

論文内容の要旨

論文題目 A study on the role of the terrestrial biosphere
dynamics in future global warming
(地球温暖化における気候動態植生相互作用の役割)

氏名 大石 龍太

はじめに

本研究では将来の地球温暖化による植生分布の変化と、その植生分布の変化が地球温暖化に対して及ぼすフィードバックについて考察した。陸上における植生の分布は気温・降水量等の気候条件によって強く支配されている。その一方で、植生は太陽放射の吸収等による熱収支・気孔発散等による水収支・光合成等による二酸化炭素収支を通じて大気に影響を与えている。このように大気と相互作用する陸上生態系は、主として人為起源の CO₂ 増加に起因する温暖化によって将来的に変化することが予想されている。

陸上生態系が CO₂ 増加と温暖化によって受ける影響、その生態系変化による気温・降水等の気候への影響、また結果として陸上生態系は CO₂ を吸収するのか放出するのかという問題は人間社会への影響も大きいため、活発に議論が行われている。しかし、気候モデルと生態系モデルを用いた炭素循環研究間では不確定性の幅が大きいため、陸上生態系の温暖化に伴う変化の予測は未だ統一的な結論は得られていない。

本研究では既存の動態植生モデル (DGVM) を簡易な方法で大気大循環モデル (AGCM) と結合し、気候の変化に伴う植生分布の変化を大気に反映することを可能とした。その動態植生結合モデルと、従来の植生を固定した AGCM を用いて産業革命前 (285ppm) に対して 4 倍 (1141ppm) の大気 CO₂ のを与える数値実験を行い、大気 CO₂ の増加による陸上生態系の変化とそれに伴う大気へのフィードバックについての考察を行った。また、単純な温暖化シナリオを仮定し、動態植生の有無によって温暖化時に起き得る生態系と大気への影響について考察した。

モデル

本研究で用いた動態植生結合大気大循環モデルは東京大学気候システム研究センター・国立環境研究所・地球フロンティア研究センターで共同開発された大循環気候モデル MIROC の大気モジュールと Lund-Potsdam-Jena Dynamic Global Vegetation Model(LPJ-DGVM, Sitch et al. 2003) で構成されている。AGCM で予報された気温・降水・日射は月別平均されて DGVM に与えられ、DGVM は光合成計算と炭素分配・収支計算を行い植生分布を予報する。この植生分布は一年に一回 AGCM に引きわたされ、生態系の変化によるフィードバックを陸面境界条件として大気に与える。DGVM 内部では独立な 10 種の植生型が仮定され、大気条件に対して生存可能な型の競争と共存が表現されている。また、陸上の炭素は植生炭素と土壌炭素 (3box) を仮定しており、光合成による成長・発芽、寿命・競争・火災等による死滅により各貯留量が変化する。陸上炭素収支の予報は行っているが、本研究では大気 CO₂ 濃度へのフィードバックは行わない。

空間解像度を水平 2.8°×2.8°、鉛直 20 層として現在再現実験 (大気 CO₂345ppm) を行った結果、予報された植生分布は観測値から診断した植生分布と全般的に一致した (図??)。また、純一次光合成率 (NPP) の全球平均値 (64.5GtC/yr) は既存研究の不確定性の範囲内 (44.4-70GtC/yr) に収束した

産業革命前 (大気 CO₂285ppm) の植生・土壌炭素貯留量 (それぞれ 1073GtC・1466GtC) は既存研究の不確定性の範囲内 (それぞれ 500-950GtC・850-1842GtC) に収束した。

4 倍 CO₂ 感度実験

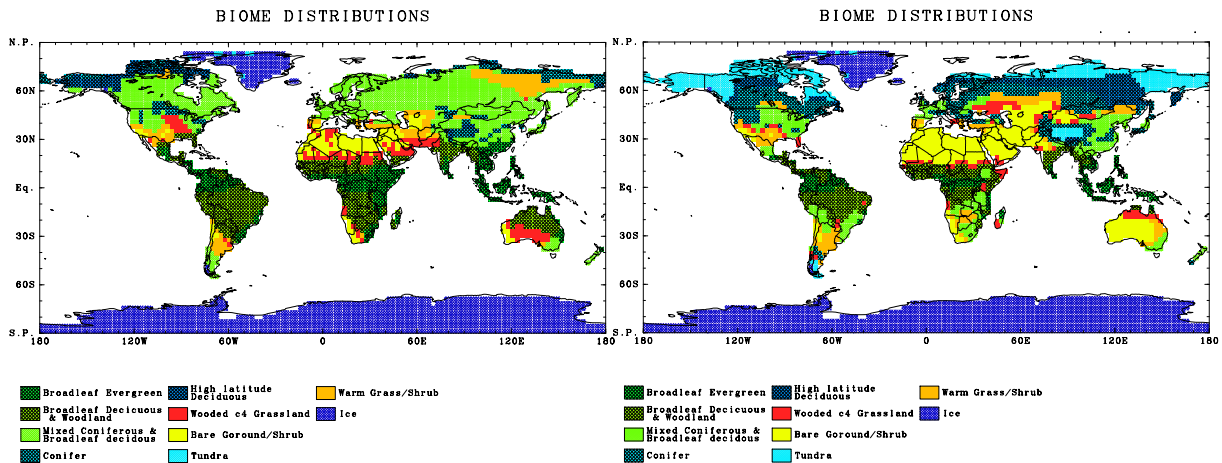


図 1: 結合モデルを用いて予報した産業革命前 (285ppm) 時の植生分布 (右) と 4 倍 CO₂(1141ppm) 時の植生分布: 両者とも平衡状態

図 1 は本モデルで推定された平衡状態における 4 倍 CO₂ 時 (左) と産業革命前 (右) の植生分布である。CO₂ 増加に伴う温暖化によって植生帯が極方向へ拡張・移動し、砂漠・ツンドラは緑化した。純一次生産量 (NPP) は全般的に全陸上で増加しており、4 倍 CO₂ 下

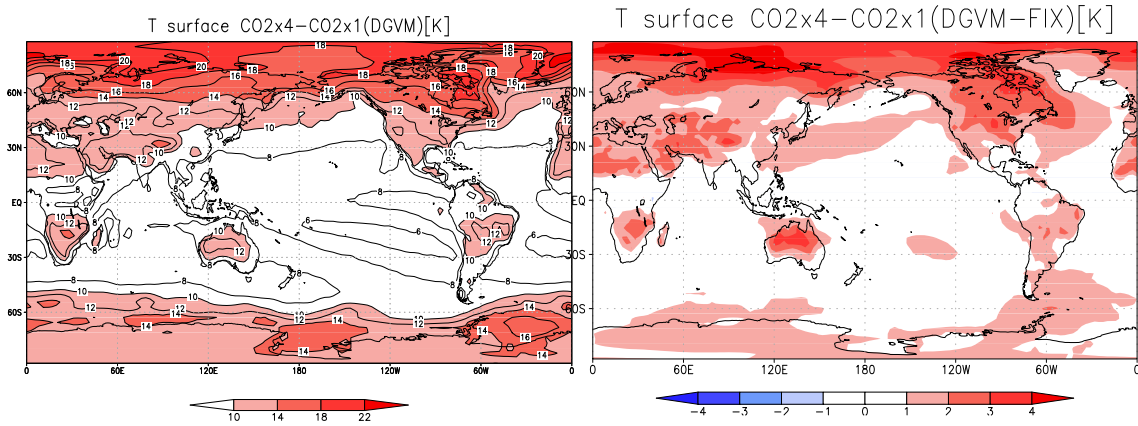


図 2: 4 倍 CO₂ による温暖化 (年平均気温 [K])(左) と動態植生の寄与分 [K](右)

では産業革命前と比較して植生は活性化した。

4 倍 CO₂ による温暖化 (図 2 左) は既存研究と同様のパターンを示した。比較のため植生固定で 4 倍 CO₂ 及び産業革命前の実験を行い温暖化に占める動態植生の寄与を見積もった (図 2 右)。その分布は 4 倍 CO₂ と温暖化による植生分布の変化を地域的には反映しているものの、基本的に全温暖化と同一の分布パターンである。従って、動態植生は植生変化による地域的なアルベド低下を通じて第一に陸域の温暖化を (10~30%) 程度増幅することが示された。降水分布についても気温と同様に、グローバルに変化が増幅された。地域的には、ツンドラ域・アジアアフリカモンスーン域・北米中南部での気候変化は動態植生によって増幅されることが示された。

表 1 は平衡状態での植生炭素と土壌炭素の全球合計値である。4 倍 CO₂ 時の合計炭素量は、動態植生を導入すると固定植生と比較して 328Gt 減少した。これは CO₂154ppm の炭素放出に相当し、この差に対しては産業革命前と比較した土壌炭素の減少幅増加 (-354GtC → -608GtC) が大きく寄与している。この土壌炭素減少は北半球の中高緯度で突出しており、寒帯の温暖化による土壌炭素分解の加速が動態植生による温暖化増幅によってさらに促進されたことが原因である。

実験	植生炭素	土壌炭素	合計
産業革命前	1073	1466	2539
4 倍 CO ₂ 動態植生	1570	858	2428
4 倍 CO ₂ 植生固定	1648	1108	2756

表 1: 平衡状態での炭素貯留量 (GtC)

時系列実験

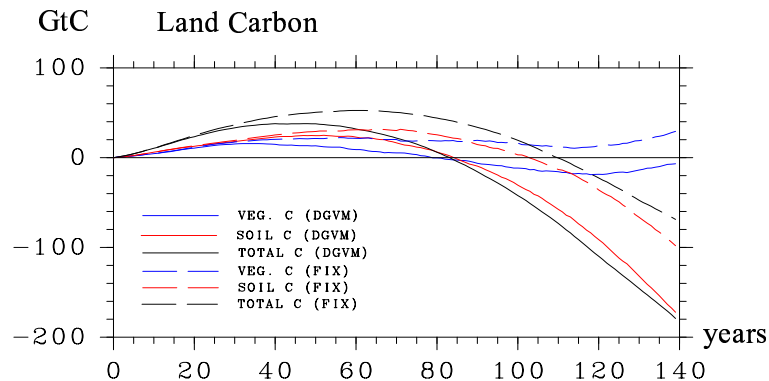


図 3: 仮定された温暖化に対する炭素貯留量の変化時系列

産業革命前実験と 4 倍 CO₂ 実験の平衡状態の大気変数を時間方向に内挿して 140 年で産業革命前から 4 倍 CO₂ に到達する仮想的な温暖化シナリオを動態植生・固定植生実験の両方について作成した。大気 CO₂ 濃度も同様に内挿し、大気シナリオと合わせて動態植生モデルをオフラインで駆動した。その結果得られた炭素貯留量の時系列は、陸域生態系は温暖化初期は CO₂ 吸収に働くが、温暖化が進行すると CO₂ 放出に転ずることを示している (図 3)。これは温暖化に伴い北半球中高緯度に蓄積されていた土壌炭素の分解が促進されることが原因である。動態植生導入により、吸収から放出への転換は早められるが、これは前節で示した温暖化の増幅が原因であると考えられる。そのメカニズムが普遍的に陸域生態系モデルに導入されていることを考慮すると、この転換の早期化は多くの陸域生態系モデルで動態植生の導入により起きる得ること考えられる。

おわりに

本研究では動態植生モデルを結合することで植生分布の変動を大気大循環モデルに導入した。結合モデルは全般的に現実の気候・植生をよく再現しているが、一部地域で大きなモデルバイアスが現れており大気側・生態系側ともに今後のモデル改良が必要である。本研究では動態植生導入による温暖化時の気候・生態系変動に対する影響を見積もったが、詳細な将来予測を行うためには本研究で用いた簡易な結合方法ではなく、生態系の変化を直接大気にフィードバック可能な結合方法が求められる。また将来予測を行う際には海洋炭素循環モデルとの結合も必要である。一方で、現状のモデルでも解像可能な大規模な植生変化が期待される数値実験、例えば LGM(最終氷期極大期) 再現実験など、に用いることで一定の知見を得ることは期待できる。