

高分解能補間画像を用いた洪水被災地域の同定手法の開発

児島 利治・寶 馨・増田亜未加*

* 京都大学大学院工学研究科

要 旨

災害前後の画像を比較して被災地域を特定する差分画像は、その原理や処理手順が簡便な点から大規模災害の被災範囲の把握に有効であると期待されている。しかし、従来用いられてきた差分画像生成手法では、季節による変化も抽出され、被災地域のみを特定する事は困難である。筆者らは、差分画像に用いる災害前画像の代替として、災害直後に撮影された画像と同じ季節の状態を再現した画像(高分解能補間画像)を生成して、洪水被災地を同定する手法を提案してきた。本研究では、この手法に用いられる高分解能補間画像がどの程度災害前の地表面状態を再現しているか検証を行った。ASTER 画像を用いた高分解能補間画像は、画素値の相関係数で約 0.9 程度の精度で災害前の画像を再現できることが分かった。

キーワード: Landsat-7/ETM⁺, Terra/ASTER, 差画像, 季節変化, Linear mixture model

1. はじめに

大規模な災害が発生した際、その被災範囲の把握には、広範囲の情報を遠隔地から取得可能な衛星リモートセンシングが有効と期待されている。災害前後の画像を比較して、地表面状態に変化のあった領域、すなわち被災地域を特定する差分画像は、その原理や処理手順が簡便な点からよく知られた手法である。しかし、従来用いられてきた差分画像生成手法では、季節による変化も抽出され、被災地域のみを特定する事は困難である。このような点から、筆者らは、差分画像に用いる災害前画像の代替として、災害直後に撮影された画像と同じ季節の状態を再現した画像(高分解能補間画像)を生成して、洪水被災地を同定する手法を提案している(児島, 2004)。高分解能画像では撮影困難な「災害直前又は災害後画像と同じ季節に撮影された低分解能画像」と「災害後画像とは異なる時期に撮影された高分解能画像」を組み合わせる高分解能補間画像を生成する。しかし生成される高分解能補間画像が、低分解能画像が撮影された時期の地表面状態をどの程度再現できてい

るかは確認できていない。本研究では、関東地方の約 3500km² の領域を対象とし、高分解能補間画像の再現精度の検証を行う。

2. 対象地域と使用データ

Table 1 に使用した衛星データのリストを示す。Landsat-7/ETM⁺画像と Terra/ASTER 画像を用いる。ETM⁺は Landsat/TM の後継機種であり、TM と同じく分解能 30m のバンド 1 (青), バンド 2 (緑), バンド 3 (赤), バンド 4 (近赤外), バンド 5, 7 (短波長赤外) と分解能 60m のバンド 6(熱赤外), 及び分解能 15m のパンクロマティックバンド(可視～近赤外)の 8 つの観測バンドを持っている。パンクロマティックバンドは可視～近赤外の反射光を集めて、一つの観測バンドとした観測モードである。青, 緑, 赤といった個別のバンドよりも受信するエネルギー量が多いため、より高い空間分解能で観測が可能となっている。また、バンド 6 は、地上局により観測反射輝度値をデジタル化する際の設定, ロウゲイン, ハイゲインの両方を CD に保存して配布されており、

Table 1 List of satellite images

Satellite/Sensor	Bands	Resolution	Date
Landsat-7/ETM ⁺	Band 1-5,7	30m	Oct. 21, 1999
	Band 6	60m	
	Pan	15m	
Terra/ASTER	VNIR	15m	Mar. 29, 2000
	SWIR	30m	Oct. 7, 2000
	TIR	90m	Dec. 26, 2000
			Jun. 4, 2001

ユーザーは両方の設定で生成されたデータを利用することができる。

Terra/ASTER は、可視近赤外バンド(VNIR)にバンド 1～3、短波長赤外バンド(SWIR)にバンド 4～9、熱赤外バンド(TIR)にバンド 10～14 をもつセンサである。分解能はそれぞれ 15m, 30m, 90m である。

本研究では、春夏秋冬の 4 シーンの Terra/ASTER 画像を使用する。

対象地域は東京湾を含む関東地域の約 3500km² とする。Fig. 1～4 に対象地域の Landsat-7 画像と ASTER VNIR 画像を示す。Fig.1～4 において、赤色で示される領域は、植物が多い領域である。3 月 (Fig.2), の ASTER 画像は、10 月 (Fig.3), 6 月 (Fig.4) の画像よりも赤色の領域が茶色に近く、植物の活力が少ない事が示されている。また Fig.1 における右上の利根川沿いの茶色の領域は水田地帯であるが、6 月の ASTER 画像 (Fig.4) では、他時期の画像と比較して暗い色をしている。これは田植えの時期であり、水田に水が張られた状態であることを示している。Fig.3 の ASTER 画像は画像内に若干雲があることが分かる。

3. 精度検証方法

Landsat-7 画像を災害前の画像と仮定し、別時期に撮影された ASTER 画像を用いて、Landsat-7 画像を高分解能補間画像化により再現し、オリジナルの Landsat-7 画像と比較することにより高分解能補間画像化の精度の検証を行う。

3.1 検証の流れ

検証の流れは以下の通りである。Fig. 5 に検証の流れを示す。

- 1) Landsat-7 画像と ASTER 画像の位置誤差を補正し、分解能 10m になるように最近隣法によりリサンプリングを行う。この分解能 10m の Landsat-7 画像をオリジナル画像とする。ただし、

ASTER/SWIR, TIR は位置あわせの後、それぞれ 30m, 90m にリサンプリングを行った。

- 2) 分解能 10m のオリジナル Landsat-7 画像から 100 × 100 ピクセルの平均値を計算することにより分解能 1km の低分解能 Landsat-7 画像を生成する。
- 3) ASTER 画像と低分解能 Landsat-7 画像から、筆者らが提案している高分解能補間画像生成手法により、分解能 10m の高分解能補間画像を生成する。生成された画像は、Landsat-7 画像と同じ輝度情報 (DN 値)、地表面情報を持っているはずである。
- 4) 生成された高分解能補間画像とオリジナル Landsat-7 画像の各ピクセル値を比較してピクセル値の相関係数を求め、どの程度オリジナルのピクセル値を再現しているか検証する。

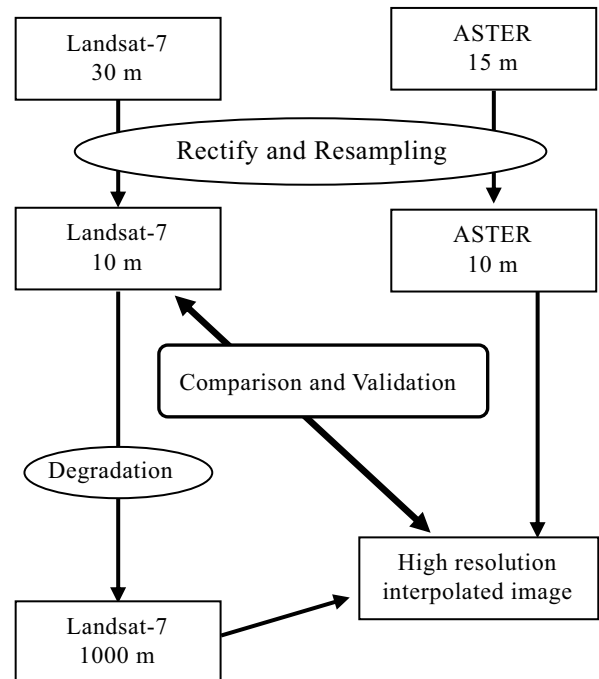


Fig. 5 Study Flow.

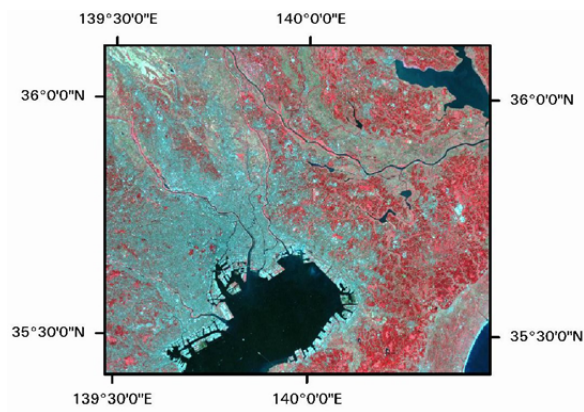


Fig. 1 Landsat image (R:4, G:3, B:2; Oct.21, 1999).

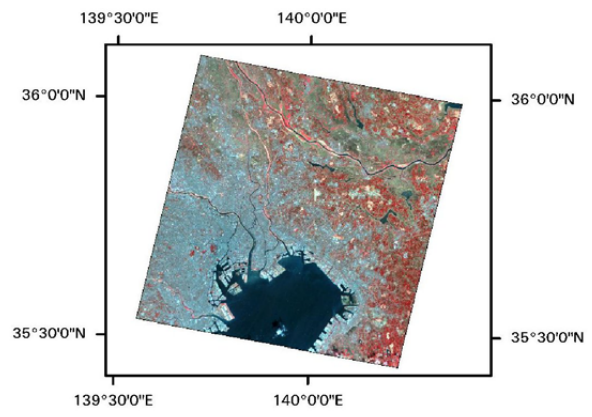


Fig. 2 ASTER image (R:3, G:2, B:1; Mar.29, 2000).

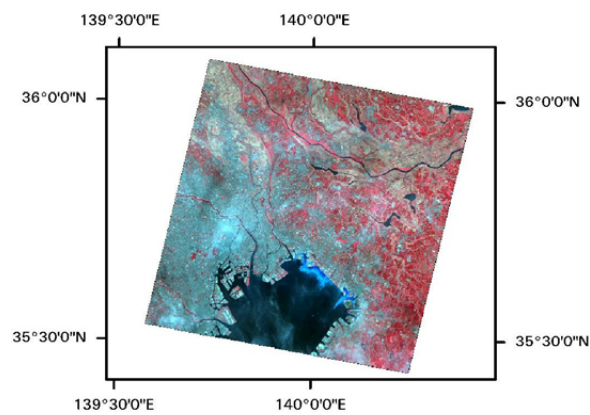


Fig. 3 ASTER image (R:3, G:2, B:1; Oct.7, 2000).

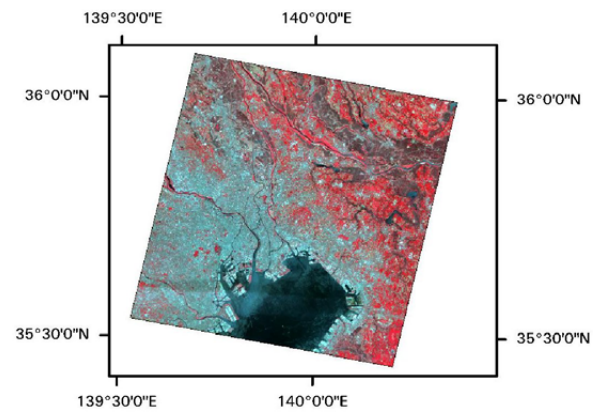


Fig. 4 ASTER image (R:3, G:2, B:1; Jun.4, 2001).

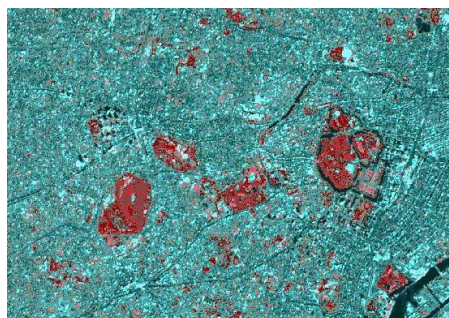


(a) 10-m high resolution interpolated image

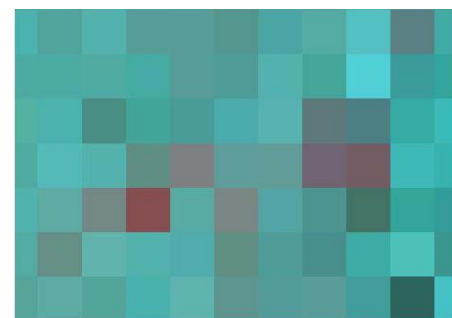


(b) 1000-m Landsat-7 image

Fig. 6 Comparison of the simulated image and the 1000-m Landsat image (Paddy field).



(a) 10-m high resolution interpolated image



(b) 1000-m Landsat-7 image

Fig. 7 Comparison of the interpolated image and the 1000-m Landsat image (Urbanized area include wood land).

3.2 高分解能補間画像生成手法の概要

高分解能補間画像の生成手順は以下の通りである。高分解能画像(ASTER)は教師無し分類を行い、対象域は p 個の分類カテゴリに分けられるとする。低分解能画像（分解能 1km^2 の Landsat 画像）の i 番目の画素の輝度値を $R_i(i=1\dots m; m$ は低分解能画像の画素数)とし、 i 番目の低分解能画像画素内のカテゴリ j の面積を A_{ij} としたとき、以下の式が成立する。

$$\frac{1}{A} \sum_j^p A_{ij} r_{ij} = R_i \quad (1)$$

ここで、 r_{ij} は i 番目の低分解能画素内のカテゴリ j の平均輝度値、 A は i 番目の低分解能画像の画素全体の占める面積、すなわち 1km^2 である。カテゴリごとの平均輝度値 r_{ij} (例えば森林の平均輝度値)は、ある程度近い画素であれば一定と考えられるため、式(1)は以下のように書き換えることができる。

$$\frac{1}{A} \sum_j^p A_{ij} r_j = R_i \quad (2)$$

ここで、 r_j は、画素 i 近傍のカテゴリ j の平均輝度値である。低分解能画像の画素値 R_i と分類カテゴリの面積率 A_{ij}/A が既知であれば、式(2)の連立方程式を解くことによりカテゴリごとの平均輝度値 r_j が求まる。 r_j をカテゴリ j に分類された画素の画素値とすることで高分解能補間画像が生成される。

本手法では、低分解能画像と別時期に撮影された画像を必要とする。教師無し分類に用いられるこの画像の事をキー画像と呼ぶ事とする。本研究の例では、ASTER 画像がキー画像である。

4. 結果と考察

4.1 高分解能補間画像生成結果の定性的評価

Fig. 6, Fig. 7 に、高分解能画像の生成例と分解能 1000m の Landsat-7 画像を示す。Fig. 6 は茨城県川内町付近の利根川沿いの水田地帯、Fig. 7 は東京都新宿区周辺の都市域である。Fig. 6, 7 とともに(a)は高分解能補間画像、(b)は分解能 1000m に平滑化した Landsat-7 画像である。高分解能補間画像生成には 2000 年 3 月 29 日撮影の ASTER VNIR 画像を用いた。教師無し分類の際のクラス数は 20 である。高分解能補間画像は、分解能 1000m の Landsat-7 画像と比較して、飛躍的に分解能が向上していることが分かる。Fig. 6 では、稲刈り後の水田、植生が残っている河

川敷、樹林地帯がそれぞれ区別して再現できている。Fig. 7 では、新宿御苑、皇居等の都市域内の緑地が再現されている事が分かる。しかし、これらの定性的評価では、ピクセル値(DN)がどの程度再現されているかは分からない。次節から実際のピクセル値をオリジナル Landsat-7 画像と比較した検証結果を示す。

4.2 高分解能補間画像に分解能が与える影響

Fig. 8 にオリジナル Landsat-7 画像のピクセル値と高分解能補間画像のピクセル値を各画素で比較した散布図を示す。Fig. 9(a)は分解能 20m での比較、(b)は周囲の画素値を平滑化して分解能 100m にした高分解能補間画像とオリジナル Landsat-7 画像の比較結果である。分解能 20m ではばらつきが大きい、周囲の画素値を平滑化し、画素値推定結果のばらつきや位置誤差が平滑化された分解能 100m の結果では、相関が高くなり、ほとんど 1:1 の直線上にのっていることが分かる。

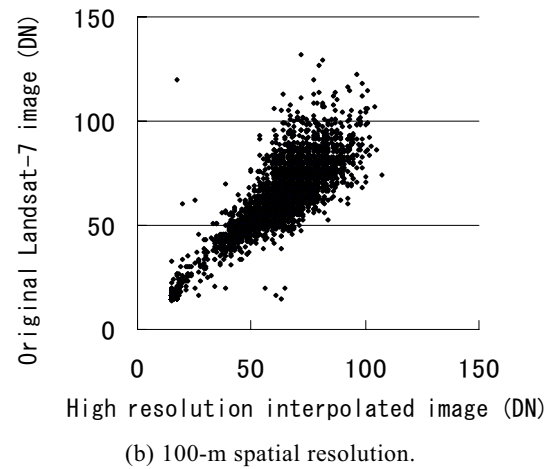
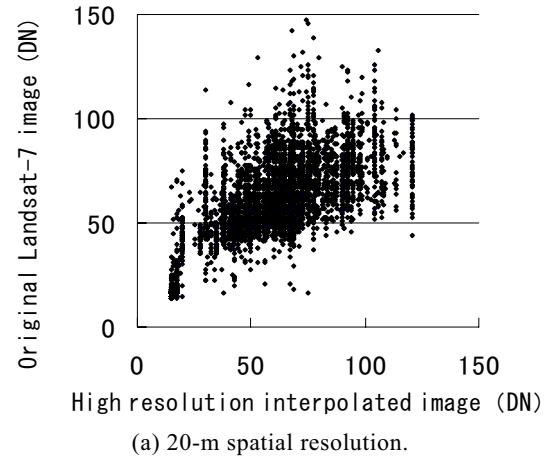


Fig. 8 Scatter graphs of each pixel value.

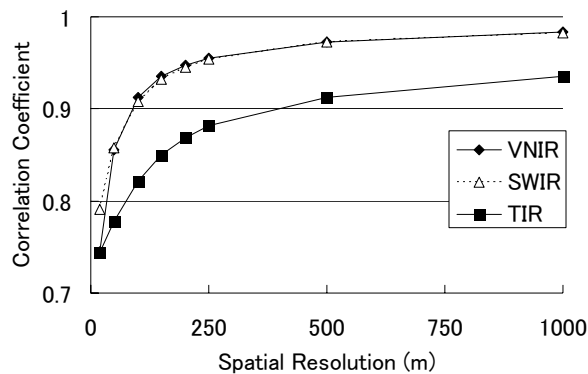


Fig. 9 Smoothing effects of the high resolution interpolated images

Fig. 9に高分解能補間画像と平滑化の影響を示す。それぞれ ASTER/VNIR の3バンド、SWIR の6バンド、TIR の5バンドのみを用いて3枚の高分解能補間画像を生成した。VNIR, SWIR のみを用いた高分解能補間画像は、分解能 100m で相関係数が 0.9 以上となり非常に精度が良い。VNIR, SWIR では約 100～150m の分解能でオリジナルの地表面情報を再現していると考えられる。TIR は元々のセンサ分解能が 90m と粗い事と TIR の5バンド (バンド 10～14) の相関が高く、教師無し分類結果があまりよくなかったことが原因となり若干精度が劣ると考えられる。

4.3 高分解能補間画像に ASTER 画像の撮影時期と Landsat 画像のバンドが与える影響

Fig. 10, 11, 12 に、4 時期の ASTER 画像を用いて生成した高分解能補間画像の相関係数を示す。X 軸は Landsat 画像の各バンドに対応している。6_1, 6_2 はそれぞれロウゲイン、ハイゲインを示している。Fig. 10 は VNIR 画像、Fig. 11 は SWIR 画像、Fig. 12 は TIR 画像のみを用いてそれぞれ生成された高分解能補間画像の精度である。それぞれのグラフは、Fig. 8 のように分解能 100m に平滑化した際の相関係数を示している。

Fig. 10 より、ASTER VNIR 画像は、熱バンド (Landsat-7 のバンド 6)を除くほとんどの波長域で相関係数 0.9 程度の高精度で Landsat-7 画像を再現することができた。Landsat-7 画像の撮影季節と同じ、10 月に撮影された VNIR 画像を用いた結果が最も高精度と予測されたが、実際には 3 月に撮影された VNIR 画像を用いた結果が最も精度が良かった。2000 年 10 月 7 日に撮影された ASTER 画像には若干薄い雲が存在した事が原因の一つと考えられる。他の 2 時

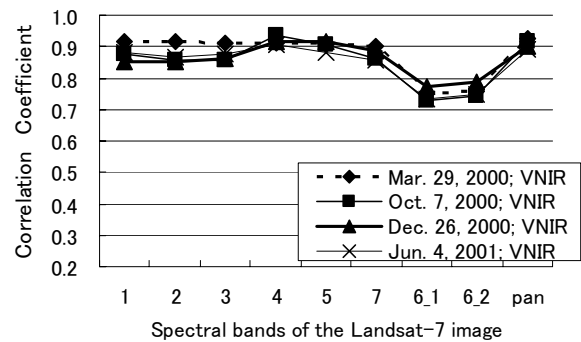


Fig. 10 Comparison of the correlation coefficients of high resolution interpolated images produced from four ASTER VNIR images.

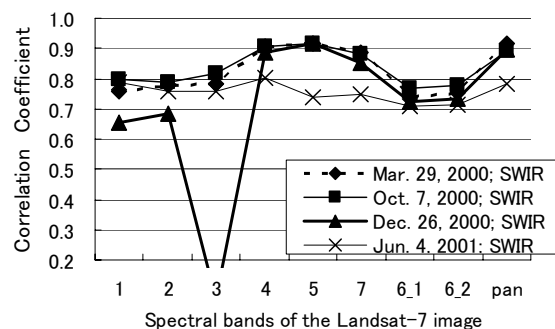


Fig. 11 Comparison of the correlation coefficients of high resolution interpolated images produced from four ASTER SWIR images.

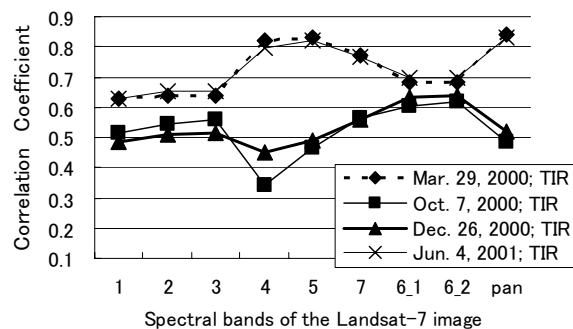


Fig. 12 Comparison of the correlation coefficients of high resolution interpolated images produced from four ASTER TIR images.

期に撮影された VNIR 画像を用いた結果も良好な結果を示した事から、高分解能補間画像の生成に際しては ASTER 画像の撮影時期よりも雲の有無等の ASTER 画像の質に影響されると考えられる。

Fig. 11 より、ASTER SWIR 画像を用いた結果では、近赤外域 (Landsat のバンド 4) と短波長赤外域 (Landsat のバンド 5, 7) 及びパンクロバンド

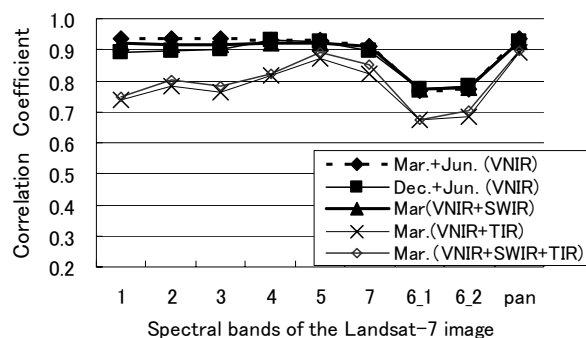


Fig. 13 Comparison of the correlation coefficients of high resolution interpolated images produced from multi-temporal and multi-channel ASTER images.

(Landsat-7 のバンド 8) が相関係数 0.9 程度と高精度であった。このことから可視波長域の画像の再現には、VNIR 画像を用いた方が良く、近赤外、短波長赤外域の再現には、SWIR 画像でも良好な結果が得られるということが言える。Fig. 11 では、12 月の SWIR 画像を用いたバンド 3 の精度の低下が目立つ。SWIR に含まれる 6 バンドは各バンドの相関が比較的高いために、分かれて欲しいカテゴリがうまく分離できない場合がある。そのような場合、本来全く異なる輝度値を持つピクセルが同じカテゴリとなるため、輝度値推定の際に全く異なる輝度値を推定する事もある。Fig. 11 のバンド 3 では、あるカテゴリの輝度値をマイナスと推定した結果、極めて精度の低い高分解能補間画像となった。また、6 月の SWIR 画像を用いた結果が他の 3 時期と比較して、精度が悪いことが分かる。6 月の ASTER 画像では、水田が水を張った状態であり、他の水域とカテゴリ分離できなかった事が原因と考えられる。短波長赤外域は水に対する反応が強く、SWIR 画像のみでは、水田と水域の分離ができなかった。VNIR を用いた結果 (Fig. 10) では、6 月の画像も精度よく再現されていることから、SWIR のみを用いる場合は撮影時期を考慮する必要があると考えられる。

Fig. 12 からは、3 月、6 月撮影の TIR を用いた結果では近赤外、短波長赤外、パンクロのみ相関係数 0.9 程度と良いが、他の波長域ではあまり精度がよくない事が分かる。TIR と同じ熱赤外の再現においても、VNIR、SWIR を用いた結果とあまり変わらない。また、10 月、12 月撮影の TIR 画像を用いた結果は、3 月、6 月撮影の TIR 画像と比較して精度が悪い。10 月撮影の ASTER 画像には雲が存在する。雲の存在は特に熱赤外領域における影響が大きく、精度の低下も著しいと考えられる。12 月撮影の TIR 画像は、冬季に撮影されたため、他時期の画像と比

較して、熱分布が大きく異なり、10 月撮影の Landsat-7 画像を再現できるカテゴリ分離ができなかったと考えられる。

4.4 多時期, 多バンドの ASTER 画像を用いた高分解能補間画像の生成

Fig. 13 に多時期, 多波長域の ASTER 画像を組み合わせた画像を用いた高分解能補正画像の相関係数を示す。3 月と 6 月の VNIR 画像を組み合わせた結果、6 月と 12 月の VNIR 画像を組み合わせた結果、3 月の VNIR 画像と SWIR 画像、3 月の VNIR 画像と TIR 画像、3 月の VNIR 画像、SWIR 画像、TIR 画像を組み合わせた結果について示している。

これら 5 つの結果の内、3 月と 6 月の VNIR 画像を組み合わせた結果が最も良い精度を得た。多時期の画像を組み合わせる事により精度の向上が期待される。VNIR と SWIR を組み合わせた結果も良い精度を示した。特に 3 月の VNIR 画像を用いた結果より短波長赤外域 (Landsat のバンド 5, 7) では若干精度の向上が見られ、多波長域の画像を用いた精度の向上も期待される。しかし、TIR を用いた結果は VNIR のみを用いた結果と比較していずれも精度が低下した。ASTER TIR は分解能 90m と粗いため、高分解能補間画像生成に関しては、精度悪化の要因となる事が分かった。ただし、高分解能補間画像生成の際に、熱赤外波長域の情報が不要であるとは言えない。熱赤外波長域の利用に関しては、今後さらなる検討が必要と考えられる。

5. おわりに

本研究では、高分解能補間画像を用いた洪水時の被災地の同定手法の開発を目的とし、高分解能補間画像による災害前画像の再現精度の定量的評価を行った。Landsat-7 画像を災害前画像、ASTER 画像を高分解能補間画像生成の際のキー画像として用いた。得られた知見は以下の通りである。

- ASTER 画像を用いた高分解能補間画像は、100m 程度まで平滑化した場合、相関係数 0.9 以上となる。ASTER 画像を用いた高分解能補間画像は、100~200m 程度の分解能の情報を持つと考えられる。
- VNIR 画像を用いた場合、ASTER 画像の撮影時期は、高分解能補間画像の生成精度にあまり影響しない。

- ・ SWIR 画像は水域に対する影響が大きいため、水田域を含む領域においては、撮影時期の影響を受けるため注意が必要である。
- ・ TIR 画像は分解能 90m と粗いため、あまり良い精度で高分解能補間画像を生成することはできなかった。VNIR, SWIR 画像と組み合わせを用いた場合は、精度悪化の要因となる。
- ・ 多時期の ASTER 画像を用いた場合は、精度が向上する。特に、地表面状態が異なる季節の組み合わせが良い。
- ・ VNIR と SWIR を組み合わせた場合は、VNIR のみを用いた場合よりも短波長赤外域の画像の再現において、精度が向上する。

本研究における検証の結果、災害前画像生成に用いるキー画像は、災害前画像と異なる撮影時期の画像を用いても問題ないという事が証明された。今後

は、より精度よく災害前画像を生成する手法、精度よく被災地を同定する手法について検討を行う予定である。

謝 辞

本研究で利用した Landsat-7 画像は、NASDA/EORC で受信されたものであり、Terra/ASTER 画像は財)資源・環境観測解析センターで受信されたものです。あらためて、感謝の意を表します。

参考文献

児島利治 (2004) : 季節変化を考慮した差画像を用いた洪水災害被災地域の同定, 水工学論文集, Vol. 48, No. 1, pp.427-432.

Development of Method for Identification of Flood Disaster Areas with High Resolution Interpolated Images

Toshiharu KOJIMA, Kaoru TAKARA and Amika MASUDA*

* Graduate School of Engineering, Kyoto University

Synopsis

Simple subtraction of before- and after-disaster images produces a differential image, which is useful to distinguish disaster areas. Although the differential image has a potential for extracting flood disaster areas, this basic method has not been much used due to the seasonal changes between before- and after-disaster images. The authors proposed a new method to identify flood disaster areas, which gets rid of the effect of seasonal changes. The new method produces and uses a high resolution interpolated image instead of a before-disaster image. The high resolution interpolated image has the same seasonal surface properties. This paper evaluates the accuracy of the high resolution interpolated images. The high resolution interpolated image can reproduce the original image, with correlation coefficient of about 0.9.

Keywords: Landsat-7/ETM⁺, Terra/ASTER, differential image, seasonal change, linear mixture model