



10本あるんだけどな

方程式はやめてね



簡単にね



# PROJECTIONS AND UNCERTAINTIES ABOUT CLIMATE CHANGE IN AN ERA OF MINIMAL CLIMATE POLICIES

BY WILLIAM NORDHAUS

American Economic Journal :Economic Policy 2018,10(3):333-360

<https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/pol.20170046&ArticleSearch%5Bwithin%5D%5Barticletitle%5D=1&ArticleSearch%5Bwithin%5D%5Barticleabstract%5D=1&ArticleSearch%5Bwithin%5D%5Bauthorlast%5D=1&ArticleSearch%5Bq%5D=Climate&JelClass%5Bvalue%5D=o&journal=5&from=j>



前回、CO<sub>2</sub>が増えると温室効果があるとい  
った相関性について確認したよね

でも大気中に0.04%しかないCO<sub>2</sub>が280ppm  
から400ppmに増えるとどれだけ温暖化に  
影響するのかわからないわ



だけど温暖化の1要因なら削減策を練らないとね

そうね～



以前から炭素税や排出権取引、国境炭素税の検討は  
されてたけど、世界経済は低成長が続いていて、  
なかなか調整がつかなかったよね

吉高(2019)は、気候変動情報開示(TCFD)の動機付け  
の導入部分でノードハウスのDICEモデル(Dynamic  
Integrated Climate Economy)の話をしているわ





2018年にノードハウス教授がノーベル  
経済学賞を受賞したとき偶然にも…

気候変動に関する政府間パネル(IPCC：  
Intergovernmental Panel on Climate  
Change)が温暖化への緊急提言として…



産業革命時点より1.5°C上昇に抑えるべき  
と報告したから注目されたね


そうね～



でも教授はIPCCの1.5°Cの目標は経済市場が負担  
する炭素の社会的費用が重すぎると主張して、  
2.5°C未満の目標でさえ厳しいと…



教授のDICEモデルって？





杉山(2019)が、1994年の初期モデルである13本の式を詳しく解説しているよ。教授の当時の結論は、温暖化対策投資の機会費用を考慮して、温暖化対策費用と温暖化による損害費用を比較する限りにおいては、近未来に大規模な排出削減を正当化することはできない。正当化するなら、地球温暖化の環境影響による損害をかなり巨額に想定する必要がある。しかし、現在の科学的知見では、そんな破局的被害があるとは思えない、との見解だ。

ふ～ん。教授の2018年の論文は？



国際協定の目標2°Cは高過ぎると言ってるね

要旨：気候変動は、国際環境問題の1つで、各国の気候変動を遅らせる政策は最小限にとどまっていた。また、最新のデータでも温暖化ガス排出量削減効果は見られない。本論文では更新したDICE-2016R2モデルで代替気候政策の傾向と影響に関する新たな予測を作成した。

本研究は、主要な気候変動政策を取らない場合の次世代に起こる急速な気候変動を推定する。また、国際協定の目標2°Cを達成できる可能性は低いことを示す。

あれ～。いまは、 $1.5^{\circ}\text{C}$ なんじゃ？



2018年当時は、まだ $2^{\circ}\text{C}$ だったんだ



ハイライトは以下のとおりだよ

1. 改訂されたDICEモデルが、旧版DICEや他のモデルと比較して、ベースラインまたは「政策なし」の経路での出力のより急速な増加を示している。これは、炭素の社会的コスト(SCC)と当期の最適な炭素税の大幅な上方修正にも反映されている。例えば、SCCの推定は、2013年版から約50%上方修正された。
2. 気候変動の国際目標 $2^{\circ}\text{C}$ は、強制力を持った削減戦略をもってしても、今の技術では実行不可能である。これは、気候システムの慣性、短期的に予測される急速な経済成長、およびモデルに採用した要素の改訂による。 $2.5^{\circ}\text{C}$ の目標は技術的に実現可能であるが、それでもかなり厳しい政策措置が必要となる。
3. 通常のビジネスの軌道、または効果的な気候政策なしで発生する軌道に重点を置くべきだ。いつものようにビジネスを研究するアプローチは、温度制約または濃度制約のシナリオを主張するアナリストには支持されなくなった。最小限の政策シナリオを注意深く研究することは気のめいることかもしれないが、CTスキャンが癌患者にとって不可欠であるのと同じように重要な研究である。EUのみが国の気候政策を実施しており、今のEUの政策は非常に控えめである(2017年には約 $\$8/\text{tCO}_2$ )。さらに、2017年現在の各国の政治経済学の観点からは、強力な政策措置は実現しそうにない。

4. 気候変動に対する不確実性の影響を調査した。不確実性を考慮すると、温度などの主要な地球物理学の変数の期待値はほとんど変わらない。しかし、不確実性が気候変動による被害に与える影響には非対称性があるため、不確実性の下では、炭素の社会的コストは最良の場合よりも高くなる(約10パーセント)。また、非常に楽観的な結果(不確実な変数を最も有利に採用している結果)でも、地球の気温は著しく上昇し、重大な被害が発生する。
5. 相対的な不確実性が地球物理学の変数よりも経済変数の方がはるかに高い。換言すると、結果のばらつき(例えば、変動係数、または平均に対する標準偏差によって測定される)は、濃度または温度よりも、排出量、出力、損傷、およびSCCの方が大きくなる。この結果は主に、経済成長に関する大きな不確実性によるものである。統計的な観点から、ほとんどの地球物理学のパラメータに関する不確実性は、時間が経過するとほぼ一定になる。一方、経済変数に関する不確実性は成長率の不確実性であるため、時間の経過とともに成長する傾向がある。これは2100年までに経済変数の不確実性が高まることを意味する。また、出力の不確実性は、最良の推測と不確実な結果の間の実質的な違いを意味する。
6. 気候変動の経路とその影響についてかなりの不確実性がある。将来の排出量、濃度、温度、および損傷の不確実性の範囲は非常に大きい。しかし、だからと言って昨今、気候変動政策を緊急に取る必要がないということではない。不確実性を考慮すると、(炭素の社会的コストまたは最適な炭素税によって測定される)望ましい政策は、むしろ積極的に執るべきである。
7. 多くの不確実性がある。アナリストは、世界経済やエネルギー技術がどのように進化していくか、すぐに認知できない。また、気候変動が経済だけでなく、非市場および非人間システムにとってどれほど有害であるか、経済モデルや科学モデルで様々なシステムをどのように表現するかを正確に把握していない。これらすべてのシステムについて詳しく知るにつれて、最適な方法も徐々に進化している。重要なことは、更新された結果には良いニュースよりも悪いニュースが多く、気候変動を遅らせるための政策の必要性がより差し迫ったものかどうかははっきりしない。



教授は、2013版からDICE-2016R2モデルに改訂したね

イエール大学で開発された地球温暖化の  
経済学のモデルの最新版なのね



グローバルな動的モデルの初版は、Nordhaus (1992)だよ

- DICEモデルは、経済成長理論の枠組みで気候変動を捉えている。
- ラムゼイ-クープマン-キャスの最適成長モデルでは、社会は資本財に投資し、それによって現在の消費を減らし、将来の消費を増やす。
- DICEモデルは、ラムゼイモデルを変更して、標準モデルの設備投資に類似した気候投資を含める。
- DICEモデルは、経済学から気候変動、損害賠償および軽減に至るまでのすべての要素が、各領域の簡略化された最適な方法で表現しようと試みた構造になっている
- 改訂版の分析は、2013Rモデルの背景と類似しており、詳細については、Nordhaus and Sztorc (2013) を参照
- すべての価格は2010年の米ドルで表示（購買力平価は修正済み）



## まずは損傷関数(コア推定)

## 推定結果は？



損傷関数：2016DICE版で改訂。2013年版は、To1(2009)調査からの収益化された損害の推定値に依存していたが、To1調査にはいくつかの数値誤差が含まれていると判断（Journal of Economic Perspectives 2015を参照）

損傷関数の新しい推定は、Nordhaus and Moffat(2017)による被害推定の調査から始まった。根本的な被害の推定値が特定され収集された。調査では27件の調査が行われ、36件の使用可能な被害の推定値が含まれていた。例えば、PAGEモデルの最新版では、4°Cの温暖化の影響により、世界の生産量が2.9%減少すると推定。次に、これら36件の推定値をデータポイントとして使用し、様々な仕様を推定値に適合させた。中心的な仕様は、切片がゼロで線形項がない1パラメーターの2次関数。（加重OLS版の損傷パラメーターが最も高く、その後使用される加重中央値回帰が続いた。一方、加重最小二乗法と非加重中央値回帰の推定損傷係数は最小だった。ここでの「最大」は負の値が最大であることを意味する。）Nordhaus and Sztorc(2013)で説明しているように、調査には通常、すべての潜在的な影響であるサブセットのみが含まれ、省略された部門の定量化された損傷と非市場および壊滅的な損傷の25%の調整を追加した。すべての要因を含め、被害モデルの方程式による損害は、3°Cの温暖化で世界の収入の2.1%、6°Cで8.5%であると推定した。推定値と統計分析の詳細については、Nordhaus and Moffat(2017)を参照

モデルは、線形項のない摂氏2乗あたりの世界所得の0.227%の損失のパラメーターを持つ。これは、3°Cの温暖化で世界の生産の2.0%、6°Cで7.9%の損害に繋がることを意味する。この係数は、DICE-2013Rモデルの係数(摂氏2乗あたりの生産の0.267% ⇨  $0.267\%Y/°C^2$ )よりも僅かに小さい。改訂された損傷係数は、Nordhaus(2017)で使用された2016Rモデルから唯一変更された係数である。





## 次は損傷関数の不確実性かな

### 損傷関数に関する不確実性

1つのアプローチは、係数の標準誤差。優先回帰からの標準誤差（省略された損害に対する25%のプレミアムを含む）は、中心係数が $0.236\%Y/^\circ C^2$ 。これは、推定係数7.8のt統計量に対応している

この推定は、仕様の不確実性、研究に内包する不確実性、または研究の依存性を反映していない。不確実性を推定するためのより広範なアプローチは、 $6^\circ C$ の温度上昇で、損傷関数のすべての仕様（線形と二次、加重と非加重の両方、および異なる温度閾値）に対して計算された損傷を取得することで行うことができる。これにより、 $0.14\%Y/^\circ C^2$ の不確かさが生じる。不確実性のさらに別の推定値は、省庁間作業部会、またはIAWG (DICE, FUND, PAGE) によって使用される3つのモデルの損傷係数の標準偏差を取る。これにより、 $0.15\%Y/^\circ C^2$ の損傷係数の標準偏差が得られる

さまざまなアプローチを考慮して、損傷係数の不確実性の値を決定した。これは、係数の平均値の半分である。より正確には、分布は正規分布であり、標準偏差は $0.118\%Y/^\circ C^2$ と想定。つまり、様々な研究の推定結果の間には大きな相違があることを示す

## 表の見方が解らないわ？



TABLE 1—KEY ASSUMPTIONS FOR DICE-2016R2 MODEL FOR BEST-GUESS CASE

	2015–2050	2050–2100
<i>Economic variables</i>		
Output growth (percent per year)	2.97	1.92
Population growth (percent per year)	0.80	0.25
Output per capita growth (percent per year)	2.15	1.67
Decarbonization rate (percent per year)	-1.49	-1.42
	2015	2100
Real interest rate (percent per year)	5.1%	3.6%
Price of backstop technology (2010\$/tCO <sub>2</sub> )	550	357
	Parameter value	
<i>Geophysical variables</i>		
Equilibrium temperature sensitivity (°C)	3.1	
Transient temperature sensitivity (°C)	1.7	
Average carbon retention rate (percent)	67	

注：2010年の一定の米ドルでの結果。脱炭素化率は、実質ドル生産量あたりの基本CO<sub>2</sub>排出量。実質金利は、資本収益率（%/年）。バックストップ技術の価格は、CO<sub>2</sub>排出量がゼロになる価格。平衡温度感度は、大気中のCO<sub>2</sub>濃度が2倍になった場合の全球平均表面温度の平衡上昇度。一時的な温度感度は、70年後に大気中のCO<sub>2</sub>濃度が2倍になった場合の全球平均表面温度の上昇度。平均炭素保持率は、2010年から2100年の間に大気中に残っている累積CO<sub>2</sub>排出量のパーセンテージ。



## まずはモデルの最適推定から4つのシナリオを見てみよう

図：最適係数を使用した4つのシナリオの排出経路

シナリオ：ベースライン・政策なし・T<2.5・スターンレビュー

- 通常のビジネス (BAU) またはベースライン (Base) ; ここで検討した気候変動政策の中心的なケース。ベースラインでは排出量が増加 (ただし、経路は他のほとんどのIAM(Integrated Assessment Model) よりも平坦)。ベースライン経路は、2015年現在の政策を採用。これはCO<sub>2</sub> 1トン当たり2ドルの炭素価格に相当すると推定され、この価格は年間2%相当と予測
- 費用便益経済最適 (オプト) : 無期限の将来にわたって気候政策を最適化する。
- 上昇温度を2.5°C (T<2.5)にとどめる経路、及びスターンレビュー (スターン) が提唱する非常に低い割引率の政策 : この2つの野心的な経路は、世紀半ばまでにCO<sub>2</sub>のゼロエミッションが必要となる。このトレンドは非常に急激な変化であり、いずれも、主要地域の政策と一致するよりもはるかに急激な排出削減を実現させる。この厳しい最適な政策は、2050年以降フラットな軌道を備える

不確実なパラメーターと外因性変数の値は平均値に設定した推定値ね

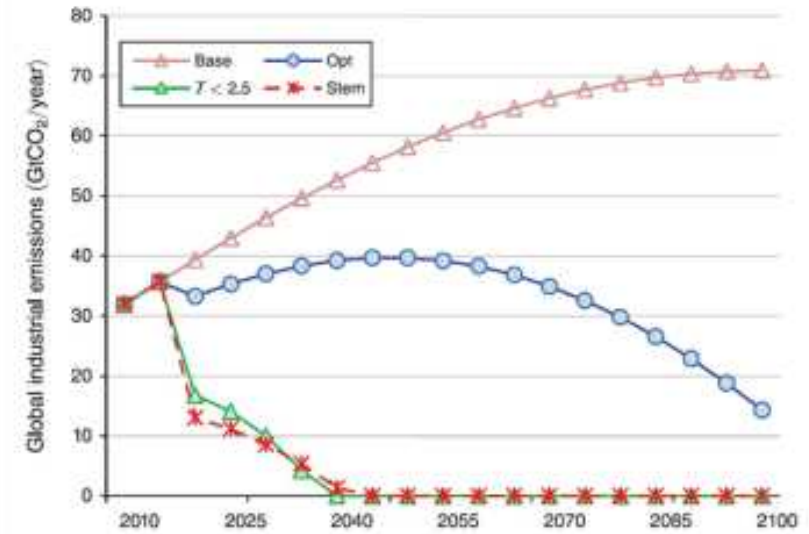


図. 様々なシナリオでのCO<sub>2</sub>の実際の排出量と予測される排出量

注：最も野心的な2つのシナリオは、世紀半ばまでにゼロエミッションが必要である

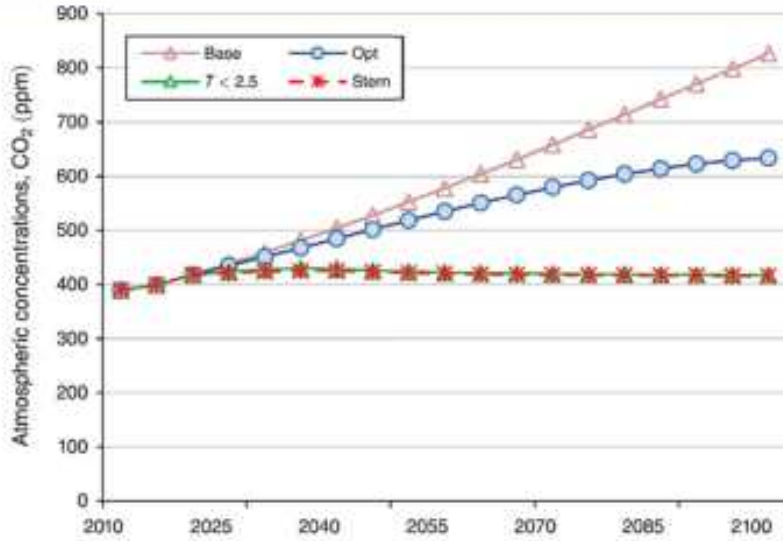


図. 4つのシナリオでのCO<sub>2</sub>濃度経路

注：2つの最も野心的なシナリオでも、現在の水準に近い400ppmの濃度を排出してしまう

2つの野心的な経路が今日のCO<sub>2</sub>濃度である400ppm水準に近似して安定する

低レベルの濃度は、近い将来のゼロエミッション軌道の結果であるが、炭素循環の慣性により、産業革命以前の280ppmよりも依然として高いCO<sub>2</sub>濃度を維持する

かなり負担を掛けたシナリオでもCO<sub>2</sub>濃度は下がらないんだね



パリ協定の2°Cでも厳しいのに1.5°Cを提言する団体も出てきたわ。経済市場は大丈夫かしら...

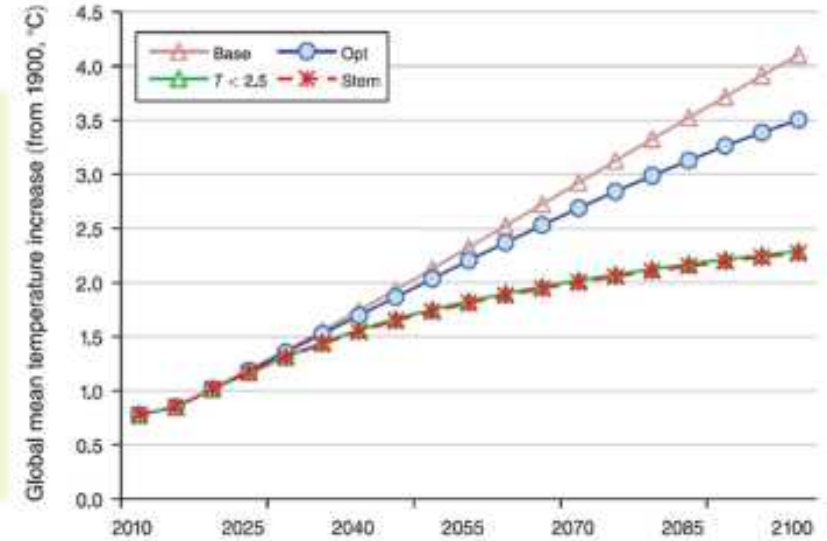


図. 4つのシナリオでの温度変化

注：最も野心的な2つのシナリオで、最良の予測でも温度を2.5°Cに抑えることができない。

2つの野心的なシナリオは、21世紀の終わりまでに2.5°Cに近づき、他の経路は、制約がない、または強力な政策を採用した場合でも慣性により急増してしまう

気温の上昇を2°Cに制御することの難しさは、①政策が長年延期されてきたこと、②炭素循環と気候システムの大きな慣性が原因と言える



## 2.5°Cやスターンでも損傷額は

今回のDICEモデルと旧モデルを比較すると、最適な経路が野心的なシナリオよりもベースに近い。これは、気候システムの慣性や制御シナリオのコストが高い等の要因の組み合わせによるものである。

目的関数は、年間4.4%の一定の割引率での消費の現在価値とほぼ同じ(実際の割引率は時間の経過とともに低下)

最適なケースでは、割引された世界の生産が30兆ドル、つまり割引された消費の1%弱増加

他の政策は、最適なケースに比べて削減を前倒しするため、割引された世界の生産を減らす。

最適な政策は、想定する損傷関数に大きく依存する。2°Cの目標を持つ国際的な政策で暗黙のうちに想定されているように、損傷関数がより高いコストを示すか、2°Cまたはその周辺で急激な曲率を示す場合、改訂された最適な政策は遥かに高い軽減と温度制約を備える。厳しい政策は経済的に魅力的だが、この損傷調査では、これらの機能のいずれも表示していない (Nordhaus and Moffat 2017を参照)。

## 43~46兆米ドルになるのね



Scenario	Objective	Damages	Abatement cost	Damages plus abatement	Difference from base	
					Objective	Damages plus abatement
Base or business as usual	4,491.07	134.2	0.4	134.6	0.0	0.0
Optimal controls	4,520.56	84.6	20.1	104.7	29.5	29.9
2.5 degree maximum						
Maximum	4,441.32	43.1	134.6	177.8	-49.7	-43.2
Max for 100 years	4,456.81	45.7	117.6	163.3	-34.3	-28.8
Stern Review abatement		46.2	155.7	201.9	na	-67.3

表. 様々なシナリオの軽減、損害、正味の影響、最適係数に対する全体的な経済的影響

第1列：ニューメレールとして第1期間の消費を使用する目的関数

第2列：削減費用と損害の合計と比較

第3・4列：基本（政策なし）の場合との各政策の違い

注：すべての数値は、2010年の価格で数兆米ドルの国際ドル。最後の2列は、通常の場合のベースまたはビジネスからのシナリオの違いの現在価値を表す。損害賠償と軽減の現在価値は、ベースの割引係数を使用する。このため、最後の2列のベースとの違いは、代替シナリオではわずかに異なる。Sternの場合の優先係数は他の場合と異なるため、Sternの目的関数はna



2016年改訂版DICEは、2013年の旧版よりも産業から排出されるCO<sub>2</sub>量は低いね

改訂版の脱炭素化率が高いからでしょ



DICEの最適係数による推定結果は、他のモデルや研究と比較できるベースラインまたは政策なしについて、今後1世紀にわたって予測される産業が排出するCO<sub>2</sub>量をグラフ化した

DICE-2016R2は、2060年以降、他の予測の下限となる

(理由)

予測される脱炭素化率が旧版や他のモデルよりも高いことによる

排出量の減少傾向は2016年DICE版に反映されているが、数年前に構築されたモデルからのものであることが多い他のモデル予測では反映されていない

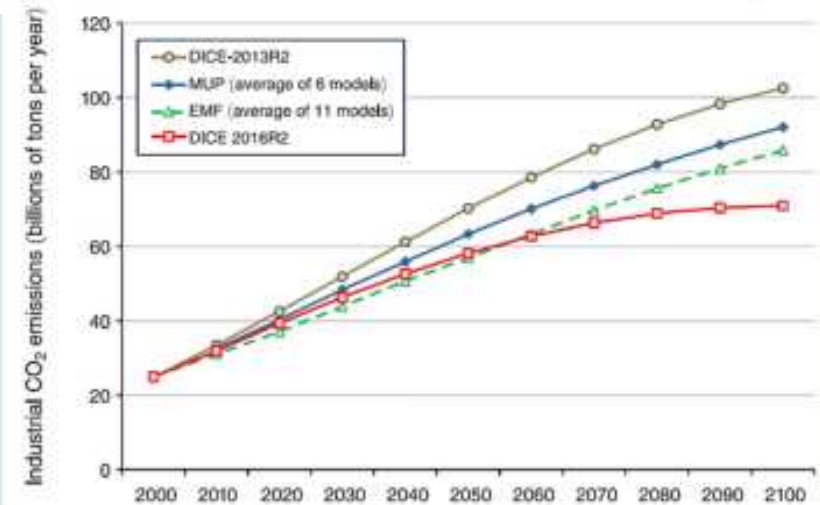


図. ベースラインシナリオ、他のモデルで予測される産業CO<sub>2</sub>排出量との比較

注：最新のDICEモデルの予測と2つのモデルを比較。MUPプロジェクトからの推定は、Gillingham et al (2018)。EMF-22の推定値はClarke et al (2009)による。



温度の経路をいろいろなモデルでみると  
IPCCのRCP8.5のシナリオが最も高くなるね

だからIPCC(気候変動による政府間パネル)  
は1.5°C特別報告書を提言したのね



達成するのは大変だよ

5つの異なるアプローチで予測した温度軌跡

IAMは、2100年までに3.3~4.2°Cの範囲の温度上昇を予測

DICE-2016R2の結果は、EMF-22モデリング演習の結果、およびMUPプロジェクトからの中心的な予測を上回っている(Gillingham et al. 2015)

一番上の行は、IPCC RCP 8.5シナリオの場合のストッカーら(2013)を調整した平均。これは、気候変動政策がない場合に高いエネルギー需要とGHG排出量を想定している。RCP 8.5には、ベースラインのDICE-2016R2モデルよりも高い放射強制力がある。つまり、DICEの温度予測は、旧版よりもわずかに低く、ベースラインシナリオの他のほとんどのIAMよりも高く、IPCC RCP 8.5の調整した平均よりも少し低い

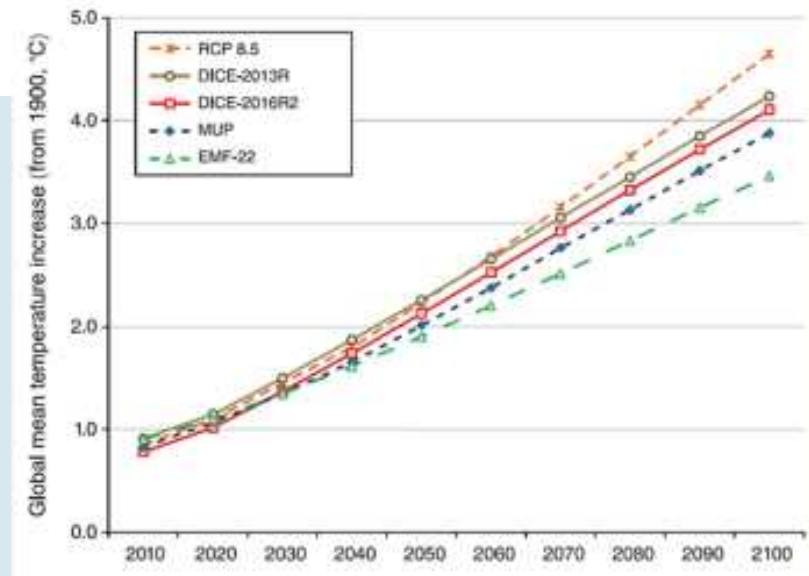


図. IPCCシナリオと統合評価経済モデルによって予測された世界平均気温上昇

注 : 最新のDICEモデル、IPCC高シナリオ(RCP : 8.5)、及び2つのモデルの予測の比較



## ここでは、SCCについてみてみよう

炭素の社会的コスト(SCC)：追加の1トンのCO<sub>2</sub>排出量またはそれに相当する量によって引き起こされる経済的コスト ⇨ CO<sub>2</sub>換算排出量の追加単位からの経済厚生(福利)の割引価値の変化

SCCは、気候変動政策、特に温室効果ガス排出を含む規制政策の決定に使用される中心的なツール。SCCの推定は、炭素循環や気候変動に加えて、気候変動による経済的損害を含む、排出によるあらゆる影響を伴うため、必然的に複雑になる。現在、原因と結果の経路全体の推定に利用できる確立された統合評価モデル(IAM)はほとんどなく、内部的に一貫したSCCは計算可能。DICEモデルは、SCCを推定するために学者や政府によって使用される主要なIAMの1つである

表は、SCCの代替推定値を示す。BGアプローチからの中心的な推定は、2015年の\$30/tCO<sub>2</sub>。他の推定は、温度制約と様々な割引率のSCCを示す。また、これらの推定値を、SCCに関する省庁間作業グループ(IAWG 2015)によって作成された米国政府の推定値と比較することもできる。IAWGの概念は、表の最初の行のベースラインと概念的に同じである。Nordhaus(2017)は、同等の割引率で、DICE-2016R2の推定がIAWGの約2倍になることを示している。この違いは、IAWGが旧版のDICEモデルを使用したことで説明できる。このモデルは、旧DICEモデルよりもSCCが低い他の2つのモデルと混合された。

## 炭素の社会的コスト？



Scenario	2015	2020	2025	2030	2050
<b>Base parameters</b>					
Baseline <sup>a</sup>	30.0	35.7	42.3	49.5	98.3
Optimal controls <sup>b</sup>	29.5	35.3	41.8	49.2	99.6
<b>2.5 degree maximum</b>					
Maximum <sup>b</sup>	184.1	229.0	284.0	351.0	1,008.4
Max for 50 years <sup>b</sup>	147.2	183.2	227.2	280.4	773.5
<b>Stern Review discounting</b>					
Uncalibrated <sup>b</sup>	256.5	299.6	340.7	381.7	615.6
<b>Alternative discount rates<sup>a</sup></b>					
2.5%	111.1	133.4	148.7	162.3	242.6
3%	71.6	85.3	94.4	104.0	161.7
4%	34.0	39.6	44.5	49.8	82.1
5%	18.9	21.7	24.8	28.1	48.4

注：炭素の社会的コストは、2010年の国際米ドルで測定される。一番上の年は、排出が発生した日付を示す。したがって、30.0ドルは、2015年の消費量に換算した2015年の限界排出コスト

- a：現在の政策を使用した参照経路に沿った計算。ベースライン計算では、最適化のために損害がゼロに設定されているが事後計算に含まれている場合、後述の(1)式のように福祉が最大化される
- b：最適化された排出経路に沿った計算。温度上限については、損傷が含まれている。温度に上限を設けることにより、これは、損傷がその制限を超えて無限であると暗黙の想定をする



## 次は、気候変動と政策に関する不確実性だ

まずは表の左3列の結果ね



○気候変動と政策に関する不確実性(ベースラインの推定結果)

分析は5つの不確実な係数から始める

次に、不確実な変数ごとに確率密度関数を五分位に分割し、各五分位の係数の期待値を取得する

非対称な確率密度関数は、平均と標準偏差を維持するためにわずかに変換させた

4ステップ目は、世界の $5^5=3,125$ の同じ確率の州すべてを完全に列挙してみた

次表は、主要な変数の統計量を示す。中央値及び不確実性には3つの統計量(平均・BG・5分位)がある

- ・次表のパネルAのベースラインの2100の温度上昇の推定値：DICEの最適推定値は $4.10^{\circ}\text{C}$ だが、平均は $4.17^{\circ}\text{C}$ で高く、中央値は $4.08^{\circ}\text{C}$ で低くなっている。これらは、分布がわずかに歪んでおり、**BG(最良の推測: best guess)**が不確実性を伴って推定値を僅かに過小評価していることを示す。他の変数は、分布が非対称である。2015年のSCCの平均は $\$33.6/\text{tCO}_2$ であるが、BGは約10%低く $\$30.0/\text{tCO}_2$ である。ほとんどの変数は同様に歪んでいる。生産高の中心値は、生産高の偏った性質のために、BGの場合には非常に過小評価される(つまり、成長率は正規変数であるため、生産高は対数正規変数である)。BGを使用すると分析が大幅に簡素化されるため、BGが妥当な近似値であるかどうかは重要である。生産性に関する高度な不確実性と、生産高の対数正規分布の裾が重い性質(分散)に起因する、長期的な生産高と排出量にバイアスがある。





## 次は右3列の指標をみてみよう

表の右3列は、標準偏差、四分位(IQR)、変動係数(CV)の3つの不確実性の尺度で、最も有用な指標はCVである

- CVが2100の温度上昇や炭素濃度などの地球物理学的変数では比較的低いですが、生産高、損傷、SCCなどの経済変数は非常に高い
  - 経済変数に関する高い不確実性は、主に生産高の不確実性によるものである。地球物理学的変数の長期ラグに加え、地球物理学的パラメーターに関する不確実性が低いため、これらの変数の不確実性は低くなる
  - パネルBは、オプトシナリオの結果を示す。不確実でBGの場合のSCCは、ベースラインシナリオよりオプトシナリオの方に近い
- ☞ 極端に炭素濃度の高い州の社会的コストを減らしながら、政策がより高い損害を被る州に適応できるので、不確実性が発生する

## 重要なのは変動係数ね



Variable	Mean	DICE best guess	Fiftieth percentile	SD	IQ range	Coef. of var.
<i>Panel A. Results for baseline scenario</i>						
SCC, 2015	33.6	30.0	24.5	30.6	30.2	0.91
Temperature, 2100 (°C)	4.17	4.10	4.08	0.99	1.39	0.24
Carbon concentrations, 2100 (ppm)	926.8	826.6	839.9	307.1	394.7	0.33
World output, 2100 (trillions, 2010\$)	1,140	759	766	1,009	875	0.88
Emissions 2100	102.4	70.9	71.2	86.2	104.5	0.84
Damages, 2100 (percent output)	4.1	3.8	3.2	3.3	3.8	0.80
Real interest rate, 2100 (percent/yr)	3.6	3.6	3.6	1.3	1.6	0.36
Objective (trillions, 2010\$)	4,029	4,491	4,513	2,493	2,727	0.62
<i>Panel B. Results for optimal scenario</i>						
SCC, 2015	31.7	29.6	24.2	26.7	28.7	0.84
Temperature, 2100 (°C)	3.49	3.50	3.44	0.71	0.94	0.20
Carbon concentrations, 2100 (ppm)	666.3	633.1	629.4	161.5	170.0	0.24
World output, 2100 (trillions, 2010\$)	1,178	766	772	1,054	873	0.89
Emissions 2100	21.6	14.1	12.5	31.0	28.3	1.43
Damages, 2100 (percent output)	2.6	2.8	2.4	1.4	2.0	0.54
Real interest rate, 2100 (percent/yr)	3.7	3.6	3.7	1.4	1.6	0.38
Objective (trillions, 2010\$)	4,066	4,519	4,533	2,499	2,697	0.61

表. 主要な変数の統計量

注：この表は、ベースラインおよび最適なシナリオの離散化された不確実性分析からの主要な変数の統計を示す。「BG : DICE best guess」は不確実なパラメータを期待値として設定する

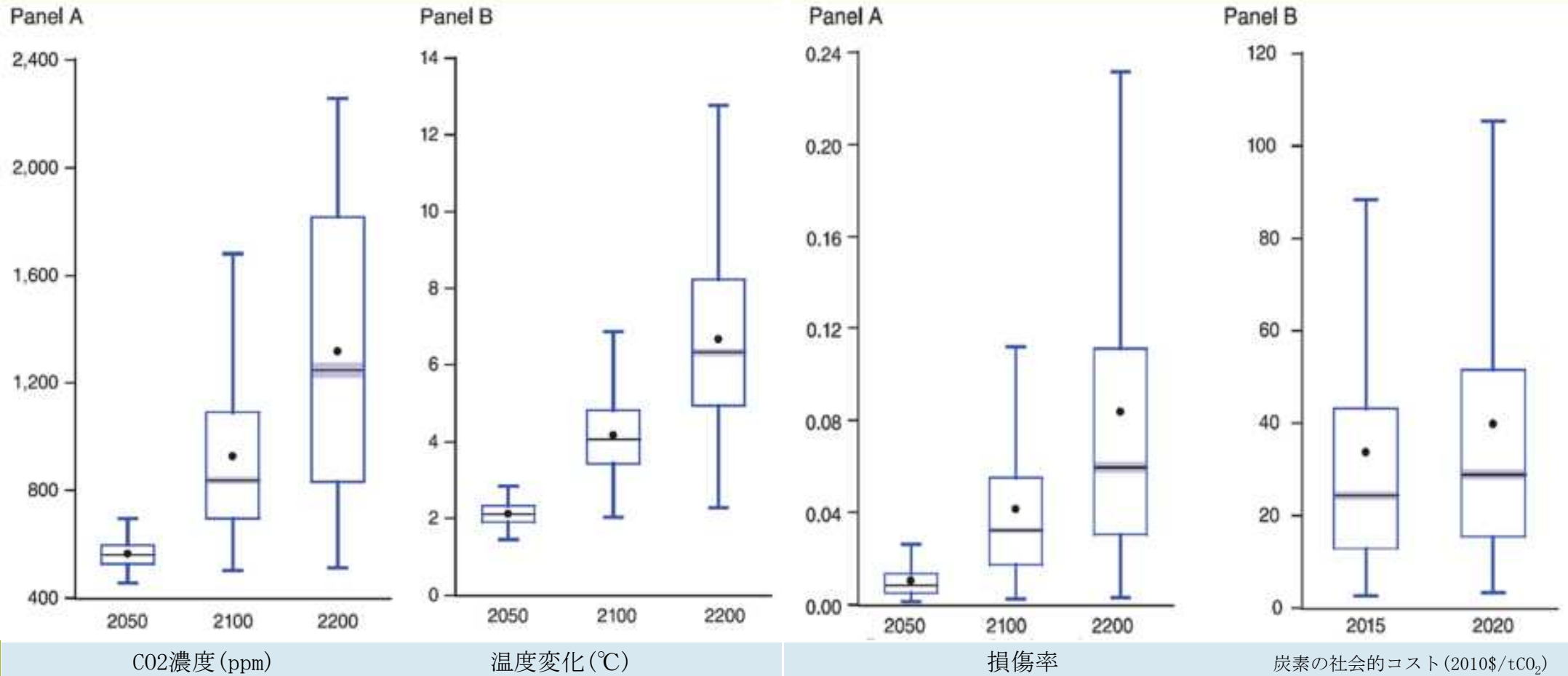


図. DICE不確実性実行における主要な不確実性変数の箱ひげ図

注：ボックスの中央の線は中央値。線の周りの影付きの領域は中央値の標準誤差。ドットは平均。ボックスには四分位IQR(=Q3-Q1)が表示。フェンス(上部と下部のバー)は $Q1+1.5 \times IQR$ および $Q3-1.5 \times IQR$ 。正規分布の場合、フェンスには分布の99.2%が含まれる

図. 主要な不確実な変数の箱ひげ図

注：同左



## 本研究の重要な結果が出たね

でも、みんな2°C未満を目標にCO<sub>2</sub>削減に動き出したんじゃないの？



## 技術競争で結果が出るか投資が先に息切れするか・・・

○主要国の政策を考えると2°C未満の目標は非現実的

削減コストが最大となる場合の結果の分布を推定した(2015年の期間で30%、2020年の期間で70%、その後100%)。2100年の温度上昇が2°C未満になる確率は、最大限努力しても約40%しかない。野心的な削減努力を行っても、国際協定の目標である2°Cを達成することは困難である(国連2015等)

この推定結果が他のIAMの推定と一致しているか、モデリングの不確実性プロジェクト(Gillingham et al. 2018)の結果を6つのモデルの予測で確認した

「政策」を実行するには、2015年に18ドル、2100年に520ドルにコスト増となる。そして、次の世紀にかけて急速に増加する炭素価格が含まれる。2015年水準はおそらく目標の10分の1である

6つのモデルの予測温度は2100年に平均2.8°Cで上昇していた。2100年の最低温度は、GCANモデルの2.2°Cだった  
これらの結果は、ここで報告されているDICEモデルの結果が主要な統合評価モデルの代表であることを示す

パネルA：不確実性がゼロから始まり、不確実な変数を1つずつ紹介する

パネルB：完全な不確実性から始まり、一度に1つの変数で不確実性を減らす

最も重要な不確実性は生産性の成長率である

注意：主要なパラドックスは、生産性の伸びが実質金利に与える影響のために発生する。ラムゼイ-クープマン-キャスモデルでは、実質金利(または商品の割引率)は内生的である。現在のパラメーターでは、生産性の伸び率が高いほど、割引率も高くなる。もちろん、これは、生産性の伸びが高い州では、CO<sub>2</sub>排出量が多く、温度が上昇し、損傷が大きいことを意味する。ただし、割引率が高いため、生産性の伸びが高いほど、代わりに炭素の社会的コストが低くなり、逆に、生産性の伸びが低いと、炭素の社会的コストが高くなる。例えば、生産性の伸びが最も高い五分位にある場合、2100年の世界の気温は5.3°Cである。2100年の割引率は年間5.5%で、2015年のSCCは\$24/tCO<sub>2</sub>である。生産性の伸びが低いため、2100年の世界の気温は3.4°C、2100年の割引率は年間1.7%、2015年のSCCは\$50/tCO<sub>2</sub>である。不確実性を表わす中心的な方法として、最も有用な変数はSCCである。これは、今日の政策がどれほど厳格であるべきかを示すのに対し、他の多くの変数は遠い将来と密接に関連し重要である。3つの変数が重要であるSCCで最も重要な変数は

損傷係数であるが、生産性の向上と平衡温度感度も同様に重要である。炭素循環と排出原単位は、SCCに関する不確実性にとって比較的重要ではない。炭素濃度に関する不確実性が、多くの変数、特にSCCにほとんど影響を与えないことは驚きである。この結果は、炭素濃度の変化が限界損害と限界費用にほぼ等しく反対方向に影響を与えるため、2つの変化が互いに大きく相殺することに起因する

Fraction (if only uncertainty)	SCC, 2015	Temp, 2100	CO <sub>2</sub> conc., 2100	Output, 2100	Emissions, 2100	Damage fraction, 2100	Interest rate, 2100	Global income (PV)
<i>Panel A. From zero uncertainty</i>								
Productivity	40%	68%	82%	61%	69%	41%	78%	109%
Damage	58%	1%	1%	3%	1%	63%	7%	3%
Equil. temp. sens.	37%	69%	1%	2%	1%	39%	5%	2%
Carbon cycle	6%	26%	19%	1%	0%	15%	1%	1%
Emissions intensity	0%	19%	23%	1%	23%	11%	2%	1%
All	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Panel B. From full uncertainty</i>								
Fraction (if only uncertainty reduced)								
Productivity	17%	26%	71%	97%	78%	17%	90%	95%
Damage	45%	0%	0%	0%	0%	40%	0%	0%
Equil. temp. sens.	20%	25%	0%	0%	0%	9%	0%	0%
Carbon cycle	2%	4%	2%	0%	0%	3%	0%	0%
Emissions intensity	0%	2%	4%	0%	3%	1%	0%	0%

表. 全体的な不確実性に対する様々な変数の寄与度

注：各不確実性に対する寄与（全体の不確実性の割合として）を示す。パネルAは、不確実性がゼロから始まり、不確実性のないベースから1つの変数に関する不確実性を追加することの影響を示す(一度に1つずつ)。パネルBは、完全な(5変数)不確実性から始まり、単一変数(一度に1つ)に関する不確実性を排除することによる不確実性の減少を示す



## 最後は他モデルとの比較だよ

疲れたわ～



### 他の推定との比較

IAMには他にもいくつかの不確実性の推定がある。最も便利な比較は、MUPプロジェクトからの推定値との比較である(Gillingham et al. 2015)。MUPプロジェクトは、複数の統合評価モデルを使用した気候変動の不確実性に関する最初の包括的な研究の結果を提示し、人口、全要素生産性、および気候感度のモデルとパラメータの不確実性を調べた。この研究では、CO<sub>2</sub>濃度、気温、マグマ、炭素の社会的コスト等、主要な出力変数の確率密度関数も推定した。この特徴は、不確実な変数の確率密度関数が標準化され、モデル自体(及び全ての駆動変数の平均)がモデラーのベースラインに残されていることだった。

表は、現在の研究とMUP研究の間の主要変数の平均、標準偏差、及び変動係数の比較を示している。この調査で使用されたDICEモデルはDICE-2013Rだったが、ここで使用されたモデルはDICE-2016R2である。上記のように、DICEモデルの2つのバージョン間で仕様にいくつかの重要な変更があったため、DICEの場合、この調査とMUP調査の間には方法論の違いとモデルの違いの両方がある。

調べるのに最も役立つ統計量は、表の下部パネルの変動係数(CV)である。DICEモデルの場合、CVは、SCCを除いて、2つの研究で類似している。表のパネルCでモデルの違いを調べることもできる。顕著な特徴は、モデル間のCVの大きな違いである。CVは、6つのモデル間で1~1/2からほぼ3の係数で異なっていた。

CO<sub>2</sub>濃度や温度などの地球物理学的変数の不確実性は比較的安く、最良の推測の1/5のオーダーである。ただし、経済変数の不確実性は遥かに大きく、排出量、損害、生産量、及びSCCのCVは約70%である

Variable	This study DICE-2016	DICE-2013	FUND	GCAM	IGSM	MERGE	WITCH	Average
<i>Panel A: Mean of variable</i>								
SCC, 2015	33.62	21.87	2.75	NA	NA	NA	15.47	13.36
Temperature, 2100 (°C)	4.17	3.88	3.72	3.94	3.60	4.31	3.75	3.87
Carbon concentrations, 2100 (ppm)	926.8	939.3	906.9	860.7	810.8	998.6	854.1	895.1
Emissions 2100	102.4	127.7	142.7	90.2	71.3	168.7	90.5	115.2
<i>Panel B: Standard deviation of variable</i>								
SCC, 2015	30.63	15.25	2.17	NA	NA	NA	4.46	7.30
Temperature, 2100 (°C)	0.99	1.10	0.77	1.02	0.81	1.01	0.73	0.91
Carbon concentrations, 2100 (ppm)	307.1	318.3	353.8	222.1	130.9	325.1	134.2	247.4
Emissions 2100	86.2	92.5	145.8	52.7	29.8	130.0	34.6	80.9
<i>Panel C: Coefficient of variation of variable</i>								
SCC, 2015	0.91	0.70	0.79	NA	NA	NA	0.29	0.55
Temperature, 2100 (°C)	0.24	0.28	0.21	0.26	0.22	0.23	0.19	0.23
Carbon concentrations, 2100 (ppm)	0.33	0.34	0.39	0.26	0.16	0.33	0.16	0.28
Emissions 2100	0.84	0.72	1.02	0.58	0.42	0.77	0.38	0.70

表. 現在の研究からの比較統計量とマルチモデル比較からの他のモデル



## まとめに入ろう

### ○情報のタイミングと最適気候政策

将来は不透明だが、最終的には、被害が大きい小さいか、温度感度が高いか低いかなど、どの経路を辿っているのかがわかる。ベースライン経路の場合、最小限の気候政策では、政策に影響を与えないと想定されるため、学習のタイミングは重要ではない。ただし、オプトシナリオでは、政策がシナリオによって異なり、何をいつ知り得るかを考慮する必要がある

これまでに説明した最適政策は、「学習してから行動する」という意思決定の構造を前提とする。換言すれば、分析は、将来に関する不確実性が最初に解決され、その後、気候政策が州の条件に基づいて決定されることを暗黙のうちに想定している。損害が大きいと炭素価格が高くなり、逆に損害が少ないと炭素価格が高くなる。もちろん、不確実性は時間の経過とともに徐々に解決されるだけなので、このアプローチは非現実的である。代替アプローチである「行動してから学ぶ」は、意思決定へのより現実的なアプローチを提供する。例えば、ダム機能を知らなくても、削減や炭素価格を決定できるのと同じだ。学習の構造が調べられる決定理論的アプローチへの初期の道を切り開くアプローチについては、Manne and Richels(1992)を参照

決定に対する見せかけのアプローチは、GAMSフレームワークの現在のDICE不確実性構造に完全に組み込むことはできない。これは、完全なモデルでは、世界の3,125の州を並列状態とする必要であり、代替のアルゴリズムアプローチなしでは計算上実行できないためである。再帰的方法を使用する代替の手法は、不確実性がゆっくりと解決される意思決定の研究において大幅な進歩を遂げたが(Lemoine and Rudik 2017)、完全なDICEモデル構造が組み込まれていない。2050年まで遅れる学習の影響を調べる小さなテストケースを実施した。この分析では、不確実な変数ごとに2つの極端な五分位を取った(従って、これには、世界の3,125州ではなく、 $2^5=32$ 州が含まれる。完全な不確実性モデル)。次に、完全なモデルに使用されたアプローチと同様の学習をしてから行動するアプローチを想定して、最適な炭素価格を推定した。

過度な目標を立てて、経済市場が壊れたらまた争いを生むことになりそうね。できることからコツコツと…



act-then-learnの例では、各年の最適な炭素価格は2050年までは州に依存せず(つまり、すべての州で毎年同じ)、2050年以降は州に依存すると仮定した。この代替アプローチは、2050年まで学習を行わず、2050年以降に完全に学習することを前提としている。この簡略化された例の結果は、学習の実質的な価値はあるものの、政策が後期学習に比較的鈍感であることを示す

act-then-learnアプローチの最適な炭素価格はlearn-then-actの最適な炭素価格よりも約6%高くなっている(2015年の\$34.2/tCO<sub>2</sub>ではなく\$36.1/tCO<sub>2</sub>)。ただし、初期の情報にはかなりの価値があり、2050年ではなく2015年に情報が利用可能になった場合、消費の割引価値は3.7兆ドル高くなる。この例は、政策に学習して行動するアプローチを使用することがDICEでかなり正確であることを示す不確実性のあるモデルである。ただし、大きな構造変化(特に急激な不連続性)が導入された場合、この結果を再検討する必要がある

## ○結論

主に気候政策のない世界(通常のビジネス)で、今日のほぼ全世界に通じるものである。結果は、急速に上昇するCO<sub>2</sub>濃度、温度変化、および損傷を示している。さらに、主要なパラメータの不確実性が含まれている場合、即時的に普遍で野心的な気候変動政策があっても、気温の上昇が目標の2°Cを下回る可能性はほとんどない。

事実上すべての変数、特に将来の生産量、損害、炭素の社会的コストなどの経済変数について、将来は非常に不確実である。しかし、不確実性が解消されるまで、あるいは少なくとも霧が少し晴れるまで、各国とも施策を待つべきだと結論付けたくなくなるかもしれないが、できることから脱炭素の歩みを止めることなく進むべきである



## 最後にモデル式をみておこう

見なくてもいいわ。あたしフクロウだから



$$(1) \quad W = \sum_{t=1}^{T_{max}} V[c(t), L(t)]R(t) = \sum_{t=1}^{T_{max}} U[c(t)]L(t)R(t).$$

W：社会福祉関数

(1人当たりの消費の人口加重効用の割引合計)

→ 最適化

V：瞬間的な社会福祉関数

U：効用関数

$$U(c) = c^{1-\alpha} / (1-\alpha)$$

1人当たりの消費に関して一定の弾力性

$\alpha$ ；世代間の不平等嫌悪率(1.45), 様々な世代の消費レベルの相対的な重要性を測定

$c(t)$ ：一人当たりの消費量

$L(t)$ ：人口

$t$ ：時間(5年間),  $t=1 \rightarrow 2015$ 年 (2013~2017年)

$R(t) = (1+\rho)^{-t}$ ：将来の世代別福祉の割引係数

$\rho$ ：社会的時間選好の純粋な率または福祉の世代別割引率(ユーティリティ割引率：1.5%)

パラメータは、モデルの実質金利を調整するために設定。純生産量は、損害と削減費用によって削減された総生産量。



$$(2) \quad Q(t) = \Omega(t)[1 - \Lambda(t)]Y(t).$$

Q (t) : 損害と軽減を差し引いた出力

Y (t) : 総出力(資本、労働、技術のコブダグラス関数)

総生産量=総消費量+総投資額

労働力=  $\eta$  人口

資本=最適化された貯蓄率に従って蓄積

グローバルなアウトプットの概念は、国際通貨基金によって測定された購買力平価 (PPP)

成長の概念：様々な国の実質GDPの加重成長率

加重は、現在の国際米ドルを使用した世界の名目GDPの国別シェア

一定の国際購買力平価での実質生産量の成長に関するIMFの推定に密接に対応している。

現在のバージョンは、過去の成長予測と一人当たりの生産高成長の予測の両方を実質的に示す。

1980年から2015年の期間における一人当たりの生産量の伸びは年間2.2パーセント。

2015年から2050年までの一人当たりの生産量の伸びは現在年間2.1%と予測されているが、2100年までの伸びは年間1.9%と予測されている。

改訂には、最新の出力、人口、排出量のデータと予測が組み込まれています。2100年までの人口データと予測は国連からのものです。CO<sub>2</sub>排出量は、二酸化炭素情報分析センター (CDIAC) からのものであり、さまざまなソースを使用して更新されます。2010年の非CO<sub>2</sub>放射強制力 (つまり、温暖化に対する他のガスの影響) と2100年までの予測は、IPCC第5次評価のために準備された予測からのものです。

$\Omega$  (t) : 損傷関数  $\Omega$  (t)=1-D (t)

$\Lambda$  (t) : 削減費用関数

凸状で排出量の削減に対し収穫逨減

CO<sub>2</sub>排出量の削減(おそらく3%)に充てられる

出力の割合

$$\Lambda$$
 (t)= $\theta$  1(t)  $\mu$  (t)  $\theta$  2

$$\theta_1(t) = 0.0741 \times 0.0904(t-1)$$

$$\theta_2 = 2.6$$

解釈は、最初の期間のゼロエミッションでは、削減は生産量の7.41%である

その割合は、年間2%で減少する

モデルは、温室効果ガス (GHG) 排出量がゼロ ( $\mu=1$ ) のエネルギーサービスを生み出す技術である「バックストップ技術」の存在を前提

2020年のバックストップ価格はCO<sub>2</sub>換算トンあたり550ドルであり、バックストップコストは年間0.5%で減少する。

最初は「負の排出」技術はないと想定されているが、2150年以降は負の排出が利用可能になる。以下に説明するように、負の排出技術 ( $\mu > 1$ ) の存在は低温目標を達成するために重要。

$$(3) \quad D(t) = \psi_1 T_{AT}(t) + \psi_2 [T_{AT}(t)]^2.$$

D(t) : 気候変動の経済的影響または損害

損傷が温度変化の2次関数で近似を前提

DICE-2016R2モデルは、損傷の統計量として、グローバル平均温度変化 (TAT) を採用

$$(4) \quad E(t) = \sigma(t)[1 - \mu(t)]Y(t) + E_{Land}(t).$$

E(t) : 総CO<sub>2</sub>排出量 = 排出削減率  $\mu(t)$  × 外因性の土地利用排出量によって削減された制御されていない排出量

制御なしの産業用CO<sub>2</sub>排出量 =  $\sigma(t)$  × 総排出量

$\sigma(t)$  : 炭素強度のレベルまたはCO<sub>2</sub>排出率

モデルは、過去10年間の観測を反映するために、CO<sub>2</sub>排出率のより急速な低下 (またはいわゆる脱炭素化) を組み込むように改訂

$$(5) \quad M_j(t) = \phi_{0j}E(t) + \sum_{i=1}^3 \phi_{ij}M_i(t-1).$$

$M_j(t)$  : 3つの貯水池の炭素循環式

3つの貯水池 :  $j=AT$  (大気)、 $UP$  (上層海洋と生物圏)、 $LO$  (下層海洋)

$\Phi_{ij}$  : 期間ごとの貯水池間の流量パラメータ

すべての排出物は大気中に流れ込む

2016年版DICEモデルは、大きな氷床の融解への影響などの長期的な傾向を計算するように部分的に設計されているため、最大4,000年間の $CO_2$ の大気中の保持に合うようにキャリブレーションを変更。この変化は、長期的な炭素濃度に大きな影響を及ぼす。

(5) (6) : 地球物理学的方程式(温室効果ガスの排出を炭素循環、放射強制力)

$$(6) \quad F(t) = \eta \{ \log_2 [M_{AT}(t)/M_{AT}(1,750)] \} + F_{EX}(t).$$

$F(t)$  :  $CO_2$ 等の人為的発生源からの総放射強制力の変化

グリーンハウスガス (GHG) の蓄積と放射強制力の増加の関係式。放射強制力は、地表で受けた熱

放射強制の増加は、温室効果ガスの蓄積が多いことを意味する

$F_{EX}(t)$  : 外因性の強制力

$\eta \{ \cdot \}$  : 大気中の $CO_2$ 濃度による強制力

$$(7) \quad T_{AT}(t) = T_{AT}(t-1) + \xi_1 \{F(t) - \xi_2 T_{AT}(t-1) - \xi_3 [T_{AT}(t-1) - T_{LO}(t-1)]\},$$

$$(8) \quad T_{LO}(t) = T_{LO}(t-1) + \xi_4 [T_{AT}(t-1) - T_{LO}(t-1)].$$

$T_{AT}(t)$  : 全球平均表面温度

$T_{LO}(t)$  : 深海の平均温度

単純化された2レベルの全球気候モデルによると、強制力は温暖化につながる

大規模な海洋循環モデルは、海洋にかなりの熱慣性があることを示す。これは、深海の温暖化が地表での温暖化より数百年遅れていることを意味する

気候モジュールは、最近の地球システムモデルを反映するように改訂

平衡気候感度 (ECS) は、Olsen et al. の分析に基づく (2012)

一時的な気候感度またはTCS (一時的な気候応答と呼ばれることもある) は、ECSが3.1°Cのモデルに対応するように調整され、TCSは1.7°Cになる

$\rho$  : 福祉割引率、さまざまな世代の幸福に適用 (市場で観測されない)

$r$  : 財割引率または割引率、設備投資の収益に適用 (市場で観測される; 2100年までの期間で年間平均4.25%)

DICEモデルの背後にある経済的仮定は、財割引率が実際の経済的結果を反映する必要がある

パラメータに関する仮定が、観察結果と一致する貯蓄率と資本収益率を生み出すはずであるという意味

Stern Review等で使用される代替アプローチは、「規範的割引率」(Stern 2006)と呼ばれる

割引率は (時間選好と不平等の嫌悪の割合を通じて) 好みを反映

世代の好みは不確実であり、時間の経過とともに異なって進化する可能性がある。選好に関する不確実性は、経済成長モデルでは容易に表されない哲学的困難をもたらすため、ここでは除外。ただし、これらは生産性などのショックの内因性の結果であるため、現在のアプローチでは実質金利についての不確実性が許容される

(5) ~ (8) : 経済と気候変動の間の関連性を示す

$$(9) \quad Y = H(z, \alpha, u).$$

Y：モデル出力のベクトル

z：外因性変数とポリシー変数のベクトル

$\alpha$ ：モデルパラメータのベクトル

u：調査する不確実なパラメータのベクトル

H(·)：モデル構造

「標準DICEモデル」は、生産性の向上や平衡温度感度などのパラメータの期待値（「**最良の推測**」または **BG=best guess**）を使用。

不確実性を組み込んだ信頼できる見積もりを作成することは、方法論的および経験的理由の両方で非常に困難であることが証明済み。

不確実性の2つの主な原因は、「モデルの不確実性」と「構造の不確実性」。

モデルの不確実性(アンサンブル不確実性)：モデル間の違いで、様々なモデルの結果である「データ」が容易に収集および検証されるため、不確実性を推定するのに便利。一方、アンサンブルアプローチが概念的に正しくないこと、およびアンサンブルに含める研究の選択に関してある程度の恣意性がある。

構造(またはパラメーター)の不確実性：パラメーターと変数の知識の不正確さ、およびモデル構造に関する不確実性から生じる。例えば、気候科学者は、温室効果ガスの強制力の増加に対する気候の反応について確信が持てない。本研究では、主にパラメータの不確実性のみを焦点を当てて構造の不確実性を調べた。

モデルは、外因性および政策変数とパラメーターから内因性の結果へのマッピングとして表すことができる。

$$(10) \quad h(Y) = H[z, \alpha, f_1(u_1)f_2(u_2)f_3(u_3)f_4(u_4)f_5(u_5)].$$

Step1：分析のために不確実なパラメータを選択

変数：①平衡温度感度(ETS)、②生産性の伸び、③損傷関数、④炭素循環、⑤脱炭素化の速度

$f_i(u_i)$ ：各変数に、 $g(u_1, u_2, u_3, u_4, u_5)$  の同時分布を持つ確率密度関数(PDF)があり分布は独立していると仮定

$$g(u_1, u_2, u_3, u_4, u_5) = f_1(u_1) f_2(u_2) f_3(u_3) f_4(u_4) f_5(u_5)$$

$u$ ：不確実なパラメータが出力変数の分布にマッピングされる。(9)式に基づき $h(Y)$ によって概略的に与えられる

重要な決定には、複雑なシステムの(10)式のマッピングを実際に計算する方法が含まれる

分布を離散化し、**世界の州(SOW)**の完全な列挙を実行

より正確には、不確実な変数の各分布は五分位に分けられる。次に、不確実な変数の期待値が五分位ごとに計算され、 $\{u_i(1), u_i(2), u_i(3), u_i(4), u_i(5)\}$ の各変数の離散値が取得される。ここで $u_i(k)$ は、不確実変数 $i$ の $k$ 番目の五分位

現在の目的のために、離散分布には2つの調整がある

最初に、中央の五分位がパラメーターの期待値に等しく設定される。これは、結果の中央値と平均を簡単に比較できるようにするために行われる

次に、最初の調整で不確実な変数の平均と標準偏差が変更されるため、平均と標準偏差が保持されるように5分位の値が調整される。この2番目のステップでは、中央以外の5分位値を少し調整する



難しいね～

そうね・・・お・し・ま・い





## 参考文献も忘れずにね

は～い



### 参考文献

- 吉高まり, 企業戦略としての気候変動情報開示 (TCFD) ～ESGの潮流から～, 月刊資本市場, 2019. 5 (No. 405)
- 杉山大志, ノーベル賞を獲得したノードハウスのDICEモデル, 国際環境経済研究所, 2019. 1. 25
- 大沼あゆみ, ノーベル経済学賞教授のCO2削減案に批判も, 国際環境経済研究所, 2018. 10. 17
- William Nordhaus, Climate Clubs: Overcoming Free-riding in International Climate Policy, American Economic Review 2015, 105(4), 1339-1370, <http://dx.doi.org/10.1257/aer.15000001>
- William Nordhaus, Projections and Uncertainties about Climate Change in an Era of Minimal Climate Policies, American Economic Journal, Economic Policy 2018, 10(3), 333-360, <http://doi.org/10.1257/pol.20170046>