

平成 22 年 6 月 11 日現在

研究種目：基盤研究 (C)
研究期間：2007～2009
課題番号：19519002
研究課題名（和文） 陸域生物圏モデルの客観的・階層的改善法の構築と地球温暖化予測への影響
研究課題名（英文） Development of an objective refinement procedure to terrestrial ecosystem model and its impact on future projection of global change
研究代表者
市井和仁 (ICHI KAZUHITO)
福島大学・共生システム理工学類・准教授
研究者番号：50345865

研究成果の概要（和文）：

地球温暖化予測においては、陸域炭素循環モデルの不確定が高く、改善の余地が大きい。本研究では、陸域モデルの精度向上を目標とし、衛星データなどを利用した客観的なモデル改善手法の構築を行った。さらに、地球システム統合モデルを利用して、陸域モデルの改善を試み、これによる温暖化予測への影響の大きさを解析した。地上観測データを衛星データによりスケールアップしたプロダクトは、陸域モデルの改善に有用であり、陸域モデルの改善自身がグローバルスケールでの温暖化予測にも影響を与えることを示した。

研究成果の概要（英文）：

Terrestrial submodels in earth system modeling framework contain large uncertainties in its accuracy, which in turn produces large uncertainties in projecting future global environmental changes. In this project, we developed an objective refinement procedure to a terrestrial ecosystem model using satellite-based products, and tested the effects of the submodel refinement on projecting future global changes within earth system modeling framework. We demonstrated that satellite-based land products are effective in refining terrestrial submodels and the submodel refinement affects future projection of global environmental changes.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,800,000	0	1,800,000
2008 年度	800,000	240,000	1,040,000
2009 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	420,000	3,620,000

研究分野：地球環境学

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：リモートセンシング・地球システム統合モデル・地球温暖化・最適化・水循環・炭素循環・陸域生物圏

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化は地球環境問題の中でも最重要課題の一つとして注目されている。この現象は炭素循環に代表される物質循環とエネルギー循環の様々なフィードバック過程を含む大気・海洋・陸域にわたる多圏相互作用によって引き起こされており、これら相互作用を統合したモデル(地球システム統合モデル;以下統合モデル)による予測が必要である。

これら統合モデルによる将来の地球環境変動予測では、モデル間の予測結果の違いが大きい。一つの理由として陸域モデルの不確定性の大きさが挙げられている。観測データやモデル検証が不十分である、モデル改善の過程が手作業によるため、などの理由がある。より正確な温暖化予測をするためには気候-植生間の相互プロセスのより一層の理解が重要である。

近年、陸域の炭素収支観測網が充実してきており、観測データをモデル検証に利用できるようになってきた。また、地球観測衛星データの充実により、観測データを空間的にスケールアップすることが重要である。これらを用いて陸域サブモデルを向上させ、より正確な温暖化予測が可能になると期待される。

2. 研究の目的

本研究では、モデルの不確定性が大きいとされる陸域モデルに注目した。陸域モデルを効果的に改善するためには、衛星データの利用と、最適化手法などの自動的なパラメータ決定手法の適用が必要である。まずは、空間的なモデル検証データを構築するために、AsiaFluxなどに代表される地上データを統合し、衛星データを利用したスケールアップ手法の構築を行った。次に、衛星データベースの物理量プロダクトを利用して、いくつかのモデルパラメータを逆推定する試みを行った。最後に、統合モデルに含まれる陸域サブモデルを、地上観測データを用いて検証・改善することで、陸域サブモデルの改善が温暖化予測に及ぼす影響を評価することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 地上観測データのスケールアップ

まず、空間的な陸域パラメータの把握を行うために、地上観測と衛星観測の両者を用いて、地上観測のスケールアップ手法の適用を試みた。本研究では、サポートベクターマシンによる回帰モデル(Yang et al., RSE, 2007)をアメリカ・カリフォルニア州、アジア域などに適用した。AsiaFluxやAmerifluxなどの地上観測データをトレーニングデー

タとして、Terra/MODISからの植生指標、地表面温度、土地被覆分類などをモデルの入力とした。蒸発散量と光合成量について、推定を行った。

(2) 陸域モデル客観的改善法の検討

上記のスケールアップ手法によって構築された空間的なプロダクトを利用し、陸域モデルのパラメータ最適化手法の構築を行った。対象領域は北アメリカ・アジアとした。

本研究では、陸域サブモデルの構造に着目し、独立性の高いサブモデルから順に制約を与えることとした。例えば、雪サブモデルに関しては、陸域生物圏モデルの中でも、最も独立性の高いサブモデルの一つである。従って、雪サブモデルをモデルから取り出し、評価・改善を行った。同様に、水モデル全体に関しても、衛星データベースの蒸発散量プロダクトを利用することにより、Rooting Depth(根の深さ)を決定し、モデルの向上を試みた。

(3) 地球温暖化予測への影響

統合モデルとして UVic ESCM(University of Victoria Earth System Climate Model)を使用し、このモデルのサブモデルとして含まれている陸域サブモデル TRIFFID に改善を施すことで、統合モデル全体としての精度の向上を試みた(図1)。その際に、フラックスネットワーク(e.g. Ameriflux, CarboEurope, AsiaFlux)の陸域炭素収支観測網で観測されたデータ(全48サイト)を用い、モデル検証を行った。検証の際に、陸域モデルでは、地上観測データとモデル結果のET(蒸発散)、GPP(総一次生産量)、RE(生態系呼吸量)、NEE(純生態系交換量)などのフラックス要素に関して、統合モデルでは、フラックス要素+気象要素(気温、降水量、日射量)に関して比較を行った。

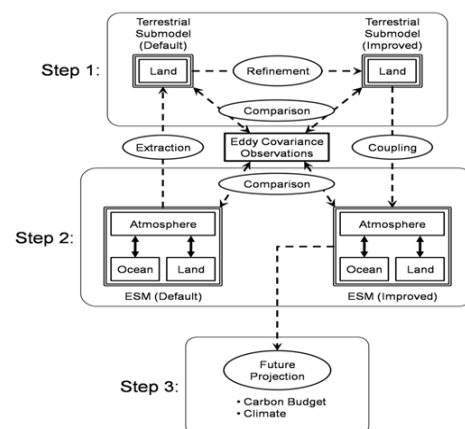


図1. 陸域サブモデルの改善が地球温暖化予測に与える影響を把握するための実験手順 (Suzuki and Ichii, 印刷中)

4. 研究成果

(1) 地上観測データのスケールアップ

AsiaFluxやAmerifluxなどの渦相関法による炭素・水フラックス観測と衛星データを組み合わせて、サポートベクターマシンを利用して、回帰モデルを構築した。その結果、蒸発散量についても、光合成量についても、おおむね良好な精度で推定が可能であった。

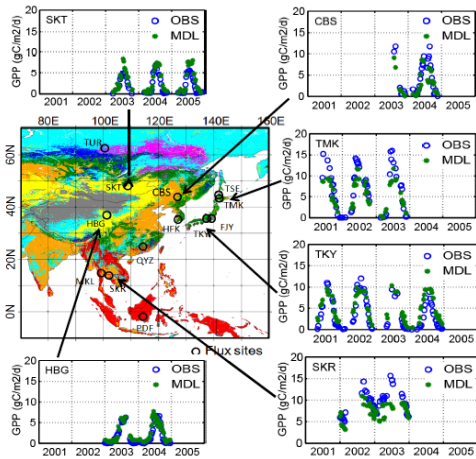


図 2. 衛星データを利用した地上観測スケールアップ手法の検証結果

(2) 陸域モデル客観的改善法の検討

上記の手法によって得られた蒸発散の季節変化マップを陸域生物圏モデル TOPS (Terrestrial Observation and Prediction System) を用いて、アメリカのカリフォルニア州を対象に Rooting Depth の推定を行った。デフォルト設定では、観測値をベースにした Rooting Depth (Soil Depth と同じと仮定) を用いたが、これでは、蒸発散の季節変動が十分に再現できないことが明らかとなった。そこで、Rooting Depth を最適化したところ、主に森林地域で、深い Rooting Depth を持つことが明らかになった。その結果、蒸発散や光合成量などの季節変動が衛星観測ベース・地上観測ベースの両者に近づくことが分かった。このように、衛星ベースの陸域プロダクトはモデルの改善に役立つことを示した。

(3) 地球温暖化予測への影響

陸域サブモデルのデフォルトシミュレーションでは、水ストレスの過大評価が原因と考えられる GPP の過小評価や、雪の昇華の過大評価とが原因と考えられる冬季の ET の過大評価が見られた。この問題を解決するために、雪モデルや水収支モデルの改善や、その他パラメータの最適化を行ったところ、より観測データに近いシミュレーション結果を

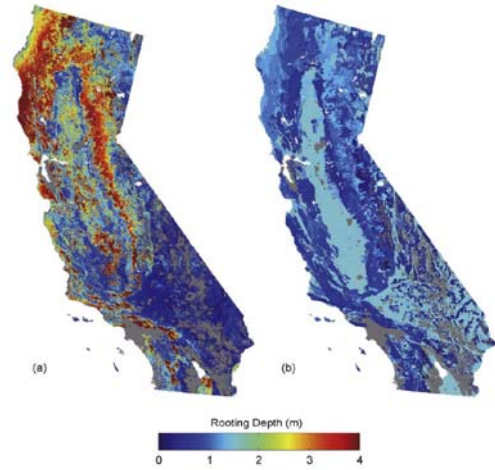


図 3. 衛星ベース蒸発散量と陸域生物圏モデルを組み合わせて算出された Rooting Depth の空間分布 (Ichii et al., 2009).

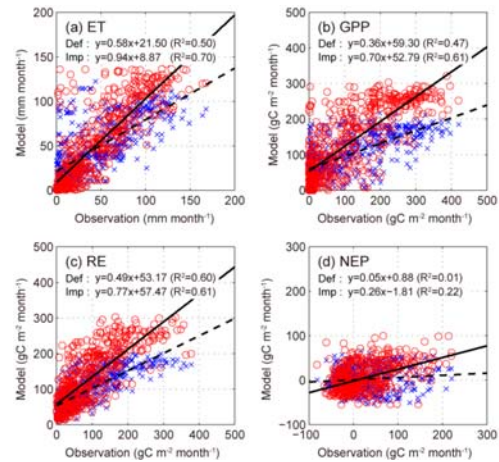


図 4. 陸域サブモデル改善前・後におけるモデルと観測値の比較 (ET, GPP, RE, NEP)。 (Suzuki and Ichii, 印刷中)

得ることができた。また、この改善した陸域サブモデルを統合モデルに再結合することで、統合モデル自体の結果もより観測データに近づくことができた (図 4)。

陸域サブモデルの改善がグローバルスケールの温暖化予測に与える影響を調べた結果、陸域サブモデルの改善がグローバルスケールの陸域炭素収支・大気 CO₂ 濃度・全球平均気温などの予測にも多大な影響を与えることが分かった (図 5)。例えば、大気 CO₂ 濃度に関しては、将来予測の結果が約 100ppmv ほどの違いとなった (温度換算では 0.7 度)。さらに、陸域の CO₂ に着目すると、吸収のピークが少し遅れる傾向が見られた。

このように陸域サブモデルの改善は、温暖化予測に対して大きな影響を与えることを示した。今後、より詳細な陸域モデルの改善が必要であることが分かった。

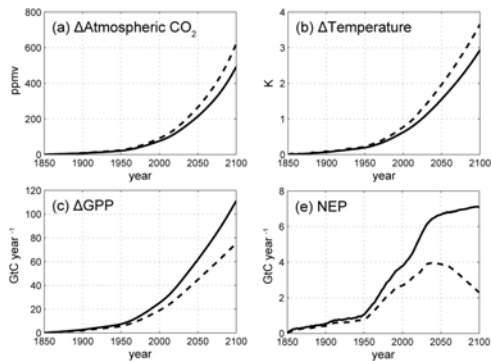


図5. 陸域サブモデル改善前・後におけるグローバルスケールの炭素循環・気候の比較 (Suzuki and Ichii, 印刷中)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計5件)

1. Suzuki T., Ichii K. (印刷中) Evaluation of a terrestrial carbon cycle submodel in an earth system model using networks of eddy covariance observations. *Tellus B*.

2. Ichii K., Suzuki T., Kato T., Hajima T., Ueyama M., Sasai T., Hirata R., Saigusa N., Ohtani Y., Takagi K. (2009) Multi-model analysis of terrestrial carbon cycles in Japan: reducing uncertainties in model outputs among different terrestrial biosphere models using flux observations. *Biogeosciences Discussions*, 6, 8455-8502.

3. Ichii K., Wang W., Hashimoto H., Yang F., Votava P., Michaelis A. R., Nemani R. R. (2009) Refinement of rooting depths using satellite-based evapotranspiration seasonality for ecosystem modeling in California. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149, 1907-1918.

4. Wang W., Ichii K., Hashimoto H., Michaelis A. R., Thornton P. E., Law B. E., Nemani R. R. (2009) A hierarchical analysis of terrestrial ecosystem model Biome-BGC: Equilibrium analysis and model calibration. *Ecological Modelling*, 220, 2009-2023.

5. Ichii K., White M. A., Votava P., Michaelis A., Nemani R. R. (2008) Evaluation of snow models in terrestrial biosphere models using ground observation and satellite data: Impact on terrestrial ecosystem processes. *Hydrological Processes*, 22, 347-355.

[学会発表] (計14件)

1. Ichii K., Takahashi K., Suzuki T., Ueyama M., Hirata R., Saigusa N. Multi model and data analysis of terrestrial carbon cycle in Asia: From 2001 to 2006, American Geophysical Union Fall Meeting 2009. San Francisco, 2009/12.

2. Ichii K., Takahashi K., Suzuki T., Ueyama M., Hirata R., Saigusa N. Multi model and data analysis of terrestrial carbon cycle in monsoon Asia: from 2001 to 2006, AsiaFlux Workshop 2009, Sapporo, 2009/10.

3. Suzuki T., Ichii K. Assessment of a terrestrial ecosystem model using fluxnet observations: toward an objective refinement procedure, AsiaFlux Workshop 2009, Sapporo, 2009/10.

4. Zigami E., Suzuki T., Ichii K. Analysis of climate controlling factors on terrestrial gross primary productivity: Implication from satellite data and ecosystem model., AsiaFlux Workshop 2009, Sapporo, 2009/10.

5. Takahashi K., Suzuki T., Ueyama M., Ichii K. Evaluation of satellite data based vegetation anomalies with ecosystem models in Asia, AsiaFlux Workshop 2009, Sapporo, 2009/10.

6. Ichii K., Suzuki T., Kato T., Hajima T., Ueyama M., Hirata R., Saigusa N, Multi-model analysis of terrestrial carbon and water cycle in monsoonAsia: Asia-MIP, The 8th International Carbon Dioxide Conference, Jena, Germany, 2009/09.

7. Suzuki T and Ichii K. Evaluation and improvement of a terrestrial ecosystem model included in an Earth System Model using fluxnet observations. The 8th International Carbon Dioxide Conference, Jena, Germany, 2009/09.

8. 市井和仁, 鈴木孝, 加藤知道, 佐々井崇博, 羽島知洋, 伊勢武史, 植山雅仁, 平田竜一, 三枝信子, 陸域生物圏モデル相互比較への試み: Japan-MIPからAsia-MIPへ, 日本気象学会 2009 年度春季大会, つくば, 2009 年 5 月.

9. 鈴木孝, 市井和仁, 地球システム統合モ

デルにおける陸域植生炭素循環サブモデルの評価, 日本気象学会 2009 年度春季大会, つくば, 2009 年 5 月.

10. 市井和仁, 日本・アジアにおける陸域生物圏モデル比較, 地球惑星合同学会 2009 年, 千葉, 2009 年 5 月.

11. Ichii K., Suzuki T., Kato T., Ito A., Sasai T., Hajima T., Hashimoto H., Ueyama M., Hirata R., Saigusa N., Ohtani Y., Takagi K., R.R. Nemani, Multi-model analysis of terrestrial water and carbon cycles in Japan: Japan-MIP. American Geophysical Union Fall Meeting 2008. San Francisco, 2008/12.

12. Ichii K., Suzuki T., Kato T., Ito A., Sasai T., Hajima T., Hashimoto H., Ueyama M., Hirata R., Saigusa N., Ohtani Y., Takagi K., R.R. Nemani, Multi-model analysis of terrestrial water and carbon cycles in Japan: First results from Japan-MIP. AsiaFlux Meeting 2008, Seoul, 2008/11.

13. 市井和仁, 地上観測・衛星データを利用した陸域生物圏モデル向上への試み(特別講演), 日本気象学会 2008 年度春季大会, 横浜, 2008 年 5 月.

14. Ichii K., Wang W., Hashimoto H., Votava, P., Michaelis A., Nemani R.R. Objective refinements to a diagnostic terrestrial biosphere model using satellite data: North America carbon and water cycle simulations. American Geophysical Union 2007 Fall Meeting, San Francisco, 2007/12.

[その他]

ホームページ

<http://envmm.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

市井 和仁 (ICHI KAZUHITO)

福島大学・共生システム理工学類・准教授
研究者番号: 50345865

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者 (学生)

鈴木 孝 (SUZUKI TAKASHI)

福島大学・院・共生システム理工学研究科

地紙枝里 (ZIGAMI ERI)

福島大学・共生システム理工学類

高橋一穂 (TAKAHASHI KAZUHO)

福島大学・共生システム理工学類