

DMSP 夜間可視画像を用いた 地震災害素因分布の推定

高島 正典・林 春男

¹ 学生員 工修 京都大学大学院情報学研究科社会情報学専攻 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

² 正会員 Ph.D 京都大学防災研究所教授 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

地震被害想定の結果が妥当であるためには、地震外力の把握に加え、被害の根源となる人間の営みの正確な把握が重要である。しかし、一般の社会経済統計は、行政界を単位として集計されていることが多く、必ずしも行政界単位で発生するわけではない地震災害被害を推定するには、空間解像度が粗いという問題がある。一方メッシュ統計のような空間解像度の細かい統計では、集計頻度の面で今、現在の社会経済活動状況の把握には適していない。本研究では、行政界にとらわれない最新の地震災害素因分布を提供することを目的として夜間の可視光を捉えている米国の軍事気象衛星 DMSP の夜間可視画像から都市光を抽出し、地震被害の根源である社会経済活動の大きさと空間的分布を 30 弧秒メッシュで把握することを試みる。

Key Words : DMSP/OLS night-time imagery, Earthquake Damage Assessment, Damage Potential Estimation

1. 研究の背景と目的

自然災害は、人間の営みと地震などの自然外力の重なり合うことで発生すると考えられる。よって、被害推定・想定結果が妥当であるためには、自然外力と人間の営みを共に正確に把握する必要がある。しかし、従来の被害想定・推定手法の開発においては、自然外力をいかに詳細・正確に予測・把握するかに重点が置かれており、人間の営みのあり様の予測・把握の方法論は、未発達である。特に、近年では、発展途上国においても、地震災害に対する被害想定が行われるようになってきているが、自国の現状を把握する社会・経済統計を整備できる国は、一部の先進国に限られているのが実状である。本研究の最終目的は、米国の軍事気象衛星 DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) が捉える、毎日の夜間可視画像を利用して、人間の営みの空間布置を定量的把握法を開発し、世界各地の地震被災リスクの評価手法を構築することである。本発表では、DMSP 夜間可視画像から人間の営みを把握する上での課題を整理し、その解決策を提案する。

2. DMSP 夜間可視画像とは

Croft(1978)¹⁾は、米国の軍事気象衛星 DMSP(Defense Meteorological Satellite Program)に搭載された OLS(Optical Linescan System)が捉える夜間可視画像に、都市の灯り、油田の炎、焼畑の炎、イカ釣り漁船の誘魚灯といった、人間の営み(Human Activity)を源とする光が映っていることを指摘し、人間の営みの分布を捉える手段の一つとして、DMSP 夜間可視画像の利用可能性を示唆した。その後、Welch(1980)²⁾、中山(1993)³⁾、Elvidge(1997)⁴⁾、Konami(1998)⁵⁾、Elvidge(1999)⁶⁾、Nakayama(1999)⁷⁾らが、DMSP 衛星が捕らえる光の分布と人口、GDP、電力消費量との関係を定量的に分析し、それらの間に強い相関関係があることを明らかにしている。

DMSP 夜間可視画像は本来、米空軍への気象情報の提供のため、全地球の雲の分布を把握することを目的としている。そのため、センサーやセンサーを搭載するプラットフォームの設計もそれに即したものになっている。現在は、F-12,13,14,15 と名付けられた 4 つのプラットフォームが観測を行っている。F-12,14,15 は夜と昼、

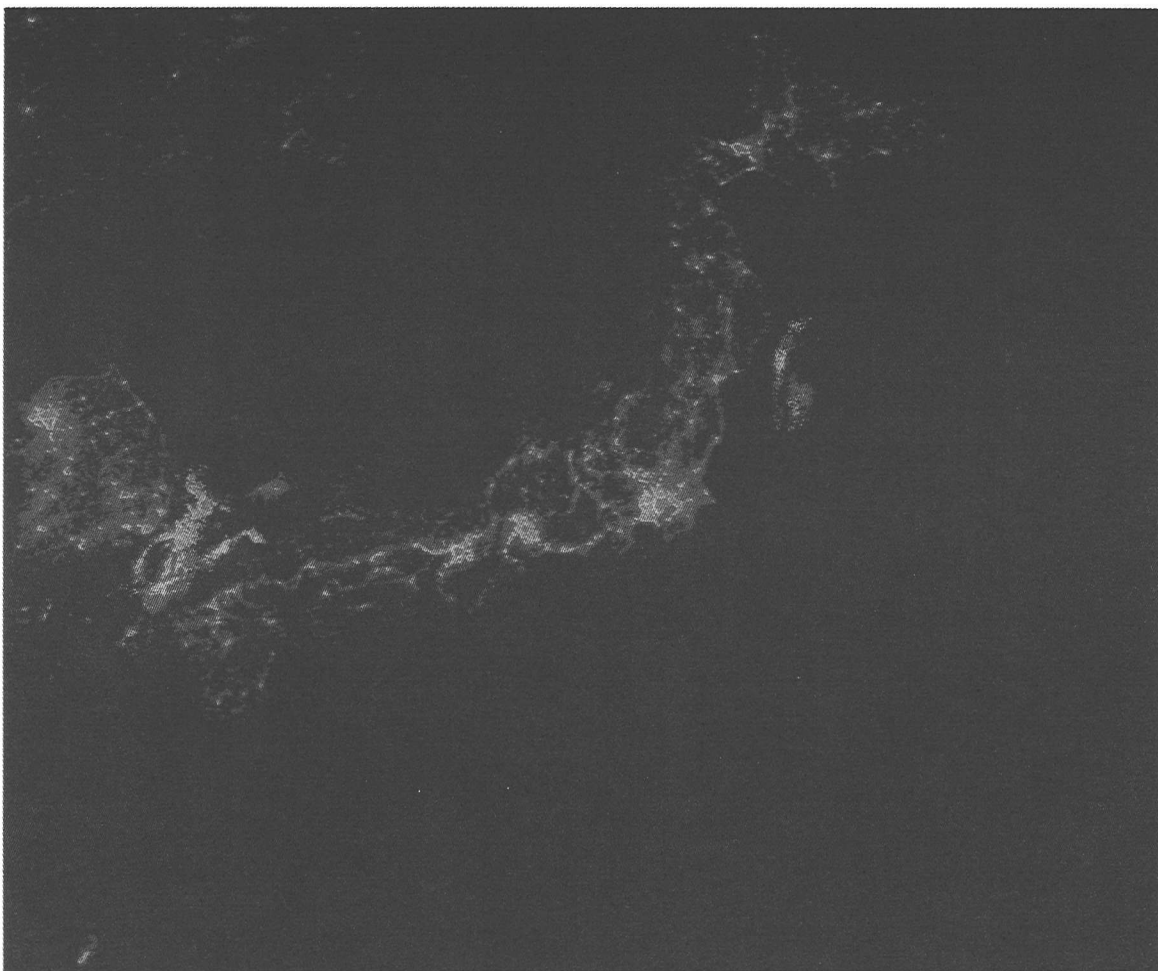


図-1 Elvidge (1999) らが作成した RCCL における日本周辺の画像 (1996 年 3 月及び, 1997 年 1, 2 月の画像から作成)

F-13 は朝と夕方に中緯度地帯を観測している。F12,14 は夜 9 時,F15 は夜 10 時に中緯度地帯を観測する。各プラットフォームは極軌道上にあり、1 日地球を 14 周し、1 日 2 回同一地点の観測が可能となっている。OLS は近赤外から可視領域 (VIS band : $0.5\sim0.9\mu\text{m}$) と、熱赤外領域 (TIR band : $10\sim13\mu\text{m}$) の 2 つの電磁波領域を捉えることが出来る。走査の幅 Swath(刈り幅)は約 3000km である。撮影に際し、観測画像の 1 ピクセルの空間的な大きさ GSD(Ground Sample Distance)として、0.55km (Fine) メッシュと 2.7km (Smooth) メッシュの 2 つを選択することができる。通常は、2.7km モードで撮影される。走査は、衛星軌道に対し、直角方向に行われる。VIS band は、6bit 0~63 の値(DN 値 : Digital Number)で記録され、TIR band は、8bit 0~255 の値で記録される。夜間月光に照らされる雲の姿を捕捉するため、PMT(Photo-Multiplier Tube : 光電子倍増管)が搭載され、夜間の撮影に用いられる。これにより、より小さな放射強度 (最低 $10^{-9}\text{watts/cm}^2/\text{sr}/\mu\text{m}$ まで)をも捕捉することが可能である。また、月齢に伴う月光の強度変化に対応するため VDGA(Variable Digital Gain Amplifier)によって、ゲインをコントロールしている。このゲインコントロールは地上局から操作可能である。

DMSP が捉えてきたデータは 1972 年から 20 年間分はフィルムで、それ以降はデジタルデータで保管されており、地域の時空間的な発展の履歴を見ることを可能にしている。

3. 人間の営みの分布を把握するのにふさわしい 夜間可視画像の作成

夜間可視画像を用いて、夜の地球の全球モデルを作ろうとする試みは、フィルムデータの時代から行われてきた。最初は、単純なフィルムのモザイクであったが、Elvidge らは、デジタルデータを活用して、1997 年に都市光の出現頻度分布を示す “Stable Light(World at Night)” ,1999 年に都市光の物理的な強さ(放射強度)の分布 “Radiance Calibrated City Light(以下 RCCL)”を作成した(Fig. 1)。

ここで、問題となるのが、RCCL の作成方法である。通常入手できる DMSP 夜間可視画像は、同じ地域を撮影したもので、日によって様相が異なる。しかし、画像には、都市光以外にも、雲、雷の影響や、月齢に伴うゲインの調節の影響が反映されている。そのため、ある 2 時点間の画像の変化が、実際の都市光の強度の変化を表している

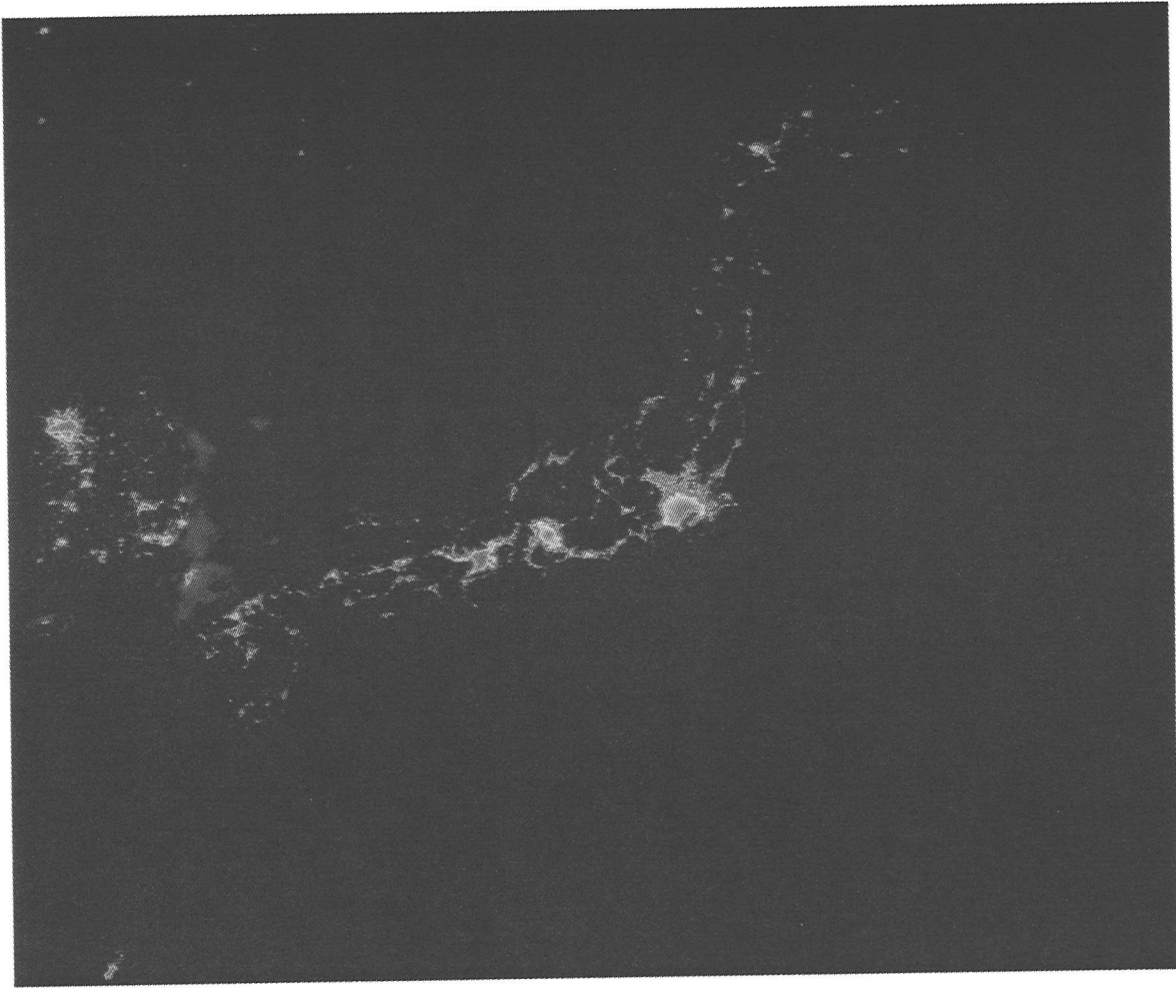


図-2 本論で提案する方法による都市光の抽出(2000年の1年分のデータの平均値)(データ提供: 農林水産省, 農林水産衛星画像データベース(SIDaB), NGDC/NOAA)

とは限らない。また、どの日の画像が真の光の強度を表しているものかわからない。このような問題に対し、ElvidgeらによるRCCLの作成は、まず米国空軍に依頼し一定期間ゲインの調節を固定して撮影を行い、得られた画像からノイズを手作業で除去し、ノイズ除去後の画像の平均値をとるという工程で行われている。この方法では、1)手作業が入っているため、作業員によるバイアスが入り得る、2)衛星本来の機能の維持のため、ゲインの固定は頻繁に要請できない、3)作成までに時間を要し、DMSP本来のリアルタイムな観測能力を活かせない、4)ゲインが固定されていない過去の資源を活かせないといった問題がある。そこで、筆者は、ゲインが固定されていない画像の1年間の画像の平均を取ることでによりノイズやゲイン調節の影響をキャンセルし、RCCLと同等のものを作成することを提案する。DMSP画像の各ピクセルの値は、都市光に雲、雷の影響が加わったものとして、次のように定式化できる。

$$X_k = T_k + C_k + R_k \quad (1)$$

X_k : ピクセル k の観測値
 T_k : 真値(都市光)

C_k : 周期変動要因

R_k : 不規則変動要因

雲や雷はランダムに生じるものと考えれば、観測値を重ね合わせ平均をとることで、以下に示す様に C_k や R_k の影響はキャンセルアウトされ、安定した都市光の値が得られることになる。

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n X_k &= \sum_{k=1}^n T_k + \sum_{k=1}^n C_k + \sum_{k=1}^n R_k \\ \sum_{k=1}^n C_k &\rightarrow 0(n \rightarrow 0) \\ \sum_{k=1}^n R_k &\rightarrow 0(n \rightarrow 0) \\ \sum_{k=1}^n X_k &= \sum_{k=1}^n T_k \end{aligned} \quad (2)$$

Fig. 2は1996年の1年分の画像を重ね合わせて作成した日本の夜の地図である。大量の画像の平均化により、雲、ノイズはほとんど見られない。また、Fig. 3は、 n 日平均画像と $n-2$ 日平均画像の差の標準偏差と、平均日数 n との関係を示したものである。平均日数が大きくなるにつれ、標準偏差は小さくなり、260日を越えたあたりか

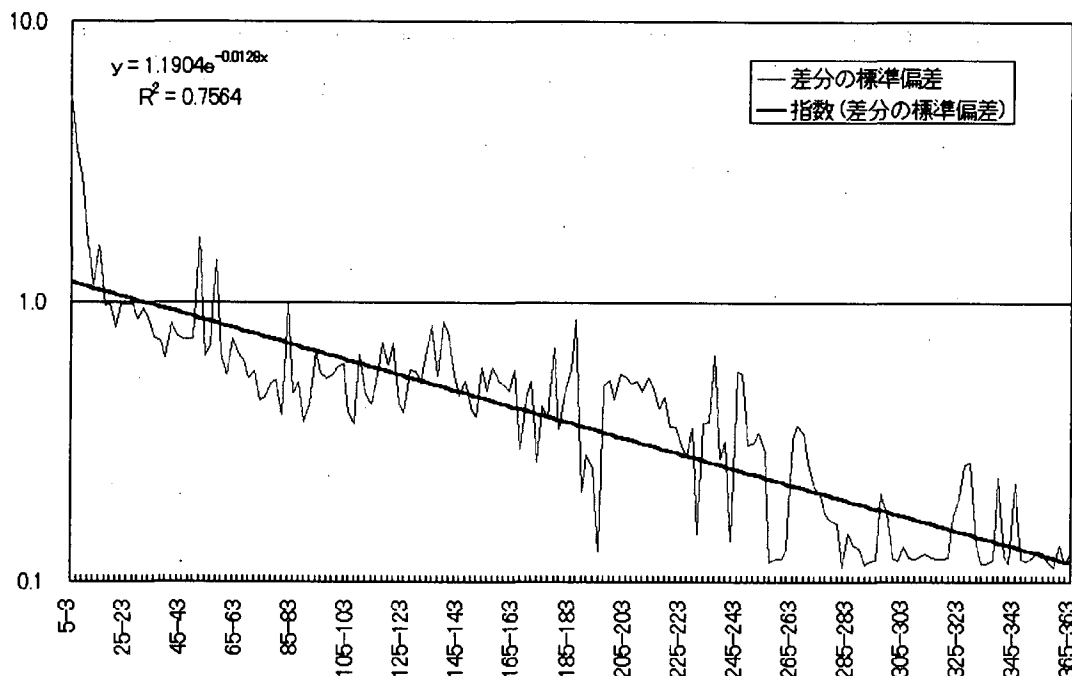


図-3 観測日数の増加によるn日平均画像とn-2日平均画像の差の標準偏差の減少

ら、底を打ったように見える。このように、平均日数を増やすことにより、画像が安定してくることがわかる。

Fig.4は、本研究において提案する手法により作成した画像とRCCLについて、日本の各都道府県の人口とその域内に含まれる光量(DN 値)の合計との間の相関関係を示したものである。縦軸は光量の合計に算入する最小の光量を、横軸は光量の合計と人口との間に線形関係を仮定した場合の決定係数を示している。両画像の決定係数の最大値は同程度(著者らの画像 $r^2_{\max}=828$, RCCL $r^2_{\max}=815$)であることから、少なくとも都道府県単位においては、本論で提案する手法による画像でも、RCCLと同程度の人口推定が可能であることが明らかになった。

今後は、国勢調査や事業所統計のメッシュ統計等との照合により、より小さい空間単位での人間の営みと光の分布の関係を検証し、地震被害想定に必要な人口、建物棟数の推定を試みる。

参考文献

- 1) Croft, T: Nighttime Images of the Earth from Space, Scientific American, Vol. 239, No.1, pp.68-79, 1978
- 2) Welch, R: Monitoring Urban Population and Energy Utilization Patterns From Satellite Data, Remote Sensing of Environment, Vol.9, pp.1-9, 1980
- 3) 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
- 4) Elvidge, C.D. et al.: Relation between satellite observed visible-near infrared emissions, population, economic activity and electric power consumption, International Journal of Remote Sensing, Vol.18, No.6, pp.1373-1379, 1997
- 5) Konami, T. et al.: Using nighttime DMSP/OLS images of Citylights

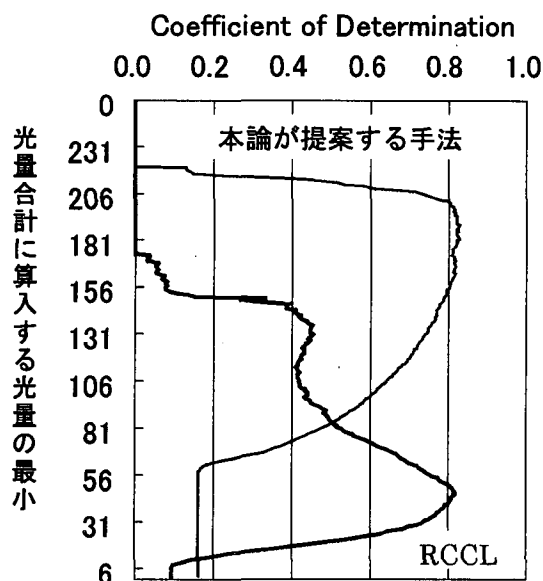


図-4 日本の各都道府県の人口とその域内に含まれる光量(DN 値)の合計との間に線形関係を仮定した場合の、光量合計に算入する光量の最小値と決定係数との関係

to Estimate District-level Population Distribution in Developing Countries, Proceedings of the 19th Asian Conference on Remote Sensing, pp.Q21_1-6, 11, 1998

6) Elvidge, C.D. et al: Radiance Calibration of DMSP-OLS Low-Light Imaging Data of Human Settlement, Remote Sensing and Environment, Vol. 68, pp.77-88, 1999

7) Nakayama, M. and Elvidge, C.D.: Applying Newly Developed Calibrated Radiance DMSP/OLS Data for Estimation of Population, Proceedings of the 20th Asian Conference on Remote Sensing, Vol.1, pp.289-293, 11, 1999