

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 28 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23405028

研究課題名(和文) インドシナにおけるゴム林の爆発的拡大：環境影響評価と適正造成計画の提案

研究課題名(英文) Drastic expansion of rubber plantations in Indochina Peninsula

研究代表者

熊谷 朝臣 (Kumagai, Tomo'omi)

名古屋大学・地球水循環研究センター・准教授

研究者番号：50304770

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,600,000円、(間接経費) 4,380,000円

研究成果の概要(和文)：インドシナ内陸部山地において、ゴム林が急速に拡大しており、さらに今後の加速が予測されている。ゴム林への土地利用変化が生物多様性や局地の水・炭素循環に及ぼす悪影響が指摘され始めているが、その定量的評価は絶対的に不足している。またゴム林の拡大により、リファレンスシナリオにゴム林における炭素吸収・排出量の評価値を反映させる必要性が高まっている。そこで本研究では、ゴム林造成とその背景となる環境変動が地域の水・炭素循環に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、詳細なフラクスタワー観測を元にゴム林に特化した天然ゴム生産を含む全球植生動態モデルを開発し、それによるゴム林の水・炭素収支評価を行った。

研究成果の概要(英文)：Rubber (*Hevea brasiliensis* Mill. Arg.) plantations are a viable resource for the economics of Southeast Asian countries. They are rapidly expanding into both climatically optimal and sub-optimal environments throughout mainland Southeast Asia, potentially change the partitioning of water, energy, and carbon at multiple scales, compared with traditional land covers that are being replaced. To provide a useful tool for building strategy of rubber plantation management, e.g., balancing the rubber plantation productivity and the environmental conservation, we developed the Spatially Explicit Individual-Based (SEIB) Dynamic Global Vegetation Model (DGVM) applicable to simulate both primary and latex productivities in rubber plantations (SEIB-RP). SEIB-RP can take the climatic impacts on productive processes into consideration, and thus, allows us to project the future rubber plantation productivities under climate change conditions.

研究分野：農学A

科研費の分科・細目：森林科学

キーワード：環境対応 環境変動 国際協力 水循環 炭素循環

## 1. 研究開始当初の背景

インドシナ内陸部山地において、ゴムノキプランテーション(ゴム林)が急速に拡大しており、今後さらに加速されると予測されている。ゴム林への土地利用変化が生物多様性や局地の水・炭素循環に及ぼす破滅的な悪影響が指摘され始めているが、その定量的評価は絶対的に不足している。一方で、現在においても多くのゴム製品で合成ゴムは天然ゴムに代替することはできず、各国において天然ゴム生産は重要な収入源であり続けている。現在のゴム林拡大の速度から考えて、その拡大にブレーキをかける合理的な理由を見つけることは、喫緊の要事である。

そこで本研究の目的は、インドシナ内陸部山地のゴム林拡大域においてゴム林造成が地域環境に及ぼす影響を明らかにし、また、同時にゴムノキの生理生態学的計測からラテックス産生の環境応答特性をも明らかにすることで、環境保全と天然ゴム生産のバランスを考えたゴム林造成計画の最適化を行うことである。

## 2. 研究の目的

中国、ラオス、タイ、ベトナム、カンボジア、ミャンマーから構成されるインドシナ内陸部山地では、常緑広葉樹天然林または焼畑跡二次林からゴム林への土地利用変化が急速に進んでいる。この地域は既に50万haがゴム林に転換され、2050年までにその面積は2~3倍になると考えられている。例えば中国は、2007年比で今年の天然ゴム生産30%増を計画しており、さらなるゴム林拡大を狙いラオス、ミャンマー、カンボジアといった近隣国への投資も積極的に行っている。事実、ラオスにおけるゴム林の拡大は爆発的であり、2003年のゴム林面積はわずか100haであったが、2006年には4500ha、今年中(2010年)には18万haになると推定されている。

ここまで進んだゴム林拡大の歴史的背景、また、現在進めようとしているゴム林拡大の理由付けとして、「焼畑は森林破壊・劣化に繋がる破壊的農業システムであり、統制下におかれるか禁止されるべきである。」また、「焼畑の代替としてゴム林造成が望ましい」という東南アジア諸国の考え方がある。それはゴム林造成が一種の植林・森林造成に見えるからであるが、近年、この考え方には何ら科学的根拠が無いことが明らかになってきた。それどころか、ゴム林造成による地域環境の悪化の可能性が盛んに指摘され始めている。そして、この地域環境悪化とは、多くが原植生からゴム林への転換による水循環環境の変化に起因するものである。

そこで、地域環境悪化を止めるため、もしくは、ゴム林からの安定収入と環境保全のバランスをとるためのゴム林拡大の制限策が活発に議論され始めている。一方、医療用など特殊な用途では合成ゴムの技術がいかに発達しようとも代替がきかず、天然ゴムの必要性は増すばかりである。天然ゴム生産は東南アジア諸国にとって、間違いなくこれからも重要な収入源であり続けると言われている。そのため、このようなゴム林拡大制限策を実行するためには納得に足る合理的な理由が必要となる。しかし、必要な科学的背景・データが絶対的に不足しており、ゴム林拡大を制限すること、また、ゴム林造成を適正に進めることも困難が伴う。そこで本研究課題では、第一に、いくつかの環境条件にあるゴムノキ個体~林分~ランドスケープスケールにいたるまでの生理生態・微気象・水循環・環境応答データの取得と整理を目標とする。また、現在のゴム林拡大の速度は非常に速く、本研究課題の実行は喫緊の要事である。そして、ゴム林造成とその背景となる環境変動が地域の水・炭素循環に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、詳細なフラックスタワー観測を元にゴム林に特化した天然ゴム生産をも予測計算可能な全球植生動態モデルを開発し、これを用いたゴム林の水・炭素収支評価を行う。これにより土地利用がゴム林に置き換わった場合の炭素蓄積量のレファレンスシナリオを提供することが可能となる。

## 3. 研究の方法

タイ、カンボジアの2ヶ所のゴムノキ実験林コアサイトに既設の「熱・水・二酸化炭素交換過程」観測サイトを利用し、時間分解能の高い群落光合成速度・群落蒸散速度をはじめ種々の大気・ゴム林間物質交換速度を観測した。微気象・環境因子観測を併せることで交換速度の環境因子依存特性を決め、ゴムノキ成長量・天然ゴム生産量データを併せることで、ゴム林地域水・炭素収支・天然ゴム生産シミュレーションモデルを作成した。

また、衛星データの活用により、インドシナ内陸部山地におけるゴム林拡大の現状を把握し、本研究で作成するシミュレーションモデル、ゴム林拡大現況データを組み合わせ、インドシナ内陸部山地ゴム林拡大・環境変化まで考察した。

## 4. 研究成果

インドシナ半島内陸部3か所のゴム林の長期蒸発散データを利用して、ゴム林の蒸発散特性を明らかにし、その異常な水利用量を明らかにした。次に、樹液流計測によるゴム

ノキ蒸散特性 / 気孔開閉特性を明らかにした。これにより、群落スケールの大気 - ゴム林の物質交換特性、つまり、物質交換の決定因子は、成長速度が最も強力な支配因子、次に、土壌水分と葉面積密度が同程度、そして、飽差、放射と続き、気温は全く関与しないことが明らかとなった。

ゴム林の CO<sub>2</sub> / H<sub>2</sub>O フラックスを記述するための多層モデルの構築を行った。これは、後に構築する全球植生動態モデル (DGVM) の高度化・発展に寄与することが期待されるものである。特に、ゴム林は、ゴムノキが整然と並び、その群落放射特性が特異であるため、その特性の計測・評価、モデル化に工夫が必要であったが、これらは全て新規開発され、その問題点を克服できた。結果、モデルはフラックス計測値を良好に再現できた。このモデルの正当性確認の下に、ゴムノキの植栽方法による生産性・水利用の変化に関する数値実験を行い、特に、生産性を最大にする植栽間隔を得ることができた。この結果は、植栽間隔を 3m×6.7m にすると生産性が最大になるというものであり、カンボジア、タイそれぞれの国において経験的に行われている一般的植栽間隔 3m×6m、3m×7m に合致するという興味深いものであった。

このような数値実験を通じて、本ゴム林物質交換過程モデルの高パフォーマンスが示され、ゴム林の実フラックスデータとの整合性が確認された。正当性が確認された多層モデルの入出力 (計算時間ステップ: 30 分) における計算過程を追跡することで、より時空間スケール (計算時間ステップ: 1 日) の大きい植生動態を表現できるシミュレーションモデルのパラメータを決定することが可能になった。そこで、DGVM にゴム林特有の性質 (ゴムノキの規則的配列、非更新、苗木からの成長、など) と新規で天然ゴム生産モデルを開発・組込みを行い、ゴム林 DGVM を開発した。このゴム林 DGVM の計算パフォーマンスを知るために、天然ゴム採取を 1) 3 日に 1 回、2) 行わない、の 2 つの条件下で、50 年間に渡る天然ゴム生産量とゴムノキ樹幹成長量の時系列の数値実験を行った結果では、天然ゴム採取を行った方が行っていない場合より死亡率が高かった。樹幹バイオマスは、植栽 35 年頃まで、ほぼ同じような推移を示したが、天然ゴム採取を行う方は、この頃飽和に達した。一方、採取を行わない方は、植栽後 40 年頃に飽和した。月天然ゴム生産量の計算値は最盛期で 200~300 kg 乾重 / ha となり、実データに極めて近い値となった。天然ゴム生産量も、植栽後 35 年頃に最大値に達し、その後、若干の減少傾向が見られた。本計算対象地であるカンボジア中央部のゴム林では、一般に植栽後 40 年で天然ゴム採取を止め、ゴムノキを (材として利用するため) 伐採する。この行為が理想的である

ことが、本シミュレーションから裏付けられる格好となった。

## 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 11 件)

- Kobayashi, N., Kumagai, T., Miyazawa, Y., Matsumoto, K., Tateishi, M., Lim, T. K., Mudd, R. G., Ziegler, A., Giambelluca, T. W. and Yin, S. (2014) Transpiration characteristics of a rubber plantation in central Cambodia. *Tree Physiology*, 34(3), P285-301.
- Miyazawa, Y., Tateishi, M., Komatsu, H., Ma, V., Kajisa, T., Sokh, H., Mizoue, N. and Kumagai, T. (2014) Tropical tree water use under seasonal waterlogging and drought in central Cambodia. *Journal of Hydrology*, 515, P81-89.
- Kumagai, T., Kanamori, H. and Yasunari, T. (2013) Deforestation-induced reduction in rainfall. *Hydrological Processes*, 27(25), P3811-3814.
- Kumagai, T., Mudd, R. G., Miyazawa, Y., Liu, W., Giambelluca, T. W., Kobayashi, N., Lim, T. K., Jomura, M., Matsumoto, K., Huang, M., Chen, Q., Ziegler, A. and Yin, S. (2013) Simulation of canopy CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O fluxes for a rubber (*Hevea brasiliensis*) plantation in central Cambodia: the effect of the regular spacing of planted trees. *Ecological Modelling*, 265, P124-135.
- Katayama, A., Kume, T., Komatsu, H., Saitoh, T., Ohashi, M., Nakagawa, M., Suzuki, M., Otsuki, K. and Kumagai, T. (2013) Carbon allocation in a Bornean tropical rainforest without dry seasons. *Journal of Plant Research*, 126(4), P505-515.
- Kumagai, T. and Kume, T. (2012) Influences of diurnal rainfall cycle on CO<sub>2</sub> exchange over Bornean tropical rainforests. *Ecological Modelling*, 246, P91-98.
- Kumagai, T. and Porporato, A. (2012) Drought-induced mortality of a Bornean tropical rainforest amplified by climate change. *Journal of Geophysical Research -Biogeosciences*, 117, G02032, doi:10.1029/2011JG001835.
- Kumagai, T. and Porporato, A. (2012) Strategies of a Bornean tropical rainforest water use as a function of rainfall regime: isohydric or anisohydric? *Plant, Cell and Environment*, 35(1), P61-71.
- Kume, T., Tanaka, N., Kuraji, K., Komatsu, H., Yoshifuji, N., Saitoh, T. M., Suzuki, M. and Kumagai, T. (2011) Ten-year evapotranspiration estimates in a Bornean

- tropical rainforest. Agricultural and Forest Meteorology, 151(9), P1183-1192.
- Miyazawa, Y., Tateishi, M., Komatsu, H., Kumagai, T. and Otsuki, K. (2011) Are measurements from excised leaves suitable for modeling diurnal patterns of gas exchange of intact leaves? Hydrological Processes, 25(18), P2924-2930.
- Yoshifuji, N., Komatsu, H., Kumagai, T., Tanaka, N., Tantasirin, C. and Suzuki, M. (2011) Interannual variation in transpiration onset and its predictive indicator for a tropical deciduous forest in northern Thailand based on 8-year sap-flow records. Ecohydrology, 4(2), P225-235.

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

熊谷朝臣 (名古屋大学)  
研究者番号 : 50304770

### (2)研究分担者

上村真由子 (日本大学)  
研究者番号 : 60444569  
松本一穂 (琉球大学)  
研究者番号 : 20528707