

VI. 地球環境研究部門

1. メンバー

教授	田中博（センター勤務）、植田宏昭（学内共同研究員） 鬼頭昭雄（学内共同研究員）
准教授	日下博幸（センター勤務）
助教	松枝未遠（センター勤務）、若月泰孝（学内共同研究員）
研究員	池田亮作（センター勤務）、秋本祐子（センター勤務）、 鈴木パーカー明日香（学内共同研究員）
学生	大学院生 29 名、学類生 5 名（田中・日下）

2. 概要

地球環境研究部門における主な活動のひとつとしては、文科省グリーン北極事業の北極温暖化研究プロジェクトが最終年となり、北極振動と北極温暖化増幅の関係を分析した。大気場の主要な自然変動としての北極振動の観点からハイエイタスの原因を究明している。また、線形傾圧モデル(LBM)を用いて北極振動の特異固有解理論を発展させ、北極振動指数(AOI)の正負に伴う傾圧不安定解の構造変化を解析した。

地球環境研究部門における主な活動として、都市気象研究と将来の地域気候予測研究がある。本センターと多治見市の連携協定に基づき、多治見の熱環境の緩和策に資する観測研究を行っている。多治見市との共同プロジェクトでは、多治見駅付近の熱環境を詳細に調査するとともに、人が感じる温度（体感温度）や人体生理測定（皮膚温など）を行い、ドライミスト、ウエットミスト、街路樹、高反射性舗装道路の効果を評価した。環境省のS8プロジェクトでは、これまで開発してきた「温暖化ダウンスケーラ」をインドネシア気候・気象・地球物理庁（BMKG）に導入した。このソフトウェアの導入により、今後、途上国が独力で地域の温暖化予測ができるようになることを期待される。

さらに、地球環境研究部門における主な活動として、世界各国の気象庁により日々行われているアンサンブル予報データを用いた、数日から数ヶ月先までの大気現象を対象とした予測可能性研究がある。科研費・研究活動スタート支援では、世界各地で起こる天候レジームの1-2週間先までの予測可能性を解析し、文科省・北極域研究推進(ArCS)プロジェクトでは、1-2ヶ月先までを対象とした熱帯から極域までの諸大気海洋現象の予測可能性についての解析を開始した。

3. 研究成果

【1】 大気大循環研究（田中）

(1) 北極低気圧のデータ解析

文科省グリーン北極事業の北極温暖化研究プロジェクトが最終年となり、北極振動と北極温暖化の関係を分析した。2000 年以降に北極温暖化増幅が強化され、同時に負の北極振動が顕在化した。その結果、北極圏が温暖化する一方で、シベリアを中心とする中緯度が寒冷化している。北極圏の温暖化は急激な海氷の融解をもたらしているが、北極低気圧による海氷の攪乱もその重要な要因と考えられている。北極低気圧は上空の極渦による渦度が地上に達して出来る地上低気圧であり、対流圏内で寒気核を持つことから、温帯低気圧とは構造が異なるユニークな低気圧である。

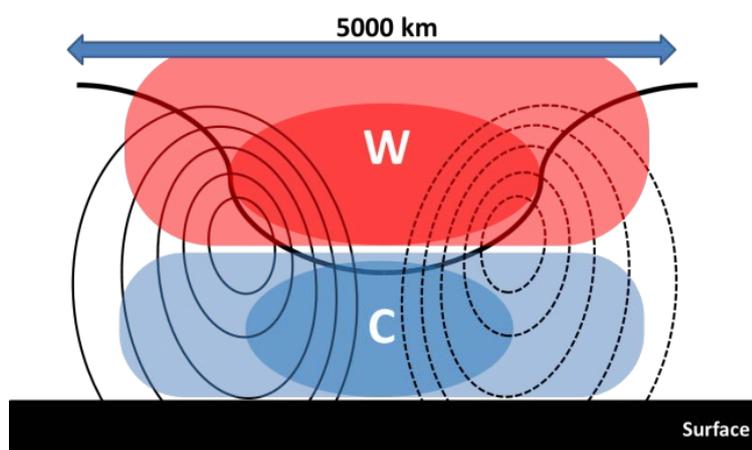


図1 JRA-55 再解析による北極低気圧の概念図

図1は気象庁 JRA-55 再解析データを用いて解析した北極低気圧の鉛直概念図である。以前に NICAM モデルを用いて数値的に再現された北極低気圧について報告したが、再解析データの結果も数値実験とほぼ同様の結果となった。北極圏は極循環により下降流が卓越するが、一部の下降流はより大きなスケールの下降流と繋がり成層圏から空気塊が降りてくる。対流圏界面が垂れ下がり、圏界面上で正の温位偏差が起こる。これが圏界面上の暖気核の特徴となる。また、圏界面付近で正の渦位偏差がもたらされると、これにより低気圧性循環が励起される。その正の渦度が大気下層に伝わり境界層でエクマン摩擦により収束を引き起こす。すると、北極低気圧の中心で上昇流により断熱冷却が起こり、寒気核が対流圏下層に現れて、これが北極低気圧の対流圏下層の特徴となる。熱帯低気圧は、中心付近の上昇気流により水蒸気の凝結が起こり、暖気核が形成され、それが浮力を強化して発達するが、寒冷な北極低気圧では、潜熱加熱は無視できるため、寒気核となる。温帯低気圧もポーラーローも基本的には暖気核を持つので、北極低気圧の寒気核とは本質的に異なる。

る構造となる。北極低気圧の構造は寒冷渦に近いが、地表付近まで低気圧性渦度が降りてくる点で寒冷渦と異なる特徴を持つ。北極低気圧は温暖化が進んだ際の北西航路の開拓と関係するので、予測の精度向上のためにもメカニズムの正しい理解が必要である。

(2) 火山灰追跡 PUFF モデルの開発

JST と JICA による SATREPS インドネシア防災プロジェクトに参加し、リアルタイム火山灰追跡 PUFF モデルの開発とインドネシア気象局 (BMKG) への移植を開始した。PUFF モデルは空気塊のトラジェクトリーを計算するラグランジュモデルであるが、正確な風の 3 次元データと火山噴火の際の正確な噴出率のデータが重要である。そのため、世界的に最も観測網が充実している桜島火山の地震計や傾斜計のデータから、リアルタイムで分刻みの噴出率を算出する方法を PI の井口が独自に開発し、それを PUFF モデルに接続した。

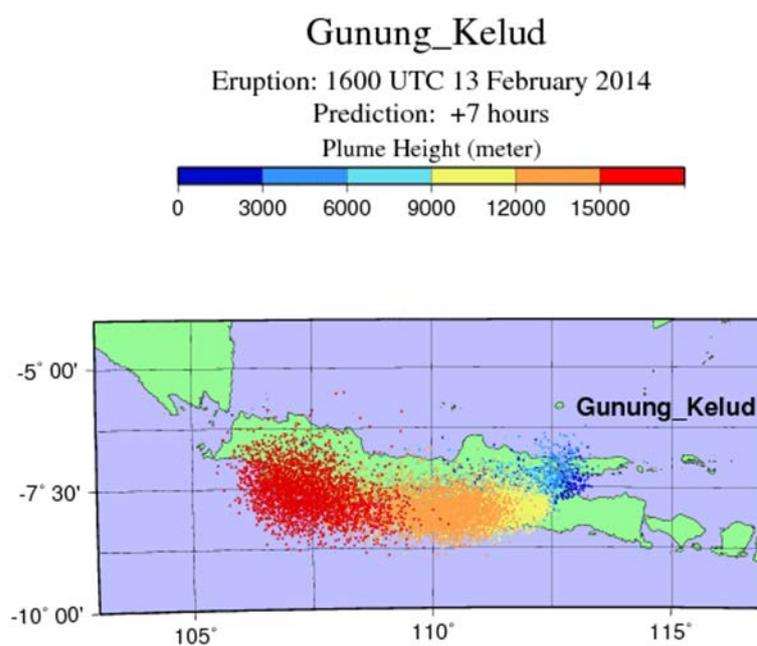


図2 Kelud 火山灰の輸送拡散 PUFF モデルによる数値実験

図2は2014年の2月に噴火したインドネシアのKelud火山から吹き出す火山灰の追跡を行ったもので、カラーは噴煙高度を表す(Tanaka et al 2015)。この噴火は高度17kmに達し、フィリピンのピナツボ火山噴火に次ぐ大噴火であった。上層風は東風で、火山灰は西向きに流され、ジョグジャカルタ空港に降灰をもたらしたが、大気下層には西風が緩やかに入っており、スラバヤ空港にも降灰をもたらしている。同時

刻の衛星画像から噴煙の広がり調べた結果、このような大規模な噴火では、噴煙の浮力による上昇流と上層での収束の結果、水平方向に噴煙が発散し、半径 50km もの笠雲を形成する特徴が重要である、この特徴をモデルに組み込む必要がある。笠雲の特徴を組み込んだモデルの結果は衛星画像と一致し、3次元構造とその時間変化を再現する事に成功した。

【2】 都市気候の将来予測（日下）

（1） 温暖化影響評価研究者のためのダウンスケーリング

環境省の環境研究総合推進費（S-8）の研究課題である、「温暖化影響評価研究者のためのダウンスケーラシステム（ダウンスケーラ）」で開発した温暖化ダウンスケーラ（ウェブアプリケーション）のクラウド版の開発に向けた第一歩として、筑波大学が保有する PC クラスタ型計算サーバとスーパーコンピュータ（COMA）に対応するための開発を行った。さらには、PC クラスタ型計算サーバとスーパーコンピュータ（COMA）を利用したクラウド計算に近いテスト計算を行った。また、ダウンスケーラの海外版の利用講習会が環境省とアジア工科大学主催の下、平成 28 年 2 月にアジア工科大学（AIT）にて開催され、アジア 9 カ国（タイ、ベトナム、マレーシア、フィリピン、インドネシア、カンボジア、モンゴル、フィジー、サモア）の国および自治体の政策担当者に向けて講習を行った。アジア各国の自治体の政策担当者からは、温暖化ダウンスケーラのクラウド版の海外版が完成した暁には、ぜひ利用したいとの評価を得ることができた。

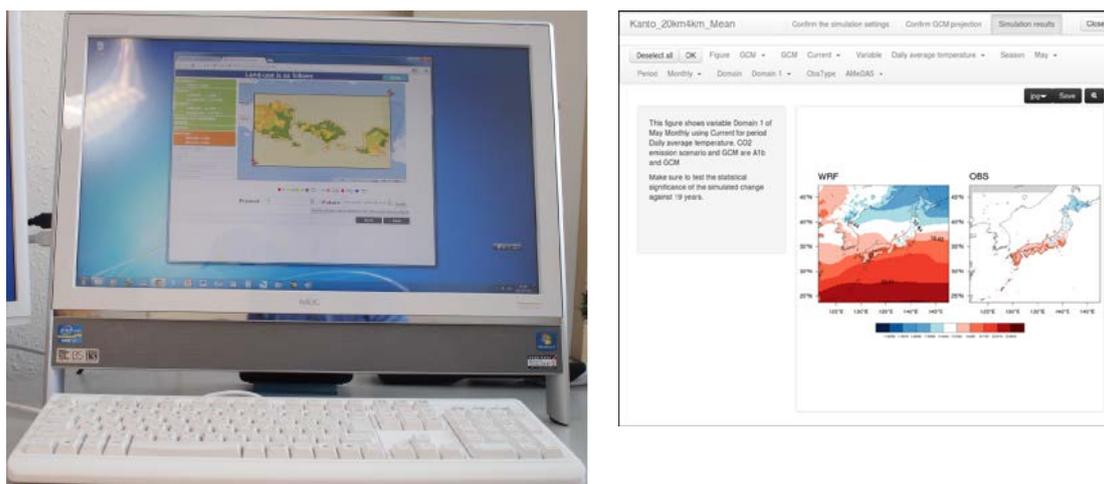


図 3 開発したダウンスケーラ。右は解析結果表示画面の例。



図4 アジア工科大学での温暖化ダウンスケーラ講習会の様子
(アジア工科大学にて)

(2) 建物解像並列 Large Eddy Simulation (LES)モデルの共同開発

地球環境部門日下研究室では高性能計算システム研究部門の朴教授のグループと連携して、建物解像都市気象 LES モデルの開発（解像度 1m）を行ってきた。LES の GPU 化については、PGI CUDA Fortran を用いた開発を進めており、平成 27 年度からは GPU/TCA 対応の取り組みを開始した。また、メニーコアプロセッサ対応に向け、実用計算に耐えうるハイブリッド並列コード（MPI + OpenMP）の開発を進めている。

建物解像に加え、比較的粗いメッシュ（100m 程度）でも都市の建物効果を表現できるようにするため、Ikeda and Kusaka(2010)の多層都市キャノピーモデルを導入した。これにより、現象の着目スケールに従い、解像度 1m の建物解像の計算から解像度 50m から 100m 程度の粗い格子でも都市建物の効果を反映した計算が可能となった。

本研究課題で開発した建物解像都市気象 LES モデルを用いて、岐阜県多治見市の暑さ緩和策の大規模な社会実装に向けた暑熱環境シミュレーションを実施した。市街地内の局所的な暑熱対策として、街路樹とドライミストを設置した場合を想定した。その結果、街路樹下では気温低下量は少ないが、熱中症リスクの評価指数としてよく利用されている Wet Bulb Globe Temperature (WBGT, 湿球黒球温度)が 2℃程度低下した。日射の遮蔽や表面温度の低下による長波放射量の減少が寄与していると考えられる。ミスト散布は、集中的に配置・散布することで気温低減効果は大きいですが、WBGT はほぼ低下しない結果となった。本年度はシミュレーションに加え、夏季に被験者による生理測定を行った。その結果、街路樹下において皮膚温がもっとも低い傾向が得られた。また、参加者に暑さ対策に関する

アンケートも実施し、市民目線からの情報を得た。今後もシミュレーションと観測、被験者実験を継続し、社会実装に向けた取組みを行っていく予定である。

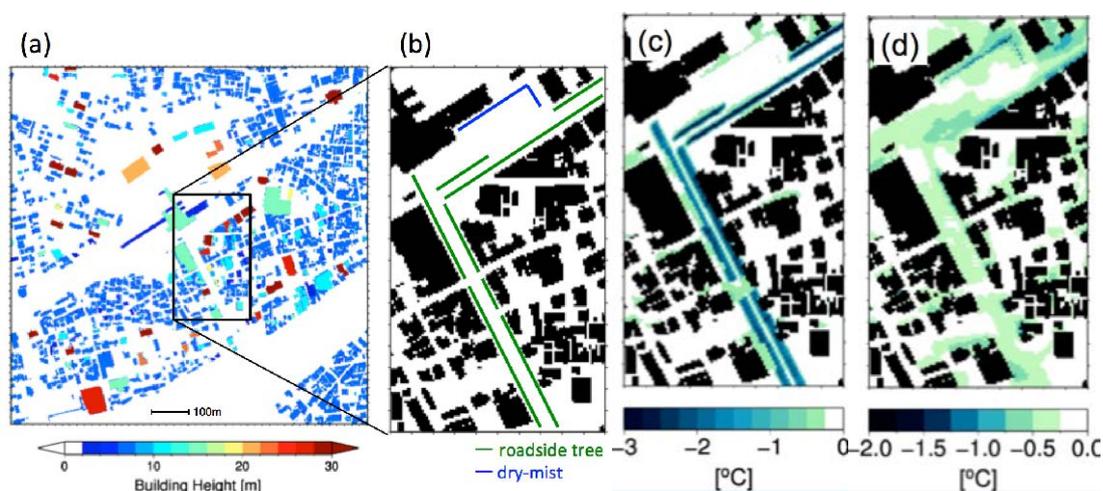


図5 LESによる暑熱環境シミュレーションの結果。(a) 対象領域の建物分布、(b) 街路樹・ドライミストの設置場所、(c) WBGTの低下量、(d) 気温の低下量。

【3】 アンサンブル予報データによる予測可能性研究（松枝）

(1) 研究活動スタート支援（天候レジームの予測可能性）

世界各地(欧州、北米、東アジア、北極、南米、オセアニア)の天候レジームに対して、そのレジーム間遷移を調べたところ、領域ごとに興味深い特徴が見られた。中でも東アジア域レジームの遷移頻度の偏りはかなりユニークであり、あるレジームから始まり、複数のレジームを経由してまた再びそのレジームに戻ってくるレジーム・サーキットを定量的に特定する事が出来た(ここでは、冬型の気圧配置→高気圧→南風→日本の南および日本海に低気圧→冬型の気圧配置、というサーキット)。このサーキットは平均して10日程度の周期を持っており、熱帯の卓越振動であるマッデン・ジュリアン振動(MJO)が、低気圧を介してサーキットに影響を及ぼしうることが示唆された。他の領域でもサーキットの存在は確認できたが、東アジア域ほど高頻度にサーキットが起こるわけではなく、MJOとサーキットの関係もそれほど明瞭には見られなかった。さらに、中期(1-2週間先が対象)アンサンブル予報データ(TIGGEデータ)を用いて、MJOの活動活発域(位相)ごとのレジームの予測可能性を調べたところ、MJOが特定の領域で活発なときにレジームの予測可能性が向上(あるいは低下)することがあることが分かった(図6)。このことは、レジームの予報精度の善し悪しをMJOの活動活発域により事前に知ることが出来ることを意味する。その他、海洋の卓越変動であるエルニーニョ/ラニーニャ現象が世界各地の特定のレジームの出現頻度に影響を与えうることも分かった。

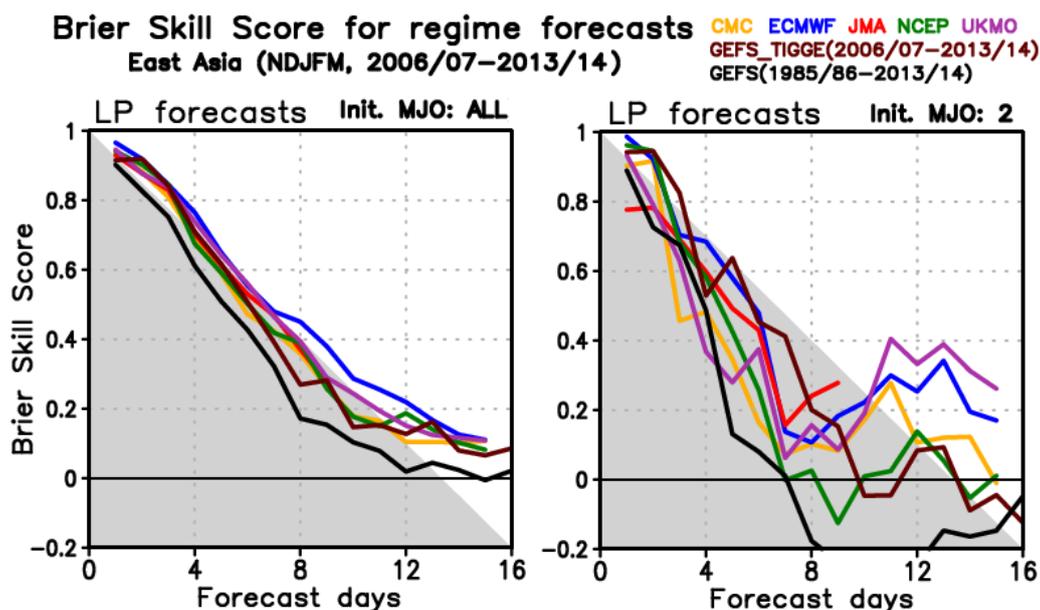


図6 MJO の活動活発域が低気圧型(LP)レジームの予測精度(ブライアスキルスコア: 1 は完全予報、0 以下は予報として価値がない事を表す)に与える影響(左: 全予報サンプルに対するもの、右: MJO がインド洋を東進しているときのもの)

(2) 北極域研究推進(ArCS)プロジェクト

世界各地の数値予報機関が現業的に行っている TIGGE データ(前述)、および、季節内～季節(1-2 ヶ月先が対象)アンサンブル予報データ(S2S(subseasonal to seasonal) データ)を用い、大気・海洋・陸面諸現象の予測可能性研究、ならびに、準リアルタイム予報プロダクトページ(TIGGE Museum および S2S Museum)の開設・運営を行った。以前より TIGGE データを使った大気現象の予測可能性研究、ならびに、TIGGE データによる各種予報プロダクトを準リアルタイムに配信する TIGGE Museum(<http://gpvjma.ccs.hpc.jp/TIGGE/>) の運営を行ってきたが、これを継続・発展させるとともに、2015 年夏から利用可能になった新しいデータセットである S2S データでも同様の研究を行った。S2S データがまだ世界的にほとんど利用されていない状況を踏まえ、S2S データ(含各数値予報機関のアンサンブル予報システム)の仕様調査、S2S データの取得・デコード方法の確立を行った後、S2S データを用いた準リアルタイムウェブサイト(S2S Museum: <http://gpvjma.ccs.hpc.jp/S2S/>)の開設・運営を行った(図 8)。S2S 時間スケールで特に重要である北極振動(AO)、南極振動(AAO)、北大西洋振動(NAO)、太平洋・北米(PNA)パターン、成層圏突然昇温(SSW)、マッデン・ジュリアン振動(MJO)、海面更正気圧、海面水温、海氷被覆率などの予報プロダクトを作成し、準リアルタイムで更新されるようにした。今後、地上気温、地上風、降水量などに関する予報プロダクトを順次作成・公開する予定である。また、これらの活動で得られた成果

の一部を、研究会において発表し、データ利用の普及活動も行った。その結果、TIGGE Museum 同様、S2S Museum にも世界各地から多数のアクセスがある。

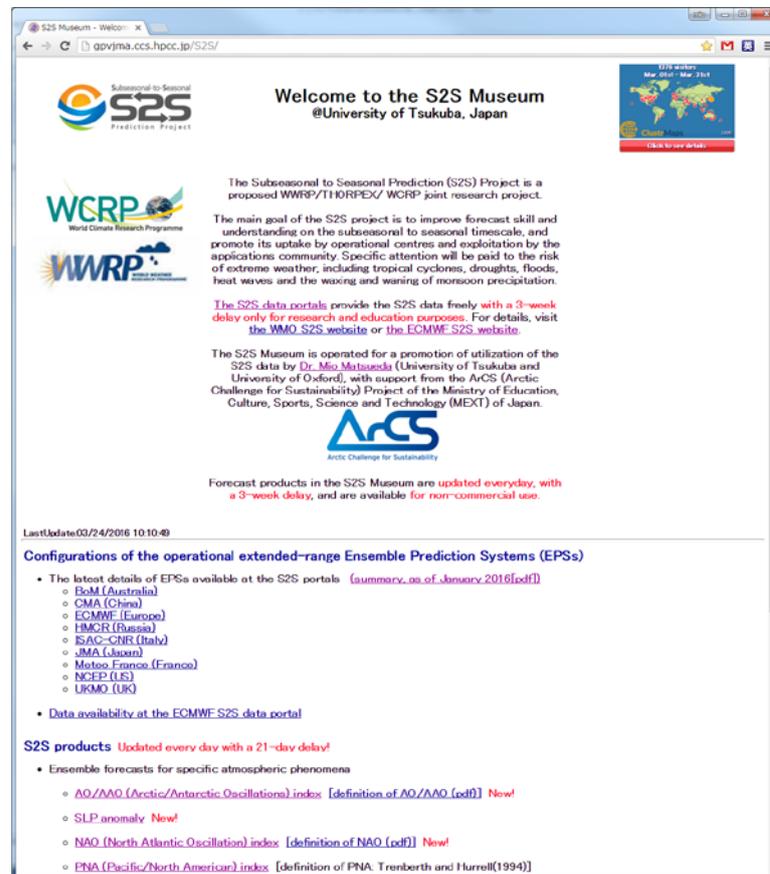


図 7 S2S Museum(S2S データによる予報プロダクトを準リアルタイムに配信)。

4. 教育

指導学生 (田中)

D 3 (地球) : 相澤、山上、小柴

M 2 (地球) : 新井、田村

M 1 (地球) : 須長、桜井

B 4 (地球) : 佐々木、大塚、シェン

指導学生 (日下)

D 3 (地球) : 加藤、豊田、ドアン、西

M 2 (地球) : 荒井、今井、佐藤亮吾、中村真吾

(環境) : 小久保、沖、静居、名和、三浦

M1（地球）：畔上、猪狩、矢部、清水

（環境）：沖、相場

B4： 佐藤拓人、中村好江、浅野、小柳

他大学等での集中講義等

放送大学放送講師・地球科学客員教授（田中）

国立極地研究所客員教授（田中）

5. 受賞、外部資金、知的財産権等

1. 平成 26 年度～平成 30 年度、2015 年度予算額(受託金)3,302 万 6 千円、国立開発研究法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）電力系統出力変動対応技術研究開発/電力発電予測・制御高度化、日下
2. 平成 26 年度～平成 30 年度、2015 年度予算額(受託金)285 万円、農林水産省 戦略的イノベーション創造プログラム（Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program）SIP 1-(4). フェーンの発生実態の解明とリスク情報の創出、日下
3. 平成 27 年度～平成 31 年度、2015 年度予算額(受託金)550 万円、文部科学省 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）（i）気候変動に関する分野別影響・適応策評価技術の開発（e：適応策評価のための暑熱環境と健康影響モデル開発）、日下
4. 平成 25 年度～平成 29 年度、2015 年度予算額(分担金)20 万円、科研費 基盤(A)東京首都圏における夏季ヒートアイランドと熱的低気圧・局地的豪雨の発生要因解明、日下
5. 平成 24 年度～平成 27 年度、2015 年度予算額 182 万円、株式会社東芝 共同研究 太陽光発電のための気象予測技術に関する研究、日下
6. 平成 25 年度～平成 27 年度、2015 年度予算額 51 万 4 千 700 円、株式会社ウェザーニューズ 共同研究 首都圏に影響をおよぼす雷雨、降雪、霧等に関する気象現象の解析と予測の改善に関する研究、日下
7. 平成 27 年度、文科省特別研究促進費、2015 年口永良部島噴火に関する総合調査（分担金） 30 万円、火山灰拡散シミュレーション、田中
8. H26 年度～平成 27 年度、JSPS 科研費(研究活動スタート支援)、金額（H27 年度）：（直）800,000 円 （間）240,000 円、天候レジームの予測可能性と予測精度の予測に関する研究、松枝
9. H27 年度、文科省 北極域研究推進(ArCS)プロジェクト、分担金、金額（H27 年度）：（直）1,350,000 円、気象・海氷・波浪予測研究と北極航路支援情報の統合、松枝

6. 研究業績

研究論文（査読付き、国際発表、他）

1. Suzuki-Parker, A., H. Kusaka, 2015: Assessment of the impact of metropolitan-scale urban planning scenarios on the moist thermal environment in a warmed climate: A study of the Tokyo metropolitan area using regional climate modeling. *Advances in Meteorology*, DOI:/10.1155/2015/693754 査読付き論文
2. Takane, Y., H. Kusaka, and H. Kondo, 2015: Investigation of a recent extreme high-temperature event in the Tokyo metropolitan area using numerical simulations: the potential role of a 'hybrid' foehn wind. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 141(690), 1857-1869. DOI: 10.1002/qj.2490. 査読付き論文
3. Suzuki-Parker, A., H. Kusaka, 2015: Future projections of labor hours based on WBGT for Tokyo and Osaka, Japan, using multi-period ensemble dynamical downscale simulations. *Int. J. Biometol.* DOI:/10.1007/s00841-015-1001-2. 査読付き論文
4. Lin, C., C. Su, H. Kusaka, Y. Akimoto, Y. Sheng, J. Huang, and H. Hsu 2016: Impact of an improved WRF urban canopy model on diurnal air temperature simulation over northern Taiwan. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, 1809–1822. DOI: :10.5194/acp-16-1809-2016. 査読付き論文
5. Okada, M., M. Okada, and H. Kusaka, 2016: Dependence of Atmospheric Cooling by Vegetation on Canopy Surface Area During Radiative Cooling at Night: Physical Model Evaluation Using a Polyethylene Chamber., *Journal of Agricultural Meteorology*, 72(1), 1-9. DOI: 10.2480/agrmet.D-15-00015. 査読付き論文
6. Kusaka, H., A. Nishi, M. Mizunari, 2015: Impact of Urbanization on Local Circulation and Precipitation over the Leeward Mountain., 9th International Conference for Urban Climate, Toulouse, France. 国際会議論文
7. Ikeda, R., H. Kusaka, S. Iizuka, and T. Boku, 2015: Development of Urban Meteorological LES model for thermal environment at city scale., 9th International Conference for Urban Climate, , Toulouse, France. 国際会議論文
8. Doan, Q., H. Kusaka, 2016: Future urban climate projection for a mega city in Asia: Greater Ho Chi Minh City etropolitan area, Vietnam., *The International Science Conference on MAHASRI*, Tokyo, Japan. 国際会議論文
9. 鈴木パーカー明日香, 日下博幸, 2015: 気候予測の注意点, *電力土木*, 377(5), 45-50. 解説
10. 岡田牧, 桃谷辰也, 日下博幸, 2015: 観測の注意点, *電力土木*, 378(7), 71-75. 解説

11. 田中博、伊賀啓太、2015: はじめての気象学、放送大学教育振興会、NHK 出版、共著、250 pp.
12. 田中博 2015: 地球温暖化のハイエイタスが自然変動によるものならば人為起源の温暖化の将来予測は過大評価となる. 伝熱 54, 226, 12-15.
13. Zagar, N., A. Kasahara, K. Terasaki, J. Tribbia, and H.L. Tanaka, 2015: Normal-mode function analysis of global 3D datasets: an open-access software for atmospheric research community. (accepted BAMS)
14. Yamagami, A. and H.L. Tanaka 2015: Characteristics of the JRA-55 and ERA-Interim datasets by using the three-dimensional normal mode energetics. SOLA, 12, 27-31.
15. Matsueda, M., A. Weishermer, and T. N. Palmer, 2016: Calibrating Climate-Change Time-Slice Projections With Estimates of Seasonal Forecast Reliability. J. Climate, 29, 3831–3840. doi: 10.1175/JCLI-D-15-0087.1.
16. Swinbank, R., M. Kyouda, P Buchanan, L. Froude, T. M. Hamill, T. Hewson, J. H. Keller, M. Matsueda, J. Methven, F. Pappernberger, M. Scheuerer, H. Titley, M. Yamaguchi, and L. Wilson, 2016: The THORPEX Interactive Grand Global Ensemble (TIGGE) and its Achievements. Bull. Amer. Meteor. Soc., 97. 49 – 67. DOI:10.1175/BAMS-D-13-00191.1.
17. Jung, T. and M. Matsueda, 2016: Verification of global numerical weather forecasting systems in Polar Regions using TIGGE data. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., DOI: 10.1002/qj.2437.
18. Nakazawa, T. and M. Matsueda, 2016: Update: Toward the Better Health Forecasting on Meningitis in the West Africa. Korean Meteorological Society Spring Meeting. 27th – 28th April 2016, Pusan, Republic of Korea.
19. Nakazawa, T. and M. Matsueda, 2015: Toward the Better Health Forecasting on Meningitis in the West Africa. Korean Meteorological Society Autumn Meeting. 12th – 14th October 2015, Jeju, Republic of Korea. (invited talk)
20. Schiemann, R., M. -E. Demory, L. C. Shaffrey, J. Strachan, P. L. Vidale, M. S. Mizieliński, M. J. Roberts, M. Matsueda, and M. F. Wehner, 2015: Representation of blocking in an ensemble of high-resolution global atmospheric models. European Geoscience Union General Assembly 2015. 12th – 17th May 2015, Vienna, Austria.
21. Nakazawa, T., H. -S. Kang, F. Vitart, A. Robertson, M. Matsueda, 2015: Predictive skill of the MJO event in March 2015 from the S2S database. Asian Conference on Meteorology. 26th – 27th October 2015, Kyoto, Japan.

22. Nakazawa, T. and M. Matsueda, 2015: MJO in the S2S Database. 11th – 13th April 2016, Singapore.
23. Matsueda, M., S. Corti, and T. N. Palmer, 2015: Flow-dependent predictability of summertime Euro-Atlantic weather regimes at medium-range timescale. Workshop on sub-seasonal predictability. 2nd – 5th November 2015, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, Reading, UK.
24. Matsueda, M. and T. N. Palmer, 2015: Flow-dependent predictability of summertime Euro-Atlantic weather regimes at medium-range timescale. 26th IUGG General Assembly 2015. 22th June – 2nd July 2015, Prague Congress Centre, Prague, Czech Republic.
25. Nakazawa, T., M. Matsueda, and F. Vitart, 2015: Could the S2S database predict a MJO in March 2015? Workshop on Sub-seasonal to Seasonal Predictability of Monsoons. 22th – 24th June 2015, Jeju, Republic of Korea.
26. Kyouda, M. and M. Matsueda, 2015: Predictability of wintertime East-Asian weather regimes in medium-range forecasts. PANDOWAE Final Symposium. 18th – 21st May 2015, Castle of Karlsruhe, Karlsruhe, Germany.

7. 異分野間連携・国際連携・国際活動等

産学官連携：岐阜県多治見市と連携協定（日下）

タイ・アジア工科大学で開催された気候変動ダウンスケーラ研修会に講師として参加
（日下）

アラスカ大学フェアバンクス校、国際北極圏研究センター(IARC)との大学間協定（田中）
インドネシア気候・気象・地球物理庁との共同研究、SATREPS 火山灰追跡モデル（田中）

スロベニア・リュブリアーナ大学との共同研究、MODES プロジェクト（田中）

8. シンポジウム、研究会、スクール等の開催実績

WRF 講習会開催（日下）

気象学会夏季大学開催（田中）

気象学会公開気象講演会（田中）

9. 管理・運営

学生生活支援室長・T-ACT 推進室長、副学長補佐、紫峰会顧問（田中）

10. 社会貢献・国際貢献

国際都市気候学会（IAUC）理事（日下）

気象庁 気候変動懇談会検討部会 委員（日下）

NEDO 発電量予測技術委員会・発電量予測技術研究会 委員（日下）

熱中症予防声かけプロジェクト 実行委員（日下）

日本ヒートアイランド学会理事（日下）

気候影響利用研究会幹事（日下）

（公社）日本気象学会理事（田中）

（公社）日本地球惑星科学連合代議員（田中）

IASC（国際北極科学会議）AWG 大気部門（田中）

11. その他