

二酸化炭素直接回収技術を考慮した応用一般均衡モデルの開発と気候変動緩和策の評価

京都大学大学院工学研究科 都市環境工学専攻

博士課程 3 回生 西浦理

1. 背景

近年、気候変動に関する問題が国際的な注目を集めている。気候変動による深刻な影響や不可逆的な影響を回避するため、パリ協定では、世界の平均気温上昇を 2 度より十分低く保ち、1.5 度未満に抑制するよう努めることが世界共通の気温目標として設定された。IPCC は 1.5 度特別報告書において、この気温目標を達成するためには、今世紀後半で脱炭素社会を達成する必要があることを報告した。脱炭素社会を達成するためには、省エネルギー技術や電化といった、活動に伴う排出を削減するための技術のみでなく、バイオマス燃焼時の CO₂ を回収し、地下に貯留する技術 (Bioenergy with Carbon Capture and Storage; BECCS) や、植林といった大気中の CO₂ を取り除く技術の必要性が指摘されている。近年の技術開発から、大気中の CO₂ を取り除く技術の一つとして、大気から直接 CO₂ を回収する技術 (Direct Air Capture; DAC) も注目を集めている。DAC は BECCS や植林と比較して大規模な土地利用変化を必要としない一方で、吸収材から CO₂ を分離するために多くのエネルギーを必要とする。

本研究は、複数の経済部門および財を考慮した経済モデルである AIM/Hub モデルにおいて最新の削減技術である DAC を考慮し、1.5 度目標にもとづく CO₂ 排出削減を行った場合の社会経済状況を推計する。これにより、脱炭素社会を達成する際の DAC の導入規模や導入の有無による経済的な影響の変化を分析する。

2. 手法

2.1 手法の概要

本研究では、AIM/Hub モデルにおいて DAC を考慮し、図 1 に示す 1.5 度目標にもとづく CO₂ 排出削減を世界全体に強制した場合のエネルギーや経済への影響を推計する。モデルは、設定された社会状況や制約条件のもとで、エネルギー需給量、生産、消費活動の変化を経済の均衡構造をもとに計算する。この計算結果と、DAC による排出削減を想定しない場合の計算結果と比較することで、DAC の利用がエネルギー供給や経済に与える影響について分析する。

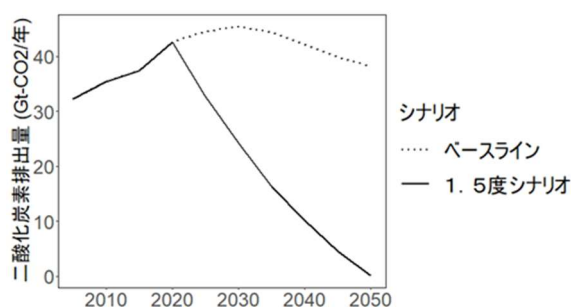


図 1 CO₂ 排出量の制約

2.2 AIM/Hub モデル

本研究で用いる AIM/Hub モデルは逐次均衡型動学応用一般均衡モデルをベースとした統合評価モデルである。2005 年を基準年として 1 年毎に均衡解を求める。モデルは 43 の産業部門と政府部門、家計部門、投資部門を持つ。部門はそれぞれの資本ストックを持ち、部門の資本ストックは毎年、投資および年間 4% の資本減耗を行う。

本研究では、新たに DAC 部門と貯留部門をモデル化することで、DAC による CO₂ の削減効果を推計できるように AIM/Hub モデルを改良した。AIM/Hub モデルにおける DAC 部門は、生産要素と天然ガスを投入し、大気由来の CO₂ を生産する部門としてモデル化している。貯留部門は生産要素と大気由来の CO₂ を投入し、CO₂ の貯留サービスを産出する。そして、投入した CO₂ の量だけ大気中の CO₂ を減少させる部門としてモデル化している。貯留サービスは最終消費の一つとして政府が消費するものとし、その費用は炭素価格による収入より支払う。DAC により回収する CO₂ の地下貯留量については、他の排出削減技術に対するバックストップ技術としての役割を想定し、炭素価格が DAC による CO₂ の単位回収・貯留量当たりのコストと一致するまで回収を行う。

2.3 技術データ

DAC は、液体吸収材を利用した回収方法と、固体吸収材を利用した回収方法の二つが将来有望な回収方法と考えられている。液体吸収材を利用した DAC は大規模化が容易であり、既にいくつかのパイロットスケールのプラントが運用され、運用についてのデータが多く集められている。Keith et al. (Joule, Vol. 2 (8), pp. 1573-1594, 2018) は Carbon Engineering 社の運転実績をもとに CO₂ の回収コストを推計した。本研究では、Keith et al. (2018) が推計したコストをもとに、CO₂ を 1 トン回収する際の資本コストを 84 ドルと設定し、運転コストを 30 ドルと設定した。また、CO₂ を 1 トン回収するための天然ガスの需要を 8.81 ギガジュールと設定した。

3. 結果

ここでは、経済モデルである AIM/Hub モデルによる計算の結果を示す。DAC の利用の有無にかかわらず、CO₂ 排出の制約が厳しくなるにつれて、大気中の CO₂ を取り除く技術の導入量が大きく増加している(図 2)。DAC を用いる場合と用いない場合を比較すると DAC の導入によって植林による回収量は大きくは変化しない一方で、BECCS の利用量は減少した。しかし、DAC による回収量は BECCS の減少量を上回ったため、全体の CO₂ 回収量は増加した。

CO₂ の排出制約はエネルギーの供給方法に大きな影響

を与える。1.5 度未を達成する際には、化石燃料による供給量が大きく減少し、代わりに再生可能エネルギーによる供給が増加する(図 3)。2050 年において DAC を用いる場合を DAC を用いない場合と比較すると、CCS を伴わない石油および CCS を伴う天然ガスによるエネルギー供給量がそれぞれ 27.2%と 73.4%増加しており、CCS を伴うバイオマスの消費量は 35.9%、CCS を伴わないバイオマスの消費量は 10.6%減少した。DAC の稼働には大量の天然ガスが必要であること、BECCS による CO₂ の回収を DAC が一部代替したことを反映した結果となった。また、DAC の導入によって増加した CO₂ 回収は、ほかの部門での排出削減の必要性を減らし、結果として石油の消費量を増加させた。

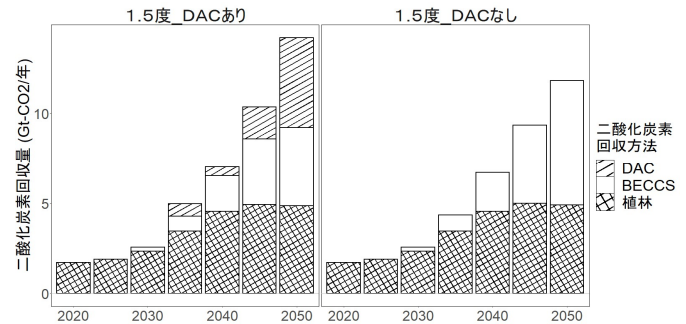


図 2 CO₂ 回収量

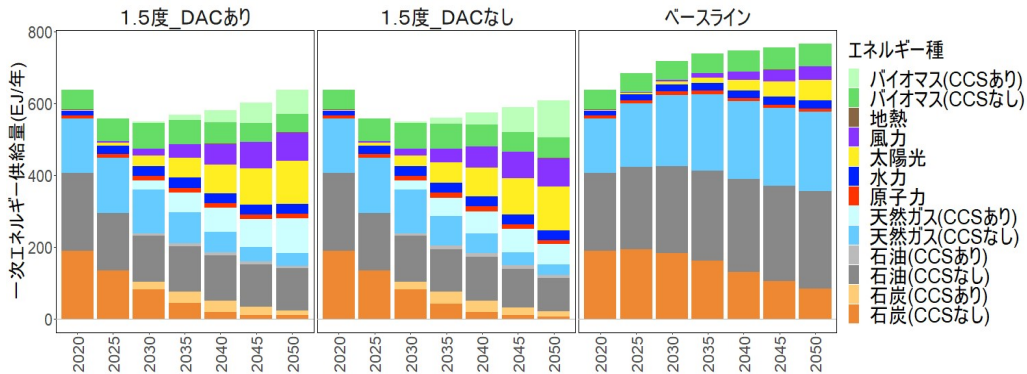


図 3 エネルギー供給量。DAC によるエネルギーの消費は天然ガス (CCS あり) にカウント。

排出削減が強制されると、社会はエネルギーシステムや投資行動を変化させ、経済は大きな影響を受ける。1.5 度目標を達成する際には、DAC の利用の有無にかかわらず、最大で 6.0%を超える GDP 損失が推計された(図 4)。DAC は、新たな産業部門としてその活動が GDP にカウントされるため、GDP 損失を大きく改善する効果を示した。DAC による回収量が最も多くなる 2050 年では、GDP 損失が 21.7%改善した。一方、DAC は家計消費に関わらないため、家計消費損失の改善効果は限定的であった。DAC の利用はバイオマスの需要を抑制し、土地利用の競合の緩和を通して食料価格を低減させる。農畜産物価格の計算結果を DAC の有無で比較すると、2050 年において農畜産物の価格が 4.85%下落し、この価格の下落によって、家計での食料消費量は 1.3%増加した。

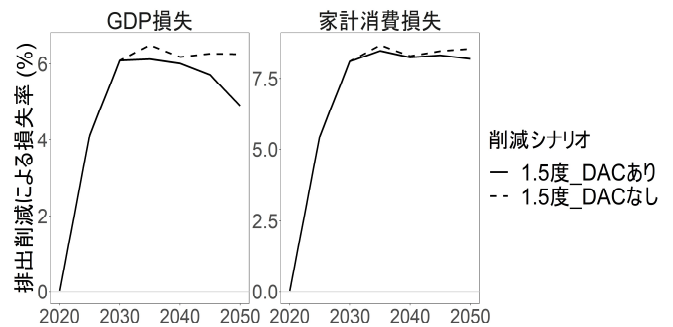


図 4 排出削減に伴う経済的影響

4. 考察と結論

本研究は、1.5 度目標を達成する際に DAC の利用がエネルギーシステムと経済へ与える影響を分析することを目的に、AIM/Hub モデルを改良し、1.5 度目標を達成するための CO₂ 排出削減を行った際の社会経済状況を推計した。DAC による CO₂ 回収量の推計結果は 2050 年において 4.9Gt-CO₂ と推計され、エネルギー供給におけるバイオマスの利用を抑制した。DAC を利用する経済的な効果として、GDP を指標とした場合、損失を大きく抑制する効果を示した一方、家計消費を指標とした場合、その効果は限定的であった。このことは、新たな削減技術を考慮する場合に GDP を指標とすることの限界点を示唆している。DAC の利用は食料価格を減少させ、特に食料消費への支出割合が高い所得階層に対しては効果的な削減策となると考えられる。