

## 八代海の泥質干潟の地形変化における 2016 年熊本地震の影響

秋元和實<sup>1</sup>・日本ミクニヤ株式会社<sup>2</sup>・株式会社東陽テクニカ<sup>3</sup>

1: 熊本大学 〒860-8555 熊本市中央区黒髪 2-39-1 e-mail: akimoto@kumamoto-u.ac.jp

2: 日本ミクニヤ㈱ 〒213-0001 川崎市高津区溝口 3 丁目 25-10

3: 株式会社東陽テクニカ 〒103-8284 中央区八重洲 1-1-6

## Impact of 2016 Kumamoto earthquake on topographic change of muddy tidal flats, Yatsushiro Sea, Kyushu, Japan

Kazumi AKIMOTO<sup>1</sup>, MIKUNIYA Corporation<sup>2</sup> and TOYO Corporation<sup>3</sup>

1: Kumamoto University, Kurokami 2-39-1, Chuo-ku, Kumamoto City, 860-8555 Japan

2: 2-9-3 Sannou Hakata-ku Fukuoka City Fukuoka, 812-0015 Japan

3: 1-6, Yaesu 1-chome, Chuo-ku, Tokyo 103-8284, Japan

### Abstract

Muddy tidal flats are widely distributed in the study area (innermost part of Yatsushiro Sea). After the construction of the Shiranui Reclaimed Land, there is a concern that the bottom condition and water quality will deteriorate.

As basic data to understand the current state of this sea area, it was necessary to verify the accuracy of the topographic simulation in Kumamoto Prefecture (2007). The simulation predicted a shallower sea, but the water depth was 14 cm deeper on average.

Factors not included in the simulation (regional differences in tide level, meteorological effects, ground deformation due to 2016 Kumamoto Earthquake) were investigated in order to clarify the cause of the difference between the simulation and the current situation.

As a result of the study, (1) the difference in location of tide level observation has little effect, (2) sedimentation during the rainy season and erosion due to waves were observed, but the annual sediment volume was almost the same before and after the earthquake, (3) the elevation of the embankment decreased (maximum -28 cm, minimum 5 cm) after the earthquake on eastern coast of the area. Therefore, the cause of the extreme increase in water depth is likely to be land subsidence rather than bottom erosion.

**Keywords:** Muddy tidal flats, 2016 Kumamoto earthquake, topographic change, land subsidence, Yatsushiro Sea

### はじめに

閉鎖性の強い内湾において海水の循環が弱い奥部では、水域環境が悪化しやすい。そのため、近年多くの海域で、海水の循環に影響を与える地形変化が調査されている（例えば、内藤ほか、2006）。八代海も典型的な閉鎖性内湾であり、湾奥部（Fig. 1 の線 A-A' 以東の海域）では不知火干拓事業（着工：1951 年 7 月、竣工：1967 年 9 月）によって閉鎖性がより強くなった。造成後、海水循環の低下によって、浅海化および環境悪化が懸念された。

熊本県は、2006 年に八代海の海底の地形を調査し、シミュレーションによって中長期（10 年後、30 年後、50 年後）の地形を予測した。海域環境の改善策を講じるため、2018 年にシミュレーションの精度を検証することを目的に同海域の地形調査を行い、10 年後である 2016 年のシミュレーション結果と比較した。2006 年と 2018 年の水深の差分である 12 年間の水深の変化を調べた結果、予想に反して堆積が進行せず、浸食していることを示した。そこで、筆者らはその原因を究明するため、2006 年のシミュレーションに含まれていない要因を抽出した。

まず、潮位の基準点の違いの要因が考えられる。八代海の地形調査では干満差が大きいことから、国土地理院

（2002）では潮位を現地で補正している。しかし、熊本県のシミュレーションでは 20km 離れた八代港の潮位を用いている。この潮位基準点の違いを検討する必要がある。

次に、気象要因としての季節風による波浪作用での海底の浸食・堆積物の移動と、降雨などによる河川からの堆積物の流入の影響が考えられる。有明海においては、栗山・橋本（2004）、中川ほか（2002）、宇野ほか（2002）により検討されているが、調査地域の八代海においても検討が必要である。

加えて、2016 年熊本地震の際の地殻変動の要因が考えられる。調査海域は震源から西に約 20km 離れており、推定震度分布図によれば震度 6 弱～5 強の揺れであった（気象庁、2018）。さらに、調査海域周辺は地震後の「だいち 2 号」の観測より、陸上では地表が東西方向に 10～20cm の変位がみられた（国土地理院、2016）。

以上のことから、シミュレーションで考慮されていなかった要因である気象要因、潮位の基準点の違い、地震による地殻変動について一つずつ検討することにした。

### 調査方法

潮位の基準点について、熊本県が 2006 年に行った海底地形調査では、調査地から南に約 20km 離れている八代港

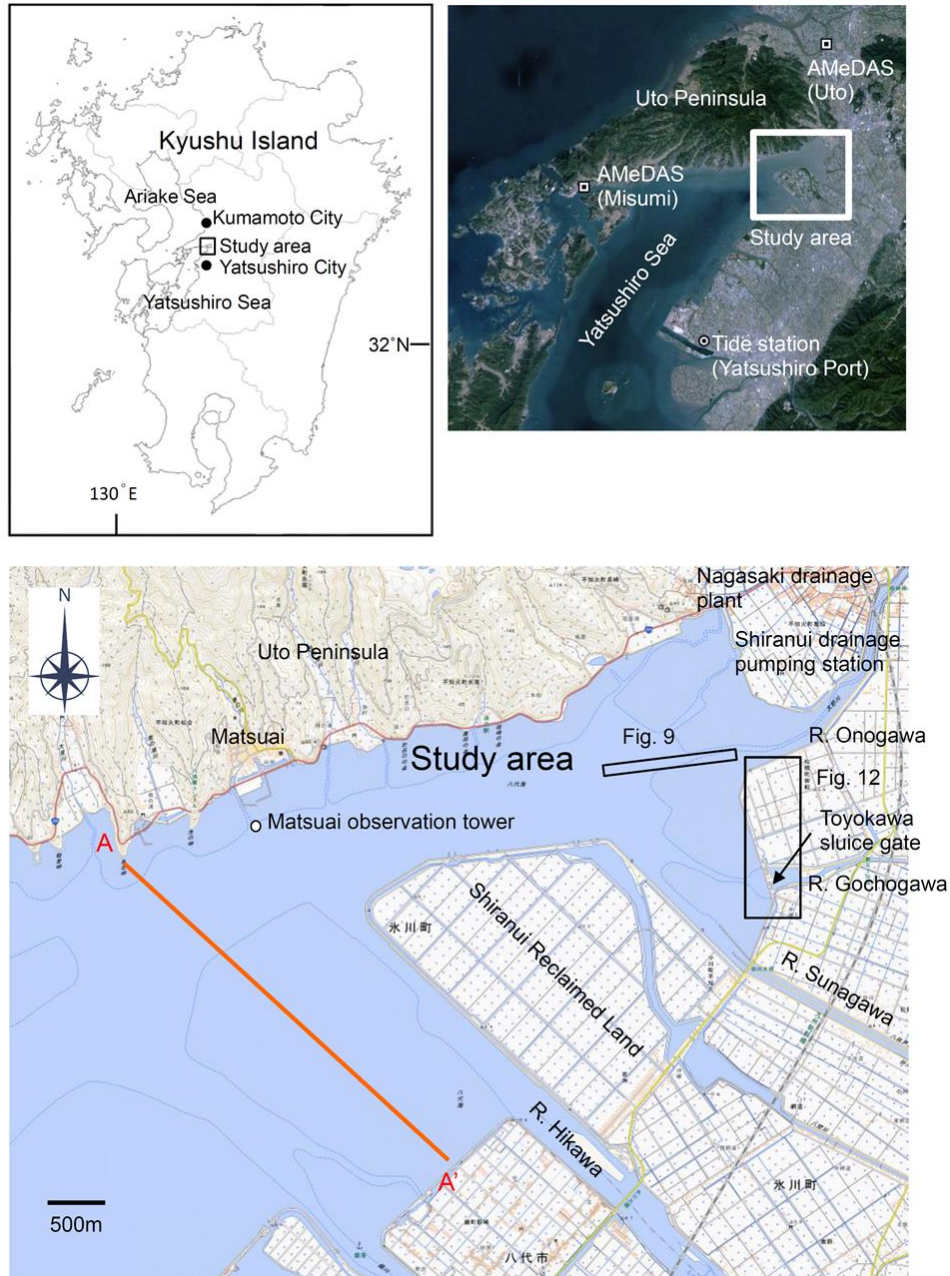


Fig. 1 Location of survey area. The index map is based on the Digital Map published by Geospatial Information Authority of Japan.

のデータを用いている。これは、熊本県が地形変化を把握するために、1991年の調査の潮位基準点に合わせたためである。

調査地と八代港との潮位差を把握するため、調査海域内の松合漁港において潮位を実測し、大気圧補正を行い、同時刻の八代港の潮位（ナウファス：全国港湾海洋波浪情報網，2019）と比較した。

気象要因については、熊本県が、2006年9月と1991年の海底地形の測量結果の差分から年間堆積量を算出した。しかし、この長期間の差分だけでは、気象要因についての検討は困難である。このため、この調査海域において2018年7月、2019年5月、2019年7月に後に示すような手法により海底地形測量を行い、2019年5月と7月との差分よ

り梅雨期の浸食・堆積量について、2018年7月と2019年5月の差分より夏～冬期の浸食・堆積量について算出し、気象要因による季節変動をとらえた。また、2018年7月と2019年7月の差分より年間の浸食・堆積量を算出した。

2016年熊本地震に伴う地殻変動については、調査海域内にある構造物（大野川河口南側の堤防）上の水準点を利用して、地震前後の測量結果より変動量を求めた。

調査海域の海底地形の測量方法は、ゴムボートに船位測定用DGPS（SPS351）およびシングルビーム測深器（PDR-1300型：千本電機）を艀装して航走した。測線は、200m間隔の格子状に設け、地形の変化が予想される滞では、滞筋に平行な測線を追加した（Fig. 2）。

加えて、気象要因（台風に伴う暴風と波浪）の影響を捉



Fig. 2 Survey tracks (July 2019).

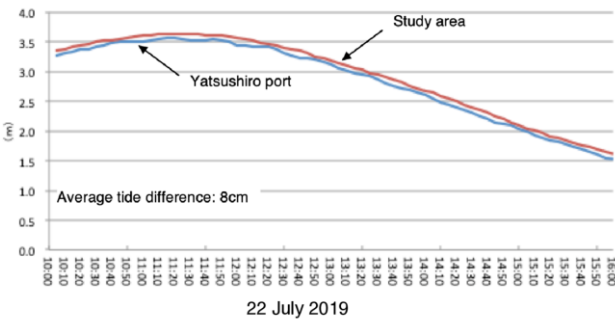


Fig. 3 Example of deference in tide between study area and Yatsushiro Port on 22 July 2019.

えるために、大野川から続く滞を、2018年9月25日および12月11日に、インターフェロメトリー式マルチビーム測深器およびDGPS (SBAS: 測位精度は0.5~2m, 方位精度は0.08°) を搭載した無人ボート (EchoBoat) で調査して、差分を算出した。

### 現地と八代港との潮位差

2018年および2019年に、松合漁港で取得した潮位は、八代港のデータとほぼ一致していて、差の範囲は-2~+8cm (Fig. 3) であった。2018年7月15日に不知火干拓地北縁の漁港で取得したデータに八代港に比べて最大14cmの

潮位差が一度認められた。このことから、潮位基準の違いはほとんどなく、熊本県 (2007) の地形を用いた12年間の差分に与える影響は小さい。

### 気象の特性

有明海東部 (熊本市沖) では冬季の季節風による干潟の浸食が報告されている (栗山・橋本, 2004)。

秋季から春季における季節風による浸食を考える上で、アメダス (三角: 風向・風速, 宇土: 日雨量) (Fig. 4) および観測槽 (松合沖: 風向・風速) (Fig. 5) を検討した。

アメダス (三角) では、一年を通じて北北西~東北東の風が優勢であり、一方、南~西の風は、10月から3月にかけて極めて少ない。東から南の風は、ほとんど記録がない。つまり、本調査海域の湾奥から湾口に向かっての風は吹かない。風速は3~5m/秒であり、最大風速が10m/秒を超える記録が台風以外でも時々認められる。

観測槽 (松合沖) では、南東から南の風の頻度がやや低いが、ほぼ全方向からの風が記録されている。平均10mを超える風が、台風の接近に伴って記録されるが、それ以外でも時々認められる。両地点の記録から、強風は年間を通じて時々発生していることが明らかになった。

河川流域における降雨は、近傍のアメダス (宇土) では、台風が接近あるいは上陸している、梅雨期の6月から7月に集中している。

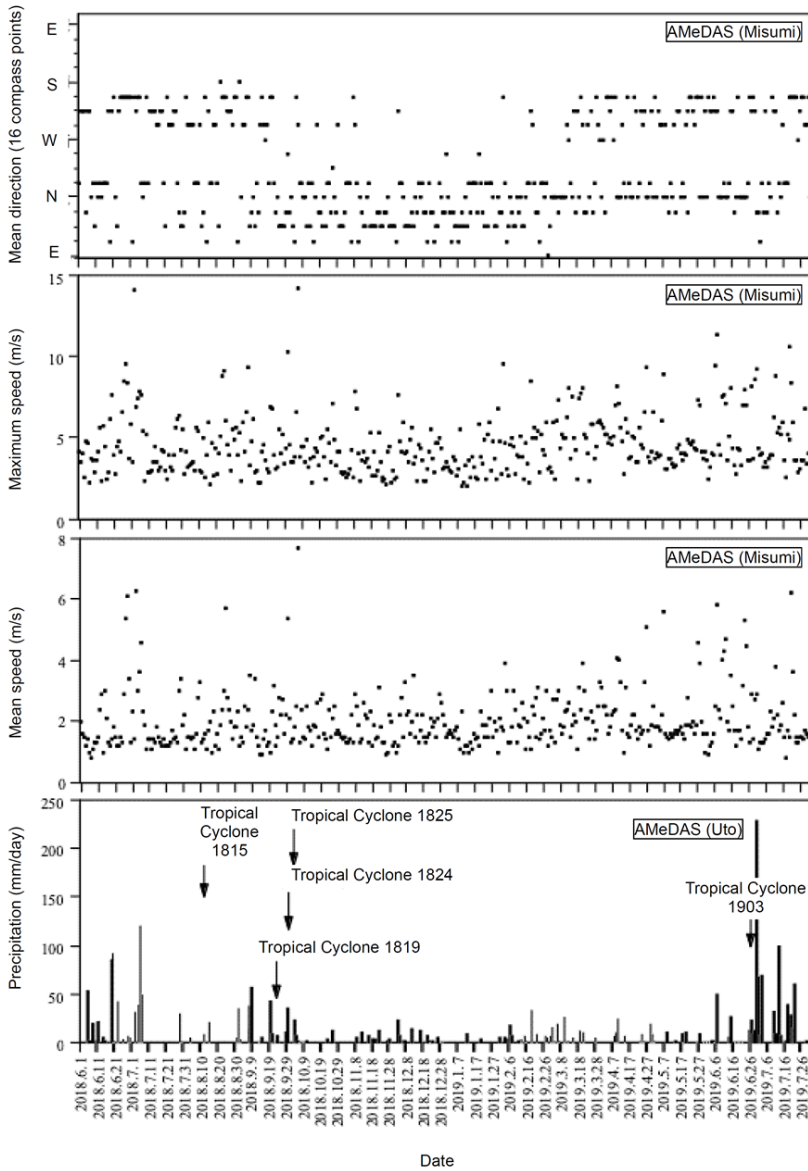


Fig. 4 Wind direction and speed (AMeDAS at Misumi) and precipitation (AMeDAS at Uto).

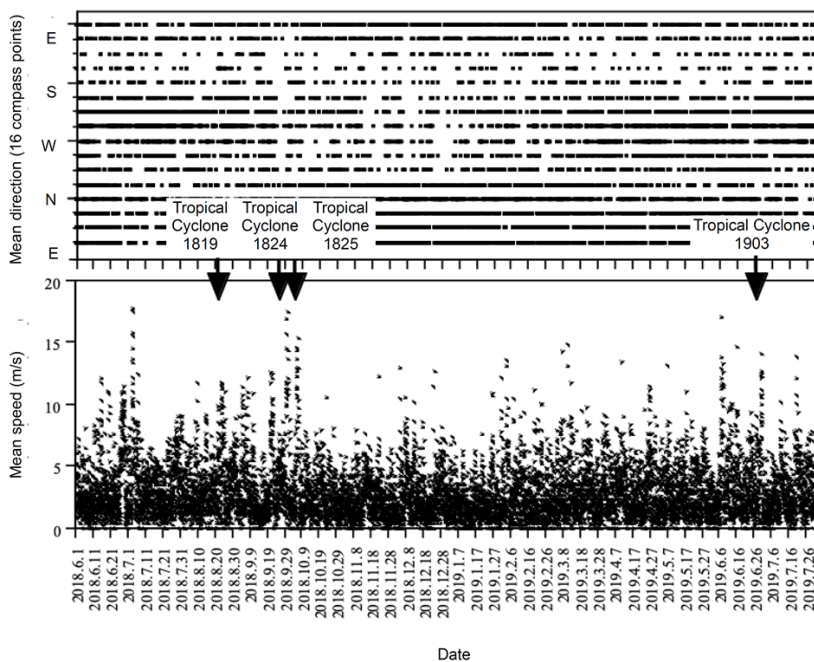


Fig. 5 Wind direction and speed at weather observation tower off Matsui.



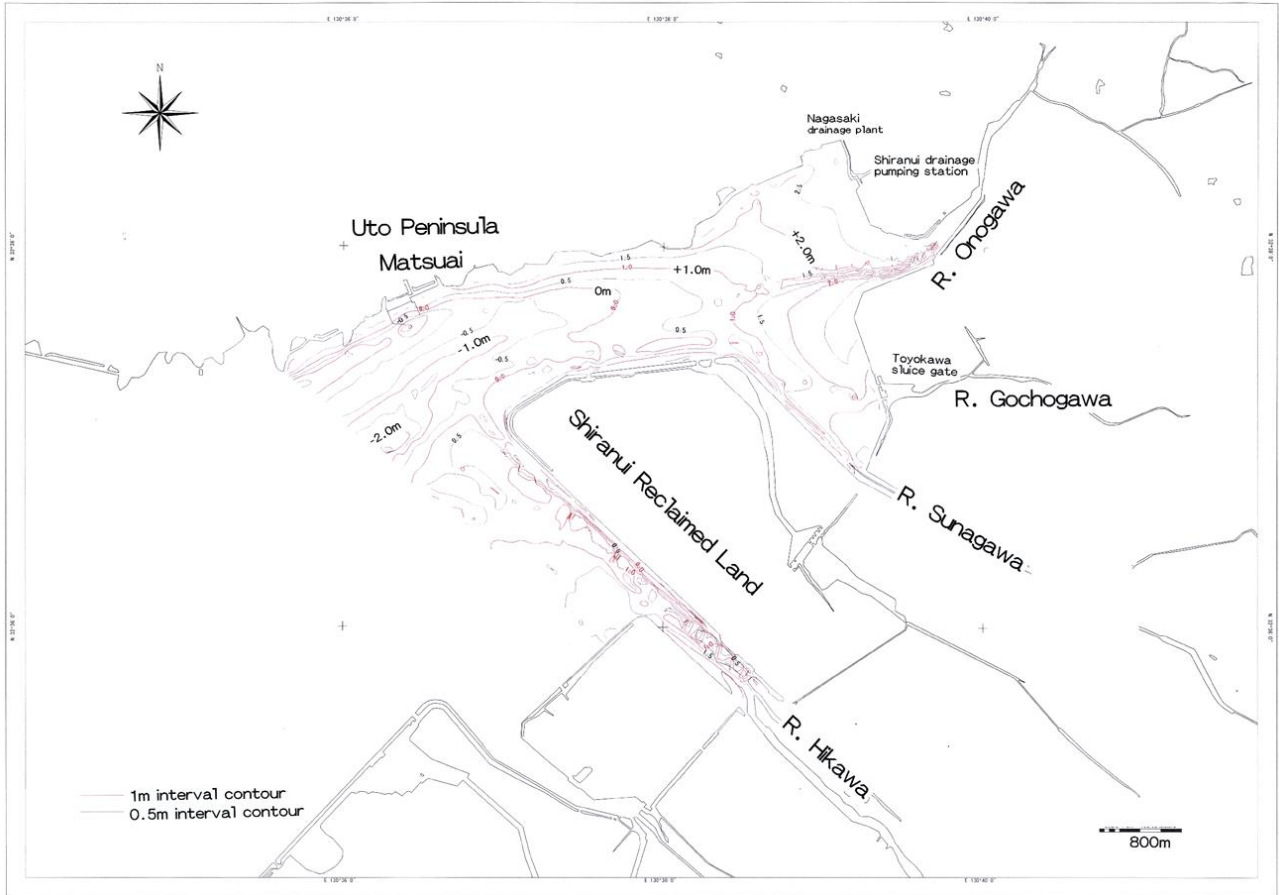


Fig. 6 Topographic map (July 2019).

## 海底地形

### 八代海湾奥の海底地形の特徴

地形調査は、3 回行い、その度に地形図を作成した。類似の地形であるので、2019 年 7 月の測量結果に基づいて、干潟と滞に分けて記述する (Fig. 6)。

**干潟：**湾奥と氷川河口の南側に分布し、宇土半島南岸および不知火干拓地周縁には発達しない。

湾奥の干潟は西への緩傾斜であり、等高線は北北西-南南東の護岸に平行である。干潟で最も高い場所では、水深が DL+2.5m (DL : Datum Line (潮位観測基準面) の略) より浅い。DL+2.0m の等深線は、宇土半島南岸では湾の東岸から約 1km 沖に、五丁川河口 (豊川樋門) では約 600m 沖にある。DL+1.0m の等深線は、大野川河口沖約 1.4km に、五丁川河口沖約 800m 沖にある。氷川河口西側の干潟は、不規則な形状である。DL+1.0m の等深線は、北西-南東の配向性を有する。最も浅い場所でも DL は約 +1.5m である。

**滞：**主要な滞は、大野川、砂川および氷川河口から続く。大野川沖の滞は、途中で分岐する。分岐後は、南側の滞が広く深い (最深部は DL-2.5m 以上)。砂川沖の滞は、不知火干拓地の北東縁から北縁に沿ってのび、干拓地北西端で大野川からの分岐した南側の滞に接続する。氷川沖の滞は、不知火干拓地の南西縁に沿って、2 列の滞が並行する。そ

の先端は、大野川からの分岐した南側の滞に接続する。これらに加えて、2 筋の細い滞があり、長崎排水機場および不知火第一排水機場からの浅い滞は大野川からの滞に、五丁川河口からの滞は砂川からの滞に合流する。

### 水深の差分の特徴

地形の季節変化は経年変化を検討する上で、重要な情報である。主要な期間について、それぞれ水深の差分を求めた (Fig. 7)。

**秋季-春季：**大野川および氷川の河口から続く滞では、水深が 50cm 以上深くなっている (Fig. 7 upper)。宇土半島と不知火干拓地の間でも、潮間帯のあたると DL-0.5m から +1.0m の範囲で水深が増加している。差分から見積もられた浸食量は、約 207,000m<sup>3</sup> である。

**梅雨期：**全体に水深が浅くなり、特に大野川河口および氷川沖の滞で顕著である。一方、水深の増加は不知火干拓地北縁に限られる (Fig. 7 lower)。差分から見積もられた堆積量は、約 415,500m<sup>3</sup> である。

加えて、2019 年 5 月および 7 月に、3 断面図 (5 月 : 赤線、7 月 : 青線) で、堆積の状況を把握した (Fig. 8)。

測線 S1 では、5 月と 7 月の地形は類似している。岸では DL+2m であり、南に向かって緩傾斜である。岸から 80m で DL-1.5m まで急激に深くなる。その南 (100m-200m) では、

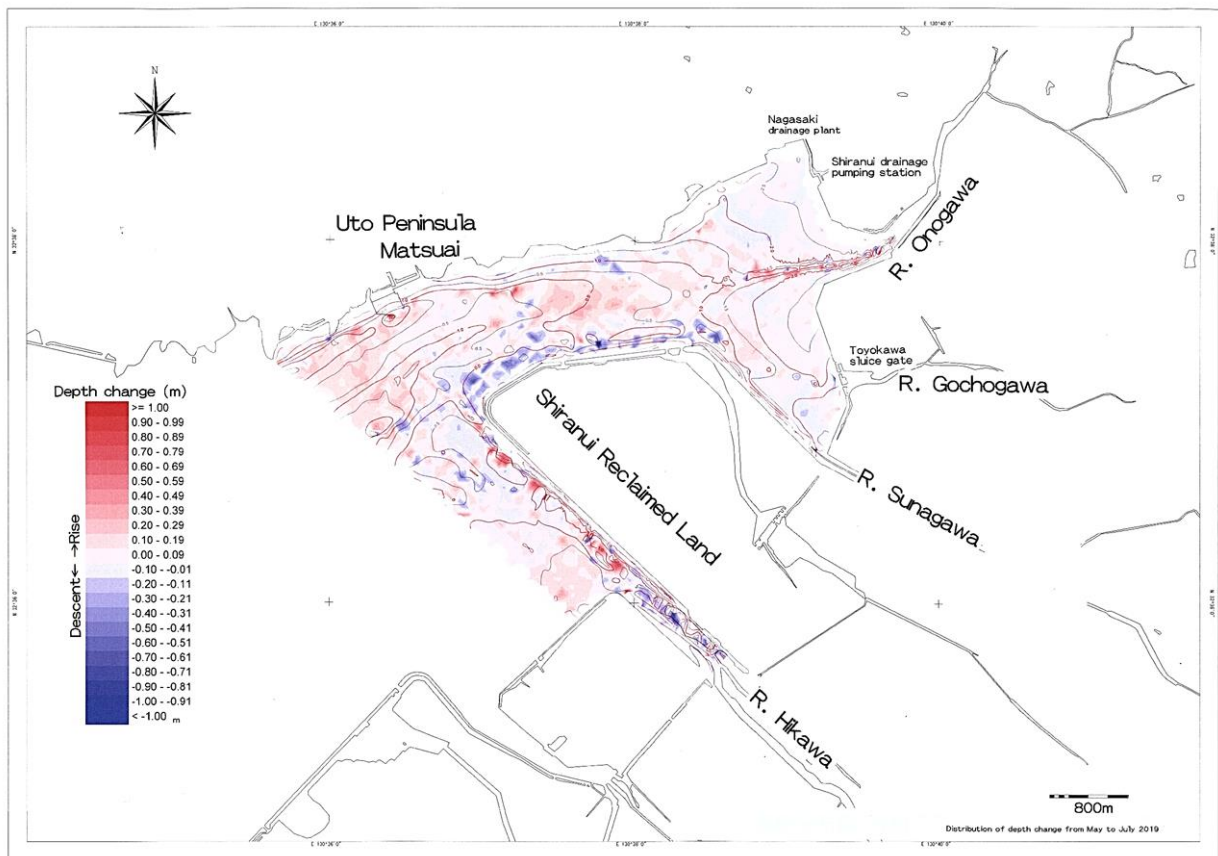
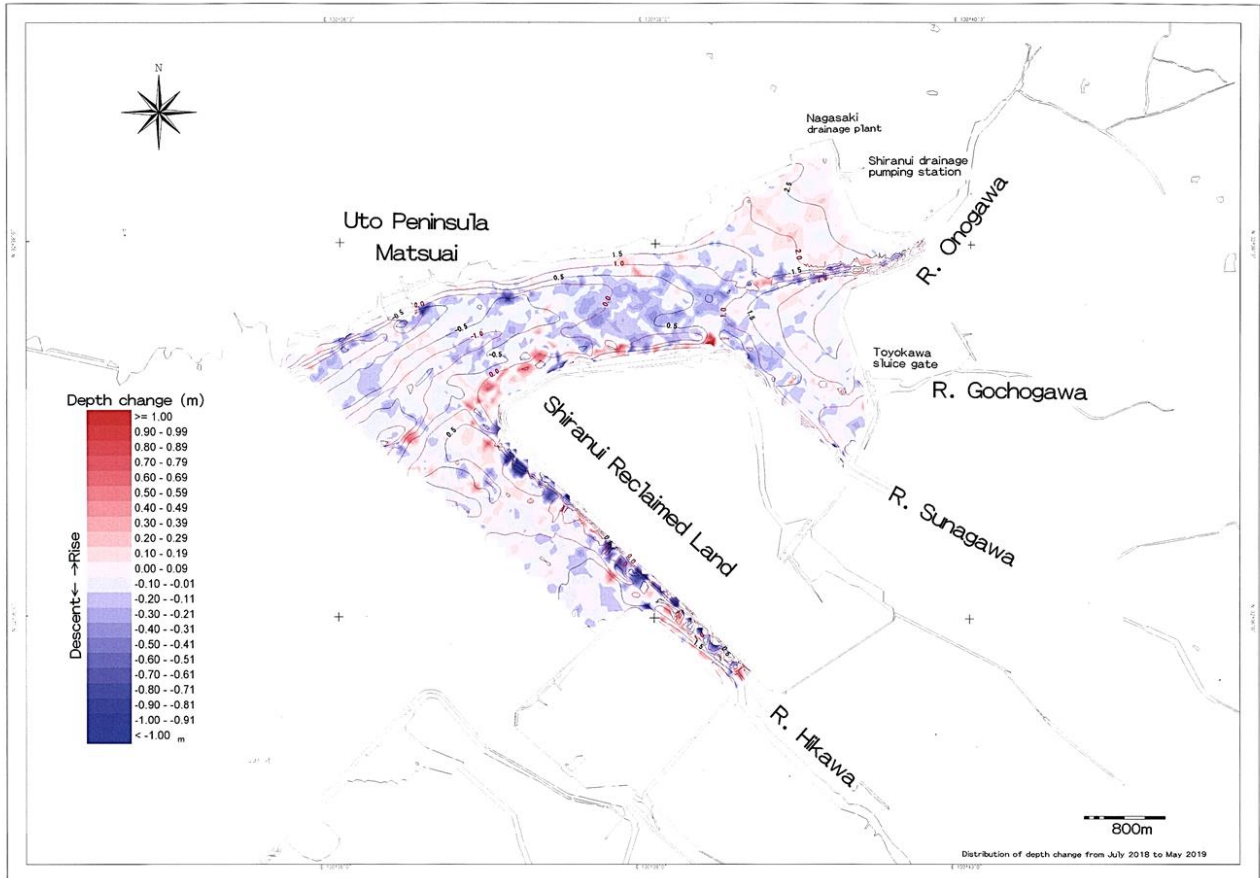


Fig. 7 Seasonal change of water depth (upper: May 2019-July 2018, lower: July-May 2019).

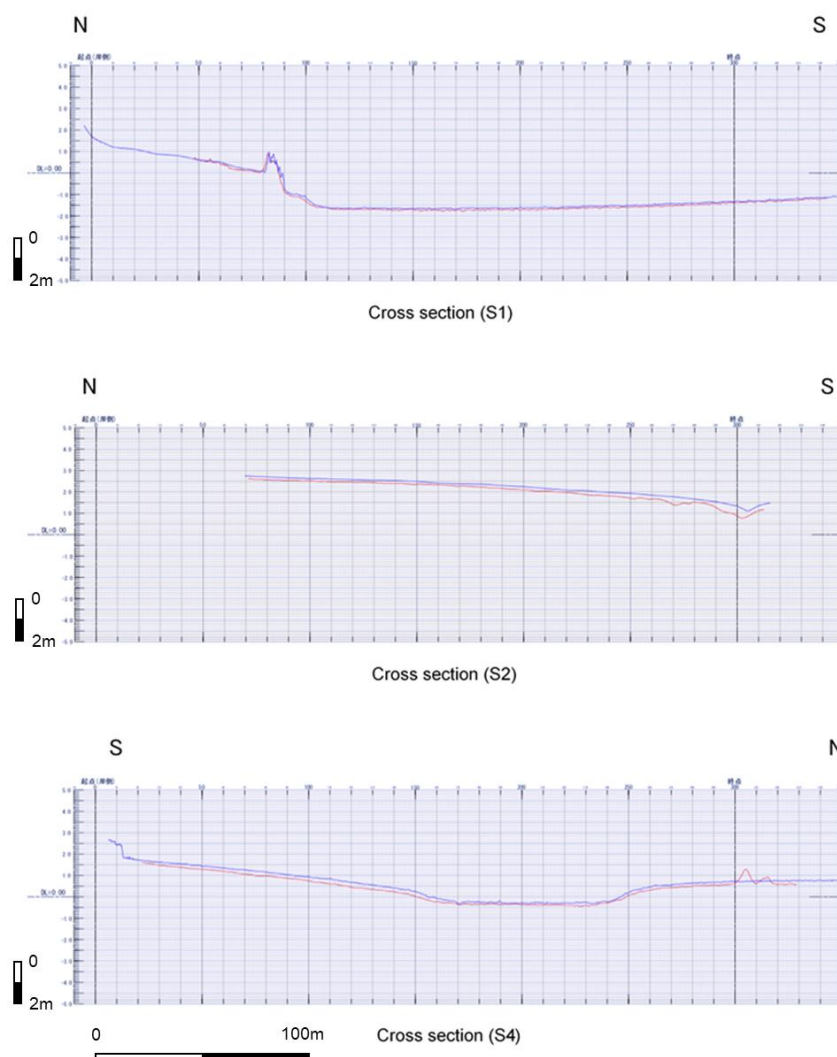


Fig. 8 Topographical cross sections. Red: May 2019, Blue: July 2019.

DL-1.6m の平坦な地形が続き、沖に向かって DL-1.1m まで徐々に浅くなる。7月 は5月に比べて約 10cm 浅い。

測線 S2 では、北端（岸から 70m 沖）では DL+2.6m であり、南に向かって、290m (DL+1.5m) までなだらかに傾斜する。300m 付近に幅 20m、深さ 30cm の窪地がある。5月に比べて、7月 は全体に浅くなっている。北端では 10cm、沖に向かって大きくなり、北端から 300m 沖では最大 40cm に達する。

測線 S4 では、南端では DL+1.8m であり、北に向かって、150m 沖 (DL±0m) までなだらかに傾斜する。150m から 250m にかけて幅広い窪地であった。250m から北に向かって、徐々に浅くなっている (300m で DL+0.6m)。

5月には 305m 付近に比高 0.8m の高まりがあったが、7月には消失していた。5月に比べて、7月 は全体に浅く（窪地の南では 20cm、北では 10cm）なっている。

海域の測線 S1, S2 および S4 において、梅雨後には新たに堆積物（厚さは 10cm を超え、最大 40cm に達する）が被覆していた。海域の広い範囲に堆積物が被覆していたこと

は、梅雨によって陸域から供給される砕屑物が、河口域にとどまることなく、調査海域まで全体に拡散して堆積することを示している。

**台風接近時：**台風の影響で生じる波浪による海底の浸食を明らかにするために、大野川河口から西に延びる滞り、2018年 9月 25日 と 12月 11日のデータを基に、地形の変化を算出した (Fig. 9)。滞りの北側 (654300-655200) の縁では、水深が最大 0.5m 深くなっている。滞りの中心では、最大 30cm 浅くなっている。したがって、滞りの北側の縁で浸食されて、滞りの中心で堆積している。

**年間：**Fig. 10 に、2018年 7月 と 2019年 7月の差分を示す。湾奥の干潟（大野川河口北側では DL+2m 以下、南側では DL+2.5m 以下）、大野川河口から続く滞り、松合漁協沖で水深が浅くなっている。一方、砂川および氷川から続く滞り（不知火干拓周囲）では水深が増加している。秋季-春季および梅雨期の差分から、年間堆積量は約 208,500 m<sup>3</sup> と算出される。



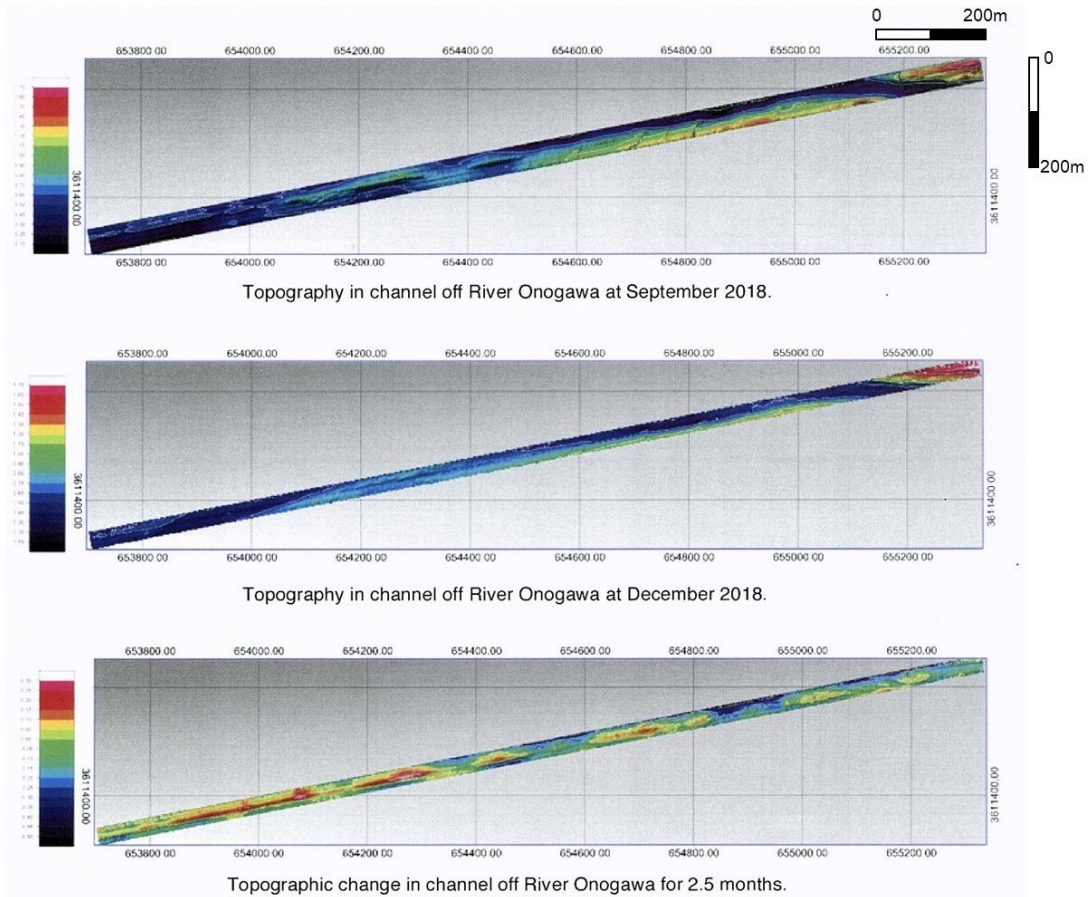


Fig. 9 Topography (upper: September 25, 2018, middle: December 11, 2018) and change of water depth for 2.5 months in channel and tidal flat off River Onogawa (lower).

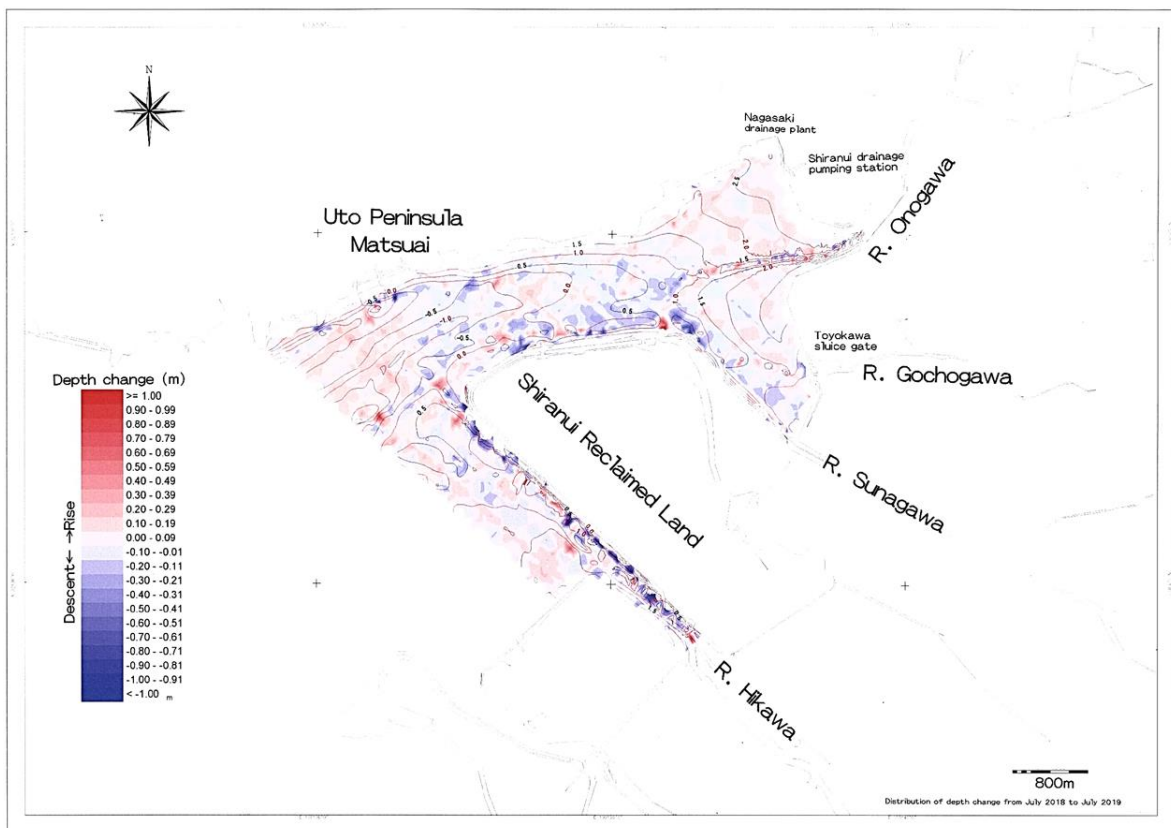
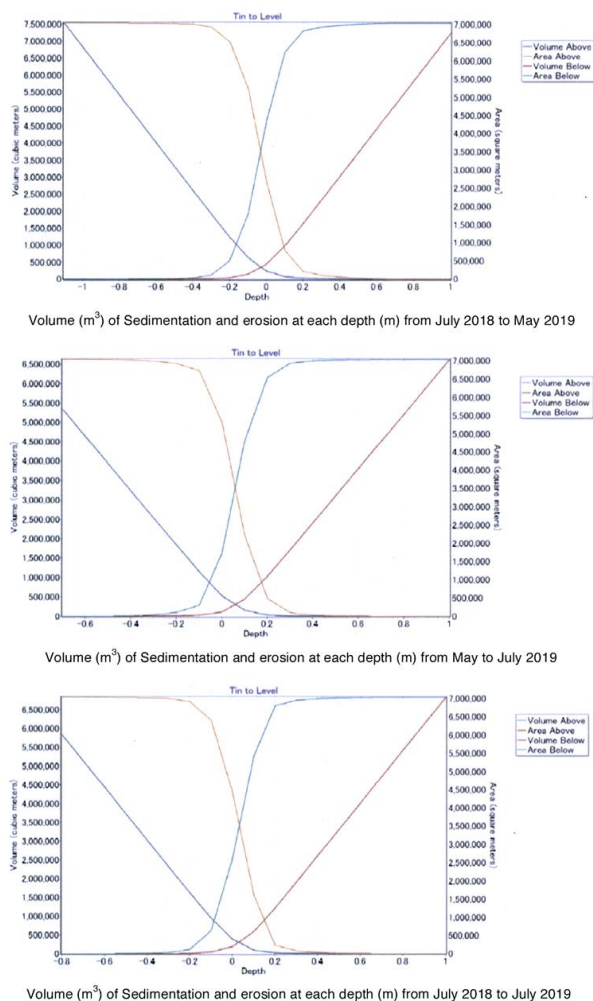


Fig. 10 Annual change in water depth from July 2018 to July 2019.





**Fig. 11** Relationship between deposition-erosion and water depth in DL (upper: May 2019-July 2018, middle: July-May 2019, lower: July 2019-July 2018).

### 地形変化の考察

#### 年間地形変化と潮位との関係

Fig. 11 は、DL±0m を基準として、期間内における、堆積した部分の面積と体積（赤線）、浸食した部分の面積と体積（青線）を、水深 0.1m ごとに表している。体積を示す赤線・青線は、DL が -0.2~+0.2m の範囲で急変している。3 枚の図のいずれも、この範囲で浸食量および堆積量が急変している。一方、この海域の朔望平均干潮面は、DL -0.2~+0.2m までの間にある。この範囲で、季節および年間ともに体積が急変していることから、海水の営力が浸食と堆積に関係することが示唆される。

#### 堆積量の季節変化と気象要因の関係

2018 年には、24 号および 25 号台風で、大野川河口沖の干潟で表面が削られ、滞りに堆積していること可能性が高いことが示された (Fig. 9)。2019 年の調査でも、DL -0.2~+0.2m で堆積量および浸食量が大きく変化することから、季節にかかわらず波浪による干潟の浸食が予想された

(Fig.11)。

アメダス（三角）では、5 月～9 月には台風に関係なく、風速が 5m/秒を超えることもある。観測槽（松合）では、風速が 10m/秒を超える風が、台風の接近以外でも時々認められる。波浪が浸食に関係しているのであれば、年間を通じて暴風による浸食が生じていることになる。

梅雨期に降雨量が多く、堆積が河口および排水機場からの滞りで進行している。このことは、流入河川の流量が碎屑物の供給に関係していることを示している。

#### 年間堆積量の比較

2018 年 7 月から 2019 年 7 月までの堆積量と浸食量の比較から、堆積が進行する状況にあり、その堆積量は約 208,500 m<sup>3</sup> である。熊本県 (2007) によれば、年間堆積量を 1991 年から 2006 年までは約 20 万 m<sup>3</sup>、その前の 1957 年から 1985 までは約 25.3 万 m<sup>3</sup> と算出している。年間堆積量は、2006 年度と 2018 年度でほぼ一致している。このことは、碎屑物が調査海域周辺の陸域から流入し、調査地西側の八代海に移動するメカニズムに関して、2016 年熊本地震の前後で大きな変化がないことを示している。

#### 2016 年熊本地震による地盤沈下の可能性

熊本県 (2019) によれば、2006 年から 2018 年にかけて堆積量を 338,500 m<sup>3</sup>、浸食量を 1,734,700 m<sup>3</sup> と見積もり、結果として 1,396,200 m<sup>3</sup> の浸食と結論づけている。

地震前後で碎屑物の流入-流出のメカニズムに変化がないにも関わらず、浸食量を調査海域の面積で除すると、海底は平均 14cm 浸食されたことになる。

熊本地震後に、調査海域周辺では東西方向に 10-20cm の範囲で地上において地形が変位している (国土院、2016)。さらに、調査海域では八代海の中でも突出して多くの余震が発生している (防災科学研究所、2016)。これらのことから、地震による地殻変動が予想された。

地震直後 (2016 年 5 月 5 日) には、大野川河口から五丁川河口にかけての堤防において、全ての堤防上の水準点の標高が地震前に比べて、最大 26.5cm、最小 8.0cm、ほとんどの地点で 10cm 以上の沈下が見られた (Fig. 12)。これらの水準点は全て地下の支持層に基礎を設けている構造物上にあり、著しい沈下が見られた。

加えて、Google Earth の画像 (映像取得日の午前 9 時) を基に地形変化を検討した (Fig. 13)。地震前の 2014 年 11 月 7 日 (午前 9 時における潮位 DL は +1.09m) には氷川河口西側に広く干潟が分布している。前震と本震との間である 2016 年 4 月 15 日 (潮位 DL +1.78m) には、海域全体が懸濁し、湾奥の干潟で干出している面積が減少している。本震 7 ヶ月後の 2017 年 11 月 12 日 (潮位 DL +1.22m) には、地震前に比べて氷川河口西側の干潟が縮小している。これらの画像は、地震前後の広域的な標高の変化を示している。

以上のことから、熊本県による調査海域での海底地形測量の比較による水深の増加の原因としては、地震に伴う広域的な地殻変動や強震動による海底表層部の軟弱な泥質堆

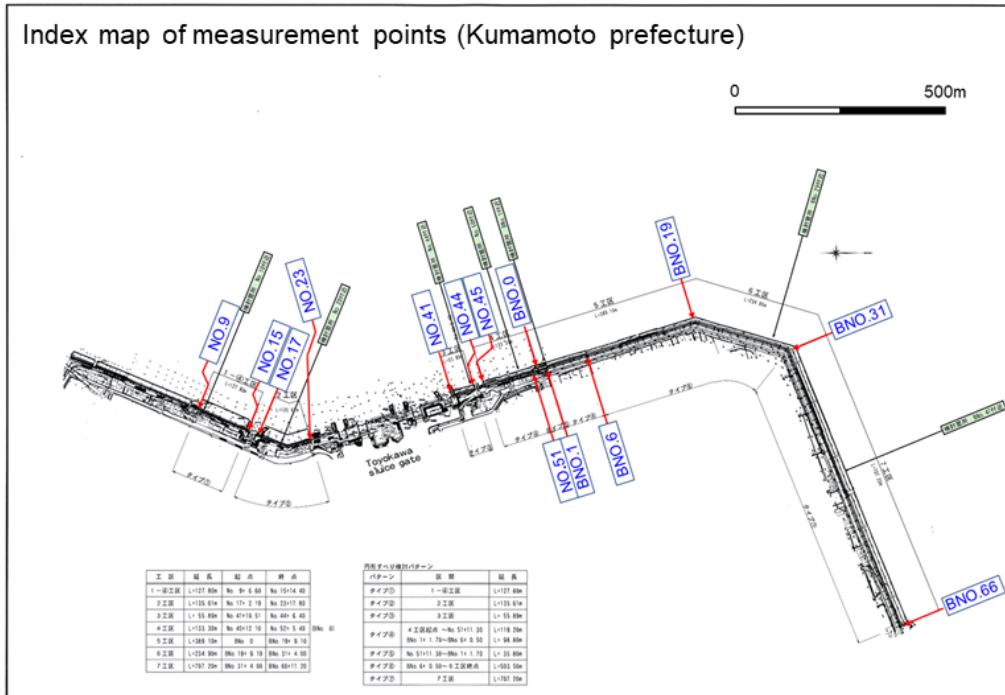
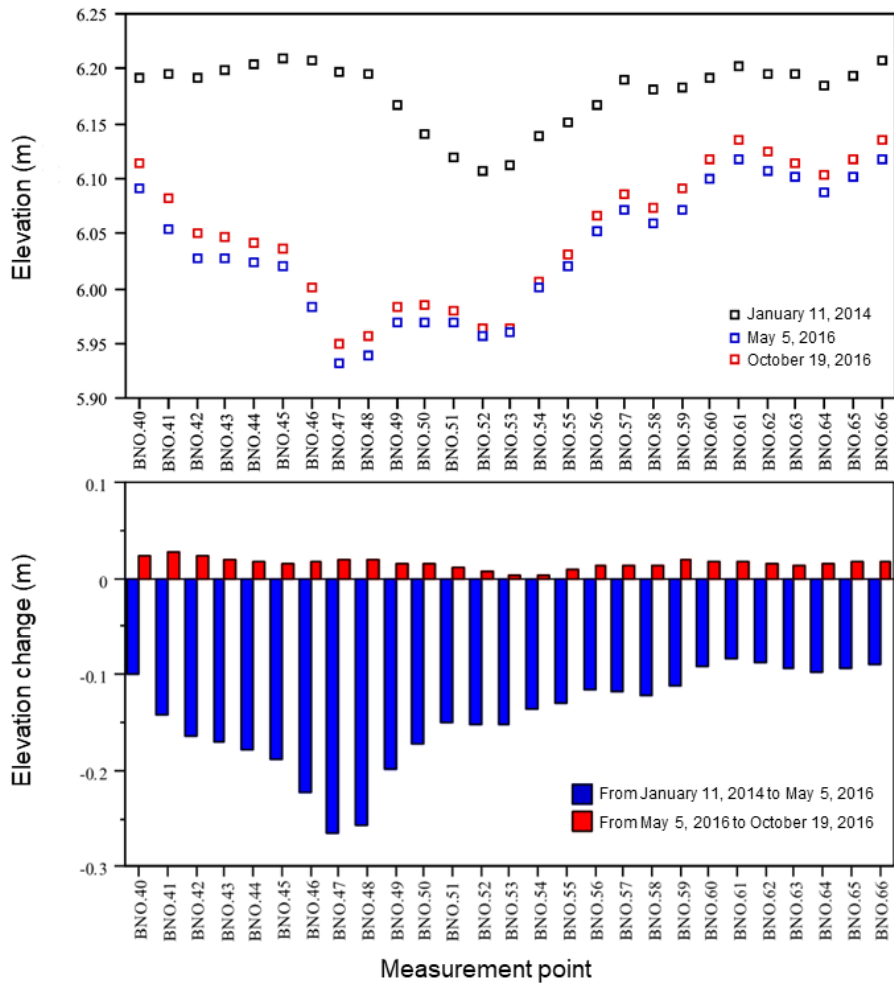


Fig. 12 Elevation changes of embankments between estuary of River Onogawa and of River Sunagawa.



**Fig. 13** Topographic changes in Google Earth' images.



積物層の間隙水の脱水による地層の収縮が考えられる。前述の堤防は、地震から6ヶ月後に、地震直後に比べて最大3cm上昇している (Fig. 12)。このことから、水深の増加には、地殻の上下変動が反映している可能性が高いと推定される。

地震に伴う広域的な地殻変動は、陸上については SAR 干渉解析により把握できるが、水面下については現在有効な方法はない。水面下の海底については、今回試みたように、定期的に測量を同じ側線に沿って行っていれば、経年的な浸食・堆積状況を把握できるため、地震時の地殻変動について検討が可能となるといえよう。

### まとめと今後の展望

2006 と 2018 年における年間堆積量がほぼ一致し、この間に堆積と流出のメカニズムに大きな変化はない。

熊本県 (2007) によれば、差分の負の大きな値から、2006～2018年の約12年間に、海底の浸食が進行していたと結論づけている。しかし、今回の調査による再検討の結果、この大きな負の値を示した原因は、2016年熊本地震による地殻変動による沈降の可能性が高いことが明らかになった。

**謝辞：**本調査は、熊本県および九州環境管理協会の受託研究として実施し、小論はそれらの成果の一部です。公表の御許可をいただいたことに、厚く御礼申し上げます。本調査を進めるにあたり、熊本県環境立県推進課を通じて、様々な情報を提供していただきました。さらに、経費の一部に、文科省特別経費「有明海・八代海の自然環境の再生・創生を目的とする総合的・実践的研究」を使用しました。

風岡 修会員には、投稿の機会を与您いただき、草稿について有益なコメントを賜りました。さらに、2名の匿名の査読者からは有益なコメントをいただき、小論を改善できました。以上の方々に、心より感謝します。

### 引用文献

- 防災科学研究所, 2016, <http://map03.ecom-plat.jp/map/map/?cid=20&gid=587&mid=2915>. (閲覧日 2020年4月2日)
- 気象庁, 2018, 平成28年(2016年)熊本地震調査報告. 気象庁技術報告, 第135号, 309p.
- 国土地理院, 2002, 沿岸海域基礎調査報告書 (長島東部地区). 国土地理院技術資料 D・3-No73, 60p.
- 国土地理院 測地部 上芝晴香・三浦優司・宮原伐折羅・仲井博之・本田昌樹・攪上泰亮・山下達也, 地理地殻活動研究センター 矢来博司・小林知勝・森下遊, 2016, だいち2号 SAR 干渉解析による熊本地震に伴う地殻変動の検出. 国土地理院時報 2016 No.128, 139-146.
- 熊本県, 2007, 八代海湾奥部土砂堆積調査報告書. 106p.
- 熊本県, 2019, 平成30年度受託研究 平成30年度八代湾奥部測量調査研究業務報告書. 23p.
- 栗山善昭・橋本孝治, 2004, 熊本県白川河口干潟における土砂収支. 港湾空港技術研究所資料, no.1074, 16p.
- 内藤了二・中村由行・今村均・佐藤昌宏, 2006, 浚渫跡地の修復に関する施工上の影響と研究開発課題の抽出. 海洋開発論文集, 22, 649-654.
- 中川康文・今林章二・末次広児, 2002, 有明海の底泥輸送現象に関する現地データの解析. 海岸工学論文集, 49, 566-570.
- 宇野誠高・横山勝英・森下和志・高島創太郎・大角武志, 2002, 熊本県白川河口域における土砂動態. 海岸工学論文集, 49, 561-565.
- 全国港湾海洋波浪情報網, 2019, URL: <http://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/> (閲覧日 2018年7月, 12月, 2019年5月, 7月)