

## 研究課題名：地球システムにおける陸域モデルの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システム領域 横島徳太  
共同研究者：国立環境研究所地球システム領域 伊藤昭彦  
国立環境研究所地球システム領域 佐藤雄亮  
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：令和2年度～令和4年度

### 1. 研究目的

将来の気候変動は自然生態系や人間社会に大きな影響を与える。気候変動によって影響を受ける部門は非常に幅広く、ある部門への影響が別の部門への影響を引き起こすといった「影響の連鎖」が存在する。さらに、気候変動によって自然生態系や人間活動に生じた影響が、地球システムにおける炭素循環や放射収支に影響を与えることを通して、さらに気候変動を加速させる「フィードバック作用」が存在することが指摘されている。気候変動に対応するための効果的な方策を立案するためには、気候変動によって生じる様々な影響について明らかにすると同時に、気候変動に対する緩和・適応策の有効性を評価することが重要である。そこで私たちは、気候変動によって大きな影響を受ける水資源・農業・生態系における影響評価を行うと同時に、これらに関連する自然環境と人間活動（特に人間による土地利用など）の変化が地球システムに及ぼす影響（フィードバック作用）の評価を行う。さらに、水資源・陸域生態系・作物成長・土地利用を記述するモデルの高度化を行う。これらの研究活動を通して、国際的な気候変動に関する統合評価を行う IPCC 評価報告書などへの貢献を果たすことを目指している。

### 2. 研究計画

国立環境研究所低炭素プログラムなどの研究課題のため、地球システムにおける気候・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、陸面過程モデルにこれらのモデルを結合した「陸域統合モデル」、さらに大気海洋結合モデルにこれらのモデルを結合した「地球システム統合モデル」の開発を行う。また、開発した様々なモデルを利用して、全球スケールのシミュレーションを行い、気候変動がもたらすリスクや気候変動対策の有効性についての解析研究を行う。

### 3. 進捗状況

今年度の研究では、陸面モデルに生態系・水資源・農作物・土地利用モデルを結合した陸域統合モデル MIROC-INTEG-LAND (Yokohata et al. 2020, Geophysical Model Development) を利用し、温暖化影響評価のモデル間相互比較プロジェクト Intra-Sectoral Impact Model Inter-comparison Project (ISIMIP) Phase 3 へ貢献を行するための準備を行なっている。ISIMIP3 では様々な境界条件の与え方が指定されており、計算期間は最長で1661-2300年に及ぶ。ISIMIP3 ではバイアス補正された4GCM由来の日気象データが配布されるが、MIROC-INTEGはこれを3時間値に時間ダウンスケーリングしたデータを利用している。また今年度は、ISIMIPにおいて提供された複数のモデル実験結果を利用し、干ばつの定義が予測結果に及ぼす影響 (Y. Satoh et al. 2021, Environmental Research Letters) についての分析を行なった。

また今年度の研究では、MIROC-INTEG-LANDを利用して、さまざまな社会経済シナリオ (Shared Socio-economic Pathways, SSP) および気候シナリオ (Representative Concentration Pathways, RCP) のもとの将来予測実験を行った。社会経済シナリオとしては、持続可能な社会を実現し、人口増加は抑制されるがGDPは増大する SSP1、地域の分断が起こり、人口増加は侵襲するがGDPは低く抑えられる SSP3、両者の中間である SSP2 を考慮する。気候シナリオとしては、2100年における放射強制力の数値 ( $W/m^2$ ) で表した RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0、RCP8.5 の4通りを考慮している。MIROC-INTEG-LAND では、社会経済シナリオの入力値 (食料やバイオ燃料作物の需要、GDPや人口など) として、統合評価モデル AIM/Hub (Asia-Pacific Integrated Assessment Model) の計算結果を利用している。今年度の分析では、MIROC-INTEG-LAND によって計算した土地利用変化の結果を、AIM/Hub の結果と比較した。

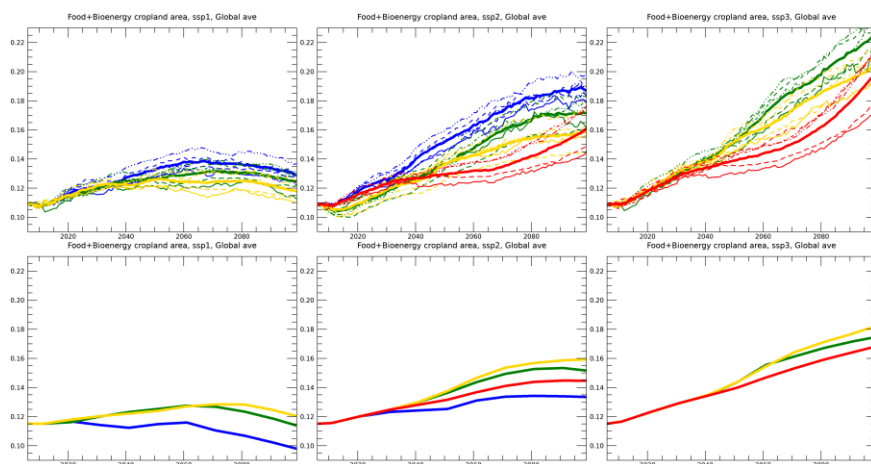


図 1. 上段：MIROC-INTEG-LAND による食料穀物農地とバイオ燃料作物農地面積の和の変化。単位は全球陸地面積に対する農地の割合で示す。左から SSP1/SSP2/SSP3 シナリオにおける、RCP2.6 (青)、RCP4.5 (緑)、RCP6.0 (黄色)、RCP8.5 (赤) の結果であり、細線は異なる気候フォーシングを与えた結果で、太線はその平均値を示す。下段：上段と同じ農地面積で、AIM/Hub による結果を示す。

MIROC-INTEG-LAND による食料穀物農地とバイオ燃料農地の和を図の上段に示す。これまで議論したように、社会経済シナリオの違いによって大きな差異が現れ、SSP1 では農地面積の増加が比較的小さく抑えられ、21 世紀中盤で農地面積の変化が安定する。これは SSP1 では食料穀物とバイオ燃料作物の需要が比較的小さく、人口の変化に従い、21 世紀後半で食料需要が低下するためである。これに対して、SSP2/SSP3 シナリオでは 21 世紀を通して農地面積が増加し続ける。SSP2/SSP3 シナリオでは、RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 においてバイオ燃料作物の需要の増加が、RCP8.5 において気候変動にともなう食料穀物収量の低下が、農地の拡大をもたらしている。

AIM/Hub による食料穀物とバイオ燃料作物農地の和を図 8b に示す。前述の通り、AIM/Hub と MIROC-INTEG-LAND では同じ食料穀物とバイオ燃料作物の需要を与えているが、農地面積は MIROC-INTEG-LAND の方が大きくなる。両者に差が生じる理由の一つは、二つのモデルで将来の収量の変化が違うことが挙げられる。前述のように、将来の穀物収量の変化は、将来の技術発展、大気中二酸化炭素の増加に伴う施肥効果、気候変動に影響による収量低下の寄与によって決まる。MIROC-INTEG-LAND では作物成長モデル PRYSB12 において、GDP の関数として技術発展を記述し、Farquhar model によって施肥効果を表現し、気温・水ストレスの変化による収量の低下が表現されている。

このように MIROC-INTEG-LAND では、穀物の需要と供給の均衡などの経済的な要素を簡略化しつつも、作物収量の全球的な空間分布の詳細や気候影響を考慮

している。図の結果は、将来の食料やバイオ燃料需要が同じでも、農地面積の結果が、作物収量や農地面積の計算方法によって大きく異なり、これらが将来予測を行う上で重要な不確定要素であることを示している。

#### 4. 今後の計画

本研究課題では継続して、地球システムモデル (MIROC-ES2L) に水資源・作物・土地利用モデルを組み込んだ「地球システム統合モデル (MIROC-INTEG-ES)」の開発を進める。MIROC-INTEG-ES によって、本報告書で示したような将来の水資源や土地利用の変化が、陸域生態系や大気状態に与える影響を評価することが可能となる。現在、MIROC-ES2L に水資源・作物・土地利用モデルを組み込んだモデルの実行を行っている。地球システムモデルによる将来予測実験を行い、地球一人間システム相互作用の分析を進める予定である。

#### 5. 計算機資源の利用状況 (2020 年 11 月 1 日～2021 年 10 月 31 日)

実行ユーザ数: 15

VE 時間積 v\_debug: 1,165.35 hours, v\_normal: 42,138.18 hours, 計: 43,303.53 hours, (全体の VE 時間積に対する占有率: 3.0%)