

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：12301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26560155

研究課題名(和文) 多時期の地理空間情報とGISを用いた地盤の液状化に関する危険度評価の試み

研究課題名(英文) Liquefaction vulnerability evaluation by using time-serial geospatial information and GIS

研究代表者

青山 雅史 (AOYAMA, Masafumi)

群馬大学・教育学部・准教授

研究者番号：30724744

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：2011年東北地方太平洋沖地震、2013年4月13日淡路島付近の地震、2016年熊本地震などにおける液状化発生域の土地条件について、地図や空中写真などとGIS(地理情報システム)を用いた解析を行い、検討した。2011年東北地方太平洋沖地震と2013年4月13日淡路島付近の地震における液状化は、1950年代以降に造成(陸域化)された臨海部の埋立地、旧河道や埋め戻された採掘地などの人為的土地改変地(新しい人工地盤)において集中的に発生した。2016年熊本地震では、液状化発生域が自然堤防上に帯状に集中する「液状化の帯」が確認され、地形分類図には表現されていない旧河道における液状化発生と推定された。

研究成果の概要(英文)：Land conditions of the liquefied sites induced by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, the 2013 April 13th Earthquake in Awaji Island area and the 2016 Kumamoto Earthquake were investigated by using the geographical information system (GIS) and the time-serial geospatial information (map and aerial photo). A large number of the liquefaction caused by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and the 2013 April 13th Earthquake in Awaji Island area were occurred in the reclaimed land in coastal areas, former river channels and ponds, and the refilled sand-gravel pits. These sites were artificial land consists of the man-made sand fills and developed after the 1950's. A large number of the liquefaction damages were concentrated on the zonal area located on the natural levee between the Shirakawa River and the Kasegawa River. Sand boils were also observed at the refilled lot of gravel pits along the Midorikawa River.

研究分野：自然地理学、地形学

キーワード：液状化 土地履歴 人為的土地改変 GIS 地理空間情報 2011年東北地方太平洋沖地震 2013年4月13日淡路島付近の地震 2016年熊本地震

### 1. 研究開始当初の背景

地盤の液状化は、臨海部の埋立地や旧河道等の特定の地形条件や土地履歴を有する領域で発生しやすいことが、1964年新潟地震以降の研究により指摘されていた。2011年東北地方太平洋沖地震による内陸部における液状化被害の分布について、現地踏査と衛星画像の判読などに基づいて広範囲にわたって精査したところ、ハザードマップで液状化発生危険度が低いとされていた領域においても液状化が発生し、「想定外」の被害が生じていたことが明らかにされた。これは、既存のハザードマップの作成過程において、当該地域の土地条件や土地履歴に関する情報が正確に反映されていなかったことに起因していた。液状化発生危険度の評価をおこなう際には、地形分類に基づく危険度評価により危険度の高い地域を抽出し、その地域で詳細な地盤解析調査がなされることが多い。したがって、より精度の高いハザードマップを作成するうえで、液状化がどのような土地条件、土地履歴を有する領域でどの程度発生しやすいかを明確にするとともに、ハザードマップ作成地域の土地条件や土地履歴を正確に把握する必要がある。また、2011年東北地方太平洋沖地震における液状化発生域は、関東および東北地方の広範囲に及んでおり、それに関する情報は未だ不十分な状況であった。

### 2. 研究の目的

本研究は、液状化発生危険度に関する評価を実施するための詳細な地盤解析をおこなう前段階として、国土の時空間的变化を記録している新旧さまざまな地図(旧版地形図、迅速測図、絵図等)、空中写真や、地域の変遷を記録した各種文献資料などから得られる情報についてGIS(地理情報システム)を用いて地理学的な観点に基づいた分析をおこない、①2011年東北地方太平洋沖地震、2013年4月13日淡路島付近の地震、2016年熊本地震などによる液状化発生域を明らかにしたうえで、その土地条件や土地履歴との関係性を定量的に明らかにし、②将来的な発生が危惧されている巨大地震による地盤の液状化の発生に関する危険度の評価、および危険度の高い地域の抽出を高精度におこなう。それらにより、地域社会の防災・減災に資する精度の高いハザードマップ作成の際の有効なデータを提供することを目的とする。

### 3. 研究の方法

(1) 現地踏査、空中写真や衛星画像(Google Earth)などの判読により、2011年東北地方太平洋沖地震における内陸部の液状化発生域のマッピングを行った。液状化発生の有無に関しては、おもに噴砂の有無に基づいて判断した。現地踏査では、液状化に起因すると思われる構造物被害(家屋の不同沈

下、マンホールの浮き上がり等)について、目視観察に基づいた被害状況の記載を行った。2013年4月13日淡路島付近の地震と2016年熊本地震における液状化発生域の分布に関しても、同様の調査を実施した。

(2) GISを用いて液状化発生域のポリゴンデータや液状化発生地点のポイントデータを作成し、GIS上においてそのデータと幾何補正を行った迅速測図、旧版地形図、米軍や国土院によって1945年以降に撮影された空中写真などとの重ね合わせを行い、液状化発生域の土地履歴に関する文献資料の精査を行うことにより、液状化発生域の土地条件や土地履歴を定量的に検討した。それに加え、絵図や文書資料等を用いた液状化発生域の土地条件、土地履歴等の検討も行った。

(3) 2011年東北地方太平洋沖地震による茨城県鹿嶋市、神栖市の砂利採取場跡地における液状化発生域と表層地盤との関係について、既存のボーリングデータを用いて検討した。

(4) 2016年熊本地震における液状化発生のタイミングについて、液状化発生地点の分布図とSAR(合成開口レーダー)干渉画像との重ね合わせや、液状化発生日に関する現地での聞き取り調査の結果などを合わせて、検討した。

### 4. 研究成果

(1) 2011年東北地方太平洋沖地震により、関東地方と東北地方の広範囲において地盤の液状化が発生した(図1)。利根川下流低地(我孫子市中峠~香取市佐原)では、家屋の不同沈下や農地における多量の噴砂の堆積など、液状化に起因するとみられる被害が多数発生した。液状化発生域の約40%は旧河道・旧湖沼であり、それに次いで後背湿地が約25%であった。地形区分ごとの液状化発生面積率を求めると、旧河道・旧湖沼では22.7%であったのに対し、自然堤防では2.5%、後背湿地では1.1%と小さい値を示した。液状化が集中的に生じた旧河道・旧湖沼のほとんどは1950年代以降におもに砂質浚渫土で埋め立てられた領域であり、埋立年代が新しい旧河道・旧湖沼ほど液状化が生じやすい傾向がみられた。

宮城県北部大崎平野では家屋等構造物の不同沈下は少なかったが、JR古川駅周辺などの粘性土地盤(泥炭地盤)からなる領域において、マンホールの浮き上がりやアスファルト路面の沈下、建物周辺地盤の沈下(抜け上がり)など、局所的な(マンホールや下水道管渠埋め戻し土の)液状化が多数生じていた。大崎平野と茨城県久慈川低地の液状化発生面積率は、旧川微高地を除くすべての地形で利根川下流低地よりも小さい値を示した。こ

のような液状化発生面積率の地理的差異は、利根川下流低地では緩詰めの砂質浚渫土が表層に堆積する若齢人工地盤（旧河道・旧湖沼）が相対的に広く分布しているのに対し、大崎平野や久慈川低地では利根川下流低地と比べて旧河道・旧湖沼の面積比が小さく、さらにその中でも明治後期以降に埋め立てられた領域（若齢人工地盤）が少ないことが影響していると考えられる（図2）。

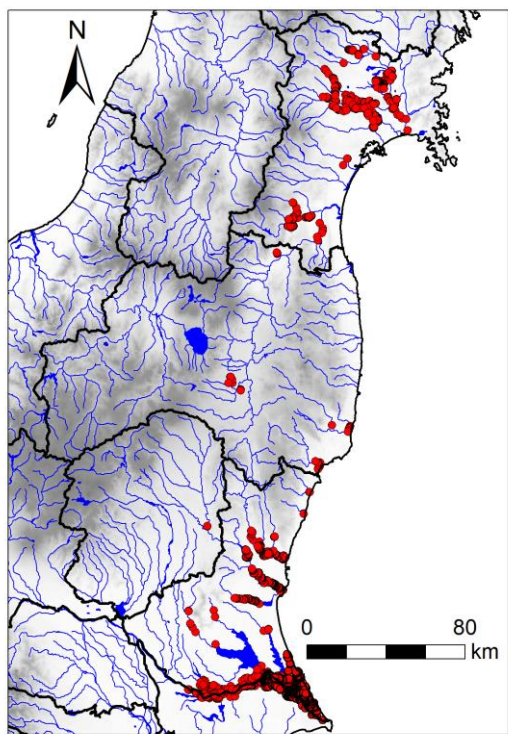


図1 2011年東北地方太平洋沖地震における利根川下流低地から宮城県北部迫川流域にかけての液状化発生地点の分布

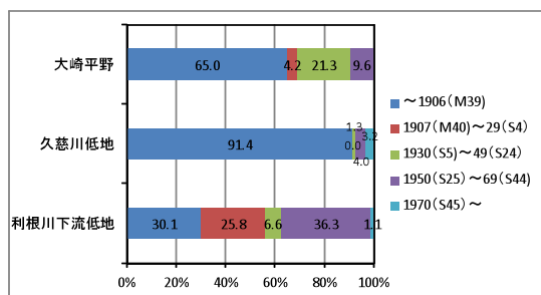


図2 2011年東北地方太平洋沖地震における旧河道・旧湖沼の液状化発生域の陸域化年代に関する調査地域間の比較

(2) 2011年東北地方太平洋沖地震により、茨城県神栖市と鹿嶋市においては多くの領域で液状化が発生した（図3）。この地域における液状化発生域の土地条件別面積構成比にみると、砂利採取場跡地における発生が45.1%と最も高い値を示した。砂利採取場跡地における液状化発生面積率は28.4%であり、既往地震において液状化しやすいことが

示されている臨海部の埋立地や旧河道・旧湖沼と同程度かそれ以上の高い値を示した。砂利採取場は造成から埋め戻しまで数年程度で完了するものも多く、年代によって異なる位置に多数造成されるため、砂利採取場の分布は時系列で細かく変化し、造成・埋め戻しの時期が異なる砂利採取場跡地が地域内に多数分布していた。それらの領域のうち、地下水位が浅く（地表面下約5m以浅）、砂質埋め戻し土が浅層部に厚く（5~15m程度）堆積している領域では液状化発生が確認されたのに対し、粘性土で埋め戻された領域では明瞭な噴砂の存在を確認できなかった。このことから、神栖市や鹿嶋市の砂利採取場跡地では地下水位以下に存在する緩詰めの砂質埋め戻し土が液状化したと考えられ、埋め戻し土の材質が液状化発生の有無や液状化被害の程度に影響を与えた可能性が示唆された。

日本列島の沖積平野では砂利や砂鉄などの採掘が盛んにおこなわれた履歴を有する地点が多数存在する。一事例として、多摩川低地における砂利採取場跡地の分布を多時期の地理空間情報から抽出した。その結果、この地域には多数の砂利採取場跡地が分布していたことが判明した（図4）。今後、これらの地点の表層地盤の情報を収集し、液状化危険度を精査（再検討）する必要があると思われる。液状化危険度を評価する際には、このような採掘跡地の分布を考慮すべきであろう。

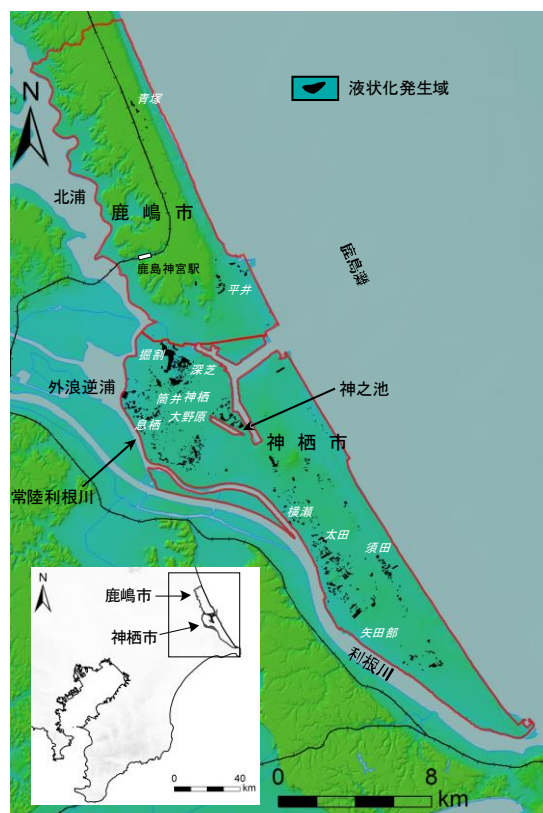


図3 2011年東北地方太平洋沖地震における茨城県神栖市、鹿嶋市の液状化発生域の分布

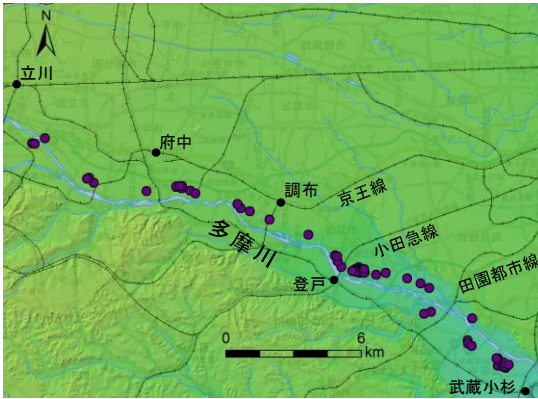


図4 多摩川低地における1946年から1949年にかけての砂利採取場の分布

(3) 2013年4月13日淡路島付近の地震における液状化は、1971年以降に造成された埋立地において発生しており、特に1970～80年代前半に造成された志筑新島と塩田新島において、多数の地点における液状化発生が確認された(図5)。これらの埋立地は、周辺海底地盤の浚渫土砂(細砂)で埋立造成された人工地盤である(徳島大学工学部兵庫県南部地震震災調査団、1995)。液状化に起因すると思われる構造物の不同沈下の発生は少なく、志筑新島の住宅地の1地点においてのみ確認された。噴砂の層厚は、ほとんどの地点で5cm以下であった。空き地や緑地等でみられた噴砂孔の直径は10cm以下であった。1970年代以降に造成された埋立地で液状化が多数発生した一方、自然地盤における液状化発生は確認されなかった。これらのことから、本地震においては、新しい埋立地を構成する砂質浚渫土が液状化した可能性が高い。

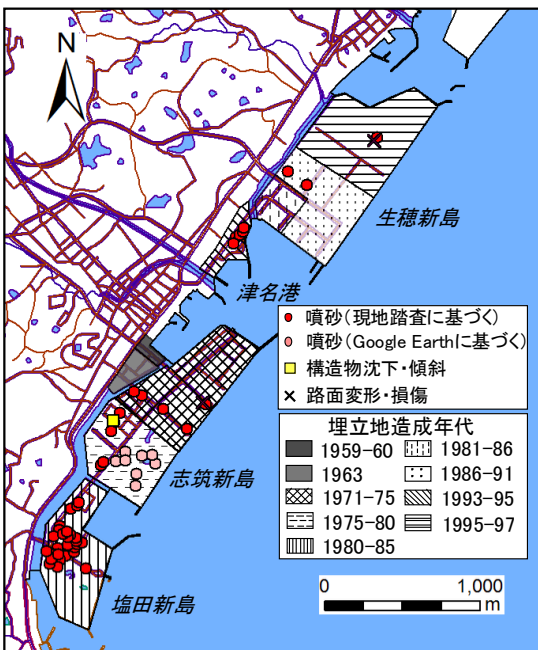


図5 2013年4月13日淡路島付近の地震における液状化発生地点の分布と埋立地の造成年代

(4) 2016年熊本地震により、熊本平野の広

域かつ多数の地点において液状化が発生したことを確認した。本地震による液状化発生地点の分布は、熊本市が公表していた液状化ハザードマップの被害想定とは異なる傾向がみられた。

GISを用いて液状化発生地点を国土地理院土地条件図や空中写真に重ね合わせた結果、液状化発生地点は自然堤防、旧河道、盛土地、などにおいて相対的に多く分布し、氾濫平野と海岸平野・三角州においては相対的に少ないことが示された。緑川中流域では、1970年代に砂利採取を行っていた領域(砂利採取場)を埋め戻した領域においても液状化が生じていた。

白川下流域左岸では、液状化発生地点が帯状に(細長く列状に)分布する自然堤防が複数みられた。それらのうち、土河原町～砂原町および中原町の自然堤防上の液状化発生地点は江戸期の絵図に描画されている小河水路(水路)と領域的に合致しているように見える。このことから、それらの液状化発生地点の地形条件は小河水路(水路)が陸化した(埋め立てられた)旧河道に該当する可能性がある。熊本市南区近見から南区元三町にかけて南北に帯状に延びる自然堤防上では、液状化構造物被害が多数発生した(図6)。この液状

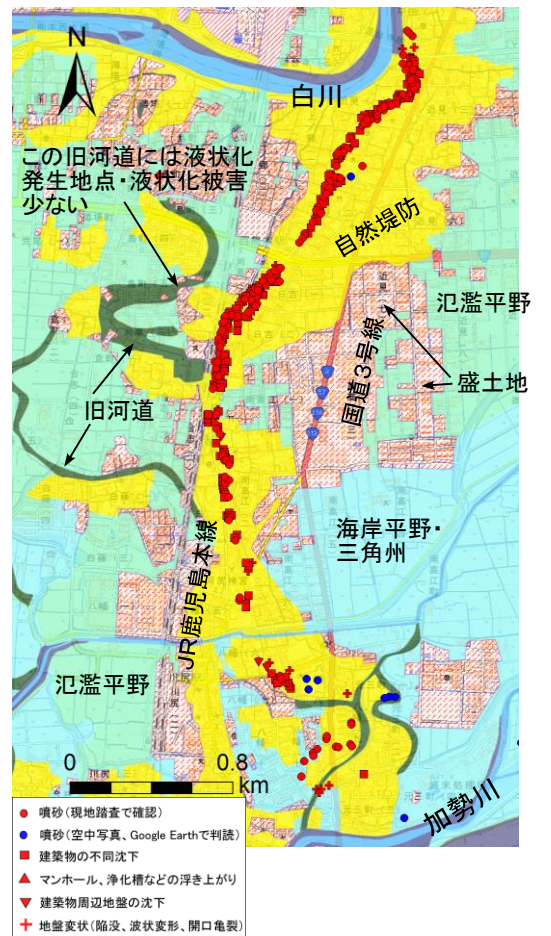


図6 2016年熊本地震における熊本市南区近見～元三町の液状化発生地点の分布と地形条件

化発生域は SAR (合成開口レーダー) 干渉画像の非干渉域と良く一致しており、この領域で液状化 (噴砂) の発生による地表状態や地盤形状の不規則な変化が生じたことが示唆される。また、この液状化発生域は、自然堤防上のさらに細長い領域 (幅 100m 未満) に限定されるため、その領域には自然堤防を形成・発達させた河川 (または水路) がかつて存在していたことが考えられる。しかし、明治後期 (1901 年) 測量 1/20000 地形図、江戸期の伊能図や絵図にはこの帯状の液状化域に河川は描画されておらず、白川下流はほぼ現在と同じ流路であったことが読み取れる。その一方、13 世紀後半に川尻地区 (元三町付近) で白川と緑川が合流していたことを記述した文書 (大慈寺文書) が存在する。それらのことから、白川が川尻方面に南流していたのは江戸期初期以前までであった可能性がある。

#### <引用文献>

- ①徳島大学工学部兵庫県南部地震震災調査団編 1995.『兵庫県南部地震 淡路島震災調査報告書』徳島大学工学部.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ①青山 雅史、小山 拓志、2011 年東北地方太平洋沖地震による茨城県神栖市、鹿嶋市の液状化発生域と砂利採取場分布の変遷との関係、地学雑誌、査読有、受理済
- ②青山 雅史、2011 年東北地方太平洋沖地震による宮城県仙北平野における液状化発生地点の土地条件、群馬大学教育学部紀要人文・社会科学編、査読無、65 巻、2016、71-80  
<http://hdl.handle.net/10087/9968>
- ③Aoyama, M., Liquefaction damages in the Osaki plain, Miyagi Prefecture caused by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Geographical Reports of Tokyo Metropolitan University, 査読無, No. 51, 2016, 33-40  
<http://hdl.handle.net/10748/7703>
- ④青山 雅史、2013 年 4 月 13 日淡路島付近で発生した地震における液状化発生地点の分布と土地条件、地図、査読有、53 巻、2015、27-33.

[学会発表] (計 8 件)

- ①小山 拓志、青山 雅史、地理学の立場からみた 2016 年熊本地震における液状化被害分布と土地条件、2017 年日本地理学会春季学術大会、2017 年 3 月 28 日、筑波大学

- ②青山 雅史、宇根 寛、平成 28 年熊本地震による液状化発生地点の分布と土地条件、2016 年日本地理学会秋季学術大会、2016 年 9 月 30 日、東北大学

- ③青山 雅史、宇根 寛、平成 28 年熊本地震による液状化分布と土地条件、日本学術会議主催公開シンポジウム熊本地震三ヶ月報告会、2016 年 7 月 16 日、日本学術会議講堂

- ④青山 雅史、平成 28 年熊本地震による液状化発生域の分布、被害状況と土地条件、日本地球惑星科学連合 2016 年大会、2016 年 5 月 26 日、幕張メッセ

- ⑤青山 雅史、2011 年東北地方太平洋沖地震による液状化発生域の土地条件と液状化危険度評価に関する再検討、日本地球惑星科学連合 2016 年大会、2016 年 5 月 23 日、幕張メッセ

- ⑥青山 雅史、小山 拓志、東北地方太平洋沖地震による関東地方の液状化発生域と砂利採取場分布の変遷との関係、日本地球惑星科学連合 2015 年大会、2015 年 5 月 24 日、幕張メッセ

- ⑦青山 雅史、小山 拓志、東北地方太平洋沖地震による茨城県神栖市、鹿嶋市における液状化発生域と砂利採取場分布の変遷との関係、2015 年日本地理学会秋季春季学術大会、2015 年 3 月 28 日、日本大学文理学部

- ⑧青山 雅史、東北地方太平洋沖地震による内陸部における液状化発生域の地形条件と液状化発生面積率、日本地球惑星科学連合 2014 年大会、2014 年 4 月 30 日、パシフィコ横浜

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

青山 雅史 (AOYAMA, Masafumi)  
群馬大学・教育学部・准教授  
研究者番号：30724744