

# 東日本大震災における液状化被害と 地理空間情報を活用した液状化発生危険度の予想

小荒井 衛<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

2011年3月11日午後2時46分に発生した東北地方太平洋沖地震（M9.0）は、関東地方の広大な範囲で液状化・流動化現象を発生させ、家屋や公共施設、ライフライン等にも甚大な被害を生じさせた。関東地方整備局・地盤工学会（2011）によると、関東地方の極めて広い範囲で液状化現象が発生し、特に、東京湾岸の埋め立て地域や茨城県と千葉県の県境を成す利根川下流域では、多量の噴砂や流動化現象に伴う地表の変状、構造物の傾斜や沈下、地下埋設物の抜け上がり、耕作地における砂泥の堆積などの被害が発生した。小荒井ほか（2011）、小荒井（2012）、小荒井・中埜（印刷中）は、液状化被害の状況を把握し、液状化が集中している地域とその土地の成り立ち（履歴）との関係を分析するため、利根川流域や東京湾岸を中心に現地調査を行うとともに、その結果を同地域の迅速測図原図、旧版地形図、過去の空中写真等の時系列地理情報や土地条件図、治水地形分類図等の土地の履歴が確認できる主題図情報と照合し、液状化被害が著しい地域の地形条件について整理している。本稿では、これらの成果を紹介すると共に、地形地盤情報から液状化のリスクを評価する対応表を作成し、その表を実際の地震時地盤災害予想システムで実装した結果について紹介する。

## 2. 土地の履歴把握に有用な地理空間情報

液状化が発生する可能性の高い場所は地下水位の高い砂地盤であり、埋立地、干拓地、旧河道、砂丘・砂州間低地などがあげられる。液状化が発生しやすい地域を把握するためには、土地の成り立ち（履歴）を知ることが重要である。国土地理院では、これまで長年にわたって整備してきた地形図や空中写真等の時系列の地理空間情報をアーカイブ化し、一般に提供している。これらの時系列地理空間情報で土地の履歴を知ること、液状化が発生しやすい地域

をあらかじめ把握することが可能となる。

### 2.1 旧版地形図

明治時代中期以降、国土地理院の前身の陸地測量部時代から1/50,000、1/25,000などの地形図が全国整備されてきた。これらの旧版地形図は、つくば市にある国土地理院本院や全国各地の地方測量部で閲覧でき、国土交通省オンライン申請システム、国土地理院本院および関東地方測量部で謄本交付の申請をすることにより、誰でも入手可能である。

### 2.2 過去の空中写真

1940年代後半に米軍が全国を1/40,000の写真縮尺で撮影しており、国土地理院は主に1960年代以降に全国を撮影している。なお、縮尺の大きな（1/10,000程度）カラー空中写真は1970年代後半以降に撮影されている。これらの空中写真は、国土変遷アーカイブ事業としてデジタル化を進めており、デジタル化が完了したのものから順次、国土地理院のホームページで公開しており、検索・閲覧が可能である。

### 2.3 迅速測図原図

第一軍管地方二万分之一迅速測図原図（以下、「迅速測図原図」という）は、明治13年～19年にかけて参謀本部が作成した地図である。関東平野のほぼ全域と房総・三浦半島をカバーしている。フランス式の彩色を施した図式に特徴があり、当時の景観を把握しやすい。迅速測図原図については、国土地理院において閲覧・謄本交付が可能のほか、復刻版が日本地図センターから地区ごとに販売されている。また、（独）農業環境技術研究所ホームページの「歴史的農業環境閲覧システム」（<http://habs.dc.affrc.go.jp/> 2013/10/10 確認）でも閲覧可能である。このシステムでは、迅速測図原図をシームレスで基盤地図情報と重ねて表示することもでき、土地の変遷を把握するのに有効である。

1) 国土地理院 地理地殻活動研究センター

キーワード：液状化、東日本大震災、地理空間情報、土地の履歴、危険度予想

また、国土地理院では迅速測図原図から当時の低湿地の分布を抽出したものを、「明治前期の低湿地データ」として公開している。ここで言う「低湿地」は、河川や湿地、水田・葦の群生地など「土地の液状化」との関連が深いと考えられる区域のことである（[http://www.gsi.go.jp/bousaichiri/lc\\_meiji.html](http://www.gsi.go.jp/bousaichiri/lc_meiji.html) 2013/10/10 確認）。

### 2.4 主題図（土地条件図・治水地形分類図）

土地の履歴を知るには、その土地の地形発達を読み解ける地形分類の情報も有効である。そのような情報を含んだ主題図情報として、土地条件図、治水地形分類図がある。これらの主題図の整備地域は限定的であるが、液状化を起こしやすい地形である旧河道や干拓地、埋立地、盛土地などの人工地形の範囲が明示されており、整備範囲や整備項目も含めて国土地理院のホームページで閲覧することができる。

## 3. 利根川中下流域等での液状化被害の状況と土地履歴の関係

筆者は、利根川中下流域（霞ヶ浦・小貝川・鬼怒川等を含む）について、液状化の概要をつかむ調査を行ってきた。このうち、液状化被害と地形との対応が極めて良い事例をいくつか紹介する。

### 3.1 茨城県稲敷市結佐・千葉県香取市石納周辺

茨城県稲敷市結佐地区から千葉県香取市石納地区にかけては、利根川の旧河道を埋めた土地で、集落の多くは自然堤防上に位置している。本地域では1987年の千葉県東方沖地震の際にも液状化が発生した。稲敷市上結佐地区と同六角地区の北側では、液状化による住宅の傾動や沈下、道路の地波現象などが認められた（第1図のA）。旧河道部の水田や畑には噴砂した痕跡があり、水田を埋土した住宅では盛土部分が崩落して割れ目が入り、宅地ごと傾動している住宅があった。また、全体が大きく沈下して、道路や住宅ごと水没している箇所もあった。この地区は、迅速測図原図や昭和20年代の1/25,000地形図（第2図）を見ると、以前は沼が存在していた。

香取市野間谷原地区・石納地区と稲敷市中新田地区の間では、水田で広域的に噴砂している地域が多く、調査時点（2011年6月）で田植えをしている水田はほとんど無い状況であった（第1図のB）。そこに立地しているマンションでは、20 cm弱ほどの抜け上がりが観察された（第1図



第1図 茨城県稲敷市結佐・千葉県香取市石納周辺の液状化被害の状況（小荒井ほか，2011）。背景は電子国土 Web システムを使用。



第2図 昭和20年代の1/25,000地形図と液状化発生地域（昭和21年刊行「佐原」、昭和29年刊行「麻生」。小荒井ほか，2011）。

のB)。一方で、少なくとも明治時代からの陸地である香取市野間谷原地区・石納地区（第1図のC）、稲敷市中新田地区（第1図のD）では、噴砂等の液状化の痕跡は確認できなかった。

この地域は、迅速測図原図を見ると、明治10年代には利根川の河道であった。その後、利根川の河道付け替えがなされたが、この場所は今も千葉県と茨城県の県境となっている。昭和20年代の1/25,000地形図（第2図）を見ると、利根川本流ではないが、水部としてまだ残されている。このような利根川の旧河道や昔の沼地だった地域で、液状化が発生している。

### 3.2 千葉県神崎町周辺

千葉県神崎町松崎地区から神崎神宿地区にかけては、利根川の旧河道を埋めた土地が帯状に連続している。1987年



第3図 千葉県神崎町周辺の液状化被害の状況 (小荒井ほか, 2011).  
背景は電子国土 Web システムを使用.



第4図 神崎町周辺の迅速測図原図と基盤地図情報. 歴史的農業環境閲覧システムによる.



第5図 神崎町周辺の2005年国土地理院撮影のカラー空中写真  
(CKT-2005-3X C10-22).



第6図 我孫子市布佐地区の液状化被害の状況 (小荒井ほか, 2011).  
背景は電子国土 Web システムを使用.

の千葉県東方沖地震の際にも液状化が発生した。現地写真を第3図に示す。噴砂が広域に発生した範囲が旧河道の範囲と一致する(第3図のA)。旧河道の北の縁に沿った公園では、川底からの噴砂により河川の中心部が砂で埋まっていた(第3図のB)。駐車場では激しい亀裂やうねりが存在し、トイレなどの構造物は50 cm以上も抜け上がっていた(第3図のC)。この箇所は、明治10年代の迅速測図原図では利根川の本流となっている(第4図)。1947年撮影の米軍写真(USA-R391-23)では、旧河道が封鎖され水部が干上がっていく過程がわかる。現在は土地区画整理により周辺の水田と同じ高さとなり、畦の形も整形されているので、現地で旧河道の存在を認識するのは困難である。2005年撮影のカラー空中写真(CKT-2005-3X C10-22)では、色調の違いから旧河道の縁を判読することは可能である(第5図)。

### 3.3 千葉県我孫子市布佐地区

千葉県<sup>あびこ</sup>我孫子市の<sup>ふさ</sup>JR布佐駅周辺で液状化現象が認められた。液状化の被害が顕著な箇所は限定的であり、布佐地区から都地区の境界付近から、<sup>ふさとりまち</sup>布佐西町地区の北部にかけての地域である(第6図)。噴砂や、電柱・ブロック塀・家屋の傾動・沈下、地波現象(道路の波打ち)などの液状化被害が生じていた。なおこの地域は、1987年千葉県東方沖地震では液状化被害の報告はない。顕著な液状化現象は限定した範囲で出現しているの、その土地の変遷を調査した。治水地形分類図を見ると、被害の大きかった場所は旧河道の沼を埋め立てた土地であることがわかる。1947年撮影の米軍空中写真(USA-M675-1)を見ると北東-南西方向に伸びる細長い水部が存在している(第7図上)。今回の地震で液状化が激しかった県道沿いの带状の箇所が、その細長い水部の箇所と一致している。1962年撮影の空中写真(MKT-62-1 C11-17)では、その水部に該当する箇所が埋め立てられ住宅地となっている(第7図下)。

我孫子市は2010年に「あびこ防災マップ」を作成し、市民に配布している。この中には液状化危険度マップも含まれている。布佐駅周辺の液状化被害が著しかった範囲は、液状化危険度マップでは大部分が液状化の危険度がほとんどないとされている。液状化危険度マップの作成にあたっては、内閣府の「地震ハザードマップ作成技術資料」に従い、1/50,000土地分類基本調査の地形分類図を用いて50mメッシュの微地形区分データを作成し、メッシュ毎に液状化危険度の評価を行っている。地形分類図では該当箇所は盛土地となっており、水部の埋め立てという情報が入っていないため、空中写真や旧版地図などの資料を活用して把握することのできる土地の履歴の情報が反映されておらず、そのことが液状化の危険度を十分に評価できなかった一因と考えられる。東日本大震災後、我孫子市ではハザードマップを作成し直しており、今回は土地の履歴情報を十分に反映させて、旧河道や水部の埋め立て地での液状化のリスクを高く評価している。今回のハザードマップの作成では、国土地理院の中で組織横断的に組織された「防災情報支援チーム」が、既存の地理空間情報を活用して地域の災害リスクを評価する方法等について我孫子市や受注業者に対してアドバイスをを行い、ハザードマップ作成の支援を行っている。

#### 4. 地形地盤情報を活用した液状化リスクの予想

小荒井(2010)では、地形分類を災害脆弱性へ読み替える表を提案した(第1表)。そこで提案している地形分類は山地や台地では大まかではあるが、低地では土地条件図よりも細かな分類を提案している。具体的には、砂丘を「中央部」と「縁辺部」とで分けて評価する、谷底平野・氾濫平野、海岸平野・三角州を「やや開けた」か「閉塞した」とに分けて評価するなどである。同じ地形分類であっても構成物質の粒子サイズや地下水位に違いがあり、これが地盤の脆弱性に差を与えるからである。低地については、細かな地形分類情報が存在すればそれも考慮しながら、浅層の地質構造も反映できるように地形発達を踏まえて地形単元の地理的特性を類型化し、類型に応じて想定される災害状況と程度を整理するのが望ましい。小荒井ほか(2008)によると、中越沖地震の事例では、砂丘の中でも相対的に地盤が良くないとされている箇所、地盤の側方流動等が発生して建物被害が集中する箇所が認められた。砂丘と低地の縁の部分での被害が顕著であったが、柏崎平野は河口が砂州の発達で閉塞気味となって後背湿地のような環境で



第7図 我孫子市布佐地区周辺の過去の空中写真。  
上：1947年米軍撮影の空中写真(USA-M675-1)。  
下：1962年国土地理院撮影の空中写真(MKT-62-1C11-17)。

第1表 地形分類の地震時地盤災害リスク読み替え表(小荒井, 2010)。

地震に対する脆弱性	地形分類
小	山地、台地・段丘(高位・上位・中位・下位)
やや小	台地・段丘(低位)、山麓堆積地形、扇状地・緩扇状地、古砂丘
中	砂丘(中央部)、自然堤防、砂州・砂堆、天井川、頻水地形、人工改変地(切土)
やや大	砂丘(縁辺部)、谷底平野・氾濫平野(やや開けた)、海岸平野・三角州(やや開けた)、凹地・浅い谷、人工改変地(盛土)
大	谷底平野・氾濫平野(閉塞した)、海岸平野・三角州(閉塞した)、後背低地、旧河道、旧水部、人工改変地(大きな谷埋め盛土)

砂が堆積しており、同じ砂丘であっても隣接する地形との関係で災害の脆弱性が変わってくる。また、自然堤防についても、「根のある」自然堤防と「根の無い(後背低地の上に薄く砂層ののるような)」自然堤防では、被害の状況

が違うことを論じている。

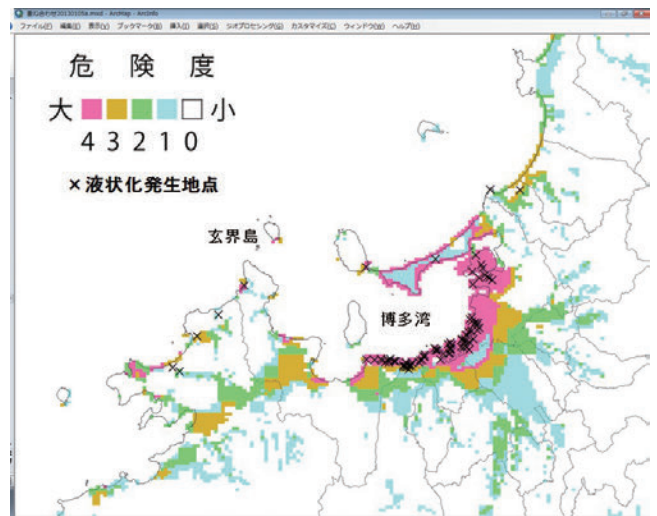
以上のようなことを背景に、小荒井ほか(2013)では松岡ほか(2011)や若松ほか(2005)などを参考にしながら、震度と地形分類による液状化被害予測の対応表を作成した。ここでは、若松・松岡(2009)による250mメッシュの地形分類情報を元に、国土地理院の10mDEM(数値標高モデル)による解析結果を加えて、地形分類の細分化を行っている。具体的には、砂丘については縁辺部でどのような地形と接するかによって地下水位の状況が変わるので、低地の一般面と接する砂丘の縁辺部は液状化のリスクを高くしている。谷底低地については勾配の違いが構成物質のサイズに影響することから、傾斜で二分して緩傾斜の場合をより液状化のリスクが高いとした。自然堤防については、根の有無を地形で判断するのは難しいが、地下水位の高低等も考慮して周囲の地形との比高に置き換えて二分して、比高の小さいものをより液状化のリスクが高いとした。新たに作成した対応表を第2表に示す。

国土地理院では、開発した「地震時地盤被害予想システム」(神谷ほか, 2012)の中で、液状化の予想については第2表を実装している。このシステムは震度5弱以上の地震発生後10分程度で気象庁から配信される1kmメッシュの推計震度分布情報を使って、斜面崩壊・地すべり・液状化のリスクを5段階で表示して、地震発生後15分以内に関係機関に配信することを目標に開発したシステムである。液状化リスク評価については、第2表に示す震度と地形分類の対応表から250mメッシュの液状化リスクを5段階で評価している。過去に推計震度分布が配信された地震に適用して検証したところ、2005年の福岡県沖の地震(第8図)、2007年中越沖地震(第9図)など、実際に発生した液状化分布と比べて良好な予想結果であった。唯一、2004年中越地震の長岡付近の平野部での予想結果が、リスクが低いと評価した箇所でも液状化が多数発生していた(第10図)。この場所は、扇状地における砂利採取跡地に川砂を埋めた場所であり、地形分類だけで予想するのは困難であり、やむを得ないケースと判断した。現在このシステムは国土地理院内で試験運用中であり、地震発生時の院内の災害対応を検討する際に参考情報として使用している。2013年4月に発生した淡路島の地震では、淡路島東岸の埋め立て地で液状化の発生可能性が高いと判断したが、実際にも液状化が発生しており大きな被害もたらされていた。今後は、試験運用の結果を見て、必要に応じて政府の災害対応部局に自動的に予想情報を発信していく予定である。

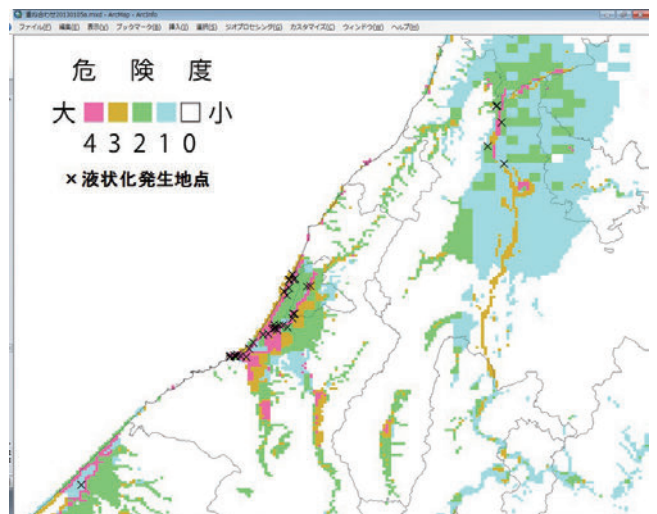
第2表 液状化危険度に対する地形分類と震度の関係表(小荒井ほか, 2013)。

地形分類 震度	山地 丘陵 火山性丘陵 礫・岩礫 水域	山麓地 火山山麓地 岩石台地 ローム台地	扇状地 砂礫質台地	扇状地*1 砂丘	自然堤防*2 砂州・砂洲 後背湿地 谷底低地	干拓地 三角州・海岸低地 自然堤防 谷底低地*1	砂丘*3 砂州・砂丘間低地 埋立地 旧河道 河原
7	0	1	2	3	4	4	4
6強	0	0	1	2	3	4	4
6弱	0	0	0	1	2	3	4
5強	0	0	0	0	1	2	3
5弱	0	0	0	0	0	1	2

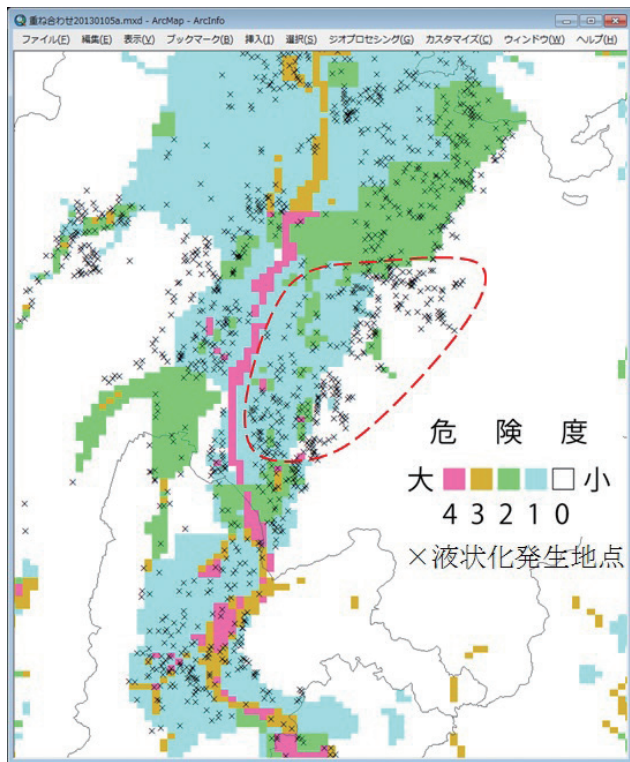
- 0:危険度無
- 1:危険度小
- 2:危険度中
- 3:危険度大
- 4:危険度極大
- \*1 傾斜が緩い場合(勾配1/100未満)
- \*2 比高が高い場合(5m以上)
- \*3 低地に接する砂丘の縁の場合



第8図 2005年福岡県沖地震の液状化危険度予想と実際の液状化発生箇所の分布(神谷, 2013)。



第9図 2007年中越沖地震の液状化危険度予想と実際の液状化発生箇所の分布(国土地理院, 2013, スライド46を改変)。



第 10 図 2004 年中越地震の液状化危険度予想と実際の液状化発生箇所の分布 (神谷, 2013).

## 5. おわりに

液状化ハザードマップの作成では、旧河道や水部の埋立地などを適切に表現する必要があり、将来的には 50 m メッシュレベルで全国の地形地盤情報を、リモートセンシング技術なども併用しながら簡便に作成する技術が求められている。そのために必要な地形分類体系の検討も不可欠であり、本研究を通して得られた知見から新たな体系について考えられる素案も可能な範囲で提示したい。

## 文 献

神谷 泉 (2013) 地震時の地盤災害のリアルタイムの予想. 第 42 回国土地理院報告会, 国土地理院技術資料 A1-No. 370, 67-73.

神谷 泉・乙井康成・中埜貴元・小荒井 衛 (2012) 地震による斜面崩壊危険度評価判別式「六甲式」の改良と実時間運用. 写真測量とリモートセンシング, 51, 381-386.

小荒井 衛 (2010) 災害軽減に向けた地理空間情報の活用. 地理, 55, no. 5, 62-68.

小荒井 衛 (2012) 東日本大震災における液状化被害と地形履歴—鬼怒川流域、小貝川流域を中心に—. 地理, 57, no. 2, 90-108.

小荒井 衛・中埜貴元 (印刷中) 東北地方太平洋沖地震による利根川中下流域の液状化被害分布と過去の地形図・空中写真等からみる地形条件. 地質汚染—医療地質—社会地質学会誌.

小荒井 衛・佐藤 浩・長谷川裕之・宇根 寛 (2008) 平成 19 年 (2007 年) 新潟県中越沖地震による地盤変状. 国土地理院時報, no. 114, 81-90.

小荒井 衛・中埜貴元・乙井康成・宇根 寛・川本利一・醍醐恵二 (2011) 東日本大震災における液状化被害と時系列地理空間情報の利活用. 国土地理院時報, no. 122, 127-141.

小荒井 衛・中埜貴元・神谷 泉・松岡昌志 (2013) 地形分類情報を活用した液状化発生危険度の予測. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会予稿集, <http://www2.jpigu.org/meeting/2013/session/PDF/H-SC25/HSC25-10.pdf> (2013/10/10 確認)

国土地理院 (2013) 平成 24 年度第 2 回国土地理院研究評価委員会概要, 「地震災害緊急対応のための地理的特性から想定した被害情報の提供に関する研究」【説明資料】, <http://www.gsi.go.jp/common/000080217.pdf> (2013/10/10 確認)

国土交通省関東地方整備局・公益社団法人 地盤工学会 (2011) 東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態説明報告書, [http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr\\_content/content/000043569.pdf](http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000043569.pdf) (2013/10/10 確認)

松岡昌志・若松加寿江・橋本光史 (2011) 地形・地盤分類 250 m メッシュマップに基づく液状化危険度の推定手法. 日本地震工学会論文集, 11, no. 2, 20-39.

若松加寿江・松岡昌志 (2009) 全国を網羅した地形・地盤分類 250 m メッシュマップの構築. 第 3 回シンポジウム「統合化地下構造データベースの構築」予稿集, 15-20.

若松加寿江・久保純子・松岡昌志・長谷川浩一・杉浦正美 (2005) 日本の地形・地盤デジタルマップ. 東京大学出版会, 104p., CD-ROM 付.

KOARAI Mamoru (2013) Liquefaction damages of the East Japan Great Earthquake and evaluation of liquefaction risk using geospatial information.

(受付: 2013 年 10 月 10 日)