

## 研究課題名：地球-人間システムの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 立入 郁・Irina Melnikova、濱田邦靖  
国立環境研究所社会システム領域 Su Xuanming  
北海道大学大学院工学研究院 山田朋人  
茨城大学農学部 木下嗣基  
エネルギー総合工学研究所地球環境グループ 加藤悦史  
韓国科学技術院ムンソウル未来戦略大学院 佐藤雄亮  
NEC ソリューションイノベーション株式会社 松本圭太・広橋英一

実施年度：令和5年度～令和7年度

### 1. 研究目的

パリ目標の実現に向けて、国内外で脱炭素に向けた動きが加速している。例えば日本は、2030年度に温室効果ガスを2013年度から46%削減、2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにすること（カーボンニュートラル）を目標としている。このため、脱炭素社会がどのようにして実現されるのかを示すことは非常に重要な課題である。この一方で、排出ギャップ報告書によると、パリ協定で定められた目標を実現するために必要な排出削減量と、現状の排出削減量には、非常に大きなギャップがあることが示されている。このため、いったん気温目標を超えた後に目標気温を達成する可能性（オーバーシュートシナリオ）や、目標の通りに脱炭素社会が実現しない場合のリスクを示すことも、重要な課題である。脱炭素社会が実現しない場合には、長期的な気候変化により、非常に大きな問題が生じる可能性もある。脱炭素社会が実現しない場合の大きなリスクを示すことは、脱炭素社会の必要性を示すことにもつながる。

このような問題に関して分析を行うためには、地球システムの複雑な挙動を考慮するとともに、社会・経済に関係する人間システムの複雑な挙動を考慮する必要がある。地球システムは様々な形で人間システムに影響を及ぼし、逆に人間システムは様々な形で地球システムに影響を及ぼすことから、私たちは地球・人間システムの相互作用を考慮することのできる統合的なモデルの開発を行っている。この研究課題では、開発したモデルなどを用いて 1) パリ協定で定められた気温目標を達成するようなスピードで脱炭素社会を実現する道筋を示すこと、2) いったん気温目標を超えた後に目標気温を達成する可能性を示すこと、3) 脱炭素社会が達成されない場合に生じる問題を示すことを目標とする。

### 2. 研究計画

この課題では、前述の目標を実現するため、様々なシナリオを想定した地球-人間システムに関わる数値モデル実験を行い、得られた結果を分析する。これと並行して、地球・人間システムを構成する要素モデル（地球システムモデル・陸域生態系モデル・土地利用モデル・水資源モデル）の開発と改良、あるいはこれらのモデルを利用した数値実験も行う。本課題の研究グループは、これまでに全球スケールの陸域におけるモデルの高度化や、陸域における気候・生態系・人間活動を記述する「陸域統合モデル MIROC-INTEG-LAND」の開発を行ってきた。さらに、陸面だけでなく大気・海洋も含めて記述する地球システムモデルをベースに、水資源・作物成長・土地利用を結合させた「地球システム統合モデル MIROC-INTEG-ES」の開発も行ってきた。本課題では、地球システム統合モデルを改良し、バイオ燃料作物の栽培によるエネルギー供給と水資源・農地利用を考慮する。また、統合評価モデルや経済影響評価モデルを活用し、地球システム統合モデルと連携することにより、長期的な社会経済シナリオの作成と気候変動影響の評価を行う。

### 3. 進捗状況

今年度の成果として、まず地球システム統合モデル MIROC-INTEG-ES の開発を進めたことが挙げられる。これまで穀物生産のための農地を予報していたが、複数の穀物（小麦・とうもろこし・米・大豆）の農地を予報できるように、土地利用モデル TeLMO の定式化の改良を行なっている。また、MIROC-INTEG-ES の内部でバイオ燃料作物の水利用と収量を整合的に計算できるように、コードの改良を行なっている。

さらに、MIROC-INTEG-ES を利用して、人間による水管理（灌漑過程）が地球システムに与える影響を評

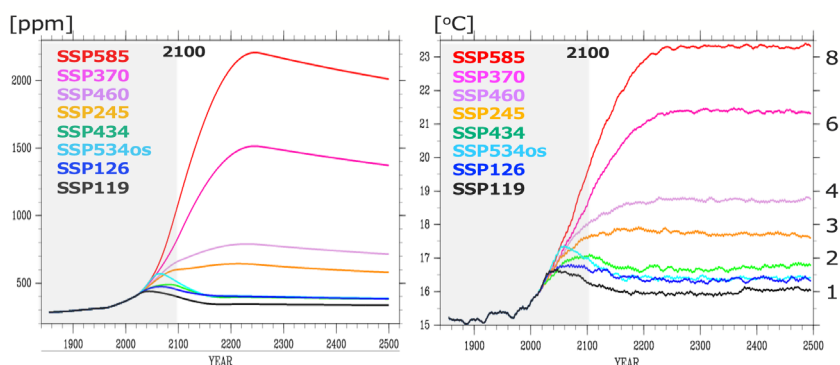


図1. 上段:MIROC-ES2Lによる2500年までの数値実験の結果。共通社会経済経路(Shared Socio-economic Pathways, SSP)である SSP119/126/534os/434/245/460/370/585 の8シナリオを与えた場合の(左) 二酸化炭素濃度、(右) 全球平均地表気温を示す。

価するモデル比較プロジェクト (IRRigation Model Intercomparison Project, IRRMIP) にデータを提供するための数値実験を行った。これに加えて、陸域統合モデル MIROC-INTEG-LAND により、分野横断モデル比較プロジェクト (Inter-Sectoral Model Intercomparison Project, ISIMIP) にデータを提供するための数値実験を行った。さらに、地球外惑星を想定した全球陸惑星(海がない惑星)における移住可能性を検討するための数値実験も行ない、他スパコン研究(代表: 北大石渡教授) にデータ提供を行った。

これらの研究に加えて、今年度は上記研究目的にも記載した「脱炭素社会が達成されない場合に生じる問題を示す」研究に力を入れている。これまでの気候変動研究では、主として2100年までの社会経済シナリオにもとづき、21世紀の気候変動メカニズムや社会への影響が分析されてきた。しかしながら21世紀中にネットゼロが達成されない場合、2100年以降も気候変動が進む可能性がある。このことについて調べるため、私たちは2500年までの社会経済シナリオ(共通社会経済経路: Shared Socio-economic Pathways, SSP)を利用した地球システムモデル実験を行った(図)。合計8シナリオの数値実験を行ったが、4つのシナリオ(SSP119/226/534os/434)では、21世紀中にネットゼロ排出が達成され、二酸化炭素濃度の低下が生じるシナリオになっている。この一方で残りのシナリオ(SSP245/460/370/585)では、2250年になってやっとネットゼロ排出が実現するシナリオである。現在はパリ協定の影響もあり、CO<sub>2</sub>排出増加のペース低下しているため、上記のうちSSP370/585までの気温上昇が起こらない可能性が高いとの指摘もあるが、ここではすべての可能性を検討する。図に示すように、2500年までの数値実験の結果において、様々なレベルの昇温が生じていることがわかる。これまでの私たちの分析に

よって、下層雲・大西洋子午面循環・土壌水分などが、全球平均気温の上昇とともに、非線形的な応答としていることを確認している。

#### 4. 今後の計画

2500年までのSSPシナリオ実験の解析を進め、地球システムの長期的・非線形的な応答や急激な地球システムの大きな変動(ティッピングエレメント)に関する分析を行う。これにより、脱炭素社会の実現が遅れることのリスクを示すことが目標である。さらに、このような長期社会経済シナリオを、独自のモデルによって構築するシナリオ開発研究も行なっている。地球システム統合モデルによる長期的な数値実験結果の分析も行う。

#### 5. 計算機資源の利用状況(2023年4月1日～2023年10月31日)

VE時間積 v\_debug: 4,036.9 hours, v\_normal: 720,355.0 hours, 計: 724,391.9hours, (全体のVE時間積に対する占有率: 9.8%)