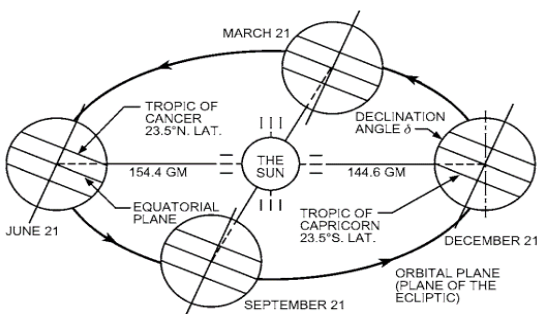


空調設計者は図面を画く前にまず建物の冷暖房負荷の算定から始め、部屋数が多いと煩雑で一刻も早く終わりたいものである。少なくとも昭和40年代頃までは簡素化された数値を用い乗加算だけでできた。昭和50年代になって米国空調系エンジニアリング協会（ASHRAE）から始まり、詳細な手法が公表され出した。日本でも時間遅れの考え方や壁種類ごとのデータ、そして公共建築物用のデータが公表され、今に至っては省エネ計算書の届けまで義務化されるに至った。ここで負荷の元になる太陽熱のデータについて、東京、12時、水平面で"843 w/m²h"を使う事とされている。総ガラス貼り一辺が100m単位で規格化された規模のオランダ式植物施設の冷房設計とその結果を得たものとして、ASHRAE 負荷計算手法について種々の問題提起をする。

"843 w/m²h" は化学エネルギーか熱エネルギーか、宇宙への放熱を考慮しているのか。

1. 太陽からのエネルギーとその性質
2. 地球側からみた受熱、放熱
3. 熱伝達率と壁体表面温度



半径70万km絶対温度6,000° kの太陽から1.5億km離れた地球の軌道上、宇宙で受けるエネルギーは1324W/m²h（太陽定数）、これに大気での遮り（airmass）を考慮して算出されている。ASHRAEの基礎編ハンドブック14章に詳しく掲載されており、この手法を用いて日本各地の日射データを計算できるexcelシートを中部支部サイト

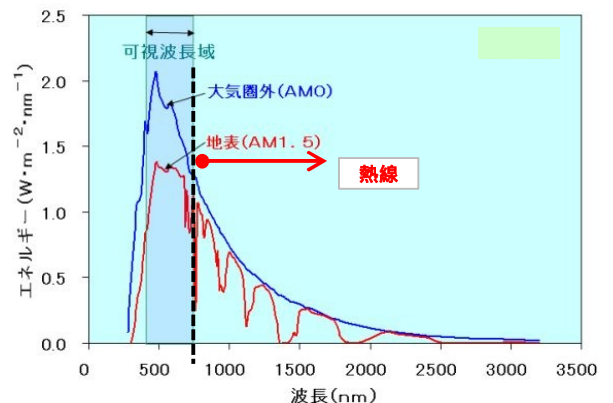
からダウンロードできるように用意した。（2017年版）

<http://jabmee-tyubu.com/index.html>

更に各地の外気温度条件も用意しており、従来手法の負荷計算に利用できる。但し、表の値は全エネルギーであり、宇宙への放熱は含まないと記載した。

日射エネルギー（全波長）		w/hm ²						
↓地域選択		H	N	NNE	NE	ENE	E	
①	名古屋	緯度 35.255 経度 136.924	cos θ	-180.0	-157.5	-135.0	-112.5	-90.0
			Et, b	Et, b	Et, b	Et, b	Et, b	Et, b
4時	1,324 w/hm ²	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
5時		0	4	6	9	12	15	
6時		62	---	65	166	252	305	
7時		224	---	169	338	469	537	
8時	Y・Ebcos θ	419	69	271	449	573	619	
9時		605	11	201	378	515	585	
10時	by Ashrae2017 new methods	756	---	95	246	377	465	
11時		853	---	---	94	200	291	
12時	但し、	886	---	---	---	13	93	
13時	波長0.7μm以上の割合53.12%	850	---	---	---	---	---	
14時	波長0.73.15C宇宙空間への放熱を	751	---	---	---	---	---	
15時	考慮して補正。	598	14	---	---	---	---	
16時	② 補正無 Et, b, d	410	65	---	---	---	---	
17時	↑選択可	216	---	---	---	---	---	
18時		57	---	---	---	---	---	
19時		---	4	3	3	3	3	

波長ごとのエネルギー量



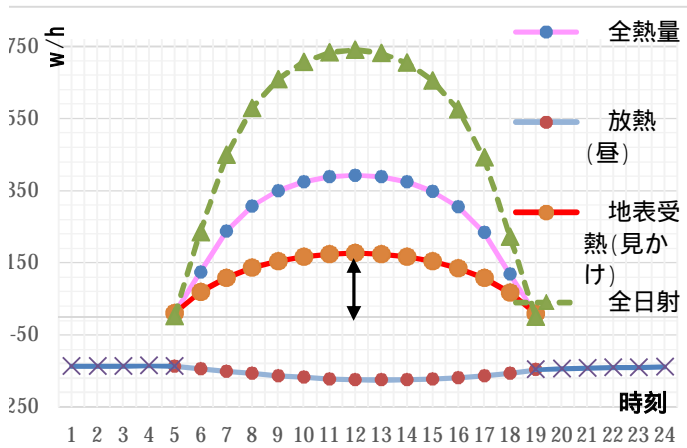
多くの生物が認識し、光合成で化学変化を促す波長（可視光）より長い電磁波は熱線として、物質の温度を上昇させる。いわゆる赤外線、電子レンジの電磁波（2.4GHz）も含まれる。地球を暖め、冷房負荷となる熱であり、太陽日射エネルギーの53%程とされている。

映写機からスクリーンに飛ばす映画館の光は埃がなければ見えないし、熱も無い。人間はその反射光を認識する。

2. 地球側からみた太陽からの熱エネルギー

空調負荷算定に用いる水平面12時の値は2017ASHRAE計算手法で算定すると"715w/m²h" - normal irradiance この53% - "379w/m²h" がピーク時に地面に輻射される熱量である。但し、これには放熱分が考慮されていない為、冷暖房に必要な熱量として、直接的には意味をなさない。

7月23日モデル日の熱収支



温度30 地表面から24時間、-273 の宇宙に放熱している。 - この熱に対し同じ熱量を太陽から受ける事になる。 - 太陽から朝の6時から夕方6時まで輻射熱を受けるが、12時にピークとなる。この時地面、道路は熱を受け同時に放熱をしている。人が感じるのはこの差、見かけの熱量 - であり、負荷計算に必要な熱量である。

つまり "843 w/m²h" は実際の熱量の5倍ほどになる。では現実にビル空調の負荷計算値はやや大きい程度で収束しているが、その要因は何か。

E b (beam normal irradiance)

E d (diffuse horizontal irradiance)

天空輻射とは可視光であり空气中散乱して室内に飛び込む。エネルギーが増えることとなり、あり得ない。

3. 熱伝達率と壁体表面温度

(伝達熱、輻射熱、伝導熱の理解)

まず熱伝達率について、流体の扱いに似て風速に関連し、層流か乱流かそのレイノルズ数を算出して、求める。室内については、空気温度差、浮力に関連するので、Raレイリー数を算出して、求める。やや専門的な計算が必要となる。つまり従来手法では適正な数値を用いていない。壁体が大なる輻射熱を受けても風が強い状態を想定すれば、大半の熱が風(外気)に移行する事になり、室内側に移行する熱は減少する。更にガラス窓から侵入する太陽エネルギーを減じるためブラインドで遮蔽する考え方をするが、可視光線はそこで吸収か反射しても、熱エネルギーは消滅しないで、ブラインドの温度を上昇させる。

ここで、改めて太陽熱が気温を上昇させるメカニズムを整理すると、輻射熱は空気(窒素ガス、酸素ガス)に吸収されない為、地面の温度が上がり、その高い温度の地面から熱伝達で空気に熱が伝わる。但し水は直接、水蒸気はその分圧に応じて吸熱する。冬の明け方時の負荷を求める場合にはこのメカニズムを把握する必要が生じる。

(太陽輻射熱が壁体負荷となるメカニズム)

外壁WSW(k=1.06)16時(外気33.2℃、室温26℃)負荷比較

	日射熱	風速	伝達率	外壁温度	負荷
	w/m ² h	m/s	W/(m ² ·K)	℃	w/h
基礎理論	113.4	1.0	5.86	48.5	24
		3.0	14.1	40.2	15
		6.0	24.6	37.3	12
従来理論	550	1.0	5.86	111	94
		3.0	14.1	68.8	47
		6.0	24.6	54.3	31
実効温度差11℃xK=		11	1.06		12

基礎理論

外壁へ日射熱量 = 外気へ伝達熱+室内へ貫流熱

基礎的な考え方で、従来用いられてきた日射量を元に壁体温度を算定すると、風が無い時、非現実的な温度となる。従ってASHRAE-17,18章では、現実に近い温度に導く為に極めて煩雑、かつ詳細な手法が記載されている。簡易な数値としていきなり実効温度差なる名称で11 が与えられる。一方基礎理論を用いた風速1.0m/sの時の数値

は室負荷として合理的な範囲と考えられる。あり得る。但し、冷房期間中2.5%に相当する設計条件を超えるものと考えれば、建物全体として3m/sの時の数値を採用の方が合理的かもしれない。(ASHRAE2017では風速データを掲載 - 設計条件に加える。また北面など非輻射面の部屋については風速を早く設定するか、これに相当する輻射熱を加味する必要が生じる。いずれにしても負荷算定ソフトに熱伝達率、湿り空気状態、種々の物性値が容易に計算できる要素をプログラム化しておけば済む。

構造	番号	材料	厚さ l mm	熱伝導率 λ W/(m·K)	熱抵抗 $1/\lambda$ m ² ·K/W	温度 ℃	
		16.時	0.0		143.6	33.2	
		α_o	17.1	17.1	13.74	0.073	33.2
	1	コンクリート普通	167.1	150	1.40	0.107	42.4
	2	ガラス-424k	192.1	25.0	0.04	0.625	31.6
	3	石膏ボード*	200.1	8.0	0.17	0.047	30.7
	4		200.1			0	30.7
	5		200.1			0	30.7
		α_{i1}	239.2	39.1	6.00	0.167	26.0
							26
		K1	W/(m ² ·K)	1.057	輻射有	0.2349	0.946
	K2		1.011	輻射無		0.989	w/hm2

壁温は外気風速が2.9m/sの数値であり、遅くなると更に高くなる。

ここで、基礎理論手法で130室、7階建てビルの負荷計算をした結果、当然ながら従来手法の計算値は冷房、暖房とも5%程余裕があり、技術計算としては許容誤差内と言える。また方位や部屋ごとの余裕係数は見込んでいない。この手の余裕係数は真の値を不明確とするので、機器選定の最終段階で設計者が判断し、施主側に説明をする。

(基礎理論手法の副産物)

人間の快適温度とは自らの発熱を除去してくれる室温(熱伝達要素)だけでなく、内壁表面温(度輻射要素)も関連があり、外壁温度の算出に止まらず室内側壁温度も求めておけば、快適度の判断が可能となる。暖房時の冷たい壁温も同じ。

光合成による酸素供給は海からが70%を占める。

緑葉は太陽熱で焼けないように、地中から水分を吸い上げて気孔から蒸散。

(基礎理論手法のメリット)

太陽輻射熱を的確に把握することで、複雑なデータから解放され簡素な計算作業で正確な計算値を得る事が出来る。更に、40数年ほど前デGREE-デイは年間負荷の算出には誤差が大きく、無理とされてきたが、熱エネルギーの実態が明確となれば少なくとも気象負荷の算出精度は向上する。次に過剰設計の傾向も沈静化すると期待する。何より最大のメリットは計算の簡素化で実務を行う技術者に時間的余裕が生じ、他の技術的検討に意識が移るなら、知識向上、レベルアップに寄与するものと期待する。

(追加)

梅雨時、水分は輻射熱を受ける。気温は低くても空気は湿度が高く、そのインパ-は夏と変わらず。低い地面温度から宇宙に放熱して熱収支はバランスする。

$$\text{炭酸ガス } Q=4.07(p \cdot s)^{1/3}(Tg/100)^{3.5}$$

$$\text{水蒸気 } Q=40.7(p \cdot s)^{0.59}(Tg/100)^3 \quad (30倍)$$

Q: 輻射される熱量 k w/m²h p: 分圧 at

s: 層の厚さ m

上記の式は戦前の工学者の知るところで、突然IPCCでは種々の物質の輻射吸収率を炭酸ガスのと比較し、GWPのネーミングをして一覧表を提示した。

炭酸ガスの温室効果説: 吸収した熱を上下双方向に輻射する。

輻射は温度の高い方から低い方に向かって働く。

地球から宇宙への放熱は地表温度に由来、受熱 = 放熱バランスが崩れて、次の季節を迎える。

最近ヒートアイランド、省資源なる言葉があまり聞かれなくなったのは?

global warming potential (GWP) relative to CO₂ for 100 year integration based on the values reported in the IPCC (2007) Fourth Assessment Report and as updated in the WMO (2010) Scientific Assessment. The values shown are direct GWPs. Indirect and net GWPs are discussed in IPCC (2007) and WMO (2010), and they should not be confused with TEWI- and LCCP-type analyses that

専門家を自認する空調技術者ほど装置に興味があって、空調負荷に関しては、データには余裕があるからと疎かにしてきた傾向はある。ところが全面ガラス貼り植物工場の冷房で、確実な負荷を算定し、また最近やたら負荷計算が詳細、精密計算の傾向もあり、本腰を入れてそのデータをまとめることにした。

一言でいうと、従来手法は太陽からの日射量 " 843w " + を元に組み立てている。実態はこれの20%程。

- ・ 6000 ° k の太陽からの輻射エネルギーは光などの化学エネルギー50%、熱エネルギー50%。
- ・ 地球の表面300 ° k から宇宙への輻射熱は光を生じない。
- ・ 太陽から受ける熱エネルギーは、24時間宇宙へ放熱する熱量に見合う程度の熱量でなければ、それこそ高温化。

太陽からの実質熱量が明確になれば、あとは風速による熱伝達を適正に用いることで極めてシンプルかつ的確に温度、熱負荷を算定できることになる。また冬場の負荷、一般ビル空調以外にも応用が利く。

プランクから遅れてほぼ1世紀、マニュアル中心の技術者から物理、化学に根差した空調技術に回帰するきっかけとしたい。但し、雑用で時間が取れない若い技術者の為に手間のかからない手法が不可欠。

<人間から見た太陽からの熱エネルギー>

7月23日名古屋モデル日の熱収支

従来負荷計算に用いられている " 8 4 3 w/m²h " は 全エネルギーに相当する。

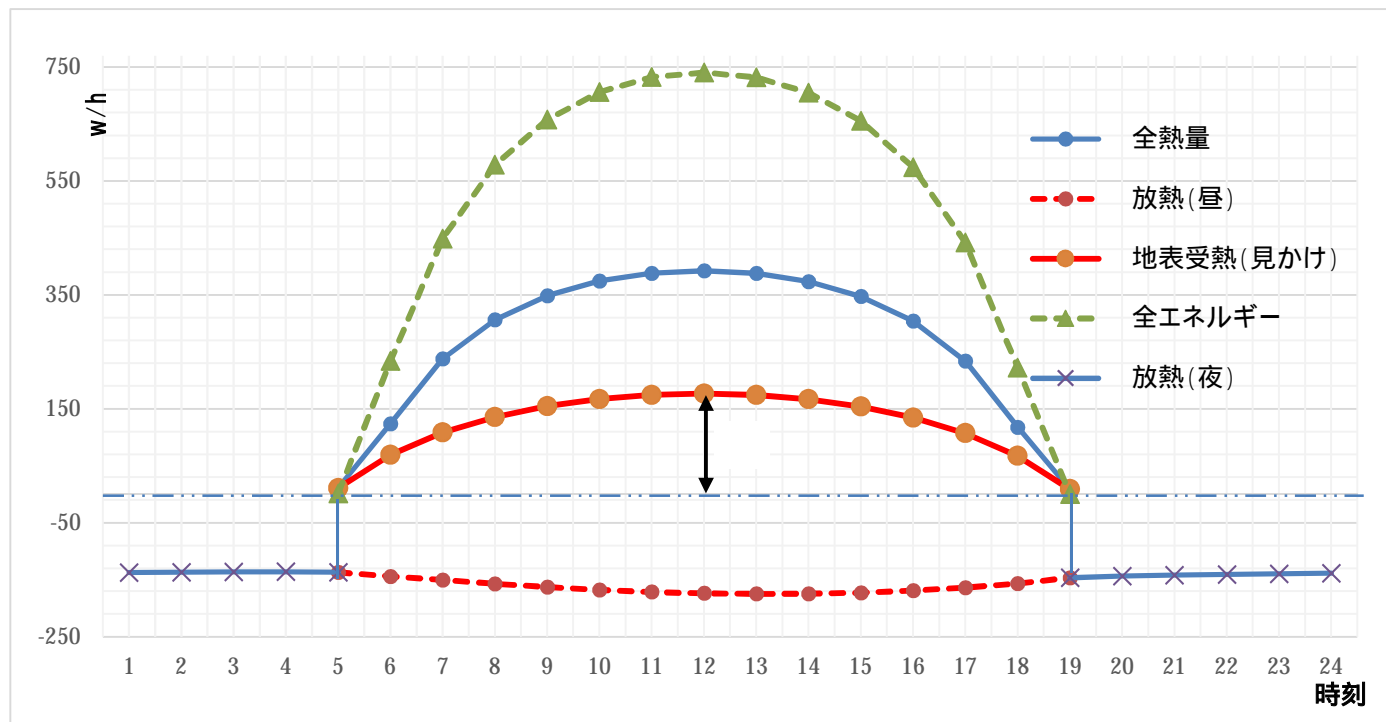
気温32、地表の温度40 程度の状況を想定すると、この温度差 x 熱伝達率+地中への熱、これが 地表受熱に相当する。

一方、同時に地表温度40 から-273 の宇宙に放熱。 放熱(昼)に相当する。

+ = となり、これが真の受熱。負荷計算に必要なのは の見かけ受熱。

E_b (beam normal irradiance)

E_d (diffuse horizontal irradiance)



名古屋
101.325

外気	26.6	26.2	25.9	25.6	25.4	25.6	26.3	27.9	29.7	31.4	32.8	33.8
WB	22.4	22.2	22.2	22.1	22.0	22.1	22.3	22.8	23.4	23.9	24.4	24.7
相对湿度	70.0	71.5	72.7	73.8	74.6	73.8	71.1	65.0	59.0	54.2	50.4	48.0
湿度kg/kg	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.016	0.016	0.016	0.016
エンタルピー kJ/kg	65.7	65.3	65.3	64.6	64.4	64.6	65.4	67.3	69.5	71.6	73.4	74.6
	0.88	0.92	0.95	0.98	1.00	0.98	0.91	0.74	0.55	0.38	0.23	0.13
水蒸気分圧	2.43	2.43	2.43	2.42	2.42	2.42	2.43	2.44	2.47	2.49	2.51	2.52
露点温度	20.7	20.6	20.6	20.6	20.6	20.6	20.6	20.7	20.9	21.0	21.1	21.2
	30.8	28.8	27.4	25.9	25.0	25.9	29.3	37.6	47.0	55.4	62.9	67.9
A昼受熱					1	234	449	578	658	706	732	741
B見かけ受熱E _d					11	70	109	136	155	167	175	177
C放熱24					-137	-144	-150	-157	-163	-168	-171	-174
D放熱夜間	-137	-137	-136	-136	-137							
E _b x0.53					11	124	238	307	349	374	388	392
時刻	1時	2時	3時	4時	5時	6時	7時	8時	9時	10時	11時	12時

< 光と熱について >

ニュートンの法則 (古典力学)

$$Q = C_s (T_1 - T_2)$$

: 物体表面の温度
: 外界の温度
: 熱伝達率 (対流、輻射要素)

量子力学 (19世紀後半以降)

温度の異なる物体間のエネルギー輻射

$$Q = C_s [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4]$$

C_s : 輻射係数

T_1 、 T_2 : 絶対温度 k

ここで T_1 が 300 k (地上の物体温度) 程度では Q は全て 0.78 μm 以上の波長) 熱エネルギー。
 T_1 が高いほど波長の短い (エネルギーが大きい、波長が短い) エネルギーが増える。
 T_1 が 600 k の太陽からは光子 (化学エネルギー) 50%、熱線 50% 程度のエネルギーとなる。

生物が利用する波長 (0.4 μm ~ 0.7 μm) = 可視光線

色のついた物体に当たり散乱された光子を目から取入れ、化学変化させて脳で認識。

物体の分子 1 に光子 1 が吸収されるが直ちに他の分子に移動する。例えば葉緑体で光合成反応、水の分子に移れば最終的に熱エネルギーに変換されるが、空気 (N_2, O_2) は吸収しない。

因みに、更に短い波長の紫外線 (UVA) は樹脂の硬化剤として利用され、(UVC) は殺菌に利用されている。

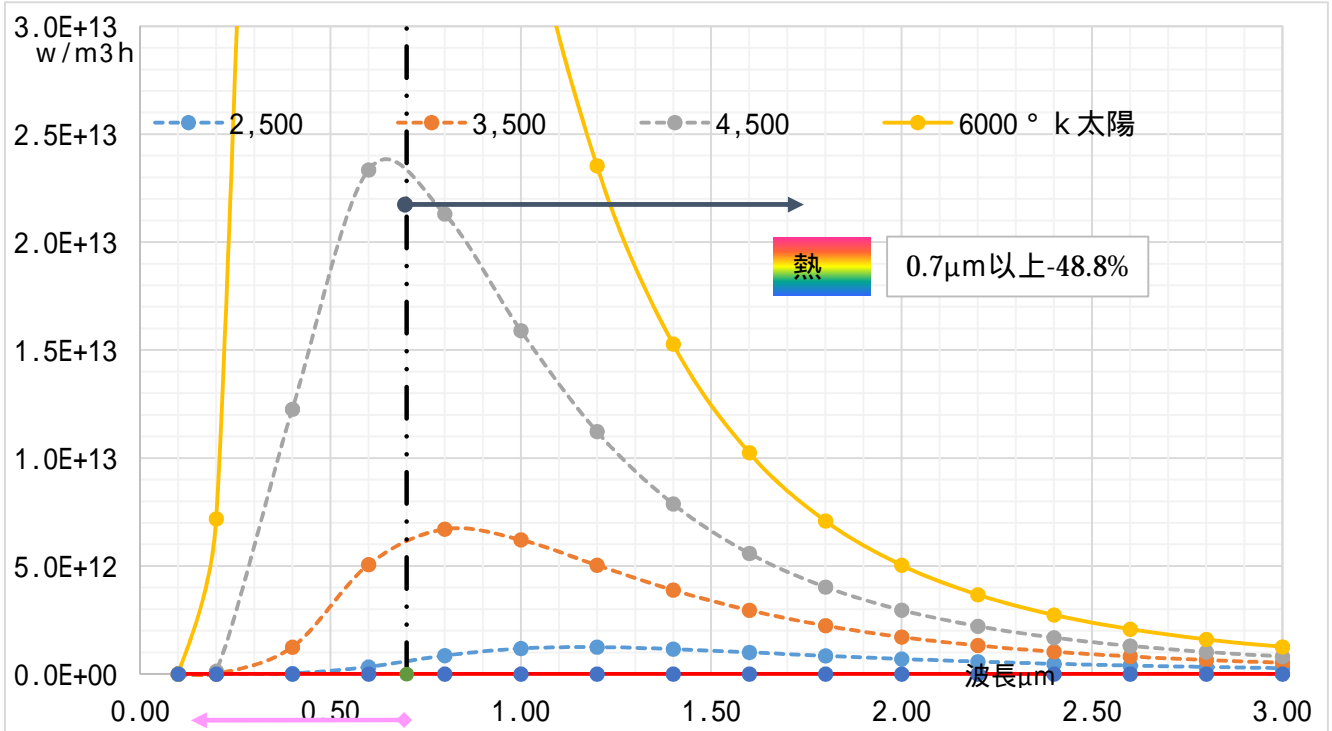
以上熱化学の理論と光化学のメカニズムは大きく異なる事を認識しなくてはならない。

取り分け短い波長と長い波長 (熱線) では物体の反射率、吸収率も異なる為、視覚に頼って判断するのは正しい結果を生まない。典型的なのはガラスで低い温度の熱は吸収率 (= 輻射率) が大きい。冬の朝車の窓ガラスに氷が付着する現象でわかる。

熱線と光子

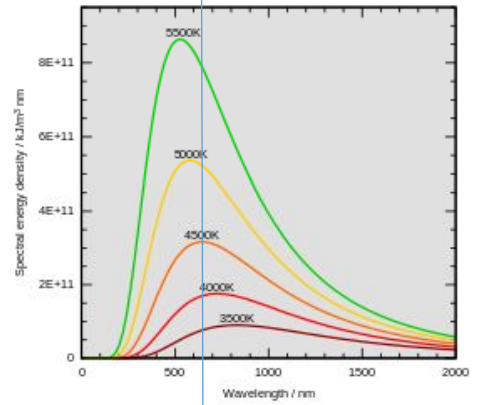
0.7 μm ~ 48.7%

0.78 μm ~ 44.6%



光も熱も見えない、緑色に相当する波長の光子は光合成に必要なないと反射して人間は緑色を認識。
光と輻射熱は傾向が似て区別がつかないが、物体、波長次第で反射率、吸収率が異なる。

太陽の温度は6000° k、宇宙は-273.15° k
温度が高いと紫色に相当する波長をピークにエネルギーが大きくなる曲線となる。
太陽からのエネルギーは光子、熱ほぼ50%、50%



量子学から50年遅れ

空調系の技術者は日射量を元に負荷計算手法を考えたが、この光と熱の違いを認識していないため、さまざまな誤認が生じて今日に至る。

光と認識

- 天空輻射
- 遮蔽係数
- 計算結果とのずれを補正
- 実効、相当温度差
- 大きめの熱伝達率

プランクの論文発行は1901年

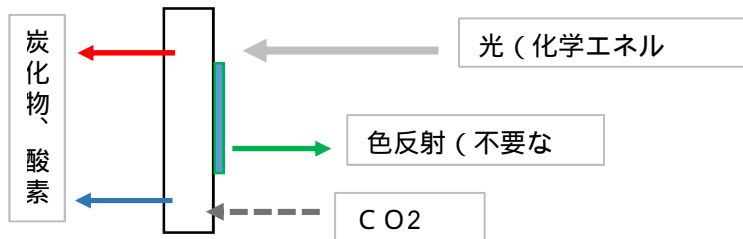
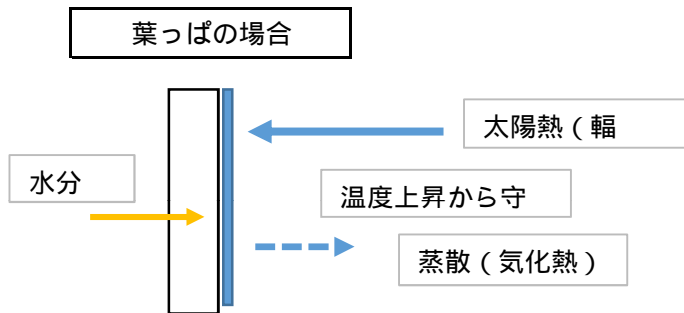
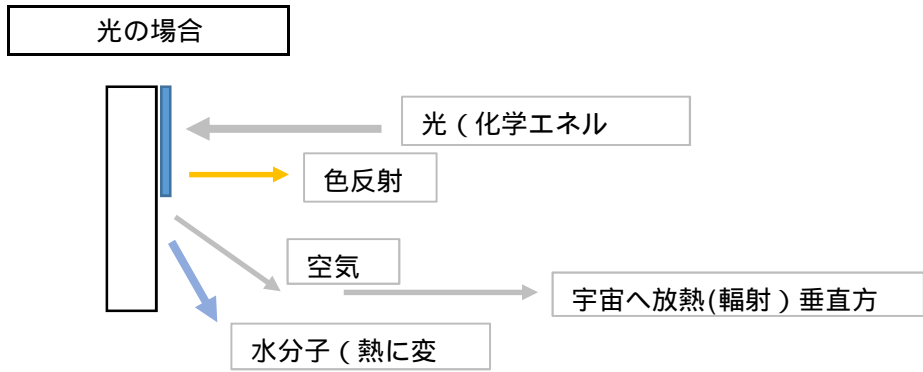
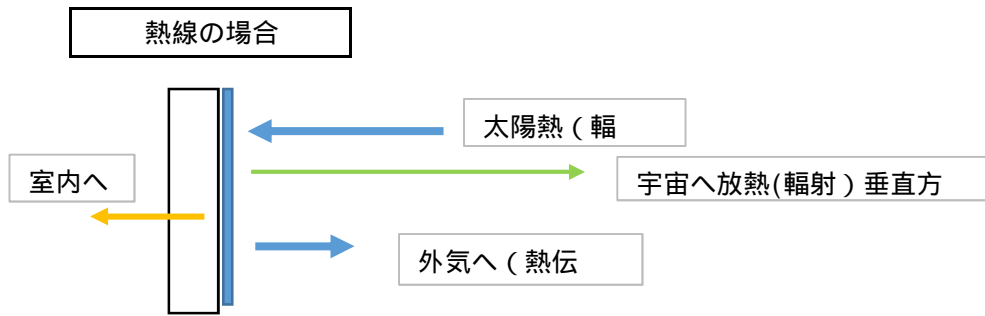
プランクの公式では黒体は全ての周波数の電磁波を放出するとしているが、これは非常に多数の光子が測定される実験でのみ実際に適用できる。例えば室温 (300 K) における表面積が1平方メートルの黒体は、1000年に一度程度しか可視領域の光子を放出せず、よって通常の実験などにおいては黒体は室温では可視光線を放出されない。

さらに25年遅れて

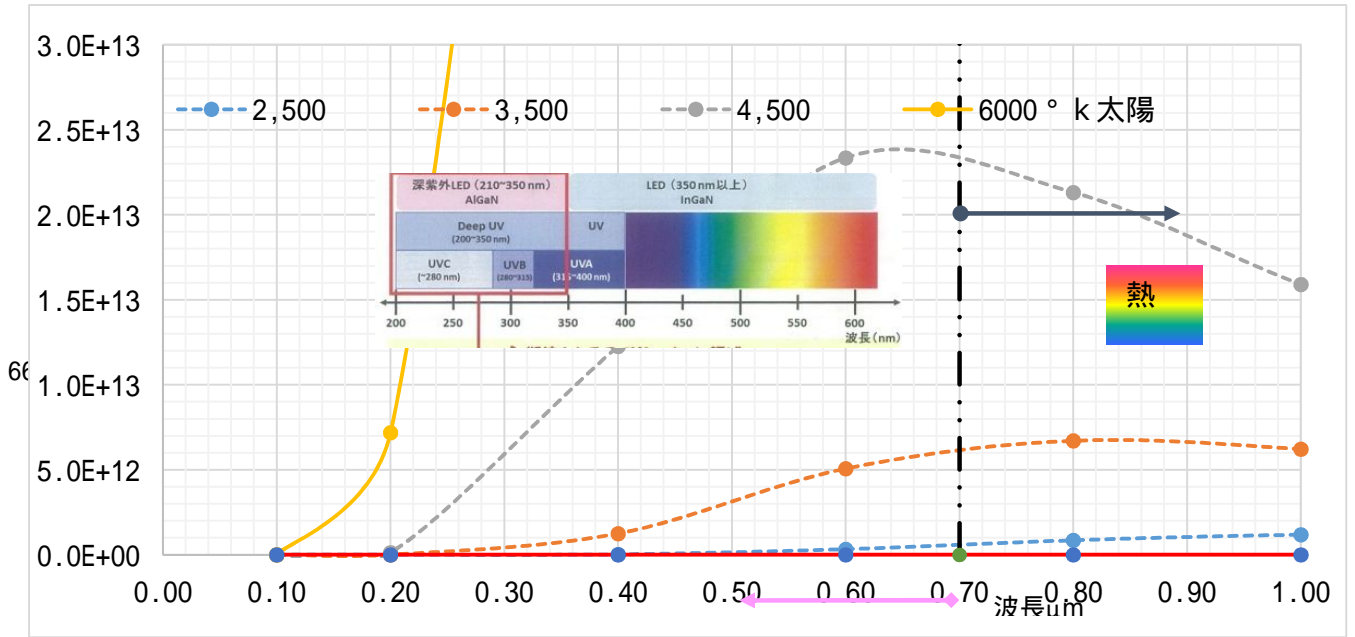
計算結果とのずれを補正のため複雑な手法現在に至っては複雑ゆえ一般技術者が敬遠。

高価な専用プログラム、省エネ計算の義務化
結果は過剰設計、過剰制御で評価する。

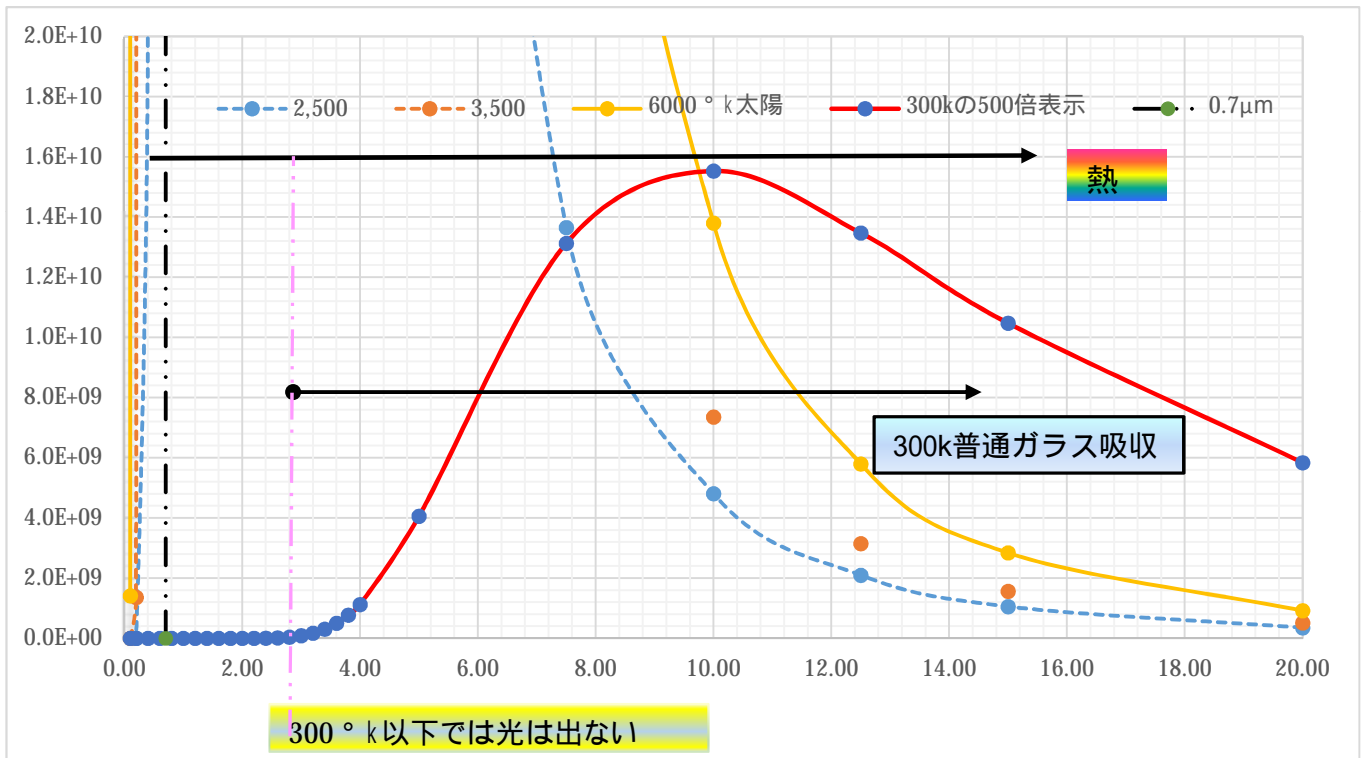
ここで黒体と黒色、傾向は似るも同じではない。



陸上植物、水中プランクトン



熱線の吸収



光の吸収

- Einsetein、光子の1個は1個の分子に吸収される。
 - 他の分子と衝突しそのエネルギーを相手に与えて、自身は元の正規状態に戻る。
 - 物体にあたった後の散乱光（反射）は物質にエネルギーを与えない。
- 従って、陸上での光子エネルギーは熱として影響を与える要素は限定的と考えられる。

この波長の光のエネルギーでは、着色した化合物以外のもに直接化学変化を起すことはできない（光化学第1法則）。もしこんなことが起れば、地球上の生物は死の恐怖に直面することになる。

理化学研究所May1980