

衛星リモートセンシングによる未発見産業廃棄物不法投棄現場の 早期発見法の開発に関する研究

佐々木 崇 徳

要 旨

大量生産・大量消費の現代において、資源問題とともに重大な問題となっているのが廃棄物問題である。特に、事業者から排出される産業廃棄物は、その膨大な量のため、処理にも莫大な費用がかかり、不法投棄も後を絶たない。そう言った産業廃棄物の不法投棄は、当然の事ながら人目につきにくい場所、例えば山間部などで多く行われ、投棄開始から発覚までにかかなりの時間を要してしまう。そのため発見された頃には、周辺環境への影響が懸念されるほどその規模が大きくなってしまっている。また、不法投棄の発見に関しても自治体による地道なパトロールなど、人的コストがかさんでおり、視察対象の選定も周辺住民からの情報などに頼らざるを得ず、効率的とは言えないのが現状である。

そこで本研究は、こういったケースに対して、広域的かつ継続的に環境情報を解析出来る衛星リモートセンシングを用いて、未発見産業廃棄物不法投棄現場を早期発見するための解析手法の開発を目的とした。

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業廃棄物不法投棄現場の環境解析早期発見法を構築する上で、産業廃棄物不法投棄現場の特徴を理解する必要がある。そのため、まず人工衛星による環境解析によって、産業廃棄物不法投棄現場がその周辺環境と比較してどのような違いを持つかを明らかにした。用いた人工衛星および搭載センサー類はアメリカ NASA の地球観測衛星 Terra および Aqua の MODIS、Terra 搭載の ASTER から得られた ASTERDEM、フランス CNES の SPOT、日本のだいち (ALOS) である。このうち MODIS は直接受信によって、それ以外はデータを購入して解析を行った。各衛星およびセンサーは、MODIS はスペクトル解析、植生解析、地表温度・熱容量解析に用い、SPOT、だいち は植生解析、ASTERDEM は地形解析に用いた。

植生解析は植物の構造に起因する近赤外光の強い反射と、赤色バンドの吸収を用いて計算される NDVI (正規化植生指数) を計算して植物の活性度を解析した。解析の結果、15 件中 12 件の産業廃棄物不法投棄現場において、周囲と比べ植生が著しく低い傾向が見られた。これは、産業廃棄物

学位記番号と学位：博第 43 号，博士 (工学)

授与年月日：平成 21 年 3 月 19 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

不法投棄現場に於いては、投棄のために森林が伐採されていたり、土壌の変化により周辺の植物の生育状況や種類に変化が現れているためであると考えられる。

地表温度解析はMODISにより取得された熱赤外スペクトル分布から、Planck 輻射方程式を用いて温度を算出し、周辺との温度差について検討した。温度解析では6カ所の不法投棄現場で周囲とは地表温が異なるとの結果が出た。これらの場所に於いては投棄されている廃棄物の種類が発酵性や発火性を持つ物で、生物学的・化学的变化によって発熱していることが周囲との温度差を生んでいると考えられる。

熱容量解析は、地表温度解析によって昼夜の地表温度差を計測し、さらに太陽放射から地面に吸収されたエネルギーを算出して比をとることで熱容量を求め、周辺との熱容量比について検討した。この解析では15カ所中14カ所が周囲と異なる傾向を示した。これは熱容量は物質が違っていると異なる値を持つため、土中や地表に廃棄物等の周辺の土壌とは異なる物質が存在する為であると考えられる。

地形解析は、DEM データから、崖などの産業廃棄物不法投棄現場特有の傾向を持つ場所とについて分析・検討を行った。その結果、不法投棄現場のうち崖などの特徴に当てはまったケースは少なかった。これは大規模不法投棄現場は比較的大きな面積で平坦な場合が多く、小規模投棄のように道路脇の崖のような場所に投棄されているケースが少ないためだと考えられる。

スペクトル解析については10カ所において特徴が見られた。これらのケースは野積み状態か処理が開始されている現場であるケースで、覆土された処理開始前の現場では特徴は解析できなかった。

2. 不法投棄現場の傾向以上の各種解析法は、それぞれ産業廃棄物不法投棄現場における特徴を示すことができ、その情報からある程度現場の可能性のある場所を特定できることが明らかになった。しかしながらそれぞれの結果は、必ずしも廃棄物に限った結果というわけではなく、たとえば温度であれば地下に温泉などが存在する場合、植生であれば地形的要因による変化、熱容量では鉱脈や地下水などといったケースでも周囲とは異なる値が出るということが十分に考えられる。従って異常値が出るのがすなわち不法投棄現場であると断定することはできない。

3. 早期発見法の構築と検証上述の結果をふまえ、熱容量、植生、地表温度およびスペクトル解析の2つ以上の特徴に合致するケースを不法投棄現場の可能性の高い場所として検出する方法を考案した。4つの解析法のうち、産業廃棄物不法投棄現場の特徴として、すべてのケースで当てはまる可能性が高いのは熱容量解析である。不法投棄現場では、少なくともその場所や周辺とは異なる物質が地表または地表近くの地中に存在しており、熱容量に変化を与える可能性が高い。そのため熱容量解析を早期発見法におけるベースとし、さらに他の環境解析を組み合わせた評価関数を定義し、それによって産業廃棄物不法投棄現場の有無および可能性の高低を評価する。なお、各種解析結果は0～1の間の値をとるように規格化された評価値の形で用いた。

開発した早期発見法の検証のため、既知の産業廃棄物不法投棄現場を含む地域と、いくつかの不法投棄現場を含まない場所に於いて、3～6箇所の評価対象点を選定して早期発見法を適用し、産業廃棄物不法投棄現場のみが適切に検出できるかを検証した。その結果不法投棄現場を含む15件に関してはすべてのケースで不法投棄現場が存在する可能性があるかと判定され、一方不法投棄現場を含まないケースにおいてもすべてのケースで可能性なしと判定できた。不法投棄現場を含むケースにおいてはすべてに於いて現場自体は可能性大と判定された。なお、5件のケースでは現場以外に可能性中以上の判定が出た評価対象点があったが、いずれも可能性は中で、現場以外の1箇所のみにとどまった。

以上の結果から、開発した早期発見法は一定エリア内における産業廃棄物不法投棄現場の有無および可能性の大小を検出することが十分可能であることが明らかになった。この早期発見法により検出された場所に対して自治体等が巡回を行い現地確認を行うことで、従来よりも早期に不法投棄現場を特定することができる

これまで、国内外における産業廃棄物不法投棄現場に対する衛星リモートセンシングに関する報告はほとんど例がなかったが、本研究による成果が先駆けとなり、ここ数年で徐々に注目され始めている。その中でも本論文で提案している早期発見法は先駆的であり、環境行政や廃棄物処理に対する寄与は非常に大きい。

産業廃棄物不法投棄の早期発見により、規模の増大を防ぐことで環境へのダメージを最小限にとどめられるばかりでなく、いずれは不法投棄への抑止力としての応用なども期待できる。

主指導教員 関 秀 廣

Research on Development of Early Detection Method for Undiscovered Industrial Waste Illegal Dumping Site using Satellite Remote Sensing

Takanori SASAKI

Abstract

At the present age of mass production and the heavy consumption, waste problems are as serious as resource problems. Especially, in the case of industrial waste which is exhausted by enterprises, it costs to manage enormously for huge amount, and illegal dumping doesn't stop. Such industrial waste is naturally dumped to the place that doesn't attract public attention such as mountainous district, and it takes a long time from the beginning of dumping to discover the site. Therefore, scales of illegal dumping site have been growing by fearing the environmental influence when it was discovered. Moreover, the discovery of illegal dumping is not necessarily efficient under the present situation because it costs human resources as a steady patrol by municipality and the selection of inspection targets relies on information from residents.

Accordingly in this research, it is aimed to develop early detection method for undiscovered industrial waste illegal dumping site using satellite remote sensing which is able to analyze environmental information over very wide area continuously.

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

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

It is necessary to understand characteristics of industrial waste illegal dumping site for development of early detection method. Therefore, I clarified difference between industrial waste illegal dumping site and its surroundings by environmental analysis using satellite remote sensing. Satellites and sensors used in this research is as follows: MODIS which equipped on Terra/Aqua which are NASA(U.S.A.)'s earth observing satellite, ASTER DEM which is equipped on Terra, SPOT which is CNES(France)'s satellite, and ALOS which is Japanese satellite. MODIS was received directly and other data were bought and analyzed. MODIS was used to spectrum analysis, vegetation analysis, land surface analysis, and heat capacity analysis. SPOT and ALOS were used to vegetation analysis and ASTER DEM was used to geographical

analysis. 15 large scale illegal dumping sites of the scale that exceeded 100,000t were selected, and used as targets of analysis.

As a vegetation analysis, NDVI(Normalized Difference Vegetation Index) which is calculated by using the absorption of red band and strong reflection of near infrared band that originates in the structure of the plant was used to analyze. As a result of analysis, the tendency that remarkably low NDVI was seen at 12 industrial waste illegal dumping sites compared with surroundings. This is thought that it is because the forest is deforested to dump waste or difference of the soil causes the change of growth and kind of plant.

As a land surface temperature analysis, temperature difference between the site and its surroundings calculated by Planck equation using spectrum distribution given by MODIS was investigated. As a result, land surface temperature of six illegal dumping sites was higher than surroundings. Kind of waste of their site is fermentative and ignitable, and it is thought that they have caused temperature difference by biological or chemical change.

As a heat capacity analysis, heat capacity was calculated by the ratio of absorbed energy to land surface temperature difference between day and night, and heat capacity ratio of the site to surroundings was investigated. In this analysis, the tendency of difference from surroundings was seen at 14 sites. It is thought that this difference was caused by the different materials on and under the soil in the site from surroundings because heat capacity is different by each material

As a geographical analysis, peculiar geographical features to industrial waste illegal dumping site like cliffs were analyzed and investigated using DEM. As result, the case that fulfilled the feature such as cliffs was few. This is thought that it is because area of illegal dumping site was large and flat.

As a result of spectrum analysis, characteristics were seen at 10 sites. In these case, waste was piled up out in the open or management had been started. In these case, waste was piled up out in the open or management had been started. However, characteristics of site which was covered with soil and not started managements were not able to analyze.

2. The tendency of illegal dumping site

Environmental characteristics on the industrial waste illegal disposal site were shown by above-mentioned various analytical methods. Moreover, it was clarified to be able to specify the place with possibility of illegal dumping site from this information. However, each result is not necessarily caused by only waste. For example of the case of land surface temperature, there may be hot spring under the ground. Geographical factor may cause a vegetation change, and

vein and ground water can show different heat capacity from surroundings. Therefore, it cannot be concluded as illegal dumping site from only unexpected value.

3. Construction and verification of early detection method

In consideration of the above-mentioned result, I designed the method of detecting as a place with the possibility of illegal dumping site by two or more characteristics of environmental analyses such as heat capacity, vegetation, land surface temperature and spectrum. In four analyses, the analysis of characteristics which can fulfill almost all industrial waste illegal dumping sites is heat capacity analysis. In illegal dumping site, at least there are different materials from surroundings on or under the soil, and the possibility that the change of heat capacity caused by them is high. Therefore, early detection method is based on heat capacity analysis, and possibility is investigated by combining other analytical result. Incidentally, each analytical result was normalized to the value from 0 to 1 to use as evaluation value.

For the evaluation of developed early detection method, detection experiment was conducted by applying the method to 3-6 points in the area where includes some known illegal dumping site. For the comparison, another area where does not contains illegal dumping site were used to the experiment. detection experiment was conducted by applying the method to 3-6 points in the area where includes illegal dumping site and some other area without it. On the other hand, in the case of the area without dumping sites, all of them were judged that thses area does not contains illegal dumping site. As a result, all of 15 sites were detected as high possibility site. In five cases, another point was detected, but only one point other than the site.

According to this result, it was clarified that existence and possiibility of illegal dumping site in a certain area is possible to be detected by the developed early detection method. The illegal dumping site can be specified earlier than hitherto by patrolling and confirming by municipality the place detected with this method.

There were few reports about satellite remote sensing on industrial waste illegal dumping site inside and outside our country hitherto. However, these have begun to attract attention by result of this research. This early detection method is pioneered, and contributes to the environmental administration and waste management greatly. Early detection of industrial waste illegal dumping sites can be expected to not only suppressing damage to environment by preventing from enlargement of the site, but also suppressing illegal dumping in the future.

Professor(Chairperson) Hidehiro SEKI