

脱炭素社会に向けた統合評価モデルの再考 ～有用性と不確実性、カーボンプライシング～

Research Report
2022年3月資産運用研究所
小原 萌香

要 約

2015年12月、国連気候変動枠組条約締結国会議（COP21）にて「パリ合意」が取り決められて以降、主要先進国・地域で温室効果ガスの排出量削減目標が掲げられ、取り組みが進められてきた。近年では、経済活動を通じて排出される二酸化炭素に価格を付けるカーボンプライシングへの関心が高まっており、主要な例としては、「炭素税」や「排出量取引」などが挙げられ、こうした気候変動問題への対策の検討や評価には世界中の研究機関などが開発した様々なモデルから得られる結果が活用されている。

日本の金融業界においても、昨今、CAT ボンドや損害保険のような自然災害リスクを組み込んだ商品や、脱炭素関連企業の株式に投資する投資信託などが登場しており、投資家や金融機関も気候変動による影響を把握しておく必要性が増していることから、本稿では、気候変動リスクやカーボンプライシングの理解における一助となることを目指し、気候変動予測と経済モデルを結びつける統合評価モデルの代表例として DICE モデル、RICE モデル、PAGE モデル、FUND モデルを紹介する。

こうしたモデルの基本構造を理解しておくことは、統合評価モデルに限らず、今後、金融業界においても気候変動に関連した様々なリスクを把握し、経済的に評価する際に有効であろう。また、モデルにおける将来の不確実性という性質は、気候変動予測の今後の課題でもあり、モデルの有用性と併せて把握しておくことがアウトプットを見るうえで重要である。

目次

1. はじめに
2. シンプルなモデルの意義
3. 初の統合評価モデル、『DICE モデル』
4. DICE モデルの応用版、『RICE モデル』
5. 不確実性を考慮した、『PAGE モデル』
6. 気候変動による影響を詳細に表現した、『FUND モデル』
7. モデルの抱える課題
8. おわりに

1. はじめに

2015年12月、国連気候変動枠組条約締結国会議（COP21）にて、2020年以降の地球温暖化対策の国際的な枠組みである「パリ合意」が取り決められて以降、主要先進国・地域で温室効果ガスの排出量削減目標が掲げられ、取り組みが進められてきた。日本においても、菅内閣総理大臣（当時）が2020年10月の所信表明演説にて「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、すなわち2050年カーボンニュートラル¹、脱炭素社会の実現を目指す」ことを宣言しており、中期目標として2030年度の排出量を2013年度から46%削減することを掲げている。

脱炭素社会の実現に向け、温室効果ガス排出削減への取り組みを促進するために、近年、経済活動を通じて排出される二酸化炭素に価格を付ける、**カーボンプライシング**への関心が高まっており、主要な例としては、化石燃料や電気の利用に応じて税金をかける「炭素税」や、企業ごとに温室効果ガスの排出枠を定め、排出枠が余った企業と、排出枠を超えて排出した企業との間で枠を取引する「排出量取引」などの政策が挙げられる。これらは2021年4月時点で欧州を中心に64の国・地域で導入されており、こうした気候変動問題への対策の検討・評価の際の将来推計や影響分析には、世界中の研究機関などが開発した様々な**モデル**が活用されている。

このような中、日本の金融業界においても、昨今、CAT ボンドや損害保険のような自然災害リスクを組み込んだ商品や、脱炭素関連企業（温室効果ガスの排出量の削減、吸収及び除去等への貢献が期待される企業等）の株式に投資する投資信託などが登場しており、投資家や金融機関も、投資判断に際し、気候変動による影響を把握しておく必要性が増している。

そこで本稿では、気候変動リスクやカーボンプライシングの理解における一助となることを目指し、気候変動予測と経済モデルを結びつける**統合評価モデル**の代表例を、特徴や仕組みとともに紹介していく。

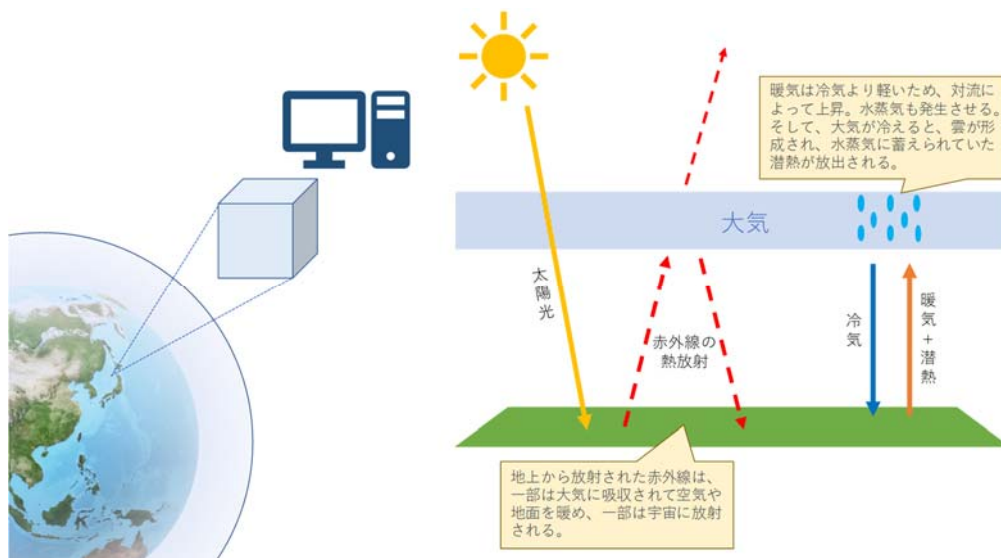
¹ 二酸化炭素やメタン、一酸化二窒素などといった温室効果ガスの「排出量」から、森林などによる「吸収量」を差し引いた量をゼロにすること。

2. シンプルなモデルの意義

さて、本題に入る前に、“モデル”そのものの意義を考える。気候変動に関連するモデルと聞くと、記憶に新しいのは2021年にノーベル物理学賞を受賞した、真鍋淑郎氏らの「大気・海洋結合モデル」であろう。真鍋氏は、熱の放射収支と、対流による大気の輸送、および水循環による熱の移動に着目した。そして、上空の大気まで含む地球全体を格子状に分割することで、そのそれぞれについて、風の流れや熱の輸送を、時間間隔を設けながら計算するモデルを開発した。これにより、大気中のガス濃度と温度変化の関係を扱いやすく、かつ大気と海洋を一体化したシミュレーションを可能にした（図表1）。

その結果、二酸化炭素濃度の上昇が地球の気温上昇を引き起こすメカニズムの解明や、さらには現在用いられている長期の気象予測モデルの開発へと繋がった。

図表1 真鍋氏の開発した気候モデルのイメージ



(出所) スウェーデン王立科学アカデミーHP より日興リサーチセンター作成

このように、複雑に影響しあう現象を、本質的な部分を残したうえで、なるべくシンプルにすることで、パターンを見つけたり、理解・説明しやすくしたりする点にモデル化の意義がある。

本稿で紹介していく「**統合評価モデル (IAM : Integrated Assessment Model)**」は、気候変動対策を検討または評価する際のエビデンスの必要性から、世界中の研究機関で開発されてきた。これらは経済学と気候変動とを結びつけ、「気候変動に関する政府間パネル (IPCC)」の評価報告書の作成などにも用いられており、改良により年々多様化かつ複雑化することで、モデルの中身の理解よりアウトプット（出力結果）に注目が集まりつつある。しかし、気候変動の深刻さが増した今だからこそ、モデルの性質を理解したうえでアウトプットを見ることが重要であると考え。そこで、統合評価モデルの本質部分の理解のため、次章からは気候変動の**統合評価モデルの第一世代**を築いたモデルをいくつか紹介していく。

3. 初の統合評価モデル、『DICE モデル』

統合評価モデルの1つ目として、DICEモデル (*Dynamic Integrated Climate-Economy*) を紹介する。2018年にノーベル経済学賞を受賞した *William D. Nordhaus* 氏によって1990年代前半に開発された、初の気候変動の統合評価モデルである。

3~6章で紹介していく4つの第一世代モデルは、それぞれ複数の連立した式から構成されるが、イメージがしやすいよう、まず、いずれにも共通する構造を簡潔に説明する。

モデルを構成する式は、大きく

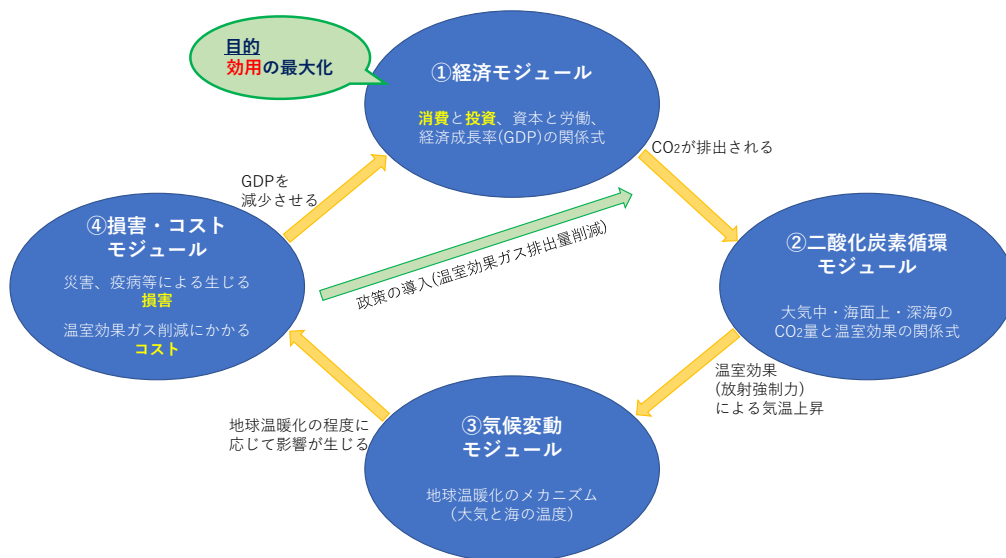
①経済モジュール、②二酸化炭素循環モジュール、③気候変動モジュール、④損害・コストモジュールの4つのモジュールに分類される(図表2)。

前提として、人々が経済活動を行う(①)と、エネルギーの利用に伴って二酸化炭素が排出される。②では、経済活動の結果、排出された二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスが、大気中や海洋上でどの程度の濃度になるかを、長年の蓄積量や森林による吸収量などを考慮しながら算出する。

そして③では、温室効果(放射強制力²)に応じてどの程度、地球の気温上昇が生じるかを算出し、④ではその影響で生じる損害額、および、気候変動対策として二酸化炭素排出削減を行うときにかかるコストを算出する。ここでの損害およびコストは①においてGDPを減少させる。

このような一連のサイクルにおいて、将来のある時点までの、効用の現在価値の合計を最大化することを目的関数とし、変数を最適化する。また、この際、排出削減費用や損害額のシミュレーションに加え、二酸化炭素排出量が1単位増加した場合に生じる影響を貨幣価値に換算した、**炭素の社会的費用(以下、SCC : social cost of carbon)**も算出することができる。

図表2 統合評価モデルのモジュールのイメージ



(出所) 日興リサーチセンター作成

² 対流圏と成層圏の境界(圏界面)における、地球に出入りするエネルギーの正味の放射平衡の変化のこと。正の放射強制力は大気を暖め(温暖化を引き起こし)、負の放射強制力は大気を冷やす(寒冷化を引き起こす)傾向がある。

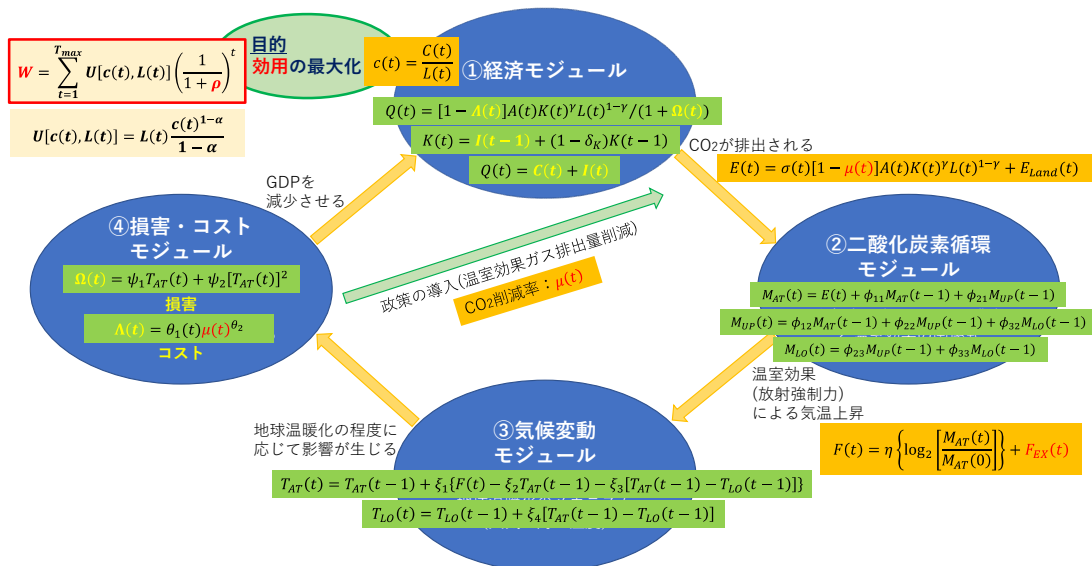
図表3は、参考までに図表2上にDICEモデルの式を配置した概要図である。このように、DICEモデルの場合、一連の複雑な事象をたった十数個の式で表したところが当時、非常に画期的であった。

DICEモデルでは、世界全体を1つの地域とみなし、効用Wを最大化するような行動（消費 $c(t)$ と投資 $I(t)$ のバランス）と政策（二酸化炭素排出削減率 $\mu(t)$ ）を推定する。（なお、考え方として、現時点の消費は現在の効用を高め、投資は経済成長をもたらすことで将来の消費を増やす。また、二酸化炭素排出削減は将来の損害を減らす一方で、現時点でコストを要する。）

簡単に式を見てみると、二酸化炭素循環モジュールでは、大気（atmosphere, AT）・海洋上部と生物圏（upper ocean, UP）・深海（lower ocean, LO）間での二酸化炭素の循環、蓄積、吸収を考慮し、二酸化炭素量をそれぞれ分けて計算している。次の、温室効果（放射強制力） $F(t)$ を算出する部分では、二酸化炭素以外の温室効果ガスの放射強制力は、 $F_{EX}(t)$ という形で外生的に数値データを与えている。そして、気候変動モジュールでは、温室効果 $F(t)$ に応じた大気及び浅い海と、深海の温度を算出しており、損害・コストモジュールで算出された $\Omega(t)$ と $\Lambda(t)$ が、経済モジュール中のGDP $Q(t)$ を減少させる関数になっていることがわかる。なお、将来の効用を現在価値に換算する際の割引率 ρ は外生的に設定している。

昨今、多くの統合評価モデルが開発されており、式の形状や用いられている統計データ、考慮している損害の範囲などはそれぞれ異なるが、基本構造はDICEモデルと同様のものが多い。

図表3 DICEモデルの概要



(出所) Nordhaus/Sztorc [2013]より日興リサーチセンター作成

なお、DICEモデルおよび次章のRICEモデルでは **SCC** を、二酸化炭素排出量 $E(t)$ が1単位増加したときに伴う消費 $c(t)$ の減少量との関係から算出している。

$$(\text{式} : SCC(t) = \frac{\frac{\partial W}{\partial E(t)}}{-\frac{\partial W}{\partial C(t)}} = -\frac{\partial C(t)}{\partial E(t)})$$

4. DICE モデルの応用版、『RICE モデル』

次に、RICE モデル (*Regional Integrated model of Climate and the Economy*) を紹介する。これは、先述と同じく Nordhaus 氏によって開発されたモデルで、DICE モデルを応用したモデルのため、基本的な構造は同様である。

だが、世界全体を 1 つの地域とみなして考えていた DICE モデルに対し、このモデルは、「*Regional Integrated model of Climate and the Economy*」という名称から分かるように、世界を複数の地域に区分し（直近の RICE-2010 モデル時点では 12 の地域³）、推定している点に新規性がある。

効用関数に、各地域の人口や生産（GDP）、一人当たりの消費量のデータなどをもとに算出した地域固有のウェイト（パラメータ）を与えることで、地域ごとに算出した効用の合計値 W が最大となるように最適化するモデルへと改良した（式 1 参照）。

式 1 RICE モデルの目的関数

$$\begin{aligned} \text{Max}_{c_i(t)} W &= \sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^n \frac{\phi_i U_i[c_i(t), P_i(t)]}{(1 + \rho)^t} \\ &= \sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^n \frac{\phi_i P_i(t) [c_i(t)^{1-\alpha} - 1]}{(1 - \alpha)(1 + \rho)^t} \end{aligned}$$

ϕ_i : 地域 i 固有のウェイト

U_i : 地域 i の効用関数

$c_i(t)$: 時間 t における 1 人当たり消費量

$P_i(t)$: 時間 t における人口

ρ : 割引率

α : 消費の限界効用の弾力性

その結果、地域間の様々な協力の度合いを考慮することが可能となり、気候変動への政策を一切採用しなかった場合の「**市場アプローチ**」、全地域が政策を採用し、世界の効用の合計を最大化しようと協力しあう場合の「**協力的アプローチ**」、各地域が自国の効用のみを考慮する場合の「**非協力的（国家主義的）アプローチ**」の結果を比較することで、気候変動対策のためには、自国利益のみならず、各国・地域間での協力も考える重要性を提起するものとなった（図表 4）。なお、非協力的アプローチの考え方にはゲーム理論で有名な、ナッシュ均衡⁴の考え方が取り入れられている。

³ 米国、EU 諸国、日本、ロシア、ユーラシア（東ヨーロッパといくつかの旧ソ連構成国）、中国、インド、中東、サハラ以南アフリカ、ラテンアメリカ、その他の高収入諸国、その他発展途上国の 12 の地域に区分している。

⁴ 数学者の John F. Nash が提唱した非協力ゲームの基本概念。ゲームの全参加者それぞれが、一定のルールのもと、自己利益が最大となる戦略を選択し合った場合に生じる均衡状態のこと。

図表4 RICEモデルのアプローチ

市場アプローチ	気候変動に対する政策(温室効果ガス排出規制)を行わないと仮定するアプローチ。
協力的アプローチ	各国が温室効果ガスの排出量を、協力的かつ効率的な方法で削減するアプローチ。(国際的に高度な協力関係が必要であり、あまり現実的ではない。)
非協力的アプローチ	他国の政策が、自国の採る政策に対して不変であると仮定し、各国が自国の経済厚生のみを考慮して温室効果ガス排出規制を設定するアプローチ。

(出所) Nordhaus/Yang [1996]より日興リサーチセンター作成

5. 不確実性を考慮した、『PAGEモデル』

続いて、PAGEモデル (Policy Analysis for the Greenhouse Effect) を紹介する。これは、EUの政策決定に使用する目的で、Chris Hope氏らによって1990年代前半に開発されたモデルである。近年ではPAGEモデルから派生した「PAGE-ICE」や「Mimi-PAGE」が用いられている。

PAGEモデルは、あらゆる統合評価モデルに共通の課題である「将来の不確実性」への対処として、**確率モデル**になっている。主要な入力変数は単一の値ではなく、様々な値の可能性からなる**確率分布**で定義されており、各変数には、最小値、最大値、平均値、最頻値が定められている。なお、PAGEモデルにおいては、**SCC**を二酸化炭素の排出量が1単位増加したときの、将来のある時点までの損害額の変化量を、地域ごとの消費量を加味して加重したものの割引現在価値の合計から算出しており、確率分布中から様々な値を選択して入力し、モデルを数百回以上実行することで不確実性を考慮している。

その他にも、DICE/RICEモデルとの相違点として、気候変動による損害を「**経済的損害(有形)**」と「**非経済的損害(無形)**」の2種類に分け、単位気温上昇当たりのGDPの年間損失率から貨幣価値に換算し、評価している。**経済的損害**は、農業や林業など、市場における損害を指し、GDPに占める農業の割合が高い発展途上国ほど大きい。**経済的損害**は、モデル中の**経済モジュール**における**投資と消費**に影響を及ぼし、さらに、**投資**は経済成長に、**消費**は人々の**厚生(効用)**に影響を及ぼす。

一方、**非経済的損害**は、生態系における種の損失や、疾病の罹患率など、環境や社会における損害を指し、人々の**厚生**に影響を及ぼす。不確実性が高い要素であり、1人当たり収入の大きい先進国ほど、非経済的損害を減少させる意欲(余力)があるため、発展途上国ほど損害額がより大きくなると考える。

なお、地球温暖化に関連した研究の進展とともにモデルも改良されており、放射強制力の算出部分では、二酸化炭素(CO₂)やメタン(CH₄)、一酸化二窒素(N₂O)といった温室効果ガスの種類ごとにモデルに組み込んでいる。また、温室効果をもたらすとされる正の放射強制力だけでなく、硫酸塩エアロ

ゾル（エアロゾル）とその前駆物質⁵などの**負の放射強制力（冷却効果）**も考慮されている（図表 5 参照）。

図表 5 気候変動をもたらす主な駆動要因別の放射強制力の推定値



(出所)「IPCC 第 5 次評価報告書第 1 作業部会報告書 政策決定者向け要約 気象庁訳」より図 SPM.5 を転載

6. 気候変動による影響を詳細に表現した、『FUND モデル』

最後に、FUND モデル (Climate Framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution) を紹介する。これは、Richard S. J. Tol 氏によって 1990 年代後半に開発されたモデルであり、RICE モデルと同様、世界を複数の地域に区分して評価する。初期モデルから何度も改良が重ねられており、直近では 2019 年に FUND4.0 モデルに関する論文が Tol 氏により公開されている。

FUND モデルの最大の特徴は、インプット (外部から与えるデータ) もアウトプット (モデル内部での計算により出力されるデータ) も多様な点である。特に、気候変動モジュールは他のモデルと比べて非常に詳細で、気候変動により経済的影響が及ぶ事象として、

- 農業
- 林業
- 海面上昇 (湿地や乾燥地の喪失)
- 熱帯・亜熱帯の暴風雨
- 寒冷・熱ストレスに関連する心血管・呼吸器系の障害
- マラリア、デング熱、住血吸虫症

⁵ 化学反応などで、ある物質が生成される前の段階にある物質のこと。前駆体、先駆物質とも言う。

- 水資源 ■ 管理されていない生態系 ■ エネルギー消費

などを組み込んでおり、それぞれ単位気温上昇当たりの損害の規模が貨幣換算化されている。一方で、経済モジュールや二酸化炭素循環モジュールは、比較的単純な作りとなっている。

さらに、FUND モデルでは、損害の種類を PAGE モデルのように有形・無形に分けるだけでなく、要因が気温の変化量（トータル：℃）によるものと、気温の変化の速度（ペース：℃/年）によるものとに分け、関数の形状を変えており、その結果、様々なシナリオでのシミュレーションの比較や、二酸化炭素以外の温室効果ガスの社会的費用の算出も可能となった。

なお、FUND モデルにおいても **SCC** を、二酸化炭素排出量 δ が 1 単位増加したときの、将来のある時点までの損害額の変化量の割引現在価値の合計から算出している。

$$\text{(式 : } SCC_r = \frac{1}{\frac{\partial U}{\partial C}} \frac{1}{\sum \delta} \sum_r \sum_t \frac{dc \frac{\partial U}{\partial c}}{\prod(1+\rho)} \text{)}$$

7. モデルの抱える課題

ここまで、経済学と気候変動を結びつけるモデルとして、4 つの統合評価モデルを紹介した。これら第一世代のモデルは、公開された文献などをもとに様々な形のモデルへと応用されていった。現在最前線で用いられている「IMAGE」や「GCAM」、「AIM/CGE」などといったモデルは、より複雑で精巧な構造になっており、気候変動問題と経済の複雑な関係性を把握し、気候変動をシミュレーションするため、世界中で活用されている。

このように有用な統合評価モデルであるが、しかし、それと同時に、用いるうえでは排除できない**不確実性**の問題についても理解しておかねばならない。例えば、出力結果を最も大きく左右するパラメータが、「割引率」である。将来世代における気候変動の被害を、シミュレーションする側の人間がどの程度評価するか（どのくらいの影響の大きさと考えるか）次第で、設定される割引率は変わり、割引率が小さいほど **SCC** は高くなる傾向にある。その他にも、「気候変動への適応性」（人間が気候の変化に合わせて社会のシステムを調整することで損害を軽減させる可能性）や「気候感度」（放射強制力に応じてどの程度地球の気温変化がもたらされるか）など、予測的に外部から与えているパラメータも不確実性の大きな要因である。

実際、算出された **SCC** は研究ごとに大きなばらつきがあり、統合評価モデルを用いて **SCC** を算出している様々な文献を集め、メタ分析を行った文献によると (P. Wang et al., 2019)、集計した SCC の幅は $-50\$/tC \sim 8,752\$/tC$ ($-13.36\$/tCO_2 \sim 2386.91\$/tCO_2$) に及んでいたという。未知の気候変動の将来予測を行う統合評価モデルにおいて、不確実性は切り離せない課題であり、シミュレーションする人間の主観や予測が加わりやすい要素でもある。そのため、我々はモデルから出力された結果のみを見るのではなく、シミュレーションに際してどのようなパラメータを外部から与えているのか、ある程度理解したうえで結果を見ていくことが重要である。

8. おわりに

本稿では、気候変動リスクやカーボンプライシングの理解の一助のため、統合評価モデルの代表例として、DICE モデル、RICE モデル、PAGE モデル、FUND モデルを紹介した。これらは共通して、大きく 4 つのモジュール（経済モジュール、二酸化炭素循環モジュール、気候変動モジュール、損害・コストモジュール）から構成され、将来のある時点までの、効用の現在価値の合計を最大化することを目的関数にしている。

世界全体を一つの地域とみなしていた初期の DICE モデルをもとに、度重なる改良により、各国・地域間の様々な協力の度合いごとの将来シナリオを比較するモデルや、二酸化炭素以外の温室効果ガスの影響も組み込んだモデル、気候変動の及ぶ事象をより詳細に加味したモデルなどへと発展を遂げており、これらは、気候変動と経済を結びつけ、影響を貨幣価値化して将来予測をするうえで有用である。

それと同時に、モデルにおける将来の不確実性という性質は、今後の課題でもあり、我々はアウトプットを見るのみならず、どのような仮定やシナリオに基づいているのかを意識・把握することが賢明であろう。

引き続き各国・地域の気候変動問題への対策の動向や、統合評価モデルに関する研究の進展を追いながら、将来的には日本の気候変動リスクも組み込んだモデルや、そのアウトプット部分にも着目し、実務に活用していきたい。

【参考文献】

World Bank, [2021], “State and Trends of Carbon Pricing 2021”,
<http://hdl.handle.net/10986/35620>.

The Royal Swedish Academy of Sciences, [2021], “The Nobel Prize in Physics 2021 – popular science background”,
<https://www.complexityinstitute.it/wp-content/uploads/2021/10/popular-physicsprize2021.pdf>.

Pei Wang, Xiangzheng Deng, Huimin Zhou and Shangkun Yu, [2019], “Estimates of the social cost of carbon: A review based on meta-analysis”, Journal of Cleaner Production,
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.058>.

Tomas Havranek, Zuzana Irsova, Karel Janda and David Zilberman, [2015], “Selective reporting and the social cost of carbon”, Energy Economics,
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.08.009>.

W.D. Nordhaus and P. Sztorc, [2013], “DICE 2013R: Introduction and User’s Manual”,
http://www.econ.yale.edu/~nordhaus/homepage/homepage/documents/DICE_Manual_100413r1.pdf.

W.D. Nordhaus and Z. Yang, [1996], “A Regional Dynamic General-Equilibrium Model of Alternative Climate-Change Strategies,” The American Economic Review,
<https://www.jstor.org/stable/2118303>.

N. Nakicenovic, W.D. Nordhaus, R. Richels and F.L. Toth, [1996], “Climate Change: Integrating Science, Economics, and Policy”, <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/5025/1/CP-96-001.pdf>.

C. Hope and David Newbery, [2006], “Calculating the Social Cost of Carbon”, Energy Policy Research Group, Cambridge Judge Business School, University of Cambridge,
<https://www.eprg.group.cam.ac.uk/wp-content/uploads/2008/11/eprg0720.pdf>.

C. Hope, [2011], “The Social Cost of Co2 from the Page09 Model”, Economics Discussion Paper,
<https://ssrn.com/abstract=1973863>.

Richard S. J. Tol, [1995], “The damage costs of climate change toward more comprehensive calculations”, Environmental and Resource Economics,
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF00691574>.

Richard S. J. Tol, [1997], “On the Optimal Control of Carbon Dioxide Emissions: An Application of FUND”, Environmental Modeling and Assessment,
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.175.5716&rep=rep1&type=pdf>.

Richard S. J. Tol, [1999], “Spatial and Temporal Efficiency in Climate Policy: Applications of FUND” Environmental and Resource Economics,
<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.175.5064&rep=rep1&type=pdf>.

David Anthoff and Richard S. J. Tol, [2011], “The Uncertainty about the Social Cost of Carbon: A Decomposition Analysis Using FUND”, Economic and Social Research Institute (ESRI),
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-013-0706-7>.

Stephanie Waldhoff, David Anthoff, Steven Rose and Richard S. J. Tol, [2014], “The Marginal Damage Costs of Different Greenhouse Gases: An Application of FUND”, Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal,
http://www.economics-ejournal.org/dataset/PDFs/journalarticles_2014-31.pdf.

気象庁,[2013],「IPCC 第5次評価報告書 第1作業部会報告書 政策決定者向け要約」,
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/ipcc_ar5_wg1_spm_jpn.pdf.

日本銀行金融研究所, [2021],「気候変動の経済学」, 金研ニュースレター,
<https://www.imes.boj.or.jp/jp/newsletter/newsletter.html>.

伊藤央峻, [2021],「DICEモデルによるカーボンプライシング」, 日興リサーチレビュー,
<https://www.nikko-research.co.jp/library/10425/>.

本山真, [2021],「気温上昇を前提にしたマクロ経済成長モデル」, 日興リサーチレビュー,
<https://www.nikko-research.co.jp/library/10496/>.

(END)