

平成 24 年 2 月 6 日

森林火災検知分類アルゴリズム記述書

宇宙航空研究開発機構
地球観測研究センター
中右浩二

1. 概要

この文書は森林火災検知分類アルゴリズムについて、実装手順（インストール、実行手順など）ならびに、アルゴリズムについて記述する。

2. 実装手順

2-1. 動作環境（開発環境）

本アルゴリズムは、表 1 に示す環境を用いて開発した。各ライブラリについては、バージョン依存の機能は利用していないため、最新バージョンを使用する事を推奨する。

表 1:本アルゴリズムが必要とする環境

種別	名称	入手先
OS	RedHat EL5 Server	
コンパイラ	gcc-4.1.2-50.el5	RHEL リポジトリ
ライブラリ	glibc-headers-2.5-58.el5_6.3	RHEL リポジトリ
(必須)	HDF4 v4.2.5	http://www.hdfgroup.org/products/hdf4/
	SZIP v2.1	http://www.hdfgroup.org/doc_resource/SZIP/
	PROJ4 v4.7.0	http://trac.osgeo.org/proj/
ライブラリ (任意)	libpng-1.2.10-7.1.el5_5.3	RHEL リポジトリ

2-2. インストール手順

図 1 に示す通り、tar による解凍、configure によるコンパイル設定、make コンパイルを実行して、実行プログラムを生成する。コンパイル実施時に、detfire と detfire_sgli なる二つの実行ファイルが生成される。このうち detfire_sgli は MODIS の L1B データの中で、SGLI に対応するチャンネルのみ使用する火災検知アルゴリズムであり、detfire は SGLI に無い 4μm 帯のチャンネルも使用するアルゴリズムである。従って、実装試験に用いるのは detfire_sgli ファイルとなる。

また、configure 時に --with-png オプションを追加する事で、実装試験用に L1B データ処理時に参考 PNG 画像を生成する事ができる。

```
$ tar zxvf detfire.kn3.sgli.v0.2.tar.gz
$ cd detfire.kn3.sgli.v0.2
$ ./configure
$ make
※参考 PNG 画像ファイル生成時には./configure コマンド時に下記のコマンドを実行
$ ./configure -with-png
```

図 1：コンパイル時の実行コマンド

2-3. 実行方法

図 2 に示すコマンドラインにより、森林火災検知を実行して検知結果を後述する形式のテキストを標準出力へ出力する。引数の詳細は第0 節にてファイル形式と併せて定義する。なお、引数なしで実行するとコマンドラインの引数の説明を表示して終了する。

```
$ ./detfire_sgli [MOD021KM.hdf] [MOD03.hdf]
```

図 2：森林火災検知実行コマンドライン

2-4. 入出力ファイル形式

入出力に用いるファイルは下記のとおりである。

表 2：

類別	指定方法	ファイル等	形式
入力	第 1 引数	MOD021KM.hdf	MODIS L1B 1km 解像度輝度値 標準プロダクト
	第 2 引数	MOD03.hdf	MODIS L1B Geolocation 標準プロダクト
出力	指定方法なし	標準出力	火災検知結果（SQL/MM Spatial 準拠） SQL データベース用テキスト形式で出力

3. アルゴリズム計算手順

3-1. 概要

本アルゴリズムは、大きくマスクと森林火災検出に分けられる。森林火災とみなしたピクセルから、マスク対象のピクセルを除外して、森林火災検出結果を出力する。その様子を図 3 に示す。以下、3-2 よりこのアルゴリズムに用いる指標の定義などを行い、森林火災検出手順を定義する。

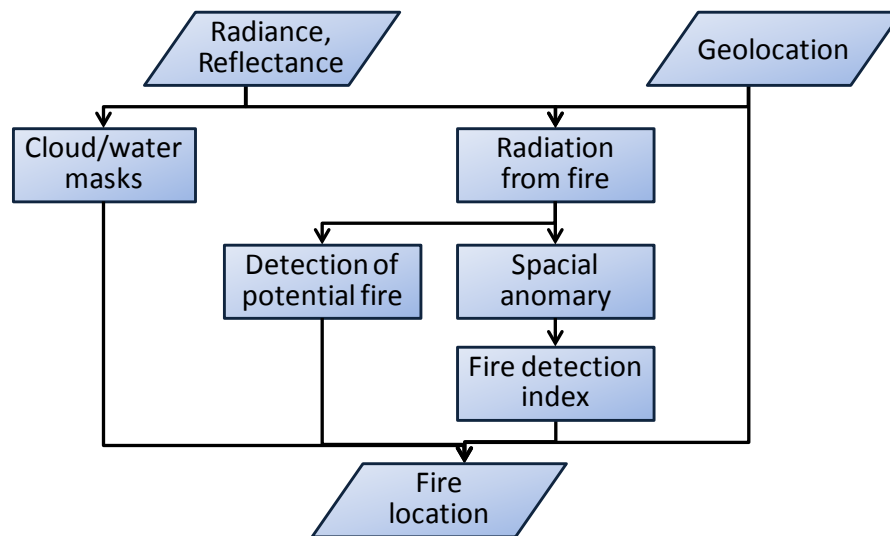


図 3：森林火災検知アルゴリズムの流れ

3-2. 森林火災から放出される赤外線放射量の推定

MODIS での森林火災検知アルゴリズムにおいては、森林火災から放出される $4\mu\text{m}$ 帯の赤外線放射輝度を $4\mu\text{m}$ 帯と $11\mu\text{m}$ 帯を用いて推定し、これを指標に森林火災検知を行っていた。しかし、 $2.2\mu\text{m}$ 帯と $1.6\mu\text{m}$ 帯では太陽光の反射の影響などを考慮する必要があることから、可視近赤外線チャンネルを併用した多重回帰式により、森林火災から放出される $4\mu\text{m}$ 帯の赤外線量を推定し、森林火災検知に用いる事とした。以下、これを火災放射輝度と呼ぶ。その結果を式 1, 2 に示す。

$$\text{FireRad}_{2.2} = \text{Rad}_{2.2} - 0.218\text{Ref}_{\text{RED}} - 0.0514 \quad (1)$$

$$\text{FireRad}_{1.6} = \text{Rad}_{1.6} - 0.634\text{Ref}_{\text{NIR}} + 0.137\text{Ref}_{\text{RED}} - 0.030 \quad (2)$$

実施した多重回帰の詳細についてはバージョン 0.1d にて記載する。

3-3. 森林火災検出指数の推定

$2.2\mu\text{m}$ 帯と $1.6\mu\text{m}$ 帯より推定した $4\mu\text{m}$ 帯の火災放射輝度について、空間的偏差により森林火災ピクセルと背景ピクセルを効率的に分離する事ができた。図 4 は、縦軸に $2.2\mu\text{m}$ 帯、横軸に $1.6\mu\text{m}$ 帯による火災放射輝度の空間的偏差とした散布図で、赤色が火災ピクセル、青色が背景ピクセルである。また、その原点付近の拡大図を図 5 に示す。赤色のピクセルが左上、青色のピクセルが右下にあり、森林火災を分離する事ができた。

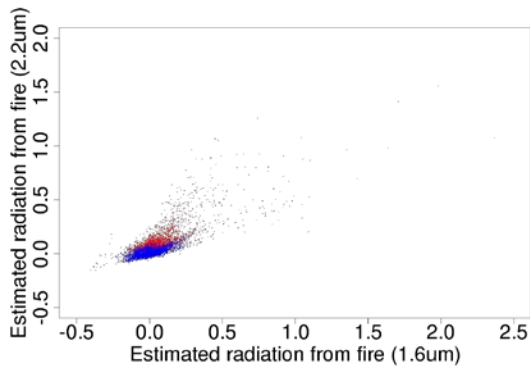


図 4：森林火災(赤)と背景(青)による森林火災推定放射輝度の地理的偏差の分布

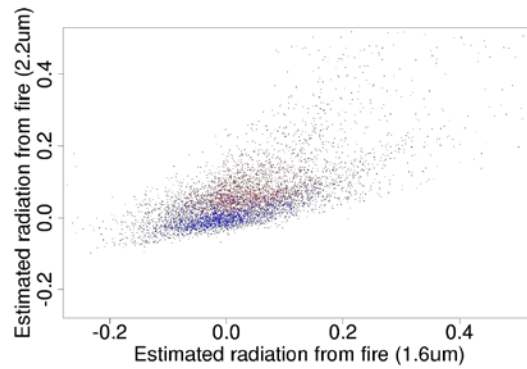


図 5：森林火災(赤)と背景(青)による森林火災推定放射輝度の地理的偏差の分布(拡大)

そこで、式(3)に示す火災検知指数を定義し、森林火災の検出に利用した。

$$\text{Findex}_{2.2} = \text{FireRad}_{2.2} - \overline{\text{FireRad}_{2.2}} - \max\left(0.04, 0.6 * \left(\text{FireRad}_{1.6} - \overline{\text{FireRad}_{1.6}}\right)\right) \quad (3)$$

ここで、 $\overline{\text{FireRad}_{2.2}}$ と $\overline{\text{FireRad}_{1.6}}$ は、それぞれ 2.2μm 帯と 1.6μm 帯の火災放射輝度の空間的平均である。

この空間平均の対象は、判定対象ピクセルを中心とした 21 ピクセル×21 ピクセルの正方形のピクセル(全数 **Nall**)を対象とし、その中で $\text{FireRad}_{2.2} < 0.5$ ならびに $\text{FireRad}_{1.6} < 0.5$ を満たし、MOD03 にて陸面フラグが与えられ、数式(9)で定義される水域マスク対象外のピクセルである(対象ピクセル数 **Nvalid**)。以下、空間平均や各種統計量の対象も同じとする。

3-4. マスク

森林火災検知は、水域、雲、太陽光反射、砂漠で誤検知が多くなる。そこで、それぞれについて森林火災検知を抑制するため、火災検知マスクを計算する。火災検知マスクは式(4)に定義される **Mask** である。

$$\text{Mask} = \text{Cloud} \vee (0 < \text{Nbkgwater}) \vee \text{SunGlint} \vee \text{Desert} \quad (4)$$

これは、雲マスク、水域マスク、太陽反射マスク、砂漠マスクの和集合である。

雲については、式(5)から(8)により定義される通り、雲指標が 15/16 より大きい場合に雲とみなし、森林火災検知を抑制する。

$$\begin{aligned} \text{Cloud} = & 15/16 < (0.6 + 0.7 \max(0, \min(2, \text{Cloud}_1))) \\ & \times (1.0 + 0.5 \max(0, \min(2, \text{Cloud}_2))) \\ & \times (0.6 + 0.7 \max(0, \min(2, \text{Cloud}_3))) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{Cloud}_1 = 0.6 + 0.7 \text{Interval}(0, 2, (2.42 + 3.83(\text{planck}(\text{BT}_{11\mu}, \lambda_{12\mu}) - \text{Rad}_{12\mu}))) \quad (6)$$

$$\text{Cloud}_2 = 1.0 + 0.5 \text{Interval}\left(0, 2, \left(-0.66 + 85.56 \frac{(\text{Ref}_{\text{BLUE}} + \text{Ref}_{\text{RED}} - 2\text{Ref}_{\text{GREEN}})}{(\text{Ref}_{\text{BLUE}} + \text{Ref}_{\text{RED}})}\right)\right) \quad (7)$$

$$\text{Cloud}_3 = 0.6 + 0.7 \text{Interval}(0, 2, (0.00 + 0.10(283\text{K} - \text{BT}_{11\mu}))) \quad (8)$$

また、水域マスクは式(9)により定義する。

$$\text{Nbkgwater} = N \left[\begin{array}{l} (0 > \text{NDVI}) \\ \wedge (0.15 > \text{Ref}_{0.86}) \\ \wedge (0.15 > \text{Ref}_{2.2}) \end{array} \right] \text{ where } \left[\begin{array}{l} \text{FireRad}_{2.2} \leq 0.25 \\ \text{FireRad}_{1.6} \leq 0.25 \end{array} \right] \quad (9)$$

砂漠マスクは、式(10), (11)により定義する。

$$\begin{aligned} \text{Desert} = & (\text{Nfire} > 0.1\text{Nvalid}) \\ & \wedge (\text{Nfire} > 4) \\ & \wedge (\text{Ref}_{\text{NIR}} > 0.15) \\ & \wedge (\text{FireRad}_{2.2} - \overline{\text{FireRad}_{2.2}} < 2) \\ & \wedge (\sigma[\text{FireRad}_{2.2}] < 0.1) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\text{Nvalid} = N \left[\begin{array}{l} \text{FireRad}_{2.2} \leq 0.25 \\ \text{FireRad}_{1.6} \leq 0.25 \end{array} \right] \quad (11)$$

また、太陽光反射マスクは MOD14 version 4.3.2 の数式を利用した。

$$\text{SunGlint} = [\text{same as MOD14 v4.3.2}] \quad (12)$$

3-5. 森林火災検知

前節までに定義したマスクと森林火災検知指数等を用いて、以下の通り森林火災ピクセルを定義する。森林火災ピクセルは、強度の火災の判定基準(ABS)と弱い火災の判定基準(CT1 かつ PF)の和集合から、各種マスク対象を削除したピクセルと定義する(式 13)。

$$\text{Fire} = (\text{ABS} \vee (\text{CT1} \wedge \text{PF})) \wedge (\neg \text{Mask}) \quad 13$$

ここで、強度の火災判定基準は式(14)、弱い火災判定基準のうち CT1、PF は式(15)、(16)

に示す不等式により判定される。

$$ABS = (Findex_{2.2} > 0.17) \quad 14$$

$$CT1 = (Findex_{2.2} > 0.14) \wedge N_{valid} > 0.25N_{all} \quad 15$$

$$PF = ((0 < FireRad_{1.6}) \vee (0 < FireRad_{2.2})) \wedge (0.5 > Ref_{0.86}) \wedge (0.5 > NDSI) \\ \wedge \left(\begin{array}{l} (0.3 < FireRad_{2.2}) \\ \vee (0.2 < FireRad_{2.2} \wedge 6\sigma[FireRad_{2.2}] < \Delta[FireRad_{2.2}]) \\ \vee (0.1 < FireRad_{2.2} \wedge 8\sigma[FireRad_{2.2}] < \Delta[FireRad_{2.2}]) \end{array} \right) \quad 16$$

ここで、 N_{all} は空間平均対象の全てのピクセル数である。