

【調査報告】

最終処分場等における衛星画像等を使用した調査手法研究報告（レビュー）

A study of a method to investigate existing landfills using archived satellite image data

八村智明*、西隆行**、宮原哲也*

Tomoaki HACHIMURA*, Takayuki NISHI**, Tetsuya MIYAHARA*

【要 約】本稿は平成16年度から行っている最終処分場を主な研究対象とした「リモートセンシング技術」の応用研究の成果を中間的にまとめたものである。なお、これらの本研究の成果内容としては、不適正処分場の周辺環境調査、火災が発生した処分場の調査手法、不法投棄物や災害廃棄物の区分やその環境影響調査に代表され、既存土木調査手法との比較による合理性の追求検討であった。これらの手法検討の経緯や成果の概要を本稿にまとめ、今後の研究方針を示すものである。

キーワード：最終処分場、リモートセンシング、廃棄物、調査技術、周辺環境

1. はじめに

本研究は、平成16年度以降の多種な継続研究である。これらの細分化した成果は、各年度の所報で報告した。平成18年度の研究は、3年目であり、いざれも過去の研究内容や成果を補追し、精度を向上させるものであった。

したがって、本稿はリモートセンシング技術を用いた研究として中間報告的なとりまとめである。また、平成18年度の研究では、その使用範囲、分野や実用に向けた精度、品質の実用性開発に向けた今後の可能性の展開があり、本研究の継続価値が新たに生じたので、ここに報告するものである。

2. 本研究の目的

廃棄物最終処分場における適正管理状況や不法投棄現場の早期発見に対し、人工衛星や地上に

おけるリモートセンシング技術を応用し、現地においてその適合性を確認し、より的確な判断、判別を行える技術を研究開発することを目的とした。

3. 研究成果の概要

本研究は、平成16年度から現在までの継続研究であり、多くの研究機関等との共同研究事業も含めた研究であり、多くの成果を上げている。以下にそれらの成果としての論文等を簡略化して紹介する。

1) 平成16年度の成果

①「最終処分場で発生した火災の熱赤外リモートセンシングによる簡易探査手法事例」（所報）④

最終処分場において発生した火災について、リモートセンシング技術の一つである熱赤外画像装置を用いて、埋立地表面の温度分布の計測を行った。この結果をもとに、その後の消防対策を的確に講じ、消火までの経過を確認することができた事例を紹介した（図1. 参照）。また、これらの結果によりリモートセンシングによる計測方法が直接的な現地温度測定に比して、迅速性、安全性、経済性においても有効であることが分かった。

* 健日本環境衛生センター西日本支局
環境工学部
Dept. of Environmental Engineering,
West Branch, JESC

** 健日本環境衛生センター西日本支局
環境科学部
Dept. of Environmental Science,
West Branch, JESC

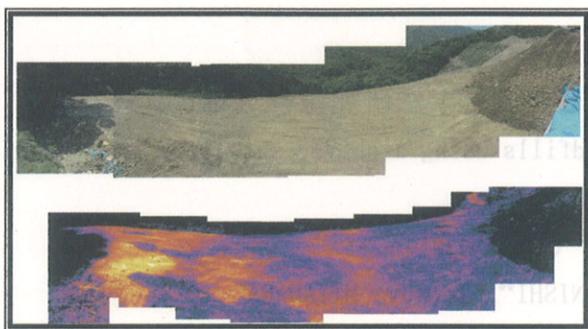


図1. 火災発生直後の埋立地表面温度計測結果

* 上が写真、下が熱赤外画像で、写真で不明な高熱部が赤外画像では明確（明るいところが高熱部）となる。

2) 平成17年度の成果

①「不法投棄現場や不適正最終処分場における衛星リモートセンシングを応用した植物活性度解析によるモニタリング調査手法の開発」(所報)²⁾

既設の最終処分場による周辺環境（温度や発生ガス等）への影響を把握することを目的として、衛星リモートセンシングデータ（NOAAデータ）を用いた植物活性度の解析を試みた。その結果、NOAAデータは「利用制限はなく、無料である」にも関わらず、植物活性度（近赤外域輝度）と気温の相関性を把握することが可能であったことから、現状把握の調査手法としての有効性を見いだせた（図2参照）。

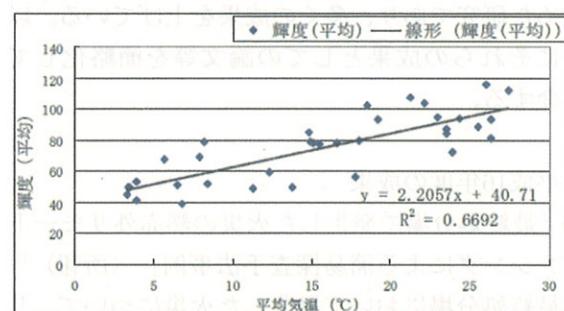


図2. 平均気温と輝度の関係 (所報より)²⁾

しかし同時に「画像分解能が小さいこと」、「気象状況に大きく左右されること」等の問題があり、現地のモニタリング調査（グラウンドトゥルース）と併用しつつ対応していく等、更なる検討が必要であることがわかった。

②「表面波探査技術による既存最終処分場の状況把握手法の研究」(所報)³⁾

本研究では、従来まで土本地質調査等に用いられていた表面波探査技術と、ボーリング調査等の結果を併合させることにより、既存処分場の埋立構造及び物理・力学的な地盤状況を高い精度で把握することを試みた。その結果、不透水層の深度及び処分場内（地中）における廃棄物の分布状況等を想定できた。今回の実験結果を活用することで、不適正処分場の適正閉鎖または再生において、工事の確実性及び経済性の点で事業効果が得られる可能性を見いだせた。

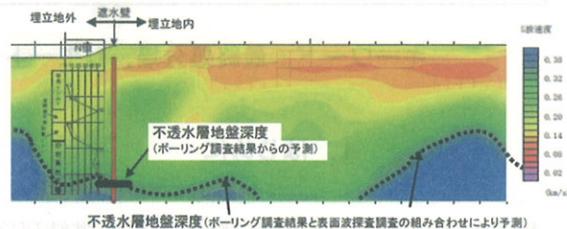


図3. ボーリング及び表面波探査による不透水層の深度推定事例 (所報より)³⁾

③「新潟県中越地震の斜面複合災害のモニタリングに関する研究-メカニズム、維持管理、景観、生態系、廃棄物等の総合斜面工学からの検討-」(土木学会 平成17年度重点研究課題)⁴⁾

本研究では、災害によって発生した廃棄物の現状及び処理過程に見られる地盤汚染の状況や仮置き場及び周辺環境を地上リモートセンシング技術を用いて現地調査を行い、今後の汚染防止対策や災害廃棄物の処理手法を検討した。

④「新潟中越地震における災害廃棄物の処理・処分に関する研究」(土木学会第13回地球環境シンポジウム)⁵⁾

旧山古志村や長岡市の被災状況調査を行うとともに災害廃棄物仮置き場にて雪解け前後の周辺環境調査（図4参照）を行い、災害廃棄物が発生した場合の今後の処理方針などを提言した。



図4. 災害箇所の近赤外写真（例）

*震災地での近赤外画像探査。左が写真、右が近赤外画像。今後の長期化により家屋などの腐敗状況を近赤外画像によりモニタリング調査する予定である。

3) 平成 18 年度の研究報告成果

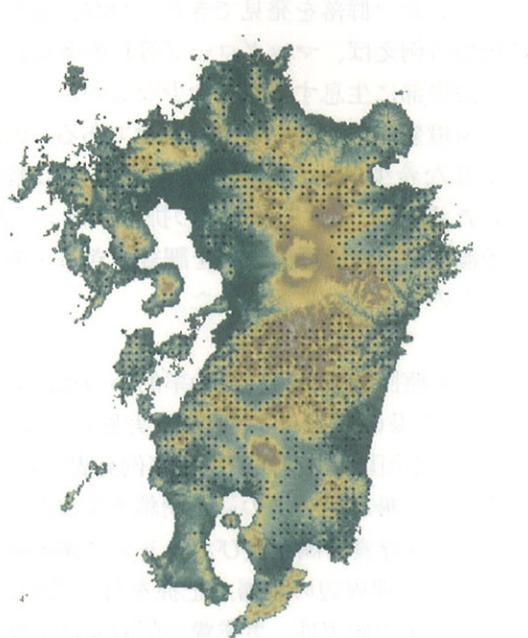
①「森林資源モニタリング調査における品質保証・品質管理に関する研究(1)」(日本森林学会平成 18 年度研究発表会)⁶⁾

平成 11 年度より全国で実施している森林資源モニタリング調査の成果には、調査者の調査技術の習熟度によって生じるデータ誤差の大小が問題視されていた。この点に関し、平成 17 年度の科研費基礎研究 B 「森林モニタリングにおけるデータの品質保証と有効利用研究」(代表: 九州大学農学部 溝上展也助教授)との共同研究で、専門化チームを組み、九州管内の各県で現地の再調査を行い、その誤差幅を抽出した(図 5 参照)。

また、客観的データ取得手法として、有望視されるリモートセンシング技術を用いた面的植物活性度評価(NDVI)を行い、現地調査で得られた点的なデータの展開を行った際に生じる誤差を最小化する手法を検討した。この研究により、自然状態での森林の植物活性度の変遷幅と計測誤差範囲を見出せ、これを今後、最終処分場周辺環境調査の精度向上が可能であることも見出せた。

②「衛星画像による河口部付近の堆積環境と生態」(平成 18 年度地球惑星連合会発表)⁷⁾

衛星画像解析を佐賀県の有明海沿岸で行い、希少であるが代表的な塩生植物である「シチメンソウ」繁茂地¹¹⁾を対象にその沿岸流と河川流の流行を解析し(図 6 参照)、その環境と類似した(流れの緩やかな部分において繁茂する塩生植生である特徴を有する)繁茂地を予測、検討した。さらに、この手法の精度を高めるため、広範な現地調査を行い、群生地と同様な流況を示す地域での

図5. 森林資源モニタリングの現地調査プロット図(九州管内)⁶⁾

*図中の詳細なプロット(点)はモニタリング調査地点であり、これらの全地点の調査票から代表的な植生(森林)地点を選定し、再調査し、調査技術の習熟度による調査、測定誤差を検討した。



図6. 2001年5月13日のNDVI解析結果図

*現地調査によるシチメンソウ群落繁茂位置は保護のため詳細に示さないことにした。

シチメンソウ群落を発見できた。なお、この塩生植物類（例えば、マングローブ等）の多くは、全国の海岸部に生息するが、希少なものが多く、周辺の環境変化に追従できない植物である。仮にこのような希少植物が最終処分場の周辺に繁茂していた場合について水処理の排水が与える影響を予測し、その影響度合いを調査できる可能性が生じたので、ここに報告した。

③「非破壊探査等を用いた効率的かつ経済的な不適正処分場の適正閉鎖事業の実施について」 (第28回全国都市清掃研究・事例発表会)⁸⁾

不適正な最終処分場の適正閉鎖事業においては、主に既存資料調査及びボーリング調査結果をもとに埋立地周辺の地層の把握を行っていたが、今後の事業の確実性、事業費の削減及び工期短縮を目的として、事業完了後、非破壊探査の可能性を検証した。その結果、非破壊探査結果とボーリング調査結果を併合させることで、埋立地周辺の地層の分布状況の確認ができ、既存の不適正処分場に対し、「適正閉鎖」または「再生」実施においては、安全で効率的かつ経済的な事業を実施できる可能性を見いだせた。

本報告では、適正閉鎖事業の実施にともなう事前の詳細調査事例をもとに今後の効率的かつ経済的な調査、探査方法について報告した。

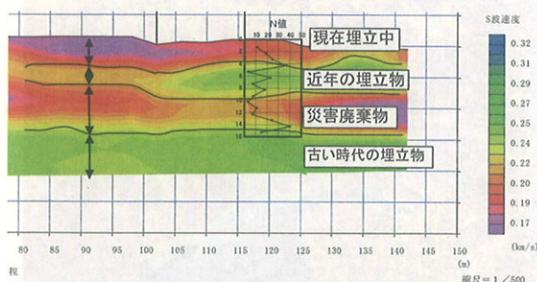


図7. N県S処分場の表面波探査結果

*廃棄物は一般的に埋立荷重で圧密、圧縮され、深度が深くなるにつれ、S波速度は速くなるが、災害廃棄物（図中の中層）のように短期間に雑多な廃棄物が埋立てられると強度発現がしくいため、S波速度が遅くなる事例で、適正閉鎖・廃止に関する問題が生じる可能性もある。

4. 研究実施体制

上記の論文の数々は、(財)日本環境衛生センターの研究奨励金をもとに多分野の研究会、学会での委員会、さらには国による科研費研究の助成を受けつつその成果をまとめていったものである。

それぞれの研究機関との関連をまとめ、下図に示す。

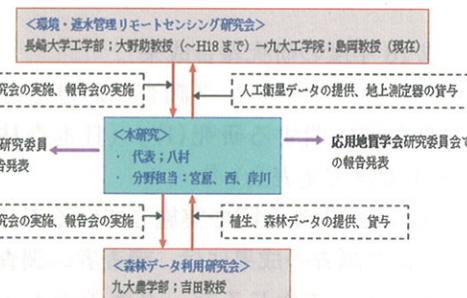


図8. 研究体制及び関連者組織図

5. 今後の課題

以下に本研究にかかわる今後の方針を踏まえつつ、課題についてまとめる。

① 衛星データについて

人工衛星に搭載されるセンサー類の分解能等の精度向上等の技術革新は目覚しいものがある反面、従来より使用していた衛星（たとえば LANDSAT 5 号や 7 号衛星等）の故障や老朽化問題が起こり始めている。つまり、このような衛星は長期にわたり同一センサーの使用が可能であったので、経年的（過去 20 年以上）な植物活性度の変遷の追跡が可能であった。⁹⁾ところが、LANDSAT 卫星などに老朽化に伴う故障が多くなりつつあり、一時期は希望する時期のデータの入手が出来なくなったこともある。したがって、現在、稼働中のより精度が向上されたセンサーを有する人工衛星データ（例えば、ASTER 等）との整合をとり、過去のデータを活かせる研究をし、今後も既存データの使用を可能にしておくべき時期であるかと思われる。したがって、次年度の研究では、他の ASTER 卫星等の高分解能なデータを購入し、既存データとの整合性の検討を行いたい。

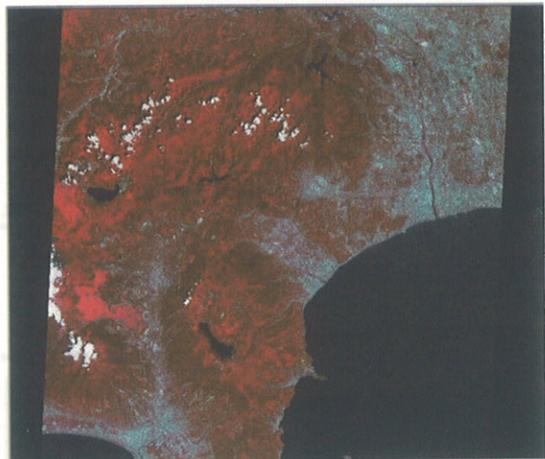


図9. ASTERの近赤外画像(例)

② 地上リモートセンシング（グラウンドトワース）について

1) 近赤外画像の取得手法

近年、近赤外域画像を捉えるフィルムの製造が中止され、地上からのリモートセンシングが困難になりつつある。これに対して、デジタルカメラの一部に使用されている画像センサー（C-MOS センサー等）には、近赤外域まで捉えられるものがある。したがって、このセンサーを有するカメラを探し、これに特殊フィルター（可視光カットフィルター）を購入し、そのデータと既存のフィルムデータとを整合させるよう試行し、より安価に精度を確保できるよう研究を続行し、今後も近赤外波長領域の画像を継続して取得できるようにしたい。

またさらに、不法投棄現場の周辺環境調査のうち植物活性度評価の経年的変遷追跡に適応させるよう現在、詳細を検討中である。

表1. 市販の可視光カットフィルターの例

富士フィルター	透過1%未満	50%透過	87%以上透過	Kodak (Wratten)
SC-72	670 (nm)	720	780	89B
IR-76	710 (nm)	750	800	88A
IR-84	780	840	910~920?	
IR-94	820	930	1060	87B

*各フィルター製造メーカーWebサイト資料より引用



図10. F県M市における不法投棄現場付近の近赤外画像データ

*現在追跡中の不法投棄現場周辺の状況（左は写真、右は近赤外画像である。今後、この現場は対策がなされる予定で、この近赤外域での変遷を追跡し、周辺環境がどのように改善されていくかを見ることが出来る。）

2) 反射波形データ取得手法

人工衛星データは反射波形を記録せず、各種の波長データのみを取得する波長バンドの数値化手法を用いている。したがって、各波長バンド間のデータは取得できていない。ところが、ゴミや植物には特有の反射波形を有するものがあり、連続的な波形データを取得できなければ、本当の意味での活性度評価は困難となる。また、土壤水分についても同様で、人工衛星データのみでは判別が難しい場合がある。よって、今後は、現地で直接、連続的な反射波形データをより多く取得し、ゴミの判別や周辺環境や処分場から発生する熱やガスの把握を目的とした指標植生（花鳴ら）¹³⁾の判別が出来るようになら。

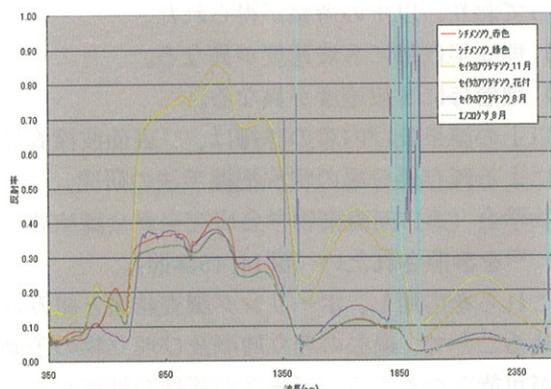


図11. 処分場に繁茂した植物の反射波形

*シチメンソウに着目したデータの取得例。この波形解析により植物活性度評価（NDVI）、解析が可能となる。

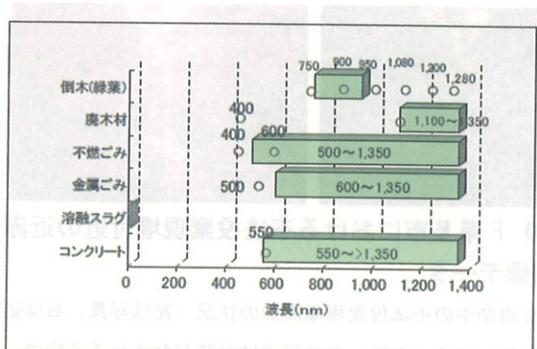


図12. 廃棄物区分毎の分光特性（事例）

* 各種のゴミごとの反射特性を中間に整理した。今後、精度向上を行う予定。

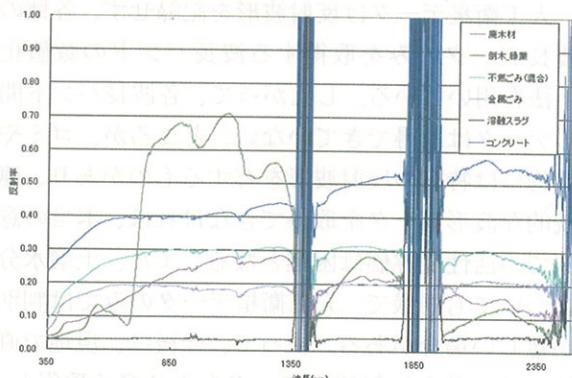


図13. 廃棄物ごとの反射波形（事例）

③ 表面波探査技術について

現在までに3箇所の処分場内の表面波探査を行っており、以下の考察が得られた。

- 1) 埋立年代毎にS波速度が異なる。
- 2) 地層毎にS波速度が異なる。

以上の結果及び内容の詳細は、「表面波探査技術による既存処分場の状況把握手法の研究」、廃棄物学会（第17回廃棄物学会研究発表会講演論文集）¹⁰⁾を参照されたい（図14, 15参照）。

これらを応用し、ボーリング調査結果と組み合わせることで、過去の埋立履歴及び埋立物の予測等が可能となるよう、データの蓄積を継続してゆきたい。

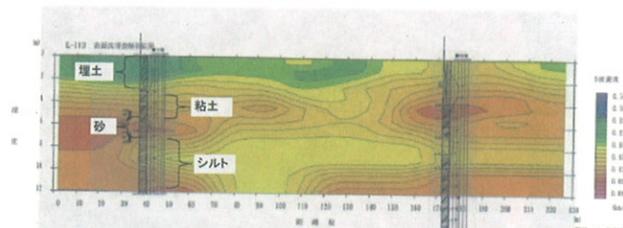


図14. S県S処分場の表面波探査結果（事例）

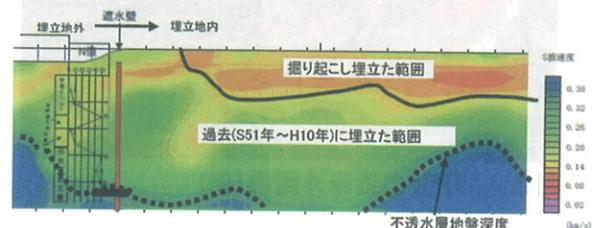


図15. O県O処分場の表面波探査結果（文献）

6. まとめ

リモートセンシング技術の発展は目覚しく、人工衛星データで、現在は精度の高い測量も行えるようになった。また、日本全国の植物活性度解析も進んでおり、一部は既に公開されてもいる（図16参照のこと。）

図16. 2002年08月のNDVIデータを表現したサンプル画像（国土地理院公表データ）¹²⁾

* このデータは国土地理院が1997年4月よりNOAAデータを用いて植生指標データ（NDVIデータ）を作成し、研究者や一般の方が様々な目的に利用できるように提供しているものである。

しかしながら、これらのデータは入手の際に多くの手間がかかり、GIS 等の図化プログラムにより処理されるという複雑な解析ものにもなってきている。

そのうえ、地表のみならず、断層や地下水調査を目的とした地下構造の推定にも使用され始めている。しかし、精度の高い人工衛星データは購入費がかさみ、入手方法も煩雑であり、現況と解析結果の差に対する考察や検討を行った研究事例は少ない。

さらにこのような状況下では、リモートセンシング技術はややもすれば、上述のように少ないデータで推論を重ね、「見た目にきれいだが、眞実には程遠いものもある」のが現状である。また、画像の分解能も高度化されているにもかかわらず、分解能の低いデータで未だに研究している事例も見受けられるのも現状である。ただし、これらの精度の高いデータは上述のとおり購入費の点で研究内容を圧迫しているのも事実である。

以上の現実を今後も踏まえながら、現地データをより多く取得するとともに衛星データとの整合性もより詳細に検討し、多くの研究者や技術者との共同研究等を推し進め、廃棄物処理施設及びその周辺環境管理のための研究や管理技術の向上、合理化の糧となるよう各分野での研究を推進してゆくつもりである。

7. 謝辞

本調査の一部は、当センター平成18年度研究奨励金制度による助成を受けて実施したものである。ここに関連各位に謝意を表します。

【参考・引用文献等】

- 1) 八村智明、大野博之、宮原哲也、西隆行、岸川栄二、「最終処分場で発生した火災の熱赤外リモートセンシングによる簡易探査手法事例」、平成18年2月、日本環境衛生センター所報、第32号（平成16年度）、pp. 54-58
- 2) 西隆行、八村智明、大野博之、宮原哲也、「不法投棄現場や不適正最終処分場における衛星リモートセンシングを応用した植物活性度解析によるモニタリング調査手法の開発」、平成19年1月、日本環境衛生センター所報、第33号（平成17年度）、pp. 60-65

- 3) 岸川栄二、八村智明、富永幸雄、宮原哲也、「表面波探査技術による既存最終処分場の状況把握手法の研究」、平成19年1月、日本環境衛生センター所報、第33号（平成17年度）、pp. 66-70
- 4) 大野博之、八村智明「新潟中越地震の斜面複合災害のモニタリングに関する研究—メカニズム、維持管理、景観、生態系、廃棄物等の総合的斜面工学からの検討—」（土木学会平成17年度重点研究課題）、平成18年3月、（社）土木学会、pp. 102-105
- 5) 大野博之、宮原哲也、八村智明「新潟中越地震における災害廃棄物の処理・処分に関する研究」（土木学会第13回地球環境シンポジウム）、平成17年7月、（社）土木学会、pp. 31-36
- 6) 溝上展也、北原文章、八村智明「森林資源モニタリング調査における品質保証・品質管理に関する研究(1)」（日本森林学会 平成18年度研究発表会）、平成18年4月、口頭発表資料
- 7) 八村智明、西隆行、大野博之、「衛星画像による河口部付近の堆積環境と生態」（平成18年度地球惑星連合会発表）、平成18年5月、口頭発表資料
- 8) 岸川栄二、富永幸雄、八村智明、真鍋和利、「非破壊探査等を用いた効率的かつ経済的な不適正処分場の適正閉鎖事業の実施について」、（第28回全国都市清掃研究・事例発表会講演論集）、平成19年2月、（社）全国都市清掃会議、pp. 215-217
- 9) 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的特性のモニタリング」、平成15年7月、第5回環境地盤工学シンポジウム講演論文集、（社）地盤工学会、pp. 11-16
- 10) 岸川栄二、八村智明、真鍋和俊、「表面波探査技術による既存処分場の状況把握手法の研究」、平成18年11月、廃棄物学会、第17回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp. 925-927
- 11) 河川環境データベース（国土交通省）、<http://www3.river.go.jp/>
- 12) 國土地理院モニタリング（國土地理院）
http://www1.gsi.go.jp/geowww/EODAS/download_contents.html
- 13) 長野修治・花嶋正孝「埋立地の安定化指標に

に関する研究』1988年、廃棄物学会、第39回廃棄物処理対策全国協議会全国大会講演集、pp.164-167、

Summary

The outcome of applied research on remote sensing technology, which has been used to study final disposal sites as a research target since fiscal 2004, is summarized in this interim report. Specific objectives of the

research are to investigate its rationality as compared with current civil engineering research methods, including environmental research on the vicinity of an illegal dumping site, a research method on fires in a landfill site, classification of illegal waste and disaster waste, and environmental impact assessments. An outline of the procedure and the outcome of these studies are summarized to set out the next process in the research.