

# ASTER 熱赤外面像を用いた津波被害把握

## Detection of tsunami flooded areas using ASTER thermal infrared images

○花田大輝<sup>1</sup>・山崎文雄<sup>2</sup>

Daiki Hanada and Fumio Yamazaki

**Abstract:** In the 2011 Tohoku Earthquake, heavy casualties and severe property loss were caused by repeated tsunamis. To grasp tsunami effects using satellite visible bands is easy, but they cannot be used at nighttime. On the other hand, thermal infrared images can be acquired at nighttime. In this study, the estimation of flooded areas was carried out by superimposing ASTER thermal infrared band images taken before and after the earthquake. Those results were compared with false color composites and inundated area maps. The comparison showed good agreement and the usefulness of the ASTER thermal infrared bands in detecting large flooded areas was demonstrated.

**Keywords:** ASTER thermal infrared image, the 2011 Tohoku earthquake, tsunami, flooded area, color composite

### 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震により、多くの被害が発生した<sup>1)</sup>。なかでも津波による被害は甚大で、交通・情報が遮断されたことにより現状把握が困難となった。地震被害の早期把握は、迅速な災害対応をとるために極めて重要である。地震被害の把握にはリモートセンシングが多く用いられており、地上からのアクセスが困難な地域や被害が広域にわたる場合に力を発揮している<sup>2-3)</sup>。津波等の被害把握には衛星光学画像や空撮画像から目視判読することが容易であるが、これには多くの時間を要する。また、衛星画像の多くは可視・近赤外域の光を利用しているため、太陽光のない夜間においては利用が困難であり、空白の時間が生じてしまう。一方、熱放射を観測する熱赤外センサでは太陽光に依存しないため、昼夜関係なく利用することが可能である<sup>4)</sup>。山崎ら<sup>5)</sup>は、都市域を撮影した空撮熱赤外面像により、構造物や道路、植生などの土地被覆ごとの輪郭をはっきりと得ることができることを確認した。衛星画像は空撮画像よりも解像度が劣るが、津波浸水被害のようなスケールの大きい被害把握を行うことが可能である。衛星熱赤外面像を用いることで、津波浸水域における温度変化を見ることにより容易・迅速に津波被害把握を行うことが可能となり、夜間における空白の時間をなくすることができる<sup>6)</sup>と期待される。

本研究では、地震前後の ASTER 熱赤外面像を重ね合わせることで浸水被害地域の推定を行う。同時期に撮影された ASTER 画像によるフォールスカラー画像や、国土地理院により作成された浸水範囲概況図<sup>6)</sup>と比較し、推定精度について検討を行う。さらに、複数時期の事後画像を用いて、一時期の事前画像とそれぞれ重ね合わせ、比較することにより津波被害による湛水域の変化の把握を試みる。今後の津波被害の早期把握に繋げることを目的とする。

<sup>1</sup>学生会員 千葉大学 大学院工学研究科 建築・都市科学専攻

<sup>2</sup>正会員 千葉大学 大学院工学研究科 建築・都市科学専攻

(所在地 〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33)

(連絡先 Tel: 043-290-3528 E-mail: d.hanada@chiba-u.jp)

### 2. 研究手法

#### 2.1 使用するデータ

本研究では、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による津波浸水域の把握を行う。対象地域は、津波被害の大きかった宮城県石巻市周辺、福島県相馬市周辺について取り上げた(Fig. 1, 2)。地震以前の熱赤外面像と、地震後の熱赤外面像を比較することにより津波被害を把握する。天候等の条件をできるだけ揃えるため、異なる年の同じ時期に撮影された画像を用いた。Fig. 1a, 1b は、石巻市周辺の昼間における ASTER 熱赤外面像であり、それぞれ2009年4月7日、2011年4月6日の10時30分頃に撮影されたものである。Fig. 2a, 2b は、相馬市周辺の夜間における ASTER 熱赤外面像であり、それぞれ

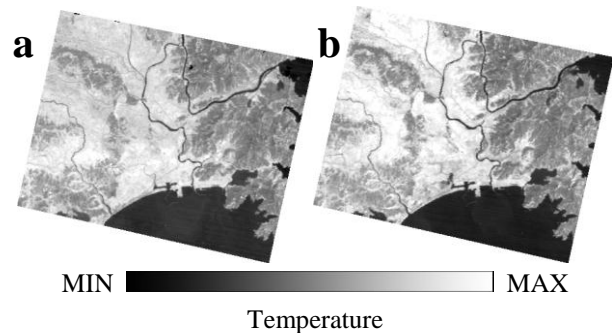


Fig. 1 ASTER thermal infrared band images, clipped for Ishinomaki City, Miyagi Prefecture. a: April 7, 2009 at 10:33:38 (JST), b: April 6, 2011 at 10:26:03 (JST).

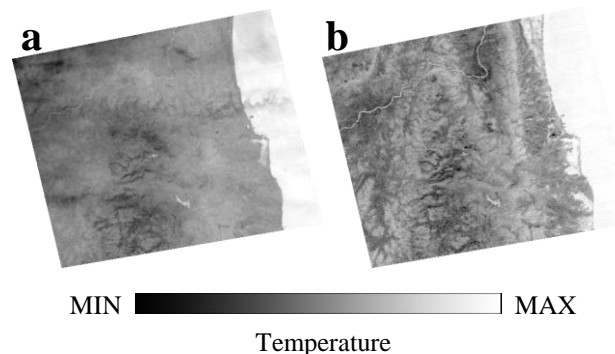


Fig. 2 ASTER thermal infrared band images, clipped for Soma City, Fukushima Prefecture. a: January 15, 2008 at 21:36:38 (JST), b: May 12, 2011 at 21:36:16 (JST).

2008年1月15日, 2011年3月12日の21時30分頃に撮影されたものである。それぞれの前後画像に異なる色を割り当て、重ね合わせて表示することにより視覚的に温度変化を把握する。

## 2.2 熱赤外面像の重ね合わせによる湛水域の推定

ASTERの熱赤外バンドにはバンド10からバンド14の5種類があり, それぞれ異なる波長帯を観測することができる。今回は, いずれのバンドにおいてもほとんど変化が確認できなかったため, 全てバンド10の画像を用いて検討を行った。ASTER熱赤外バンドの空間分解能は90mであるため, 検出できる変化は100mオーダーの広がりが必要となる。

黒から白で表現される熱赤外面像を, 事前画像では黒からシアン(B+G), 事後画像では黒から赤(R)の色を割り当て, 2つの画像を重ね合わせた。これにより, 事前画像より温度が上昇した箇所は赤く, 温度が低下した箇所はシアンで表示でき, 視覚的に温度変化を把握することが可能となる。昼間の画像においては温度が低下した箇所, 夜間の画像においては温度が上昇した箇所を津波浸水域とし, 同時期に撮影されたASTERによる昼間のフォールスカラー画像と比較することで精度について検討する。

## 3. 検討結果

### 3.1 熱赤外面像の重ね合わせによる検討

石巻市周辺における重ね合わせ画像をFig. 3aに示す。温度が著しく低下した箇所を推定湛水域とし, 簡易的に抽出したものをFig. 3bに示す。Fig. 3a, 3bにおいて, 温度変化が大きい2箇所についてそれぞれ拡大し, 地震前後のフォールスカラー画像と比較したものをそれぞれFig. 4, 5に示す。

Fig. 4は, Fig. 3bにおける(1)の箇所をそれぞれ拡大したもので, 宮城県東松島市内にある水田を示している。この地域では, 定川に沿って津波が遡上し, 内陸部においても甚大な被害をもたらした。Fig. 4aを見ると, 地震発生よりおよそ1ヶ月経過しているものの, 多くの範囲で温度が低くなったままとなっていることが分かる。この地域の多くはもともと水田であるため海水が溜まりやすく, 地殻変動による地盤沈下もあって浸水状態が継続した。

Fig. 5aは, Fig. 3bにおける(2)の箇所をそれぞれ拡大したもので, 石巻市を流れる北上川の下流域を示している。この地域も(1)の地域と同様に川に沿って津波が遡上し, 甚大な被害をもたらした。Fig. 5dの事後フォールスカラー画像を見ると, 河口付近の陸地が津波により侵食され, 海水域となってしまうことが確認できる。また, 水田に関して海水が溜まったままとなっており, 温度が低いままであることが確認できる。これらの範囲と, 簡易的に抽

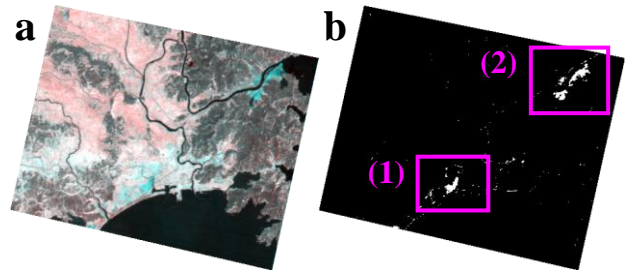


Fig. 3 a: Color composite of ASTER thermal infrared band images taken on April 7, 2009 and April 6, 2011. b: The area whose temperature was lower than that of the pre-event (cyan color area).

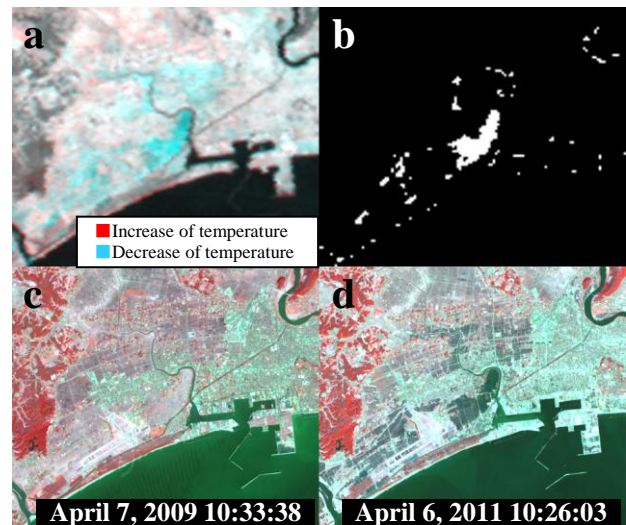


Fig.4 a: Enlargement of areas (1) in Fig. 3b, b: The area whose temperature was lower than the pre-event one (cyan area), c, d: False color composite of the images before and after the earthquake.

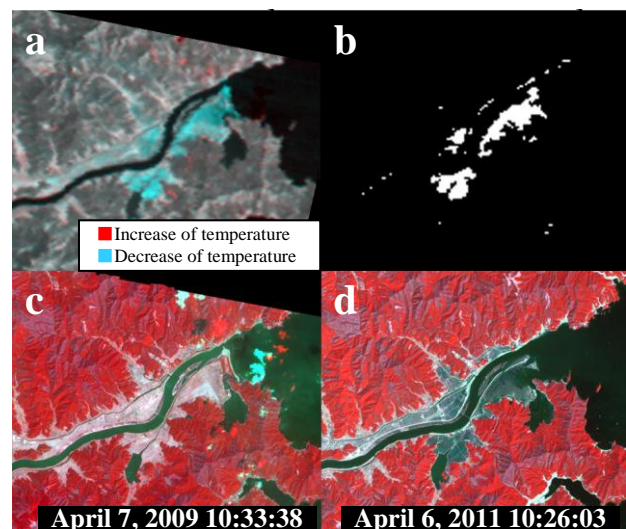


Fig. 5 a: Enlargement of areas (2) in Fig. 3b, b: The area whose temperature is lower than pre-event one (cyan area), c, d: False color composite of the images before and after the earthquake.

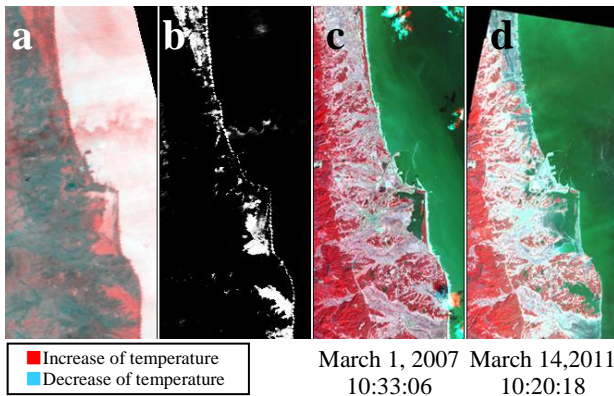


Fig. 6 **a**: Color composite of ASTER thermal infrared band images taken on January 15, 2008 and March 12, 2011. **b**: The area whose temperature was higher than the pre-event one (red area). **c**, **d**: Pre- and post-event false color images taken in daytime with the similar condition as the TIR images.

出した湛水域は概ね一致しており、良好な結果が得られたといえよう。

相馬市における事例では、夜間の画像を用いて検討を行った。夜間では、熱容量の大きい水域は周囲と比較して温度が高くなるため、温度上昇が大きい箇所を推定湛水域として検討を行った。前後熱赤外画像を重ね合わせ、海岸部について切り抜いたものを Fig. 6a に示す。温度が著しく上昇した箇所のみを簡易的に抽出したものを Fig. 6b に示す。比較として、それぞれの熱赤外画像撮影日の環境に近い時期の昼間に撮影された ASTER によるフォールスカラー画像を Fig. 6c, 6d に示す。Fig. 6a を見ると、海岸沿いの多くの地域で温度が上昇していることが分かる。石巻市周辺と同様、この地域の多くは水田であるため、海水が溜まったままとなっているといえる。画像中央部付近の水域は松川浦という潟湖であり、Fig. 6d の事後フォールスカラー画像を見ると形状が大きく変化していることが分かる。また、潟湖のすぐ下にある水田の形状も大きく変化している。これらの変化と、推定湛水域の形状は概ね一致しており、ASTER 熱赤外画像の利用は、夜間においても十分有効であるといえる。

熱赤外画像は季節や天候などによって変化するため、今後様々な状況の画像で検証していく必要がある。また、夜間においては昼間の画像ほど温度分布に差が出にくいいため、温度の表示範囲を変更して比較するなど、様々な温度状況においても定量的に評価できる方法について検討していく必要がある。

### 3.2 国土地理院による浸水範囲概況図との比較

3.1 における重ね合わせ画像から、温度が極めて上昇、低下した箇所をそれぞれ簡易的に抽出し、国土地理院により作成された浸水範囲概況図と重ね合わせたものを Fig. 7 に示す。ここでは、見易さのため

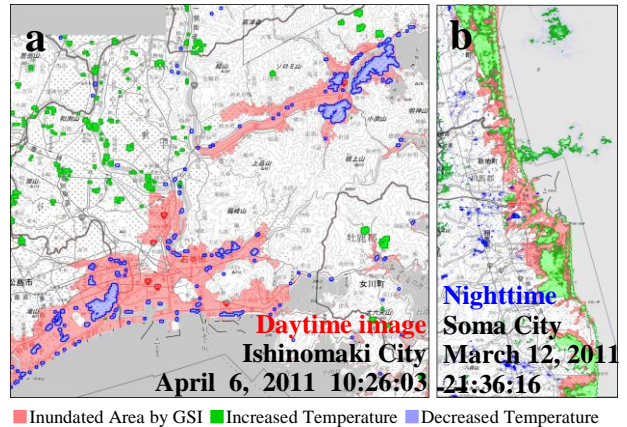


Fig. 7 Superposition of the large temperature difference areas on the inundated area map created by GSI. **a**: Ishinomaki City (Daytime), **b**: Soma City (Nighttime). The estimated flooded areas at the time of image acquisition were found to be inside of the inundated areas (red) by GSI.

に浸水範囲概況図を白黒表示し、浸水範囲のみ赤く表示している。緑色で示した箇所は地震前よりも温度が上昇した箇所、青色で示した箇所は地震前よりも温度が低下した箇所である。湛水域は、石巻市の画像では昼間であるため温度が低下した箇所、相馬市においては夜間であるため温度が上昇した箇所と判断することができる。これらの推定湛水域のほとんどは、赤く示された浸水範囲内において確認することができるため、良好な推定結果であるといえる。

### 3.3 熱赤外画像による複数時期のモニタリング

石巻市周辺において2009年4月7日に撮影された事前画像と、地震後の3時期の画像をそれぞれ重ね合わせ比較したものを Fig. 8a-b, 8a-c, 8a-d に示す。また、相馬市において2008年1月15日に撮影された事前画像と、2時期の事後画像を重ね合わせ比較したものを Fig. 8e-f, 8e-g に示す。Table 1, 2 にそれぞれの画像の詳細を示す。

石巻市周辺画像における、Fig. 8a-d の画像左端のシアン色が濃い箇所は雲によるものである。6月以降の画像では、海面や植生は赤くなっており、気温の上昇に伴って温度が上昇していることがわかる。しかし、画像中央部では多くの範囲がシアンとなっており、温度が低下していることが分かる。この地域の平地の多くは水田であり、田植えが行われたことにより水が満たされ、温度が低下したといえる。一方、3.1 において示した東松島・石巻地区周辺にも水田は多く存在するが、この地域に関しては温度がやや上昇している。これらの範囲は、Fig. 7a に示した国土地理院による浸水範囲概況図における浸水域と概ね一致していることがわかる。海水の侵入により作物を育てられる環境ではなくなり、多くの水田が利用できずそのままとなっているためであるといえる。また、この地域では津波により建物が流され

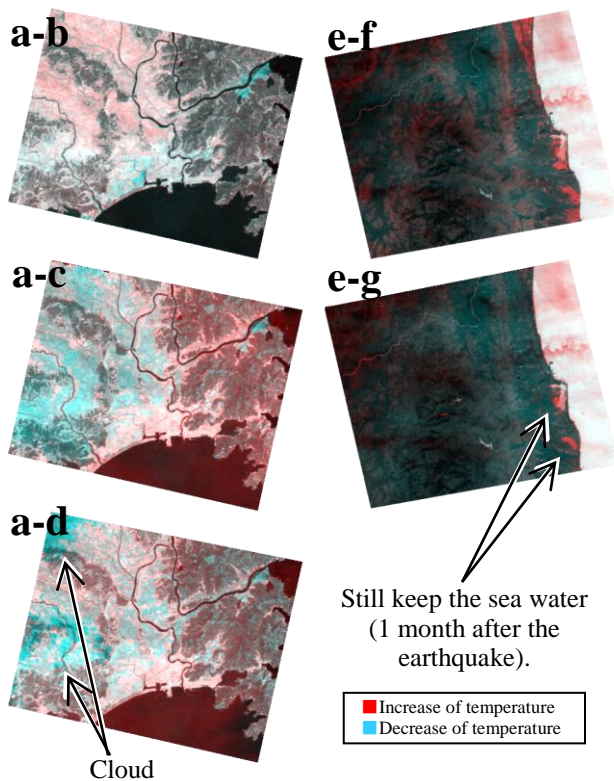


Fig. 8 a-b, a-c, a-d: TIR superimposition images of Ishinomaki City. e-d, e-g: TIR superimposition images of Soma City. Each image is superimposed with one pre-event image (Ishinomaki City: April 7, 2009, Soma City: January 15, 2008).

更地となった場所が多いため、浸水域であった箇所の表面温度が上昇したと考えられる。

相馬市における画像では、大きな変化が確認できるのは海岸沿いの地域のみである。Fig. 8e-f, 8e-gを比較すると、Fig. 8e-gでは海岸沿いに多くあった温度上昇範囲が減少していることが分かる。しかし、潟湖やそのすぐ下の水田では温度が高く、水が溜まったままとなっていることが分かる。ASTER 熱赤外画像の利用は、地震後の被害把握や、土地利用のモニタリングにも十分利用可能であるといえる。

#### 4. まとめ

本研究では、地震前後の ASTER 熱赤外画像を重ね合わせることにより、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による津波湛水域の推定を行った。事前画像には黒からシアン、事後画像には黒から赤を配色することで、温度が上昇した箇所では赤く、温度が低下した箇所ではシアンで表示されるものとした。昼間においては温度が下がった箇所、夜間においては温度が上昇した箇所を湛水域とし、抽出を試みた。ASTERによるフォールスカラー画像と比較した結果、概ね良好な湛水域の推定結果を得ることができた。また、国土地理院により作成された浸水範囲概況図と比較した結果、ほとんどが浸水域内で確認でき、時間経過により湛水域が減少して

Table 1 Property of each TIR image in Ishinomaki City

Images	Date	Time (JST)	Max Air Temp (°C)
a (pre)	April 7, 2009	10:33:38	19.6
b	April 6, 2011	10:26:03	18.6
c	June 9, 2011	10:26:03	23.4
d	Jury 11, 2011	10:26:10	31.5

Table 2 Property of each TIR image in Soma City

Images	Date	Time (JST)	Max Air Temp (°C)
e (pre)	Jan. 15, 2008	21:36:38	5.6
f	March 12, 2011	21:36:16	9.7
g	April 4, 2011	21:42:21	9.5

はいるが、良好な結果が得られたといえよう。

一時期の事前画像と、複数時期の事後画像をそれぞれ重ね合わせ、比較した結果、震災後における土地被覆状況の把握が可能であるという結果を得た。津波被災後、水が溜まったままとなっている箇所では温度変化が大きく出るため、これにより判断することが可能となる。精度に関しては検討の余地があるが、震災後の土地利用に関するモニタリングとして十分利用可能であるといえる。

今後の課題として、湛水域の抽出範囲のパラメータ等を検討し、定量的に湛水域を推定・抽出する方法を構築する必要がある。また、熱赤外画像は季節や天候、雲による影響を大きく受けるため、同じ条件の熱赤外画像を用意することが難しい場合がある。事前画像として GIS データ等を用いることで、データが不十分な場合においても利用できる方法を構築したいと考えている。また、温度特性を考慮しさらに精度について検討することで、今後の津波浸水域の早期把握につなげていきたいと考えている。

#### 謝辞

ASTER データは産業技術総合研究所の GEO Grid にて処理されたものである。記して謝意を表する。

#### 【参考文献】

- 1) 地震調査研究推進本部:平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震の評価, [http://www.jishin.go.jp/main/chousa/11apr\\_sanriku-oki3/index.htm](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/11apr_sanriku-oki3/index.htm)
- 2) Kouchi, K., and Yamazaki, F.: Characteristics of Tsunami-Affected Areas in Moderate-Resolution Satellite Images, TGRS, IEEE, Vol. 45, No. 6, pp.1650-1657, 2007.
- 3) Rathje, E, and Adams, B.J., The Role of Remote Sensing in Earthquake Science and Engineering: Opportunities and Challenges, Earthquake Spectra, 24(2), 471-492, 2008.
- 4) 花田大輝, 山崎文雄:熱赤外画像を用いた地震被害把握を模擬した試み, 第 50 回リモートセンシング学会学術講演会論文集, pp79-80, 2011.
- 5) Yamazaki, F., Murakoshi, A., and Sekiya, N., Observation of Urban Heat Island using Airborne Thermal Sensors, 2009 Urban Remote Sensing Joint Event, IEEE, 5p, 2009.
- 6) 国土地理院:浸水範囲概況図, <http://www.gsi.go.jp/kikaku/kikaku60002.html>