

地球温暖化の仕組み

「環境エネルギーネットワーク 21」主任研究員 岸本 哲郎

地球上で起こる様々な大気現象は太陽から受け取ったエネルギーを源としています。地球が太陽から受け取ったエネルギーは、大気圏だけではなく、様々な形態を取りながら、海洋・陸地・雪氷・生物圏の間で相互にやりとりされて、最終的には赤外放射として宇宙空間に再放射され、ほぼ安定した地球のエネルギー収支が維持されています。

気候変動の要因には自然の要因と人為的な要因があります。自然の要因には太陽活動の変化など宇宙規模の変動があります。特に、地球表面の約70%を占める海洋は、大気との間で海面を通して熱や水蒸気などを交換しており、海流や海面水温などの変動は大気の運動に大きな影響を及ぼします。一方、人為的な要因には人間の活動に伴う二酸化炭素などの温室効果ガスの増加やエアロゾルの増加、森林破壊などがあります。二酸化炭素などの温室効果ガスの増加は、気温を上昇させ、森林破壊などの植生の変化は水の循環や地球表面の日射の反射量に影響を及ぼすのです。

近年は大量の石油や石炭などの化石燃料の消費による大気中の二酸化炭素濃度の増加による地球温暖化に対する懸念が強まり、人為的な要因による気候変動に対する関心が強まっています。しかし地球温暖化などの環境問題はそのメカニズムが非常に複雑でまだよくわかっていないことも多いのです。これらの問題をより複雑にして分かりづらくしているのは、そこに政治や経済が介入しているからなのです。政治は自国や自分の利益のために科学的な事実を捻じ曲げることがあります。マスコミ等も偏った論調を発信することがありますので、何が科学的な真実なのかよく見極めることが重要になってきます。

地球は太陽からエネルギーを得ていますが、地球の温室効果を無視すると地表温度は約 -18°C になり、同じく金星の温度は約 -50°C になります。実際は地球には大気があるため表面温度は 15°C 前後に保たれています。一方金星では大気の温暖化影響により温度は 460°C の高温になっています。

宇宙に浮かぶ黒体の平衡温度

ここからは少し物理的な話です

S: 太陽定数 $S = 1.366 \text{ [kW/m}^2\text{]}$ Σ : ステファン・ボルツマン定数 $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ [Wm}^{-2}\text{K}^{-4}\text{]}$

T_e : 地球の表面温度

r : 地球の半径

とすると 地球が太陽から受けるエネルギーは $S \times \pi r^2 \dots$ (1式)

地球が宇宙に放出するエネルギーは $\sigma \times 4\pi r^2 \times T_e^4 \dots$ (2式)

太陽から受け取るエネルギーと宇宙に放射するエネルギーが平衡するので反射を考えなければ (1式) と (2式) は等しくなり $S \times \pi r^2 = \sigma \times 4\pi r^2 \times T_e^4$ と表せます。これを計算すると $T_e^4 = S \times \pi r^2 / \sigma \times 4\pi r^2 = S / \sigma \times 4$ となり $T_e = 278 [K]$ ($5^\circ C$) となります

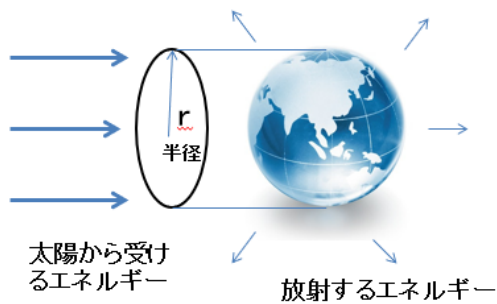


図1 地球が太陽から受けるエネルギー

このように地球では太陽から受けるエネルギーと宇宙に放熱するエネルギーがバランスしていて、平衡温度は $5^\circ C$ となります。

表1 地球以外の惑星の黒体の平行温度

惑星名	太陽からの距離(天文単位)	黒体の平衡温度
水星	0.3871 AU	447 K (174 °C)
金星	0.7233	327 K (54 °C)
地球	1.0000	278 K (5 °C)
火星	1.5237	225 K (- 48 °C)
木星	5.2026	122 K (-151 °C)
土星	9.5549	90 K (-183 °C)

国立天文台 理科学年表から

実際は太陽のエネルギーは雪や雲、海などで一部は反射されます。月が明るいのは太陽光が表面で反射されているからです。これをアルベド係数と言い、場所によって反射係数は異なりますが平均すると約 30% が反射しているのです。

A はアルベド係数で平均で 0.3 (30%) とし、これを考慮して計算すると $S \times (1 - A) \pi r^2 = \sigma \times 4\pi r^2 \times T_e^4$ となり、地球の温度は $T_e = 255 [K]$ ($-18^\circ C$) となります。(参考 金星はこれを考慮すると $-50^\circ C$ となります) しかし実際の地球の平均気温は $15^\circ C$ です。なぜなのでしょう？



地球には大気があり、この影響で全てのエネルギーを宇宙には放射せず、地表に向けてある比率で再放射しているのです。Bはこの宇宙に放出する比率で61%と仮定し、これらの2つの条件を考慮すると平衡式は $S \times (1 - A)\pi r^2 = B \times \sigma \times 4\pi r^2 \times T_e^4$ となり、これを計算すると $T_e = 288 [K]$ ($15^\circ C$) となります。

これは現在の地球の平均気温で、生物の環境としては理想的な値であることがわかります。

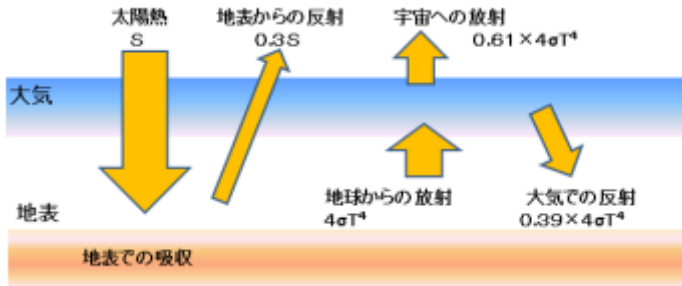


図2 地球の熱平衡

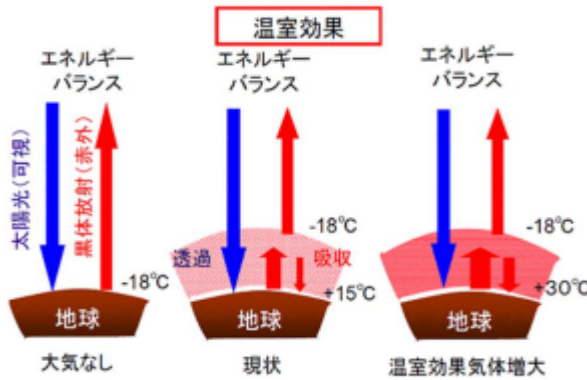


図2、図3のように地球には大気があるために地球から放出される赤外線(熱)が大気に吸収されその一部が地球に再び放出されています。そのため地球の温度は大気がない状態に比べて15°Cと言う生物の生存の環境としては理想的な温度になっています。この赤外線の吸収には二酸化炭素などの温室効果ガスが大きく影響しているのです。

図3 温室効果ガスによる地球の温度バランス (文部科学省 光と地球環境から)

しかし地球にある大気は約20%が酸素で残りほとんどが窒素です。二酸化炭素は僅か0.04%しかありません。それなのになぜ二酸化炭素などだけが温暖化の原因とされているのでしょうか。この赤外線の吸収能力は分子振動に伴う電気双極子モーメントの変化によるものなのですがここでは少し難しいので説明は省きます。要するにこの値が二酸化炭素では大きいのです。一方酸素や窒素はこれがなく、したがって赤外線の吸収は起こらないので温暖化効果はゼロなのです。実は水蒸気は温室効果が非常に大きいのですが、その一方水蒸気は温室効果を強く抑制する働きも持つため 実際には水蒸気の影響は大幅に減少すると考えていて温室効果ガスの対象にはなっていないのです。その効果とは上空で凝縮する際に放熱し、雨や雪、氷の形で地上に戻るサイクルを通じて宇宙空間への放熱を促進する、ま

た雲が増えることで太陽光の宇宙への反射率が高まるなどです。気温が上昇によると海水の蒸発によって大気中の水蒸気量が増えてさらに気温の上昇を招くという温暖化の暴走が起こるのではないかと懸念もありますが、これらのメカニズムに関してはまだよく判っていないのです。

大気中の CO₂ 濃度は地球の気候変動に伴い過去から増減を繰り返してきましたが、近年急激に増加していることが観測の結果分かります。また世界の平均気温は確実に増加の一途をたどっています。大気中の CO₂ 濃度の増加がその原因とされていますが、CO₂ 濃度の上昇で温暖化が進んだのではなく、温暖化の影響で CO₂ 濃度が上昇しているのではないかと意見も一部にはあるようです。

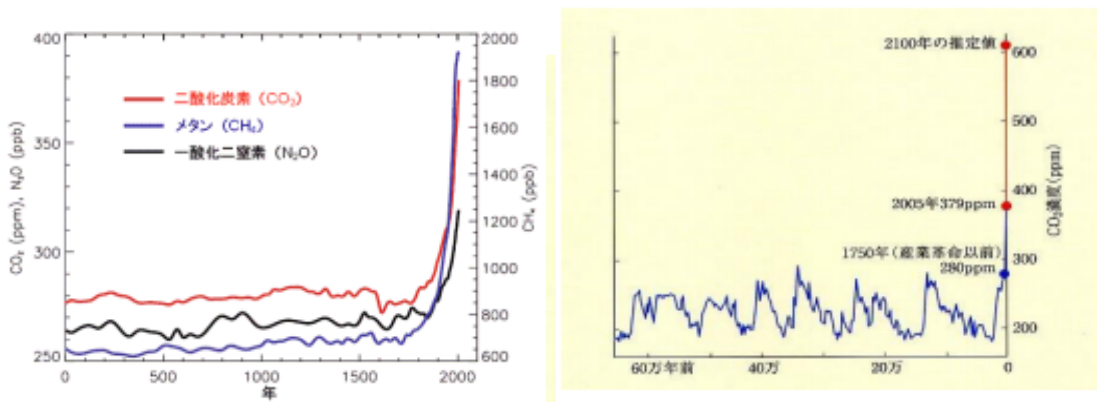


図3 大気中の CO₂ 濃度の推移

(IPCC 四次報告書、地球が語る近未来の環境 (近藤明彦) 日本第四紀学会から)

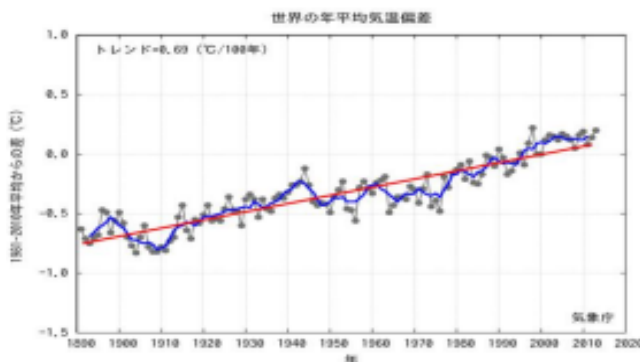


図4 世界の平均気温の変化 (気象庁データから)

しかしのように世界の平均気温は観測の結果上昇傾向にあることがわかります。気温の上昇によって氷河が融けると氷河による太陽光の反射が減り温暖化に拍車がかかります。また、海水から蒸発する水蒸気量が増えるので台風の大型化による大洪水、干ばつ、猛暑などが頻発する虞もあります。人類はいわゆる化石燃料の消費をゼロにすることは不可能です。現在 CO₂ の排出量を減らすことばかりに皆の関心が行っていますが、別の仕組みも考えなければなりません。