(33) 標高変化に基づく復興事業に伴う地形改変量の推計

杉本　賢二[1]

[1]正会員　大阪公立大学 大学院工学研究科（〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138）
E-mail: sugimoto@omu.ac.jp

東日本大震災の被災地域では，住宅の高台移転や低地の嵩上げといった大規模な復興事業が実施された．人為的地形改変により土石資源や景観，生態系，地盤災害リスクへの影響が懸念されているが，地形改変は量的にも空間的にも示されていない．本研究は，地形改変により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，標高及び体積変化を空間分布として推計した．宮城県の太平洋沿岸部の16市区町を対象とした結果，標高は+1,064万m，体積は+3億1,560万m^3の純増となり，特に石巻市や気仙沼市など北部で顕著な増加であることが示された．また，沿岸部だけでなく，山間部でも高速道路建設による盛土と切土の区域がみられ，復興事業により広域で大規模な地形改変が行われていることを明らかにした．

Key Words: *DEM, reconstruction project, anthropogenic disturbance, land filling, land cutting*

1. はじめに

東日本大震災により甚大な被害を受けて東北地方の太平洋沿岸部では，ハード対策として巨大防潮堤が建設された．それに加え，復興土地区画整理事業による住宅の高台移転や低地の嵩上げといった大規模な復興事業が実施され[1]，津波浸水リスクは確かに大きく低下するもののと考えられている．その一方で，宅地造成や嵩上げといった，人為的地形改変による様々な影響が懸念されている．例えば，丘陵地の掘削による土石資源生態系サービスの喪失，景観変化といった環境への影響のほか，地盤災害リスクの増加である[2]．そのため，東日本大震災からの復興事業に伴う地形改変を定量化することは，防災面だけでなく，環境の観点からも重要である．しかし，自治体や施工業者による復興事業計画書や事後の報告書において，地形改変が土砂移動量などとして示されていることは少なく，加えて地理的分布として明示されていないのが現状である．

人為的地形改変の定量評価に関する既往研究は，環境科学のほか，産業エコロジーやランドスケープ分野で数多くある[2)-4)]．これらの研究では，広範囲で地形改変が実施されることにより標高が大きく変化することに着目し，計測年の異なるDEM（Digital Elevation Model; 数値標高モデル）を用いて地形改変量の推計を行っている．DEMは標高に関する空間情報であり，既往研究では地形図や航空写真をもとに作成したDEMが使用されていた[2)-4)]．しかし，近年は，航空レーザ測量やUAVの普及により，高解像度で高精度のDEMが利用可能となっている[5)]．

以上のように，東日本大震災からの復興事業では，東北地方の太平洋側の地域において，広範囲で大規模な地形改変が行われたものの，その量や空間分布が明らかになっていない．そこで，本研究では，複数年のDEMを用いた標高差分により，復興事業による人為的な地形改変を定量評価することを目的とする．

2. 手法

(1) 推計フロー

図-1に，人為的地形改変量の推計フローを示す．まず，震災直後に計測されたDEMと最新のDEMとの標高差分を算出し，震災直後からの標高変化を推計する．次に，標高変化にDEMの空間解像度（メッシュサイズ）を乗じることで，体積量として計算する．これにより，復興事業による地形改変が，空間分布として推計される．最後に，推計された標高及び体積変化の空間分布を自治体別に集計することで，地域特性を明らかにする．対象地

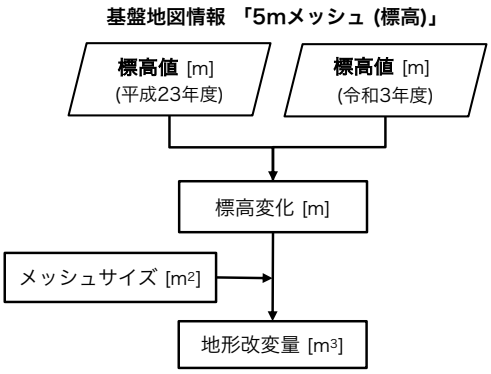


図-1 地形改変量の推計フロー

域は，宮城県の太平洋側に面する 16 市区町とした．

(2) DEM

DEM は，国土地理院の「基盤地図情報 5m メッシュ（標高）」[5]を使用した．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（グラウンドデータ）から，0.2 秒（約 5m）メッシュの中心点の標高値を内挿処理により作成したものである [6]．航空レーザ測量により作成された DEM は標準偏差で 0.3m 以内であり [6]，これは航空写真や地形図から作成した DEM よりも高精度である．本研究では，震災直後の平成 23 年度に計測された DEM を復興事業前の標高値とし，最新（令和 3 年度に計測）の DEM を復興事業後の標高値とした．これらの差分により，復興事業による標高変化[m]が算出される．

次に，標高変化を地形改変量に変換する．ここで，DEM の空間解像度は経緯度 0.2 秒であるため，東西・南北の距離は約 5m のメッシュであるものの，実際には緯度によって長さが異なる．そのため，GIS ソフトウェアの QGIS を用いて，ジオメトリ演算によりメッシュサイズ[m²]を算出した．この面積に，標高変化[m]を乗じることで，地形改変量[m³]が体積として算出される．

3. 結果

(1) 推計結果

表-1 に，自治体別に集計した標高及び体積変化の推計結果を示す．対象となった宮城県の 3,328 万メッシュを集計した結果，標高変化の合計は 1,061 万 m，体積変化の合計は 3 億 1560 万m³であった．すなわち，宮城県では震災直後に比べて標高及び体積が純増していることが明らかになった．もちろん，この標高変化は合計値であるため，増加だけでなく減少も含まれている．そのため，実際の標高や体積の増加量はさらに大きいといえる．また，市区町別でみると，石巻市や気仙沼市，南三陸町で増加量が大きく，県中部・南部の市区町村に比べて，北部地域で顕著な地形改変であることが示された．

表-1 標高・体積変化の推計結果

市区町村	メッシュ数	標高変化 [m]	体積変化 [m³]
宮城野区	1,067,881	426,346	12,777,123
若林区	1,054,695	438,224	13,137,682
石巻市	10,027,425	3,406,424	100,382,616
塩竈市	572,944	202,137	6,061,796
気仙沼市	5,399,424	1,393,339	40,808,660
名取市	762,509	373,197	11,194,376
多賀城市	547,268	162,443	4,876,299
岩沼市	924,483	433,104	13,007,200
東松島市	3,239,578	997,231	29,544,666
亘理町	1,140,680	449,459	13,483,752
山元町	1,285,613	432,110	12,988,226
松島町	1,165,892	397,003	11,899,516
七ヶ浜町	429,008	166,563	4,994,446
利府町	577,968	169,266	5,072,656
女川町	1,794,935	118,494	3,550,806
南三陸町	3,291,691	1,075,932	31,819,600
合計	33,281,994	10,641,272	315,599,420

表-2 標高変化区分別の度数分布

標高変化の区分		度数	割合 [%]
	-40m 未満	2,065	0.01
-40m 以上	-30m 未満	3,897	0.01
-30m 以上	-20m 未満	15,666	0.05
-20m 以上	-10m 未満	60,652	0.18
-10m 以上	0m 未満	4,080,992	12.26
0m 以上	+10m 未満	23,921,619	71.88
+10m 以上	+20m 未満	40,995	0.12
+20m 以上	+30m 未満	5,760	0.02
+30m 以上	+40m 未満	1,545	0.00
+40m 以上		2,921	0.01

表-2 に，標高変化区分別の度数分布を示す．標高変化が「0m 以上，+10m 未満」の区分に該当するメッシュが最も多く，全体の 72%を占めている．次に多いメッシュは「−10m以上，0m 未満」であり，これら 10m 以内の標高変化があったメッシュが占める割合は 84%であった．一方で，30m を超える標高変化があったメッシュは 10,428 個，40m を超える標高変化があったメッシュは 4,986 個あることから，大きな地形改変が広く行われたといえる．

(2) 気仙沼市における標高変化

図-2 に，気仙沼市の標高変化を示す．**表-2** より，気仙沼市では体積が 4,080 万 m³の増加となっているが，これは関西国際空港第 2 期工事による丘陵地掘削の体積減少

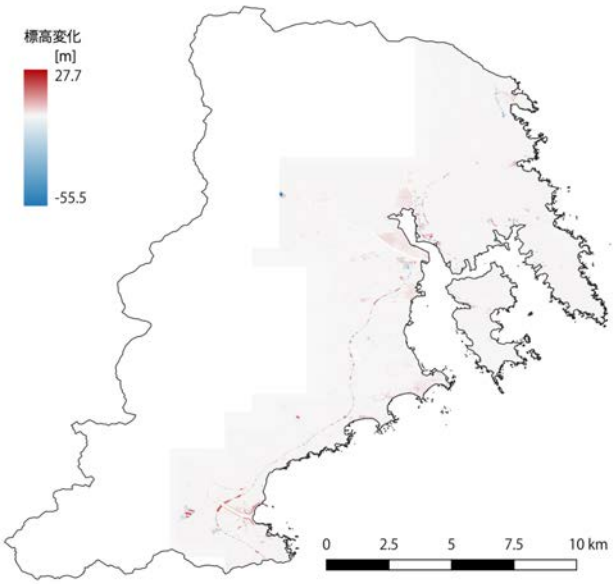


図-2　気仙沼市における標高変化

量と同程度である [2]．ただし，算出した体積は気仙沼市全体を対象としているため，改変の度合いとしては小さく，メッシュあたりの標高変化は 0.258m，体積変化は 7.558m^3 にとどまっている．

次に，**図-3** に気仙沼市中心部の標高変化を示す．本浜町や錦町といった人口の多い地区だけでなく，漁港に近い幸町や潮見町では，標高が 3m 前後増加しており，これは嵩上げに起因するものである [7]．また，赤岩地区では標高の増加と減少が，塊としてまとまっているが，これは水産物に関連する食品工場の建設により，宅地造成が行われた結果である．一方で，標高が増加する区間と減少する区間が線上に連続している．これらの区間は，三陸自動車道に沿っているため，道路建設に伴う切土や盛土，法面等の造成工事による標高変化であると推定される．

図-4 に，気仙沼市本吉町付近の標高変化を示す．本吉町では 20m を超える津波が到達したため [8]，津谷川の河口付近や赤崎海岸沿いには巨大な防潮堤が建設され，さらにその周辺地域では嵩上げが行われた．そのため，河口付近の堤防では 10m 以上，その内陸側の中島地区では 3m の標高増加となった．一方で，海岸線から離れた外尾地区では，災害公営住宅の建設に伴い，丘陵地を掘削して宅地造成が行われたため，広く標高が減少している．沿岸部以外の標高変化では，前述の中心部と同様に，本吉町でも南北に横断する国道 45 号線に沿った標高変化がみられる．さらに，山間部では太陽光発電所の建設に伴う宅地造成と推測される標高変化が広範囲で確認できる．

(3)　制約と課題

本研究での推計結果には，以下のような制約や課題がある．まず，使用した DEM の高さ精度に起因する推計

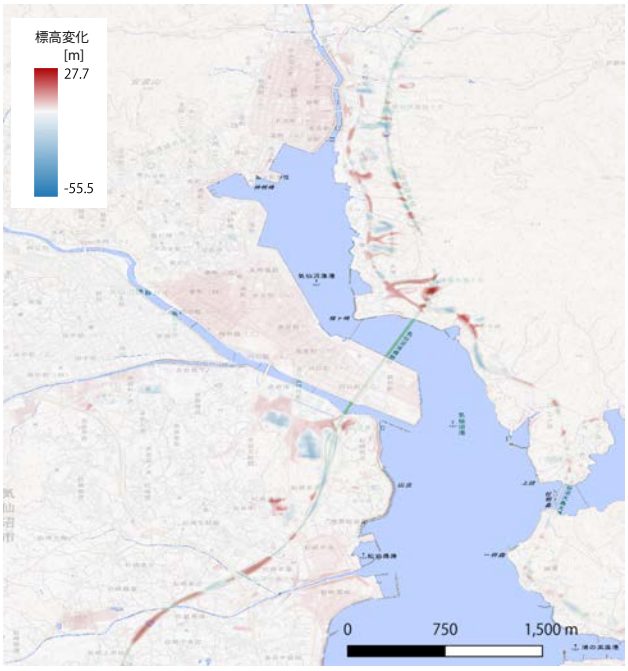


図-3　気仙沼市中心部における標高変化

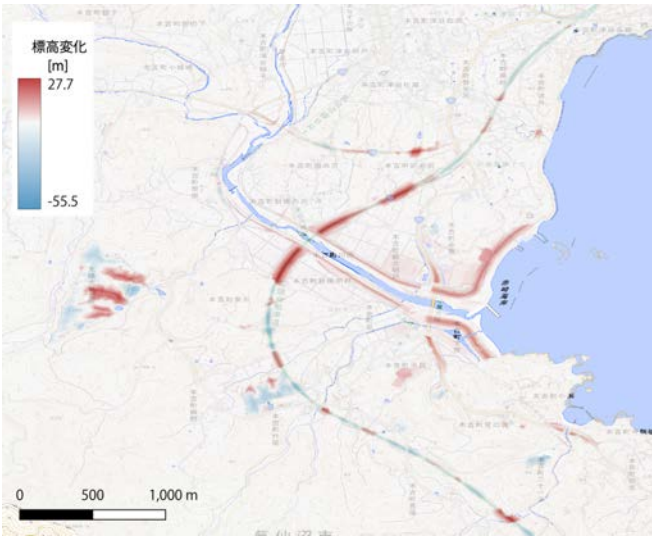


図-4　気仙沼市本吉町における標高変化

誤差が挙げられる．航空レーザ測量は高精度ではあるものの，標準偏差で 0.3m の高さ誤差があることから，2 つの DEM を使用した場合に最大で 0.6m の誤差を含んでいる．また，推計結果は，復興事業が実施されていない地域も含んでいることに留意が必要である．そのため，改変度合いを算出するためには，用途地域や復興事業計画書に記載の地図を参照するなどして，区域を限定した上で地形改変量を算出する必要がある．

4.　おわりに

本研究では，復興事業による人為的な地形改変を定量評価することを目的に，震災直後と最新の DEM とを用いて標高及び体積変化を算出した．宮城県では，北部

の気仙沼市や石巻市で改変が顕著であり，沿岸部では土地区画整理事業に伴う造成や嵩上げが，山間部では道路建設による地形改変が見られた．以上のことから，東日本大震災からの復興事業に伴い，広域で大規模な地形改変が行われたことが明らかになった．

今後の課題として，復興土地区画整理事業が実施された岩手県や福島県沿岸部で同様の推計を行うことで，改変量だけでなく地域差を示すことができる．また，事業対象区域を限定することで地形改変の強度を算出することで，他の人為的地形改変との比較が可能となる．

謝辞：本研究は JSPS 科研費 23K11524 の助成を受けたものです．

参考文献

1) 街づくり区画整理協会：東日本大震災からの復興土地区画整理事業の記録，2020.
2) 杉本賢二，黒岩史，奥岡桂次，谷川寛樹：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，第 28 巻 2 号，pp.153-161，2015.
3) 谷川寛樹，井村秀文：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 -住宅地整備のケーススタディ，土木学会論文集，671 号，pp.II_35-II_48，2001.
4) Stein, J.L., J.A. Stein and Nix, H. A.: Spatial analysis of anthropogenic river disturbance at regional and continental scales: identifying the wild rivers of Australia, *Landscape and Urban Plannning*, Vol.60, No.1., pp.1-15, 2002.
5) 国土地理院：基盤地図情報 5m メッシュ（標高），<https://www.gsi.go.jp/kiban/index.html>，（入手 2023.6.5）．
6) 国土地理院：基盤地図情報（数値標高モデル）で提供しているデータについて，<https://fgd.gsi.go.jp/otherdata/spec/DEMgaiyo.pdf>，（入手 2023.6.5）．
7) 気仙沼市：気仙沼市震災復興計画，2011.
8) 原口強，今村文彦，菅原大助，岩松暉：津波詳細地図にみる東日本大震災の 10 年，p.50，古今書院，2022.