

衛星リモートセンシングによる 大規模廃棄物処分場管理手法に関する研究

石崎 俊夫¹・島岡 隆行²・中山 裕文³・小宮 哲平⁴・真鍋 和俊⁵

¹学生会員 九州大学大学院 工学府都市環境システム工学専攻 (〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1)

E-mail:t-ishizaki@ies.kyushu-u.ac.jp

²正会員 工博 九州大学大学院教授 工学研究院環境都市部門 (同上)

³正会員 博(工) 九州大学大学院助手 工学研究院環境都市部門 (同上)

⁴学生会員 修(工) 九州大学大学院 工学府都市環境システム工学専攻 (同上)

⁵応用地質株式会社 九州支社環境計画部 (〒811-1302 福岡市南区井尻 2-21-36)

本研究では、中国有数の大規模廃棄物処分場である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。具体的には、老港廃棄物処分場の埋立進捗状況の把握、地表面被覆状況と地表面温度との関連性、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について分析した。その結果、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処分場の埋立進捗状況を把握できること、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ること、植物活性度 (NDVI) の増加量を用いることで埋立ガスの発生状況を間接的に把握できる可能性を示した。

Key Words: satellite remote sensing, large-scale landfill site, monitoring,

Normalized Difference Vegetation Index, landfill gas

1. はじめに

近年、アジアの多くの発展途上国は、急速な都市化・工業化を遂げつつある。産業が集積した都市部とそうでない非都市部（農漁村）との間の所得格差の拡大から、雇用機会を求めて多くの人々が都市部に流入し、急激な都市人口の増加が引き起こされている。こうした中で、中国の北京や上海、韓国のソウルなどのように人口1,000万人を超える巨大都市（メガシティ；Mega City）が誕生した。国連の世界都市化予測^{1),2)}によると、2015年には、世界に26都市存在するメガシティのうち18都市がアジアに集中すると予測されている。また、経済発展による都市住民の所得向上により、耐久消費財の急速な普及や包装用の紙・プラスチック類の消費拡大など、アジアの発展途上国の都市における住民のライフスタイルは大幅に変化している。

このような社会的・経済的要因により、アジアの発展途上国の各都市では、ごみの発生量が年々増加している。世界銀行の都市開発セクター・ユニットの予測^{1),3)}によると、2025年までにアジアの都市ごみ発生量は、日

本などの高所得国ではあまり増加しないものの、低所得国や中所得国を中心に急速に増加すると予測されている。この予測結果に沿った場合、現在、アジア全体で1日当たり約76万トン発生している都市ごみが、2025年には約180万トンに拡大することになる。

年々増加する廃棄物を衛生的に処理・処分するため、アジアのメガシティでは大規模な廃棄物処分場が建設・整備されつつある。それらは100haを超える面積を有しているが、この広大な廃棄物処分場を適切に管理・運営することは容易ではない。廃棄物処分場の主な管理項目として、廃棄物搬入管理、埋立作業管理、各施設・設備管理、環境管理の4つが挙げられる。このうち、環境管理では、埋立地供用中から廃止に至るまでの期間において、周辺環境への影響や埋立地の安定化度を調査するため、水質（地下水、浸出水、放流水）、埋立ガス、廃棄物層内の温度、沈下量などのモニタリング調査が定期的に行われている⁴⁾。しかし、このような調査が大規模廃棄物処分場で行う場合、多大な時間、労力、コストを要し、定期的なモニタリングを行うことは困難を極める。また、現行のモニタリング調査は、モニタリング井

戸やガス抜き管などの廃棄物処分場内のある特定の観測点においてなされるが、廃棄物処分場は場所によって状況が大きく異なるため、現行の手法では廃棄物処分場内全体の状況を把握できないという課題が残されている。特に、広大な面積を有する大規模廃棄物処分場を対象にモニタリングを行う場合にはこの傾向はより顕著になる。

以上のような大規模廃棄物処分場管理における問題点を解決する1つの手段として、“衛星リモートセンシング”を利用することが考えられる。衛星リモートセンシングを適用する利点として、①広域かつ面的に廃棄物処分場内の環境情報を取得できる、②定期的・周期的なデータ入手が可能、③過去に遡りデータ入手が可能等が挙げられる。そこで、衛星リモートセンシングと現行の手法を組み合わせることにより、例えば、衛星リモートセンシングで廃棄物処分場内を広域的（マクロ）に調査して異常箇所を検出し、その場所について現地で詳細（ミクロ）に調査する等、モニタリングの省力化と正確性の向上を図ることが可能になる。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。具体的には、①老港廃棄物処分場における埋立進捗状況の把握、②埋立状況と温度分布との関係の把握、③埋立完了後の区画における植生分布とガス発生状況との関係について分析した。

2. 老港廃棄物処分場の概要

本研究において対象とした上海市老港廃棄物処分場

は、長さが約4km、幅が約800mあり、埋立面積約300haの中国最大規模の廃棄物処分場である。この処分場は、上海市中心市街地から南東方向に約42km離れたところに位置しており、市街地から発生するごみを受け入れている。上海の市街地から発生する都市ごみの量は、1日平均約1万トン（2002年）であり、そのうち約70%が老港処分場に埋め立てられている。1989年の供用開始から2003年8月までの間に、約2,500万トンの廃棄物が埋立処分されたと記録されている。埋立処分されるごみの組成は、有機物が約45%、無機物が約45%、不燃物が約10%となっている。

老港廃棄物処分場の埋立方式は嫌気性埋立である。各埋立区画（1区画は5～10ha）において、埋立高が約4～8mになるまで廃棄物が埋め立てられ、その後、最終覆土（厚さ30～50cm）が施される。即日覆土は行われていない。埋立地の底部は、難透水性の地盤あるいはコンクリートで遮水されており、集水管が敷設されている。2003年8月に、老港廃棄物処分場において撮影した写真を図-1に示す。

3. 衛星リモートセンシングによる大規模廃棄物処分場モニタリング手法の検討

（1）使用した衛星データ

今回用いた衛星画像は、2002年4月1日、同年8月23日、同年10月26日の3時期のASTER画像である。これらはいずれも、現地時間午前10時40分前後に撮影された。ASTER画像は、可視～短波長赤外波長域



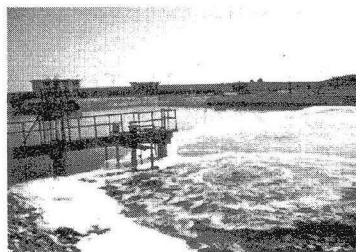
埋立中の区画



覆土された区画



埋立完了後、植生が繁茂した区画



浸出水処理施設

図-1 老港廃棄物処分場の概観

に9つのバンド、熱赤外波長域に5つのバンドを有し、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⁵⁾。この画像は1シーン(60km×60km)あたりの価格が他の衛星画像と比較して安く、定期的なモニタリングに適していると考えられる。また、ASTER画像による解析結果のグランドトゥルースデータとして、同時期(2002年7月11日)に撮影された高分解能のQuickBird画像を用いた。QuickBirdデータは、可視～短波長赤外波長域に4つのバンドを有し、空間分解能は、パンクロマチック画像が衛星直下で0.61m、マルチスペクトル画像が衛星直下で2.44mである⁶⁾。

(2) 老港廃棄物処分場の埋立進捗状況の把握

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1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った。4月と8月については、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、植生、水域、コンクリート(遮水工)の計5項目に分類した。10月については、上記の5項目に加え、10月の画像のみに存在する雲を加えた計6項目に分類した。

本研究では、地表面被覆分類を行うための手法として、スペクトル・パターン分析⁷⁾を採用した。これは、一般的な手法である教師付き分類による被覆分類結果よりも、良い精度を得たためである。特に、教師付き分類では、覆土箇所が廃棄物として分類される誤りが多く確認された。なお、分類結果の精度評価は、同時期に撮影された高分解能衛星 Quickbird の画像をグランドトゥルースデータとし、目視により行った。

以下にスペクトル・パターン分析を用いた地表面被覆分類法の概略について説明する。まず、衛星画像からバンドごとのピクセルデータ(DN値: Digital Number)を取り出す。そして、バンドnにおけるDN値をDN_nとすると、物質Xの分光放射ベクトルを次式(1)のように表すことができる。

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

次に、異なる2つの物体の分光放射ベクトルをV_A、V_Bとすると、その内積は次式(2)で表される。

$$V_A \cdot V_B = |V_A| |V_B| \cos \theta \quad (2)$$

式(2)を変形すると、

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{V_A \cdot V_B}{|V_A| |V_B|} \right) \quad (3)$$

となり、θは、分光放射ベクトルV_AとV_Bのなす角を表している。この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。したがって、この

θを計算することにより、各物質の分光放射特性の違いを評価でき、また、θの違いを利用して、各物体を分類することができる。

以上の手法により被覆分類を行うにあたり、まず、特徴的な分光放射特性を有することから分類が容易と考えられる水域、雲、コンクリート、植生について分類作業を行った。手順としては、各時期のASTER画像から水域、雲、コンクリートと被覆が判明している箇所について、バンド1(VNIR1)～バンド9(SWIR6)までの9つのバンドのDN値をそれぞれ取り出し、基準となる分光放射ベクトルを作成した。次に、画像全体のピクセルについて、基準となるベクトルとのなす角θをそれぞれの分類項目ごとに計算した。その結果作成された画像と、高分解能のQuickbird画像とを見比べながら、適当な閾値を設定してそれぞれの被覆項目を分類した。なお、コンクリート(埋立直前の区画)は8月の画像のみに、雲は10月の画像のみに存在した。植生に関しては、NDVI(正規化植生指標; Normalized Difference Vegetation Index)を判定指標としてその閾値を設定し、その箇所が植生であるか否かを判定した。各分類項目に対して設定した閾値を表-1に示す。

次に、廃棄物と覆土の分類を行った。ここで、図-2に示すように、廃棄物と覆土は反射スペクトルの全体的な形状が類似している。このため、上述した手法のようにASTER画像のすべてのバンド(バンド1～9)を用いてθを計算しても、廃棄物と覆土をうまく分類できなかった。廃棄物と覆土を識別するためには、両者の違いを最も表現できるバンドの組み合わせを検討する必要がある。そこで、衛星画像上で明らかに廃棄物及び覆土と判明している数箇所を無作為に抽出し、それらのピクセルデータ(DN₁～DN₉)をもとに覆土と廃棄物を識別する上で最適なバンドの組み合わせを算出した。

表-1 各時期の地表面被覆分類における閾値

判定指標	分類項目	4月	8月	10月
θ	廃棄物	2.0	2.0	2.0
	コンクリート	-	1.6	-
	水域	9.0	12.0	7.0
	雲	-	-	1.5
NDVI		-	-	1.9
	植生	0.0	0.1	0.0

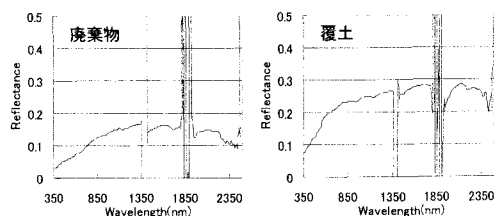


図-2 廃棄物と覆土のスペクトルパターンの類似性

まず、考える全てのバンドの組み合わせ ($2^9-10=502$ 通り) について、廃棄物と覆土の分光放射ベクトルのなす角 θ を計算した。次に、任意のバンドの組み合わせ m ($m=1 \sim 502$) に対して、4通りの $\theta_{m,i}$ ($i=1 \sim 4$: 1種類の廃棄物と4種類の覆土の分光放射ベクトルのなす角) を計算し、それぞれのバンドの組み合わせにおける最小の θ_m を求めた (式 (4) 参照)。その中で θ_m が最大となるバンドの組み合わせを最適なバンドとした (式 (5) 参照)。このような方法により、どんな覆土に対しても、 θ の違いが大きくなるバンドの組み合わせを求めることができる。

$$\theta_m = \min \theta_{m,i} \quad (4)$$

$$\theta = \max \theta_m \quad (5)$$

以上のような計算の結果、廃棄物と覆土を分類するためには、ASTERのバンドのうち、バンド2 (VNIR2:波長 $0.63 \sim 0.69 \mu m$)、バンド7 (SWIR4:同 $2.235 \sim 2.285 \mu m$)、バンド8 (SWIR5:同 $2.295 \sim 2.365 \mu m$)、バンド9 (SWIR6:同 $2.360 \sim 2.430 \mu m$) 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、あらかじめ水域、雲、コンクリート、植生を除去したASTER画像において、これら4つのバンドを用いて θ を計算した。計算の結果得られた画像と、Quickbird画像とを比較し、分類のための閾値 (この場合 $\theta = 2.0$) を設定した。

最後に、水域、雲、コンクリート、植生及び廃棄物に分類した箇所以外のすべての箇所を覆土とした。なお、各時期の衛星画像には、あらかじめ輝度補正および幾何補正を施してある。

以上のようにして各時期における地表面被覆を分類した結果を図-3に示す。ここで、図-3の各画像の右上及び左の丸で囲んだ区画に注目すると、4月の画像では水域になっている部分が、8月には廃棄物になり、10月には覆土になっているといった地表面被覆の変化が読み取れる。現地ヒアリング結果より、これらの区画は、今回使用した画像が撮影された2002年に埋め立てが行われていた区画であった。また、図-4に各時期における被覆分類項目の構成比、表-2に4月から8月にかけての地表面被覆の変化割合を示した。衛星画像を用いた地表面被覆分類によって得られたこれらの図表より、ある程度定量的に地表面被覆の変化を把握できる。

このように、異なる時期の衛星画像を用いて地表面被覆分類を行うことにより、老港廃棄物処分場内の埋立進捗状況を把握することができた。

(3) 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

埋立処分された廃棄物は、有機物を含んでいる場合、

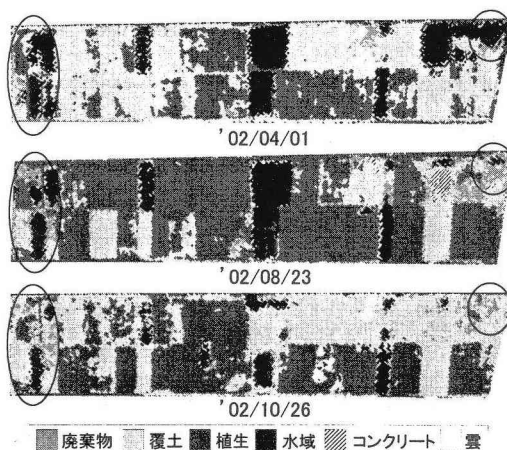


図-3 各時期における地表面被覆分類の結果

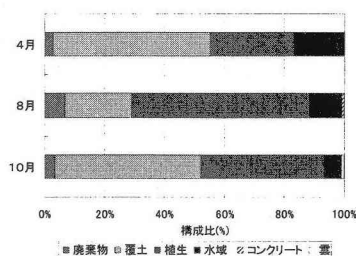


図-4 各時期における被覆分類項目の構成比

表-2 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		6.1
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		0.8
覆土	植生	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

地中で微生物分解を受け発熱する。老港廃棄物処分場では、焼却処理されていない廃棄物が直接埋立てられているため、有機物を多く含んだ廃棄物が発熱していると考えられる。つまり、微生物分解反応が活発な区画では、その影響が地表へ及び、地表面温度が高くなっていると考えられる。

そこで、ここでは、2002年4月1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。一般的に、陸域の地表面温度分布を求める際には、地表面に存在する個々の物質の放射率を考慮する必要がある。しかし、本研究では、簡

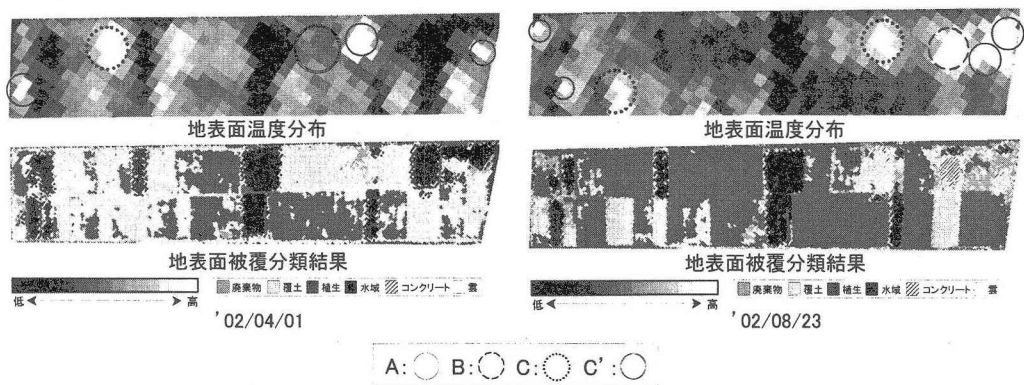


図-5 4月および8月の地表面温度分布

略化のため、地表面の放射率を1と仮定し、プランクの放射法則を用いて、地表面温度分布を推定した。

具体的な手順として、まず、ASTER画像からバンド10 (TIR1) ～バンド14 (TIR5) までの5つのTIRバンドのDN値 ($0 \leq \text{DN}_n \leq 4095$) をそれぞれ取り出し、次式(6)を用いて各バンドにおける単色放射輝度に変換した。

$$R_n(\lambda, T) = (\text{DN}_n - 1) \cdot a_n \quad (6)$$

ここで、 $R_n(\lambda, T)$ は、各バンドにおける単色放射輝度 [$\text{W}/\text{m}^2/\text{sr}/\mu\text{m}$]、 a_n は単位変換係数 [$\text{W}/\text{m}^2/\text{sr}/\mu\text{m}$] である。表-3に各バンドにおける単位変換係数を示す。

次に、次式(7)のプランクの逆関数式⁹⁾を用いて、輝度温度を計算した。

$$T_n = \frac{hc}{k\lambda_n \ln\left(\frac{2hc^2}{\lambda_n^5 R_n(\lambda, T)} + 1\right)} \quad (7)$$

ここで、 T_n は物体の輝度温度 [K]、 λ_n は各バンドの中心波長 [μm]、 c は光速 (2.998×10^8 [m/s])、 h はプランク定数 (6.626×10^{-34} [J·s])、 k はボルツマン定数 (1.380×10^{-23} [J/K]) である。なお、各バンドの中心波長は、それぞれ表-3に示す値を用いた。

さらに、次式(8)の5チャンネル法を用いた水面温度推定式¹⁰⁾を用いて、老港廃棄物処分場内の地表面温度分布を推計した。

$$T = 1.16 - 1.07T_{10} + 0.49T_{11} + 1.13T_{12} + 0.78T_{13} - 0.32T_{14} \quad (8)$$

図-5に4月および8月の老港処分場内の地表面温度分布とそれぞれの時期の地表面被覆分類結果について示す。これらをみると、地表面被覆分類で廃棄物に分類されている箇所は周囲よりも地表面温度が高い傾向が

表-3 各TIRバンドの単位変換係数及び中心波長⁸⁾

バンド	補正係数 a_n ($\text{W}/\text{m}^2/\text{sr}/\mu\text{m}$)	中心波長 λ (μm)
10	6.882×10^{-3}	8.274
11	6.780×10^{-3}	8.626
12	6.590×10^{-3}	9.072
13	5.693×10^{-3}	10.654
14	5.225×10^{-3}	11.303

みられた (図中A)。また、コンクリートに分類されている箇所も高温になっている (図中B)。今回用いた画像は、いずれも午前10時40分ごろ撮影されたものであるため、太陽光によって地表の廃棄物やコンクリートが暖められたことが考えられる。また、地表面温度の計算に用いた仮定で、すべての物体の放射率を1と仮定していることも影響していると考えられる。一方、被覆分類で覆土と分類された箇所では、温度の高い箇所 (図中C) と、低い箇所 (図中C') が存在している。これには、地中の廃棄物の分解による発熱が影響しているものと推測される。

(4) 埋立完了後の区画における植物活性度と埋立ガスとの関連性

有機性廃棄物主体の埋立地では、有機物分解が活発であれば廃棄物層内は嫌氣的になり、メタンガスや二酸化炭素などの埋立ガスが発生する。したがって、埋立ガスの発生は、分解可能な有機物がまだ廃棄物層内に存在しており、埋立地が安定化していないことを示す。埋立ガスの発生状況は、埋立地の安定化を表す重要な指標の1つであり、これを衛星からモニタリングすることができれば、埋立地の安定化の度合を面的に把握することが可能となる。

ここで、今回分析に用いたASTERのような光学マルチスペクトル衛星画像は、地表面を覆っている物質の判別や植物の活性度等のモニタリングには適しているが、埋立地内部で発生しているガスを直接モニタリングすることは難しい。しかしながら、埋立地で発生するガスが、地表面の状況になんらかの変化を与えている場合、地表面状況の変化を捉えることにより、間接的にガスの発生状況を推測できると考えられる。

そこで、埋立ガスと、地表面を覆っている植物との関係について考えてみた。過去の知見によると、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。野口ら(1981)¹¹⁾や志村ら(1979)¹²⁾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、長野ら(1988)¹³⁾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。埋立地のように、ガスの性状が一般的な土地と比較して極端に異なる場所では、ガスに耐性の無い植物は成長できないと考えられる。つまり、植物の活性度が低い場所では、ガスの発生が顕著であることが予想される。一方、ガスに耐性のある植物が成長できたとすると、埋立地表面の覆土には植物の根が張り巡らされる。この場合、覆土の透気性が高くなるため、地中の埋立層と大気との間のガス交換が容易になる。老港処分場を含め、一般的な中国の埋立地は最終覆土厚が30～50cmと薄いことから、この効果は高いと考えられる。いずれにしても、植物の成長の度合と、地中のガス濃度との関係には負の相関があるものと推測される。

以上を踏まえ、ここでは、衛星画像から植物の状況を把握し、地中のガス濃度との関連性について考察した。植物の状況を把握するための指標としては、次式(9)に示す正規化植生指標 (NDVI) を用いた。

$$NDVI = \frac{DN_3 - DN_2}{DN_3 + DN_2} \quad (9)$$

NDVIを計算するための近赤外波長帯と赤色波長帯は、ASTER画像においてはそれぞれバンド3、バンド2に該当する。NDVIの値が大きいほど、植物の活性度が高い。

表-4 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 3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

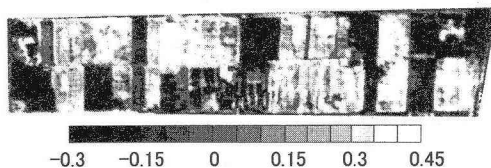


図-6 4月から8月にかけてのNDVI変化

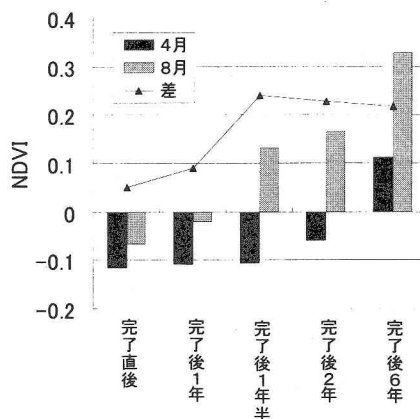


図-7 4月、8月における区画別のNDVIとその変化

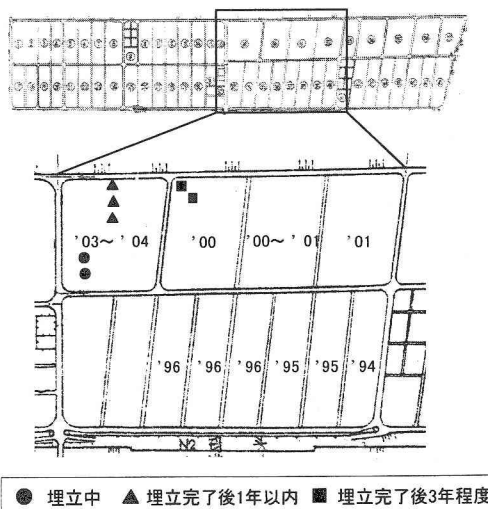


図-8 各区画における埋立完了年及び現地ガス測定地点

まず、2002年4月1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の変化(図-6参照)と、埋立完了からの経過時間が異なる5区画のNDVIの平均値及びその差(図-7参照)をそれぞれ求めた。8月と4月のNDVIの差をみると、埋立完了直後の区画で最も小さく、これと比較して完了後1年の区画ではこの値は増加している。完了後1年半の区画においては、8月と4月のNDVI差が最も大きくなり、それ以降では、あまり変化していない。ただし、以上の結果は、区画ごと(1つの区画の面積は約11ha)のNDVIの平均値に基づくものであり、1つの区画内部では場所によってNDVIの値にはばらつきがある。

次に、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の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-4に、各区画におけるガス濃度の平均値を示す。また、図-8に、各区画における埋立完了年及び現地ガス測定地点を示す。表-4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%と高い値を示している。また、完了後3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ことが分かる。

以上の結果から、NDVIが低い区画ではメタンガスと二酸化炭素の濃度が高く、酸素濃度が低いことがわかった。この理由として、前述したような、植物のガスへの耐性や、地中に植物の根が広がることによる透気性の向上等が考えられる。NDVI増加量の大小と埋立ガス組成の変動は連動している傾向がみられ、このことから、NDVI増加量を用いて埋立ガスの発生状況を間接的に把握できる可能性が示唆された。

4. まとめ

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。具体的には、老港廃棄物処分場の埋立進捗状況の把握、地表面被覆状況と地表面温度との関連性、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について分析した。主要な結論をまとめると、以下ようになる。

(1)廃棄物処分場内の地表面被覆を廃棄物、覆土、植生、水域、コンクリートの5つに分類でき、衛星観測時点での廃棄物処分場内の状況を把握することができた。また、複数時点の衛星画像を用いることで、地表面被覆の移り変わりから埋立履歴を把握することができた。

(2)地表面被覆分類を行う際、廃棄物と覆土の識別に工夫が必要であった。衛星画像のDN値を用いスペクトル・パターン分析で両者を識別する際、使用するバンドの組み合わせはバンド2(波長0.660 μm)、バンド7(同2.260 μm)、バンド8(同2.330 μm)、バンド9(同2.395 μm)が最適との結果を得た。

(3)廃棄物処分場内の地表面温度分布の推定結果と被覆分類結果を対比したところ、被覆分類で廃棄物やコンクリートと分類されている箇所は周囲よりも地表面温度が高い傾向がみられた。これは、太陽光によって地表の廃棄物やコンクリートが暖められたことが考えられた。また、地表面温度の計算に用いた仮定で、すべての物体の放射率を1と仮定したことが影響していると考えられる。一方、被覆分類で覆土と分類された場所では、温度の高い場所と、低い場所が存在した。これには、地中の廃棄物の分解による発熱が影響しているものと推測された。

(4)春から夏にかけてのNDVI増加量と埋立ガス組成との間に、ある一定の関係が見られた。この理由として、一部の植物に関しては、埋立ガスの影響を受け覆土表層でのガス組成が植物の生育を阻害している結果と考えられた。また、植物の根が覆土中に広がり、通気性が高くなっていることも推測された。NDVI増加量の大小を捉えることで、その場所における微生物分解活動の活発度のある程度評価できる可能性が示唆された。

今後の課題として、本研究における廃棄物処分場の地表面温度モニタリングは、埋立てられた廃棄物の安定度を評価する目的で行っている。しかし、地表面温度が高くなる要因としては、単に埋立てられた廃棄物の発熱のみではなく、地表被覆状態の熱特性も挙げられる。今後、地表面被覆が地表面温度に与える影響について検討し、廃棄物の発熱に由来した地表面温度上昇のみを捉える工夫が必要と考えられる。NDVI増加量と植物の生育度との関連性については、今回は1度の発生ガス調査結果から見出したものであるため、今後データの蓄積とともにさらなる検討が必要である。本研究は1つの大規模廃棄物処分場を対象として行ったものであるため、本研究で得られた知見が他のサイトにも適用可能であるか確認していく必要がある。

謝辞：本研究を進めるにあたり、中国同済大学の趙由才教授、長崎大学の大野博之助教授には、研究全般を通じて多大なるご協力を得た。ここに、感謝の意を表す。また、本研究は、科学研究費補助金基盤研究「アジアメガシティの大規模廃棄物処分場環境モニタリングシステム構築のための現地調査」(代表：島岡隆行、研究課題番号15404019)の補助を受けて行った成果の一部で

ある。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 日本環境会議「アジア環境白書」編集委員会：アジア環境白書 2000/01, 東洋経済新報社, 2000
- 2) United Nations: *World Urbanization - The 1996 Revision*, 1998
- 3) Hoornweg, D. and Thomas, L.: *What a Waste - Solid Waste Management in Asia*, Urban Development Sector Unit World Bank, 1998
- 4) 田中信壽：環境安全な廃棄物埋立処分場の建設と管理, 技報堂出版, 2000
- 5) (財)資源探査用観測システム研究開発機構ホームページ (<http://www2.dango.ne.jp/jaros/>)
- 6) 米国 DigitalGlobe 社ホームページ (<http://www.digitalglobe.com/about/quickbird.html>)
- 7) 田村壮一郎, 三浦知昭, 藤川真治, 土田聡：スペクトル・パターン解析による ASTER データの鉱物分類とその精度評価予測, 日本リモートセンシング学会誌, Vol.19, pp.44-68, 1999
- 8) (財)資源・環境観測解析センター：ASTER ユーザーズガイド第2編 Ver.4, pp.39-42, 2003
- 9) 日本リモートセンシング研究会：図解リモートセンシング, 日本測量協会, 1992
- 10) 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, pp.2-13, 1996
- 11) 野口勝可, 植木邦和：畑雑草種子の発芽とガス条件との関係, 雑草研究, Vol.26(別), pp.107-108, 1981
- 12) 志村清, 西村剛：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), pp.39-40, 1979
- 13) 長野修治, 花嶋正孝, 松藤康司, 柳瀬龍二：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
- 14) 大野博之, 小宮哲平, 中山裕文, 島岡隆行, 真鍋和俊, 八村智明：廃棄物埋立地表層の広域的な環境地盤工学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

SATELLITE REMOTE SENSING FOR LARGE-SCALE LANDFILL MANAGEMENT

Toshio ISHIZAKI, Takayuki SHIMAOKA, Hirofumi NAKAYAMA,
Teppei KOMIYA and Kazutoshi MANABE

In this study, satellite remote sensing was applied to monitor the Laogang landfill, one of China's largest landfill sites. Results indicated as follows; the progress of landfilling could be grasped by comparing the images that were taken in different days, the area where the temperature was relatively high and the area under landfilling were corresponding, degree of vegetation growth on the landfilled area was related to the elapsed time after completion of landfilling, and that was supposed to be the effect of gas generated by microbe degradation of organic waste.