

II-25

砂漠表面付近での水分の挙動について

大同工業大学工学部 正員 下島 栄一
京都大学防災研究所 玉川 一郎

1. はじめに： 半乾燥地の中国北西部、河西回廊にある黒河(Heihe River)流域で、大気-地面相互作用に関する日中共同観測(HEIFE; Heihe River Field Experiment)が1989年から5年間行われた¹⁾。本文は、1992年5月上旬(乾期の末期)、砂漠地で直接測定した土壌水分量と温度のデータ及び同地の気象タワーで計測された気象データ(風速、相対湿度、気温)を解析して、砂漠地表面付近での水分の挙動を調べたものである。

2. 観測地の状況と解析データ： 観測点は甘粛省臨沢県臨沢より約40 km北の砂漠にあり、またオアシスより約2 km程入った所に位置する。同地は、細かな砂とシルト質の土壌の上に、平均粒径が約0.2 mmの比較的均一な砂丘が大略5 m程度の高さで幾つにも立ちはだかつており、砂丘間は土壌面が露出し、その表面には厚さ数mmの塩クラストが形成されている。地下水面は丘間地表面より約3mの深さに位置する。観測は1992年5月3日-5月12日の日中に、地面より深さ約30 cm間の土壌の直接採取と温度測定を行った。同5日の夜、約半年ぶりに、本格的な降雨(4.8 mm)が観測されたが、この後再び無降雨日が続いた。上記の気象データは高さ20 m、10 m、5 m、2 m、1 m、0.5 m(風速のみ)の30分平均値でのものである。特に、同7日以降、土壌サンプリング時(日に1-2回)に、地表面直上(高さ数cm)でアスマン通風乾湿計を用いた計測も行った。

3. 観測データの解析

(1) 蒸発面と乾燥域

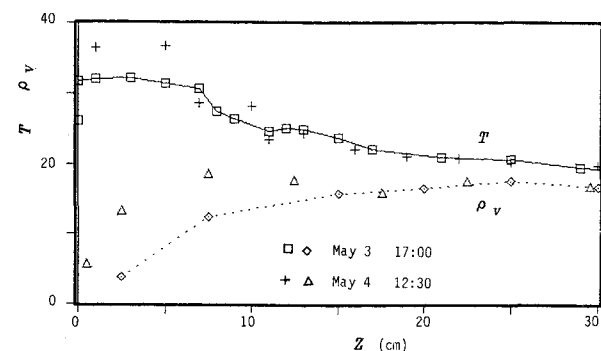
図1は、土壌水分特性曲線を介し、測定水分量・温度及びケルビン式より計算した地中水蒸気密度(ρ_v)の分布を示す。砂丘では約7 cm、丘間地では約12 cmの深さ($Z=Z_e$)より上方に向かって、 ρ_v は直線的に減少している。 ρ_v の勾配で水蒸気が輸送されるので、蒸発は主として深さ Z_e で生起しているとみなせ、また無降雨日が長期間続いても、蒸発面はさほど深くないことが分かる。

同蒸発面付近で温度分布等(図1参照)を用い、熱収支計算をすると、約0.02 mm/hの蒸発量に対応する気化熱が評価された。この値は、次節で ρ_v 分布より計算される蒸発強度より約2倍程度大きくなっていた。従って、蒸発面で気化し、上方に向かう水分量の約半分程度が地面付近で凝結していたと推測できる。このような凝結現象とその割合は数値計算的研究²⁾でも認められるが、そこでは凝結した水分が地面で再度気化するという結果となっている。いずれにしても、これらの現象は極めて乾燥した領域(体積含水率で0.01程度)で生起するのである。

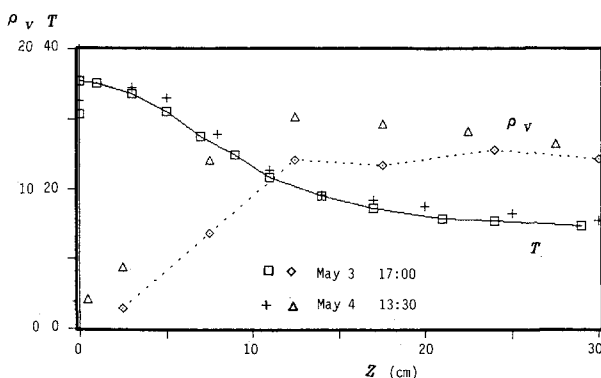
(2) 地表面付近の水蒸気フラックス

1) 地下の場合

地中の水蒸気フラックス(F_v^s ; 上方を正)は、近似的にフィックス則に従うので、 ρ_v 分布より F_v^s が計算でき



(a) 砂丘地



(b) 丘間地

図1. 水蒸気密度(g/m^3)と温度($^{\circ}\text{C}$)の分布

る。図2は、このようにして求めたほぼ同一時刻の砂丘地と丘間地での F_v^s 値の比較である。なお、当該降雨後の蒸発面は深さ数cmに位置していた。大半のデータはほぼ勾配が1の直線に沿ってプロットされていることが分かる。なお、例えば3日(北京时间17時)及び4日(13時)の非常に乾燥した土壌の場合は、砂丘地でそれぞれ0.0057 mm/h及び0.013 mm/h、丘間地でそれぞれ0.0056 mm/h及び0.0071 mm/hである。以上より、丘間地のクラストは水蒸気移動に特に大きなマルチ効果とはなっていないと言えよう³⁾。

2) 地上の場合

気象タワーで測定された風速(U)、水蒸気密度(ρ_v)、温度(T)のデータを高さ(h)の対数でプロットしたところ、各データはほぼ直線的に変化していた。その際、興味ある点は、 ρ_v 分布の勾配に正と負の場合が現れたことである。そこで、 U と ρ_v の対数分布の勾配がそれぞれ U^*/κ 、 $-\rho_w \cdot F_v^a / (\kappa U^*)$ に対応すると考えると、大気水蒸気フラックス(F_v^a)が計算できる。ここに、 U^* は摩擦速度、 κ はカルマン定数、 ρ_w は水の密度である。

図3はこのようにして求めた F_v^a 値($d\rho_v/dh < 0$ の場合)と F_v^s 値との比較である。 F_v^s 値は F_v^a 値より若干大きく計算されたが、両者はほぼ一致しているとみなせる。従って、上方に向かう地中の水蒸気フラックスは地面を通し、連続的に大気中へ輸送されていることが分かる。

図4は地面直下と直上での ρ_v の差($\Delta\rho_v$)と F_v^a との関係を示す。 $F_v^a < 0$ の場合、 $\Delta\rho_v > 0$ となっているので、大気上方より下方に向かって輸送された水

蒸気は高さ数cmの所までは達するが、地中には侵入していないことになる。また大気温度勾配も水蒸気移動の駆動力になるが⁴⁾、そこでは $dT/dh < 0$ であるので、この効果も侵入を妨げる方向をとる。他方、 $F_v^a > 0$ の場合、 $\Delta\rho_v < 0$ であるので、地面直上の上方に向う水蒸気輸送には温度勾配が重要な役割を示すと考えられる。

4. おわりに: 蒸発は大気側や土壌側での水や熱の重要な境界条件を与えるが、砂漠の地表面近傍での水分の挙動は極めて複雑なようである。この解明ためには今後、一層詳細な現地観測が不可欠である。

<<参考文献>> 1)光田寧ら, 天気, 37, 1990. 2)I.Tamagawa, Proc. Intern'l Symp. on HEIFE, IV29, 1993. 3)E.Shimajima et al., 2)と同様(III7). 4)e.g. T.Kobayashi et al., J. Meteor. Soc. Jpn. 37, 1993.

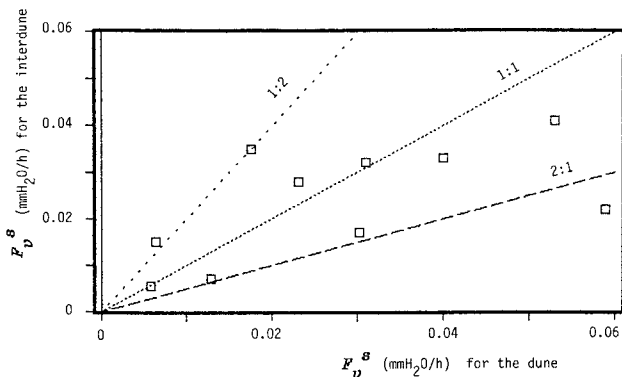


図2. 砂丘地と丘間地での地中水蒸気フラックスの比較

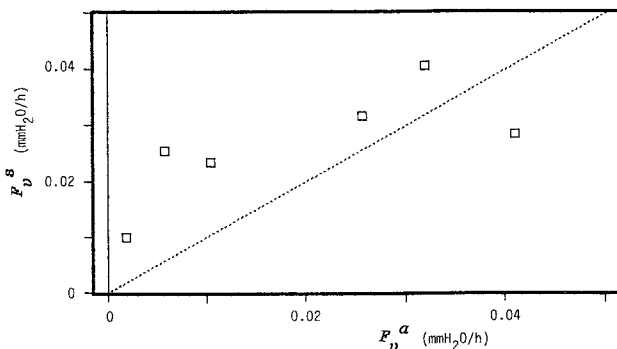


図3. 地中(F_v^s)と大気(F_v^a)での水蒸気フラックスの比較

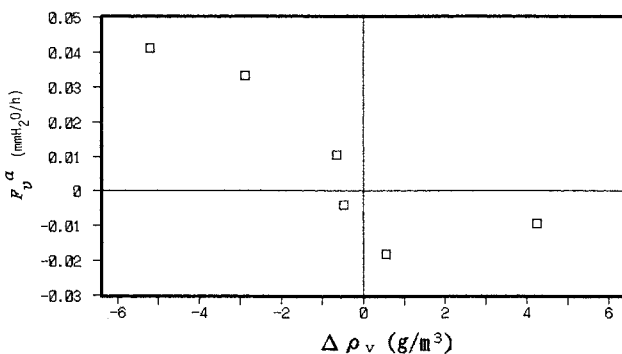


図4. 水蒸気のフラックスと地面直下・直上の密度差の関係