

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 4 月 11 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23404017

研究課題名(和文) 全世界を対象とした最終処分場衛星監視ネットワーク構築のための現地調査

研究課題名(英文) Study on Application of Remote Sensing for Worldwide Landfills Monitoring

研究代表者

島岡 隆行 (Shimaoka, Takayuki)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：80202109

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円、(間接経費) 4,050,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、海外の大規模な廃棄物最終処分場をターゲットとし、温室効果ガスの主要な発生源である途上国の廃棄物最終処分場からのメタン放出量を高精度に推定するため、日本、中国、インドネシア等の最終処分場において現地調査を実施し、現地調査データとリモートセンシングを利用したメタン放出量手法を開発することを試みた。

本研究の実施により、メタン放出量とそれに関連する影響因子、特に埋立地の植生と関連性を把握し、メタン放出に関するモデルを構築した。また、リモートセンシングデータを用いることで埋立地表面の含水率分布やメタンフラックスの面的分布状況を推定できる可能性があることを示した。

研究成果の概要(英文)：The need for wide-area monitoring of landfill site is high since it can be used for environmental monitoring such as GHG emission estimation and the evaluation of waste stabilization. Whilst the surface layer of landfill site contain spots that have high temperature and/or high moisture content, landfill gas is generated during stabilization emit as a flux to cover surface by concentration diffusion and thermal convection. In this study, field survey for the measurement of moisture content, surface temperature, methane flux was conducted at landfill sites in several countries such as Japan, China and Indonesia. The observation was carried out with ground level measurement and low-altitude remote sensing such as visible image analysis, and thermal image analysis. A balloon was used for the low-altitude remote sensing platform. The result of this study showed that moisture content and methane flux distribution in a landfill can be estimated using remote sensing technique.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木環境システム

キーワード：最終処分場 モニタリング リモートセンシング 廃棄物 メタン

### 1. 研究開始当初の背景

各国の温室効果ガス削減に関する取り組みは喫緊に成果を挙げるべき課題となっている。廃棄物埋立地はメタン発生源としての寄与が大きいとされ埋立地から放出されるメタンは、他の発生源をあわせた全球発生源の10%程度に相当すると概算されている。人為発生源の中では、最終処分場からのメタン放出の抑制が世界的に重要と考えられているが、実施における放出実態の把握や制御可能な因子の検討に関する研究は、現状で十分とは言えず、各国における廃棄物分野の主要検討課題の一つとなっている。メタン放出に関する研究は発展途上の段階にある。埋立地等の実現場におけるメタン放出量の計測方法として、これまで伝統的に用いられてきた手法は、地表面にお椀型のチャンバーを被せてその中の濃度を計測する閉鎖式チャンバー法である。近年では、レーザーメタン検出器、TDL-AS等の機器が登場し、測定手法は進化しつつあるが、埋立地の多数のポイントにおいて測定が必要となる閉鎖式チャンバーは多大な時間と労力が必要であり、レーザーメタン検出器や TDL-AS での測定においても、地表の凹凸や植生による測定阻害や、風の影響を受けやすいため広大な埋立地を一度にカバーすることは不可能である等の解決すべき課題が存在する。

### 2. 研究の目的

本研究では、海外の大規模な廃棄物最終処分場をターゲットとし、温室効果ガスの主要な発生源である廃棄物最終処分場からのメタン放出量を高精度に推定するため、現地調査データおよび衛星リモートセンシングを利用した手法を開発することを目的とした。具体的には以下の点について検討することとした。

- ・メタン放出量と影響因子(特に埋立地覆土の植生の影響について)との関連性把握、メタン放出に関するモデル構築
- ・上記に関する現地観測データ、リモートセンシングデータ(埋立地覆土上の植生指数、土壌含水率等、表面温度等)とを統合したメタン放出量の推定手法の確立

なお、研究申請当初はリモートセンシングデータとして陸域観測技術衛星「だいち」(ALOS)の利用を検討していたが、平成23年5月に当該衛星の運用が停止した。他の高解像度衛星画像は非常に高価であり利用できなかった。そこで、本研究ではバルーン等のリモートセンシングプラットフォームを現地で飛ばして、高度25~100m程度の低高度から最終処分場を撮影することで高分解能の可視画像や熱画像等のリモートセンシングデータを取得することとした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 廃棄物埋立地における埋立ガス放出量に及ぼす植物の影響

廃棄物埋立地では、有機性廃棄物の嫌気性分解によって埋立ガスが発生しているが、廃棄物層や覆土層からの埋立ガス放出メカニズム、特に覆土層に生育する植物の影響に関しては解明されていない。そこで、本研究では、廃棄物埋立地における埋立ガス放出量に及ぼす植物の影響について明らかにするための実験およびモデル構築を行った。カラム実験では植物を介して放出されるメタンと土壌表面を介して放出されるメタンを区別して測定し、植物を介したメタン放出の比率を評価した。さらに、植物を介したメタン放出比率への植物種および土壌の土質特性の影響を評価した。また、屋外実験により、植物の生育条件の異なる模型槽3つを用いてメタンフラックスを測定し、植物がある模型槽と植物が無い模型槽のメタンフラックスの大きさを比較した。さらに、植物からのメタン放出を再現するためのモデルを構築を試みた。

#### (2) 埋立地メタンフラックスの面的推定のためのスキャン法の開発

これまで埋立地におけるメタン放出量の測定のために伝統的に使用されてきた静的チャンバー法では、広大な面積を有する埋立地全体をカバーするのに多大なる時間と労力が必要となる。また、特定のポイントにおける測定では、ホットスポット(メタン放出量が特異的に高い場所)を見落とす可能性がある。そこで、本研究では、20m×20m程度の範囲のメタン濃度分布を簡易に測定し、メタン濃度とフラックスの関係からメタン放出量を推定するスキャン法の開発を試みた。スキャン法は、20m離れた位置に設置した2本のポールの間ワイヤを張り、ワイヤに吊るしたLMD(Laser Methane Detector)によって地表面から高度約1mまでのメタン濃度の平均値を測定する。2本のポール間のLMDを電動モーターで移動させることにより、線上を連続的に測定することが可能であり、また、1回の測定後にポールを並行移動させることで、埋立地の面的なメタンガス濃度分布を測定することができる。本手法の有効性を確認するため、インドネシア・ジャカルタ市のバンターゲバン最終処分場およびマカッサル市のタマンガパ処分場において実証実験を行った。

#### (3) リモートセンシングを活用した埋立地表面の覆土の含水率および温度のモニタリングとメタンフラックスの推定

廃棄物処分場のモニタリングでは、埋立処分された廃棄物の安定化の度合を把握することが重要である。廃棄物の安定化度を評価するための指標の一つとして、埋立廃棄物層内部における有機性廃棄物の分解や化学反

応に伴い上昇した埋立層内部の温度を測定する方法がある。埋立地の内部温度は一般に60度前後になると言われており、分解により発生した埋立ガスが熱対流により輸送されることで、埋立廃棄物層内部において発熱して高温となっている場所から、地表部分へも熱が伝わってくることが考えられる。そのため、上空から廃棄物処分場の覆土表面の温度分布を計測することで、内部の有機性廃棄物の分解状況を有る程度推測できる可能性がある。覆土の表面温度から内部の安定化状況を推定する上で重要となるのが、埋立ガスの移動に影響を及ぼす覆土の含水率や通気係数である。そのため、温度と同時に含水率や通気係数に関する情報を取得する必要がある。また、廃棄物の分解により発生したメタンガスが熱対流や濃度拡散により地表からフラックスとして放出され、ホットスポットとして現れる。このホットスポットの温度を計測しメタンフラックスとの相関を検討することで埋立地におけるメタンフラックスを推計できる可能性がある。そこで、本研究では、最終処分場覆土の表面温度、含水率、通気係数の面的な分布状況をリモートセンシングにより取得し、さらに地表温度とメタンフラックスとの関係を分析することを試みた。リモートセンシングのプラットフォームとして、当初人工衛星(だいち)により撮影された衛星画像を使用する予定であったが、平成23年に運用停止となったため、高解像度の画像を得るため、小型気球にデジタルカメラや熱赤外線撮影装置(サーモカメラ)等を搭載し、2.5m~100m程度の低高度から撮影することとした。

#### 4. 研究成果

##### (1) 廃棄物埋立地における埋立ガス放出量に及ぼす植物の影響

- 植物一本をカラムに移植した実験により、 $CH_4$ の一部が植物を介して大気へと放出されていることを確認し、本研究の実験条件における植物を介した $CH_4$ 放出比率は0.6~63.3%であり、植物を介した $CH_4$ 放出には植物種と土壌の土質特性が影響しており、土壌の通気係数が小さいほど植物を介した $CH_4$ 放出比率は大きくなった。
- さらに、廃棄物埋立地の植生を模擬して植物を群生させた模型槽を用いた実験においても、カラム実験同様、植物を介した $CH_4$ 放出が確認された。また、植物を群生させた模型槽の $CH_4$ フラックスは、実験開始初期の10月は高い値であったが、以後減少傾向を示し、実験を終了した2月に小さくなった。NDVIも同様の傾向を示したことから、この理由として、実験期間の秋から冬にかけて植物が次第に枯れたために植物を介した $CH_4$ 放出が制限された、と推察された(図1,図2)。

- 土壌中の $CH_4$ が植物根に透過し、植物体内を拡散によって大気中へ放出されると仮定したモデルを構築し、植物を介した $CH_4$ 放出を表現することができた(図3)。

表1 植物種、植被率、 $CH_4$ 供給量に関する実験条件

実験用コンテナ	A	B	C
植物種	オヒシバ(イネ科)	オオアワダチソウ(キク科)	なし
植被率	90%	90%	0%
$CH_4$ 供給量	$CH_4$ 60%、 $CO_2$ 40%混合ガス 2.43ℓ		

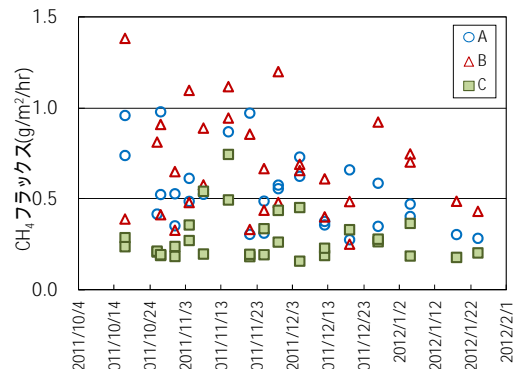


図1 異なる植物種、植被比率の条件下での $CH_4$ フラックス測定結果

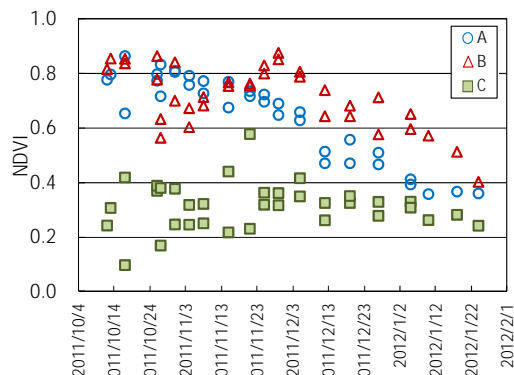


図2 NDVIの測定結果

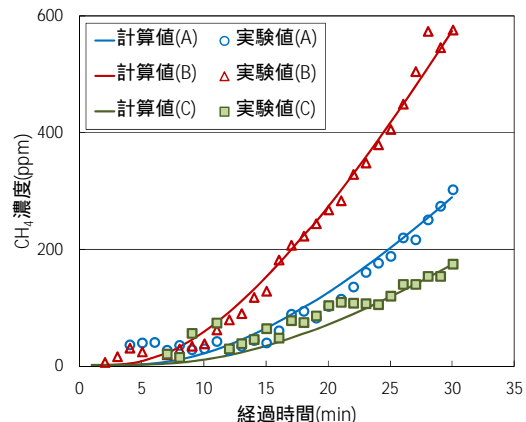


図3 異なる植生条件におけるメタン濃度推移の実験値とモデルによる計算値の比較

また、モデル中の植物による放出を表す特性値  $r/dr$  には NDVI および温度環境が影響を及ぼしていた。

(2)埋立地メタンフラックスの面的推定のためのスキャン法の開発

- ・ スキャン法により 20m×20m 程度の範囲のメタン濃度の分布を 20 分程度で測定することが可能であった(図4, 図5)。
- ・ メタンフラックスの値が非常に高いホットスポット(本研究では  $200 \text{ g} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{hr}^{-1}$  程度以上)では、メタンフラックスと高度 1m 程度の地表付近のメタン濃度の間に正の相関関係が認められた。一方でメタンフラックスの低い場所では、風等のメタンフラックスと濃度との相関はあまり高くなかった(図6)。
- ・ インドネシア・タマンガパ最終処分場における1年間のメタン放出量をスキャン法、静的チャンバー法、IPCC デフォルトメソッドの3つの異なる手法で推定した結果、それぞれ  $33.4 \text{ Gg/yr}$ 、 $8.61 \text{ Gg/yr}$ 、 $15.72 \text{ Gg/yr}$  となり、スキャン法による推定結果が最も高い値となった(表2)。これはスキャン法で面的にメタン濃度を測定することにより、局所的にメタン放出量が非常に高い場所(ホットスポット)の見逃さずに測定できていたことが一因と考えられる。

(3)リモートセンシングを活用した埋立地表面の覆土の含水率および温度のモニタリングとメタンフラックスの推定

- ・ 小型気球に通常のデジタルカメラ、サーモカメラを搭載して上空から最終処分場を撮影し、可視画像、熱分布画像を取得できた。小型気球はリモートセンシングによる最終処分場モニタリングのために有効なプラットフォームであることを確認した。
- ・ 小型気球から撮影された可視画像と、スペクトルパターン分析から導かれた回帰式を用いて覆土表面の含水率を一定の精度で推計することができた。
- ・ 小型気球から撮影された熱分布画像から、覆土表面の温度を一定の精度で測定することができた。太陽光の影響が少ない早朝に撮影した埋立地の温度分布から、有機物の分解等により発熱していると考えられる場所を把握することができた。
- ・ 小型気球から撮影された熱画像とチャンバー法で計測したメタンフラックスの間に相関があることを確認した。地表面温度とメタンフラックスの関係を表す回帰式について計測高度別に評価したところ、計測高度 50m程度までであれば、ある程度の精度でメタンフラックスを推計することが可能と考えられた。



図4 メタン濃度分布の測定の様子(インドネシア・タマンガパ最終処分場)

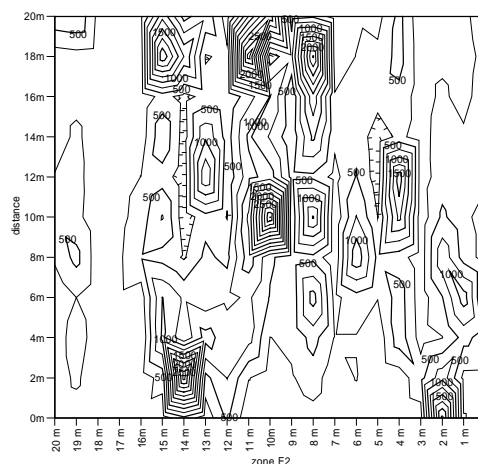


図5 タマンガパ最終処分場E区画におけるメタン濃度の面的分布

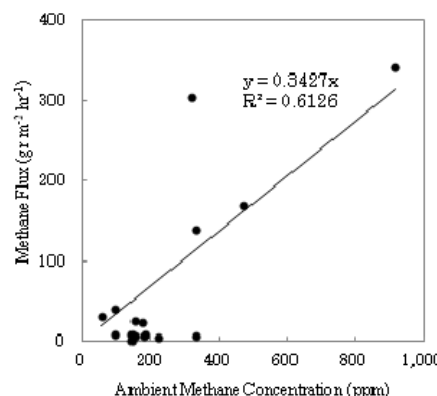


図6 メタンフラックスと地表から高度約1mまでの平均メタン濃度の関係

表2 タマンガパ最終処分場におけるメタン放出量推定値の比較

推定手法	メタン放出量 (Gg/yr)
スキャン法	33.4
静的チャンバー法	8.61
IPCC デフォルト法	15.72





図 7 低高度リモートセンシングの様子(中国崇明島埋立地における実施例)

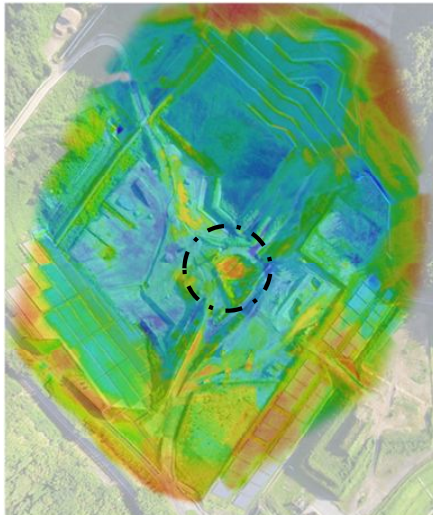


図 8 福岡市中田埋立場における覆土表面温度の測定結果

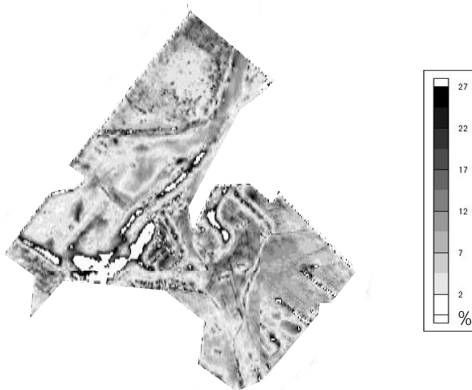


図 9 福岡市中田埋立場における覆土表面の含水率分布の推定結果

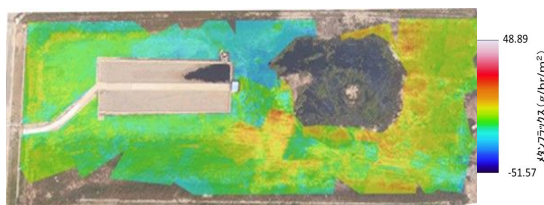


図 10 中国崇明島最終処分場におけるメタンフラックス分布の推定結果

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

高橋麻由, 中山裕文, 小宮哲平, 島岡隆行: 廃棄物埋立地における埋立ガス放出量に及ぼす植物の影響に関する研究, 土木学会論文集 G, Vol.68, No.6, pp.II-139-146, 2012

〔学会発表〕(計 13 件)

高山裕明, 中山裕文, 島岡隆行: 小型気球を用いた低高度熱赤外線リモートセンシングによる最終処分場のメタンフラックス推計に関する研究, 平成 25 年度土木学会西部支部研究発表会, pp.861-862, 2014 年

宮原哲也, 中山裕文, 島岡隆行, 高山裕明, 上田祐一, 山下修一, 八村智明, 永岡修一: リモートセンシングによる廃棄物処分場の情報取得に関する研究第 24 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演論文集, pp.509-510, 2013

高山裕明, 宮原哲也, 中山裕文, 島岡隆行: 低高度リモートセンシングによる最終処分場モニタリングに関する研究, 第 41 回環境システム研究論文発表会講演集 pp.409-414, 2013 年

Hirofumi Nakayama, Asiyanthi T. Lando, Takayuki Shimaoka: Estimation of Methane Emissions in a Landfill by Using Surface Scanning Method, Proceedings of the 4<sup>th</sup> China-Japan Joint Conference for the Community Formation on Material Recycling and Waste Management, pp.44-47, 2013

Asiyanthi Tabran Lando, Hirofumi Nakayama and Takayuki Shimaoka: Estimation of Spatial Variation of Methane Emission in a Landfill, Proceedings of the 7th International Symposium on the East Asian Environmental Problems, pp.116-120, 2013

Asiyanthi Tabran Lando, Hirofumi Nakayama, Takayuki Shimaoka: Monitoring of Methane Concentration in Indonesia Landfill Sites, Proceedings of the 1st IWWG-ARB Symposium, 2013

Tetsuya Miyahara, Hirofumi Nakayama, Takayuki Shimaoka,

Hroaki Takayama, Shuichi Yamashita, Yuichi Ueda, Tomoakai Hachimura and Shuichi Nagaoka : Low-Altitude Remote sensing for Monitoring of Surface Temperature and Moisture Content in a Landfill Site, Proceedings of the 7th International Symposium on the East Asian Environmental Problems, pp.168-174, 2013

Asiyanthi Tabran Lando, Hirofumi Nakayama and Takayuki Shimaoka : Estimation of Spatial Variation of Methane Emission in a Landfill, Proceedings of the 7th International Symposium on the East Asian Environmental Problems, pp.116-120, 2013

Hirofumi Nakayama, Takayuki Shimaoka, Mayu Takahashi, Tepei Komiya and Xiaoli Chai : MODELING OF LANDFILL GAS EMISSION THROUGH VEGETATION, Proceedings of the 6th International Symposium on the East Asian Environmental Problems, pp.38-41, 2012

高山裕明, 中山裕文, 小宮哲平, 島岡隆行, リモートセンシングによる廃棄物処分場覆土表層の面的情報取得に関する研究, 土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集, 2012

高山裕明, 中山裕文, 小宮哲平, 島岡隆行, 衛星リモートセンシングによる廃棄物処分場覆土表層の面的情報取得に関する研究, 平成 23 年度土木学会西部支部研究発表会, 2012

Mayu Takahashi, Hirofumi Nakayama, Takayuki Shimaoka, Xiaoli Chai : Relation Between the Effect of Vegetation on CH4 Emission and Cover Soil Property, Proceedings of the 5th International Symposium on the East Asian Environmental Problems, pp.25-28, 2011

Asiyanthi T. Lando, Hirofumi Nakayama, Takayuki Shimaoka : Introduction To Landfill Sites in Jakarta City, Indonesia, 平成 24 年度廃棄物資源循環学会討論会ポスター発表会, 2012

〔産業財産権〕  
出願状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
出願年月日 :  
国内外の別 :

取得状況 (計 0 件)

名称 :  
発明者 :  
権利者 :  
種類 :  
番号 :  
取得年月日 :  
国内外の別 :

〔その他〕  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

島岡 隆行 (SHIMAOKA, Takayuki)  
九州大学大学院・工学研究院・教授  
研究者番号 : 80202109

##### (2) 研究分担者

中山 裕文 (NAKAYAMA, Hirofumi)  
九州大学大学院・工学研究院・准教授  
研究者番号 : 60325511

##### (3) 連携研究者

小宮 哲平 (KOMIYA, Tepei)  
九州大学大学院・工学研究院・助教  
研究者番号 : 20457451

〔図書〕(計 0 件)