

機関番号：82706

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2010

課題番号：19612004

研究課題名（和文） 全球積雪サブグリッド被覆率の高解像衛星データによる算定と陸面過程モデルによる検証

研究課題名（英文） Estimation of the Global distribution of sub-grid snow-cover ratio using a high resolution satellite data and its evaluation by a land surface model.

研究代表者

高田 久美子（TAKATA KUMIKO）

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・主任研究員

研究者番号：60270906

研究成果の概要（和文）：

全球の積雪サブグリッド被覆率について、可視光の衛星観測データから、長期間(1961-2007)だが中解像度に限定される EASE-Grid データと、短期間(2001-2007)だが高解像に適用できる MODIS データを用いて、全球モデルの数種類の解像度(50km～250km)で算定した。気候研究用の陸面過程モデル MATSIRO では、積雪水等量の単純な関数で積雪被覆率を算定していたが、積雪のサブグリッド分布のメカニズムを考慮した積雪被覆率スキーム SSNOWD に置き換えて、衛星観測データと比較したところ、積雪開始期の積雪被覆率の過小評価や東シベリアでの過大評価が大きく改善されることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：

The global distribution of sub-grid snow cover ratio was estimated using two satellite observation data in visible radiation band: EASE-Grid data which covered long term period but limited for a medium resolution, and MODIS data which was limited to the recent years but enabled for a high resolution. In a land surface model for climate studies, MATSIRO, snow cover ratio had been estimated by a simple function of snow water equivalent. That was replaced by a scheme of snow cover ratio (SSNOWD) where the physics of the sub-grid distribution of snow cover was considered. It resulted in the significant reductions in negative biases in accumulation season and in positive biases in eastern Siberia.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,100,000円	330,000円	1,430,000円
2008年度	900,000円	270,000円	1,170,000円
2009年度	900,000円	270,000円	1,170,000円
2010年度	500,000円	150,000円	650,000円
年度			
総計	3,400,000円	1,020,000円	4,420,000円

研究分野：陸面水文過程モデル、陸面-大気相互作用、全球気候変動

科研費の分科・細目：地球システム変動

キーワード：陸面水文過程モデル、積雪被覆率、全球規模気候変動

1. 研究開始当初の背景

気候変動の研究において陸面過程は重要な要素であるが、水平非一様性が著しい特徴がある。中でも積雪は地表面の反射率（アルベド）を大きく変化させて熱・水収支に大き

な影響を持つことから、解像度の低い全球気候モデルでは、グリッド内での積雪被覆率を考慮して熱・水収支を算定することが望ましい。

これまで全球気候モデル（GCM）の陸面過

程では、積雪水等量が予報され、それに基づいて積雪被覆率を診断していた。しかし実際には、サブグリッドスケールでの積雪深分布には様々な要因が関わっており、(1)樹木や微地形等による融雪量の変化や吹きだまり、(2)地吹雪による再配分、(3)地形による降雪量の変化、(4)斜面の方角による融雪量の変化などがあるが、これらは考慮されてこなかった。

そこで、これらの要因を考慮して積雪深のサブグリッド分布パターンを分類し、それに基づいて積雪被覆率を算定するモデル(SSNOWD; Liston, 2004)を GCM で用いられる陸面過程モデルに組み込むことを検討してきた。予備調査として、SSNOWD を GCM 用の陸面過程モデル(MATSIRO)に組み込み、地点観測データを用いて鉛直 1 次元でテスト実験したところ、観測サイト周辺の谷部に残る吹きだまり等が融雪の遅い時期まで残る効果を表現できることが確かめられた。

2. 研究の目的

GCM の不確定性を減じるためには、より物理的な法則に基づいた手法を採用してモデルの高度化を図ることが有効である。従って、積雪深のサブグリッド分布をもたらす要因を考慮して積雪被覆率を算定する SSNOWD を GCM に導入することは、地表面での熱・水収支の算定を高精度化し、GCM の不確定性の低減に貢献すると期待される。これまでの 1 次元モデルを用いた調査で、SSNOWD を導入することにより、サブグリッドスケールの積雪分布の特徴を表現できる可能性が示されたことから、これを全球スケールに適用して、広域での振る舞いを検証し、GCM への適用を検討する。

GCM への適用を進めるためには、広域スケールでのモデルの検証が必要となるため、検証データとして、高解像度の衛星観測による積雪被覆データを用いて、サブグリッドの積雪被覆率を算定する。算定結果から積雪被覆率の全球分布の実態を調査し、SSNOWD を導入したインパクトについて考察する。最終的には、積雪のサブグリッド被覆のメカニズムを考慮することによる地表面熱・水フラックスへのインパクトを調査し、大気への影響について考察することを目指す。

一方、物理法則を考慮したモデルでもパラメタの不確定性は残されるので、キーとなるパラメタへの感度や依存性を調査しておく必要がある。SSNOWD では、グリッド内の積雪深の頻度分布がカンマ分布型になるとし、気温、地形、植生に応じて頻度分布型を分類する。その分類ごとに変動係数(CV)を与えて、サブグリッド被覆率を算定する。しかし、CV の与え方によって積雪被覆率の値やその変動特性が異なったり、スケールに依存

して CV の値が変化したりする可能性がある。そこで、算定される積雪被覆率の CV に対する依存性を調査しておく必要があると考えられる。

3. 研究の方法

(1) 衛星観測データによる積雪被覆率の算定
 全球気候モデルの解像度(50~250km)で積雪のサブグリッド被覆率を算定するには、数 10km 以下の解像度の積雪被覆データが必要である。衛星観測による積雪被覆のデータは、主に可視光のセンサーから推定されている。一般に、可視光センサーは高解像度のデータが得られやすい一方で、雲等の遮蔽物の影響を受けやすいことから、場所によっては時間方向に欠損値が生じやすい。従って、欠損値の少ないデータを得るためには時間解像度が荒くなる。また、太陽光の無い極夜域では観測値が得られない。

公開されている衛星観測データから、全球スケールでの積雪分布の検証に適したデータとして、①北半球 EASE グリッド積雪海水分布データ(NH EASE)、②MODIS/Terra 衛星による積雪被覆データ(MODIS)を選定した。各々のデータの特徴を表 1 に示す。

全球気候モデルの解像度は約 250km(T42)、約 120km(T85)、約 50km(T213)で、緯度方向はガウシアン座標系、経度方向は等角度の間隔になっている。一方、NH EASE はすべての地域で 25km 間隔、MODIS は緯度経度に沿って 0.05° になっている。衛星データからモデル解像度でサブグリッド被覆率を算定する際には、モデルの 1 グリッドに含まれる衛星データグリッドについて、面積の重みを掛けて合算した。

表 1 積雪被覆の衛星観測データ

データ名 (略称)	Northern Hemisphere EASE-Grid Weekly Snow Cover and Sea Ice Extent Version 3 (NH EASE)	MODIS/Terra Snow Cover 8-Day L3 Global 0.05Deg CMG, Version 4 (MODIS)
衛星	AVHRR, GOES, 他	MODIS/Terra
期間	1966/10/3 -2007/6/24	2000/2/24 -present
水平解像度 (座標系)	25km (EASE-grid)	0.05 degree (lat.-lon.)
時間解像度	7 days	8 days
データ範囲	北半球	全球

(2) 全球モデルにおける積雪被覆率の再現性

MATSIRO では、降雪・融雪・融雪水の再凍結・昇華を考慮した質量収支から積雪水当

量 SNW を予報している。積雪のサブグリッド被覆率 R_{snow} は、積雪水当量の一意な関数として次式で算定していた (MAT スキーム)。

$$R_{snow} = \begin{cases} \sqrt{SNW/SNW_c} L & SNW \leq SNW_c \\ 1.0 & SNW > SNW_c \end{cases}$$

ただし、 SNW_c はグリッド全体が積雪に覆われる積雪水当量の最小値である。これを、グリッド内の積雪深の頻度分布型を考慮した SSNOWD の算定方法に置き換える (SSNOWD スキーム)。

鉛直 1 次元で SSNOWD を組み込んだ MATSIRO を全球陸面に適用し、衛星観測データ及び SSNOWD を組み込む前と比較して、積雪被覆率を高度化したインパクトを調査した。尚、コード整備の都合から、大気大循環モデル (AGCM) で実験を行った。海面水温 (SST) は観測に基づく気候値の季節変化を与えている。AGCM では大気上端での太陽放射や、植生分布等の地表面状態を境界条件として与えるため、積雪被覆率の違いが、大気状態の変化を通して陸面や積雪にフィードバックする転に注意が必要である。

本課題では、AGCM の基準境界条件 (1850 年) を与えて、MAT スキームによる数値実験と SSNOWD スキームによる数値実験を行い、平衡状態に達した後半 40 年間の平均値を比較した。

4. 研究成果

(1) 衛星観測データによる積雪被覆率の算定 ①北半球 EASE グリッド積雪海氷分布データ (NH EASE)

このデータは複数の高解像可視光衛星観測データを組み合わせることにより、長期間の積雪被覆を提供している点に特徴がある。但し、北半球に限られ、時間解像度は 1 週間 (7 日) である。緯度に依らず均一な水平解像度となるように、独自に開発された EASE grid 座標系を採用している。EASE grid の解像度が 25km であることから、十分な精度でサブグリッド被覆率を算定するには、中程度のモデル解像度 (約 250km = T42) への適用が限定することとした。

NH EASE データによる 2000 年 1 月～2006 年 12 月の気候値の積雪分布を図 1 に示す。2 月には概ね 30° 以北で積雪があり、チベットやロッキー山脈では 10 月から 5-6 月まで高い積雪被覆率が維持されていた。

②MODIS/Terra 衛星による積雪被覆データ (MODIS)

このデータは高解像で現在まで継続している点に特徴があるが、データ期間が 2000 年以降に限定される。最も解像度の高いもので水平解像度が 500m、時間解像度が 1 日の

データが公開されているが、全球気候モデルの結果と比較することを考慮して、水平解像度 0.05° (約 5km)、時間解像度 8 日のデータを使用した。本データは高いモデル解像度 (約 50km = T213) への適用も可能である。

MODIS データによる 2000 年 3 月～2007 年 2 月の気候値の積雪分布を図 2abc の上段に示す。積雪域は EASE データとほぼ同じであるが、全体的に被覆率が小さい。特に、極夜の地域で MODIS データは被覆率が 0 となっている影響が大きく、EASE データでは極夜域で値が補間されていると考えられる。

(2) 全球モデルにおける積雪被覆率の再現性

図 2 abc の中段に MAT スキームによる結果、下段に SSNOWD スキームによる結果を示す。MAT スキームでは、積雪開始期に高緯度域で被覆率を過小評価、積雪最盛期にも東シベリア中央部で過小評価しているのに対し、SSNOWD スキームではこれらが大幅に改善されることが明らかになった。このときの積雪水等量を見ると (図 3 abc)、MAT スキームと SSNOWD スキームで大きな差は見られない。MAT スキームでは、積雪開始期に薄い積雪が広域に広がる特性を考慮していないため、この時期の被覆率を過小評価する傾向があり、SSNOWD で積雪のサブグリッド分布メカニズムを考慮することによって再現性が改善したと考えられる。

一方、融雪期に過大評価になる傾向は、SSNOWD スキームの方がやや顕著に表れた。MATSIRO では積雪の密度や熱伝導率を一定と仮定しており、融雪期に密度の増大や融雪水を含むことによって熱伝導率が増大する効果を考慮していない。そのことが融雪期の積雪量及び被覆率の過大評価に及ぼす影響について、今後、さらに調査する必要がある。

積雪被覆率の違いが大気を与える影響について解析したところ、SSNOWD スキームで被覆率が増大した積雪開始期の高度と積雪最盛期の東シベリア中央部で、アルベドが 0.1～0.3 増大し、同様の時期と地域で地上 2m 気温が 1～3°C 低下する傾向が見られた (図 4 ab)。従って、積雪被覆率スキームの改良は GCM の再現性の向上に一定の効果を持つと考えられる。

今後は、SSNOWD のパラメータ (CV) への依存性を調べるために、大気からのフィードバックを与えないオフラインの全球陸面モデルを整備し、詳細な感度実験を行うことが必要である。

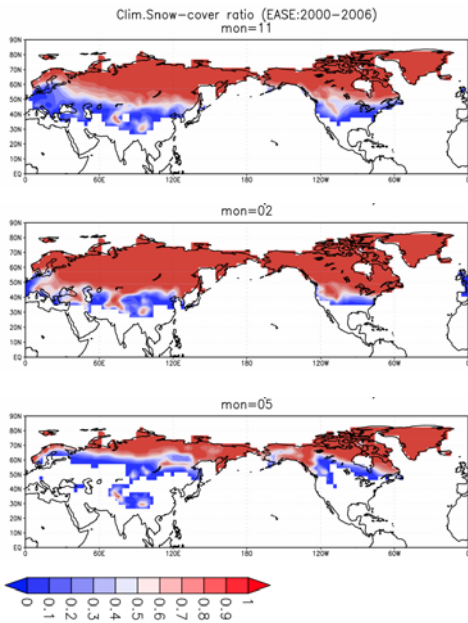


図1 EASEデータのabc。上から11月、2月、5月。

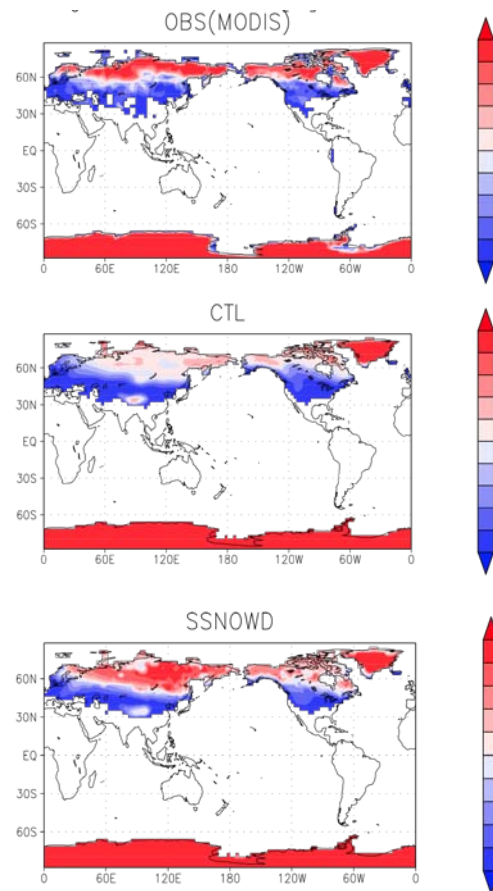


図2a 11月の積雪被覆率。上からMODISデータ、MATスキーム、SSNOWDスキーム。

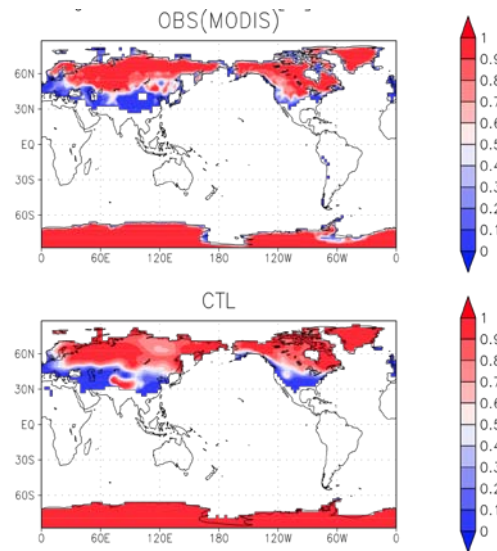


図2b 図2aに同じ。但し2月。

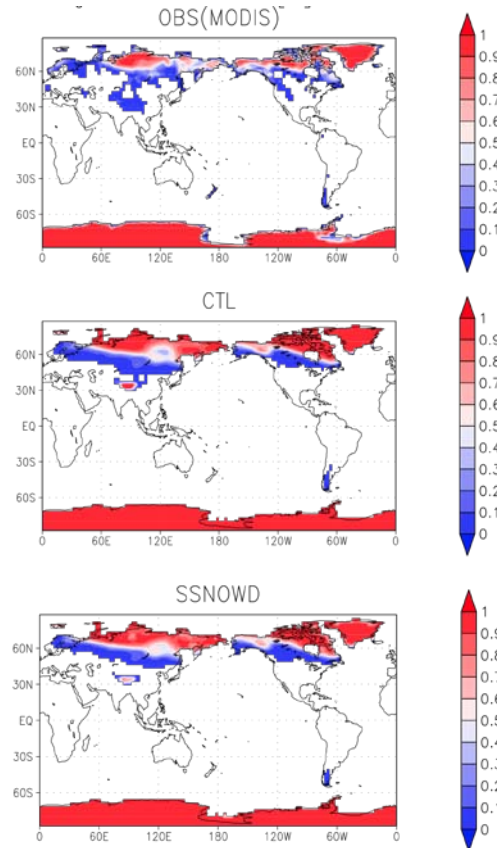


図2c 図2aに同じ。但し5月。

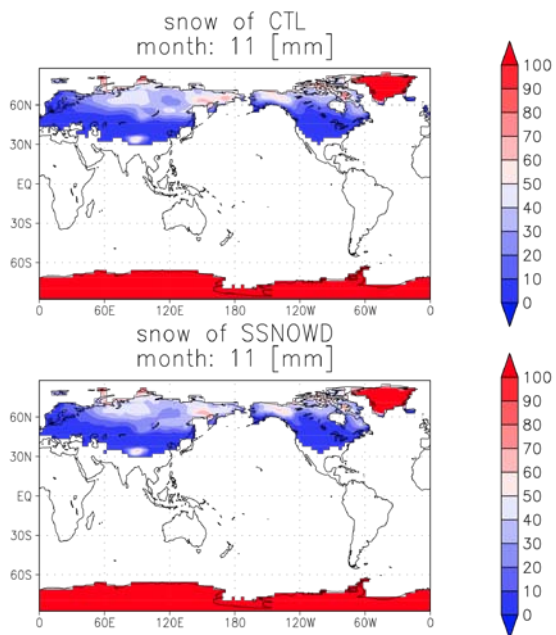


図 3a 11月の積雪水当量(mm)。上が MAT スキーム、下が SSNOWD スキーム。

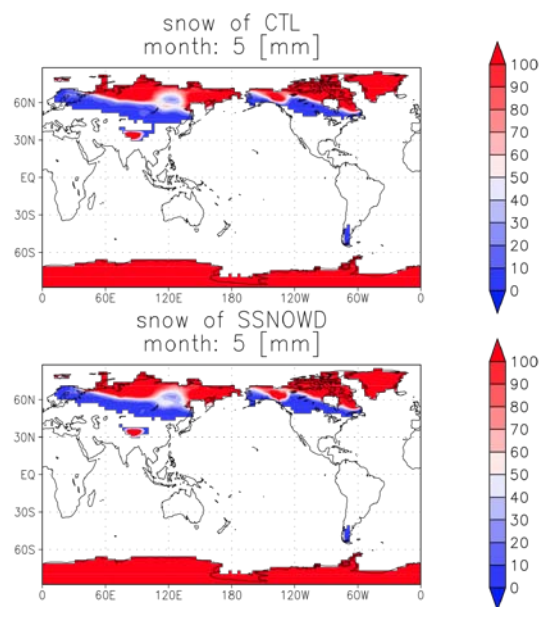


図 3c 図 3 a に同じ。但し 5 月。

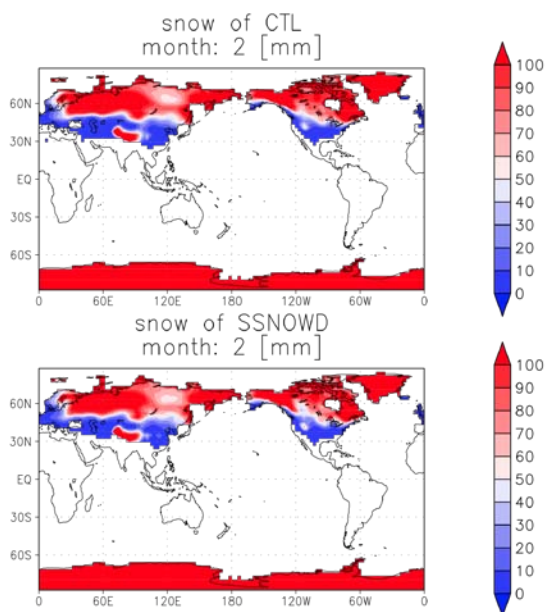


図 3b 図 3 a に同じ。但し 2 月。

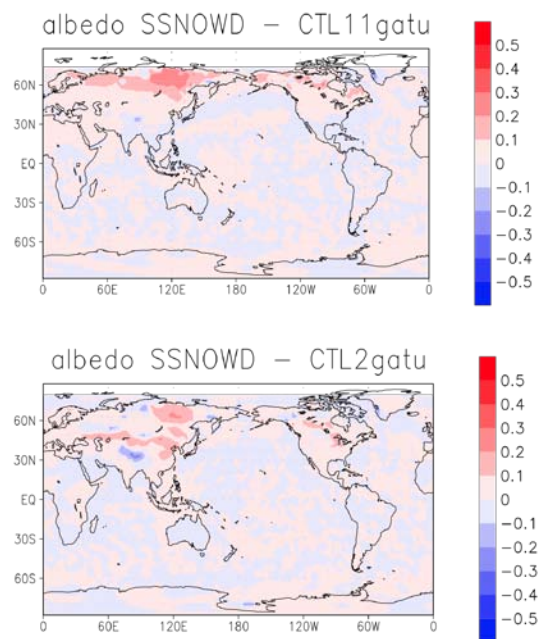


図 4a SSNOWD スキームの導入によるアルベドの変化(SSNOWD-MAT)。上段が 11 月、下段が 2 月。

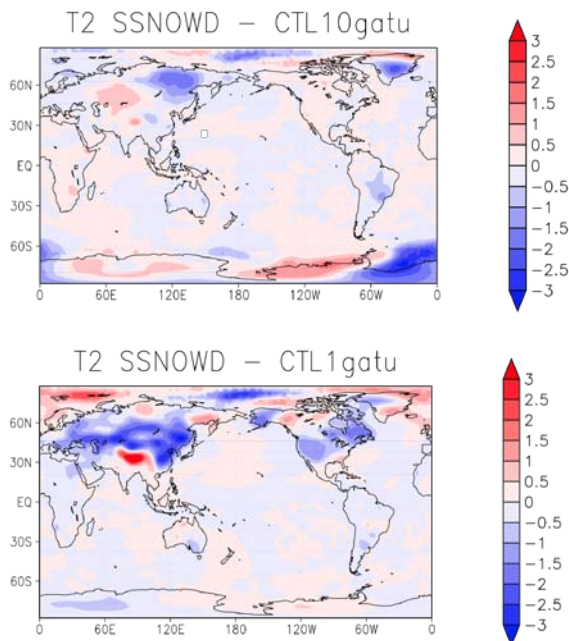


図 4b 図 4 a に同じ。但し地上 2m 気温 (K)。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Rutter, N., Y. Hirabayashi (21 番目), K. Takata (44 番目), ほか 50 人(但し 4 番目以降はアルファベット順), Evaluation of forest snow processes models (SnowMIP2), *Journal of Geophysical Research (Atmosphere)*, 査読有, **114**, 2009, D06111, doi:10.1029/2008JD011063.

[学会発表] (計 4 件)

- ① 大石龍太・他 2 名、サブグリッド積雪被覆スキームの導入による大気大循環モデル MIROC5 に対する影響、日本気象学会 2010 年秋季大会、2010 年 10 月 29 日、仙台。
- ② Kumiko Takata, et al., Improvement of a scheme of sub-grid snow cover fraction in a global climate model, *International Symposium on Snow, Ice and Humanity*

in a Changing Climate, 2010/June/24, Sapporo.

- ③ 高田久美子・他 2 名: 全球気候モデルにおける積雪サブグリッド被覆率スキームの改良. 日本気象学会 2009 年春季大会、2009 年 5 月 31 日、つくば。

- ④ 高田久美子・他 2 名、気候モデルにおける積雪サブグリッド被覆率スキームの改良、雪氷研究大会(2008・東京)、2008 年 9 月 24 日、東京。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高田 久美子 (TAKATA KUMIKO)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・主任研究員
研究者番号：62070906

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

Glen E. Liston (Glen E. Liston)
Colorado State University・Cooperative Institute for Research in the Atmosphere・Senior Research Scientist

平林 由希子 (HIRABAYASHI YUKIKO)
国立大学法人東京大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：60377588

大石 龍太 (O'ISHI RYOTA)
国立大学法人東京大学・大気海洋研究所・博士研究員
研究者番号：90436600

末吉 哲雄 (SUEYOSHI TETSUO)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・技術研究副主任