

衛星リモートセンシングによる大規模廃棄物処分場のモニタリング手法の検討

九州大学大学院 学生会員○石崎 俊夫 九州大学大学院 正会員 島岡 隆行
九州大学大学院 正会員 中山 裕文 九州大学大学院 学生会員 小宮 哲平
応用地質（株） 真鍋 和俊

1. はじめに

近年、急速な成長を遂げつつあるアジア地域の都市では、人口増加やライフスタイルの変化等にもない、廃棄物発生量が年々増加している。特に、数百万の人口を抱える巨大都市（メガシティ）では、増え続ける廃棄物を衛生的に処理・処分するために、100haを超える広大な面積を有する廃棄物処分場が建設・整備されつつある。このような大規模処分場を管理するためには多大な労力やコストを要すことから、より効率的なモニタリング手法が求められている。ここで、広域をモニタリングする手法として、衛星リモートセンシングを利用することが考えられる。そこで本研究では、中国上海市の老港廃棄物処分場をケーススタディとし、衛星リモートセンシングを用いた大規模廃棄物処分場のモニタリング手法について検討した。

2. 分析内容

2. 1 老港廃棄物処分場の埋立進捗状況の把握

本研究において対象とした老港廃棄物処分場は、中国上海市の南東部に位置する長さ約 4km、幅約 800m、面積約 300ha の大規模な廃棄物処分場であり、上海市中心地区から発生する生活ごみを受け入れている。この老港廃棄物処分場の埋立進捗状況を把握するために、3 時期の衛星画像（2002 年 4 月 11 日、同年 8 月 23 日、同年 10 月 26 日）を用いて地表面被覆分類を行い、老港廃棄物処分場の地表面状況の変化を把握することを試みた。今回用いた衛星画像は ASTER であり、可視～短波長赤外波長域に 9 つのバンド、熱赤外波長域に 5 つのバンドを有する。空間分解能は 15m（可視近赤外）、30m（短波長赤外）、90m（熱赤外）である。また、ASTER 画像による解析結果の整合性を確認するためのグラントゥルースデータとして、2002 年 7 月 11 日の QuickBird 画像（空間分解能は、パンクロマチック画像が 0.61m、マルチスペクトル画像が 2.44m）を用いた。

分類に用いた項目は、老港廃棄物処分場内の代表的な地表面被覆要素である廃棄物、覆土、コンクリート、植生、水域・雲の 5 つである。まず、分類項目のうち、植生、水域・雲、コンクリートは特徴的な分光放射特性を有するため、これらを先に分類した。次に、廃棄物と覆土は分光放射スペクトルが類似しているため、次のような手法により別途分類した。まず、廃棄物と覆土について、衛星画像からバンドごとのデータ（DN 値）を取り出し、バンド n における DN 値を DN_n とおくと、物質 X の分光放射ベクトルを式(1)のように表せる。

$$V_x = (DN_1, DN_2, \dots, DN_n) \quad \dots(1)$$

次に、廃棄物と覆土の分光放射ベクトルを V_w、V_s とすると、その内積は、式(2)で表される。

$$V_w \cdot V_s = |V_w| |V_s| \cos \theta \quad \dots(2)$$

式(2)を変形すると、

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{V_w \cdot V_s}{|V_w| |V_s|} \right) \quad \dots(3)$$

となり、θ は、分光放射ベクトル V_w と V_s のなす角を表している。θ の値が小さいほど 2 つのベクトルは類似しており、大きいほど異なることを表す。この θ を計算することにより、2 つの物質の分光放射特性の違いを評価することができる。ここでは、廃棄物と覆土を分類するための最適なバンドの組み合わせを探索するため、ASTER 画像の 9 つのバンド（熱赤外を除く）のすべての組み合わせについて θ を計算した。その結果、廃棄物と覆土を分類するためには、VNIR2（波長 0.63～0.69 μm）、SWIR4（同 2.235～2.285 μm）、SWIR5（同 2.295～2.365 μm）、SWIR6（同 2.360～2.430 μm）の 4 つのバンドを用いるのが最適であるという結果が得られた。そこで、あらかじめ植生、水域・雲、コンクリートを除去した衛星画像において、これら 4 つのバンドを用いて廃棄物と覆土の分類を行った。なお、ASTER 画像と同時期に撮影された QuickBird 画像をグラントゥルースデータとして用い、ASTER 画像による被覆分類の結果

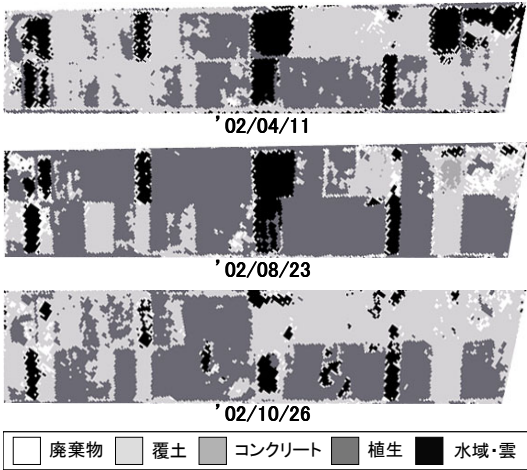


図-1 各時期における地表面被覆分類の結果

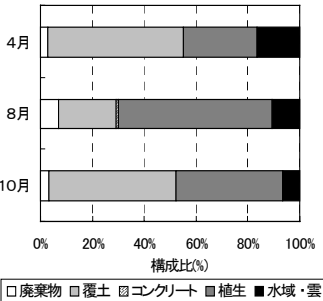


図-2 各時期における被覆分類項目の構成比

表-1 4月から8月にかけての地表面被覆の変化

4月の状況	8月の状況	比率(%)
覆土	廃棄物	3.2
植生		0.7
水域		2.2
小計		6.0
廃棄物	覆土	1.1
植生		2.0
水域		3.5
小計		6.6
水域	コンクリート	0.8
廃棄物	植生	0.8
覆土		32.0
水域		1.2
小計		34.0
覆土	水域	1.4
変化なし		51.3
合計		100

が整合するように調整した。図-1 は各時期における地表面被覆分類の結果、図-2 は各時期における被覆分類項目の構成比、表-1 は4月から8月にかけての地表面被覆の変化割合である。これらの結果より、老港廃棄物処分場内の埋立進捗状況を把握できた。

2.2 老港廃棄物処分場の地表面被覆状況と地表面温度との関連性

老港廃棄物処分場では、廃棄物を焼却せずに直接埋め立てているため、有機物等の微生物分解により廃棄物が発熱していると考えられる。そこで、2002年4月11日、同年8月23日のASTER画像のTIR(熱赤外)バンドを用いて、老港廃棄物処分場の地表面温度分布を求め、地表面被覆分類の結果と比較した。

まず、ASTER画像の5つのTIRバンドのDN値をそれぞれ放射輝度に変換し、プランクの逆関数式を用いて輝度温度を計算した。さらに、大気の影響を考慮した多チャンネル温度推定式¹⁾を用いて、老港廃棄物処分場内の地表面温度分布を推定した。図-3に4月および8月の老港廃棄物処分場内の地表面温度分布を示す。前出の図-1と図-3を比較すると、図-1において廃棄物に分類されている箇所は図-3では周囲よりも地表面温度が高い傾向がみられた。

2.3 埋立完了区画における植物活性度と埋立ガスとの関連性

ある種類の植物の発芽率は、酸素、二酸化炭素、メタンガス等のガス濃度に影響を受けることが知られている。例えば、野口²⁾や志村³⁾は、畑雑草や牧草の中には酸素濃度5%以下あるいは二酸化炭素濃度20%以上の環境下では著しく発芽率が低下する種があることを指摘しており、また、長野⁴⁾は、覆土中のメタンガス濃度が高いと発芽しない植物があることを述べている。また、発芽後についても、植物の生育状況とガス濃度にはある程度の相関があると考えられる。このため、埋立完了後の区画におけるガス組成と植物の活性度との間には何らかの相関があることが予想される。そこで、ここでは、衛星画像を用いて正規化植生指標(NDVI: Normalized Difference Vegetation Index)を計算することにより、埋立完了後の区画における植物活性度を把握した。さらに、埋立完了からの期間が異なる区画においてガス濃度を実測し、植物活性度とガス濃度との関連性の把握を試みた。

まず、2003年8月18日に老港廃棄物処分場において現地調査を行った。その際、埋立完了からの経過期間が異なる区画において、メタンガス、二酸化炭素、酸素、硫化水素の濃度を測定した。表-2に各区画におけるガス濃度の平均値を示す。これを見ると、埋立完了後1年以内の区画では、酸素濃度は3%と極端に低く、逆に二酸化炭素濃度は43%、メタンガス濃度は37%と高い値を示しており、植物の生育が阻害されるようなガス条件にあるといえる。また、完了後2年程度経過した区画では、メタンガス濃度、二酸化炭素濃度が減少し、酸素濃度が上昇している。

次に、2002年4月11日、同年8月23日のASTER画像を用いて、2002年4月から8月にかけてのNDVI変化(図-4参照)と、埋立完了からの経過時間が異なる5区画のNDVIの平均値およびその差(図-5参照)をそれぞれ求めた。図-5を見ると、埋立完了後1年以内の区画では、完了後1年以降の区画と比べてNDVIの増加量が小さいことがわかる。

ここで、表-2に示したように、埋立完了後1年以内の区画における表層覆土内のガス組成は、植物の生育が阻害されるような条件となっている。また、この区画では、図-5のように、NDVIの増加量が小さく、植物の生育度が低いと考えられる。これらの結果から、NDVI変化量は、埋立ガスによる植物の生育への阻害の程度を評価するための指標として利用できる可能性が示された。

3. おわりに

本研究での分析により、以下の結果を得た。

- (1) 異なる時点の衛星画像について地表面被覆分類を行うことにより、埋立地の埋立進捗状況を把握できた。
- (2) 地表面に廃棄物が露出している箇所の地表面温度が高いことが衛星画像からも確認できた。
- (3) 植物活性度(NDVI)の変化を用いることで、植物の生育を阻害する埋立ガスの発生状況を推定できる可能性を示した。

(1)より、衛星リモートセンシングを廃棄物処分場の埋立進捗状況のモニタリングに適用することが可能であり、(2)、(3)より、安定化モニタリングへ適用できる可能性が示唆された。今後は、NDVIと任意のガス組成との関連性について明らかにしていく予定である。

【参考文献】 1) 松永恒雄: ASTER TIRの観測輝度温度の線形式を利用した水面温度推定—日本周辺の気温及び湿度データを用いた推定誤差の予備評価—, 日本リモートセンシング学会誌, Vol.16, No.5, pp.2-13, 1996 2) 野口勝可ほか: 畑雑草種子の発芽とガス条件との関係, 雑草研究, Vol.26(別号), pp.107-108, 1981 3) 志村清ほか: 暖地型牧草の発芽に及ぼす酸素及び炭酸ガス濃度の影響, 日本草地学会誌, Vol.25(別号), pp.39-40, 1979 4) 長野修治ほか: 埋立地の安定化指標に関する研究, 廃棄物処理対策全国協議会第39回全国大会講演集, pp.164-167, 1988 5) 大野博之ほか: 廃棄物埋立地表層の広域的な環境地盤工学的特性のモニタリング, 第5回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, pp.11-16, 2003

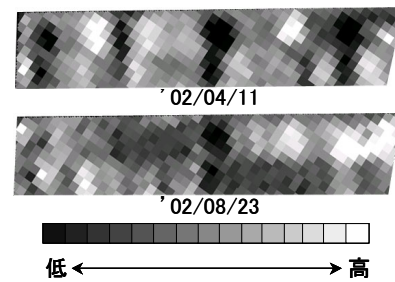


図-3 4月および8月の地表面温度分布

表-2 現地ガス調査結果

ガス成分	埋立中	完了後 1年以内	完了後 2年程度
CH ₄ (%)	13	37	15
CO ₂ (%)	0	43	19
O ₂ (%)	13	3	14
H ₂ S (ppm)	0	649	0

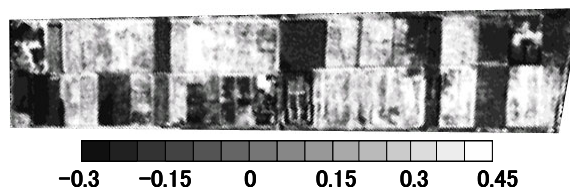


図-4 4月から8月にかけてのNDVI変化

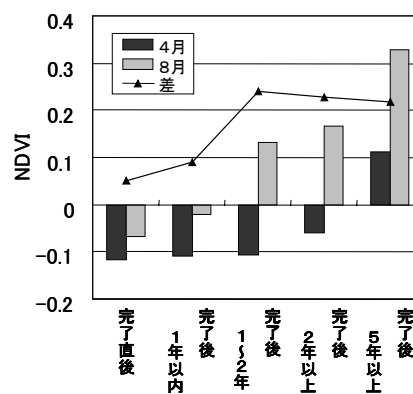


図-5 4月、8月における区画別のNDVIとその差