

LANDSAT-8 のスペクトル画像による地盤増幅特性の予測*

西川 隼人^{*1}

Prediction of Site Amplification Effect by Spectrum Image of LANDSAT-8

Hayato NISHIKAWA^{*1}

^{*1} Faculty of Engineering, Department of Architecture and Civil Engineering

In this study, reflectance of ground surface is obtained from the spectral image taken by the artificial satellite LANDSAT-8, and correlations between site amplification spectrum and the reflectance of spectral images is examined. As a result of the analysis, the reflectances of visible region are correlated with site amplification spectrum. Moreover, it is clarified that the amplified spectrum can be accurately evaluated by the predictive formulas with reflectances and elevation as parameters.

Key Words : Remoto sensing, Landsat-8, Spectral image, Spectral reflectance, Site amplification spectra

1. 緒 言

人工衛星に搭載されている光学センサ、レーダセンサを用いたリモートセンシングは幅広い分野に利用されており⁽¹⁾、防災分野においては斜面崩壊箇所の検知⁽²⁾や建物の倒壊状況の把握⁽³⁾などに利用されている。しかし、地震防災分野において重要な課題の一つである地震動予測においては、著者が探した限りでは人工衛星を利用した研究は見られない。衛星に搭載されている光学センサの分解能は、例えば LANDSAT 8 号 (LANDSAT-8) の陸域イメージセンサでは 15m~30m であり⁽⁴⁾、地震動予測に多用されている地盤の揺れやすさマップ⁽⁵⁾のメッシュ幅 250m に対して、分解能が高いことから、光学センサのデータを活用することにより、従来よりも高い精度で地震動を予測できる可能性がある。また、天候が良好な時であれば、広範囲に衛星搭載の光学センサのスペクトル画像を利用することが可能であり、広域的な地震動予測においても有用性が高いと考えられる。さらに、既往研究において土粒子の粒径、土質分類などと光学センサのスペクトル画像から計算可能な反射率の関係性が指摘されている^{(6),(7),(8)}ことから、光学センサの測定結果を地震動予測において重要な地盤増幅特性評価に利用できる可能性がある。

そこで本研究では人工衛星 LANDSAT-8 の撮影したスペクトル画像から地表面の反射率を求めて、周期領域の地盤増幅特性である増幅スペクトルとの相関関係を調べるとともに、解析結果をもとに反射率などをパラメータとする増幅スペクトル予測式を求めた。

2. 衛星データ

本研究では国立研究開発法人 産業技術総合研究所の LandBrowser⁽⁹⁾で公開されている人工衛星 Landsat-8 の撮影した画像から反射率を求めた。Landsat-8 はアメリカ地質調査所 (USGS) が 2013 年から運用している人工衛星であり、Table 1 に示すセンサを搭載している。LandBrowser ではバンドごとにスペクトル画像をダウンロードすることが可能であり、本研究では可視光、近赤外、中間赤外に対応する Band1~7 のスペクトル画像を用いた。スペクトル画像は福井県周辺地域を対象に 2018 年 4 月 29 日に撮影されたものであり、雲量は 0.12 である。

スペクトル画像の閲覧、反射率の計算などには QGIS⁽¹⁰⁾を用いた。同ソフトは地理情報の閲覧や分析の機能を

* 原稿受付 2019 年 3 月 29 日

^{*1} 工学部 建築土木工学科

E-mail: nishikawa@fukui-ut.ac.jp

持つ GIS ソフトであり、無料で使用できる。本研究ではバージョン 2.18.26 を利用した。反射率の計算の際には画像データとともにダウンロードしたメタデータを用いた。また、スペクトル画像から得られる DN 値を反射率に換算するプラグイン⁽¹¹⁾ (Geosud Toa Reflectance) を使用した。計算される反射率は大気上端の反射率 (TOA Reflectance) である。

Fig. 1 に例として Band1 の反射率分布を示す。図中の円は後述する増幅スペクトルの予測対象とした地震観測点の位置を示している。同図を見ると、平野部を中心として色が濃く (反射率が高く) なっていることが分かる。

Table 1 Landsat 8 band designations ⁽⁴⁾

	Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) Launched February 11, 2013	Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
	Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
	Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
	Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
	Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
	Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
	Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

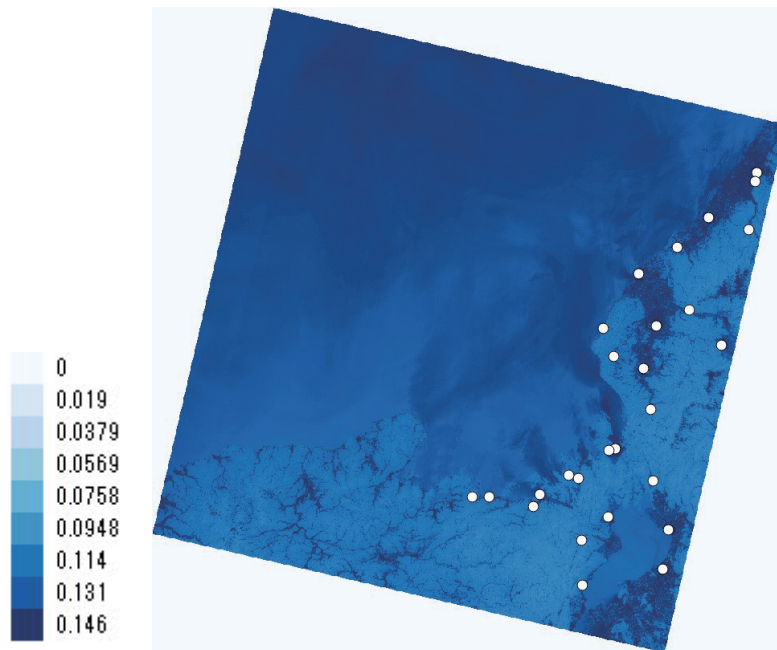


Fig. 1 Spectral reflectance of Band1

3. 増幅スペクトル

今回、解析のために取得した Landsat-8 のスペクトル画像の範囲の地震観測点のうち、既往研究⁽¹²⁾で増幅スペクトルが評価されている 27 地点を本研究の解析対象観測点とした。解析対象観測点は国立研究開発法人 防災科学技術研究所が運用している強震観測網 K-NET, KiK-net 観測点⁽¹³⁾である。増幅スペクトルは著者らが地震観測記録から計算した減衰定数 5%の加速度応答スペクトルを対象に求めたものであり、水平動 2 成分のベクトル合成値を対象に周期 0.1~2 秒を対象としている。

Fig. 2 に例として K-NET 福井の増幅スペクトルを示す。図中の 3 つの円は本研究で予測対象とする周期の増幅スペクトルであり、構造物の甚大な被害と相関の高い周期 1 秒前後⁽¹⁴⁾の周期である。

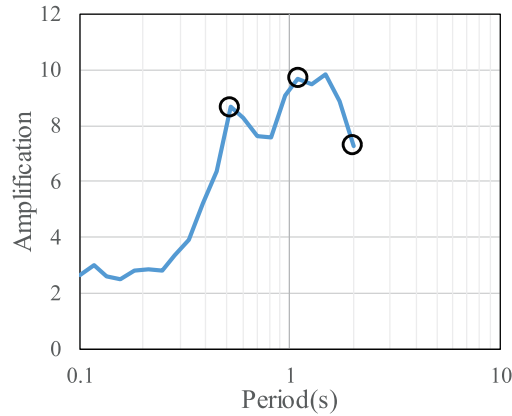


Fig. 2 Site amplification spectrum of K-NET Fukui

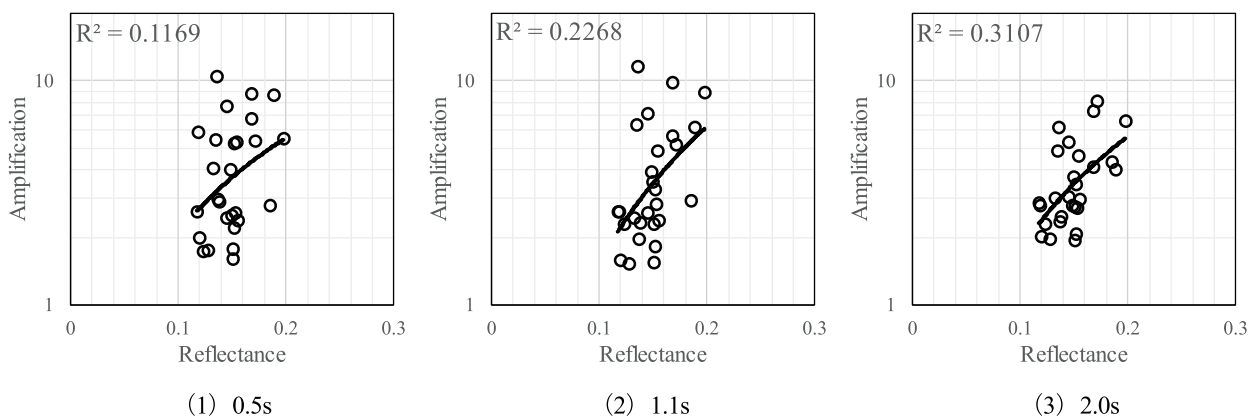


Fig. 3 Relation between spectral reflectances and site amplification spectra

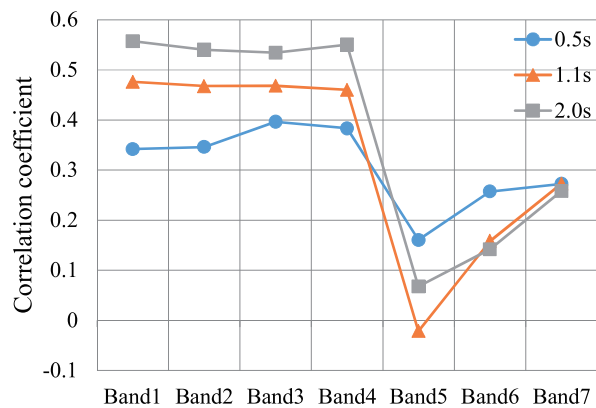


Fig. 4 Correlation coefficients calculated for each band

4. 反射率と増幅スペクトルの相関関係

解析対象とした地震観測点27地点を対象に2章で求めたスペクトル画像の反射率と増幅スペクトルの相関関係を調べた。Fig. 3にBand1の反射率と増幅スペクトルの対応を示す。図中の R^2 は反射率、増幅スペクトルそれぞれの常用対数値を線形回帰した場合に得られた決定係数である。以降の図で示す R^2 も同様の手順で求めた。Band1の場合、増幅スペクトルの周期が長くなるほど決定係数 R^2 が高くなっている。

Fig. 4にBand1～Band7の反射率、増幅スペクトルの常用対数値に対する相関係数を示す。同図から分かるように、3つの周期ともに可視光に対応するBand1～Band4で相関が高くなっている。この波長では土に対する反射率が植物などと比較して高くなる特性がある⁶⁾ことから、相関が高い傾向になったと考えられる。

Table 2 Correlation coefficients among the reflectances

	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band6	Band7
Band1	1	0.996	0.927	0.913	-0.146	0.419	0.646
Band2		1	0.951	0.936	-0.110	0.480	0.689
Band3			1	0.978	0.124	0.654	0.776
Band4				1	0.071	0.666	0.828
Band5					1	0.476	0.072
Band6						1	0.873
Band7							1

Table 3 VIF evaluated from the reflectances

	Band2	Band3	Band4	Band5	Band6	Band7
Band1	120.4	7.1	6.0	1.0	1.2	1.7
Band2		10.4	8.1	1.0	1.3	1.9
Band3			23.4	1.0	1.7	2.5
Band4				1.0	1.8	3.2
Band5					1.3	1.0
Band6						4.2

5. 増幅スペクトルの予測式の検討

4 章の検討から明らかなように、スペクトル画像から求めた反射率と増幅スペクトルに相関が見られたことから、増幅スペクトルの予測において反射率が利用できるものと考えられる。ただし、相関が見られるものの、必ずしも高い値ではないことから、増幅スペクトルとの相関が考えられる標高も予測式のパラメータとして用いた。予測式は反射率や標高を変数とする回帰式とした。

Fig. 4 において Band1～Band4 の反射率が増幅スペクトルとの相関が高かったが、これらのバンドの反射率同士の相関が高い場合に回帰式のパラメータとして用いると多重共線性を生じ、回帰分析が不安定になる恐れがある。そこで回帰分析に先立ち、Band1～Band7 の反射率の常用対数値同士の相関係数と多重共線性の指標である VIF (Variance Inflation Factor) を計算した。Table 2 に各バンドの反射率の常用対数値同士の相関係数、Table 3 にバンド間ごとの VIF を示す。VIF は次式で計算されるものであり、10 以上の場合、多重共線性が生じるとされている。

$$VIF = 1/(1 - R^2) \quad (1)$$

Table 2 を見ると Band1～Band4 の組み合わせでは両者の相関係数がいずれも 0.9 以上という高い値となっている。また、Table 3 のバンド間の VIF を見ると、多重共線性の目安である 10 以上の値 (表中で赤字で示す) が Band1～Band4 を含む組み合わせで見られる。以上の検討結果から増幅スペクトルの回帰式の算出の際には Band2, Band3 の反射率を用いなかった。

以下に増幅スペクトルの予測に用いた回帰式を示す。

$$\log_{10} G_T = c_1 \log_{10} H + c_2 \log_{10} r_1 + c_3 \log_{10} r_4 + c_4 \log_{10} r_5 + c_5 \log_{10} r_6 + c_6 \log_{10} r_7 + c_7 \quad (2)$$

G_T は周期 T の増幅スペクトルの増幅率、 $c_1 \sim c_7$ は回帰係数、 H は標高 (m)、 r_i はバンド i の反射率である。

Fig.5 に既往研究⁽¹²⁾で地震観測記録から評価した増幅スペクトル (観測値) と式 (2) の回帰式から求めた増幅スペクトル (予測値) の対応を示す。決定係数 R^2 から計算される相関係数 R は周期の短い順に 0.71, 0.81, 0.79 であり、式 (2) の回帰式から精度良く増幅スペクトルを予測できることが分かった。

参考に式 (2) のパラメータを標高の常用対数値のみとして増幅スペクトルの回帰式を求め、観測値と予測値を比較した場合、Fig.6 のようになった。Fig.6 に示す決定係数 R^2 から計算される相関係数 R は周期の短い順に 0.60, 0.71, 0.50 であり、いずれの周期もスペクトル画像による反射率を考慮した式 (2) を用いた方が相関係数が高くなっている。以上の検討結果から、人工衛星搭載のセンサから得られる反射率を地震動予測の分野においても活用できる可能性がある。

6. 結 言

本研究では人工衛星に搭載されている光学センサの地震動予測への利用の可能性を探るために、LANDSAT-8 のスペクトル画像から計算した反射率と地震時の地盤増幅特性を表す増幅スペクトルの相関関係を調べるととも

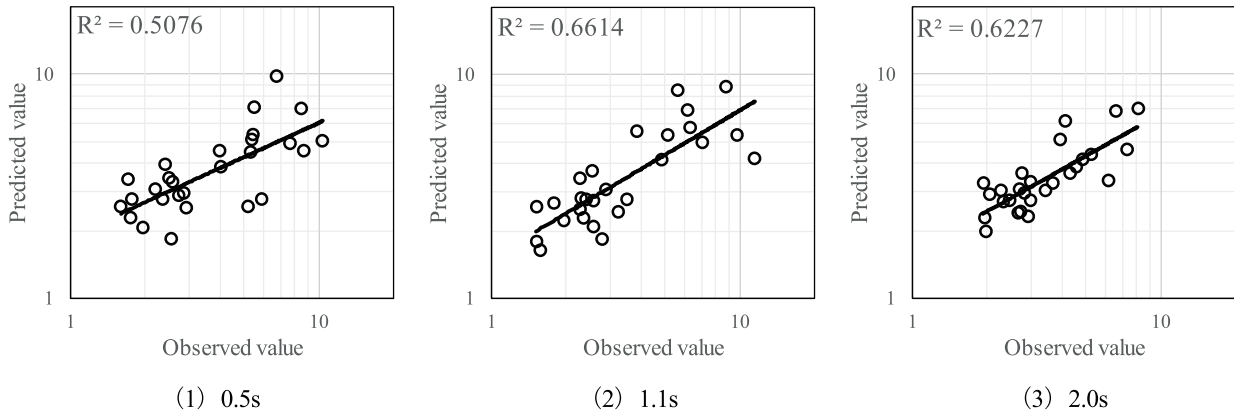


Fig. 5 Relation between observed and predicted values calculated from formula (2)

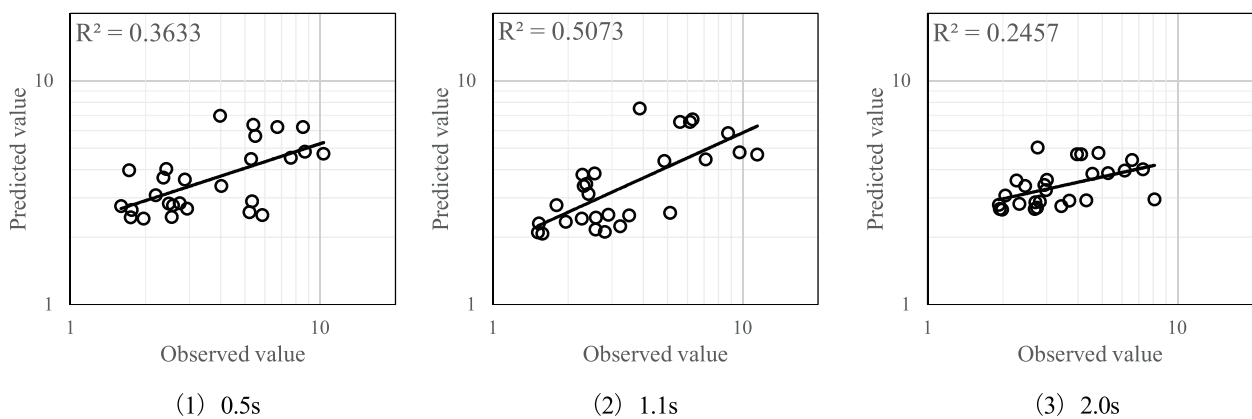


Fig. 6 Relation between observed and predicted values calculated from formula (2) using only elevation as a parameter

に、反射率をパラメータとする増幅スペクトル予測式を求めた。

検討の結果、可視光に対応する Band1～Band4 の反射率と増幅スペクトルの間に相関関係が見られたことから、異なるバンドの反射率同士の相関を考慮したうえで複数のバンドの反射率と標高をパラメータとする増幅スペクトル予測式を回帰分析により求めた。その結果、予測式によって増幅スペクトルを精度良く評価できることが明らかになった。今後は他地域に対しても本研究と同様の解析を実施するとともに、LANDSAT-8 以外の衛星データの使用も検討する予定である。

謝 辞

本研究では国立研究開発法人 産業技術総合研究所で公開されている人工衛星の画像データを使用させて頂きました。増幅スペクトルの計算の際に国立研究開発法人 防災科学技術研究所の K-NET, KiK-net のデータを使用させて頂きました。また、GIS ソフト QGIS を使用させて頂きました。記して、お礼申し上げます。

文 献

- (1) 青山隆司, 大橋佳司, 金子巧光, “衛星画像データを用いた水稻の品質監視”, 福井工業大学研究紀要, 第 48 号(2018), pp.1-7.
- (2) 加藤芳信, “リモートセンシングによる 2016 年熊本地震の災害検出”, 福井工業大学研究紀要, 第 47 号(2017), pp.238-250.
- (3) 三浦弘之, 翠川三郎, “人工衛星光学センサ画像の目視判読による 2008 年中国四川地震での北川県南東部の建物被害分布”, 日本地震工学会論文集, 第 10 巻, 第 3 号(2010), pp.46-57.
- (4) アメリカ地質調査所, <https://www.usgs.gov/media/images/landsat-8-band-designations>, (参照日 2019 年 2 月 22 日).

- (5) J-SHIS 地震ハザードステーション, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>, (参照日 2019 年 2 月 26 日).
- (6) S. Farooq, “Spectral reflectance of land covers”, <http://www.geol-amu.org/notes/mlr-1-8.htm>, (参照日 2019 年 2 月 26 日).
- (7) Ahmed, Z., and Iqbal, J, “Evaluation of Landsat TM5 Multispectral Data for Automated Mapping of Surface Soil Texture and Organic Matter in GIS”, *European Journal of Remote Sensing*, Vol.47(2014), pp.557-573.
- (8) Morteza, S., Ebrahim, B., Markus, T., and Scott B. Jonesa, “Particle size effects on soil reflectance explained by an analytical radiative transfer model”, *Remote Sensing of Environment*, Volume.210 (2018), pp.375–386.
- (9) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所, <https://landbrowser.airc.aist.go.jp/landbrowser/>, (参照日 2019 年 2 月 1 日).
- (10) QGIS ホームページ, <https://www.qgis.org/ja/site/forusers/download.html>, (参照日 2018 年 12 月 10 日).
- (11) QGIS Python Plugins Repository ホームページ, <https://plugins.qgis.org/plugins/geosudRefToa/>, (参照日 2019 年 2 月 7 日).
- (12) 森本吉輝, 西川隼人, 池本敏和, 宮島昌克, “地震動指標の地盤増幅度と最大加速度比によるサイト特性の推定”, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), 第 66 巻, 第 1 号(2010), pp.12-19.
- (13) 国立研究開発法人 防災科学技術研究所, 強震観測網 K-NET, KiK-net, <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>, (参照日 2019 年 2 月 26 日).
- (14) 川瀬 博, “断層近傍強震動の地下構造による増幅プロセスと構造物破壊能”, 第 10 回日本地震工学シンポジウム, パネルディスカッション資料集(1998), pp.29-34.

(2019 年 4 月 26 日受理)