

トップダウン法とボトムアップ法による CO₂フラックス推定値の比較 - シベリア・ヤクーツクでの試み -

高田久美子^{1,2,3}、Prabir Patra³、Dmitry Belikov^{1,2}、小谷亜由美⁴、森淳子^{1,3}、GTMIP グループ、佐伯田鶴³、丹羽洋介⁴、斉藤和之³、太田岳史⁵、Shamir Maksyutov²、町田敏暢²、A. Ganshin^{6,7}、R. Zhuravlev^{6,7}、杉本敦子⁸、青木周司⁹

¹ 国立極地研究所、² 国立環境研究所、³ 海洋研究開発機構、⁴ 気象庁気象研究所、⁵ 名古屋大学、⁶ Tomsk State University、⁷ Central Aerological Observatory、⁸ 北海道大学、⁹ 東北大学

Comparison of carbon fluxes estimated by top-down and bottom-up methods -- a case study at Yakutsk, Siberia --

Kumiko Takata^{1,2,3}、Prabir Patra³、Dmitry Belikov^{1,2}、Ayumi Kotani⁴、Junko Mori^{1,3}、GTMIP group、Tazu Saeki³、Yosuke Niwa⁴、Kazuyuki Saito³、Takeshi Ohta⁵、Shamil Maksyutov²、Toshinobu Machida²、A. Ganshin^{6,7}、R. Zhuravlev^{6,7}、Atsuko Sugimoto⁸、and Shuji Aoki⁹

¹ National Institute of Polar Research, ² National Institute for Environmental Studies, ³ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ⁴ Meteorological Research Institute, ⁵ Nagoya University, ⁶ Tomsk State University, ⁷ Central Aerological Observatory, ⁸ Hokkaido University, ⁹ Tohoku University

森林生態系の炭素収支が気候変動において重要な役割を担っていると同時に大きな不確実性があることは広く認識されており、炭素収支に関するボトムアップ推定とトップダウン推定を比較することによって両者の不確実性を低減しようとする試みは、近年精力的に進められている。GRENE事業北極気候変動分野（以下、GRENE北極事業）では、観測データが乏しいシベリア域をはじめとした北極域で陸域観測や大気観測が実施されるとともに、プロセスモデルや逆解析モデルによる地上CO₂フラックスの推定も実施されている。

GRENE北極事業の陸域の研究課題では環北極域でエネルギー・水・炭素循環の観測を多地点で実施しており、その中の4地点で複数の陸域のプロセスベースモデル（陸面過程モデル）によるエネルギー・水・炭素フラックスの相互比較(GTMIP)(Miyazaki et al., 2015)を進めている。一方、温室効果気体の研究課題では航空機や地上ステーションでのCO₂濃度の高精度観測を実施するとともに、逆解析モデルによる地域スケールでのCO₂地上フラックスの推定を実施している。今回はNet Ecosystem Production (NEP) またはNet Biome Productivity (NBP) に相当する炭素収支量を対象として、ヤクーツクでの陸域タワー観測に基づくCO₂フラックス値、陸面過程モデルのCO₂フラックス推定値、逆解析モデルによるヤクーツク周辺500km四方のCO₂フラックス推定値について、1980年から2012年の月平均値で比較した（タワー観測は2004-2011年）。

その結果、タワー観測、陸面過程モデル、逆解析モデルの値は概ね一致し、6-8月に大きな吸収、他の月は小さな放出または吸収となる季節変化の特徴が共通して見られた。経年変動は、夏季平均値（6-8月）のほうが年間値よりもばらつきが小さい傾向が認められた。冬季はもともとフラックス値が小さい上に、不確実性の大きい呼吸過程が支配的であるため、冬季の推定値のばらつきが大きく、年間値もその影響を受けたと考えられる。夏季平均値の年々変動は、幾つかのモデルで観測と似た傾向が認められるが、一致・不一致の原因については、様々な原因があり、第一には、それぞれの推定方法が前提とする水平スケールの違いが考えられる。今後、森林火災のモデルにおける扱い方や、湿潤年・高温乾燥年などの特徴的な気象条件との対応などを個別に調査することが、一致・不一致の原因を明らかにし、CO₂収支の不確実性の低減ために必要である。

Carbon balance of the forested ecosystem is widely recognized as an important component in climate change research, and is also as uncertain at the same time. Some attempts have been made, recently, to understand the origin of the uncertainty by comparing estimates of carbon budget with bottom-up and top-down methods. In the Arctic Climate Change Research Project in the GRENE Program (hereafter as, GRENE Arctic project), the terrestrial and atmospheric observations are conducted in the Arctic regions, where observational data were not available, e.g., Siberia. At the same time, numerical studies are carried out to estimate CO₂ fluxes with process-based models and inversion models as a part of the GRENE Arctic project.

In the terrestrial sub-program of the GRENE Arctic project, observation on energy-water-carbon balances are conducted in the Circum-Arctic, and the fluxes are estimated by a suite of terrestrial ecosystem models at the four super-sites (GTMIP) (Miyazaki et al., 2015). In the greenhouse gas sub-program, atmospheric CO₂ concentration is measured at high accuracy using aircrafts and at surface stations and top-down/inverse modeling is performed for estimating regional CO₂ fluxes. We have

compared the CO₂ fluxes estimated from tower observation at Yakutsk, Siberia with the CO₂ flux estimates by the land-surface models for Yakutsk and CO₂ surface fluxes estimated by inverse models around the Yakutsk region (area ~500 x 500 km²). The Net Ecosystem Production (NEP) or Net Biome Production (NBP) are considered for this analysis at monthly time intervals over the period of 1980 - 2012 (from 2004 - 2011 for flux observation).

We find that the seasonal cycle of CO₂ flux consists of a large drawdown in June-August from the atmosphere, and weaker emissions or absorptions in other months. This result agrees well among the models and observation. As for the long-term changes, the model variation is smaller in summer (June-August) than for the annual values. That is because respiration takes a dominant part of CO₂ flux in winter, that would have large uncertainty both for the observation and the model estimation. Thus the large uncertainty in CO₂-flux estimates in winter would affect the large fluctuation for the annual values. The year-to-year variations in summer by some models agree, at least in part, with the observation, but the reasons for the agreement/disagreement should carefully be investigated. At first, the difference in the horizontal scale assumed in each method should be considered. Besides, the treatment of forest fire in the models is identified as one of the possible causes for model-to-model differences. Making thorough examination of the relation between the NEP/NBP variations and the extreme climate, such as very humid or hot-and-dry summer, is required to identify the causal process of the disagreements and to reduce the uncertainty in CO₂ balance.

References

Miyazaki, S., K. Saito et al., GRENE-TEA model intercomparison project (GTMIP): overview and experimental protocol for Stage 1, *Geosci. Model. Dev.*, **8**, 1-16, doi:10.5194/gmd-8-1-2015