

熱力学的温度

温度の定義

現在の温度の定義は、平衡状態における分子の運動エネルギーを、エントロピーという統計値で微分したものである。

$$T = \frac{\Delta Q}{\Delta S}$$

S : エントロピー変化
Q : 熱量(の変化量)
T : 絶対温度

示強性………物質の(全)量に比例しない性質。温度は示強性です。

T(絶対温度)は、ΔQ(熱量)に比例する。熱量は、エネルギーです。
(大気・水循環が定常に行われて、ΔSが一定ならば)気温はΔQ(地表付近の廃熱量)に比例する。

グラフにおいて、横軸(X軸)が絶対温度ならば、縦軸(y軸)はエネルギーである。
縦軸が二酸化炭素濃度であるかのようなごまかしに、惑わされないようにして下さい。

気体の状態方程式を全微分(偏微分)することにより

$$PV = (nR)T \quad \therefore T = \left(\frac{1}{nR} \right)_{一定} PV$$

T(P,V)………TはP,Vの関数

$$dT = \left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_V dP + \left(\frac{\partial T}{\partial V} \right)_P dV$$

Tの微小変化は、
(Vを一定にして) TをPで微分したものに、Pの微小変化を乗じたものと
(Pを一定にして) TをVで微分したものに、Vの微小変化を乗じたものの和になる。

熱力学第一、第二法則より

$$T = \left(\frac{\partial U}{\partial S} \right)_V$$

Tは、(Vが一定のとき)UをSで微分したもの
『温度とは、(体積が一定ならば)内部エネルギーをエントロピーで微分したもの』である。

エンタルピーから温度を考察してみよう

$$H = U + PV$$

H: エンタルピー

$$dH = TdS + VdP$$

Hは(S, P)を独立変数とする関数である。

エンタルピーを全微分して

$$\begin{aligned} dH &= H(S+dS, P+dP) - H(S, P) \\ &= \left(\frac{\partial H}{\partial S} \right)_P dS + \left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_S dP \\ &= TdS - VdP \end{aligned}$$

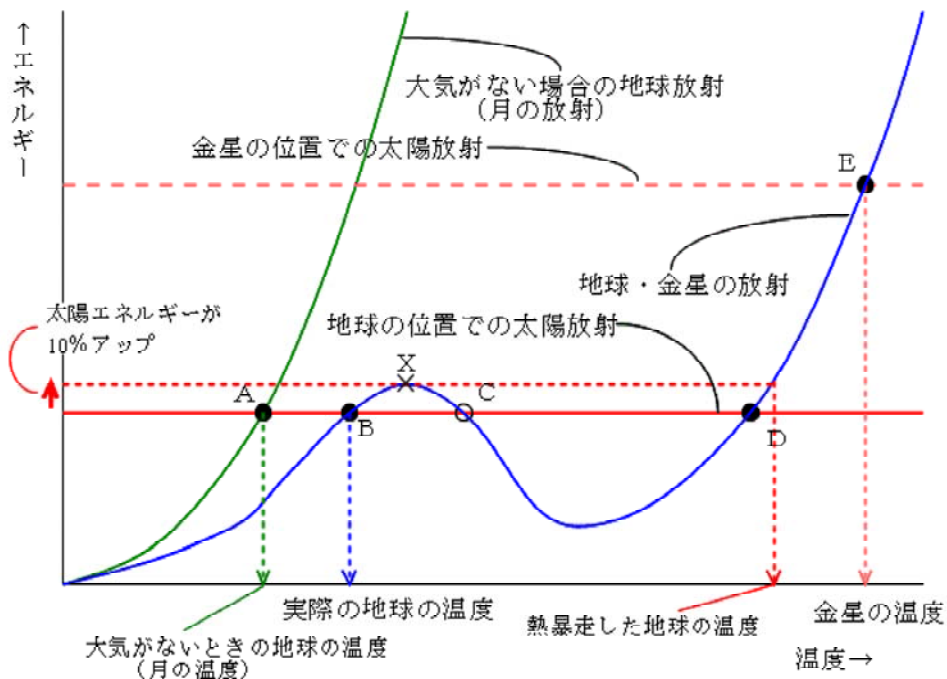
よって、

$$T = \left(\frac{\partial H}{\partial S} \right)_P, \quad V = - \left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_S$$

Tは、(Pが一定のとき) HをSで微分したもの
『温度とは、(圧力が一定ならば)エンタルピーをエントロピーで微分したもの』である。

Vは、(Sが一定のとき) HをPで微分したもの
『気体分子の飛び回る空間(気体の体積)は、(エントロピーが一定ならば)エンタルピーを圧力で微分したもの』である。

安定な平衡と不安定な平衡



地球の温度と地球からの放射エネルギーの概念図：自然の数理（筑摩書房、数理学シリーズ、1975年）

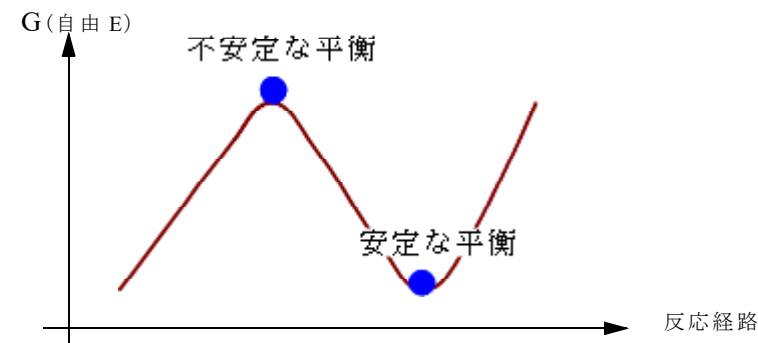
グラフにおいて、横軸(X軸)が絶対温度ならば、縦軸(y軸)はエネルギーである。
縦軸が二酸化炭素濃度であるかのようなごまかしに、惑わされないようにして下さい。

地球放射と太陽放射が釣り合う点が3つある。B点とD点は、地球の温度が上がれば太陽放射より地球放射の方が大きくなり、出ていくエネルギーの方が大きくなるので温度が下がる。逆に、地球の温度が下がれば太陽放射より地球放射の方が小さくなり、温度は上がる。つまり、この点は地球の温度がちょっと変動しても必ず元に戻る。このような平衡を安定な平衡という。

一方、C点はちょっとでも地球の温度が上がると、出ていくエネルギーの方が小さくなるのでますます温度が上がり、逆に温度が下がると出ていくエネルギーの方が大きくなるのでますます温度が下がる。このような平衡を不安定な平衡という。

安定な平衡、不安定な平衡は、坂に球（ボール）を止めることを考えるとわかる。

図の青い球は谷底と頂上で止まる。その青い球は、谷底では位置が少しずれても谷底に戻るが、頂上では少しでも左右にずれると坂を転がり落ちてしまう。谷底が安定な平衡のイメージ、頂上が不安定な平衡のイメージである。



大気がない場合の地球（つまり月）の放射エネルギーはステファン・ボルツマンの法則に従い、表面温度の4乗に比例する。
このとき、太陽放射と釣り合う温度（図のA点＝約マイナス18℃）が、月全体の平均温度であり、地球に大気がなかった場合の地球の温度ともなる。

地球には海水として水が大量にあるし、さらに石灰岩も温度が上昇すると分解して二酸化炭素になる。つまり温度が上がれば上がるほど、大気中の水蒸気や二酸化炭素はどんどん増え、温度が上がる。すべての海水が蒸発し、またすべての石灰岩が分解すると、温度が上昇すると、（C点では、温度が上がると放射エネルギーは、低くなっていたのに対して）再び放射エネルギーは大きくなる。

（海水が存在することで成立した循環サイクルと平衡を失ってしまうということは、物エントロピーを熱エントロピーに換えるところの生態系は完全に破壊され、さらに大気・水循環システムも失うことを意味する。つまり、生命体は存在できない環境となる。）

放射エネルギーのグラフで、太陽放射と釣り合う温度は3カ所あるが、地球の温度はB点（約15℃）になる。もし、太陽の放射がいまより少し（10%くらい）大きくなったり、あるいは人間が作り出すエネルギーが大きくなりすぎてX点を超えてしまうと、地球は熱暴走を始め、海水はすっかり蒸発、石灰岩もすべて分解して、やっとD点（細かくいうとD点より少し温度の高いところ）で釣り合うようになる。

そのとき地球の大気圧は水蒸気270気圧、二酸化炭素30～50気圧の合計300～320気圧、温度も200℃をこえるだろう。実際に、金星がこの状態である（図のE点）。金星の位置では太陽放射も大きいいため、表面は480℃にもなっている（気圧は90気圧）。

残念ながら、いくら人間が無限の、しかもクリーンなエネルギー源を開発しても、それを地球で使えば最終的には熱(廃熱)になる。熱暴走を起こさないためには、太陽エネルギーの10%以下に抑えなくてはならないこともわかる。実際には、この限界値のエネルギーを使いきる前に、地球の環境は完全に破壊されであろう。