



Smoldering Fire



Crown Fire in AK (Photo by AFS)



Flaming Fire

1

林野火災の衛星観測とその応用

中右 浩二 (北海道大学)

海外の林野火災の概要

日本と海外の林野火災の違い

	日本	海外
出火の原因	たき火(27%)、たばこ(15%)、 入れ(12%)、放火(11%) (1995-2003)	アラスカ: 雷(2/3)、人為(1/3) シベリア: 人為(1/3~2/3)、雷(残) 東南アジア: 焼畑
焼損面積	0.6ha/件(2004)(0.43皇居)	アラスカ: 3,804ha/件(2004) (0.6山手線、最小年: 37ha/件)
出火から放水	1時間以内が90%	遠隔地の場合、衛星で出火確認・ 不必要な消火活動なし、
出火から鎮火	24時間以内が99% 長いもので2日程度	アラスカ等: 2~3か月燃え続ける インドネシア: 泥炭火災は消火困難
消火手段	放水、ヘリコプター放水	ヘリコプター放水、 防火帯建設、Against Fireの使用、 ハタキの利用 背負いタンク+霧吹きの使用



アラスカの林野火災



Smoldering Fire in AK



Flaming Fire in AK



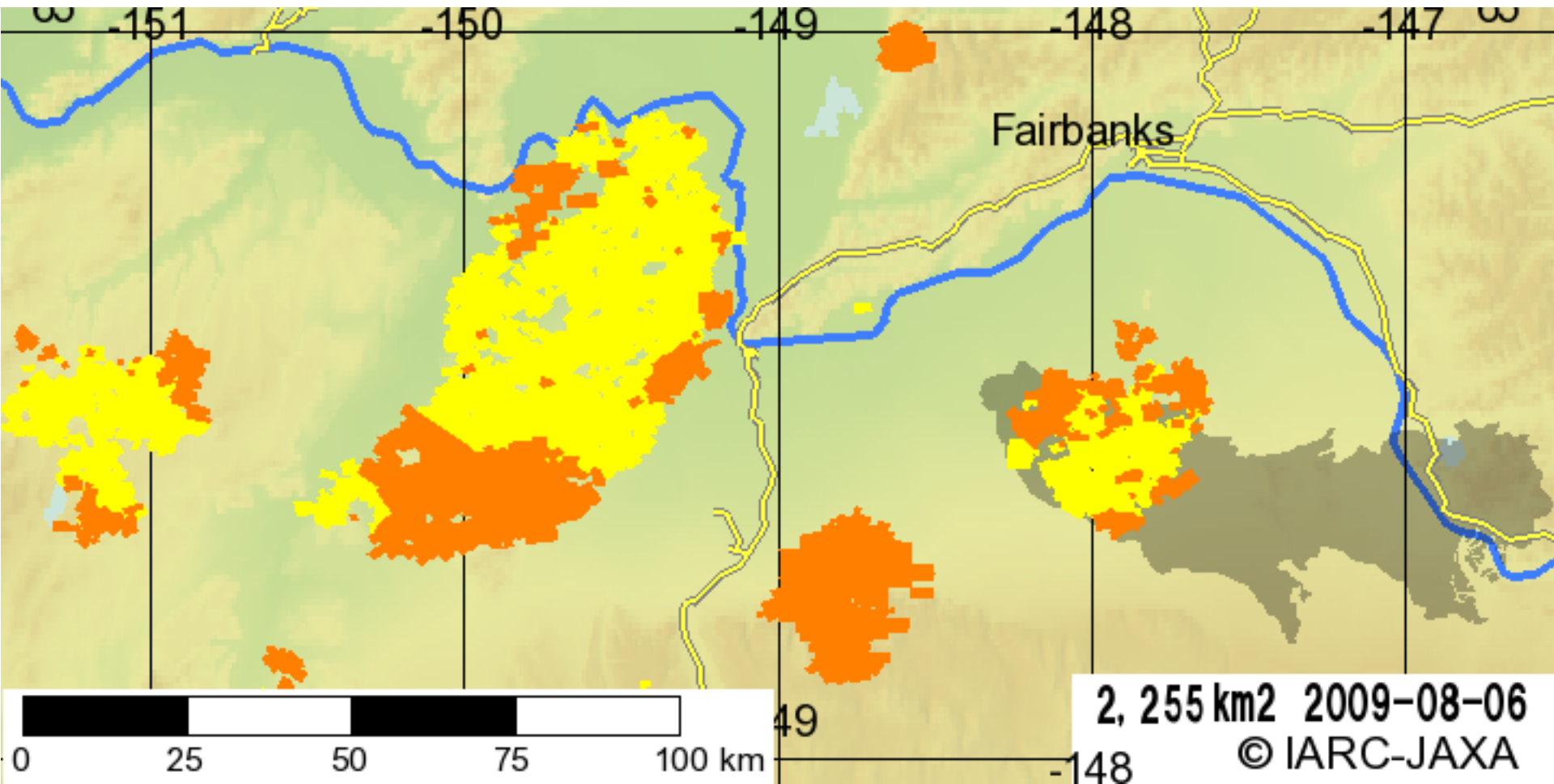
Crown Fire in AK (Photo by AFS)

アラスカの林野火災 (Railbelt Complex)

- ▶ 原因: 落雷
- ▶ 出火日時: 2009-06-21 12:21頃
- ▶ 出火場所: 3 miles W of Nenana; 10 mi E of Clear AFB
- ▶ 消防隊員: 428人
- ▶ 焼失面積: 2574km² (東京都:2187km²)

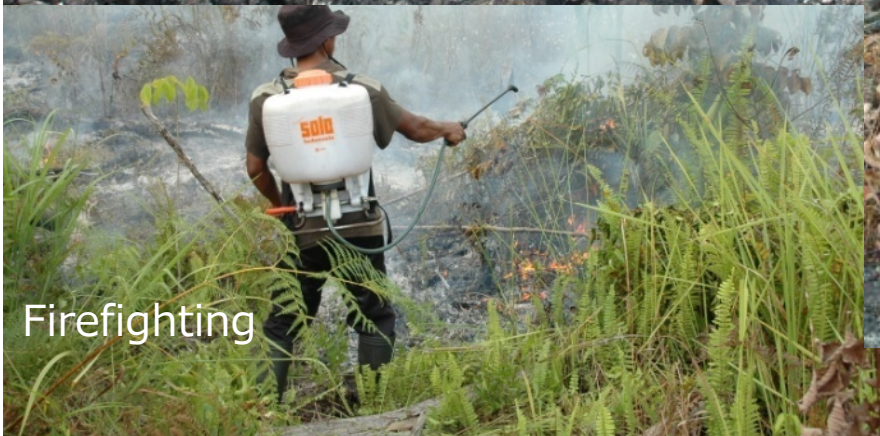
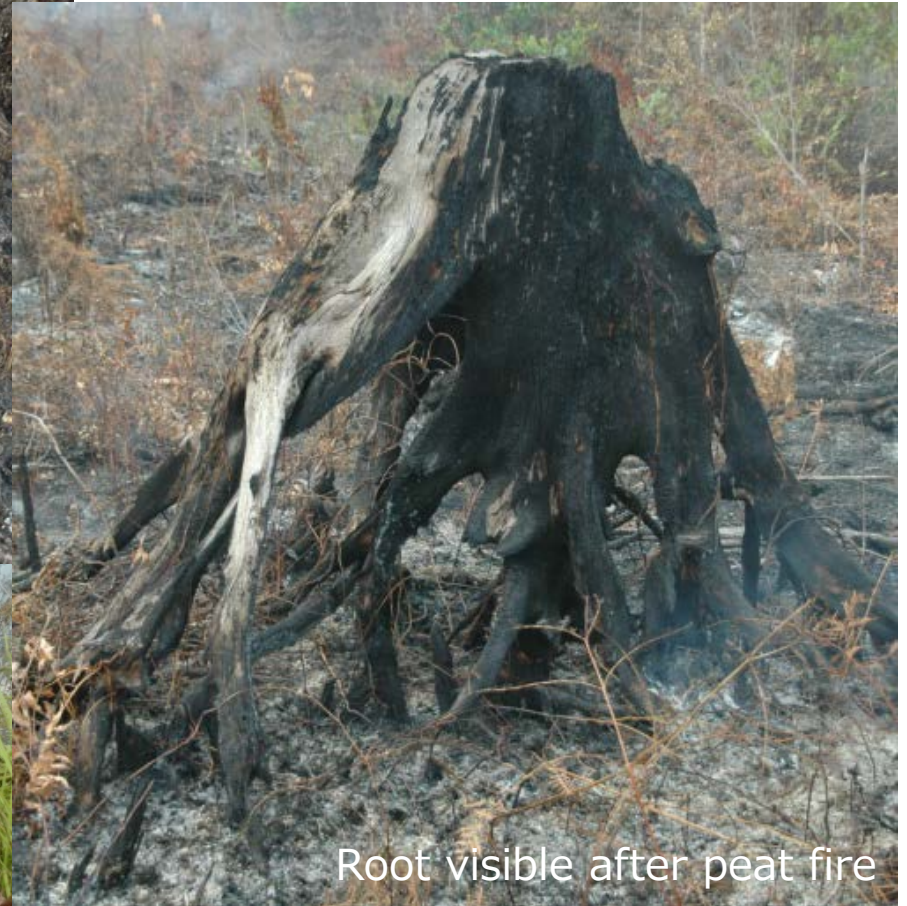


毎日観測の必要性 日々刻々と様子変化



Railbelt Complex Fire: 2,555km²が焼失(東京都の約1.2倍)

インドネシアの林野火災



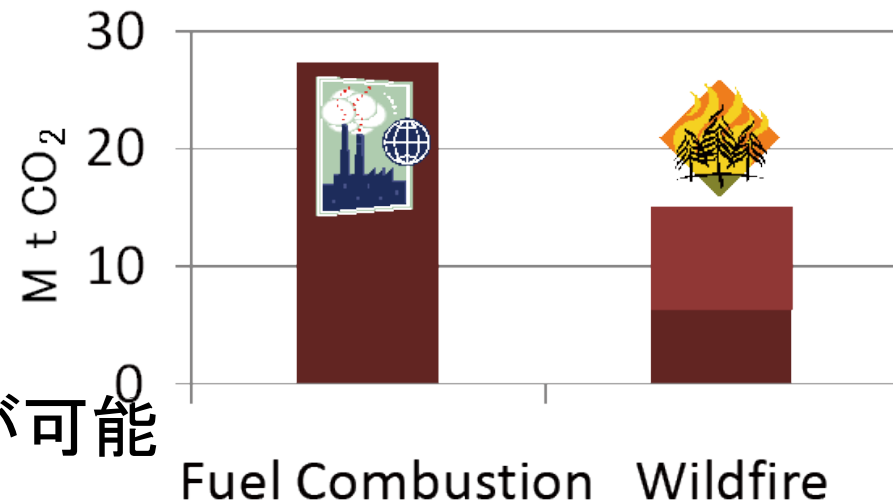
本日本話すること

- ▶ 海外の林野火災の概要(日本の林野火災との違い)
- ▶ 林野火災のインパクト
 - ▶ 自然災害
 - ▶ 気候変動
- ▶ 衛星による林野火災監視
 - ▶ 人工衛星から見えるもの
 - ▶ 衛星による火災検出
 - ▶ 林野火災監視システムの構築
- ▶ 林野火災対策の今後(北大で行うべき課題)
 - ▶ 落雷と林野火災関係



林野火災のインパクト

- ▶ 気候変動の側面
- ▶ 広大な焼失面積→莫大なGHG放出
 - ▶ 日本: 16km²(山手線の1/4) が焼失(2004)
 - ▶ アラスカ: 3千km²(東京都の1.7倍)が焼失(2010)
 - ▶ ロシア: 12万km²(本州の約半分) が焼失(2010)
- ▶ 60-150億t/年のCO₂放出
 - ▶ 世界の燃料燃焼によるGHG放出の1/4~1/2
- ▶ 自然災害の側面
 - ▶ 人命を含む社会的損失
- ▶ 対策: 少しずつ進行→対策が可能



林野火災のインパクト→予防・消防

- ▶ 予防: 燃料(樹種・バイオマス)分布、乾燥度
 - ▶ 腐食→発火温度低下(腐植質土壌:250-300℃)
 - ▶ **乾燥**→着火が容易(含水率<13%:マッチで着火)
 - ▶ **バイオマス**大→GHG発生大
- ▶ **燃焼分布・類別**
 - ▶ 消防、減災
- ▶ 影響: **火災跡地の地形変化・植生回復**
 - ▶ 林野火災の影響→がけ崩れによる水質悪化

林野火災のインパクト（まとめ）

- ▶ 林野火災を早期に見つけ対策を行う。
 - ▶ 感度の高いアルゴリズム
 - ▶ 感度の高いセンサ(より高解像度のセンサ)
- ▶ 林野火災対策に必要な情報を提供する
 - ▶ 火災危険度情報の研究
 - ▶ 落雷からの火災発生確率の推定
- ▶ 消防隊員に幾何精度の高い情報を通報する
 - ▶ 途上国の消防団の活動は道路から500mが限界
 - ▶ 高解像度のセンサ開発・利用
 - ▶ 消防隊員に理解できる位置情報の提供

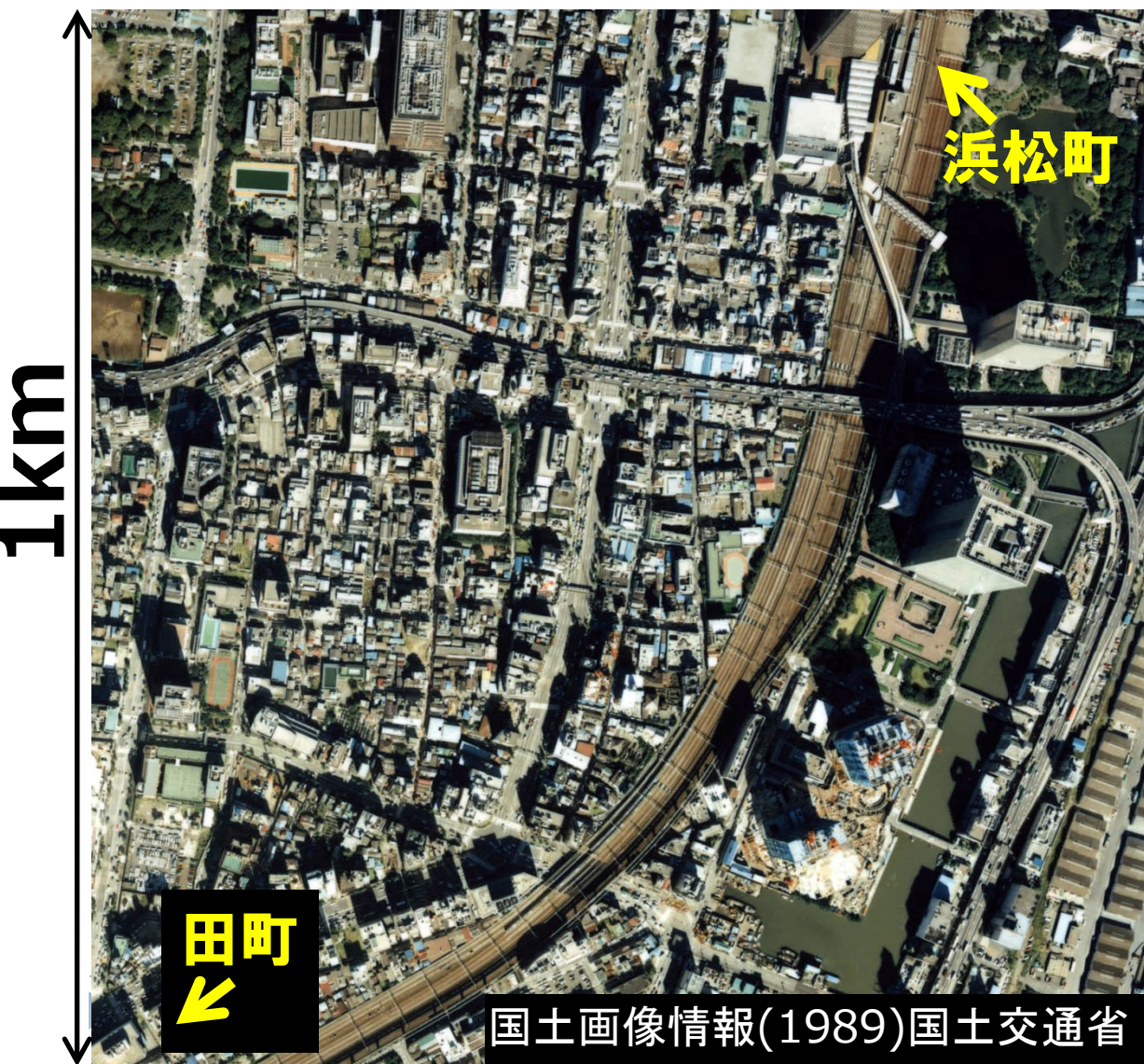


衛星による林野火災監視

人工衛星から見えるもの

- －衛星からは何が見えるのか？
- －何が観測を制約するか？

人工衛星から見えるもの



種別	解像度	間隔
航空写真	0.1m	数年
高分解能RGB	2.5m	毎月
高分解能多波長	15m	隔週
中分解能RGB	500m	毎日
中分解能多波長	1km	

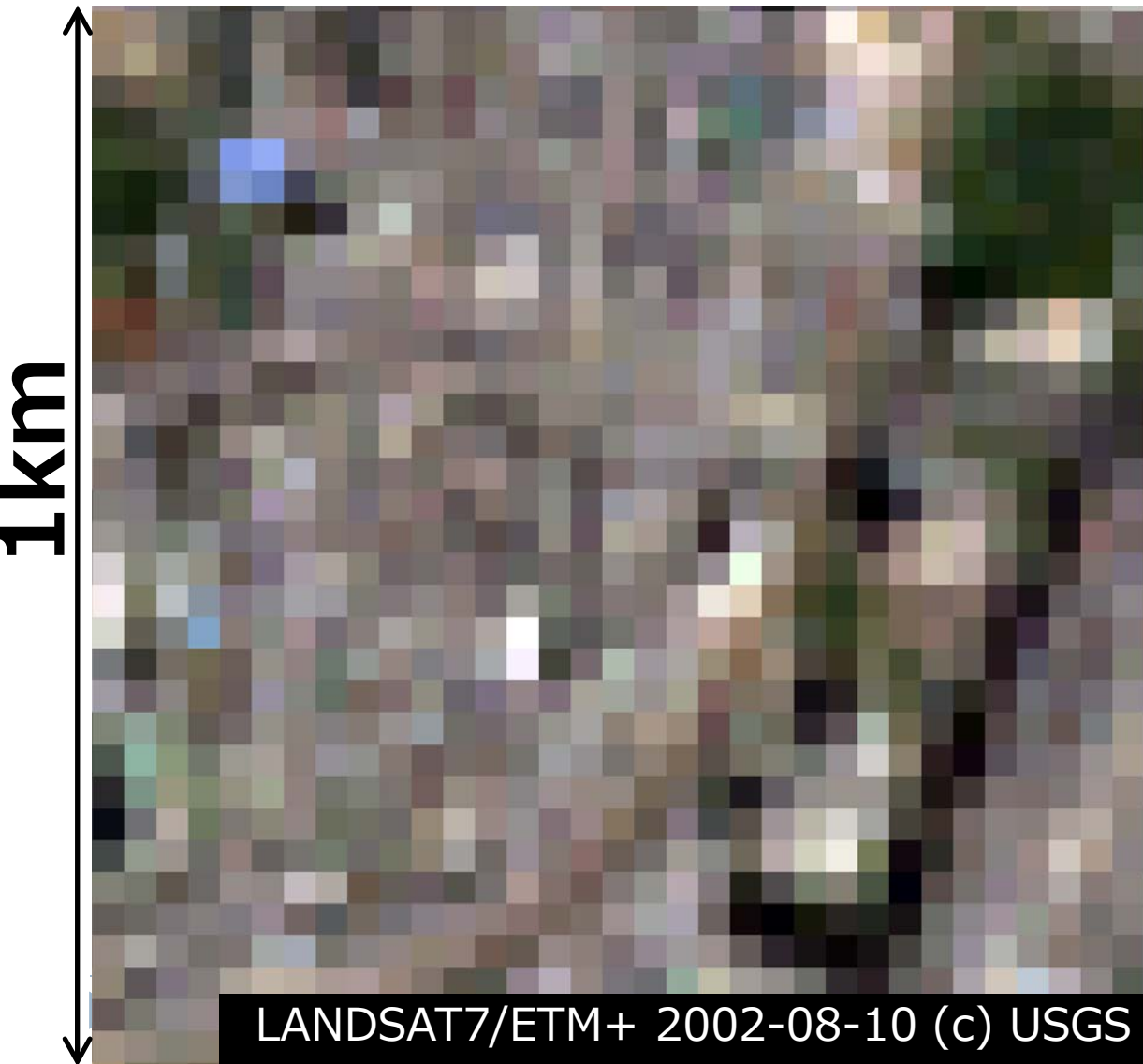
人工衛星から見えるもの



種別	解像度	間隔
航空写真	0.1m	数年
高分解能RGB	2.5m	毎月
高分解能多波長	15m	隔週
中分解能RGB	500m	毎日
中分解能多波長	1km	

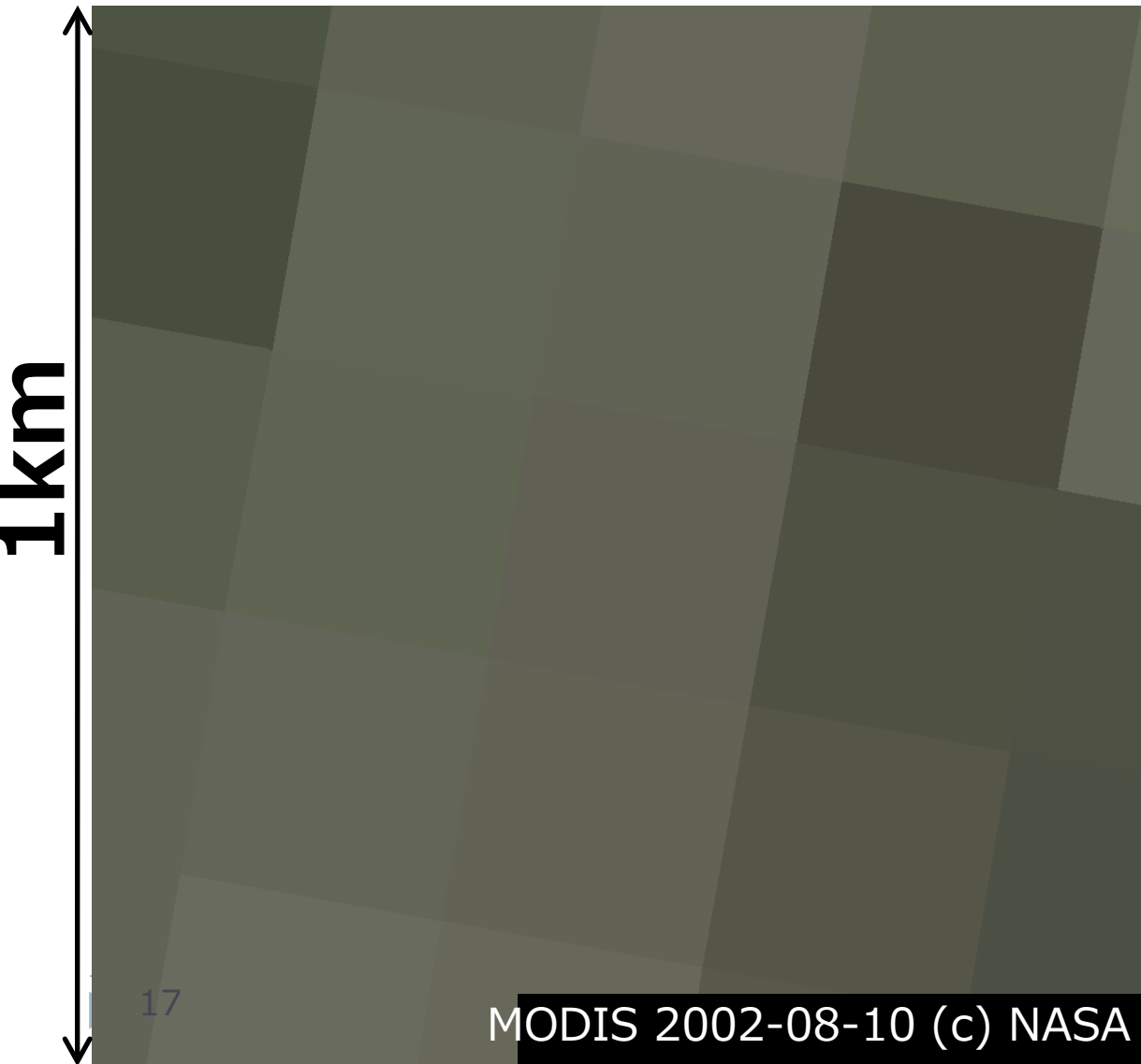
ALOS/AVNIR2+PRISM 2006-05-21©JAXA

人工衛星から見えるもの



種別	解像度	間隔
航空写真	0.1m	数年
高分解能RGB	2.5m	毎月
高分解能多波長	15m	隔週
中分解能RGB	500m	毎日
中分解能多波長	1km	

人工衛星から見えるもの



種別	解像度	間隔
航空写真	0.1m	数年
高分解能RGB	2.5m	毎月
高分解能多波長	15m	隔週
中分解能RGB	500m	毎日
中分解能多波長	1km	

衛星解像度は主に地上へのデータ転送速度の制約により定まる。

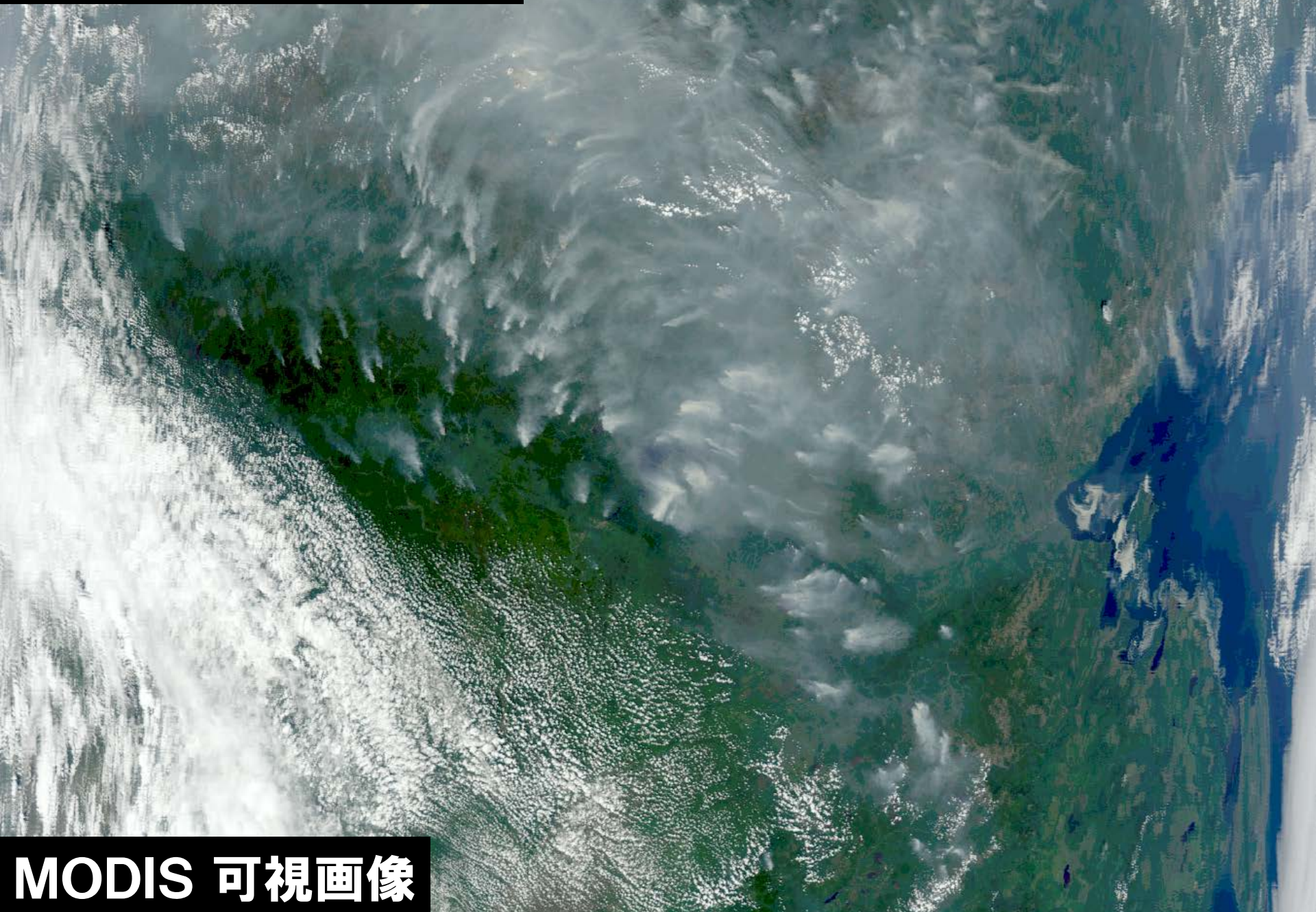
多波長センサは解像度が限られるが、RGB (人の目) だけでは見えない物を見る事ができる。

人工衛星から見えるもの

- ▶ 高分解能センサでも都市部の地物はぼやけて見える。
- ▶ 中分解能(250m~)光学センサは価値がないのか？
- ▶ 高分解能センサは限られた波長(多くはRGB+1,2波長)でしか観測しないが、
- ▶ 中分解能センサは多波長で観測する(20~30波長)。
- ▶ それゆえ高分解能センサとは異なる信号を捉えて、毎日観測できる。
- ▶ 林野火災監視にはこの毎日観測が重要

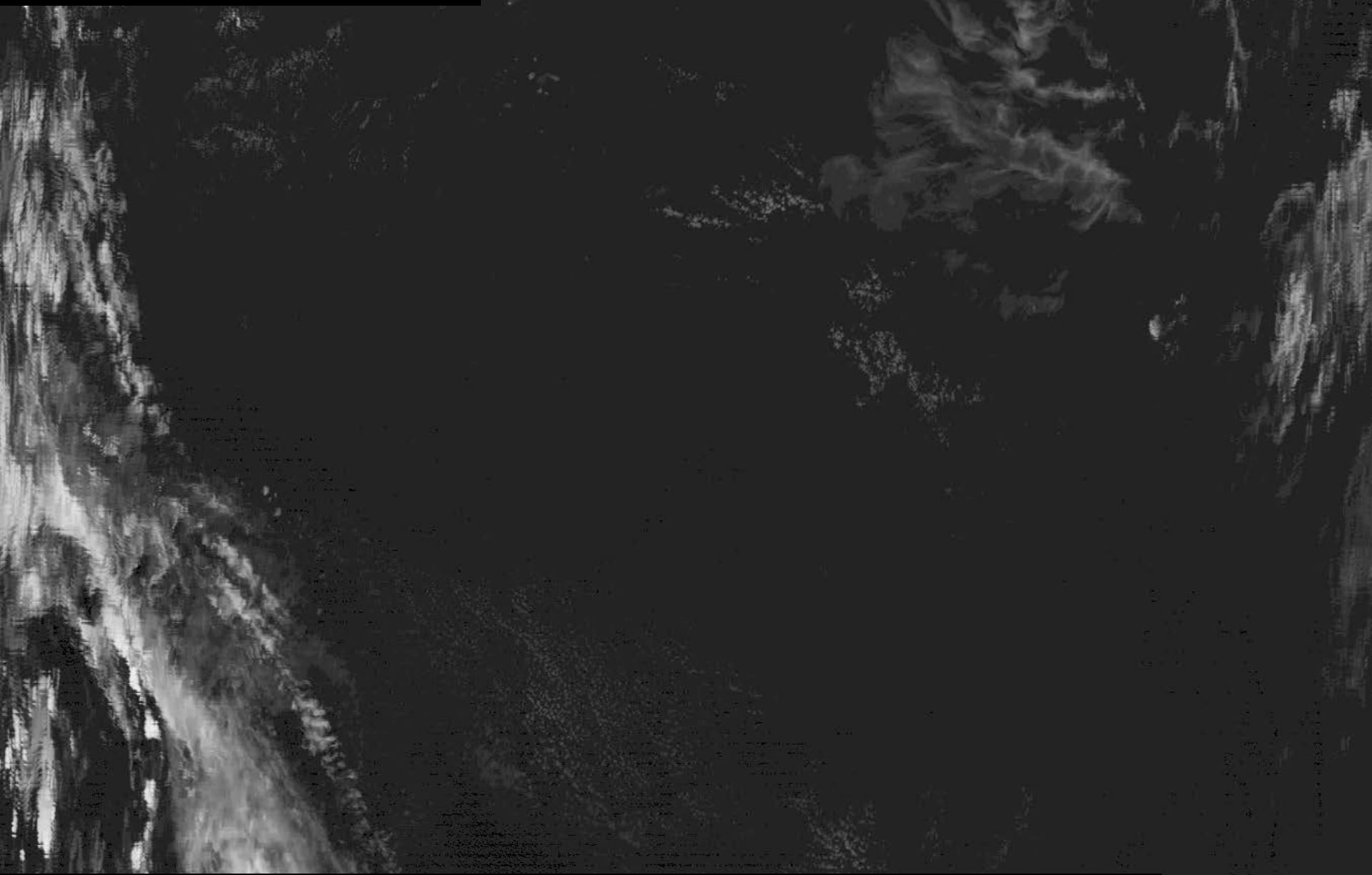


シベリアの林野火災



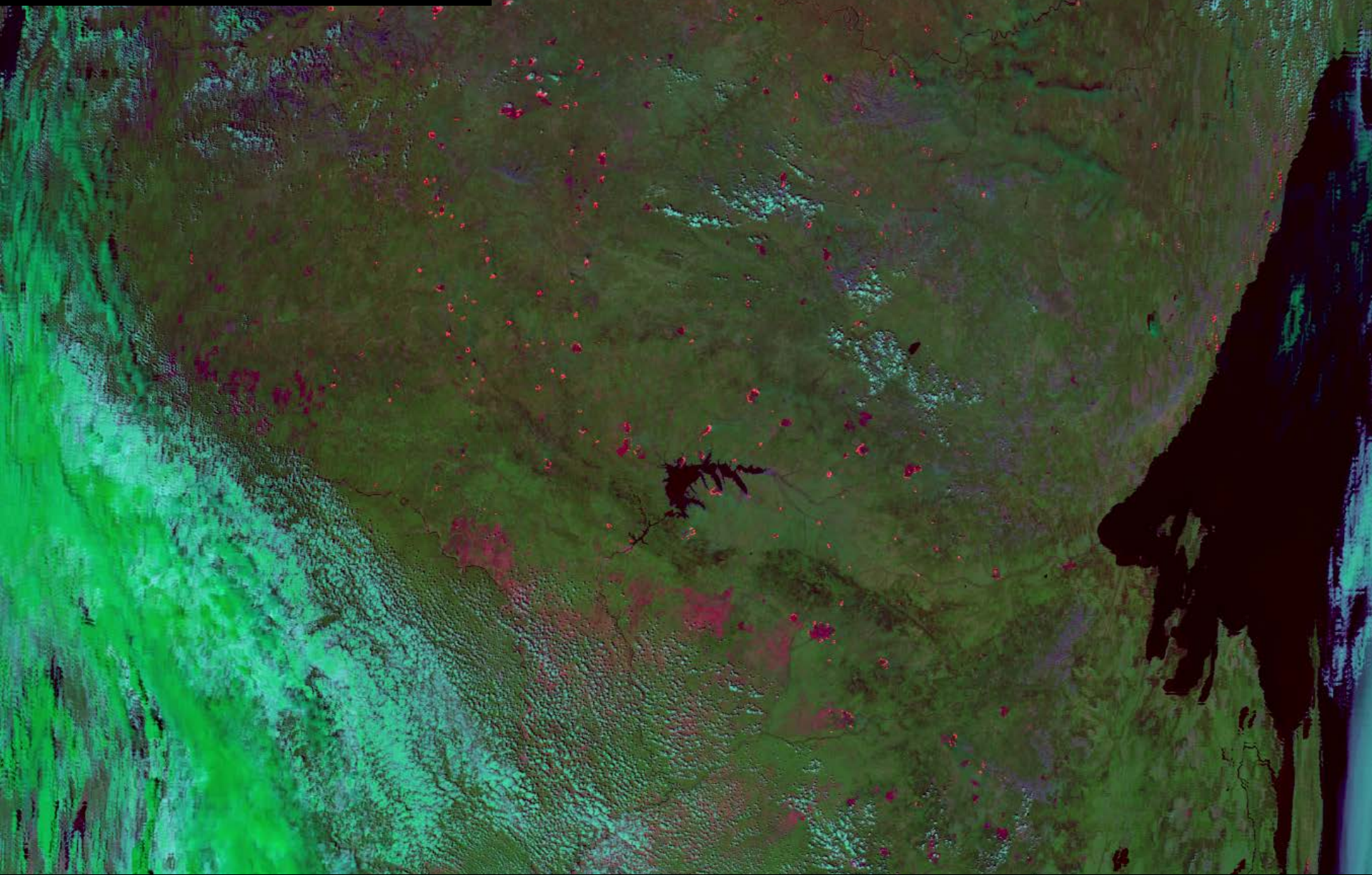
MODIS 可視画像

シベリアの林野火災



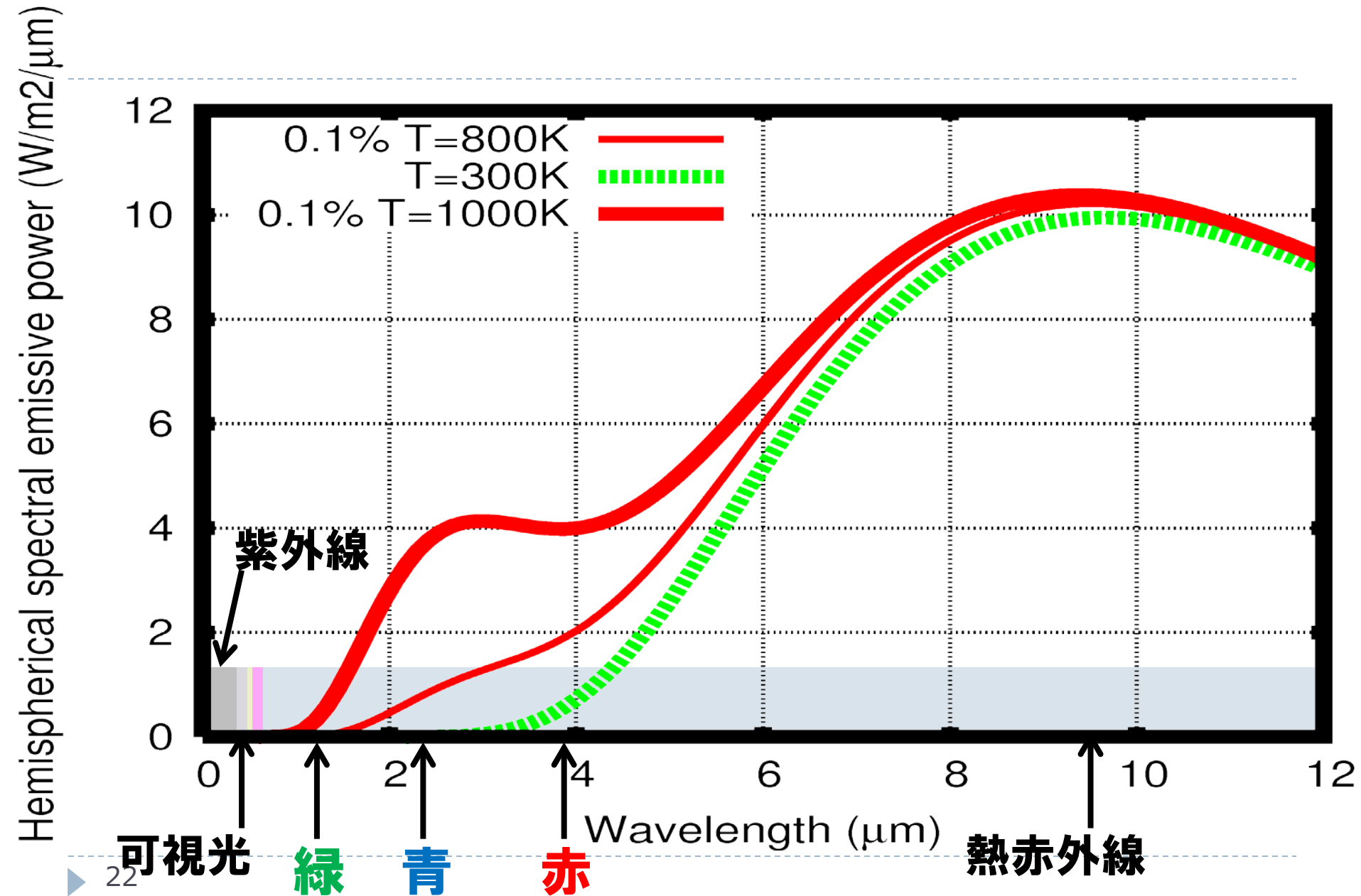
MODIS 1.37 μm 短波長赤外 (大気を透過しない)

シベリアの林野火災



MODIS 4 μm /1.2 μm /2.2 μm 短・中波長赤外線 (煙を透過)

陸面と火災の放射スペクトル



シベリアの林野火災(拡大)



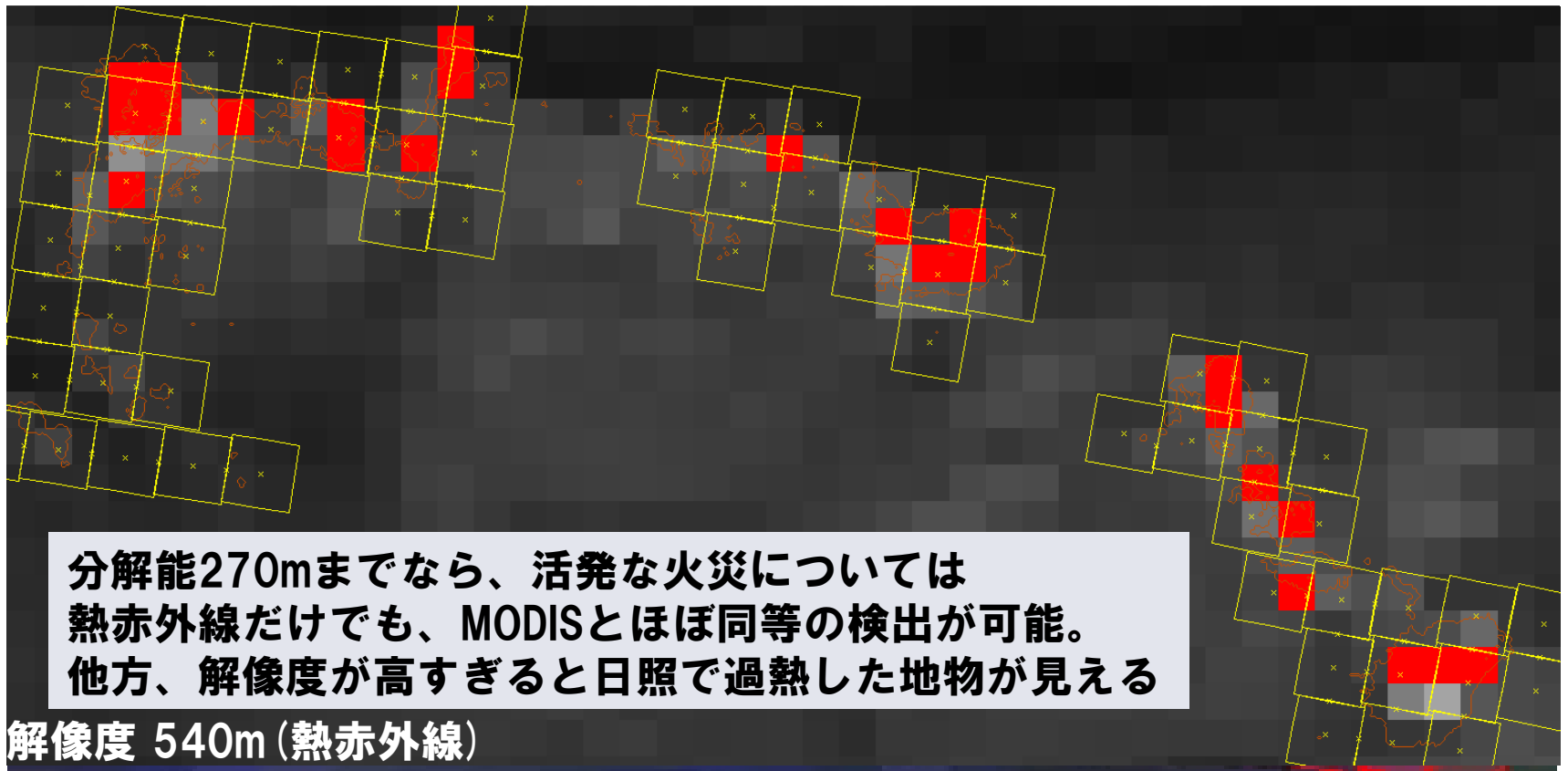
中解像度光学センサ(MODIS)可視画像

シベリアの林野火災 (拡大)



MODIS $4\mu\text{m}$ / $1.2\mu\text{m}$ / $2.2\mu\text{m}$ 短・中波長赤外線 (煙を透過)

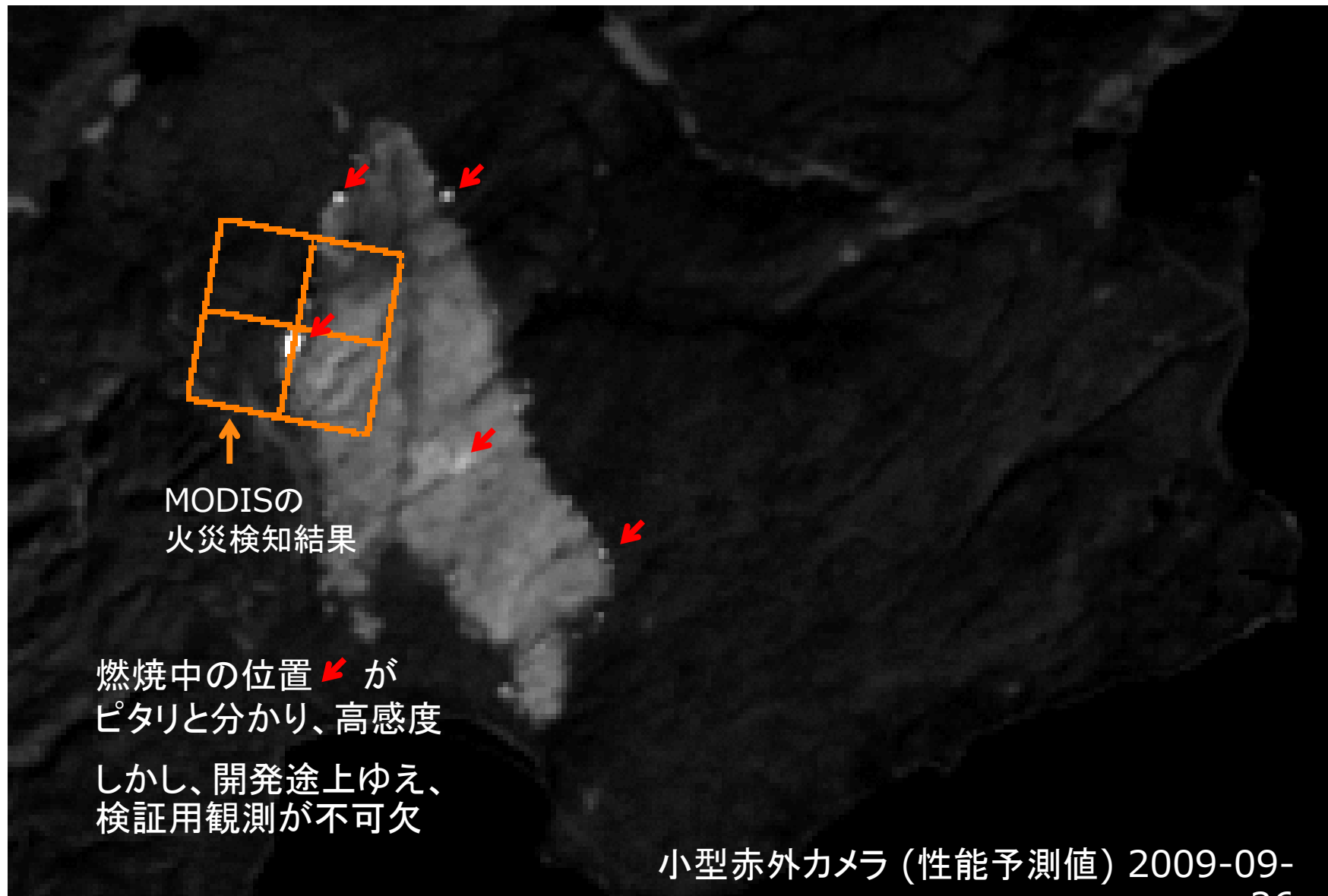
解像度の違いにより、 林野火災の様子はどう変わるか



■: Results of wildfire detection using thermal infrared

▶ □: Results using MOD14. (1km resolution)

林野火災対策における 高解像度データの有効性



人工衛星から見えるもの

ー まとめ ー

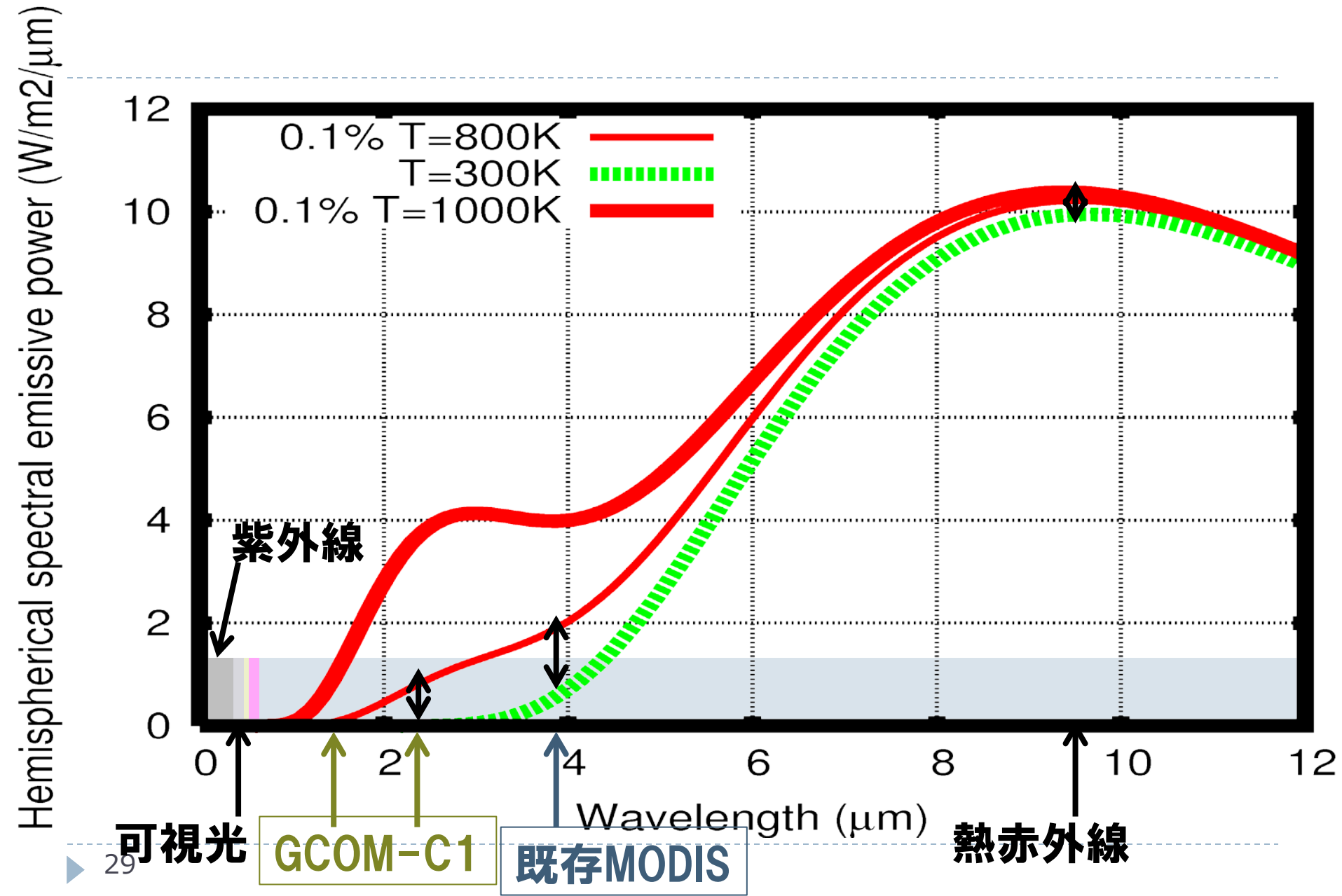
- ▶ 衛星には解像度と観測頻度で限界がある
 - ▶ データの量＝解像度×観測頻度
 - ▶ 大量のデータを地上に転送する速度に限界
 - ▶ 中解像度GCOM-C1衛星のセンサ出力は20.4Mbps
 - ▶ 通信回線は138Mbps(光ファイバ並)だが、
北極圏のアンテナから衛星が見える時間は限られ限界に近い
- ▶ 特徴を捉えられる波長を選んで観測する
 - ▶ 水蒸気吸収帯→気象、CO₂吸収帯→呼吸
 - ▶ 短波長赤外線、中間・熱赤外線→林野火災、雪面
- ▶ 最適な波長で、毎日観測の範囲で高解像度に
 - ▶ 林野火災検出には4μmならば1kmで足りるが、
消防は位置情報が重要、200m解像度にニーズ



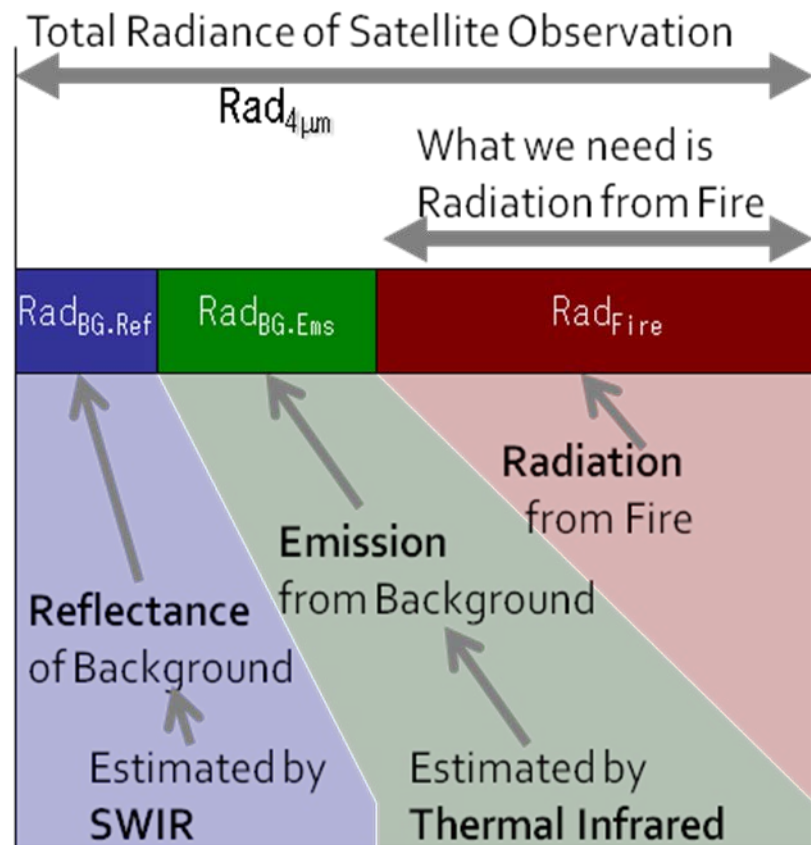
衛星による火災検出

開発したてのGCOM-C1/SGLI向け、UIFORM向け手順

陸面と火災の放射スペクトル



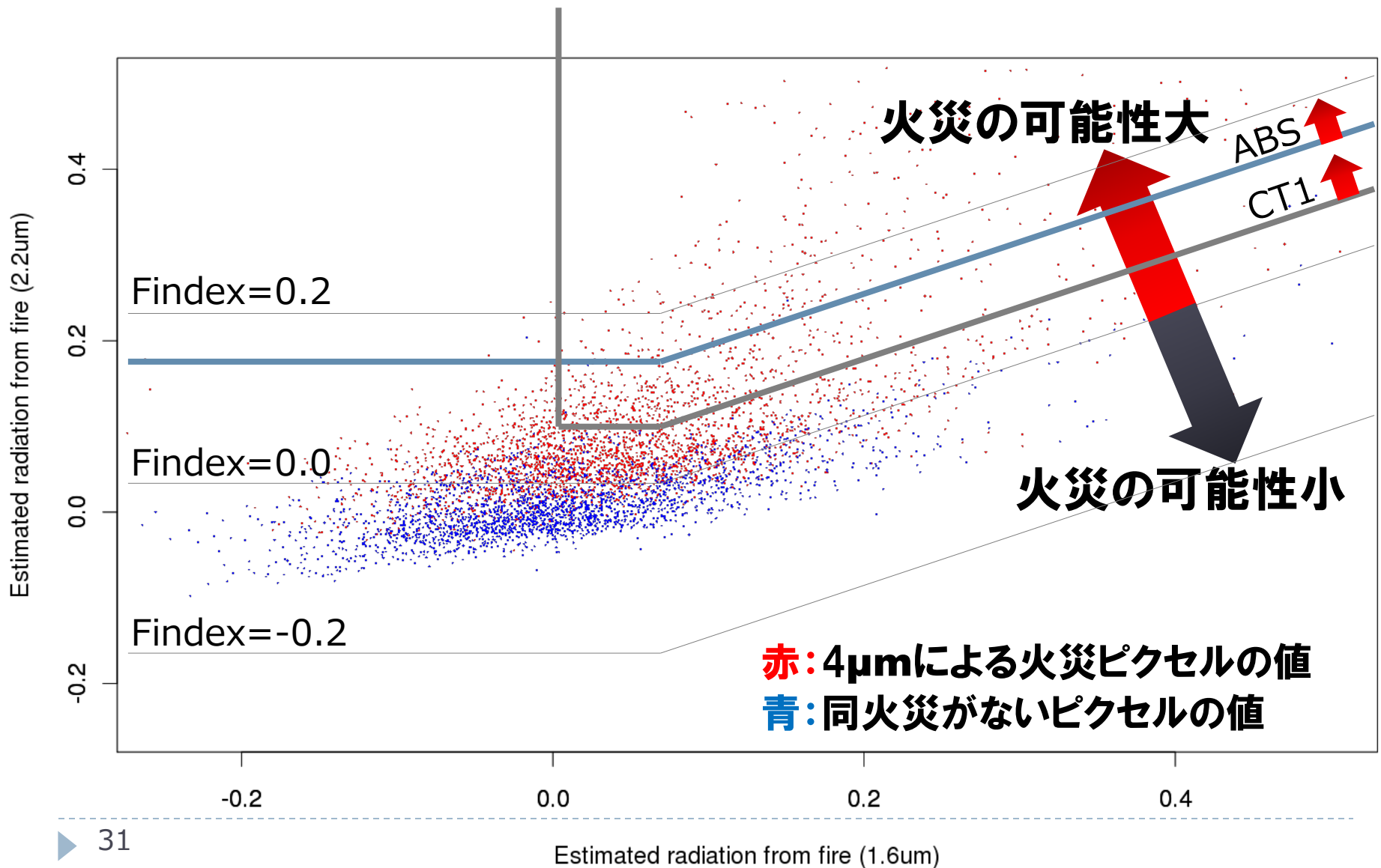
SGLI用林野火災検出 アルゴリズムの開発



- ▶ $4\mu m$ 火災放射輝度を推定
- ▶ $1.6/2.2\mu m$ +可視で回帰
- ▶ 火災放射輝度の空間偏差により火災候補判定
- ▶ 雲や水面・河岸を検出し、マスク

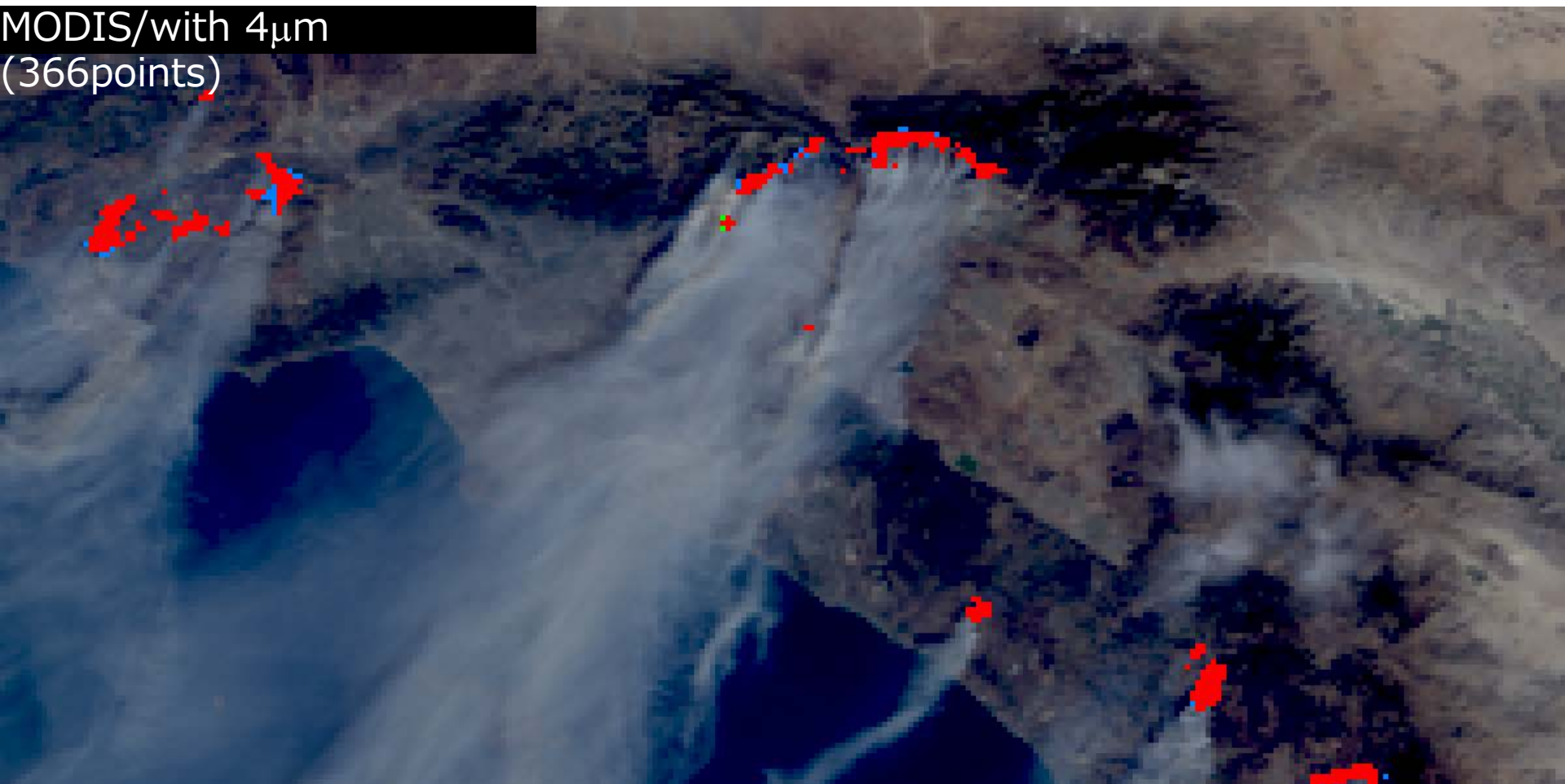
火災放射輝度の空間偏差

横軸1.6 μm /縦軸2.2 μm での空間偏差



林野火災検出結果 (2003 California 4 μ m使用)

MODIS/with 4 μ m
(366points)

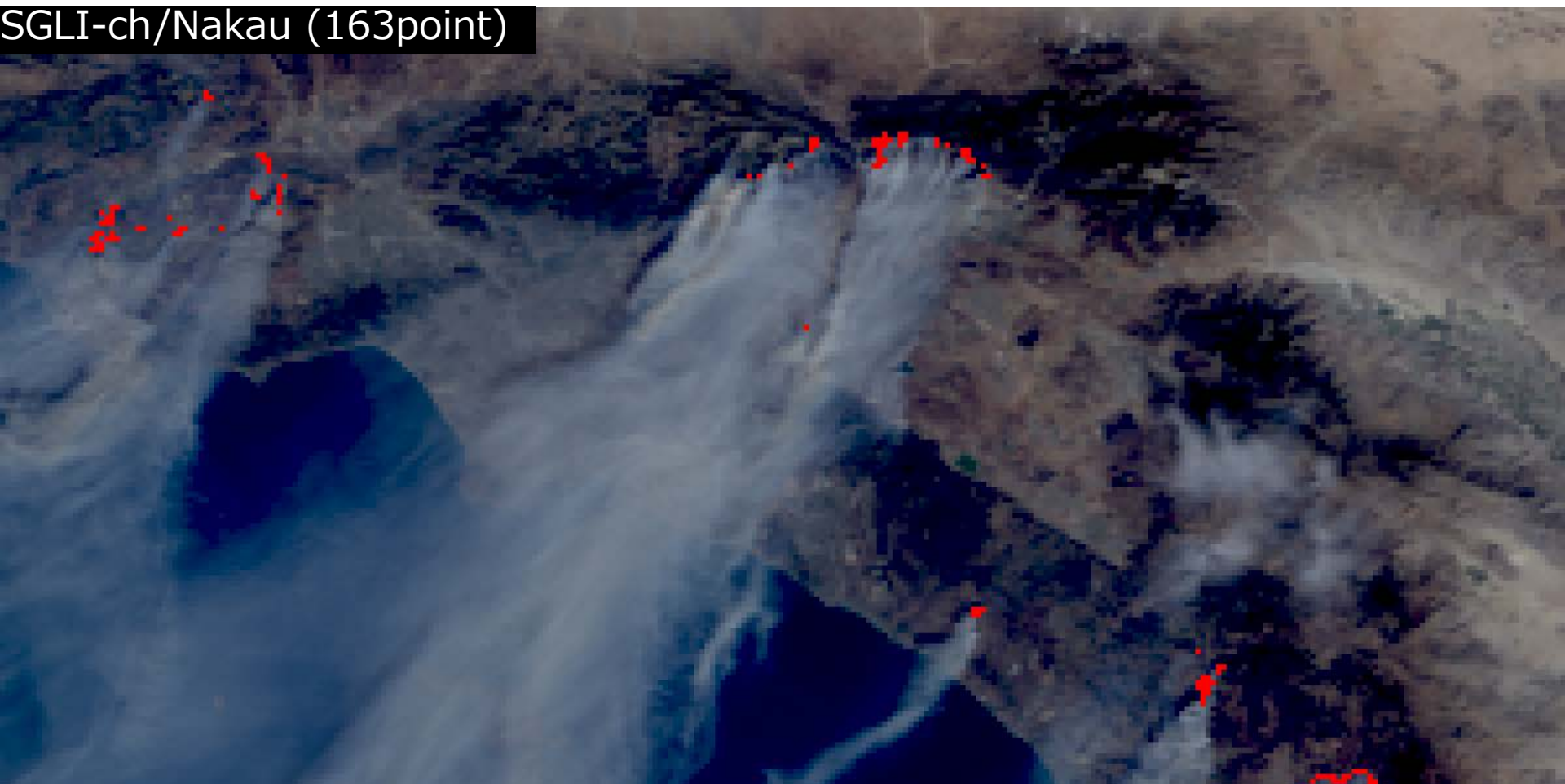


林野火災検出結果

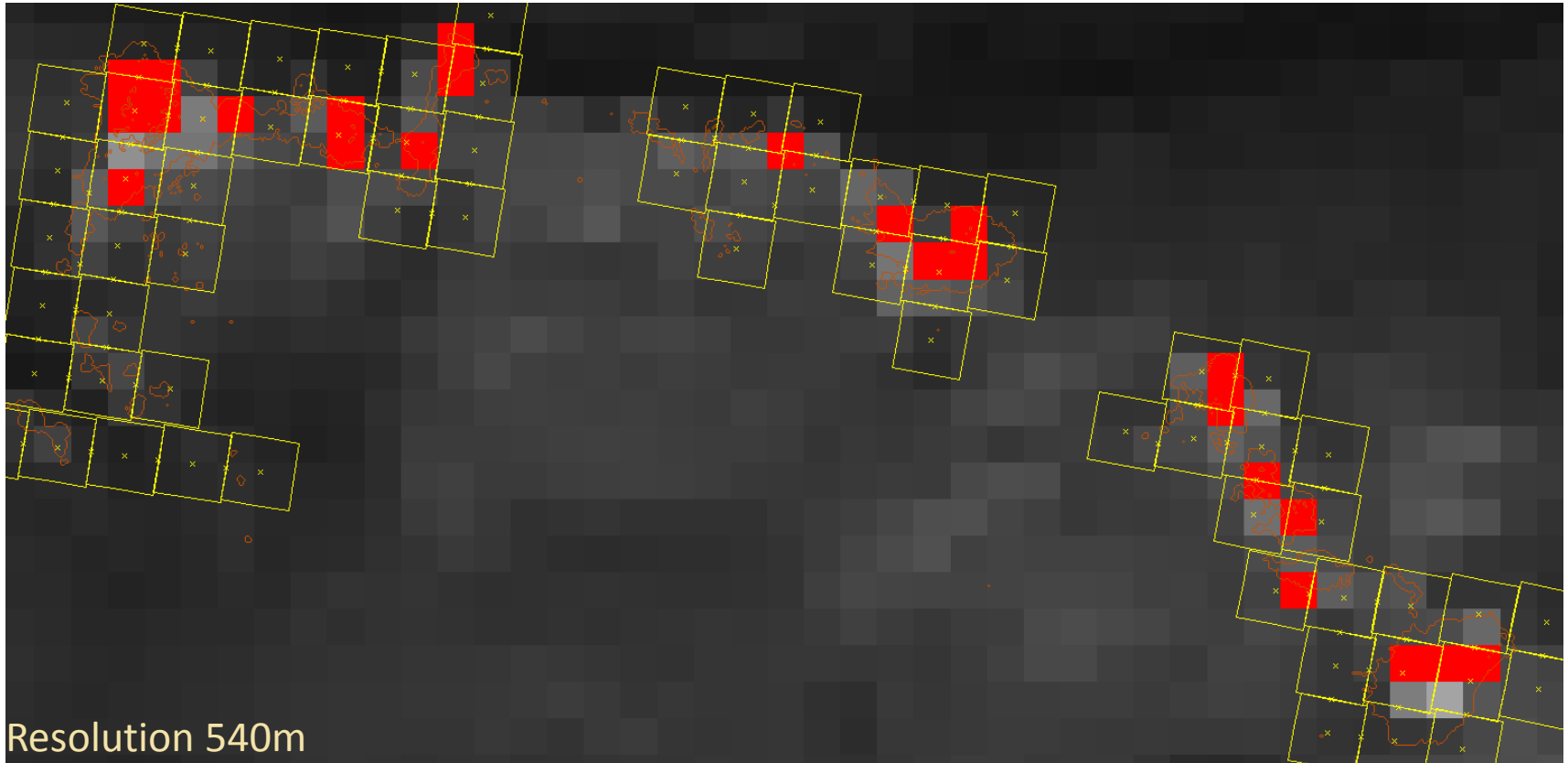
(2003 California 2.2/1.6 μ m使用)

本手法:163点、MOD14:340点を検出した。強い火災ではMOD14と比べ、ほぼ半数の火災ピクセルを検出できた。

SGLI-ch/Nakau (163point)



高分解能熱赤外線センサによる火災監視

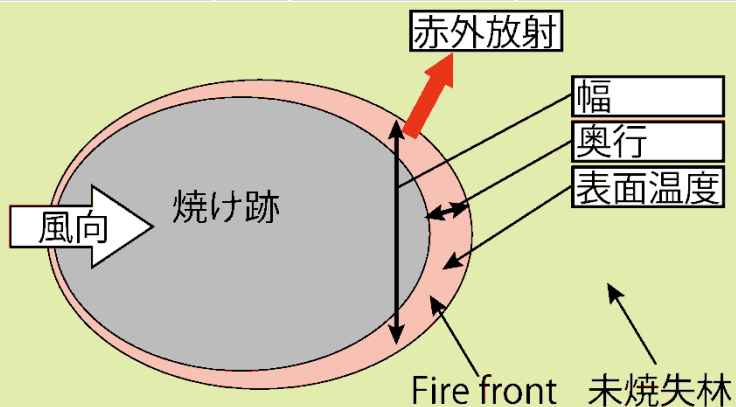


■: Results of wildfire detection using thermal infrared data only

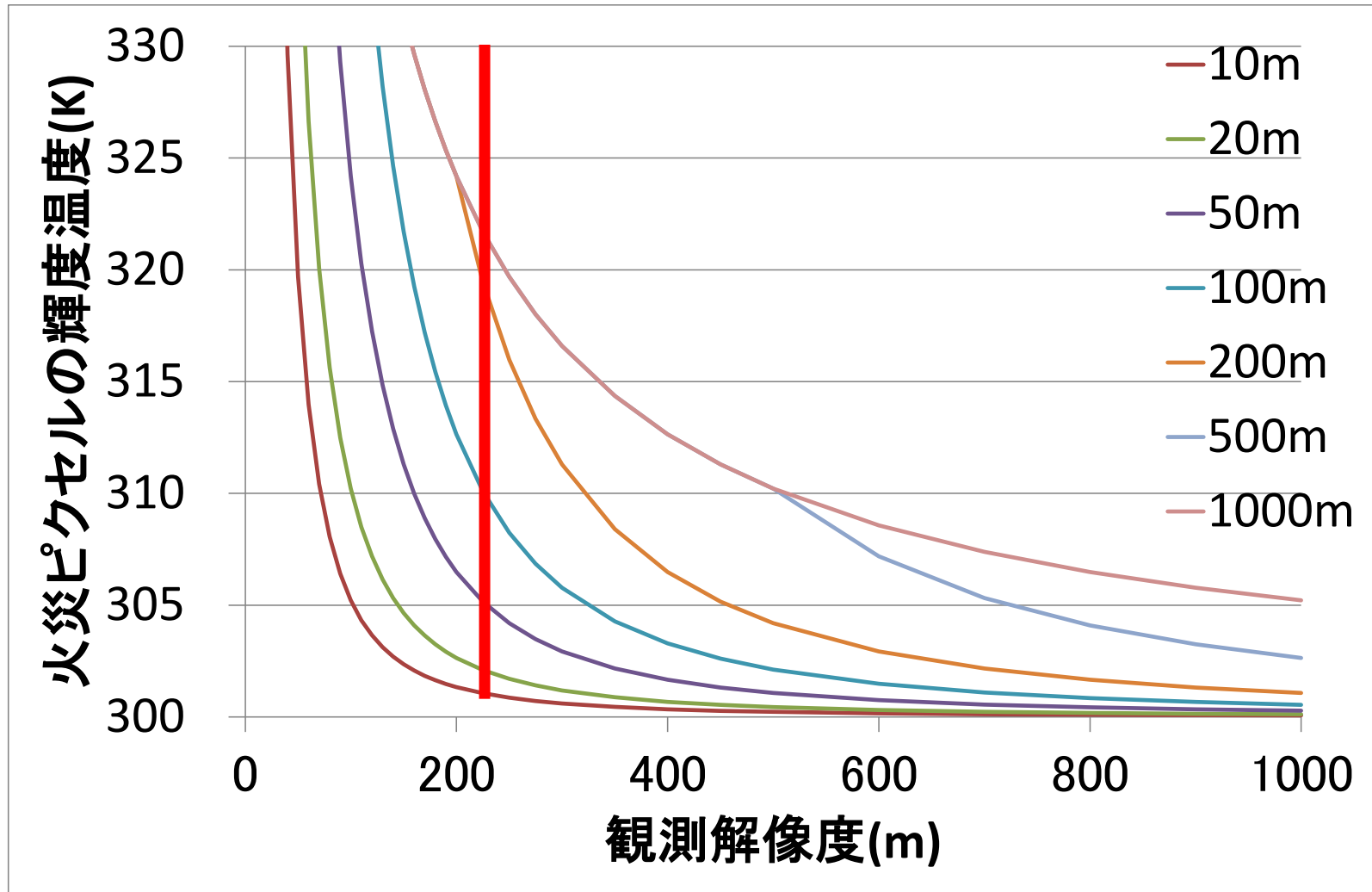
□: Results using MOD14. (1km resolution)

初期消火可能な発熱強度

発熱強度 (kW/m)		火勢の 強さ	消火困難性
20 ~	500	弱	消火は比較的容易
500 ~	1,700	並	風上、風横では消火できるが、 風下側では消火は困難
1,700 ~	3,500	やや強	側面と風下側からの消火は難しい
3,500 ~	7,000	強	樹幹火となり、直接消火は困難
20,000 ~	60,000	激烈	火災嵐が発生し、火災の鎮圧は 不能



初期消火可能な発熱強度における 林野火災幅と熱赤外線の見かけ温度上昇量



SGLI向けアルゴリズム開発 まとめ

- ▶ SGLIの林野火災検出アルゴリズム開発を行なった。
 - ▶ **2.2/1.6 μ m**限定で感度低下が心配されたが、1km解像度のままでも一定の感度を得られた。
 - ▶ ただし低温火災は検出頻度が約10%だった。
 - ▶ 今後MODIS 500m/GLI 250mデータによる感度の向上を行う
- ▶ UIFORM・CIRCの林野火災検出アルゴリズムを開発し、初期消火に役立てるためのセンサ仕様を検討した
 - ▶ 開発途上だが、空間平均より5Kの空間的アノマリがあれば、周囲の温度分布より大きく、林野火災を検出することができる。
 - ▶ 概ね250m以上の解像度が有れば、少ない誤検知確率で、林野火災を検出できることが分かった。

林野火災監視システムの構築

林野火災の発展過程と 関係する衛星データ



林野火災対策関連プロジェクト

現地観測 → 火災検知 → システム開発 → 社会実装

検証データ

AFS火災情報

アラスカの火災

JICA-JST

インドネシアの火災

JAL火災観測

宇宙飛行士?

人の目による
林野火災の確認

火災検知

中分解能熱赤外画像

GCOM-C MODIS

**林野火災検知
アルゴリズム**

UNIFORM1, 2, 3

CIRC@ISS/ALOS2

LANDSAT7,8/ETM

高分解能熱赤外画像

データ提供

**林野火災
モニタシステム**

消防活動

AFS

アラスカでの消防

JICA-JST

インドネシア
消防情報

センチネルアジア

災害情報の共有

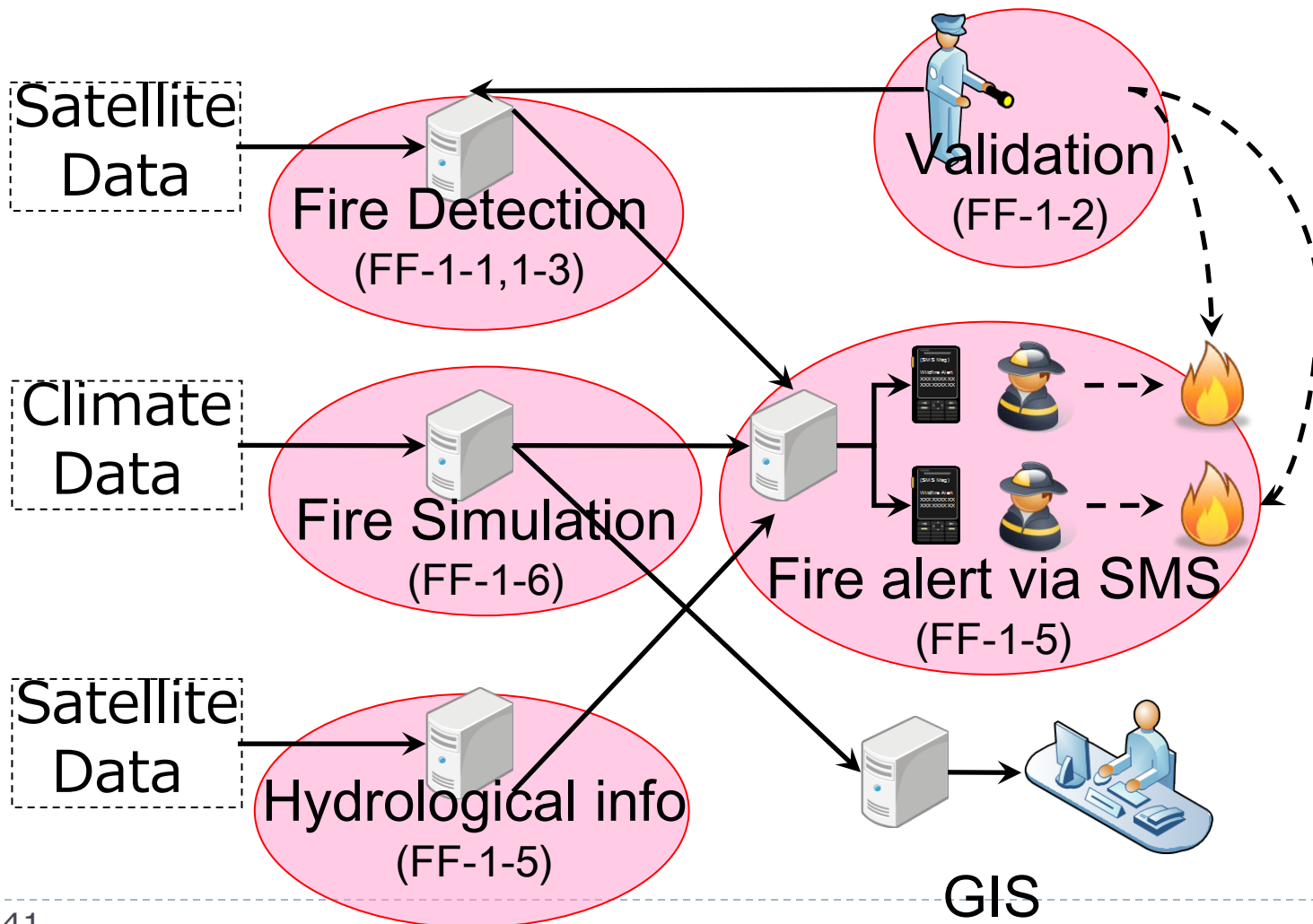
JICA

アフリカ

JASMES

全球の火災検知

北大JICA-JST： 構築中のシステム



林野火災監視システムによる火災マップ

MODIS Hotspot Database - Mozilla Firefox

ファイル(E) 編集(E) 表示(V) 履歴(S) ブックマーク(B) ツール(T) ヘルプ(H)

fire.ijis.iarc.uaf.edu/knakau/gmap.2.php?year=2011&month=07&day=26&lat=40.7139558&lon

MODIS Hotspot Database

MODIS Hotspot Database for IARC-JAXA Project

Wildfire Distribution Date: 26 Jul 2011

Year	Month	Day	Location
2012	Dec	31	日本
2011	Nov	30	米国/アラスカ
2010	Oct	29	米国/AC/フェアバンクス
2004	Sep	28	米国/TX/工場火災
	Aug	27	インドネシア/パランカラヤ
	Jul	26	日本/岡山/井島林野火災
	Jun	25	マラウイ/リロングウェ
	May	24	ボツワナ/カラハリ林野火災
	Apr	23	校舎火災実験2012
	Mar	22	
	Feb	21	
	Jan	20	
		19	
		18	
		17	
		16	
		15	
		14	
		13	
		12	
		11	
		10	
		09	
		08	
		07	
		06	
		05	
		04	
		03	
		02	
		01	

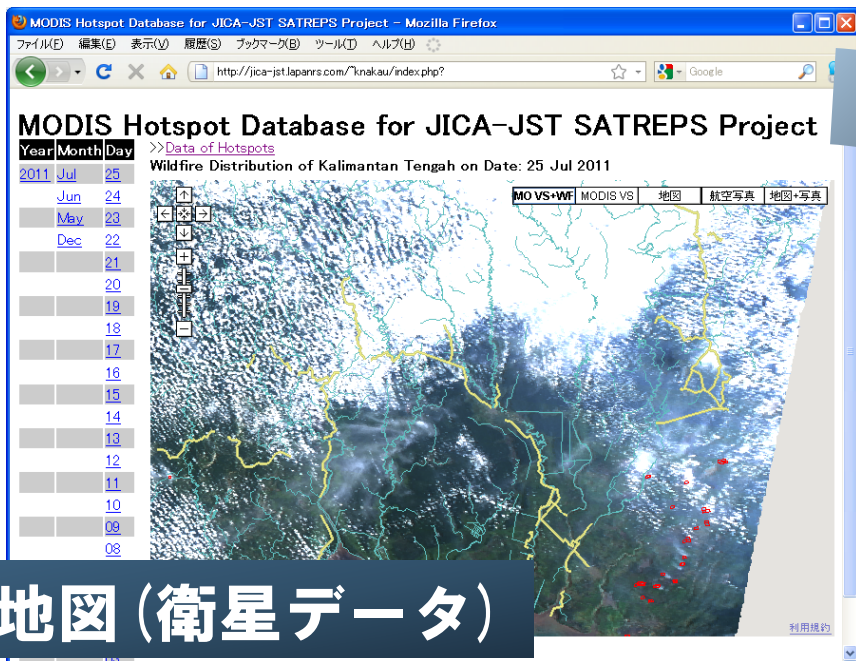
M:VS+WF MODIS VS M:SW+WF MODIS SW Satel+WF 地図 航空写真 地図+写真

(c) JAXA/EORC

Corresponding author: Koji Nakau Ph.D(nakau.koji@jaxa.jp)

Link to this map: <http://fire.ijis.iarc.uaf.edu/knakau/gmap.2.php?year=2011&month=07&day=26&lat=40.7139558&lon=143.4375&zoom=2>

火災位置情報のSMS通報用 データ変換手法開発・実装



相対位置

	Latitude	Longitude	Distance from Road	Distance from village	Orientation from Village
06	-2.362	114.117	730m	6487m	Toward PKY
07					
08	-2.390	114.161	925m	4605m	Toward PKY
	-2.365	114.128	890m	5919m	Toward PKY

地図(衛星データ)

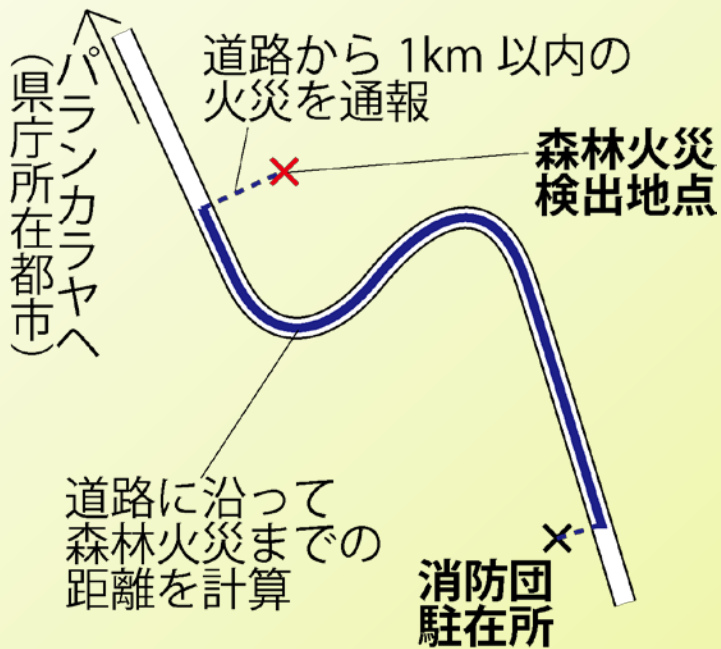
先進国は地図を提供すれば利用可能
途上国の消防隊員は地図が読めない
 「XX通り」も理解しない



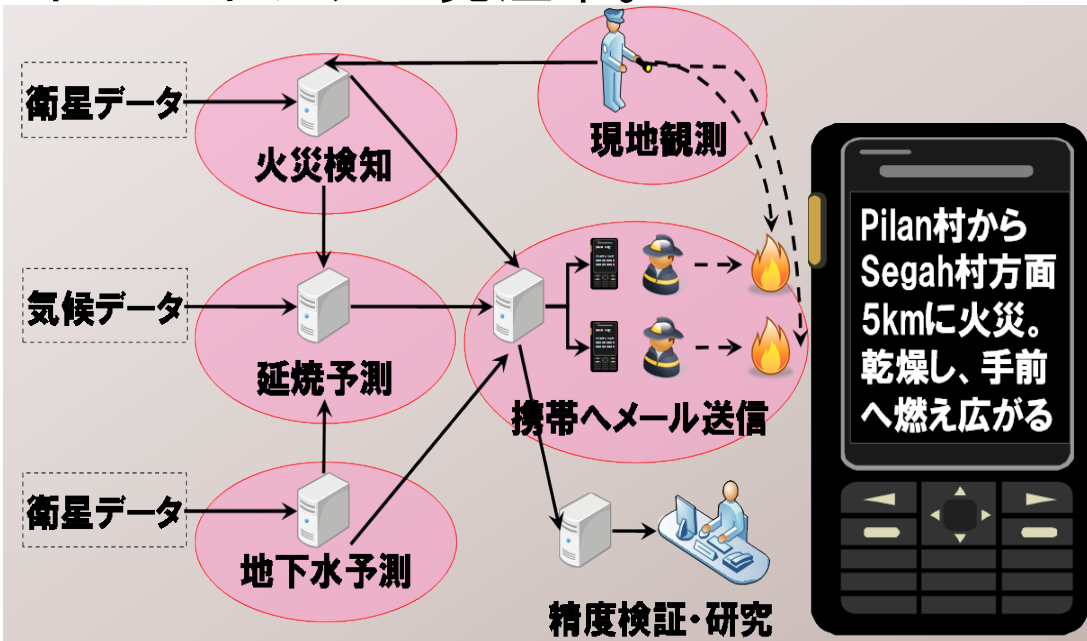
通報

途上国における 林野火災位置情報の提供手法

- 消防団から林野火災への向き距離を求めするため、GIS-DB(PostGIS)を用いて実装した。
 - 次年度には林野火災通報システムが完成予定
 - SMS送信H/WをNTTインドネシアへ発注中。



道路距離の計算手順



構築中のSMS通報システム

衛星による林野火災監視システム（まとめ）

- ▶ MODIS林野火災監視システムは、一定の完成を見た。
 - ▶ LANDSAT, ASTERなどの高解像度赤外は含まれない。
 - ▶ 林野火災監視通報システムにおいて、乾燥度情報も格納済。SMSにて同時配信する予定。
 - ▶ 本システムは日本～インドネシアでの利用が前提。アフリカ等さらなるフロンティアでの適用可能性は今後の検討課題。

 - ▶ 今後、高空間精度の火災検出結果を活用する事が必要。
 - ▶ UNIFORM協力枠組みの中で産総研GeoGRIDにて収集したASTER, LANDSATデータによる火災検出結果を取り込む。
 - ▶ 今後打ちあがるUNIFORM, CIRCなどの高解像度熱赤外画像による火災検出結果を取り込む。
-



おわりに

- ▶ 林野火災監視システムを構築するため、
 - ▶ 林野火災検出アルゴリズムを開発し、
 - ▶ 林野火災情報の通報システムを開発した。
- ▶ 今後、林野火災を含む防災情報の社会実装をめざし、
 - ▶ 林野火災と雷の関係や林野火災の起きやすい条件などを推定する手法が必要と考えられる。

