

## 気候変動における不確実性問題： 気候感度に関する最新の科学的知見を中心に

2017年2月9日

東北大学 明日香壽川

### 1. はじめに

気候変動の科学は多くの不確実性を内包している。例えば、気候変動の要因は複数個が存在し、その影響度の相対的大きさの分析に関する研究は多くの研究者によって継続的に行われている。それは研究者による健全な科学的営為であり、科学の発展に貢献しようとするものである。

しかし、不確実の存在は、温室効果ガス（GHG）排出削減の必要性や緊急性を矮小化あるいは否定するような議論にしばしば結びつく。そして、そのような議論の多くは、科学的営為というよりも、温暖化対策が進むことによって経済的不利益を受ける人々によって生み出され、拡散されていく。

2013年10月から順次発表された気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第五次評価報告書（AR5）における気候感度（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）の推定値の下限変更は、いわゆる温暖化懐疑論者にとって格好の攻撃材料となった。日本でも、“最新のIPCC AR5 や科学的知見に基づいて”という理由付けで、GHG 排出経路の計算に用いる気候感度最良推定値の下方修正の必要性や短期的な排出削減の不要性を示唆する議論（例えば山口 2014；山口 2015；秋元 2014；杉山 2016）が出されている。

著者は、すでに2015年11月に「気候感度および気温上昇停滞（ハリエタス<sup>1</sup>）に関する最新の科学的知見」という小論（明日香 2015）を発表している。本稿では、その続編として、気候科学に関するより新しい科学的知見をもとに気候変動に関する不確実性問題について考える。それによって、日本において散見される温暖化対策の喫緊性を否定する議論が実際には最新あ

---

<sup>1</sup> ハリエタス（hiatus）とは一時的に気温上昇が停滞する現象を意味する。実際に1998年からの全球平均気温の上昇が停滞したことによって、いわゆる温暖化懐疑論者から人為的な二酸化炭素排出による温暖化を否定するような議論が展開され、それをメディアが報じた。しかし、まず1998年を基点にすることが間違っている。なぜならば、人為的な二酸化炭素排出による温暖化は長期的な変動であり、少なくとも30年程度のタイムフレームで考える必要があるからである。また、1998年を基点にした場合の気温上昇停滞の主な理由は、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からである。これは、気候科学の専門家の間では共通認識となっており、それが正しかった事は2015年および2016年が観測史上最高の気温を記録したことによって証明されている。さらに、観測方法の誤差が1998年以降の一時的な気温上昇停滞の原因である事を示す研究も複数出されている。そして、太陽からのエネルギーの90%以上は海洋が吸収し、大気気温は10%以下しか吸収しない。したがって、気候変動をもたらす地球温暖化の指標としては大気気温はそもそも適切ではない。すなわち人為的な二酸化炭素排出による長期的な気温上昇あるいは気候変動という意味ではハリエタスは存在しなかった。詳細は本稿のAppendixを参照のこと。

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。なお、本稿では主に気候感度について論じる。ハイエタスに関しては本稿の脚注 1 および Appendix を参照されたい。

## 2. IPCC 第五次評価報告書発表前後における気候感度をめぐる議論

ここでは、IPCC AR5 発表前後から最近までの気候感度に関する国内外での議論を、ほぼ時系列的に紹介する。

### 2.1. 英エコノミスト誌の記事

2013 年 5 月 30 日、英エコノミスト誌が “A sensitive matter” という記事を掲載した (Economist 2013)。内容は、気候感度に関するもので、IPCC AR5 発表前にその内容をリークするようなニュアンスの記事であった。この記事の著者は、ハイエタスが事実であり科学的な説明が難しいという前提で記事を書いており (この前提自体が正しくない。脚注 1 および Appendix を参照のこと)、主にノルウェーの研究者らによる「気候感度は低い」という論文 (この論文は査読付きの科学雑誌に掲載されたものではなかった) を紹介した。このノルウェーのグループが用いた気候感度計算方法がエネルギー・バジェット・アプローチ (energy budget approach) と呼ばれるものであり、実際に 2000 年から 2010 年までの気温の観測データを用いて気候感度を計算すると低い値になることを示している (ゆえに、前出のハイエタスの信憑性が重要となる)。

一般に、気候感度の数理モデルによる主な計算方法としては、このエネルギー・バジェット・アプローチと大気循環モデル (GCM) の二つの方法がある<sup>2</sup>。エネルギー・バジェット・アプローチは、2000 年以降に開発された方法であり、トップダウンでシンプルなモデル構造を持つ。具体的には、GHG 濃度、エアロゾル濃度、全球平均気温などに関する方程式に 1850 年頃からの観測気温データなどを代入して気候感度を計算する。後者の GCM は、より複雑なモデルであり、大気・海洋・陸地・雪氷などの変化を考慮した方程式を用いて地球の気候を再現し、大気大循環、海洋大循環、陸面水文過程、および海水過程とそれらの間の相互作用に加え、大気化学や海洋・陸面の生物地球化学過程と気候の相互作用まで考慮する。

しばしば「エネルギー・バジェット・アプローチは、モデルに依存しない、観測値に基づく方法だ」という議論がなされる。しかし、これは正しくない。エネルギー・バジェット・アプローチもエネルギー・バランス・モデル (energy balance model) という非常に単純な気候モデルに依存している。単純なモデルは、GCM などの複雑なモデルと比べて理屈がわかりやすく、たくさんの事例を計算できるという長所はある。その一方で、現実世界の量と定量的に対比できる数値を出す能力は劣る。

2007 年に発表された IPCC 第四次評価報告書 (AR4) では、GCM、測器観測、古気候復元に関する論文の結果を統合的に採用した気候感度の数値を示した。一方、IPCC AR5 の場合は、その締切直前にエネルギー・バジェット・アプローチを用いた研究論文がいくつか発表され (例：

---

<sup>2</sup> 他の気候感度の計算方法としては、1) 火山噴火やエルニーニョ・ラニーニャなど、年々スケールの大きな変動から求める方法、2) 古環境の代替指標や、それをもとにしたモデリングの結果を利用した古気候学的なアプローチ、などが存在する (釜江・吉森 2014)。

Otto et al. 2013; Adrian et al.2012)、それらの結果が IPCC AR5 に採用された。一方、エネルギー・バジェット・アプローチの問題点を指摘した研究論文は IPCC AR5 の採用条件（一定の期日までに雑誌などで発表）をタイミング的に満たすことができなかつたために IPCC AR5 に反映されなかつた<sup>3</sup>。

したがって、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（IPCC AR4 では 2.0-4.5°C）。また、複数のアプローチによる結果が整合的でなかつたために最良推定値が提示されなかつた（IPCC AR4 では 3°C）。なお、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 IPCC AR5 においては、低い気候感度を示す論文と同時に、高い気候感度を示す論文も採用されている。

## 2.2. エネルギー・バジェット・アプローチの問題点

IPCC AR5 には間に合わなかつたものの、2013 年前後から、気候感度の専門家の間でこのエネルギー・バジェット・アプローチに関する議論が集中的に行われた。エネルギー・バジェット・アプローチの問題点として指摘されたのは、1) エアロゾル・海洋熱蓄積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) 1998 年以降のハイエタスが影響している（ハイエタスに関しては脚注 1 および Appendix を参照のこと）、などである（Miller 2014 ; Rogelj et al. 2014）。

また、その簡略化した前提（例：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傾向がある（Armour et al. 2013 ; Long and Collins 2013）という指摘もあり、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）。

さらに、より最近の論文としては、Shindell (2014) が、近年（1850 年以降）の観測温度に基づいたエネルギー・バジェット・アプローチのような方法はエアロゾルの影響を過小評価しているために気候感度を低めに見積もると指摘している。Marvel et al. (2015) は、個別の強制要素（GHG, エアロゾル, 土地利用）の放射強制力（気温変化の要因となる大きさ<sup>4</sup>）ごとに気温変化をシミュレートすることによってエネルギー・バジェット・アプローチが気候感度を低めに見積もることを示し、その具体的な大きさも明らかにしている。釜江・吉森（2014）も、エネルギー・バジェット・アプローチのような気候システムへの強制と応答を簡易なボックスモデルのエネルギー収支で議論する試みは、その応答を正當に評価しない可能性がある」と論じている。

以上述べたように、IPCC AR5 以降、「気候感度は小さい」という議論に対して否定的な研究論文が数多く発表されている。また、IPCC AR4 における気候感度推定値の上限に近いような高

---

<sup>3</sup> 現在の IPCC 評価報告書作成ルールでは、提出のタイミングが間に合わなかつた研究論文の知見は反映されない。Shumidt (2016) は、このようなルールにも問題があると指摘している。

<sup>4</sup> 放射強制力とは、その地球のエネルギー・バランスへの外的要因（二酸化炭素濃度や太陽放射などの変化）の強さを示す。様々な放射強制力に対して、気候システムが応答して海面水温や大気温度・水蒸気量・循環など様々な変化した場合の全球年平均気温変化が気候感度となる（気候感度は複雑な気候フィードバックを単純化して一つの数値で表している）。

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 IPCC AR5 後にも発表されている。さらに、前出の「温暖化は止まった」というハイエタスの議論も、2015 年と 2016 年の全球平均気温が観測史上最高を更新したことなどによって、その存在自体が否定されている（脚注 1 および本稿 Appendix を参照）。そのため、前述の英エコノミスト誌が引用したノルウェーのグループによる論文の方法論や論理に問題があることも明らかになっている。

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は、気候感度の最良推定値である 3°C を下方修正する必要はないというのが気候感度の専門家の間での共通認識である。

### 2.3. 日本での議論

日本では、山口（2014）や秋元（2014）が、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）を引用した議論を展開している（Lewis and Curry 2014 は、同じエネルギー・バジェット・アプローチを用いた Otto et al. 2013 よりもより低い気候感度を示している）。また、日本政府が策定した「地球温暖化対策計画」にも、気候感度に不確実性があるとの記載が盛り込まれている（電気新聞 2016）。しかし、これらが本稿で紹介したようなエネルギー・バジェット・アプローチに関する批判的議論や Lewis and Curry（2014）と Otto et al.（2013）における方法論や様々なパラメーターに対する前提の違いなどを十分に理解して引用あるいは策定されているかは不明である<sup>5</sup>。

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 というサイトにある。この原典の図は、説明文章およびサイトの URL 名<sup>6</sup>から読み取れるように、IPCC AR4 示された数値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）の議論はミスリーディングだと思われる。

---

<sup>5</sup> Lewis and Curry（2014）は、Otto et al.（2013）に比較して海洋熱蓄積率の大きさを小さく見積もっている。これが、両者の間での気候感度の大きさの違いの主な要因だと思われる。なお、Lewis and Curry（2014）の共著者の一人である Judith Curry は、これ以外には気候感度に関する論文を発表していない。また、2015 年 4 月 15 日に開催された米下院科学・宇宙・技術委員会の公聴会で「ハイエタスなどの理由から人為的な GHG 排出は温暖化の主な要因ではない」と証言している（Curry 2015）。

<sup>6</sup> Watts-up-with-that（WUWT）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/> なお、この WUWT というサイトは、いわゆる温暖化懐疑論者のサイトとして有名であり、温暖化の原因として「昆虫の大量発生」

[\(https://wattsupwiththat.com/2013/06/04/an-engineers-take-on-major-climate-change/\)](https://wattsupwiththat.com/2013/06/04/an-engineers-take-on-major-climate-change/)、「地球内部での核分裂」

<http://archive.is/rLerb> などの説が紹介されている。

### 3. 不確実性の議論における日本の特殊事情

温暖化対策の進展によって影響を受ける利害関係者が存在する限り、世界でも日本でも不確実性を理由に温暖化対策の必要性や緊急性を否定する議論が絶えることはないだろう。エルニーニョなどの自然現象が10年程度の周期で現れることを利用して、しばらくたってから再び同じようなハイエタスの議論を繰り返すことも十分に予想される。

ただし、日本において不確実性などが議論される社会背景には、強力な化石燃料ロビーが存在する欧米や発展する権利を主要とする新興国とは若干異なるものがあると思われる。もちろん、日本でも化石燃料ロビーは存在し、エネルギー多消費産業の影響力が大きい産業団体などが温暖化対策に消極的であるのは間違いない。しかし、下記のような3点において日本は特殊だと思われる。

第一は、気候変動被害に対する実感の乏しさである。現在、多くの途上国および一部の先進国で、洪水、干魃、熱波による犠牲者が多く出ている。英国のシンクタンクである海外開発研究所(ODI)の研究者は、このまま温度上昇が続くと2030~2050年に農業生産の低下、水不足、商品価格上昇、栄養不良などによって世界全体で7億2千万の人々が貧困層(その大部分が途上国の人々)に逆戻りすると報告している(Granoff et al. 2015)。先進国である米国でも、干魃、洪水、山火事の被害が連日報道されている。欧州では、周知のようにアフリカや中東からの難民が年間何万人あるいは何十万人のレベルで殺到しており、国際移住機関(IOM)は、2016年に欧州を目指して地中海を渡航中に死亡したり、行方不明になったりした難民・移民らが5079人に上ったとしている(IOM 2017)。これらの難民は気候変動の影響(水・食料不足、紛争など)による人々も少なくなく、国際社会においては気候変動問題が極めて深刻な安全保障問題として認識されつつある<sup>7</sup>。例えば米国のバーニー・サンダース上院議員らは、「気候変動は米国にとって最も深刻な安全保障問題」という発言を繰り返している。一方、日本では、洪水、干魃、台風などによる大きな被害は相対的に見れば他の国よりも少なく、メディアが取り上げる回数も少ない。難民問題は対岸の火事の感すらある。すなわち、一般市民においては、気候変動問題が国や地域の安全保障に関わるようなレベルのリスク問題であるという認識は乏しい。その結果、バーニー・サンダース上院議員のような発言をする政治家は日本では皆無である。

第二は、予防原則に対する認識の乏しさである。予防原則とは、「深刻な、あるいは不可逆的な被害の恐れがある場合、完全な科学的確実性の欠如が、費用対効果の大きな対策を延期する理由として使われてならない」というものである。予防原則の適用が重要となるのは、取り

---

<sup>7</sup> シリア難民問題の大きな要因の一つとして気候変動による長期干ばつがあるという議論がある。すなわち、気温上昇が風の流れを変えることによってシリア地域の降雨量を減少させ、土壌水分を喪失させた。このため2006~2010年に史上最悪と言われる干ばつが発生し、アサド政権が水を大量に必要とする綿花栽培を奨励した事も重なって、地下水の枯渇、農業生産量の3分の1減少、ほぼ全ての家畜の喪失、穀物価格の高騰、栄養不良による子供の病気蔓延が起きた。その結果、すでにイラク難民であふれていた国境沿いの都市に150万人以上のシリア農民が新たに難民として流入し、まさにこのような都市で2011年の「アラブの春」につながる反政府革命暴動が勃発したという議論である。このことは、人為的CO<sub>2</sub>排出を考慮した気候モデルによるシリアでの気温上昇・降水量減少の予測値と観測値の一致や地域別の細かい時系列分析を行った複数の研究(例: De Châtel 2014; Gleick 2014)が発表されてから大いに人口に膾炙するようになった。



返しのつかない被害の恐れがあっても、その被害の大きさが不確実性も伴う状況において、費用のかかるリスク削減対策に関する意思決定をする場合などである。たとえばドイツでは、この予防原則が行政法の中で規定されており、新たな法や政策の策定の際には重要なガイドラインとして参照される。一方、日本では予防原則が国民意識の中にも政治社会システムの中にも体系化されていない。

第三は、政策決定者と科学者コミュニティの役割や関係性である。たとえば米国などでは realclimate のような最新の科学的知見をタイミングかつわかりやすく政策決定者や一般市民に伝えるような科学者コミュニティが存在する<sup>8</sup>。しかし、日本ではそのような科学者コミュニティが十分には発達しておらず、かつ政策決定者の方にも積極的に科学的知見を政治や外交に使うような意識が相対的に弱い。したがって、気候感度のようなセンシティブかつインテンシブに科学者によって議論されているトピックを政策決定者などがナイーブに語る事が許容されてしまっている。

#### 4. 結びにかえて

今の日本の温暖化対策の取り組みは世界でも極めて遅れている。例えば、Burck et al. (2016) は、日本の温暖化対策取り組みを対象とした 58 カ国中で下から 2 番目（最下位はサウジアラビア）と評価している。また、Littlecott (2015) も、日本の脱石炭の取り組みを G7 の中で最低としている。現在、世界では 500 以上の大学、企業、資金運用ファンド、宗教組織、地方自治体が化石燃料会社からの投資撤退（ダイベストメント）を表明している。しかし、日本で賛同を表明した企業はまだ一社もない。

一方、日本政府は温暖化対策に（少なくとも温暖化対策という名目がつく予算という意味では）何十兆円をかけてきた<sup>9</sup>。歴代の政府は「日本は温暖化対策先進国」と主張しつづけ、恐らく多くの国民がそれを信じている。そのため、GHG 排出の責任を他国や次世代、特に途上国に押し付ける議論や日本の技術を輸出すれば解決するという耳触りの良い議論が常に再生産される。

すなわち、日本の温暖化対策が十分であるかどうかに関しては、国際的な認識と国内における認識は著しくかけ離れている。そして、本稿で分析した温暖化問題に関する不確実性の議論は、責任転嫁の議論と相乗効果をもちながら日本における温暖化対策の必要性や緊急性をさらに貶めている。

不確実性の問題に関しては、次のたとえ話がすべてを語っている。それは、「夜、暗い山道で車を運転していて、曲がり具合がわからないカーブにさしかかった時に、スピードを上げるか？それとも下げるか？」というものである。このように問われた時、多くの人々が、曲がり具合が予想よりも大きい可能性も考えて本能的にスピードを落とすだろう。しかし、気候感度

---

<sup>8</sup> Realclimate は十数人の米、英、ドイツ、オランダ、フランスなどの気候科学の専門家を中心とした研究者グループであり、ウェブページ上で最新の科学的知見などを発信している。URL は、<http://www.realclimate.org/>

<sup>9</sup> 日本政府は毎年、地球温暖化対策の予算総額を発表してきた。しかし、それらは各省庁の予算の中で温暖化対策にもなりうるというものを集めたものであり、原子力関係の予算なども含まれている場合もある。

の不確実性を強調する人々は、気候感度が予想以上に大きい、あるいは3℃という最良推定値よりも大きい可能性があることを意図的に無視する。すなわち、前述のたとえでは、車のスピードを下げず、逆にスピードをあげることも許容する。不確実性を議論する際には、そのような行動が何をももたらすかを十分に考える必要がある。

**謝辞**：本稿に対して増田耕一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。

## Appendix: 気温上昇停滞（ハイエタス）という幻

人為的な二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）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、気温上昇停滞（ハイエタス: hiatus）が起きているというものがある（例えば Watts 2008）。すなわち、1998年以降も人為的なCO<sub>2</sub>排出が継続しているのに温度上昇が止まっている（ように見える）のはおかしいと主張し、温暖化に関する科学の正当性を批判する。しかし、この議論には下記のような根本的な問題がある。

第一に、1998年を基点にすることが間違っている。なぜならば、人為的なCO<sub>2</sub>排出による温暖化は長期的な変動であり、少なくとも30年程度のタイムフレームで考える必要があるからである。すなわち、IPCC AR5 などでも強調しているように、地球温暖化を議論する際には10年程度の短期的傾向を見ても意味がない。

第二に、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、1998年を基点とした場合に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。

第三に、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; Hausfather et al. 2017）。すなわち気温の観測データが正確でなかった可能性がある。

第四に、2017年1月現在、2015年も2016年も観測史上最高温度を記録している。たとえば日本の気象庁によると2016年の世界の年平均気温（陸域における地表付近の気温と海面水温の平均）の1981~2010年平均基準における偏差は+0.46°C（11月までのデータにもとづく速報値）（20世紀平均基準における偏差は+0.82°C）であり、1891年の統計開始以降、最も高い値となっている（図1）。また、2015年と2016年のエルニーニョによる気温上昇はそれぞれ~0.05°Cと~0.12°Cと計算される（Schmidt 2017）。したがって、この分を差し引いても2015年と2016年は史上最高気温となり、1970年からの温暖化傾向は1998年以降により高くなっている可能性もある（図2）。すなわち、たとえ10年単位で見たとしても、またエルニーニョなどを考慮してもハイエタスは起きていない。



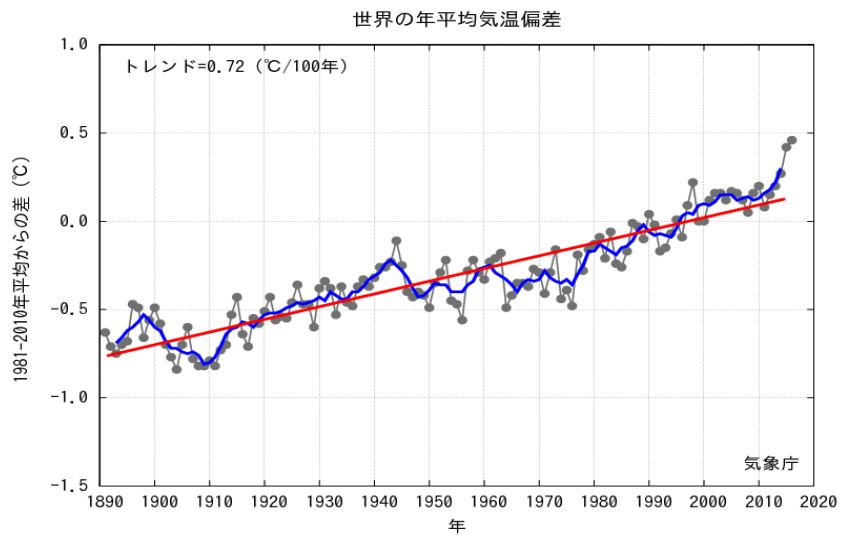


図1 世界の年平均気温偏差

出典：気象庁（2016）

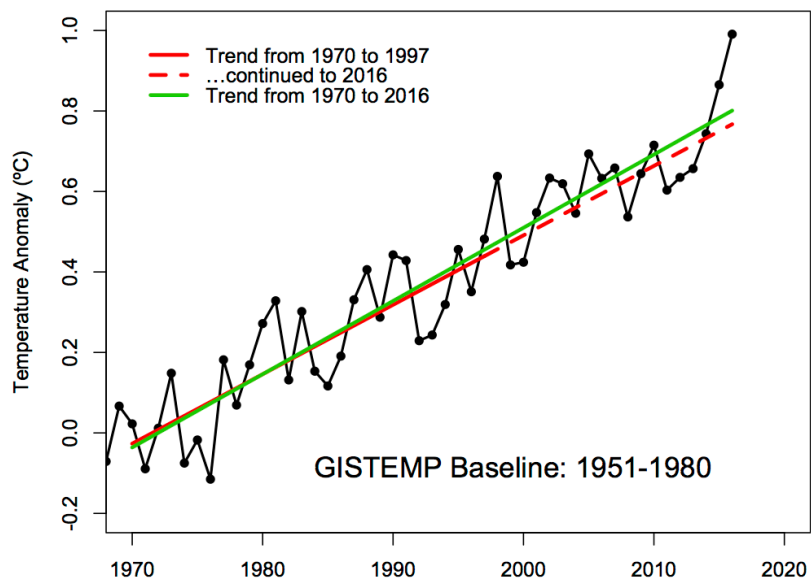


図2 世界の年平均気温の長期変動傾向

出典：Schmidt（2017）

第五に、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・南方振動 (ENSO) のような内部変動もたらすノイズ (海洋内の表面付近と内部とのエネルギーの分配の変動) によって地表気温は大きく影響を受けて変動する。一方、海洋の熱蓄積量の変化を見ると、実際に1998年も停滞することなく一定の割合で上昇している。すなわち、地球の温暖化を示す指標としては気温よりも海洋熱蓄積量の方が正確である (図3) 。

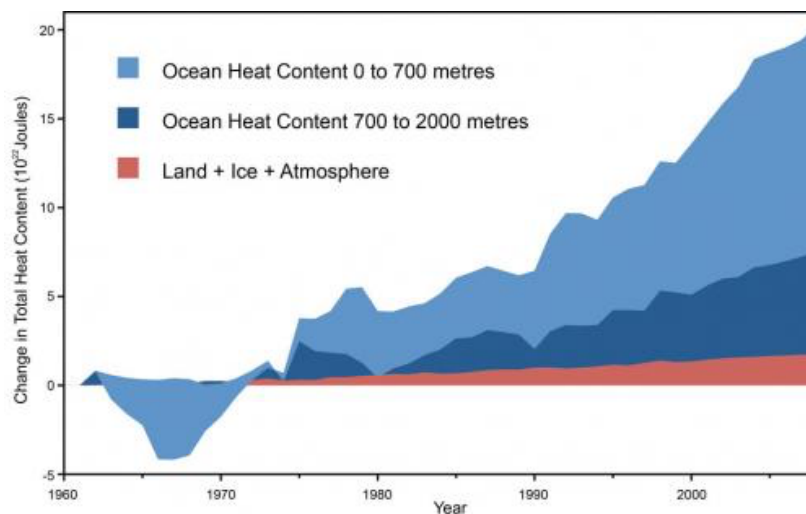


図3 海洋などの熱蓄積量の長期変動傾向

出典：Nuccitelli et al. (2012)

以上で述べたように、ハイエタスに関しては次のように整理できる。

- 1) 地球温暖化の基本は、温室効果の強化というメカニズムであって、世界平均地表温度 (地上気温・海面水温) の上昇はその表面的な現われにすぎない。実際には、大気中の GHG 濃度は上昇を続けており、温室効果の強化は続いている。また、海洋内部の温度観測値に基づいた推計によれば、海洋が蓄積しているエネルギーは増加を続けている。世界平均地表温度の上昇が1998年以降に一時的に鈍ったのは、海洋内の表面付近と内部とのエネルギーの分配の変動によると考えられる。その変動には、エルニーニョ・南方振動 (ENSO) や太平洋十年規模振動 (PDO) が含まれる。
- 2) 観測値による世界平均地表温度の推計の主な不確かさは、観測が乏しい地域 (北極海など) の温度をどのように推定するかによる。主要な気温観測のデータセットである

HadCRUT4 の推計は、観測が乏しい場合は偏差が小さいと仮定していた。しかし、Cowtan and Way (2014) や Hausfather et al. (2017) は、地表温度の直接の測定ではないものの、それと相関のある衛星からの観測データを使って観測が乏しい地域の気温も推定した。これらの研究によれば、温度上昇は停滞していない。

すなわち、地球全体（大気、陸、海洋）で見れば温暖化は途切れなく続いており、ハイエタスの呼ばれるような「停滞」は全く起きていない。したがって、ハイエタスを前提とした気候感度の不確実性や温暖化の科学に対する懐疑的な議論はすべて十分な科学的な根拠を持たないと言える。

## 参考文献

- 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
- Burck Jan, Marten Franziska, Bals Christoph (2016) “Climate Change Performance Index 2017”, Germanwatch.  
<https://germanwatch.org/en/13042>
- 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 Jan 9, 2017]
- Curry Judith A. (2015) “STATEMENT TO THE COMMITTEE ON SCIENCE, SPACE AND TECHNOLOGY OF THE UNITED STATES HOUSE OF REPRESENTATIVES: Hearing on “The President’s U.N. Climate Pledge””, 15 April 2015.  
<https://curryja.files.wordpress.com/2015/04/house-science-testimony-apr-15-final.pdf>  
[Accessed Jan 9, 2017]
- Economist (2013) “A sensitive matter”, Mar. 30, 2013.  
<http://www.economist.com/news/science-and-technology/21574461-climate-may-be-heating-up-less-response-greenhouse-gas-emissions>  
[Accessed Jan 9, 2017]
- 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 Jan 9, 2017]
- 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
- 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 CO<sub>2</sub>”, *Phil. Trans. R. Soc., A* 5 6 May 2015.
- International Organization for Migration (2017) “Recorded deaths in the Mediterranean by month, 2014 – 2017”, Missing Migrants Project.  
<https://missingmigrants.iom.int/mediterranean> [Accessed Jan 9, 2017]
- Hausfather Zeke, Cowtan Kevin, Clarke David C. , Jacobs Peter, Richardson Mark, Rohde Robert (2017) “Assessing recent warming using instrumentally homogeneous sea surface temperature records”, *Science Advances*, 04 Jan 2017: Vol. 3, no. 1, e1601207  
DOI: 10.1126/sciadv.1601207
- Karl Thomas, Arguez Anthony, Huang Boyin, Lawrimore Jay, McMahon James, Matthe 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.
- Littlecott Chris (2015) “G7 COAL SCORECARD BENCHMARKING COAL PHASE OUT ACTIONS”.  
<http://www.e3g.org/news/media-room/japan-isolated-as-usa-leads-the-way-in-g7-move-beyond-coal>  
 [Accessed Jan 9, 2017]
- Long David J and Collins Matthew (2013) “Quantifying global climate feedbacks, responses and forcing under abrupt and gradual CO<sub>2</sub> forcing”, *Clim Dyn*, 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 Jan 9, 2017]
- Marvel Kate, Schmidt, Gavin A., Miller Ron L. Nazarenko Larissa S. (2015) “Implications for climate sensitivity from the response to individual forcings”, *Nature Climate Change*, 6, 386–389.  
 doi:10.1038/nclimate2888  
<http://www.nature.com/nclimate/journal/v6/n4/full/nclimate2888.html#auth-2>  
 [Accessed Jan 9, 2017]
- 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 Jan 9, 2017]
- Nuccitelli Dana and Mann Michael (2013) “How The Economist got it wrong”, *ABC Environment*, 12 APR 2013.  
<http://www.abc.net.au/environment/articles/2013/04/12/3735095.htm>  
 [Accessed Jan 9, 2017]
- Nuccitelli Dana, Way Robert, Painting Rob, Church John, Cook John (2012) “Comment on “Ocean heat content and Earth’s radiation imbalance. II. Relation to climate shifts”, *Physics Letters A*, Volume 376, Issue 45, 1 October 2012, Pages 3466–3468.
- Otto A., Otto F.E.L., Boucher O., Church J., Hegerl G., Forster P.M., Gillett N.P., Gregory J., Johnson G.C., Knutti R., Lewis N., Lohmann U., Marotzke J., Myhre G., Shindell D., Stevens B., and Allen M.R. (2013) “Energy budget constraints on climate response”, *Nature Geoscience*, vol. 6, pp. 415-416, 2013. <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo1836>
- 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
- Shindell D.T. (2014) “Inhomogeneous forcing and transient climate sensitivity”, *Nature Climate Change*, vol. 4, pp. 274-277, 2014. <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate2136>
- Schmidt Gavin □2017□“2016 Temperature Records”, *Realclimate*, 19 Jan 2017.  
<http://www.realclimate.org/index.php?p=20001>  
[Accessed Jan 20, 2017]
- Schmidt Gavin (2016) “Marvel et al (2015) Part 1: Reconciling estimates of climate sensitivity”, *Realclimate*, 4 Jan 2016.  
<http://www.realclimate.org/index.php/archives/2016/01/marvel-et-al-2015-part-1-reconciling-estimates-of-climate-sensitivity/>  
[Accessed Jan 20, 2017]
- 
- Sherwood S, Bony S, Dufresne J-L. (2014) “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-12-months/> [Accessed Jan 9, 2017]
- Yan X.-H., Boyer T, Trenberth K, Karl T R, Xie S.-P., Nieves V, Tung K.-K., and Roemmich D. (2016) “The global warming hiatus: Slowdown or redistribution?”, *Earth’s Future*, Vol. 4, 472?482.  
<http://doi.org/10.1002/2016EF000417>
- 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](http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/sangyougijutsu/chikyu_kankyo/yakusoku_souan_wg/pdf/003_s02_00.pdf) [Accessed Jan 9, 2017]
- 明日香壽川 (2015) 「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」 東アジアにおける大気環境管理スキームの構築研究ユニット Working paper 2015-2.  
[http://www.cneas.tohoku.ac.jp/labs/china/asuka/\\_src/sc430/8bc8cf38ab493x82c68dc58bdf82cc8bc89b78fe38fb892e291d8final\\_ver2.pdf](http://www.cneas.tohoku.ac.jp/labs/china/asuka/_src/sc430/8bc8cf38ab493x82c68dc58bdf82cc8bc89b78fe38fb892e291d8final_ver2.pdf) [Accessed Jan 9, 2017]
- 釜江陽一・吉森正和 (2014) 「強制要素の efficacy (エフィカシー)」, *天気*, 306 : 102.  
[http://www.metsoc.jp/tenki/pdf/2014/2014\\_12\\_0049.pdf](http://www.metsoc.jp/tenki/pdf/2014/2014_12_0049.pdf) [Accessed Jan 9, 2017]
- 気象庁 (2016) 「世界と日本の年平均気温がこれまでの最高値を更新 ～2016 年 (平成 28 年) の世界と日本の年平均気温 (速報)～」平成 28 年 12 月 21 日報道発表。  
<http://www.jma.go.jp/jma/press/1612/21c/worldtemp2016.html> [Accessed Jan 9, 2017]



杉山大志 (2016) 「地球温暖化に関する不確実性と長期的な対応戦略について」長期地球温暖化対策プラットフォーム第2回投資拡大タスクフォース, 平成28年9月13日, 経産省, 資料6.

[http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy\\_environment/ondanka\\_platform/kokunaitoushi/pdf/002\\_06\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy_environment/ondanka_platform/kokunaitoushi/pdf/002_06_00.pdf) [Accessed Jan 9, 2017]

電気新聞 (2016) 「気候感度に“不確実性”」—政府, 温暖化対策計画に盛り込む」, 2016年5月9日.

[http://www.shimbun.denki.or.jp/news/main/20160509\\_01.html](http://www.shimbun.denki.or.jp/news/main/20160509_01.html) [Accessed Jan 9, 2017]

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

[Accessed Sep 9, 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 Jan 9, 2017]