

砂漠砂丘斜面における土壌水分の移動

Soil water movement in sand dune slope
of Tengger Desert, China

安田 裕*, 納富 貫一**, 神野 健二***

田熊 勝利****, Ronny Berndtsson*****

Hiroshi Yasuda, Kan-ichi Nodomi, Kenji Jinno

Katsutoshi Takuma, Ronny Berndtsson

To evaluate the water budgets of sand dunes, soil water content was observed at Desert in China. A bare and vegetated dune area were selected for observation. Soil water content of the vegetated field was lower than that of the bare field because of water uptake by plant roots. Because of lateral flow along the slope, soil water content at the bottom of the dunes increased a few days after rainfall, especially for bare surface. The Eulerian correlations were calculated and the results indicated the lateral water movement along the slope.

Keywords: desert, soil-water, bare and vegetated surface, Eulerian correlation

1. まえがき

砂漠化の問題は全世界的に深刻な問題であり、発展途上国の位置する乾燥地、半乾燥地では増大する人口を支えるために乾燥地を開拓するのが急務となっている。このような乾燥地の開発で最大の問題は水資源の確保である。水資源の逼迫した乾燥地においては如何にして水資源を確保し、管理するかが重要な課題である。砂漠では僅かな水が、小規模の降雨により涵養され、蒸発、浸透、地形、土壌により移動、循環する。McK他(1990)¹⁾は乾燥地のプラヤで気象・水文観測を行い、数Kmのスケールにわたり土壌水分が高位部から低位部に移動していることを示した。また、BerndtssonとChen(1993)²⁾は本論対象地域である中国騰格里(テングリー)砂漠において土壌水分分布を統計解析し相関性が存在することを示している。

本論は、砂漠の降雨涵養による土壌水分の移動を評価しようとするものである。そのため、中国沙坡頭(シャポトウ)砂漠の裸地、植被地の砂丘2カ所において土壌水分の観測を行い、砂丘斜面における水分の移動を解析したものである。

* 正会員 鳥取大学講師 農学部生存環境科学講座 (〒680 鳥取市湖山南4-101)

** 学生員 九州大学大学院 工学部建設都市工学科 (〒812 福岡市東区箱崎6-10-1)

*** 正会員 九州大学教授 工学部建設都市工学科 (〒812 福岡市東区箱崎6-10-1)

**** 鳥取大学教授 農学部生存環境科学講座 (〒680 鳥取市湖山南4-101)

***** Associate Professor, Lund University, Department of Water Resources Engineering Lund Institute of Technology, (Box 118, S-22100, Lund, Sweden)

2. 現地観測^{3),4)}

中国科学技術院砂漠研究所沙坡頭観測所において土壌水分及び温度が測定された。沙坡頭観測所は寧夏回族自治区の騰格里砂漠にあり北緯37度28分、東経104度57分の黄河左岸に位置している。沙坡頭観測所では年間降雨量はおおよそ200mm程であり、雨期(6-11月)に年間降雨量の82%がもたらされている。沙坡頭観測所内の砂丘地で裸地状態と植被状態の2か所を選定し、それぞれ14点の観測点を設置し(No.1-No.14)、中性子水分計により土壌水分を測定した。観測深は0.1、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.25、1.50、1.75、2.00、2.50及び3.00mである(図-1)。0.1m深については地表面の影響を考慮し別途に検定を行った。裸地、植被地ともに西側斜面が急勾配になっている。図に示すように裸地では観測点No.6(以下B6のように記述)が最低部に位置し、植被地ではNo.5(以下V5のように記述)が最低部となっている(Bendz他、1992)⁴⁾。沙坡頭の砂の土壌水分特性を図-2に示す。体積土壌水分2~3%近傍で水頭が急激に変化している。現地観測は1992年7月から同年10月まで行われた。

3. 観測結果

3. 1 斜面全体の水分の移動

沙坡頭観測所では日雨量、日蒸発量(A-pan)などが継続的に計測されている。図-3は8月11日の降雨(14.8mm)による土壌水分の変化を裸地、植被地全断面につき示したものである。裸地においては降雨前(8月11日)西側斜面上位部に4%の高水分層を除いては、表層は2%以下の乾燥状態にある。降雨後、全断面にわたり土壌水分の増加が認められ、ほぼ全断面にわたり、4%以上の水分量となる。特に西側斜面の高位部には5%以上の高水分層が存在し降雨終了数日後も高水分が保持されている。また、東側斜面中位部から砂丘底部を経て西側斜面中位部にいたる4%の高水分層が降雨後出現するものであるが、降雨終了4日後には東側斜面浅層部の高水分層は消滅し、深層で低位部と中位部に分断が生じる。しかし、4%を超える高水分層は東側斜面深層及び砂丘底部に降雨後数日間、保持されている。つまり、東側斜面低位部においては降雨4日後に水分量4%の層が分断され、斜面低位部に4%層が保持されている。植被地においては

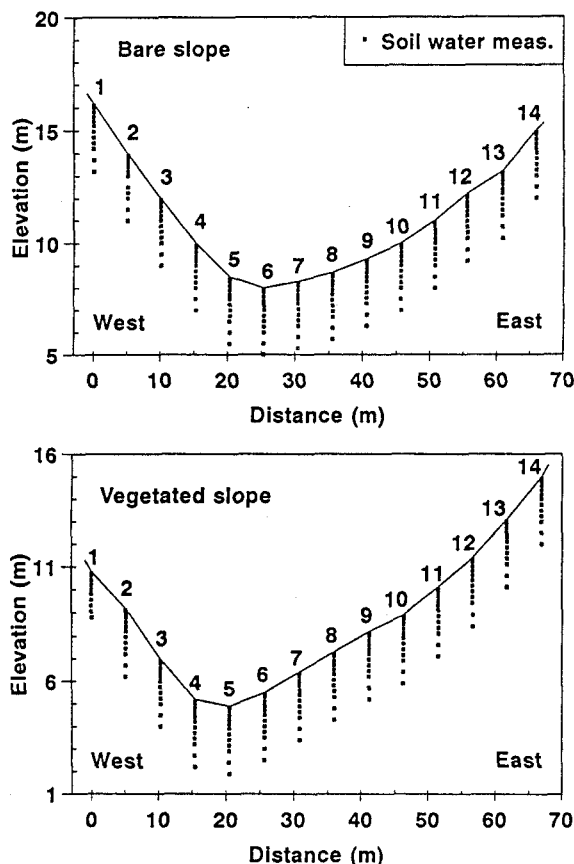


図-1 土壌水分測定点

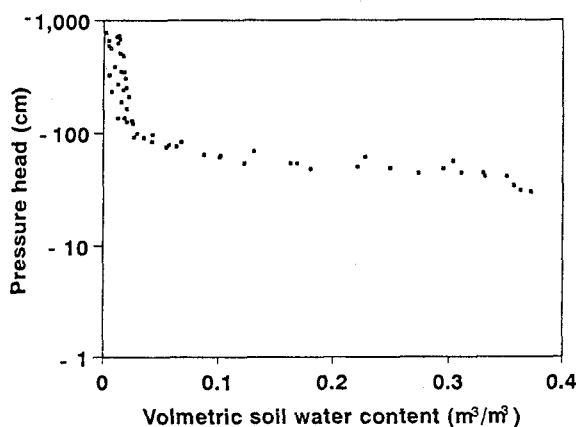


図-2 土壌水分特性

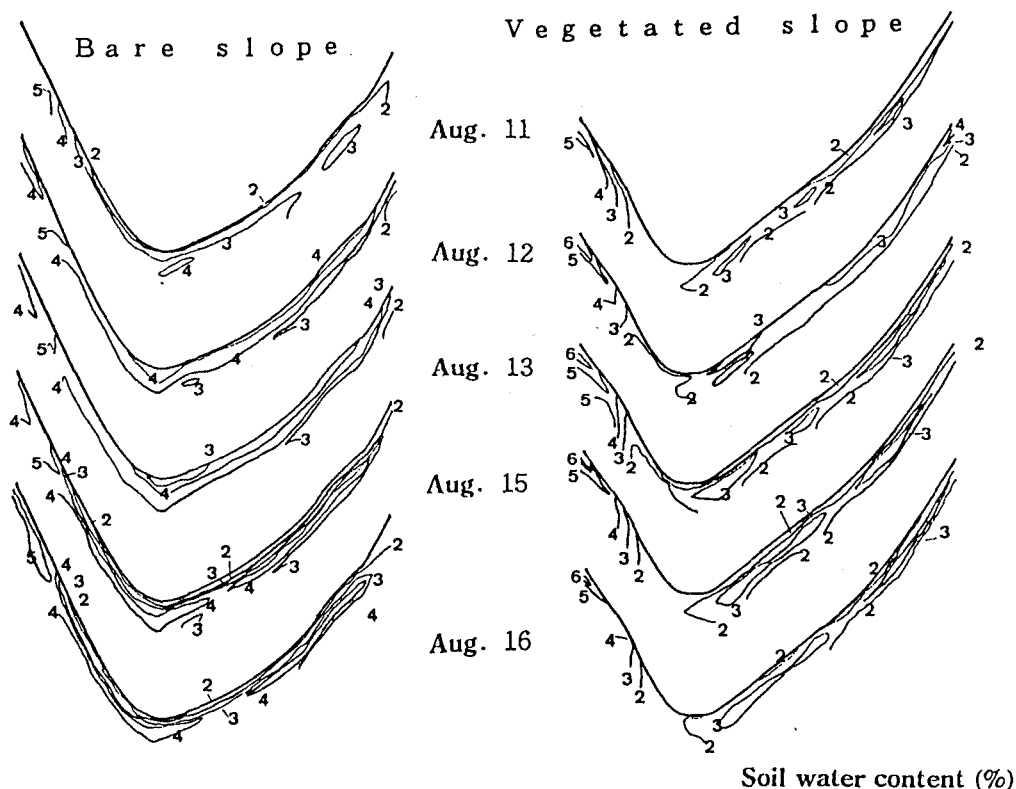


図-3 砂丘斜面全体の体積土壌水分

地と同様に西側斜面上位部で5%以上の高水分層が降雨前から存在するものであるが、全般に裸地と比べて乾燥状態にあり、これは蒸散の寄与によるものと考えられる。降雨後表層近傍に4%の水分が認められ、西側高位部では6%以上の高水分層が認められる。東側斜面では降雨後上位部で4%以上の高水分層が現れる。8月13日に東側斜面中位部に3%以上の水分層が生じ、低位部に移動している。

3. 2 土壌水分変動割合

降雨による土壌水分の変動を評価するために、各観測点における土壌水分の変動を以下のように計算する。

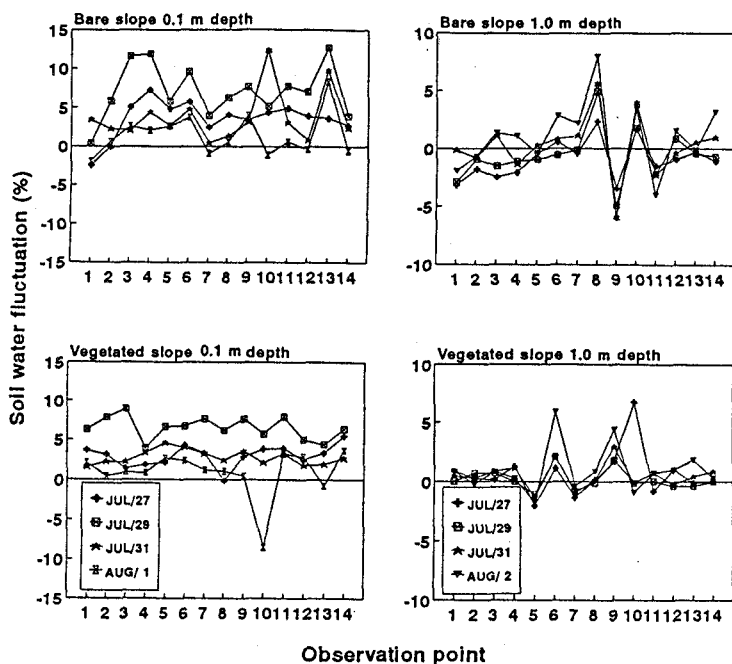


図-4 裸地及び植被地の浅層、深層の土壌水分変動割合

$$s(x_i, z_j, t) = \theta(x_i, z_j, t) - \theta(x_i, z_j, t_0)$$

ここに、 $s(x_i, z_j, t)$ は観測点No.i(座標 x_i , 観測深 z_j)における時間 t の土壌水分変化、 $\theta(x_i, z_j, t)$ は観測点No.i(座標 x_i , 観測深 z_j)における、時間 t の土壌水分、 t_0 は降雨開始前の時間。土壌水分変動割合 Δs は

$$\Delta s(x_i, z_j, t) = s(x_i, z_j, t) / \theta(x_i, z_j, t_0)$$

とあらわされる。図－4は7月25-27日の降雨(16.4mm)による0.1m深および1.0m深における土壌水分変動割合を示している。上段が裸地、下段が植被地である。降雨後(7月27日)にほぼ全測定点において土壌水分が増加し最大値を示すが、特に浅層で水分増加が顕著であり、以後徐々に土壌水分は低下していく。一方1.0m深における土壌水分変動割合は、特に裸地において砂丘低位部に位置する測定点B4-B8において降雨終了後数日してから増加していることを示している。これは、降雨によって涵養された土壌水分が数日をかけて低位部に浸透していることを示唆しているものである。

4. 土壌水分時空間相関

4. 1 オイラー時空間相関

ある特定領域の全般にわたる降雨強度、土壌水分、溶質濃度などの移動を視覚的に評価するためにはオイラー時空間相関をとると有効である(Berndtsson他;1992、Yasuda他;1994)⁵⁾。本論ではこのオイラー時空間相関を用いて砂丘地斜面の土壌水分の移動を評価するために、各観測点相互の時間的空間的相関を計算し、定量的な評価を行う。

土壌水分分布に対するオイラー時空間相関 $\gamma_E(\xi, \tau)$ は以下のように定義される。

$$\gamma_E(\xi, \tau) = \text{Corr}[\theta(z, t), \theta(z + \xi, t + \tau)]$$

ここに、 $\gamma_E(\xi, \tau)$ は空間ラグ ξ 、時間ラグ τ に対するオイラー時空間相関、 $\theta(z, t)$ は空間座標 z 、時間座標 t における土壌水分、 $\theta(z + \xi, t + \tau)$ は空間座標 z 、時間座標 t に対し空間ラグ ξ 、時間ラグ τ を持つ点における土壌水分。本論ではオイラー時空間相関を相関マトリックス $M_\gamma(z_i, z_j, \tau)$ を用いて求める。すなわち

$$\gamma_E(\xi, \tau) = M_\gamma(z_i, z_j, \tau)$$

相関マトリックス $M_\gamma(z_i, z_j, \tau)$ は以下に示す相関係数 $\gamma(z_i, z_j, \tau)$ を要素として持つ。

$$M_\gamma(z_i, z_j, \tau) = \begin{vmatrix} 1 & \gamma(z_1, z_2, \tau) & \gamma(z_1, z_3, \tau) & \dots & \gamma(z_1, z_n, \tau) \\ \gamma(z_2, z_1, \tau) & 1 & \gamma(z_2, z_3, \tau) & \dots & \gamma(z_2, z_n, \tau) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & 1 & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & 1 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ \gamma(z_{n-1}, z_1, \tau) & \gamma(z_{n-1}, z_2, \tau) & \vdots & \dots & \gamma(z_{n-1}, z_n, \tau) & 1 \end{vmatrix}$$

ここに、 $\gamma(z_i, z_j, \tau)$ は任意の一对の測定点 z_i, z_j から時間ラグ τ に対する相関として与えられ、一对の測定点 $z_i,$

おける土壌水分の時系列から以下のように計算される。

$$\gamma(z_i,z_j,\tau) = \frac{cov[\theta(z_i,t),\theta(z_j,t+\tau)]}{[var[\theta(z_i,t)]var[\theta(z_j,t+\tau)]]^{1/2}}$$

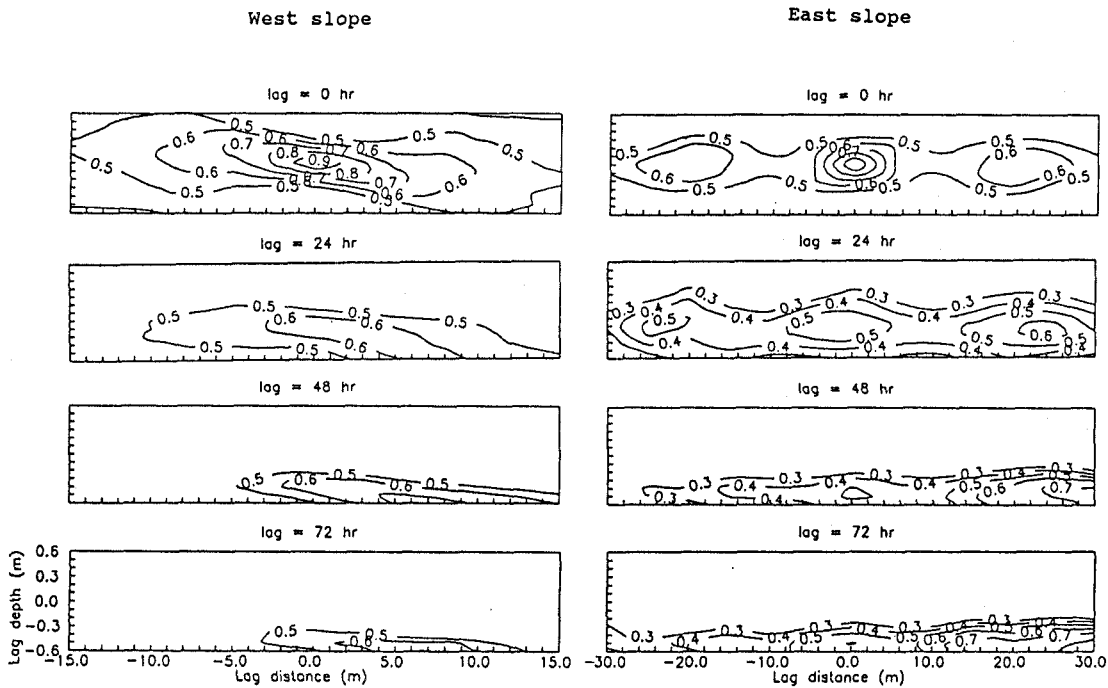


図-5-1 Euler時空間相関(裸地)

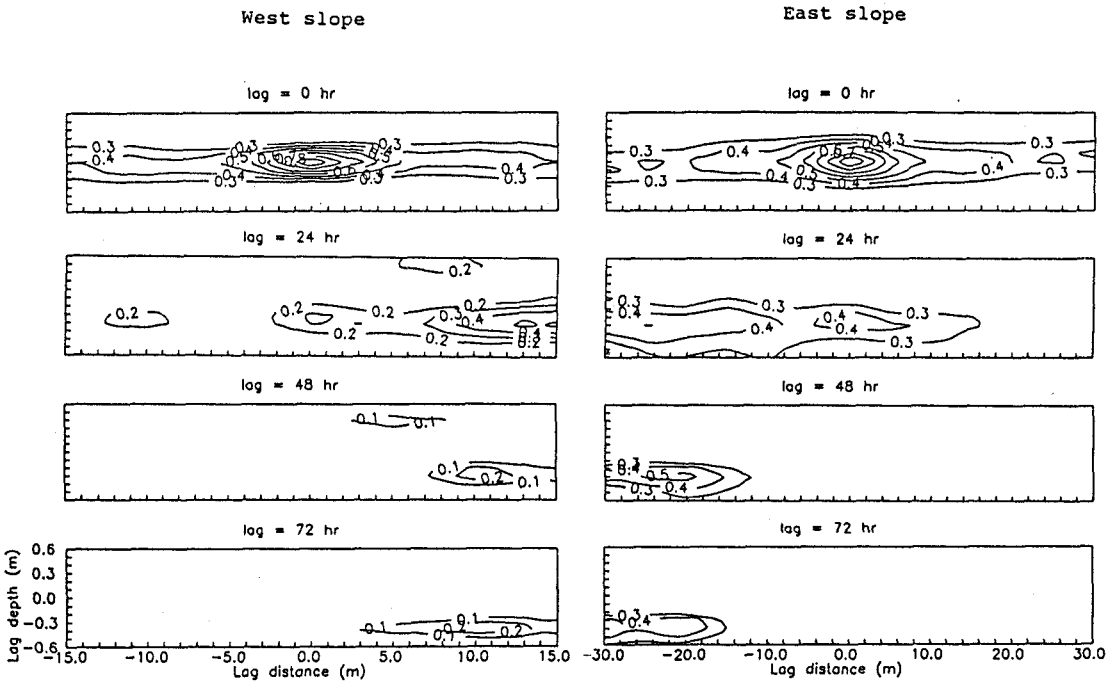


図-5-2 Euler時空間相関(植被地)

4. 2 降雨による土壌水分の変化

オイラー時空間相関 $\gamma_E(\xi, \tau)$ を8月12日の降雨によってもたらされた土壌水分の変化に対し計算すると裸地、植被地について図-5-1、図-5-2のようになる。斜面ごとの移動特性をとらえるために、裸地、植被地それぞれを西側斜面、東側斜面に分けてオイラー時空間相関を求めた。図-5-1左側にある裸地の西側斜面(No.1-No.6)の時空間相関では、降雨終了後ラグ時間が24、48、72時間と経過するにつれ、水分の高相関部が右下(砂丘地低位部)に向け移動していく様子が示されているが、裸地東側斜面では高相関部はラグ時間の経過につれ、右下(砂丘高位部)に向け移動している。これは、図-3に示された東側斜面中位部の高水分層によるものであると考えられる。図-3の8月15日に4%の高水分層が東側斜面低位部で分断された形態が見かけ上、東側斜面全体の水分がオイラー的に移動に対し上向きの移動をしたものであると考えられる。一方、図-5-2に示された植被地の相関ではラグ時間の経過につれ、西側斜面においては右下へ、東側斜面においては左下への移動が示され、水分の低位部への移動が明白である。これらのオイラー時空間相関からも砂丘斜面における土壌水分の斜面沿いの移動が明らかである。

5. 考察及び総括

- (1) 植被地と裸地の土壌水分を比較すると蒸散の影響のため植被地の方が水分が低い。
- (2) 降雨による土壌水分増加は浅層で顕著である。
- (3) 降雨により涵養された土壌水分は降雨後高位部から低位部へ砂丘斜面に沿って移動し、低位部では降雨後数日経過してから水分の上昇が生じる。
- (4) オイラー時空間相関からも土壌水分が砂丘斜面に沿って低位部へ移動していることは明白である。

謝辞

本研究はスウェーデン国際協力事業団(SIDA)及びスウェーデン途上国研究協力機関(SAREC)の資金援助を受けました。著者はスウェーデン国のODA事業に対し心からお礼を申し上げます。また、苦勞の多い夏期の砂漠における現地調査実施を行った Lund 工科大学水資源工科大学院生(当時)D. Bendz、H. Rosqvist 及び J. Sigfried の3氏と助手 T. Persson 氏、そして共同研究者として研究協力を惜しまなかった劉新民副所長はじめ中国砂漠研究所の方々に対しお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) Melk, E., Bingham G. E. and G. D. McCurdy. Evapotranspiration from the margin and moist playa of a closed desert valley. J. Hydrol., vol.120, pp.15-34, 1990.
- 2) Berndtsson, R. and Chen, H. Variability of soil water content and temperature along a transect in a desert area. J. Arid Envir. vol.27, pp. 127-139, 1993.
- 3) 中国科学院蘭州砂漠研究所沙坡頭観測所編, 流砂治理研究, 寧夏人民出版社, 1980.
- 4) Bendz, D., Rosqvist, H., and Sigfried J., Spatial variability of soil water in an arid sand desert in China. M. Sc. Thesis, Lund, Institute of Technology, Lund, Sweden, 1993.
- 5) Berndtsson, R., Jinno, K., Kawamura, A., Larson, M., and Niemczynowicz, J. Some Eulerian and Lagrangian statistical properties of rainfall at small space time scales. J. Hydrol. 1992
- 6) Yasuda, H., Berndtsson, R., Bahri, A., Persson, H., Gullberg, A., and Jinno, K., Spatial correlation analysis of two-dimensional solute transport in the un-saturated zone. Stochastic and Statistical Method in Hydrology and Environmental Engineering, vol.2, pp. 127-138. Kluwer academic publishers, The Netherlands, 1994.