



温室効果を再考する

ウィリアム・キニンモンス

監訳 杉山大志 訳 木村史子

RETHINKING THE GREENHOUSE EFFECT

William Kininmonth

The Global Warming Policy Foundation
Note 34

目次

著者について	2
はじめに	2
温室効果とは	4
赤道海域と下層大気の温度	5
熱帯の大気	7
北極の温暖化	9
まとめ	10
注釈	11

本稿は William Kininmonth, Rethinking the Greenhouse Effect

<https://www.thegwpmf.org/content/uploads/2022/09/Kininmonth-Greenhouse-Effect.pdf>

を GWPF の許可を得て邦訳したものである。

「最近の地球温暖化の傾向は、気象学者がよく言うように、海洋は気候システムの重要な慣性力および熱のフライホイール（弾み車）である、ということの正当性を強調している。つまり、気候をコントロールしようと思えば、海をコントロールすることが必要なのだ。地球の気温に影響を与えようとする脱炭素社会への努力は無駄なものとなるだろう」。

著者について

ウィリアム・キニンモンズは 1960 年に Australian Bureau of Meteorology に入局し、1998 年に National Climate Centre の長官を退官した。World Meteorological Organization's Commission for Climatology の顧問を務め、各地域での調整や研修に参加。著書に『Climate Change: A Natural Hazard (2004, Multi-Science Publishing)』がある。

はじめに

人類が気候の危機を引き起こしているという考え方は広く知られている。その理由は、温室効果ガスが地球からの熱を吸収し、宇宙空間への放射を防ぐことで地球を温めているという説にある¹。つまり、温室効果ガス、特に産業による排出ガスである二酸化炭素をより多く放出すれば、当然、温暖化が進むということになる。この理論は、フランスの数学者ジョセフ・フーリエが 1820 年代に提唱した理論の延長線上にあり、後にスウェーデンの化学者アレニウスが 1896 年に発表した氷河期の原因に関する仮説に用いられた。

The Intergovernmental Panel on Climate Change (気候変動に関する政府間パネル:IPCC) は、将来の気候に及ぼす二酸化炭素の影響について各国政府に助言するために国連によって設立された機関である。IPCC は、人為的な地球温暖化について、次のように説明している。工業化以前の地球は、放射収支の均衡が保たれていた。つまり、大気圏上層部では、入射する太陽放射²が、それと同程度の宇宙への長波放射で相殺されていたため、地球の温度は安定していたのである。

化石燃料の燃焼により、大気中の二酸化炭素濃度が上昇したことは間違いない。IPCC の説明では、濃度が上昇するにつれて、宇宙へ放出される放射の強度が減少してきたとされている。このいわゆる「放射強制力」が大気を温めるのである。

しかし、温室効果の実態は、温室効果ガス³による地球放射の吸収や大気圏上層部の放射収支のバランスだけでなく、もっと複雑なものである。温室効果ガスは、放射を吸収する量よりも、宇宙へ放射する量、地球へ放射する量が多いことは、60年以上も前からわかっていた。大気は、地表からの熱と潜熱（水蒸気の蒸発）によってのみ、冷却を防いでいる。これらの膨大なエネルギーの流れを考えずに、何が起きているのかを正しく理解することはできない。

IPCC の立論は、地球が球体であり、緯度によって何が起きているかが大きく異なるという事実も見落としている。太陽放射の吸収は熱帯で最も多く行われ、高緯度では宇宙への長波放射の放出が過剰になっているのだ⁴。局所的な放射のバランスはどこにもない。海流や、大気の流れは、気候の力学が地球全体の放射バランスを達成しようとする過程で、常に熱帯から高緯度へ過剰な熱を輸送している。しかし、海洋と大気による輸送速度の違いや、太陽熱の季節的な変化により、バランスはあくまで一過性のものに過ぎない。

地球上の放射収支の不在は、地球の平均気温が一定ではなく、1年間に2.5°C以上の幅があることに象徴される。このことは、地球から宇宙への長波放射が、1年を通じて変化していることを示している。つまり、全球的にも局所的にも、宇宙への放射熱量は地球の気温の変化によるものであり、宇宙への放射が地球の気温を規定することはないのだ。

地球の温度がなぜ変化しているのかを説明するには、熱帯での吸収、大気・海流による極域へのエネルギー輸送、高緯度での宇宙への放出など、エネルギーの流れに沿って気候システムを追跡する必要がある。すると、次のことが見えてくる。

- ・地表のエネルギー収支がどのように地球の温室効果を定義しているか。
- ・熱帯海洋上で吸収された太陽放射が表層貯熱層を形成し、それが大気への熱交換を制御していること。

- ・風が熱帯から熱を運ぶとき、北半球の高緯度の気温がどのように反応するか。

導き出される結論は、大気中の二酸化炭素の変化は、地球の気温や気候にほとんど影響を与えないということである。実際、最近 40 年間に観測された気温の変化は、海流による極方向への熱の輸送が遅くなったことと一致している。

温室効果とは

地表の温度は、エネルギー交換によって調整されている。地表は、

- ・太陽エネルギーの吸収と、大気中の温室効果ガスが下向きに放射する長波放射の吸収によってエネルギーを獲得する。
- ・長波放射の放出と、熱や潜熱の大気への流出によりエネルギーを失う。

地球表面では平均的にそう言えるのだが場所によってはもう少し複雑な状況になっていることもある。このあと説明するように、暖かい熱帯の海では、海流による熱輸送によって、もう一つのエネルギー流出が起きている。

太陽放射の吸収（基本的に一定）を除けば、エネルギー面の各プロセスの大きさは、物理法則によって支配されている。各プロセスにおけるエネルギーの流れは、表面温度によって変化するが、それぞれ異なる関係に従っている。平衡状態における地球平均気温は、これらのプロセスにおいて長期的にバランスが取れたときに達成される。言い換えれば、長波放射の放出、大気への熱と潜熱の流入、および大気からの長波放射の吸収というそれぞれのエネルギー交換プロセスによって、太陽放射の吸収が相殺されたときに平衡状態の地球平均気温は達成されるのである。

温室効果ガス（水蒸気を含む。つまり、水のない惑星と仮定する）がない場合、大気から放出される長波放射は地表で吸収されず、地表からの顕熱・潜熱のネットフローも生じない。このような条件下では、太陽放射の吸収と長波放射の放出が等しくなったとき、地表の温度は平衡状態に達する。温室効果ガスがなければ、地表温度は約 -19°C になる。

しかし、地球は水の惑星であり、表面積の 70%を海洋が占め、表面からの蒸発は水蒸気という形で大気中に安定的に潜熱を供給しているのである。水蒸気は大気中の主要な温室効果ガスであり、地表で吸収される長波放射の主な発生源である。温室効果ガスによる長波放射の吸収は、太陽放射を補い、地球全体の平均地表温度を上昇させ、エネルギー交換過程が均衡する地表温度は約 15°C となり、水がない場合より約 34°C も高くなる。

温室効果の調節における水蒸気的重要性は、温室効果ガスによる放出から地表での長波

放射の吸収の変化を示した表 1 から明らかである。表中の各列で、大気中の水蒸気は同じで、熱帯の平均値を表している。左から右へ、二酸化炭素がない状態から、最終氷期最大値 (200ppm)、産業革命前レベル (300ppm)、現代レベル (400ppm)、そして最後に将来の制約のない産業排出量と一致する値 (600ppm) へと上昇しているのが二酸化炭素の濃度である。

産業革命以前のレベルにまで二酸化炭素を増加させることによる地表面吸収への影響は約 $7\text{W}/\text{m}^2$ であり、温室効果の 2% に過ぎない。さらに、二酸化炭素を 600ppm まで増加させても、 $369\text{W}/\text{m}^2$ から $370\text{W}/\text{m}^2$ までと、0.2% しか増加しない。

気候の歴史も、二酸化炭素が地球の気温に与える影響が限定的であることを示唆している。2 万年前の最終氷期には、大きな氷床が北米とヨーロッパ北西部の大部分を覆っており、海面は現在より約 130 メートル低かった。その後 1 万年の間に、大気中の二酸化炭素濃度は約 200ppm から 300ppm に上昇し、同時期に明らかに大きな気温の変化があり、大きな氷床はほとんど溶け、海面は現在のレベル近くまで上昇した。しかし、地表で吸収される放射線の変化は小さいものであった (表 1)。その後、工業化が進んだこの 100 年の間に、二酸化炭素は 400ppm 以上まで増加し、やはり地表で吸収される放射線の量はわずかに増加した。だがそれに伴う地球気温の変化はほとんど検出されていない。このことから、二酸化炭素の気候への影響は小さく、地球の退氷の原因ではないことがわかる。

表1:温室効果に対する二酸化炭素のごくわずかな影響力

二酸化炭素(ppm)	0	200	300	400	600
温室効果ガスが放出し地球の表面で吸収される放射量					
地表面放射量 (W/m^2)	361.40	368.01	368.64	369.26	370.21
増加量 (W/m^2)	—	6.61	0.63	0.62	0.95
累積増加量 (W/m^2)	—	6.61	7.24	7.86	8.81

大気中の水蒸気量は、熱帯地方と同じレベルで一定とした。
MODTRANS (MODTRAN Infrared Light in the Atmosphere (uchicago.edu))によるデータ。

赤道海域と下層大気の温度

前述のように、ほとんどの太陽放射は熱帯地方で地球に降り注ぐ。太陽放射は大気を通過し、地表で吸収される。そして地球表面の大部分を占める海洋の表層に吸収され、その中で混合される。その結果、表層付近には温かい水のレンズが形成され、深さ 100 メートル以上に達することもある熱帯海洋の熱貯蔵庫となる (図 1)。

暖かい海のレンズの温度は、4つのエネルギーの流れに影響される。

- ・ 太陽からの直接の短波放射の吸収
- ・ 大気中の温室効果ガスによる長波放射の吸収
- ・ 熱と潜熱の大気中への放出
- ・ 海流による熱の放出

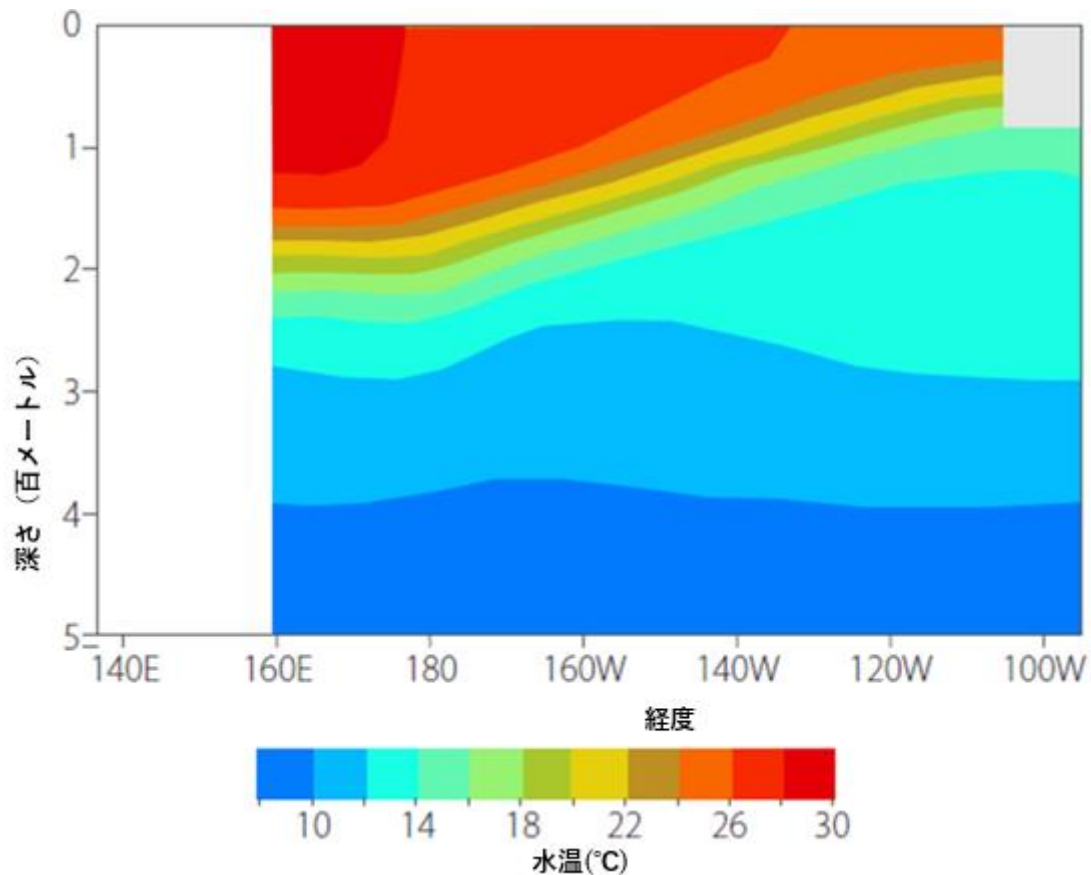


図 1: 熱帯海域表層の熱貯蔵庫

太平洋赤道域の深度ごとの温度。(左側がパプアニューギニア、右側が南米)

出典： US NOAA Pacific Marine Environment Laboratory。

表層水は太陽放射によって暖められ、水温は海洋循環によって変化する。東部赤道太平洋上の海水が冷たいのは、地球規模の熱塩循環に伴って上昇する冷たい海水の影響である。

この 40 年間で、海面が約 0.4°C 温かくなったということは、エネルギーの流れのバランスが変化したことを意味する。しかし、それはどこのプロセスによるものなのであろうか？

太陽からのエネルギーの流れは基本的に一定なので、それはすぐに排除される。が、その先は意見が分かれるところである。IPCC は、二酸化炭素濃度の上昇によって暖められた大気が、下の海をあたためたと主張している。しかし、それはありえない。なぜなら、少なくとも熱帯地方では、大気は海よりも温度が低いからである。

二酸化炭素の濃度が変わると、影響がでる。二酸化炭素の濃度が高くなると、海面への放射が増加し、海面が暖かくなる。しかし、表 1 にあるように、熱帯地方ではその影響は小さい。実際、二酸化炭素濃度が 337ppm から 411ppm に増加しても、 $0.3\text{W}/\text{m}^2$ のエネルギー流量の増加にとどまることが計算できる。海水温が 0.4°C 上昇すると、大気へのエネルギー流が約 $3.5\text{W}/\text{m}^2$ 増加するため、この値は海水温上昇を説明するにはあまりにも小さい。

言い換えれば、二酸化炭素濃度の上昇によって、熱帯の海洋表面にはわずかな余分なエネルギーが入り込んでいるが、その 8 倍ものエネルギーが大気中に逃げてしまっていることになる。二酸化炭素濃度の変化による追加的な放射エネルギーの吸収は、表面温度の上昇による潜熱損失の上昇を裏付けるには不十分なのである。

このことから、熱帯の熱貯蔵層の温暖化については、海流の変化が唯一の有力な説明となる。重要なのは、この考え方は、メキシコ湾流が減速していることが観測されるなど、現実の証拠によって裏付けられていることである。

熱帯の大気

上述した熱帯の熱貯蔵層の温暖化に関する説明は、気候の他の変化、特に熱帯と北極の大気温度について観測されたものと一致する。

前述したように、大気の温室効果ガスは、その放射エネルギーを吸収するよりも、より多くエネルギーを放出する。このエネルギー損失は、地表からの熱と潜熱の流れによって相殺される。そしてこのエネルギーの主な供給源は熱帯海域の熱貯留庫であり、熱が流れる速度は海面温度で調節される。

熱帯地方では、海面からの熱と潜熱が雲の下の大気下層に残り、貿易風によって赤道付近の狭い帯状の赤道低圧帯（俗に言う熱帯無風帯）に引き込まれる。この地域で熱が蓄積されると、厚い対流雲⁵が形成され、これが熱を上層に運び、風が熱を極方向に分散させるのである。

この厚い対流雲による熱の上方輸送が、熱帯の大気温度とその下の海面温度との間に緊

密な関係を作り出している。図 2 は、大気温度と海洋表層の温度のコヒーレンスを示したものである。大気の反応に 1~2 ヶ月の遅れがあるものの、トレンド除去済み記録間の相関は 0.86 である。

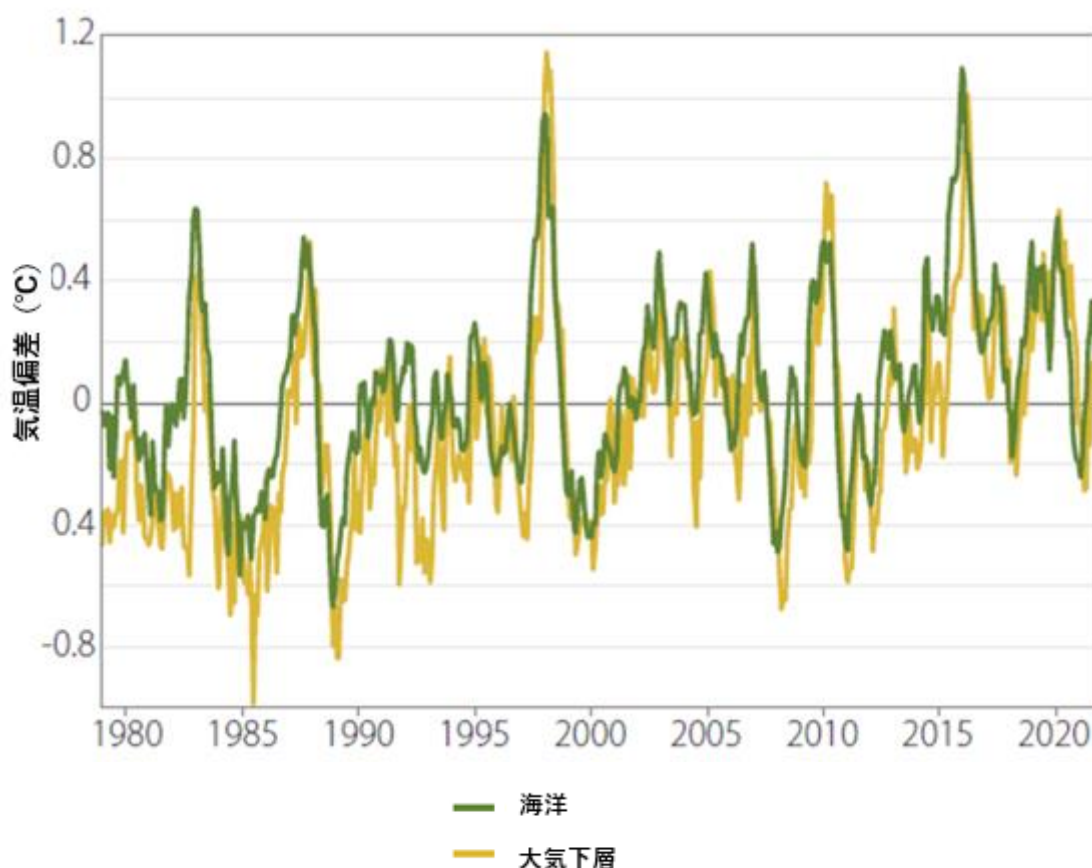


図 2:赤道域の気温:海洋表層と下層大気。

赤道域の海洋表層（緯度 10 度 S~10 度 N）と

熱帯域の大気下層（緯度 20 度 S~20 度 N）の月別気温偏差。

データ元：海洋温度は US NOAA NCEP/DOE R2 のデータセット、

下層大気については University of Alabama, Huntsville の衛星観測データから。

両記録の気温は年によって著しく変化し、時には 1°C もの差がある。この変化は、エルニーニョ現象やラニーニャ現象に伴う海洋循環の変化と関連している。この短期変動に重なるように、両記録とも 10 年当たり約 0.1°C の長期的な温暖化傾向が見られる。この温暖化の影響には次の 2 つがある。

- ・熱帯の大気が暖くなることは、さらなるエネルギー源となり、高緯度への熱輸送速度を増加させる。
- ・海洋の温暖化により、大気への潜熱の流入が増加する。

この潜熱はすぐには現れないが、高緯度での温暖化に影響を与えるだろう。

北極の温暖化

中・高緯度地域では、宇宙への放射が太陽放射の吸収を上回っている。しかし、この地域の気温は、大気循環の中で熱帯から運ばれてくる熱の供給によって維持されている。このプロセスでは、宇宙への放射損失が最も大きく、極域の気温が最も低く、循環が最も強くなる冬期に最大となる。

過去 40 年にわたる地球気温の系統的なモニタリングにより、温暖化に伴う地域的・季節的な特徴が明らかになってきた。赤道付近の海洋温度と大気温度は、10 年あたり約 0.1°C の割合で上昇している。一方、北半球の中・高緯度域の気温は、北極で 10 年平均約 0.7°C と、より速い割合で上昇している。

北極の温暖化が熱帯より大きいのは、熱帯の海から交換された追加の潜熱が中高緯度域で熱に変換されるからである。さらに、北極の温暖化は年間を通じて変化しており、夏場は 10 年で約 0.4°C 、寒冷期には 1.2°C となっている（図 3）。極域の地表がほとんど暗闇になる冬の寒い時期に温暖化が主に起こっていることから、温暖な緯度帯からの熱輸送の結果であるとしか考えられない。

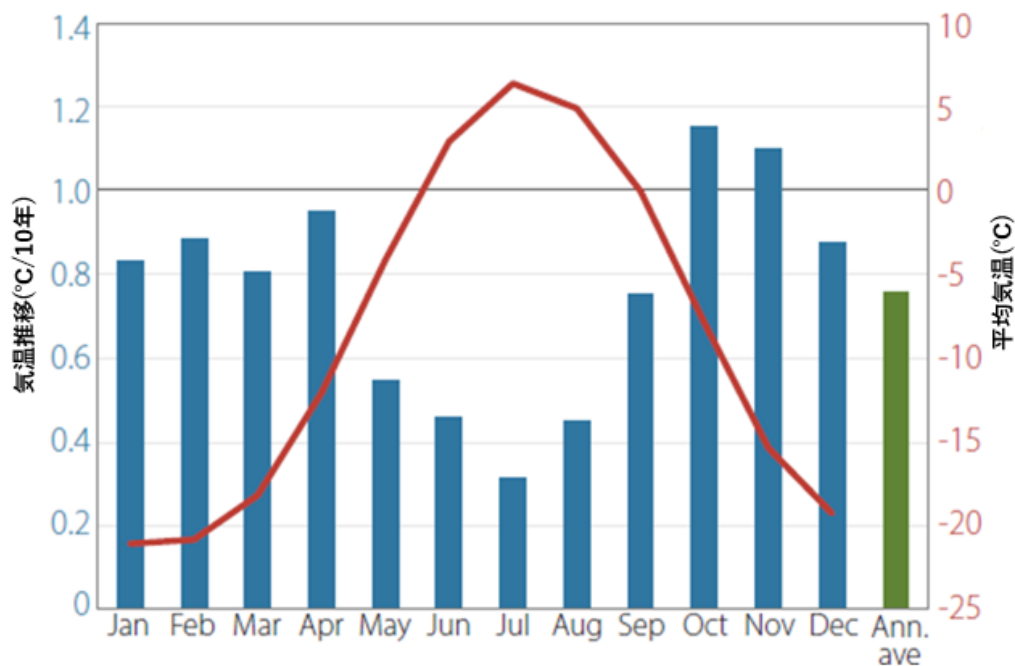


図3: 極域の気温は、季節ごとに変化する大気循環と熱輸送に対応している。

データ元: US NOAA NCEP/DOE R2 データセット。

さらに、春と秋の温暖化により、夏の雪解け期間と生育期間が延長され、後者は衛星観測による地球の緑化に寄与している。

まとめ

近年の気候変動の特徴とその原因は明らかである。熱帯の海が暖かくなったのは、大気中の二酸化炭素が増加したためではなく、海流の速度が低下し、熱の輸送が減少したためと思われる。熱帯の海が暖かくなったことで、特に赤道域の厚い対流雲を媒介として、熱帯の大気の温度も上昇した。暖かい熱帯の海から流れる追加的なエネルギーは、風によって運ばれ、特に冬の間、極域の温暖化を促した。

別の言い方をすれば、最近の温暖化は、刻々と変化する海洋循環の揺らぎの結果であろう。二酸化炭素は、観測された温暖化に対してごくわずかな影響しか与えていないことを認識しなければならない。そして海洋の自然な振動によって生じる温暖化がピークを越えれば温暖化傾向が長引くことはないだろう。

最近の温暖化傾向は、人類にとって危険な異常気象を発生させるという憶測が飛び交っ

ている。しかし、その証拠は説得力がない。温暖化が最も進んでいるのは北半球の高緯度地域であり、気温は氷点下である。そのため、動植物に大きな影響を与えることはないだろう。しかし、エルニーニョや大西洋数十年規模振動などの自然振動の短・中期的な変動による影響は今後も続き、十分な備えが必要である。

最近の地球温暖化のパターンは、気象学者が広く認識していること、すなわち、海洋は気候システムの重要な慣性力および熱のフライホイール（弾み車）であるということの妥当性を強調している。つまり、気候をコントロールしようと思えば、海をコントロールする必要があるのだ。地球の気温に働きかけるために脱炭素化を図ろうとしても、それは無駄なことなのだ。

GWPF は、*Royal Society*（王立学会）と気象庁に対して、この論文を検討し、その付録として公表するための回答を提出するよう求めた。しかし、回答は得られなかった。

注釈

1. 地球の放射とは、地球上で通常観測される温度域の物質が放出する放射エネルギーのことで、長波放射とも呼ばれる。
2. 太陽放射は、高温の太陽から放出され、地球に到達するエネルギーで、短波放射とも呼ばれる。
3. 温室効果ガスとは、長波放射を吸収・放出する大気中の気体（特に水蒸気と二酸化炭素）のことである。
4. 但し、高緯度での放出量は熱帯より少ない
5. 高い対流雲の中では、地表付近の暖かい湿った空気が、浮力をもって高層大気へと持ち上げられる。空気は上昇するにつれて冷やされ、熱と潜熱は位置エネルギーに変換される。高層大気ของ空氣は、風に乗って極域に運ばれると、沈み、位置エネルギーは熱に変わる。この熱は、大気の放射エネルギー損失を補うために利用される。