

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04269

研究課題名（和文）統合陸域シミュレータによる陸域水循環シミュレーション：積雪過程に着目して

研究課題名（英文）Simulation of the terrestrial hydrological cycle using Integrated Land Simulator with a focus on snow processes

研究代表者

新田 友子（Nitta, Tomoko）

東京大学・生産技術研究所・特任講師

研究者番号：50754652

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、気候モデルの高度化・精緻化を目指して、統合陸域シミュレータ（ILS）の陸域物理過程改良に取り組んだ。森林域での積雪時の地表面アルベドを計算するスキームについての改良、陸域オフライン高解像度シミュレーション、気候モデルMIROCとILSを結合した実験を行い、国際的な陸モデルのベンチマークプロジェクトに参加し、今後に向けてより多角的にモデルを検証・改良するための準備も整った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題では、陸域の水・熱循環を計算する統合陸域シミュレータ（ILS）について、陸域物理過程の改善と、気候モデルMIROCとILSを結合した実験に取り組んだ。気候モデルによる将来の気候変動予測は、気候変動に関する政府間パネルの評価報告書にまとめられる最新の研究から産業界に至るまで、幅広く利用されるようになっており、本研究はこのようなシミュレーションの精度向上に資することが期待される。

研究成果の概要（英文）：In this research project, we improved the representation of terrestrial processes in the Integrated Land Simulator (ILS) for more accurate climate simulations. A scheme for calculating surface albedo during forest snow cover was improved and high-resolution offline experiments and experiments coupled with MIROC and ILS were conducted. ILS also participated in an international land model benchmarking project, which will allow us to validate and improve the model from more diverse perspectives in the future.

研究分野：統合陸域モデリング

キーワード：統合陸域シミュレータ 陸モデル 積雪・融雪過程

## 1. 研究開始当初の背景

気候モデルを用いた将来の気候変動予測の結果は、多様な分野で利用されるようになってきており、例えば日本でも、気候変動を踏まえた治水計画のあり方が提言されている(気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会, 2019)。世界各国の機関が参加する結合モデル相互比較プロジェクト(Coupled Model Intercomparison Project; CMIP)による予測結果は、幅広い分野の研究グループによって解析が進んでいるが、その計算結果は系統的な誤差を持つことが示されている(Mueller and Seneviratne, 2014; Hirota et al., 2016)。そのため、モデルの高度化・精緻化が必要とされており、大気・海洋・陸域で構成される気候モデルにおいて、陸域過程の精度良い表現は重要な課題のひとつである。

陸面モデル MATSIRO (Takata et al., 2003) は、気象外力を与えて、樹冠・積雪・土壌層の温度と水の量を予報し、地表面の水・熱フラックスを計算するモデルで、MIROC や NICAM といった気候モデル・大気モデルの陸域過程として採用されてきた。最初に開発されてから 20 年近く経っているが、大気モデルのパラメタリゼーションのひとつという扱いが一因で、迅速で継続的な開発は実現してこなかった。そこで、申請者らは過去数年にわたって MATSIRO を大気モデルから独立させ複数の陸域要素モデルを汎用カプラーで結合する統合陸域シミュレータ(Integrated Land Simulator; ILS, Nitta et al., 2020)を開発してきた。MATSIRO と MIROC の陸域に関して、複数のバイアスが存在することが知られているが、本研究では積雪過程に着目する。

## 2. 研究の目的

最終的な目標は、ILS 改良による陸域水循環シミュレーションの精度向上を通して、気候モデルを用いた気候予測の精度向上に資することである。そのために、本研究では、ILS の積雪関連のパラメタリゼーションを改良し、陸域水循環シミュレーションを行う。そのうえで「陸域水循環シミュレーションの改善は気候モデルの精度向上にどの程度寄与するのか」という問いに答えるため、1) 森林帯における積雪時の地表面アルベドの改善、2) オフライン高解像度シミュレーションの実行可能性の検討、3) 気候モデル MIROC に ILS を結合した気候シミュレーションの実行を目的とする。なお、研究開始当初は大気・陸域結合実験(AGCM 実験)を行う予定であったが、研究を進めた結果、海洋を結合した CGCM 実験と必ずしも再現性が一致しないこと、次期 CMIP へ貢献するには CGCM 実験での性能が重要となることから、CGCM 実験を用いることとした。

## 3. 研究の方法

### (1) 森林帯における積雪時の地表面アルベドの改善

キャノピーの放射伝達計算で用いられる個葉のアルベドは、降雪遮断のない場合の個葉のアルベドと積雪アルベドを降雪遮断量で線形に重み付ける方法が取られているが、降雪遮断量と個葉のアルベドが線形関係を持つとは限らない。そこで、個葉のアルベドと降雪遮断量の関係を、ロジスティック曲線を用いて表す方法に変更した。その上で、オフラインシミュレーションを行い、修正前後の地表面アルベドの計算結果を衛星観測データと比較した。

### (2) オフライン高解像度シミュレーション

これまで標準実験として準備してきた全球 0.5 度実験を国際的な陸モデルのベンチマークシステムである ILAMB (Collier et al., 2018) を用いて評価できるよう整備を行った。また、スーパーコンピュータ「富岳」を用いて全球 1km 実験の実現可能性を検討した。ILS を富岳に移植し、MATSIRO に用いるコア数を変更して、計算性能を調べた。全球 1km で実験が問題なく実行できることを確認し、1km の地表面境界条件が計算結果に及ぼす影響を調査した。

### (3) 気候モデル MIROC に ILS を結合したシミュレーション

気候モデル MIROC に ILS を結合し、大気・海洋・陸域結合実験を行った。長期積分する結合実験では水収支が十分な精度で閉じていることが重要となるため、この点についても確認を行った。

## 4. 研究成果

### (1) 森林帯における積雪時の地表面アルベドの改善

まず ILS のデフォルト設定で 0.5 度全球オフラインシミュレーションを行い、計算結果を ILAMB で検証したところ、森林帯における積雪時の地表面アルベドを過大評価するバイアスが見

られた。そこで、降雪遮断時の個葉のアルベド算定式を修正し、オフラインシミュレーションを行った。結果を衛星観測と比較して検証したところ、すべての月において地表面アルベドのバイアスは低下傾向にあるものの、秋の改善幅が他の季節よりも大きいことがわかった。また、積雪が最大になる時期においては、修正後のシミュレーション結果では森林帯の地表面アルベドに低下が見られるものの、パラメータの感度実験を行っても、観測値ほど低い地表面アルベドの値は再現できないことも明らかになった。

#### (2) オフライン高解像度シミュレーション

ILAMB を用いて計算結果を検証できるように整備し、再現性を確認した。ILS ver. 1 の完成後に追加したいいくつかのスキームについても、各段階の ILS で同様の実験と検証を行い、開発の各過程で誤差指標を記録する準備が整った。特に、積雪過程に加えて、流出計算に用いる TOPMODEL の計算について、簡易的な地形を仮定する方法から compound topographic index を用いる手法に変更する修正を試したところ、以前のバージョンに比べて潜熱フラックス等が改善することが複数のメトリックにより示された。

次に、ILS を「富岳」へ移植した。全球 0.5 度解像度で 2 日間のシミュレーションを行い、出力結果をクラスタ計算機による実行結果と比較したところ、2 つの計算機による結果の差が十分に小さく、問題なく動作していることを確認した。計算性能に関しては、MATSIRO の主計算部分はよくスケールしていることを確認した。MATSIRO 8192 プロセス (2048 ノード)、IO 128 プロセス (128 ノード) を用いた場合、初期設定は主計算部分と比較して十分に高速化し、全体で 12.8 時間という現実的な計算速度で実験可能であることがわかった。1km 境界条件の影響がどの変数に出やすいかを調べた結果、土壌水分やキャノピー遮断水量、潜熱・顕熱フラックスへの影響が比較的大きいことが明らかになった。

#### (3) 気候モデル MIROC に ILS を結合したシミュレーション

気候モデル MIROC と ILS を結合する大気・海洋・陸域結合実験を実施した。結合実験では水収支が十分な精度で閉じることが重要となるため、この点をはじめ技術的な課題の解決に時間を要したが、最終的には問題なく動作することを確認した。

#### (4) 国際的な陸モデルベンチマークプロジェクトへの参加

陸モデルのベンチマークプロジェクト PLUMBER2 (Abramowitz et al., 2024) に参加し、世界 170 箇所のフラックスタワー観測サイトを対象にして、ILS の MATSIRO によるサイトシミュレーションを行った。結果は、modevaluation.org という Web ベースの検証ツールサイトに提出し、回帰式や機械学習によるベンチマークとの比較、世界各国の陸モデルとの比較が行われた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 新田友子, 荒川隆, 鳩野美佐子, 竹島滉, 山崎大, 芳村圭	4. 巻 27
2. 論文標題 統合陸域シミュレータと気候モデル MIROC の連成シミュレーション	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 計算工学講演会論文集	6. 最初と最後の頁 A-12-01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 伏尾 佳悟、六藤 雄一、福田 哲也、塚田 洋平、新田 友子、吉兼 隆生、山崎 大、芳村 圭、丸吉 政博	4. 巻 75
2. 論文標題 統合陸域シミュレータ (ILS) と統合評価モデル (IAM) の連成シミュレーションによる水ストレス評価	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 生産研究	6. 最初と最後の頁 135 ~ 140
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11188/seisankenkyu.75.135	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Abramowitz G. and coauthors	4. 巻 -
2. 論文標題 On the predictability of turbulent fluxes from land: PLUMBER2 MIP experimental description and preliminary results	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 EGUsphere	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/egusphere-2023-3084	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Olson Roman, Nitta Tomoko, Yoshimura Kei	4. 巻 634
2. 論文標題 A fast physically-guided emulator of MATSIRO land surface model	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Hydrology	6. 最初と最後の頁 131093 ~ 131093
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jhydro.2024.131093	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 新田 友子、Anh Cao、荒川 隆、竹島 滉、芳村 圭	4. 巻 36
2. 論文標題 コミュニティ陸モデル開発に向けたILSカブルソンの開催報告	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 JOURNAL OF JAPAN SOCIETY OF HYDROLOGY AND WATER RESOURCES	6. 最初と最後の頁 306 ~ 310
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3178/jjshwr.36.306	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 新田友子, 荒川隆, 鳩野美佐子, 竹島滉, 山崎大, 芳村圭
2. 発表標題 統合陸域シミュレータと気候モデルMIROCの連成シミュレーション
3. 学会等名 第27回計算工学講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nitta, T., T. Arakawa, A. Takeshima, M. Hatono, D. Yamazaki, and K. Yoshimura
2. 発表標題 MIROC-ILS coupling: Coupling multiple land component models to an atmosphere and ocean model with Jcup
3. 学会等名 Sixth Workshop on Coupling Technologies for Earth System Models (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nitta, T., T. Arakawa, A. Takeshima, M. Hatono, D. Yamazaki, and K. Yoshimura
2. 発表標題 Development of MIROC-ILS: coupling of multiple land component models with atmosphere and ocean models
3. 学会等名 Land Surface Modelling Summit 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nitta, T., T. Arakawa, A. Takeshima, M. Hatono, D. Yamazaki, and K. Yoshimura
2. 発表標題 Coupling of Integrated Land Simulator to MIROC6 's Atmosphere and Ocean Models
3. 学会等名 AGU Fall meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浜田光太郎、山崎大、新田友子
2. 発表標題 陸域モデルの土壌水分スキームの高度化と土壌パラメータの水平・鉛直分布の考慮
3. 学会等名 第66回水工学講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 足立幸太、山崎大、新田友子
2. 発表標題 斜面流れを考慮した全球陸域モデルによる丘-谷間水分コントラストの再現
3. 学会等名 第66回水工学講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Oki, T., T. Nitta, T. Arakawa, T. Takeshima, D. Yamazaki, K. Yoshimura
2. 発表標題 Design and development of Integrated Land Simulator
3. 学会等名 WCRP Open Science Conference 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Olson, R., K. Yoshimura, T. Nitta
2. 発表標題 Simple Physically-Based Emulator of MATSIRO Land Surface Model
3. 学会等名 AOGS2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nitta, T., A. Takeshima, T. Arakawa, and K. Yoshimura
2. 発表標題 Exploring global 1-km hydrological simulations using Integrated Land Simulator
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2024 (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Nitta, T., T. Arakawa, A. Takeshima, D. Yamazaki, and K. Yoshimura
2. 発表標題 Development of a land model for the next generation MIROC climate model and evaluation of its simulated land-atmosphere coupling
3. 学会等名 EGU General Assembly 2024 (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
オーストラリア	University of New South Wales		