

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

IDENTIFICATION OF FLOOD DISASTER AREA USING THE DIFFERENTIAL IMAGE WITH THE SEASONAL CHANGES CONSIDERATIONS

児島利治
Toshiharu KOJIMA

正会員 博(工) 京都大学助手 防災研究所水災害研究部門 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

The satellite images are expected to use for monitoring and identification of the disaster area. A differential image is basic method to distinguish the surface change. It is considered that the differential image is useful to extract the disaster area in which surface condition changed between before and after disaster. However the differential images have not been used efficiently due to seasonal change. This paper proposed a new method to produce a differential image using fine and coarse resolution image. Sensors with coarse spatial resolution can acquire the images with higher temporal frequency. However such coarse image does not have enough spatial resolution to investigate flood disaster area. On the other hand, fine spatial resolution sensor can not acquire the images with higher temporal frequency. The new method simulates the fine resolution image which has the surface reflectance when coarse image was acquired (just before disaster or no seasonal change), using the linear mixture model. New method can exclude the effect of seasonal change and has a good capability to identify only flood disaster area

Key Words : Landsat-7/ETM+, NOAA/AVHRR, interpolated fine resolution image, seasonal change, linear mixture model

1. はじめに

2002年8月31日～9月1日にかけて朝鮮半島を横断した台風0215号 (Rusa) は, 韓国全土に豪雨による洪水氾濫や土砂災害を引き起こした¹⁾. 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ている. 一方, 衛星画像の利用方法の一つに, ある一定期間の前後に撮影された2枚の衛星画像から差画像を生成し, 地表面状態が変化した箇所を抽出する手法がある. 差画像は土地利用の経年変化の解析等に有効であり, 衛星画像の基本的な利用方法として広く用いられている.

差画像を災害調査に適用する場合, 災害前と災害後に撮影された画像を用いて災害前後で変化の生じた箇所を被災地とする手法が一般的である. しかし, 差画像の洪水災害被災地同定への適用には次のような問題点が挙げられる.

(1) 雲の影響

災害調査にしばしば用いられる光学式のセンサは, 雲を透過して地表面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. 洪水災害の場合, 災害発生時には豪雨が発生している場合が多いこと, 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.

(2) 撮影頻度

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は比較的容易である. 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²⁾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、SPOT画像は依頼を受けて撮影を行うため、撮影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り、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。

(3) 地表面の季節変化

災害直前画像の入手は極めて困難なため、災害発生前から1、2年程度前に撮影された画像を差画像作成に用いることが多い。その際、洪水災害の発生した6月～9月の画像は、災害の前年度であっても雲のために良好な画像が撮影されておらず、秋～春の画像が災害前画像に用いられることが多い。そのため、差画像作成の際、災害による地表面変化だけでなく、画像間の季節変化による地表面変化も抽出されるという問題点がある。

(4) 解決策の提案

洪水災害調査に対する、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

災害前の画像の入手が非常に困難な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画像と同じ季節の地表面状態を再現した災害前画像を生成し、差画像生成、被災地同定へ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

表-1 衛星画像リスト

	Landsat-7/ETM ⁺	NOAA/AVHRR
Path-Row	115-35	
Date (before)	Nov. 19, 2001	Sep. 16, 2001
Date (after)	Sep. 3, 2002	

いる。NOAA画像は、空間分解能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、韓国中央部の茂朱(Muju)周辺とし、表-1に示す画像を解析に用いた。

3. 解析手法

(1) 高分解能画像を利用し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、必要な時期(災害直前又は災害発生時と同じ季節)の地表面の輝度情報を持つが、地表面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、空間的に詳細な地表面情報を持つが、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、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。稲村は、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³⁾。Ph. Puyou-Lascassiesらは、Linear mixture modelを基礎とし、低分解能画像からLandsat画像の土地被覆分類カテゴリ毎の輝度値を推定し、その推定精度をカテゴリ毎に評価した⁴⁾。本研究で提案した手法は、Ph. Puyou-Lascassiesらの提案した手法とカテゴリ分解を行う点で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である。

Landsat画像を用いて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図-1のように対応付けられる。図-1では、NOAA画像の i 番目の画素に対応するカテゴリ $j(j=1\sim p)$ 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 $R_i(i=1\sim m; m$ 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_j は i 番目のNOAA画素内のカテゴリ j の平均輝度

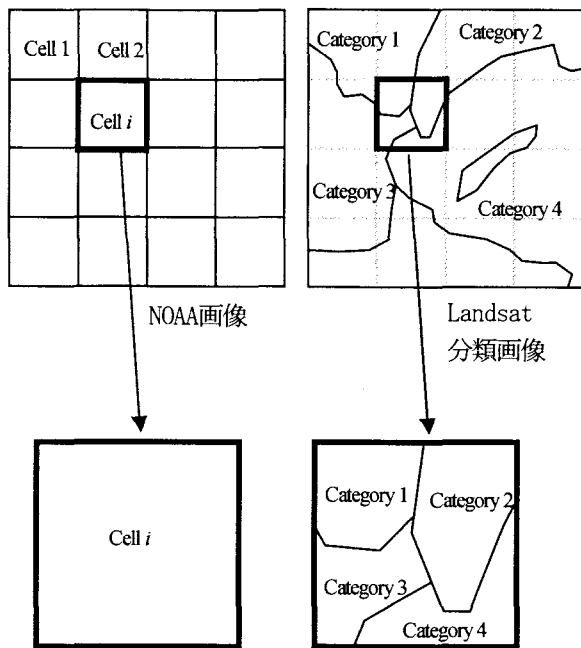


図-1 NOAA画像の画素*i*とLandsat分類画像のカテゴリ毎の面積の関係図。

値、 A_i は番目のNOAA画像の画素全体の占める面積、すなわち 1km^2 である。図-1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} は、ある程度近い画素であ

れば画素*i*にかかわらず、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。

$$\begin{aligned} A_{11}r_1 + A_{12}r_2 + \dots + A_{1j}r_j + \dots + A_{1p}r_p &= R_1 \\ A_{21}r_1 + A_{22}r_2 + \dots + A_{2j}r_j + \dots + A_{2p}r_p &= R_2 \\ &\vdots \\ A_{i1}r_1 + A_{i2}r_2 + \dots + A_{ij}r_j + \dots + A_{ip}r_p &= R_i \\ &\vdots \\ A_{m1}r_1 + A_{m2}r_2 + \dots + A_{mj}r_j + \dots + A_{mp}r_p &= R_m \end{aligned} \quad (4)$$

最後に分類画像においてカテゴリ*j*に分類された画素の輝度値を全て r_j とすることで、高分解能画像が生成される。したがって、生成された高分解能画像では、同じカテゴリに含まれる領域は同じ輝度値を持つ。

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る。式(4)における係数 r_j の推定には、QR分解による線形回帰分析手法を用いた。

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画像を高分解能補間画像と呼ぶこととする。

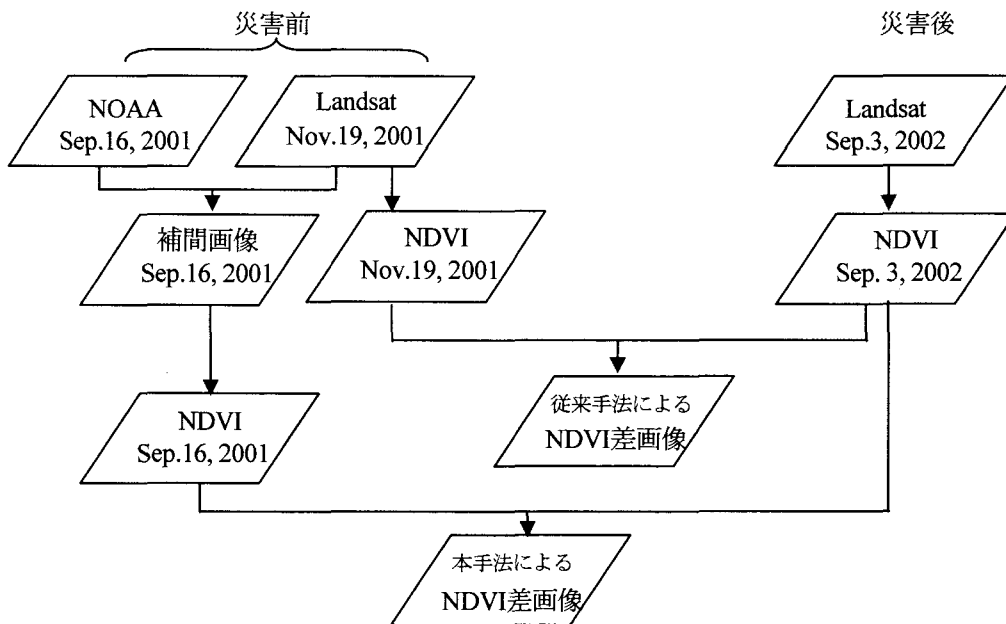


図-2 差画像生成フロー。

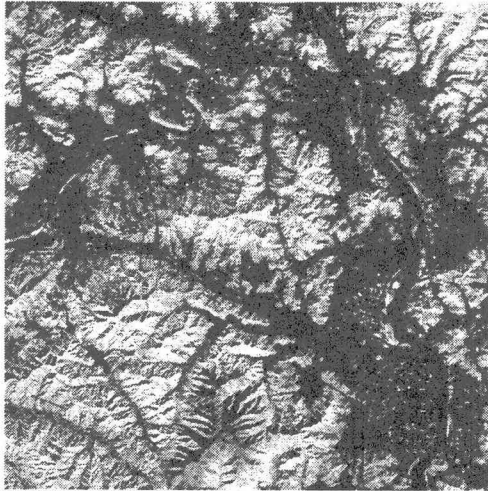


図-3 災害前のNDVI画像 (Landsat-7 ; 2001/11/19撮影).

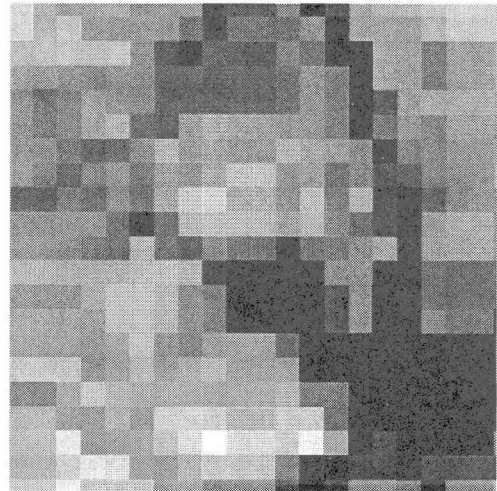


図-5 災害前のNDVI画像 (NOAA ; 2001/9/16撮影).

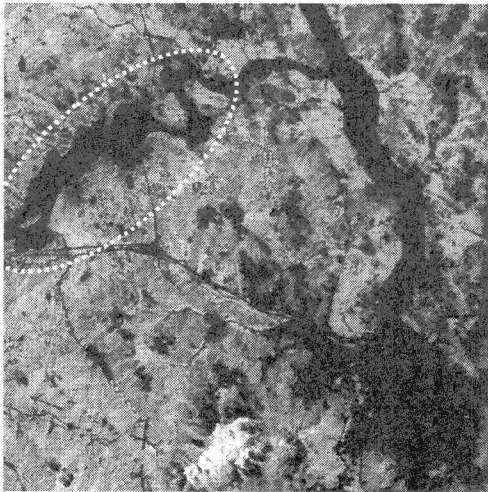


図-4 災害後のNDVI画像 (Landsat-7 ; 2002/9/3撮影).

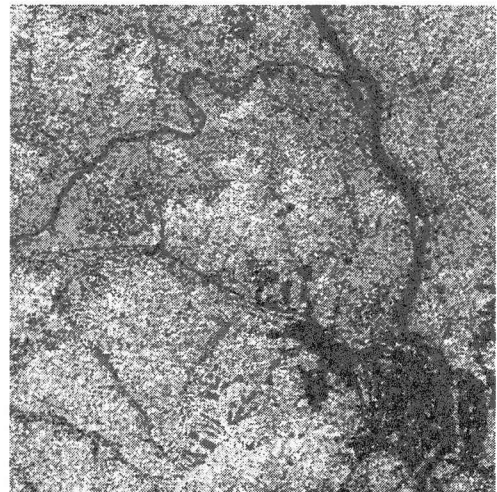


図-6 補間画像から生成したNDVI画像.

(2) 差画像生成手順

図-2に差画像生成手順を示す。図中の数字は衛星画像撮影日またはその画像が示す地表面状態の日付である。災害後のLandsat画像と同じ季節（9月）に撮影されたNOAA画像と災害前Landsat画像を用いて、災害後Landsat画像と同じ季節の地表面情報を持った補間画像を生成する。補間画像と災害後画像から生成したNDVI画像を用いてNDVI差画像を生成し、被災地同定を行う。比較のために、従来通りの手法である災害前Landsat画像と災害後Landsatから生成したNDVI画像からも差画像を生成し、被災地同定を試みる。差画像は災害前画像の画素値から災害後画像の画素値を引くことにより生成される（式(5)）。

$$Pd_i = Pb_i - Pa_i \quad (5)$$

ここで、 Pd_i ：差画像の画素値、 Pb_i ：災害前画像の画素値、 Pa_i ：災害後画像の画素値である。

4. 結果と考察

(1) 補間画像の生成

図-3、図-4に、災害前後のLandsat-7/ETM+画像から生成したNDVI (Normalized Difference Vegetation Index) 画像を示す。NDVIは植物の活力度を示す指標で、式(6)を用いて算出される。

$$NDVI = \frac{NIR - VS}{NIR + VS} \quad (6)$$

ここで、 NIR ：近赤外バンドの輝度値、 VS ：可視バンドの輝度値である。Landsat-7画像を用いた場合、近赤外バンドとしてバンド4、可視バンドとしてバンド3（赤）を用いたNDVI画像が一般的に用いられる。NOAA画像の場合は、近赤外バンドとしてバンド2、可視バンドとしてバンド1が用いられる（図-5）。図-3において明るく表現

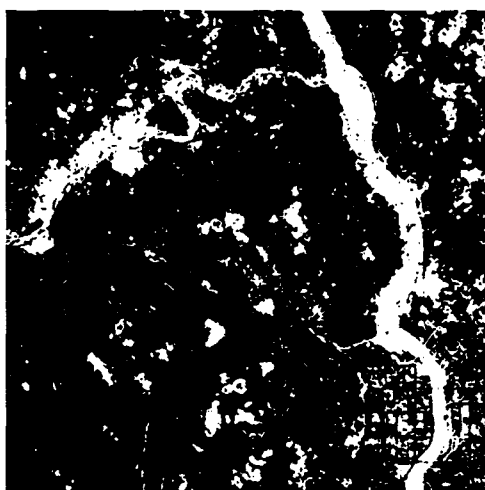


図-7 補間画像を用いたNDVI差画像
(Sep. 16, 2001 – Sep. 3, 2002) .



図-8 従来手法によるNDVI差画像
(Nov. 19, 2001 – Sep. 3, 2002).

されている領域のほとんどは森林域である。図-3、図-4の両画像において常に暗い右下の領域は都市域である。都市域では9月、11月の両季節ともに植生に乏しいため、NDVI画像では常に暗く表現されている。図-3において河川の両岸に広がる暗い領域は、耕作地（水田）である。刈り入れ後の時期（11月）である図-3では暗く表現されているが、刈り入れ前の画像（9月；図-4）では明るく表現されている。図-4において楕円で囲まれた暗い領域が洪水氾濫によって浸水した水田である。図-6に補間画像から生成したNDVI画像を示す。図-5のNOAA画像と比較して、空間分解能が極めて向上していることが分かる。図-6において耕作地は明るく表現されており、2001年9月の刈り入れ前の地表面状態をよく再現している。

(2) 差画像の生成と被災地の同定

図-7に本研究で提案した補間画像を用いて生成したNDVI差画像を示す。図-7は、図-6から図-4を引いて生成

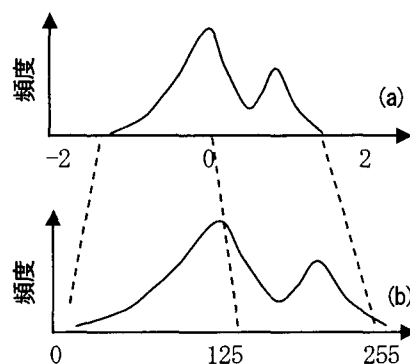


図-9 ヒストグラムストレッチの図示（図-7； (a) NDVI差画像の画素値の頻度分布, (b) 0-255値への画像強調）.

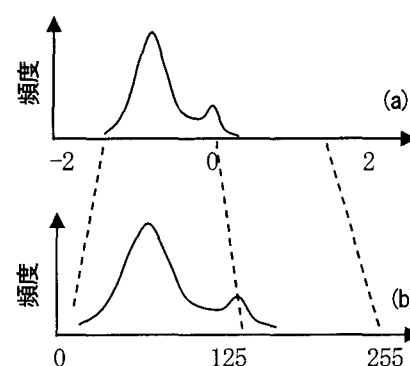


図-10 ヒストグラムストレッチの図示（図-8； (a) NDVI差画像の画素値の頻度分布, (b) 0-255値へ画像強調）.

された差画像である。図-4で確認できた氾濫域や増水した河川等が白くはつきりと確認できる。耕作地や河川敷の植生が存在し、NDVI値が高い領域において、洪水氾濫が発生し、土砂や増水のため植生がダメージを受け、NDVIの値が減少した領域が明るく表現されている。

図-8は、従来行われてきた災害前後に撮影されたLandsat画像から直接生成されたNDVI差画像である（図-3～図-4）。図-7を生成した場合と同様に災害後画像では被災地は氾濫水や土砂のため、NDVI値（植生活力度）は低い。しかし図-8の生成に利用された災害前画像（図-3）は、11月撮影のため画像全体が災害後よりも植物活力度が低く、NDVI差画像ではほとんどの画素値が負となっている。

図-9、図-10は、それぞれ図-7、図-8の表示画像生成の際のヒストグラムストレッチを図示している。図-7では、季節変化が無いため、差画像内のほとんどの画素値は変化の無い0付近を示し、洪水氾濫によって被災した一部の水田のみ正の値（植生が減少）を示す（図-9(a)参照）。画像表示のために行うヒストグラムストレッチのイメージ図が図-9(b)である。画像の一部は125以上の明るい色を示す画素値分布となっていると考えられる。図-10は、図-8のヒストグラムストレッチのイメージ図

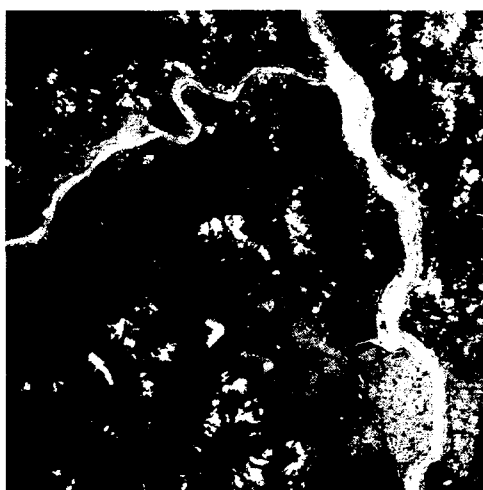


図-11 従来手法によるNDVI差画像（ヒストグラムストレッチ調整後；Nov. 19, 20 Sep. 3, 2002）.

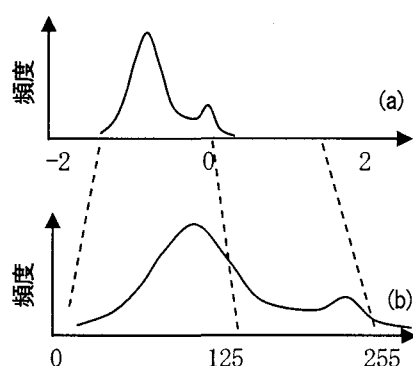


図-12 ヒストグラムストレッチの図示（図-11；（a）NDVI差画像の画素値の頻度分布，（b）0-255値へ画像強調）.

である。図-8では、ほとんどの画素値が負（植生が増加；11月→9月）であるため、図-7と同様のヒストグラムストレッチを行うとほとんどの画素が125以下の暗い表示となる。そのため、図-8はほとんどの領域が黒で表示され、被災地の確認ができない。

図-11は、被災地が確認できるように、ヒストグラムストレッチを調整した画像である。画像左上隅の被災地は確認できるが、その形状は不明瞭である。また、右下の都市域が白く表示されている。図-11は、図-12のイメージ図で図示しているように、都市域等の植物活力度にあまり変化の無い箇所や実際に葉植物活力度が若干減少した領域等のNDVI差画像の画素値で0周辺の値も255周辺まで強調して表示している。そのため、撮影時期による植生の変化がほとんど無いはずの都市域が白く表示されるというエラーが発生している。

5. おわりに

2002年に韓国で発生した台風RUSAによる洪水災害を例

にとり、衛星画像の洪水被災地同定への適用可能性の検討を行った。本研究で得られた知見は以下の通りである。

- ・ 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：本研究の一部は、平成14年度科学研究費特別研究促進費「2002年朝鮮半島における豪雨洪水土砂災害に関する調査研究」（研究代表者：寶 馨京都大学教授）の補助を受けて行われたものである。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 牛山素行・寶馨・立川康人・近森秀高：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, 2002.
- 2) 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：有珠山噴火ー平成12年（2000年）ー宇宙からの観測と解析結果，pp. 9-1, 2000.
- 3) 稲村 実：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, 1988.
- 4) Ph. Puyou-Lascassies, A. Podaire and M. Gay: Extracting crop radiometric responses from simulated low and high spatial resolution satellite data using a linear mixing model, International Journal of Remote Sensing, Vol. 15, No. 18, pp. 3767-3784, 1994.

(2003. 9. 30受付)