

天然珪砂内を流れる温水の温度および浸透性測定

ダワァ ガンバット*・三井 祥平**・ジャンバル オダゲレル*

Measurement of Warm Water Flow Characteristics Penetrating through the Natural Silica Sand

Ganbat DAVAA*, Shohei MII** and Odgerel JAMBAL*

Abstract

One of cost effective methods is setting a lower temperature for the whole greenhouse, while providing warm water locally into the root and growing parts of plants. This locally heating technique reduces the heat loss because instead of warming the entire air throughout a greenhouse it provides heat where it is necessary and as a result the fuel required for heating is reduced. Besides that, if suitable temperature is applied it may cause faster growth of crops.

Even though the flow is correlated to temperature gradients, as the warm water penetrates through soils, it carries heat and changes the soil thermal conditions. Therefore observing the water flow movement penetrating through the soils would lead perceiving the heat transfer near the root area. In order to improve the effectiveness of the locally heating technique it is necessary to perceive the water movement with its quantities and temperature distributions.

Even all soils and culture media soils of different places vary in their compositions, contained stone sizes, sand amounts, etc., they all contain sand. In this study, with the aim to clarify the water flow characteristics penetrating inside sands we examined warm water movement inside natural silica sand of grain grade 4, 6 and 8. We have measured the water temperature and discharge rate, and observed the temperature increase in the sands.

1. 緒言

土内の水の流れと熱伝達は関連しており、これらについて研究は水文学、農学や環境学分野においては重要な課題である [1]. 野菜・果樹・花といった園芸作物は、自らの工夫で高付加価値化しやすいことなどから、新規就農者の75%が中心作物として選択する重要かつ魅力ある分野である。しかし、近年の燃油価格高騰により施設園芸は多大な影響を受けている。施設園芸の経営費は、水稻などの土地利用型作物と比べて高く、経営費に占める燃料費の割合は漁業と同等に極めて高く、直近の加温期間(24.11月～25.4月)における燃油価格は、平成20年高騰時の加温期間を上回る状況にあり、燃油価格の高騰は、施設園芸農家に多大な影響を与えるものと懸念されている [2].

燃油価格高騰の対策のひとつに温室内の温度を低めに設定し、温水により作物の根域や生長点を局所的に加温する局所加温の技術が知られている。この方法は慣行加熱方法(ハウス全体の空気を直接加温する)に比べ熱の損失が少なく、燃料消費量の低減など省エネ効果が期待されている。また、作物の成長が促進される効果も期待されている [3].

水の動きは温度勾配によるが、水は流れていきながら熱を運び、土の熱特性を変える [4][5]. 従って、土内の水の動きを把握することは、根域の熱伝達を把握することにつながる。局所加温の技術をより効率的にするには、作物を栽培する土壌や培地内の水の動き・流量・温度を把握する必要がある。

土壌や培地の構成は土の成分・石の大きさ・砂の量などにより場所によって異なるがすべての土壌や培地には砂が含まれている。この点から、今回の研究では、作物を栽培する土壌や培地内の水の

*電子機械工学科

**生産システム工学専攻

動き・流量・温度を明らかにし、局所加温の技術をより効率的にすることに一歩進むため、天然珪砂 4 号、6 号、8 号を用いて砂内の温水の温度、水の動き、流量を測定する実験を行い、砂内の温度の上がり方を求めた。

2. 実験

2. 1 砂槽の製作

製作した実験装置の砂槽設計図を図 1 に示す。厚さ 10 mm のアクリル板で 120 mm × 120 mm × 170 mm の砂槽を作り、底面の板に水抜き穴を開ける。漏斗状にしたアクリル板の先端にホースを固定し、砂槽の底に取り付ける。さらに、厚さ 10 mm、160 mm × 160 mm のアクリル板に温水を流すために $\phi 6$ mm の穴を中心を開け、センサを取り付けるための穴として、中心から 7.5 mm、22.5 mm にそれぞれ 4 カ所、37.5 mm、52.5 mm に 6 カ所の合計 20 カ所に $\phi 3$ mm の穴を開け砂槽の上に設置する。

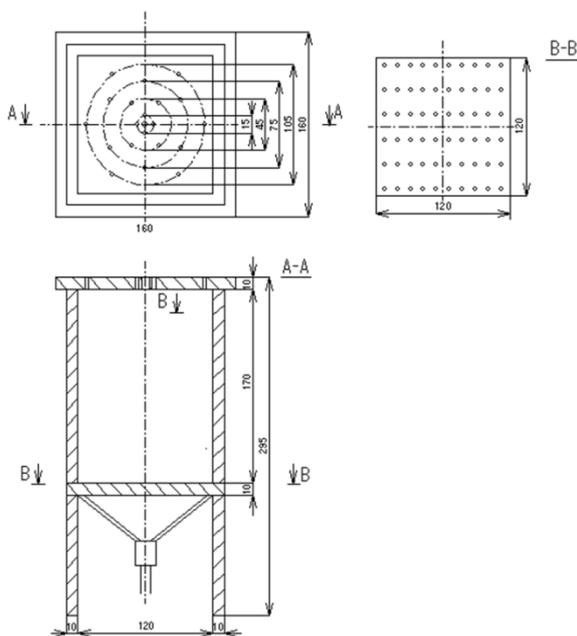


図 1 温度測定実験装置の砂槽設計図

2. 2 実験方法

図 2 に実験の流れの実験概要図を示す。砂は東北珪砂 4 号、6 号、8 号を用いて乾燥砂と含水した砂を使用する。砂の平均粒径は、4 号が約 0.75 mm、6 号が約 0.34 mm、8 号が約 0.11 mm となっている [6]。流速は 20 ml/min、25 ml/min、30 ml/min とし、砂の高さは 60 mm、90 mm、120 mm、150 mm

で実験を行った。砂内に温水を流した後の 15 分間を測定時間とした。ホースから温水が流れ出るまでの時間を砂内に温水が浸透する時間として記録し、浸透後 120 秒間の流量を測定する。

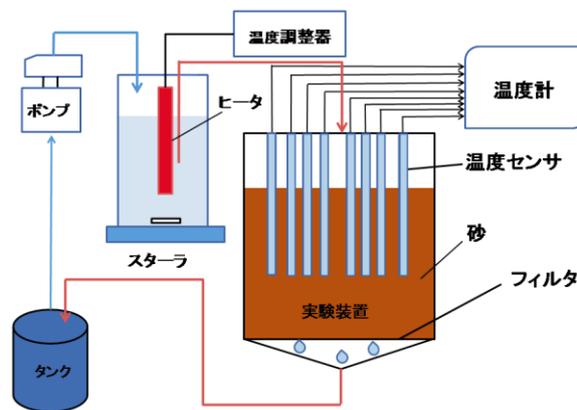


図 2 温度測定実験概要図

実験手順は、砂槽の底に砂が流れないようにフィルタを敷き、砂を入れ温度センサ（直径 3 mm、全長 150 mm）を実験装置の上のアクリル板の合計 20 カ所に設置する。タンク内の水をソレノイド駆動定量ポンプでヒータのある水槽に送り、50°C になるまで加熱する。加熱する際には水槽内の温度が均一になるようにスターラで攪拌する。水槽内の水が 50°C になった後、実験装置の中心に水を流しデータロガー（midi LOGGER GL200）で砂内の温度上昇を記録する。

3. 実験結果

3. 1 砂内の水の動き

砂内の温水の流れの各砂の様子を砂の高さ 120 mm、流速 25 ml/min を例として、図 3 ~ 5 に示す。

砂 4 号は一定の高さまで浸透し、温水はいったん止まり、砂が飽和状態になると、再度流れ出ることを繰り返す。

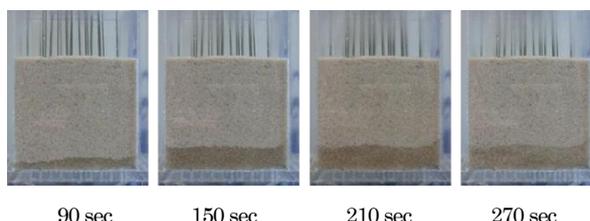
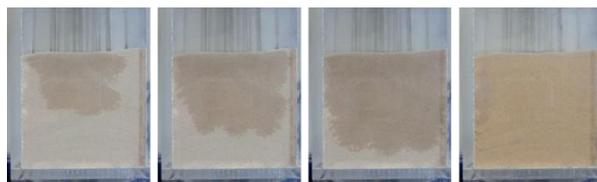


図 3 砂 4 号 (砂の高さ 120 mm、流速 25 ml/min)

天然珪砂内を流れる温水の温度および浸透性測定



360 sec 420 sec 480 sec 540 sec
 図4 砂6号 (砂の高さ 120 mm, 流速 25 ml/min)



420 sec 540 sec 660 sec 780 sec
 図5 砂8号 (砂の高さ 120 mm, 流速 25 ml/min)

砂6号は徐々に広がりながら底に浸透していき、砂全体が飽和状態になってからホースから温水が流れ出る。砂4号の場合と同様に、いったん温水が止まり、砂が飽和状態になると、再び流れ出ることを繰り返す。

砂8号は砂の表面から広がりながら砂全体に温水が浸透して飽和状態になってからホースから温水が流れ出る。

3. 2 浸透時間

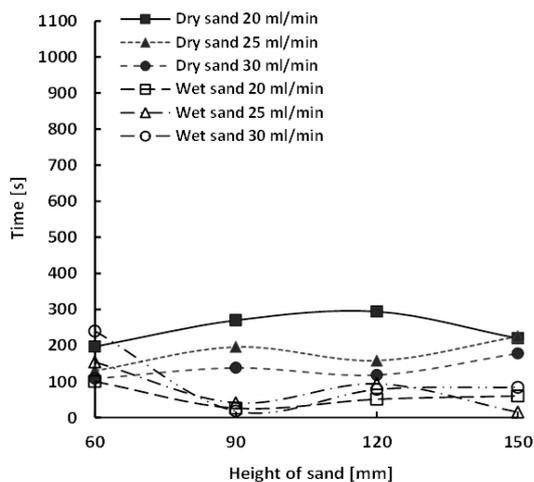


図6 浸透時間 (砂4号)

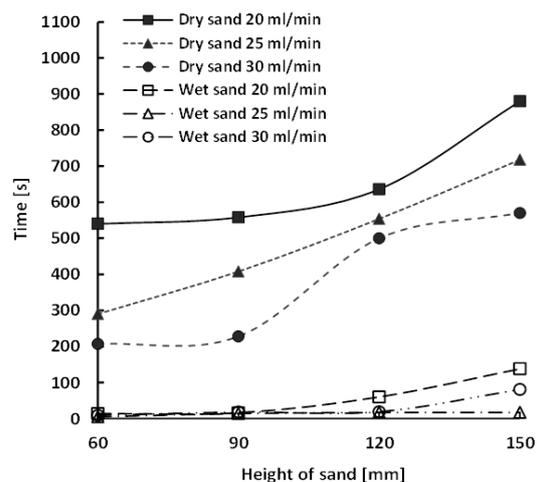


図7 浸透時間 (砂6号)

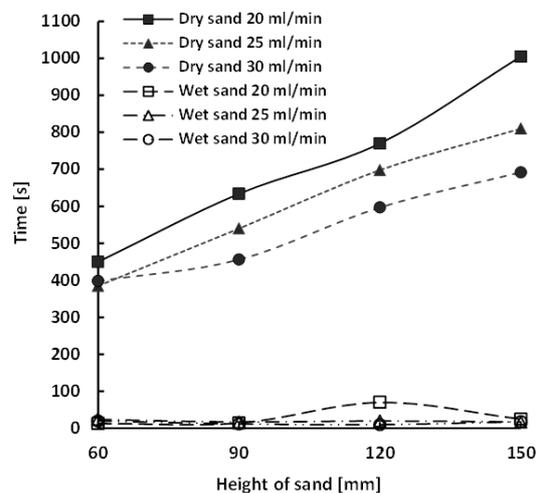


図8 浸透時間 (砂8号)

各砂の浸透時間を図6～8に示す。乾燥砂の場合は、粒径が大きく、流速が速く、砂の高さが低くなるほど浸透時間が短くなる。含水砂の場合は乾燥砂に対し、浸透時間は短くなる。砂6号、8号は砂の高さによる浸透時間の変化はほとんどない。砂4号は浸透時間にばらつきが出る。

3. 3 流量

各砂の流量を図9～11に示す。流量は砂6号、8号では、乾燥砂と含水砂のいずれの場合も高さによる変化はほとんどなかったが、流速が速くなると流量が多くなるのが分かった。砂4号の場合は、流量にばらつきがでた。

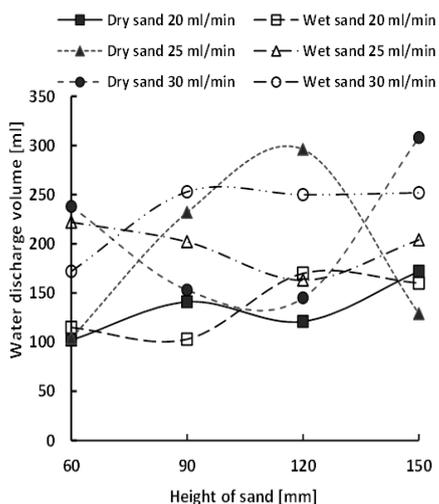


図 9 流量 (砂 4 号)

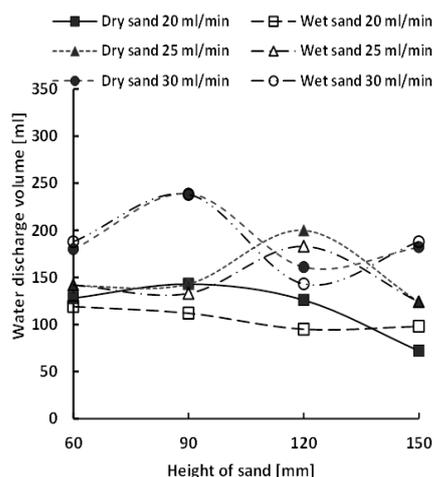


図 10 流量 (砂 6 号)

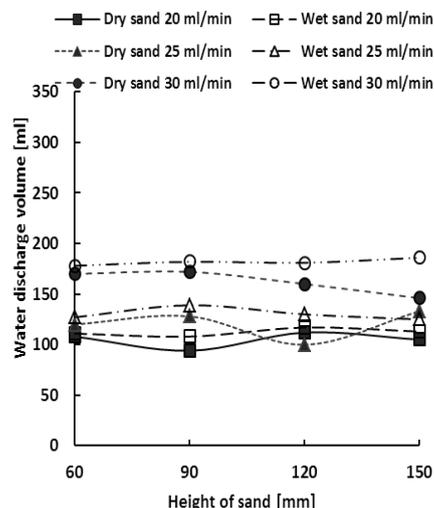


図 11 流量 (砂 8 号)

3. 4 温度上昇について

各砂内の温度変化 (乾燥砂, 含水砂) を砂の高さ 120 mm, 流速 25 ml/min を図 12 ~ 17 に, 砂の高さによる温度変化 (乾燥砂 6 号, 流速 25 ml/min) を砂の高さが 60 mm の場合を図 18 に, 砂の高さが 150 mm の場合を図 19 に示す。図より, 砂内の温度は, 流速が速くなると温度上昇速度も速くなる。

また, どの条件でも中心から温度が上昇していく。砂の高さが高くなると, 砂 6 号, 8 号は温度上昇速度が遅くなったが, 砂 4 号は変化がない。含水砂は乾燥砂に比べ温度上昇速度が遅いことがわかる。

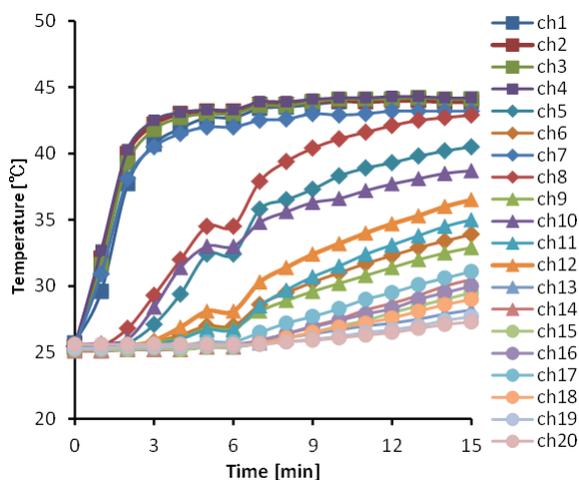


図 12 乾燥砂 4 号

(砂の高さ 120 mm, 流速 25 ml/min)

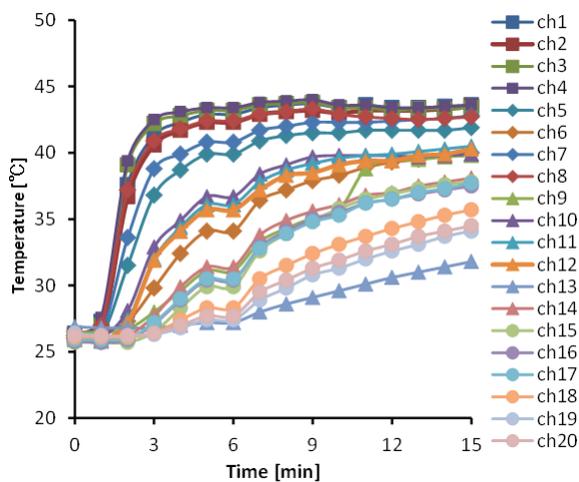


図 13 含水砂 4 号

(砂の高さ 120 mm, 流速 25 ml/min)

天然珪砂内を流れる温水の温度および浸透性測定

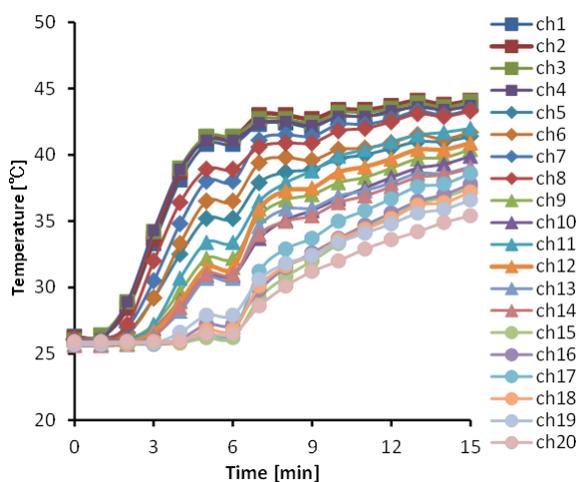


図 14 乾燥砂 6 号 (砂の高さ 120 mm, 流速 25 ml/min)

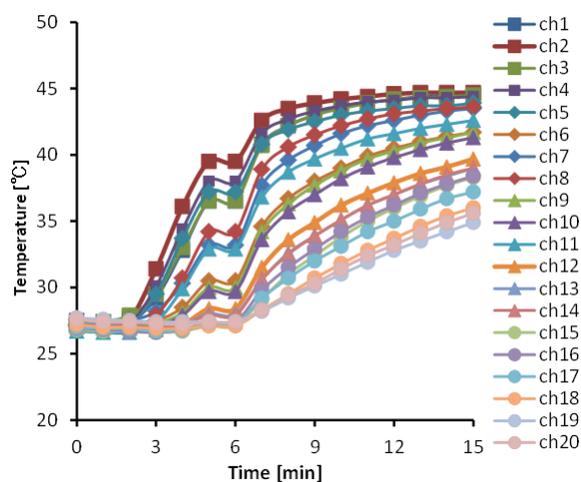


図 17 含水砂 8 号 (砂の高さ 120 mm, 流速 25 ml/min)

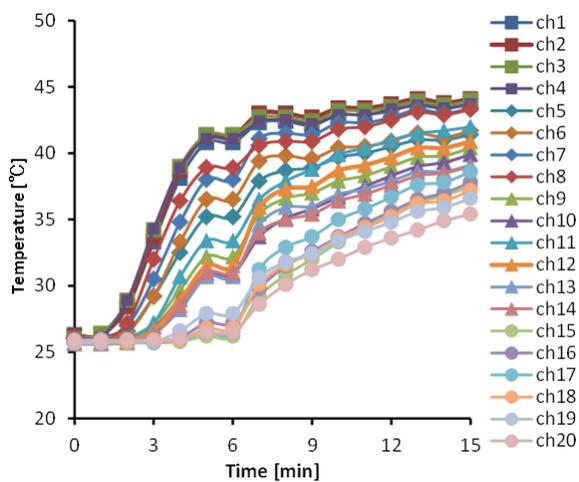


図 15 含水砂 6 号 (砂の高さ 120 mm, 流速 25 ml/min)

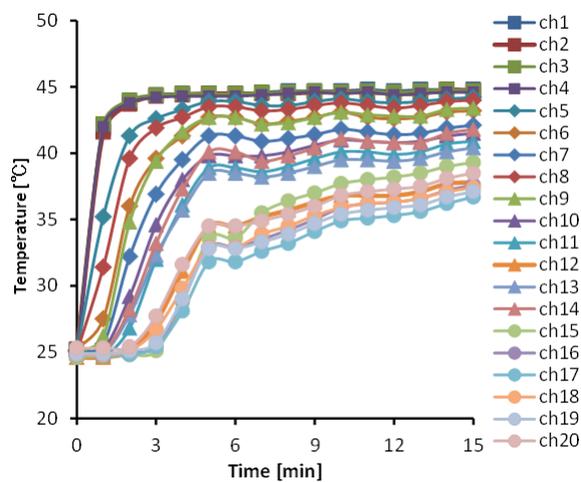


図 18 砂の高さ 60 mm (乾燥砂 6 号, 流速 25 ml/min)

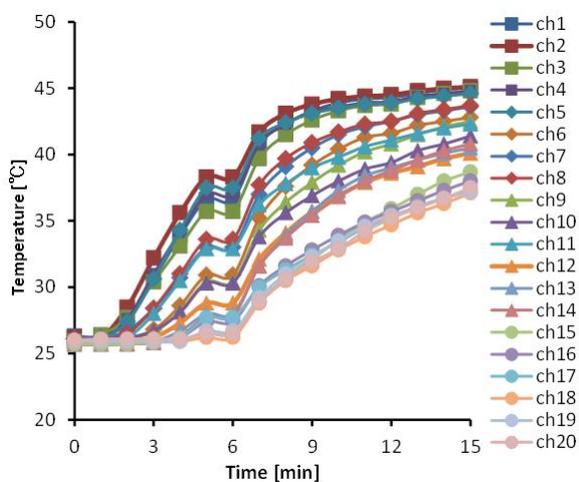


図 16 乾燥砂 8 号 (砂の高さ 120 mm, 流速 25 ml/min)

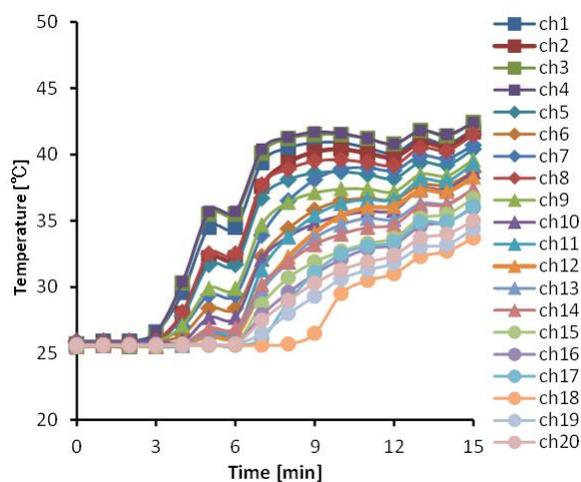


図 19 砂の高さ 150 mm (乾燥砂 6 号, 流速 25 ml/min)

4. まとめ

本研究では、作物を栽培する土壌や培地内の水の動き・流量・温度を明らかにし、局所加温の技術をより効率的にすることに一步進むため、水中および砂内の流体観察、流量・温度の測定を行い以下のことがわかった。

砂内の流体観察では、

- ・ 砂 4 号は、一定の高さまでしか浸透しない、砂 6 号、8 号は、砂全体が浸透する。
- ・ 粒径が大きくなり、砂の高さが低く流速が速くなると浸透時間が短くなる。
- ・ 含水砂は乾燥砂より浸透時間が短く、水を流した後すぐに浸透する。
- ・ 砂 4 号、6 号は飽和状態になり水が流れ、止まっては再び水が流れることを繰り返すが砂 8 号は飽和状態になった後、継続的に水が流れる。

流量測定では、

- ・ どの条件でも中心からの流量が多く、砂の高さが低いと中心の流量がより多くなる。
- ・ 砂 8 号は外側での流量が他の砂と比べ多い。
- ・ 流速が速くなると流量が多くなるが、砂の高さは流量に関係ない。
- ・ 流量の合計にはあまり差がない。

温度測定では、

- ・ 温度は中心から上昇していく。
- ・ 流速が速くなると、温度上昇速度が速くなる。
- ・ 砂の高さが高いと砂 6 号・8 号は温度上昇速度が遅くなるが、砂 4 号はほとんど変わらない。
- ・ 含水砂は乾燥砂に比べ温度上昇速度が遅い。

以上の結果から砂内での水の広がり方と温度の上昇は関連しており、どちらも中心から広がっていき、浸透時間が短くなると温度上昇速度は速くなることがわかる。含水砂は乾燥砂に比べ浸透時間が短く砂内の浸透速度が速いが、温度上昇速度は遅いのは水の熱伝導率が低いためだと考えられる。

今後の課題としては、農業用の培地（腐葉土・バーミキュライト等）での実験を行い、砂内での実験と比較する必要がある。局所加温の技術はまだまだ実例が少なくあまり普及していないため、燃油価格高騰の対策の 1 つとして今後の発展に期待したい。

参考文献

- [1] X.B. Ji, E.S. Kang, W.Z. Zhao, Z.H. Zhang and B.W. Jin, "Simulation of heat and water transfer in a surface irrigated, cropped sandy soil" *Agricultural Water Management*, p.1010-1020, 96 (2009).
- [2] 燃油価格高騰緊急対策の実施について
http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/engei/nenyu/pdf/jissi_yoko_h25nov.pdf
- [3] 森山 友幸, 伏原 肇, 奥 幸一郎, "部位および時間帯がナスの形態および生理に及ぼす影響". *園芸学研究*, p.337-341, Vol. 11, No. 3 (2012).
- [4] Vanclouster, M., Boesten, J.J.T.I., "Application of pesticide simulation models to the Vredepeel dataset. I. Water, solute and heat transport" *Agricultural Water Management*, p.105-117, 44 (2000).
- [5] Zhou, J., Heitman, J.L., Horton, R.H., Ren, T., Ochsner, T.E., Prunty, L., Ewing, R.P. and Sauer, T.J., "Method for maintaining one-dimensional temperature gradients in saturated, closed soil cells" *Soil Science Society of America Journal*, p.1303-1309, 70 (2006).
- [6] 東北硅砂資料
<http://www.catvy.ne.jp/~ktsangyo/data1.htm>