

はじめて学ぶ海洋学：第3回
教科書：24p～34p

—地球システム1—
地球のエネルギー源
は太陽だ！

yokose@kumamoto-u.ac.jp

海洋特別実習に行ってきました！



三脚を忘れたから最後は自撮りの集合写真

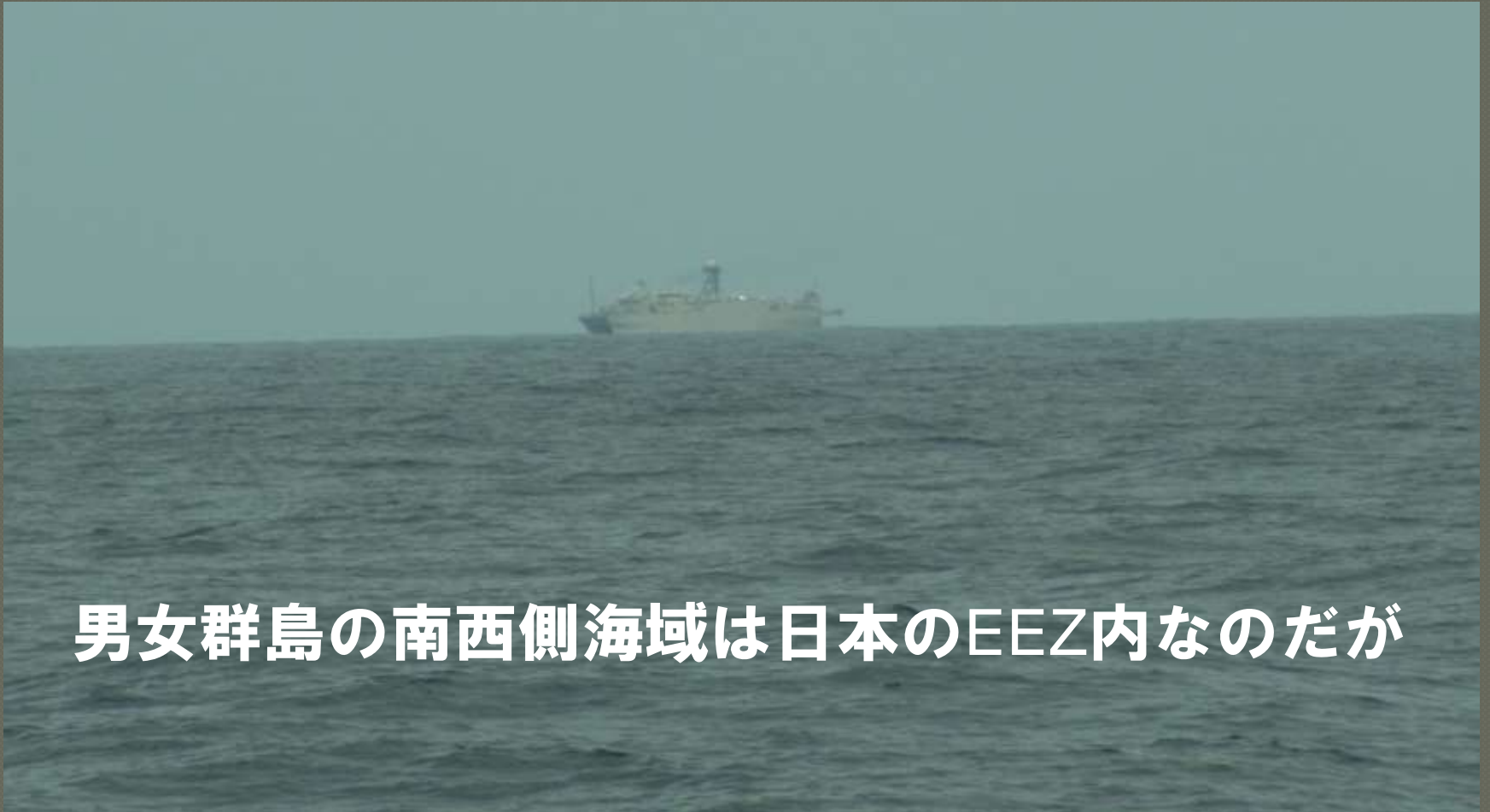
東シナ海で海洋特別実習



トロール操業時のレーダー反応



国籍不明の灰色の軍艦が中国船団 と本船の間を併走する



男女群島の南西側海域は日本のEEZ内なのだが

これが東シナ海の現実です

Earthrise (地球の出)



NASA-Apollo8-Dec24-Earthrise.jpg

目に見える放射と目に見えない放射

-160°C

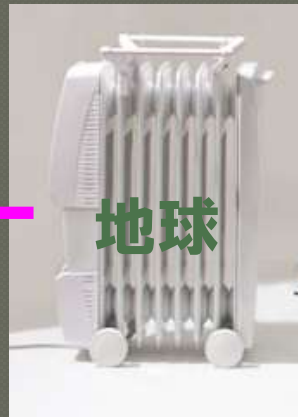
新月



125°C
満月

赤外線放射

30±数°C
赤道



30±数°C
赤道

赤外線放射

太陽
放射



オイルヒーター（地球）とハロゲンヒーター（太陽）のようなイメージ
ちなみに、宇宙空間は3K（-270°C）

アルベド（反射能）



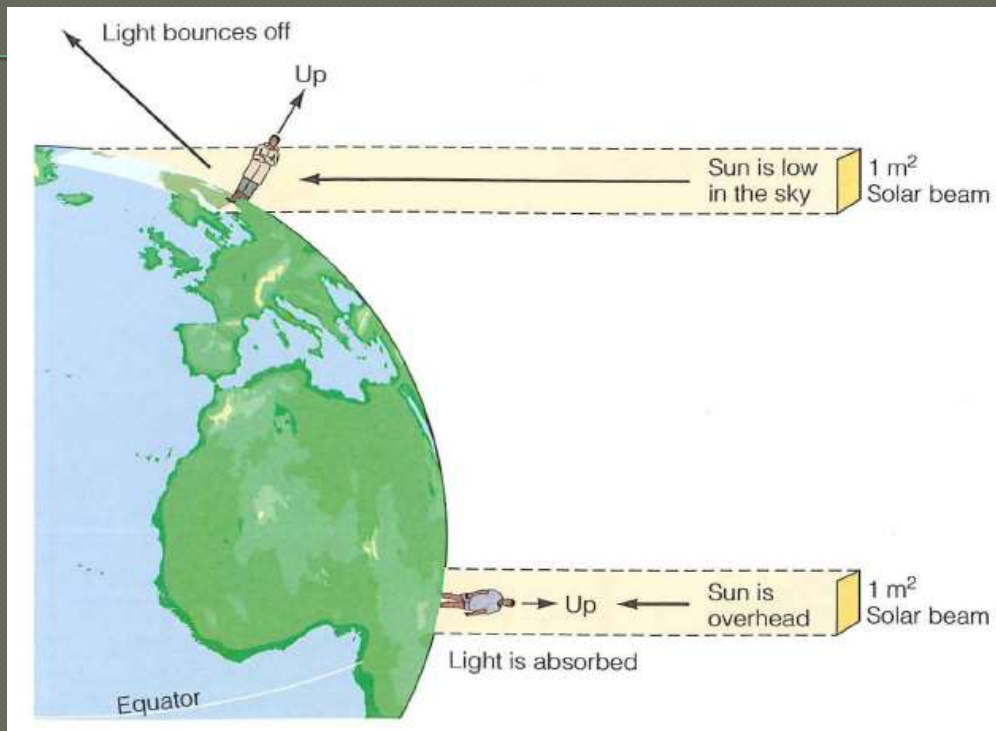
入射光がすべて熱に変換するわけではない。

アルベドの話: 反射フラックスと入射フラックスの比を放射反射率 (アルベド: Albedo) という

Surface	Albedo (%)
Snow 雪	up to 90
Desert sands 砂漠の砂	35
Vegetation 畑や森林	10–25
Bare soil or rock 裸地や岩	10–20
Built-up areas 市街地	12–18
Calm water 穏やかな海	2

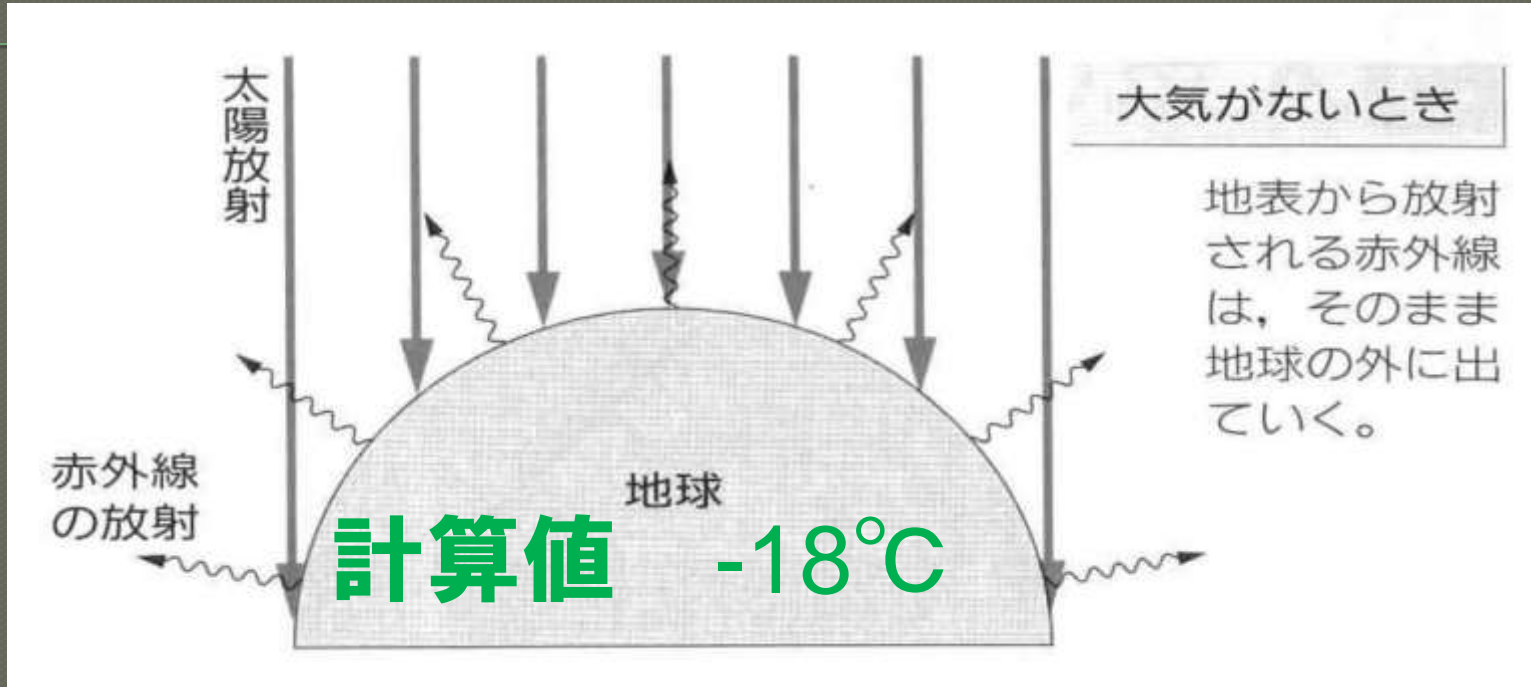
反射率が大きいと、太陽光を直接宇宙空間にはね返す。もしも、北極の氷が解け始めると、温暖化はさらに加速する。

反射の割合は、緯度や表面の状態で変わる



海面		雪面		熱帯林		砂漠	落葉樹林(夏)
90° N, S	60° N, S	60° ~ 極	60° 以下	雨期	乾期		
0.23 ~ 0.09	0.20 ~ 0.07	0.80	0.70	0.24	0.18	0.28	0.18

大気がないときの平均気温（放射平衡温度）



入射エネルギー = 放射エネルギー

$$S_0 (1 - A) \times \pi R^2 = \sigma T^4 \times 4 \pi R^2$$

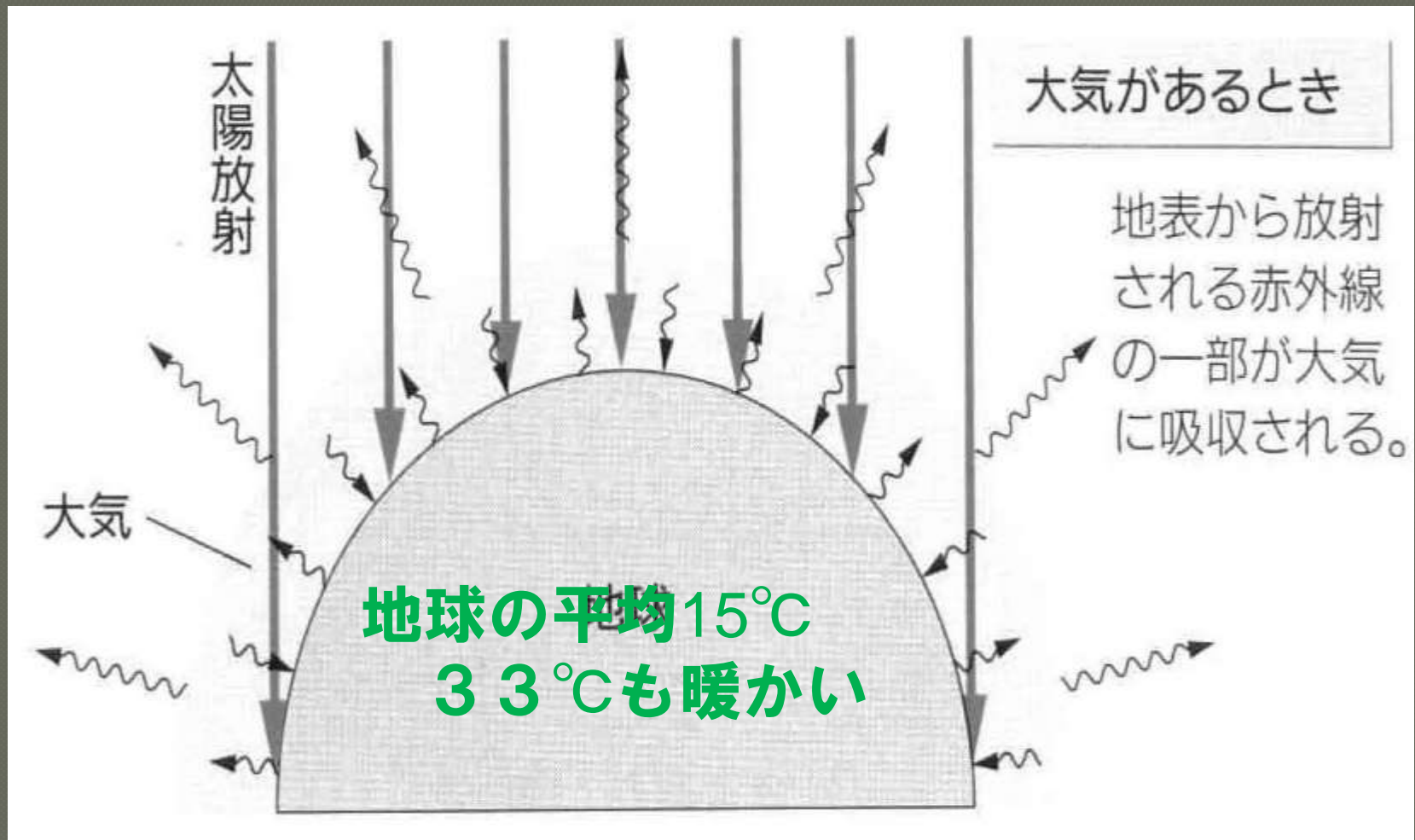
$$\therefore T^4 = S_0 (1 - A) / 4 \sigma$$

$$T = 255 [K] \text{つまり } -18^\circ C$$

A : 反射能（アルベド）、 $S_0 = 1.4 \text{ kW/m}^2$

シュテファン=ボルツマン定数 $\sigma \approx 5.67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

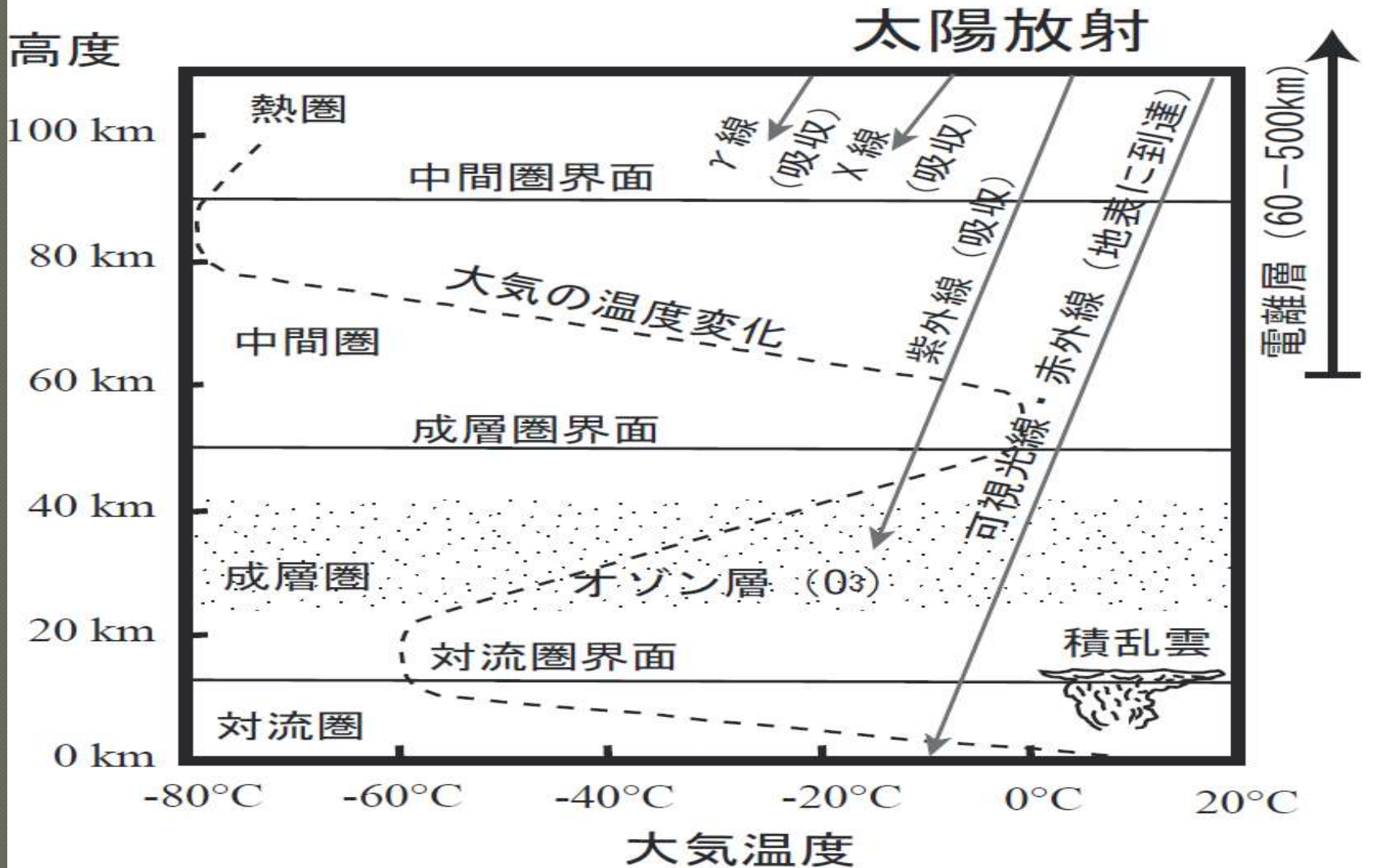
温室効果ガスのある地球が月と違って 温暖な理由



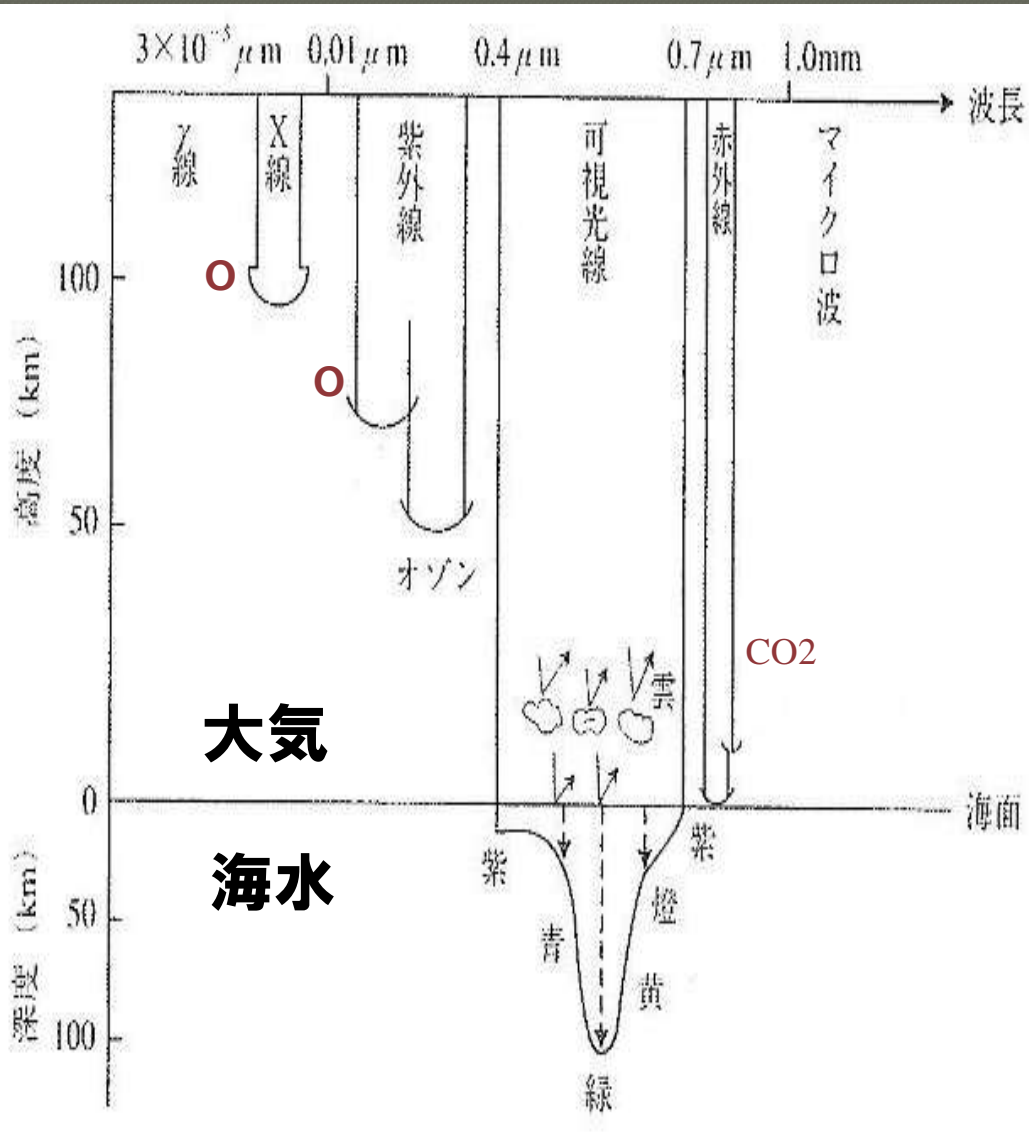
地球温暖化と温室効果

◎ Global warming

大気の温度構造

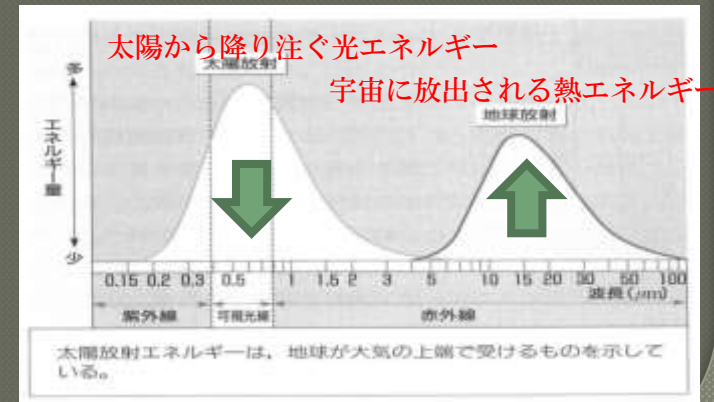


光エネルギーを吸収する地球表層

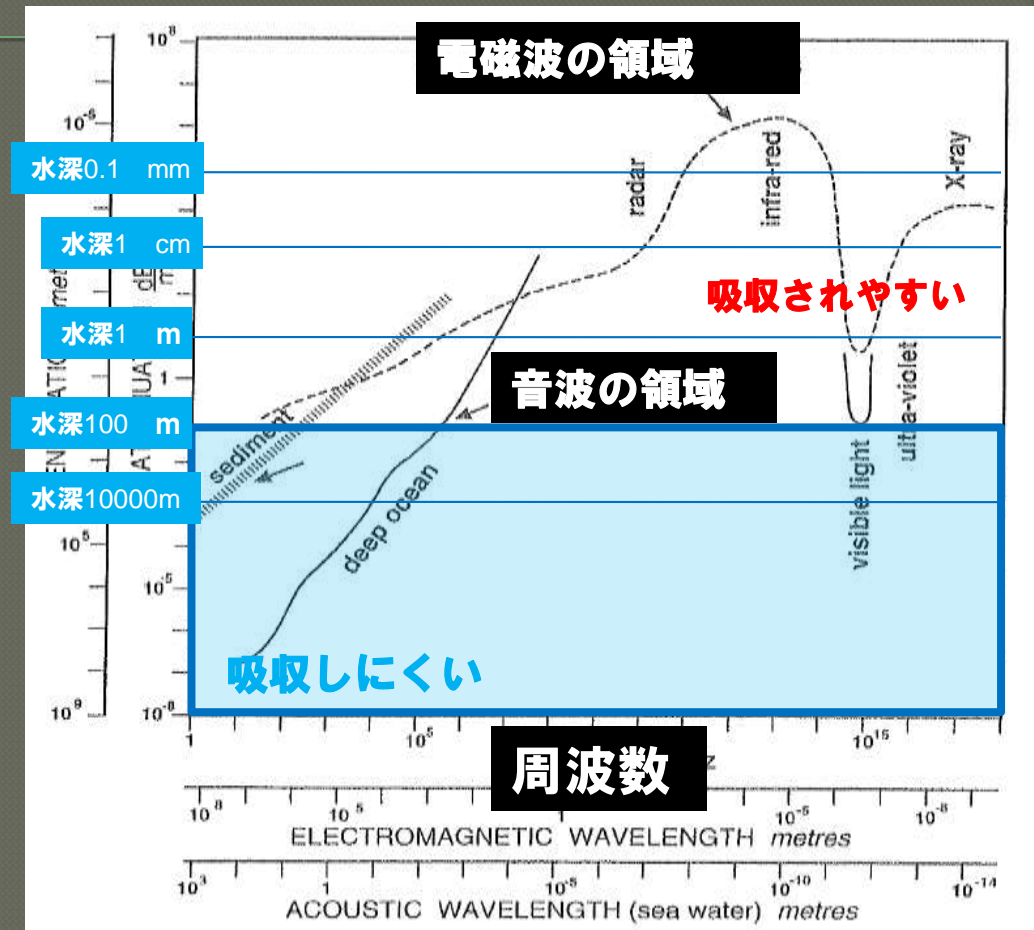
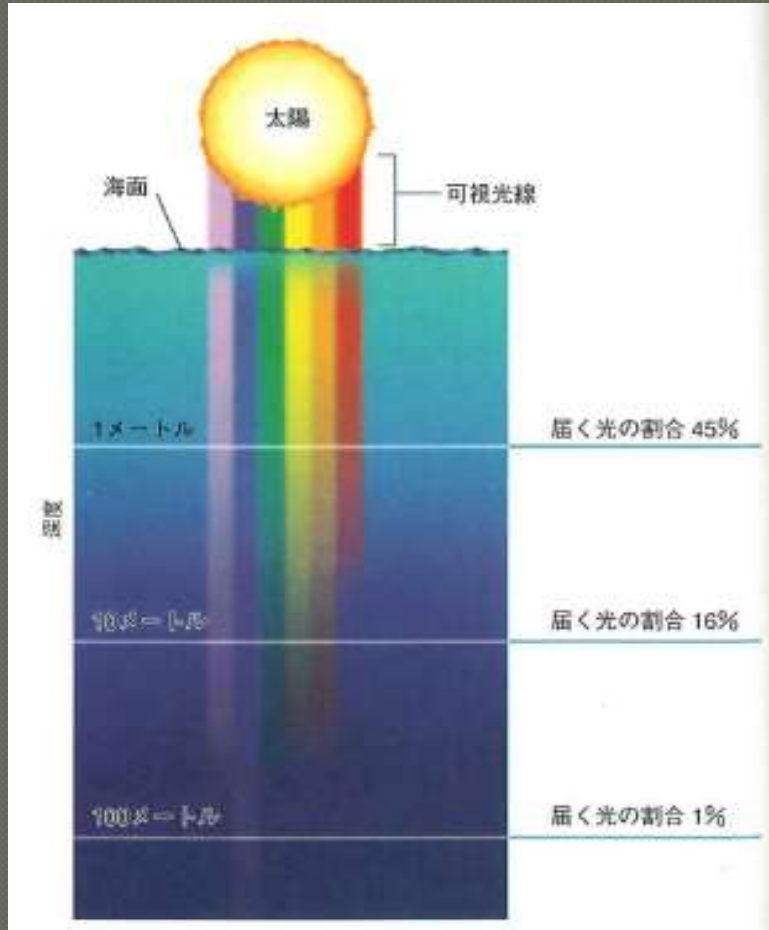


可視光領域は、大部分海水で吸収され、熱に変換される。海水は、太陽エネルギーの貯蔵庫である。

その他の電磁波は、大気中で吸収される。



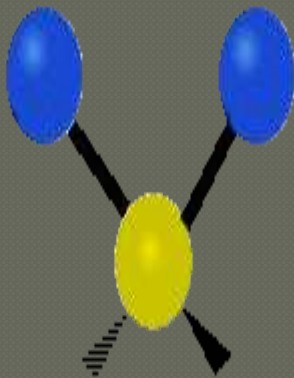
水中では、電波が吸収されてしま う。



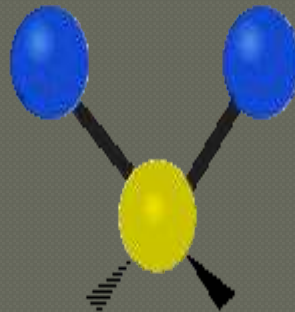
全く濁りのない海水でも、100m以深では、99%の光(電磁波)がすべて吸収される、それよりも深い所では、漆黒の闇が支配する世界。

水分子による電磁波の吸収

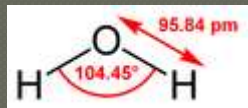
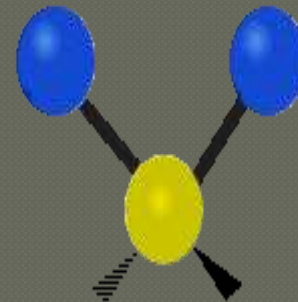
対象伸縮振動



変角振動

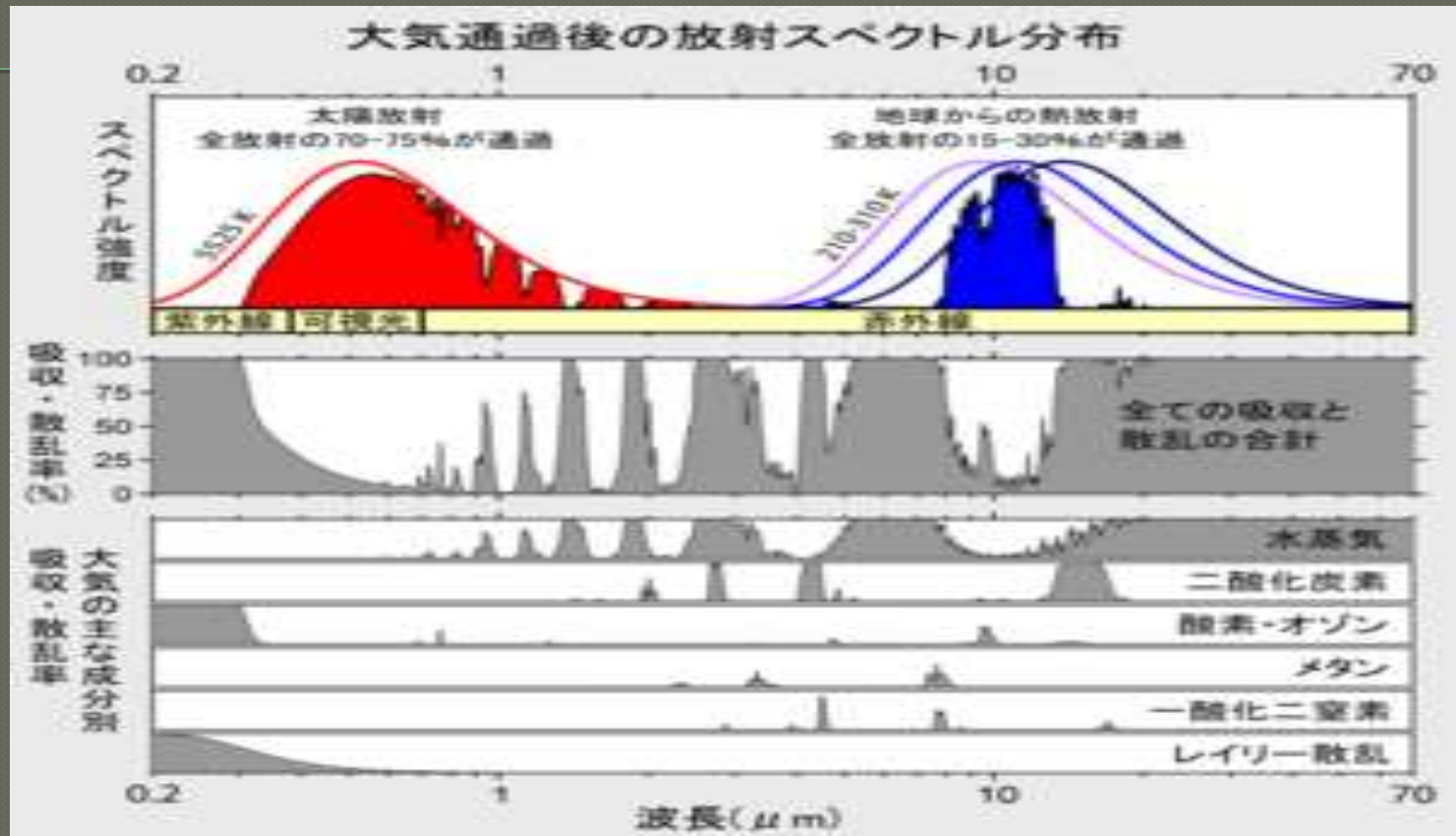


非対象伸縮振動



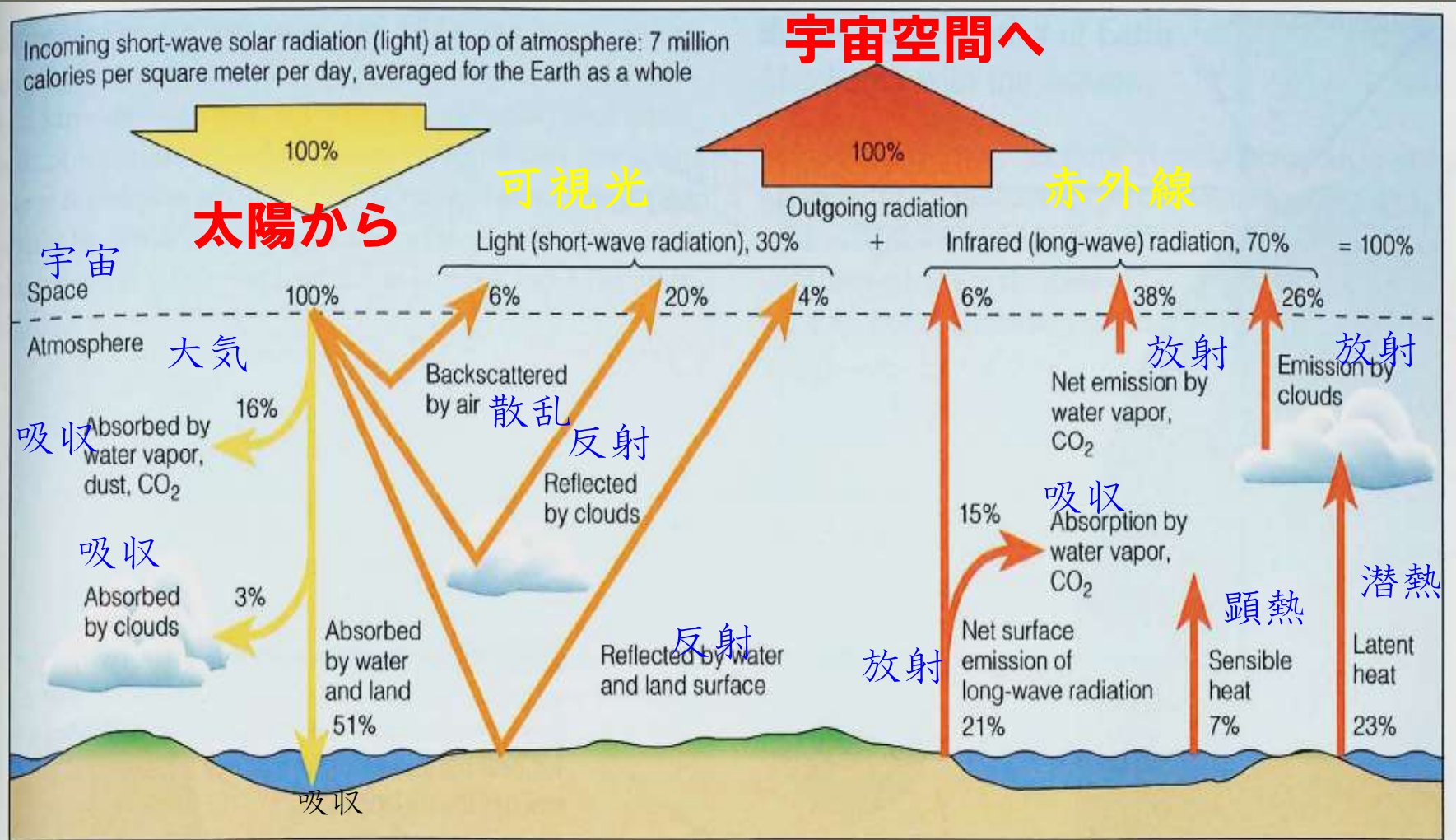
水蒸気のような異核分子は、分子内の原子振動を発生し電磁波との相互作用が出来る。一方、酸素分子や窒素分子のような等核二原子分子は、相互作用が起こらない。

各波長におけるエネルギーの吸収



赤外線放射を妨げるもの → 温室効果をもたらす
二酸化炭素（1倍）、メタン（21倍）、水蒸気（2～3倍）

放射平衡 (radiative equilibrium) が崩れると、地球は温暖化したり寒冷化したりする (熱の収支決算が合う場合)。



地球の家計簿：収入100＝支出100 なら平凡な毎日が送れる

項目	収入 (%)	支出 (%)	残高
太陽株式会社	100		100
税金 (天引)		30	70
手取り (地球)			70
クラウド放射		26	44
(内訳：潜熱)		(23)	
(内訳：天引き)		(3)	
気体放射 (H ₂ O、CO ₂ 、メタンなど)		38	6
(内訳：顕熱)		(7)	
(内訳：太陽放射直取引)		(16)	
(内訳：地球放射のリサイクル)		(15)	
赤外線直接放射		6	0
計			0

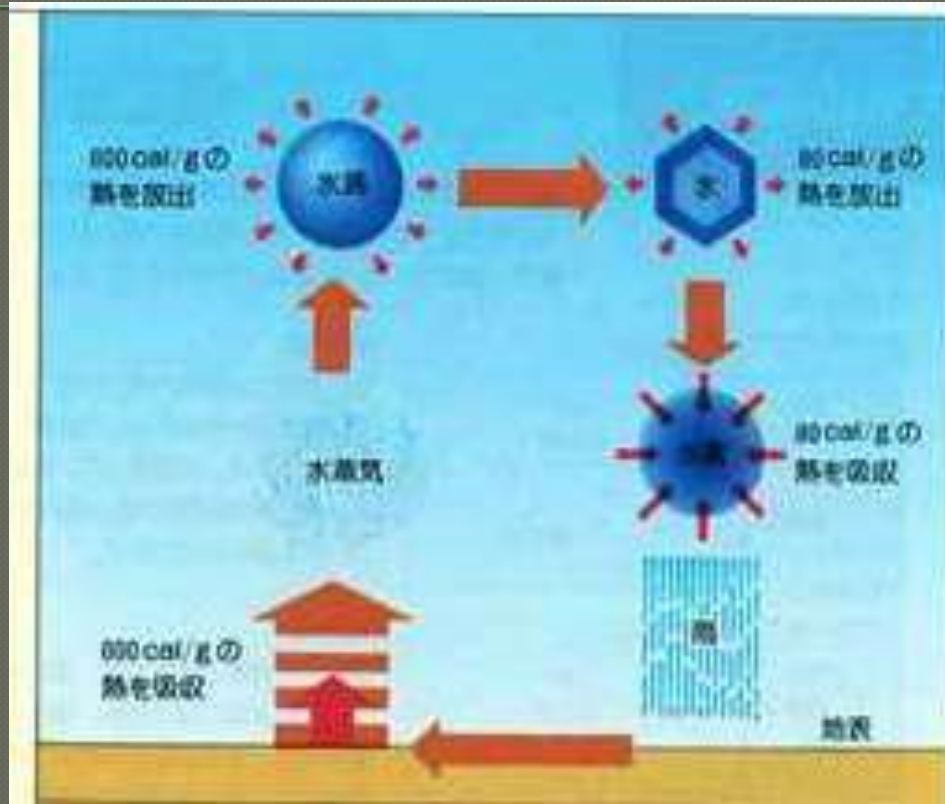
水蒸気の上昇によって、熱が大気に放出される。

540cal/g 水滴が凝結する
発熱

氷ができる 80cal/g
発熱

水分が蒸発する

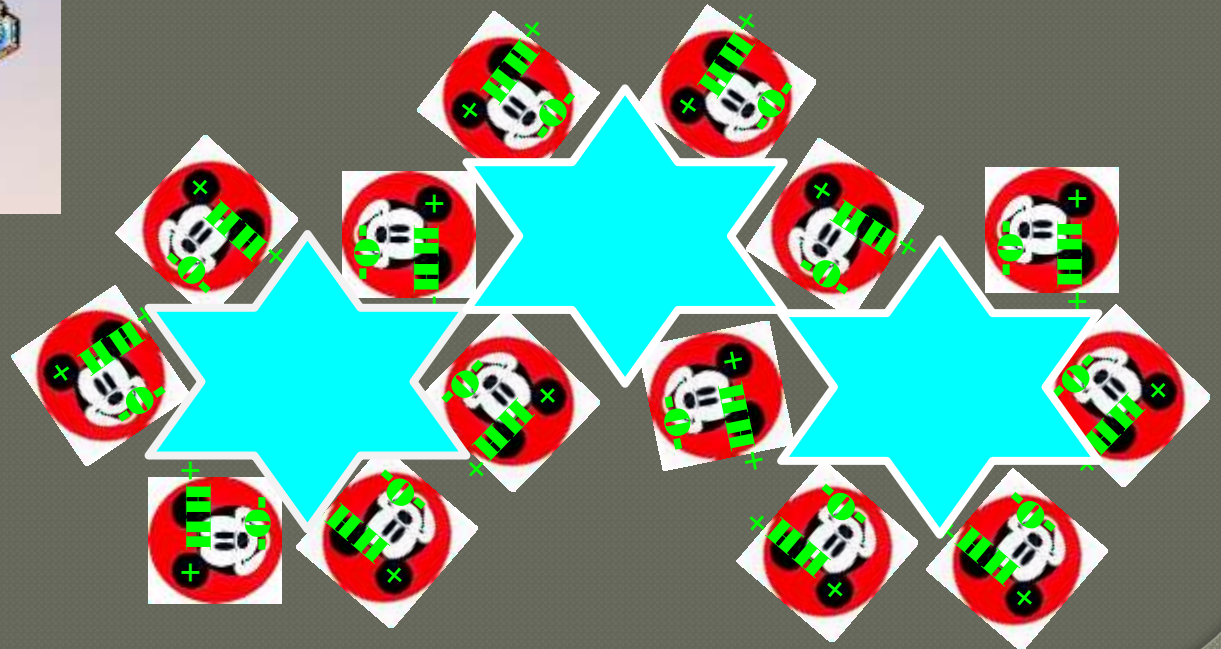
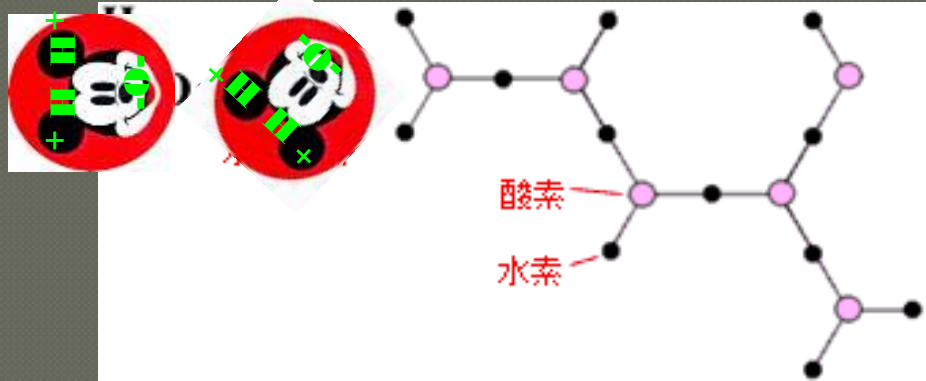
540cal/g



雪が解けて雨となって
地表に降り注ぐ
80cal/g
吸熱

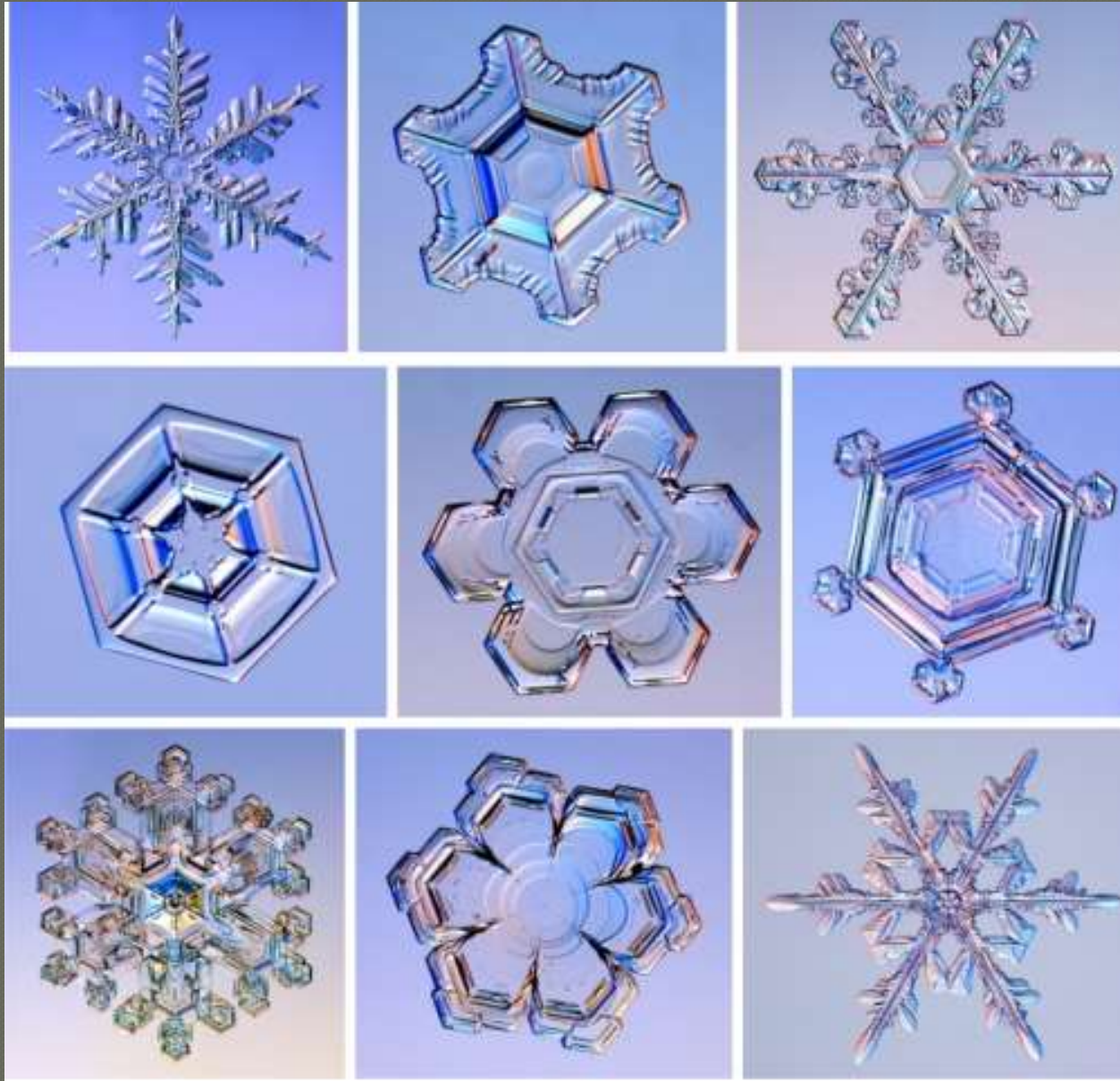
太陽の光によって熱せられる
〔地面や海面〕

雪の結晶の作り方



雪の結晶

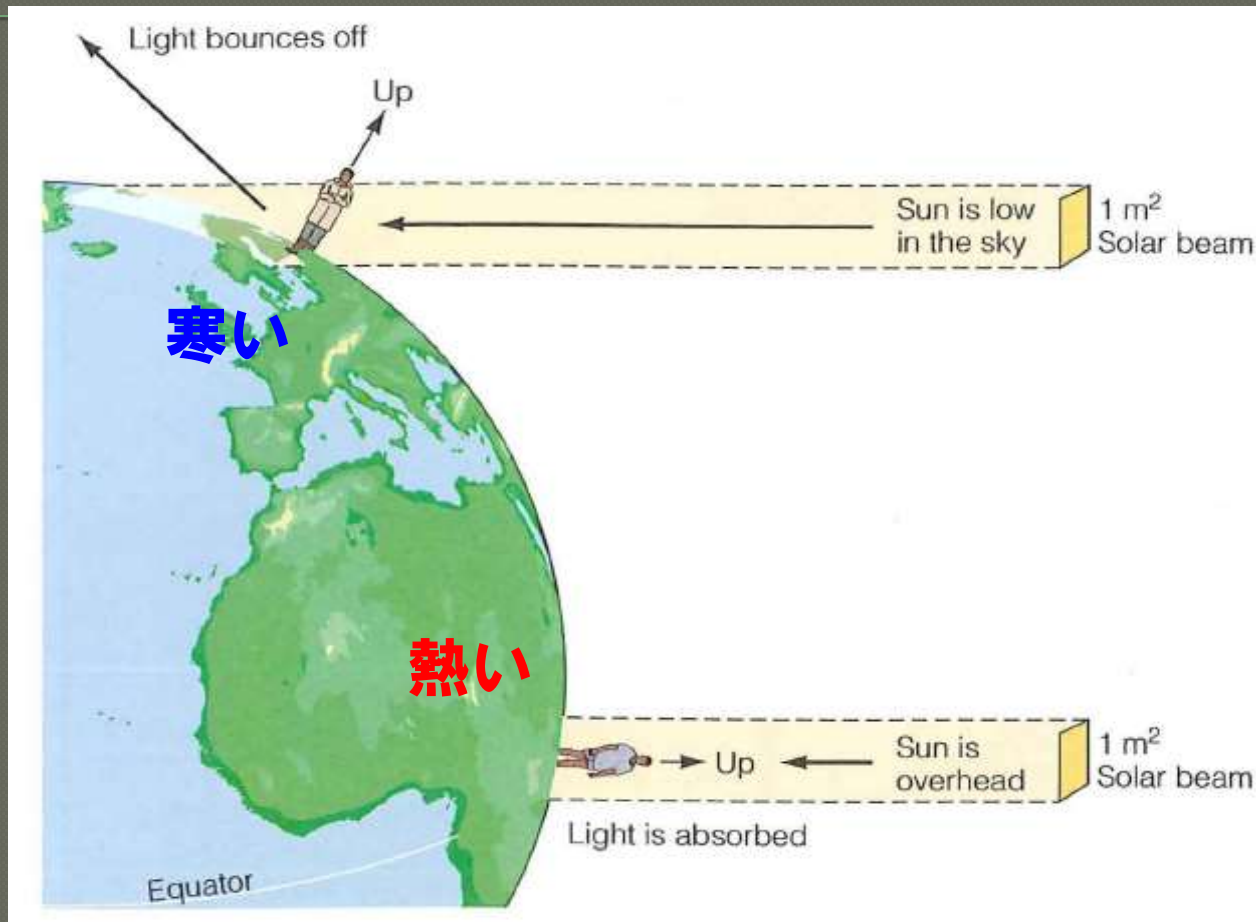
表面積が大きく
下からの上昇流
を上手く利用し
て大気中を漂う。



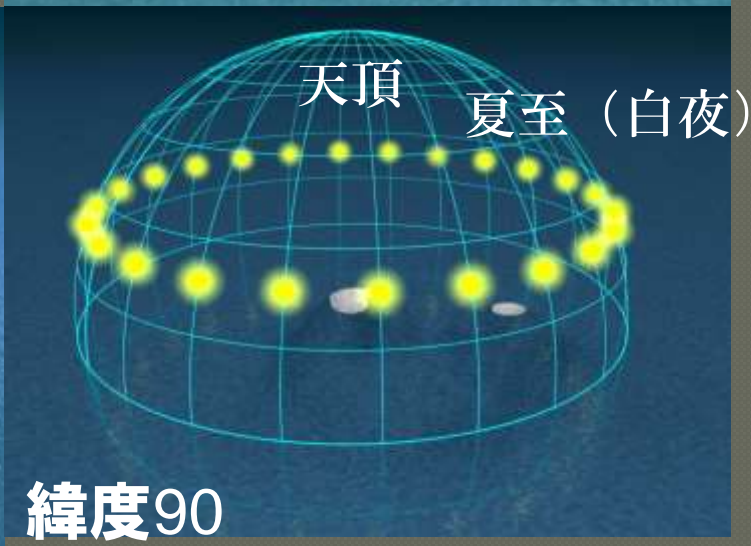
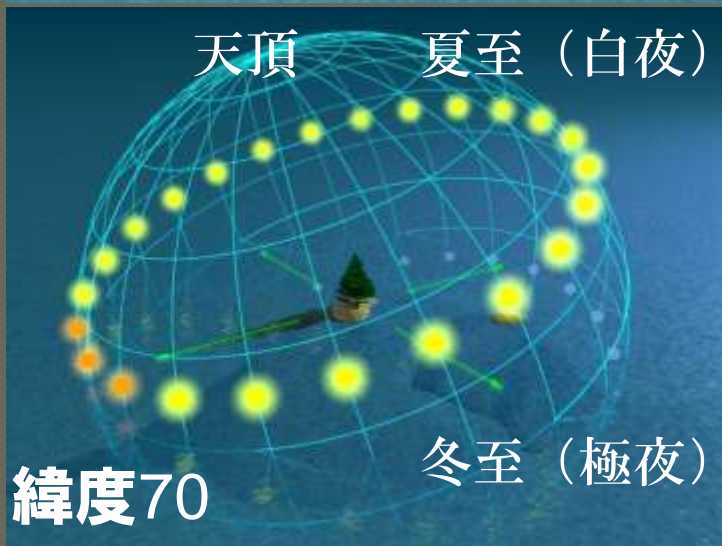
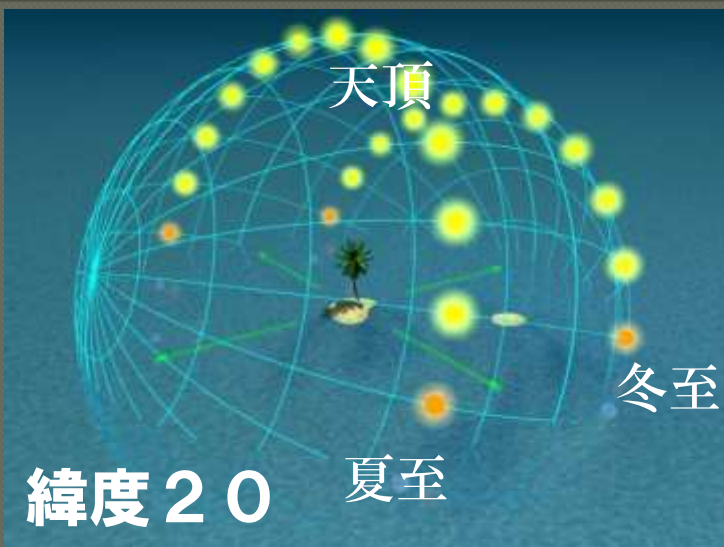
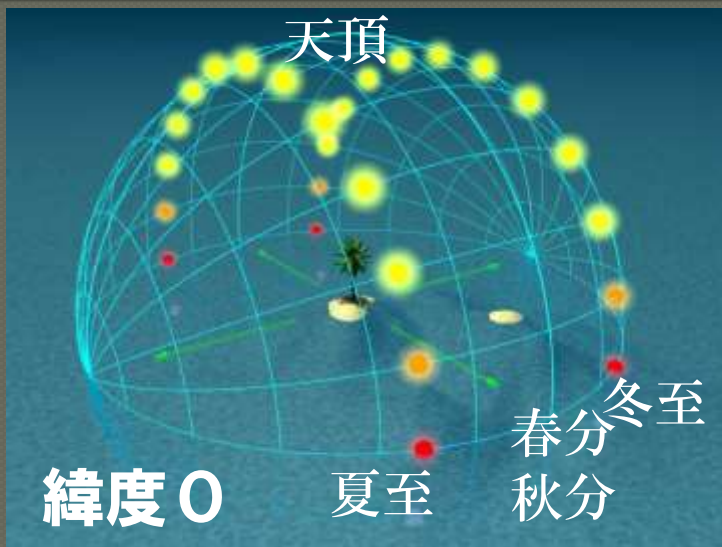
地球の温められ方の時間変化（季節）

季節を左右する、地球の公
転と自転軸の傾き

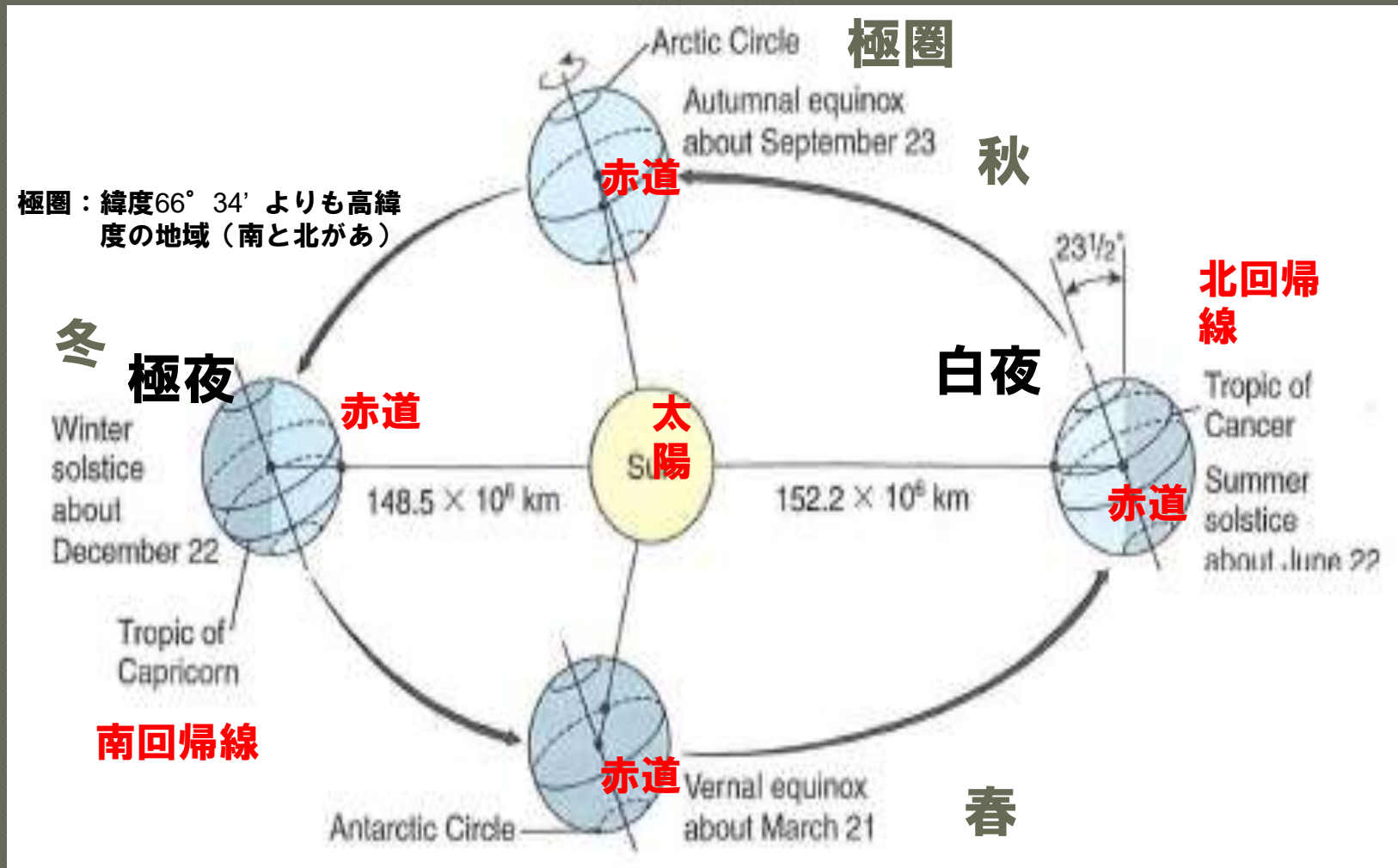
そもそも、どうして北極や南極は寒くて、赤道周辺は暑いのでしょうか？



太陽の軌跡（地球からの視点）



回帰線に挟まれた地域：熱帯



☆ 蘊蓄： [1350–1400; ME < L *tropicus* < Gk *tropikós* pertaining to a turn, equiv. to *tróp(os)* turn + *-ikos* -IC]

熱帯とはどこを指すか？

熱帯地域は、北回帰線と南回帰線に挟まれて領域で年に一度は、天頂に太陽が昇る。つまり、ほぼ真上から太陽が照りつける地域。

亜熱帯とはどこを指すか？

亜熱帯 ~ という用語は、沢山あります。

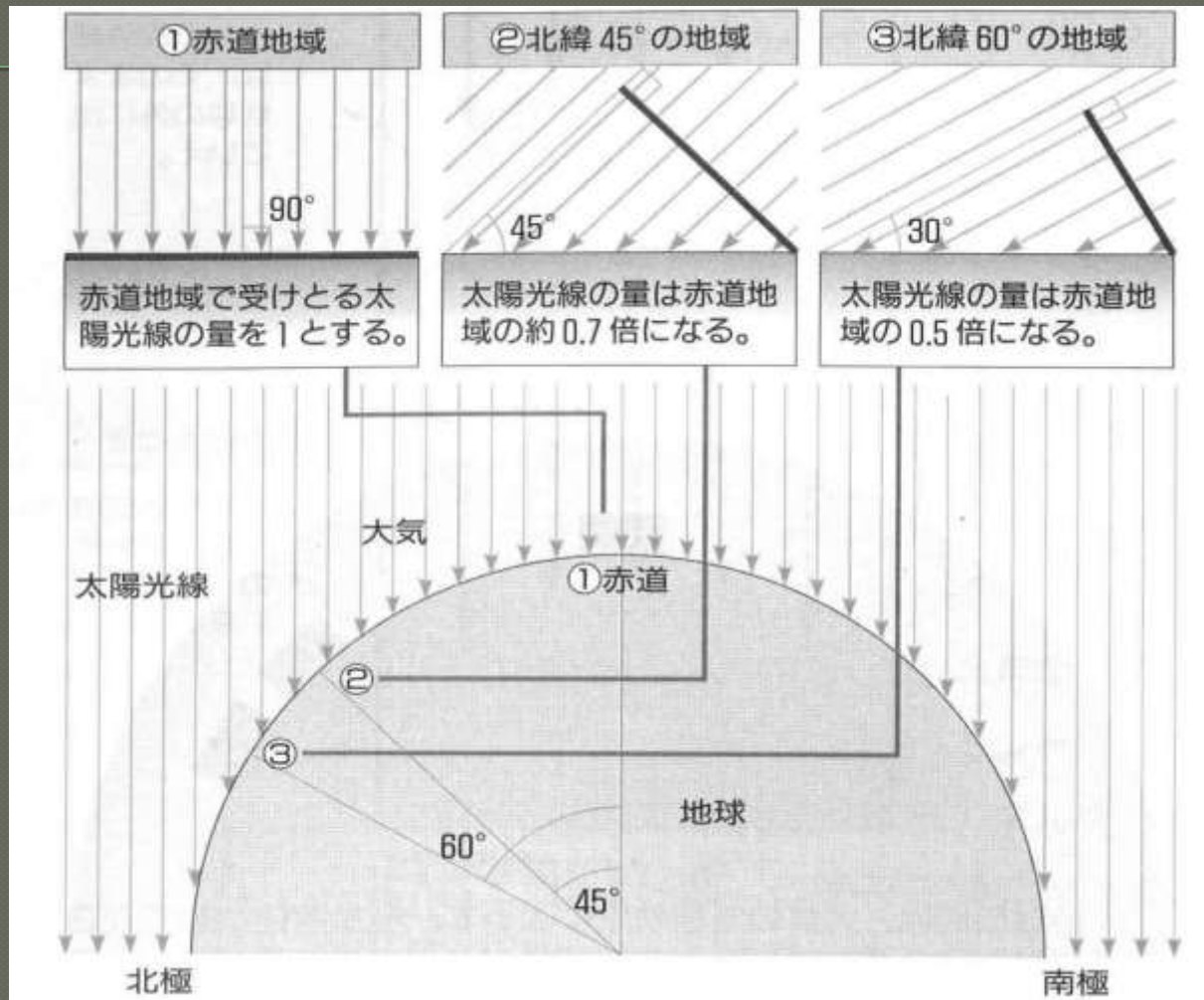
亜熱帯高気圧

亜熱帯循環 など

しかし、明確の定義はなく、おおよそ回帰線（北回帰線，南回帰線）の近傍地域を指し， 緯度 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ の範囲が対応する。

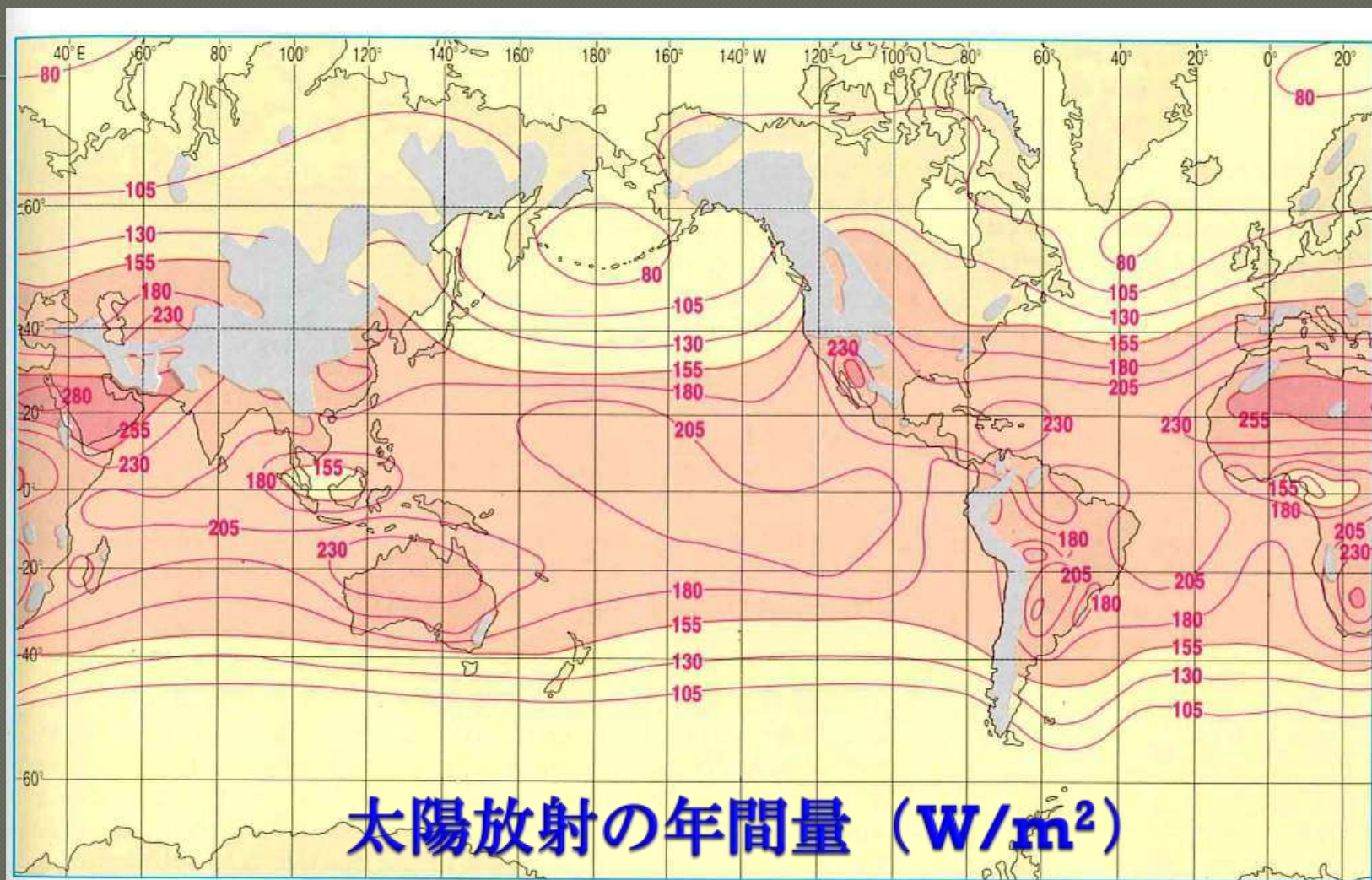
太陽が真上から照りつけるとどうして暑くなるのですか？

緯度が違くと、温まり方が違う理由は？



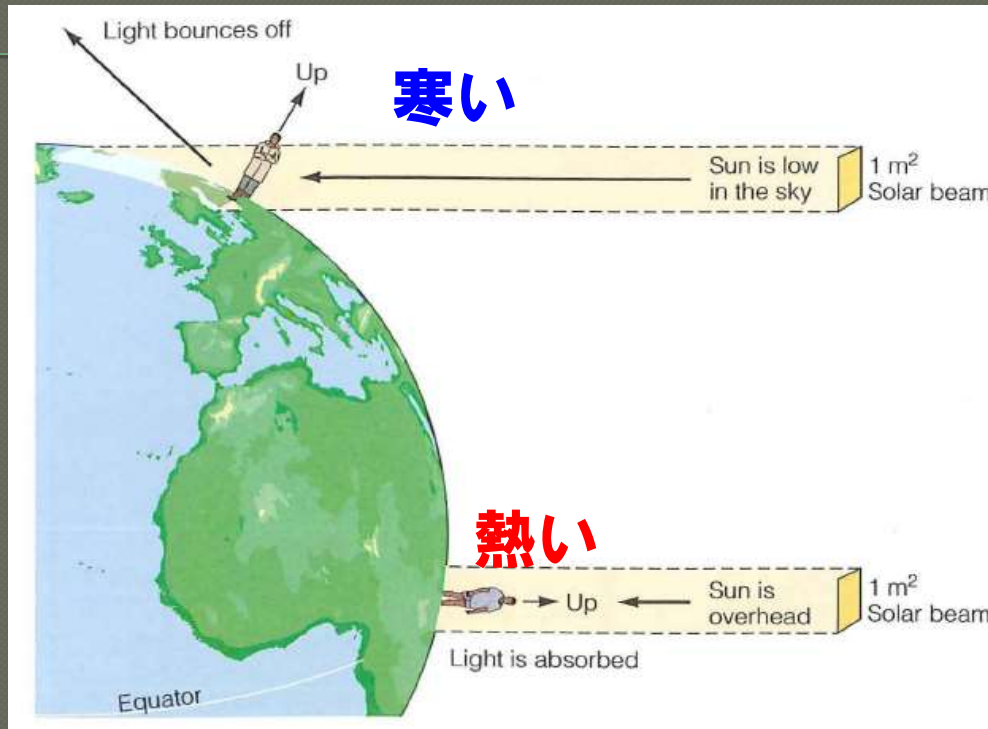
単位面積あたりの太陽の放射エネルギーが変化する。

だから、赤道には、沢山の太陽放射が降り注ぎます。



当たり前ですが、熱帯地域は太陽で加熱されます！

反射の度合いは、緯度や状態によって変わる



海面		雪面		熱帯林		砂漠	落葉樹林(夏)
90° N, S	60° N, S	60° ~ 極	60° 以下	雨期	乾期		
0.23 ~ 0.09	0.20 ~ 0.07	0.80	0.70	0.24	0.18	0.28	0.18

人工衛星を使って、地球からの赤外線放射を計測



(a)



(b)

太陽放射のその後

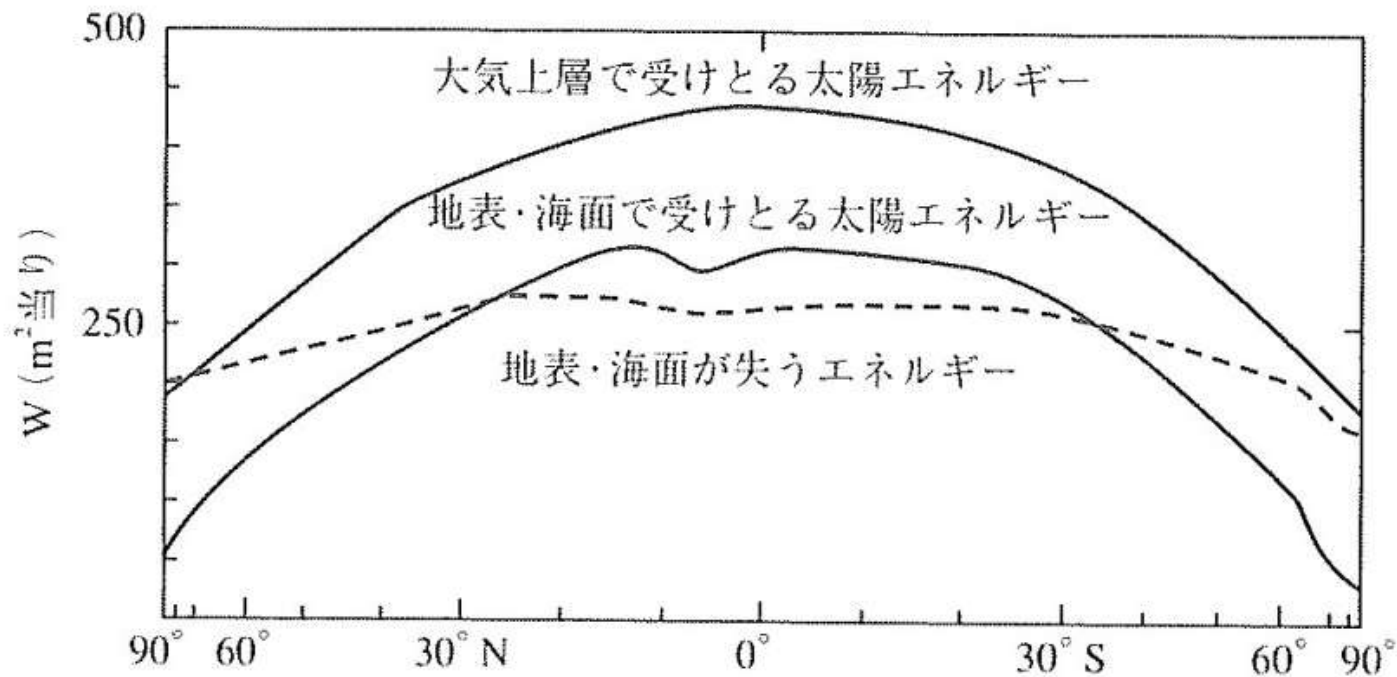
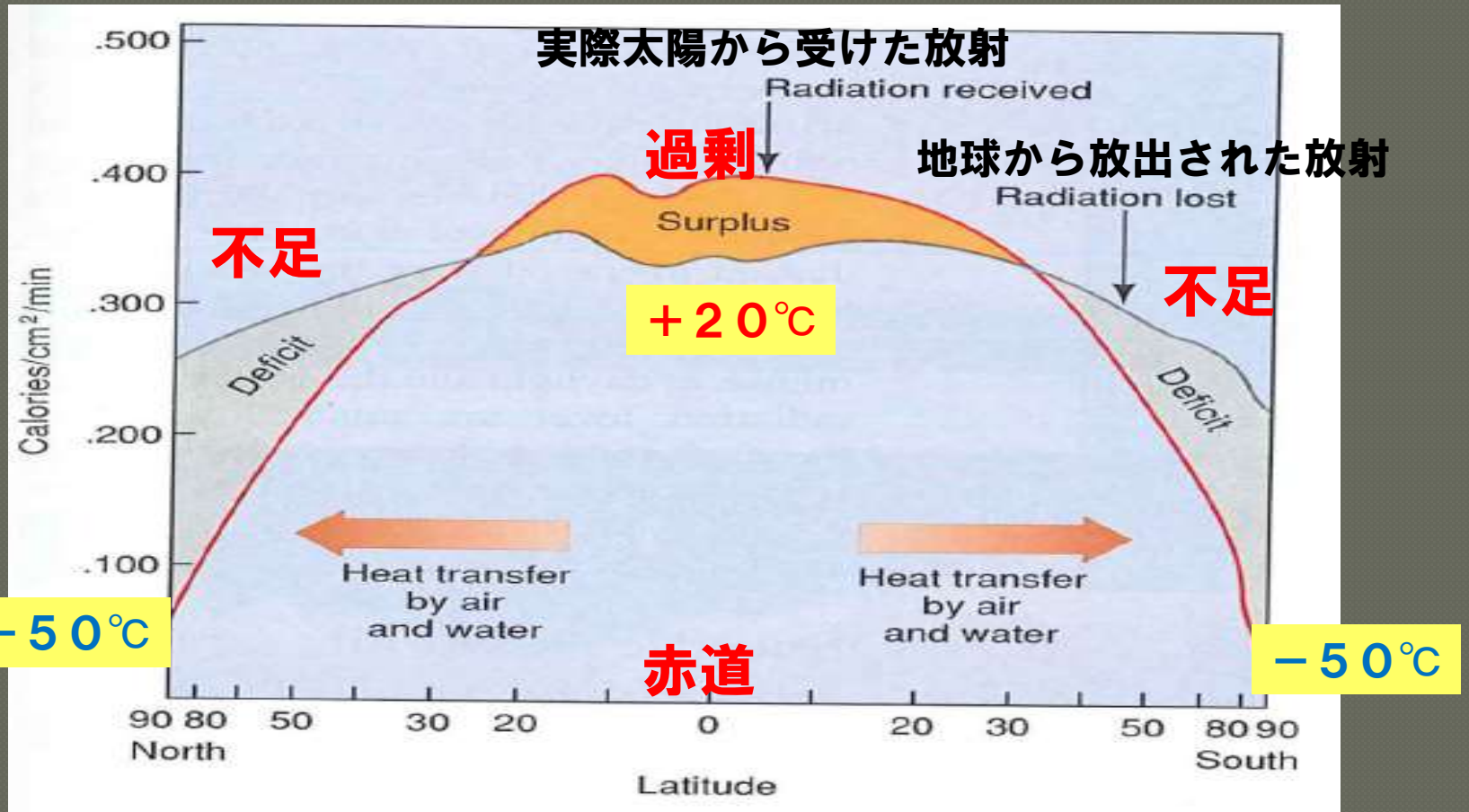


図 4-3 地球の各緯度での地表が得る熱量と失う熱量 (Gill, 1982)

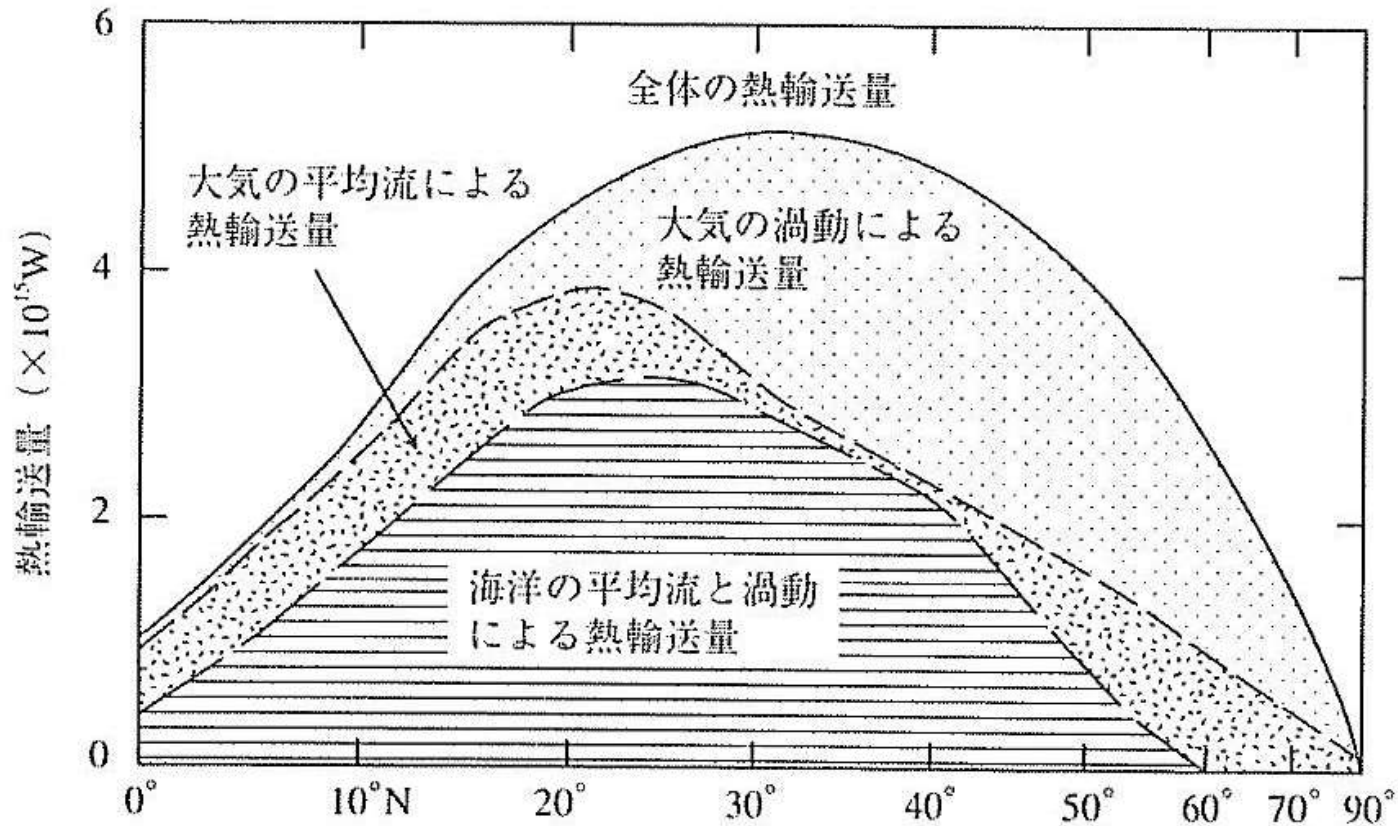
過不足の地域性は、地球上における熱の再配分に関連する。

太陽エネルギーの再配分



エネルギー収支は、局所的に成り立たない。

地球上の熱輸送量

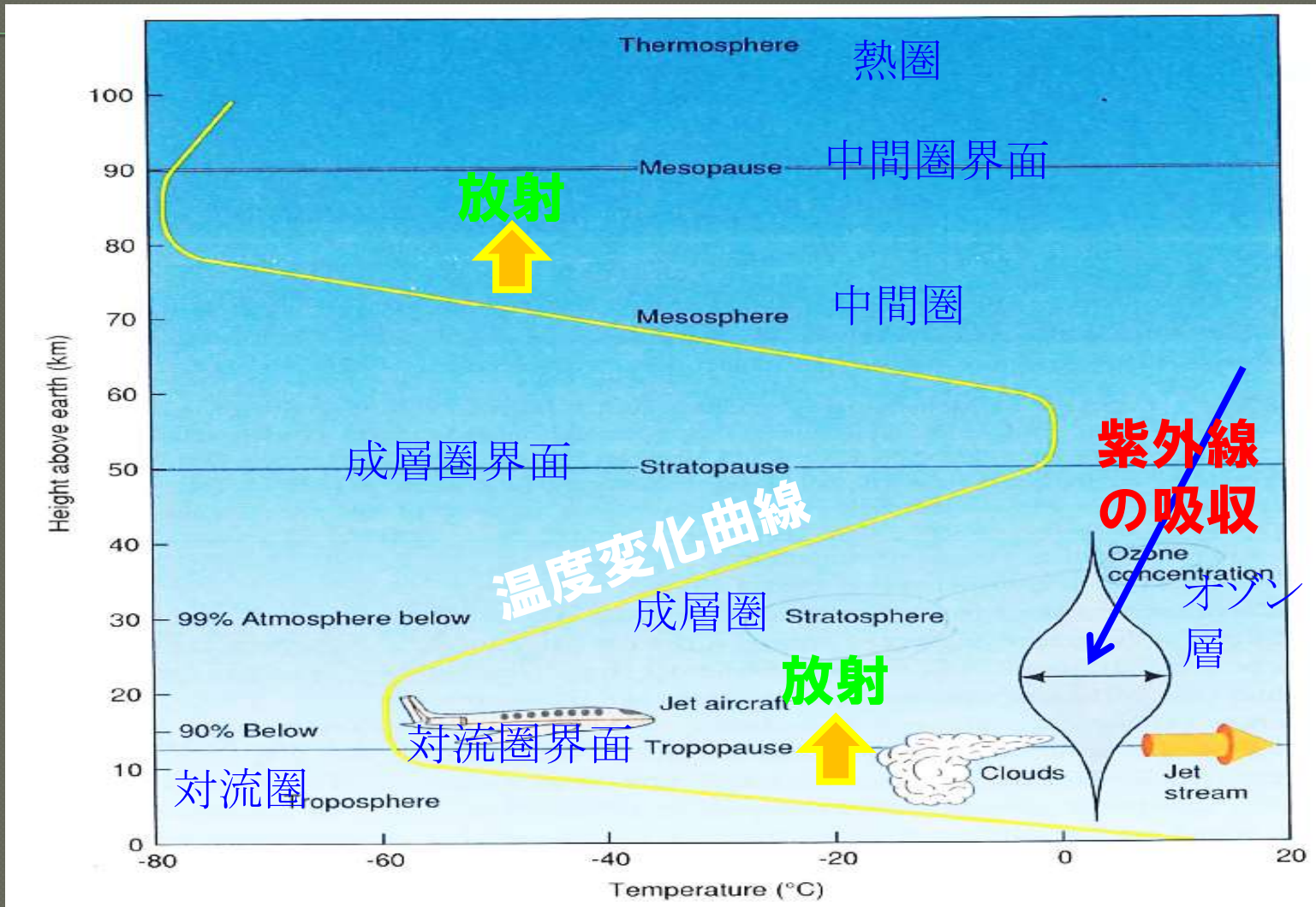


赤道

極地方



地球の熱を宇宙に吐き出せ



地球放射平衡温度

地球に届く太陽放射 = 赤外線による地球放射
→ 地球の放射平衡温度

地球に届く単位時間・単位面積当たりの放射エネルギーを太陽定数: S_0

$$S_0 = 1.4 \text{ kW/m}^2$$

反射能を A (アルベドという)。

地球の半径 = R → 太陽放射は地球の断面積 πR^2

単位時間当たり総入射エネルギー = $S_0 (1 - A) \times \pi R^2$

地球放射は表面積 $4\pi R^2$ から放射

地球の表面温度 = T [K] とすると、

単位時間当たり総放射エネルギーは $\sigma T^4 \times 4\pi R^2$ と表せる。

入射エネルギー = 放射エネルギー

$$S_0 (1 - A) \times \pi R^2 = \sigma T^4 \times 4\pi R^2$$

$$\therefore T^4 = S_0 (1 - A) / 4\sigma$$

$T = 255$ [K] となり -18°C になってしまう。

観測される平均気温は $288 \text{ K} = 15^\circ\text{C}$ 放射平衡温度より 33 K 高い

注) σ : シュテファン=ボルツマンの法則 (シュテファンボルツマンのほうそく、Stefan-Boltzmann law) は、黒体の表面から単位面積、単位時間当たりに放出される電磁波のエネルギー I が、その黒体の熱力学温度 T の4乗に比例するという物理法則である。ステファン=ボルツマンの法則ともいう。ヨーゼフ・シュテファンが本法則を実験的に明らかにし (1879年)、弟子のルートヴィヒ・ボルツマンが理論的な証明を与えた (1884年)。

I と T の間には $I = \sigma T^4$

という関係が成り立つ。この時の比例係数 σ が、シュテファン=ボルツマン定数 (ステファン=ボルツマン定数) である。この定数の値は、

$$\sigma \simeq 5.67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$$