

空中写真の実体視判読に基づく 2011年東北地方太平洋沖地震の 津波浸水域認定の根拠

杉戸 信彦*・松多 信尚**・後藤 秀昭***・熊原 康博****・堀 和明*・
廣内 大助*****・石黒 聡士*****・中田 高***・海津 正倫*****・
渡辺 満久*****・鈴木 康弘**

Criteria for Detection of Tsunami-inundation Area Associated with the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Northeast Japan, Based on Air-photo Stereo-pair Interpretation

Nobuhiko SUGITO*, Nobuhisa MATSUTA**, Hideaki GOTO***,
Yasuhiro KUMAHARA****, Kazuaki HORI*,
Daisuke HIROUCHI*****, Satoshi ISHIGURO*****,
Takashi NAKATA***, Masatomo UIMITSU*****,
Mitsuhiro WATANABE***** and Yasuhiro SUZUKI**

Abstract

Air-photos revealed tsunami damages vast and serious, which were taken immediately after the 11 March 2011, off the Pacific coast of Tohoku earthquake, northeast Japan. For quick and intensive, rescue and recovery activities, we conducted their stereo-pair interpretation to online release “1:25,000-scale tsunami damage map” 17 days after the earthquake. The latest “2011 final edition” was released on 11 December 2011. Stereo-pair air-photos enable us to identify tsunami-inundation areas when interpreted

* 名古屋大学大学院環境学研究科
Graduate School of Environmental Studies, Nagoya
University
** 名古屋大学減災連携研究センター
Disaster Mitigation Research Center, Nagoya Univer-
sity
*** 広島大学大学院文学研究科
Graduate School of Letters, Hiroshima University
**** 群馬大学教育学部
Faculty of Education, Gunma University

***** 信州大学教育学部
Faculty of Education, Shinshu University
***** 国立環境研究所環境計測研究センター
Center for Environmental Measurement and
Analysis, National Institute for Environmental
Studies
***** 奈良大学文学部
Faculty of Letters, Nara University
***** 東洋大学社会学部
Faculty of Sociology, Toyo University

本報告に対する討論は平成25年2月末日まで受け付ける。

from the following points of view: landforms, elevations, geomorphic histories, land conditions, land uses, and man-made infrastructures, in addition to tsunami-flow courses. We describe our identified tsunami-inundation evidences, hints, and problems in the mapping, to manage future devastating tsunamis.

キーワード：津波，地形，空中写真，実体視判読，2011年東北地方太平洋沖地震

Key words：tsunami, landform, air-photo, stereo-pair analysis, 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake

1. はじめに

2011年3月11日東北地方太平洋沖地震の直後に撮影された空中写真は、沿岸部の広大かつ甚大な津波被害をはっきりと捉えている。

早期の救援・復旧活動に資すべく、日本地理学会災害対応本部津波被災マップ作成チーム(以下、津波被災マップ作成チーム)^{注1}は、地震発生の翌日以降国土地理院によって急遽撮影された空中写真を入手し、実体視判読をただちに開始した。そして地震後17日目の同28日、津波浸水域と家屋等の多くが流出した地域を示した縮尺1:25,000「津波被災マップ」を同学会災害対応本部のウェブサイトにて公開した(図1)^{注2}。その後も判読範囲をひろげるとともに精度を高め、12月11日、第6版「2011年完成版」を公開した^{1,2,注3}。最終的なマップ作成範囲は青森県中部～千葉県北部の沿岸部、直線距離で約600kmにわたる^{注4}。

津波浸水域の認定は、地震後撮影の空中写真を用いた注意深い実体視判読によって概ね可能であった。縮尺1:25,000であれば高い信頼性で認定可能であり、さらに大縮尺でも大部分を認定できた。

後述するように、空中写真の実体視判読には、(1)津波がどの経路を流れて浸入したかを微地形や標高等を考慮しながら三次元的に検討できる、(2)それゆえ津波と関係のない路面の汚れ等を津波痕跡として誤認する可能性も避けられる、また(3)急斜面基部や建物の背後等、単写真では死角となる範囲も判読できる、さらには(4)踏査ではアクセス困難な地域も判読できる、(5)広域を網羅的かつ迅速に判読できる、等の利点がある。

本稿では津波被災マップ作成チームの経験を踏まえ、津波浸水域の認定における空中写真の実体視判読の重要性とその問題点を、典型例を示しながら報告する。万一同様の災害が起こった際には、被災マップ作成に関する先行的方法論として有用になろう。「津波被災マップ」の作成過程やその意義、そのGISで利用可能な地理データの詳細は別稿¹⁻³⁾に譲る。

2. 浸水域マッピングとその課題

被害津波における浸水域のマッピングはこれまで、一般に現地調査によって行われてきた。今回も、例えば東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループは地震直後にグループを結成し、浸水域だけでなく浸水高や遡上高に関する計画的な現地調査を実施してきた⁴⁾。現地を直接観察してデータを得るため信頼性は高く聞き取り調査も重要な情報源となっている。

しかしながら現地調査は、津波後一定期間はなかなか実施できない場合がある。今回のようなケースだと被害が甚大でかつ浸水域が広大ゆえ迅速な網羅的調査は現実的に困難であり、調査実施までの間に津波の痕跡が消失していく。対象地域を面的に把握して分析することも現実としてかなり難しい。聞き取り調査によって部分的には解決するかもしれない。しかし時間がたつと証言の信頼性が下がっていくことも考えられる。また集落のない地域やアクセス困難な地域もある。全域を切れ目なく網羅するのはやはり困難と考えられる。

しかし地震後撮影の空中写真は撮影日時時点の状況を記録しており、これを利用すれば広大な地域

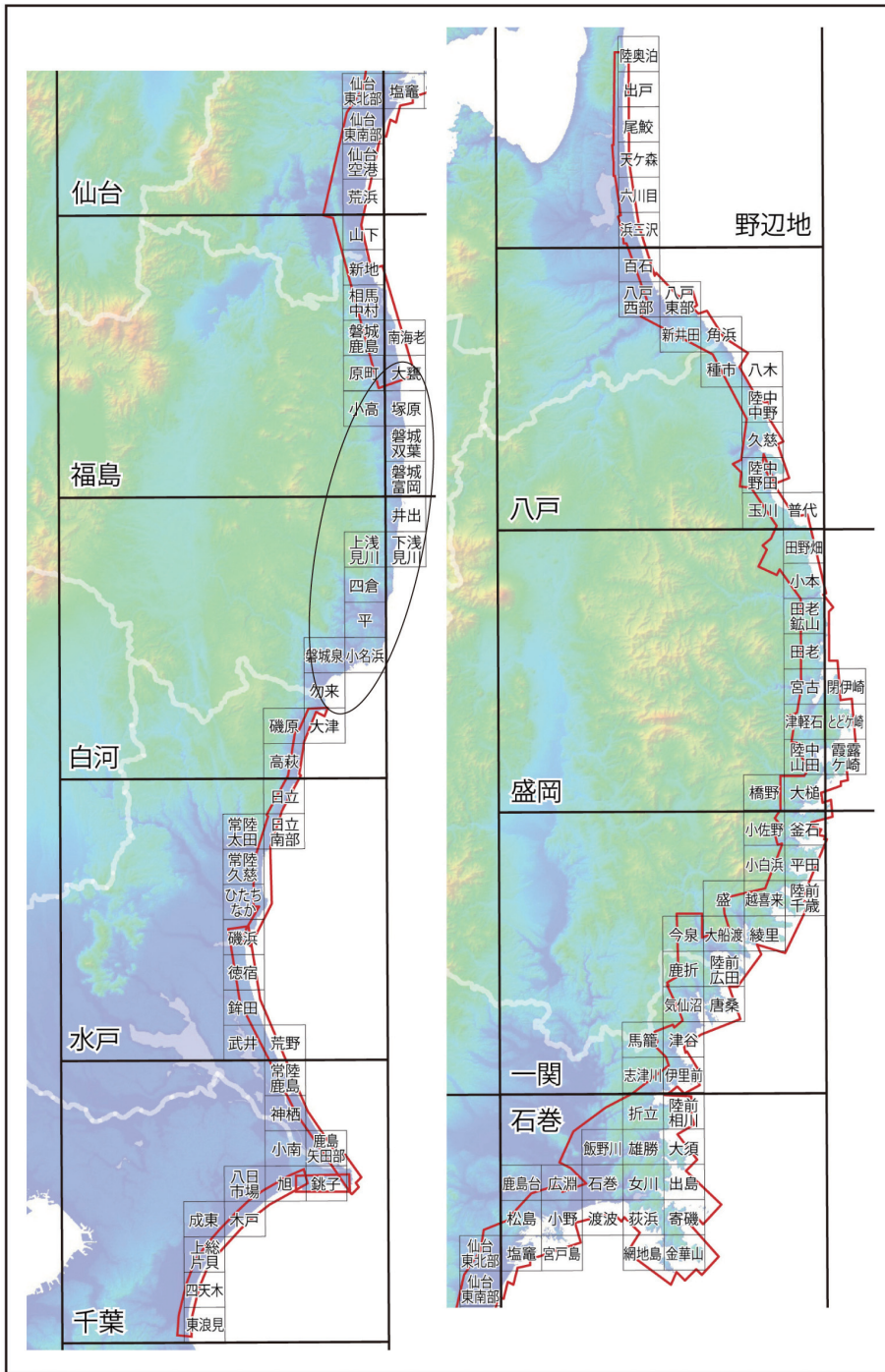


図 1 津波被災マップの作成範囲。赤枠は国土地理院地震後撮影空中写真を判読した範囲を示す。黒丸で示した地域の判読には Google Earth 等の地震後撮影の衛星画像を使用した。海岸線および行政区には国土地理院基盤地図情報を使用した。背景の段彩図は国土地理院発行数値地図50m メッシュを使用して Global Mapper で作成した。

の迅速なマッピングが可能である^{5,6)}。津波被災マップ作成チームではさらに「実体視判読」を、地形学を専門とする研究者が行っており、微地形や標高、地形発達史、土地条件、土地利用を把握し、また道路・鉄道・家屋・水路等の人工構造物などを直接確認しながら、津波の流動コースも考慮して、対象地域全域（図1）のマッピングを実施した^{1-3,7-9)}。マッピングの際、国土地理院1:25,000土地条件図の刊行範囲については、それらを参照しながら判読を行った。津波被災マップ作成チームの構成員は、地形研究において空中写真を使用した実体視判読を日常的に行い、微少な地形の判読経験を重ねた研究者からなる。後述するように津波浸水域認定においては微地形判読の能力が必須であり、今回、微地形を正しく判読できる、実体視判読の経験を積んだ研究者が取り組んでいる、ということである。

なお判読には、印刷した空中写真以外に、高解像度のデータの判読が可能な方法として、ディス

プレイ上で拡大しての実体視判読¹⁰⁾も行った。

3. 空中写真の実体視判読に基づく浸水域認定の根拠

3.1 空中写真から読み取れる浸水域の特徴

空中写真の実体視判読に基づく浸水域の認定にあたっては、津波の流動コースを三次元的にイメージしながら、主として次の3点を根拠とした。

- ・耕作地や道路、駐車場、空き地等の色調の異常（津波によって運搬されてきた砂や泥などの堆積物に覆われていると推定されるケースや津波襲来直後で地面が乾いていないと推定されるケース）
- ・津波で運ばれてきたと推定される稲藁や車両、破壊された家屋等の漂着物の存在
- ・津波の浸入に起因すると推定される耕作地の湛水例として仙台市若林区荒井付近（海岸から約3 km 内陸）の状況を図2, 3に示す。浸水したと判断される範囲においては、耕作地や道路等の色調

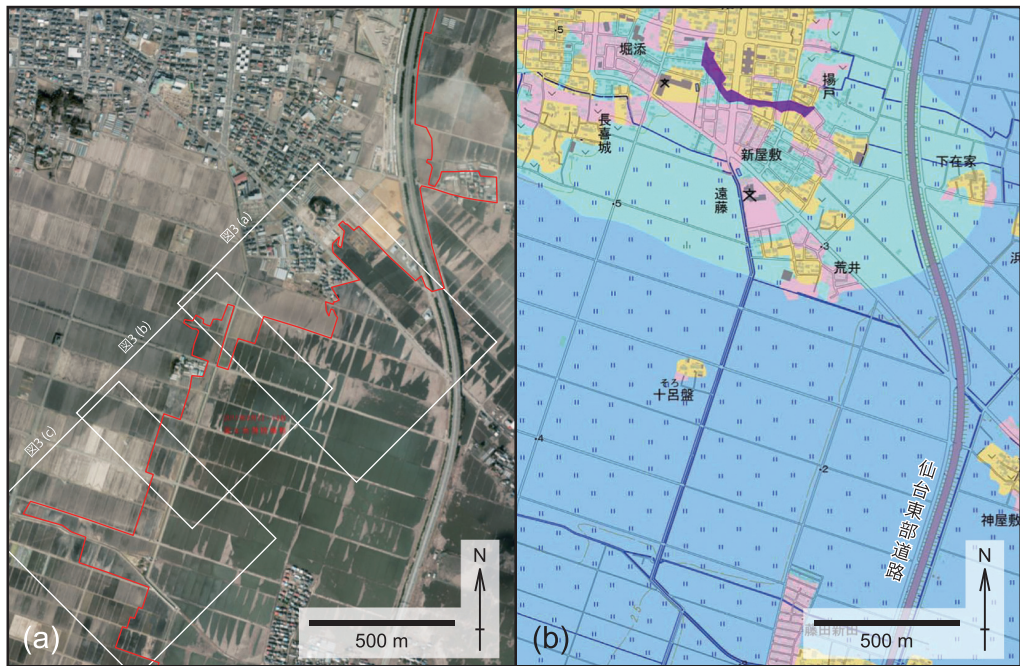


図2 (a) 仙台市若林区荒井付近の浸水域。背景は3月12・13日撮影空中写真のオルソ画像¹⁵⁾。(b) 電子国土による土地条件図¹¹⁾。青色：海岸平野・三角州，水色：谷底平野・氾濫平野，橙色：自然堤防・砂州・砂碓，紫色：旧流路，桃色：高い盛土地・盛土地。2011年12月11日閲覧。

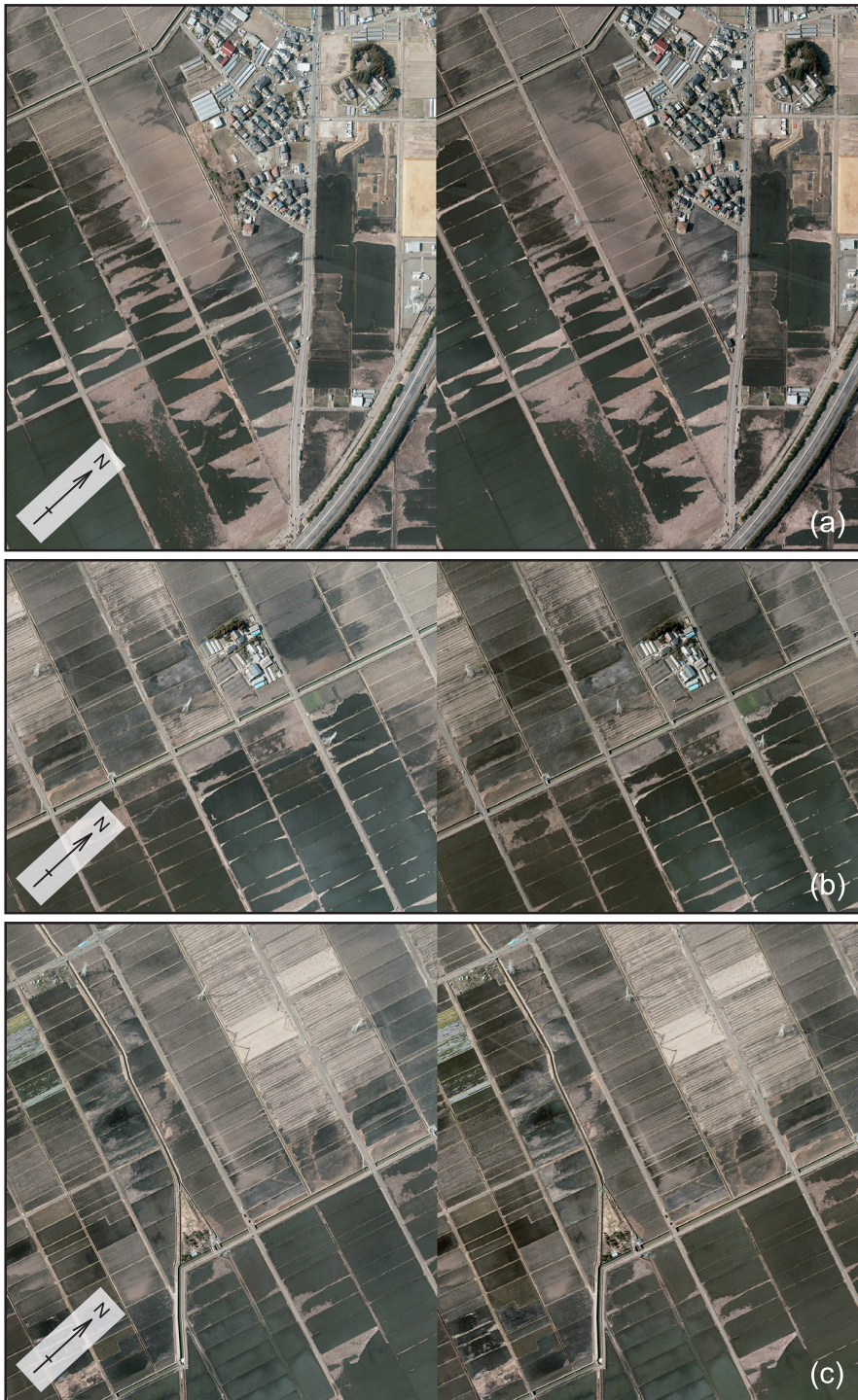


図3 仙台市若林区荒井付近の空中写真実体視ペア。3月12日撮影C04-25~28⁽⁵⁾を使用。位置は図2(a)に示す。

がそれ以外の範囲とは異なって明褐色を呈するため、津波堆積物に覆われたと考えられる。同時に多くの耕作地に漂着物が認められ、かつ一部の耕作地は湛水している。

漂着物の多くは各耕作地の西端に集積している。東（海側）から西（陸側）に向かって津波が流れた痕跡と考えられる。現地における聞き取り調査（2011年4月23日実施）によって、海岸線から上陸し西方に流れて仙台東部道路に達した津波がアンダーパスを抜けてその西側へと浸入したこと、およびアンダーパスより西側では浸入の勢いが比較的弱かったことが確認された。ただし漂着物の集積が何波目の津波に起因するかを同定することは容易ではない。津波の最後の流れを反映している可能性も考えられ、慎重な検討が必要である。

荒井付近から北西方には集落群が発達している。土地条件図をみると、これらは氾濫平野上に立地しており東側や南側には三角州がひろがる¹¹⁾。これらの集落は、色調異常や漂着物、湛水等が認められないため浸水を免れたと判断される。このことは聞き取り調査によっても確認された。集落南側の三角州においては、南北方向の水路をやや西に越えた付近まで浸水しているが、十呂盤の南西方では西へ舌状に入りこんで浸水している。東西方向の水路を逆流した津波がこの水路沿いに氾濫したと考えられる。

別の例として東松島市矢本付近の状況を図4に示す。この付近には、東北東-西南西走向にのびる浜堤列が発達している¹²⁾。津波は海岸から内陸へ3 km、道地（道地浦）付近の浜堤を乗り越えて北側へと浸入した後、浜堤の背後を西方へと流れたと考えられる。浜堤の背後においてはさらに、北北西方向にのびる水路を津波が逆流してこれ沿いに氾濫したと考えられ、水路沿いの耕作地には色調異常や漂着物が認められる。鳥子付近においても津波は浜堤を越えて、その北側へと帯状に浸入したと考えられる。

なお図2, 4では国土地理院発行1:25,000土地条件図^{11, 12)}を引用しているが、これは、土地条件の判読を本チーム独自に行った結果が国土地理院

発行1:25,000土地条件図とほぼ一致したためである。

3.2 実体視による浸水域認定の必要性

浸水域認定においては、空中写真から直接読み取れる3-1で述べた3点が主な根拠となる。その際には荒井付近や矢本付近の状況が示すように、津波の流動コースに注意が必要である。流動コースを読み取るためには微地形の把握が不可欠であり、実体視判読が浸水域認定の鍵となる。

具体例として北茨城市関南町神岡上~大津町付近を図5に示す。色調異常や漂着物に加え、地形変化や海岸林の状況から、津波が浜堤を乗り越えて浸入したと推定される地点がある（図中矢印を付した地点）。浸入した津波が引いていく時、地形的に低い方を選択して海岸線と平行に流れたと推定される地区もある（例えば、亶理郡山元町など）。旧流路に沿って津波が流れたケースや（例えば、那珂郡東海村など）、浜堤を抜け太平洋へと流下する河川を津波が逆流した結果、浜堤の背後で浸水が起きたケース（例えば、山武市など）も認められる。これらはいずれも、微地形の把握なしに浸水域を検討する困難さを明確に示している。

平野部以外の地域においてもやはり、色調の異常や漂着物の存在、耕作地の湛水を主な根拠として浸水域を認定することができた。例えば、宮城郡七ヶ浜町南部（図6）や宮古市田老付近（図7, 8）をみると、ごく小さな谷の奥を含め、浸水域が詳細に把握されていることがわかる。浸水した分水界や、浸水を免れた、孤立した高まり地形も認められる。空中写真によって地域一帯を俯瞰し、かつ実体視判読を行って標高や津波の流動コース等を考慮する重要性が指摘される。

急傾斜地の基部や森林域の樹木の陰、都市域の建物背後等、単写真では死角となる範囲についても、実体視を行うことで地表面のほぼすべてを視認して判読することができた。視認できない部分についても付近の浸水状況から連続性や標高、津波の流動コース等を考慮して浸水域を推定することが可能であった。

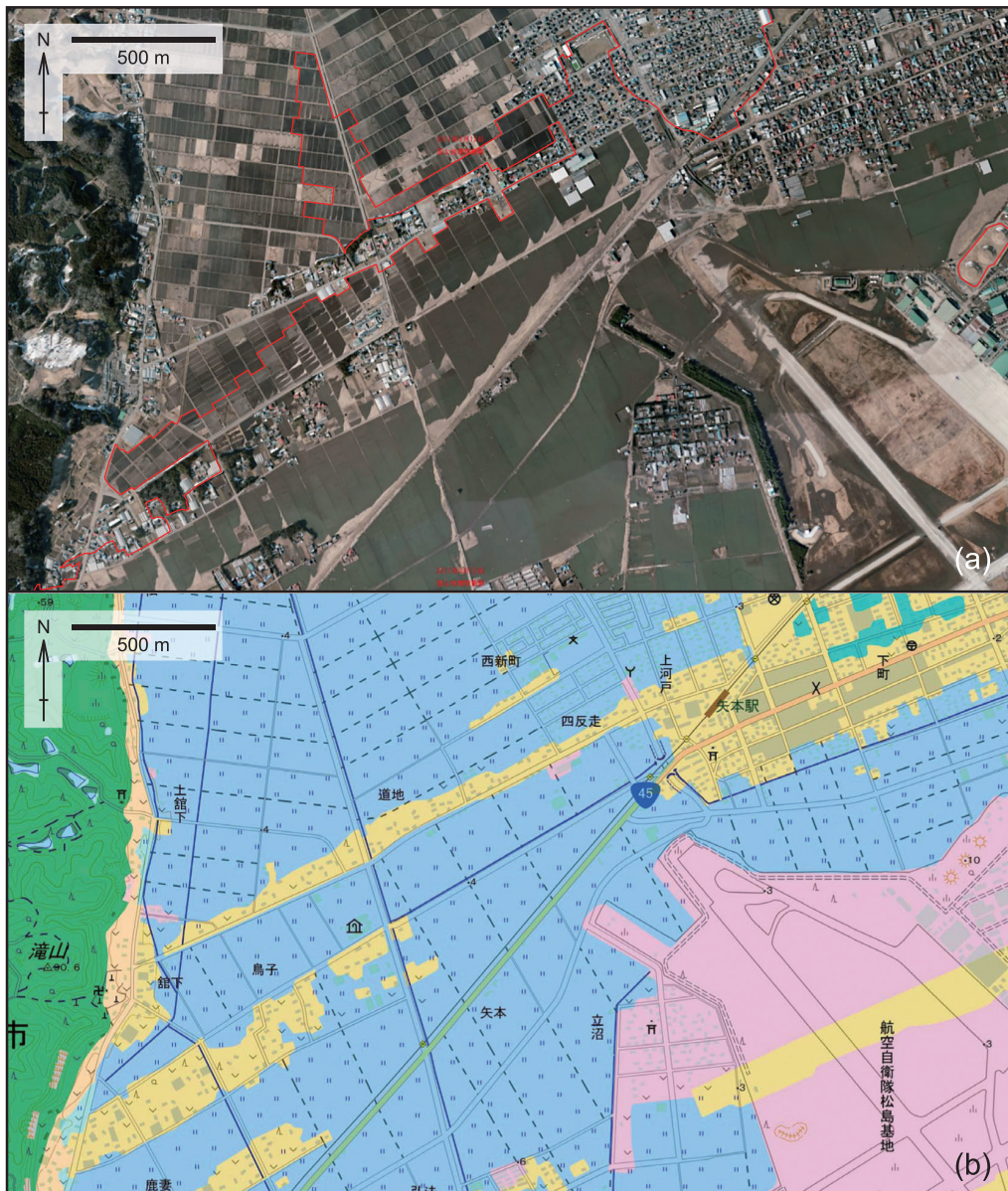


図4 (a) 東松島市矢本付近の浸水域。背景は3月12日撮影空中写真のオルソ画像¹⁵⁾。(b) 電子国土による土地条件図¹²⁾。青色：海岸平野・三角州，薄水色：谷底平野・氾濫平野，濃水色：後背湿地，橙色：自然堤防・砂州・砂碓，紫色：旧流路，桃色：高い盛土地・盛土地，他は略。2011年12月11日閲覧。

地震直後に撮影された実体視可能な空中写真が存在しない地域もある。こうした地域については、衛星画像等、地震直後の単写真を参照しながら、地震前の実体視可能な空中写真を判読するこ

とで、地震直後の実体視可能な空中写真のある地域に準ずる精度のマッピングを行うことができると考えられる。



図5 北茨城市関南町神岡上～大津町付近の浸水域。背景は3月12日撮影空中写真のオルソ画像¹⁵⁾。矢印は津波が浜堤を乗り越えて浸入したと推定される地点。



図6 宮城県七ヶ浜町南部の浸水域。背景は3月19日撮影空中写真のオルソ画像¹⁵⁾。

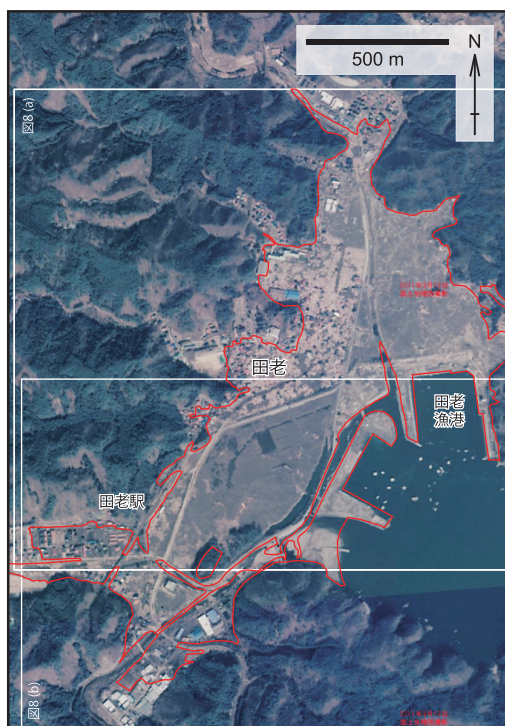


図7 宮古市田老付近の浸水域。背景は3月13日撮影空中写真のオルソ画像¹⁵⁾。

4. 空中写真の実体視判読に基づく浸水域認定の注意点と問題点

前章で述べたように、浸水域の認定は、地震後撮影の空中写真を用いた注意深い実体視判読によって概ね可能である。その一方、判読作業をすすめるなかで、水田の湛水の取り扱いや堆積物の色調の地域性、液状化による地盤変状との識別等、注意すべき点や問題点もいくつか明らかになった。

水田の湛水は、地震前から水をはっていた可能性を否定できないため、それだけでは浸水を示す確実な証拠とはならない。また地震直前の数日間に撮影された空中写真は期待できないことが多く、地震直前の状況の確認は難しい。しかし今回の地震発生は3月であり、水田の大部分には水がはられていなかった可能性が高い。そのため、付近一帯が系統的に湛水しており、かつ津波が浸入したとしてその経路が推定可能な場合には、色調

異常や漂着物が明瞭には認められない場合でも、原則として浸水域として認定した。逆に、前年秋の稲刈り跡等が残っている場合は浸水しなかったと判断した。仮に地震発生が、水田に水をはった直後で苗を植える直前の時期であれば、浸水域認定において、水田の湛水は慎重に判断される必要があると考えられる。

堆積物による色調異常についても、供給源によって異なると考えられ注意が必要である。供給源には、浅海底～海浜起源の堆積物や内陸起源の堆積物が考えられる(例えば、箕浦, 2011¹³⁾)。そのため、海底～沿岸部の地形や周辺の土地利用、津波の流動コース等を考慮する必要がある。

液状化による地盤変状との識別も重要である。那珂川下流部、河口から約3 kmに位置するひたちなか市美田多町～柳沢付近の状況を図9に示す。左岸の沖積低地一面に色調異常や東西走向にのびる細長い変状、パッチ上の変状が耕作地内に認められる(図中矢印を付した地点)。これらは、分布、また土地条件から、自然堤防や旧流路(埋没したものを含む)に関連する液状化に起因すると判断される。この例のように、地形発達史を考慮して判断を行うべきケースも数多くあった。

また、色調の異常や漂着物の認定に関しては、地震前後の空中写真の比較が必要な場合があった。例えば、浜堤上やそのすぐ内陸側はもともと風雨等で運搬されてきた堆積物が地表面を薄く覆っているところもあり、津波による堆積物と混同することがある。津波の浸入経路を検討することで、津波と関係のない色調異常等を津波痕跡として誤認する可能性を避けることができるが、困難な場合もあり、地震前後の空中写真の比較が有用であった。地震前後の地表の様子を比較するには「ALL311:東日本大震災協働情報プラットフォーム¹⁴⁾」が有用であった。津波による漂着物なのか、もともとそこにあったものかを見分ける時にも地震前後の空中写真の比較が役立った。家屋等が一見、地震前と変わっていないように見える場合でも、地震前後を比較して、位置や向きが津波によって変わっていることが判明する場合もあった。

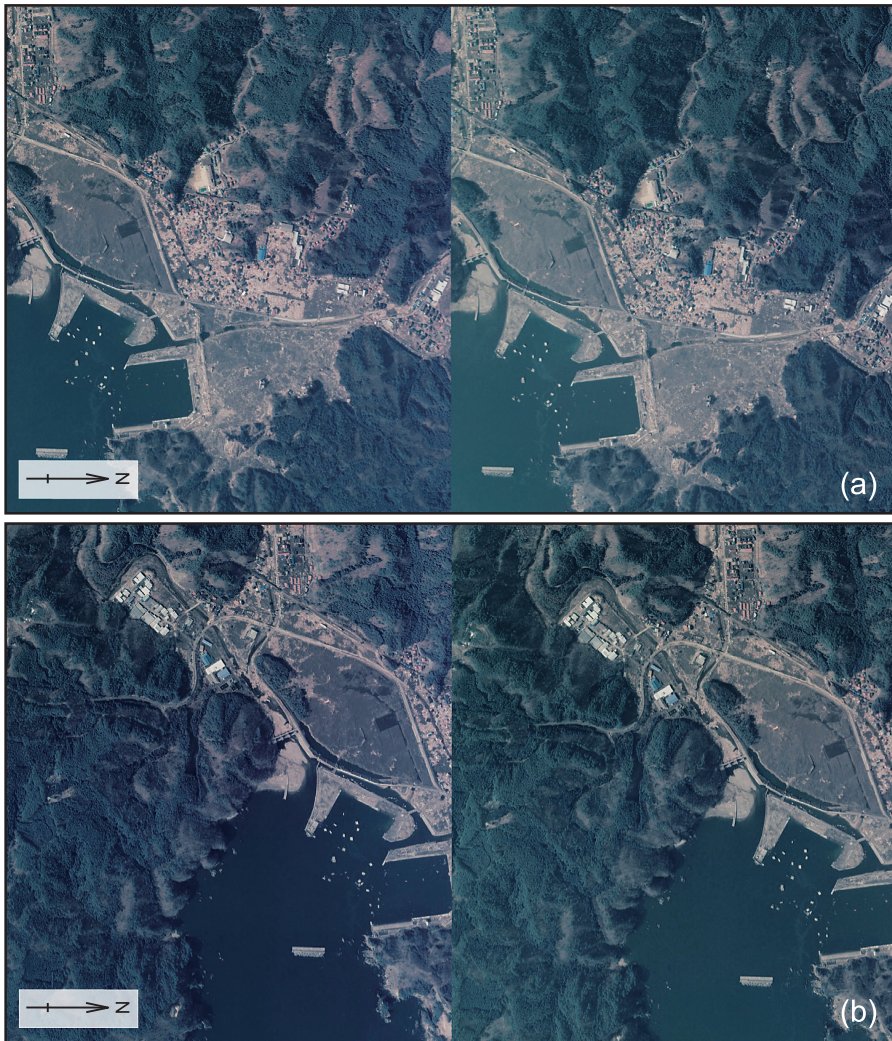


図8 宮古市田老付近の空中写真実体視ペア。3月13日撮影 C07-12~14¹⁵⁾を使用。位置は図7に示す。

他の注意点として、家屋等の密集する都市域や分水界付近、および堤防の外側（堤外地）が挙げられる。家屋等が密集する都市域は視認できる地表面に限られる。そのため、津波浸水の判断が容易ではないことがあった。津波が分水界を越えたかどうかについても、判断に迷うことがあった。例えば、図6の北東端付近では、北側からの津波と南側からの津波が合流している。津波被災マップ作成チームでは女川街道沿い、牡鹿郡女川町の女川浜に入った津波が、分水界を超えて西方の浦

宿浜方面へと流入したことを、聞き取り調査を含む現地調査で確認した。しかし空中写真判読では認定が困難であった。津波が分水界を抜けて流れ下っていくため、分水界付近には堆積物や漂着物が残りにくいと推定され、そのため認定が困難であったと考えられる。堤外地をどこまで津波が遡ったかも判断が難しかった。今回、津波は河川をかなり上流まで遡っており堤外地が浸水したケースも多かった。しかし地震発生は3月であり、植生は地震前から枯れていることが多い。先



図9 ひたちなか市美田多町～柳沢付近の変状。(a)は3月12日撮影空中写真のオルソ画像¹⁵⁾であり、(b)は液状化に起因すると判断される変状を矢印で記入したもの。

述した水田の湛水も含め、季節による植生の変化や土地利用の違いについて、その時々に応じて認定基準を柔軟に検討すべきであると考えられる。

なお、実際の津波到達限界は、空中写真に基づく浸水認定域よりも若干広い可能性も考えられる。この点については現地調査であれば部分的には解決するかもしれない。実際、現地調査では判読結果より若干内陸側まで浸水していたケースもあった。しかし全域を切れ目なく網羅するのはやはり困難と考えられる。浸水域の認定が概ね可能である点に加え、広大な浸水域を迅速に認定できるという点からみても、地震後撮影の空中写真の実体視判読を行う意義は大きいと考えられる。

5. まとめ

津波浸水域の認定は、地震後撮影の空中写真の実体視判読を、微地形や標高、土地条件、地形発達史、土地利用、また人工構造物などを直接確認しながら津波の流動コースを考慮して実施することで、概ね可能であると考えられる。地震前に撮影された空中写真との比較も浸水域認定に重要と考えられる。ただし、家屋等の密集する都市域、

分水界付近、堤外地等、判読がやや困難なケースもある。また、季節による植生の変化や土地利用等も考慮に入れて、認定根拠の一部を柔軟に検討する必要がある。今回は作業工程上見送ったが、ほぼ確実に認定できる浸水域とやや不確実性の残る浸水域を実線と破線で区別してマッピングする方法もあるだろう。

今回、国土地理院はじめ多数の機関・民間会社が地震直後に空中写真を撮影した。津波被災マップ作成チームでも地震直後、国土地理院による空中写真オンライン公開版を使用して実体視判読を開始することができた。解像度は約0.5m/pixelであった。しかし後日、国土地理院から直接提供を受けたオリジナルの解像度の空中写真は約0.2m/pixelであった。後者を用いれば、わずかな色調異常や微細な漂着物も概ね認定可能である。地震直後に撮影された実体視可能の高解像度空中写真をすぐに活用するための事前準備が望まれる。あわせて、公開時の手続き書類（利用申請等）や注意書（マップの縮尺や精度、公開データの取り扱い等）について、平時に検討しておくことも大切であると考えられる。

注

1. 日本地理学会災害対応本部津波被災マップ作成チーム：鈴木康弘（名古屋大・代表）・石黒聡士（名古屋大）・碓井照子（奈良大）・内田主税（玉野総合コンサルタント株式会社）・宇根 寛（国土地理院）・海津正倫（奈良大）・熊原康博（群馬大）・後藤秀昭（広島大）・小岩直人（弘前大）・坂上寛之（株式会社ファルコン）・杉戸信彦（名古屋大）・田村賢哉（奈良大）・中田 高（広島大）・長谷川智則（玉野総合コンサルタント株式会社）・廣内大助（信州大）・堀 和明（名古屋大）・松多信尚（名古屋大）・宮城豊彦（東北学院大）・渡辺満久（東洋大）

2. 家屋等の多くが流出した地域については本稿では触れず、浸水域の認定のみに言及する。

家屋等の多くが流出した地域は、平野部では沿岸部、とくに浜堤や堤防の背後に多く認められる。これは、浜堤や堤防を越えた津波が洗掘作用を及ぼしたためと考えられる。リアス海岸部では浸水域のほぼ全域にわたって家屋等の多くが流出している傾向がある。津波の挙動を考えるうえで重要な知見であると考えられる。

3. 「2011年完成版」は、青森県中部～福島県北部について、国土地理院から直接提供を受けた地震後撮影の高解像度空中写真も利用し、ディスプレイ上でも実体視判読をして、オンライン公開されているオルソ写真¹⁵⁾に結果を記入し作成した。それ以前は原則、オンライン公開された空中写真¹⁵⁾や Google Earth 等の衛星画像を判読に利用し、縮尺 1 : 25,000 地形図に結果を記入していた。千葉県については千葉測量株式会社から空中写真を購入し使用していた。原口・岩松¹⁶⁾が参照しているのはこの段階のデータである。

マップは GIS ポリゴンデータとしても整備している。「電子国土 Web システム」¹⁷⁾および「ALL311：東日本大震災協働情報プラットフォーム」¹⁴⁾でも閲覧可能である。面積計算やデジタル標高モデル (DEM) を用いた遡上高分析等も行っている^{3, 18)}。

4. 地震後撮影の空中写真のない福島県中南部に

ついても Google Earth 等の地震後撮影の衛星画像を援用して作成した。

謝 辞

国土地理院には地震後撮影の高解像度空中写真のデータを提供いただいた。Google Earth 等の衛星画像も判読作業に役だった。著者らを除く日本地理学会災害対応本部津波被災マップ作成チームのメンバーの方々には判読等でお世話になった。浸水域ポリゴンデータには海岸線等の国土地理院基盤地図情報を使用した。空中写真やデータの整理等においては名古屋大学・奈良大学・広島大学の大学院生・学生諸氏にお手伝いいただいた。匿名査読者および編集委員の適切なコメントによって本稿は改善された。記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 日本地理学会災害対応本部津波被災マップ作成チーム：2011年3月11日東北地方太平洋沖地震に伴う津波被災マップ, http://www.ajg.or.jp/disaster/201103_Tohoku-eq.html, 2011年12月11日, 2011a.
- 2) 日本地理学会災害対応本部津波被災マップ作成チーム：2万5千分の1津波被災マップ, 月刊地理, 56-6, 49-57, 2011b.
- 3) 松多信尚ほか, 東北地方太平洋沖地震による津波被災マップの作成経緯と意義, E-journal GEO, 投稿中.
- 4) 東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ：東北地方太平洋沖地震津波情報, <http://www.coastal.jp/tjt/>, 2011年12月11日, 2011.
- 5) 国土地理院：2万5千分1浸水範囲概況図, <http://www.gsi.go.jp/kikaku/kikaku40014.html>, 2011年12月11日, 2011a.
- 6) 東大生研地球環境工学研究グループ：東日本大震災初動対応プロジェクト, http://stlab.iis.u-tokyo.ac.jp/eq_data/, 2011年12月11日, 2011.
- 7) 海津正倫：仙台・石巻平野における津波の流動, 月刊地理, 56-6, 64-71, 2011.
- 8) 海津正倫・杉戸信彦・松多信尚・堀 和明・石黒聡士：津波被災地における名古屋大グループの浸水高調査, 月刊地理, 56-12, 38-45, 2011.
- 9) 渡辺満久・中田 高・小岩直人・熊原康博：津波被災マップと三陸海岸の津波遡上高, 月刊地理, 56-6, 58-63, 2011.
- 10) 後藤秀昭・中田 高：デジタル化ステレオペア

- 画像を用いたディスプレイでの地形判読, 活断層研究, 34, 31-36, 2011.
- 11) 国土地理院: 1:25,000土地条件図「仙台」, 1973b.
 - 12) 国土地理院: 1:25,000土地条件図「松島」, 1973a.
 - 13) 箕浦幸治: 津波の水理堆積学的考察, 科学, 81, 1077-1082, 2011.
 - 14) 防災科学技術研究所: ALL311東日本大震災協働情報プラットフォーム, <http://all311.ecom-plat.jp/>, 2011年12月11日, 2011.
 - 15) 国土地理院: 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震による被災地の空中写真, <http://saigai.gsi.go.jp/h23taiheiyo-hr/index.html>, 2011年12月11日, 2011b.
 - 16) 原口 強・岩松 暉: 東日本大震災津波詳細地図上巻・下巻, 古今書院, 168p・98p, 2011.
 - 17) 電子国土事務局: 電子国土ポータル, <http://portal.cyberjapan.jp/index.html>, 2011年12月11日, 2011.
 - 18) 後藤秀昭・石黒聡士・杉戸信彦: 津波被災マップの地理情報を用いた津波および被害地域の特徴, 月刊地理, 56-6, 72-76, 2011.

(投稿受理: 平成24年4月23日
訂正稿受理: 平成24年8月29日)