

講演1 「最近の気候と温暖化について」

木本昌秀 東京大学大気海洋研究所 副所長・教授

「今年寒いのは温暖化のせいですか」という類いの話を聞きにこられた方には、少し残念な結果になるかもしれませんが、本日は、主に「ハイエイタス問題」についてお話したいと思います。もし講演に誤りがあった場合の責任は私にありますが、本日のスライドは、渡部雅浩博士の協力で作成されていることをお伝えしておきます。

ハイエイタスとは？

21世紀に入ってからからの全球平均気温は、あまり上昇していないように見えます。これについて、「温暖化は止まったのか」と聞かれることがあるのですが、今日の講演では、この答えとして、「今のところ科学的に完全には解明されていない」ということと、このように「解明されていない」ときにどのように報道してほしいか、ということについてお話しします。

今日は2000年代に全球平均気温が上昇していることを「ハイエイタス (hiatus)」と呼ぶことにします。ハイエイタスという言葉は、「活動休止」だとか、少し滞っているという意味だそうです。

ハイエイタスは本物か？

まず、この観測されたハイエイタスは本物なのでしょうか。これにはいろいろ可能性があり、例えば2004年くらいからArgoのデータが増えたせいで、そう見えるのではないか、また、最近増えてきた漂流ブイは海面より少し深い海水温を図っているせいでバイアスがあるのではないか、などとも言われていますが、いろいろな文献を当たったところ、今のところ、観測値は本物と考えていただいて結構と思います。

自然変動以外の原因なのか？

このハイエイタスの原因はまだ理解されていませんが、今日はどのような説があるかというお話をします。まず、今黒点の数が少なく太陽活動が停滞している影響ではないか、という説ですが、太陽定数と気温の関係を考えると、温暖化を帳消しにするほどの影響はない、と見積もられています。少し詳しく計算した研究によると、ハイエイタスの15%も説明できればよいところだろう、との結果が出ています (Hansen et al, 2011)。ですから、太陽活動はメインの理由ではないと理解されています。

次に、成層圏エアロゾルが原因という説を唱える研究者もいます。1991年のピナツボ火

山のような大噴火があると、上下の対流の少ない成層圏まで火山灰が舞い上がって、数年にわたって塵が地球を覆うことになり、全球気温が1-2年にわたって0.3-0.4℃下がるという効果が知られています。この効果は、気候モデルでも取り入れられています。ただこの他に、小さい噴火や人為起源の大気汚染のように、地上近くを漂うエアロゾルが、何かの拍子に成層圏に漏れてくれば、長い間滞留するのではないかととも言われています。これはバックグラウンドエアロゾルと呼ばれますが、この影響は今の気候モデルでは考慮されていません。最新の衛星観測によると考慮した方がよいのではないかという説もありますが、量的に温暖化が止まったように見えるほどの影響は説明できません。

また、温室効果気体の増加率が鈍化しているという観測もあるようですが、鈍化したとしても温室効果気体は排出され続けており、地球に入る熱はプラスのままですし、既に排出された温室効果気体の影響が海を含めた地球全体に及ぶには時間がかかりますので、しばらくは温度が上昇するはずです。よって、温室効果気体の増加率は、温暖化の鈍化の主因ではないということになります (Hansen et al, 2011)。

自然変動が原因なのか？

次に、気候システムの内部変動の影響ですが、温暖化に関わらず、エルニーニョ・ラニーニャが起きたり、異常気象で寒波や猛暑が来たり、といった自然のゆらぎが気候システムにはあるので、このようなゆらぎの一部ではないか、といった見方もあります (Kaufmann et al., 2011)。ほとんどの気象学者は、これが原因だと思っているのですが、科学者は95%以上正しくなければ断定してはいけないと教わっているので、「ハイエイタスの原因は何ですか」と聞くと「わかりません」と言ってしまうわけです。

2000年に入ってから、エルニーニョはあまりぱっとせず、東部太平洋の海面水温が低いラニーニャ的な状態が続いていますが、これは太平洋十年規模変動 (Pacific Decadal Oscillation, PDO) と密接な関係にあります。このPDOが負のフェーズにあるため、面積の広い赤道付近で海面水温が低くなり、全球平均気温にも大きな影響を与えているのではないかと、という感じがしています。

先ほども言いましたが、現在は大気中の温室効果ガスが増加し、温暖化は進んでいる途中で、このことを気象オタクは「地球システムに入る熱がプラスである」というのですが、地球全体の規模で暖まっているなら、地球表面の気温上昇が低くても、どこかが暖まっていないといけないことになります (Trenberth and Fasollo, 2010)。そこで海を見たところ、海洋の深いところは暖まり続けていることがわかりました (Levitus et al., 2011)。海洋に潜っていく熱が、普段より多くなっているようです。ただ、海洋がどのくらい大気の熱を吸収するか、ということは、自然の変動と密接に関係していますが、どのような現象に伴

って海洋が熱を吸収しているか、というところはまだよくわかっていません。

他には、成層圏の水蒸気が最近減っていて、それが原因ではないか、という説もあります。ただ、成層圏の水蒸気は観測が難しく、ちょうどハイエイタスの起きているここ10年ほどの衛星観測しか使えません。成層圏の水蒸気の増減のプロセスもきちんと説明されているわけではありませんが、現在の気温の状況を説明するには足りないことは、計算からわかっています。

気候モデルはハイエイタスを表現できているのか？

その他に、20世紀の気温を再現できたとされるモデルが、ハイエイタスをうまく表せていないのはなぜか、という問題があります。まず考えられるのが、モデルに入れた温室効果気体の量や、エアロゾルの量などの外的条件が悪いのではないか、ということです。特に、先ほどお話した成層圏ではなく、対流圏のエアロゾルがモデルの中で過少なのではないかということが、研究者の間で言われています。現在では、AR5に向けて発表された計算は、様々な理由により結果的にあり得る範囲の中で一番少なめのエアロゾルの量で気候の予測をしている可能性があり、その結果モデルが気温上昇を大き目に見積もる傾向にあったと見られています。しかし、対流圏のエアロゾルの量は地域により大きく異なるので、実際に世界中の濃度がどのくらいで、太陽光反射への影響がどのくらいだったのか、さらに、エアロゾルの誤差がモデルの雲の発生・維持にどのくらい影響を与えたか、ということとは、わかっていません。

また、海洋の観測データは地上と比べて非常に少ないため、海洋の熱吸収がモデルでどのくらい再現されているかを検証しにくく、熱吸収の計算結果も非常に大きなエラーバーがつくこととなります。最近、東大の木本さん達が気候モデルに観測データを与えて比較的近い未来を計算している、と聞いたことがあるかもしれませんが、それならハイエイタスを表現できそうに思われるのではないのでしょうか。海洋での熱吸収がどこまでちゃんと表現できているのか、もう一つ自信のないところもありますが、結果は「まあ、よいのではないか」と思っています。

ハイエイタスと温暖化の関係は？

ここまで、ハイエイタスはよくわかっていないことが多い、というお話をしましたが、では今の調子で気温上昇が進まない状況が続くのか、と聞かれれば、答えははっきりしていて「いいえ」です。地球に入る熱がプラスの状態であることは観測からはっきりしていますので、地球のどの部分が温まっているのかという問題はあっても、地球の気候システム全体が温まっている途中であることは確かです (Easterling and Wehner, 2009)。

最後に AR5 に向けて世界各国で計算された CMIP5 の近未来予測結果をお見せします。たくさんのモデルを合わせた結果で見ると、初期値化（観測値を使って初期値を設定した）した計算では、そうでないものよりハイエイタスをきちんと予測できています。これらのモデルでは、しばらくすると初期値化していないモデルの気温上昇に近づくことが予測されています。2012年の観測結果をこれらのモデルの結果と比較してみると、そこそこ合っているのです。今のところまるっきりジャンクというわけでもない、と言えると思います。

参考文献

- Easterling, D. R., and M. F. Wehner, 2009, Is the climate warming or cooling?, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L08706, doi:10.1029/2009GL037810.
- Hansen, J., M. Sato, P. Kharecha, and K. von Schuckmann, 2011, Earth's energy imbalance and implications, *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 13421–13449, doi:10.5194/acp-11-13421-2011.
- Levitus, S., et al., 2012, World ocean heat content and thermosteric sea level change (0–2000 m), 1955–2010, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L10603, doi:10.1029/2012GL051106.
- Meehl, Gerald A., Julie M. Arblaster, John T. Fasullo, Aixue Hu and Kevin E. Trenberth, 2011, Model-based evidence of deep-ocean heat uptake during surface-temperature hiatus periods, *Nature Climate Change* 1, 360–364, doi:10.1038/nclimate1229.
- Robert K. Kaufmann, Heikki Kauppi, Michael L. Mann, and James H. Stock, 2011, Reconciling anthropogenic climate change with observed temperature 1998–2008, *PNAS*, doi:10.1073/pnas.1102467108
- Trenberth, Kevin E. and John T. Fasullo, 2010, Tracking Earth's Energy, *Science* 16 April 2010: 328 (5976), 316-317, doi:10.1126/science.1187272.