

熱画像を利用した 土壌有機物含有量の計測

2024年2月29日

大阪工業大学 工学部 環境工学科
講師 加賀田 翔

■開発背景

-共同研究提案- (摂南大学 農学部 佐野 修司准教授)

『**土壌中の有機物量の定量評価技術**』

土壌中の有機物とは

- ・有機肥料
- ・有機資材
- ・植物遺体
- ・作物残さ



役割

- 土壌の通気性、保水性、排水性の維持
- 炭素・窒素の物質循環

■従来技術①

目視法



明度によって有機物含有量を判定

表 4-11 有機物含量の区分

区分	記号	基準	明度による判定の目安
あり Low	L	< 2 %	5 ~ 7 (明色)
含む Medium	M	2 ~ 5 %	4 ~ 5 (やや暗色)
富む High	H	5 ~ 10 %	2 ~ 3 (黒色)
すこぶる富む Very high	V	10 ~ 20 %	1 ~ 2 (著しく黒色)
有機質土層 Organic layer	O	≥ 20 %	≤ 2 (軽しょうで 真黒色)

報告書などでは、「有機物富む」のように記載する。

日本ペトロロジー学会編,改訂新版土壌調査ハンドブック(2021)

- 現場で簡便に利用可能
- 大まかな傾向を把握する事は可能
- 定量性、再現性に欠ける
- 色で判別できない有機物もある

■従来技術②

化学分析法

- ・ 燃焼による重量減少を計測する方法
- ・ 燃焼時に生じるガス成分を分析する方法

- ごく少量での評価→**局所的な評価**
(数g以下)
- 粗大な有機物は対象外→**実態と異なる**
(2mm以上は除去して分析)
- 特殊な機器が必要→**現場で使用できない**

■求められる技術

* イメージ写真



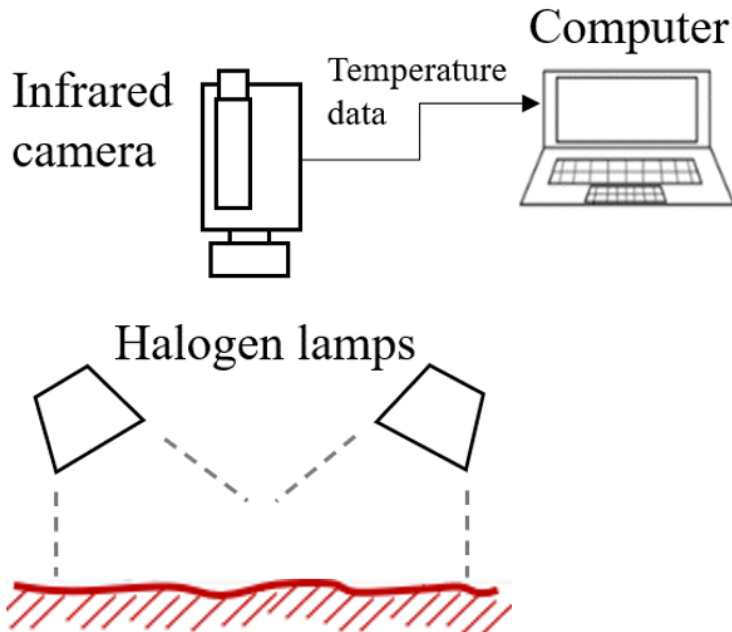
- 非破壊であるがままの状態
- 迅速で簡便に現場で使用
- ほ場内のバラツキも評価



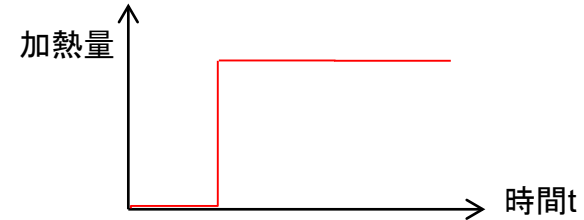
サーモグラフィーを使った熱計測を利用

■ 本技術の原理

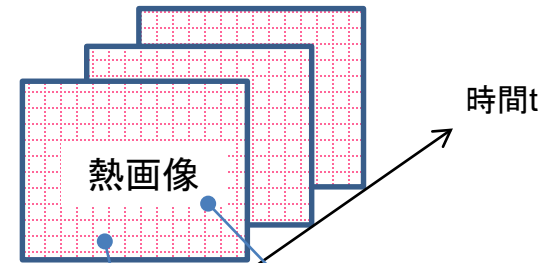
- 加熱ランプで土壌を加熱
- 温度変化の差から有機物を識別



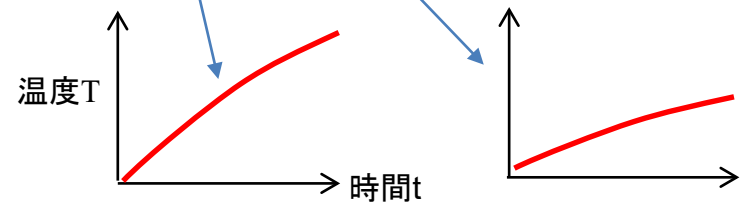
1. 土壌の表面を一定強度で加熱



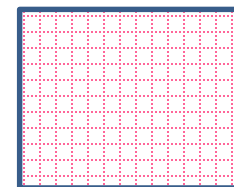
2. 温度変化を時系列の熱画像として記録



3. 各画素の温度の時間変化を解析



4. 温度変化の特徴から物質を識別し、
全画素に占める割合を算出



特徴A(物質A): xx %
特徴B(物質B): yy %

■ 温度変化の特長

A: 木炭・川砂

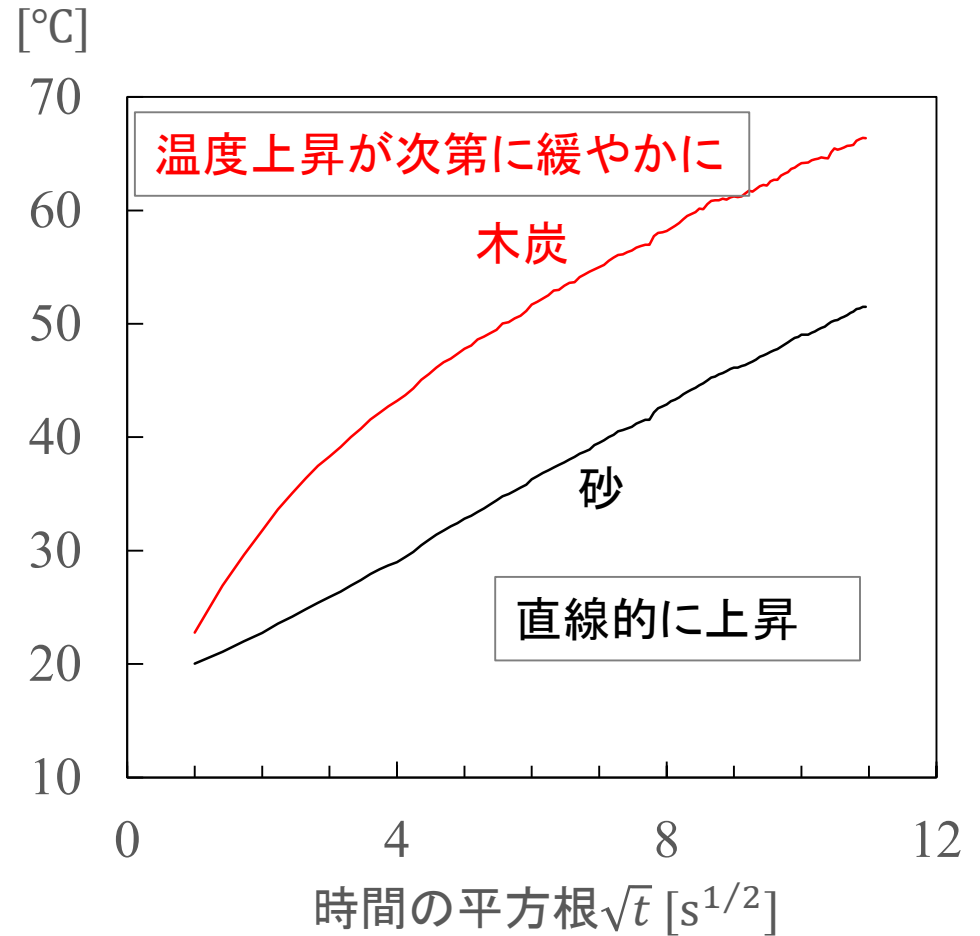


図: 加熱による温度変化

■ 温度変化の特長

B: 稲わら・黄色下層土 [°C]

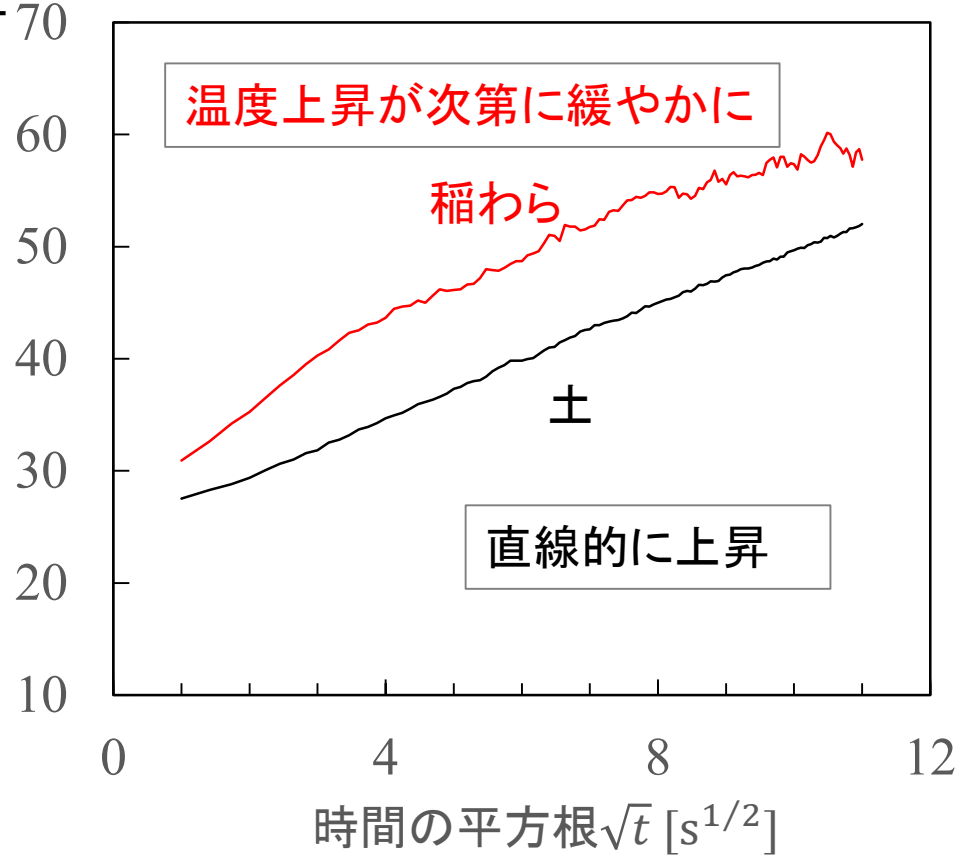


図: 加熱による温度変化

■ 有機物の識別方法

1. 2つの区間で \sqrt{t} に対する温度の上昇率(傾き)を算出

$$A = \frac{\Delta T_A}{\Delta \sqrt{t}} \quad B = \frac{\Delta T_B}{\Delta \sqrt{t}}$$

2. 2つの温度上昇率(傾き)の比 C を算出

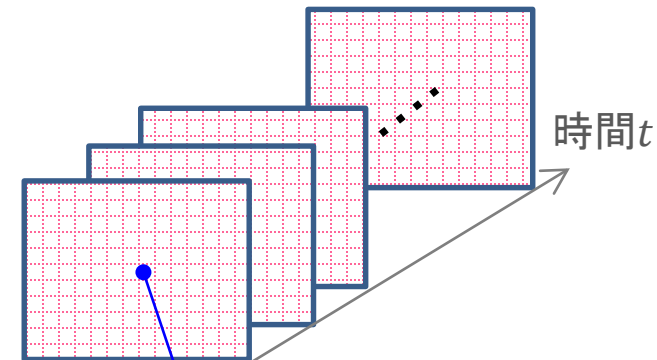
$$C = B/A$$

3. $C < 1$ の画素を有機物として判定
(温度上昇率が変化する画素)

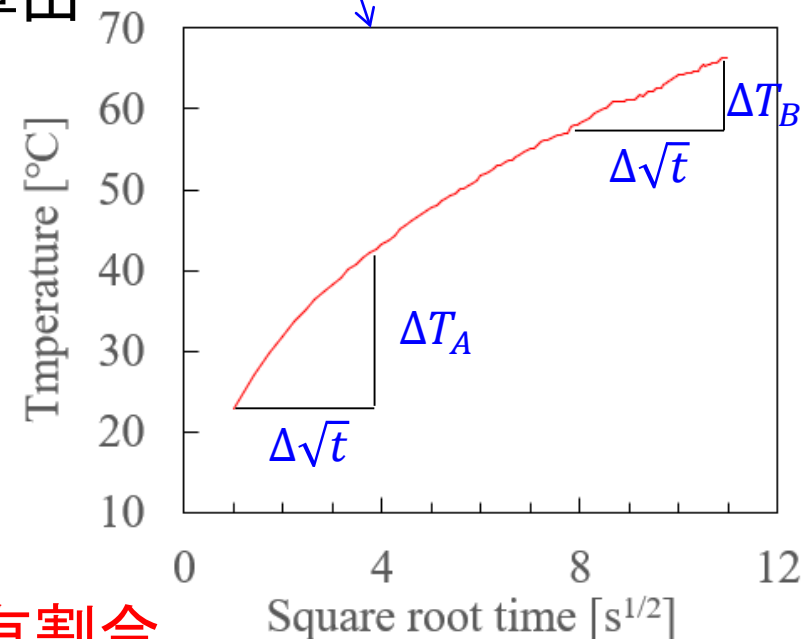
4. 全画素数に占める該当画素数の割合を算出

$$\frac{C < 1 \text{ の画素数}}{\text{全画素数}} = \text{有機物の含有割合}$$

時系列の二次元温度データ



各画素の温度変化



■ 実証試験

光源

- ・ハロゲンランプヒーター(1kW, 色温度3050K)
- ・2個使用し試料を一様に加熱

サーモグラフィ

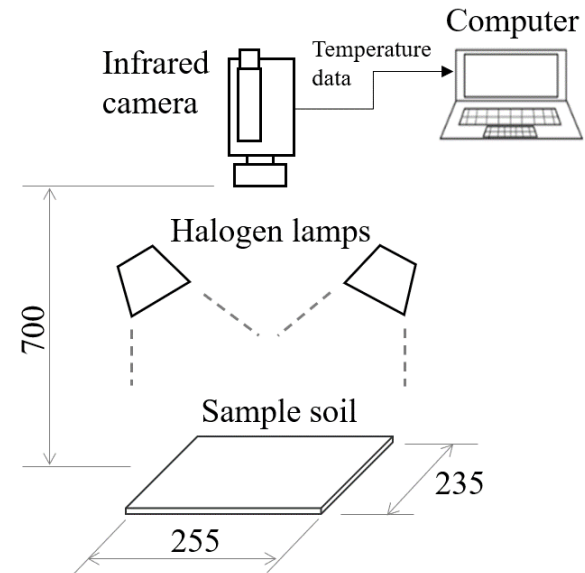
- ・日本アビオニクス株式会社 InfreC R450
- ・測定波長 8~14 μm , 画素数 480×360

測定試料

- ・試料A: 木炭+川砂

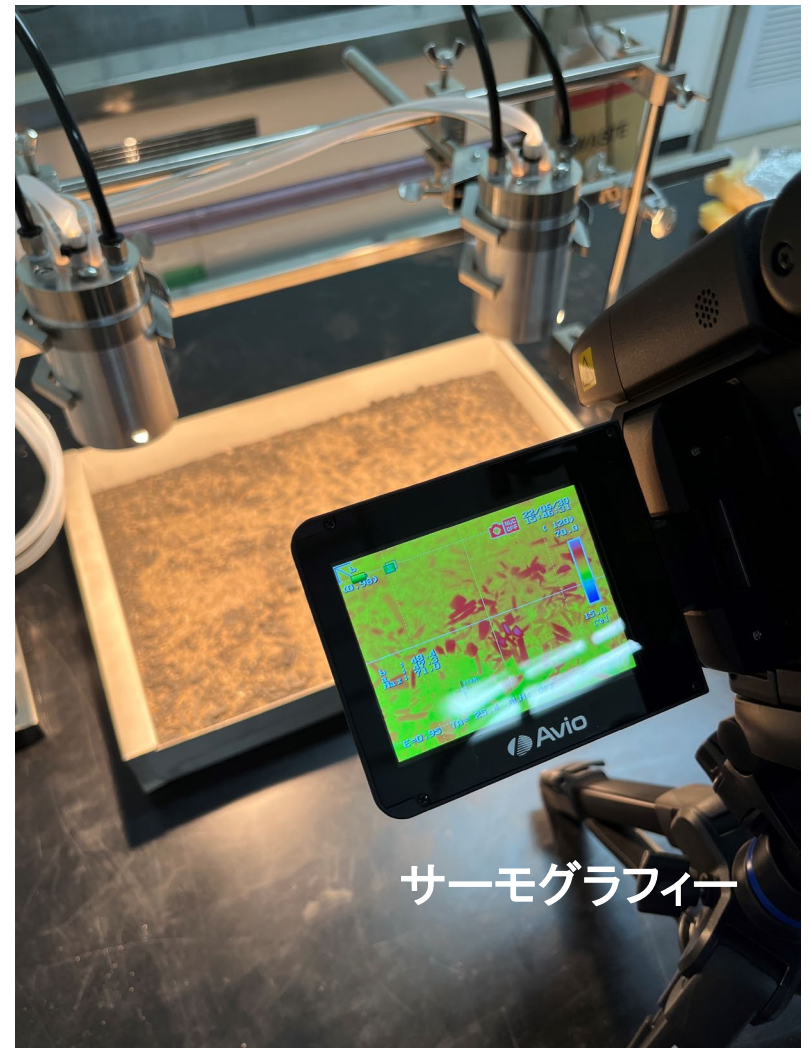


- ・試料B: 稲わら+黄色下層土



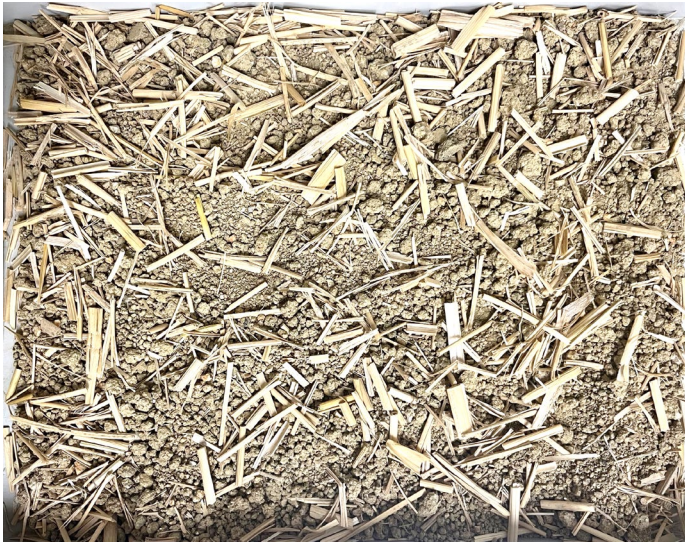
混合割合の異なる複数の試料で検証(例: 3%, 5%, 10%, 20%, 40%)

■ 実験の様子

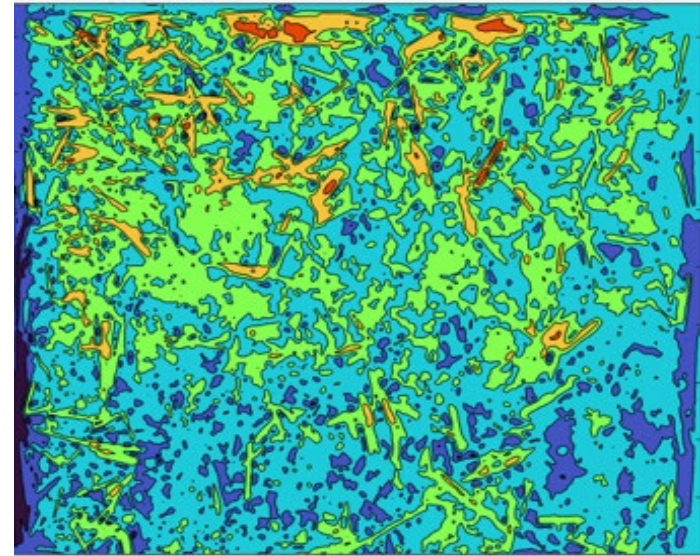


■ 解析結果の例

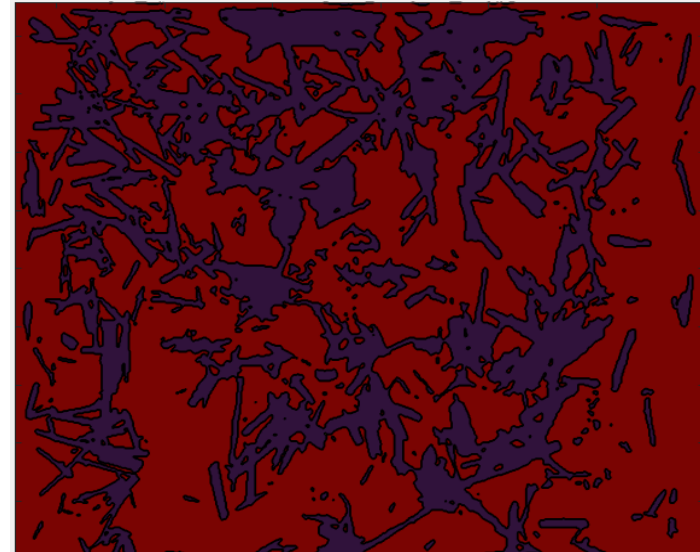
可視画像 (試料B: 稲わら・黄色下層土)



単純な温度の画像

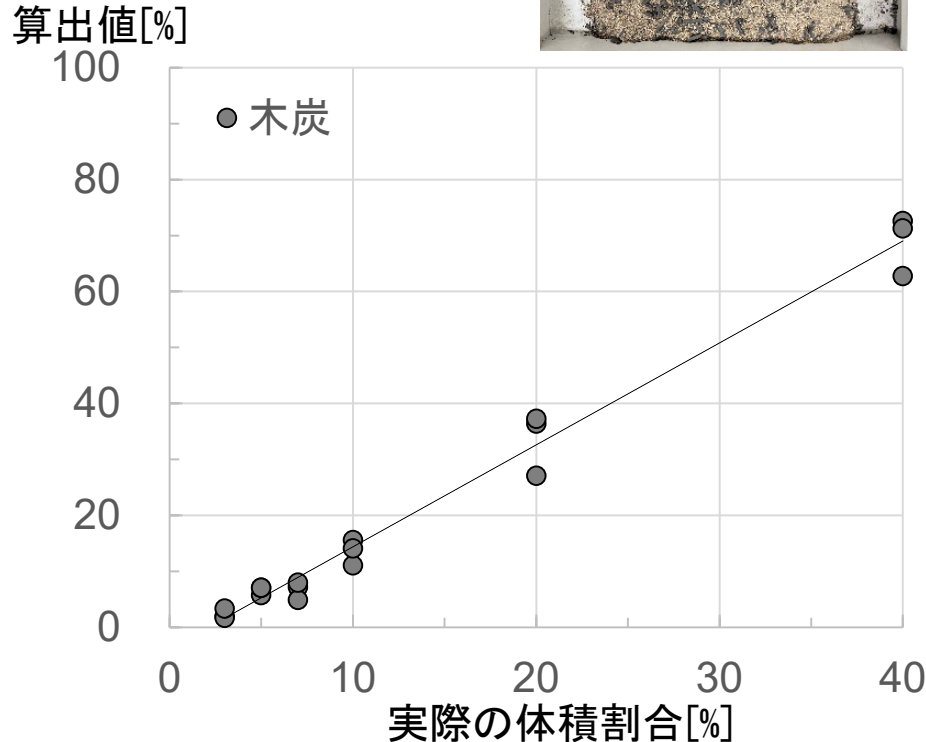


本技術で解析

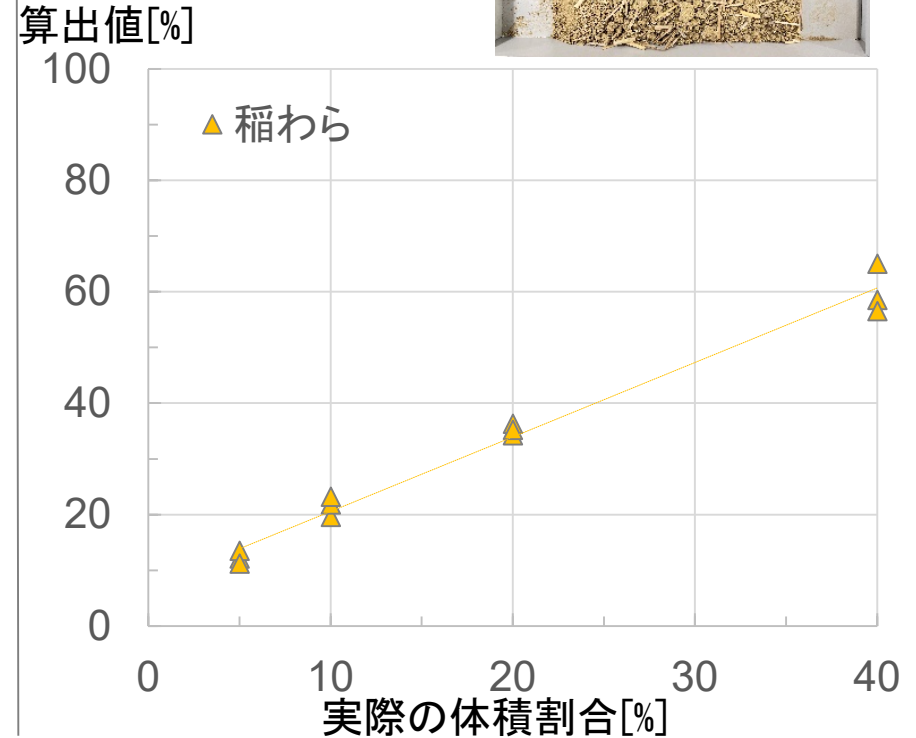


■ 有機物含有量の算出結果

試料A: 木炭+川砂

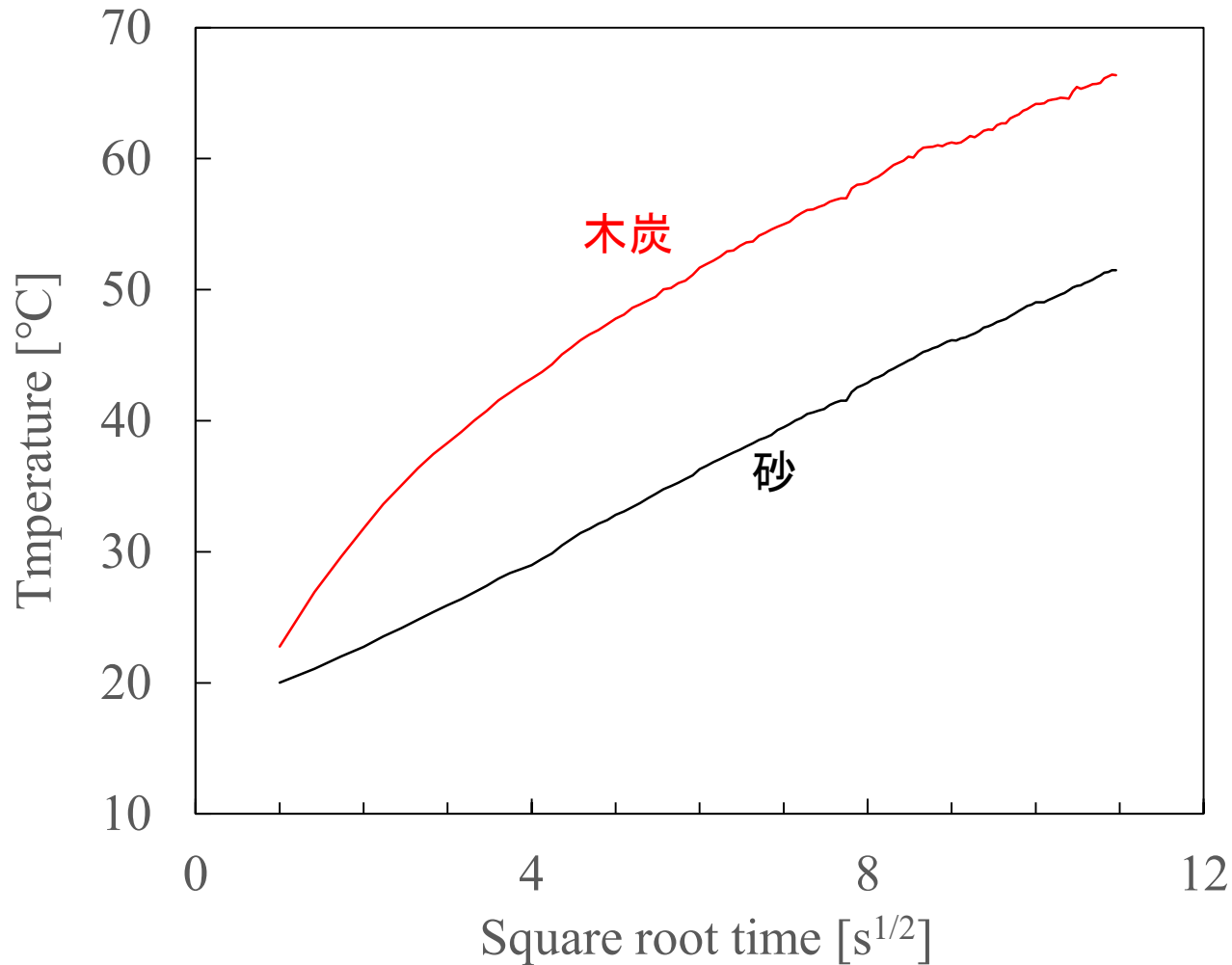


試料B: 稲わら+黄色下層土



含有量の定量的な把握が可能

なぜ有機物は温度上昇率が変化する？



■ 基本理論 条件

- ①加熱強度一定
- ②測定面を一様に加熱
- ③熱拡散性が低い

伝熱モデル

「表面から熱流束が一定で加わる
半無限固体内の一次元熱伝導」

■ 熱伝導方程式

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

解く →

■ 表面温度の時間変化

$$T = T_0 + \frac{2q_s}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\rho c \lambda}} \cdot \sqrt{t}$$

ρ : 密度
 c : 比熱
 λ : 熱伝導率

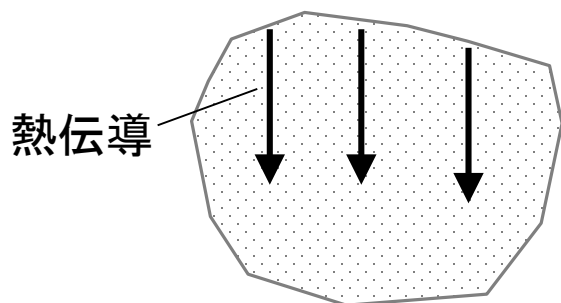
熱物性値

時間の平方根
 \sqrt{t} に比例

■ 熱の伝わり方

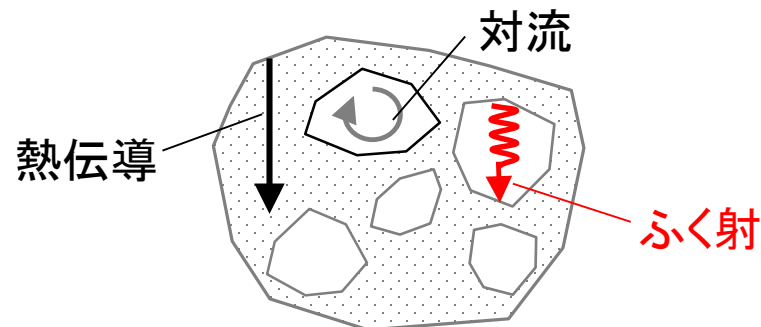
土・砂

- 粒子は密な固体
- 熱輸送は“熱伝導”のみ



木炭・稲わら

- 内部に空洞 = 多孔質体
- 熱輸送は“熱伝導 + 対流 + ふく射”



多孔質体内部の熱輸送

「不透明な多孔質体内ではふく射輸送が絶対温度の三乗に比例して増加」
→ “みかけの熱伝導率 λ ”が絶対温度の三乗に比例

■ 理論的検討

A: 熱伝導率 λ が一定の場合

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

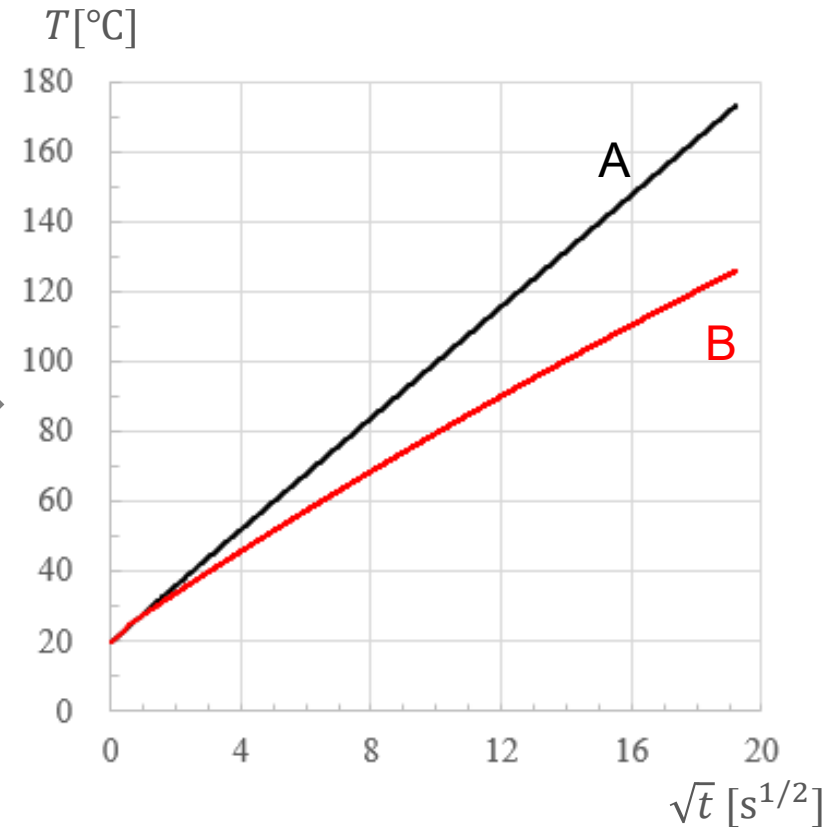
$$\lambda = \lambda_0 \text{一定}$$

B: λ が温度で変化する場合

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{\rho c} \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right\}$$

$$\lambda = \lambda_0 + \beta T^3$$

数値計算

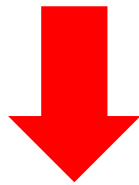


**Bは有機物と同様に
温度上昇率が変化する**

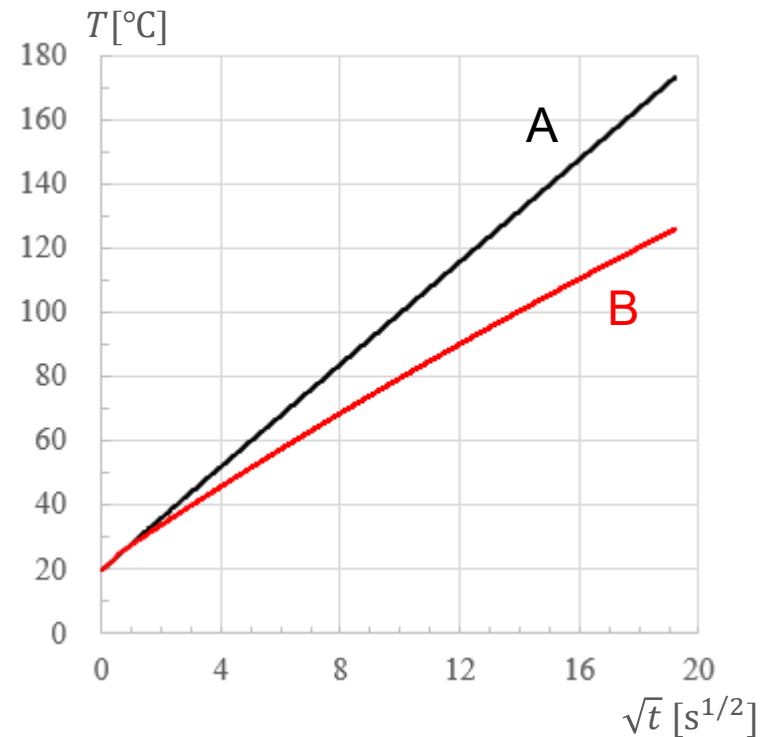
■ 本技術の原理

A 内部が密で、熱伝導のみが生じる物体

B 内部が多孔質で、ふく射輸送が生じる物体

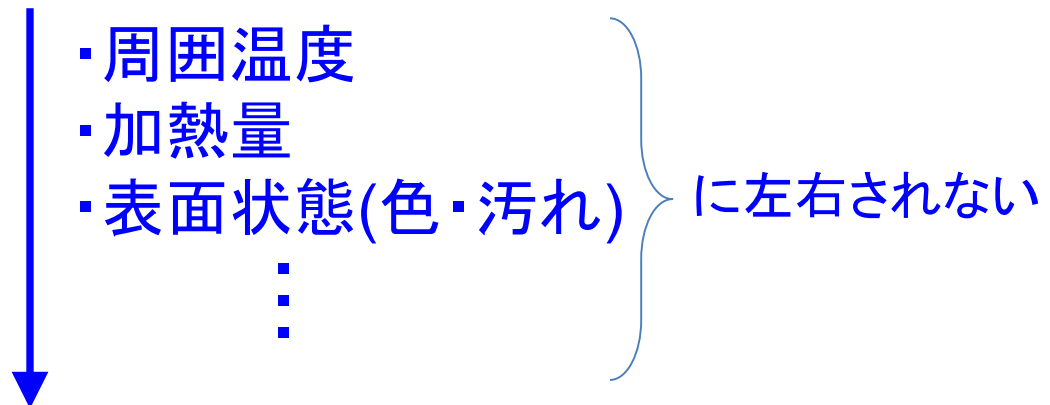


温度変化の特徴で識別



■ 本技術の特長

- 非破壊であるがままの状態での計測可能
- 迅速で簡便に現場で使用可能
- 面で捉えるため広い範囲のバラツキも評価可
- 温度そのものでなく、温度変化の”特徴”を利用



外乱に強い識別方法

■ 想定される用途

- 土壌改良資材の含有量の定量的評価
 - 木炭による土壌への炭素固定量の定量的評価
 - (各種材料の空隙率の評価)
 - (構造物の内部欠陥調査)
- } 可能性検討中

■ 実用化に向けた課題

- 解析アルゴリズムの最適化
 - 閾値の最適化
 - 温度変動の影響除去
- 現場で実用可能な計測システムの構築
 - 加熱光源の低容量化と小型化
 - 計測装置の設計

■ 企業への期待

- 空隙を有する物質を識別するニーズの提供
(土壌に限らず)
- 計測装置の設計・試作

■ 本技術に関する知的財産権

出願番号 特願2023-181770

発明の名称 土壌改良資材識別装置、及び土壌改良資材識別方法

発明者 加賀田 翔(大阪工大) 佐野 修司(摂南大)

出願人 学校法人常翔学園

出願形態 単独出願

■ お問い合わせ先

大阪工業大学 学長室 研究支援社会連携推進課

TEL : 06-6954-4140

Mail : oit.kenkyu@joshu.ac.jp