブリッド座標		
積雲対流	Kain-Fritsch スキーム		なし
SST	NGSST(Guan and Kawamura, 2004) (初期日に固定)		
乱流クロージャー	Improved Mellor-Yamada Level3 (Nakanishi and Niino, 2004,2006)		

*気象庁気候情報課より提供

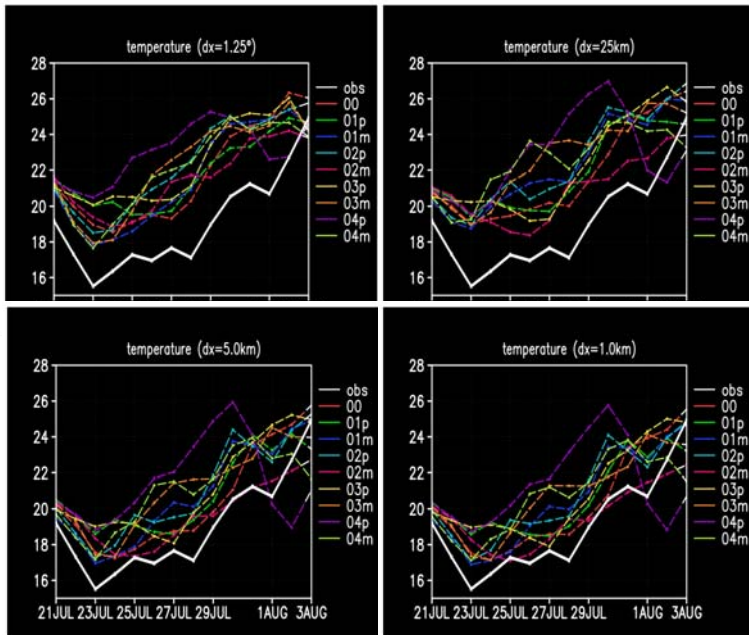


図 1. 日平均気温(19 地点平均) [°C]
 上段左: $dx=1.25^\circ$ 、上段右: $dx=25$ km
 下段左: $dx=5$ km、下段右: $dx=1$ km
 白線: AMeDAS の観測値 その他: 各アンサンブルメンバー

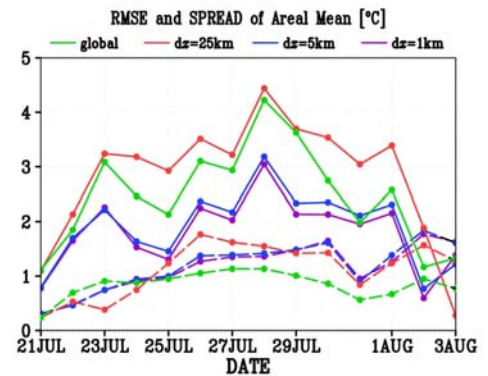


図 2. 日平均気温の誤差(19 地点平均) [°C]
 緑線: $dx=1.25^\circ$ 、赤線: $dx=25$ km
 青線: $dx=5$ km、紫線: $dx=1$ km
 実線: アンサンブル平均の RMSE
 破線: スプレッド

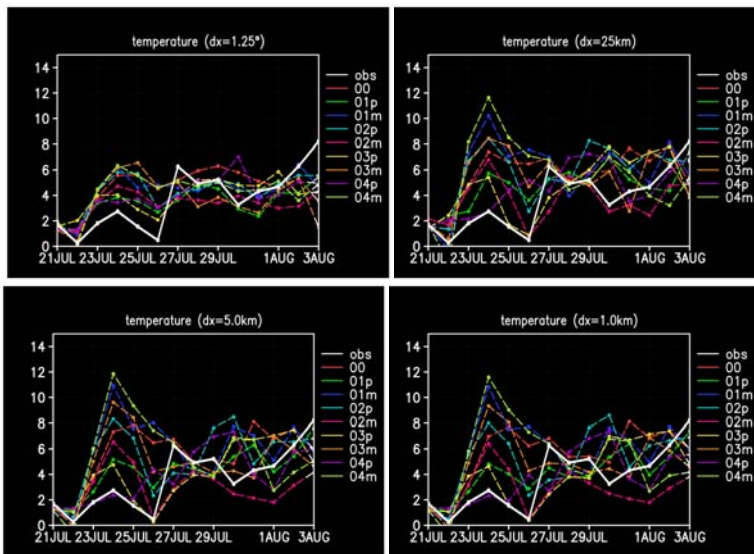


図 3. 気温日較差(19 地点平均) [°C]
 上段左: $dx=1.25^\circ$ 、上段右: $dx=25$ km
 下段左: $dx=5$ km、下段右: $dx=1$ km
 白線: AMeDAS の観測値 その他: 各アンサンブルメンバー

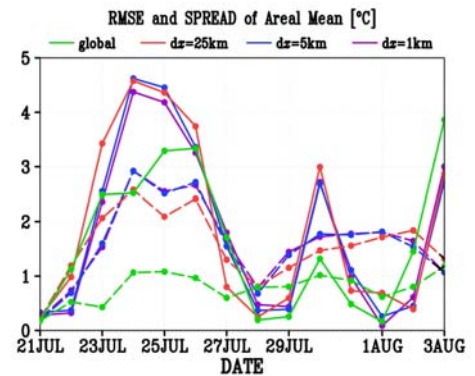


図 4. 日平均気温の誤差(19 地点平均) [°C]
 緑線: $dx=1.25^\circ$ 、赤線: $dx=25$ km
 青線: $dx=5$ km、紫線: $dx=1$ km
 実線: アンサンブル平均の RMSE
 破線: スプレッド

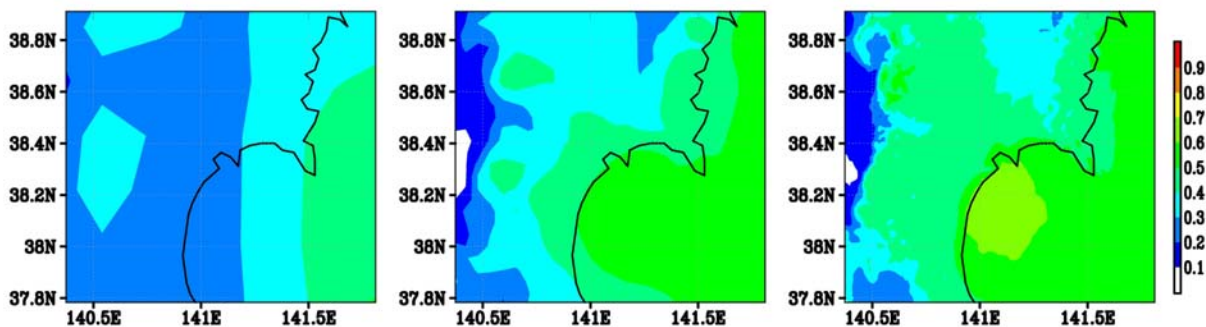


図 5. 下層雲量 (アンサンブル平均) の 14 日平均 左から $dx=25$ km、 $dx=5$ km、 $dx=1$ km

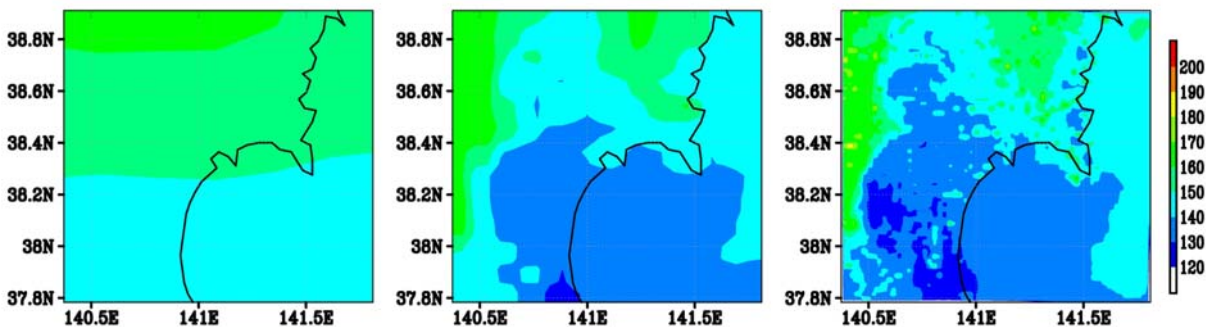


図 6 下向き短波放射 [W/m^2] (アンサンブル平均) の 14 日平均 左から $dx=25$ km、 $dx=5$ km、 $dx=1$ km

c) 参考文献

Guan, L., and H. Kawamura, 2004: Merging satellite infrared and microwave SSTs: methodology and evaluation of the new SST. *Journal of Oceanography*, **60**, 905-912.

Nakanishi, M., and H. Niino, 2004: An improved Mellor-Yamada level 3 model with condensation physics: Its design and verification. *Boundary-Layer Meteorology*, **112**, 1-31.

Nakanishi, M., and H. Niino, 2006: An improved Mellor-Yamada level 3 model: Its numerical stability and application to a regional prediction of advection fog. *Boundary-Layer Meteorology*, **119**, 397-407.

Saito, K., J. Ishida, K. Aranami, T. Hara, T. Segawa, M. Narita, and Y. Honda, 2007: Nonhydrostatic atmospheric models and operational development at JMA. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **85B**, 271-304.

岩崎俊樹, 沢田雅洋, 2010: ダイナミックダウンスケールの課題と展望. *天気*, **57**, 540-545.

工藤泰子, 1984: 典型的なヤマセ時のオホーツク海気団の特性 -1981 年6 月18~21 日の事例解析-. *天気*, **31**, 411-419.

謝辞

一ヶ月アンサンブルハインドキャストは、気象庁気候情報課よりご提供賜りました。

3.2.2 青森県六ヶ所村で実施したヤマセの高層気象観測 児玉安正（弘前大学）

a)要旨

青森県六ヶ所村で、陸上を吹走するヤマセの高層観測を行った。3時間毎のゾンデ観測を二日間にわたって行い、ヤマセの鉛直構造について詳細な観測データを得ることができた。本データはダウンスケールモデルの検証にも有益である。

b)本文

陸上のヤマセの構造について情報を得る目的で、青森県六ヶ所村でヤマセの高層気象観測を実施した。六ヶ所村は、八甲田山地と下北丘陵の間の鞍部に位置し、太平洋と陸奥湾を結ぶ風力発電も盛んな風の通り道であり、陸上を吹き抜けるヤマセを観測するには最適の地である。三沢基地に近いために、訓練が休みとなる週末しか放球が許可されないが、2011年7月29日18Z～31日12Zにヤマセの観測に成功し、3時間毎の放球によりヤマセの鉛直分布の詳細な情報を得ることができた。図1に地上天気図を示す。オホーツク海に中心を持つオホーツク海高気圧から、リッジが東北地方の太平洋側と沿海州に沿って伸びるN字型パターンと呼ばれるヤマセ時の典型的な天気図型（工藤1984）がみられる。

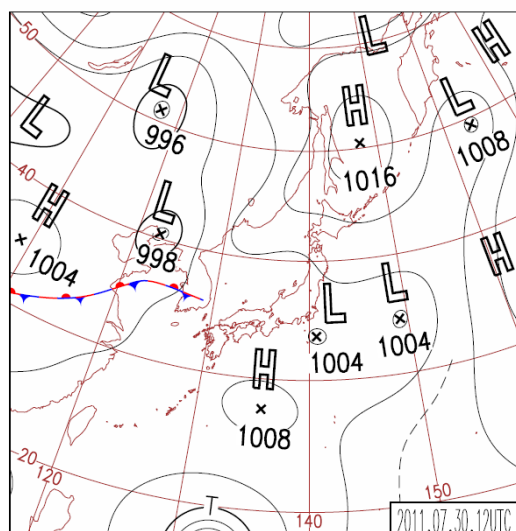


図1 観測時の地上天気図(気象庁)

図2に、気温、相対湿度、東西風速のプロファイルの時系列を示す。観測されたプロファイルの特徴として、3層構造が指摘できる。一番下層は相対湿度が100%に近く、風向は東よりでヤマセ層と考えられる。30日00Zころから、ヤマセ層の上に厚さ1000m程度の、相対湿度が70～90%程度の比較的湿潤な層が出現し、風は弱い北よりである。さらにその上に大変乾燥した層がみられた。温位分布からわかるように3つの層の境界には安定層がある。通常ヤマセ時には、湿潤なヤマセ層とその上方の乾燥した層からなる2層構造が観測されるが、今回は3層構造が見られた。

3層構造が観測された原因を検討するため、NOAA ARL(Air Resources Laboratory)

HYSPLIT(Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model) (Draxler and Rolph 2012).を用いて後方流跡線解析を行った。その結果、3つの層の空気はそれぞれ異なる起源を持ち、最下層は北太平洋起源のヤマセ、2番目の層は北海道を經由してきた空気塊、最上層は大陸上空からオホーツク海高気圧の内部で下降してきた空気塊であることが示された。今回の観測結果は、ダウンスケール予報実験の検証にも有効ではないかと考えられる。本報告書には瀬古らによる予報実験結果が報告されている。

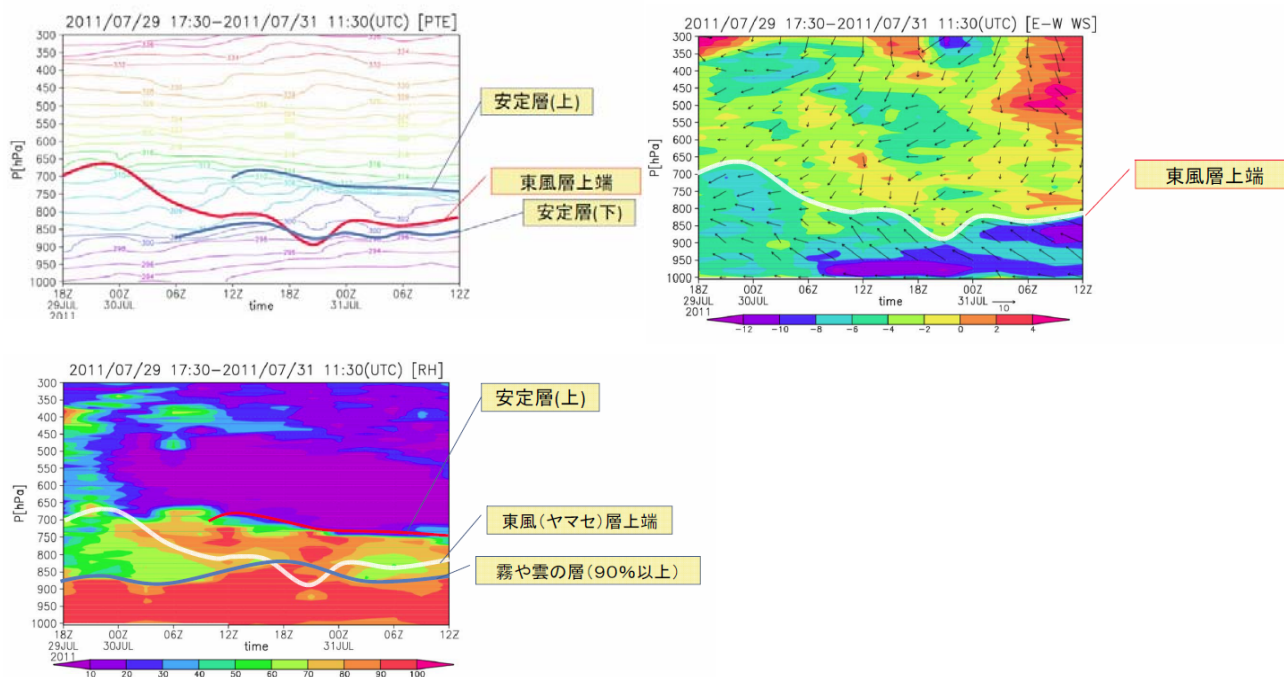


図2 3時間毎の高層気象観測から得られた温位(K) (左上図)、風向(ベクトル)と東西風速(m/s カラー) (右上図)、相対湿度(%) (左下図)の時間変化。

布からわかるように3つの層の境界には安定層がある。通常ヤマセ時には、湿潤なヤマセ層とその上方の乾燥した層からなる2層構造が観測されるが、今回は3層構造が見られた。

c) 文献

Draxler, R.R. and Rolph, G.D., 2012. HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.

工藤泰子(1984)：典型的なヤマセ時のオホーツク海気団の特性－1981年6月18日～21日の事例解析－. 天気, 31, 411-419.

3. 2. 3 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

ヤマセが発生した 2011 年 7 月 30 日から 31 日について、局地アンサンブル変換カルマンフィルター (LETKF) をネストさせたシステムを用い、アンサンブル予報実験を行った。格子間隔 15 km の親 LETKF では、すべてのアンサンブルメンバーで、東北地方の東海上に下層雲が再現できた。再現された下層雲は、高度 1.0 km から 1.5 km にあって、気温が周囲よりも低くなっていた。また、京都大学や弘前大学が六ヶ所村で行った特別観測のデータとアンサンブル予報の結果を比較すると、下層の風速が弱いものの、南寄りと北寄りの風の境界や安定層の高度変化が表現できていた。格子間隔 1.875 km の子 LETKF では、奥羽山地の東側や岩手県の沿岸に沿った雲域、アメダスで観測された地上付近の気温や水平風分布が再現できていた。これらの結果は、LETKF をネストさせたアンサンブル予報システムが、ヤマセの現象の再現に有効性であることを示している。

b) 本文

研究背景

‘ヤマセ’は、夏季の北日本に冷涼な気候をもたらす冷たい北東風で、ヤマセ雲と呼ばれる低層雲を伴うことが多い。ヤマセは、長期間持続すると農産物に影響を与えるため、より正しい予報が必要である。ヤマセの有無を議論する場合、季節予報等の数か月以上の問題として議論されることが多い。しかし、たとえば、数日間でも正確な予報ができれば、防風柵などでヤマセの影響を軽減することが期待できることから、ヤマセの短時間予報も重要と考えられる。本報告では、LETKF をネストさせたシステムを用いてヤマセのアンサンブル予報を行い、気象衛星で観測された雲分布やアメダスで得られた気温や地上風の分布と比較を行って、ヤマセに対するアンサンブル予報の有効性を示す。

実験概要

本報告では、ヤマセを引き起こす北東風や地形の影響を受けた地上風の風系・気温分布などを再現するために、気象庁非静力学モデル用の LETKF (Miyoshi and Aranami, 2006) をネストさせたシステムを用い、アンサンブル実験を行った。本報告の親 LETKF とその中に配置する子 LETKF の水平格

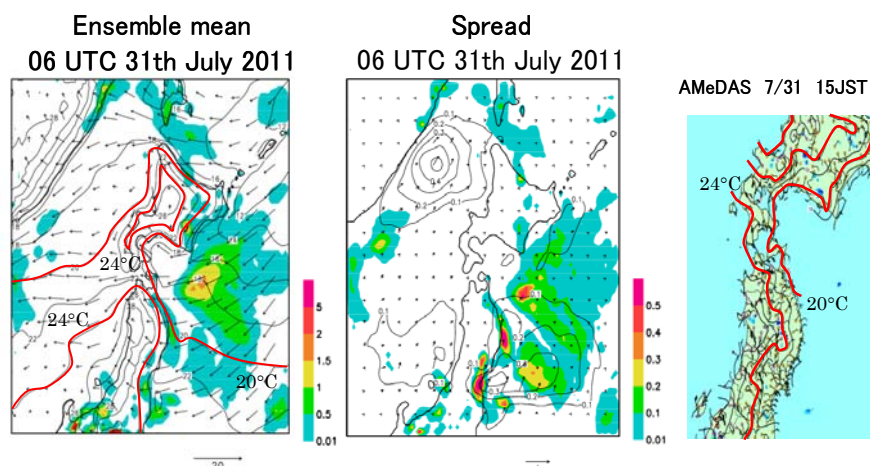


図 1: (左と中央)親 LETKF で得られた 2011 年 7 月 31 日 15 時の高度補正後のモデル最下層の気温と水平風、雲水積算量のアンサンブル平均とスプレッド。(右)アメダスで観測された同時刻の地上気温と水平風。

子間隔は、それぞれ、15 kmと 1.875 kmとした。親 LETKF の境界値と初期シードは、気象庁のメソ解析から作成し、子 LETKF の境界値や初期シードは、親 LETKF の予報値から作成した。親 LETKF では、気象庁の現業で用いられた同化データを1時間毎に同化し、子 LETKF は現業データの他に、国土地理院のGPS 連続観測網で観測される可降水量やドップラーレーダの動径風等の高分解能データを同化できるが、本報告では、現業データを10分毎に同化した。子 LETKF の結果を親 LETKF にフィードバックさせるために、より詳細に再現できる子 LETKF の解析値を6時間毎に親 LETKF に反映させている。適用する事例は、2011年7月30日から31日に発生したヤマセで、親 LETKF は7月27日9時から、子 LETKF は、31日9時からアンサンブル予報を開始した。

アンサンブル予報の結果

図1は、親 LETKF で再現した高度補正後の高度20mの気温と水平風、雲水積算量についてのアンサンブル平均とスプレッド分布である。

北日本の東側の海上では、北東風が優勢で、そこでの気温は、日本海側の温度と比べて、より低温になっていた。スプレッドは、この北東風の先端付近で大きく、メンバ毎に北東風の広がり方が異なっていたことを示している、陸上の気温の分布は、再現されたものは、アメダスで観測されたものと比べると、格子間隔が15kmと粗いために、より滑らかな分布になっているものの、おおよそ合っている。

観測した衛星画像と親 LETKF で得られた画像を図2に示す。下段の図の東端では、計算領域の境界に近いために雲が発生していないけれども、内側で形成された雲域は北日本の東海岸の沿岸近くまで広がっていた。その雲域は、可視では明瞭に見え、赤外では不明瞭であったことから、再現された雲は、ヤマセ雲と同様に、下層の層状雲であったことがわかる。

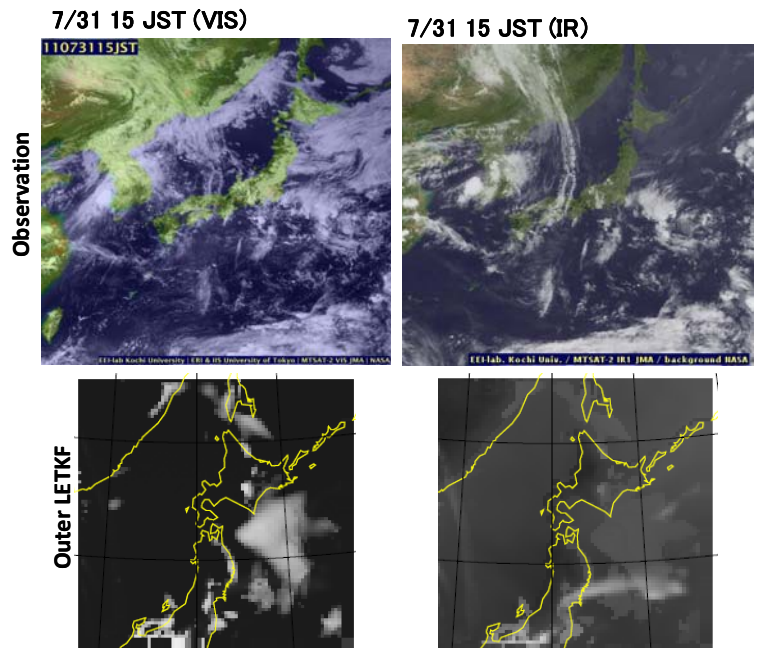


図2: (上段)2011年7月31日15時の気象衛星で観測された可視画像と赤外画像。(下段)親 LETKF の出力から作成した可視画像と赤外画像。

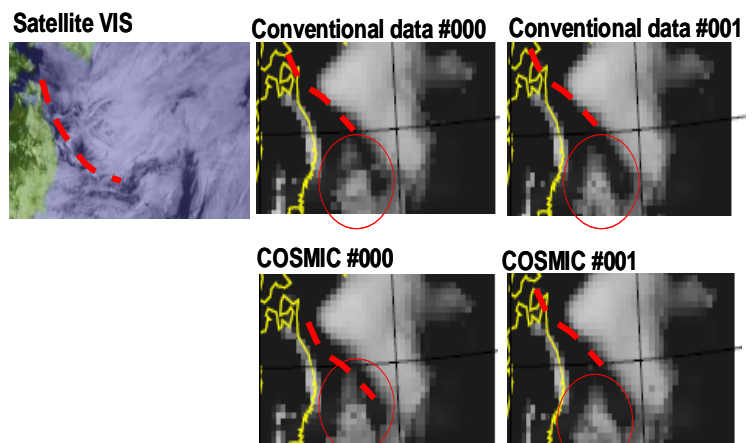


図3: (左)15時に観測された可視画像。(上段右)現業データのみを同化して得られた可視画像(アンサンブルメンバー000と001)。(下段)現業データとF3Cの掩蔽データを同化して得た可視画像(アンサンブルメンバー000と001)。

詳細に見ると、雲水量のスプレッドが大きかった宮城県の東側の雲域（図 3 に赤丸で示す）はアンサンブルメンバー毎に雲分布が異なっているが、その北側の雲域は、同様にスプレッドは大きいにもかかわらず、雲画像では差が小さい。これは、雲水量がある大きさ以上になると、雲画像では差が見えにくくなることを示している。また、観測された可視画像との比較では、北日本の沿岸の雲域が切れている領域（赤い点線で示す）も、親 LETKF で再現されているように見える。

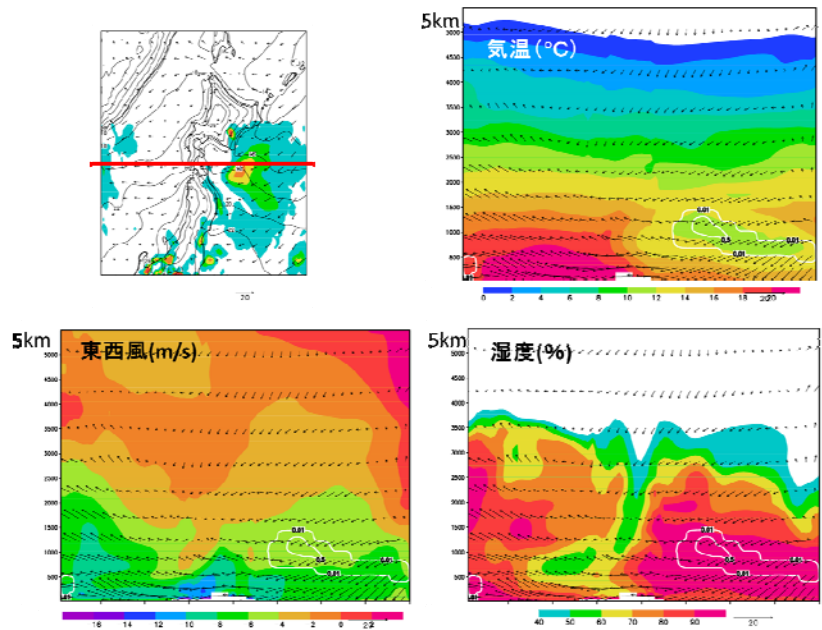
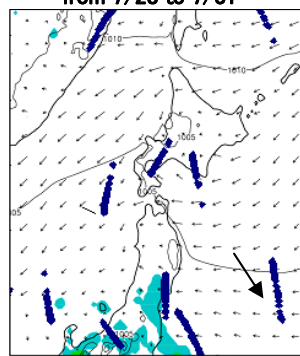


図 4: 雲域を東西に横切る 15 時の気温、水平風、湿度の鉛直断面図。白線は、雲水量を示す。

次に、親 LETKF で再現されたヤマセ雲の鉛直構造を見てみる（図 4）。ヤマセ雲は、北日本の東海上の高度 1.5km 以下にある湿度 90%以上の湿った大気内で、高度 1km から 1.5km に発生していた（図 4 右下）。そこでは気温は周囲よりも低温になっていた（図 4 右上）。この低温は、放射冷却によるものと考えられる。また、雲底より下側では、強い北東風になっていた（図 4 左下）。この鉛直断面図は、ヤマセ雲の上端と下端の高度の決定に、湿った領域の上端の高度や風速プロファイルが寄与している可能性を示唆している。

Positions of COSMIC data from 7/28 to 7/31



Vertical profile of refractivity index

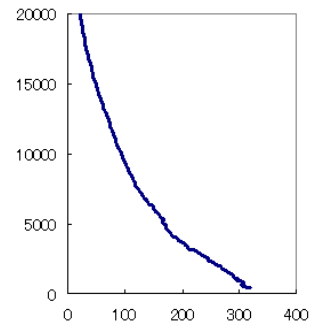


図 5: (左)2011 年 7 月 28 日から 31 日までに観測された F3C のタンジェント点の分布。(右)矢印で示した観測点の屈折指数の鉛直プロファイル。

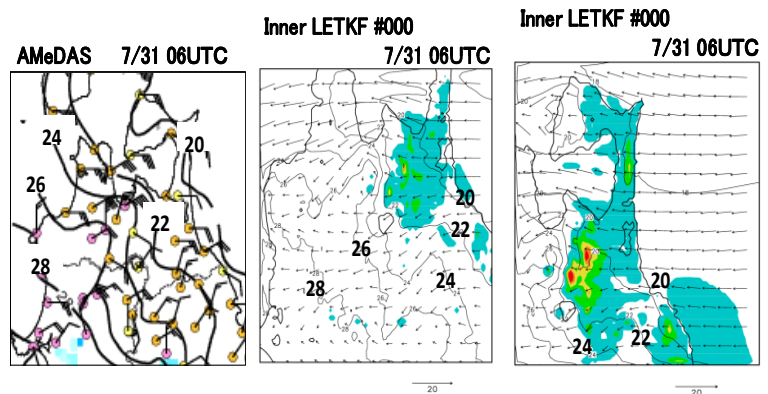


図 6: (左)アメダスによる 15 時の高度補正後の気温と水平風。(中央と右)15 時の子 LETKF から得られた高度補正後のモデル最下層(20m)の気温と水平風。

気温や水蒸気量の鉛直プロファイルを改善するために、

GPS 掩蔽観測衛星である FORMOSAT-3/ COSMIC (F3C) で観測されたタンジェント点 (GPS 衛星と F3C 衛星までの視線上で最も地球に近い点) の屈折率プロファイルを親 LETKF に同化した。屈折率は、気温や水蒸気量の関数であり、同化により雲分布が改善されること期待できる。図 5 は、7 月 28 日から 31 日までの F3C で観測されたタンジェント点の位置である。親 LETKF を用いて、これらの観測データをすべて同化したが、図 3 の下段に示すように、雲域の変化は小さかった。これは、タンジェント点の位置が、注目する青森県の東側の雲域周辺から離れていたためと考えられる。

次に、格子間隔約 2km の子 LETKF の気温や地上風の分布をみる (図 6) と、子 LETKF の気温がやや低いものの、よく似た分布を再現していた。また、地上風も、山地を迂回している様子などをよく再現している。雲域は、北日本の中央にある奥羽山地の東側や東側の海岸線に沿った沿岸にあり、気象衛星で観測された雲域と同様な分布になっていた。子 LETKF の分布は、親 LETKF に比べて細かなスケールの特徴を持っていることから、子 LETKF は、ヤマセ発生時の内陸部での気温や水平風分布等の情報を提供できる可能性があることを示している。

京都大学や弘前大学によって、2011 年 7 月に、高層観測やプロファイラー、ライダー等を用いた特別観測が、下北半島の六ヶ所村で行われた (児玉ほか、2011)。その観測結果を子 LETKF で再現されたものと比較すると、下層の南東風の風速が弱いものの (図 7 上段)、その上層の北東風の境界 (図 7 上段の白線で示す) や、相当温位の鉛直傾度の安定層 (図 7 下段の青線で示す) の変動が、よく再現されていた。これらの結果は、LETKF ネストシステムは、地上付近だけでなく鉛直方向にも、ヤマセを表現できていたことを示している。

今後

ヤマセに伴う下層雲に影響を与えると考えられる海面水温に摂動を与える実験や大気の成層状態を観測に近づける掩蔽データ等を用いた同化実験を継続し、よい解析値を得る工夫を行う。また、LETKF ネストシステムを用いたアンサンブル実験を、より広い領域で行い、ヤマセに対して、アンサンブル予報からどのような有益な情報が引き出せるのかを検討をしたい。

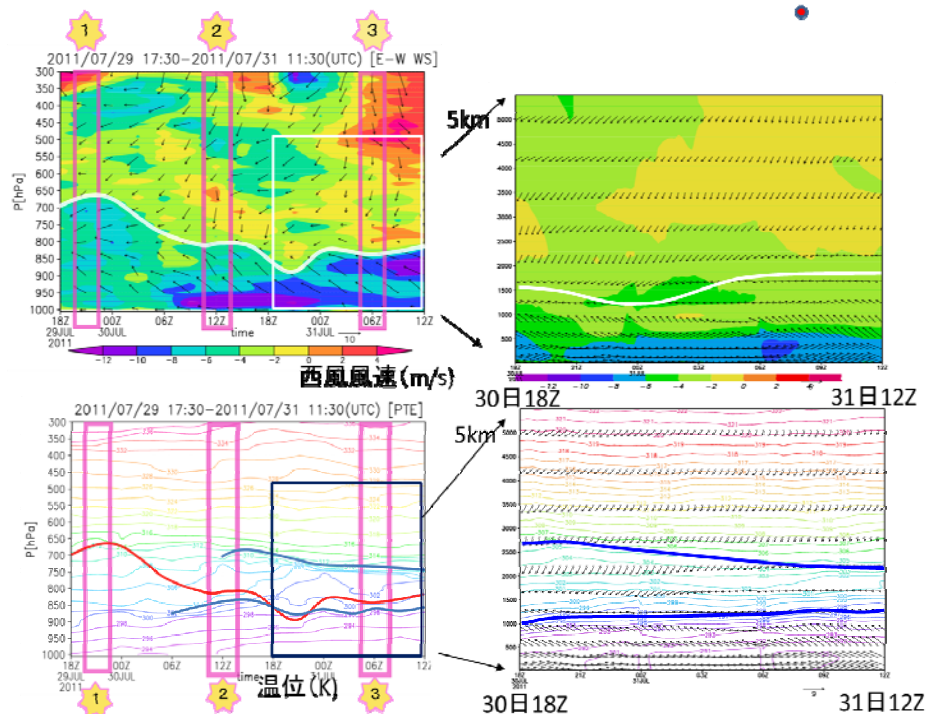


図 7: (左上)六ヶ所村で行われたゾンデ観測による水平風の時系列。鉛直軸は高度、横軸は時刻。色は風速で、南風と北風の境界を白線で示す。(左下)相当温位の時系列。鉛直傾度の大きい層を青線で示す。(右上と右下)子 LETKF で得られた水平風と相当温位の時系列。

謝辞

FORMOSAT-3/COSMIC の掩蔽データは、University Corporation for Atmospheric Research の COSMIC Data Analysis and Archival Center が作成したデータを、京都大学生存圏研究所から、頂きました。ここに記して謝意を表します。

c) 参考文献

Miyoshi, T. and K. Aranami, 2006: Applying a four-dimensional local ensemble transform Kalman filter (4D-LETKF) to the JMA nonhydrostatic model (NHM). *SOLA*, **2**, 128-131.

児玉安正・橋口浩之・古本淳一・矢吹正教・津田敏隆、2011、2011年六ヶ所村ヤマセキャンペーン観測の概要報告、第4回ヤマセ研究会 (<http://wind.gp.tohoku.ac.jp/yamase/reports/meeting4.html>)

3.2.4 ダウンスケールのためのデータ同化スキームの開発と予備実験

沢田雅洋・岩崎俊樹（東北大学）

a) 要旨

高解像度・狭領域のダウンスケーリングの予測精度の改善（延長予報）に向けた、データ同化スキームの開発とその予備実験を行った。狭領域の予報では、側面境界が支配的となるので、局所アンサンブル変換カルマンフィルタ（LETKF）を用いて、側面境界の修正を行った。まず、解像度のやや粗めの広領域での解析場（側面境界値）を作成し、そこからダウンスケールする狭領域において、高解像度の解析場（初期値）を作成した。その2つを組み合わせ、解析—予報サイクルを行うシステムを構築し、ライダーによる観測を想定した観測システムシミュレーション実験において誤差評価を行った。側面境界値の修正を行った場合、修正をしない場合に比べて、予報（第一推定値）誤差が減少した。現在は海風を対象としているが、ヤマセによる冷気流は下層雲を伴うので、衛星データなどを用いた下層雲や下層風の予報精度の改善に取り組む必要がある。

b) 本文

(1) 研究背景・目的

冷夏の頻度などを信頼度の高い気候モデルで評価することは、将来の気候変化に備え長期的な視野を持つことが重要である。それとともに、短期的な予報精度の向上も、現在の農業・防災・生活において重要である。農業の現場では、圃場ごとにきめ細かな対応をするには水平1km程度の気象情報が必要となる。このような高解像度の予報を行うにはダウンスケーリングにより対象領域を絞った予報を行うことで、計算機資源的に可能であろう。しかし、計算領域が狭い場合、側面境界が予測限界を決める。これは側面境界から気象情報が絶えず出入りするので、初期値の影響がすぐになくなってしまうためである。これまでの先行研究では、データ同化は初期値の修正に用いられ、多様な時空間スケールの現象に適用されてきたが、側面境界を積極的に修正するための研究は少ない。そこで、本研究では、データ同化による側面境界の最適化システムを構築し、延長予報にどの程度貢献できるかを実証することを目指す。

ここでは、同化スキームとして、局所アンサンブル変換カルマンフィルタ（LETKF、Miyoshi and Kunii 2011）を使用する。LETKFを狭領域に用いる際の問題点として、主に2点あげられる。1つは側面境界での摂動の与え方で、もう1つは側面境界の修正方法である。側面境界の摂動の問題とは、狭領域の場合、初期値に摂動を与えても発達せずに、アンサンブルスプレッドが広がらず、同化によって解析を行っても観測情報を取り込めなくなるということである。修正方法の問題とは、LETKFは観測値の影響範囲を制限するため（局所化）、観測値が側面境界付近までないと、その情報が側面境界まで十分に伝わらないことである。LETKFは観測情報の影響範囲を制限することで、アンサンブルメンバーから見積もられた背景誤差共分散のサンプリングエラーを小さくし、安定した解析値を得るが、水平局所化を広げることで解析値の精度が悪くなる可能性がある。

(2) 数値モデル・データ同化システムの概要と実験設定

使用した数値モデルは気象庁・気象研究所の非静力学モデル (JMA-NHM) である。ここでは、実観測データの同化に取り組む前に境界修正の手法が期待通りに動作するか検証するため、ライダーデータを想定した観測システムシミュレーション実験 (OSSE) を行う (図 1)。ライダーは局地循環を捉えるのに強力な測器であり、晴天域の風を捉えることができ (Ishii et al 2007, Iwai et al 2008)、羽田空港や成田空港にはすでに導入されている。OSSE では、真値、疑似観測値、予報値を数値モデルによって作成する。真値はメソ客観解析値 (10km) から 2km、0.4km へとダウンスケーリングした結果を用いる。この真値から、ドップラーライダー観測を想定した動径風を作成し、それに標準偏差が 1.0m/s の摂動を加えたものを観測値とする。観測データは、ライダー設置点から半径 10km、高度 2km 内で、2 格子間隔に与えた。予報実験の初期値・境界値には、気象庁の全球週間アンサンブル予報 11 メンバー (コントロールランと 10 個の摂動ラン) を用いる。1.25 度から 12km、2km、0.4km とダウンスケーリングする。側面境界の摂動は、全球週間アンサンブル予報の摂動ランを 2km までダウンスケールしたものを使用する。境界摂動は、コントロールからの差分を反転させて、新たに 10 メンバーを作成し、計 21 メンバーのアンサンブル予報を行う。対象とした事例は 2007 年 6 月 16 日 14-18 時の 4 時間で、海風前線の通過時刻が 17 時頃で、予報誤差の大きい事例を選んだ。

データ同化スキームは Miyoshi and Kunii (2011) で使用された LETKF とほぼ同様のものである。ここでは、誤差共分散膨張には、multiplicative inflation で 0.1 を用い、水平局所化は 2km、鉛直局所化は 500m とした。同化ウィンドウは 15 分、タイムスロットは 1 つとし、現時刻の観測値のみを同化した。

(3) 結果

(i) ライダーによる動径風の同化

まずは、動径風の同化がうまく働いているかどうかを確認するため、初期値を同化し、解析-予報サイクル実験を行った。図 1 は東西風の水平分布の時間変化を示す。上から同化なし (側面境界)、第一推定値 (15 分予報値)、解析値、真値の東西風分布である。真値では、海風前線が通過前 (12 サイクル目、17:00 時前) は北西風が卓越している。同化をしていない全球アンサンブル予報からのダウンスケーリング (21 メンバーの平均) は、海風がすでに内陸に侵入している。解析値では、総観場の北西風を表現し、真値と同様に 5 サイクル目 (15:15 時) では海風の侵入は見られない。第一推定値は、解析値を初期値とした 15 分予報で、計算領域内部では、真値との差は小さいが、側面境界では大きく異なる。

誤差の時間変化の様子を見るため、下層 1km 以下で領域平均した RMSE の時系列を示す (図 2)。RMSE は真値を正解とした。解析値の RMSE は同化なしの場合に比べて、大きく減少し、解析スプレッドも第一推定値のスプレッドよりも小さくなり、同化サイクルが動作していることを確認できた。4 時間後 (16 サイクル後) では RMSE は約 2.5m/s であった。第一推定値の誤差は同化なしの時に比べて小さく、15 分予報では初期値の改善の効果が見られた。

(ii) 側面境界の修正

図 1 で見たように、第一推定値の上流側の側面境界では、真値とは大きく異なる場となった。これは側面から同化されていないデータが入ってくるためである。これが予測可能な期

間を短くする。ここでは、データ同化を用いた側面境界の修正を行い、OSSE の枠組みで有効かどうか調べる。

側面境界の修正方法は、初期値の解析とは別に、2km 格子でも同化を行い、そこで得られたアンサンブル変換行列を 15 分後の予報場にも適用する。これは予報場が線形システムと仮定し、同等の修正を加えることに相当する。

図 2 右は初期値の同化に加え、側面境界の修正を行った場合の RMSE の時間変化を示す。境界修正を行わない場合に比べて、解析値は明瞭な違いは見られないが、第一推定値の誤差は 1~1.5m/s 減少していることが分かる。第一推定値の誤差の減少は、解析値（初期値）から予報を始めた時、その予報誤差が少ないことを示す。したがって、本研究で提案した境界修正は、OSSE の枠組みにおいて延長予報への有効性が示された。

(4) 次年度に向けての課題

今回は海風前線の同化のため、動径風の同化を行い、主に風のための修正を行った。ヤマセの予報延長に向けて、下層雲の初期値向上のための同化システムスキームの開発を行う。そのため、衛星による輝度温度データの活用法について検討する。雲の再現には、水蒸気分布が重要であるので、GPS による視線遅延量（鉛直積算水蒸気量）などの同化について、気象研究所と協力して研究を進めていく予定である。現在のシステムでは、なるべくコストの低いシステムとするため、側面境界となる 2km 格子（広い領域）では同化のみを行い、予報を行っていない。第一推定値と解析場のずれが大きい場合は、2km 格子での予報も行い、より確からしい境界値を作成する必要があるかもしれないので、2つのスケールでの解析-予報サイクルを行うことを検討する。システムの最適化としては、なるべく信頼できる側面境界を作成するため、2km 格子（広い領域）でアンサンブルメンバー数を増やし、0.4km 格子で少ないメンバー数で、水平局所化を強くする（影響範囲を狭くする）なども考えられる。あるいは、アンサンブルメンバーから最も観測値と合うメンバーを選び出し、側面境界に使用する方法もある。

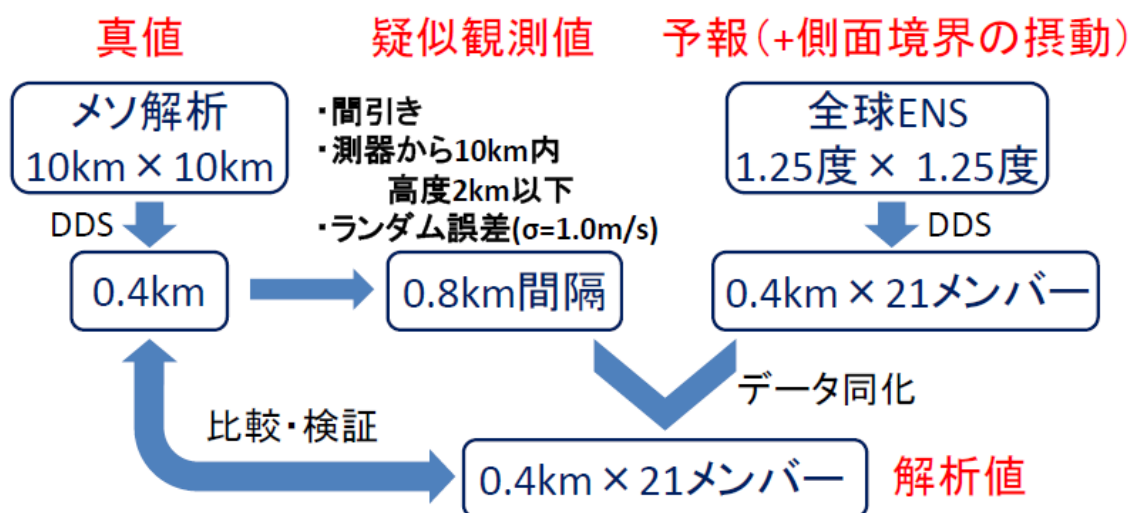


図 1 OSSE の模式図。真値、疑似観測値の作成の流れ、及び全球週間アンサンブル(ENS)からの予報値作成の流れを示す。

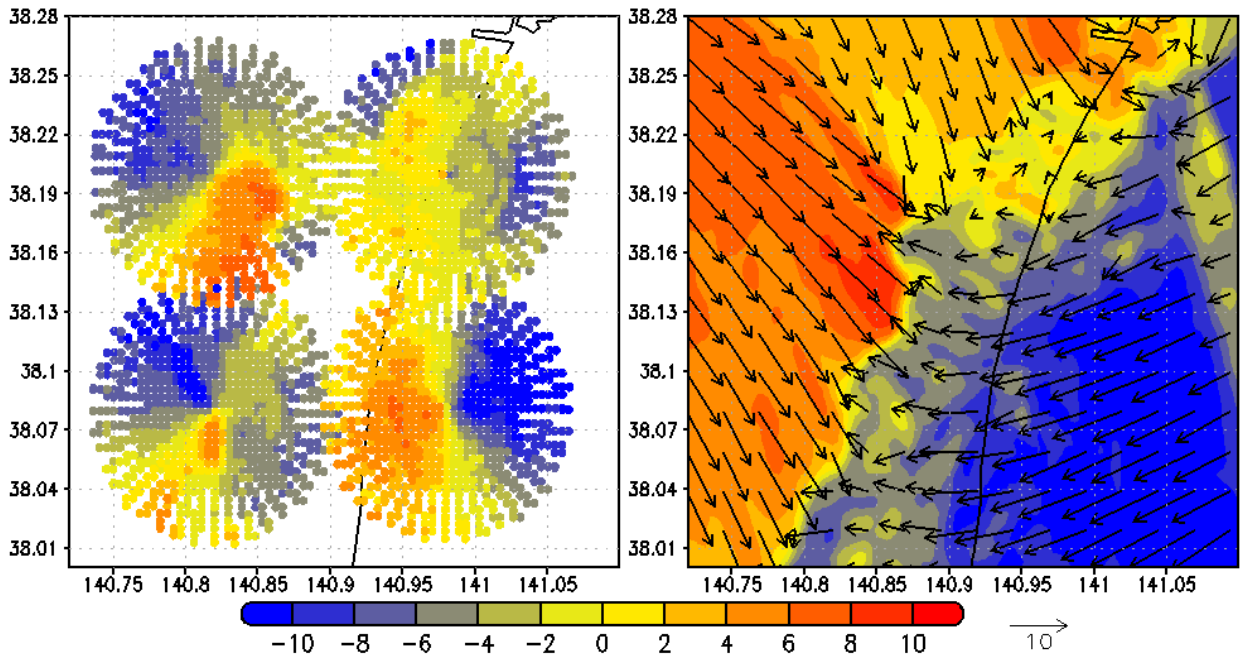


図2 左図：4台のライダーによる動径風の疑似観測値。暖色系は遠ざかる風、寒色系は近づく風。右図：真値の東西風の水平分布の例。暖色系は西風、寒色系は東風。

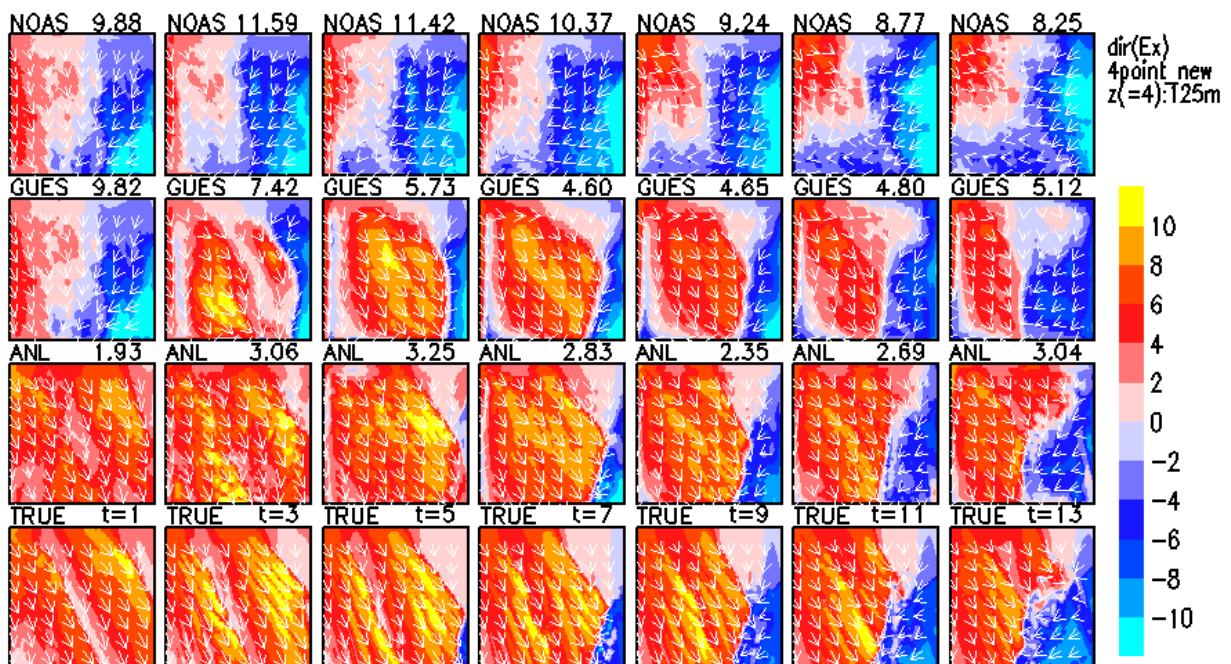


図3 上から同化なし、第一推定値、解析値、真値の東西風分布 ($z=125\text{m}$)。左から同化1サイクル目 (15分積分)、3, 5, 7, 9, 11, 13サイクル目を示す。暖色系は西風、寒色系は東風。各パネル上の数字は、真値との RMS。同化なし、第一推定値、解析値はアンサンブル平均した場を示す。

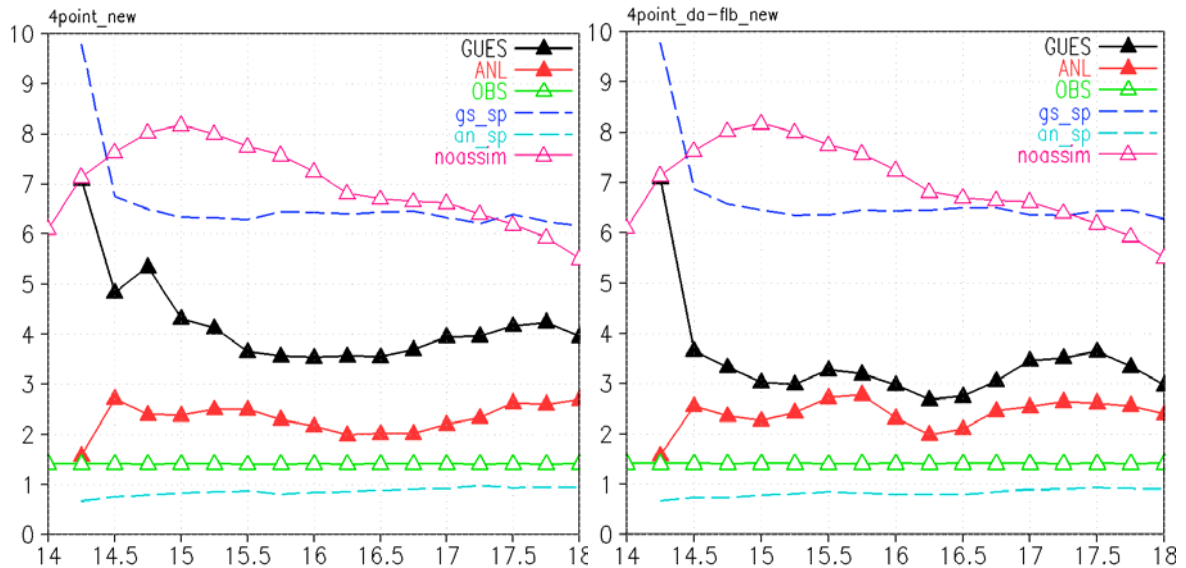


図4 高度1km以下で領域平均した風のRMSEの時系列。左図：初期値のみ同化。右図：初期値の同化+境界値の修正。横軸が時刻、縦軸がRMSE。桃色線：同化なし、黒線：第一推定値(15分予報値)、赤線：解析値、青点線：第一推定値のスプレッド、水色点線：解析値のスプレッド。

c) 参考文献

境剛志, 局地気象予測システムによる仙台空港周辺の海風に関する数値的研究, 東北大学大学院理学研究科修士論文, 2009年

Ishii, S., K. Sasaki, K. Mizutani, T. Aoki, T. Itabe, D. Matsushima, W. Sha, A. Noda, M. Sawada, M. Ujiie, Y. Matsuura, and T. Iwasaki, 2007: Temporal evolution and spatial structure of the local easterly wind “Kiyokawa-Dashi” in Japan Part I: Coherent Doppler lidar observations. *J. Meteor. Soc. Japan.*, **85**, 797-813

Iwai, H., S. Ishii, N. Tsunematsu, K. Mizutani, Y. Murayama, T. Itabe, I. Yamada, N. Matayoshi, D. Matsushima, W. Sha, T. Yamazaki and T. Iwasaki, 2008: Dual-doppler lidar observation of horizontal rolls and near-surface streaks. *Geophys. Res. Lett.*, **33**, 1-5

Miyoshi, T. & Kunii, M., 2011: The Local Ensemble Transform Kalman Filter with the Weather Research and Forecasting Model: Experiments with Real Observations, *Pure and Appl.*, **169**, 321-333.

3.2.5 力学的ダウンスケール予測データを用いる農業気象情報の試作 菅野洋光・神田英司・大久保さゆり（東北農業研究センター）

a) 要旨

2010年度に整備した病害予測モデル BLASTAM を用い、東北農業研究センター作成の統計的ダウンスケール 1km メッシュデータを用いて過去 33 年間の東北全域の計算を行ない、病害実績と比較することで、推定精度を長期的、空間的に検証した。また、東北大学作成の力学的ダウンスケールデータを用い、2003 年冷夏および 2004 年暑夏を対象とした BLASTAM 予測実験を行い、力学モデルによるダウンスケールデータへの適用の実用性について検討した。さらに、統計的ダウンスケールと力学的ダウンスケール双方のデータを用いた BLASTAM 計算結果を比較することで、両者の特性の違い、および力学的ダウンスケールデータを農業モデルへ適用した場合のモデル精度を評価した。

b) 本文

研究の方法

(1) 長期的検証では、解析対象期間を 1978-2010 年(33 年)、対象地域は東北 6 県とし、アメダス観測値を空間内挿して作成した統計的ダウンスケール 1km メッシュ気象データで BLASTAM (越水、1988 ; 林・越水、1988) を計算した。BLASTAM に使用したのは、過去 5 日間の日平均気温、過去 2 日間の特別気象要素 (気温、風速、日照時間、雨量) で、それらの気象要素からイネの葉面の濡れの持続時間を推定し、いもち病の発生を予測する。予測結果は 0, 1, 2, 3, 4, 10 の 6 段階で表示され、ゼロは発病可能性ゼロ、1 以上は発生可能性有り、10 が最も発病の可能性が大きい。統計的ダウンスケールは、日平均気温については、東北 6 県約 150 地点のアメダス観測データを目的変数、国土数値情報から得られる 1km メッシュ地形因子を従属変数として重回帰分析 (ステップワイズ法) を日々行うことで計算した (菅野、1997)。同データは (独) 農研機構東北農業研究センターの HP にて公開されている (<http://tohoku.dc.affrc.go.jp/trmain.html>)。特別気象要素については、アメダス観測データ 4 地点をもとに距離に比例した内挿計算を行っており、特に地形因子による統計解析手法は適用していない。以上を用いて各年の 6 月下旬から 8 月上旬を集計期間として BLASTAM による感染好適条件の出現率を集計し、年ごとのいもち病の発生実績との比較を行った。

(2) 力学的ダウンスケールデータによる BLASTAM では、同 1km メッシュ気象データを、冷夏年 2003 年、暑夏年 2004 年の BLASTAM に適用した。計算領域は宮城県とし、同期間・同地域での統計的ダウンスケールデータとの比較・検証を行った。

結果

(1) 統計的ダウンスケールデータを用い、それぞれのメッシュの BLASTAM 感染好適条件 (1-10) の出現率を求めた (図 1)。空間的には、太平洋側、特に南部で高く、日本海側および青森県で低くなっている。いもち病は寡照・多湿条件で繁殖するため、ヤマセの影響が大きい太平洋側で発生頻度が高く、日本海側で低いこと、また青森県では気温がいもち病の発生にとって低すぎることから頻度が低いことがこれら分布の原因として考えられる。

(2) 出現率の長期変動は、冷夏年 (1980, 1983, 1993, 2003 年) にいもちの発生が高く、暑

夏年（1978, 1994, 2004 年）に低いことが示された（図 2）。また、冷夏年でなくとも感染好適条件の出現が多い年も散見され（1979, 1991, 1995, 2006 年）、これらの年には、弱い雨の持続や低日照などが影響して、高い感染好適条件を示したと考えられる。

(3) 統計的ダウンスケールデータを用いて計算した感染好適条件の出現率を、観測されたいもち病病害面積率と比較した。特にいもち病の発生頻度の高い宮城県と福島県についてみると（図 3, 4）、頻度の幅に差は見られるものの、ピークは非常に良く一致しており、統計的ダウンスケールデータによる BLASTAM は定性的にいもち病の発生を示していることがわかる。

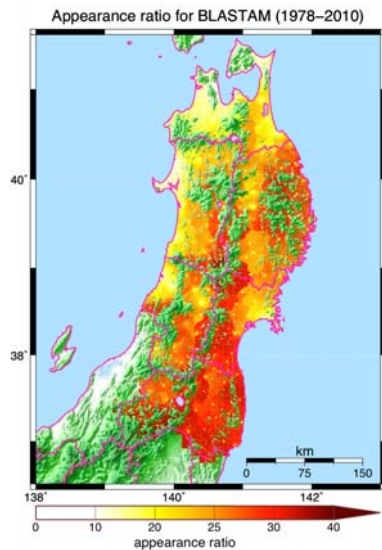


図 1 1978 年～2010 年における BLASTAM 感染好適条件出現率分布(%)。

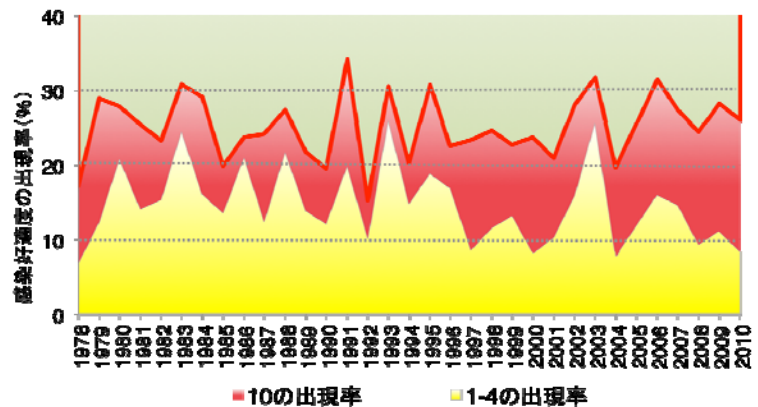


図 2 BLASTAM 感染好適条件出現率の時間変化(1978 年～2010 年)。

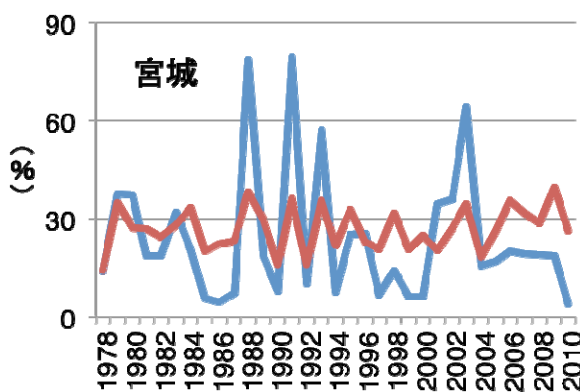


図 3 宮城県における BLASTAM 感染好適条件出現率と病害面積率の時間変化(1978 年～2010 年)。

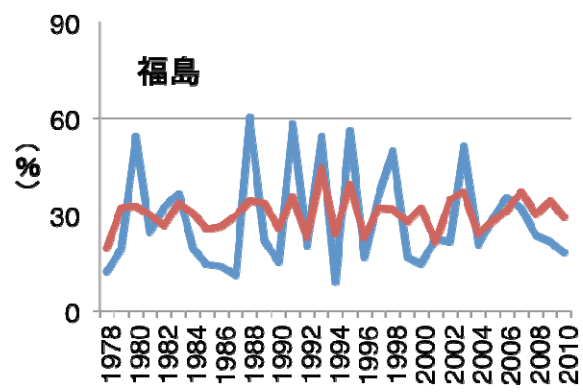


図 4 福島県における BLASTAM 感染好適条件出現率と病害面積率の時間変化。

(4) 最近の冷夏年である 2003 年 7 月および暑夏年である 2004 年 7 月について、統計的ダウンスケールによる気象データと、力学的ダウンスケールによる気象データとで BLASTAM を計算し、両者を比較した。2003 年 7 月については、統計的ダウンスケールによるものは、牡鹿半島を中心とした地域以外で感染好適条件が高めである（図 5）のに対して、力学的ダウンスケールによる結果は沿岸部を中心に発生頻度が低かった（図 6）。両者の差分をとると、ほとんどの地域で統計的ダウンスケールによるものの方が発生頻度が高く、特に宮城県南部でその差が大きい（図 7）。

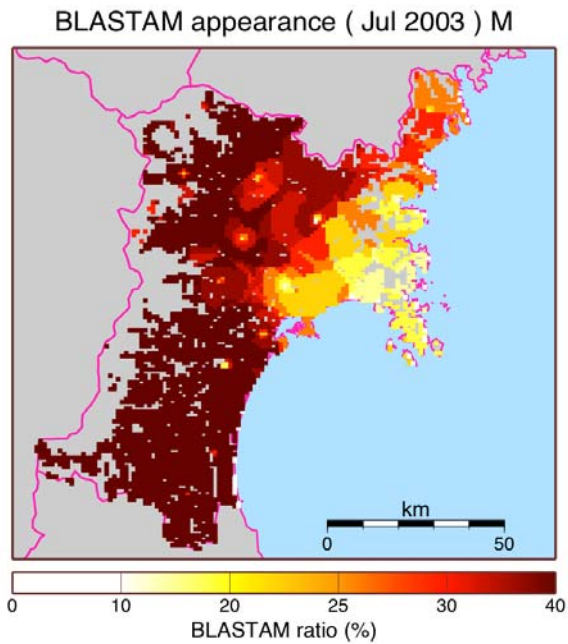


図 5 統計的ダウンスケールデータを用いて計算した BASTAM 計算結果(2003 年 7 月).

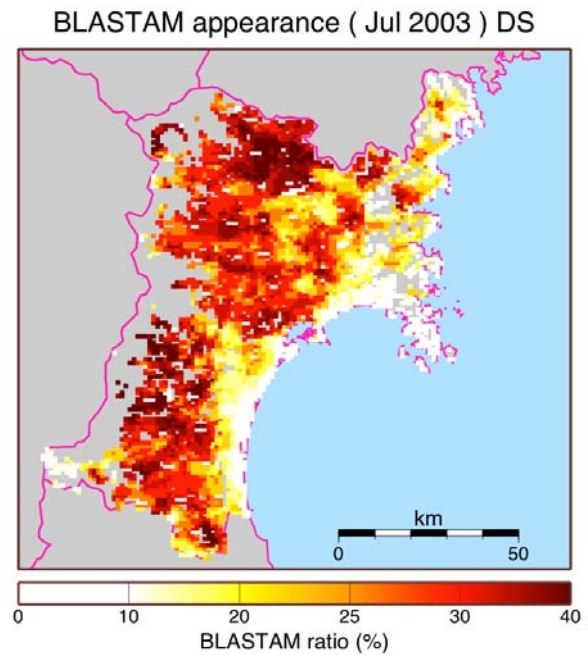


図 6 力学的ダウンスケールデータを用いて計算した BASTAM 計算結果(2003 年 7 月).

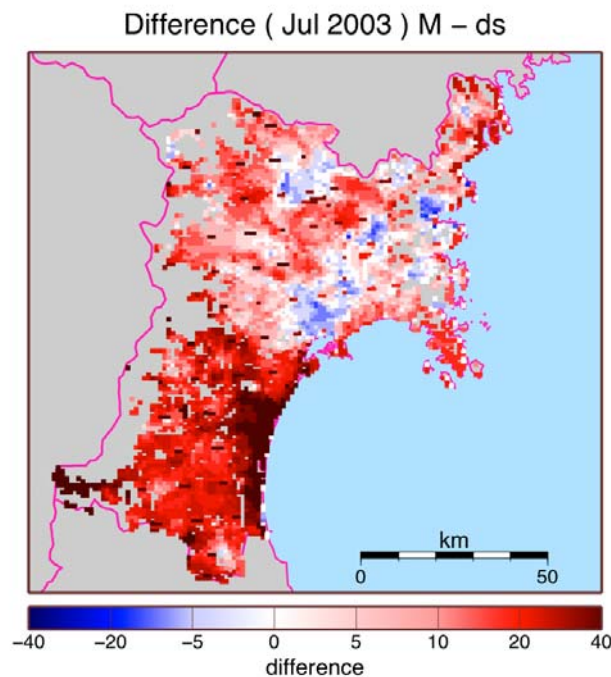


図 7 統計的ダウンスケールデータと力学的ダウンスケールデータを用いて計算した BASTAM 計算結果の差(統計マイナス力学、2003 年 7 月).

(5) 暑夏年である 2004 年 7 月についてみると、高温でいもち病の発生に不適な条件であったこともあり、全般に発生頻度は小さいが、統計的ダウンスケールの方は 25%以上の地域が多いのに対して (図 8)、力学的ダウンスケールではほとんどの地域が発生頻度 20%以下である (図 9)。差分を求めると、両者の差は 20%程度と大きいものの、2003 年のような南北のコントラストは全く認められない (図 10)。

BLASTAM appearance (Jul 2004) M

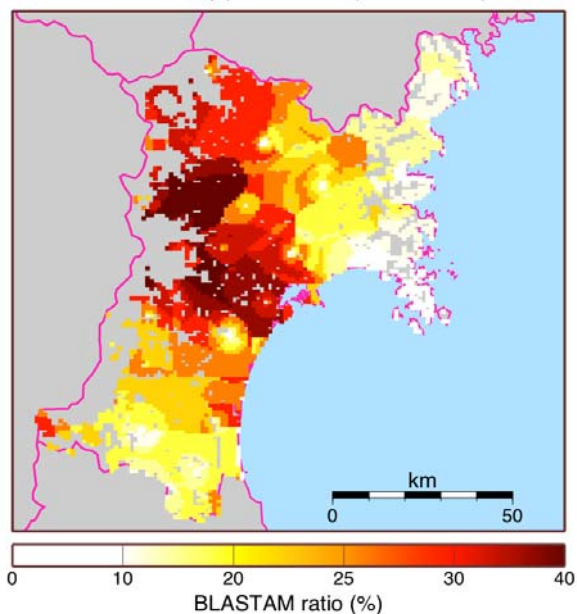


図 8 統計的ダウンスケールデータを用いて計算した BASTAM 計算結果(2004 年 7 月).

BLASTAM appearance (Jul 2004) DS

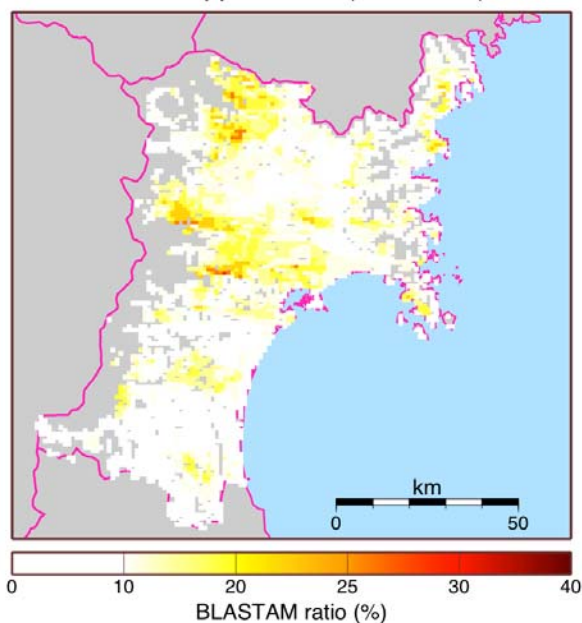


図 9 力学的ダウンスケールデータを用いて計算した BASTAM 計算結果(2004 年 7 月).

Difference (Jul 2004) M - ds

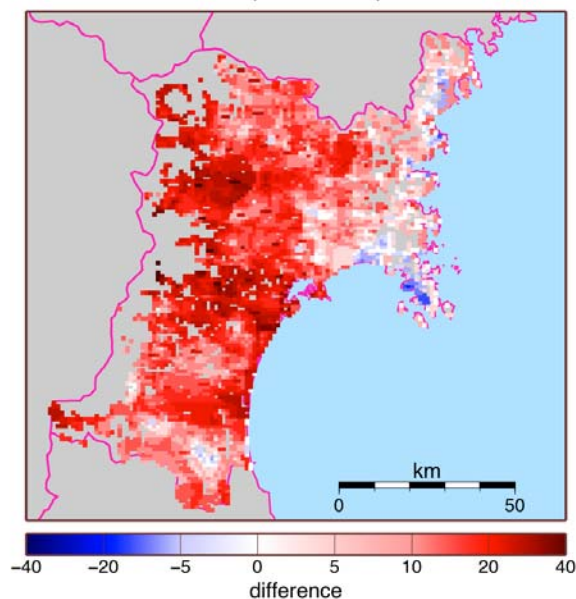


図 10 統計的ダウンスケールデータと力学的ダウンスケールデータを用いて計算した BASTAM 計算結果の差(統計マイナス力学、2004 年 7 月).

考察

統計的ダウンスケールと力学的ダウンスケールで計算した BLASTAM の結果では、冷夏年、暑夏年ともに明瞭な差がみられた。BLASTAM は特別気象要素を用いてイネの葉の濡れ時間を推定しているため、気象の変化に敏感である。そのうち気温は高温・低温に関わらず葉の濡れ判別には使われないので、それ以外の日照時間、風速、雨量の推定値の違いが両者の差を生じさせたと考えられる。そこで 23 年度は日照時間に焦点を当てて検討した。統計的ダウ

ンスケールの場合は、アメダスにより観測される日照時間をそのまま用いるが、力学的ダウンスケールの場合は日射量からの変換が必要である。図6と図9では仙台管区気象台における日射量と日照時間との関係式（一次回帰式）を東北大学の力学的ダウンスケールデータに当てはめた値で作成してある。それらと、①120W以上で日照時間を1時間とカウントした場合、②同200Wとした場合を比較した。図11には、2003年を例にして回帰式と120Wとの差を、図12には200Wと120Wとの差を示す。回帰式と120Wとの差はやや大きい、値としては5%前後であり、統計的ダウンスケールデータと力学的ダウンスケールデータとの差を説明するほど有意ではない。120Wと200Wとの差は一部を除いてほとんど見られない。従って、日照時間は統計的ダウンスケールと力学的ダウンスケールとの差を本質的にもたらしめているものではないと考えられる。

現場の研究者より、ダウンスケールデータによるBLASTAM予測結果の方が、実際のいもち病の発生分布に近かったようだと指摘があった。アメダス観測点は、地点によっては風の観測条件が悪い場合もあり、力学的に気象要素を計算するダウンスケールデータの方が、より実情に即した予測値を出す可能性がある。24年度は風や雨量を中心に解析し、より高精度のダウンスケール農業モデル構築を目指す。

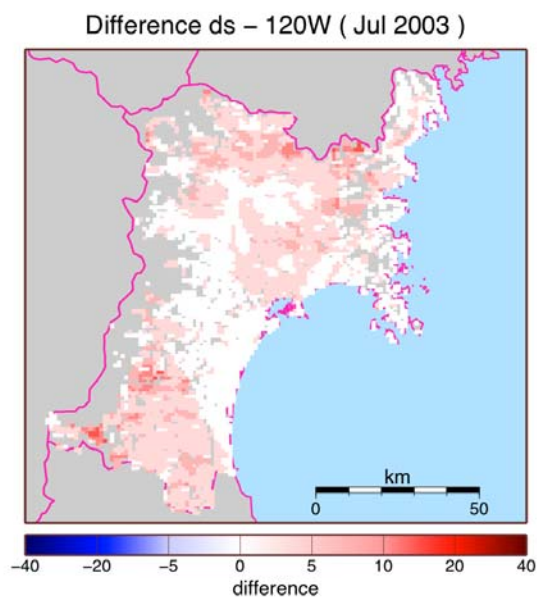


図11 日照時間の差(回帰式マイナス120W, 2003年7月).

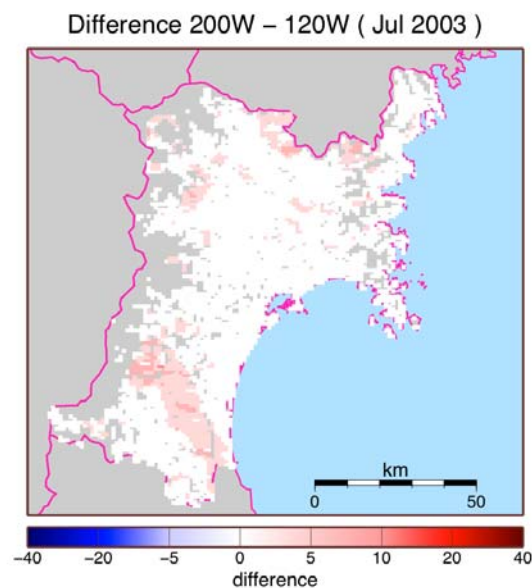


図12 日照時間の差(200Wマイナス120W, 2003年7月).

c)参考文献

- 菅野洋光(1997): ヤマセ吹走時におけるメッシュ日平均気温の推定. 農業気象, 53, 11-19.
- 越水幸男(1988): アメダス資料による葉いもち発生予察法. 東北農業試験場報告, No. 78, 67-121.
- 林 孝・越水幸男(1988): 葉いもち発生予察のコンピュータプログラム(BLASTAM)の開発. 東北農試研究報告, No. 78, 123-138.

3.2.5 高度農業気象情報による農業支援システムの設計と開発 南野健一・プリマ オキ ディッキ (岩手県立大学)

a) 要旨

前年度の基盤設計、試作システムをもとに、実稼動システムの設計・開発を行った。実稼動システムは、水稻気象被害予測システム、寒締めハウレンソウ糖度予測システム、マルチ解像度グリッドデータ配信システムである。水稻気象被害予測システムでは、東北農業研究センターと気象庁の協力のもと、提供可能な新規の予測情報として、2週目の気温予測をメッシュ、グラフにより提供する機能を開発した。そして、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。2週目の気温予測は試行として情報提供し、これに対するニーズも調査した。調査結果から提供したすべての予測情報について、役立つ情報が得られたと答えているユーザがいることから、ユーザのニーズがあることが分かった。

b) 本文

前年度の基盤設計、試作システムをもとに、実稼動システムの設計・開発を行った。実稼動システムは、水稻気象被害予測システム、寒締めハウレンソウ糖度予測システム、マルチ解像度グリッドデータ配信システムである。

水稻気象被害予測システムにおいてはこれまでに、生育予測（移植、直播モデル）、葉いもち病発生予測、深水管理警戒予測、低温、高温障害予測、紋枯病発生予測についての情報提供を行う機能を開発している。本年度は、東北農業研究センターと気象庁の協力のもと、提供可能な新規の予測情報として、2週目の気温予測をメッシュ、グラフにより提供する機能を開発した。2週目の気温予測は、7日間の移動平均にすることで予測可能性を上げ、当日から2週目までの7日平均気温を提供する。これに加え、確率情報として、低温・高温確率も提供する。水稻気象被害予測システムは、7日平均気温、低温確率、高温確率の3種類の情報を、東北地域全域のメッシュ表示（図1）およびその領域内の特定地点でのグラフ化（図2）により提供する。

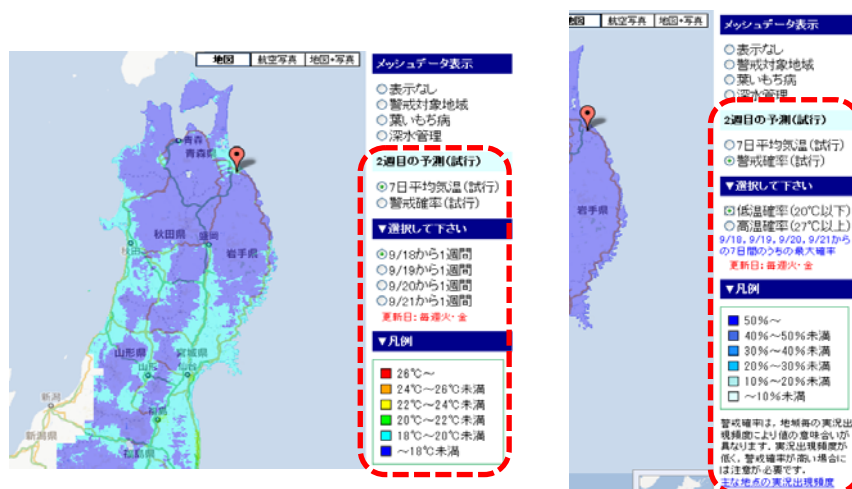


図1 2週目の気温予測（メッシュ表示）

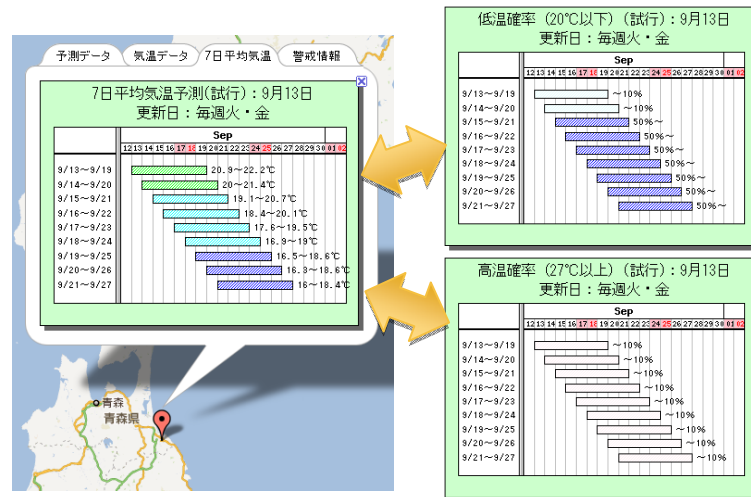


図2 2週目の気温予測(特定地点でのグラフ化)

図1、2に示した低温確率では、稲の生育段階で不稔発生の危険期に該当する幼穂形成期～出穂期前(7月中旬から8月上旬)に20℃以下となる確率をユーザに情報提供する。一方、高温確率では、高温登熟障害の危険期に該当する出穂期～登熟初期(8月上旬から下旬)に27℃以上となる確率をユーザに情報提供する。低温確率が20℃以下、高温確率が27℃以上になることが予測される場合には、ユーザに警戒メール(パソコン、携帯電話)を送信する機能も開発した。本年度は、これらの2週目の気温予測を試行として情報提供を行った。

寒締めハウレンソウ糖度予測システムは、水稻栽培の終了後の寒候期に情報提供するシステムである(図3)。本年度は、昨年度に開発した試作システムをもとに、寒候期に東北農業研究センターから気象データを自動的に受信し情報提供できる実稼動システムを開発した。また、東北農業研究センターの寒締め菜っばの栽培マニュアル等をもとに、予測情報の解釈、アドバイスに関する情報の提供を追加した。そして、マウスによるアイコンの簡単な操作ができるようにヒューマンインタフェースの改善も行った。そして、機能拡張に伴うマニュアルの整備も行った。

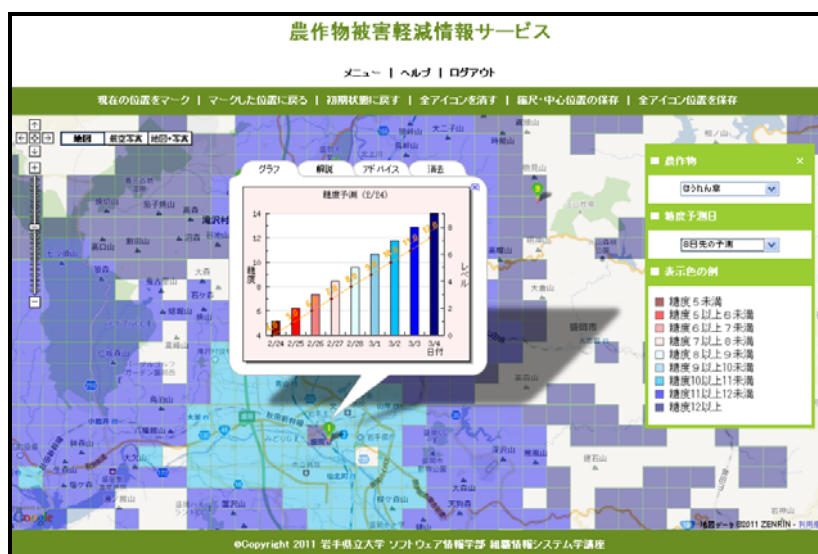


図3 寒候期の寒締めハウレンソウ糖度予測システム

マルチ解像度グリッドデータ配信システムについては、実稼動に必要な地図データを Web 上で可視化、解析することのできるサーバシステムの開発を行った。なお、サーバソフトウェアとして ArcGIS Server 10 を利用し、解析するソフトウェアとして ArcGIS Desktop 10 を利用した。本システムは、データの高解像度化やユーザからのデータ更新を可能とするものである。図 4 は、ユーザが Web ブラウザを介して、コンテンツの作成・更新に対応できるシステムの画面の一例を示す。

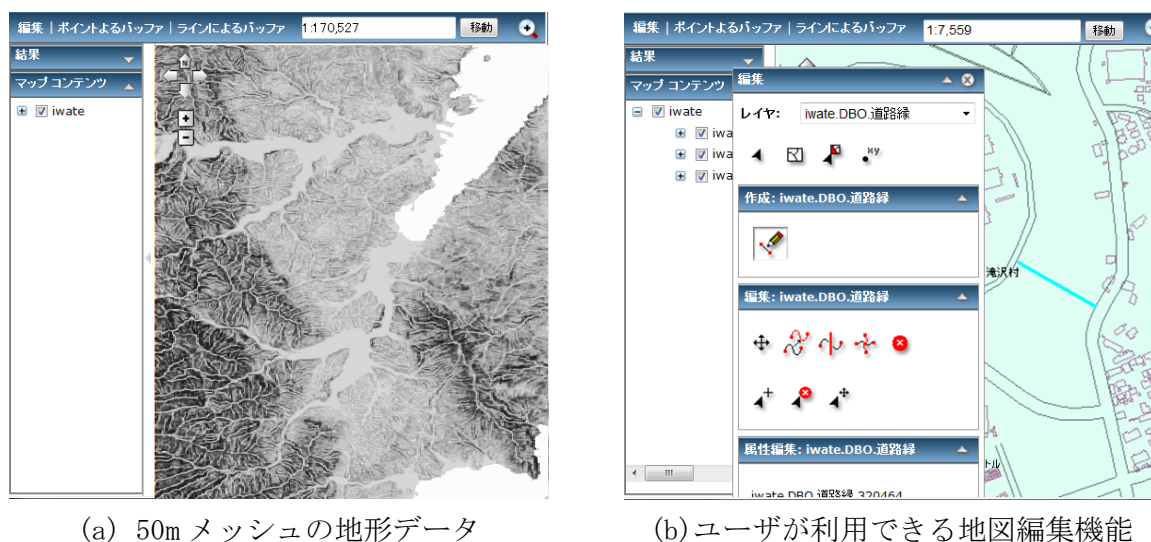


図 4 マルチ解像度グリッドデータ配信システム

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。東北地域のユーザの分布を図 5 に示す (2011 年 9 月時点の登録ユーザおよびシステムにアクセスしたユーザ)。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、2011 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 154 名に対して行った (ユーザ登録は随時受け付けている)。89 名のユーザから回答があった (回答率 58%)。2 週目の気温予測についての調査結果を図 6、7 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)。調査結果から提供したすべての予測情報について、役立つ情報が得られたと答えているユーザがいることから、ユーザのニーズがあることが分かった。今後、東北農業研究センターの研究成果をもとに情報提供方法を改善し、より多くのユーザに利用されるようにしていく。また、地図操作についてのアンケート結果から、操作方法が分からないユーザがいたため、動画マニュアルを作成し今後公開することにした。

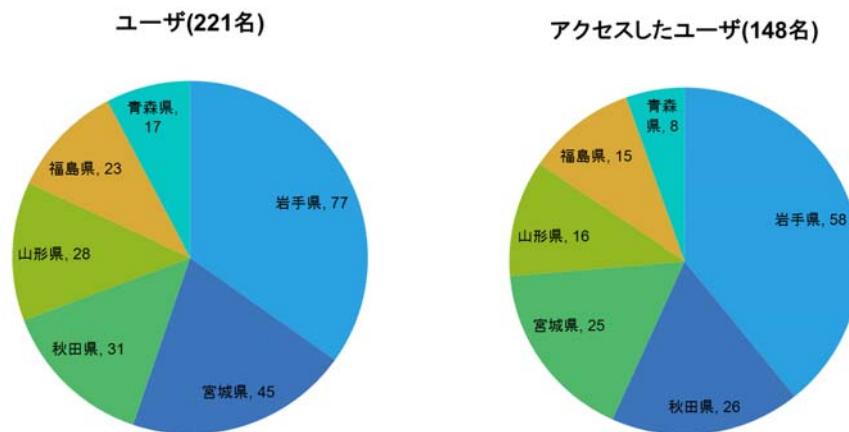


図5 水稻気象被害予測システムのユーザの分布

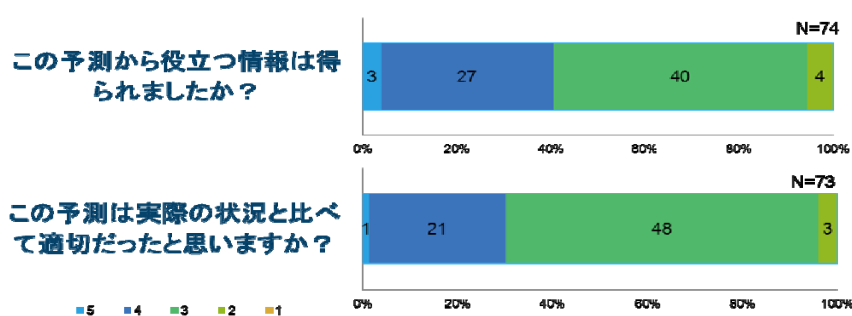


図6 7日平均気温についてのアンケート結果

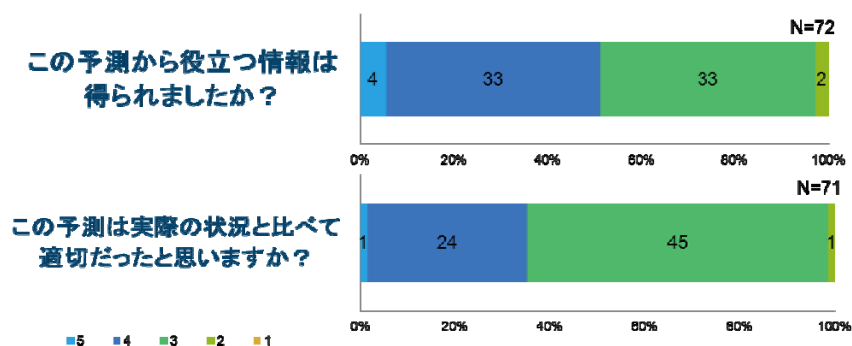


図7 高温・低温警戒確率についてのアンケート結果

寒締めハウレンソウ糖度予測システムについては、東北農業研究センター内で公開し、システムに対する意見を収集した。システムの利用上の注意事項などの意見を収集できた。今後、これをもとにシステム改善を行っていく。

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 or 投稿中)

Sawada, M., T. Iwasaki, W. Sha, T. Yamazaki, H. Iwai, S. Ishii, K. Mizutani, T. Itabe, 2012: Transient Downslope Winds under the Influence of Stationary Lee Waves from the Zao Mountain Range, *J. Meteorol. Soc. Japan*, 90, 79-100. (印刷済)

Shimada, T., M. Sawada, W. Sha, and H. Kawamura, 2010: Low-level easterly winds blowing through the Tsugaru Strait, Japan. Part I: Case study and statistical characteristics based on observations, *Monthly Weather Review*, 138, 3806-3821. (印刷済)

Shimada, T. and H. Kawamura, 2011: Summertime gap winds of the Soya Strait induced by the developed Okhotsk high, 12, 316-320, *Atmospheric Science Letters*. (印刷済)

Shimada, T., M. Sawada, W. Sha, and H. Kawamura: Low-level easterly winds blowing through the Tsugaru Strait, Japan. Part II: Numerical simulations of the event on 5-10 June 2003, *Monthly Weather Review*. (印刷中)

吉田龍平, 沢田雅洋, 山崎剛, 岩崎俊樹, 2011: 放射量連続観測と AMeDAS を利用した宮城・山形・福島県における局地気象モデル放射量の評価, *天気*, 58, 599-605.

4.2 そのほかの著作

沢田雅洋, 山下博, 岩崎俊樹, 大林茂, 2010: 人力飛行機長距離飛行におけるダウンスケール気象予測の適用とその検証, *日本航空宇宙学会論文集*, 58, 295-301

4.3 研究会での発表

Nawo Eguchi, Tadahiro Hayasaka, Masahiro Sawada, 2011: Characteristics of "YAMASE" Cloud : A case study of summer 2003. The Fifth Korea-Japan-China Joint Conference on Meteorology, 24-26 Nov 2011

遠藤洋和, 2012, CMIP3/CMIP5 マルチ気候モデルにおけるオホーツク海高気圧の再現性と将来変化, 第5回ヤマセ研究会, 東北大学.

Endo, H. and M. Matsueda, 2012: Long-term variations of circulation in East Asian summer during the past half century. 4th World Climate Research Programme International Conference on Reanalysis, Silver Spring, USA, 7-11 May 2012.

大久保さゆり, 菅野洋光, 小林隆, 岩崎俊樹, 沢田雅洋, 2011: 1km データを用いた BLASTAM (葉いもち予察システム) 計算結果の解析. 日本気象学会 2011 年度秋季大会.

大久保さゆり, 菅野洋光, 小林隆, 2012: 高解像度気象データの農作物警戒情報システムへの応用, 日本地理学会 2012 年春季学術大会.

川合秀明, 2011: 世界の海域における多様な下層雲とその大気構造 - 見えてくるオホーツク

- 海の下層雲の特徴－. 第4回ヤマセ研究会, 青森県弘前市, 2011年9月20-21日.
- 川合秀明, 2011: 中高緯度の海洋下層雲. 日本気象学会, 2012年度秋季大会, 100, D305, 名古屋, 2011年11月16-18日.
- 川合秀明, 藪将吉, 萩原雄一郎, 2012: 中高緯度の海上下層雲の鉛直構造、海上霧の発生頻度、及びそれらと大気状態との関係. 第5回ヤマセ研究会, 宮城県仙台市, 2012年3月5-6日.
- Kawai, H., and J. Teixeira, 2012: Sub-grid scale Inhomogeneity Effect of Marine Boundary Layer Clouds on Precipitation and Radiation Processes Depending on the Atmospheric Boundary Layer Stability. Workshop on the Physics of Weather and Climate Models, in Pasadena, 20 - 23 March 2012.
- 児玉安正・橋口浩之・古本淳一・矢吹正教・津田敏隆 (京大生存圏) 2011年六ヶ所村ヤマセキャンペーン観測の概要報告. 第4回ヤマセ研究会(弘前市 2011.9.20-21).
- 児玉安正・黒瀧あゆみ・佐々木美紀・佐藤希・横須賀美香 (弘前大理工)・橋口浩之・古本淳一・矢吹正教・津田敏隆 (京大生存研), 2011年六ヶ所村ヤマセキャンペーン観測の報告. 大槌シンポジウム:北日本を中心とした降水・降雪特性に関わる海洋大気陸面過程、コンピナー: 本田明治 (新潟大学理学部) (岩手県大槌町 大槌町役場中央公民館 2011.11-12-13)
- 児玉安正 (弘前大理工), ヤマセ海域の SST 分布の将来予測 -CMIP3 と CMIP5 の比較-. 第5回ヤマセ研究会 (仙台市, 2012 3-5-6)
- 児玉安正・佐々木美紀 (弘前大理工), ヤマセ海域の SST 変動と海洋内部構造の関係 -2011年の事例解析-. 第5回ヤマセ研究会 (仙台市, 2012 3-5-6)
- 沢田雅洋, 岩崎俊樹, 2011: 1km 格子で再現された 2003 年/2004 年の気温日変化の地域性, 第4回ヤマセ研究会, 宮城県仙台市, 2011年9月20-21日.
- 沢田雅洋, 岩崎俊樹, 2012: 1km 格子で再現された 2003 年7月の気温の誤差評価, 第5回ヤマセ研究会, 宮城県仙台市, 2012年3月5-6日.
- 沢田雅洋, 岩崎俊樹, 2012: ダウンスケールのためのデータ同化システムの構築に向けて, 第5回ヤマセ研究会, 宮城県仙台市, 2012年3月5-6日.
- 島田照久, 川村宏, ヤマセに起因する日本海の強風、九州大学応用力学研究所 RIAM フォーラム 2011, 春日市.
- 島田照久, 沢田雅洋, 岩崎俊樹, 2011: インデックスを用いたヤマセの長期変動評価, 日本気象学会 2011 年度秋季大会、名古屋.
- 瀬古弘, 2012: 東北地方を対象にしたアンサンブル予報実験. 第5回ヤマセ研究会, 宮城県仙台市, 2012年3月5-6日.
- 福井真, 余偉明, 岩崎俊樹, 2011: アンサンブルダウンスケールによるヤマセの予報実験, 日本気象学会 2011 年度秋季大会、名古屋.

4.4 一般向け講演・取材協力

- アジアの梅雨・世界の梅雨. 河川情報センター講演会, 主催 (財) 河川情報センター, 2012年2月24日(青森市, アピオあおもり) (気象庁, 河川局職員などが対象)
- ヤマセと冷害. 第6回海洋と地球の学校, 主催 JAMSTEC, 2011年9月 (八戸市) (全国から公募された大学院生・学部生が対象)

2010年6月27日 「ザ!鉄腕!DASH!! 東京スカイツリーどこまでみえるか!?!」 日本テレビ
(視程についての解説を行った)

2012年3月29日 NHK青森 アップルワイド「やませ メカニズムの解明へ レーダー運用
開始」

2012年3月30日 「ヤマセのレーダー観測」東奥日報, デイリー東北, 河北新報, 陸奥新報

5. 研究会活動

当該プロジェクト（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、9月に平成23年度の第1回（第4回ヤマセ研究会）、3月に同第2回（第5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近隣の研究者に自由な参加を呼びかけている。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。本研究のような学際的なプロジェクトの場合、一層この傾向が強い。研究分担者や研究協力者のほかにも、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て、充実した研究会となった。また、RECCAの課題「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」（代表 西森基貴）の研究担当者が、当方の研究会に参加し、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。

活動	時期	場所
第4回やませ研究会	2011年9月20-21日	東北農業研究センター（弘前）
第5回やませ研究会	2012年3月5-6日	東北大学（仙台）

（付録）第4回やませ研究会のプログラム

日時：9月20日（火）13:00-17:50 - 21（水）9:00-11:50

場所：弘前大学大学院理工学研究科1号館第10講義室

1日目	講演者(所属)/講演タイトル
13:00-13:20	岩崎俊樹（東北大・理学研究科） 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』について
13:20-13:40	島田照久（東北大・理学研究科） インデックスを用いたヤマセの長期変動評価
13:40-14:00	沢田雅洋（東北大・理学研究科） 1km格子で再現された2003年/2004年の気温日変化の地域性
14:00-14:20	余偉明（東北大・理学研究科） DS3 ---更なるダウンスケーリング (3) ---
14:20-14:40	休憩
14:40-15:00	川合秀明（気象研） 世界の海域における多様な下層雲とその大気構造 -見えてくるオホーツク海の下層雲の特徴-
15:00-15:20	早坂忠裕（東北大・理学研究科） ヤマセ雲の海陸差と長期変動
15:20-15:40	児玉安正（弘前大・理工） 2011年六ヶ所村ヤマセキャンペーン観測の概要報告

15:40-16:00	横山克至（山形農研セ） 2010年の夏季の高温による水田土壌窒素発現への影響
16:00-16:20	休憩
16:20-16:40	吉田龍平（農環研） 四国における土地利用変化による気温場への影響
16:40-17:00	川村宏（東北大） ヤマセに関連する2-3の話題
17:00-17:20	須田卓夫（仙台管区） 仙台管区気象台におけるヤマセ研究の系譜
17:20-17:50	西森基貴（農環研） 気候変動に対する地方の適応～RECCA-Kochiの取り組み
2日目	
9:00-9:20	宮脇祥一郎（気象庁） 2週目の気温予測メッシュの利活用に向けて（共同研究の途中経過）
9:20-10:40	南野謙一（岩手県立大） 2週間先までの7日平均気温を用いた農作物警戒情報の提供
9:40-10:00	大久保さゆり・菅野洋光（東北農研） 1kmメッシュ気象データで計算した1978-2010年のBLASTAM計算結果の解析
10:00-10:20	福井真（東北大・理学研究科） 1ヶ月アンサンブル予報のダウンスケーリング～2003年ヤマセ事例について～
10:20-10:40	休憩
10:40-11:00	菅野洋光（東北農研） MIROC5のやませ再現性について
11:00-11:10	藤村恵人（福島県農業総合センター） いもち病発病進展シミュレーションモデルとイネの自然結露
11:10-11:20	下野裕之（岩手大学） 地球温暖化が北日本の冷害リスクに及ぼす影響
11:20-11:40	高橋智宏（岩手農研） 岩手の水稲生育予測と今年の検証結果
11:40-11:50	今後の研究の進め方

（付録）第5回やませ研究会のプログラム

日時：3月5日（火）12:30-17:20 - 6（水）9:30-16:00

場所：東北大学青葉山キャンパス理学研究科物理A棟4階412号室

1日目	講演者(所属)/講演タイトル
12:30-12:50	岩崎俊樹（東北大） 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」について
12:50-13:10	境田清隆（東北大） ヤマセの季節変化と経年変化
13:10-13:30	須田卓夫（仙台管区） 仙台管区気象台におけるヤマセ研究の系譜 2

13:30-13:50	休憩
13:50-14:10	大久保さゆり（東北農研） 1km メッシュデータを用いた BLASTAM 計算結果の検討
14:10-14:30	横山克至（山形農総研） 3次メッシュ気象データによる BLASTAM 計算結果の山形県における適合性の検討
14:30-14:50	山崎剛（東北大） 植生熱収支モデルによるいもち病感染危険度予測を目指して
14:50-15:10	野津原昭二（気象庁） 2週目の気温予測情報の農業情報への翻訳
15:10-15:30	前田修平（気象庁） 将来気候における季節進行の変化予測
15:30-15:50	休憩
15:50-16:10	神田英司（東北農研） 八戸における冷害リスク推定の試み
16:10-16:30	原田裕介（土木研） 気象変動の影響による雪氷環境の変化に関する研究
16:30-16:50	菅野博英（古川農試） 宮城県の農業気象利用と東日本大震災の状況
16:50-17:10	藤村恵人（福島県農業総合センター） 放射性物質沈着の偏りと局所気象
17:10-17:30	西森基貴（農環研） 高知県の農業と水に関する資源・環境シミュレータの試み
2日目	
9:30-9:45	菅野洋光（東北農研） 全球気候モデル MIROC5 によるヤマセ型気圧配置の再現性(2)
9:45-10:00	菅野洋光（東北農研） 北日本における4月と8月気温の強い相関関係とその時間変動(2)
10:00-10:20	遠藤洋和（気象研） CMIP3/CMIP5 気候モデルにおけるオホーツク海高気圧の再現性と将来変化
10:20-10:40	島田照久（東北大） 20km メッシュ将来気候データにおけるヤマセの予備調査
10:40-11:00	休憩
11:00-11:15	児玉安正（弘前大・理工） ヤマセ海域の SST 分布の将来予測 -CMIP3 と CMIP5 の比較-
11:15-11:30	佐々木実紀（弘前大・理工） ヤマセ海域の SST 変動と海洋内部構造の関係 -2011年の事例解析-
11:30-11:50	川合秀明 中高緯度の海上下層雲の鉛直構造、海上霧の発生頻度、及びそれらと大気状態との関係

11:50-12:10	早坂忠裕（東北大） ヤマセ雲および夏季北太平洋の低層雲の特性について
12:10-13:10	昼休憩
13:10-13:30	栗原和夫（気象研） 気象研究所における詳細な気候予測のためのダウンスケーリング研究の現状
13:30-13:50	吉田龍平（農環研） 近年の農耕地減少・耕作放棄地拡大による温暖化への寄与
13:50-14:10	福井真（東北大） 力学的ダウンスケールによる 2003 年東北冷夏のアンサンブル予報実験
14:10-14:30	休憩
14:30-14:45	沢田雅洋（東北大） 1km 格子で再現された 2003 年 7 月の気温の誤差評価
14:45-15:00	沢田雅洋（東北大） ダウンスケールのためのデータ同化システムの構築に向けて
15:00-15:20	瀬古弘（気象研） 東北地方を対象にしたアンサンブル予報実験
15:20-15:30	今後の研究の進め方

6. 平成24年度計画

6.1 平成24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24年度はヤマセに対する地球温暖化の影響の評価に力点が置かれる。また、本研究計画の後半に向けて、社会貢献にも力を入れる。

気象庁の気候情報課と仙台管区气象台には、これまでも様々な研究支援を受けていたが、平成24年度は両機関とも正式な研究協力機関となることをお願いした。また、東北農業の温暖化適応策の研究を強化するために、岩手大学農学部にも研究協力機関となることをお願いした。

RECCA の課題「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」(代表 西森基貴)に加えて、「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)とも課題間の連携を強化する。

6.2 ヤマセの気候研究

代表的な気候モデルを選択し、その予測結果をダウンスケールし、ヤマセの温暖化影響について調べる。マルチ気候モデルの解析結果によれば、地球温暖化が進行しても、東北の太平洋沿岸地域を間欠的に襲うヤマセはなくなる可能性が高い。また、マルチ気候モデル解析では、当該地域で気温の平年値は徐々に上昇すると、予測されている。しかし、実際には、現時点で当該地域の夏の気温はあまり上昇しておらず、気候モデルとやや矛盾する結果となっている。両者の矛盾については、気候モデルのダウンスケールデータを用いて、今後さらに調査を進める。

ヤマセについては、海上下層雲の放射冷却と、陸上の斜面を滑昇する際に発生する下層雲の日傘効果が下層の冷気の涵養に寄与している。衛星データの解析により、海上下層雲の雲物理パラメータとその年々変動を明らかにし、下層雲のダウンスケールの数値モデルの改良に寄与する。ヤマセ時に、青森県六ヶ所村等で GPS ゾンデ観測を実施し、下層雲の形成・維持機構を明らかにする。

マルチ気候モデルおよびダウンスケールデータを利用し、ヤマセの将来変化を解析する。マルチ気候モデル解析を行い、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。水稻の障害型冷害の被害程度を予測する簡易モデル作成のために、生育実験により、ヤマセを想定した少照が耐冷性に及ぼす影響を評価する。

6.3 ヤマセの気象予測の研究

ヤマセの地球温暖化影響は年々変動と同程度である。従って、東北の農業の地球温暖化適応策では、気象予測の精度を向上させ、それを高度利用することが大切である。

このため本研究では、データ同化により短期予報を改善し、アンサンブルダウンスケール予測システムにより中期予報を改善することによって、農業気象情報の高度化の基盤とする。ダウンスケールシステムのためのデータ同化では、アンサンブルカルマンフィルター (EnKF) を用い、ヤマセ事例について同化実験を実施する。特に、ドップラーライダーや COSMIC 衛星による GPS 掩蔽観測により得られた屈折率の鉛直分布を同化し、ヤマセ予測に関する効果を確認する。平成23年度に構築したアンサンブルダウンスケール予測システムを用いて、ヤマセの2週間予報に関する予測精度を評価するとともに、

確率予報の可能性を検討する。

統計的なダウンスケールや力学モデルによるダウンスケールによって得られた高解像度メッシュ気象予測データを利用し、農業気象情報の高度化を図る。本年度は水稻病害発生モデルによる予測実験を行う。特に、アンサンブル予測結果を用いて、農作物警戒情報システムでの確率予報としての提供を検討する。農業従事者に対する情報提供実験を継続し、農業気象情報を提供するための支援システムの改善を図る。特に、農業気象情報のアンサンブル処理を適切に実施するため、ハードウェアの強化と必要なシステム開発を実施する。