

衛星画像データによる津波浸水域の識別

竹田 厚*

国立防災科学技術センター平塚支所

都司嘉宜**

東京大学地震研究所

Discrimination of Flooded Areas Due to Tsunami By Using Satellite Image Data

By

Atsushi Takeda

*Hiratsuka Branch, National Research Center for Disaster Prevention
Nijigahama, Hiratsuka, Kanagawa 254, Japan*

And

Yoshinobu Tsuji

*Earthquake Research Institute, University of Tokyo
Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan*

Abstract

As flooded areas due to a tsunami appear simultaneously at many points along an extensive coastal zone, a macroscopical method using satellite image data is considered to be useful for detecting and discriminating them objectively.

It is supposed that traces of sea water flood remain for several months, because vegetation changes due to washing away, burying and withering of plants.

These changes in vegetation appear on a picture of spectral images of an earth surface observed from as satellite. A careful comparison of two satellite images observing the same area before and after a disaster must bring informations on the traces of a sea water flood. Then an examination for dicriminating such flooded areas of the remarkable tsunami of the Nihonkai-Chubu Earthquake on May 26, 1983 attacked the coast of Minehama Village, Akita Prefecture in the North Japan, was made by using MSS image data of LANDSAT.

*平塚支所長 **前平塚支所主任研究官

1. はじめに

津波による浸水の被害は、同時に広い範囲の沿岸地域の多地点で発生するので、それらの被害区域を、衛星観測による画像データを使って、巨視的、客観的に検出・識別することができれば、調査方法の一つとして利用価値は高いと考えられる。

津波の浸水域では、滞水、土砂の流入などによって、土地被覆状況に大きな変化が現われる場合が多い。なかでも植物は、流失、埋没、倒木、及び海水の塩分による衰弱、枯死などによって海水が引いた後も、かなりの期間、影響を受けるといわれている。しかもこれら植生の変化は、浸水域ではおおむね普遍的に現われると考えられるので、津波浸水域の痕跡を残すものとして情報化できるであろう。

植生のみならず、土地被覆状況に関する情報は衛星から観測される地表面の分光画像データから得ることができる。

現在、地球上の陸域の大部分の場所は、米国のランドサット衛星のMSSやTMという高分解能センサーによって可視域(一部赤外域)の分光画像データが定期的に観測されている。したがって災害などによって土地被覆の状況に変化を生じた場合、その場所の災害前と災害後を観測して画像データが得られるわけで、二つの画像を詳細に比較することによって、変化のあった部分やその程度を検出・識別することができるであろう。

この研究においては、このような方法で、津波による海水の浸水域の痕跡を識別することの可能性を検討する。

そこで、1983年5月26日の日本海中部地震津波の浸水の被害が顕著であった秋田県北部の峰浜村一能代市の沿岸部を対象に、ランドサットのMSS画像データを使って津波の浸水域を識別することを試みた。

2. 利用した観測データ

衛星データとしては、災害から約1ヶ月半あとの1983年7月12日のランドサット4号のシーン番号108-32と、これと比較するための災害前の1982年7月8日の3号のシーン番号116-32を使った。いずれも秋田県北部を含むMSS画像である。前年同時期のものを比較の対象に選んだのは、植生の季節的条件を、浸水域を除いてほぼ等しいと仮定できるためである。それぞれのシーンともバンド4からバンド7までの4バンドの分光画像をもつが、ここでは植生の変化に関係するバンドとして、可視域のバンド5(0.6~0.7 μm の波長帯)と、近赤外域のバンド7(0.8~1.1 μm の波長帯)の2バンドの分光画像データを主に使用した。

前者は、植物の葉緑素(クロロフィル- α)による吸収帯(0.670 μm 付近)を含む一方、裸地(土)による反射が強い帯域でもある。また後者は植物による反射がとくに強い帯域であることが知られている(図1参照)。

いずれの帯域の画像も地上分解能は80mである。

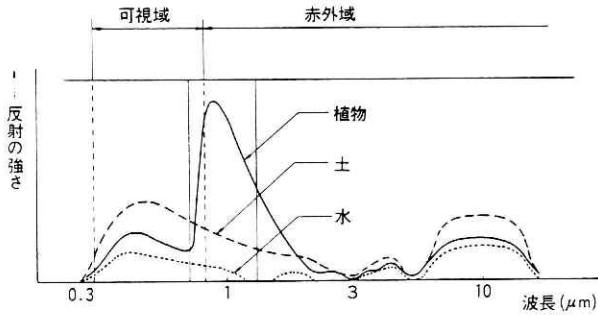


図1 地表面の土地被覆のちがいによる分光反射特性
Fig. 1 Spectral reflection characteristics of land coverage

一方、グランドトルスデータとしては、秋田大学鉱山学部土木科津波調査班による津波浸水域図(秋田県, 1984)のうち、県北部の八森漁港南一米代川河口北までの部分(図2), を主として使ったが、この他にも国立防災科学技術センター(1984), 科学技術庁研究調整局(1984), 東海大学海洋学部土木工学科(1983)等の調査報告書の中の浸水域に関する資料も参考にしたが、内容に大きな差はなかった。また災害発生から1週間後に撮影された八森町一峰浜村—能代市の沿岸部の航空写真(アジア航測KKによる)も参考にした。さらに植生などに関するデータを秋田県林務部(1984), 峰浜村(1985)等の資料から得て利用した。これらのデータからだけでは不明の点多々あり、最終的には現地を訪れて関係者から直接、説明してもらって得た情報も少なくない。

3. 衛星データの解析

津波災害の前と後のMSS画像上に現れる違いを、できるだけ客観的に表現するためにつきのような定量的な解析をおこなった。なお、解析作業は(株)リモートセンシング技術センターの協力を得て同センターで行った。

まず、前処理として災害前後の二つのシーンが、災害による変化を除いては、幾何学的にも光学的にも完全に一致するように、幾何学的歪みの補正や輝度合わせを行った上で、解析の対象とする区域10km×25kmの部分をも1シーン分180km×180kmの原画像より切りとった。

なお幾何学的歪みの補正に当たっては、各シーン内の地域に、予め設けられているGCPを6～7点選んで行った。また、輝度合わせは、同じ季節の、同じ時間帯という条件から、輝度値が等しいと考えられる峰浜村の山岳部と能代市の中心部の市街地を基準として行った。

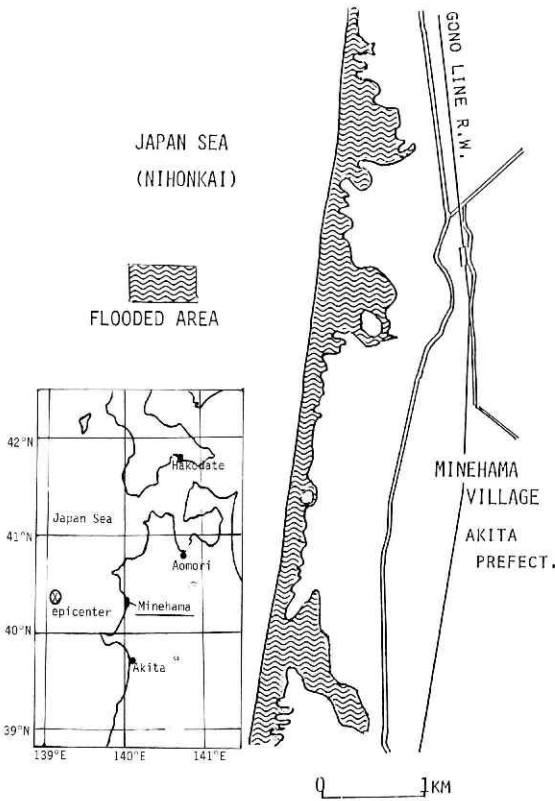


図2 日本海中部地震津波による峰浜村付近の浸水域(秋田大学土木工学科津波調査班による),及び峰浜村と震源の位置

Fig. 2 Flooded areas of the Tsunami of Nihonkai-Chubu Earthquake along the coast of Minehama Village, Akita Prefecture (after the Tsunami Survey Team of the Akita University), and the locations of Minehama Village and the epicenter.

前処理を済ませた二つのシーンの各バンドの画像について、つぎのような解析を行った。まず、二つのシーンが観測された約1年の間に、この地域の地表面に何ら変化がなければ、同じバンド i ($i=5, 7$)の災害前の画像 P_{i1} と災害後の画像 P_{i2} は全く同じであり、同一地点 $P(x, y)$ に対応するそれぞれの画像の各ピクセル(画像を構成する基本単位で画素ともいう。この場合は約80m×80mの大きさ)の輝度の値は等しく、両者の差 $\Delta B_i(x, y)$ は0になるはずである。逆に、この差が0でない場合は、これらのピクセルに対応する地表の地点に何らかの変化があったことを示唆している。このように災害前後の2画像について各ピクセルごとの輝度の値の差 ΔB_i を求めて画像化したのが写真1に示す「差画像」SUBPiである。なお、この場合の「差」の値 ΔB_i は災害後の値から災害前の値を引いたものである。

この結果をさらに定量的に表現するために、各差画像の全ピクセルについての $\Delta B_i(x, y)$ (地表面に変化がなくてもノイズのために完全には0にならない)の標準偏差 σ_B を求め、陸域にあって、 $|\Delta B_i| \geq \sigma_B$ であるようなピクセルを「有意差ピクセル(SDP)」と呼ぶことにして、全ピクセルの中から選別する。各差画像について選別されたSDPだけを再び地図上に●でプロ



写真1 各バンドの津波の前後の差画像(左:バンド5, 右:バンド7)

Photo 1 Subtracted images between two images of each band before and after the tsunami. Band 5 (left) Band 7 (right)

ットしたのが図3の「有意差ピクセル分布図」である。図の中で、 $|\Delta B_i| \geq 2\sigma_B$ のものについてはとくに大きな●で示してある。

4. 解析結果の検討

まず、前処理後のフォールスカラー表示(3バンド重ね合わせ)の2画像P1(災害前), P2(災害後)を詳しく比較してみると(写真2), P2上の峰浜村付近の海岸に沿って3ヶ所, 白い, 大きな斑点が存在するが, P1上にはこれらに対応するようなはっきりした斑点はみとめられない。一方, 現地踏査に基づく浸水域分布図(図2)から, P2上の斑点の位置は, 同村沿岸の三つの大きな浸水域に正確に一致しており, パターンもだいたい似ていることが分かる。

つぎに, 各バンドごとの差画像SUBP5とSUBP7をみると(写真1), P2上の斑点の位置にSUBP5では明るい, またSUBP7では暗い斑点が存在している。これらは, それぞれの正と負の大きな値の ΔB_i をあらわしている。

このことは図3の有意差ピクセル分布図をみればいっそうはっきりする。さらにこの図から分かるもう一つの特徴はSDPの分布が沿岸部に集中していて内陸部にはほとんど存在しないことである。

図3の二つの分布図に図1の浸水域を重ねてみると, SDPの分布域はほとんどこの中に入る。そこで二つのSDP分布図どうしを重ね合わせてSDPの分布のパターンをみると, 海岸線にごく近い部分を除いて, 大部分が浸水域と一致している。つまりバンド5とバンド7のSDP分布域を重ね合わせたものが, ほぼ津波の浸水域を表していると考えられる。

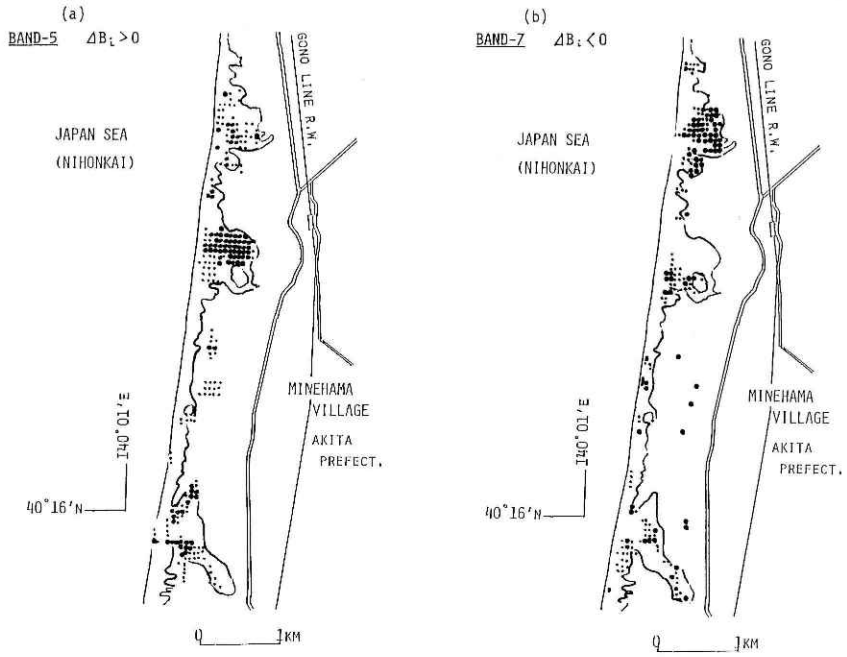
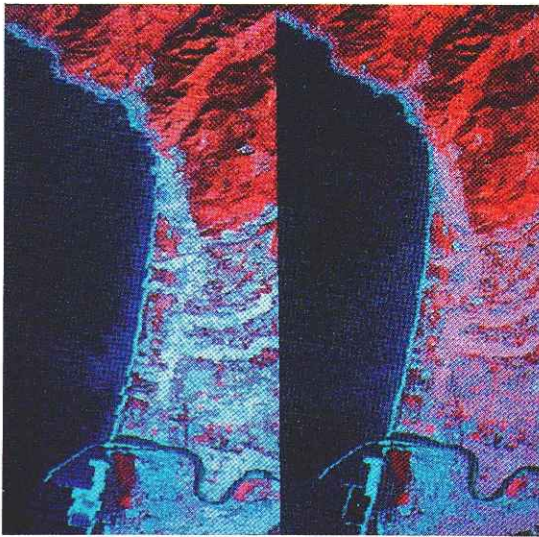


図3 有意差ピクセル(SDP)の分布図 (a)バンド5, (b)バンド7

Fig. 3 Distribution map of SDP(Significant Difference Pixel), (a) Band 5, (b) Band 7



P2

P1

写真2 対象域のランドサットMSSの擬似カラー画像(左;津波の後, 右;津波の前)

Photo 2 False color images of LANDSAT MSS : after (left) and before (right) the tsunami.

以上のことがらは、つぎのように説明できる。バンド5は植物による吸収帯、バンド7は同じく反射帯であり、海水の浸水によって植物が枯死すると、いまの場合、バンド5では吸収が減って正の、またバンド7では反射が減少して負のSDPが現れるはずである。上述の解析の結果はこの推論に合致する。

しかし、図3の(a)と(b)を比較してみると、同じ浸水域内であってもバンド5とバンド7ではSDPの分布域が必ずしも一致していない。むしろ重なる部分が少ないともいえる。たしかにバンド5には植物による吸収帯が含まれてはいるが、その幅は狭く、その効果だけで、輝度が大きく変化すると考えるには少々無理がある。図1を見るとバンド5に対応する帯域は、植物の他に、土壌による効果(反射)が大きいのことが分かる。このことは、植物が枯れる(消滅する)ことの結果として、地表面が裸地になった場合を想定すれば、災害後の輝度の著しい増大を説明できる。事実、解析後の現地調査で、バンド5の輝度が増大した地域はほとんどが水田で津波によって、田植え後間もないイネはほとんど流出し、さらに場所によっては大量の泥が流入して水田を埋没させていることが明らかになった。また、この時期にはすでに復旧工事として客土が行われているところも一部あった。したがって、SDPの分布は植生の変化だけによるものではなく、津波による多様な土地被覆の変化が重なって強く現われたと考えるべきかも知れない。

SDP分布域によって浸水域がだいたい表せることは分かったものの、まだいくつかの問題点もある。その一つは、明らかに海水の侵入があり、海岸保安林のクロマツが大量に枯死している海岸線沿いの区域にSDPが現れないことである。

これについては、その後の現地調査で得た資料から、水稻などの農作物にくらべてクロマツや海岸の野草は海水にたいして強く、被害の進行度が遅く数ヶ月から半年たつて枯れるものや、一旦、枯れても1~2ヶ月後には蘇生するものがあることが分かったので、この理由によるものと考えられる。このようすを秋田県林務部(1984)、峰浜村(1985)等の資料に基づき模式的に図示したのが図4である。この図から分かるように植生に現われる変化は災害後、植物の種類によってフェイズが異なる。したがって衛星による観測も1回だけでなく各フェイズに合わせて行えば、海水の浸水の痕跡についてより確実な情報が得られるであろう。

5. 結 論

衛星観測資料から津波の浸水による痕跡を識別することが可能であることが確かめられた。この方法は、災害前の植生や、詳しい地形は分かっているが災害直後の現場調査が困難な場合など、有効であると考えられる。ただし、海水による植生の変化は、浸水時から半年くらいにわたって進行する場合もあるので、この間のいくつかの時期の衛星観測資料について今回と同様な解析を行うべきであろう。

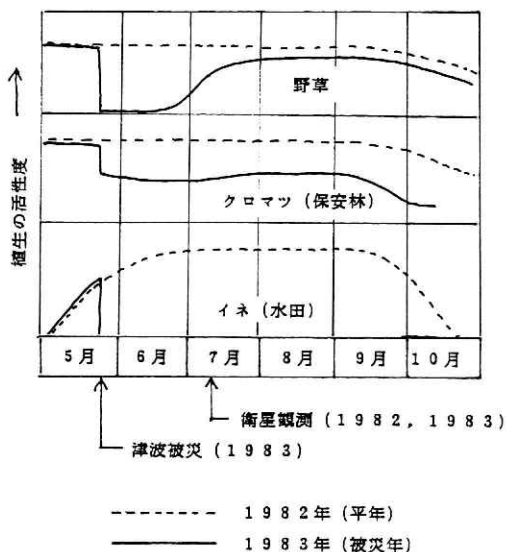


図4 津波による浸水のあとの植生変化を示す模式図

Fig. 4 Schematic illustration of vegetation changes after a the tsunami flood.

日本海中部地震の当時はまだMSS画像データしかなかったが、現在ではより高分解能のランドサット5号のTM画像データが利用できるので、さらに詳しい情報を得ることが可能であろう。

この方法は津波のほかにも、高潮や高波による海水の浸水域の識別にも当然利用できるはずである。

謝 辞

使用した衛星資料は宇宙開発事業団の協力により提供されたものである。また現地調査や資料提供に関して秋田県と同県峰浜村のご協力に感謝したい。秋田大学鉱山学部の松富英夫氏からは貴重な資料や情報をいただき感謝している。

衛星画像の解析ではリモートセンシング技術センターの竹内章司氏にたいへんお世話になった。同氏のご指導・ご協力にお礼を申し上げたい。

参 考 文 献

- 1) 秋田県(1984)：昭和58年(1983年)日本海中部地震の記録—被災要因と実例—。
- 2) 秋田県林務部(1984)：日本海中部地震の記録「緑の防波堤」。
- 3) 科学技術庁研究調整局(1984)：昭和58年(1983年)日本海中部地震に関する緊急研究報告書。
- 4) 国立防災科学技術センター(1984)：昭和58年(1983年)日本海中部地震による災害現地調査報告。
- 5) 峰浜村(1985)：日本海中部地震 津波被害水田調査成績書。
- 6) 竹田 厚・都司嘉宣・高橋 博(1986)：津波高潮による浸水域の衛星資料からの識別方法, UJNR耐風・耐震構造部会第18回部会会議録(メリーランド)助土木研究センター, 443-448。
- 7) 東海大学海洋学部海洋土木工学科(1983)：昭和58年日本海中部地震の津波痕跡記録把握調査報告書。
(1987年11月24日 原稿受理)