



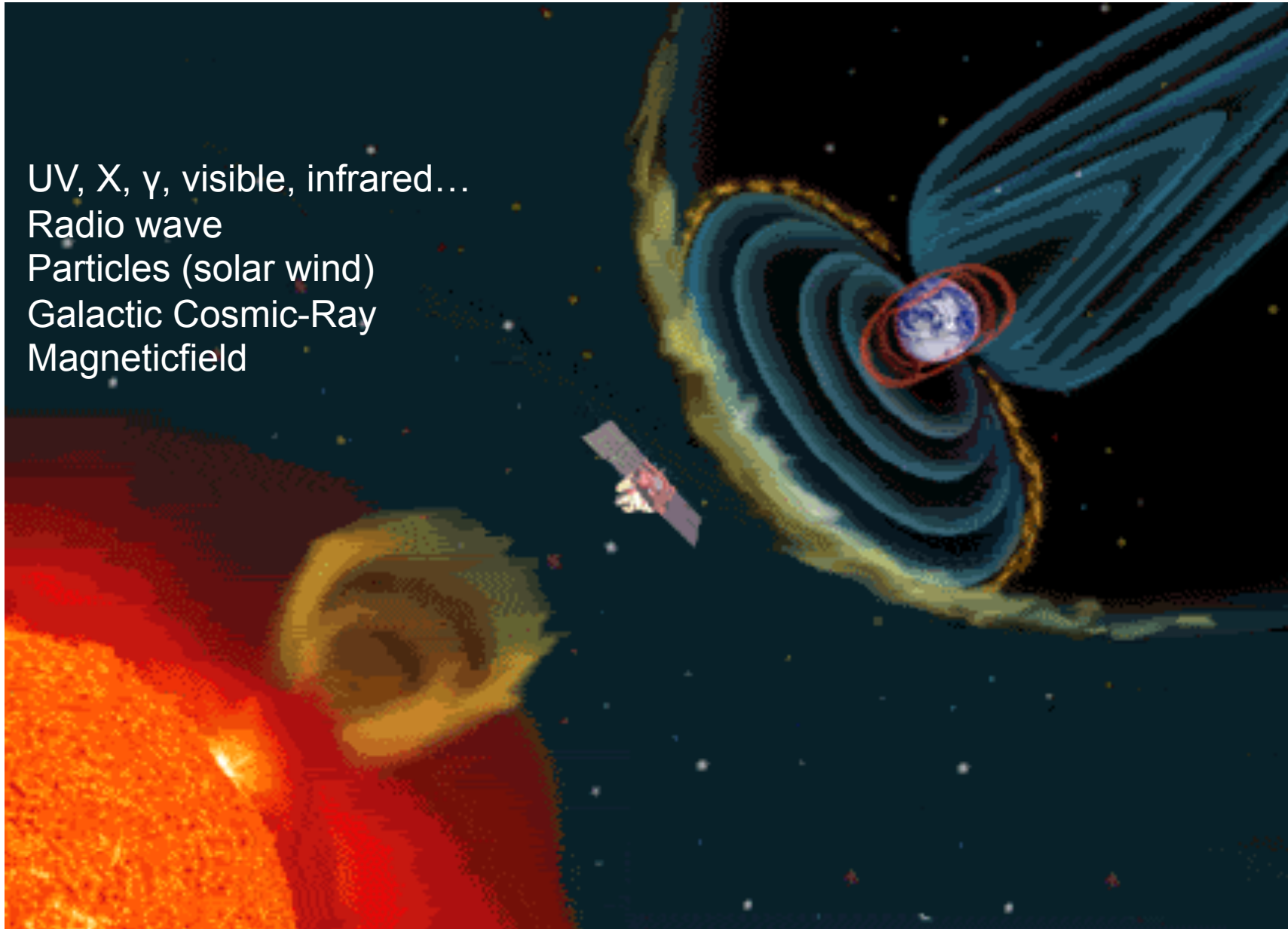
日本天文学会、山形大学、13 Sep. 2014

# Solar-C による太陽の高精度観測で迫る 地球気候変動の謎

高橋幸弘

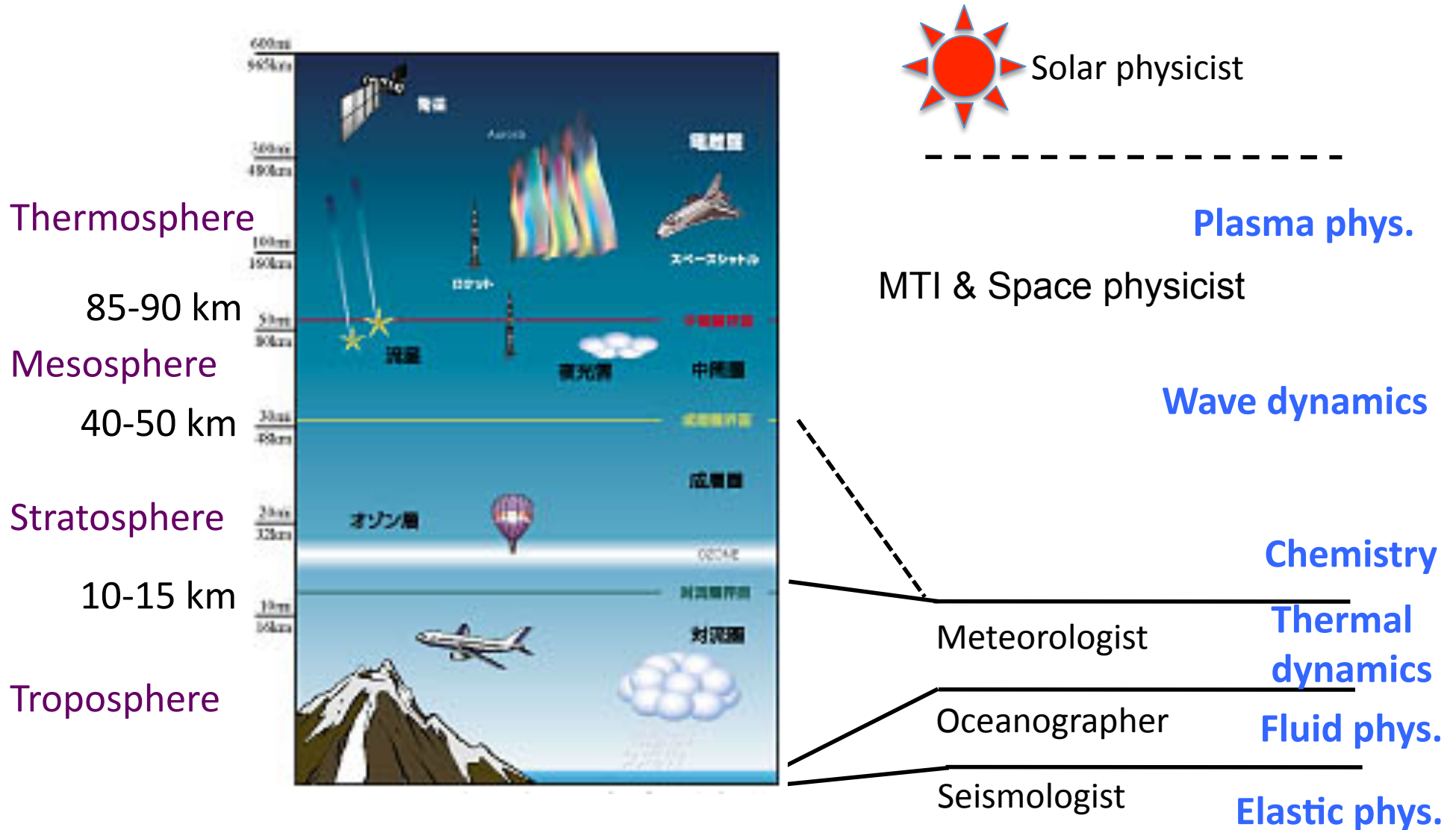
北海道大学・大学院理学院・宇宙理学専攻

UV, X,  $\gamma$ , visible, infrared...  
Radio wave  
Particles (solar wind)  
Galactic Cosmic-Ray  
Magneticfield



CAWSES-II HP

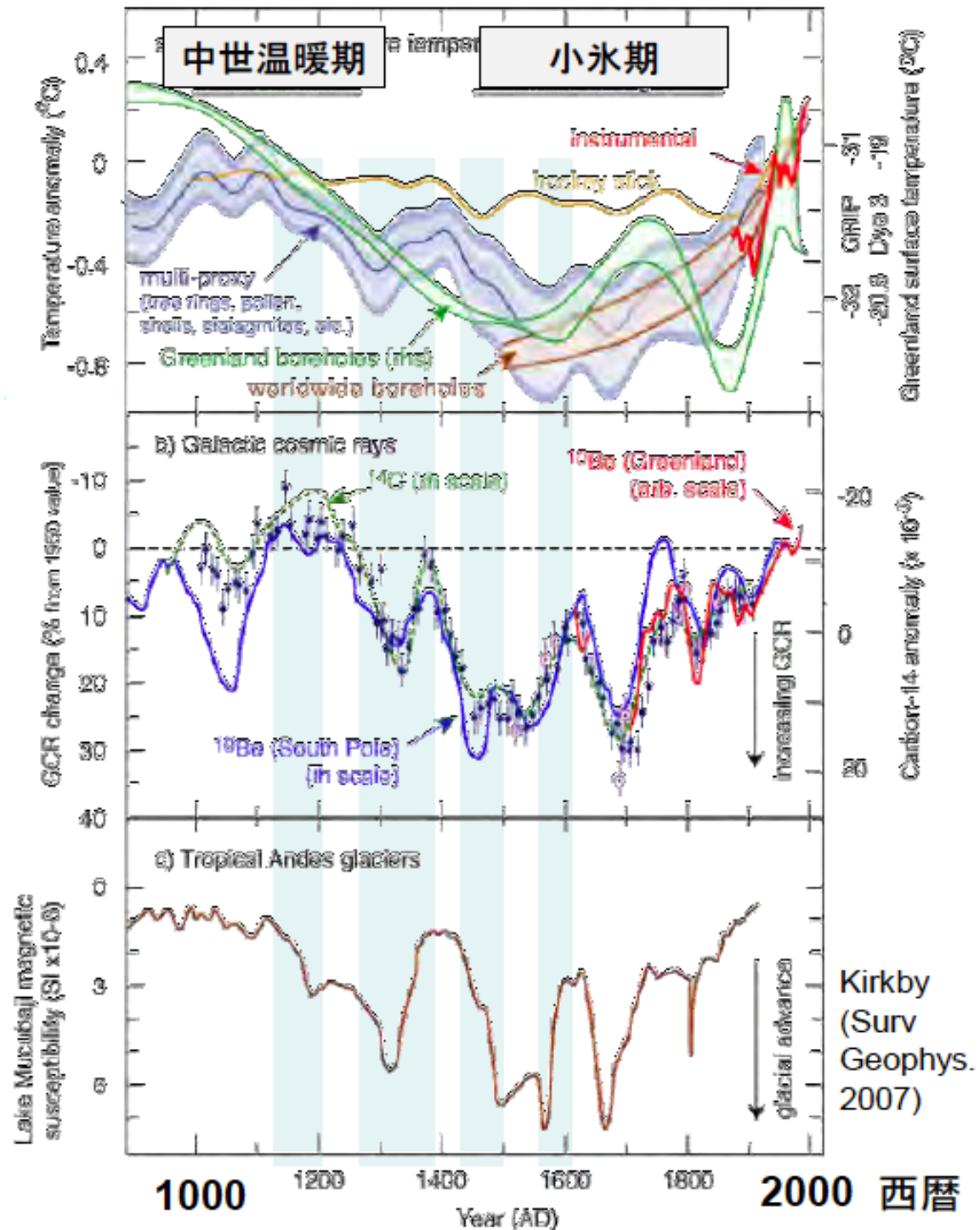
... need to overcome the disconnection between (scientists') layers...



太陽と地球気候には、  
関係がありそう。

でも偶然かもしれない。

IPCCで決着したわけでは  
ない。ただし、懐疑論  
の多くはさらに懐疑的。



## 宇宙線と雲量に相関？ 1993年論文で議論再燃

Svensmark and Friis-Christensen

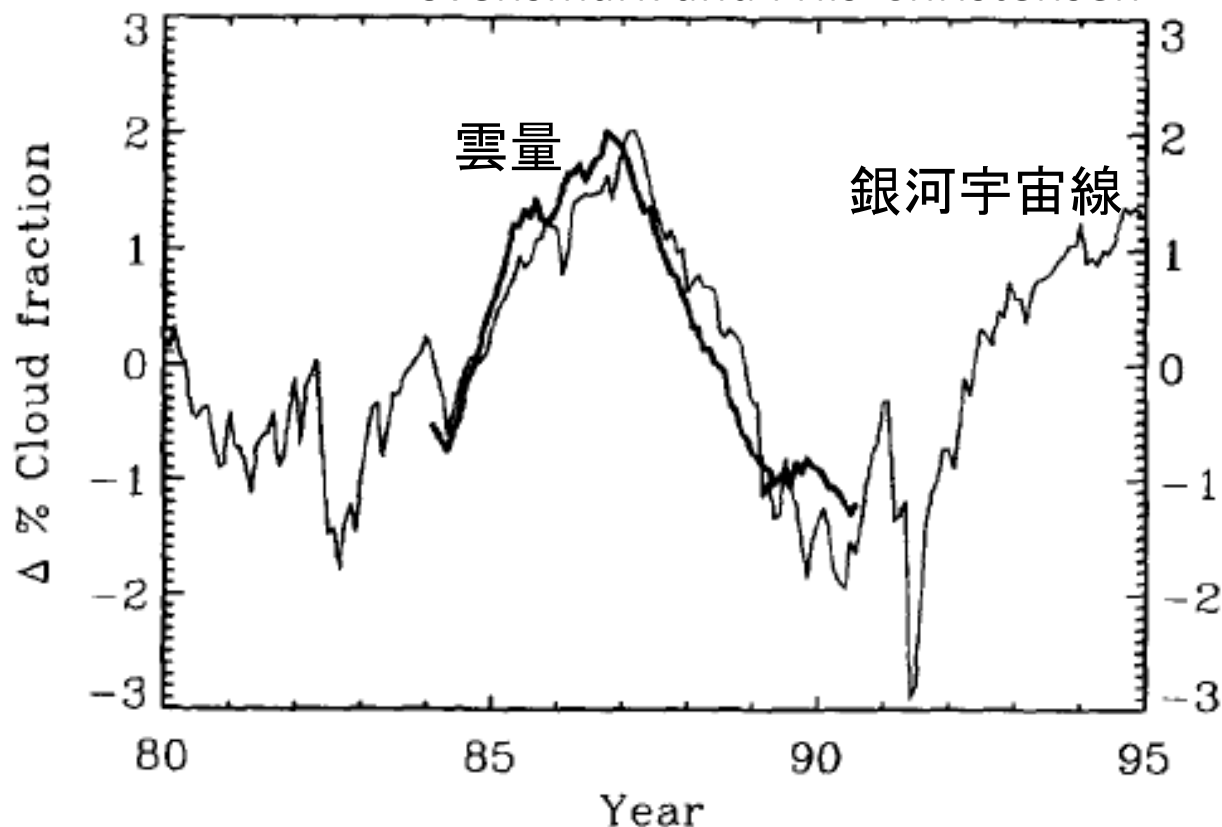
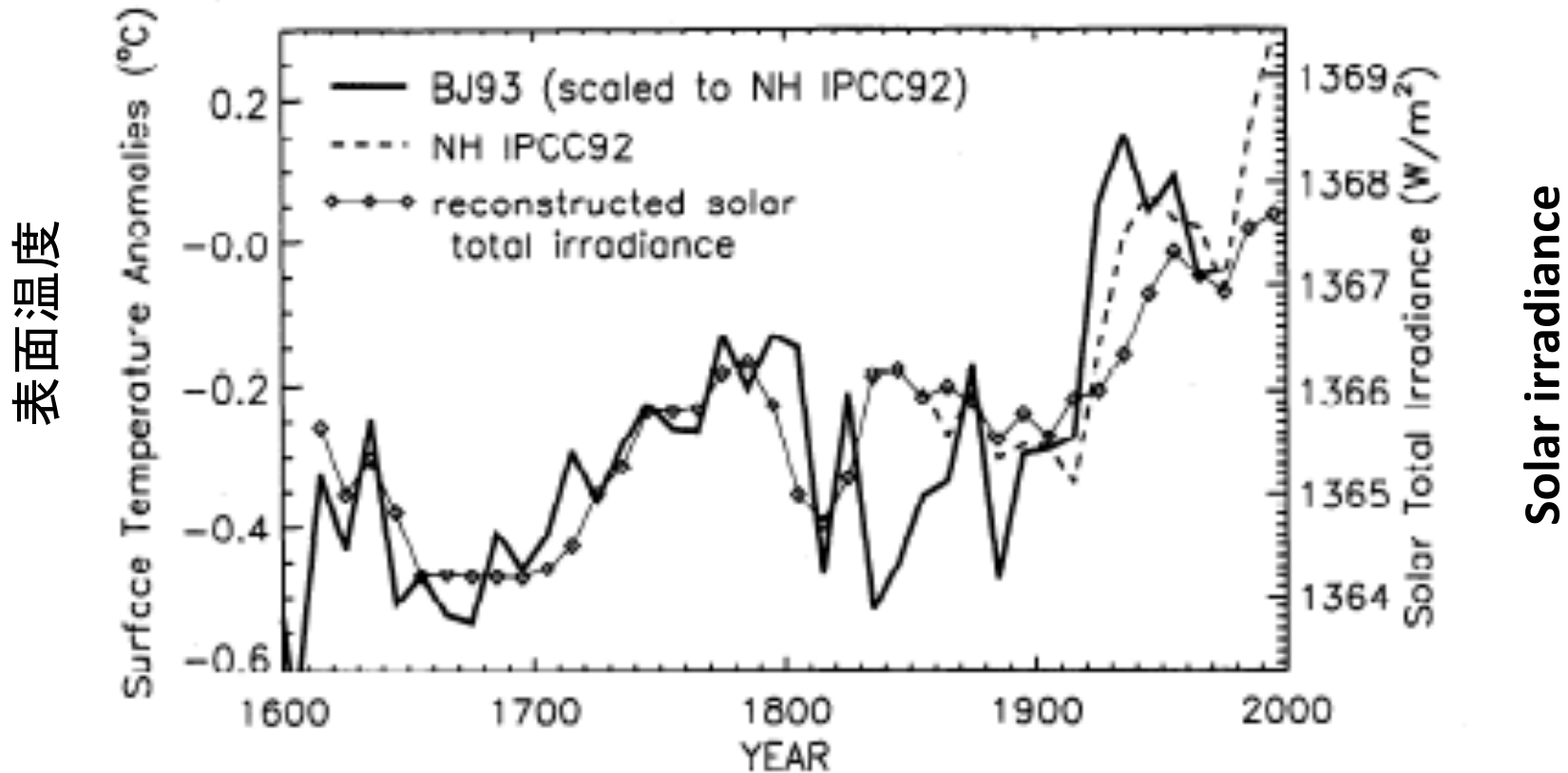


Fig. 2. The thick curve displays the 12 months running average of total cloud cover given as changes in per cent (ISCCP—C2 monthly data). The data are from the area over the oceans covered by geostationary satellites. The end points of the ISCCP—C2 curve (first and last 6 points) have been discarded. The thin curve represents the normalized monthly mean counting rate of cosmic ray intensity from Climax, Colorado, drawn to the same scale.

相関係数0.92。1年の移動平均では0.93。

Lean et al., 1995



- 1610年から現在までのTSIとUVの1年値を、北半球地表温度と比較。
- 1610-1800は相関が0.86。
- 1860年以降の0.55°Cの温暖化についてはその半分、1970年以降は1/3が太陽による影響と推定。

Reid, 1999

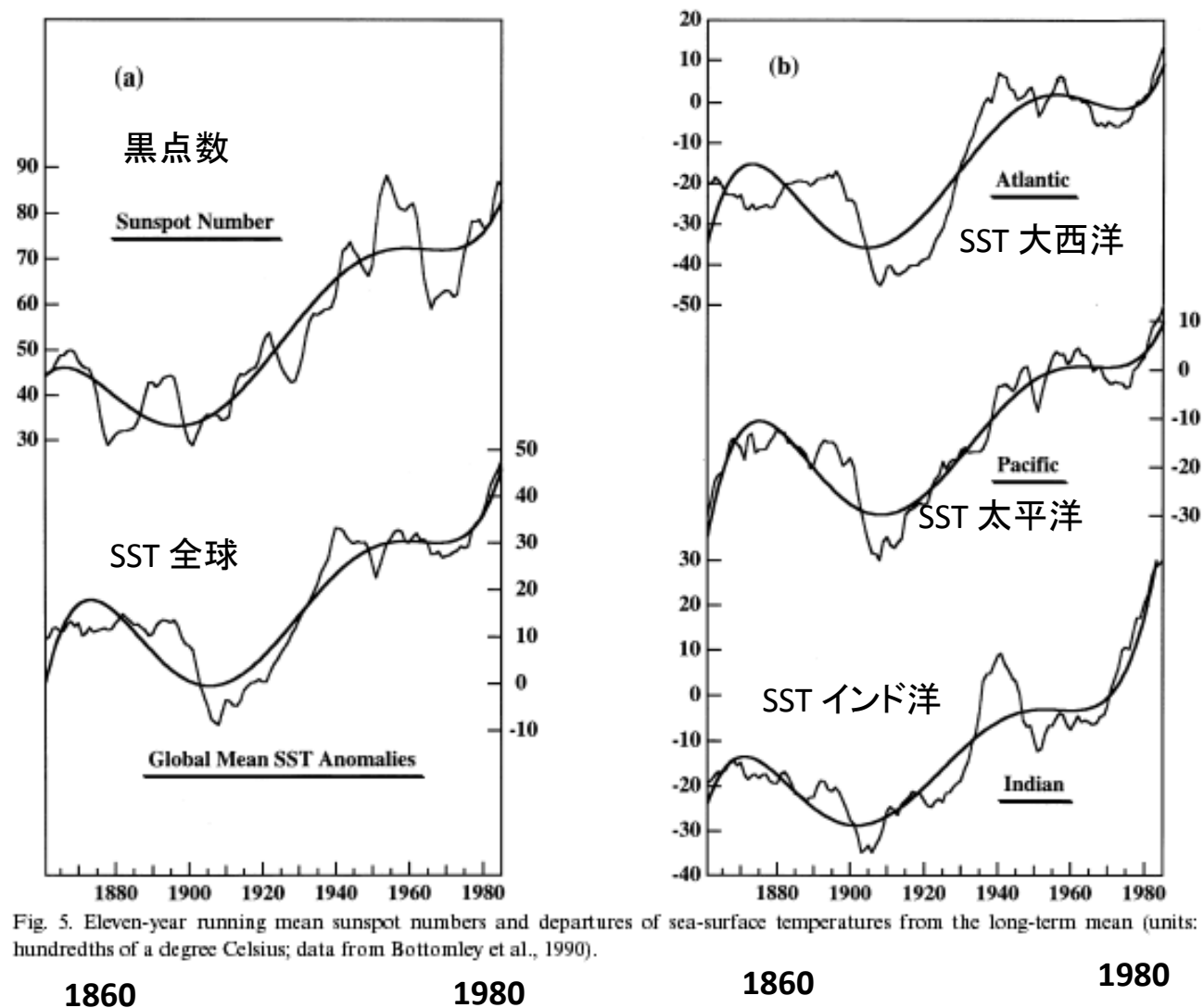


Fig. 5. Eleven-year running mean sunspot numbers and departures of sea-surface temperatures from the long-term mean (units: hundredths of a degree Celsius; data from Bottomley et al., 1990).

- 1860年以降の、**黒点数の11年移動平均**と、**SST (sea surface temp.)**の長期間平均からの変位。
- 3大洋の全てが黒点数とほぼ同じ形の変化を示し、しかもどれも20世紀初めと1970年代に極小を持つ。

Perry, 1994&1995 quoted by Tsiropoula, 2003

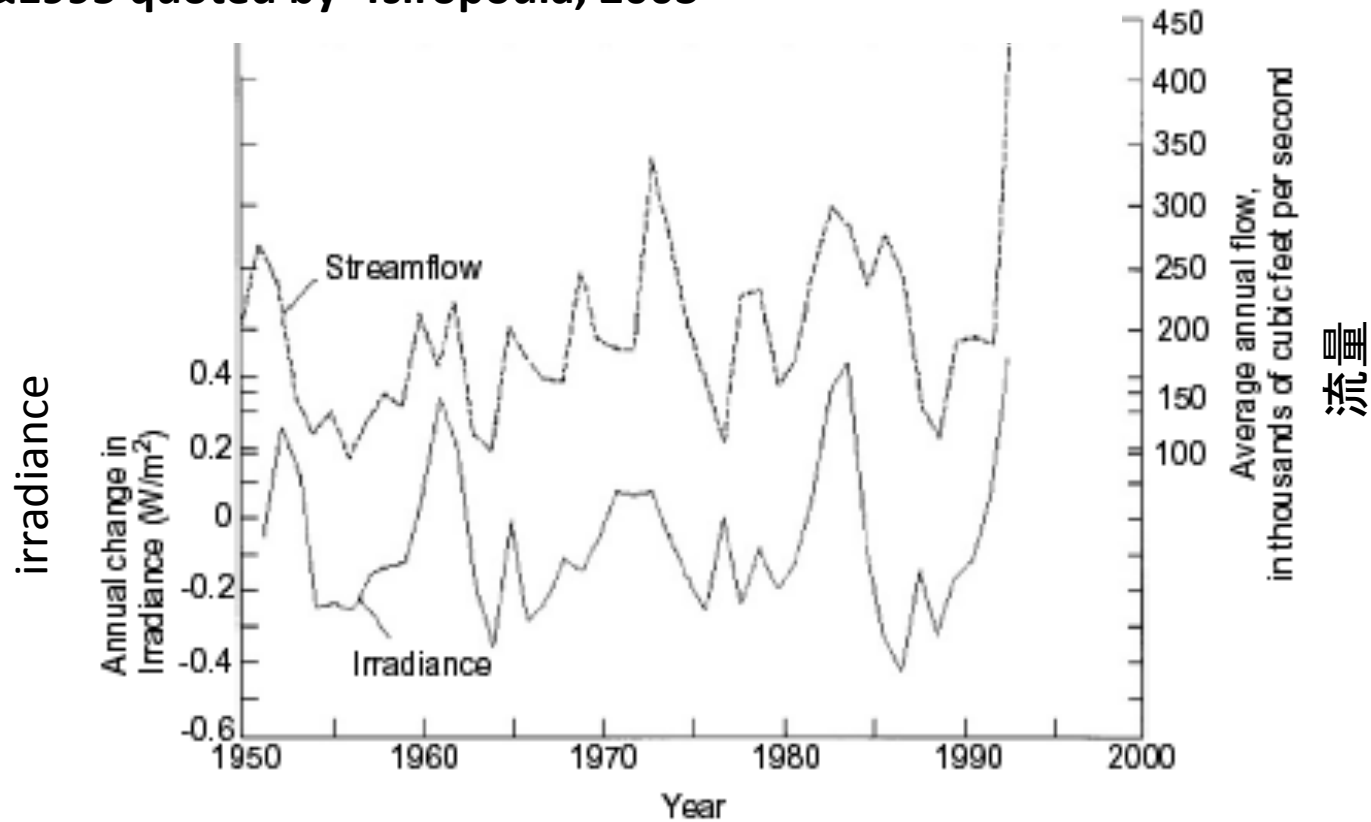


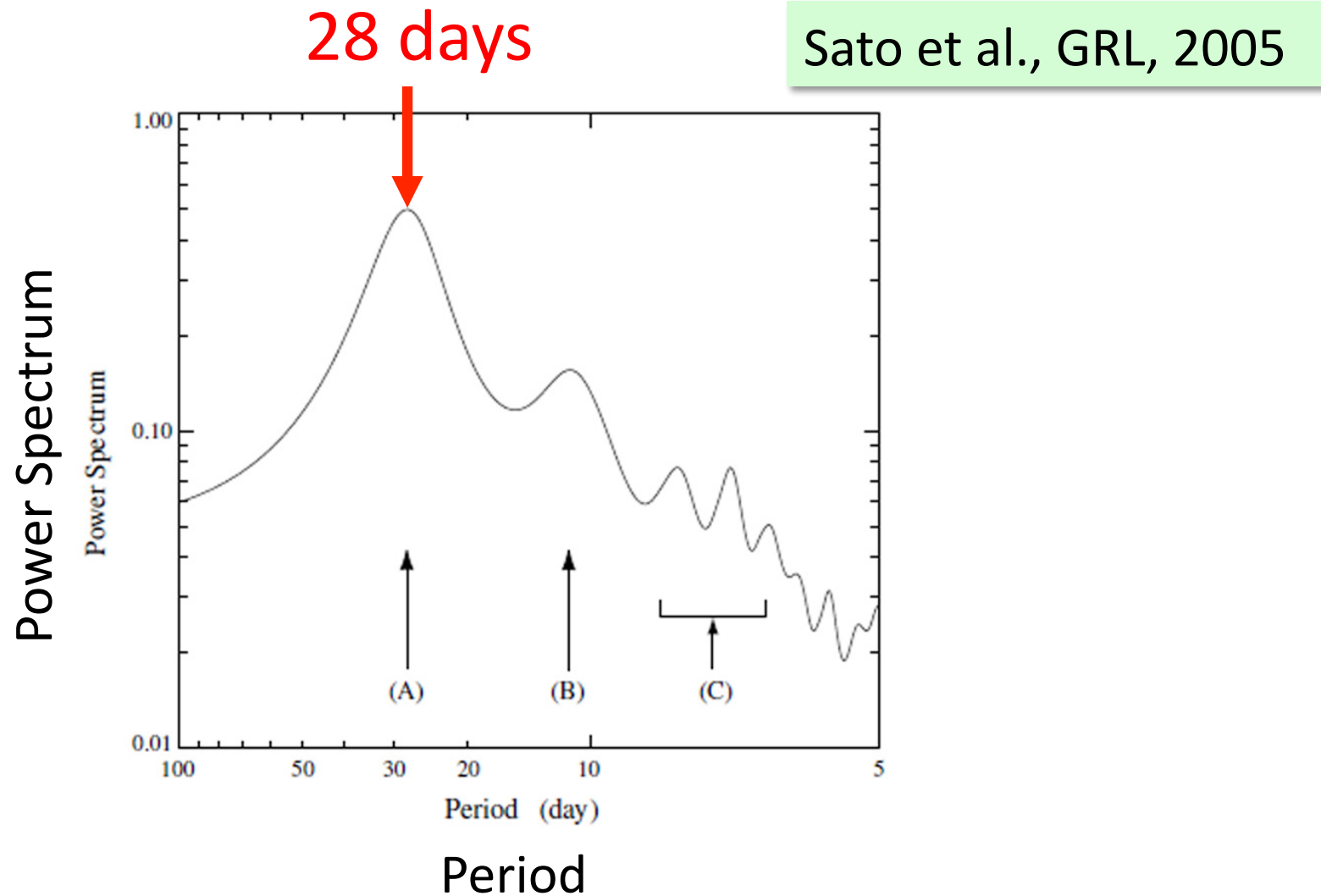
Fig. 7. Average flow of the Mississippi River at St. Louis, Missouri and solar irradiance variations lagged 5 years (Courtesy of C.A. Perry).

- 米国のhydroclimatic変動量(降水、**河川の流量**など)と太陽放射変動に**4-5年のタイムラグ**。
- 太陽エネルギーは赤道海域で吸収、温度anomalyを作る
  - 海流によって移動 → 移動先地域の湿度・気圧パターンを変える
  - その降水や温度、hydroclimatologyを変える



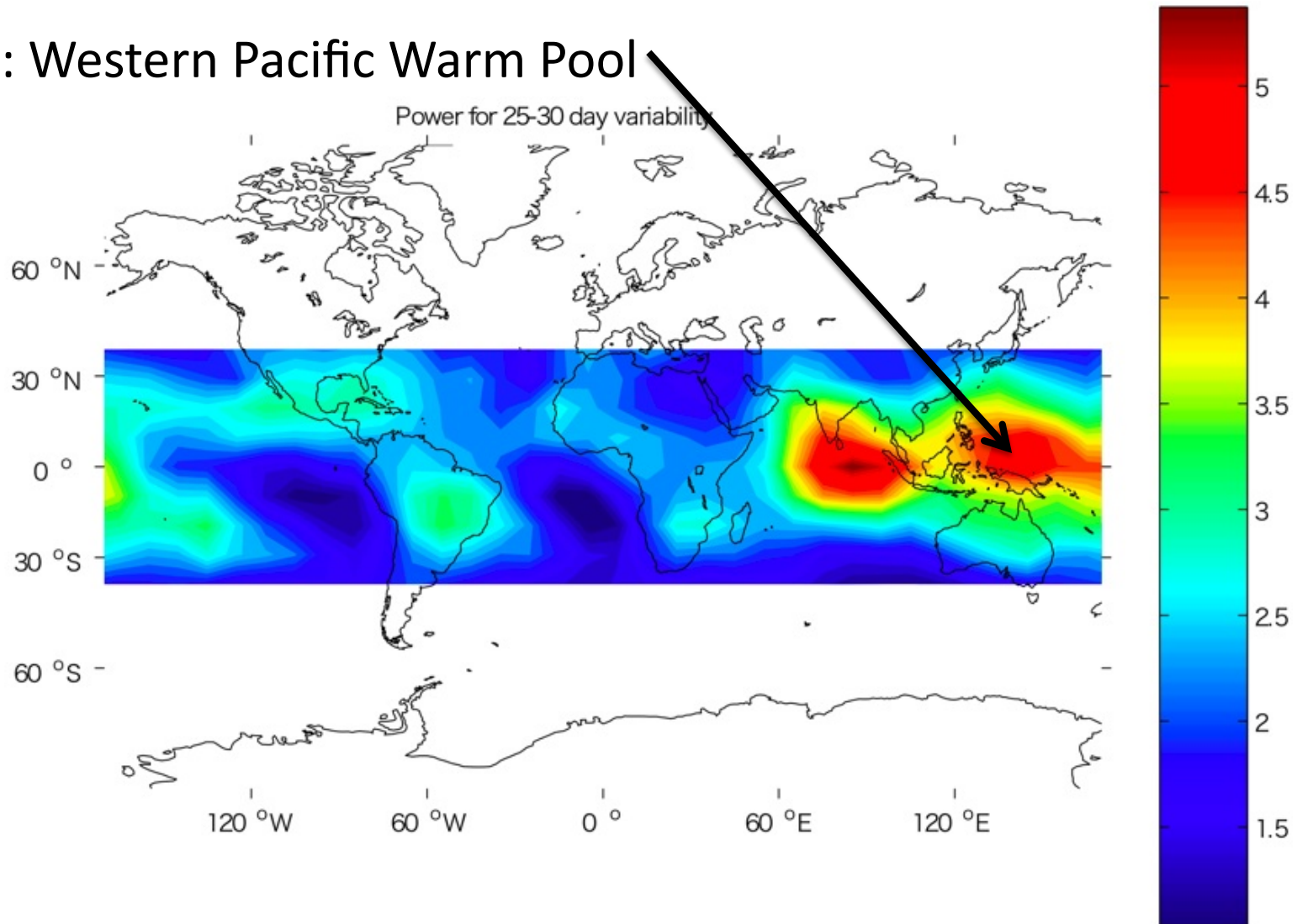
雷観測から迫ってみる。。。。

## Lighting and solar climate



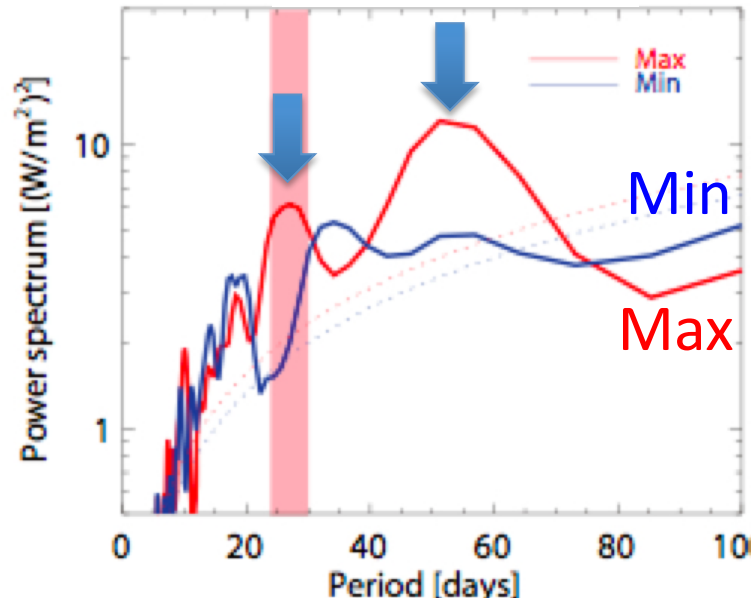
# Power of 25-30 days periodicity in cloud (OLR) for 25 years

WPWP: Western Pacific Warm Pool



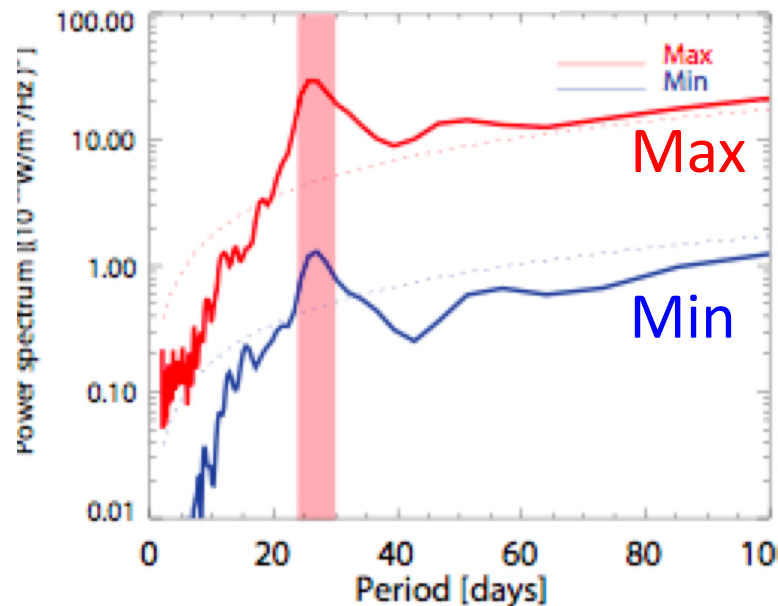
# Averaged spectra for all max. and min. periods

## Cloud (OLR)



Max years: ~27 and 50-60 day  
Min years: ~35 day

## F10.7



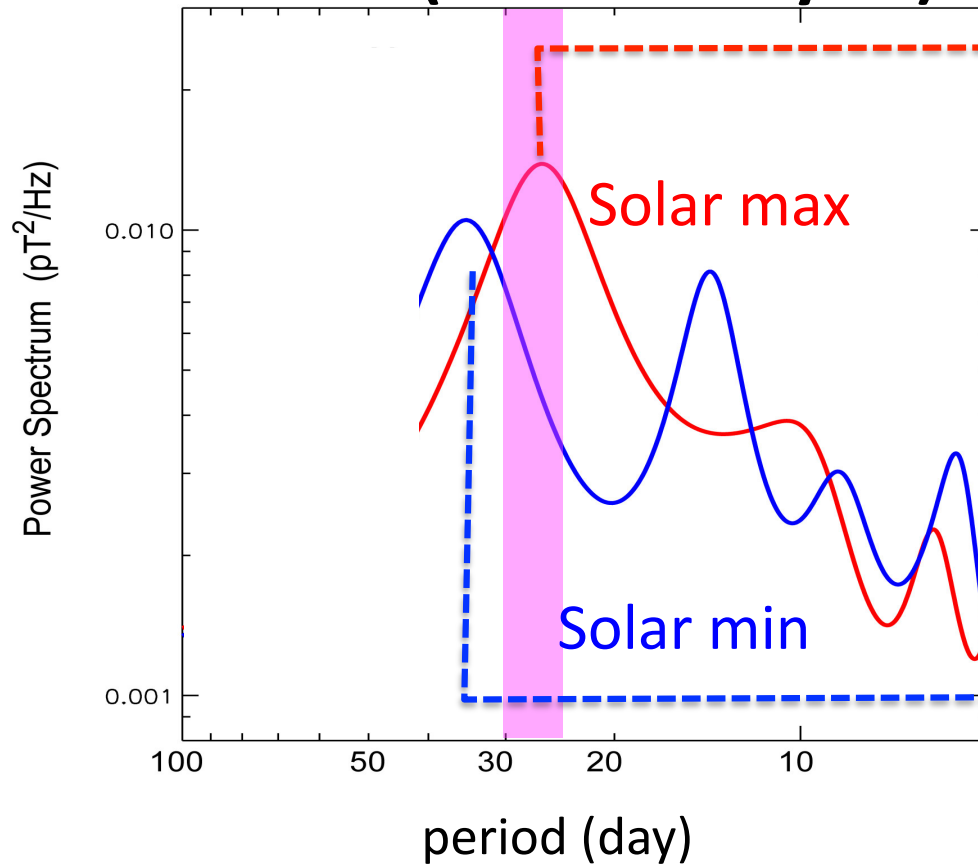
Resonance between 27 and 50-60?

Madden Julian Oscillation?  
Affecting El Nino?

Synchronization with internal  
periodicity of global atmosphere?

## 全球雷活動

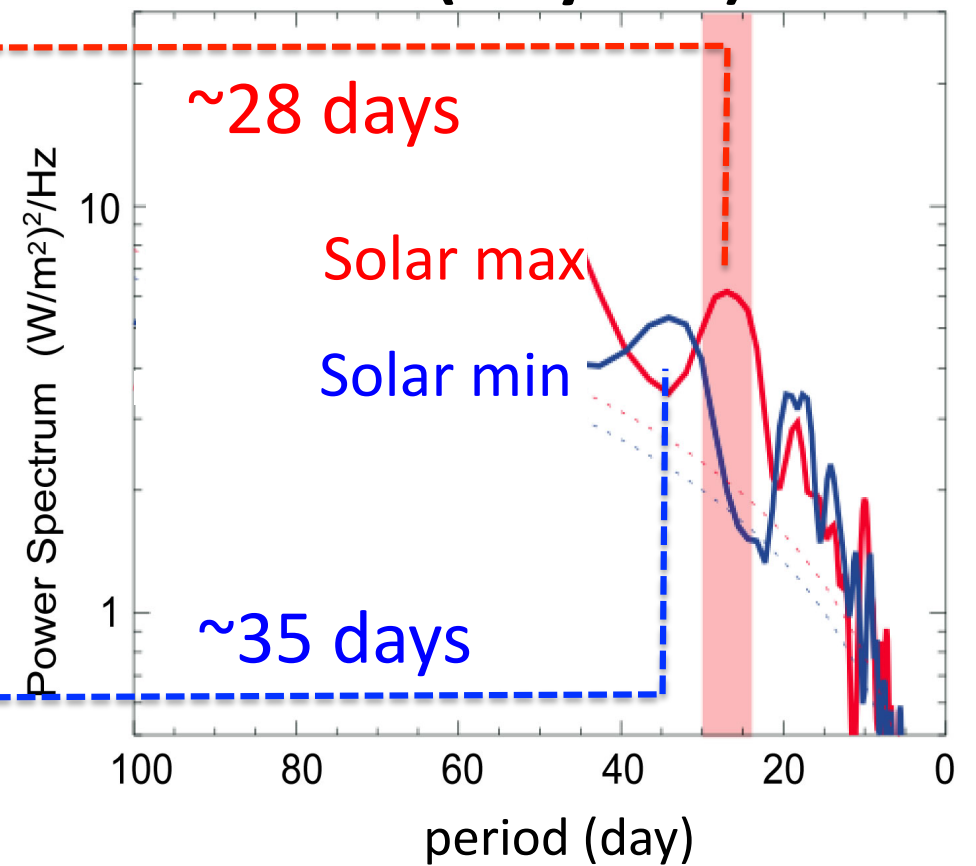
### Global lightning (half solar cycle)



by M. Sato

## 西太平洋の雲

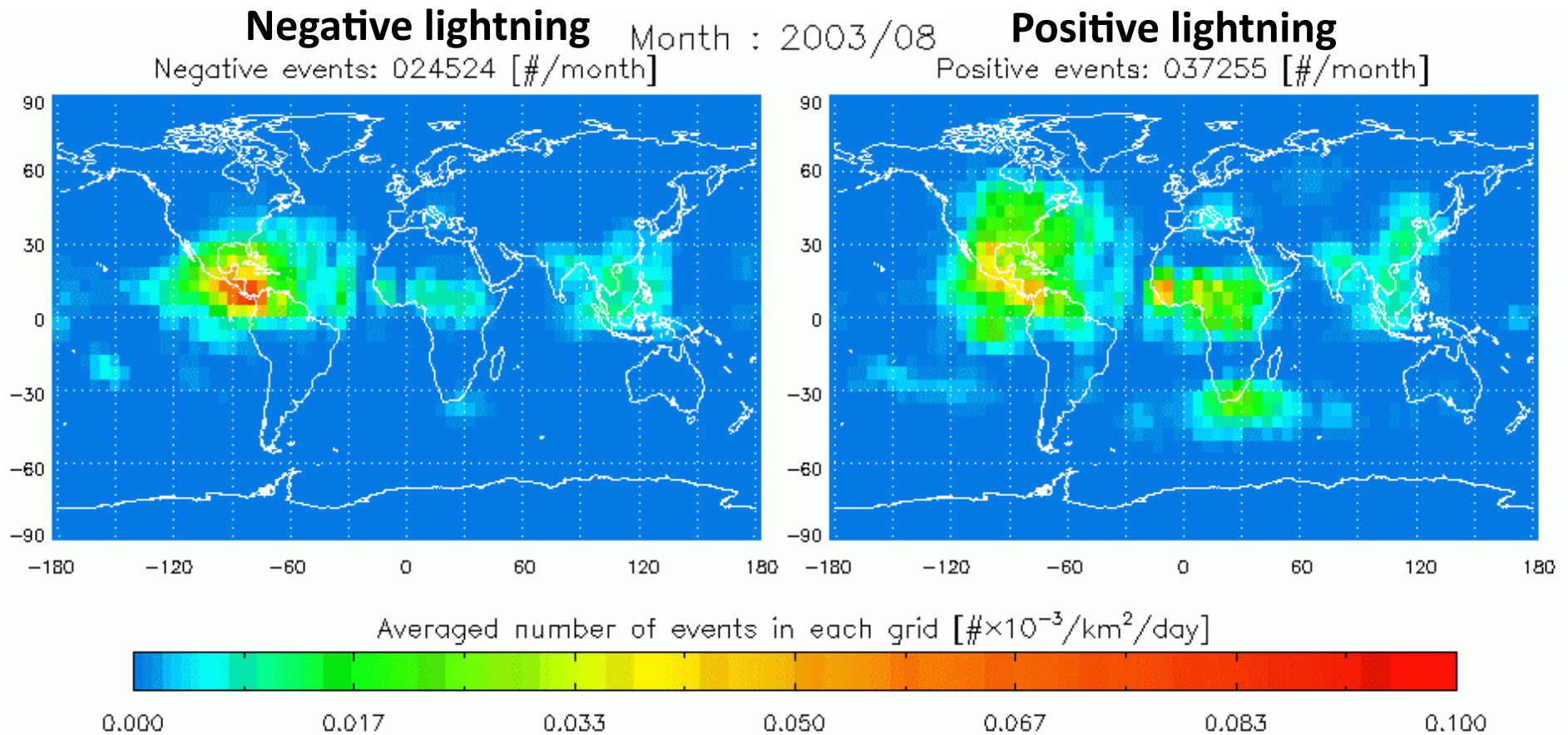
### OLR (cloud) in WPWP (25 years)



by Takahashi et al.

# 世界の雷分布を全球一様感度で表現した最初の地図

## Monthly variation observed by GEON (Global ELF Observation Network)



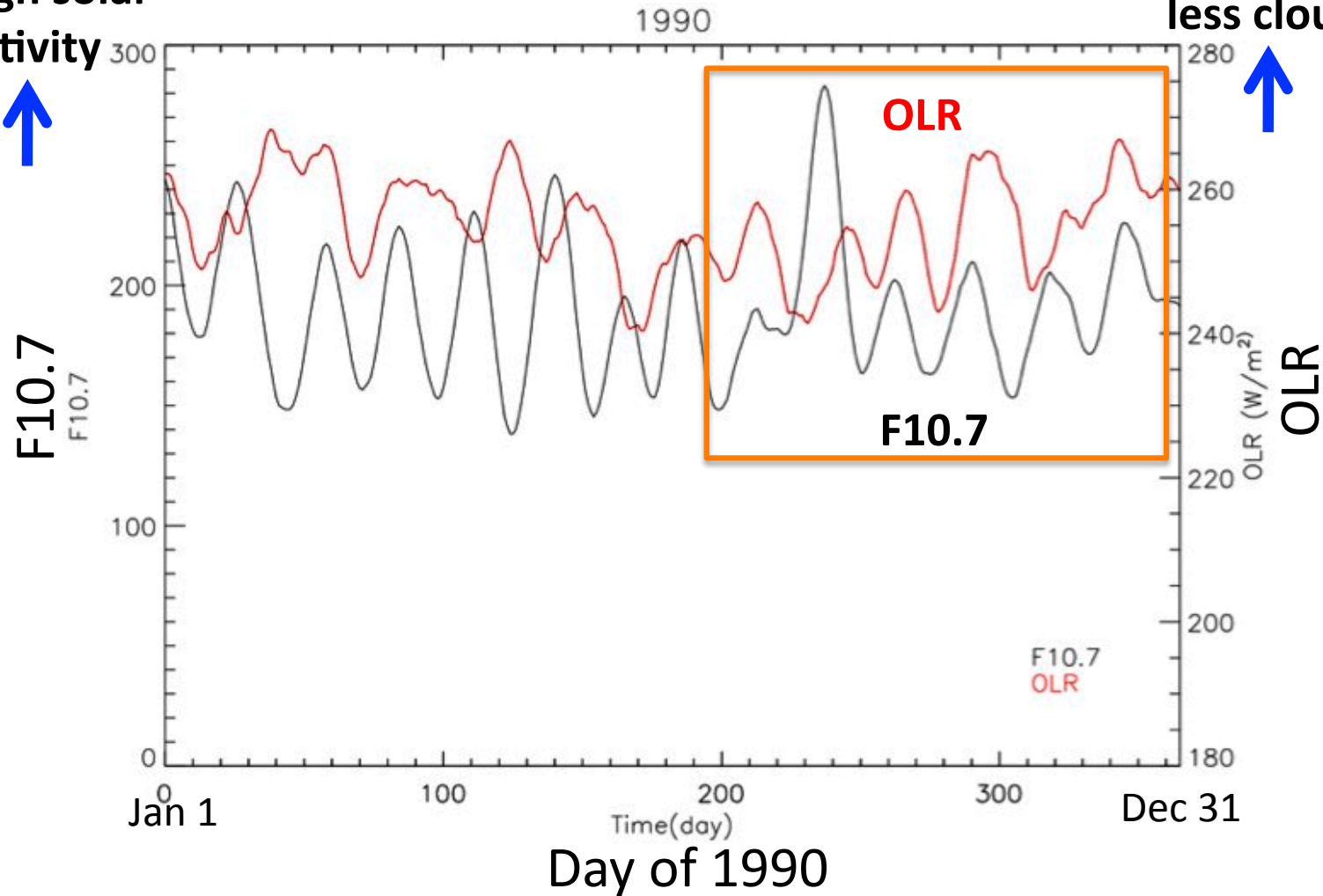
# 太陽活動(F10.7) が雲に対し~5-10日先行して見える

Takahashi et al., ACP, 2010

WPWP: Western Pacific Warm Pool (1990)

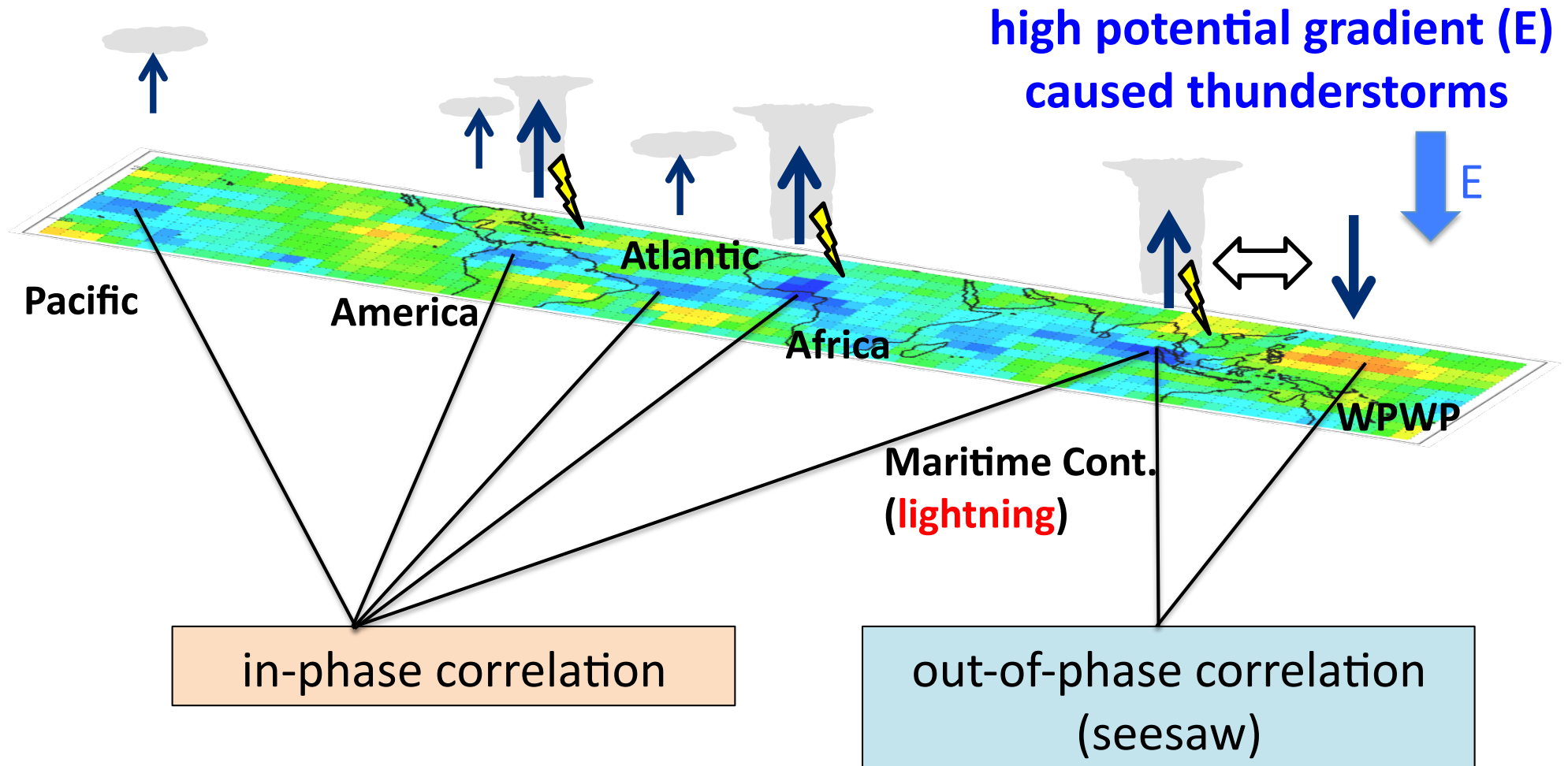
high solar activity  
↑

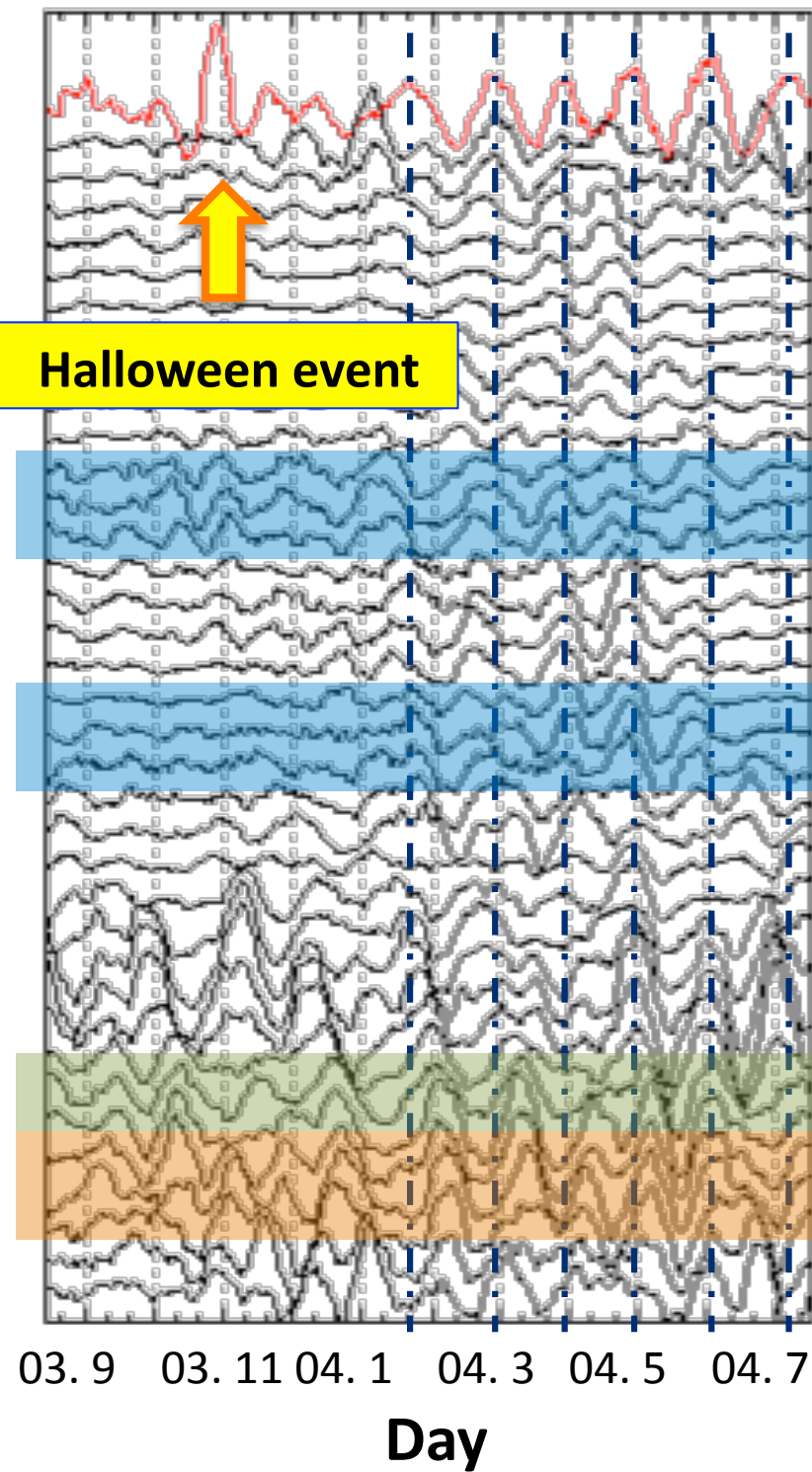
less cloud  
↑



# 熱帯積乱雲の全球同期

at “high solar active” phase for 1-month variation  
= **high F10.7 (UV)**, **low galactic cosmic rays**





Lightning in MC

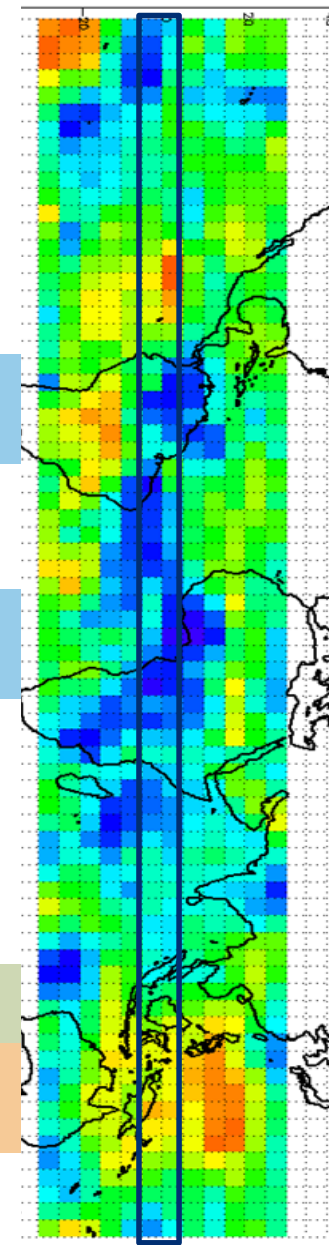
OLR

America

Africa

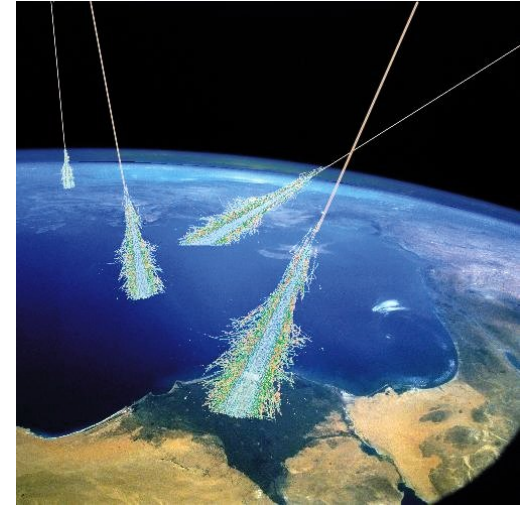
MC

WPWP





# 1. 銀河宇宙線

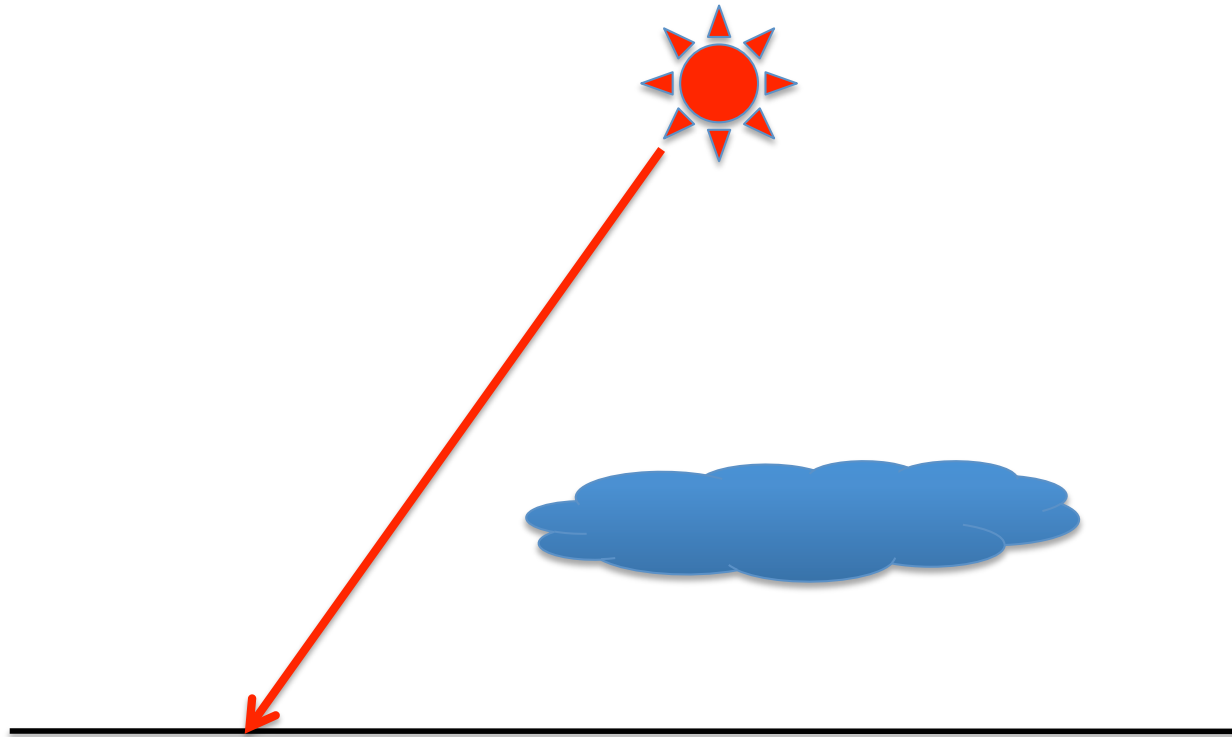


太陽風磁場 → 銀河宇宙船(GCR)  
→ 大気分子の電離 → 雲核 → 雲形成

- 霧箱からのアナロジー  
    しかし、自然界での過飽和は僅か
- 比較的ヨーロッパが好き
- 加速器による実験も
- 年輪研究の進展

## 2. Total Solar Irradiance (TSI)

- 衛星計測によって変動がモニターできるように
- 振幅は0.1%のオーダー
  - しかし太陽は殆ど可視光なので無視できない？



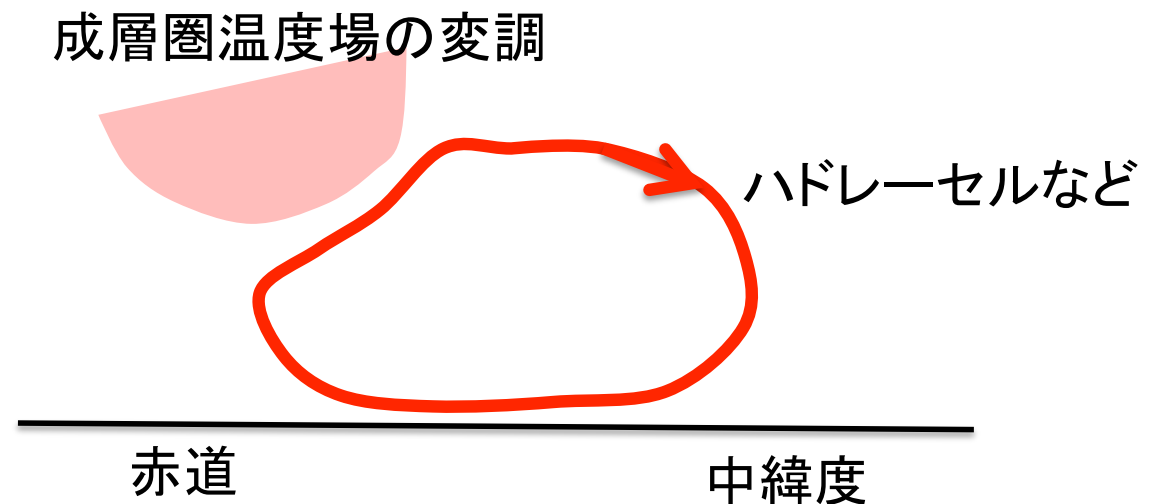
### 3. NUV による成層圏加熱

UV加熱 → 成層圏温度場 → 成層圏風速場  
→ 鉛直方向の循環 → 対流圏に影響

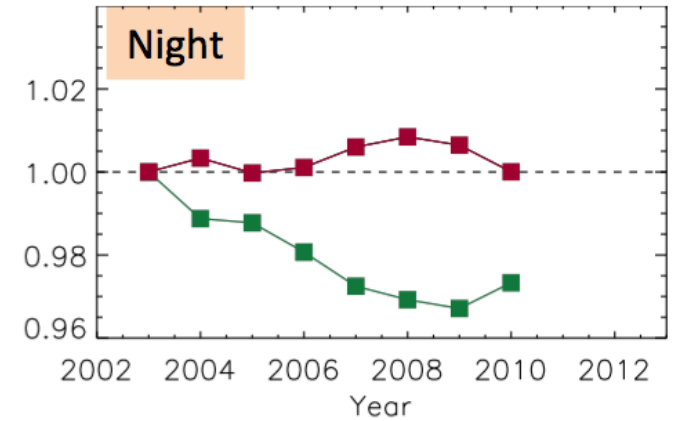
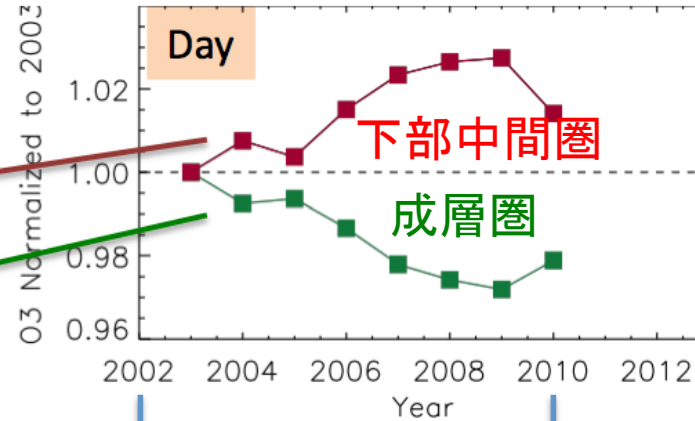
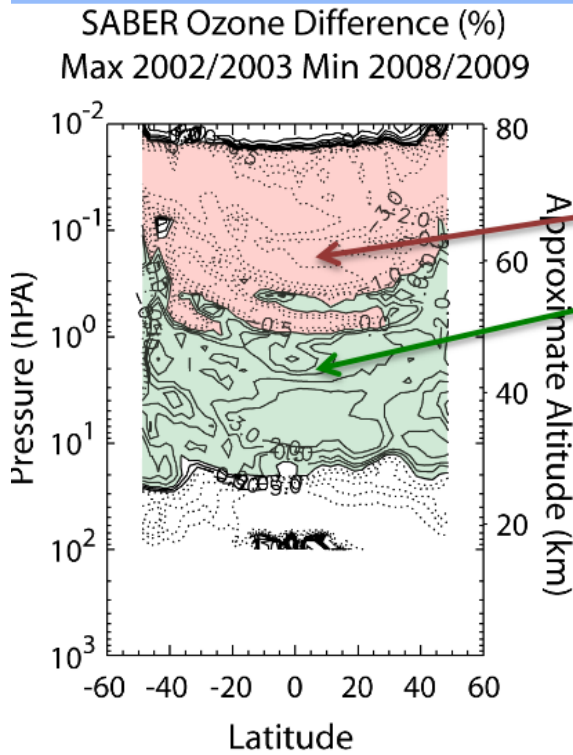
- UVの変動振幅は可視光よりもかなり大きい (~数%)

- 成層圏は「力学的な仕事」をしなくても、鉛直方向の循環場を変えられる

- 比較的米国が好き



Annual zonal mean trends

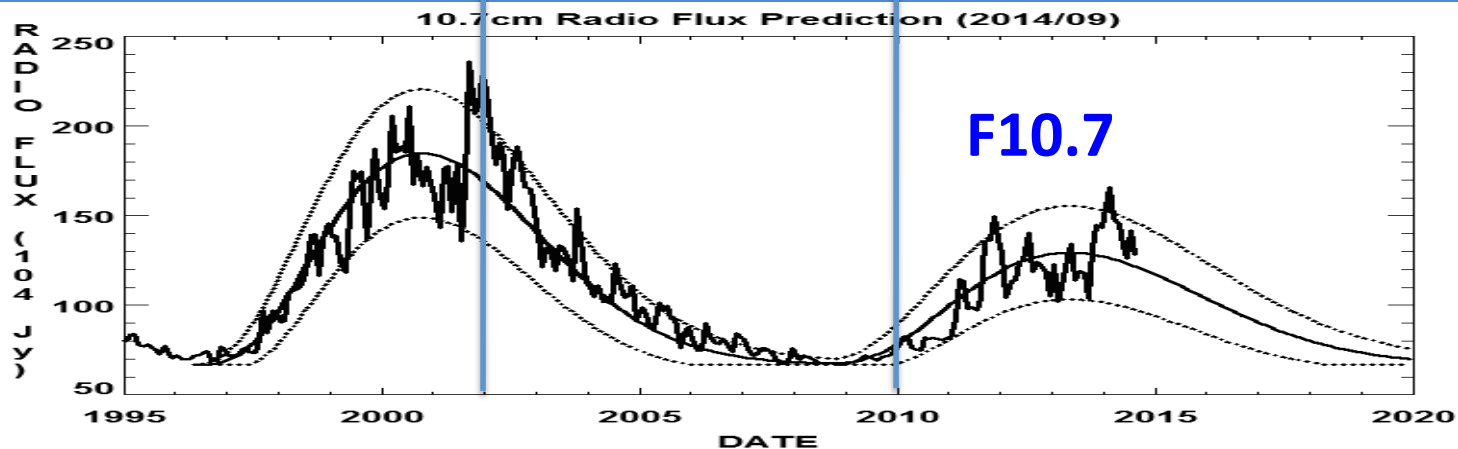


**Lower Mesosphere**

- Out-of-phase with solar cycle
- Trend in day, absent at night
- photolysis ceases at night

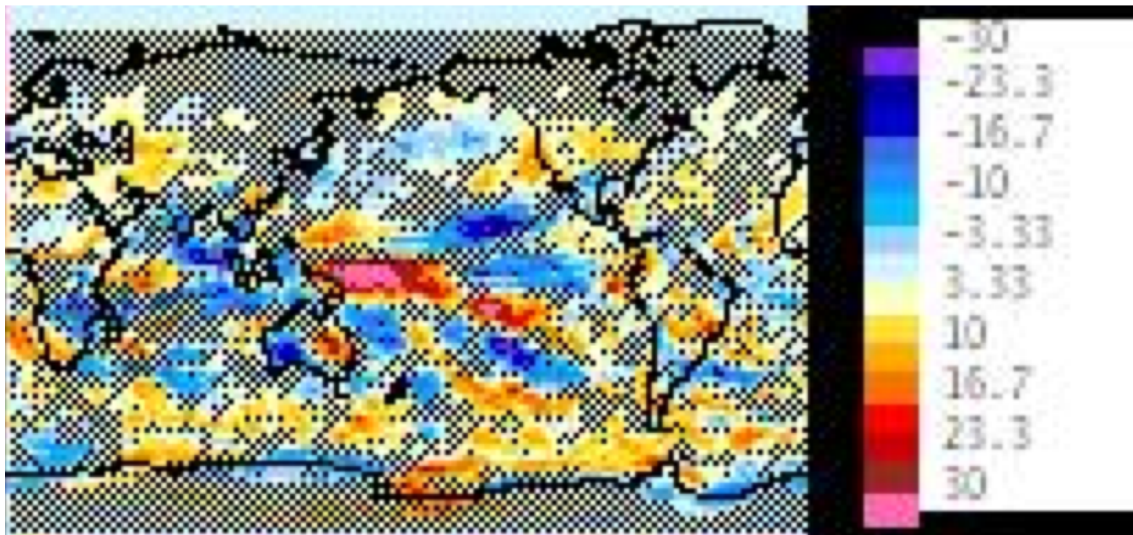
**Stratosphere**

- In-phase with solar cycle
- Trend similar for day and night
- Less driven by photochemistry
- Very little diurnal variation



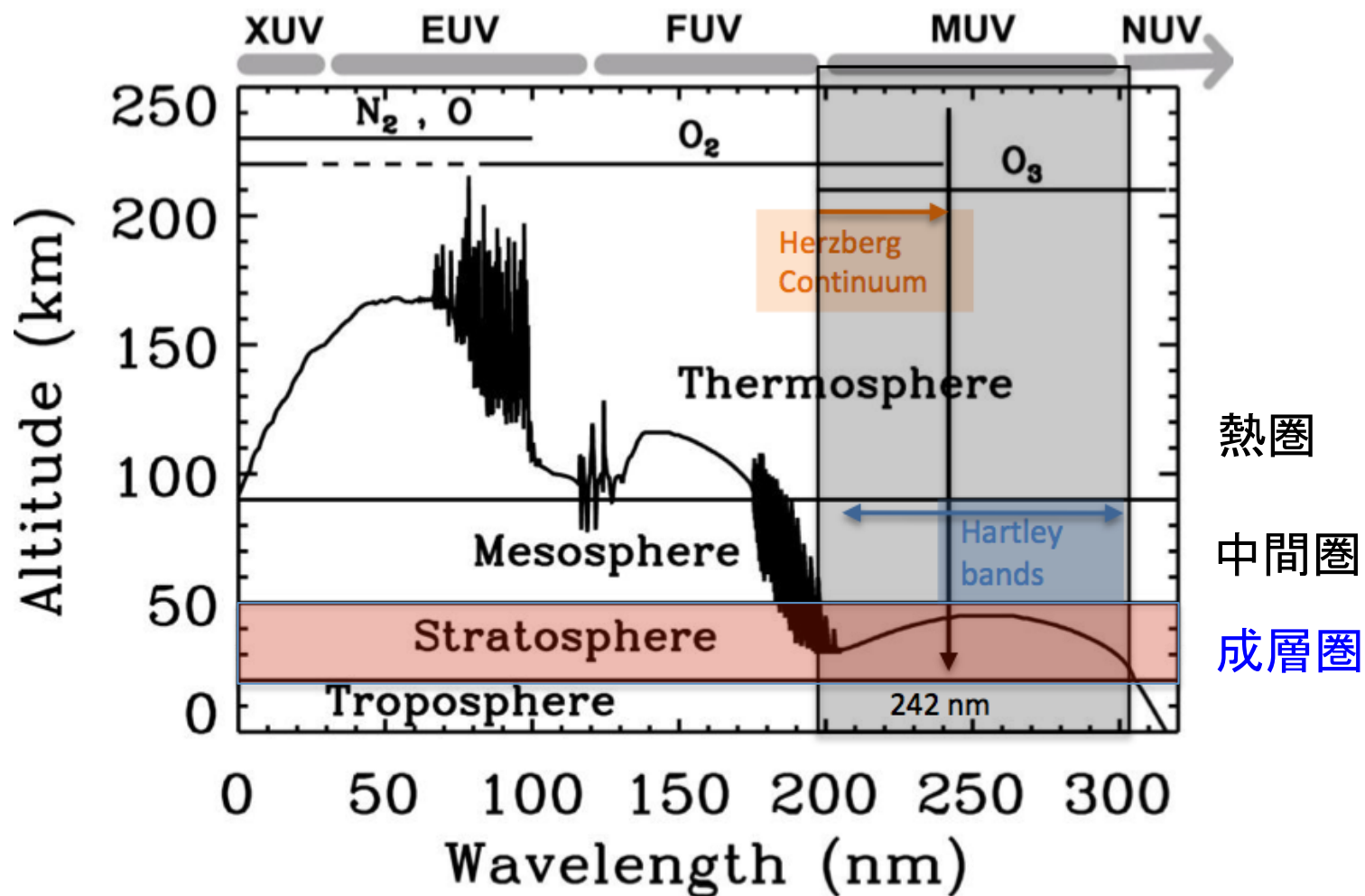
# CESM (WACCM4) for SSI study

- Transient runs 1955-2005 including all observed forcing. Imposing observed QBO.
- SSI: wavelength  $< 120$  nm uses F10.7 proxy
- SSI:  $120$  nm  $<$  wavelength  $< 100$   $\mu\text{m}$ :



Shows the downwelling solar shortwave flux at the surface increases of  $\sim 30$   $\text{W m}^{-2}$  at the Pacific Ocean Warm Pool region at solar max times. But was shown before that the surface temperature does not increase much there. Ocean effects, Kuroshio stream, moderate T?

by Fontenla, 2012



成層圏加熱を検証するためには、200-300 nmの観測が必要

## 4. 全地球電流系 (Global Electric Circuit)

太陽風による地球磁気圏、および電離圏での発電

太陽宇宙線 ... 超高層大気の電気伝導度

放射線帯粒子 ... 超高層大気の電気伝導度

EUV/FUV, X,  $\gamma$  ... 中層・超高層大気の電気伝導度

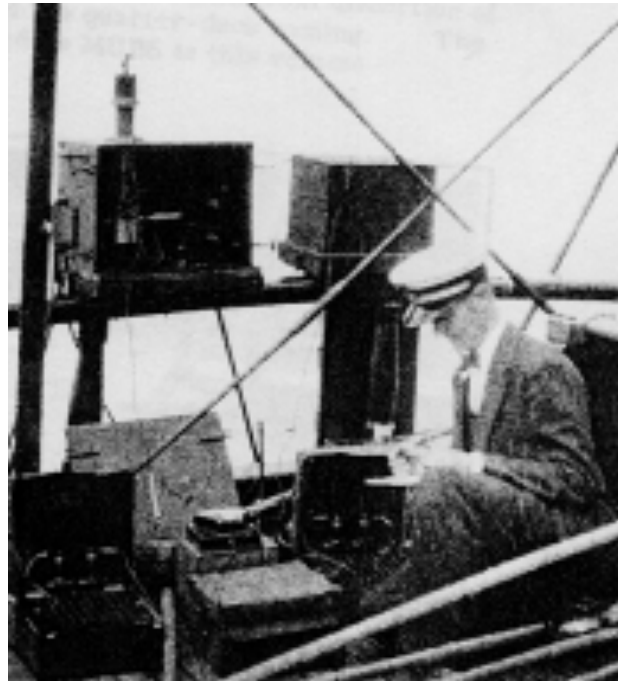
銀河宇宙線 ... 下層大気の電気伝導度

→ 全地球電流系の変調

→ イオン分布の変化 / 大気電場の変化

→ 雲の生成および寿命の変化

# 晴天域の鉛直電場計測

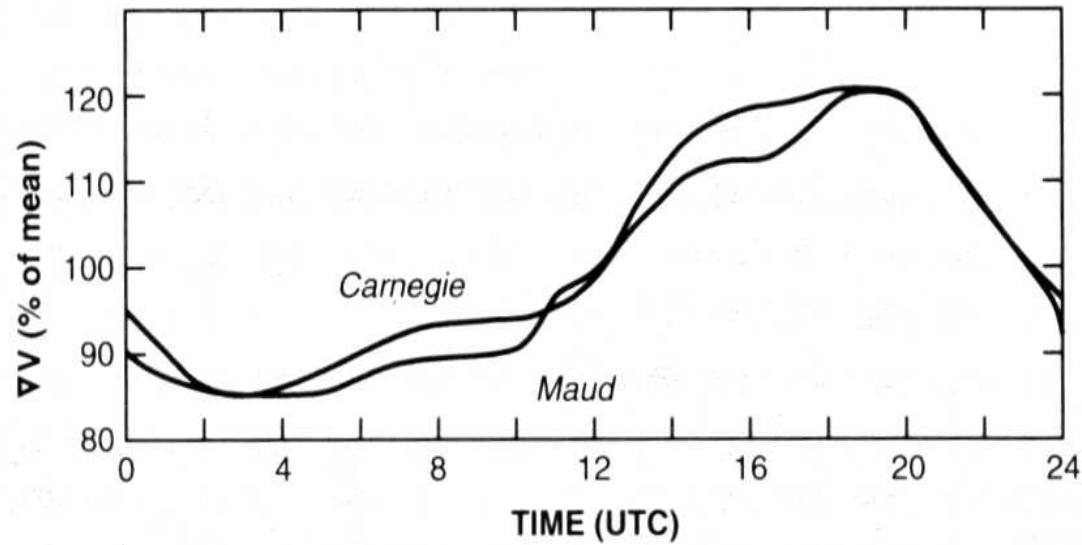


Images from: Carnegie Institute Reports, Carnegie Institute web site and Fleming J.A., *Terrestrial Magnetism and electricity*

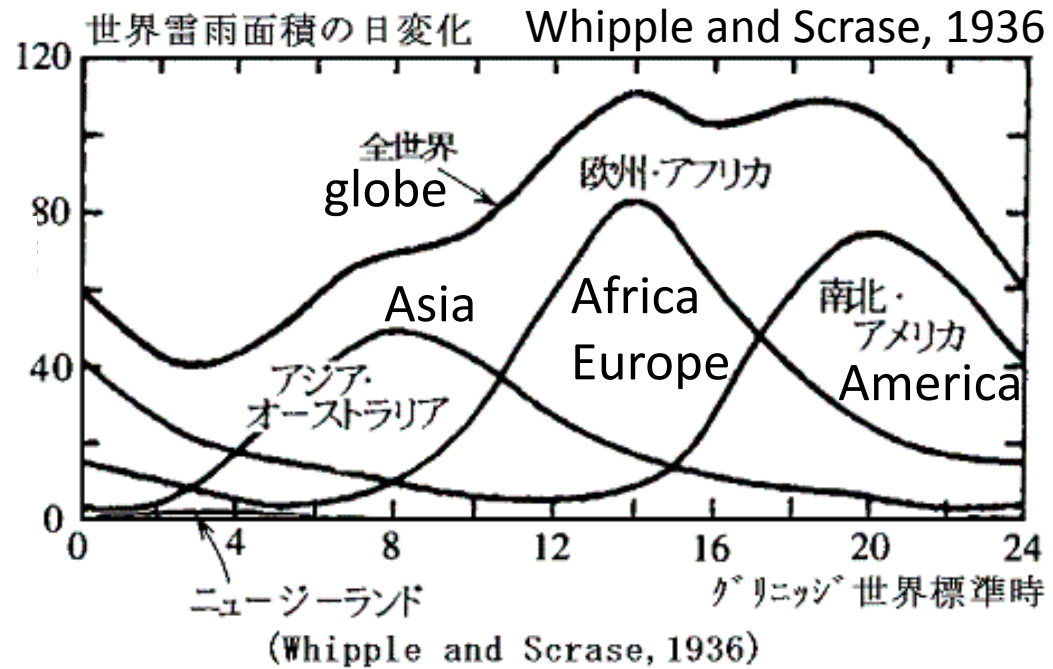
Observation by research vessel "Carnegie"

but still there remain mysteries and even fundamental questions



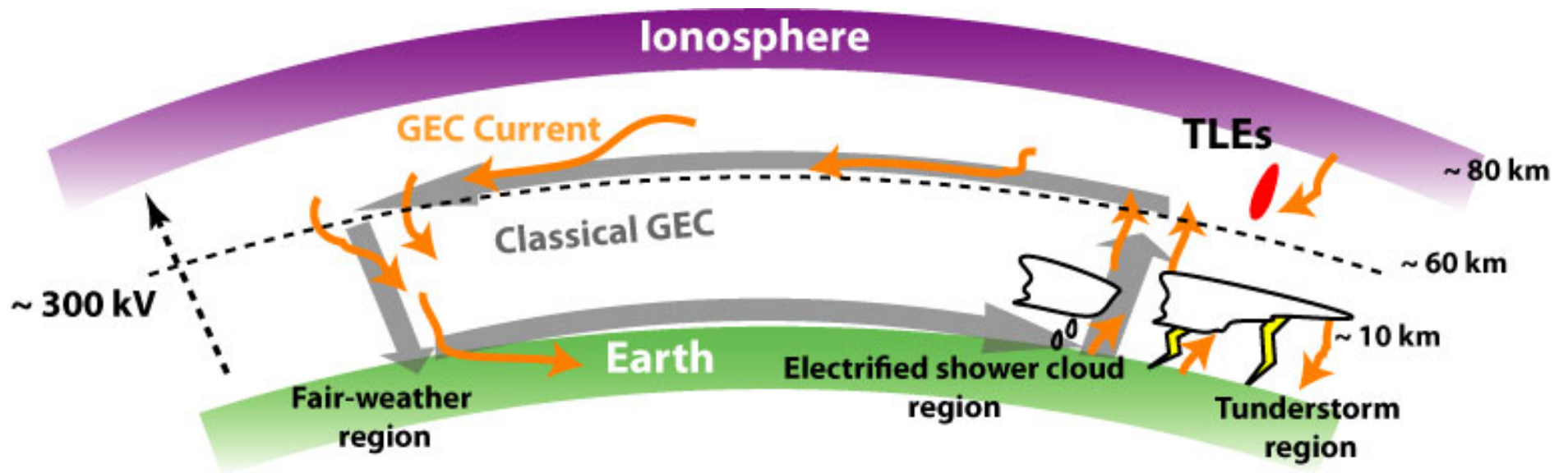


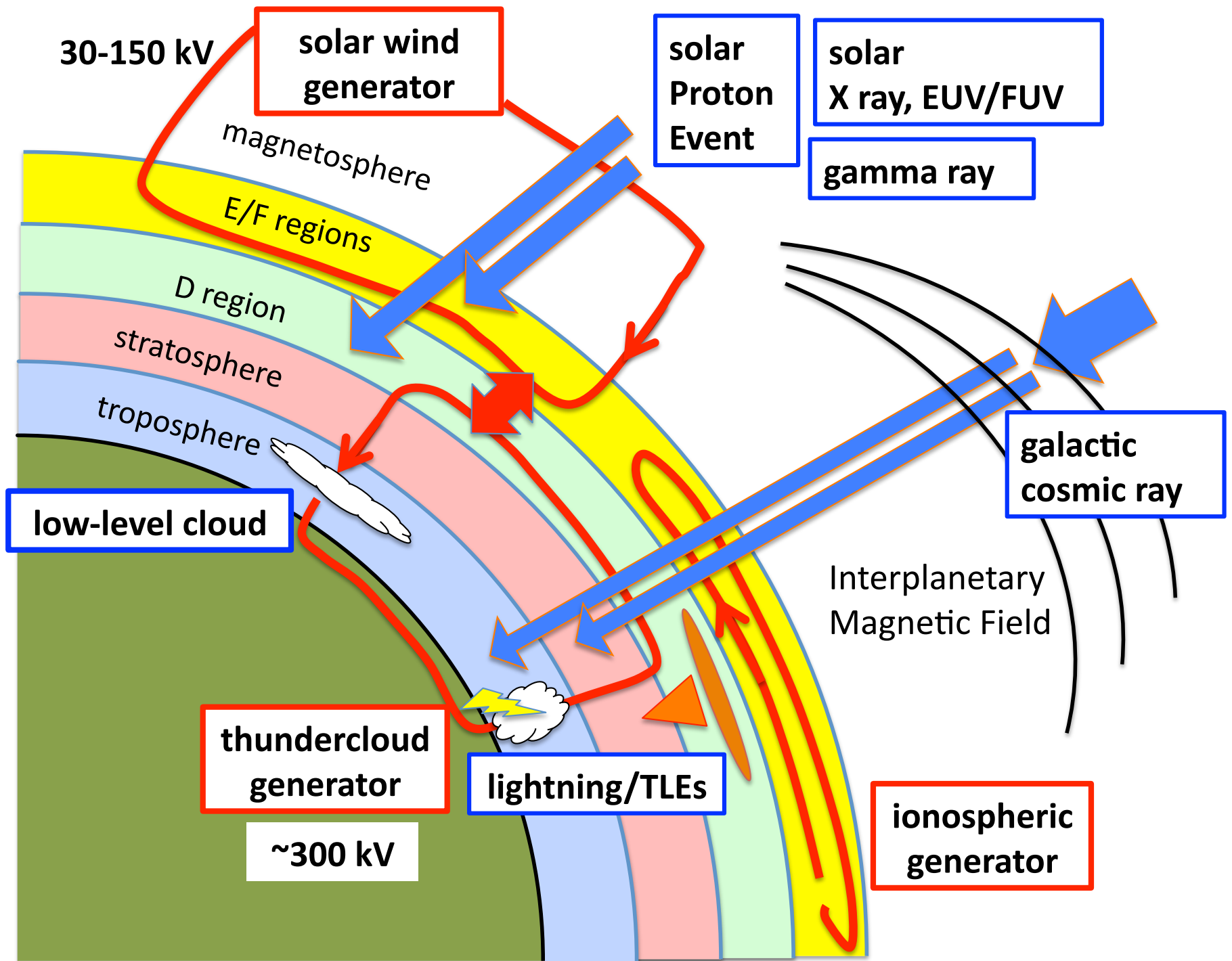
雷鳴可聴面積  
( $\times 10^4 \text{ km}^2$ )



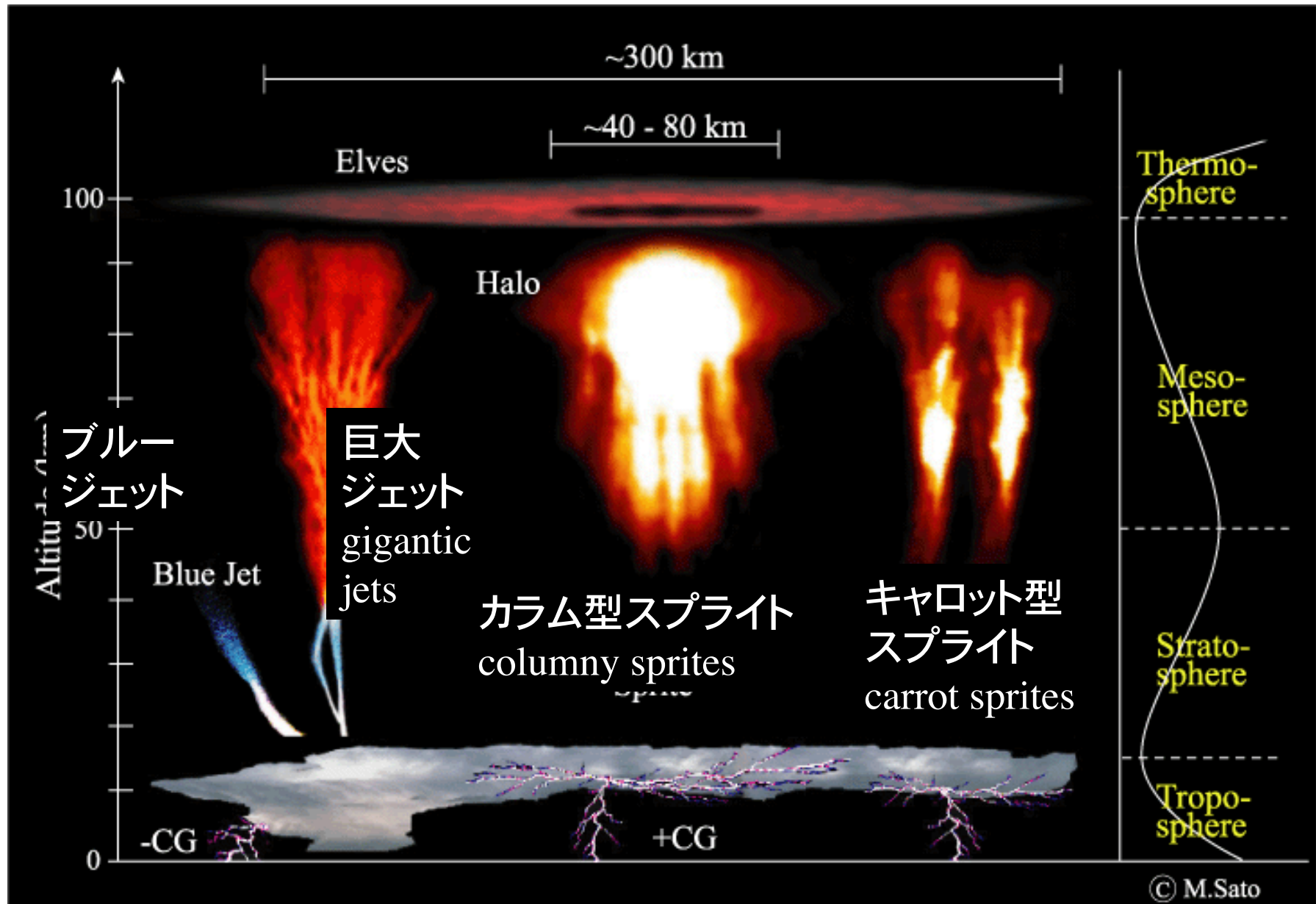
Carnegie curve was explained by thunderstorm activity.

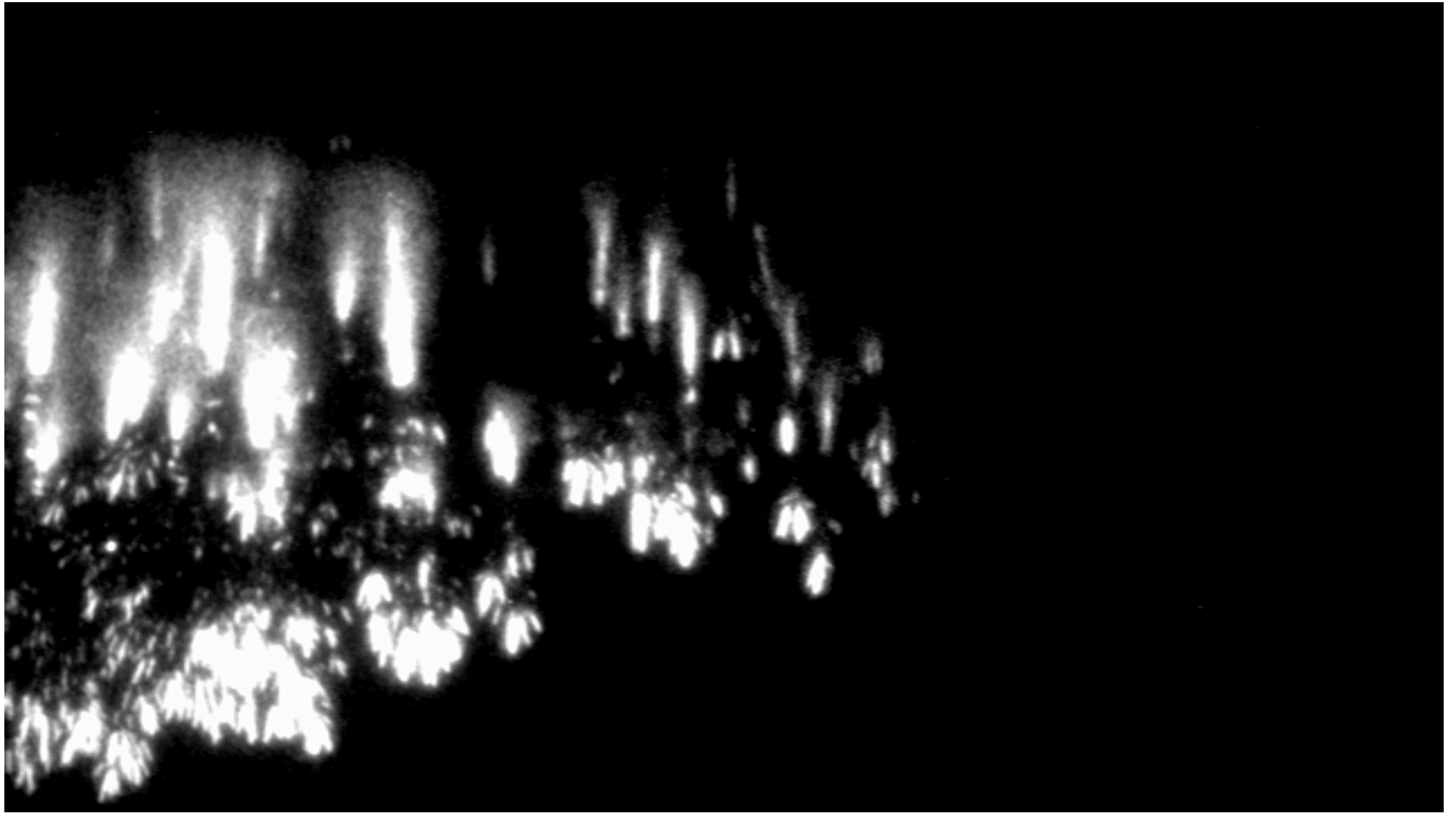
# Global electric circuit





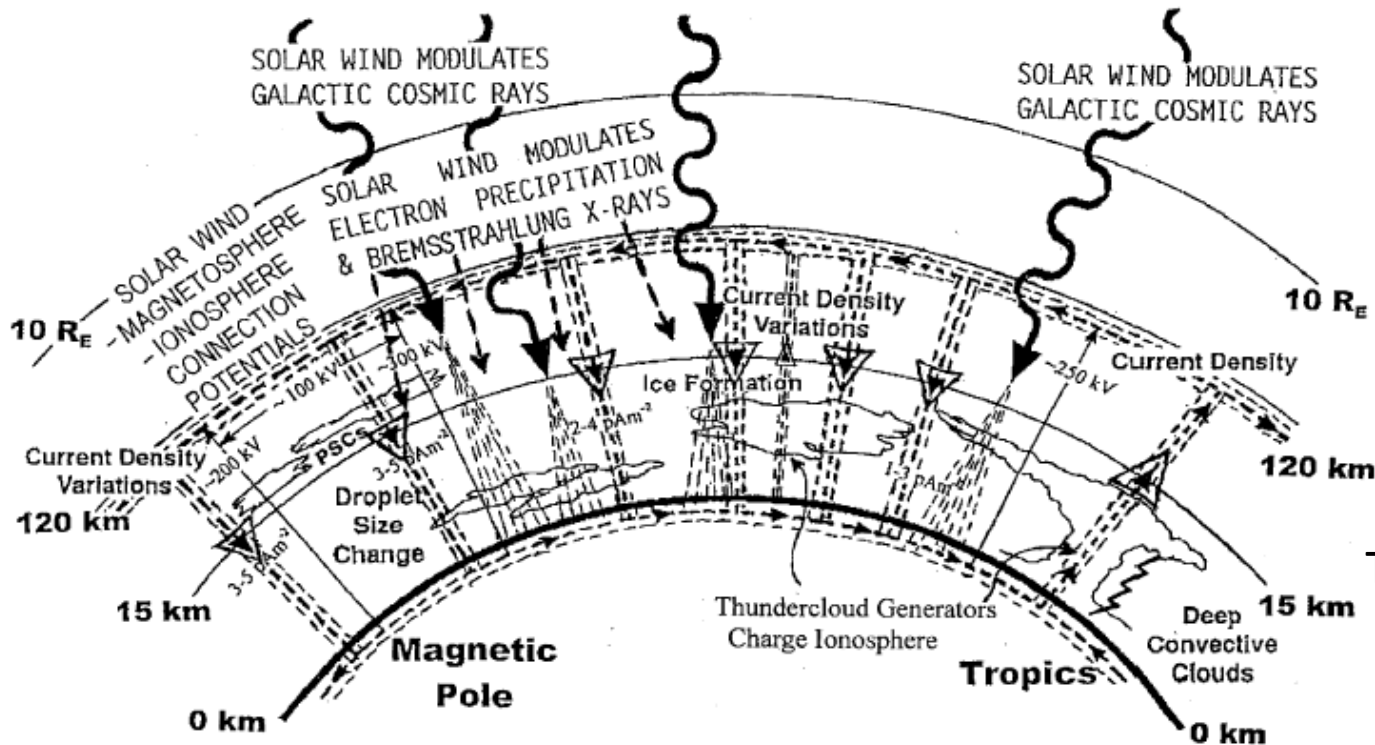
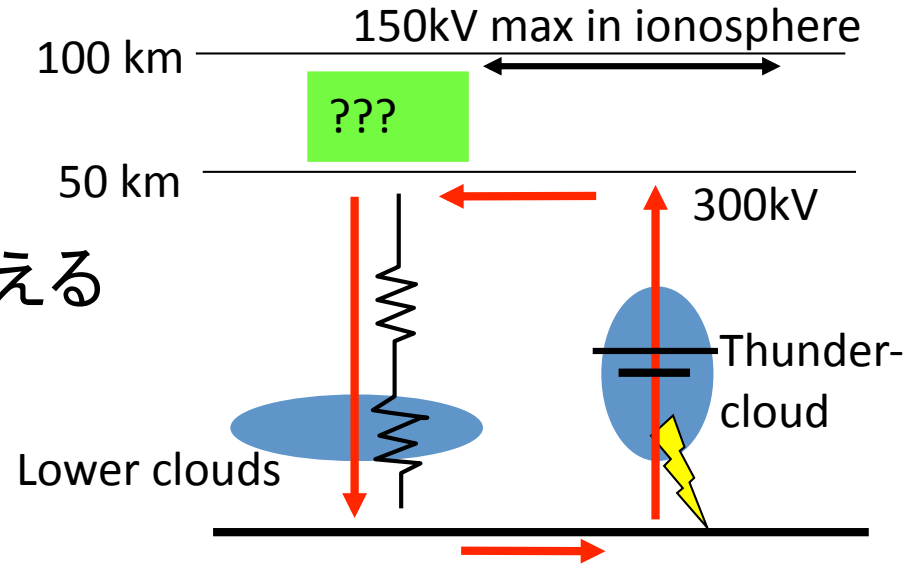
# TLEs as connectors between upper and lower regions



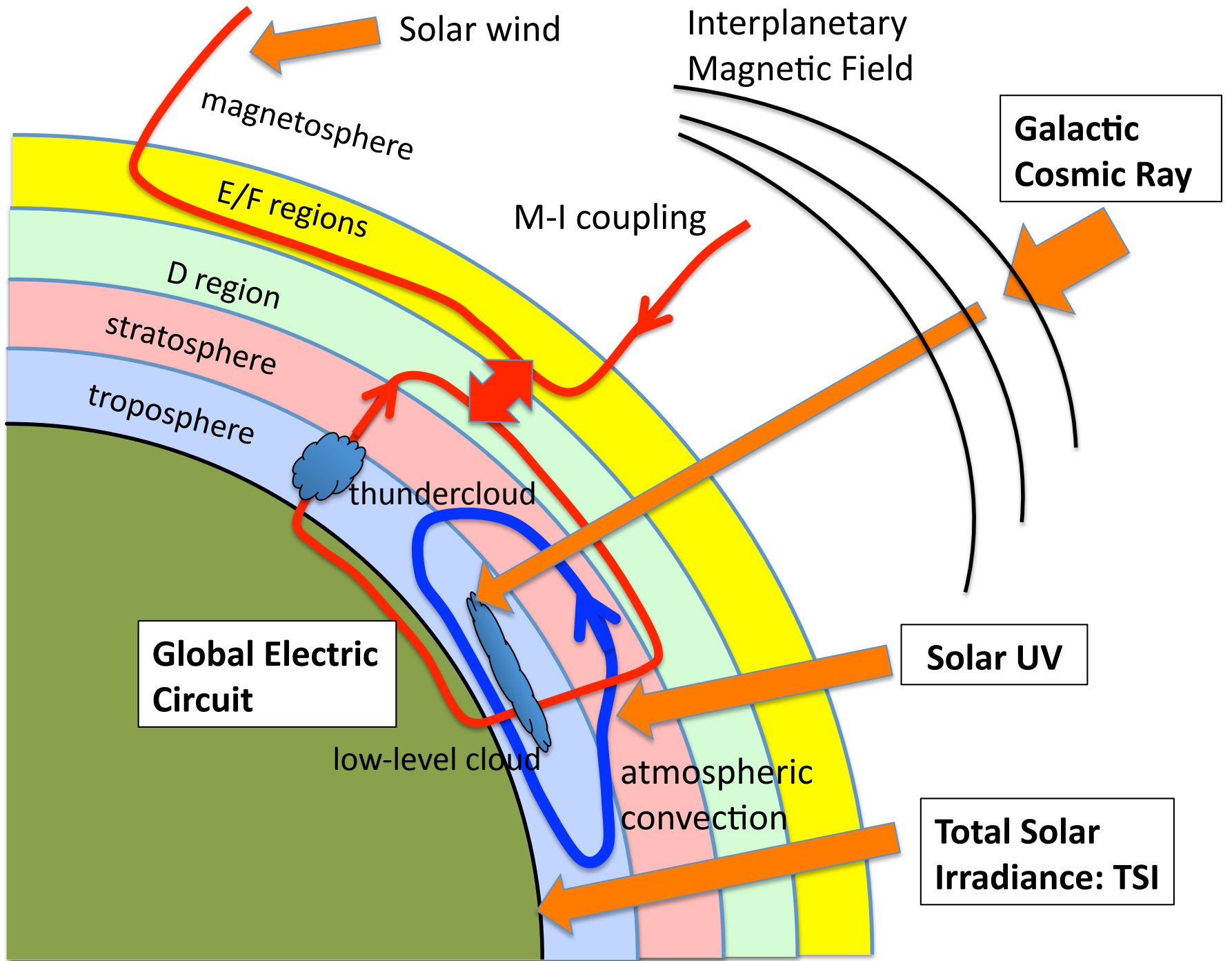


# 全地球電流系は:

- 雲粒の起源になるイオン分布を変える
- 雲の寿命を変化させる



Tinsley et al.



# Solar-Climate Connection

# 太陽地球気候結合メカニズムの解明へ向けて

- 時間的・空間的スケール間結合の考慮
- パズルのピースは揃っているのか？
- 太陽放射 (TSI, UVなど)、太陽/銀河宇宙線、大気電場など  
複数の要因について平行して検討を進め、それらを結合することも必要かも。



# 地球気候研究から見た太陽観測への期待

継続的なスペクトル観測 ... EUV, FUV, NUV, TSI, X/γ  
特にNUV (200-300 nm): 成層圏に直接作用  
電離圏電気伝導度 ... 全球電流系への効果

プラズマ密度, 磁場, 太陽宇宙線

地磁気活動の予測 ... 全球電流系の発電機

惑星空間磁場の予測 ... 銀河宇宙線(雲生成、下層大気電気伝導度)

