

太陽活動と気候変動

早坂忠裕

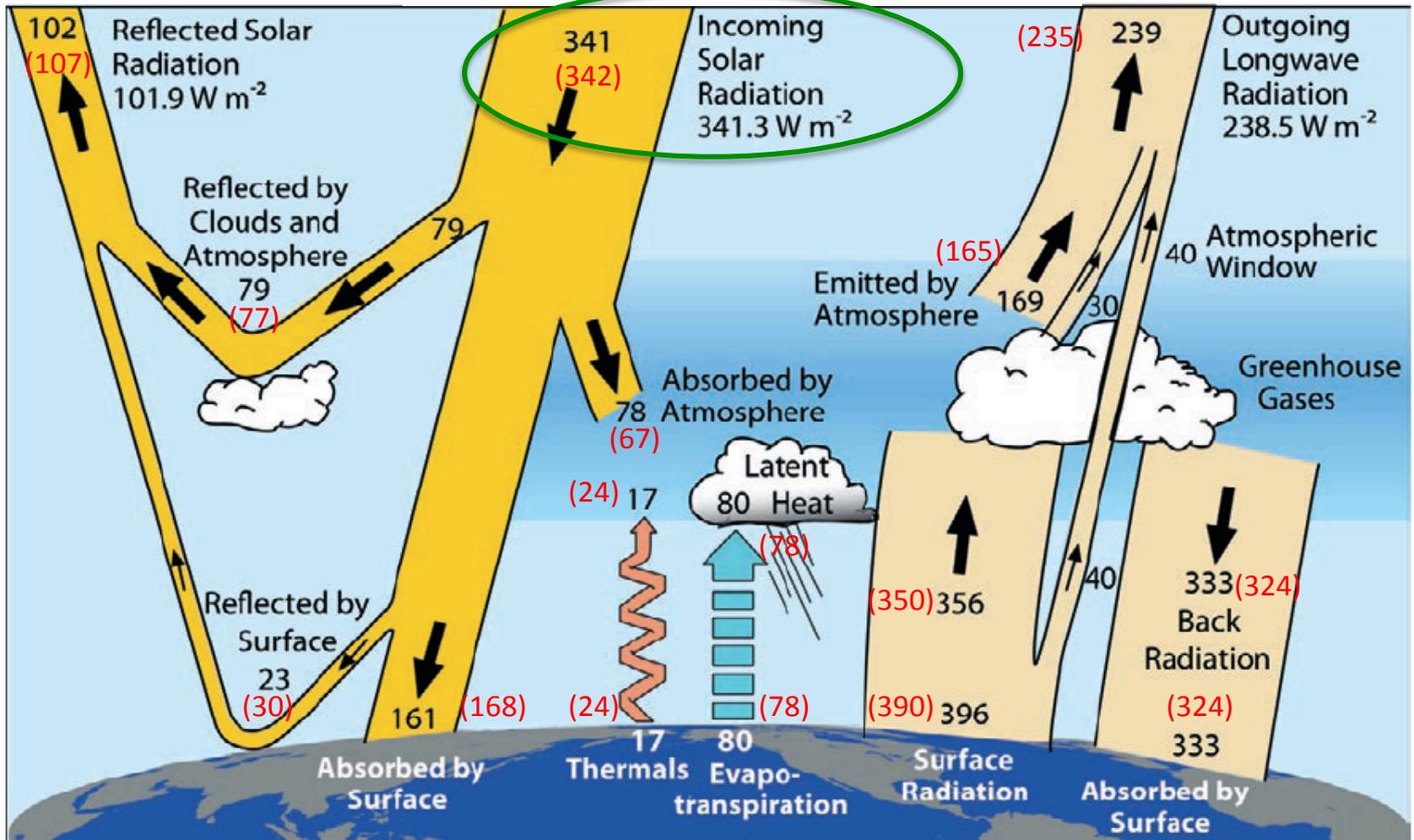
(東北大学大学院理学研究科)

E-mail:tadahiro@m.tohoku.ac.jp

TEL:795-6741

Global Energy Flows (Wm^{-2})

(Trenberth et al., 2009)



$$S_0 \pi r^2 (1 - \alpha) = \sigma T^4 4 \pi r^2 \quad \frac{S_0}{4} (1 - \alpha) = \sigma T^4 \quad T = \left\{ \frac{S_0 (1 - \alpha)}{4 \sigma} \right\}^{\frac{1}{4}} \approx 255K$$

S_0 : 太陽定数、 r : 地球の半径、 α : 地球のアルビード、 σ : Stefan-Boltzmann定数

論点：気候変動要因としての太陽活動

- 太陽放射はどの程度変動しているか？
 - 11年周期
 - 黒点数と太陽定数
- 太陽放射の変動で地表気温の変動を説明できるか？
 - マウンダー極小期
 - 地球の公転軌道—ミランコビッチ・サイクル
 - 太陽放射スペクトル
- 太陽活動と気候変動を関係づけるメカニズムは何か？
 - 成層圏オゾンによる紫外線の吸収
 - 宇宙線と雲
- 太陽放射以外の気候変動要因の大きさは？
 - 人間活動に伴う温室効果ガス、エアロゾルの排出
 - 火山噴火
- その他

太陽活動、長期低下の兆候か＝北極のみ磁場反転―衛星「ひので」で観測・国立天文台

時事通信 2012年4月19日(木)18時40分配信

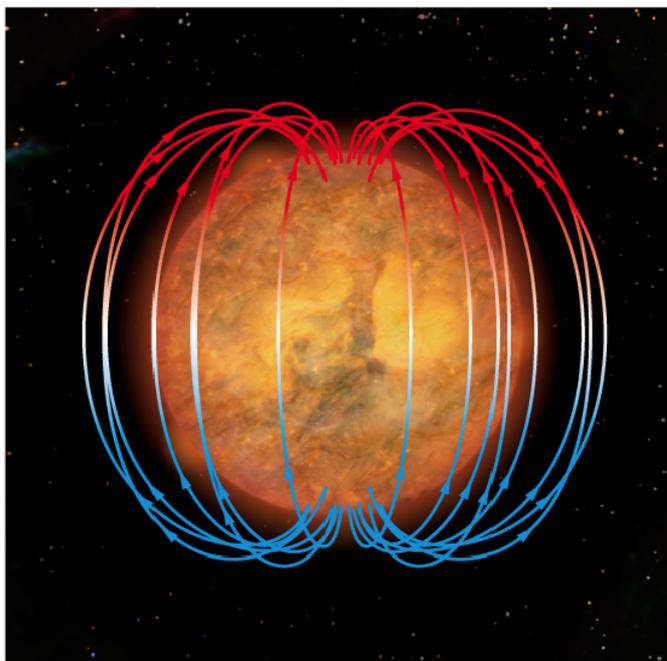
太陽は南極と北極が逆向きの磁場を持つ巨大な棒磁石のような構造で、約11年の活動周期に合わせてN極とS極がほぼ同時に反転することが分かっているが、国立天文台と理化学研究所などの国際研究チームは19日、衛星「ひので」による観測で、北極だけがS極からN極に反転し、南北両極が同じN極になりつつあることを確認したと発表した。

同様の現象は、17世紀後半から18世紀初めに長期間太陽活動が低下し、寒冷化をもたらしたとされる「マウンダー極小期」でも起きたと考えられている。近年、黒点数の減少や11年の周期が延びるなどの異変が続いており、国立天文台の常田佐久教授は「この状態が次の周期も続くと、マウンダー極小期のような時期に入ったと考えられる」と述べた。

理研の塩田大幸研究員らは、ひのでの高性能望遠鏡で太陽両極の磁場を詳細に継続観測。昨年10月、北極だけが従来のS極からN極に変わりつつあるのを確認した。一方、南極は今年3月時点でN極のまま、5月中にも両方がN極になる見込みとなった。

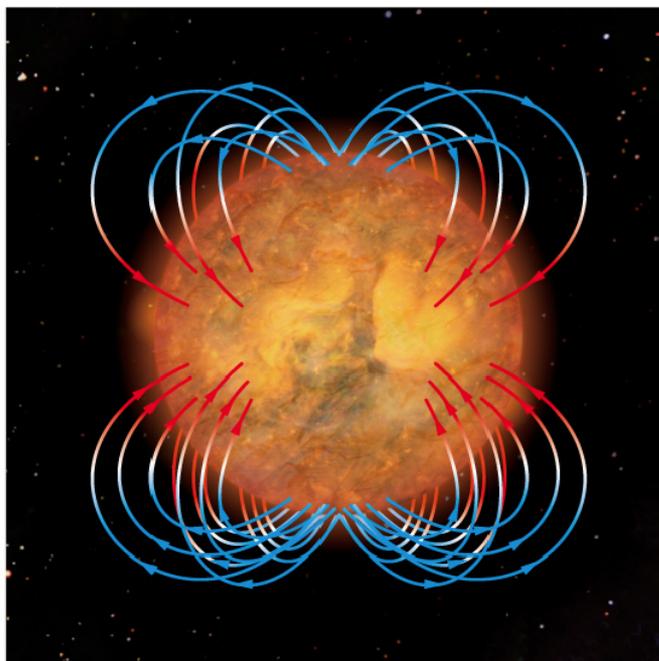
極域の磁場は、太陽活動の指標となる黒点の生成に密接に関連しており、こうした変化が近年の異変に影響している可能性もあるという。

2008年



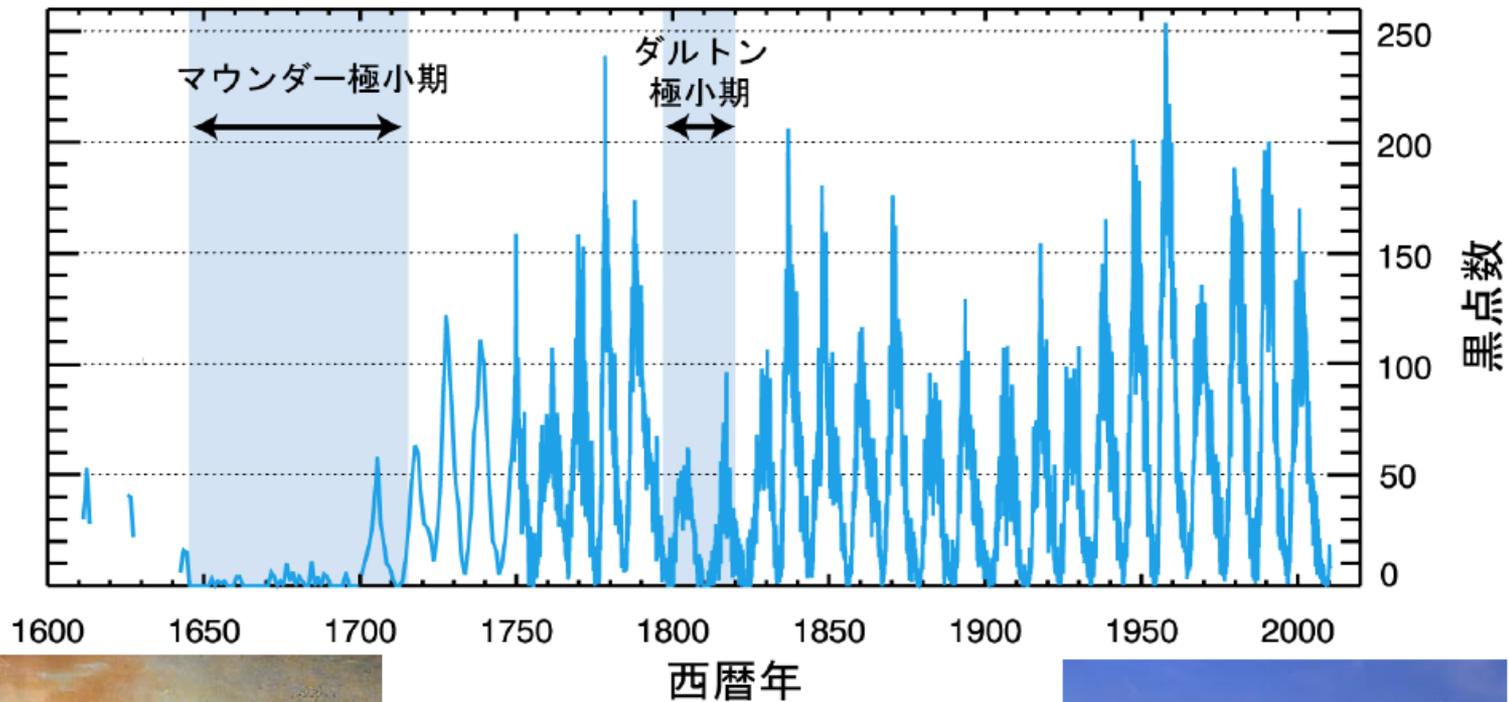
2重極構造

2012年



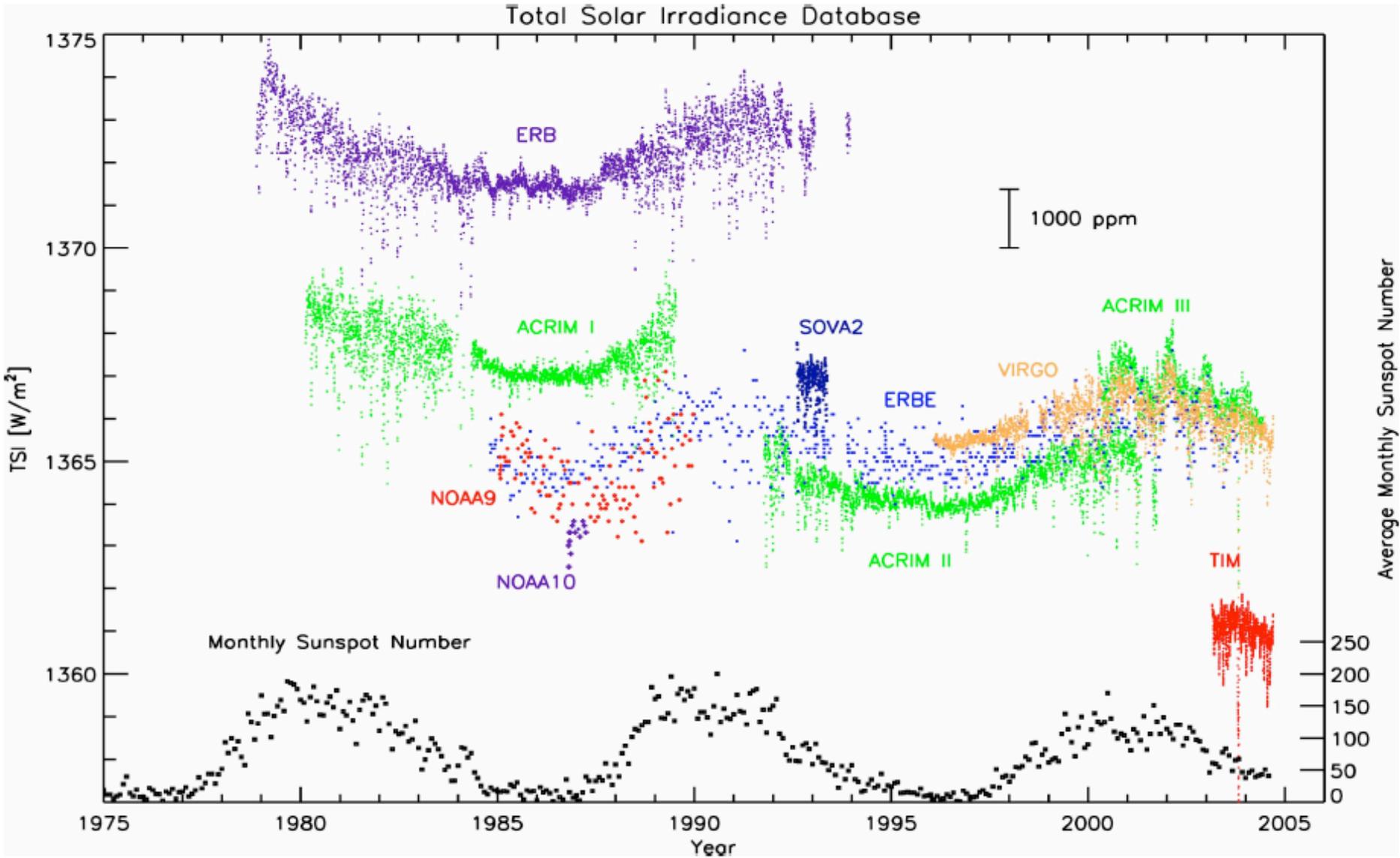
4重極構造

1650～1700年黒点がなくなる 太陽のダイナモが停止？



凍結したテムズ川





様々な衛星観測による太陽放射(太陽定数)の変化と黒点の11年周期
(R.Cahalanによる)

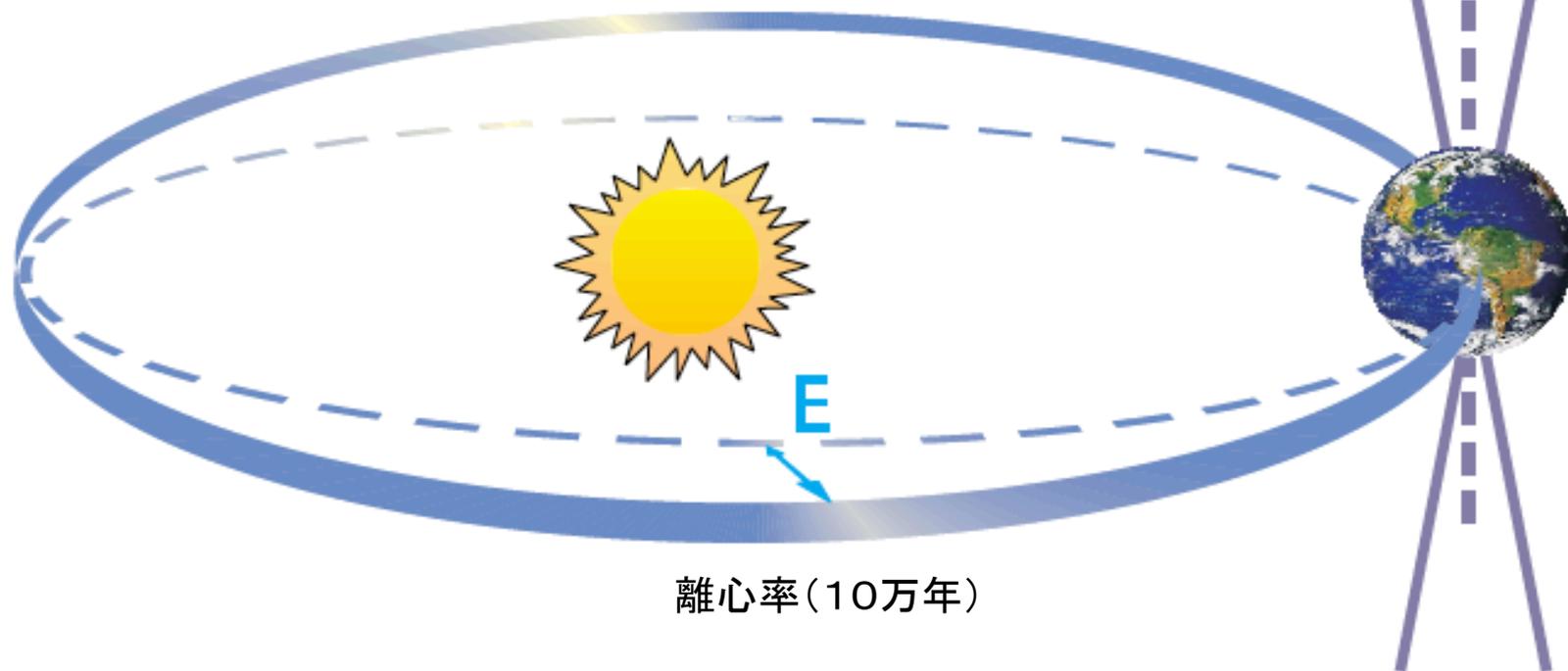
Milankovitch Cycles

地軸の傾き(4.1万年)

T

P

歳差
(2.2万年)



離心率(10万年)

地球の軌道要素 $R=1.471 \times 10^8 \sim 1.521 \times 10^8$ km
(IPCC, 2007)

2004年と2007年の太陽放射スペクトルの差 (Haigh et al., Nature 2010)

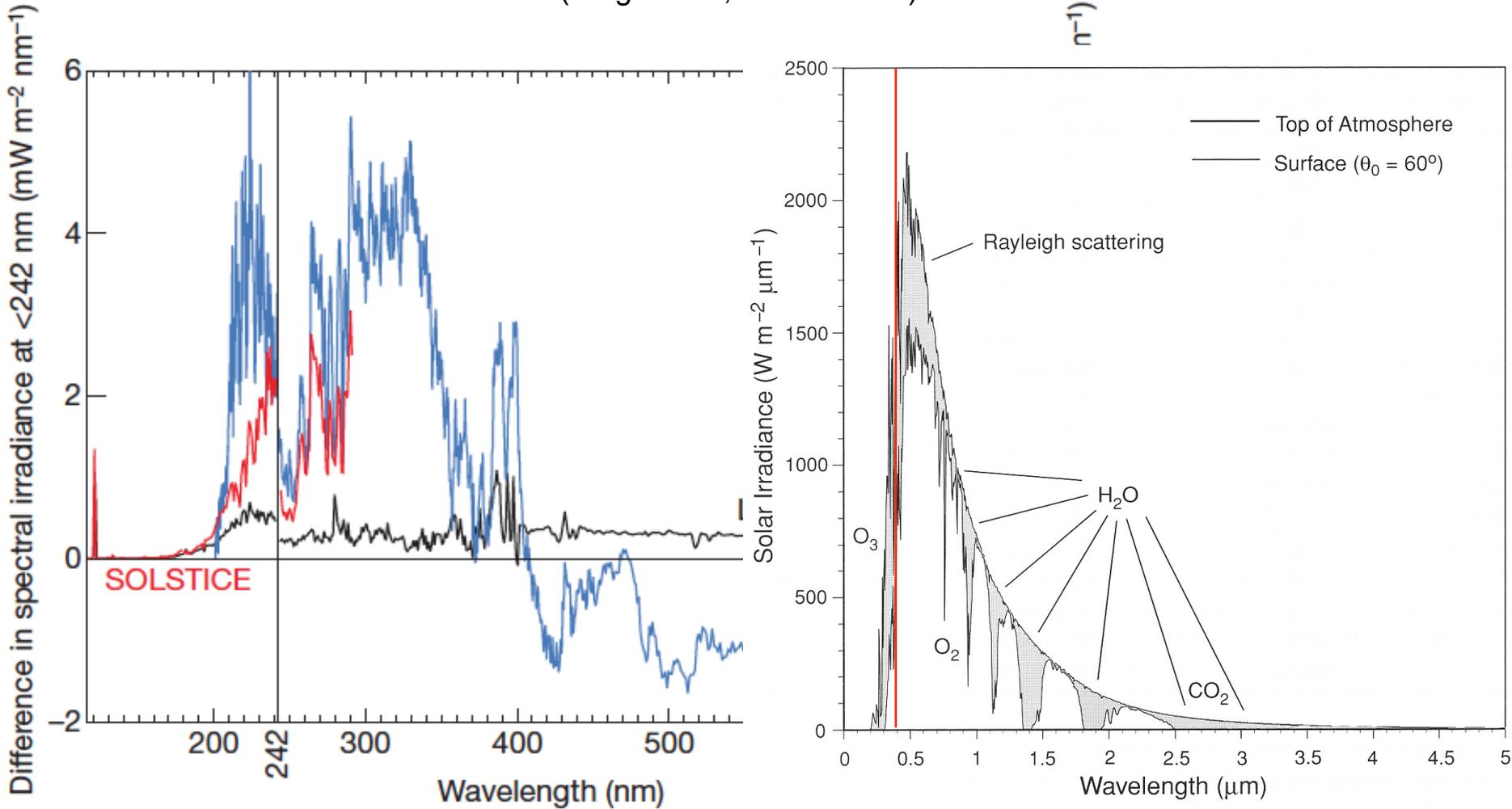


Figure 1 | Difference in solar spectrum between April 2004 and November 2007. The difference (2004–2007) in solar spectral irradiance ($\text{W m}^{-2}\text{ nm}^{-1}</math>) derived from SIM data⁴ (in blue), SOLSTICE data⁸ (in red) and from the Lean model⁵ (in black). Different scales are used for values at wavelengths less and more than 242 nm (see left and right axes respectively).$

宇宙線の減少とエアロゾル・雲の変化

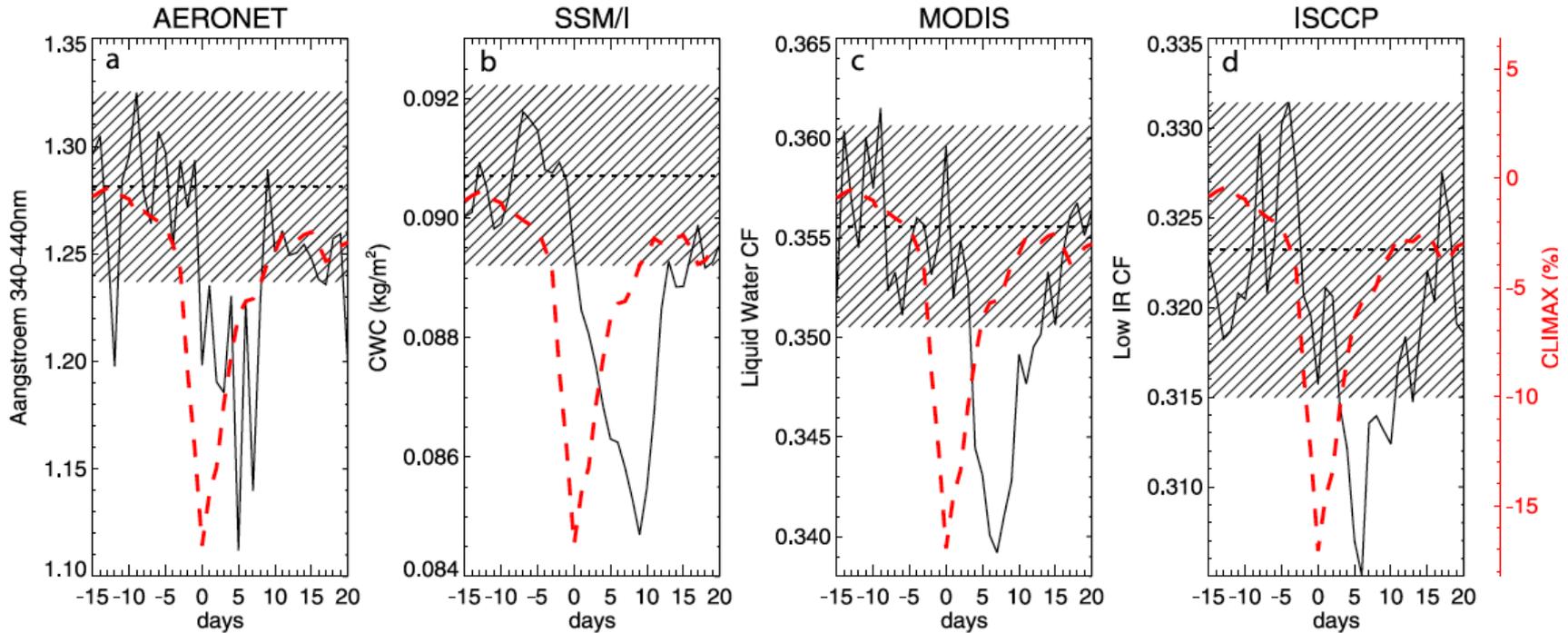


Figure 1. The evolution of (b) cloud water content (SSM/I), (c) liquid water cloud fraction (MODIS), and (d) low IR-detected clouds (ISCCP) is here averaged for the 5 strongest Forbush decreases that their data sets have in common (order numbers 1, 3, 4, 6, and 7 in Table 1) and is compared with (a) the corresponding evolution of fine aerosol particles in the lower atmosphere (AERONET). In (a) each data point is the daily mean from about 40 AERONET stations world-wide, using stations with more than 20 measurements a day. Red curves show % changes in GCR neutron counts at Climax. The broken horizontal lines denote the mean for the first 15 days before the Forbush minimum, and the hatched zones show $\pm 1\sigma$ for the data, estimated from the average variance of a large number of randomly chosen periods of 36 days of each of the four data sets. The effects on clouds and aerosols are not dominated by any single event among the 5 averaged. Examples of SSM/I data for several individual events are shown in the auxiliary material.

Table 3. Correlations between GCR and the four cloud parameters, averaged over all 22 Forbush decrease events. The correlations are given for the whole region between 0° S and 40° S (TOT, leftmost column), as well as for the individual domains shown in Fig. 1. Statistical p-values are given in parentheses; the first value is based on an assumption of statistical independence between the data points, while the second value is obtained by a reduction in the number of degrees of freedom due to auto-correlations. An asterisk indicates 95% significance when disregarding auto-correlation, while bold numbers indicate 90% statistical significance or more when auto-correlation is considered.

	TOT	AT1	PA1	IN1	AT2	PA2	IN2
Cloud amount (CA)	0.313 (0.205/0.425)	0.486* (0.041/0.286)	0.461* (0.054/0.045)	-0.137 (0.589/0.719)	0.048 (0.851/0.883)	0.297 (0.231/0.428)	0.134 (0.595/0.727)
Cloud effective radius (CER)	-0.624* (0.006/0.142)	-0.061 (0.810/0.789)	-0.027 (0.917/0.922)	-0.204 (0.416/0.327)	-0.726* (0.001/0.095)	-0.068 (0.790/0.861)	-0.374 (0.126/0.498)
Cloud optical depth (COD)	-0.508* (0.032/0.245)	0.482* (0.043/0.255)	-0.139 (0.581/0.639)	0.004 (0.988/0.992)	-0.544* (0.020/0.025)	0.115 (0.650/0.608)	0.293 (0.238/0.322)
Liquid water path (LWP)	-0.380 (0.119/0.329)	0.615* (0.007/0.172)	-0.463* (0.053/0.292)	-0.418 (0.084/0.476)	-0.449 (0.061/0.424)	0.340 (0.168/0.277)	-0.264 (0.289/0.555)

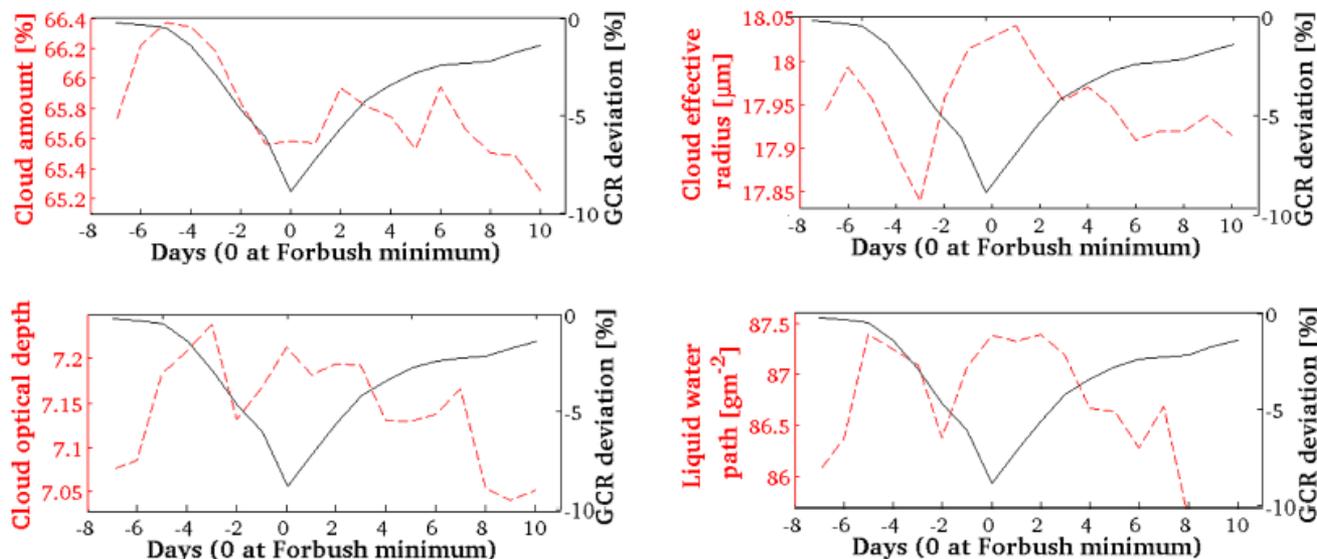
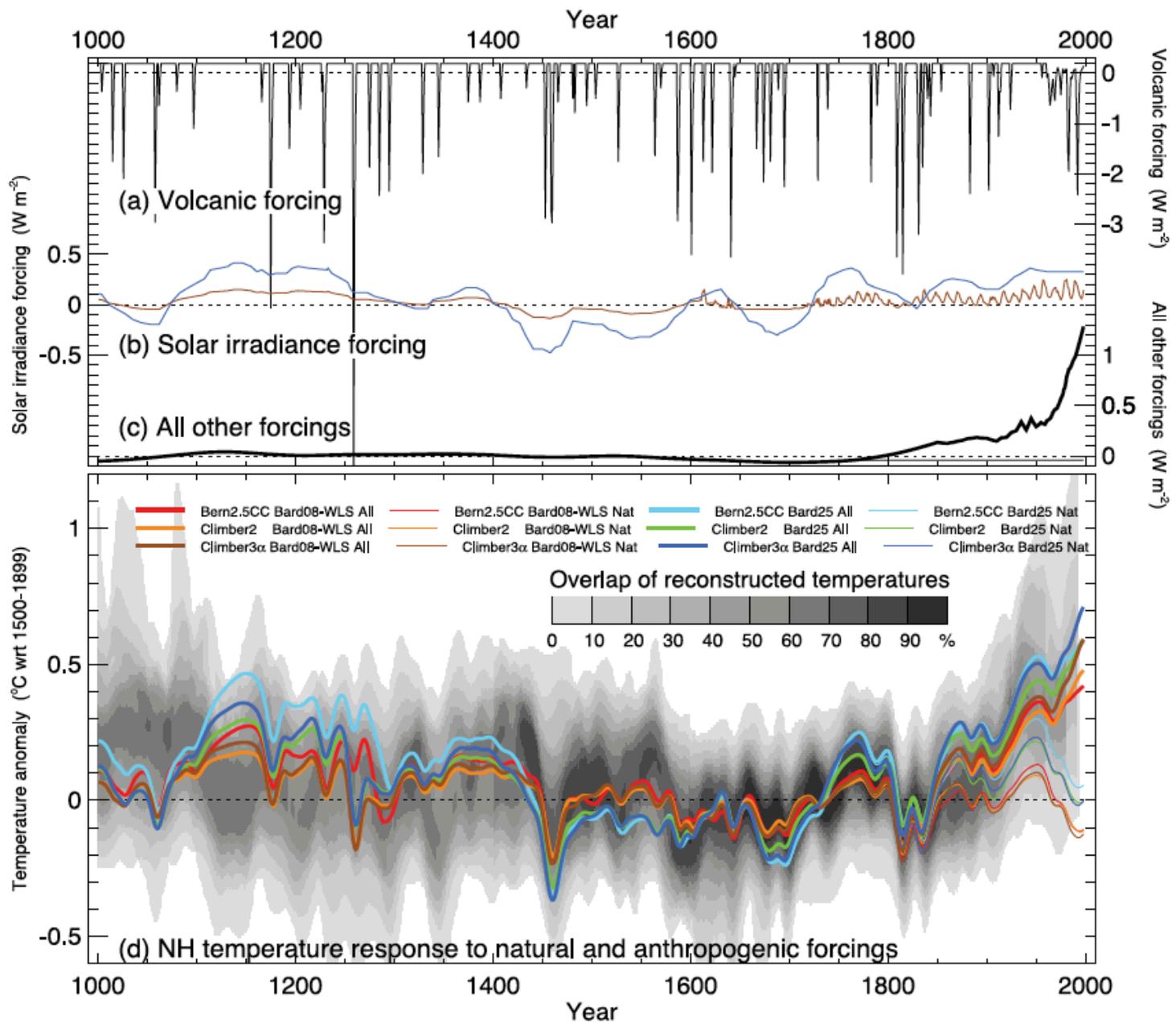


Fig. 2. GCR flux (solid curves) and cloud amount, cloud effective radius, cloud optical depth and liquid water path, averaged over all 22 events and the TOT domain (dashed curves).



火山噴火起源エアロゾル、太陽放射、および人間活動の気候への影響(IPCC, 2007)

温室効果気体による地球放射スペクトルの変化

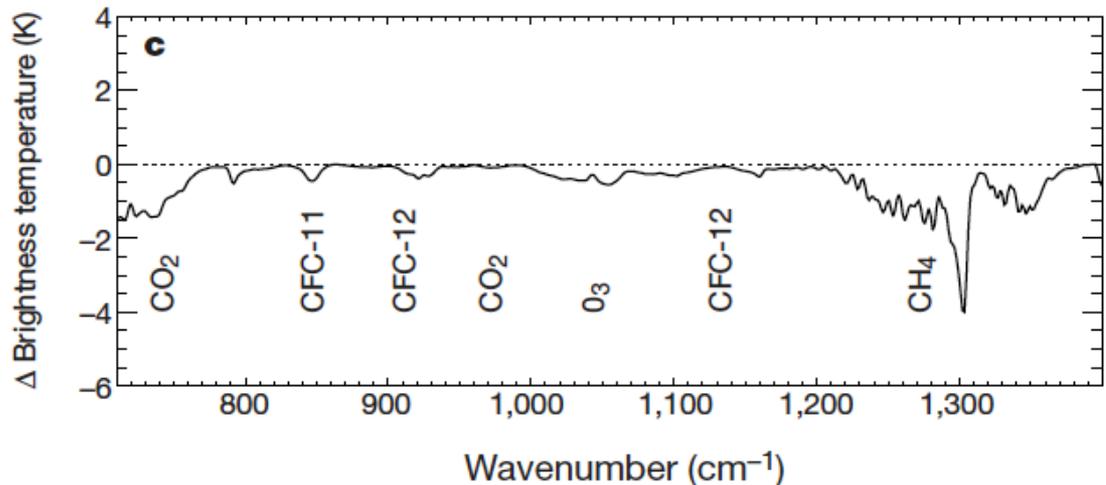
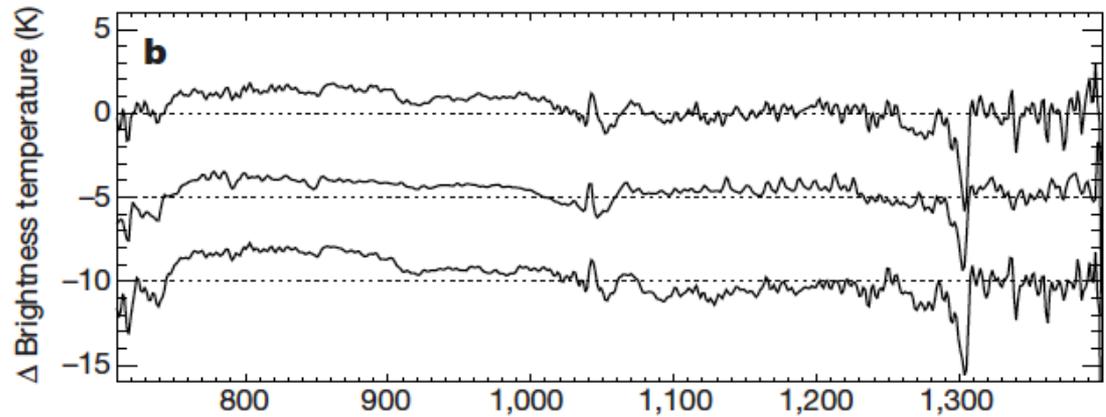
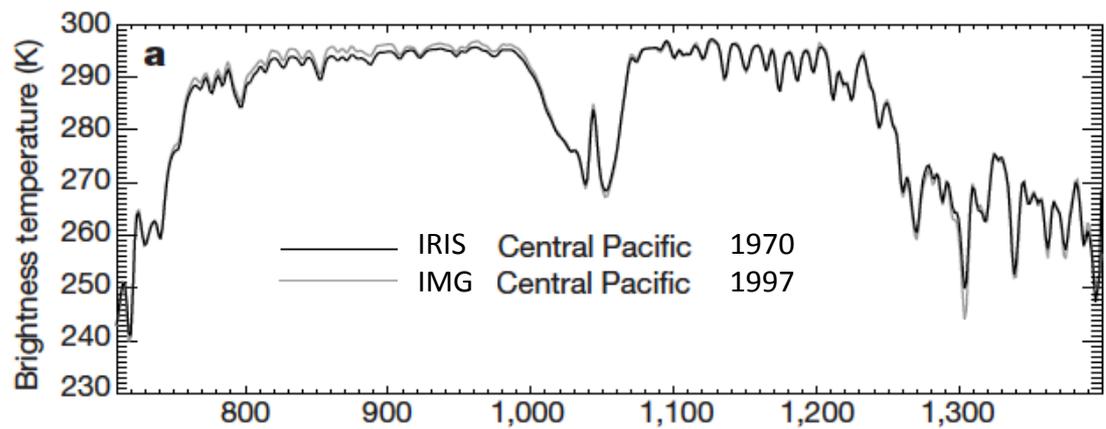
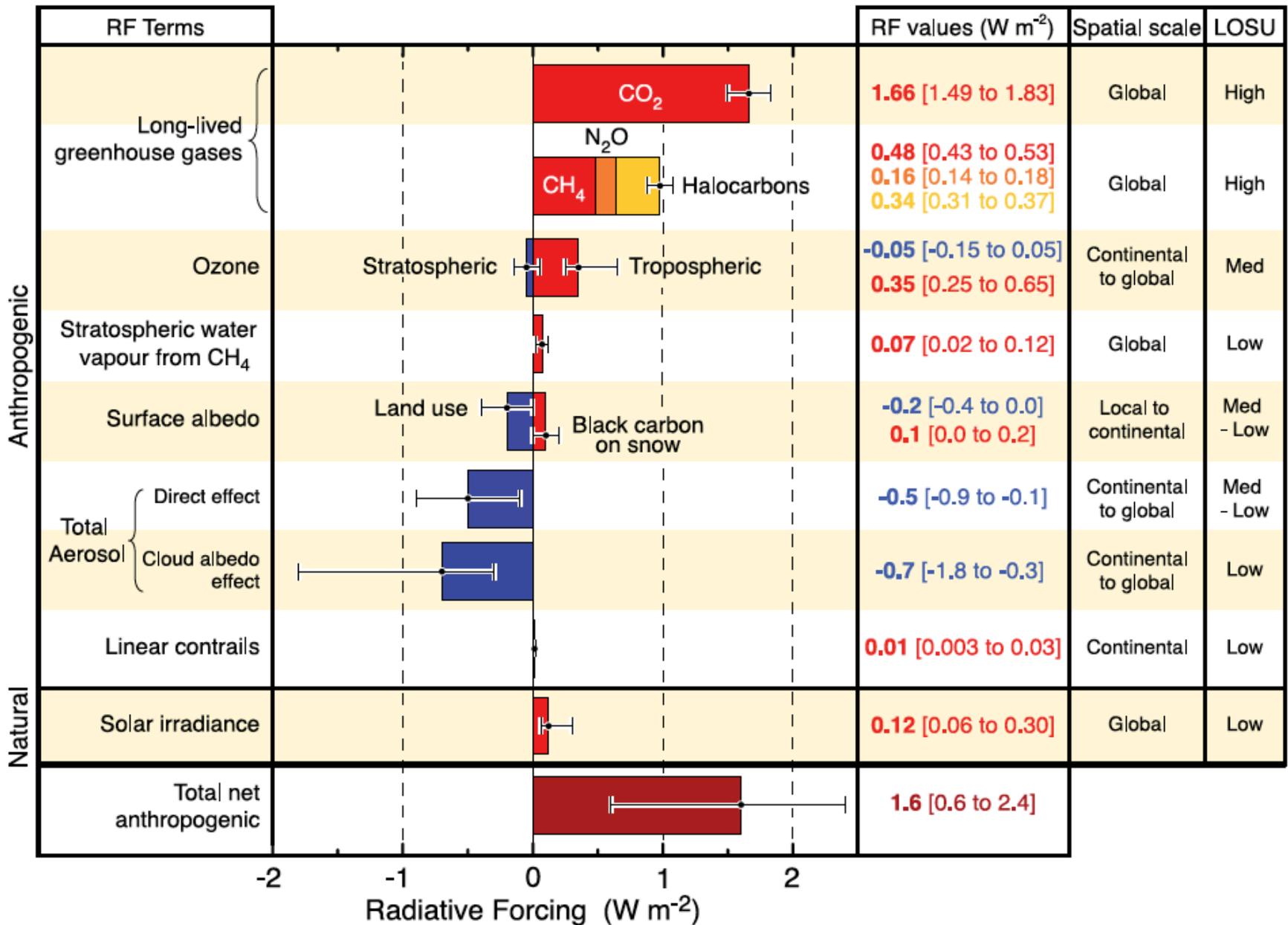


Figure 1 Examples of IRIS and IMG observed and simulated spectra for a three-month average (April-June) over selected regions. **a**, Observed IRIS and IMG clear sky brightness temperature spectra for the central Pacific (10°N-10°S, 130°W-180°W). **b**, Top, observed difference spectrum taken from **a**; middle, simulated central Pacific difference spectrum, displaced by -5 K; bottom, observed difference spectrum for 'near-global' case (60°N-60°S), displaced by -10 K. **c**, Component of simulated spectrum due to trace-gas changes only. 'Brightness temperature' on the ordinate indicates equivalent blackbody brightness temperature.

(Harries et al., Nature 2001)

RADIATIVE FORCING COMPONENTS

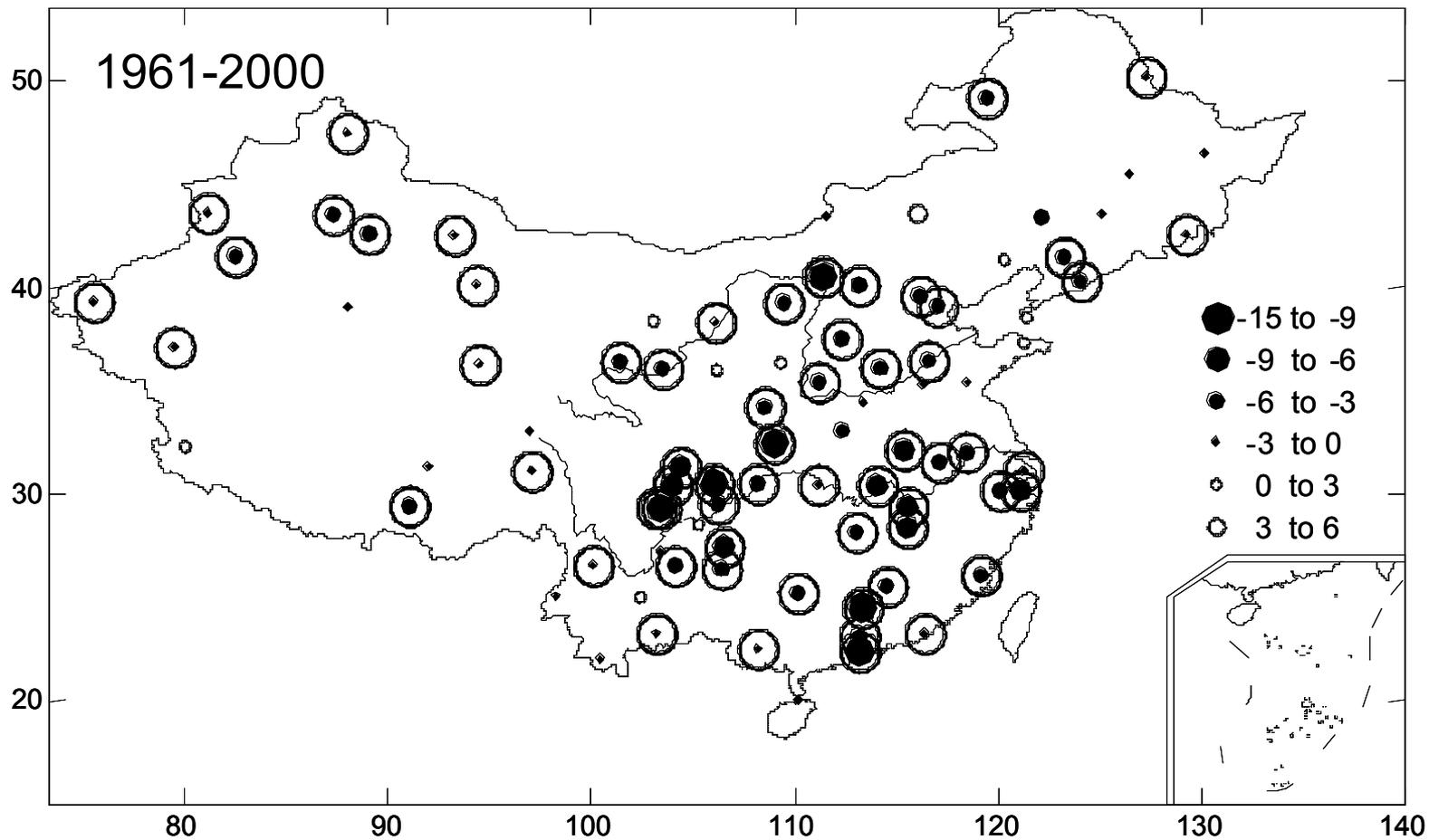


©IPCC 2007: WG1-AR4

産業革命以前から現在までの各種放射強制力 (IPCC, 2007)

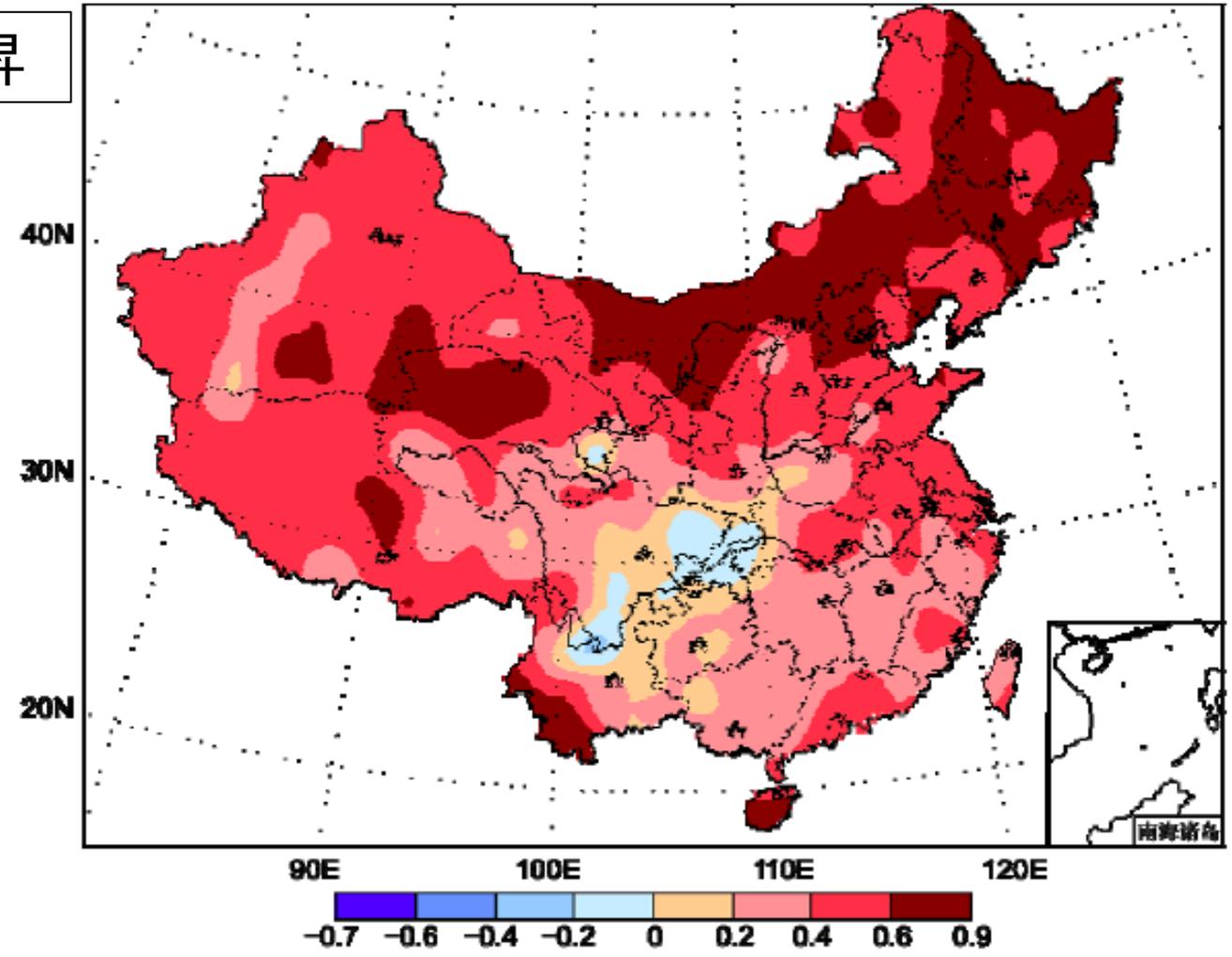
中国の日射量は1961-2000年の40年間で $10\text{W}/\text{m}^2$ 減少

Global solar radiation trend (%/10yr)



1951~2001年中国年平均气温变化趋势

气温は上昇



まとめ

- 太陽放射エネルギー総量の変動は、11年周期で0.1%程度、過去数百年でも同じか少し大きい程度。
- 太陽放射エネルギー総量の変動では最近数十年の気温変動の定量的説明は困難。
- 地球の軌道要素で大気上端に入射する太陽放射エネルギーは年間6%以上変化。
- 太陽放射スペクトルの変動は複雑。2004～2007年の太陽活動減衰期に可視域の放射エネルギーは若干増加。
- 成層圏オゾンによる紫外線の吸収による地球の気候変動への影響メカニズムは不明。質量、熱容量の大きな対流圏、海洋の変動につながるか？
- 太陽活動に伴う宇宙線の変動と雲は何らかの相関が指摘されているが、定量的なメカニズムは不明。
- 火山噴火起源の成層圏エアロゾルによる気候への影響は限定的(高々数年間)。
- 人間活動に伴う温室効果ガス・エアロゾルの増加による気候影響は太陽活動の変動による影響よりも大きい。
- 地球温暖化・気候変動の問題は多様な観測データについて整合性のあるメカニズムで説明できるか否かがポイント。