

衛星画像を用いた2002年韓国洪水災害における被災地の同定

児島利治・入谷貴也*・立川康人・寶 馨

* 国土交通省 北海道開発局

要 旨

2002年8月末に韓国を横断した台風0215号(Rusa)は、韓国全土に豪雨による洪水や土砂災害を引き起こした。被災地域が広範囲に及び現地調査が困難な災害に対しては、遠隔地から観測可能かつ広範囲に観測できる衛星画像が有効と考えられる。本研究では、韓国水災害を例にとり、衛星画像の観測波長域、災害前後の差画像の生成の点から、災害調査への衛星画像の適用可能性について検討を行った。

キーワード: Landsat-7/ETM⁺, NOAA/AVHRR, 高分解能補間画像, 季節変化

1. はじめに

2002年8月31日～9月1日にかけて韓国を横断した台風0215号(Rusa)は、韓国全土に豪雨による洪水や土砂災害を引き起こした。被災地域が広範囲に及び、また道路等の寸断により現地調査が困難な災害において、被災状況の全容を迅速に把握するためには、遠隔地から観測可能かつ広範囲に観測できる衛星画像が有効と考えられる。本研究では、韓国洪水災害を例にとり、災害調査への衛星画像の適用可能性について検討を行う。

2. 対象地域と使用データ

Landsat-7/ETM⁺画像とNOAA/AVHRR画像を用いる。ETM⁺はLandsat/TMの後継機種であり、TMと同じく30m分解能のバンド1～4(可視～近赤外)、バンド5,7(中間赤外)と60m分解能の熱赤外バンド(バンド6)及び、15m分解能のパンクロマティックバンド(バンド8)を持っている。NOAA画像は、空間解像度1.1kmであり、バンド1は可視(赤)、バンド2は近赤外、バンド3～5は熱赤外に観測波長域を持つ気象観測衛星である。空間分解能は粗いが観測頻度が高いため、全球の植生のモニタリング等に

用いられる。

対象地域は、韓国北東部の江陵(Kangnung)と中央部の茂朱(Muju)周辺とした。当研究室では2002年9月下旬、および11月下旬に現地調査を行っている(牛山ら,2002)。

本研究では、被災地の同定のために災害前後の衛星画像を入手した。使用した衛星画像をTable1に示す。

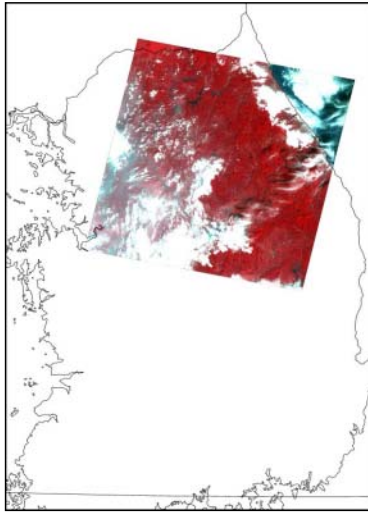
Table 1 List of satellite images

| | | Study area | |
|------------|---------------|------------|------------|
| | | Kangnung | Muju |
| Landsat | Path-Row | 115-34 | 115-35 |
| | Date (Before) | 2002/4/28 | 2001/11/19 |
| | Date (After) | 2002/9/3 | 2002/9/3 |
| NOAA/AVHRR | | 2001/9/16 | |

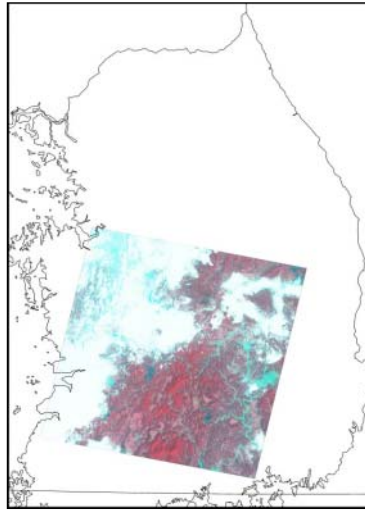
Fig.1 (a), (b)に、災害後のKangnung, MujuのLandsat画像を、Fig.1 (c)に、2001年9月16日撮影のNOAA画像を示す。

3. マルチスペクトルバンドの検討

Fig. 2に江陵のJanghyun貯水池周辺の地形図を示



(a) Kangnung (Landsat-7; 2002/9/3)



(b) Muju (Landsat-7; 2002/9/3)



(c) NOAA/AVHRR (2001/9/16)

Fig. 1 Study area and satellite images.

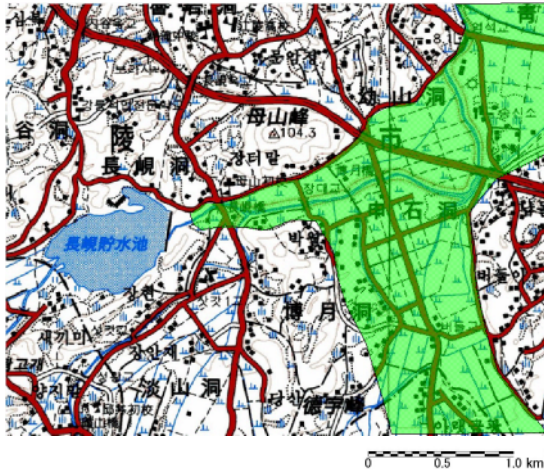
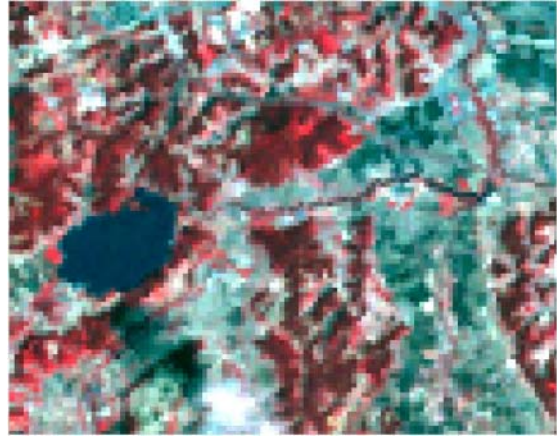


Fig.2 Topographical map (Janghyun).



(a) before flood (2002/4/23)

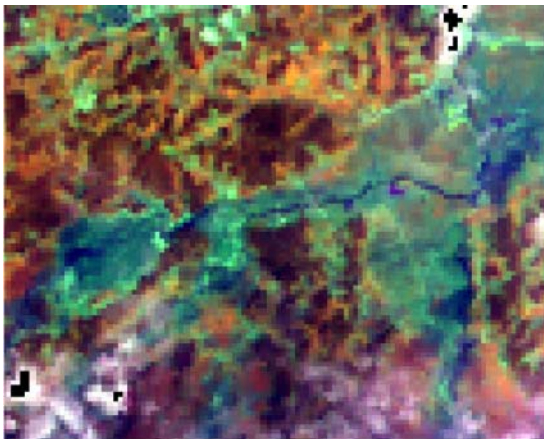
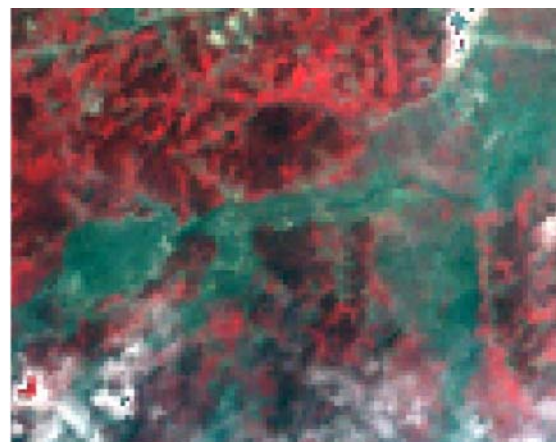


Fig. 4 False color image (R:4, G:5, B:3; 2002/9/3).



(b) after flood (2002/9/3)

Fig. 3 False color images (R:4, G:3, B:2).

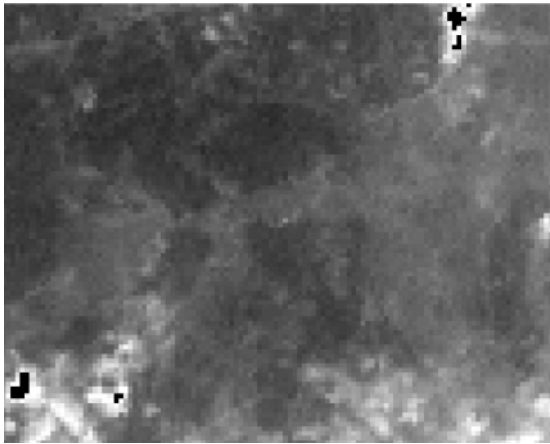


Fig. 5 Grayscale image (band 2; Green).

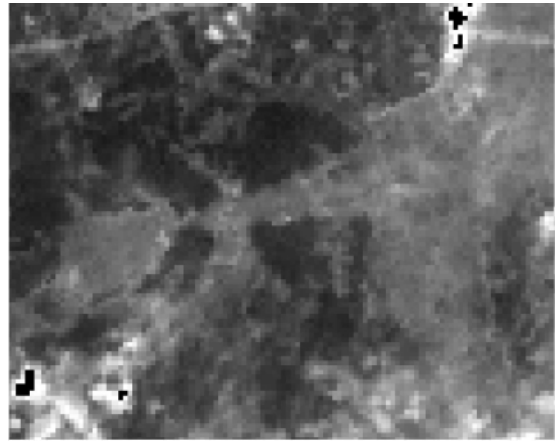


Fig. 6 Grayscale image (band 3; Red).

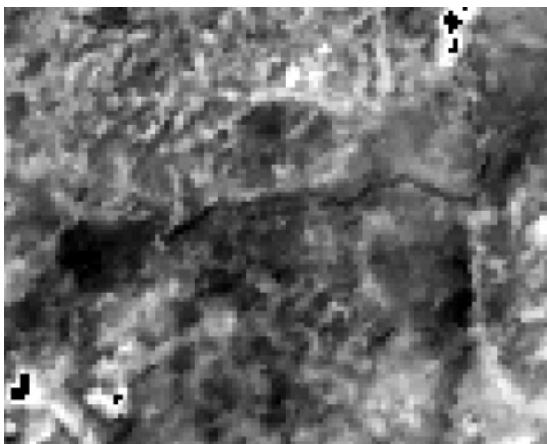


Fig. 7 Grayscale image (band 4; Near Infra Red).

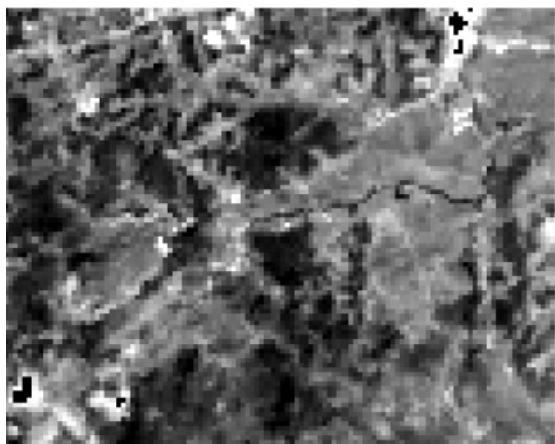


Fig. 8 Grayscale image (band 5; Middle Infra Red).

す。緑色の領域は、貯水池の堤体の決壊によって土砂が流出し堆積した領域である。Fig. 3 は、衛星画像のカラー表示として最も一般的に用いられる R:4, G:3, B:2 で表示した災害前後のカラー合成画像である。災害前は田植え前の水田であり、空間的にばらつきのある地表面状態であるが、災害後は極めて均質な地表面になっており、均質な土砂が堆積していることが見て取れる。また、Fig. 4 は中間赤外（バンド5）を含めたカラー表示（R:4, G:5, B:3）の災害後の画像である。

Fig.5~8 に各バンドの災害後の画像を示す。可視バンド（バンド2,3；Fig.5, 6）と近赤外バンド（バンド4；Fig. 7）、中間赤外バンド（バンド5；Fig. 8）を比較すると、可視バンドでは判別できなかった災害後の河道が近赤外、中間赤外バンドでは判別できることが分かる。特に中間赤外バンドでは、湛水している領域が土砂で埋まった他の領域よりも暗く見える。バンド5とバンド4（近赤外）、バンド3（可視）を組み合わせたカラー合成画像が Fig.4 である

が、Fig.3(b)と比較すると河道、湛水域が濃紺色で示され、判読が容易になっている。

このように被災地域の判読には、中間赤外のバンド(バンド5)を組み合わせたカラー合成画像が適していると考えられる。

4. 差画像を用いた検討

洪水災害調査への衛星画像の適用方法の一つとして、災害前後の衛星画像を用いた差画像の生成が挙げられる。災害前後の差画像を用いて、災害前後で地表面状態に変化が発生した箇所、すなわち被災箇所を検出する手法である。本章では従来利用されてきた差画像の問題点を挙げ、低分解能画像と高分解能画像を用いた差画像の生成について説明する。

4.1 衛星画像の入手に関する問題点

一般的に災害調査のために衛星画像を用いる場合、災害直後の画像および直前の画像の入手が困難とい

う問題点がある。この問題の原因の一つは雲である。災害調査にしばしば用いられる光学式のセンサは、雲がかかっていると地表が撮影できないという特徴があり、被災地域に雲がかかっていると良好な画像が撮影できない。特に洪水災害の場合、災害発生時には豪雨が発生していることが多いこと、洪水災害が多発する季節には雲が多く発生することから、洪水災害発生直前直後の良好な衛星画像の入手は非常に困難である。

もう一つの原因は、衛星の撮影頻度である。例えば Landsat-7 の回帰日数（同じ場所に戻って来る日数）は 17 日であり、撮影頻度は 17 日に 1 回の撮影である。衛星が直上に飛来する直前に災害が発生した場合を除き、Landsat 衛星で災害発生直後の画像を撮影することは難しい。SPOT 衛星の回帰日数は 26 日である。しかし、SPOT 衛星は撮影依頼を受けて斜めに観測することにより衛星直下以外の地域の撮影が可能である。また複数の同型機を用いることにより、他の撮影依頼と競合しなければ、ほぼ毎日災害地域の撮影を行うことが可能である。このため、SPOT 衛星は、Landsat 衛星と比較して災害直後の画像の入手が比較的容易である。近年の例では、有珠山や三宅島の噴火において撮影された衛星画像のうち SPOT 画像が非常に多いこと（例えば、衛星リモートセンシング推進委員会ら、2000）からも災害後の SPOT 画像の入手は、他の衛星に比べて比較的容易であることが分かる。

しかし、災害前の画像ではまた異なる。SPOT 画像は依頼を受けて撮影を行うため、依頼の無い地域では、1 年間に 1 シーンも撮影されない場合もある。災害直前に関しては、定期的に撮影を行っている Landsat 画像に対して撮影頻度は非常に疎であると言える。

また、災害前の画像として、季節変化による地表の変化を抑えるために、災害直前ではなく、災害発生時と同じ季節の画像を災害前画像として使用する場合も多い。しかし、これに関しても、水災害に関しては災害が発生する季節がほとんど 6 月～9 月であるため、前年度の画像でも雲のために良好な画像が撮影されていないという場合が多い。

以上から、災害調査に対する、高分解能衛星画像の入手に関して以下のことが言える。

- ・ 災害直前の画像の入手は、ほとんど不可能
- ・ 災害前の同季節の画像の入手は非常に困難
- ・ 季節を問わなければ、災害前の画像の入手は可能

- ・ 災害直後の画像の入手は比較的容易

以上のように、災害前の画像の入手が非常に困難の最も大きな原因は撮影頻度が低いことである。Landsat, SPOT 等の高分解能画像の通常時撮影頻度は、2 回弱/月であり、雲の無い良好な画像が入手できる可能性は極めて低い。ところが、NOAA 画像のように毎日撮影されていれば、災害直前の画像もしくは前年度の同じ季節の画像の入手は容易である。しかし、撮影頻度の高い NOAA 画像は、空間分解能は 1.1km と粗く、災害調査への利用は困難である。そこで、本研究では、空間分解能は粗いが撮影頻度の高い画像（NOAA）と、空間分解能は高いが撮影頻度の低い画像（Landsat）を組み合わせることで災害前の地表状態を表現した画像を生成し、差画像の検討へ利用することを行う。

4.2 高分解能画像を用いた低分解能画像の高分解能化手法

本研究で提案する手法では、1) 必要な時期（災害直前又は災害発生時と同じ季節）の地表の輝度情報を持つが、地表状態の空間的に詳細な情報を持たない画像（低分解能画像；NOAA）と、2) 地表の空間的に詳細な情報を持つが、必要な時期の輝度情報を持たない画像（高分解能画像；Landsat-7）を組み合わせることで、3) 空間的に詳細かつ必要な時期の輝度情報を持つ画像を生成する。高空間分解能画像と低分解能画像を組み合わせることで、低分解能画像の高空間分解能化に関しては様々な研究がなされている。例えば、稲村（1988）は、Landsat 画像の可視・近赤外バンドの情報を用いて、低分解能の熱赤外バンドを高空間分解能化する手法を示した。本研究で提案した手法は、稲村の提案した手法とカテゴリ分解を行う点ではほとんど同じ概念である。本手法の基礎概念は以下の通り。

Landsat 画像は教師無し分類を行い、対象域は p 個のカテゴリに分けられるとする。NOAA 画像の各画素と教師無し分類結果は Fig. 9 のように対応付けられる。Fig. 9 では、NOAA 画像の i 番目の画素に対応するカテゴリ $j(j=1..p)$ は、カテゴリ 1～4 である。

ここで、NOAA 画像の i 番目の画素の輝度値を $R_i(i=1..m; m$ は NOAA 画像の画素数) とし、 i 番目の NOAA 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。

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

ここで、 r_{ij} は i 番目の NOAA 画素内のカテゴリ j の平均輝度値、 A は i 番目の NOAA 画像の画素全体の占める面積、すなわち 1km^2 である。Fig. 9 の例ではカテゴリは 1~4 なので以下のように示される。 $A_{i1} \sim A_{i4}$ はそれぞれ画素 i 内においてカテゴリ 1~4 の占める面積、 $r_{i1} \sim r_{i4}$ はそれぞれ画素 i 内におけるカテゴリ 1~4 の平均輝度値である。

$$\frac{1}{A}(A_{i1}r_{i1} + A_{i2}r_{i2} + A_{i3}r_{i3} + A_{i4}r_{i4}) = R_i \quad (2)$$

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ほぼ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。

$$\frac{1}{A} \sum_j^p A_{ij} r_j = R_i \quad (3)$$

ここで、 r_j は、画素 i 近傍のカテゴリ j の平均輝度値。

NOAA 画像の画素値 R_i と分類カテゴリの面積率が A_{ij}/A が既知であれば、式(3)は以下のような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。

$$\begin{aligned} A_{i1}r_1 + A_{i2}r_2 + \dots + A_{i1}r_1 + \dots + A_{ip}r_p &= R_i \\ A_{2i1}r_1 + A_{2i2}r_2 + \dots + A_{2i1}r_1 + \dots + A_{2ip}r_p &= R_2 \\ &\vdots \\ A_{pi1}r_1 + A_{pi2}r_2 + \dots + A_{pi1}r_1 + \dots + A_{pip}r_p &= R_i \\ &\vdots \\ A_{mi1}r_1 + A_{mi2}r_2 + \dots + A_{mj1}r_1 + \dots + A_{mp}r_p &= R_m \end{aligned} \quad (4)$$

本手法では、分類カテゴリの面積率 A_{ij}/A を求めるために Landsat 画像の教師無し分類図を用い、 R_i には、NOAA 画像の画素値を用い、式(4)から係数 r_j の推定には QR 分解による線形回帰分析手法を用いて低分解能画像の高分解能化を行う。本研究では、高分解能画像では撮影されていない時期の情報を補間するという意味から、以上の手法で生成された高分解能化画像を高分解能補間画像と呼ぶこととする。

4.3 高分解能補間画像の生成と結果

高分解能画像として、2001/11/19 撮影の Muju の Landsat-7/ETM+ 画像を用い、低分解能画像として 2001/9/16 撮影の NOAA/AVHRR 画像を用いた。NOAA 画像は、東北大学ノア画像データベース (<http://asiadb.cneas.tohoku.ac.jp/>) からダウンロードしたデータを用いた。災害直前の 2002 年 8 月の画像

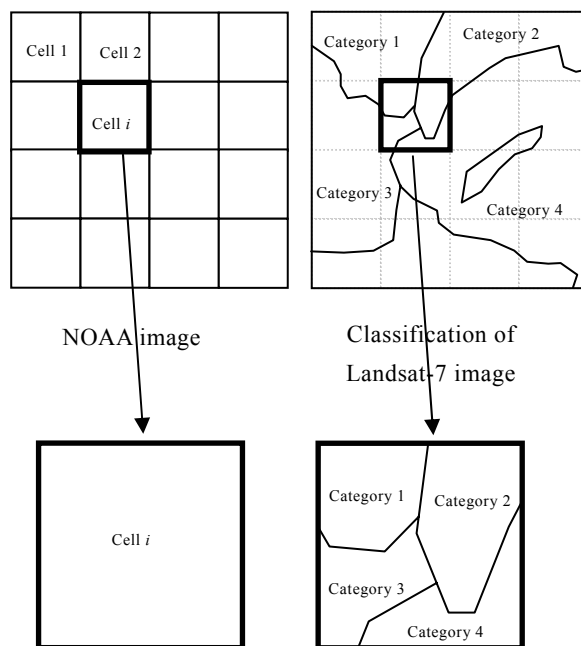


Fig. 9 Relationship a cell i of NOAA image and area of any categories the cell.

は全て対象地域に雲がかかっていたため、前年度の同季節の画像を用いることとした。

Fig. 10, 11 に Muju 地域の災害前後の Landsat 画像を示す。災害前後の画像から、この領域では右端の河川が増水し、中央部、及び左下の耕作地の一部に氾濫しているようすが分かる。Fig. 10, 11 は、R:4, G:3, B:2 のカラー合成で表示しており、赤が植生の多い領域である。災害前の画像は 2001/11/19 撮影のため、耕作地の植生はほとんど無く、青白い色で示されているが、災害後は 2002/9/3 に撮影された画像のため、河川の氾濫を免れた左下の耕作地の大部分等は赤で示され植生が多いことが分かる。Fig. 12 に高分解能化に使用した NOAA 画像 (2001/9/16) を、Fig. 13 に高分解能補間画像を示す。カラー合成は R:2, G:1, B:1 (NOAA の観測波長域と同じ; バンド 2: 近赤外, バンド 1: 赤) であり、Fig. 10, 11 と同様に植生が多い領域は赤で示される。高分解能補間画像は、NOAA 画像が撮影された 2001/9/16 に地表面の反射輝度値を再現しており、耕作地は赤で示され植生が多いことが分かる。

4.4 差画像の生成と結果

以下の式で災害前後の Landsat 画像からの差画像の画素値を計算した。

$$D_1^a = |L_3^b - L_3^a| \quad (5)$$

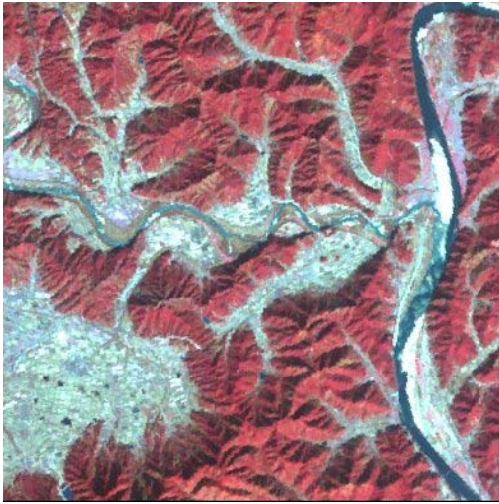


Fig. 10 Landsat image (before flood; 2001/11/19).

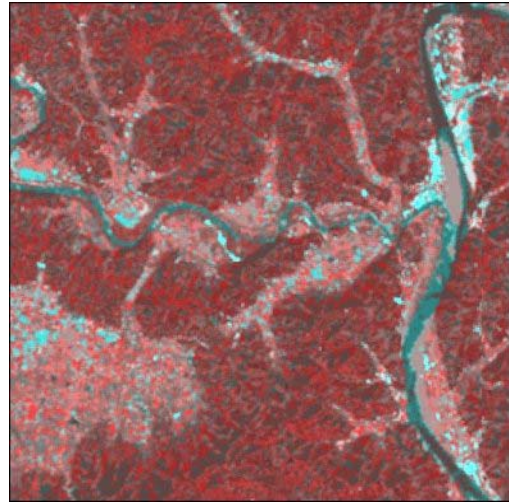


Fig. 13 Interpolated fine resolution image.

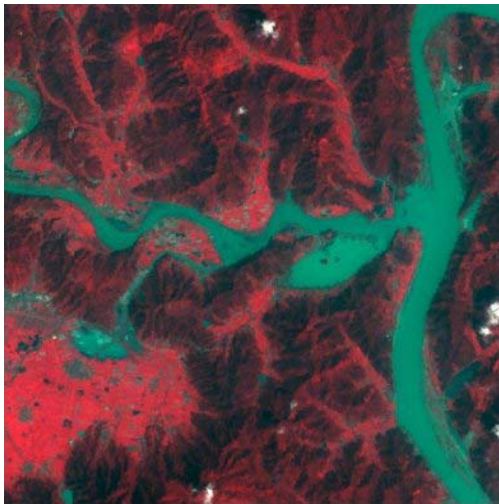


Fig. 11 Landsat image (after flood; 2002/9/3).

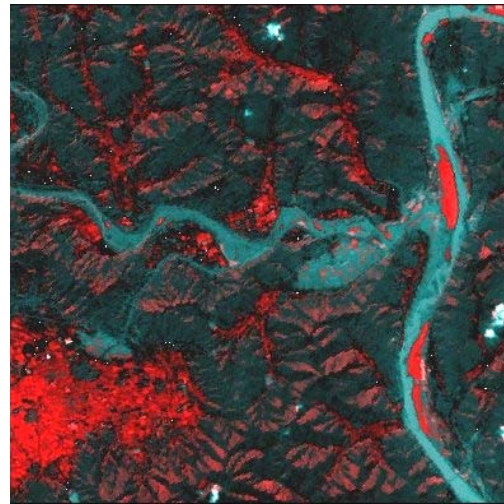


Fig. 14 Differential image using conventionally method (produced with Fig.10 – Fig.11).

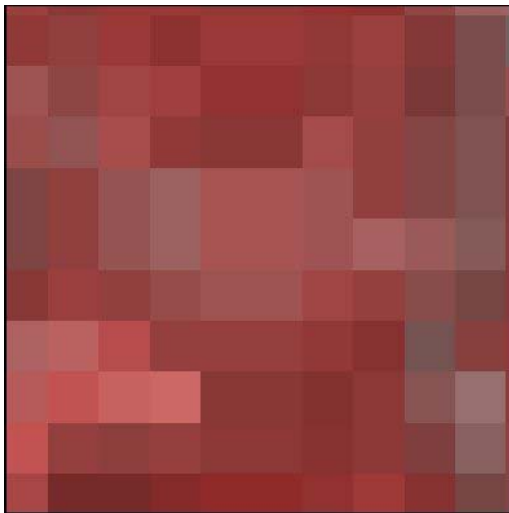


Fig. 12 NOAA image (before flood; 2001/9/16).

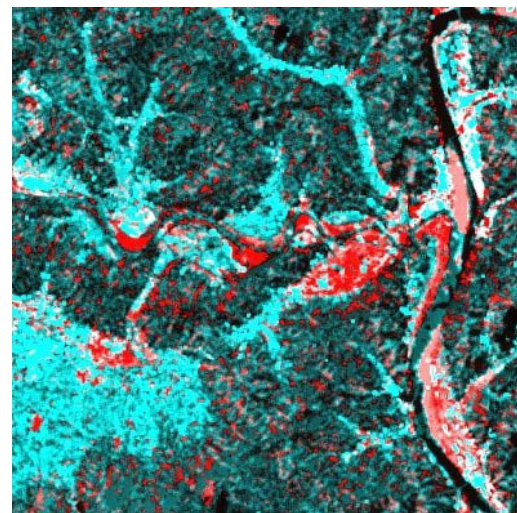


Fig. 15 Differential image using interpolated fine resolution image (produced with Fig.13 – Fig.11).

$$D_2^\alpha = |L_4^b - L_4^a| \quad (6)$$

ここで、 D_m^α : 差画像のバンド m の輝度値、 L_n^b : 災害前の Landsat 画像のバンド n の輝度値、 L_n^a : 災害後の Landsat 画像のバンド n の輝度値である。差の絶対値を取ることで、災害前後で地表面状態に大きな変化があった領域の確認が容易となっている。式(5)で可視バンド(赤)の差画像を、式(6)では近赤外バンドの差画像を生成している。

Fig. 14 に生成した差画像を示す。カラー合成は R:2, G:1, B:1 である。赤で示された領域は、近赤外の輝度値が大きく変化した箇所であり、実際の地表面では植生が大きく減少、または増加した領域と考えられる。Fig. 14 では、河川の中洲に若干存在した植生は、増水によって減少したために、赤で示されている。しかし、左下の耕作地では、災害前(11月)は刈り取り後で植生が無いが、災害後(9月)は刈り取り前で植生が存在するという季節変化の影響により、Fig.14 の左下の領域も植生に分布に大きな変化が存在したという赤で表示されている。Fig.14 では、熟練者によって、同じ赤で示された領域が被災地か季節変化の影響かの判断をする必要がある。また、左下の耕作地の一部、中央部の耕作地の氾濫域のように、実際の被災地が抽出できていない。

高分解能補正画像と災害後の Landsat 画像の差画像は以下の式を用いて生成した。

$$D_1^\beta = |I_1 - L_3^a| \quad (7)$$

$$D_2^\beta = |I_2 - L_4^a| \quad (8)$$

ここで、 D_m^β : 差画像のバンド m の輝度値、 I_m : 高分解能補正画像のバンド m の輝度値、 L_n^a : 災害後の Landsat 画像のバンド n の輝度値である。式(7)では可視バンド(赤)の差画像を、式(8)では近赤外バンドの差画像を生成している。式(7)、式(8)で比較を行っている高分解能補間画像(すなわち NOAA)の可視バンド(バンド1)、近赤外バンド(バンド2)の波長域と Landsat-7/ETM⁺の可視バンド(バンド3)、近赤外バンド(バンド4)の波長域は厳密には異なるため、単純に差を求めることにより絶対的変化量を算出することはできない。しかし、本研究の目的は被災地の抽出であり、災害前後において大きく地表面の状態が変化した箇所は、輝度値も大きく変化しており、大まかな波長域が同じであれば変化の抽出は可能と考えられる。

Fig. 15 に高分解能補間画像を用いて生成した差画像を示す。従来の手法(Fig.14)では抽出できな

かった被災地(左下の耕作地の一部、中央部の耕作地での氾濫)の抽出が可能となっている。また、季節変化の影響による植生の変化も抽出されおらず、混乱せずに実際の被災地を同定することができる。

Fig. 16 に、従来の手法を用いて生成した Muju 地域の差画像を示す。Fig. 17 には、高分解能補間画像を用いた差画像を示す。赤で示されている箇所が被災地域(災害前後で大きく植生に変動があった)である。Fig.16 では、赤の領域が画像全体に多数分布しており、実際の被災地を同定することは非常に困難である。それに対して Fig.17 では、季節変化の影響を除去しているため、赤で表示される箇所はきわめて限定されており、熟練者による判読を行わなくとも、被災地の分布の把握は極めて容易である。

5. おわりに

2002年韓国水害を例にとり、衛星画像の水災害調査への適用可能性の検討を行った。得られた知見は以下の通りである。

- Landsat-7/ETM⁺のバンド5(中間赤外)は、湛水域では周囲より暗く写る傾向がある。バンド5を含めたカラー合成画像(R:4, G:5, B:3)は、水災害の判読に有効である。
- 高分解能画像と低分解能画像を組み合わせ、任意の時期(低分解能画像の撮影された時期)の高分解能補間画像を作成する手法を提案した。高分解能補間画像により、撮影頻度の低い高分解能画像が撮影されていない時期の詳細な地表面状態を推測することが可能となった。
- 災害前後の画像から輝度値の差画像を作成し、地表面の変化を抽出する手法においては季節変化の影響が問題点であった。差画像の生成に、高分解能補間画像を用いることにより季節変化の影響を排除し、熟練者の詳細な判読を必要とせず、被災地域の同定が可能となった。

災害調査への衛星画像の利用の期待は非常に大きい。1) 観測頻度の問題から災害時に良好な画像の入手が困難なこと、2) 季節変化の影響により災害前後の画像の比較から被災地を同定するには熟練を要することが主な原因となって、実際の現場での利用は少なく、事後解析が中心であった。

本研究で提案した高分解能補間画像を用いた差画像は、季節変化の影響を排除し、熟練者の判読を必要とせずに被災地域の同定が可能となり、災害調査へ

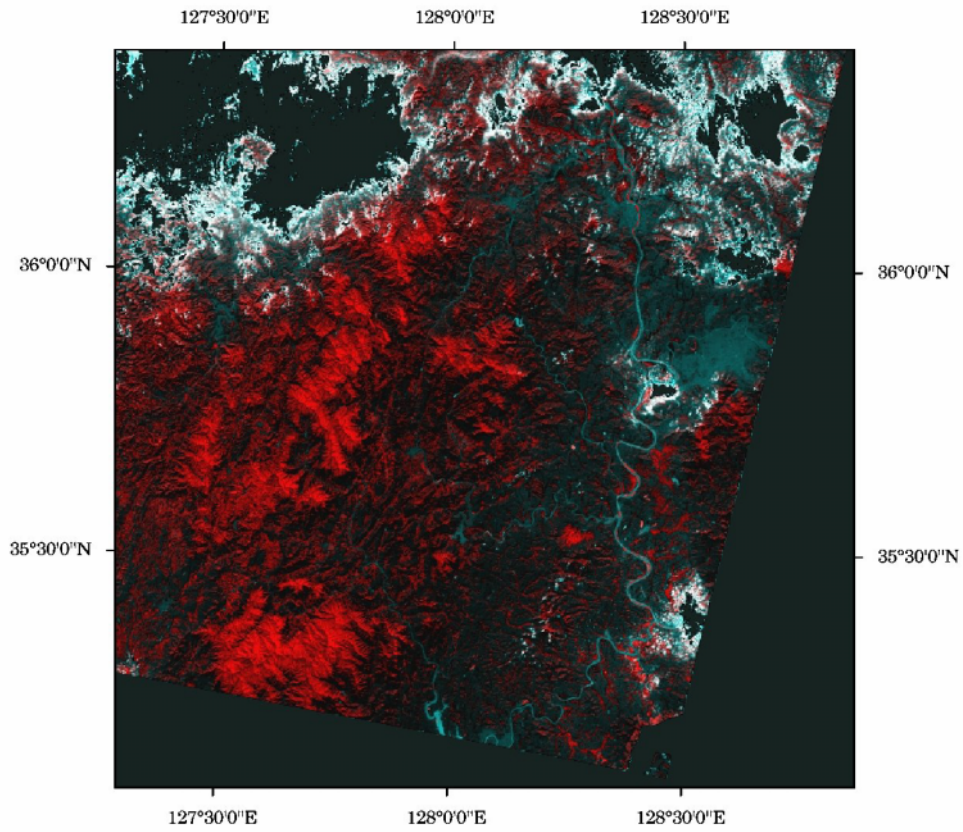


Fig. 16 Distribution of flood disaster area produced with conventionally method in Muju area.

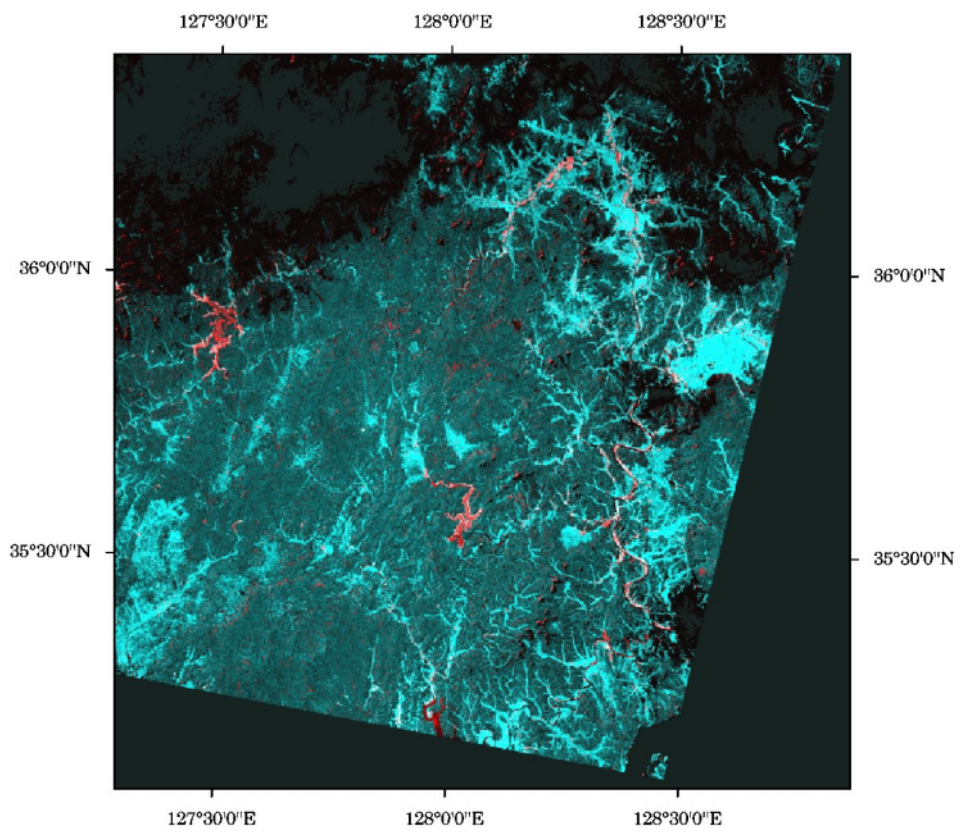


Fig. 17 Distribution of flood disaster area produced with the interpolated fine resolution image in Muju area.

の衛星画像のさらなる利用の一助となると期待される。

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、NOAA 画像は東北大学で受信されたものです。また、Landsat-7 画像の一部は、芝浦工業大学工学部土木工学科の管和利先生にご提供頂きました。あらためて、感謝の意を表します。

参考文献

- 稲村 実 (1988) : 高空間分解能可視・近赤外画像を利用する低分解能熱赤外画像の空間分解能改善, 電子情報通信学会誌, Vol. J71-A, No. 2, pp.497-504.
- 牛山素行・寶馨・立川康人・近森秀高 (2002) : 2002年8月31日～9月1日の台風15号による韓国の豪雨災害, 自然災害科学, Vol. 21, No. 3, pp. 299-309.
- 衛星リモートセンシング推進委員会, 宇宙開発事業団, (財)リモート・センシング技術センター (2000) : 有珠山噴火—平成12年(2000年)—宇宙からの観測と解析結果, pp. 9-10.

Identification of Flood Disaster Area using Satellite Images on the South Korean Flood Disaster in 2002

Toshiharu KOJIMA, Takanari IRITANI*, Yasuto TACHIKAWA and Kaoru TAKARA

* Hokkaido Development ,Ministry of Land, Infrastructure and Transport

Synopsis

Typhoon Rusa swept through eastern and southern parts of South Korea in the 2002, and did serious damage over the large area. Remote sensing image has the ability to isolate flood disaster area when a field survey is difficult because the disaster area is quite expanded and transport access was destroyed. In this study, availability of remote sensing image to identify flood disaster area was investigated. Spectral band 5 of Landsat-7/ETM⁺ is useful to isolate the flood disaster area. Authors propose a new method to produce differential image and confirm its availability.

Keywords: Landsat-7/ETM⁺, NOAA/AVHRR, interpolated fine resolution image, seasonal change