

# GCMと結合される全球植生動態モデルの 高度化と検証

和田英太郎 (海洋研究開発機構)

伊藤昭彦 (国立環境研究所、海洋研究開発機構)

佐藤永 (海洋研究開発機構)

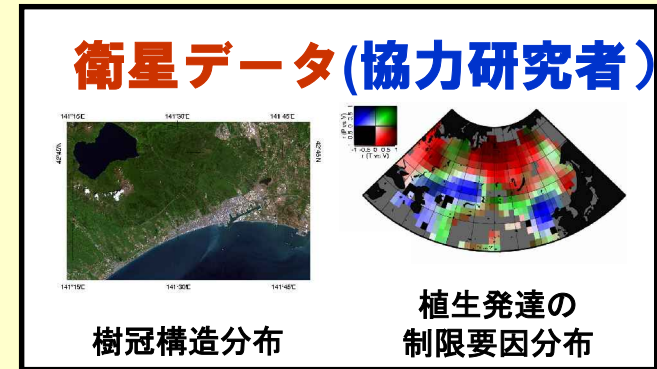
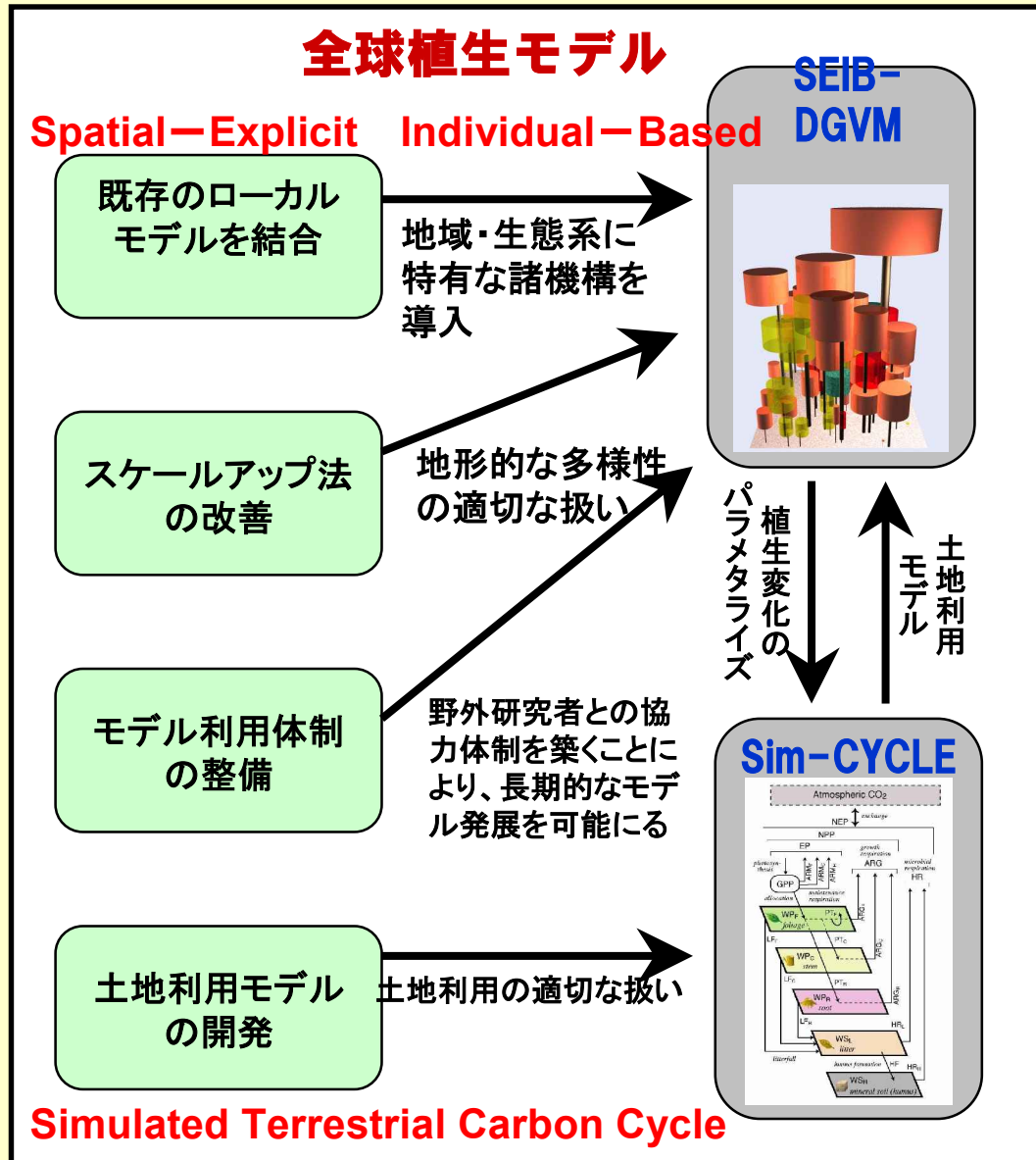
加藤知道 (海洋研究開発機構)



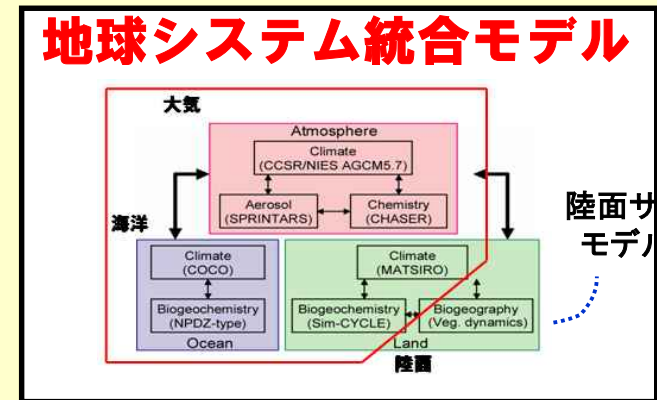
15分+5分

# GCMと結合される全球植生動態モデルの高度化と検証

## 枠組み



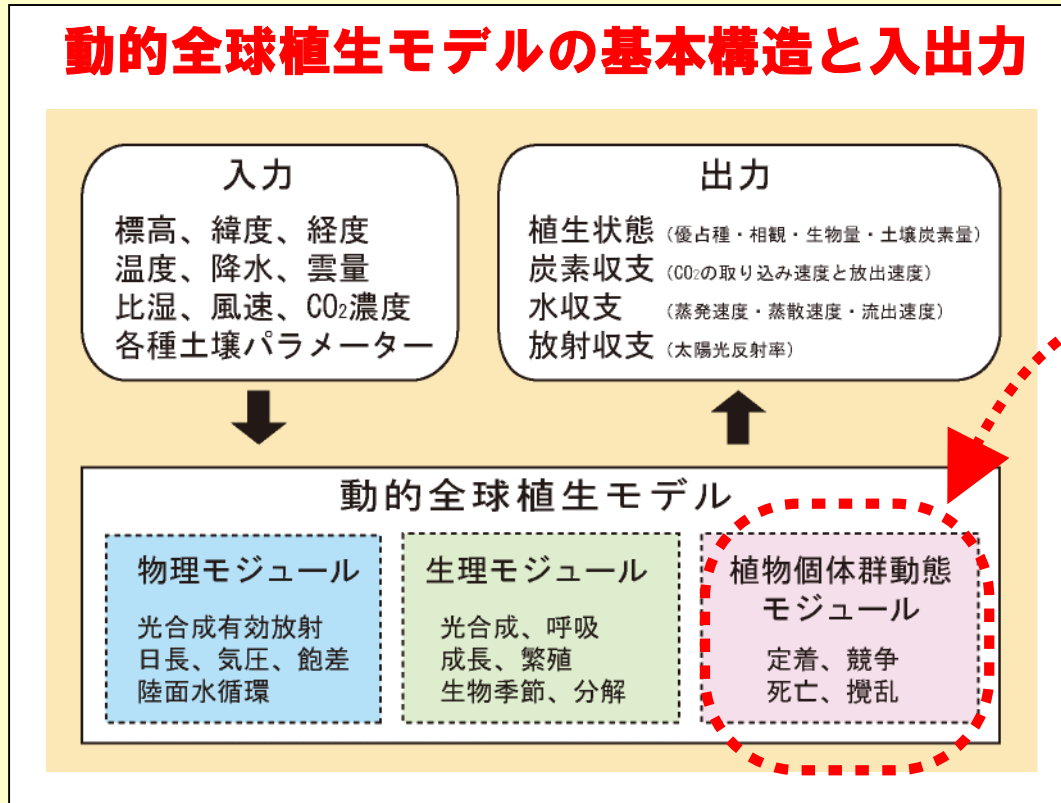
広い地理スケールでの**検証**



高い信頼性を有する陸面サブモデルを結合

# 動的全球植生モデルSEIB-DGVMについて

## 動的全球植生モデルの基本構造と入出力



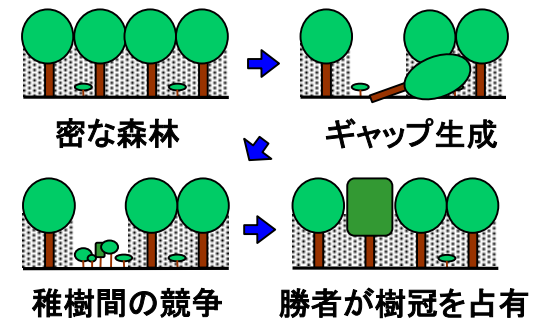
## 植物個体群動態の扱い方

個体ベースで表現された木本が光と空間を求めて局所的に競争する



## その理由

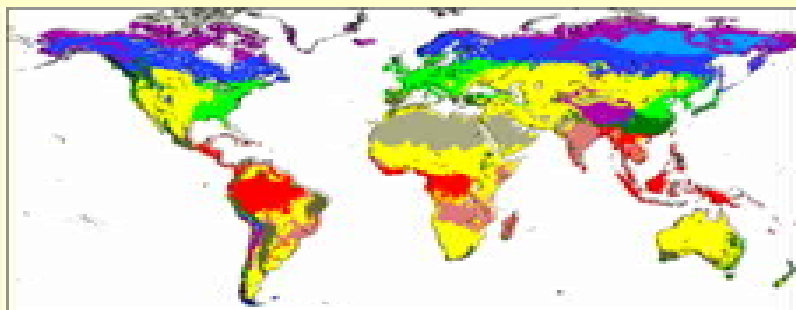
気候変化に対する植生の応答を予測する上で、**局所的な個体間相互作用**は主要な要素なので



個体間相互作用を陽に扱う**世界唯一のDGVM**。既存の植物個体群動態の知見やデータとの親和性が良く、今後大きな発展が期待される。

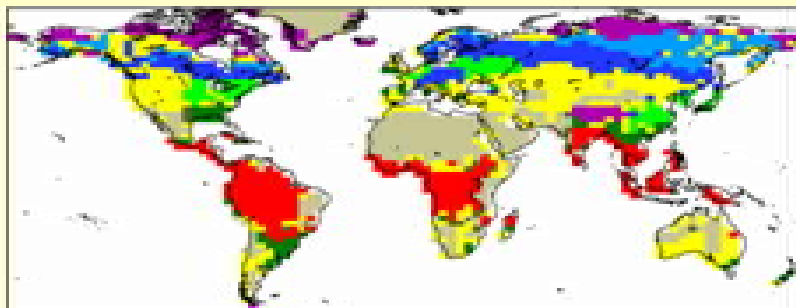
# SEIB-DGVMによる現在植生分布の再現

実測された自然植生分布



- 砂漠
- ツンドラ
- 乾燥林・低木林
- 草原・サバナ・ステップ
- 寒帯性落葉樹林
- 寒帯性常緑樹林
- 温帯性落葉樹林
- 温帯性常緑樹林
- 熱帯性落葉樹林
- 熱帯性常緑樹林

SEIBで再現された植生分布



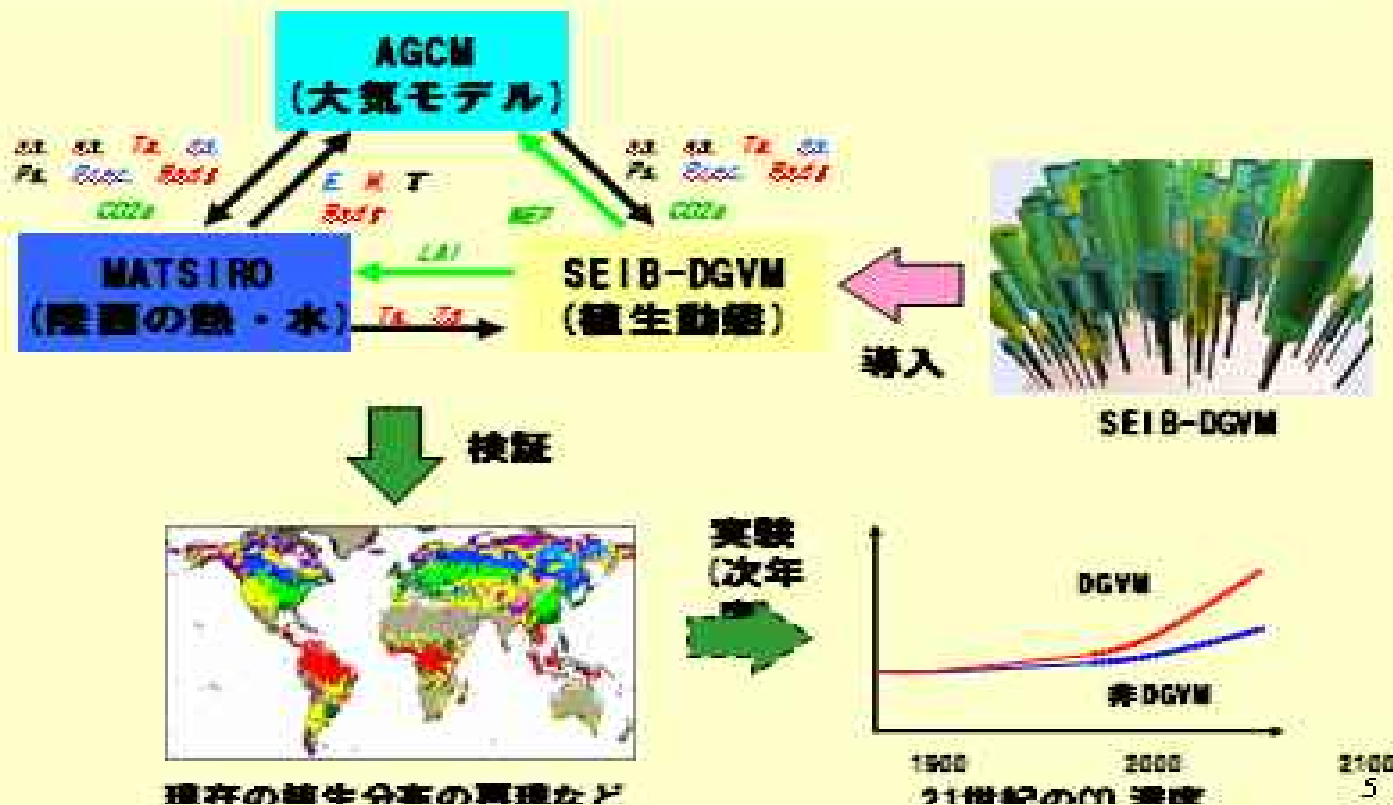
動的全球植生モデル(DGVM)の業界水準の中では、悪くない再現度

しかし、熱帯性落葉樹林や疎林帯など、降水量に制限されている植生の再現性が悪い

**+MATSIRO+AGCM  
現在進行中**

	<b>SEIB-DGVM</b>	
Biomass (Pg C)	<b>630</b>	500-950
Soil Organic Matter (Pg C)	<b>1006</b>	850-1200
NPP (Pg C yr <sup>-1</sup> )	<b>47</b>	45-60
Runoff water (10 <sup>12</sup> m <sup>3</sup> yr <sup>-1</sup> )	<b>45</b>	35-46

### 3. SEIB-DGVMのGCMへの結合



#### 結合モデル開発の進捗状況

- ① プログラム上の結合は完成、コンパイルは可能
- ② 現在は、プログラムバグを修正中
- ③ 安定した初期値を得るための、オフラインスピナップの方法を構築

## SEIB-DGVMの期待される成果 例1: 植生分布の変化予測

### SEIB-DGVMによる植生変化予測 (方法)

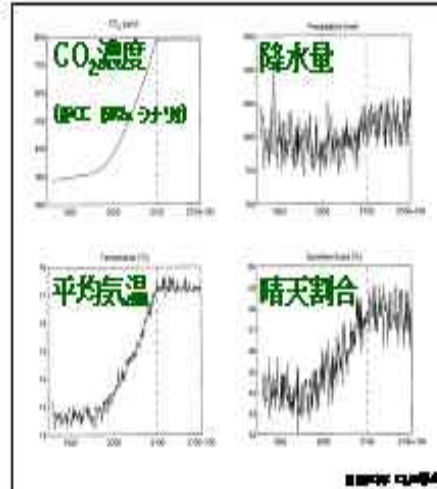
産業革命以前の気候・CO<sub>2</sub>濃度を入力して500年間のスピニングアップを実行



HADCM2 CLの出力(右図)を利用して、2100年までシミュレーションを実行

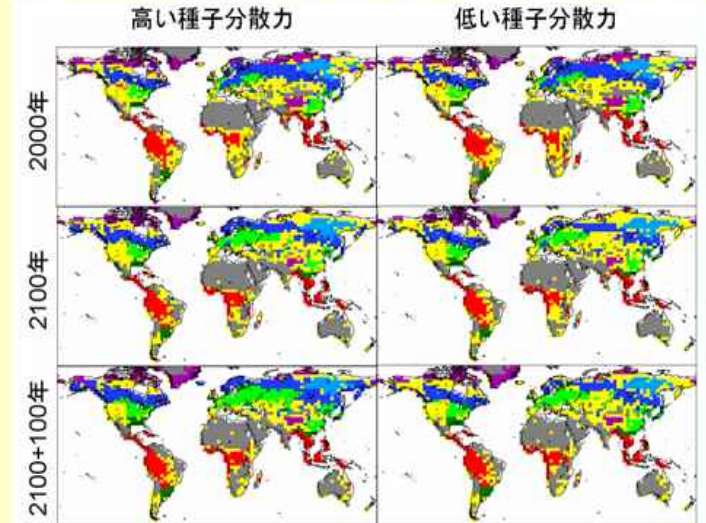


2100年で環境条件を固定し、さらに100年間のシミュレーションを実行(生態系の反応における“慣性”を調べるため)



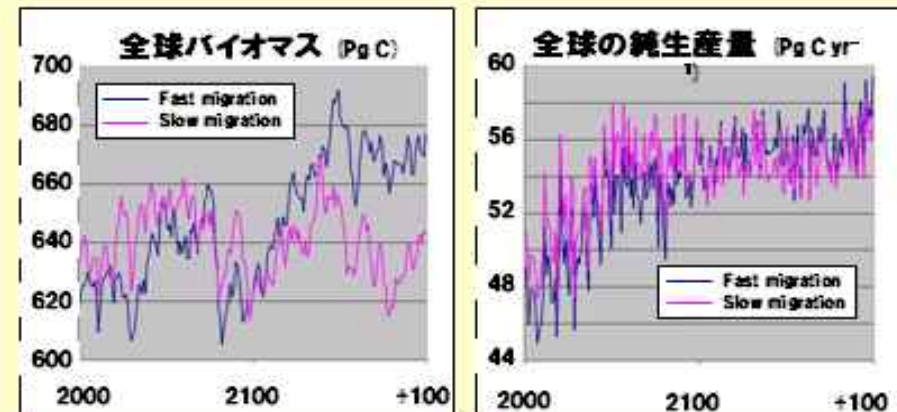
2種類の種子分散シナリオにおいてシミュレーションを行った

	Deterministic な定着成分	Stochastic な定着成分	
高い種子分散力	90%	10%	Deterministicな定着成分: 各プロットにおける生物量に比例して、各植物機能型の定着率が決定される
低い種子分散力	99.9%	0.01%	Stochasticな定着成分: 定着可能な全ての植物機能型が、同じ定着率を持つ



低い種子分散力の元では、植生変化が気候変化に追従できず、疎林帯の分布域(黄色の地域)が拡大するという予測が得られた

### SEIB-DGVMによる植生変化予測(植生機能)

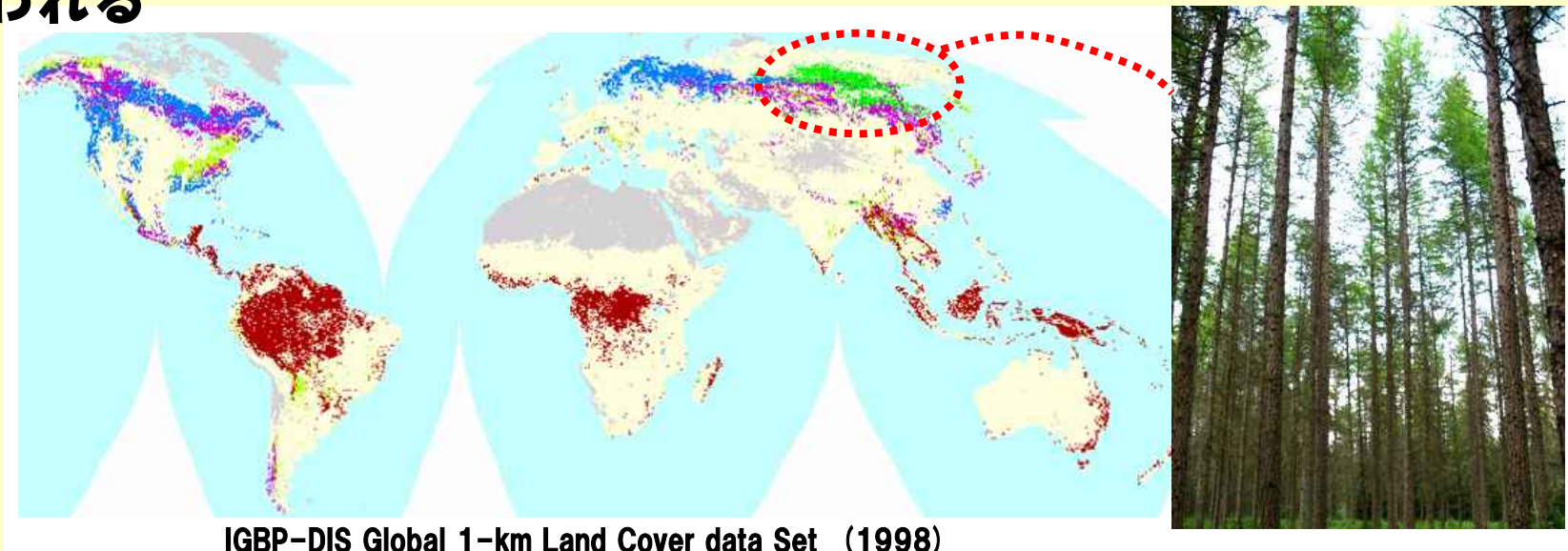


このようなシミュレーション出力は、植生変化への人為的関与のあり方について、提言を行う基礎となることが期待される。

# 1. 動的全球植生モデルSEIB-DGVMの高度化

**東シベリアのカラマツ林帯**は世界で最も広大な針葉樹林帯である

また、温暖化は高緯度でより強く生じると予測されており、この植生帯は、今後、全球スケールの炭素収支に大きく影響すると思われる



**【目的】 SEIB-DGVMを、東シベリアのカラマツ林に対して高度化する**

# SEIB-DGVMを、東シベリアのカラマツ林に対して高度化する

## モデル構造の変更 (パラメーター)

ヤクーツク近郊のカラマツ林で測定されたパラメーターを収集した

### パラメーター

### 引用元

パラメーター	引用元
最大光合成速度	Koike et al. (2000)
その他の光合成パラメーター	Itou (2005)
成長呼吸速度	Itou (2005)
各組織の窒素含量 (維持呼吸速度に関連する値)	Schulze et al. (1999)
Specific leaf area	Shirota et al. (2004)
葉と細根のバイオマス比	Kajimoto et al. (1999)
辺材の深さ	Schulze et al. (1999)
細根のturnover頻度	Matamala et al. (1999)

## モデル構造の変更 (関係式)

カテゴリー	従属変数	独立変数	引用元
長さの比	最大樹高	← 胸高直径	Yabuki personal comm.
	樹冠の直径	← 胸高直径	Yabuki personal comm.
生物量	葉の生物量	← 胸高直径	Schulze et al. (1995)
	幹の生物量	← 胸高直径	Schulze et al. (1995) Kajimoto et al. (2006)
	Growth reduction	← 胸高直径	—
生物季節	展葉の開始日	← 気温	Picard et al. (2005)
	落葉の開始日	← 気温	—

← 観測データに基づいた回帰式      ← 仮定

9

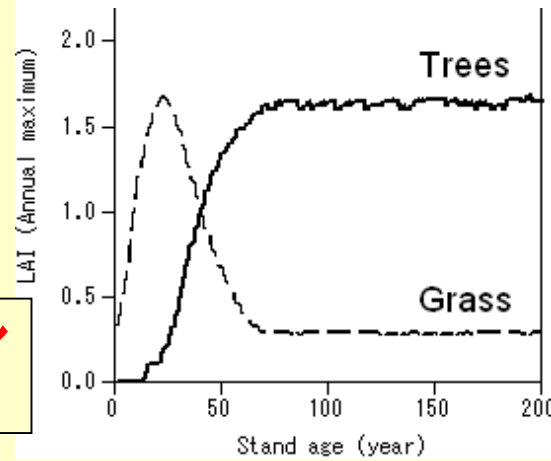


# 植生モデルSEIB-DGVMのシベリアカラマツ林帯への適用

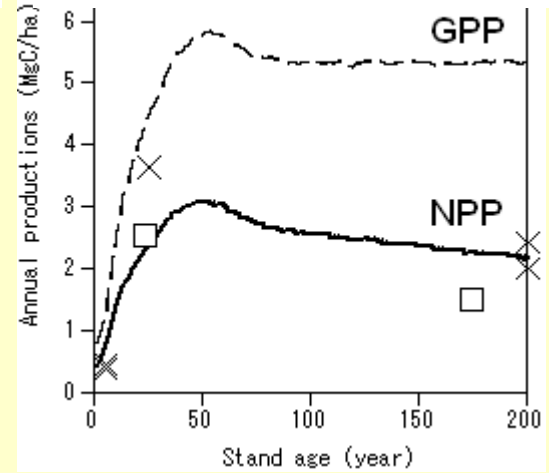
## ヤクーツクにおける 森林火災後200年間の 植生動態

— : シミュレーション  
●□▲× : 観測値

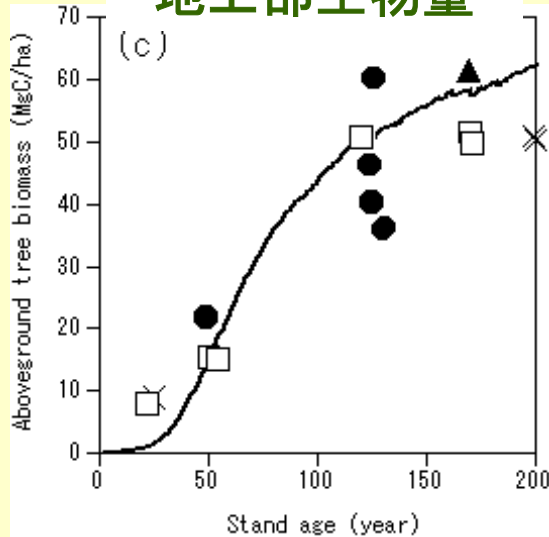
### 葉面積指数(年最大値)



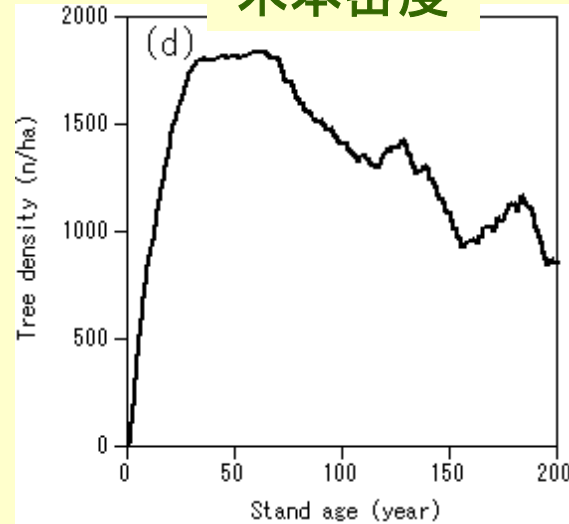
### GPP & NPP (年合計)



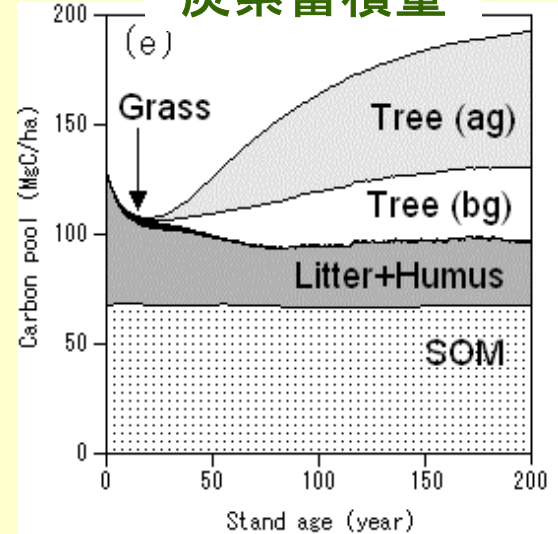
### 地上部生物量



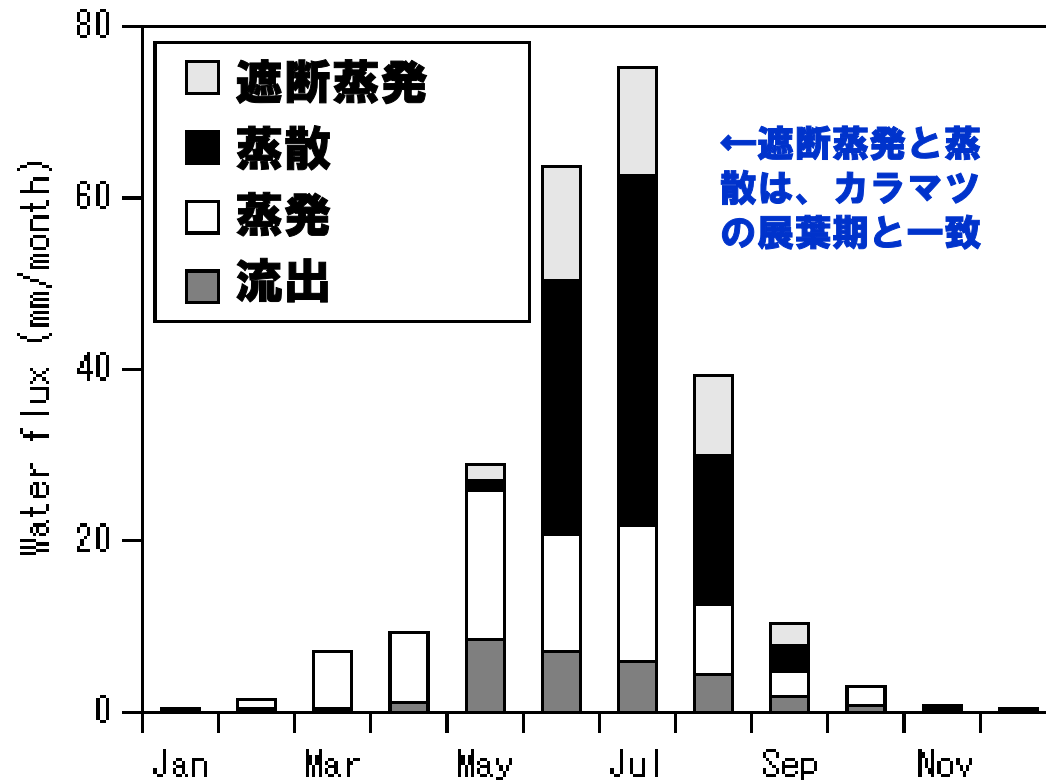
### 木本密度



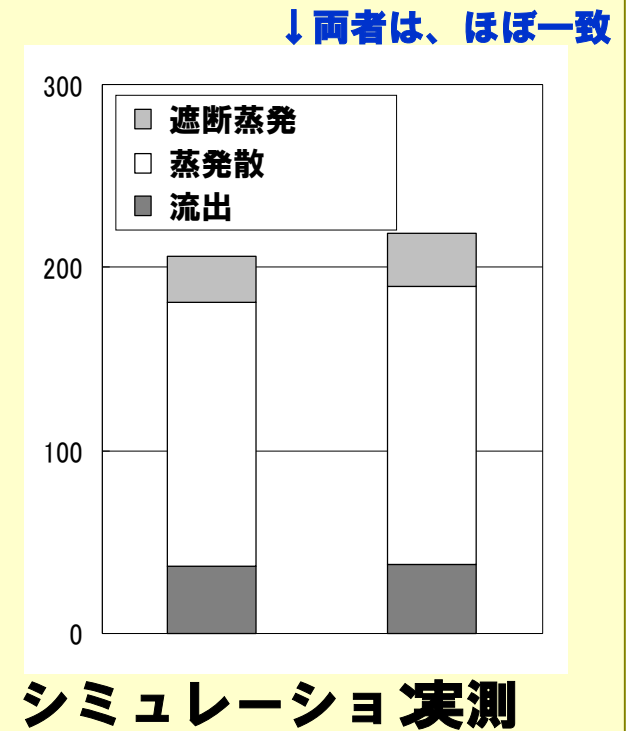
### 炭素蓄積量



## 水フラックスの季節変動 (@成熟林)



## 成長期間中の水フラックス集計値 (@成熟林)



ヤクーツク周辺における水フラックスを妥当に再現した

# 東シベリアのカラマツ林の葉面積推定（LAI）

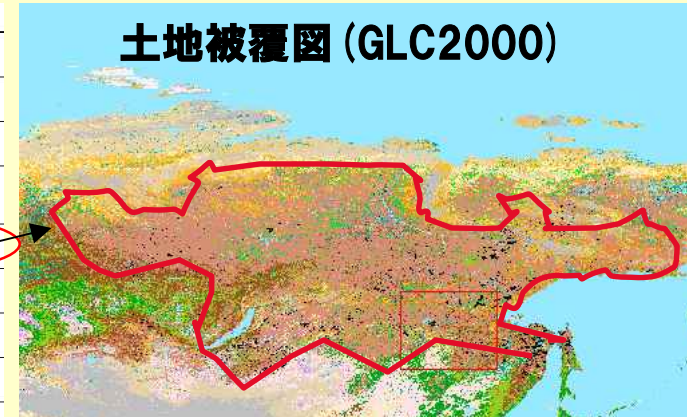
## 東シベリア・カラマツの重要性

- ・ 落葉針葉樹
- ・ シベリアの森林の約50%でカラマツが優先
- ・ 気候変動によりフェノロジーの変化や森林火災が発生
- ・ 既存広域LAIデータセットの精度が悪い（100-150%の誤差も）

Forest	
	Tree Cover, broadleaved evergreen
	Tree Cover, broadleaved deciduous, closed
	Tree Cover, broadleaved deciduous, open
	Tree Cover, needle-leaved evergreen
	Tree Cover, needle-leaved deciduous
	Tree Cover, mixed leaf type
	Mosaic: Tree cover / Other natural vegetation
	Tree Cover, burnt

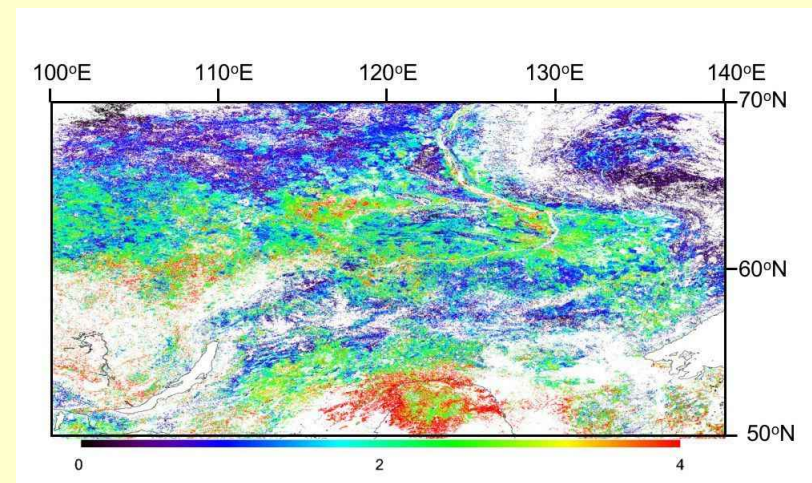
Snow and Ice	
	Snow and Ice



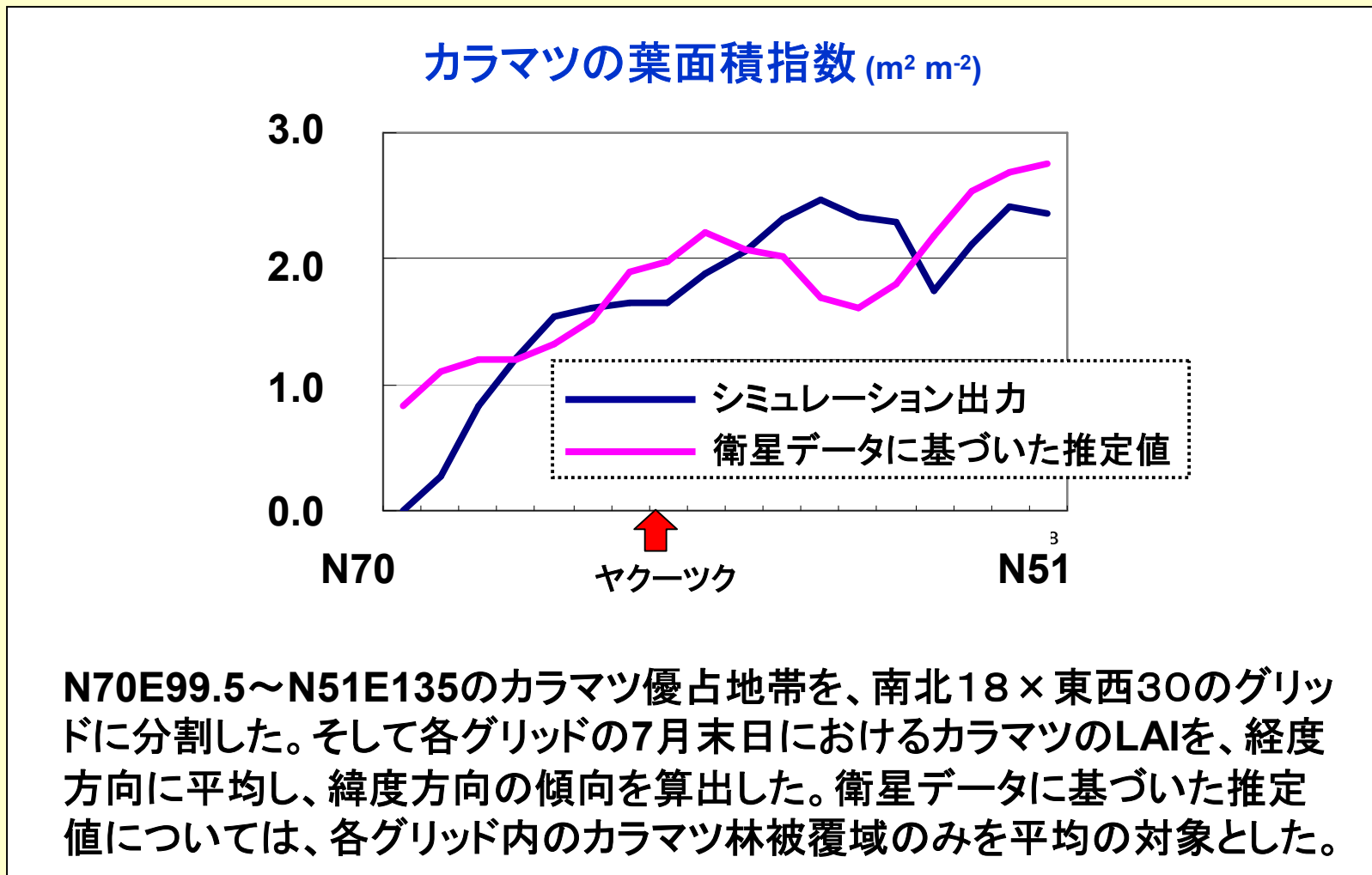
## LAI 推定のアプローチ開発

1. 植生放射伝達モデル (FLiES) で衛星データとカラマツLAIとの関係式を作成
2. 現場データとの比較により精度の検証
3. 東シベリアのカラマツのLAIの季節変化を10日間平均の時間分解能で推定

## LAI推定図（2000年7月21-31日平均値）



# 地理的スケールアップ



SEIB-DGVMは、葉面積指数の緯度方向の構造を再現した

# 感度分析

All units (%)

	木本密度	平均 DBH	葉面積指数 (7月31日)	NPP	木本の生物量	草本の生物量	土壌中の炭素	流出水量
気温 +3°C	+36	-63	-40	-27	-31	-11	-26	-8
地温 +3°C	+6	-88	-97<	-64	-99.5	+129	-61	+268
降水 +30%	-31	+105	+9	+18	+32	+7	+7	+163
湿度 +30%	-19	+79	+9	+20	+34	+11	+13	+14
雲度 +30%	-45	+121	+2	+5	+10	+1	+1	+5
CO <sub>2</sub> 500ppm	-29	+115	+12	+33	+45	+52	+31	+34

入力気象データにおける年平均地温は-2.6°C。3°Cの地温上昇は永久凍土を融解させ、土壌水の保持能力を低下させることで、森林生態系を崩壊させた

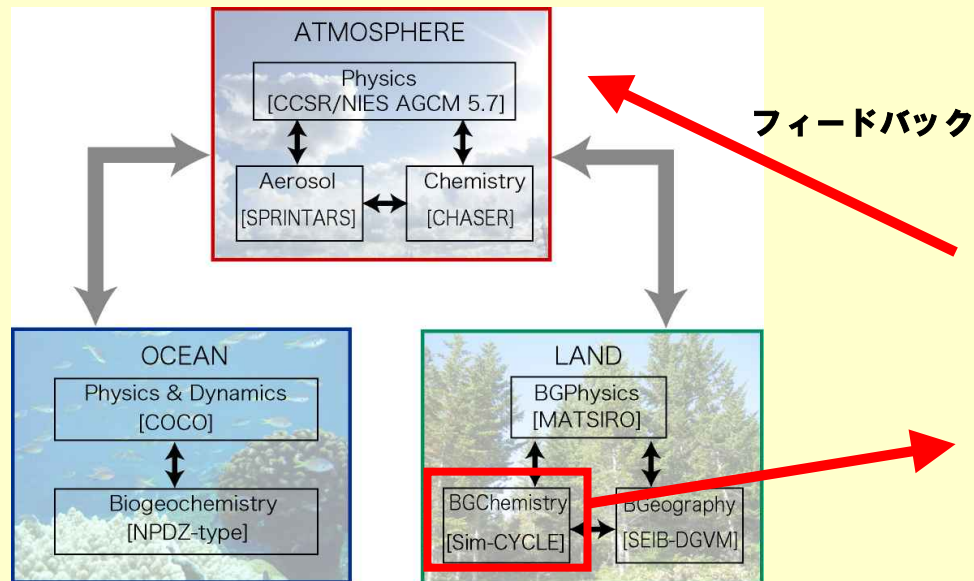
- 小さな木本からなる密な森林（生産力小）
- 寒帯草原（非常に低い生産力）
- 大きな木本からなる疎な森林（生産力大）

年降水量が僅か200~300mmの東シベリアにおいて、永久凍土の消失は、森林生態系の存続を難しくする、という結果が得られた

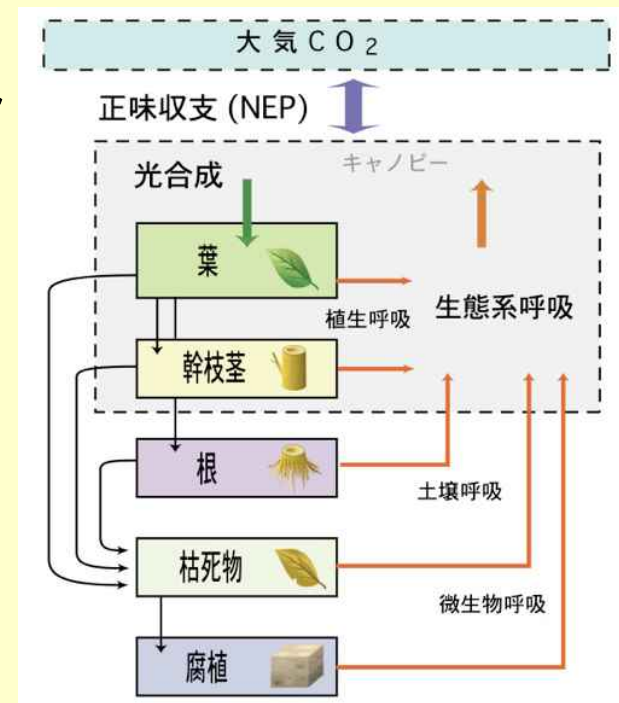
## 2. Sim-CYCLEの高度化

【目的】 シンプルな陸域生態系モデルSim-CYCLEを、土地利用変化などの攪乱プロセスについて高度化する。それにより、地球システムモデルにおける炭素循環フィードバックを高精度化し将来の気候変動予測の信頼性向上に寄与する。

### 地球システムモデル



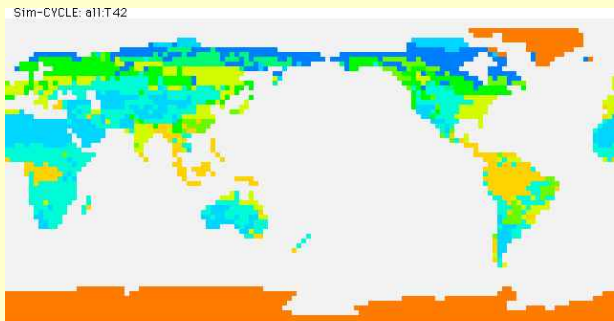
### 陸域炭素循環：Sim-CYCLE



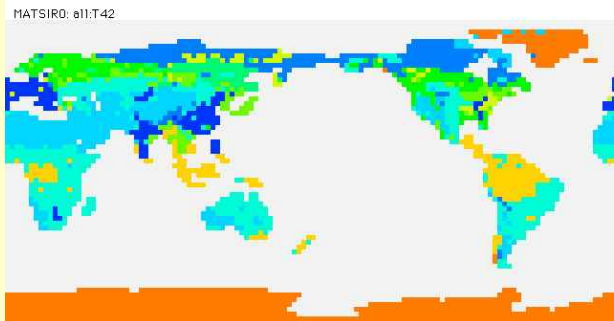
## 2. 土地被覆データの検討

- 地球システムモデルでは物理スキームMATSIRO、炭素循環スキームSim-CYCLE、植生動態スキームSEIBが使用される
- スキーム間の整合性が不十分 → 使用している土地被覆データが異なる
- 土地利用変化への対応に先立って検討しておく必要がある

Sim-CYCLE

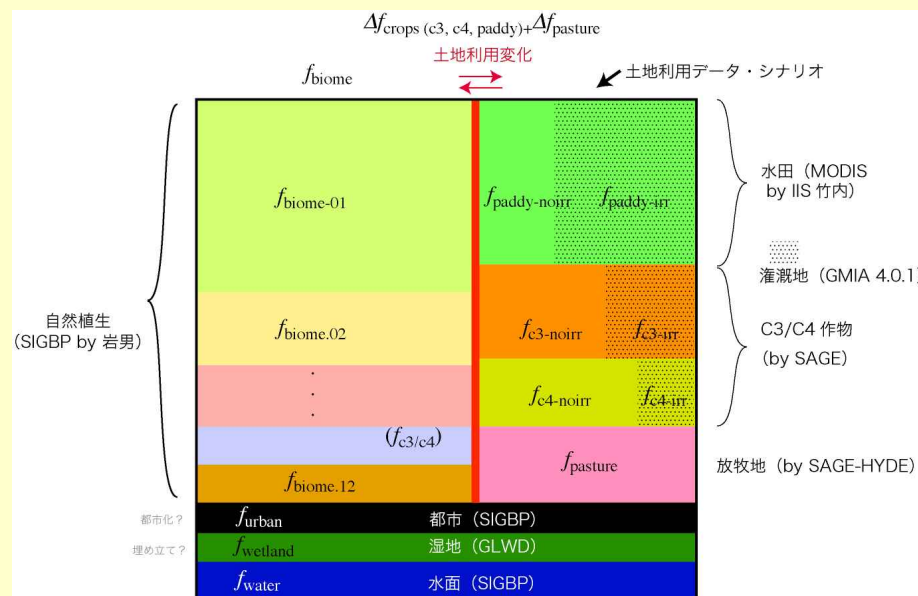


MATSIRO



陸域の多くの地点で異なる  
植生タイプを割当てていた  
(分類は共通化)

## 2. 今後の方針：土地被覆/利用



グリッド内の植被割合を考慮した（モザイク化）土地被覆データの作成

→ 既存の全球高分解能データに基づき、自然植生、農耕地を与える

→ データ共通化へ

### 次年度以降の研究方針

- 土地利用変化（攪乱）が炭素収支に与える影響を扱うよりメカニスティックなスキームについて検討しSim-CYCLE（地球システムモデル）に導入
- 土地利用変化後の植生二次遷移を扱うシンプルなスキームの開発
- off-line実験による感度実験および温暖化影響評価



## 動的全球植生モデル (DGVM)、地域スケールの高分解能炭素循環モデル、個体ベースの森林動態モデルを開発することにより統合モデルを高度化する。

全球規模での気候変動が、植生の分布や多様性の変動に及ぼす影響を評価することをめざし、個体レベルに基づく全球植生変動モデルの開発を進める

1) SEIV=DGVM これまでにDynamic Global Vegetation Model(DGVM)を全球レベルまで開発し現在MATSIRO-AGCMにつなぎ始めた。

2) 動的全球植生モデルSEIB-DGVMを用いて、異なる種子分散条件において温暖化シミュレーションを行った。その結果、これまで全球植生モデルでは考慮されることのなかった種子分散が、未来の全球炭素収支に大きな影響を与えうることが予測された。成果をGlobal Change Biology誌に投稿した。

3) また、SEIB-DGVMを東シベリアのカラマツ林帯に対して適合させるべく拡張を行った（論文執筆中）。このSEIB-DGVMを、気候モデルに結合させるため、モデル間のデータ通信に関するコードを開発した。この作業に関しては、予備的な構築が終了した段階である。

今後

熱帯林、北方林、地形・土壌など



# 5年間のロードマップ

	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目
<b>SEIB-DGVMの高度化</b>					
植物個体群動態コンポーネントの高度化(佐藤)	熱帯域における高度化	寒帯域における高度化		温帯域における高度化	
地形的多様性の扱いの改良(佐藤+新ポストク)	放射・水収支モデルの拡張	拡張の有効性をテスト		全球シミュレーション	とりまとめ
全球における検証・感度分析・気候変動予測実験(佐藤+加藤)	GCMと結合しての感度分析		単体モデルのアンサンブル実験、衛星データを利用した検証・気候変動予測実験		
モデル運用体制の整備(外注業務)	WebSiteと各種ツール、文章類の整備・管理				
<b>Sim-CYCLEの高度化</b> (伊藤)	土地利用変化モデルの導入と検証	Sim-CYCLEのDGVM化	Sim-CYCLEとSEIB-DGVMとの出力比較	気候変化に対する植生分布変化の感度実験	GCMとの結合実験、とりまとめ



# DGVMのde facto standardとなることを目指して

## 目指すべき研究スキーム

SEIB  
開発チーム

コードと技術的助言

野外研究者

モデル構造やパラメーターに関する提案



WebSiteを開設し、  
モデル本体、各種  
ツール、技術資料  
などを公開している

## これまでの活動



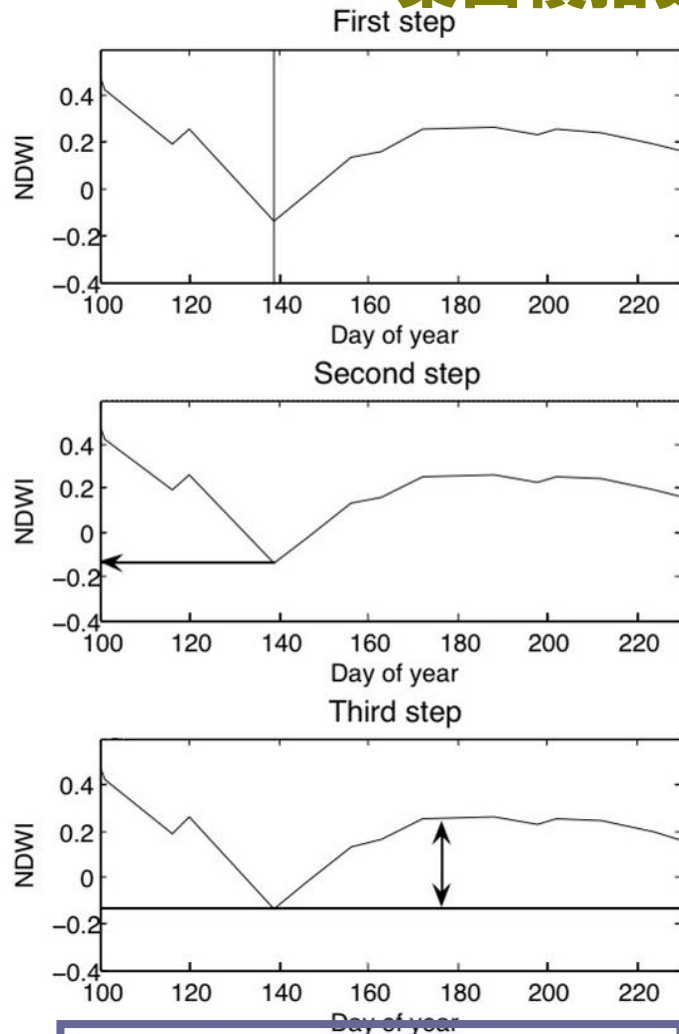
直感的に操作で  
き高機能なData  
Viewerを開発し  
配布している

モデルの信頼性を上げるためには、モデル研究者と野外生態学者が、それぞれの得意分野を生かしながら、双方が利益を得るための体制を整備することが必要である。そこで、これまでの活動を発展継承する。

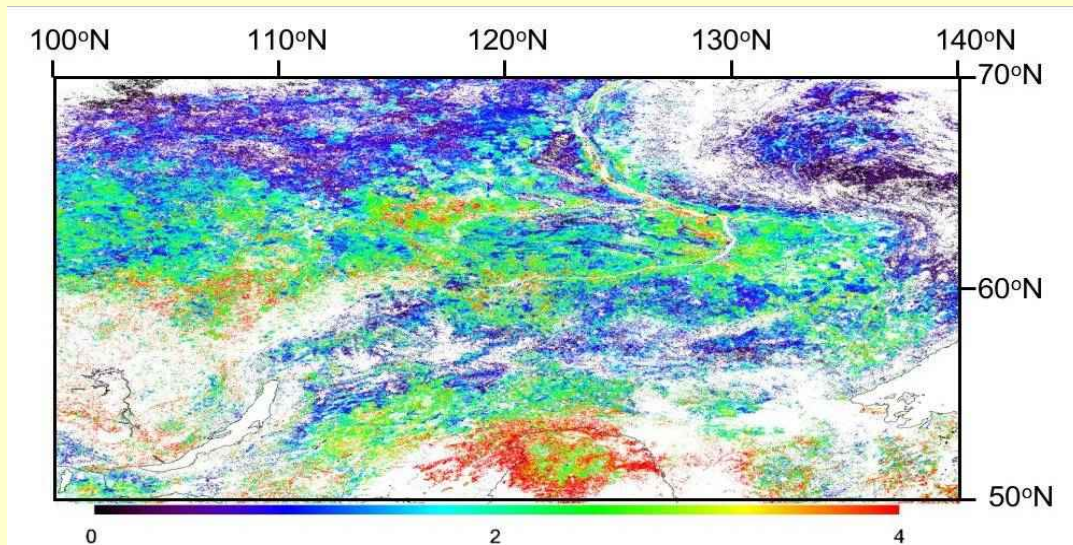
## 葉面積指数推定の新しいアルゴリズムの開発

小林秀樹と鈴木力英との共同研究

シベリアのカラマツ林において、より正確な葉面積指数(LAI)分布の推定を目指し、**森林放射伝達モデルと現地観測データを使い新しい推定アルゴリズムを開発してきた。**



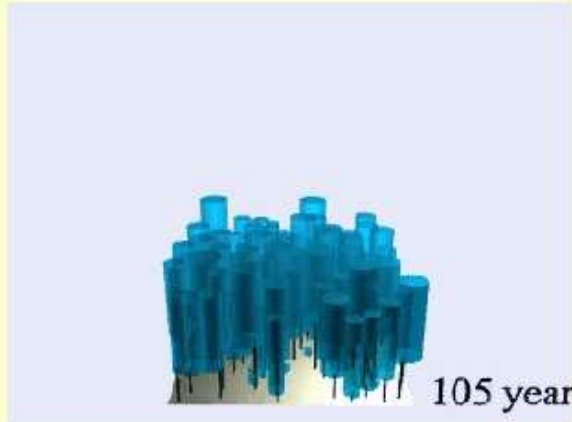
NDWIを使ったアルゴリズム



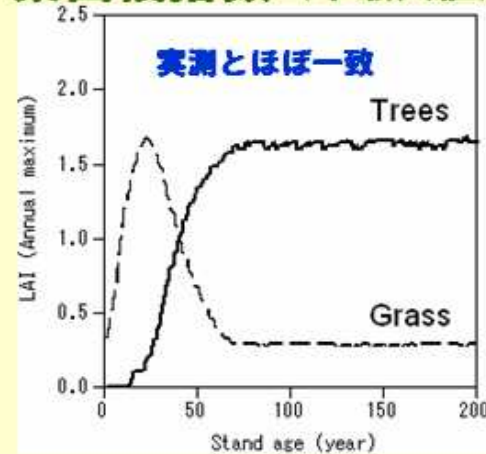
レナ川流域を中心に推定された葉面積指数の分布

# シミュレーションの結果

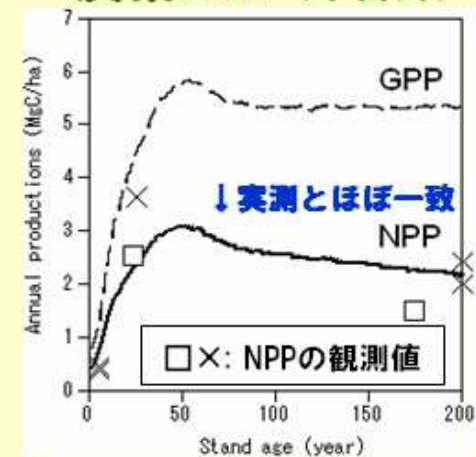
相観の変化 (30m×30m)



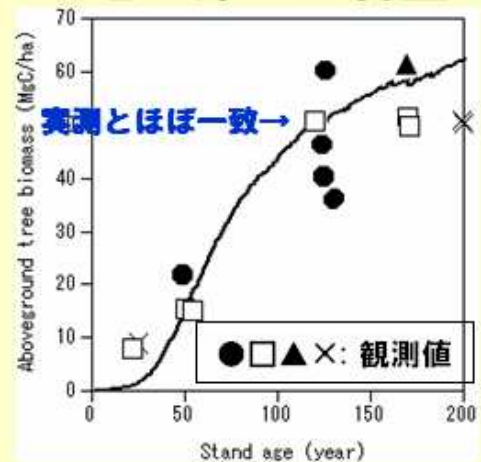
葉面積指数 (年最大値)



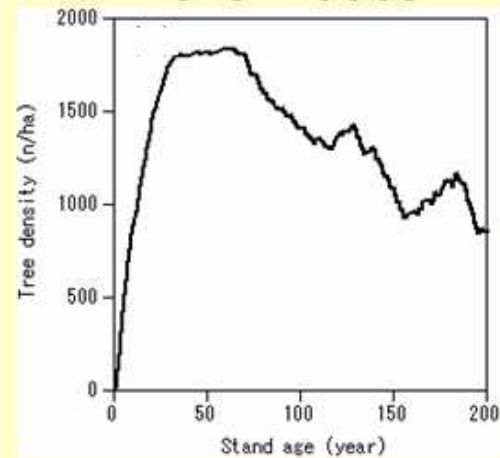
炭素Flux (年合計)



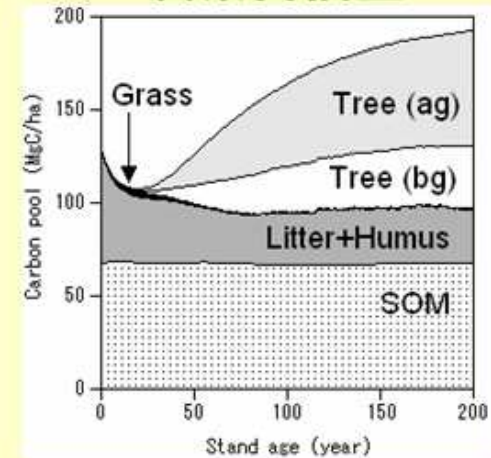
地上部の生物量



木本の密度



炭素蓄積量

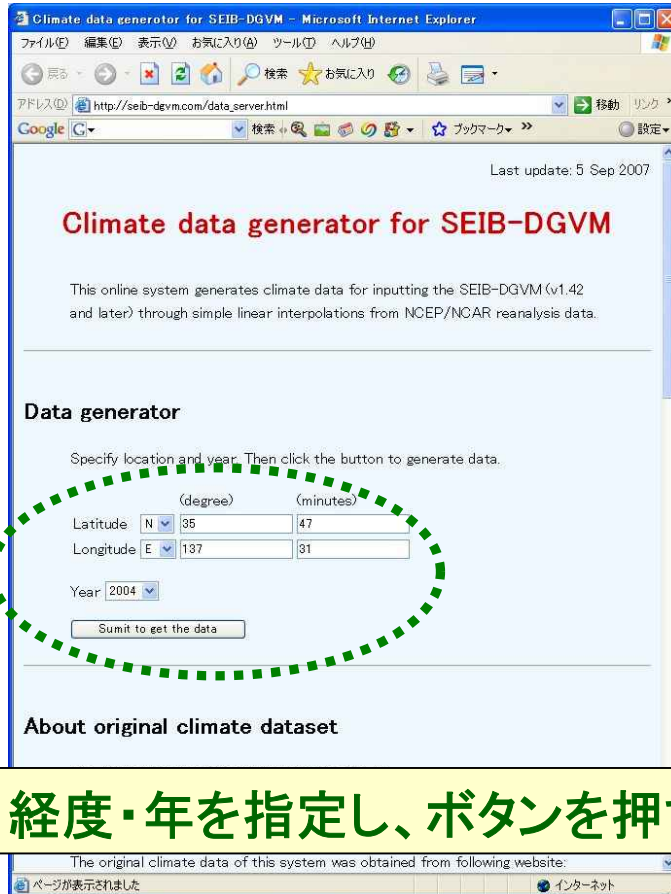


ヤクーツク周辺における森林火災後200年間の遷移を再現できた

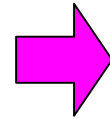
## 2. SEIB-DGVM利用体制の整備

気象データ切り出しシステムを開発・公開した

<http://seib-dgvm.com/>



緯度・経度・年を指定し、ボタンを押す



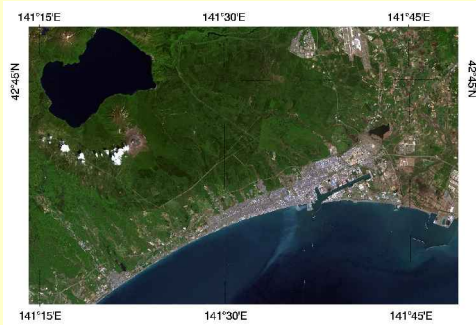
NCEP/NCAR再解析データ: JRA25再解析データなどとは異なり、Public domain(公有物)なので、このようなシステム組み込み用途等に自由に利用できる



# 衛星観測による分光反射率と群落光合成を結びつける三次元森林放射伝達モデル (Forest Light Environmental Simulator, FLiES) の開発

H. Kobayashi

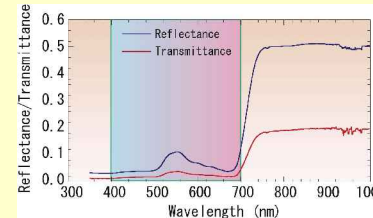
## 衛星データ



## フィールドデータなど



- 葉面積
- 樹木密度など
- 単葉の反射率・透過率



入力 ↓

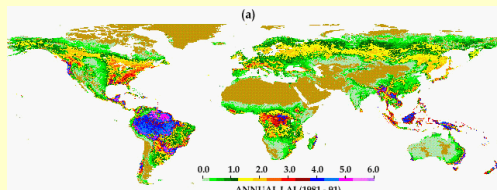
衛星データの解釈

森林パラメータ推定アルゴリズム開発

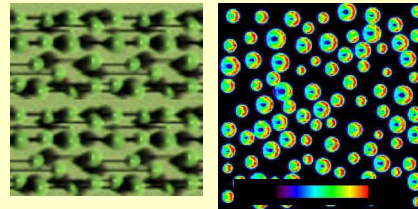
逆推定

## 森林パラメータ推定

葉面積指数など



## 三次元放射伝達モデル(FLiESモデル)



反射率と森林パラメータの関係

反射率と光環境の関係

入力

光合成量計算

3-D 放射伝達モデル(FLiES)の改良と高度化

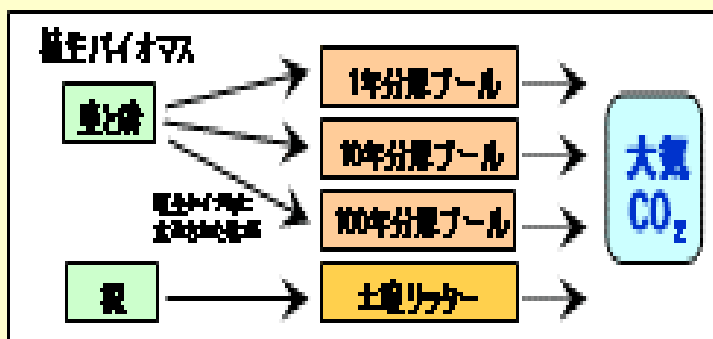
FLiESによる光合成有効放射と群落光合成の関係解析

FLiESと衛星データを用いたアジア地域の1km葉面積分布推定

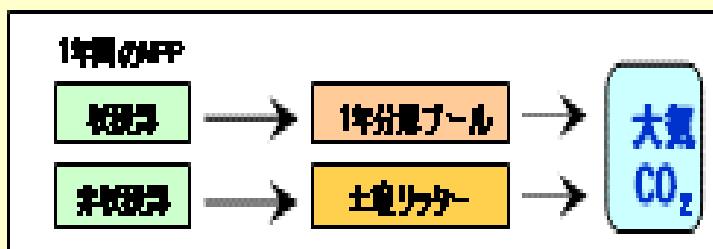
# Sim-CYCLEの高度化

## SimCYCLEにおける土地利用・変化モジュールの改善

開墾



耕作

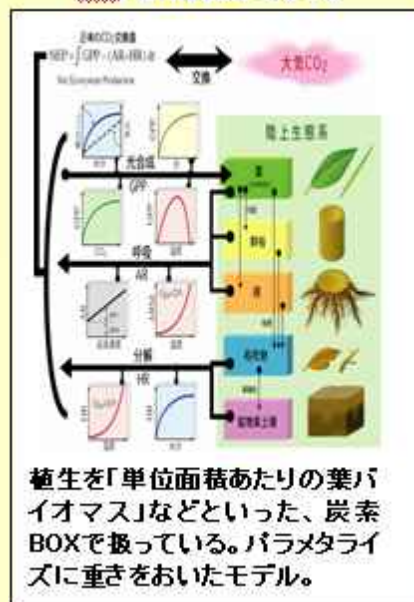


耕作放棄

一定のタイムラジの値は、元の植生が回復する。このタイムラジは、その地域の生産力が高いほど短く設定する

サブ課題2は、このように簡便な方式で表現されている土地利用と、その変化を、より機能的なモデルで表現することも、主な目的とする

## Sim-CYCLEについて



## 両モデルの守備範囲

	Sim-CYCLE	SEIB-DGVM
短期予測	○	○
長期予測	×	○
Data fusion	○	×
植物個体群動態の扱い	×	○

今後生じうる様々な状況に対応するために、本課題では両モデルの高度化を行う

## Sim-CYCLEの簡易DGVM化

### 現在の方法

各グリッドは1種類の植生型に被覆されていると仮定し、そしてその植生型は、不変であるとする

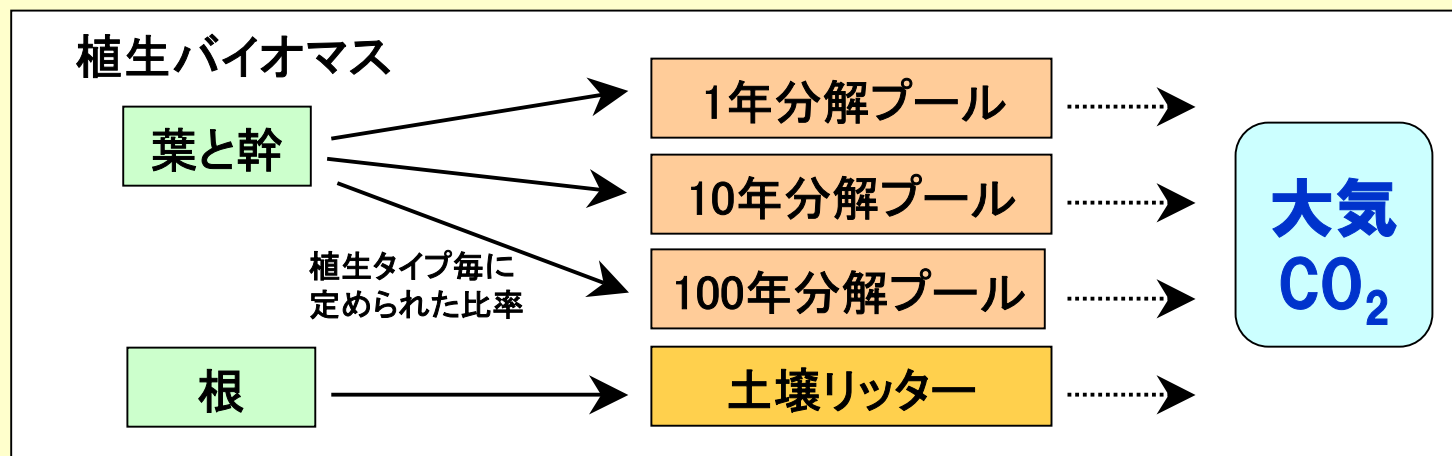
### 新しい方法

各グリッドは、複数の植生型にモザイク状に被覆されていると仮定する。そして、単位面積当りNPPなど、植生変化の指標に基づいて、その被覆比を変化させる

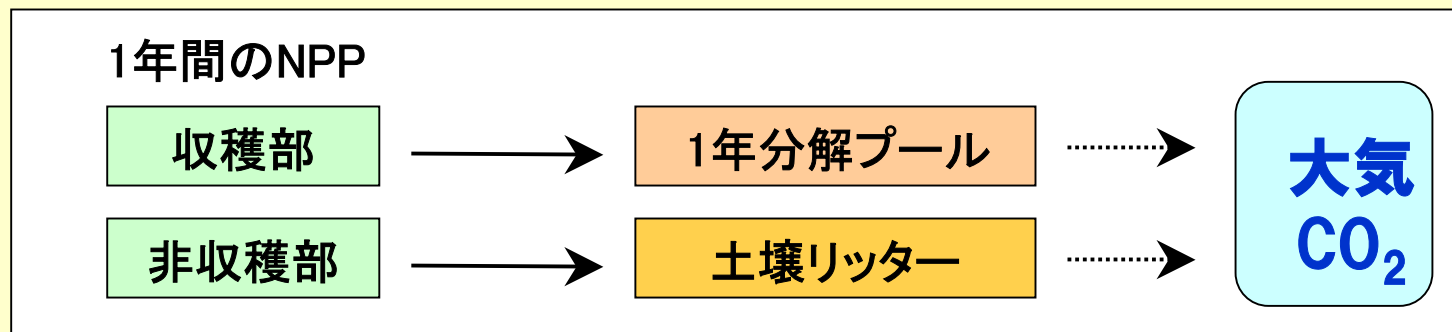
SEIB-DGVMの植生変化パターンをパラメーター化することにより、Sim-CYCLEを簡易的なDGVMへと発展させる。これによって、計算力資源が制限されている状況下でも利用可能で、かつリーズナブルな植生変化予測を出力するDGVMが得られる。

# SimCYCLEにおける土地利用・変化モジュールの改善

開墾



耕作



耕作放棄

一定のタイムラグの後に、元の植生が回復する。このタイムラグは、その地域の生産力が高いほど短いと仮定する

サブ課題2は、このように簡便な方式で表現されている土地利用と、その変化を、より構造的なモデルで表現することを、主な目的とする

## 動的全球植生モデル (DGVM)、地域スケールの高分解能炭素循環モデル、個体ベースの森林動態モデルを開発することにより統合モデルを高度化する。

全球規模での気候変動が、植生の分布や多様性の変動に及ぼす影響を評価することをめざし、個体レベルに基づく全球植生変動モデルの開発を進める

1) SEIV=DGVM これまでにDynamic Global Vegetation Model(DGVM)を全球レベルまで開発し現在MATSIRO-AGCMにつなぎ始めた。

2) 動的全球植生モデルSEIB-DGVMを用いて、異なる種子分散条件において温暖化シミュレーションを行った。その結果、これまで全球植生モデルでは考慮されることのなかった種子分散が、未来の全球炭素収支に大きな影響を与えうることが予測された。この成果をGlobal Change Biology誌に投稿した。

3) また、SEIB-DGVMを東シベリアのカラマツ林帯に対して適合させるべく拡張を行った（論文執筆中）。このSEIB-DGVMを、気候モデルに結合させるため、モデル間のデータ通信に関するコードを開発した。この作業に関しては、予備的な構築が終了した段階である。北方林