

革新的環境技術シンポジウム

2013年12月4日

最新の科学的知見を踏まえた 温暖化対応戦略の分析・評価

(公財)地球環境産業技術研究機構 (RITE)

システム研究グループ グループリーダー

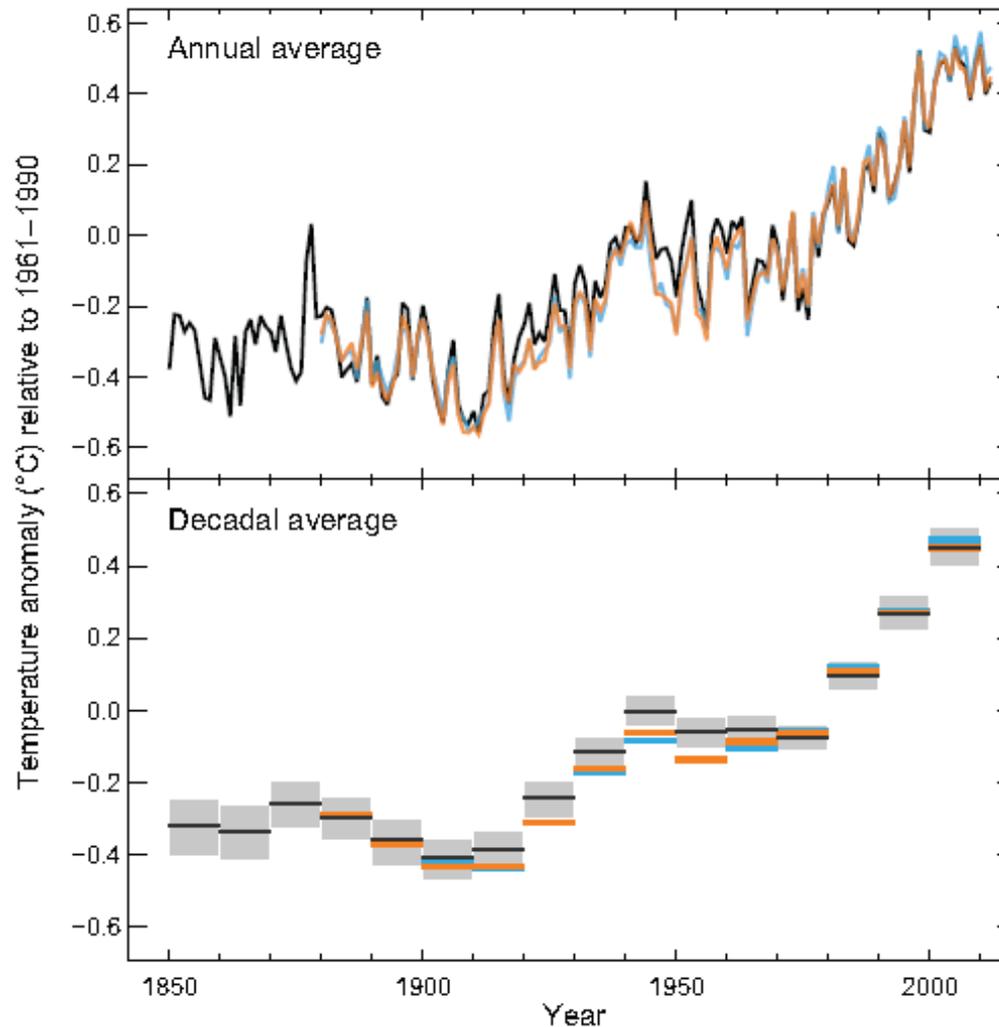
秋元 圭吾



1. IPCC WG1（気候変動の科学）第5次評価報告書
2. 現在の地球温暖化対応の長期目標、中期目標の経緯
3. 世界排出量半減、450 ppm CO₂eq目標の状況
4. 今後の新たな温暖化対応戦略に向けた見通し
—新たな排出削減目標と不確実性下での戦略—
5. まとめ

1 . IPCC WG1 (気候変動の科学) 第5次評価報告書

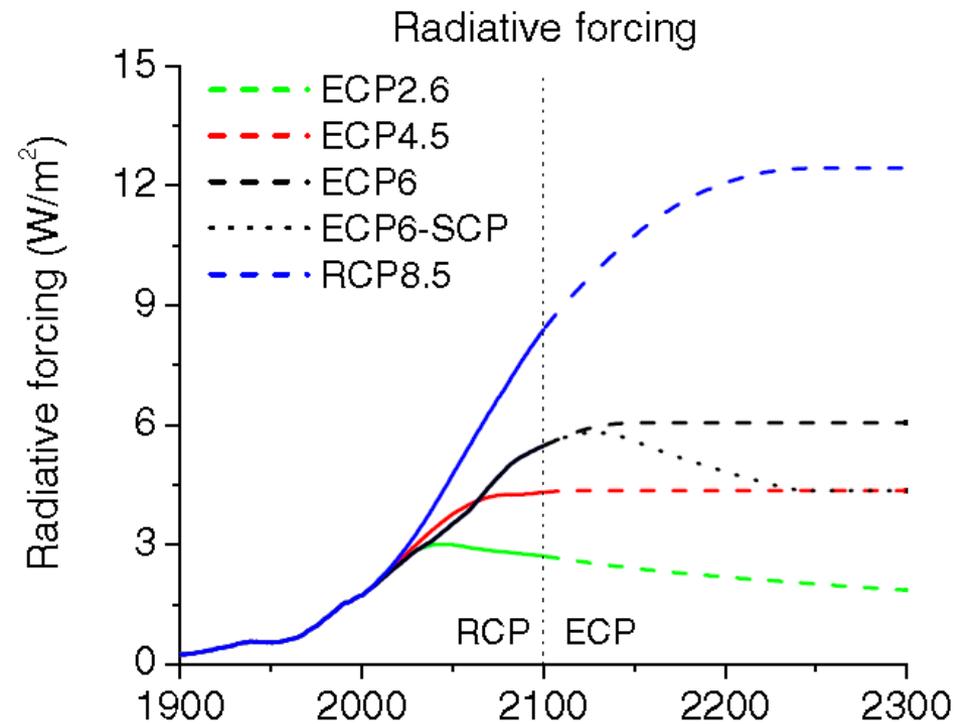
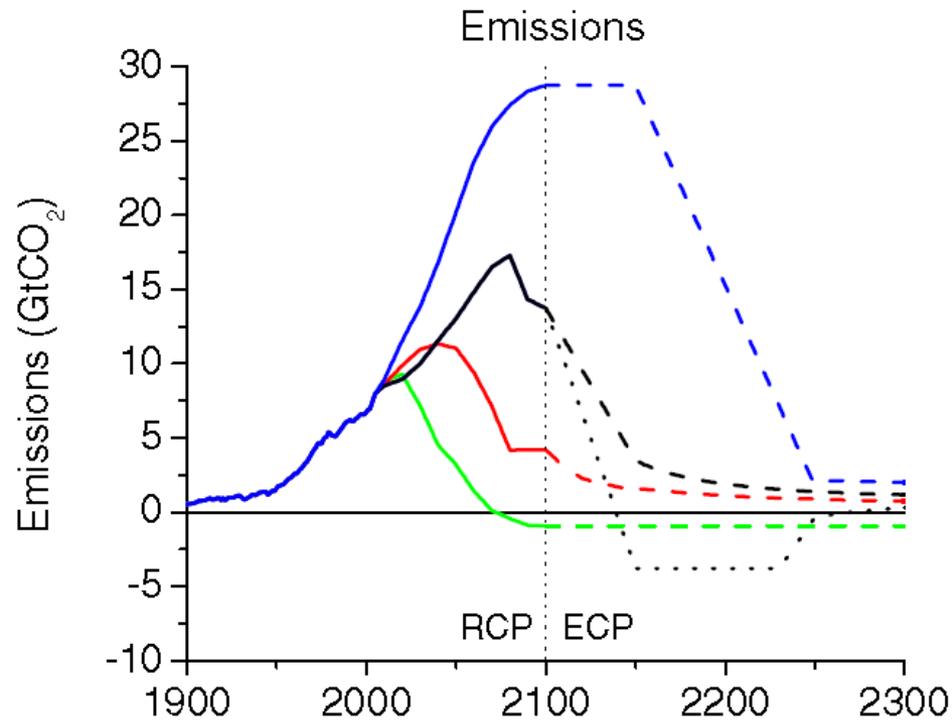
全球平均気温の変化(過去の観測)



出典：IPCC WG1 第5次評価報告書、2013

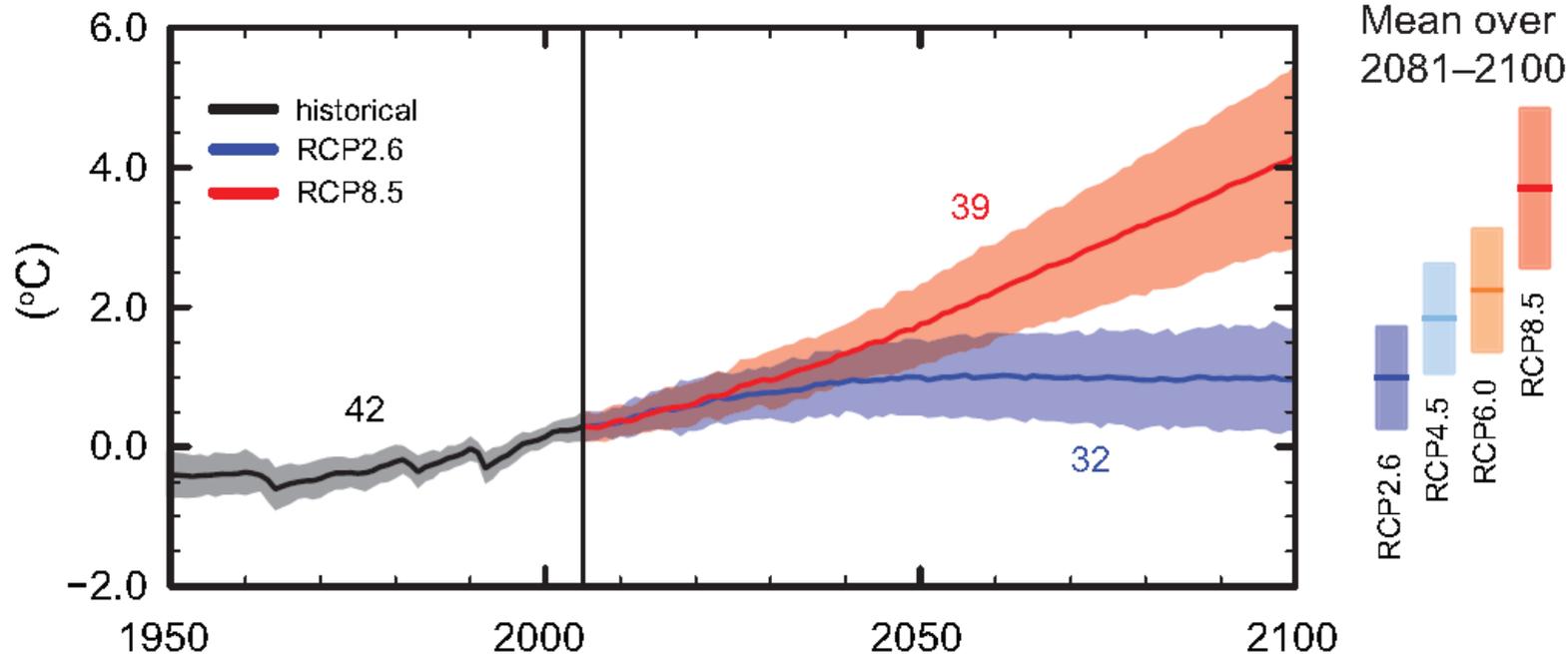
2000年に入ってから気温上昇のペースは劣ってはいるものの、温暖化が確実に進行していることは確か。

RCPのCO₂排出量と放射強制力経路



RCP: Representative Concentration Pathway
出典) van Vuuren et al. Climatic Change, 2011

全球平均気温の変化(将来の見通し)



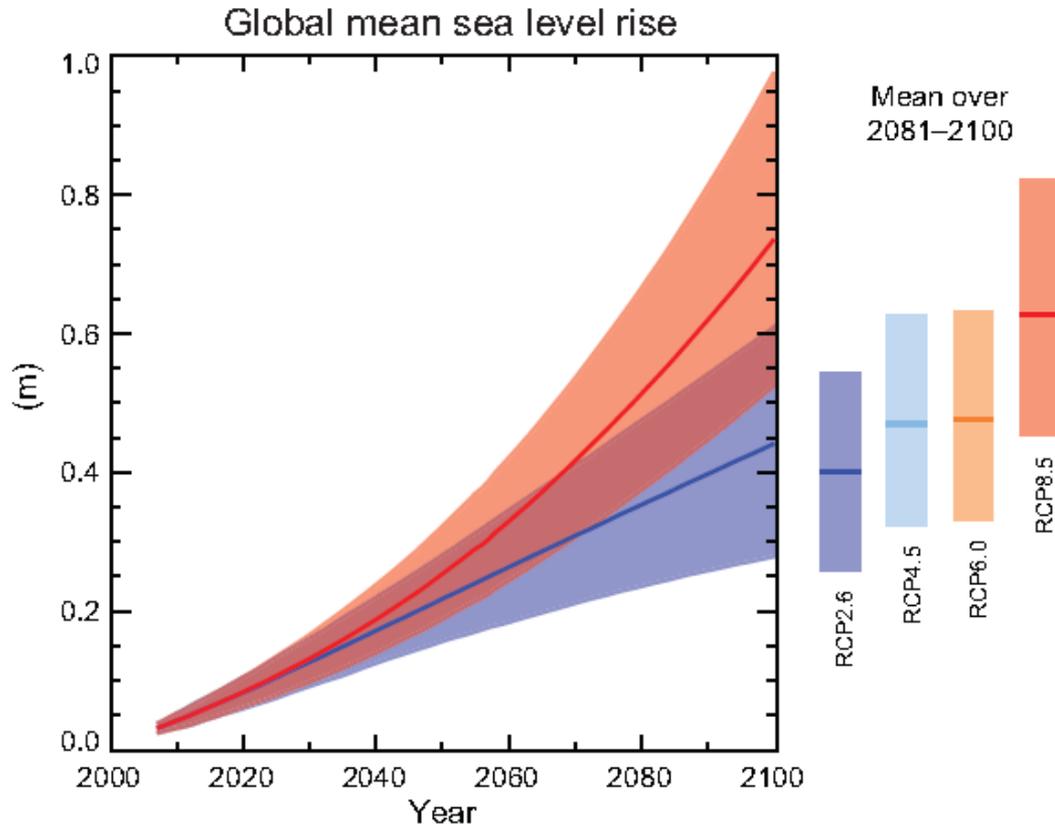
| | 2081-2100(産業革命以前比) |
|--------|--------------------|
| RCP8.5 | 4.3°C (3.2~5.4°C) |
| RCP6.0 | 2.8°C (2.0~3.7°C) |
| RCP4.5 | 2.4°C (1.7~3.2°C) |
| RCP2.6 | 1.6°C (0.9~2.3°C) |

出典：IPCC WG1 第5次評価報告書、2013

注) 表は、1986-2005年と産業革命以前(1851-1900年)の間の気温上昇を0.61°Cとして換算

- RCP (Representative Concentration Pathway) 2.6は、2081-2100年の気温上昇は中央値で1.6°C、0.9~2.3°Cの幅と推計されている。RCP4.5でも2°C以内の可能性もある。
- 第4次評価報告書(2090-99年に1990年比1.1~6.4°C)より気温上昇の上限値が下方修正された形だが、主な理由は温暖化の炭素循環フィードバックの不確実性が第5次の評価では除外されているため。

全球平均海面上昇(将来の見通し)



| | 2081-2100 (1986-2005比) |
|--------|------------------------|
| RCP8.5 | 0.63m (0.45~0.82m) |
| RCP6.0 | 0.48m (0.33~0.63m) |
| RCP4.5 | 0.47m (0.32~0.63m) |
| RCP2.6 | 0.40m (0.26~0.55m) |

出典：IPCC WG1 第5次評価報告書、2013

- 第3次評価報告書では、2100年に0.09~0.88m(1990年比)
- 第4次評価報告書では、2090-2099年に0.18~0.59m(1980-1999年比)：氷床流出の加速化については不確実性が大きいので評価対象外としたため、上限値が下方修正
- 第5次評価報告書では、2081-2100年に0.26~0.82m(1986-2005年比)：氷床流出の加速についても評価したため、第4次評価報告書に比べ高い数字になっている

気候感度

- ◆ 平衡気候感度（温室効果ガス濃度が倍増（例えば産業革命以前の275 ppm CO₂eqから550 ppm CO₂eqに）し、その濃度で安定化したとき、最終的に到達する気温上昇幅）の修正

第3次評価報告書まで 1.5~4.5°C（最良推定値：2.5°C）



第4次評価報告書 2.0~4.5°C（最良推定値：3.0°C）



第5次評価報告書 1.5~4.5°C（最良推定値：合意なし）

1°C以下：extremely unlikely、6°C以上：very unlikely

【第4次報告書よりも下方に修正】

- ◆ 過渡的気候応答（Transient Climate Response: TCR、温室効果ガス濃度を年率1%ずつ上昇させ、濃度が2倍になったとき（約70年後に550 ppm CO₂eq）の気温上昇幅推計）の強調

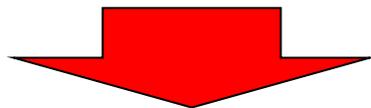
TCR 1.0~2.5°C 3°C以上：extremely unlikely

【平衡気候感度よりもかなり低い】

2. 現在の地球温暖化対応の 長期目標、中期目標の経緯

これまでの世界の気候変動対応

- ◆ 地球温暖化の危機から守るためには2°C以内が必要(科学的根拠は乏しい。IPCCもそれをサポートしていることはない。)
 - 450 ppm CO₂eq安定化が必要 2°C目標の様々な条件次第
 - 世界排出量は2050年に半減が最低必要 450 ppm目標の様々な条件次第
 - そのとき、先進国は80%以上の削減が必要 上記が正ならば相応に根拠あり
 - 2020年に先進国は25~40%削減が必要 根拠薄弱
 - 2020年に日本は25%削減(鳩山首相) 根拠はほとんどなし
 - ⇒(現実的に実現不可能)
 - ⇒排出削減交渉は停滞。かえって地球温暖化に悪影響



このように科学的でもなく、現実性を踏まえない思考から脱却しなければ、真に有効な気候変動対応は不可能

COP19にて、2020年の日本の目標は暫定値として2005年比▲3.8%に修正

現在の気候変動緩和の長期目標

- ◆ IPCC第4次評価報告書(2007)で収集されたシナリオのうち、2°C目標を評価していたのはわずか6シナリオ(大部分(118シナリオ)は550 ppm CO₂安定化(≒650 ppm CO₂eq安定化)、3.2~4.0°C上昇のシナリオを評価)。
- ◆ この数少ないシナリオから、2°C目標≒450 ppm CO₂eq安定化≒2050年に世界排出量は最低でも2000年比半減。このとき、先進国は最低でも80%削減が必要、という政治目標が作られた(平衡気候感度は3.0°Cを想定)。

世界排出量2050年半減目標

2°C目標

平衡気温

(濃度が安定化したとき、時間遅れを持って最終的に達すると推計される気温)

| Category | Radiative forcing (W/m ²) | CO ₂ concentration ^{c)} (ppm) | CO ₂ -eq concentration ^{c)} (ppm) | Global mean temperature increase above pre-industrial at equilibrium, using "best estimate" climate sensitivity ^{b), c)} (°C) | Peaking year for CO ₂ emissions ^{d)} | Change in global CO ₂ emissions in 2050 (% of 2000 emissions) ^{d)} | No. of assessed scenarios |
|----------|---------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| I | 2.5-3.0 | 350-400 | 445-490 | 2.0-2.4 | 2000-2015 | -85 to -50 | 6 |
| II | 3.0-3.5 | 400-440 | 490-535 | 2.4-2.8 | 2000-2020 | -60 to -30 | 18 |
| III | 3.5-4.0 | 440-485 | 535-590 | 2.8-3.2 | 2010-2030 | -30 to +5 | 21 |
| IV | 4.0-5.0 | 485-570 | 590-710 | 3.2-4.0 | 2020-2060 | +10 to +60 | 118 |
| V | 5.0-6.0 | 570-660 | 710-855 | 4.0-4.9 | 2050-2080 | +25 to +85 | 9 |
| VI | 6.0-7.5 | 660-790 | 855-1130 | 4.9-6.1 | 2060-2090 | +90 to +140 | 5 |
| Total | | | | | | | 177 |

3. 世界排出量半減、 450 ppm CO₂e目標の状況

世界排出量半減時に非附属書I国に 求められる排出削減

| | 1990年 排出量 | 2010年 排出量 | 1990年比世界排出 量半減時の分担 | | 2005年比世界排 出量半減時の分担 | |
|--------|--------------|--------------|-----------------------|------|-----------------------|------|
| 附属書I国 | 52% | 37% | ▲100% | ▲80% | ▲100% | ▲80% |
| 非附属書I国 | 48% | 63% | ▲38% | ▲50% | ▲23% | ▲35% |

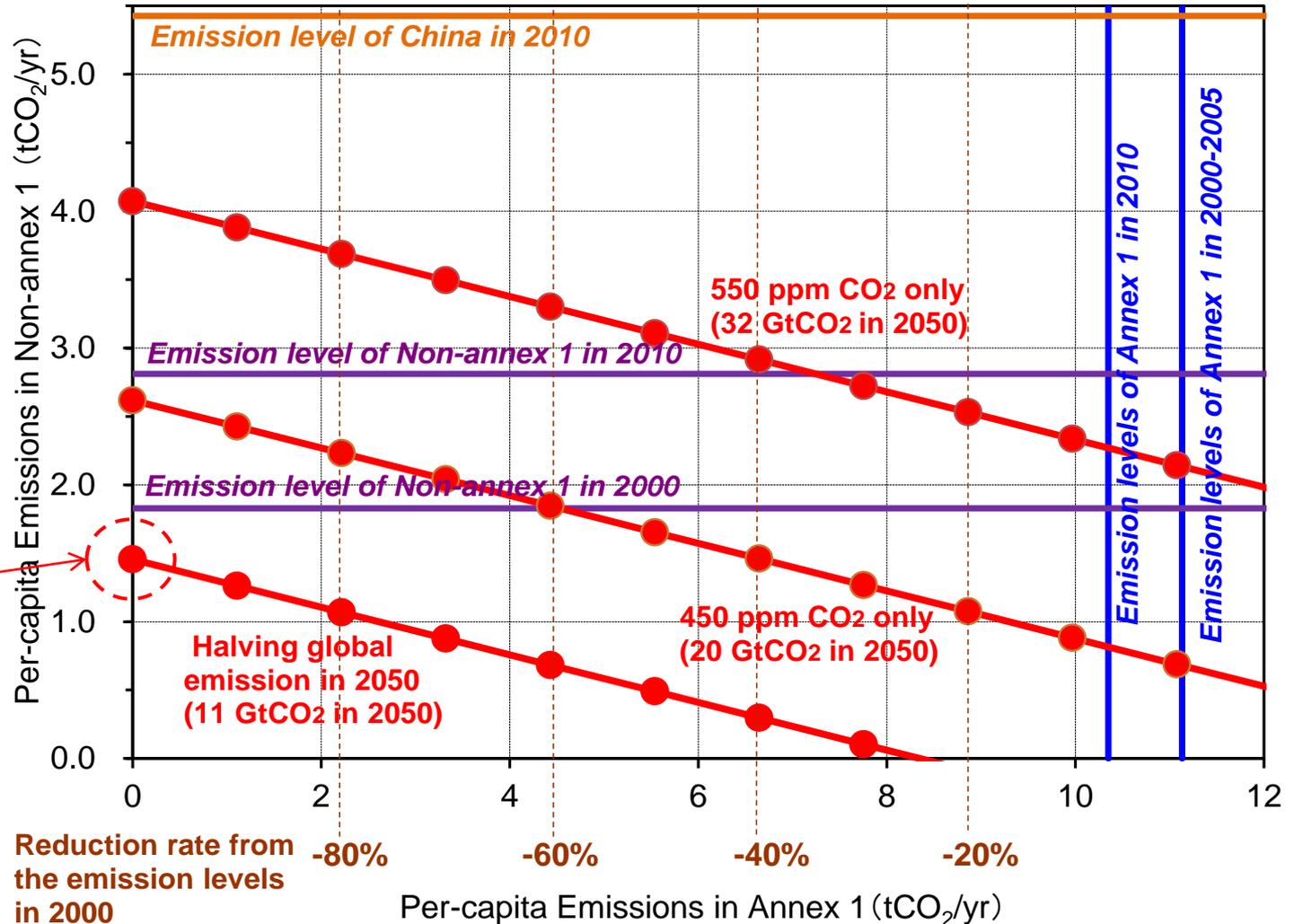
注) 排出削減の数値は、2010年の温室効果ガス（京都6ガス）に対する削減率
出典) IEA CO2統計 (2012)より算定

- 仮に先進国(附属書I国)が排出をゼロ(▲100%)にしたとしても、途上国(非附属書I国)においても、1990年比半減の場合では現状から38%、2005年比半減の場合でも23%の削減が必要
- 先進国が8割減の場合は、途上国は、1990年比半減の場合では現状から50%、2005年比半減の場合でも35%の削減が必要

一人当たり排出量で見た2050年の世界の排出削減目標

エネルギー起源CO₂排出量ベース

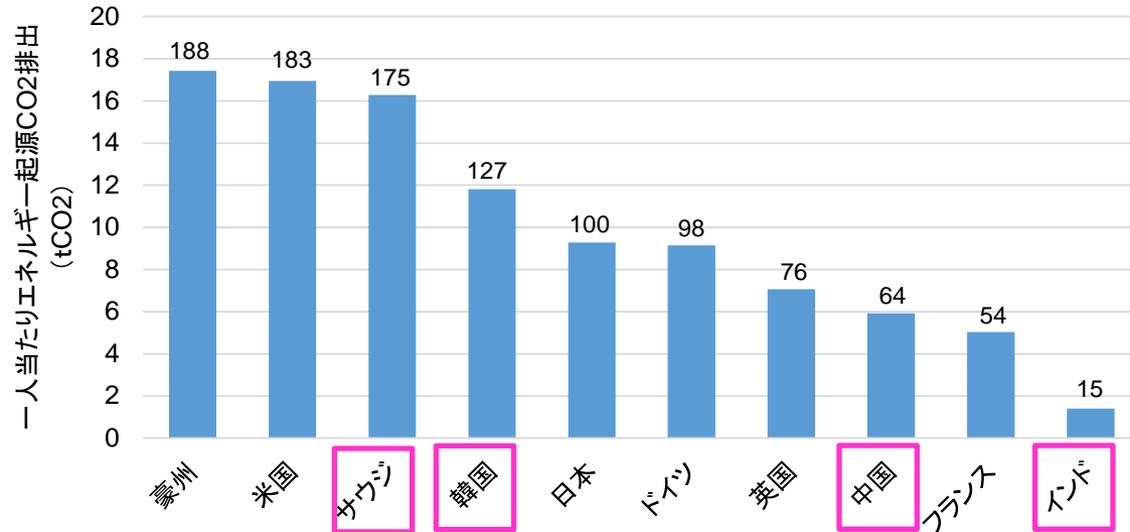
出典) IEA CO₂統計 (2012)より算定



2050年に世界排出量半減させるには先進国がたとえ排出ゼロにしたとしても途上国は現状よりも一人当たり排出量を半分に、中国は1/4にする必要あり。先進国▲80%なら、中国も8割以上の削減が必要

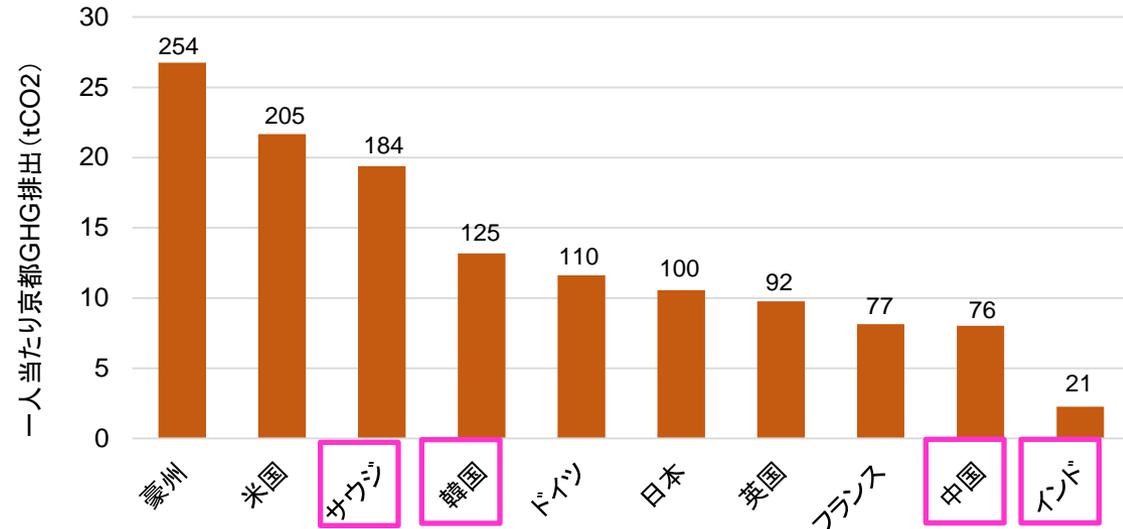
中国など途上国の多くは、2℃目標には賛意を示しているものの、世界排出量半減目標には賛成していない。

一人当たり排出量



2011年のエネルギー起源CO2排出量

2010年のGHG排出量

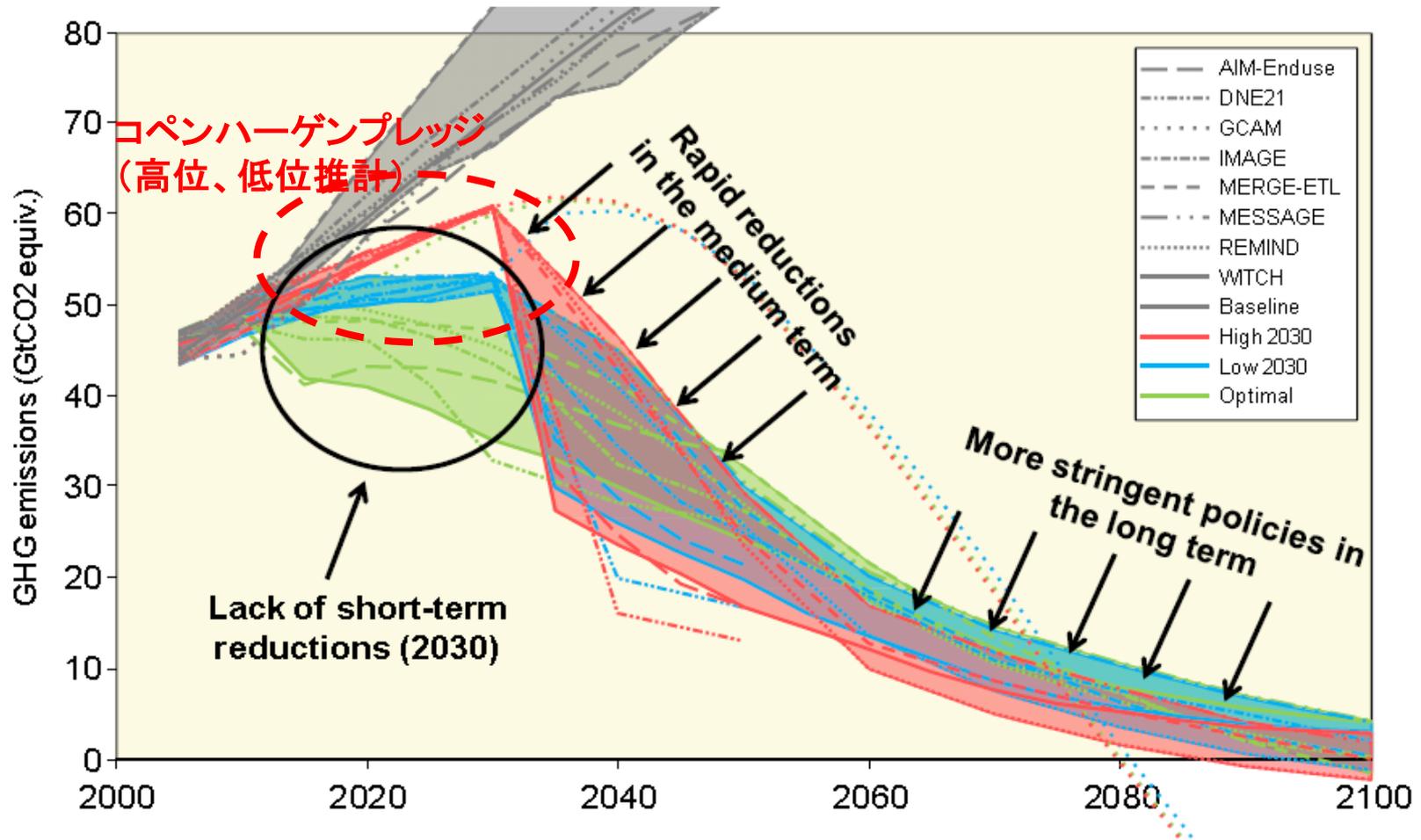


出典) IEA統計, 2013

注) グラフ上の数字は日本を100としたとき

一部の非附属書I国は、一人当たり排出量で見ても既に附属書I国の多くと大差のない排出量となっている。気候変動枠組条約における2分化はもはや過去のもの。歴史的責任論も急速にその根拠を失いつつある。

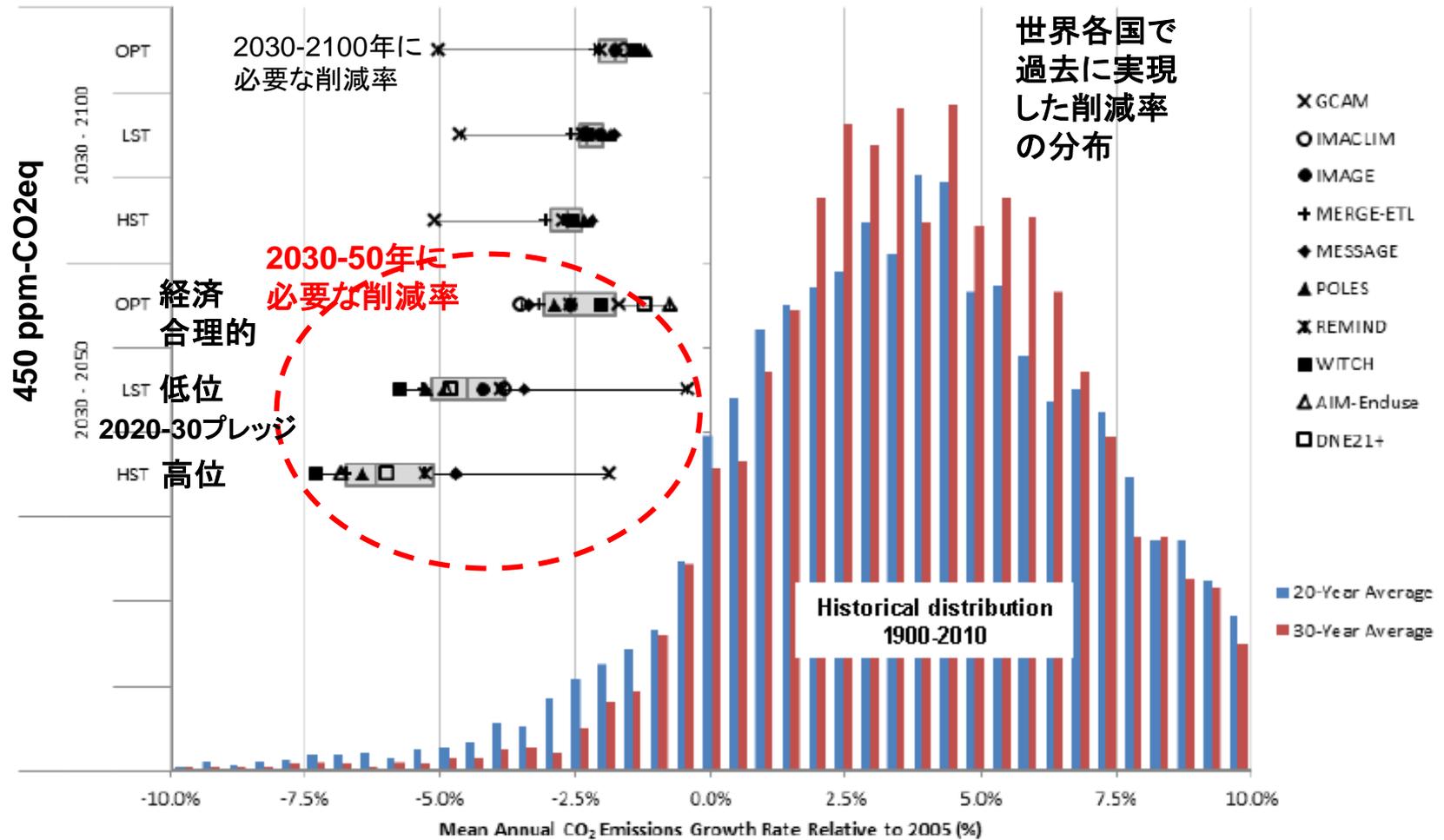
450 ppm CO₂eqの排出経路



Source: K. Riahi, et al. (including K. Wada, RITE), Tech. For. & Soc. Change, 2013 (国際モデル比較プロジェクトAMPERE特別号論文)

450 ppm CO₂eqの経済合理的な排出パスと、コペンハーゲン・プレッジによる2020-30年に見込まれる排出が固定された場合、それ以降に450 ppmを達成するために求められるパスを推計。2030年以降、急激な排出削減が必要

過去の排出削減率と450 ppmのために必要な削減率

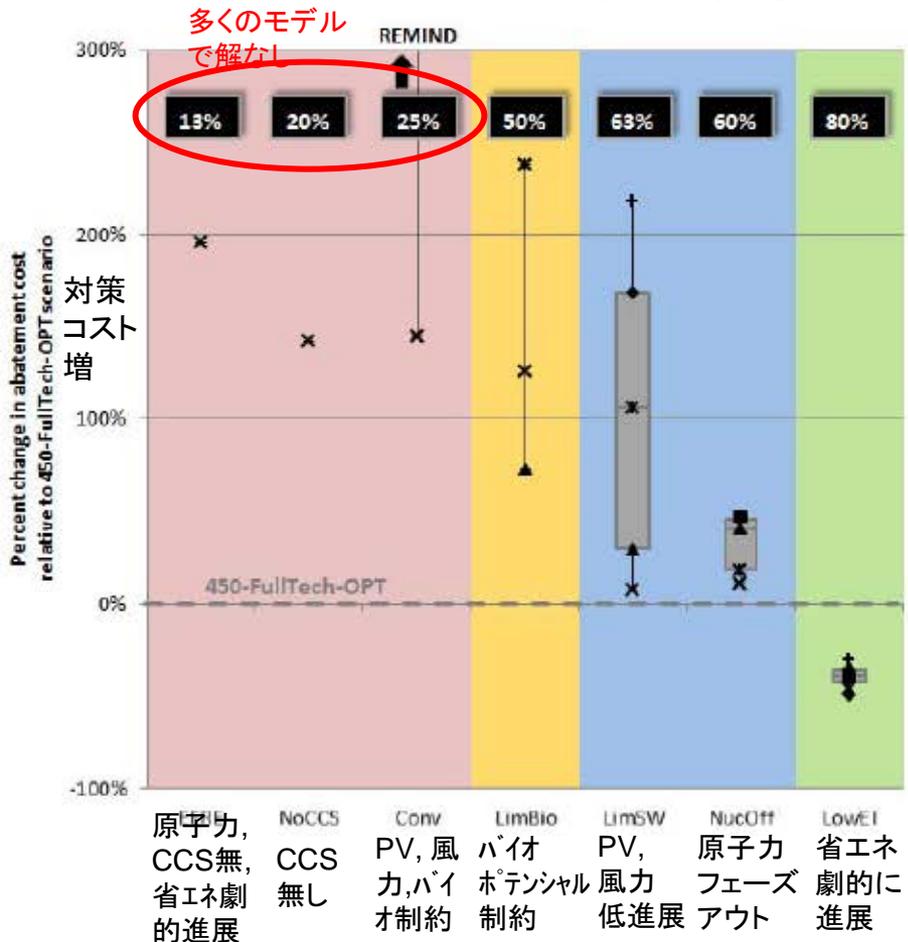


Source: K. Riahi, et al. (including K. Wada, RITE), Tech. For. & Soc. Change, 2013 (国際モデル比較プロジェクトAMPERE特別号論文)

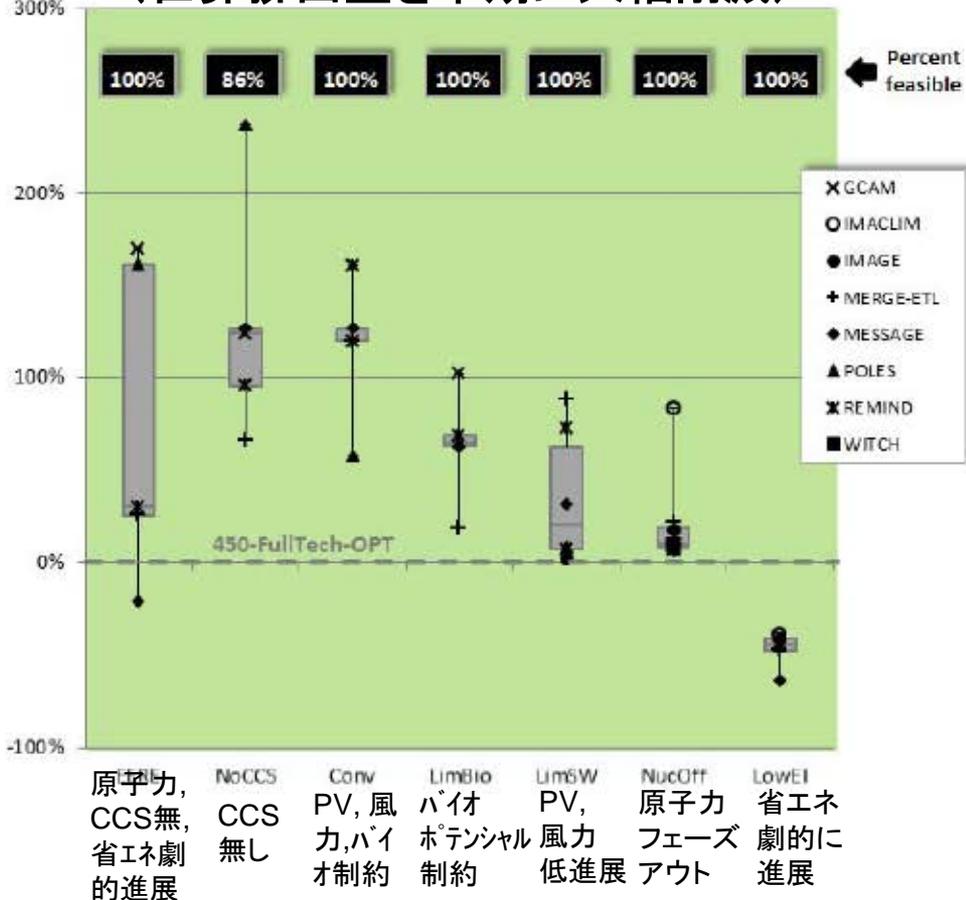
過去の排出削減率と450 ppm CO₂eqを達成のために必要な削減率には大きなギャップあり。まして今後十数年の排出削減の柔軟性の乏しさを考えると、一層困難。

技術利用制約による450 ppm CO₂eqへの道筋

コペンハーゲンプレッジ高位推計ケース



経済合理的排出経路 (世界排出量を早期に大幅削減)

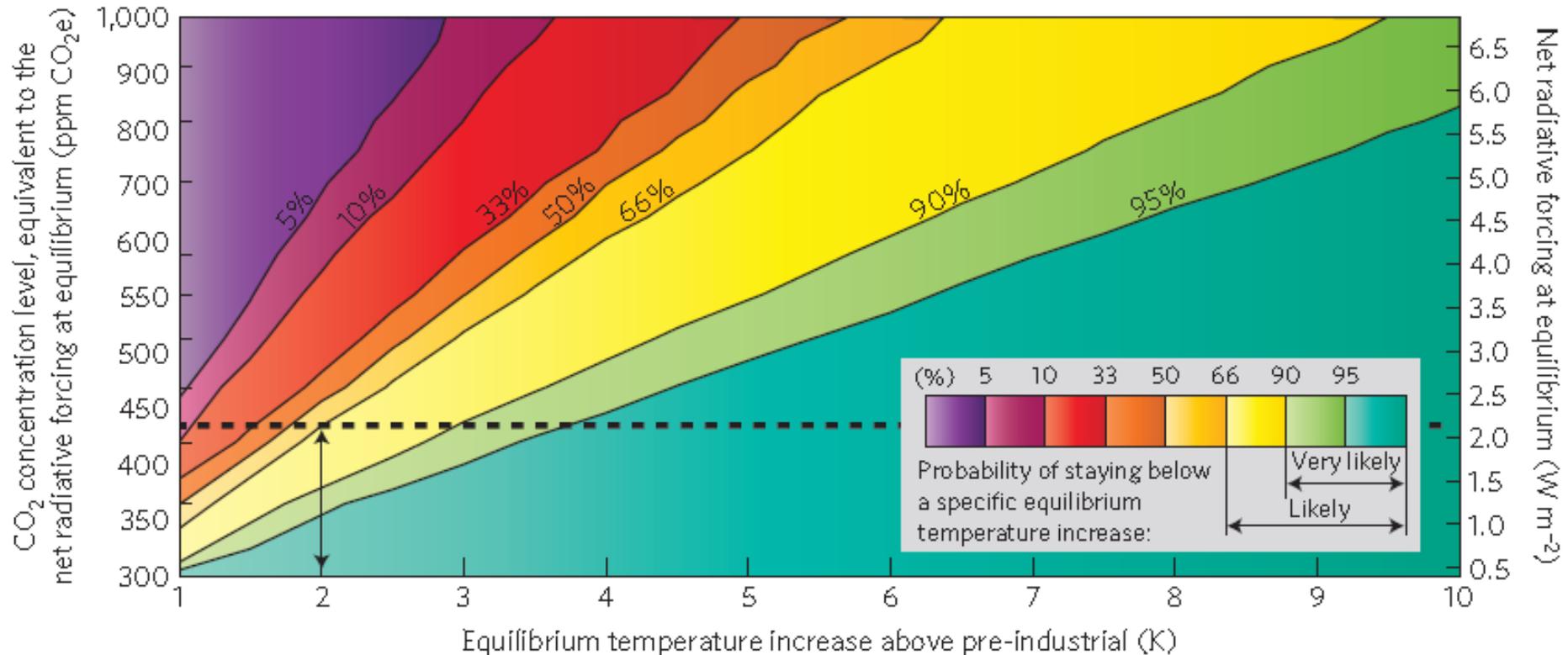


Source: K. Riahi, et al. (including K. Wada, RITE), Tech. For. & Soc. Change, 2013 (国際モデル比較プロジェクトAMPERE特別号論文)

450 ppm CO₂eq目標の下で、技術制約が加わると、対策費用は大きく増大し、2倍もしくはそれ以上になるケースも多い。更にコペンハーゲンプレッジの高位推計で2030年までの排出が固定化されると仮定したケースで、技術制約が加わると、実現可能な対策は存在しないとするモデル分析が多い。

**4. 今後の新たな温暖化対応
戦略に向けた見通し
—新たな排出削減目標と
不確実性下での戦略—**

CO2濃度と平衡気温の関係の推計

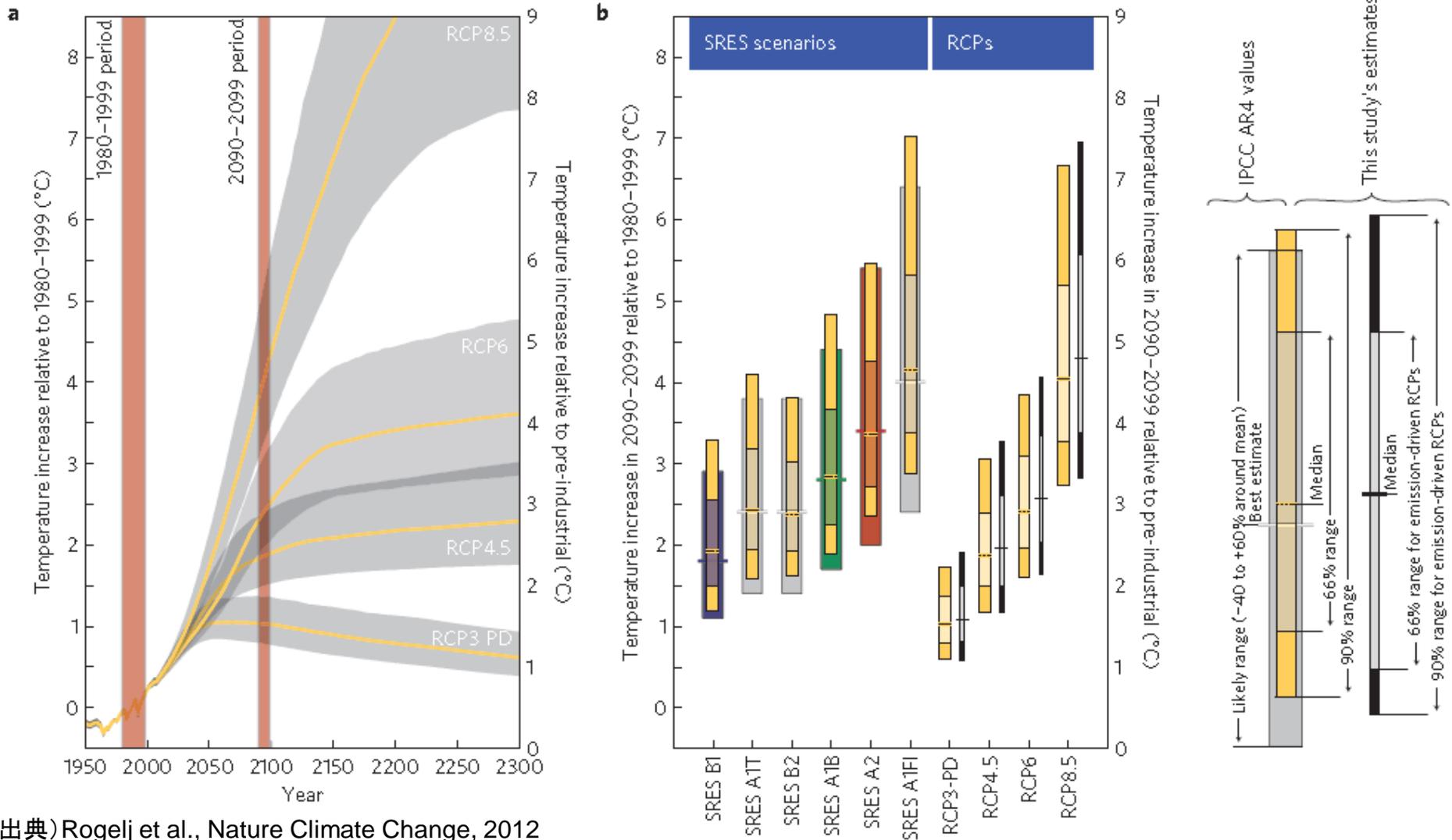


出典) Rogelj et al., Nature Climate Change, 2012

CO2濃度の「安定」を想定したときの平衡気温との関係

このとき、50%程度の確率の場合(ただし実際には相当不確実)、450 ppm CO₂-eq≒産業革命以前比2℃上昇。しかし、90%程度の確率を求めれば、350 ppm CO₂-eq程度が必要に。すなわち、リスク対応の考え方次第で、求められる排出削減は大きく変わる。

RCPの超長期の気温推計

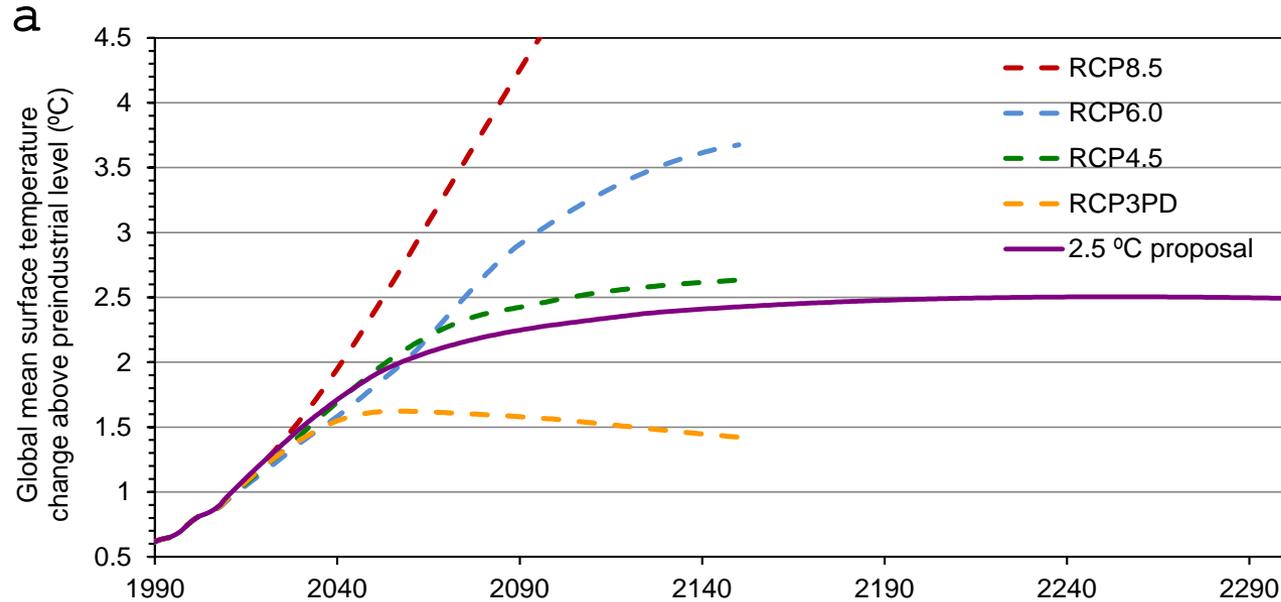


出典) Rogelj et al., Nature Climate Change, 2012

RCP3-PD(RCP2.6): Medianでは、2100年に約1.5°C上昇、その後、低下【平衡気温上昇は基本的に定義できない】。likely(66%確率)では最大約1.9°C上昇

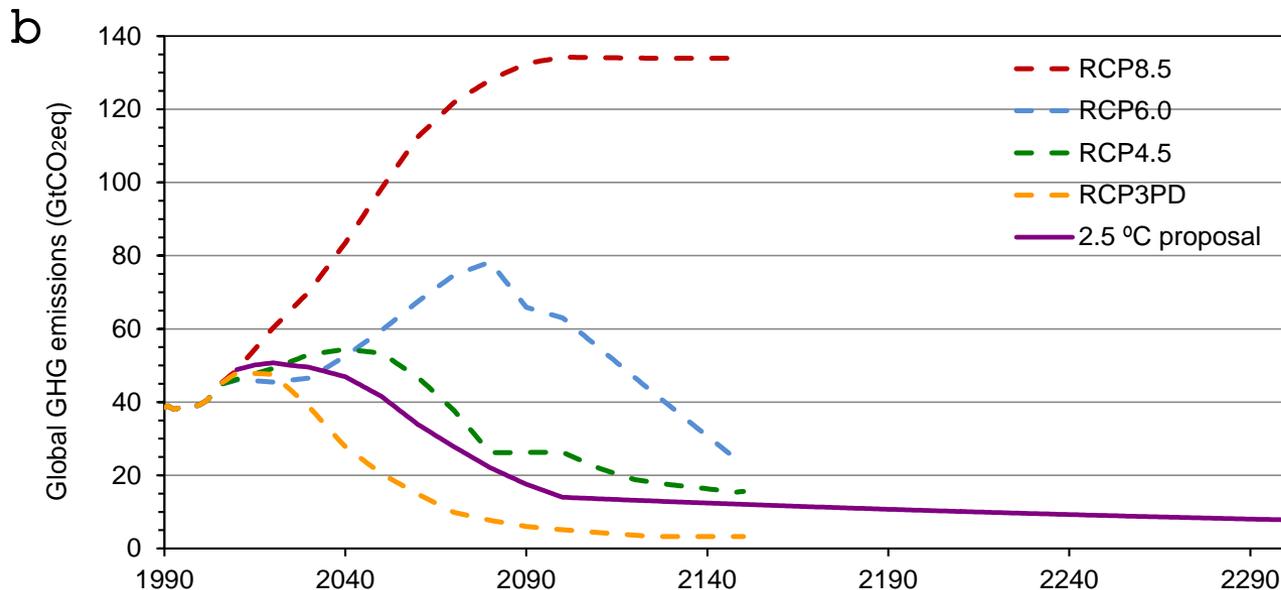
- ◆ 平衡気温で2°Cを超えない。（この場合、濃度安定化が前提。濃度安定化を仮定しないと平衡気温は算出できない。）
 - Rogelj et al.の気候感度の不確実性分析の論文はこの想定による計算
 - IPCC AR4以降、これが議論のベースだった。
(かつ平衡気候感度は最良推定値3°Cが前提)
- ◆ 2100年の気温が2°Cを超えない。
 - 1) 2100年以降、2°Cを超えず一定（弱めに濃度がオーバーシュートする時）
 - 2) 2100年以降、2°Cから徐々に低下（強めに濃度がオーバーシュートする時）：
RCP2.6 (=RCP3-PD): ピーク時から2100年まで0.4W/m²低下、
ピーク時に"likely"で2°Cを超えない
- ◆ 上記いずれについても期待値（best estimate, or most likely value）の場合、安全サイド（likely）を見た場合、等があり得る。
- ◆ IPCC第5次評価報告書以降、2°C目標の考え方が多様化すると見られる。
- ◆ 2°C目標としても、2050年長期、2020-30年などの中期の許容排出量は様々な可能性がある。

2.5°C目標提案とRCP排出パスの比較



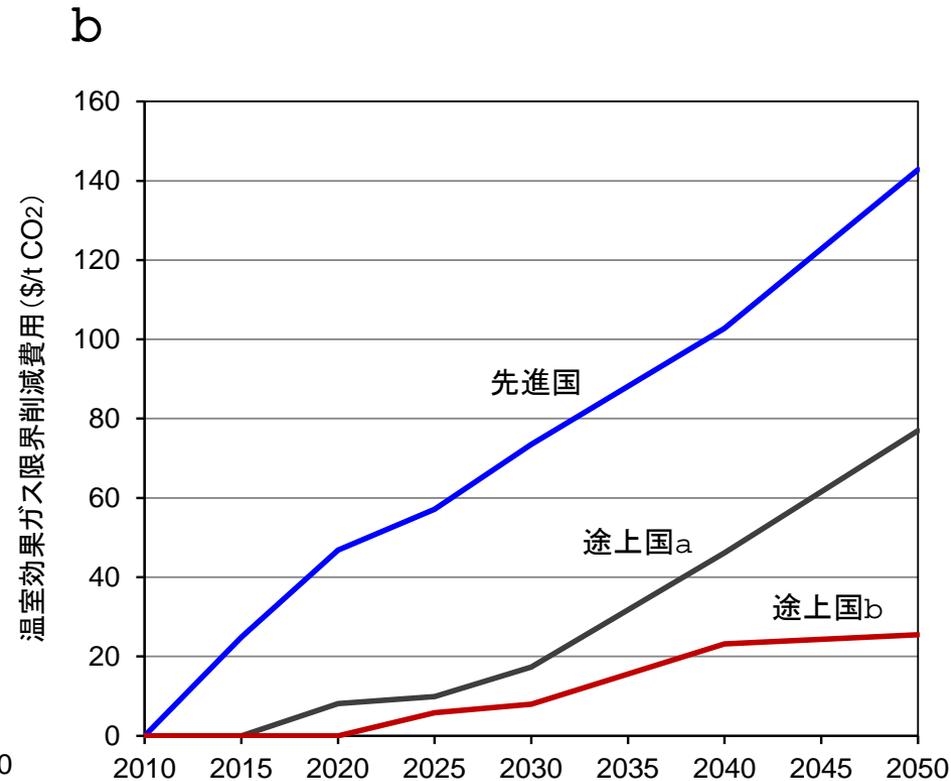
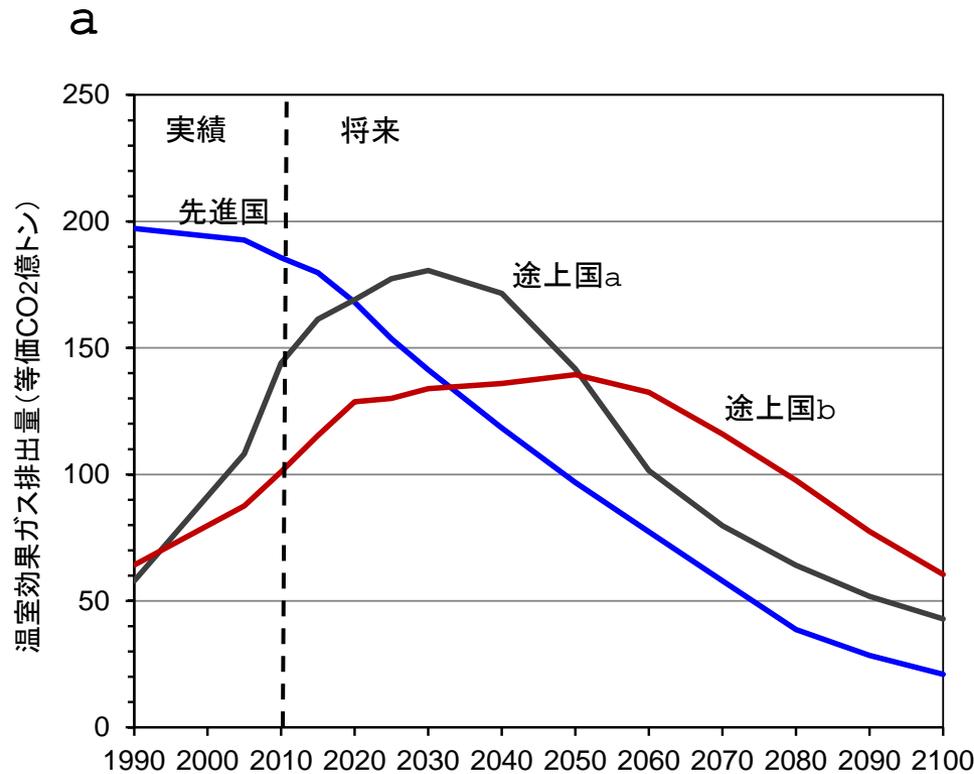
茅陽一、日経新聞「経済教室」、
2013年10月16日

平衡気候感度は3°Cで計算した場合。ただし、IPCC第4次評価報告書では最良推定値を3°Cとしていたが、第5次評価報告書では最良推定値は合意できなかったとしている。



気候感度がAR4時の最良推定値(3°C)のときは2.5°C安定化となるが、気候感度次第では2°C以内に収まる可能性も相応にある。また、21世紀後半以降の一層の技術革新が成功すれば、2°C以内も一層視野に入る。

2.5°C目標におけるGHG排出経路と削減費用



茅陽一、日経新聞「経済教室」、2013年10月16日

途上国a: ブラジル、インド、中国 途上国b: その他、途上国

2050年に世界排出量半減の場合、最小費用で達成の場合(限界削減費用均等)でも限界削減費用は480\$/tCO₂程度と推計される。実現は相当困難と見られる。

2.5°Cと2°C目標よりは気温上昇は高くなってしまいが、先進国、途上国a、途上国bで限界削減費用に差異を設けても、先進国の限界削減費用は2050年で140\$/tCO₂程度と比較的現実的なもの

温暖化リスク対応戦略の具体例(1/2)

| 緩和戦略 | | 適応戦略 | SRM(ジオエンジニアリング)戦略 | 総合的なリスクに関する留意点 |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 温暖化緩和目標 | 革新的技術開発戦略 | | | |
| 1.5°Cや2°C目標(1.5°Cや2°C達成を安全サイドで排出許容量を考える) | △(短期の排出削減に注力するあまり、長期技術開発への投資資金の懸念が生じる場合も) | — | — | 緩和策の経済的負担の大きさから、地球温暖化以外の持続可能な発展においてリスクの増大がもたらされる懸念もあり |
| 2°C目標(2°C達成を安全サイドで排出許容量を考える) | △(同上) | 2°C時想定 of 適応策 | — | 同上 |
| 2°C目標(同上) | ○(長期技術開発にも過不足なく投資) | 実際には2°Cを実現できない時のことや気候感度が高かったときのことを考えて3°C想定 of 適応戦略 | — | 温暖化が期待値よりもより大きく進んだ場合には、大きなダメージになり得る。緩和策の経済的負担の大きさの懸念も |
| 2°C目標(同上) | ○(同上) | 実際には2°Cを実現できない時のことや気候感度が高かったときのことを考えて3°C想定 of 適応戦略 | 適応で対応できなかったときのことを考え、SRMも準備しておく | 温暖化が期待値よりもより大きく進む場合には有効。一方、期待値どおりかあまり進まない場合には適応策のコスト増が経済的リスクになり得る。緩和策の経済的負担の大きさの懸念も |
| 2.5°Cや3°C目標(そもそも2°Cの現実性は乏しい可能性が高いのでより緩やかな目標を志向) | ○(同上) | 2.5°Cや3°C時想定 of 適応策 | — | 温暖化が期待値よりもより大きく進んだ場合には、大きなダメージになり得る |

注) 気温上昇の目標値も、平衡気温での目標なのか、例えば2100年時点での目標なのか等によって、必要になる排出削減レベルは異なってくるが、本表はあくまでリスク対応戦略のポートフォリオの例を示したため、その点については明確にしていない。

温暖化リスク対応戦略の具体例(2/2)

| 緩和戦略 | | 適応戦略 | SRM(ジオエンジニアリング)戦略 | 総合的なリスクに関する留意点 |
|---------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 温暖化緩和目標 | 革新的技術開発戦略 | | | |
| 2.5℃や3℃目標(同上) | ○(同上) | 2.5℃や3℃時想定 of 適応策 | 適応で対応できなかったときのことを考え、SRMも準備 | 温暖化が期待値よりもより大きく進んだ場合には、大きなダメージになり得る。ただし、万が一の際のリスク対処としてのSRMによりリスクを低減できる可能性も。 |
| 2.5℃や3℃目標(同上) | ○(同上) | 実際には2.5℃や3℃を実現できない時のことや気候感度が高かったときのことを考え、3.5℃や4℃時の適応策 | 同上 | 温暖化が期待値よりもより大きく進む場合には有効。一方、期待値どおりかあまり進まない場合には、適応策のコスト増が経済的リスクになり得る。 |
| 3.5℃や4℃目標 | ◎(短期での厳しい緩和を避け、その分を長期の技術開発に投資) | 4℃時想定 of 適応策 | 適応で対応できなかったときのことを考え、SRMも準備しておく。実施も組み込んだ戦略 | 長期的な革新的技術の開発が意図したように実現しなかった場合、気候変動の影響被害が大きなものに、そのとき適応策では多くの気候変動リスクを取り除くことが不可能な可能性も。SRMは実施した場合、別の大きなリスクを引き起こす可能性も |
| 特段の長期目標は置かず、緩和コストが妥当なレベルで収まる範囲で、できることを着実に実施 | ◎(同上) | 4℃時想定 of 適応策 | 同上 | 同上 |

注)ここに示したのはあくまで例示であり、このほかにも様々な組み合わせ等がある。

5. まとめ

- ◆ 地球温暖化の進行は明らかであり、長期的に大幅な排出削減を実現していくことは不可欠
- ◆ 長期的なビジョンの共有は重要。しかし、実現可能性が極めて乏しい厳しすぎる目標は、むしろ温暖化対策、枠組み構築を妨げる。IPCC第4次評価報告書以降の世界排出量の実績や、多くの研究成果などを踏まえると、産業革命以前比2°C目標はほとんど実現することは困難と考えられ、2.5°C目標など、目標を少し緩めた方が良い。
- ◆ もしくは、2°C目標の解釈を含めて、2°C目標実現のための排出経路は多数提案されるようになっており、必ずしも450 ppm CO₂eq安定化や2050年世界排出量半減が必要ではないことが示されるようになってきている。よって、2°C目標をそのままにしつつ、2050年世界排出量半減目標(様々な視点の分析から、まず実現は不可能と見られる)を変更することも一案。中国は2°C目標には賛成しているものの、世界排出量半減目標には賛成していないので、中国もこの案には乗りやすい。

- ◆ 地球温暖化の不確実性は大きく、そう簡単には小さくならないことを前提として、リスクマネージメントのあり方を温暖化適応策も含めて本格的に検討すべき
- ◆ 温暖化影響被害が想定以上に大きいリスクが強調されることも多いが、実際には、温暖化政策はかなり非効率であり(技術が適切に利用されなかったり、すべての国が同等の削減努力を行わなかったり、非効率な政策がとられる等)、排出削減費用が推計以上に大きなものになる可能性もあり、両者の不確実性を考える必要あり。
- ◆ 経済成長を大きく阻害する温暖化対策は継続不可能。グリーン成長を追求すべき。そのためには、温暖化影響被害と温暖化緩和(排出削減)費用の双方を考慮したバランスの良い排出削減目標が重要。
- ◆ 日本のみならず、世界のグリーン成長のためには、排出削減における限界削減費用がある程度、世界で協調していることが必須条件。日本のみの厳しい排出削減は、成長を妨げるだけではなく、世界の温暖化対策のためにも逆効果。
- ◆ 技術のイノベーションは大変重要。あまり高い限界削減費用にならずに、大幅な排出削減を実現できる技術の創出はいずれにしても必要。

付録

G8 ムスコカ・サミット(2010年6月)

- ◆ ラクイラにおいて合意したとおり、我々は、**産業化以前の水準からの世界全体の気温の上昇が摂氏2°Cを超えないようにすべきとの科学的見解を認識する。**この目標の達成には、世界全体の排出量の大幅な削減が必要である。この世界的な課題は、世界全体の取組によってのみ対処可能であることから、我々は、2050年までに世界全体の排出量の少なくとも50%削減を達成するという目標をすべての国と共有するとの我々の意思を改めて表明する。

気候変動枠組条約 COP15 コペンハーゲン合意(2009年12月)【COP17 (ダーバン)での合意文書もほぼ同様】

- ◆ 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という条約の究極的な目的を達成するため、我々は、**世界全体の気温の上昇が摂氏2度より下にとどまるべきであるとの科学的見解を認識し、**衡平の原則に基づき、かつ、持続可能な開発の文脈において、気候変動に対処するための長期的協力の行動を強化する。

しかし、「科学的知見」は必ずしも2°Cを超えないようにすべきとしているわけではない。(明確な閾値があるわけではなく、価値判断を伴うもの)

先進国と途上国の削減分担試算例（IPCC報告書）

| シナリオカテゴリー | 地域 | 1990年比温室効果ガス排出許容レベル | |
|--------------------------------|----------|--------------------------------|--------------------------|
| | | 2020年 | 2050年 |
| A. 450 ppm CO ₂ eq. | 付属書 I 国 | -25~-40% | -80~-95% |
| | 非付属書 I 国 | 南米、中東、東アジア、中国でベースラインから大幅な削減が必要 | すべての地域でベースラインから大幅な削減が必要 |
| B. 550 ppm CO ₂ eq. | 付属書 I 国 | -10~-30% | -40~-90% |
| | 非付属書 I 国 | 南米、中東、東アジアでベースラインから削減が必要 | ほとんどの地域でベースラインから削減が必要 |
| C. 650 ppm CO ₂ eq. | 付属書 I 国 | 0~-25% | -30~-80% |
| | 非付属書 I 国 | ベースライン | 南米、中東、東アジアでベースラインから削減が必要 |

出典) IPCC WG3 第4次評価報告書, 第13章

- シナリオカテゴリーA（450 ppm CO₂eq.、前頁のカテゴリーではシナリオ I 相当）を実現するためには、先進国が2050年に1990年比で80~95%削減、2020年に25~40%削減が求められるとしている。
- これらの数値は基本的に一人当たり排出量を2050年までに収斂という条件で算出されたもの。一人当たり排出量を収斂させることが衡平なのかという議論は必要だし、またどのような時間経緯で収斂させるべきかによって数値は全く異なってくるため、あくまで一つの試算例としてとらえるべき。