

土壌水の吸着を考慮した新しい土壌モデルの開発

Development of a New Soil Model Including Soil Water Adsorption Process

堅田 元喜*・永井晴康*・植田洋匡**
Genki KATATA, Haruyasu NAGAI, Hiromasa UEDA

1. 序論

気候変動に伴う砂漠化の進行、人口増加と食糧不足による水資源確保の問題が懸念される。これらの問題の解決には、乾燥地域における水循環過程を把握する必要がある。乾燥・半乾燥地域では年間降水量が小さいため、夜間に土壌中に吸着した水が生態系にとって重要な水資源となっている (Jacobs et al. 1999)。また、吸着によって生じる潜熱は、領域規模の地表面熱収支にも影響を与えることが指摘されている (Agam et al. 2004)。凝結・吸着の地表面熱・水収支への寄与を明らかにするために、蒸発・凝結に加えて吸着を考慮した精緻な土壌モデルの開発が望まれる。

近年、土壌中液体水・水蒸気移動を考慮した大気 - 植生 - 土壌鉛直 1 次元モデル SOLVEG (Yamazawa and Nagai 1997; Nagai and Yamazawa 1999) が開発された。SOLVEG の土壌スキームは、土壌中の蒸発・凝結過程を陽的に考慮している。しかし、乾燥地域へ適用する上では蒸発・凝結に加え、吸着を考慮する必要がある。本研究では、SOLVEG の土壌スキームを乾燥地域に適用すべく改良し、その妥当性を検証する。

2. 土壌モデル

SOLVEG は、大気・土壌・植生および放射のスキームによって構成される多層モデルである。本研究では、この SOLVEG の土壌スキームに改良を施した。土壌中の予測変数は、温度、体積含水率および間隙中比湿である。土壌層の格子点は、深さ 0.002, 0.005, 0.01, 0.02, 0.04, 0.1, 0.2, 0.4, 0.65, 0.8, 1.0, 1.15, 1.3, 1.4, 1.5 m の 15 層とした。上部境界条件には、高さ 1 m における下向き短波・長波放射量、気温、風速、比湿の観測値を入力した。

本研究では、土壌モデルに以下の改良を施した: (1) 毛管水域における水分特性曲線に加え、吸着水域で重要となる吸着等温線を考慮した。(2) 土壌中の蒸発・凝結における移動係数を定式化した。(3) 熱力学の式に基づき、吸着平衡時の蒸気圧低下を考慮した。

また、改良モデルの性能を比較するために、Penn State-NCAR fifth-generation Mesoscale Model (MM5) に含まれる Noah Land-Surface Model (以後、Noah LSM; Chen and Dudhia 2001) を用いた計算を実施した。モデルの土壌層を深さ 0.1, 0.3, 0.6, 1.0, 2.0 m とし、土壌中の熱および液体水の移動を考える。地表面からの蒸発は、蒸発効率 β とポテンシャル蒸発量の積で与えられる。 β は、体積含水率がしおれ点以下のとき 0 になると仮定される。

3. 観測データ

本モデルの検証には、イスラエルの Negev 砂漠の北西部 (31°08'N, 34°53'E, 海拔 400 m) において 2002 年 6 月から 12 月の間、不定期に観測されたデータを用いた (Agam and Berliner 2004; Agam et al. 2004)。年間の平均大気圧は 970 hPa で、観測期間中の降水は見られなかった。植生はほとんど存在せず、観測におよぼす影響は無視できると考えられる。土壌組成は砂質ロームであった。

高度 1 m における上・下向き短波放射、正味放射、風速、気温、相対湿度に加え、渦相関法により顕熱フラックスが測定された。土壌中では、地表面から深さ 100 mm までの体積含水量および深さ 0, 0.025, 0.05, 0.1, 0.2 m における温度が観測された。潜熱フラックスは、micro-lysimeter によって直接的に測定が実施された。この方法は、渦相関法などの微気象学的手法に比べて高精度な潜熱フラックスの測定を可能にする (Ninari and Berliner 2002)。

4. モデル検証結果

両モデルの土壌中変数の初期条件には観測値を与え、最下層の値を一定とした。アルベドは 0.37, 地表面粗度には代表的な裸地の値 (1.2 mm) を用いた。土壌は USDA の砂質ロームとし、間隙率は観測に基づき 0.43 とした。

土壌表層における土壌温度および体積含水率のモデル計算値および観測値の経時変化を図 1 に示す。シミュレーション期間の地表面温度は常に露点より高く、凝結はなかったと考えられる。改良モデルは、いずれの観測値も良く

*日本原子力研究開発機構 Japan Atomic Energy Agency, **酸性雨研究センター Acid Deposition and Oxidant Research Center キーワード: 吸着, 乾燥地域, 熱・水収支

再現した。図 1 (a) に示されるバーは、地表面温度の計算値および観測値の差の絶対値を示している。これによると、Noah LSM は地表面温度を最大で日中 8°C、夜間 5°C ほど誤差を生じていた。一方、改良モデルの計算値と観測値の差は、日中 3°C、夜間は 0.5°C 以下と非常に小さかった。この違いは、改良モデルにおいて細かい計算格子を採用したことに加え、土壌中の蒸発および吸着過程を考慮したことによって引き起こされたといえる。また、体積含水率の日変化は改良モデルを用いた場合にのみ再現されたことを考えると、蒸発・吸着過程が土壌水分量の日変動を決定することがわかる (図 1 (b))。

図 2 は、地表面フラックスの時間変化を示す。Noah LSM を用いた場合、蒸発量および吸着量はともに 0 と計算されたのに対し、改良モデルの計算結果は観測と良く一致した。特に、計算値は夜間の吸着に伴う潜熱フラックスを良く再現した。micro-lysimeter による観測誤差は 5 W m^{-2} 程度と見積られるため (Agam et al. 2004)、この一致は有意であると考えられる。計算結果によると、この日の積算蒸発量は 0.25 mm、積算吸着量は 0.16 mm となる。この後も同様の気象条件が続くと仮定すると、積算吸着量は 7 日間で 1.1 mm、30 日間で 4.62 mm、年間で 56 mm と見積られる。同地域の年間降水量は 100 mm 未満であることから、この地域においては、吸着が地表面水収支に大きく影響することが示唆される。

5. 結論

本研究では、土壌水の吸着過程を含む鉛直 1 次元土壌モデルを開発した。モデルの検証には、Negev 砂漠における地表面フラックスおよび土壌温度・体積含水率のデータを用いた。開発したモデルは、地表面フラックス、土壌温度および土壌水分量の日変化をよく再現した。特に、地表面温度と夜間の吸着に伴う潜熱フラックスを正確に予測した。この結果から、開発されたモデルが乾燥・半乾燥地域における熱・水収支を正確に評価することが示された。

参考文献

- 1) Agam et al, 2004. J. Hydrometeorol., 5(5):922-933. 2) Agam et al, 2004. J. Geophys. Res. D-109(16). 3) Chen et al, 2001. Mon. Weather Rev., 129(4):569-585. 4) Jacobs, A.F.G. et al, 1999. Int. J. Biometeorol., 43(4):184-190. 5) Nagai and Yamazawa 1999. JAERI-Rep. 99-024. 6) Ninari et al, 2002. Atmos. Res., 64(1-4):323-334. 7) Yamazawa and Nagai 1997. JAERI-Rep. 97-041.

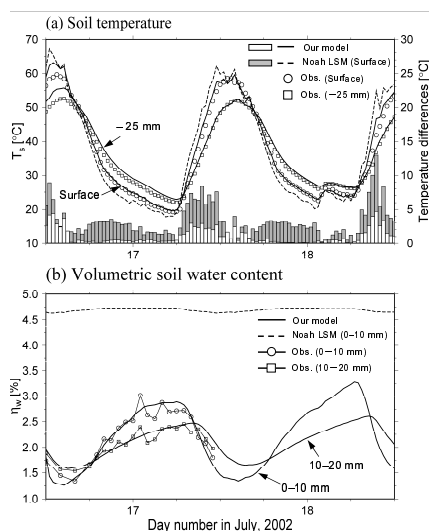


図 1. Temporal changes of (a) soil temperature and (b) volumetric soil water content. Bars represent the absolute values between measurements and calculations. (a) 土壌温度および (b) 体積含水率の時間変化。バーは観測値と計算値の差の絶対値。

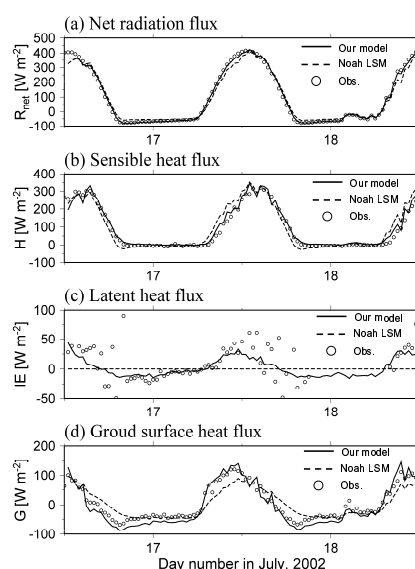


図 2. Temporal changes of (a) net radiation, (b) sensible and (c) latent heat fluxes, and (d) soil heat flux. (a) 正味放射、(b) 顕熱・(c) 潜熱フラックスおよび (d) 地中伝導熱の時間変化。