

## 講演 1：「長い目」で見ても深刻な温暖化 質問と回答

- 1) 北極の海氷が解けると温暖化が進むしくみが理解できましたが、最初に海氷の減少が始まるきっかけになったのは、天文学的要因だけでしょうか？  
人による CO<sub>2</sub> 排出の増加等はどれくらい関わっていると考えられるでしょうか？

回答：

2つの時代に分けてお答えします。

### (1) 現代（20世紀以降）の海氷減少について

海氷がどれくらい極域の海洋を覆っていたか（海氷面積）については、人工衛星データの利用できる 1979 年以降についてはかなり正確にわかっています。年による違いは自然変動による部分もありますが、北極の数十年にわたる減少傾向は地球温暖化とともに生じており、人間活動による CO<sub>2</sub> などの温室効果ガスの増加が主な原因と考えています。このことは、気候モデルシミュレーションでも確認することができます。一方で、1920 年代から 1950 年代にかけては、最近ほどではありませんが、北極が比較的暖かく、また海氷も少なかったことが報告されています。この時期の海氷減少は、自然変動による可能性が高いと考えています。

### (2) 最終間氷期（12 万 7 千年前頃）の海氷が工業化前よりも少なかった理由について

古い時代の海氷量を推定することは非常に難しいのですが、モデルシミュレーションによると、工業化前よりも海氷が少なかったのは、天文学的理由により夏の日射量が多かったことが原因と考えられます。そしてその原因が、発表でもお話しした植生分布など他の変化を誘発し、海氷の減少をさらに大きくしたと考えています。

(1)と(2)はそれぞれ別の原因による、異なる時代の海氷減少に関する話になります。

- 
- 2) より反射が大きい南極の温度上昇が北極ほどではないのは、氷雪の下が陸だからでしょうか。

回答：

近年の地球温暖化では、南極周辺海域における地表付近の温度は北極に比べてあまり上昇していません。これは、一つには南大洋の海洋循環により熱が海の内部に蓄えられているため、海の温暖化は進行していますが、地表付近にはその影響がまだあまり現れていないことを反映していると考えられます。南極氷床上は、周辺海域の温度上昇が抑えられていることも影響しているかもしれませんが、標高が高くそもそも気温が極端に低いため、少々の温度上昇では雪が融けず、北極のように海氷が融解して反射率の低い海面が露出して太陽光の吸収が増えて、という増幅効果が起きにくい条件にあります。

それから、北極の氷の厚さは数メートル程度ですが、南極の氷は厚さ数キロメートルにも及びますので、南極ではたとえ融解したとしてもそう簡単に地面は露出しません。南極が陸であるために、海氷ではなく厚い氷床が成長できたことは南北の差に関係していると考えられます。

---

3) IPCC の「気温は産業革命以降の CO<sub>2</sub> 人為排出の積算量に比例する」という説とノーベル賞を受賞された真鍋先生の「気温は大気中の CO<sub>2</sub> 濃度の対数に比例しており、CO<sub>2</sub> 濃度が 2 倍になったときの気温上昇を<気候感度>とする。」という説では明らかに要因は「累積量か、濃度か」「人為的 CO<sub>2</sub> のみか一般的な CO<sub>2</sub> か」の二点で大きく異なり、産業革命以前の気候変動が説明できない IPCC の説は非科学的に思えますが吉森先生はいかがお考えでいらっしゃるのですか？

吉森先生のご説明では

CO<sub>2</sub> 排出量→CO<sub>2</sub> 濃度→気温

とされていましたが、CO<sub>2</sub> は地表を循環しているものであり、排出量がそのまま大気中に蓄積されるビーカーの中とは異なるので、排出累積量がそのまま気温に比例するという IPCC の残余カーボンバジェットの算出には無理があると思います。

初期の IPCC では、「ミッシング・シンク」の問題が取り上げられて排出累積量がそのまま大気中の CO<sub>2</sub> 濃度にならないことが問題となっていました。

ご参考「ミッシング・シンク」地球環境研究センターニュース

<https://www.cger.nies.go.jp/cgernews/201211/264004.html>

回答：

気候感度（より厳密には平衡気候感度）は、CO<sub>2</sub> 濃度を 2 倍にして十分に時間が経った後の全球平均の気温変化量で定義されます。このときの「十分」な時間というのは、大気海洋全体で考えると数千年という時間に相当します。一方で、残余カーボンバジェット算出の基になる累積 CO<sub>2</sub> 排出量あたりの気温上昇率 (TCRE: 累積炭素排出量に対する過渡的気候応答) は平衡状態の議論ではなく、平衡に達するずっと前の 100 年程度以内の状態を議論しています。この状態の気温変化量は、気候感度だけでなく海洋の熱吸収によっても影響を受けます（熱が海の内部に蓄積されると地表が温まるのが遅れる）。

CO<sub>2</sub> の直接的な放射効果（放射強制力）は濃度の対数変化に比例するため、気候感度で考える気温変化も CO<sub>2</sub> 濃度の対数変化におおよそ比例します。このことは、CO<sub>2</sub> 濃度の値が上昇するにつれて CO<sub>2</sub> 濃度 (ppm) 変化あたりの気温変化が小さくなることを意味します。つまり、同じ CO<sub>2</sub> 濃度上昇に対して、気温はより緩やかに上がっていくこととなります。

一方で、累積 CO<sub>2</sub> 排出量が増えるにつれて、海洋の熱吸収効率は低くなります。このことは、同じ CO<sub>2</sub> 放射効果の増加に対して、気温はより急激に上がっていくことを意味します。また、累積 CO<sub>2</sub> 排出量が増えるにつれて、排出された CO<sub>2</sub> を海洋が吸収する割合も低くなります。このことは、同じ CO<sub>2</sub> 排出量の増加に対して、大気中の CO<sub>2</sub> 濃度はより急激に上がっていくことを意味します。

上記の 3 つの効果が相殺する範囲において、TCRE はほぼ一定となることが多くの論文で報告されています。ご指摘いただいた点について、「非科学的」と判断できる根拠や論旨は見つかりませんでした。

動画の中では簡略化しすぎた部分や分かりにくい説明もあったかもしれませんが、温暖化の影響を最も受ける可能性のある若い世代に向けたメッセージ的な意味合いがあることも踏まえて、専門的な議論や詳細を省いたことをご理解いただければと思います。

---

#### 4) 縄文海進について

吉森先生は古気候の研究者でいらっしゃるようですが縄文海進時のピーク時である約 6,500 年 - 約 6,000 年前の頃は CO<sub>2</sub> 濃度は低かったにもかかわらず気温は 2°C 以上海面は 4m 以上高かったことが知られています。

先生の 12 万 7 千年前の最終間氷期からの気温変動の資料では重要なこの部分の記録が省略されているのはなぜでしょうか？

この時期日本では三内丸山の集落が英国ではストーンヘンジの集落が栄えていました。果たしてこれらの過去の気候変動を実験と称する現在の温暖化シミュレーションで再現することはできるのでしょうか？

また先生も「氷期-間氷期の CO<sub>2</sub> 変動の機構はまだわかっていない」とおっしゃられたように、過去 40 万年の氷床の研究では気温の上昇の方が CO<sub>2</sub> 濃度の上昇に平均して 800 年間先行していることもシミュレーションで再現できていないのではないのでしょうか？

「人類がいままで経験したことのない変化の不確定性」についても最終氷期のダンスガード・オシュガーサイクルではもっと激しい気候変動が起きていたと聞いております。

回答：

今回の動画では、地球規模の気候変動に焦点を当てました。縄文海進の時代に地球規模の気候変動がなかったわけではありませんが、「縄文海進」自体は日本周辺の地域的な現象と考えられています。なぜか一般的にはこれが世界的な現象であったという誤解が蔓延しているようです。詳細については、以下の日本第四紀学会ウェブページの解説に譲りたいと思います：<http://quaternary.jp/QA/answer/ans010.html>

同様に、ダンスガード・オシュガー変動についても、確かにグリーンランドでは急激な気温変化として記録されていますので、地域を限定すれば急激な変化があったと言えます。地球平均気温で考えると、最近数十年間の平均気温は過去 12 万 5 千年間に例がないほど暖かい可能性があることが IPCC の第 6 次評価報告書で指摘されています。メッセージとしては、ある特定の場所に変動を目撃した人間がいたかどうかということではなく、我々が過去の経験から将来に活かせる知見を持っているか、受け継いでいるかということ、持っていない場合には、地球に記録されている過去の教訓を読み解き、それを将来への知見として活用していく必要があるということです。

よく話題になる南極アイスコアの（南極の）気温と CO<sub>2</sub> 変化のどちらが先かについては複雑になるのでここでは議論しませんが、氷期-間氷期の CO<sub>2</sub> 濃度変動については、理解がかなり進んできてはいるが、完全にはわかっていないというのが正確な表現ではないかと思います。大気海洋研究所が中心となった研究でも、昨年大きな成果が報告されています：<https://www.aori.u-tokyo.ac.jp/research/news/2021/20210826.html>

なお、以上の回答は私個人の見解であり、東京大学あるいは所属部局の公式な立場を代表するものではありません。

---