

## 研究課題名：全球スケールの陸域モデル開発による気候変動研究

課題代表者：国立環境研究所地球環境研究センター 横畠徳太  
共同研究者：国立環境研究所地球環境研究センター 佐藤雄亮  
国立環境研究所地球環境研究センター 伊藤昭彦  
国立環境研究所地域環境研究センター 仁科一哉  
茨城大学農学部 木下嗣基  
北海道大学大学院工学研究院 山田朋人  
エネルギー総合工学研究所地球環境グループ 加藤悦史

実施年度：平成 28 年度～令和元年度

### 1. 研究目的

気候変動は、食料のための作物生産や農業のための水の利用など、陸域における自然生態系や様々な人間活動に影響を与える。陸域における自然生態系や人間活動は、非常に不均一性が大きく、複雑であるために、空間的な構造を詳細に扱う、数値モデルを利用して将来の予測を行うことが重要である。さらに、陸域における人間活動は、自然生態系に影響を与えることなどを通して、気候変動の起こり方に影響を与える。例えば、人間活動に起因する土地利用の変化は、二酸化炭素排出吸収のバランスや地表面状態を変えることを通じて、気候変動の振幅や分布に影響を与えることが知られている。このため、自然環境システムと人間活動との相互作用を考慮しながら、将来予測を行うことが重要である。そこで本研究課題では、陸域における自然生態系や、水資源や土地の利用などの人間活動を全球的に扱うモデルの高度化を行う。さらに、全球の気候モデルに陸域生態系・水資源・作物・土地利用モデルを結合し、自然環境と人間活動の相互作用を記述することのできる陸域統合モデル MIROC-INTEG (MIROC INTEGrated Terrestrial Model) の開発を行う。モデルによって様々な気候・社会経済シナリオのもとで将来予測を行うことにより、将来の水資源・食料・エネルギー・土地利用の間の相互連関を考慮しつつ、気候変動によって生じる様々な問題について評価することを目標とする。

### 2. 研究計画

国立環境研究所における課題解決型研究プログラム「低炭素プログラム」などの研究課題のため、陸域における気候・生態系・水資源・農作物・土地利用などの将来予測を行うことのできるモデルを高度化すると同時に、それらのモデルを結合した陸域統合モデル MIROC-INTEG の開発を行う。また、MIROC-INTEG を利用して、特に将来の水資源の変化に着目したシミ

ュレーションを行うことにより、分野横断気候変動影響評価モデル相互比較プロジェクト (Intersectoral Model Inter-comparison Project) にデータを提供し、将来における水分野を中心とした気候変動影響研究に貢献することを目指す。

### 3. 進捗状況

今年度は、陸域統合モデル MIROC-INTEG の土地利用モデルにおいて、バイオエネルギー作物の土地利用を考慮できるようなモデル開発を行い、モデルを利用した様々な分析を行った。また、これまでの MIROC-INTEG は陸域での自然環境と人間活動を記述するモデルであったが、さらに大気と海洋における物理過程と物質循環を取り扱うことのできる地球システム統合モデル MIROC INTEGrated Earth System model, MIROC-INTEG-ES の開発に着手した。さらに、陸域統合モデルを利用して、ISIMIP にデータを提供するため、様々な境界条件の下での、過去再現と将来予測のための数値シミュレーションを多数行った。

MIROC-INTEG による将来予測実験の結果を図 1 に示す。MIROC-INTEG は陸面における物理・生態系・人間の活動を計算するモデルであるため、地表付近の気象データ（地表気温・降水・湿度・風速・放射量）をモデルに与える必要がある。今年度の計算では、気候変動影響評価部門横断モデルプロジェクト (Intra-Sectoral Impact Model Inter-comparison Project, ISIMIP) で利用されている、5つの全球気候モデル (Global Climate Model, GCM) の結果を利用する。気候モデルが計算した将来の温室効果ガス濃度は、気候モデル相互比較プロジェクト (Coupled Model Inter-comparison Project, CMIP) で利用されている、代表的濃度経路 (Representative Concentration Pathways, RCP) を用いる。ここでは、温室効果ガスやエアロゾルの変化による、将来の放射強制力の安定化レベルを 2.6, 4.5, 6.0, 8.5 W/m<sup>2</sup> に安定させた 4 通りのシナリオに基づく GCM

の計算結果を利用する。さらに、将来の社会経済シナリオとしては、共通社会経済経路（Shared Socio-economic Pathways, SSP）として用いられているシナリオを利用する。国立環境研究所の統合評価モデル Asia-Pacific Integrated Assessment Model (AIM) による GDP や食料・バイオ燃料・牧草地・木材生産量などの需要データを読み込むことにより、水資源・作物・土地利用モデルの計算を行った。

図 1 では、社会経済シナリオとして中庸シナリオである SSP2 を与えた場合の、穀物収量の変化と、穀物とバイオ燃料作物のための土地利用変化の結果を表す。将来の二酸化炭素濃度と気候変動によって作物収量が変化すること、また社会経済の変化によって食料やバイオ燃料作物需要が変化することで、将来の土地利用が決まる。RCP2.6 では、より多くのバイオ燃料農地が必要であり、RCP8.5 では、気候変動による作物生産性の減少が生じる場合には、より多くの食料農地が必要となる。今年度の計算では、上記の SSP2 だけでなく、地域分断シナリオである SSP3 を与えた実験も行った。地域の間での分断が進むことで得、将来の食料需要が大きい SSP3 シナリオでは、より多くの農地が必要となり、灌漑農地も広がることから、水の需要も増大することが分かった。報告会では、将来の気候変動に伴う水資源の変化について、ISIMIP に提出したデータの解析を中心に発表する。

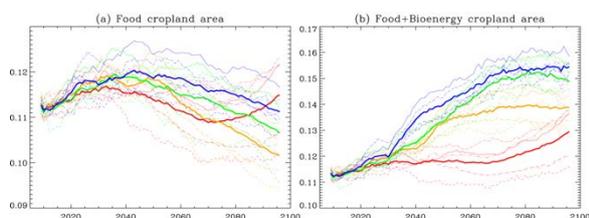


図 1 MIROC-INTEG によって計算した (a) 食料、(b) 食料+バイオ燃料作物農地面積の時系列。全球陸地面積に対する農地面積の割合で表示。RCP2.6(青), RCP4.5(緑), RCP6.0(黄), RCP8.5(赤)での結果。社会経済シナリオは SSP2 を利用した。

#### 4. 今後の計画

前述のとおり、陸域だけでなく、大気と海洋の物理過程と物質循環を取り扱う地球システムモデル

(ESM) に、水資源・作物・土地利用モデルを結合させた地球システム統合モデル MIROC-INTEG-ES を開発し、様々な数値実験を行うことを計画している。上記で示したように、気候変動によって水資源や作物

生産に影響が生じ、土地利用が変化することで、気候変動がさらに促進される可能性がある。このように、人間活動と気候・炭素循環のフィードバックについての分析を行うことが、今後の重要な課題である。

#### 5. 計算機資源の利用状況（2018年10月1日～2019年11月30日）

実行ユーザ数: 7

CPU 時間 v\_deb: 1,051.09 hours, v\_32cpu: 17,368.02 hours, v\_96cpu: 0.00 hours, v\_160cpu: 0.00 hours, 計: 18,419.10 hours