

# 複数の低解像度環境観測衛星画像による ミクセル分解手法の検討

佐々木 崇徳<sup>†</sup>・藤田 成隆<sup>††</sup>

## Consideration of a Method of Mixed-pixel Decomposition using Two or More Environmental Observing Satellite with Low Resolution

Takanori SASAKI<sup>†</sup> and Shigetaka FUJITA<sup>††</sup>

### ABSTRACT

The most important thing when we face to a large scale disaster is rapid grasping of damage situation. Authors are investigating about applying of satellite remote sensing technology which is not influenced by ground situation for a grasping of damage situation. In this bulletin, we explain about trial of using equipped sensors on two or more satellites as pseudo multi spectral sensor from them. In former study, only MODIS(moderate resolution imaging spectroradiometer) is used for analysis of damage situation. Therefore, we tried to combine two satellites (ex. NOAA + Landsat or NOAA + MTSAT-2) and applied mixed-pixel decomposition. As a result, area ratio of land coverages which were calculated from pseudo multi spectral sensor had 4% difference than that of MODIS. Hence, a tendency of increase/decrease of area ratio was almost the same.

**Keywords:** *satellite remote sensing, mixed-pixel decomposition, environment observing satellite, grasping of damage situation, large scale disaster*

キーワード: 衛星リモートセンシング, ミクセル分解, 環境観測衛星, 被害状況把握, 大規模災害

### 1.はじめに

大規模災害の発生に際して、救助や復旧の初動のための状況把握の重要性はこれまでも認識されていたが、東北地方太平洋沖地震によってその意義を再認識させられた。さらに被害範囲の大きな災害の場合、状況把握自体が困難なケースもあることが浮き彫りになった。こうした状況委把握への解決策として、

我々は地表の状況にかかわらず観測が可能な衛星リモートセンシング技術を用いた災害被害状況解析法の開発に取り組んでいる<sup>1,2)</sup>。主として災害前後の地表被覆物などの変化を捉えることや、津波などのケースでは海岸付近の植生の減少や地表温度変化の傾向と海洋のクロロフィル a 濃度との相関について検討することで、瓦礫等の海中への引き込みの状況についてもアプローチできる可能性を示した

---

平成 27 年 2 月 3 日受付

<sup>†</sup>工学部電気電子システム学科・講師

<sup>††</sup>学長

2)。こうした解析には観測波長帯が広く、波長分解能の高い環境観測衛星が威力を発揮するが、すべての環境観測衛星が汎用的に利用可能なマルチスペクトルセンサを搭載しているわけでもない。また環境観測衛星は高解像度衛星と比較して観測頻度は高いが、この頻度自体を更に高めることは迅速な状況把握にとって有用であることは想像に難くない。

そこで本稿では、複数の衛星に搭載されたそれぞれのセンサー併用し、一つの疑似マルチスペクトルセンサとして扱った場合について、従来より用いている環境観測衛星の解析結果との比較検討を行った結果について報告する。

## 2. 衛星リモートセンシング

衛星リモートセンシングの大規模災害の被害状況分析における優位性は既報の通りであるが<sup>9)</sup>、ここでは本研究のモチベーションに大きく関係する空間解像度、波長分解能、観測周期に関して説明する。

### 2.1 空間解像度

一般に光学センサーを用いた人工衛星は高解像度衛星と低解像度の環境観測衛星に大別できる<sup>4,5)</sup>。高解像度衛星は主として可視光領域の観測を行っており、地図作製や土地利用の精査などに用いられる。そのため観測波長帯を可視光領域とその近傍に限り、高解像度カメラ等を搭載することで非常に高い空間解像度を実現している。本稿執筆時最も高い空間解像度を持つ商用高解像度衛星は米国 DigitalGlobe 社が運用している WorldView-3 で、Panchromatic 直下地上分解能 31 cm である。解像度の異なる衛星画像の比較を図 1 に示す。

一方環境観測衛星の多くは、赤外光を中心とした多数の波長スペクトルの演算等によって種々の環境情報を得るものが多く、空間解像度は低いものが多い。一般に赤外光は光線収束度が低く、衛星軌道に到達するまでに相互

干渉を重ねて混合スペクトルとなるため、たとえ観測センサーが 1 km より精細な空間解像度を持っていても、実質 1 km より小さな地物を判別することは困難である。そのため環境観測衛星については空間解像度よりも観測波長幅や波長分解能を優先しているものが多い。



図 1 同一観測点の高解像度衛星 (ALOS) と低解像度衛星 (Aqua) の画像比較

### 2.2 波長分解能

光学人工衛星は一部を除いて複数のスペクトルバンドを持つ撮像機を有している。観測波長帯は用途により異なるが、より多くの環境情報を得るためには観測波長を何バンドに分けて観測できるかという波長分解能も重要である。

一般に観測衛星は地表からの放射と太陽光などの反射を観測しているが、その際に地物による反射率や放射率、大気成分による吸収率や逆に大気線分からの放射等が複雑に関係したものが衛星の撮像機に届く。それぞれの物質の反射、吸収等は、対象の物質ごとの赤外吸収や反射に基づくため、本来非常に狭い波長幅にしかその影響は分布していない。実際には複数の物質の影響が合成された形で撮影されるため、これらを詳細に分析するためには狭い波長帯域ごとの強度を正確に測定できることが望ましい。これに対し、観測スペクトル幅が広いバンドはその波長帯の観測強度がすべて重ね合わされた強度として検出されるため、バンド内の詳細な吸収、反射、散乱等の影響は分離することが困難である。

こうした理由から、波長分解能が高いセン

サーを有する人工衛星ほど、より詳細な環境情報を得ることに適しているといえる。

### 2.3 観測周期

準リアルタイムの状況把握には、可能な限り頻りに地上を撮影し続けている衛星の情報が必須である。一般に観測周期は高解像度衛星の方が低く、低解像度衛星の方が高い。これは高解像度衛星の軌道が低く観測幅が狭いため、通常時地球全球を撮影していると考えると同じ地点を撮影するために同じ軌道に戻る時間が多くかかるためであり、比較的高度も高く観測幅も広い低解像度環境観測衛星のほうが非常に高頻度の撮影が可能である。例として WorldView-3(高解像度衛星)と Terra(環境観測衛星)の高度と観測幅、撮影頻度の比較を表1に示す。

表1 WorldView-3とTerraの比較

衛星名	WorldView-3	Terra
種別	高解像度衛星	環境観測衛星
軌道	太陽同期準極軌道	太陽同期準回帰軌道
高度	681 km	737 km
観測幅	15.2 km	2330 km
直下地上分解能	31 cm	1 km
再訪頻度	1回/2日	2~3回/1日

以上のようにそれぞれの衛星により性能が異なる。代表的な光学系衛星の性能を図2に示す。本研究においては観測頻度および環境情報の多さを優先するため、低解像度環境観測衛星を主として用いた。

### 3. ミクセル分解

一般に市街地等の地表面被覆は数十 m や数百 m オーダーで詳細に異なっており、環境観測衛星による測定可能空間解像度における通常の解析方法では、その詳細な変化を把握することは出来ない。低解像度環境観測衛星で観測された画素情報は、図3のようにその範囲内に存在する地表面被覆成分の反射スペクトル  $m_i$  ( $i$  は各エンドメンバーのインデックス) がそれぞれの面積比  $a_i$  に対応した強度で合成されたスペクトル  $p$  として観測されていると考えられる。

$$p = \sum_i a_i m_i(\lambda) \quad (1)$$

こうした状態で観測される画素をミクセル (mixed-pixel) と呼ぶ<sup>6-8)</sup>。

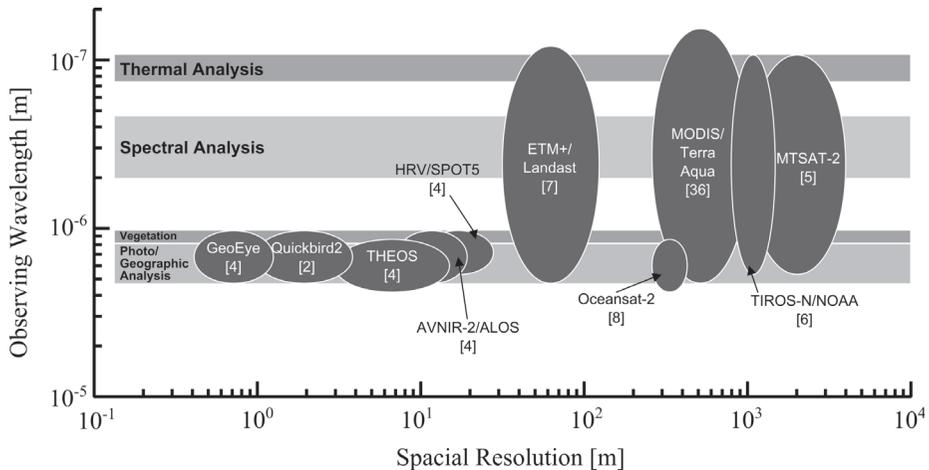


図2 代表的な光学衛星の機能 ([ ] 内はバンド数)

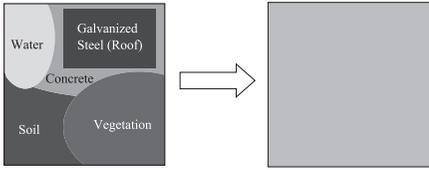


図3 ミクセルの概要

観測スペクトルと地表面被覆のエンドメンバーが既知であれば、その占有確率  $a_i$  を逆算することが出来る。従って観測スペクトルからエンドメンバーとなる物質のスペクトル合成比率を計算できれば、地表面被覆で増減した成分を把握できると考えられる。この操作をミクセル分解と呼び、環境観測衛星を用いた土地利用解析等に広く利用されている。ミクセル分解の解法としては、二次計画法によるカテゴリ分類などが代表的であり、本研究においても同手法を用いている<sup>10)</sup>。すなわち、

$$y = \frac{1}{2} a^t D a + C^t a \quad (2)$$

$$D = [D_{imj}] = [2(m_i, m_j)] \quad (3)$$

$$C^t = -2[(p, m_1), \dots, (p, \dots, m_k)] \quad (4)$$

とし、制約条件を

$$\begin{aligned} a_i &\geq 0 \\ \sum_i a_i &\geq 1 \\ -\sum_i a_i &\geq -1 \end{aligned} \quad (5)$$

として計算を行った。

災害状況の把握を目的とした地表面被覆のエンドメンバーとして、本研究においては①アスファルト、②コンクリート、③鋼板屋根、④材木、⑤植生、⑥土壌、⑦水の7つを用いており、基準となるスペクトルは通常ピュアピクセル(当該画素が単一のエンドメンバーのみで構成されている際のスペクトル)を用いるが、本研究の対象が市街地であることと、環境観測衛星の空間解像度の低さからピュアピクセルが存在しないことが多い、そのため使用する分光反射率は、ASTERのスペクトルライブラリとしてオンラインで公開されてい

るデータを基に作成した。各エンドメンバーの分光反射率を図4に示す。

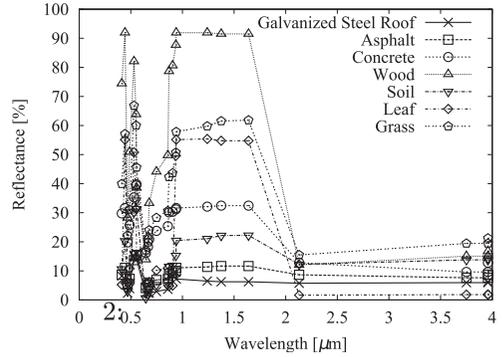


図4 地表被覆物エンドメンバーの分光反射率

本研究においては、地表面被覆の占有比率変化をミクセル分解によって求め、その変化の傾向と実際の被害の対応付けについて検討している。

#### 4. スペクトル変化と実際の被害状況



図5 岩手県大船渡市の震災前(2010年2月23日)の(Aqua)Worldview-2画像

地表のスペクトル変化は、地表面被覆の変化を表しており、大規模災害により引き起こ

された変化と対応していると考えられる。例として図5、6に示す岩手県大船渡市の被害状況についてミクセル分解による解析を行った結果と比較すると、図7のように、家屋の倒壊や道路の覆土などが見られ、これに伴うスペクトル変化としてアスファルト・コンクリートの減少、屋根鋼板の減少、木材の増加などが対応している。



図6 岩手県大船渡市の震災後(2011年3月20日)の(Aqua)Worldview-2画像

本研究では、こうしたスペクトル変化の傾向を元に、被害の状況を自動的に分類する手法等として、多層パーセプトロンによる教師付分類の適用を検討している。

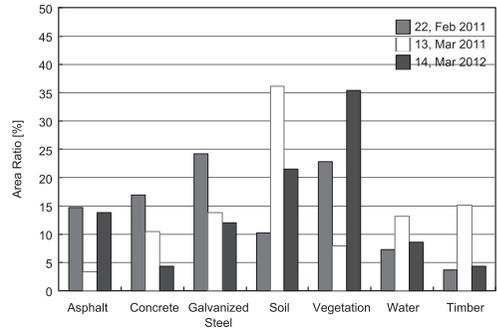


図7 岩手県大船渡市の被災前後および一年後の解析結果

## 5. 複数衛星の合成スペクトル

被害状況の迅速な把握のために、できる限り高頻度な観測を常時行える体制が望ましい。さらに地表面被覆の変化について計算機の自動解析を行うためには観測頻度が高く赤外バンドを多数観測出来る低解像度環境観測衛星が有用である。

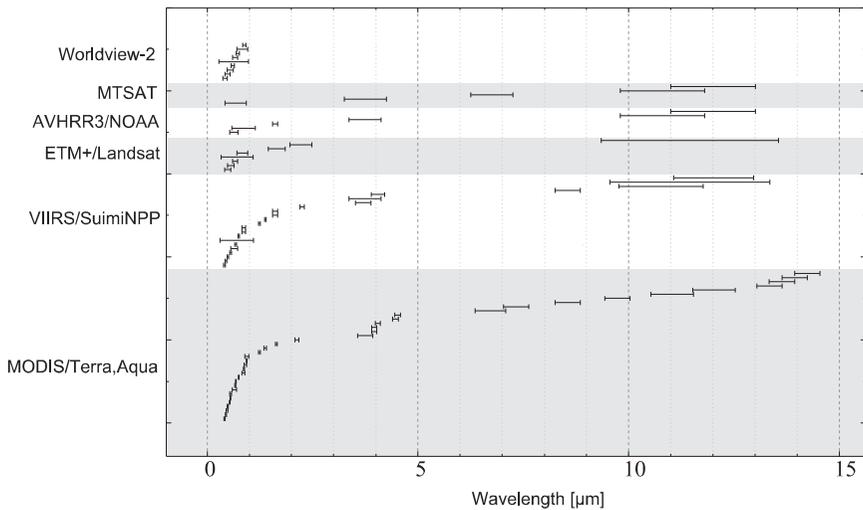


図8 各種環境観測衛星のバンド構成

これまでの研究では、これらの要求を満たせる衛星・センサーとして、観測波長帯の広さと36バンドの高い波長分解能を持つMODIS(中分解能撮像分光放射計)/Terra、Aquaを主に利用していた。しかしながら、人工衛星の寿命や種々の事情で観測出来ない期間があり、代替の衛星が望まれる状況である。これらの衛星の後継機種も打ち上げられているが、他の環境観測衛星も用いることが出来ればより一層高頻度な観測を行うことが出来ると考えられる。そのためにはMODISに匹敵する観測波長帯と波長分解能を持つ必要があるが、一般に環境観測衛星は用途を絞って製造、打ち上げがなされているケースが多く、MODISのような汎用性の高いセンサーを搭載しているケースは少ない。その代わりそれぞれの衛星のミッションが異なるため、観測波長の中心波長がそれぞれ微妙に異なる衛星が多数運用されている。

地表面被覆は厳密には頻繁に変化しており、低解像度環境観測衛星でその個別の変化を捉えるのは困難だが、大規模災害等による被害の規模を考慮すると、ある程度大きな範囲で地表面被覆が変化すると考えられ、その変化量は優位な大きさになると考えられるため、低解像度衛星による解析でも把握が可能であると考えられる。また、変化の速度についても大規模災害における急激な変化に対して、平常時の変化は非常にゆっくりと進行するため、数日のタイムラグがあっても、晴天時を選び、地表温度や大気成分などの諸補正を行えば、数日程度異なる衛星画像を用いても有意な変化は観測されないと考えられる。いくつ

かの環境観測衛星の観測バンドを図8に示す。

本研究では、MODISの他に本学で直接受信を行っているAVHRR3/NOAAの衛星画像を基準に、MODISのスペクトルと比較して不足分を補える可能性のあるLANDSATおよびひまわりの衛星画像を組み合わせた合成スペクトルについてミクセル分解を行った。

### 6. MODISによる観測結果との比較

複数衛星による解析とMODISによる解析について、大船渡市の被災地域に対するミクセル分解を行い、その結果を比較した。比較に用いた衛星画像の撮影日は表2に示すとおりである。

表2 比較に用いた衛星画像の撮影日

衛星の種類	震災前	震災後
MODIS/Terra, Aqua	2010年2月23日	2011年4月18日
AVHRR/NOAA + ETM+/Landsat	2010年2月23日	
AVHRR/NOAA + MTSAT-2		2011年4月18日

解析結果の比較を図9に示す。なお、それぞれの解析結果の真値としてWorldView-2衛星画像を用いた。

MODIS単独の解析結果と複数衛星の組み合わせとでは、それぞれの地物の占有率には4%程度の誤差が認められる。しかしながら地物の占有率の増減については概ね一致しており、現在検討中の段階ではあるが、多層パーセプトロンによる分類においても、被害の内容の判定についてはほぼMODISの場合と一致している事が確認できた。

表3 各エンドメンバー別の占有率の変化(単位:%)

	asphalt	concrete	galvanized steel	soil	vegetation	water	timber
MODIS	14.5→3.0	16.5→10.5	24.5→14.0	10.5→36.0	22.5→8.0	7.5→13.0	4.0→15.5
NOAA+Landsat/MTSAT-2	12.0→5.0	17.0→5.0	24.0→10.0	12.0→30.0	18.0→10.0	10.0→20.0	7.0→20.0
Worldview-2	14.5→3.0	16.5→8.0	23.0→13.5	11.0→31.0	20.0→8.5	12.5→20.0	2.5→16.0

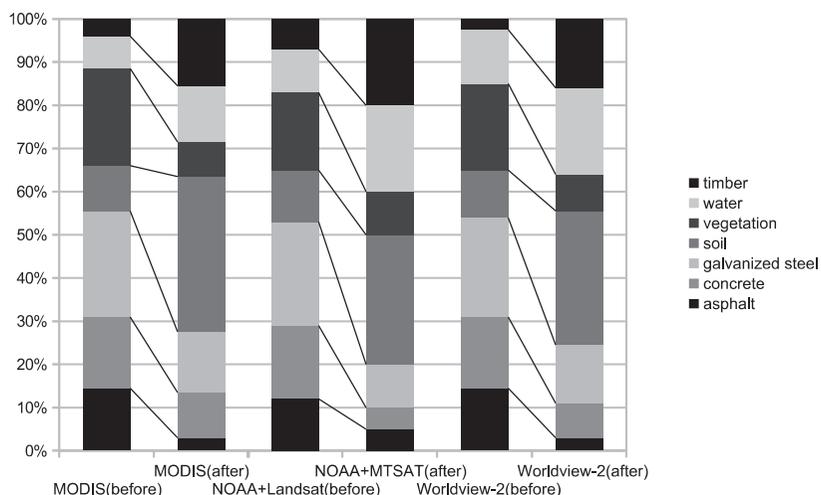


図 9 ミクセル分解結果の比較

## 7. 結言

本研究では大規模災害の迅速な状況把握を目的とした衛星リモート観測の活用において、観測頻度や利用可能衛星の範囲を拡張するため、複数の光学系環境観測衛星のセンサスペクトルを擬似的な単一マルチスペクトルセンサと見なして、被災地点のミクセル分解への活用を検討した。検討の結果、被覆占有率の数値としては数%の誤差は認められるものの、被害状況の判定を行う上での占有率増減傾向については概ねマルチスペクトルセンサと一致しており、当初の目的通り観測機会の拡大に寄与できる可能性が高いことを示した。今後は各種処理の自動化および高速化のための二次計画法のアルゴリズム改良や、さらなる判別精度向上のための学習アルゴリズムの見直しなどを行うとともに、地上観測機によるグラウンドトゥルス測定についても行う予定である。

## 謝辞

本研究は文部科学省の「大学等における地域復興のためのセンター的機能整備事業」の

支援を受けて実施した。末筆ながらここに謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 佐々木崇徳, 鳥山資生, 佐々木龍太, 藤田成隆, MODIS による東日本大震災の被害状況解析, 日本リモートセンシング学会 第 51 回学術講演論文集, pp. 243-244. (2011).
- 2) 佐々木崇徳, 藤田成隆, 衛星リモートセンシング技術による東日本大震災被害状況の解析, 平成 24 年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集, pp.1243-1246 (2012).
- 3) 佐々木崇徳, 藤田成隆, 衛星リモートセンシング技術による東日本大震災の被害状況解析, 八戸工業大学紀要, vol.32, pp. 97-107 (2013).
- 4) F. H. Goetz, G. Vane, J. E. Solomon, B. N. and Rock, Imaging spectrometry for Earth remote sensing, Science, vol.211, p.1147 (1985).
- 5) 長谷川均, 「リモートセンシングデータ解析の基礎」, 株式会社古今書院, p.212 (2001).
- 6) 稲村 實, カテゴリー分解に基づくリモートセンシング画像データの解析, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J70-C, No.2, pp.241-250, (1987).
- 7) 沖 一雄, 萩原正人, 稲村 實, 安岡善文, 低分解能画像からの土地被覆面積推定の高精度化手法に関する研究, 合同学術講演会 - 写真測量学会年次講演会発表論文集, リモートセンシング学会学術講演論文集, B3-4, pp.231-232, (1999).

- 8) 北本朝展, 高木幹雄, ミクセル密度を含む混合密度推定を用いたミクセルの面積占有率推定, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J81-D, No.6, pp.1160-1172, (1998).  
東日本大震災の被害状況解析, 八戸工業大学紀要, vol.32, pp. 97-107 (2013).
- 9) 佐々木崇徳, 藤田成隆, 衛星リモートセンシング技術による  
10) 今野浩, 山下浩: 非線形計画法, 日科技連, pp.51-108, (1990).

## 要 旨

大規模災害の発生に際して最も重要なのは、迅速な状況把握である。そこで筆者らは、地上の状況に左右されずに状況把握が可能な衛星リモートセンシング技術を、こうした災害発生時の被害状況把握に用いるため、様々な検討を行っている。本稿ではそのなかで、高頻度な観測が可能で常時状況監視と災害発生時の迅速且つ自動的な状況把握に有効な低解像度環境観測衛星について、複数の衛星搭載センサーを一つの疑似マルチスペクトルセンサーとして用いようという試みについて述べる。従来の解析はMODIS(中分解能撮像分光放射計)を搭載した人工衛星にのみ頼ってきた。そこで大規模災害の被害による地表物の変化量等との関係を考慮し、NOAA+MTSAT-2またはNOAA+Landsatのような組み合わせについてミクセル分解を行った結果、詳細については誤差が残るものの、地表被覆比率の増減傾向についてはMODISの結果と概ね一致した。

キーワード：衛星リモートセンシング，ミクセル分解，環境観測衛星，被害状況把握，大規模災害