

## 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 05 月 31 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010 年度～2012 年度

課題番号：22510003

研究課題名（和文）長期極軌道衛星センサの補正および改良植生データセット作成に関する研究

研究課題名（英文）Study on the correction for long-term polar orbit satellites optical sensor and improved vegetation product over globe

研究代表者

樋口 篤志（HIGUCHI ATSUSHI）

千葉大学・環境リモートセンシング研究センター・准教授

研究者番号：90324384

研究成果の概要（和文）：気候変化に対する陸面応答を長期で理解するためには、衛星観測による植生データセットが欠かせない。2000 年以降は MODIS があるが、2000 年以前は NOAA/AVHRR シリーズが主である。NOAA 衛星は軌道が遅れる問題が知られている。本研究では長期改良植生データセットを作成するための基礎研究として、既存プロダクト(Daily-PAL)再補正手法提案、NOAA 12, 14 号に対する絶対補正試作、全球適応を試みた。Daily-PAL 再補正はリーズナブルな結果が得られ、日本付近の NOAA/AVHRR を用いた海面・水雲・氷雲をターゲットとした絶対補正も妥当な結果が得られたが、全球適応の際に生データ 処理時に幾何補正精度・データヘッダ情報に不確実性が多く、品質管理に多く課題が残った。

研究成果の概要（英文）：For the better understanding of vegetation responses on climate change, vegetation-related products derived from satellites observation have a curial role. Since 2000's, MODIS can cover to produce global products, however only NOAA/AVHRR could cover before 2000. It is well known that NOAA platform delay its orbit due to the priority for long-term operation. This study focused on the reproduce improved long-term vegetation product with isolated calibrations for orbit delay and sensor itself. To achieve them, we used daily-based product (Daily-PAL) and NOAA/AVHRR data around Japan, and L1B AVHRR data. From revisiting calibration for Daily-PAL, time series of re-calibration NDVI is reasonable to compare other product. For the absolute calibration test for AVHRR around Japan, calibration targets of sea surface, water and ice clouds can get from time series, then also can get reasonable results. However, to expand globe, raw data has problems in accuracy of automatic geometric calibration based on header information, thus I still remain considerable issues in the point of view of quality control.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：環境動態

科研費の分科・細目：リモートセンシング

キーワード：NOAA/AVHRR, データ補正, 長期データセット

1. 研究開始当初の背景

陸域環境の広域モニタリングには地球観

測衛星の活用は必要不可欠である。2000年代以降では EOS 計画の元打ち上げられた研究衛星 Terra/Aqua に搭載された MODIS による全球観測により、気候変化に対する植生応答、あるいは人為的影響による植生変化モニタリングがなされている。MODIS に代表される近年の光学センサは打ち上げ前よりその校正手法について研究がなされており、観測により得られるシグナルは精度が高いと考えられているが、得られたシグナルの処理レベルの違いにより、解析された結果が全く異なる研究例も見られる（好例として、2005 年のアマゾン干魃時に植生活動が活発化したという論文の後、プロダクトレベルが異なるデータを用いて同様の解析を行い、そうした傾向は認められない、とした論文が発表された）。このような違いは主に理工面情報を抽出する前の大気補正（主にエアロゾル補正）や雲判別手法の変化によって生じており、現状の最新衛星プロダクトを用いる際にも注意が必要である。

一方、地球温暖化、気候変化に対する陸面応答を調べる上で、長期での均質、かつ良質の陸面過程に関するデータセットの重要性は増してきている。2000 年以前で全球を比較的高頻度でカバーできる衛星群は NOAA/AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) があり、地上受信局で取得される HRPT (LAC; Local Area Coverage) とアメリカで受信している全球モードの GAC (Global Area Coverage) の 2 種類の受信データが存在する。1990 年代にいくつかの全球合成長期衛星プロダクト (Pathfinder AVHRR over Land; PAL; Global Inventory Modeling and Mapping Studies; GIMMS) が生成され、これらのデータセットを用いた先駆的な研究が行われ、これらの成果は EOS 計画の礎となっている。NOAA/AVHRR は気象観測衛星ながら可視光と近赤外波長のチャンネルを持ち、植物の分光放射特性（赤を吸収、近赤外を反射）から植生モニタリングに有効なセンサとして機能した。NOAA/AVHRR は 1981 年より運用され、かつ同時期に全球モニタリングを目的とした極軌道衛星は運用されていなかったことから、長期データセット作成は NOAA/AVHRR データ処理を意味する。

しかし、NOAA/AVHRR は各衛星を長期でオペレーショナルに運用することを目的としているため、Terra/Aqua 等の研究目的の衛星とは異なり、衛星軌道が徐々に遅れる問題が古くから知られている。衛星軌道の遅れは観測現地時間の遅れを意味し、太陽光からの反射を計測する可視・近赤外波長では太陽高度の低下に伴う観値の系統的な（自然起因でない）誤差が生じる。この問題に対し、いくつかの陸域植生プロダクトは、a). ある領

域（砂漠を用いることが多い）の分光放射特性の経年変動特性から時系列での補正係数を決定し、これを全球データに適応する（PAL の例）、b) 大気補正、エアロゾル補正をかけたのち、植生指数 (NDVI) に変換したデータの時系列特性から、各衛星の軌道遅れに起因するように見えるシグナルをノイズとして除去する (GIMMS) 方法等が採用されているが、どちらの手法もセンサ自身の劣化と軌道の遅れに伴う光源位置変化の影響を混在させて取り扱っている点に問題があり、両者を分離することがより正確な植生プロダクトを出すためには必要である。

## 2. 研究の目的

以上の背景を踏まえ、本研究は極軌道衛星 NOAA/AVHRR を用いた長期改良植生データセット作成のために、既存のデータセットの再校正、各 AVHRR センサの絶対校正と衛星軌道の遅れに伴う信号変化の分離手法の開発、開発された絶対校正手法と軌道遅れに基づく補正を施したデータセットの構築をその目的に設定した。

## 3. 研究の方法

①既存の全球データセットに対する再補正  
2. の目的を達成するために、まずは全球合成データセットのうち、観測データに近い情報を得ることのできる PAL データ、特に時間分解能のより細かい Daily-PAL データを用いて、既存データセットにかけられた補正の影響、およびそれに対して再補正する方法について検討した。具体的には Daily-PAL には 10 日コンポジットされた PAL には無いデータ品質 (QC)、雲フラグ、センサ視野角、太陽天頂角データがある。これらのデータを用いることで、特定の対象に対するサンプリングが可能となる。なお、Daily-PAL のオリジナルはタイル管理がされているが、本研究の目的に合わせ、他の研究で全球合成したものを使用した。

Daily-PAL での各チャンネル補正は打ち上げ後の日数を関数として経年劣化する仮定を元に衛星号毎に経年劣化係数を求めている。係数特定にはリビア砂漠データを用いている。PAL 中での経年補正が妥当かどうかを調べるため、観測条件を絞り、氷雲のデータを抽出し、補正度合いを確認した。氷雲に加え、サハラ砂漠の分光放射率の時系列を考慮に入れた再補正手法を考案し、各衛星の可視・近赤外の再補正係数を決定し、その影響を評価した。

②オリジナル NOAA/AVHRR データを用いた NOAA12, 14 号のセンサ絶対校正に関する検討

①の手法では、中程度の反射率（砂漠）および高反射率（雲）のみで再補正係数を決定

してしまうため、0に近い低反射率の時系列が反映されない問題が残る（PALおよびDaily-PALでは、海面、水面ピクセルに対し、マスクがかけられているため、データ集出ができない）。そのため、生データに近いNOAA/AVHRRデータを用いた絶対校正（代替校正）に関する検討を行う必要がある。幾何補正の煩雑さを避けるため、代表者が所属する千葉大環境リモートセンシング研究センターで受信、処理、公開している日本周辺のNOAA/AVHRRデータセットを利用し、本解析に用いた。このデータセットは既に幾何補正済みであり（精度はあまり良くない）、Daily-PALと類似した観測データ以外の要素が含まれており、太陽天頂角、視野角等の制限をかけやすい。ここでは、直下の鏡面散乱の影響（サングリッター）を受けていない海面（低反射レフレックス）、熱赤外輝度温度が $0^{\circ}\text{C}$ 以上の雲（水雲）、および $0^{\circ}\text{C}$ 以下の雲（氷雲）を1997年以降でのNOAA14号、およびNOAA12号データについて抽出し、その傾向をチェックした。

③全球適応のためのNOAA/AVHRR GACデータの処理、および補正適応に関する検討  
②の検討を受け、全球でテスト的に絶対校正、幾何補正を行った合成プロダクトを作成するため、NOAA14号について幾何補正処理、データ集出を試みた。幾何補正処理には東大生産研でメンテナンスされているパッケージツールPaNDA (Package for Noaa Data Analysis)を使用した。

#### 4. 研究成果

①既存の植生データセットに対する再補正Daily-PALの補正度合いの確認の結果、適切に補正がなされている衛星（チャンネル）として、チャンネル1（可視）ではNOAA7, 9, 11号、チャンネル2（近赤外）ではNOAA7, 9号が挙げられる。特に1980年代運用の衛星に関しては先行研究例も多いことから、適切な補正がなされていることが再確認できた。一方、特にNOAA14号（1995-）はチャンネル1, 2両方で明確な上昇傾向が認められ、これはDaily-PALで採用された補正手法（特に補正係数）に問題があることを示している。

補正の程度のチェックを受け、特にNOAA11, 14号について再補正を行い、その影響を評価した。その結果、NOAA11号はチャンネル2の過度の上層傾向が押さえられたため、11号運用初期（1989）と末期（1992）でのNDVI変化は全球平均で $+0.02857$ であったものが再補正後は $-0.014915$ とマイナスに転じた。空間分布で明確にマイナスに転じた地域はサハラ砂漠等、元々植生面でない（NDVIの低い）地域であり、植生面で明確なプラスの傾向を示していた地域（東シベリア等北方域）ではプラ

ス傾向は保持されていた。そのため、本研究で実施した再補正は全球一律に変化を与えるものではなく、地域性を保持した形で補正されることが分かった。一方、チャンネル1, 2両方に人為的な上昇傾向が現れたNOAA14号は両方に再補正を施したため、両チャンネルより計算されるNDVIには全球平均で見ても（運用末期の1999年で差が $+0.000007$ であり、他の誤差要因の方が大きい）、空間マップで見ても明瞭ではなかった。これはいわば結果オーライ的な感が強く、更なる原因究明が必要となった。

②オリジナルNOAA/AVHRRデータを用いたNOAA12, 14号のセンサ絶対校正に関する検討

①の結果を踏まえ、特に問題の大きいNOAA14号に関してオリジナルデータに近いプロダクトを用いて絶対校正に関する検討を行った。解析期間は千葉大でデータ取得が開始された1997年以降、2000年までの4年間である。同時期に受信していたNOAA12号（元々は午前衛星であったが、打ち上げ後の軌道遅れの影響でかなり遅れている）も対象とした。

ターゲットは低反射率の海面を加え、かつ、日本付近での受信データ内に広域砂漠は存在しないため、海面、水雲、氷雲を抽出し、同時に抽出されたピクセル群のセンサ視野角、太陽天頂角データも抽出し、簡易的な放射伝達式を用いて理論的に想定される分光反射率と観測値を比較し、その経年傾向を調査した。

その結果、NOAA14号AVHRRの可視・近赤外チャンネルの感度は非常に遅い速度で劣化していたが、AVHRRの絶対校正による補正と①のセンサ経年補正では後者の影響の方が大きいことが分かった。これは言い換えると、放射センサとしての性能はさほど問題が無い、ということを示している。一方、NOAA12号は既に軌道が遅れすぎており、NOAA14の代替えとして用いるには絶対補正の前に有効な昼間の観測データを集めるのが困難な状況であった。これはあくまで日本付近のデータのみを使つての解析結果であるため、全球へ適応する際にはまた違う戦略となるかもしれないが（赤道域では有効かも知れない）、衛星軌道の遅れてきたNOAA14号の代替えとしてNOAA12を使うのは困難である感触を得た。

③全球適応のためのNOAA/AVHRR GACデータの処理、および補正適応のための検討

これまでの解析を踏まえ、全球適応のためにNOAA14号GACデータの処理を一部行った。②の段階でNOAA14号から得られるプロダクトの幾何補正精度が他の衛星と比べ悪いことが気になっていたが、実際に処理を行うと

PaNDAの問題ではなく、画像化すると NOAA14 号の幾何補正精度はあまり良くなく、改良植生プロダクトのベースマップとしてそのまま利用するには問題があることが分かった。GAC データそのものを少し精査すると、ヘッダ内の情報に不備があるところがあり、これらを手作業で修正するには処理量が多すぎるため、解決のための試行錯誤を行っているうちに時間切れ、となってしまったのが正直なところである。

NOAA14 号はその前の NOAA13 号の打ち上げ失敗に伴い、急遽打ち上げられた衛星である。そのため、他の過去の衛星等と比べても事前のチェック項目が多く無かった可能性は否定できない。さらに悪いことに、1995～1997 年 8 月までは代替可能な衛星が存在せず（NOAA12 が前半その役割を担えるかもしれないが、未チェックである）、現状ではかなり悲観的な状況である。一方、①での NOAA14 号前半部（ここでは海がマスクされているため、幾何補正精度についてはよく分からないが、アメリカの現業・研究者らが一体となって作ったプロダクトであるため、ある程度力業で処理をしたのであろう）のデータはそれほど衛星軌道遅れに基づく人為的なシグナルが認められない。そのため、本研究を一般研究として継続していく上で、1995-1997 は NOAA14 号をできる限り丁寧に処理をして活用し、それ以降は 1997 年 8 月～は海色センサ SeaWiFS を使う（波長が違うが、NOAA14 号を継続して使うよりは望ましいと考えられる）等、同一仕様のセンサにこだわらず、センサ仕様の違いに基づく応答特性の違いを補正し、長期でできる限り均質なデータセットを構築していく方向性が考えられる。

なお、アメリカでは GIMMS の第 3 世代が公開され、長期植生プロダクトは GIMMS 一本となった（PAL は公開を停止している）が、経年補正は相変わらず NDVI に対して行っている。つまり期間は延びたが処理そのものの本質的な問題は未だ残っている。今後も一般研究として本課題に対して長期的に取り組み、衛星データの有効性を上げていきたい。

## 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 0 件）

〔学会発表〕（計 0 件）

〔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〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

樋口 篤志 (HIGUCHI ATSUSHI)

千葉大学・環境リモートセンシング研究センター・准教授

研究者番号：90324384