

II-34

外的因子の日変動・短時間変動に対する植物の応答性について

——植生方程式に基づいた非線形解析——

東京工業大学 正 員 日野 幹雄

東京工業大学 正 員 神田 学

1 はじめに 大気-植生-土壌の連続系を考える場合、植生部が最大のネックとなってきた。それは大気や土壌系では水分・熱・運動量などを支配する物理方程式が確立しているのに対して、植物活動(蒸散・光合成・吸水)を記述する基礎方程式が存在しなかったからである。著者らは既存の農学分野でのデータや風洞実験結果を基に、一見、生理学的現象に見える植物活動が、実はほとんど流体力学的に取り扱うことが可能であると考え、植生活動を組み込んだ土・植・気圏に関する基礎方程式(NEO SPAM)を提案した。これを基に外的因子(日射・湿度・土壌水分量など)に対する植生の定常的な応答性を調べ、¹⁾また外的因子の日変動に対する蒸散活動の遅れ時間が植物物性値(茎の透水係数や木の高さなど)から構成される無次元パラメータで支配されることを線形理論より導いた²⁾。

今回は水ストレスが作用するような強非線形領域における植物活動の応答性、また外因の短周期変動に対する応答性等について検討する。

2 植生方程式と計算概要 植生モデルの概念を図1に示す。根部に於ける吸水は基本的には根膜を介し土壌部と根部のポテンシャル差によって引き起こされる浸透現象である。幹の導管は死んだ細胞であるから、管路の束と考えることができる。この場合も葉部と根部のポテンシャル差によって水分が輸送される。葉面に於ける蒸散・光合成は、気孔を介して気胞内から水蒸気やCO₂が外へ輸送される拡散現象として記述される。その際気孔開度だけが植物生理に基づいた形でパラメータ化される(図2)。式形の詳細については文献を参照されたい¹⁾。計算内容は以下に示す通りである。

1)日射の日変動に対する応答性を調べる。 可変パラメータとしては、線形理論から導かれる蒸散-樹液流間の時間遅れを支配する無次元パラメータである δ (式(1))を取り、2ケースの計算を行う。

$$\delta = \tan^{-1} \frac{C_o \omega}{K_o} h^2 \quad (1)$$

ここで K_o : 茎の透水係数(cm/min), h : 植生高さ, C_o : 植生の比水分容量(1/cm), ω : 外的要因の変動周波数、 δ は支出(蒸散)に対する供給(吸水)の度合を示すバロメータと考えることができるであろう。

2)湿度の短周期変動に対する蒸散・光合成の応答特性を調べる。

3 計算結果と考察

1)日変動に対する遅れ 茎の透水係数が十分大きいような場合(δ 小: CASE1)、蒸散と吸水のアンバランスが生じにくい。そのため日射-蒸散-吸水量は線形理論で示されるようなわずかな時間遅れを伴いながら、午前・午後ほぼ対称な日変動曲線を描いている(図3(a))。一方、その逆に透水係数が小さいような場合(δ 大: CASE2)は、蒸散に対する吸水の遅れが著しく、その差は植物内水分量の減少によって補われる。やがて、植物内水分量の不足が気孔開度の制限因子として働き(いわゆる水ストレス現象)、蒸散活動が抑制される。そのため、蒸散量のピーク位相は日射量のピーク位相よりも先行し、極端な場合には午前の早い段階に蒸散のピークがあり、吸水は日没後も長時間にわたり続く(図3(b))。

2)短時間変動に対する遅れ 湿度変動に対しては若干のずれはあるものの、蒸散量が逆位相、光合成量が同位相で変動している(図4)。これは以下のように説明される。湿度の減少は、大気と気胞内の飽差量を増加させるから蒸散量は促進される。一方、光合成量は湿度には直接支配されないが、湿度低下による蒸散量の促進は、植生水分の低下とそれによる気孔の閉塞をもたらすため、光合成量は減少する。この傾向は植物生理学における実験結果をよく説明している(図5³⁾)。

参考文献

- 1) 神田学・日野幹雄(1990)：大気－植生－土壌系モデルによる数値シミュレーション、水文・水資源学会誌 3巻3号, pp37-46.
- 2) 神田学・日野幹雄(1990)：植生の過渡応答特性（蒸散－吸水のタイムラグ）に関する流体力学的アプローチ、水工学論文集 35巻、pp21-26.
- 3) 矢吹萬寿(1985)：植物の動的環境、朝倉書店.

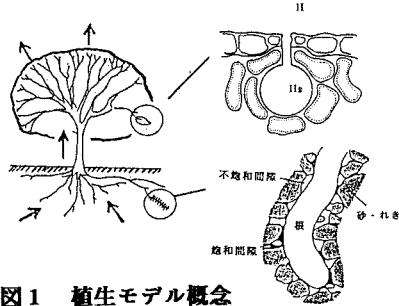


図1 植生モデル概念

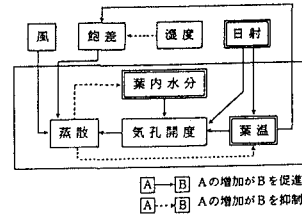


図2 気孔開閉メカニズム

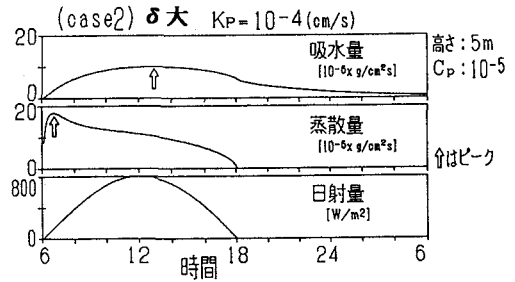
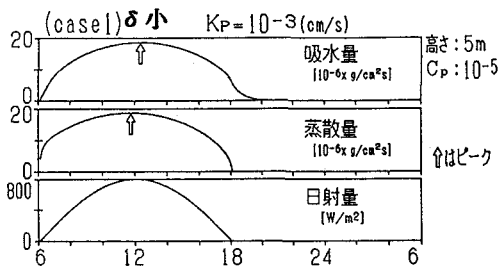
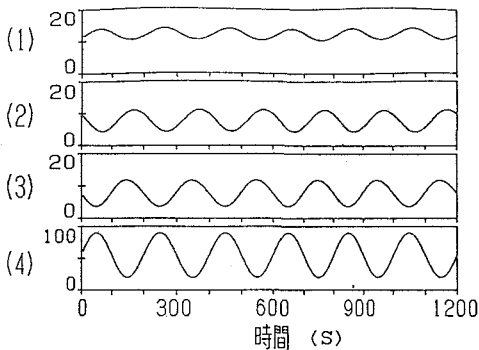


図3 日射の日変動に対する応答性



- (1) 光合成速度 ($\times 10^{-8} \text{ gCO}_2/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$) 風速 1 (m/s)
 (2) 吸水速度 ($\times 10^{-6} \text{ gH}_2\text{O}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$) 土壌水分 PF2
 (3) 蒸散速度 ($\times 10^{-6} \text{ gH}_2\text{O}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$) 気温 30℃
 (4) 相対湿度 (%) 日射量 800 (W/m²)

図4 湿度の短周期変動に対する応答性
(NEO SPAMによる数値計算)

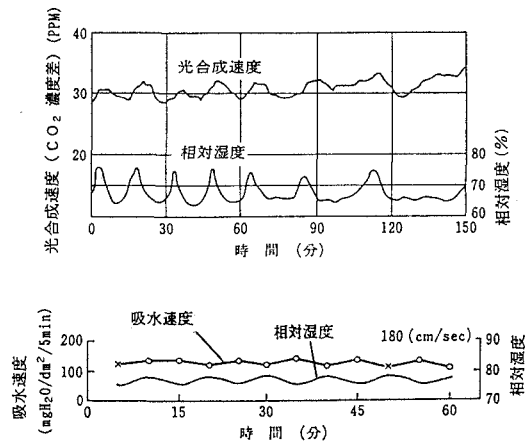


図5 湿度の短周期変動に対する応答性
(矢吹³⁾の実験結果)