

## 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

## Near-real time active fire monitoring over Asia using Aqua/Terra MODIS

竹内 渉\*・安岡 善文\*

Wataru TAKEUCHI and Yoshifumi YASUOKA

**Abstract:** This research focuses on a near-real time network based active fire monitoring over Asia using MODIS onboard Aqua and Terra satellite. Firstly, the algorithm used for fire mapping is described that is basically improved on the heritage of AVHRR using 4- and 11- $\mu$ m thermal channels. Secondly, our fire product is described that is mainly composed of fire mask along with latitude and longitude tables supplemented by confidence value in percent. Thirdly, our current status of fire product production is presented and the way to obtain them through FTP or HTTP is described. Finally, some caveats to bear in mind when using our fire product and our future works are described for the refinement of our algorithm.

Keywords: Active fire monitoring, network based system, terrestrial carbon cycle

## 1. はじめに

## 1.1 本研究の背景

森林火災は、植生回復過程において土壤栄養の補給源として機能する働きがあるなど、生態系の中では基本的かつ自然な外乱要因のひとつである。しかし、人間活動が原因で起こる火災の数も急激に増加しており、自然火災をしのぐ勢いであるとの報告がなされている (UNDP, 2001)。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。森林火災によって引き起こされる二酸化炭素の大気中への放出の評価・予測方法の一つとして炭素循環モデルである Sym-cycle の使用が挙げられるが、火災情報の入力値として衛星リモートセンシングからの情報に期待が集まっている (Itoh, 2005)。

アジア地域に存在する森林の面積は非常に広大であるため、効率性・安全性・即時性・費用対効果などの観点から、衛星リモートセンシングによる監視が極めて有効である。本研究では、衛星観測が有する観測頻

度および即時性を生かすために、1日に2回同一地点を観測することができ、可視から赤外に36のチャンネルを有する Aqua および Terra に搭載された MODIS データを利用した。NOAA AVHRR, Aqua/Terra MODIS, NPOESS VIIRS といった類似センサによる、未来の観測ミッションへの継続性を確保する観点からも、MODIS を用いることは有効であると考えられる<sup>1</sup>。一方、Landsat ETM, SPOT HRV, Terra ASTER などの高空間分解能センサは、火災被害を空間的に詳細に把握するためには有効であるが、再帰日数が2週間程度と長く観測範囲が狭いため、大陸レベルを主眼とした広域観測には向いていない (Garcia-Haro *et al.*, 2001)。また、データ量が膨大になることやデータの入手に多額の費用が必要となることも、観測の継続性の点で問題となる。

## 1.2 本研究の目的

本研究は、Aqua および Terra に搭載された MODIS データを用いてアジア地域 (10S-60N, 60E-150E) における森林火災を検知し、火災情報を準実時間でネットワークを介して炭素循環モデルに提供する

\*東京大学生産技術研究所/〒153-8505 目黒区駒場4-6-1 Ce508  
「写真測量とリモートセンシング」VOL. 45, NO. 5, 2006

<sup>1</sup>NPOESS ([http://www.ipo.noaa.gov/Technology/viirs\\_summary.html](http://www.ipo.noaa.gov/Technology/viirs_summary.html))

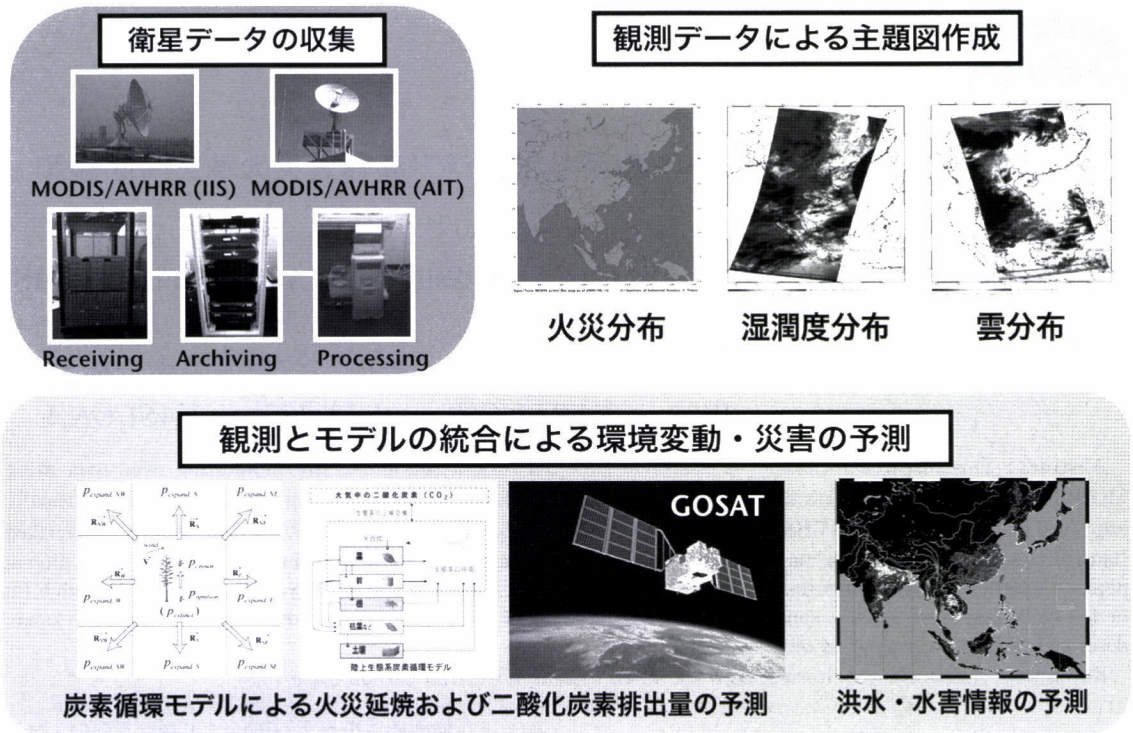


図1. 衛星観測とモデルの統合によるアジア環境災害評価システム

システムを構築することを目的とする。以下では、MODIS 直接受信局と結合した森林火災観測ネットワークの構築、火災検知アルゴリズムの紹介、火災プロダクトの解説、オンラインでの入手方法、火災プロダクトを利用する際の注意点について順に述べる。

## 2. 解析手法

### 2.1 火災観測システムの概要

図1は、衛星観測とモデルの統合によるアジア環境災害評価システムを示している。衛星観測については、アジア地域を対象としてMODIS、AVHRR データ等の衛星データを受信、転送、蓄積、処理するネットワークシステムを構築した(図1の衛星データの収集)(竹内ら, 2005)。本研究で対象となる火災地域の抽出(図1の「衛星データによる主題図作成」)は、東京およびバンコクで受信されたMODIS データを利用して行い、受信後6時間程度で炭素循環モデルである Sym-cycle への入力データとして利用される。このモデルの結果として、森林火災の延焼予測、二酸化炭素放出量の評価、植生回復過程の評価・予測を示すことがで

きる。森林火災情報を提供するシステムは世界中に複数存在するが、衛星観測とモデルとの統合を行っている点が本研究の大きな特長である<sup>2345</sup>。

### 2.2 火災検知アルゴリズム

MODIS のレベル1b データに放射量補正と幾何補正を施した後に、火災検知アルゴリズムを適用し、緯度経度情報を添付した火災分布図を作成した。火災検知アルゴリズムは下記の式(1)、(2)に示すように、Giglio *et al.* (2003) が MODIS 用に開発した手法に従った。この手法は、Kaufman *et al.* (1998) が AVHRR 用に開発した手法を MODIS 用にパラメタのチューニングを行ったものである。MODIS の4および11- $\mu\text{m}$  チャンネルから得られる熱赤外のデータを利用しており、それぞれ  $T_{22}$  および  $T_{31}$  と呼ぶ。MODIS には4  $\mu\text{m}$  領域にチャンネル21と22の二つのチャンネルを搭載して

<sup>2</sup>ANDES (<http://www.afrfc.go.jp/ANDES/>)

<sup>3</sup>USFS (<http://www.fs.fed.us/fire/>)

<sup>4</sup>NASA/GSFC (<http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/firemaps/>)

<sup>5</sup>UMD (<http://maps.geog.umd.edu/>)

いる。チャンネル21は観測感度が500Kで飽和するのに対し、チャンネル22は331Kまでしか観測できない。しかし、チャンネル22の方がノイズの影響を受けにくいいため、飽和していない時にはチャンネル22のデータを  $T_{22}$  として使用する。チャンネル22データが飽和しているもしくは欠損している場合には、チャンネル21のデータを  $T_{22}$  の代替として使用する。 $T_{31}$  はチャンネル31のデータから得られる。式(1),(2)において  $T_{22}$  はチャンネル22の値を、 $\Delta T_{23}$  はチャンネル22からチャンネル31の差を、 $\overline{T_{22}}$ ,  $\overline{\Delta T_{23}}$  は  $T_{22}$  と  $\Delta T_{23}$  の近傍4画素の平均値を、 $\delta\overline{T_{22}}$ ,  $\delta\overline{\Delta T_{23}}$  は  $T_{22}$  と  $\Delta T_{23}$  近傍4画素との偏差の平均値をそれぞれ表している。

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{22} > \overline{T_{22}} + 4\delta\overline{T_{22}} \text{ or } T_{22} > 320(K)(315K \text{ night}) \\ \text{and} \\ T_{31} > 360(K)(335K \text{ night}) \end{array} \right. \quad (1)$$

or

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta T_{23} > \overline{\Delta T_{23}} + 4\delta\overline{\Delta T_{23}} \text{ or } \Delta T_{23} > 20(K)(10K \text{ night}) \\ \text{and} \\ T_{31} > 360(K)(335K \text{ night}) \end{array} \right. \quad (2)$$

where  $\Delta T_{23} = T_{22} - T_{31}$

上式に示された条件に加えて、誤検知画素の除去をより効果的に行うために次のような補正を併用した。

**雲除去** MODISの雲検知システムに準じて雲除去を行う

**衛星観測角** 衛星観測角が45度以上の画素を解析から除外する

**大気補正** 大気上端の見かけ上の輝度温度値  $T_{22}$ ,  $T_{31}$  に対して、水蒸気による吸収の補正を行う

**サングリント** 衛星-対象画素-太陽との幾何学的関係からサングリントの領域を除外する

### 3. 解析結果

#### 3.1 火災プロダクトの概要

火災分布図は主要なMODIS火災プロダクトの1つであり、HDFファイル内に'Fire\_Map'の名前で8bit unsigned integerで格納した。火災分布図の空間解像度は1kmであり、緯度経度テーブルを添付した。火災分布図は1画素に6クラスのいずれかのフラグが割り振られており、その内容は、水域、雲、晴れた陸域、低信頼度の火災(0-30%)、中信頼度の火災(30-70%)、高信頼度の火災(70-100%)の6つである。

データ容量を低減するための工夫として、解析範囲の中から火災であると検出された画素のみを抜き出し、メタデータとして、緯度、経度、チャンネル2の反射率(REF<sub>2</sub>)、 $T_{22}$ の温度値、 $T_{31}$ の温度値、信頼度(CONF)の6つの情報をテキスト形式で提供している。信頼度は0から100%の範囲で火災検知結果の確からしさを示したものであり、その程度に応じて低信頼度の火災(0-30%)、中信頼度の火災(30-70%)、高信頼度の火災(70-100%)の3つの段階に分類している。メタデータの例として2005年7月5日の検知結果を下に示した。

20050705.FIRE.txt					
LAT(deg.)	LON(deg.)	REF <sub>2</sub> (%)	T <sub>22</sub> (K)	T <sub>31</sub> (K)	CONF(%)
31.979397	117.255943	0.265969	320.278168	295.943878	57
31.939053	117.259239	0.270117	322.583588	293.936523	73
31.936943	117.271469	0.271943	328.083862	296.270966	90
31.835857	117.318924	0.251624	321.923523	294.569916	27
31.476776	118.412544	0.270130	313.733917	294.438507	55
29.819904	112.897804	0.246956	315.107361	293.052795	26
...					

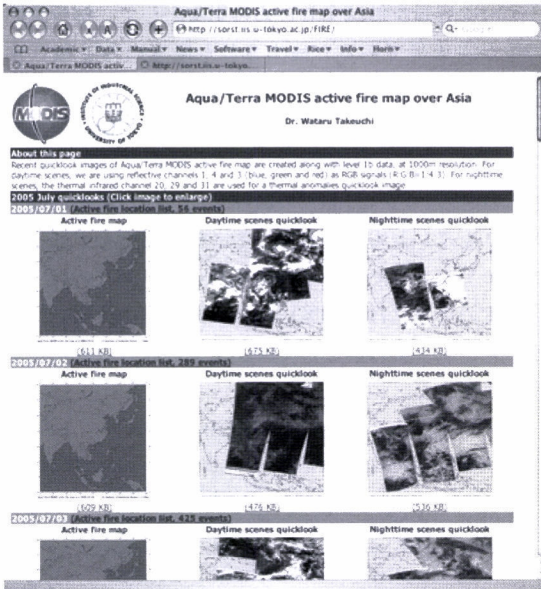
#### 3.2 火災プロダクトの公開

東大生研のMODIS火災プロダクトを入手する方法は、Anonymous FTPによるダウンロード<sup>6</sup>もしくはウェブサイト上でのクイックルック閲覧システム<sup>7</sup>の2通りである。1シーンあたりのHDFファイルのデータサイズはおおよそ6MBであり、火災検知部分のメタデータのみであればテキストファイルで数KB程度となっている。図2に2005年9月1-10日の火災分布図とクイックルックによる可視化システムによる表示例を示した。

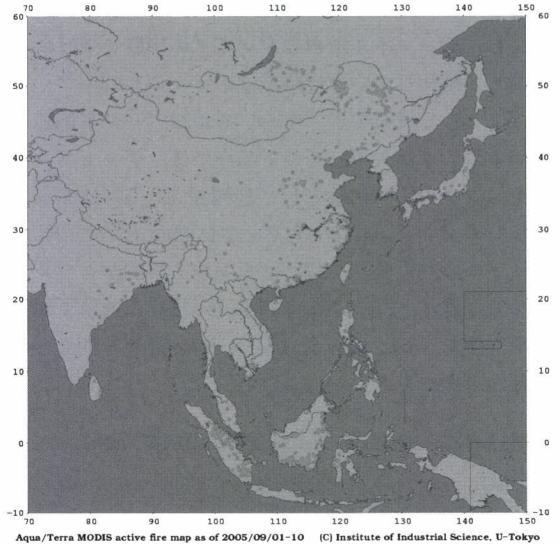
また、本システムを利用した火災検知例として、2006年5月25日に中国とロシアの国境付近(北緯51.5度、東経126.5度)で起きた大規模火災の例を図3に示した。(a)の画像中央の黒い部分が30km四方にわたる火災跡であり、中央から右上部にかけて火災煙が見える。(b)の画像中央部に集積する点群が火災検知結果であり、Google Earthによる背景画像と重ね合わせた。火災プロダクトは、KML(Keyhole Markup Language)<sup>8</sup>フォーマットに変換されたものも公開されており、Google Earthと直ちに重ね合わせて表示することができる。

<sup>6</sup>ftp://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp/{AIT,IIS}/FIRE/  
<sup>7</sup>http://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp/FIRE/

<sup>8</sup>KML (http://earth.google.com/kml/index.html)

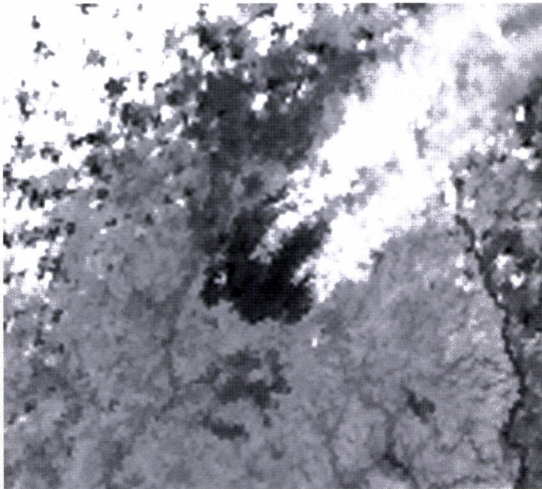


(a) 火災情報提供ウェブサイト

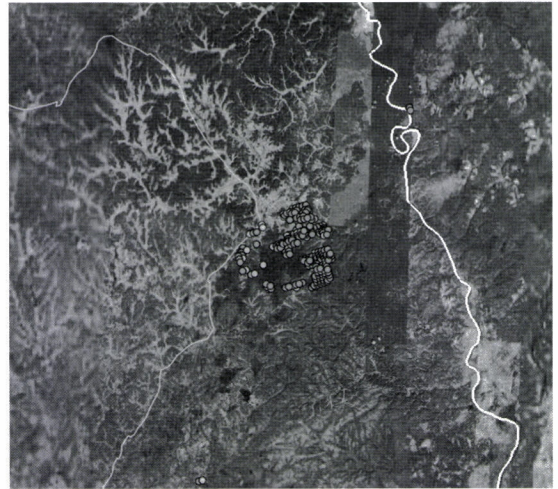


(b) 2005年9月1日から10日に起こった森林火災の検知結果

図2. ウェブによる火災情報の提供 (<http://webmodis.iis.u-tokyo.ac.jp/FIRE/>)



(a) MODIS 画像 (北緯51.5度, 東経126.5度)



(b) 火災検知結果 (Google Earth による背景画像)

図3. 2006年5月25日に中国とロシアの国境付近で起きた大規模森林火災

#### 4. おわりに

東大生研が東京およびバンコクで毎日受信している 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、ネットワーク上で準実時間で配信するシステムを構築した。ただし、現在公開している火災情報には次のような問

題点がある。

1. 衛星の空間分解能 1 km を下回る小規模の火災や泥炭性湿地での林床火災の検知は難しい。
2. 衛星が通過する時間に実際に燃えている火災しか検知することが出来ない。
3. 火災検知に用いているアルゴリズムの性能は、火災規模、火災温度、衛星観測角、生態系の種類、観測日時、火災煙の種類などに大きく左右

される。

4. サングリント, 活火山, 大規模工業地帯などが森林火災とともに異常値として検知される。

今後は, より高い空間分解能を持つ ASTER/TIR や現場で取得された火災履歴情報などを用いてアルゴリズムの高精度化を行っていく予定である。

## 謝 辞

本研究は, 科学技術振興機構 (JST) の「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」プロジェクト (研究代表者 安岡善文) の一環として行われたものである。関係各位に感謝の意を表す。また, 火災検知結果と Google Map との重ね合わせに関しては, 東京大学生産技術研究所の田口仁氏にご尽力頂いた。感謝の意を表す。

(受付日2006.7.12, 受理日2006.9.8)

## 参考文献

Garcia-Haro, F.J., Gilabert, M.A., and Melia, J.,

2001. Monitoring fire-affected areas using Thematic Mapper data. *J. Remote Sens.*, 22(4), 533-549.

Giglio, L. *et al.*, 2003. An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. *Remote Sens. Environ.*, 87, 273-282.

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

Kaufman, Y.J. *et al.*, 1998. Potential global fire monitoring from EOS-MODIS. *J. Geophys. Res.*, 103: 32215-32238.

竹内 渉, 根本利弘, P.J. Baruah, 安岡善文, 2005. アジア環境災害観測のための衛星データオンライン配信システムの構築. 写真測量とリモートセンシング, 44(2), 68-72.

UNDP, UNEP, World Bank and WRI, 2001. World Resources 2000-2001. *Elsevier Science*, 87-102.