

標高の時系列変化に基づく 人為的土砂移動量の動態推計 —大阪府岬町におけるケーススタディー—

吉田 圭介¹・杉本 賢二²・奥岡 桂次郎²・谷川 寛樹²

¹学生会員 名古屋大学大学院 環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町D2-1)

E-mail: keisuke.cf@gmail.com

²正会員 名古屋大学大学院 環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町D2-1)

本研究では、土砂採取地を含む大阪府岬町全域をケーススタディ対象地に設定し、標高変化から土砂移動量を推計する手法の広範囲への応用にむけて、土砂動態を分析することで、人為的土砂移動が行われた地域の抽出を行った。土砂採取前のDEM(数値標高モデル)には基盤数値情報10mメッシュを、土砂採取後のDEMには基盤数値情報5mメッシュを用いて、土砂採取前後の体積差分と傾斜角変化、土地利用の変化をGIS(地理情報システム)を用いた。この結果、ケーススタディ対象地の人為的土砂移動が行われた地域の平均傾斜角は30°6'から 14°47'へと大きく減少し、標高変化が±5m未満かつ傾斜角の変化が±5°未満という条件において、人為的土砂移動が行われた地域を抽出することができた。

Key Words : DEM, GIS, soil and stone, hidden material flow, elevation change, land use change

1. はじめに

循環型社会を構築するためには、経済社会における物質フローを的確に把握し、廃棄物の抑制や循環利用をはじめ、物質全般を有効利用することが求められている¹⁾。わが国の総物質投入量は約18億tとされており、約7.8億t(43%)は国内資源であり、そのうちの約6.8億t(87%)は岩石や砂利、石灰石といった非金属鉱物が占めている。しかし、この数値には隠れたフロー(HMF:Hidden Material Flow)が含まれていない。HMFとは資源採取等に伴い採取・採掘されるか、または排出・廃棄される統計に表れない物質フローをいい、環境省総合環境政策局によると、国内外のHMFの合計は総物質投入量の約2倍である約36億tと推計されている²⁾。その内訳をみると、捨石・不用鉱物や建設工事に伴う掘削が大半を占めており、このような人間活動による広範囲な土砂の攪拌は、生物多様性や生態系サービスの損失、森林伐採に伴う土地景観の損失、荒地の増加などの自然環

境へ多大な影響が考えられる。また、建築物やインフラ敷設などに用いる将来の土砂資源の損失も懸念され、HMFを含む土砂の移動や攪拌を地理的条件を踏まえ正確に把握する必要がある。

人間活動による土砂移動に関する既往研究として、Rozsa(2007)³⁾によるGDPやエネルギー消費量から推計する研究や、坂本ら(2011)⁴⁾により統計資料に基づく産業連関分析による土石系資源循環フロー制御に関する研究が行われているが、これらの研究には地理的条件やHMFが含まれていない。また、土木・建築の分野において谷川ら(2011)⁵⁾により地形改変前後の標高の変化から切土・盛土分布やその量を把握する研究が行われているが、対象地域は情報量が豊富な狭い範囲での例が多く、汎用性が高いとはいえない。

一方で地球表層の状態を捉える情報の一つである数値標高モデル(DEM:Digital Elevation Model)の整備により、地理情報システム(GIS:Geographic

Information System)を用いることで、広範囲における土砂の移動に伴う標高変化を追跡できる環境が整ってきた。黒岩ら(2012)⁶⁾は ケーススタディ対象地に大阪府岬町の土砂採取地を設定し、土砂移動量および攪拌量を標高の経年変化から推計する手法を提案し、推計値と公表値を比較することで、手法の有効性を検討した。

しかし、HMFを把握するには標高変化から土砂移動量を推計する手法において、人為的な土砂移動と自然現象による土砂移動を区分する必要がある。人為的に土砂が移動されると、切土・盛土工法に見られるように標高や傾斜角の分布が不自然に変化し、平らな土地が生じ、土地利用の変化が生じるという特徴がある。そこで、本研究は、岬町全域をケーススタディ対象地とし、土砂の移動量を含めた地表面の傾斜角変化や土地利用変化に着目し、広範囲で土砂移動を分析することにより、人為的に土砂移動が行われた地域を抽出することを目的とする。

2. 研究手法

本研究の手順を図-1に示す。まず、土砂採取前と土砂採取後の標高データと土地利用細分メッシュデータを用意し、土砂採取地のラスターサーフェスを作成し傾斜角の変化を算出する。その後、範囲を岬町全体に拡大することで、土砂動態を分析する。

(1) 本研究で使用した標高データ

本研究で使用した標高データを表-1に示す。

基盤地図情報10mメッシュ⁷⁾は1972年から1999年に刊行された複数の1/25000地形図の等高線を基に作成され、二次メッシュを経度方向及び緯度方向にそれぞれ1000等分して得られる各区画の中心点の標

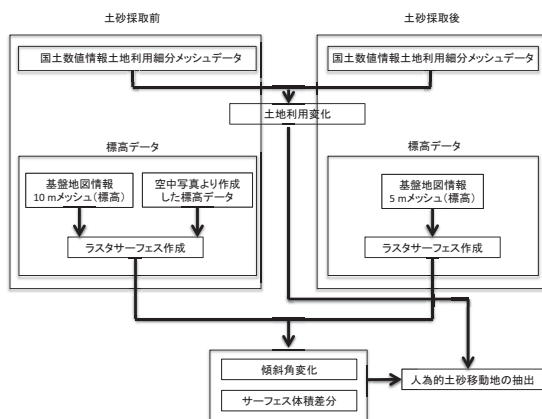


図-1 本研究の手順

高値が記録されており、標高点間隔の実距離は約10mとなっている。高さ精度は基データである1/25,000地形図の等高線の高さ精度(5m以内)に従い、標高点の標準偏差で5m以内とされている。

基盤地図情報5mメッシュ⁷⁾は、航空レーザ測量を基に作成され、レーザスキャナの照射による航空機と地上までの距離と、GPS測量、IMU(慣性計測装置)から得られる位置情報により整備されている。また、地表での経緯度差0.2秒(約5m)間隔で区切ったメッシュの中心点の標高が記録され、高さの精度は、標高点の標準偏差で0.3m以内とされている。

(2) 土地利用細分メッシュデータ

国土地数値情報土地利用細分メッシュデータとは、全国の土地利用の状況について、3次メッシュ1/10細分区画(100mメッシュ)毎に、各利用区分を整備したものである⁸⁾。

土地利用のデータは、DEMの測量年をふまえ、1987年度および2009年度の国土地数値情報土地利用細分メッシュデータを使用した。1987年度のデータは

表-1 本研究で使用した標高データ

	DEM	作成機関	データカバー域	データソース	測量／撮影年	高さ精度
土砂採取前 標高データ	基盤地図情報 10mメッシュ (標高)	国土地理院	日本全国	1/25000地形図	1989年	±5.0m
	空中写真より作成した DEM	玉野総合コンサル タント株式会社	日本全国	空中写真	1961年	±0.7m
土砂採取後 標高データ	基盤地図情報 5mメッシュ (標高)	国土地理院	日本全国 (一部地域除く)	航空レーザ 測量	2008年	±0.3m

表-2 土地利用細分メッシュデータの再分類

1987年 コード	2009年 コード	対応する内容
1	0100	田
2,3,4	0200	畑・その他農用地
5	0500	森林
6	0600	荒地
7	0700	建物用地
9	0901,0902	道路・鉄道用地
A	1000,1600	その他の用地
B	1100	内水地
E	1400	海浜
F	1500	海水域

主に1/25000土地利用現況図を基に、2009年度のデータは人工衛星データを基に作成されたデータである。各年度で土地利用の分類方法が異なるため、表-2に示す通り、再分類を行った。

標高変化と傾斜角変化に加えて、土地利用の情報を重ね合わせることで、人為的な土砂移動の動態分析を試みた。

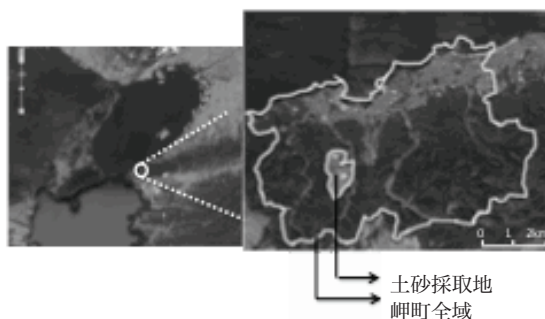
(3) ラスタサーフェスの作成

土砂採取前後の標高データから、ラスタサーフェスを作成した。ラスタは四角形のセルの配列であり、それぞれサーフェス上のカバーしている部分の値を格納する。本研究ではポイント形状のベクトルデータであるDEMをラスタに変換した。

メッシュサイズの異なるセルサイズは三次たため込み内挿法によりリサンプリングを行い、ラスタのセルサイズを5m四方に合わせ、各DEM間の比較を可能にした。ラスタにおける傾斜角は、対象セルとその8つの近隣するセルの値を比較し、セル間の距離に対する傾きが表される。

(4) 土砂移動の動態分析

ラスタサーフェスを基に、以下の式を用いて体積差分を算出することで土砂移動量の増減と、各時点における傾斜角の分布の算出を行った。ま



(出典: Google)

図-2 ケーススタディ対象全域

た、土地利用の変化も同時にみることで人為的土砂移動が生じた土地の抽出を行った。

$$\Delta E = \overline{E}_{2008} - \overline{E}_{1989} \quad (1)$$

$$\Delta S = \overline{S}_{2008} - \overline{S}_{1989} \quad (2)$$

ここで、 ΔE : 100mメッシュ内における標高の変化[m], $\overline{E}_{2008}$: 2009年における標高の平均値[m], $\overline{E}_{1989}$: 1989年における標高の平均値[m], ΔS : 100mメッシュ内における傾斜角の変化[°], $\overline{S}_{2008}$: 2009年における傾斜角の平均値[°], $\overline{S}_{1989}$: 1989年における傾斜角の平均値[°]である。

3. ケーススタディ対象地

本研究では、関西国際空港二期事業に伴う土砂採取期間、採取量が公表されている地域である大阪府泉南郡岬町多奈川地区を含む、岬町全域約49km²をケーススタディ対象地とした。岬町多奈川地区は2000年3月から2005年5月にかけて、採取土量は約7000万m³、土砂採取地面積は128haという人間活動による標高変化を伴った土砂移動が行われた。傾斜角の変化と土地利用の変化に着目することにより、人為的な自然環境の攪拌に伴う土砂移動と、自然現象による土砂移動とを区別する⁹⁾。図-2にケーススタディ対象地の位置を示す。

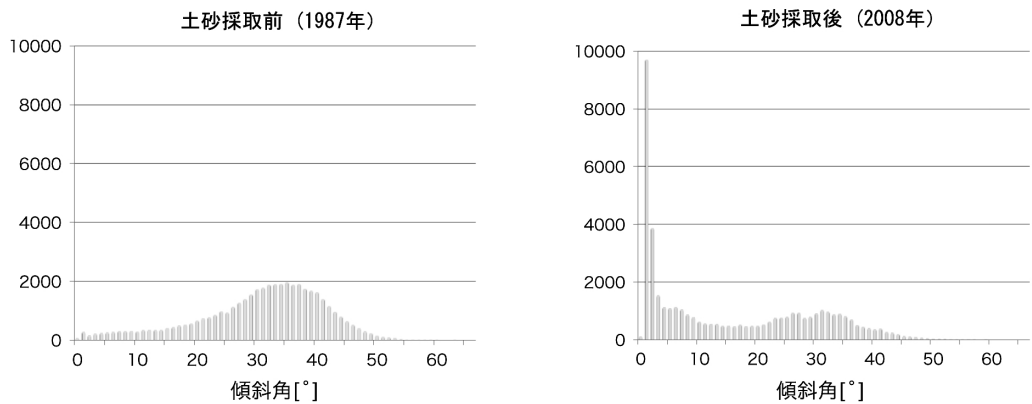


図-3 土砂採取前後の傾斜角分布のヒストグラム

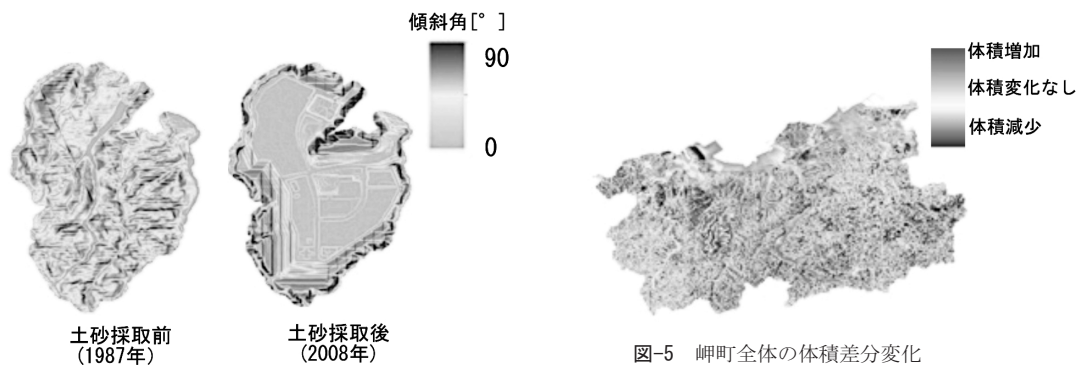


図-4 土砂採取前後の傾斜角

図-5 岬町全体の体積差分変化

4. 土砂移動の動態分析結果

(1) ラスタサーフェス傾斜角推計結果

はじめに、ケーススタディ対象地における土砂採取地に着目し、(2)式によって推計された傾斜角変化結果を図-3、図-4に示す。図-3の傾斜角のヒストグラムに示されるように、傾斜角の分布が大きく変化した。土砂採取前の標準偏差は10.65であったが、土砂採取後の標準偏差は14.01となった。図-4から、土砂採取後には、急勾配なり面に囲まれた平らな土地が広がっている様子が見られる。平均傾斜角は、土砂採取前は $30^{\circ}6'$ 、土砂採取後は $14^{\circ}47'$ となった。このように、人為的かつ大規模な土砂の移動が行われると、平らな土地が広がる一方で周囲のにり面が形成されるなど、傾斜角の変化がともなうことが多く、傾斜角の変化は人為的土砂移動を判別する上で、重要な要素だと考えられる。

(2) 土砂動態の分析結果

図-5に(1)式によって推計された体積差分変化、図-6に(2)式によって推計された土砂採取前後の傾斜角、図-7に土砂採取前後の土地利用を示す。また、岬町全体における、1メッシュあたりの標高変化および傾斜角変化の関係を表した散布図を図-8に示す。岬町全体でのメッシュ総数は4886メッシュであり、標高変化の平均値は-1.84m、傾斜角変化の平均値は $+2^{\circ}10'$ となった。

標高と傾斜角の関係に着目し、人為的土砂移動の生じた土地の特徴をみると、図-8に示されるように、標高の変化が ± 5 m未満かつ傾斜角の変化が $\pm 5^{\circ}$ 未満という両方を満たすメッシュは80メッシュ存在し、全て土砂採取地内に存在した。今回の対象地域である岬町においては、他の地域との区別が可能であった。

また、ケーススタディ対象地を含むメッシュの総数は、118メッシュであり、標高変化が ± 5 m以上または傾斜角変化が $\pm 5^{\circ}$ 以上であるものは38メッシュ

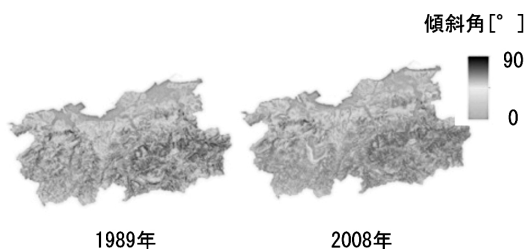


図-6 土砂採取前後の傾斜角

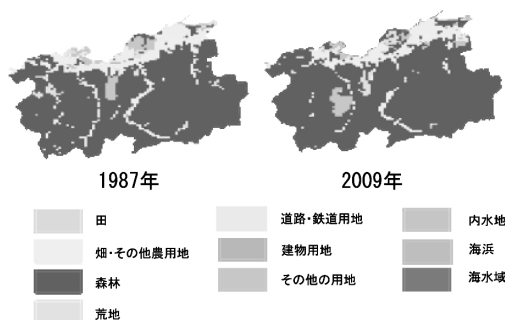


図-7 土砂採取前後の土地利用

存在し、全て、図-9に示すように土砂採取地のふちに当たる部分に分布していた。

(3) 土砂採取地の抽出

図-9より、土砂採取地内の平らな土地にあたる部分に、標高の変化が-5m未満かつ傾斜角の変化が-5°未満という両方の条件を満たすメッシュが分布しており、この条件において、岬町全域において土砂採取地を抽出することができた。また、平らな土地の周囲に、標高変化が-5m以上または傾斜角変化が-5°以上であるメッシュがみられ、切土・盛土工法のような人為的に土砂移動が行われた際の特徴が確認できた。

また、標高や傾斜角の変化に加え、土砂採取地内の土地利用変化をみることで土砂移動が行われた地域の抽出の検証を行った。土砂採取地内の土地利用は、1987年の土地利用が全て森林であったのに対し、採取後の2009年には、79%がその他の用地、21%が森林という区分になった。標高の変化が-5m未満かつ傾斜角の変化が-5°未満のメッシュ(図-9の□で示したメッシュ)において、1987年に森林であった土地が2009年にはその他の用地

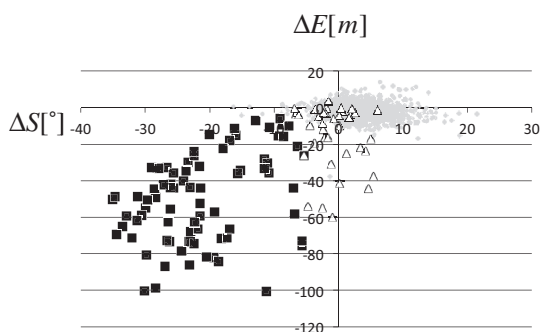


図-8 岬町全域におけるメッシュ当たりの傾斜角変化および標高変化

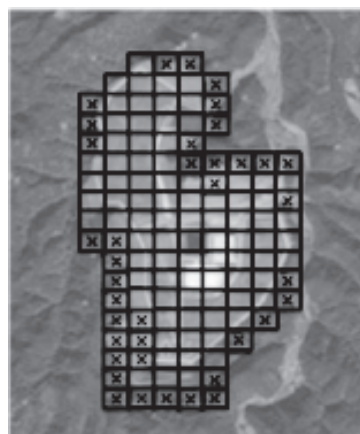


図-9 土砂採取地における傾斜角変化および標高変化の分布

と変化しており、人為的に土砂移動が行われた地域と判別することができた。

よって、このような大規模かつ人為的な土砂移動を捉えるためには、土地利用変化の情報のみでなく、標高や傾斜角の変化が重要な要素であると言える。

5. おわりに

本研究では、GISとDEMを用いた土砂移動量を経年変化から推計する手法において、広範囲への応用

の可能性を検討するため、地域を拡大して大阪府
岬町全体の土砂移動の分析を行った。

今回のケーススタディでは、対象地の傾斜角変化を推計すると、平らな土地が広がることで平均傾斜角は、土砂採取前の $30^{\circ}6'$ から土砂採取後の $14^{\circ}47'$ へと減少し、傾斜角のヒストグラムは大幅に変化した。具体的には、標高変化が -5° 未満かつ傾斜角変化が -5° 未満の土地は人為的に土砂移動が生じた地域で、 -5° 以上かつ傾斜角変化が -5° 以上の土地は土砂採取地を囲む地域となっていることが示された。

本手法の特徴は、広域地域において土地利用の経年変化に着目し、人為的な土地利用へと変化した区域を抽出し、標高変化と傾斜角変化の特徴に着目することで、人為的土砂移動が生じた土地の判別の可能性が示唆された。

今後の課題として、広域的かつ画一的に人為的土砂移動と自然現象による土砂移動を判別するため、いくつかのケーススタディ対象地で人為的土砂移動が生じた地域の標高変化と傾斜角変化を捉え、その特徴を正確に把握する必要がある。

謝辞：本稿は、環境省環境研究総合推進費(S-6-4, 1E-1105)、環境省循環型社会形成推進科学研究費補助金(3K11302)、日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究(A)25241027)の一環として行われたものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 環境省, 日本の物質フロー2006
- 2) 環境省総合環境政策局編, 平成21年度環境統計集
- 3) PETER ROZSA: Attempts at qualitative and quantitative assessment of human impact on the landscape, glaciologia, vol30, pp233-238, 2007.
- 4) 坂本光二, 中村裕文, 島岡隆行, 長谷川良二, 大迫政浩: 循環型・低炭素社会に向けた土石系資源循環のフロー制御に関する研究, 土木学会論文集G(環境), Vol67, No.6, ppII_235-242, 2011.
- 5) 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, pp35-48, 2001.
- 6) 黒岩史, 奥岡桂次郎, 杉本賢二, 谷川寛樹: 標高の時系列変化に基づく人為的な土砂移動量の推計に関する研究, 第40回環境システム研究講演集, pp35-40, 2012.
- 7) 国土地理院, 基盤地図情報サイト, <http://www.gsi.go.jp/kiban/>
- 8) GISホームページ 国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/jpgis/datalist/KsjTmplt-L03-b.html>
- 9) 大阪府ホームページ 岬町多奈川地区多目的公園計画に係る土砂採取事業, <http://www.pref.osaka.jp/kankyohozen/assess/tanagawa.html>

(2013. 7. 19 受付)

ESTIMATION OF DYNAMIC ANTHROPOGENIC DISTURBANCE BASED ON SURFACE ELEVATION CHANGE -CASE STUDY IN MISAKI-CHO, OSAKA PREFECTURE-

Keisuke YOSHIDA, Kenji SUGIMOTO, Keijiro OKUOKA and
Hiroki TANIKAWA

In this study we tried to expand the method to estimate the anthropogenic disturbance to soil and sand based on time series elevation change to large area. We conducted a case study focusing on Misaki-cho, Osaka Prefecture where a large scale extraction of soil and sand had been undertaken. The disturbed volume of soil and sand, slope change and land use change were calculated using time series DEM(Digital Elevation Model) on GIS(Geographic Information System). We used NLNI(National Land Numerical Information) 10m mesh as the pre-extraction DEM, and NLNI 5m mesh as the post-extraction DEM. Our estimation of the pre-extraction average slope was $30^{\circ}6'$, and post-extraction average slope was $14^{\circ}47'$. Using this method, we can determine the anthropogenic disturbance area under the condition of less than -5m of elevation change and less than -5° of average.