

減圧蒸発過程における砂中の熱と水分の移動

Heat and moisture transport in sand during the evaporation under reduced pressure

阿部勇児 溝口勝 井本博美 宮崎毅

Yuji Abe, Masaru Mizoguchi, Hiromi Imoto and Tsuyoshi Miyazaki

1. はじめに

火星地下で起こっているとされる水循環の研究をはじめ、宇宙環境下においても土壌物理学が必要となってきた。昨年、溝口ら(2001)は周囲を断熱し上面のみを開放した条件下で砂カラム中の温度を測定し、減圧過程では水の気化熱の損失によって水分を含んだ砂が凍結すること、その時の温度変化は初期含水量に依存していることを明らかにした。しかし、そのときの水分移動については明らかにできなかった。そこで本研究では、低圧環境下における多孔質体中の熱と水分移動についての普遍的な法則を調べることを目的に、減圧による強制的な蒸発が起こっている過程下での砂中における熱と水分移動の実験を行なった。

2. 実験方法

試料として豊浦砂(真比重 2.64g/cm^3 , 0.5mm 以下の通過分)を用いた。試料の初期体積含水率 w_i を予め $0, 7.25, 14.5, 21.75\%$ の4段階に調整し、これをアクリル円筒カラム(内径 11.9cm , 外径 13.3cm , 高さ 30.0cm , 下端閉鎖)に高さ 29.0cm まで充填した(乾燥密度 1.45g/cm^3)。カラムには温度測定用の熱電対 27 本を深さ $0\text{-}8, 10\text{-}18, 20\text{-}28\text{cm}$ の位置に 1cm 毎に、水分量測用の ECH_2O

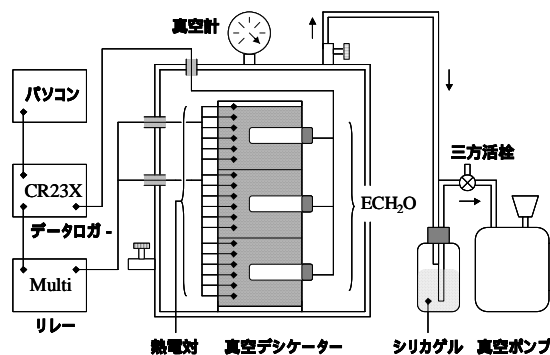


Fig.1 Schematic diagram of apparatus for experiment

センサー(長さ 10cm , 幅 3cm) 3 本を深さ $4, 14, 24\text{cm}$ に挿入した。そして、カラムを、真空デシケーター内に設置して減圧した(真空度 -73cmHg)。実験装置図を Fig.1 に示す。

3. 結果と考察

(1)温度変化 ($w_i = 7.25\%$ の場合, Fig.2): 減圧開始とともに、デシケーター内空気温度は緩やかに低下したが、カラム内温度は気化熱が奪われて急激に低下し、最小値を示した後、ほぼ一定となった。その後、温度は試料の表層から順に上昇した。例えば $w_i = 7.25\%$ の深さ 5cm では4時間後に約 14°C まで低下し、24時間後に上昇するまではほぼ一定となった。 w_i を変えても温度は同様の変化パターンを示した。試料全体の温度が瞬時に低下したことより、蒸発は表層部だけではなく試料中からも水蒸気移動の形で生じていたと考えられる。

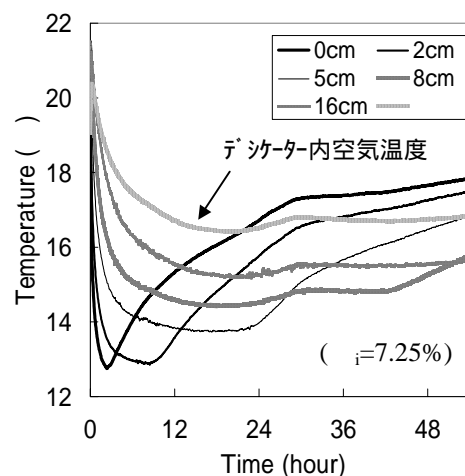


Fig.2 Temperature as a function of time

(2)水分量変化 ($w_i = 21.25\%$ の場合, Fig.3): 水分量ははじめわずかに上昇し、蒸発の進行に従って試料全体で

ほぼ直線的に低下し、時間経過とともにその傾きが緩やかになった。そして、低水分量域（体積含水率約5%付近）になると急激に減少した。 i_i が低いときには、表層部の水分量が減っても中～深層部の水分量にはほとんど変化が現れなかった。このような、 i_i による不飽和土壌水分移動のパターンは、大気圧下における場合と同様であった。

(3) 温度と水分量 ($i_i = 7.25\%$ の場合, Fig.4) : 同一深度では温度の上昇と水分量の急激な低下とが同時に起こった。ここで、試料中で最も蒸発量が多く水分量が急激に低下するところは乾燥部と浸潤部との境界（以降、蒸発前線と呼ぶ）であると考えられる。また、蒸発前線が通過後は気化熱を奪われる水分が無くなって温度が上昇すると考えられる。よって、温度の上昇と水分量の急激な低下とが同時に起きた深さに蒸発前線が存在したと考えられる。

(4) 温度分布 ($i_i = 7.25\%$ の場合, Fig.5) : 表層の温度が低下し、深さ方向に高くなるような温度分布が発生した。そして、時間経過とともに温度勾配が逆転する位置が現れ、降下した。この位置は蒸発前線と一致すると考えられる。すなわち、減圧過程下での蒸発は大気圧下での蒸発とは異なり熱を与えて起こる蒸発ではなく、熱を周りから奪って起こる蒸発であるため、蒸発前線はその前後で温度勾配が逆転する位置として現れたと考えられる。

4. おわりに

本実験より以下のことが分かった。

- (1) 減圧による蒸発下では、気化熱が奪われることによる試料中温度への影響が大きく、蒸発前線で最も温度が低い「く」の字形の温度分布が生じる。
- (2) 水分量が急激に低下して体積含水率 0%になる時間と温度が上昇をはじめる時間とが一致する。
- (3) 蒸発前線のみでなく試料全体で蒸発が起こり、試料中からの水蒸気移動が大きく起こっていると考えられた。

今後は、凍結条件下での塩分移動と水蒸気移動の関連や、カラム側壁を十分に断熱した系で熱と水分移動が鉛直方向のみに生ずる場合について調べたい。

本研究は平成13年度宇宙基地利用基礎実験費の補助を受けたことを付記する。

<参考文献> 溝口勝 (2001), 低温・低圧・微重力条件下の多孔質体中における水の移動現象, Space Utilization Research 17, pp.116-118

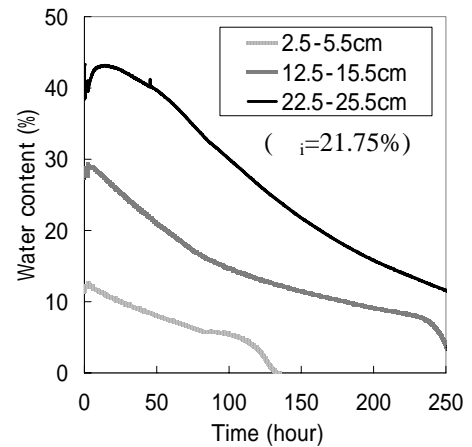


Fig.3 Water content as a function of time

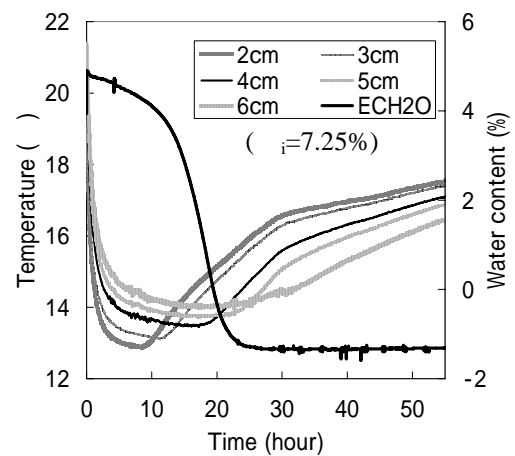


Fig.4 Temperature and water content as a function of time

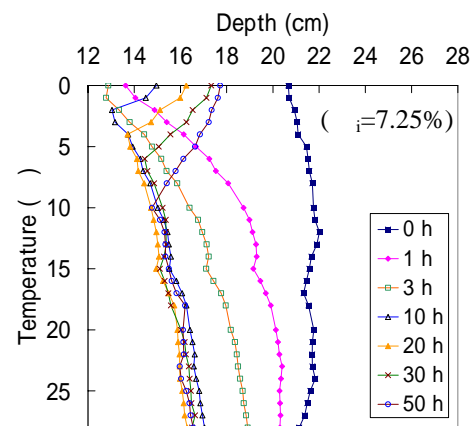


Fig.5 Change in temperature profiles