# DMSP/OLS夜間可視画像を用いた早期被災地推定システム (EDES)の時系列画像法を用いた推定精度の向上

Time-Series Images Method for the Improvement of Estimation Accuracy of Early Damaged Area Estimation System (EDES) Using DMSP/OLS Nighttime Imagery

小檜山 雅之<sup>1,3</sup>, 林 春男<sup>1</sup>, 牧 紀男<sup>1</sup>, 東田 光裕<sup>1</sup>, ハーバート・W・クレール<sup>2</sup>, クリストファー・D・エルビッジ<sup>2</sup>, V・ルース・ホブソン<sup>2</sup>

Masayuki KOHIYAMA<sup>1,3</sup>, Haruo HAYASHI<sup>'</sup>, Norio MAKI<sup>1</sup>, Mitsuhiro HIGASHIDA<sup>'</sup>, Herbert W. KROEHL<sup>2</sup>, Christopher D. ELVIDGE<sup>2</sup>, and V. Ruth HOBSON<sup>2</sup>

<sup>1</sup>防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センター

Earthquake Disaster Mitigation Research Center, National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

<sup>2</sup>米国商務省海洋大気局地球物理データセンター

National Geophysical Data Center, National Oceanic and Atmospheric Administration

<sup>3</sup> 現所属:東京大学生產技術研究所

Present affiliation: Institute of Industrial Science, University of Tokyo

The new method is proposed to estimate damaged areas using the Defense Meteorological Satellite Program's Operational Linescan System (DMSP/OLS) nighttime imagery for the Early Damaged Area Estimation System (EDES). The former method uses two-acquisition-date images of pre- and post-events, but it has problems of weakness for cloud influence, misdetection of damaged areas due to water reflection of city lights, and tendency to neglect damages in small towns. To address these problems, the proposed method employs significant tests on a pixel basis based on each pixel's average and standard deviation, which are evaluated from time-series images during gain stable periods around new moon phases.

Key Words: damaged area estimation, disaster management, geographic information, nighttime imagery, time series analysis, DMSP satellite

# 1. はじめに

著者ら<sup>1), 2)</sup>は、米国の気象衛星 Defense Meteorological Satellite Program (DMSP)に搭載されたセンサ Operational Linescan System (OLS)により観測された夜間観測画像を 用いて被災地分布の推定を行い、インターネットを通じ 情報提供を行う早期被災地推定システム EDES (Early Damaged Area Estimation System)の開発を目指している. EDES は被災地分布等に関する地理情報を提供し、政 府・自治体や NPO, NGO による災害対応活動を支援する ことを主目的としている.特に、地震災害危険度が高い にもかかわらず高密度の地震観測網が整備されていない 国々を対象としており、著者らはこれまでに 1999 年トル コ・コジャエリ地震、1999 年台湾集集地震、2001 年エル サルバドル地震、2001 年インド西部地震の被災地推定を 行い、インターネットによる情報発信<sup>3)</sup>を続けてきた.

これらの被災地推定を行った中,DMSP/OLS 画像の特性の分析と,被災地推定結果と実被害との比較検証を通じ,推定精度の限界が次第に明らかとなった.また一方で,2000年7月より農林水産省の農林水産衛星画像デー

タベースシステム (SIDaB)<sup>4)</sup>がアジア地域の DMSP 観測画 像のインターネットによる提供<sup>5)</sup>を開始し,容易に多時 期の画像解析が行えるようになった.

本論では,既往の推定手法の推定精度の問題を明らか にするとともに,この問題を克服し推定精度の向上を図 るため,時系列画像に基づく新たな被災地推定手法の提 案を行う.

# 2. 被災地推定手法の定式化

(1) DMSP/OLS による都市光観測画像

EDES は都市光の地震前後の著しい変化を捉えること で被災地を推定している.ここで,人工衛星により都市 光を観測するときの平常時の変動要因として下記のもの が挙げられる.

- ・ 光源の非定常性(例:ビルの窓の光など)
- ・光源の指向性と衛星の観測角度の変化(例:ビルの 側面と真上からの観測の違い)

- ・大気・雲による都市光の散乱・吸収
- ・雲による周辺の都市光や月光の散乱・反射
- ・地表面の月光の反射
- ・長期的な観点での光源の増減(都市の成長,衰退)

さらに、DMSP/OLS 観測画像の特性に起因するものとして下記のものが考えられる。

- ・衛星の観測角度の変化<sup>注(1)</sup>に伴う、都市光の直接光・ 反射光成分の変化
- ・衛星の観測角度の変化に伴う、都市光の大気通過距 離の違い
- ・衛星鉛直直下から観測幅端部にかけての OLS センサ
   瞬間視野の違い<sup>注(2)</sup>
- ・OLS センサの計測誤差
- ・観測データ平滑化時<sup>注(3)</sup>のピクセル位置のずれ
- ・等緯度経度座標への投影変換時の高緯度におけるピ クセルサイズの違い
- ・OLS ゲイン(利得)調整<sup>注(4)</sup>の影響

DMSP は気象観測を目的としており,OLS のゲインは, センサの観測角度に関わらず一定した雲画像を生成する ために制御されている.また,月光を反射する雲の姿を 観測するため,月の高度によりゲインが変化する.その ため異なる観測日の画像の比較に際しては月の状況に注 意を要する.

DMSP 衛星 F12 号機に搭載された OLS の打上げ前のセ ンサ較正値から得られた,夜間観測時の光電子倍増管 (PMT) モードにおけるゲイン設定値,放射輝度ならびに 可視~近赤外バンド画像(以下,単に可視画像と呼ぶ) のデジタル値の関係<sup>6), 7)</sup>を図1に示す.図1でグラフの 縦軸はゲイン設定値を表し,単一の観測画像の局所領域 では同一の値をとる.また,横軸は放射輝度を表し,観 測画像では6ビットの整数(0,1,…,63)にデジタル化 される.グラフ中の平行な2本の斜線は、各ゲイン設定 値の観測で同一のデジタル値をとる放射輝度を表し,左 側斜線はデジタル値 $D_v=1$ を,右側斜線はセンサで測定 可能な範囲の上限である飽和値 $D_v=63$ を表す.図1か 6,ゲイン設定値G(dB),放射輝度 R(W/cm<sup>2</sup>/sr/µm),可 視画像の各ピクセルが持つデジタル値 $D_v$ は以下の式で 相互に表される.

$$G = -20 \log_{10} R + 20 \log_{10} D_{\rm V} - C_1 \, (\rm dB)$$
[1]

 $R = 10^{-\frac{G+C_1}{20}} \cdot Dv \ (W/cm^2/sr/\mu m)$ [2]

$$Dv = 10^{-20} \cdot R$$
 [3]

式[3]より,ゲイン G が同一の観測画像においては D<sub>V</sub> は 放射輝度に比例した量を表すことがわかる.

# (2) 都市光観測画像を用いた被災地推定

以下, DMSP/OLS 都市光観測画像による被災地推定手法を述べる。ここで,以下の2つの仮定を導入する.

≪仮定1≫

平常時,雲の影響が少ない場合,衛星により観測され る都市光の放射輝度の変動は正規分布にしたがう.



図 1 DMSP/OLS 観測画像におけるゲイン設定値, 放射輝度ならびに可視画像デジタル値の関係<sup>60</sup>

≪仮定2≫

DMSP/OLS の可視画像の各ピクセルは、そのピクセル の領域内部に含まれる都市から発せられる人工光の放射 輝度を変換した値を表す.

Dv の変動の正規分布が既知であるとき、ある観測画像 において、有意な光量(放射輝度)の減少を示すピクセ ルが存在するならば、そのピクセル内の地域から発せら れる都市光の放射輝度が、平常時の変動を超え異常な減 少を生じているものと統計的に見なすことができる、す なわち、帰無仮説として

H₀:対象ピクセル位置の可視画像デジタル値の変動は 平常時の変動の正規分布に含まれる.

をとり、事前に設定した有意水準で棄却されるとき、対象ピクセル内の都市光が異常減少していると考えられる. この画像が地酸直後に観測されたものであれば、都市光 の有意な減少は、地震による影響を受けた可能性が高く、 そのピクセル内の地域は被災地であると推定することが できる.以上より、地震後の都市光観測画像について、 各ピクセルの Dv を参照し、正規分布検定を行うことで 被災地を推定することができる.

#### 3. 地震前後2画像による被災地推定

#### (1) 地震前後2画像に基づく被災地推定手法

著者らの既往論文<sup>1)</sup>では地震前後2つの可視画像に基 づく被災地推定手法(以下,地震前後2画像法)を提案 した.以下,地震前後2画像法を説明する.

同一地域を観測した2つの可視画像におけるデジタル 値の差ΔDv は次式で与えられる.

$$\Delta D \mathbf{v} = D' \mathbf{v} - D \mathbf{v}$$
  
= 10 <sup>$\frac{G' + C_1}{20}$</sup>  · R' - 10 <sup>$\frac{G + C_1}{20}$</sup>  · R [5]

ここで, 2つの観測画像で異なる量は(・)<sup>'</sup>で区別している.2画像でゲインがともに G (dB)であれば, 式[5]は以下のように変形される.

$$\Delta D_{\rm V} = 10^{\frac{G+C_1}{20}} (R' - R)$$
 [6]

したがって、仮定1にしたがったとき、ΔDv は正規分 布にしたがい、さらに仮定2にしたがったときΔDv はそ のピクセルに含まれる都市光の放射輝度の変化を表す。

地震前後2画像法では、デジタル値の差ΔDvがどの都 市のピクセルにおいても同一の正規分布にしたがうこと を仮定している.これは以下の仮定を導入することと等 価である.

#### ≪仮定3≫

DMSP/OLS で観測された都市光の放射輝度の変動は、 OLS センサのゲインが同一の状況下であれば、同一の平 均・標準偏差の正規分布にしたがう.

よって、地震前後2画像法は、仮定1~3のもと、ま ず2時期の観測画像で $\Delta D_V$ を求めて  $D_V$ の変動の正規分 布を評価し、次に前章で述べられた手法により、地震後 画像について正規分布検定を用いて被災地を推定するも のである、地震前後2画像法の被災地推定手順は以下の ようにまとめられる、

- 地震前後2時期の画像を選択 選択条件:
   観測時のOLSのゲインが同等 都市光に対する月光の反射光の比率が同等 被災していないと考えられる都市が十分存在 都市状況が均一
- ② 都市域を対象に ΔDv の平均,標準偏差を計算
- ③ 有意水準(または信頼率)を設定し、正規分布検定の閾値を計算
- ④ 各ピクセル位置のΔDvを参照し、正規分布検定により被災地を判定

#### (2) 地震前後2画像法の問題点

本節では、地震前後2画像法の適用の際に注意すべき 点、ならびに手法の問題点を述べる.

まず、仮定3は実際の観測データにより支持されたも のではなく、特に都市の規模が異なるときには実状から 乖離する可能性が高いといえる。例えば、非常に暗い、 村程度の規模の都市光は、おのずからその都市光の変動 幅が小さくなると考えられる。よって、仮定3の妥当性 を保証するためには、少なくとも、都市状況がよく似た 地域のピクセルを対象とする必要がある。

また、地震前後の2画像に光量が著しく減少した被災 地が含まれる場合、サンプルデータから計算される ΔDv の標準偏差は平常時の標準偏差に比べ大きくなる.した がって、同一の有意水準に基づく被災地判定の閾値はよ り負の側に小さくなる.つまり、著しく光量が減少する 被災地の面積の割合が大きくなると、事前に設定した有 意水準に基づきサンプルデータから求めた、被災地判定 の閾値がより小さくなる.そのため、相対的に、より大 きな減少を示したピクセルしか被災地として判定されな くなる.端的にいえば、地震前後2画像法により被災地 を判定するためには、被災していない地域を十分含めて 評価しなければ、被災地がわずかしか判定されなくなる.

判定の際に用いるべき,適正な画像の領域の大きさに ついては,被災していない地域を含める必要性から,地 展規模マグニチュードに応じて広く選定する方法が考え られる.しかし一方で,広範囲に取りすぎた場合,OLS のゲインや観測角度等の違いが無視できなくなるため, 適切な選定の方法は今後の研究課題である. 地震前後2画像法の問題点としては以下が挙げられる.

- (a) 雲による散乱、反射、遮蔽の影響を受けやすい.
- (b) 地震前画像の水域の反射光により誤判定を生じることがある.
- (c) 対象地域内の都市のなかで、比較的小さな都市が被 災地として判定されにくい.

まず (a)は,光学センサによる地上の観測全般にいえる ことであり,厚い雲は都市光を遮断してしまうなどさま ざまな影響を及ぼすため,雲の影響が少ない画像を評価 に用いる必要がある.そのため,適切な地震前画像の検 索に時間を要する場合がある.なお,この問題を解決す るため,著者ら<sup>1),8)</sup>は地震前画像を人工的に作成し用いる 手法を提案している.

次に(b)について解説すると、海洋、河川、湖沼などの 水域は、月光や近傍の都市光をよく反射するため、衛星 観測画像では、しばしば本来都市のない箇所で強い光が 観測される.水面の波が様々な角度をなすため、衛星の 観測角度が小さいときだけでなく、鉛直直下に近いとき でも周辺の水域から反射光が届く.特にゲインの大きい ときには、水域付近の都市が膨張して見える.また、河 川・湖沼が多い地域では、本来都市のある箇所から離れ た位置に強い光を観測することが起こる.水域で観測さ れた都市光の反射光を直接光と誤って取り扱った場合, 異なる日時の観測では同じ位置で同じ強さの光が観測さ れないため、あたかも町が消失してしまったかのように 誤判定してしまうことになる.

また,(c)については,EDES の地理的な被災地分布情 報の提供により,一部地域に偏った救援ではなく公平な 災害対応活動を支援するという本来の目的に,反してし まう恐れがある.すなわち,広域の被災分布を推定して いるにもかかわらず,小都市を無視するというバイアス がかかった情報を提供してしまう懸念があるといえる.

#### 4. 時系列画像による被災地推定

## (1) 時系列画像に基づく被災地推定手法

前章で指摘した地度前後2画像法の問題点(b), (c)は, 対象地域内で都市光の変動が一定であるという仮定を用 いていることに起因しており,その解決のためには地域 ごとにきめこまやかな都市光の変動を評価する必要があ る.

地域ごとの都市光変動の評価方法としては、時系列分 析が考えられる.そこで新月をはさむ約10日間(以下, ゲイン安定期間)は月光の影響が小さく、ゲインが比較 的安定していることを利用し、過去3ヶ月程度のデータ を集計し、ピクセル位置ごとに平均と標準偏差を求め、 ピクセル位置ごとに正規分布検定を行う方法(以下,時 系列画像法)を新たに提案する.時系列画像法の被災地 推定手順は以下のとおりである.

- ① 過去数十日間の地震前画像(時系列画像)を選択 選択条件: 新月をはさむ約 10 日間のゲインが比較的安定した 期間(ゲイン安定期間)の画像
- ② 時系列画像より、各ピクセル位置ごとに平常時の Dv の平均、標準偏差を計算

- ③ 有意水準(または信頼率)を設定し,各ピクセル位 置ごとに正規分布検定の閾値を計算
- ④ 地震後画像について、各ピクセル位置ごとに Dv を参照し、正規分布検定により被災地を判定

本手法を用いれば、(b),(c)の問題を解決するだけでな く、複数の画像のいずれもが雲に覆われている確率が非 常に小さいことから、(a)のうち、地震前画像の雲の問題 についても、解決することが可能となる.なお、多くの 画像を用いる必要があるため、観測画像の投影変換処理 に若干時間がかかることが問題点として挙げられる.

#### (2) 2001 年インド西部地震への適用

現地時間 2001 年 1 月 26 日 8 時 46 分にインド西部,パ キスタン国境付近のグジャラート州で発生したインド西 部地震は、マグニチュード Mw7.7 (USGS)と非常に地震 規模が大きく、死者が 2 万人にも達するという、グジャ ラート州での壊滅的な被害が報告されている. 隣国のパ キスタンでも、Thatta, Hyderabad 等の都市で少なくとも 32 人の死者発生が報じられた<sup>9</sup>.



まず、地震前後2画像法による被災地推定を行った. 地震前の画像として 2001 年1月 25 日の観測画像を参照 したが、いずれも震源近傍を1つの観測画像でカバーで きないため、その前日の 2001 年 1 月 24 日 F15 号機観測 画像を選択した.可視画像を図2に示す.左下の灰色の 三角形領域は観測域外を表す. 地震後の 2001 年 1 月 26 日 F15 号機観測画像の可視画像を図 3 に示す. 観測時の 月齢は地震前画像:0.1 日,地震後画像:2.2 日といずれ も新月直後のため月光の影響はなく、地震前後2画像の 観測時のゲインはほぼ同一と考えられる. 2画像に基づ く被災地推定結果を図 4 に示す. ここで, 熱赤外バンド 画像による雲の除外のための閾値は 0℃を用いた. 図 4 にはエッジデータのため信頼性が低いと思われる箇所を 図左上に、被害がほとんどなく、水域のため誤判定を生 じたと思われる箇所を図上部に、雲・水域の影響のため 信頼性が低いと思われる箇所を図右下に示している.

次に,時系列画像法による被災地推定を行った.2000 年10月から2001年1月(地震前まで)のゲイン安定期 間のデータ(計32日)を用い作成した,可視画像デジタ ル値の平均画像と標準偏差画像をそれぞれ図5,6に示す. これらを用い,ピクセルごとに正規分布検定を行い,被 災地を推定した結果を図7に示す.ここで,雲の判定閾 値は先ほどと同じ0℃を用いている.また,非都市域を 除外するため,平均画像でデジタル値が5以下の地域を ノイズによるものと見なし,被災地推定の対象から除外 している.

2つの被災地推定結果を比較すると,図4 で誤判定を 生じたと思われる水域の推定被災地の大半が,図7の時 系列画像法による被災地推定結果ではなくなっており, 加えて,比較的小さな都市も推定被災地として現れてい ることがわかる.これらの被災地は被害調査報告<sup>(例えば10)</sup> とのよい整合が確認されている.

## (3) 1995 年兵庫県南部地震への適用

インド西部地震の発生時は新月直後であり,地震後画 像は,平均・標準偏差の評価に用いた時系列画像と同じ くゲイン安定期間の画像であった.一方,1995 年兵庫県 南部地震発生時には月齢は16.1 日と満月に近く,ゲイン が新月時よりも小さくなっており,地震前のゲイン安定 期間の時系列画像とは単純な可視画像デジタル値の比較 ができない.したがって,ゲイン安定期間以外の地震後 画像についても被災地推定が行えるよう,手法の応用を 考慮する必要がある.



ゲイン安定期間の通常の観測では、ゲインが大きく感

可視画像デジタル値に変換した値と 可視画像デジタル値の平均画像の関係 度が高すぎるため,多くの大都市でデータが飽和値に達してしまう. Elvidge 6<sup>6</sup>は,F12 号機の OLS のゲインを 固定するリクエストを米国空軍に対して行い,1996 年 3 月から 1997 年 2 月までの新月をはさむ 10 日前後につい て、3 段階のゲインを用い,微弱な光から大都市の強い 光の放射輝度の観測を行い,放射輝度較正画像(以下, RCI)を作成した.RCI では大都市でも放射輝度の値が 明らかとなっている.

Kohiyama ら<sup>8)</sup>は RCI を活用し, ゲイン安定期間以外の 観測ゲインを推定する手法を提案している. ゲイン安定 期間以外では, 都市光だけでなく月光の反射成分も含ま れるが, この手法ではこれをわずかなものと仮定し, 可 視画像の飽和領域に含まれる RCI のピクセルを参照し, 最も多く含まれる放射輝度の値を飽和開始点 (*D*v=63) として, 式[1]からゲインを求めている. Kohiyama らの 手法を用いることで, 可視画像デジタル値を放射輝度に 換算することができるため, 異なるゲインの観測画像も 比較することが可能になる.

図8に西日本のRCIを示す.また,1994年12月17日 (月齢14.5日)にF12号機により観測された地震前画像, 1995年1月17日(月齢16.1日)にF10号機により観測 された地震後画像をそれぞれ図9,10に示す.1994年10 月から1995年1月(地震前まで)のゲイン安定期間のデ ータ(計24日)を用い作成した,可視画像デジタル値の 平均画像と標準偏差画像をそれぞれ図11,12に示す.

ゲイン安定期間ではゲインはおよそ 55 dB の値となっ ている.そこで図8のRCIと図11の可視画像デジタル値 の平均画像を比較するため,RCIの放射輝度を式[3]によ り 55 dB の可視画像のデジタル値に変換し,陸地のピク セルのみについて,同一位置の平均画像のピクセルと比 較した.度数を円の大きさで表した散布図を図13に示す. これより,デジタル値で40程度までは直線的な対応関係 があるが,それを上回るとデータの飽和が生じ,RCIの 変換値よりも観測値のほうが小さくなることがわかる. これは,DMSP/OLSの平滑化モード画像<sup>#(3)</sup>が高分解モー ド画像の5×5ピクセルのデジタル値の平均となっている ことに起因する.すなわち,デジタル値が40を超える地 域では5×5ピクセルのいずれかのピクセルが既に飽和値 に達している場合があるため,その際には実際の放射輝 度よりも小さな値となっていると考えられる.

各ピクセルの平均と標準偏差について、度数を円の大 きさで表した散布図を図 14 に示す.これより、デジタル 値 40 程度までは平均値と標準偏差に比例的な関係が認め られる.しかし、平均値が 40 を超えると次第に標準偏差



図 14 可視画像デジタル値の平均画像と可視画像 デジタル値の標準偏差画像の関係





図8 放射輝度較正画像 (RCI)





図 9 1994 年 12 月 17 日 地震前可視画像



図 10 1995 年 1 月 17 日 地震後可視画像



図 11 可視画像デジタル値の 平均画像



図 12 可視画像デジタル値の標準偏差画像



図 15 地震前後 2 画像法による兵庫県南部地震の推定被災地 (信頼率 99%と 95%で表示)



図 16 時系列画像法による兵庫県南部地震の推定被災地 (信頼率 99%と 95%で表示) が小さくなり、飽和値 63 付近では標準偏差が 0 に近い値 となっていることがわかる.これは、可視画像デジタル 値が飽和値に達することで変動に上限が与えられている ためと考えられる.したがって、平均値が 40 以上につい てはこの飽和の問題により、都市光の変動が正しく評価 されていないといえる.一方、平均値 40 まではほぼ比例 的な関係があるため、ここで、以下の仮定を導入する.

#### ≪仮定4≫

都市光の放射輝度の変動は、その平均値に比例する標 準偏差をもつ正規分布にしたがう.

兵庫県南部地震の被災地推定では図 14 より比例定数と して 0.3 を用いた. また,図 11 の平均画像は大都市の放 射輝度を反映していないため、地震後の画像となるが、 RCI の変換値を平常時の平均値として用いた. 正規分布 検定で用いる標準偏差としては、水域を考慮するため、 時系列画像から評価される標準偏差の値と RCI から求め られる平均値×0.3のいずれか大きいほうを採用し、被災 地の推定を行った.地震前後2画像法による推定被災地, 時系列画像法による推定被災地をそれぞれ図 15,16 に示 す.ここで、熱赤外バンド画像による雲判定閾値として は、0℃では海沿いを除くほとんどの地域が雲とみなされ てしまうため、-3℃を用いた. 雲の周辺で被災地と判定 されている箇所が多く見受けられるが、これは-3℃では 雲を完全に除去できていないためと考えられる. 地震発 生が冬季の場合は、雲の除去のための適切な閾値を設定 するのに注意が必要である.図 15,16 を比較すると、地 震前後2画像法で見られる高槻市,大阪狭山市,堺市, 岸和田市といった建物被害、停電がなく、誤判定とおも われる地域が、時系列画像法では被災地として判定され ておらず、この点では精度の向上がみられる.しかし、 大きな被害があった神戸市については、時系列画像法で は被災地と判定された面積がかなり小さくなっているこ とがわかる.この点については、平均画像として用いた RCI は被災後およそ1年から2年後の間に作成されたも のであり、被災前よりも暗い可能性が指摘できる、また、 地震後画像には都市光に加え月光の反射光も含まれてい ることも原因として考えられる.

なお、両者で同一の有意水準を用いた場合に、被災地 に相違があることは明らかであり、今後、他の地震につ いても被災地の推定精度について検証を行う必要がある といえる.

NOAA/NGDC は米国空軍に対し, F12 号機のゲイン固 定のリクエストを現在も出しており, 観測ゲインの情報 <sup>7)</sup>が公開されている. 今後, 最近の観測画像を用い, 大 都市についても正確に平均・標準偏差の評価を行うこと で, ゲイン安定期間以外にも時系列画像法を適用できる ようにしたいと考えている.

# 5. まとめ

本論での成果は以下のとおりである.

- ・DMSP/OLS 夜間観測画像のデジタル値,センサのゲ インならびに放射輝度の関係式から,被災地推定手 法の定式化を行った.
- ・地震前後の2画像を用いた既往手法(地震前後2画 像法)の問題点として、(a)雲の影響を受けやすい、

(b)周辺の都市光の水域の反射により誤判定を生ずる ことがある,(c)比較的暗い都市の被害を検出しにく い,の3つが挙げられ,(b)・(c)は対象地域の都市光 が全て同一の標準偏差の正規分布にしたがうという 仮定によることを明らかにした.

- ・上記問題を解決するため、月光の影響が小さく、ゲインが比較的安定する新月をはさむ約10日間に観測された画像の時系列データにより、都市光放射輝度のピクセル単位の平均、標準偏差を求め、ピクセル単位の正規分布検定を行う新たな被災地推定手法である時系列画像法を提案した。
- インド西部地震の被災地推定を行い、時系列画像法では水域の誤判定が減少し、比較的小さな都市も被災地として判定されることを確認した。
- ・大都市の都市光では観測値が飽和するため、都市光 放射輝度の平均、標準偏差に誤差が生じることを示 した.この問題を解決するため、標準偏差が平均に おおむね比例することを利用し、大都市の放射輝度 が計測されている放射輝度較正画像から標準偏差を 推定する方法を提案した。
- ・前記の標準偏差推定方法を援用し、兵庫県南部地震について、被災地推定を行った。その結果、地震前後2画像法で誤判定された一部の推定被災地が、時系列画像法では被災地と判定されないことを確認した。

今後の課題としては、ゲイン安定期間以外でも時系列 画像法による被災地推定を行うため、最新の放射輝度較 正画像により、平均、標準偏差を評価することが上げら れる.また、雲の除去のための適切な温度閾値の設定方 法についても検討の必要がある.

本論の執筆時点では EDES は被災地推定,被災地分布 地図作成など,個別処理を行うプログラム群に分かれて おり,地震発生後 24 時間以内に情報提供を行うべく,プ ログラムの統合ならびに自動運用に向けシステム構築を 進めている.2001 年 10 月には,まず処理時間が短く, アルゴリズムが単純な地震前後 2 画像法での自動運用テ ストを開始する予定であり,その後,本論で提案した時 系列画像法の追加等,順次拡張を行っていく計画である.

また,災害対応活動の支援のためには,被災地の地理 的な分布だけでなく,人口や都市規模など,救援を差し 向ける際の意思決定の基礎となる,都市状況などの情報 提供も必要である.今後,災害対応の意思決定支援が可 能となるような情報提供のあり方を研究し,EDES を発 展させていきたい.

DMSP 衛星は F16 号機から F20 号機までの打上げが決 定しており、2010 年から 2015 年程度までの運用が期待 できる. また, 米国では 2008 年に DMSP と NOAA 衛星 が統合された NPOESS (National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System)衛星の打ち上げが計画され ている. この NPOESS 衛星には、VIIRS (Visible/Infrared Imager/Radiometer Suite)という NOAA 衛星の AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) センサなみの マルチバンド, OLS センサなみの夜間観測における可視 バンドの感度、大都市でも飽和しない広いダイナミック レンジ, OLS センサ高分解モード画像なみの空間分解能 といった、高い能力のセンサが搭載される予定である. 本論で展開した被災地推定手法は、今後打ち上げ予定の これらの衛星観測画像でも容易に適用可能であり, DMSP 衛星の運用終了後も本論の手法を災害対応の支援 に役立てることができると考えられる.

本論で用いた DMSP/OLS 画像は米国商務省海洋大気局 地球物理データセンター(NOAA/NGDC)より提供を受 けた.そのうち、時系列分析で用いた DMSP/OLS データ については、農林水産衛星画像データベースシステム (MAFFIN-SIDaB)から提供を受けたものである.

# 補注

## (I) DMSP/OLS の観測角度

DMSP/OLS の場合,上空約 650 km の軌道からの観測幅 2960 km の走査により,観測角度が 90°(直下)から 20°の間で変化 する.したがって,観測幅の端部では横から見ているのに近い角度で観測を行っている.

# (2) DMSP/OLS の瞬間視野

夜間画像観測時に光電子倍増管 (PMT) による増幅が行われた ときの可視~近赤外バンド高分解モードの瞬間視野は 1.74 km, 有効瞬間視野は 2.2 km である<sup>11, 12)</sup>. 衛星鉛直直下から外れると 解像力が落ちるため, OLS センサは PMT モードを切り替えて解 像力を調節している. この PMT モードの切り替わりのため観測 画像の端部では軌道方向のノイズが発生する.

# (3) DMSP/OLS 観測画像の平滑化

通常 DMSP 衛星から配信される OLS 観測画像は, 衛星上で 0.55 km サンプリング画像の 5×5 ピクセルのデータから 2.7 km サンプリング画像に平滑化されたデータである. データ分解能

(解像度)を区別し、0.55 km 分解能は高分解モード (fine mode),
2.7 km 分解能は平滑化モード (smooth mode) と呼ばれる.
(4) DMSP/OLS のゲイン (利得) 調整

OLS はアナログの固定値ゲインの前後増幅器と,可変デジタ ルゲイン増幅器 (VDGA) を持ち,夜間の観測では PMT のゲイン がシステム全体のゲインに寄与する<sup>6)</sup>. VDGA は地上からのコ マンドにより 0 から 63 dB の値に変動可能で, VDGA が 63 dB のときにはシステムゲインは 136 dB に達し,元の光の入力が 10<sup>136</sup> 倍に増幅される. DMSP 衛星上で自動制御される基本的な ゲイン調整アルゴリズムは基本ゲイン制御 (ASGC) と2方向性 反射率関数 (BDRF) の2種あり,1ラインの走査の間に 0.4 ms 単位で制御されている.

# 参考文献

- 小檜山雅之他: DMSP/OLS 夜間可視画像を用いた早期被災地 推定システム(EDES)の開発,地域安全学会論文集, No. 2, pp. 79-86, 2000.11.
- 小檜山雅之他:DMSP/OLS 夜間観測画像を用いた早期被災地 推定システムの開発, EDM Technical Report, No. 10, 2001.3.
- 3) 防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センター: http://www.edm.bosai.go.jp/
- 4) Kodama, M. and Song, X.: A New Remote Sensing Database System in Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan, 51st International Astronautical Congress, IAF-00-B.4.05, pp. 1-11, 2000.10.
- 5) 農林水産省農林水産技術会議事務局: 農林水産衛星画像デー タベースシステム http://rmsl.agsearch.agropedia.affrc.go.jp/ menu\_ja.html
- Elvidge, C. D., et al.: Radiance Calibration of DMSP-OLS Low-Light Imaging Data of Human Settlements, Remote Sens. Environ., Vol. 68, pp. 77-88, 1999.
- 一酸林水産省農林水産技術会職事務局:衛星観測に関するページ http://www.affrc.go.jp/satellite/
- Kohiyama, M., et al.: Validity Study of EDES Application to Taiwan Chi-Chi Earthquake Disaster, Proc. of the 21th Asian Conf. on Remote Sensing, Vol. 1, pp. 407-412, 2000.12.
- 9) The Frontier Post, http://frontierpost.com.pk/main.asp?id=8& date1=1/28/2001 (2001 年 1 月 28 日のインターネット情報)
- 10)文部科学省 2001 年インド・グジャラート地展調査団: 2001 年インド・グジャラート地震の総合的調査研究,自然災害科 学, Vol. 20, No. 1, pp. 89-102, 2001.5.
- 11)Elvidge, C. D., et al.: Algorithm for the Retrieval of Fire Pixels from DMSP Operational Linescan System Data, Global Biomass Burning, 1995.6.
- 12) Elvidge, C. D., et al.: Mapping City Lights with Nighttime Data from the DMSP Operational Linescan System, Photogramm. Eng. & Remote Sens., Vol. 63, No. 6, pp. 727-734, 1997.6.

(原稿受付 2001.6.11)