

宇宙惑星探査の新展開

5月17日5講時

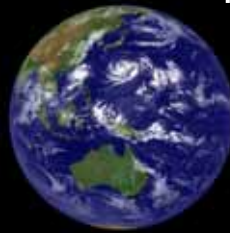
社会に活かされる宇宙の目 (担当：中右)

今日お話しする内容

- 社会に活かされる宇宙の目
 - 人工衛星とは、
 - 衛星から見えるもの（山火事検出）
 - 衛星データの「利用」（山火事対策）
- 今日感じて頂きたい事
 - 気象衛星や通信衛星だけが衛星ではない
 - 地球観測衛星は高分解能だけが芸ではない

日常における衛星

ひまわり



MTSAT-2



スカパー



JCSAT-110R



スマホ



GPS



何気なく
衛星を使いこなす毎日
これは本来すごい事



人工衛星の種類
人工衛星で地球を見るということ

人工衛星とは？

衛星の種類

■ 目的別

- 通信・放送衛星
 - (スカパー・イリジウム)
- 測位衛星(GPS, QZSS)
- 地球観測衛星
 - (ひまわり・だいち)
 - 気象観測衛星
 - 環境観測衛星
- 惑星・月探査衛星
- 科学衛星
- 軍事衛星

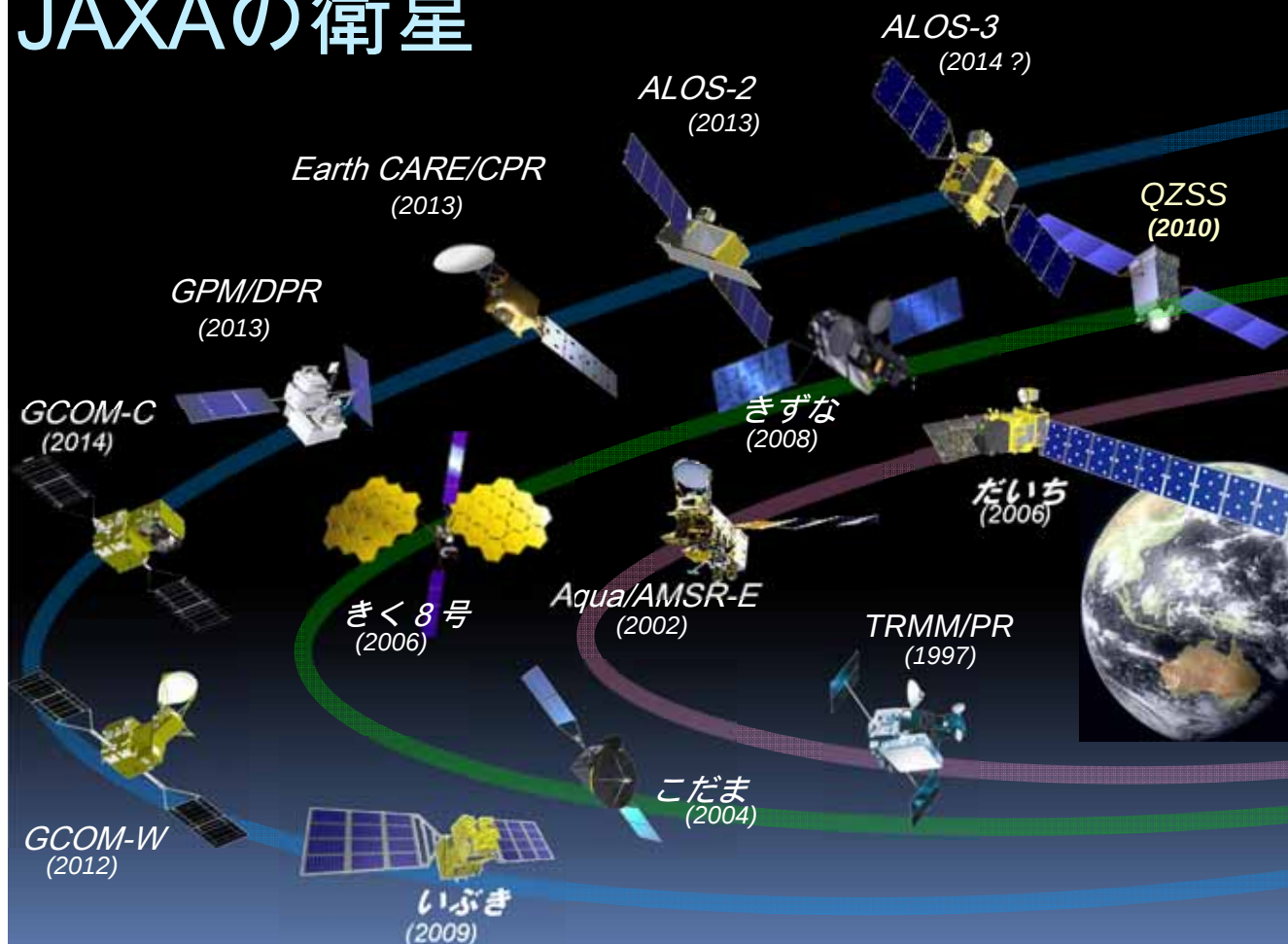
■ 軌道別

- 静止軌道
- 低軌道
 - 太陽同期軌道700km
 - 宇宙ステーション400km
 - 偵察衛星(>150km)

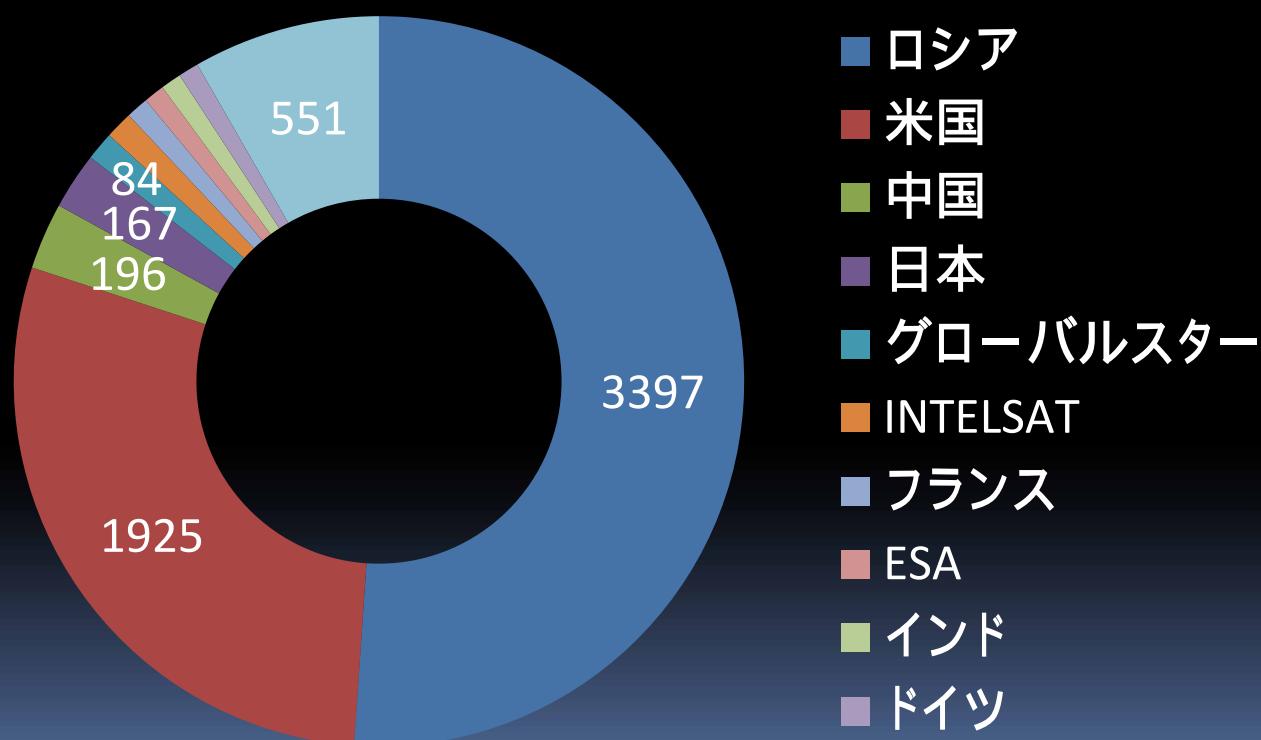
■ 重量別

- 大型衛星(>4トン)
- 中型衛星(2トン)
- 小型衛星(1トン)
- 超小型衛星(<100kg)

JAXAの衛星



日本は衛星の大量保有国



出典：celestrak (国際機関は個別の国に含めない)

光学地球観測衛星の種類

● ひまわり

- 1回 / 1時間
- 1km ~ 5km

● NOAA

- 4回 / 日
- 1km × 1km

● TERRA

- 4回 / 日
- 250m ~ 1km

● だいち

- 1回 / 42日
- 10m ~ 100m

● GeoEye-1

- 受注に応じて
- 41cm ~ 1.65m

静止軌道 = 毎時観測
低解像度

低軌道 = 毎日観測
中解像度

低軌道 = 毎月観測
高解像度

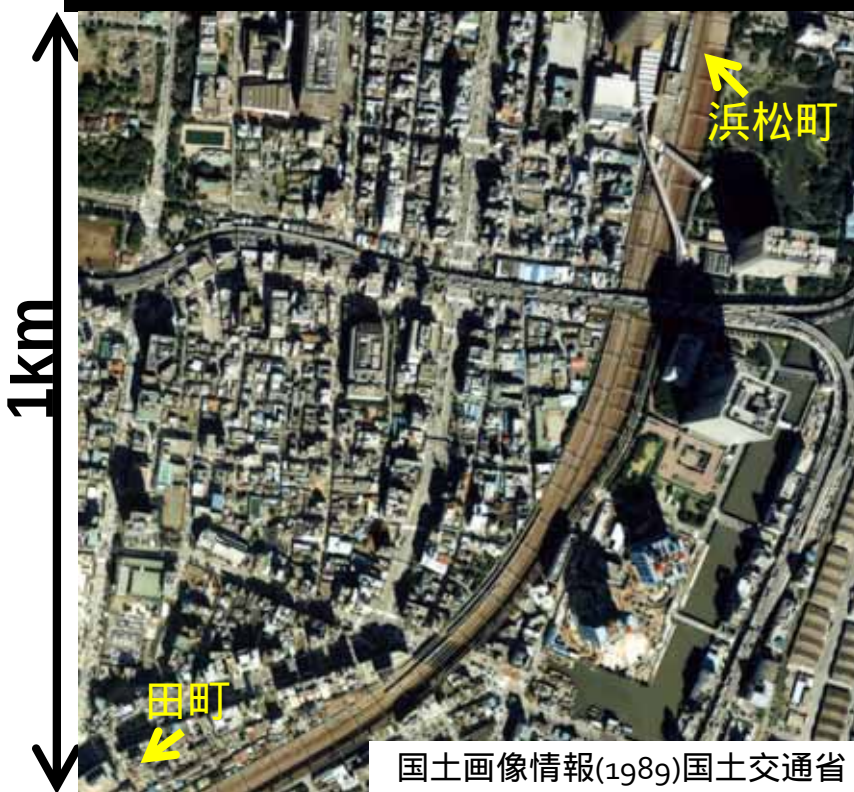
用途により使い分ける
→それはどういう事か？



人工衛星の種類
人工衛星で地球を見るということ

人工衛星で地球を見るということ

人工衛星から見えるもの



国土画像情報(1989)国土交通省

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	
静止気象衛星	4km	15分

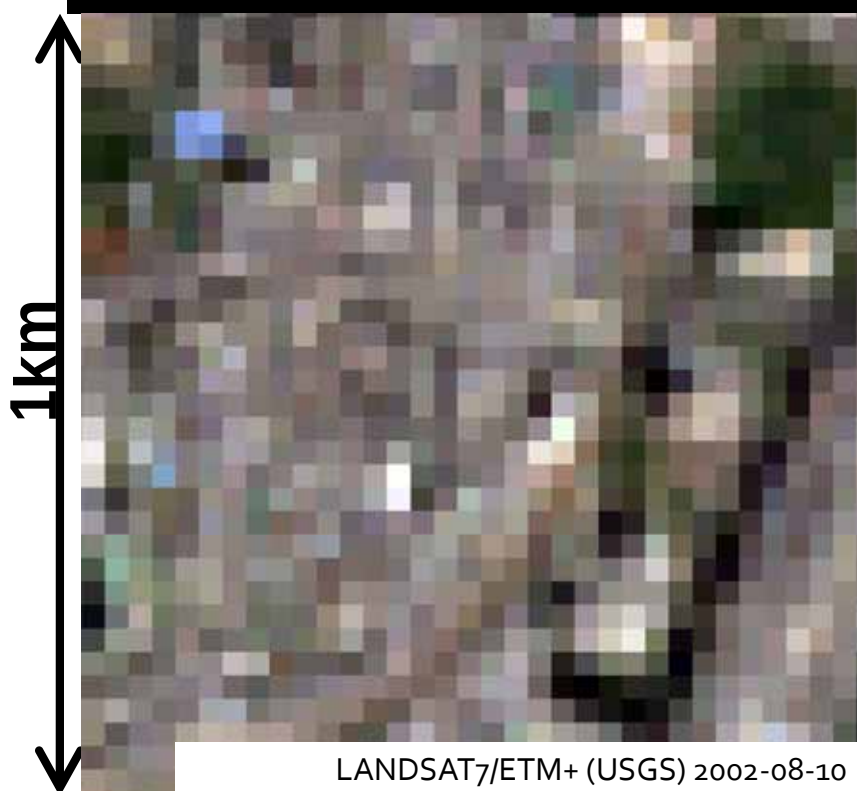
人工衛星から見えるもの



種別	解像度	間隔
航空写真	0.1 m	数年
高分解能RGB	2.5 m	毎月
高分解能多波長	15 m	隔週
中分解能RGB	500 m	毎日
中分解能多波長	1 km	
静止気象衛星	4 km	15分

11

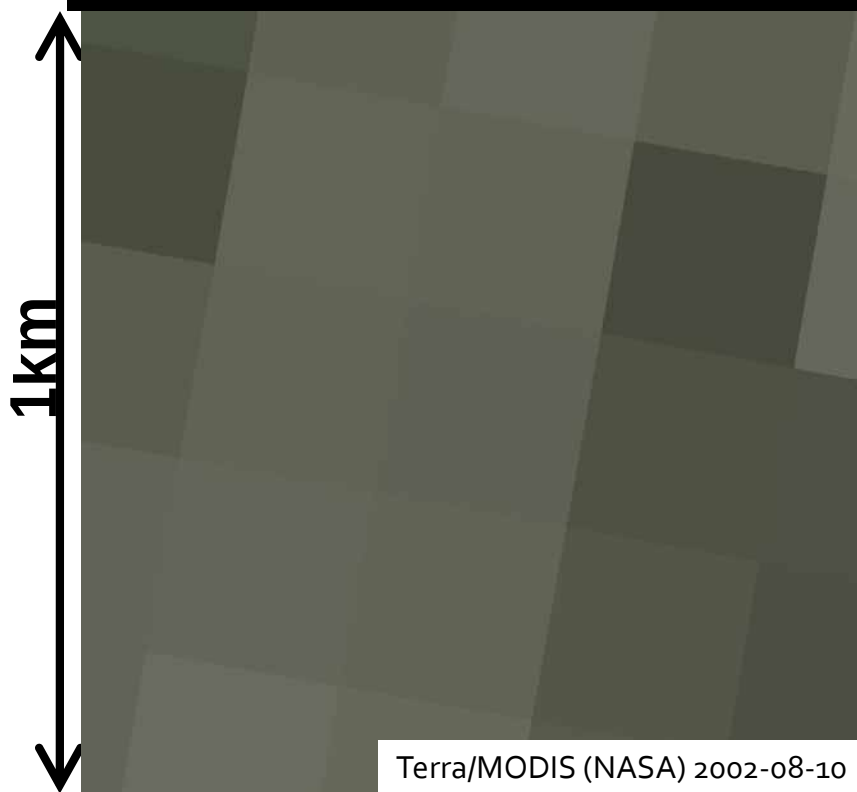
人工衛星から見えるもの



種別	解像度	間隔
航空写真	0.1 m	数年
高分解能RGB	2.5 m	毎月
高分解能多波長	15 m	隔週
中分解能RGB	500 m	毎日
中分解能多波長	1 km	
静止気象衛星	4 km	15分

12

人工衛星から見えるもの



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

中分解能RGB	500 m	毎日
中分解能多波長	1 km	

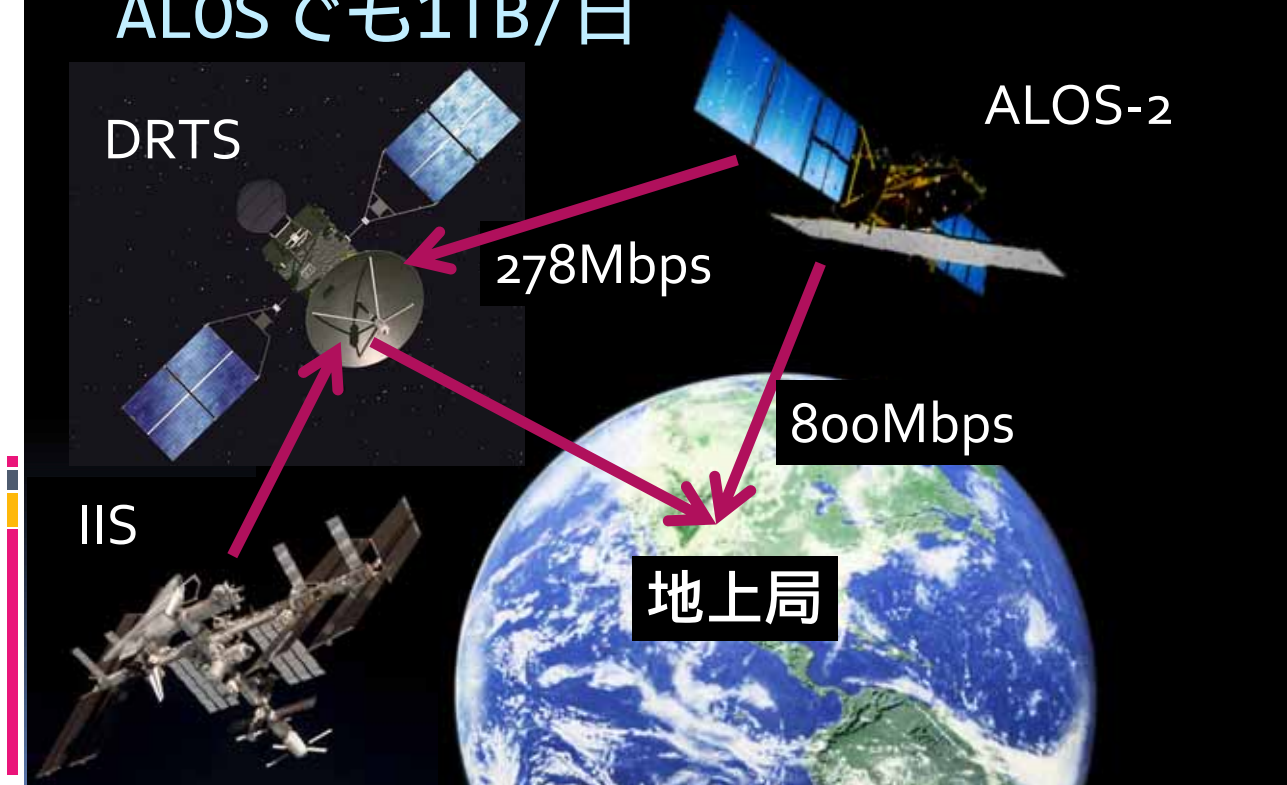
静止気象衛星	4 km	15分
--------	------	-----

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。

13

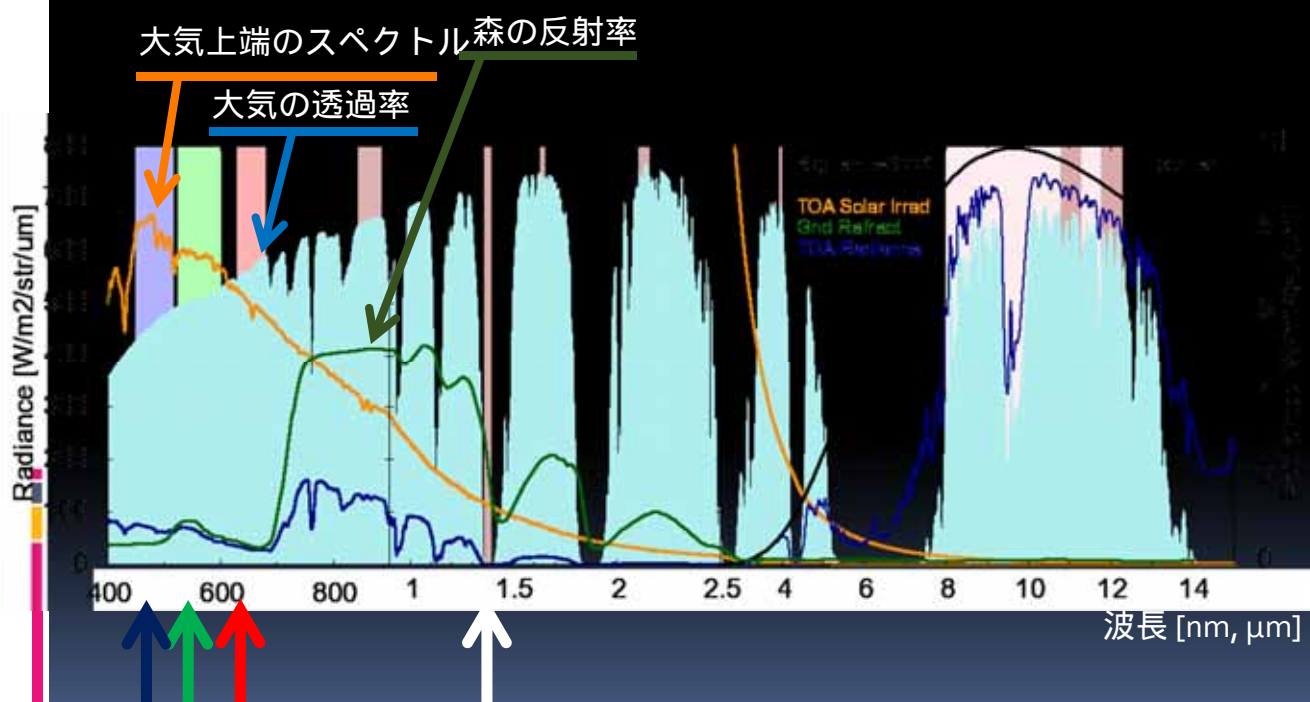
データ量がとてつもなく大きい ALOSでも1TB/日



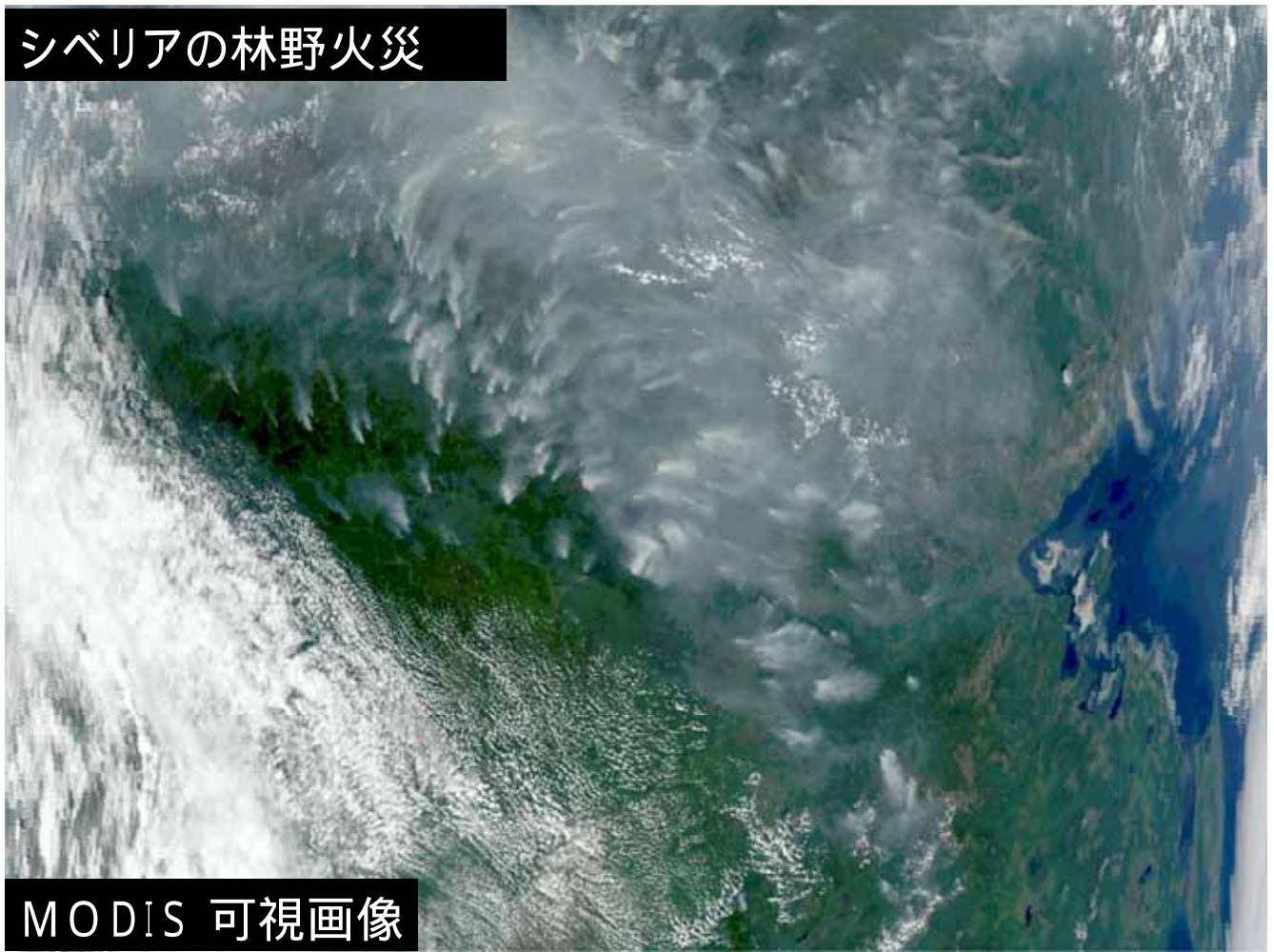
人工衛星から見えるもの

- 高分解能センサでも都市部はぼやける。
 - 3-4波長(色)で観測(写真)
 - 中分解能(250m ~)センサは価値がないのか？
- 中分解能センサ
 - 多波長(20-30)で観測する
→ 高分解能とは違い、物理量を捉える「センサ」
 - 毎日観測できる
- 林野火災監視にはこの毎日観測が重要

衛星から見た針葉樹林のスペクトル

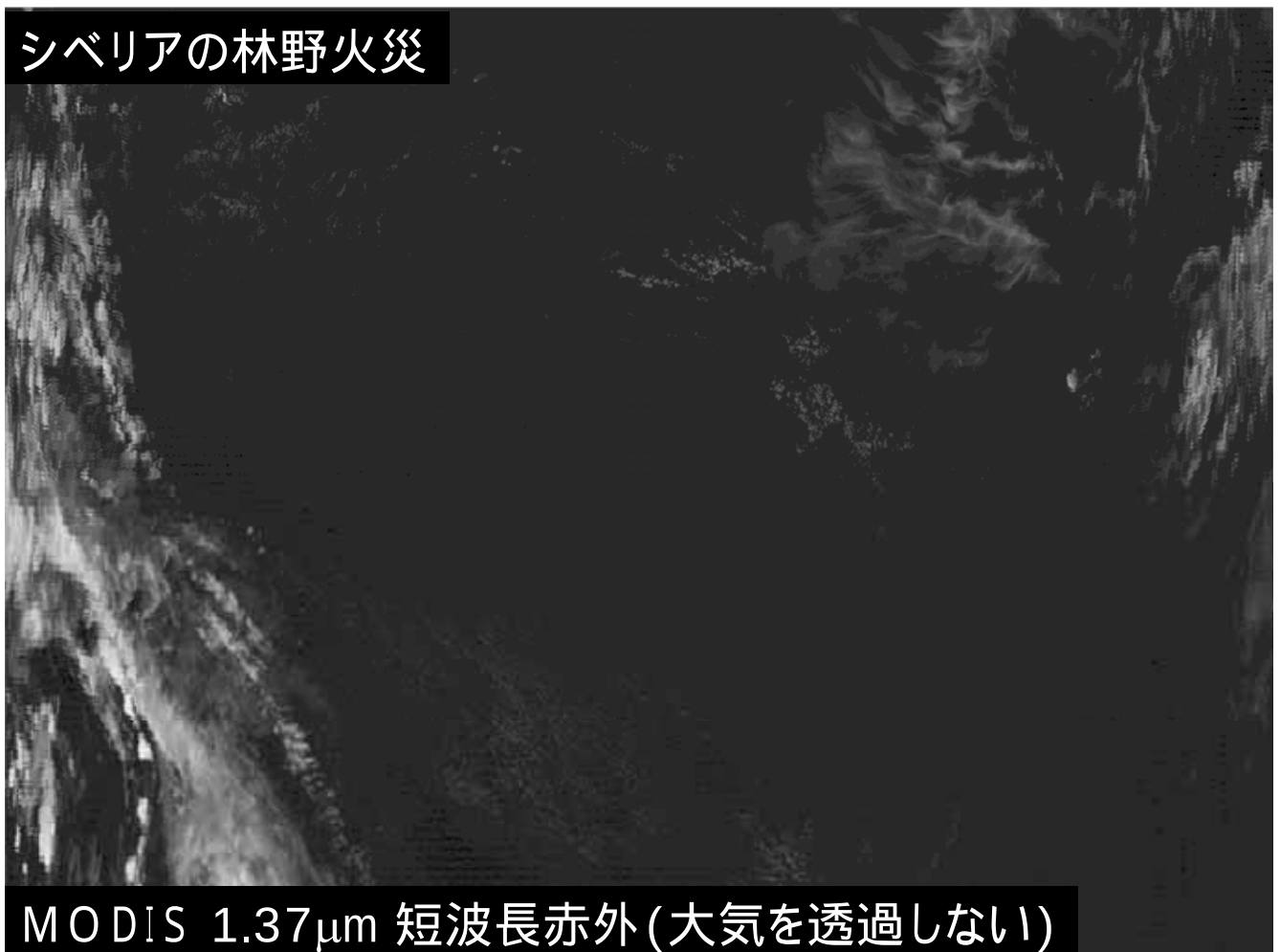


シベリアの林野火災



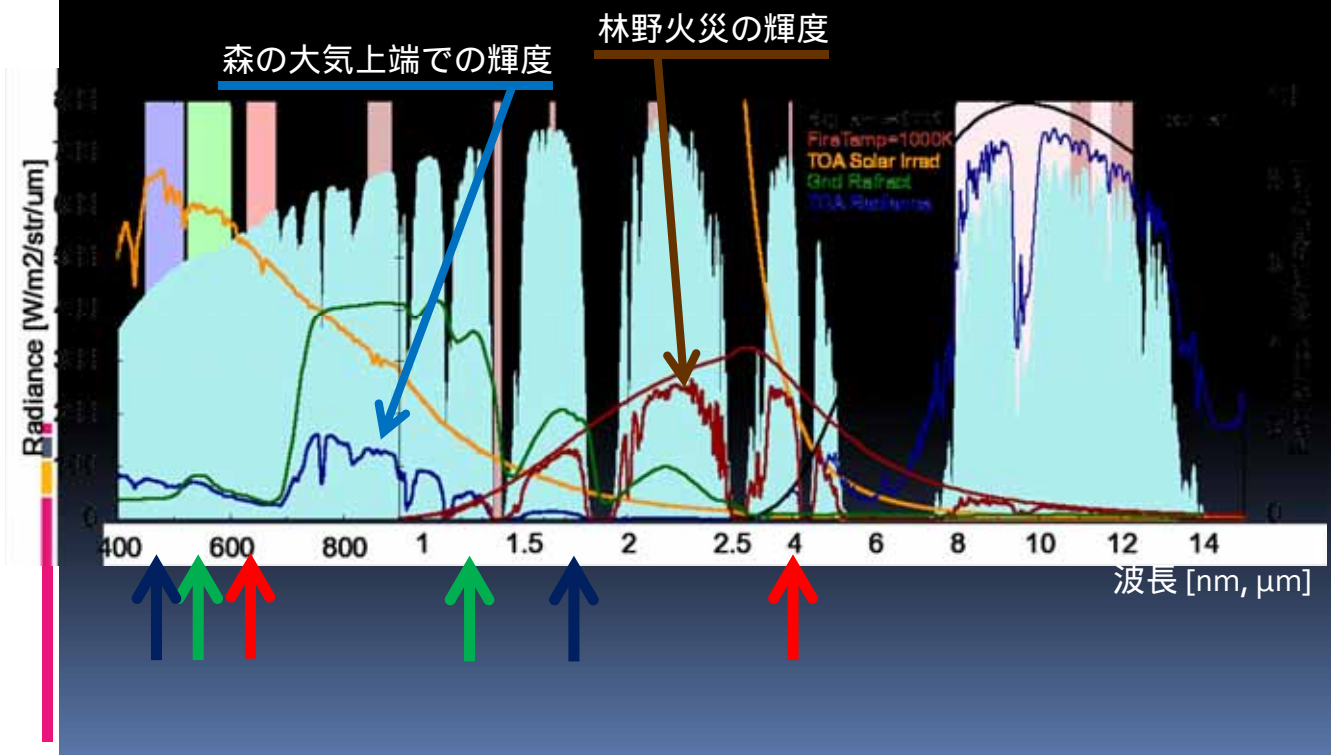
MODIS 可視画像

シベリアの林野火災

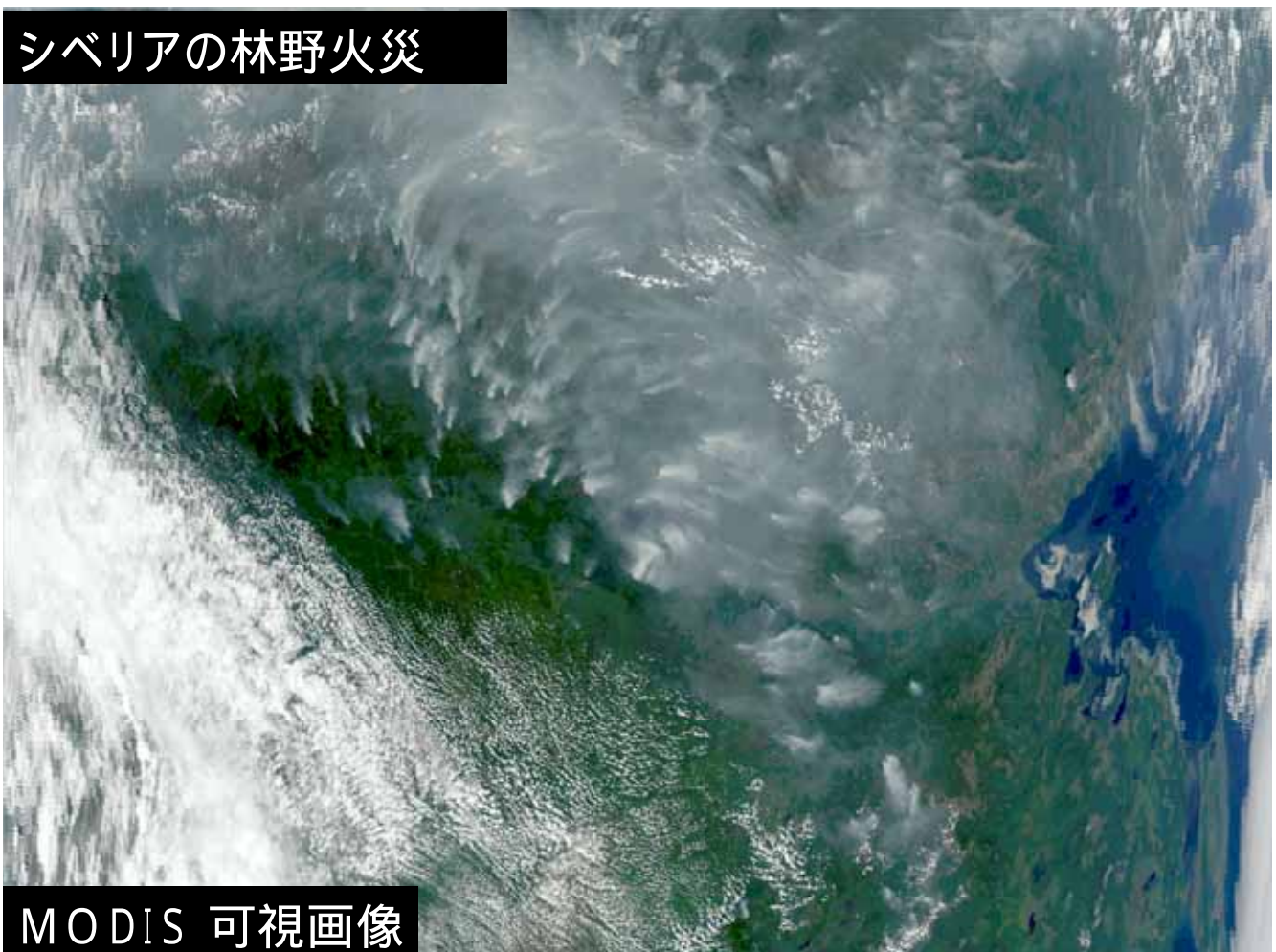


MODIS 1.37 μ m 短波長赤外(大気を透過しない)

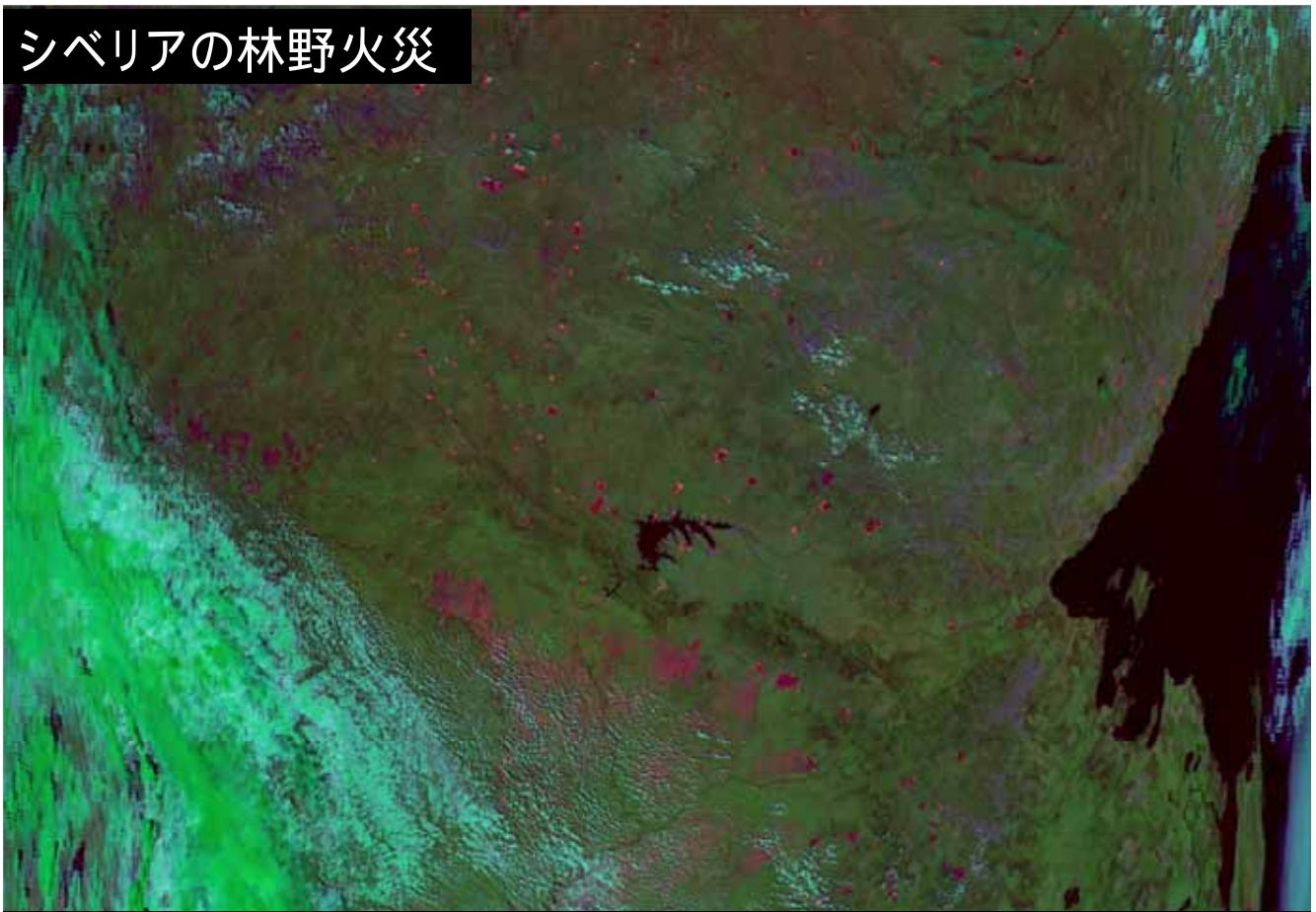
衛星から見た針葉樹林のスペクトル



シベリアの林野火災

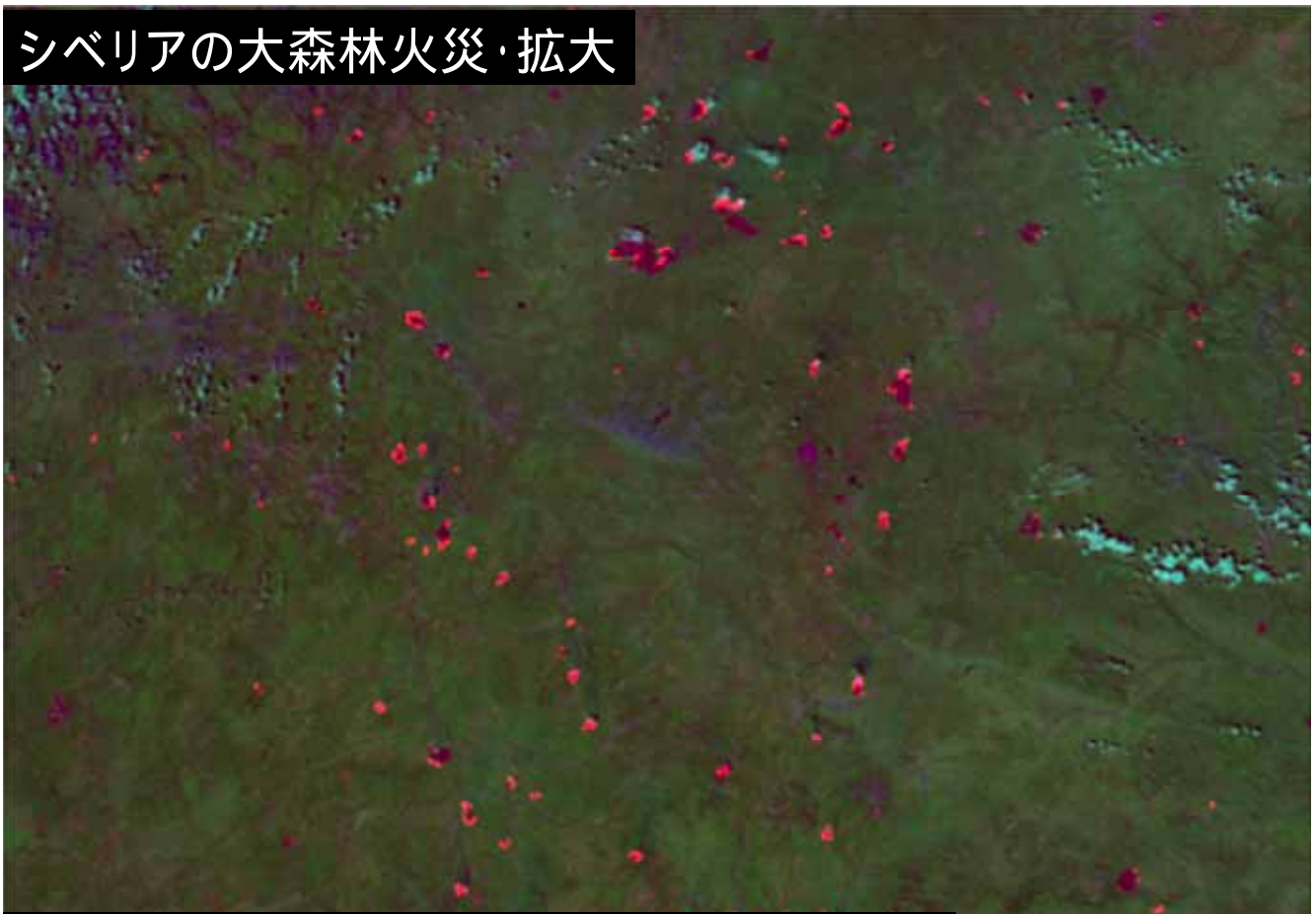


シベリアの林野火災



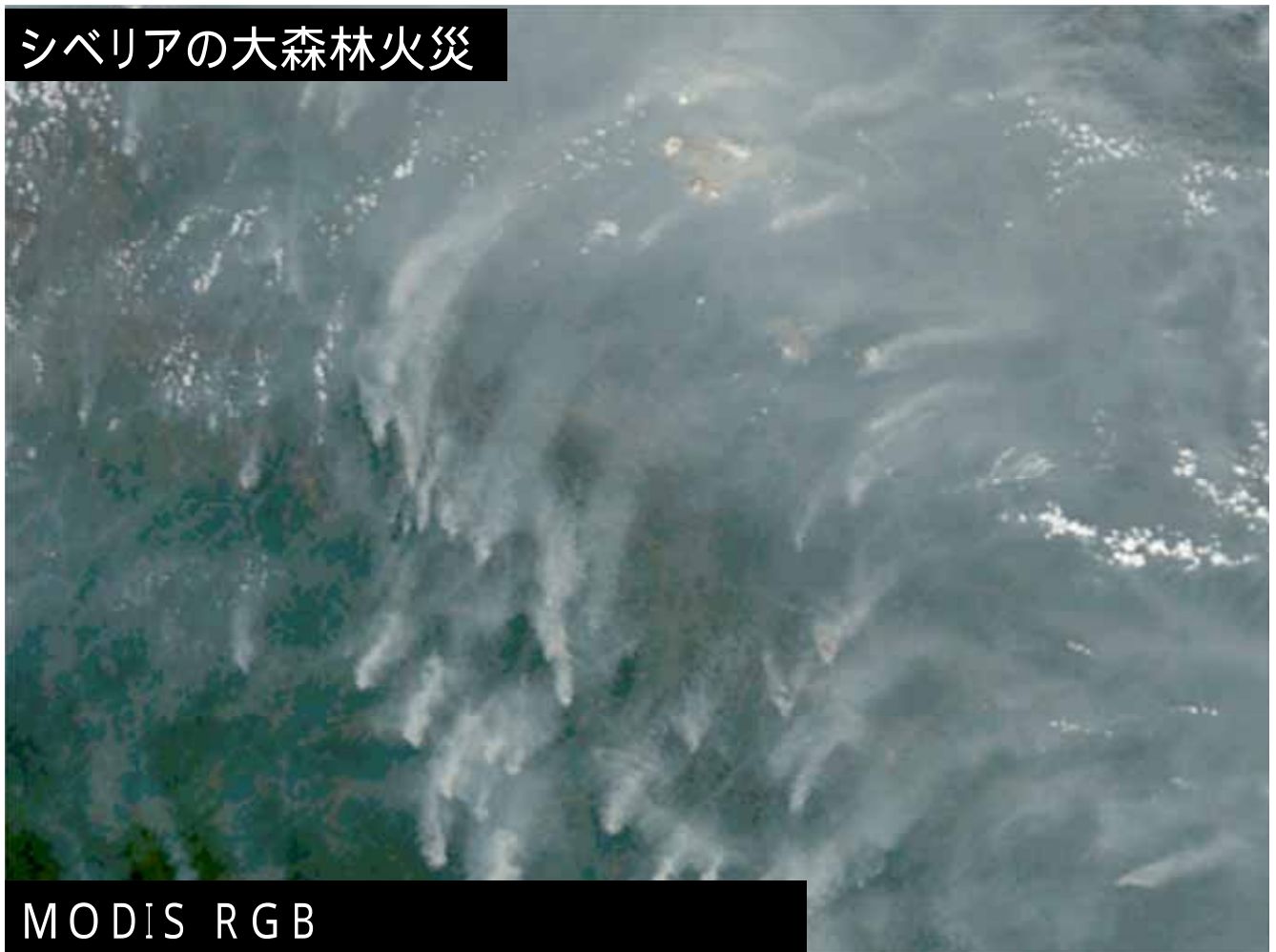
MODIS 4 μ m / 1.2 μ m / 2.2 μ m 短・中波長赤外線 (煙を透過)

シベリアの大森林火災・拡大



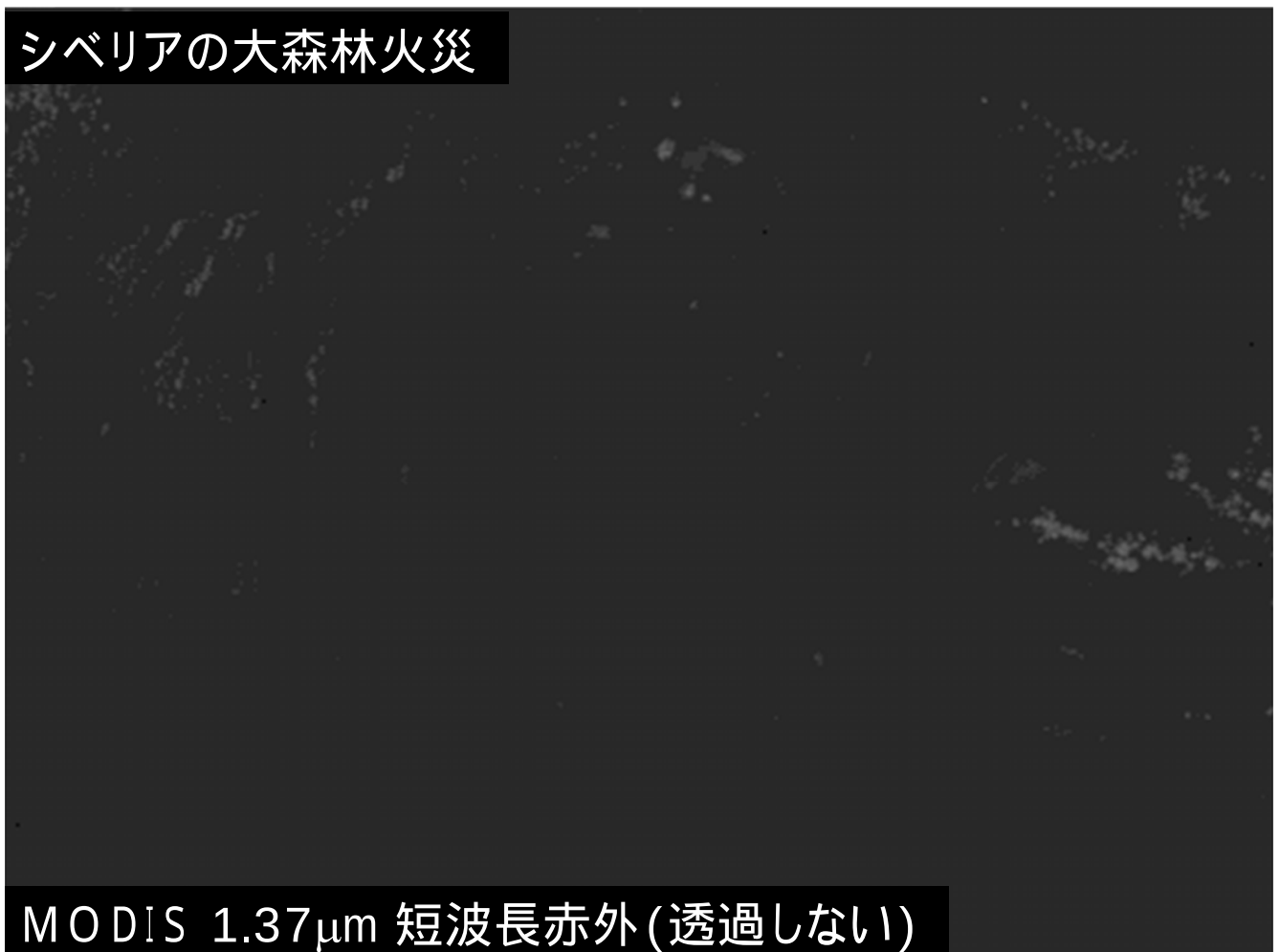
MODIS 4 μ m / 1.2 μ m / 2.2 μ m 短波長赤外

シベリアの大森林火災



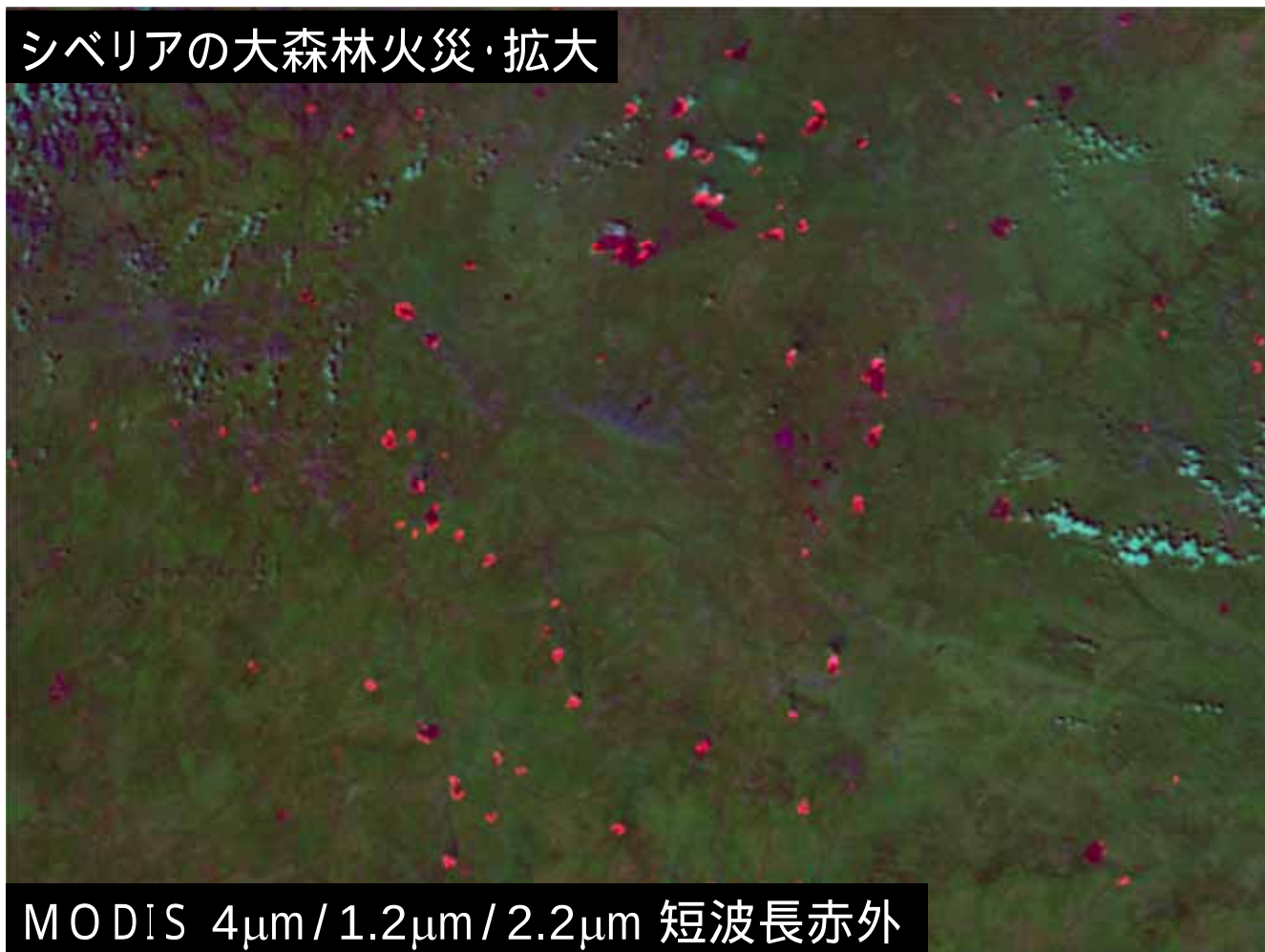
MODIS RGB

シベリアの大森林火災



MODIS 1.37 μ m 短波長赤外(透過しない)

シベリアの大森林火災・拡大



MODIS 4 μ m / 1.2 μ m / 2.2 μ m 短波長赤外

衛星からの地球観測まとめ

- 環境観測衛星からは詳細が見えないが、
- 様々な色・光で毎日昼夜観測ができる

しかし

- 詳細が見えず、絵を見るだけでは不確実

そこで

- データの計算手順を研究、物理量を推定

ポイント：
海外は人口密度が低く、
衆人監視による消防は難しい

衛星を用いた山火事対策

ポイント：シベリアやアラスカなど、
タイガの山火事は大規模

海外の山火事

山火事の様子（地上 1）



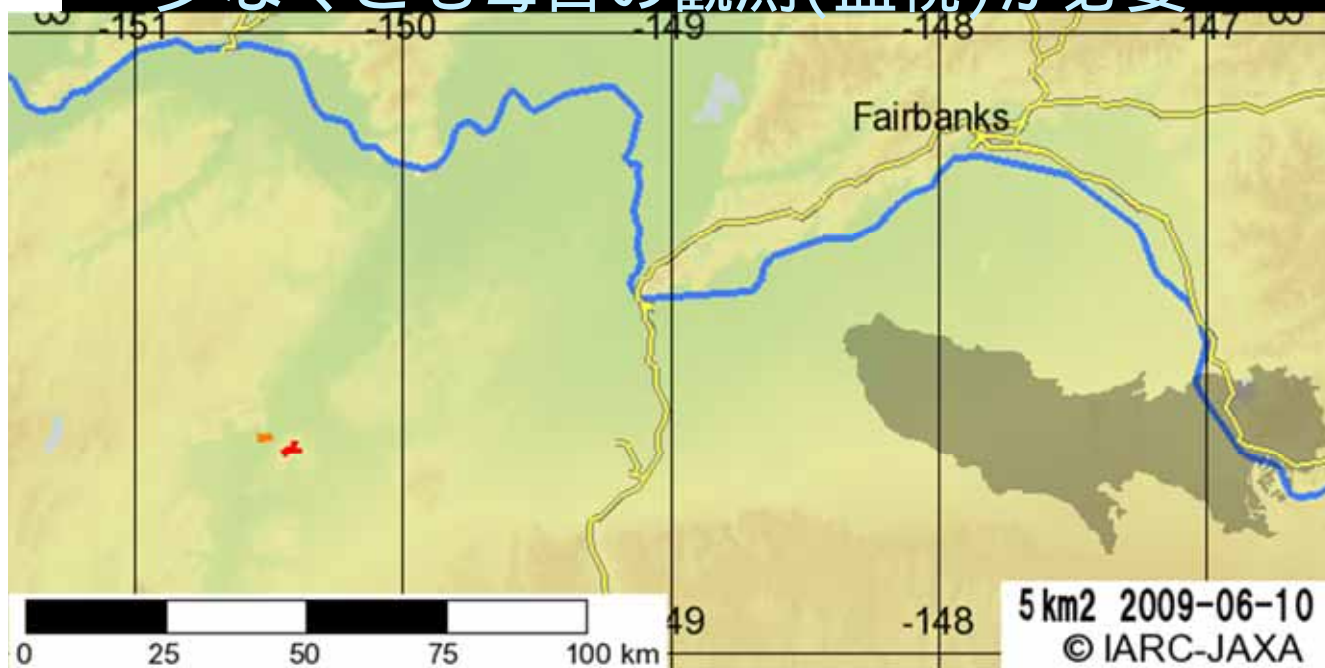
山火事の様子（地上）



火災の煙とそれにより発生した火砕性積乱雲



森林火災は刻一刻、大規模に広がり、
少なくとも毎日の観測(監視)が必要



Railbelt Complex Fire: 2,550km² (1.2Tokyo)

Koji Nakau 10 July 2013

アラスカでの消防活動



アラスカでの消防活動





Avialesookholana:
過酷な環境下での
消防活動

大災の消防

写真：National
Geographics 2002年8月号

水や消火剤が無く、
手足を使って消火する。



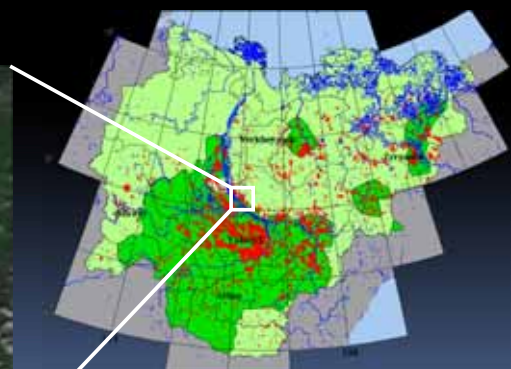
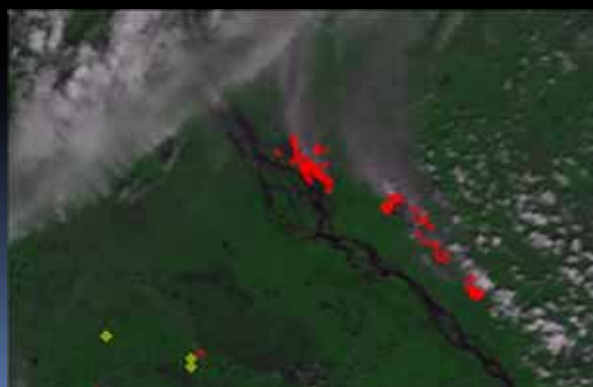
水や消火剤が無く、 手足を使って消火する。



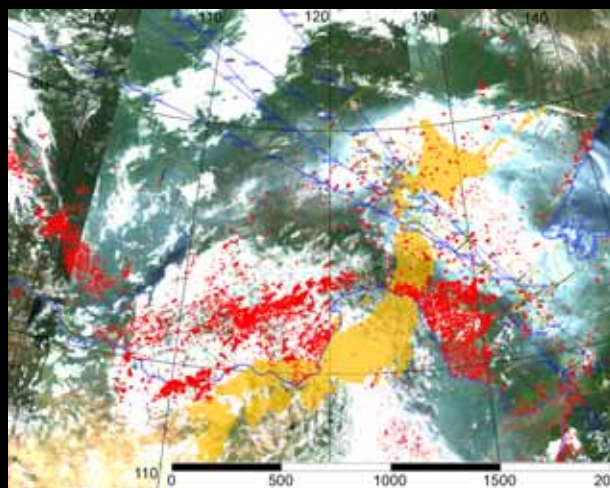
- 手足を用いて消火する 大規模火災は消火不可能
 - 樹冠火は、危険なため消火活動を諦める。
 - 逆火(backfire)を用いて消火するため、消火活動は常に危険
- ↓
- 現環境下では、早期発見・早期対策が重要

消火に利用できる資源が足りない

- ロシア航空森林消防隊：
 - サハ共和国だけで日本の8倍の面積
 - 航空機による監視：7日に1回（サハ共和国）
 - 消防管轄区域は共和国のおよそ半分（サハ共和国）
- 衛星による検知が有用



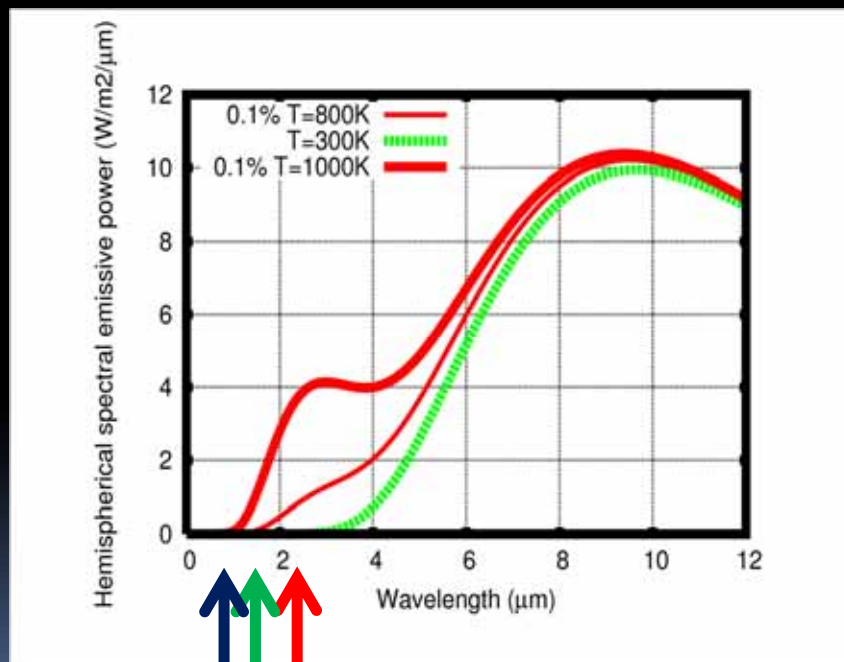
森林火災の様子:まとめ



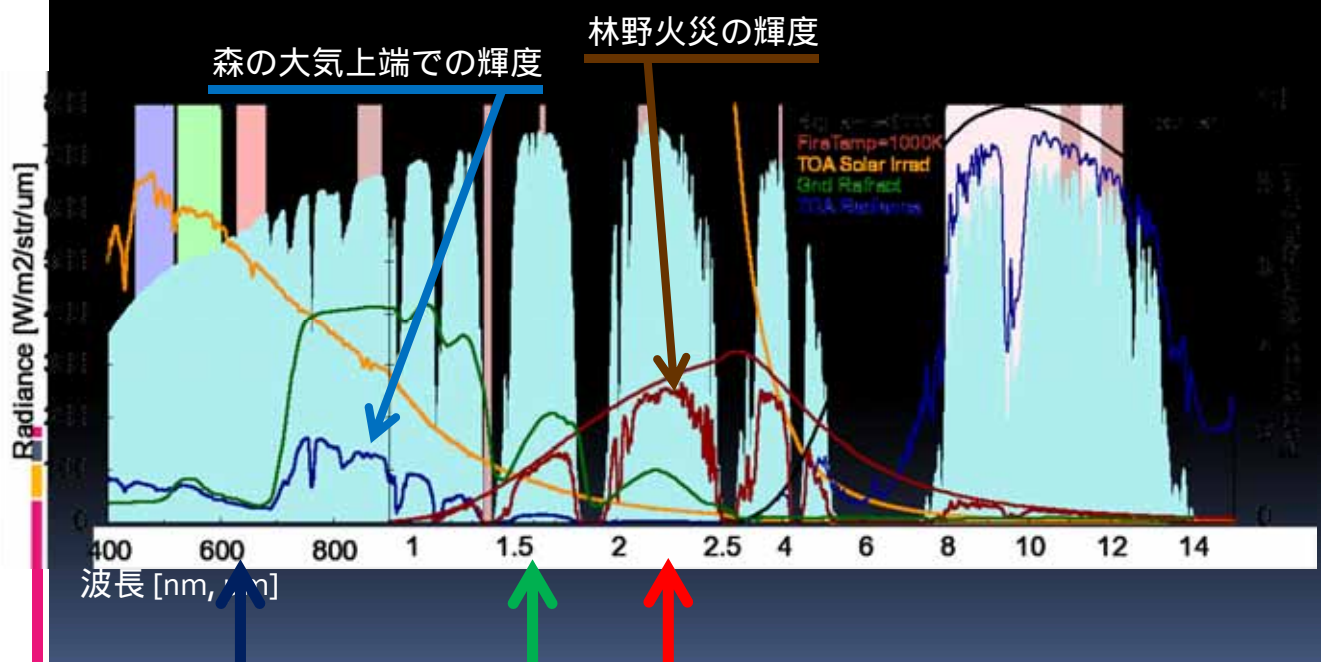
- 日本の山火事より桁違いに**大きい**
- 上空からも**煙がはっきり見える**
- **人為**起源の火災が**6割**（シベリア）
- **消火活動が困難**（道・水・人手が無い／足りない）

衛星を用いた山火事対策

火災検知の原理



衛星から見た針葉樹林のスペクトル



火災検知 原理としては単純だが、、、



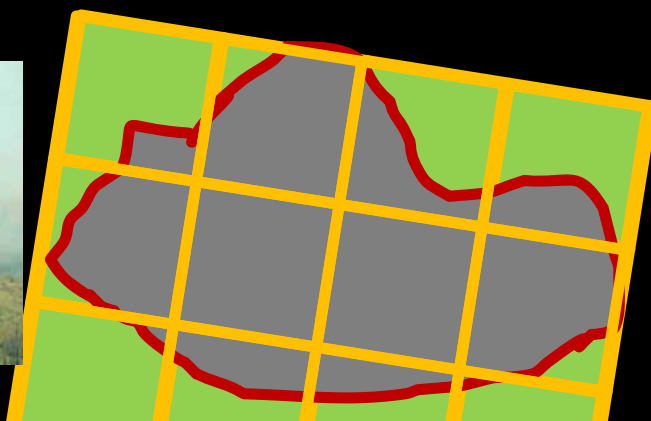
Simulation 250m resolution



Simulation of 1km resolution

- 写真のような高解像度なら火災検知は容易
- 毎日観測の1km中解像度では、火災検知が難しい

衛星から見た火災を見ると

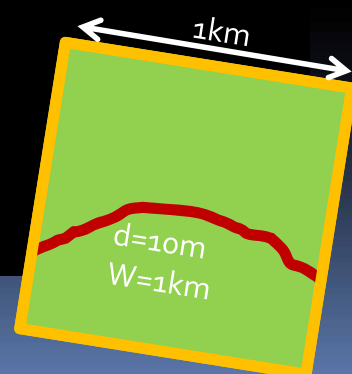


- 火災を衛星で観測すると、火災と背景のミクセルになる

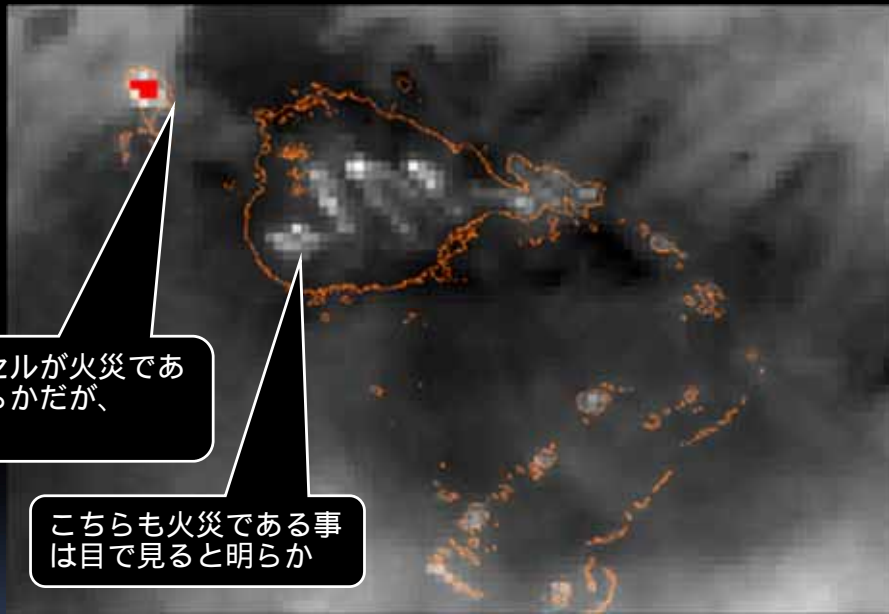
- 火災の奥行は数メートル～数十メートル
- 赤外観測衛星の解像度は100m～1km

- 火災ピクセルでの大気上端のスペクトル

- 幅1km、奥行10m、温度1000K, 800K
- 熱赤外線で5K、4μm帯で10K程度の温度上昇



原理は単純だが、、、



ツンドラ火災 “Anaktuvuk River fire”

270m分解能11 μ m熱赤外画像(Terra/ASTER熱赤外90m画像より生成)

林野火災検出の流れ

実際の森林火災検知は6つの段階を踏む
森林火災検知手順本体だけでなく、全体の改良が必須



改良版火災検出結果



MOD14



新アルゴリズム

ASTER疑似カラー R:2.24 μ m G:1.65 μ m B:0.66 μ m 黄: MOD14 赤: 新アルゴリズム

- 付随的要素の追加・改良にて閾値の設定を緩和した結果、微弱・低温な火災を検知可能となった
- まだ見落としは残るものの、大幅な感度向上を達成

改良版火災検出手法で火災大幅増



ASTER疑似カラー R:2.24 μ m G:1.65 μ m B:0.66 μ m 黄: MOD14 赤: 新アルゴリズム

- 雲マスクの改良により、燻焼などの煙の濃い火災についても、大幅な火災検知の精度向上が達成できた。
- 検知本体と付随部分の改良で大幅な性能向上

改良版火災検出手法結果の特徴

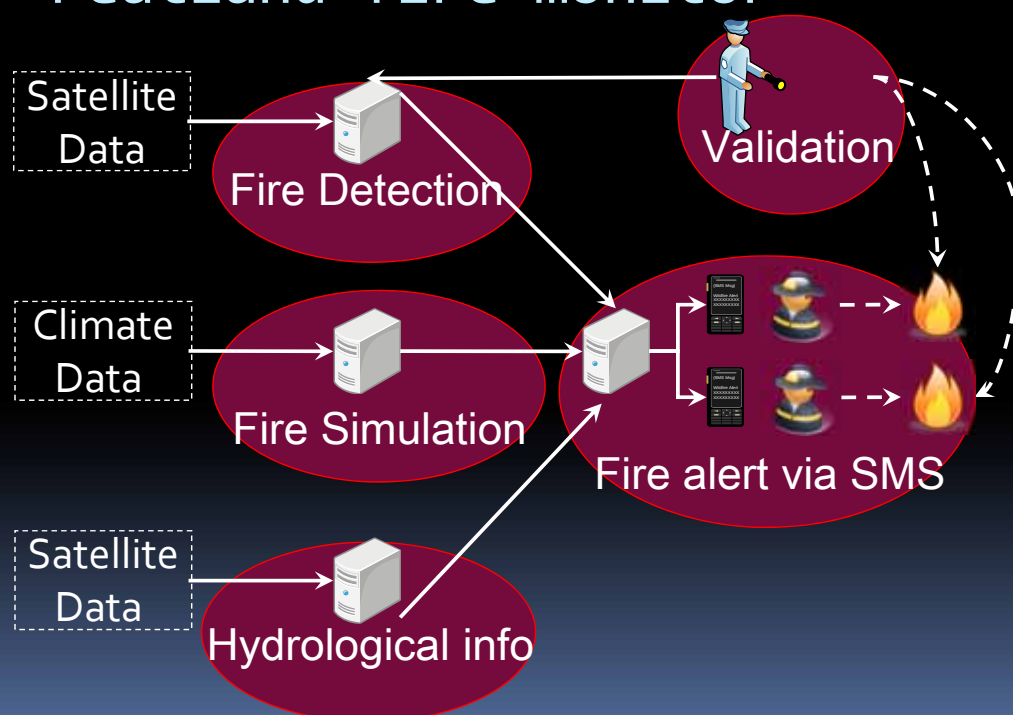
- 森林火災検知能力(MOD14v4比)
 - 感度 80 % 増 & False Alarm 10 % 減
 - 小規模火災や燻焼の検知が可能
- 検知結果の特徴
 - 地理的分布がMOD14と大きく異なる
- 鎮火や着火直後の火災検出に最適
- 1kmの誤差があり、消しに行くのが大変
- 場所が分かっても伝える方法は？

火災情報を社会に役立てる

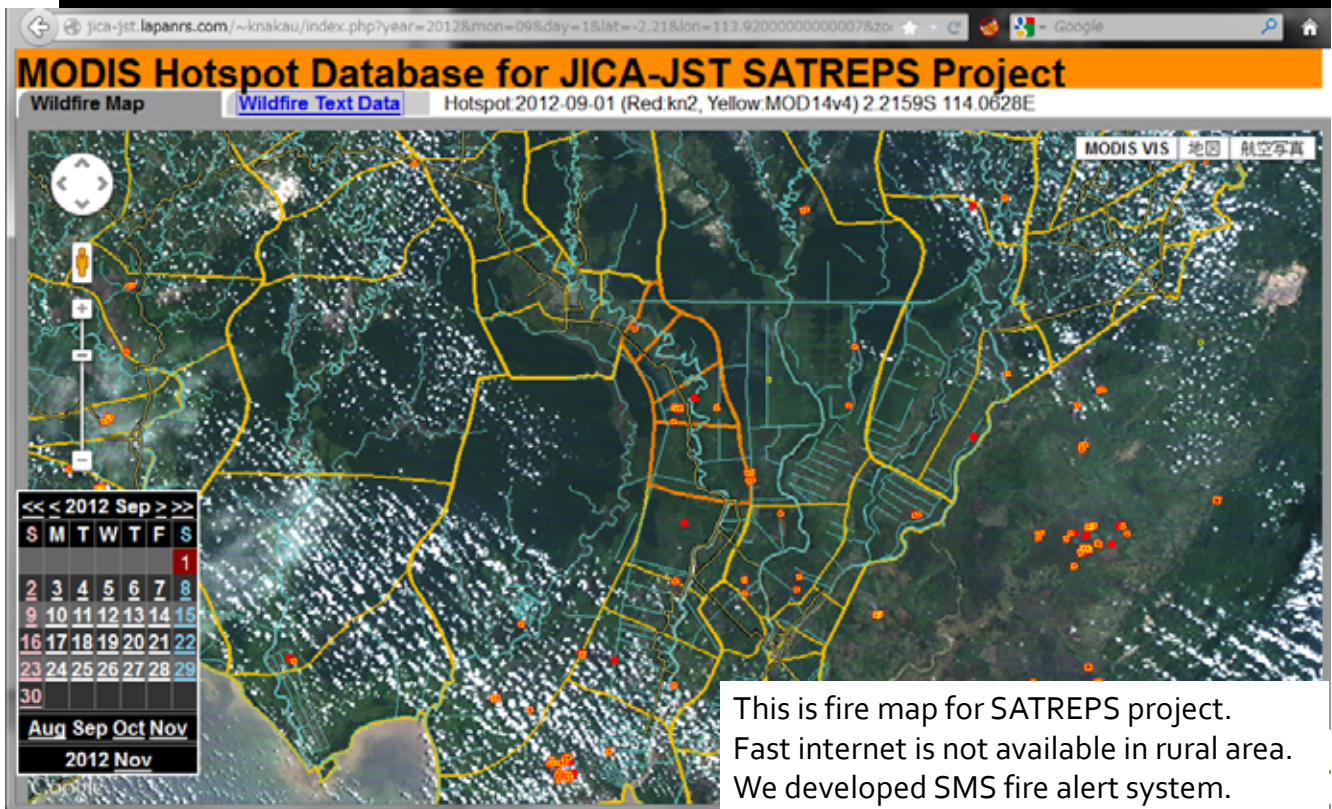
途上国の衛星利用

- 途上国では隅々までテレビ、インターネットが普及している訳ではない
- たとえ火災マップを作ったとしても、住民へ届ける手段がない
- たとえ現地に火災の位置を知らせても、火を消す人がいない

SATREPS (Indonesia): Peatland fire monitor



Fire map for SATREPS Project



Fire alert via SMS with fire monitoring aid data

Relative location from villages

Djabiren Fire information						
Fire location		Linear Distance		Road access	GWT	
Lat	Long	Dist	Direction			
2012-08-01 (No Hotspot detected (No fire, weak fire or no satellite data))						
2012-08-02 (2 hotspots detected, 0 are accessible from the highway)						
2.663S	114.299E	19,295m	141 SE			-44cm
	4.298E	19,507m	142 SE			-44cm

Wildfire Map (Satellite data)

Map literacy is a hidden key how to send an alert from the fire monitoring system
If fire fighters can not read maps → we need to send relative location data via SMS.

Fire at 5km from Pilang toward PKY. Fire spreads to Pilang. Dry, fast

SMS Alert

森林火災監視に用いる衛星

これまで

中分解能/高頻度観測

高分解能/低頻度観測



MODIS

毎日3~4回観測
1km分解能

観測頻度を保ち
解像度を高めた
衛星が存在しない



ASTER・LANDSAT

2週間~数ヶ月に1回観測
30m/90m分解能

- 森林火災は **刻々と延焼** → **毎日観測が必須**
- 消防は **人の手で行う** → **高分解能観測も必須**

日本の衛星を統合して火災監視



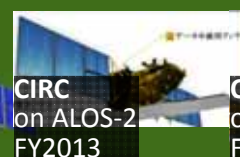
**UNIFORM-1
UNIFORM-2,3**
FY2013

Swath: **100km**
Resol: **200m**



SGLI
on GCOM-C1
FY2015

Swath: **1150km**
Resol: **250m**



CIRC
on ALOS-2
FY2013

Swath: **130km**
Resol: **200m**



CIRC/CALET
on JEM/ISS
FY2014

Width: **80km**
Resol: **115m**



ASTER
on Terra
operation

Swath: **60km**
Resol: **90m**



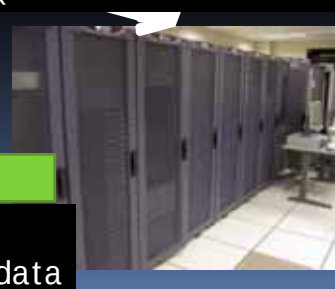
OLI
on LANDSAT-8
FY2012

Swath: **185km**
Resol: **30m**

Constellation enable almost
every day observation
with middle-high res IR.
(total swath >2000km)



Fire alert via SMS
with fighting aid data



森林火災監視に用いる衛星

これまで

中分解能/高頻度観測



MODIS

毎日3～4回観測
1km分解能

高分解能/低頻度観測



新しい衛星群

200m分解能で
毎日観測



ASTER・LANDSAT

2週間～数ヶ月に1回観測
30m/90m分解能

- 森林火災は **日々刻々と延焼** → **毎日観測が必須**
- 消防は **人の手で行う** → **高分解能観測も必須**
- 数年間に200m前後の分解能の熱赤外観測センサが続々と打ちあがり、森林火災観測に利用できる

まとめ：火災情報を社会に

- 森林火災検知システムから社会へ還元中
- 先進国では利用可能だが、
インターネット・資金の不十分な途上国では簡単ではない。

まとめ

■ 人工衛星

- 衛星からは、様々な色で地球を見ている。
- たとえキメが粗くとも、火災、大気、植物など、様々な様子が分かる

■ 世界の山火事

- 世界の山火事はとても大きく、人の排出量に匹敵するCO₂を排出する。
- 人工衛星を用いて、山火事対策を実現中