

II - 36

土壌の水分蒸発効率に及ぼす粒径組成と含水率の影響

大阪大学大学院 学生会員 定 道生

大阪大学工学部 正会員 山口克人 加賀昭和 近藤 明

1. はじめに

都市の人工地表面からの水分蒸発の減少が都市気候に及ぼす影響が指摘されており、この影響評価・予測のシミュレーションのためにより正確な潜熱輸送のモデルが必要とされている。しかし地表面境界条件を求める際に、運動量や顕熱の輸送については風速や温度を測ることで検証ができ、現象を割とよく表現するモデルができているが、潜熱輸送に関しては地表面側の絶対湿度を測ることができないために、モデルの検証が遅れている。

本研究では地表面を構成する裸地土壌・植生・人工地表面のうち、裸地土壌面における蒸発効率のパラメータが土の水分含有量や粒径組成から受ける影響について、風洞での蒸発実験を通じてそのメカニズムの考察を行った。

2. 実験概要

土壌表面からの蒸発速度 E は次式で表される。

$$E = \rho_{air} C_E u \beta (q_{sat} - q_{air})$$

ρ_{air} : 空気密度, u : 風速

q_{air} : 大気比湿(絶対湿度), q_{sat} : 飽和比湿

β は蒸発効率と呼ばれ 0~1 の値をとる。土壌が飽和状態の時は $\beta=1$ で、水面からの蒸発速度を表す式と同じになる。乾燥が進むにつれて β は 0 に近づく。 C_E は蒸発表面に接する大気の乱れなどによる輸送効率を表す係数で、風速や蒸発表面のスケールの関数になるほか、蒸発面周辺の形状(粗度)にも影響を受ける。本研究では風洞を用いて風速や大気の乱れを一定として実験を行ったので、 C_E は水面での実験で求めた一定値を一貫して適用した。図1に風洞の模式図を示す。

試料は粒径のみの影響を見るためにガラスビーズを用いた。試料厚は10mmで内部状態は一樣と見なす。

3. 単独粒径粒子での結果と考察

1mm, 0.6mm, 0.4mm, 0.2mm, 0.1mm の6通りの粒径粒子について、飽和度 S と蒸発効率 β との関係を図2に示す。不飽和状態のほとんどの範囲でそれぞれの蒸発効率は一定値を保つ。この一定値の大きさが、粒径によって大きく異なる。粒径が大きいほど蒸発効率は低い。この変化の傾向について、蒸発に伴う水分の移動のメカニズムからの説明を試みる(近藤純正ほか, 1993)。

まず水分が飽和から不飽和に移る時は、水面が粒子層の空隙内部に退行してゆき、水面から試料表面までの水蒸気の輸送距離が長くなっていくため、蒸発効率は徐々に低下すると考えられる(図2の①)。しかし水面は毛管現象によって空隙の狭くなった所に留まる。この時の蒸発のほとんどは試料表面に最も近い水面で起こり、試料内部の水はこの水面に向かって移動していく道筋(毛管)を形成する。結局この主に蒸発を行う水面の位置(蒸発面の高さ)はあまり変わらないために、蒸発効率は一定の値を保つと考えられる(図2の②)。さらに水分が減少すると毛管は切れてしまい、水は試料内部から長い距離を水蒸気輸送されねばならなくなり、蒸発効率は再び低下すると考えられる(図2の③)。

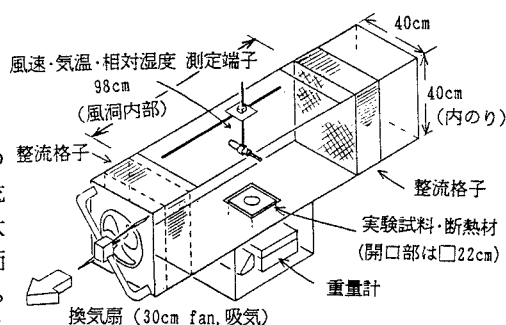


図1. 実験風洞の模式図

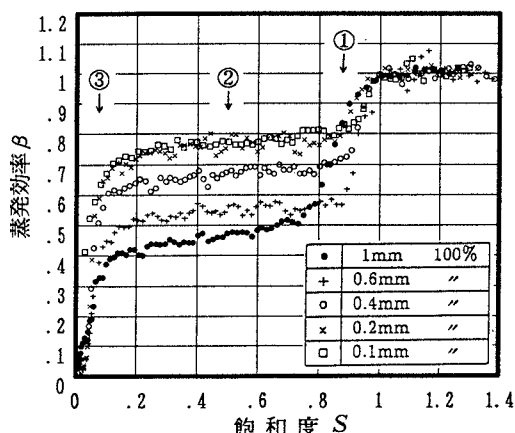
図2. 単独粒径での蒸発効率 β (S)

図2の②の段階では、蒸発水面の位置は最も表面に近いところで粒径の1/2程度になる(図3)。小さい粒子ほど表面近くで水面を維持できるため、高い蒸発効率を保つことができると考えられる。



4. 2種類の粒径粒子の混合試料での結果と考察

混合する粒子の粒径の比が小さい場合(1/0.6, 0.4/0.2mm)は、混合試料の蒸発効率はそれぞれの粒子単独の場合の蒸発効率の間の値をとった。しかしこの比が大きくなると(0.6/0.2, 0.6/0.1mm)、混合試料の蒸発効率は混合割合によっては(大粒子)単独の場合の値を下回る場合が出てきた。このうち0.6mmと0.1mmの場合について、混合割合を細かく変化させたときの結果が図4、図5である。

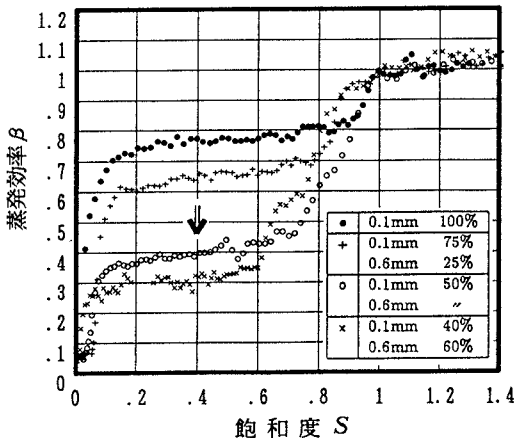


図4. 大粒子混入過程の蒸発効率 β (S)の変化

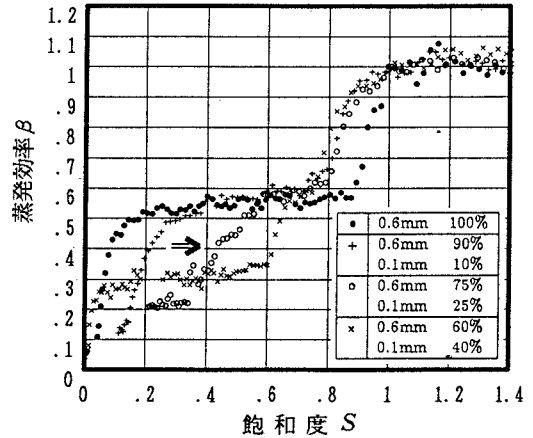


図5. 小粒子混入過程の蒸発効率 β (S)の変化

図4: 小粒子に大粒子を混入していく過程では、不飽和での一定値のレベルが低下していった。この時、粒子層内部で小粒子が毛管を形成できる空間が減り、同じように試料表面においても小粒子の空間が大气に接する面積が減るため、小粒子によって蒸発面の高さは保たれていても蒸発の効率は落ちると考えられる(図6)。

図5: 大粒子に小粒子を混入していく過程では、最後に毛管が切れて蒸発効率が低下する時の飽和度が徐々に増大していった。この時の試料内部は、混合割合から図7の様に大小の空隙が混在していると考えられる。水は大きな空隙から順に抜ける。大きな空隙から毛管水が抜けた段階でも小粒子があちこちに液体水を保持するために、高い飽和度でも蒸発効率が低下すると考えられる。

逆に小粒子から見ればこの時はまだ毛管水を蓄えているので、蒸発効率を一定に保つ段階にある。ただしこの小さな空隙での毛管形成は大粒子や大きな空隙にさえぎられ、蒸発効率は非常に低くなると考えられる。この2回目の一定値は図5にも現れていると見られる。空隙の形状に、大粒子と小粒子による2種類が共に存在しているために、蒸発の過程で大粒子による段階と小粒子による段階が共に起こると考えられる。

5. まとめ

不飽和状態においては、毛管作用によって蒸発面の高さは維持され、蒸発効率は一定値を保つ。粒子径が大きくなると蒸発面は低下し、蒸発効率は低下する。異粒径粒子を混合した場合は、混合した粒径の比が大きい時に混合比によっては蒸発効率が大きく低下する現象が見られた。空隙の形状(大・小の存在比率)や空隙率によって、蒸発効率は影響を受けたと考えられる。

【参考文献】近藤純正ほか: “土壌の蒸発パラメータに関する実験的研究” 天気, 40, 12, pp. 11-17, 1993

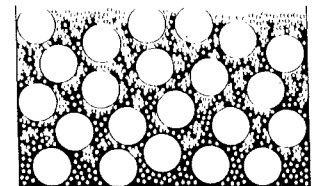


図6. 大粒子により毛管形成が抑制される

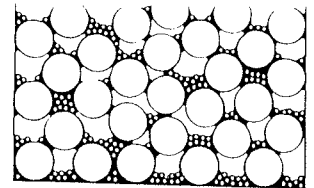


図7. 小粒子が液体水を最後まで保持する