

平成 27 年度研究成果報告書
『東北地域における気象・気候情報の高度利用』

平成 28 年 4 月

ヤマセ研究会

目次

ヤマセ研究会	5
平成 27 年度成果	7
1. ヤマセ研究会のこれから	8
2. 全球の海霧の将来変化.....	10
3. NHRCM の都市キャノピーモデル SPUC のオフライン化と積雪サブモデルの改善	12
4. 従来型観測のみを用いた日本域長期再解析構想.....	18
5. 東北地方の夏季 2 週目の気温確率の検証.....	21
6. 気候変動対策に関連したデータ提供.....	24
7. 夏季の亜寒帯海域に形成される下層冷気.....	26
8. 2013 年 5 月 13 日の仙台山形の気温差について	28
9. アンサンブル気候予測データベース (d4PDF) における東アジア気候の再現性と将来 変化.....	30
10. 2014～15 年のエルニーニョ現象とその影響.....	33
11. 気候変動適応技術社会実装プログラムについて.....	34
12. 気象データの再生可能エネルギー分野への利用可能性.....	36
13. 気候予測情報を活用した農業技術情報高度化に関する研究成果概要.....	38
14. ダウンスケールによる農業気象指標の創出	40
15. 2LM アンサンブルダウンスケールデータによるイネの葉面濡れ予測実験	43
第 12 回ヤマセ研究会の開催	44

ヤマセ研究会

ヤマセ研究会は、気象情報に関わるさまざまな分野の横の連携を図りながら、東北地域における気象予測と過去～近未来の気候変動・温暖化情報の高精度化の研究を推進する。（東北地域のすべての気象現象を対象とし、ヤマセに限定しない）

観測システム、数値予報モデルおよびデータ同化システムの進歩により、気象・気候の実況解析と予測の精度は大幅に向上した。数値化された気象・気候情報は防災、農業、自然エネルギー、健康など、気象・気候に影響を受ける様々な情報に応用することが可能である。ヤマセ研究会は、気象・気候情報の高度利用技術を開発する。

- (1) 力学的ダウンスケール&領域再解析： 日本全体を対象とした気象予測・気候変動情報は、空間的には比較的粗い。高解像度数値モデルを用いた力学的なダウンスケールや領域再解析を通じて、詳細な地域の情報を作成する。特に、地上気象要素の正確な再現・予測のためには、数値モデルに用いる雲や地表面過程などの物理過程の開発・改良が喫緊の課題である。
- (2) アンサンブルシミュレーション： 大気の実況解析や予測は、必ず誤差を含んでいる。高度利用のためには、誤差を推定する手法を開発し、誤差情報も含めて提供することが望ましい。特に地域気象の予測においては、予測可能性を考慮し、アンサンブルダウンスケールに基づく確率予報を実施することができる。
- (3) 気象・気候関連分野の連携および利用者との交流・相互理解： ヤマセ研究会では、防災、農業、自然エネルギー、健康などの気象・気候関連分野と連携を図り、新たな気象予測と気候変動・温暖化情報の利用のニーズを調査する。提供する情報の精度向上を図るとともに、新たな利用法を開拓し利用者に提案（シーズ）する。利用者との交流・相互理解を通して、気象・気候情報の高精度化と高度利用を図る。

平成 27 年度成果

1. ヤマセ研究会のこれから

岩崎俊樹（東北大学）

a)要旨

ヤマセ研究会では、文部科学省の受託研究である気候変動適応研究推進プログラム（RECCA、2011～2015年度）の支援を受けて、気象予測の高度利用や地球温暖化の適応策に関する研究を行った。当該プログラムは終了したが、ヤマセ研究会の課題は意義が高いことを認め、今後も継続することとした。現在のところ特定のプロジェクトに帰属するものではないことから、研究会としての目標を新たに定めることとした。これは、本成果報告書の巻頭に掲載した。

b)本文

（1）ヤマセ研究会のこれまで

地球温暖化に対して、適応策と緩和策の策定が急がれている。緩和策では、世界中で一致して実施しなければ、効果が期待できない。これに対して、地球温暖化が農業に与える影響は地域により異なるので、適応策は地域の実情により異なる。東北地方の適応策について検討するために、「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」という研究計画を策定し、文部科学省の受託研究「気候変動適応研究推進プログラム（RECCA ; Research Program on Climate Change Adaptation）」に応募し受理された。ヤマセを表題に入れた理由は、東北地方での代表的な気候変動影響を持つ現象と考えたためである。ただし、対象をヤマセに限定するわけではなかった。

東北の農業には、2つの温暖化適応策が必要である。第1の適応策は、適地適作や水資源管理の最適化などの長期的な対策である。温暖化後の気候に適応した作物品種への変更や既存の品種の改良が必要となる。第2の適応策は、気象予測の高度利用である。とくに、アンサンブルダウンスケール予報に基づく、高解像度の確率的な農業気象情報作成と利用を提案しました。また、4年間にわたり、農業事業者等に向けて試験的に農業気象情報を提供し、ニーズを把握するためのアンケート調査を実施しました。図1に、年度計画表を示す。最初からこのような詳細な計画があったわけではなく、年度ごとに詳細な計画を書き加えたものである。

当該研究では、東北大学、弘前大学、岩手県立大学および、(独)農研機構東北農業研究センターで課題を分担するとともに、気象庁気候情報課、気象庁気象研究所、仙台管区気象台、岩手大学の協力を得た。また、ヤマセ研究会では、東北各県の農業試験場（青森県産業技術センター、岩手県農業研究センター、宮城県古川農業試験場、秋田県農業試験場、山形県農業総合研究センター、福島県農業総合センター）の関係者と議論を行った。研究成果の一部は、小冊子「東北地方の農業の地球温暖化適応策と気象情報の高度利用」にまとめ、関係機関に配布した。

(2) ヤマセ研究のこれから

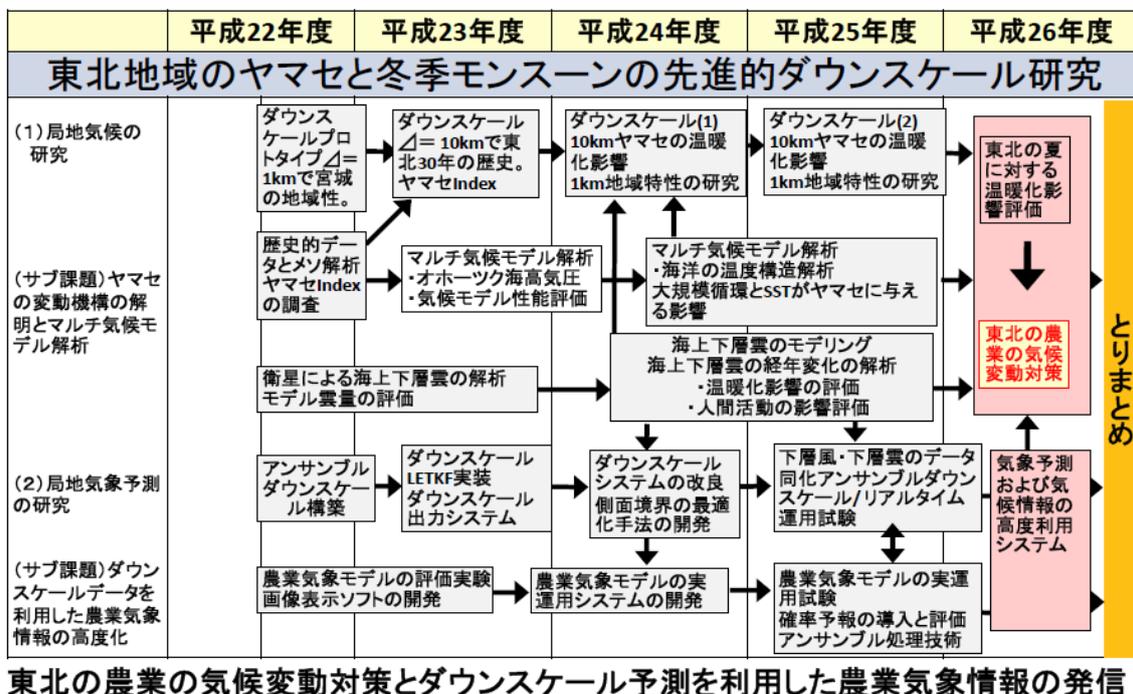
グローバルな地球温暖化情報が多くの人の強い関心を集めており、東北地域でも適応策の策定が強く求められている。また、一方で、気象予測情報は精度が向上し、より詳細な予測への期待が高まっている。全国的な RECCA プロジェクトと一部として始まったヤマセ研究会の活動は、時宜を得たものであり、RECCA 終了後も継続を希望する声が多かった。そこで、ヤマセ研究会の目標 (MISSION) を再検討したうえで継続することとした。

地域の気象・気候。温暖化情報の高精度化を目指すこと。数値モデルと領域再解析による力学的なダウンスケール技術の開発、および、アンサンブルダウンスケールを利用した予測可能性の評価と確率予報技術の開発を行う。特に、地上気象要素の再現精度に関わる数値モデルの物理過程 (雲と放射や陸面水文過程) の開発は重要な課題である。

これまでは、農業を中心に応用プロダクトを考えてきた。しかし、ヤマセ研究会を運営していく中で、気象・気候情報は防災、農業、自然エネルギー、健康など、様々な分野にニーズがあることが分かってきた。利用者と交流・相互理解を深めて、気象情報の高精度化と高度利用を図りたいと考える。

c)参考文献

岩崎俊樹、大久保さゆり、菅野洋光、紺野祥平、島田照久、福井真、南野謙一、吉田龍平、2015: 東北地方の農業の地球温暖化適応策と気象情報の高度利用、30pp
<http://wind.gp.tohoku.ac.jp/yamase/reports/booklet.pdf>



東北の農業の気候変動対策とダウンスケール予測を利用した農業気象情報の発信

図 1. 「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」の年次計画

2. 全球の海霧の将来変化

川合秀明, 神代剛, 遠藤洋和, 荒川理 (気象研究所)

a)要旨

温暖化に伴う全球規模の海霧の変化を調査した。海霧は、海面付近の大気の暖気移流によって生じる場合が多いが、海霧の温暖化に伴う変化も、暖気移流の変化と非常により対応があることがわかった (Kawai et al. 2016)。

b)本文

(1) はじめに

中緯度海洋上にしばしば発生する海霧は、人間生活においても海上交通に大きく影響すると共に、地球の放射収支への影響も無視できないため、気候予測における重要なターゲットである。そこで、MRI-CGCM3 (Yukimoto et al. 2012) を使った、amip、amip4K (全球の海面水温を一様に 4K 上昇させた AMIP 実験)、amipFuture (海面水温を、CMIP マルチモデルにより予測された海面水温分布パターンに基づいて平均で 4K 上昇させた AMIP 実験) の実験結果を解析し、海霧の将来変化を調査した。

(2) 結果

本研究では、モデル面第一層の雲を霧とみなす。まず、船舶観測データ、衛星ライダーデータ (Hagihara et al. 2010) を使い (Kawai et al. 2015)、モデルの海霧の分布を検証したところ、その分布の気候値は、観測データの特徴をよくとらえていることが示された。次に、モデルの海霧の発生のメカニズムを調べたところ、ほとんどは、海面付近の暖気移流によって、暖かく湿った空気が冷たい海面によって冷やされて発生する移流霧であることがわかった。

そして、この温暖化に伴う変化を調べたところ、北半球の夏季には、北太平洋の中部、及び、大西洋ニューファンドランド島近くで霧が減少し、北太平洋の東部で霧が増加する傾向が見られた (図 1a)。また、北半球の冬季には、北太平洋東部で、霧の増加及び減少が対となって現れていた (図 1b)。これらの霧の変化は、夏季には、将来における北太平洋高気圧の弱化に伴い、北太平洋中部で暖気移流が弱まり、また、北太平洋東部では暖気移流が強まることによる (図 1c)。また、北アメリカ大陸上の低圧部の弱化により、ニューファンドランド島付近の暖気移流が弱まること、この付近の霧の減少に対応している。冬季には、アリューシャン低気圧の南東側の北太平洋東部の気圧が下がることが、この付近の霧の増減をもたらしている (図 1d)。すなわち、大気循環の変化により、海霧の変化がほぼ説明できることが示された (Kawai et al. 2016)

これらの変化は、amip4K 実験でも、amipFuture 実験でも共通して見られると共に、こうした気圧の変化パターンは、CMIP5 マルチモデルデータを使っても同様に見られ、信

頼性が高いと言える。

さらに、南半球における海霧の将来変化や、海霧が変化することによる雲フィードバックへの寄与も調査した。また、南北風速と海霧の発生頻度や霧の内部の雲水量には非常によい相関があるが、将来気候においては、現在気候と同じ暖気移流に対しても、霧の内部の雲水量が大きくなることも明らかになった。

c)参考文献

Hagihara, Y., H. Okamoto, and R. Yoshida, 2010: Development of a combined CloudSat-CALIPSO cloud mask to show global cloud distribution. *J. Geophys. Res.*, **115**, D00H33, doi:10.1029/2009JD012344.

Kawai, H., S. Yabu, Y. Hagihara, T. Koshiro, and H. Okamoto, 2015: Characteristics of the Cloud Top Heights of Marine Boundary Layer Clouds and the Frequency of Marine Fog over Mid-Latitudes. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 613-628.

Kawai, H., T. Koshiro, H. Endo, O. Arakawa and Y. Hagihara, 2016: Changes in Marine Fog in a Warmer Climate. submitted.

Yukimoto, S., et al, 2012: A new global climate model of Meteorological Research Institute: MRI-CGCM3 -- model description and basic performance --. *J. Meteor. Soc. Japan*, **90A**, 23-64.

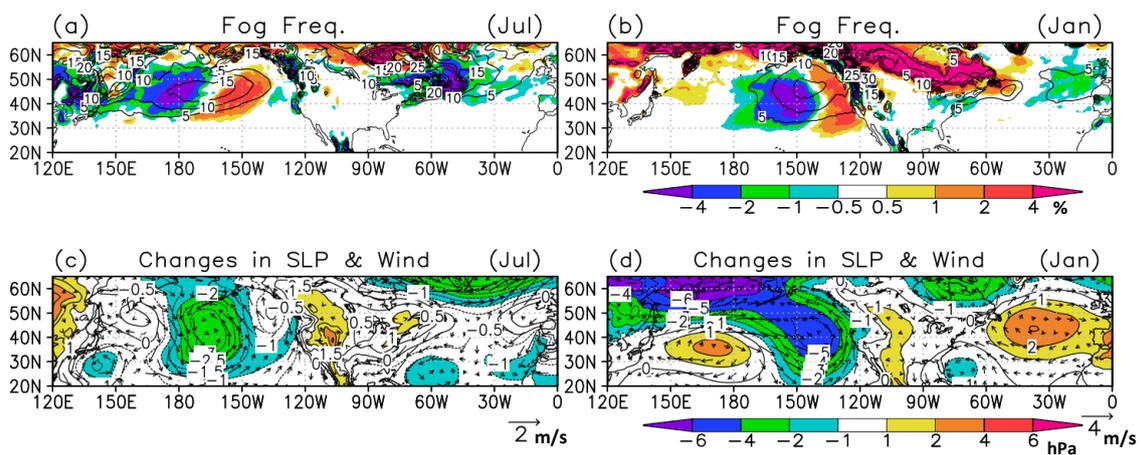


図1 : (a, b) 霧の発生頻度 (単位%)。等値線は amip の気候値、陰影が amip と amip4K の差 (amip4K-amip)。(c, d) 海面気圧と 10m 風速の、amip と amip4K の差 (陰影・等値線 : 海面気圧 (単位 hPa)、矢印 : 風速 (単位 m/s))。左列が 7 月、右列が 1 月の結果。1979 - 2009 年の 31 年分のデータを使用している。

3. NHRCM の都市キャノピーモデル SPUC のオフライン化と積雪サブモデルの改善 大泉三津夫、堀直登（気象大学校）、青柳暁典（気象研究所）

a)要旨

非静力学領域気候モデルNHRCMに組み込まれている都市キャノピーモデルSPUCの積雪サブモデルの改良を行った。このSPUC積雪サブモデルに対してパラメータチューニングを行った結果、ビル周囲の地面の積雪に対しては北大低温研露場での積雪深観測値に合わせることができたが、ビル屋上の積雪については露場積雪深からの推定値に較べて過小な結果となった。そこで、このSPUC積雪サブモデルでの雪温変化と融雪量の計算方法、及び、顕熱フラックスと潜熱フラックスの計算法を変更したところ（改良サブモデルの構築）、地面積雪の再現性が大きく向上し、屋上積雪も推定値に近い結果となった。この積雪深の再現性の向上は厳冬期の融雪量を真に近い値に抑えることができたことによる。

b)本文

(1) はじめに

NHM をベースに開発された気象研究所非静力学領域気候モデル NHRCM では、都市域で都市キャノピーモデル Square Prism Urban Canopy scheme(以後、SPUC) (Aoyagi and Seino, 2011) ,それ以外では植生キャノピーモデル MJ-SiB（あるいは、その改良版である iSiB）が使われている。計算領域中での都市域の指定には 1~0.1km 空間解像度の国土数値情報が使われ、モデルの空間解像度が 10km から 5km、2km と向上するにつれ計算領域上で都市域とされる格子が増えてきた。即ち、10km 解像度の時には東京・大阪・名古屋等の非積雪域が主な都市格子であったが、5km、2km 解像度では札幌・仙台・新潟といった積雪域にも都市格子が広がってきた。この状況に対応するため、SPUC に陸面モデル SUEWS(Järvi et.al,2011)用に開発された積雪サブモデル(Järvi et.al, 2014)の試験的な導入が行われた。

この積雪サブモデル（以後、SPUC 積雪サブモデルと称する）の雪温変化（蓄熱量変化）や融雪量の算定では、正味放射や気温とこれら諸量の間統計的な 1 次回帰式が使われている。回帰式に含まれる係数には地点依存性があり、前もってそれらを決定しておく必要がある。そのために NHRCM の結合モデルを数年に渡って走らせるには多大な計算機資源を必要とし、各地点に最適なパラメータを決定することは容易なことではない。一方、大気最下層の気象要素（短波放射、下向き長波放射、気温、風、比湿、降水）の観測値（あるいは解析値）を強制力として与えて陸面モデルを走らせるオフラインモデルなら、必要とされる計算機資源は遥かに少なく済む。

以上の状況を受けて本研究では、(NHRCM のメインプログラムから切り出した) 既存の MJ-SiB 用オフラインモデルに NHRCM の SPUC 一式 (SPUC 積雪サブモデルも含む) を移植してオフラインモデルを構築し、チューニングの効果と SPUC 積雪サブモデルのパフォーマンスの調査を行った。更に、その結果に基づいて SPUC 積雪サブモデルの改良版（以後、改良サブモデル）を作成し、そのパフォーマンスを検証した。

(2) SPUC 積雪サブモデルの概要

SPUC では一つの正方の敷地にビルとビル周囲の地面が存在し、これが単位構造となって1つの陸面格子を埋め尽くしている。植生モデルにはない SPUC の特徴は、隣り合うビルの存在による日陰の時間変化（日光率で表現）と天空率の減少（一定）である。

SPUC 積雪サブモデルは単層の雪層からなり、考慮する過程は圧密・アルベド aging・含水・下部土壌との熱伝導・パッチ状の部分積雪である。上で述べたように、雪温変化と融雪量計算では正味放射・気温との1次相関式が使われ、厳冬期でも融雪が生じうる。顕熱フラックス・潜熱フラックスは、ビル屋上・ビル壁・ビル周囲の地面の3面から都市キャニオン格子を代表する“キャニオン空間”を經由して大気最下層に流れ込む。無積雪時にはこれらの評価でバルク法が用いられ、バルク係数の計算にはフラックスのパスに応じて、Beljaars and Holtzlag(1991) (以下、BH 法) や Deardorff(1978) (DD 法) のパラメタリゼーションが使われている。一方、積雪がビル屋上やビル周囲の地面上に形成されている場合は蓄熱変化量や融雪（負の時は再凍結）熱が先に計算されるため、これらの乱流フラックスは蓄熱変化量・融雪熱・正味放射・熱伝導・降水熱の残差からペンマン法で求められる（但し、キャニオン空間から大気最下層間のフラックス計算には BJ 法が用いられる）。圧密やアルベド aging・他の積雪物理過程の詳細は、Järvi et.al(2014)を参照していただきたい。

(3) 改良サブモデルの概要

1次回帰式による雪温変化（蓄熱量変化）と融雪量の計算を止め、顕熱フラックスと潜熱フラックスを無積雪時の計算法に戻した。この際、元々の BH 法や DD 法によるバルク法を採用したが、DD 法には温度成層の効果が入っていないので無積雪時に DD 法のみを用いているパスでは BH 法と DD 法の両者からバルク係数を求め、これらの平均をとった。但し、BH 法で用いる粗度長は積雪用に変更した。この変更に伴って、蓄熱量（雪温）の変化をこれら乱流フラックスと正味放射・熱伝導・降水熱の残差から求め、雪温が氷点を超えて上昇した場合は氷点に戻して相当分を融解させるオーソドックスな方法に変えた（逆の場合は再凍結）。

(4) 数値実験

モデルの改良による積雪の再現性の向上を確認するために、以下に示すデータを用いてモデルによる結果と観測値の比較・検証を行った、計算は2冬期について行い、最初の2006年10月～2007年4月が調節用の期間で、2007年10月～2008年4月が検証期間である。

(i) 大気強制力と計算条件

大気強制力として30分間隔の気温、風速、湿度、気圧、降水量、下向き短波・長波放射のデータを与えた。これらについては北大低温研露場で観測された結果を用いた。モデル実行時の計算時間間隔 $\Delta t=120$ 秒である。計算領域は札幌中心部を中心とする 5×5 格子で、すべての格子に同じ強制力を与えた。1冬（10月～4月）の計算に1ノードのパソコン

で SPUC 積雪サブモデル・改良サブモデルどちらも 1 分程度で終了する(因みに、気象研のスーパーコンピュータで $\Delta t=30$ 秒、 25×25 格子の NHRCM を 5 ノードで同じ期間積分するのに約 330 分要する)。

(ii) 比較・検証用観測データ

モデルによる積雪関連の出力は、ビル屋上とビル周囲の地面の 2 つの箇所での積雪物理量である。ビル周囲の地面上の積雪深は低温研露場で観測された積雪深と比較を行った。屋上の積雪深も低温研の屋上での観測値と比較するのが最も好ましいが、そのような観測は行われていないため、次善策として低温研から 10km ほど離れた札幌市白石区で実施されたビル屋上の積雪深観測値と地上の積雪深の関係を求め、その関係を使って低温研露場の積雪深から推定することにした (図 1)。

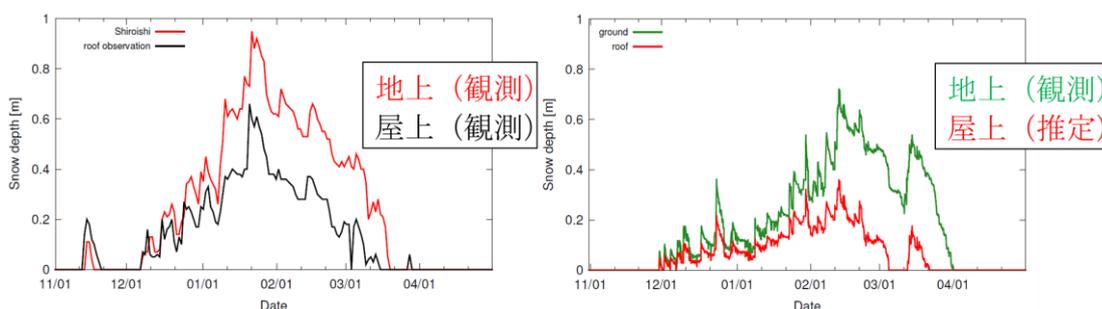


図 1 札幌市白石区で 2014~15 冬期に観測された地上及び屋上の積雪深 (左図) と 2006~07 冬期に低温研で観測された積雪深とそれから推定した屋上積雪深 (右図)。

モデルで計算される積雪密度と雪温は積雪深と同じく低温研露場での積雪断面観測値と比較した。大気強制力と積雪深は 30 分置きに自動観測し、積雪密度と雪温は 3~5 日毎に行われた積雪断面観測から得られた。

(5) 結果

以下、2 つのモデルに分けて結果を示す。

(i) チューニングを施した SPUC 積雪サブモデルの結果

図 2 はチューニングを施した SPUC 積雪サブモデルによる 2006~07 年の再現結果で、左図が屋上、右図がビル周囲の積雪深である。左図で、赤線が計算値、黒線が推定値 (推定誤差をハッチで示す) である。右図も同様に緑線が計算値、黒線が観測値である。ビル周囲の積雪深は比較的良く一致しているが、屋上積雪は過小となった。

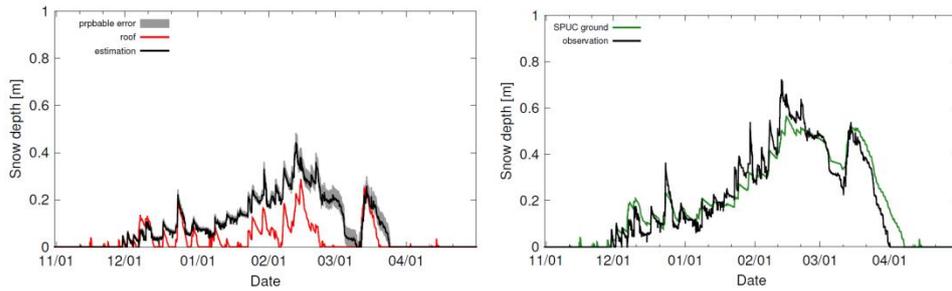


図2 2006～07年冬期の積雪深時系列. 左図は屋上積雪で、赤線はSPUC積雪サブモデルによる計算値、黒線は推定誤差付きの推定値. 右図はビル周囲の積雪で、緑がSPUC積雪サブモデル、黒が低温研露場での観測値.

(ii) チューニングを施した改良積雪サブモデルの結果

図3はチューニングを施した改良積雪サブモデルによる2006～07年の再現結果である。図2と異なって、屋上積雪も推定値に非常に近い。以下に示す2007～08年の検証実験でも同じチューニングパラメータを使用している。

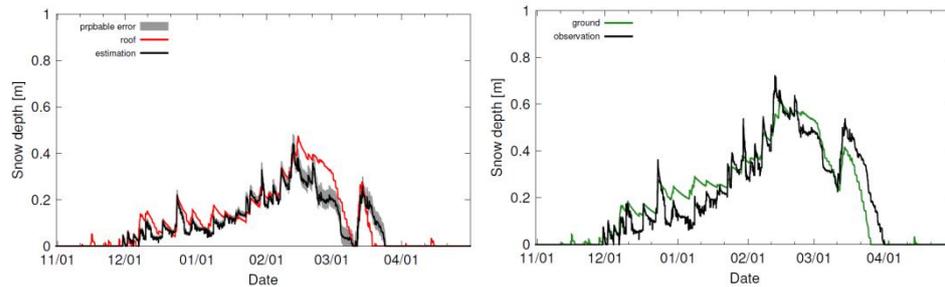


図3 2006～07年冬期の改良積雪サブモデルによる積雪深時系列. 線種は図2と同じ.

図4は改良積雪サブモデルによる2007～08年の検証結果である。図3と比べて屋上はやや過大、ビル周囲はやや過小になったが、十分に満足いく結果である。ビル周囲の積雪深の平均誤差は2月まで10cm未満である。

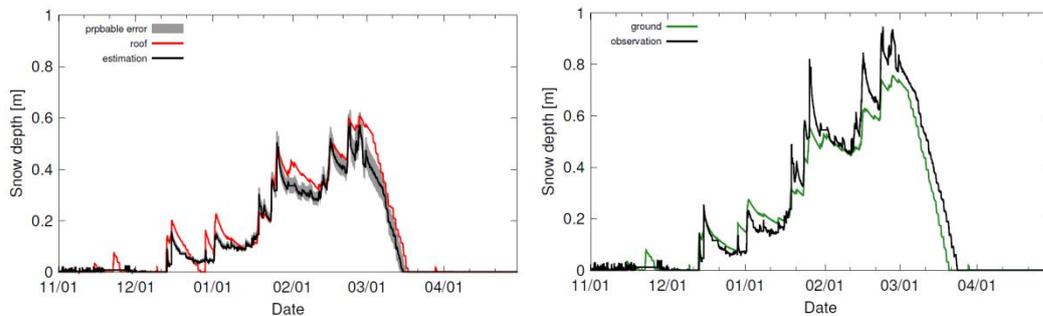


図4 2007～08年冬期の改良積雪サブモデルによる積雪深検証. 線種は図2と同じ.

(6) 考察

2つのモデルで2006～07年冬期の屋上積雪の積雪深の再現性に違いが生じた理由を考察する。図5は両モデルによる2006～07年冬期のビル屋上積雪の融雪熱量の推移を示す。左図がSPUC積雪サブモデル、右図が改良積雪サブモデルの時系列である。SPUC積雪サブモデルの積雪深が過小になった理由は、厳冬期にもかかわらず正味放射による融雪のパラメタリゼーションによって融雪が継続することによる。一方、改良積雪サブモデルでは厳冬期に融雪はほとんど起きず、たとえ起きたとしてもその後の冷却によって積雪中に保持された融雪水が凍結し、ほとんど積雪水量の減少が起きていない。

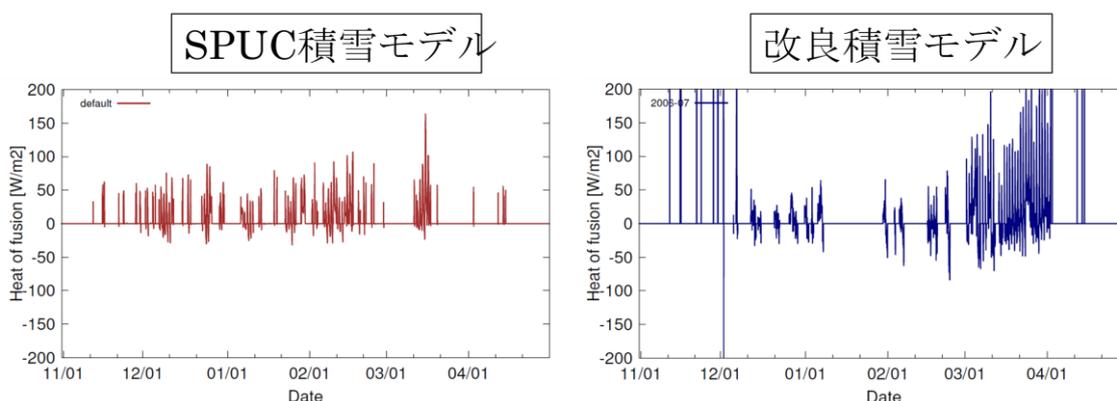


図5 2006～07年冬期のビル屋上積雪の融雪熱量の時系列. 左図はSPUC積雪サブモデル、右図は改良積雪サブモデルによる結果.

(7) 結論

非静力学領域気候モデルNHRCMに組み込まれている都市キャノピーモデルSPUCの積雪サブモデルの改良を行った。デフォルトで組み込まれているSPUC積雪サブモデルは、パラメータチューニングによってビル周囲の地面の積雪に対して十分な再現性を示したが、ビル屋上の積雪については不満足な結果となった。また、雪温変化と融雪量の計算方法、及び、乱流輸送による顕熱フラックスと潜熱フラックスの計算法を変更した改良サブモデルは、地面積雪の再現性が大きく向上し、屋上積雪も厳冬期の融雪が抑えられることによって推定値に近い結果となった。

謝辞：本研究を進めるにあたり、気象研究所気候研究部第六研究室の青木輝夫室長・庭野匡思研究官にはオフラインモデルを駆動させるための強制力を提供していただいた。

c)参考文献

Aoyagi, T., and N. Seino, 2011: A Square Urban Canopy Scheme for the NHM and Its Evaluation on Summer Condition in the Tokyo Metropolitan Area, Japan. *J. Appl.*

Meteor. Climatol., **50**, 1476-1496.

Beljaars, A. C. M., and A. A. M. Holtslag, 1991: Flux parameterization over land surface for atmospheric models. *J. Appl. Meteor.*, **30**, 327-341.

Deardorff, J. W., 1978: Efficient prediction of ground surface temperature and moisture, with inclusion of a layer of vegetation. *J. Geophys. Res.*, **83**, 1889-1903.

Järvi, L., C. S. B. Grimmond, A. Christen, 2011: The Surface Urban Energy and Water Balance Scheme (SUWES): Evaluation in Los Angeles and Vancouver. *J. Hydrol.*, **411**, 219-237.

Järvi, L., C. S. B. Grimmond, M. Taka, A. Nordbo, H. Setälä, and I. B. Strachan, 2014: Development of the Surface Urban Energy and Water Balance Scheme (SUWES) for cold climate cities. *Geosci. Model Dev.*, **7**, 1691-1711.

4. 従来型観測のみを用いた日本域長期再解析構想

福井真(東北大学/気象研究所)・岩崎俊樹(東北大学)・斉藤和雄・瀬古弘・国井勝(気象研究所)

a)要旨

地球温暖化などの気候変動に対する地域における気象場の応答や過去のメソスケール極端現象の解析のための、過去約 60 年に渡り均質な高解像度でかつ高精度な三次元大気データセット作成を目指し、従来型観測のみを NHM-LETKF を用いた同化実験を行った。同化を行わない力学的ダウンスケールに対する精度改善が確認できた。

b)本文

(1) はじめに

測候所での地上直接観測やラジオゾンデによる高層観測などの従来型観測による観測網が 1960 年頃に整備されてから、既に 60 年近くが経過した。この約 60 年という長期に渡り均質な高解像度でかつ高精度なデータセットがあれば、地球温暖化を始めとした気候変動に対する地域スケールの気象場の応答に関する研究や過去のメソスケール極端現象の解析を行う上で非常に有用である。

これまでも、長期間均質で高精度な気象場のデータ作成を目的に全球再解析などの取り組みがいくつか行われてきている。しかし、全球再解析の水平解像度は、最新のものでも 50km 程度と局地循環や降水を扱うには粗すぎる。この解像度問題の克服のために、力学的ダウンスケールによる高解像度化がよく行われてきた。力学的ダウンスケールでは、力学的に整合した結果を得られる一方、総観場を含めた場の再現性が悪化することも多い。

そこで、単なる力学的ダウンスケールではなく、領域内部の従来型観測データを同化することによって、より精度が高い長期間均質で高解像度なデータ作成の可能性を調査することを目的とする。

(2) 実験設定

アンサンブルカルマンフィルタの一種である局所アンサンブルカルマンフィルタ(LETKF; Hunt et al. 2007) の予報モデルに気象庁非静力学モデル(NHM ; Saito et al. 2007)を利用した NHM-LETKF(Kunii 2014)を用いて同化を行う。水平解像度は 25km とし、領域は日本を十分覆う範囲(格子数)に取った。NHM による予報の側面境界値には、JRA-55(Kobayashi et al. 2015)を用いる。アンサンブルメンバー数は 10 とし、初期値には、JRA-55 から無作為に選んだ年の同じ日時の場合を与え、境界には摂動は振らない。共分散膨張係数は 1.5 とし、局所化スケールは、水平に 200km、鉛直に $0.2\ln p$ (約 2km)とした。同化に用いた観測データは、気象庁現業解析に用いられる品質管理済みの地上気圧とゾンデによる高層観測及び台風ボーガスである。対象期間は、2014 年 8 月 1 日から 9 月 1 日の 1 ヶ月間とした。この同化実験(DA)の比較として、観測を同化しない以外は同設定の力学的

ダウンスケール実験(DS)と、長期力学的ダウンスケールでよく用いられるスペクトル境界結合(SBC; Yasunaga et al. 2005)により波数境界に強制を与えた実験(DS-SBC)も行った。検証データとしては、気象庁メソスケール解析(MA ; JMA 2013)を用いた。

(3) 結果

図 1 は、ジオポテンシャル高度の RMSE を示している。従来型観測のみを同化した DA では、DS や DS-SBC に対し、300hPa 付近までは改善が見られた。特に観測の多い地上付近での改善が目立った。これらは、従来型観測のみという限られた観測しか同化に用いていないが、再現精度向上に貢献していることを示している。

また、メンバー間の標準偏差であるアンサンブルスプレッドは、解析の不確実性を反映すべき量である。このアンサンブルスプレッドの水平分布では、観測の多い地点で小さく観測の少ない地点で大きくなっている。特に観測のほとんどない日本の南-東海上で大きく、MA に対する RMSE と比べても大きい。これは、メンバーにより擾乱が発達してしまうものがあつたことを反映している。スプレッドが大きくなってしまう原因としては、観測の影響が小さく不確実性が大きいことを反映していることも一つではあるが、寧ろそれ以上に、観測がほとんどなくアンサンブルアップデートで摂動がほとんど小さくならないにも関わらず、人工的に大きな共分散膨張係数を与えていることが原因と考えられる。

そこで、共分散膨張係数を 1.5 から 1.2 へ小さくした実験を行ったところ、アンサンブルスプレッドの過剰は緩和されるが、解析精度の悪化が見られた。特に観測の多いところで予報誤差共分散が過小になり、観測による修正が不十分であつたためである。考慮していなかつた側面境界値に伴う不確実性を考慮するための非常に簡易な手法として、JRA-55 の 8 月の海面更正気圧に対し EOF 解析を行い上位 5 モードの正負を側面境界値に摂動として与えた。この場合、共分散膨張係数を 1.2 としたままでも、解析精度は境界値を固定し共分散膨張係数を 1.5 とした実験と同程度のままであり、日本の南-東海上でのスプレッドの過剰が緩和された。側面境界摂動を与えることが、共分散膨張に頼りすぎず、より適切にアンサンブルメンバーをばらつかせる事ができることを示唆する。

ただし、共分散膨張係数 1.2 でも、依然として日本の南-東海上でスプレッド過剰になっており、より高度な側面境界摂動や観測密度に依存した共分散膨張を与える手法 (Adaptive Inflation 法(Miyoshi 2011)など) の導入を検討する必要がある。

また、今回示した実験は、計算機コストも考慮し、水平解像度 25km とまだ比較的粗く、アンサンブルメンバー数も 10 と小さい。高解像度(格子間隔 5km 程度)での実験やメンバー数に対する感度実験を行い、更なる領域再解析システムの最適化を行う予定である。

c)参考文献

福井真, 岩崎俊樹, 斉藤和雄, 瀬古弘, 国井勝., 2016: 従来型観測のみを用いた日本域再解析システムの構築に向けた同化実験. *SENAC* (submitted).

Hunt, B. R., E. J. Kostelich, and I. Szunyogh., 2007: Efficient data assimilation for

spatiotemporal chaos: A local ensemble transform Kalman filter. *Physica D*, **230**, 112-126.

Kobayashi, S., Y. Ota, Y. Harada, A. Ebita, M. Moriya, H. Onoda, K. Onogi, H. Kamahori, C. Kobayashi, H. Endo, K. Miyaoka, and K. Takahashi., 2015: The JRA-55 Reanalysis: General specifications and basic characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 5-48.

Kunii, M., 2014: Mesoscale data assimilation for a local severe rainfall event with the NHM-LETKF system. *Wea. Forecasting*, **29**, 1093-1105.

Miyoshi, T., 2011: The Gaussian approach to adaptive covariance inflation and its implementation with the local ensemble transform Kalman filter. *Mon. Wea. Rev.*, **139**, 1519-153.

Saito, K., J. Ishida, K. Aranami, T. Hara, T. Segawa, M. Narita, and Y. Honda., 2007: Nonhydrostatic atmospheric models and operational development at JMA. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 271-304.

Yasunaga, K., H. Sasaki, Y. Wakazuki, T. Kato, C. Muroi, A. Hashimoto, S. Kanada, K. Kurihara, M. Yoshizaki, and Y. Sato., 2005: Performance of long-term integration of the Japan Meteorological Agency nonhydrostatic model using the spectral boundary coupling method. *Wea. Forecasting*, **20**, 1061-1072.

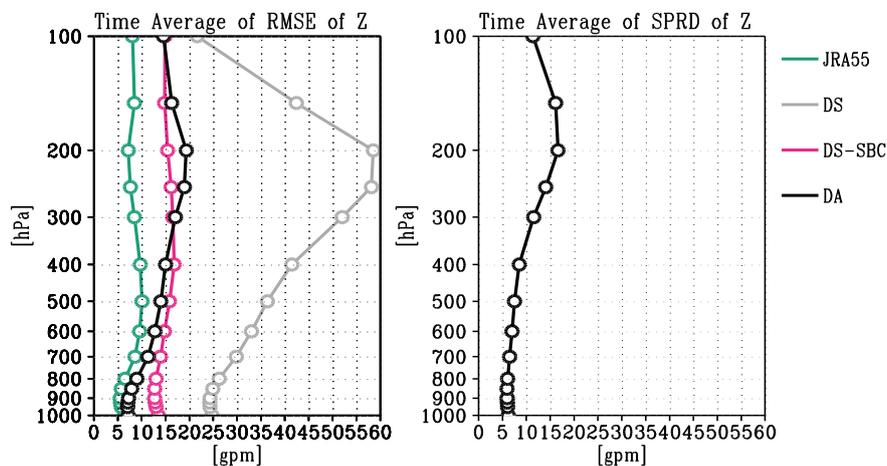


図1 ジオポテンシャル高度のMAに対するRMSEの2014年8月6日12UTCから9月1日00UTの平均の鉛直プロファイル。黒がDA、灰色がDS、赤がDS-SBC、緑がJRA-55。

(福井ほか 2016 より)

5. 東北地方の夏季2週目の気温確率の検証

伊藤晋悟（気象庁気候情報課）

a)要旨

気象庁では、東北農業研究センターとの共同研究の一環で、東北農業研究センターと岩手県立大学が運営する「Google Map による気象予測データを利用した農作物警戒情報」に平成 23 年から平成 27 年の夏季（6 月～9 月）まで、2 週間先の予測データの提供と異常天候早期警戒情報のコメントを提供した。このたび、本期間の 2 週先の気温予測の結果について調査を行い、高温傾向をよく予測できていたことが確認された。

b)本文

(1) はじめに

気象庁では、平成 23 年度から平成 27 年度にかけて、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構と共同研究を行ってきた。この共同研究の一環で、東北農業研究センターと岩手県立大学が運営する「Google Map による気象予測データを利用した農作物警戒情報」に平成 23 年度から平成 27 年度にかけての夏季（6 月～9 月）に、2 週間先の予測データと異常天候早期警戒情報（気象庁，2015）のコメントを提供してきた。このたび、共同研究の成果がまとまったことを受けて、本期間の気温の実況推移と 2 週間先の気温予測の結果について確認する。

(2) 実況の推移と異常天候早期警戒情報

まず、本期間の気温の経過について確認する。東北地方夏季（ただし、ここでは 6 月から 8 月）の気温の経年変化（図 1）によると、対象期間の 2011 年から 2015 年の夏季は、平年より高く推移していたことがわかる。各年の時系列（図 2）を確認しても、一時的に

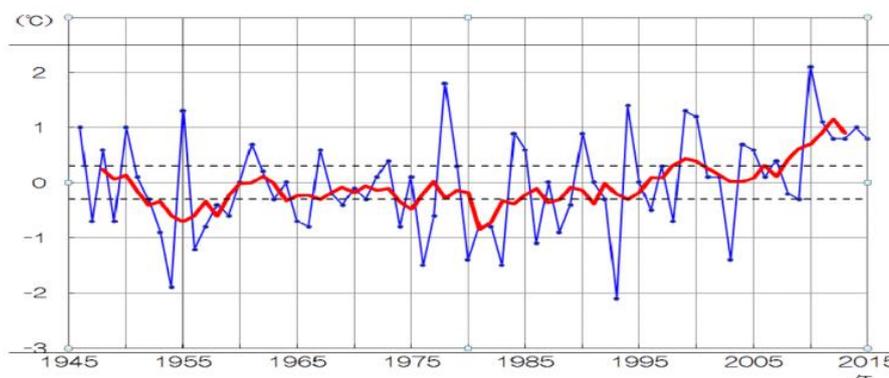


図 1 東北地方の夏（6～8 月）の平均気温平年差の推移

細線は平均気温平年差、太線は 5 年移動平均値、点線で示した区間が平年並の範囲。平年値は 1981～2010 年の 30 年平均値、統計期間は 1946～2015 年。平成 28 年度東北地方暖候期予報より抜粋。

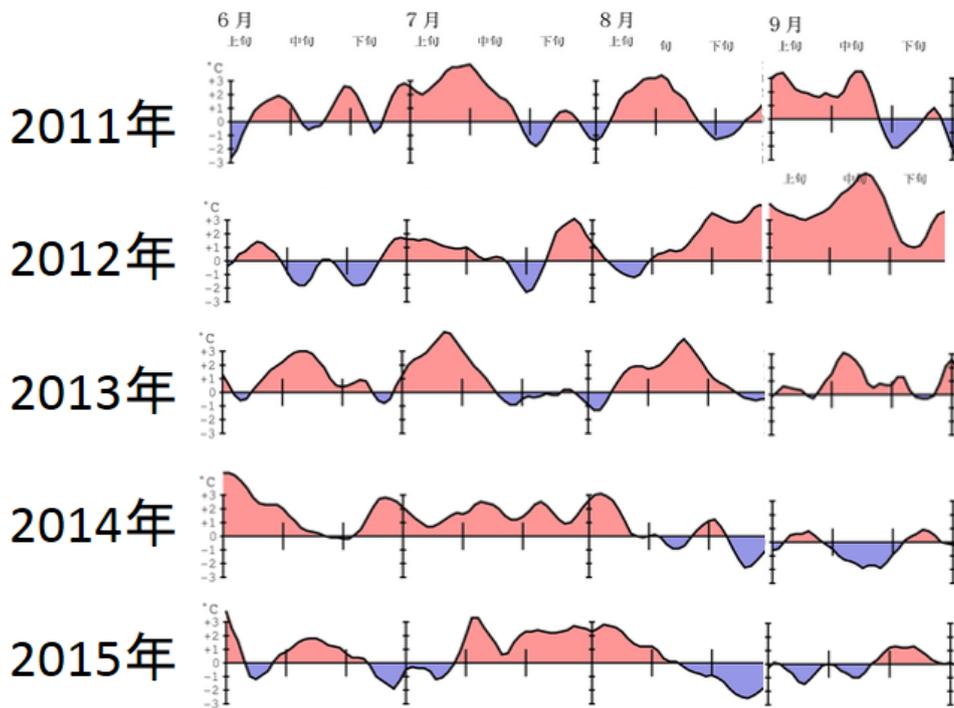


図2 北日本地域平均気温平年差の5日移動平均時系列図
赤（青）色が平年より気温が高（低）いことを示す。

低温となる期間はあるものの、平年より高い期間が多かった。また、2012年と2015年には「少雨と長期間の高温」の天候情報が発表されるなど、高温が社会的に影響を与えていたことがわかる。

次に、この期間に発表した異常天候早期警戒情報について確認する。本期間では174回の発表機会があり、高温の異常天候早期警戒情報が35回発表された。このうち、高温の異常天候早期警戒情報の適中回数は24回、「かなり高い」とならないものの「高い」気温となった事例が10回と、異常天候早期警戒情報が発表されれば高い確率で「高い」以上の気温となっており、高温傾向をよく予測できていることがわかる。一方、実際は「かなり高い」となったにもかかわらず、異常天候早期警戒情報を発表できなかった事例が27事例あった。

（3）2015年8月の高温と低温の予想

最後に、2015年8月上旬の高温と下旬の低温の予想について、確認する。図3に2015年6月から9月の仙台の気温予想と実況の推移を示す。7月から8月上旬にかけての高温については、27℃以上の確率が高くなっており、高温のシグナルをみることができるが、8月下旬の低温については、適切な低温のシグナルが表現されていなかった。

この要因について、簡単に以下に考察する。8月上旬の高温は太平洋高気圧に覆われて

高温となっており、この太平洋高気圧の強まりについては予測モデルで適切に表現できていた。一方、8月下旬の低温については、台風が日本の東海上を通過したことにより寒気を引き込んだことが一因とみられているが、予測モデルではこの台風の進路を適切に表現できていなかった。以上のように、予測データを利用する際には、予報精度及び確率情報を考慮することが重要であり、そうすることで情報の有効で適切な利用につながる。過去の1か月予報や異常天候早期警戒情報のガイダンスは気象庁ホームページ (<http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/fcstdl/>) で取得することができるので、予報精度の確認等に是非活用していただきたい。

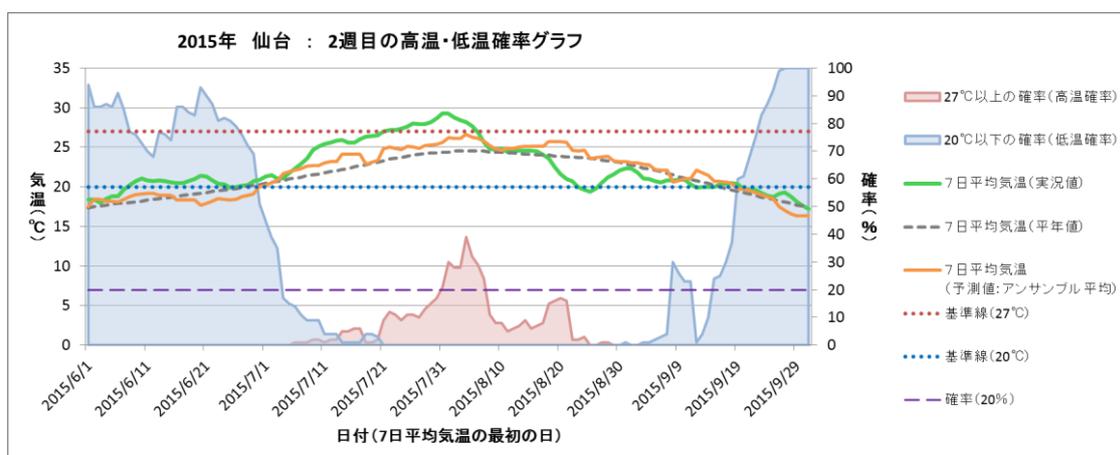


図3 2015年6月～9月の気温の予想と実況の推移

緑線が実況値、橙線がアンサンブル平均の予測を示す。また、赤線が27度以上になる確率、青線が20℃以下になる確率を示す。

c)参考文献

気象庁，2015：異常天候早期警戒情報について，<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/kurashi/soukei.html> (2016年4月4日閲覧)

6. 気候変動対策に関連したデータ提供

淵上隆雄（仙台管区气象台気象防災部地球環境・海洋課）

a)要旨

仙台管区气象台および管内の地方气象台では、地方公共団体における気候変動対策策定・検討への支援として、地域における長期的な気候変化の解析結果や将来予測のシミュレーション結果の提供を実施している。今後は、同様の支援をよりスムーズに実施できるよう、2011年に作成した解説資料「東北地方の気候の変化」を更新する予定である。

b)本文

昨年11月に「気候変動の影響への適応計画」が閣議決定されたことなどを背景として、地方公共団体による気候変動対策策定・検討の動きが活発化しつつあり、これらに対する支援として、仙台管区气象台および管内の地方气象台から以下の気候データの提供等を行っている。提供された気候データは、地方公共団体の地球温暖化対策計画等本文への掲載や、気候変動による現在までのあるいは将来の影響評価等に用いられる。

・地域における長期的な気候変化の解析結果

長期間の観測データに基づく地域の気候変化の解析結果。解説資料「東北地方の気候の変化」等に掲載されているグラフ等に最新のデータを追加し、气象台としてのコメントを加えたもの。

・将来気候のシミュレーション結果

地球温暖化予測情報第8巻におけるシミュレーション結果を、県単位等で解析したもの。参照する際は、モデルの不確定性、単一のシナリオに基づくシミュレーション結果の1つであること、より広域における結果との整合性を踏まえる必要があること、近未来の予測では気候変動のシグナルを捉えられない場合があることなどに留意する必要がある。

今年度、東北地方では秋田市と仙台市で地球温暖化対策計画等の改訂があり、秋田地方气象台と仙台管区气象台からそれぞれにデータ提供を行った。また、気象庁は環境省による「平成27年度地方公共団体における気候変動影響評価・適応計画策定等支援事業」をうけて対応しており、福島県の取組みに対して福島地方气象台から上記データの提供を行った。

今後は、解説資料「東北地方の気候の変化」を更新し、同様の支援をよりスムーズに実施できる環境を整える予定である。

c)参考文献

仙台管区气象台, 2011: 東北地方の気候の変化.

気象庁, 2013: 地球温暖化予測資料第8巻.

気象庁, 2015 : 異常気象レポート 2014.

7. 夏季の亜寒帯海域に形成される下層冷気 島田照久(弘前大院理工)・岩崎俊樹(東北大院理)

a)要旨

温位座標に基づく寒気解析の方法を用いて、夏季の全球の下層冷気の分布を調べた。下層冷気は、主に亜寒帯の海上や海盆東部の湧昇域で生成・分布しており、周辺の陸域や湧昇域の沖側の貿易風帯で冷気が消滅している。

b)本文

(1) 研究の目的

夏季の亜寒帯域には海洋性の下層冷気が形成される。下層冷気は、周辺域の気候にも影響し、例えば、オホーツク海やベーリング海で形成された下層冷気が、北日本の冷夏の原因として挙げられてきた。しかしながら、亜寒帯海域の薄い下層冷気を直接解析した研究はこれまでにほとんどなかった。最近、寒気を効果的に解析できる、温位座標に基づく方法が提案され、冬季の寒気流出に関する研究が進んでいる (e.g., Iwasaki et al.2014)。

本研究では、この温位座標に基づく寒気解析の方法を、夏季の薄い下層冷気に適用する。そして、夏季の亜寒帯海域に形成される下層冷気の分布・変動を明らかにすることを目的とする。

(2) データと方法

再解析データ ERA-Interim のモデル面データを用いた。データの期間は 2003-2013 年の 11 年で、その期間についての気候学的月平均を中心に議論する。Iwasaki et al. (2014) の定義に従って、特定の温位面下の冷気質量等を求めた。

(3) 結果

図 1 は、全球の冷気質量分布を示す。ここでは 296K の温位面より下層を冷気層とした。296K の温位面は、亜寒帯域を高い割合（北半球では北緯 40 度以北を 90%）で含み、海盆全体の下層冷気の特徴を把握するのに適している。下層冷気は、高緯度域の一部を除き、亜寒帯の海上に分布していることがわかる。冷気の分布には、各海盆に共通の特徴が見られる。下層冷気は、亜寒帯海域でおおよそ東西方向に分布しているが、海盆の東部で赤道向きに冷気が伸びている。海盆東岸の湧昇による低水温や低水温域で卓越する下層雲との関連が示唆される。大きい冷気質量フラックスは、海盆の東部に形成される亜熱帯高気圧に沿ってみられる。特に、海盆東岸の赤道向きの冷気質量フラックスが大きく、亜寒帯の冷気は貿易風帯に入って消滅する。

(4) 今後の予定

冬季の寒気の分布との比較、下層冷気の生成・消滅に関わる要素を検討する。

c)参考文献

Iwasaki, T., T. Shoji, Y. Kanno, M. Sawada, M. Ujiie, and K. Takaya, 2014: Isentropic

analysis of polar cold airmass streams in the Northern Hemispheric winter. *J. Atmos. Sci.*, 71, 2230–2243. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JAS-D-13-058.1>

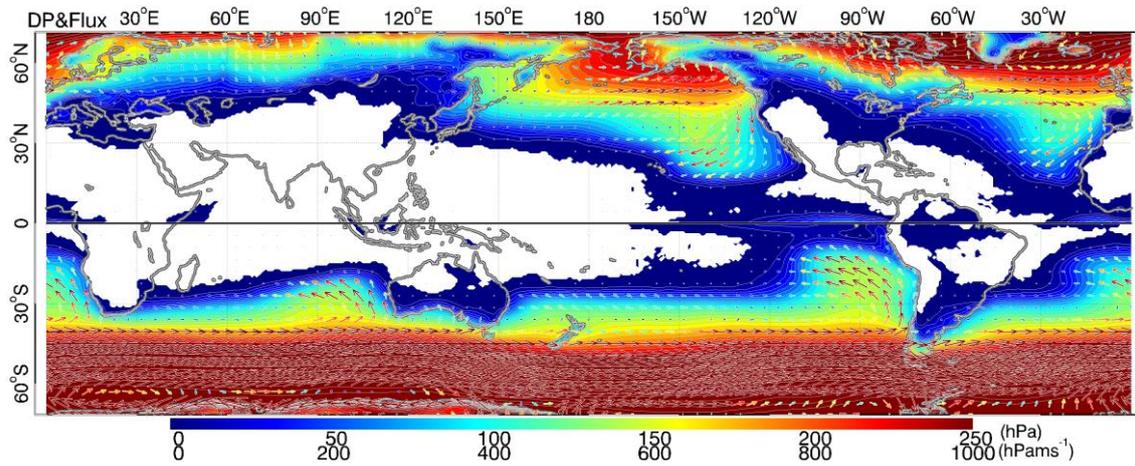


図1 冷気質量 (カラーコンター) と冷気質量フラックス (ベクトルとそのカラー) の分布。特定温位面は 296K とし、北半球は 7 月、南半球は 1 月のデータをプロットしている。

8. 2013年5月13日の仙台山形の気温差について
岩場遊（東北大学）

a)要旨

2013年5月13日、仙台山形の最高気温差が過去最大の17.7℃に達した。この現象の要因を明らかにするためNHMでダウンスケールを行った。その結果、太平洋のSSTの低温偏差と上空の高温位偏差が気温差に寄与していたことが明らかになった。

b)本文

(1) はじめに

2013年5月13日はオホーツク海の高気圧が三陸沖に張り出すヤマセ型の気圧配置であった(図1)。ヤマセ日に日中の気温差が大きくなることはよく知られているが、最高気温差が15℃を超えた例は他にない。そのためこの現象はヤマセのほか複数の要因が重なって起こったと考えられ、その要因を明らかにしていく。(時刻はすべてJSTとする)

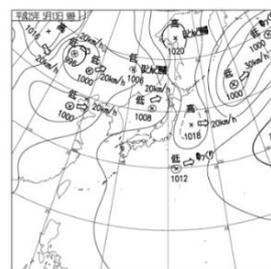


図1: 9時の天気図(気象庁HP)

(2) 手法

NHMを用いて水平解像度2km、鉛直38層の解像度にダウンスケールした。初期値境界値にはMSM、SSTにはMGDSSTを用いた。この結果を利用し、流跡線解析を行った。

(3) 結果

(i) ダウンスケール

ダウンスケールの結果をアメダスの観測と比較した。図2に地上の気温と風の時系列の比較を、図3に15時の地上の気温と風の結果を示す。仙台では海から冷たい風が吹き、山形と10℃以上の気温差が再現されている。特に山形では気温、風ともに観測とよく一致しているが、仙台では気温が観測より5℃程度高い。

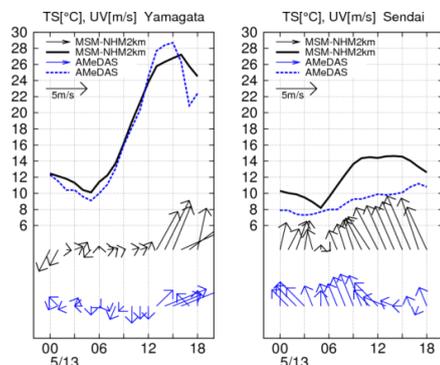


図2: 地上の気温と風の時系列

左: 山形 右: 仙台 黒: NHM 青: アメダス

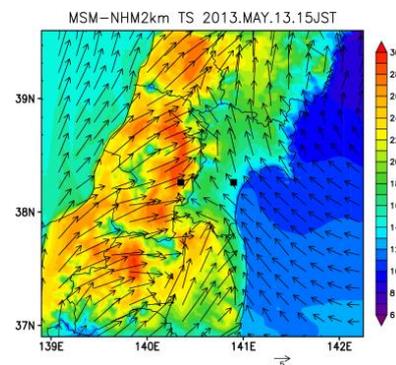


図3: 15時の地上の気温と風

(ii) 流跡線解析

仙台と山形に 15 時に到達した空気塊の流跡線を図 4 に示す。山形では大きく 2 つの経路が現れた。流跡線の高度と温位の変化を図 5 に示す。中通りから到達した流跡線は上空の高温位空気の下降を、浜通りから到達した流跡線は地表付近での日射による加熱を示唆している。これらから、空気塊の起源と通過した場所の地表面の違いが気温差に寄与していたことが分かった。

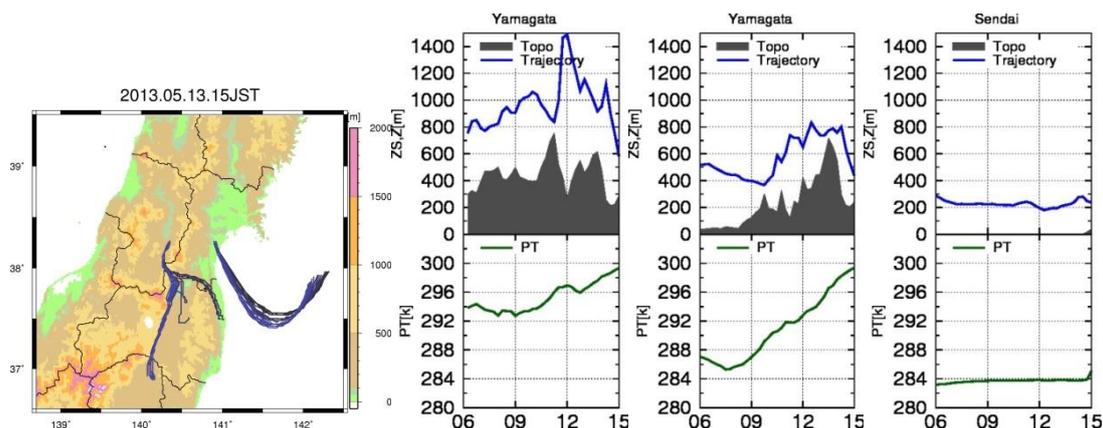


図 4 : 15 時に到達した流跡線 図 5 : 高度と温位 青 : 流跡線 緑 : 温位
左 : 中通りから山形 中 : 浜通りから山形 右 : 仙台

(4) 感度実験

(i) 雲量を増やす

仙台の気温が高く予想される原因を調べるために、雲量を増やす感度実験を行った。部分凝結において、雲量の分散を決める値 σ を $\sigma = \sigma + 0.0004$ とした (CLD)。

図 6 はコントロールラン (CTL) との比較である。CTL では雲は非常に少なかったが、CLD では雲量を約 5 まで増やすことができ、仙台の日中の気温は CTL より約 2°C 下がった。しかし、これ以上雲を増やしても気温の変化は小さかった。したがって、雲の再現により仙台の予想気温と観測の差のうち約 2°C が説明される。

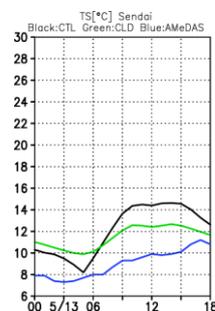


図 6 : 仙台の地上気温時系列
黒 : CTL 緑 : CLD 青 : アメダス

(ii) SST を下げる

図 7 はコントロールラン (CTL) との比較である。CTL と比べて気温は約 1°C 低くなった。図 2 より 13 日は海からの風が吹いており、SST が仙台の低温に影響を与えていることが確かめられた。また、使用する SST データの精度が仙台における気温予測に大きく影響することも示唆された。

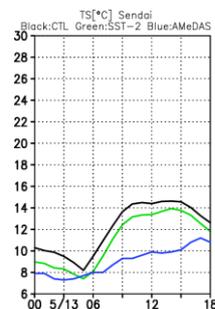


図 7 : 仙台の地上気温時系列
黒 : CTL 緑 : SST-2 青 : アメダス

9. アンサンブル気候予測データベース (d4PDF) における東アジア気候の再現性と将来変化

遠藤洋和、水田亮 (気象庁気象研究所)

a)要旨

気候変動リスク情報創生プログラムの下で、高解像度全球大気モデルによる 100 メンバー規模のアンサンブル温暖化予測実験を行った。モデルは東アジアの夏季降水量や循環場、年最大日降水量などの極端降水を現実的に再現した。将来の海面水温パターンの不確実性が極端降水予測のばらつきに与える影響を調べたところ、日本や韓国ではその影響は大きい一方、中国では小さいことが分かった。

b)本文

(1) 実験設定

気象研究所大気大循環モデル MRI-AGCM3.2 (Mizuta et al. 2012)の水平解像度 60km 版を使用した。現在気候実験では、1951~2010 年の期間、観測された年々の海面水温 (SST) を与えて、100 メンバーのアンサンブル実験を行った。将来気候実験では、CMIP5 大気海洋結合モデルが予測した 6 種類の SST 変化 (Δ SST) パターンを、観測 SST に加えて、90 メンバー (各 SST パターンの下で 15 メンバー) のアンサンブル実験を行った。 Δ SST パターンについては、全球平均年平均気温の上昇量が産業革命前と比べて +4 °C になるようにスケールリングした。積分期間は現在気候と同じ 60 年とした。

(2) 現在気候

夏季 (6~9 月) の降水量分布を見ると (図 1a-b)、観測では、多雨域が華南~東シナ海~朝鮮半島~南日本~その東海上にかけて帯状に分布する。現在気候実験は、これら多降雨域を再現するが、西日本以西では観測より少なく、東日本以東では観測より多い傾向がある。年最大日降水量 (R1d) を見ると (図 1c-d)、モデルは観測された強い降水の空間分布と量を良く再現する。観測では 130mm/d 以上の強雨域が北西太平洋から日本の南岸に延びるが、モデルはこの特徴も良く再現する。ただし、モデルの強雨域は観測よりもやや東にずれている。

夏季の水蒸気フラックス分布を見ると (図 1e-f)、再解析では、華南や南シナ海からの南西風と太平洋高気圧西縁の南風による水蒸気流が東アジアの降水帯で収束している。モデルは、このような特徴を良く再現するが、太平洋高気圧の西方への張り出しが観測より弱い (図 1e-f)、華南から東シナ海の水蒸気フラックスが過少である。これは上述の夏季降水量や R1d で見られたバイアスと関連していると考えられる。

(3) 将来気候

R1d のアンサンブル平均変化率を見ると (図 2a)、東アジアのほぼ全域で増加傾向が予測されている。増加率は、中国大陸や北日本で 30%以上、東日本～西日本や朝鮮半島で 10%～30%である。これとメンバー間ばらつきの大きさ (図 2b) を比べると、東アジアでは亜熱帯海上を除いて、R1d 増加率がメンバー間ばらつきよりも十分に大きい。このことは R1d 増加がロバストであることを意味する。

次に、統計的手法 (2 元配置分散分析) を用いて、R1d 将来変化率のメンバー間ばらつき (σ) を、SST 因子によるもの (σ_{sst}) とそれ以外のもの (σ_e) に分離し (図 2c-d)、それぞれの大きさを比較した。日本や韓国では σ_{sst} は σ_e と同程度の大きさをもつ一方、中国では沿岸付近を除いて σ_{sst} は σ_e よりも小さい。すなわち、将来の海面水温パターンの不確実性は、日本や韓国における極端降水予測のばらつきに大きな影響を及ぼす一方、中国における極端降水予測のばらつきに及ぼす影響は小さい。

c)参考文献

Mizuta, R., and coauthors, 2012: Climate simulations using MRI-AGCM3.2 with 20-km grid, J. Meteorol. Soc. Jpn., 90A, 233–258, doi:10.2151/jmsj.2012-A12.

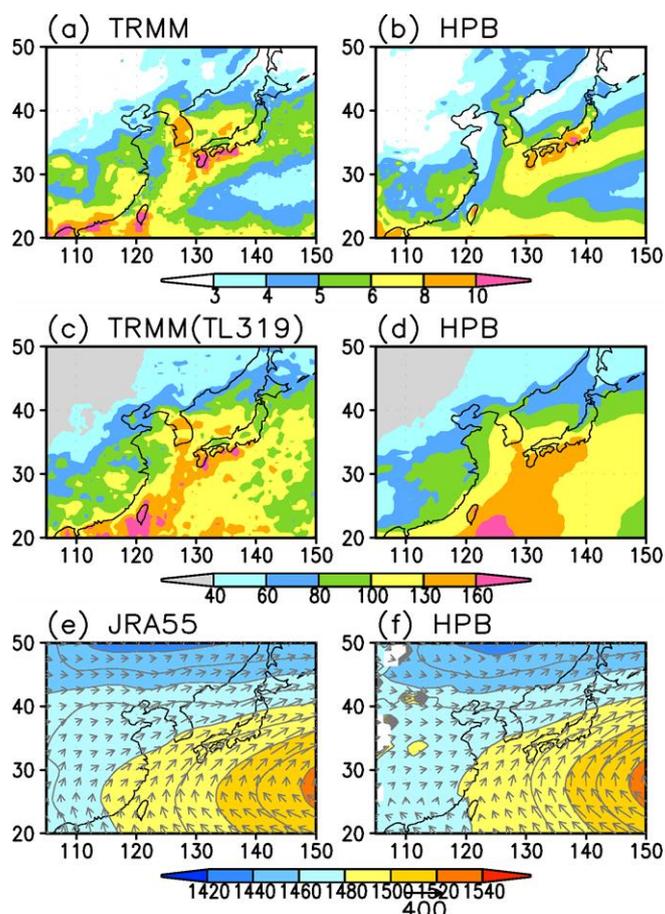


図 1：東アジアの現在気候再現性。(a, b) 6～9 月平均降水量[mm day⁻¹]、(c, d) 年最大日降

水量 (R1d) [mm]、(e, f) 6~9 月平均鉛直積算水蒸気フラックス ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$; 矢印) と 850hPa 高度 (m; 陰影と線)。(a, c, e)は観測および再解析、(b, d, f)はモデル (100 メンバー平均)。平均期間は、モデルと JRA-55 は 1981–2010 年、TRMM-3B42 は 1998–2013 年。(c)では、TRMM-3B42 の水平解像度を 60km モデル格子 (TL319) に変換 (オリジナルは 0.25 度格子) した後に R1d を計算した。

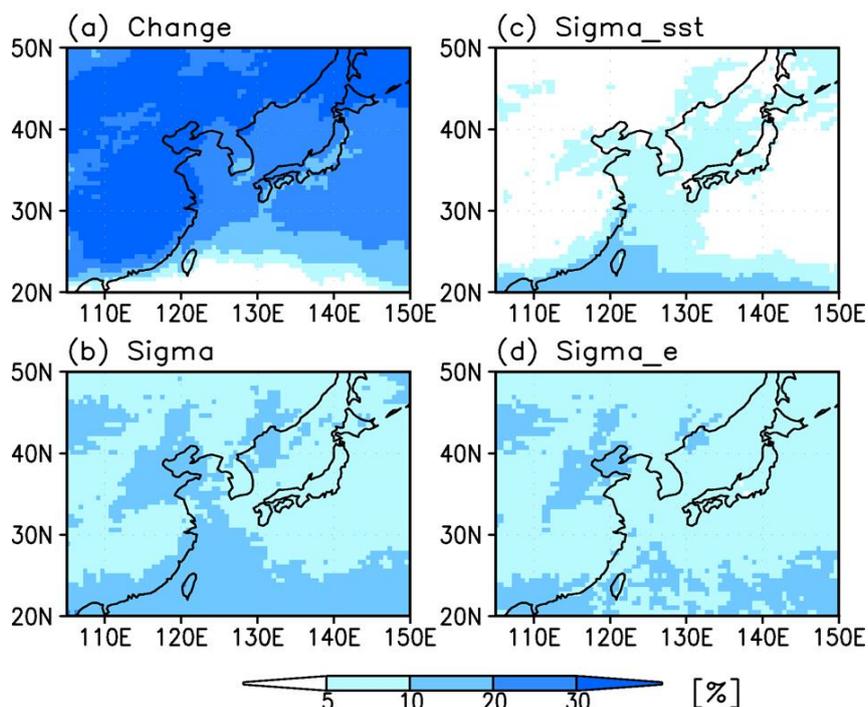


図 2: 年最大日降水量 (R1d) の(a)アンサンブル平均変化率、(b)メンバー間標準偏差 (σ)、(c)SST 因子によるばらつき (σ_{SST})、(d)それ以外のばらつき (σ_e)。単位はいずれも%。

10. 2014～15年のエルニーニョ現象とその影響

前田修平（気象研気候）、安田珠幾・ト部佑介（気象庁気候情報）

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

2015年夏に発生したエルニーニョ現象は、2015/16年冬にピークを迎えた。気象庁が監視しているエルニーニョ監視指数（NINO.3 指数；北緯 5 度～南緯 5 度、西経 90 度～150 度で平均した月平均海面水温の直近 30 年平均値との差）が 2015 年 12 月には +3.0℃となり、ピーク時の値としては、1997/98 年の +3.6℃（1997 年 11 月）、1982/83 年の +3.3℃（1982 年 12 月）に次ぐ、1950 年以後では第 3 位の大きな値となった。太平洋赤道域の海洋表層・亜表層の水温偏差も大きく、1950 年以降では 1982/83 年、1997/98 年と並んで「三大エルニーニョ現象」のひとつに数えられるような強いエルニーニョ現象に発達したといえる。

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

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

11. 気候変動適応技術社会実装プログラムについて

山崎剛（東北大学）

a)要旨

新しく始まった文部科学省の事業「気候変動適応技術社会実装プログラム」(SI-CAT: Social Implementation Program on Climate Change Adaptation Technology)について、概要を紹介する。

b)本文

(1) 全体の概要

気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT)は文部科学省の事業で、平成 27 年度から 31 年度まで実施される。平成 26 年度まで実施された気候変動適応推進プログラム(RECCA)の後継と位置付けられ、自治体等が行う気候変動対応策の検討・策定に汎用的に生かされるような信頼性の高い近未来の気候変動予測技術や気候変動影響に対する気候変動対応策の効果の評価を可能とする技術を開発する。ニーズ・シーズー帯の開発を通じた社会実装の実現を図っていく。平成 27 年度の全体予算規模は 5.7 億円である。

(2) 体制

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

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

このうち、課題①と②は海洋研究開発機構が、課題③は国立環境研究所が主管機関として採択されている。なお、社会実装機関の主管は科学技術振興機構であり、モデル自治体等として 7 団体が選定されている。

(3) 近未来・ダウンスケールの課題

課題①は、2030 年から 2050 年ころをターゲットとした水平解像度 20 km の全国を対象とする近未来予測を実施する。課題②は統計的ダウンスケーリングにより水平解像度 1 km の確率情報を付加した全国を対象とした気候シナリオを作成する。さらに、モデル自治体等を対象として、地域特性を考慮した力学的ダウンスケーリングを実施する。

(4) 東北大学の取り組み

東北大学大学院理学研究科は共同参画技術開発機関の 1 つとして主に課題②の力学的ダウンスケーリングを分担する。

東北大学のほか、福島大学、弘前大学、農業・食品産業技術研究機構の中央農研センター、東北農研センターのメンバーが加わっている。また、気象研究所、気象大学校、会津大学、仙台管区気象台の協力を得ている。

モデル自治体や影響評価機関への情報提供として、防災・水資源に関わる降雨・降雪、農業への情報となる気温・日射・湿度などのデータベースを作成する。さらに、このデータセットを用いた気候解析とモデル検証、力学モデルの物理過程、特に陸面過程の改良を行う。その他、ニーズに応じて提供可能な各種情報として、再生可能エネルギー資源に関わる太陽光・風力・水力や需要予測の情報が挙げられる。モデル検証に必要な雲、日射量の衛星データ解析、沿岸・海上の風、都市の気候・環境、建物・土地利用のアセスメントにも取り組む。

現在のところ、主に担当するモデル自治体は長野県と岐阜県が想定されている。また、今後、東北地方の自治体についてもニーズの発掘を試みていく。

12. 気象データの再生可能エネルギー分野への利用可能性

大竹秀明（国立研究開発法人 産業技術総研究所 合研太陽光発電研究センター）

a)要旨

再生可能エネルギー（太陽光発電、風力発電など）の大量導入が進められているが、安定的に電力系統へ接続、運用するためには気象予報技術を利用した発電量予測のニーズが高まっている。気象データを今後どのように国内の次世代の電力システムへ応用していくかを JST CREST HARPS (JST CREST HARPS, 2015) のプロジェクトの中で検討が進められている。本稿では本プロジェクトの概要と気象データの高度利用の可能性及び米国での再生可能エネルギー分野での気象予測情報の高度利用について紹介した。

b)本文

（1）気象データの再生可能エネルギーへの応用—CREST HARPS の取り組み—

東北地方においては風力発電の適地としても知られている。近年では 100MW クラスの国内最大級のメガソーラ施設も東北地方へ導入されつつあり、これらを系統に接続しながら、安定的に電力システムの運用を行うためには、気象予報情報を有効に利用することが望まれている。さらに、昨年 4 月から電力広域的運営推進機関も運用を開始し、本年 4 月から電力小売りの自由化も始まるため、エネルギー分野ではますます再生可能エネルギーの効率的な活用のために、気象予報・観測データの利用に期待がなされている。

本 CREST HARPS においては、電力需給グループ、需要家グループ、送配電グループなど電力側のユーザに対して、気象予報データや気象観測データを様々な形で利用する仕組み作りを行っている。現在、予測・観測データや電力モデルの相互利用を促進するために、東京理科大学に電力コラボレーションルームと呼ばれるシステムを構築し、電力システム、システム制御分野などの異なる分野での気象データ利用を促進するテストベッドを作成した。本年 3 月に本格始動するよう準備が進められている。

その中での利用用途の例として、気象庁現業気象予報モデル MSM の前日予測や当日予測の日射量予測値を利用した電力需給モデルによる火力発電機の運用計画やバッテリーの残量管理・制御といった新しい分野・領域への気象予測データの活用が検討され始めている。また、週間予報など数日先予測なども揚水発電の運用計画などにも予測情報を上手く利用することで、同時に再生可能エネルギーを含めた安定的な電力供給の仕組み作りも検討できる。これまで予報データを利用してこなかったエネルギー分野において、新たにデータ利用を検討することで気象データの新たな価値を見出すきっかけにもなる。

（2）米国における再生可能エネルギー分野への気象情報利用

米国では太陽光発電予測のベースとなる数値予報モデルの日射量予測の精度向上を目指したモデル開発を進めている。従来の WRF モデルに衛星データを利用したエアロゾルの取

り込みを中心に改良を行い、WRF-SOLAR と呼ばれるモデルを開発した。2015 年には通年運用が NCAR や NOAA を中心に行われている。その予測技術の改善や予測誤差などの検証結果の詳細については Jimenez, P. A. et al. (2016) を参照されたい。

また、NCAR では太陽光の発電量予測に関する統合システム SunCast が開発されている。この中では予測誤差を加味するため、数日、前日、当日予測では数値予報モデル（全球、領域モデル）を複数利用し、予測情報をブレンドして出力予測を行っている。また、より短時間予測（数時間先予測）においては、衛星データ、地上観測（カメラによる天空画像データを含む）、WRF-SOLAR を用いたナウキャストなど複数の手法を用いた予測手法を開発し、これらを統合した予測システム作りを行っている。さらに、予測情報には予測誤差もあることから、確率的な予測情報も含めたプロダクト提供を行っている。

米国では NOAA では米国エネルギー省から予算を受けて、日射量・太陽光発電予測や風力発電予測について予測精度を向上させる研究開発プロジェクトが立ち上げられ、モデル開発が進められている。さらに、米国気象学会の年次大会においては(米国気象学会, 2016)、気象分野のみならず、電力の運用側の組織や再生可能エネルギー関連事業に関わる企業、電力市場・経済分析等の様々な分野のプレーヤーが参加し、再生可能エネルギーをキーワードに異なる分野での気象データの高度利用と関連する議論が活発に行われていることが報告された。

c)参考文献

JST CREST HARPS, 2015 <http://www.cyb.mei.titech.ac.jp/crest/index.php> (2016.3.17 閲覧確認)

Jimenez, P. A. et al., 2016: WRF-SOLAR: An augmented NWP model for solar power prediction. Model description and clear sky assessment, Bulletin of the American Meteorological Society (BAMS), (early release version, 2016)
<http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/BAMS-D-14-00279.1> (2016.3.15 閲覧確認)

米国気象学会, 2016 : 第 96 回年次総会: Seventh Conference on Weather, Climate, Water and the New Energy Economy
<https://annual.ametsoc.org/2016/index.cfm/programs-and-events/conferences-and-symposia/seventh-conference-on-weather-climate-and-the-new-energy-economy/>
(2016.3.17 閲覧確認)

謝辞：本研究は JST CREST 「太陽光発電予測に基づく調和型電力系統制御のためのシステム理論構築(System Theory for Harmonized Power System Control Based on Photovoltaic Power Prediction, HARPS)」(研究代表者、東京工業大学井村順一教授)の中において、気象庁気象研究所との共同研究の一環で実施されている。

13. 気候予測情報を活用した農業技術情報高度化に関する研究成果概要

中三川浩（気象庁気候情報課）

a)要旨

農業技術に適合した気候予測情報の開発を行い、農業分野での利活用の成功事例として気候予測情報の利活用促進に資する目的で、気象庁と国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構（以下、農研機構）の5つの農業研究センターと共同研究を実施した。本研究により、1か月予測資料の利用による農作物生育情報の高度化等利活用事例の創出が図られるとともに、農研機構が開発している全国版メッシュ農業気象データの改善が行われた。これらの成果は、農研機構が開発した早期警戒・栽培管理支援システムへ反映された。

b)本文

農業技術に適合した気候予測情報の開発を行い、農業分野での利活用の成功事例として気候予測情報の利活用促進に資する目的で、2011（平成23）年度から2015（平成27）年度の5年間、気象庁と農研機構の5つの農業研究センター（北海道、東北、中央、近畿中国四国、九州沖縄）と共同研究を実施した。各農業研究センターとはそれぞれ研究課題を設けて実施しており、以下、それぞれの研究課題と成果の概要を述べる。

（1）2週目の気温予測メッシュ作成等（東北農研）

「Google Mapによる気象予測データを利用した農作物警戒情報」ページで、1kmメッシュの2週目の気温予測情報を試作した。また、この情報を意思決定に利用してもらうために必要な精度に関する情報等を作成・掲載し、利用者へのアンケートを通じて、その有効性を確認した。

（2）野良イモ防除のための土壌凍結深予測（北海道農研）

十勝地方を対象とした土壌凍結深予測（凍結深が30cmに達する日を予測）への気温予測情報の利用可能性を調査した。2週間先までは、現業で利用している地域平均気温ガイダンスでは予測精度が確保できなかったため、地点の最低気温ガイダンスを試作した。改善は見られたが限定的であった。十勝地方では冬季の放射冷却の影響が大きく気温予測が難しいことから、目先の気温予測の改善を目指して、NHMを用いて気温低下のメカニズムを明らかにした（札幌管区气象台との共同研究）。

（3）小麦赤かび病防除と小麦開花日予測（近畿中国四国農研）

小麦赤かび病の防除を行う開花期の予測に、従来の平年値に代わり、2週間までの気温ガイダンスを用いた結果、精度向上が図られたほか、開花期予測モデルのバイアスの改善手法を開発した。

（4）水稻の高温登熟障害予測（九州沖縄農研）

水稻の高温登熟障害の軽減に有効な施肥量を、出穂約2週間前の段階での葉色および気

温予測から判定する技術を開発した。出穂後約2週間の気温ガイダンスの予測精度を調査し、施肥量判定に有効であることが明らかとなった。

(5) メッシュ農業気象データの開発 (中央農研)

農研機構が開発している1kmメッシュ農業気象データに、気象庁の1か月先までの確率的な情報を含む7日間平均気温ガイダンスを取り込んだ。その精度検証を実施し、アンサンブル平均値は10日程度先、確率的な予測値は20日程度先まで予測精度が確保されていることが明らかとなった。

14. ダウンスケールによる農業気象指標の創出

吉田龍平（福島大学）

a)要旨

全球気候モデルMIROC5を境界条件とした日本全国20kmメッシュの気候データを作成し、霜の発生日数や作物の生育期間を算出した。温暖化の進行および放射強制力の増加に伴い、霜のリスクの低下や生育に適する期間の長期化が推定された。2030年代では放射強制力の違いによる差は小さく、2080年代で概ね放射強制力と対応する変化が現れた。

b)本文

(1) はじめに

近未来・将来における地域の温暖化とその影響を明らかにするには、基盤となる高解像度の気候データが必要となる（ここでは近未来として2030-2049、将来として2080-2099を想定）。将来気候の高解像度データについては各種プロジェクト研究によって作成・整備され、多分野への利用が進んでいる。一方で、近未来についてはすぐに利用できる状態ではなく、特に複数の代表的濃度パス（RCP）に基づく高解像度データは限られている。そのため、近未来かつ複数RCPシナリオによる解析を行うには、あらかじめデータを作成しておくことが必要である。さらに、データ作成においては同じ手法で作成された均質なデータが求められることから、近未来と同じ方法で将来のデータも作ることが望ましい。

(2) データ

こうした背景に基づき、全球気候モデルMIROC5の温暖化データを非静力学モデルJMA-NHMでダウンスケールし、日本全国20kmメッシュ、3RCPシナリオ(2.6, 4.5, 8.5)、近未来(2030-2049)および将来(2080-2099)、3時間間隔の気候データを作成した。

構築した気候データから、4つの農業気象指標を算出した(表1)。各指標は1年ごとに算出し、解析には19年平均したものをを用いた。ただし、気候データのバイアスは補正していないため、結果の解釈には注意が必要である。

(3) 結果と考察

Frost daysの空間分布を図1に示す。温暖化の進行に伴って霜のリスクはほぼ全域で減少し、特に北部でのリスク低下が顕著であった。ただし、海洋上での変化は農業の観点からは除外して考える必要がある。南で変化が見られないのは現在気候ですでにリスクがないことと対応している。領域平均値で最も減少が大きいのはRCP8.5の将来気候(16日減)、最も小さいのはRCP2.6の将来気候(6.3日減)であった。RCP2.6では将来よりも近未来の減少量(6.8日減)が大きく、これはRCP2.6では2050年をピークに放射強制力が減少するためである。

各指標の年々変動を表したのが図2である。温暖化の進行および放射強制力の増加に伴い、霜のリスク低下や生長に適した期間の長期化が見られるが、近未来ではいずれの指標でも年々変動の幅がRCPによる差よりも大きく、放射強制力による違いは不明瞭である。

収量ポテンシャルについても同様で、近未来ではRCP差の抽出は難しいが、将来では差が顕著となった(図3)。収量がピークとなる出穂日が晩期化しているのは、最適温度(21.4℃)になる時期が遅くなるためである。また、RCPの増加にともなってピークのポテンシャルが下がっているが、これは気温上昇によって最適温度から離れていくためである。二酸化炭素の増加は作物への施肥効果が促進されることが期待されるが、本指標にはこの効果が含まれていないため、高温の影響のみが現れて減収になっている。そのため、プロセスベースの作物モデルを用いた場合にはより高い収量となることが考えられる。

以上をまとめると、将来気候で霜のリスクおよび生長に適する期間は長期化するものの、二酸化炭素による施肥効果がなければ高温により減収となる。近未来でもこうした傾向はみられるが、RCPによる差よりも年々変動の幅の方が大きい。今後は地域別に整理した解析のほか、プロセスベースの生育モデルを用いた収量シミュレーションが必要である。

c)謝辞

MIROC5の全球気候データは東京大学大気海洋研究所の渡部雅浩氏と海洋研究開発機構の金井宏哲氏より提供していただきました。

d)参考文献

- Ahn, J.-B., J.-A. Hong, and K.M. Shim, 2015: Agro-climate changes over Northeast Asia in RCP scenarios simulated by WRF. *Int. J. Climatol.*, doi:10.1002/joc.4423.
- Feng, S. and Q. Hu, 2004: Changes in agro-meteorological indicators in the contiguous United States: 1951-2000. *Theor. Appl. Climatol.*, doi:10.1007/s00704-004-0061-8.

表1：農業気象指標。DSは日照時間、 T_a は気温、 T_1 は最適温度、 α 、 β はパラメータ。

指標	定義	参考文献
Frost days	日最低気温 $\leq 0^\circ\text{C}$ の日数	Feng and Hu (2004)
Frost free days	春の Frost day 最終日から秋の Frost days 開始日までの日数	Feng and Hu (2004)
Growing season length	日平均気温 $\geq 5^\circ\text{C}$ が5日以上継続した日数	Feng and Hu (2004)
Climate yield potential (CYP)	$\text{CYP} = \text{DS} \cdot \left\{ a - b(T_a - T_1)^2 \right\}$	Ahn et al. (2015)

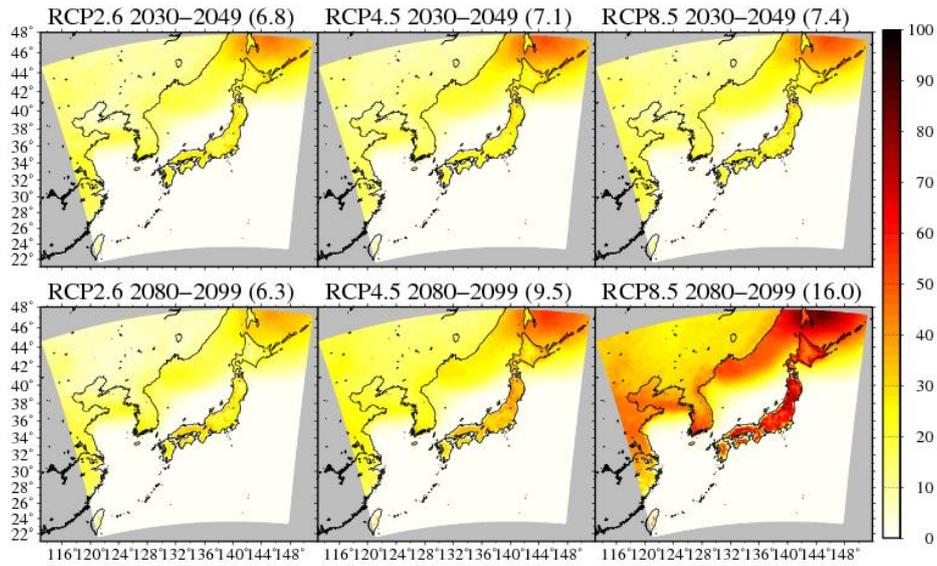


図 1 : 19 年平均した Frost days の空間分布。各図右上の数値は領域平均値を表す。

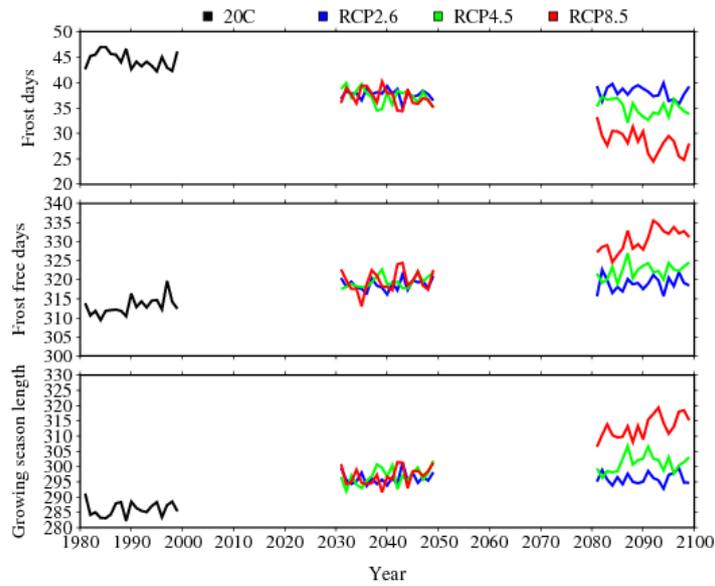


図 2 : (上) Frost days、(中) Frost free days、(下) Growing season length の年々変動。

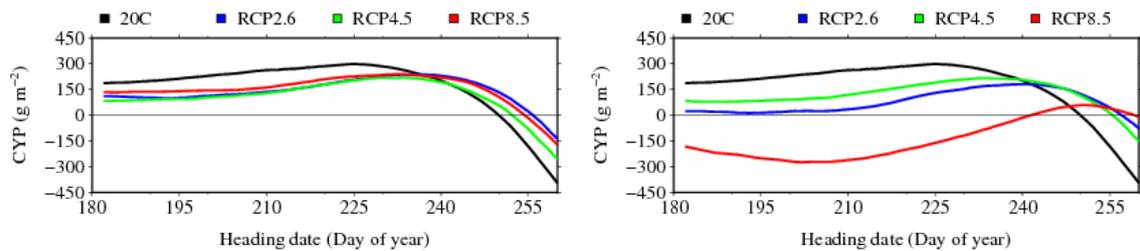


図 3 : Climate yield potential の変化。(左) 近未来、(右) 将来気候。

15. 2LM アンサンブルダウンスケールデータによるイネの葉面濡れ予測実験

菅野洋光（中央農研）・山崎剛（東北大学）・大久保さゆり、菅原幸哉（東北農研）・岩崎俊樹（東北大学）・神田英司（鹿児島大学）・小林 隆（山形大学）

a)要旨

イネいもち病等の植物病害の発生に直接的に関連し、農業上の重要性も高い葉面の濡れについて、アンサンブル予測データに物理モデルを導入することで予測を行い、それと現地観測結果とを比較することで、その精度の検証・実用性の評価を行った。

b)本文

(1) 方法

アンサンブル気象予測データは、「気象研究コンソーシアム」よりダウンロードし、気象庁静力学モデル NHM を用いて 10kmx10km の格子点データにダウンスケールした。濡れを予測するための物理モデルは Yamazaki *et al.*(2004)による植生熱収支モデル 2LM を用い、アンサンブル 27 メンバーの気温、風速、降水量、相対湿度、日射量、長波放射量を用いてイネ葉面の保水率を計算した。現地気象観測は宮城県内 4 カ所（鹿島台、名取、古川、川渡）で実施し、上記気象要素のほか、葉面濡れセンサー(DECAGON,LWS)を用いたイネ葉面濡れ観測も行った。これらの現地圃場において、アンサンブル予測値と観測値とから 2LM を用いてイネ葉面濡れデータを計算し、センサーによる実測値および BLASTAM（アメダスデータによる葉いもち感染好適日推定モデル）によるいもち病発生予察結果と比較・検証を行った。

(2) 結果と考察

2015 年の夏は、8 月上旬まで高温が続いたが、8 月中旬以降低温となり、同月平均気温は負偏差となった。名取では 5 月および 8 月下旬の一時期を除いて、水田中では定常的に濡れが観測されており、特に 7 月下旬～8 月上旬の晴天時においても、明瞭な日変化とともに濡れが認められた。図 1 には、名取観測点における 7 月 15 日 13 時からの葉面保水率予測データを、27 メンバーの標準偏差及びアンサンブル平均の時間変化で示す。また図 2 には同期間のアンサンブル葉面保水率予測平均値、水田内葉面濡れセンサー観測値、および降水量観測値の時間変化を示す。BLASTAM は 18～19 日にかけて 10（感染好適）の葉いもち病発生予察結果が示されていた。各メンバーの予測値は、17 日まではばらつきが小さいが、18 日以降標準偏差が大きくなる。これは、17 日までは予測計算開始からの計算時間が短いので予測精度が高いことと、図 2 にみられる 16 日の降水を全メンバーが予測していたためばらつきが小さかったこと、一方、18 日以降はあまりはっきりしない降水があったので、その予測にメンバー間でばらつきがあり、予測値の差が大きくなったことが原因として考えられる。これ以外の晴天日の結露に関しても概ね正確に予測できた。本研究は、総合科学技術・イノベーション会議の SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「次世代農林水産業創造技術」（管理法人：農研機構生物系特定産業技術研究支援センター）の支援を受けて行った。本研究で使用した気象庁データは気象庁と（社）日本気象学会の研究協力の枠組みである「気象研究コンソーシアム」を通じて提供されました。

c)参考文献

Yamazaki T., H. Yabuki, Y. Ishii, T. Ohta, and T. Ohata (2004): Water and energy exchanges at forests and a grassland in Eastern Siberia evaluated using a one-dimensional land surface model. *Jour. Hydromet.*, 5, 504-515.

第 12 回ヤマセ研究会の開催

第 12 回ヤマセ研究会を、平成 28 年 3 月 10-11 日に、いわて県民情報交流センターにおいて開催した。

第 12 回ヤマセ研究会プログラム

岩崎俊樹 (東北大) ヤマセ研究会のこれから
川合秀明 (気象研) 全球の海霧の将来変化
大泉三津夫 (気象大学校) NHRCM の都市キャノピーモデル SPUC のオフライン化と積雪サブモデルの改善
福井真 (東北大/気象研)・岩崎俊樹(東北大)・斉藤和雄・瀬古弘・国井勝(気象研) 従来型観測のみを用いた日本域長期再解析構想
伊藤晋悟 (気象庁) 東北地方の夏期 2 週目の気温確率の検証
瀧上隆雄 (仙台管区气象台) 気候変動対策に関連した気候データの提供
島田照久 (弘前大) 夏季の亜寒帯域に形成される下層冷氣
岩場遊 (東北大) 2013 年 5 月 13 日の仙台山形の気温差について
遠藤洋和 (気象研) アンサンブル気候予測データベース (d4PDF) における東アジア気候の再現性と将来変化
前田修平(気象研)・安田珠幾・ト部佑介 (気象庁) 2014-15 年エルニーニョ現象とその影響
Saji N. Hameed (会津大) A decadal signal of rainfall variations over Northeast Tohoku region and its apparent connection to the North Atlantic Oscillation
山崎剛 (東北大) SI-CAT 気候変動適応技術社会実装プログラムについて
大竹秀明 (産総研) 気象データの再生可能エネルギー分野への利用可能性
中三川浩 (気象庁) 気候予測情報を活用した農業技術情報高度化に関する研究成果概要
成田裕幸 (東北大) 陸面過程モデルによるいもち病予測に向けた葉面湿潤度の推定
吉田龍平 (福島大) ダウンスケールによる農業気象情報の創出
菅野洋光 (中央農研)・山崎剛 (東北大)・大久保さゆり・菅原幸哉 (東北農研)・岩崎俊樹 (東北大)・神田英司 (鹿児島大)・小林隆 (山形大) 2LM とアンサンブルダウンスケールデータによるイネの葉面濡れ予測実験

菅原直人・小林隆・長谷修（山形大）・菅野洋光（中央農研）・大久保さゆり（東北農研）・ 神田英司（鹿児島大）・山崎剛（東北大） 葉面濡れセンサーで計測した葉面濡れ時間、誘電率といもち病の感染について
大久保さゆり（東北農研）・菅野洋光（中央農研） マルチダウンスケールによる農業情報の作成
岩崎俊樹（東北大） 総合討論

謝辞

第 12 回ヤマセ研究会の開催に際して、気候変動適応技術社会実装プログラム（SI-CAT）及び SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）（次世代農林水産業創造技術）の補助を受けた。