

環境傾度バイオームチャンバーにおける植生動態に関する研究

Modeling of vegetation dynamics in GRADIENT BIOME

東京大学大学院新領域創成科学研究科 環境学専攻
環境システムコース 地球環境工学研究室 修士2年
46756 寺田一美

1. 背景

2005年2月に京都議定書が発効され、地球温暖化防止に向けた国際的な取り組みがますます注目されている。温暖化により、21世紀末には地球全体の平均気温が1.4～5.8も上昇すると言われており、このような地球規模で起こる環境変化は、降水量の変化などといった気候だけでなく、動植物にも多大な影響を及ぼすと考えられている。

温暖化は等温線の移動速度で1.5～5.0km/yearに相当すると試算されているが、一方で木本植物の移動可能速度は比較的寿命が短い種でも0.1～2.0km/year程度で、植生の移動は実際の温暖化に追いつけず多くの種が死滅すると考えられている。だが現在のところ、植物がこの急速な環境変化に対してどのように応答し、植生帯の分布や生物種の構成などがどのような影響を受けるかについては、ほとんど明らかになっていない。

2. 環境傾度バイオーム

地球温暖化による植物への影響、特に温暖化による等温線移動に対する植物の移動等の応答、および生態系の持続性・多様性等への影響を解明するために、東京大学大学院新領域創成科学研究科が計画している大型環境制御実験施設が「環境傾度バイオーム」である。この施設ではチャンパー内に熱帯、温帯、冷帯、寒帯の各気候帯を間仕切りすることなく連続的に再現し、各気候帯における生態系をそのままチャンパー内に収め、主に温暖化に伴う植生帯の移動や生物種構成の変化などについて調べる計画である。そして地球上で100年スケールで起こる環境変化に対して、バイオーム内で加速させて環境変化を起こし、将来の地球環境を予測する研究が行われる予定である。

3. バイオームに関する研究課題

既往の研究^[1]によりバイオームチャンパー内の熱・水分環境については、対流や熱移動を計算することによって検討されている。だがチャンパー

内の植生については、対流の抵抗としての扱いのみで留まっており、どのような植生を導入するのか、それによりどのような現象が引き起こされるのかといった検討は行われていない。

チャンパー内に生きた植生があると、植物の蒸発散、光合成、呼吸、リター（落葉枝）土壌分解によるCO₂放射、土壌含水量の変化とそれに伴うアルベドの変化などを通じて、チャンパー内の気候環境に影響を与える^[2]。従ってチャンパー内環境の解析には植生の影響を加味した検討が不可欠であり、導入植生の考察が必要とされている。

だが、環境傾度バイオームチャンパーは世界でも例を見ない特殊な空間であるため、そのサイズや空間構成すらもいまだ確立していない。またその特殊性により、内部植生の変化、環境からの影響などを、既存の観測結果等から推測することは難しく、植生の生理過程・動態過程などを詳細にモデル化したシミュレーションが適している。



Fig.1 : バイオームチャンパー計画図

4. 研究目的

本研究では植生を詳細に扱った環境傾度バイオームモデルをPC上に仮想構築し、バイオームという特殊空間中での植物生態系の動態を解析する。さらに、それらの植物生態系が地球温暖化に対する応答をシミュレーション実験し、環境傾度バイオームの実現と利用に向けて、チャンパー内の植物生態系の動向を推測することを目的とする。

5. 研究方法

研究方法はすべてFortran90を用いた数値計算による。

植物生態系の構造・機能に関しては、樹木一本一本についての成長を追える個体ベースモデルに基づいた森林シミュレーション SEIB-DGVM (Spatial-Explicit Individual- Base Dynamic Global Vegetation Model) [佐藤永氏 (地球環境フロンティア研究センター)開発]モデルを採用した。このモデルはある気象情報を入力すると、その気候に適した植生を三次元構築し、光をめぐる樹木同士が競争し、それに伴う植生の変遷を再現できる。

モデル全体の入出力を Fig.2 に示す。各地域の温度、降水量、緯度などの気象データを入力し、物理・生理・生態モジュールを経て、その気候帯に特徴的な森林の様子を解析した。また本研究では樹木を Table1 に示すような 8 種類の生活系ごとに扱った。

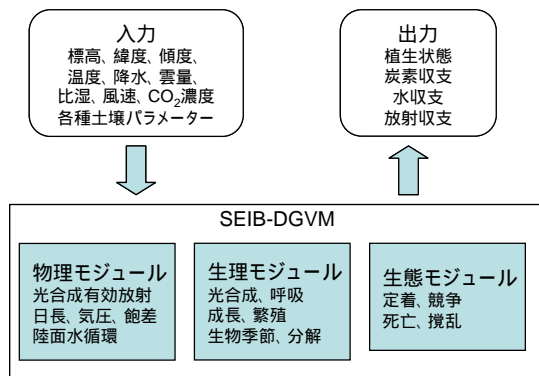


Fig.2 : モデル入出力 (元図佐藤永氏作成)

Table1 : 本研究での樹木の扱い(上に同じ)

1. 熱帯性 広葉 常緑樹 (Tropical broad-leaved evergreen)
2. 熱帯性 広葉 雨緑樹 (Tropical broad-leaved raingreen)
3. 温帯性 針葉 常緑樹 (Temperate needle-leaved evergreen)
4. 温帯性 広葉 常緑樹 (Temperate broad-leaved evergreen)
5. 温帯性 広葉 夏緑樹 (Temperate broad-leaved summergreen)
6. 寒帯性 針葉 常緑樹 (Boreal needle-leaved evergreen)
7. 寒帯性 針葉 夏緑樹 (Boreal needle-leaved summergreen)
8. 寒帯性 広葉 夏緑樹 (Boreal broad-leaved summergreen)

6. 環境傾度バイオーム内の空間設定

環境傾度バイオームは Fig.3 のように、森林を導入する区画と通路とを分けて建設する予定である。だが生きた植生を再現するためには、森林区画をどの程度の大きさに設定すれば実際の森林の傾向を適切に再現できるのか、このような閉鎖空間に多様な植物生態系を導入することがどれほど森林に影響を与えるか、といった問題ははまだ未解決

である。そこでまず、植生動態が区画の大きさによってどのような制限を受けるのかの検討を行った。

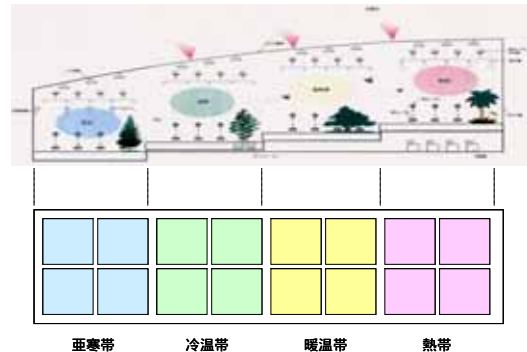


Fig.3 : チャンバー内の植生区画想定図

具体的には植生を導入する区画の大きさを、10m、20m、30m 四方に変えた 5 ケースで、それぞれ 5 回ずつ計 25 回、100 年間の森林の変遷を計算した。そのバイオマス量の結果を Fig.4 に示す。

この結果を比較してみると、区画が大きいほどバラツキが小さくなるのがわかる。これは区画があまりに小さいと一本の樹木が倒れる際のイベント的な影響が大きくなってしまっている。この結果から、安定した環境でバイオーム実験を行うためには、区画の大きさは少なくとも一辺 20m 以上必要であることが示唆された。

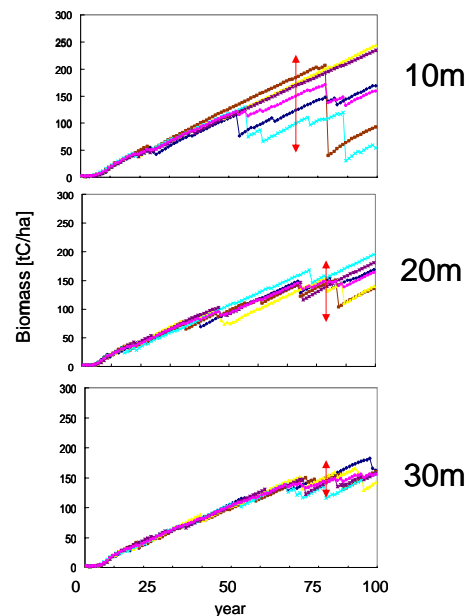


Fig.4 : 各区画におけるバイオマス量の経年変化

7. 環境傾度バイオームチャンバー内の植生動態

環境傾度バイオームチャンバー内に設ける植物

生態系の選定を、全気候帯を網羅できるよう世界中から選び出した 20 地点について、シミュレーションを行い、検討した。さらに、連続した環境傾度のもとでの植物生態系の分布が再現できるよう、バイオームチャンパー内での植物生態系の配置も検討した。Fig.5 に、ピックアップした地点の一部を示す。これに加え日本列島から 8 地点選んだ。



Fig.5 : 植生ピックアップ地点

以上の 20 地点における森林の変遷を 200 年間シミュレーションし、その結果を実際の観測値や文献値と比較した。その結果、ほとんどの地域で GPP (総生産量) や NPP (純生産量)、バイオマス蓄積量のシミュレーション結果が文献値と比較して妥当な範囲におさまっていたことが判明した。計算結果の一例を Fig.6 に、既往の研究で得られているバイオマスと NPP の文献値を Table2 に示す。ただしここでは Oasa (広島県) 地域の計算結果を GPP、NPP の時系列変化とバイオマス蓄積量、PFT (樹種) の組成率で表す。PFT 組成率は各年の区画内の総本数あたりの各 PFT 樹木の本数を % 表示で示したものであり、この結果からその年でどのような樹種がどのくらい生育しているかを判別することができる。

Oasa 地域の実際の植生は常緑広葉樹林帯であり^[4]、Fig.6 のシミュレーション結果を見ると、PFT=3 の温帯性針葉常緑樹や PFT=4 の温帯性広葉常緑樹が多く生えていること、その GPP は約 18[tC/ha/year]、NPP は約 8[tC/ha/year]前後で安定していること、またバイオマス蓄積量は 200 年目で約 170[tC/ha]に達していることがわかる。この値と Table2 に示した文献値とを比較するとほぼ等しい値となっていた。

この検証を残り 19 地域でも行ったところ、全体的にバイオマス蓄積量を多く見積もる傾向は見られたものの、それでいてもオーダーをはずれるほどの大きな差はなく、ほとんどの地域で実際の値と一致、またはその傾向を再現できていた。

Table2 : バイオマスと NPP の文献値^[3]

大生態系群	バイオマス 平均[t/ha]	NPP 平均[t/ha/year]
熱帯多雨林	210.9	9.5
熱帯季節林	169.1	7.125
温帯常緑林	169.1	6.175
温帯落葉林	142.5	5.7
亜寒帯林	95	3.8

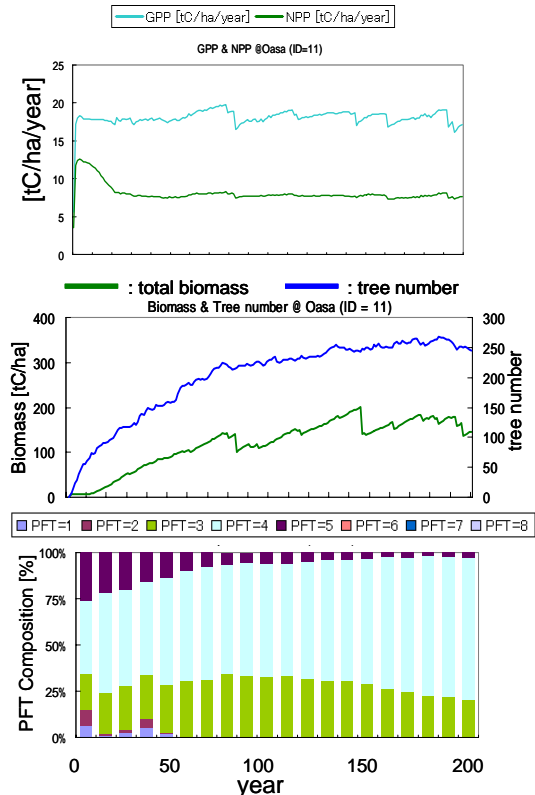


Fig.6 : Oasa での計算結果

次に以上の結果を参考に、バイオームチャンパー内での植物生態系の配置を検討し、仮想環境傾度バイオームモデルを 2 つ構築した。ここではそのひとつを紹介する。環境傾度バイオームチャンパー内での植生配置は Fig.3 のような区画を想定し、図中の番号と対応する形で Table3 に示す植生で仮想バイオームを提示する。

仮想バイオームの森林変遷の様子をシミュレーションし、その 200 年目のバイオマス結果と、IPCC の第三次評価報告書で作成された SRES シナリオをもとに、CCSR/NIES にて計算された温暖化予測の結果を用いて、温暖化させた場合の結果 (うち 200 年目の結果) とを Fig.7 に示す。さらに、温暖化を加速して生じさせた場合の計算結果 (うち 140 年目の結果) も示す。ここでは横軸が Fig.3

で示した配置番号を表し、縦軸がバイオマス量を表す。

Table3: 仮想バイオームモデルの植生配置図

BIOME location	forest ID	Place name	Lat	Lon
1	1	PhnomPenh	11.95	104.9
2	3	HongKong	23.16	114.11
3	11	Oasa	34.77	132.465
4	9	Kashiwa	35.87	139.97
5	16	Wakkanai	47.415	142.678
6	14	Siberia larch area 2	61	128.5
7	17	Rossia Evergreen forest area	64	45
8	19	Siberia larch area 1	69	122

Figure8 に熱帯から温帯、冷帯までの植生帯の分布に沿って樹木のバイオマス量を東ネパールで調査された結果^[5]を示す。この図は横軸方向が気候区分を表し、I: 熱帯、II~III: 温帯、IV~V: 冷温帯、VI: 高山帯、と移行するに連れてバイオマス量が変化する様子を表す。

この観測結果と Fig.7 のシミュレーション結果の通常の気候で 200 年後の計算結果を比較すると、Fig.8 で示されるバイオマスカーブを再現していること、そしてその値もほぼ定量的な一致が見られることがわかった。すなわちこの仮想モデルでは、実際の一連の植生分布とその傾向を反映できていることが確認された。

また、温暖化した結果をみると、BIOME location6~8 の冷温帯、寒帯の植生が脆弱であり、全体的にそのバイオマス量が減ることがわかった。また温暖化した場合でも、BIOME location1 の PhnomPenh での大幅なバイオマス量減少を除けば、Fig.8 に示すカーブを保っている。さらに、温暖化を加速した場合の計算結果と通常で温暖化させた場合の結果を比較すると、バイオマス量は多少増減するものの、気温上昇率を 2 倍に加速した結果、通常の半分の期間で、各 BIOME location での PFT 組成や BIOME location 間の相対比較（バイオマスカーブ）などの傾向が再現できることがわかった。

8. まとめ

本研究では、現存する森林に基づいたシミュレーションを行い、チャンパー内の空間設計を検討し、仮想環境傾度バイオームモデルを構築した。それを用いてバイオーム内の各植生帯が気候変動に対してどのような応答を行うかを検証した。さらに、温暖化の加速実験を行い、環境傾度バイオームが実際に地球温暖化に対する植物生態系の応

答の予測実験を行うことができる可能性も示唆できた。

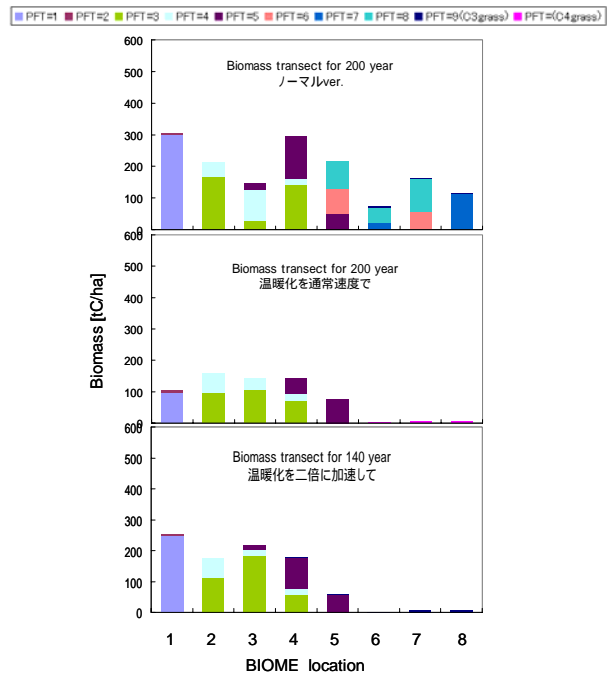


Fig.7: 通常の気象(上図)、温暖化(中央図)、温暖化を加速(下図)の条件で計算したモデルのバイオマス量変化

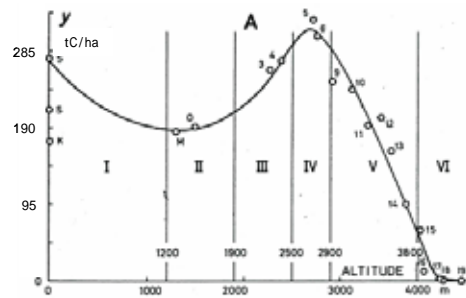


Fig.8 植生帯の分布とバイオマス量の変化

[1] 矢野順也(2004)東京大学修士論文 [2] Foley J.A., M.H.Costa., et al(2003)Green surprise? How terrestrial ecosystems could affect earth's climate, Frontier Ecological Environment, 1(1),38-44 [3] 吉良竜夫(1976)陸上生態系、共立出版 [4] 宮脇昭編(1977)、日本の植生、学研 [5] Kiyoji YODA, A preliminary Survey of the Forest Vegetation of Eastern Nepal, (1968), Journal of the College of Arts and Sciences, Chiba University, Vol.5, No.2, November, 1968, Page.277-301