

戦略的創造研究推進事業  
発展研究（SORST）

研究終了報告書

研究課題

「衛星観測・モデル統合による  
アジア環境，災害評価システムの構築」

研究期間：平成16年12月 1日～  
平成18年 3月31日

安岡 善文  
(東京大学、教授)

## 1. 研究課題名

衛星観測・モデル統合によるアジア環境、災害評価システムの構築

## 2. 研究実施の概要

近年、アジア諸国では、台風、サイクロンなど風水害、大規模な森林火災、大型地震などの災害が頻発し、これに伴って人命や資産の損失が大幅に増加している。全球規模での温暖化や降雨量の増大は、多くの地球変動モデルがほぼ一致して予測していることから、今後、アジア地域においてこれらの災害が頻発し、人々の安全を脅かす大きな要因となることが予想される。これらの災害に対処し、その被害を軽減するためには、災害に強い地域づくりをすることは当然であるが、同時に、災害を監視し、予測することが極めて重要になる。

災害の監視、予測では、

- ・ 広い範囲にわたる気象や環境・災害の状態を観測すること、
- ・ その観測データに基づいて将来の状況をモデルにより予測すること

が必要となる。しかしながら、アジア地域においては、これまで必ずしも風水害や森林火災、地震などの観測、モデル予測が十分に行われてこなかった。特に、広いアジア地域を対象とした観測システムの構築、予測システムの構築はほとんど行われていない。

本研究は、アジア地域を対象として、衛星観測ネットワークと結合したモデルネットワークを構築することにより、環境・災害の広域監視・評価・予測を行うためのネットワークシステムを構築することを目的とする。

平成 14 年度から開始された ACT/JST プロジェクト第一期では、東京大学生産技術研究所(東京)およびアジア工科大学院(タイ・バンコク)に設置した衛星データ(TERRA/MODIS, NOAA/AVHRR 等)受信システムをネットワークでつなぎ準実時間でこれらのデータを転送、処理、蓄積、配布するネットワークシステムを構築した。また、受信された衛星データをもとに、環境・災害に関する各種の主題図(広域分布図)を作成した。

ACT/JST の第二期(継続課題)では、これら衛星観測ネットワークから得られるデータ、さらに衛星データを処理することにより得られる各種の主題図を、陸域生態系モデルにネットワークを介して結合し、準実時間で環境・災害のシミュレーションを行うシステムに拡張する。シミュレーションは、地球フロンティア研究システム(横浜)で開発中の陸域生態系モデル(Sim-CYCLE)により実施し、特に、東南アジア、東アジアで大きな問題となっている森林火災、洪水に焦点を合わせて評価・予測を行う。第一期、第二期の成果により、アジア地域における環境保全・災害軽減のためのネットワークシステムを構築することを目指す。

今回新たに結合されるモデルシミュレーションシステムでは、特に、森林火災による環境変動の予測・評価を取り上げ、森林火災の監視と延焼予測、二酸化炭素放出量の評価、植生回復過程におけるバイオマス、葉面積指数、二酸化炭素吸収量の変化などを予測・評価する。さらに、水災害による環境変動についても検討することとし、洪水による流出量、土壌水分などを、衛星観測により得られる植生分布、標高データなどに基き予測・評価する。予測のための陸域モデルとして、地球フロンティア研究システム(FRSGC)において開発中の物質循環モデルSim-CYCLEを採用する。

本研究は、衛星観測による陸域パラメータの広域空間分布を、ネットワークを介してモデルに結合し、準実時間で環境・災害の評価・予測を行うためのモニタリング・モデリング融合型ネットワークシステムを構築することの特徴としているが、地球観測とモデルの統合は、平成 17 年度より開始される“地球観測のための 10 年実施計画”に基づく全地球観測システム(GEOSS)の骨格ともなる考えであり、本研究は GEOSS 構築の予備的研究として位置づけることができる。

本研究では、冒頭に示した目的を達成するために以下の 4 サブテーマを設定しそれぞれ分担して研究を進めることとするが、各サブテーマの研究目標は以下の通りである。

- ① アジア衛星観測ネットワークの構築および衛星基盤データセットのモデルへの結合

これまでの構築してきたアジア衛星観測ネットワークシステムを、さらに、地球フロンティア研究システム（FRSGC）で開発されている陸域生態系モデル（Sim-CYCLE）に結合するためのネットワークを構築するとともに、Sim-CYCLEに入力するための衛星観測データセットのフォーマット決定、データセットの試作を行う。また、最終年度には、水災害による環境変動についても検討することとし、洪水による流出量、土壌水分などを、衛星観測により得られる植生分布、標高データなどにに基づき予測・評価する。本サブテーマは、主として東京大学グループが担当する。

#### ② 衛星データ統合利用手法の開発

MODIS, AVHRR など仕様の異なる各種の衛星データを統合的に処理するための方式について検討する。特に、過去の長期的なデータセットが存在する AVHRR と、1998 年に受信が開始された新たなセンサである MODIS からのデータの相互補完手法を開発し、継続性を生かすための方式を検討する。本サブテーマは、主として東京大学および芝浦工業大学グループが担当する。

#### ③ 陸域生態系モデルの高度化による高解像度陸面予測モデルの開発

陸域生態系モデル（Sim-CYCLE）を改良し、高い空間分解能で、火災等の短時間での現象をシミュレートすることが可能な高解像度モデルに改良するための方式を検討する。衛星観測による火災分布データと気象予報データを用いた、セミリアルタイムの火災延焼・炭素放出量予測システムの改良と検証を行う。特に、タイなど東南アジアで取得された陸域生態系の炭素動態および火災観測データを用い、熱帯から亜熱帯の森林における乾燥時期の火災過程を妥当に表現できるようモデルの改良を図る。これら地域の森林火災は土壌水分条件に強く影響を受けると考えられるため、必要に応じて生産技術研究所・水循環グループの観測データを利用して土壌環境モデルの再現性を検討する。最終年度の総括として、モデルによる火災延焼と炭素放出予測のデータ公開方法（web サイトの構築など）について検討する。さらに、衛星観測データの陸域生態系モデルへの同化による改良を図るため、高精度な光合成有効放射（PAR）データの開発利用を促進する。前年度にタイに設置した PAR メータによる観測を継続し、地点レベルでの PAR を散乱・直達成分別に測定する。そのデータを利用して衛星観測ベースの PAR プロダクトを検証する。そして、高精度な PAR データを用いた陸域生態系モデルによるシミュレーションを実施し、入力データの際に起因する変動について検討を行う。本サブテーマは、主として地球フロンティア研究システムが担当する。

#### ④ アジアデータセットの作成

森林火災分布図、周辺における植生分布、地表面温度分布図など、森林火災に関するデータセットを試作するとともに、高精度での衛星主題図を作成するために、地上での In-situ 観測を行うための検証サイトを構築する。また、これまで構築されてきたアジア工科大学院（AIT）におけるデータ処理システムの高度化を目指す。本サブテーマは、主としてアジア工科大学院と東京大学生産技術研究所が担当する。

以下に、各年次で実施した研究概要を示す。

平成17年度においては、陸域生態系の攪乱・災害として森林火災を取り上げ、日単位で観測される衛星データ（MODIS, AVHRR）から森林火災を検知・評価し、このデータを準実時間で Sim-CYCLEに入力することにより、森林火災の延焼予測、二酸化炭素放出量の評価、植生回復過程を評価・予測する基本システムを構築した。具体的には、

- ・ 東京、バンコクで受信されるMODIS, AVHRRデータから、火災地域の抽出を行い、ホームページで毎日公開するシステムを構築した。
- ・ また、これらのデータを地球環境フロンティア研究センターに1日以内に転送し、Sim-CYCLEに入力・シミュレーションするシステムを構築した。
- ・ アジアにおける検証観測地として、タイ中西部のホイカーケン自然保護区(Huai Kha Khaeng Wildlife Sanctuaries)を選定し、観測実験を行った。

- ・ Sim-CYCLEを火災シミュレーションに改良したSim-CYCLE-Fireを作成し、予備ランを行った。
- ・ 火災に加え、水害シミュレーションを行うための基本モジュールを検討した。

平成18年度は、前年度に引き続き陸域生態系の攪乱・災害として森林火災および洪水を取り上げ、日単位で観測される衛星データ (MODIS, AVHRR) から森林火災を検知・評価し、このデータを準実時間で Sim-CYCLEに入力することにより、森林火災の延焼予測、二酸化炭素放出量の評価、植生回復過程を評価・予測した。また、衛星による降水観測(TRMM, GMS, AMSR-E, SSMI)と陸面水循環シミュレーションを結合したグローバルな洪水監視システムを構築した。具体的には、

- ・ 東京、バンコクで受信されるMODIS, AVHRRデータから、火災地域の抽出を行い、ホームページで毎日公開するシステムを構築した。これらのシステムは、タイ国宇宙開発省およびモンゴル国環境省へ技術移転され、周辺各国へ即時配信する準備が整った。
- ・ 衛星による降水観測を利用したグローバルな洪水監視システムの開発を目指して、準実時間の陸面水循環シミュレーションシステムYesterday's Earthの構築を行った。
- ・ 人工衛星観測から得られる準リアルタイムの災害発生情報を用いた、災害予測 (特に森林火災の延焼とバイオマス燃焼)のモデルシミュレーションシステムを稼働させた。衛星観測データからより高精度での地表面パラメータ分布を推定するために、取得した地上観測データと衛星データを照合し検討できるユーザインターフェースを作成した。

### 3. 研究構想

本継続研究では、これまでに確立された衛星観測ネットワークから得られるMODIS, AVHRRデータを、ネットワークを介して準実時間で陸面プロセスモデルに結合し、環境・災害評価・予測を行うためのモニタリング・モデリングネットワークを試作した。

今回新たに結合されたモデルシミュレーションシステムでは、森林火災に関するパラメータとして、火災による二酸化炭素放出量、植生回復過程におけるバイオマス、葉面積指数、二酸化炭素吸収量を、また、水災害に関するパラメータとして土壌水分、流出量を取り上げ、これらのパラメータを予測する。予測のための陸域モデルとして、地球フロンティア研究システム (FRSGC) において開発中の陸域生態系モデルSim-CYCLEを採用した。

Sim-CYCLEへ入力するパラメータとして、衛星データより森林火災地分布、土地被覆分布、葉面積指数等の分布を準実時間で算出し、ネットワークを介してモデルシミュレーションシステムに提供する。既研究課題で開発中の衛星観測ネットワークシステムでは、モデルに提供する上記の主要パラメータ分布図を作成するための処理アルゴリズムを開発する。

地球フロンティア研究システムは、既研究課題には含まれていないため、新たに研究への参画を求め、衛星データの転送などネットワーク環境を整備した。また、Sim-CYCLEに、衛星データを入力するためのプログラムの改良を生産技術研究所とともに行った。

以上の研究を実施するために、以下の4サブテーマを設定し、それぞれ分担して研究を進めた。

- ① アジア衛星観測ネットワークの構築および衛星基盤データセットのモデルへの結合  
これまでの衛星観測ネットワークシステムを高度化し、モデルに入力するための主題図を準実時間で作成するシステムを構築する。主として、東京大学生産技術研究所グループが担当する。
- ② 衛星データ統合利用手法の開発  
MODIS, AVHRR など仕様の異なる各種の衛星データを効率的、統合的に処理するための処理、解析システムを構築する。主として、芝浦工業大学グループが担当する。
- ③ 陸域生態系モデルの高度化による高解像度陸面予測モデルの開発  
陸域生態系モデル (Sim-CYCLE) を改良し、高い空間分解能で、火災等の短時間での現象をシミュレートすることが可能な高解像度モデルを開発する。主として、地球フロ

ンティア研究システムが担当する。

#### ④ アジアデータセットの作成

アジア地域における高精度での衛星主題図を作成するために、地上での In-situ 観測を初めとする検証実験，データ解析手法を開発する．主として，アジア工科大学院と東京大学生産技術研究所が担当する．

### 4. 研究実施内容

#### 4.1 アジア衛星観測ネットワークの構築および衛星基盤データセットのモデルへの結合 (東京大学生産技術研究所)

##### (1) 実施の内容

モデルへの衛星データの準実時間供給システムの構築および実装を行った．アジア地域を対象として，東京大学生産技術研究所およびアジア工科大学院で受信されたAqua/Terra MODISデータを用いて，アジアの森林火災を独自のアルゴリズムを用いて検知し，火災情報を準実時間でネットワーク配信するシステムを構築した．検知された火災に関する情報は，受信後6時間程度で地球環境フロンティア研究センターへ転送され，モデルへの入力データとして利用される．また，2001年5月からの全受信データおよそ21,000シーンについて過去の火災履歴情報を作成し，ウェブを通じて一般に公開するシステムを構築した．

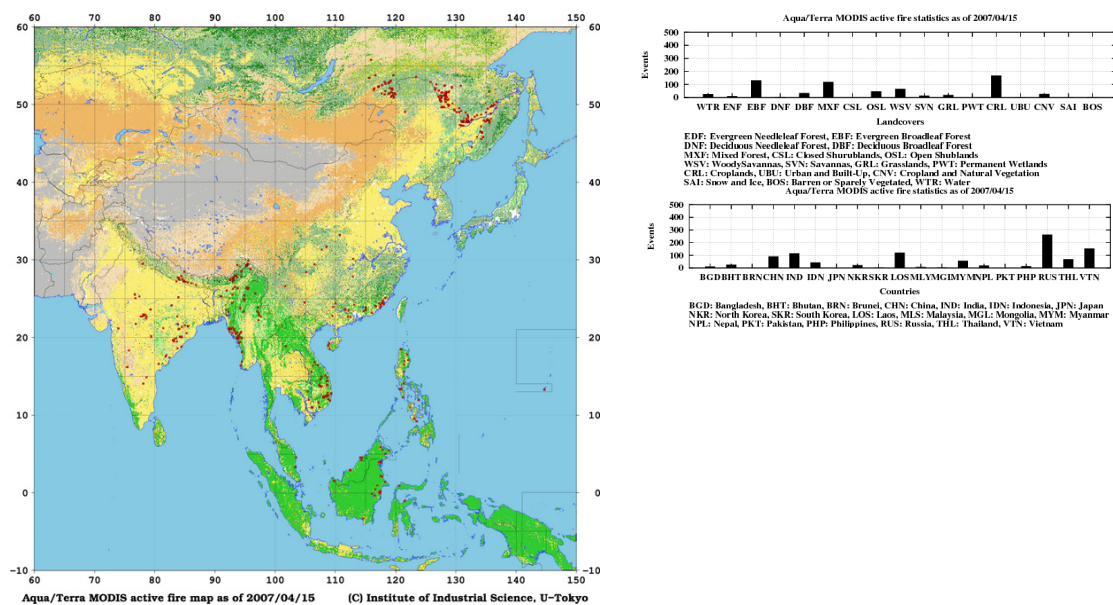


図 1. 準実時間火災情報供給システム  
(2007年4月7日の火災分布図と土地被覆・国別統計値)  
(<http://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp/Fire/>)

また，衛星による降水観測を利用したグローバルな洪水監視システムの開発を目指して，準実時間の陸面水循環シミュレーションシステム Yesterday's Earth(以下 YE)の構築を行った．YE は，東京大学生産技術研究所で開発済の Today's Earth (以下 TE)を一部変更したものである．TE は，気象庁が配布する気象モデルの出力結果を，変数変換・解像度変換をしたうえで，陸面の水熱収支モデル(Iso-MATSIRO)に与えて陸面物理量を計算し，さらに河道網モデル(TRIP)により河川流量を再現するものである．YE では，Iso-MATSIRO に与える降水量として，世界的に広く用いられている GSMaP\_MWR, CMORPH, CPC\_MWCOMB, 3B42, 3B42RT, GPCP1DD, PERSIANN の計7つの衛星降水プロダクトを用いた．このうちCMORPH, CPC\_MWCOMB, 3B42RT については，準リアルタイム (観測から1日以内)でのシミュレーションを行うことが可能となった．

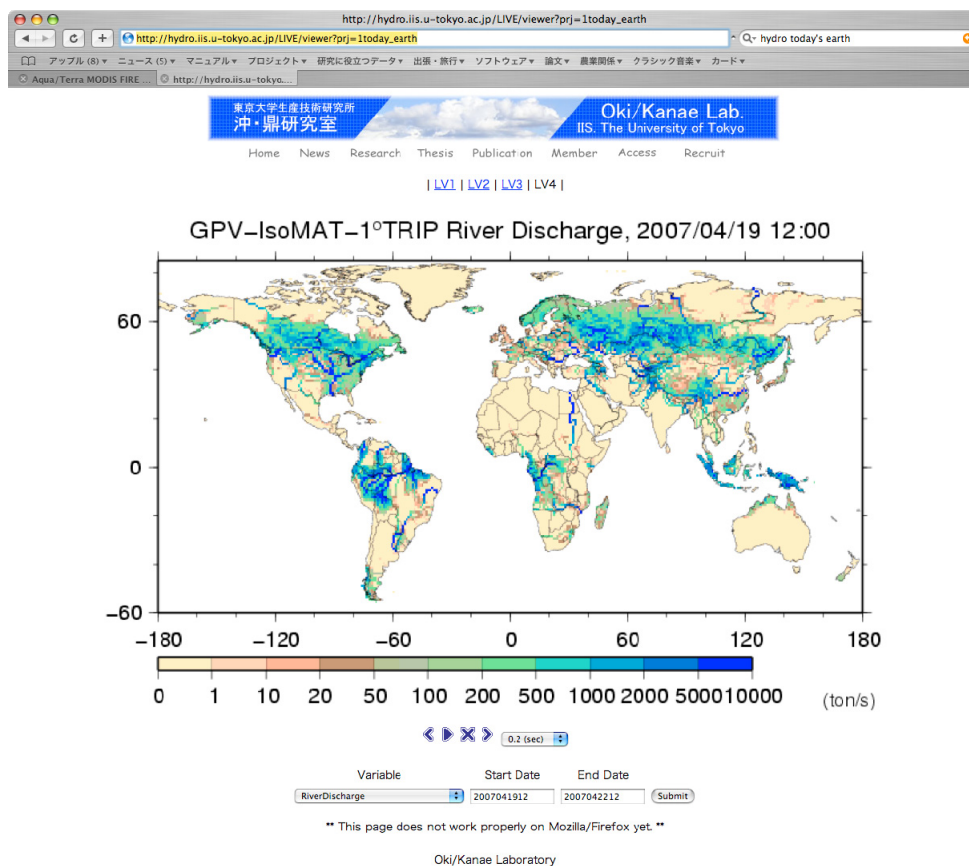


図 2. 準実時間陸面水循環シミュレーションシステム  
(<http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/LIVE/>)

## (2) 得られた研究成果の状況及び今後期待される効果

準実時間火災情報供給システムは、東京都バンコクで受信されているMODISデータに適用されており、定常運用が行われている。このシステムは、タイ国宇宙技術開発機構 (GISTDA) およびモンゴル国環境省へ技術移転され、周辺各国へ即時配信する準備が整った。火災検知に用いられているアルゴリズムは、世界的にもっとも良く使われている NASA/GSFC を改良したものを用いているが、アジア地域での検証は乏しく、より多くの現地検証データが必要となる。この点については、本プロジェクト実施中にタイ国森林管理局およびシンガポール大学リモートセンシングセンターとの協力体制を確立し、本プロジェクト終了後も連携を維持し火災検知アルゴリズムの検証活動および火災情報の利用促進を行うことで合意が得られた。また、Aqua/Terra MODIS だけでなく、他の極軌道衛星 NOAA/AVHRR や静止気象衛星 MTSAT といった複数のセンサが供給する情報を相互に検証する必要がある。本プロジェクト中には時間の関係で間に合わなかったが、既にデータの配信体制が整っている NOAA/AVHRR と MTSAT についても準実時間火災情報供給システムを試験的に稼働させ、アルゴリズムの最終調整段階に入っている。

準実時間陸面水循環シミュレーションシステムは、7つの衛星降水プロダクト間には年平均でも大きな差がある。熱帯域では最大で2倍近い降水量の差が見られた。この違いは、流出量に変換すると約5倍に拡大する。GPCCの雨量計データやGRDCの河川流量データを用いた検証を行った。東南アジアでは、YEでいずれの降水プロダクトを用いた場合も河川流量を弱く算出する傾向にある。洪水監視システムとしての応用に向けたケーススタディとして2005年のタイ北部洪水の再現性を見た。TEでは、洪水期間に対応した流量増加がみられるが、YEではいずれの降水プロダクトを用いた場合も流量増加が確認できない。洪水直前の豪雨自体は衛星からもとらえられているが、それ以前の降雨が弱く土壌水分量の蓄積が十分でないため流出が発生しない。現状では、衛星降水プロダクトを利用するに



あたり月降雨量を雨量計で補正するなどの対策が必要であることが分かった。また、現在のところ洪水予測システムの中に、本プロジェクトで構築した衛星観測システムによるデータが使われていないが、これらを組み込むことにより、一段とリアルタイム性あるいは再現性を重視した予測モデルの構築が可能となるものと期待される。

#### 4.2 衛星データ統合利用手法の開発（東京大学生産技術研究所，芝浦工業大学）

##### (1)実施の内容

広域高頻度観測データAVHRR，MODIS，高解像度衛星データTerra/ASTERの重ね合わせによる高解像度複合データセットを作成した。焼畑や小規模火災などを評価・予測するためには，AVHRRやMODIS等の広域高頻度データと併せて，10-100m程度の分解能を有する高解像度データを必要となるため，高解像度衛星データとの統合利用が必要となる。長い歴史を有するAVHRRと，新しいセンサであるMODISの継続性を生かすためにデータの相互補完方式について検討を行った。

### ホイカーケン自然保護区 (2005年11月9日)

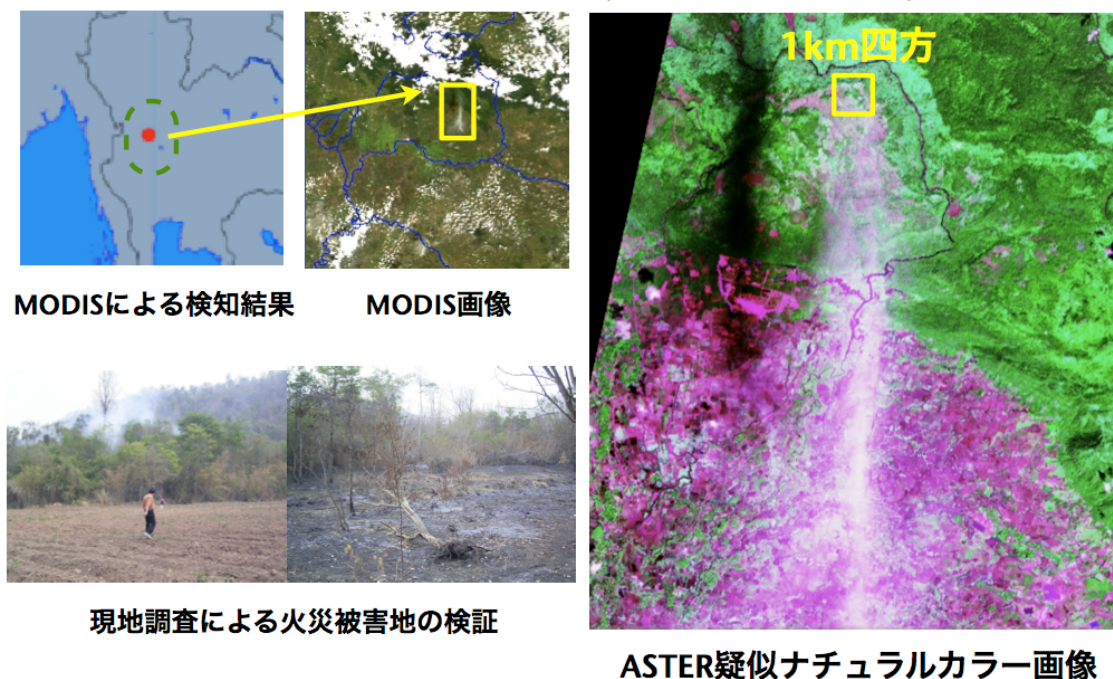


図 3. 火災情報供給における衛星データ統合利用方法の例

また，2005年9月に運用が開始され，火災情報の検知に非常に有効であると期待される静止気象衛星MTSATデータの受信準備を東京大学地震研究所と共同で実施し，2006年10月より定常運用を開始した。受信されたデータをネットワークを用いて転送し，放射量補正，幾何補正，切り出し処理，保存，ユーザへの配布といった一連のシステムを稼働させた。

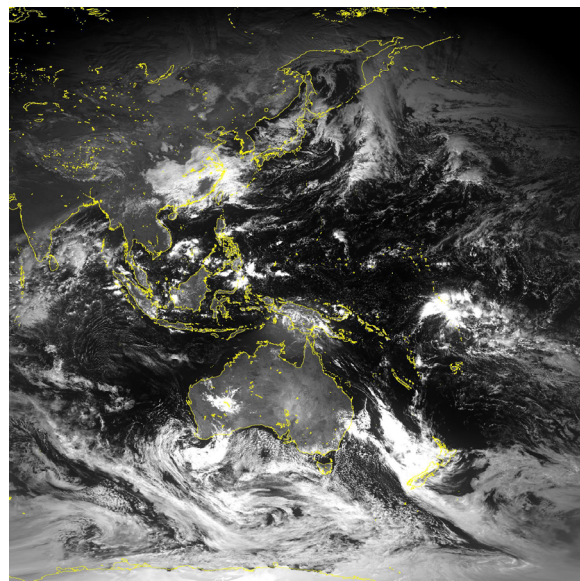
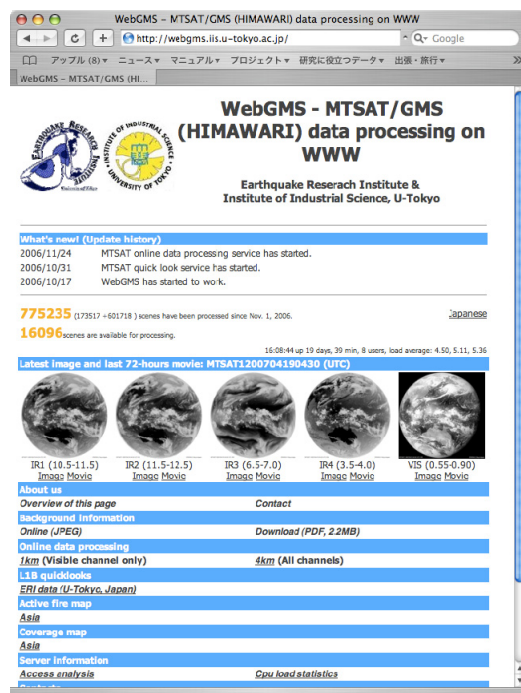


図 4. MTSAT(ひまわり6号)データオンライン処理配布システム  
(地図化された2007年2月7日の可視画像)  
(<http://webgms.iis.u-tokyo.ac.jp/>)

## (2) 得られた研究成果の状況及び今後期待される効果

衛星データを統合的に利用することにより、低空間分解能センサである MODIS を用いて火災を検知するアルゴリズムを改良することに大きく役立った。MTSAT データは、気象業務以外におけるデータ配信設備が整っていないため需要が高く、2006 年 10 月のサービス開始から 2007 年 3 月までの半年間の間に 80 万シーンが処理配布されている。東大生研で処理された一連の衛星データは、東大地震研、国立情報学研究所、千葉大学環境リモートセンシングセンター、高知大学などの関係機関へネットワークを通じて転送されている。

## 4.3 陸域生態系モデル(Sim-CYCLE)の高度化による高解像度陸面予測モデルの開発（海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター（FRCGC））

### (1)実施の内容

人工衛星観測で得られる地表面情報（土地被覆、植生指数など）と陸域生態系プロセスモデルを用いて、陸面過程・生態系機能の時空間変動に関するデータ同化を行う。対象範囲はアジア地域とするが、そこではモンスーン気候特有の豪雨災害あるいは地震・津波災害が時に甚大な被害を及ぼし、さらに人間活動による土地被覆改変や森林火災が深刻な生態系影響を及ぼしている。上記のデータ同化システムを構築することにより、生態系の構造・機能に関する平均的状态だけでなく、災害や人為影響に伴う陸域生態系の変動を高精度で把握することが可能になる。



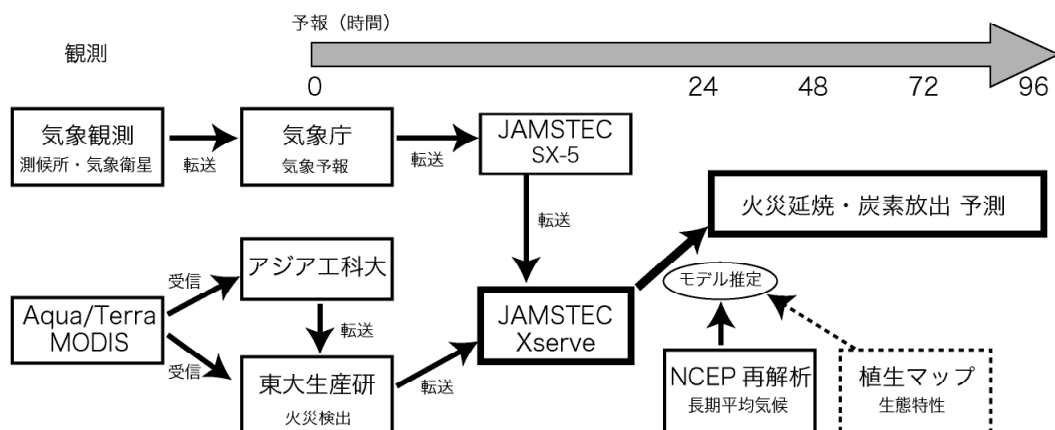


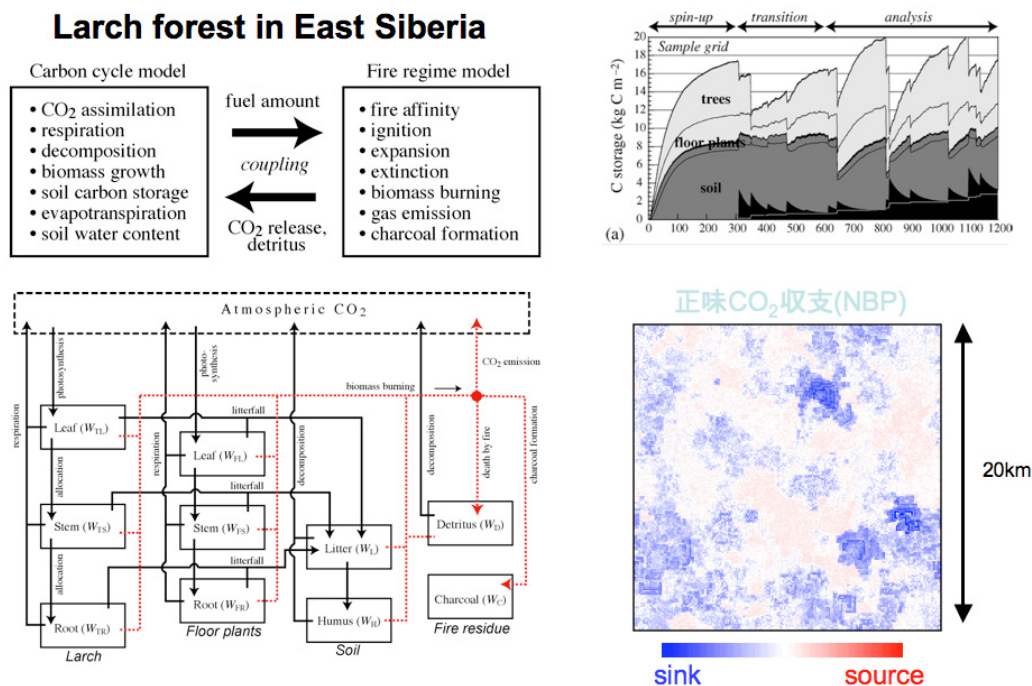
図 5. 火災延焼-炭素放出の予測システムの概要

このために、本研究では、陸域生態系プロセスモデル (Sim-CYCLE) を衛星データとの統合および災害影響評価を可能とするよう改良することとした。このモデルは数キロメートル程度の分解能での植生被覆・葉面積指数・バイオマス予測や、大気-陸域間のCO<sub>2</sub>収支の推定に用いられる。

まず、データの格納と処理および生態系モデルによるシミュレーションを行うサーバの拡充、人工衛星による火災検出データおよび気象庁の天気予報データの逐次転送システムの構築、火災-炭素循環モデルによる準リアルタイムでの延焼および炭素放出量の予測システムの構築、を実施した。クラスタノード、データ転送高速化のためのFCスイッチ1台を導入し、データ処理・計算の体制を強化することでより多量の火災データを処理することが可能になった。東京大学生産技術研究所で作成された火災検出データを毎日定時に海洋研究開発機構のサーバに転送する設定を行った。また、海洋研究開発機構内で気象庁の全球スペクトルモデルによる天気予報 (～192時間) データの転送設定を行い、シミュレーションに必要なデータが自動的に収集されるシステムを構築した。

MODISデータから火災発生が検出された地点において、緯度経度情報に基づいて気象データを抽出し、生態系炭素循環モデルの初期化と火災を発生させる数値実験を行った。気象庁予報に含まれる6時間ごとの気温・風速・降水量データを用い、間隔100mの格子モデルによって火災延焼の予備的な推定を行った。このモデルでは延焼は確率的過程として扱われるため、異なる乱数セットを用いたアンサンブル実験や初期の火災条件設定への依存性など、技術的な検討を行った。また、モデルで利用されるパラメータを個別に検討し、衛星観測で得られる光合成有効放射吸収率や葉面積指数データ、火災 (攪乱) 発生マップを、予報的性質を持つ陸域生態系モデルに統合する手法について検討した。

次に、JAMSTECにおいて取得されている気象庁の天気予報から、96時間程度先までの気温、降水、風速予報もシミュレーションに利用し、東シベリアカラマツ林における火災発生・延焼・バイオマス燃焼モデルを拡張して適用した。このモデルは確率論的な格子モデルであり、火災発生前の初期燃料分布を与える必要があるが、現段階では空間的にランダムな林齢分布を仮定して与えている。環境条件や植生タイプの違いを考慮するには、予めアジア地域の入力データセットが必要であるが、環境省地球環境研究総合推進費S1プロジェクトによる炭素収支マッピング成果を応用した。



Ito, A. 2005. Modelling of carbon cycle and fire regime in an east Siberian larch forest. *Ecological Modelling* 187:121-139.

図 6. 陸域生態系プロセスモデルを用いた火災発生数値実験

## (2) 得られた研究成果の状況及び今後期待される効果

格子モデルを用いた森林延焼，バイオマス燃焼過程を導入し，モデルパラメータの較正は現地観測および衛星観測によるデータに基づいて行った．気象データおよび火災発生・延焼・鎮火確率を与えたモンテカルロシミュレーションを行うことで，景域スケールでの正味CO<sub>2</sub>収支（＝光合成－呼吸－分解－火災燃焼）の推定が可能となった．東シベリア地域における火災発生の平均的頻度，延焼面積，季節変化などが現実的に再現されたが，同様な手法は亜熱帯アジアやサバンナなど他の火災頻発地域にも適用可能と考えられる．タワー観測によるフラックスデータを用いたモデル検証方法，衛星データの生態系モデルへの同化手法，改良モデルの広域的適用方法が精度向上に不可欠である．本研究で開発したモデルシステムにより，火災発生から1日以内程度に火災の延焼やバイオマス燃焼による炭素放出を予測することが可能になった．一方，その情報が延焼防止などの対策活動に実際に利用されるには，観測データに基づく検証を重ねる必要がある．

## 4.4 アジアデータセットの作成（東京大学生産技術研究所，アジア工科大学院）

### (1)実施の内容

衛星観測データから得られた地表面パラメータ分布およびモデル出力を検証するために，タイ国内の世界遺産サイトであるホイカーケン(HKK)自然保護区を地上観測サイトとして選択した．平成16年度に引き続き，今年度も平成18年1月31日～2月1日，3月7日～9日において現地調査を行った．その結果，平成16年度に比較して今年度は森林火災が極めて少ないこと，また平成16年度の調査で確認された観測地点では，図7に示すように火災跡地と認識できないほどに下草が回復している様子を確認できた．



森林火災直後  
(平成 17 年 3 月 14 日)



森林火災から 1 年後  
(平成 18 年 3 月 7 日)

図 7. ホイカーケン保護区での森林火災後の植生回復  
(地図化された2007年2月7日の可視画像)

衛星観測データからより高精度での地表面パラメータ分布を推定するために、取得した地上観測データと衛星データを照合し検討できるユーザインターフェースを作成した。最初に MODIS 画像からは、森林火災のプロダクトを生成した後に画像処理を通じて、火災地点を画素単位で抽出し画像上で示すインターフェースを作成した。次に、火災の発生頻度や面積などの簡単な統計処理を行うインターフェースを作成した。また、現地調査で取得した位置や火災の規模を示すデータを入力するインターフェースを作成した。この現地調査用のインターフェースは調査者の手間を簡略化し、収集ミスを防ぐ目的がある。ユーザインターフェースをウェブ上に作成したことにより、森林火災に関するより視覚的な効果を与えることができた。

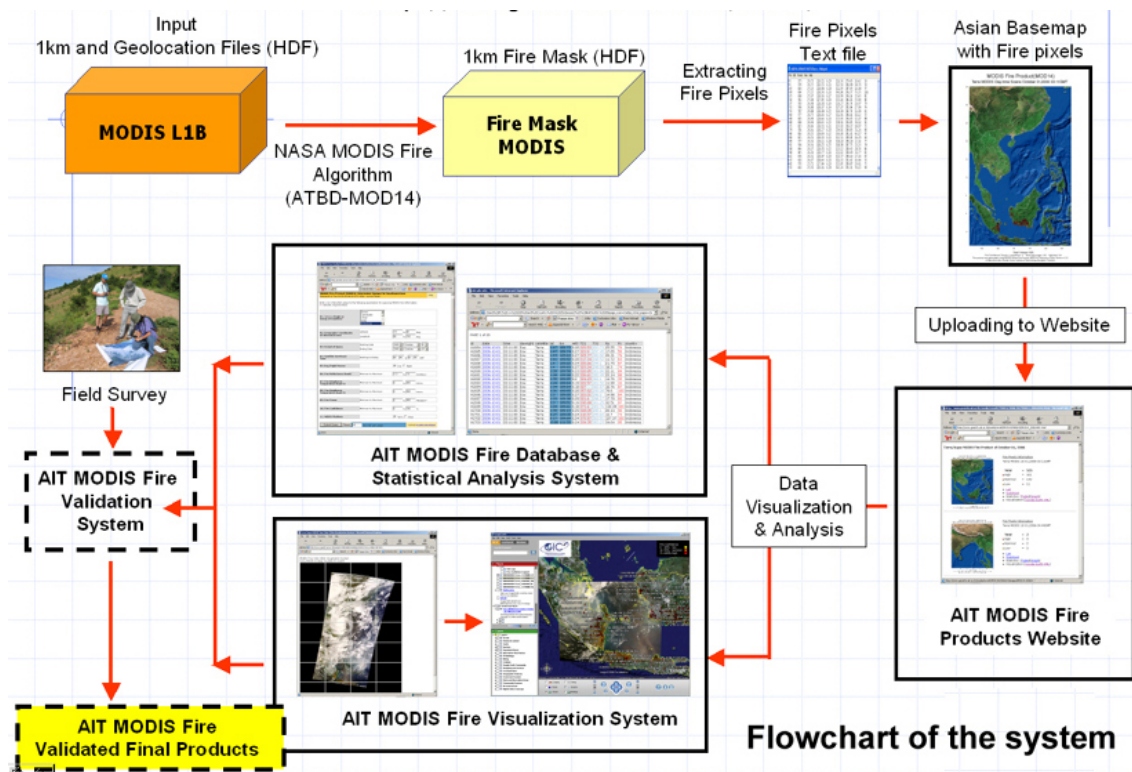


図 8. 準実時間火災情報可視化システム  
(<http://www.geoinfo.ait.ac.th/mod14/>)

(2) 得られた研究成果の状況及び今後期待される効果

HKK 保護区を管理している National Parks Wildlife and Plant Conservation Department (NPWPCD)から、森林火災の発生時刻、緯経度、大きさなど、HKK で発生した森林火災に関する統計データを入手した。この統計データと、MODIS 森林火災プロダクトの推定結果を簡易に比較したところ、MODIS プロダクトでは過剰に森林火災域を推定していることが確認できた。また、HKK 保護区に長年携わっている NPWPCD の Sarayudh Bunyavejchewin 博士を訪問し、現地の森林火災の特徴、およびその後の植生の回復の特徴を尋ねた。その知見を踏まえて、ASTER 画像を使用して森林火災が確認できる画像と、火災の 1 ヶ月前、および火災の 8 ヶ月後の画像を使用して、森林火災域のスペクトル特性を検討した。その結果、火災地域と非火災地域とでは短波長赤外域の反射特性が大きく異なること、火災の 8 ヶ月後には火災前とほぼ変わらないスペクトル特性に回復している結果が得られた。平成 18 年度の目標の一つであったタイ国内での地上観測サイトの選択、および観測の開始は実現できなかった。一定面積以上の火災規模があり、観測に適した広大な森林で、治安面で安全が保障されるという全ての条件を満たす森林をタイ国内で選定できなかったのが大きな理由である。

5. 類似研究の国内外の研究動向・状況と本研究課題の位置づけ

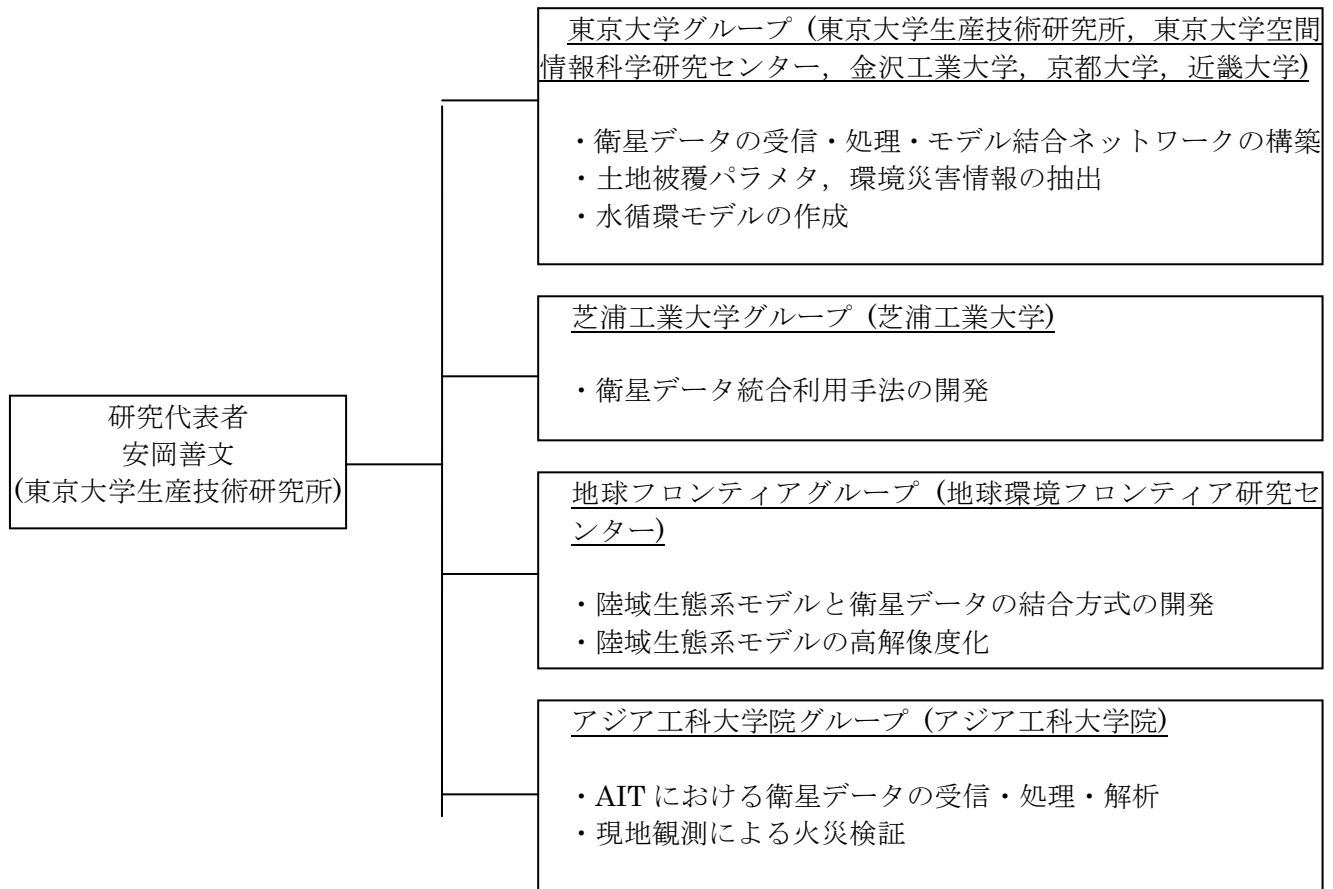
国内では、森林総合研究所が、1999年から準リアルタイムで、NOAAとDMSPを併用した東南アジア森林火災早期発見システムを開発・運用していたが、現在は中断している(<http://www.affrc.go.jp/ANDES/>)。東北大学東北アジア研究センターが、NOAAを利用したシベリア森林火災の早期検知システムを稼働させている(<http://asiadb.cneas.tohoku.ac.jp/NortheastFire/>)。ともに海外の関係機関と連携して意欲的に取り組んでいる。継続性の観点から考えると、本プロジェクトとの連携を視野に入れた長期的な枠組みの構築が有効であると考えられる。

国外では、世界的には森林被覆グローバル監視 (GOFC) のネットワークで森林火災情報が共有されている。また、NASA/GSFCがRapid response systemとしてMODISを用いた全球の火災情報を準リアルタイムで配信している (<http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/>)。

本研究課題の特徴は、NOAA AVHRRよりも火災検知精度の高いMODISを使用している、準リアルタイムで火災位置情報を配信している、衛星による火災情報と陸域生態系モデルとをリンクして火災延焼・炭素放出予測を行っている、タイ、モンゴル、シンガポール各国の関係機関を通じた火災情報の提供ならびに検証データの相互交換の枠組みが構築されている、などの点で他にはみられない特徴を持つ。世界的に見て欧米からの情報発信が圧倒的に多い中、アジアに位置する日本が情報を提供するシステムを確立したことは大きな成果といえる。

## 6. 研究実施体制

### (1)体制



### (2)メンバー表

#### ①東京大学グループ

| 氏名    | 所属                       | 役職  | 担当する研究項目                            | 参加時期    | 備考 |
|-------|--------------------------|-----|-------------------------------------|---------|----|
| 安岡善文  | 東京大学生産<br>技術研究所          | 教授  | 衛星データの受信・処<br>理・モデル結合ネット<br>ワークの構築  | H16.12- |    |
| 喜連川 優 | 東京大学生産<br>技術研究所          | 教授  | 衛星データの大規模ア<br>ーカイブシステム構築            | H16.12- |    |
| 柴崎 亮介 | 東京大学空間<br>情報科学研究<br>センター | 教授  | 土地被覆データセット<br>作成                    | H16.12- |    |
| 沖 大幹  | 東京大学生産<br>技術研究所          | 教授  | 水循環モデルの作成                           | H16.12- |    |
| 田村 正行 | 京都大学大学<br>院              | 教授  | 土地被覆パラメータの<br>計測                    | H16.12- |    |
| 徳永 光晴 | 金沢工業大学                   | 准教授 | AVHRR/MODIS データ<br>からの環境・災害情報<br>抽出 | H16.12- |    |
| 越智 士郎 | 近畿大学                     | 准教授 | 土地被覆パラメータの<br>計測                    | H16.12- |    |



|       |                 |      |                                                                           |         |  |
|-------|-----------------|------|---------------------------------------------------------------------------|---------|--|
| 竹内 渉  | 東京大学生産<br>技術研究所 | 講師   | AVHRR/MODIS データ<br>からの環境・災害情報<br>抽出<br>衛星データの受信・処<br>理・モデル結合ネット<br>ワークの構築 | H16.12- |  |
| 瀬戸 心太 | 東京大学生産<br>技術研究所 | 特任助手 | 水循環モデルの作成                                                                 | H18.4-  |  |

②芝浦工業大学グループ

| 氏名    | 所属                     | 役職 | 担当する研究項目           | 参加時期         | 備考       |
|-------|------------------------|----|--------------------|--------------|----------|
| 高木 幹雄 | 芝浦工業大学<br>大学院工学研<br>究科 | 教授 | 衛星データ統合利<br>用手法の開発 | H16.12-H18.2 | H18.2 逝去 |

③地球フロンティアグループ

| 氏名            | 所属                                   | 役職           | 担当する研究項目                         | 参加時期    | 備考                  |
|---------------|--------------------------------------|--------------|----------------------------------|---------|---------------------|
| Dennis G. Dye | 海洋研究開発<br>機構地球環境<br>フロンティア<br>研究センター | グループリ<br>ーダー | 陸域生態系モデル<br>と衛星データの結<br>合方式の開発   | H16.12- | H18.4 より国立<br>環境研究所 |
| 伊藤 昭彦         | 海洋研究開発<br>機構地球環境<br>フロンティア<br>研究センター | サブリーダ<br>ー   | 陸域生態系モデル<br>Sim-CYCLE の高解<br>像度化 | H16.12- |                     |
| 小林 秀樹         | 海洋研究開発<br>機構地球環境<br>フロンティア<br>研究センター | 研究員          | 陸域生態系モデル<br>Sim-CYCLE の高解<br>像度化 | H18.4-  |                     |

④アジア工科大学院グループ

| 氏名                  | 所属                         | 役職  | 担当する研究項目                       | 参加時期    | 備考                  |
|---------------------|----------------------------|-----|--------------------------------|---------|---------------------|
| Lal Samarakoon      | アジアリモ<br>ートセンシング<br>研究センター | 教授  | AIT における衛星<br>データの受信・処<br>理・解析 | H16.12- | H19.3 より京都<br>大学助教授 |
| 須崎 純一               | アジアリモ<br>ートセンシング<br>研究センター | 講師  | 土地被覆パラメ<br>ータの計測               | H16.12- |                     |
| Vivarad<br>Phonekeo | アジアリモ<br>ートセンシング<br>研究センター | 研究員 | AIT における衛星<br>データの受信・処<br>理・解析 | H18.4-  |                     |

## 7. 研究期間中の主な活動

### (1) ワークショップ・シンポジウム等

| 年月日                   | 名称                              | 場所                  | 参加人数  | 概要                                                                                                                 |
|-----------------------|---------------------------------|---------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2005 年<br>1 月 6-7 日   | 第 2 回 MODIS ワークショップ             | バンコク<br>マルアイガーデンホテル | 100 名 | アジア地域における MODIS データの利用に関する情報交換を目的に、東京大学生産技術研究所 (IIS/UT), アジア工科大学 (AIT), タイ国宇宙技術開発機構 (GISTDA) の共同開催によりワークショップを実施した。 |
| 2005 年<br>1 月 28 日    | 第 1 回研究打ち合わせ                    | 東京大学生産技術研究所         | 7 名   | 今後の研究の進め方に関して議論した。                                                                                                 |
| 2005 年<br>2 月 15 日    | 第 2 回研究打ち合わせ                    | 東京大学生産技術研究所         | 5 名   | モデルの開発および高度かに必要な変数に関して議論した。                                                                                        |
| 2005 年<br>3 月 8 日     | 第 3 回研究打ち合わせ                    | 東京大学生産技術研究所         | 5 名   | 今後の研究の進め方に対して議論した。                                                                                                 |
| 2005 年<br>4 月 18 日    | 第 4 回研究打ち合わせ                    | 東京大学生産技術研究所         | 10 名  | 平成 17 年度の研究方針の検討                                                                                                   |
| 2005 年<br>6 月 17 日    | 第 5 回研究打ち合わせ                    | 東京大学生産技術研究所         | 8 名   | 平成 17 年度研究進捗状況報告                                                                                                   |
| 2005 年<br>7 月 25 日    | 第 6 回研究打ち合わせ                    | 東京大学生産技術研究所         | 8 名   | 平成 17 年度研究進捗状況報告                                                                                                   |
| 2005 年<br>10 月 25 日   | 第 7 回研究打ち合わせ                    | 東京大学生産技術研究所         | 12 名  | 平成 17 年度研究進捗状況報告                                                                                                   |
| 2005 年<br>12 月 1 日    | 第 8 回研究打ち合わせ                    | 東京大学生産技術研究所         | 10 名  | 平成 17 年度研究進捗状況報告                                                                                                   |
| 2006 年<br>1 月 16 日    | 第 9 回研究打ち合わせ                    | 東京大学生産技術研究所         | 12 名  | 平成 17 年度研究進捗状況報告ならびに次年度の方針の検討                                                                                      |
| 2006 年<br>2 月 17 日    | 第 10 回研究打ち合わせ                   | 東京大学生産技術研究所         | 11 名  | 平成 17 年度研究進捗状況報告                                                                                                   |
| 2006 年<br>3 月 17-18 日 | 第 15 回生研フォーラム JST/SORST 特別セッション | 東京大学生産技術研究所         | 77 名  | 冒頭に高木幹雄先生の逝去を悼み、黙祷を捧げた。二日目午後には SORST セッションにてサブ課題ごとに 5 件の発表を行った。                                                    |
| 2006 年<br>4 月 19 日    | 第 11 回研究打ち合わせ                   | 東京大学生産技術研究所         | 8 名   | 平成 18 年度研究進捗状況報告                                                                                                   |
| 2006 年<br>6 月 12 日    | 第 12 回研究打ち合わせ                   | 東京大学生産技術研究所         | 11 名  | 平成 18 年度研究進捗状況報告                                                                                                   |

|                    |                         |                         |       |                                                                                                                                     |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2006 年<br>7 月 31 日 | 第 13 回研究打ち合わせ           | 東京大学生産<br>技術研究所         | 8 名   | 平成 18 年度研究進捗状況<br>報告. JST の視察について<br>対応を検討した.                                                                                       |
| 2006 年<br>8 月 23 日 | 第 14 回研究打ち合わせ           | 東京大学生産<br>技術研究所         | 12 名  | 平成 18 年度研究進捗状況<br>報告. JST の視察があり,<br>全体報告, 施設見学を実施<br>した.                                                                           |
| 2007 年<br>1 月 16 日 | 第 3 回 MODIS ワークシ<br>ョップ | バンコク<br>ラマガーデン<br>ホテル   | 150 名 | アジア地域における火災,<br>水害に関する情報交換を<br>目的に, 東京大学生産技術<br>研究所(IIS/UT), アジア工<br>科大学(AIT), タイ国宇宙<br>技術開発機構(GISTDA)の<br>共同開催によりワークシ<br>ョップを実施した. |
| 2007 年<br>2 月 21 日 | 第 15 回研究打ち合わせ           | バンコク<br>GISTDA オフ<br>イス | 5 名   | 平成 18 年度研究進捗状況<br>報告. 竹内がタイ・バンコ<br>クの AIT, GISTDA を訪問<br>し, タイ国森林管理局との<br>現地検証データの転送に<br>関する合意がなされた.                                |
| 2006 年<br>3 月 15 日 | 第 16 回研究打ち合わせ           | バンコク<br>GISTDA オフ<br>イス | 5 名   | 安岡がタイ・バンコクの<br>AIT, GISTDA を訪問し,<br>本プロジェクト終了後も<br>タイ国森林管理局と連携<br>して事業を継続していく<br>旨の合意がなされた.                                         |

## (2)招聘した研究者等

| 氏 名 (所属, 役職) | 招聘の目的 | 滞在先 | 滞在期間 |
|--------------|-------|-----|------|
| なし           |       |     |      |
|              |       |     |      |

## 8. 発展研究による主な研究成果

### (1) 論文発表 (英文論文 2 件 邦文論文 4 件)

○竹内渉, 安岡善文, 2005. 衛星リモートセンシングによるアジアの被雲率分布特性の解析. 写真測量とリモートセンシング, 44(4), 16-26.

小松光, 堀田紀文, 2005. 森林蒸発散フラックス計測大流行の産物. 水分水資源学会誌, 18(4), 435-440.

Komatsu H. 2005. Forest categorization according to dry-canopy evaporation rates in a growing season: Comparison of the Priestley-Taylor coefficient values from various observation sites. Hydrological Processes, 19(19), 3873-3896.

○Takako Sakurai-Amano, Mikio Takagi, Susumu Ogawa, Kyoichiro Katabira, 2005. Visualization of Narrow Rivers within Forested Areas Using JERS-1 SAR Images of the Amazon River Basin. 写真測量とリモートセンシング, 44(5), 64-72.

○竹内渉, 中野智子, 越智士郎, 安岡善文, 2007. サブピクセル土地被覆特性解析による西シベリア湿地性森林の火災地回復観測. *日本リモートセンシング学会誌*,

○竹内渉, 安岡善文, 2006. Aqua/Terra MODIS データを利用したアジア森林火災の準実時間観測. *写真測量とリモートセンシング*, 45(5), 59-63.

(2) 口頭発表

①学会

国内 5 件, 海外 22 件

②その他

国内 0 件, 海外 0 件

Jaecil Cho, Wonsik Kim, Daisuke Komori, 2005. Seong-Deog Kim, 2005. Instrument and data quality assessment at Daegwallyeong CO2 flux measurement site (DFMS) in Korea. *AsiaFlux Workshop 2005 (Yamanashi, Japan)*.

Wataru Takeuchi, Yoshifumi Yasuoka, 2005. Near-real time active fire mapping over Asia using Aqua/Terra MODIS. *The 26<sup>th</sup> Asian conference on remote sensing (Hanoi, Vietman)*.

竹内渉, 安岡善文, 2005. Aqua/Terra MODIS データを利用したアジア森林火災の準実時間観測. *日本リモートセンシング学会第39回学術講演会 (鳴門教育大学, 徳島県)*.

Shin Akatsuka, Yoshifumi Yasuoka, 2005. Estimation of precipitable water distribution over land using NOAA/AVHRR data and GPS-derived precipitable water. *The 26<sup>th</sup> Asian conference on remote sensing (Hanoi, Vietman)*.

Preesan Rakwatin, Wataru Takeuchi, Yoshifumi Yasuoka, 2005. Destriping MODIS data by facet model and histogram matching. *The 26<sup>th</sup> Asian conference on remote sensing (Hanoi, Vietman)*.

Mikio Takagi, Masaru Kitsuregawa, Ryousuke Shibasaki, Seishi Ninomiya, Toshio Koike, 2005. Development of Data Integration and Information Fusion Infrastructure for Earth Observation. *ISRS2005 EMSEA2005 (Jeju, Korea)*.

Mikio Takagi, Masaru Kitsuregawa, Ryousuke Shibasaki, Seishi Ninomiya, Toshio Koike, 2005. Development of Data Integration and Information Fusion Infrastructure for Earth Observation. *The 26th Asian Conference on Remote Sensing Hanoi Hotel (Hanoi, Vietnam)*.

Akihiko Ito, 2005. Impacts of global warming on boreal larch forest in East Siberia: simulations with a coupled carbon cycle and fire regime model. *American Geophysical Union 2005 Fall Meeting (San Francisco, U.S.A.)*.

Junichi Susaki, Koji Kajiwara, Yoshiaki Honda and Yoshifumi Yasuoka, 2005. Preliminary validation results of MODIS albedo products compared with temporal ground-measured albedos of paddy fields. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS2005) (Seoul, Korea)*.

Junichi Susaki, Koji Kajiwara, Yoshiaki Honda and Yoshifumi Yasuoka, 2005. Comparison of estimators of BRDF model parameters using limited number of observations. *9th International Symposium on Physical Measurements and Signature in Remote Sensing (ISPMSRS) (Beijing, China)*.

Junichi Susaki, Ryoza Ooka, Yoshihumi Yasuoka, Takahiro Endo, Yo-ichi Kawamoto, Hidenobu Nakai, Madoka Nakashima, Rei Takada, Masahiro Setojima, Manabu Funahashi and Keiichi Okada, 2005. Extraction of parameters from remote sensing data for environmental indices for urban sustainability. *4th International Symposium on New Technologies for urban safety of mega cities in Asia (Singapore)*.

Junichi Susaki and Yoshifumi Yasuoka, 2005. Robust estimation of BRDF and albedo using temporal MODIS data for drought monitoring. *International Workshop on Disaster Monitoring & Assessment through Images (Asian Institute of Technology, Pathumthani, Thailand)*.

Santosh Tripathi, Junichi Susaki and Xiayong Chen, 2005. Fusion of DEM and Satellite Imagery for surface area calculation: Development of an algorithm and a tool for GRASS GIS. *26th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS) (Hanoi, Vietnam)*.

Junichi Susaki, Koji Kajiwar, Yoshiaki Honda and Yoshifumi Yasuoka, 2005. Robustness in the estimation of BRDF model parameters using limited number of observations. *The 26th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS) (Hanoi, Vietnam)*.

Junichi Susaki, Supannika Pothitthep, Ryoza Ooka, Yoshihumi Yasuoka, Takahiro Endo, Yo-ichi Kawamoto, Hidenobu Nakai, Madoka Nakashima, Rei Takada, Masahiro Setojima, Manabu Funahashi and Keiichi Okada, 2005. Extraction of parameters from remote sensing data for environmental indices for urban sustainability. *The 26th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS) (Hanoi, Vietnam)*.

Takeuchi, W., Y. Yasuoka, 2007. An analysis of wild fire occurrence over Asia with near-real time monitoring by MODIS direct broadcasting. *3<sup>rd</sup> MODIS Workshop on Monitoring and Modeling of Environmental and Disaster in Asia (Bangkok)*.

竹内渉, 安岡善文. 2006. MODISデータを利用したアジアの火災検知結果の検証. 日本写真測量学会 平成18年度年次学術講演会 (神奈川県横浜市).

竹内渉, 安岡善文. 2006. MODISデータを利用したアジアの火災分布特性の解析. 日本写真測量学会 平成18年度年次学術講演会 (神奈川県横浜市).

Seto, S, 2007. Global precipitation map produced by using satellite remote sensing; Development, evaluation, and application into hydrology. *Hydrology Delivering Earth System Science to Society Symposium (Tsukuba)*.

Seto, S., H. Kim, K. Yoshimura, Y. Arai, T. Oki, 2007. A pilot system for flood monitoring by using satellite precipitation measurement. *3<sup>rd</sup> MODIS Workshop on Monitoring and Modeling of Environmental and Disaster in Asia (Bangkok)*.

瀬戸心太, Hyungjun Kim, 芳村圭, 沖大幹, 2006. 衛星による降水観測を利用したグローバルな洪水監視システムの開発に向けて. 第5回水文過程のリモートセンシングとその応用に関するワークショップ (千葉).

Ito, A., W. Takeuchi, D. G. Dye, T. Endo, Y. Yasuoka, 2006. Model-based estimation of carbon emission from wildfires in East and Southeast Asia. *European Geosciences Union (Wien)*.

Ito, A., D. G. Dye, H. Kobayashi, 2007. Development of a semi-real time simulation system of wildfires using remote sensing data. *The 3rd MODIS workshop on Monitoring and Modeling of Environment and Disaster in Asia (Thailand, Bangkok, Rama Garden Hotel)*.

Hideki Kobayashi, Rikie Suzuki, and Nicolas Debart, 2007. Multi-satellite comparisons of the reflectance seasonality in larch forest, East Siberia. *The 3rd MODIS workshop on Monitoring and Modeling of Environment and Disaster in Asia (Thailand, Bangkok, Rama Garden Hotel)*.

Hideki Kobayashi, Nicolas Delbart, and Rikie Suzuki, 2006. Toward the reliable estimation of canopy leaf area index in Siberian larch forest using spring to summer evolution of normalized difference water index. 日本リモートセンシング学会 (沖縄県青年会館, 那覇).

Vivarad Phonekeo, Lal Samarakoon, 2006. NOAA-AVHRR and Terra/Aqua MODIS Data Receiving Systems in Asian Institute of Technology. *The 27th Asian conference on remote sensing (Ulaanbaatar, Mongolia)*.

Vivarad Phonekeo, Kyaw Sann Oo, Lal Samarakoon, 2006. Development of MODIS Fire Information System for Forest Fire Monitoring in Southeast Asia. *The 27th Asian conference on remote sensing (Ulaanbaatar, Mongolia)*.

(3)特許出願 (本研究に係わり, JST から出願したものとで研究機関から出願したもの)

| 出願元  | 国内 (件数) | 海外 (件数) |
|------|---------|---------|
| JST  | 0       | 0       |
| 研究機関 | 0       | 0       |
| 計    | 0       | 0       |

(4)その他特記事項  
特になし



## 9. 結び

### 9.1 研究の目標等から見た達成度

本研究では、

- a. 衛星観測データの準実時間収集・処理・配信システムの構築
- b. モニタリングデータのモデルへの統合システムの構築
- c. モデル予測結果の準実時間での配信システムの構築

を目標としたが、a.については100%、b.については80%、C.については70%の達成度を実現したと考えている。

b.についての-20%は、災害のうち森林火災についてはほぼ目標を達成したが、水害については基本となる要素システムを構築したものの、モデルへの準実時間での結合については、完成まで至らなかったためである。また、C.についても、火災については、ほぼ目標を達成し、さらに、タイ政府機関との実利用に向けた連携まで道筋を付けることができたが、水害については、予測結果の配信までは至らなかったため、-30%の評価とした。

### 9.2 得られた成果の意義等の自己評価

上記の理由により、本研究の成果としては、S,A,B,Cの評価で、A評価を付けられるのも考える。

### 9.3 今後の研究の展開

上述のように、森林火災に関しては、

- ・衛星データによる準実時間での森林火災検知システムの構築
- ・森林火災情報の火災延焼予測モデルへの準実時間結合システムの構築
- ・モデル予測結果の準実時間での配信システムの構築

が達成できたことから、今後、実利用に向けてタイ機関と協力してシステム構築を行う予定である。

既に、タイ AIT, GISTDA, 森林火災監視機関との調整が終了しており、近日中に実利用システムの構築を開始する予定である。タイ、ラオスでは今春、大規模な森林火災被害が発生していることから、タイ政府からの期待も大きく、課題代表者の安岡が3月にタイ AIT, GISTDAとのミーティングに参加したおりに、タイ国科学技術大臣から電話で直接の協力要請を受けた。

### 9.4 研究代表者としてのプロジェクト運営について

タイとの協力関係ができて（実際はできていたが）、国際展開に若手が参加できる機会が出来たのは良かった。また、MODIS Workshop はアウトリーチとして特筆できるものと考えている。

### 9.5 データ利用支援

タイのユーザの要望により、タイ宇宙情報科学技術庁（GISTDA）と AIT, 生産技術研究所の共催により、「MODIS データ利用ワークショップ」を開催し（平成 15 年 5 月 29, 30 日）、アジアにおける衛星データのネットワークによる活用の支援を行った。



データ利用支援 (capacity building)



第3回MODISワークショップ (2007/01/16 @バンコク・ラマガーデンホテル)