

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 23 日現在

機関番号：12501
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2020～2022
課題番号：20K12146
研究課題名（和文）Investigating the Interaction between Spring Green-up Date and Autumn Dormancy Onset based on Field and Satellite Data to Improve the Forest Phenology Models
研究課題名（英文）Investigating the Interaction between Spring Green-up Date and Autumn Dormancy Onset based on Field and Satellite Data to Improve the Forest Phenology Models
研究代表者
楊 偉（Yang, Wei）
千葉大学・環境リモートセンシング研究センター・助教
研究者番号：80725044
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、衛星リモートセンシングと現地観測を併用し、植生フェロロジーの相互作用（Phenology Interaction）を解明したものである。このため、まずリモートセンシングデータによる最先端の植生フェロロジー推定アルゴリズムを開発し、日本宇宙航空研究開発機構（JAXA）のGCOM-C衛星データを用いて新たな全球植生フェロロジープロダクトを構築した。そして、既存の衛星プロダクトを統合し、北半球における植生フェロロジーの経年変化と地球温暖化の関係性を解明した。最後に、衛星フェロロジープロダクトと現場観測で春と秋のフェロロジーの相互作用が存在することは各植生タイプで確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義
まず、本研究で開発した最先端の植生フェロロジー推定アルゴリズムとこのアルゴリズムで作成した衛星プロダクトは、陸域植生動態のモニタリングに関連する研究に観測手法と基盤データを提供することができる。次に、本研究で確認された植生とフェノールの相互作用は、既存の植物フェロロジー予測モデルの開発・改善に貢献できる。これは、将来の気候変動が陸域生態系に与える影響や、気候に対する植生の応答メカニズムを理解する上で重要な役割を果たすと考えられる。

研究成果の概要（英文）：This research used a combination of satellite remote sensing and field observations to elucidate the interaction of vegetation phenology. To this end, we first developed a state-of-the-art algorithm for estimating vegetation phenology using remote sensing data, and constructed a new global vegetation phenology product using GCOM-C satellite data from the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). We then integrated the existing satellite products to elucidate the relationship between interannual changes in vegetation phenology and global warming in the Northern Hemisphere. Finally, the existence of spring and fall phenology interactions was confirmed for each vegetation type using both satellite phenology products and field observations.

研究分野：リモートセンシング（地理学）

キーワード：植生フェロロジー 相互作用 アルゴリズム開発 衛星プロダクト 気候変動

1. 研究開始当初の背景

植生フェノロジーとは、休眠、成長、老化、休眠に至る季節的な植生活動のタイミングを指し、春の緑化時期や秋の休眠開始といった重要なイベントも含まれる。このフェノロジーは、植生機能や気候系への生物地球化学的フィードバックを理解する上で非常に重要である (Penulas et al., 2009)。

植生フェノロジーは、長い間、地上調査によって測定されてきたが、労力がかかり、空間的な広がりには欠ける傾向がある。衛星リモートセンシングは、ここ数十年で既存のフェノロジー観測の視野を大きく広げた。しかし、従来の衛星観測では、空間分解能が粗いため (30m ~ 8km) 景観レベルの表現力が得られない。最近、代表者の既存研究では、高空間分解能で森林フェノロジーを推定するのに有効な新しい植生指標と新しい時空間データ融合法を開発した (Yang et al., 2019)。したがって、森林フェノロジーモデルの開発を促進するために緊急に必要とされる、種レベルの樹木フェノロジーの衛星推定値を導き出すことが可能である (Piao et al., 2019)。

一方、植生フェノロジーのモデリングは、将来の気候変動に対する植生応答やフィードバックを探る上で極めて重要である (Cleland et al., 2007 年)。それにもかかわらず、既存のモデルは、主に表現学変化の複雑なドライバーに関する不完全な理解のために、まだ性能不足である (Piao et al., 2019)。特に日本では、樹種の多様性、気候勾配の大きさ、森林の複雑な景観などから、信頼性の高い森林のフェノロジー予測モデルを開発することは非常に難しい課題となっている。

既存のモデルでは、植生フェノロジーは主に気候要因によって駆動される (例えば、Delpierre et al., 2009 年)。最近、温帯樹木 2 種を対象とした植物温暖化実験により、春の緑化日と秋の休眠開始の相互作用が新たな重要なドライバーとなる可能性があることがわかった (Fu et al. 2014)。しかし、この相互作用が他の樹種や植生タイプについても、現地観測や衛星観測で広く明らかにされているかどうかは不明である。

2. 研究の目的

本研究では、最先端の植生フェノロジー推定アルゴリズムを開発し、最新の全球植生フェノロジー衛星プロダクトの構築および、衛星観測と現地観測の両方を用い、植生タイプ別に春の緑化時期と秋の休眠開始時期の相互作用を調べ、植生フェノロジーモデルの予測精度を向上させることを目的としている。

3. 研究の方法

(1) フィールドと衛星データから植生フェノロジー計測の収集。無料の MODIS、VIIRS、SGLI、Sentinel-2 など衛星データが収集された。一方、衛星プロダクトの検証や相互作用解析のために、現地調査やオープンデータセットから地上フェノロジーを収集した。

(2) 植生フェノロジーを推定するための新規アルゴリズムの開発。本研究では、異なる植生タイプの緑化開始日・休眠開始日を推定するために、新しい推定手法を提案し、その中で無雪期植生指標 (すなわち、NDGI) を採用した。そして、推定されたフェノロジー指標は、以前に収集されたフィールドデータセットと比較することで検証された。

(3) 緑化開始日と休眠開始日の相互作用の調査。植生タイプ別に、春の緑化開始日と秋の緑化開始日の関係を、現地データと衛星推定値を用いて偏相関分析により調査・定量化した。特に、同じ年の緑化開始日と休眠開始日の関係だけでなく、休眠開始日と翌年の緑化開始日の関係についても分析を行った。

4. 研究成果

(1) 植生フェノロジー推定アルゴリズムの開発と衛星プロダクトの構築

本研究は、まず衛星観測による植生フェノロジーを推定するアルゴリズムの開発に焦点を絞った。MODIS のフェノロジープロダクトを参照し、NDGI に基づいた植生フェノロジーを推定するアルゴリズムを開発した (すなわち、相対閾値法、主な発表論文 1)。地上観測データを用い、草原、森林、耕地、サバンナなど様々な生態系におけるフェノロジーの推定精度を検証した。その結果、現地カメラで計測したフェノロジーメトリクスは衛星データから推定したフェノロジーメトリクスとほぼ一致している。

そして、フェノロジー推定アルゴリズムの高度化も行った (主な発表論文 2)。前述の研究で開発した相対閾値アルゴリズムに基づき、最大合成法と平滑化フィルタ法が植生フェノロジー抽出の精度に与える影響を大規模シミュレーション実験によって定量化し、異なる雲量条件下での最適なアルゴリズムパラメータを提案した。本研究で提供された $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ の小領域ごとの MVC と平滑化フィルタの最適なパラメータは、今後の衛星 VI 時系列からのフェノロジー検出の

精度向上に役立つと思われる。

最後に、全球植生フェロロジープロダクトを作成した。GCOM-C の地表反射率衛星データに基づき、新たな相対閾値法を用い、全球植生のフェロロジーを推定した。検証の結果、植生タイプの異なる PhenoCam と PEN サイトにおいて、GCOM-C に基づく植生フェロロジーは現地観測の間に有意な一致が見られることが示された。そして、2018 年～2021 年の植生指数時系列を算出し、上述の相対閾値法により、全球植生域における緑化開始日、および休眠開始日の推定を行った。

(2) 北半球における植生フェロロジー経年変化と地球温暖化の関係解明

以前の研究によると、北半球において植生の緑化開始日 (VGD) が 1980 年代から 1990 年代にかけて大幅に進んでいる傾向があることが報告され、1990 年代後半から 2010 年代初頭の温暖化の休止期間中にこの傾向が停滞したことが報告されている。ただし、AVHRR のデータに関連する品質問題の特定により、この VGD 進展の停滞という発見には不確実性がある。本研究で実施した解析では、MODIS や SGLI の高品質衛星データを使用して、VGD は温暖化の休止期間にもかかわらず大幅に進展していることを示した。これは、VGD が気温に非常に敏感であることと、2000 年から 2021 年の VGD 進展の大きさが濃縮された温暖化期間の 1982 年から 1999 年または 1982 年から 2002 年に匹敵することを示しており、春季現象の進展を基にした気候温暖化の推定には注意が必要であることを示唆している。詳細は、主な発表論文 3 に参照されたい。

(3) 植生フェノロジーにおける相互作用現象の確定

本研究では、まず、中国の華北平原における冬小麦のフェノロジーイベント間の相互作用を調査し、次に、その後の春の植生フェノロジーに影響を与えられとされる重要な生物学的要因である秋のフェノロジーに着目することにした。農業気象観測所で収集した現地計測データを用いて、green-up date (GUD)、heading date (HD) と maturity date (MD) の関係性を分析した。GUD (HD) は、HD (MD) と有意な正の相関を示した。定量的には、GUD (HD) が 1 日早いと、HD (MD) は 0.57 日 (0.60 日) 早まることになる。一方、北緯 25 度以北の中高緯度北部において、翌年の生育期の開始日と終了日 (SOS と EOS) の関連性を調べた (主な発表論文 4)。SOS の経年変化は、北方領土を中心に全画素の 26.4% で前年の EOS の変化と有意に ($P < 0.05$) 関連しており、EOS が 1 日進むと、次の SOS は概ね 0.5~1.0 日進むことから、進んだ SOS は進んだ EOS と関連している可能性がある。これらの結果は、予測精度を向上させるために、植生フェノロジーモデルの開発にフェノロジーの相互作用を含める必要があることを示唆している。

<引用文献>

- Cleland et al., 2007, Trends in Ecology & Evolution, 22, 357-365.
Delpierre et al., 2009, Agricultural and Vegetation Meteorology, 149, 938-948.
Estiarte & Penuelas, 2015, Global Change Biology, 21, 1005-1017.
Fu et al., 2014, PNAS, 111, 7355-7360.
Krinner et al., 2005, Global Biogeochemical Cycles, 19, 1-33.
Penuelas et al., 2009, Science, 324, 887-888.
Piao et al., 2008, Nature, 451, 49-52.
Piao et al., 2019, Global Change Biology, 25, 1922-1940.
Yang et al., 2019, Remote Sensing of Environment, 228, 31-44.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Li Mengyu, Yang Wei, Kondoh Akihiko	4. 巻 14
2. 論文標題 Improving Remote Estimation of Vegetation Phenology Using GCOM-C/SGLI Land Surface Reflectance Data	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 4027 ~ 4027
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs14164027	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Tian Jiaqi, Zhu Xiaolin, Chen Jin, Wang Cong, Shen Miaogen, Yang Wei, Tan Xiaoyue, Xu Shuai, Li Zhilin	4. 巻 180
2. 論文標題 Improving the accuracy of spring phenology detection by optimally smoothing satellite vegetation index time series based on local cloud frequency	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 29 ~ 44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.isprsjprs.2021.08.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Jiang Nan, Shen Miaogen, Chen Jin, Yang Wei, Zhu Xiaolin, Wang Xufeng, Penuelas Josep	4. 巻 6
2. 論文標題 Continuous advance in the onset of vegetation green-up in the Northern Hemisphere, during hiatuses in spring warming	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 npj Climate and Atmospheric Science	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41612-023-00343-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 SHEN Miaogen, JIANG Nan, PENG Dailiang, RAO Yuhan, HUANG Yan, FU Yongshuo H., YANG Wei, ZHU Xiaolin, CAO Ruyin, CHEN Xuehong, CHEN Jin, MIAO Chiyuan, WU Chaoyang, WANG Tao, LIANG Eryuan, TANG Yanhong	4. 巻 291
2. 論文標題 Can changes in autumn phenology facilitate earlier green-up date of northern vegetation?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Agricultural and Forest Meteorology	6. 最初と最後の頁 108077 ~ 108077
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.agrformet.2020.108077	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Li Zhaoxin, Yang Wei, Matsushita Bunkei, Kondoh Akihiko	4. 巻 275
2. 論文標題 Remote estimation of phytoplankton primary production in clear to turbid waters by integrating a semi-analytical model with a machine learning algorithm	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Remote Sensing of Environment	6. 最初と最後の頁 113027 ~ 113027
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.rse.2022.113027	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Wang Chunyang, Zhang Yingjie, Wu Xifang, Yang Wei, Qiang Haiyang, Lu Bibo, Wang Jianlong	4. 巻 14
2. 論文標題 R-IMNet: Spatial-Temporal Evolution Analysis of Resource-Exhausted Urban Land Based on Residual-Intelligent Module Network	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 2185 ~ 2185
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs14092185	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Wang Chunyang, Zhang Huan, Wu Xifang, Yang Wei, Shen Yanjun, Lu Bibo, Wang Jianlong	4. 巻 12
2. 論文標題 AUTS: A Novel Approach to Mapping Winter Wheat by Automatically Updating Training Samples Based on NDVI Time Series	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Agriculture	6. 最初と最後の頁 817 ~ 817
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/agriculture12060817	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 George Jan-Peter, Yang Wei, Kobayashi Hideki, et al.	4. 巻 128
2. 論文標題 Method comparison of indirect assessments of understory leaf area index (LAIu): A case study across the extended network of ICOS forest ecosystem sites in Europe	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ecological Indicators	6. 最初と最後の頁 107841 ~ 107841
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ecolind.2021.107841	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Wei Yang
2. 発表標題 Investigating the Interactions Among Phenological Events of Vegetation Based on Field Measurements and Long-term Satellite Observations
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wei Yang
2. 発表標題 Monitoring of Land-Use/Land-Cover Change in the Peruvian Andes-Amazon based on Spatiotemporal Fusion of Multiple Satellite Data
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hideki Kobayashi, Gaku Amada, Go Iwahana, Wei Yang, Akira Hama, Yongwon Kim
2. 発表標題 Seasonal and spatial variations of spectral reflectance in understory plant communities in open black spruce forests in Interior Alaska
3. 学会等名 iLEAPS-OzFlux Joint Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ziping Yang, Wei Yang, Akihiko Kondoh
2. 発表標題 Mapping Paddy Rice Planting Areas on the Cloud: Is Spatio-Temporal Fusion Helpful or Not
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Wei Yang, Ziping Yang
2. 発表標題 Land-cover mapping in the Andean-Amazon area using Sentinel-2 time-series data based on Google Earth Engine
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mengyu Li, Wei Yang, Akihiko Kondoh
2. 発表標題 Generation of the GCOM-C land surface phenology product: Algorithm development and performance evaluation
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shiyuki Kobayashi, Hideki Kobayashi, Wei Yang, Yoshiaki Honda, Yuhsaku Ono, Shin Nagai, Tomoko Akitsu, Ken'lo Nasahara, Masahiro Hori, Hiroshi Murakami
2. 発表標題 Update of GCOM-C/SGLI Leaf Area Index & fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation products
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Wei Yang, Mengyu Li
2. 発表標題 Development of the GCOM-C/SGLI Global Land Surface Phenology Product
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

千葉大学環境リモートセンシング研究センター楊研究室ホームページ
<https://yangweiphd.weebly.com/>
千葉大学環境リモートセンシング研究センター楊研究室ホームページ
<https://yangweiphd.weebly.com/30740313502698932318.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	小林 秀樹 (Kobayashi Hideki) (10392961)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(北極環境変動総合研究センター)・グループリーダー代理 (82706)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------