

野外操作実験・分光観測・モデル解析の結合による森林生態系炭素収支の変動予測 Warming experiment, spectral observation and model analysis for predicting global warming effects on forest carbon cycle

村岡 裕由^{1*}, 斎藤琢¹, 永井信², 野田響³, 庄司千佳¹, 魯南賑¹, 栗林正俊¹

Hiroyuki Muraoka^{1*}, Taku M. Saitoh¹, Shin Nagai², Hibiki M. Noda³, Chika Shoji¹, NamJin Noh¹, Masatoshi Kuribayashi¹

¹ 岐阜大学・流域圏科学研究センター, ² 海洋研究開発機構, ³ 筑波大学

¹Gifu University, ²JAMSTEC, ³University of Tsukuba

森林生態系の炭素吸収・放出能の生態学的プロセスの解明と、その温暖化への応答機構の予測は、現在の環境科学の重要な課題となっている。同時に、これらの研究を局所スケールから流域圏生態系、地域、国土、アジアスケールまで網羅的に観測して気候変動との関係を調査することは、地球規模での環境変動と生態系機能の持続性を監視し、将来の変動予測を実現するための不可欠な研究である。岐阜大学・高山サイト（落葉広葉樹林 TKY, 常緑針葉樹林 TKC）ではこれまで約 20 年にわたり、森林の炭素循環・収支の解明やそのリモートセンシング技術の開発を微気象学的観測と生態プロセス研究、モデルシミュレーション、葉群分光観測により展開してきた。発表者らは落葉広葉樹林サイトの林冠の光合成生産力のフェノロジーの変動機構解明とリモートセンシングによる温暖化影響の検出を目指し、また、数 10 年後までの温暖化が光合成生産力や土壌呼吸に与える影響を予測するために、林冠木ミズナラの成木と森林土壌の野外温暖化実験に着手した。本研究では (1) 樹木頂上の枝に開放型温室を設置して昇温処理 (+ 5 度) を施して、光合成、分光特性、展葉/黄葉フェノロジーの観測を行い、また (2) 土壌には電熱線を埋めて昇温処理 (+ 3 度) を施して土壌呼吸の変化を観測している。さらに (3) 葉群フェノロジーの変化が林冠の光合成生産力に与える影響のモデル解析を進めている。これまでのところ、温度上昇により、個葉の展葉の早期化と黄葉の遅延が見られ、個葉の生理的变化に伴い分光特性に違いが生じること、土壌呼吸は一時的に上昇するが温度馴化が見られること、そしてフェノロジーの変化が光合成生産量とともに呼吸量にも影響しうることがわかり始めている。

キーワード: 森林生態系, 光合成, 温暖化, 炭素循環

Keywords: forest ecosystems, photosynthesis, global warming, carbon cycle

Phenological Eyes Network による生態系長期観測 Long-term monitoring of ecosystem by Phenological Eyes Network

奈佐原 顕郎^{1*}
Kenlo Nasahara^{1*}

¹ 筑波大
¹University of Tsukuba

気候変動に伴う生態環境（生物多様性）の異変をとらえるために、衛星リモートセンシングへの期待が高まっている。そのため、さまざまな衛星センサーが新しく開発・運用され、それを利用して、植生指標の改良や、LAI（葉面積指数）・FPAR（光合成有効放射吸収率）・GPP（純一次生産量）などの生物物理量の推定手法の開発が進んでいる。

ところが、このような生態系の衛星リモートセンシングに対して、検証のための系統的なデータは少ない。それには、陸上生態系は不均一性が著しいために、上記のような量を衛星観測のピクセルに対応できるくらいに大きなスケールで地上観測することが難しいということが一因であり、また、LAIなどは地上観測手法自体がまだ確立されていないということも一因だろう。しかしながら、最大の問題は、地上生態系の絶え間ない変動に追従するには、安定した長期・連続的な観測システムが、しかも多点が必要であるということである。特に、植生の季節変動（フェノロジー）は、生態環境の変動として顕著な特徴である上に、陸上生態系モデルにも重要であり、なおかつ衛星観測可能性が比較的高い情報だが、それらを生態学的な観点でしっかりと地上検証できるデータは乏しい。

これにわずかでも応えるため、発表者らは陸上植生の季節変動・長期変動に関する長期観測網“Phenological Eyes Network (PEN)”を2003年以来、展開してきた。PENは、基本的な植生状態・分光特性・大気状態（エアロゾル等）のそれぞれの変動を定性的・定量的に長期自動観測する一方で、陸上植生の炭素収支観測網“AsiaFlux”と共同し、炭素循環・水循環の基本的な観測と結合できるような体性を目指している。さらに、LAIや入射PAR・透過PAR、個葉の特性（光合成生理、分光特性）、樹冠構造などに関する観測も行っている。これらに基づいて、植生の変動を、SVATモデルや放射伝達モデル等で追跡・再現・予測することにも取り組んでいる。

キーワード: フェノロジー, リモートセンシング
Keywords: phenology, remote sensing

衛星データを複合利用したモデル-データ統合による陸域炭素循環モデルの改善のフレームワーク

A model-data integration framework to a terrestrial ecosystem model using multiple satellite-based constraints.

市井 和仁^{1*}, 近藤 雅征¹, 植山 雅仁², 佐々井 崇博³, 小林 秀樹⁴

Kazuhiro Ichii^{1*}, Masayuki Kondo¹, Masahito Ueyama², Takahiro Sasai³, Hideki Kobayashi⁴

¹ 福島大学, ² 大阪府立大学, ³ 名古屋大学, ⁴ 海洋研究開発機構

¹Fukushima University, ²Osaka Prefecture University, ³Nagoya University, ⁴JAMSTEC

Various satellite-based spatial products, such as evapotranspiration (ET) and gross primary productivity (GPP), are now available by integration of ground observation and satellite observation. Therefore, effective use of these multiple spatial products to terrestrial biosphere models is an important step toward better simulation of terrestrial carbon and water cycles. However, due to the complexity of terrestrial biosphere models with a large number of model parameters, the application of these spatial data sets to terrestrial biosphere models is difficult.

In this study, we show an effective but simple framework to refine a terrestrial biosphere model, Biome-BGC, using multiple satellite-based products as constraints, and tested it in the monsoon Asia region (60E-180E and 80N-10S) covered by eddy-covariance observations. The framework is based on the hierarchical analysis (Wang et al. 2009) with model parameter optimization constrained by satellite-based spatial data. The Biome-BGC model is separated into several tiers to minimize the freedom of model parameter selections and maximize the independency from the whole model. For example, the snow sub-model is first optimized using satellite-based snow cover product, followed by soil water sub-model optimized by satellite-based ET (estimated by an empirical upscaling method), photosynthesis model optimized by satellite-based GPP, and respiration and residual carbon cycle models optimized by biomass data.

As a result of initial assessment, we found that the most of default sub-models (e.g. snow, water cycle and carbon cycle) showed large deviations from satellite-based products; however, these biases were removed by applying the method. For example, gross primary productivities were overall underestimated in boreal and temperate forest and overestimated in tropical forests. However, the parameter optimization scheme successfully reduced these biases. Our analysis shows that terrestrial carbon and water cycle simulations in monsoon Asia were greatly improved, and the use of multiple satellite observations with this framework is an effective way for improving terrestrial biosphere models. We also found that respiration fluxes, biomass, and soil carbon data, which are currently unavailable, are also important to constrain simulated terrestrial carbon cycles and generation of these products are urgent.

キーワード: 陸域生物圏モデル, リモートセンシング, 最適化, 炭素循環, 水循環

Keywords: terrestrial biosphere model, remote sensing, optimization, carbon cycle, water cycle

森林の放射計算にはどの程度詳細な植生構造のモデル化が必要か？ How much complexity of plant canopy structure is good enough for the light environment simulation?

小林 秀樹^{1*}

Hideki Kobayashi^{1*}

¹ 独立行政法人 海洋研究開発機構

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Most land surface models assume that a plant canopy can be abstracted as a turbid medium to compute mass, energy, and carbon exchange. The canopy is horizontally homogeneous as leaves are randomly distributed in space. Consequently, radiation only changes in a vertical direction. Lambert-Beer type light penetration scheme is widely adapted for transmission and absorption simulation of a plant canopy. In this scheme, the incoming light exponentially decreases with an increase in leaf area. Leaf inclination angle and light incident angle is considered in the model. This model is only valid when the leaves are randomly distributed in space. To consider the spatial anisotropy of leaf distribution, Nilson (1971) introduced clumping modeling. By putting the clumping index into the Lambert-Beer equation, this scheme extends the light environmental computation for non-random distribution of leaves within a plant canopy. The clumping modeling is simple. Yet, there are some issues. For example, the clumping index is not a constant value. The clumping index changes with the light incidence angle and vertical levels. Also, we cannot directly measure the clumping index. The 3-dimensional modeling of forest light environment needs a lot of ecosystem structural data sets along with a vast computation time. The recent progress of measurement techniques (e.g. LiDAR) enables to run and evaluate the realistic light environment. In this presentation, I show some of the comparison results to see how the different complexities of light penetration modeling affect the light environment.

キーワード: 放射モデル, 陸面モデル, 光環境

Keywords: radiative transfer, Land surface model, light environment

全球での生態系モデル・GOSAT L4A を含む観測主体プロダクトの相互比較 Global model inter-comparison with GOSAT L4A and support vector machine based estimates of biospheric variables

近藤 雅征^{1*}, 市井 和仁¹

Masayuki Kondo^{1*}, Kazuhito Ichii¹

¹ 福島大学 共生システム理工学類

¹ Faculty of Symbiotic Systems Science, Fukushima University

Estimation of carbon exchange in terrestrial ecosystem associates with difficulties due to complex entanglement of physical, chemical, and biological processes: thus, the net ecosystem productivity (NEP) estimated from simulation often differs among process-based terrestrial ecosystem models. In addition to complexity of the system, validation can only be conducted in a point scale since reliable observation is only available from ground observations. With a lack of reliable spatial data, extension of model simulation to the global scale results in significant uncertainty in the future carbon balance and climate change. Greenhouse gases Observing SATellite (GOSAT), launched by the Japanese space agency (JAXA) in January, 2009, is the 1st operational satellite promised to deliver the net land-atmosphere carbon budget to the terrestrial biosphere research community. Using this information, the model reproducibility of carbon budget is expected to improve: hence, gives a better estimation of the future climate change.

Because of the direct association with climate change, improving estimation of global NEP is essential; yet, global gross primary productivity (GPP) and ecosystem respiration (RE) need to improve as well for further sophistication of ecosystem modeling. In the system of carbon cycle, GPP and RE are the true physiological quantities representing photosynthesis and respiration, and NEP is a byproduct of them. Since a major purpose of process-based ecosystem models is to clarify the mechanism of carbon cycle, it is important to invest efforts to refine GPP and RE as well.

Currently, the most reliable estimate of global GPP is provided by observation-based empirical upscaling with machine learning models [Jung et al. 2011]. Machine learning regression is based on a network of eddy covariance flux tower observation, in conjunction with global satellite remote sensing and meteorological data sets. Because of the high correlation with GPP, availability of long-term global observations of vegetation indexes (e.i. EVI, NDVI, and NDWI) from operational satellites makes performance of machine learning model finer in prediction of GPP. Because of limited availability of carbon pool data, however, it is difficult to induce equivalent performance in RE with machine learning models [Jung et al. 2011]. Instead of a direct estimation, combination of global GPP estimated by machine learning regression and NEP from GOSAT L4A would produce a more reliable budget of global RE.

This initial analysis is to compare a set of observation-based global carbon flux products, NEP from GOSAT L4A, GPP from support vector machine regression, and RE from a combination of them, with three types of TEMs and an inversion model: Biome-BGC (prognostic model), CASA (diagnostic model), LPJ (dynamic vegetation model), and Carbon Tracker (inversion model). Comparison was conducted with the standardized format based on GOSAT L4A: 42 sub-continental tiles and monthly temporal coverage from June 2009 to May 2010. Through the comparison, we discuss similarities and dissimilarities in (1) seasonal variations, (2) global and annual averages, (3) variability with climate (air temperature, precipitation, and solar radiation).

Reference

Jung, M., et al. (2011), Global patterns of land-atmosphere fluxes of carbon dioxide, latent heat, and sensible heat derived from eddy covariance, satellite, and meteorological observations, *Journal of Geophysical Research*, 116.

Acknowledgement

The study is financially supported by the Environment Research and Technology Development Fund (RFa-1201) of the Ministry of the Environment of Japan, and Global Change Observation Mission ? Climate (GCOM-C) of Japan Aerospace Exploration Agency.

キーワード: GOSAT, 機械学習回帰, 陸域生態系モデル, 炭素循環

Keywords: GOSAT, machine learning regression, terrestrial ecosystem model, carbon cycle

ADMIP: アジア乾燥地モデル比較プロジェクト ADMIP: Asian Drylands Model Intercomparison Project

立入 郁^{1*}, 市井 和仁², 近藤 雅征², 伊藤 昭彦³, 馬淵 和雄⁴, 宮崎 真⁵, 萬 和明⁶, 浅沼 順⁷

Kaoru Tachiiri^{1*}, Kazuhito Ichii², Masayuki Kondo², Akihiko Ito³, Kazuo Mabuchi⁴, Shin Miyazaki⁵, Kazuaki Yorozu⁶, Jun Asanuma⁷

¹ 海洋研究開発機構, ² 福島大学, ³ 国立環境研究所, ⁴ 気象研究所, ⁵ 北海道大学, ⁶ 京都大学, ⁷ 筑波大学

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ² Fukushima University, ³ National Institute for Environmental Studies,

⁴ Meteorological Research Institute, ⁵ Hokkaido University, ⁶ Kyoto University, ⁷ Tsukuba University

本発表では、現在進行中の「アジア乾燥地モデル比較プロジェクト」について紹介する。このプロジェクトは、その名が示すようにアジアに広く分布する乾燥地に焦点を当てる。降水量が少なく生物生産の小さい乾燥地は脆弱性が高く、環境条件の年々変動も大きい。このような環境条件はモデル化が困難であり、そのためモデル不確実性が大きい。

本プロジェクトの目的は、陸面モデルの予測の不確実性の大きさを示すことと、モデル予測の精度を向上させることである。参加モデルは18を数え、この中には陸域生態系モデルと陸面モデルの両方が含まれる。これらのモデルは目的や入出力変数が異なっているので、比較のためには多くの変数のデータがそろっているサイトが必要である。検討の結果、Kherlenbayan-Ulaan (モンゴル) と Tongyu (中国) を比較サイトに設定した。また地上観測データのほか、衛星画像データを援用し、またモデルのスピンアップには再解析データを利用する。

実験は (0): デフォルトのパラメータ値を使った実験、(1): 文献に記載されたパラメータ値を使った実験、(2): 重要な変数の再現性を高めるようにチューニングされたパラメータ値を使った実験の3ステージに分かれている。発表では、ステージ0と1の結果の一部を示す予定である。

キーワード: アジア, 乾燥地, 陸域生態系モデル, 陸面モデル, 観測データ

Keywords: Asia, Drylands, Terrestrial ecosystem models, Land surface models, Observation data

モデル相互比較による全球土壌炭素予測における気候変動影響評価

The assessments of climate change impact on global SOC stock by a model intercomparison project

仁科 一哉^{1*}, 伊藤 昭彦¹, 加藤 悦史¹, 横畠 徳太¹, ISI-MIP participants²

Kazuya Nishina^{1*}, Akihiko Ito¹, Etsushi Kato¹, Tokuta Yokohata¹, ISI-MIP participants²

¹ 国立環境研究所, ²ISI-MIP team

¹National Institute for Environmental Studies, ²ISI-MIP team

土壌有機物炭素 (SOC) は陸域生態系における最も大きな炭素プールであり、その賦存量はおおよそ大気二酸化炭素の2倍から3倍に達すると見積もられている。陸域生態系の炭素滞留時間については地球システムの炭素循環を考える上で、地上部植生の動態とともに土壌有機物炭素動態の定量的把握は非常に重要である。特に温暖化を始めとする様々な環境変化は、土壌炭素循環のバランスを大きく変化させると考えられる。本研究では著者らグループが参画したボツダム気候研究所主導によるモデル相互比較プロジェクト (Inter sectoral impact model intercomparison project) で得られた計算結果を用いた。本プロジェクトでは、RCP ベースで計算された5つのGCMを用いた共通の気候 (社会) シナリオを基に複数のセクター (水、農業、農業経済、生態系、マラリアなど) の各全球モデルでシミュレーションを行い、今世紀末までの気候変動影響評価を行ったものである。加えて生態系セクターでは、RCP8.5の気候条件下においてCO₂濃度を上昇させないCO₂固定実験を行った。本研究では7つの生態系モデル (Hybrid, JeDi, JULES, LPJmL, ORCHIDEE, SDGVM, VISIT) で計算された土壌炭素動態の結果を用いた。複数気候モデルによる複数生態系モデルの計算結果利用によって気候変動影響および将来土壌炭素予測の不確実性を評価した。本研究では各生態系モデルの全球土壌炭素を地球システムの1コンパートメントとして捉え、全球植生バイオマス炭素と全球SOCの時系列データから、状態空間モデルを用いて各モデルの全球代謝速度およびその全球平均気温上昇および全球降雨量偏差への感受性を評価する手法を提案した。

本研究結果から、同一気候条件下においても生態系モデルによって全球SOCは正味のシンクからソースまでを示し、高い不確実性を有することが示された。放射強制力が高いRCP8.5シナリオでは、2100年時で2000年の全球土壌炭素量と比較して $122 \text{ Pg-C} \sim 347 \text{ Pg-C}$ の幅で推移した。この大きな不確実性は、全組み合わせの時系列データのスペクトル解析の結果から、RCPやGCMによる気候変数の不確実性よりも、生態系モデルの違いに由来することが示された。生態系モデル間に違いは、各モデルの全球代謝速度およびその全球平均気温上昇への感受性によって、対応付けすることができた。一方で、いずれの生態系モデルでも全球SOCに動態の全球降雨量偏差への感受性は低く、全球降雨量偏差は全球土壌炭素動態の指標には成り得ないことが示された。発表では全球レベルでのSOC変動に加え、地域的なモデル間の差異についても合わせて議論する。

キーワード: 土壌有機物炭素, RCP, GCM, モデル相互比較プロジェクト, 不確実性

Keywords: Soil organic carbon, RCP, GCM, Model intercomparison, Uncertainty

作物収量統計データを利用した作物成長モデルのMCMCによる全球キャリブレーション

Calibrating the parameters of a crop growth model using MCMC algorithm with statistical yield data in global scale.

櫻井 玄^{1*}, 飯泉 仁之直¹, 横沢 正幸¹
Gen Sakurai^{1*}, Toshichika Iizumi¹, Masayuki Yokozawa¹

¹ 独立行政法人農業環境技術研究所

¹ National Institute for Agro-Environmental Sciences

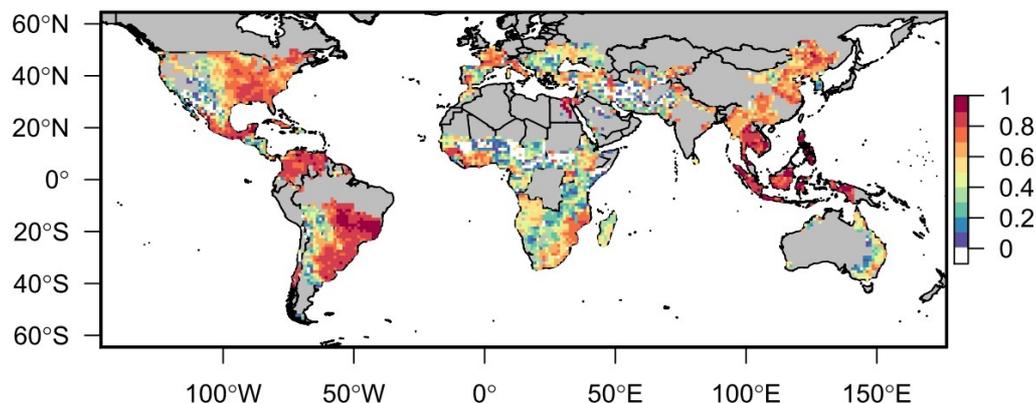
陸地生態系において、農地の面積は大きな割合を占め、森林と同様、大気環境とのフィードバックにおいて大きな役割を果たす。また、今後予想される世界の人口増加に伴い、農地面積の拡大はさらに増加の一途をたどることが予測され、農地における作物の環境応答を明らかにすることは極めて重大な課題となっている。一方で、作物の成長モデルの行為展開における大きな課題の一つに、作物品種及び農法の大きな空間変異があげられる。地域によって、作物品種や農法が大きく異なるため、温暖化や降水量の変化、大気中二酸化炭素濃度変化に対して、どのように応答するのが大きく異なり、その違いを作物モデルのパラメータにどのように地域ごとに反映させるかが大きな問題となる。

本研究では、これらの問題を解決する作物モデル(PRYSBI2) (Sakurai et al. in prep)を開発した。このモデルでは、各地域のパラメータはMCMCにより推定し、最適化している。作物モデルのキャリブレーションにおけるアドバンテージは、世界各国の収量統計データを利用することができるという点である。近年、関係各機関から作物の収量に関する県・郡・州レベルの作物統計データを入手し、それを $1.125^\circ \times 1.125^\circ$ の全球グリッドに割り当て、全球作物収量時系列データ (Iizumi et al. in prep) が作成されているので、このデータを用い、世界の主要作物であるコムギ・ダイズ・トウモロコシ・コメの4品種について、それぞれの作物モデルをそれぞれのグリッドにおいて、マルコフ連鎖モンテカルロ法(MCMC)を用いて、パラメータの事後分布を推定した。対象パラメータとして、水分ストレスや窒素ストレスに関わるパラメータとともに、温度感受性や生長期間を決めるパラメータなど、品種や地域の違いに関するパラメータがキャリブレーションされた。その結果、世界のほとんどのグリッドにおいて、過去の作物収量統計データと高い相関を持つ、作物生産性予測モデルを作成することができた。本発表では、上記のように過去の実収量統計データを用いてキャリブレーションされたモデルを用い、過去の気候変動の影響について解析し議論する。

キーワード: 農業生態系, MCMC, 作物収量, 作物モデル, 統計収量データ, 全球スケール

Keywords: Agro-ecosystem, MCMC, crop yield, crop growth model, statistical yield data, global scale

トウモロコシにおける観測値とモデル予測値の相関係数



全球作物生産性 - 水資源量予測統合モデルの開発

Development of a global integrated model for predicting both crop production and water resources

岡田 将誌^{1*}, 飯泉 仁之直¹, 櫻井 玄¹, 横沢 正幸¹

Masashi Okada^{1*}, Toshichika Iizumi¹, Gen Sakurai¹, Masayuki Yokozawa¹

¹ 独立行政法人 農業環境技術研究所

¹ National Institute for Agro-Environmental Sciences

作物の生育は主に気温、降水量や日射量などの環境条件により決まる。そのため、世界の食糧生産性を予測するために、それら環境条件及び栽培条件に応じた作物の生育・生長過程を記述しているモデル（広域作物モデル）が用いられてきた。一方で、現在の世界の作物生産性の程度は、灌漑を含めた水需給バランスのもとで成立しており、農業に利用可能な地域の水資源量に大きく影響を受ける。将来の気候変化や、人口増加及び社会経済的発展に伴う水需要量の増加により、農業に利用可能な水資源量に影響が及ぶことが予想される。そうしたなか、既存の広域作物モデルは、自然・人間活動による複合影響を考慮した地域の水資源量変動による効果を適切に表現されていない問題点がある。

そこで本研究では、Sakurai *et al.* (in prep) が開発した広域作物モデルに、既存の広域水資源モデルと結合することによって、世界の水資源の動的相互作用を考慮した広域作物生産性予測モデルを構築することを目的とする。モデル適用地域として、半乾燥地域を含み、広大な農耕地が広く分布し、気候変化の影響を強く受けると考えられる中国東北部を選定した。本研究では、中国東北部の主要河川流域である松花江流域において各水収支項の予測再現性の検証を行った。

本研究で構築した全球作物生産性 - 水資源量統合モデルは、広域スケールでの作物生育・収量形成モデル PRYSBI2 (Sakurai *et al.*, in prep) に、全球スケールでの水資源量を動的に推定することのできるモデル H08 (Hanasaki *et al.*, 2008) との結合を行ったものである。オリジナル H08 は、陸面過程サブモデルとして、Leaky bucket モデルを用いているが、土壌水文パラメータに関する詳細な地域差異を反映するため、本モデルでは SWAT (Soil and water Assessment Tool (USDA)) を導入する。新たに作成するモデルは、作物生育・収量形成サブモデル、陸面過程サブモデル、河川サブモデル、貯水池操作サブモデル、農業・工業・家庭用水取水サブモデルから構成している。陸面過程サブモデルにより計算される地表面流出及び深部浸透を H08 の河川サブモデルに入力する。H08 により計算される水資源量の一部を、農業・家庭・工業用水水需給バランスを考慮したうえで、灌漑供給水として陸面過程サブモデルに入力する。本モデルは日別で計算を行う。

松花江流域において、各水収支項について、衛星データを併用した観測値と比較した結果、土壌水分量や蒸発散量の推定誤差は比較的小さく、良好に再現できることがわかった。さらに、過去の農業統計によりマルコフ連鎖モンテカルロ法を用い推定された作物モデルパラメータから作物応答を予測した結果、収量の長期間トレンドや年々変動を良好に再現でき、特に農業が盛んな中国東北平原においてその再現性が高いことを示すことができた。

半乾燥地域のような水資源が脆弱な地域において、作物の生育過程や生産性を予測するためには、地域の利用可能な水資源量を動的に予測することは不可欠である。本研究で構築した統合モデルは、利用可能な水資源量の動的な相互作用を考慮した作物生育応答を予測することができ、とりわけ水資源量の脆弱な地域において、気候変化による流域の水資源量変動やそれに伴う灌漑プロセスを介した作物生産量の影響を評価するために、大変有効なツールであるといえる。

キーワード: 作物生産量, 水資源量, 統合モデル, 広域スケール

Keywords: crop production, water resources, integrated model, large-scale

地球システムモデルにおける陸域生態系の炭素循環フィードバック Terrestrial carbon cycle feedbacks in the Earth system models

羽島 知洋^{1*}

Tomohiro Hajima^{1*}

¹ 海洋研究開発機構

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

人為活動により大気へと排出されたCO₂は、陸域生態系や海洋に一部吸収されるものの、全ては吸収されず大気に残留し、これにより大気CO₂濃度が上昇する。これが原因で大気の放射バランスが崩れ、全球規模での温暖化・気候変化が生じる。地表付近の気象の変化や大気CO₂濃度の上昇といった大気環境の変化は、陸域生態系の様々な過程(光合成、蒸発散、独立/従属栄養呼吸、成長、枯死等)に影響を及ぼし、陸域生態系における正味の炭素吸収量を変化させる。これまで、環境変化が陸域の炭素循環過程に作用するプロセスは、便宜的に2通りに分けて考えられてきた。一つは気温上昇や降水量変化を介したプロセスである。例えば、気温上昇により生態系の呼吸速度が上昇し、大気CO₂の増加に拍車をかけるといった過程である(気候-炭素循環フィードバック)。二つ目は、大気CO₂濃度の上昇によって光合成速度が増加し、それに伴って植物・土壌の炭素貯留量が増加するという過程である(大気CO₂-炭素循環フィードバック)。この過程は大気CO₂濃度の上昇を緩和する方向に作用する。これら2つの過程のバランスにより、陸域生態系の正味の炭素吸収量が決まる。気候モデルに海陸生態系の物質循環過程を組み込んだ“地球システムモデル”では、このような陸域(海洋)生態系における一連の炭素循環過程およびフィードバックプロセスが明示的に取り扱われており、炭素循環のフィードバックの強さを計測することが可能である。本研究ではまず、地球システムモデル“MIROC-ESM”に対して複数のシナリオを与えたとき、陸域の炭素循環がどのように応答するのかを調べた。その結果、積算 Airborne fraction で計測される炭素循環の応答は、シナリオ間で大きく異なるということがわかった。またこの違いは、主に大気CO₂-炭素循環フィードバックによってもたらされている可能性が高い、という結果が得られた。陸域生態系の炭素循環フィードバックの感度を比較するため、単一シナリオを使用してモデル間比較を実施したところ(共同研究)、特に陸域生態系における大気CO₂-炭素循環フィードバックの強度がモデル間で大きく異なっていることがわかった。その結果、各モデルから得られる許容CO₂排出量の見積もりも大きなばらつきを示し、大気CO₂-炭素循環フィードバック過程に関わる陸域生態系の諸過程が、モデルの予測精度を向上させる上で重要であることが示唆された。

ボルネオ島の土地利用変化と気候変動が生態系の炭素収支に与える影響評価 Effect of land-use and climate changes on carbon budget in Borneo Island using VISIT model

安立 美奈子^{1*}, 伊藤昭彦¹, 竹内渉², 山形与志樹¹

Minaco Adachi^{1*}, ITO, Akihiko¹, TAKEUCHI, Wataru², YAMAGATA, Yoshiki¹

¹ 国環研, ² 東大

¹NIES, ²University of Tokyo

1. はじめに

人為的な炭素排出のうち約2割は土地利用変化によるものと言われ、特に熱帯林の森林減少や劣化防止によるCO₂排出削減効果 (REDD+) の評価が急務の課題となっている。熱帯林の多くは、正味の森林面積や伐採面積が不明なままであるが、最近の衛星データを解析した研究により森林伐採による炭素放出量は非常に大きいと言われている。南米アマゾンでは欧米の研究者を中心に野外観測やデータ解析研究が進んでいるが、東南アジアにおいては観測やモデル研究事例が少なく、熱帯林の炭素収支の推定は誤差が大きい。本研究では、MODISによる衛星画像を用いて森林・非森林の面積推移の結果と陸域生態系モデル VISIT を用いて、土地利用変化によるボルネオ島全体の炭素収支の変化について解析を行った。また、過去から将来の気候変化に対する VISIT モデルの計算結果より、気候変化による炭素収支への影響についても考察する。

2. 方法

本研究では、2002年から2008年のボルネオ島におけるMODISの衛星画像を用いて、森林・非森林の年々変動から森林伐採面積および農地面積を1kmメッシュで算出した。一度伐採された土地はすべて農地と仮定して計算を行い、農地はすべてアブラヤシプランテーションとした。この結果と、陸域生態系モデル VISIT を用いてボルネオ島全体の炭素収支を1kmメッシュにて算出した。土地利用変化を考慮しない場合(ボルネオ島のほぼ全体が常緑広葉樹林)の炭素収支との比較を行い、土地利用変化がボルネオ島の炭素収支に与える影響評価を行った。1948年から2011年まではNCEP/NCARおよびWorldClimの気象データ、また現在から2100年まではGCMデータを用いて計算を行った。

3. 結果および考察

土地利用変化を考慮しない場合の炭素収支は、考慮した場合に比べて、総一次生産量(GPP)やバイオマス量、土壌呼吸量などは1割から2割の過大評価となることが示された。また、高温多雨であった1986年と、低温少雨であった1999年におけるボルネオ島のGPPの平均値の差は、3.01tC ha⁻¹ yr⁻¹であったのに対し、2003年から2008年において土地利用変化を考慮した場合と考慮しなかった場合のGPPの差は3.33?5.15 tC ha⁻¹であったことから、気候変動よりも土地利用変化の方が炭素収支に大きく影響することが示唆された。この結果から、温暖化緩和の観点から土地利用管理の重要性が示された。また、将来予測の結果とも比較して、土地利用変化の影響について議論を行う。

気候変動に伴った東シベリアの植生・凍土システム変化：シミュレーションによる検討

Simulation study of the vegetation structure and function in eastern Siberian larch forests under changing climate

佐藤 永^{1*}, 小林 秀樹², 岩花 剛³, 太田 岳史⁴, アレキサンダー フェドロフ⁵
Hisashi Sato^{1*}, Hideki Kobayashi², Go Iwahana³, Takeshi Ohta⁴, Alexander Fedorov⁵

¹名古屋大学大学院 環境学研究科, ²海洋研究開発機構 地球環境変動領域, ³アラスカ大学・国際北極圏研究センター, ⁴名古屋大学大学院 生命農学研究科, ⁵ロシア科学アカデミー・シベリア支部 永久凍土研究所
¹Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, ²Research Institute for Global Change, JAMSTEC, ³International Arctic Research Center, University of Alaska Fairbanks, ⁴Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University, ⁵Melnikov Permafrost Institute

東シベリアには主にカラマツから構成される落葉性針葉樹林帯が広がる。これは、世界最大の針葉樹林帯であり、その変化が炭素収支に与える影響は大きい。また冬の長い期間、積雪に覆われるため、植被の変化は露出する雪面の比率を変え、短波放射の反射率(アルベド)を大きく変化させる事で、気候へ強いフィードバックを与える。例えば、今後の温暖化に伴って、主要構成樹種が落葉性のカラマツから常緑性のアカマツに入れ替わる可能性も指摘されており、この場合、アルベドが下がることで温暖化が加速するとも指摘されている(Yan & Shugart 2005)。よって、東シベリアの植生変動は、全球規模の気候システムに大きな影響を与えるものであり、これを的確に予測することの重要性は高い。

そこで本講演では、東シベリア域における植生や凍土動態を再現する動的植生モデルを構築し、今後数十年～数百年の間に予測される気候環境変動の元で、この系がどのような挙動を示すのかについての、定量的な見積もりを発表する。加えて感度分析(フォーシングデータや素過程のパラメーター値を変えた時のシミュレーション出力の変化の分析)により、どの環境因子や物理・生態・生理プロセスが、予測結果に大きな変動をもたらすのかについても発表する。本講演では特に、この地域の森林動態と大気・水循環に与えるフィードバックに対して、次の因子がもたらす効果についてのシミュレーションによる検討結果を扱う:(a) 大気中CO₂濃度変化と気候変化シナリオの違い、(b) 凍土過程の扱い方、(c) 山火事頻度。山火事についての検討を加えた理由は、別の研究者グループによる先行研究において、カラマツ林の維持と更新に山火事が欠かせないことが示唆されているためである(Zhang et al. 2011)。

ところで、東シベリアのように急速な気候変化が予測される地域では、樹種の入替わりに要する時間は、主に植物個体群動態プロセスが支配する。なぜならば、樹種の交代には、侵入した木本が定着し、既存樹種との間の競争に打ち勝ち、その被度を徐々に拡大させるという、一連の植物個体群動態プロセスを経るからである。木本は一般に、寿命が長く、また種子拡散距離が短いため、この一連のプロセスには数百年から数千年スケールの期間を要することが、古生態学的研究から明らかにされている。本講演で紹介する研究においては、講演者らによって開発された動的全球植生モデル(DGVM)であるSEIB-DGVM(Sato et al. 2007, 2010)を基礎モデルとして用いた。SEIB-DGVMは、陸面を30m × 30m、または100m × 100mの大きさの仮想植生で代表させ、そこに個体として扱った木本を定着させ、それぞれが置かれた条件の下で、光と空間をめぐる局所的な競争を行わせることで、植物個体群動態プロセスを明示的に扱っており、このような急速な気候変動の元における植生変化をシミュレーションする用途に適している。本講演では、環境変化に対する森林生態系システムの応答において、そのような植物個体群動態プロセスが果たす役割に関しても、紹介を行う予定である。

Sato, H., Itoh, A., & Kohyama, T. (2007) SEIB-DGVM: A new dynamic global vegetation model using a spatially explicit individual-based approach, *Ecol. Model.*, 200, 279-307.

Sato, H., Kobayashi, H., & Delbart, N. (2010) Simulation study of the vegetation structure and function in eastern Siberian larch forests using the individual-based vegetation model SEIB-DGVM, *For. Ecol. Manage.*, 259, 301-311.

Yan, X. D., & Shugart, H. H. (2005) FAREAST: a forest gap model to simulate dynamics and patterns of eastern Eurasian forests, *J. Biogeogr.*, 32, 1641-1658.

Zhang, N., Yasunari, T., & Ohta, T. (2011) Dynamics of the larch taiga-permafrost coupled system in Siberia under climate change, *Environmental Research Letters*, 6.

キーワード: カラマツ, 東シベリア, 永久凍土, SEIB-DGVM, 山火事, シミュレーション

Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



ACG37-12

会場:201A

時間:5月21日 17:15-17:30

Keywords: Larch, Eastern Siberia, Permafrost, SEIB-DGVM, Wild fire, Simulation study