

平成 15 年度 成果報告書

研究題目：森林生態系の野外観測研究
担当教官：甲山隆司教授

COE 研究員 長谷川成明

1 はじめに

地球上の全陸地面積の 3 割、生物現存量の 8 割以上を占める森林は生態地球圏システムの重要なコンポーネントであることが知られている。したがって生態地球圏システムの劇変予測において森林生態系の変化予測は重要な意味を持つと考えられる。

しかしながら森林生態系の変化予測は現時点では非常に困難である。この理由としては

1. 森林生態系が様々な形態、生活形をした動植物により構成された多様性の高く非常に複雑な生態系でありこれらが相互に影響しているためある変化が生態系全体のどのような変化をもたらすか予測できない
2. 対象が巨大であり、操作実験を行うことで実際の変化をある程度明示的に査定するのは、ほぼ不可能である
3. 森林生態系における群集の維持機構や多様性のもつ意義などといった、森林生態系の機能・機構については未解明の部分が相当多く存在する

ことなどが挙げられる。

これらの困難を打破し、森林生態系の挙動を予測するアプローチのひとつとして、森林をいくつかの構成要素に分解し、それらがどのように集合して森林生態系が形成されているかを調べる手法がある。この手法について具体的に述べる。森林生態系は、多くの種類の樹木が集合して構成されている。そして、それぞれの樹木は、いくつもの枝（この単位をシュートモジュールと呼ぶ）が複雑に組み合わさることでできている。すなわち、

シュートモジュール 樹木 森林生態系

というスケールの異なる要素の、階層的な構造が森林生態系には存在している。この階層における下位の要素がどのような振る舞いをして、それが上位の要素にどのように影響するかを知ることで、下位要素の情報をもとに上位要素へとスケールアップすることが可能である。すなわち、シュートモジュールに関する情報をスケールアップして樹木の挙動を知り、そうして得られた樹木の挙動に関する情報をさらにスケールアップしてゆけば、森林生態系の振る舞いに関する知見にまで繋げることができると考えられる。

このような背景のもと、21 世紀 COE プログラム「生態地球圏システム劇変の予測と回避」において森林生態系の野外観測を中心とした研究を行ない、森林生態系の変動予測を目指している。

2 本年度の研究内容と結果

本課題において、筆者は1)シュートモジュールの空間構造、2)シュートモジュール間の資源移動、3)モデルシミュレーションによる変動予測の3つの研究課題について研究を行うことを計画していた。これらの研究課題について本年度得られた結果について、以下に個別に記す。

2.1 シュートモジュールの空間構造

シュートモジュールの集合体である樹木の行動には、シュートモジュールが作り出す空間構造が関与していると考えられる。多くの樹木では、一般に”成り年現象”と呼ばれるが、平年は繁殖量が少ないがある年には大量の果実を付けるというように、繁殖量の大きな年次変動があることが知られている。この成り年現象については様々な仮説が提唱されているが、シュートモジュールの空間構造について研究する過程でシュートモジュールの動態から成り年現象が説明できるのではないかと考えた。

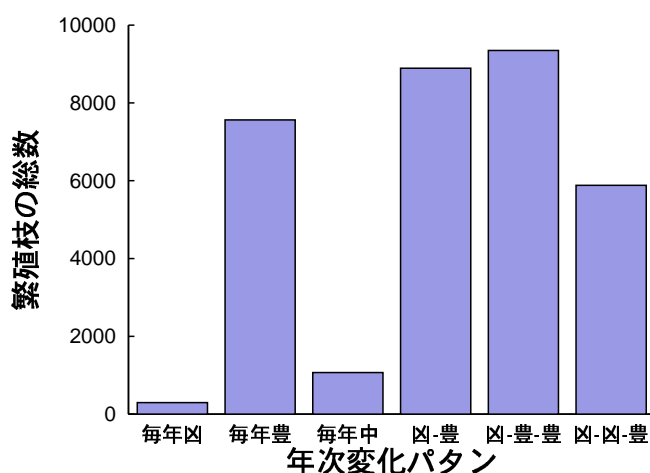


図 1: 行列モデルを用いたシミュレーションの結果

過去にヤマハンノキについて得た当年生シュートモジュールの動態データをもとに、シュートタイプ(維持型、伸長型、繁殖型)間の推移確率を求めた。得られた推移確率をもとに、行列モデルを作成し、6年間の繁殖量を推定した。その結果、毎年一定の繁殖を行う(毎年凶、毎年豊、毎年豊)よりも、年次変動のあるパターン(凶豊、凶豊豊、凶豊豊)の方が6年間の繁殖量を増加させることが明らかになった。

った。

この結果から、ヤマハンノキにおいてはシュートモジュールが空間獲得や繁殖といった機能を分化しながら樹冠部を構成し、この動態が成り年現象を生み出している可能性が示唆された。

これらをまとめて学術論文”Current-year shoot based approach for annual variation in the reproductive output in Siberian alder (*Alnus hirsuta* var. *sibirica*)”として Trees-Structure and Function- 誌に投稿し受理された。

計画時にはシュートモジュールの3次元構造を直接空間座標を測定することで把握することを考えていたが、本年度中には3次元デジタイザをめぐる技術的な側面が解決できず、十分なデータを得るには至らなかった。この点については引き続き研究していきたいと考えている。

2.2 シュートモジュール間の資源移動

樹木を構成するシュートモジュールは資源的な独立性が高く、シュートの成長や繁殖に投資される資源の多くは、そのシュートで生産されていることが知られている。筆者らは過去に行った実験結果をもとにヤマハンノキの当年枝は繁殖において資源的に独立性が高いことを学術論文“Carbon autonomy of reproductive shoots of Siberian alder (*Alnus hirsuta* var. *sibirica*).”として取りまとめ、Journal of Plant Research 誌に投稿、受理された。しかし一方で、たとえばトドマツなどの樹木では枝系の発達に規則性があり、このような規則性はシュートモジュール間の資源のやりとりに起因するものではないかと指摘されて来た。



図 2: 目標となる枝にビニール袋をかけ密封し、 $^{13}\text{CO}_2$ を添加する。



図 3: 樹木の各所に添加し光合成産物の移動を観察する。

シュートモジュール間の資源輸送について明らかにするために、炭素安定同位体 ^{13}C を用いたトレース実験を行った。

今回対象としたトドマツは、枝系の側方に位置する枝よりも先端に位置する枝が著しく伸長し、鋭い三角形状の枝系を作ることが知られている。これは、先端部の伸長を優先し効率的な空間獲得を行うために、側方のシュートモジュールで生産された光合成産物が先端のシュートモジュールへと転流されているからではないかと考えた。枝系の側方に位置する1年枝に炭素安定同位体 ^{13}C でラベルした二酸化炭素を与え、先端に位置する1年枝で検出されるか調べた。また、逆に先端に位置する1年枝に $^{13}\text{CO}_2$ を与え側方に位置する1年枝で検出されるか調べた。

実験の結果、1) 側方の1年枝で生産された光合成産物は、先端の1年枝へと運ばれることが多いが、2) 一方で先端の1年枝で生産された光合成産物はほとんど側方の1年枝へと運ばれることはない、という一方向的な光合成産物の流れが存在することが示された。前者の結果は、より空間獲得に適したシュートモジュールへと優先的に資源を配分するトドマツの生存戦略のひとつであると考えられる。また後者の結果はシュートモジュールの資源的自律性に枝による差位が存在し、それが枝系内の位置に依存していることを示すものと考えられる。

今回の実験は枝系内の位置による差位について明らかにしたものであるが、今後は樹木個体の枝系間の資源転流について明らかにし、樹木内の資源移動について広く明らかにし、とりまとめて行きたいと考えている。

2.3 モデルシミュレーションによる変動予測



図 4: PC8 台を繋いだクラスタ型計算機

モデルを用いた森林生態系のコンピュータシミュレーションは変動予測において強力な武器となることが予測される。シミュレーションを行う能力を備えたコンピュータとして、市販されている PC8 台を高速な 1000Base-T 回線で繋いだクラスタ型計算機 *Dicentra* を作成した。CPU に Intel Celeron 2.4GHz を使い、オペレーティングシステムに Linux を、またクラスタリングを行う基盤となるソフトウェアに SCore を用いている。High Performance Linpack ベンチマークの結果、13.8GFlops を達成した。

現在この計算機を用いて筆者らが開発した、立方体をモジュールとした仮想植物を用いた樹木形態の進化シミュレーションモデルである Cubic Module Model を用いて、森林生態系の多種共存機構ならびに環境変動に対する森林生態系の変動予測について調査を行っている。

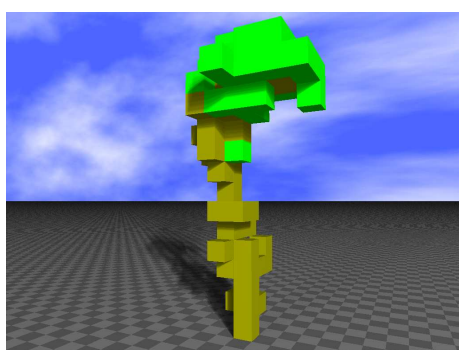


図 5: Cubic Module Model シミュレーションで得られた仮想植物の一例

Cubic Module Model による、単一の光合成能をもつ仮想植物によるシミュレーションの結果、単一の葉群層が得られることがこれまで分かっている。異なった光合成能と開葉期間(ただしこれらの積は一定とする)をもつ2種の仮想植物が群落を形成する場合についてシミュレーションを行った。その結果、適切な発芽率をもつ条件の下では、2種は異なった高さに葉群層を配置しながら共存することが示された。森林構造仮説 (Kohyama 1993) が指摘しているように、最大到達高の異なり、新規加入速度の異なる条件では多種共存が可能になることを示していると考えられる。

また、将来的には野外で得られた樹木の空間構造、資源輸送に関するデータをもとにした樹木モデルを作成することを予定しているが、残念ながら現時点ではモデル化に十分なデータが得られていない。この点については平成 16 年度にさらに取り組んでいきたいと考えている。

3 業績

3.1 原著論文

- Hasegawa, S., Koba, K., Tayasu, I., Takeda, H. and Haga, H.(2003). Carbon autonomy of reproductive shoots of Siberian alder (*Alnus hirsuta* var. *sibirica*). Journal of Plant Research. **116**(3). 183-188.
- Hasegawa, S. F. and Takeda, H. (2004). Current-year shoot based approach for annual variation in the reproductive output in Siberian alder (*Alnus hirsuta* var. *sibirica*). Trees -Structure and Function-. **18**. 436-441.
- Hasegawa, S. F. and Takeda, H. (*in press*). Behavior of current-year shoots as a mechanism to determine the floral sex allocation at the level of individual tree and population in Siberian alder (*Alnus hirsuta* var. *sibirica*). Trees -Structure and Function-.

3.2 学会発表

- Hasegawa, S. F., Shiota, T. and Kohyama, T. Simulation of evolutionary process of tree shape using Cubic Module Model. 4th International Workshop on Functional-Structural Plant Models. June 2004. Montpellier, France.
- 長谷川成明・城田徹央・甲山隆司. Cubic Module Model を用いた森林構造シミュレーション. 第 51 回日本生態学会大会. 2004 年 8 月. 釧路.

3.3 紙上発表(査読有り)

- Hasegawa, S. F., Shiota, T. and Kohyama, T. (2004) Simulation of evolutionary process of tree shape using Cubic Module Model. Proceedings of 4th International Workshop on Functional-Structural Plant Models. Godin, C. *et al.* eds. June 2004, Montpellier, France.

3.4 賞罰

- 第 51 回日本生態学会大会 ポスター賞最優秀賞(植物群落部門)受賞