

黒体擬似輻射と拡張 Stefan Boltzmann 則： <<平衡多原子分子気体運動と熱壁での熱交換>>

地球温暖化メカニズム基礎に通過太陽光が地球面に到達後、赤外線再放射化して、それが大気圏GHG(温暖化ガス)に一部吸収された後に半分以上が地上への後方放射になる事で温室効果(放射強制力)が発生すると従来勘定したが、然るに地上放射波のGHG分子捕獲後の後方再放射は本当は気体分子熱運動化で、量子化学見地からないと言う反論が多い。これは正しいだろう。だがそれでも結果的にマクロ平衡状態=長時間平均処理として再放射と等価に扱える事を以下の“黒体擬似輻射”の概念で簡単に説明する。熱分子運動のエネルギー密度 w が電磁場輻射エネルギー密度 w と圧力 $P = w/3$ で物理等価に成るからである。ただし $u = kw$ (k は比例定数) が本来問題とするエネルギー流密度。結論はSB法則。 $u = \sigma T^4$ 。 <拡張 Stefan Boltzmann 法則>

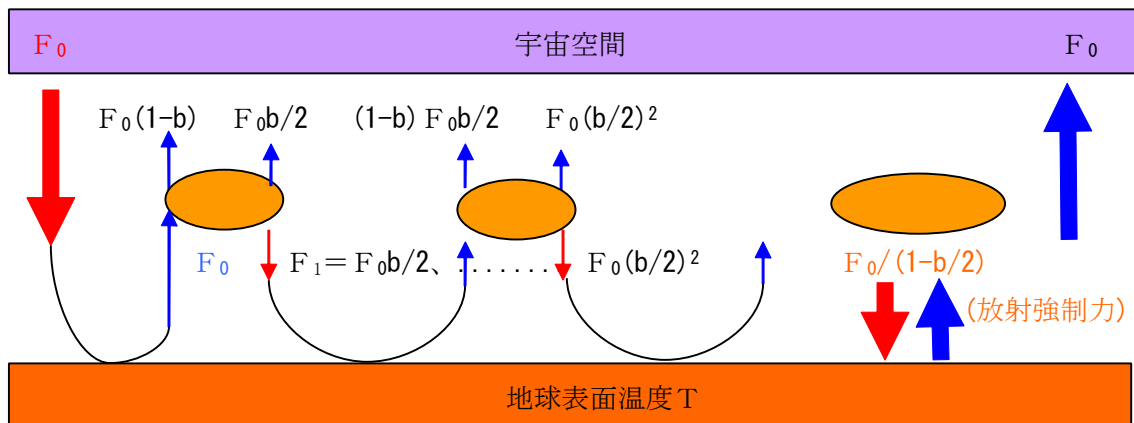
☞：以下議論は気象予測の様な局所非平衡状態は対象外。巨視長時間平衡を粗仮定。

[1]：GHGの後方放射/温室効果メカニズムのマクロ平衡状態化模型図：

<参考 site：FN高校の物理：温室効果と温暖化/>

http://www.fnorio.com/0040Greenhouse_effect1/Greenhouse_effect1.htm

(1)平衡性仮定から再放射、熱伝導-大気攪乱の双方を仮定しても総計として支障がない。



話は通過太陽光 F_0 が平衡状態温度 T の地上面に入射し、再放射 F_0 になる。それがGHG ●に捕獲係数 b で捕まる。再放射は立体角一様分布だが、散乱反復で最終的にその半分は宇宙冷却放射へ、残り半分が地上後方再放射と言う等比数列的反射反復過程の筋書き。この後方再放射を、電磁輻射でなく、熱分子運動としての対流圏流体かく乱長時間平均を込めた後方熱伝導伝播を“理想気体内部運動”とみなすと圧力 $P = w/3$ と内部 energy 密度 w での黒体輻射場類似関係が成立、その結果は後方再放射とみなしても同じ事なる。ただし Stefan Boltzmann 定数の意味は異なってくる。話は巨視平衡定常状態である。

②地上入射電力流と宇宙冷却放射流の収支会計：

(a)地球上層と地表面での反射成分を除いた正味一次入射流量 = F_0 .

+) (b)高次入射流量 = $F_0(b/2) + F_0(b/2)^2 + \dots + F_0(b/2)^n + \dots = F_0(b/2)/(1-b/2)$ 。

(c)地表総入射流 = $F_0/(1-b/2) = F_0 + F_0(b/2)/(1-b/2)$ 。

この結果GHGでの反射往來過程で等価的に $F_0(b/2)/(1-b/2)$ の増幅的入力追加があり、これがGHGの作用による温室効果寄与の**放射強制力**と言う意味になるだろう。これだけの入力を相殺して**地表温度平衡**を達成するにはGHG = 0の状態から地表温度上昇が必須になる。

(d)通過冷却流 = $(1-b)F_0 + (1-b)F_0b/2 + \dots + (1-b)F_0(b/2)^n + \dots = (1-b)F_0/(1-b/2)$

+) (e)再放射冷却流 = $F_0(b/2) + F_0(b/2)^2 + \dots + F_0(b/2)^n + \dots = F_0(b/2)/(1-b/2)$

(f)冷却総流出量 = F_0 = 地上入射正味一次流量。

かように実質的な地上太陽入力と冷却排出量は地球外からみて、均衡してるので平衡状態が実現する。だが温度上昇にある現状では、詳細過渡的には入力が排出を上回るのである。

③黒体輻射場でのGHG=0の真空中の地球全球平均値温度決定式：

$$\pi R^2 F_0 = 4\pi R^2 \sigma_0 T_0^4. \rightarrow T_0 = 255\text{C} (-18\text{C}).$$

(地上入力 = 地上冷却放射出力).

$F_0 = (1-A)F$; A(反射能アルベド) = 0.3、F(太陽定数) = 1368W/m²、

R(地球半径) = 1.5X10¹¹m. $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$. (Stefan Boltzmann 定数)、

$$(4) \pi R^2 F_0 / (1-b/2) = 4\pi R^2 \sigma_0 T^4.$$

地上面入力エネルギー流がGHG存在により、 $F_0 \rightarrow F_0/(1-b/2)$ へ増大する事は等価的に真空中の地球入力を $F_0/(1-b/2)$ とした場合と地表温度は同じでなければならぬ。

それが(4)式根拠。それはSB定数が $\sigma_0 \rightarrow \sigma_0(1-b/2)$ と変化したと見ても等価。

$$\pi R^2 F_0 = 4\pi R^2 \sigma_0 (1-b/2) T^4 = 4\pi R^2 \sigma_0 T_0^4.$$

$$T = [1/(1-b/2)]^{1/4} T_0.$$

数値例) $b=0.78 \rightarrow T=288\text{C} (15\text{C}).$

0.80 $\rightarrow T=290\text{C} (17\text{C}).$

0.82 $\rightarrow T=291\text{C} (18\text{C}).$

0.84 $\rightarrow T=292\text{C} (19\text{C}).$

0.86 $\rightarrow T=293\text{C} (20\text{C}).$

☞ : 問題となる値(1-b)は**地上冷却放射がGHG中を抜けて宇宙空間到達の確率値**、

b 詳細のGHG化学物理は今後調査、最終政策問題にもなる。

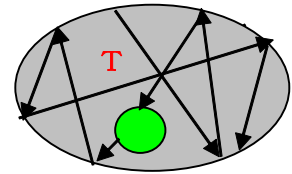
[1]:黒体輻射と Stefan Boltzmann 法則(復習) :

①熱力学関係式 $(\partial S / \partial V)_T = (\partial P / \partial T)_V$ の導出等 :

- (a)熱力学第1法則 : $dU = TdS - PdV$. $\langle dQ' = TdS, dW' = -PdV \rangle$.
 (b)熱力学第2法則 : $\oint dQ' / T = \oint dS = 0$. \langle 準静的過程極限でのSの状態変数化 \rangle
 自由エネルギー $A \equiv U - TS$. $\rightarrow dA = -PdV - SdT$.
 $\rightarrow P = -(\partial A / \partial V)_T$. $\rightarrow S = -(\partial A / \partial T)_V$.
 (c) $\rightarrow (\partial S / \partial V)_T = -(\partial^2 A / \partial T \partial V) = (\partial P / \partial T)_V$.

②空洞放射平衡模型の熱電磁力学と Stefan Boltzmann 法則 :

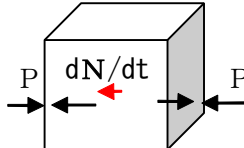
- (a)左図玉子は内部に電磁波が**反射熱平衡**した体積V系、緑地球等が時間平均一定温度Tにあるとの模型を想定してる。
 (b) $U = Vw =$ 電磁場エネルギー密度 w の体積分値。 $w = \frac{1}{2}(\mathbf{E} \cdot \mathbf{D} + \mathbf{H} \cdot \mathbf{B})$.
 $\Rightarrow w$ はエネルギー体積密度量で、流れ電流密度量でない事に留意!
 (c)電磁場 stress tensor の議論から電磁場面には圧力Pが存在。 $P = w/3$.



$$\mathbf{f} = \rho \mathbf{E} + \mathbf{j} \times \mathbf{B} = \mathbf{E} \operatorname{div} \mathbf{D} + (\operatorname{curl} \mathbf{H} - \partial_t \mathbf{D}) \times \mathbf{B}$$

$$\mathbf{F} \equiv \oint \mathbf{f} dv = -\epsilon \mu \oint \partial_t (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) + \oint [\epsilon \mathbf{E} (\mathbf{E} \cdot d\mathbf{S}) - \frac{1}{2} \epsilon (\mathbf{E} \cdot \mathbf{E}) d\mathbf{S}] + \oint [\mu^{-1} \mathbf{B} (\mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}) - \frac{1}{2} \mu^{-1} (\mathbf{B} \cdot \mathbf{B}) d\mathbf{S}]$$

電荷電流, $\mathbf{F} = 0$ 輻射空間の $\mathbf{N} \equiv (\mathbf{E} \times \mathbf{H})$ 運動量流変化に寄与する $d\mathbf{S}$ 面を介した圧力Pが stress tensor. $dU = -PdV$ と 3次元対称性の仕事を考慮すれば $P = w/3$.



\Rightarrow : 左箱は流体模型相当で、壁圧力差が運動量変化 = 電磁波運動量変化に起因する事を意味。

- (d)上記①(a)(c)から次の関係式を得る。これは空洞部(灰色)が等方様な物質場を仮定しており、その限りにおいて物性内容に無関係な構造に留意、

$$dU = TdS - PdV. \rightarrow (\partial U / \partial V)_T = T (\partial P / \partial T)_V - P$$

$$U = Vw, P = w/3 \text{ を使用すれば } w = T (1/3) dw/dT - w/3. \rightarrow dw/w = 4dT/T$$

(d) $w \propto T^4$.

この構造は熱平衡空間物質を選ばない法則。ただし比例乗数 σ は空洞物性に依存する<GHG (温暖化ガス電磁物性)>

③入射電力波密度 = 反射電力波密度 $\equiv u \propto w$ の線形平衡定在波系だから

(a) $u = \sigma T^4$. <Stefan Boltzmann 法則>

③

- (b) $\sigma_0 =$ 空洞が真空の場合の Stefan Boltzmann 定数 $= 5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$.

「GHGに依存する σ 減少こそが地球温度上昇Tを決めてしまう大問題になる!!」。

\Rightarrow : 空洞(平衡)輻射場energy 密度 w はPlank 分布で決定、電力流面密度 u は均質等方向性での不偏推定から $u = (11/48)wc$. ……従来主流は $u = (1/4)wc$?。

詳細は<<http://www.777true.com>>物理講座項目 #9.

[2]: 黒体擬似輻射と拡張 Stefan Boltzmann 法則 :

① 熱力学関係式 $(\partial S / \partial V)_T = (\partial P / \partial T)_V$ の導出等 :

(a) 熱力学第 1 法則 : $dU = T dS - P dV$. $\langle dQ' = T dS, dW' = -P dV \rangle$.

(c) $\rightarrow (\partial S / \partial V)_T = -(\partial^2 A / \partial T \partial V) = (\partial P / \partial T)_V$.

② 理想気体 :

(1) $P V = n R T$. \langle 状態方程式 : 気体定数 $R = 8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$; $1 \text{ mol} = 6.02 \times 10^{26}$ \rangle .

(2) $U(T) = U(T_0) + \alpha n R (T - T_0) \equiv \alpha n R T$. \langle 理想気体の内部 energy \rangle

\Rightarrow : $T = 0$ では $U = P = 0$ は妥当と思われる。

(3) $w = U/V = \alpha n R T / (n R T / P) = \alpha P = 3 P$.

$\langle \alpha = 3/2$ (1 原子分子)、 $5/2$ (2 原子)、**3 (GHG の多くは多原子分子)** \rangle .

(3) $P = w/3$. 「これは空洞輻射場②(c)と同形式」

③ $dU = -P dV$ と 3 次元対称性の仕事を考慮しても $P = w/3$. 以下は [1] と同じ.

$U = V w$, $P = w/3$ を使用すれば $w = T (1/3) dw/dT - w/3$. $\rightarrow dw/w = 4 dT/T$.

$$w \propto T^4.$$

④ 入射熱エネルギー流密度 = 反射熱エネルギー流密度 $\equiv u \propto w$ の平衡系だから

(a) $u = \sigma T^4$. \langle 拡張 Stefan Boltzmann 法則 \rangle

④

(b) σ は多成分 GHG の化学物性に依存する. **最終政策問題でもある !!**.

⑤ 結論 :

熱壁(地球表面)と熱空間(電磁場、気体熱分子運動場)が熱平衡状態では皆、 $P = w/3$ で統一された結果、その巨視平衡状態熱力学での処遇は類似構造になる。 GHG の放射強制力による全球温度変動の議論は正しい。

⑥ 蛇足 : 宇宙空間への冷却熱流は重力束縛下の分子熱運動では不可能で電磁再放射になる。本論は大気圏熱停滞がない平衡系を論じてる。もし上空冷却放射がなければ対流圏中に熱停滞が発生、それは熱運動分子衝突励起で冷却放射に成らなければ成らない。放射等方性から地上への再放射成分もある。いずれもエネルギー流は T^4 に比例が味噌。かように地上への熱逆流はマクロ流体かき混ぜ<見かけ上の熱伝導を一気高速化>をも込めた熱分子運動と電磁輻射の 2 経路があるが、その成分比は筆者には不明。要は太陽光入射流 = 地球冷却流の以下平衡式での GHG 成分量の関数である $\sigma_0 (1-b/2)$ が支配する地表温度 T の決定である。

$$\pi R^2 F_0 = 4 \pi R^2 \sigma_0 (1-b/2) T^4.$$

$$\pi R^2 F_0 = 4 \pi R^2 \sigma_0 T_0^4. \quad \rightarrow T_0 = 255 \text{ C} (-18 \text{ C}). \quad \langle \text{GHG} = 0 : \text{真空中の地球表面温度} \rangle$$

$$T = [1 / (1-b/2)]^{1/4} T_0. \quad \rightarrow \{ T = 288 \text{ C} (15 \text{ C}), b = 0.78, \text{ 現状地球の値} \}.$$