

日本の夜景の衛星写真の画像解析について

水 上 善 博

On the Analysis for Satellite Photo of Japan at Night

Yoshihiro MIZUKAMI

Abstract

Similarity between images of Japan's night-time lights from satellite and population density of Japan is studied. Statistical analysis shows high correlations between them. Satellite photos of Japan at night before and after Tōhoku earthquake and tsunami are also analyzed. Drastic decreases of night-time lights at Kantō and Tōhoku areas are observed.

人工衛星から撮影された日本の夜景の画像と日本の人口密度分布の画像の間の類似性が調べられた。統計解析により、それらの間に高い相関があることが示された。東北地方太平洋沖地震とそれに伴う津波が発生する前後の日本の夜景の衛星写真も解析された。関東地方と東北地方の夜の明るさが大きく減少していることがわかった。

キーワード：衛星写真、画像解析、夜景、人口密度、東日本大震災

1. は じ め に

近年、人工衛星から撮影された様々な写真が公開されており、Google Earth などを利用して世界中の地形や雲の様子などを瞬時に見ることができる。さらに2007年から「街の灯かり」(Earth City Lights)というメニューでNASA(アメリカ航空宇宙局)より提供された、人工衛星から撮影された地球の夜の光(以後、「夜景」と呼ぶ)の画像がGoogle Earthで公開されている。夜景の画像は、その明るさから夜の電力の利用状況を知ることができるとともに、その

地域に住む人の数や人口密度とある程度相関があると思われる。本研究の目的は、人工衛星から日本の夜景を写した衛星写真の画像と日本の人口密度分布の画像とを比較することによって、夜景の明るさと人口密度との関係について定量的に調べることである。

さらに、NOAA(アメリカ海洋大気局)のNational Geophysical Data Centerにおいて、東北地方太平洋沖地震とそれに伴う津波が発生した、2011年3月11日とその前後の日本の夜景の画像が公開されているので、これらを比較してどのような変化が生じたのかを解析する。

2. 方 法

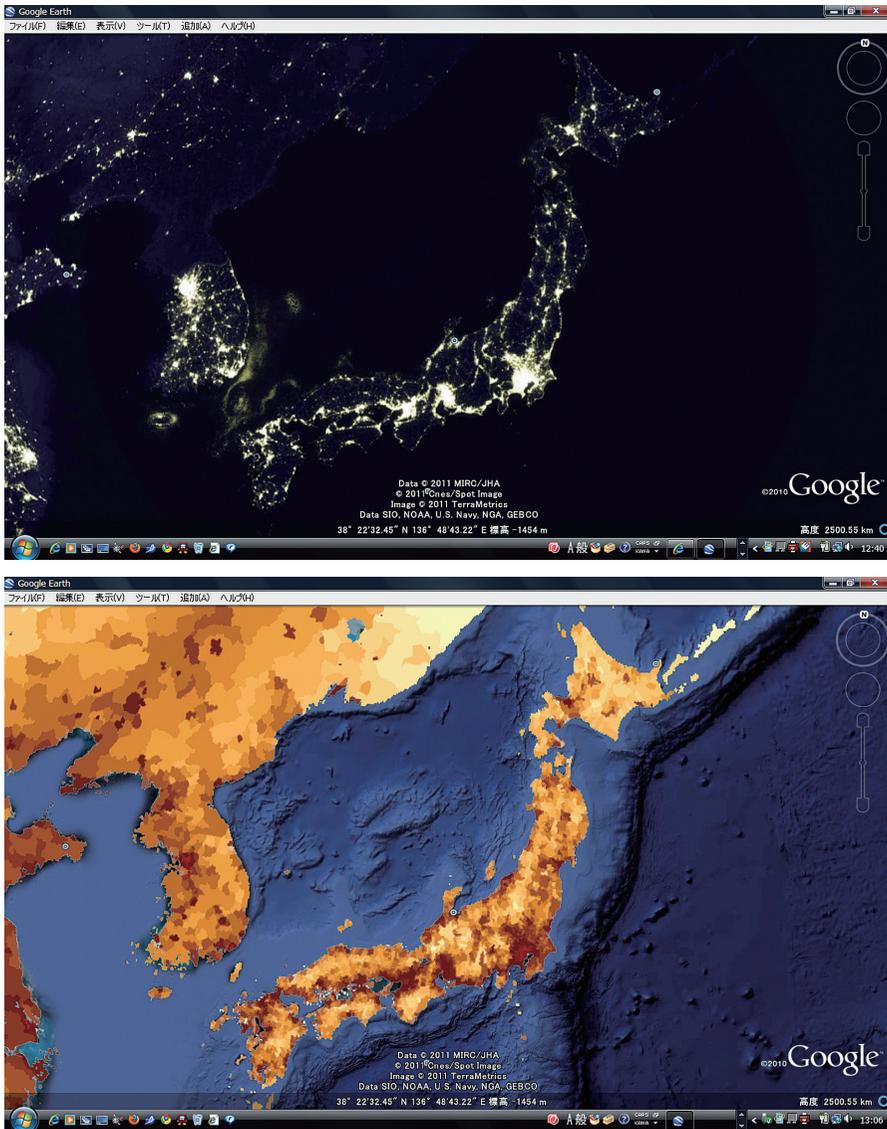


図1 人工衛星から撮影された日本付近の夜景（上図）と Google Earth 上に表示された人口密度分布（下図）

密度分布の画像（下図）を示す。夜景の画像は Google Earth で公開されているものを用いた¹⁾。また、人口密度分布の画像は、Google Earth 上で世界の人口密度分布が表示できる Gridded Population of the World (GPW), Version 3.0 (v3) beta²⁾ を用いて作成した。夜景の画像の日本列島の部分において、特に明るく見えるのは、関東地方、東海地方、近畿地方などである。また、朝鮮半島では、大韓民国のソウル周辺が特に明るいことがわかる。人口密度分布の図では、茶色（黄土色）が濃くなるに

従って人口密度が高くなり、赤い部分が最も人口密度が高い地域を表す。日本における人口密度の高い地域は、夜景の明るい地域と同様に関東地方、東海地方、近畿地方などであることがわかる。

夜景の画像と人口密度分布の画像の類似度を調べるための画像解析の前処理として、夜景の画像において光の強い部分が黒く、光の弱い部分が白くなるように明るい部分と暗い部分の明暗を反転する処理を行った。反転した結果の画像を図 2(a) に示す。さらに、夜景の画像におい

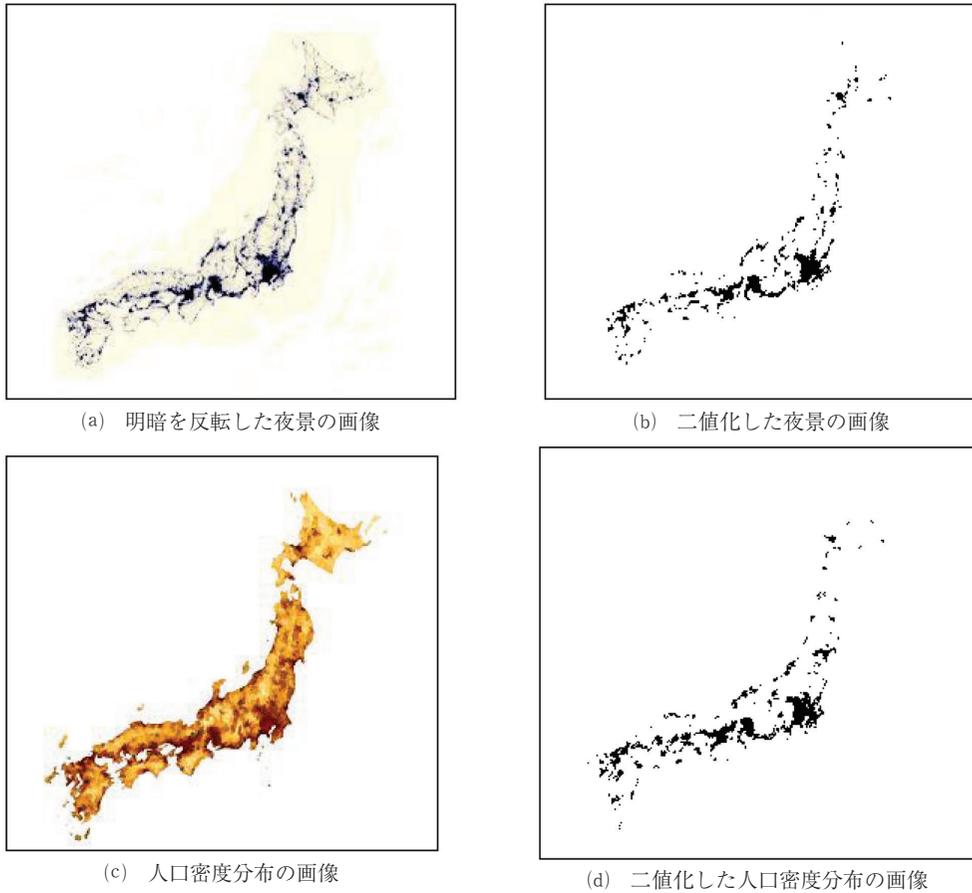


図2 夜景の画像と人口密度分布の画像およびそれぞれの二値化画像

ては明るい部分、人口密度分布の画像においては人口密度の高い部分を黒いピクセルで表示し、それ以外の部分は白いピクセルで表示するように画像の二値化を行った。二値化はカラー画像をグレースケールに変換して、画像の各ピクセルの値がしきい値よりも大きければ白（ピクセルの値を255）、しきい値よりも小さければ黒（ピクセルの値を0）とした。二値化の際に用いるしきい値は、以下の手順で決定した。まず、人間の目で見ても、カラー画像の特徴が二値化画像でうまく表現されていると判断できるようなしきい値を探し、さらに、その値の前後でしきい値を変化させて、2つの画像の類似度（決定係数）を計算し、類似度が最も高くなるものをしきい値として採用した。本研究では、夜景の画像の二値化のしきい値として145、人口密度分布の画像の二値化のしきい値として95を用いることにした。夜景の二値化画像を図2(b)に

人口密度分布の二値化画像を図2(d)にそれぞれ示す。

これらの二値化画像の夜景の明るい部分（図2(b)の黒色の部分）と人口密度の高い部分（図2(d)の黒色の部分）の類似度の判定は統計解析で行った。具体的には、図3に示すように、まず、2つの二値化画像をそれぞれ正方形格子で区切り、それぞれの画像において、各格子に存在する黒色のピクセル数をカウントして記録する。2つの画像における格子中の黒色のピクセル数のデータの決定係数 (R^2) を求め、その結果から類似度の高さを判定する。

画像処理および統計解析には Visual Basic 言語で作成した自作のプログラムを用いた。

3. 結果と考察

画像を正方形格子で区切ったときに各格子に存

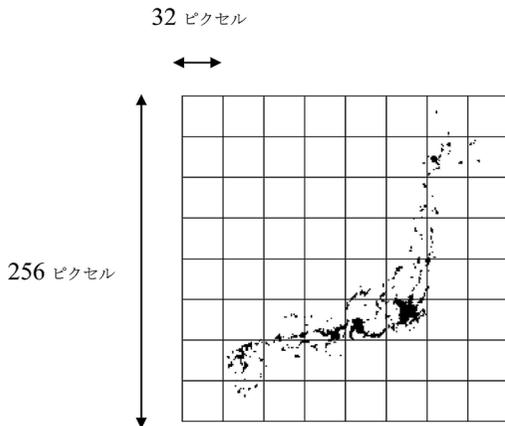


図3 ピクセル数を比較する格子の例
(一辺が32ピクセル)

在する黒色のピクセル数のデータを比較して決定係数(相関係数の二乗)を求めた。正方形格子の一辺は8ピクセル、16ピクセル、32ピクセルの3種類を用いた。計算結果を表1に示す。決定係数は8ピクセルのときは0.9214、16ピクセルのときは0.9619、32ピクセルのときは0.9743となった。決定係数は1に近づくほどデータ間の相関が高くなるが、いずれのピクセルにおいても決定係数は0.9を超えており、夜景の画像の明るい部分と人口密度分布の画像の人口密度が高い部分には、高い相関が見られることがわかった。これより、2つの画像の間の類似度は高いと判断できる。特に、正方形格子の一辺が32ピクセルで計測した場合、2つの画像の形状には極めて高い相関が認められ、類似度が非常に高いという結果が得られた。一辺が32ピクセルの格子で計測した結果が、一辺が8ピクセルや16ピクセルで計測した結果より類似度が高いのは、一辺が8ピクセルや16ピクセルの格子のように、画像を非常に細かく分割した場合(一辺が8ピクセルの格子の場合、画像を1024に分割に分割しており、また、一辺が16ピクセルの格子の場合、画像を256に分割している)誤差が生じるが、一辺が32ピクセルの格子では(画像を64に分割)、適度に粗視可がなされたからだといえる。

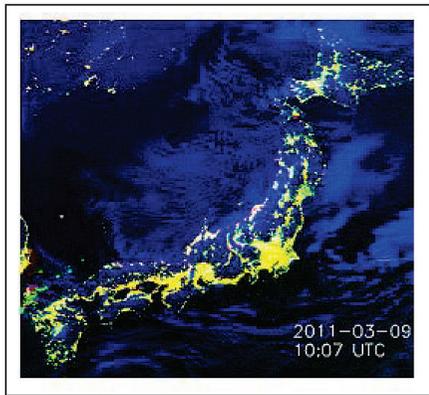
同様の解析が、新聞広告に掲載された夜景の衛星写真³⁾と人口密度の分布が表示された日本地図⁴⁾を用いて行われており⁵⁾、相関係数は、

表1 格子の一辺のピクセル数と画像の類似度の指標となる決定係数(R^2)

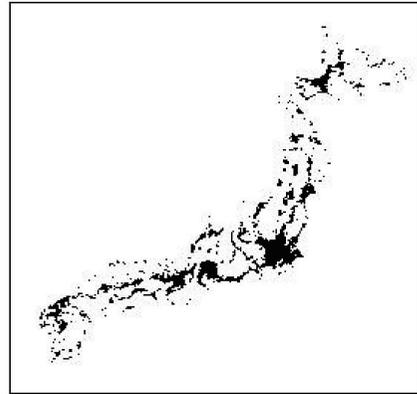
	8ピクセル	16ピクセル	32ピクセル
決定係数	0.9214	0.9619	0.9743

格子の一辺が8ピクセル、16ピクセル、32ピクセルの場合、それぞれ0.284、0.445、0.747と報告されている。そして、一辺が32ピクセルの格子で解析した場合のみ、夜景の明るさと人口密度の間にある程度の相関(類似度)が見られたと結論づけられている。あまり高い相関が得られなかった理由として、日本列島の縮尺や形状が全く違う2つの画像を比較したため、一辺が8ピクセルや16ピクセルの格子では、特に、誤差が大きくなって、画像の特徴を的確にとらえることができなかつたと考察されている⁵⁾。

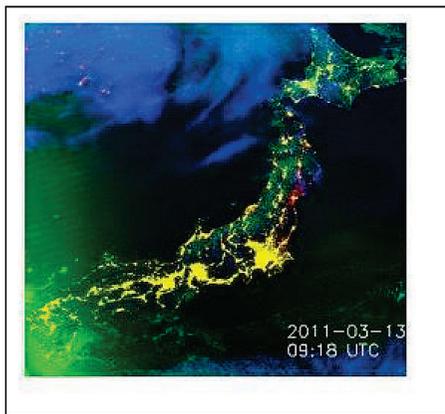
次に、東北地方太平洋沖地震とそれに伴う津波が発生した、2011年3月11日前後の日本の夜景の画像解析の結果を述べる。NOAA(アメリカ海洋大気局)のNational Geophysical Data Centerのホームページ(<http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/dmsp.html>)にある、Night-time Lights Temporal Loopsというメニューに入り、Temporal Loop of Japan after the Tsunami March 2011という項目を選択すると、2011年3月9日から3月31日までの(3月14日と15日を除く)21日分の日本の夜景の人工衛星写真が公開されている⁶⁾。本研究では、3月9日と3月13日の夜景の画像データの比較解析を行った。図4に夜景のカラーの画像とその二値化画像を示す。これらを、図5に示すように一辺32ピクセルの格子で区切り、2011年3月9日と3月13日の夜景の二値化画像のそれぞれの格子の黒い点(カラー画像において光が強く明るい部分)のピクセル数をカウントし、比較を行った。二値化の際のしきい値は3月9日の画像では170、3月13日の画像では160を用いた。2つの画像の類似度を求めたところ決定係数は0.8573となり、0.9よりは小さい値となったが、ある程度の類似性が見られた。3月9日と3月13日とを比較して、黒色のピクセルの数が変化した24の格子について、3月9日と3月13日のピクセル数とその差を表2に示す。表2の格子番号は図5の行列を示す。例えば、



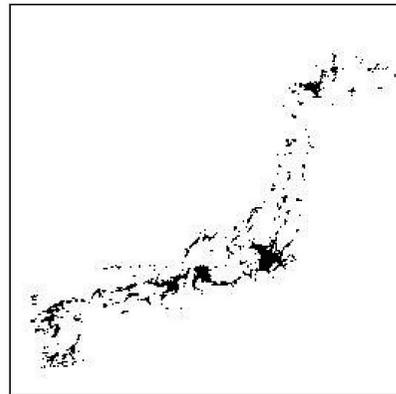
(a) 2011年3月9日の夜景



(b) (a)の画像を二値化したもの



(c) 2011年3月13日の夜景



(d) (c)の画像を二値化したもの

図4 人工衛星から撮影された2011年3月9日と3月13日の夜景の画像とそれぞれの二値化画像

仙台市が含まれる格子番号は46となる。表2の4列目(B-A)の数値が負の値ならば3月9日に比べて3月13日の方が明るい部分が減ったことを意味し、逆に正の値ならば3月9日に比べて3月13日の方が明るい部分が増えたことを意味する。まず、日本全体では、東日本大震災前と比較して大震災後には明るい部分のピクセル数は756減っており、明るい部分が約33%減ったことがわかる。格子に注目すると、表2の24の格子のうち20の格子は明るさが減っているが、4つの格子で、明るい部分が増えている(格子番号61, 73, 81, 82)。そのうち3つは増加が10ピクセル前後と小さく、画像処理上の誤差と考えられるが格子番号81はピクセル数が+50と大きく増加している。常識的に考えて、大震災によって多くの発電所が被害を受けて停止し、また、政府から国民に対し

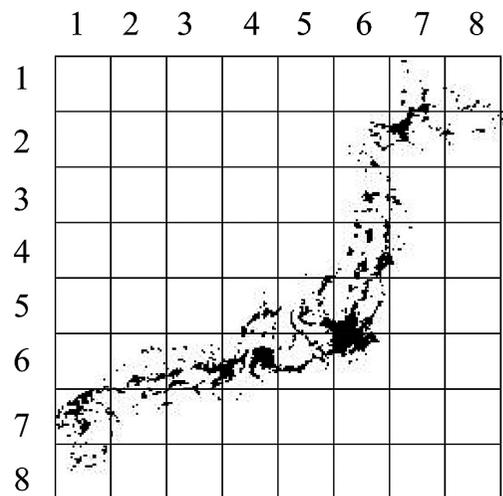


図5 ピクセル数を比較する格子とその番号

て節電要請があった中で、明るい部分が増える(電力利用が増える)地域があるのは疑問であ

表2 東日本大震災の前（3月9日）と後（3月13日）の夜景の衛星写真における明るい部分のピクセル数の比較

格子番号	A 3月9日	B 3月13日	B - A
17	25	8	- 17
18	5	1	- 4
26	45	40	- 5
27	181	120	- 61
28	47	22	- 25
36	61	31	- 30
37	30	3	- 27
46	159	48	- 111
47	41	0	- 41
54	53	39	- 14
55	153	95	- 58
56	268	81	- 187
61	0	6	6
62	59	40	- 19
63	145	117	- 28
64	312	245	- 67
65	152	113	- 39
66	255	183	- 72
71	177	167	- 10
72	58	46	- 12
73	24	30	6
74	6	2	- 4
81	28	78	50
82	8	21	13
合計	2292	1536	- 756

東北地方
- 209 27.6%

関東地方
- 259 34.3%

るが、格子番号81は九州南部であり、図4(c)の3月13日のカラー画像を見ると、九州南部に明るく濃い雲がかかっており、この影響により見かけ上、明るさが増加したものと思われる。明るさが減った20格子のうち、最もピクセル数が減少したのは格子番号56で187ピクセル減少している。この格子は東京の一部と北関東を含むものであるが、3月13日の時点ではすでに東京は停電からほぼ回復していたが、茨城県の一部がまだ停電していた影響と節電の効果が表れたものと思われる。また、甚大な被害を受けた東北地方（格子番号36, 37, 46, 47）では、特に仙台市を含む格子番号47で111ピクセル減少して、明るさが大きく減っていることがわかる。また、東北地方全体を合わせると、209ピクセル減少しており、これは、日本全体の減少量の27.6%になる。また、関東地方全体（格子番号56, 66）を合わせると減少量は259ピクセルであり、これは、日本全体の減少量の34.3%になる。東北地方と関東地方の減少量を合わせると日本全体の減少量の約62%を占め

たことになる。

本研究では、人工衛星で撮影された衛星写真の画像解析から、日本の夜景の明るい部分と人口密度分布の高い部分との間に高い相関があることがわかった。また、東日本大震災の前と後の日本の夜景の衛星写真の比較を行ったところ、大震災の前に比べて後では明るい部分が約33%減り、特に、関東地方と東北地方の明るさの減少が大きいことがわかった。

謝 辞 文章の校正を手伝っていただいた、水上真優理氏に感謝いたします。

文 献

- 1) Image and data processing by NOAA's National Geophysical Data Center.
Google Earth を立ち上げて「ギャラリー → NASA → Earth」と進み、メニューにある「街の灯かり」をチェックすれば、地球全体が夜景の画像に変わる。
- 2) Gridded Population of the World (GPW), Version 3.0 (v3) beta
Originator: Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
Publication Date: 2004
Title: Gridded Population of the World (GPW), Version 3.0 (v3) beta
Geospatial Data Presentation Form: raster digital data
Publication Place: Palisades, NY
Publisher: CIESIN, Columbia University Online
Linkage:
<http://beta.sedac.ciesin.columbia.edu/gpw/>
- 3) 朝日新聞全面広告、積水ハウス株式会社、2006年2月24日
- 4) 小学校用地図、松澤光雄監修、株式会社国際地学協会
- 5) 長野翔太 (2010) 「衛星写真から見た夜景と人口密度の相関に関する研究」、滋賀大学教育学部卒業論文。
- 6) Earth Observation Group (EOG) Defense Meteorological Satellite Program (DMSP)
Image and Data processing by NOAA's National Geophysical Data Center. DMSP data collected by the US Air Force Weather Agency.