

「気象衛星ひまわりを活用したアジア太平洋地域の林野火災準実時間観測」の成果について

実施体制	主管実施機関	東京大学	実施期間	平成27年度～平成29年度 (3年間)	実施規模	予算総額(契約額) 52.2百万円		
	代表者名	教授 竹内渉				1年目	2年目	3年目
	共同実施機関	高知工科大学、長崎大学、森林総合研究所				19.5百万円	17.4百万円	15.3百万円

背景・全体目標

我が国は、「地球観測に関する政府間会合」(GEO)の執行委員会国として、濃く先的にリーダーシップを発揮する必要がある。世界に類をみない高い性能を持つ純国産システム新型気象衛星ひまわり8号は、水循環、生態系、風水害、大規模火災、地震・火山など多彩な国土基盤情報の管理手法として国際的に高く期待されているが、陸域観測において、基盤処理技術の開発、国際的流通を十分に担保するための体制は、現段階では整っていない。

本研究では、ひまわり8号を2030年までの長期的運用展望を見据えた日本の衛星群の基軸とすべく、アジア太平洋地域の林野火災を準実時間で観測する技術確立することを目的とする。

全体概要と期待される効果

3年間という短い実施期間を考慮し、図1に示すように、次の3点に焦点を絞り技術開発を行った。

- 1) 精密幾何補正、雲検知、林野火災検知、火災跡の分布図作成など、一連の基盤技術のアルゴリズム開発と実装を行いGMS_suitesとしてソフトウェアパッケージ化する。
- 2) 気象特性解析による火災発生リスクの評価、火災後の植生回復監視と森林生態系への影響評価を行う。
- 3) 過去の衛星観測による火災データ、植生指数などを網羅的に収集してデータベースとして整備し、国際的な実務・研究機関と連携して統合的可視化システムを構築する。

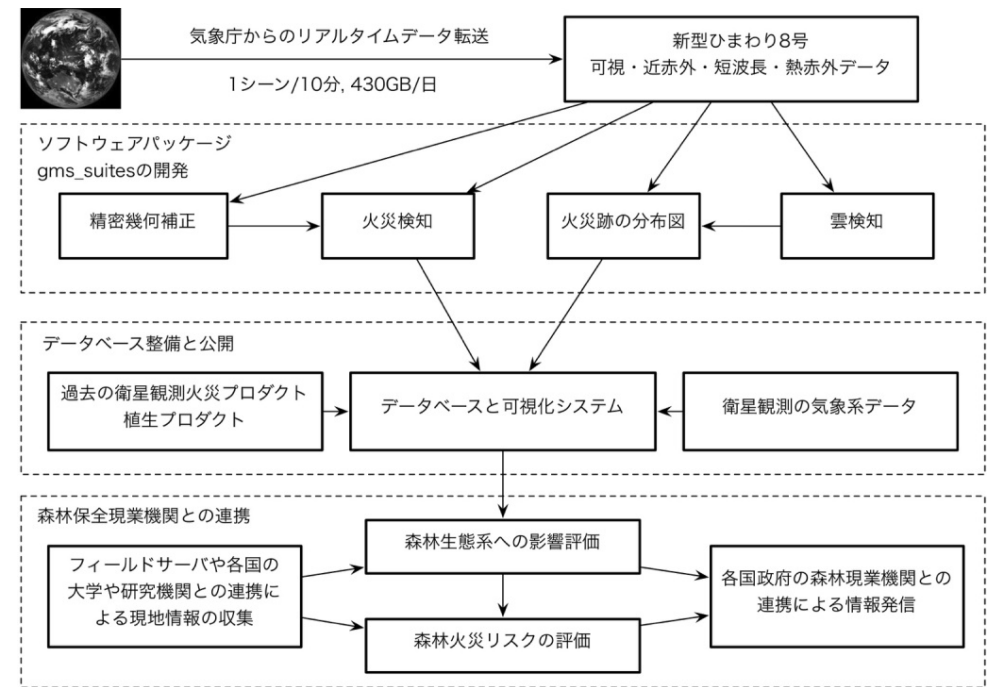


図1. ひまわり8号を活用した林野火災の観測手法

「国民との科学・技術対話」の推進に関する取組について

東大生研の次世代育成プログラム(OAE)と連携し、スーパーサイエンススクール(SSH)を導入している高校を中心に、英語での出張講義、ウェブ講義を実施する。また、Terra/MODISから得られたリアルタイムの林野火災情報を過去6年にわたって、日本未来館の「つながり」プロジェクトに提供し、Geo-cosmosにデータ提供を行ってきた。これと同様にひまわりから得られた林野火災情報についても積極的に情報発信することを予定している。

①精密幾何補正・正射投影手法の開発と実装 (GMS geo)

実施内容及び主な成果

背景

ひまわり画像は、本来の気象業務に必要な数キロメートルの位置精度はデータ提供元である気象庁のシステム補正で確保されているが、林野火災のような陸域の観測では位置情報の精度検証はなされていない。また、標高の高い山間部で発生する視差に伴う倒れこみ誤差も考慮されておらず、地理情報としてGIS上で活用するためには、これらを補正するための正射投影処理も必要となる。

実施内容

本研究では、従来のひまわり用に東大生研で開発された処理ソフトmtsgeoを改変し、テンプレートマッチングを用いて精密幾何補正と正射投影を行う手法を開発した。解析に使用した可視画像バンド3は、空間分解能が500mに向上しているため、これまでの1kmのデータベースが使用できず、一連の処理に必要な海岸線データ、標高データ、ランダムデータの収集と更新を行った。

主な成果

- 1) GMS geoをひまわり画像に適用し、図1に示すようにGISで使用可能な地図投影された画像の作成・可視化を行うことが可能となった。
- 2) 図2に示すように、GMS geoを用いた補正後の画像は、標高が高く歪みの大きい画像辺縁においても正確に地図情報に投影されていることが確認できた。
- 3) 図3に示すように、GMS geoを用いて、正式運用開始時から本事業終了時までのひまわり8号の全球データを処理し、幾何補正パラメータのデータベースを作成した。その結果、火災検知に使用する熱赤外バンド2kmの空間解像度より高精度な、概ね500m程度の幾何補正精度を確保できることが明らかとなった。
- 4) 開発した手法を、C言語を用いたプログラムコードで実装し、GMS geoとしてパッケージ化した。これはGMS suiteの一部を成すものとなる。

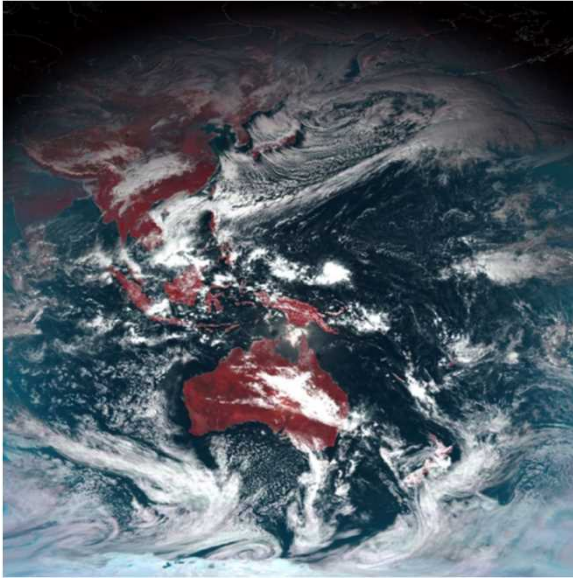


図1. GISで利用可能な等緯度経度座標に地図投影されたひまわり画像

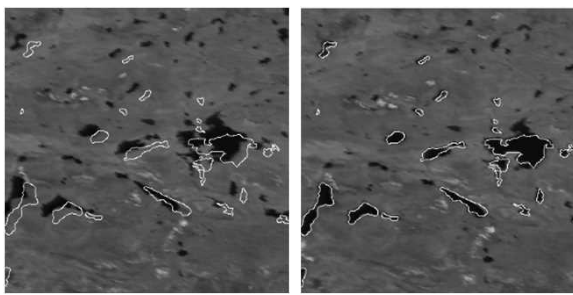


図2. 補正前(左図)と精密幾何補正と正射投影後(右図)のひまわり画像 (チベット周辺)。黒い部分は湖沼を、白線はGISから得られた湖沼と陸の境界線を示している。

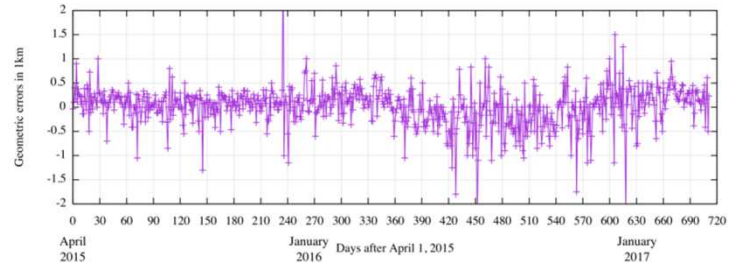


図3-1. 東西方向の誤差. 横軸は2015年4月からの日数, 縦軸は幾何補正誤差(画素数)を示している。

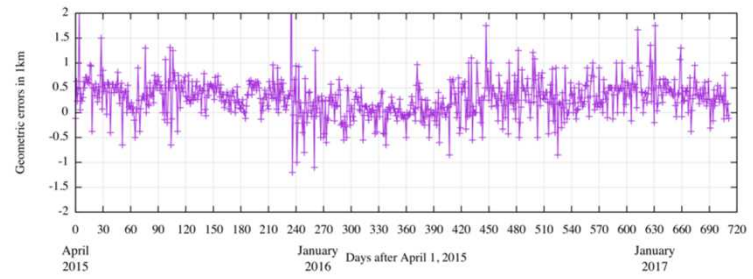


図3-2. 南北方向の誤差. 横軸は2015年4月からの日数, 縦軸は幾何補正誤差(画素数)を示している。

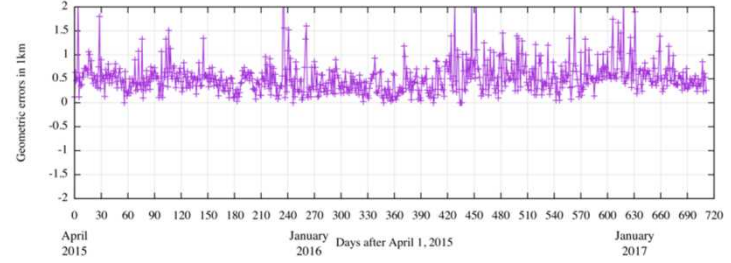


図3-3. 東西・南北合計の誤差. 横軸は2015年4月からの日数, 縦軸は幾何補正誤差(画素数)を示している。

②雲検知手法の開発と実装 (GMS cloud)

実施内容及び主な成果

背景

気象庁から提供されるひまわりデータには雲の情報は含まれていない。林野火災の検知では短波長赤外および熱赤外バンドを利用し、雲があると観測データが無効となるため、ひまわり8号に適した雲検知技術の開発が不可欠である。

実施内容

本研究では、従来のひまわり用に開発してきたアルゴリズムを改変し、準実時間の陸域雲検知アルゴリズムを開発した。90%の精度を有するMODIS雲マスクプロダクトを学習・検証用データとして利用し、ひまわりデータの特徴量を用いた樹木モデルによる雲域判別アルゴリズムを構築し、場所・季節・昼夜によらない頑健性のある雲検知手法の開発を行った。

主な成果

1) GMS cloudをひまわり画像に適用し、図1に示すように雲、晴天域、積雪域を分類した。これまでのアルゴリズムで問題になっていた雲域と積雪域の判別精度および雲域境界部分の判別精度は、短波長赤外バンドの利用、空間解像度が向上によって克服されたことが確認された。

2) 2016年2月、5月、8月、11月の季節の異なるひまわり画像に対して、雲マスクを作成し、同期間のMODIS雲マスクプロダクトを用いて精度検証を行ったところ、図2に示すように、2月の両者の合致率は75.7%、5月の合致率は78.8%、8月の合致率は80.5%、11月の合致率は82.7%となった。以上から、本研究で開発したアルゴリズムにより、季節に関わらず年間を通して75%以上の精度で全球の雲判別を行えることが明らかになった。

3) 開発した手法を、C言語を用いたプログラムコードで実装し、GMS cloudとしてパッケージ化した。これはGMS suiteの一部を成すものとなる。

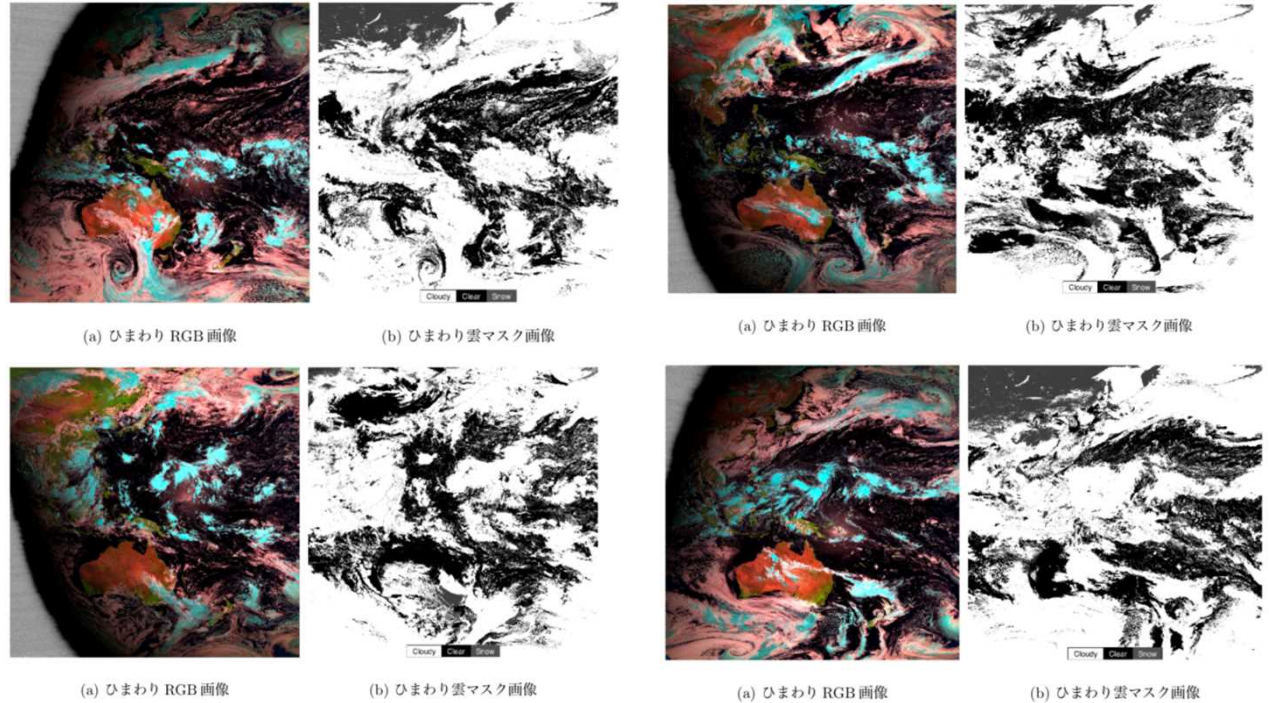


図1. 2月(左上), 5月(右上), 8月(左下), 11月(右下)の雲, 晴天域, 積雪域分類画像

		MODIS雲マスク			
		晴天	雲	合計	作成データ精度
ひまわり8号 雲マスク	晴天	86290072	58809779	145099851	59.5 %
	雲	27213628	326334807	353548435	92.3 %
	合計	113503700	385144586	498648286	
	評価データ精度	76.0 %	84.7 %		82.7 %

図2. ひまわりとMODIS雲マスクの精度検証結果の例 (11月).
図中の数値は評価に使用した画素数を示している。

③火災検知手法の開発と実装 (GMS fire)

実施内容及び主な成果

背景

ひまわり8号は、従来までのGMS, MTSATと比較して観測帯域が増加し、MODIS, NPPとほぼ同等となったが、火災検知に主に使用される4μm帯の欠落、および2kmと低い空間分解能のため、MODIS, NPPで利用されている火災検知アルゴリズムをそのまま適用できないという課題がある。このため、ひまわり8号向けの火災検知アルゴリズムを新規に開発する必要がある。

実施内容

本研究では、MODISの火災プロダクトを教師データとし、近赤外-短波長赤外-中間赤外-熱赤外の4帯域での火災画素、非火災画素の散布図を作成し、ひまわり向け火災検知アルゴリズムとして、特徴量としきい値を決定した。その過程で、Landsat8号のような、高空間分解能データで得られた火災情報を真値としてアルゴリズムの検証を実施した。

主な成果

- 1) 図1に示すように、高分解能データを真値として、ひまわり8号の火災画素を、様々な気象条件を想定してシミュレートした結果、ひまわりで検知可能な最小火災規模は0.2km²であることが明らかとなり、チャンネル7(3.9 μm帯)とチャンネル13(10.4 μm帯)、太陽天頂角を検知基準としてアルゴリズムを開発することに成功した。
- 2) 図2に示すように、年間を通じて様々な地域の火災検知結果を検証した結果、従来のMODISと比較しておよそ80%の精度で火災を検知できることが明らかとなった。
- 3) 図3に示すように、ひまわり8号は10分毎のデータを取得できるため、火災の継続時間を計測することが可能であることが明らかとなった。
- 4) 開発した手法を、C言語を用いたプログラムコードで実装し、GMS fireとしてパッケージ化した。これはGMS suiteの一部を成すものとなる。

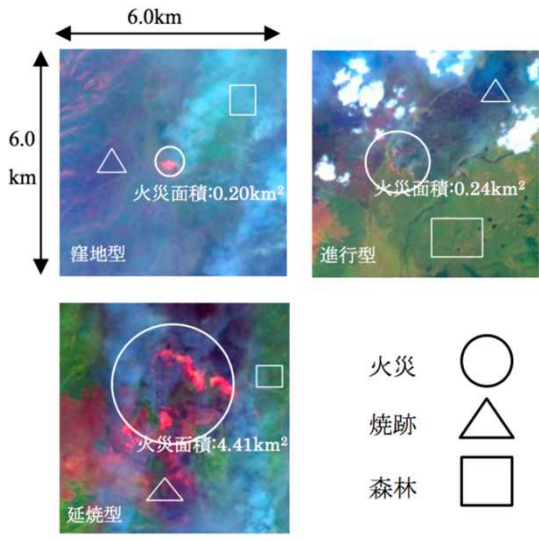


図1. 高分解能Landsat画像を用いた、ひまわりで検知可能な最小火災規模の検証例 (北朝鮮・極東ロシア)

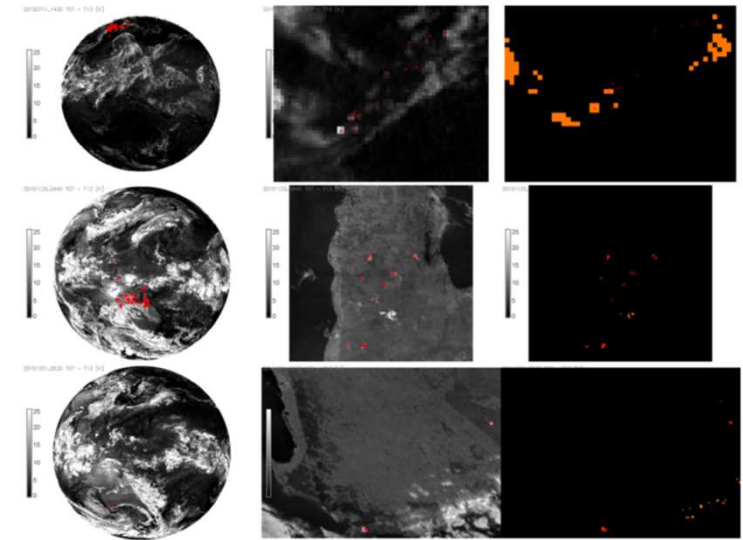


図2. 2015年7月(上), 11月(中央), 12月(下)のひまわりによる火災検知画像. 図中の赤色の画素は火災を示している.

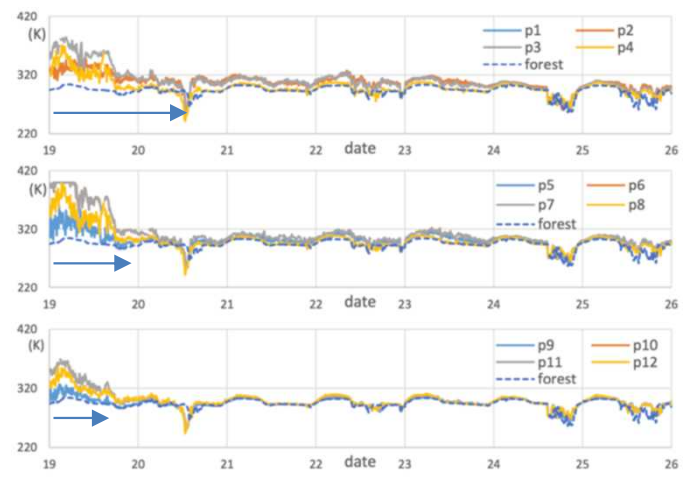
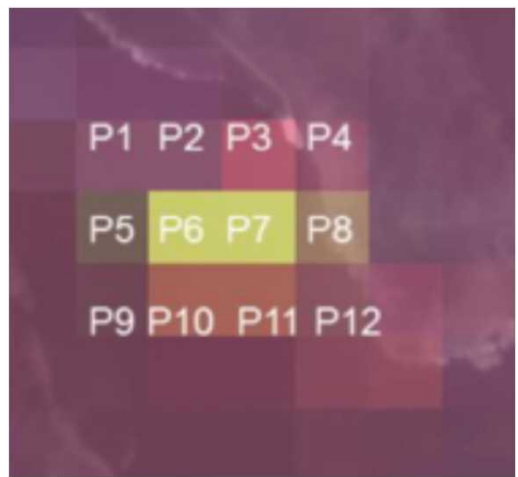


図3. ボルネオ島でのひまわりによる林野火災検知画像(左図)と火災の継続時間の計測結果(右図). 右図の横軸は5月19日からの経過時間(10分ごと)を、縦軸は温度を、矢印は、火災の継続時間をそれぞれ示している.

④火災跡の分布図作成 (GMS fire burnt)

実施内容及び主な成果

背景

林野火災が起こると、森林植生が失われて構造が変化し、地表面は燃えかすや灰で覆われる。ひまわりと同等の空間解像度1kmを用いれば高い頻度で火災跡を発見できるが小規模の火災検出には向かない。一方で、小規模の火災はSPOTやLandsatなどの30m級の解像度が有効であるが、2週間に1度の低い観測頻度やデータの入手性から、準実時間に情報を提供するのには現実的ではない。

実施内容

本研究では、可視(RGB)、短波長、熱赤外バンドを有するひまわり8号から正規化植生・土壌・水指数(NDVI, NDSI, NDWI)を算出し、火災検知前後の時間方向の変化を観察することにより、火災跡の分布図の作成を行った。

主な成果

- 1) 図1に示すように、GMS fireで検知された火災跡を対象に、高分解能データであるLandsat8を真値として確認したところ、火災跡を確認できたほか、窪地で留まっている火災、発生直後の進行中の火災、風に煽られて延焼中の火災の3種類に区分可能であることが明らかとなった。
- 2) 図2に示すように、正規化植生・土壌・水指数の時系列変動との比較から、火災地と森林との差異は、1日平均値の比較から十分判断でき、火災後の植生指数は減少、土壌指数は増加、水指数はほぼ変化がないことが明らかとなった。
- 3) 図3に示すように、正規化植生指数(NDVI)と中間赤外チャンネル7の時系列変動から、火災分布図と発生日を同時に推定することが可能となった。

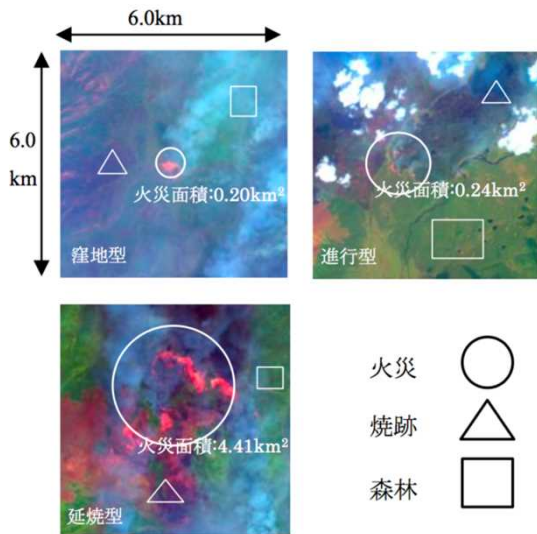


図1. 2015年5月21日にLandsat8で撮影された極東ロシアの林野火災

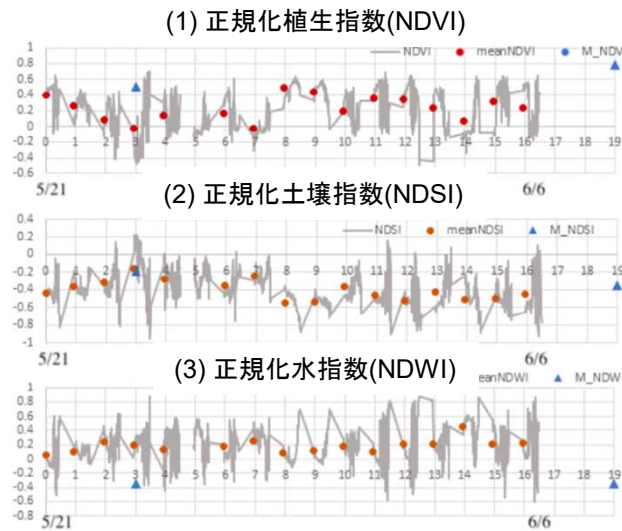


図2. 2015年5月21日から6月6日の極東ロシアの林野火災地での正規化植生・土壌・水指数の時系列変動

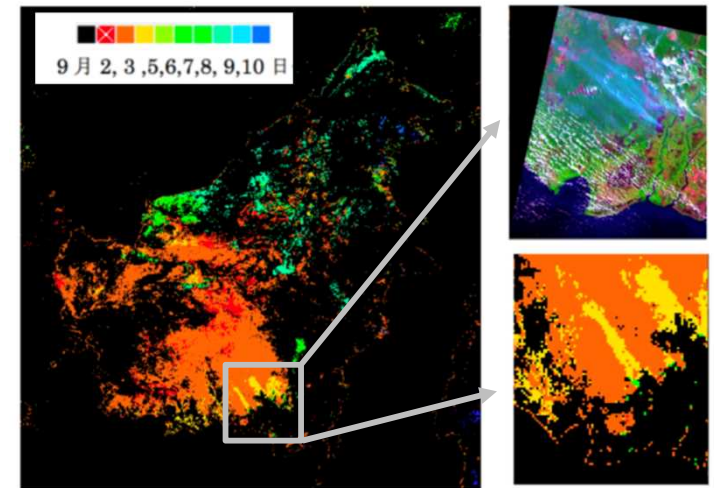


図3. NDSIと熱赤外チャンネル7の変動パターンから作成したインドネシア・ボルネオ島の火災分布図と発生日の推定結果

⑤ 気象特性解析による火災発生リスクの評価

実施内容及び主な成果

背景

アジア地域において多発している森林火災は、自然火災をしのぐ勢いであると報告されている。森林の状態や動態を把握することは、地球の炭素循環や気候システムに対する知見を深める上でも重要である点は見逃せない。

実施内容

本研究では、気象データとして JAXA が開発を行っている、衛星による全球降水マップ (GSMaP)、地表面温度は、ひまわりや MODIS から作成した 1km グリッドデータセットを使用し、KBDI や PDI などの乾燥指数を作成し、土地被覆区分ごとに火災分布図と統計的に比較することにより、火災発生リスクの評価を行った。

主な成果

- 1) 図1に示すように、東南アジアから南アジアにおいては火災の起こる時期が赤道を境にはっきりと分かれ、1月から4月にかけては、タイ、ベトナム、ミャンマー、ラオスおよびインドの東部にかけて、7月から10月にかけては、インドネシアで多くの火災が発生している。3月から6月にかけて極東ロシアにおいて火災が多発し、中国の東部では年間を通じて火災が多いことがわかった。
- 2) 図2は、青色-黄色-赤色の順で、乾燥度が進んでいることを示しており、乾季に降雨がなく、地表面温度が高くなると、地表面の乾燥度が進み KBDI が上昇する。図1に示す火災の空間分布特性と比べると、KBDI の上昇と火災の発生に空間的な相関が見られた。
- 3) 図3に示すように、KBDI と現場計測したデータを組み合わせて泥炭湿地の地下水位を算出した。これと衛星から計測した火災発生件数を比較すると、高い相関関係が見られた。

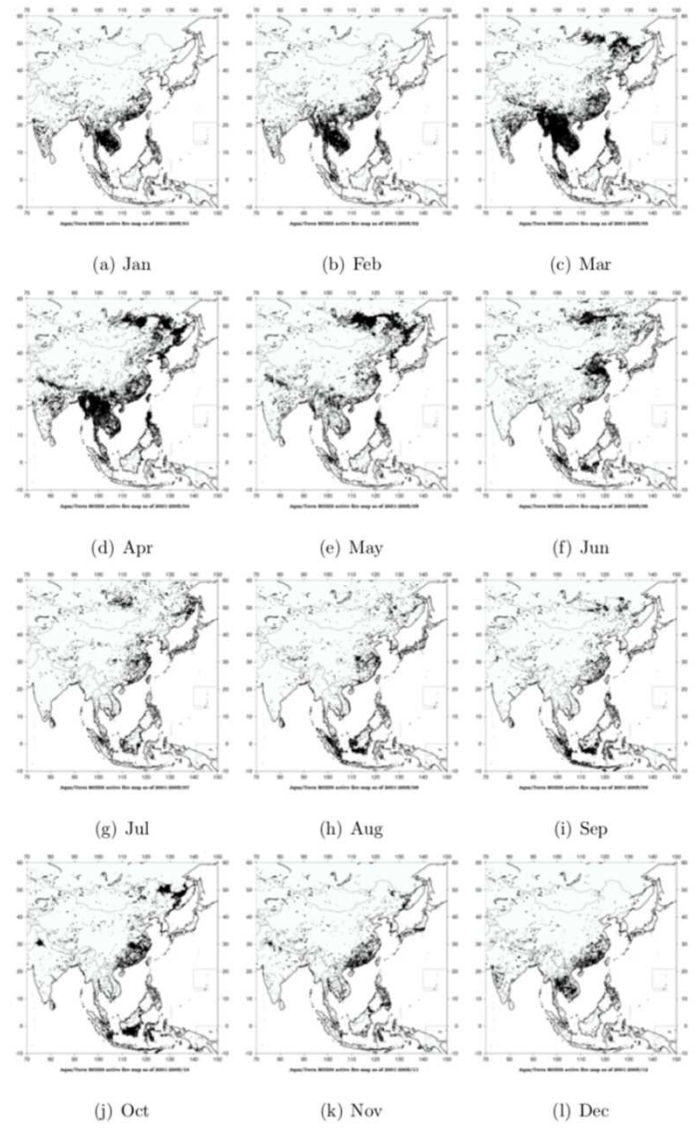


図1 MODISにより2002年1月から2017年12月に検知された火災の空間分布特性

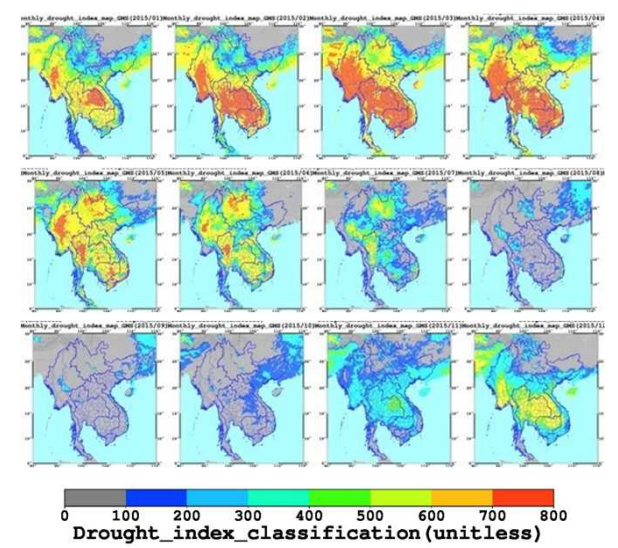


図2 GSMaPとひまわりから作成された月ごとの乾燥指数(KBDI)の時系列変動。(左上から右下へ1月から12月を示している)

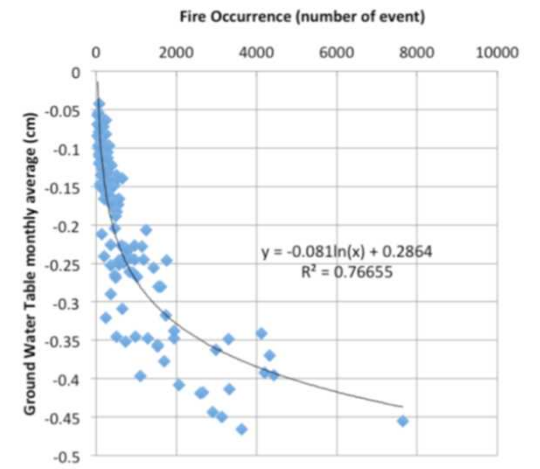


図3 ひまわりから推定されたインドネシア泥炭地での地下水位と火災件数との関係

⑥ 森林生態系への影響評価

実施内容及び主な成果

背景

大規模な林野火災がアジア域を含む全世界で発生しており、乾燥地から熱帯雨林までさまざまな地域において木材資源が損失している。これらの被害は森林が長期間に渡って蓄積してきた炭素の放出をもたらし、気候変動緩和に逆行している。アジア内陸部における、乾燥草原から北方針葉樹林への移行域においても林野火災は頻発しているが、監視体制が充分には整備されておらず、火災後の生態系回復についても知見が乏しい状況である。

実施内容

本研究では、モンゴル国北部の林野火災跡地において植生調査と土壌水分環境調査を行い、衛星データから火災の発生時期を特定することで、火災発生前後の森林構造の変化とその後の植生回復過程を明らかにすることを目的とした。

主な成果

- 1) 2009年8月11日に火災が発生した場所において植生回復、調査と土壌水分測定調査を8箇所で行い、図2に示すようにLandsat画像の時系列解析を通じて、火災前後の植生の変化を解明した。
- 2) 図2に示すように、現地において追加の植生調査および土壌水分調査を4か所で行い、図3のように、森林のバイオマス量および地上部炭素蓄積量の推定および、その分解過程に関する解析を行った。
- 3) 図4に示すように、炭素放出モデル Yasso07 によるシミュレーションの結果、火災で死亡した樹木からの二酸化炭素の大気中への放出は、はじめの50年間で急激に増加し、その量は約3.2から22.7tC/haであった。その後は緩やかに減少していくものの、100年以上は炭素の放出が連続することが判明した。



図1 火災の影響を受けた森林植生(上図)と原生林(下図)の景観

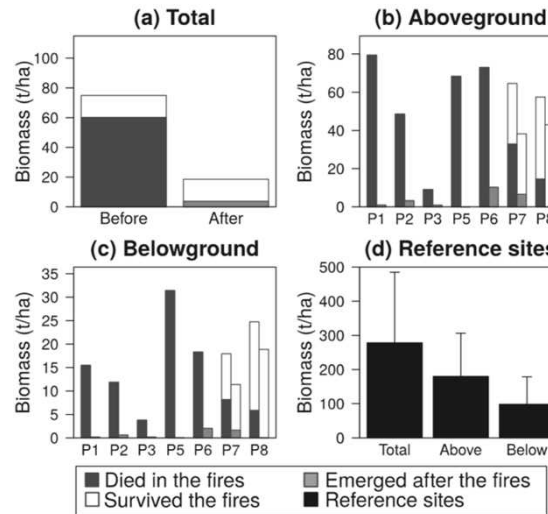


図3 火災前後の推定バイオマス量(t/ha)の比較。(a): 全バイオマス量, (b): 調査区ごとの地上部バイオマス量, (c): 地下部バイオマス量, (d): 参照調査区(火災の影響を受けていない)。濃グレー: 火災で枯死した個体, 薄グレー: 火災後に成長した個体, 白抜き: 火災を生き延びた個体, 黒: 火災を受けていない調査区の個体。

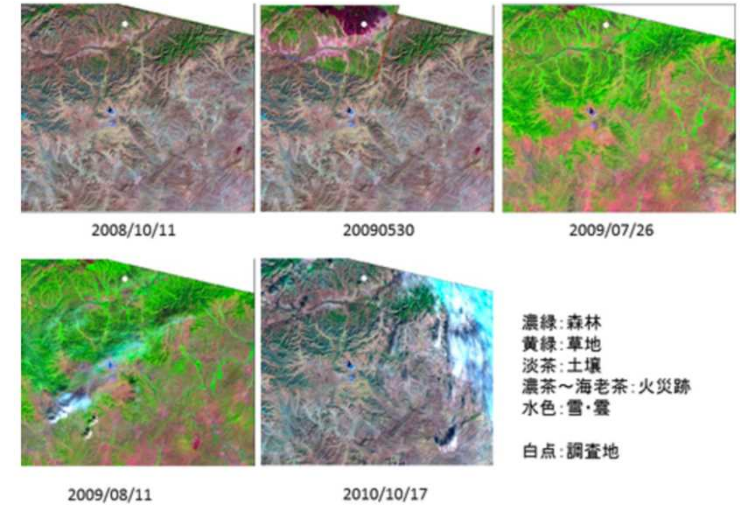


図2. Landsat 衛星による2009年8月11日の林野火災発生の前画像(画像上部)と後画像(画像下部)の比較(画像中央の白点は調査地)。

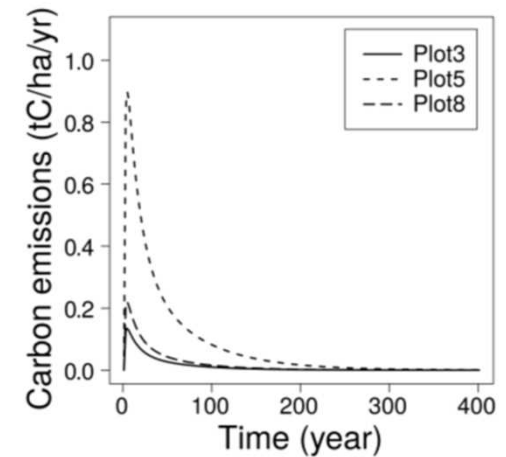


図4 炭素放出モデル(Yasso07)による400年間の炭素放出シミュレーション結果(tC/ha/yr)。

⑦ ひまわりデータの可視化システムによるデータ公開

実施内容及び主な成果



図1. DIAS のひまわり 8 号閲覧システム
<http://himawari.diasjp.net/>

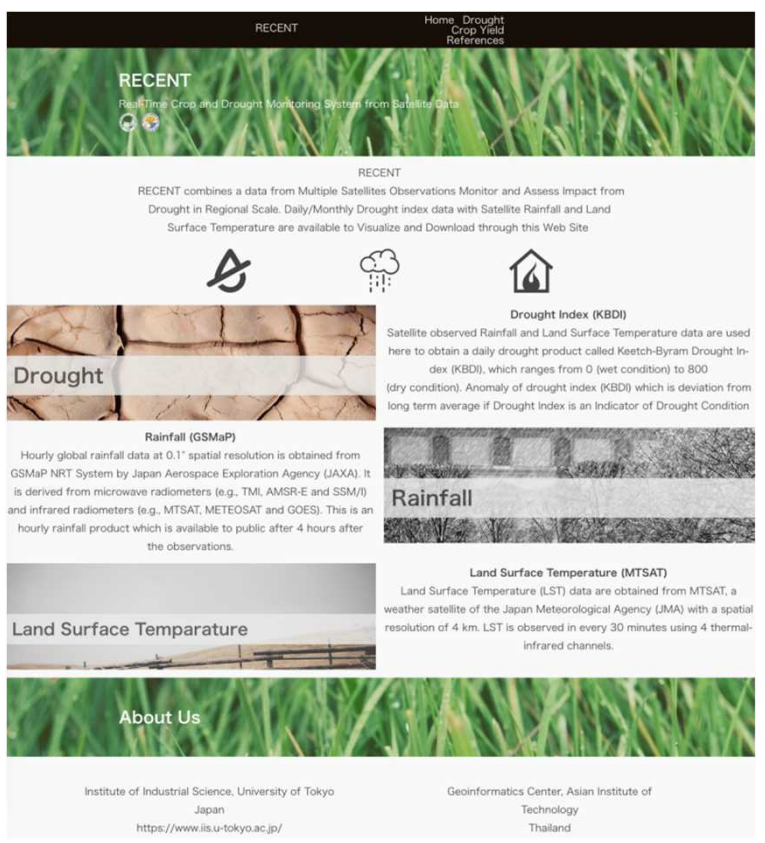


図2. ひまわり 8 号を用いた干ばつ・林野火災情報
 タイ王国・アジア工科大学院 (AIT)
<http://iis.gic.ait.ac.th/>

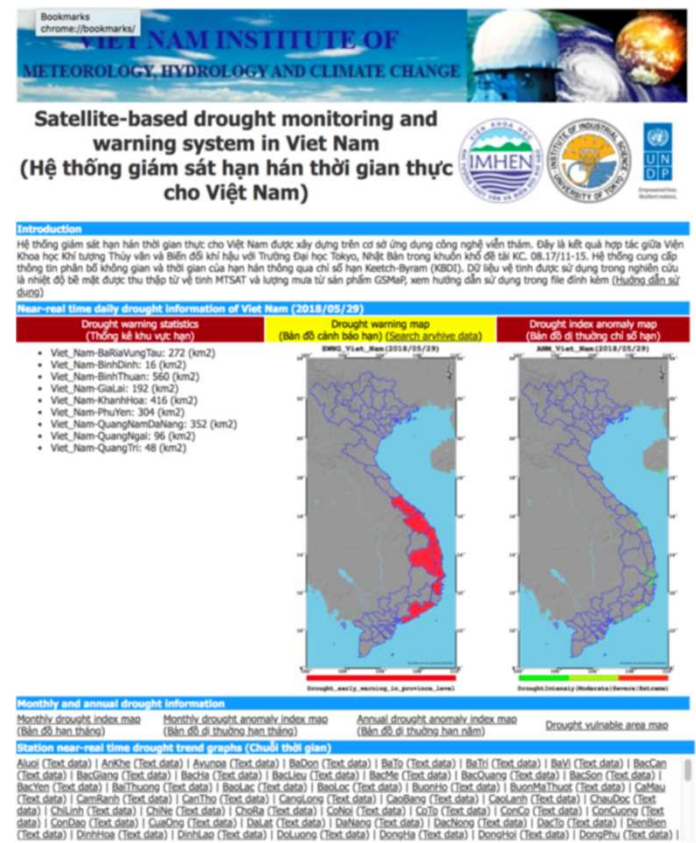


図3. ひまわり 8 号を用いた干ばつ・林野火災情報
 ベトナム国・気象水文環境研究所 (IMHEN)
<http://dubaokhinhau.vn/>

主な成果

- 1) 本研究では、東京大学に設置されている DIAS と連携して、ひまわりデータを準実時間で可視化、アーカイブするウェブシステムを開発した。ひまわりデータは、HRITフォーマットで10分ごとにデータアーカイブシステムに格納され、図1に示されるように、準実時間でクイックルック画像が作成される。
- 2) 図2ならびに図3に示すように、タイ王国・アジア工科大学院 (AIT)、ベトナム国・気象水文環境研究所 (IMHEN) にて、本研究で開発した干ばつ・林野火災情報を提供する WebGIS サイトを開発し、定常運用を開始した。森林と農地を対象に、降雨情報、干ばつ指数、植生情報、林野火災情報を、準リアルタイムで毎日更新している。

その他の成果

これまで得られた成果 (特許出願や論文発表数等)	特許出願	査読付き 投稿論文	その他研究発表	実用化事業	プレスリリース・取材対応	展示会展
	国内：0 国際：0	国内：2 国際：2	国内：12 国際：13	国内：0 国際：0	国内：1 国際：0	国内：2 国際：2
	受賞・表彰リスト		国際会議における基調講演2件，招待講演2件			

成果展開の状況について

- 本研究で開発した，ひまわりを用いた林野火災の準実時間観測に関する応用技術および林野火災データベースは，衛星観測データの解析技術等を活用したロシア極東における総合的かつ持続可能な森林情報システムの開発（農林水産省 国際共同研究パイロット委託事業 H29-31（ロシア極東森林劣化共同研究分野））のコア技術として利用される運びとなった。
- 本研究で開発した，林野火災検知技術は，文部科学省が主催するアジア太平洋会議（APRSAP）に設置されているSpace Application for Environment（SAFE）（2018年11月・シンガポール）にて，インドネシア宇宙航空研究局（LAPAN）へと技術移転するべく標準技術として採用された。
- 本研究で開発した林野火災データベースは，日本未来館 Geo-cosmosにてリアルタイムで表示されているほか，Google社の Google Earth Engineを通じて公開されている。



森林火災（データ提供：東京大学 生態系学研究所 物産学研究所）
 明確する余地は，森林火災の観測を基にしています。これらのデータが，地震などの人為的な災害で，森の回復能力を弱めた場合、深刻な森林減少を招いています。



今後の研究開発計画

- 国外他のプロダクトとの比較検証：欧州 ESA では，Meteosat Second Generation（MSG）を用いて，1 時間ごとの準実時間火災プロダクトが作成されている。特に火災の多いアフリカでは，米国と共同で，WFABBA（Wild fire African biomass burning algorithm）が実施されており，火災検知，燃焼による炭素放出に関するプロダクトを作成している。このプロジェクトでは，旧型ひまわりや米国 GOES-E，GOES-W も含めた静止気象衛星を収集した，グローバルなデータが作成されているため，本プロジェクトで作成した火災プロダクトと比較検証することは有意義であると考えられる。
- 事業の継続性：ひまわりは2030年まで継続して運用されることが決まっており，東大生研においてもDIASを通じてデータアーカイブと公開を行っていく予定である。JAXAが提供するGSMaPもGPMプロジェクトとして衛星降雨観測が継続されることから，本課題で完了した一連のアルゴリズムの改良，データ供給の長期的な運用実施に必要な体制を維持する必要がある。
- 裾野拡大：本課題では，可視・近赤外・短波長赤外・熱赤外の広範な観測バンドを持つ新型ひまわりから得られた画像データを，林野火災の準実時間観測に応用する新たな利用方法を開発した。一連の基盤情報ソフトウェアパッケージの開発，データベース整備と統合的可視化システムの構築を通じて，火災情報の発信，生態系への影響評価，陸域炭素循環の理解，をはじめとする様々な分野における利用の拡大・促進や地球規模課題の解決等への更なる貢献が可能となる。

事後評価票

平成30年3月末時点

1. 課題名 気象衛星ひまわりを活用したアジア太平洋地域の林野火災準実時間観測
2. 主管実施機関・研究代表者 国立大学法人東京大学・竹内渉 教授
3. 共同実施機関 公立大学法人高知工科大学 国立大学法人長崎大学 国立研究開発法人森林研究・整備機構
4. 実施期間 平成27年度～平成29年度
5. 総経費 52.2百万円
6. 課題の実施結果
(1) 課題の達成状況
「所期の目標に対する達成度」
◆ 所期の目標 本課題は、世界に類をみない高い性能を持つ純国産システム新型気象衛星ひまわり8号を、2030年までの長期的運用展望を見据えた日本の衛星群の基軸とすべく、アジア太平洋地域の林野火災を準実時間で観測する技術を確立することを目的とする。 3年間という短い実施期間を考慮し、次の3点に焦点を絞り技術開発を行う。1) 精密幾何補正、雲検知、林野火災検知、火災跡の分布図作成など、一連の基盤技術のアルゴリズム開発と実装を行いひまわりデータ処理パッケージ(GMS suites)としてソフトウェアパッケージ化する、2) 気象特性解析による火災発生リスクの評価、火災後の植生回復監視と森林生態系への影響評価を行う、3) 過去の衛星観測による火災データ、植生指数などを網羅的に収集してデータベースとして整備し、国際的な実務・研究機関と連携して統合的可視化システムを構築する。
◆ 達成度 本課題は、上述の3点に焦点を絞り研究開発を行ったが、具体的には、 1-1) 精密幾何補正アルゴリズムの確立と実装 1-2) 雲検知アルゴリズムの確立と実装 1-3) 火災検知手法の開発と実装 1-4) 火災跡の分布図作成 2-1) 気象特性解析による火災発生リスクの評価

2-2) 森林生態系への影響評価

3) ひまわりデータの可視化システムによるデータ公開

の項目に細分化し、当初予定していた実施計画に従って、順調に研究開発が行われた。また、当初予定していた実施項目は全て予定の精度を満たし、完了した。

「必要性」

本課題は以下の観点から、十分な必要性が認められる。

科学的・技術的意義

世界に類をみない高い性能を持つ純国産システム新気象衛星ひまわりは、本来の業務である気象・海象のみならず、水循環、生態系、風水害、大規模火災、地震・火山など多彩な国土基盤情報の管理手法として国際的に高く期待されている。新型ひまわり8号の精密幾何補正、雲検知、林野火災検知、火災跡の分布図作成など、一連の基盤技術のアルゴリズム開発と実装は、本課題が初めて取り組むものであり、十分な新規性がある。また、これまで気象海象にのみ利用されてきたひまわりデータを陸域生態系の研究に適用する点で独創性が高いものであった。アルゴリズム開発とソフトウェアパッケージ化、データベースの作成は、新型ひまわり8号の国際的流通を十分に担保するための体制構築に寄与するものであり、アジア太平洋地域で広く使用されている気象衛星ひまわりの社会的な価値を大きく高めることに貢献した。

社会的・経済的意義

これまで極軌道衛星に主導されていた衛星からの林野火災の観測は、新型ひまわりによって情報の更新頻度が大幅に向上し、ほぼリアルタイムに近い形で提供可能となっている。一連の基盤技術開発と実装が我が国で行われることは、国際協力の観点から重要であり、地球観測に関する政府間会合（GEO）の執行委員会国として、当該分野の科学的イニシアチブであるグローバルな林野火災-炭素放出観測プログラム（GOFIC-GOLD）でリーダーシップを発揮する必要性からも、アジア太平洋地域の代表国として地域内の各国と連携して林野火災情報をひまわりから提供する意義は大きい。

「有効性」

本課題は以下の観点から、十分な有効性が認められる。

ひまわりデータの利用拡大・促進

本課題では、可視・近赤外・短波長赤外・熱赤外の広範な観測バンドを持つ新型ひまわりから得られた画像データを、林野火災の準実時間観測に応用する新たな利用方法を開発した。一連の基盤情報ソフトウェアパッケージの開発、データベース整備と統合的可視化システムの構築を通じて、火災情報の発信、生態系への影響評価、陸域炭素循環の理解、をはじめとする様々な分野における利用の拡大・促進や地球規模課題の解決等への更なる貢献をした。

社会実装

本課題で開発した、ひまわりを用いた林野火災の準実時間観測に関する応用技術および林野火災データベースは、衛星観測データの解析技術等を活用したロシア極東における総合的かつ持続可能な森林情報システムの開発（農林水産省 国際共同研究パイロット委託事業 H29-31(ロシア極東森林劣化共同研究分野))のコア技術として利用される運びとなった。

本課題で開発した、林野火災検知技術は、文部科学省が主催するアジア太平洋会議 (APRSAP) に設置されている Space Application for Environment (SAFE) (2018 年 11 月・シンガポール) にて、インドネシア宇宙航空研究局 (LAPAN) へと技術移転するべく標準技術として採用された。

本課題で開発した林野火災データベースは、日本未来館 Geo-cosmos にてリアルタイムで表示されているほか、Google 社の Google Earth Engine を通じて公開されている。

「効率性」

本課題は以下の観点から、十分な効率性が認められる。

計画・実施体制の妥当性

本課題では、3 年間という短い実施期間を考慮し、1) 一連の基盤技術のアルゴリズム開発と実装を行い GIS suites としてソフトウェアパッケージ化する、2) 気象特性解析による火災発生リスクの評価、火災後の植生回復監視と森林生態系への影響評価を行う、3) 過去の衛星観測による火災データ、植生指数などを網羅的に収集してデータベースとして整備し、国際的な実務・研究機関と連携して統合的可視化システムを構築することを計画した。アルゴリズム開発は、それぞれの開発要素ごとに独立した研究者を各大学から 1、2 名割り当て、現地調査は森林総研の専門部隊でチームを編成した。平成 27 年度の半年は一連の基盤技術のアルゴリズム開発に取り組むとともに、ひまわりデータのアーカイブシステム開発に着手した。平成 28 年度は、開発した各種アルゴリズムを適用してデータセットを試作するとともに、順次改良を行った。また、試作されたひまわりデータセット、気象特性データセットを用いて植生回復監視を開始し、ひまわりデータの可視化システムの開発を進めた。最終年の平成 29 年は、一連の基盤技術のアルゴリズムを確立し、実データセットに実装するとともに、気象特性解析と森林生態系への影響評価を実施した。また、格納したデータセットは可視化システムを通じてデータ公開を行った。現地調査の際、生態系の影響調査地を、ビザ取得の問題から当初の極東ロシアからロシア国境近くのモンゴルに変更したが、同じく永久凍土地帯の森林ステップ生態であることから、研究推進に十分有用な結果は得られた。以上から本課題は、当初の研究計画通り進められ、実施体制も妥当であったと考える。

費用構造や費用対効果向上方策の妥当性

一連のアルゴリズム開発を行うために、計算に必要なサーバーを 1 箇所に集中させ、初年度に一括して購入するための費用を計上した。研究代表者のもと、若手ポスドク 1 名、事務処理員 1 名を雇用し効率化を図るとともに、研究発表と研究打ち合わせを同時に行うなど、必要な国内外の出張旅費の抑制に努めた。また、国内外の連携研究機関や学会での情報収集を密にするなど、研究成果の科学的妥当性の

向上に努めた。以上から、費用構造は妥当であり、費用対効果向上策も妥当であったと考える。

(2) 成果

「アウトプット」

本課題は、上述の3点に焦点を絞り研究開発を行なったが、具体的な実施内容と得られた成果はそれぞれ次のとおりである。

1-1) 精密幾何補正アルゴリズムの確立と実装

GISで使用可能な地図投影された画像の作成・可視化を行うことが可能となり、幾何補正・正射投影パラメータのデータベースを作成した結果、火災検知に使用する熱赤外バンド 2km の空間解像度より高精度な、概ね 500m 程度の幾何補正精度を確保できることが明らかとなった。また、開発した手法を、C 言語を用いたプログラムコードで実装し、GMS geo としてパッケージ化した。これは GMS suite の一部を成すものとなる。

1-2) 雲検知アルゴリズムの確立と実装

これまでのアルゴリズムで問題になっていた雲域と積雪域の判別精度および雲域境界部分の判別精度は、短波長赤外バンドの利用、空間解像度の向上によって克服された。季節の異なるひまわり画像に対して、雲マスクを作成し、同期間の MODIS 雲マスクプロダクトを用いて精度検証を行ったところ、2月の両者の合致率は 75.7%、5月の合致率は 78.8%、8月の合致率は 80.5%、11月の合致率は 82.7%となった。以上から、本課題で開発したアルゴリズムにより、場所・昼夜・季節に関わらず年間を通して 75%以上の精度で全球の雲判別を行えることが明らかになった。また、開発した手法を、C 言語を用いたプログラムコードで実装し、GMS cloud としてパッケージ化した。これは GMS suite の一部を成すものとなる。

1-3) 火災検知手法の開発と実装

高分解能データを真値として、ひまわり 8 号の火災画素を、様々な気象条件を想定してシミュレートした結果、チャンネル 7(3.9 μm 帯)とチャンネル 13(10.4 μm 帯)、太陽天頂角を検知基準としてアルゴリズムを開発することに成功した。年間を通じて様々な地域の火災検知結果を検証した結果、従来の MODIS と比較しておよそ 80%の精度で火災を検知できることが明らかとなった。また、開発した手法を、C 言語を用いたプログラムコードで実装し、GMS fire としてパッケージ化した。これは GMS suite の一部を成すものとなる。

1-4) 火災跡の分布図作成

GMS fire で検知された火災跡を対象に、高分解能データである Landsat8 を真値として確認したところ、火災強度の異なる火災と火災跡を確認できたほか、窪地で留まっている火災、発生直後の進行中の火災、風に煽られて延焼中の火災の 3 種類に区分可能であることが明らかとなった。また、正規化植生・土壌・水指数の時系列変動との比較から、火災地と森林との差異は、1日平均値の比較から十分判断でき、火災後の植生指数は減少、土壌指数は増加、水指数はほぼ変化がなく、正規化植生指数 (NDVI) と中間赤外チャンネル 7 の時系列変動から、火災分布図と発生日を同時に推定することが可能となった。

2-1) 気象特性解析による火災発生リスクの評価

アジア太平洋地域の火災の季節特性とともに、地表面の乾燥度 KBDI と火災の発生に空間的な相関が見られることを明らかにした。インドネシアにおいて、KBDI と現場計測したデータを組み合わせて泥炭湿地の地下水位を算出した。これと衛星から計測した火災発生件数を比較すると、高い相関関係が見られた。

2-2) 森林生態系への影響評価

1998年と2009年に火災が発生した場所において植生回復、調査と土壌水分測定調査を8箇所で行い、Landsat画像の時系列解析を通じて、火災前後の植生の変化を解明した。現地において追加の植生調査および土壌水分調査を4か所で行い、森林のバイオマス量および地上部炭素蓄積量の推定および、その分解過程に関する解析を行った。炭素放出モデル Yasso07 によるシミュレーションの結果、火災で死亡した樹木からの二酸化炭素の大気中への放出は、はじめの50年間で急激に増加し、その量は約3.2から22.7tC/haであった。その後は緩やかに減少していくものの、100年以上は炭素の放出が連続することが判明した。

3) ひまわりデータの可視化システムによるデータ公開

東京大学に設置されている統合的データ解析システム (DIAS) と連携して、ひまわりデータを準実時間で可視化、アーカイブするウェブシステムを開発した。ひまわりデータは、HRITフォーマットで10分ごとにデータアーカイブシステムに格納され、準実時間でクイックルック画像が作成される。また、タイ王国・アジア工科大学院 (AIT)、ベトナム国・気象水文環境研究所 (IMHEN) にて、本課題で開発した干ばつ・林野火災情報を提供する WebGIS サイトを開発し、定常運用を開始した。森林と農地を対象に、降雨情報、干ばつ指数、植生情報、林野火災情報を、準リアルタイムで毎日更新している。

以上から、本課題では、一連の基盤技術のアルゴリズム開発と実装、気象特性解析による火災発生リスクの評価、火災後の植生回復監視と森林生態系への影響評価、過去の衛星観測による火災データ、植生指数などを網羅的に収集したデータベース構築、国際的な実務・研究機関と連携した統合的可視化システムの構築がなされ、十分な成果が得られた。

「アウトカム」 (平成30年10月末時点)

本課題では、DIAS と連携して、ひまわりデータを準実時間で可視化、アーカイブ、データ公開するウェブシステムを開発した。また開発したソフトウェア GMS suites の公開に向けて、ソフトウェア開発のプラットフォームであり、ソースコードをホスティングする GitHub で手続きを進めている。

タイ王国・アジア工科大学院、ベトナム国・気象水文環境研究所 (IMHEN) にて、本課題で開発した干ばつ・林野火災情報を提供する WebGIS サイトを開発し、定常運用を開始した。森林と農地を対象に、降雨情報、干ばつ指数、植生情報、林野火災情報を、準リアルタイムで毎日更新し、国際的な実務・研究機関と連携した統合的可視化システムの構築が完了した。

本課題で開発した、ひまわりを用いた林野火災の準実時間観測に関する応用技術および林野火災データベースは、衛星観測データの解析技術等を活用したロシア極東における総合的かつ持続可能な森林情報システムの開発 (農林水産省 国際共同研究パイロット委託事業 H29-31 (ロシア極東森林劣化共同研究分野)) のコア技術として利用される運びとなった。

本課題で開発した、林野火災検知技術は、文部科学省が主催するアジア太平洋会議 (APRSAP) に設置されている Space Application for Environment (SAFE) (2018 年 11 月・シンガポール) にて、インドネシア宇宙航空研究局 (LAPAN) へと技術移転するべく標準技術として採用された。

本課題で開発した林野火災データベースは、日本未来館 Geo-cosmos にてリアルタイムで表示されているほか、Google 社の Google Earth Engine を通じて公開されている。

(3) 今後の展望

国外他のプロダクトとの比較検証:

欧州 ESA では、Meteosat Second Generation (MSG) を用いて、1 時間ごとの準実時間火災プロダクトが作成されている。特に火災の多いアフリカでは、米国と共同で、WFABBA (Wild fire African biomass burning algorithm) が実施されており、火災検知、燃焼による炭素放出に関するプロダクトを作成している。このプロジェクトでは、旧型ひまわりや米国 GOES-E、GOES-W も含めた静止気象衛星を収集した、グローバルなデータが作成されているため、本プロジェクトで作成した火災プロダクトと比較検証することは有意義であると考えられる。

事業の継続性:

ひまわりは 2030 年まで継続して運用されることが決まっており、東京大学においても DIAS を通じてデータアーカイブと公開を行っていく予定である。JAXA が提供する GSMaP も GPM プロジェクトとして衛星降雨観測が継続されることから、本課題で完了した一連のアルゴリズムの改良、データ供給の長期的な運用実施に必要な体制を維持する必要がある。

裾野拡大:

本課題では、可視・近赤外・短波長赤外・熱赤外の広範な観測バンドを持つ新型ひまわりから得られた画像データを、林野火災の準実時間観測に応用する新たな利用方法を開発した。一連の基盤情報ソフトウェアパッケージの開発、データベース整備と統合的可視化システムの構築を通じて、火災情報の発信、生態系への影響評価、陸域炭素循環の理解、をはじめとする様々な分野における利用の拡大・促進や地球規模課題の解決等への更なる貢献が可能となる。

7. 評価点

S

評価を以下の 5 段階評価とする。

- S) 優れた成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に著しく貢献した。
- A) 相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献した。
- B) 相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献しているが、一部の成果は得られておらず、その合理的な理由が説明されていない。
- C) 一部の成果を挙げているが、宇宙航空利用の明確な促進につながっていない。
- D) 成果はほとんど得られていない。

8. 評価理由

本課題では、気象衛星ひまわり 8 号の観測データを基に、一連の基盤技術のアルゴリズム開発と実装、気象特性解析による火災発生リスクの評価、火災後の植生回復監視と森林生態系への影響評価、過去の

衛星観測による火災データ、植生指数などを網羅的に収集したデータベース構築、国際的な実務・研究機関と連携した統合的可視化システムの構築が一通貫で実行されており、非常に高く評価できる。また、タイ、ベトナムなどの環太平洋地域で大学・研究機関・宇宙機関・農林業政府機関において、運用が開始された。現在、文部科学省 APRSAF にてインドネシア宇宙局へ、農林水産省 国際共同研究パイロット委託事業でロシアへ研究成果が展開されており、当初予定していた以上の波及的成果を得た。

以上により、本課題は優れた成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に著しく貢献したと評価する。

今後は、構築されたデータベースの活用が一層進むとともに、このプラットフォームを核にして、様々なアプリケーションが発展することを期待する。