

平成 22年 5月 28日現在

研究種目： 若手研究 (A)  
 研究期間： 2007 ～ 2009  
 課題番号： 19688012  
 研究課題名 (和文) 植生キャノピーの生理・生態・光学特性に関する統合モデルと衛星観測  
 研究課題名 (英文) Integrated model and satellite remote sensing of physiology, ecology, and optics of vegetation canopies  
 研究代表者  
 奈佐原 顕郎 (西田) (NASHARA KENLO (NISHIDA))  
 筑波大学・大学院生命環境科学研究科・准教授  
 研究者番号： 40312813

研究成果の概要 (和文)： 森林や農地の機能と構造を、複数種が混在して季節変化する状況で再現し、人工衛星などによる見え方と光合成特性を結合するモデルを作成した。そのためにまず、森林と水田で、様々な波長での光の反射率 (分光反射率) の自動観測と、デジタルカメラ自動長期連続撮影、個葉の分光特性・生理特性の観測、衛星観測等を実施した。その結果、中間赤外光を使う分光植生指標の安定性・有用性を、世界で始めて、連続データ示した。衛星観測と合わせることで、近年の日本全国の植物季節の経年変化を衛星で検討した結果、中部日本の広い範囲で2009年の展葉と落葉が遅いタイミングで起きたことがわかった。

研究成果の概要 (英文)： I created a numerical model which describes vegetation canopy (such as forest or crops) with a mixture of species changing seasonally. This model can connect "how the vegetation looks" for satellite sensors, to the vegetation physiology. For its basis, I conducted a long-term continuous observation of vegetation spectrum. As a result, I showed robustness and utility of the spectral index using mid-infrared light with the continuous long-term in-situ dataset. By using the satellite data, I found yearly changes of vegetation phenology, particularly the linkage between spring onset and autumn offset in 2009.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	12,600,000	3,780,000	16,380,000
2008年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
総計	18,900,000	5,670,000	24,570,000

研究分野： 農学

科研費の分科・細目： 農業工学・農業環境工学

キーワード： 生物環境情報・リモートセンシング・炭素動態・生理生態・森林・水田・中間赤外分光

## 1. 研究開始当初の背景

陸域植生の生態系の役割は、様々な観点で解析・評価されている。とりわけ近年は、世界的な規模の気候変動の影響とその機構を探るために、森林や農地を中心とする炭素循環 (光合成・呼吸・蓄積・分解)、水循環 (降雨・流出・蒸発・蒸散・貯留)、擾乱 (火

災・地すべり・人為的開発)などに注目が集まっており、それらの解析・評価のために、物質・エネルギー輸送モデルによる数値シミュレーションと人工衛星リモートセンシングを組み合わせる、広域的な観測・推定手法が注目されている。

しかしそれらの手法の精度には問題が多い

というのも、陸上生態系は生態学的に意味のある構造と、それに対応する機能を持ち、それが時間的・空間的な変動として顕在化している。ところが、現状では、数値モデルの構築や、衛星データの解釈においては、植生の構造や機能とその季節変化をかなり単純化しておりそのため、かなり多くの現象や情報が、抜け落ちたり誤って解釈されていると思われる。

キャノピーの構造と機能の季節変化は、個々の樹種の適応戦略の反映であり、生態学的な検討が様々な観点から可能である（たとえば、菊沢喜八郎「葉の寿命の生態学」2005）。たとえばダケカンバの展葉・落葉パターン（順次展葉し、黄葉するとすぐに順次落葉する）と着葉の鉛直分布パターン（キャノピー上部に密集）と葉の角度分布（垂れ下がった葉が多い）は、ダケカンバの適応戦略の反映として生態学的に統一的に解釈できるものであり、なおかつこれらの特性は、互いにリンクしてキャノピーの分光特性と生理特性を決定していると考えられる。

また、陸域生態系モデルによって森林キャノピーの光合成を評価する上で、従来の多くのモデルは葉面積の季節変化は考慮しても個葉の生理特性の季節変化までは考慮していない。しかし、個葉の生理特性の季節変化を組み込むことで、モデルの推定精度が大きく向上することがわかってきた。この事情は、衛星リモートセンシングにも言える。衛星リモートセンシングからキャノピーの葉面積指数（LAI）や光合成有効放射吸収率（FPAR）などの推定をするために、キャノピーの放射伝達モデルが構築されるが、これに個葉の分光特性や葉の角度分布に関する季節変化を組み込んだ例はほとんどない。しかしながら、個葉の分光特性や葉の角度分布の季節変化を組み込むことで、森林キャノピーの光学特性の推定精度は大きく改善されることがわかってきた森林キャノピーの光学特性は、林内の光環境を決定する要因なので、これは森林キャノピーの光合成の推定精度にも影響を及ぼすと考

えられる。

## 2. 研究の目的

本研究は、植生キャノピーの構造と機能の季節変化、すなわち(森林の場合は)木質部の作る構造（枝・幹）を取り込んだ上で、キャノピーの葉群の構造と個葉の光学特性・生理特性の季節変化を、陽に組み込んだ放射伝達モデルを開発する。次に、それによって、植生キャノピーの光合成と分光特性（衛星観測のてがかり）の両方をカップリングさせて評価しそれをもとに衛星リモートセンシングから森林キャノピーの構造・光合成などに関する情報を逆推定する手法を開発する。それをもとに、森林の生産性に関する面的な評価を行うことを目的とする。

その過程で、これらの要素を現実的にモデルにキャノピー1次元多層モデルに導入可能にするための幹・枝の定式化手法を提案し、そのために必要な情報（幹・枝の表面積の高度分布と葉面積の高度分布の相似性や、幹・枝の総面積と盛夏の葉の総面積との関係など）を明らかにする。

## 3. 研究の方法

### (1) 樹冠の観測

岐阜大学高山試験地と農業環境技術研究所真瀬水田試験地のそれぞれで Phenological Eyes Network (PEN; 衛星観測の地上検証用の長期植生動態観測網; 土田ら, 2005) の一端をなすものとして、可視近赤外光の分光放射計による分光反射率自動観測と、魚眼デジタルカメラ自動撮影システムによる天空状態・植生状態の高頻度自動観測を継続した。

従来の観測項目に加えて、本研究によって、中間赤外領域の自動分光測定(MS-712)を開始し、継続した。

### (2) 個葉の観測

高山試験地において、個葉の分光特性・光

合成蒸散特性をはじめとする生理特性の観測を定期的実施した。ASD社の新型積分球の校正評価を行った(岐阜大学・村岡裕由教授との共同研究)。

### (3) 葉面積指数測定

Nasahara et al. (2008; Agricultural and Forest Meteorology)で発表した手法を用いて、樹冠の葉面積指数(LAI)を樹種ごと・時期ごとに計測した。それをもとに、林冠透過分光測定によるLAI測定法を開発した。

### (4) 樹冠モデル

上述の観測をもとに、樹冠スケールの、分光・生理結合モデルを作成した。

### (5) 衛星観測

これらの研究をベースにして、当研究室の博士課程学生(後に博士研究員)の本岡毅とともに、植生の展葉・落葉の時期を検出するアルゴリズムを開発し、衛星データに適用した。

## 4. 研究成果

### (1) 樹冠の観測

高山試験地と真瀬水田のそれぞれで、予定どおり、可視から中間赤外領域に渡る、長期連続自動分光測定ができた。同時期に観測された衛星データと比較すると、衛星センサーMODISの赤(バンド1)・近赤外(バンド2)・中間赤外(バンド5)のいずれでも大気によるノイズに起因すると思われる変動が衛星データに顕著だったが、バンド2とバンド5を組み合わせたNDWIという指標は、衛星データと地上観測がよく一致することが判明した(図1)。これは近赤外と中間赤外でノイズを相殺するためだと考えられる。これによって、中間赤外バンドを使う分光植生指標の安定性・有用性を、世界で始めて、連続データで示すことができた。

### (2) 個葉の観測

高山試験地における木本10種の個葉の分

光特性のデータ(表・裏の各反射・透過スペクトル)457セットをデータベース化し、様々な樹種構成・季節の樹冠放射伝達も基礎データを構築できた。

### (3) 葉面積指数測定

2006, 2007, 2008, 2009の4年間にわたって、高山試験地の樹冠葉面積指数の季節返歌を樹種別に追跡できた。これによって、樹冠放射伝達特性の季節変化だけでなく、経年変化(変動)を解析するための基礎データを構築できた。

### (4) 樹冠モデル

以上の観測データをもとに、複数の樹種が混在してその割合が季節変化する、樹冠放射伝達・生理特性の季節動態モデルを構築できた。その結果を森林・大気間の炭素交換量(フラックス)の実測値(産業技術総合研究所・村山昌平博士、国立環境研究所・三枝信子博士)と比較し、季節変化に関して良好な対応を確認した。

### (5) 衛星観測

衛星観測される樹冠分光特性の季節変化パターンの特徴から、MODISセンサーのバンド1とバンド4を使うことによって、春の展葉と秋の落葉の各タイミングが明瞭に抽出できることがわかった(本岡毅による)。それを衛星データに適用し、近年の日本全国の植物季節の経年変化を衛星で検討した結果、中部日本の広い範囲で2009年の展葉と落葉が遅いタイミングで起きたことがわかった。

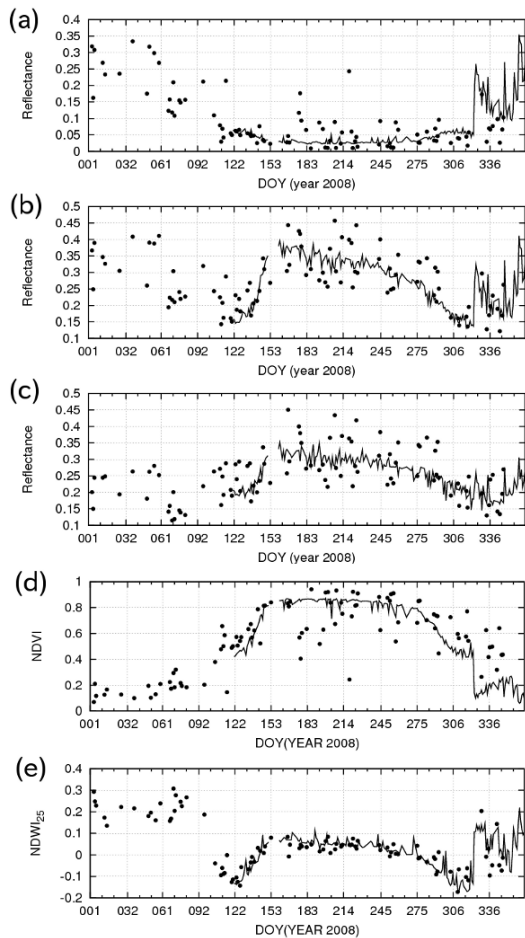


図1 落葉広葉樹林（高山試験地）における、可視・近赤外・中間赤外反射率の季節変化。地上観測（実線）と衛星観測（黒点）。(a): 赤色光(MODIS バンド 1), (b): 近赤外光(MODIS バンド 2), (c): 中間赤外光(MODIS バンド 5), (d): NDVI, (e): NDWI。

## 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 2 件)

- (1) Kume, A., Nasahara, K. N., Nagai, S., and Muraoka, H. (2010): The ratio of transmitted near-infrared radiation to photosynthetically active radiation (PAR) increases in proportion to the adsorbed PAR in the canopy. *Journal of Plant Research*, DOI 10.1007/s10265-010-0346-1. (査読あり)

- (2) Motohka, T., Nasahara, K. N., Miyata, A., Mano, M. and Tsuchida, S. (2009): Evaluation of optical satellite remote sensing for rice paddy phenology in monsoon Asia using continuous in-situ dataset. *International Journal of Remote Sensing*, 30(17), 4343 - 4357, DOI: 10.1080/01431160802549369.

(査読あり)

〔学会発表〕 (計 9 件)

- (1) 本岡毅・奈佐原顕郎 (2009): リモートセンシングによる展葉・紅葉フェノロジー観測とその地上検証. *JaLTER All Scientist Meeting 2009*, 2009年10月6日, 菅平高原. (ポスター)

- (2) 奈佐原顕郎, 本岡毅, 永井信, 村岡裕由: 2009年の紅葉・落葉はなぜ早かったのか ---衛星・地上同時観測と検証. *日本生態学会第57回全国大会*. 2010年3月18日, 東京.

- (3) Motohka, T. and Nasahara, K. N. (2009): A simple and robust method for remote sensing of phenology using green and red reflectance: GRVI-method. *American Geophysical Union Fall Meeting*, 2009/12/17, San Francisco. (Poster)

- (4) Wingate, L., Richardson, A. D., Nasahara, K. N., Weltzin, J. F., Grace, J. and the FLUXNET webcam network (2009): Keeping an eye on the carbon balance: linking canopy development and net ecosystem exchange using an international webcam network. *EGU General Assembly 2009*, April 21, Vienna.

(5) 本岡毅・奈佐原顕郎 (2009): 衛星リモートセンシングによる紅葉・黄葉フェノロジー観測手法の開発. 日本生態学会第56回全国大会, PA1-029, 2009年3月18日 10:00-17:00, 岩手県立大学, 盛岡. ポスター。

(6) 奈佐原顕郎・三上寛了・永井信・村岡裕由 (2009): 冷温帯落葉樹林 (高山サイト) における、葉面積指数の総合的長期観測. 日本生態学会第56回全国大会, PA1-036, 2009年3月18日 10:00-17:00, 岩手県立大学, 盛岡. ポスター。

(7) Nasahara, K. N., Tsuchida, S., and Motohka, T. (2008): Phenological Eyes Network (PEN): Long-term ground validation of satellite remote sensing of ecosystems. AsiaFlux Workshop 2008/11/18 Seoul.

(8) Nasahara, K. N., Muraoka, H. (2008): Leaf-to-canopy upscaling of optical signals and physiology of forest canopy. 2nd International Symposium of 21st Century COE Program "Satellite Ecology" at Gifu University, 2008/08/01.

(9) 本岡毅・西田顕郎 (2007): 赤色光と緑色光の反射率の関係をを用いた植生フェノロジー推定. 日本写真測量学会 平成19年度年次学術講演会, 2007年6月21日, 横浜.

[その他]

ホームページ等

<http://ryuiki.agbi.tsukuba.ac.jp/~nishida/>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

奈佐原 顕郎 (旧姓 西田)

(NASAHARA KENLO (NISHIDA))

筑波大学・大学院生命環境科学研究科・准教授

研究者番号: 40312813