

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

Development of Early Damaged Area Estimation System (EDES)
Using DMSP/OLS Nighttime Imagery

小檜山 雅之¹, 林 春男¹, 牧 紀男¹, 橋寺 晋¹, 松岡昌志¹,
ハーバート・W・クレール², クリストファー・D・エルビッジ², V・ルース・ホブソン²

Masayuki KOHIYAMA¹, Haruo HAYASHI¹, Norio MAKI¹, Shin HASHITERA¹,
Masashi MATSUOKA¹, Herbert W. KROEHL², Christopher D. ELVIDGE² and V. Ruth HOBSON²

¹ 理化学研究所地震防災フロンティア研究センター

Earthquake Disaster Mitigation Research Center (EDM), the Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN)

² 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 (NGDC), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

The Early Damaged Area Estimation System (EDES) is proposed to support emergency response in a disaster. EDES provides the geographic information of possible impacted areas within 24 hours after an earthquake on the Internet. The estimation method is based on the detection of significant reductions or loss of lights in nighttime imagery observed by the Defense Meteorological Satellite Program's Operational Linescan System (DMSP/OLS). Noise in suburban areas and cloud influence in a pre-event image are addressed by using a cloud-free stable lights image derived from a time series of OLS observations. Appropriate geographic information is discussed to support relief activities and to contribute a reduction in the digital divide problem in global disaster management activities.

Key Words: *damaged area estimation, disaster management, geographic information, nighttime imagery, Internet, DMSP satellite,*

1. はじめに

近年, 地震災害時の災害対応活動を支援するコンピュータを活用した様々なシステムが提案されている。林¹⁾は災害対策をその目標に照らし, 緊急対策, 応急対策, 再建対策の3つに分類し, 各対策で必要とされる情報システムについて, 処理精度ならびにシステムに期待される機能に関し分類・整理を行っている。そのうちの緊急対策においては, 被害推定システムが生命の安全確保を目標として, 災害発生直後の情報が欠如した事態で緊急対応のため人員派遣をする際の指針を提供する役割を担うとされている。リアルタイム地震防災²⁾を目指し行政・民間で開発されているシステムの多くはこの範疇に含まれる。

日本国内では高密度に配置された地震計を用い, 計測された地震動分布の情報から被害を推定するシステムが多く実現している^{例えは4)}。地震観測網のインフラストラクチャーが整った先進国においては地震災害時にこれらのシステムが活躍することを期待できるが, 他の国々, 特に地震災害危険度が高いアジア諸地域では導入コストの問題もあり整備が遅れているのが現状である。

また一方で, 航空機や人工衛星からのリモートセンシングにより被害を把握する技術についても研究が進んで

いる^{例えは5)}。特に人工衛星による被災地の状況把握は同時に広域の観測が行える特長があり, また, 最近商用の超高解像度衛星の運用が開始されたことで, 一層注目を集めている。

著者ら^{6)~10)}は米国空軍の軍事気象衛星 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可視画像を用い, 地震被災地における中央政府やNPO, NGOによる災害対応活動を支援する目的で被災地分布の推定を試みてきた。推定結果は震源から遠く離れていたにも関わらず実際に被害があった都市についても良好な対応を示していた。

今後, 災害発生直後に推定結果を公開できれば, より多くの人命救助や, 公平で効率的な復旧・復興活動への支援となりうるため, 著者らは地震発生後24時間以内に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。本論では EDES を実現するための, より精度の高い被災地推定手法の提案, 早期に情報提供を行うための課題の整理と方法の提案, そして災害対応を支援するのに適したインターネット上の地理情報のあり方について議論を行う。

2. 夜間可視画像による被災地推定

(1) 地震と夜間都市光の関係

地震発生後、被害情報を収集するリモートセンシングを用いた研究の多くは、地盤変状や構造物の被害の検出を目的としている。しかし、地震災害によってもたらされる被害は、構造物の損傷、すなわち社会のストックの被害だけでなく、電気・水道・ガス・通信・交通といったライフライン機能の停止・停滞による生活の支障、すなわち社会のフローの被害も含まれる。

夜間の都市の光は繁栄の象徴であり、その光源は建物、街灯、広告灯、航空機に向けられた信号灯など、人間活動の存在を表している。したがって、その光の量は人間活動の指標値として考えることができ、地震後に平常時に比べて暗くなった地域は、何らかの理由により被災した可能性が高いと見なすことができる。

都市光の光源の大半は電力によるものである。したがって、発電、送電、消費までの過程を考えれば、以下の事由により地震発生後に都市光が減少する可能性がある。

- ① 発電所の損傷
- ② 強震の検知による発電所の自動停止
- ③ 送変電施設の損傷
- ④ 発電能力の低下に伴う電力供給の制御・制限
- ⑤ 街灯・広告灯などの光源の損傷
- ⑥ 建物の倒壊
- ⑦ 住民の死傷
- ⑧ 住民の避難・疎開
- ⑨ 事業所の営業停止
- ⑩ 事業所の活動の停滞

ここで、事業所には飲食店・娯楽施設から一般的な事務所まで広く含まれる。

一方、地震火災が発生した場合、炎による光量の増大、煙による光の散乱・遮断といった変化が生じうる。1995年兵庫県南部地震前後の観測画像の比較では、地震前、センサ飽和値に達するほど明るかった中央区・東灘区では、小規模の火災があったにも関わらず有意な光量の減少があったのに対し、大きな火災被害があった長田区では地震前後ともセンサ飽和値に達し、光量の変化を特定しえなかった。火災の影響については今後の検討の余地がある。

(2) DMSP/OLS 観測画像

DMSP は米国空軍の航空機ナビゲーションのための気象観測を目的とした人工衛星で、1965 年より観測が行われている。一般に、人工衛星は太陽電池パネルにより稼動エネルギーを得るため、昼間の観測を行うものが多いが、DMSP は夜間も観測を行うという大きな特徴を持っている。DMSP に搭載されているセンサ OLS は $0.5\sim 0.9\ \mu\text{m}$ の可視～近赤外バンドと、 $10\sim 13\ \mu\text{m}$ の熱赤外バンドの 2 チャンネルの観測が可能である。センサの解像度は $0.5\ \text{km}$ であるが、一般に配信されるのは衛星上で 5×5 ピクセルのデータから $2.7\ \text{km}$ 解像度に平滑化されたデータである。夜間の観測では可視チャンネルの入力は Photomultiplier Tube (PMT) により増幅され、NOAA/AVHRR や Landsat/TM といったセンサに比べ 4 桁以上のオーダーの感度を持ち、都市の光に留まらず焼畑・森林火災の火¹¹⁾¹²⁾や操業漁船の集魚灯¹³⁾など、夜間の微弱な可視光の観測も可能である。また、DMSP の回帰日数は 0.5 日であり、常時最小 2 機の運用体制がとられているため、夜間の画像は 1 日に最低 2 度観測される。したがっ

て、災害発生後比較的早期に観測画像を入手できるため災害対応の目的で利用することに向いているといえる。また、DMSP は 2009 年までの米国空軍による打ち上げが決定しており、2014 年までの長期的な安定した運用が保証されていることも大きなメリットとして挙げられる。

DMSP 観測画像は 1972 年よりフィルムによる保存が開始された。中山ら¹⁴⁾は地球全体の夜間映像の人工的な光の分布と人間活動の関係について、人口、電力消費等、地理学的な観点から考察を行った。観測された夜間可視画像には都市の光だけでなく、焼畑、漁火、油田といった様々な人間活動の存在も含まれていることが指摘されている。

その後、1992 年よりデジタルデータによる観測データの保存・配信が米国商務省海洋大気局 (NOAA) 地球物理データセンター (NGDC) にて行われている。解像度 $2.7\ \text{km}$ の観測画像は衛星軌道・高度、センサの角度、海表面モデルと地表面標高データから測地情報を計算され、1 ピクセル 30 秒角 (約 $0.9\ \text{km}\times 0.9\ \text{km}$) のメッシュデータにリサンプリングされる。各画像のピクセルは以下の範囲のデジタル値 (DN) を持つ。

可視～近赤外画像 (VIS) の DN (以下、 ϕ) :

0~63 (相対量)

熱赤外画像 (TIR) の DN (以下、 θ) :

0~255 ($190\sim 310\ \text{K}$ に対応)

Elvidge ら¹⁵⁾は観測画像から雲や月光等によるノイズを除去するため、複数の画像から統計的に求めた都市の人工的な光の地図である Stable Lights (SL) データの作成を行った。SL 画像のピクセルは以下の範囲の DN を持つ。

人工光基準画像 (SL) の DN (以下、 λ) :

0~100 (統計的な観測確率)

Elvidge ら¹⁶⁾は、SL を用い都市光が存在する領域の面積と人口、経済活動 (GDP)、電力消費との関係を分析し、高い相関関係があることを明らかにした。また、Elvidge らは SL で光が存在するにもかかわらず観測画像で光が消えている地域を特定することで停電地域を検出する手法を提案している¹⁷⁾。Hashitera ら¹⁸⁾は自然災害後の復興過程の指標として、毎日の観測が可能な DMSP 夜間可視画像の適応性について検討を試みている。

(3) 被災地推定手法

被災地推定の基本的な解析フローを図 1 に示す。地震発生後、まず地震前ならびに地震後に震源近傍を通過した軌道で観測された衛星画像を取得し、震源を含む周辺地域を対象地域として画像の抽出を行う。

次に、対象地域の都市上空を厚い雲が覆っている場合、発せられる可視光が遮断されるため、TIR ならびに SL をもとに雲の影響の分析を行う。雲上端は高度が高いことから温度が氷点下を著しく下回ることが多いため、 θ から容易に位置を同定することができる。雲の位置および SL を参照し、雲の影響が大きいと思われる画像内のピクセルについては別途考慮を行う。

続いて、地震前後の ϕ の差を計算し、光の強度の減少が著しい地域の判定を行う。OLS センサのゲイン設定は月光の強度変化に伴い調整される。そのため VIS の DN が示すのは物理的な光の強度の絶対値ではなく画像内の相対値である。地震前後の 2 画像の観測間隔が短ければ月光のゲイン設定の違いによる影響は小さいと考えられるため、地震前後における ϕ の差は可視光強度差を表すものと見なせる。

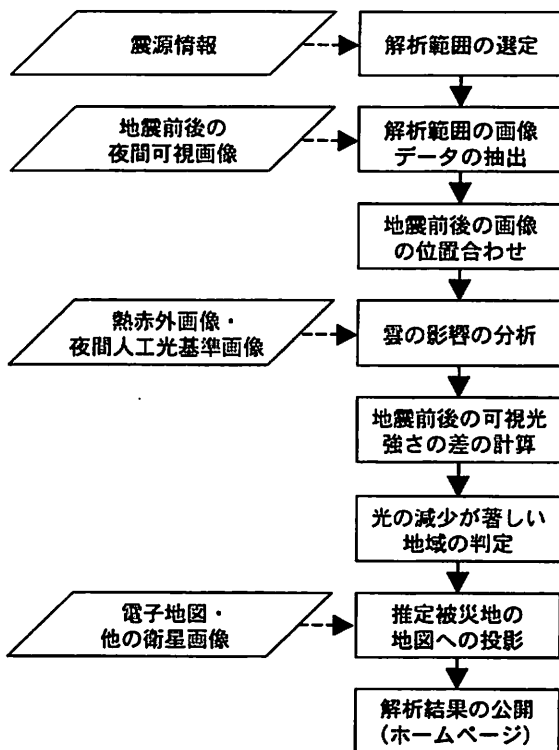


図1 被災地推定の解析フロー

被災地判定のクライテリアについては図2に示されるように、 ϕ の減少量を求め、対象とするピクセルの ϕ の差の平均値と分散から正規変換を行い、ある閾値（例えば99.5パーセンタイル）以上減少した地域を被災地とみなす。

求められた推定被災地は地理情報として容易に理解できる形の主題図に加工を行い、最終的には推定結果をホームページ上に公開し、インターネットを通じ全世界に向けて情報発信を行う。

a) 非常に明るい都市域の考慮

前述のように、DMSP/OLS センサは非常に感度が高く、大都市域ではしばしばセンサの測定範囲を超えるほど明るいためDNが63に飽和してしまう。この場合、地震後に光の強度が減少しているにもかかわらずDNが飽和するほど明るければ、光の強度の減少をDNの変化として捉えられないことを意味する。これらの地域については推定不能の領域として区別される。

また、地震前の ϕ が63となっている場合、光の強度はDN: 62と63の閾値からそれをはるかに上回るものまで全ての可能性がある。よって地震後の ϕ が63未満となってもその差は減少の下限値を表すに過ぎない。具体的な例を挙げると、 ϕ が63から40に変わった場合、減少量は-23であるが、地震前の光の強度は相対的にはDNで70に相当する場合もありえる。この場合、減少量は-30である。したがって、 ϕ が53から30に変わった場合の-23と同様に扱うべきではなく、対象地域内の地震前のVISにDN=63の領域の割合が大きければそれらを分けて考慮する必要がある。

b) 非都市域のノイズの除去

非都市域の焼畑の光や、月光の反射、漁火等の光は都市の光の光量変化の求める上で大きなノイズとなる。そ

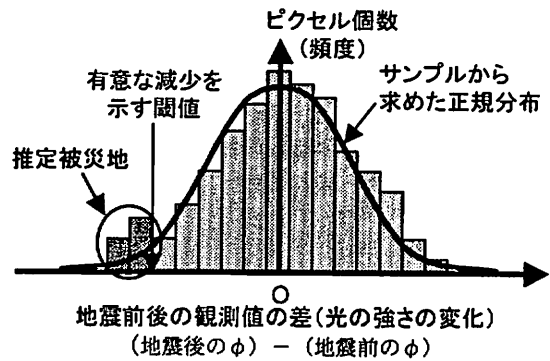


図2 被災地推定のクライテリア

表1 地震前画像の選択基準

	観測日	
地震後画像	・ 新月をはさむ 10～12 日間（ハイゲインモード期間）	・ 左記以外
比較のため 選択すべき 地震前画像	・ 同ハイゲインモード期間の任意の地震前の日 ・ n 太陰月前のハイゲインモード期間の任意の日 ($n=1, 2, \dots$)	・ 月齢がほぼ同一の直前の日 ・ n 太陰月前のほぼ同一月齢の日 ($n=1, 2, \dots$)

こで、これらの光の多くは定常的に観測されないことから、SL を用いて $\lambda=0$ の地域を対象地域から除外することでこれらのノイズの多くを除去することが可能である。

なお、SL では非常に暗い町の光がノイズとともに除去されている場合がある。したがって、 $\lambda>0$ のノイズの少ないデータでヒストグラムを作成して閾値を選定し、推定被災地の選定時には $\lambda=0$ の地域を含め評価を行うことで、非常に暗い町についても評価を行うことが可能である。

c) 月光の影響

DMSP の本来の目的は雲の観測であり、夜間、月光を反射する雲の観測を行うため、OLS センサの感度（ゲイン）は月齢に伴い変化する。残念ながら、ゲインセッティングの情報は公開されておらず、 ϕ から絶対的な光の強度を計算することはできない。しかし、前述のとおり地震前後の2画像の観測間隔が短ければ月光のゲイン設定の違いによる影響は小さいものと考えられるため、基本的には地震前後における ϕ の差は可視光強度差を表すものと考えられる。

地震直前の画像について対象範囲全体にわたり大きく雲の影響を受けていた場合は、雲の影響が少ない他の画像を選ぶ必要がある。新月をはさむ10～12日間は夜間の観測時に月が地平線の下に隠れ、月光の影響を受けないため、センサの感度が最も高いハイゲインモードに設定される。よって、この間は同一のゲイン設定で観測され、さらに月光の反射の影響がないことから、多少観測間隔が空いた画像でも地震前画像として選択可能である。

また、月光の影響を受けた観測画像であっても月齢がほぼ同じ状況下の観測画像であればゲインセッティングと月光の反射量はほぼ同一と考えられることから、1太

陰月（約1ヶ月）前、2太陰月前と遡って参照することで地震前画像を選択することができる。以上を整理すると表1のようになる。

(4) 人工地震前画像による雲の影響の克服

地震前 VIS が SL により推定できれば地震前の雲の影響を回避できるため非常に有効である。そこで、 λ から ϕ を推定する回帰曲線を作成し、これを用いた人工地震前画像による被災地推定手法の評価を行う。

回帰式の評価は2000年2月20日（月齢14.9）に観測された日本の画像を用いた（図3）。対応する SL は図4のとおりである。SL は雲の影響を除去して作成されているのに対し、観測画像である図3では雲の存在により月光の反射、地上光の散乱といった現象が生じている箇所が存在する。これらの雲の影響を避けるため、式[1]の条件式で雲の影響が少ない都市域の18345ピクセルを抽出した。

$$\begin{aligned} &\lambda > 0 \text{ (都市域の抽出)} \\ &\text{かつ } \theta > 176 \text{ (温度 } 0^\circ\text{C 以上)} \\ &\text{かつ } \phi < 63 \text{ (非飽和のデータを抽出)} \end{aligned} \quad [1]$$

回帰式 $\phi = a\lambda^2 + b$ で2次曲線に回帰を行った結果は式[2]のとおりである。

$$\phi = 0.00256\lambda^2 + 6.06 \quad [2]$$

（ ϕ , λ ）の散布図上に回帰式をプロットしたものを図5に示す。式[2]は月齢が14.9前後の画像の推定に用いることができる。なお、他の月齢の画像についても同様にして回帰式の評価が可能である。

次に回帰式[2]を用いた人工地震前画像と実際に観測された地震前画像のそれぞれの推定被災地の分布を比較し、人工地震前画像の適用性の検討を行う。検討対象として台湾集集地震前後の画像を用いた。地震前後には台風に伴う雲が台湾上空を覆っていたため、比較的雲が少ない地震発生後3日目の1999年9月23日（月齢13.6）の画像（図6）を用いた。対応する SL と回帰式により求められた人工地震前画像を図7、8に示す。比較対照とする地震前観測画像については1ヶ月前の8月20日前後は全て厚い雲に覆われていたため、さらに1ヶ月前の7月24日（月齢11.4）の画像（図9）を用いた。

地震後画像と人工地震前画像の ϕ の差（ $\lambda > 0$ の地域のみ抽出）のヒストグラム（図10）から推定被災地の分

布を求めた結果を図11に示す。ここで、黒色は $P > 97.5\%$ 、灰色は $P > 85\%$ を表す。

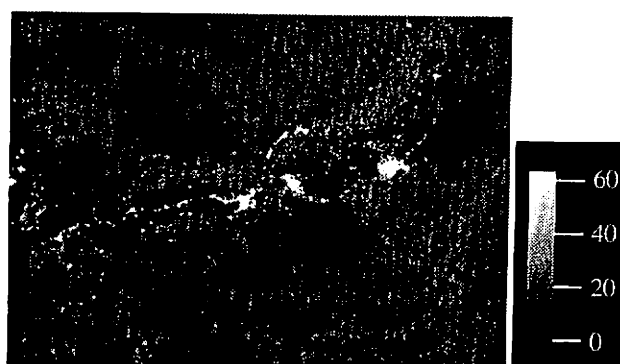


図3 回帰式評価用 VIS



図4 回帰式評価用 SL

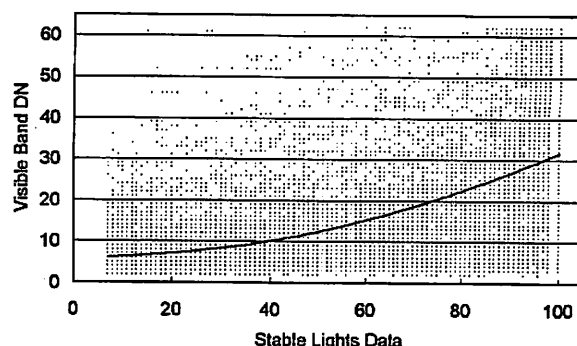


図5 ϕ - λ 回帰曲線

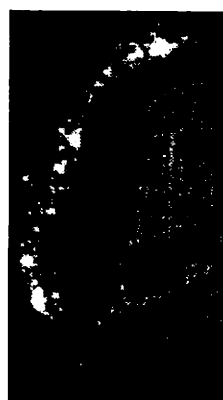


図6 地震後 VIS
(9月23日)



図7 対象地域の SL

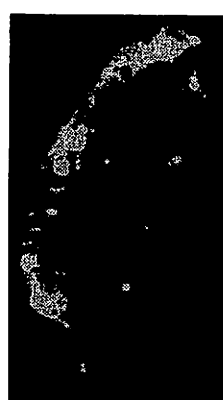


図8 SL から推定した
地震前 VIS



図9 地震前 VIS
(7月24日)

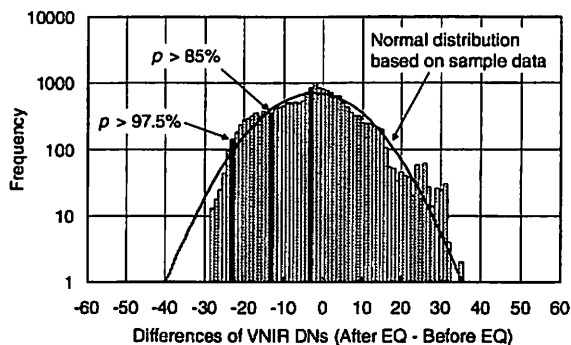


図 10 ϕ の差のヒストグラム (人工地震前画像)

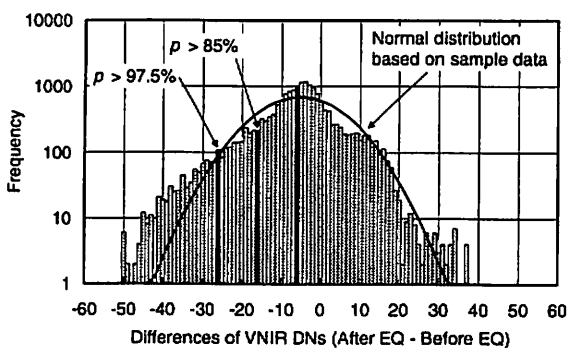


図 12 ϕ の差のヒストグラム (地震前観測画像)

また、地震前観測画像による場合のヒストグラムを図 12 に、推定被災地の分布を図 13 に示す。

両推定結果で大きく異なるのは漁船による影響で、観測画像を用いた場合は特に高雄の近海部分では被災地として判定されてしまっている。また、観測画像を用いた場合は推定被災地が離散的に分布しているのに対し、SL を使用した場合は連続的に分布している。これは SL が複数の観測画像をもとに統計的に求められているため、ジオリファレンス（画像の地理的座標割付け）の誤差とあいまって、平滑化された画像になっていることに起因しているものと考えられる。また、人工地震前画像を用いた場合は回帰式的関係上、地震前画像の VIS は最大 31 までにしかならず、大きな光量を表現できない。そのため、 $P > 97.5\%$ の地域が非常に少なくなっている。式[2]の相関係数が 0.631 とあまり大きくないのはこのことに起因しており、今後、ダイナミックレンジを広げ、より大きな光量まで定量化した統計的画像である Radiance Calibrated Image¹⁹⁾を用い、人工地震前画像の推定精度の向上を検討したい。しかし、以上の違いはあるものの、人工地震前画像を使用した手法でも観測画像を使用した方法と定性的には同様の地域が選ばれており、地震前の雲の影響を回避する有効な方法であるといえる。

3. 推定結果公開までの時間短縮

地震発生後、72 時間を過ぎれば要救援者の生存確率が

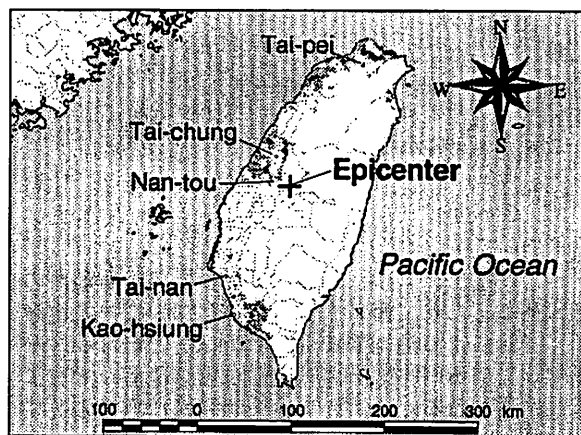


図 11 人工地震前画像による推定被災地

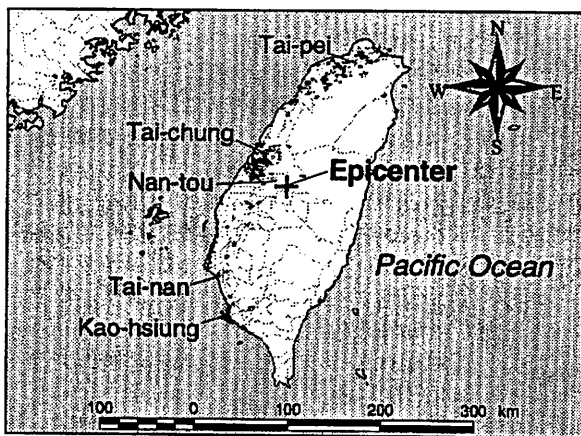


図 13 推定被災地 (地震前観測画像)

下がるため、人命救助は一刻も早い対応が必要である。緊急対応を支援するため、24 時間以内に被災地推定結果を公開することを目標に EDES の開発を進めている。

できるだけ早期に情報公開を行うために、まず地震発生から情報公開までのプロセスの分析を行い、処理時間の短縮方法について検討する。なお、DMSP/OLS 観測データは軍事目的であるため一般への公開を規制するホルドタイムが存在するが、1999 年 12 月 20 日より 72 時間から 3 時間に規制緩和されたため、情報公開 24 時間以内の目標は実現可能である。

以下、地震前観測画像を用いた場合を検討する。

● 地震発生

- ① DMSP が被災地上空に飛来し観測
- ② 観測画像を地球に送信、NOAA/NGDC へ転送
- ③ ジオリファレンス解析 (NOAA/NGDC)
- ④ データのアーカイブ化 (NOAA/NGDC)
- ⑤ 地震発生の検知
- ⑥ EDES 解析の起動
- ⑦ 解析範囲の選定
- ⑧ 地震前画像候補日の選定
- ⑨ 画像リクエストの送信
- ⑩ 地震前観測画像をインターネット経由で受信
- ⑪ 地震後観測画像をインターネット経由で受信
- ⑫ 地震前画像が雲により大きく影響を受けていた場合は別の候補日をリクエスト、受信
- ⑬ 地震前後の画像の位置合せ

- ⑭ VIS の差の解析
- ⑮ 推定被災地の画像の作成
- ⑯ 推定被災地画像の地理情報への加工
- ⑰ Web ページへの画像のリンク（情報公開）
- ⑱ 災害対応者等の情報の閲覧

ここで、①～④は EDES の処理プロセスではないため、⑤以降について検討する。

まず、⑤～⑦であるが、USGS では世界の地震観測の結果を公開しており、特に大きな地震については希望者に電子メールにより通知する BIGQUAKE というシステムを運営している²⁰⁾。電子メールには震源位置、マグニチュードが含まれるため、このメールを解析開始のトリガーとして EDES が受信し、解析対象とする画像データの範囲選定を自動計算することが可能である。解析のトリガーは EDES 管理者の電子メール、telnet 等による直接のコマンド送信によっても行うことができるようにすることで、より早い対応が期待できる。

次に⑧～⑫であるが、地震前画像が雲により大きく影響を受けている場合に何度も画像のリクエストと受信を繰り返してしまう可能性がある。一般に地震計では一定時間の地震記録をバッファにため、トリガーがかかるとトリガー時刻以前の記録をバッファから取り出し送信する機能がある。これと同様に、常時画像を受信して2ヶ月程度の記録を EDES のローカルディスクに保持しておき、あらかじめ雲の影響の少ない地震前参照画像を準備しておく方法が考えられる。

⑬～⑰については現在のコンピュータの処理能力ではそれほど問題にはならない。

⑱の情報の受け取り手が情報を手にするまでの時間の問題については、単純に Web 上にアップロードするだけでは本来見るべき人に気づかれない場合もありえる。そこで BIGQUAKE システムと同様に、EDES から電子メール等で解析結果が公開されたことを通知する機能を付加することでより、能動的な情報発信が可能になる。

以上をまとめた地震後のデータフローダイアグラムを図 14 に示す（地震前の常時画像配信と地震前参照画像の準備については省略）。

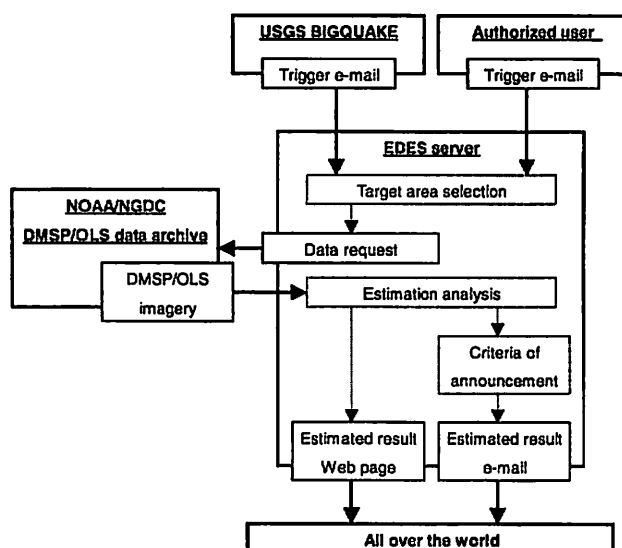


図 14 データフローダイアグラム

4. インターネット地理情報による災害対応支援

EDES は被災地推定結果の地図画像ファイルを World Wide Web (WWW) にリンクすることで、インターネットを通じ世界に向け情報発信を行う。WWW による情報公開は世界にむけ同時発信できるメリットを持つ一方で、閲覧者がアクセスしない限り情報が伝わらないという受動的な面を持っている。しかし前章にあるとおり、あらかじめ登録を行った希望者に対し解析結果が公開されたことを電子メールで知らせることにより、能動的な情報発信を行うことが可能になる。

推定被災地の地図情報は被災地現地の人々や、中央政府、NGO・NPO の活動を支援する目的で情報発信される。そこで、本章では災害時に役立つ、適切な情報の形態について考察を行う。

(1) ベースマップに関する考察

解析により求められた直後の推定被災地は DMSP/OLS 画像をもとにした 30 秒角のメッシュ情報である。したがって、海岸線、鉄道、道路等の他の地図情報のレイヤーと重ね合わせることで初めて、どの都市が推定被災地かといったことがわかる。地理的位置関係が視覚的に理解できる地理情報となる。

1992 年 6 月の国連環境開発会議（地球サミット）において、持続可能な開発のための人類行動計画（アジェンダ 21）が採択された。地球環境問題に適切に対処するための意思決定を行う上で、情報、特に地球環境の現状と変化を把握できる地理情報が不可欠との指摘から、建設省は国際協力の下で地球規模の地理情報を整備する地球地図構想を提唱した²¹⁾。現在、地球地図国際運営委員会(ISCGM)を中心に、70 ヶ国以上の協力により、地球環境問題の解明や持続可能な開発、自然災害の軽減に役立つことを目的として、誰にでも安価で提供される地球の全陸域についての百万分の 1 の地図に相当する地理情報の整備を目指している。

地球地図(Global Map)は 2000 年 3 月に研究者に対するサンプルデータ（1 部の地域のみ）の無償配布が決定されたが、現在一般に入手可能な全世界の電子地図のうち最も大縮尺のものは Digital Chart of the World (DCW)²²⁾²³⁾ を基とするもので、縮尺百万分の 1 である。DCW は米国の Defense Mapping Agency が 1974 年に作った縮尺百万分の 1 の航空写真地図 Operational Navigation Chart を元に 1992 年に数値化したベクトルデータである。地球地図は地球環境の変化の監視ができるよう概ね 5 年に 1 度の更新を目指しているのに対し、DCW の一部は上記のとおり非常に古い地図を用いているため注意が必要である。

トルコのアダバザル市 30 km×20 km の範囲における 1999 年コジャエリ地震の推定被災地を DCW の湖沼、道路、鉄道フィーチャに投影したものを図 15 に示す。紙面上の縮尺は約 50 万分の 1 となる。道路データとして主要国道のみしかないので、都市のどの程度の範囲が推定被災地となっているのか、図からは把握しにくいことがわかる。したがって、縮尺百万分の 1 レベルの電子地図データは 100 km×100 km のオーダーの範囲の記述には適しているが、10 km×10 km を下回る狭い範囲では情報量が少ないため、合成しても表現力に乏しい地理情報にしかならないことがわかる。

Landsat/TM、SPOT/HRV をはじめとする地球観測衛星のセンサは 10 m のオーダーの解像度をもっており、地球全

域の観測を目的としていることから、コストの問題を除けば全世界の観測画像を入手することが可能である。したがって、これらの観測画像をベースマップとして活用することで、都市のより詳細な地理情報を表現できると考えられる。図 15 と同じ範囲について、Landsat/TM の観測画像（解像度 30 m）に推定被災地を投影したものを図 16 に示す。この図からは、市街地のどのあたりが推定被災地となっているのが容易に判読可能であり、現地にいる人々に対し、よりわかりやすい形で地理情報を提供しているといえる。これより、10 km×10 km 程度の範囲の表現には数十 m オーダーの解像度の衛星観測画像が有力であり、被災地推定結果の合成に適しているといえる。

(2) 地理情報の流通性について

文章が HTML (Hyper Text Markup Language) で記述されることで、インターネットに張り巡らされたリンクにより飛躍的に情報発信の数とその流通量が増えたように、XML (Extensible Markup Language)²⁴⁾ は今後様々なデータの流通を加速していくものと思われる。HTML はそもそも文書形式を定義し利用するための標準システムである SGML (Standard Generalized Markup Language, [ISO 8879]) をベースとした、比較的小規模のハイパーテキスト文書とマルチメディアの表示に適した簡単な言語である。XML は、HTML で欠けていたデータ構造の記述能力を、改めて SGML から継承した SGML のサブセットであり、双方向のリンクや文書外部に管理されるリンクといった、現在実装されている HTML より高度なハイパーテキスト機能も W3C (World Wide Web Consortium) の仕様では規定されている²⁵⁾。

一方、地理情報については国際標準化機構 (ISO) が 1994 年から標準化に取り組んでいる。日本では ISO の取り組みを踏まえ、国内の地理情報の交換のための技術的な標準及びその活用の指針をまとめた地理情報標準が 1999 年 3 月に建設省官民連帯共同研究「GIS の標準化に

関する調査」の成果としてまとめられている²⁶⁾。過去に異なる GIS 間でデータの交換性がなかったことで流通が阻まれていた空間データ・地理情報は、今後、標準化により相互利用を図ることが可能になる。

また、通産省では情報システム共通基盤整備のための連携事業として、XML を GIS 向けに拡張して GIS コンテンツの相互流通用のプロトコル（仮称：G-XML）を制定するとともに、プロトタイプ開発及び実証実験を行っている（(財)データベース振興センターが実施²⁷⁾）。

碓井²⁸⁾が指摘するように、インターネットを利用した Web GIS や携帯端末によるモバイル GIS は、今後、地理情報の流動性の向上により防災技術として広く普及することが期待できる。EDES の発信する推定被災地の情報についても単純な HTML にリンクされた画像ファイルの形態ではなく、今後策定されるインターネット地理情報の標準に従ったデータ形式とすることで、パソコン上のブラウザ、様々な種類の CAD、GIS、PDA (Personal Digital Assistance, 持ち運びできる小型コンピュータ)、携帯電話や PHS といった移動体通信端末など、プラットフォームを選ばない形で地理情報を提供することを目指したいと考えている。

近年、情報技術 (IT) を活用することで生じる格差、デジタルデバイドといった新たな問題が指摘されているが、災害、防災に関する情報については、情報を活用できないことであらたな災害弱者を作り出すようなことはあってはならない。災害デジタルデバイドを解消するためには、誰もが平易に情報を手にするための様々な仕組み作りが不可欠であり、プラットフォームを越えた情報提供はその一つであると考えられる。また、国家間の IT 格差による災害対応能力の違いについても同様に配慮すべきであり、EDES は全世界を対象に被災地を推定し、その情報を世界に向けて公開するものであり、格差解消への貢献が期待できる。

5. まとめ

地震災害直後に、人工衛星 DMSP により観測された夜間可視画像を用い、被災地の広域の地理的分布情報をインターネットで情報発信を行う早期被災地推定システム EDES の開発に向け、本論で提示した新たな知見は以下のとおりである。

- ・ DMSP/OLS 夜間可視画像の地震前後の単純な差分による被災地推定の問題点として、非都市域の月光の反射や海域の漁火等のノイズの影響、明るすぎるためにセンサが振り切れた地域の取り扱いを指摘し、Stable Lights (SL) を活用し都市域を抽出することで、上記のノイズの問題点を克服する手法を提案した。
- ・ 月光の影響を考慮した複数の地震前画像の選定、SL による地震前画像の推定による地震前画像の雲の影響の除去といった新たな方法により、よりロバストな被災地推定手法の提案を行った。
- ・ 地震発生後、早期に情報提供を行うための課題の整理を行い、電子メール等複数の方法による解析トリガーシステムや地震前情報の蓄積によるデータ転送時間の短縮、解析完了後の電子メール通知による能動的な情報発信を含む、インターネットを活用した早期情報公開の方法を提案した。
- ・ 災害対応の支援に適したインターネット地理情報の

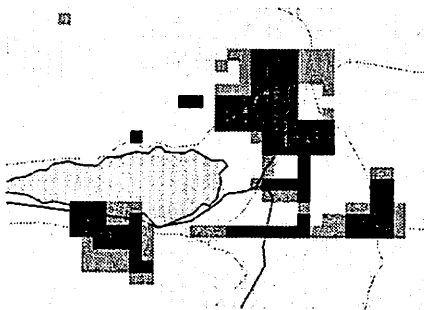


図 15 DCW に投影した推定被災地

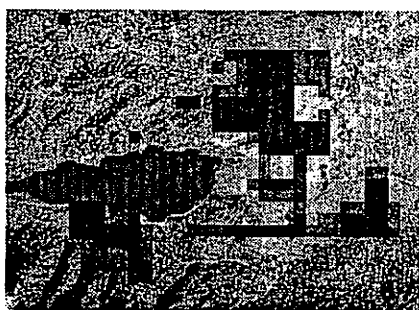


図 16 Landsat/TM 観測画像に投影した推定被災地

あり方について考察を行い、100 km×100 km のオーダーの範囲の記述には DCW 等の縮尺百万分の 1 のデジタルマップ、10 km×10 km のオーダーの範囲の記述には Landsat/TM 等の高解像度衛星画像がベースマップとして適していることを明らかにした。また、災害情報の取得能力の違いによる新たな災害弱者、災害デジタルデバイドを解消するためには、標準化された情報プロトコルによるプラットフォームを選ばない情報提供が必要であることを指摘した。

今後の課題としては、DMSP/OLS 画像のジオリファレンス精度の向上、地震後画像の雲の影響を極力排除する手法の開発、システムの自動運用に向けた EDES のコード作成と運用試験といったことが挙げられる。

謝 辞

本論文を執筆するにあたり、(財)日本国際協力システム 藤田晴啓博士には DMSP/OLS 画像を用いた研究に関し、多くのご指導を頂きました。また、地理情報の標準化の動向については、理化学研究所地震防災フロンティア研究センター 春名常洋氏の助言を頂きました。ここに記して感謝いたします。

本論文で用いた DMSP/OLS 画像は NOAA/NGDC より、Landsat/TM 画像は欧州宇宙機関(European Space Agency)より提供を受けました。

参考文献

- 1) 林春男：情報システム－防災 CALS の確立－，自然災害科学，No. 15-2，pp. 93-102，1996。
- 2) 土木学会地震工学委員会リアルタイム地震防災研究小委員会：第 1 回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集－リアルタイム地震防災の現状と今後－，1999
- 3) 土木学会地震工学委員会リアルタイム地震防災研究小委員会：第 2 回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集－リアルタイム地震防災の近未来の姿を探る－，2000
- 4) 桐山孝晴：地震防災情報システム (DIS) の開発，第 1 回リアルタイムシンポジウム論文集，土木学会，pp. 59-62，1999。
- 5) 松岡昌志他：人工衛星リモートセンシングを利用した地震被害分布の把握，第 1 回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集，土木学会，pp. 89-94，1999。
- 6) 小椋山雅之他：DMSP 夜間可視画像を用いた地震被災地の早期推定の試み，地域安全学会梗概集，No. 9，pp. 86-89，1999。
- 7) Hashitera S. et al.: Use of DMSP-OLS Images for Early Identification of Impacted Areas due to the 1999 Marmara Earthquake Disaster, Proc. of the 20th Asian Conf. on Remote Sensing, Vol. 2, pp. 1291-1296, 1999。
- 8) 小椋山雅之他：早期被災地推定システム EDES の開発に向けて，第 2 回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集，土木学会，pp. 159-164，2000。
- 9) Hayashi, H. et al.: International Collaboration for the Early Damaged Area Estimation System Using DMSP/OLS Nighttime Images, Proc. of IEEE 2000 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2000。
- 10) Takashima, M. et al.: Earthquake Damaged Area Estimation Using DMSP/OLS Night-time Imagery: Application for Hanshin-Awaji Earthquake, Proc. of IEEE 2000 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2000。
- 11) Cahoon, D.R.Jr., Stocks, B.J., Levine, J.S., Cofer, W.S. III, and O'Neill, K.P.: Seasonal Distribution of African Savanna Fires, Nature, Vol. 359, pp. 812-815, 1992。
- 12) 永野修他：DMSP と GMS を用いた大規模森林火災モニタリング手法の検討，写真測量とリモートセンシング，Vol.37, No.3, pp. 32-41，1998。
- 13) 伊藤涼他：OLS 可視・熱赤外画像に見られる漁船の分布と海面温度の関係，写真測量とリモートセンシング，Vol.37, No.4, pp. 34-42，1998。
- 14) 中山裕則他：DMSP 全球夜間映像の作成と夜の光分布に関する地理学的考察，日本リモートセンシング学会誌，Vol. 13, No. 4, pp. 1-14，1993。
- 15) 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。
- 16) Elvidge, C. D. et al.: Relation between satellite observed visible-near infrared emissions, population, economic activity and electric power consumption, Int. J. Remote Sensing, Vol. 18, No. 6, pp. 1373-1379，1997。
- 17) http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/fires/fires_desc.html
- 18) Hashitera, S. et al.: The Potential of Using Satellite Images to Determine an Index of Recovery from Natural Disaster: A Case Study of the Great Hanshin-Awaji Earthquake Disaster, Proc. of the 6th Japan/United States Workshop on Urban Earthquake Hazard Reduction, pp. 492-495，1999。
- 19) 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。
- 20) http://www.neic.cr.usgs.gov/neis/data_services/data_services.html
- 21) <http://www1.gsi-mc.go.jp/ch3www/globalmap-gsi/globalmap-gsi.html>
- 22) Danko, D. M. : The digital chart of the world project, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, No. 58, pp. 1125-1128，1992。
- 23) 達石隆太郎・徐侃：DCW の精度に関する研究，写真測量とリモートセンシング，Vol. 37, No. 3，1998。
- 24) 村田 真：XML 入門，日本経済新聞社，1998
- 25) <http://www.w3.org/XML/>
- 26) <http://www.gsi-mc.go.jp/REPORT/GIS-ISO/KMGIS/sohron.htm>
- 27) <http://gisclh.dpc.or.jp/gxml/contents/gaiyo.htm>
- 28) 碓井照子：人工衛星を利用したリアルタイム通信とモバイル GIS-GPS，第 2 回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集，土木学会，pp. 181-186，2000。

(原稿受付 2000.6.27)