

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

九州大学大学院工学府	学生会員○高山 裕明	九州大学大学院工学研究院	正会員	中山 裕文
九州大学大学院工学府	非会員 宮原 哲也	九州大学大学院工学研究院	フェロー会員	島岡 隆行
MH I 船海エンジニアリング (株)	非会員 山下 修一	MH I 船海エンジニアリング (株)	非会員	吉田 誠
同済大学環境科学工程学院	非会員 柴 晓利			

1. はじめに

最終処分場はメタンガスの主要な人為的発生源の一つであるが、その放出量の正確な推計手法は確立されていない。廃棄物層内の温度は一般に 60℃前後になるといわれており、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面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測定しメタンフラックスとの相関を検討することで最終処分場におけるメタンフラックスを推計できる可能性がある。ここで、近年、気球を利用した空撮技術が目覚ましく進歩していることに注目し、小型気球に熱赤外線画像を撮影するサーモカメラを搭載することで、低高度リモートセンシングのプラットフォームとして利用することを試みた。調査対象を中国の崇明生活ごみ埋立場とし、小型気球に搭載したサーモカメラから得られた熱画像を用いてメタンフラックスとの相関関係を検討しメタンフラックスの推計を試みた。

2. 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

図 1 に本研究の流れを示す。まず現地調査にてチャンバーを用いてメタン濃度を測定した。また小型気球を用いて上空から熱赤外線画像を撮影した。チャンバー内のメタン濃度増加率からメタンフラックスを算出し、熱赤外線画像の放射強度を 0～255 の 266 段階の輝度に変換しメタンフラックスとの回帰式を導出した。その回帰式を用いてメタンフラックス推計を行った。

2-1 崇明生活ごみ埋立場: 崇明生活ごみ処分場は崇明島の堡鎮港北閘の東側に位置している。(図 2) 埋立地面積が 3ha、一日あたりの処分量が 400～600t、嫌気埋立を採用しており、未焼却の有機性廃棄物が廃棄物層厚 3.5m まで埋立てられその上に堆積土による覆土を行っている。

2-2 崇明生活ごみ埋立場での熱赤外線画像の撮影とメタンガス濃度の測定: 本研究で使用した小型気球は、全長 5.5m、最大直径 60cm、容量 1.6m³ 最高撮影高度 250m である。この小型気球には通常可視画像撮影用のデジタルカメラが搭載されるが本研究ではマウント部分を改良しサーモカメラ (サーモショット F30) を搭載した。このカメラの測定精度は±2℃ (0℃～40℃撮影距離 50cm)、視野角水平 28°×垂直 21°、有効画素数 160 (H) ×120 (V) である。強風下でも安定する特殊形状の小型気球に搭載された撮影装置をラジコン送受信機で操作し、地上モニターで確認しながら被写体を撮影し送信するシステムを用いた (図 3)。また、メタンガス濃度の測定では崇明生活ごみ埋立場の裸地の一部 (10m×10m) を選定し、その範囲の植生をすべて伐採した。さらにそれを 25 区画 (5×5) に分けてそれぞれの区画の中央を代表としチャンバーを用いてメタンガス濃度を測定し (式 1) を用いてメタンフラックスを算出した。

$$F_c = \rho \cdot \frac{V}{A} \cdot \frac{\Delta C}{\Delta t} \cdot \frac{273}{(273 + T)} \cdot 10^{-6} \quad (1)$$

ここで F_c:チャンバー内のメタンフラックス(g/m²・hr)、ρ:メタンガスの密度(g/m³)、V:チャンバーの体積(m³)、A:チャンバーの底面積(m²)、ΔC/Δt は経過時間濃度変化(ppmv/hr)、T はチャンバー内の温度(℃)である。また、調査範囲内に存在したクラックについても個別にメタンガス濃度を測定した。覆土表面に存在したクラックの位置を図 4 に示す。同時に地表面下 50cm～60cm 深度のメタンガス濃度も測定した。

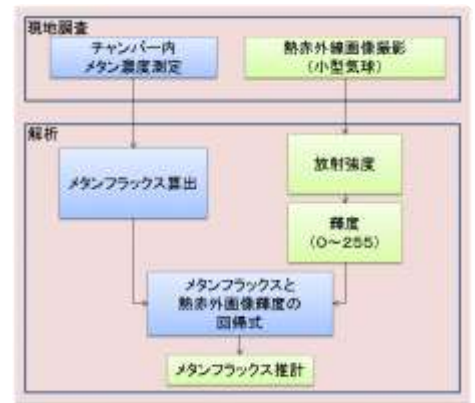


図 1 研究の流れ



図 2 崇明生活処分場



図 3 小型気球を用いたリモートセンシングシステム

2-4 崇高生活ごみ埋立場の熱画像撮影: 上記で設定した区画を熱赤外カメラを搭載した小型気球を用いて上空から撮影を行った。撮影は日射の影響が少ない早朝 6 時ごろから、高度 25m～150m まで 25m おきにそれぞれの高度で行った。例として 25m から撮影された熱赤外線画像を図 5 に示す。

3. 調査結果と考察

区画中央の地表面および、クラックを有する場所のメタンフラックスとその地表面下 50cm～60cm 深度のメタンガス濃度を表 1 に示す。ここで数字の No.1～No.25 は区画の番号、C1～C9 はクラックの番号である。高度 25m から得られた熱赤外線画像の放射強度を 0～255 の値で表す輝度表示に変換し、その輝度と区画中央、及びクラックのメタンフラックスとの相関関係は図 6 の様になった。また、回帰式は式 2、決定係数は 0.47 となった。

$$F_t = 0.49 b - 48.64 \quad (2)$$

ここで、 F_t : 輝度から推計されたメタンフラックス ($\text{g/m}^2/\text{hr}$)、 b : 熱赤外線画像輝度 (-) である。続いて高度 50m、100m から撮影された画像を用いて同様の解析を行った結果を図 7～8 に示す。高さ 50m、100m における回帰式の決定係数はそれぞれ 0.10、0.08 となった。本研究で使用したサーモカメラの解像度では 25m までの高さにおいてある程度の精度でメタンフラックスを推計できた。高さ 25m から撮影された熱赤外線画像より推計されたこの 25 区画(10m×10m)の平均メタンフラックス 4.36 ($\text{g/m}^2/\text{hr}$)、チャンバーを用いて計測された 25 区画の平均メタンフラックスは 3.04 ($\text{g/m}^2/\text{hr}$) となった。熱赤外線画像が大きな値を示したのは、調査範囲全体の面的な温度分布データをメタンフラックスが比較的大きい高温部を見逃すことなく推計できているためと考えられる。調査範囲内からの推計メタンガス放出量は 436 (g/hr) となった。なお、区画別の地下 50cm～60cm のメタン濃度とメタンフラックスの関係図は図 9 のようになった。図 9 から地中のメタン濃度と地表面におけるメタンフラックスに相関関係はないことがわかる。

4. まとめ

本研究では小型気球にサーモカメラを搭載し崇高生活ごみ埋立場の熱赤外線画像を取得し、小型気球が最終処分場における低高度リモートセンシングのプラットフォームとして利用可能であることを示した。また地上で測定したメタンフラックスとサーモカメラから得られた熱画像を用いて熱画像とメタンフラックスの回帰式を得た。さらにその回帰式を用いて熱赤外線画像からある程度の精度でメタンフラックスを推計することができることを示した。

(謝辞)

同済大学の学生の皆様には現地での調査にてご協力頂きました。記して謝意を表します。

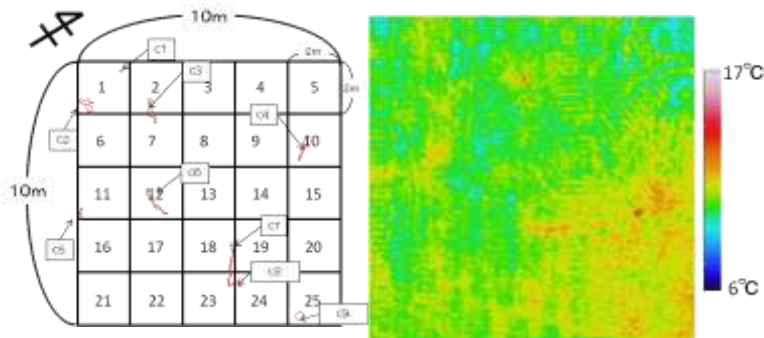


図 4 調査範囲の区画分割図とクラックの位置 図 5 高度 25m から撮影された熱赤外線画像

区画 No.	フラックス ($\text{g/m}^2/\text{hr}$)	地中メタン濃度 (%)	区画 No.	フラックス ($\text{g/m}^2/\text{hr}$)	地中メタン濃度 (%)
1	7.29	0.20	18	5.66	2.00
2	0.16	10.20	19	9.72	7.60
3	0.50	0.30	20	2.22	3.00
4	0.10	4.00	21	10.88	9.80
5	0.05	0.10	22	0.05	1.00
6	0.09	2.00	23	3.74	0.10
7	17.64	10.70	24	0.33	3.70
8	0.21	3.90	25	0.53	22.00
9	0.67	4.30	C1	15.38	未測定
10	0.26	3.60	C2	32.83	〃
11	6.81	15.50	C3	32.81	〃
12	3.79	7.30	C4	4.24	〃
13	4.05	0.10	C5	6.64	〃
14	0.24	0.10	C6	5.66	〃
15	0.31	4.60	C7	17.69	〃
16	0.00	3.60	C8	1.12	〃
17	0.71	12.90	C9	9.91	〃

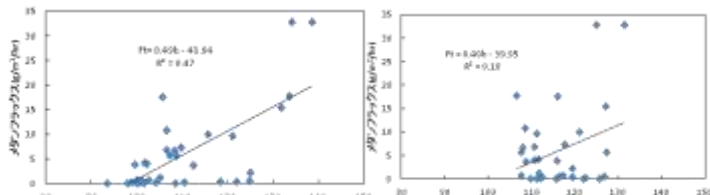


図 6 メタンフラックスと熱画像輝度の関係 (高度 25m) 図 7 メタンフラックスと熱画像輝度の関係 (高度 50m)

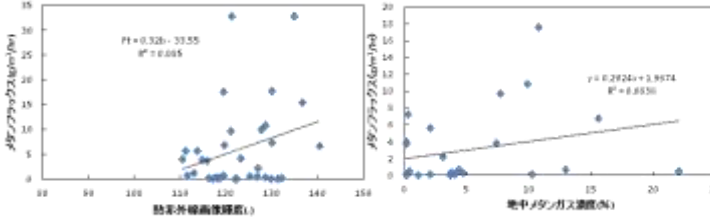


図 8 メタンフラックスと熱画像輝度の関係 (高度 100m) 図 9 メタンフラックスと地中のメタン濃度の関係