

## ヒートパイプによる表層土壌冷却効果の検討 Evaluating the cooling effect of subsurface soil with heat pipe

○小島悠揮<sup>1</sup>, 松尾晃典<sup>1</sup>, 百瀬年彦<sup>2</sup>, 神谷浩二<sup>1</sup>  
Yuki Kojima, Kosuke Matsuo, Toshihiko Momose, Kohji Kamiya

### 1) はじめに

気候変動に伴う将来的な地温上昇が予測されており, 作物の生育不良や土壌劣化が生じる可能性がある。持続的な営農を実現するためには, 地温上昇の抑制技術が必要である。本研究では低コスト, 低環境負荷の土壌冷却技術として, ヒートパイプ(HP)に着目した。

一般的なHPは減圧された銅パイプ内に脱イオン水が注入されている。内部の水が蒸発し, 高温部から低温部へ潜熱を輸送する。内部壁はウィックと呼ばれる多孔質体となっており, 低温部で凝結した水が毛細管現象により高温部へと移動するため, 半永久的に熱輸送が生じる。鉛直方向の熱輸送にHPを使用する場合, 内部の液状水移動は重力影響を受ける。そのため熱輸送方向により冷却効果が異なる可能性がある。またHPの土壌冷却効果と効果範囲も不明である。そこで本研究ではHPの熱輸送方向の違いが土壌冷却効果に与える影響の実験的評価と, 土壌中のHPの冷却効果の数値解析的評価を目的とした。

### 2) 実験方法

#### 2.1) HPの熱輸送方向が冷却効果に与える影響の実験的評価

恒温水槽に接続した熱交換器で密閉された土壌カラムを作製した(図1)。HPは市販の外形0.8cm, 長さ30cmのものを用いた。試料は風乾した豊浦砂を使用した。カラム内

にHPと熱電対を固定したプラスチック棒をHPから2cm離れた位置に設置した。比較用にHPを設置しないカラムも作製した。カラム下端を25°C, 上端を50°Cとして, 24時間カラム内の温度を測定した。次に下端を50°C, 上端を25°Cにし, 同様に温度を測定した。

#### 2.2) HPのみかけの熱伝導率の算出

HPは内部水の蒸発によって熱を輸送するが, この潜熱輸送を熱伝導として近似可能と仮定し, HPのみかけの熱伝導率を決定した。HP下端を40, 60, 80, 100°Cの恒温水槽に浸し, 下端から25cm地点の温度を50秒間測定した。この測定結果からフーリエ式の逆解析によってみかけの熱伝導率を求めた。

#### 2.3) HPの土壌冷却効果の数値解析的評価

HPの土壌冷却効果の評価は, Flex PDE(PDE solutions)による熱伝導解析を用いた。幅, 深さ1mの計算領域の中央深さ2~32cmにHPを想定した幅0.8cmの領域を設定し

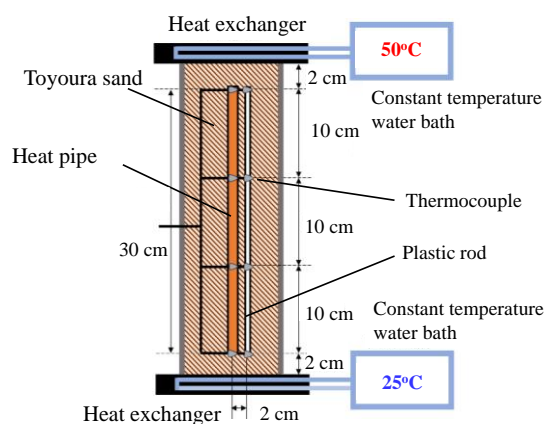


図1 実験装置概略図

1) 岐阜大学工学部 Faculty of Engineering, Gifu University

2) 石川県立大学生物資源環境学部 Faculty of Biological Resources and Environmental studies, Ishikawa Prefectural University

キーワード: ヒートパイプ, 土壌冷却, 熱伝導解析, みかけの熱伝導率

た。土壌の熱特性には複数土壌の値を用い、HP の熱伝導率は 2.2 で求めた値を用いた。地表温度は 12 時間周期で 25°C と 50°C の間で変化させた。HP を 1 本と 2 本埋設した場合の冷却効果と冷却範囲を評価した。

### 3) 結果と考察

#### 3.1) 熱輸送方向と土壌冷却効果の関係

加熱面側から 2 cm の位置の温度変化を図 2 に示した。加熱開始から 24 時間後の土壌温度は、HP によってカラム下端を加熱した場合は 4.27°C、上端を加熱した場合は 5.00°C 低下した。両者の値は近く、また温度変化速度も似ていた。よって HP の土壌冷却効果に熱輸送方向は影響しなかった。今回使用した HP の粉体焼結式ウィックは優れた毛管力と透水性を持っていたと予想される。

#### 3.2) HP のみかけの熱伝導率の決定

HP のみかけの熱伝導率は 700~1000 W m<sup>-1</sup>°C<sup>-1</sup> 程度となった。銅の熱伝導率 400 W m<sup>-1</sup>°C<sup>-1</sup> に対して、HP は極めて高いみかけの熱伝導率を有していることが分かった。

#### 3.3) 数値解析による表層土壌冷却効果の評価

図 3 に HP を 1 本埋設した場合の解析結果を例として示した。HP によって熱が下層に向けて運ばれる様子が確認できる。HP による表層土壌の温度低下量と冷却範囲を評価するため、2 cm 深の温度分布を図 4 に示した。1 本の HP を埋設した場合、HP 直近の温度は 9°C 減少したが、冷却範囲は小さかった。2 本の HP を埋設すると冷却範囲は広がったが、例えば HP 間を 3°C 冷却するためには 6 cm 間隔で HP を設置する必要がある、現実的ではない。またこの間隔は、土壌種類や HP の熱伝導率にあまり影響されなかった。

そこで冷却範囲の拡大のため、2 本の HP を組み合わせた T 字型 HP を考案した。T 字

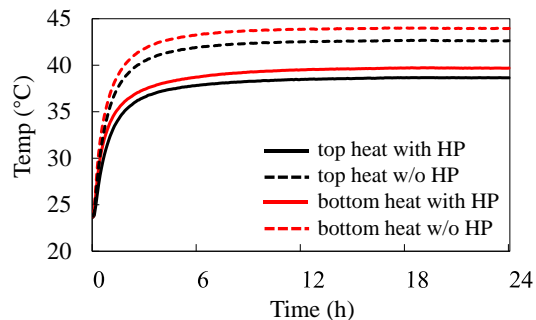


図 2 加熱面から 2 cm 地点の土壌温度変化

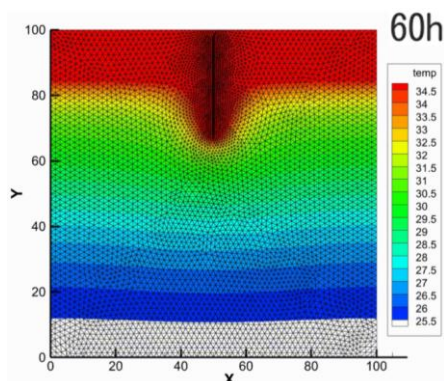


図 3 HP による熱輸送計算結果の一例

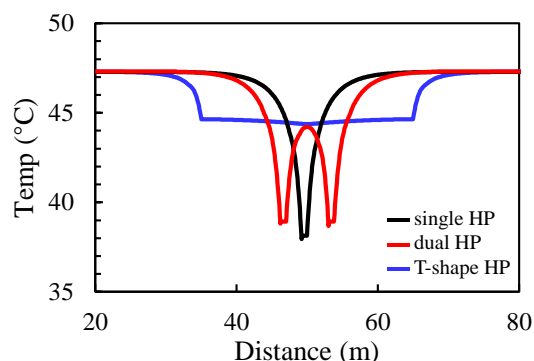


図 4 深さ 2 cm における温度分布

型 HP を埋設した際の温度分布も図 4 に示した。HP 鉛直部の冷却効果は低下したが、水平方向の冷却範囲は拡大した。

#### 4) おわりに

HP の熱輸送方向による冷却効率を検討し、その差はないことを示した。熱伝導解析により HP による土壌冷却効果を再現し、冷却範囲の改善のために T 字型 HP を提案した。今後は T 字型 HP の実現性について検討する。

【謝辞】本研究は越山科学技術財団研究助成の支援を受けた。