

気候感度および気温上昇停滞（ハイエタス）に関する最新の科学的知見

2015年11月12日

東北大学 明日香壽川

本稿では、地球温暖化問題を考える上で重要である気候感度（Climate sensitivity：大気中の二酸化炭素濃度が二倍になった時の気温変化量）および気温上昇停滞（Hiatus：以下ではハイエタス）に関する最新の科学的知見を紹介する。同時に、日本において散見される最新の科学的知見に基づくと言いながら温暖化対策の喫緊性を否定する議論が実際には最新あるいはロバストな科学的知見には必ずしも基づいていないことを明らかにする。

1. 気候感度

現在、日本においては、“最新の IPCC 第 5 次評価報告書（IPCC AR5）や科学的知見に基づいて”という理由付けで温室効果ガス（GHG）排出経路の計算に用いる気候感度の最良推定値（best estimate）の下方修正の必要性を示唆する議論がある（例えば山口 2014；山口 2015；秋元 2014）。

確かに、2013 年末に発表された IPCC AR5 においては、5-95%の信頼区間で気候感度を 1.5-4.5°Cとした。また、最良推定値は提示されなかった。一方、2007 年に発表された IPCC 第 4 次評価報告書（IPCC AR4）では、5-95%の信頼区間で 2.0-4.5°C、最良推定値は 3°Cと提示された。

しかし、IPCC AR5 において下限が広がった理由は、IPCC AR4 以降、気候感度の様々な計算方法の一つであるエネルギー・バジェット・アプローチを用いた研究（たとえば Otto et al. 2013）での試算結果が低い数値を示したからである（Mann 2014）。その一方で、IPCC AR4 での推定の上限に近いような高い試算数値を示す研究論文（例えば Fusullo and Trenberth 2012）も同時期に発表されている。すなわち、複数のアプローチによる結果が整合的でなかったために最良推定値が提示されなかった。言い換えれば、「その時点の証拠では最良推定値を提示できない」という点で IPCC AR5 の執筆者間での合意があった。

山口（2014）や秋元（2014）は、2015 年の先進国首脳会議（G7 サミット）で決定した「2050 年までに 2010 年比で 40%から 70%の幅の上方の削減」のようなレベルの GHG 排出削減に疑義を唱える文脈で、エネルギー・バジェット・アプローチを用いた研究である Lewis and Curry (2014) を引用する。確かに、この IPCC AR5 後に発表された研究論文は低い気候感度を示している。しかし、この研究論文の方法論や結論に対しては、1) エアロゾール・海洋蓄熱量などに関する最新データを用いていない、2) 5-95% 信頼区間の数値は他の研究で示されている 5-95% 信頼区間の数値と大きく変わらない、3) 最近のハイエタスが影響している（ハイエタスに関しては後述）、などが指摘されている（Miller 2014；Rogelj et al. 2014）。また、IPCC AR5 後でも、IPCC

AR4 での推定の上限に近いような高い数値を示す研究論文（例えば Sherwood et al. 2014 ; Fasullo et al. 2015）が IPCC AR5 前と同じように発表されている。

さらに、最近になってエネルギー・バジェット・アプローチが、その簡略化した前提（気候フィードバックは時間的に変化しない）のために気候感度を低く見積もるという方法論的問題を指摘する研究論文が複数発表されている（例えば Armour et al. 2013 ; Long and Collins 2013）。そのような論文の中には、エネルギー・バジェット・アプローチ自体の考案者である Jonathan Gregory によるものさえある（Gregory et al. 2015）。

2. 気温上昇停滞（ハイエタス）

人為的な CO₂ 排出による温暖化や積極的な温暖化対策に疑義を持つ人々が用いる典型的な議論の一つに、1998 年以降、気温上昇が停滞しているというものがある（例えば Watts 2008）。しかし、このハイエタスは 1998 年がエルニーニョ現象によって世界平均気温が異常に高く、その後の 2000 年代は冷却化をもたらすラニーニャ現象によって見かけ上では世界平均気温の上昇のスピードが小さくなったことが一つの要因である（IPCC AR5 政策決定者用サマリー, p.5）。そのエルニーニョやラニーニャは地球の内部変動という自然現象によるものであり、気温変化への影響という意味では長期的には相殺されてゼロとなる。すなわち、IPCC AR5 などで強調しているように、地球温暖化を議論する際には短期的傾向を見ても意味がない。

また最近になって、1998 年以降の気温上昇停滞の一部が、1) 極地域における観測地点の不備、2) 異なる海水温観測方法を用いた観測データ間の未調整、3) 統計的処理の誤り、などによることを示す研究論文が複数発表されている（Cowtan and Way 2014 ; Karl et al. 2015 ; Rajaratnam et al. 2015）。すなわちハイエタスは当初思われていたものより小さかった可能性がある。

そもそも数年～10 年程度のスケールでは自然変動の影響が出やすい気温データを用いて気候変動問題における長期傾向や気候感度を論じることには問題がある（Fusullo and Trenberth 2012 ; Schmidt 2015 ; Mann 2014）。なぜなら、温室効果によって地球に蓄えられるエネルギーの 9 割以上は海が吸収するからである（IPCC AR4 WG1 Chap.5, 5.2.2.3）。すなわち、陸上あるいは海上の気温として現れる地表のエネルギー吸収分は非常に小さい。それゆえに、エルニーニョのような内部変動がもたらすノイズによって地表気温は大きく影響を受けて変動する。一方、海洋の熱吸収量の変化を見ると、実際に 1998 年も停滞することなく一定の割合で上昇中である（例えば Nuccitelli et al. 2012）。すなわち、地球全体で見れば温暖化は途切れなく続いている。

3. まとめ

以上述べたように、最近になって「気候感度は小さい」「温暖化は止まった」という二つの議論に対して否定的な研究論文が複数編発表されている。もちろん、これらへ再反論するような研究論文が発表されたり、新たな知見が見出されたりする可能性はある。また最新の研究論文が必ずしも正しいとは限らない。しかし、少なくとも現時点において、気候感度の最良推定値を下方修正することに科学者間で合意があるわけではない。一方、IPCC 評価報告書などで繰り返し強調しているように、「たとえハイエタスが存在したとしても長期的な気温上昇や気候変動とは関係ない」というのが科学者間での合意である。

今回の気候感度およびハイエタスをめぐる議論によって、ある意味では温暖化問題に関わる国際的な科学コミュニティの健全さが示されたと言いうる。なぜなら、IPCC AR5 においては、それまでの主流的な方法・試算値と異なる方法・試算値が提示された場合、それを拒否することなく取り入れたからである。また、意見が異なる場合には、合意を無理に形成しないことも示されたと言える。

なお、秋元 (2014) は「気候感度は小さい」ということを示すために「平衡気候感度に関する 2011 年以降の論文のサーベイ」というタイトルの図を用いている (例えば秋元 2014, p.2 の図 1)。この図の原典は [Watts-up-with-that](http://wattsupwiththat.com) というサイトにある。原典の図は、説明文章およびサイトの URL 名¹ (脚注 1 参照) から読み取れるように、IPCC よりも低い数値を示している論文だけを意図的に集めて整理したものである。したがって、秋元 (2014) の図のタイトルはミスリーディングだと思われる。

謝辞：本稿に対して独立行政法人国立環境研究所地球環境センターの江守正多氏と塩竈秀夫氏に有益なコメントを頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 秋元圭吾 (2014) 「気候感度の評価と IPCC WG3 AR5 長期シナリオ推計で用いられた気候感度」、中央環境審議会地球環境部会 第三回 2020 年以降の地球温暖化対策検討小委員会 産業構造審議会産業技術環境分科会地球環境小委員会約束草案検討ワーキンググループ、2014 年 12 月 5 日参考資料 2。
http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/sangyougijutsu/chikyu_kankyo/yakusoku_souan_wg/pdf/003_s02_00.pdf [Accessed Sep 17, 2015]
- Armour K. C. et al. (2013) “Time-Varying Climate Sensitivity from Regional Feedback”, *Journal of Climate*, Vol.26. DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00544.1
- Cowan K, Way RG (2014) “Coverage bias in the HadCRUT4 temperature series and its impact on recent temperature trends”, *Q J R Meteorol Soc.*, doi:10.1002/qj.2297
<http://onlinelibrary.wiley.com/enhanced/doi/10.1002/qj.2297> [Accessed Sep 17, 2015]
- Fasullo John and Trenberth Kevin (2012) “A Less Cloudy Future: The Role of Subtropical Subsidence in Climate Sensitivity”, *Science*, 9 November 2012: Vol. 338 no. 6108, pp. 792-794.
<http://www.sciencemag.org/content/338/6108/792.abstract> [Accessed Sep 17, 2015]
- Fasullo J.T., Sanderson B. M, Trenberth K.E. (2015) “Recent Progress in Constraining Climate Sensitivity With Model Ensembles”, *Curr Clim Change Rep*, DOI 10.1007/s40641-015-0021-7

¹ [Watts-up-with-that](http://wattsupwiththat.com) というサイトの URL は下記。

<http://wattsupwiththat.com/2014/09/25/the-collection-of-evidence-for-a-lower-climate-sensitivity-continues-to-grow-now-up-to-14-papers-lower-than-ipcc/>

- Gregory JM, Stouffer RJ, Raper SCB, Stott PA, Rayner NA (2002) “An observationally based estimate of the climate sensitivity”, *J. Clim.*, 15:3117–3121.
- Gregory JM, Andrews T., Good P. (2015) “The inconstancy of the transient climate response parameter under increasing CO₂”, accepted for publication in *Phil. Trans. R. Soc. A* 5 6 May 2015.
- Karl Thomas, Arguez Anthony, Huang Boyin, Lawrimore Jay, McMahon James, Matthew Menne, Peterson Thomas, Vose Russell and Zhang Huai-Min (2015) “Possible artifacts of data biases in the recent global surface warming hiatus”, *Science*, 26 June 2015: 1469-1472, Published online 4 June 2015. [DOI:10.1126/science.aaa5632]
- Lewis Nicholas and Judith Curry (2014) “The implications for climate sensitivity of AR5 forcing and heat uptake estimates” *Climate Dynamics*, September 2014.
- Long David J and Collins Matthew (2013) “Quantifying global climate feedbacks, responses and forcing under abrupt and gradual CO₂ forcing”, *Clim Dyn*, 2013) 41:2471–2479 DOI 10.1007/s00382-013-1677-0
- Mann Michael (2014) “Earth Will Cross the Climate Danger Threshold by 2036: The rate of global temperature rise may have hit a plateau, but a climate crisis still looms in the near future”, *Scientific American*, Vol.310, Mar 18, 2014.
<http://www.scientificamerican.com/article/earth-will-cross-the-climate-danger-threshold-by-2036/> [Accessed Sep 17, 2015]
- Miller Richard (2014) “Climate response estimates from Lewis & Curry”, *Realclimate*, 6 October 2014.
<http://www.realclimate.org/index.php/archives/2014/10/climate-response-estimates-from-lewis-curry/> [Accessed Sep 17, 2015]
- Nuccitelli et al. (2012) “Comment on Ocean heat content and Earth's radiation imbalance. II. Relation to climate shifts”, March 31, 2012.
http://www.skepticalscience.com/docs/Comment_on_DK12.pdf
- Rajaratnam Bala, Romano Joseph, Tsiang Michael, Diffenbaugh Noah S. (2015) “Debunking the climate hiatus”, *Climatic Change*, published on line Sep17, 2015, DOI 10.1007/s10584-015-1495-y.
<http://link.springer.com/article/10.1007/s10584-015-1495-y>
- Rogelj J, Meinshausen M, Sedláček J, Knutti R (2014) “Implications of potentially lower climate sensitivity on climate projections and policy”, *Environ Res Lett*, Vol.9. doi:10.1088/1748-9326/9/3/031003
- Schmidt Gavin (2015) “NOAA temperature record updates and the ‘hiatus’”, *Realclimate*, 4 June 2015.
<http://www.realclimate.org/index.php/archives/2015/06/noaa-temperature-record-updates-and-the-hiatus/> [Accessed Sep 17, 2015]
- Sherwood S, Bony S, Dufresne J-L. Spread in model climate sensitivity traced to atmospheric convective mixing. *Nature*. 2014;505(7481):37–42. doi:10.1038/nature12829.
- Watts Anthony (2008) “January 2008 – 4 sources say “globally cooler” in the past 12 months”, WUWT, February 19, 2008.

<http://wattsupwiththat.com/2008/02/19/january-2008-4-sources-say-globally-cooler-in-the-past-1-2-months/> [Accessed Sep 17, 2015]

山口光恒（2015）「気候感度の下方修正とパリ合意への影響」環境経済・政策学会 2015 年大会 発表, 2015 年 9 月 18 日, 京都大学.

http://www.seeps.org/meeting/2015/submit/abst/1003_Gbc6b7P8.doc

[Accessed Sep 17, 2015]

山口光恒（2014）「IPCC 第 5 次報告を踏まえての今後の温暖化対策への提言」革新的環境技術 シンポジウム 2014 ～クリーンで経済的な低炭素社会を目指して～2014 年 12 月 17 日.

<http://www.rite.or.jp/news/events/pdf/yamaguchi-ppt-kakushin2014.pdf>

[Accessed Sep 17, 2015]