

埋立廃棄物が地表面温度に与える影響についての基礎的研究

九州大学大学院 学生員 ○小宮哲平 井上建児
九州大学大学院 正 員 中山裕文 島岡隆行
崇城大学 正 員 上野賢仁

1. はじめに

本研究では、土壤内に埋められた廃棄物が地表面の温度分布にどのような影響を与えるか、実験および数値解析により検討した。埋立処分された廃棄物や覆土等でカモフラージュされた廃棄物の不法投棄を遠隔検出するためのツールとして、地表面の温度分布を観測できる熱赤外リモートセンシングが適用可能かを検討するための基礎的な研究である。

2. 埋立廃棄物が地表面温度に与える影響

ある物体が土壤中に埋められ、その物体の熱特性が土壤のそれとは異なる場合、土壤内の熱流は変化し、地表面温度にも変化が生じてくる。また、その物体が発熱するものであれば、熱流・地表面温度の変化はさらに大きくなると考えられる（図-1）。本研究では、土壤中に廃棄物が埋められている場合を想定し、その際の地表面温度の変化について解析した。なお、今回は、発熱性を有しない廃棄物を対象とした。

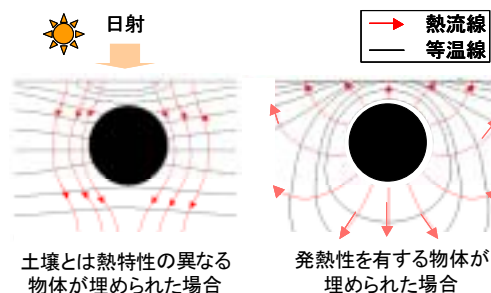


図-1 埋立廃棄物が地表面温度に与える影響

2-1 実験

日中陰のできない場所に材質の異なる複数の廃棄物を埋め、その上に 10cm 厚の覆土を施した。この場所と、埋立廃棄物がない場所との地表面温度差を測定した。その結果を図-2 に示し、発泡スチロールやベニヤ板といった断熱性の高いもので大きな温度差が得られた。また、コンクリートの場合の地表面温度は、埋立廃棄物がない場所に比べ、昼間は低く、夜間は高いという結果が得られた。

室内で行った同様の実験結果を図-3 に示す。この実験では、周囲を断熱材に覆われた容器（内径 32.5cm、深さ 32.5cm）に真砂土を敷き詰め、覆土厚 1cm で廃棄物試料（10cm×10cm×3cm）を埋めた。その地表面をハロゲンランプで 30 分間照射し、5 分おきに放射温度計で地表面温度を測定した。その際、室温を一定（17℃）に保った。ここでも、発泡スチロールやベニヤ板で大きな温度差が得られた。

2-2 伝熱モデルによる数値解析^{1), 2)}

(1) 伝熱モデルの構築

本研究で用いる伝熱モデルの構造について以下に述べる。地表面における伝熱では、日射、大気輻射、地

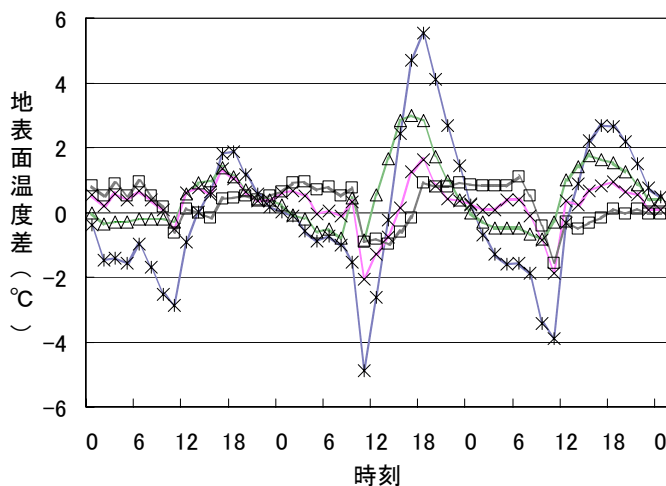


図-2 埋立廃棄物の有無による地表面温度差（野外実験）

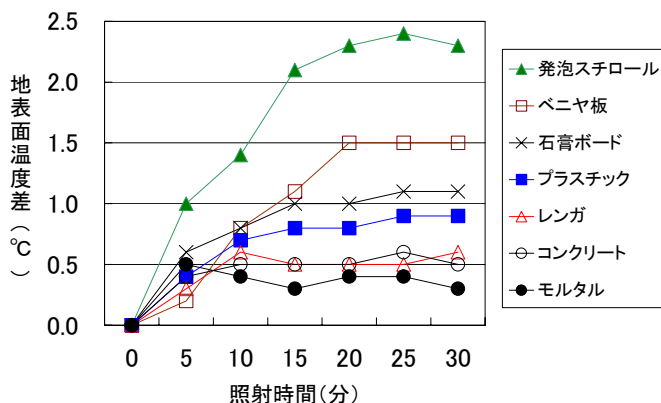


図-3 埋立廃棄物の有無による地表面温度差（室内実験）

キーワード 不法投棄, 埋立廃棄物, 地表面温度, 伝熱モデル

連絡先

〒812-8581 福岡県福岡市東区箱崎 6-10-1 環境システム科学研究センター TEL092-642-4092

表面輻射、土壌内への熱伝導の4形態を考慮し、土壌および埋立廃棄物内部における伝熱では熱伝導のみとした。輻射による熱流束は、温度の4乗に比例するというステファン・ボルツマンの法則を適用した。また、熱伝導に関しては、温度勾配に比例して熱流束が生じるというフーリエの法則を用いた。図-4に、本モデルを構成する方程式を示す。

(2) シミュレーション

伝熱モデルにより室内実験の再現を試みた。採用した各物性値は、日射量 60W/m^2 、気温 290K 、土壌・廃棄物温度 288K 、土壌の輻射率 0.94 、空気の輻射率 0.92 、土壌の熱伝導率 0.84W/m/K 、土壌の温度伝達率（＝熱伝導率/比熱/密度） $9.54 \times 10^{-7}\text{m}^2/\text{s}$ とした。また、表-1に廃棄物試料の熱特性値を示す。

シミュレーション結果を図-5に示す。発泡スチロールやベニヤ板では、土壌に比べ熱伝導率が低いために、埋立廃棄物上の土壌内に熱が溜まり、地表面温度が上昇したと考えられる。発泡スチロールの場合は、さらに土壌よりも $c\rho$ （単位体積あたりの比熱）の値が極端に低く、温まり易いため、より大きな温度差が得られたものと考えられる。また、コンクリートでは、逆に土壌に比べて $c\rho$ の値が極端に高く、温まり難いため、地表面温度差が負になったと考えられる。

図-5に示す結果から、室内実験との整合性はある程度得られたと言える。コンクリートにおいて実験結果を再現できなかった理由とし、①埋立廃棄物が無い場合との地表面温度差が小さかったため測定誤差が生じた、②試料を埋める際に空気が多く混入した、が考えられる。

3. まとめ

本研究では、非発熱性の廃棄物が埋められた際の地表面温度の変化を、伝熱モデルにより解析した。地表面温度の増減は、埋立廃棄物と土壌とでの熱伝導率や単位体積あたりの比熱の相対的な大小により生じることを確認できた。今後、発熱性の廃棄物についても取り扱うとともに、地表面温度解析を行う際に土壌・廃棄物中の水分による熱移動を考慮したモデルを構築するつもりである。

最後に、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」（国立環境研究所）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) 岡本芳三ほか：リモートセンシング熱イメージ法，コロナ社，（1995）
2) J. P. ホールマン：伝熱工学（上巻・下巻），ブレイン図書（1982）

熱伝導方程式
$$\frac{\partial T_i}{\partial t} = \frac{\lambda_i}{c_i \rho_i} \left(\frac{\partial^2 T_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_i}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_i}{\partial z^2} \right)$$

境界条件

地表面：
$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z} = q_{\text{sun}} - \sigma(\varepsilon_1 T_1 - \varepsilon_{\text{air}} T_{\text{air}})$$

無限遠：
$$\lim_{m \rightarrow \pm\infty} \frac{\partial T_1}{\partial m} = 0 \quad (m = x, y, z)$$

土壌と廃棄物との境界面：
$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial n} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial n}$$

初期条件 $T_1 = T_2 = T_0$ (n: 境界面に垂直な方向)

添字： i=1(土壌), 2(埋立廃棄物) air(空気)

T: 温度[K], t: 時間[s], λ : 熱伝導率[W/m/K], c: 比熱[J/kg/K]
 ρ : 密度[kg/m³], q_{sun} : 日射量[W/m²], ε : 輻射率[-],
 σ : ステファン・ボルツマン定数[W/m²/K⁴], T_0 : 初期温度[K]

図-4 伝熱モデルの方程式

表-1 廃棄物試料の熱特性値

熱特性値			発泡スチロール	コンクリート	ベニヤ板	土壌
密度	ρ	kg/m ³	12	1998	442	1518
比熱	c	J/kg/K	1010	1050	1300	580
熱伝導率	λ	W/m/K	0.10	1.00	0.16	0.84
温度伝達率	a	m ² /s	8.23E-06	4.77E-07	2.78E-07	9.54E-07

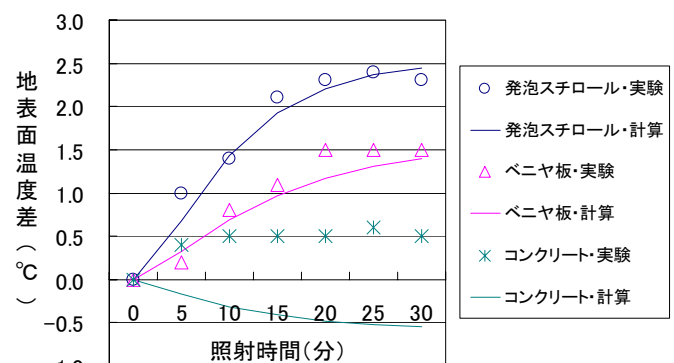


図-5 シミュレーション結果と室内実験結果との比較

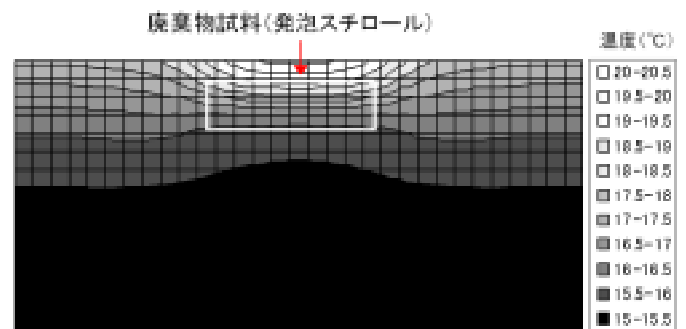


図-6 発泡スチロールを埋めた際の地中内温度