

5 線熱パルスセンサーを用いた砂中の水分フラックスの推定

508117 加藤 薫 (土壌圏循環学教育研究分野)

はじめに 土壌中の水分移動速度や方向を把握することは、肥料や汚染物質の移動を予測する上で重要である。近年、ヒーターから放出された熱を上・下流に位置する温度センサーで感知し、流速(水分フラックス)や熱特性を推定する熱パルスセンサーが注目されている。特に、1本のヒーター線と4本の温度センサーから成る5線熱パルスセンサー(PHPP)は、直交する2方向のフラックスを推定できるため有用性が高い。しかし、不飽和水分フラックスの推定に適用した例は少ない。そこで本研究では室内カラム実験により、飽和・不飽和流でのPHPPの適用範囲について検討することを目的とした。

試料と方法 全長45cm、内径5cmのカラムに、鳥取砂丘砂を乾燥密度 1.62g/cm^3 で充填した。カラム上端から、定量ポンプと降雨装置を使用して給水し、水分分布が一定である飽和定常流(430~180cm/d)・不飽和定常流(130~1.9cm/d)実験を行った。カラム下端からの排水速度は、電子天秤で測定した。PHPPで測定した温度上昇に理論式を適合することで、2方向のフラックス(J_x , J_y)と熱特性を推定した。また、2本のPHPPは、それぞれ流れの向きに対して 30° と 45° でカラムに挿入した。

結果と考察 図1に、PHPPで推定された2方向のフラックス(J_x , J_y)と実測値の比較を示す。横軸の実測値は排水速度とPHPPの挿入角度 ϕ から求めた J_x と J_y であり、図中の直線は推定値:実測値=1:1を示す。 J_x と J_y を正しく推定できれば、全水分フラックスの大きさ($\|J\| = \sqrt{J_x^2 + J_y^2}$)とPHPPに対する流れの角度($\phi = \tan^{-1}(J_x/J_y)$)を正しく評価することができる。飽和状態の時、挿入角度 30° では、 J_x は相対誤差20%以内、 J_y は $\pm 5\%$ 以内に収まった。また、挿入角度 45° では J_x と J_y の差がほとんどなく、いずれも相対誤差25%以内に収まった。どちらの挿入角度でも、PHPPは精度よく2方向のフラックスを推定でき、その結果全フラックスと流れの角度を精度よく推定できた。不飽和状態の時、挿入角度 30° では、 J_x の推定値は15cm/d程度一定にやや過大評価し、 J_y の推定値は10cm/d程度一定にやや過小評価した。この時 J の相対誤差は、30cm/d以上で $\pm 10\%$ 以内に収まり、精度よく推定された。一方30cm/d以下のフラックスでも J_x と J_y の推定値は一定のずれを示したため、誤差は相対的に大きくなった。これにより、流れの角度の推定値は大きな誤差を示した。挿入角度 45° では、 J_y の推定値は精度よく推定できた。 J_x は実フラックスの変化をとらえるものの、常に55cm/dの過小評価を示した。この要因として、飽和(体積含水率 $\theta=0.38\text{cm}^3/\text{cm}^3$)から不飽和($\theta=0.10\text{cm}^3/\text{cm}^3$)に変わること、センサーと土粒子の接触が変化することや、固相・液相・気相の不均一性が変化すること、測定部位の不飽和流の不均一性が挙げられる。不飽和状態での測定では、潜在的な誤差要因があることが示唆され、PHPPを不飽和流に適用する上での今後の課題である。

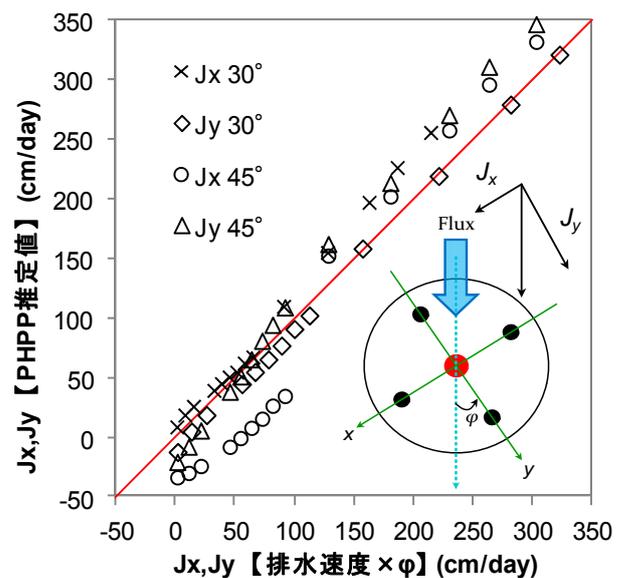


図1 PHPPによる水分フラックスの推定値と実測値の比較