

実技試験：太陽、我々が太陽系にとって唯一無二のエネルギー源

火星への有人探査の際には、太陽からの放射が最も即座に入手可能なエネルギーのように思われる。火星は地球よりも太陽から離れた場所に位置しているため、地球より少ないエネルギーしか受け取っていない。それ故、我々は火星への永住的な植民計画の際に配備する必要があるソーラーパネルの面積を、計算で決定したい。

PART I : 太陽定数の測定

太陽定数は1天文単位(太陽と地球間の平均距離)の位置で、大気がない状態で太陽放射に垂直に配置した1 m²の面が受け取る太陽エネルギーの量を表す。地球の観点から考えると、それは即ち大気圏上端でのエネルギー流量を表す。太陽定数の単位は、単位面積あたりの仕事率(ワット)で表される(W m⁻²)。

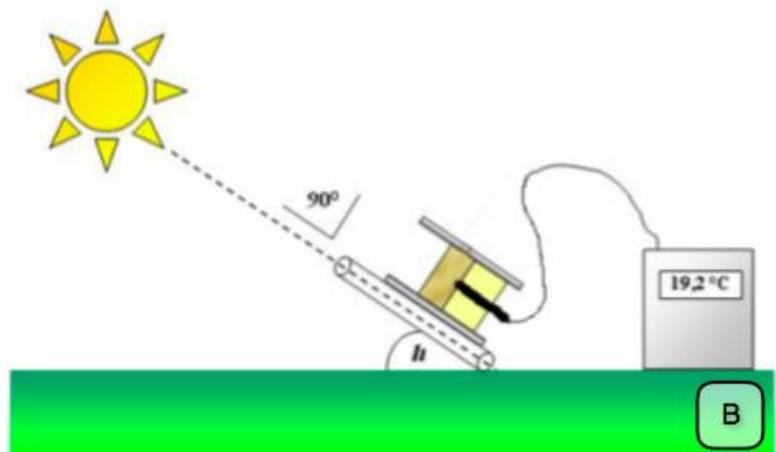


図 1: 太陽定数の測定

(A) 測定機器。 以下のものを組み合わせて作られている: (1) 留め金、締め金(クランプ)、ネジ(ナット)・(2) 熱量計 - ポリ塩化ビニル(PVC)のチューブと、断熱用の泡状フォームを組み合わせたもの・(3) 太陽によって温められる真鍮または鉄の塊・(4) デジタル温度計 - 実験中の温度測定に使用。
注: 自分のIESO試験板を分度器、タイマー、計算機として使うこと。

(B) 太陽定数の測定をする上での原理を説明した図。 太陽放射に垂直に物を配置させるにあたっては、紙に映るその物の影を最も小さくするようにすれば十分である。

問1: 太陽定数の値を見積もるために、熱量計の真鍮部分が最大のエネルギーを受け取るように太陽に当てたい。そのためには、この機器をどの角度にして置けばよいだろうか。正しい答えを選べ。(正答は1つ)

1-



2-



3-



4-



PART II : 地球での太陽定数の決定



実験の指示書き :

- Part I で与えられた資料についてメモしておくように。
- 表面が太陽放射に垂直になるように、熱量計を配置せよ。
- 太陽定数を計算するのに必要な変数全てについて熟知しておくように。変数については下記の表1に記載されている。
- 熱量計と地平面とが作る角度を測定すること。この角度が太陽の地平面からの角度である。
- 実験を開始せよ。初期温度を記録しておくこと。実験開始から10分後に、最終温度を測定・記録せよ。
- 実験終了後、測定機器を日陰に持ってくること。

実験を終わらせた後、測定した値を表1に記入せよ:

変数	記号と単位	測定値
質量	M (kg)	
熱量計の直径	D (m)	
熱量計の比熱	C _p (J x K ⁻¹ x kg ⁻¹)	
太陽の高度 (水平面からの角度)	h (°)	
初期温度	T _i (°C)	
最終温度	T _f (°C)	
実験の所要時間	Δt (s)	

表1 : 太陽定数を求めるために必要な実験での変数のリスト

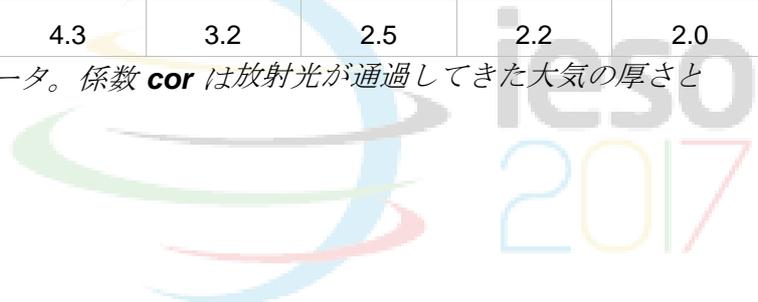
我々は地表面で値を測定した訳だが、太陽定数は大気の影響を含まない値のことを差す。そのため、測定値に補正するよう係数を掛けてやる必要がある。

言い換えると、どんな測定されたエネルギー流量 P_d でも、太陽定数 F に、放射光が通過してきた大気の厚さと透過度によって決まる補正係数 cor を掛けたもので決まっている。これらの変数は、以下の式で表される。

$$F = P_d \times cor \quad (a)$$

太陽高度 h (°)	20	30	40	50	60	65
晴天 (青空)	2.5	2.0	1.7	1.5	1.4	1.3
その中間	4.2	3.5	2.6	2.1	1.8	1.5
曇り空 (曇天)	5.3	4.3	3.2	2.5	2.2	2.0

表2 : 係数 cor を決定するのに必要なデータ。係数 cor は放射光が通過してきた大気の厚さと透過度によって決まる。



問2: 太陽定数Fは... (正答は1つのみ)

- 1- 地上で測定されたものよりも小さく、気象条件に依存する。
- 2- 地上で測定されたものよりも小さく、気象条件に依存しない。
- 3- 地上で測定されたものと同じであり、気象条件に依存する。
- 4- 地上で測定されたものよりも大きく、気象条件に依存しない。
- 5- 地上で測定されたものよりも大きく、気象条件に依存する。

実際にはそうではないが、私たちは装置が完璧であると想定している。例えば、断熱の問題はデータの精度を制限する。得られる値は、より正確な装置のデータ値よりも実際には低くなる。

私たちの熱量計は次のように動作するとみなす：

$$E_{solar} = M \times C_p \times \Delta Temperature \quad (b)$$

力とエネルギーの関係は次の通り：

$$E_{solar} = P_{solar} \times \Delta t \quad (c)$$

地表面での単位面積当たりで受けとる仕事率（単位時間当たりのエネルギー） P_d は、面積 S と受取った全エネルギー P_{solar} との間に次の関係式が成り立つ：

$$P_{solar} = P_d \times S \quad (d)$$

問3: 太陽定数Fは、式(a)、(b)、(c)および(d)から導き出される関係によって計算することができる。以下から正しい関係式を選択しなさい：(正答は1つのみ)

1- $F = \frac{S \times \Delta t \times cor}{M \times C_p \times \Delta Temperature}$ なぜならSが増加するときFも増加するから。

2- $F = \frac{S \times \Delta t}{M \times C_p \times \Delta Temperature \times cor}$ なぜならSが増加すると、より多くのエネルギーが捕捉されるから。

3- $F = \frac{M \times C_p \times \Delta Temperature \times cor}{S \times \Delta t}$ なぜならFは温度の変化に比例するから。

4- $F = \frac{M \times C_p \times \Delta Temperature}{S \times \Delta t \times cor}$ なぜならFは補正係数に反比例するから。

円盤の表面積は、 $S = \pi r^2$ を用いて計算することができ、ここで、 S は表面積 (m^2) であり、 R は質量 M の半径である。値のオーダーは、値に最も近い10の累乗を意味することを考慮しなさい。例えば、32は100よりも10に近く、従って 10^1 のオーダーだが、10より100に近い74は 10^2 のオーダーである。

問4: あなたの測定結果から、地球での太陽定数に相当する値のオーダーは、

1- 10^1 W x m^{-2} .

2- 10^2 W x m^{-2} .

3- 10^3 W x m^{-2} .

4- 10^4 W x m^{-2} .

PART III : 太陽系の他の惑星での太陽定数に相当する値の計算



太陽系内の太陽定数を測定することは、太陽定数が太陽からの距離の関数としてどのように変化するかを理解することになります。

指示：

- 提供された機器に慣れてください。
- 光度計はチューブ内を移動できます。光度計と光源の間の距離をインジケーター・レベルで直接読み取ることができます。
- 問5に答えるために、異なる距離の光の強さを測定しなさい。

問 5: 太陽定数 F は… (正答は1つのみ)

- 1- 太陽からの距離に比例する。
- 2- 太陽からの距離の二乗に比例する。
- 3- 太陽からの距離の平方根に反比例する。
- 4- 太陽からの距離に反比例する。
- 5- 太陽からの距離の二乗に反比例する。

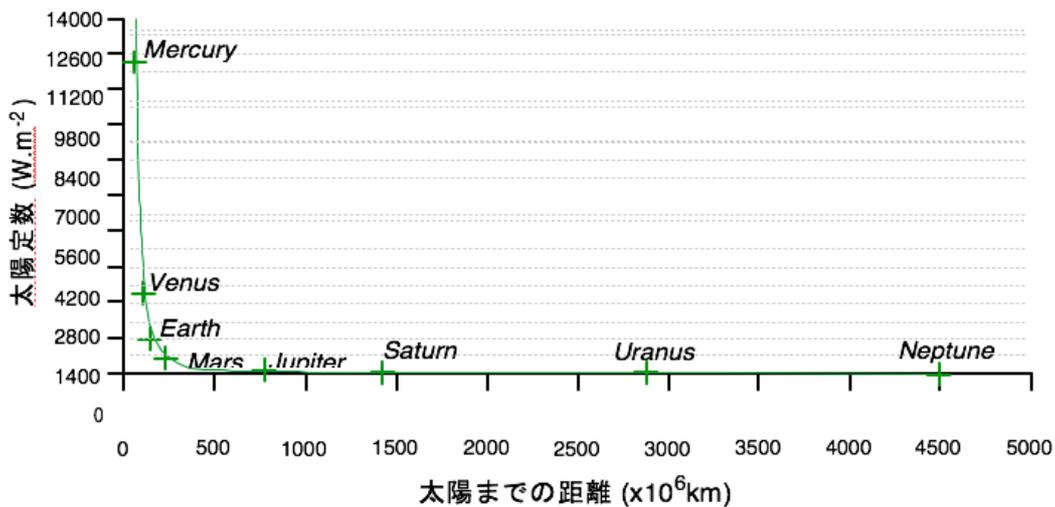


図 2 : 太陽系の8つの惑星の太陽定数と太陽までの距離との関係

問 6: 太陽定数は… (正答は1つのみ)

- 1- 火星では約 $700 W m^{-2}$ で、金星での太陽定数の22%~28%である。
- 2- 火星では地球と比べて2倍大きい。
- 3- 4つの最も遠い惑星では非常に弱い。
- 4- 太陽からの距離に比例する。
- 5- 天王星よりも土星のほうが大きい。なぜなら、前者の方が軌道半径が大きいからである。

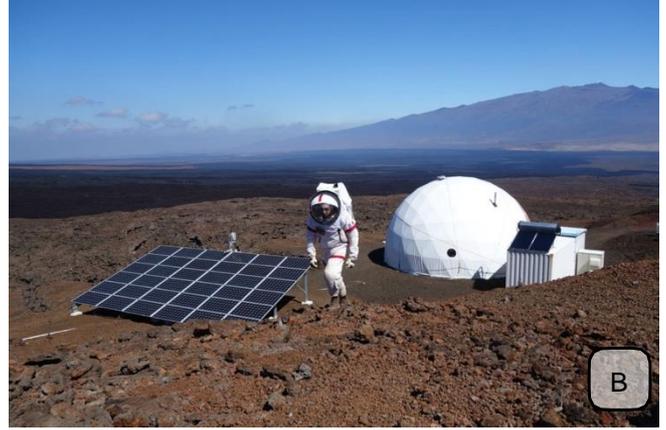
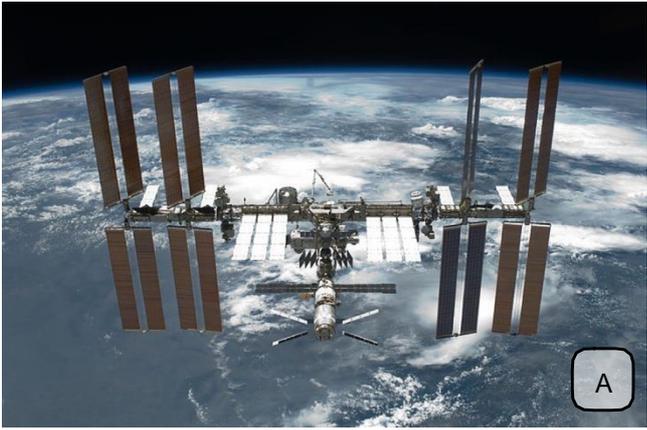


図3 : (A) 地球を周回する国際宇宙ステーション (ISS) の写真。ISSの大きさは110x74x30 (LxWxHの順にmで表される) で、総重量は400トン、8つの太陽発電機によって自律して活動が行われている。各発電機は、マストに装着した表面積32 m×11 mの板2枚が光電池を支える構造をしている。(B) ハワイのキラウエア火山の斜面で、火星での生活をドームで模擬的に行ったHI-SEAS計画の写真。この火星の植民モジュールでの生活条件、つまり自律的な活動のために必要なエネルギーは(ほとんどが加圧と加熱のため)、ISSに必要なエネルギーとほぼ同じである。

問7: 図2と図3の情報をもとにすると、火星への自律した有人探査を行うためには、発電機がいくつ必要になるか。

- 1- およそ4
- 2- およそ8
- 3- およそ10
- 4- およそ12
- 5- およそ14
- 6- およそ16
- 7- およそ18