

平成22年3月31日現在

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2007～2009

課題番号：19204046

研究課題名（和文） ダウンスケール気象診断システムの精度向上と高度利用

研究課題名（英文） Improvement and advanced utilization of downscaling system of weather diagnosis

研究代表者

岩崎 俊樹（IWASAKI TOSHIKI）

東北大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：80302074

研究成果の概要（和文）：ダウンスケール手法に基づくメソスケール予報システムを作成し、農業気象と航空気象へ高度利用法を検討した。予測精度を向上させるためには、物理過程を改良し、初期条件と境界条件を最適化することが重要であることが示された。農業分野では、清川だしの強風といもち病の予測可能性を明らかにした。航空分野では、ドップラーライダーとダウンスケールシステムを組み合わせた、空港気象監視予測システムの可能性を検討した。

研究成果の概要（英文）：Downscale prediction system of meso-scale phenomena has been developed with its applications to agriculture and aviation. To advance its predictive skill, further efforts are required to improve physics parameterization, and to optimize initial and lateral boundary conditions. In agriculture, predictabilities have been studied on local sever wind (Kiyokawadashi) and potential forecast of Magnaporthe grisea. Feasibility study has been made on monitoring/very short-range prediction system for aviation weather on the basis of data assimilation of Doppler lidar into downscale system.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	16,400,000	4,920,000	21,320,000
2008年度	10,600,000	3,180,000	13,780,000
2009年度	10,400,000	3,120,000	13,520,000
年度			
年度			
総計	37,400,000	11,220,000	48,620,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・気象・海洋物理・陸水学

キーワード：ダウンスケール、非静力学数値モデル、台風、下層雲、陸面水文過程、ドップラーライダー、農業気象、航空気象

1. 研究開始当初の背景

(1) 数値モデル開発

ダウンスケールとは大規模な気象情報を与えて詳細な気象情報を推定する技術である。本研究では天気図（約1000km）スケールの情報を与えて、1～10kmスケールの現象を精度

よく推定することを目指す。計算機の性能が向上し、ダウンスケールの手法を利用すれば、様々な現象について比較的容易に超高解像度シミュレーションが実行可能になってきた。特に、身近な気象予測情報を直接作り出すことが可能である。予測精度の向上のため

には、物理過程の精密化などが必要であった。

(2) ドップラーライダーの利用

ドップラーライダーは視線風速の3次元分布を高速度・高解像度で観測でき、局地循環を観測する測器として大変注目されている。通信総合研究所と東北大学は共同で、ドップラーライダーによる観測研究を進めてきた。数値モデルの検証データのほか、データ同化への利用も期待されている。

(3) 農業気象情報の高度化

農業の気象被害の軽減や生産性向上のために、気象情報の精密化は重要な課題である。特に、ダウンスケールによるきめ細かな高度気象情報を提供することによって、強風害や冷害などの被害軽減が期待される。

(4) 空港気象の監視・予測

航空機の安全な離着陸のためには、ウインドシアや後方乱気流に関する詳細な気象情報が欠かせない。特に、ドップラーライダーとダウンスケール数値モデルとを組み合わせることによって空港気象の監視・予測の精度向上が期待されている。

2. 研究の目的

(1) ダウンスケールシステムの構築

メッシュサイズが1km程度のダウンスケールシミュレーションシステムを構築し、雲物理過程の改良に取り組む。

(2) 農業気象への利用

庄内平野に強風害を及ぼす「清川だし」について地上観測・ドップラーライダー観測と数値実験を実施し、発現のメカニズムと予測可能性を明らかにする。ヤマセの地域特性をダウンスケールシステムにより調べる。陸面水文過程のパラメータ推定を実施する。ダウンスケールシステムを利用したいもち病発現ポテンシャルの予測法を開発する。

(3) 空港気象の実況監視・予測

ドップラーライダー観測と超高解像度数値モデルを組み合わせ仙台空港における海風と蔵王おろしの実態を解明する。データ同化に基づく実況監視・予測システム構築の要件を整理する。さらにネスティングを繰り返し、超高解像度モデルにより後方乱気流の数値実験を行う。

3. 研究の方法

(1) ダウンスケールシステムの構築

多重ネスト格子の利用により、メッシュサイズが1km程度のダウンスケールシミュレーションの基本システムを構築し、その性能向上を図る。いくつかの現象について、システムの性能のカギを握る雲と湿潤過程の数値モデルの精密化を図る。主なテーマは以下のとおりである。

- ① ダウンスケールシステムの構築
- ② 浅い対流のパラメータ化

③ 台風雲解像度数値実験

④ 中国梅雨の日変化の数値実験

(2) ダウンスケール気象情報の農業利用
農業災害軽減を目指し、「清川だし」について地上観測およびドップラーライダー観測と数値実験を行う。数値実験の結果を検証するとともに発現のメカニズム明らかにし、予測可能性を検討する。東北農業で最も恐れられている現象はヤマセである。ヤマセの2003年と盛夏の2004年におけるダウンスケール実験を比較し、地域特性を調べる。衛星データを高度利用し、東北地方の陸面水文過程に関するパラメータを推定する。ダウンスケール気象データを用いて、イネいもち病の発現ポテンシャル予測システムを開発する。

① 清川だしの観測

② 清川だしの数値実験

③ ヤマセの数値実験

④ 陸面水文過程の研究

⑤ いもち病発現ポテンシャル予測

(3) ダウンスケールシステムを利用した 空港気象の実況監視・予測

夏季、仙台空港周辺で見られる典型的な海風のベクトル風の3次元分布を、2台のドップラーライダーを用いて観測し、数値実験結果と比較する。冬季、仙台空港に吹く強風の蔵王おろしについて、ドップラーライダー観測と数値実験を行い、メカニズムと予測可能性を検討する。成田で航空機事故が発生したH21.3.23の気象状況を調べ、ダウンスケールシステムの予測可能性と航空気象情報のあり方を検討する。ドップラーライダーとダウンスケールシステムを利用した3次元風の実況監視・予測システムについて、実現可能性を調べる。海風事例について、観測システムシミュレーション実験を行う。気象モデルの結果を格子間隔2メートルまでダウンスケールし、航空機の後方乱気流の数値実験を行い、離着陸間隔制御方法の高度化を検討する。

① 仙台空港の海風観測

② 仙台空港の海風数値実験

③ 蔵王おろしの観測と数値実験

④ H21.3.23(成田事故)の気象状況

⑤ 空港気象の実況監視・予測システム

⑥ 後方乱気流の監視予測

4. 研究成果

(1) ダウンスケールシステムの構築

① ダウンスケールシステムの構築

メソスケール予報などを初期・側面境界条件とし、多重ネスト法による1.5kmメッシュの宮城県を対象とした予測システムを構築した。この解像度は山岳波や背の高い積雲対流を表現するための必要条件である。高解像度化によって、日々の気象がリアルに表現される。予報が成功した場合は大変有効な情報が得られる反面、誤差が大きい場合も散見さ

れた。主な誤差要因は (ア) 初期条件、(イ) 側面境界条件、(ウ) 物理過程 (雲物理や陸面水文過程) などであった。当該システムを様々な現象に適用し、モデルの改良に努めた。

2008 年 11 月に開催された気象学会全国大会では、シンポジウムのテーマにダウンスケールを選び、当研究室が中心となり、その可能性と問題点を幅広く議論した。

② 浅い対流のパラメタ化

雲解像モデルにおけるサブグリッドスケールの乱流輸送はグリッドスケールの雲の有無に関わらず乱流モデルのみから計算されることが多い。本研究では境界層雲の再現性向上のため、可能な限り両者を整合的に扱う手法を提案し、全球雲解像モデルに導入した。そして、サブグリッドの凝結過程が与える影響を感度試験解析から明らかにした。

本研究では簡単のため乱流過程についてのみサブグリッド雲の影響を導入した。また水雲のみ考えており氷過程は考慮していない。今後は、雲放射-乱流相互作用に重要となる部分雲量の効果や氷晶雲を伴うより一般的な大気で用いることが出来る手法へと拡張する必要がある。

③ 台風の雲解像数値実験

理想的な環境場において 2km 格子を用いて台風の雲解像数値実験を行ない、雲物理過程が台風の発達と構造に及ぼす影響を調べた。融解・昇華冷却は台風の 2 次循環の発達を抑制し、台風の発達を遅らせ、強風半径のサイズを小さくすることが分かった。一方、蒸発冷却は、冷気プールを介してレインバンドを形成し、壁雲外側に凝結加熱をもたらす。この結果、2 次循環を強化し台風の運動エネルギーやサイズを増加させることが示された。つまり、融解・昇華冷却と蒸発冷却は全く異なる影響を与えることが明らかになった。台風のサイズは進路にも影響するため、進路予報の改善にも雲物理過程がかかわる可能性を示唆した。

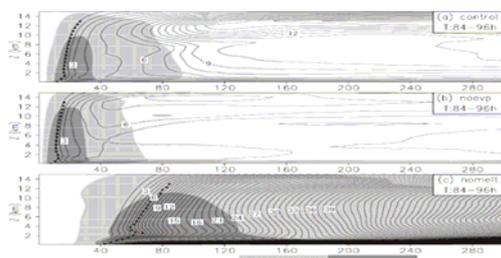


図 1. 雲物理の違いによる台風の鉛直構造の違い (陰影：接線風速、等値線：流線関数)

④ 中国梅雨の日変化の数値実験

梅雨は、中国南東部においても、多量の降水をもたらす、大きな災害を引き起こす。当地ではメソスケールのための観測システム

が十分ではなく、ダウンスケールの数値モデル研究への期待が大きい。本研究では、梅雨に関する物理過程パラメタリゼーションの有効性を確認した。高解像度シミュレーションにより、メカニズムを明らかにした。梅雨の降水には、日変化スケールでの梅雨前線、偏西風、モンスーン、地形性の局地循環の複雑な相互作用の結果であることが示された。

中国大陸での梅雨降水システムにおける日変化の重要性が明らかにされた。しかし、モデルと観測の間には隔たりがあり、さらなるモデルの改良の必要性を示唆した。

(2) ダウンスケール予測情報の農業利用

① 清川だしの観測

山形県の有名な局地風「清川だし」の発現機構を明らかにするため、地上観測および 2 次元走査式コヒーレントドップラーライダーを用いて、時間的・空間的に詳細な観測を行った。観測結果は、高度 800m 付近までの厚さの薄い強風層、強風層の波状構造、強風層中の弱風域等を示した。本研究でのドップラーライダー観測は、諸外国の観測にも例の少ない高時間分解能の連続観測であった。

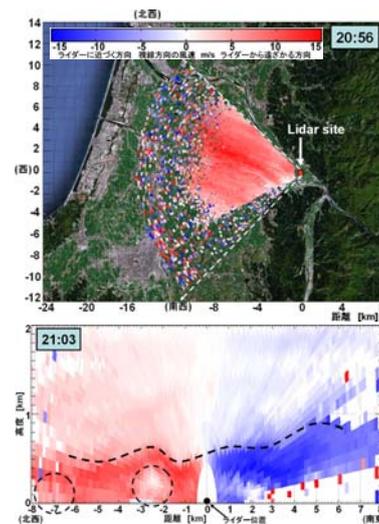


図 2. ライダーで観測された清川だしの水平・鉛直構造。

② 清川だしの数値実験

清川だしの数値実験を行ない、ドップラーライダーなどの観測と比較した。研究開始当初に、まず格子間隔 1km のモデルを用いて数値実験を行ない、強風層を再現することができた。さらに解像度を増やし 300m と 100m の数値シミュレーションを行い、ドップラーライダーによって観測された清川だしの 3 次元構造を詳細に再現できた。これまで十分に明らかにされなかった強風層の詳細構造等や地形の影響についても調べられた。局地風の発現機構解明のために、ドップラーライダーと数値シミュレーションを組み合わせた研究の有効性が示された。

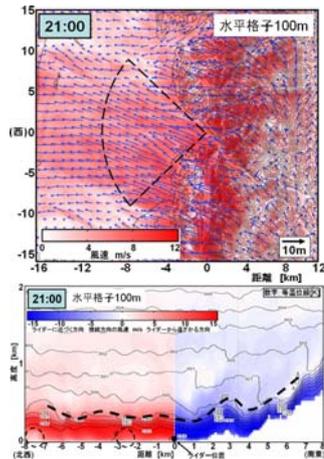


図3. 100m格子で再現された清川だしの水平・鉛直構造。

③ ヤマセの数値実験

ヤマセの地域性を調べるため、2003年（冷夏）と2004年（暑夏）の7月における宮城県周辺での気候再現を、1km格子を用いて行った。再現された気温の誤差は約2度であった。2004年に比べて2003年は下層雲量が宮城県全域で0.2-0.4多く、気温は4-7度低いことが示された。詳細な下層雲の分布を見ると、宮城県南部（白石周辺など）で大きな雲量の違いが見られ、それに伴い気温も約7度の違いが見られた。これは1km格子を用いることで地形効果を表現し、下層雲の溜まり易い場所を捉えられたためである。高解像度モデルは気温分布などについて詳細で定量的な表現が可能であり、農被害を軽減するために有用な情報を提供することが期待できる。

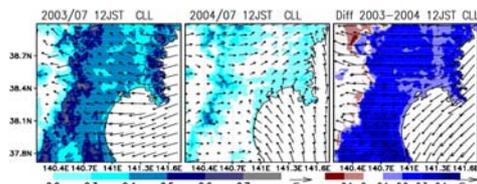


図4. モデルで再現された2003年と2004年の下層雲量と風の7月平均値の水平分布。

④ 陸面水文過程の研究

植生・土壌の二層からなる地表面熱収支モデルに対し、人工衛星による地表面温度、気象データ等を適用してモデル・パラメータを最適化することにより、東北地方における陸面-大気間の熱・水蒸気に関する輸送係数の季節変化（冬季を除く）を3kmメッシュで推定した。その結果、植生の展葉・落葉に対応する係数の季節変化、水田の湛水に対応する係数の季節変化等が見出された。定量的な精度としては、蒸発量が過大に評価される傾向があり、衛星地表面温度の大気補正量、日射の地表面反射率等の誤差が影響していると考えられた。

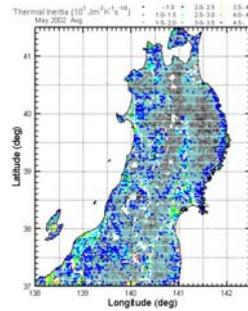


図5. 土壌水分量・湛水に対応する熱慣性の分布図。2002年5月の平均値(N=4)。

⑤ いもち病発現ポテンシャル予測

冷害時に多発して被害をもたらすイネいもち病の発生予察モデルBLASTAMにダウンスケール気象データを適用し、ウェブ上で情報発信するシステムを構築した。図6には2009年7月1~31日のイネいもち病発生予測結果のメッシュごとの正答率と κ 統計量を示す。前日21時に計算された当日の発生予測では（横軸0）、平均して約90%のメッシュが実況（気象観測データによる計算結果）と一致しており、予測精度は高い。しかしながら（翌日予測+1）以降になると正答率は70%以下に低下する。 κ 統計量からは、2日先(+2)までは実用的だが、それ以降は発生予測が難しいことが示唆された。2日予測でも、イネいもち病の農薬散布に有用で、ダウンスケールデータの農業現場への導入メリットは非常に大きい。もちろん、将来に向けて予測精度を向上させる必要がある。

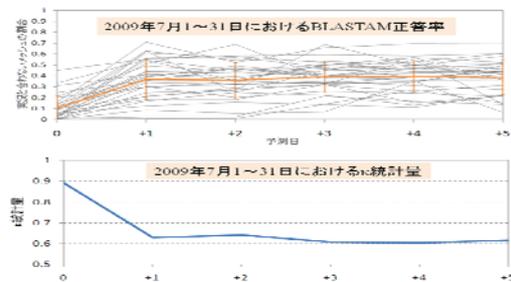


図6. BLASTAMの予測精度

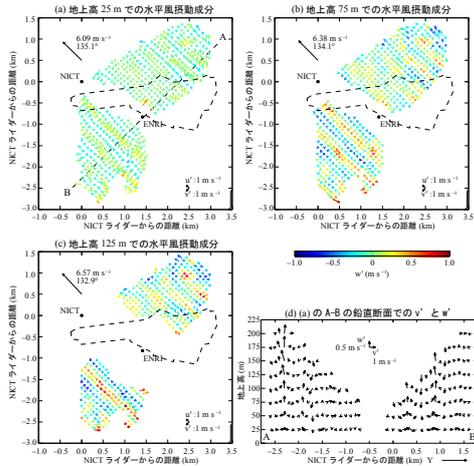
(3) ダウンスケールシステムを利用した空港気象の実況監視・予測

① 仙台空港の海風観測

仙台空港における海風の3次元風速場を詳細に把握することを目的として2007年6月9日から20日にかけて2台のドップラーライダーと、宇宙航空研究開発機構の実験用ヘリコプターによる観測を実施した。デュアルドップラーライダー観測は世界でも数例、日本では初めて実施された。この観測により、日中に発達した海風層中に数100mスケールの水平ロール渦と関連するストリークが存在することを世界で初めて観測的に明らかにした。過去のシミュレーションによる研究で

報告されているストリークが水平ロール渦の source になっているという大気境界層の重要なプロセスも観測的に明らかにした。

図7. 各高度での水平風偏差 (矢印) と鉛



直風 (色)。右下は AB の鉛直断面図成分。

② 仙台空港の海風シミュレーション

ダウンスケーリングにより再現された海風の3次元的な微細構造を仙台空港観測イベントにより検証した。比較検証を行った結果、数値モデル内で水平ロールの再現ができたこと、またその成因もある程度解明できた点でシミュレーションが概ねに成功したと言える。今後、数値モデルによる海風前線進入の予測精度の改善、水平ロール再現の格子解像度及び乱流スキームの依存性といった問題点を改善する必要がある。

③ 蔵王おろしの観測と数値実験

ライダーによって観測された非定常な逆風構造の詳細な理解と形成要因を調べるため、ダウンスケール (5km→1.5km→0.5km→0.1km) による数値実験を行った。数値モデルは波長約 20km のほぼ定常的な山岳波を再現し、水平格子 1km で計算は収束していた。これは MTSAT-1R の水蒸気画像から得られた山岳波の水平スケールと整合的であった。山岳波に伴い、地表付近には風の強/弱や乱流エネルギーの大/小のパターンが見られ、これらは強いシアや乱気流領域として翻訳できると考えられる。100m 格子実験では、ライダーで見られた非定常な逆風構造を定性的に捉え、高解像度モデルが乱気流のような非定常な風を再現できる可能性を示した。

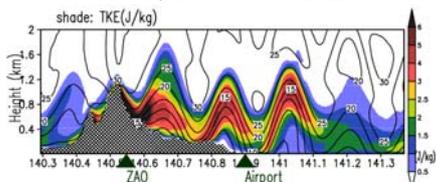


図8. 山岳波の鉛直分布 (色: 乱流エネルギー、等値線: 水平風速)。

④ H21.3.23(成田事故)の気象状況

平成 21 年 3 月 23 日に成田空港で着陸事故が起こった。ダウンスケール数値実験は、このときのウインドプロファイラーの観測結果をよく再現した。風上にある二つの谷 (三国峠、碓氷峠) から降りてきた寒気が、高度 500m 付近で極大となり、強い風の鉛直シアが現れていた。水平解像度を 4km, 1.5km, 0.5km とし、各実験を行ったところ、4km 実験ではジェットが弱く解析された。よって、このジェットを再現するには、水平格子間隔を 1.5km 以下にする必要があり、ダウンスケールの重要性が確かめられた。

⑤ 空港気象の実況監視・予測システム

ドップラーライダーの観測データと 400m メッシュの数値モデルを利用して、空港周辺の風の実況監視・予測システムのプロトタイプを構築した。データ同化はアンサンブルカルマンフィルターを用いた。

海風事例について観測システムシミュレーション実験を行った。その結果、「計算領域の初期値のみならず、側面境界値を最適化すること」「ドップラーライダーを側面境界付近まで観測できるように最適配置すること」が重要であることが示された。

⑥ 後方乱気流の監視予測

後方乱気流の挙動解析を目的とし、仙台空港ライダーを用いた観測データベースの構築、また、気象予測モデルを利用した挙動予測の研究を進めてきた。この結果、後方乱気流の挙動が、「風」に影響を強く受けることが確認できた。欧米では、「風」による挙動の違いを考慮した後方乱気流管制方式の見直しが試験的に行われている。今後、気象因子間での相関を抽出することで、新たな後方乱気流管制方式の見直しに向けた提案を行える可能性がある。次に、気象予測モデルの利用では、航空分野の高解像度シミュレーション CFD と融合させることで、後方乱気流の減衰が水平ロール対流との干渉で早くなることを確認した。この結果は世界的にもユニークなもので、後方乱気流予測モデルと組み合わせることで、後方乱気流管制方式の効率化に寄与できる可能性がある。

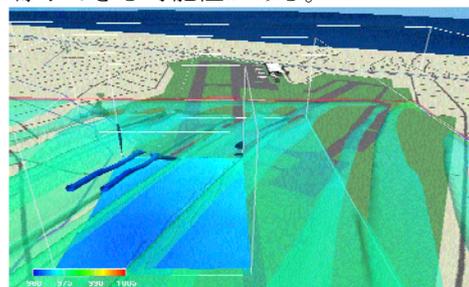


図9. 気象予測モデルとのネスティング結果 (等値面: 渦度、カラー: 圧力)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 27 件)

- ① K. Sasaki, M. Sawada, S. Ishii, H. Kanno, K. Mizutani, T. Aoki, T. Itabe, D. Matsushima, W. Sha, A. T. Noda, M. Ujiie, Y. Matsuura and T. Iwasaki, 2010: The Temporal Evolution and Spatial Structure of the Local Easterly Wind "Kiyokawa-dashi" in Japan PART II: Numerical Simulations, *J. Meteor. Soc. Japan.*, 88, 161-181 (査読有)
- ② M. Sawada and T. Iwasaki, 2010: Impacts of Evaporation from Raindrop on Tropical Cyclone. Part I: Evolution and Axisymmetric Structure. *J. Atmos. Sci.*, 67, 84-96. (査読有)
- ③ G. Chen, W. Sha, and T. Iwasaki, 2009: Diurnal variation of precipitation over southeastern China: 2. Impact of the diurnal monsoon variability, *J. Geophys. Res.*, 114, D21105, doi:10.1029/2009 JD012181 (査読有)
- ④ H. Iwai, 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 convective rolls and near-surface streaks. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L14808, doi: 10.1029/2008GL034571. (査読有)
- ⑤ S. Ishii, K. Sasaki, K. Mizutani, T. Aoki, T. Itabe, H. Kanno, D. Matsushima, W. Sha, A. T. 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 2007: Coherent doppler lidar observations. *J. Meteor. Soc. Japan.*, 85, 797-813. (査読有)
- ⑥ T. Ogasawara, T. Misaka, T. Ogawa, S. Obayashi and I. Yamada, 2008: Journal of Fluid Science and Technology. *J. Fluid. Sci. and Tech.*, 3, 488-499. (査読有)

[学会発表] (計 109 件)

- ① 岩崎俊樹、ダイナミックダウンスケー

ルの課題と展望、日本気象学会秋季大会シンポジウム、平成 20 年 11 月 20 日、仙台

[その他] ホームページ

<http://tohoku.dc.affrc.go.jp/yamase.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩崎 俊樹 (IWASAKI TOSHIKI)
東北大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：80302074

(2) 研究分担者

山崎 剛 (YAMAZAKI TAKESHI)
東北大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号：80220317

余 偉明 (SHA IMEI)
東北大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号：60251716

大林 茂 (OBAYASHI SHIGERU)
東北大学・流体科学研究所・教授
研究者番号：80183028

松島 大 (MATSUSHIMA DAI)
千葉工業大学・工学部・准教授
研究者番号：50250668

菅野 洋光 (KANO HIROMITSU)
独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・東北農研センター・やませ気象変動研究チーム・チーム長

研究者番号：30355276

佐々木 華織 (SASAKI KAORI)
独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・東北農研センター・研究員

研究者番号：50355278

(平成 21 年 9 月 14 日 辞退)

石井 昌憲 (ISHII SHOKEN)
独立行政法人情報通信研究機構・第三研究部門電磁波計測研究センター・主任研究員

研究者番号：70359107

岩井 宏徳 (IWAI HIRONORI)
独立行政法人情報通信研究機構・第三研究部門電磁波計測研究センター・研究員

研究者番号：10359028

(H21 より連携研究者)
野田 暁 (NODA AKIRA)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境フロンティア研究センター・ポストドクtral研究員

研究者番号：80396431

(3) 連携研究者

岩井 宏徳 (IWAI HIRONORI)
独立行政法人情報通信研究機構・第三研究部門電磁波計測研究センター・研究員

研究者番号：10359028