

# 表層土壌冷却におけるヒートパイプの最適形状の検討

## Optimizing heat pipe design for enhancing surface soil cooling

有村穂高<sup>1</sup>・鈴木拓実<sup>2</sup>・小島悠揮<sup>1</sup>・百瀬年彦<sup>3</sup>・神谷浩二<sup>1</sup>

<sup>1</sup>岐阜大学工学部・<sup>2</sup>岐阜大学大学院自然科学技術研究科・<sup>3</sup>石川県立大学生物資源環境学部

### 要旨(Abstract)

ヒートパイプ (HP) による表層土壌冷却の冷却範囲拡大に向けて、HP の最適形状を検討した。従来の直線型 HP に対して L 字型 HP を提案し、冷却効果・範囲を数値解析によって評価した。偏微分方程式ソルバー FlexPDE を用いて 3 次元熱伝導解析を行った結果、L 字型 HP は直線型 HP に比べて冷却能は劣るものの、冷却範囲を拡大できることが明らかとなった。

キーワード：表層土壌冷却，ヒートパイプ形状，熱伝導解析

**Key words:** surface soil cooling, heat pipe design, heat conduction analysis

### 1. はじめに

気候変動による将来的な土壌温度の上昇が問題視されている。例えば、岐阜県では約 3°C の地温の上昇が見込まれる (Asano et al., 2023)。これによって、土壌劣化、土壌生物の生態変化、土壌からの温室効果ガスの発生促進、農作物の生育不良などが起こる可能性が考えられる。そこで、エネルギーが不要であり、経済的負担の少ないヒートパイプ (HP) による土壌冷却が注目されている。

小島ら (2024) は HP を土壌中に埋設し、熱を地表面から地下方向に輸送することを検討した。その結果 HP は十分な土壌冷却効果を有するものの、冷却範囲が限定的であることが示された。HP の冷却範囲は HP の形状を工夫することで改善できる可能性がある。よって本研究では、土壌を冷却するにあたって、冷却効率および冷却範囲の広い HP の形状について検討することを目的とする。

### 2. 実験方法

HP 形状が表層土壌の冷却に与える影響は、偏微分方程式ソルバー FlexPDE (PDE solutions) を用いた 3 次元熱伝導解析によって評価した。本研究では、計算領域として幅 30 cm、奥行き 30 cm、深さ 100 cm の領域を

想定した。境界条件について、地表に相当する上面の温度は 12 時間周期で 25°C から 50°C に変化させ、その他は断熱条件とした。

HP は図 1 に示したような一般的な直線型と L 字型のものを評価した。直線型は、直径 0.8 cm、長さ 50 cm のものを上端が深さ 5 cm に来るよう鉛直方向に埋設した。HP の埋設間隔は 5 cm または 10 cm とした。L 字型 HP は水平部 20 cm、鉛直部 50 cm のものを埋設した。埋設間隔は 5 cm および 10 cm である。それぞれの冷却効果・範囲を評価した。HP のみかけの熱伝導率は 1,000 W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> とした。土壌の熱伝導率は 1.00 W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup> のものを使用した。

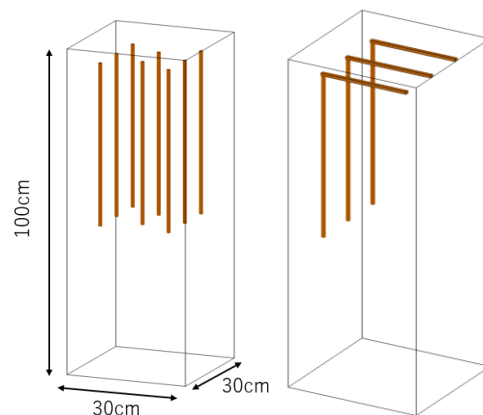


図 1 解析領域。直線型 10 cm 間隔 (左), L 字型 10 cm 間隔 (右)。

### 3. 結果と考察

図2は60時間時点のヒートマップを示したものであり、図2より、ヒートパイプの存在によって表層から下層に向かって熱が輸送されている様子が確認できる。

図3には深さ5cmの水平方向温度分布を示した。図3より、直線型HPではヒートパイプ直近において6.0°C近い温度低下が見られた一方で、L字型HPは最大で約3.5°Cの温度低下であった。このことから、直線型HPの方が冷却能力は高いことが推察される。しかしながら、温度が低下した範囲を見ると、直線型HPではHPから数センチ離れると温度の低下が微小であった。これは、土壌の熱伝導率が低いいため、冷却効果が遠くまで届かないためと考えられる。その一方でL字型HPでは、水平距離20cmほどの範囲に温度低下が見られた。このことから、冷却範囲は直線型HPよりL字型HPのほうが大きいことが分かり、その優位性が示された。

図4は深さ0~20cmの領域（植物根群域を想定）の平均温度を示したグラフである。図4より、いずれのHPでもHPなしの温度変化より最大温度が小さくなっており、冷却効果があることが示された。領域の平均地温は10cm間隔の直線型HPで最大で1.46°C低下し、10cm間隔のL字型HPでは最大で0.55°C低下した。このことからL字型HPのほうが冷却範囲は大きい、領域で考えると直線型HPの温度低下の方が大きいことが分かった。

### 4. おわりに

直線型HPとL字型HPの冷却効果および冷却範囲を評価した。L字型HPは直線型HPに比べて温度低下量は劣るものの、冷却範囲は拡大することが明らかとなった。冷却効果を最大にしつつ冷却範囲も拡大できるようなHPの最適形状について、今後も数値解析および室内試験により検討していく。

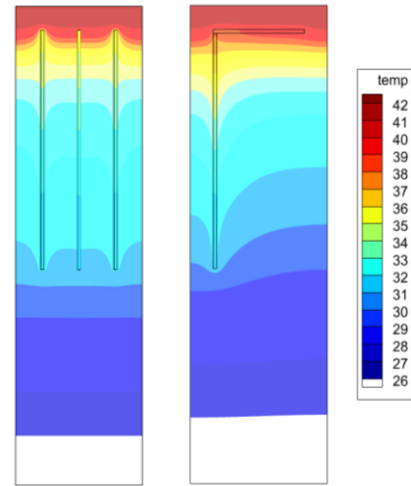


図2 ヒートマップ (左)直線型 (右)L字型

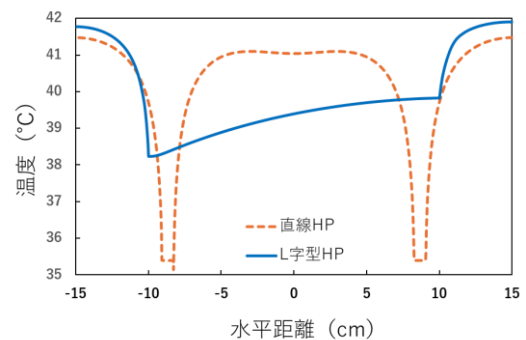


図3 5 cm 深さの水平方向温度分布

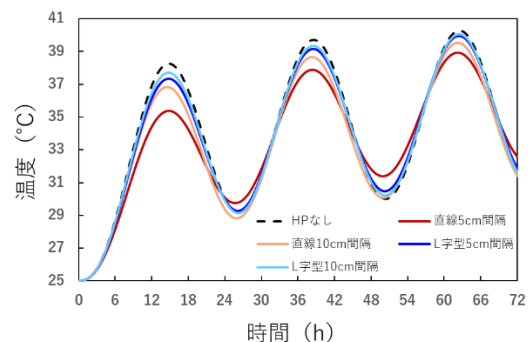


図4 平均温度

【謝辞】越山科学技術財団の支援を受けた。

#### 引用文献：

- Asano et al. 2023. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1165, 012045  
小島ら. 2024. 農業農村工学会大会講演会要旨集 3-21.