

【技術報告】

最終処分場におけるリモートセンシング技術の応用(まとめ)

Application of Remote Sensing Technology on the Final Disposal Site

八村智明*、大野博之**、西隆行*、宮原哲也*、中山裕文***、島岡隆行***

Tomoaki HACHIMURA, Hiroyuki OHNO, Takayuki NISHI, Tetsuya MIYAHARA,
Hirohumi NAKAYAMA, Takayuki SHIMAOKA

【要約】筆者らは、地上の探査技術も含めた遠隔探知(リモートセンシング)技術について、最終処分場に係る各種の調査等への有効性について検討した。その結果、分光反射特性を利用した、①廃棄物の種類の判別、②遮水シートの劣化状態の把握の可能性が示されると共に、衛星リモートセンシングとして、③処分場周辺の植生環境への影響の把握、④処分場の地表面温度の把握、⑤廃棄物の水分状態の把握、⑥処分場の管理・監視及び不法投棄の監視への応用、といったことに利用可能である。また、地上リモートセンシングとして、⑦廃棄物層内の不適正物の把握、⑧海洋投棄における廃棄物の動態把握、⑨火災や発熱の調査、⑩処分場内の構造物の劣化の把握などに利用可能である。今後、こうした遠隔探知の技術を発展させていくことで、最終処分場のより適切な状況把握や維持管理等が可能となろう。

キーワード：最終処分場、リモートセンシング、分光反射特性、衛星リモセン、地上リモセン・探査

1. はじめに

本研究は平成16年度から実施した多様な継続研究である。リモートセンシング技術の応用に関する研究は多くの成果を挙げ、実用に供しつつあり、今後の更なる発展が期待される。そこで、本稿はそれらの成果をまとめた最終報告である。

2. 本研究の目的

廃棄物の最終処分場における適正管理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調査技術として応用し、現地との適合性を確認し、よりの確な判断、判別する技術を研究開発することを目的とした。なお、ここでは、リモートセンシングを人工衛星の電磁波データのみならず、地上の各種の非破壊検知技術を含めた、広義の遠隔探知(リモートセンシング)の意味で用いている。

* (財)日本環境衛生センター西日本支局企画事業部

Dept. of Planning, West Branch, JESC

** (株)環境地質技術部

Dept. of Engineering, Kankyo Chishitsu Co.Ltd.

***九州大学 Kyushu University

3. 分光反射特性

3.1 廃棄物の分光反射特性とその利用

3.1.1 分光反射特性

最終処分場における適正管理や不法投棄の現場の早期発見において、リモートセンシング技術を応用する基礎として、廃棄物の分光反射特性について述べる。

一般に、廃棄物等の分光反射特性は、図-1のようなものとなる。

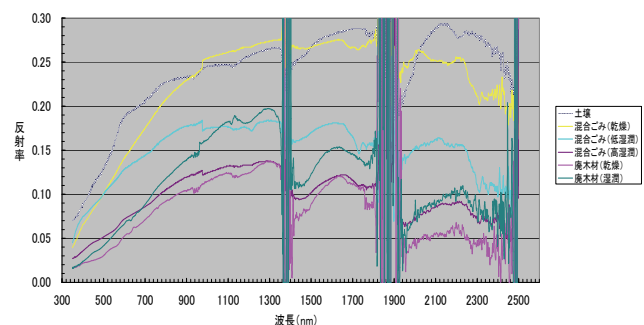


図-1 典型的な廃棄物の反射率(分光特性)

この図に見られるように廃棄物の種類や状態により異なった分光特性を示す。こうした特性をより顕著に捉えるために、大野他(2003)¹⁾は、正規化指標(*NDTI*)と呼ばれる以下の指標を用いている。

$$NDTI = \frac{(Band_i - Band_j)}{(Band_i + Band_j)} \quad (1)$$

ここで、 $Band_i$: i バンド (波長帯) のセンサーの反射率、 $Band_j$: j バンド (波長帯) のセンサーの反射率である。

また、さらに詳細な違いを把握するために、スペクトルグラフの反射率を微分して以下のような正規化微分指標 (NDDI) と呼ばれる指標を用いている。

すなわち、各波長における反射率(スペクトルデータ)を $A_1, A_2, A_3, \dots, A_i, \dots, A_n$ ($1 \leq i \leq n$) としたとき、微分を計算するための波長間 (データ間) の差を m で表すと、1次微分は、

$$\Delta_{m,j}^1 = A_j - A_{m+j} \quad (1 \leq j \leq n - m)$$

2次微分は、

$$\Delta_{m,j}^2 = \Delta_{m,j}^1 - \Delta_{m,m+j}^1 = A_j - 2A_{m+j} + A_{2m+j} \quad (1 \leq j \leq n - m)$$

となり、正規化微分指標 $NDDI$ は以下のようになる。

$$NDDI_{ij}^n = \frac{\Delta_i^n - \Delta_j^n}{\Delta_i^n + \Delta_j^n} \quad (2)$$

これらの指標を用いることによって、図-2のように廃棄物の種類によって特徴的な指標値となることが示される。

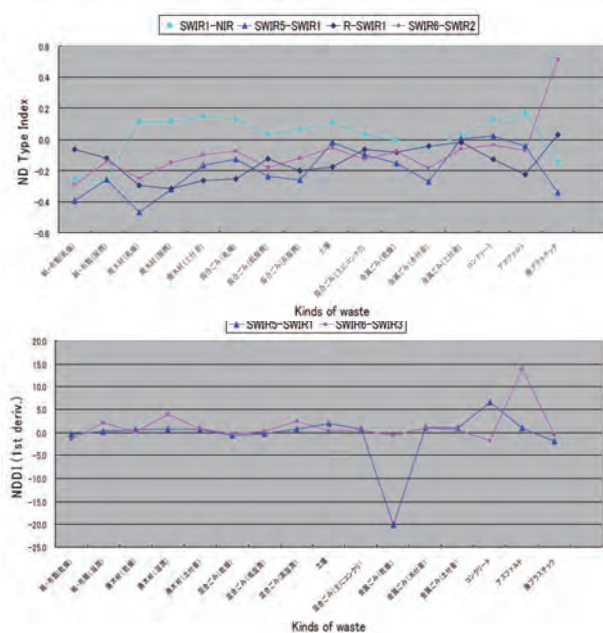


図-2 種類の異なる廃棄物の正規化指標値

3.1.2 廃棄物の種類の判別

前述した正規化指標 (NDTI) や正規化微分指標 (NDDI) を用いることで、廃棄物の種類を迅速に分類することができる。

一般に、最終処分場や中間処理施設 (焼却場など) では、場内に搬入されたごみを展開調査と呼ばれる方法などで搬入管理している。この展開調査は、展開型の車両 (トラック) の荷台などの中身を上から目視で観察し (あるいは、カメラを使った画像を観察し)、搬入ごみの種類とその量などを大枠判断するものである。これにより、申告などの通りの適正な廃棄物が搬入されているかどうかなどの管理を行い、廃棄物の処理の方法や手順を決定することになる。しかし、こうした展開調査などによる搬入管理は、目視で経験的に判断しているもので、実際の廃棄物の種類やその量と大きく異なる場合がある。

廃棄物の種類を区分し、その中の可燃ごみの量を定量的に見積もることがある程度の誤差範囲で可能となれば、焼却によるエネルギーコストの低減化 (効率化)、展開調査等の搬入管理の省力化、場内の横待ち等の時間の短縮・簡便化などが期待できる。こうした可燃ごみ量の定量化は、遂次の燃焼効率をコントロールすることも可能となることを意味し、その時々での CO_2 排出量の制御にも結びつく。

また、処理場のストックヤードなどに搬入された廃棄物を、再資源化施設などに搬出する際の判断基準にも繋がる。例えば、再資源化可能物が、ある決められた割合以下であれば直接埋立に回し、その値以上であれば再資源化施設に搬出するなどの判断を、廃棄物の種類とその割合がある程度把握できるようになれば可能となろう。このように、再資源化施設等における処理効率の向上にも繋がる。これにより、無駄の少ない循環型社会の確立が可能となってこよう。

以上のような状況を踏まえ、処理・処分施設に搬入されてくる廃棄物の種類の区分と、その種類ごとの廃棄物量の算出を可能にするため、図-3に示す例のような分類法を提案した。

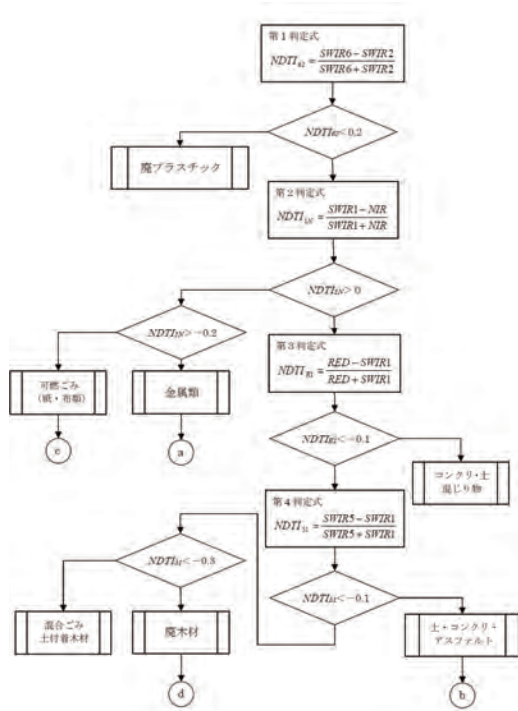


図-3 分光反射特性からの廃棄物の分別

3.2 遮水シートの分光反射特性とその利用

3.2.1 分光反射特性

最終処分場の遮水工として用いられている遮水シートは、紫外線等によって経年的に劣化していく場合があることが知られている。島岡・中山²⁾は、こうしたシートの劣化を捉えるために、シートの劣化状況とその分光反射特性の関係を図-4のように示した。この図に見られるように、室内保管した比較的健全な遮水シートと比較し、明らかに暴露したシートでは、波長400~2500nmの領域で、反射率と波長との傾きが異なることがわかる。

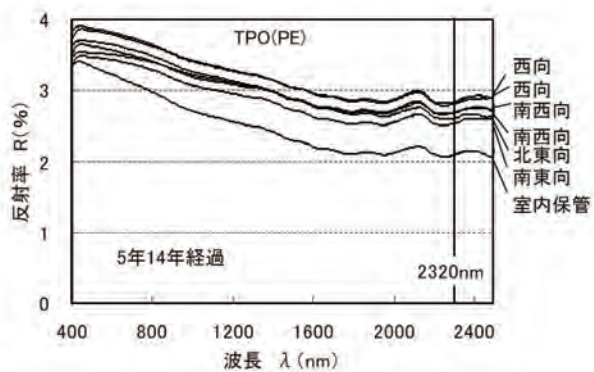


図-4 遮水シートの分光反射特性

3.2.2 遮水シートの劣化の把握

前述したシートの経年変化後の反射特性から、

図-5のように、シートの強度と可視～中間赤外域(400~2500nm)の傾きの変化により、シートの強度も変化することが示された。

このように、リモートセンシングによってシートの劣化を捉えることが可能となる。

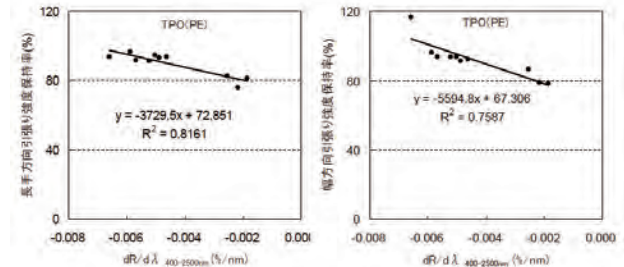


図-5 引張強度保持率と $dR/d\lambda_{400-2500nm}$ の関係例

4. 衛星リモートセンシングによる調査

4.1 植物活性度から見た周辺環境変化

前述の(1)式を用いる方法の一つに、iバンドを近赤外波長の反射率、jバンドに赤色波長の反射率を用いる「植生指標(NDVI)」と呼ばれる指標を用いて、周辺環境への影響を調べることができる。

図-6及び図-7は、複数の時期に撮影した衛星画像による植生指標の変化を表したものである。

これらの図は、経年の気候の変化などに影響されたことが示されるものの、処分場A周辺の植生環境(図-7の菱形と正方形)と処分場Aから離れた部分の植生環境(図-7の三角)の変化が同じであることが示されている。すなわち、現状、この処分場は周辺の植生環境に影響を及ぼしていないことが示されている。

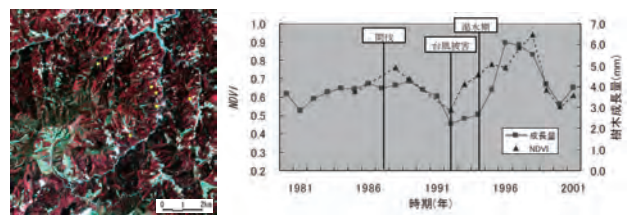


図-6 衛星画像による植生指標の変化の例³⁾

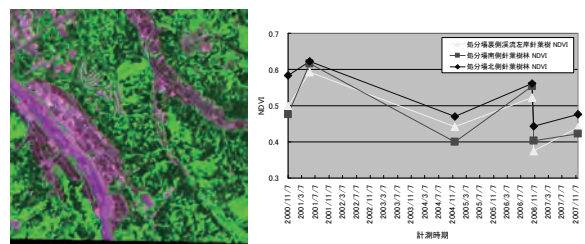


図-7 処分場A周辺の植生環境の変化の例

4.2 熱赤外域の利用

最終処分場の廃止基準では、廃棄物の温度が異常な高温となっていないことが必要条件となっている。また、廃棄物層内の有機物で微生物が加水分解し発熱が生じたとき、熱の逃げにくい構造となった廃棄物層の場合、熱が蓄積し、プラスチックや油分の酸化熱が加わり発火に至ることがある。従って、こうした処分場内の地温を捉えることが重要となる。

数 μm ～十数 μm の波長の熱赤外領域は、温度を捉えることのできる波長帯である。遠隔探知であるので、センサーと対象物との間の大気などの影響があり、温度を必ずしも正確に捉えられない場合があるが、温度の高低の差などを比較的適切に把握することはできる。

例えば、衛星により図-8のような画像を得ることができる。このように、処分場内の比較的温度の高い部分を捉え、管理・監視を行うことができる。

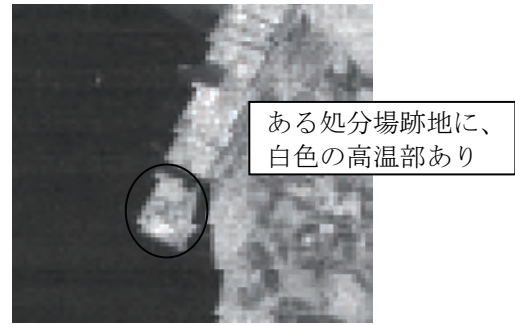


図-8 衛星の熱赤外面像による高温部の抽出

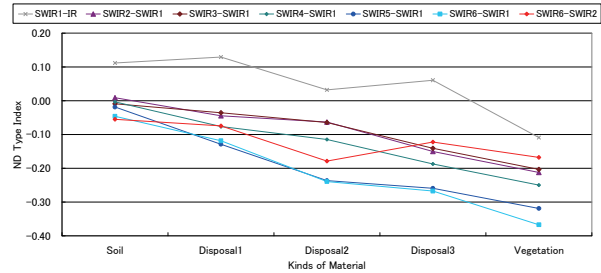


図-9 覆土・廃棄物の違いによるNDTI

4.3 中間赤外域の利用

廃棄物の種類の判別でも示したように、1600～2500nmの波長の中間赤外は、廃棄物の状態（主に含水状態）の違いなどを捉えることができる。

廃棄物(Disposal)の含水状態の違い(Disposal1, 2, 3の順で含水比が増加)と覆土(soil)、植生(vegetation)による中間赤外のNDTIの変化を図-9に示した。この図のように、廃棄物の含水状態が増加することで、中間赤外(特に、SWIR5とSWIR1、SWIR6とSWIR1)のNDTIが減少する¹⁾。また、覆土は最も大きなNDTIとなり、逆に植生はもっとも小さくなっている。

このことを利用して、処分場の状況等の変化を管理することが可能となる。

4.4 処分場・不法投棄の調査

前述したように、衛星データにより、最終処分場の状況の判断が可能となる。

図-10は、最終処分場の植生指標(NDVI)、正規化指数(NDTI)、地表面温度の分布を衛星画像より求めたものである。

NDVIを用いて植生がある区画(図中の白色部)が把握できる。この区画は、埋立完了後一定期間経過した区画、あるいは未埋立区画であると考えられる。

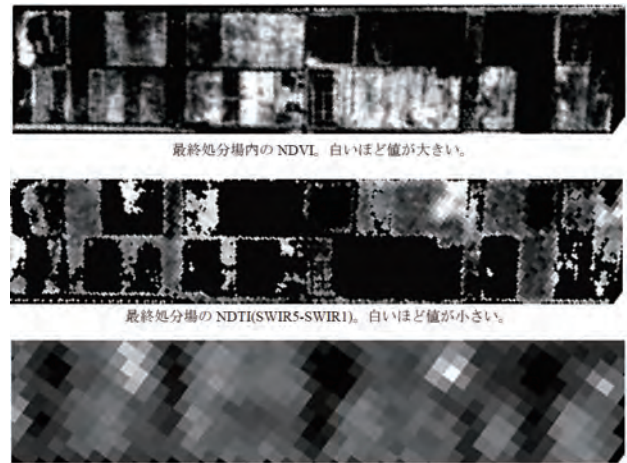


図-10 最終処分場のNDVI、NDTI、温度分布

中間赤外のNDTIと、温度分布を並べて見ると、図中の白い範囲が一致している場所がある。ここは、廃棄物が露出している埋立中の区画であり、廃棄物の影響で温度が高くなっている部分と考えられる。

このように最終処分場の状況の管理等に衛星画像を用いることができる。このことは、環境省が進められている、衛星画像を用いた不法投棄の早期発見の取り組みの一助にもなる。

5. 地上リモートセンシングによる調査

5.1 表面波・電気探査

表面波探査は、地表付近を伝播する表面波の内、

レイリー波の位相速度から地表付近のS波速度を求める探査手法である。この表面波探査では、処分場内の不適正物などの判断に利用する試みがなされている。

図-11に表面波探査結果の例を示す。この処分場では埋立中に災害廃棄物が埋立処分されたものであり、図中の左上部に遅い速度の部分が見られ、この部分が災害廃棄物であった。

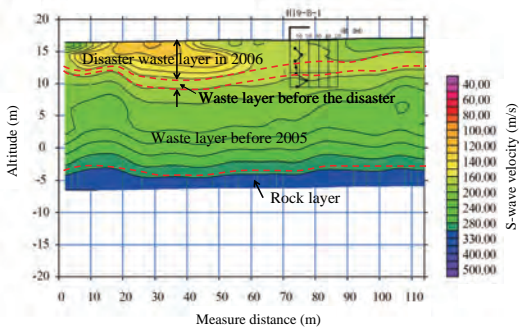


図-11 処分場のS波速度の分布⁴⁾

一方、比抵抗電気探査は、地盤の比抵抗（電気の通りやすさ）を捉え、埋立廃棄物層の水分含有状態などを間接的に把握するために最終処分場で利用されてきている。

最終処分場の覆土前後の比抵抗分布の違いの例を図-12に示す。覆土後は、高比抵抗の範囲は覆土前よりも広がっている。

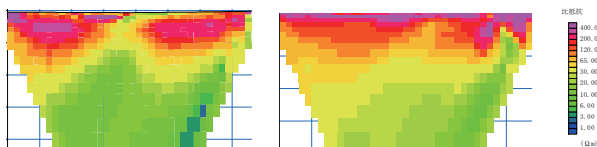


図-12 覆土前(左)と覆土後(右)の比抵抗の変化

5.2 音波探査

音波探査は、廃棄物の海洋投棄のときにその投棄の状況を把握することに利用できる。特に、底面遮水層である粘土層などへの影響が懸念される。これに対して、図-13に示すように、海洋投棄物の沈降速度を把握することができる。

以上のことから、沈降速度を捉えることで、底面影響を予測評価することや、処分場の埋立管理などに有効利用が可能と思われる。

5.3 熱赤外面像による発熱・火災調査

地上の熱赤外面像装置は、衛星画像と同じように、処分場内の発熱や火災の発生を捉えることに

有効である。

安定型最終処分場の状況を図-14に示す。この図に見られるように、多くの処分場の法尻の部分で発熱していることがわかる。

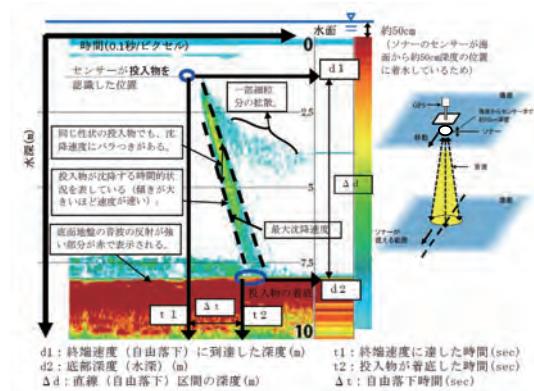


図-13 音波探査による水中降下物の把握

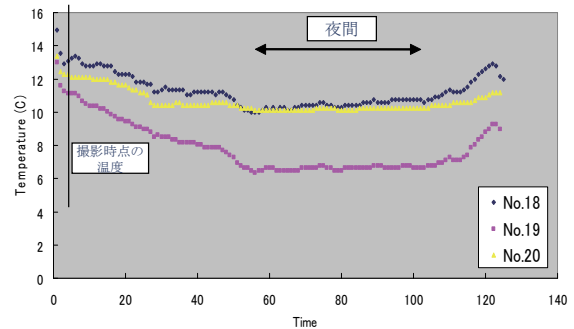
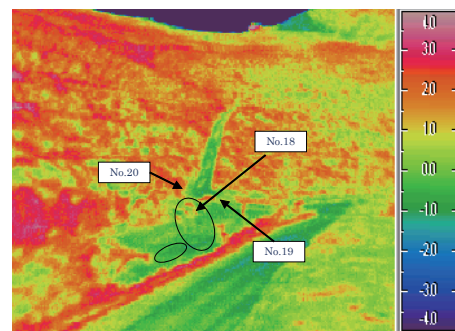


図-14 安定型最終処分場内での発熱の状況

5.4 処分場内構造物の劣化調査

処分場内には、擁壁などのコンクリート構造物が設置されている場合がある。それらの劣化状況を捉えることは、耐震性などの観点から重要である。その方法の一つとして、熱赤外による表面の劣化と、P波探査による深部の劣化の調査の組み合わせが挙げられる。

図-15に熱赤外映像とP波探査の結果の例を示す。この場合、温度差が大きいところは昼間の日当たりの良い部分とほぼ対応しており、空洞の存在を示唆するものは見られない。

一方、P波探査では、水平2層構造を仮定したとき、走時曲線の傾きから算出したP波速度は、第1層で1700~1800m/sec、第2層で2500~7000m/secであった。通常のコンクリートが3500~4500m/secであることを考えれば、その半分程度の速度しかなく、コンクリートの圧縮強度が大きく低下していることが示される。

すなわち、空洞等は無いものの、コンクリートそのものの劣化が表面で生じていることが示された。

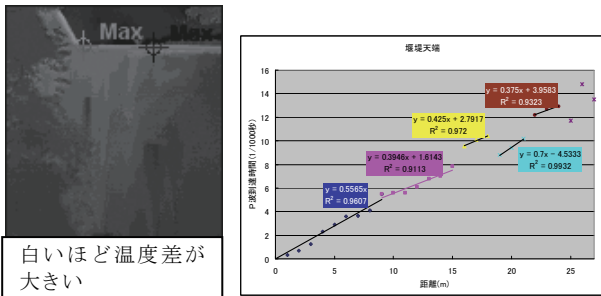


図-15 熱赤外の昼夜差分(左)とP波走時曲線(右)

5.5 近赤外カメラによる周辺植生調査

近赤外カメラは、図-16のようなものが市販されている。

近赤外カメラで撮影された画像は、図-17に見られるように、植生の変化を捉えることができる。



図-16 近赤外カメラの例 (http://www.tsukuba-agriculture.com/agri_camera.htmより)

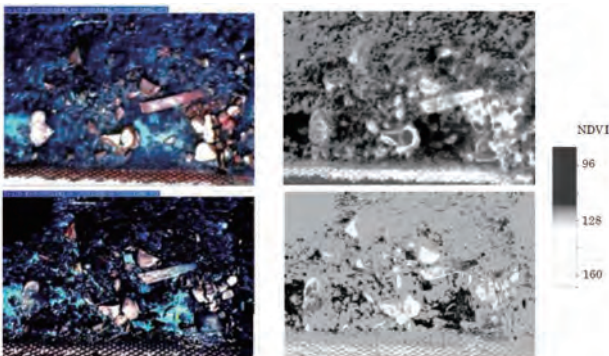


図-17 河川放流前後の近赤外画像とNDVIの変化⁵⁾

6. おわりに

地上の探査技術も含めた遠隔探知(リモートセンシング)技術は、最終処分場に係る各種の調査等において、有効な手法であることを示した。今後、こうした遠隔探知の技術を発展させていくことで、最終処分場のより適切な状況把握や維持管理等が可能となろう。

引用文献・参考文献

- 1) 大野博之・小宮哲平・中山裕文・島岡隆行・眞鍋和俊・八村智明(2003)：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講演論文集，p. 11-16
- 2) 島岡隆行・中山裕文(2008)：ごみ埋立地の遮水シートの損傷・劣化と耐久性，日本遮水工協会秋期全国大会
- 3) 大野博之・八村智明・斎藤大・浅見和弘(2008)：アーカイブ衛星データを用いた建設事業の植生への影響のモニタリング，環境情報科学，第37巻，第3号，pp.106-117.
- 4) T.Hachimura, M.Yamanaka, H.Ohno and S.Hasegawa (2010)：New Investigation Method to Estimate Waste Properties of Existent Landfills, Proc. of the Twentieth (2010) Int'l Offshore and Polar Engineering Conference, pp. 739-742.
- 5) 大野博之・斎藤大・伊藤尚敬・後藤恵之輔(2004)：ダム放流効果の検討のための超低空リモートセンシングによる付着藻類調査，土木学会論文集，No.769/VII-32，pp.65-74.

Summary

We examined the application of remote sensing technology to the survey of THEfinal disposal site.; THEREFORE, it is useful for grasping situations of final disposal site by satellite and ground survey data. In the future, remote sensing would become good tools for management of disposal site.