

# DMSP夜間可視画像を用いた広域都市圏の同定と 地震被害ポテンシャルの推定

Estimation of Earthquake Damage Potential in Metropolitan Area  
using DMSP Night-time Imagery and Application for Disaster Damage Assessment

高島 正典<sup>1</sup>, 林 春男<sup>2</sup>

Masasuke TAKASHIMA<sup>1</sup> and Haruo HAYASHI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院情報学研究科

Graduate School of Informatics, Kyoto University

<sup>2</sup> 京都大学防災研究所

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University.

We propose a method to identify metropolitan area cluster which could be a reasonable unit to prepare and response against future earthquake disaster. A method to estimate the distribution of population and number of buildings in 1km-mesh using DMSP/OLS (Defense Meteorological Satellite Program/ Optical Linescan System) night-time imagery which capture city lights reflecting extent of human activity is also proposed and its application limit is examined.

**Key Words :** DMSP/OLS, City Light, Damage Assessment, Population, Number of Buildings

## 1. 本研究の背景・目的

人間の営みのないところで、自然災害は存在し得ない。すなわち、人間の営み自体が、異常な自然外力を被った場合の潜在的な被害の発生源（被害ポテンシャル）である。よって、地震被害想定においては、地震外力の精度の高い推定とともに、地震外力が襲う地域に生活する人々、その人々の生活を支える社会基盤といった被害ポテンシャルがどのような空間分布で存在するのかを把握する必要がある。阪神・淡路大震災以降、初動期の支援を目的として、観測網に捉えられた地震動をもとに、被害想定と同様の被害推定手法を用いて、早期に地震被害の概要を把握する「リアルタイム地震防災システム」の重要性が認知されるようになった（山崎(1997)<sup>1)</sup>）。このようなリアルタイム地震防災システムが実効性を持つには、地震動だけでなく、推定対象地域に存在する地震被害ポテンシャルの現状もリアルタイムに把握できる必要がある。しかし、現状では、被害ポテンシャルの空間分布を知るには、新たにデータ収集を行うか、既存の社会統計調査結果を用いるしかない。新たにデータを収集するには、多大な労力が必要となる。また、既存の社会統計には、更新頻度と集計単位の空間解像度の大きさの間のトレードオフの問題がある。すなわち、集計単位の解像度かデータの新鮮さのどちらかをあきらめざるを得ない。

この問題に対して、高島・林(2001)<sup>2)</sup>では、米国の軍事気象衛星 DMSP (Defense Meteorological Satellite

Program) が日々捉える地表面夜間可視画像から都市光をバイアスの入らない形で抽出する手法を提案するとともに、得られた都市光分布から、被害ポテンシャルを推定する手法を提案した。しかし、高島・林(2001)の提案する都市光抽出手法は、夜間に観測される光源のうち安定して観測される光源の強さを推定するため、大きさの違いはあるものの、開発の及んでいない山間部であってもある一定の光の強さを持つことになる。その意味では、厳密に都市部が放つ光だけを捕捉するものではない。よって、高島・林(2001)の手法では、都市部ではない地域にも人口を推定してしまう恐れがある。また、地震被害想定に欠かせない建物棟数の推定手法は提案されていない。

高島・林(2001)において人口との関係の分析に用いられた都市光画像は、観測に携わっている複数の DMSP 衛星の内の、F12 というプラットフォームから観測されたものである。一般に衛星には寿命があり、必ずしも1つのプラットフォームが永続的に観測を続けられるわけではない。例えば、F12 は昼夜間の観測から、朝方・夕方の観測にずれつつあるといわれている。よって、複数のプラットフォームのリレーによって観測任務を維持する必要がある。この時、個々のプラットフォームが持つ観測画像データの癖の補正が問題となる。この補正は、人間の営みの継続的なモニタリングを実用的なものにする上で不可欠である。

南海トラフを震源とする地震に対する被害想定において、自治体間でその内容が大きく異なっていることと、

行政界を越えた統一的なシナリオに従った広域被害想定  
の重要性が指摘されている<sup>3)</sup>。災害が行政界を越えて発  
生するという事は、単に、地震外力が行政界と無関係  
に発生することだけでなく、人間の営みも行政界を越え  
た、いわば「都市圏」のような、ある連続的な空間的広  
がり単位として成立していることにも起因する。同一都  
市圏内における人間の営みはある種の運命共同体にある  
と考えれば、防災計画も、そのような空間単位を意識し  
たものにすべきである。よって、人間の営みの空間的  
単位である都市圏を同定し、その都市圏の変化を把握す  
ることは、広域災害に対する防災計画の対象範囲の同定  
に資することになる。

そこで、本研究では、高島・林(2001)の提案する都市  
光抽出手法に基づく都市光分布モデル(測定論モデル)と  
人口分布の関係から、3次メッシュ単位での都市圏の同  
定手法と都市圏を意識した人口推定手法を提案する。ま  
た、建物棟数の推定手法の提案を行う。さらに、モニタ  
リングの継続可能性確保のための、異なるプラットフォーム  
間の画像補正手法を提案するとともに、都市圏の時  
間変化を検証する。

## 2. 測定論モデルを用いた都市圏の同定

都市圏とはある都市を中心として種々の都市機能が周  
辺地域に影響を及ぼしている範囲を呼ぶ。日本では、国  
勢調査において、広域的な都市地域を規定するため、行  
政区域を越えて設定された統計上の地域区分として、中  
心都市の人口の大きさ、周辺都市の中心都市への接続性  
および通勤・通学者の割合を基準に、大都市圏・都市圏  
を設定している。米国では、中心都市の人口、周辺都市  
の人口および非農業労働者率と中心市への接続性を基準  
に、大都市統計地域(Metropolitan Statistical Area; M.S.A.)  
を設定している。そこで、本研究でも、人口規模と接続性  
を基準に都市圏と考えることにした。人口データとして  
は、平成7年国勢調査のメッシュ統計を用いた。また人口  
データと時期が対応する1995年の日本周辺の測定論模  
型を作成した。測定論モデルの作成方法の詳細に関し  
ては、高島・林(2001)に譲る<sup>補注1,2)</sup>。

都市圏を規定する人口規模は、分析者の視点による。  
少しでも開発の手が及んでいる地域をも都市圏としたい  
場合には、都市圏を規定する人口規模の水準は低くな  
ると考えられる。また、大都市の中心市街地のみを都市  
圏と考える場合には、人口規模の水準は高くなると考  
えられる。そこで、都市圏を規定するメッシュ内人口を  
様々な水準に定め、各人口規模水準に対応する都市光  
強さを求めた。メッシュ内人口の水準  $N$  としては、1  
人、10人、50人、100人、500人、1000人、5000  
人、10000人、50000人を選んだ<sup>補注3)</sup>。Fig.1は、  
DNと、あるDNを持つ全メッシュ数に対する、メッシュ  
人口が水準  $N$  以上であるメッシュ数の割合  $r_N$  の関  
係を示したものである。 $N$  が100以上50000未満の  
 $r_N$  については、 $DN < 222$  では、 $DN$  が大きくなる  
につれ増加し、 $DN = 222$  でピークを迎え、 $DN > 222$   
では減少する傾向があることがわかった。これは、大  
都市の中心部においては、都市光が強くなる一方、夜  
間人口は減少するためと考えられる。よって、 $DN = 222$   
は、都市圏を規定する一つの基準となりうる。各メ  
ッシュ人口水準の都市圏を判別する都市光強さは、閾  
値の考え方に従い、式[1]を用いて求めた。

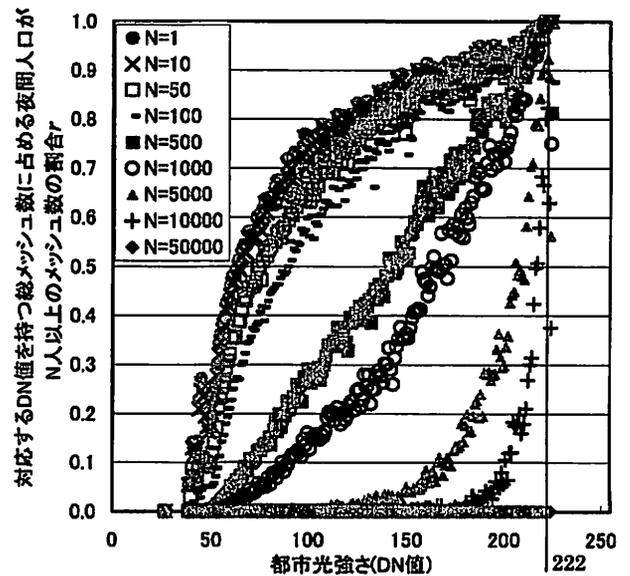


Fig.1 測定論モデルにおいてある都市光強さ DN を持つメ  
ッシュの総数に対する、居住人口が  $N$  人を超えるメッシュ  
数の割合

Table 1 メッシュ人口水準( $N$ )と DN の閾値の関係

都市圏レベル	メッシュ人口水 準( $N$ )	DN の閾値
1	-	222
2	10000 以上	217
3	5000 以上	211
4	1000 以上	172
5	500 以上	146
6	100 以上	89
7	50 以上	77
8	10 以上	66
9	1 以上	64

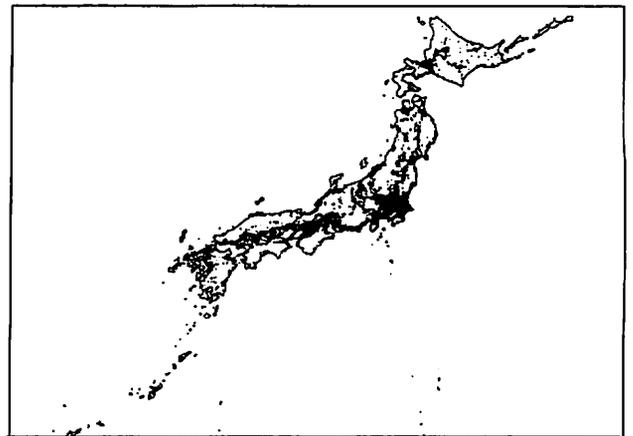


Fig.2-a Level 9 都市圏の空間分布

$$DN_{th,N} = \min\{DN\} \quad \text{式[1]}$$

ただし  $DN$  は、 $r_N(DN) \geq 0.5$ 、 $DN < 222$  を満たす。  
 $DN$ : 測定論モデルにおける都市光強さ、 $DN_{th,N}$ : メッ  
シュ人口水準  $N$  の都市圏を規定する  $DN$  の閾値、 $r_N(DN)$ :  
ある  $DN$  を持つ全メッシュ数に対する、メッシュ人口が  
 $N$  以上であるメッシュ数の割合



Fig.2-b レベル1～8の都市圏の空間分布

各メッシュ人口水準の都市圏を判別する DN の閾値を Table 1 に示す。各閾値および DN=222 によって規定される 9 つの都市圏をそれぞれ、レベル 1~レベル 9 都市圏と呼ぶことにする。各レベルの都市圏を示したものが、Fig.2-a,b.である。レベル 1 都市圏は、東京特別区、大阪市、名古屋市のごく中心部に相当している。レベル 3 都市圏になると、先の 3 都市に加え、広島市、福岡市の中心部が現れる。レベル 4 都市圏になると、残りの政令指定都市を始めとして、日本各地の地域的な中心都市が現れる。また、いわゆる 3 大都市圏が形成される。レベル 5 都市圏になると、レベル 4 までに現れた各都市圏同士の統合が見られ、レベルが上がるにつれ、さらに小さな地方都市の出現と大都市圏への統合が進む。レベル 7 都市圏で、いわゆる 3 大都市圏が一つの都市圏に統合される。レベル 8、レベル 9 都市圏はその空間分布および形状にほとんど差がない。このレベルでは、いわゆる北関東から福岡までの、太平洋ベルト地帯をも包含する巨大な都市圏が出現している。

各レベルの都市圏を判別する DN の閾値を用いることで、人口の推定も可能となる。各レベルの都市圏境界に挟まれた領域におけるメッシュ人口の中央値を Table 2 に示す。Table 2 は、DN とメッシュ人口との関係を、都市圏を考慮した形で、単純化しているため、これを用いることで、ある DN 値をもつメッシュにおける人口の概数を求めることができる。

### 3. 測定論モデルを用いた建物棟数推定

損害保険料率算定会(1998)<sup>4)</sup>によれば、地震被害想定を行いその結果を公表している 37 都道府県・8 政令指定都市中、建物被害棟数を想定していない自治体は存在しない。したがって、建物棟数推定の需要は非常に高いといえる。一方で、現存する建物棟数を、国勢調査や事業所統計のように、3 次メッシュ単位で把握し、公表している統計は存在しない。建物関連の統計としては、住宅・土地統計が存在するが、標本調査であり、市区単位でしか公表されていない。また住宅以外の建物は含まれていない。その他の、建物の情報としては自治体が管理している家屋課税台帳あるいは建物登記簿があるが、広域に渡る想定地域全域に関して、これらのデータを入手し、被害想定分析単位に組み替えることは、極めて難しい。このような現状に対し、長谷川・翠川(1997,1999)<sup>5,6)</sup>は、国勢調査と事業所統計の 3 次メッシュ統計を用いて、構造別・年代別建物棟数を推定する手法を提案した。長谷川・翠川の手法は、入手の難しい建物棟数データを、既存の統計を用いて、3 次メッシュ単位で整備できる。しかし、3 次メッシュ統計の更新頻度は、5 年に一度であるため、現状の把握に弱い。そこで、本研究では都市圏の同定と同様の方法で、測定論モデルから建物棟数を推定する手法を提案する。建物棟数データとしては、長谷川・翠川(1997,1999)の手法に基づいて平成 7 年国勢調査と、平成 8 年事業所統計の 3 次メッシュ統計から推計された木造・非木造別建物棟数を用いた。ここで推計された建物棟数は 1995 年および 1996 年のデータをもとに推計されたものであるため、この両年を通じた平均的な建物棟数をあらわすものと考えられる。都市光分布と建物棟数分布の関係を分析する際に、同じ時期の値を比較するため、1995 年および 1996 年の 2 年間

Table 2 隣接するレベルの都市圏境界に挟まれた領域における 3 次メッシュ人口の中央値

領域	DN の範囲	人口の中央値
レベル 1 境界内	$222 \leq DN$	4058
レベル 2 境界-レベル 1 境界	$217 \leq DN < 222$	14682
レベル 3 境界-レベル 2 境界	$211 \leq DN < 217$	11248
レベル 4 境界-レベル 3 境界	$172 \leq DN < 211$	3133
レベル 5 境界-レベル 4 境界	$146 \leq DN < 172$	873
レベル 6 境界-レベル 5 境界	$89 \leq DN < 146$	279
レベル 7 境界-レベル 6 境界	$77 \leq DN < 89$	72
レベル 8 境界-レベル 7 境界	$66 \leq DN < 77$	40
レベル 9 境界-レベル 8 境界	$64 \leq DN < 66$	18

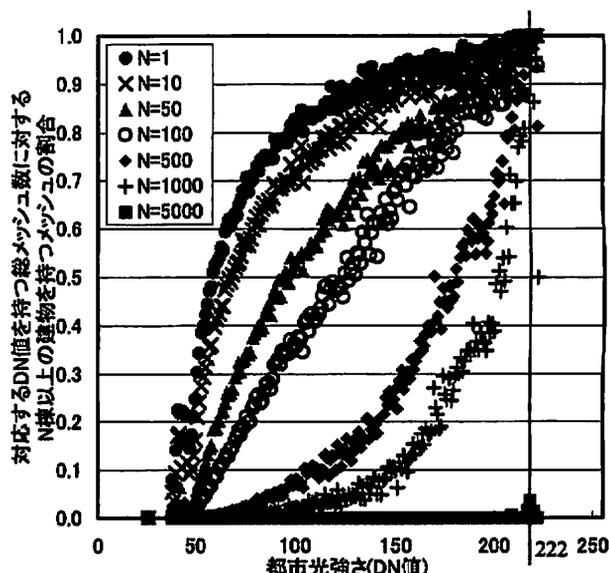


Fig.3 測定論モデルにおいて、ある都市光強さ DN を持つメッシュの総数に対する建物棟数が N を越えるメッシュ数の割合

Table 3 3 次メッシュ単位の総建物棟数と DN の閾値の関係

総建物棟数	DN の閾値
-	222
5000	221
1000	206
500	182
100	128
50	98
10	69
1	59

の夜間可視画像を用いた測定論モデルを作成した。

Fig.3 は、測定論モデルにおいてある都市光強さ DN を持つメッシュの総数に対する、建物棟数が N 棟を越えるメッシュ数の割合  $r_N$  を示したものである。N としては、1 棟、10 棟、50 棟、100 棟、500 棟、1000 棟、5000 棟を選んだ。N が 50 以上 5000 未満の  $r_N$  については、人口の場合と同様、DN の増加に対し、 $r_N$  が DN=222 をピークとして、増加から減少に転じる傾向がみられた。そこで、ここでも、DN=222 および式[1]で規定される DN を 3 次メッシュ単位の総建物棟数規模を判別する閾値とする。各 N に対応する閾値を Table 3 に示す。

Table3 に示した閾値を用いることで、建物棟数の推定も可能となる。各 N に対応する閾値で区分される DN 値の範囲毎の、総建物棟数分布の中央値および、総建物棟数に占める非木造建物棟数の割合を Table 4 に示す。DN 値が上昇するにつれ、総建物棟数と、総建物棟数に占める非木造建物棟数の割合が増加している。Table 4 の中央値によって、各 DN 値範囲の建物棟数を推定し、木造・非木造建物棟数の比率を用いることで、メッシュ単位で木造・非木造別の建物棟数の概数を求めることができる。

#### 4. 継続的なモニタリングに向けたプラットフォーム間の補正

都市光の測定論モデルを用いた被害ポテンシャル推定手法は、ある時点のあるプラットフォームによって観測された画像から作成された測定論モデルと、同時点における実測データとの関係に基づいている。観測任務が新しいプラットフォームに引き継がれた場合には、新旧のプラットフォームから観測される画像の違いを考慮して、新しいプラットフォームの観測画像から得られる測定論モデルを補正する必要がある。

1998 年の 11 月 23 日から 12 月 22 日の間に、F12 および F14 によって観測された日本周辺の画像をもとに、測定論モデルの日本の陸域内の 3 次メッシュにかかるピクセル間を比較した。Fig.4 に 1998 年 12 月の F12 画像値  $DN_{F12}$  と F14 画像値  $DN_{F14}$  の関係を示す。Fig.4 より、結果、F14 が観測する画像よりも、F12 が観測する画像の方が、全体的に明るいことがわかる。両者から観測される画像の違いの要因として、観測時刻に依存する都市光強度の違いも考えられる。しかし、F12、F14 の夜間観測における赤道通過時間は、それぞれ現地時間の 20:49 および 20:35 となっており、その時間差は、15 分未満である。このことから両者の観測画像の違いに占める観測時間差による影響は小さいものと考えられる。

両者の関係が、2 次関数で表現できると仮定し、最小二乗法により係数を求めた。その結果、両者の関係は、式 [2] で表現できる事が明らかになった。

$$DN_{F12} = -0.0013 \cdot DN_{F14}^2 + 1.3145 \cdot DN_{F14} + 0.8198$$

( $r^2 = .978$ ) 式[2]

Fig.4 中の曲線は、得られた回帰式を示す。式[2]を用いることにより、F14 から観測された画像に基づく測定論モデルを、F12 から観測された画像並に補正することが可能となる。このように、新しいプラットフォームが導入される度に、同期間の観測画像を用いて、補正式を導くことで、プラットフォームが変わっても、被害ポテンシャルのモニタリングが可能となる。

#### 5. 1995 年と 2000 年の測定論モデルの比較

##### (1) 都市圏の比較

4. で提案した手法を用いることで、1995 年と 2000 年の測定論モデルの比較が可能となった。Fig.5 は、1995 年と 2000 年における、メッシュ人口水準  $N = 1, 10, 100, 1000, 10000$  に対応するレベル 3,5,7,8,9 都市圏を比較したものである。また、Table 5 は 1995 年及び 2000 年における各レベルの都市圏の数を比較したものである。レベル

Table 4 隣接する DN の閾値の範囲における 3 次メッシュ単位の総建物棟数の中央値

DN の範囲	総建物棟数の中央値	総建物棟数
$222 \leq DN$	800	0.46
$221 \leq DN < 222$	1456	0.40
$206 \leq DN < 221$	1665	0.14
$182 \leq DN < 206$	746	0.10
$128 \leq DN < 182$	211	0.09
$98 \leq DN < 128$	73	0.10
$69 \leq DN < 98$	25	0.11
$59 \leq DN < 69$	5	0.12

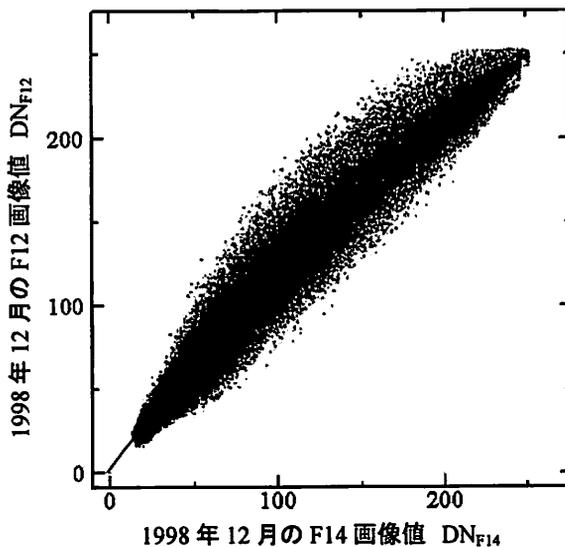


Fig. 4 1998 年 12 月の F12 画像値  $DN_{F12}$  と F14 画像値  $DN_{F14}$  の関係

7~9 の都市圏では、この 5 年間で大幅に数が減少している。一方、レベル 2,3 都市圏の領域は拡大している。レベル 1 都市圏でもクラスター数は減少しているが、これは、1995 年において全国に 4 つしかないレベル 1 都市圏のうち 2 つが大阪市にあり、2000 年までにこれらの 2 つが拡大・接合し、1 つのレベル 1 都市圏になったことによる。以上のことから、この 5 年間に、小規模な都市圏が消え、大規模都市圏の勢力が拡大しつつあることがわかる。レベル 9 都市圏で最大の都市圏は、南海トラフを震源とする地震で想定される被災地を包含している。その都市圏への集中が進んでいるという意味で、全国的なレベルでも、南海・東南海地震が発生した場合のリスクが高まっていると考えられる。

##### (2) 人口推定手法の検証

2000 年の測定論モデルをもとに推定された 3 次メッシュ人口を市町村単位に再集計し、同時期に行われた平成 12 年国勢調査結果の市町村集計と比較することにより、2. において提案した人口推定手法の検証を行った。市町村境界にかかる 3 次メッシュにおける推定人口は、当該 3 次メッシュ内の各市町村の面積の比率に従って、各市町村に按分した。Fig.6 は市町村ごとの推定人口と、国勢調査結果の関係を示したものである。統計による市区町村人口が 1 万人程度より小さい場合には、推計人口は統計人口に比べてかなり過小となり、1 万人から 10 万人

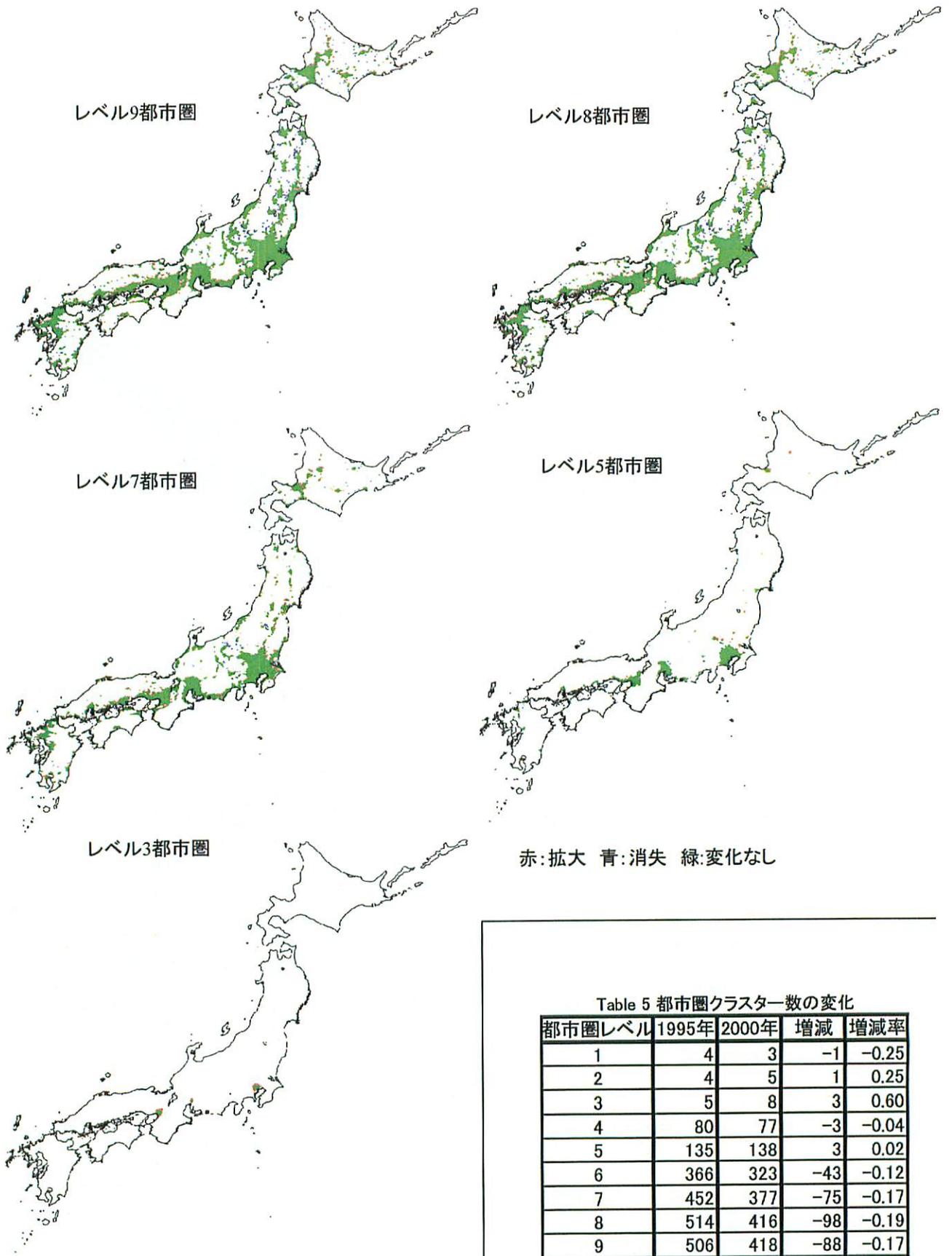


Fig.5 レベル9, 8, 7, 5, 3の都市圏の空間分布変化(1995-2000)

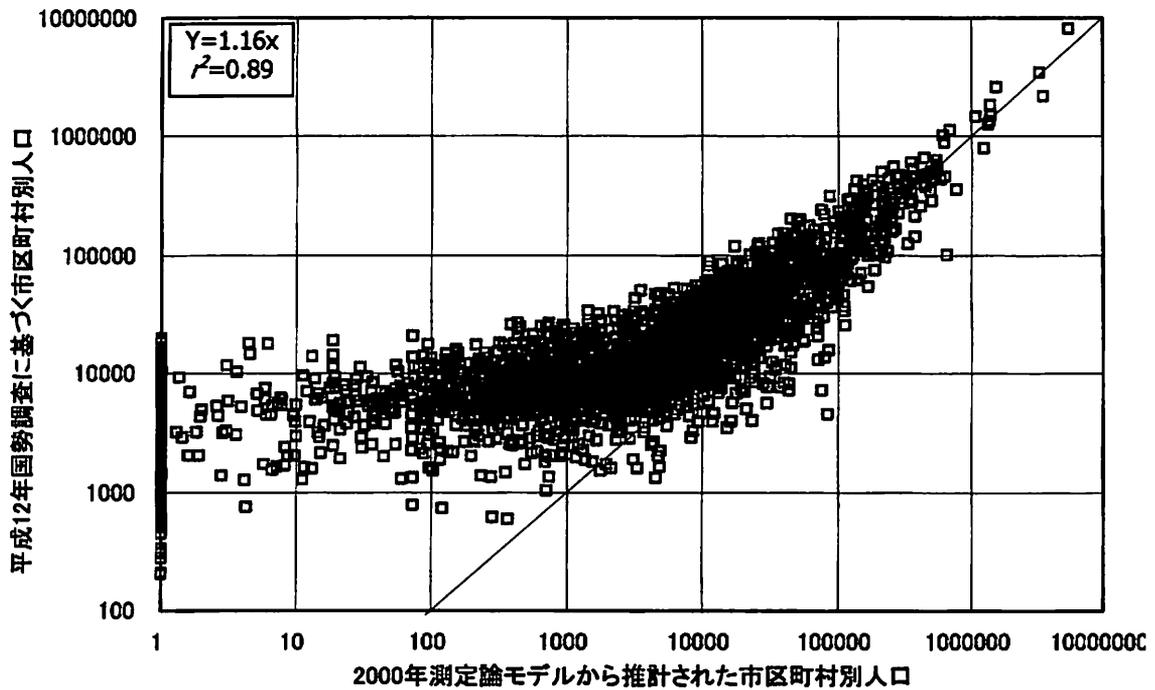


Fig.6 2000年測定論モデルから推計された人口と平成12年国勢調査人口との市区町村別の比較

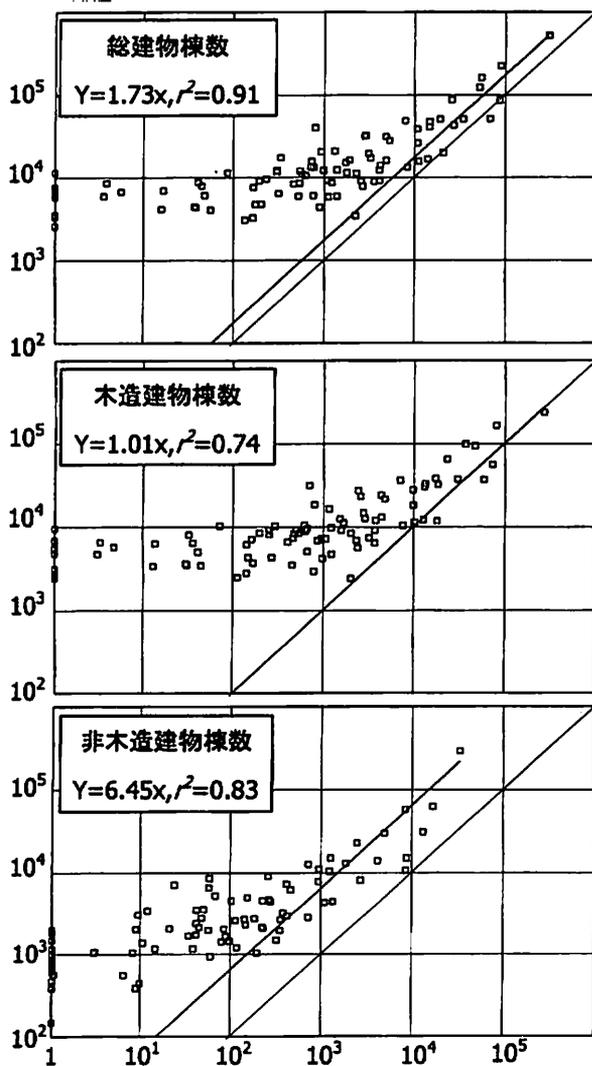


Fig.7 兵庫県内の市町毎の推定建物棟数と統計による建物棟数の関係(総棟数, 木造建物棟数, 非木造建物棟数)

では、10～20%過小評価の傾向がある。それ以上では両者はおおむね一致していることが分かる。以上のことから、本論文で提案する手法は、特に都市部の人口分布のモニタリングに力を発揮するといえる。

### (3)建物棟数推定手法の検証

3.でも述べたとおり、全国の3次メッシュ単位の建物棟数データの入手は難しいが、都道府県によっては、市区町村別の構造別家屋数を統計年鑑等を通じて公開していることがある。ここでは、兵庫県の市町別構造別家屋数を用いて、3.で示した手法の検証を行った。Fig.7は、兵庫県内の市町毎の推定建物棟数と、統計による建物棟数の関係を示したものである。総建物棟数については、全般に推定値は過小評価の傾向にある。特に、市町村内の建物棟数が1万棟以下の場合、その傾向はかなり大きなものとなる。推定棟数と統計棟数の関係を原点を通る直線でモデル化すると、傾きは1.73、決定係数は0.91となった。決定係数が比較的高いことから、市町内の建物棟数が1万棟以上である場合、推定値を1.73倍することによって、総建物棟数をある程度推定できる。木造建物棟数については、市町内の建物棟数が1万棟以上である場合、推定棟数と統計棟数は比較的一致しているが、市町内の建物棟数が1万棟未満の場合には、かなりの過小評価となってしまう。非木造建物棟数に関しては、全般的にかなりの過小評価の傾向がある。推定棟数と統計棟数の関係を原点を通る直線でモデル化すると、傾きは6.45、決定係数は0.83となった。決定係数がある程度高いので、市町内の建物棟数が1万棟以上であれば、推定値を6.45倍することで、ある程度非木造建物棟数を推定すること可能である。しかし、80%もの過小評価がなぜ生じるのかについては今後検討が必要である。

以上から、建物棟数に関しては、市町内の建物棟数が1万棟以上である場合には、必要に応じて補正を行うなどして、ある程度の推定は可能であることがわかった。また、市町内の建物棟数が1万棟以下である場合には、かなりの過小評価を覚悟する必要があることがわかった。

ただし、ここでの、建物棟数推定手法の検証は、あくまで、兵庫県の統計に基づくものであり、今後、他都道府県における検証が必要である。

## 6. 結論

本研究の成果は以下の通りである。

- 1) DMSP 夜間可視画像を用いた、都市圏の同定手法を提案するとともに、日本全国における都市圏を 3 次メッシュ単位で同定した。
- 2) 人口及び建物棟数の推定手法を提案した。
- 3) 異なる機体から撮影された画像を補正する手法を提案した。この補正手法により、観測機体寿命を超えた都市光の時系列分析が可能となった。
- 4) 1995 年の測定論モデルと 2000 年の測定論モデルにおける都市圏の変化を分析した。
- 5) 市区町村単位での人口・建物棟数推定手法の検証を行い、その適用範囲を検討した。

本研究によって同定される都市圏を想定対象とすることにより、人間の営みの空間的連続性を考慮した被害想定を行うことが可能となる。特に都市圏同定の際に明らかになった、北関東から福岡に至る巨大レベル 9 都市圏の存在は、南海・東南海地震への備えの重要性を再確認させるとともに、単に、地震外力が及ぶ地域だけでなく、その地域と運命を共にする都市圏全体での被害想定、防災体制の必要性を示した。

今後は、この巨大レベル 9 都市圏を対象として、南海トラフを震源とする地震の被害想定を進めていく。また、本研究で提案する都市圏同定、人口・建物棟数推定手法の海外への適用可能性の検討を進める。

### 補注 1 “日本周辺”の定義

以後、本論文で日本周辺の観測画像という場合、その対象領域は、北緯 20° ~ 46°，東経 122° ~ 154° の範囲内を指す。

### 補注 2 測定論モデルの作成手法の概要

DMSP 衛星は夜間月光に照らされる雲の分布を鮮明に捉えるのに必要十分な設計しかなされておらず、都市光を正確に補正するために必要な観測条件の統制はされていない。その結果個々の画像中で、都市光と考えられる光源は、異なる観測条件のもとで得られたものであり、必ずしも真の都市光強度を捉えたものではない。

Elvidge(1999)<sup>7)</sup>は、米国空軍に一定期間ゲインの調節等観測条件の統制を行い、その統制下で得られた画像から目視でグレア・欠損データ・雲・ノイズを除去し、除去後の画像の平均値をとるという工程で都市光を抽出する手法を提案した。しかし、この手法では、成果物に作業者のバイアスが入りうる、作成に時間がかかる、通常の観測業務の中で得られる画像や、観測条件の統制が行われなかった過去の画像資源を活かせない、といった問題があった。これに対し、高島・林(2001)は、測定論に基づき、観測値を選定することなく、むしろ大量の観測値を用いることで、観測条件の違いをキャンセルアウトし、真の都市光分布に迫るアプローチを提案した。すなわち、DMSP 画像に捉えられる光の観測値を、1)都市光のような安定した光源、2)月光を反射する雪などの周期的に現れる光源、3)月光を反射する雲、水面のさざなみ、漁船団、焼畑、雷といった不規則に現れる光源、4) 周期的な観測条件の変化に伴う観測値の変動成分、5)不規則な観測条件の変化に伴う観測値の変動成分の和として考えた。

$$X_{k,t} = T_{k,t} + L_{C,k,t} + L_{R,k,t} + C_{k,t} + R_{k,t} \quad [3]$$

$X_{k,t}$ : 時点  $t$ , 地点  $k$  の観測値

$T_{k,t}$ : 定常的に存在する光源

$L_{C,k,t}$ : 周期的にあらわれる光源

$L_{R,k,t}$ : 不規則にあらわれる光源

$C_{k,t}$ : 周期的な観測条件の変化に伴う観測値の変動成分

$R_{k,t}$ : 不規則な観測条件の変化に伴う観測値の変動成分

ここで、 $L_{R,k,t}$ ,  $R_{k,t}$  は(1)式における偶然誤差に相当する。また、 $L_{C,k,t}$ ,  $C_{k,t}$  についても 1 変動周期分の変動の平均は定数となる。周期変動成分が、対象地域全域に渡って、一様であると仮定すると、同じ地点の観測値を周期変動の周期の倍数分重ね合わせ平均をとることで、 $L_{R,k,t}$ ,  $R_{k,t}$ ,  $L_{C,k,t}$ ,  $C_{k,t}$  の影響はキャンセルアウトされ、定常的に存在する光源すなわち都市光を反映した指標を得ることができる。

### 補注 3 都市圏を規定するメッシュ人口規模の設定

都市圏を規定するメッシュ人口規模を対数則にそって設定したのは、各都市圏境界間の領域におけるメッシュ人口を、当該領域のメッシュ人口の中央値で代表させた場合に、誤差を 10 分の 1 から 10 倍に収めるためである。

### 謝辞

本研究遂行にあたっては、農林水産省農学情報支援システム(AGROPEDIA)、農林水産衛星画像データベースシステム(SIDaB)のDMSP/OLS Level 1データを利用させていただいた。また、DMSP/OLS Level 1データのジオロケーションには、米国商務省海洋大気局地球物理データセンターから提供していただいたプログラムを利用させていただいた。ここに謝意を表す。

### 参考文献

- 1)山崎文雄: リアルタイム地震防災システムの現状と展望, 土木学会論文集, No.577/I-41, pp.1-16, 1997.
- 2)高島正典・林 春男: 地震被害ポテンシャル推定のためのDMSP夜間可視画像を用いた都市光分布の測定論モデル作成手法の提案—人口推定への適用—, 地域安全学会論文集, Vol.4, pp.101-108, 2001
- 3)例えば、能島暢呂: 想定南海地震による被害予測について, 月刊地球/号外, pp.199-203, No.24, 1999.
- 4)損害保険料率算定会: 地震被害想定資料集, 地震保険調査報告 28, pp.4-51~52, 1998.
- 5)長谷川浩一・翠川三郎: 地域メッシュ統計を利用した広域での木造建築物群の震害予測-その 1 建築年代別の木造建築物棟数の推定-, 日本建築学会構造系論文集, No.494, pp.75-80, 1997.
- 6)長谷川浩一・翠川三郎: 地域メッシュ統計を利用した広域での非木造建築物群の震害予測, 日本建築学会構造系論文集, No.521, pp.41-47, 1999.
- 7)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.

(原稿受付 2002. 6.3)