

惑星地球科学2 (第四回目)

大気・太陽活動

東京大学総合文化研究科：

小宮 剛 准教授

2015/10/16

②他の地球型惑星の大気の組成

成分	濃度 (bars)	存在比 (%)
金星 (Venus)		
CO ₂	86.4	96
N ₂	3.2	3.5
H ₂ O	0.009	1×10 ⁻²
Ar	0.0063	7×10 ⁻³
90 bar		
地球 (Earth)		
N ₂	78	77
O ₂	21	21
H ₂ O	0.01	1
Ar	0.0094	0.93
CO ₂	3.55×10 ⁻⁴	3.5×10 ⁻⁴
1 bar		
火星 (Mars)		
CO ₂	0.0062	95
N ₂	0.00018	2.7
Ar	0.00010	1.6
H ₂ O	3.9×10 ⁻⁷	6×10 ⁻³
CO, O ₂ , CH ₄		<1
6-8×10 ⁻³ bar		
水星 (Mercury)		
K		31.7(太陽風 + 隕石衝突)
Na		24.9(太陽風 + 隕石衝突)
O		9.5(太陽風 + 岩石反応)
He		7
Ar		5.9(太陽風, solar wind)
O ₂		5.6(太陽風 + 岩石反応)
10 ⁻⁵ bar		

他の惑星はCO₂が多い。

(2) 大気の組成

① 地球大気の組成

地表における乾燥大気組成比

成分	分子量	容積存在比 (ppmv)	平均滞留時間
N ₂	28.01	780800	2×10 ⁷ 年
O ₂	32	209500	2200年
Ar	39.94	9340	
CO ₂	44.01	360	増加率 年0.4%
Ne	20.18	18	
He	4.00	5.2	
CH ₄	16.05	1.8	増加率 年1.0%
Kr	83.80	1.1	
H ₂	2.02	0.5	2年
N ₂ O	44.02	0.3	増加率 年0.2%
CO	28.01	0.1	変動大
Xe	131.29	0.09	
O ₃	48.00	0.03	変動大
H ₂ O	18.02	1000-30000	変動大

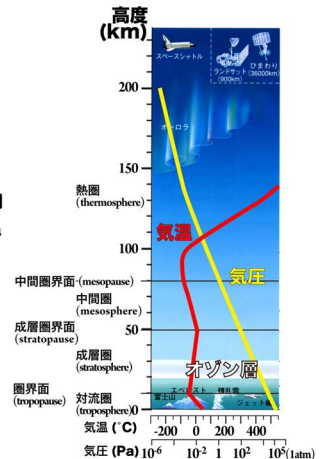
(1) 地球の大気構造

熱圏
 ①太陽の紫外放射による電離・解離による加熱：高度ほど高温
 ②重力的に成層

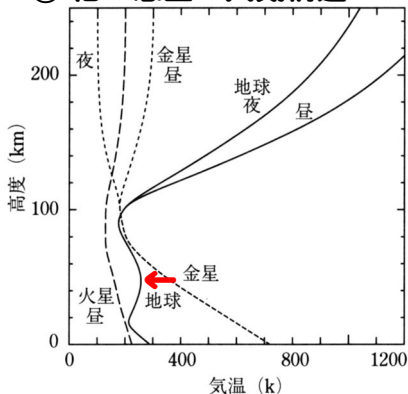
中間圏
 ①O₃の紫外放射による加熱とCO₂, H₂O等による赤外放射冷却
成層圏:高度25-50km付近の温度極大まで。

①O₃の紫外放射吸収加熱とCO₂, H₂O, O₂の赤外放射冷却
対流圏:高度15km付近に現れる最初の温度極小まで。

②温度(密度的)に不安定
 ③圏界面は赤道(17)極域(8km)



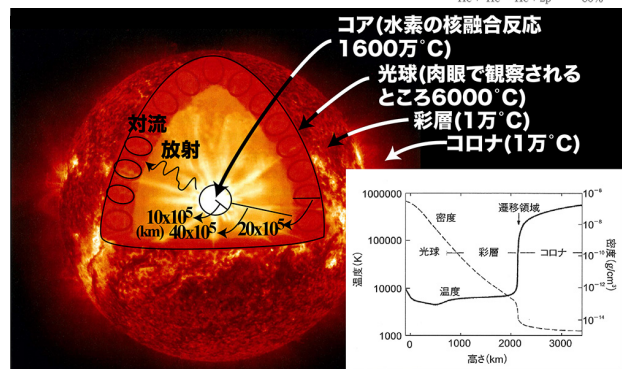
② 他の惑星の大気構造



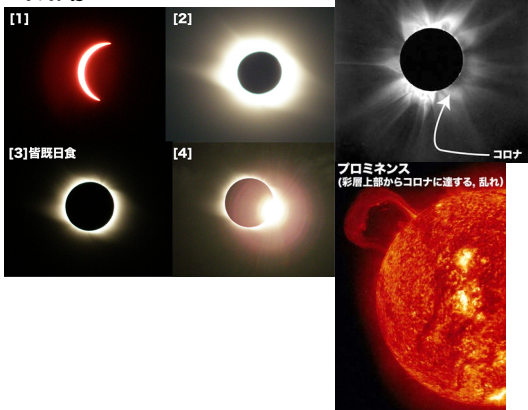
他の惑星にはオゾン層が無い。
 →成層圏上部や中間圏下部の高温域はオゾン層による吸収による為、この部分は地球特有の特徴である。

地球型惑星大気温度構造の模式図

太陽について



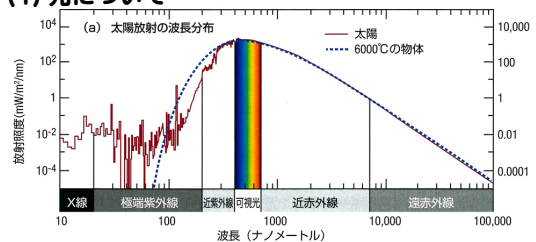
太陽について



太陽から放出されるもの。

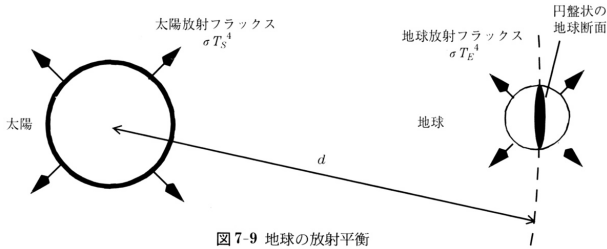
- (1) 光や熱
- (2) 太陽風(陽子, 中性子, 電子, イオン)でできた粒子流

(1) 光について



太陽放射スペクトル
 大気外~6000Kの黒体
 輻射スペクトルに近似→可視光の所にピーク

太陽定数(Fs)：
太陽からどれくらいのエネルギー(全ての波長の光)が地球にもたらされているか。
≡太陽放射量
→1370 W/m² (球状なので343 W/m²)



太陽定数(Fs)とは

黒体放射を考えると太陽が放射するエネルギーは

$$E_s = \sigma T_s^4 \quad (\text{J/m}^2)$$

太陽全体からの放射エネルギー

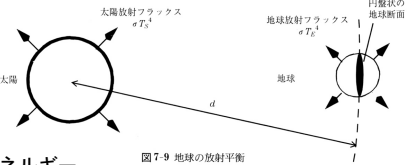
$$E_s = 4\pi R_s^2 \sigma T_s^4$$

Ts:太陽の黒体放射の温度(5770 K)

ステファン-ボルツマン定数: $\sigma = 2\pi^5 k^4 / 15 c^2 h^3 = 5.67 \times 10^{-8} (\text{W/m}^2 \text{K}^4)$

プランク定数: $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$, ボルツマン定数: $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

Rs:太陽の半径~7x10⁵km, d:太陽と地球の距離1.5x10⁸km



地球への放射エネルギー(Fs 5770Kに相当)

$$F_s = E_s / 4\pi d^2 = 4\pi R_s^2 \sigma T_s^4 / 4\pi d^2 = \sigma T_s^4 R_s^2 / d^2 = 1370 \text{ W/m}^2$$

地球への全入射エネルギー: $\pi R_E^2 F_s$

単位表面積あたり $\pi R_E^2 F_s / 4\pi R_E^2 = F_s / 4$

地球の散乱断面積: πR_E^2 , R_E :地球の半径

(5)練習問題①

①地球の有効温度(放射平衡温度)を計算せよ。ただし、地球全体のアルベド(A)を0.28とする。有効温度とは宇宙から見た時の地球の黒体放射温度。

解答:

*地球への全入射太陽エネルギーは $\pi R_E^2 F_s$ 。アルベドを考慮し、地球表面に達する単位表面積あたりのエネルギーは $F_s(1-A)/4$

*有効温度を T_E とすると、黒体放射を仮定して、 σT_E^4

*地球表面に入射するエネルギーと放射エネルギーが釣り合っているとすると

$$F_s(1-A)/4 = \sigma T_E^4, T_E = [F_s(1-A)/4\sigma]^{1/4} = 257 \text{ K}$$

(4) 各惑星の物理的特性と大気や温度の比較

特性	金星	地球	火星
全質量 (10 ²⁷ kg)	5	6	0.6
半径 (km)	6049	6371	3390
大気質量 (割合)	100	1	0.06
表面気圧 (atm)	90	1	0.008
太陽からの距離 (10 ⁶ km)	108	150	228
太陽定数 (W/cm ²)	2613	1380	589
アルベド (%)	75	30	15
雲量 (%)	100	50	変動する
有効放射温度 (°C)	-39	-18	-56
表面温度 (°C)	427	15	-53
温室効果による温度上昇 (°C)	446	33	3
N ₂ (%)	<2	78	<2.5
O ₂ (%)	<1ppmv	21	<0.25
CO ₂ (%)	>98	0.035	>96
H ₂ O (%)	1x10 ⁻⁴ ~0.3	3x10 ⁻⁴ ~4	<0.001
SO ₂ (%)	150 ppmv	<1 ppbv	0
Ar (%)	-	0.9	1.6
雲の組成	H ₂ SO ₄	H ₂ O	塵, H ₂ O, CO ₂

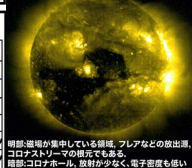
太陽定数:太陽からの入射エネルギー量→太陽からの距離に依存。

有効放射温度:宇宙から見た時の地球の温度:(入射エネルギー)-(入射時の大気による吸収)-(放射時の大気による吸収:温室効果)

(2) 太陽風(陽子, 中性子, 電子, イオンでできた粒子流)

太陽風	エネルギー	発生源
km/秒	(eV)	
弾丸	0.6	
低速太陽風	300	1-20 (eV) 700 (eV) (磁気活動が強い)
高速太陽風	750	30 (eV) 内部コロナや遷移層, コロナホール (磁気活動が強い, 太陽風が飛び出し易い)
最速太陽風	900	
光	300000	

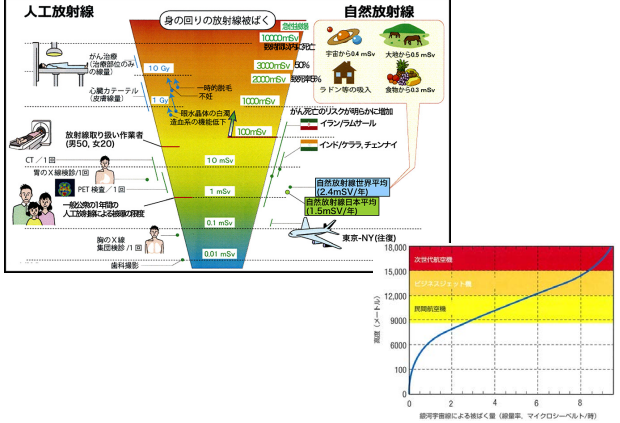
X線で見た太陽の詳細構造
(コロナ下部からの100万 Cの放射が見える)



地球に降り注ぐエネルギー粒子			
太陽風	E (eV)	発生源	粒子の種類
太陽風	0.5	光球(5000° C)	陽子, 電子
	1	影層下部(1万° C)	陽子, 電子
	10	遷移層(10万° C)	陽子, 電子
	10 ² ~10 ³	コロナ(10 ² ~10 ³ ° C)	陽子, 電子
コロナ質量放出	>10 ³	コロナストリーマ(10 ² ~10 ³ ° C)	陽子, 電子, イオン
太陽フレア	10 ⁶ ~10 ⁹	太陽フレア(10 ⁶ ~10 ⁹ ° C)	陽子, 電子, イオン
	>10 ⁹	爆発的なフレアやコロナ質量放出が太陽風を追い越す際の衝撃波	陽子, 電子, イオン
銀河宇宙線	3x10 ⁸ ~10 ²⁰	銀河, 超新星爆発	陽子, 電子, 重イオン

磁気圏が集中している領域, フレアなどの放出源, コロナストリーマの発生場所, コロナホール, 放射が少なく, 電子密度も低い

(2) 太陽風(陽子, 中性子, 電子, イオンでできた粒子流)



太陽について

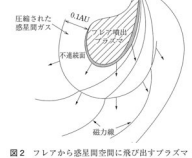
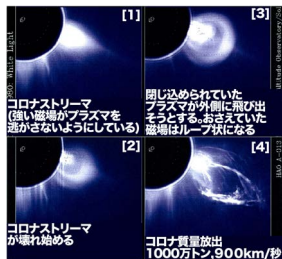
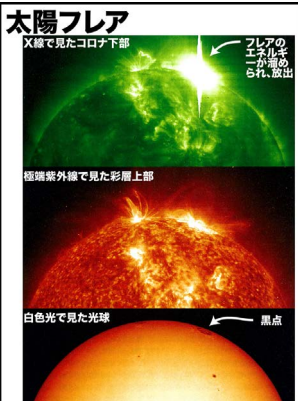
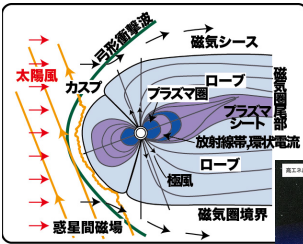
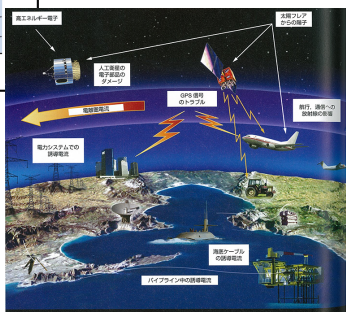


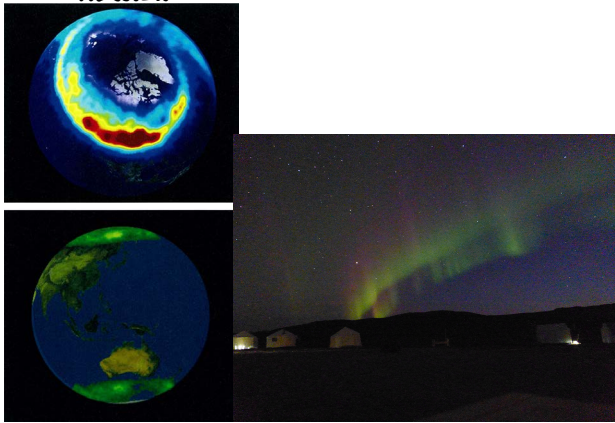
図2 フレアから惑星間空間に飛び出すプラズマ雲(磁場・光線)2000, (a) (b) (c) (d) (e) (f) (g) (h) (i) (j) (k) (l) (m) (n) (o) (p) (q) (r) (s) (t) (u) (v) (w) (x) (y) (z)



液体金属核と地球磁気圏と太陽風(宇宙線)

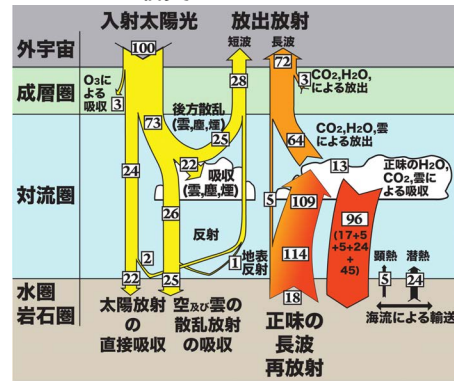


磁気嵐

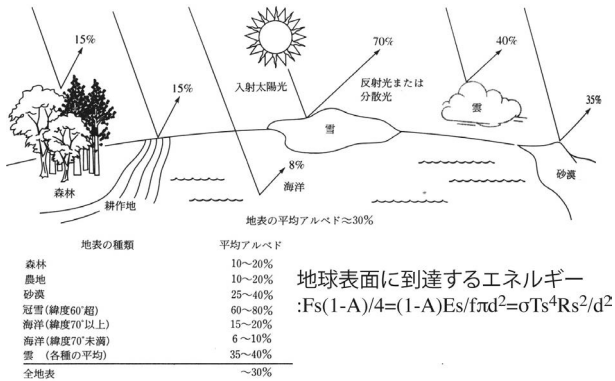


(3)エネルギー収支と地球大気

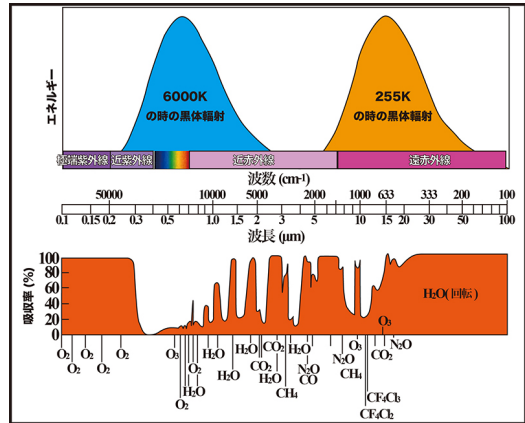
①エネルギー収支



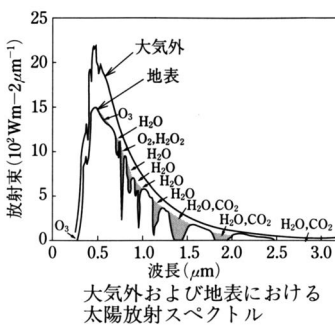
(3)アルベド(反射率)



③太陽入射と地球放射エネルギーのまとめ



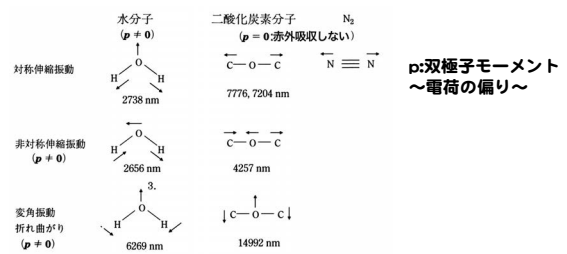
②入射太陽エネルギー



太陽放射スペクトル
大気外~6000Kの黒体放射スペクトルに近似
地表
 300mm以下: O₃, O₂, H などによって完全に吸収
 300~700mm: O₃ などにより一部吸収
 700mm以上: H₂OやCO₂ により一部の波長で完全吸収

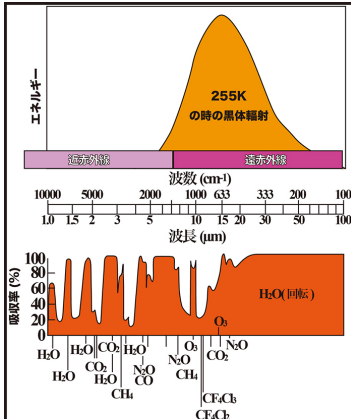
吸収:放射エネルギーを熱エネルギーへ→加熱

②分子の構造と吸収



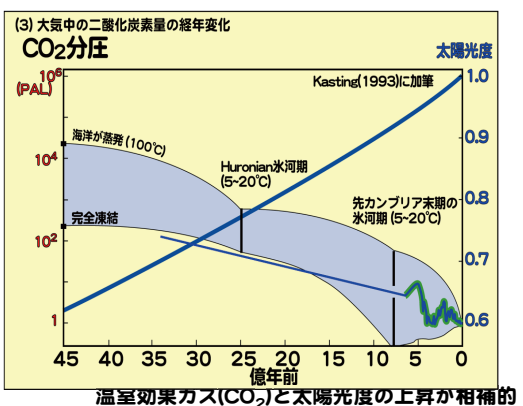
温室効果ガスの特徴(赤外線をよく吸収する分子)
 ①極性のある分子(ΔQ:極性の大きさ, X(N₂やO₂))
 ②振動により結合長が変化(Δq:結合長の変化量)
 赤外線の吸収量: δμ (= ΔQ * Δq) の2乗に比例

②地球放射エネルギー

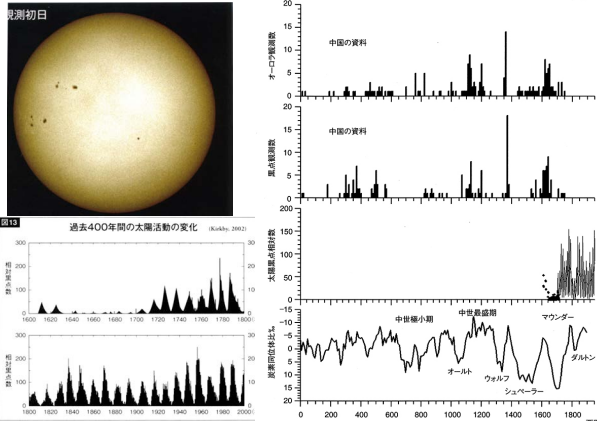


温室効果ガスとその吸収帯
 ~赤外域では**大部分CO₂やH₂O**により吸収
 8~12μmに、CO₂やH₂Oによって吸収されないバンドあり→「**赤外領域大気窓**」
 この波長域により放射される。
 →ここが閉じられると温室効果による温暖化へ

太陽の変動

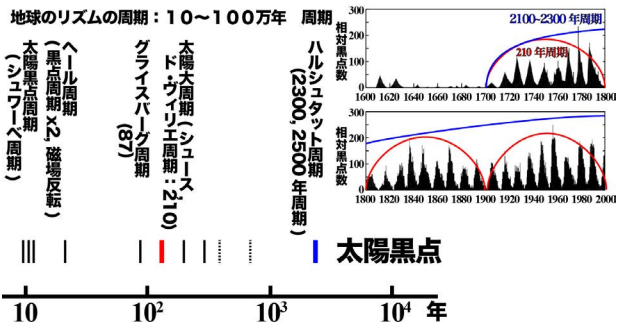


環境(気候)の周期(太陽活動)

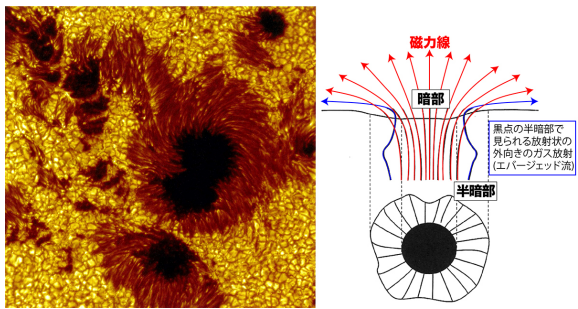


環境(気候)の周期

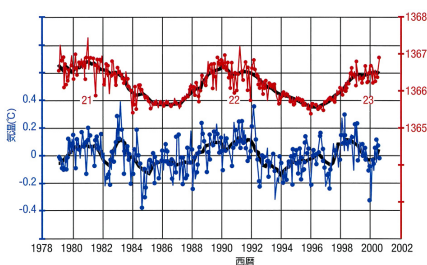
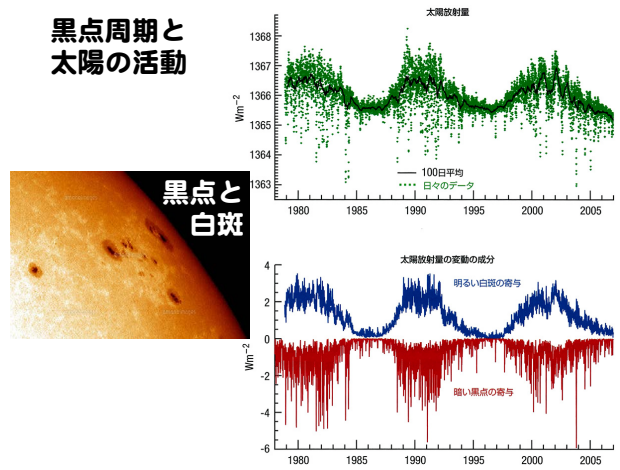
- (1) 太陽光度の上昇
- (2) 太陽周期 (長周期: 2500年, 200年...) (短周期: 11年)



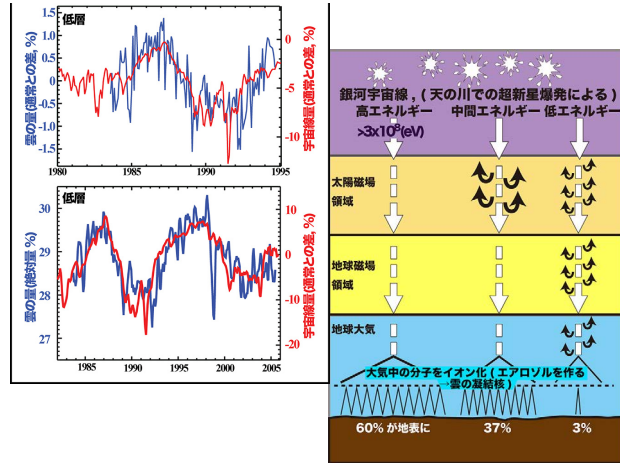
環境(気候)の周期



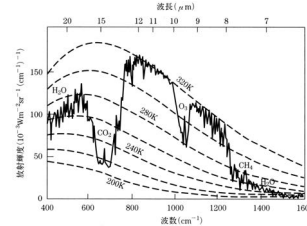
黒点周期と太陽の活動



太陽放射量と気温(火山等の影響, 全体的な温度上昇を除く)
 (1) 黒点周期(太陽放射量と良い相関) ただし、絶対量があわない。
 0.1%→0.06°Cの変動。(実際は0.12°C変動)



②地球放射エネルギーの実測(人工衛星から)



- ① CO₂とH₂Oによる吸収
- ② 赤外領域大気の窓を通過した放射スペクトル
- ③ 320K(ニジェールの地面温度)

④ 吸収された放射のスペクトルの温度280や215K

H₂Oが高度5kmに相当する温度→これより高高度ではH₂Oは乏しい
 CO₂は対流圏全体に存在, 上部対流圏か下部成層圏で減少
 →対流圏界面の温度

図7-8 正午に北アフリカ(ニジェール谷)上で測定された地球放射スペクトル