

惑星地球科学2 (第4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

2018/10/19

komiya@ea.c.u-tokyo.ac.jp

http://www43.tok2.com/home/isua/

(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% 4年
Ne	20.18	18	
He	4.00	5.2	
CH ₄	16.05	1.8	増加率 年1.0% 12年
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% 114年
CO	28.01	0.1	変動大 0.1年
Xe	131.29	0.09	
O ₃	48.00	0.03	変動大 数日-数週間
H ₂ O	18.02	1000-30000	変動大

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
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
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
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)

他の惑星はCO₂が多い。

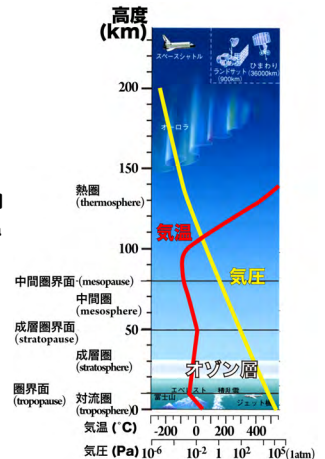
(1) 地球の大気構造

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

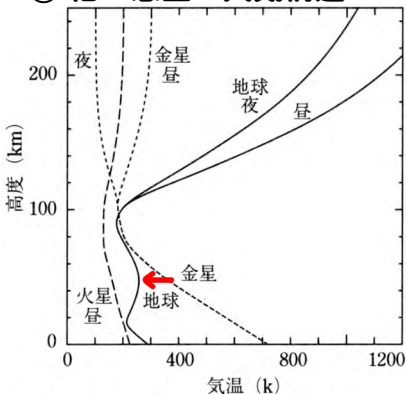
中間圏
①O₃の紫外放射による加熱とCO₂, H₂O等による赤外放射冷却
成層圏：高度25-50km付近の温度極大まで。

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)的不安定
③圏界面は赤道(17)極域(8km)



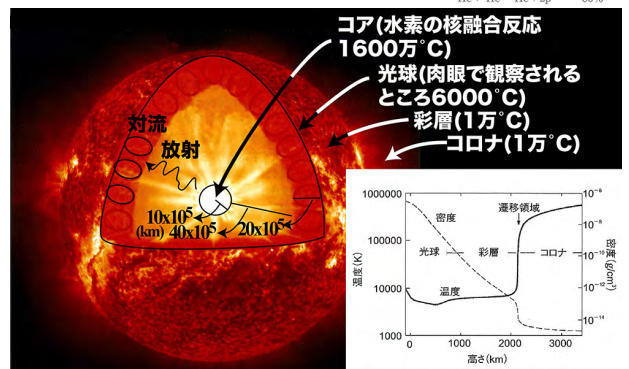
② 他の惑星の大気構造



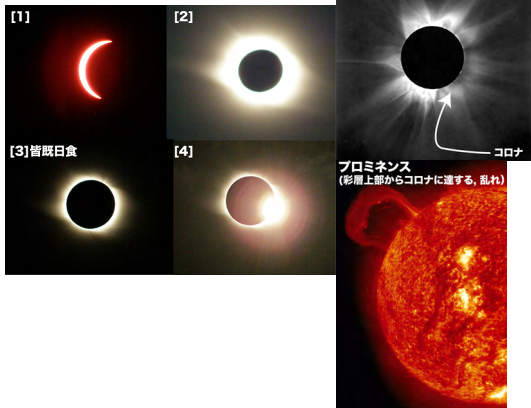
地球型惑星大気温度構造の模式図

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。

太陽について



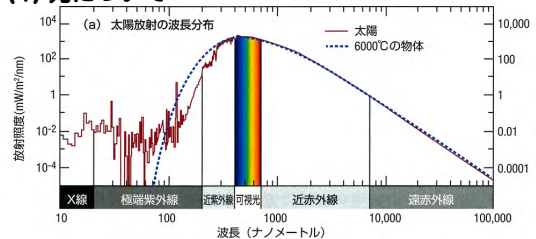
太陽について



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)

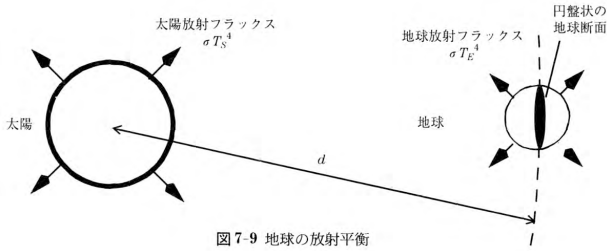


図7-9 地球の放射平衡

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

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

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: $\sigma = 2\pi^5 k^4 / 15c^2 h^3 = 5.67 \times 10^{-8} \text{ (W/m}^2\text{K}^4\text{)}$

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 $\sim 7 \times 10^5 \text{ km}$, d:太陽と地球の距離 $1.5 \times 10^8 \text{ km}$

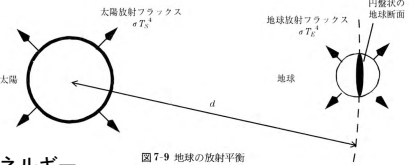


図7-9 地球の放射平衡

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

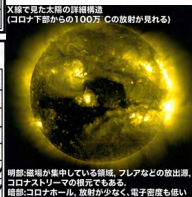
太陽定数:太陽からの入射エネルギー量→太陽からの距離に依存。

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)

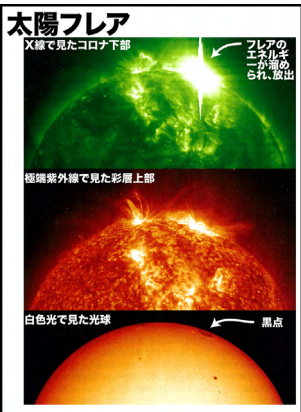
太陽風	エネルギー	発生源	
	km/秒	(eV)	
弾丸	0.6		
低速太陽風	300	1-20 (e-) 700 (p)	コロナ上部のコロナストリーマ (磁気活動が強い)
高速太陽風	750	30 (e-)	内層コロナや遷移層, コロナホール (磁気活動が弱い, 太陽風が飛び出しやすい)
最速太陽風	900		
光	300000		

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	彩層下部(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	
銀河宇宙線	3x10 ⁸ - 10 ²⁰	銀河, 超新星爆発	陽子, 電子, 重イオン



X線で見た太陽の詳細構造(コロナ下部からの100万° Cの放射が見れる)

太陽について



X線強度による等級

等級	X線強度	1年間の発生頻度(回)
A	10 ⁻⁸ - 10 ⁻⁷	10000
B	10 ⁻⁷ - 10 ⁻⁶	1000
C	10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁵	100
M	10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁴	10
X	> 10 ⁻⁴	1
X10		0.1
X30		0.03
X50		0.02

X線強度: 100 - 800pm での流速 [W/m²] 最大値
過去最大 (衛星観測至上最大: X45)

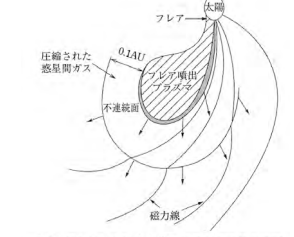
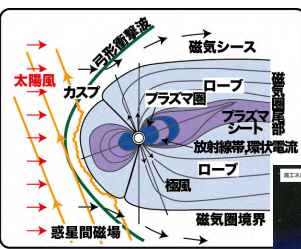
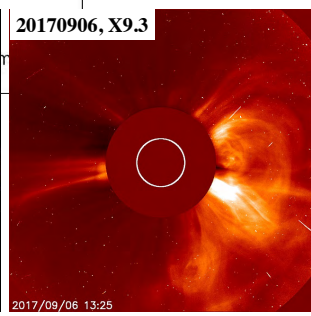
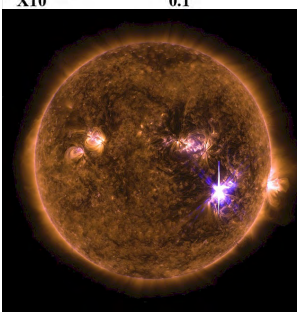


図2 フレアから惑星間空間に飛び出すプラズマ雲 (恩藤・丸橋編 2000, 60頁から引用)

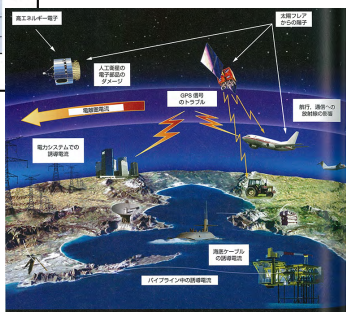
X線強度による等級

等級	X線強度	1年間の発生頻度(回)
A	10 ⁻⁸ - 10 ⁻⁷	10000
B	10 ⁻⁷ - 10 ⁻⁶	1000
C	10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁵	100
M	10 ⁻⁵ - 10 ⁻⁴	10
X	> 10 ⁻⁴	1
X10		0.1

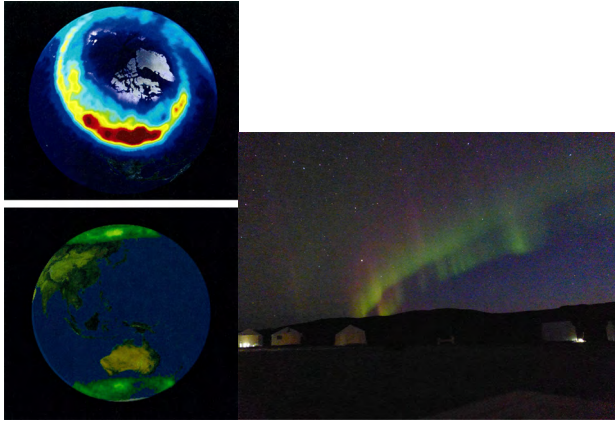
①20120723(ロンドンオリンピック直前)-超巨大フレア発生→地球をそれる
 ②18590901-02キャリントンイベント



液体金属核と地球磁気圏と太陽風(宇宙線)

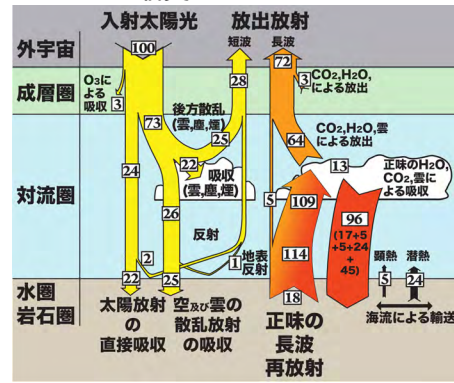


磁気嵐

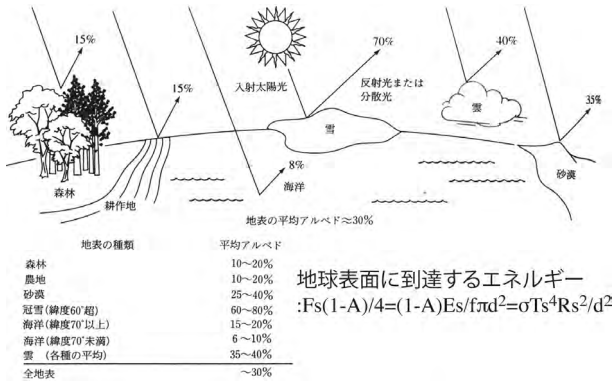


(3)エネルギー収支と地球大気

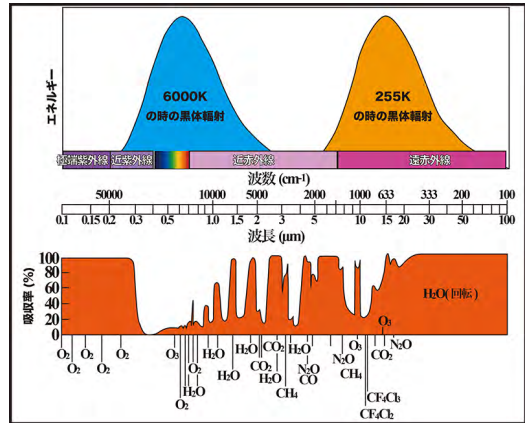
①エネルギー収支



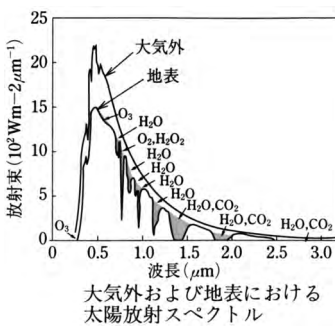
(3)アルベド(反射率)



③太陽入射と地球放射エネルギーのまとめ

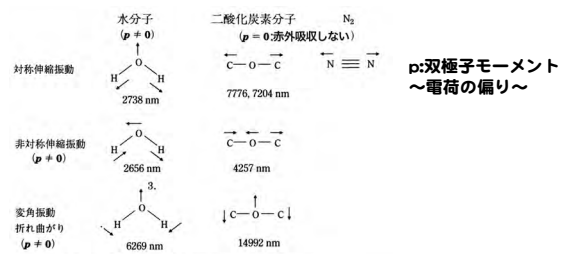


②入射太陽エネルギー



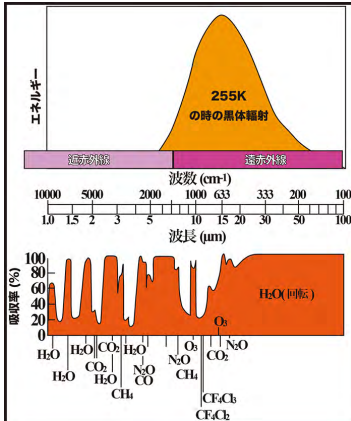
太陽放射スペクトル
大気外-6000Kの黒体放射スペクトルに近似
地表
 300mm以下: O₃, O₂, H₂Oなどによって完全に吸収
 300~700mm: O₃などにより一部吸収
 700mm以上: H₂OやCO₂により一部の波長で完全吸収
 吸収: 放射エネルギーを熱エネルギーへ→加熱

②分子の構造と吸収



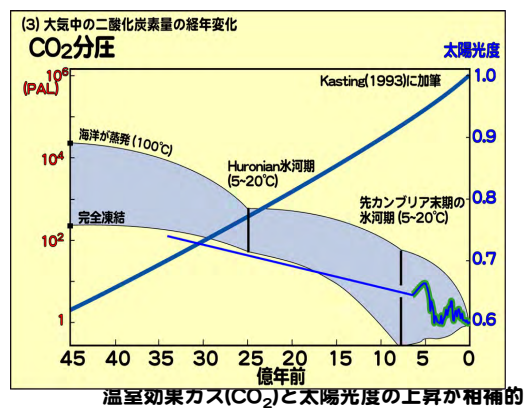
温室効果ガスの特徴(赤外線をよく吸収する分子)
 ①極性のある分子(ΔQ: 極性の大きさ, X(N₂やO₂))
 ②振動により結合長が変化(Δq: 結合長の変化量)
 赤外線の吸収量: δμ (= ΔQ * Δq)の2乗に比例

②地球放射エネルギー

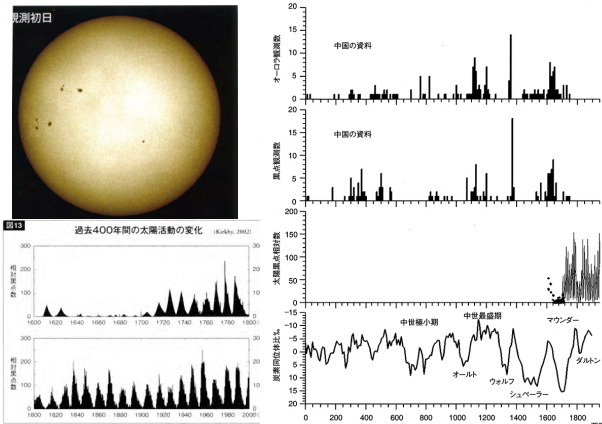


温室効果ガスとその吸収帯
 ~赤外域では**大部分CO₂やH₂O**により吸収
 8~12μmに、CO₂やH₂Oによって吸収されないバンドあり→「**赤外領域大気窓**」
 この波長域により放射される。
 →ここが閉じられると温室効果による温暖化へ

太陽の変動

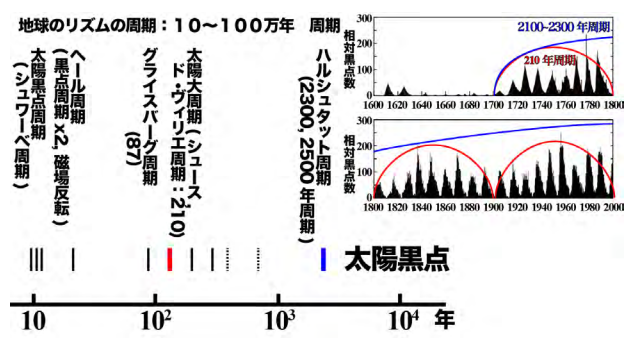


環境(気候)の周期(太陽活動)

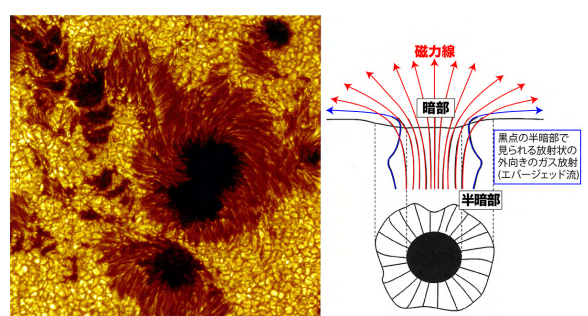


環境(気候)の周期

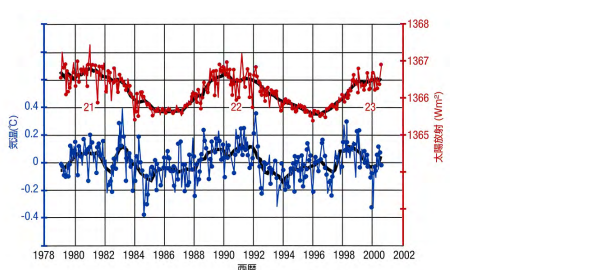
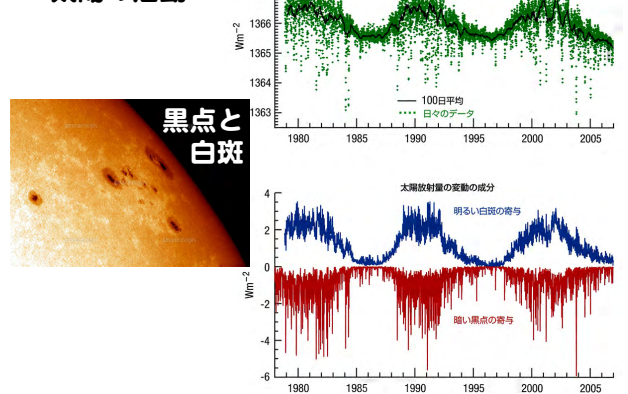
- (1) 太陽光度の上昇
- (2) 太陽周期 (長周期: 2500年, 200年...) (短周期: 11年)



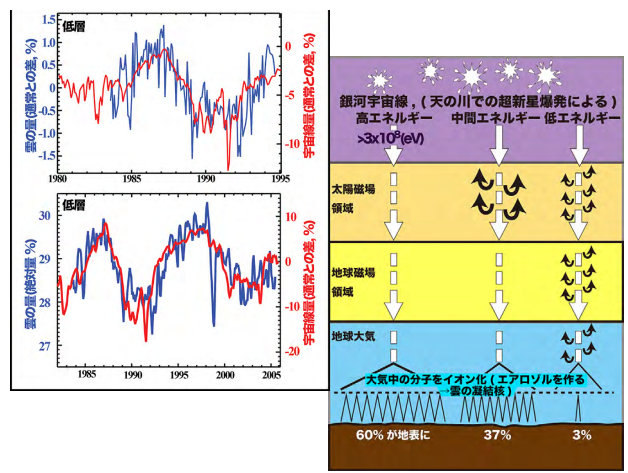
環境(気候)の周期



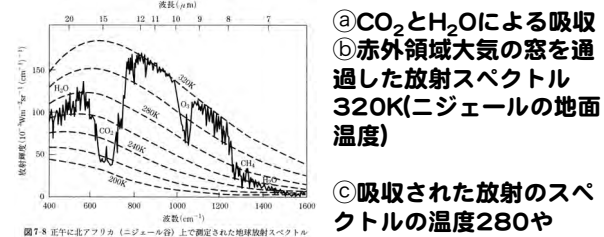
黒点周期と太陽の活動



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 赤外線領域大気の窓を通過した放射スペクトル 320K(ニジェールの地面温度)
 - ③ 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