

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25281003

研究課題名(和文)モデル-データ相互比較実験を通じたアジア域の陸域炭素収支推定の不確実性低減

研究課題名(英文)Refinement of terrestrial carbon budget estimation in Asia through model-data intercomparison

研究代表者

市井 和仁 (ICHI, Kazuhito)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球表層物質循環研究分野・主任研究員

研究者番号：50345865

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：AsiaFluxに代表される地上観測データと様々な衛星データと複数の陸域生態系モデルを用いて、モデル・データ相互比較実験を行うことで、アジア域における陸域炭素収支の変動を定量化し、その変動要因を解析した。まず、AsiaFluxデータ等のデータと衛星データを利用した経験モデルを構築し、アジア域のCO<sub>2</sub>フラックスを2000-2015年の期間で推定した。更に共通の実験設定下で複数の陸域炭素循環モデルを動作させ、様々なデータと比較した。シベリア域では経験モデルとのCO<sub>2</sub>収支推定結果と一貫性が高いことを示した。一方で、熱帯域についてはモデル間の違いや経験モデルとの違いが大きく、今後の課題として残された。

研究成果の概要(英文)：Terrestrial carbon budget in Asia was analyzed using network data of site observation (e.g. AsiaFlux), remote sensing data, and terrestrial ecosystem models. Data-driven terrestrial CO<sub>2</sub> fluxes were estimated using AsiaFlux observation and remote sensing data with a machine learning method. The data-driven estimation of CO<sub>2</sub> fluxes were further evaluated with outputs from multiple terrestrial biosphere models, and we found consistent interannual variations and gradual increases in CO<sub>2</sub> sink in Siberia. We also found large model-data differences in tropical Asia region.

研究分野：物質循環

キーワード：陸域炭素循環 モデリング リモートセンシング 渦相関法 AsiaFlux モデル比較

### 1. 研究開始当初の背景

陸域生態系は人為的活動により排出された二酸化炭素の約 1/4 を吸収しているとされているが、将来の地球環境変動に対する応答が極めて不確実であることが問題とされている。その為、地球温暖化に代表される地球環境変動の理解・予測において、陸域炭素循環の理解が不可欠である。

全球や大陸規模の陸域炭素収支の推定には、複数の陸域炭素循環モデル(ボトムアップ推定; 個々のプロセスの積み上げによる推定)や大気インパースモデル解析(トップダウン推定; 大気 CO<sub>2</sub> 濃度観測と大気輸送モデルを用いた逆計算による推定)などの結果を統合して見積もられている。例えば、世界的な炭素収支評価プロジェクトである GCP (Global Carbon Project) では、モデルを用いて様々な大陸の陸域炭素収支の推定が進められている。東アジアにおいても、複数の陸域炭素循環モデルなどを用いた大陸スケールの炭素収支の推定が行われた。しかしながら、現状のモデルでは、推定された陸域炭素収支がモデル毎に異なり、その地理分布も大きく異なることが指摘されており、陸域炭素循環モデル自体が大きな不確実性を持ち、モデル毎に炭素収支の推定結果が大きく異なることが問題点である。さらに現状では、より多くの観測データが入手できる状況となっており、これらの観測データにより制約された陸域炭素収支の提示が必要である。

### 2. 研究の目的

本研究は、アジア域を対象にして、国内外の複数の陸域炭素循環モデルと様々な観測データ(地上観測、衛星観測)や手法(大気インパースモデルによる推定結果)との比較(モデル データ相互比較; Asia-MIP)を通して、モデルや他データのばらつきの要因となる素過程の特定と改良を行い、アジア広域の陸域炭素・水循環を駆動するメカニズム(例: 気候・人為影響)の特定、陸域炭素収支の推定精度の向上を目的とした。特に、様々な観測データを多く利用することで、観測データにより制約されたモデル比較研究を目指した。例えば、AsiaFlux に代表される渦相関法による CO<sub>2</sub> フラックス観測ネットワークデータや、GOSAT 衛星に代表される最新の衛星観測データの利用を通じた比較解析に重点を置いた。

### 3. 研究の方法

まずは AsiaFlux データを中心とした観測データの収集と整備を行った。本研究では、AsiaFlux に加えてヨーロッパデータベース (European Database) や森林総研フラックスネット (FFPRI-Fluxnet) などのデータを加えることにより、西シベリアや北極域など

AsiaFlux では十分にカバーできなかった地域までカバーすることを目指した。これらに統一的な前処理を行うことにより、広域において一貫した処理を施したデータセットを構築した。本研究では、アジア周辺域の計 53 サイトのデータを利用した。サイト分布を図 1 に示す。

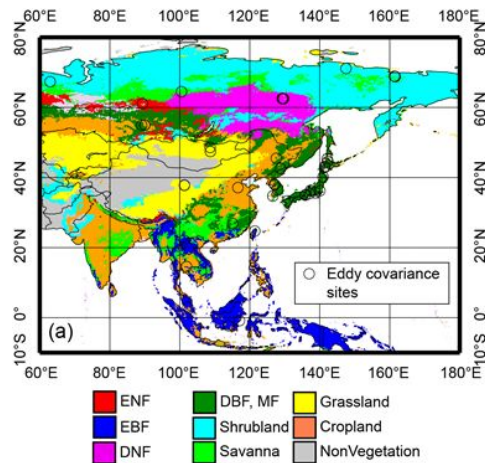


図 1. 本研究で対象とした地域とフラックス観測ネットワークサイト(図中)。

これらのデータと衛星データを用いて機械学習(ここではサポートベクタ回帰アルゴリズム(以下 SVR とする))を利用したにより、アジア域における熱・水・CO<sub>2</sub> フラックスを推定した。モデルの構築にあたっては、入力データとして、MODIS センサを代表とする様々な衛星観測データのみで駆動するモデルとした。構築されたモデルは、観測サイト、アジア広域において、地上観測データや他の衛星観測プロダクト(GOME-2 センサによる太陽光励起クロロフィル蛍光や GOSAT 衛星プロダクトの大気-陸域 CO<sub>2</sub> 収支など)など様々な評価を行った。

モデルの実行に際しては、図 1 に示したアジア域の観測サイトにおけるモデルランとアジア広域におけるモデルランを実行した。本研究(Asia-MIP)に参加したモデルは、国内外から合わせて 7 種類のモデルが参加した。具体的には、BEAMS, Biome-BGC, CASA, DLEM, LPJ, SEIB-DGVM, TRIFFID である。サイトレベル、アジア広域の両者の実験に対して、全モデルに共通した入力データと実験手順の準備を行い、モデルを実行し、その結果を収集して解析した。対象期間は、1801 年~2012 年とし、アジア広域モデルラン実験においては、陸域 CO<sub>2</sub> 収支の変動要因を探るために、いくつかの感度実験(土地利用変化を考慮したもの、考慮しないもの、気候変動のみを考慮したもの、CO<sub>2</sub> 濃度変動のみを考慮したもの)も合わせて実施した。

### 4. 研究成果

AsiaFlux など計 53 観測サイトのデータを収集し、計 249 サイト・年の統一された前処

理を施したデータセットを構築した。これらは既存のアジアにおける観測サイトのデータと比較して、格段に多くのサイトを含むものである。

これらのデータと衛星観測データを利用してSVRにより観測サイトで経験モデルを構築した。対象とするパラメータは総一次生産量 (Gross Primary Productivity; GPP)、生態系交換量 (Net Ecosystem Exchange; NEE) とした。構築されたモデルと広域の衛星観測データを利用することで、上記のパラメータをアジア域において、2000-2015年の期間を8日単位で推定した(図2)。

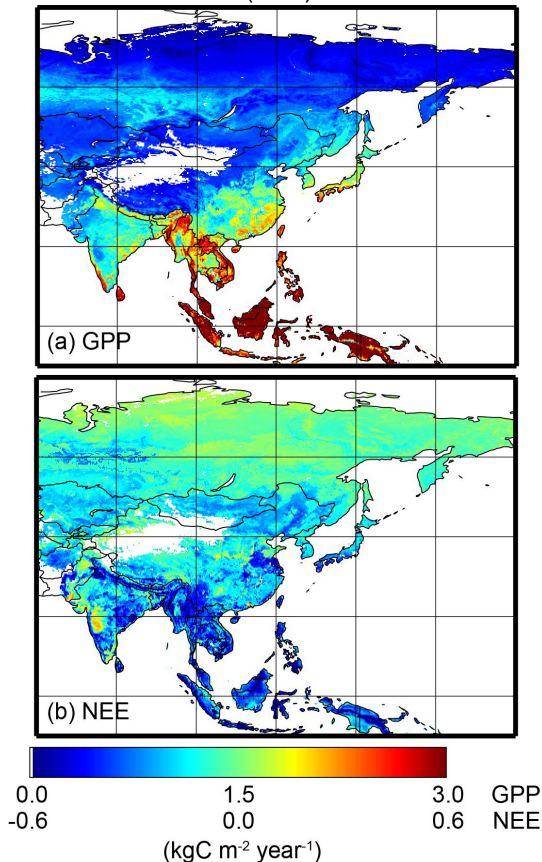


図2. SVRで推定されたアジア域のGPPとNEE。2000-2015年の年平均値を示した。

次に、共通の実験条件のもとで複数の陸域炭素循環モデルを動作させ、モデルシミュレーションを実施した。様々な実験結果のうち、主要な結果を以下に例示する。

Asia-MIPのモデル出力のうち、GPPについては亜大陸スケールにおいて、NOAA衛星AVHRRセンサーデータからの植生指数(NDVI)データを用いて、経年変動の傾向を比較した(図3)。アジア域では、熱帯域(東南アジア)を除いては、各モデルのGPPとNDVIの経年変動がよい一致を示した。特に、シベリアで特に高い一致が見られた。これらの地域においては、陸域モデルの出力結果については、経年変動の再現性については妥当であると結論される。東南アジアについては、衛星観測・モデルともに様々な要因が考えられ、今後の改善の余地が大きい。

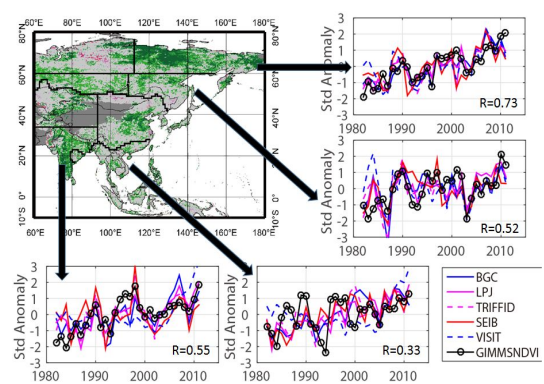


図3. Asia-MIP参加モデルによる光合成量と衛星観測の植生指数(NDVI)の経年変動の比較。左上図は1982-2011年の植生指数NDVIの増減傾向(緑は増加)を示す。グラフの縦軸は標準化変量を示す。

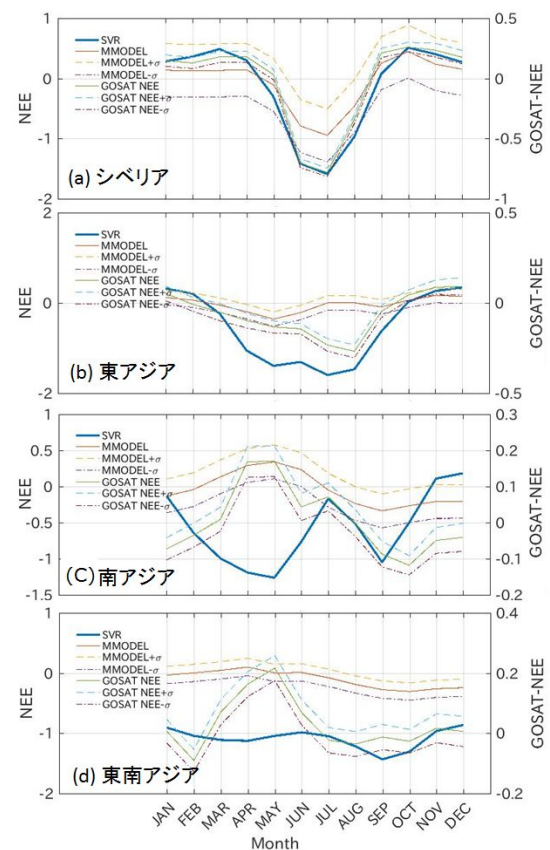


図4. Asia-MIP参加モデルによる大気-陸域CO<sub>2</sub>交換量と経験モデルの結果、GOSATレベル4Aプロダクトの結果との比較。月別平均値を示した。

モデル出力のNEEについては、上記で構築したSVRによる結果と、GOSATレベル4Aプロダクト(大気-地表CO<sub>2</sub>交換量)との比較を行った(図4)。季節変動に関してみると、シベリア地域では、モデルは多少季節変動の振幅を過少評価しているものの、おおむねGOSATやSVRの結果と一貫した結果となっている。またSVRとGOSATの結果は非常によい一致を示した。東アジアについても3種類の推定法間で多少の違いがあるものの、おおむね一貫した季節変動が得られた。一方で、南

アジアや東南アジアについては、3種類の推定法間で異なる季節変動を示しており、例えば、SVR に関しては、特に南アジア周辺の観測サイトの充実と熱帯でのモデル改善が必要であり、陸域モデルに関しては、観測サイトデータをより利用したモデルの改善や攪乱などの影響の評価が必要であることが示唆された。

さらにモデル結果と衛星観測などの結果がよく一致したシベリア地域について、過去30年にわたり、本研究の結果(SVRとAsia-MIPモデル結果)とトップダウン推定(大気インバースモデルによる結果)の比較を行った(図5)。過去30年に渡って、Asia-MIPモデル(図中の灰色; Bottom-up Estimate)と大気インバースモデル結果(図中の黄色; Top-down Estimate)ともに陸域でよりCO<sub>2</sub>が吸収されていることが一貫して示された。また、SVRによる結果(図中の赤)も、期間は短いながらもその期間での増加傾向がみられた。さらに、SVRによる結果は経年変動成分ではAsia-MIPモデルとよく一致していたが、CO<sub>2</sub>吸収量では大気インバースモデル結果に近かった。

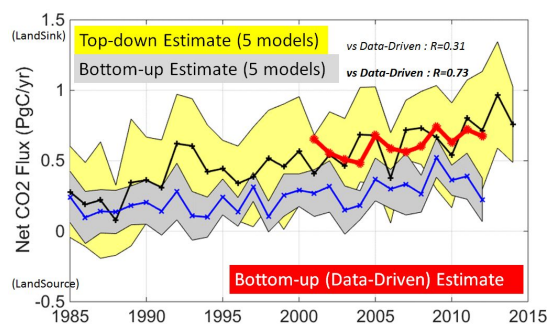


図5. シベリアにおけるAsia-MIP参加モデルによる大気陸域CO<sub>2</sub>収支とトップダウン推定によるCO<sub>2</sub>収支の比較。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計7件)

Ichii K., M. Kondo, M. Ueyama (印刷中) Current status of empirical estimates of terrestrial carbon and water cycles using eddy-covariance network and remote sensing data, iLEAPS Newsletter. (査読無)

Sasai T., H. Obikawa, K. Murakami, S. Kato, T. Matsunaga, R.R. Nemani (2016) Estimation of net ecosystem production in Asia using the diagnostic-type ecosystem model with a 10-km grid-scale resolution. *J. Geophys. Res.* doi: 10.1002/2015JG003157. (査読有)

Ichii K., W. Ju, K.S. Chen, G. Zhou, S. Niu, Y.H. Lee, D.Y.F. Lai (2015) Synthesis and assessment of carbon and

water budget in Asia: Current and Future Aspects. *AsiaFlux Newsletter*, 38, 26-28. (査読無)

市井和仁, 植山雅仁 (2015) 地上観測データと衛星観測データの統合による広域の陸域二酸化炭素収支の推定, 海外の森林と林業, 92, 1-6. (査読無)

Sato H., A. Ito, A. Ito, T. Ise, E. Kato (2014) Current status and future of land surface models. *Soil Science and Plant Nutrition*, 61, 34-47, doi: 10.1080/00380768.2014.917593. (査読有)

Ichii K., M. Kondo, M. Ueyama, N. Ueyama, H. Kobayashi, S.J. Lee, N. Saigusa, Z. Zhu, R.B. Myneni. (2013) Recent changes in terrestrial gross primary productivity in Asia from 1982 to 2011. *Remote Sensing*, 5, 6043-6062, doi: 10.3390/rs5116043. (査読有)

[学会発表](計23件)

Ichii K., M. Kondo, M. Ueyama, N. Saigusa (2016) Linking AsiaFlux data and GOSAT observation for terrestrial CO<sub>2</sub> studies. AsiaFlux Mini Workshop on Remote Sensing and Ecological/Environmental Monitoring, National Taiwan University, Taipei, Taiwan. 2016年3月3日.(招待講演)

Sato H., G. Iwahana, T. Ohta (2016) SEIB implementation in Earth System Models: lessons from an individual-based approach. Ecosystem Demographic in the Earth System, National Center for Atmospheric Research, Boulder, USA. 2016年1月19日.(招待講演)

Ueyama M., K. Ichii, H. Kobayashi, et al. (2015) Ecophysiological parameters for a coupled photosynthesis and stomatal conductance model derived from eddy covariance measurement in Asia. American Geophysical Union Fall Meeting 2015. Moscone Center, San Francisco, USA. 2015年12月17日.

Ichii K., M. Kondo, M. Ueyama, A. Ito, H. Kobayashi et al. (2015) Changes in terrestrial CO<sub>2</sub> budget in Siberia in the past three decades. American Geophysical Union Fall Meeting 2015. Moscone Center, San Francisco, USA. 2015年12月15日.

Ichii K., M. Kondo, M. Ueyama, T. Kato, A. Ito, T. Sasai, H. Sato, H. Kobayashi, N. Saigusa (2014) Detecting robust signals of interannual variability of gross primary productivity in Asia from multiple terrestrial carbon cycle models and long-term satellite-based vegetation data. American Geophysical Union Fall Meeting 2014. Moscone Center, San

Francisco, USA. 2014年12月19日。(招待講演)

Ichii K., M. Kondo, A. Ito, M. Kang, T. Sasai, H. Sato, M. Ueyama, H. Kobayashi, N. Saigusa, J. Kim (2013) Asia-MIP: Multi model-data synthesis of terrestrial carbon cycles in Asia. American Geophysical Union Fall Meeting 2013. Moscone Center, San Francisco, USA. 2013年12月9日。

〔その他〕

<https://sites.google.com/site/ichiikazu>  
hito

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

市井 和仁 (ICHII, Kazuhito)  
国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球  
表層物質循環研究分野・主任研究員  
研究者番号：50345865

### (2) 研究分担者

小林 秀樹 (KOBAYASHI, Hideki)  
国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球  
表層物質循環研究分野・主任研究員  
研究者番号：10392961

佐藤 永 (SATO, Hisashi)  
国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球  
表層物質循環研究分野・研究員  
研究者番号：50392965

加藤 知道 (KATO, Tomomichi)  
北海道大学・農学研究科・助教  
研究者番号：60392958

植山 雅仁 (UEYAMA, Masahito)  
大阪府立大学・生命環境科学研究科・准教  
授  
研究者番号：60508373

佐々井 崇博 (SASAI, Takahiro)  
筑波大学・生命環境系・助教  
研究者番号：70443190

近藤 雅征 (KONDO, Masayuki)  
国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球  
表層物質循環研究分野・特任技術主事  
研究者番号：40754346

渡邊 明 (WATANABE, Akira)  
福島大学・共生システム理工学類・特任教  
授  
研究者番号：70114006

### (3) 連携研究者

伊藤 昭彦 (ITO, Akihiko)  
国立研究開発法人国立環境研究所・地球環  
境研究センター・主任研究員  
研究者番号：70344273

三枝 信子 (SAIGUSA, Nobuko)  
国立研究開発法人国立環境研究所・地球環  
境研究センター・副センター長  
研究者番号：00251017

平野 高司 (HIRANO, Takashi)  
北海道大学・農学研究科・教授  
研究者番号：20208838