

リモートセンシングによる産廃不法投棄現場の 環境解析に関する研究

趙 文 輝

要 旨

近年、日本各地に於いて産業廃棄物不法投棄現場が相次いで発見され、環境汚染の発生、地域住民の不安の助長など大きな社会問題となった。廃棄物撤去作業に伴う汚染拡散を含め、現場およびその周辺の監視が必要である。また、発見されず残っている産廃不法投棄現場はまだあると考えられ、環境に悪影響を与える化学物質などが放置されている可能性が高い。そのため産廃不法投棄現場を早期に発見し処理することが求められている。しかし、従来の方法では山間部や崖など人目につかない場所においては発見すること自体が困難であり、継続的な解析も非常に難しい。そのため、このような大規模な環境問題を調査する上で、リモートセンシングは非常に有効な情報収集手段である。このような背景を受け、本研究ではリモートセンシング技術による産廃不法投棄現場の環境解析および監視、さらにこれらの解析で得た知見に基づく産廃不法投棄現場の早期発見法の開発を目的としている。

以下に本研究で得られた成果をまとめて記す。

1. 衛星リモートセンシングによる産廃不法投棄現場の環境解析

地表の物質は太陽光等の電磁波を反射・放射するとき、その種類や状態に応じた固有の特性を持っている。地表物の違いなどによりその反射特性も変化するため、その違いから産廃不法投棄現場の環境状況と変化を判断することが可能である。本研究では、MODIS データ、SPOT データ、Quick-bird 画像、Aster DEM (デジタル標高モデル) データなどを利用して、本学から産廃不法投棄現場周辺の広域の監視および調査を行うことのできる衛星リモートセンシングシステムを構築した。これを利用して青森・岩手県境産廃不法投棄現場及びその周辺の植生解析、地形解析、温度解析を行った。その結果、以下のことが得られた。

(1) SPOT データから3チャンネルを取りだして、それぞれのチャンネルを青、緑、赤の3原色に割り当ててカラー画像を合成し、林地、草地、空地、水域など特徴を色で判読出来るようにした。植物の細胞構造により強く反射される近赤外線を赤色として割り当てたことにより、濃い赤色の部分は林地を、やや淡い赤色の部分は牧草などを示す。一方で青い部分は、植物がほとんどないことを示す。さらに、1992年、2003年、2004年と2005年の4時期のSPOTデータのスペクトル情報を基に、各地点の地表物をベイズ式に基づいた最尤法により分類した。産廃不法投棄現場の特徴から分類は、1: 水域と湿土, 2: 空地, 3: 草地, 4: 林地, 5: プラスチック遮水シートの五区分とした。計算結果をもとに、分類された項目ごとに適切な色を割り当てて分類図として表わし、現場及びその周辺の土地被覆変化を視覚的にとらえられるようにした。その結果、産廃不法投棄現場における

学位記番号と学位：博第40号，博士（工学）

授与年月日：平成20年3月20日

授与時の所属：大学院工学研究科電気電子工学専攻博士後期課程

土地被覆変化は、現場周辺の地域全体と比較して大きく変化していることを明らかにした。特に植生については1992年から2003年の間でわずかな増加が見られたが、2003年から2005年にかけて、激しく減少し、さらに撤去工事の進展に従って2005年には完全になくなったことが確認できた。また、環境回復作業のために設置されたプラスチック遮水シートが現場全体に占める割合は、1992年から2003年では0ピクセル、2004年で86ピクセル(0.22%)、2005年で222ピクセル(0.56%)と増加した。以上のように実際の工事の進捗による現場地表面の変化を衛星リモートセンシングにより定量的に確認できることを明らかにした。

(2) DEM データから、傾斜度や曲率などを基に地形特徴パラメータを抽出し、すべてのピクセルを山頂、尾根、峠、平面、河川、窪地などの地形タイプに分類した。この分類によって産廃不法投棄現場には高地・崖などの地形的特徴が見られることを明らかにした。また DEM データと空間分解能 2.4 m の Quickbird 画像と統合して、現場の立体地形図を作成して、現場およびその周辺の道、崖、建物などははっきりと確認することができた。

(3) MODIS データのバンド 31, 32 を用いて、Planck 方程式に基づいて温度解析を行った。現場の地表温度はそこに近接する地域に対してわずかに高い傾向を示すことがわかった。また、この温度差は2004年から現在に至るまで、現場撤去工事とともに徐々に小さくなってきていることも明らかにした。

2. 地上設置観測器による産廃不法投棄現場の環境解析

産業廃棄物不法投棄現場の環境を詳細的に解析するために、水質および気象データを継続的に遠隔地から測定できる環境解析システムを構築した。また、赤外線カメラの設置により現場の作業状況をリアルタイムで把握することが可能となった。これらの現場設置センサーは現場からの浸出水と、浸出水処理施設により浄化された水、その下流を含む周辺に設置し、これらのデータを比較検討した結果、周辺への汚染の拡散が起こっていないことを確認した。また、pH および導電率は現場から離れた別水系の水質に近づいており、一定程度改善していることを確認した。これらの結果から、廃棄物の撤去と浸出水処理施設の効果により環境が回復されてきていると考えられる。

3. 土地被覆変化抽出とスペクトル解析を有していることがわかった。そこで、この知見に基づき、土地被覆変化などによる産廃不法投棄現場の早期発見法の提案

上述の解析を行った結果、スペクトル分布や植生、土地被覆について産廃不法投棄現場は周囲と比較して異なる特抽出とスペクトル解析などによる産廃不法投棄現場の早期発見方法を提案した。まず、多時期の衛星画像を用いて土地被覆の情報を抽出し、カラー合成を行うことで著しく変化した箇所を抽出する。また、3次元地形情報から、高地・崖などの特徴的な地形を持つ区域を抽出する。さらにスペクトル特性により地表物の詳細な分類を行う。その上でほかの研究機関や自治体などと連携し、水質の変化、住民の情報を取得して対象を絞り込み、最終的に現地調査を行うという一連の作業を加えることで産廃不法投棄現場の早期発見が出来る。

以上のように、本研究ではリモートセンシングによる環境解析システムの構築と解析手法の考案を行い、さらに実際にこれらの解析結果により環境回復作業の遠隔監視・評価が可能であることを示した。さらに、これらの知見に基づく土地被覆変化抽出とスペクトル解析などによる産廃不法投棄現場の早期発見方法を提案し、その有効性も確認した。

現在、国内外を見てもリモートセンシングによる産廃不法投棄現場の解析などに関する報告は少なく、早期発見法についてはほとんど報告がない。従って、本論文で提案している早期発見方法は環境行政や廃棄物処理に対する寄与は非常に大きい。早期発見により環境へのダメージを最小限に

リモートセンシングによる産廃不法投棄現場の環境解析に関する研究（趙）

防ぐばかりではなく、いずれは不法投棄への抑止力としての応用などが期待できる。

主指導教員 藤田成隆

Study on Environmental Monitoring of Industrial Waste using Remote Sensing Doctor Course in Electrical and Electronic Engineering

Wenhui ZHAO

Abstract

In recent years, industrial waste illegal dumping sites have been detected in various parts of Japan one after the other and they have polluted the environment, fueled the anxiety of local residents and caused other grave social issues. It is required to monitor such sites and their surroundings, including pollution dispersion accompanying waste removal work. There are thought to be industrial waste illegal dumping sites still remaining undetected and there is a high possibility that chemicals and other substances having adverse effects on the environment are left. Therefore, it is required to detect and remove of industrial waste illegal dumping sites as soon as possible. In a mountainous area, cliff or other out-of-the way place, however, detection itself is difficult with existing methods and continuous analysis is also very difficult. Therefore, to survey such a large environmental issue, remote sensing is a very effective means of investigation. With a background like this, this study deals with environmental analysis and monitoring of industrial waste illegal dumping sites using remote sensing technology and aims at developing a method for early detection of industrial waste illegal dumping sites based on the findings obtained by that analysis.

I would like to write the summary of results given in this research as follows.

1. Environmental analysis of industrial waste illegal dumping sites using satellite remote sensing

When an object on the ground surface reflects or emits radiation of electromagnetic wave such as sunlight, it has inherent characteristics specific to the material and state of the object. Because the reflection characteristics also vary with different surface objects and other factors, it is possible to judge the environmental conditions and changes of an industrial waste illegal dumping site from those variations. This study used MODIS data, SPOT data, Quickbird images, Aster DEM (digital elevation model) data and others to establish a satellite remote sensing system capable of wide-area monitoring and survey around an industrial waste illegal dumping site from our campus. Using this system, vegetation analysis, terrain analysis and temperature analysis were performed in and around an industrial waste illegal dumping site on the Aomori-Iwate prefectural border. As a result, the following was obtained.

- (1) Three channels were taken out of the SPOT data and they were allocated to the three primary colors of blue, green and red to compose a color image so that a woodland, grassland,

vacant land, water area and other features could be interpreted by the colors. Near infrared rays are strongly reflected by the plant cell structure and they were assigned to the red color. By this, a deep red area indicates a woodland, and a somewhat light red area indicates a field or the like. On the other hand, a blue area indicates that there are few plants. Spectral information was available from the SPOT data in the four periods of 1992, 2003, 2004 and 2005. Using this information, the surface objects at various places were classified by the maximum likelihood method based on the Bayesian formula. The features of the industrial waste illegal dumping site were classified into five zone types or 1: water area and wetland, 2: vacant land, 3: grassland, 4: woodland, and 5: plastic impervious sheet. Based on the calculated results, an appropriate color was assigned to each zone type to represent them as a classification map. This made it possible to keep track of land cover change visually. As a result, it was found that the land cover at the industrial waste illegal dumping site had undergone a large change compared to the whole area around the site. In particular, the vegetation showed a slight increase between 1992 and 2003; however, it decreased severely from 2003 to 2005. As the removal work proceeded, it was confirmed to have disappeared completely in 2005. Plastic impervious sheet was installed for the environmental restoration work and its proportion to the entire site increased from 0 pixels in 1992 to 2003 to 86 pixels (0.22 percent) in 2004 and 222 pixels (0.56 percent) in 2005. As described above, it was shown that how the site ground surface changed with the actual progress of the work could be monitored quantitatively by satellite remote sensing.

(2) From the DEM data, the terrain feature parameters were extracted based on slope angle, curvature and the like, and all the pixels were classified as a peak, ridge, pass, plain, river, bowl and other terrain types. Through this classification, it was shown that an upland, cliff or other similar terrain feature would be seen in an industrial waste illegal dumping site. By integrating the DEM data with a Quickbird image with a spatial resolution of 2.4 m, a three-dimensional topographic map of the site was created. On this map, the roads, cliffs, buildings and others in and around the site could be recognized clearly.

(3) Using Bands 31 and 32 of the MODIS data, a temperature analysis was performed by the Planck equation. It was found that the ground surface temperature at the site tended to be slightly higher than the adjacent area. It has also been shown that this temperature difference has gradually decreased from 2004 to present with the progress of the removal work.

2. Environmental analysis of industrial waste illegal dumping site by ground-installed observation instruments

For detailed environmental analysis of the industrial waste illegal dumping site, an environmental analysis system capable of measuring water and weather data continuously from a remote place was established. By installing an infrared camera, it became possible to keep track of the work conditions at the site in real time. These field sensors were installed in and around the site, including the downstream area, to monitor seepage water from the site and purified water from the seepage water treatment facility. The sensor data was compared and investigated to confirm that pollution dispersion to the surrounding areas had not occurred.

The pH and electric conductivity values are approaching the water quality of a separate water system far from the site, and this confirms an improvement to some extent. From these results, it can be thought that the environment has been restored by the effects of waste removal and the seepage water treatment facility.

3. Proposal of industrial waste illegal dumping site early detection method by land cover change extraction and spectral analysis

The preceding analysis was performed to find that the industrial waste illegal dumping site had different features from its surroundings concerning spectral distribution, vegetation and land cover. Accordingly, an industrial waste illegal dumping site early detection method was proposed. The method is based on this finding and uses land cover change extraction, spectral analysis and other techniques.

First, extract information on land cover from satellite images taken in multiple different periods, and perform color image composition to extract the places where a marked change has occurred. From three-dimensional terrain information, extract the areas having an upland, cliff or other characteristic terrain. Further, perform a detailed classification of the ground surface objects according to their spectral characteristics. After that, in cooperation with other research institutes, local governments or other bodies, obtain information on water quality changes as from residents to narrow down the scope of investigation, and finally conduct a field survey. By performing this series of operations, it is possible to detect industrial waste illegal dumping sites early.

As stated above, this study established a remote sensing environmental analysis system and devised an analytical method. From the results of an actual analysis, it was shown that remote monitoring and evaluation of environmental restoration work were possible. Further, an industrial waste illegal dumping site early detection method was proposed. This method is based on the above-mentioned findings and uses land cover change extraction, spectral analysis and other techniques. The effectiveness of the method was verified as well.

Both at home and abroad now, there are a few reports on remote sensing analysis. Especially, the like of an industrial waste illegal dumping site earth detection methods are hardly seen. Therefore, the early detection method proposed in this thesis will make a very great contribution to environmental administration and waste disposal. Not only does early detection minimize the damage to the environment, but applications of the method can also be expected to deter illegal dumping in some future day.

Professor (Chairperson) Shigetaka FUJITA