

GCM(大気海洋結合気候モデル)と結合される 全球植生動態モデルの高度化と検証

原 登志彦(北海道大学・低温科学研究所、JAMSTEC)

伊藤 昭彦(国立環境研究所、JAMSTEC)

佐藤 永(JAMSTEC; 現、名古屋大学)

伊勢 武史(JAMSTEC)

羽島 知洋(JAMSTEC)

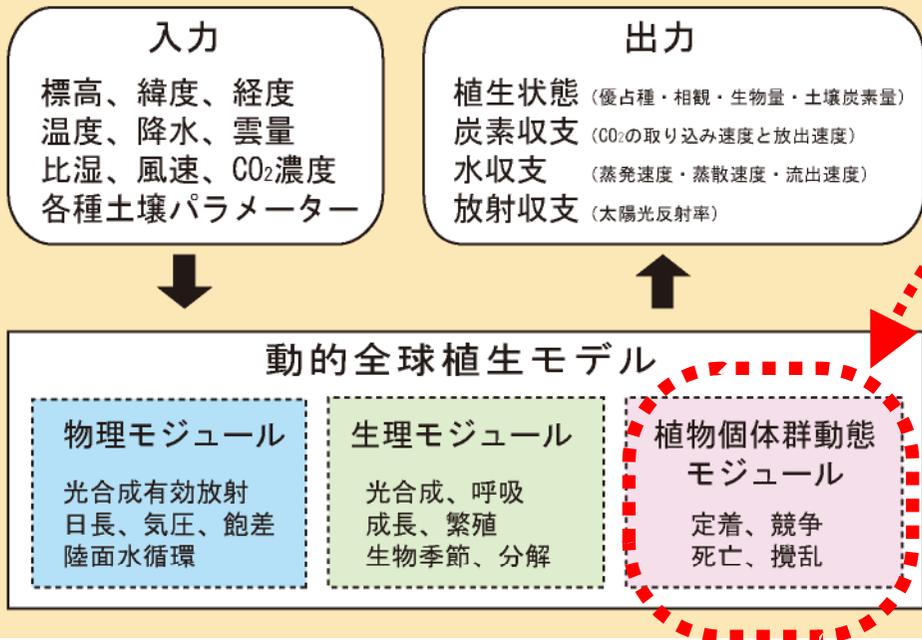
加藤 知道(JAMSTEC; 現、英国ブリストル大学)

GCM(大気海洋結合気候モデル)と結合される 全球植生動態モデルの高度化と検証

- (1)ローカルスケールにおける動的植生モデルSEIB-DGVMの高度化と検証
- (2)SEIB-DGVMにおけるグリッド内多様性の扱いの改良
- (3)グローバルスケールにおけるSEIB-DGVMの適用と検証
- (4)静的植生モデルVISIT(Sim-CYCLE)における土地利用変化・攪乱スキームの高度化

はじめに： 動的植生モデルSEIB-DGVM

動的全球植生モデルの基本構造と入出力



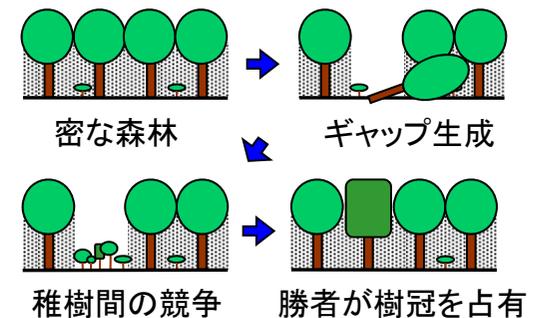
植物個体群動態の扱い方

個体ベースで表現された植物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**は主要な要素である

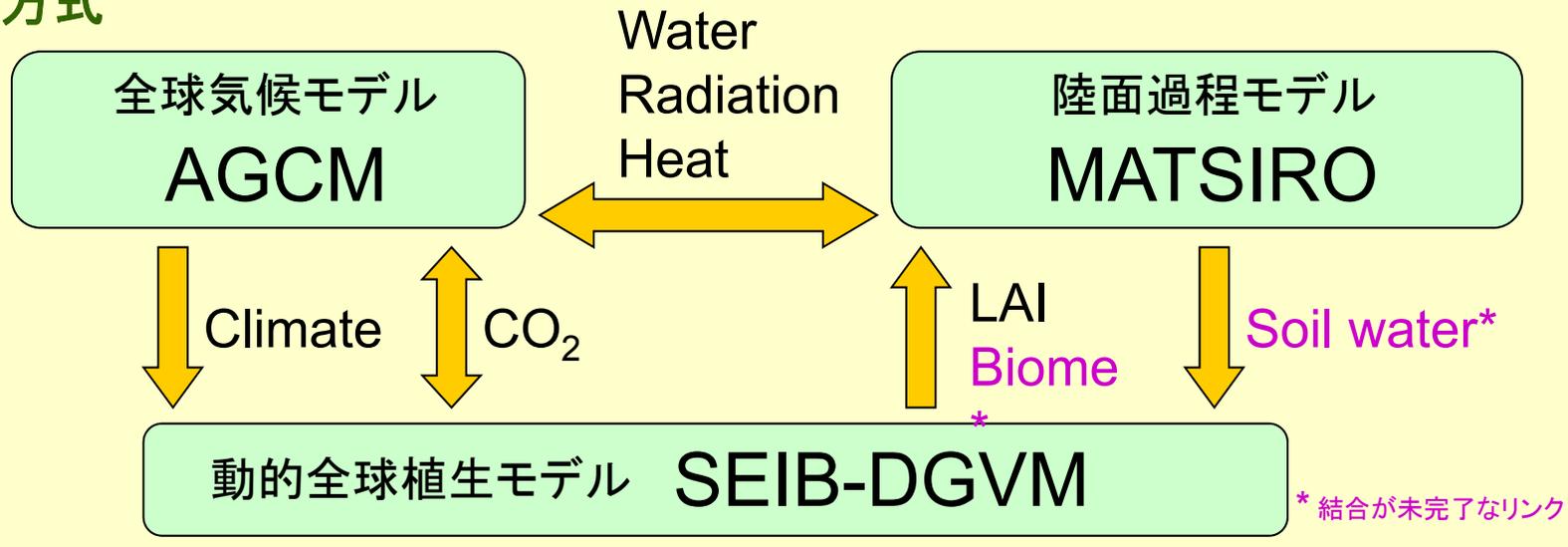


SEIB-DGVM: 植物を個体ベースで表現

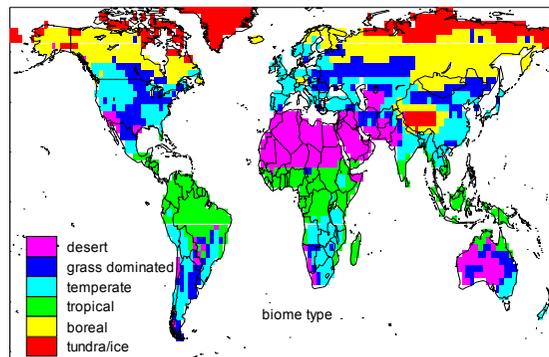
植物の個体間競争が**植生の変化と物質循環**に与える影響をシミュレートする

はじめに： SEIB-DGVMの地球統合モデルへの結合

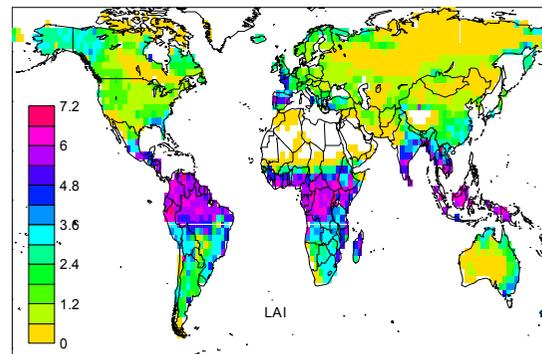
結合の方式



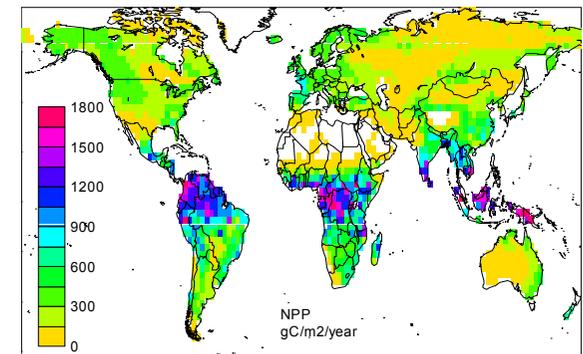
植生タイプ



LAI(葉面積指数)

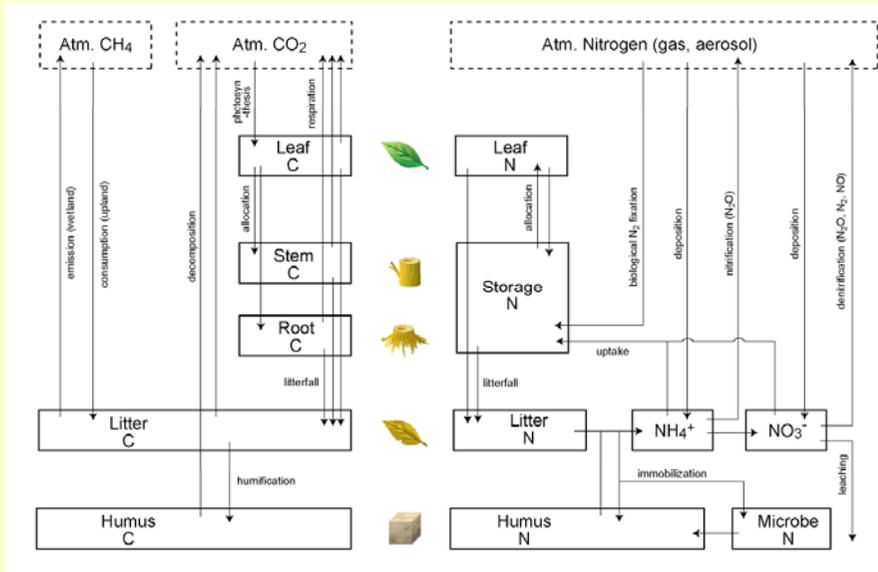


NPP(純生産量)



安定的に動作する事、また適正な出力が得られる事を確認した

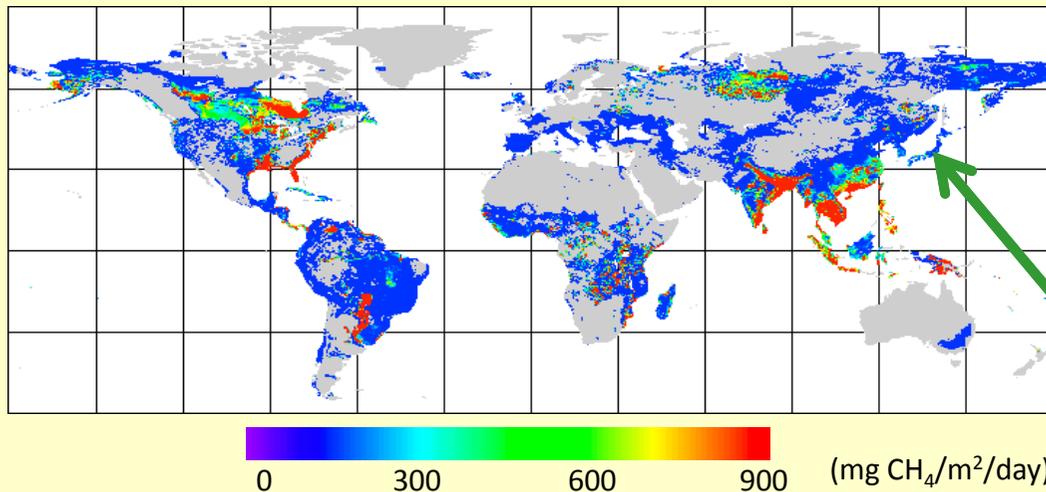
はじめに： 静的植生モデルVISIT (植生は変化しない)



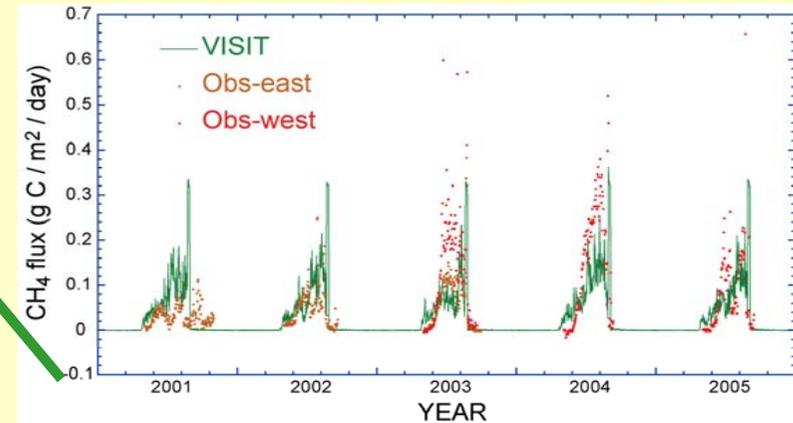
大気－生態系交換モデル

- ・温室効果ガス (CO₂, CH₄, N₂O)
- ・バイオマス燃焼 (CO₂, CO, BC, etc.)
- ・揮発性有機物 (isoprene etc.)
- ・N-ガス: N₂, NO, NH₃
- ・アイソトープ ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{14}\text{C}$)

メタン生成 (湿原＋水田)



真瀬の水田における検証



(1)ローカルスケールにおけるモデルSEIB-DGVMの高度化と検証

—昨年度まで: 寒帯域における高度化

昨年度まで: 熱帯域における高度化

FORMIX3

- 熱帯多雨林の動態を扱うモデル
- 植物種を少数の植物機能型で要約
- **時間ステップ**: 1年
- **入出力**: 森林構造のみ
- 観測を元に、PFT毎に以下のパラメーターや定式が与えられている。

{ 光合成パラメーター
幹の比重
定着に必要な最低光量
アロメトリー・アロケーショ
ン死亡率の定式
ギャップ生成確率の定式 }

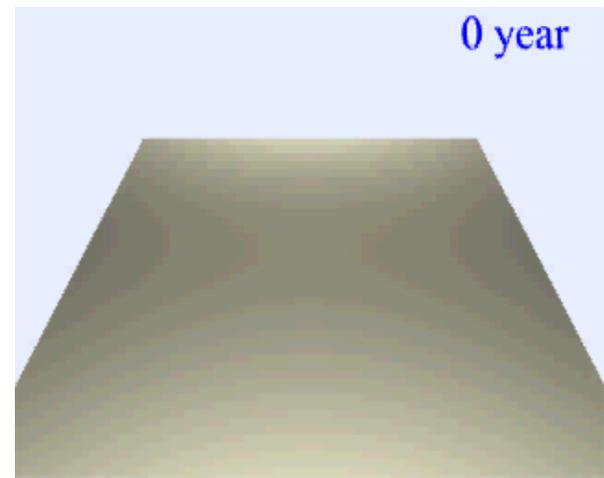
諸エッセンスを移植

SEIB-DGVM

時間ステップ: 1日

入力: 気象, CO₂, 土壌, 緯度

出力: 森林構造, 炭素・水・放射の収支



熱帯域に対して
高度化された

今年度： SEIB-DGVMの半乾燥地帯における高度化 (特にアフリカ大陸に着目して)

サバナ を適切に扱う事が半乾燥地帯の植生シミュレーションにおいて重要



- アフリカ大陸では45%がサバナ
- 草原に高木がまばらに分布する。しかし、サバナ帯の潜在植生は、森林である事が多い



野外火災 がアフリカのサバナ帯を維持していると考えられている



- 乾期に頻発
- 特に低木の死亡率を上げる

(Bond *et al.* 2005)

SEIB-DGVMの改良： サバナの火災モジュールの導入

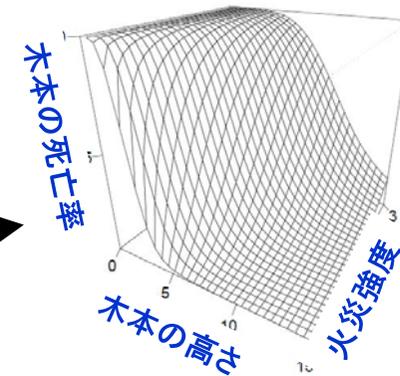
既存モデルのaDGVMより火災モジュールを導入 (Scheiter & Higgins 2009)

野外火災の発生

- 発生条件の一つは、潜在的火災強度が閾値を超えること。潜在火災強度は、燃料(草本・リター)の蓄積量、燃料の含水率、そして風速の関数
- 木本の被覆度と共に、火災発生確率は低下

野外火災の影響

- 木本死亡率は、火災強度と樹高の関数
- 死亡した木本、草本の地上部、リターの全てが燃焼

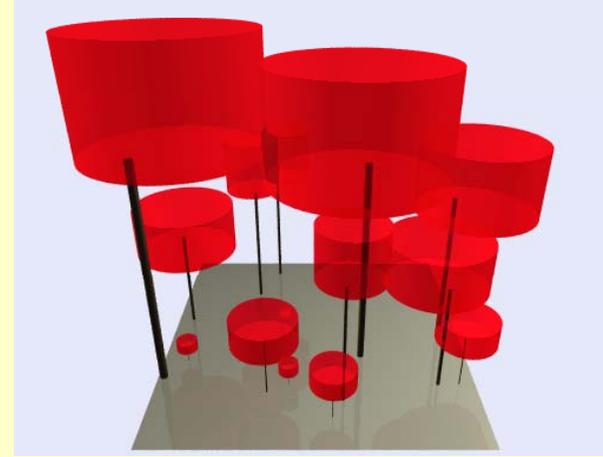


導入した火災モジュールの効果

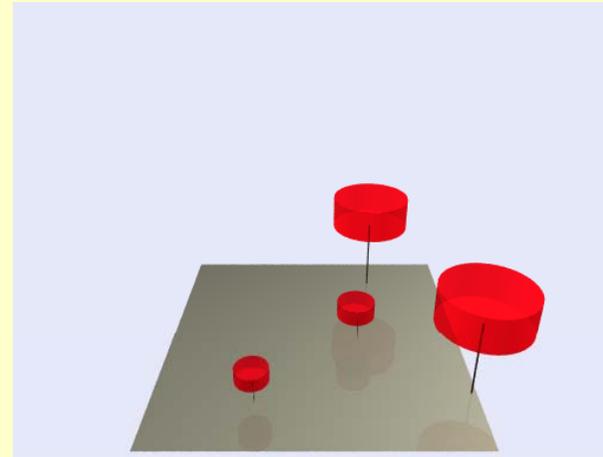
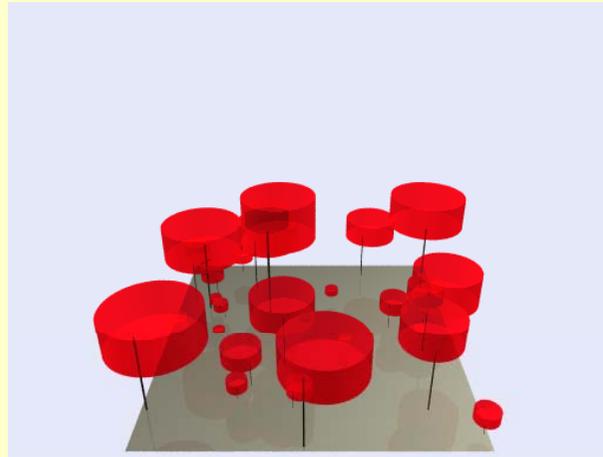
火災なし



火災あり



湿潤半落葉性森林
(@6N° , 1E°)



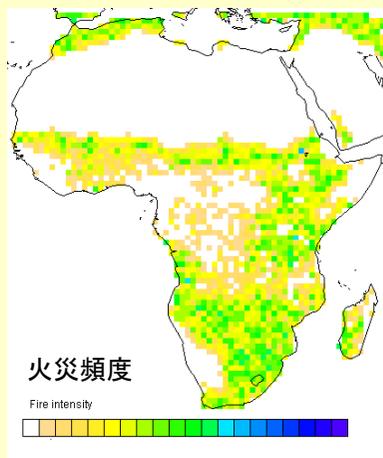
サバナ
(@18N° , 26E°)

裸地から始まった100年後の植生 (30m × 30mプロット)

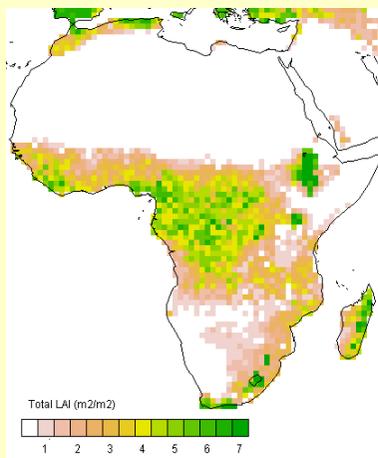
サバナ： 予備的なシミュレーション結果

シミュレーション

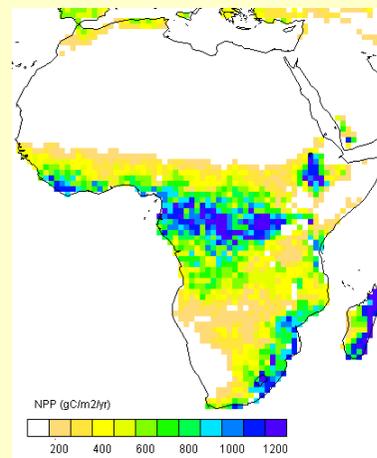
火災分布



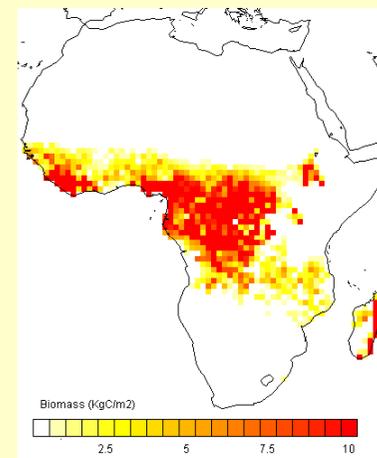
LAI



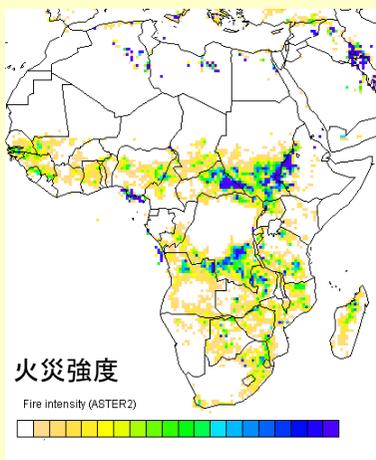
NPP



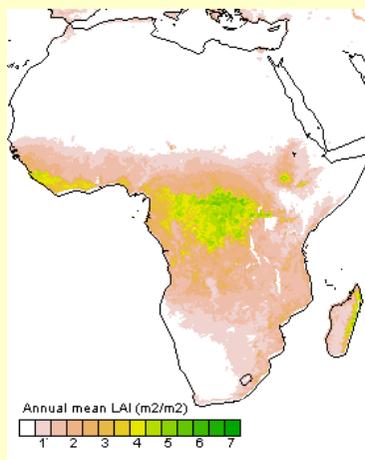
生物量



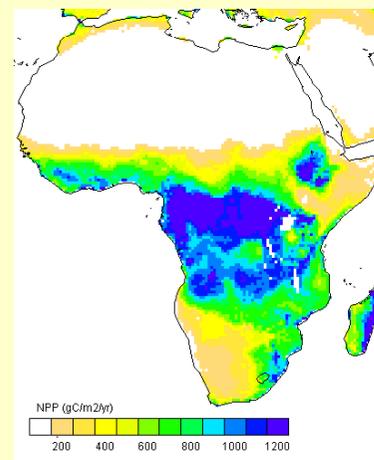
観測値



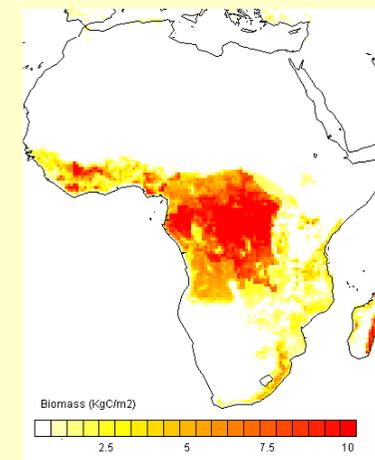
ASTER2



MODIS



MODIS



Kindermann (2008)

今後のサバナ・シミュレーションによる検証の計画

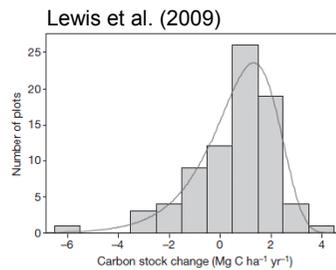
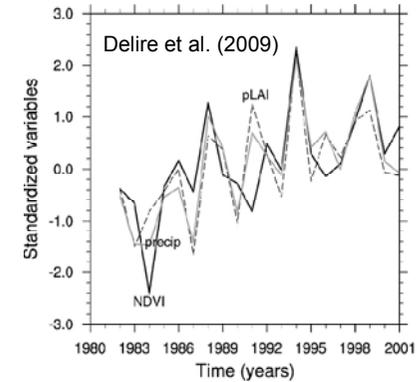


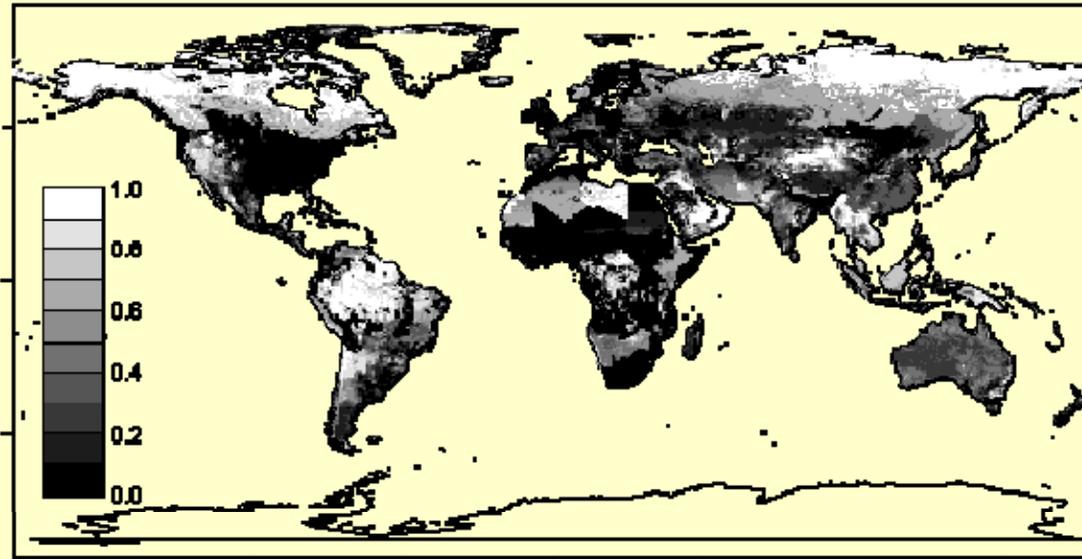
Figure 1 | Histogram of annualized change in carbon stocks from 79 long-term monitoring plots across 10 countries in Africa. Results presented are weighted by sampling effort (plot size and census-interval length), and fitted three-parameter Weibull distribution.

- サヘル域(サハラ砂漠南側のサバナ地帯)において観測されている、NDVIとLAIのトレンドを再現できるか？



- ← アフリカ大陸の79の森林プロットにおいて観測されている、近年の生物量のトレンドを再現できるか？
- モデルの頑健性を探るために、諸パラメーターや植物の移動力(種子散布)に関しての感度分析を実施する

(2)SEIB-DGVMにおけるグリッド内多様性の扱いの改善



土地利用データの反映

西暦2000年における自然植生の相対残存率。Hurtt *et al.* (2006) のデータをもとにHurttらによる作図。耕作に適した温帯や、サヘルなどのステップなどでは特に土地利用が激しいことが分かる。

IPCC AR5用 共通土地利用データセット (RCPs: Representative Concentration Pathways)

- 各グリッド(0.5度メッシュ)内の自然植生・二次植生・耕作地・牧草地・市街地の相対被覆率
- 1年ごとの被覆率の変化マトリックス
- 過去データ: 西暦1500年から2005年まで
- 将来予測: 西暦2006年から2100年まで
 - 4つの社会経済シナリオ
 - IMAGE (RCP2.6)
 - MINICAM (RCP4.5)
 - AIM (RCP6)
 - MESSAGE (RCP8.5)
- このデータを元にSEIB-DGVMの改変を行い、5種の土地利用を明示的にシミュレーションした。
- その結果、北アメリカ中央部など、19・20世紀に特に土地利用変化の激しかった地域では、土地利用を考慮していなかった従来のシミュレーションと比べて植物バイオマスや葉面積指数の低下が見られた。

(3) グローバルスケールにおけるSEIB-DGVMの適用と検証 (AR6に向けて)

SEIB-DGVMの長所と弱点

世界にも類のない個体ベースの全球植生モデル

- 個体群生態(成長・繁殖・死亡)
- 群集生態(競争・遷移)



しかし、
コンピュータにかかる負担が非常に大

植物集団の個体サイズ・年齢構造による近似

$$\begin{aligned}
 \underbrace{\frac{\partial}{\partial t} n(\mathbf{z}, \mathbf{x}, a, t)}_{\text{change in plant density}} &= - \underbrace{\frac{\partial}{\partial z_s} [g_s(\mathbf{z}, \mathbf{x}, \bar{\mathbf{r}}, t) n(\mathbf{z}, \mathbf{x}, a, t)]}_{\text{growth in stem}} \\
 &\quad - \underbrace{\frac{\partial}{\partial z_a} [g_a(\mathbf{z}, \mathbf{x}, \bar{\mathbf{r}}, t) n(\mathbf{z}, \mathbf{x}, a, t)]}_{\text{growth in active tissue}} \\
 &\quad - \underbrace{\frac{\partial}{\partial a} n(\mathbf{z}, \mathbf{x}, a, t)}_{\text{aging of plant community}} \\
 &\quad - \underbrace{\mu(\mathbf{z}, \mathbf{x}, \bar{\mathbf{r}}, t) n(\mathbf{z}, \mathbf{x}, a, t)}_{\text{mortality}}.
 \end{aligned}$$

個体群動態や生理生態の
SEIBシミュレーションを
数式で表す

個体をサイズと
年齢ごとに階層化

↓
植生動態を
偏微分方程式で
表現する

理論的根拠

- Hara, T. (1984) *Journal of Theoretical Biology* 109:173–190.
 Kohyama, T. (1993) *Journal of Ecology* 81:131–143.
 Moorcroft, P.R. et al. (2001) *Ecological Monographs* 74:557–586.

(3)グローバルスケールにおけるSEIB-DGVMの適用と検証 (AR6に向けて)

期待される改善点

計算時間と記憶容量の飛躍的圧縮(従来の100分の1以下)

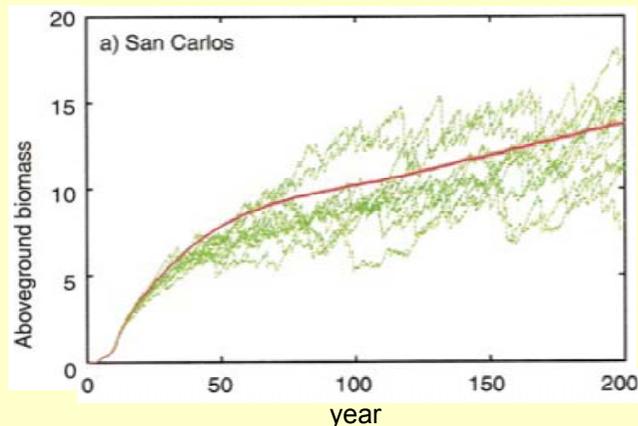
乱数を使わずに安定した計算結果

- シミュレーションは一回で済む
- 気候モデルとの結合に有効

モデル本来の特徴を損なわず、精度と速度が同時に向上

- フィールド・衛星データとの比較に有効

従来なら数十回の
シミュレーション
結果の平均で推測
した挙動を、
ダイレクトに出力



今後の展開

簡略気候モデル(EMIC,
Tachiiri *et al.*, 投稿中)
との結合により...

アンサンブル実験

(生物化学的・社会経済的不確実性
の統計解析が可能)

古気候に関する長期間の実験

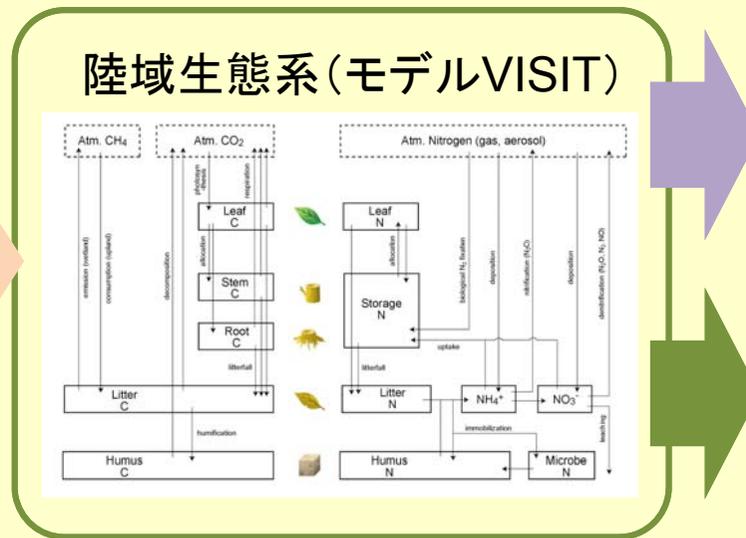
(数千年にわたる地表面と気候の相
互作用の再現)

既存の長期大面積毎木調査データを用いた検証:

寒帯林(カムチャツカ)、亜寒帯林
(大雪)、亜高山帯林(御嶽山)、冷温
帯林(大山)、暖温帯林(対馬)

(4)VISIT (Sim-CYCLE)における土地利用変化・攪乱スキームの高度化

攪乱
・火災
・病害虫
・風倒
・洪水
・土地利用
など



微量ガス放出
・バイオマス燃焼
・枯死物の分解
→大気組成に影響

植生動態 & 物質循環
・生態系構造
・炭素(CO₂)収支

野外火災による攪乱の導入

- ・陸域生態系モデル・静的植生VISITに野外火災の経験的スキーム(火災と環境要因との経験的關係に関する統計的な扱い)を導入する: グローバルスケール
- ・off-lineでグローバル・シミュレーションを実施し火災の潜在的影響を検討する

(4)VISIT(Sim-CYCLE)における土地利用変化・攪乱スキームの高度化

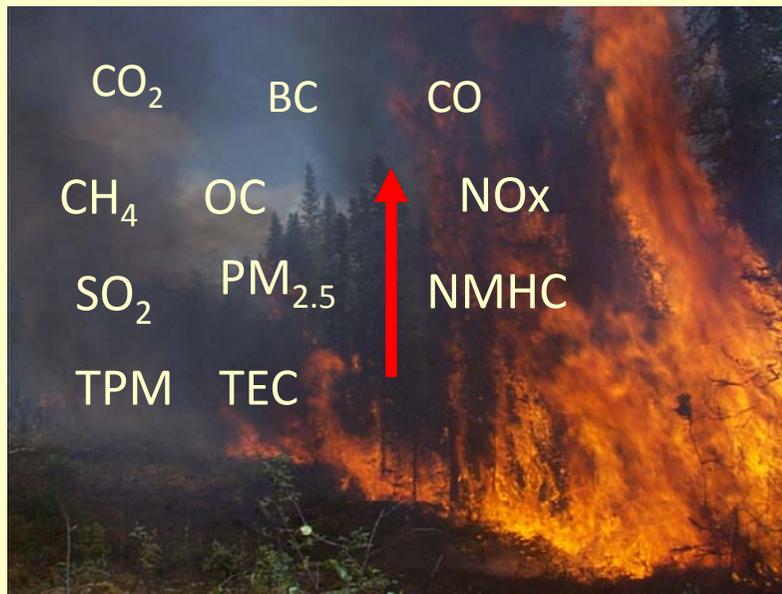
焼失面積の推定

・ Thonicke *et al.* (2001)

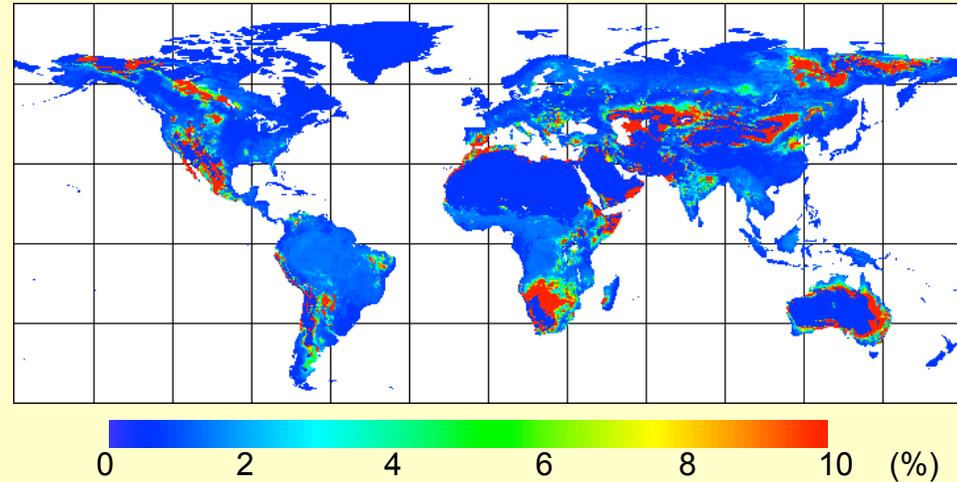
燃烧面積 = f(可燃物, 土壤水分)

燃烧放出の推定

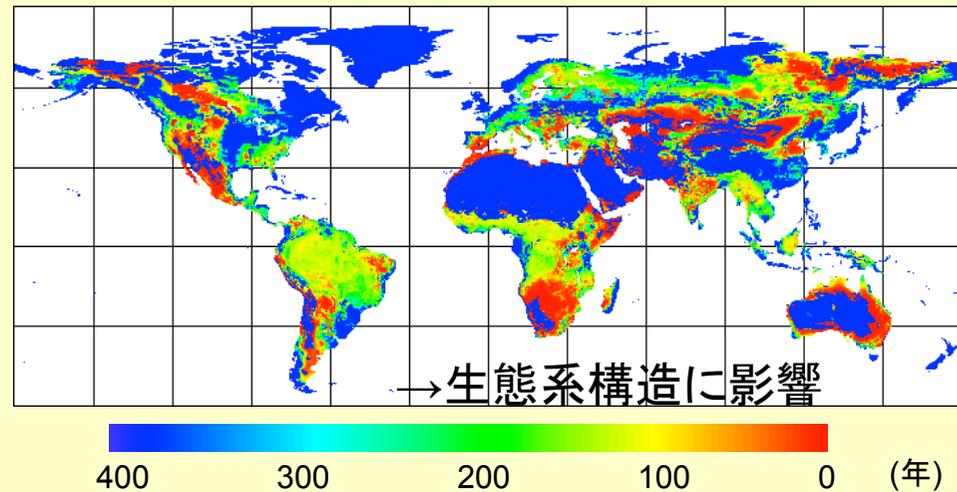
燃烧放出 = 燃烧面積 X バイオマス
X 燃烧率 X 物質ごとの放出係数



焼失面積割合 (1990s)



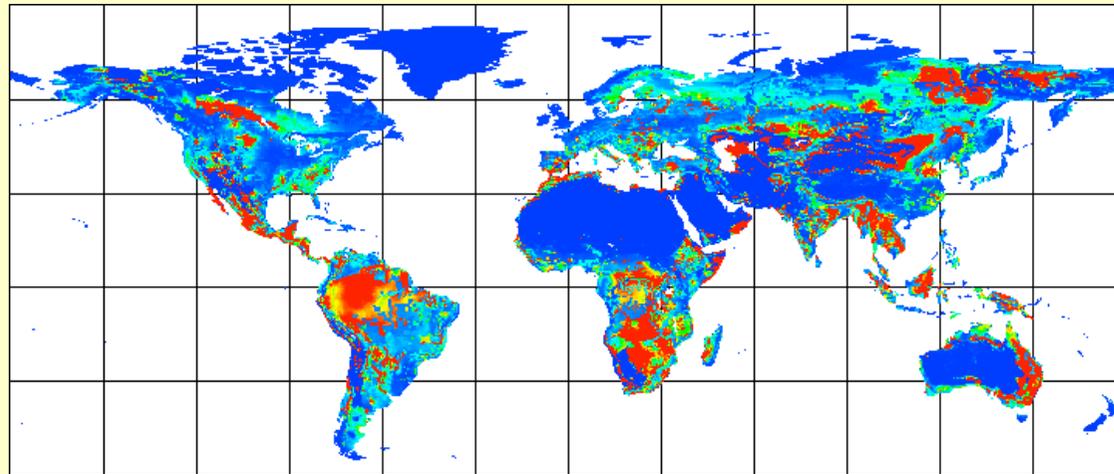
平均罹災間隔 (1990s)



(4)VISIT (Sim-CYCLE)における土地利用変化・攪乱スキームの高度化

野外火災・バイオマス燃焼に伴う微量ガス放出推定結果(1990s)

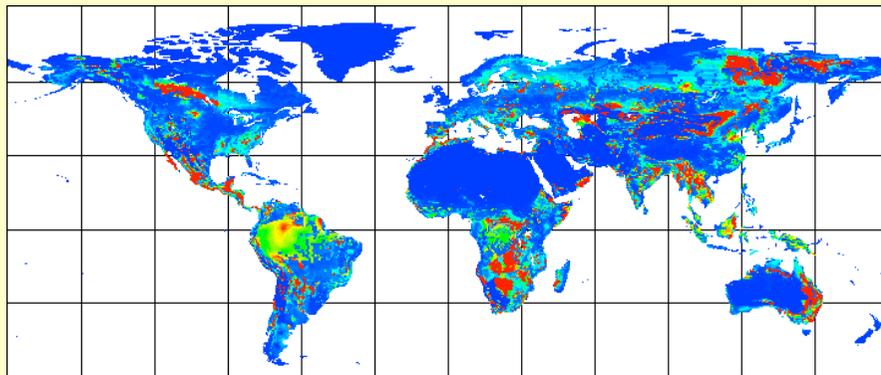
CO₂



0 200 400 600 800 (kg CO₂ / ha / yr)

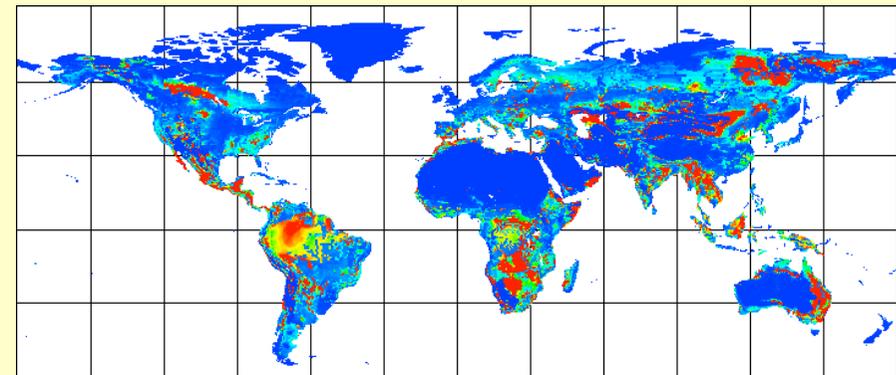
今後、検証

CO



0 20 40 60 80 (kg CO / ha / yr)

Black carbon



0 0.1 0.2 0.3 0.4 (kg BC / ha / yr)

陸域生態系モデリングの今後の目標

SEIB-DGVM (偏微分方程式版) と VISIT の統合

(動的植生モデル)

(静的植生・ガス放出モデル)



地球システム統合モデルへの結合