

IPCCの将来のあり方と気候変動対策のパラダイムシフト

Exploring ultimate objective of climate strategies through reviewing role of IPCC

(公財)地球環境産業技術研究機構 山口光恒

目次

1. はじめに	2
2. IPCC報告書の役割とその内容	2
2-1 政策決定者に対する有用な情報の提供と現実的な対処策の提示	2
2-2 IPCC報告書の評価すべき点 policy relevanceの観点から	4
2-2-1 気温上昇と人為的影響	4
2-2-2 気温上昇とそのリスク	5
2-2-3 濃度・気温目標と排出経路、対策コスト	7
2-3 IPCC報告書と不確実性	9
2-3-1 気候感度	9
2-3-2 炭素予算	11
3. Policy Relevance—Edenhofer博士他の見方	14
4. IPCCの将来のあり方	16
4-1 費用便益分析	16
4-1-1 気候変動による損害	17
4-1-2 削減コスト	19
4-1-3 費用便益分析(CBA)	21
4-2 国際交渉に追従するIPCC 対策目標とモデルの関係	23
4-3 実現可能性の検討	28
5. 新たな行動目標としてのCO2ゼロエミッションに向けて —気候変動対策のパラダイムシフト—	30

1. はじめに

IPCC（気候変動に関する政府間パネル）では1990年に気候変動に関する第1回評価報告書を公表して以来、現在までに5回の評価報告書及び何種類かの特別報告書を刊行している¹。これらの報告書に対する世界の研究者や各国政府の関心は年々高まり、その影響は増大している。しかし近年になるほど評価内容が国際交渉に追従したものとなってきた。本稿では、①この事実を示した上で今後のIPCCのあるべき姿を探り、②これを踏まえて気候変動対策の目標を「気温」から「排出」へとパラダイムシフトすることを主張する。

2. IPCC 報告書の役割とその内容

2-1 政策決定者に対する有用な情報の提供と現実的な対処策の提示

本稿の冒頭で IPCC 報告書の役割を明確にしておきたい。IPCC が設立されたのは1988年12月の国連総会決議によってであるが、そこには IPCC の役割が次の通り明記されている。即ち「①気候変動の規模、タイミング、潜在的環境及び社会経済的影響に関する国際的に協力した科学的評価、及び②それらに対する現実的な対処策の提供」である（UNGA 1988、下線筆者）²。①は環境影響のみではなく社会経済的影響についての評価も求められていること、②は現実的（realistic）な対処策が求められていることで、これを裏返せば理想的な絵姿を描くことではないと言うことである。

もう1点 IPCC 報告書は *policy relevant but not policy prescriptive* でなければならないとの考え方で、これは筆者が1990年代後半に第3次報告書の執筆者に任命された際、全執筆者に対して当時の IPCC 議長の Robert Watson から直接言われた言葉である³。その後2009年のイギリスの研究所からの e-mail 漏出（climate gate）事件の翌2010年に IPCC は原則と手続きに関する IPCC の声明を出したが、ここでもこの点が改めて確認されている（IPCC 2010）⁴。この意味は、IPCC 報告書は政策決定に対し

¹ 現在第6次報告書の執筆中で2021-2022年にかけて報告が刊行予定であるなお、第1次報告書は1990年、第2次は1995年、第3次は2001年、第4次は2007年、第5次は2013-2014年に刊行されている。過去の特別報告書のうちいくつかを例示すれば2000年のEmission Scenarios、Land Use, Land-Use Change, and Forestry、2005年のCarbon Dioxide Capture and Storage、2008年のClimate Change and Water、2012年のRenewable Energy Sources and Climate Change Mitigation、Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation、ごく最近では2018年のGlobal Warming of 1.5°Cが記憶に新しいところである。

² The General Assembly endorses the action of WMO and UNEP jointly establishing an IPCC to “provide internationally coordinated scientific assessments of the magnitude, timing and potential environmental and socio-economic impact of climate change and realistic response strategies,”.

³ IPCC 初代会長の Bert Bolin 博士は IPCC 設立時点で、科学者集団は入手できる知見の提供を超えて政治的プロセスに巻き込まれないように注意の必要があると考えていた（Bolin 2007, p.38）。これは正に *policy relevance but not policy prescriptive* ということである。

⁴ IPCC’s goal is to provide policy-relevant but not policy-prescriptive information on key aspects of climate change.（下線筆者）

て有用なものでなくてはならないが、特定の政策を推奨するようなものであってはならないということである。もう一つここで確認しておきたいことは IPCC 報告書の執筆者の役割である。IPCC (2010)には「IPCC は独自の研究は行わない。科学的な出版物における知見を評価するのである⁵⁾」との一文がある。これはこの時点で改めて定めた内容ではなく、前述の Climategate 事件を受けて改めて確認したものである。この意味は自明のことであるが、要は執筆者は自分の意見を IPCC 報告書に書き込むのではなく、あくまで文献の内容を評価してその内容を盛り込むのが役割である（なお、IPCC 報告書は全て執筆者の責任で書かれるが、政策決定者のための要約－SPM－のみは行ごとに加盟国政府の全会一致の承認が必要である－政府レビュー）。

以上が IPCC（及び執筆者）に期待された役割である。ここで *policy relevant* の意味をもう少し考えて見たい。「政策に役立つ」という意味であるが、そもそも気候変動対策の目的は1992年採択の国連気候変動枠組み条約（以下 UNFCCC）第2条に次の通り明記されている。

「この条約及び締約国会議が採択する法的文書には、この条約の関連規定に従い、気候系に対して危険な人為的干渉を及ぼすこととならない水準において大気中の温室効果ガスの濃度を安定化させることを究極的な目的とする。そのような水準は、生態系が気候変動に自然に適応し、食糧の生産が脅かされず、かつ、経済開発が持続可能な態様で進行することができるような期間内に達成されるべきである(政府公式訳)」。

一読して明らかなようにこの条文は二つの内容から成り立っている。前半は「危険」でない濃度での安定化、後半はそれを一定の時間軸で達成することである。この中には経済発展が持続可能な範囲でとの文言がある。従来このうち注目を浴びたのは前半の「危険」でない濃度（或いは気温上昇）とはどの水準かということで、多くの論文が書かれたが（WBGU 1995, 1997, Parry et al., 2001, Keller et al., 2005, Oppenheimer 2005, Schneider and Lane, 2006, Yamin et al. 2006等）⁶⁾、最終的には価値判断を伴うもので結論は得られていない。この「濃度」が「気温」に変わりパリ協定で最終的に2°Cを十分下回る水準と言うことで政治的に合意に達しているのが現状である。他方、後半のうち経済が持続可能な態様で進行する期間内とはどの程度の経済損害（対策コスト）を指すのかについての研究はそれほど多くはないが、WBGU (1995) では GDP 比の経済損害5%を閾値としている（8頁）。その理由としてドイツ統一のコストが GNP の5%程度で、数十年に亘ってこれを超えると社会が不安定化し、政治的にも大きな悪影響があることを挙げている（27頁）。

⁵⁾ The IPCC does not carry out original research. It assesses the findings in scientific publications

⁶⁾ この問題を論じた多くの論文はどの程度の危険ならば容認できるのか（Tolerable Windows Approach）との考え方で書かれており、この点については山口光恒（2006）参照。

UNFCCC 第2条の解釈として最善と筆者が考えているのは、IPCC 第4次評価報告書第3作業部会報告書の記述である。ここでは第2条に関して、どの濃度で安定化させるかは、気候変動のリスク（気候の緩慢な変動或いは突発的で不可逆な事象発生リスク—それによる食糧生産やエコシステム、持続可能な経済発展への悪影響を含む—）と対策が経済の持続性を脅かすリスク、とのバランスの問題とある(第1章、99頁⁷)。本稿ではこの考え方に立った上で、IPCC 報告書が政策に有用な情報を与えてきたかどうか、また、現実を踏まえた内容であったかどうかを先ず検討する。

2-2 IPCC 報告書の評価すべき点 policy relevance の観点から

以下では上記を踏まえた上で IPCC 報告書の評価すべき点について述べる。

2-2-1 気温上昇と人為的影響

これまでの5つの報告書は気候変動問題に関する共通の理解の確立に大きな貢献を果たしてきた。その最たるものは気温上昇と人為的影響の関係である。そもそも地球の気温は氷河期と間氷期の間で大きな変動があった。こうした中で工業化以降⁸の気温上昇について IPCC 第5次報告書第1作業部会報告では1951年以降の気温上昇の半分以上⁹が人為的温室効果ガス（GHG）によるものと言うことは95%以上の確率でいえるとの見方を示している（IPCC 2013, 17頁）。気候変動問題が脚光を浴びて以来これが自然変動によるものか人為的なものかどうかについて論争が続いていた。仮に前者であれば CO2削減など人為的 GHG 排出削減策は意味のないものとなる。IPCC ではこの点に関して発足以来論文の評価を続けてきたが、1990年の第1次報告書の時点ではこの点について確定的なことは言えないとして判断を避けてきた。この点に関するこれまでの IPCC 報告書の書きぶりは次頁表1を参照願いたい、現在では20世紀半ば以降の気温上昇に限ってはいるが、これが人為的であることがほぼ争う余地のないことが明確になったのである。これはいわばサイエンスの分野での知見の確立であるが、まさに policy relevant な知見である。

サウジアラビアやクエートのような産油国は気候変動の原因が人為的となると石油輸出に大きな影響を受けることからこの点に敏感になっていた。実際1995年の IPCC 第2次報告（の最終段階での政府レビュー）ではこの関係について大議論の末に

⁷ The choice of a stabilization level implies the balancing of the risks of climate change (risks of gradual change and of extreme events, risk of irreversible change of the climate, including risks for food security, ecosystems and sustainable development) against the risk of response measures that may threaten economic sustainability.

⁸ 通常産業革命のことを指し、これは18世紀半ばに始まっているが、データの関係等から最新の IPCC 1.5°C 特別報告書(SR1.5)では1850年から1900年を基準としている。The multi-century period prior to the onset of large-scale industrial activity around 1750. The reference period 1850-1900 is used to approximate pre-industrial GMST (Global Mean Surface Temperature). IPCC (2018), p.26

⁹ テキストでは more than half とあるが、これを要約した太字の部分では dominant と表現している。

The balance of evidence suggests a discernible human influence on global climate との表現(IPCC 1995a、4頁)で決着がついた経緯がある。この点についてその後アメリカ議会も巻き込んで大きな論争が起きたことが当時の IPCC 会長 Bolin 博士の著書に詳述されている (Bolin 2007, 126-137頁)。その後 IPCC 報告書は回を重ねるごとに人為的影響の強さを指摘し、遂に2018年の1.5°C特別報告書ではこの問題は決着済みとして特段の記述が無いという状況に至り、人類は共通の認識の下で一致して気候変動問題に取り組むことになった。IPCC は気候変動の根本問題について正に政策に有用な情報を提供したのである。

表 1 温暖化と人為的影響の関係 IPCC 報告書から見た変遷

IPCC報告書	原文	日本語概要
第1次 1990年 WG1/SPM p.xxxix	The unequivocal detection of the enhanced greenhouse effect from observations is not likely for a decade or more, when the commitment to future climate change will then be considerably larger than it is today.	温暖化が(人為的な)温室効果ガスによるかどうかは確定的なことはいえない。
第2次 1995年 WG1/SPM p.4	The balance of evidence suggests a discernible human influence on global climate.	各種の証拠からみて気候変動に対する人間活動の影響が識別出来る。
第3次 2001年 WG1/SPM p.10	There is new and stronger evidence that most of the warming observed over the last 50 years is attributable to human activities.	過去50年間に観察された温暖化の大部分は人間活動に起因するものとの新たな強力な証拠がある。
第4次 2007年 WG1/SPM p.5	Most of the observed increase in global average temperatures since the mid-20th century is very likely due to the observed increase in anthropogenic GHG concentrations.	20世紀半ば以降の観察された気温上昇の大部分は人為的なGHG排出によるということが90%以上の確率(very likely)でいえる。
第5次 2013年 WG1/SPM p.17	It is extremely likely that human influence has been the dominant cause of the observed warming since the mid-20th century.	20世紀半ば以降の気温上昇の主たる要因が人為的な影響であることは95%以上(extremely likely)の確率でいえる。
SR1.5 2018年	特段の言及無し	

出典：IPCC 第1次～第5次報告書及び SR1.5 (IPCC 2018) から筆者作成

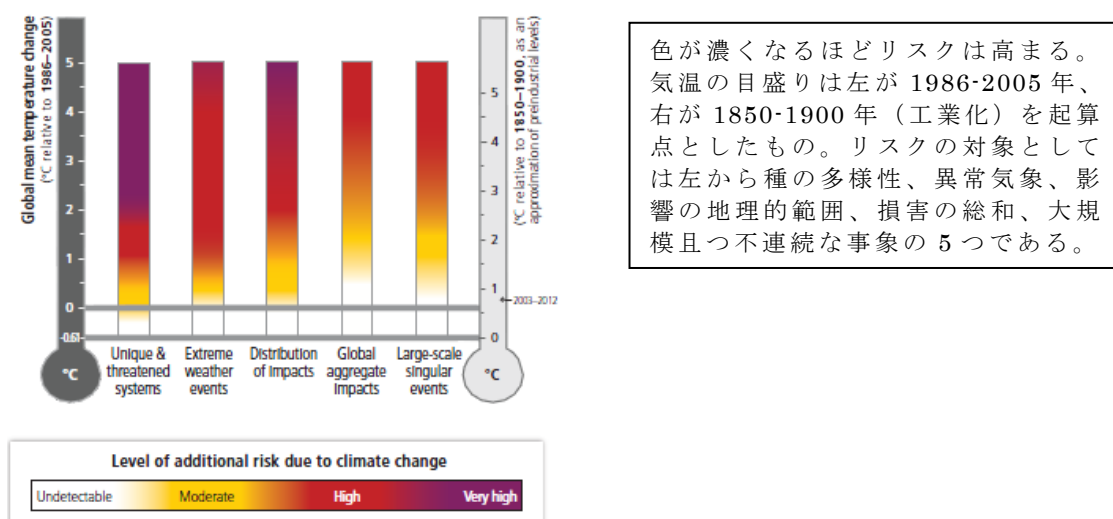
2-2-2 気温上昇とそのリスク

上記は気候変動の科学を扱う IPCC 第1作業部会 (WG1) の貢献であるが、影響を扱う第2作業部会 (WG2) の貢献はどうか。細かい点まで挙げるときりがないが、ここでは policy relevance に関連する代表的なものだけに絞る。

WG2の貢献は何と言っても気温上昇とそれによるリスクの程度を明示したことである。図1がそれであるが、種の多様性 (例えば珊瑚礁の消滅) から大規模不連続損害 (例えば西南極やグリーンランドの氷床崩壊) に至る5つのカテゴリーごとに気温上昇とそれに伴うリスクの程度を示したものである。左から2番目は異常気象のリスクで、特に最近の動きに関連して政治家を含むあらゆる読者の関心が高いところであ

ろう。実はWG2では「近年 (recent)」からの気温上昇に伴うリスクの変化を問題とし、WG3は「工業化以降」の気温上昇を所定の範囲（例えば2℃以内）に収める場合のコストや排出経路を問題としていたが、第5次報告書では図1の右側に工業化以降の気温上昇の目盛りをつけて両者の整合性を持たせるようになった。2001年の第3次報告書でも同様の図が表示されているがここでは工業化から2℃上昇した場合の悪影響は比較的軽微で特に最右欄の大規模不連続損害のカテゴリーについては白色（影響はほとんど無し）であった。しかし12年後の第5次報告では下図の通り左の2つのカテゴリーではリスクが high となり、最右欄でも moderate なリスクと評価されている。2009年のコペンハーゲン合意では2℃目標を「認識 (recognize)」していたが、パリ協定で初めて2℃目標（努力目標として1.5℃）が合意されるに際してこの図が影響を与えた要素も大きかったのではないかと思う。

図1 気温上昇とリスクの関係



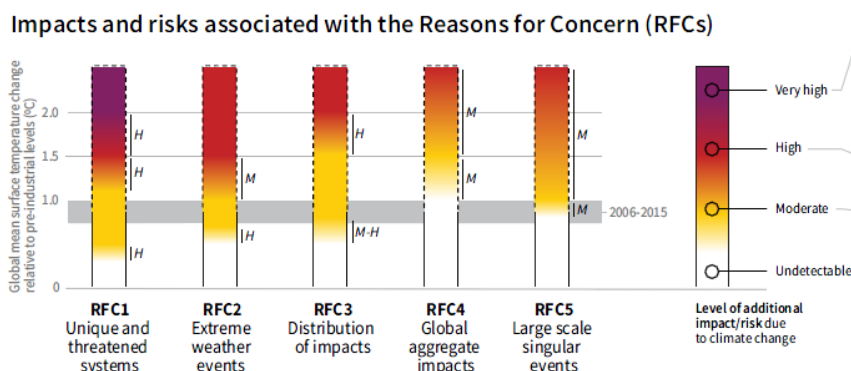
出典：IPCC (2014), 13頁

気候変動のリスクについてもう1点触れておく。気候変動のリスクには長期間に亘ってじわじわと悪影響を及ぼすリスク（図1では真ん中の3つのカテゴリー）と、一旦気温上昇がある閾値(tipping point 或いは threshold)を超えると突発的に発生し、しかもこの影響が不可逆なリスク（図1の両端のカテゴリー）の2種類あるが、どうしても避けねばならないのは後者（このうち特に影響の大きい右端のカテゴリー）で、この代表的なものがグリーンランドおよび西南極の氷床崩壊である。崩壊は数百年から数千年かけて発生するが、IPCC 第4次報告書では前者が完全に崩壊すると海面が約7m上昇し後者は5m上昇と予測されている（IPCC 2007a、17頁）。7年後の第5次報告書では大規模不可逆のリスクとして氷床崩壊、(シベリアの) 永久凍土溶融によるメタンの放出等を挙げた上で、グリーンランド氷床崩壊の閾値は1℃上昇以上（低信頼度）で4℃以下（中信頼度）としつつ、南極の氷床崩壊についてはあり得るが現在の証拠

と知見では計量評価は不可能としている。近年日本はもとより世界中が異常気象の悪影響を受けている中で、気温上昇とそれによるリスクの増加問題は気候変動政策検討に必須の項目であり、この意味で IPCC 報告書は政策に有用な情報提供を行ってきたと言える。

なお、2018年の IPCC1.5°C 特別報告書（IPCC 2018、以下 SR1.5）では図1と同じ項目について図2の通り工業化以降の気温上昇の2°Cと1.5°Cの影響とリスクの相違がより分かりやすく表示されている（気温の目盛りは左端にある）。

図2 気温上昇と影響・リスクの関係



出典：IPCC (2018) Fig. SPM2

2-2-3 濃度・気温目標と排出経路、対策コスト

緩和を扱う第3作業部会（WG3）でも政策に有用な情報が満載である。ここではこのうち目標達成に向けた CO2排出削減経路とそれに伴うコスト等の情報を挙げる。先ず濃度（気温上昇限度）目標とそれに向けての削減は第5次報告では表2の通りである。

表2 目標濃度・気温目標達成に向けての必要削減率と達成確率、シナリオ数

2100年濃度 (CO ₂ e.)	オーバーシュートの有無	2050年の必要削減量(%) 2010年比	シナリオ数	21世紀中に1850-1900年比2°Cを超えない確率	21世紀中に1850-1900年比3°Cを超えない確率
<430	モデル研究の数が僅少				
450 (430-480)	大半が480ppmをオーバーシュート	-72 to -41	114	66-100%	66-100%
500 (480-530)	No overshoot of 530 ppm CO ₂ e.	-57 to -42	251	> 50-100 %	
	Overshoot of 530 ppm CO ₂ e.	-55 to -25		33-66%	
550 (530-580)	No overshoot of 580 ppm CO ₂ e.	-47 to -19	198	0-<50%	
	Overshoot of 580 ppm CO ₂ e.	-16 to -7			

出典：IPCC (2014b) Table SPM.1 (13頁)及び Table6.2, 6.3 (430-431頁) から低濃度部分のみ抜粋。ここでは省略しているが濃度が650ppmCO₂e の場合は2°C達成確率は unlikely

(0-33%)とされている。

この表の意味は例えば2100年のCO₂等価濃度(CO₂e)を450ppm(但し430-480ppmの幅)で抑える場合、ほとんどのシナリオで2100年までにこの濃度を一定期間超過(overshoot)するが、今世紀中に2°Cを超えない確率は66%以上(逆に言えばこれを超える確率は33%程度)と見込まれるということである¹⁰。次に当該濃度や気温上昇限度目標を達成する為には2050年時点でのGHG排出を2010年比41-72%削減することが必要であることを示している。つまり濃度にせよ気温上昇限度にせよ目標(達成確率)が決まればそれに向けた排出削減経路は多数あるが、それらはいずれもこの幅の削減が必要ということである。表2から明らかなおりIPCCでは450ppm(概ね2°C目標相当)に限らずそれ以上の濃度(気温上昇限度)目標についても同様の試算結果を集計しており、どの目標を選択するかについての必要情報を政治家に提供し、決定は政治家に任せている。正にpolicy relevantな情報提供と言える(なお、IPCC 2018ではパリ協定で1.5°Cが努力目標とされたことを受けてこの目標達成にはほぼ2050年にはCO₂排出をゼロにする必要があるとの結果を公にしている、12-13頁。)¹¹。

次にコストはどうか。表3は第5次報告書からの抜粋である。

(表3) 費用効果的及び各種制約条件下での対策コスト (IPCC 2014b, Table SPM 2 より抜粋)

	消費ロス (費用効果的削減)				技術制約下での削減コストの 増加(抜粋)	
	ベースライン比 %			毎年の消費の 伸び率減 %	2015-2100年の削減コスト増加 割合(割引現在価値)	
2100 濃度 (ppm CO ₂ e)	2030	2050	2100	2010-2100	CCSが使えない 場合	バイオエネルギーが 100EJ/年に 制限される場合
450 (430-480)	1.7 (1.0-3.7)	3.4 (2.1-6.2)	4.8 (2.9-11.4)	0.06 (0.04-0.14)	138 (29-297)	64 (44-78)
500 (480-530)	1.7 (0.6-2.1)	2.7 (1.5-4.2)	4.7 (2.4-10.6)	0.06 (0.03-0.13)		
550 (530-580)	0.6 (0.2-1.3)	1.7 (1.2-3.3)	3.8 (1.2-7.3)	0.04 (0.01-0.09)	39 (18-78)	18 (4-66)
580-650	0.3 (0-0.9)	1.3 (0.5-2.0)	2.3 (1.2-4.4)	0.03 (0.01-0.05)		

数値は中央値(Median)を使用したもの。括弧はシナリオの16-84%の範囲の数値の幅。なお、CCS無しの場合にはモデルの半数以上が450ppm目標達成のシナリオを描けなかった。また「費用効果的」とは当該目標を最小費用で満たす場合を指す。

上記から仮に450ppmCO₂eを目指す場合の経済的コスト(消費ロス、GDPロスと

¹⁰ 第5次報告書からは表中に初めて気温目標(例えば2°C目標)達成確率の概念を持ち込んだ。例えば表2で450ppmCO₂eだと2°C以下に収まる確率が66%以上、500PPMCO₂eでは①530ppmCO₂eをOvershootしない場合は50%以上、②overshootする場合は33-66%という具合である。各種不確実性を考慮すると確率で表す方が正しいが、政治家をはじめとする非専門家には複雑で分かりにくいものとなってきた。

¹¹ より厳密には21世紀を通して50%以上の確率で1.5°C以下に留まる、或いは一旦1.6°Cまでovershootするが21世紀終了時点で1.5°Cに戻るためには2045-2055年の間にネットゼロ、overshootの割合がこれより高い場合には2050年頃から2060年頃の間ネットゼロが必要としている。

読み替えても大差なし)は2100年時点では4.8% (中央値)、ただし毎年の消費の伸び率で見れば0.06%の低下に相当ということが分かる。但しこれはあらゆる技術が使用可能な場合で、例えばCO₂回収貯留技術(CCS)がもし使えなければ消費ロス(4.8%×238%)に跳ね上がる(バイオエネルギー供給が年間100EJ¹²に制限される場合の消費ロスは7.8%)ことも分かる。

以上WG報告書ごとにpolicy relevantな情報を挙げてきたが、第5次報告でWG1とWG3にまたがる問題として「累計」CO₂排出量と気温上昇の関係が正面から取り上げられ、これが「炭素予算(carbon budget)」問題として目標達成シナリオに大きな影響を与え、2018年の1.5°C報告書での中心的テーマの一つとして取り上げられたので、この点について述べる。

第5次報告の各WGの報告書のエッセンスをまとめた統合報告書(IPCC 2015)では累計CO₂排出量と気温上昇がほぼニアの関係にあることを認めた上で¹³、気温(上昇限度)目標を所定の確率で達成する場合の今後の累計排出量を示している(63-64頁)。それによると例えば66%以上の確率で気温目標を2°C以内で抑えるためには累計CO₂排出量排出限度(炭素予算)は2900 GtCO₂であるが、2011年までに既に1900Gt排出してしまっているため、今後の累計排出量(残存炭素予算)を1000Gtに抑える必要があるという具合である。これは今後しばらくはCO₂排出を増やしその後急激に削減して累計で1000Gtに抑えても、直ちに緩やかな削減を開始しこれを徐々に強化して累計で1000Gtに抑えても気温上昇は不変(但し削減コストは当然異なる)と言うことで、気温上昇目標を掲げる限り今後の政策立案で考慮すべき情報の第1に挙げるべき内容で、正にpolicy relevantな情報である。

2-3 IPCC報告書と不確実性

ここでIPCC報告書の問題点を論じる前に、観点を変えて気候変動問題の各種不確実性をIPCCがどのように記述してきたのかを見ておく。

2-3-1 気候感度

平衡気候感度(Equilibrium Climate Sensitivity、以下気候感度)とは大気中のCO₂濃度が倍増した際の気温上昇を表す言葉で、一言でいえば濃度の変化に対する気温の変化である¹⁴。既述の通り気候変動枠組み条約では濃度安定化を目的としていたが、

¹² Creutzig et al. (2015) によれば持続可能性を考慮したバイオエネルギーの potential は年間100EJ (high agreement)、100-300EJ (medium agreement)、300EJ 以上 (low agreement) である。

¹³ Multiple lines of evidence indicate a strong, consistent, almost linear relationship between cumulative CO₂ emissions and projected global temperature change to the year 2100 ... p. 8

¹⁴ 厳格に言えば濃度倍増時点での気温上昇の程度ではなく、当該濃度の下で最終的に平衡状態に達した場合の気温上昇を指す。ECSに対比される概念として Transient Climate Response (TCR) がある。これは毎年CO₂濃度が一定割合(1%)で上昇し、70年後にCO₂濃度が倍増したときの気温の変化をいう。2100年時点で考えるとTCRの方が実用的との意見が多いが、初期のIPCCの分析との整合性からここではECSに焦点を当てる。

果たして濃度がある一定水準で安定化したら気温がどの程度上昇するのかというのが大きな関心であった。工業化以前のCO₂濃度は約278ppmであったのでこれが倍の550ppmに達したときにどの程度の気温上昇となるかということである。

表4から分かるとおり第4次報告書ではそれまでの1.5°C～4.5°Cから2°C～4.5°Cにかわり、最尤推定値も2.5°Cから3°Cに上昇したが、第5次報告では再び1.5°C～4.5°Cに戻ると共に、最尤推定値については専門家の間で合意できなかつたとして示されていない¹⁵。このあたりの事情についてはIPCC第5次報告書第1作業部会報告書に詳細が述べられているが（Box. 12.2）、本題からずれるのでここではこれ以上立ち入ることはしない。

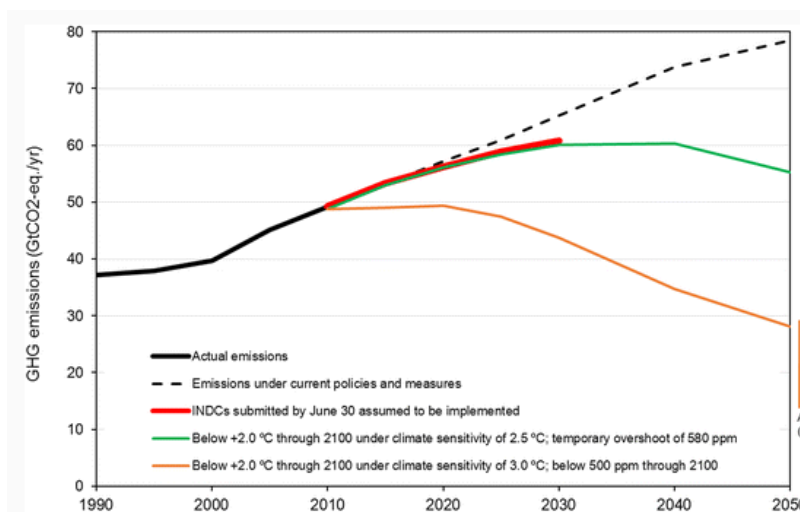
（表4）IPCC報告書での気候感度及び最尤推定値の推移

IPCC報告書	気候感度	最尤推定値 best estimate
第1次 1990年 WG1 p.139	1.5°C～4.5°C	2.5°C
第2次 1995年 WG1 p.34	同上	同上
第3次 2001年 WG1 p.67	同上	(同上) 特段の記述はないが気候感度は第1次および2次報告書に同じとしているのでbest estimateも同様と思われる。
第4次 2007年 WG1 p.799	2°C～4.5°C	3.0°C (most likely valueとあるがbest estimateと同義)
第5次 2013年 WG1 p.16	1.5°C～4.5°C	合意無し no best estimate for ECS can now be given because of a lack of agreement on values across assessed lines of evidence and studies
SR1.5 2018年 第2章 p.103	第5次報告書の数値を用いる	第5次報告書にフォロー

それはともかく現状では気候感度の幅が1.5°C～4.5°Cと実に3倍の開きがある。同じ濃度に対して気温上昇度合いがこれだけ違うということである。参考までに気候感度が0.5°C異なる場合、例えば2°C目標達成に向けた2050年までの排出経路がどの程度差があるかを示しておく。

図3 気候感度の相違による2°C目標達成排出削減経路の差

¹⁵ No best estimate for equilibrium climate sensitivity can now be given because of a lack of agreement on values across assessed lines of evidence and studies. (IPCC 2013 p.16)



出典：Kaya et al. (2016), Fig. 1

図3は RITE の DNE21+モデルで計算した結果であるが、緑色及び黄土色の線はいずれも2100年に2°C以下に収まるシナリオであるが、前者は気候感度2.5°C、後者は3°Cの場合の2050年に向けての世界の排出パスである（黒は実績、赤は各国の2030年までの自主目標－NDC－の集計、黒点線は特段の対策無しの排出経路）。仮に気候感度が2.5°Cであれば2030年に向けての各国の自主目標が達成されれば2°C目標達成の可能性はあるが、3°Cの場合には2°Cを超えてしまう。たった0.5°Cの差でこれだけ影響が大きい中で1.5°C～4.5°Cと差は実に3°Cもある。IPCC 第6次報告書の執筆は既に始まっているが（完成は2021年）、専門誌の伝えるところではモデル計算では高い数値が出ている状況とのことなので（Voosen 2019）、気候感度を巡る不確実性は今後も続く。

さらに表4の気候感度の幅はこの範囲に収まる確率が likely（66%以上）と言うことを意味しており、これよりも低い（高い）ことは十分あり得る。例えば第5次報告ではこれが1°Cを下回る確率は5%以下（extremely unlikely）、6°Cを上回る確率は10%以下としているが完全に排除してはいない点に注意が必要である（IPCC 2013 16頁）。

2-3-2 炭素予算

気候変動問題には多数の不確実性があるが、ここでは対策に大きな影響を与えるものとして炭素予算のそれについて触れておく。

既述の通り第5次報告によれば、66%以上の確率で気温目標を2°C以内で抑えるためには累計CO₂排出量排出限度（炭素予算）は2900 GtCO₂であるが、2011年までの既排出分1900Gtを差し引くと残存炭素予算は1000Gtであるとして世界に衝撃を与えた¹⁶。2010年のCO₂排出量が約37Gtなので、このままだとあと30年も経たないうちに

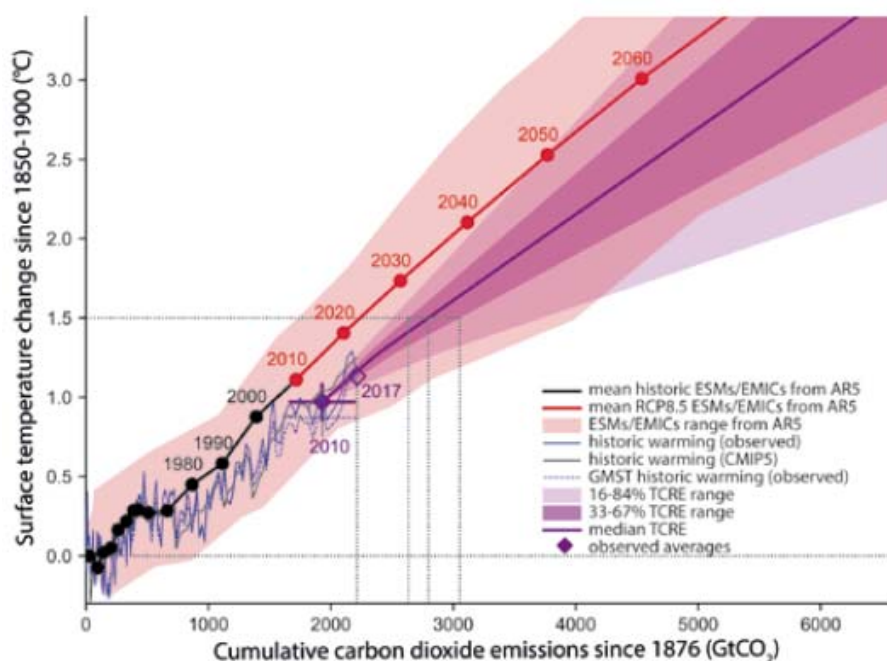
¹⁶ 実はAR5では第1作業部会（WG1）と第3作業部会（WG3）で炭素予算計算方法が異なっ

残余予算を費消し尽くしてしまうからである。第5次報告書には工業化からの気温上昇を1.5℃、2℃、3℃以下に抑える確率を66%以上、50%以上、33%以上とするための炭素予算と、(既排出分を控除した) 2011年以降の残余炭素予算が一覧表になっているが (IPCC 2015 Table 2.2 64頁)、本稿では2018年に公表された1.5℃特別報告書 (SR1.5) との比較の関係から1.5℃達成の炭素予算に焦点をあてる。

IPCC 第5次報告書 (IPCC 2015 Table 2.2) では1.5℃を66%以上で達成する為の炭素予算は2250Gtとしていた。SR1.5の政策決定者のための要約 (SPM) では2017年までに2200GtCO₂排出されたとあり (14頁)、もし AR5の炭素予算が正しければ、66%の確率で1.5℃目標を達成するための2018年時点での残りの炭素予算は年間排出量を少しだけ上回る50Gt (2250Gt マイナス2200Gt) しかないこととなる。しかし SR1.5ではこれを420 GtCO₂と増加させている。この理由として最近の知見と方法論の進展によるとある (SR1.5SPM 脚注14¹⁷)。

IPCC 第5次報告書と SR1.5の炭素予算の変化を示したのが図4である。

図4 累計 CO₂排出量と気温上昇の関係



出典：IPCC 2018 Fig. 2.3

いた (例えば起算年、目標気温上昇達成確率、非 CO₂ ガスの扱いなど) が、全ての作業部会の結果を総合した統合報告書 (Synthesis Report) では WG1 の結果に従い上記の数値を採用している。

¹⁷ Irrespective of the measure of global temperature used, updated understanding and further advances in methods have led to an increase in the estimated remaining carbon budget of about 300 GtCO₂ compared to AR5. (medium confidence)。この内容は電力中央研究所環境科学研究所の筒井純一副研究参事によるとベースライン排出量の差と基準年の差である。

図4の右上がりの線のうち2010年までの黒の太線は気候モデルで計算した累計排出量と気温上昇の実績値、それに続く赤の太線は実績を元にした排出増と気温上昇の関係で、第5次報告書での炭素予算はこれに基づくものである。既述の通り2017年までの累計排出量が2200Gtなのでこの場合の気温上昇は図4からほぼ1.5°Cに達しているはずである(太い赤線)。しかしモデルではなく観察された実績値は青色の細線でそれによれば2017年の気温上昇は1.1°C¹⁸であり(図で◇の横に2017と示してあるところ)、第5次報告書の予想値よりも大分低い(累計排出量に対する気温上昇の感度が低い、換言すると所定の気温上昇に達する炭素予算は第5次報告書時点の数値よりも大きい)。これを基にSR1.5では今後の累計排出量と気温上昇予測を赤の太線から紫の太線に変更した。両方の太線は累計CO₂排出量に対して50%以上の確率で気温が上昇する関係を表わし、紫色の太線の周りの紫色の濃いシャドーはそれぞれ33%以上と66%以上の確率に対応している。図の1.5°Cの箇所を水平に移動し紫の濃いシャドーを最初に交差する箇所が気温上昇1.5°C以下に収まる確率が66%以上となる累計排出量、紫の太線と交差する箇所が確率50%以上となる累計排出量で、前者が2640Gt、後者が2800Gtである。

上記の通り炭素予算を巡っては2014年のAR5から2018年のSR1.5のたった4年間でこれだけの変化があったわけであるが、気温上昇の不確実性はこれに留まらない。一つは地球の表面気温とは何か、もう一つは炭素予算の更なる不確実性問題である。このうち前者はそもそも地球の平均気温の測り方による相違で、このどちらを採用するかで炭素予算に開きがある¹⁹。炭素予算については更なる不確実性がある。詳細な一覧表はSR1.5第2章Table 2.2(108頁)にあるが、そこでは非CO₂とその影響、歴史的気温変化、地球システムのフィードバック(永久凍土融解によるCO₂排出や湿地からのメタンの放出など6つの不確実性の要素と程度が示されており、最高で+250Gt~-400Gtの残余炭素予算の変化が予想されている。炭素予算の不確実性については本年7月に詳細な論文が発表されている(Rogelj et al. 2019)。炭素予算の概念は極めてpolicy relevantなものであるので、こうした研究の積み重ねで少しでも不確実性が縮まることが期待される。

以上気候感度と炭素予算に絞って気候変動問題の不確実性を論じてきたが、これ以

¹⁸ この値はSR1.5 Fig. 2.3のcaptionによる。なお、2017年の気温上昇は従来の気温上昇速度が継続すると仮定して、2017年を中心とした前後合計30年間の気温の平均と定義している(SR1.5 SPM脚注5)。つまり2017年の(工業化以来の)気温上昇とは同年の気温上昇というわけではない点に留意が必要である。

¹⁹ 工業化以降の平均気温上昇の測り方としてGMST(Global Mean Surface Temperature)とSAT(surface air temperature)の2方式があり、GMSTとは陸上については地表近くの大気の大気平均気温(SAT)と海洋については海水表面気温(SST, Sea Surface Temperature)の加重平均であり、SATは大気気温のみの平均である。海水の気温上昇速度は大気のそれより低いのでGMSTで計った炭素予算はSATのそれよりも多い。現にSR1.5では2°C以内に止まる確率が66%以上の場合の残余炭素予算の間にはGMSTでは570Gt、SATでは420Gtと150Gtもの開きがある(SR1.5 14頁)

外にも **Tipping Point**（大規模不可逆な事象発生の閾値）、経済社会の長期的推移と構造変化（これにより対策無しの場合の気温上昇の程度や対策のコストが大きく異なる）、対策技術関連（変動電源である太陽光や風力の限界、CCSの物理的・経済的可能性、原子力に対する社会の許容性、航空及び船舶輸送のゼロエミッション技術とバイオマス資源の限界）など不確実性は枚挙に暇がないほどである。この中で例えば気候感度が1℃引き上げられれば **Global** な対策は全く異なるものになる（所謂ジェオ・エンジニアリング²⁰は必須となる）。つまり気候変動問題には大きな不確実性があり、IPCC報告書もこうした不確実性を前提に書かれたものである点を認識の上で読む必要があるということである。

3. Policy Relevance – Edenhofer 博士他の見方

上記を踏まえて IPCC の将来のあり方を探るのが本稿の目的であるが、この点に直接関連した論文があるので先ずこの内容を紹介する。Edenhofer 他（2015）がそれで、この論文の **first author** の Dr. Ottmar Edenhofer は IPCC 第5次報告書の第3作業部会の共同議長として報告書のとりまとめに貢献したドイツの学者でこの分野で著名な学者である²¹。この論文は第5次報告書が刊行された翌年に出版されており、第5次報告での経験を踏まえたものである。

IPCC の **policy Relevance** に関する Edenhofer 他の基本的認識は次の通りである。即ち、IPCC 評価報告書の **policy-relevance** という基準は広く受け入れられているが、「実際にはこうはなっていない。それは **policy relevant** な評価の実施に多くの重大な **Trade-off** や障害があるからである。例えば **controversial** であるが社会的には適切な側面は薄められるか評価されない。こうしたことが評価報告書が政策に有用なものとなることを大きく阻害している。他方政策に有用な研究や報告は、社会的・政治的観点からは非常なバイアスがかかっていると、しばしば批判される」²²。続けて、こうしたことが起こるのは本質的且つ戦略的なレベルでの評価指針が無いからで、この事は特に（自然科学ではなく）意見の対立があり価値判断に関わる政策判断に当てはまるとして、暗に緩和を扱う第3作業部会での問題の深刻さを示している。さらに、評価指針が無いのはこの点に関するいくつかのモデルに欠陥があるからだとしてこれ

²⁰ この代表的なものに **SRM** (solar radiation management) がある。これは大気中にエアロゾルを散布することで地球表面の大気気温の上昇を抑える手段である。

²¹ IPCC 第4次報告書執筆の際には筆者は同氏と共に第3作業部会第1章の **Lead Author** をつとめた。

²² However, these criteria are hard to achieve in practice, at least simultaneously; this is due to the many significant trade-offs and challenges that hamper successful assessment making (文献引用). For example, controversial yet socially highly relevant aspects of the issues at stake are sometimes watered down or avoided in assessments (文献引用). This can considerably reduce the policy-relevance of the assessments. On the other hand, policy-relevant studies or reports are sometimes criticized for being strongly biased from a social and political perspective.

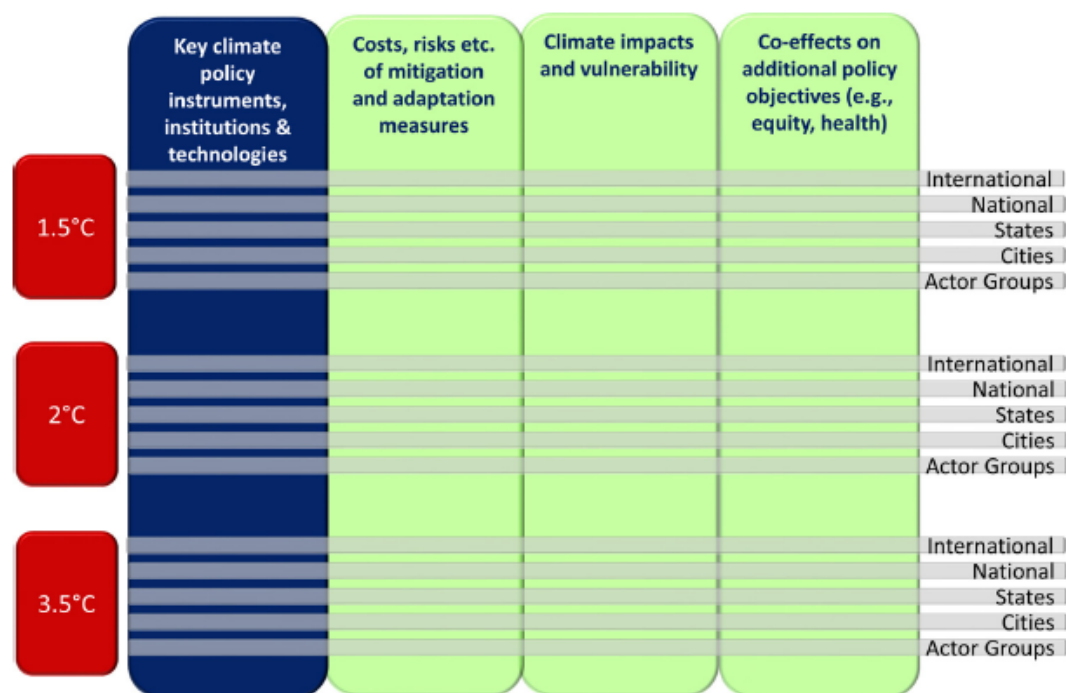
までの3つの考え方²³を批判的に論じている。その上で **policy relevant** な評価手法として **pragmatic-enlightened model (PEM)** を提唱し、この考え方に基づく IPCC 評価報告書のあるべき姿を提示している (図5)。なお、Edenhofer 他 (2015) は、「当初は政策上全く異論の無かった特定の目標に関して、当該目標達成の最善の手段を採用すると好ましくない結果を生じ、当初の目標の改訂が必要になるケースさえあり得る」とし、具体例として仮に2°C目標を前提とした場合、その最小費用での達成 (炭素税の導入) をはかるとバイオエネルギーの比率が高まる場合を挙げている²⁴。この場合、土地利用変化により GHG 排出が増加する。他方でエネルギー安全保障や大気汚染減少による健康上のシナジー効果もある。しかし土地利用変化の結果食糧価格上昇等のリスクもある。そうなる気候変動問題に加えて食糧安全保障が適切な政策目的として加わり、二つの目的の重要性が比較され、場合によっては2°C目標の改訂になるかも知れないとしている。ここで重要なことは、真に **policy relevant** な評価を行えば、目標達成手段の検討を通して、気候変動対策の目的自体見直しが必要になることもあり得ると言うことを明確に示唆している点である。

図5はこうした議論を展開した上で Edenhofer 他 (2015) が **policy relevant** な IPCC 評価報告書に含まれるべき項目を例示したものである。この図は緩和に焦点を当てた第3作業部会報告とあるが、論文の中で影響・適応を扱う第2作業部会との統合も提案されているので実質的には第2、第3両部会報告書を対象としたものである。本稿で筆者が主張する IPCC 報告書の改善点は正に第2、第3作業部会報告が中心であるので、この意味では本稿の問題意識と軌を一にするものである。

図5 IPCC 第3作業部会今後の評価報告書のあるべき姿 (Edenhofer 他の提案)

²³ 3つのモデルとは **technocratic model**、**decisionist model**、**pragmatic model** である。このうち最初のモデルでは対策の目標や手段などに関する特定の政策的立場が、コンセンサスという形をとって正当化されるが、実はかなり偏った内容となっており、しかも不透明で、しばしば研究者の意図とは無関係に **stealth issue advocate** (それとは気付かれないで特定の立場の擁護) になっている。こうした研究は政治家が自己の主張に科学的根拠を与えるものとして使われることもあるとしている。

²⁴ 明言はしていないが、2°C目標の場合後述の通り大量の BECCS (バイオエネルギーと CCS の組み合わせ) が必須となる点が背景にあると思う。



出典：Edenhofer 他（2015）62頁

この図の意味するところはすぐあとで IPCC のあるべき姿を論じる中で詳述するが、報告書が **policy relevant** であるためには、気温目標ごとに達成のための政策・技術、コスト・リスク、影響、プラスマイナス両面の副次効果を比較可能な形で織り込む必要があるということである。以下この図に照らしてこれまでの IPCC 報告書の問題点を論じ、IPCC の将来のあるべき姿を示す。

4. IPCC の将来のあり方

以下筆者が IPCC 報告書（特に第3作業部会報告書）が必ずしも **policy relevant** あるいは **realistic** では無いと考えている点を論じる中で、IPCC の将来のあるべき姿を提案する。

4-1 費用便益分析

その第1は費用便益分析である。本稿3頁の気候変動対策の究極目標（気候変動枠組み条約第2条）、或いは上述の Edenhofer 他（2015）の図のいずれを見ても対策のコストと対策の便益（回避される損害）は政策決定者にとって必須の情報である。この点に関する最新の IPCC/SR1.5特別報告書（IPCC 2018）では、要約部分（SPM）では **knowledge gap** があるため1.5°C目標の費用便益分析はしていないと穏健な書き方をしているが（SPM 18頁）、第1章では損害の金銭評価の困難性や費用と便益の発生

時点の相違などを挙げた上で費用便益分析は正当化するの難しいとし、その根拠となる2つの文献のうちの一つに2014年の IPCC/第5次報告書第2作業部会報告を挙げ、SR1.5報告書ではこの手法は用いていないと明言している（76頁）。SPMとは全くニュアンスが異なり費用便益分析をばっさりと切り捨てた感じの文章である（第2章でも価値判断を伴うとの理由でCBAを取り上げない理由を詳細に述べている）。ここでの焦点は損害の金銭評価の困難性であるが、以下この点、次いで対策コストを論じ、それを踏まえて費用便益分析に対する筆者の意見を述べる。

4-1-1 気候変動による損害

本稿2-1で述べたとおり気候変動対策の究極目的は対策不足による損害と過度の対策による持続的経済発展への悪影響とのバランスをとることである。このうち前者、つまり気候変動・気温上昇による損害を示すことは IPCC 報告書が policy relevant となるための必須の要素である（Edenhofer 他による図5の右から2番目の縦の欄に相当する）。

不思議なことに IPCC 報告書ではこの点に関する数量分析が決定的に欠けている。既述の通り気温上昇に伴う損害・リスクの程度は近年精密さを増してきている（図1及び2参照）。しかしこれは損害やリスクの程度を示す定性的情報であって、当該リスクがどの程度の確率で起こるのか、発生した場合の損害の程度はどの程度かの定量的情報は不明である²⁵。唯一の例外は2014年の IPCC 第5次報告第2作業部会報告書である。ここでは第10章で気温上昇による経済的損害を正面から取り上げている。過去20年間の研究を精査した上で、カバーする分野がまちまちであること、多くの仮定に基づく計算であること、そのうちの多くの点で議論の余地があること、多くの試算で大規模損害（tipping point 問題）が除外されていること、等の制約があるとの条件付きで「(工業化から) 2℃気温上昇の場合の気候損害は所得の0.2~2.0% (中庸の証拠と合意) であるが、これより大きくなる可能性の方が小さくなるそれより大きい (下線筆者)」としている。また、気温上昇が3℃以上になる場合の経済的損害の研究はほとんど無いともしている。政策決定者のための要約 (SPM) でも同様の書きぶりとなっている。SPM は最終的に加盟国政府のレビューを受けこの承認を受けて初めて公表されるのであるが、この政府レビュー用に提出された原案はこれと大分違っており、上記のうち下線部分は政府レビューで加わったものである。

上記の所得の0.2-2.0%は環境経済学者 Richard Tol の2013年のサーベイ論文 (Tol 2013) を基にしている。IPCC 第5次報告第2作業部会報告書第10章の最終原案 (final draft) には Tol の論文に基づき気温上昇と所得ロスに関する多くの研究者の研究結果

²⁵ しかもこの図のリスクや損害の程度は当該章執筆者7名の価値判断である (IPCC 2014a 1073頁)。

(18の論文)が一覧表として掲載されていたが、最終的に出版された第10章からは一覧表が姿を消している。しかしどのような研究者がどのような結果を得ていたのかは参考になるので、削除された表を原文のまま掲げる(表5)。なお、Tolの別の論文(発表後の訂正版)にある気温上昇と損害関係を示した図も巻末付録1として掲載したので併せて参照願う)。

(表5) IPCC/AR5/WG2/Chapter 10 Final Draftに掲載されていた気温変化と消費ロスの論文の要約

Table 10.B.1: Estimates of the welfare loss due to climate change (as equivalent income loss in percent); estimates of the uncertainty are given in bracket as standard deviations or 95% confidence intervals.

Study	Warming (°C)	Impact (%GDP)	Method	Coverage
(Nordhaus 1994b)	3.0	-1.3	Enumeration	Agriculture, energy demand, sea level rise
(Nordhaus 1994a)	3.0	-4.8 (-30.0 to 0.0)	Expert elicitation	Total welfare
(Fankhauser 1995)	2.5	-1.4	Enumeration	Sea level rise, biodiversity, agriculture, forestry, fisheries, electricity demand, water resources, amenity, human health, air pollution, natural disasters
(Tol 1995)	2.5	-1.9	Enumeration	Agriculture, biodiversity, sea level rise, human health, energy demand, water resources, natural disasters, amenity
(Nordhaus and Yang 1996)*	2.5	-1.7	Enumeration	Agriculture, energy demand, sea level rise
(Plambeck and Hope 1996)*	2.5	-2.5 (-0.5 to -11.4)	Enumeration	Sea level rise, biodiversity, agriculture, forestry, fisheries, electricity demand, water resources, amenity, human health, air pollution, natural disasters
(Mendelsohn et al. 2000)*	2.5	0.0	Enumeration	Agriculture, forestry, sea level rise, energy demand, water resources
(Mendelsohn et al. 2000)*	2.5	0.1	Statistical	Agriculture, forestry, energy demand
(Nordhaus and Boyer 2000)	2.5	-1.5	Enumeration	Agriculture, sea level rise, other market impacts, human health, amenity, biodiversity, catastrophic impacts
(Tol 2002)	1.0	2.3 (1.0)	Enumeration	Agriculture, forestry, biodiversity, sea level rise, human health, energy demand, water resources
(Maddison 2003)*	2.5	-0.1	Statistical	Household consumption
(Rehdanz and Maddison 2005)*	1.0	-0.4	Statistical	Self-reported happiness
(Hope 2006a)*	2.5	-0.9 (-0.2 to 2.7)	Enumeration	Sea level rise, biodiversity, agriculture, forestry, fisheries, energy demand, water resources, amenity, human health, air pollution, natural disasters
(Nordhaus 2006)	3.0	-0.9 (0.1) -1.1 (0.1)	Statistical	Economic output
(Nordhaus 2008)	3.0	-2.5	Enumeration	Agriculture, sea level rise, other market impacts, human health, amenity, biodiversity, catastrophic impacts
(Maddison and Rehdanz 2011)*	3.2	-11.5	Statistical	Self-reported happiness
(Bosello et al. 2012)	1.9	-0.5	CGE	Energy demand; tourism; sea level rise; river floods; agriculture; forestry; human health
(Roson and van der Mensbrugge 2012)	2.3	-1.8	CGE	Agriculture, sea level rise, water resources, tourism, energy demand, human health, labor productivity
	4.9	-4.6		

* Results aggregated by (Tol 2013).

IPCC/AR5/WG2/Chapter 10 最終原案 Table 10.B.1 82頁

表5に収録された気候変動に伴う損害の研究論文はいずれも2007年の第4次報告書より前に発表されていたにも拘わらず第4次報告書では全く損害の数値は取り上げられなかったのは理解が困難である。また、第5次報告書でも既述の通りカバーする分野がまちまちであること、多くの仮定に基づく計算であること等様々な制約を付し、その上で政府レビューの場で原案に無い「これより大きくなる可能性の方が小さくなるそれより大きい」との文言を加盟国の政治的合意を得るために挿入している(当該箇所は政府レビューでの争点の一つであった)。気候変動による損害の数値化を多くの政府が嫌っていた一つの証拠ではないかと筆者は想像している²⁶。様々な前提はある

²⁶ 当時のアメリカ大統領はオバマ氏で、同氏は気候変動問題に熱心であった。これを反映して2°C

ものの、数値を示すことで、場合によると例えば2°C目標達成のコストの方がそれによる便益を上回るという分析結果がでる可能性があるのを恐れている政府があるのではないかとさえ思うほどである。先述の Edenhofer 他論文に「controversialであるが社会的には適切な側面は薄められるか評価されない。こうしたことが評価報告書が政策に有用なものとなることを大きく阻害している」との箇所があるが、気温上昇による損害の定量表示は正にこれに相当するのではないかと思う。勿論筆者はこれが如何に困難かは百も承知である（後述）。しかし、だからといって金銭評価を避けることは政策決定者にとって必要な情報を与えないことと同義である。各種制約を明記した上で、どの程度の損害となるかの研究結果を整理した上で評価報告書に明示することが望ましい。

4-1-2 削減コスト

ここで削減コスト（以下コスト）という場合は GDP 或いは消費ロスを指す。限界削減コスト（MAC）とは異なる。MACを意味する場合にはその旨明記する。

図5の4本の縦のバーの左から2番目にコスト情報がある。筆者はこれまでの IPCC 報告書は適切なコスト情報を提供してこなかったと考えている。本稿8頁の表3を参照願う。ここでは2100年の濃度ごとに2030年、2050年、2100年の消費ロス（対 GDP）を示している（上下の幅が大きい、ここでは中央値の数値を用いる。このコストはモデルで計算したものであるが、その前提は世界最小コストでの目標達成である。具体的には世界の全ての国が世界共通統一炭素税（Uniform Carbon Tax）を課した場合の消費ロスの合計である。モデル計算上この前提がなければ計算が出来ない点は理解するものの、現実の世界を見ればこれは空想の世界でしかない。表3の右欄には技術の制約がある場合のコスト上昇割合が表示されておりこの情報自体は有益であるが、Uniform Carbon Tax が導入されない場合のコスト計算の情報は皆無である。この意味で IPCC のコストは過小評価されていると言える。

Akimoto et al. (2018) は、RITE DNE21+モデルを用いて、各国が国連に提出した2030年（アメリカは2025年）に向けた自主的削減目標（Nationally Determined Contribution、NDC）を基に各種分析を行ったが、この中で各国が NDC 目標を達成した場合のコスト分析がある。具体的には各国の NDC による世界の総削減量（対 BAU 比）を Uniform Carbon Tax で実施した場合の GDP 当たりコストと、各国が自国の削減量を炭素税（当然水準は国によって異なる）で達成する場合のコスト²⁷の合計の GDP 比の比較である。それによれば NDC 達成コストは Uniform Carbon Tax では

気温上昇の損害が所得の 0.2-2.0%より大きくなる可能性の方が小さくなるそれより大きいという文言を政府レビューで強行に推したのはアメリカであった（横浜での政府レビューの出席者から聴取）。

²⁷ 但し例えば日本やドイツでの原子力発電の制約など必ずしも最小コストのみで計れない一部の制約条件は考慮されている。

GDPの0.06%、国別炭素税で達成した場合のそれは0.38%と実に6.5倍の開きがある。このモデルはボトムアップの技術主体のモデル（世界を54地域に分け、約300の削減技術が考慮されている）で同じ RITE でも波及効果も含めた経済モデルでは異なる結果が出ている。上記は両方とも2030年に向けての NDC のコスト分析なのでこれをそのまま表3の2100年のコストと比較することは適当ではないが、理想的な姿（Uniform Carbon Tax）と現実の差を提示するという意味で政策決定上極めて有用な情報である。

筆者が問題とするのはモデルによる差ではない。IPCC 報告書にはそもそも世界共通炭素税が導入されない場合のコスト上昇の情報が皆無なのである。その理由はモデルによる計算が無い（論文として発表されていない）からである²⁸。勿論これは政治家（IPCC 報告書の想定読者である意志決定者）がこうしたことを要請していないからであるが、これに加えてモデル専門家の怠慢の要素もある。RITE DNE21+のように54地域別且つ多数の削減技術とそのコスト²⁹（この場合は限界削減費用）の想定情報を有し、加えて各国の現実の目標達成対策を研究することで、Uniform Global Carbon Tax と国別 Carbon Tax（+直接規制等）によるコストの差の試算は可能である。世界の主要モデルがこうした情報を蓄積し理想と現実のコストの相違を（幅はかなりあるにしても）提示できれば、IPCC は必然的にこれを吸い上げて政策決定者に示すことが可能となる。世界のモデル専門家にはその影響の大きさ故にこうした研究を行う義務があると言っても過言ではない。奮起を期待するところ大である。

以上 IPCC での対策コストの扱いを見てきたが、明らかに過小評価と分かっているが是正の動きは現時点では全く聞いていない。是正することは Edenhofer 他の言う「controversial であるが社会的には適切な側面」であるがこれは「評価されない」のである。また、2°C 目標を前提にあらゆる交渉や政策が動いている中で、仮に国別炭素税による目標達成の総コストを示そうとしても、そうした policy relevant な情報は「社会的・政治的観点からは非常なバイアスがかかっているとしてしばしば批判される」可能性が高いのである。

但し過小評価と言っても表3の450ppmCO₂e 達成のための対策コストが2100年の消費を4.8%引き下げるという指摘は、かなり重くのしかかってくる。しかし表3ですぐ右の欄を見ると、対策コストは年間消費の伸びをたった0.06%引き下げるにすぎないとの数値がある。同じ対策コストでもこの表現だと知れているとの錯覚に陥る。一見科学的に見えるが、これはコストを小さく見せるための stealth issue advocate（それとは気付かれなくて特定の立場を擁護する一つの手法、15頁脚注23参照）になっていないかどうか検証が必要である。

²⁸ 最も極端な例は最新の SR1.5 報告書で、ここでは世界共通炭素税のコストすら、文献が少ない（limited）ので評価しなかったとある（IPCC 2018 16 頁）。

²⁹ 同じ技術であっても例えば CCS については回収率が通常は 85-90%のところを 99%迄引き上げる場合の限界削減費用の上昇具合をモデルに組み込んでいる。

4-1-3 費用便益分析(CBA)

上記の通り、IPCC 報告書が *policy relevant* となるための必要条件である気温上昇を一定水準で抑えるためのコスト (*cost*) とそれによって得られる便益 (*benefit*) のうち、前者は過小評価され、後者はほとんど数値の情報が無い状況である³⁰。これでは Edenhofer 他の指摘の通り、IPCC 評価報告書には政策決定者はどこまで気候変動対策を行うのかの重要な判断基準 (*policy relevant* な情報) が欠如している状況である。もちろん便益 (対策導入によって回避できる損害) の数値が著しく欠如しているにはそれなりの理由がある。

これについては既に多くの文献で指摘されているとおりであるが、改めて整理すると

- 1) 非市場損害 (例えば種の多様性や人の生命など) の金銭評価が困難
- 2) 大規模不可逆事象発生および損害については大きな不確実性の存在
- 3) 将来の損害の現在価値への割引率問題
- 4) 衡平性問題 (全体として便益がコストを上回っていても、個別にはそうでないケースをどう考えるか、また、同種の損害でも途上国のそれの方が金銭的には低くなる問題への対処—重み付け—) をどう考えるか

などである。確かに例えば割引率 (厳密には純時間選好割引率、*prtp*) を変えるだけで便益の数値が大きく変わる例は Stern (2006) や Nordhaus (2007) をみるまでも無くいくらかでもある³¹。また、グリーンランドや西南極氷床崩壊のような大規模不可逆な損害はそもそも発生の確率自体が不明で、その場合の損害 (それを回避する便益) の金銭的評価を得るには一定の仮定 (価値判断) を置かねばならない。要は便益の数値化には大きな困難を伴うのである。

それでは気候変動問題に関して費用便益分析は不可能か。Azar (1998) はこうした問題の存在を認めつつ、「だからといって費用便益最適分析モデル³²は気候変動政策に用いることは出来ないし用いるべきではないということは意味しない³³」とし、続けて問題はこの分析が客観的であるかのように提示される場合に生じる。従ってこの分析には一定の仮定 (価値判断) が含まれていることを明記すべきとしている。この点筆

³⁰ 経済学の用語を用いれば、限界損害曲線がほとんど得られないという状況である。

³¹ Stern (2006) は損害を大きく見積もっている例であるが、最後に割引率による感度分析を行っている。それによると、例えば IPCC 第 3 次報告の BAU 排出を基にしたシナリオの場合、非市場損害や大規模不可逆な損害も含めた 2200 年の損害の現在価値は割引率 (*prtp*) が 0.1% だと GDP の 14.4% であるが、仮に割引率が 1.5% だと 4.2% に低下するとある。(Stern 2006、668 頁)。

³² ここで「最適」とは限界損害曲線と限界削減コスト曲線が交わる点まで対策を進めるのが最適という考え方。これに対して所定の目標の追求が正当化されるかどうかを費用便益分析により明らかにする場合は、当該目標が必ずしも最適点ではないので「最適」分析とは呼ばない。

³³ But this does not mean that cost-benefit optimization models cannot and should not play any role in climate change policies.

者も賛成である。

IPCCでは第3次報告書以来CBAはほとんど扱われず、最新のSR1.5報告書では費用便益分析は正当化するの難しいとしていることは本稿16-17頁で述べたとおりである。しかし1995年の第2次報告書（IPCC 1995b、第5章³⁴）の結論はこれと異なっている。ここではCBAについて詳細な分析を行い、気候変動問題の特殊性（長期性、不確実性、損害の不可逆性、衡平性への配慮など）から伝統的なCBAをそのまま適用することは困難としつつも、これは政策決定者にとって有用なツールであることに変わりはないとし、たとえば不確実性については sensitivity analysis で補ったり、あるいは経済効率以外（たとえば衡平性等）との Trade-Off については唯一の最善策ではなくいくつかの選択肢を示す Multi-criteria Analysis (MCA) を併用すべきとしている³⁵。IPCC 第2次報告書では伝統的なCBAにこうした概念（更に cost effective analysis、decision analysis）を加えたCBAを modern CBA とよび、結論としてこの方法論が政策決定者にとって最善の枠組みであるとし³⁶、種の多様性のような損害の金銭評価が不可能な場合にはMCAが Trade-Off に関する何らかの数値を示すことが出来るとしている。その上でCBAを適用する最も重要な点は（仮定によって変わる）結果の数値ではなく、プロセスにあるとしている（the most important benefit of applying CBA is not necessarily the predicted outcome, which always depends on assumptions and the particular technique used, but the *process itself*...）。これは正に筆者の主張でもある。CBAの困難性を理由にこれを放棄するのではなく、意思決定に向けて少しでも選択肢に関する数量情報を充実させる、これこそが policy relevant な IPCC 報告書である。本稿16頁の Edenhofer 他（2015）の図5の最右欄に Co-effect とある。ここには衡平性や健康問題が例として上がっている。これは正に IPCC 第2次報告の結論と同じ主張であると筆者は考える。これに対して最新の IPCC 報告書（SR1.5）は既述の通り事実上CBAを拒絶しているのは残念な次第である。また、このSR1.5報告書ではあえてSDG（国連持続可能な開発目標、貧困、病気撲滅など17の項目からなる）とその一つである気候変動政策との Co-Benefit と Trade-Off の関係を取り上げ、全体に気候変動対策は他のSDGとのシナジーが Trade-off を上回ること、エネルギー供給面では衛生的な水（SDG5）と土地利用（SDG15）それに飢

³⁴ 第5章の Title は Applicability of Techniques of Cost-Benefit Analysis to Climate Change である。

³⁵ Indeed, one of the advantages of MCA is that it forces political decision makers to look at the trade-offs between their major objectives rather than attempting to boil down everything into a single number, particularly where valuation techniques may be controversial. (IPCC 1995b, p.168)。なお、Multi-criteria の例としてアメリカ環境保護局（EPA）の14の Criteria（irreversibility, consistency, economic efficiency, political feasibility, equity など14項目）を挙げ、このうち最重要なものは経済効率と衡平性であるとしている。

³⁶ Modern CBA (broadly defined) remains the best framework for identifying the essential questions that policymakers must face when dealing with climate change. (IPCC 1995b, p.170)

餓撲滅面で、Trade-offがシナジーを上回るとの結果を示しているが、SDGの各項目についての重み付けが無く、数量分析もないので、意志決定に役立つ情報とはなっていない。今後 IPCC 第2次報告の結論に立ち返って Modern CBA の研究を積極的に取り上げるべきと思う。また、CBA 実施に際しては Azar (1998)の言うとおり各種分析はそれに含まれる価値判断を明記すべきである。大規模不可逆損害についてはあまりに不確実性が大きいので、まずはこれを除外した分析から始める方が現実的である。Synergy や Trade-Off の検証に際しては SDG では対象が広範すぎるので、まずは気候変動対策と直接関係する種の多様性や食糧生産との関係から始めてはどうかと考える。これとは別問題であるが、IPCC の最近の傾向を反映して研究者による CBA の分析が下火になっている。この点についての研究論文が多数出てくれば IPCC でも取り上げざるを得ないので、学者による活発な研究結果の発表を期待するところ大である。

4-2 国際交渉に追従する IPCC 対策目標とモデルの関係

ここでは IPCC が国際交渉の結果に追従しており、policy relevance の観点からは期待される役割の一部しか果たしていない点を指摘する。焦点は緩和を取り扱う第3作業部会 (WG3) である。

先ず国際交渉を振り返ると IPCC 第3次報告書が完成した2001年当時は京都議定書が未発効で、この発効に向けた色々な動きが盛んであった時期であった。なお、当時は対策の目標として、気候変動枠組み条約にある「危険でない水準での濃度安定化」がどの水準の濃度かについての合意はなかった³⁷。こうした中で IPCC では前年に Special Report on Emission Scenario (SRES) が完成したこともあり、この6種のシナリオ (いずれも社会の将来像の相違に伴う BAU 排出シナリオで、A1、A2、B1、B2、このうち A1は3種に分かれる) を中心に650、550、450ppm 安定化を目指す排出シナリオを描いてはいるが、対策コスト (GDP ロス) としては SPM ではなく、その下のレベルの Technical Summary (TS) にアメリカ、欧州、日本等先進国のみを対象に排出権取引無し、あり (先進国の間のみと世界全体の両ケース) 別に9つのモデルによる比較が掲載されているのみである (IPCC 2001b、57頁)。しかも対象は京都議定書目標達成コストであり、ここでは途上国は何の義務も負っていないので当然のことながら対策コストの記述が無い。第3次報告から lead author として参加した筆者の印象としては、第3次報告では WG3全体として京都議定書に盛り込まれた排出権取引を中心に削減手法に焦点が当たっていた。なお、6つの SRES シナリオと2100年の気温上昇との関係、およびその結果としての影響との関係は統合報告書 (WG1~3報告書を統合したもの) に記され、例えば最も排出量の少ない B1シナリオ (more

³⁷ 厳密に考えればこの点は現在でも同様であるが、今はほぼ 450ppmCO_{2e} が 2℃目標相当と考えられている。

environmental, more global) でも2100年濃度が550ppmCO₂程度で、気温上昇は2℃に達し、種の多様性他5つの項目に与える影響の程度などは示されていた(IPCC 2001a、11頁)。

国際交渉と IPCC 報告書の関係が直接結びついたのは2007年12月のバリ島における COP13 (気候変動枠組み条約第13回締約国会議) である。EU では1996年の環境大臣閣僚会議で気候対策の目標を気温上昇2℃以内 (2℃目標) とすることを決め、G7 (時期によってはロシアも入れて G8) の場でこれを主張してきたが、アメリカは G. W. ブッシュ大統領在任中 (2001年1月-2009年1月) はこれに同意せず、オバマ大統領就任後の2009年12月のコペンハーゲンでの COP15で初めて2℃という文言が公式文書に挿入された³⁸。ただし2℃目標に合意したわけではなく、気温上昇が2℃以下に止まるべきとの「科学的知見」を認識した (recognize) に過ぎず (脚注39参照)、しかも科学者は2℃以下にすべきとの科学的知見で合意したわけでもなかった点に留意が必要である。

コペンハーゲン合意の背景には2007年に完成した IPCC 第4次報告がある。表6は第4次報告第3作業部会 (IPCC 2007) の技術要約 (TS) の表であるが、ほぼ同様の表が各作業部会報告をまとめて翌年発行された統合報告書 (IPCC 2008) にも掲載されている。

表 6 安定化目標に応じた濃度および気温上昇の関係等

カテゴリー	放射強制力 上昇分 (W/m ²)	CO ₂ 濃度 (ppm)	CO ₂ 等価濃度 (ppm)	均衡気温上昇幅 (工業化後、℃)	ピーク年 (CO ₂ 排出量)	CO ₂ 削減率 2050/2000(%)	シナリオ 数
I	2.5-3.0	350-400	445-490	2.0-2.4	2000-2015	-85~-50	6
II	3.0-3.5	400-440	490-535	2.4-2.8	2000-2020	-60~-30	18
III	3.5-4.0	440-485	535-590	2.8-3.2	2010-2030	-30~+5	21
IV	4.0-5.0	485-570	590-710	3.2-4.0	2020-2060	+10~+60	118
V	5.0-6.0	570-660	710-855	4.0-4.9	2050-2080	+25~+85	9
VI	6.0-7.5	660-790	855-1130	4.9-6.1	2060-2090	+90~+140	5

均衡気温上昇幅は inertia により 2100 年のそれとは異なる。気候感度は最良推定値 3℃を適用。

IPCC/AR4/WG3/Table TS-2 (39 頁) から抜粋

既述の通りアメリカの反対で 2℃目標は G7 で合意に達していなかったこともあり、第4次報告書では研究者 (モデラー) は多様な濃度水準を対象に、その場合の均衡気温上昇幅やそれを達成する 2050 年の 2000 年比 CO₂ 削減率などを表 6 の通り一覧表

³⁸ コペンハーゲン合意冒頭の文言は次の通り。The Heads of States ... have agreed ... (that) To achieve the ultimate objective of the Convention to stabilize greenhouse gas concentration in the atmosphere at a level that would prevent dangerous anthropogenic interference with the climate system, we shall, recognizing the scientific view that the increase in global temperature should be below 2 degree Celsius, ... , enhance our long-term cooperative action to combat climate change. (下線筆者)。

にしている(この表には気候感度を best estimate の 3°Cで計算した旨の明記がある)。

この表の一部(最上段のカテゴリーI)が国際交渉(COP13)のバリ行動計画で良いところ取りをされ、国際交渉での2°C目標合意に向けた大きな一歩となった。バリ行動計画では「世界の排出量の大幅カットが気候変動枠組み条約の究極目標達成に向けて求められることを認識し、且つ、IPCC第4次報告書にあるように気候変動への取り組みの緊急性を強調しつつ」以下を決議したとして何点かが挙がっている(UNFCCC 2008, p.3)。ここで「緊急性」の箇所に脚注がつけられ、IPCC第4次報告書第3作業部会の技術要約39および90頁、第13章の776頁参照とある³⁹。上に掲げた表6は技術要約39頁の表、下の表7は13章776頁の表である。これは一体何を意味するのか。

表6は既述の通り濃度別気温上昇やその実現に必要な2050年の削減割合(基準年2000年)が客観的に羅列されたものである。次に技術要約90頁を見ると、450~550ppmCO_{2e}⁴⁰という低中位の濃度ののみが取り上げられ(これは表6のカテゴリーI~IIIに相当し、この場合の2050年の世界全体での排出削減割合は2000年比+5~-85%となる)、衡平性を優先させた解釈からすると、先進国は全体として2020年までに90年比10~40%減、更に2050年には40~95%減が必要となろうとの記述がある。ここに出てくる先進国の削減率は正にIPCC第4次報告書第3作業部会報告書13章の776頁のBox 13.7(下記表7参照)の濃度A及びBに出ている数値である。上記から国際交渉(バリ行動計画)が念頭においていた目標値としては450~550ppmCO_{2e}程度と推測され、このうち450ppmCO_{2e}はほぼ2°C目標に相当する。

表7 濃度別先進国の削減割合

濃度	地域	2020	2050
A-450 ppm Co _{2e}	先進国	-25% to -40%	-80% to -95%
	途上国	略	略
B-550 ppm Co _{2e}	先進国	-10% to -30%	-40% to -90%
	途上国	略	略
C-650 ppm Co _{2e}	先進国	0% to -25%	-30% to -80%
	途上国	略	略

IPCC/AR4/WG3/Ch.13/Box 13.7 (776頁)より抜粋

2°C目標が明確な形で現れる契機となったのはIPCC第4次報告完成から2年後、アメリカ大統領がオバマにかわった2009年のラクイラサミットであった。ただしここでも2°C目標は合意ではなく、それが大切であるとの broad scientific view を認識したに

³⁹ Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Technical Summary, pages 39 and 90, and Chapter 13, page 776

⁴⁰ CO_{2e}はCO₂以外の温室効果ガスをCO₂に換算したCO₂等価濃度のこと

止まった。また、世界全体の排出量を2050年までに少なくとも50%削減するとの目標を再確認するとともに、この一部として、先進国全体として、50年までに80%又はそれ以上削減するとの目標を支持した（表7からこれは450ppmCO₂e、即ち2°C目標が念頭に置かれている）。しかしこの宣言は直後に同じ場所で開催されたMEF（Major Economic Forum、ここには主要途上国も含む）では受け入れられず、更に broad scientific view は scientific view とされ、2050年までに地球規模で50%削減するとの目標も（前年の洞爺湖サミットと同様に）削除された。要は途上国の経済発展を少しでも阻害する可能性のある文言についての地球規模での認識の統一は出来なかったのである。こうした経緯を経て同年末のコペンハーゲンでのCOP15で初めて2°C（の重要性を認識する）という文言が公式文書に挿入されたのは既に述べたとおりである。

ここで本題に戻る。24頁表6の通りIPCC第4次報告では濃度別の気温上昇や必要削減割合を客観的に示したものである。仮に2°C目標の場合にはCO₂等価濃度445-490ppm程度（CO₂のみの場合には350-400ppm）とあるが、最右欄から明らかのようにモデルでこの濃度に達するシナリオの数はたった6本で、最多はカテゴリーIV（この場合の気温上昇は3.2-4.0°C）である。従来は工業化以降のCO₂濃度倍増時（550ppmCO₂）が中心的関心事であったこと、さらには2°C以下に止まるシナリオはほとんどのモデル専門家が事実上困難と判断していたからであった。実際カテゴリーIのモデルに当たってみると、このうち3つはChristian Azarの論文（Azar 2006）、2つはvan Vuuren et al. (2007)、1つがRiahi et al. (2007)からとったもので、論文としては3本しかない。

しかし2009年のコペンハーゲン合意で2°Cの重要性が認識された後のIPCC第5次報告書では7頁表2の通りであるが、このうち2°C目標（及びこのすぐあとで述べる1.5°C目標）に関わる分を下記に再掲する（以降表8と呼ぶ）。

表8 2°C（及び1.5°C）目標達成のシナリオ数等（IPCC第5次報告から）

2100年濃度 (CO ₂ e.)	オーバーシュートの 有無	2050年の 必要削減量(%) 2010年比	シナリオ 数	21世紀中に 1850-1900年比 2°Cを超えない確率
<430	モデル研究の数が僅少			
450 (430-480)	大半が480ppmを オーバーシュート	-72 to -41	114	66-100%

2°C目標にほぼ対応するシナリオは第4次報告書ではわずか6つであったものが、第5次評価報告書では2°Cを66%以上の確率で達成するシナリオが114と急増している（最多は2°C達成が33%以下或いは50%以上の251で、これより更に高濃度のシナリオも数多くある。IPCC 2014b Table 6.2 p.430）。国際交渉が2°C目標に焦点が当たる中で、第4次報告書ではこれに相当するシナリオが6つしか無かったので、国際交渉に役立てようとの思惑から世界のモデル専門家が競って2°C目標相当のシナリオの論文を発表し、

この結果が第5次報告書に取り入れられたものである⁴¹。

IPCC 第5次報告書が完結した翌2015年の COP21でパリ協定が成立し、翌年発効した。ここで初めて2°C目標（パリ協定では2°Cを十分下回る水準とあるが、本稿ではこれも2°C目標に含める）が合意され、更に努力目標として1.5°Cが提示されるに至った。この時点では表8（の<430ppmCO₂e）の通り IPCC では1.5°Cに対応するシナリオがなかったので、COP21では Decision 1 で IPCC に対して2018年に1.5°C目標の影響とそれに達する温室効果ガス排出経路の検討を依頼し⁴²、これに呼応して IPCC は2018年に1.5°C目標に関する特別報告書（SR1.5）を完成した（IPCC 2018）。内容的なことはさておきここで注目すべきは1.5°Cのシナリオの数である（表9）。

表9 1.5°C達成のシナリオの数

シナリオの種類	シナリオの内容	シナリオの数
1.5°C以下 (オーバーシュートなし)	21世紀中を通して1.5°C以下にとどまる確率50-66%	9
1.5°C (低オーバーシュート)	2100年迄に一旦1.5°Cを0.1°Cより小さい範囲でオーバーシュートするが、2100年には1.5°C以下にとどまる確率50-67%	44
1.5°C (高オーバーシュート)	2100年迄に一旦1.5°Cを0.1-0.4°Cの範囲でオーバーシュートするが、2100年には1.5°C以下にとどまる確率67%以上	37
合計		90

出典:IPCC (2018) 100頁の Table 2.1から1.5°Cの部分のみ抜粋

ここで表8の最上段を参照願う。第5次報告書の時点ではほぼ1.5°C目標に相当する430 ppmCO₂e以下の目標については、これを検討したモデルの数が少ない（ので一覧表には掲載しない）とある。すぐ後で述べるとおり2°C目標でさえほとんどのシナリオが大量のマイナス排出に依存せざるを得ない中で、モデル専門家達は1.5°Cはコスト、技術、気候変動以外への悪影響などから流石に現実性がないと考えた結果であると思う。しかし COP からの要請を受けた途端に1.5°C目標達成シナリオが90も出現したのである。

以上2007年の第4次報告書から2018年の SR1.5での2°C目標（SR1.5では1.5°C目標）の IPCC での扱いを見てきたが、モデル専門家はどのような目標を目指すべきか（この中には広義の費用便益分析が含まれる）の研究ではなく、国際交渉の流れに合った研究を行ってこれを査読論文とし、その文献を基に書かれた IPCC 報告書が結果とし

⁴¹ この期間に世界のモデル比較研究プロジェクトが活発になり、しかもその主要メンバーは IPCC 報告書の執筆者であった。一つの例は主要なモデル比較を行った Clarke et al. (2009) である。当初はアメリカが研究の中心であったが、最近では欧州の動きが活発なようである。

⁴² The Conference of the Parties --- Invites the Intergovernmental Panel on Climate Change to provide a special report in 2018 on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways (Decision 1, II, 21)

て国際交渉に追従したものとなってきたことが分かる。

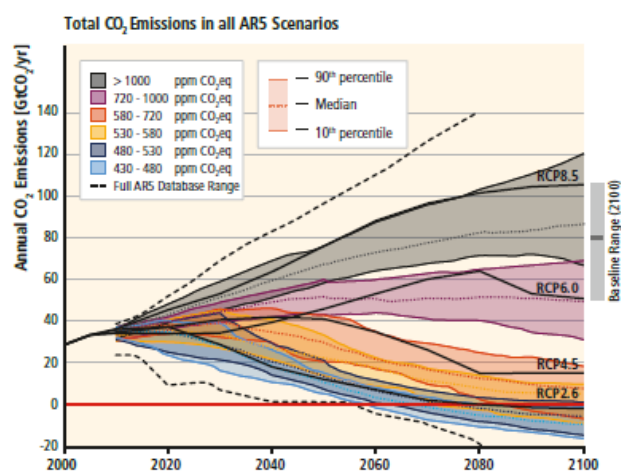
なお、本稿締め切り直前に、SR1.5報告書の結果、対策の目標が気温→炭素予算→1.5℃到達の残り時間への変化しつつある状況に鑑みて、ここで IPCC が何も発言しないのは暗黙のうちにこれを認めることとなり、科学（そして IPCC）への信頼喪失につながるものだ。IPCC は公開の場でこのような残り時間の解釈は適当ではない旨発言すべきとの論文が発表された（Asayama et al. 2019）。筆者にはここまでの危機感はないが共感するところ大である。

4-3 実現可能性の検討

国際交渉に追従したとはいえ、上記の IPCC の動き自体は政治家が目指そうとしている目標に焦点をあてた分析でその範囲では policy relevant である。しかしその内容を子細に見るとそうは言い切れない。

図6を参照願う。詳細は省略するがこれは第5次報告書用の IPCC の全ての2100年に向けた排出シナリオ（この場合には CO₂のみ）を排出量と濃度別に示したものである。

図6 2℃目標と Negative Emissions

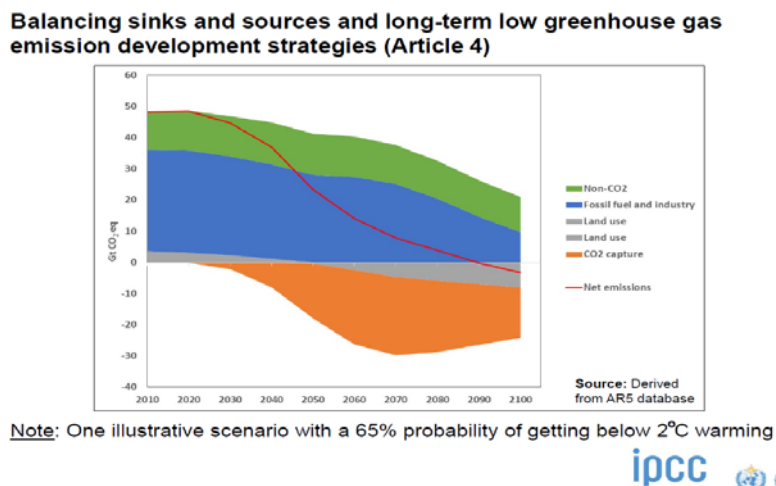


出典：IPCC (2014b) Figure 6.7から一部の図を抜粋（432頁）

図から分かるとおり、このうち最下段の薄い水色（430-480CO₂e）が所謂2℃目標達成のシナリオの幅である。これを見るとほとんどのシナリオで2100年には「ネット（排出－吸収）」でマイナス排出となっている（以下これを net negative emissions、NNE と呼び、gross のマイナス排出を negative emissions、NE と呼ぶ）。しかし航空や海上輸送、産業部門の一部（鉄鋼やセメントなど）も含めて2100年に CO₂（グロス）排出をゼロに出来ると考えることは相当に楽観的である（Kaya et al. 2019）。つまり相当の努力をしても2100年にはある程度のグロス排出が残ると言うことである（これを remaining CO₂ emissions と呼ぶ）。そうだとすると図6の NNE は remaining CO₂

emissions からグロスの NE を引いた数値ということになる。この点がよく分かるのは図7である。これは IPCC 第6次報告書第3作業部会の共同議長である Jim Skea 教授が2017年の Bonn での SBSTA（科学及び技術上の助言に関する補助機関、COP の下部機関）で行った講演資料の一部で、IPCC 第5次報告書のシナリオデータベースからの一つの例示シナリオとして示したものである。

図7 Negative emission の構造



出典：Skea, J. et al. Mitigation pathways, 9th meeting of the SBSTA research dialogue, Bonn, 10 May 2017

図7で赤の曲線は net emission（2100年には NNE になっている）、緑は CO₂以外の温室効果ガス排出量、青は化石燃料及び産業からの CO₂排出量、灰色は土地利用（森林伐採等に伴う排出量及び植林・再植林による吸収）による排出量（ネットでは NE）、オレンジが一般に BECCS（Bio-energy Carbon Capture and Storage）と呼ばれる吸収量（NE）である。これを見ると2100年には CO₂とそれ以外で20Gt 超のグロス排出があり、これを植林・再植林（AR）による数 Gt の NE と BECCS による約17Gt の NE で相殺し、net では赤線の通り数 Gt のマイナス（NNE）となっている事が分かる（同様の図は UNEP 2017にもある）。果たしてこれだけ大量の NE は実現可能か。この点についてはこの為に必要な土地の面積、生態系への悪影響、BECCS については実績の無さ⁴³などの観点から多くの疑問が呈されている（Smith et al. 2015、Newbold et al. 2015、Anderson and Peters 2016、Williamson 2016、Herzog 2018など）。しかし IPCC 第5次統合報告書（IPCC 2015）では特に450ppmCO₂e シナリオでは今世紀後半に BECCS と AR への依存が増える（23頁）、このような大量の NE を伴う気候対策の Trade-off への言及は極めて限定的である。こうした中で CCS（含む BECCS）が無ければ削減コストが2.4倍に達するのみならず、その場合でも

⁴³ 大規模な実証プラントは世界で一つしかない（イリノイ州のエタノールプラント）

450ppmCO₂e を可能とするモデルは11のモデルの内たった4つしか無いとの指摘

(Table SPM.2 25頁)は適切であるが、これはコスト及びモデルの制約面からの指摘であり、種の多様性との Trade-off はモデルでは考慮されてはいない。更に本文中の記述も焦点は Co-benefit にあたり Trade-off への言及は極めて少ない (IPCC 2015 31頁)。つまり IPCC 第5次報告書はモデル計算上は BECCS を大量導入すれば2°C目標は可能とのメッセージを発信しているのである。BECCS 批判論文は上記の通り第5次報告書刊行後に多く出されているが、詳細はともかく土地面積や種の多様性、食糧との競合などの問題は当然専門家としては承知していたはずで、それにも拘わらずその実現可能性を論じていない (もし文献がなければこの時点では文献がないがこうした問題を十分検討の必要がある旨の指摘が無い) という意味で、policy relevance に欠けていると思われる。この点は SR1.5報告書でも本質的に変わっていない。この報告書では1.5°C目標実現には2030年までに2010年比約45%の削減が必要としつつ (14頁)これが本当に実現可能かの正面切った検討を行っていない。2018年12月の COP24の side event で IPCC 議長の Hoesung Lee 博士が SR1.5の報告を行ったが、そこでは *Limiting global warming to 1.5°C is not impossible, but would require unprecedented transitions in all aspects of society* とあるだけで、unprecedented transitions in all aspects of society とは具体的にどの様なことを指すのか、それは実現可能かについての言及はなかった。これでは not impossible と言い切ることはできないはずである⁴⁴。

IPCC 報告書が policy relevant で realistic であるためには国際交渉で焦点が当たっている目標 (2°C目標) の実現にはどの様な障害を乗り越える必要があるか (例えばゼロエミッション実現の技術とその可能性など) を政治家が分かる形で示すと共に政治家が直面する多様な問題 (SDGs はその一部) との間の Co-benefit や Trade-off を査読論文に基づく客観的資料によって示すことである。その結果 Edenhofer 他 (2015) の言うように、場合によっては (2°C) 目標の見直しもあり得るわけで、今後の報告書はこうした点を念頭に情報を収集し、執筆の必要がある点を強調しておきたい。なお、一つのアイデアであるが、IPCC 報告書が期待通り realistic で policy relevant な内容になっているか否かを別の国際機関 (例えば国際エネルギー機関-IEA) に検証を依頼するというのも改善の方策ではないかと思う。

5. 新たな行動目標としての CO₂ゼロエミッションに向けて一気候変動対策のパラダイムシフト

44

https://www.google.co.jp/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwjskKW0vc_jAhXQA4gKHfMgDk4QFjAAegQIABAC&url=https%3A%2F%2Fwww.ipcc.ch%2Fsite%2Fassets%2Fuploads%2F2018%2F12%2FSR15_Talanoa_Hoesung_6.12.18.pdf&usg=AOvVaw3ANPM_Mp9b6fN4JIhkz0OB

以上 IPCC 報告書に求められている *policy relevant* と *realistic* の観点から、2°C 目標を中心に、IPCC の将来のあるべき姿を検討してきた。結論としては広義の費用便益分析の研究を少なくとも何らかの政策指針になる段階まで高めること、国際交渉に追従するのみではなく、そこで論議されている対策目標（2°C 目標）が種々の観点から適切なものか、社会的、技術的、経済的に実現可能なものかについて更なる分析を行うことが求められることを指摘した。ここで1点注意すべきは IPCC 報告書の執筆者は自己の意見を書き込むことは出来ず、基本的には査読付き論文に基づき執筆を進めることが義務づけられていることである。こうした点から気候変動の専門家が上記の意識を持って幅広い研究を進め、結果を査読付き論文として発表することが重要だということである。これは我々全員が心すべきこととして先ず指摘しておきたい。

その上で気候変動対策の目標を眺めると、これが適切な目標とは言えないことが明確になる。理由はいくつもある。

第1に気温目標（何°Cでも良い）を決めた途端に、気候感度を含む気候変動問題の不確実性故に目標を達成する Global な排出経路が無数に存在することである（表2、図6参照）。つまり気温目標を決めることは排出削減の具体的な行動に結びつかない。

第2にそもそも気温目標とは何か曖昧な点である。ここでは詳細は省くが、そもそも2°C 目標は気候変動枠組み条約第2条の「危険でない濃度」が派生して「危険でない気温上昇」となったものである。しかし元々科学的に「危険」な濃度や気温上昇を定義することは不可能である。価値判断を伴うからである。更に京都議定書以降も世界の排出量は上昇の一途で近年では例えば2°C 目標については確率66%での達成

（1.5°Cはこれ自体も難しいので確率50%での達成）という具合に確率論に変わってきた。もしこれが危険な気温上昇であれば前者では33%が、後者では50%が危険な気温上昇に曝される。ここで既に気温上昇目標は事実上破綻しているのである。

第3に気温目標は *Actionable* ではない。具体的にはパリ協定で2°C 目標に合意はしているが、これだけでは各国（の政治家）はそのために自国はどうしたらよいか不明である。仮に排出経路がたった1本であったとしてもそれを各国に何らかの指標により割り当てることは京都議定書の失敗からみてあり得ない。現実には各国は2030年を目処に自国の自主目標（NDC）を気候変動枠組み条約事務局に届けているだけであるが、これが全て達成されても2100年の気温上昇は3°C程度というのが通説である

（UNEP 2018 XIV 頁他多数）。この関連で、2°C 目標達成には2100年に近くなるにつれて NE（BECCS）を毎年数10Gt 実施する必要があるが、これは Global な数値で、これを各国がどう分担するかと言う極めてやっかいな問題がある（Peters and Geden 2017）。

以上から既に2014年には気温目標見直しの提案が出ており（Geden and Beck 2014）これは筆者の考え方と同じである。では気温目標に変わるべき目標はどのようなもの

か。

CO₂は排出後の滞留時間が極端に長いのが特徴である⁴⁵（CO₂は1000年経っても完全には吸収されないが、同じ温室効果ガスでも例えばメタンの滞空時間は12年間である）。つまり追加的な1トンのCO₂排出はその分に対応するだけ必ず大気的气温を上昇させる。つまり排出がゼロにならない限り気温は上昇を続ける。これはなんとしてでも避けねばならない。このように考えると気温目標に変わる目標はCO₂ゼロエミッションとなる。気温目標がどのレベルであっても最終的にこれを安定化させるにはゼロエミッションを達成しなければならない。この点の一部専門家の間では既に知られていることであるが、Rogelj et al. (2019)でも改めてこの点の言及がある。しかしこの論文に限らずほとんどのゼロエミッションの論文は「ネット」ゼロエミッションの主張である。換言すればこの前提として年間数10Gt単位のNEでRemaining Emissionsを相殺することが前提となっている。しかしモデル上ではこれは可能であってもこれほど多量のNE（主としてBECCS）は必要とする土地面積（バイオ資源の制約）、種の多様性とのTrade-off、食糧との競合等から近年頃に批判が強まっていることは既述の通りである。

こうした中で筆者の主張は対策の目標を気温目標から「大量のNEに頼らないCO₂ゼロエミッション目標」にパラダイムシフトすべきだというもので、これに向けて現在筆者が勤務する研究機関で技術的にRemaining Emissionsをどこまで減らせるかの検討を行っており、その中間報告的な内容を既に査読つき専門誌に発表したところである（Kaya et al. 2019）。なお、我々の提案は目標達成の時期を設定していない。IPCC（のモデル）ではパリ協定の2℃目標達成シナリオとして2100年を一つの目処として設定している。BECCS等非現実的な対策がモデル上で多用されるのは目標達成期限があるからである。

この研究を進める中で特に解決が困難なのは大量の変動型再生可能エネルギー（VRE）による電力を現行の系統でどのように適応させるか（発電部門）、そして船舶・航空機及び長距離大型トラックでのゼロエミッションをどのように実現できるか（運輸部門）である。さらには発電を中心とした大量のCCS（Carbon Capture and Storage）の実施もChallengingな課題である。いずれにしてもこうした研究を通して論文を世に問い、更にそれを通してIPCC報告書の中で2℃目標への代替案の一つとして取り上げられ、温暖化対策のパラダイムシフトにつなげたいと考えている。

完

⁴⁵ 詳細はIPCC 2013 Box 6.1 473頁及びIPCC (2015) Box 3.2 88頁の図参照

参照文献

- Akimoto, K., Homma, T. Sano, F. and Shoai-Tehrani, B. (2018), “Evaluations on emission reduction efforts of NDCs and their economic impacts by sector”, A paper presented at The 6th World Congress of Environmental and Resource Economists (WCERE 2018),
<http://www.eaere-conferences.org/index.php?p=77>
- Anderson, K., and Peters, G. (2016), “The trouble with negative emissions, Reliance on negative-emission concepts locks in humankind’s carbon addiction”, *Science* **354** 182-183, 14 October 2016
- Asayama, S., Bellamy, R, Geden, O., Pearce, W. and Hulme, M., (2019), “Why setting a climate deadline is dangerous”, *Nature Climate Change*, **9** 570-574, August 2019
- Azar, C., Lindgren, K., Larson, E., Möllersten, K. (2006), Carbon capture and storage from fossil fuels and biomass—costs and potential role in stabilizing the atmosphere. *Climatic Change* **74**, 47–79
- Azar, C. (1998), “Are Optimal CO₂ Emissions Really Optimal? Four Critical Issues for Economists in the Greenhouse”, *Environmental and Resource Economics* **11** 301-315
- Bolin, B. (2007), A History of the Scientific and Politics of Climate Change, The Role of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press
- Clarke, L., Edmonds, J., Krey, V., Richels, R., Rose, S. and Tavoni, M. (2009), International climate policy architectures: Overview of the EMF 22 International Scenarios. *Energy Economics* **31**, S64-S81
- Creutzig, F. et al. (2015), “Bioenergy and climate change mitigation: an assessment”, *GCB BIOENERGY* **7** 916-944
- Edenhofer, O and Kowarsch, M. (2015), “Cartography of pathways: A new model for environmental policy assessments”, *Environmental Science & Policy* **51**, 56-64
- Geden, O. and Beck, S. (2014), “Renegotiating the global climate stabilization target”, *Nature Climate Change* **4** 747-748
- Herzog, H.J., (2008), Carbon Capture, MIT Press
- IPCC (2018), Special Report Global warming of 1.5°C, <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- IPCC (2015), Climate Change 2014, Synthesis Report, Cambridge University Press
- IPCC (2014a), Climate Change 2014, Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part

- A: Global and Sectoral Aspects, Cambridge University Press
- IPCC (2014b), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*, Cambridge University Press
- IPCC (2013), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Cambridge Univ. Press, 2013)
- IPCC (2008), *Climate Change 2007: Synthesis Report*, Intergovernmental Panel on Climate Change
- IPCC (2007), *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change*, Cambridge University Press
- IPCC (2001a), *Climate Change 2001: Synthesis Report*, Cambridge University Press
- IPCC (2001b), *Climate Change 2001: Mitigation*, Cambridge University Press
- IPCC (2010), *Statement on IPCC principles and procedures*, 2 February 2010
環境省による邦訳あり
- IPCC (2007a), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Cambridge University Press
- IPCC (2007b), *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change*, Cambridge University Press
- IPCC (1995a), *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*, Cambridge University Press
- IPCC (1995b), *Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change*, Cambridge University Press
- Kaya, T., Yamaguchi, M. and Geden, O. (2019), “Towards net zero CO₂ emissions without relying on massive carbon dioxide removal”, *Sustainable Science* <https://doi.org/10.1007/s11625-019-00680-1>
- Kaya, Y, Yamaguchi, M and Akimoto, K., “The uncertainty of climate sensitivity and its implication for the Paris negotiation”, *Sustainable Science* **11** 515-518
- Keller, K., Hall, M., Kim, S., Bradford, D., and Oppenheimer, M. (2005) “Avoiding dangerous anthropogenic interference with the climate system,” *Climatic Change*, **73**. 227–238
- Newbold et al. (2015), “Global effects of land use on local terrestrial biodiversity” *Nature* **520**, 45-50, 2 April 2015, Newbold, T., Hudson, L.N., Hill, S. L. L., Contu, S., Lysenko, I., Senior, R.A., Borger, L., Bennett, D.J., Choimes, A., Collen, B., Day, J., Palma, A.D., Diaz, S., Echeverria-Londono, S., Edgar,

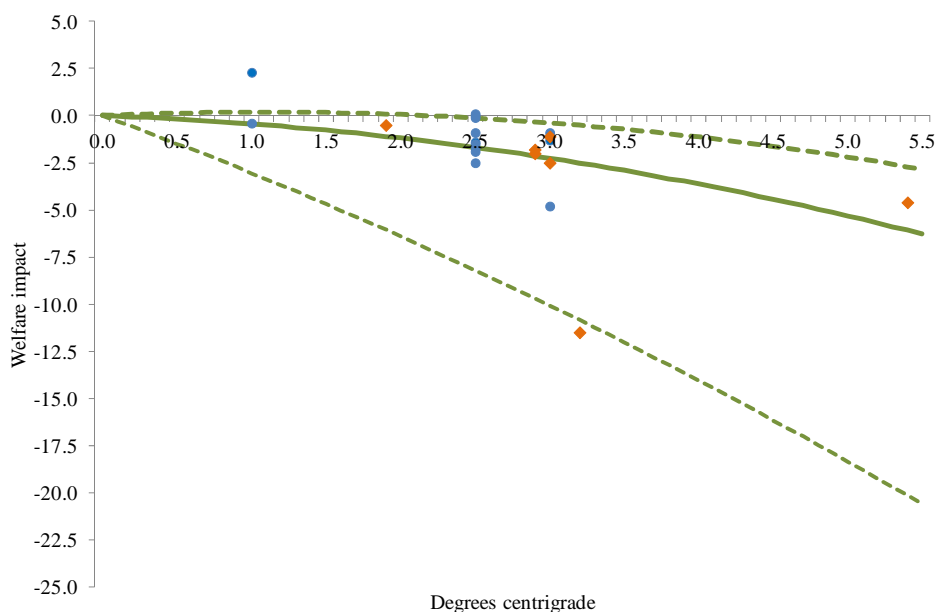
- M.J., Feldman, A., Garon, M., Harrison, M.L.K., Alhousseini, T., Ingram, D.J., Itescu, Y., Kattge, J., Kemp, V., Kirkpatrick, L., Kleyer, M., Correia, D.L.P., Martin, C.D., Meiri, S., Novosolov, M., Pan, Y., Phillips, H.R.P., Purves, D.W., Robinson, A., Simpson, J., Tuck, S.L., Weiher, E., White, H.J., Ewers, R.M., Mace, G.M., Scharlemann, J.P.W., & Purvis, A.
- Nordhaus, W. D. (2007), A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change, *Journal of Economic Literature* XLV(3), 686-702
- Oppenheimer, M. (2005) , “Defining Dangerous Anthropogenic Interference: The Role of Science, the Limit of Science,” *Risk Analysis*, **25** 1399–1407
- Parry, M., Amell, N., McMichael, T., Nicholls, R., Martens, P., Kovats, S., Livermore, M., Rosenzweig, C., Iglesias, A and Fischer, G. (2001) , “Millions at risk: Defining critical climate change threats and targets,” *Global Environmental Change*, **11**, 181–183
- Peters, G.P. and Geden, O. (2017), “Catalysing a political shift from low to negative carbon”, *Nature Climate Change* **7**, 619-621, September 2017
- Riahi, K., Grübler, A., Nakicenovic, N. (2007), Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization. *Technological Forecasting and Social Change* 74, 887–935
- Rogelj, J., Foster, P. M., Kriegler, E., Smith, C. J. and Seferian, R. (2019), “Estimating and tracking the remaining carbon budget for stringent climate targets”, *Nature*, **571** 335-341
- Schneider, S.H., and Lane, J. (2006) , “An Overview of ‘Dangerous’ Climate Change,” in Schellnhuber H-J. ed., *Avoiding Dangerous Climate Change*, Chapter 2.
- Smith et al. (2015), “Biophysical and economic limits to negative CO2 emissions”, *Nature Climate Change* **6**, 42-50, January 2016, Published online 7 December 2015, Smith, P., Davis, S.J., Creutzig, F., Fuss, S., Minx, J., Gabrielle, B., Kato, E., Jackson, R. B., Cowie, A, Kriegler, E., van Vuuren, D.P., Rogelj, J., Ciais P., Milne, J., Canadell, J.G., McCollum, D., Peters, G., Andrew, R., Krey, V., Shrestha, G., Friedlingstein, P., Gasser, T., Grübler, A., Heidug, W.K., Jonas, M., Jones, C.D., Kraxner, F., Littleton, E., Lowe, J., Moreira, J.R., Nakicenovic, N., Obersteiner, M., Patwardhan, A., Rogner, M., Rubin, E., Sharifi, A., Torvanger, A., Yamagata, Y., Edmonds, J., and Yongsung, C.

- Stern, N. (2006), *The Economics of Climate Change*, Cambridge University Press
- Tol, R. (2013), “Targets for global climate policy: An overview”, *Journal of Economic Dynamics & Control* **37** (2013) 911-928
- UNEP (2018), “Emissions Gap Report 2018”, November 2018 United Nations Environment Programme
- UNEP (2017), “The Emissions Gap Report 2017, A UN Environment Synthesis Report”, November 2017 United Nations Environment Programme
- UNFCCC (2008), Decisions adopted by the Conference of the Parties, in Part Two: Action taken by the Conference of the Parties at its thirteenth session, Report of the Conference of the Parties on its thirteenth session, held in Bali from 3 to 15 December 2007, FCCC/CP/2007/6/Add.1, 14 March 2008
- UNGA (1988), United Nation General Assembly Resolution A/43/53, 6 December 1988
- van Vuuren, D.P., Den Elzen, M.G.J., Lucas, P.L, Eickhout, B., Strengers, B.J. et al (2007), Stabilizing greenhouse gas concentrations at low levels: an assessment of reduction strategies and costs. *Climatic Change* 81 (2), 119–159
- Voosen, P. (2019), “New climate models forecast a warming surge”, *Science* 364 222-223
- WBGU (1995), Scenario for the derivation of global CO2 reduction targets and implementation strategies, German Advisory Council on Global Change (WBGU), March 1995
- WBGU (1997), Targets for Climate Protection, 1997, German Advisory Council on Global Change (WBGU), September 1997
- Williamson, P. (2016), “Scrutinize CO2 removal methods”, *Nature* **530**, 153-155, 11 February 2016
- Yamin, F., Smith, J.B., and Burton, I. (2006) , “Respectives on ‘Dangerous Anthropogenic Interference,’ or How to Operationalize Article 2 of the UN Framework Convention on Climate Change,” in Schellnhuber H-J ed., *Avoiding Dangerous Climate Change*, Chapter 10
- 山口光恒(2006), 「合意のない気候変動政策の目標と長期戦略」国際問題2006年6月、日本国際問題研究所

巻末付録 1 21の推定損害割合

ToI (2013)を基にその後の研究も含め一部修正した ToI 自身による THE ECONOMIC EFFECTS OF CLIMATE CHANGE: ERRATUM AND UPDATE, April 7, 2014に掲載された気温上昇と経済損害の図

Twenty-One Estimates of the Global Economic Impact of Climate Change



Note: Figure 2 shows 21 estimates of the global economic impact of climate change, expressed as the welfare-equivalent income gain or loss, as a function of the increase in the annual global mean surface air temperature relative to pre-industrial times. The dots and diamonds represent the estimates (from Table 1); dots were included in (ToI 2009); diamonds are additional estimates. The central lines are the least squares fit (from Table 2). The dashed lines are the boundaries of the original 95% confidence interval (from Table 2).

気温は工業化以降の上昇、青のドットは ToI (2009)、オレンジのダイヤモンドはそれ以降の論文による。実線は最小二乗法による近似、点線は 95%信頼度の範囲