

IPCC（気候変動に関する政府間パネル）1.5°C特別報告書の

内容分析と今後の国際交渉への影響

RITE 参与 山口光恒

目次

1、1.5°C特別報告書（SR1.5）－COPからの要請とIPCCの受け取り方

2、SR1.5の概要（政策決定者のための要約－SPM－及び第1－5章）

- 2－1 SR1.5の構成 p.4
- 2－2 SPMの特徴（政府レビュー） p.5
- 2－3 SPMの概要 p.7
 - A節、1.5°C気温上昇の理解 p.7
 - B節、予想される気候変動、潜在的影響とそのリスク p.8
 - C節、1.5°Cと整合的な排出経路とシステム変化 p.11
 - a) 排出経路の種類 overshoot問題 p.11
 - b) 社会経済状況の相違による排出(削減)経路の相違 p.11
 - c) 炭素予算の不確実性 p.13
 - d) 1.5°C達成のための努力 p.15
 - e) CDRに大きく依存する1.5°C排出経路 p.16
 - f) コスト無しの報告書 p.17
 - D節、持続可能な発展と貧困撲滅の文脈の中での対策強化 p.20

3、SR1.5報告書の評価

- 3－1 削減コストの記述無し p.23
- 3－2 費用便益分析軽視 p.26
 - a) 気候変動問題と費用便益分析 p.26
 - b) 費用便益分析の問題点 p.28
 - c) 費用便益分析は不要か（資源の効率的配分の観点から） p.29
- 3－3 不確実性 p.32
 - a) 上方修正された炭素予算 p.32
 - b) ベースライン（社会経済の将来の絵姿） p.37
 - c) 技術 p.38
 - d) 気候感度 p.38

4、今後の国際交渉への影響	p.39
4-1 SR1.5 の一般的な影響	p.39
4-2 2°C目標とは何か	p.39
a) GMST の新定義と 2°C目標	p.42
b) 2°C目標とは何か (50%や 66%確率の意味)	p.42
5、AR6 への示唆と期待	p.43
6、あるべき対策目標の姿 CO2 ゼロエミッションに向けて	p.45

別冊参考資料

- 1) IPCC 報告書でのこれまでの争点、温暖化と人為的影響
- 2) IPCC 報告書と政府レビューの実態
- 3) IPCC 執筆者の人脈 第3作業部会
- 4) IPCC 報告の科学的知見について－日本の IPCC 関係科学者有志の見解

1、1.5°C特別報告書 (SR1.5)

－ COP からの要請と IPCC の受け取り方

2015年12月12日、第21回国連気候変動枠組み条約締約国会議 (COP21) で *Adoption of the Paris Agreement* と題する決定1 (Decision 1/CP.21) が採択された。この決定の付録 (Annex) としてパリ協定が添付されている。決定1のII. の21として次の文言がある。即ち

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 (下線筆者)。

つまり2018年中に、①工業化以降1.5°C気温が上昇したときの影響と、②1.5°Cを可能とする世界の温室効果ガス (GHG) 排出経路の知見提供、をIPCCに求めたものである。Annexのパリ協定では初めて工業化以降の気温上昇を2°C以下とすることで合意が成立したが、努力目標として1.5°Cの記載もある。しかしパリ合意当時2°Cと1.5°Cの悪影響の差や1.5°C目標を達成する場合の排出経路の検討は不十分であったので、国連気候変動枠組み条約締約国会議 (COP) がIPCCに対して上記の要請を行ったものである。

IPCCは2016年4月にこの要請の受け入れを決め、翌年3月に第1回代表執筆者会合を開催したのを手始めに代表執筆者会合を4回、これ以外に政策決定者のための要約 (SPM) のみの会合を1回開催し、最後にIPCC加盟の政府が出席する政府レビュー会合 (2018年10月1日~7日) を経て2018年10月8日に最終内容が公表された¹。

IPCCではこれまで5~7年の間隔で5回に亘り気候変動に関する科学・影響・適応・緩和に関する報告書を公表してきた。この内容は基本的にIPCC独自の判断で必要と思われる項目に関する評価である²。しかし1.5°C特別報告書 (SR1.5) については上記の通り予め評価の対象が限定されており、今回公表された報告書は原則として依頼内容に忠実に沿ったものとなっている。他方COPからの依頼には明記されていない持続可能な発展・貧困撲滅・不平等軽減との関係が追加されているが³、その内容がやや混沌としているのは残念な次第である。パリ

¹ この間筆者は専門家として何度か正式ルートで素案に対する意見を提出すると共に、政府に対しても意見具申を行った。

² IPCC第1次報告書の構成のみはIPCC設立の親機関の一つであるUNEP (国連環境計画) のMustafa Tolba事務局長の提案に基づくもので、これにより第1作業部会 (WG1) は気候変動の科学、第2作業部会 (WG2) は環境と社会経済へのインパクト、第3作業部会 (WG3) は対策戦略を担当することとなったが (Bolin B. 2007, p.50)、この編成はその後IPCC独自の判断で何度か変更されている。

³ SR1.5のタイトルはこれを反映して、GLOBAL WARMING OF 1.5 °C, an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas

協定には随所に持続可能な発展・貧困撲滅・不平等軽減の重要性に触れる箇所があり、IPCC側でこの点を付度した結果ではないかと思う。

もう1点、COPからの要請には明記されていないもののIPCC報告書に是非含むべき情報である削減コスト（例えば対GDP比）が一切記載されていない点を挙げないわけにはいかない。気候変動の影響については後述するとおり詳細な記述があり、その中で気温上昇が1.5°Cの場合と2°Cの場合の影響の相違が明記されている。当然のことながら前者の方が影響が軽微である。しかし政策決定者にとってはこれだけでは動きがとれない。そのためにどの程度の努力が必要か、換言すれば目標を2°Cから1.5°Cに変えることにより追加的にかかるコストはどの程度なのか、また、その実現可能性はどうかの情報が必要である。気候変動問題の専門家集団（経済学者も含まれている）として、たとえCOPからの依頼に明記されていなくてもこれは加えるべきであった⁴。この情報無しに政策決定者が2°Cと1.5°Cのどちらを目標とすべきかを定めることは不可能だからである。この点および追加的に1トン削減する費用である限界削減費用（これはGDP或いは消費を減少させるという意味での削減コストとは別物）の第5次評価報告書（AR5）での扱いについては後述する。いずれにしても1.5°C特別報告書はコスト情報がないために政策決定者にとって有用なものではなくなってしまった（not policy relevant）のは誠に残念な次第であった。

2、SR1.5の概要（政策決定者のための要約及び第1~5章）

2-1 SR1.5の構成

1.5°C特別報告（SR1.5）は政策決定者のための要約（Summary for Policymakers, SPM）とその基となる5つの章からなる。各章のタイトルは次の通り。

第1章 構成と文脈（Framing and Context）

第2章 持続可能な発展を踏まえた1.5°Cと統合的な排出削減経路
（Mitigation pathways compatible with 1.5°C in the context of sustainable development）

第3章 1.5°C上昇の自然と人間システムへの影響（Impacts of 1.5°C global warming on natural and human systems）

第4章 国際的対応の強化と実施（Strengthening and implementing the global response）

第5章 持続可能な発展、貧困撲滅と不平等の軽減（Sustainable

emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty となっている。

⁴ SPM18頁に1.5°Cの削減コストの文献は限られているので評価の対象とはしなかったとあるが、この表現がSPMに明記されたのは最終政府レビューの時点で、それ以前はコストについての情報は全く無かった。

Development, Poverty Eradication and Reducing Inequalities)

SPM では上記 5 つの章の内容を

- A. 1.5°C気温上昇の理解 (Understanding Global Warming of 1.5°C)
- B. 予想される気候変動、潜在的影響とそのリスク (Projected Climate Change, Potential Impacts and Associated Risks)
- C. 1.5°C気温上昇と統合的な排出削減経路とシステム変化 (Emission Pathways and System Transition Consistent with 1.5°C Global Warming)
- D. 持続可能な発展と貧困撲滅の文脈の中での地球規模の対応の強化 (Strengthening the Global Response in the Context of Sustainable Development and Efforts to Eradicate Poverty)

の 4 つの節にまとめている。A はほぼ第 1 章の要約、B は第 3 章、C は第 2 章、D は第 4 章と第 5 章の要約となっている。

報告書全体としては上記の他に **Technical Summary** (SMP と各章の中間の位置づけの技術要約書)、さらに各章についての付属文書 (**Supplement**)、そして用語集があり (このうち用語集以外は本年 3 月末時点で公開されていない)、これを合計すると 1000 頁を超える大部のものとなっている。

このうち SPM は政治家が読むことを念頭に置いた要約で 26 頁に収まっている。この内容のみは政府の承認が必要で、この段階で各国政府の意向が反映されるが、その場合でもその内容は第 1~5 章の本文に裏付けがあることが必要である。IPCC 報告のうち専門家以外が読むのは SPM のみと言っても過言では無い。

第 3 次から第 5 次まで過去 3 回 IPCC 報告書に関わった筆者の実感として、これだけのものを実質 2 年で書き上げた執筆者 (Coordinating lead authors、Lead authors、Contributing authors、Review Editors 及び Bureau と事務局) はさぞかし大変だったことと思う。

以下 SPM を中心に概要を紹介し、このうち特に重要な諸点については問題提起をした上で、追って論点として取り上げる。

2-2 SPM の特徴 (政府レビュー)

第 1~5 章はそれぞれの章を取り仕切る Coordinating lead author (CLA) と Lead author (LA) により執筆されるが、このうち各章の CLA と有力な LA、それにこれから執筆活動が進む第 6 次報告書 (AR6) の 3 つの作業部会の共同議長を含む約 60 名が第 1 章から 5 章の内容を踏まえて執筆したものである。日本人は甲斐沼氏一人とふるわないが、国籍を見るとイギリスが 15 名と圧倒的で、次いでドイツ 7、アメリカ 5、インド 4、中国とフランスが 3 と欧州勢が半分以上と

なっている。

各章と異なり SPM だけは最終段階で行ごと (line by line) に IPCC 加盟国政府代表によるレビューを受け、最終的に公表されたものはここで合意されたバージョンである。SPM は先ず素案が示され、これに対して専門家及び各国政府がコメントを提出し、これを踏まえて最終素案を作成の上各国政府に回付される。各国政府はこれに対して更にコメントを提出し、それらを勘案した改定案が政府レビューの直前に示され、それを基に執筆者と各国政府が一堂に会しての直接のやりとりがあり、ここで合意された内容が最終報告として公表される。この意味で SPM は各章の内容に準拠しつつも、各国の利害を反映した科学と政治の妥協の産物でもある。本稿では必要に応じて政府レビュー直前の SPM の最終ドラフトにも触れる。

2-3 SPM の概要

以下 A~D の 4 つの節の順番に従って記述する。

A 節、1.5°C 気温上昇の理解

ここは気候科学を中心としたまとめであり、重要なメッセージが多数含まれている。

人為的影響により気温は工業化以降 1°C (0.8~1.2°C) 上昇した⁵。現在の上昇速度のままだと 2030~2052 年の間に 1.5°C を超える (確率 66% 以上)。

1°C 上昇の根拠として 2006~2015 年の観察された地球の平均表面気温 (Global Mean Surface Temperature - GMST) の上昇は 0.87°C (0.75~0.99°C) であるが、現状では 10 年間に 0.2°C (0.1~0.3°C) 上昇している。この上昇ペースを 2017 年に延ばすと丁度 1°C の上昇になるというわけである。なお、ここで括弧内の数値はその範囲内の確率が likely (66% 以上) と言うことを表す。以下では煩雑さを避ける意味から特段の必要の無い場合には中央値のみを用いる。

従来の IPCC 報告書では工業化以降と言いつつその時点が統一されていなかったが、本報告では 1850~1900 年を工業化の起算点と定めている。

実は「地球の平均表面気温 (GMST)」については従来必ずしも共通の理解がなかった。この点の明確化を計るべく SPM 末尾の Box SPM.1 で「陸上及び氷山の上の表面に近い大気気温と、氷山以外の海洋の海面表面温度の全球推定平均値」と定義された⁶。ただし GMST の変化を推定する場合には陸上・海上共に表面近くの気温も用いられることがあると付記された。要するに、正式定義は陸上近

⁵ SPM は脚注で現在の気温上昇とは、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。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。

⁶ Estimated global average of near-surface air temperatures over land and sea-ice, and sea surface temperatures over ice-free ocean regions

くの気温と海面の気温の加重平均であるのに対して、(気候モデルでの推定の際には) 陸上・海上共に表面近くの気温の加重平均を使うこともあると言うことで、一見大差ないように見えるが、実は海面の方が暖まりにくいので前者の方が気温上昇が低く出るという結果となる。これは実は後述する炭素予算(気温上昇を一定レベルで抑えるための累積CO₂ 排出許容量)に大きく関わるものであるが、ここでは単にこの事実のみ指摘しておく。

B 節、予想される気候変動、潜在的影響とそのリスク

この報告書のハイライトの一つで気温上昇が 1.5°C の場合と 2°C のそれとの比較を中心とした内容で、全体を通して 1.5°C の方が影響が少ないと述べている。これは極めて常識に合致した内容である。では影響の差はどの程度か。多数の例が挙げられているが、ここではその一部のみ紹介する。なお、1.5°C 報告書公表の際日本のメディアはこの点に大きなスペースを割いて報道したが、対策の困難性なしの報道姿勢に筆者は疑問を感じた。

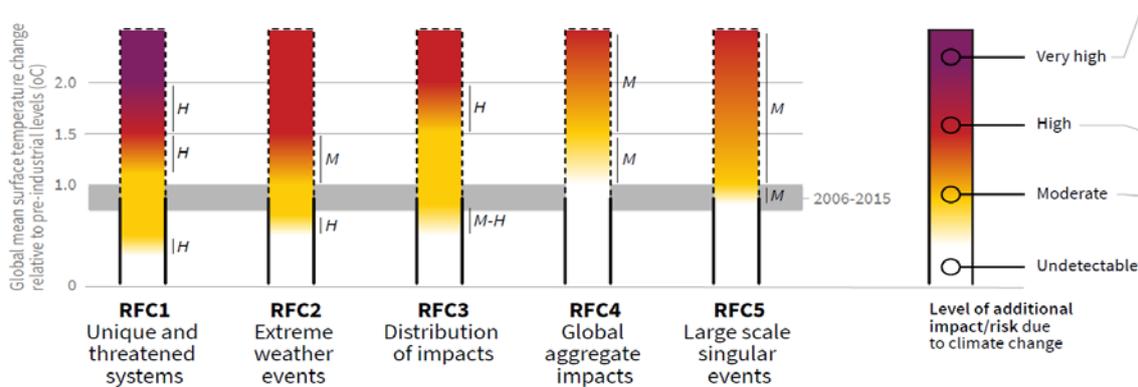
- ・ 先ず海面上昇であるが、モデルによる計算では 2100 年の海面上昇(ここでは起算点は 1986-2005 年)は 26~77cm でこれは 2°C 上昇に対して 10cm 低い。適応が無ければ 2°C に比べて海面上昇にリスクに晒される人の数が 1000 万人少なくなる(中信頼度)。
- ・ 種の多様性に関しては研究対象となった 105000 種のうち 1.5°C 上昇で昆虫の 6%、植物の 8%、脊椎動物の 4% が生息圏の半分以上を失うが、2°C の場合はこれがそれぞれ 18%、16%、8% に増加する(中信頼度)。
- ・ 夏の間北極海で氷山が無くなる割合は 1.5°C では 100 年に一度だが 2°C だと 10 年に一度となる。珊瑚礁は 1.5°C 上昇で更に 70-90% 失われるが、2°C だと 99% 以上が失われる(高信頼度)。
- ・ 気候変動による水不足等の水ストレスの影響を受ける人の数は、将来の社会経済的状況にもよるが、2°C に比べて 1.5°C だと最高 5 割程度減少する(中信頼度)

以上は 2°C と 1.5°C の影響の相違の具体例を SPM から拾ったものであるが、これ以外に漁業・エコシステム・人の健康・経済成長などの面で 2°C の方が 1.5°C よりも望ましいと言うことを繰り返して述べている(但し根拠となる数値は少ない)。

続いて第 3 次報告以来の気温上昇に伴う影響の図を次の通り示している。

図1 気温上昇に伴う影響とリスクの増

Impacts and risks associated with the Reasons for Concern (RFCs)

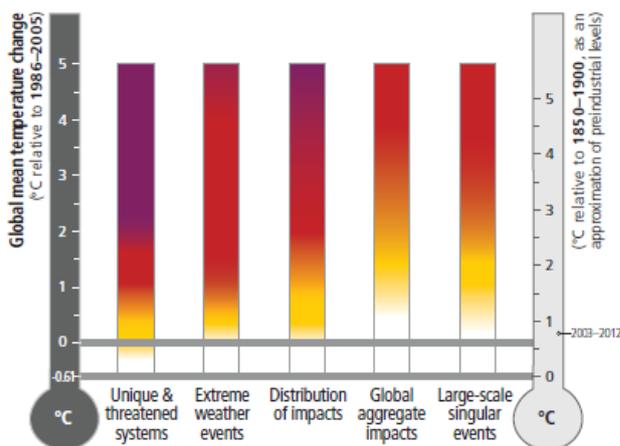


出典：IPCC/SR1.5 (2018) Figure SPM.2 から抜粋

これは Reasons for Concern (RFC) と呼ばれる図で左から種の多様性等絶滅のリスク、異常気象、地域別影響度合い、経済損害の程度、大規模不可逆的な損害の5つの項目別にそのリスクと影響を、この図を執筆した章の専門家による価値判断に基づき作成されたもので、特に種の多様性等(最左欄)では1.5°Cですでに大きな影響が出ることが分かる(色と影響やリスクの関係は図1右端の凡例参照、起算年は工業化-1850-1900年)。

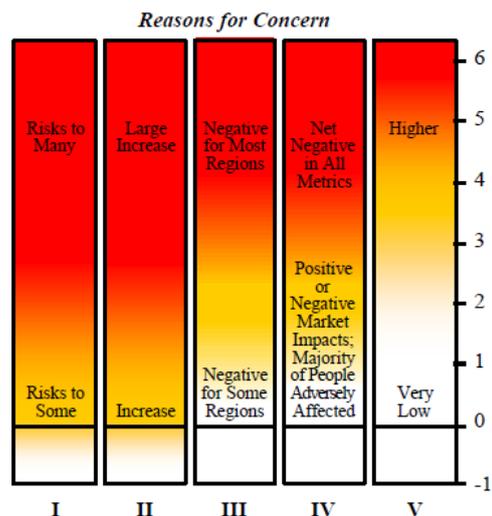
同様の図は第3次及び第5次IPCC報告書にも掲載されているのでそれらと比較してみよう(第4次報告書には記載が無い理由については政府レビューとの関連で参考資料参照)。左が第5次、右が第3次報告書(TAR)の図である。

図2 第5次報告の図



出典：IPCC/AR5/WG2/SPM Figure 1

図3 第3次報告の図



IPCC/TAR/WG2/Figure SPM-2

比較の前に整理が必要な点がある。2001年の第3次報告では20世紀中に平均

表面気温は 0.6°C 上昇したとしており (IPCC 2001、3 頁) これを反映して第 3 次報告書図 3 の右目盛りはそれ以降の気温上昇を指している。左の図は第 5 次報告から引用したものである。ここでは左右に気温上昇の目盛りがついている。この図の説明によると 1850-1900 年から 1986-2005 年 (第 5 次報告の基準年) にかけて気温が 0.61°C 上昇している。図 2 の左の目盛りの 0°C は 1986-2005 年の気温で、従って左の目盛りはこの時点からの気温上昇に応じた影響とリスクを表す。従来 IPCC 第 2 作業部会では気温上昇を論じる場合、独自の基準年からの上昇とリスクの関係を記述していたが、第 3 作業部会で問題としているのは工業化以降の気温上昇である。そこで第 5 次報告書で初めて図 2 の右目盛りを入れたものである。従ってこの目盛りは工業化 (といっても 1850-1900 年) からの気温上昇とその影響とリスクを示すものである。

話が込み入ってきたのでここで元に戻し、ここで図 1 (SR1.5)、図 2 (AR5)、図 3 (TAR) を比べてみよう。上記の通り気温上昇の基準年に相違があるので、ここでは全て工業化以降の気温上昇で統一する。図 1 はそのまま、図 2 は右のメモリを使い、図 3 は右の目盛りから 0.6°C 引いた数を用いる。先ず図 2 と図 3 の比較であるが、すぐに目につくのは一番左の種の多様性絶滅リスク (珊瑚礁など) が図 2 では工業化から 2.5°C 程度上昇すると紫色 (very high impact and risk) に変わっている点である (図 2 の右目盛り)。このほか地域別影響度合いについても図 2 では工業化から 4°C を超えるあたりから紫色となるが図 3 ではそうになっていない。第 3 次報告から第 5 次報告までは 10 年以上の時間の違いがあるので、この間に新たな知見が得られたとみるのが妥当であろう。

では図 1 はどうか。すぐに気づくのは工業化から 3°C 上昇までしか目盛りが無いことである。まして各国のプレッジが履行されても 2100 年の気温は約 3°C 上昇する (SPM 20 頁) とある中で、少なくとも 3°C までは含めるべきである。 1.5°C や 2°C 以下に抑えるのが事実上困難な中で 2.5°C 以上の気温上昇のインパクトやリスクについての評価が無いのはいかがなものか。

次に、図 1 と図 2 で一番右の大規模不可逆的な損害とリスクを比べるとそれほど大きな差があるようには見えない。両方とも工業化から 1°C 上昇したあたりで色が黄色に変わり 2°C 上昇したあたりで赤に変わっている。しかし本文を読むと大きく変わっている。具体的には海面が最高 7m 上昇するグリーンランドの氷床崩壊のリスクについて AR5 と 1.5SR の評価が大きく分かれている。AR5 (WG2 Technical Summary 63 頁及び第 19 章 1079 頁) ではこの閾値は 1°C よりも大きく (低信頼度)、 4°C 以下である (中信頼度) と評価され、西南極氷床 (WAIS) の崩壊については発生の可能性はあるものの現在の証拠では数量的な評価は不能としている。これに対して SR1.5 第 3 章では、西南極氷床の新たな観察とモデル計算の結果から、大規模不可逆的な損害とリスクの発生確率は AR5 の 1.6°C

上昇（中庸のリスク）～4℃上昇（高リスク）では無く 1℃（同）から 2.5℃（同）の上昇であるとしている（第 3 章 181 頁）。つまり大規模不可逆的な損害がより低い気温上昇で発生する可能性があると言うことである⁷。実際には氷床崩壊は 1000 年以上かけて発生するものであるが、一旦崩壊が始まると不可逆のリスクである。この意味でこの種リスクは温暖化のリスクの中最も警戒すべきであるが、AR5 からたった 5 年間でこれだけ大きな評価の変化があるのはどのようなところに原因があるのか、あるいは短期間でこれだけ知見が変わるとすれば今後の短期間で再度知見が変わることはあるのでは無いかとの危惧を抱くのは筆者のみでは無いと思う。

C 節. 1.5℃と統合的な排出経路とシステム変化

上記 B 節は COP21 での決定文書による IPCC に対する要請の中 on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels への回答であるが、C 節はもう一つの要請である related global greenhouse gas emission pathways に対する回答で、この意味で B 節と C 節は SPM の中核をなす内容である。C 節は本文第 2 章の要約であるので本文も含めて解説する。なおここで排出（削減）経路とは最小費用原則（世界共通炭素税）でモデル計算をした結果である。

a) 排出経路の種類 overshoot 問題

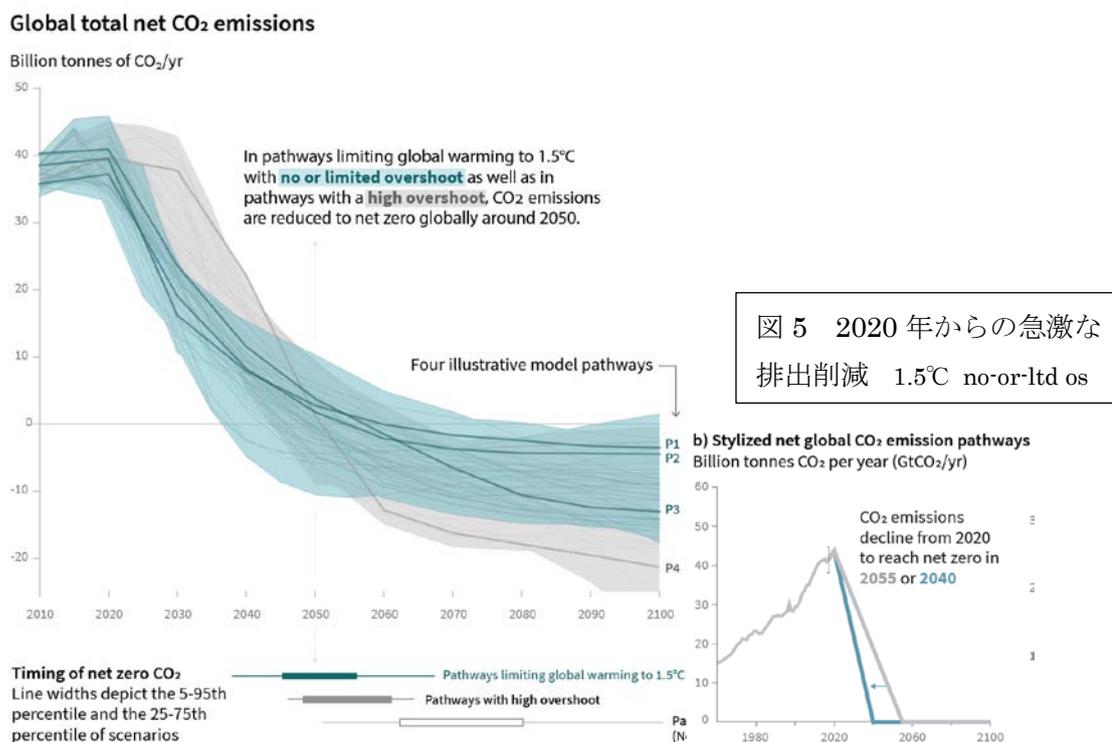
報告書では 1.5℃と統合的な排出経路(シナリオ)を二つに分けている。一つは no or limited overshoot、もう一つは high overshoot である。前者は 2100 年までの気温上昇が工業化（ここでは 1850~1900 年）以降 1.5℃以下に止まるか、或いはこれが 1.5℃を一時的に超過するが（これを overshoot と呼ぶ）その程度は 0.1℃以内で 2100 年には 1.5℃以下となるシナリオであり、後者は overshoot の程度が 0.1~0.4℃のシナリオを指す（第 2 章表 2.1、100 頁）。

C 節では 1.5℃と統合的なシナリオという場合、基本的には no or limited overshoot（以下 no-or-ltd os）シナリオを念頭に置いている。例えば C1 では 1.5℃と統合的なシナリオでは世界の net CO₂ 排出量は 2030 年までに 2010 年比 45%減（幅があるが省略、以下同様）、2050 年前後にはゼロにする必要があると述べている。これに対して 2℃と統合的なシナリオ（overshoot なし）のほとんどは 2030 年までに 2010 年比 20%減、2075 年頃に net ゼロにする必要があるとして違いを強調している。

⁷ これだけ重要な知見の変化は SPM にも記載すべき情報であるが、本文第 3 章にあるのみである。また、政府レビュー直後の第 3 章の Executive Summary ではこの記述の後に as opposed to 1.9°C (moderate) and 4°C global warming (high) risk in AR5 because of new observations and models of the West Antarctic ice sheet (medium confidence)との表現があったが（3-13 頁）、その後 IPCC から発表された最終報告書では as opposed to at 1.6°C (moderate risk) and around 4°C (high risk) in AR5 と修正された。しかし AR5 では前頁にあるようにこの閾値は 1℃よりも大きく（低信頼度）、4℃以下である(中信頼度)とされている。この不整合の理由は不明である。

図 4 を参照願う。青のシナリオの幅は no-or-ltd os の 1.5°C 整合的な排出シナリオ、ねずみ色のそれは high overshoot (high os) のシナリオである。

図 4 Net CO₂ 排出 (Overshoot の程度による排出経路の差)



出典：SR1.5 Figure SPM.3a

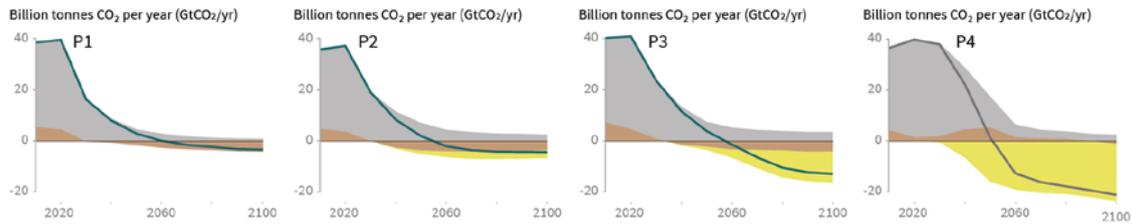
出典：SR1.5 Figure SPM.1b

図 4 の下部にそれぞれの色について net zero CO₂ となるタイミングが表示されており、このうち太い線の幅の確率が高い。これを見ると no-or-ltd os は 2045 年から 2055 年の間、high os は 2050 年直前から 2060 年の間に net zero となる。右の図 5 は 2020 年から 2040 年及び 2055 年に net zero となる場合の削減の傾斜を表している。これらの傾斜を一覧し、且つ現在でも排出が増加してきたことを踏まえると、1.5°C がとてつもなく現実離れをしていることが明確である。但し SR1.5 報告では不可能とは言わず 1.5°C 達成にはこれくらいの削減が必要としている。

b) 社会経済状況の相違による排出(削減)経路の相違

次に図 6 を参照願う。

図 6 社会経済の状況による CO2 排出量の相違



灰色は化石燃料及び産業部門の CO2 排出量、茶色は森林及び農業からの排出・吸収量、黄土色は BECCS (Bio energy with carbon capture and storage) による吸収量、緑色は net の CO2 排出量

出典: SR1.5 Figure SPM.3b

SR1.5 報告は経済社会の状況を 4 つの類型に分け、この違いが排出削減に及ぼす影響を考察している。AR5 以降社会経済状況の相違による BAU (対策無し) 排出量見通しの差についての研究が進み、そこでは社会経済状況の相違を 5 つに分けた研究が進んでいた。当然この結果は同じ目標に向けての削減の程度とコストに大きく関わってくる。ここでは社会経済状況を 5 つの類型としそれぞれ SSP (Shared Socioeconomic Pathways) 1~5 と命名している。詳細は Keywan et al. (2017) を参照願うとして、SSP1 は持続的な社会 (環境重視)、SSP3 は地域や国ごとの対立 (自国主義、競争力意識、紛争多発等)、SSP2 はこの中間 (middle of the road)、SSP4 は不平等社会の進展、SSP5 は化石燃料中心の発展と命名し、それぞれ BAU や達成可能な放射強制力 (GHG 濃度と読み替えて良い)、そのための炭素価格を試算している。SSP3 の場合は参加した 5 つのモデルの全て、SSP5 については 5 つのモデルのうちイタリアのそれは、放射強制力 $2.6\text{W}/\text{m}^2$ (約 $450\text{ppmCO}_2\text{e}$ 、或いは 2°C 目標) は達成不能としている。SR1.5 では社会経済状況を (SSP1~5 ではなく) P1~P4 の 4 種とした。SSP と P1~4 の関係であるが、新たに想定した P1 は極端にエネルギー需要を削減する社会 (LED、Low Energy Demand)、P2 は SSP1 (持続的な社会)、P3 は SSP2 (middle of the road)、P4 は SSP5 (化石燃料中心の発展) を模したものとなっている (SR1.5、第 2 章 111 頁)。これらは第 2 章では LED、S1、S2、S5 と表示されているが、SPM の図 (上記図 6) ではそれぞれ P1~P4 と表示されている⁸。図 6 の 4 つの類型はいずれも 2100 年に no-or-ltd os で 1.5°C に達するシナリオである。このうち灰色は化石燃料及び産業部門からの CO2 排出量、茶色は森林及び農業からの排出・吸収量、黄土色は BECCS (Bio-Energy with Carbon Capture and Storage、バイオ燃料を用いてそこから排出される CO2 を捕捉して地下に貯留する技術) による吸収量、それに緑色の線が net の CO2 排出量を表している。このうち森林及び農業からの排出・吸収量と BECCS は CO2 除去

⁸ 第 2 章ではそれぞれ LED、S1、S2、S5 となっているのに SSP では何の説明もなく P1~P4 となっているのは違和感のあるところである。

(Carbon Dioxide Removal、以下 CDR) とよばれる。

図から言えることは、P1 以外は 2100 年にも一定量の CO₂ 排出が残ること、全ての社会経済シナリオで CDR 技術に頼っていること、このうちでも特に右に行くに従って BECCS への依存が飛躍的に高まること、どのシナリオも 2100 年にはマイナス排出となっていることである。ただしここでは炭素価格の相違には触れていない。

上記の通り社会経済構造が 2100 年にかけてどのようなものとなるかによって削減の経路や技術、それに（ここでは触れていないが）コストは全く異なる。この意味で温暖化対策の広い意味での対策として社会をどのような構造としていくのかが如何に重要かが明らかにされている。

次に 4 つの類型のうち P1 (LED) は余りに現実離れしたシナリオである。ここで参照されている文献のうち代表的なもの (Grubler et al. 2018) を見ると人口と所得が増加し経済活動が活発化するにもかかわらず 2050 年の最終エネルギー需要は今日に比べて 40% 減少するとし、その具体的な内容として、個々の製品の省エネ化とスマホに見られる単一製品での多用途化、製品のスマート化と相互接続、自動車の電化や共有化等の進展を挙げている。いわばわが国が掲げる超スマート社会 (Society 5.0) が世界中で進展するシナリオと考えればよいかと思うが、これは希望であってこれに基づいて気候変動対策の目標とそれに伴い大幅削減策を世界が共有することは当面考えられない。SR1.5 以前に考えられていた類型では P2 も現実とはほど遠い理想の姿 (世界全体が Green 化の方向で進み経済も持続可能な態様で発展する社会) と考えられていた。現状は漸く先進国の一部で P4 から P3 への動きが始まろうとしているところである。このように考えると 2040 年くらいから BECCS を導入し、これが 2100 年にかけて急増する必要が見て取れる。例えば 2100 年には P3 で 20Gt 弱、P4 ではそれを大きく超過する量であり、累計ではおそらく 800~1000Gt 程度となると思われる⁹ (参考までに 2017 年の CO₂ 排出量は 42Gt、SPM14 頁)。ここからも 1.5°C 目標が如何に厳しいかが明らかであろう。

c) 炭素予算の不確実性

C 節での重要な記述の一つに炭素予算 (carbon budget) 問題がある。炭素予算という言葉が初めて IPCC 報告書に登場したのは 2013 年から 2014 年にかけて完成した第 5 次報告書 (AR5) においてである。詳細は省くが累計 CO₂ 排出量と気温上昇がほぼ直線の関係にあることに注目し、特定の気温上昇目標ごとにそれ以下に留まる為の許容累計 CO₂ 排出量 (これを炭素予算という) を予測し、

⁹ SPM19 頁は 1.5°C 達成の全てのシナリオ (net-zero) は BECCS を含む CDR が 100~1000Gt 程度になるとしている。このうち例えば 100Gt と低いのは P1 (LED) の場合である。

そこから今日までの CO₂ 排出量を差し引くことで目標達成に必要な残余の CO₂ 排出量を計算する（残余の炭素予算）という考え方である。

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ていた（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 の結果を用いて、66%以上の確率で 2°C以下に留める（基準年 1881-1880）には 1870 年からの累計CO₂排出量を 2900GtCO₂以下としなければならない。2011 年までに合計 1900Gtが既に排出されているので残余の炭素予算は 1000Gt であるとして世界に衝撃を与えた（IPCC 2014a、63 頁）¹⁰。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残余予算を費やし尽くしてしまうからである。なお、AR5 では 1.5°Cを 66%で達成する為の炭素予算は 2250Gtとしていた（IPCC 2014、Table 2.2、64 頁）。

SR1.5 のSPMでは 2017 年までに 2200GtCO₂ 排出されたとあり（SPM 14 頁、2011 年までに 1900Gtなので逆算すると 2017 年までに更に 300Gt排出されたことになる）、もしAR5 の炭素予算が正しければ 2018 年時点で 66%の確率で 1.5°C 目標を達成するため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 1.5SRでは気温測定の方法が 2 種類ある点に着目し、陸上海上とも表面近くの気温を気候モデルで計算する方式（SAT或いはモデル方式）、陸上は表面近くの気温であるが海洋については海水の表面気温を計測してこれを加重平均する方式（GMST、Global Mean Surface Temperature方式）それぞれで残余炭素予算を 420Gt（580Gt）CO₂、570Gt（770Gt）CO₂ と増やしている（括弧内は 50%確率で目標達成の場合）。この理由として知見の進展と方法論の進展によるとある（SR1.5SPM脚注 14¹¹）。炭素予算については不確実性が高く、これを反映して上記数値の信頼度はMediumに留まっている。炭素予算については地球平均気温の測定方法によっても異なってくるが、この点も入れて気候変動問題の大きな不確実性の一つとして項を改めて述べる。

d) 1.5°C達成のための努力

C 節では本文第 2 章及び第 4 章の記述を基に 1.5°C達成にどの程度の努力が必要かを論じている。ここで対象にしている 1.5°Cとは基本的には no-or-ltd os シナリオである。

SPM の C2（SPM 17 頁）の冒頭で 1.5°C達成にはエネルギー・土地利用・都市

¹⁰ 数値には幅があるがここでは省略。

¹¹ 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.

とインフラ（運輸と建物を含む）、産業システムの分野で急激且つ広範な変化が必要だが、過去に特定の分野や技術でこれに匹敵する変化がなかったわけではないが、これだけの規模での急激な変化は前例のないものとしている。このためには緩和手段の各種組み合わせと投資が必要として、エネルギー、産業、都市及びインフラ、土地利用、必要投資額に付き述べている。このうち我々になじみの深いエネルギー（電力）、産業、運輸の内容を見てみよう。

電力については 2050 年には再エネが 78%で残りは原子力と CCSつき化石燃料発電にする必要がある。ガスは 7%程度、石炭はほぼゼロとなる。これに CDR を加味すると、1.5°C達成には発電からの排出は 2050 年までにほぼ net でゼロとしなければならない¹²。

発電からの排出が急速に減る中で最大の排出は産業及び運輸部門である。ここでは需要サイドの対策（省エネ、代替物質への切り替え、リサイクル、ライフスタイルの変化）が大きな役割を占めるが、運輸については電化が重要な選択肢となる。注目すべきは低炭素の新たなプロセスの活用無しに 1.5°C 目標達成は達成困難（difficult to achieve）としている点で、ここで IEA(2017)に拠りつつ鉄鋼、アルミ、セメントの技術の例が挙げられている（第 2 章、140 頁）¹³。詳細な内容はとても紹介しきれないが、この辺りは SR1.5 本文第 2 章第 4 節 **Disentangling the whole-system transformation** に詳しく記述されているので特に興味のある読者はこちらを参照願う。しかし技術についての検討はここまでに留まり、例えば鉄の水素直接還元についてはその実現にどのような障害があり、それをどのように克服可能かについての記述はない。しかしそもそもこうした点については文献があまりないので、文献を評価する IPCC に要求する方が無理という点もある。この辺りは RITE において現在茅理事長を中心にゼロエミッション技術を検討中である点申し添える。

e) CDR に大きく依存する 1.5°C 排出経路

SPM では 1.5°C 達成シナリオ (no-or-ltd os) では全てのシナリオで CDR (Carbon Direct Removal、この主たる手段は既述の BECCS 及び植林・再植林 - AF/RF) に依存するとし、その 21 世紀中の累計は 100-1000Gt と大量のものである。この差は社会経済状況の相違によるものである（図 6 を参照）。今後の社会経済構造の 4 種の累計が示されており、このうち茶色が AR/RF、黄土色が BECCS である点は既に説明した通りである。このうち P1 と P2 はあまりにも理想の姿を

¹² 2050 年までの電源構成の推移と詳細は第 2 章 Table 2.7 (134 頁) 参照。但しこの数値はここで紹介した SPM の数値と微妙にずれている。SPM への記載の時に丸い数値となったものであろう。

¹³ Some examples of innovative low-carbon process routes include: new steelmaking processes such as upgraded smelt reduction and upgraded direct reduced iron, inert anodes for aluminum smelting, and full oxy-fueling kilns for clinker production in cement manufacturing

想定しているのでこれを前提に対策を立てることは現実的ではないが、P1であっても CDR の累計が 100Gt (但しこの場合は AF/RF のみ)必要と言うことである。現実的なシナリオは P4、あるいは社会が脱炭素に向けて動けば P3 というところだと思うので、1.5°Cに実際に必要な CDR は 800-1000Gt 程度で、その大部分は BECCS と考えておく必要がある (専門誌の論文もそのほとんどが 800Gt 程度の BECCS を想定している)。上記は low overshoot scenario の場合であるが、high overshoot scenario (一時的に 1.5°Cを 0.1-0.4°C超過) の場合には更なる CDR が必要になる。SR1.5 ではこの実現可能性を正面から取り上げることはせず、大量の CDR は土地、エネルギー、水、栄養 (食糧) に重大な影響を与えうるとし、CDR の規模やスピード、それに社会としての受容性 (societal acceptability) により 1.5°C目標が可能になるかどうかが決まるとしている (SPM 19 頁)。しかし学術誌の論文では種の多様性、食糧供給との Trade-off、必要とする土地面積等から大量の CDR に疑問を呈しているものは筆者が目にした範囲でも数件ある (Smith et al. 2015、Newbold et al. 2015 など)。

f) コスト無しの報告書

SR1.5 報告書の際だった特徴は 1.5°C達成に要する削減コスト (GDP 或いは消費の減) の記述が一切ない点である。必要投資額として 2015~2050 年に 9000 億ドル (約 100 兆円) との数字があるのと好対照をなしている。仮に気温上昇の影響を抑えるために 2°Cより 1.5°Cが好ましいとしても (この点は SR1.5 に繰り返し出てくるメッセージである) この為にどの程度の削減コストが必要かの情報がなければ政治家としては決断が出来ない。この意味でこの報告書は IPCC が目指している policy relevant (政策決定に役立つ) な報告書ではない。日本政府だけではなく他の国の政府も最終公表前の政府レビュー会議でこの点を指摘したがその結果コストを記載しない理由として文献が少ない点に加えられたのみであった。誠に残念な次第である。また、1.5°Cシナリオの費用便益分析については (SPM では) 知見がないとの理由で見送られたとある。しかし第 1 章 (76 頁) 及び第 2 章 (150~151 頁) をよく読むとむしろ IPCC としてはこれを否定している (特に炭素の社会的費用)。この削減コストがない点及び費用便益分析に否定的な点については SR1.5 報告書の主要論点として後述する。

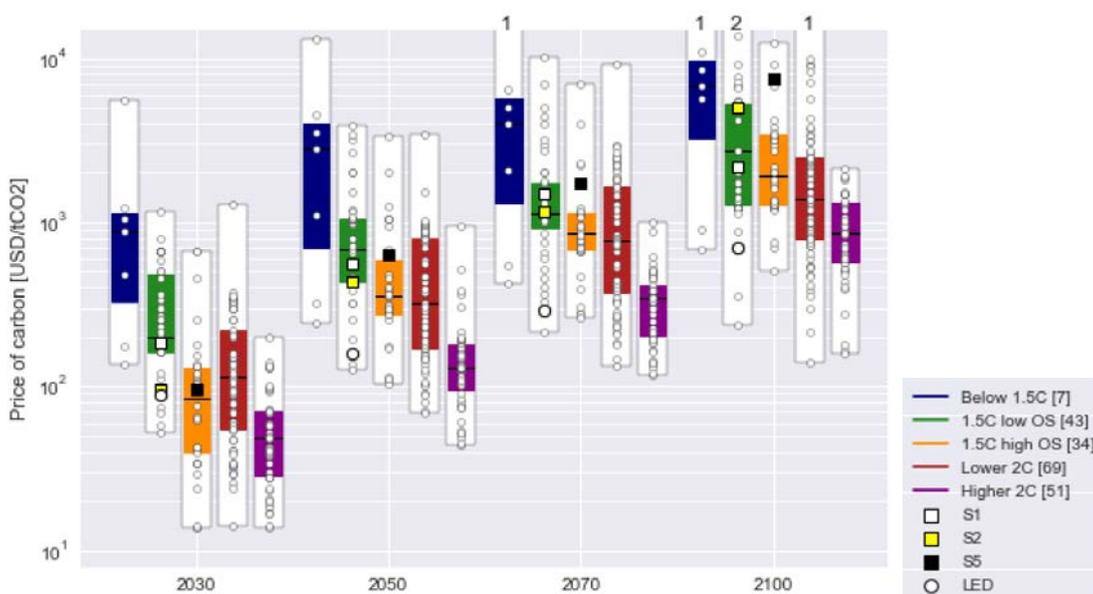
SPM には 1.5°C達成の限界削減費用についてたった一つの文章がある。限界削減費用とは目標達成のための最後の 1 トンを削減する為の (追加的) コストで、これは目標達成の炭素価格 (或いは炭素税) と同義である。限界削減費用は削減が進むに連れて徐々に高い対策を導入することになるので、限界削減費用曲線は右上がりの曲線となる。丁度目標達成の時点でこの限界削減費用曲線を積分した金額が削減コスト (厳密には resource cost といい、その波及効果は考慮

せず) で、この意味で削減コストと限界削減費用は別物である。

1.5°Cを実現するとしたらどの程度の炭素税をかける必要があるかというのも重要な情報であるが、SPM ではこの額は2°C目標に比べて3~4倍としか記述がない。これでは政治家には全く役立たずの情報である。本文第2章にはある程度実数が出ているが、政治家が読むのは精々SPMのみなので是非第2章の情報をSPMに載せることが必須である。この点も日本政府をはじめいくつかの政府が政府レビュー段階で主張したが結果は何も変わらなかった。この点も全く理解できないところである。

それはともかく第2章の内容を見よう。ここには2°Cと1.5°Cの場合のOvershootの有無及び程度ごと、それに社会経済状況ごとの炭素価格が示されている(図7)。

図7 1.5°C及び2°C目標達成の炭素価格(割引無し)



出典：SR1.5 Chapter 2 Figure 2.26 のうち top panel

年ごとに縦のバーが5本ずつあるが、一番左から①1.5°C (overshoot無し)、②1.5°C (low overshoot)、③1.5°C (high overshoot)、④2°C (overshootなし、66%以上の達成確率)、⑤2°C (同、50~66%の達成確率) の場合の炭素価格で、年度としては2030、2050、2070、2100の4つをとっている(シナリオの数は右の凡例の括弧内の数字で表している)。縦のバーにある太い横線は中央値(Median)で、当然のことながら同じ年度では炭素価格は右に行くほど安くなる。例えば中央値で比べると2030年では①は 10^3 (つまり1000ドル)に近いが、⑤では 10^2 (100ドル)以下、2100年には①が 10^4 (1万ドル)に近いが⑤では 10^3 (1000ドル)以下という具合である。1.5°Cの場合は2100年には①~⑤の全てで1000ドルを超えている。なお、overshootなしの1.5°CはLEDか

S1 (図 6 の P1、P2 に相当) でしか可能性が無く、S5 (図 6 では P4) では 1.5°C (high overshoot) のみ可能であるが炭素価格はかなり高いことが分かる。実は政府レビュー直前の時点で SPM 執筆者の中の有力者と個別に議論する機会があり、1.5°Cの炭素価格が 2°Cの 3~4 というだけでは全く情報として意味がないと主張したところ、余りにばらつきがある (不確実性の幅が大きい) のでそうした表現としたとの答えが返ってきた。これに対して当方からそれだけ幅があると言うことを SPM に書くべきだ、その方が政治家には役立つ情報であると反論したことがあった。最終的には前述の通り政府レビューでも原案を変えることが出来なかったのは誠に残念であった。

確かに図 7 は対数目盛でわかりにくい、炭素価格については上記の図に加えて第 2 章の本文に数値が出ている (152 頁)。これを筆者が一覧表にしたのが下記の表で、せめてこれだけでも記載すべきであった。

表 1 気温上昇別炭素価格 (単位ドル)

目 標	2030年	2050年	2070年	2100年
2°C High Overshoot	15-220	45-1050	120-1100	175-2340
1.5°C Non Overshoot	135-6050	245-14300	420-19300	690-30100

D、持続可能な発展と貧困撲滅の文脈の中での対策強化

SPMのD節は本文第 4 章 (対策の強化とその実施)、第 5 章 (持続可能な発展、貧困撲滅と不平等の軽減) を中心にしつつ、一部第 2 章 (緩和持続可能な発展の文脈での 1.5°Cと整合的な排出削減経路) のメッセージをまとめたものである。このうち第 4 章は第 2 章の 1.5°Cと整合的な排出削減経路の中味をある程度は掘り下げている。例えば対策技術のうち再エネ、エネルギー貯蔵、CCS、産業システムの変革 (電化と水素など)、CDR (BECCS及び植林)、部門別の技術革新を可能にする条件、政策手段の分析 (炭素税の必要性和制約) 等につきある程度詳細に述べているが、特に目新しい内容は少ない。それでも、「1.5°Cが長期的には善であっても短期の経済社会的ロスを生じては広範な支持は得られないので、本当に難しいのは経済に甚大な影響を与えずに温暖化対策の強化が出来るかどうかということだ」といった現実を踏まえた記述も散見される¹⁴。

参考までに主要産業部門での対策に関する第 4 章の検討結果を下記に掲げる。

¹⁴ Whatever its potential long-term benefits, a transition to a 1.5°C world may suffer from a lack of broad political and public support, if it exacerbates existing short-term economic and social tensions, including unemployment, poverty, inequality, financial tensions, competitiveness issues and the loss of economic value of carbon-intensive assets. The challenge is therefore how to strengthen climate policies without inducing economic collapse or hardship. (319 頁)。

表 2 主要産業部門の 1.5°Cに向けた削減対策

	鉄鋼	セメント	石油精製と石油化学	化学
プロセスとエネルギー効率	プラントにより1割~5割効率改善可 但し1.5°Cには不十分			
バイオ由来	石炭の代わりにコークスをバイオマスで変換	部分的に可	バイオマスを化石燃料由来の原料に代替	
循環性と物質代替	リサイクル率向上と低排出材料への代替		可能性は限定的	
電化と水素	水素直接還元。 電力により熱発生	限定的	熱の電化と水素製造	
CCS	プロセス排出とエネルギーで可能。排出80-90%減。BECCSの場合にはマイナス排出可		エネルギー起源排出に対応可。 製品の使用段階での排出は不可(ガソリン)	

出典：IPCC SR1.5 Table 4.3 (335 頁)

このほか気候変動対策を直接の目的としない技術（General Purpose Technologies）が 1.5°C達成に役立つ例として第 2 章の Table 4.9 に興味のある例が挙げられている。例えば産業部門ではロボットや IoT（Internet of Things）の導入による産業プロセス最適化による省エネ、IoT や AI（Artificial Intelligence）による電気自動車、自動車共有、自動運転、バイオテクノロジーを用いての農業生産性の向上・肥料使用量や N2O（一酸化二窒素、温室効果ガス）の削減などである。但し頁数の制約からこうした情報は SPM には入っていない。

では 1.5°Cの実現可能性はどうか。この点も D 節の大きな課題である。この点は SPM（D2.3、20~21 頁）では feasibility は地球物理学、環境・生態系、技術、経済、社会・文化、それに制度的条件に依存し、それは技術革新や資金援助、life style の変化などによって高まる、とごく簡単に片付けている。本文はどうか。第 4 章では上述の技術や経済など Feasibility の判断を左右する 6 つの要因ごとに適応と緩和の面からの評価軸を表にしている。このうち緩和についてみると、経済的側面として費用効果、分配、雇用など、技術の側面としては大量使用に耐えるかどうか、成熟した技術かどうか、制度的側面として政治的受容可能性、法的条件など、社会・文化的側面からは一般の受容可能性（PA）、健康や教育などの付随的便益の有無、環境・生態系の側面では大気汚染や有害廃棄物問題など、地球物理学的側面としては物理的な実現可能性や土地の制約などを挙げている（Table 4-10）。こうした側面に対して 1.5°C実現可能性の観点からエネルギーシステム、土地利用と生態系、都市化、産業システム、CDR の分野別に障害の程度を 3 分類しこれを以て全体の実現可能性を表示しようとしている。このうちエネルギーシステムの部分だけ抜き出したのが表 3 である。

(表 3) 1.5°C対応 エネルギー部門の各種技術の実現可能性評価

System	Mitigation option	Evidence	Agreement	Ec	Tec	Inst	Soc	Env	Geo
Energy system transitions	Wind energy (on-shore & off-shore)	Robust	Medium	薄茶	濃茶	薄茶	濃茶	濃茶	薄茶
	Solar PV	Robust	High	濃茶	濃茶	薄茶	濃茶	濃茶	薄茶
	Bioenergy	Robust	Medium	薄茶	濃茶	薄茶	薄茶	薄茶	薄茶
	Electricity storage	Robust	High	薄茶	薄茶	薄茶	薄茶	薄茶	薄茶
	Power sector CCS	Robust	High	薄茶	薄茶	薄茶	薄茶	薄茶	濃茶
	Nuclear energy	Robust	High	薄茶	薄茶	薄茶	薄茶	薄茶	濃茶

出典：SR1.5 Table 4.11 から抜粋。なお、最上段の Ecより右は実現可能性評価の 6 つの要素で、Ec は費用効果等、Tec は技術、Inst は政治的受容可能性等、Soc は社会的受容可能性等、Env は生態系への影響等、Geo は物理的 feasibility 等である。濃い茶色は障害無し、茶色は実現可能性への影響は±ゼロ、薄茶は障害ありとの判定結果を示す。

上表のうち実現可能性に障害が認められるのは薄茶の部分に限られる。具体的にはエネルギーシステム分野では風力、太陽光、電力備蓄については特段の障害が認められず、バイオエネルギーでは政治的受容可能性と生態系への影響、原子力は政治的及び社会的受容可能性の面で実現可能性に問題があることが分かる。表 3 にはないが、エネルギーシステム以外の分野で実現可能性が最も危ぶまれるのは BECCS という結果となっている。結論として 1.5°C が feasible かどうかは上記 6 つの要素以外にも依存するが、こうした考え方が何らかの参考になるだろうと結んでいる (381 頁)。

しかしこうした表をいくら見せられても 1.5°C 目標が feasible かどうかは不明である。政治家 (或いは読者) が本当に知りたいのは feasibility に影響を与える要因の分析ではなく、そうした要因を総合判断して 1.5°C が feasible かどうかの専門家の見方である。少なくともバイオエネルギー、原子力、BECCS のそれぞれが使えない場合に 1.5°C は可能かどうかはモデル計算が出来るはずで、この結果が SPM に記載されていれば正に policy relevant な報告になる。この点残念な結果である。

もう 1 点追加すると、実現可能性判断の 6 つの判断要素に対策コストが含まれていないことである。これはどう考えてもおかしい。SR1.5 の執筆者は判断要素としてコストを必要ないと考えていたのだろうか。この点筆者には信じがたい点である。

それはともかく、D 節で最も重要なメッセージは第 2 章から引いてきたもので、

それは各国のプレッジ (NDC) を合計すると 2030 年の世界の排出量はおおよそ 52~58Gt になるが、これが約束通り履行されたとしても 1.5°Cは無理である (would not limit global warming to 1.5°C) と言い切っている点である (SPM 20 頁)。これは政治家にとって強烈なメッセージで、もし彼らが 1.5°Cを目標にするのであればプレッジの削減量の大幅引き上げが必要で、もしそれが困難であれば 1.5°Cは諦めねばならないと言うことである。本報告の冒頭に COP から IPCC に、①工業化以降 1.5°C気温が上昇したときの影響と、②1.5°Cを可能とする世界の温室効果ガス (GHG) 排出経路の知見提供、を求めたことを述べたが、このうち②に対する IPCC の回答の中心は D 節冒頭の上記記述である。この意味では D 節ではなく、SR1.5 報告書の冒頭に置くべきメッセージと言っても良いものである。

D 節では次に、no-or-ltd os の 1.5°C達成のモデルのシナリオで一つの例外を除くと 2030 年までに世界の GHG 排出を 35Gt 以下に抑えることが必要とされ、半分のシナリオでは 25~30Gt (2010 年比 40~50%減) まで削減が必要とされている (本稿 11 頁図 4 も合わせて参照願う)。その上でプレッジでは 2100 年に 3°C 上昇し、その後も気温の上昇は続くとだめ押しをしている。これに続いて対策の遅れは化石燃料インフラへのロックイン効果などで対策コストの急増につながるとしているが、そもそも対策コストが示されていない中でこの記述は抽象論に過ぎない。

SR1.5 報告書は持続可能な発展と貧困撲滅と気候変動の関係を正面から扱った初めての IPCC 報告である。しかしこの点は文献が限られている外に、対象範囲を余り拡大した結果抽象的な記述に止まり、残念ながら Policy Relevant な内容とは言い難い結果となっている。

周知の通り SDG (持続可能な発展目標) とは 2015 年 9 月の国連サミットで採択された「持続可能な発展のための 2030 アジェンダ」に記載された 17 項目の目標である (この下に 169 項目の Target、232 の技術指標がある)。SDG は貧困撲滅、飢餓撲滅、健康と福祉、質の高い教育、男女平等、安全な水とトイレ、クリーンなエネルギーへのアクセスなど 17 項目だが、このうち 13 番目が気候変動問題である。気候変動対策の実施は他の 16 項目とシナジーあるいは Trade-off の関係がある。例えば気候変動対策の促進は大気汚染の減少を通して人の健康に良い影響を与え、エネルギーのクリーン化に貢献する。他方急激な排出削減のための BECCS 大量利用は種の多様性や食糧生産と Trade-off の関係にあり、エネルギー価格の上昇により恵まれない人々のエネルギーアクセスにマイナスの影響を与える、といった具合である。SR1.5 報告書では気候変動と他の 16 の SDG の関係について、エネルギー供給・需要、土地の観点から限られた文献を基にシナジーと Trade-off の関係を図示している (Figure SPM.4、

SPM 22 頁。更に詳細な分析が第 5 章の 481 頁以降にあるがこちらは字が小さくほとんど読めないほどである)。図を見ると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(この点は特にエネルギー需要面で顕著)、エネルギー供給面では衛生的な水 (SDG5) と土地利用 (SDG15) それに飢餓撲滅面で、Trade-off がシナジーを上回っていることが分かる。しかしここで気候変動を含む SDG17 項目の優先順位付けを行っておらず(そもそも SDG は全てを目指すという考え方で Priority の考え方はない)、気候変動を除く 16 の SDG 項目のうちシナジーが Trade-off を上回っているのがいくつ、逆のケースがいくつという結果が明示されたとしても、この結果で 1.5°C 目標のような急激な気候変動対策を推進すべきかどうかの結論は出ない。偶々茅 RITE 理事長と共に、2018 年 11 月に来日した IPCC のホーソン・リー議長と非公式な面談を行った際、同氏からももし Trade-off がひとつの SDG 項目で認められ、シナジーが他の全ての SDG で見られたとしても、Trade-off の項目が政治的に極めて重要なものであれば、これを以て気候変動対策と SDG はシナジーの関係にあるとは言えないとの話があり、この点で我々の認識は共通であった。

冒頭述べたとおり、持続可能な発展・貧困撲滅・不平等軽減と気候変動対策の関係は COP からの依頼には明記されていなかったが、IPCC がパリ協定の精神を付度して加えた章である。事後的ではあるが、第 5 章及び SPM のうち貧困撲滅・不平等軽減(この中に社会正義や衡平性と言った重要だが評価の国際基準がない中で IPCC が取り上げるのが困難な問題を含む)、それに SDG に関連した記述は却って政治家を混乱させるおそれがあり、むしろない方が良かったとする意見もあり得ると思う。

最後に地方自治体、市民社会、民間部門、地域住民やそのコミュニティでの対応能力の効用の必要性を述べて SPM を閉じている。

以上 SR1.5 報告書の概要である。以下はこれまでの記述と若干の重複はあるが、筆者の観点から報告書の評価を行う。

3、SR1.5 報告書の評価

通常の IPCC 報告は 6~7 年の間隔で公表されている。これに対して今回の特別報告は IPCC が COP の要請を受けて執筆を決めて約 2 年半で公表したもので、執筆者に与えられた時間は 2 年もなかった。この短い期間に多量の(しかも次々に専門学術誌に発表される新しい)文献を読み込んだ上で評価を行っており、この努力は大いに評価するものである。とくに第 1 章から第 5 章までは内容が子細に亘り、我々研究者に資するところが大きい。例えば第 1 章で従来曖昧に理解されていた地球の表面気温 (GMST) を明確に定義したこと、第 2 章で炭

素予算を詳細に検討し、その変更理由を説明していることがその例である。惜しむらくは頁制限の都合であろうが、政治家向けの SPM に各章の本当に重要なメッセージのいくつかは抜け落ちている点である(この典型例がすぐ後で述べる限界削減費用、即ち炭素価格の分析結果である)。

翻って、IPCC の評価報告は政治家（意志決定者）に対して気候変動問題での意志決定に際して有用な情報を提供することにあり、政治家に対して何をすべきかを提言することではない（policy relevant but not policy prescriptive）との原則で執筆されている。この観点から見て下記の諸点は残念ながら policy relevant な内容とはなっていないと筆者は考える。具体的には削減コスト、費用便益分析、不確実性である。以下順に述べる。

3-1 削減コストの記述無し

この点については既に 2-3 C の f(16 頁)でほんの少し触れたがここでは 2014 年の第 5 次報告書 (AR5) との対比も含めて論じる。ここで削減コストとは削減の総コストの GDP あるいは消費に対する割合を指し、目標達成のための最後の 1 トン削減のための追加コスト（限界削減費用、これは目標達成の炭素価格或いは炭素税に等しい）とは別物である。この点を先ず明らかにしておきたい。

図 8 削減コストと限界排出削減コストの関係（イメージ図）

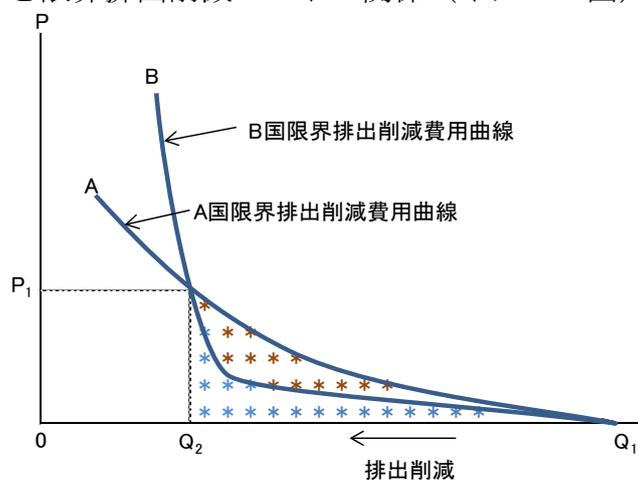


図 8 は限界削減費用曲線が異なる 2 つの国 A と B の排出削減のコストをイラスト風に描いたものである。横軸は排出量、縦軸は追加排出削減 1 トンの費用（限界排出削減費用）である。削減量は AB 共に Q_1 から Q_2 迄で等しいと仮定する。A に比べて B の方が最初の削減の限界削減費用は低い（B の方が低いコストで削減が可能な機会・技術が豊富ということ）、最終的に Q_2 の段階では AB ともに同額 (P_1) と仮定する。この場合排出量を Q_1 から Q_2 迄削減する限界削減費用（別の言い方をすると炭素税¹⁵⁾ は P_1 と等しいが、削減の総コストは限界削減費用

¹⁵⁾ AB 両国とも排出量を Q_2 まで減らすには P_1 の炭素税を導入すればよい。炭素税の下で排出を削減する

曲線の下での面積の積分であるのでAの方が高くなる¹⁶。

気温上昇限度を 2°C から 1.5°C に引き上げる場合の総削減コスト (economic cost という場合もある) は SR1.5 の SPM 或いはその基となる 5 つの章のどこにも見いだせない。この点に関しても報告書承認直前の政府レビューでアメリカ¹⁷、中国、サウジアラビア等から総コスト表示の必要性が指摘されたが、コストを記載しない理由として「文献が少ない」点に加えられたのみで総コストの記述はなかった。

IPCC は主として査読付き論文にあたってその結果を要約して示すのが仕事であるので文献が少なかったというのは一見尤もらしい言い訳に見える。しかしすぐ後で述べるように 1.5°C シナリオが 90 もある (IPCC 2018, Table 2.1, 100 頁)。この中には気候モデルでコストとは無関係のものも含まれていると思われるが、1.5°C 達成の限界削減費用を計算しているシナリオは 84 もある (本稿 17 頁の図 7 の右の凡例参照)。勿論限界削減費用が計算できれば総コストも計算出来ると言う訳ではない。例えば技術の積み上げモデルでは総コストは計算できず、これが可能となるのは一般均衡経済モデルのみである。従って総コストの計算結果が 84 もあると言うことはあり得ない。とはいえ、SR1.5 では総コストを計算した例が何件あり、それがどの程度のばらつきかを示すのが専門家の義務だと思う。

次に SR1.5 との対比で、IPCC の AR5 での総コストの扱いを見てみよう。これにより SR1.5 との差異がより明瞭となる。

表 4 2°C 達成の総コスト

には限界削減費用が P₁ 以上の対策をとらず、これ以下の対策だけとすることが最小費用での削減が可能になるからである。

¹⁶ 経済モデルで計算するときにはこのような削減行動が GDP 或いは消費全体にどのような影響を与えるかを一般均衡モデルで解いてコストを出す、ここでは単に削減コストとその限界削減費用との差の考え方のみを示している。

¹⁷ アメリカ政府のコメントは SPM narrative fails to communicate the scale of the global technological and economic challenge to meet a 1.5°C objective—中略—。続いて多くの 1.5°C 達成シナリオは 2020 年に脱炭素化を始め 2030 年には排出量を半減する図となっている。これが出来なければ the report further indicates that only a very narrow path remains to achieve 1.5°C, which would involve great costs if it is feasible at all. This message does not come across strongly enough in the SPM. The SPM downplays the challenges that these drastic socio-technical transformations would face と総削減コストの記述がない点をかなり手厳しく批判している (下線筆者)。

	消費ロス				技術制約の下での総削減コストの増加割合 (年5%で割引後)			
	ベースライン比 (%)			消費成長率の 低下割合、 年間 (%)	2015-2100年の総削減コスト増加割合			
2100年の濃度 (CO ₂ eq.)	2030	2050	2100	2010-2100	CCS無し	原子力 新設無し	太陽光 風力 限定的	バイオ エナジー 段階的
450 (430-480)	1.7 (1.0-3.7) [N:4]	3.4 (2.1-6.2)	4.8 (2.9-11.4)	0.06 (0.04-0.14)	138 (29-297) [N:4]	7 (4-18) [N:8]	6 (2-29) [N:8]	64 (44-78) [N:8]

出典：IPCC AR5 Table SPM.2 から抜粋。括弧内は幅、N:はシナリオ数

表 4 の 2100 年濃度は 4 種の濃度のうちから 2℃ と整合的な最も厳しい 450ppmCO₂e のみを抜粋。また、基の表には削減行動の開始時期が遅くなった場合の追加コストの一覧も入っているがここでは省略。括弧無しの数値は Median (中央値)、その下の括弧は 16~84% の範囲を示す。AR5 の第 3 作業部会報告 (WG3) では総コストを GDP ロスと消費ロス (いずれも BAU 比) の両方で示しているが (IPCC 2014b、450 頁)、SPM では表 4 の通りこのうち消費ロスのみを取り上げているので (IPCC 2014a)、以下総コストを消費ロスで表す (若干厳密性は欠くが、消費ロスを GDP ロスと置き換えてもそれほど大きな差はない。実際 2100 年の 450ppm 濃度の GDP ロスは図から読み取る限りほぼ 5% 程度、450 頁)。

表 4 のベースライン比の通り 2℃ (450ppmCO₂e) 達成の総コストは 2100 年では 4.8% (上下の幅は省略) である。特段の対策をとらない場合に比べ 2100 年時点では消費が 4.8% 減少するということである。これは 2100 年までの消費の毎年の伸び率を 0.06% 落とすに等しい (消費成長率の年間低下割合の欄参照)。この表ではその右に特定の技術が利用できない場合の総コスト上昇割合も併記されており、例えば CCS が使えない場合総コストが 138% 増、つまり 4.8% の約 2.38 倍の 11.4% まで増加することを示している。なお、計算を行ったのはたった 4 つのモデルであったこともこの欄の最下段に N:4 とあることから分かる。このコスト計算は AR5 の 3 つの作業部会をまとめた統合報告書の SPM にも若干形を変えて記載されている (IPCC 2014a、24~25 頁)。

ここで言いたいのは AR5 では政治家が読む SPM に対策の総コストが記載されていること、また、技術入手不能な場合にはシナリオが少なくてもきちんとコスト増の数値が記載されていることである。これにたいして SR1.5 報告書では「文献が少ない」ことを理由に総コストは一切示していないのである。これま

で述べた理由からどうしてもこの点は納得がいかない。コストが余りに高くなるので示したくなかったのではないかと言われても仕方のない状況ではないのかと思ってしまう。

既述のホーソン・リーIPCC 議長との私的な意見交換の場で同氏から、2°C達成のコストが AR5 では 2100 年に消費の 4.8%とあるので、1.5°Cだとこれがどの程度まで上昇するのかを見たいと思ったが、削減コスト表示が全く無かったのは残念だったとの意見表明があった。同氏はエネルギー経済学者であるが、この点の見方は筆者と全く同じである。AR6 でのコスト表示の重要性についても意見が一致した。

コスト論議の最後に理想的な条件でのコストと現実のコストとの差について触れておきたい。上記の AR5 の例で分かるとおり CCS が商業利用できない場合等の制約や、全ての国が同時に参加できない場合の制約（この場合コスト増となる）については AR5 でもある程度触れている。とはいえコストはモデルで計算するので、基本的には最小コスト（即ち炭素税）で目標を達成する場合を仮定しており、この仮定での最大の問題は世界共通単一炭素税の導入を前提としていることである。これはどう見ても現実的ではない。この点に関し示唆に富んだ論文がある。昨年 6 月の 6th World Congress of Environmental and Resources Economics に提出された RITE の研究者の論文 (Akimoto et al. 2018) で、この論文によると各国の 2030 年に向けてのプレッジによる BAU からの削減量を世界共通単一炭素税で達成する場合の GDP あたりのコストは 0.06%であるのに対して、同量の削減量を各国が自国の炭素税で削減する場合の総コストは 0.38%で 6.5 倍との結果が出ている。実際には炭素税のみでプレッジの目標を達成しようとしている国はどこにもなくその多くは直接規制（自動車燃費規制や発電所からの排出規制など）が主流で、この他例えば日本については 2030 年の電源構成が決められている。つまり各国のコストは税のみでの目標達成に加えて遙かに高くなる。従来こうした論文は極めて少なかったが、AR6 までにはこの種研究が増え、政治家に対して実際の数字に近い形で削減コストが示されることを期待するものである。

3-2 費用便益分析軽視

a) 気候変動問題と費用便益分析

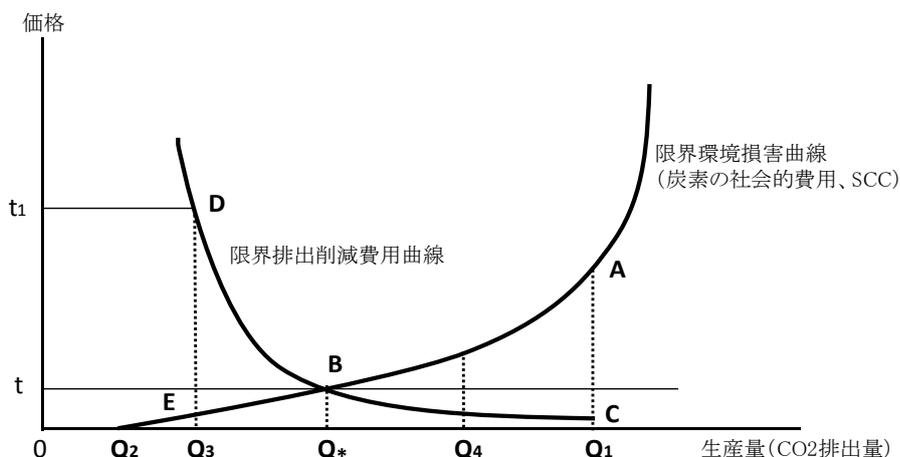
IPCCでは 1995 年の第 2 次報告書 (SAR) の第 3 作業部会で気候変動に関する費用便益分析を詳細に評価している¹⁸ (IPCC 1995)。ここでは費用便益分析に伴う各種不確実性（大規模損害発生とその程度など）や困難性（生態系の損害

¹⁸ これまでの IPCC 報告書では第 2 次報告書のみが第 3 作業部会で気候変動の経済・社会的側面に絞った評価を実施した。

や人の生命の価値の金銭換算や衡平性を考慮できない点など)を指摘した上で、「どこまでGHG排出を削減すべきか (By how much should the emissions of greenhouse gases be reduced?)」という本質的な問題に関し政治家に価値ある枠組みを提示できる」としている (IPCC 1995、9 頁)。

念のために費用便益分析と費用効果分析の相違を気候変動問題に例をとって簡単に述べておく。費用便益分析は正に SAR の記述の通りどこまで削減を進めるのが最適 (optimal) かをテーマとするのに対して、費用効果分析は目標 (例えば 2°C 目標) が最適かどうかは問わず、これを所与とした上で、その目標を最小費用で達成することを目的とした手法である。前者については GHG 削減のコストとそれによる便益 (温暖化による損害の減少、avoided damages) が丁度等しくなるところまで削減するのが最適ということになる。図の説明が面倒な読者はこの部分を省略して結構であるが、要は最適点とは削減不足でも過剰削減でもなく、削減の最後の 1 トンのコストとそれによって得られる便益が等しいところまで削減を進めると言うことである。図 9 を参照願う。

図 9 費用便益分析の概念図



縦軸は価格、横軸は生産量であるが、単純化のために生産量と CO2 排出量が比例すると仮定している。限界環境損害曲線は CO2 を追加的に 1 トン排出することで温暖化が進むことによる損害額 (金銭表示) である。CO2 排出量が Q_2 に達したときに損害が生じ、CO2 排出が増えるにつれて追加排出に伴う環境損害が増加することを示す。これは CO2 排出に伴って社会的に費用 (損害) が生じるという意味で炭素の社会的費用 (SCC) 曲線とも呼ばれる。他方、限界排出削減費用曲線は図 8 で説明したとおりである。 Q_1 から Q_* 迄排出を削減する総費用は Q_1Q_*BC の面積であるが、これにより防ぐことが出来た環境損害 (即ち対策の便益) は Q_1Q_*BA の面積であるので、ここまで削減することで世界全体として ABC の面積だけプラスになる。

しかし上図から明らかな通り Q_* を超えて排出を削減すれば必ず削減コスト $>$ 削減による便益となる。 Q_3 まで削減した場合は過剰削減で、最適削減に比べて BDE 分だけ世界全体の厚生が損なわれる。逆に削減量が Q_* 迄達しない場合は過小削減で最適点まで削減することで世界全体の厚生は増やすことが出来る。以上から世界全体として「最適」な排出量は Q_* と言うことが分かる。つまり限界環境損害曲線と限界削減費用曲線が交わる点が削減の最適点で、両方の曲線からこの点が分かればここを世界の気候変動対策の目標とするというのが費用便益分析の考え方である。この場合炭素税として t を導入することで Q_* を最小費用で達成できる。なぜなら限界削減費用が税率より安いとき（排出量が Q_* より右の場合）には税を支払う代わりに自ら排出削減をした方が得になるが、 Q_* を超えて削減する費用は税より高いので削減をせずに税を支払った方が得になるからである。これに対して最適かどうかは問わず、例えば排出(削減)を政治的理由で Q_3 や Q_4 に決定し、これを最小費用で達成する手法が費用効果分析で、仮に Q_3 を目指す場合は t^1 の炭素税をかける事でその目的を最小費用で達成できる。これが費用効果分析である。

b) 費用便益分析の問題点

上記から気候変動対策の目標（削減目標でも気温上昇限度目標でも良い）決定の手法としてより望ましいのは費用便益分析である。しかし気候変動問題にこの手法を適用するには様々な問題がある。先ずこの点に関する SR1.5 報告書の書きぶりを見よう。

SR1.5 報告書は 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/AR5 第 2 作業部会報告を挙げ、従って 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。この問題は第 2 章でも Box を設けて 2 頁に亘って詳細に論じている (150~151 頁)。ここでは費用便益分析の主たる問題点として気候損害のうち人の生命や生態系への悪影響の金銭換算の難しさ (SCC 算定の困難さ、これがないと限界環境損害曲線は描けない)、衡平性の観点がないこと (仮に全体として便益 $>$ コストとなったとしても、個々の人や国で見るとマイナスになることは大いにあり得る)、長期の将来の損害の現在価値への割引問題 (割引率問題)、不連続・不可逆な大規模損害の不確実性などを挙げている。これに対して費用効果分析は限界環境損害曲線を必要とせず、従って長期の環境損害の現在価値への割引問題も必要としないため価値判

断 (value judgement) の余地が少ないので第 2 章で用いられたほとんどのモデルは費用効果分析の手法を用いているとある。このロジックは分かるが、それなら何故 SR1.5 でコストのデータがないのか不思議である。

c) 費用便益分析は不要か (資源の効率的配分の観点から)

確かに費用便益分析には上記の諸問題がある。特にやっかいなのは損害の金銭評価の問題で、生態系の損害はいくらかと問われてすぐに回答できる学者はいないだろう。また、仮に環境損害曲線が分かったとしても、対策のコストは現世代が主として負担し、その便益を享受するのは将来世代という長期の問題について現世代のコストと将来世代の便益をどう比較したら良いかという「割引率」の決め方には合意がない (興味のある読者は *Stern Review* (Stern 2006) および Nordhaus の批判 (Nordhaus 2007) を参照願う)。割引率が低い方が高い場合に比べて将来の気候損害の現在価値が高くなるので、対策の便益が高まり、費用便益分析上で高コストの対策が正当化される (逆も真である)。

更に費用便益分析の場合には気温が一定の閾値 (tipping point) を超えると発生するであろう不可逆な大損害 (西南極氷床やグリーンランドの氷床崩壊による海面大幅上昇など) は考慮しないのが一般的であるが、これを無視することは合理的ではない。この他例えば先進国と途上国でのヒトの生命の価値は違っているがこの点の重み付けをどうするのかなど、気候変動問題で費用便益が困難である理由を並べるのは容易で、これまで IPCC では既述の通り第 2 次報告書で費用便益の問題点を指摘しつつ、折角「どこまで GHG 排出を削減すべきか」という本質的な問題に関し政治家に価値ある枠組みを提示できる」との問題提起を行ったが、第 3 次報告書以降こうした前向きな評価は全く見られなくなった。この背景には一貫して費用便益の観点から気候変動対策の最適解を求め続けた 2018 年のノーベル経済学賞受賞者の Yale 大学 William Nordhaus 教授の存在があるのではないかと密かに筆者は感じている。

同教授は自身が開発した DICE モデル (Dynamic Integrated model of Climate and Economy) を用いて「最適」な気候変動対策の目標を探求し続けているが、例えば 1994 年の著作 (Nordhaus 1994) では各種前提を置きつつ、最適気温上昇限度目標は 21 世紀末に基準年 (1865 年) 比 3.2°C 上昇との結果を導き出し (87 頁)、いくつかある選択肢のうち 1.5°C 目標では削減コストが便益を大幅に超過してしまうとしている (82 頁)。2013 年の著作 (Nordhaus 2013) でも最適気温上昇限度は 4°C であるが、大規模不可逆損害が 3.5°C 上昇 (基準年 1990 年) で発生すると仮定すると、最適気温上昇限度が 3.5°C となるとの試算を行っている (210-214 頁)。仮にこれに従うと、現在のパリ協定は明らかな過剰削減となる¹⁹。

¹⁹ 勿論 Nordhaus の研究は一定の前提に立つものなのでその前提が変われば最適解は変わる。また、アメ

気候変動問題の費用便益分析で決定的に重要なのは気候損害の金銭価値がどの程度把握可能かという点である。この点は第 2 作業部会の担当範囲（環境影響と適応）であるが、筆者の見るところこの部会の執筆者は対策コストには無関心で、損害の大きさをやや誇張してみせる傾向がある。この種の人たちから見るとうっかり自分たちで損害の金銭評価を少しでも出すとこれが費用便益分析の限界損害曲線に用いられて、もしかしたら現在の 2°C 目標が最適ではないとの研究結果がでることを心配しているのではないか。これと同じ事は 2°C 目標を決めた政府関係者にもあるのではないか。

現に IPCC 第 4 次報告書ではじめて気温上昇による損害額の範囲が示され、SPM にそのことが記述され、政府レビューにかけられた。提示された原案では「工業化から 2.5°C 気温上昇の場合の気候損害は所得の 0.2~2.0%」であったが、政府レビュー後の最終結果は「約 2°C 上昇の場合²⁰の世界全体の経済損害に関する不完全な推測では、所得の 0.2~2.0%であるが、損害額はこれより少ないよりも多くなる可能性が高い」とあり、下線部分が追加された²¹。

それでは気候変動問題に費用便益分析は不要か。筆者はそうは思わない²²。理由は 2 点ある。第 1 はこれ無しに対策をどこまで進めるべきかは決められない。具体的には各種指標を参考に政治的に合意された 2°C 目標を達成することが適切かどうか分からないからである。第 2 は世界に数ある重要問題にどのように資源を配分したら良いのかの判断基準として有用だからである。ここでは後者について少し考えて見たい。現在はやりの世界の重要問題は既述の 17 の SDG（持続可能な発展目標）である。SR1.5 の SPM の概要で述べたとおり、D 節で気候変動とそれ以外の SDG 目標のシナジーと Trade-off をいくら検討しても個々の SDG の重み付けが無い限り何の結論も得られない。この重み付けはそれぞれの目標の費用便益分析がない限り不可能である。また、SDG は主として途上国を念頭に置いたものであるが、先進国でも財政赤字、高齢化と年金・医療問題

リカの Peterson Institute for International Economics の William. Cline のように割引率を低く（つまり時間選好割引率をゼロ）とおけば便益 > 費用となる範囲が広がる。

²⁰ WG2 報告書の基準年は工業化ではなく 1986-2005 年である。工業化から基準年までは 0.61°C 上昇している（AR4, WG1 報告書）ので、基準年から約 2°C 上昇は工業化からだと 2.61°C となる。しかしここではこうした細かい点を見捨てて工業化から 2.5°C 上昇と基準年から約 2°C 上昇を同義としている（この箇所の執筆者の Richard Tol とのメールのやりとりでこの点確認済み）。

²¹ 政府レビュー前の原文は Global mean temperature increase of 2.5C above preindustrial levels may lead to global aggregate economic losses between 0.2 and 2.0% of income (medium evidence, medium agreement) であったが、レビュー後の原文は the incomplete estimates of global annual economic losses for additional temperature increases of ~2°C are between 0.2 and 2.0% of income (±1 standard deviation around the mean) (medium evidence, medium agreement). Losses are more likely than not to be greater, rather than smaller, than this range (limited evidence, high agreement) に修正されている。

²² 実際 SR1.5 の政府レビューの際アメリカ政府からは The SPM does not explicitly address the social, environmental, and economic costs of restricting global warming to 1.5°C instead of 2°C, and how that compares with the benefits との意見が出されたほかサウジアラビア、中国、フィンランド、イギリス、EU 等から費用便益の重要性の指摘がなされた事実がある（下線は筆者）。

など政治家が緊急に取り組みねばならない課題は山積である。ここで忘れてはならないことは、こうした課題の解決にはそれぞれコストがかかるということである²³。世界全体の資源（資金）は有限で、基本的にはある課題に取り組むと言うことはその分だけ他の課題への資源配分を減らすことと同義である（高い経済成長率を維持できればこうしたストレスは幾分低下するが）。有限な資源をどの課題にどの程度投入するのが適切か、資源の効率的配分をどうするか、が政治家（意志決定者）が直面する問題で、これに最も有用な手法が費用便益分析である。

2004年と2008年の2度に亘りデンマークの統計学者のロンボルグが気候変動問題を含む世界規模の優先課題に関して費用便益の観点からの優先順位付けを行った（Lomborg 2004, 2008, The Economist 2004）。これはノーベル経済学賞受賞者3名を含む著名な経済学者8名の審査で世界の重要課題への解決策についての優先順位に合意したもので、俗にコペンハーゲンコンセンサスと呼ばれるものである²⁴。この2回共に気候変動対策の順位付けがいずれも最下位になり（詳細は山口光恒 2008, 2009を参照）、その後Lomborg及び費用便益分析は所謂Green系の学者（IPCCの執筆者にも多数存在している）から忌み嫌われる存在になってしまったことは極めて残念な次第である。この結論の妥当性は当然議論の余地があるが、世界の重要課題に対する効率的資源配分及びその絡みで気候変動対策をどこまで進めるべきかについての費用便益分析の必要性を減じるものではない。今後のIPCCの方向性としてはこの分析の実施の困難性を強調するのではなく、その重要性を肯定的に受け止め、実施に際しての障害（例えば気温上昇による非市場損害の金銭評価問題など）を少しでも克服する方向を目指すという前向きな対応が望まれる。SR1.5で損害の長期性や非市場損害の問題等、費用便益分析が困難な理由を挙げ、その根拠文献としてNordhausの論文（Nordhaus 2007）を挙げているが（第2章、150頁）、Nordhausのこの論文の結論は、専門家が炭素の社会的費用（気候損害の金銭評価）の推定手法の抜本的改善を目指して気候科学や経済学の研究を進めるべきである²⁵というもので、この引用は適切さを欠いたものである。参考までにアメリカでは大統領令（Executive Order 12866）により経済への影響が大きい規制については費用便益分析が義務づけられ、オバマ大統領時代の発電部門を対象としたClean Power Planでも実際に分析結果が提示された。この場合の環境損害（炭素の社

²³ 時折気候変動対策により経済が成長するとの話があるが、法外なシナジー（Co-benefitとも呼ばれる）があればの話で、例えば2℃目標達成の対策の膨大なコストを考えた場合これは考えられない。

²⁴ 2009年にコペンハーゲンで開催されたCOP15における合意はこれとの混同を避けるためにコペンハーゲンアコードと呼ばれている。

²⁵ As the National Research Council report emphasizes, natural and social scientists need to develop the research base for climate science and economics substantially to refine our estimates of the SCC.

会的費用)についてはNordhausのものを含む世界の3つのモデルを基に計算された値を用いている。ただしトランプ大統領は費用便益分析の規定は残したものの、炭素の社会的費用については政府の専門家が決めた(便益として世界のそれを用いる)数値を廃止した状態が続いている²⁶。

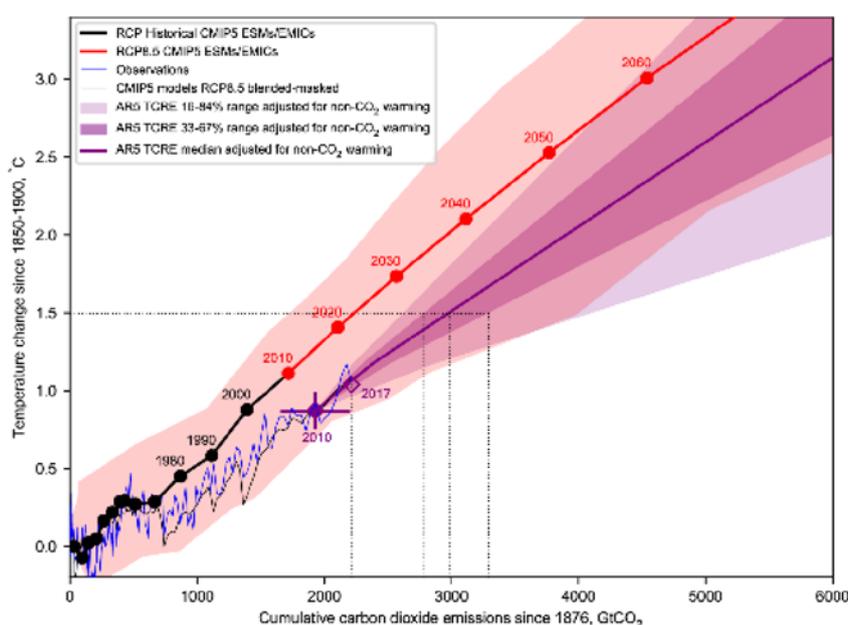
最後に1.5SRへの政府コメントの中で、アメリカ、EU、イギリス、フィンランド、中国、サウジアラビア等から費用便益分析の必要性につき指摘があったことを付言する。例えばアメリカ政府のコメントは、「SPMでは2°Cではなく1.5°Cにする場合の社会的・環境的・経済的コストの明示が無く、これと対策による便益の比較がない」という内容である(24頁脚注17参照)。

3-3 不確実性

a) 上方修正された炭素予算

SR1.5報告書で最も注目された点の一つとして炭素予算の上方修正がある。この点については既に2-3「SPMの概要」で簡単に述べたが、以下もう少し立ち入って説明する。図10aを参照願う。

図10a 累計CO₂排出量(1876年以降)と気温変化(1850-1900年比)



この図は2018年12月に差し替えられる前の第2章に掲載されたもので、

²⁶ 2017年3月28日のPresidential Executive Order on Promoting Energy Independence and Economic Growth Sec.5参照。なお、従来の割引率もOMB Circular A-4により3%と7%とした。
<https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/presidential-executive-order-promoting-energy-independence-economic-growth/>

SR1.5°Cの全体を通して筆者が最も驚いた図である。影響の大きさから日本政府は政府レビューの場においてこの図をSPMに掲載することを求めたが受け入れられなかった経緯にある²⁷。

この図については専門家の間でも相当議論があったようで、2018年7月にウィーンのIIASA（国際応用システム分析研究所）でSR1.5執筆の中心人物であるKeywan RiahiとJoeri Rogeljの両氏と面談したときにも議論の中心の一つであった。そしてこの図が第2章に掲載された状況で昨年10月SPMのみ政府レビューにかけられ採択された経緯にある。ところが2018年末にIPCCのWebに掲載された第2章では何の断りもなくこれと若干異なる図が掲載されている。この理由は上図と異なり気温の観測方法をGMSTではなくSATベースとしたからである（GMSTとSATについては17頁及びこのすぐあとの説明参照）。SPMでは明確に「地球の平均気温はGMSTを用いる（気候モデルで将来の気温上昇を予測するときはSATも用いる）」としたのに（括弧内はあくまで例外的な位置づけ）これは納得できない。今となってはこの図は幻の図となったがGMSTではこの図であるという意味で以下これについて解説をし、然る後変更された図にも触れる。

図10aの黒の太線は累積CO₂排出量と気温上昇の実績で、赤の太線は気候モデルによる将来予想である。左上にある凡例は極めてわかりにくい表現となっているが、かみ砕いて言えば黒太線の「実績」というのは実は気候モデル(CMIP5)で計算したものとなっており、観測されたものではない。ここで留意が必要なのはモデルによる気温とは地球の大気気温(Surface Air Temperature, SAT)のことだという点である。SATとは陸上、海上の表面近くの大気気温の平均である。AR5に初めて炭素予算という概念が登場したが、ここでは実績、予測共に気候モデルの結果（換言すれば上図の黒と赤の太線）を基に、例えば2°C以下に66%以上の確率で止まるには残りの炭素予算は1000 GtCO₂として議論を展開していた。これに対して専門家から炭素予算はもっと多いのではないかとの論文が数多く出され（Millar et al. 2017、Hausefather 2018 他多数）、これらevaluatingして新たにまとめたのがこの図である。

それはともかく、図の実績の気温上昇の下方に青と黒の点線があるが、青はモデルではなく観測された気温上昇で、これは世界に設けられた観測地点が陸上の場合には地面近くの大気気温、海洋の場合には海水の表面温度を測りこの全体を平均した値である。観測方式をSR1.5ではGlobal Mean Surface Temperature—GMST方式と呼んでいることは既述の通りである。黒の点線は

²⁷ AR5ではその時点でのこの図と同様の図を3つの作業部会の結果をまとめた統合報告書の技術要約(Technical Summary)に掲載し(63頁)、第1作業部会のSPMにも載せている(28頁)。この点に鑑みればこの図はSR1.5の第2章のみではなく当然SPMに掲載されてしかるべきもので、なぜ日本の主張が通らなかったのかは理解に苦しむところである。

モデルで計算したものではあるが、陸上は地表近く、海洋は海水の表面の温度（大気の気温ではない）をとり、これらを平均した気温である（凡例で **blended and masked** とあるがこのうち **blended** とは陸上の大気気温と海洋表面の海水気温を混ぜたという意味で、**masked** とは北極近くなど実際の気温の観察が出来ない場所のことで、ここについては一定の仮定で推定値を当てはめ、これらの平均値と言うことである。このうち **masked** については観察結果の温度にも当てはまる）。図から分かるとおりの青の線と黒の点線の動きは似ているので、青の **GMST** 実績値と黒の太線（モデルによる実績値）の違いに焦点を当てる。

この二つを対比してみるとこれまでの累計CO₂ 排出量に対するモデル上の実績気温上昇が**GMST**より高かったことが分かるが、累計排出量が 2000 Gt前後ではこの差がかなり拡大している。例えばSPM（14頁）に2017年の累計排出量は2200Gtで観察された気温は1.0°C（厳密には1.04°C）上昇しているとある。図10aでも**GMST**では1.0°C上昇となっているがモデルによる将来予想ではほぼ1.5°C近く上昇している（図で2017と表記された箇所参照）。明らかに過剰な予測である。この結果を踏まえて**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。この太線は濃度に対して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ウはそれぞれ1.5°C上昇する確率が33%以上と66%以上に対応している。具体的には1.5°C以下に収まる確率が66%以上の場合の累計排出量は2790Gt、同確率50%以上の場合は2990Gtである²⁸（図10a参照）。

GMSTと**SAT**の差の原因は前者が海洋については海面温度を用いているのに対して後者はここについても海面上の大気温を使っていることである点は既に述べたとおりである。これにより**SAT**は一貫して**GMST**の気温上昇よりも高くなる。

しかし原因はこれだけではない。**SR1.5**からこれを究明してみるが内容が余りに複雑なのでここでは結論に近い部分だけを紹介する（なお、この記述に際しては（財）電力中央研究所環境科学研究所の筒井純一副研究参事から色々ご教示を頂いた。ここに感謝の意を表したい。但し以下はそれを基に筆者の責任で書いたものである）。以下では1.5°C目標を66%以上の確率で達成可能な残余炭素予算（炭素予算から既に排出したCO₂を減じたもの。目標達成に向けての今後の許容累計排出量）のみに絞る。

AR5 統合報告書（Table 2.2）では**SAT**方式により2010年までの累計排出量を基に1.5°C達成の場合の残余炭素予算は400 GtCO₂とされていた。**SR1.5**では

²⁸ 1.5°C到達までの2018年以降の排出量（**GMST**ベース）は確率66%以上の場合は570 GtCO₂、50%以上だと770Gtである。これを2017年までの累計排出量2220 GtCO₂（SPMでは2200GtCO₂にまらめてある）に加えるとそれぞれ2790及び2990 GtCO₂となる。

2011~2017年の間に約300Gtの排出があったとしていたが正確には290Gtである²⁹。もしAR5の記述が正しければ2018年以降の残余予算は $400-290=110$ Gtとなる。しかしSR1.5ではSATによる残余予算は420Gt、GMST方式では570Gtとされている(SPM 14頁)。全体として予算は460Gt増加した($570Gt-110Gt$)。このうちSATからGMSTに変えたことによる予算増は150 ($570-420$) Gtで、その2倍の310Gt ($420Gt-110Gt$) はSATベースでのAR5とSR1.5の差ということになる。つまりSATからGMSTへの移行は炭素予算増加の主原因ではないのである。SATでの増加の理由としてSPMの脚注14では知見が進んだこと(updated understanding)と方法論の更なる進化(further advances in methods)としている。この内容をこれ以上追求することは専門外の筆者の能力を超えるが、SR1.5の第2章に炭素予算増加の多くの部分は最新のベースラインを用いたこと(AR5のSAT計算の場合のベースラインはRCP8.5という実際の排出量よりかなり排出量が多くなるシナリオをベースラインとしていた)、そして基準年を2006-2015年としたことが書かれており³⁰、こうした要因がSATからGMSTへの変更のそれより大きいという訳である。

上記に加えてTCRE (Transient Climate Response to cumulative carbon Emissions、1000GtCあたり気温上昇)の幅(likely range)が $0.8\sim 2.5^{\circ}\text{C}$ と大きいことも勘案の必要性がある。図10a(の濃い紫の線)はこの平均値である 1.65°C を用いて計算した値である³¹。仮にTCREが 0.8°C と低ければ(紫の太線のカーブが緩やかになるので)炭素予算は更に増加し、 2.5°C なら減少する。これはTCREの不確実性による炭素予算の追加的複雑性である³²。

ところが上述の通りSR1.5の最終版の第2章では図10aは次の図に差し替えられている。

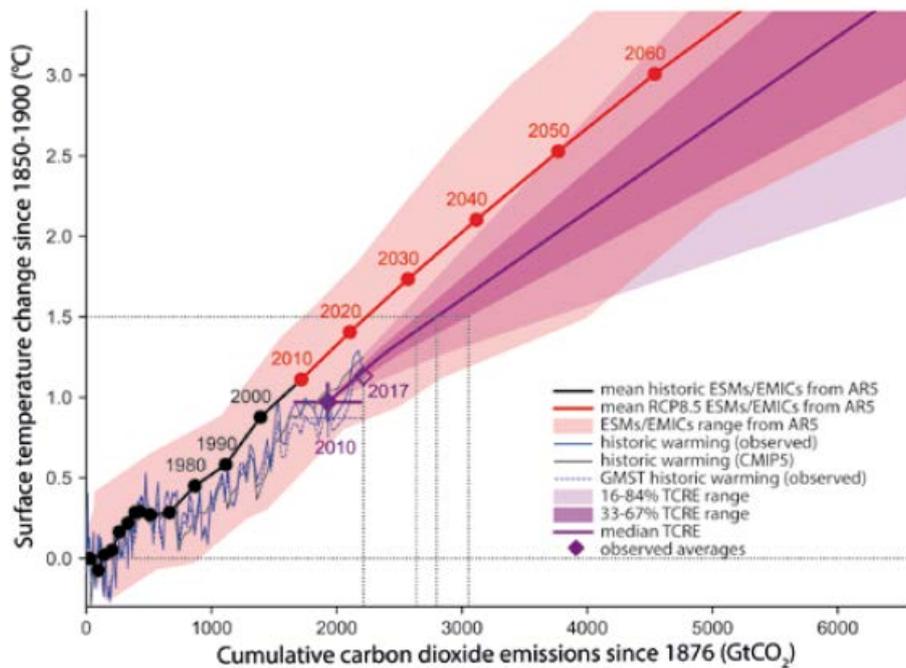
図10b 累計CO₂排出量(1876年以降)と気温変化(1850-1900年比)

²⁹ 実際第2章の差し替えられた図(本稿では後述の図10b)の説明では2010年までに累計1930 GtCO₂排出し2017年末累計排出量は2220 GtCO₂とあるので2011-2017の間の排出量は290 GtCO₂となっている。なお、SPMでは2017年末累計排出量を2200GtCO₂と丸めてあり、この場合炭素予算の計算がこの分ずれている。

³⁰ 例えば基準年の取り方が重要とする文献の例として Schrer et al. (2018) がある。

³¹ 濃い紫の上限(達成確率66%以上)はTCREは 2°C 、下限は 1.3°C で計算している(筒井氏より聴取)。

³² 考え方としては気候感度が $1.5^{\circ}\text{C}\sim 4.5^{\circ}\text{C}$ の幅があるにも拘わらず計算上は 3°C を用いていたが、もしこれが 1.5°C だったり 4.5°C の場合にその計算結果が大きく異なることと同じことである。

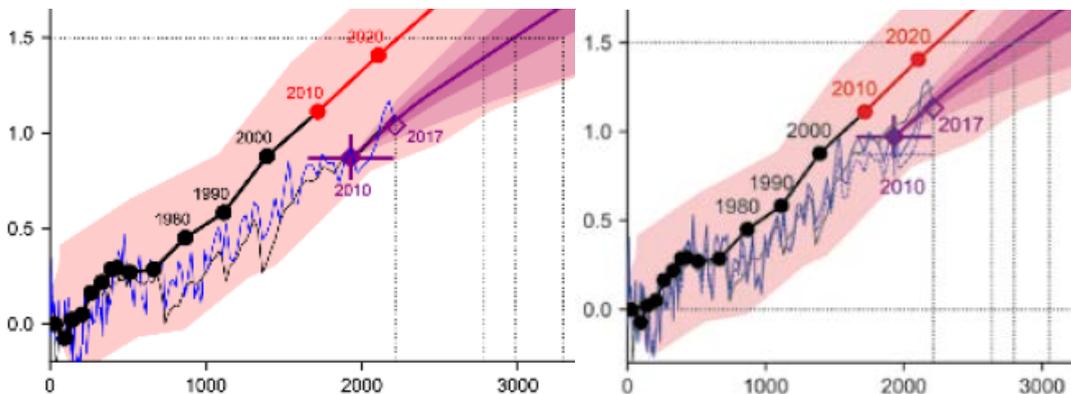


出典：SR1.5 第2章 Figure 2.3

細かい点を一切省いて図 10a との違いをいえば、図 10b では気温上昇に SAT を用いていることである。両方の比較のためにその一部のみ切り取った図を並べてみる。

図 10a 拡大図 (GMST)

図 10b 拡大図 (SAT)



2010年までの累計排出量は両方共に1930Gtと同じであるが、気温上昇は左が0.87°C、右が0.97°Cと右(SAT)の方が高い(数値は図10のキャプションにある)。更に左では1.5°Cを66%、50%で達成する累計CO2排出量は2790及び2990GtCO2であるのに対して、右は2640及び2800GtCO2である。50%の確率の場合(太い紫の線)左の図ではほぼ3000Gtとなっているが、右では2800Gtで明らかに少ない。つまりSATの場合紫の太線の傾斜が大きくなっている。炭素予算は計算方式でこれだけ違ってくるのである。繰り返しになるが気温上昇

は GMST でとしながらいつの間にか図を SAT のそれに差し替えている点何らかの意図があるのかどうか、この点は全く分からない。いずれにしても AR6 で決着をつけなければならない問題と思う。

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。表 5 を参照願う。これは SR1.5 第 2 章 Table2.2 の抜粋部分である。ここには 1.5°C と 2°C に関する残余炭素予算に加えて、例えば永久凍土が解けることによる CO2 排出増や湿地から排出されるメタンなどの追加的地球システムフィードバックを考慮すると上記の炭素予算は 100Gt 減少、非 CO2 排出シナリオの不確実性を考慮すると炭素予算は ±250Gt、非 CO2 の放射強制力と反応の不確実性を勘案すると -400 から +200Gt の増減があり得るとある。実はこれ以外にオリジナルの表では気温上昇実績の不確実性と近年の排出量の不確実性も表示されている。上記からこれまで議論してきた炭素予算については大きな不確実性があることが分かると思う。

表 5 1.5°C と 2°C の残余炭素予算の追加的不確実性

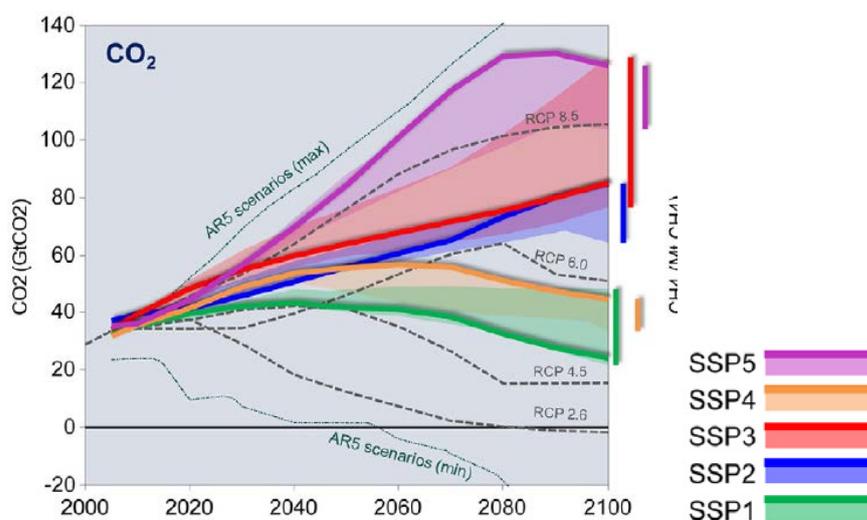
1850-1900年 以降の気温上昇	2018年以降の 残余炭素予算 GtCO ₂		主たる不確実性(一部のみ表示)		
	確率 67%以上		追加的な地球システムの フィードバック [GtCO ₂]	非CO ₂ シナリオの 不確実性 [GtCO ₂]	非CO ₂ の放射強制力と 反応の不確実性 [GtCO ₂]
	SAT	GMST			
~1.5°C	420	570	左の炭素予算は2100年 では100GtCO ₂ 減少、 それ以降も考慮すると 更に減少	±250	-400 to +200
~2.0°C	1170	1320			

出典：IPCC 1.5SR Chapter 2 Table 2.2 からの抜粋

b) ベースライン（社会経済の将来の絵姿）

この点は 2-3、C 節 b) の社会経済状況による排出削減経路の相違（本稿 12 頁以降）で説明済みであるので、ここではごく簡単に触れる。図 6 は社会経済状況の相違により GHG 排出のベースラインが大きく変わる中で、P1~P4 の 4 つの社会経済シナリオ（に伴うベースライン排出量）に関して、1.5°C 目標達成に必要な排出削減経路と BECCS・植林再植林の程度を示している。このうち P2 はそれ以前のベースライン研究にあった SSP1（持続的な社会）、P3 は SSP2（色々なシナリオの中庸の社会）、P4 は SSP5（化石燃料中心の発展）に相当することも既に述べたとおりである。ここでは SSP1~5 を用いて社会経済の状況の相違による CO2 排出量の違いを示す。

図 11 社会経済状況の相違による CO2 排出ベースラインの相違



出典：Riahi et al. (2017) 162 頁

それぞれの社会経済状況は人口、成長率とその内容、技術進捗状況などが異なっており、CO₂ の排出量は上図の通り大きな差がある。これにより当然対策のコストも違ってくる。この意味で将来の世界の状況が気候変動問題にとっての大きな不確実性である。と同時に我々がどのような社会を目指すのかが極めて重要であることも明らかである。

c) 技術

1.5°C目標実現には2050年を中心にnet CO₂ 排出を0とし、その後BECCSや植林などでマイナス排出とする絵を描いている(2100年までに累計800GtCO₂程度のマイナス排出を見込んでいる)。現状では様々な制約からこれほど大量のBECCSや植林には否定的な文献が大多数であるが、これ以外にも電力部門を2050年までに脱炭素化するには化石燃料発電の全てにCCS装置を付帯し、それ以外は原子力と再生可能エネルギーで賄う必要がある。そもそも世界中あらゆる場所で化石燃料発電にCCSを付帯することが可能かどうか、さらに世界的に原子力に逆風が吹いている中でこの割合を飛躍的に増やせるかどうか、また再エネの中心となる太陽光と風力は間欠性とこれに対応する蓄電池が安価に入手できるかどうか、さらに慣性(Inertia)のないこうした電力が大幅に増加した場合のGrid安定性はどうかなど解決すべき技術的課題が多々ある。電力以外では運輸と産業部門の排出が大きいが、運輸のうち乗用車は電気自動車や燃料電池車(FCV)で代替可能であるが、この場合でも基となる電気がCO₂フリーのそれだけでなくゼロ排出にはならない。FCVだと水素を再エネから製造しなければならない。さらに船と航空機はどうするか。バイオ燃料の場合発電部門との取り合いになるがどうするか、鉄鋼やセメントは製造プロセスで必ずCO₂を排出するが、鉄鋼の場合未だ鉄スクラップから鉄を再生するだけでは

世界の需要を賄えず、どうしても高炉生産が必要にある。これに代わる方法として考えられているのが水素による直接還元であるが、これは未だに実験段階で、しかも水素をCO₂フリーで製造しなければならない、更にこうした技術を商業的に使用するにはコストが下がらねばならない等、1.5°C実現に向けた技術的（及び社会・経済的）制約があり、これらはいずれも技術面での不確実性である。

d) 気候感度

気候感度（ECS、Equilibrium Climate Sensitivity）とは大気中のCO₂濃度が倍増した場合の気温上昇の程度を表す（正確には最終的に均衡した場合の気温上昇の程度）。AR5ではこの幅を1.5°C~4.5°C（likely range）としたがbest estimateについては専門家の間で合意に至らずこれを示せなかった。しかし計算上気候感度の数値は必要なので基本的にはAR4のそのbest estimateである3°Cを使って各種計算を行った。この点についてSR1.5で最新の状況を基に検討したが（第2章103頁）現時点ではAR5のそれを変更するのは時期尚早との結論に至っている。この問題は本稿35頁で述べたTCREの幅と基本的には同じ問題である。要は現在気候感度3°Cで各種計算がなされているが、もしこれが1.5°Cだったり4.5°Cだったりすれば全体の計算（例えば1.5°C達成に向けての対策の程度とコストなど）は全く違ったものとなる。気候変動問題の大きな不確実性である。

4、今後の国際交渉への影響

SR1.5の国際交渉への影響については一般的な意味での影響と、地球の平均気温のはかり方の変更による影響の二通りがある。以下これらについて検討する。

4-1 SR1.5の一般的な影響

結論から言えばSR1.5はCOP24への影響は極めて限られたものであった。2023年に第1回を迎えるGlobal Stocktake（NDGの進捗状況チェック）の直前の2011年から2012年にかけて完成予定のAR6の内容の方が遙かに大きな影響を与えるものと思われる。

COP24の最大の目的はパリ協定の内容の実施指針（rule book）の策定であったが、これについては先送りされた市場メカニズム関連の条項を除いて基本的に先進国途上国の区別無しに同一の指針を適用することで合意が成立し、この意味でCOP24は成功といえる。内容としては削減、適応、資金・技術支援、キャパシティビルディング、市場メカニズム等であるが、例えば削減目標（各国のプレッジ）については全ての国について目標明確化のための追加情報の内容が

決まった。従来途上国のプレッジではBAUやGDPを示さずにBAU比削減率（メキシコ・インドネシアとかGDPあたり排出割合改善（中国・インド））などが多く、プレッジの内容が不透明であった。また対象分野も必ずしも経済全体に亘るものとは限らなかったが、こうした点に関して目標設定の方法論、前提、対象分野などの情報提供が義務づけられたことは大きな進歩である（実際どの程度までこれが可能かはやってみるまでは不明である³³⁾。

他方、2015年のパリ協定では初めて気温目標（2℃を十分下回る水準）を正式なものとして定めつつ1.5℃を努力目標と位置づけたが、1.5℃については知見がほとんど無かったので単に数値として置いただけの感があった。こうしたことから1.5℃上昇の損害と排出経路を専門家集団であるIPCCに求めたものである。こうした背景からするとSR1.5により目標をより厳しくするという動きが現時点ではほとんど無いという意味で今後の国際交渉への影響は極めて限られたものであった。気温上昇を1.5℃以内に抑えた方が損害が少ないとの内容は理解するものの、それを実現する排出削減経路が2050年までにGlobalなnet CO2排出ゼロの実現という途方もないものであること、しかもP1 (LED) やP2 (持続的発展) シナリオにあるような理想的な状況が生じない限り2100年までに大量のnegative emissions (BECCS)を前提とせざるを得ないが、このこと自体が現実的ではないこと、仮に1.5℃を目指すとする場合でもそのための追加コストが不明であることから、1.5℃を2℃に代わる目標とすることはあり得ないことが明らかだからである。

SR1.5報告書の発表直後の日本のメディアの報道では気温上昇1.5℃と2℃の差異に触れ、1.5℃の方が損害が少ないので望ましいと言うかのごとき内容が多かったが、筆者が承知している範囲では欧米のメディアの反応は全く異なったものであった。例えば公表直後の昨年10月11日付のロンドンエコノミストは「この報告書は警告としらげが不思議に混じり合ったもので、1.5℃達成にはコストがかかるがIPCCは文献が少ないことを理由にコストの表示を拒んだ³⁴⁾」、同日のフィナンシャルタイムズは「気候変動による大災害の警告は世界から沈黙を以て迎えられた³⁵⁾」と報じ、10月16日のウォールストリートジャーナルは「世の終わりを予言することは最善の策ではない。IPCCの予測は変わり続けているが、それは気候モデルが発展の初期段階にあるからだ。対策が絶望的に不可能

³³ COP24でのDecision /CMA.1 (Further guidance in relation to the mitigation section of decision 1/CP.21)のAnnex I (Information to facilitate clarity, transparency and understanding of nationally determined contributions, referred to in decision 1/CP.21, paragraph 28)を見てもこの辺りは不明確である。更に透明性規則に従って国が提出する文書の提出期限は2024年末なので、例えば中国が2030年のGDPそのものを提出する義務はないものと思われる。

³⁴ A new report produces an odd mixture of alarm and apathy. It would cost money. How much, the IPCC has resisted predicting, blaming limited economic research in the area.

³⁵ Climate catastrophe warnings were greeted with global silence.

だとの見方がこの報告書に対する反応がほとんど無いことを説明している³⁶という具合である。要は1.5°C実現には2050年前後に世界のCO2排出量をネットでゼロに抑えるという内容が余りに現実とかけ離れているので、これが真剣に取り上げられないと言うことを示している。

とはいえCOP24ではDecision 1のIVでSR1.5を取り上げ、COPからの要請に対してTimelyにSR1.5報告書が完成したことを歓迎し³⁷、各国にSR1.5の情報を参考にするよう促し、国連気候変動枠組み条約の補助機関(SBSTA)に対して、2019年6月の第50回会合で1.5°C目標に関する科学的知見を強化する観点からSR1.5を検討することを要請している。この際IPCCのAR6の準備やパリ協定履行の文脈での検討も要請している。こうしたことから本年6月のSBSTAでは何らかの形でSR1.5が取り上げられることは間違いの無いところである。この場合最もあり得るシナリオは現在のプレッジが仮に履行されても1.5°Cは達成不能というSR1.5のメッセージに関して加盟国に現在のプレッジの大幅強化を働きかけるといえるものである。しかし常識的に考えても世界の排出国がこれに乗ると考えるのは困難である。EUは実態はともかく口先では威勢の良いことを言う可能性があるが、来年6月にトランプ大統領のアメリカがそれを受けることはあり得ず、この場合国際競争上の問題もあって他の大国も目標引き上げをコミットするとは思えない。ここで問題は中国で、中国は元々ゆるゆるの目標なので恰も温暖化問題での世界のリーダーとしての地位を得るべく何らかのゼスチャーを示すのが精一杯であろう。日本も原子力発電の再稼働がよほど進捗しなければとても引き上げのコミットは出来ないだろう。こう考えると予測できるストーリーはSBSTA会合で各国にプレッジの大幅引き上げを要請するが実態はなにも動かないことになるのではないかと思われる。

もう1点気になるのは上述の通りSBSTAに対するCOPの要請の中にAR6についての文言があることで、SBSTAの結果を受けてCOPからAR6に関して何らかの注文が出る可能性は否定できない。AR6は先述の通りプレッジの現状把握と見直し(Global Stocktake)の直前に公表予定であり、交渉に対する影響度合いはSR1.5の比ではない。ここでIPCCがCOPからの何らかの要請を受けてもしSR1.5のようなおよそ現実的ではない内容の報告書を出すとなれば、これはIPCCに対する信頼性が大きく揺らぐきっかけになる可能性がある。AR6はIPCCにとっての正念場である。ここで本当に政治家に有用な(Policy relevant)報告書を出せるかどうか、この点が問われている。AR6に是非必要な観点はモ

³⁶ Maybe predicting the apocalypse isn't the best. The IPCC's forecasts keep changing because climate models are still in an early stage of development. Perhaps the sheer implausibility of these remedies helps to explain why the reaction to the U.N. report was so muted.

³⁷ 元々はSR1.5を歓迎するとの趣旨であったがアメリカ、サウジ、ロシア等が反対してTimelyな完成を歓迎するとなったもの。このあたり国による受け取り方の差がよく分かる。

デルによる理想的な計算だけではなく、実現可能性を十分踏まえた報告書を世に問うことであり、また、気候変動問題とこれ以外の重要問題とのバランスを踏まえた最適対策の提示である。現状ではこの種文献が少ないのでこの責めをIPCCにだけ負わすのは公平ではない。研究者も心してこうした論文を公にすることが肝要である。筆者の経験では今の状況で2°C目標の実現可能性を問うことは一種のタブーとなっており、また査読つき論文の査読者自体も2°C論者が大半ではないかと思われる節がある。こうした中で学者といえども現在の主流に抗して論文を公にするのはかなり勇気の要るものであるが、このままではますますこうした傾向が強まることが懸念される。我々学者の責任は重大である。

4-2 2°C目標とは何か

a) GMSTの新定義と2°C目標

パリ目標（工業化以降2°Cを十分下回る水準）はもとよりこれまで国際交渉で何°C以下を目指すという場合、気温上昇の定義を問題にしたことはなかった。また、これまでに何°C気温が上昇したという場合にもその内容に疑いを挟むようなことはなかった。しかしSR1.5の出現により気温と海面水温の観察結果を基とした気温上昇（GMST方式）と、気候モデルによる気温のみの気温上昇（SAT方式）の二通りの測り方があり、気温はGMSTと定義されたに拘わらず今後の気温上昇はSAT方式で予測していた事も明らかになった³⁸。SR1.5のTable 1.1ではSATとGMSTの差は後者の方がおよそ0.1°C高くなっている。従来は気温上昇の予測をSATで行っていたことを考えると2°C目標（或いは1.5°C目標）はGMSTの2.1°C（或いは1.6°C）を指していたのかどうか。気温目標が低くなればなるほど0.1°Cの違いの意味が大きくなるが、このあたり交渉担当者は特に意識はしていなかったのでは無いかと思う（国内でもこれまでこのような疑問は政府・民間どちらからも出たことがなかった）。

たった0.1°Cの差ではあるが、この問題は実は気温上昇に応じた影響とリスクの図（本稿8頁の図1-3参照）にも関わってくる。SR1.5の公表後国内の専門家が私的に集まる機会があり、そこで確認したところこれらの図にある気温はSATの気温だとのことであった。細かいことであるが、今後GMSTをベースにすると同じ気温上昇で損害は更に大きくなるはずでこのあたり図の若干の修正も必要かも知れない。

b) 2°C目標達成の確率問題

そもそも気候変動対策の目標は危険でない水準でのGHG濃度の安定化である

³⁸ 既述の通りSR1.5ではGMST方式で気温を測ることと定義したにも拘わらずモデルでは相変わらずSATで予測を行い、炭素予算を論じているSR1.5第2章のFigure 2.3は政府レビュー後にわざわざSAT方式のそれと入れ替えた点は本稿36頁記載の通りである。

が、これを濃度から気温に変え更に気温上昇限度 2°C (2°C目標) を最初に唱えたのは EU である。その根拠になったと見られるのは 1995 年のドイツ政府の「気候変動に関する諮問委員会 (WBGU)」の報告書であるが、ここでは最後の間氷期以来人類が経験したことの無い気温にさらに 0.5°C を上乗せし、これを超えることは生態系に顕著な影響が出るとしていた。これを工業化以降の気温上昇に換算するとおよそ 2°C の上昇にあたるのでこれを超えないことを目標にしようとした訳である。つまり危険でない濃度から危険でない気温上昇への転換である。その上で気温上昇限度を 2°C としたのであれば 2°C は絶対に超えてはいけない水準の筈である。

他方 AR5 以来 IPCC では気温上昇が 2°C 以下に収まる確率 66% を中心として 2°C 達成云々を論じ、場合によってはこれを 50% にした場合の絵を描いて見せた。SR1.5 ではその厳しさからむしろ 50% を中心とおき、それに 66% を併記するという形をとる場合が多くなっている。

こうした中で政治家が 2°C (或いは 1.5°C) 目標という場合何を意味するのか。もし危険な気温上昇を 2°C (或いは小島嶼国の海没を避けるために 1.5°C) という場合、これを 50% とか 66% の確率で達成できれば良いと言うことにはならないはずである。現状は AR5 (というより正確には AR4 の Table SPM.5 及び第 13 章 Box 13.7) に基づき 2°C 目標達成には 2050 年までに世界で半減、先進国は 80% 削減を目標としている国が多いが、この AR4 の数値は気候感度を当時の最尤推定値 3°C で計算したもので、且つその場合でも 100% 達成を保証するものではない。おそらく政治家はこうしたことも承知していないのではないか。従来は気温上昇限度目標が先の話であったのでこれで済んでいたが、仮に 1.5°C 目標の場合には対策強化無しだと 2030 年-2052 年の間にこの水準に達してしまう (SR1.5 SPM)。この場合世界が目指している気温上昇限度目標とは一体どのような目標なのかが改めて問われることとなる。

5、AR6 への示唆と期待

SR1.5 の国際交渉への影響は上述の通りであるが、その範囲はかなり限られたものとならざるを得ないというのが筆者の率直な感想である。既述の通り、本命はパリ協定で定めた Global Stocktake の前年に公表予定の AR6 である。ポーランドでの COP24 の決定 1 にあるとおり COP から AR6 に対して何か注文がつく可能性はある。従来 IPCC では Policy Neutral といいつつ、国際交渉で論議されている厳しい目標をむしろ擁護するような姿勢があったことは否めない。その例として AR4 で 2°C 目標達成シナリオは 6 つしかなく、しかもこれは Azar et al.(2006)、Riahi et al.(2007)、それに Van Vuuren et al. (2007) のたった 3

本の論文であった(山口光恒 2012)。当時モデルの専門家は 2°C 或いは 450ppm はあまりに厳しい目標として取り上げていなかったのである。当時最も多かったシナリオは(均衡)気温上昇が 3.2-4.0°C に相当するカテゴリーでここには 118 本のシナリオが存在していた。しかし 2009 年のコペンハーゲン合意で 2°C に焦点が当たると共に急速に 2°C シナリオの研究が増加し 2013-2014 年の AR5 ではむしろこれが主流の感さえあった。しかしこのときには 2°C 以下 (1.5°C) に対応する CO₂ 等価濃度 430 ppm 以下の欄については論文がほとんど無い(Only a limited number of individual studies have explored levels below 430 ppmCO₂eq) との注書きがあるのみで具体的な数字は一切示されていなかった。ところがパリ合意で COP から IPCC に SR1.5°C の要請が出た途端にこのシナリオが 90 も出てきた (SR1.5 Table 2.1)。要はモデルの専門家が自ら信じる目標をモデルを用いて検証するのではなく、国際交渉の状況を横目で見ながら政治家が欲する状況をモデルで解いてみせるという状況が続いて来たのではないかというのが筆者の率直な感想である。これにより IPCC は Policy relevant な情報を政治家に提供していると考えるモデラーが多いのであろうが、今回の SR1.5 のようにコスト無しの情報提供では全く Policy Relevant とはいえない。仮に AR6 がこうした流れで進むとすれば、正に IPCC の Credibility が厳しく問われることになると思う。

これまでの IPCC の活動を見てくると、最近頃にモデルへの依存が高まっていると感じる。このことは抽象論から数字を入れた具体論への転換という意味では結構なことであるが、モデルは理想的な解を出すという点にもう少し注意が必要である。その典型がモデルでのコスト計算である。繰り返しになるが、モデルでは基本的にある目標を最小費用で達成する仕組みが Built-in されている。モデルで出てくるコストは世界共通単一炭素税が前提となっている。しかしこうした状況は少なくとも当分の間あり得ない。恰も財政赤字を解消するのに消費税を何%上げるべきだとの計算を示しているがごとくで、これが出来ないから多くの国が苦勞しているわけである。日本など消費税をたった 2% 上げるだけで軽減税率の適用など様々なショック吸収策を取り入れようとしているほどである。もちろん IPCC が勝手に論文を書くことは出来ず、専門家が論文を発表し、これを IPCC が専門的見地から評価して報告書に取り入れるので、モデル専門家がこうした研究をすることがつとに求められているにも関わらずあまりこうした研究はない。既述の Akimoto et al (2018) はまだ例外的な論文である。AR6 迄に専門家によるこの種論文の発表と IPCC がこれをきちんと評価して AR6 でその内容を紹介する事を行えば、IPCC に対する信頼性も向上すると思う。これと並んで AR6 では不確実性を政治家に分かる形で提示することが大切である。SR1.5 では気候感度問題は AR6 で触れるとある。この知見が変われば対策

とそのコストは大きく変わるはずである。

最後に、既に指摘したとおり、政治家が抱える問題は資源の効率的配分であって、気候変動問題だけが唯一の課題ではないという点である。SR1.5はこの点に目を向けたという意味で大いに評価するところであるが、結果は全く Policy relevant なものになっていない。AR6では資源の最適配分の観点を加味した分析が進むことを期待するものである。

6、あるべき対策目標の姿 CO2 ゼロエミッションに向けて

最後に IPCC を離れてあるべき対策目標について述べる。周知の通りパリ協定や京都議定書の親条約である 1992 年の気候変動枠組み条約 (UNFCCC) では対策の究極目標として、一定の時間軸で危険でない水準での GHG 濃度安定化を目指すこととなっており、これ以降暫く「危険でない濃度」に関する研究が盛んであった。その後コペンハーゲンでの COP15 で気温上昇を 2°C 以内とすべきとの科学的知見を「認識」した上で国際協調しての対策に取り組むことに合意し、2015 年のパリ合意で 2°C を十分に下回る目標 (可能であれば 1.5°C を目指す) とされて現在に至っている。しかし既に見てきたように現在の各国のプレッジでは 3°C 以上の気温上昇が見込まれ、さらに残念ながら現下の国際情勢からプレッジの大幅引き上げが難しい中で 1.5°C はおろか 2°C 目標の実現も極めて厳しい状況にある。

また、気温目標の場合各国がどの程度まで削減するのが公平なのか (Comparative effort) についての合意がない以上、プレッジ引き上げの機運が出たとしてもお互いに他国に Burden を押しつけあえば、交渉は遅々として進展しないであろう。また、気温目標の場合、業界団体や個別企業・自治体・個人のレベルでは世界の気温目標に対してそれぞれがどのような目標や行動計画を立てるのが不明である。

その反面どのような対策をとったとしても少しでも CO2 排出を続ければ世界の気温は上昇を続ける。その原因は CO2 の滞留時間が極めて長期だからである (1 万年経過しても一定割合は大気中に残留する)。従って地球の気温上昇をストップするには世界の CO2 排出をゼロにしなければならない。他方 1.5°C だと 2050 年、2°C だと 2070 年ごろまでに CO2 排出をゼロにする必要があるが、SR1.5 ではこれは実現不能として代替策として大量のマイナス排出 (BECCS、植林・再植林) を見込んでおり、このこと自体が実現可能性のほとんど見込めない対策である点は既述の通りである。ということは一定時間を区切って 1.5 とか 2°C という大変意欲的な目標を目指すことに無理があるということである。

こうしたことから筆者は気候対策の目標を「時間を区切った気温目標」から「大

量のマイナス排出に頼らない長期 CO2 ゼロエミッション」とすべきと考えている。現在 RITE において技術的側面を中心に茅理事長を中心として検討を行っているが、現時点での内容が学術誌に掲載されたところである (Kaya et al. 2019)。我々はこの研究を更に進め、気温目標中心の現在の体制が行き詰まる前に、日本から世界にこれを発信したいとの思いで取り組んでいるところである。

参考文献

- Akimoto, K., Homma, T. Sano, F. and Shoai-Tehrani, B. (2008), “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>
- 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
- Bolin, B. (2007), *A history of the Science and Politics of Climate Change, The role of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, <https://doi.org/10.1017/CBO9780511721731>
- Grubler, A. et al. (2018), A low energy demand scenario for meeting the 1.5°C target and sustainable development goals without negative emission technologies, *Nature Energy* 3, 515-527, June 4, 2018 <https://www.nature.com/articles/s41560-018-0172-6>
- Hausefather, Z. (2018), How much carbon budget is left, Carbon Brief, April 9, 2018 <https://www.carbonbrief.org/analysis-how-much-carbon-budget-is-left-to-limit-global-warming-to-1-5c>
- IEA (2017), *Energy Technology Perspectives 2017: Catalyzing Energy Technology Transformations*. International Energy Agency (IEA), Paris, France, 443 pp, June 6, 2017 <https://www.iea.org/etp2017/>
- IPCC (2018), *Global Warming of 1.5°C* an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty,

- Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press
<https://www.ipcc.ch/sr15/>
- IPCC (2014a), *Climate Change 2014 Synthesis Report*, A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press
<https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- IPCC (2014b), *Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change*, Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press
<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>
- IPCC (2007), *Climate Change 2007 Mitigation of Climate Change*, Working Group III Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press
<https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg3/>
- IPCC (2001), *Climate Change 2001 Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, A Report of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press
<https://www.ipcc.ch/report/ar3/wg2/>
- IPCC (1995), *Climate Change 1995 Economic and Social Dimensions of Climate Change*, Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press
<https://www.ipcc.ch/report/ar2/wg3/>
- Kaya, Y., Yamaguchi, M. and Geden, O. (2019), *Towards net zero CO₂ emissions without relying on massive carbon dioxide removal*, Sustainability Science **14**, 1739-1743, 9 March 2019
- Lomborg, B. (2004), *Global Crises, Global Solutions*, Cambridge University Press
- Lomborg, B. (2008), *Global Crises, Global Solutions: Costs and Benefits Second Edition*, Cambridge University Press
- Millar, R.J., Fuglestvedt, J.S., Friedlingstein, P., Rogelj, J., Grubb, M.J., Matthews, H.D., ...Allen, M.R. (2017), Emission Budget and pathways consistent with limiting warming to 1.5°C, *Nature Geoscience* **18**,

- 741-747, September 18, 2017
<https://www.nature.com/articles/ngeo3031>
- Newbold, T., Hudson, L.N., Hill, S.L.L., Contu, S., Lysenko, I., Senior, R.A., ... Purvis, A. (2015), Global effects of land use on local terrestrial biodiversity, *Nature* **520**, 45-50, April 1, 2015
<https://www.nature.com/articles/nature14324>
- Nordhaus, W.D., (2017), Revisiting the social cost of carbon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **114**(7), 1518-1523, January 31, 2017, doi:10.1073/pnas.1609244114
<https://www.pnas.org/content/early/2017/01/30/1609244114>
- Nordhaus, W.D., (2013), *The Climate Casino - Risk, Uncertainty, and Economics for a Warming World*, Yale University Press
- Nordhaus, W. D. (2007), A Review of the Stern Review on the Economics of Climate Change, *Journal of Economic Literature* **XLV**(3), 686-702, September 2007,
<https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/jel.45.3.686>
- Nordhaus, W.D. (1994), *Managing the Global Commons The Economics of Climate Change*, The MIT Press
- Riahi, K., van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., ...Tavoni, M. (2017), The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview, *Global Environmental Change* **42** (2017) 153-168
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378016300681#!>
- 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
- Schneider, S.H. (2009), *Science as a contact sports: Inside the Battle to save earth's climate*, National Geographic Society
- Schurer, A.P., Cowtan, K., Hawkins, E., Mann, M.E., Scott, V. & Tett, S.F.B., (2018), Interpretations of the Paris climate target, *Nature Geoscience* **11**, 220-221, March 19, 2018
- Smith, P., Davis, S.J., Creutzig, F., Fuss, S., Minx, J., Gabrielle, B., ... Yongsung, C., (2015), Biophysical and economic limits to negative CO2 emissions, *Nature Climate Change* **6**, 42-50, December 7, 2015

- Stern, N. (2006), *The Economics of Climate Change*, Cambridge University Press
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511817434>
- The Economist (2004), Putting the world to rights: Special Report, Copenhagen Consensus, June 3, 2004
<https://www.economist.com/special-report/2004/06/03/putting-the-world-to-rights>
- 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
- 山口光恒 (2012), 2°C目標の実現可能性と今後の方向－EMF 22 International Scenario 及び Representative Concentration Pathways (RCP)2.6を中心に－, 2012 年環境経済政策学会報告論文
http://www.m-yamaguchi.jp/papers/20120915_16.pdf
- 山口光恒 (2009), 地球温暖化日本の戦略 第 23 回資源有効利用と温暖化 (再論)－コペンハーゲンコンセンサス－, 日経 BP net 『地球温暖化日本の戦略』連載, 2009 年 5 月 25 日
http://www.m-yamaguchi.jp/others2/bp_23.pdf
- 山口光恒 (2008), 地球温暖化日本の戦略 第 13 回資源有効利用と温暖化－温暖化と他の重要問題とのトレードオフ－, 日経 BP net 『地球温暖化 日本の戦略』連載, 2008 年 6 月 16 日
http://m-yamaguchi.jp/others2/bp_13.pdf