

Sentinel-2 を用いた教師なし学習による 大規模廃棄物埋立地の検索手法に関する研究

九州大学工学部 学生会員 ○上瀧 大樹

九州大学大学院 フェロー会員 島岡 隆行 正会員 杉崎 康弘

1. はじめに

アジアやアフリカなどの発展途上国では、近年の急速な経済発展及び爆発的な人口増加に伴い、廃棄物量が年々増加しており大規模な廃棄物処分場が建設・整備されつつある。しかしまだ廃棄物の回収がなされていない地域も多くあり、埋立処分場がどこにどれだけあるのか把握することは困難になっている。管理されていない埋立処分場からは浸出水が流れ出し環境を汚染するため、人体への悪影響を及ぼす場合がある。また CO₂ や CH₄ などの温室効果ガス、特に CH₄ が多く排出されているため地球温暖化への影響も及ぼしている。これらのことから埋立処分場の数、場所、広さ等を把握し、管理することが重要である。

本研究では、その解決策として衛星リモートセンシングを用いる。具体的には Sentinel-2 の衛星データを使用し、埋立処分場とその周辺の都市や森林、海などを対象として教師なし学習による土地被覆分類を行う。そして、その結果と解像度が高い衛星写真のデータを比較・分析することで、埋立処分場を特定する方法を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

2.1. 対象地域

本研究の対象地域をインドのムンバイ地区とした(図1)。インドは人口が中国とほぼ同数の世界第2位であり、ムンバイはインドの中で最も人口が多い都市である¹⁾。また、GDP もインド中で第1位であり、廃棄物排出量が多いことが考えられる。

解析対象範囲は、図1の赤枠の範囲(8.94km×11.88km)とし、青枠で示す2つの埋立処分場を含みつつ、都市や森林、海など様々な土地形態が含まれるよう選定した。

2.2. 埋立処分場の概要

本研究で解析対象とした埋立処分場は、図1の解析対象範囲内の真ん中下部に位置する Deonar 処分場と、右上に位置する Kanjurmarg 処分場である。

Deonar 処分場は、ムンバイ市の東部郊外であるシヴ

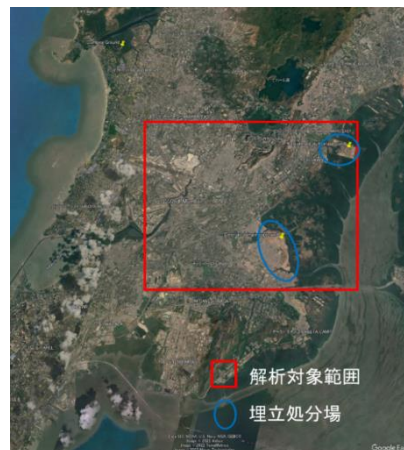


図1 対象地域及び解析対象範囲 @2022 Google

アージーナガルに位置し、1927年に設立されたインドで最も古い埋立処分場である。敷地面積は約132haに広がり、毎日約5500トンの廃棄物が積み重なっている。Kanjurmarg 処分場は、ムンバイの中東部郊外であるカンジュールマルグに2015年に設立された。敷地面積は約141haに広がり、市内で最大の埋立処分場である。毎日約4000トンの廃棄物が積み重なっている。

2.2. 使用した衛星データ

本研究では衛星データとして Sentinel-2 を使用した。データの撮影日は2022年12月3日である。Sentinel-2 は可視光から短波赤外までの11個のバンドに分かれている²⁾。またこれらのデータ以外に、NDVI、GRVI、NDMI、NDWI、MNDWI を用いた。求め方は以下の通りである。

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4} \quad GRVI = \frac{B3 - B4}{B3 + B4}$$

$$NDMI = \frac{B8 - B11}{B8 + B11} \quad NDWI = \frac{B4 - B11}{B4 + B11}$$

$$MNDWI = \frac{B3 - B11}{B3 + B11}$$

またデータの標準化を行い、偏差値として使用した。

2.3. 分析内容

解析手法は、教師なし学習による階層的クラスタリングを用いた。最も似ている組み合わせから順番にまとまりにしていく方法で、クラスター間の距離を定量的に把握することができる。なおデータ間の距離測定方

法にはユークリッド距離、クラスター間の距離測定方法にはウォード法を用いた。解析結果の樹形図（デンドログラム）及び結果を地図上に表すことで、埋立処分場がどのように分類されるのかを確認した。

3. 結果と考察

解析結果のデンドログラムの様子を図 2 に示す。このデンドログラムから埋立処分場が同一のクラスで分類されれば、埋立処分場の特定が可能になる。そのためまずデンドログラムから 2 つの埋立処分場全体が 1 つのクラスターで分けられる最大のクラス数を探した。その結果クラスを 5 つで分ければよいことが分かり、埋立処分場はクラス 3 に分類された。しかしその時、ムンバイ市内にある空港（チャトラパティ・シヴァージー国際空港）や図中の白枠で囲ってあるスラム街も同じクラスで分類された（図 3 参照）。埋立処分場は単独で分類されなかった。

次に、埋立処分場と空港、スラム街それぞれのデータ値を比較し、分析した。表 1 にその結果を示す。

埋立処分場と空港を比較すると、B1～B5 の平均値は空港が 70 前半の値、埋立処分場の値が 50～65 の間にあり、空港の方が高くなっていることが分かった（表 2 参照）。また表 3 に場所ごとの埋立処分場 1 との平均値の差を示す。これを見ると、B5 では処分場同士での差は小さいが、空港・スラム街との差は大きくなっている。このことから B5 の値を比較することで処分場と空港、スラム街を区別できる可能性が考えられる。

4. 結論

本研究の結論として以下のようにまとめられる。

- (1) Sentinel-2 のデータを用いてインドのムンバイ地域を階層的クラスタリングで分類した。その結果、全体を 5 つのクラスで分類した際に、埋立処分場を 1 つのクラスで分類できた。但し、このクラスには、埋立処分場以外に、空港やスラム街も含まれた。
- (2) 埋立処分場と空港において、B1～B5 (B1～B4 が可視光、B5 が近赤外のスペクトル) のそれぞれの平均値は、空港の方が高い値であった。
- (3) 埋立処分場と空港とスラム街において、B5 (可視光のスペクトル) の値に差があった。この差によって、これを分別できる可能性が考えられる。
- (4) 埋立処分場の検索手法の確立に向けて、本手法と合わせて、SAR データを用いた土地の高度変化の検出や

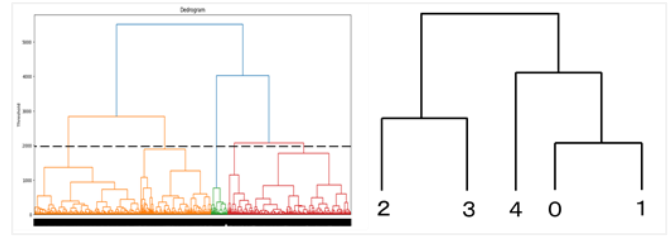


図 2 デンドログラム

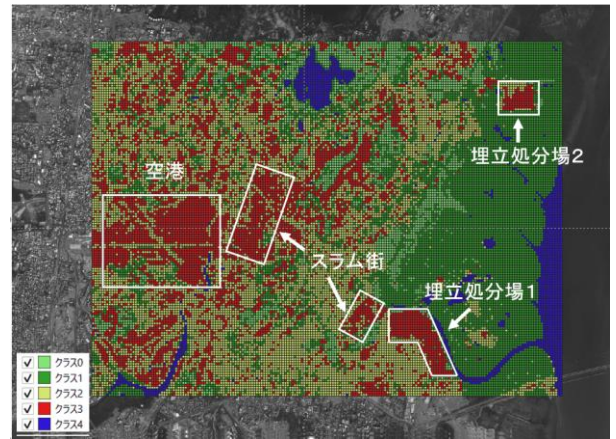


図 3 分類結果 (クラス数 : 5)

表 1 場所によるデータ値比較

	class	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	
処分場1	3	平均	51.12832	53.49486	57.11327	60.90219	64.01249	61.73591	60.87058
		分散	23.24996	29.48804	33.99706	42.35702	35.55519	21.48956	21.35283
処分場2	3	平均	61.21794	60.67939	61.99979	65.04689	65.1334	57.33226	55.81619
		分散	130.0057	146.49	126.5284	70.34568	75.34876	49.46457	32.48263
空港	3	平均	72.0778	70.82446	72.92718	71.62817	72.04303	61.44952	58.16699
		分散	256.4566	225.4818	233.4493	135.4819	130.8234	72.14725	52.9202
スラム街	3	平均	63.52319	62.33019	60.08263	60.7933	58.55706	48.82313	48.35195
		分散	13.4626	13.01337	11.39177	7.429173	9.076513	9.794255	9.042149

B8	B9	B11	B12	NDVI	GRVI	NDMI	NDWI	MNDWI
61.54901	61.47967	65.93665	61.44432	50.54138	33.61943	41.45224	41.23183	37.44461
23.17922	16.75006	18.3869	29.91622	35.6246	37.77825	26.18554	12.76935	7.088994
55.80825	51.1774	63.67527	62.64871	43.81523	32.48044	38.86524	47.01575	42.2461
25.47892	21.38514	52.6638	81.539	18.88735	21.0787	15.4694	13.31683	9.427432
57.31764	57.40163	65.85579	65.25709	40.81846	37.14829	37.90212	49.82965	46.14744
50.24777	41.43705	55.10302	23.19015	51.02721	15.38192	12.60939	115.8966	106.4932
49.79389	50.23214	61.63197	64.46299	41.96595	39.60462	34.98752	45.55871	42.99772
7.361733	5.558811	6.324611	6.4717	3.180479	3.703739	8.414862	6.965533	6.563575

表 2 埋立処分場と空港の平均値の差

		B1	B2	B3	B4	B5
処分場1	平均	51.1283	53.49486	57.11327	60.90219	64.01249
処分場2	平均	61.2179	60.67939	61.99979	65.04689	65.1334
空港	平均	72.0778	70.82446	72.92718	71.62817	72.04303

表 3 埋立処分場 1 との平均値の差

		B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
処分場2	平均	-10.09	-7.18454	-4.88652	-4.14471	-1.12091	4.403643	5.054389
空港	平均	-20.949	-17.3296	-15.8139	-10.726	-8.03054	0.28639	2.703596
スラム街	平均	-12.395	-8.83533	-2.96936	0.108883	5.455422	12.91277	12.51863

B8	B9	B11	B12	NDVI	GRVI	NDMI	NDWI	MNDWI
5.740766	10.30226	2.261383	-1.20439	6.726152	1.138987	2.586998	-5.78393	-4.80149
4.231368	4.078034	0.080861	-3.81277	9.722926	-3.52886	3.550121	-8.59783	-8.70282
11.75512	11.24752	4.304677	-3.01867	8.575436	-5.98519	6.464717	-4.32688	-5.55311

熱赤外スペクトルの観測による地温の比較が考えられる。

参考文献

- 1) UNFPA : State of World Population, 2022
- 2) 一般社団法人リモート・センシング技術センター <https://www.restec.or.jp/satellite/sentinel-2-a-2-b>