

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 7日現在

機関番号：23901
 研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2009～2012
 課題番号：21510019
 研究課題名（和文）地球観測データの相対校正手法に関する基礎研究（温暖化予測制度向上を目指して）
 研究課題名（英文）Inter calibration of earth observation data for accuracy improvement in prediction of global warming
 研究代表者
 吉岡 博貴（YOSHIOKA HIROKI）
 愛知県立大学・情報科学部・准教授
 研究者番号：40332944

研究成果の概要（和文）：

人工衛星による長期地球観測を実現するためには複数の衛星センサを用いて観測されたデータを統融合する必要がある。しかし、設計仕様がセンサー間で異なるため、観測データに系統的な差が生じ、データの一貫性を損なうことが問題とされている。本研究では、解析的手法により相互校正における諸問題について検討した。解像度等の違いが引き起こす観測データ間の系統誤差について研究を進め、一貫性向上に資する研究成果を得た。

研究成果の概要（英文）：

Multi-year to -decadal observation records are often required to detect changes that have occurred or are occurring, and to identify trends and causes of those changes. Differences in sensor specifications, however, cause discrepancies between observation records by two sensors. These biases should be minimized by conducting inter-sensor calibration. The objective of this study is to perform analytical investigations to overcome the difficulties. This study has clarified influences caused by differences in spatial resolution, spectral band-pass filter, and observation geometries, which are beneficial to long-term earth observation record.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,600,000円	480,000円	2,080,000円
2010年度	700,000円	210,000円	910,000円
2011年度	700,000円	210,000円	910,000円
2012年度	700,000円	210,000円	910,000円
年度			
総計	3,700,000円	1,110,000円	4,810,000円

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：リモートセンシング

1. 研究開始当初の背景

温暖化を含む環境問題の把握やその対策にとって衛星観測は重要な役割を担っており、その精度向上が強く求められている。衛星による地球観測データは既に30年に及ぶ蓄積があるため、将来への継続性が重要視されており、日本を含む複数の国や連合体による地

球観測計画が実行に移されている。これらの観測結果は複数の世代に及ぶ衛星センサーによるデータセットで構成されているため、仕様の異なるセンサー世代間において植生量などの推定値に人工的なデータのシフト（アーチファクト）が生じている。これら複数のセンサー世代を継ぎ足した長期データ

セットの精度向上には、そのアーチファクトを解消するための相対校正を行う必要がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、長期間におよぶ統一的なデータセット作成のためのセンサー間相対校正手法に関する基礎研究を行うことである。気候変動の予測等を目的とした地球規模の数値シミュレーションに必要な、また、国際的な研究指針の1つに挙げられている、一貫性のある高精度観測データセット作成への貢献を目指すものである。

3. 研究の方法

センサー間相対校正に関する基礎研究を進めるために、以下の3テーマを設定した。

- (1) 解像度依存性の解明
- (2) 観測波長帯依存性の解明
- (3) 幾何的条件依存性の解明

各テーマについて、まず解析的手法を用いて課題へのアプローチを試み、解明した事実について、数値モデルや実データによる理論の検証を進めるという研究方法をとった。

4. 研究成果

- (1) 解像度依存性の解明

対象領域を複数の解像度レベルで観測した結果を実データを用いてシミュレーションし(図1)、植生指数等の領域平均値を求めた。領域平均値を領域内のピクセル数(解像度に対応する変数)に対してプロットすると植生指数の解像度依存性を再現することができる(図2)。図2からは植生指数の領域平均値が(ある解像度遷移に対して)単調に増減していることが伺える。本研究では、この領域平均値の単調性を明らかにするために、まず解像度の変化を表すためのモデル「解像度遷移モデル」を提案・開発した(図3)。次に、解像度遷移モデルを用いることで、ある解像度レベルから他の解像度レベルに遷移する過程での植生指数領域平均値の変化量を解析した。その結果、単調性を証明することに成功し、また、増減の方向を決定する因子(式1)を明らかにした。

$$\eta = \frac{\det[\rho_1, \hat{\rho}_1 - \hat{\rho}_2]}{\det[\rho_2, \hat{\rho}_1 - \hat{\rho}_2]} \quad (1)$$

ここで、 ρ_1 と ρ_2 は植生および土壌エンドメンバースペクトルの真値を、 $\hat{\rho}$ はエンドメンバースペクトルの推定値を表す。また、上式の因子 η が1を超える場合と下回る場合では解像度に依存し、さらに、その増減方向が逆転する。丁度1になる場合に限り解像度に依存しないことが明らかとなった。

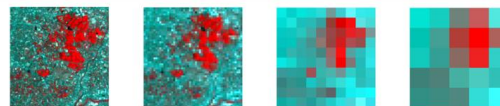


図 1. Landsat7-ETM+を用いた同一領域の異種解像度モデリング

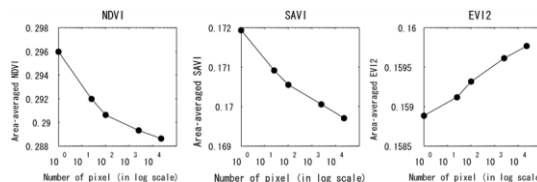


図 2. 植生指数 (NDVI, SAVI, EVI2) の上記領域 (図 1) における解像度依存性

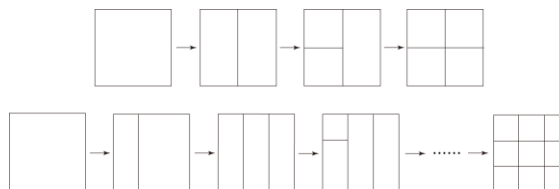


図 3. 解像度遷移モデルの応用例. 上段は解像度レベル1から4へ、下段は1から9の遷移を示す。

さらに、一般形植生指数の場合についても研究を進めた結果、その領域平均値は、解像度遷移モデルにより定義される同一解像度遷移内で単調に変化することを証明した。同様なアプローチにより、緑被率推定値領域平均値が同一解像度遷移内で単調に変化するためのエンドメンバースペクトルに関する条件が存在することを示した。

- (2) 観測波長帯依存性の解明

観測波長帯依存性に関する研究は、まず、反射率間の関係式を導出することから始めた。関係式の導出は、土壌反射率一定の条件下で得られる反射スペクトルの軌跡(土壌アイソライン, 図4)に着目し、そのアイソラインを表す方程式(土壌アイソライン方程式)として導出した(図5)。

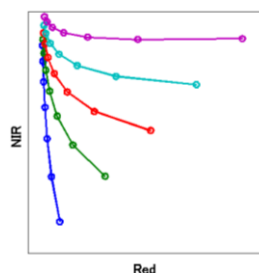


図 4. 数値モデルによる土壌アイソラインの例

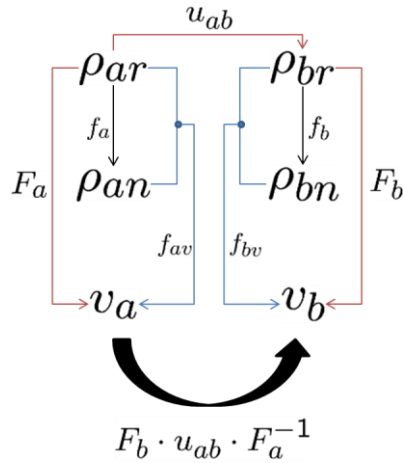


図 5. 植生指数のセンサー間関係式の導出手順

さらに、この反射率間関係式を用いて植生指数のセンサー間関係式を解析的に導出し、指数のセンサー間相互校正を試みた。数値実験の結果（図6）は、センサー間の相互校正が高い精度で可能であることを示唆している。

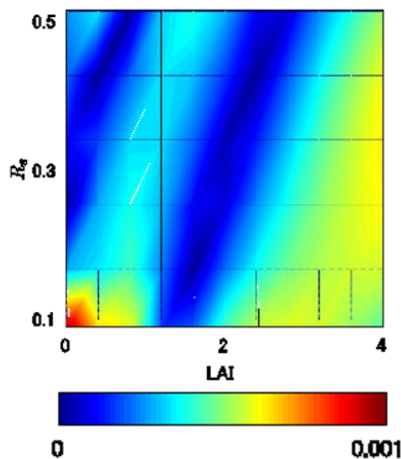


図 6. 土壌アイソライン方程式を利用したセンサー間相対校正結果 (True MODIS vs. Translated MODIS from CAI)

(3) 幾何的条件依存性の解明
前節で導出した植生指数のセンサー間関係式導出に際しては、利用する反射率間関係式として土壌アイソライン方程式を採用した。植生指数のセンサー間関係式は土壌アイソライン方程式の代わりに植生層における変数（葉面積指数など）を固定した場合に得られる反射率間関係式（植生アイソライン方程式）を用いても導出可能である。そこで、本研究では植生アイソライン方程式にもとづく植生指数のセンサー間関係式を導出し、その係数のセンサー天頂角および相対方位角

の変化がセンサー間関係式に及ぼす影響について検討した。指数のセンサー間関係式中の係数は、次式に示す反射率間関係式中の係数に依存することが明らかとなった。

$$A_{ba,1}(\theta_o, \theta_s) = \frac{T_{vN}^2(\theta_o, \theta_s)}{T_{vR}^2(\theta_o, \theta_s)} \quad (2)$$

$$D_{ba,1}(\theta_o, \varphi, \theta_s) = \rho_{vN}(\theta_o, \varphi, \theta_s) + bT_{vN}^2(\theta_o, \theta_s) - \gamma(\theta_o, \theta_s)\rho_{vR}(\theta_o, \varphi, \theta_s) \quad (3)$$

次に、これら係数を用いて導出されるセンサー間関係式中の係数（h1）が、観測幾何条件（センサー天頂角と相対方位角）にどの程度依存するのかを明らかにするために、放射伝達モデルを用いたシミュレーションを実施した。その結果を図7に示す。この結果から、相互校正に利用する際、その角度依存性が問題になると予想された係数（h1）はセンサー天頂角が比較的小さい条件下では観測幾何条件に寄らずほぼ一定となることが示された。実データから相互校正係数を求める場合、複数センサーによる同期観測データを揃える必要がある。本研究による結果は、この同期観測データの観測幾何条件について、ある程度の緩和が可能であることを示唆している。

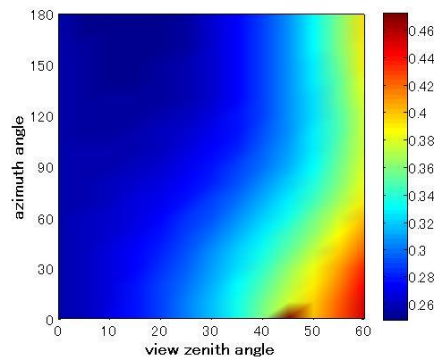


図 7. 植生指数間関係式中の係数（h1）の観測幾何条件への依存性（天頂角が低い場合には依存度が低くなっているのが伺える。）

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8件）

- [1] Kenta Obata, Tomoaki Miura and Hiroki Yoshioka, “Scaling effects in area-averaged values of two-band spectral vegetation indices represented in a general form,” Journal of Applied Remote Sensing, vol. 6, 17 pages, DOI:10.1117/1.JRS.6.063585, 2012. 査読有り
- [2] Hiroki Yoshioka, Tomoaki Miura, and

- Kenta Obata, "Derivation of relationships between spectral vegetation indices from multiple sensors based on vegetation isolines," *Remote Sensing*, 4(3), pp.583-597, DOI: 10.3390/rs4030583, 2012. 査読有り
- [3] Kenta Obata, Tomoaki Miura, and Hiroki Yoshioka, "Scaling effect of area-averaged NDVI: Monotonicity along the spatial resolution," *Remote Sensing*, 4(1), pp.160-179, DOI: 10.3390/rs4010160, 2012. 査読有り
- [4] Kenta Obata and Hiroki Yoshioka, "Comparison of the noise robustness of FVC retrieval algorithms based on linear mixture models," *Remote Sensing*, 3(7), pp.1344-1364, DOI: 10.3390/rs3071344, 2011. 査読有り
- [5] Kenta Obata and Hiroki Yoshioka, "Relationships between errors propagated in fraction of vegetation cover by algorithms based on a two-endmember linear mixture model," *Remote Sensing*, 2(12), pp.2680-2699, DOI: 10.3390/rs2122680, 2010. 査読有り
- [6] Kenta Obata and Hiroki Yoshioka, "Inter-algorithm relationships for the estimation of the fraction of vegetation cover based on a two endmember linear mixture model with the VI constraint," *Remote Sensing*, 2(7), pp.1680-1701, DOI: 10.3390/rs2071680, 2010. 査読有り
- [7] Hiroki Yoshioka, Tomoaki Miura, José A. M. Demattê, Karim Batchily and Alfredo R. Huete, "Soil line influences on two-band vegetation indices and vegetation isolines: A numerical study," *Remote Sensing*, 2(2), pp.545-561, DOI: 10.3390/rs2020545, 2010. 査読有り
- [8] Hiroki Yoshioka, Tomoaki Miura, José A. M. Demattê, Karim Batchily and Alfredo R. Huete, "Derivation of soil line influence on two-band vegetation indices and vegetation isolines," *Remote Sensing*, 1(4), pp.842-857, DOI: 10.3390/rs1040842, 2009. 査読有り
- [9] Kenta Obata, "area-averaged NDVI derived from ALOS-AVNIR2 data," *IEEE IGARSS'12*, 4 pages, Munich, Germany, July 2012 (to be appeared).
- [3] Kenta Obata, Hiroki Yoshioka, and Tomoaki Miura, "Comparison of scaling effects in fraction of vegetation cover between algorithms based on linear mixture model using VI," *IEEE IGARSS'12*, 4 pages, Munich, Germany, July 2012 (to be appeared).
- [4] Hiroki Yoshioka, Kenta Obata, and Yasuhiro Ikuta, "Analysis of error in fraction of vegetation cover propagated from band-correlated errors in endmember spectra," *IEEE IGARSS'12*, 4 pages, Munich, Germany, July 2012 (to be appeared).
- [5] Hiroki Yoshioka and Kenta Obata, "Soil isoline equation in red-NIR reflectance space for cross calibration of NDVI between sensors," *IEEE IGARSS'11*, pp. 3082-3085, Vancouver, Canada, July 2011.
- [6] Kenta Obata, and Hiroki Yoshioka, "Influence of endmember spectra on scaling effect of vegetation cover estimation with NDVI," *IEEE IGARSS'11*, pp. 2919-2922, Vancouver, Canada, July 2011.
- [7] Hiroki Yoshioka and Kenta Obata, "Relationship of propagated error in fraction of vegetation cover among the retrieval algorithms based on linear mixture model," *Proc. 34-th International Symposium of Remote Sensing of Environment*, in CD-ROM, 4 pages, Sydney, Australia, April 2011.
- [8] Kenta Obata and Hiroki Yoshioka, "On the resolution transfer sequence that results in monotonic changes of area-averaged two-band spectral vegetation indices," *Proc. 34-th International Symposium of Remote Sensing of Environment*, in CD-ROM, 4 pages, Sydney, Australia, April 2011.
- [9] Kenta Obata and Hiroki Yoshioka, "Monotonicity of two-band spectral vegetation index in general form under a two-endmember linear mixture model," *Proc. 34-th International Symposium of Remote Sensing of Environment*, in CD-ROM, 4 pages, Sydney, Australia, April 2011.
- [10] Munenori Miura, Kenta Obata, and Hiroki Yoshioka, "Vegetation isoline equations for atmosphere-canopy-soil system of
- [学会発表] (計 27 件)
- [1] Kenta Taniguchi, Kenta Obata, and Hiroki Yoshioka, "Inter-sensor NDVI relationships based on analytical relationships of soil isolines," *IEEE IGARSS'12*, 4 pages, Munich, Germany, July 2012 (to be appeared).
- [2] Masayuki Matsuoka, Kenta Obata, and Hiroki Yoshioka, "Scaling effect of

- layer with second order interaction term,” *Proc. SPIE*, vol.7809, 780906, DOI: 10.1117/12.860432, San Diego, USA, August, 2010.
- [11] Kenta Obata, Munenori Miura, and Hiroki Yoshioka, “Scaling effect of fraction of vegetation cover retrieved by algorithms based on linear mixture model,” *Proc. SPIE*, vol.7809, 780905, DOI: 10.1117/12.860440, San Diego, USA, August, 2010.
- [12] Kenta Obata and Hiroki Yoshioka, “Error bounds of area-averaged NDVI induced by differences in spatial resolution under a multiple-endmember linear mixture model,” *Proc. ISPRS TC VIII Symp. 2010*, in CD-ROM, 6 pages, Kyoto, Japan, August, 2010.
- [13] Kenta Obata and Hiroki Yoshioka, “Inter-algorithm relationships for retrievals of fraction of vegetation cover in a framework of linear mixture model,” *Proc. ISPRS TC VIII Symp. 2010*, in CD-ROM, 6 pages, Kyoto, Japan, August 2010
- [14] Munenori Miura, Kenta Obata, and Hiroki Yoshioka, “Vegetation isoline equations for analysis of hyper-spectral data with higher order interaction terms,” *IEEE IGARSS’10*, pp. 1031-1034, Hawaii, USA, 2010.
- [15] Naoki Takahashi, Kenta Obata, Masaki Iwamura, and Hiroki Yoshioka, “Parallel implementation of unmixing algorithm for variable-endmember linear mixture model,” *IEEE IGARSS’10*, pp. 967-970, Hawaii, USA, 2010.
- [16] Kenta Taniguchi, Kenta Obata, and Hiroki Yoshioka “Derivations of inter-sensor NDVI relationships based on soil isoline equations”, G 空間 EXPO 学生フォーラム, 2 pages, 横浜, 2012 年 6 月.
- [17] 松岡真如, 吉岡博貴 “マルチスペクトルデータを用いてパンシャープン処理したハイパースペクトルデータの分光特性の評価,” 第 53 回日本リモートセンシング学会学術講演会論文集, 東京, 2012 年 11 月.
- [18] 松岡真如, 吉岡博貴, 小畑建太, “ALOS/AVNIR-2 を用いた NDVI の解像度依存性に関する数値実験,” 平成 24 年次日本写真測量学会学術講演会, 東京, 2012 年 5 月.
- [19] 小畑建太, 吉岡博貴 “植生指数を用いた線形混合モデルに基づく緑被率の解像度依存性に関する手法間比較,” 第 51 回日本リモートセンシング学会学術講演会論文集, pp. 63-64, 弘前, 2011 年 11 月.
- [20] 小畑建太, 吉岡博貴 “NDVI を用いた緑被率推定値の解像度依存性を解消するエンドメンバー対の存在,” 第 50 回日本リモートセンシング学会学術講演会論文集, pp. 117-118, 東京, 2011 年 5 月.
- [21] Tomoaki Miura and Hiroki Yoshioka, “Spectral and spatial compatibility analysis of multi-sensor vegetation indices using EO-1 Hyperion data,” 第 50 回日本リモートセンシング学会学術講演会論文集, pp. 109-110, 東京, 2011 年 5 月.
- [22] 小畑建太, 吉岡博貴 “緑被率推定値の解像度依存性理論とその検証,” 第 18 回リモートセンシングフォーラム資料, pp.11-12, 千葉, 2011 年 3 月.
- [23] 小畑建太, 吉岡博貴 “反射スペクトルの不確定性に起因する緑被率推定誤差の手法間関係式の導出” 第 49 回日本リモートセンシング学会学術講演会論文集, pp.33-34, 鹿児島, 2010 年 11 月.
- [24] 小畑建太, 吉岡博貴 “線形混合モデルにもとづく緑被率推定値 (領域平均値) の解像度依存性” 第 48 回日本リモートセンシング学会学術講演会論文集, pp.7-8, つくば, 2010 年 5 月.
- [25] 小畑建太, 三浦宗徳, 吉岡博貴 “線形混合モデルに基づく NDVI の解像度依存性: エンドメンバー数の影響について”, 第 17 回リモートセンシングフォーラム資料, pp.45-46, 東京, 2010 年 3 月.
- [26] 三浦宗徳, 小畑建太, 吉岡博貴 “高次の相互作用を考慮した反射率間関係式の導出” 第 17 回リモートセンシングフォーラム資料, pp.31-32, 東京, 2010 年 3 月.
- [27] 小畑建太, 和田貴裕, 吉岡博貴 : NDVI 領域平均値の解像度依存性: 空間解像度に伴う単調性について, 日本リモートセンシング学会第 47 回学術講演会論文集, pp. 117-118, 名古屋大学, 2009/11.
- (他, 国際会議論文 6 件投稿済)
- [図書] (計 0 件)
[産業財産権]
- 出願状況 (計 0 件)
○取得状況 (計 0 件)
- [その他]
6. 研究組織
(1) 研究代表者
吉岡 博貴 (YOSHIOKA HIROKI)
愛知県立大学・情報科学部・准教授
研究者番号: 40332944