

0 今日の内容：地球と宇宙（太陽）の間での熱エネルギーのやりとりをイメージできるようにしよう

1 建物全体の熱エネルギーの出入りについての復習

→特に、窓面からの日射取得についての復習（教科書 p. 45 を見直し

2 窓が受ける日射エネルギー（熱エネルギー）と太陽の位置の変化との関係

3 太陽と地球の間の熱エネルギーのやりとり（=関係）

補足 1) 日射（短波長放射）と長波長放射の 2 種類の放射による熱伝達

短波長放射：高温の物体（太陽は約 5, 600K）からの放射熱伝達

長波長放射：比較的低温の物体（常温だと 300K 程度）からの放射熱伝達

補足 2) 太陽から放射される熱エネルギー（日射エネルギー）を地上で受けるときの減衰

4 直達日射量と天空日射量の計算

日射量：日射エネルギーの量，太陽から受ける熱エネルギーの量

数値で量を知る（ただし，理想的な計算値である点に注意，実際の観測地とは異なる）

※身近なところから遠いところへ

1 建物全体の熱エネルギーの出入り，特に、窓面からの日射取得についての復習（教科書 p. 45 日射に関係する熱エネルギーの出入り 参照）

┆熱取得（他に、内部発熱熱取得，暖房熱もあり）

| ・窓透過日射熱取得

|

|

|

┆熱損失（他に、換気による熱損失，内壁貫流熱損失もあり）：（室内の気温 - 外気温）に比例

・外壁貫流熱損失 外気温には相当外気温度を使うこともあり

・窓貫流熱損失

[相当外気温] = [外気温] + [相当放射温度]（配付資料 39 頁参照）

$$= \frac{[\text{外壁の日射吸収率}] \times [\text{日射量}] + [\text{外壁の放射率}] \times [\text{屋外面の夜間放射量}]}{[\text{総合熱伝達率}]}$$

その意味：[日射であたためられた効果] - [長波長放射で壁から熱エネルギーを移動させる効果]

※屋外での日射量は各地の気象台で観測されている。もしくは、今日、後から出てくる計算値を使うことも可能。

2 窓が受ける日射エネルギー（熱エネルギー）と太陽の位置の変化との関係

数値はあくまで例なので注意

例) 窓の位置を変えてみる

太陽の位置が変わると

窓が受ける

日射量も変わる

→単位面積あたりに入射する日射エネルギー（日射量，熱エネルギー）を計算すると

現実には時間によって窓の大きさは変わらない

つまり，窓に位置によって室内に入ってくる日射量（日射エネルギー，熱エネルギー）が変わる！

⇒「太陽の位置」と「壁や窓の位置」との関係は重要

考えておきたい窓や壁の向き：東，西，南，北，屋根面（水平面）

特徴

夏：・南面よりも東面と西面の方が太陽から受ける日射エネルギーは大きい

特に，日の出の頃の東面や日の入りの頃の西面は壁面に垂直に日射を受ける

・南面よりも屋根面（水平面）の方が太陽から受ける日射エネルギーは大きい

冬：・屋根面（水平面）よりも南面の方が太陽から受ける日射エネルギーは大きい

注) 教科書 p. 77 真ん中の図のタイトル

誤：「夏至の建物各面の直達日射量」

正：「夏至の建物各面に入射する日射量」

3 太陽と地球の間の熱エネルギーのやりとり

→どのような経路で、太陽から地球、さらに建物まで熱エネルギーが届くのだろうか？

⇒次の次のページを横一面にを使って記入するので注意 (図中の説明などは下に掲載)

注) 図は、単に板書を写すのではなく、自分で理解しながら描いてほしい

(1) 太陽 (約 5,600K) からの熱エネルギー (日射エネルギー)

- ・短波長放射による熱エネルギーのやり取り
- ・放射による熱伝達なので、真空中でも伝わる
- ・夜間は 0 W/m^2
- ・大気圏外に到達したときには法線面で 1.370 W/m^2 で、これを太陽定数という
- ・その後、直達日射と天空日射 (散乱日射) に分かれる (両者をあわせると全天日射となる (配付資料 120 頁~121 頁))
- ・直達日射は太陽が見える時に地表に到達する日射エネルギーで曇りの時は殆どない
- ・天空日射 (散乱日射) は大気中のチリや水蒸気に散乱されて地表に到達する日射エネルギーで曇りの時にもある

(2) 夜間放射 (実効放射) = [地面放射] - [大気放射]

- ・長波長放射による熱エネルギーのやり取り
- ・地表面はおおよそ 300K, 宇宙は 0K (-273.15°C) なので、「夜間放射 (実効放射)」は地表面から宇宙に向かって熱エネルギーが移動する現象
- ・「夜間放射 (実効放射)」は夜間だけではなく、昼間もあるが、昼間は太陽からの熱エネルギーの方が圧倒的に大きいため、ほとんど影響がなくなってしまう
- ・「夜間放射 (実効放射)」は夜間の方が影響は大きく、観測しやすい
- ・冬の放射冷却の正体は、この「夜間放射 (実効放射)」による効果
- ・冬の曇天の夜は雲により「夜間放射 (実効放射)」が遮られるので効果が小さく、そこまで冷え込まないが、晴天の夜には邪魔するものがないので「夜間放射 (実効放射)」によって地表面から宇宙に向かって熱エネルギーが移動するので冷え込む
- ・大気放射は、太陽からの熱エネルギーであたためられたチリや水蒸気が長波長放射で地表面に向けて放射による熱伝達で伝える熱エネルギー (配付資料 119 頁の補足 2 を参照)
- ・地面放射は、太陽からの日射エネルギー (全天日射) であたためられた地表面から宇宙に向かって放射による熱伝達で伝える熱エネルギー (配付資料 119 頁の補足 1 を参照)

建築環境工学 I (第 13 回目) [火曜日・08:40~10:10・中講義室 2]

2023. 07. 11
環境共生学部・居住環境学専攻
辻原万規彦

補足 1) 日射 (短波長放射) と長波長放射の 2 種類の放射による熱伝達

地球放射 (教科書 p. 76 の図では「地面放射」。気象学の用語としては「地球放射」が一般的。)

地球は大気に向かって (長波長) 放射を行っている。教科書 p. 138 も参照。

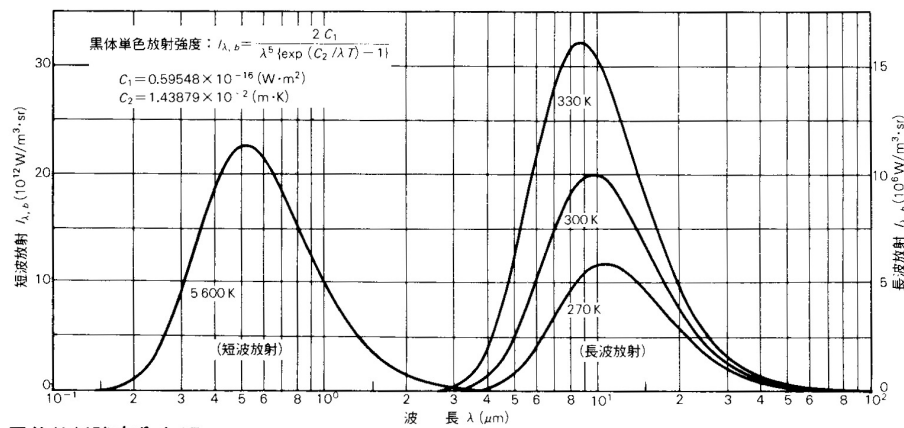
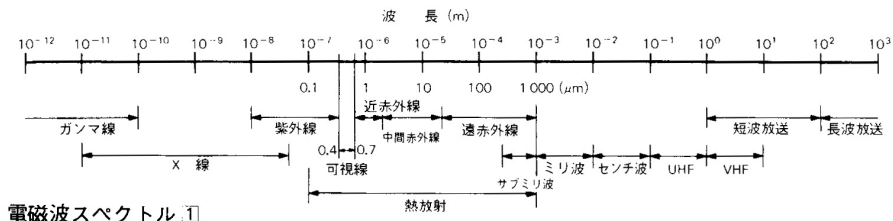
約 288K の黒体が熱エネルギーを放射していると考えればよい (下図を参照)。

→長波長放射では、

日射 (短波長放射) よりも弱い熱エネルギーを放射。ほぼ赤外線 (短波長放射は主に可視光)。

・曇天時には、雲量が多いほど、また雲が低層であるほど、夜間放射量は少ない。

(出典：参考文献 [3], p. 100)



注) 上図の縦軸の放射強度の単位はあまり気にしないでよい

補足 2) 太陽から放射される熱エネルギー (日射エネルギー) を地上で受けるときの減衰

- ・太陽光線の分光分布は、下図を参照。5600K の黒体が発しているスペクトルに近い
- ・およそ 400nm~700nm の範囲が可視光線→上図を参照
- ・太陽高度が低いほど、大気を通過する距離が長くなる
- ・大気圏内に入ると、水蒸気やちりなどに吸収されたり、散乱されたりするので熱エネルギーが減衰する

→さらに、特定の波長の時に、大気中の CO₂ や H₂O, O₂, O₃ (オゾン) などに吸収され、強度が低くなる (ある波長の日射の熱エネルギーは、他の波長に比べて沢山吸収される。その後、大気放射として再度長波長放射で放射)

※波長の単位：10⁰ μm = 1 μm = 10⁻⁶ m

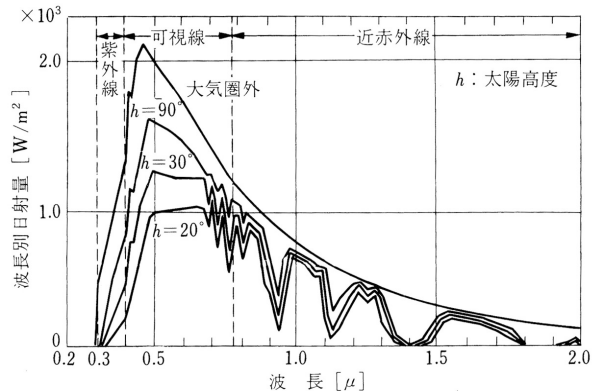


図 太陽光線の分光分布

(出典：参考文献 [1], p. 94) (1 μm = 10⁻⁶ m)

4 直達日射量と天空日射量の計算

晴天時の法線面直達日射量と水平面天空日射量は、理論的に導かれた下の式で計算できる。
→下記で求める値はあくまで計算値であり、実際の値(气象台などで観測される値)とは異なる。

①法線面直達日射量 (J_D , [W/m²])

(下図も参照。ただし、 J_O と J_D は、図中では I_O と I_n になっている。)

$$J_D = J_O \cdot P^{\frac{1}{\sin h}} \quad \langle 1 \rangle \text{ (ブーゲ (Bouguer) の式)}$$

ここで、

h : 太陽高度 ([°] もしくは [rad])

注) 1度1分1秒 (1° 1' 1") のように「度」を単位として角度を表す場合を「度数法」といい、 π radian (ラジアン, =180°) のように「ラジアン」を単位として角度を表す場合を「弧度法」と言う。

J_O : 太陽定数 [W/m²] →教科書 p. 76 参照 (1, 370 W/m²とすることが多い)

P : 大気透過率 (教科書 p. 76 の③を参照のこと。)

大気の透明度の指標 (0< P <1 の値を取る)。季節や場所によっても値が異なる。

→ブーゲ (Bouguer) : ピエール・ブーゲ。18 世紀のフランスの天文学者。

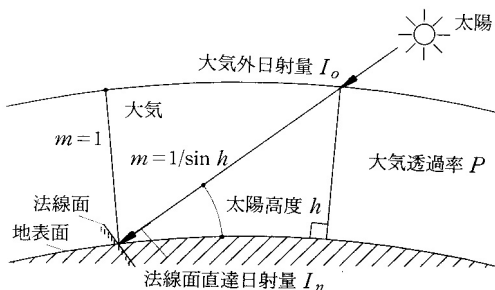


図 直達日射量 (出典：参考文献 [2], p. 99)

②水平面天空日射量 (J_S , [W/m²])

$$J_S = \frac{1}{2} \cdot J_O \cdot \sin h \cdot \frac{1 - P^{\frac{1}{\sin h}}}{1 - 1.4 \cdot \ln P} \quad \langle 2 \rangle \text{ (ベルラーゲ (Berlage) の式)}$$

ここで、

\ln : \log_e (e (= 2. 71828...) を底とする自然対数) → \log_{10} は底を 10 とする常用対数

注 e : ネイピア数。自然対数の底。 $e = 2. 7182818284 \dots$

→高校で学修していない人は、自分で調べておくこと。数学 I と数学 II の教科書

『基礎 微分積分』(市東和夫・中田広光・八幡誠, 産業図書, 1999 年 4 月, ¥2, 400)

+ 税, ISBN: 4-7828-9032-X) では, pp. 14~16 に掲載されている (解説は, p. 16)。

$$\lim_{x \rightarrow \pm\infty} \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x = e, \quad \lim_{x \rightarrow 0} (1+x)^{\frac{1}{x}} = e$$

$$\frac{1}{\sinh} = \operatorname{cosech}$$

P : 大気透過率 (教科書 p. 76 の③を参照のこと。)

→ベルラーゲ (Berlage) : ヘンドリック・ベルラーゲ。20 世紀のオランダの地球物理学者。

③①と②から, 水平面全天日射量 (J_H , [W/m²]) を求める

$$J_H = J_D \cdot \sinh + J_S \tag{3}$$

直達日射量を法線面から水平面に変換する

気象台などで測定されている日射量は一般にこの値

窓面の日射熱取得や相当外気温の計算には, この「水平面全天日射量」を使う。

→室温に影響するので, こうして, 建物全体の熱エネルギーの出入りのお話に戻る

【参考文献】 (順に, タイトル, 編著者名, 出版社, 発行年月, 価格, ISBN。[] 内は熊本県立大学図書館所蔵情報)。

[1] 『環境工学教科書 第二版』(環境工学教科書研究会編著, 彰国社, 2000 年 8 月, ¥3,500+ 税, ISBN: 4-395-00516-0) [書庫 (4 F), 525.1||Ka 86, 0000308034]

→第三版もあり (2020 年 2 月, ISBN: 978-4-395-32146-9) [和書 (2 F), 525.1||Ka 56, 0000387929] [電子ブック, 500000106]

[2] 『初めての建築環境』(〈建築のテキスト〉編集委員会編, 学芸出版社, 1996 年 11 月, ¥2,800+ 税, ISBN: 4-7615-2162-7) [和書 (2 F), 525.1||Ke 41, 0000216586] [書庫 (4 F), 525.1||Ke 41, 0000216585]

→改訂版あり (2014 年 11 月, ISBN: 978-4-7615-2581-1) [和書 (2 F), 525||Ke 41, 0000367191]

[3] 『建築設計資料集成 1 環境』(日本建築学会編, 丸善, 1978 年 6 月, ¥7,500+ 税, ISBN: 4-3352-2313-7924) [和書 (2 F), 525.1||KE 41||1, 0000157165, 0000166428]

復習プリント

学年：_____ 学籍番号：_____ 名前：_____

今日の講義の内容を，自分なりに，整理してください。まとめてください。

学年：_____ 学籍番号：_____ 名前：_____

【演習問題】

熊本（北緯 $32^{\circ} 49'$ ）における，春分の日（3月21日），夏至の日（6月21日）ならびに冬至の日（12月22日）の午前10時（真太陽時）の太陽の高度は，それぞれ 46.2° ， 62.1° ， 26.8° である。配付資料120頁と121頁の式を用いて，それぞれの時の法線面直達日射量，水平面天空日射量ならびに全天日射量を求めてください。なお，太陽定数は， $J_0=1370$ [W/m^2] とし，春分の日，夏至の日ならびに冬至の日の大気透過率は，それぞれ 0.65，0.60 ならびに 0.75 とする。