

平成 22 年 6 月 30 日現在

研究種目：基盤研究 (A)

研究期間：2007～2009

課題番号：19201006

研究課題名 (和文) 東アジアの生物資源モデルの構築と社会システムへの応用

研究課題名 (英文) Construction of a resource model for in East Asia with emphasis on human activities.

研究代表者

和田 英太郎 (WADA EITARO)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・特任上席研究員

研究者番号：40013578

研究成果の概要 (和文)：グローバルスケールのVISITモデルの結果と人口データを用いて、単位人口あたり利用可能な一次生産量を1995年から2015年の期間について5年間隔で計算しマップ化を行った。次に、国別に集計・解析し、東アジアにおける人間活動が物質循環に与える影響の評価を行った。この研究は野外観測、安定同位体精密測定法、衛星画像処理、陸域生態系モデルの高度化を協働することによって得られた。

研究成果の概要 (英文)：A terrestrial ecosystem model was developed for East Asia with high resolution ($0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ grid size). Results were compared with nationwide population density and human activities. It was clarified that P/R ratio has become lower than 1.0 at moment in Japan, China and India resulting an increase in emission of green house gases in the 21 century. During this three years the field observations together with the stable isotope methods, satellite remote sensing, and modeling were conducted simultaneously to refine the above mentioned conclusions.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	16,400,000	4,920,000	21,320,000
2008年度	10,100,000	3,030,000	13,130,000
2009年度	9,700,000	2,910,000	12,610,000
総計	36,200,000	10,860,000	47,060,000

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：東アジア、一次生産、生元素循環、人間活動、消費／生産比率

1. 研究開始当初の背景

地球環境研究の50年史を概括すると、大気二酸化炭素の増加に伴っていろいろな国際共同研究 (IBP, MAB, IGBP, DIVERSITAS など) が進められてきた。これらの成果をふまえて、リオサミットから10年後に開催された、ヨハネスブルグサミット (2002年) を経て、2005年2月16日には**地球観測国際戦略10年計画**が策定され、現在は全地球観

測網の整備が、リモートセンシングや地球シミュレータの更なる進展と連動して進められる段階に入っている。すなわち、地球観測や予測研究が先端技術を駆使できる時代に入ったとみなすことが出来る。今後10年は、時空間分解能 (5km×5km以下、一日単位) を高めた地球の観測やプロセス研究、予測モデルの開発が飛躍的に進むと期待され、地域特異性の高い生態系の研究も急速に進もうと

している。ここではその複雑性のためにモデル化や予測研究が遅れがちな陸域生態系の今後の大幅な発展が期待される。

生態システムは食物網に見られるように、生物相互作用環や物質循環系がサイクルを形成し、サイクル間を広い意味での情報によって繋いで全体の適応性と持続性が保たれている世界に見える。このことを強く意識して環境変動の研究調査と人間社会システムの相互作用環の骨格を纏めると、以下になる。「先ず自然界の調査・研究によって精度の高い観測を行い、これを一般化しモデル化し指標や環境容量を定める。さらに多角的な切り口を統合したシミュレーションモデルを信頼性の高まるまで高度化し、予測モデルを創る。ここで初めて文理連携が可能となり社会科学者と協力して、さらにわかりやすい形で住民参加や順応的マネージメントに繋げてゆく。」この意味において当該基盤Aで進める「観測(リモートセンシング)・モデル・シミュレーションの三位一体」の研究は明日の生態系を考え、社会が環境変動に対処する具体策を構築する入り口に位置している。ヒトの社会はその歴史上初めて観測から社会システムの形成に至るハードルを越えることに挑戦しようとしており、この流れの上に立った、生態系生態学の創出が求められている。

2. 研究の目的

本研究ではこの様な流れを踏まえて、東アジアにおける一次生産予測の高度化、プロセスモデルの深化により、あすの東アジアの国土保全利用計画のシナリオを提示することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) リモートセンシングと陸域一次生産モデルとの統合

伊藤(2002)によって報告された東アジア陸域炭素循環モデルを高度化するために、全球衛星データから Photosynthetic Active Radiation (PAR)を陸海を通じて見積もり、一次生産やその他の炭素フラックスの推定値をより詳細なものにする。このような試みは独自のものである。また、衛星データから得られる NDVI(緑化度)について大陸規模で、温度、水分、PARの影響を識別して地図化するという独自の成果を得る。

(2) 動的全球植生モデルに植食の影響や地形の影響を取り込むためのサブモジュールを作成し、動的生態系東アジアモデルの高度化を諮る。この様な試みは世界の先端を行く。

(3) 炭素循環と共役した窒素・硫黄・酸素循環と人間活動の新しい炭素輸送プロセスを提案する。また、生元素全球ボックスモデルから東アジア部分を抽出する。

(4) NPP と人間による食料・衣料の要求比を東アジアについて時系列予測を50年に渡って描く。

4. 研究成果

テーマ1: PAR と炭素循環モデルの高度化

・中国青海—チベット高原の草原については、現場観測をもとに葉面積指数と草原バイオマスを求める回帰式を作成し、高空間分解能衛星 ASTER のデータを用いて葉面積指数と草原バイオマスの初期マップを作成した。

・新潟の水田で現場観測を実施した。

・熱帯雨林地域での PAR 吸収と陸域炭素循環に与える影響を調べるために、インドネシア・カリマンタンの Pontinak に放射計を設置した。また、湖水域における植物プランクトンの季節変動を調べるため、琵琶湖において、海色センサーMODIS(2004年11月から2007年6月)及びGLI(2003年4月から10月)の Daily データを用いて、高解像度のクロロフィル a 濃度画像の作成を行った結果、特に琵琶湖沿岸域において非常に特徴的な植物プランクトン分布パターンが連続的に見られ、海色衛星の有効性が示唆された。

・PAR と LAI アジアを中心とした全球スケールの光合成有効放射(PAR)と葉面積指数(LAI)を衛星データから推定するアルゴリズムの開発を進めた。特に、LAI 推定値の検証方法の高度化に注力した。衛星から推定した葉面積指数データを SEIB-DGVM の検証に利用し、シベリアのカラマツ林の季節応答の変化を検討した。また東南アジア地域における現地観測による光合成有効放射データの収集を進めると共に、夏期にインドネシアで集中観測を実施した。

・カナダのツンドラから亜寒帯林におけるエコトーンを対象に、ALOS/AVNIR-2 と ALOS/PALSAR のデータを入手し、カナダ東部における森林からツンドラへのエコトーンにおける植生のマッピング作業を進めた。北半球の積雪の長期変化に関して、最近5年間のデータも含めてさらに研究を進めた。

・モンゴル国内のガチュールト(亜寒帯林+ステップ)、マンダルゴビ(ステップ)、ハンホンゴル(砂漠)に放射量(PARの推定が可能)の観測も含む自動気象観測機器を設置し、これまで正常にデータを収録してきた。モンゴルにおいて森林や草原の動態と PAR との関連を分析する基礎が整ったと言える。また、マレーシアのランピル・ヒル国立公園(ボルネオ島)内の既存観測地点において、植生生態と PAR を含む気象との関係について研究を深化した。これらの成果はテーマ4に貢献した。

テーマ2: 個体ベース植生モデルアジア SEIB-DGVM の高度化

全球陸上における大陸規模の植生の時空間変動を、衛星リモートセンシングデータを使

用して、気温、降水量、放射量といった因子との関連性に関する研究を発展させた。陸域生態系の炭素循環モデルを精緻化するため、土壌エロージョンプロセスを組み込んだ。また、フラックス観測サイトにおいて特にモデルと観測とのギャップが大きいことが指摘されていた夜間呼吸速度について解析した。モンゴルでの植生の状態と気候・動物との相互作用について定量的なデータを得るために設定を予定している観測機器の準備と現地予備調査を行った。熱帯雨林地域の土地被覆ごとの植生の成長・死亡要因の観測を開始するべく、マレーシア・ボルネオ島のランビル国立公園などで現地研究機関と打ち合わせをおこなった。

・人為起源の攪乱要因の解明（伐採、耕作など土地利用改変）

高解像度での家畜の植食圧の時空間分布を推定するため、MODIS 画像データから推定された草原バイオマスと現地調査による遊牧民・家畜の間の相関から求める手法を開発した。衛星観測による 20 年間の広域植生変化と地域ごとのその要因の定量的推定を行った。

テーマ 3:モンゴル草原とバイカル湖集水域の窒素・炭素同位体による食物連鎖の解析を進め、窒素・炭素循環や栄養段階の同位体効果に関する新しい知見を得た。

・新たな人間活動に起因するプロセス研究とボックスモデルフラックスチャンバー法によって採取した都市近郊〔滋賀県蛇砂川および横浜いたち川、印旛沼流入河川〕ガス試料について、窒素・炭素・酸素安定同位体比の測定を行った。同時に Sr 同位体比の測定も行い施肥による風化の影響や亜酸化窒素の放出を評価できることを示した。

・VISIT における窒素循環プロセスの組み込みを完了し、炭素-窒素循環をリンクさせたモデルを開発した。また、湿原や水田からのメタン生成放出スキームを組み込み、温室効果ガス収支評価モデルを確立した。亜酸化窒素放出スキームの全球モデル組み込みを実施し、3 種類の温室効果ガスに関する評価を予備的に実施した。それにより、温室効果ガス収支評価モデルを確立する目途が立ち、いくつかのサイトで観測データとの比較による検証を行った。

テーマ 4:人間活動に関連付けたシナリオ提示

東アジアにおける 1 次生産と人口分布のデータを 5km グリッドで纏めた。人間社会データを用いた解析は 21 年度に行った。これまでの成果に基づいて東アジアにおける生態系・人間社会相互作用の纏めとして 1 次生産と人による食料・衣類の要求を可能な限り高解像度 (1km グリッド) 行い地図化し、この地域における持続性のあり方について

考察した。グローバルスケール (分解能 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$) の VISIT モデルの結果と人口データを用いて、単位人口あたり利用可能な一次生産量を 1995 年から 2015 年の期間について 5 年間隔で計算しマップ化を行った。次に、VISIT モデルの結果を国別に集計・解析し、東アジアにおける人間活動が物質循環に与える影響の評価を行った。

以上をまとめた結果アジアにおいて、現在日本・中国・インドにおいて一次生産をヒトによる消費が上回り、中国とインドでは温室効果ガスである二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素の放出が今後増加してゆくことが明らかとなった。

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 15 件)

- ① Kohzu, A., Miyajima, T., Tayasu, I., Yoshimizu, C., Hyodo, F., Matsui, K., Nakano, T., Wada, E., Fujita, N., Nagata, T., Use of stable nitrogen isotope signatures of riparian macrophytes as an indicator of anthropogenic N inputs to river ecosystems. *Environmental Science & Technology*, 2010, Accepted. (査読有り)
- ② 和田英太郎、安定同位体フィンガープリント法、日本生態学会誌、59, 2010, 259-268. (査読有り)
- ③ Kobayashi, H., Delbart, N., Suzuki, R., Kushida K., A satellite-based method for monitoring seasonality in the overstory leaf area index of Siberian larch forest. *J. Geophys. Res.*, 115, 2010, G01002, doi:10.1029/2009JG000939. (査読有り)
- ④ Kohzu A., Miyajima T., Tayasu I., Yoshimizu C., Hyodo F., Matsui K., Nakano T., Wada E., Fujita N., Nagata T., Use of stable nitrogen isotope signatures of riparian macrophytes as an indicator of anthropogenic N inputs to river ecosystems. *Environment Sci Technol* 42, 2009, 7837-7841. (査読有り)
- ⑤ Kohzu, A., Iwatab, T., Katoc, M., Nishikawa, J., Wada E., Amartuvshinf, N., Namkhaidorjg, B., Fujita, N., Food webs in Mongolian grasslands: The analysis of ^{13}C and ^{15}N natural abundances. *Isotopes in*

- Environmental and Health Studies 45, 3, 2009, 208–219. (査読有り)
- ⑥ Kohzu, A., Tayasu, I., Yoshimizu, C., Maruyama A., Kohmatsu, Y., Hyodo, F., Onoda, Y., Igeta, A., Matsui, K., Nakano, T., Wada, E., Nagata T., Takemon, Y., Nitrogen stable isotopic signatures of basal food items, primary consumers and omnivores in rivers with different levels of human impact. *Ecological Research*, 24, 1, 2009, 127–136. (査読有り)
- ⑦ Nishikawa, J., Kohzu, A., Boontanon, N., Iwata, T., Tanaka, T., Ogawa, N. O., Ishii R., Wada, E., Isotopic composition of nitrogenous compounds with emphasis on anthropogenic loading in river ecosystems. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 45, 1, 2009, 27–40. (査読有り)
- ⑧ Wada E., Stable $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ isotope ratios in aquatic ecosystems, *Proc. Jpn. Acad., Ser. B*, 85, 2009, 98–107. (査読有り)
- ⑨ Kato, T., Tang, Y., Spatial variability and major controlling factors of CO_2 sink strength in Asian terrestrial ecosystems: evidence from eddy covariance data. *Global Change Biology*, 14, 10, 2008, 2333–2348, doi:10.1111/j.1365-2486.2008.01646.x. (査読有り)
- ⑩ 小林秀樹, 衛星データから推定されたグローバル葉面積指数プロダクトの定義, 不確かさ, 検証方法. *日本リモートセンシング学会誌*, 28, 1, 2008, 1–16. (査読有り)
- ⑪ 小林秀樹, 針葉樹における分光反射率と葉面積指数の関係: 森林の三次元構造とクランピングの影響. *日本リモートセンシング学会誌*, 28, 4, 2008, 350–356. (査読有り)
- ⑫ Kobayashi, H., Iwabuchi H., A coupled 1-D atmosphere and 3-D canopy radiative transfer model for canopy reflectance, light environment, and photosynthesis simulation in a heterogeneous landscape. *Remote Sensing of Environment*, 112, 2008, 173–185, doi:10.1016/j.rse.2007.04.010. (査読有り)
- ⑬ 和田英太郎, 流域の健康診断: 最近の動向と琵琶湖—淀川水系. *環境と健康*, 21, 1, 2008, 13–23. (査読無し)
- ⑭ Nakano, T., Tayasu, I., Yamada, Y., Hosono, T., Igeta, A., Hyodo, F., Ando, A., Saitoh, Y., Tanaka, T., Wada, E., Yachi S., Effect of Agriculture on water quality of Lake Biwa Tributaries, Japan. *Sci. Total Environ.*, 389, 2007, 132–148. (査読有り)
- ⑮ 谷内茂雄, 田中拓也, 中野孝教, 陀安一郎, 脇田健一, 原雄一, 和田英太郎, 総合地球環境研究所の琵琶湖—淀川水系への取り組み: 農業濁水問題を事例として. *環境科学会誌*, 20, 3, 2007, 207–214. (査読有り)
- [学会発表] (計 24 件)
- ① 石井励一郎, 衛星観測による植生分布推定と地上観測・調査の連携の試み: モンゴル森林—ステップ移行帯とサラワク土地利用変化を例に. リモセンと地上観測に関する研究会, 2009年9月11日, 九州大学.
- ② Ishii, R., To predict vegetation transition at the topographical scale under global change: a case study of the ecotone in Mongolia. First ASIAHORCs Joint Symposium, July 18, 2009, Nagoya, Japan.
- ③ Ishii, R., Toward the prediction of vegetation transition at the topographical scale: Example study in the forest-steppe ecotone in Mongolia. Global Land Project Workshop on Vulnerability and Resilience of Land Systems in Asia, June 16, 2009, Beijing, China.
- ④ Ishii, R., A vegetation transition model at the topographical scale and its application to the Mongolian Forest-Steppe ecotone to predict vegetation responses at larger scales from those at smaller scales. Special Seminar at Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphere, April 9, 2009, Toulouse, France, CESBIO.
- ⑤ 石井励一郎, 藤田昇, 鈴木力英, 和田英太郎, 地形スケールでの不連続植生分布パターンに関する理論と実証—モンゴルの森林草原移行帯を例として. 第56回日本生態学会大会, 2009年3月21日, 岩手県立大学.
- ⑥ Kobayashi, H., Ryu, Y., Ustin, S., Baldocchi, D., Spatial radiation environment in a heterogeneous oak woodland using a three-dimensional radiative transfer model and

- multiple constraints from observations. AGU Fall meeting 2009, December 16, 2009, San Francisco, U. S. A., Moscorn Center.
- ⑦ Sasaoka, K., Introduction for the JSPS project on “Global Marine Ecosystem observation system using Continuous Plankton Recorder” -Satellite observation-. Workshop on Continuous Plankton Recorder survey and long-term observation of the plankton ecosystems in the North Pacific, National Research Institute of Fisheries Science, 1st Oct., 2009, Yokohama, Japan, Fisheries Research Agency.
- ⑧ Suzuki, R., Ishii, R., Kim, Y., Above-ground forest biomass estimation by ALOS/PALSAR over boreal forest in Alaska accompanied with ground-based forest survey. 33rd International Symposium on Remote Sensing of Environment (ISRSE2009), May 5, 2009, Stresa, Italy, Palazzo dei Congressi Stresa.
- ⑨ Suzuki, R., Kim, Y., Ishii, R., Biomass estimation by ALOS/PALSAR over boreal forest in Alaska accompanied with ground-based forest survey. AGU Fall Meeting, December 16, 2009, San Francisco, U. S. A., Moscorn Center.
- ⑩ 鈴木力英, 金龍元, 石井 励一郎, ALOS/PALSAR によるアラスカの森林の地上部バイオマス推定. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 2009 年 5 月 19 日, 千葉県, 幕張メッセ国際会議場.
- ⑪ 鈴木力英, 小林秀樹, Delbart, N., シベリアのカラマツ林 LAI の衛星データによる推定方法の開発と既存 LAI データセットとの相互比較. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 2009 年 5 月 21 日, 千葉県, 幕張メッセ国際会議場.
- ⑫ Dye, D. G., Kobayashi, H., Wu, P., Sulistiyowati, R., Sarodja, D., Syamsudi, F., Enhanced PAR Irradiance Under Broken Cloud Fields and its Significance for Tropical Forest Photosynthesis. AGU fall meeting, December 16, 2008, San Francisco, U. S. A., Moscorn center.
- ⑬ Ishii, R., Fujita N., Wada, E., A vegetation transition model at the topographical scale and its application to the Mongolian Forest-Steppe ecotone. The Second GEOSS Asia-Pacific Symposium The role of Earth observations in tackling climate change, April 15, 2008, Tokyo, Miraikan.
- ⑭ 加藤知道, 数値モデルとメタ分析 -地域からグローバルスケールへの展開-, 日本生態学会第 55 回大会, 2008 年 3 月 16 日, 福岡県, 福岡国際会議場.
- ⑮ Kobayashi, H., Suzuki, R., Linking in situ and satellite-derived leaf area index: A case study in Siberian larch forest. Proceedings of 2nd International Symposium of 21st Century COE Program, August 1, 2008, pp. 69-72, Gifu, Japan.
- ⑯ Kobayashi, H., Suzuki, R., Kobayashi, S., Seasonality of the satellite-observed reflectance and its relation to the larch canopy leaf area index in East Siberia. First International Symposium on the Arctic Research (ISAR-1), November, 4, 2008, Tokyo, Japan, Miraikan.
- ⑰ 小林秀樹, デルバート・ニコラ, 鈴木力英, 衛星データによるシベリア・カラマツ林の葉面積指数の季節変化のモニタリング. 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 2008 年 5 月 29 日, 千葉県, 幕張メッセ国際会議場.
- ⑱ 小林秀樹, 松永恒雄, 衛星データと気象データを用いた東南アジアの NPP 推定. 日本生態学会第 55 回大会, 2008 年 3 月 14 日, 福岡県, 福岡国際会議場.
- ⑲ Ishii, R., The mechanism to generate the discontinuous vegetation transition in Mongolia, Central Asia. The 6th European conference on Ecological Modelling, November 29, 2007, Trieste, Italy, ICTP.
- ⑳ 加藤知道, 東アジアの年間炭素収支のレビュー. 農業環境工学関連 7 学会 2007 年度合同大会, 2007 年 9 月 12 日, 東京, 東京農工大学.
- (21) 加藤知道, 東アジア陸域生態系における炭素固定能力-渦相関法によるフラックス観測結果のレビュー. 日本生態学会第 54 回大会, 2007 年 3 月 21 日, 愛媛, 愛媛大学.
- (22) Sasaoka, K., Mizobata, K., Iida T., Saitoh, S., Temporal and spatial variability of chlorophyll a concentrations and primary productivity in the Bering Sea. Japan Geoscience Union Meeting 2007, May 22, 2007, Chiba, Japan, Makuhari Messe International Conference Hall.
- (23) 笹岡 晃征, 衛星による海洋での第一次生産性の評価モデル. 第 71 回植物学

会大会，2007年9月7日，千葉県，東京理科大学野田キャンパス。

- (24) Wada, E., Ishii R., Itoh A., Biogeochemical prospect s on modeling of ecosystem response to environmental changes in the adjacent areas of L.Biwa and L. Baikal watersheds. ENVIRONMENTAL AND CLIMATIC CHANGES AND BIODIVERSITY IN EAST EURASIA AND ADJACENT AREAS, August 26, 2007, Irkutsk-Listvyanka, Russia.

〔図書〕(計6件)

- ① 石井 励一郎，弘文堂，地球環境学事典，2010 出版予定，未定（「地球温暖化による生物絶滅」担当）。
- ② 和田英太郎監修，京大出版会，流域環境学，2009年3月，564pp.
- ③ 和田英太郎，京大出版会，流域環境評価と安定同位体，2008年，pp.1-9.
- ④ 石井 励一郎，谷内茂雄，永田俊，三木健，山村則男共同編集，総合地球環境学研究所出版，琵琶湖は持続可能か？，2007年，323pp.
- ⑤ 和田英太郎，NHK プラネットアース他監修，学習研究社，地球の素顔，2007年6月，103pp.
- ⑥ Sasaoka, K., Hydrographic Atmospheric Research Center (HyARC), Nagoya University and UNESCO, Oceanography Basics - The textbook for 16th IHP Training Course in 2006-, 2007, pp.141-150.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

和田 英太郎 (WADA EITARO)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境
変動領域・特任上席研究員
研究者番号：40013578

(2) 研究分担者

鈴木 力英 (SUZUKI RIKIE)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境
変動領域・チームリーダー
研究者番号：10241788

石井 励一郎 (ISHII REIICHIRO)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境
変動領域・研究員
研究者番号：40390710

笹岡 晃征 (SASAKA KOSEI)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境
変動領域・研究員
研究者番号：20371148

Dennis Dye (DENNIS DYE)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境
フロンティア研究センター・サブリーダー
研究者番号：82706999
(平成18年度のみ)

(3) 連携研究者

小林 秀樹 (KOBAYASHI HIDEKI)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境
変動領域・研究員
研究者番号：10392961

加藤 知道 (KATO TOMOMICHI)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境
変動領域・研究員
研究者番号：60392958

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・ポストドクトラル研究員
研究者番号：90419896

(平成21年度のみ)