

コンピューターの中の生命

高田 壮則

私が生まれてからのわずか半世紀の間にコンピューターは現代の私たちの生活に密着した電子機器になり、今ではインターネットを使わない若者はほとんどいないと言っても過言ではありません。その時代の大きなうねりの中で、コンピューターシミュレーションという言葉も昨今マスコミなどで数多く取り上げられるようになりました。テレビの特集番組の中でもコンピューターシミュレーションによる画像を見ることも多くなりました。その中でも最も有名なものは、地球の気温が50年、100年レベルで上昇するという地球温暖化シミュレーションです。では、コンピューターシミュレーションは地球温暖化の研究のためだけにしか用いられないものでしょうか？実は、その他にも様々な分野でコンピューターシミュレーションは科学的な謎を解き明かすための道具として用いられています。地球規模の温暖化に伴うローカルな地域、例えば北海道の降雪量の変化やモンゴルの草原が変化したときの気候変化に目を向けて、気候と植物の関係を予測するものもあります。また、コンピューターの中で生物を誕生させ一生を再現するものから、森林を再現するものまで多様な試みが行われています。それらの結果がテレビなどで報道されることも多い一方で、テレビでは結果が映像によって示されるだけで、実際にどのようにシミュレーションされているのかについて語られることは多くありません。この講座では、科学的な謎解きの裏側について解説を加え、謎解きの謎解きをしてみたいと考えています。

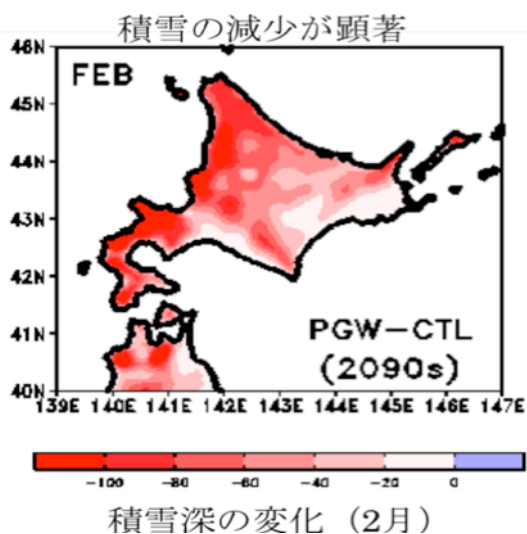
1 水の動きが降雪や砂漠化を支配する

地球温暖化シミュレーションでは、基本的に空気の動きが計算されます。空気の動きを計算する方法として用いられるのが、大気モデルと呼ばれる一つの数学モデルで、Navier-Stokes 方程式と名付けられている偏微分方程式

$$\frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \nabla)v + \frac{1}{\rho} \nabla p = g \quad (1)$$

です。式中 t , v , ρ , p , g は順に、時間、ある場所における空気の流速、空

気の密度、気圧、重力加速度を表しています。この数式は18～19世紀に開



発された数式ですが、短く簡単に見える割には、空間のあらゆる場所のそれぞれの値を計算するため、膨大な計算量を必要とし、コンピューターという計算機の登場を待って、天気予報のために用いられるようになりました。空気中には水分だけではなく熱も含んでいるため、気温や降水量、降雪量も計算が可能です。また、どの程度の水分を含んでいるかは着目する土地の植生の影響を受けることから、地域によって異なる結果が得られます。この講演で

図1 2090年における北海道の積雪深

は、地球温暖化による北海道の降雪量の変化を予測した結果（図1）や、モンゴルの草原が砂漠化した場合のモンゴルの気候変化予測の結果を紹介します。

2 気候が森を変え、森が気候をかえる

さて、気候が生育する植物に大きく影響を与えることは、想像に難くありません。しかし、その逆、すなわち、地球上に生育する植物たちが気候変化に大

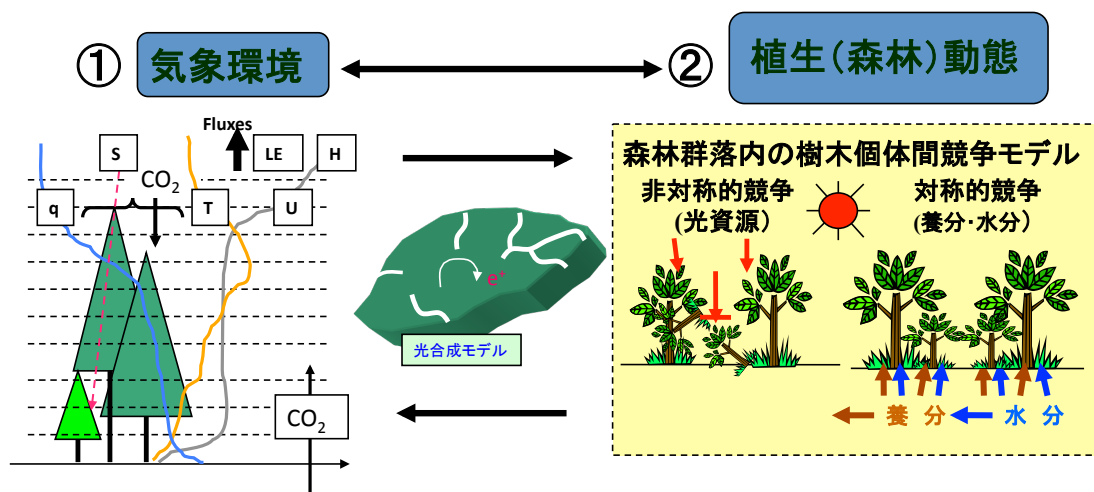


図2 大気—植生動態モデルの概念図

大きく影響を与える可能性はあるのでしょうか？そのことが着目され始めたのは1990年代に入ってからのことです。第三回目の講義で指摘されているように、陸地の中で森林の占める面積は3割程度に過ぎませんが、その影響はどのくらいのものでしょうか？陸上植生の動態が気候変化に及ぼす影響を評価するためには、特に森林の発達過程のシミュレーションモデルが必要になります。それが、いわゆる「大気-植生動態モデル」です（図2）。図の左側に示される気象環境に関するモデルは（1）式にしたがうシミュレーションを行います。それによって求められた気温や降水量は樹木の生育に影響を与えます。その森林に対する影響を評価するためには、図の右側に示される森林群落内の光資源や養分・水分に依存して、樹木たちがどのように光合成を行い、生育・成長していくかを計算させなければいけません。これだけでも、計算能力の高いコンピューターが必要であったということがわかっていただけることでしょうか。この講演では、この「大気-植生動態モデル」を使うとどのような量がどの程度計算できるかについて詳しく解説します。

3 カタクリの一生

森林には樹木が存在しているだけではありません。そこには、他の動植物たちも共存しています。北海道に長く在住されている方にはおなじみのカタクリも北海道の森林の重要な構成要素です。春、4月中旬から5月中旬にかけて一輪の紫色の花をつけるカタクリは林床性の多年生植物であり、冬になると地上部を枯死させ、地下部でひっそりと暮らし、春になると葉および花茎を展開し

光合成を行います。そのため、種子として誕生してからいったい何年くらい生き延びているかを調べるが大変難しい植物です。その複雑な生活史を個体の流れ図（フローチャート）として描き（図3）、カタクリが生まれてから死ぬまでの一生をコンピューターの中で再現するとさまざまな情報が得られます。現実のカタクリ

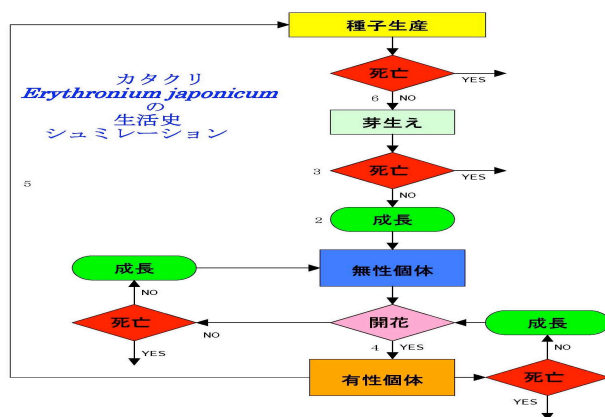


図3 カタクリの生活史シミュレーションのためのフローチャート

は毎年どのくらいの率（個体群増加率）で増えているのでしょうか？それとも減っているのでしょうか？目につく開花個体以外にもカタクリには未成熟で花を咲かせない個体（幼植物個体）が林床に生育していますが、一体何割くらいの未成熟の個体がいて、集団が成立しているのでしょうか？また、花を咲かせるのに必要な平均年数はどのくらいでしょうか？カタクリの平均寿命は？これらのいくつかの未知の情報を手に入れるには、実際には長期間を要するカタクリの一生の追跡をコンピューターの中で行うという方法がとても有効です。この講演では、そのシミュレーションの結果と、それからわかるカタクリやエンレイソウの一生について詳しく解説します。

4 葉脈の出来上がり方

植物が生きていくためには日々光合成を行う必要があります。そのために作られている器官はご存知のように栄養器官である葉です。どの植物でも同じ目的のために存在するにとしては、葉の諸形質はとても多様です。形、大きさ、重さ、葉の寿命の長さは種によって大きく異なります。それ以外にも、葉脈が植物種によってさまざまなパターンをもっていることを我々は身近な知識として知っています。おそらく共通のルールによって形成されながらも、何らかの理由によって、実際にできる葉脈が異なっていると考えられます。その共通のルールとはどのようなもののでしょうか？植物の成長を促す作用を持つとして知られる植物ホルモン（オーキシン）の流れを考えることによって、葉脈が構成されるかもしれないという仮説のもとで、植物の葉脈をシミュレーションする試みが最近行われるようになりました。まるで獣道が作られていくように、一度利用された道が利用されやすくなるという正のフィードバックの効果が自己組織的な葉脈パターンを出現

させるというカラクリが見事なパターンを作り出します（図4）。この講演では具体的な数式も含めてその数理モデルのカラクリを解説します。

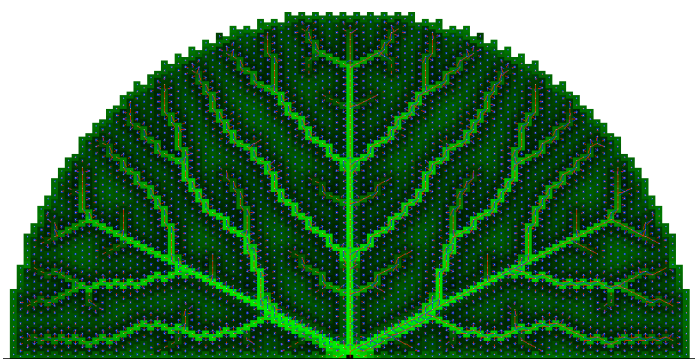


図4 シミュレーションによって作られた葉脈パターン