

A④研究計画

- 研究課題名 「GCM と結合される全球植生動態モデルの高度化と検証」
- 研究代表者名 「和田 英太郎」
- 課題代表機関名 「独立行政法人海洋研究開発機構」

1. 研究概要

本課題では、動的全球植生モデル SEIB-DGVM と静的全球植生モデル Sim-CYCLE について、それぞれの高度化と検証を行い、信頼性を向上させる。高度化の手法としては、SEIB-DGVM については、既存の植物個体群動態モデルの取り込み、そして地形の多様性を扱うことによって、他方 Sim-CYCLE については、人間活動の影響（土地利用変化）等を扱うことによって、それぞれ実施する。いずれのモデルも、観測データに基づく検証、及び GCM と結合しての感度分析を行い、その信頼性を定量的に確認する。

それぞれのモデルは、対象とする時間スケールや用途の幅が異なるが、新たな過程をモデルに取り込む際にも得手不得手がある。そこで、SEIB-DGVM に取り込まれた植生動態を Sim-CYCLE の植生動態パラメタライズに利用し、また Sim-CYCLE 上で開発された土地利用変化モジュールを SEIB-DGVM に取り込むことで、それぞれのモデルの高度化を、もう片方のモデルの高度化へと繋げる。

また、それぞれ高度化されたモデルを用いて、数十年～数百年のシミュレーションを実施し、陸域生態系を介した気候へのフィードバック過程を解析する。SEIB-DGVM については、異なる種子分散力の元における植生分布変化の違い、それが気象へ与える影響を検討する。これは、近い将来に必要なであろう植生変化への人為的関与について、提言を行うための基礎となる。

2. 研究の達成目標

研究開始 3 年後の達成目標：

ーサブ課題 1（SEIB-DGVM の高度化と検証）に関して：

- ・ 植物個体群モジュールを、熱帯域と寒帯域に対して拡張し、その有効性を確認する。
- ・ 放射収支モジュールと水文モジュールを、地形の多様性を扱えるように拡張し、その有効性を検証する。
- ・ モデル運用時の利便性を向上させ、それによって新たなモデル利用者を獲得するため、気象データセット取り出し web システムの構築や、可視化ソフトウェアの高機能化を行う。

ーサブ課題 2（Sim-CYCLE の高度化と検証）に関して：

- ・ 森林の農地転換などの土地利用変化について、炭素循環モデルにおける評価手法を比較検討し、モデルへ導入する。そして、様々な生態系で観測された大気-陸域間の CO₂ 交換などのデータを用いて、モデルの推定精度を検証する。
- ・ 現在のモデルで無視している生態過程（窒素循環、植生動態など）に関する重要性和不確定性を検討し、Sim-CYCLE のシンプルさと軽快さを大きく損なわない範囲で、必要な過程をモデルに導入する。

研究開始 5 年後の達成目標：

ーサブ課題 1（SEIB-DGVM の高度化と検証）に関して：

- ・ 植物個体群モジュールを、温帯域に対して拡張し、その有効性を確認する。
- ・ 高度化された SEIB-DGVM を用いた GCM との結合実験を行い、種子分散力の大小が、植生分布の変化予測に与える効果、そしてそれを通じて気候変動予測がどのように変化するのかを予測。

ーサブ課題 1、2 共通：

- ・ 全球のシミュレーション出力を、植生分布・葉面積指数などの全球データと比較することによって、検証する。また、入力データやパラメータに関する各種の感度実験を行い、気候変動への生態系応答を推定すると共に、不確実性の評価を行う。
- ・ SEIB-DGVM と Sim-CYCLE との間で、シミュレーション結果の比較を行い、各モデルの特性を明らかにする。
- ・ 国際シンポジウムを複数回主催し、上記の成果を広く世界に発信する。また国際的な研究の枠組（IGBP-GLP、-iLEAPS、-AIMES、Global Carbon Project）へ貢献する。

目標達成の可能性について：

本課題では、既存の植生モデル（SEIB-DGVM と Sim-CYCLE）の高度化と検証を目標にしているが、研究実施責任者はこれらのモデルの開発者であり、この目標達成において最も適任と言える。また、これらのモデルは、RR2002 人・自然・地球共生プロジェクト「日本モデル」課題 2「地球システムモデル開発」において、すでに大気-海洋モデルとオンラインで結合されており（SEIB-DGVM については 2006 年度末までに結合する予定）、上述の研究内容を即座に開始する基盤がある。

また、この課題を達成するにおいて、地球環境フロンティア研究センターは、次の理由により最適な機関であると言える。(1) 近年の陸面生態系モデル研究では、高空間分解能による地域スケールマッピングや、植生動態を詳細に扱うシミュレーションが新たな潮流となりつつあり、研究の進展は利用可能な計算力に大きく制限されている。その中で、地球シミュレーターを利用し得る当グループは、そのような制限を殆ど受けない。(2) 地球環境フロンティア研究センターには、リモートセンシングの専門家が多く在籍しているが、その中でも専攻分野が本課題と関連の深い研究者は、協力研究者としてモデルの検証に参加する。

以上に加え、本予算において業務外注等を活用し、コード最適化・データ整備・解析ツールの整備を効果的に進めることにより、上記の目標達成は十分可能と考える。

3. 研究実施計画

サブ課題 1（SEIB-DGVM の高度化と検証）に関して：

ー研究 1 年目

- ・ 植物個体群動態コンポーネントを、熱帯林植物個体群シミュレーターFORMIND を取り込むことで拡張する。各種感度分析による信頼性検証を経て、今後数百年間の気候予測の元における熱帯林動態をシミュレートする。これらの結果を基に論文執筆を行う。
- ・ 放射・水収支モジュールの拡張を行い、地形の多様性を扱えるようにする。
- ・ GCM と結合しての全球シミュレーションにおける感度分析を行う（研究 2 年目まで）。
- ・ シミュレーション用データセット取り出しシステムを、SEIB-DGVM の WebSite へ導入（外注業務）。

ー研究 2 年目

- ・ 植物個体群動態コンポーネントを、亜寒帯域の植生動態モデル（ALFRESCO を予定）を取り込むことで拡張する。
- ・ 放射・水収支モジュール拡張の有効性をテスト。必要に応じてモデル構造を改善する（研究 3 年目まで）。
- ・ 可視化ソフト SEIB-Viewer の機能拡張（外注業務、研究 3 年目まで）。

ー研究 3 年目

- ・ 亜寒帯域の植生動態における拡張に関して、各種感度分析による信頼性検証を行う。そして、今後数百年間の気候予測の元における亜寒帯域の動態をシミュレートし、これらの結果を基に論文執筆を行う。

- ・ リモートセンシングデータを利用した検証と、気候変動予測実験とを、全球において行う。後者には、植生・気候変動の予測に与える種子散布効果の検討を含む。(研究5年目まで)

－研究4年目

- ・ 温帯域における植物個体群動態を取り込む。温帯域は、これまで構築されてきた個体群動態モデルが多いため、地域ごとに異なるモデルを採用する可能性がある。
- ・ 地形の多様性を考慮した場合と考慮しない場合とで、全球シミュレーションの出力を比較。
- ・ モデル挙動の初期値依存性を探るためアンサンブル実験を行う(研究5年目まで)

－研究5年目

- ・ 温帯域の植物個体群動態を取り込んだモデルについて、各種感度分析による信頼性検証を経て、今後数百年間の気候予測の元における亜寒帯域の動態をシミュレートする。これらの結果を基に論文執筆を行う。
- ・ 地形的多様性の扱いの改良に関して、論文執筆を行う。

サブ課題2 (Sim-CYCLEの高度化と検証) に関して：

－研究1年目

地球システムモデルに組み込まれている Sim-CYCLE の各プロセスと出力を検討し、重点的に改良すべき項目に優先順位を付ける。特に重要性が高い土地利用変化については、既存モデルで使用されている簡略なスキーム (Grand-slam protocol) を見直し、植生の二次遷移や土壌有機物動態を含めた、よりメカニスティックなスキームの開発を開始する。

－研究2年目

土地利用影響スキームの開発を遂行し、文献情報などを参照して CO₂ 収支の変化パターンの検証を行う。また、既存モデルに含まれていなかった生態プロセス (窒素循環・植生動態など) の重要性を検討する。本モデルの特徴の1つに高分解能な地域スケールマッピングが含まれる (環境省 S1 など) ため、モデルのシンプルさを損なわない範囲で必要な要因の導入を試みる。翌年度に実施するモデル検証の方針を検討し、使用データの収集を開始する (データ整備の外注)。

－研究3年目

当年度までに改良された陸域生態系モデルについて、各種の観測データを用いて検証を行う。森林や草原において渦相関法で観測された大気-陸域間の CO₂ 交換データに基づいて、生態系モデルによる光合成・呼吸・分解などの炭素フローの計算結果を検討する。衛星観測から得られた全球スケールの葉面積指数 (+そのフェノロジー)・光合成有効放射吸収率などについて、モデルの推定結果を検証する。その内容を研究集会で発表し、学術論文としてまとめる。

－研究4年目

前年度に検証を行ったモデルを用いて、所与の環境変化やパラメータ値の変動を想定した感度実験を行う。特に、モデル推定の不確実性評価は最近の重要な課題になっているため、パラメータ値のゆらぎや入力データの違いに起因する変動性について詳細に検討する。平行して、高度化した生態系モデルの地球システムモデルへの組込を行う準備として、プログラムコードの整合性や計算手順を点検し最適化する (コード整備の外注)。

－研究5年目

高度化した陸域生態系モデルを気候システムモデルに組込み、地球シミュレータ上で数値実験を行い、当年度までに導入された土地利用変化スキームなどの効果を調べる。また、サブ課題1で高度化された SEIB-DGVM の出力と比較し、モデル間の特性の差を明らかにする。その上で、数十年～数百年のシミュレーションを実施して陸域生態系を介した気候へのフィードバック過程を定量的に解析する。その内容を研究集会で発表し、学術論文としてまとめる。状況に応じて、IPCC レポート向けの温暖化予測の実施に協力する。

サブ課題1・2共通：

研究3・5年目に、それぞれ国際シンポジウムを主催し研究成果を発信する。また、研究1年目に、Global Land Project 公式国際シンポジウム” Decreasing uncertainty in predicting biom

e boundary shifts”を北海道大学 GLP 事務局と共催する。

4. 研究成果

陸面生態系に関する地球規模でのシミュレーション研究は、陸面生態プロセスの持つ複雑性・非均一性・多様性のために、主に物理法則が支配する他の領域に比べ大幅に遅れており、その予測信頼性も低い。これはすなわち、地球環境の将来予測において、陸面生態系シミュレーション研究がボトルネックとなりつつある事を示している。本課題では、このようなボトルネックを解消するために、陸面生態系シミュレーション研究分野における世界最先端のモデルを開発する。具体的には次の成果が得られると期待される。

(1) より実態に即した植物個体群動態過程の導入：

申請者らは、植生の構造や機能を全球スケールで予測することを目的として、動的全球植生モデル SEIB-DGVM を開発した。従来の同種のモデルでは、植生はいわゆるビッグリーフなどで表現されることが多いが、SEIB-DGVM においては、植生を個体ベースの植物個体群動態モデルで表現している。本課題では、SEIB-DGVM のこの特徴を生かして、植生遷移を予測する上で欠かせない植物個体群動態過程を、より実態に即した形でモデルに取り込む。このような試みは、全球モデルにおいては世界初である。

(2) より実態に即した土地利用変化モジュールの導入：

土地利用変化を、より実態に即したモデル化手法で扱うコンポーネントを開発し、結合する。開墾や耕作といった土地利用変化は、生物量や土壌有機物として貯蔵されている炭素量を大きく減少させ、また地表面の物理的特性を大きく変化させる。それにも関わらず、従来の陸面植生モデルにおいては、陸面生態系の人為的影響は、ごく簡単な手法でしか評価されてこなかった。

(3) 植生分布変化予測における、種子散布の影響の定量的検討：

今後数百年において、種子分散力が、陸面生態の分布や機能にどのような影響を持つのかについて、定量的な予測を得る。また、このような植生の差が、気候へ与える影響について予測する。現在地球が経験しているような急速な気候変動の元では、種子の分散能力が植生帯の移動を制限すると予想されるが、過去にそのような検討は行われてこなかった。

(4) Sim-CYCLE の動的植生モデル化

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 を簡略的な動的植生モデルへと発展させる。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動的植生モデルが得られ、モデル適用の幅が広まる。

(5) 共通ツールを目指しての基盤整備：

SEIB-DGVM を運用する上で必要とされるデータセット・ツール類・仕様書等を整備し、Web 上で公開する。これは、モデル利用者の増加を狙ったもので、これにより多くの生態学的知見が集積され、モデルを持続的に開発・発展できる体制が整うことが期待される。

5. 地球シミュレータ利用時間（概算）

1 年度目	0 ノード・時間
2 年度目	1 3 0 0 0 ノード・時間
3 年度目	1 3 0 0 0 ノード・時間
4 年度目	2 7 0 0 0 ノード・時間
5 年度目	2 7 0 0 0 ノード・時間
合計	8 0 0 0 0 ノード・時間

・大気-海洋-陸面結合モデルの実行には、1 シミュレーション年あたり約 8 ノード・時間が必要である。本課題におけるシミュレーションでは、500 年のスピニングの後、300 年の気候過渡応答実験を

行う予定であるが、これには $8 \times (500 + 300) = 6400$ ノード・時間を要する。本課題では、2・3年度目に、それぞれ2本の予備的シミュレーションを行い、技術的な問題点を解決した後、4・5年度目に、それぞれ本実験として4本のシミュレーションを行う。

・SEIB-DGVM 単体でのアンサンブル実験を実行し、モデル挙動の初期値依存性をテストする予定である。SEIB-DGVM 単体を T42 座標系で全球シミュレーションさせると、500 シミュレーション年で約 10 ノード時間を要する。4・5年度目に、それぞれ 100 本のシミュレーションからなるアンサンブル実験を実行すると、各年 1000 ノード・時間を要する。

以上の根拠をもとに、上記の利用時間の概算値を算出した。なお、大気-陸面フィードバック効果の感度分析も行う予定であるが、これは大気モデルのみと結合させた統合モデルを使用し、シミュレーション本数も数十本程度と予定しているため、地球シミュレーターの S 系で対応する（したがって、上記の利用時間には計上していない）。

6. 経費の見込額（概算）

1年度目	30百万円
2年度目	30百万円
3年度目	30百万円
4年度目	30百万円
5年度目	30百万円
総額	150百万円

7. 研究運営委員会の構成について

- ・松田 裕之（横浜国立大学・教授）
- ・山村 則夫（京大大学生態学研究センター・教授）
- ・竹中 明夫（国立環境研究所・総合研究官）

8. 予測実験の高度化との関係について

本課題では、それぞれ高度化された全球植生動態モデルを GCM へ結合し、入力データやパラメータに関する各種の感度実験を行い、どのようなパラメーターや生態系プロセスが、気候変動を予測する上で重要であるのか検討する予定である。また、SEIB-DGVM については、異なる種子分散力の元における植生分布変化の違い、それが気象へ与える影響を検討する。これらの詳細は、11 ページの「(1-3) 全球シミュレーションにおける感度分析・検証・気候変動予測実験」に記述した。

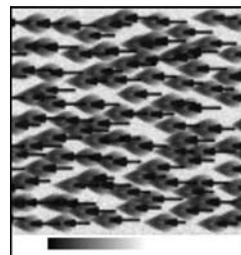
9. (追記) 本申請書で言及される各種モデルの説明

ALFRESCO

「Alaskan Frame-based Ecosystem Code」の略。温度・降水量・伐採頻度などの入力値を元に、ツンドラ・亜寒帯性針葉樹林・草地・亜寒帯性落葉樹林の4種類の生態系タイプを、10年のタイムステップで切り替える（後期バージョンでは、生態系タイプは5種類に増加している）。アラスカで実測されている生態系変化のパターンが再現できるように、パラメーター値が調整されている。SEIB-DGVM や Sim-CYCLE に対しては、北米の高緯度域のみで適用される外部強制力として、取り込み可能である。

FLIES

「Forest Light Environmental Simulator」の略。3次元の林冠構造を有する地表の分光反射率が、その太陽高度・観測方向及び林冠構造の変化に応じてどのように変化するのか、モンテカルロ法を用いて推定するシミュレーションモデル(右図はその出力例)。SEIB-DGVM は3次元の樹冠構造を持つ仮想林分を出力するが、その出力を広域のリモートセンシングデータで観測される地表反射率データを用いて検証する際に、有用なモデルである。

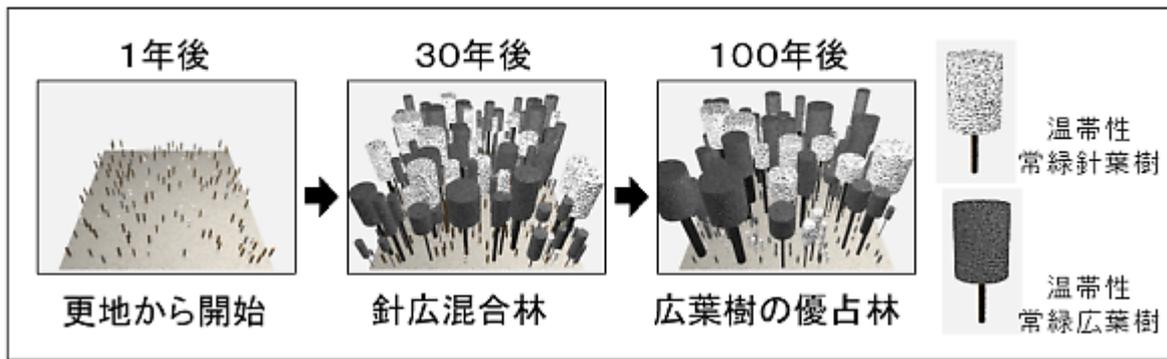


FORMIND

熱帯多雨林の植物個体群動態をシミュレートするために開発された個体ベースモデル。森林の初期状態をもとに、その後の森林遷移を1年のタイムステップで出力する。なお、樹木の多様性を数種類の生物機能型 (PFT) をもって代表させており、これら PFT ごとに、光合成・死亡率・定着率・定着条件・アロケーションなどに関するパラメータ値を、観測値から与えている。モデルの挙動はパラメータ値のみで決定され、したがって、気候や二酸化炭素分圧の変化が森林の構造や機能に与える効果などは検討できない。

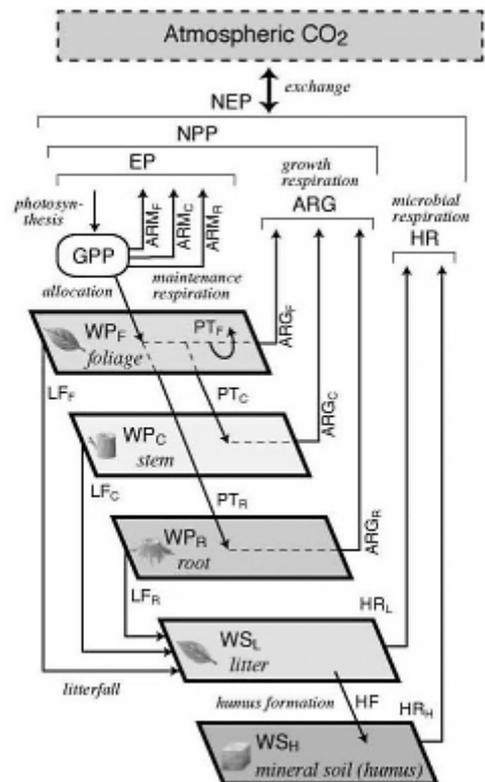
SEIB-DGVM

「Spatially-Explicit-Individual-Based Dynamic-Global-Vegetation-Model」の略。気象・土壌データを入力に用いて、植生の短期的応答（光合成量や呼吸量など）と長期的応答（生物量や生態系の分布など）の両者を出力する、いわゆる動的全球植生モデル (DGVM) の一種。他の DGVM と比較して、SEIB-DGVM に特徴的なのは、グリッドボックスごとに幾つかの代表森林（または草地）をおき、その中で個体ベースで扱われた木本が定着し、成長し、そして死亡する点である。下図は、九州南部の気象データを用いたシミュレーション例である。



Sim-CYCLE

「Simulation model of Carbon Cycle in Land Ecosystems」の略。気象・土壌データを入力に用いて、植生の短期的応答（光合成量や呼吸量など）を出力する。長期的応答については、生物量の変化のみを出力し、植生タイプは変化しない。右は Sim-CYCLE における炭素循環の概要図。



(様式 Y_A-3)

A④課題内の研究実施体制

- | | |
|----------|------------------------------|
| ○研究課題名 | 「GCM と結合される全球植生動態モデルの高度化と検証」 |
| ○研究代表者名 | 「和田 英太郎」 |
| ○課題代表機関名 | 「独立行政法人海洋研究開発機構」 |

1. 研究実施体制

本課題は、海洋研究開発機構 地球環境フロンティア研究センター (JAMSTEC-FRCGC) において実行される。

研究代表、サブテーマ 1 研究実施責任者

和田 英太郎 (JAMSTEC-FRCGC) 67 才

JAMSTEC-FRCGC において、生態系変動予測プログラムを率いてきた。

サブテーマ 2 研究実施責任者

伊藤 昭彦 (JAMSTEC-FRCGC・国立環境研究所) 34 才

静的全球植生モデル Sim-CYCLE の開発と高度化を行った。また、共同研究者として SEI B-DGVM の開発に関わった。

サブテーマ 1 研究者

佐藤 永 (JAMSTEC-FRCGC) 35 才

動的全球植生モデル SEIB-DGVM を開発した。

サブテーマ 1, 2 研究者

加藤 知道 (JAMSTEC-FRCGC) 30 才

陸域生態系モデルと大気大循環モデルの結合を実施した。また、中国の高山草原で大気-陸面相互作用に関する観測を行った経験がある。

サブテーマ 1 研究者

新規雇用の研究員 (JAMSTEC-FRCGC)

サブテーマ 1, 2 作業補助者

新規雇用のパートタイム職員 (JAMSTEC-FRCGC)

研究協力者

甲山 隆司 (北海道大学大学院・JAMSTEC-FRCGC) 52 才

共同研究者として SEIB-DGVM の開発に関わった。また、シンプルな植物個体群モデルを用いて、気候変動に伴った植生分布の変化予測を研究した経験がある。

鈴木力英 (JAMSTEC-FRCGC) 45 才

リモートセンシングの研究者。NDVI の季節的変動を、温度要因と気象要因とに分解し、それを全球でマッピングする研究を行った。この成果は、SEIB-DGVM と Sim-CYCLE の検証に利用可能である。

小林 秀樹 (JAMSTEC-FRCGC) 30 才

リモートセンシングの研究者。植生放射伝達モデル FLiES を構築した。このモデルは、SEIB-DGVM より出力された林冠構造を、リモートセンシングデータを利用して検証する用途に利用可能である。

植生変化の予測精度を向上させることである。

SEIB-DGVM は、全球に適用することを目的に開発されたため、全球すべての生態系に共通して働く生態系プロセスのみから構成されている。しかし、陸面生態系で働くプロセスには地域・生態系タイプに応じた多様性があり、そのような特殊事情を扱うことなしに、シミュレーションの信頼性を上げる事はできない。例えば、寒帯域における植生推移においては、数十年から数百年周期で生じる森林火災が強く関与している。これは、森林火災が地表の状態を大きく変化させ、そのような地表環境の変化が、この地域の木本の発芽条件や稚樹の生存条件を大きく左右するからである。このようなプロセスは、機構ベースでモデル化するには複雑すぎるし、また地域や生態系タイプごとの特異性が強い。したがって、経験ベースで構築した素過程モデルを、特定の地域・生態系のみで適用される外部強制力という形で取り込むことを計画している。これによって SEIB-DGVM は全球モデルとしての枠組みを保ちながら、地域・生態系に特異的な事象を扱うことが可能となる。

全球の陸域生態系の構造や機能をモデル化することは、生態学における究極の目標の一つであり、それを限られたマンパワーと期間とで達成するために、既存の研究やモデルを最大限に活用することを考える。すでに様々な地域の陸域生態系に対して、植物個体群動態や景観をシミュレートするモデルが多く構築されており、それらのうち野外データを用いた検証を経験し、かつ容易に SEIB-DGVM へ取り込み可能なものを利用する。具体的には、熱帯多雨林地帯については FORMIND、亜寒帯域については ALFRESCO を予定している (FORMIND の取り込みに関しては、既に作業が開始され、有効性の確認や感度分析を実施する段階に達している)。そのようなモデルの多くは、GCM に結合させるためには、入出力変数の項目や空間スケールに欠落があるが、SEIB-DGVM に取り込まれることにより、それらの欠落は補完される。

(1-2) 地形的多様性の扱いの改良

全球植生モデルは、数 100km×数 100km という粗い空間解像度で利用される事が一般的であるが、このサブテーマの目的は、この地理グリッド内における地形的多様性、それに伴った植生のモザイク構造を的確に扱うことである。具体的な手法としては、各グリッドを複数の地形クラス (斜面方位と標高に応じた) の集合として扱い、それぞれの地形クラスに対して気象・水文データの補正を行い、個別にシミュレーションを行う。そして、それぞれのシミュレーション出力を、その地形クラスの被覆割合で重み付け平均することで、グリッドの植生構造・機能を積算する。

このような方式のシミュレーションは、グリッド毎に地形データを整理し、モデルに地形タイプに応じた放射・水収支の補正式を組み込むだけで実行可能であり、現在の SEIB-DGVM の基本構造に大幅な変更を行う必要はない。しかし、この方式が実際に植生の構造と機能を的確に再現する上で有用であることを確認するため、幾つかの選択地点において Validation を行う。Validation の対象としては、地形の差に応じて植生タイプが異なっており、また植生の基礎データや先行研究が存在する事により、要求する労力が比較的少ない地域を選択する。いまのところ、中央アジアのタイガ・草原・砂漠移行帯を対象地域の一つとして考えている。

ところで、地形的多様性を取り扱うのであれば、単純に空間解像度を高めるという方式が最も一般的である。しかし、実際の植生のモザイク構造を取り扱うためには、最低でも 5km メッシュ程度の空間解像度が必要であるし、また、将来的にモデルへの取り込み

を検討しているメタンのフラックスなどは、更に細かな地形の差違に基づいている。したがって、より効果的な運用を考えるのであれば、ここで提案する地形をクラス分けするという方式が、より妥当と考える。

(1-3) 全球シミュレーションにおける感度分析・検証・気候変動予測実験

SEIB-DGVM 単体のシミュレーションを、初期値やパラメーター値を様々に変化させながら実行する。これにより、どのようなパラメーターが植生変動を予測する際に重要であるのか、またモデルの安定性について、それぞれ定量的に評価される。また、GCM と結合した SEIB-DGVM を用いて、どのような大気-陸面間のフィードバック過程が、気候変動を予測する上で重要であるのか検討する。

全球シミュレーション出力を、衛星データを利用して検証する。用いる検証データは、葉面積指数の季節変化パターン・光合成有効放射吸収率など、すでにデータセットが整備されているもの、また協力研究員より提供される植生構造、および植生経年変化の支配要因分布地図などを予定している

SEIB-DGVM を用いた予備的なシミュレーションより、今後 100~200 年間の植生分布変化において、種子分散力が大きな影響を持ちうるということが予測されている（論文執筆中）。例えば、亜寒帯林帯の南側は、高い種子分散力のもとでは温帯性落葉林帯に入れ替わるが、低い種子分散力のもとでは疎林帯となるという予測が得られている。もし、このような植生変化の違いが、将来の気候や水資源に大きく影響するようであれば、大規模な種子散布や植林プログラムを提言するなど、社会に対する研究成果の還元が可能となる。そのような可能性を探るため、本サブサブテーマでは、SEIB-DGVM と気象モデル間の相互作用を組み入れた気候予測シミュレーションを、異なる種子分散力の仮定の元で実行し、結果を比較する。

(1-4) SEIB-DGVM 運用体制の整備

本件は、研究実施責任者の指示の元、主に外注先の事業者とパートタイム雇用者によって実行される。

陸面生態系は多様かつ複雑なプロセスであるので、シミュレーションモデルを持続的に開発・発展させるためには、多くの生態学者の知見を集積する体制を構築することが肝要である。そのためには、SEIB-DGVM を陸面生態系モデルのデファクトスタンダードにしてしまうことが望ましいと考える。すでに SEIB-DGVM は、そのプログラムコードが Website を通じて公開され、それを運用するための各種ツール類やドキュメントも充実しつつある。また、SEIB-DGVM は林分スケールの運用であれば、さして計算力は必要としないため、実際に複数のユーザーを獲得している。今後は、この流れを更に継承発展させていくことが、強く望まれる。

そこで本サブサブテーマでは、SEIB-DGVM のマニュアル、運用のための各種ツール（可視化プログラムや分析ツールなど）、そして入力用データセットを整備し、Website で公開する。例えば、任意の緯度と経度を入力すると、その地点をシミュレートさせる上で必要な入力データセットが取り出せる Web サービスを構築する。これはユーザーからの要望が最も強いサービスであり、短期間に実用化可能である。また、申請者によって開発された可視化ソフトウェア SEIB-Viewer の機能拡張を行い、高度なデータ解析を直感的に行うための環境を整備する。

(2) 研究サブテーマ2 : Sim-CYCLE の高度化

研究実施責任者：伊藤 昭彦 (JAMSTEC-FRCGC・国立環境研究所) 34 才

Sim-CYCLE は植物生理生態学的な理論と観測に基づいて、光合成・呼吸・分解による大気-陸域間の CO₂ 交換をシミュレートするが、広域的な適用性と現状の再現性を重視したためにいくつかの簡略化を行っている。例えば、植生タイプの分布は所与のデータセットより与えられており、動的変動を内部的に推定しない。また、耕作地などの人間活動に関するプロセスは極めて簡略化した形で扱われている。そこで、本サブテーマでは、Sim-CYCLE の高度化を実施することで、地球システムモデルにおける大気-陸域相互作用の信頼性向上に寄与することを目的とする。作業は JAMSTEC-FRCGC の生態系変動予測研究プログラムで実施する。

具体的な作業内容は以下の通りで、漸次、統合モデルを動かすための改良を加えていく。

- (1) 土地利用変化などの人間活動による影響の導入
- (2) シンプルな植生地理スキームの導入による DGVM 化
- (3) 動的モデル SEIB-DGVM との比較
- (4) フラックス観測や衛星観測データを用いた検証
- (5) 改良した生態系モデルの地球システムモデルへの組込と実験

(3) 各サブテーマの必要性と、サブテーマ間の連携について

本課題では、サブテーマ毎に、静的全球植生モデル Sim-CYCLE と動的全球植生モデル SEIB-DGVM とを使い分ける。以下に各サブテーマの必要性と、いかにサブテーマ間に連携を持たせるのかについて述べる。

(3-1) 陸面モデルの守備範囲との関係

Sim-CYCLE と SEIB-DGVM は、いずれも気象データを入力に用いて陸面生態系の構造と機能を出力するが、モデルの設計の違いによって、応用範囲が互いに異なる。今後生じうる様々な状況に陸面モデルを対応させるためにも、本課題では両モデルの高度化を行う。

Sim-CYCLE では、植生を「単位面積あたりの葉バイオマス」や「単位面積あたりの幹バイオマス」といった炭素ボックスで扱う。このような構造を持つモデルは、リモートセンシングなどで得られた各種データ（葉面積指数、光合成有効放射量、森林火災の発生）と比較しながら、モデルの挙動を適宜修正させるという、いわゆるデータフュージョンを行わせることが可能である。データフュージョンは、現在気候における生態系機能を推定する上で最も信頼性の高い方法であると考えられており、今後様々な局面で応用が進むと期待されている。実際、Sim-CYCLE においては、リモートセンシングデータを入力しながら、東アジア域における森林火災リスクを実時間で出力させるシステムが実験的に稼働されている。

他方、SEIB-DGVM は木本を個体ベースで扱っており、グリッドボックスごとに幾つかの代表森林（または草地）をおき、その中で個体ベースで扱われた木本が定着し、成長し、そして死亡する。定着した場所から移動することの出来ない植物にとって、例えば多少の気温上昇よりも、隣接する木本が枯れて光環境が改善される方が、よほど大きな環境変化であり、このような局所的に生じる個体間相互作用を無視しては過渡的な植生変化を的確に予測する事はできない、というのがこの設計を採用した理由である。このようなアプローチを全球モデルに適応するには大きな計算力が必要であり、地球シミュレーターでの運用を前提として開発が開始された。このため、現在のところ、個体間相互作用を陽に扱う世界唯一の動的全球植生モデルである。このモデルの設計は、既存の植物個体群動態の知見やデータとの親和性が高く、パラメーターの推定やモデルの検証が、容易かつ直感的であるという特徴を併せ持つ。すなわち、SEIB-DGVM は、植物生態学者と気候学者が対象とするスケールを連結させることのできる唯一のモデルであり、今後大きな発展が期待される。

～両モデルの守備範囲～



(3-2) 新しいコンポーネントを取り込む際の役割分担

本課題において Sim-CYCLE と SEIB-DGVM は、モデル信頼性を高めていく上で、互いに補完関係にある。

サブテーマ 1 では、SEIB-DGVM において、既存の植物個体群動態モデルを導入し、より植生変動の予測性を高めることを計画している。サブテーマ 2 においては、簡単なパラメタライズによって Sim-CYCLE を動的モデルへと拡張させる予定であるが、その際には植物動態パラメーターを SEIB-DGVM の出力を元に調整する。これによって Sim-CYCLE は、大きな計算力を用いることができない局面においても、それなりに妥当な信頼性を有する DGVM と拡張されるはずであり、モデル適用の幅が広まることが期待される。

また、サブテーマ 2 では、Sim-CYCLE において、土地利用変化サブモデルの開発と導入を予定している。この開発を予定しているサブモデルとは、景観スケールのパラメタライズに依拠したものであり、SEIB-DGVM の持つ高度な（したがって、多大な計算機の能力を

必要とする) 植物個体群動態コンポーネントを要求しない。そこで、そのような新規コンポーネントの開発と導入は、まずは動作の軽快な Sim-CYCLE 上にて行い、その検証が十分に済んだ段階で SEIB-DGVM への導入を行う。将来的には、同様の手順によって、窒素循環を扱うサブモデルを両モデルへ導入することを検討している。

(3-3) 地球システム統合モデルとの関係

研究実施責任者の2名は、RR2002 人・自然・地球共生プロジェクトの温暖化予測「日本モデル」ミッションにおいて、地球システム統合モデル(以下、統合モデル)の構築に寄与した。この統合モデルとは、大気・海洋・陸地面の物理的状态を扱う「物理気候モデル」を基礎として、大気・海洋の化学組成変化、陸域生態系と大気物質交換などの諸過程を取り入れたモデルであり、温暖化と炭素循環とのフィードバック効果を含んだ温暖化予測実験に利用されている。

現在、この統合モデルの陸面コンポーネントには、Sim-CYCLE が用いられている。SEIB-DGVM は、Sim-CYCLE をベースに植物個体群動態サブモデルを導入したモデルであるが、それに伴い、元々の物理・生理モジュールに変更が加えられた。従って、統合モデルの Sim-CYCLE を直ちに SEIB-DGVM へ載せ替えることは、統合モデル運用上の混乱を引き起こす。そこで、現在の運用の枠組みに影響を与えずに、数百年という時間スケールのシミュレーションを可能とするために、当面は、SEIB-DGVM の植生情報を Sim-CYCLE に与え、SEIB-DGVM の物質収支出力は利用しない方針である。そして、両モデルの比較実験を十分に経た後に、徐々に Sim-CYCLE から、SEIB-DGVM への切り替えを行う。

(付表) Sim-CYCLE と SEIB-DGVM との関係

	Sim-CYCLE	SEIB-DGVM
構造	パラメタライズに重きを置いたアプローチを採用。植生を「単位面積あたりの葉バイオマス」や「単位面積あたりの幹バイオマス」といった炭素 Box で扱う。各炭素 Box への NPP 分配、また各炭素 Box からの呼吸やリター生成は、植生タイプ毎に定められたパラメーター値によって算出される。	現実の植物個体群動態プロセスを、より反映したアプローチを採用。個体ベースで表現された木本が、空間構造の明示的な仮想林分内で、定着・競争・死亡する（草本は Sim-CYCLE 的な炭素 Box で扱っている）。木本個体間、または木本と草本との、局所的競争が植生動態を駆動し、これに炭素循環や水循環が連動する。
計算資源	計算資源の要求量が少なく、高解像度化やトライ&エラーが容易である	大きな計算資源を要求する。このため、高解像度化やトライ&エラーに苦勞する
実績	完成より 5～6 年が経過し、様々な応用研究に用いられることで、信頼性が増してきた	完成して 1 年程度。更なる検証が必要。
見通し	土地利用変化や森林火災などの攪乱過程、また窒素動態といったコンポーネントを追加することにより、精度の向上が可能。しかし、気候変動に伴う植生変化などといった「パラダイムシフト」に対応できず、このため予測期間が長くなるほど潜在的な誤差が増すという限界がある。短期予測や、リモセンデータとの実時間データフュージョン(数値モデルの値を観測データで補正していくこと)などの用途に適している。	信頼性を高めるため、コアモデルやパラメタライズをさらに改良し、検証を進める必要がある。また、林分スケールの植生動態を元に数百キロメッシュもの地理スケールを代表させてしまっている点を改善しなければならない(現状においては、林分内の構造が詳細にモデル化されながら、景観スケールの構造を無視されており、アンバランスである)。個体ベースで生まれ、植生の空間構造を明示的に扱った世界唯一の DGVM であり、将来的には、陸面生態学研究におけるデファクトスタンダードとなる潜在力を有している。