

また、200年目の BIOME location 1 に配置した PhnomPenh のバイオマス蓄積量は 304.1[tC/ha]、BIOME location 4 に配置した Kashiwa のバイオマス蓄積量は 296[tC/ha] となっており、Fig.4-18 に示した観測値とほぼ同じ傾向を示していることがわかる。

すなわち、ここで提案した仮想環境傾度バイオーム I は熱帯から温帯、冷温帯までの一連の森林の示す傾向を定性的にかつ、定量的に再現できていることがわかる。ただし、仮想環境傾度バイオーム I では、ピックアップした地点を緯度の低いものから順番に配置したが、この結果を見ると、BIOME location 6 に今回配置した Siberia larch area2 よりも BIOME location 7 に配置した Russia Evergreen forest areaの方がバイオマス量は高く、また PFT 組成も Russia Evergreen forest areaの方が BIOME location 5 に配置した Wakkanai の組成と近いことを考慮すると、BIOME location 6 に Russia Evergreen forest area を配置し、BIOME location 7 に Siberia larch area 2 を配置したほうが、より Fig.4-18 に示した観測結果と近い植生帯が再現できるということが示唆された。

#### 4.4.3 日本に限定（仮想環境傾度バイオームモデル I の検証）

次に、「仮想環境傾度バイオーム II」として、Table4-10 に示すような配置で全て日本のデータから構成された環境傾度バイオーム植生を検討した。その結果をバイオマストランセクトの形で整理したものを Fig.4-7 に示す。仮想環境傾度バイオーム I と同様に、東ネパールの観測結果である Fig.4-18 との検証を行う。

Fig.4-7-④、⑤の結果を見ると、約 160 年目あたりから、Fig.4-18 の A 図が示す傾向と同じように、温帯と冷温帯の境界あたりで最高値に達し、その後減衰していく傾向が再現できている。

Fig.4-7-⑤の 200 年目の結果を見ると、BIOME location 3 に配置した Kashiwa のバイオマス量は前述の通り 296[tC/ha]となっており、Fig.4-18 の A 図が示す IV 区の冷温帯域のバイオマス量約 308.8[tC/ha]とほぼ等しい。

だが、BIOME location 1 に今回配置したのは Ohsaka 地域であり、ここは熱帯地域ではなくむしろ温帯である。そのため熱帯地域で高くなるという現象をこの配置では再現できていない。

さらに、Fig.4-6 と Fig.4-7 を全体的に比較してみると、Fig.4-6の方がより多くの PFT を有することができている。すなわちより多様な森林帯を再現できていることになる。

よって、熱帯から寒帯までの森林の移行を観測・実験するという環境傾度バイオームの目的を考慮すると、仮想環境傾度バイオームⅡ（日本 ver.）よりも、仮想環境傾度バイオームⅠ（アジア ver.）の方がより適切だと思われる。

#### 4.5 シミュレーションの際の留意点

本研究で提案した2つの環境傾度バイオームモデルでは、そのどちらも実際の観測データと一致する結果となった。だがここで注意しておきたいことが、本研究でのシミュレーションの限界と前提条件である。

本研究では、陸上の植物を10パターンのPlant Functional Typesに分けてシミュレーションした。しかし、実際の植物生態系は非常に多様であり、Plant Functional Typesではカバーできない“種ごとの違い”が、生態系全体の動向に影響してくることは容易に想像がつく。

前述のように、たとえばPFT=3だけを取り上げてみても、温帯性針葉常緑樹に分類される樹種は、実際には数多くあり、そのなかでもマツ、ヒノキ、スギの三種はその性質が大きく異なる。つまり、議論している樹木がマツなのか、スギなのかによって大きな違いがあり、ひとつのPlant Functional Typesで代表させることには限界がある。

また、本シミュレーションでは樹木の新規個体加入の際に、ある一定の確率のもと乱数を引いている。これは実際の樹木の定着や死亡には、自然界の不確定要素が含まれるため、それを考慮しての措置である。

よって計算を行うたびにある程度のばらつきが出てきてしまうことは、第3章で述べたとおりだが、そのため、現存の森林の蓄積量を表すバイオマス量は、計算を行うたびに多少バラツキが出てきてしまう可能性がある。

従って本研究で得られた結果について、特にそのバイオマス蓄積量については、計算を繰り返すことによって現れるバラツキを想定し、その定量的な検証や議論において、多少の信頼区間を用意して行うことが必要とされる。ただしその数値幅は、地域による差はあるものの、多く見積もってもせいぜい数10[tC/ha]のオーダーと予想され、また、そのPFT組成率や多様性にはさほど大きな影響はない。

以上のことを念頭に、これまでに検証してきたシミュレーションを用いて、環境傾度バイオームの実現と利用に向けた議論を次章より行っていく。

## 4.6 まとめ

本章では本研究で扱う再現植生 20 地点の詳細なデータについて議論した。それぞれの計算結果の中でも、GPP、NPP やバイオマス蓄積量、森林の構成種の優占割合などを整理し、文献値と比較検証することで、どれほどの現象が再現できているのかを確認できた。

その結果、ほとんどの地域で GPP や NPP、そしてバイオマス蓄積量の計算結果と文献値が一致、またはその傾向を再現できていた。また各森林地帯の PFT 組成も、その推測傾向とほぼ一致することが確認できた。ただし、PFT=3 については、種ごとの差が大きいため、より細かな PFT 設定が必要であることも示唆された。

定量的な評価としては、中にはあまり文献値との一致が見られなかった地点やデータもあるが、それであってもそのオーダーや傾向を大きくはずれないことや、定量的な一致が見られなかった項目がバイオマス蓄積量であり、それは観測する森林の林齢や地域の特性によって大幅に増減する可能性があること、加えて GPP や NPP は定量的な一致が見られていることなどを考慮すると、実際の森林の示す傾向を再現できているといえるだろう。

また、本研究では 200km 四方の気象シミュレーション結果を入力値として用いており、実際にフィールド調査で得た小さなスケールでの観測結果との完璧な一致はそもそも難しいことが考えられる。それらを考慮して本研究では、あくまでそのオーダーや傾向があっているかどうか、の判断を主に行い、その結果、本研究のシミュレーション結果は実際の森林の動向を反映できていると結論づけるに至った。

また、環境傾度バイオームチャンバーに導入する植生の配置については、仮想環境傾度バイオーム I も II も、東アジアの森林群系の分布パターンを定性的かつ定量的に再現できる結果となった。だが、仮想環境傾度バイオーム I の方がより多様な植生を再現できることを考慮すると、環境傾度バイオームチャンバー内に導入する植生例としては、II よりも I の方が適切だと思われる。

以上の結果をふまえ、次章より、これらの森林 20 地点において地球温暖化が進行したと仮定した場合、どのようなことが起こりうるかを推測する。本章で用いた気象データ、計算結果をベースとし、そこからの比較を次章で行う。

## 参考文献

- [1]吉良竜夫：陸上生態系—概論—、生態学講座2、(1976)、共立出版
- [2]宮脇昭編：日本の植生、(1977)、学研
- [3]酒井昭：植物の分布と環境適応—熱帯から極地・砂漠へ—、(1995)、朝倉書店
- [4]気象ハンドブック編集委員会：気象ハンドブック、(1979)、朝倉書店
- [5]佐々木好之編：植物社会学・図表、(1973)、共立出版
- [6]IUCN: A working system for classification of world vegetation, IUCN Occasional Paper 5(1973), International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, Morges, Switzerland. 23pp., mimeographed.
- [7]Whittaker, R.H. & Likens, G.E. : Woodwell, G.M. & Pecan E.V. (ed.), Carbon and the biosphere, 281-300 (1973), US Atomic Energy Commission.
- [8]大澤雅彦監修：生態学からみた身近な植物群落の保護、(2001)、講談社サイエンティフィック
- [9]Kyoji YODA: A Preliminary Survey of the Forest Vegetation of Eastern Nepal. III. Plant Biomass in the Sample Plots chosen from Different Vegetation Zones,(1968),Journal of the College of Arts and Sciences, Chiba University, Vol.5, No.2, November, 1968, Page 277-302
- [10]巖佐庸、甲山隆司、広瀬忠樹：(1996)、森林生態系：地球変化の研究へむけて、日本生態学会誌 (Japanese Journal of Ecology) ,46:54-56
- [11]石神靖弘、清水庸、大政謙次：(2003)、日本の潜在的な自然植生分布に対する気候変化の影響予測、農業気象 (J.Agric.Meteorol.) 59(4):269-276
- [12]太田俊二：(1996)、地球規模の気候変化にともなう植物群系分布の移動と純生産力の変化、日本生態学会誌 (Japanese Journal of Ecology) ,46:73-81
- [13]上村賢治、竹島征二、石垣逸郎、杉田治男、隅田裕明、廣田才之：(1997)、生態環境科学概論、講談社サイエンティフィック
- [14]佐々木好之編：(1973)、植物社会学、共立出版
- [15]R.H.ホイッタカー原著、宝月欣二訳：(1979)、生態学概説—生物群集と生態系—、培風館
- [16] 佐々木好之編：(1973)、植物社会学・図表、共立出版
- [17]鈴木和夫編：(2004) 森林保護学、朝倉書店
- [18]川口武雄：(1962) 森林物理学 気象編、地球出版
- [19]ブラウン・ブランケ著、鈴木時夫訳：(1964)、植物社会学 I、朝倉書店
- [20]山中二男：(1979) 日本の森林植生、築地書館
- [21]岩坪五郎編：(1996) 森林生態学、文永堂出版
- [22]永田洋、佐々木恵彦編：(2002) 樹木環境生理学、文永堂出版

## 第5章 環境傾度バイオーム利用法に関する検討

### 5.1 はじめに

環境傾度バイオームの第一の特徴は、地球規模で起こるといわれている温暖化によって植物生態系が具体的にどのような影響を受けるかを、樹木の種・個体レベルで実測できること、また異なる植生帯間の移動を観測できる点にある。だが、森林生態系の寿命とその成長、変遷スパンが長いことや、温暖化による影響を予測する、という目的を考慮に入れると、どのような森林を再現すればどのようなことが起こるのか、ということを実験して試すわけにはいかない。実際に樹木を植え、実験を始める前に、どのような植生帯を再現すれば、どのようなことが起こりうるのか、また森林が気候変動に対してどのような反応をすると期待されるのか、ということをもっと把握しておかなければならない。

よって本章では、仮想環境傾度バイオームモデルで温暖化を起こさせた場合に植生帯の分布やその成長量、変遷の様子、生産量が具体的にどのように変化するかを検討する。

まずは IPCC が公開している温暖化シナリオやその具体性、データを整理し、仮想環境傾度バイオームにて用いる形に成型した。その後、将来予測をするというバイオームチャンバーの実現性とその特性を把握するため、温暖化が起こる速度を加速させてシミュレーション実験を行った。これらの結果を踏まえ、最終的に環境傾度バイオームチャンバー植生の実現案、利用法を提示する。

ただし、仮想環境傾度バイオームに入力する各気候帯の気温、降水量、湿度、日射などの物理環境は各植生帯それぞれが独立して再現されると仮定した場合の議論であることを、ここでおさえておく。

### 5.2 地球温暖化詳細

#### 5.2.1 IPCC 第3次評価報告書の概要

2001年1月に開かれた第1作業部会（気候変動の科学的知見のとりまとめ）総会において採択された報告書の概要を示す。

- (イ) これまでの観測結果  
全球平均表面気温は、1861 年以降、 $0.6\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  上昇（第 2 次評価報告書での評価より約  $0.15^{\circ}\text{C}$  大きい）。
- ・ 20 世紀における全球平均海面水位の上昇は、 $0.1\sim 0.2\text{m}$ （第 2 次評価報告書では  $0.1\sim 0.25\text{m}$ ）。
- (ロ) 気候に対する人為的影響  
第 2 次評価報告書作成時以上に、過去 50 年間の温暖化の大部分が人間活動に起因しているという、新たな、かつより確実な証拠が得られた。
- (ハ) 将来予測
- ・ 21 世紀の終わりまでに  $\text{CO}_2$  濃度が  $540\sim 970\text{ppm}$  に上昇することを予測。
  - ・ 1990 年から 2100 年までの全球平均表面気温の上昇は、 $1.4\sim 5.8^{\circ}\text{C}$  と予測（第 2 次評価報告書では  $1.0\sim 3.5^{\circ}\text{C}$ ）。
  - ・ 21 世紀中に、最高気温および最低気温の上昇、降水強度の増加、中緯度内陸部における夏季の渇水、熱帯サイクロンの強大化等が起きる可能性。
  - ・ 1990～2100 年の海面上昇は  $0.09\sim 0.88\text{m}$  と推定（第 2 次評価報告書では  $0.13\text{m}\sim 0.94\text{m}$ 、下方修正は改良モデルの採用のため）。

## 5.2.2 データ元<sup>[2][1 章の 2]</sup>

IPCC では温暖化予測の詳細やその予測データを WEB 上で配布している。本研究では、The IPCC Data Distribution Centre(<http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/>)の GCM Data Archive の第三次評価報告書 (TAR) SRES シナリオで、Center for Climate System Research National Institute for Environmental Studies において計算されたデータを用いた。

IPCC の第一作業部会による第三次評価報告書は、これまでに公表された評価報告を踏まえた上で、気候変化に関する過去 5 年間の調査研究から得られた新たな成果を取り込んでおり、また、「排出シナリオに関する特別報告書 (SRES)」(2000) を作成している。シナリオとは、人口、社会・経済、技術など  $\text{CO}_2$  の排出量・大気濃度に決定的影響を及ぼす主要な因子および因子間の関係の総合的・整合的な仮定に基づいた一般的な将来見通しであり、排出シナリオとは、そのような仮定に基づいた、排出の将来見通しである。SRES では、第二次評価報告書において用いた温室効果気体の排出シナリオ (IS92) にその後の状況を反映させている。

SRES では、温室効果気体の排出要因とその結果の時間発展との関係について、4 種類の筋書き (A1、A2、B1、B2) が作成され、各筋書きのもとに具体的に定量化したシナリオが導かれている。その結果得られた合計 40 個のシナリオ (そのうち 35 個が気候モデルを強制するのに必要なあらゆる種類の温室効果気体のデータを含む) は、将来の温室効果気体や硫黄の排出の原動力となる人口統計上、経済上および技術上の主要な要因を広範囲に取り扱っている。

SRES シナリオでは、なんらかの気候変化を目指す政策効果を加味していない。すなわち、気候変動に関する国際連合枠組み条約 (UNFCCC) または京都議定書の削減目標の履行を前提としたシナリオを含んでいない。しかし、温室効果気体の排出は、気候変化とは別の目的 (たとえば、大気質保全) のために計画された政策の影響を直接受ける。さらに、政策によっては、人口統計上の変化、社会経済の発展、技術の変化、資源利用および汚染管理などの温室効果気体の排出に対する間接的な影響が生じる可能性がある。このような政策による直接・間接の影響は考慮されている。

以下、SRES の排出シナリオに関する、主要な点をまとめる。

A1 : 高度経済成長の継続、世界人口の 21 世紀半ば以降の減少、新技術や高効率化技術の急速な導入のもとで、地域間格差の縮小、人材育成および文化・社会交流の進展が想定される。「高成長社会」シナリオ。

A2 : 非常に多元的な世界のもとで、独立独行と地域独自性保持、世界人口の増加継続、地域的発展がすすみ、一人あたりの経済成長や技術変化は一様でない。いわば、「多元化社会」シナリオ。

B1 : 地域間格差の縮小、世界人口の 21 世紀半ば以降の減少、サービス・情報経済への急速な経済構造変化、物質文明志向は減少し、クリーン・省資源技術の導入がすすむ。とくに、公平性の促進など経済・社会・環境の持続可能性のための世界的な対策に重点。新たな気候変動対策は考慮していない。すなわち、「持続発展型社会」シナリオ。

B2 : 経済・社会・環境の持続可能性を確保するための地域的対策に重点がおかれる世界を描いている。世界の人口は A2 よりも緩やかな速度で増加を続け、経済発展は中間的なレベルに止まり、B1 と A1 の筋書きよりも緩慢だが、より広範囲な技術変化が起きる。地域的対策を中心とした環境保護や社会的公正に向かう。つまり、「地域共存型社会」シナリオ。

これらのシナリオをもとに、モデルを使用して、温室効果ガスとエアロゾルの大気中濃度、さらには将来の気候について予測が行われた。その結果を Fig.5-21 に示す。SRES シナリオでは、第二次評価報告書で用いられた IS92 シナリオに最新の状況を反映させ

たもので、ここでは比較のために IS92 シナリオによる予測が示されている。

これらの結果を考慮しながら、本研究では Center for Climate System Research National Institute for Environmental Studies で CCSR/NIES AGCM と CCSR OGCM モデルを用いて計算された A1 シナリオにおけるデータを用いた。

配布されていたデータのうち、2m mean surface air temperature のデータを本研究で用いた気温のデータと対応させ、total precipitation のデータを降水量のデータと対応させて計算を行った。

データの配布方式は、Table5-1 に示すような緯度、経度のグリッドごとに、月平均気温の形に成型されている。よって本研究でとりあげた計 20 地点の各地点の緯度・経度に最も近いグリッドを選び、各地点の温暖化のデータとみなした。つまり、入力気象データ値として用いてきたものは、200km メッシュの計算値であったが、温暖化として配布されているデータは約 500km 以上のメッシュで計算されたデータであるため、両者の対応をまず行った。

20 地点それぞれについて、どの地域の温暖化データをピックアップしてきたか、その対応を Table5-2 に示す。ただし、I が Table5-1 に示した経度グリッドを表し、J が Table5-1 に示した緯度グリッドの座標を表す。

この判別に基づいて、各地点での温暖化データを整理した。まずは気温の 1890 年から 2100 年までの変化の様子を Fig.5-1 に、降水量の変化を Fig.5-2 に示す。ただし温暖化のデータは 1890 年から 2100 年までをダウンロードし、整形した。これらの図は横軸が年を表し、縦軸が月平均気温もしくは月平均降水量を示す。もともとのデータは毎月の平均データとして配布されているが、それをここでは、夏の平均（6～8 月までの平均）と、冬の平均（12、1、2 月の平均）として表している。それは、温暖化の傾向はその地域性や季節によって異なってくることを考慮して行った。

さらに、各地点における温暖化の変化率を把握するため、これらのデータに対し、10 年間の移動平均をとり、その傾向から温暖化が始まったと思われるおおよその年度を割り出し、そこから 2100 年までのデータを取り出した。その詳細を Fig.5-3（気温）、Fig.5-4（降水量）に示す。さらにそれらの結果に対して線形近似曲線を出させた。それをまとめたものを Table5-3（気温）、Table5-4（降水量）に示す。ただしここで count\_start\_year とは、Fig.5-3、Fig.5-4 でデータをピックアップし始めた年度を表し、number\_of\_years とは、そこから 2100 年までの年数を表す。この number\_of\_years を温暖化期間とし、以下の温暖化シミュレーションでもこの値を各地域ごとに用いて計算を行う。



以上の結果を用いて、4章で検討した仮想環境傾度バイオームモデルⅠとⅡにおいて、温暖化を起こさせると、どのようなことがおこるかを次の節から検討する。

## 5.3 温暖化を起こさせたときの環境傾度バイオーム植生の変化

### 5.3.1 温暖化の起こし方

環境傾度バイオームに導入する植生は、前章で検討した仮想環境傾度バイオームモデルⅠとⅡに基づき、それらの状況での温暖化による変化を本節で解析する。

また、各植生帯における気温上昇率は **Table5-3** のものを、降水量変化については **Table5-4** のものを用いる。入力用の気象データには、前章に示したように、平均気温、降水量ともに日平均あたりのデータが必要である。よって、前章で計算した際に用いた入力用データをデフォルトとし、それぞれの気候区分における温暖化期間において、温度上昇率、降水量変化率を加えて計算を行った。また温暖化が始まるタイミングも、最終的な温暖化後の気温上昇量が IPCC のデータと一致するよう、**Fig.5-3** で読み取りだした温暖化期間にを随時用いた。

たとえば PhnomPenh (ID=1) であれば、200年間の計算のうち、後ろから98年間 (**Table5-5** の `warming_start_year` 値で決める)、それぞれの気温上昇率を足していき、温暖化を起こさせた。

このとき、温度上昇率の季節変化は以下のように設定した。

12、 1、 2月：	デフォルト気温データ + 気温上昇率 (冬) [°C/year]
6、 7、 8月：	デフォルト気温データ + 気温上昇率 (夏) [°C/year]
残りの月：	デフォルト気温データ + (気温上昇率 (冬) + 気温上昇率 (夏)) / 2

以上のことをふまえ、下のような条件で計算を行った。

計算区画面積	25m × 25m = 625m <sup>2</sup>
定着シナリオ	3
計算年数	200年

入力気象情報

Fig.3-1 のデータに Table5-3 に示す気温上昇率をそれぞれの温暖化期間分入力

### 5.3.2 気温のみを温暖化させた場合

まずは本研究でとりあげた 20 地点で、気温のみを温暖化させた。その結果を、Fig.5-5 から Fig.5-10 に示す。ただしその記載方法、データの解析方法は前章でデフォルト気象データを用いて計算した場合と同じにしてある。

以下でそれぞれの地点における、温暖化が起こった場合の変化について検証する。ただし、その度合いや傾向に地域差や季節性はあるもの、基本的に温度のみが上昇したことになるので、全体的に乾燥する傾向になる。

#### 5.3.2.1 温暖化に対する各地点の反応

Fig.5.5 に、GPP、NPP の時系列変化を、Fig.5.6 にバイオマス蓄積量と樹木本数を、Fig.5.7 に PFT 優占率の結果を示す。それぞれの森林区画の温暖化開始期間は Table5-3 に則っているが、大抵が森林誕生からおおよそ 100 年前後から温暖化が始まっている。

#### PhnomPenh (forest ID=1)から Serimbu (forest ID=4)について

温暖化が起こらない場合の計算結果 (Fig.3-2-①) を見ると、その生産量はほぼ横ばいになり安定した傾向を保っている。だが温暖化した場合の結果 (Fig.5-5-①) からは、PhnomPenh (forest ID=1)、Pasoh (forest ID=2)、HongKong (forest ID=3)、Serimbu (forest ID=4) のを見ると、全て 100 年目あたりから若干生産量が落ちていっていることがわかる。たとえば PhnomPenh の GPP は温暖化することにより、2~3[tC/ha/year] 減少している。また 4 つの地域全てにおいて、NPP の変化量よりも GPP の減少の方が全体的に目に付く。植物の呼吸消費量には温度が強く影響して、暖地ほど著しく大きくなることがいわれており、その傾向と一致する。

また、気温のみを温暖化させたときのバイオマス量 200 年目の計算結果 (Fig.5-6-①) と、温暖化させない場合の結果 (Fig.3-3-①) を比較してみると、PhnomPenh と Pasoh は温暖化することでバイオマス蓄積量が明らかに高くなっている。だが一方、HongKong と Serimbu ではどちらも低くなっている。また、樹木本数に着目してみると、温暖化が起こらない場合とそう大差ない。

特に Serimbu でのバイオマス減少量が著しく、また総本数には大きな変化がないことから、樹木一本あたりのバイオマスが小さくなること、すなわち Serimbu 地域では温暖化 (すなわちここでは乾燥) することによって大木が育ちにくいのではないかと思われる。

PFT 組成率を描かせたグラフ (Fig.5-7-①) を見ると、PhnomPenh は明らかに PFT=2 の熱帯性広葉雨緑樹が、温暖化とともに増えている。Pasoh や Serimbu にもその傾向が見られる。HongKong では PFT=3 の温帯性針葉常緑樹と PFT=4 の温帯性広葉常緑樹の比が変動し、温暖化すると多少、温帯性広葉常緑樹が多くなっている。

#### **Tomakomai (forest ID=5)から Ohsaka (forest ID=8)について**

Fig.5-5-②を見ると、GPP は 4 つの地域全てで上昇している。だが GPP に比べて NPP は温暖化しない場合 (Fig.3-2-②) と比較してみると、Tomakomai で若干増加はしているもののあまり変化が見られない。

バイオマス蓄積量 200 年目の計算結果 (Fig.5-6-②) を見ると、Tomakomai は温暖化させない場合と比較してもあまり差がないが、そのほかの Yamagata、Toyama、Ohsaka では温暖化した場合の方が若干高い値を示している。

PFT 組成率 (Fig.5-7-②) は、温暖化させない場合 (Fig.3-4-②) と比較して、Tomakomai、Yamagata、Toyama では PFT=5 の温帯性広葉夏緑樹が減少し、PFT=3 の温帯性針葉常緑樹の割合が多くなっている。Ohsaka では PFT=3 の温帯性針葉常緑樹が減り、PFT=4 の温帯性広葉常緑樹が優占しはじめている。

#### **Kashiwa (forest ID=9)から Ogawa (forest ID=12)について**

Fig.5-5-③から、GPP は 4 つの地域全てで上昇している。中でも Kashiwa と Ogawa の上昇率が大きい。だが GPP に比べて NPP は温暖化しない場合 (Fig.3-2-③) と比較してみても、あまり変化がない。

バイオマス蓄積量 200 年目の計算結果 (Fig.5-6-③) は、4 地域全てで変動が大きく、温暖化させない場合と比較してもあまり違いが見られない。

PFT 組成率 (Fig.5-7-③) は、温暖化させない場合 (Fig.3-4-②) と比較して、Kashiwa では PFT=5 の温帯性広葉夏緑樹、PFT=3 の温帯性針葉常緑樹が減り、PFT=4 の温帯性広葉常緑樹が多くなっている。HBEF ではその優占種が PFT=5 の温帯性広葉夏緑樹であることは変わりがないが、140 年以降では他の種がまったく存在しなくなっている。Oasa では PFT=4 の温帯性広葉常緑樹の割合が減少し、そのかわり PFT=3 の温帯性針葉常緑樹が多くなっている。Ogawa ではますます PFT=3 の優占率が高くなっている。

#### Central Plain (forest ID=13)から Wakkanai (forest ID=16)について

Fig.5-5-④を見ると、Central Plain、Sakhalin、Wakkanai は温暖化に伴い若干増加はするが GPP、NPP ともにあまり大きな変化は見られない。だが、Siberia larch area 2 では温暖化開始後、GPP、NPP ともに大幅な減少が見られる。

バイオマス蓄積量 200 年目の計算結果 (Fig.5-6-④) は、Central Plain をのぞく 3 地域全てで減少し、中でも Siberia larch area 2 と Sakhalin ではその量がほぼ 0 となっている。

PFT 組成率 (Fig.5-7-④) を見てみると、Central Plain と Wakkanai では PFT=6 の寒帯性針葉常緑樹や PFT=8 の寒帯性広葉夏緑樹が存在できなくなり、PFT=5 の温帯性広葉夏緑樹が優占している。Siberia larch area 2 では PFT=7 の寒帯性針葉夏緑樹にかわり、Sakhalin では PFT=6 の寒帯性針葉常緑樹にかわって、どちらも PFT=8 の寒帯性広葉夏緑樹に置き換わっている。

Table5-3 を見ると、気温上昇率はこれら 4 つの地点の中でも Siberia larch area 2 と Sakhalin が他の 2 地点と比べ倍近く大きい。よって Siberia larch area 2 と Sakhalin では、そのバイオマス蓄積量が後半で激減していることから、そこに生えていた植生が一度 (Siberia larch area 2 では 140 年目あたりで、Sakhalin では 190 年目あたりで) 死滅し、その後、温暖化された環境で生育可能な PFT=8 の寒帯性広葉夏緑樹や、PFT=6 の寒帯性針葉常緑樹の稚樹が定着したものと思われる。

### Russia Evergreen forest area (forest ID=17)から Osage (forest ID=20)について

Fig.5-5-⑤を見ると、Russia Evergreen forest area は面白い傾向を示している。温暖化がはじまったあたりからその GPP が上昇し、それから約 50~60 年たったあたりから今度は減少をはじめ。Osage でも同じようなカーブが GPP に見られるが、Russia Evergreen forest area ほどではない。Russia Evergreen forest area では NPP も同じように温暖化が始まるとわずかに上昇するが、数 10 年後また減少する。だが 200 年目の結果を見ると、Russia Evergreen forest area と Osage の GPP、NPP の値は、温暖化させない場合と大差ない。

Fair banks の GPP は温暖化すると約 2.3[tC/ha/year]上昇し、NPP は変わらない。Siberia larch area 1 の GPP は温暖化してもそう変わらないが、NPP はわずかながら上昇する傾向が見られる。

バイオマス蓄積量 200 年目の計算結果 (Fig.5-6-⑤) は、Fair banks はわずかながら減少し、その他の地域は激減している。なかでも Siberia larch area 1 ではほとんど 0 を示している。

PFT 組成率 (Fig.5-7-⑤) は、Fair banks と Osage では温暖化させない場合と傾向は変わらず、Fair banks は PFT=6 の寒帯性針葉常緑樹が、Osage は PFT=3 の温帯性針葉常緑樹が優占している。ところが、Russia Evergreen forest area と Siberia larch area 1 では、前者は約 190 年あたりから、後者は 140 年あたりから樹木が存在しない。

Table5-3 を見ると、Siberia larch area 1 の冬の温度上昇率は 0.216[°C/year]であり、上昇率は 20 地点の中で最も大きい。よってこの地域では最も早く温暖化の影響が出現し、PFT=1~8 まで全ての樹木が生えることができないという結果が得られたのだと思われる。

Central Plain と Wakkanai では PFT=6 の寒帯性針葉常緑樹や PFT=8 の寒帯性広葉夏緑樹が存在できなくなり、PFT=5 の温帯性広葉夏緑樹が優占している。Siberia larch area 2 では PFT=7 の寒帯性針葉夏緑樹にかわり、Sakhalin では PFT=6 の寒帯性針葉常緑樹にかわって、どちらも PFT=8 の寒帯性広葉夏緑樹に置き換わっている。

Table5-3 を見ると、気温上昇率はこれら 4 つの地点の中でも Siberia larch area 2 と Sakhalin が他の 2 地点と比べ倍近く大きい。よって Siberia larch area 2 と Sakhalin では、そのバイオマス蓄積量が後半で激減していることから、そこに生えていた植生が一度 (Siberia larch area 2 では 140 年目あたりで、Sakhalin では 190 年目あたりで) 死滅し、その後、温暖化された環境で生育可能な PFT=8 の寒帯性広葉夏緑樹や、PFT=6 の寒帯性針葉常緑樹の稚樹が定着したものと思われる。

### 5.3.2.2 温暖化に対する全地点のバイオマスランセクト変化

各区画のバイオマスランセクトをプロットした結果は Fig.5-8 になる。これを温暖化させずに計算した結果 Fig.3-5 と比較検証する。

森林が誕生してから約 90 年目までは、気温を温暖化させた場合の forest ID=2 の Pasoh と forest ID=4 の Serimbu で、PFT=2 の熱帯性広葉雨緑樹が多くなっていることを覗けば、そう大差ない。これは温暖化を開始するのが大抵 100 年目前後からであることを考えれば当然の結果である。

100 年目以降を比較してみると、大きな違いが出てくることがわかる。たとえば、Fig.3-5-⑤と Fig.5-8-⑤の 200 年目の結果を比較してみると、全体的にどの区画もバイオマス総量が減少しているばかりか、forest ID=13 以降の森林が温暖化により大きく変化していることがわかる。forest ID=14、15、17、19 の地域は、樹木のバイオマス量はほとんどなく、5.3.2.1 節の個別の検証結果を見てもわかるように、そこには樹木が全く生えていない、もしくは、従来優占していた樹種が死滅し、新しい PFT の稚樹が生えてきたばかりであることがわかる。残された forest ID=16、18、20 はその組成が大きく変わっており、PFT=3 の温帯性針葉常緑樹や、PFT=5 の温帯性広葉夏緑樹、PFT=6 の寒帯性針葉常緑樹などの樹種が、わずかなバイオマスを保っている結果になった。

また、デフォルトの気象データを用いた結果では、バイオマス蓄積量は forest ID=4 の Serimbu が圧倒的に多い結果になっていたが (Fig.3-5-⑤参照)、温暖化を行った結果、最もバイオマス蓄積量が高くなるのは forest ID=2 の Pasoh となり、その量は温暖化をさせなかった場合の Pasoh のバイオマス蓄積量よりも多い結果になっている。

温帯地域にあたる forest ID=4 から 12 までの地域は上記の地域に比べ、温暖化による影響は少ない傾向にあるように思われる。Forest ID=5 から 7 の地域はその PFT 構成もバイオマス蓄積量もほとんど変わらない。Forest ID=8 の Ohsaka では PFT=3、4、5 それぞれのバイオマス量が増加し、結果的に総バイオマス量も温暖化させない場合 (Fig.3-5-⑤) と比較して高くなっている。一方、forest ID=9 の Kashiwa 地域では PFT=5 温帯性広葉夏緑樹が少なくなり、総バイオマス蓄積量も減少している。forest ID=10 に関してはその PFT 組成率の多様性がなくなり、PFT=5 の温帯性広葉夏緑樹のみがバイオマス量を担っており、その総量も温暖化させない場合と比較して減少している。

以上のように、同じシナリオのもとに気温の温暖化を起こさせても、バイオマス量が増える箇所もあれば、減る箇所もあり、その影響の度合いや内容は状況によって全く異なる。それは、気温の上昇率がそもそも地域や季節によって異なることも影響していると思われるが、そもそものデフォルト気象データと温暖化率、各 PFT ごとに割り振られ

た成長、死亡、誕生のアルゴリズムとの兼ね合いで決まるものと思われる。

よって、これらの結果より、温暖化の影響は地域による違いが大きいこと、その状況により、PFT の多様性が増す箇所や減る箇所、バイオマス量が増える箇所もあれば減る箇所もあるということが明らかになった。

### 5.3.2.3 仮想環境傾度バイオーム I (アジア ver.) のバイオマスランセクト

Fig.5-9 に、気温のみを温暖化させた場合の仮想環境傾度バイオーム I のバイオマスランセクトの結果を示す。ただしこの結果の横軸は BIOME location (Fig.3-17 参照) を表し、その配置は Table3-9 の通りである。この結果と温暖化をさせない場合の結果 (Fig.3-6) を比較する。

温暖化が始まるまでの 10 年目から 70 年目あたりまでは、そう大きな差異は見られないが、80 年目あたりから、BIOME location 1 のバイオマス量が増加し、BIOME location 2 は減少する。また BIOME location 5 の PFT 組成のうち、PFT=6 の寒帯性針葉常緑樹が少なくなり、総バイオマス量も少なくなっている。

また、140 年目あたりから、BIOME location 6、7、8 のバイオマスがほとんどなくなり始める。200 年目の結果を見てみると、BIOME location 1 の PhnomPenh を除いた全ての地域のバイオマス量が減っており、またその PFT 組成は BIOME location 5 が単一種になったが、他の地域の構成種に大きな違いはない。

この結果からは、異なる気候帯間を樹種が移動している様子は見られなかった。つまり、PFT 組成率が温暖化に伴い平行移動するような現象は起こらなかった。これは定着シナリオを 3 番の前年度のバイオマス量に比例して定着率を変える、というアルゴリズムを用いていることもその一員と考えられる。

またさらにこの結果を見ると全体的にそのバイオマス量は増減することがわかり、樹種の移動を観測するには、バイオームチャンバーの植生の配置を変えるか、もしくは本研究で取り上げていない気象地域のものを持ってくるなどの更なる措置が必要であることが示唆された。

一方、温暖化を行った 200 年目の結果、BIOME location 1 がバイオマス最高値を示していることを除けば、Fig.3-18 の傾向をある程度おさえることができていることを考慮すると、実際の植生分布と全くかけ離れた議論を行っているわけではないことがここで確認された。。

#### 5.3.2.4 仮想環境傾度バイオームⅡ(日本 ver.)のバイオマストランセクト

Fig.5-10 に、気温のみを温暖化させた場合の仮想環境傾度バイオームⅡ(日本 ver.)のバイオマストランセクトを示す。この結果と温暖化させない場合の結果(Fig.4-7)を比較すると、70年目あたりからその違いが見えてくる。

80年目以降の BIOME location 8 の森林を比較してみると、明らかに PFT=6 の寒帯性針葉常緑樹が温暖化すると少なくなり、そのバイオマス量も減っている。また、BIOME location 2 は温暖化するとバイオマス量が増加する。

200年目の結果を比較すると、BIOME location 6、7の結果は大差ない。BIOME location 8 に関しては PFT 構成種が明らかに減少し、PFT=5 の温帯性広葉夏緑樹のみになっており、総バイオマス量も減少している。注目したいのが、BIOME location 1 と BIOME location 3、BIOME location 4 の動向である。

BIOME location 1 は温暖化が起これると、その PFT 構成種はそう変わらないものの、バイオマス量が増大している。BIOME location 3 は温暖化によりバイオマス量が減少し、BIOME location 4 は増加している。ここで Fig.3-18 のバイオマス量と気候区分との対応をもう一度思い出すと、熱帯の部分でバイオマス量が一度大きな値をもち、そして一度降下したのち、温帯と冷温帯の境界のところまでバイオマス量が最大になっていた。これはすなわち、温暖化前に引くことが出来たこの傾向を示すラインが、温暖化とともに BIOME location の値が大きくなる方向にずれたと考えることができる。すなわち、温暖化前は熱帯の最大値の部分で仮想バイオームⅡ中には再現されていなかったが、温暖化によって BIOME location 1 のバイオマス量が増し、温暖化前は BIOME location 3 で温帯と冷温帯の境界でのバイオマス最大値が再現されていたものが、温暖化によって BIOME location 4 へと移行した。

これはあくまで PFT 組成の割合と、バイオマス総量からの憶測ではあるが、温暖化による異なる植生帯間の移動を観測する、という観点からみれば、この仮想環境傾度バイオームⅡでは少なくとも、そのようなバイオマス総量と気候帯の推移を再現することはできるのではないかと思われる。

#### 5.3.3 気温と降水量を温暖化変化させた場合

地球温暖化によって気温は、ほとんどの地域でその程度の大小はあるものの上昇する。だが、降水量は地域や季節によっては減少したりする。気温の上昇に加え、そのような



降水量の変化率も加えて計算した結果を Fig.5-11 から Fig.5-15 に示す。

### 5.3.3.1 各地点の反応

温暖化させない場合との比較、気温のみを変化させた場合との比較を随時行う。

#### PhnomPenh (forest ID=1)から Serimbu (forest ID=4)について

Fig.5-11-①で特異的な傾向を示しているのが、forest ID=1 の PhnomPenh である。温暖化とともに、大幅に GPP が減少している。これは気温のみを温暖化させた場合にはなかった現象である。また、HongKong でも GPP がわずかに減少傾向を示した。

Fig.5-12-①を見ると、バイオマス蓄積量の変化がわかるが、HongKong は気温のみを温暖化させたデータと比較すると増加しているが、もともとの温暖化をさせない場合と比較すると、そう傾向は変わらず、気温のみを温暖化させた場合の結果 (Fig.5-6-①の HongKong) でバイオマス蓄積量が減少していたのは、気温のみが上がったことによる乾燥が効いていたのだと思われる。

PhnomPenh や Pasoh、Serimbu は気温のみを温暖化した場合と比べてバイオマス蓄積量が減少している。PhnomPenh と Serimbu は温暖化させない場合と比較しても減少していることから、温暖化がおこるとこの地域は樹木によるバイオマス量が減少することが示唆される。だが、Pasoh に関しては、温暖化させない場合の結果と比較するとバイオマス蓄積量は増大している。よって、この地域では温度が温暖化が起こるとバイオマス量が増加すること、さらに、気温のみを上げた乾燥状態になるとますますバイオマス量が増すことがわかった。

PFT 組成率は、Fig.5-13-①と Fig.5-7-①を比較したところ、そう傾向は変わらない。PhnomPenh の終盤で PFT=2 熱帯性広葉雨緑樹の割合が、気温のみを温暖化させた場合よりも多くなっている。

#### Tomakomai (forest ID=5)から Ohsaka (forest ID=8)について

Fig.5-11-②と Fig.5-5-②を比較したところ、GPP と NPP の値は気温のみを上げた場合と降水量も変化させた場合とではそう大差ない。ただしどちらも温暖化させない場合に比べて上昇傾向にあることから、気温を上昇させることが生産量を増やすことにつながることを示唆された。

バイオマス蓄積量に関しては、気温のみを温暖化させた場合と比較して、Tomakomai ではほぼ変わらず、Yamagata では200年目の値が上昇した。また、Toyama や Ohsaka に関しては多少ばらつきはあるものの、減少傾向にあった。温暖化させない場合と比較してみると、Yamagata 以外はほとんど変わらず、温暖化の影響はあまり受けなかった。だが Yamagata は温暖化が起こると、バイオマス蓄積量はますます右肩上がりに増加し、200年目の値は温暖化させない場合に比べ、降水量も温暖化変化させた場合は、約90[tC/ha]近く上昇していた。これはつまり、気温が上がるほどこの地域では生産量が増すことを表している。

PFT 組成率は、気温のみを温暖化させた場合と、降水量も温暖化とともに変えた場合とではほとんど差はない。

#### **Kashiwa (forest ID=9)から Ogawa (forest ID=12)について**

GPP、NPP は気温のみを温暖化させた場合と変わらない。気温が上昇するにつれ、生産量（特に）GPP が増す傾向は変わらないとみえる。

バイオマス蓄積量は、Oasa 以外の3地点では気温のみ温暖化させた場合と比較して増加していた。いずれも右肩上がりが増加傾向にあるので、200年以上計算すると、もっとバイオマス蓄積量は増す可能性がある。Oasa に関しては変動が激しくあまり傾向を見取れないが、わずかに減少傾向にある。

PFT 組成率は、気温のみを温暖化した場合とほとんど変化がないが、Ogawa では多少降水量も変化させた場合の方が温帯性針葉常緑樹の占有率が高い。

#### **Central Plain (forest ID=13)から Wakkanai (forest ID=16)について**

GPP、NPP は気温のみを温暖化させた場合とその傾向が大幅に違う。Central Plain は温暖化させない場合をベースに考えると、気温のみを温暖化させた場合はそう変化がない。しかし、降水量もともに温暖化させると、GPP、NPP ともに減少する。Central Plain での降水量変化は夏が年間で0.0008[mm/day/year]減少し、冬が0.0043[mm/day/year]減少する。つまり、温暖化がすすむにつれ、気温のみを増加させる場合よりもさらに、乾燥していくことになる。その影響が生産量の低下として表れているのだと思われる。Siberia larch area 2 では、気温のみを温暖化させた場合はGPP、NPP ともに減少した。降水量も温暖化した場合は、一時期上昇傾向にあったのち、下降し、190年目あたりで

変動が起こっている。200年目の結果では温暖化させない場合よりもわずかながら、降水量も温暖化させた結果の方が多くなっており、気温のみを温暖化させたときに生産量が大幅に減少したことも考慮すると、この地域の植生が何よりも乾燥に弱いことがわかる。

Sakhalin も同様に、降水量も温暖化させた場合の変動が大きく、200年目の結果では温暖化させない場合よりも低い値になっている。Wakkanai では気温のみを温暖化した場合生産量は上昇していたが、降水量もともに温暖化させた場合は減少する結果になった。

バイオマス蓄積量は、いずれの地域も大幅に減少している。Siberia larch area 2 や Sakhalin ではほぼ 0 となっており、Siberia larch area2 では約 130 年目あたりで、Sakhalin では約 180 年目あたりで下降する傾向があるが、このタイミングが気温のみを温暖化させた場合と同じ傾向であることから、ここでバイオマス蓄積量が減少するのは、気温上昇による乾燥が原因ではないかと示唆された。

PFT 組成率は、気温のみを温暖化した場合とほとんど変化がないが、Siberia larch area 2 や Sakhalin では寒帯性広葉夏緑樹の優占するタイミングが気温のみを温暖化させた場合と少しずれていた。

#### **Russia Evergreen forest area (forest ID=17)からOsage (forest ID=20)について**

GPP、NPP は気温のみを温暖化させた場合とその傾向、数値ともにほとんど同じであった。バイオマス蓄積量は、4地点全てで、気温のみを変化させた場合と傾向、値ともに変わらなかった。これらの結果から、この三つの地域では気温のファクターが一番にその生産量に関係していることが示唆される。

PFT 組成率もほとんど変わらないが、Russia Evergreen forest area では気温のみを温暖化させた場合は、200年目では樹木は生えていないが、降水量も変化させた場合は、200年目も寒帯性針葉常緑樹が生えていた。

### **5.3.3.2 仮想環境傾度バイオーム I (アジア ver.)のバイオマストランセクト**

気温のみを温暖化させた場合 (Fig.5-9) と、降水量も温暖化させた場合 (Fig.5-14) を比較すると、100年目あたりまでは同じ傾向をたどっている。120年あたりから、BIOME location 1 のバイオマスが減少し、BIOME location 2 が増加していることがわかる。

200年目あたりの結果を比較すると、BIOME location 6から8で樹木が消えてしまうことは同じだが、そのほかのBIOME locationでのバイオマス量は傾向が大きく変わっている。前述したBIOME location 1、2に加え、BIOME location 3ではバイオマス量が気温のみを温暖化した場合にくらべ約半分ほどに減少しており、そのPFT組成も、PFT=5の温帯性広葉夏緑樹が大幅に減少している。BIOME location 4では、降水量も温暖化させたほうがバイオマス量は増加し、PFT=5の温帯性広葉夏緑樹が増えていることが見て取れる。

### 5.3.3.3 仮想環境傾度バイオームⅡ(日本 ver.)のバイオマストランセクト

Fig.5-13に示した気温と降水量を温暖化させた場合の結果を見ると、100年目あたりまでは、気温のみを温暖化させた結果(Fig.5-10)と変わらない。その後、BIOME location 1、2でのバイオマス量が減少していること、BIOME location 3でPFT=5の温帯性広葉夏緑樹が増えていること、BIOME location 4では温帯性針葉常緑樹が増えていることがわかる。また、200年目の結果に着目すると、BIOME location 5のバイオマス量が増加していることが目に付く。

## 5.4 温暖化を加速させて起こさせたときの变化

環境傾度バイオームでは、温暖化に伴う森林の変遷を予測するという性質から、チャンバーを使った温暖化の加速実験が検討されている。よってここでは、今までに検討してきた内容を踏まえ、温暖化を2倍に加速させたときの森林の変遷の様子を検証する。

具体的には、温暖化をスタートさせる年度は変えず、その変化率を2倍に変えてシミュレーション実験を行った。ここでは上昇率を2倍にして気温のみを温暖化させた場合の結果をFig.5-16からFig.5-20にのせる。ただし、上昇率を二倍にすると、地域によっては200年目の気温が50℃近くになってしまうものもあり、実際の森林ではそこまでの大きな変化は考えられない。よって、この検討はあくまで環境傾度バイオームチャンバーでの利用法を検証するためのものであり、以下の考察も仮想環境傾度バイオームⅠとⅡのバイオマストランセクトに焦点をあてて議論する。

#### 5. 4. 1 仮想環境傾度バイオーム I (アジア ver.)のバイオマストランセクト

気温のみを通常の上昇率で温暖化させた場合 (Fig.5-9) と、気温を 2 倍の上昇率で温暖化させた場合 (Fig.5-19) を比較する。通常の上昇率で温暖化させた場合の 200 年目の結果は、BIOME location 6 から 8 までの植生が消え、BIOME location 1 がバイオマス量が最大で、ついで BIOME location 4 が大きな値を保っており、Fig.3-18- A 図の曲線と同じ傾向を示している。

これとほぼ同じ傾向を、2 倍の上昇率で温暖化を起こした際の計算結果では 140 年目にして確認できる。定量的な値は、2 倍に加速した場合のほうが若干少なめの値になっているが、BIOME location 1 で最大値をとり、ついで BIOME location 3、4 が続き、BIOME location 6 以降は樹木が生えていない。

この結果を踏まえると、この一連の気候帯とバイオマス量の対応関係の点では、温暖化を通常の方法で起こさせたときの結果と、加速して起こしたときの結果が、定性的に一致することがわかった。ただし、その後の加速した結果を見てみると、さらにバイオマス量が減少する傾向にある。よって、温暖化をどこまで進めるか、その基準をより詳細に把握した上で、更なる議論や検討が必要だと思われる。

#### 5. 4. 2 仮想環境傾度バイオーム II (日本 ver.)のバイオマストランセクト

気温のみを通常の上昇率で温暖化させた場合 (Fig.5-10) と、気温を 2 倍の上昇率で温暖化させた場合 (Fig.5-20) を比較する。通常の上昇率で温暖化させた場合の 200 年目の結果は、加速して温暖化させた結果の 160 年目とその傾向が似ている。やはり加速した結果の方が暖かい地域のバイオマス量が特に少ない見積もりにはなっているが、上昇率を加速してシミュレーション実験した結果、約半分に短縮した時間で通常の方法で温暖化を起こした場合の定性的な結果を再現できることがわかった。

また、加速して温暖化を起こさせた結果のその後を見てみると、160 年目の結果からそう大きな変化はないことがわかる。

## 5.5 まとめ

本章では、第4章で提示した仮想環境傾度バイオーム植生をもとに、地球温暖化を起こさせたらどのような現象が起こるかを推測した。

その結果、温暖化を起こすと、第4章で紹介したアジア地域の植生の変遷と同じような傾向を保ちつつ、温暖化後の環境に適応する植生が定着、成長することが示された。すなわち、気候変動に伴い、20地点の植生がそれぞれの特徴に応じた変遷をすることが確認された。

しかし、そのバイオマス量が増えるのか、減るのか、また、新しいPFTが定着できるか否かは、地域によってその差が大きく、またその特徴が大きく異なることがわかった。

またそのため、仮想環境傾度バイオームモデルで温暖化の様子を検討したが、そのPFT組成率の変化やバイオマス量の増減は地域によってばらつきが大きく、トランセクト全体で見ても定性的な傾向は明確でない。

だが一方、実際の東アジアの一連の植生分布が示す傾向を、温暖化した後も示すことがわかった。またバイオマス量に関していえば、その定量的な値は、仮想環境傾度バイオームモデルI、IIどちらにおいても減少する傾向にあることがわかった。(ただし一部地域をのぞく。)

温暖化の生じる速度を2倍に加速してシミュレーション実験を行った結果、仮想環境傾度バイオームモデルI、IIどちらにおいても、加速せずに温暖化させた場合の200年目のバイオマス量とその一連の傾向を、モデルIでは140年目前後にて、モデルIIでは160年目前後でとらえることができていた。すなわちこの結果から、上昇率を倍に加速して温暖化を起こさせると、50年近く早くその傾向が現れる可能性があることがわかった。

ただし、ここで注意したいのが、樹種はあくまで8種類しか用意しておらず、現実の植物生態系の多様度はこの比ではない。また、気候変化に対する応答の細かな仕組みはいまだアルゴリズムに組み込まれていない。すなわち、気候変動に伴い植物の光合成や蒸発散などの生理過程そのものが変化してしまうかもしれず、そういった点は本研究では考慮しきれていない。よって、樹種ごとのより細かい検証やアルゴリズムの確立が今後必要である。

## 参考文献

- [1]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
- [2]IPCC, Summary for Policymakers, A Report of Working Group 1 of the Intergovernmental Panel on Climate Change, (2001), *Based on a draft prepared by:* Daniel L. Albritton, Myles R. Allen, Alfons P. M. Baede, John A. Church, Ulrich Cubasch, Dai Xiaosu, Ding Yihui, with contributions from many authors and reviewers.
- [3]ECCJ、省エネルギーセンター：省エネデータ集  
h [http://www.eccj.or.jp/databook/2001/13\\_2.html](http://www.eccj.or.jp/databook/2001/13_2.html)
- [4]IPCC, Summary for Policymakers, Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, A Report of Working Group 2 of the Intergovernmental Panel on Climate Change, (2001), *Based on a draft prepared by:* Q.K.Ahmad, Oleg Anisimov, Nigel Arnell, Sandra Brown, Ian Burton, Max Campos, Osvaldo Canziani, and many reviewers.
- [5]田中信行編：地球環境変動の森林への影響評価第2号、平成14年度JST重点研究支援課題報告書（2003）森林総合研究所、環境影響チーム
- [6] Toru NOZAWA, Seita EMORI, Atusi NUMAGUTI, Yoko TSUSHIMA, Toshihiko TAKEMURA, Teruyuki NAKAJIMA, Ayako ABE-OUCHI and Masahide KIMOTO, Projections of Future Climate Change in the 21st Century Simulated by the CCSR/NIES CGCM under the IPCC SRES Scenarios, (2001), Present and Future of Modeling Global Environmental Change: Toward Integrated Modeling, Eds., T. Matsuno and H. Kida, pp. 15-28. © by TERRAPUB.
- [7]八木橋勉、松井哲哉、中谷友樹ほか、ブナ林とミズナラ林の分布域の気候条件による分類（2003）、日本生態学会誌（Japanese Journal of Ecology）53:85-94
- [8]A. Takenaka, Y. INUI and A. OSAWA, Measurement of three-dimensional structure of plants with a simple device and estimation of light capture of individual leaves (1998), Functional Ecology, 12, 159-165
- [9] Takeshi Kohyama & Nakano Shigesada, A sized-distribution-based model of forest dynamics along a latitudinal environmental gradient (1995), Vegetatio 121:117-126
- [10] Peter Köhler, Andreas Huth, The effects of tree species grouping in tropical rainforest modeling: Simulations with the individual-based model Formind (1998), Ecological Modeling 109, 301-321

## 第6章 結言

本研究では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、各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うことで検討した。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、バイオームチャンバー内での植物生態系の配置も検討した。

以上の議論から仮想環境傾度バイオームモデルを 2 つ提案し、それぞれについて温暖化を起こさせると各植生帯がどのような反応を示すかをシミュレーション実験し、検証した。さらに、温暖化を加速してシミュレーション実験し、仮想環境傾度バイオームモデルの反応を解析し、実際の環境傾度バイオームが温暖化予測にどの部分で寄与できるかを議論した。

まずはじめに、森林を閉鎖系に導入する場合の区画の大きさについて検討した。その結果、20m以上の区画を用意する必要があることがわかった。

また一方、200m の幅のチャンバー内で、仮に 40℃の温度傾度を連続的につけるということは、約 5m の幅の中で 1℃もの傾度がつく計算になり、極端に言えば、一本の樹木の樹冠の端と端で温度差が 1℃以上もついてしまうことになりかねない。よって、仮想環境傾度バイオームモデルの空間設計として、ひとつの気候帯に 4 つ（横二つ、奥行き二つ、Fig.4-17 参考）の区画を用意し、それぞれの区画内は一定の気候状態が保たれ、隣り合う区画が異なる気候を再現することで環境傾度をつける、ということ提案した。

また、本研究で扱った再現植生 20 地点の詳細なデータについて議論し、文献値との検証を行った。その結果、ほとんどの地域で GPP や NPP、そしてバイオマス蓄積量の計算結果と文献値が一致、またはその傾向を再現できていた。また各森林地帯の PFT 組成も、その推測傾向とほぼ一致することが確認できた。ただし、PFT=3 については、種ごとの差が大きいため、より細かな PFT 設定が必要であることも示唆された。

環境傾度バイオームチャンバーに導入する植生の配置について議論し、仮想環境傾度バイオーム I と II を提示した。どちらも東アジアの森林群系の実際の分布パターンを定性的かつ定量的に再現できる結果となった。

さらに、計算地点 20 箇所 IPCC の予測する温暖化に基づいて、気候変動を起こさせ、各植生帯がどのような応答をするか推測した。その結果、同じ温暖化シナリオのもとに気温の温暖化を起こさせても、バイオマス量が増える箇所もあれば、減る箇所もあり、



その影響の度合いや内容は状況によって全く異なることがわかった。温暖化の影響は地域による違いが大きいこと、その状況により、PFTの多様性が増す箇所や減る箇所、バイオマス量が増える箇所もあれば減る箇所もあるということが明らかになった。

仮想環境傾度バイオームモデルⅠ、Ⅱをそれぞれ用いて、一連の植生帯において温暖化を生じさせるとどうなるかをシミュレーションした。その結果モデルⅡでは植生帯の平行移動と見られるPFTの変動が結果として得られた。温暖化に伴い、バイオマス量に変化し、その組成も移行する傾向を検証することができた。

また、温暖化の生じる速度を2倍に加速してシミュレーション実験を行った結果、仮想環境傾度バイオームモデルⅠ、Ⅱどちらにおいても、加速せずに温暖化させた場合の200年目のバイオマス量とその一連の傾向を、モデルⅠでは140年目前後にて、モデルⅡでは160年目前後でとらえることができていた。すなわちこの結果から、上昇率を倍に加速して温暖化を起こさせると、50年近く早くその傾向が現れる可能性があることがわかった。

だがここで注意しておきたいことが、モデルの限界性である。最も大きな問題として、急激な環境変動に対して生き物である植物が、生理的にどう変化するのが全くわかっていないことが挙げられる。急激な気候変動が生じると、植物の光合成や成長速度、蒸発散量の機構がそもそも変化してしまうかもしれない。そういった複雑な自然生態系を扱うがゆえの課題や問題点は、実際の観測、実験を行わない限り補うことができない。

そういった課題は残るものの、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、その上で、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することができた。さらに加速実験を行うことで、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といえよう。

*Table 集 & Fig 集*

# 第1章のTable

現象	地域	現象	研究者
水河の後退・縮小	アルプス	1850年以降水河の体積が50%減少	IPCC,1998
	ネパール	ヒマラヤの水河が急速に溶け出している。5~10年後には洪水により数万人が被災	UNEP,2002
	アラスカ	アラスカの水河が融解	Arendtら, 2002
氷水の崩壊	南極半島	ラーセン氷水が分離、崩壊(1995、1300km <sup>2</sup> ;1998、300km <sup>2</sup> ;2002、3250km <sup>2</sup> )	英国南極調査所、米国家雪氷センター
海水の減少	北極海	1950年代以降、夏の海水層さが40%減、春~夏の面積が10~15%減	IPCC,2001
河川や湖沼の結氷の遅れや融解の早まり	北半球の中~高緯度	河川、故障の結氷期間が約2週間減少	IPCC,2001
	北・中央カリフォルニア	1940年代後半以降、融雪と流出が徐々に早まる	Dettinger and Cayan,1995
中~高緯度における植物の成長期間の長期化	欧州	12種の樹木と灌木の生長期間が長くなった	Menzel and Fabian,1995
動植物の種方向や高々度方向への移動	アルプス	高山植物が10年に1~4m上方へ移動。山頂付近の植物が消失	Grabherrら, 1994
	北米	エディタヒョウモンモドキ(蝶)の生育域が北にシフト	Parmesan,1996
	オーストリア	1961~1990年にノルウェートウヒの直径が増加	Hasenauerら, 1999
動植物群落の縮小や復元	北太平洋、北大西洋	夏のプランクトン量が北太平洋で30%以上、北大西洋で14%減少	NASA,2002
	米国北東部	アカトウヒが減少	Hamburg and Coghlin,1988
	アリゾナ	冬季の降水が増加したため木本灌木が増大し、半乾燥生態系が復元	Brownら, 1997
	西アフリカサヘル	長期の降水量減少により中温性種が、より雨の降る低温地域へ収縮した	Gonzalez,2001
	コロラド	春の最低気温が上昇したため短草本ステップ生態系が復元	Alward and Detling,1999
樹木の開花・産虫の出現・鳥類の孵化の早期化	ウイスコンシン南部	1936~1947、1976~1998に10種の多年草・樹木種で開花時期が早まった。他の26種は変化なし	Bradleyら, 1999
	欧米	1950~2000年に葉の展開が1~4週間早まり、落葉が1~2週間速くなり、開花が1週間、産虫、カエル、鳥などの動物の出現時期が1~2週間早まった	Penueles and Field,2001
	英国	植物の開花が1954年に比べて、1990年代は平均して4.5日早まった	Fitter and Fitter,2002

Table1-1 検出された気候変化の影響事例<sup>[1]</sup>

## • 第2章のTable

Table2-1 SEIB-DGVMモデル全体の入出力<sup>[4]</sup>

### Inputs

#### (1) Location

latitude, altitude

#### (2) Soil (fixed in time)

soil moisture at saturation point, field capacity, matrix potential, wilting point, albedo

#### (3) Climatic data (daily)

air temperature, soil temperature, fraction of cloud cover, precipitation, humidity, wind velocity

### Outputs

#### (1) Carbon dynamics (daily-yearly)

terrestrial carbon pool (woody biomass, grass biomass, litter, soil organic matter), CO<sub>2</sub> absorption and emission rates

#### (2) Water dynamics (daily)

soil moisture content (three layers), interception rate, evaporation rate, transpiration rate, interception rate, runoff rate

#### (3) Radiation (daily)

albedo from terrestrial surface

#### (4) Properties of vegetation (daily-yearly)

vegetation type, dominant plant functional type, leaf area index, tree density, sizedistribution of trees, age distribution of trees, woody biomass for each tree, grass biomass per unit area

Table2-2 SEIB-DGVMを構成する諸過程<sup>[4]</sup>

Process	Approach	Source
<i>Physical process</i>		
Radiation	Beer's Law within spatially explicit virtualforest	
Evapotranspiration	Penman-Monteith evapotranspiration	Monteith and Unsworth (1990)
Soil water process	Empirical analogs of Darcy's law: saturated and unsaturated percolation in three soil layers	Neilson (1995)
<i>Physiology</i>		
Photosynthesis	Michaelis-type function	
Maintenance respiration	The respiration rate is in proportion to the nitrate content of each organ.	Ryan (1991)
Growth respiration	The respiration rate is based on the chemical composition of each organ.	Poorter (1994)
Stomatal conductance	A semiempirical model	Ball et al. (1987) modified by Leuning (1995)
Phenology	A set of semiempirical models; parameters were estimated from satellite NDVI data.	Botta et al. (2000)
Decomposition	Three carbon sources: litter and soil organic carbon with slow and fast decomposition rates	Foley (1995) and Lloyd and Taylor (1994)
<i>Vegetation dynamics</i>		
Establishment	Climatically favored PFTs establish as small individuals.	
Mortality	Annual NPP per leaf area, heat stress, bioclimatic limit, and fire	Sitch et al. (2003)
Disturbance	Fire as an empirical function of soil moisture and aboveground biomass	Kitler et al. (2001)

Table2-3 SEIB-DGVMで用いたPFT10種<sup>[4]</sup>

木本 (8タイプ)

8種類のPFTs (Plant Functional Types、植物機能型) から構成される

- 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)

草本 (2タイプ)

2種類のPFTs (Plant Functional Types、植物機能型) から構成される

- 1, C<sub>3</sub>草本
- 2, C<sub>4</sub>草本

Table2-4 SEIB-DGVMで用いたPFTごとのパラメータ<sup>[4]</sup>

PFT	$M_1$ (no dimension)	$M_2$ (no dimension)	$M_3$ (no dimension)	$P_{erosion}$ ( $m^{-2}$ year <sup>-1</sup> )	$TC_{min}$ (°C)	$TC_{max}$ (°C)	GDDmm (5 °C base)
TrBE	0.017	2.0	0.12	0.025	15.5	-	-
TrBR	0.017	2.0	0.50	0.025	15.5	-	-
TeNE	0.010	2.0	0.12	0.013	-2.0	22.0	900
TeBE	0.020	2.0	0.50	0.040	3.0	18.8	1200
TeBS	0.010	2.0	0.12	0.013	-17.0	15.5	1200
BoNE	0.013	1.2	0.12	0.005	-32.5	-2.0	600
BoNS	0.013	1.2	0.12	0.005	-	-2.0	350
BoBS	0.015	2.0	0.12	0.020	-	-2.0	350

## • 第4章のTable

Table4-1-① 世界の植生型(群系)の分類案(IUCN, 1973)

# I. HUMID AND SUBHUMID TROPICAL AND SUBTROPICAL REGIONS

## 1. FORESTS

### 1.1 Mainly evergreen

#### 1.1.1 Tropical rain forests

##### 1.1.1.1 Lowland rain forests

##### 1.1.1.2 Montane/submontane rain forest

##### 1.1.1.3 Bamboo forest

##### 1.1.1.4 Cloud forest

##### 1.1.1.5 Riverine forest

##### 1.1.1.6 Swamp and bog forest

#### 1.1.2 Tropical/subtropical seasonal forests

##### 1.1.2.1 Lowland seasonal forest

##### 1.1.2.2 Montane/submontane seasonal forest

##### 1.1.2.3 Subalpine seasonal forest

#### 1.1.3 Tropical/subtropical semi-deciduous forests

##### 1.1.3.1 Lowland semi-deciduous forest

##### 1.1.3.2 Highland semi-deciduous forest

#### 1.1.4 Subtropical rain forest

#### 1.1.5 Mangrove forest

### 1.2 Mainly deciduous

#### 1.2.1 Drought-deciduous tropical lowland forest

#### 1.2.2 Drought-deciduous tropical highland forest

## 2. WOODLANDS

### 2.1 Mainly evergreen

#### 2.1.1.1 Broad-leaved evergreen tropical woodland

#### 2.1.2 Needle-leaved evergreen woodland

### 2.2 Mainly deciduous

#### 2.2.1 Tropical drought-deciduous lowland woodland

#### 2.2.2 Tropical drought-deciduous highland woodland

## 3. SCRUB

Table4-1-② 世界の植生型(群系)の分類案(IUCN, 1973)

### 3.1 Mainly evergreen

#### 3.1.1.1 Bamboo scrub

#### 3.1.1.2 Palm/fern scrub

#### 3.1.1.3 Tropical broad-leaved scrub

#### 3.1.2 Evergreen needle-leaved scrub

#### 3.1.3 Paramo

### 3.2 Mainly deciduous

#### 3.2.1 Drought-deciduous/evergreen scrub

##### 3.2.2.1 Drought-deciduous tropical scrub

## 4. DWARF SCRUB AND RELATED COMMUNITIES

### 4.1 Mainly evergreen

#### 4.1.1 Dwarf-shrub heath

### 4.2 Mainly deciduous

#### 4.2.1 Drought-deciduous dwarf scrub

### 4.3 Bogs

#### 4.3.1 Dwarf-shrub bog

## 5. HERBACEOUS

### 5.1 Savannas

#### 5.1.1.1 Tall-grass woodland savanna

#### 5.1.1.2 Tall-grass tree savanna

#### 5.1.1.3 Tall-grass shrub savanna

#### 5.1.1.4 Tropical tall-grassland

#### 5.1.1.5 Flood savanna

#### 5.1.2.1 Short-grass tree savanna

#### 5.1.2.2 Short-grass shrub savanna

#### 5.1.2.3 Tropical short-grassland

### 5.4 Forblands

#### 5.4.1 Perennial forbland

#### 5.4.2 Ephemeral forbland

### 5.5 Wetlands

#### 5.5.1 Fresh-water marsh

#### 5.5.2 Salt marsh

### 5.6 Aquatics

Table4-1-③ 世界の植生型(群系)の分類案(IUCN, 1973)

5.6.1 Floating meadows
5.6.2 Reed-swamps
5.6.3 Submerged rooted aquatics
5.6.4 Floating aquatics
<b>II. HUMID AND SUBHUMID TEMPERATE AND SUB-POLAR REGIONS</b>
<b>1. FORESTS</b>
1.1 Mainly evergreen
1.1.6 Temperate rain forests
1.1.7 Temperate evergreen seasonal forests
1.1.8 Mediterranean broad-sclerophyll forests
1.1.9 Evergreen needle-leaved forests
1.1.9.1 Giant conifer forest
1.1.9.2 Rounded-crown needle-leaved forest
1.1.9.3 Narrow-crown needle-leaved forest
1.1.9.4 Bog forest
1.2 Mainly deciduous
1.2.3 Temperate drought-deciduous forest
1.2.4 Cold-deciduous/evergreen mixed forest
1.2.5 Cold-deciduous forests
1.2.5.1 Broad-leaved cold-deciduous forest
1.2.5.2 Riparian cold-deciduous forest
1.2.5.3 Deciduous swamp forest
1.2.6 Needle-leaved deciduous forest
<b>2. WOODLAND</b>
2.1 Mainly evergreen
2.1.1.2 Mediterranean broad-sclerophyll woodland
2.1.2.1 Rounded-crown needle-leaved woodland
2.1.2.2 Narrow-crowned needle-leaved woodland
2.2 Mainly deciduous
2.2.3 Drought-deciduous temperate woodland
2.2.4 Cold-deciduous/evergreen mixed woodland

Table4-1-④ 世界の植生型(群系)の分類案(IUCN, 1973)

2.2.5 Broad-leaved cold-deciduous woodland
2.2.6 Needle-leaved deciduous woodland
<b>3. SCRUB</b>
3.1 Mainly evergreen
3.1.1.4 Broad-sclerophyll scrub
3.1.2 Evergreen needle-leaved scrub
3.2 Mainly deciduous
3.2.2.2 Temperate drought-deciduous scrub
3.2.3.1 Temperate cold-deciduous scrub
3.2.3.2 Subpolar deciduous scrub
3.2.3.3 Riparian deciduous scrub
3.2.3.4 Deciduous bog scrub
<b>4. DWARF SCRUB</b>
4.1 Mainly evergreen
4.1.1 Dwarf-shrub heath
4.2 Mainly deciduous
4.2.1 Drought-deciduous dwarf scrub
4.2.2 Cold-deciduous/evergreen dwarf scrub
4.2.3 Cold-deciduous dwarf scrub
4.3 Bogs
4.3.1.1 Raised bogs
4.3.1.2 Low bogs (fens)
4.4 Tundra
4.4.1 Dwarf shrub/moss tundra
4.4.2 Dwarf shrub/lichen tundra
<b>5. HERBACEOUS</b>
5.2 Steppes
5.2.1 Tall-grass prairie
5.2.2 Mid-grass prairie
5.2.3 Short-grass steppe
5.3 Meadows/pastures
5.3.1 Forest meadow/pastures
5.3.2 Alpine/subpolar meadows/pastures



Table4-1⑤ 世界の植生型(群系)の分類案(IUCN, 1973)

5.4 Forblands

- 5.4.1 Perennial forbland
- 5.4.2 Ephemeral forbland

Ⅲ. DESERTS AND SUB-DESERTS

2. WOODLANDS

- 2.1.1.3 Broad-leaved sub-desert woodland
- 2.1.3 Succulent woodland
- 2.2.7 Thorn woodland

3. SCRUB

- 3.1.1.5 Evergreen desert scrub
- 3.1.3 Succulent scrub
- 3.2.4 Deciduous desert scrub

4. DWARF SCRUB

- 4.1.2 Desert evergreen dwarf scrub
- 4.1.3 Succulent dwarf scrub
- 4.2.4 Desert deciduous dwarf scrub

5. HERBACEOUS

- 5.2.4 Sub-desert grassland
- 5.4.3 Tropical cloud desert forbland
- 5.4.4 Episodical desert forbland

5.5 Wetlands

- 5.5.1 Fresh-water marsh
- 5.5.2 Salt marsh
- 5.5.3 Alkaline marsh

5.6 Aquatics

- 5.6.1 Floating meadows
- 5.6.3 Submerged rooted aquatics
- 5.6.4 Floating aquatics

6. BARREN DESERT

- 6.1 Rock desert
- 6.2 Sand desert

Table4-2 計算地点20箇所の気象データまとめ

forest ID	地名	緯度	経度	年平均気温[°C]	年間総降水量 [mm/yr]	最低気温[°C]	最高気温[°C]
1	Phnom Penh	11.95	104.9	26.19556559	2564.092789	23.933777	29.026978
2	Pasoh	2.98	102.31	24.3570168	1937.2608	23.412018	25.113647
3	HongKong	23.16	114.11	21.16664844	1815.523184	12.40683	26.062012
4	Serimbu	0.45	110.06	25.63357569	1699.401588	24.716736	26.493683
5	Tomakomai	42.4	141.36	9.344373983	1080.5184	-2.13797	22.256653
6	Yamagata	38.255	140.345	10.2405069	1220.3136	-0.924683	22.834534
7	Toyama	36.708	137.21	12.30096847	1335.1392	1.124542	24.20166
8	Ohsaka	34.682	135.518	14.89887149	1427.414398	4.086273	25.729553
9	Kashiwa	35.87	139.97	13.77104728	1653.523189	2.669464	24.386261
10	HBEF	43.56	-71.45	7.413834	904.5216	-7.373474	21.628571
11	Oasa	34.77	132.465	14.77599875	931.9968	4.490601	25.570862
12	Ogawa	36.93	140.58	13.14253987	1461.628797	1.438035	24.916199
13	Central_Plain	40.82	-104.77	6.161389869	383.3568	-8.569366	22.152161
14	Siberia larch area 2	61	128.5	-8.466347794	310.8672	-34.0513	19.425873
15	Saharin	50.5	142.5	0.495320589	700.6176	-17.309296	16.639496
16	Waldkai	47.415	142.678	5.728226602	789.6096	-6.229614	18.690002
17	Rossia Evergreen forest area	64	45	-1.237661406	736.128	-17.563629	15.649017
18	Fair banks	65	-148	-3.805885575	746.5824	-19.979111	13.626953
19	Siberia larch area 1	69	122	-10.83233532	663.552	-32.462006	15.698639
20	Osage	36.95	-96.55	15.71368509	632.1888	-0.647797	29.556458

Table4-3 計算地点の気候区分と植生区分

forest ID	地名	温量指数	大生態系分布	K値	気候区分
1	Phnom Penh	314.3467871	熱帯	31.89521968	過湿潤帯
2	Pasoh	292.2842016	熱帯	30.89038751	過湿潤帯
3	HongKong	253.9997813	熱帯	25.81313922	湿潤帯
4	Serimbu	307.6029083	熱帯	26.03762462	湿潤帯
5	Tomakomai	111.6318757	暖温帯	33.05475025	過湿潤帯
6	Yamagata	117.9747119	暖温帯	35.39088518	過湿潤帯
7	Toyama	133.5233389	暖温帯	34.58736285	過湿潤帯
8	Ohsaka	173.8147605	暖温帯	32.59104923	過湿潤帯
9	Kashiwa	157.6297689	暖温帯	39.80355846	過湿潤帯
10	HBEF	101.5560768	暖温帯	31.37685643	過湿潤帯
11	Oasa	177.311985	暖温帯	21.39963385	湿潤帯
12	Ogawa	152.6479526	暖温帯	36.28213737	湿潤帯
13	Central_Plain	91.02188843	暖温帯	14.56368985	半乾燥帯
14	Siberia larch area 2	52.78799055	冷温帯	28.08879095	過湿潤帯
15	Saharin	59.10088795	冷温帯	46.73700022	過湿潤帯
16	Wakkanai	78.05259928	冷温帯	31.01805242	過湿潤帯
17	Rossia Evergreen forest area	45.07475112	亜寒帯～冷温帯	63.87406675	過湿潤帯
18	Fair banks	33.99444839	亜寒帯	116.8684494	過湿潤帯
19	Siberia larch area 1	33.48142505	亜寒帯	-86.5728003	過湿潤帯
20	Osage	185.3574605	亜熱帯	13.91647365	半乾燥帯

Table4-4 日本の森林タイプごとの純生産量(只木, 1981)  
常緑針葉樹林はマツ林、スギ林以外、マツ林はハイマツ林は除く、  
常緑広葉樹林はアカシア林は除く

ただし、原文献<sup>[3]</sup>では乾物量で表されていたものを、本研究で用いた炭素換算率  
C = 0.475 によって換算し、整理した。

森林タイプ	純生産量平均 [tC/ha/year]	誤差 [tC/ha/year]	資料とした 森林数
落葉広葉樹林	4.1325	1.425	64
落葉針葉樹林	4.7975	2.09	44
常緑針葉樹林	6.4125	1.995	46
マツ林	7.03	1.9475	52
スギ林	8.5975	2.66	92
常緑広葉樹林	8.5975	2.3275	21
全体	6.6025	2.8025	319

Table4-5 西太平洋地域の主要な森林の年純生産量(Kira&Shidei 1967)

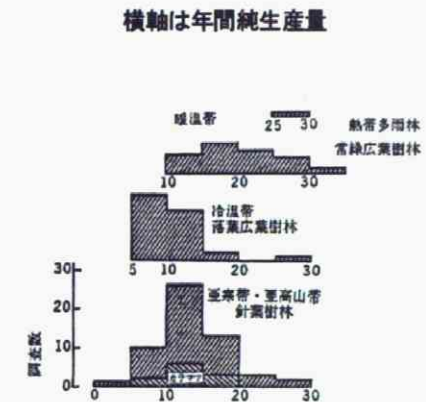


Table4-6 陸上植物群落の総生産量および純生産量の測定例

ここでΔPnが純生産量を、ΔPgが総生産量を表す。

ただし、原文献<sup>[1]</sup>では乾物量で表されていたものを、本研究で用いた炭素換算率C = 0.475 によって換算し、整理した。

群落の種類		林齢	ΔPn[tC/ha/year]	ΔPg[tC/ha/year]
熱帯多雨林	西マレーシア	成熟林	12.92	36.9075
熱帯季節林	コートジボアール	"	6.365	24.9375
照葉樹林	大隈半島	"	9.785	34.675
コジイ二次林	熊本	14	10.7825	24.5575
スギ密植苗畑	"	5	13.8225	39.9475
ヒノキ人工林	滋賀県日野	40	8.1225	13.775
アカマツ林	関東	15	7.505	25.6025
ブナ二次林	新潟二王寺岳	30~70	7.2675	13.0625
ブナ人工林	新潟県	35~50+	8.265~9.1675	19.43~20.95
ヨーロッパブナ人工林	デンマーク	8	3.5625	6.6025
"	"	25	6.4125	10.5925
"	"	46	6.4125	11.1625
"	"	85	5.3675	10.165
ナラ・マツ二次林	ニューヨーク州		6.4125	12.54
シラベ・オオシラビン林	八ヶ岳縞枯山	15	3.515	9.4525
"	"	成熟林	5.2725	19
トドマツ若木林(14地点)	北海道サロベツ		7.79±2.42	17.29±3.52
トドマツ林	"北見	35~40	11.305	23.845
チシマザサ群落	"ニセコ		7.6	21.9925
セイタカアワダチソウ群落	茨城取手		8.455	18.525
ホンバトリカブト群落	八甲田山		7.3625	13.5375
ククイモ人工群落	東京		6.65	13.3
Andropogon群落(地上部のみ)	S.カロライナ州		1.995	3.7525

Table4-7 日本とヨーロッパ・北アメリカの森林の地上部純生産量(tC/ha/year)の比較

ただし、原文献<sup>[1]</sup>では乾物量で表されていたものを、本研究での炭素換算率

C = 0.475によって換算し整理した。

- 1) 温帯針葉樹林(日本)の調査地の大部分はスギの人工林、ほかにヒノキ・モミ・ツガなど
- 2) 暖温帯常緑広葉樹林(日本)の調査地は照葉樹林およびアカシア人工林

- 3) 暖温帯常緑広葉樹林(ヨーロッパ北アメリカ)の調査地は硬葉樹林

森林型	日本			ヨーロッパ北アメリカ		
	調査林分数	生産速度[tC/ha/year]	誤差[tC/ha/year]	調査林分数	生産速度[tC/ha/year]	誤差[tC/ha/year]
亜寒帯針葉樹林	88	5.29625	1.78125	19	0.846094	9.025
冷温帯落葉広葉樹林	55	4.1515	1.64825	57	0.782919	27.075
温帯針葉樹林	96	6.76875	2.7455	5	1.304113	2.375
温帯マツ林	44	6.479	2.375	15	1.128125	7.125
暖温帯常緑広葉樹林	32	9.60875	3.42475	1	1.626756	0.475

Table4-9 仮想環境傾度バイオーム I のバイオームチャンバー内での植生配置

BIOME location	forest ID	Place name	Lat	Lon
1	1	PnonPen	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

Table4-10 仮想環境傾度バイオーム II のバイオームチャンバー内での植生配置

BIOME location	forest ID	Place name	Lat	Lon
1	8	Ohsaka	34.682	135.518
2	11	Oasa	34.77	132.465
3	9	Kashiwa	35.87	139.97
4	7	Toyama	36.708	137.21
5	12	Ogawa	36.93	140.58
6	6	Yamagata	38.255	140.345
7	5	Tomakomai	42.4	141.36
8	16	Wakkanai	47.415	142.678

Table4-8 地球の一次生産量および植物現存量(Whittaker & likens,1973)  
 原文献<sup>[1]</sup>では乾物重に換算した値だったものを、本研究の炭素換算率C = 0.475によって換算し整理した。

大生態系群	面積 10 <sup>6</sup> km <sup>2</sup>	現存量		生産量	
		平均 [tC/ha]	総量 [10 <sup>6</sup> tC]	平均 [tC/ha/year]	総量 [10 <sup>6</sup> tC/year]
熱帯多雨林	17	210.9	358.625	9.5	16.15
熱帯季節林	7.5	169.1	126.825	7.125	5.225
温帯常緑林	5	169.1	84.55	6.175	3.0875
温帯落葉林	7	142.5	99.75	5.7	3.99
亜寒帯林	12	95	114	3.8	4.56
ウッドランド・低木林	8	28.5	22.8	2.85	2.28
熱帯・亜熱帯草原(サバナ)	15	19	28.5	3.325	4.9875
温帯草原	9	7.6	6.65	2.375	2.1375
ツンドラ・高山帯草原	8	3.1825	2.565	0.665	0.5225
低木砂漠	18	3.1825	5.7	0.3325	0.6175
氷雪・岩石・砂砂漠	24	0.095	0.25175	0.01425	0.3325
農耕地	14	5.225	7.6	3.0875	4.3225
湿原	2	71.25	14.25	11.875	2.375
陸水	2.5	0.095	0.02375	2.375	0.6175
全陸地小計	149	58.425	872.1	3.42	50.9675
外洋	332	0.001425	0.48925	0.6175	19.95
湧昇水域	0.4	0.0095	0.00475	2.375	0.095
大陸棚	26.6	0.00475	0.1425	1.71	4.5125
海藻群落・さんご礁	6.6	0.95	0.57	9.5	0.57
河口水域	1.4	0.475	0.665	8.55	1.1875
全海洋小計	361	0.00475	1.8525	0.7125	26.2675
総計	510	1.71475	874	1.52	77.425

## • 第5章のTable

Table5-1 IPCCが配信しているデータのグリッド詳細

緯度方向を南北計32地点に、経度方向を東西計64地点に区分して計算されている。

I. The 64 Longitudes							
0	5.625	11.25	16.875	22.5	28.125	33.75	39.375
45	50.625	56.25	61.875	67.5	73.125	78.75	84.375
90	95.625	101.25	106.875	112.5	118.125	123.75	129.375
135	140.625	146.25	151.875	157.5	163.125	168.75	174.375
180	185.625	191.25	196.875	202.5	208.125	213.75	219.375
225	230.625	236.25	241.875	247.5	253.125	258.75	264.375
270	275.625	281.25	286.875	292.5	298.125	303.75	309.375
315	320.625	326.25	331.875	337.5	343.125	348.75	354.375

J. The 32 Latitudes				
85.7605896	80.2687759	74.7445374	69.2129745	63.67863
58.1429558	52.6065254	47.0696411	41.5324631	35.99508
30.4575539	24.9199295	19.3822308	13.8444834	8.306703
2.76890302	-2.76890302	-8.30670261	-13.8444834	-19.3822
-24.91993	-30.4575539	-35.995079	-41.5324631	-47.0696
-52.606525	-58.1429558	-63.6786346	-69.2129745	-74.7445
-80.268776	-85.7605896			

Table5-2 計算地点と、IPCCの温暖化データのグリッドとの相関

ただし、Iが経度方向に1～64グリッド、Jが緯度方向に1～32グリッドを意味する。

forest ID	地名	緯度	経度 E	I (1～64)	J (1～32)
1	Phnom Penh	11.95	104.9	20	14
2	Pasoh	2.98	102.31	19	16
3	HongKong	23.16	114.11	21	12
4	Serimbu	0.45	110.06	20	16
5	Tomakomai	42.4	141.36	26	9
6	Yamagata	38.255	140.345	26	10
7	Toyama	36.708	137.21	25	10
8	Ohsaka	34.682	135.518	25	10
9	Kashiwa	35.87	139.97	26	10
10	HBEF	43.56	288.55	52	9
11	Oasa	34.77	132.465	25	10
12	Ogawa	36.93	140.58	26	10
13	Central_Plain	40.82	255.23	46	9
14	Siberia larch area 2	61	128.5	24	5
15	Saharin	50.5	142.5	26	7
16	Wakkanai	47.415	142.678	26	8
17	Rossia Evergreen forest area	64	45	9	5
18	Fair banks	65	212	39	5
19	Siberia larch area 1	69	122	23	4
20	Osage	36.95	263.45	48	10

Table5-3 各地域における温暖化による気温変化

forest ID	count start year	number of years	気温上昇度 (冬)[°C/year]	R2乗値	気温上昇度 (夏)[°C/year]	R2乗値
1	2003	98	0.0687	0.7704	0.0448	0.6901
2	2005	96	0.0454	0.9077	0.0386	0.9413
3	2008	93	0.0837	0.726	0.0386	0.9219
4	2007	94	0.0363	0.9495	0.0409	0.958
5	1980	121	0.0557	0.8995	0.0586	0.8992
6	1985	116	0.0501	0.9131	0.051	0.8991
7	1992	109	0.0552	0.8877	0.052	0.9253
8	1989	112	0.055	0.8925	0.0518	0.9297
9	1980	121	0.0493	0.9146	0.051	0.9062
10	1976	125	0.0786	0.7742	0.0599	0.9031
11	1981	120	0.053	0.8973	0.0506	0.9312
12	1980	121	0.0493	0.9146	0.051	0.9062
13	1989	112	0.0801	0.7106	0.105	0.8157
14	1981	120	0.169	0.832	0.0957	0.845
15	1994	107	0.1396	0.7779	0.0776	0.854
16	1980	121	0.0767	0.9023	0.0611	0.8896
17	1976	125	0.1664	0.8201	0.0844	0.865
18	2000	101	0.1462	0.7317	0.0811	0.8279
19	2008	93	0.2161	0.8528	0.0944	0.8197
20	2015	86	0.0618	0.5782	0.0547	0.1723

Table5-4 各地域における温暖化による降水量変化

forest ID	count start year	number of years	降水量変化(冬)[mm/day/year]	R2乗値	降水量変化(夏)[mm/day/year]	R2乗値
1	2003	98	-0.0186	0.2863	-0.0106	0.0827
2	2005	96	-0.0093	0.0333	0.0038	0.0239
3	2008	93	-0.0038	0.0404	0.0502	0.5641
4	2007	94	0.0007	0.0002	0.0113	0.165
5	1980	121	-0.007	0.1649	0.0026	0.0268
6	1985	116	-0.0082	0.1389	0.0194	0.3691
7	1992	109	-0.0073	0.1268	0.0165	0.2513
8	1989	112	-0.0078	0.152	0.0164	0.261
9	1980	121	-0.009	0.1724	0.0183	0.3552
10	1976	125	0.0014	0.0105	0.002	0.0048
11	1981	120	-0.008	0.164	0.0157	0.268
12	1980	121	-0.009	0.1724	0.0183	0.3552
13	1989	112	-0.0008	0.0049	-0.0043	0.063
14	1981	120	0.004	0.4297	0.01	0.2948
15	1994	107	0.0018	0.0206	-0.0072	0.103
16	1980	121	-0.0068	0.219	-0.0057	0.1306
17	1976	125	0.0077	0.3796	0.0096	0.3233
18	2000	101	0.0144	0.4183	0.0121	0.2918
19	2008	93	-0.0045	0.054	0.0044	0.003
20	2015	86	-0.0033	0.0247	0.0111	0.0158

Table5-5 温暖化として用いた気温上昇率と温暖化開始年度のパラメータ

forest ID	warming_start_year	warming_rate_winter	warming_rate_summer
1	103	0.0687	0.0448
2	105	0.0454	0.0386
3	108	0.0837	0.0386
4	107	0.0363	0.0409
5	80	0.0557	0.0586
6	85	0.0501	0.051
7	92	0.0552	0.052
8	89	0.055	0.0518
9	80	0.0493	0.051
10	76	0.0786	0.0599
11	81	0.053	0.0506
12	80	0.0493	0.051
13	89	0.0801	0.105
14	81	0.169	0.0957
15	94	0.1396	0.0776
16	80	0.0767	0.0611
17	76	0.1664	0.0844
18	100	0.1462	0.0811
19	108	0.2161	0.0944
20	115	0.0618	0.0547

• 第1章のFigure

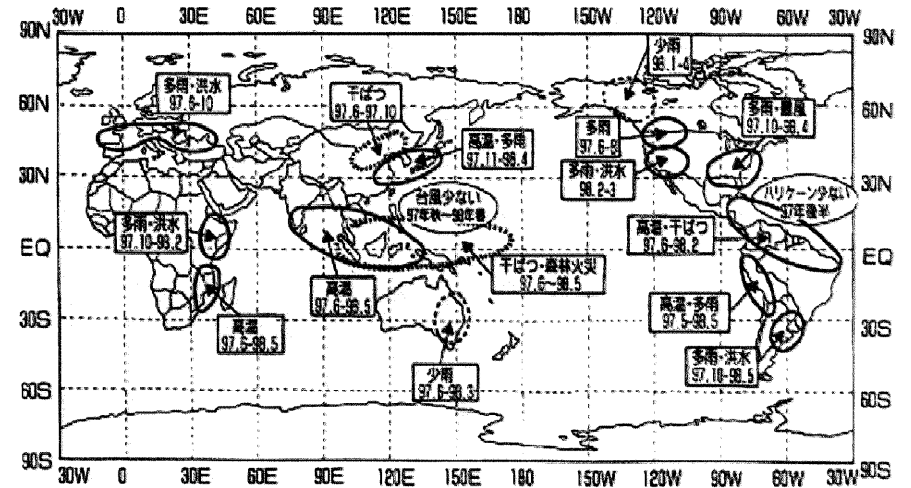


Fig.1-1 エルニーニョに関連すると見られる天候(1997年春～98年春、気象庁資料)<sup>(2)</sup>



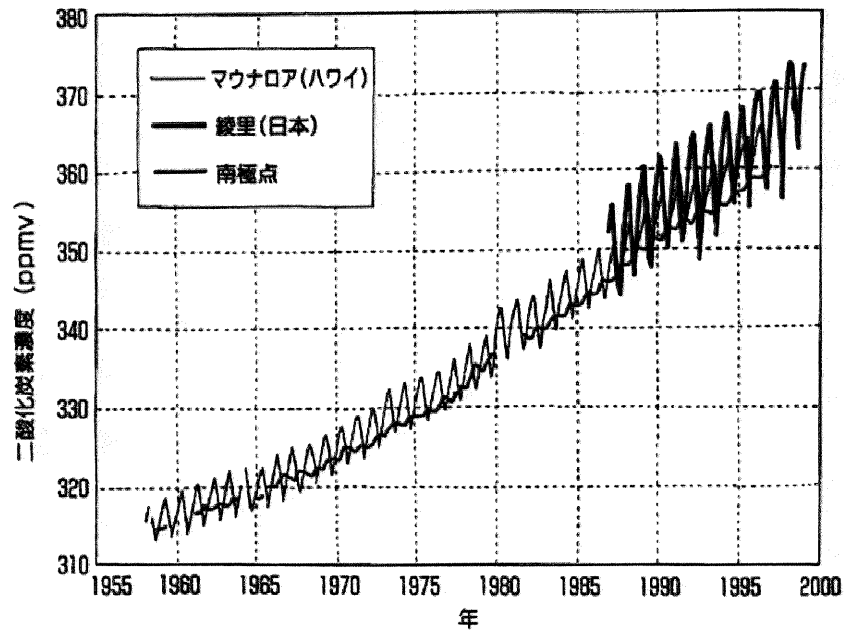


Fig.1-2 南極点(1957年より)、マウナロア(1958年より)、  
綾里(1987年より)で観測された、二酸化炭素濃度の変動を示したもの  
ppmvは容積比で100万分の1を表す単位

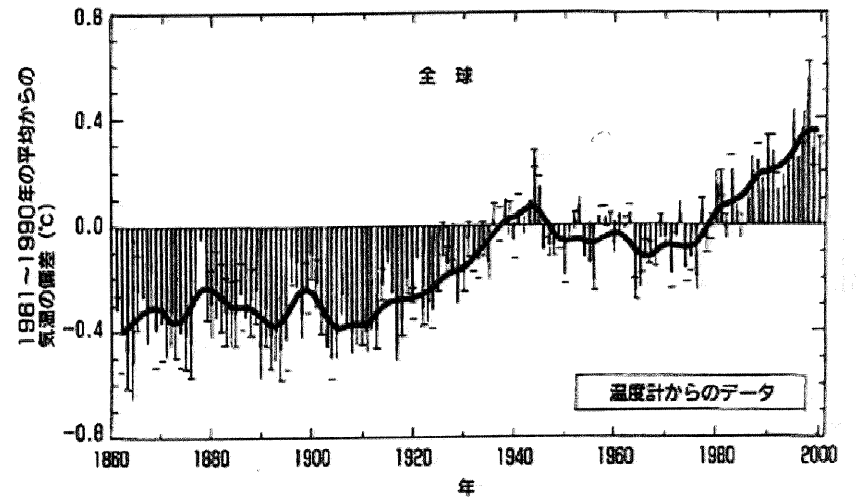


Fig.1-3 全球年平均の地上気温(偏差で表示)の変動(IPCC)<sup>[2]</sup>

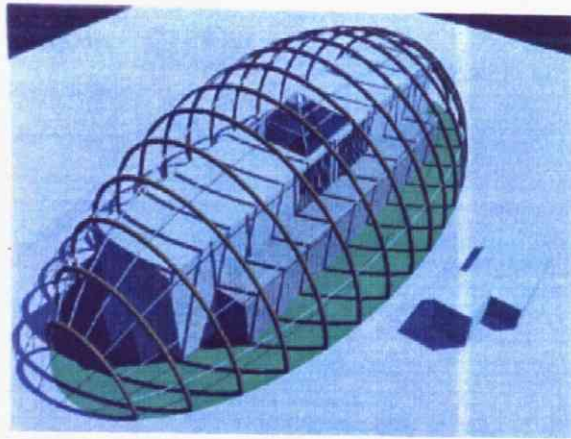


Fig.1-4 環境傾度バイオームチャンパー予定図

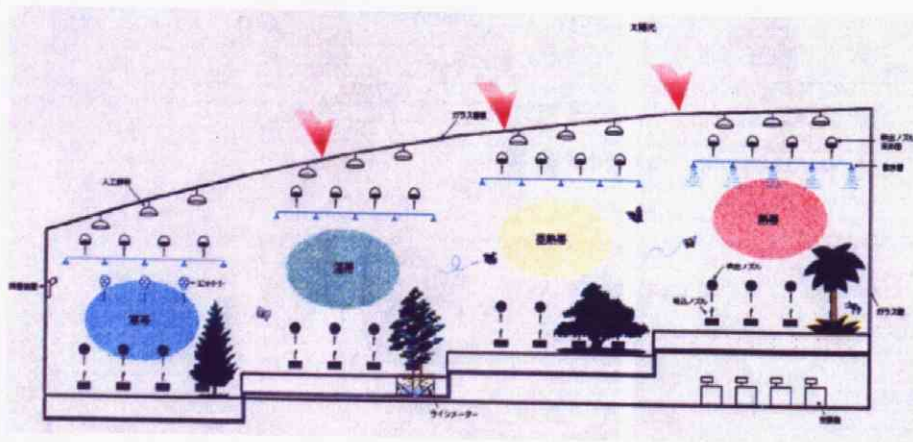


Fig.1-5 環境傾度バイオームチャンパー内の計画図

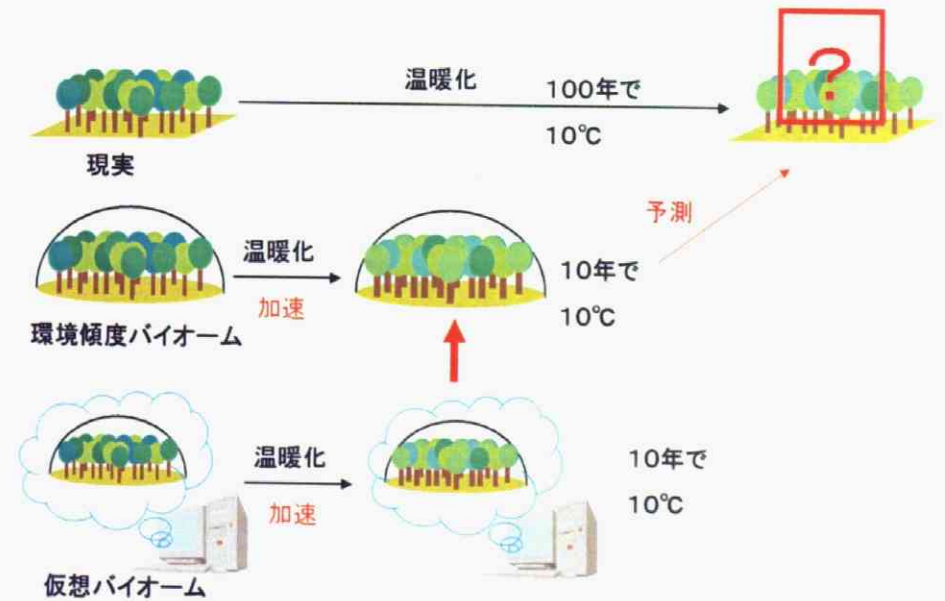
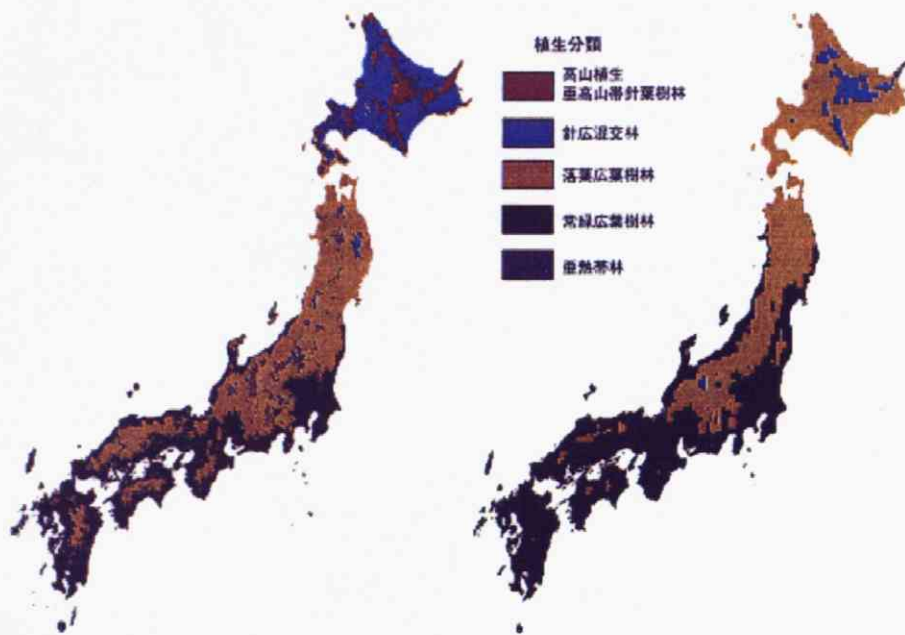


Fig.1-6 環境傾度バイオームチャンパーの利用案(一例)と仮想環境傾度バイオーム(本研究)の位置づけ

ここでは仮に100年で10°Cの気温上昇(温暖化)が起こると仮定した場合を示す。実際の植生が温暖化に伴い、どう変化するかを推測するため、環境傾度バイオームでは温暖化の速度を倍に加速し、例えば10年間の実験で10°C上昇させて観測を行う。本研究ではバイオーム建設前にシミュレーションモデルを使って、バイオーム植生の検証、温暖化への応答を解析する。



左図：潜在植生分布の推定  
右図：CCSR-98 シナリオ（2050年の気候データ）による温暖化時の潜在植生分布の推定

Fig.1-7 現在と2050年における潜在植生分布の変化の予測結果<sup>[1]</sup>

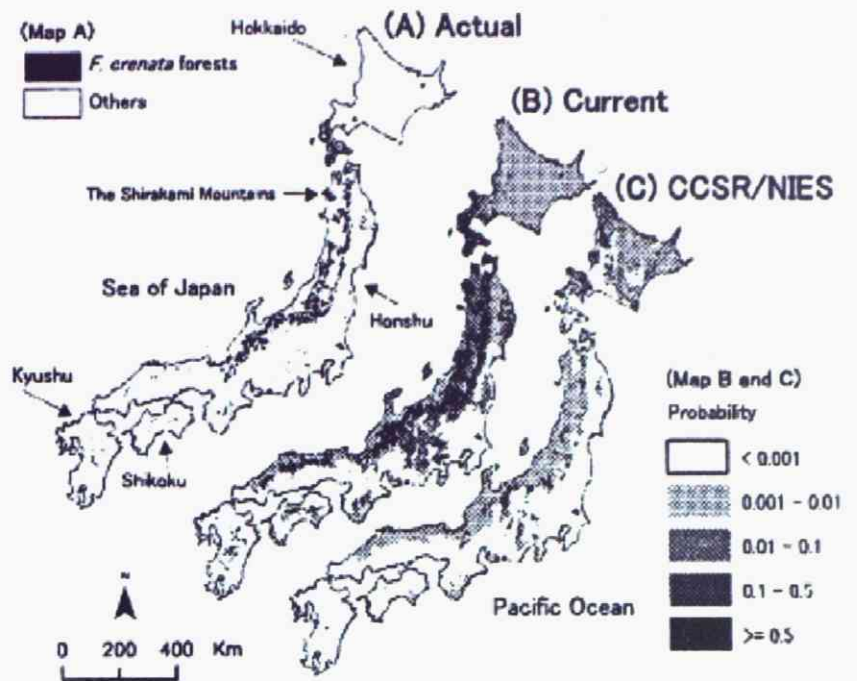


Fig.1-8 ブナ林の分布  
(A)現在の分布、(B)現気候における分布確率、  
(C)気候変化シナリオCCSR/NIES2090年における分布確率

- 第2章のFigure

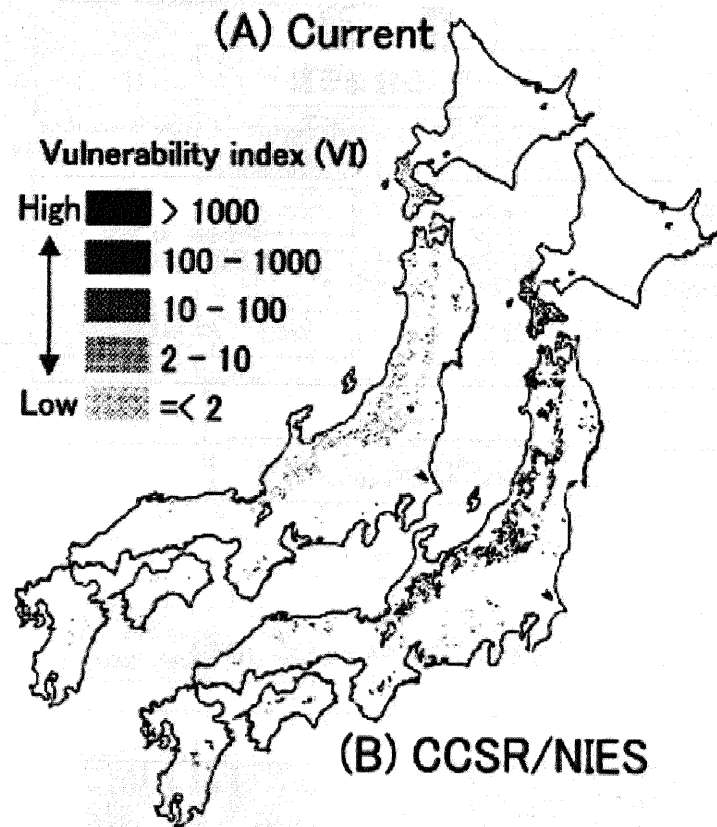


Fig.1-9 ブナ林の脆弱性指数(IV)の分布  
(A)現気候条件下、(B)気候変化シナリオCCSR/NIES2090年条件下

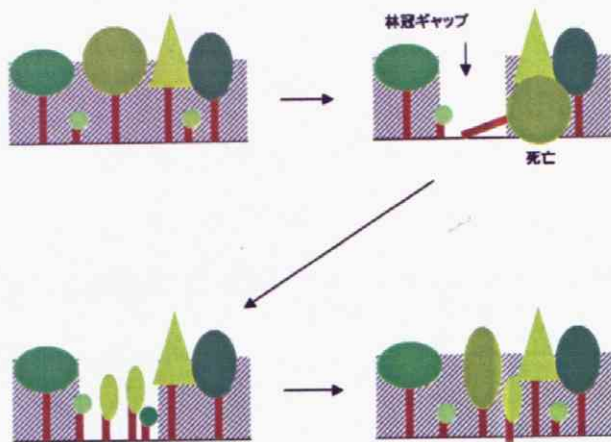


Fig.2-1 森林のギャップ更新の模式図

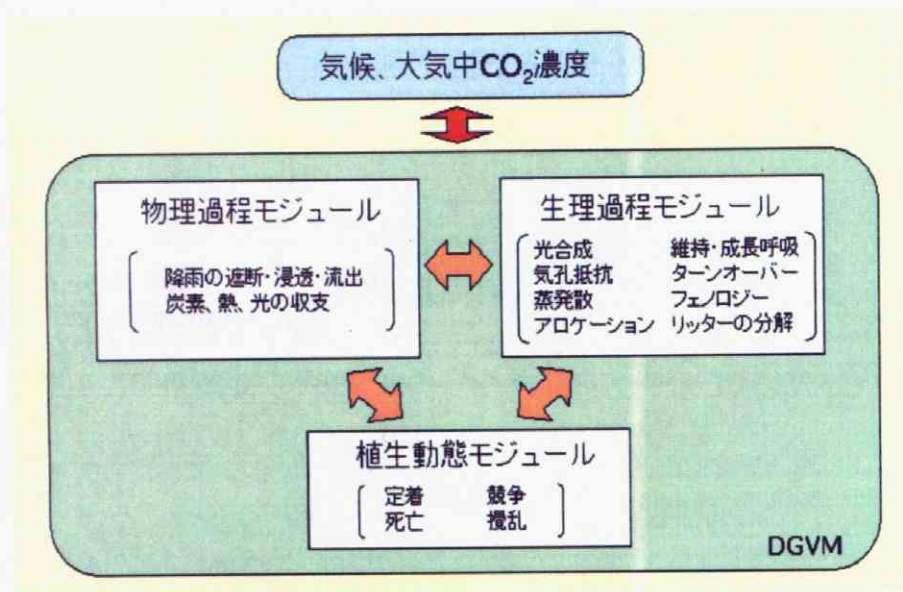


Fig.2-2 SEIB-DGVMモデル構造

(本図は地球環境フロンティア研究センター佐藤永氏作成)

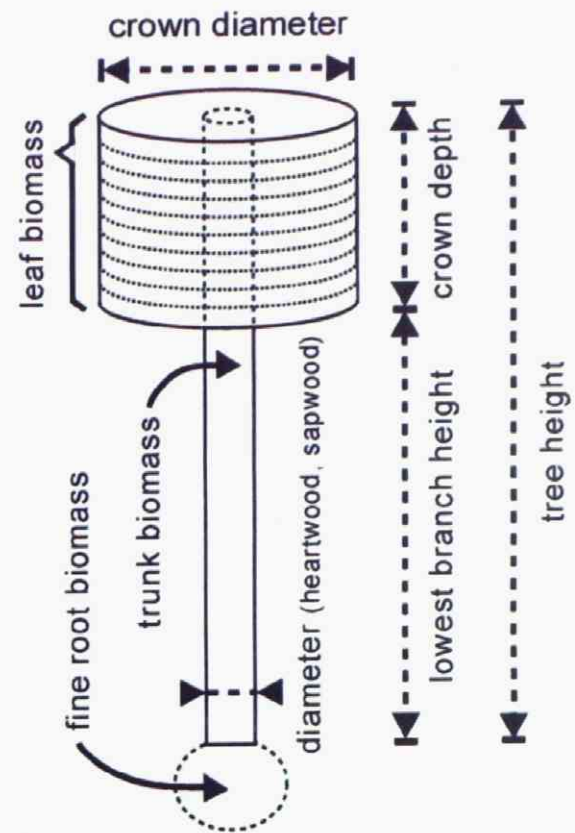


Fig.2-3 SEIB-DGVMモデルでの樹木の扱い

(本図は地球環境フロンティア研究センター佐藤永氏作成)

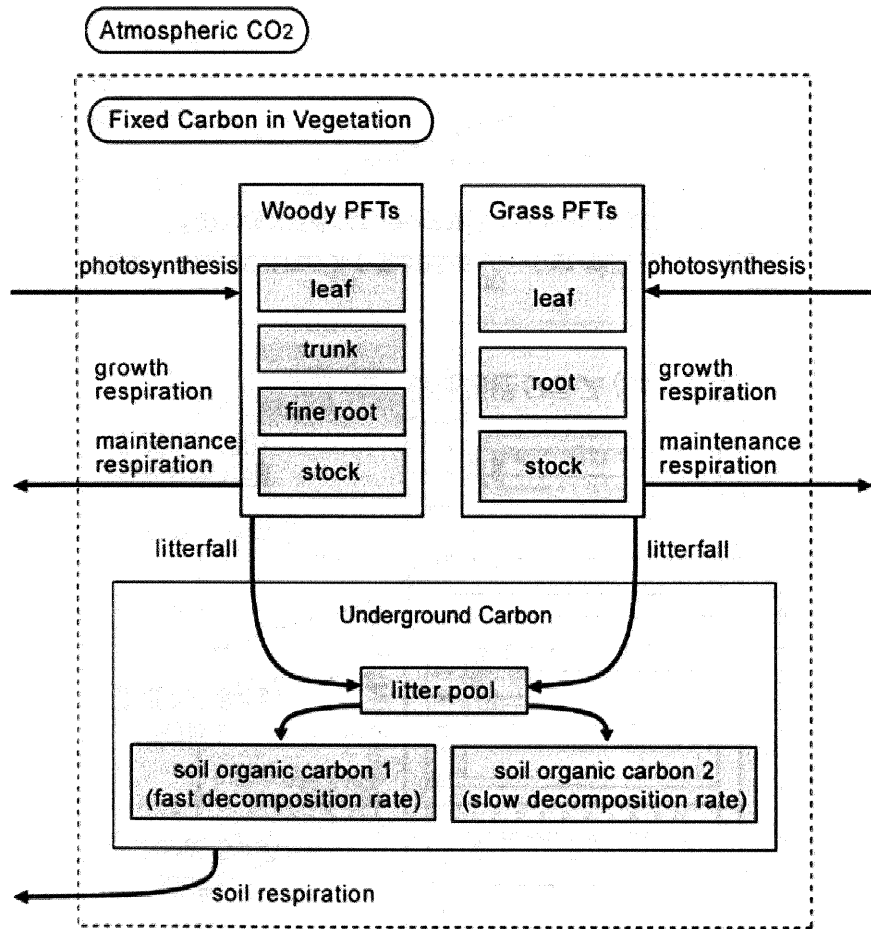


Fig.2-4 SEIB-DGVMモデルでの炭素循環  
 (本図は地球環境フロンティア研究センター佐藤永氏作成)

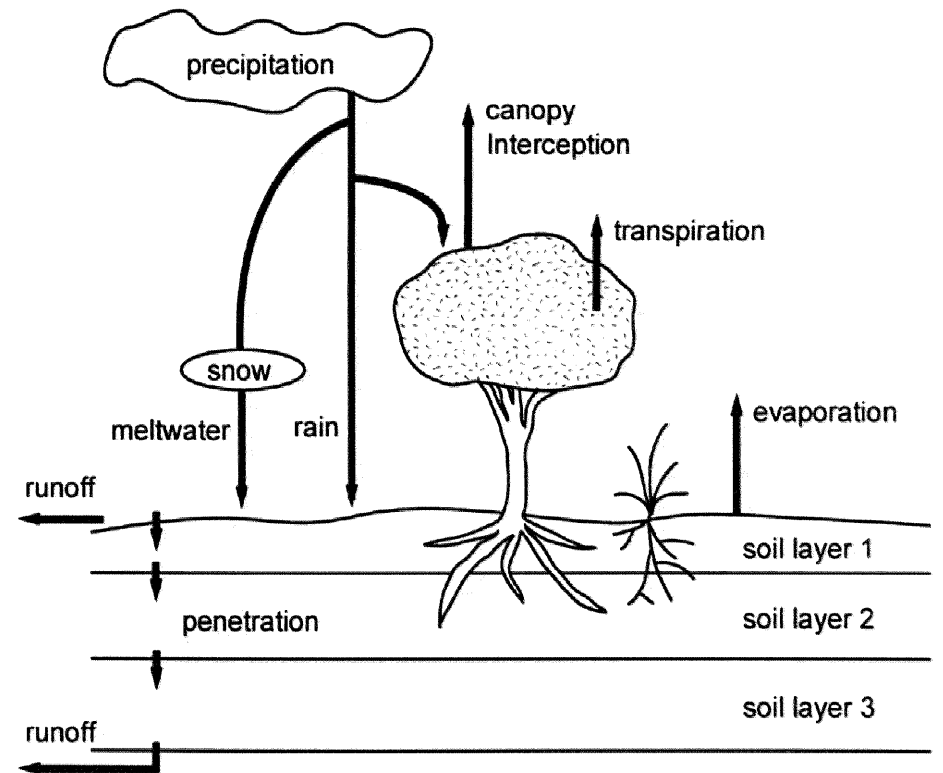


Fig.2-5 SEIB-DGVMモデルでの水循環  
 (本図は地球環境フロンティア研究センター佐藤永氏作成)

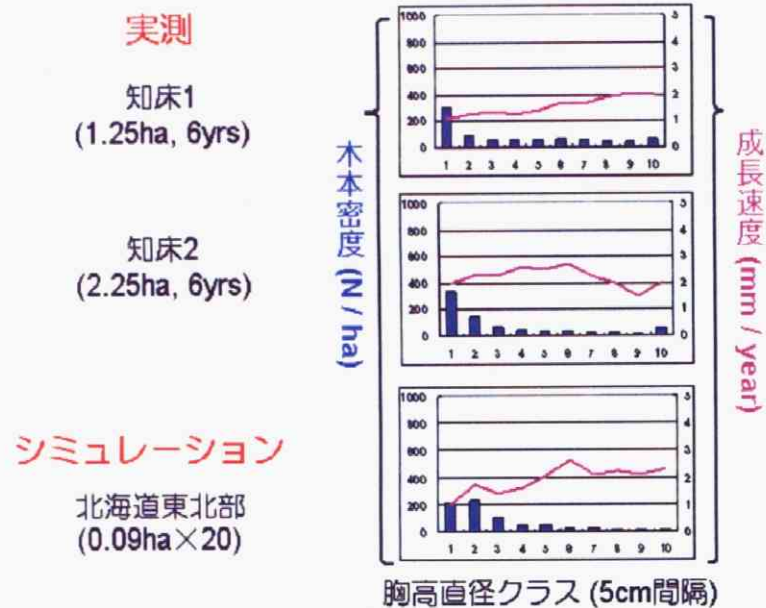


Fig.2-6 SEIB-DGVMモデルを使ったシミュレーション結果と実測の検証①  
(本図は地球環境フロンティア研究センター佐藤永氏作成)

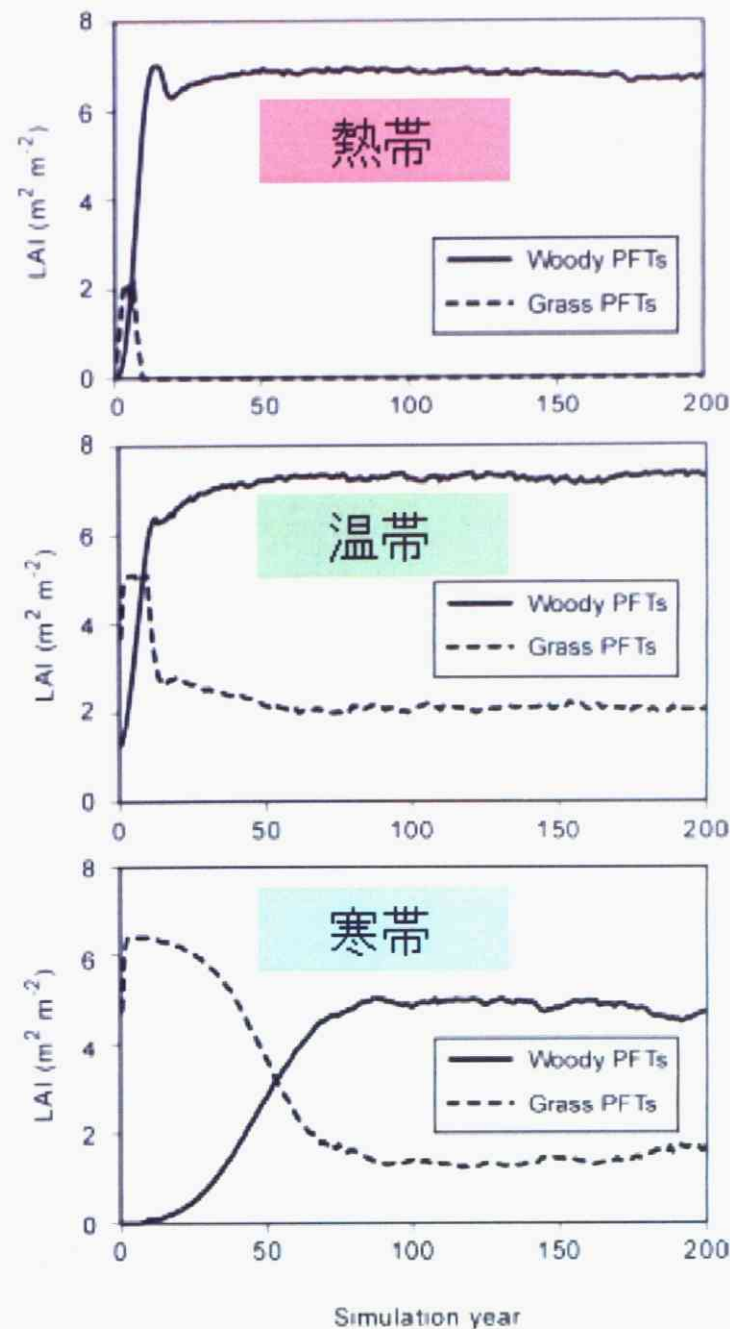


Fig.2-7 SEIB-DGVMモデルを使ったシミュレーション結果と実測の検証②  
(本図は地球環境フロンティア研究センター佐藤永氏作成)

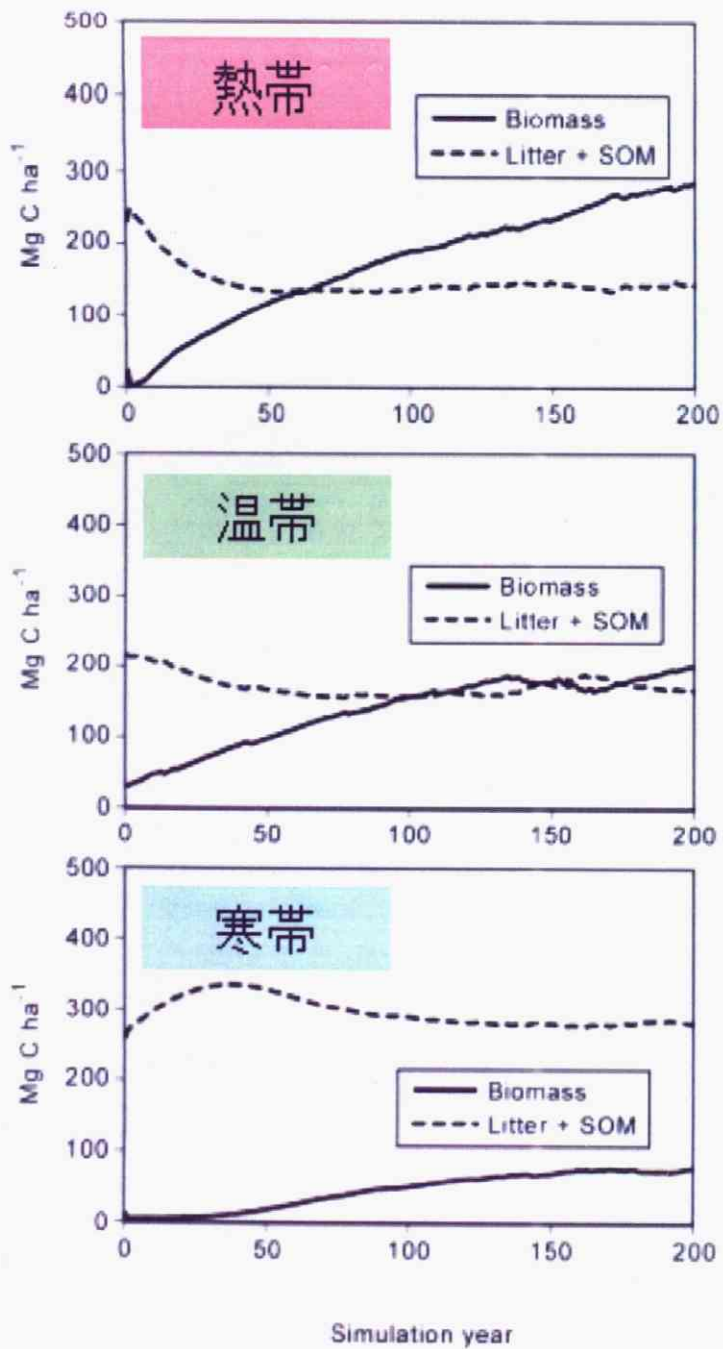


Fig.2-8 SEIB-DGVMモデルを使ったシミュレーション結果と実測の検証④  
(本図は地球環境フロンティア研究センター佐藤永氏作成)

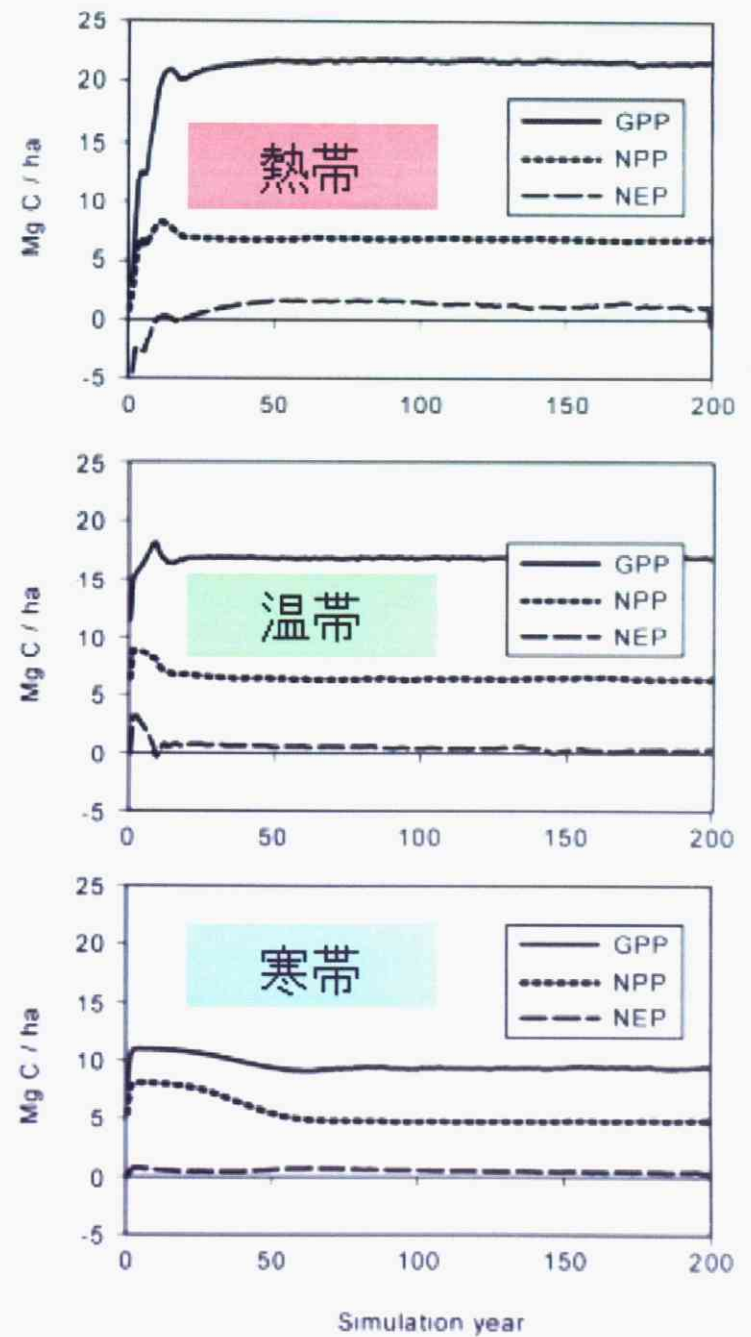


Fig.2-9 SEIB-DGVMモデルを使ったシミュレーション結果と実測の検証⑤  
(本図は地球環境フロンティア研究センター佐藤永氏作成)



• 第3章のFigure

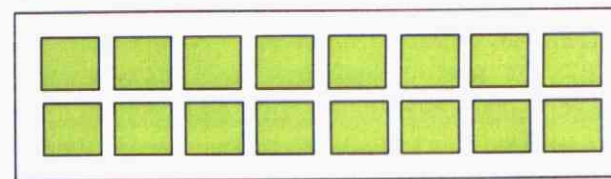


Fig.3-1 バイオーム建築予定図(底面)  
 緑で塗りつぶされた区画に植物生態系を導入する。

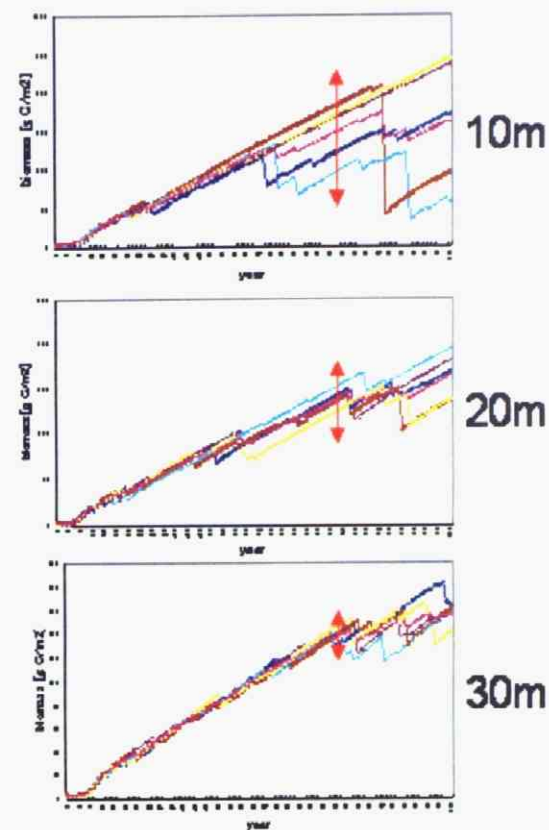


Fig.3-2 区画の大きさを変えたときのバイオマス量の変化  
 右軸の値は区画面積の一辺の長さを表し、  
 それぞれのプロット色の違いは計算を走らせたときの違いによる

- 第4章のFigure

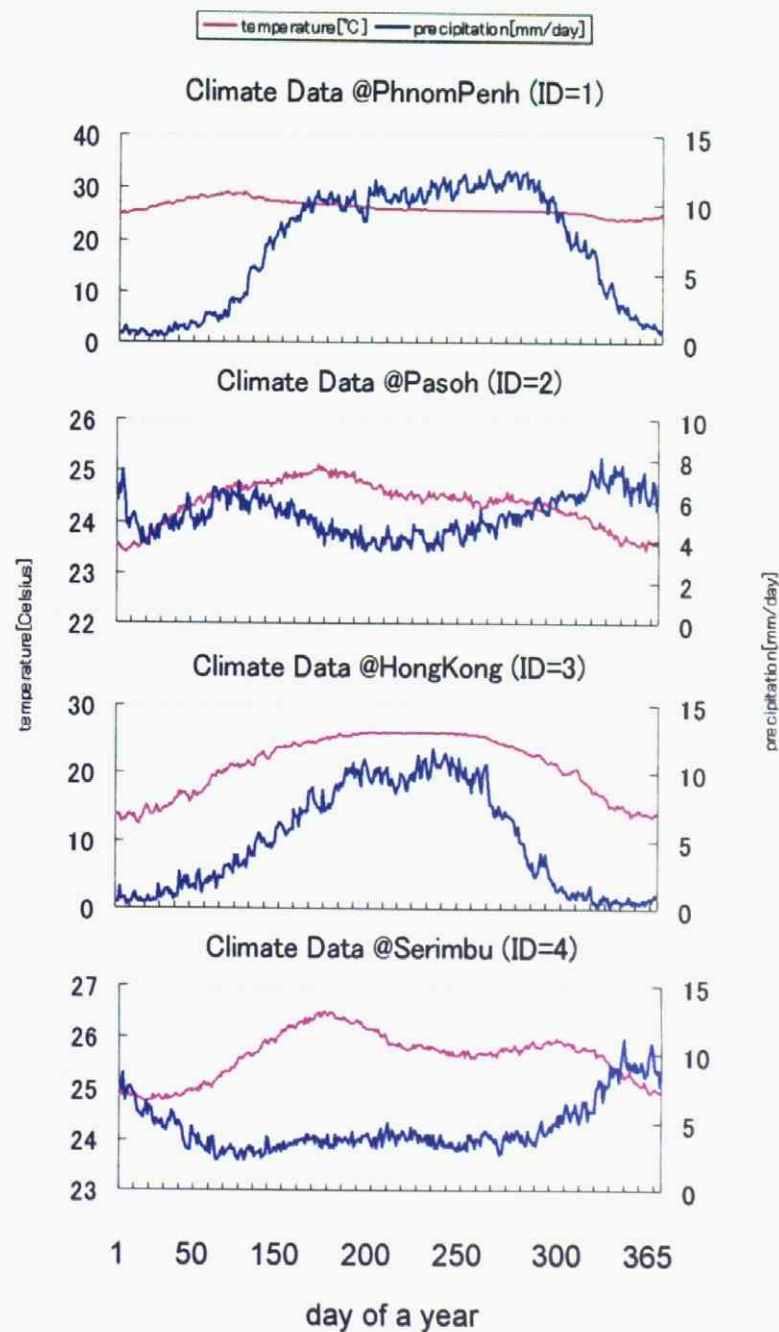


Fig.4-1-① 各森林区画の気象データ(日平均気温と日平均降水量)  
(forest ID=1からforest ID=4まで)

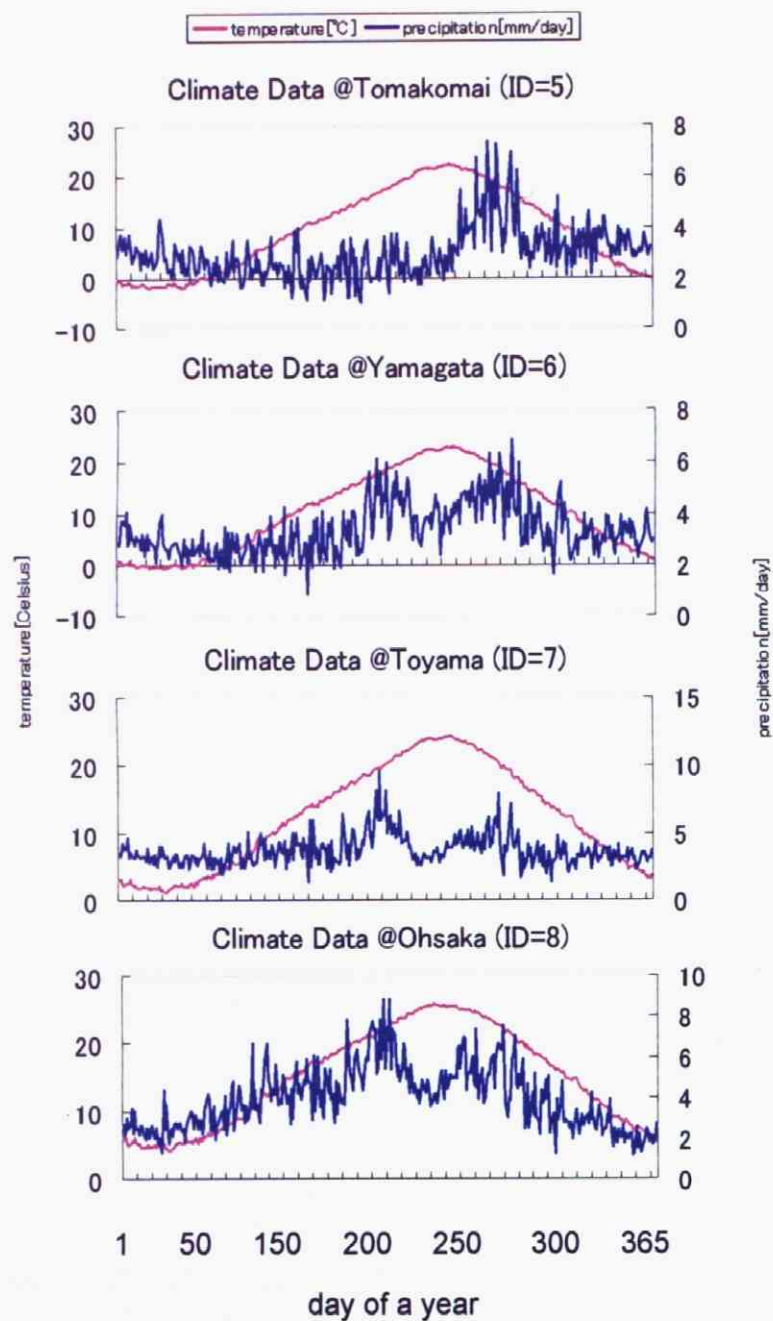


Fig.4-1-② 各森林区画の気象データ(日平均気温と日平均降水量)  
(forest ID=5からforest ID=8まで)

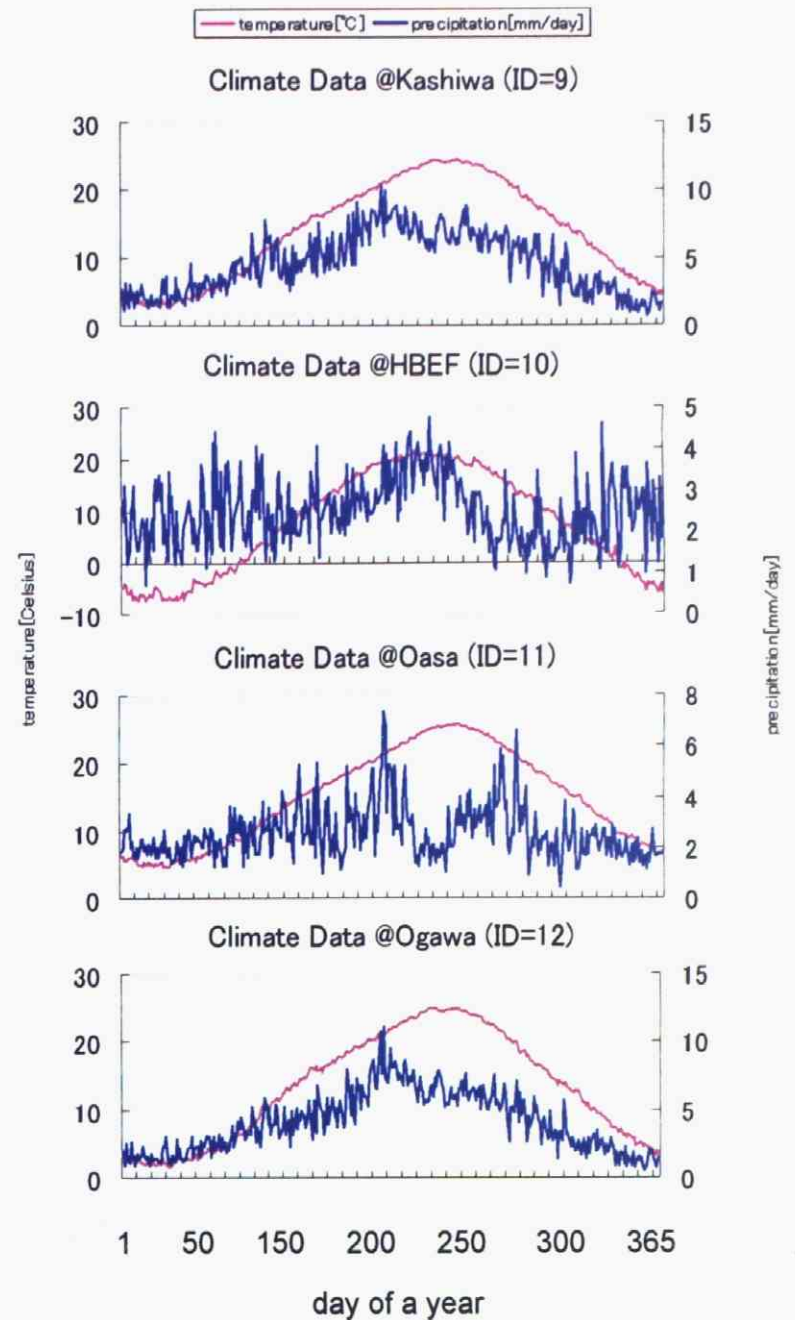


Fig.4-1-③ 各森林区画の気象データ(日平均気温と日平均降水量)  
(forest ID=9からforest ID=12まで)

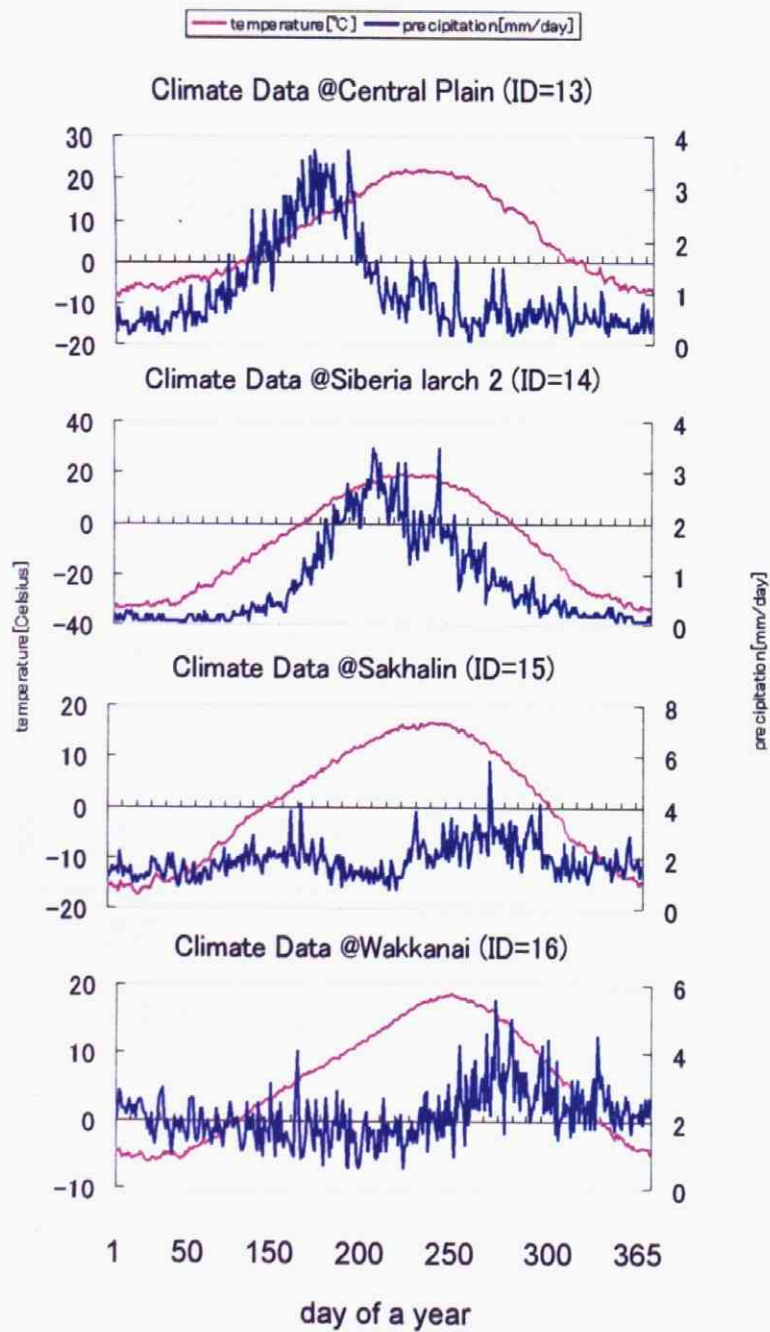


Fig.4-1-④ 各森林区画の気象データ(日平均気温と日平均降水量)  
(forest ID=13からforest ID=16まで)

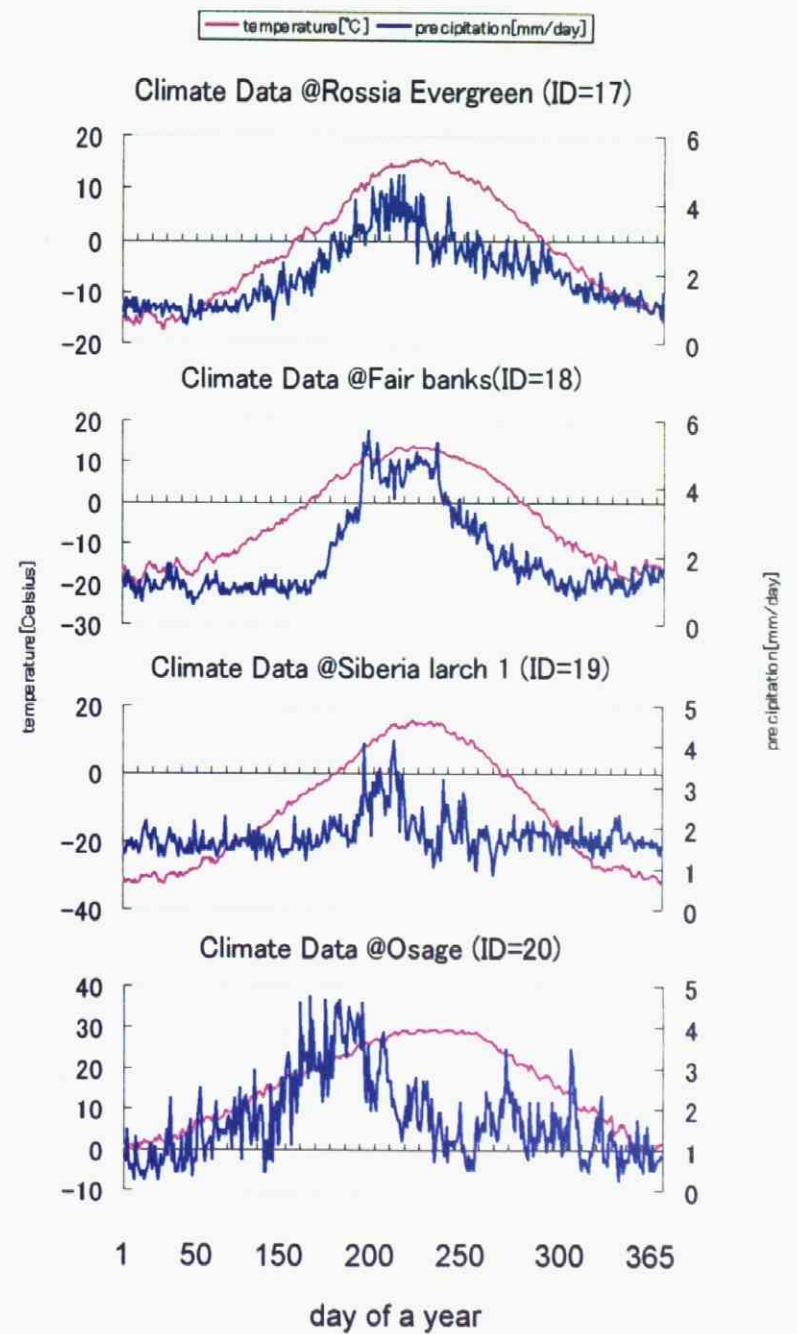


Fig.4-1-⑤ 各森林区画の気象データ(日平均気温と日平均降水量)  
(forest ID=17からforest ID=20まで)

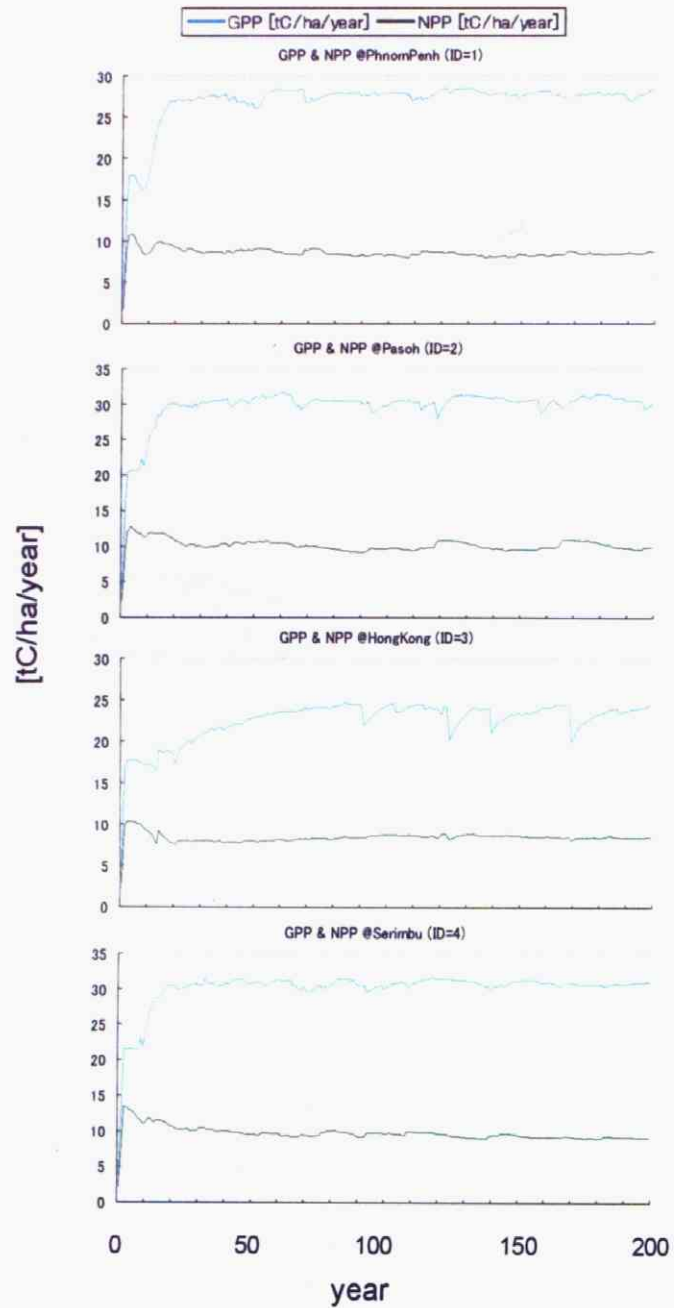


Fig.4-2-① 各森林区画のGPPとNPPの時系列変化  
(forest ID=1からforest ID=4まで)

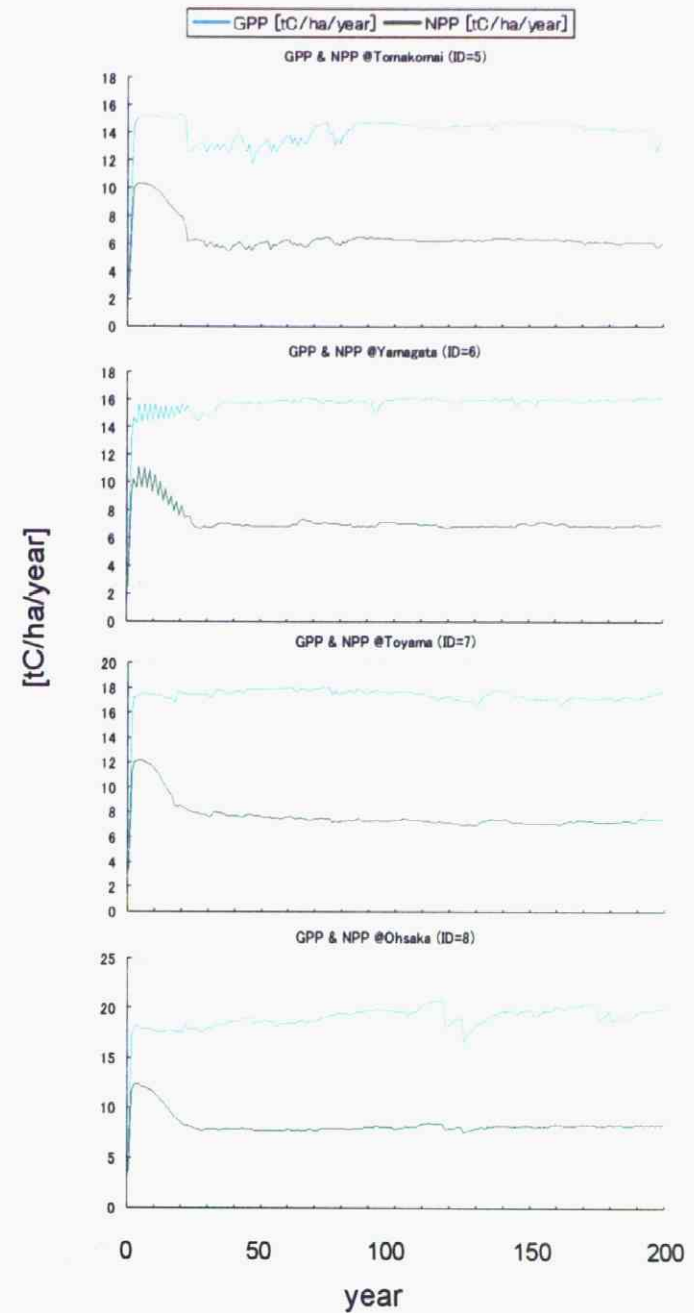


Fig.4-2-② 各森林区画のGPPとNPPの時系列変化  
(forest ID=5からforest ID=8まで)

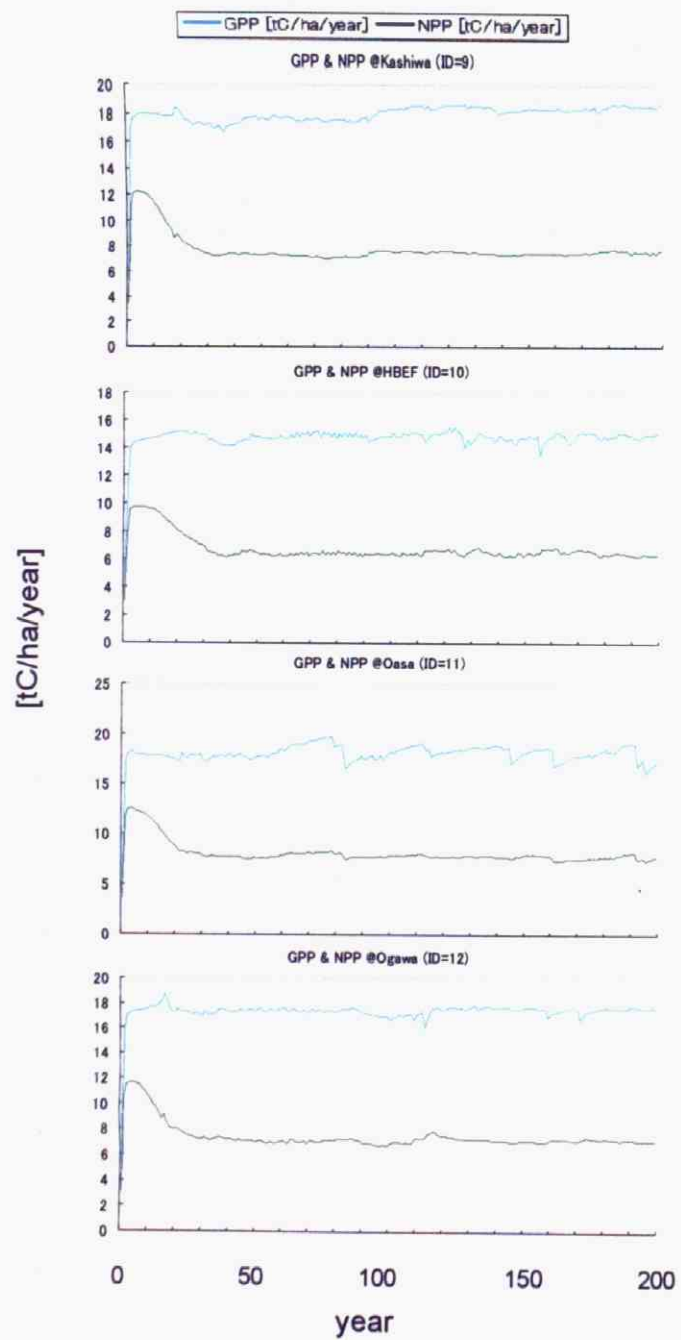


Fig.4-2-③ 各森林区画のGPPとNPPの時系列変化  
(forest ID=9からforest ID=12まで)

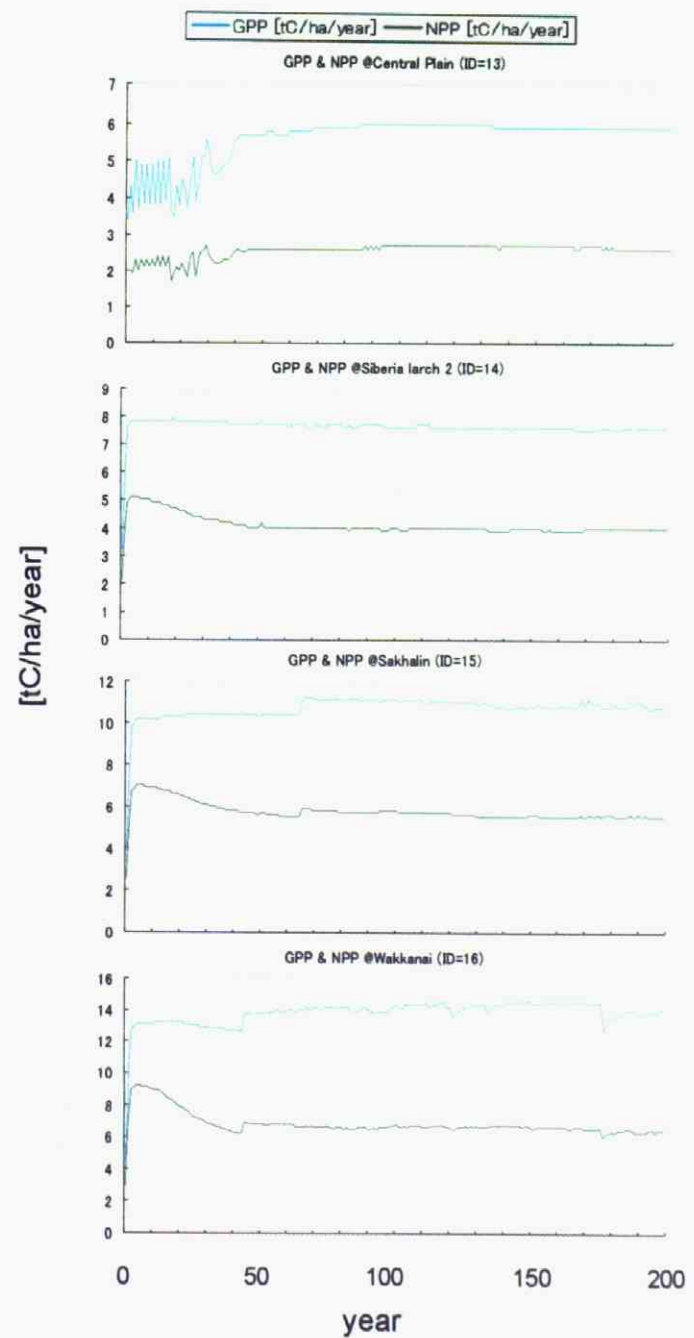


Fig.4-2-④ 各森林区画のGPPとNPPの時系列変化  
(forest ID=13からforest ID=16まで)

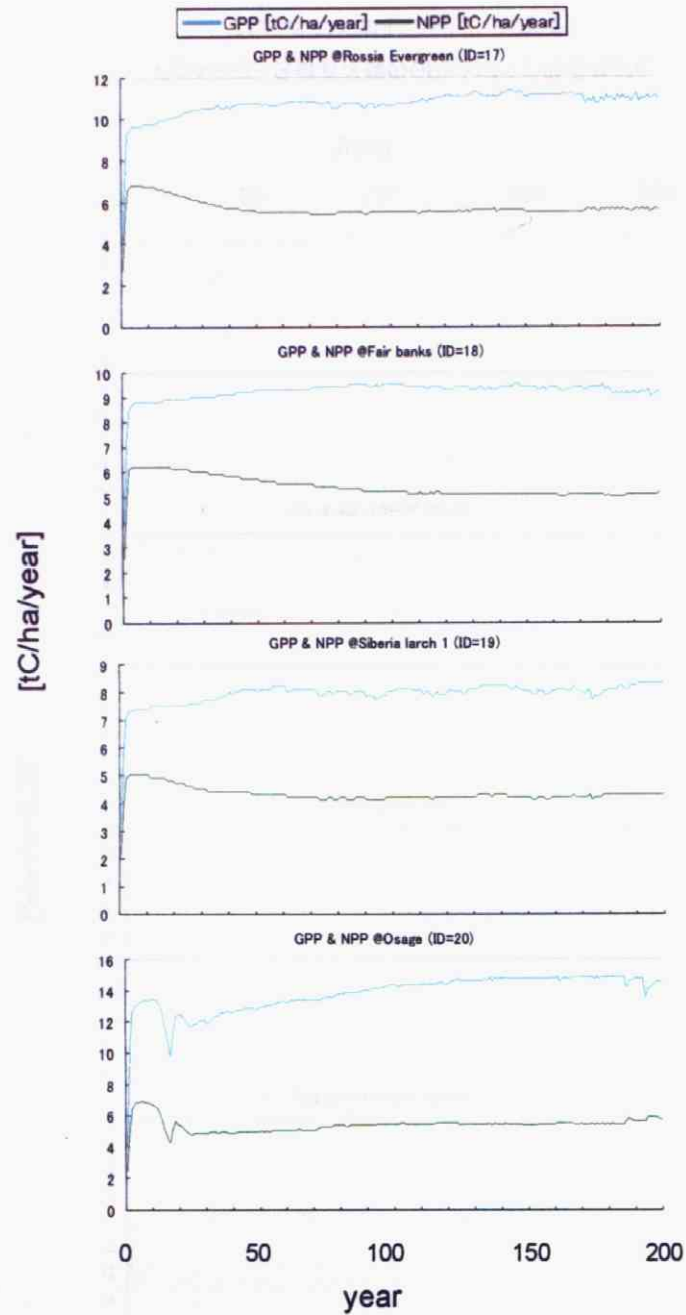


Fig.4-2-⑤ 各森林区画のGPPとNPPの時系列変化  
(forest ID=17からforest ID=20まで)

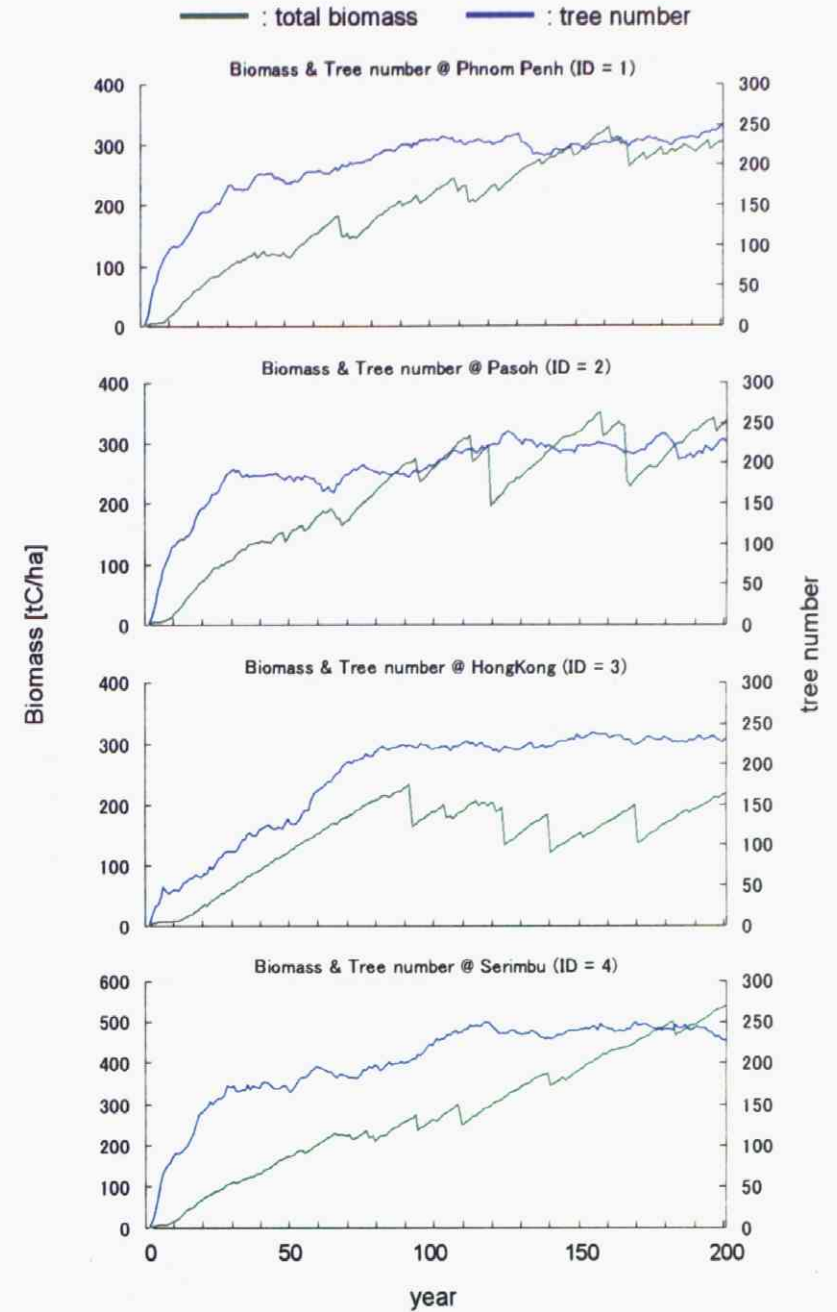


Fig.4-3-① 各森林区画のバイオマス蓄積量と樹木本数の時系列変化  
(forest ID=1からforest ID=4まで)

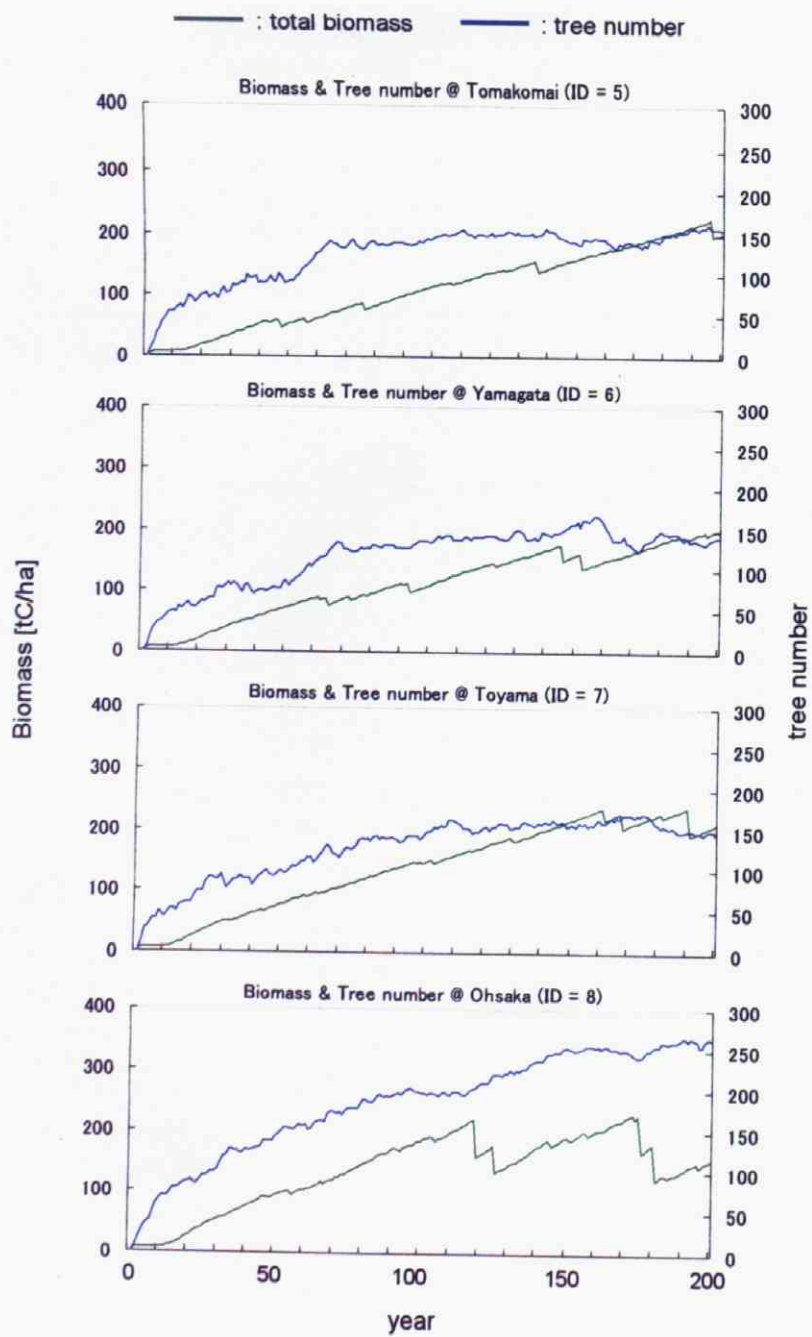


Fig.4-3-② 各森林区画のバイオマス蓄積量と樹木本数の時系列変化  
(forest ID=5からforest ID=8まで)

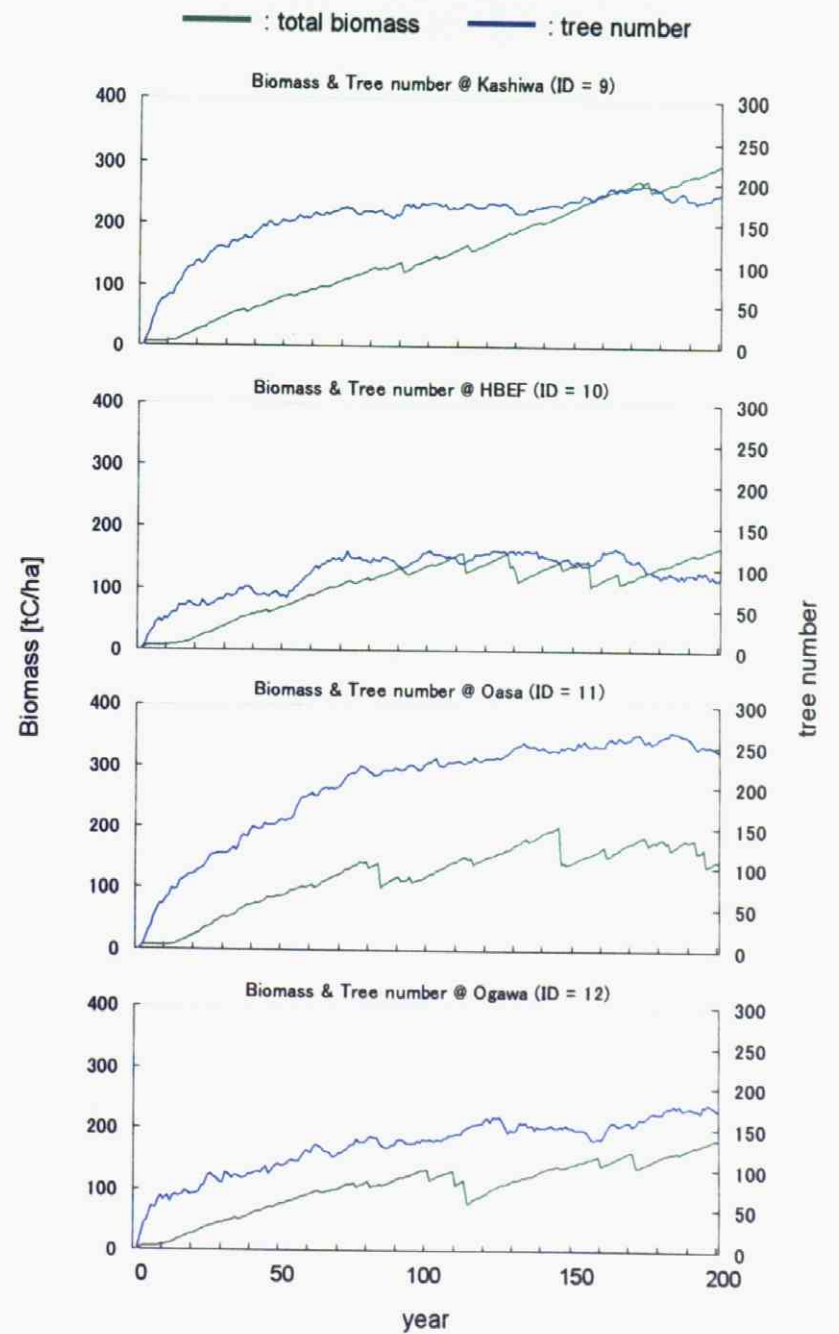


Fig.4-3-③ 各森林区画のバイオマス蓄積量と樹木本数の時系列変化  
(forest ID=9からforest ID=12まで)



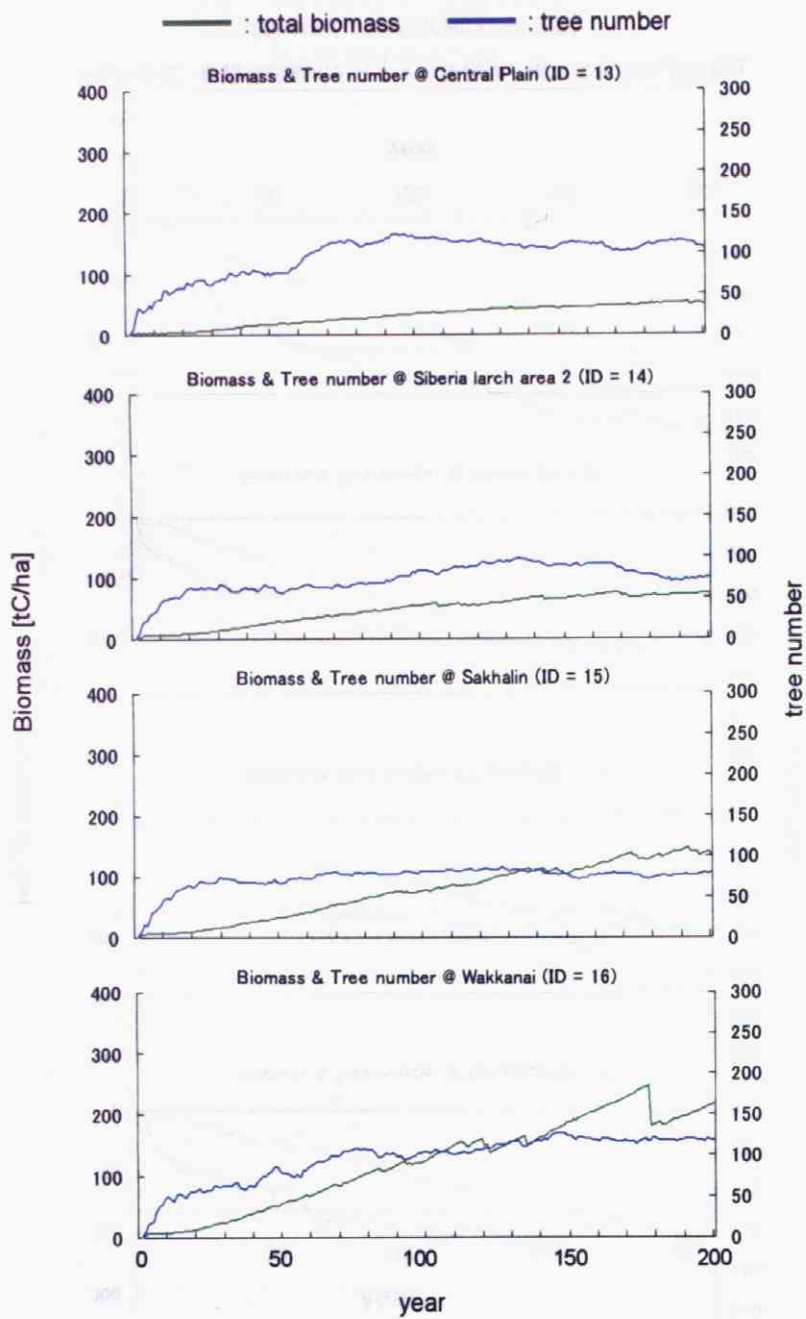


Fig.4-3-④ 各森林区画のバイオマス蓄積量と樹木本数の時系列変化  
 (forest ID=13からforest ID=16まで)

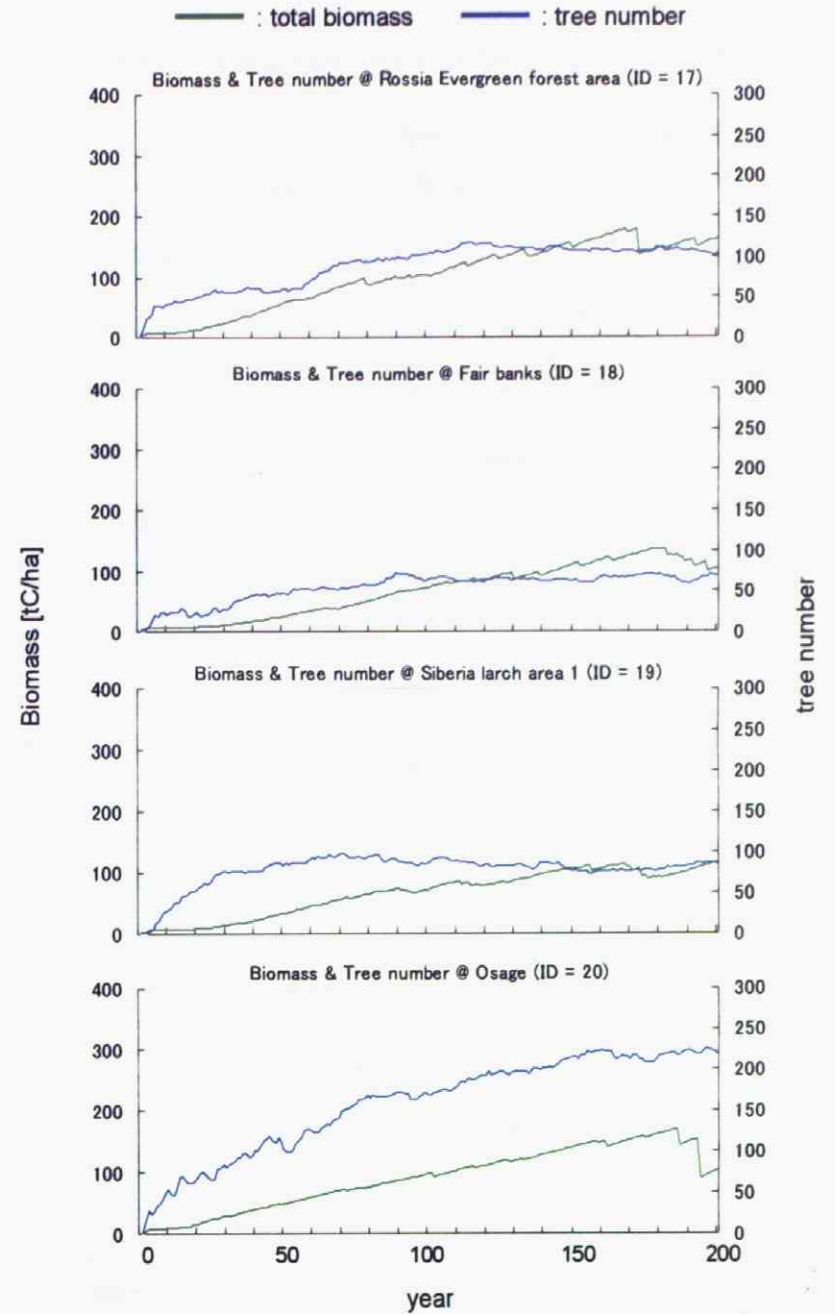


Fig.4-3-⑤ 各森林区画のバイオマス蓄積量と樹木本数の時系列変化  
 (forest ID=17からforest ID=20まで)

■ PFT=1 
 ■ PFT=2 
 ■ PFT=3 
 ■ PFT=4 
 ■ PFT=5 
 ■ PFT=6 
 ■ PFT=7 
 ■ PFT=8

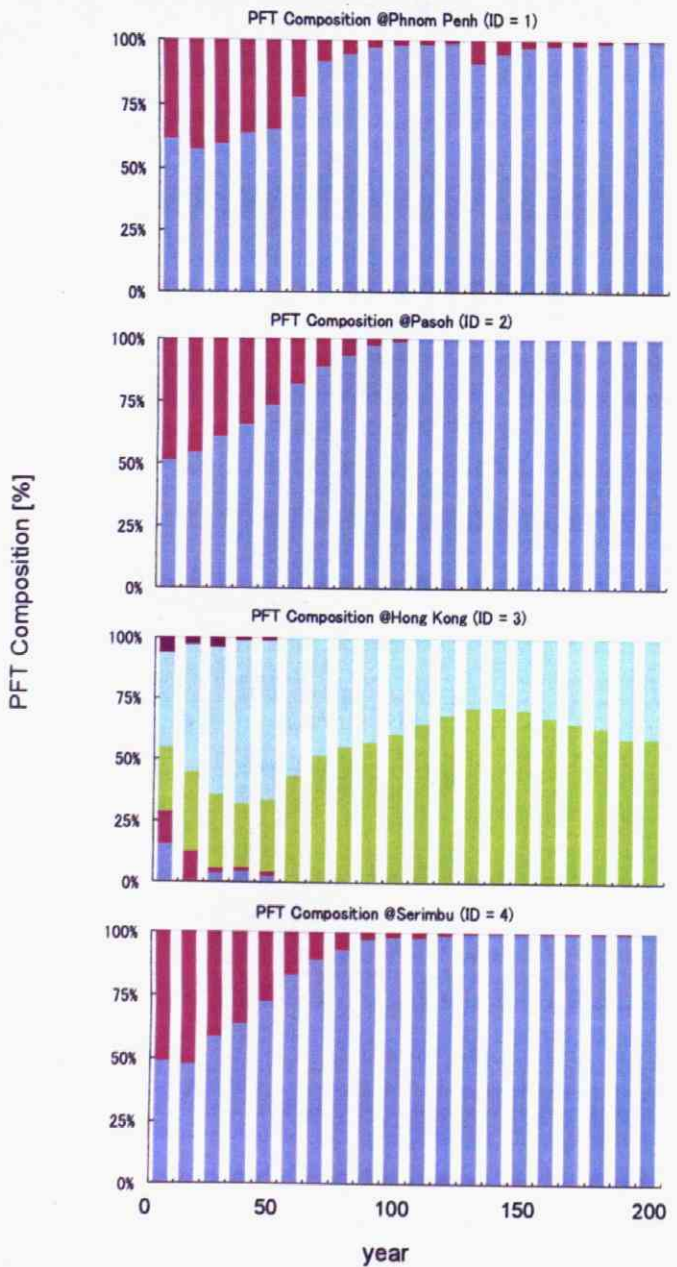


Fig.4-4-① 各森林区画のPFT優占率  
(forest ID=1からforest ID=4まで)

■ PFT=1 
 ■ PFT=2 
 ■ PFT=3 
 ■ PFT=4 
 ■ PFT=5 
 ■ PFT=6 
 ■ PFT=7 
 ■ PFT=8

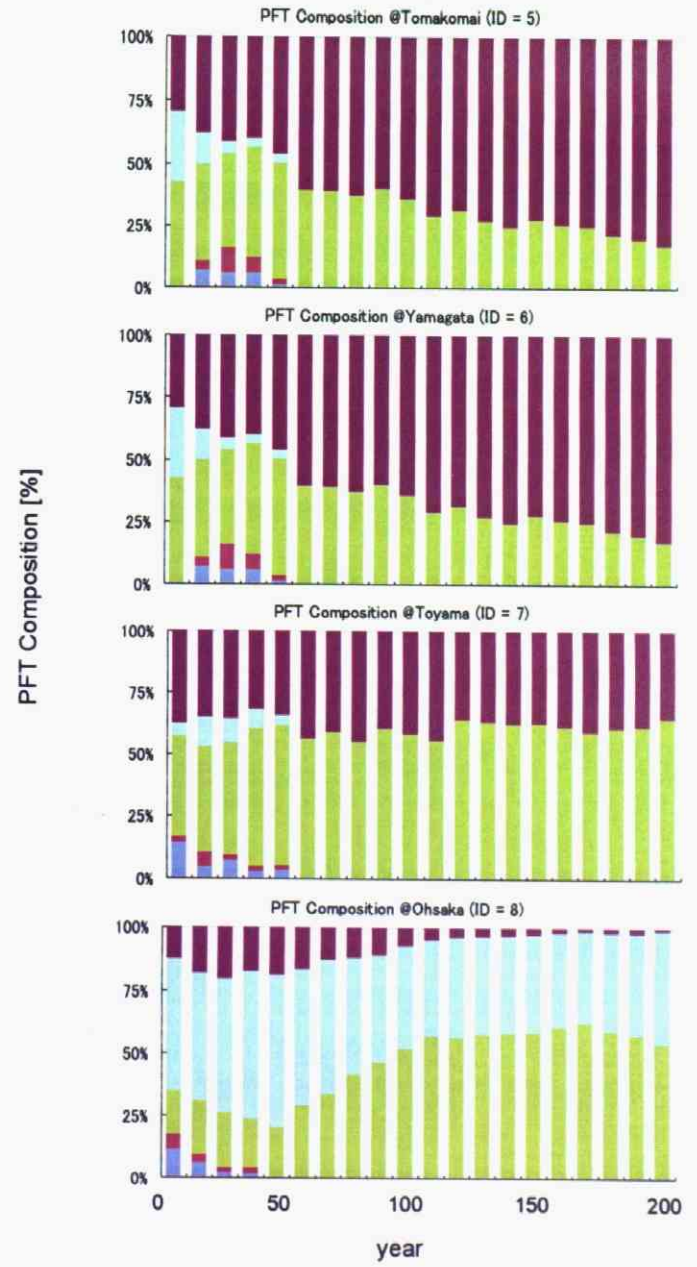


Fig.4-4-② 各森林区画のPFT優占率  
(forest ID=5からforest ID=8まで)

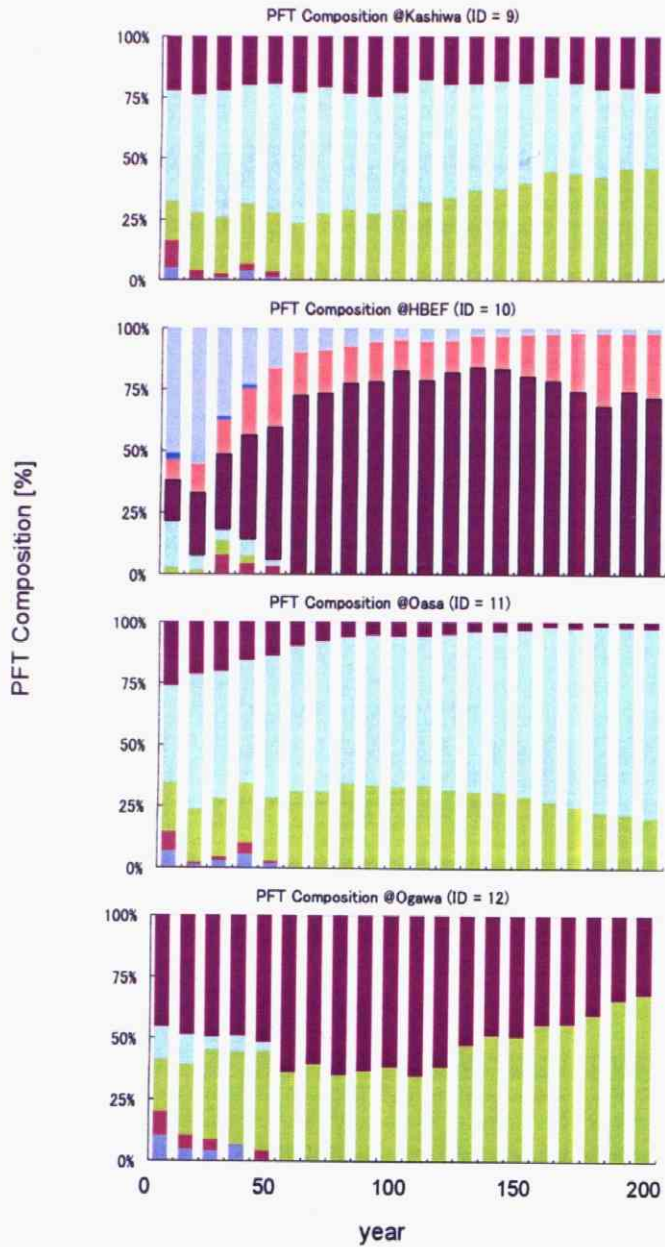
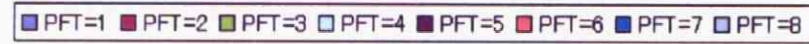


Fig.4-4-③ 各森林区画のPFT優占率  
(forest ID=9からforest ID=12まで)

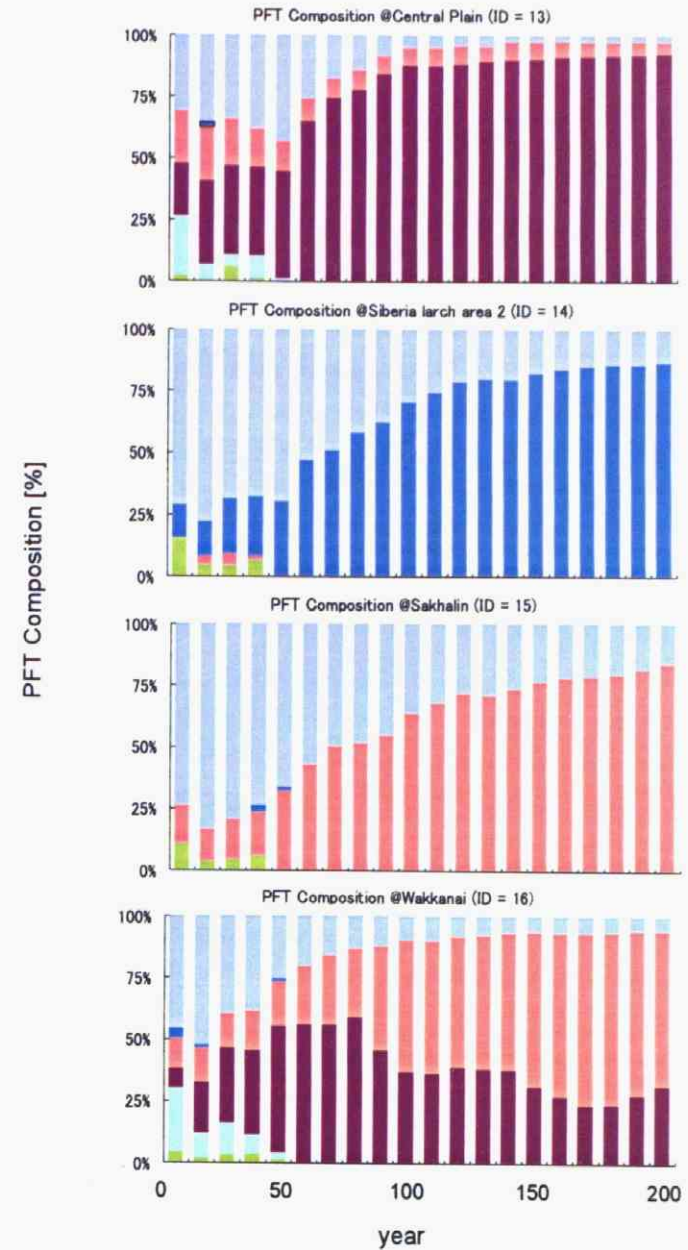
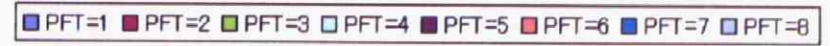


Fig.4-4-④ 各森林区画のPFT優占率  
(forest ID=13からforest ID=16まで)

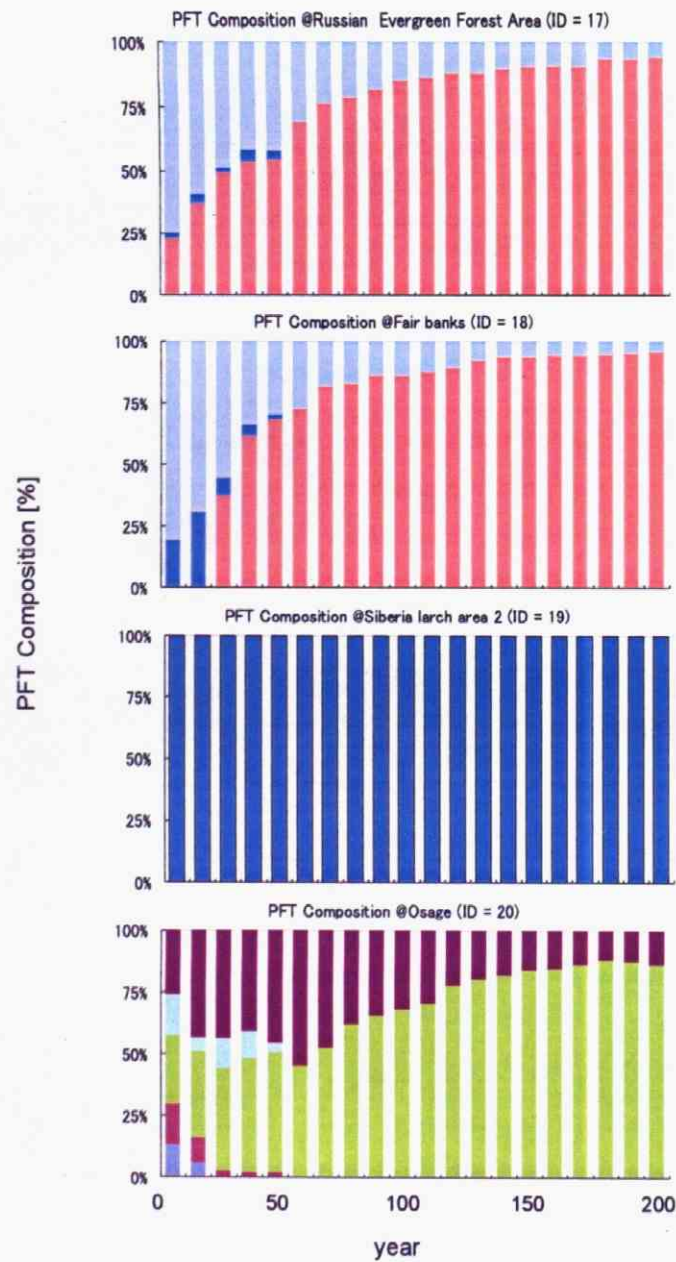
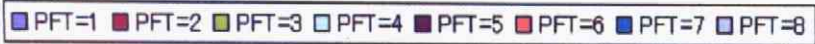


Fig.4-4-⑤ 各森林区画のPFT優占率  
(forest ID=17からforest ID=20まで)

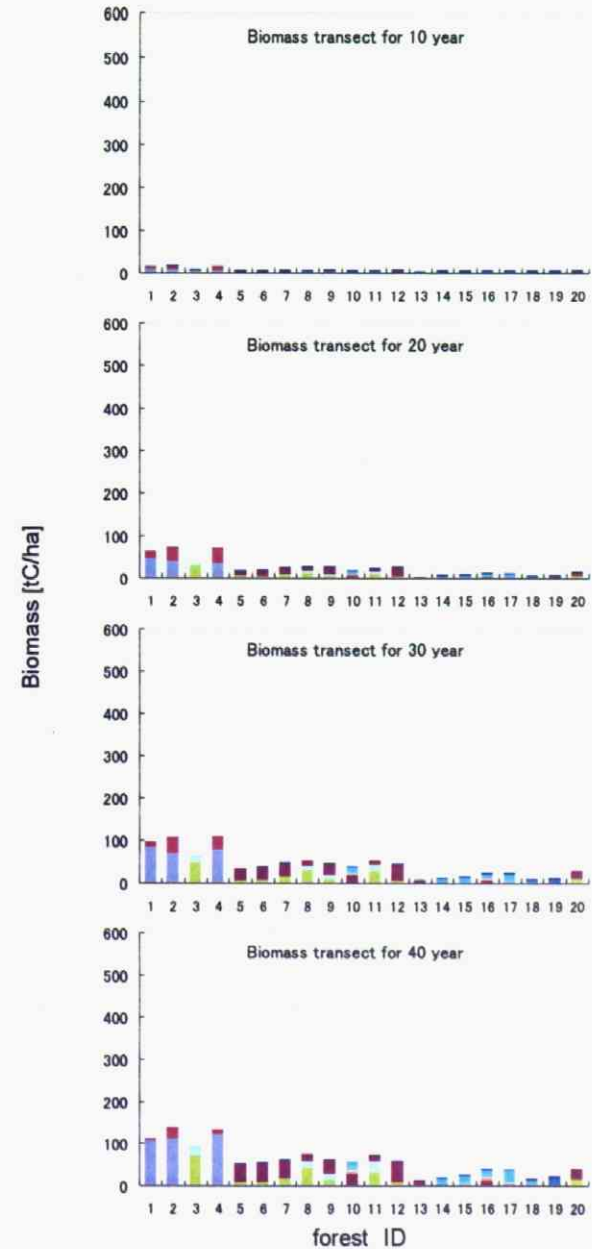


Fig.4-5-① 各森林区画のバイオマスランセクト 全世界ver.  
(10年目から40年目まで)

PFT=1 PFT=2 PFT=3 PFT=4 PFT=5 PFT=6 PFT=7 PFT=8 PFT=9(C3 grass) PFT=10(C4 grass)

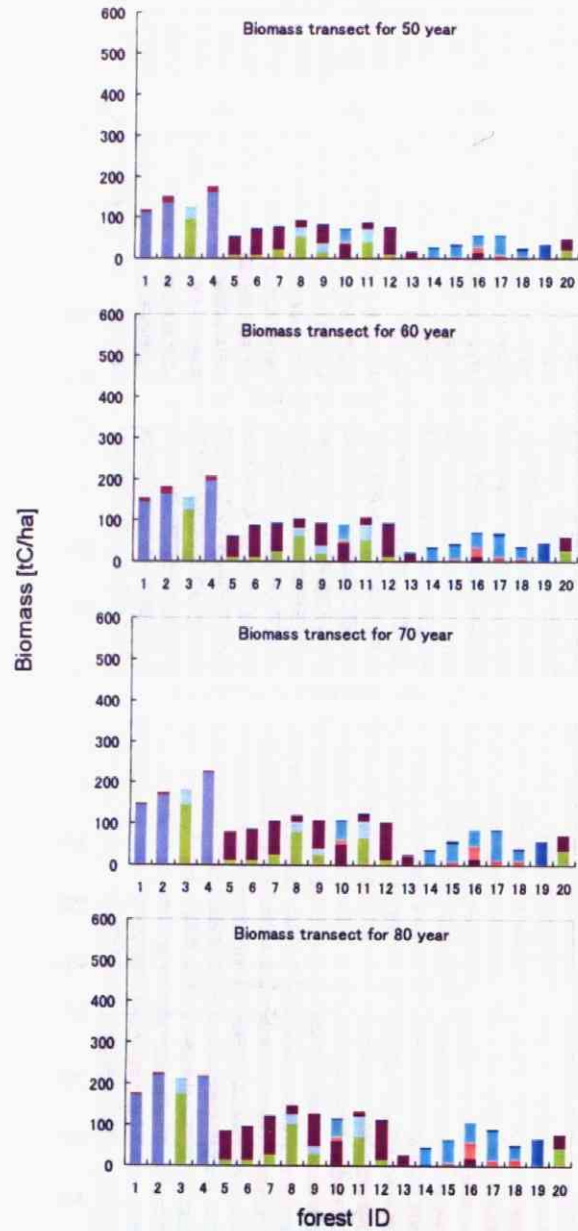


Fig.4-5-② 各森林区画のバイオマストランセクト 全世界ver.  
(50年目から80年目まで)

PFT=1 PFT=2 PFT=3 PFT=4 PFT=5 PFT=6 PFT=7 PFT=8 PFT=9(C3 grass) PFT=10(C4 grass)

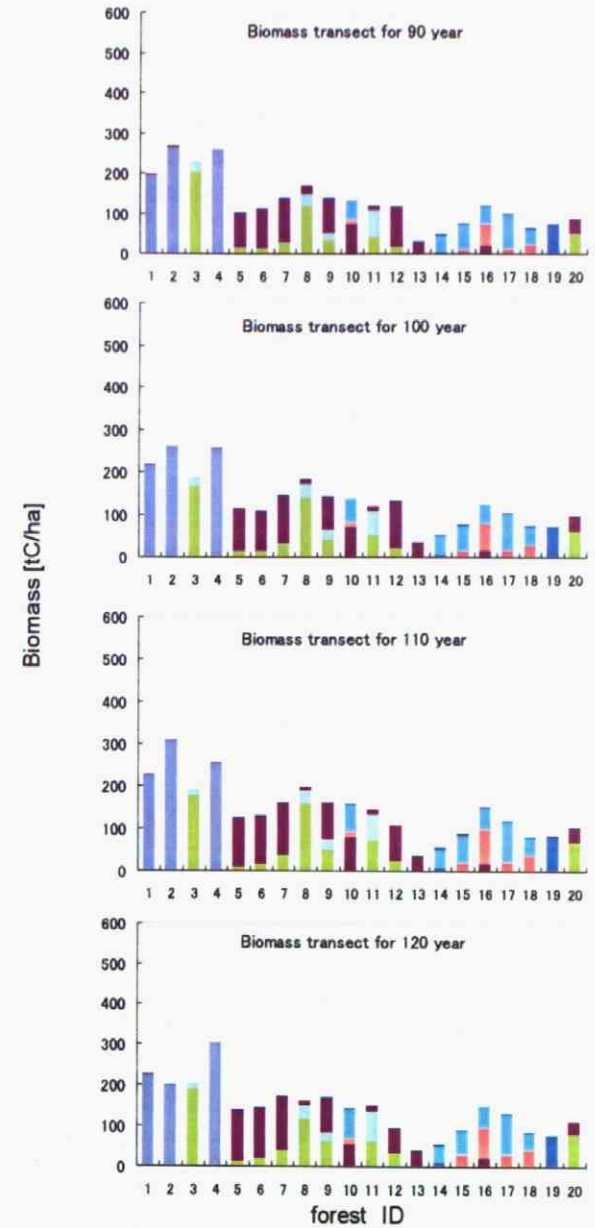


Fig.4-5-③ 各森林区画のバイオマストランセクト 全世界ver.  
(90年目から120年目まで)

■ PFT=1 ■ PFT=2 ■ PFT=3 ■ PFT=4 ■ PFT=5 ■ PFT=6 ■ PFT=7 ■ PFT=8 ■ PFT=8(C3grass) ■ PFT=(C4grass)

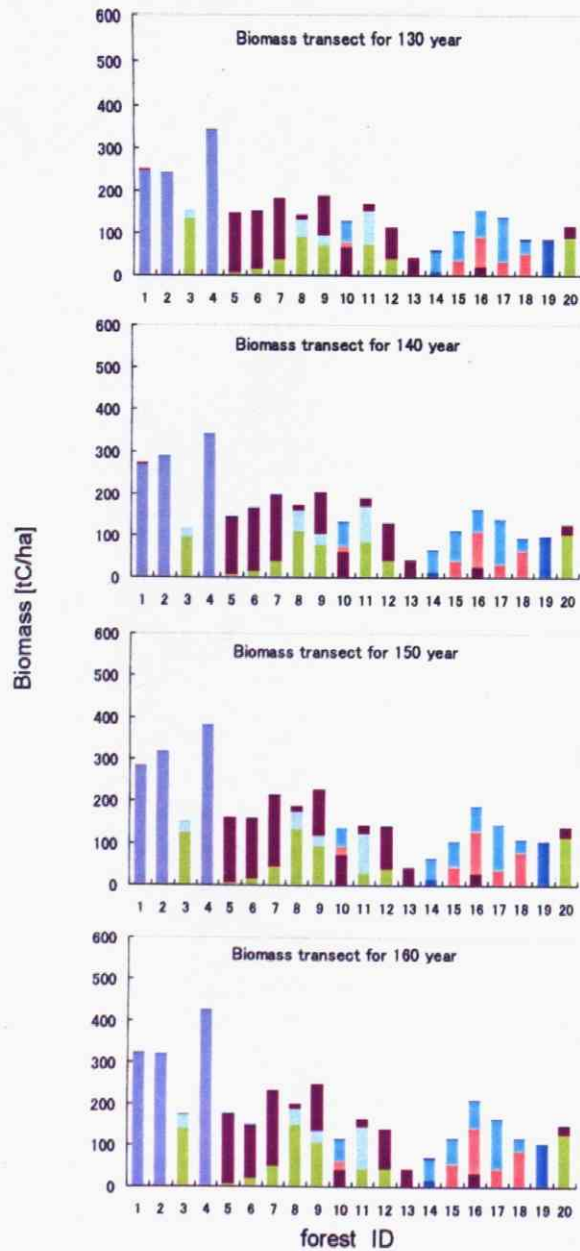


Fig.4-5-④ 各森林区画のバイオマスランセクト 全世界ver.  
(130年目から160年目まで)

■ PFT=1 ■ PFT=2 ■ PFT=3 ■ PFT=4 ■ PFT=5 ■ PFT=6 ■ PFT=7 ■ PFT=8 ■ PFT=8(C3grass) ■ PFT=(C4grass)

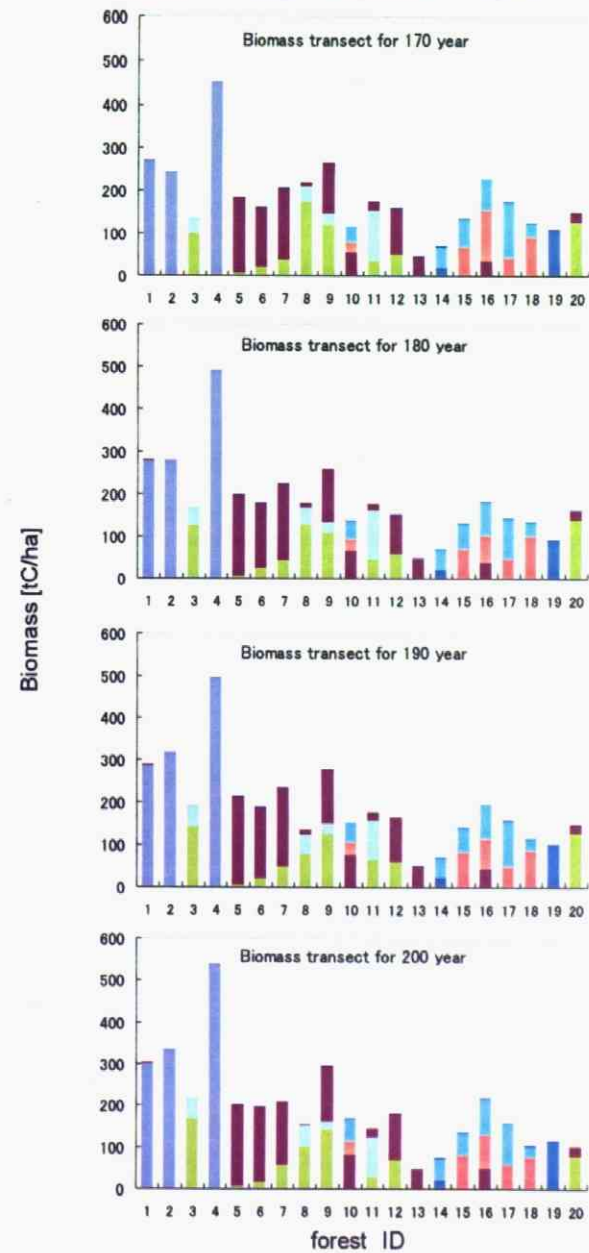


Fig.4-5-⑤ 各森林区画のバイオマスランセクト 全世界ver.  
(170年目から200年目まで)

PFT=1 PFT=2 PFT=3 PFT=4 PFT=5 PFT=6 PFT=7 PFT=8 PFT=9(C3 grass) PFT=(C4 grass)

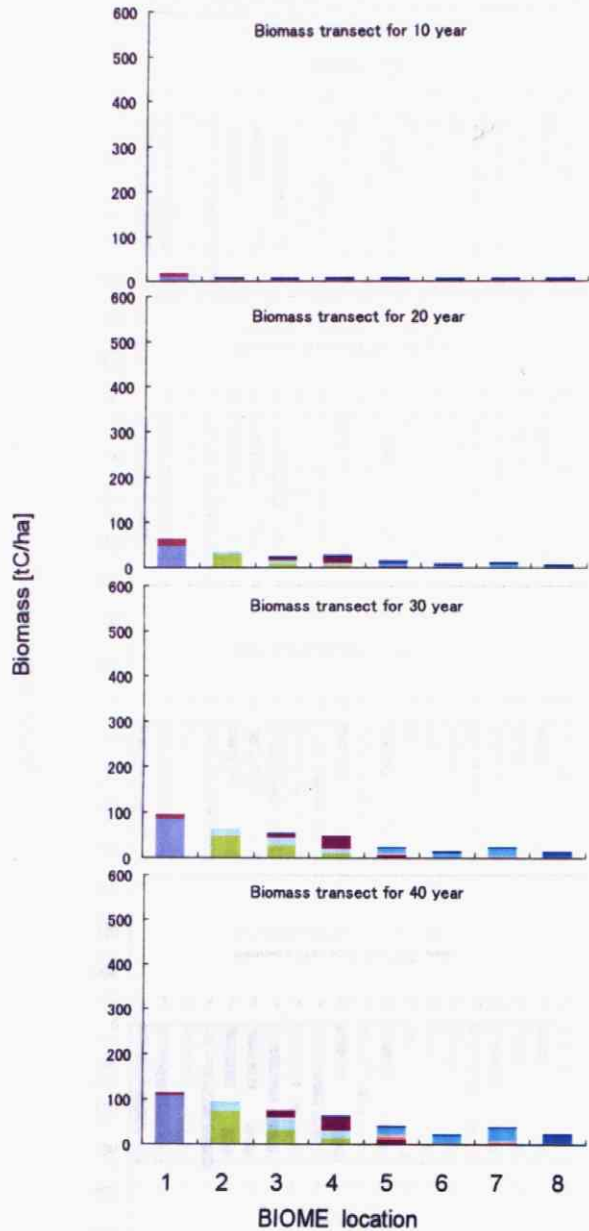


Fig.4-6-① 仮想環境傾度バイオーム I (アジアver.)のバイオマストランセクト  
(10年目から40年目まで)

PFT=1 PFT=2 PFT=3 PFT=4 PFT=5 PFT=6 PFT=7 PFT=8 PFT=9(C3 grass) PFT=(C4 grass)

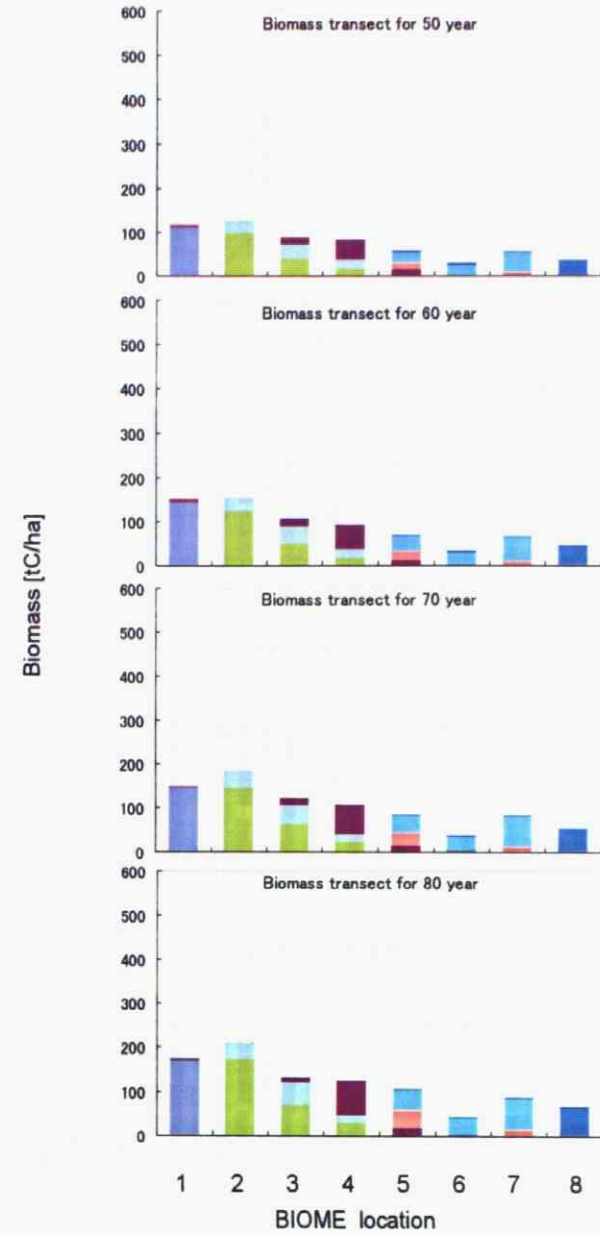


Fig.4-6-② 仮想環境傾度バイオーム I (アジアver.)のバイオマストランセクト  
(50年目から80年目まで)

PFT=1 PFT=2 PFT=3 PFT=4 PFT=5 PFT=6 PFT=7 PFT=8 PFT=9(C3 grass) PFT=(C4 grass)

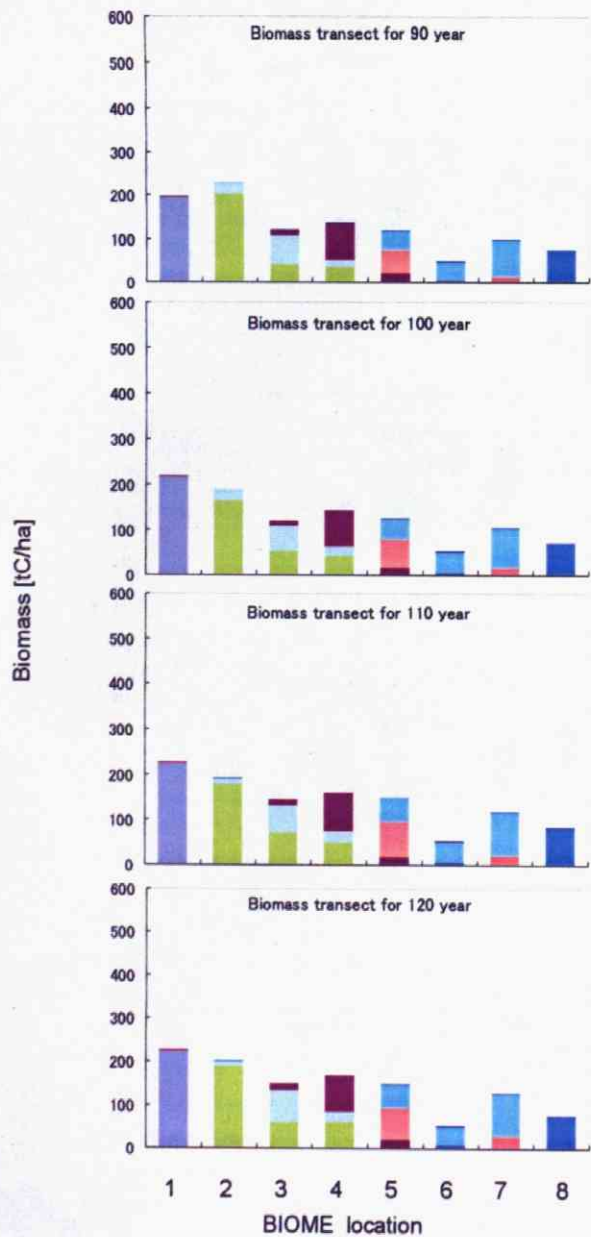


Fig.4-6-③ 仮想環境傾度バイオーム I (アジアver.)のバイオマストランセクト (90年目から120年目まで)

PFT=1 PFT=2 PFT=3 PFT=4 PFT=5 PFT=6 PFT=7 PFT=8 PFT=9(C3 grass) PFT=(C4 grass)

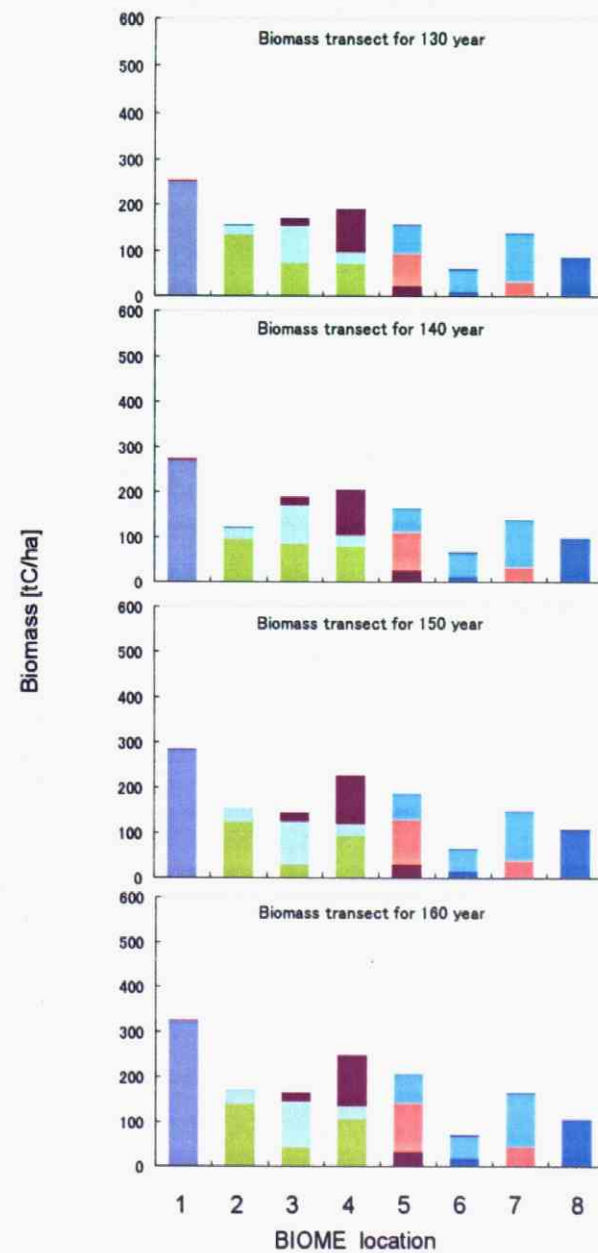


Fig.4-6-④ 仮想環境傾度バイオーム I (アジアver.)のバイオマストランセクト (130年目から160年目まで)