

埋立廃棄物の発熱が地表面温度に与える影響
 ～不法投棄・不適正処分現場の遠隔検出のための基礎的研究～

九州大学 学生員 ○小宮哲平 九州大学 正員 中山裕文
 崇城大学 正員 上野賢仁 九州大学 正員 島岡隆行

1. 研究目的

土中に廃棄物が埋められている場所と、そうでない場所とを比較すると、太陽光による地表面の温度上昇の度合いが異なる。これは、廃棄物と土との間の熱伝導率・比熱・密度などの違いにより、廃棄物が埋められている場所で熱の流れが変化するためである。また、発熱（微生物分解反応や水和反応など）する廃棄物が埋められている場合は、その発熱により埋立廃棄物周辺で土中の熱流が増加する。以上のことから、土中に廃棄物が埋められている地表面では、そうでない周辺部の地表面と異なる温度分布を示す。この変化を衛星リモートセンシングにより検出することができれば、覆土等によりカモフラージュされた不法投棄現場の発見に寄与できるものと考えられる。

そこで本研究では、リモートセンシングによる不法投棄現場の検出を目的として、土中に埋められた廃棄物が地表面温度分布に与える影響を、室内実験と2次元伝熱モデルの双方から確認した。

2. 室内実験¹⁾²⁾

廃棄物が埋められている場所では、太陽光による地表面の温まり方どのような違いがあるかを室内実験により調べた。実験は、建設廃棄物が土中に埋められているケースを想定し、人口太陽（ハロゲンランプ）による光を照射し、廃棄物が埋められている場所とない場所での地表面の温度差を測定した。実験に用いた土は真砂土、廃棄物としては、モルタル、コンクリート、レンガ、石膏ボード、木、プラスチック、発砲スチロールの7種類の試料（10cm×10cm×3cmの直方体）を用意した。また、廃棄物上の覆土厚は1cmとし、地表面からハロゲンランプ（300W）までの距離は60cmとした。地表面温度の測定は、5分間隔で30分間行った。その際、室温は常に17°Cに保った。

表-1 定常状態での推定温度差

発砲スチロール	2.6
木	1.9
石膏ボード	1.1
プラスチック	0.9
レンガ	0.6
コンクリート	0.6
モルタル	0.5

図2に、測定結果（廃棄物がある場合とブランクとの地表面温度の差）を示す。また、表1は、実験結果に近似曲線 $y=y_{max}(1-\exp(-kt))$ (y :温度差 y_{max} :定常状態での温度差 k :増加速度係数 t :時間) をあてはめること

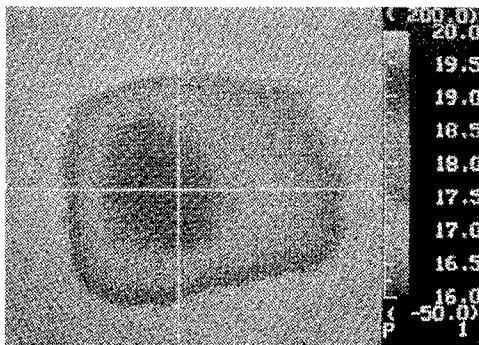


図-1 発砲スチロールを埋めた時の地表面温度分布
 (サーモレーサで撮影)

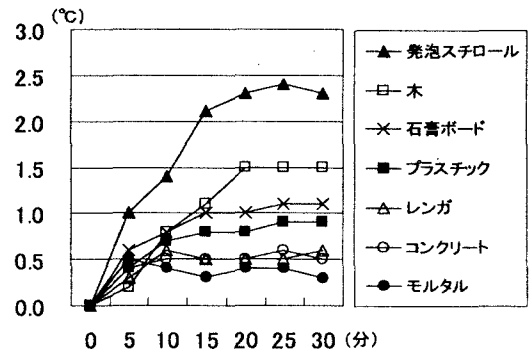


図-2 実験結果（廃棄物真上と周辺との地表面温度差）

で求めた定常状態での推定温度差である。温度差は、発泡スチロールが最大で 2.6 度、モルタルが最低で 0.5 度となった。本実験でハロゲンランプからの光の入射量は、太陽による日射の日最大量よりも小さいため、野外では条件が揃えば、より大きな地表面温度差が得られるものと考えられる。

3. 伝熱モデル³⁾⁴⁾

熱伝導のフーリエの法則、対流熱伝達のニュートンの冷却則、熱輻射のステファン・ボルツマンの法則を用いた 2 次元伝熱モデルを作成した。図 3 はモデルのイメージ図である。□A B C D の内部は土壌であり、直線 A B が深さ方向、A D が水平方向で地表面である。また□E F G H の内部は土壌中に埋められた廃棄物の層である。土壌内部および廃棄物内部での伝熱は基本的には熱伝導 (q_{cond}) のみを考えればよいが、廃棄物が発熱性を有する場合は内部発熱 (q_{gen}) を考える。ただし、今回は廃棄物の発熱項を用いた計算は行っていない。地表面での伝熱では土壌内部からの熱伝導のみならず、日射 (q_{sun})、大気による対流熱伝達 (q_{conv})、および土壌表面からの熱輻射 (q_{rad}) も考慮した (モデルの詳細については、発表時に説明する予定である)。図 4 はその計算結果と室内実験の結果を比較したものである。地表面温度差の違いは、埋立廃棄物の温度伝達率 (= 熱伝導率 / 比熱 / 密度) に左右されていることを確認した。

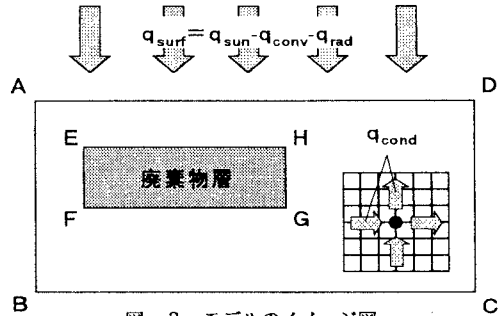


図-3 モデルのイメージ図

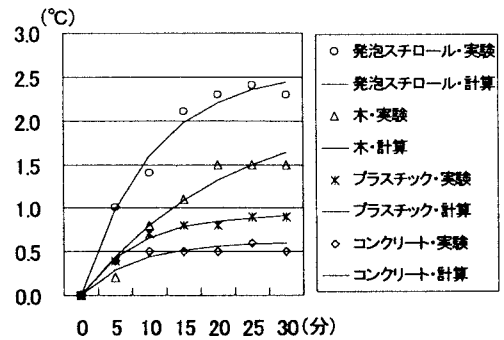


図-4 モデル計算結果と実験結果との比較

4. まとめ

室内実験により、廃棄物などが土壌中に埋められている場所の地表面は、周辺の地表面との間で温度差が生じることから、熱赤外センサにより検出できる可能性があることを示した。また、その温度差を求めるための数値モデルを構築し、実験結果と計算結果との整合性を確認した。

5. 今後の課題

実験においては、覆土の厚さ、覆土の含水率、気温、湿度、風速など、地表面温度に影響を与える他の因子についてのデータを室内実験により得るとともに、野外実験により現実の気象条件下でのデータを入手していくことが課題である。また、伝熱モデルにおいては、各種パラメータの精緻化とともに、廃棄物の発熱や土壌中の水分による影響なども考慮できるようにモデルを更新し、検出しやすい諸条件 (周辺地表面と埋立地表面との温度差が最大になる時間帯・時期・気象条件など) を埋立廃棄物の種類ごとに求めていく予定である。最終的には、衛星熱赤外センサにより不法投棄・不適正処理現場を検出する際に参考となり得るデータを提示できるようにする。

謝辞：本研究は、国立環境研究所・受託研究「衛星熱赤外センサによる不法投棄箇所の識別能力の評価と検出確実性の検証」の補助を受けて行った成果の一部である。記して謝意を表する。

<参考文献>

- 1) 岡本芳三：遠赤外線リモートセンシング熱計測法，コロナ社
- 2) 岡本芳三：リモートセンシング熱イメージ法，コロナ社
- 3) J.P.ホールマン：伝熱工学<上>，ブレイン図書出版
- 4) J.P.ホールマン：伝熱工学<下>，ブレイン図書出版