

機関番号：82101
 研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2007～2010
 課題番号：19310017
 研究課題名（和文） 大気-陸域間の生物地球化学的相互作用を扱うモデルの拡張と温暖化影響評価への適用
 研究課題名（英文） Development of a model simulating atmosphere-land surface biogeochemical interactions and application to global warming impact assessment
 研究代表者
 伊藤 昭彦（ITO AKIHIKO）
 独立行政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

研究成果の概要（和文）：大気-陸域生態系間で行われる微量ガス交換を介した生物地球化学的相互作用総合的に扱えるよう、陸域生態系モデル VISIT の高度化を進展させ、地球環境変動に関する研究に応用した。陸域起源の温室効果ガスのフラックスの空間分布とその時間的変動要因に関するモデル解析を行った。植物からの揮発性有機物質発生、メタン放出・酸化、バイオマス燃焼といった微量ガスフラックスを多数取り込んだモデルを構築し、陸域炭素収支の統合的な評価を行った。フラックス観測が実施されているいくつかのサイトで観測データと比較した検証を行った。

研究成果の概要（英文）：A terrestrial ecosystem model, VISIT (Vegetation Integrative Simulator for Trace gases), was developed to retrieve atmosphere-ecosystem biogeochemical interactions through trace-gas exchange, and applied to global change studies. Model analyses were conducted concerning spatial patterns and temporal variability of greenhouse gas fluxes produced in land ecosystems. An integrated model of atmosphere-ecosystem exchange of trace gases including biogenic volatile organic compounds, methane emission and oxidation, biomass burning emission, was developed and used to integrative assessment of terrestrial carbon budget. Model validation was conducted at several sites, at which flux observation was conducted.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	6,600,000	1,980,000	8,580,000
2008年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2009年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2010年度	3,000,000	900,000	3,900,000
年度			
総計	15,600,000	4,680,000	20,080,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：環境モデル、大気陸域相互作用、IGBP-iLEAPS、地球温暖化、陸域生態系

1. 研究開始当初の背景

(1) 現在、温暖化や大気汚染をはじめとする地球環境変動が大きな問題となっており、科学的観点からその変動メカニズムを解明

し影響を予測することが求められていた。ここでは、陸域が放出または吸収する微量物質が、気候変動や大気化学的なプロセスに多様かつ重要な影響を与えることが明らかにさ

れつつある。地球圏・生物圏国際協同研究計画 (IGBP) では、第2期から、統合的陸域生態系・大気プロセス研究 (iLEAPS) が新たにコアプロジェクトとして開始されている。ここでは大気・陸域生態系間の温室効果ガスや大気化学的に重要なガスの交換プロセスに焦点をあて、陸域変動を扱う IGBP-GLP や大気化学を扱う IGBP-IGAC とともに、様々な局面から研究が推進されている。

(2) 社会的にも、温暖化緩和を目的としている京都議定書では、温室効果ガスの排出抑制のために地域スケールで二酸化炭素 (CO₂)、メタン (CH₄)、亜酸化窒素 (N₂O) などの収支を高い精度で定量化する必要が生じている。また、最近の研究では、陸域生態系から放出される各種の微量物質 (生物起源の揮発性有機炭素 (VOC)、有機エアロゾルや火災起源の一酸化炭素やススなど) が、大気中の化学反応や雲生成などの物理過程に重要かつ特異な影響を及ぼすことも示唆されている。

(3) 最近の気候変動予測では、大気・海洋の物理過程を扱う大循環モデル (GCM) に、様々なフィードバック機構を組み込んだ「地球システムモデル」が用いられるようになってきている。ここでは、海洋・陸域の生物地球化学的炭素循環スキームや、大気化学スキームが導入され、相互に結合されたインタラクティブな数値実験が試みられている。しかし、各コンポーネント自体の複雑さに加えて、コンポーネント間の相互作用に関する理解は不十分であり、不確実性を低減することが将来予測を行う上での急務になっていた。

2. 研究の目的

(1) 現在の陸域生態系の生物地球化学的プロセスを扱うモデルに対し、不確実性を低減するとともに重要なメカニズムを包括して、より現実的な地球環境変動との相互作用の解析を行うことを本課題の目的とする。その概要は以下の3項目にまとめられる。

【目的 I】 不確実性の評価 陸域生態系モデルによるシミュレーションの、不確実性に関する解析は十分に行われていない。そこで、入力データや生態的パラメータに関する感度実験を系統的に行うことで、推定結果が持つ不確実性の幅 (信頼レベル) やその原因となるモデル中のプロセスを明らかにする。

【目的 II】 モデルの高度化 まず既存モデルで各プロセスの計算方法を見直し、感度分析で不確実性の原因となる可能性が高いことが示唆されたものを中心に、推定精度を高めるための改良を試みる。また、現在のモデルで扱われていない、陸域生態系起源の微量物質 (VOC やバイオマス燃焼起源物質) の

放出プロセスの組込を行う。

【目的 III】 気候変動に関するモデル解析 過去の気候データや将来予測シナリオに基づいて、温暖化をはじめとする地球環境変動が、大気・陸域間の微量物質交換プロセスに与える影響に関するモデル実験を実施する。その結果に基づき、陸域の生物地球化学的プロセス変化が、気候システムに及ぼすフィードバック効果について検討を行う。

(2) これらの研究は、申請者らがこれまで実施してきた研究を発展させるものであり、国外で実施されている関連プロジェクト (IGBP-iLEAPS など) へ寄与することを想定している。

3. 研究の方法

(1) 本研究では、平成19～22年度の4年間でモデル開発、モデル検証、数値シミュレーションを実施する計画とした。オリジナルのモデルは炭素循環が根幹になっており、光合成・呼吸・分解による大気とのCO₂交換や生態系内での分配プロセスを扱っていた。そのモデルは、温暖化が陸域炭素循環に与える影響評価に使われ、微気象学的方法で観測されたCO₂フラックス観測データを解析する目的で構造の詳細化と計算手法の改良を実施した。さらに、最近ではCO₂以外の温室効果ガス収支を評価するため、森林土壌におけるCH₄酸化や、土壌窒素の硝化・脱窒に伴うN₂O放出の各プロセスに関するパラメタリゼーション (半経験モデル) を組みこむ拡張に取り組んできた (図1: Inatomi et al. 2010より; 成果リスト参照)。

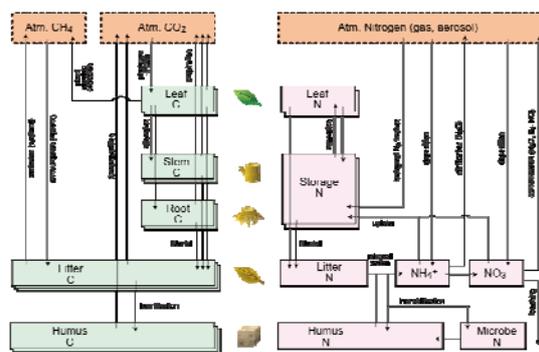


図1：陸域生態系モデル VISIT の概念図。

(2) ベースとなる陸域生態系モデルを開発してきた伊藤 (国環研) が全体の総括とモデル開発の調整を行った。分担者である安立 (国環研) と稲富 (海洋機構) は、これまでに大気・陸域間ガス交換の観測研究に携わった経験を活かして、観測・文献データの収集と個別過程を扱うスキームの開発を担当した。シミュレーションは伊藤が実施し、出力データの解析を全員で分担した。

4. 研究成果

(1) モンスーンアジアに発生する熱帯低気圧（台風）は、強風による落葉を引き起こし陸域生態系の光合成生産と CO_2 収支に影響を与えている。本研究では、2004年に日本列島に上陸した10個の台風が与えた影響について、岐阜高山フラックス観測サイトを対象にプロセスモデル（VISIT）を用いたシミュレーションに基づく評価を行った。その結果、台風による落葉が有意な影響を与えていることが示され、それはフラックス観測データと整合的であった。今後の温暖化に伴い台風の頻度と強度が変化すれば、森林への長期的な影響も変化する可能性がある（Ito 2010a）。

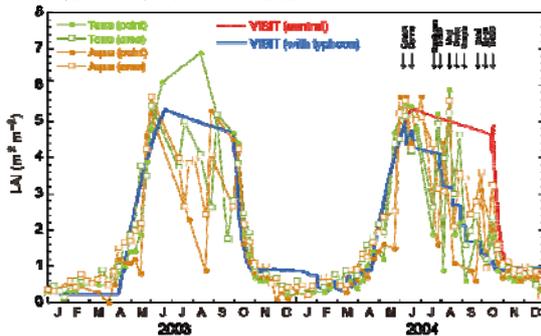


図2：台風影響に伴う葉面積指数の低下に関するモデル推定と衛星観測の比較。

(2) 日本列島の陸域生態系について、土壌からの二酸化炭素 (CO_2) 放出フラックスの空間分布および時間変動について、5種類のモデルによる数値シミュレーションを行い、解析した。モデル間の相違が相当残されているものの、気候や地形に応じた一般的なパターンを読み取ることができた（Ito et al. 2010）。

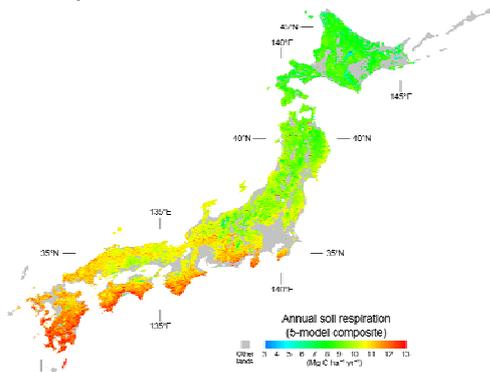


図3：日本列島における土壌呼吸 (CO_2 放出) の空間分布に関するモデル推定。

(3) 空間分解能 1 km の陸域生態系モデルを東アジア地域の陸域（森林や草原など）に適用し炭素収支を推定した。アジアフラックスの観測データでモデルの再現性を検証した。2000-2005年にかけてこの地域の陸域は 58 Tg C/yr のシンクになっており、化石燃料消費など人為放出の 11% に相当する温暖化

緩和効果を持っていることが示唆された（Ito 2008）。

(4) 東アジア地域の代表的なフラックス観測サイト4カ所において、陸域生態系モデルを用いて、将来の気候変動予測シナリオに基づいてシミュレーションを行った。今後の炭素収支の変動傾向に関する予測結果を提示し、長期モニタリングに対して有用な知見について検討した（Ito 2010b）。

(5) 日本の主要生態系タイプの一つである冷温帯落葉広葉樹林における温室効果ガス（二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素）の収支を、岐阜高山サイトを対象にして、プロセスベースの陸域生態系モデル（VISIT）を用いて推定した。土壌からのガス放出の観測データを用いて検証を行い、各ガスの寄与率を推定した。このサイトでは攪乱後の回復に伴う二酸化炭素吸収が量的に卓越しているが、感度実験により、将来の温度上昇や森林の成熟に伴って、土壌での微生物によるメタン吸収や、亜酸化窒素放出の寄与が大きくなる可能性が示された。

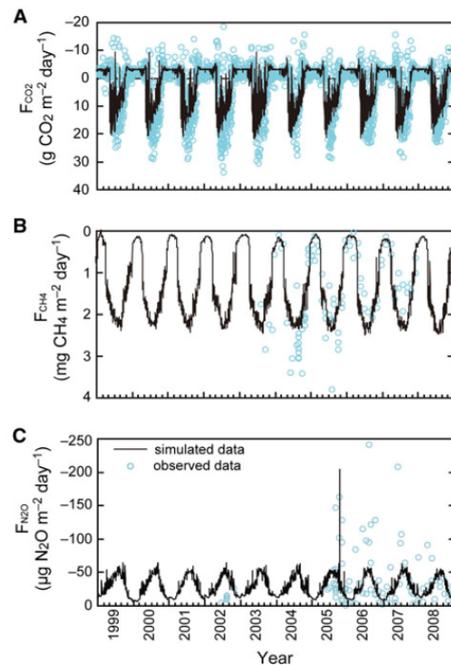


図4：高山サイトにおける温室効果ガス収支（A： CO_2 、B： CH_4 、C： N_2O ）に関するモデル推定と観測の比較。

(6) 純一次生産力（NPP）は生態系の構造と機能を示す重要な指標の一つであり、全陸域総量について多くの推定が行われてきた。本研究では1862年から2011年までの文献調査を行い、251件の全陸域NPP推定値を集めてメタ分析を実施した。その結果、これまでの推定結果を代表する中央値として年間

56.4 ギガトン (炭素) が得られた。推定手法や年代によって推定値は大きく変わっており、観測やモデルを用いてグローバル炭素収支をより高い信頼度で解明する必要性が示唆された。

(7) 陸域生態系における CO₂ 収支は、地球の気候システムと日内から数百年以上の時間スケールで相互作用を行っており、気候の予測や安定化を論じる際に重要な問題となっている。大気観測やグローバルなデータ解析によると、陸域生物圏は CO₂ 収支における経年変動を司る主要因の一つとなっていることが示されているが、時間スケールの異なる応答メカニズムやそれが気候予測にもたらす潜在的影響については不明点が多い。本研究では、太平洋十年規模振動 (PDO) と大西洋数十年規模振動 (AMO) レジームが、陸域炭素収支の十年規模変動に明瞭な影響を与えていることを示した。年々変動については、エルニーニョ・南方振動 (ENSO) レジームが主な要因となっていた。陸域生態系の炭素収支は、生理生態プロセスに基づくモデル (VISIT) で再現されたものであり、それを PDO、AMO、ENSO の指数時系列と異なる平滑化期間およびラグ時間について相関を求めた。ENSO は年々変動に対応する短期間では相関の強さが卓越していたが、PDO と AMO は十年規模変動に対して高い相関を示した。このような気象レジームに対する陸域応答の相関の強さは地域ごとに異なっていた。本研究は、陸域 CO₂ 収支の時間変動を解明するには長期モニタリングが必要であり、気候モデルや生態系モデルの十年規模時間スケールでの予測性を向上させる必要があることを示している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① Ito, A. in press. A historical meta-analysis of global terrestrial net primary productivity: Are estimates converging? *Global Change Biology*. (査読有)
- ② Ito, A. 2010a. Evaluation of defoliation impacts of tropical cyclones on the forest carbon budget using flux data and a process-based model. *Journal of Geophysical Research* 115, G04013, doi:10.1029/2010JG001314. (査読有)
- ③ Ito, A. 2010b. Changing ecophysiological processes and carbon budget in East Asian ecosystems under

near-future changes in climate: Implications for long-term monitoring from a process-based model. *Journal of Plant Research* 123: 577-588. (査読有)

- ④ Ito, A., K. Ichii, and T. Kato. 2010. Spatial and temporal patterns of soil respiration over the Japanese Archipelago: A model intercomparison study. *Ecological Research* 25: 1033-1044. (査読有)
- ⑤ Inatomi, M., A. Ito, K. Ishijima, and S. Murayama. 2010. Greenhouse gas budget of a cool temperate deciduous broadleaved forest in Japan estimated with a process-based model. *Ecosystems* 13: 472-483. (査読有)
- ⑥ Ito, A. 2008. The regional carbon budget of East Asia simulated with a terrestrial ecosystem model and validated using AsiaFlux data. *Agricultural and Forest Meteorology* 148: 738-747. (査読有)

[学会発表] (計 18 件)

- ① 伊藤昭彦. 2011. 台風による落葉が森林生態系の炭素収支に与える影響に関するモデル解析. 日本農業気象学会 2011 年大会. 2011 年 3 月 16 日, 鹿児島大学.
- ② Ito A., Inatomi M. 2010. Development of the Vegetation Integrative Simulator for Trace Gases (VISIT): A Model for Simulating Atmosphere-Ecosystem Biogeochemical Interactions. American Geophysical Union 2010 Fall Meeting, San Francisco. 2010 年 12 月 14 日, **Monsoon Center, San Francisco.**
- ③ Ito A. 2010. Evaluation of the impacts of defoliation by tropical cyclones on a Japanese forest's carbon budget using flux data and a process-based model. AsiaFlux 2010 Workshop, Guangzhou, China. 2010 年 12 月 2 日, 広州 (中国).
- ④ Ito A. (2010) Model analyses of carbon budget in Asia. 2nd Hydrology delivers Earth System Science to Society (HESS2): Joint meeting for GSWP/GLASS AsiaFlux/FUXNET Landflux-EVAL CEOP, Tokyo. 2010 年 6 月 24 日, 東京大学生産技術研究所.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 昭彦 (ITO AKIHIKO)
独立行政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

(2) 研究分担者

安立 美奈子 (ADACHI MINAKO)
独立行政法人国立環境研究所・
地球環境研究センター・NIES ホストグループ
研究者番号：40450275
稲富 素子 (INATOMI MOTOKO)
独立行政法人海洋研究開発機構・
地球環境変動領域・特任研究員
研究者番号：90419896

(3) 連携研究者

該当なし