

# 南三陸町における復興事業に伴う地形改変量の推計

杉本 賢二<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 大阪公立大学 大学院工学研究科 e-mail: sugimoto@omu.ac.jp

大規模な地形改変により標高が著しく変化することに着目し、震災直後と最新に計測されたDEMを用いて、東日本大震災からの復興事業に伴う地形改変量を算出した。南三陸町を対象とした推計の結果、増加量は65.1万m<sup>3</sup>、減少量は25.6万m<sup>3</sup>となり、39.5万m<sup>3</sup>が純増であると算出された。これは、他地域での空港埋め立て事業や露天掘りと比べ改変強度が小さいものの、面積や変化量が大きいことから、広範囲で大規模な人為的地形改変が行われたといえる。

Key words : DEM, 人工地形改変, 復興事業, 土砂移動, 地形攪拌

## 1. はじめに

2011年に発生した東日本大震災から10年以上が経過し、福島県内の帰宅困難区域を除いて、インフラの復旧や住家の再建が概ね完了した。未曾有の被害となった要因として、再現期間が短く規模の小さい津波を想定していたため、防潮堤整備などのハード対策が主に行われてきたことが挙げられる。それゆえ、東日本大震災では、いわゆる想定外の大津波が到達したために、東北地方太平洋沿岸の低地に立地する市街地では壊滅的な被害を被った。この経験は従前のハード対策による防災効果の限界を露呈させるとともに、避難やハザードマップの整備といった、ハードとソフト対策を複合的に組み合わせた新たな防災・減災へ転換する契機となった。

そのため、東日本大震災の被災地域における復旧・復興事業においても、ハードとソフトの両面から地域防災力を向上させる復興計画や都市計画が策定された。具体的には、津波被害が顕著であった三陸海岸の市町村では、標高の高い丘陵地を造成して住宅を建設し、さらに役場や病院などの重要施設を移転されることで、津波浸水リスクが低い高台地区への市街地集約を進めている<sup>1)</sup>。また、津波で浸水した低地では、商業や工業施設など非居住用途に限定する土地利用規制を行い、丘陵地の掘削土砂を利用して土地の嵩上げを行うといった工事が行われた。

しかし、こうした防災・減災対策により、たしかに津波浸水リスクは低減するものの、復興事業による宅地造成や嵩上げといった人為的地形改変に伴い、様々な影響が生じることが懸念される<sup>2)</sup>。例えば、丘陵地の掘削や土砂運搬に使用する重機やトラックの操業により、燃料消費とCO<sub>2</sub>排出といった環境負荷が増加することになる。あるいは、稜線が変化することで景観や周辺との調和性が損なわれ、そこを基盤としていた植生や生態系サービスそのものも喪失する。さらに、東日本大震災を含めた過去の地震災害において、大規模に造成されたニュータウン地区において建物被害や斜面崩壊が顕著であった<sup>3)</sup>など、人為的な地形改変は地盤災害リスクにも関係する。したがって、復興事業の実施により地域の防災・減災力が向上する施策効果だけでなく、環境や地盤リスクの観点からも地形改変を評価する必要がある。

地形改変を把握する上で、地表面の高さを捉えた地理情報が必要であるが、その一つとしてDEM (Digital Elevation Model; 数値標高モデル)がある。DEMは、標高や勾配、地形の特徴を数値として表現しており、近年、人工衛星や航空機を用いた測量・観測技術の発展と観測データの蓄積により、高解像度のDEMが利用できるようになっている。既往研究では、地形図や航空写真、人工衛星画像などをもとに作成した複数年のDEMを用いて、人為的な地形改変を定量評価している<sup>4), 5), 6)</sup>。しかし、東日本大震災からの復興事業のような、広範囲で大規模な地形改変を対象とした研究は少ない。さらに、復興事業に伴う宅地造成や嵩上げによる改変量を地理情報として明記している自治体はなく、大規模な人為的地形改変であるにも関わらず、地形改変量が把握されていないのが現

状である。

以上の背景から、本研究では東日本大震災からの復興事業に伴う人為的な地形改変を定量評価することを目的とする。大規模に地形改変が行われることで標高が変化することに着目し、複数年の DEM を用いて標高差分を算出し、その体積差分により地形改変量を推計する。

## 2. 手法

図 1 に、地形改変量の推計フローを示す。復興事業により実施される、宅地造成のための丘陵地の掘削や低地の嵩上げに伴い、広範囲で標高が大きく変化することに着目し、震災直後に計測された DEM と最新の DEM とを用いて標高値の変化を算出し、メッシュサイズを乗じることで地形改変量を推計する。使用する DEM は、国土地理院による『基盤地図情報 5m メッシュ(標高)』<sup>7)</sup> である。この DEM は、航空レーザ測量で地表に到達した計測点の標高値から、建物や樹木などの地物の高さを除いた経緯度 0.2 秒(約 5m)間隔の標高データである。高さ精度は 0.3m 以内であり、航空写真や地形図の等高線から作成された DEM に比べ精度が高い。震災直後の DEM として平成 23 年度計測の DEM を、最新の DEM として令和 3 年度計測の DEM を、それぞれ使用した。

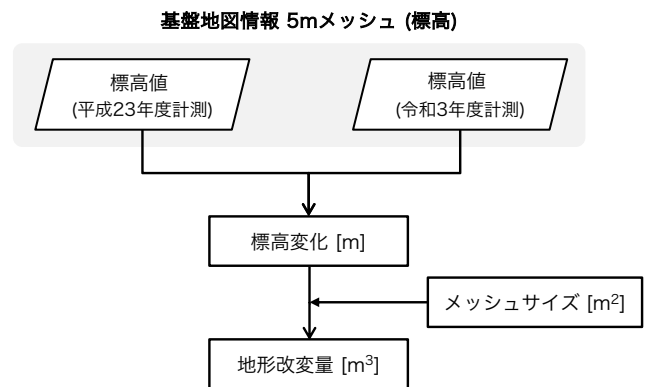


図1 地形改変量の推計フロー

## 3. 対象地区

本研究では、甚大な津波被害を受け、大規模な復興事業が実施された宮城県本吉郡南三陸町を対象地区とした。南三陸町では 20m を超える津波が市街地を襲い、特に沿岸部の志津川地区では防災庁舎や役場、病院などの RC 造建物を除いて壊滅的な状況となった。こうした被害を踏まえ、南三陸町では「なりわいの場所は様々であっても、住まいは高台に」を基本原則として、安全性の高い高台への役場や病院を移転させ、災害公営住宅の整備を実施した<sup>8)</sup>。また、漁港と住宅とを結ぶ道路や防災施設の整備といったハード面だけでなく、危険区域における住宅建設を規制するといった土地利用高度化再編整備など、ソフト面からも復興に向けた取り組みが実施された。

## 4. 結果

表 1 に、標高変化の統計情報を示す。標高差分の対象となった 6 万メッシュで、最小値は-37m、最大値は 27m であり、顕著な標高変化となっていることがわかる。また、差分の合計は 22,853m であることから、復興事業により平均で 0.38m 標高が増加していることが明らかになった。次に、図 2 に、南三陸町における標高変化の分布を示す。また、図 3 に志津川地区における標高変化の分布を示す。南三陸町では、志津川地区のほか、戸倉地区や歌津地区において大規模な復興事業が実施されている<sup>9)</sup>が、沿岸部では防潮堤の建設や嵩上げにより標高が増加し、山間部では宅地造成により標高が減少しているコントラストが顕著に示されている。志津川地区では、新井田川と八幡川の河口に位置する十日町や本浜町では嵩上げにより標高が約 10m 増えており、造成地には南三陸町さんさん商店街が開設されている。また、旧防災庁舎の周辺は南三陸町復興祈念公園として整備され、震災の記憶や教訓を後世に残す防災教育施設が建設されている。一方で、志津川小学校の北側にある新井田や、高台の天王山や沼田では、住宅や施設移転に伴う宅地造成により標高が大

表1 標高変化の統計情報

項目	数値
メッシュ数	61,748
最小値	-37.22
最大値	27.25
合計	22853.0
平均	0.37
標準偏差	1.839

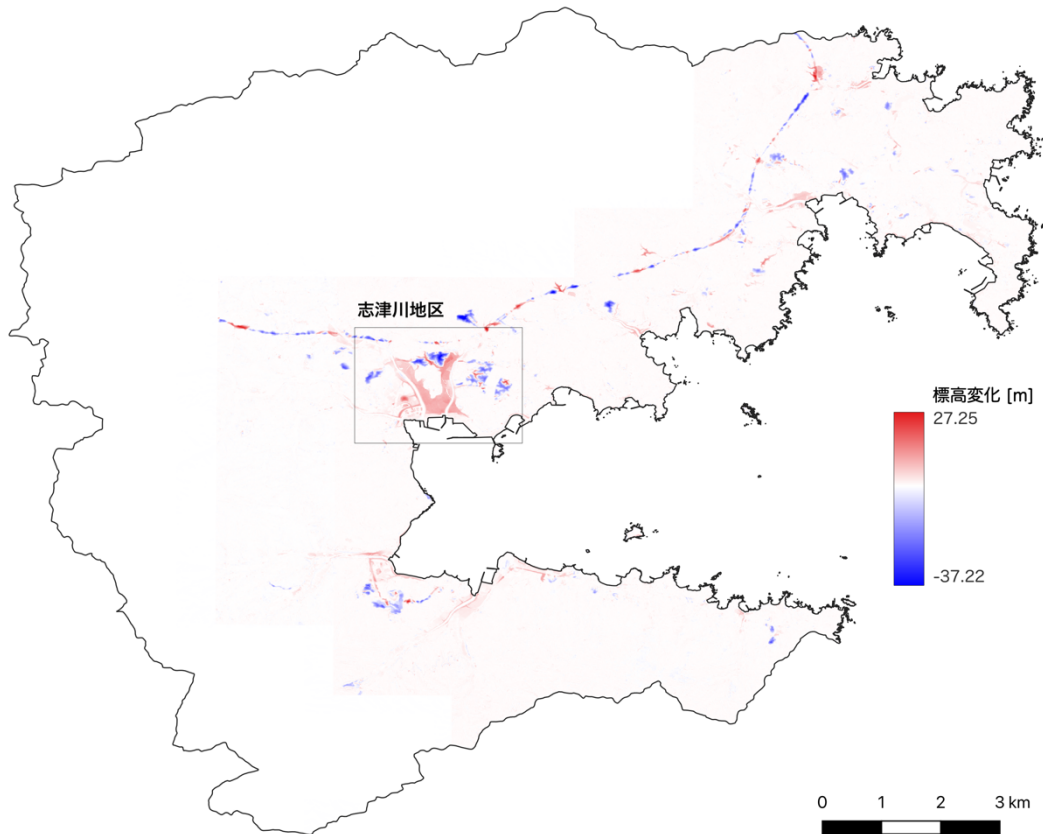


図2 南三陸町における標高変化の分布

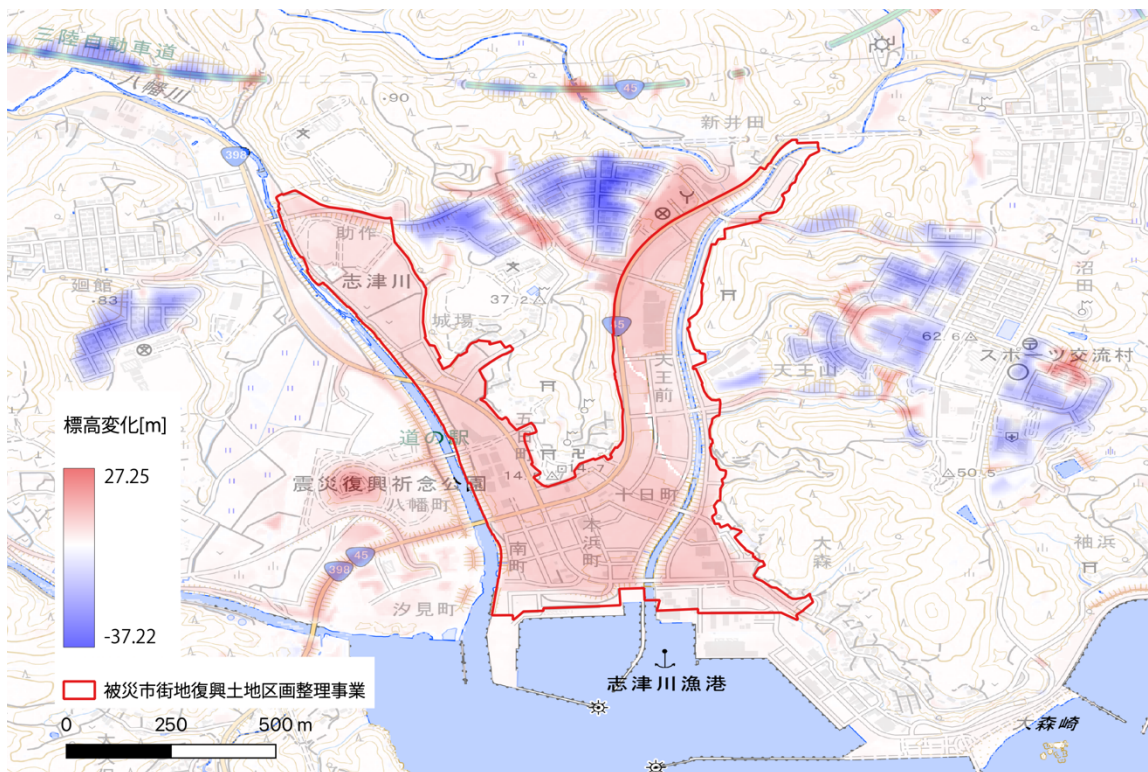


図3 志津川地区における標高変化の分布

大きく減少している。とりわけ、スポーツ交流村(ベイサイドアリーナ)には、役場や南三陸町病院、復興住宅団地が整備されたため、広範で標高が減少していることがわかる。さらに、北の山間部には仙台市から八戸市に至る高速道路である三陸沿岸道路が高架道路として敷設されたため、一部のトンネル区間を除いて盛土及び切土が連続する、人工的な地形改変の特徴がみられる。

表2に、標高変化の度数分布を示す。標高差分で使用したメッシュ(61,748)のうち、ほとんどが「-10m以上0m」または「0m以上10m」の変化であるが、20m以上減少したメッシュは0.1%、20m以上増加したメッシュは0.4%あり、変化が著しい場所も多数存在することが明らかになった。表1より、対象地区では平均0.37mの増加に留まっているが、変化量の絶対値が大きいメッシュもあることから、復興事業による人工的な地形改変は大規模であったといえる。なお、使用した震災直後のDEMと最新のDEMの標高精度はともに0.3mであるから、標高差分が「-0.6m以上0.6m未満」の範囲は許容範囲となる。この範囲に該当するメッシュは15,590あり、これを除いた場合の合計は13,258[m]と算出された。

次に、標高差分の合計[m]にメッシュサイズ[m<sup>2</sup>]を乗じることで、地形改変量[m<sup>3</sup>]が推計できる。ここで、南三陸町役場における経緯度0.2秒は、それぞれ4.8338[m]、6.1668[m]に相当することから、メッシュサイズは約29.809[m<sup>2</sup>]となる。その結果、増加量は651,494[m<sup>3</sup>]、減少量は256,298[m<sup>3</sup>]となり、395,196[m<sup>3</sup>]の純増であることが明らかになった。また、地形改変量を、増加あるいは減少メッシュ数とメッシュサイズで除した、面積あたりの地形改変強度は、増加メッシュでは1.540[m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>]、減少メッシュでは1.307[m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>]となり、全体では0.288[m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>]となった。

ただし、この改変強度は計算で用いたDEMを対象としているため、復興事業が実施されていない山間部等も含んでいる。そのため、図3に示す、志津川地区の「被災市街地復興土地区画整理事業」の区画に該当する6,997メッシュを抽出した。その結果、標高変化は合計で131,574[m]であり、地形改変量は3,922,087[m<sup>3</sup>]と推計された。したがって、同区画の面積585,508[m<sup>2</sup>]で除した改変強度は、18.804[m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>]と算出された。この改変強度は、空港の埋め立て工事<sup>2)</sup>や露天掘り<sup>3)</sup>の約60[m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>]と比べ小さい値であるが、事業面積や改変量が大きいことから、大規模な人為的な地形改変が実施されたといえる。なお、復興計画における区域面積(60.2ha)の記載と、上記の面積と異なる。これは、航空レーザ測量では、原理的に水面の標高を観測することが難しいため、標高値なし(no data)として表現されるためである。

## 5. おわりに

本研究では、東日本大震災からの復興事業に伴う人為的な地形改変を定量評価することを目的とした。大規模に地形改変が行われることで標高が変化することに着目し、複数年のDEMを用いて標高差分を算出し、その体積差分により地形改変量を推計した。南三陸町を対象とした推計の結果、復興事業による体積増加量は65.1万[m<sup>3</sup>]、減少量は25.6万[m<sup>3</sup>]となり、39.5万[m<sup>3</sup>]の純増であることが示された。今後の課題として、他の被災地域を対象とした推計及び検証が挙げられる。また、観測データの蓄積が進み複数年時点のDEMが利用できれば、人為的な地形改変を定量評価することができ、それは持続可能な開発に向けた基盤情報として活用が期待される。

## 参考文献

- 1) 太田敏一, 松野泉 (2021) 防災リテラシー 第2版. 森北出版.
- 2) 杉本賢二, 黒岩史, 奥岡桂次郎, 谷川寛樹 (2015) DEMを用いた標高変化に基づく人為的な土砂移動量の推計. 環境科学会誌, 28(2), pp.153-162.
- 3) 森友宏, 風間基樹, 佐藤真吾 (2014) 東日本大震災における仙台市の大規模造成宅地の地震被害調査 - 5つの造成地における全域踏査-. 地盤工学ジャーナル, 9(2), pp.233-253.
- 4) 谷川寛樹, 井村秀文 (2001) 都市建設にともなう総物質必要量の定量化と評価に関する研究 -住宅地整備のケ

表2 標高変化の度数分布

階級	度数	割合 (%)
-30m未満	11	0.02
-30m以上 -20m未満	46	0.07
-20m以上 -10m未満	248	0.40
-10m以上 0m未満	7,902	12.80
0m以上 10m未満	53,302	86.32
10m以上 20m未満	215	0.35
20m以上	24	0.04
合計	61,748	

ースタディ-. 土木学会論文集, 671, pp.II\_35-II\_48.

- 5) 川原一洋, 田中靖 (2010) 武甲山における人工地形改変の定量的評価. 2010 年度日本地理学会春季学術大会発表要旨集, p.410.
- 6) Yoshida, K., K. Okuoka and H. Tanikawa (2017) Anthropogenic disturbance by domestic extraction of construction minerals in Japan. *Journal of Industrial Ecology*, 22(1), pp.145-154.
- 7) 国土地理院 (2022) 基盤地図情報 5m メッシュ(標高). <https://fgd.gsi.go.jp/>
- 8) 南三陸町 (2021) 東日本大震災からの復興 -南三陸町の進捗状況- (令和3年9月1日時点).
- 9) 南三陸町 (2013) 志津川都市計画土地区画整理事業の決定.