

早期被災地推定システム EDES の開発に向けて

小檜山雅之¹・林春男²・牧紀男³・山崎文雄⁴・松岡昌志³・橋寺晋¹・藤田晴啓⁵

- ¹ 理化学研究所 地震防災フロンティア研究センター
(〒673-0433 兵庫県三木市福井字三木山 2465-1)
- ² Ph.D. 理化学研究所 地震防災フロンティア研究センター (同 上)
- ³ 工博 理化学研究所 地震防災フロンティア研究センター (同 上)
- ⁴ 正会員 工博 理化学研究所 地震防災フロンティア研究センター (同 上)
- ⁵ Ph.D. 都城市教育委員会 (〒885-8555 宮崎県都城市姫城町 6 街区 21 号)

地震災害直後早期に被災地の地理的分布を把握することは、人的・物的資源の最適な投入など、災害対応を効果的に行うために非常に重要である。都市が大地震の被害を受けた場合、構造物の被害だけでなく様々な人間活動の停滞から夜間の町の光が著しく減少することが予想される。よって、夜間可視光強度を被災前後で比較することにより被災地の分布を早期に推定することが可能と考えられる。米国の軍事気象衛星 DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) は感度の高い近赤外～可視光センサー OLS を搭載しており、都市の明かり等の微弱な夜間可視画像を観測することができる。本報告は DMSP を利用した早期被災地推定システム EDES (Early Damaged area Estimation System) の開発の試みについて述べるものである。

Key Words : Satellite, Remote Sensing, DMSP, Nighttime Light, Damaged Area, Damage Estimation, Disaster Management

1. はじめに

阪神・淡路大震災以降、国土庁や各地方自治体は地理情報システムを活用したリアルタイム地震防災システムの構築を進め、災害情報を早期に把握する体制を整えてきている。これらのシステムの多くは地盤、ライフライン、建築構造物といった様々な情報をデータベースに格納し、地震発生時には地震情報を即座に収集し被害推定を行う仕組みをとっている。阪神・淡路大震災でも防災システム整備の遅れが大きな問題として指摘されたが、大規模な地震が発生した際には、通信回線の不通、情報の混乱等により正確な被災状況の把握ができないことから、連絡が可能であった被害をそれほど受けていない地域やマスコミに報道された地域のみには救援を集中させてしまう傾向がある。この問題に対し、限られた人的・物的資源を効果的かつ効率的に投入するためにリアルタイム地震防災システムに要求されるものは被害の地理的情

報を迅速に提供することと考えられる。しかし現在のところ、詳細な地震観測網を持つ日本以外の他の国々、特に地震災害の危険度が高いアジア諸地域ではこれらのシステムを保有している例はいまだ少ない。

一方、災害直後の情報を把握するための技術として人工衛星によるリモートセンシング画像を活用する研究が多く行われている。著者らはかねてより地震発生後の災害対応業務の高度情報化を目的として、人工衛星による観測データを広域被害状況の把握、地震災害プロセスの把握といった研究¹⁾に活用している。また、昨年相次いで発生した 1999 年 8 月 17 日トルコ・マルマラ地震災害、1999 年 9 月 21 日台湾・集集地震災害では被災地における中央政府、NGO による復旧・復興活動を支援する目的で米国の軍事気象衛星 DMSP²⁾を用い被災地推定を試みてきた³⁾⁴⁾⁵⁾。本報告では DMSP 観測画像を活用した早期被災地推定システム EDES (Early Damaged area Estimation System) の開発に向けた取り組みについて述べる。

表-1 可視・熱赤外域画像が観測可能な主な衛星

衛星	地表解像度 (m)	観測幅 (km)	回帰日数 (日)
SPOT	10, 20	60	26
IRS	10, 24	70, 141	24
Landsat	15, 30, 60, 120	185	16
NOAA	1,000	2,700	0.5
DMSP	2,700	3,000	0.25

2. 夜間の光に基づく被災地の推定

都市が地震の被害を受けた場合、発電送電の施設損傷および機能一時停止による停電、街灯や建物等の被害による光源の減少により夜間の光が被災前に比べ著しく減少することが予想される。また地震被害は構造物等の直接被害だけでなく社会経済に及ぼす間接的被害も含まれる。すなわち、被災者の避難所への移動、飲食店や娯楽施設等の営業の停止といった人間活動の停滞によっても町の光の減少がもたらされと考えられる。したがって、人工衛星等により夜間の可視光のリモートセンシングを行い、平常時に比べ著しく光量が減少した地域を特定することで地震による被災地の推定が可能であると考えられる。

可視～熱赤外域画像が観測可能な主な地球観測衛星の解像度・観測幅・回帰日数を表-1に示す。一般に空間分解能の高さと観測頻度は相反する関係にある。解像度の高いLandsat, SPOT等は回帰日数が長すぎるため地震発生直後に被災地の観測を行うまでに数日を要する場合がある。これに対してDMSPは解像度が2.7 kmと低いが、回帰頻度が1日に4回あるため、地震発生直後24時間以内に観測が可能である。

また、DMSPに搭載されている可視光・赤外線センサーOLSはNOAA-AVHRRやLandsat-TMといったセンサーに比べ4桁以上のオーダーの感度をもち、都市の光に留まらず、焼畑・森林火災の火⁶⁾や操業漁船の集魚灯⁸⁾など、夜間の微弱な可視光の観測も可能である。

さらに、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。衛星プラットフォームによるリモートセンシング画像を利用したシステムは使用する衛星の運用が停止した場合にシステムそのものが利用できなくなることから、開発した被災地推定システムが長期にわたり運用可能な点は大きなメリットとして挙げられる。

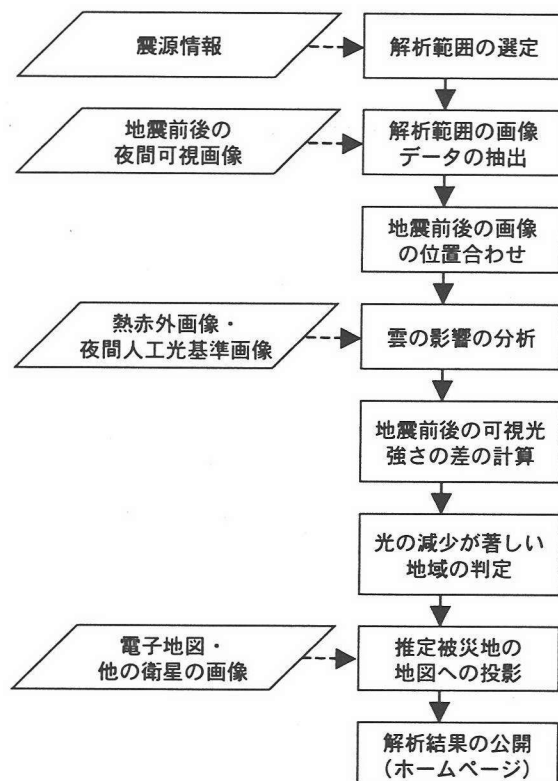


図-1 被災地推定のフロー

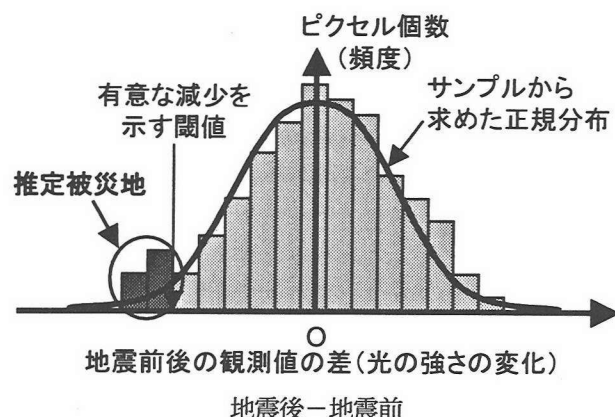


図-2 被災地判定のクライテリア

3. 被災地推定手法

被災地推定のフローを図-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、熱赤外画像ならびに夜間人工光基準画像 (Stable Lights)⁹⁾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ため、熱赤外画像から容易に位置を

同定することができる。また、Stable Lights は過去 2 年以上にわたり観測されたデータセットの同一地点における観測値から統計的に求められた可視光検出確率を表す画像であり、大気・雲・月光等の影響を取り除いたものである。雲の位置および Stable Lights の画像を参照し、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考慮を行う。

続いて、地震前後の可視光の強度差を計算し、光の強さの減少が著しい地域の判定を行う。OLS のセンサーのゲイン設定は月光の強度変化に伴い調整される。そのため可視画像の各ピクセルの計測値は 0 から 63 までの 64 段階で光量の相対強度が示されている。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ものと考えられるため、地震前後における各ピクセルのデジタル値の差は可視光強度差を表すものと見なす。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、ピクセル値の減少量を求め、正規変換を行い、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電子地図や Landsat 等の衛星画像上に投影し、地理情報として容易に理解できる形の主題図を作成する。最終的には推定結果をホームページ (<http://www.miki.riken.go.jp>) 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。

4. 適用事例

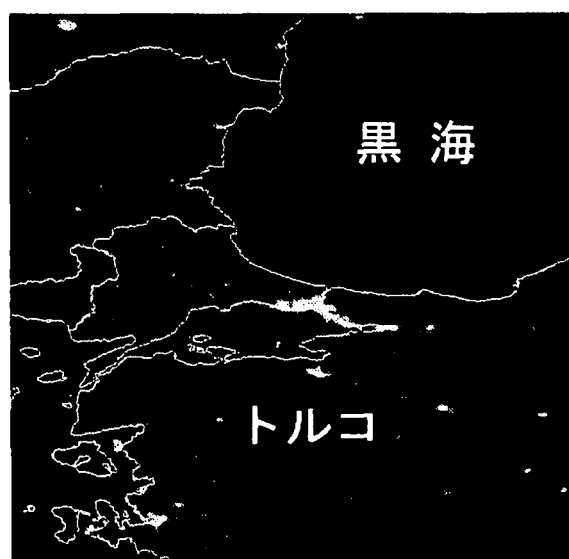
(1) トルコ・マルマラ地震災害

1999 年 8 月 17 日トルコ・コジャエリ地震により発生したマルマラ地震災害について、本手法により被災地の

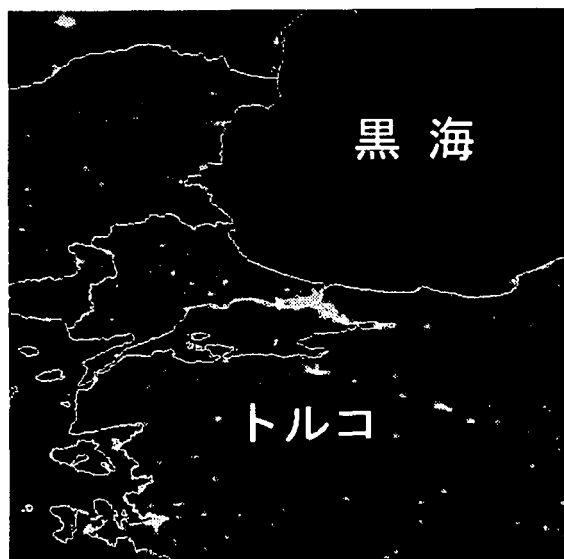
推定を行った。図-3 はそれぞれ、地震発生前の現地時間 8 月 16 日午後 11 時 30 分頃と地震発生後の 8 月 17 日午後 11 時 10 分頃のイスタンブールを中心とした東西 670 km、南北 740 km の地域における夜間の可視光の強さを表している。地震後の画像における縦線はノイズによるものである。両図において、地震前後の画像でゲイン設定が異なること、また見やすさのため画像補正も別々に行っていることから、両図の明るさは絶対値ではない。雲の影響については赤外線画像の分析、夜間人工光基準画像との比較により両図ともほとんど影響ないことが確認されている。

地震前後の光の強さの減少量をピクセル単位で解析した結果のヒストグラムを図-4 に示す。見やすさのためにヒストグラムは対数軸で表示されている。そのため、サンプル値から計算される正規分布は図中に放物線で示されている。同図のヒストグラムより、著しく可視光強度が減少したピクセルが正規分布と乖離した分布を形成していることがわかる。

解析結果より、有意に光量の減少した、被災地域である可能性が高い地域が図-5 に示されている。推定被災地は Yalova, Kocaeli, Sakarya, Bursa, Eskisehir, Bolu 県等広く分布しており、現地からの被害報告と概ね整合する結果となっている¹⁰⁾。特に、Eskisehir, Bolu 県は地震直後に被害があったことが十分報道されていなかったことから、本手法による被災地推定結果が逸早く公開できていれば災害対応に役立てられた可能性が高いことが指摘できる。なお、図-5 において灰色で示される地域では地震の前後とも可視光センサーの測定レンジを超えるほど明るいため、光の強さの減少量を求めることができない地域である。



地震前 (8月16日)



地震後 (8月17日)

図-3 地震前後の夜間可視光強さ (トルコ)

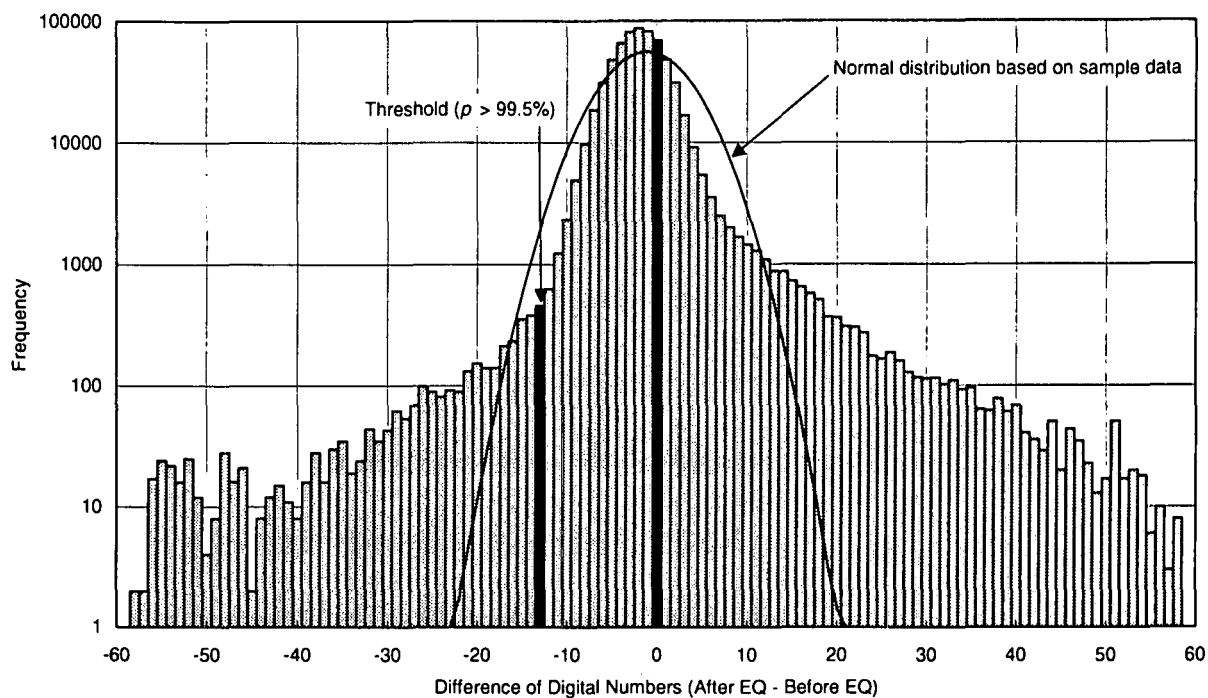
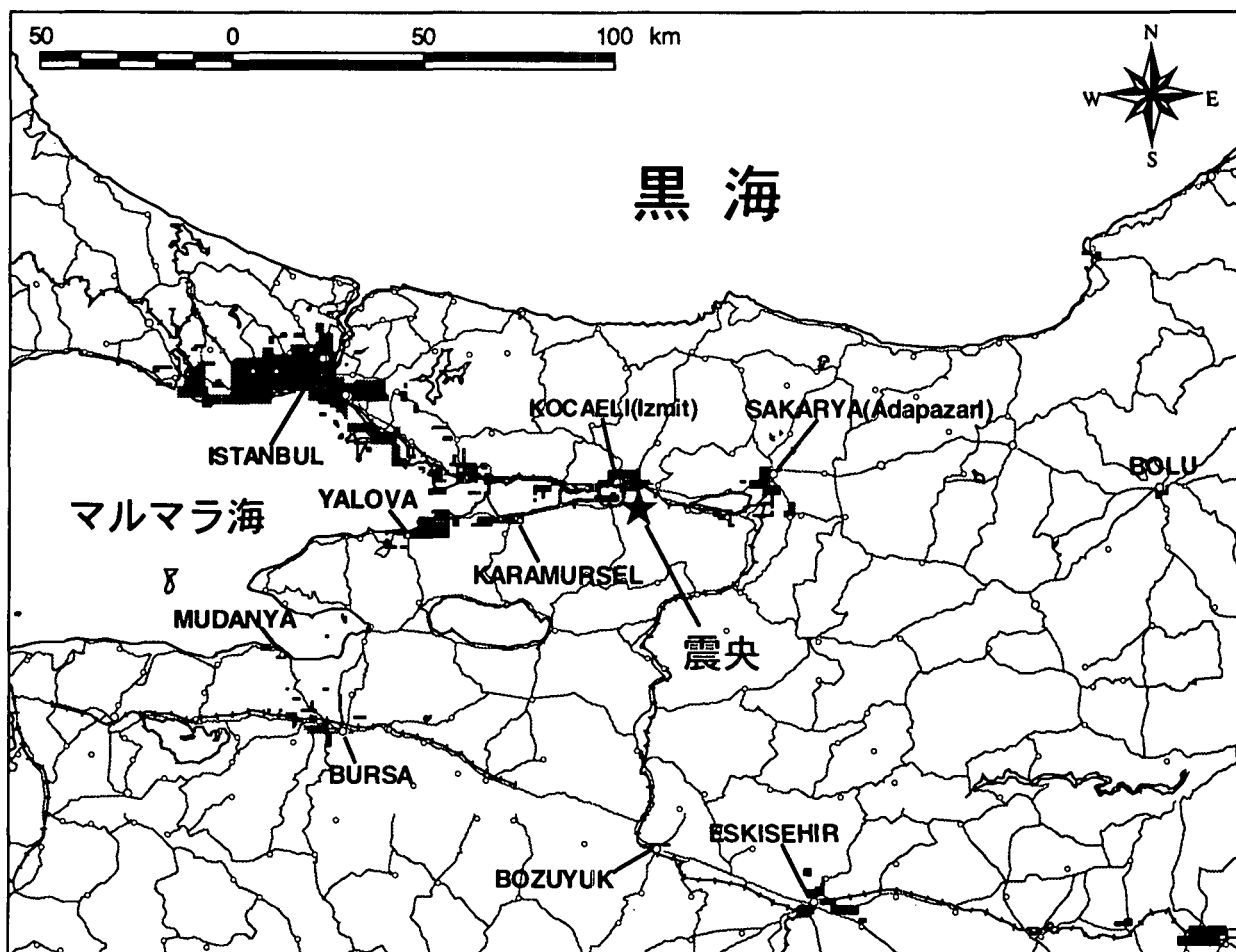


図-4 地震前後の可視光強度差の度数分布（トルコ）



黒色：推定被災地 灰色：明るすぎるため推定不能

図-5 トルコ・マルマラ地震災害の推定被災地（トルコ）

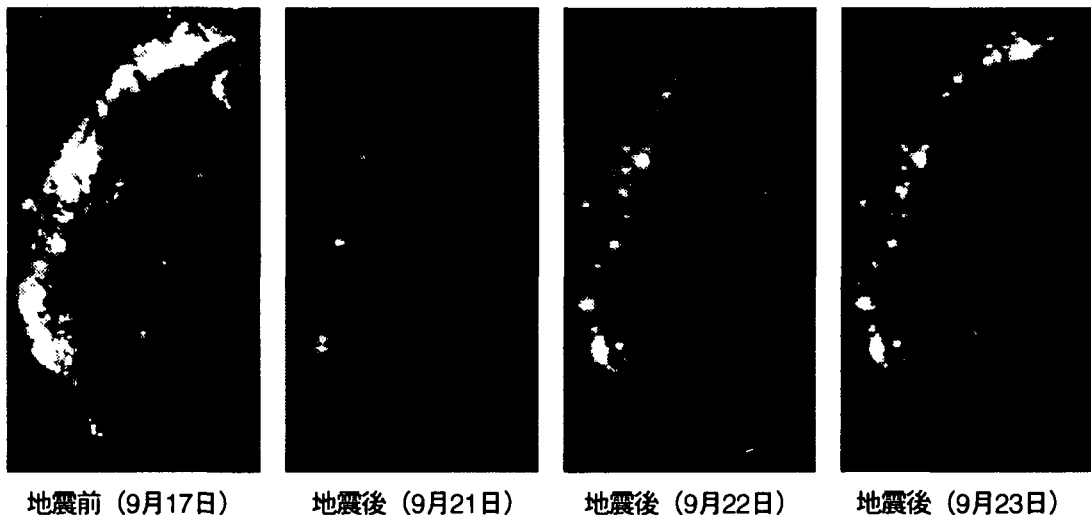


図-6 地震前後の夜間可視光強さ (台湾)

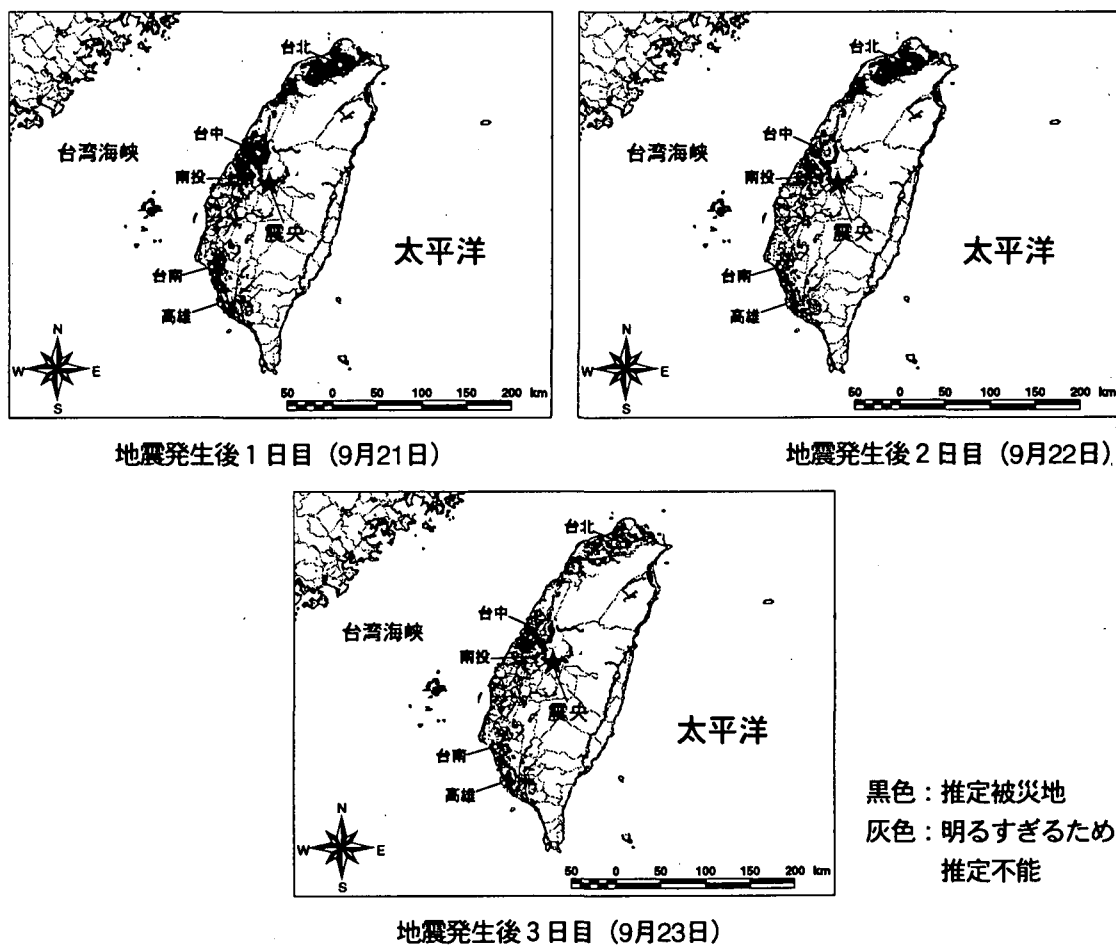


図-7 地震前後の夜間可視光強さ (台湾)

(2)台湾・集集地震災害

1999年9月21日台湾・集集地震災害について、同様に被災地の推定を行った。地震発生日を前後して台湾一帯は台風に伴う雲に覆われていたが、地震前の画像として比較的雲の影響の少ない9月17日のものを用いた。また地震後の画像としては9月21, 22, 23日の3日間の画像

を用いた。この場合雲の影響を無視し、夜間可視光が著しく減少した地域を求めた。夜間可視光画像を図-6に、被災地推定結果を図-7に示す。雲による影響も大きいものと考えられるが、地震発生日には台湾全土で停電があり、推定結果も台湾全土での光量は著しく減少し、その後徐々に復電していることと調和的な結果が示されている。

る。しかしながら、地震前画像と地震後画像で観測間隔が大きいと、月光の影響について今後検討が必要である。また、復旧・復興の過程についても同様に調査分析を検討中である。

5. 早期被災地推定システムの開発にむけて

今回トルコ・マルマラ地震災害では8月22日にデータ提供を依頼し、8月24日にデータを入手、その後被災地推定の解析を行い9月7日にホームページでの公開を行った。また、台湾・集集地震災害では地震発生当日にデータ提供を依頼し、NOAA/NGDCの好意により9月22日の段階で9月20・21日のデータを緊急に入手することができたが、解析結果のホームページでの公開は10月1日と、いずれも緊急・応急対応に活用するには被災地推定結果の公開までに時間を要しすぎているといえる。DMSPデータは軍事目的であるため、昨年発生した2つの地震に対する被災地推定の試みを行った時点では一般への公開までに72時間のホールタイムが存在した。しかし、その後1999年12月20日より、3時間に規制緩和された。今後も継続的に、地震災害発生後、早期に被害範囲の特定を行い情報提供していく必要があると考えられるが、データ入手体制の整備も含めて、早期の被災状況把握のための国際的な枠組みを構築する必要がある。現在著者らはデータ入手から情報提供まで迅速に行える体制づくりならびに、データの取得からインターネットを通じた推定結果の公開までを自動化したプログラムの開発を含めて、早期被災地推定システムの構築を進めている。

6. まとめ

米国の軍事気象衛星 DMSP の夜間可視光観測画像を用い、地震前後の光の強さを比較し被災地域の広域推定を行う早期被災地推定システム EDES の開発に向けた取り組みについて述べた。トルコ・マルマラ地震災害、台湾・集集地震災害について本推定手法を適用した結果、地震後の光量の減少により大まかに被災地域の特定が可能であることが確かめられた。今後、現地の被害分布と推定結果を比較し、被災推定の妥当性と信頼性を検討していくとともに、大気・雲・月光の影響を極力排除し推定精度を向上させることと、データ入手体制の整備も含め、早期の被災状況把握のための国際的な枠組みを構築すること、復旧・復興過程に関する分析を行うことが課題として挙げられる。

謝辞：本研究では米国商務省海洋大気庁地球物理データ

センター(NOAA/NGDC)のDMSP データを利用した。記して謝意を表す。また、本論において、トルコを中心とする地域の地図は米国 ESRI 社、台湾を中心とする地域の地図は英国ヨーロッパ・テクノロジーズ社の電子地図データを使用している。

参考文献

- 1) Hashitera, S., Maki, N., and Hayashi, H.: 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.
- 2) Kroehl, H.W., Elvidge, C.D., Hobson, V.R., and Fujita, H.: DMSP Operational Linescan System: Observational Capabilities, Proc. of the 1st Japan/United States Workshop on DMSP Application for Disaster Management, pp.1-6, 2000.
- 3) Hashitera, S., Kohiyama, M., Maki, N., Hayashi, H., Matsuoka, M., and Fujita, H.: 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.
- 4) 小増山雅之, 橋寺晋, 牧紀男, 松岡昌志, 林春男, 山崎文雄, 藤田晴啓: 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.
- 5) Kohiyama, M., Hashitera, S., Maki, N., Matsuoka M., and Hayashi, H.: Estimation of Damaged Areas in Earthquake Disasters in Turkey and Taiwan, 1999, Proc. of the 1st Japan/United States Workshop on DMSP Application for Disaster Management, pp.7-12, 2000.
- 6) 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.
- 7) 永野修, 山本浩万, 岡田泰征, 本田嘉明, 梶原康司, クリストファーD.エルピッジ: 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.
- 8) 伊藤涼, 長幸平, 下田陽久, 坂田俊文: 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.
- 9) Elvidge, C.D., Baugh, K.E., Hobson, V.H., Kihn, E.A., Kroehl, H.W., and Davis, E.R., Mapping City Lights with Nighttime Data from the DMSP Operational Linescan System, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 63, pp. 727-734, 1997.
- 10) Takashima, M. and Hayashi, H.: Field Verification of Early Impacted Area Estimation Using DMSP/OLS Data in the 1999 Marmara Earthquake Disaster in Turkey, Proc. of the 1st Japan/United States Workshop on DMSP Application for Disaster Management, pp.13-19, 2000.