

## CIGS 地球温暖化シンポジウム

2013年7月10日(水) 13:00-18:00  
経団連ホール(千代田区大手町1-3-2)CO<sub>2</sub> 排出シナリオの科学性の検討について

電力中央研究所上席研究員 筒井純一

## (1) Z650 の背景と要点

国連の気候変動枠組条約で言及される気候安定化目標について、工業化前を基準とする世界平均の温度上昇を2°C以下にする目標が、事実上の国際合意となっている。様々な不確定要素があるが、2°C目標の達成に必要な温室効果ガスの排出削減は、2050年までに世界全体で現状から少なくとも半減、うち先進国の分担は8割減程度と認識されている。この排出削減は相当に厳しく、各国の削減計画の数値とは隔たりがあることが認識されている。2°C目標の科学的根拠は必ずしも明確でないが、2°C程度の温度上昇が数百年以上続くと、例えば、グリーンランド氷床融解で海面が7m上昇する、といった深刻な影響が懸念される。

こうした背景から、本研究会では、気候科学の観点から設計されたZ650と称するCO<sub>2</sub>排出パスを基に、技術の可能性や国際協力のあり方を検討している。Z650は、世界全体の人為起源のCO<sub>2</sub>排出量について、2020年にピークアウト、21世紀中の累積量を650 GtC程度、22世紀半ば以降ゼロとする推移を描いている(1 GtCは炭素(C)換算で10億トン、CO<sub>2</sub>全体ではその3.7倍)。図1に示すように、Z650の2050年の排出量は2000年比74%であり、2°C目標に対応する削減目標が大幅に緩和される。また、直近の排出実績とも整合する。

Z650の削減緩和は、ゼロエミッション安定化(Matsuno et al., 2012a, b)と呼ばれる気候安定化の新しい概念を導入して、2°C目標を柔軟に考えたことによる。ゼロエミッション安定化は、排出ゼロの下で平衡に向かう過程を意味する。海洋のCO<sub>2</sub>吸収は非常に長い期間続くので、排出がゼロになると、大気CO<sub>2</sub>濃度は低下し、それに応じて温度も低下に向かう。したがって、一時的に目標温度を超過しても、グリーンランド氷床融解のような深刻な影響は避けられる。

従来の安定化の概念は、大気CO<sub>2</sub>濃度(実際にはCO<sub>2</sub>以外の要因も含む等価CO<sub>2</sub>濃度)を一定にする濃度安定化である。この考え方では、図1に示すように、気候系の慣性によって、濃度安定化が達成された後も温度上昇が数百年続く。すなわち、遠い将来の温度上昇を目標値以下にするために、近い将来に過大な排出削減を強いることになる。

先進国の排出量を2050年に8割減とするのは、前例のないほど急速な削減率となるが、例えば6割減であれば、その削減率は半分程度になる。Z650の排出量を単純に先進国と途上国に分けると、先進国6割減の場合、途上国は2025年に1.5倍程度となり、以降は減少

するものの 2050 年でも現状並みが確保される。したがって、Z650 は、先進国と途上国の双方が妥協できる排出パスと言える。なお、ここでの先進国と途上国の区分は、気候変動枠組条約が制定された 1992 年の状況に基づく。

## (2) 最新の気候科学に基づく温度上昇の検討

Z650 は、目標温度を一時的に超過する、オーバーシュート型の排出パスである。この場合、温度変化の論点として、今世紀の比較的急激な温度上昇への適応、およびゼロ排出後の温度低下の実現性が挙げられる。前者については、想定以上の気候感度（後述）に対するリスク管理が求められる。後者については、自然の CO<sub>2</sub> 吸収による濃度低下と、平衡状態に向かうゆっくりした気候応答に関係する不確実性がある。Z650 は簡易気候モデルで設計されており、ゼロ排出で温度が低下し、変化した気候が復元するかどうか、本格的な気候モデルを用いて検討する必要がある。

2012 年 7 月のワークショップでは、複雑な気候モデルで Z650 の排出量を与えて計算した結果を示し、簡易モデルでは自然の CO<sub>2</sub> 吸収が過大評価である可能性と、複雑なモデルでも長期的に温度が低下する傾向を議論した。自然の CO<sub>2</sub> 吸収は地球規模の炭素の循環に関係し、長期の温度低下は、海洋の熱吸収の度合いが関係する。これらは、モデルの諸過程の表現によって特性が大きく異なるため、さらに多くの気候モデルを相互に比較する必要がある。2013 年 9 月に発表される IPCC 第 5 次評価報告書(AR5)は、CMIP5 (Taylor et al., 2012)と呼ばれる気候モデルの相互比較研究の成果が基になっている。以下では、この成果に基づいて Z650 の温度変化を検討した結果を示す。炭素循環についても今後調査する予定である。

CO<sub>2</sub> 濃度変化に対する気候モデルの温度応答は、主に 2 種類の気候モデル実験から評価される。一つは、瞬間的に濃度を 4 倍にして 150 年間の応答を調べる実験、もう一つは、年率 1%で徐々に濃度を上げて 140 年間の応答を調べる実験である。詳細は省略するが、これらの実験から、気候感度をはじめとする温度応答の特性が定量化される。本研究では、複雑な気候モデルで多数の計算をする代わりに、個々のモデルの応答特性を基に、Z650 の濃度パスを所与として、それぞれのモデルで見込まれる温度変化を推定する。

図 2 に結果を示す。個々のモデルの応答特性を反映した温度変化（灰色線）は、一部に例外が見られるが、温度上昇は 2100 年頃にピークとなり、その後は徐々に減少もしくはほぼ一定で推移する。全体的な温度上昇の度合いは、モデルの気候感度によって大きく異なる。気候感度とは、放射強制力（CO<sub>2</sub> 濃度変化などに起因する放射的な外力）に対する温度上昇の度合いであり、平衡気候感度（equilibrium climate sensitivity、以下 ECS）と過渡気候応答（transient climate response、以下 TCR）が代表的な指標である。ECS は、CO<sub>2</sub> 濃度倍増による平衡時の温度上昇と定義され、数百年以上の変化の指標となる。2007 年の IPCC 第 4 次評価報告書(AR4)では、ECS は 2—4.5℃の可能性が高く（66%超）、best estimate が 3℃とされた。この不確実性の原因はかなり特定されてきているが、その幅自体はあまり変わっていない。一方、TCR は、1%漸増実験の 2 倍時点（70 年目）の温度上昇と定義され、今世紀の変化の指標となる。AR4 では、TCR は 1℃以上の可能性が非常に

高く（90%超）、3°Cを越える可能性は非常に低い（10%未満）と評価された。best estimateは示されていないが、AR4 時点の気候モデルの平均は 1.8°C程度である。すなわち、濃度倍増によって最終的に3°C上昇するとしても、すぐに実現するのはその6割程度と理解される。

図 2 では、多数モデルの平均的な温度特性で計算した結果（赤実線、ECS 3.2°C、TCR 1.8°C）と従来の簡易モデルによる温度変化（青実線、ECS 3.0°C、TCR 1.8°C）も示している。ピーク温度に大きな違いはないが、前者の方がピーク後の温度低下が緩やかである。ECS の値を 3.0°Cに調整すると（赤破線）、温度はほぼ 2°Cで推移する。気候感度の値は、観測データに基づく最新の研究(Otto et al., 2013)で、やや低目の値が示されており、AR5 の発表を前に注目を集めている。2000 年代の観測データに基づく TCR は 1.3°C程度と推定されており、仮にその値に調整した場合（赤点線）は、Z650 の温度上昇は 1.5°C程度になる。

### (3) まとめ

Z650 は、実現可能な排出削減の道筋を探るために、気候科学の観点から考案された CO<sub>2</sub> 排出パスである。排出ゼロの下で長期的な気候復元を目指す考えによって、先進国は現実的なペースで削減し、途上国は経済発展に必要な排出余地を得ることができる。近年の排出実績とも整合する。

Z650 は、目標温度を一時的に超過することを前提としており、想定を越える温度上昇の可能性や長期的な気候復元の実現性の観点から、さらに検討が必要である。この点については、炭素循環と温度応答の理解向上が鍵である。最新の気候モデルの温度応答を考慮すると、Z650 の温度変化は、これまで示したものと比べて、ピーク値が減少して 2°C程度に収まる一方で、気候復元はより緩やかになる可能性が示唆された。

Matsuno, T., K. Maruyama, and J. Tsutsui, 2012a: Stabilization of atmospheric carbon dioxide via zero emissions—An alternative way to a stable global environment. Part 1: Examination of the traditional stabilization concept. Proceedings of the Japan Academy, Ser. B, 88, 368-384.

Matsuno, T., K. Maruyama, and J. Tsutsui, 2012b: Stabilization of atmospheric carbon dioxide via zero emissions—An alternative way to a stable global environment. Part 2: A practical zero-emissions scenario. Proceedings of the Japan Academy, Ser. B, 88, 385-395.

Taylor, K. E., R. J. Stouffer, and G. A. Meehl, 2012: An overview of CMIP5 and the experiment design. Bull. Amer. Meteor. Soc., 93, 485-498.

筒井純一, 2013: 新しい気候安定化の概念に基づく現実的な CO<sub>2</sub> 排出削減の道筋. 電力中央研究所 研究報告 V12007.

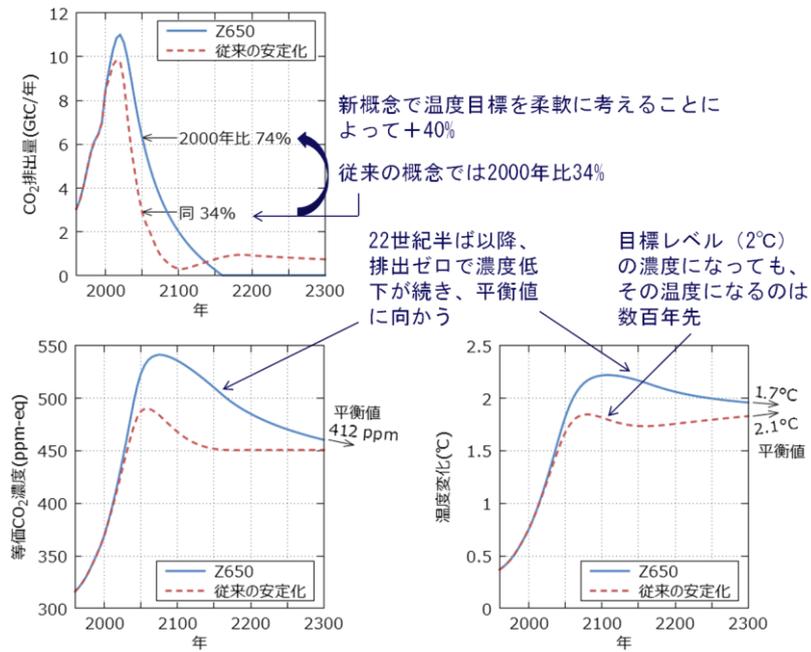


図 1: Z650 と従来の 2°C 目標に対応する濃度安定化の比較。筒井(2013)に基づいて作成。

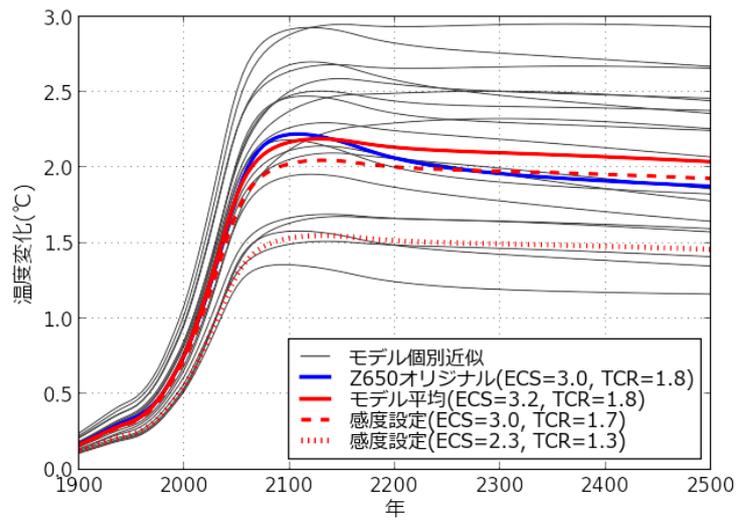


図 2: Z650 の濃度変化 (図 1 左下) に対して異なる温度応答特性を表現した簡易モデルで計算した温度変化。灰: CMIP5 の各モデルの近似、青: Z650 オリジナル、赤: CMIP5 の応答特性の平均 (破線と点線は気候感度を凡例に示す値に調整)。