

木の成長の状態の分岐を考慮した木の相互作用モデル

7V-5

任 哲弘¹ 品川 嘉久¹ 國井 利泰²

東京大学¹ 会津大学²

1 序論

近年多くの生物や自然現象のコンピュータによる可視化が重要になってきている。樹木そして森林にも幾つかのモデルが提案されている。森林において起こる複雑な現象を可視化するためには、各々の樹木の成長と木相互間の関係を定義し、それに基づき森林のシミュレーションを行なわなければならない。今までのモデルはほとんど木の成長を線形的に捉え、木の種による定性的な相違を考慮していなかった。本研究では木の成長の状態における分岐を考慮に入れた成長モデルを構築し、木相互間の関係を定義する。このモデルに基づいて森林の生成過程に現れる複雑な現象をシミュレートし可視化する。

2 木の成長モデル

2.1 成長関数

森林、特に熱帯雨林に存在する多くの種の木は大まかに陰抵抗性の強い木と弱い木に分けられる [3]。前者の最大成長率は後者の最大成長率より低く、総光合成量と呼吸量が同じになる点である補償点も低い。また前者は補償点における光合成反応曲線の傾きが比較的大きいのに対し、後者は傾きが比較的小さい。つまり前者は森林のキャノピ（森林で直接日光を受ける事の出来る木の樹冠で構成される層）下でも生き続けられるが、後者は枯死してしまう。また照射量が十分な時は後者的の方が急速に成長する。本論文ではこのような関係を次の式でモデル化した。

$$\frac{1}{w} \frac{dw}{dt} = a(g+b)(1 - e^{-(c(g-d)^2+e)(I-fg)}) \quad (1)$$

w : 木の重量

$\frac{1}{w} \frac{dw}{dt}$: 相対成長率

I : 照射量

a, b, c, d, e, f : 定数

g : 木の種を表すパラメータ

上の式において g の値が大きいほど陰抵抗性の弱い木、g の値が小さい程陰抵抗性の強い木を示している。

2.2 成長関数の解析

森林のキャノピの状態（構成している木の平均の高さ、キャノピの密度等）によりキャノピ下での照射量は変化する。例えば気温が上昇すると、森林の木全体の成長率が高くなり、生成されるギャップ（キャノピ木が枯死して出来るキャノピの穴）が大きくなる。この時平均的な照射量が上がると、陰抵抗性の弱い木の方が有利になる考えられる。反面気温が下がり木全体の成長率が下がると、生成されるギャップが小さくなり平均的には照射量が下がる事により、陰抵抗性の強い木が有利になると考えられる。このような複雑な現象も本論文ではモデル化できる。

このようなある照射量に対応し最も適した木の種の間は次のように解析される。式 (1) において、ある照射量 I に対し式 (1) が極大値を取るような g の値が示す木の種がその照射量下において最も適している種であると仮定すると、その種の個体数がその環境下で最も多数を占めると考えられる。式 (1) の指数部を 1 次テイラー級数まで求め展開し $g = G + (I + f(2d - b))/(4f)$ とすると

$$-\alpha(G^4 - p(I)G^2 - q(I)G + r(I)) \quad (2)$$

α : 定数

p(I), q(I), r(I) : I の関数

という形が得られる。この式において G の値が常に極大値を取るように動くことと仮定すると、

$$-\alpha(4G^3 - 2p(I)G - q(I)) = 0 \quad (3)$$

で示される曲面上（図 1）、つまり式 (2) の 1 次微分が 0 になる点、を G が動く事になる。この時 p(I) と q(I) が滑らかに動けば G の値が図 1 のようにヒステリシスを伴ったジャンプを起こす。（これはカタストロフィー理論によりくさびのカタストロフィーと分類されたものである [4]）。つまり照射量が減衰すると、陰抵抗性の強い木の個体数が急増し、照射量が増加すると陰抵抗性の弱い木が急増する。よって気温が変化すると、それに伴って平均照射量も変化する事から、ヒステリシスを伴った個体数のジャンプが起こる。このように実際の森林で起こる複雑な現象を本論文ではカタストロフィーの解析によりモデル化できた。

An Interacting Tree Model Considering Bifurcations in the State of Growth of Tree

Im Chollhong¹, Shinagawa Yoshihisa¹ and Toshiyasu L. Kunii²
The University of Tokyo¹, The University of Aizu²

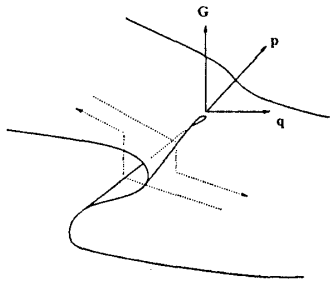


図 1: くさびのカタストロフィー

3 木の相互作用モデル

3.1 木のモデル

今までの森林のモデルでは木相互間の関係を正確に定義していなかった。KEA-システムでは木の受光面を円と仮定し、高い木による低い木への陰のみを考えていた。本研究では低い木の高い木に対する影響を考慮し、木の樹冠を円筒状であると仮定した。樹冠中の各高さにおいて葉の密度は均一であるとし、高さ h' における照射量が h' より高い位置にある葉により次のように減衰されるものと仮定する。

$$I(h') = kI_0 e^{-t(H-h')} \quad (4)$$

I_0 : 樹冠の最も高い位置での照射量

H : 木の高さ

t : 樹冠の密度

k : 定数

樹冠が受け取る総照射量は樹冠の各高さにおける照射量に樹冠の地面に対する投影面の面積を掛けたものを高さに沿って積分したものになる。

3.2 木の相互作用

日光が地面に対し直角であると仮定すると、2つの木の樹冠における陰は地面に対する2つの投影面(円)の共通部分に相当する部分にできる。この部分での照射量を樹冠が重なっている部分の葉の密度をそうでない部分の密度の2倍になっていると仮定し、式(4)により計算し、陰がない場合の照射量から引く事により陰を計算することができる。N個の木の樹冠が重なりあっている部分は葉の密度をN倍にして計算すれば良いのだが、このような部分をそれぞれ探さず正確に求めるには膨大な計算量を必要とするので、それぞれの木が作る陰を別々に計算した合計を陰の合計とする。

4 森林の形成過程の可視化

4.1 KEA-システムの拡張

本研究で構築したシステムで用いた樹形を生成する規則はA-システム[1]とほぼ同じものである。木の形態

は発散角、二つの縮小率、二つの分岐角で指定される。

4.2 森林の生成過程のシミュレーション

熱帯雨林を対象として実験を行なった。KEA-システム[2]では3種の木を3つのパラメータを使いモデル化した。本研究では考えられる全ての種を式(1)に基づき均等に生成し(g の値をランダムに発生させ)実験を行なった。木の死亡率は確率として与えるのではなく、相互作用の下、補償点以下になった木を枯死するようにした。また新しい木の発芽は地上での照射量が一定値以上になった時に行なうようにした。

上の実験によりキャノピとサブキャノピが形成され、陰抵抗性の強い種と弱い種の個体数の全体を占める割合が周期的に変化する事が観測された。また森林がある程度安定した後、気温を下降または上昇させ個体数の変化を調べた結果、陰抵抗性の弱い木が増加し強い木が減少した。

5 結論

森林の形成過程において起こる複雑な現象を可視化するためには、木の成長の単純な線形成長モデルでは不十分で木の成長の状態における分岐を考慮にいれた成長モデルを考える必要がある。

6 将来課題

木の相互遮光以外にも土壌中の養分、大気中の二酸化炭素、水分等の確保のための競争が考えられる。これらの要素は熱帯雨林以外の地域の森林の形成過程を可視化する上で重要である。今後このような要素を考慮した成長モデルが必要となる。

参考文献

- [1] Aono M, Kunii TL, "Botanical Tree Image Generation," *IEEE Computer Graphics and Animation*, Vol.4 Vo.5, pp. 10-34, 1984
- [2] Toshiyasu L. Kunii, Hirohisa Enomoto, "Forest: An Interacting Tree Model for Visualizing Forest Formation Processes by Algorithmic Computer Application - A Case Study of a Tropical Rain Forest," In *Computer Animation '91*, pp. 199-213, Tokyo, 1991.
- [3] Shugart HH, "A Theory of Forest Dynamics," Springer-Verlag, New York, 1984.
- [4] Tim Poston and Ian Stewart, "Catastrophe Theory and Its Application," Pitman Publishing Limited, 1978.