

2. 気候変動と太陽活動の相関

2.1 現在の気候変動と太陽活動(観測記録)

2.1.1 太陽活動と北半球高緯度成層圏の変動

2.1.2 太陽活動と中～低緯度対流圏の気候変動

2.1.3 太陽活動と雲量変動

2.1.4 太陽活動と環境変動

2.2 古気候変動と太陽活動

2.2.1 太陽活動とLIA, MWP

2.2.2 黒点の11年周期とダストフラックス変動

2.2.3 Holoceneにおける100～1000年スケールの気候変動と太陽活動変動

2.2.4 最終氷期における100～1000年スケールの気候変動と太陽活動変動

2.1 現在の気候変動と太陽活動 (観測記録から)

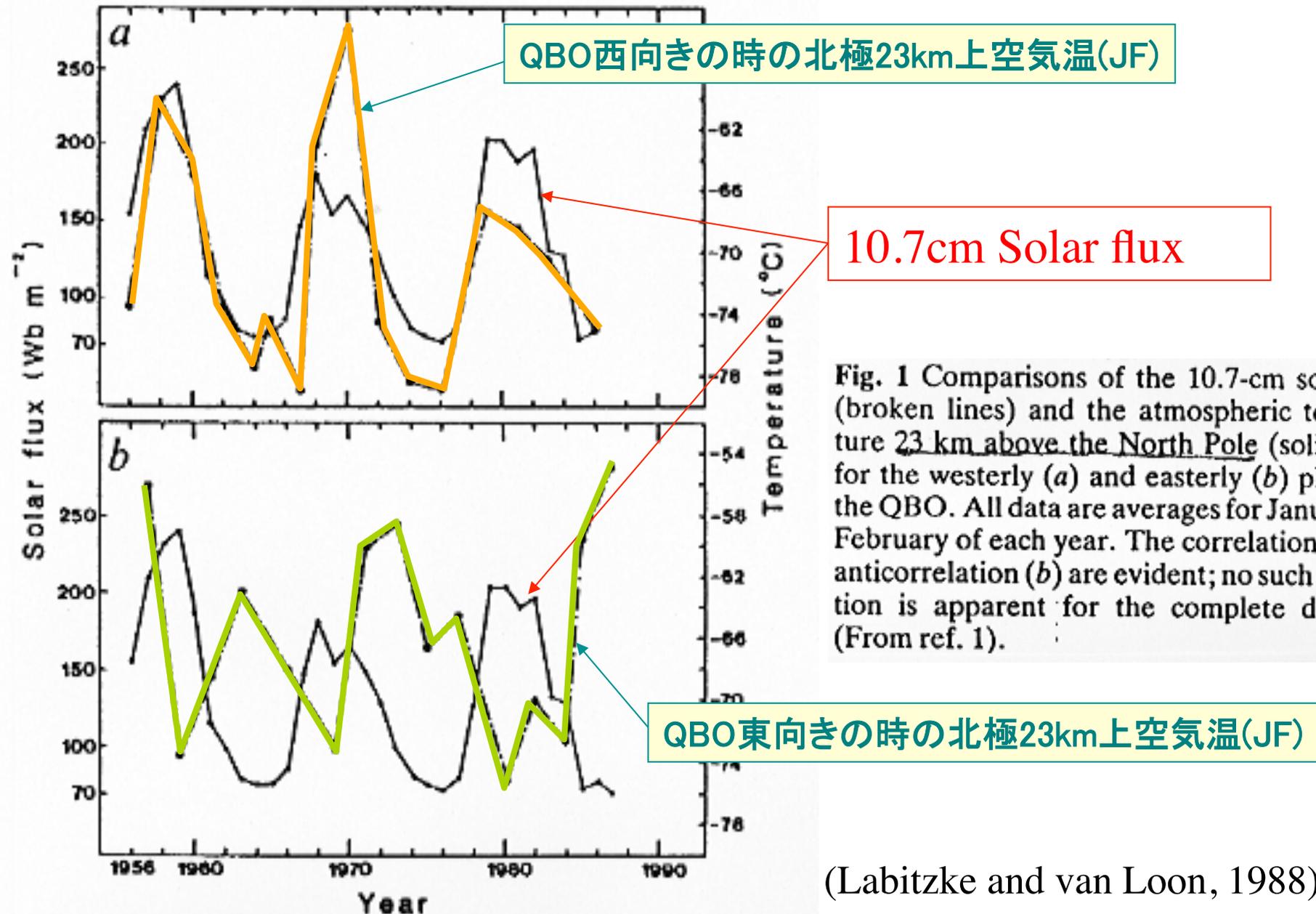
2.1.1 太陽活動と北極成層圏の気温・気圧変動

Labitzkeらの一連の研究

Labitzke (1982) JourMetSocJap

Labitzke and van Loon (1988) JATP

QBO西風、東風で仕分けした時の 北極上空23kmの冬の気温とSolar Flux



(Labitzke and van Loon, 1988)

1~2月の20km上空気温とsolar fluxの相関

QBO Westerly

QBO Easterly

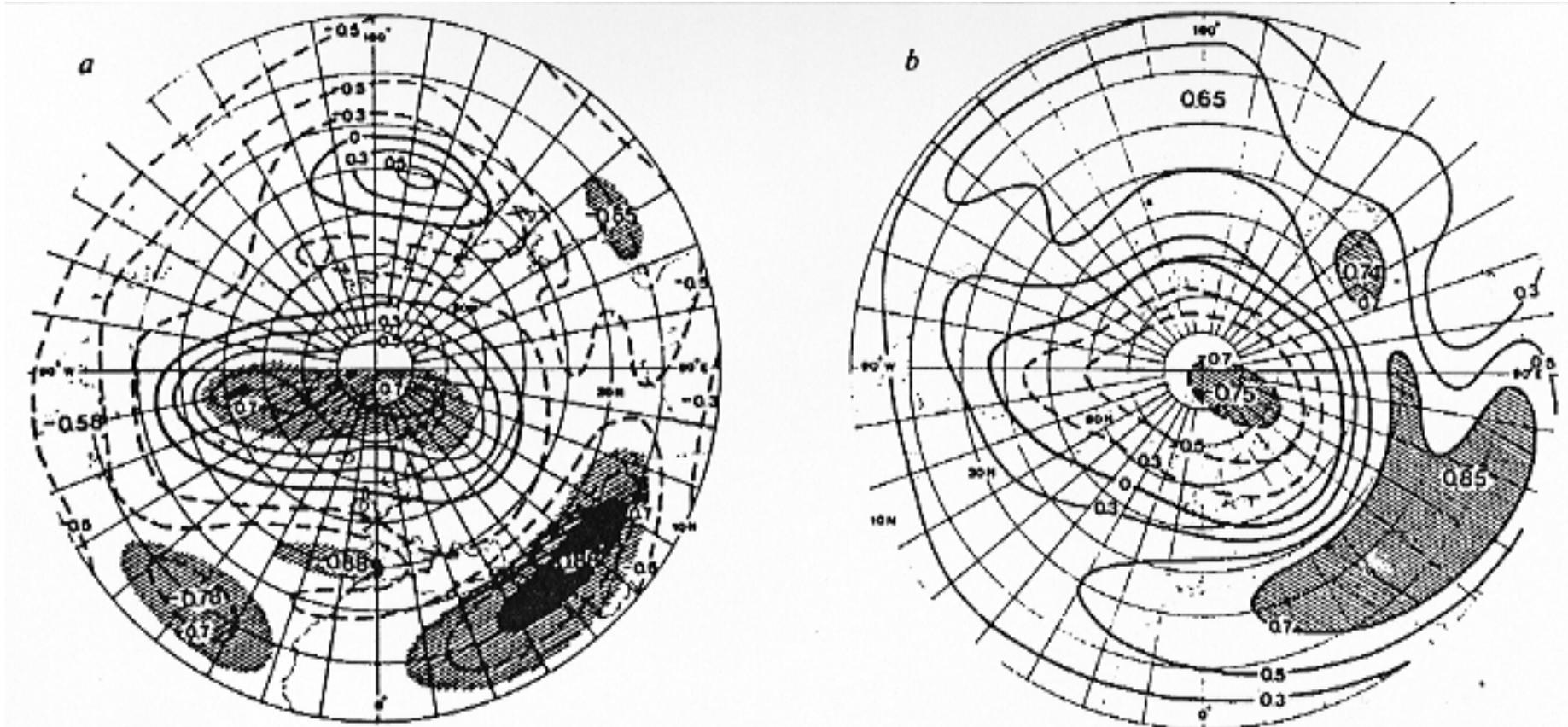


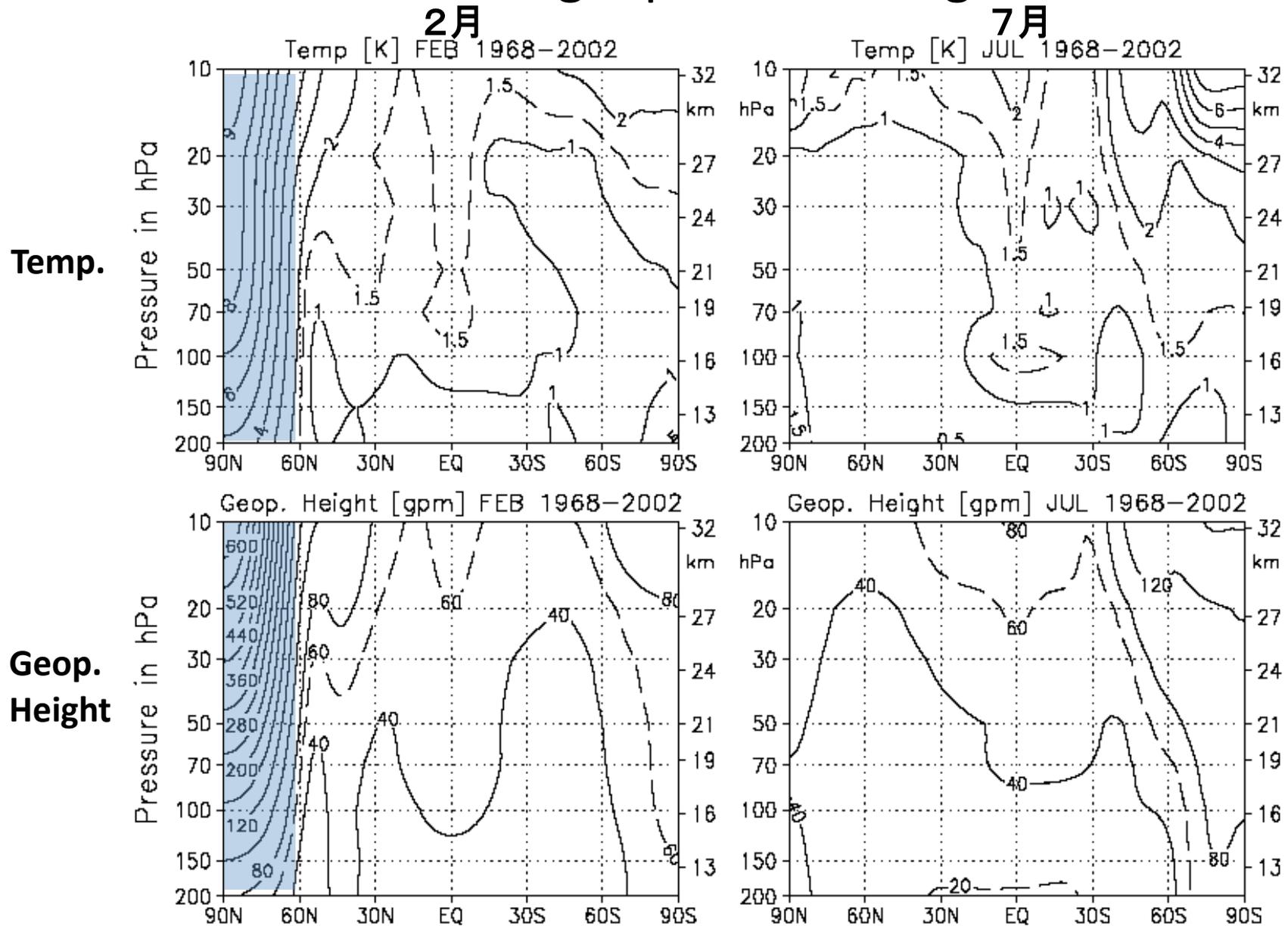
Fig. 2 Contour plots of the correlation coefficients of atmospheric temperature at 20 km and solar activity for the westerly (a) and easterly (b) phases of the QBO. The contours (solid for positive values, broken for negative) show a large-scale planetary-wave type pattern, with the values having opposite sign in the two phases. (From ref. 1.)

(Labitzke and van Loon, 1988)

Labitzke (2006) SSR, Labitzke et al. (2006) MZ

- 20年後、FU-Berlin data setにNCEP/NCAR再解析データを加え、65年間分のデータセットを基に再度検討

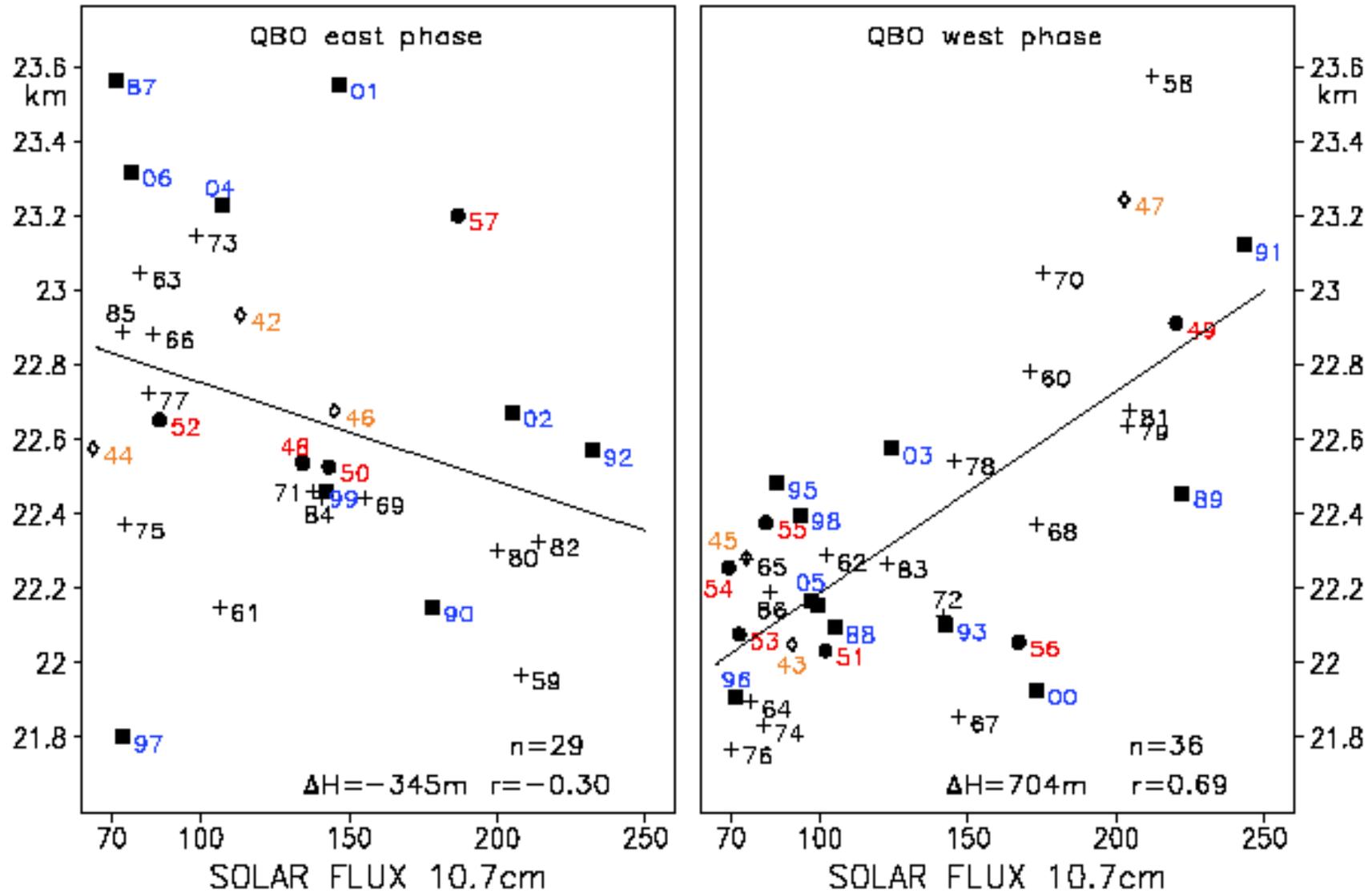
2月、7月における 子午面での温度、geopotential heightの標準偏差

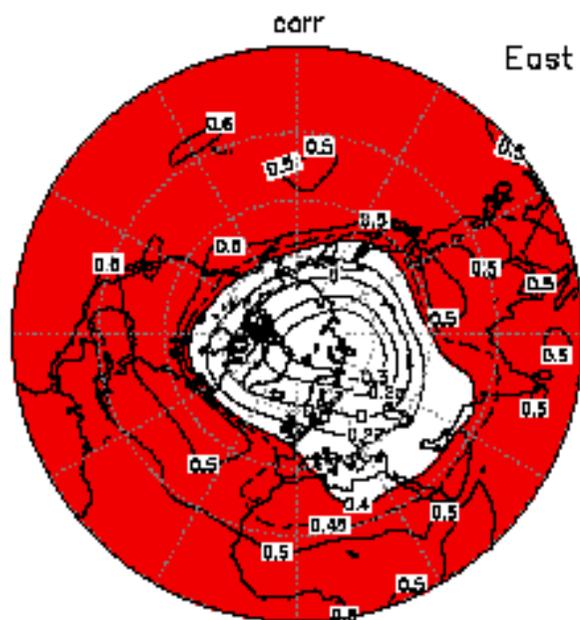


NCEP/NCAR Reanalyses

(Labitzke, 2006 SSR)

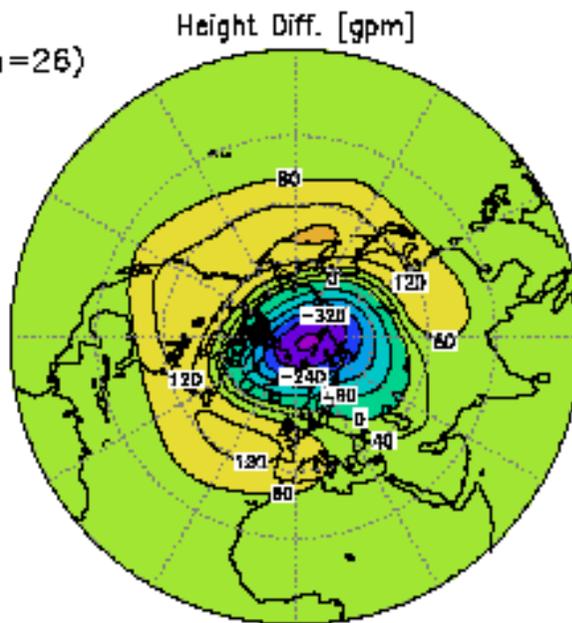
北極の2月における30-hPa geopotential heightとsolar fluxの相関





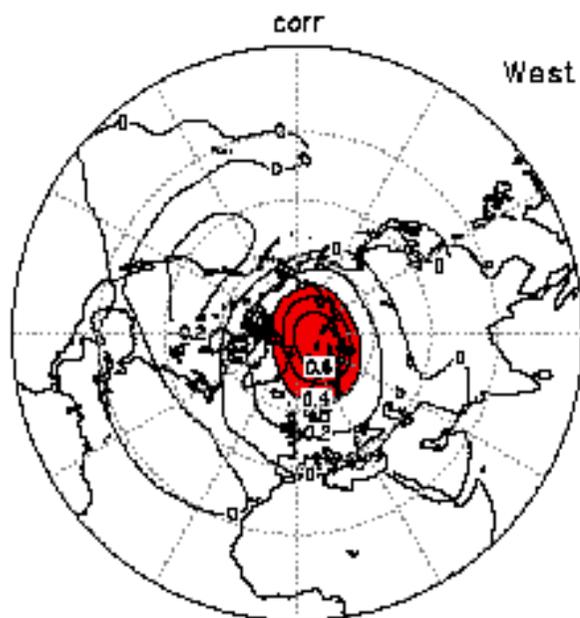
East (n=26)

min=-0.37 max=0.61



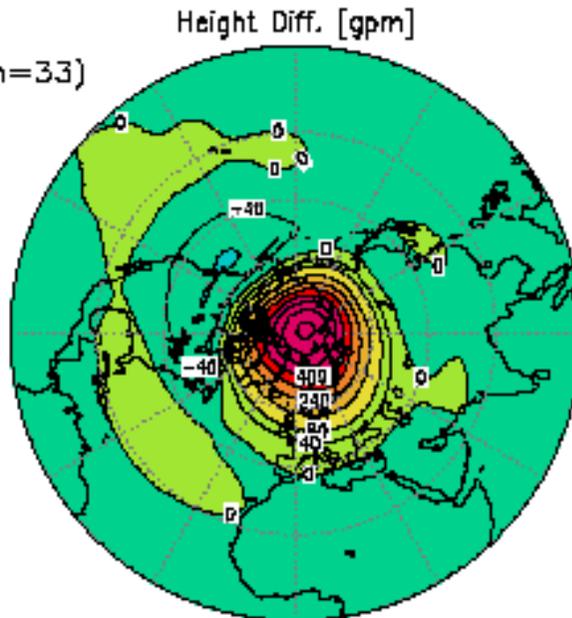
Height Diff. [gpm]

2月における30-hPa
geopotential heightと
solar fluxの相関 (左)



West (n=33)

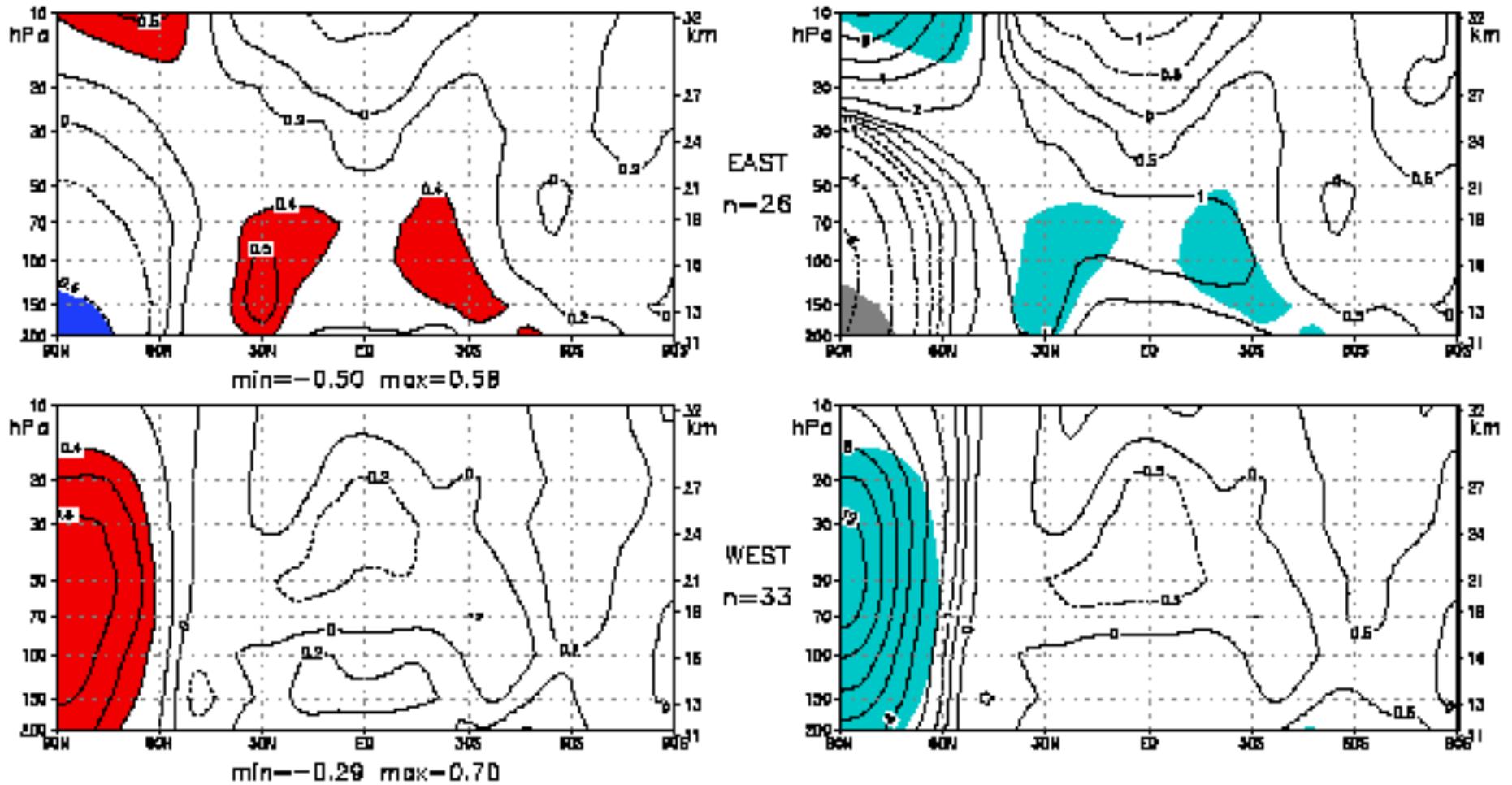
min=-0.26 max=0.68



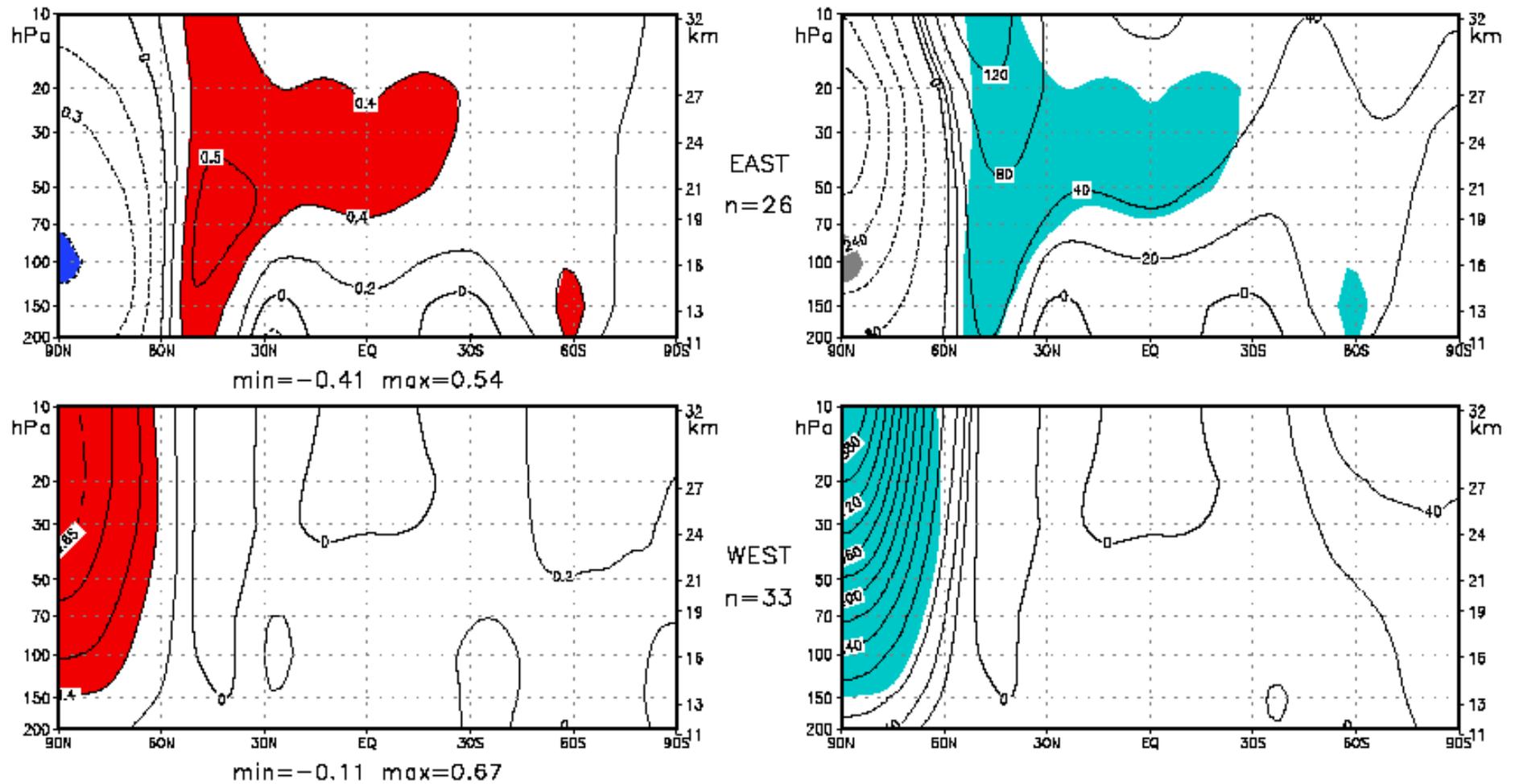
Height Diff. [gpm]

太陽活動極大期一極小
期のgeopotential height
の差(右)

成層圏の2月における平均温度とSolar fluxの相関(左)太陽活動極大期一極小期の温度差(右)の緯度、高度分布



成層圏の2月における平均geopotential heightとSolar fluxの相関(左)太陽活動極大期一極小期のgeopotential height差(右)の緯度、高度分布



Labitzke らの一連の研究から解ってきたこと

- QBOの西風、東風のphaseで分けると、
- 特に北半球高緯度域で、A-Oに類似した変動を示す。
 - East phaseかつ極大期で極域成層圏下部の温度は上がり、気圧は下がる
 - West phaseかつ極大期で極域成層圏下部の温度は下がり、気圧は上がる

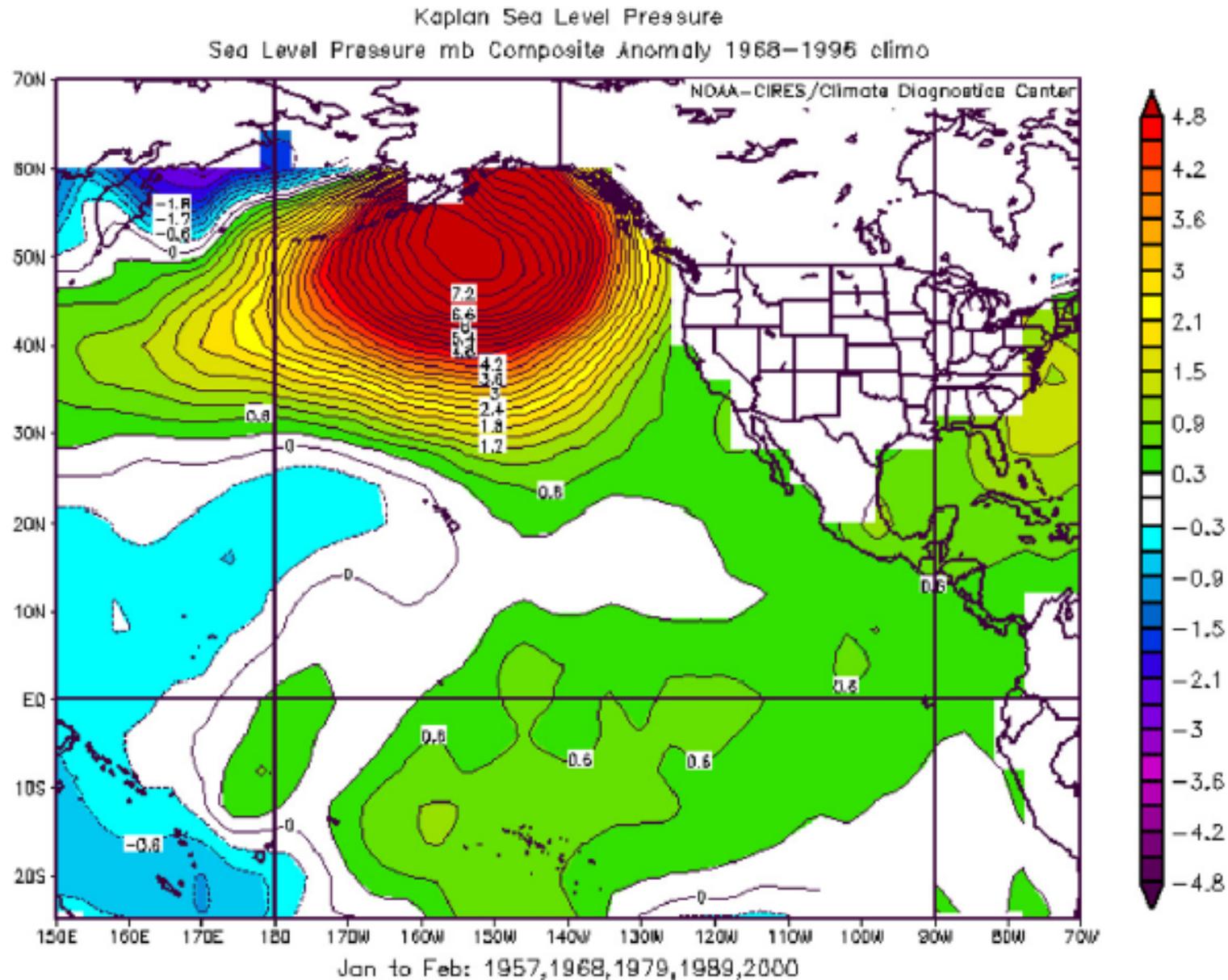
2.1.2 太陽活動と中～低緯度対流圏の気候変動

van Loon & Meehl (2008) JASTP

van Loon et al. (2004) JASTP

- 太平洋域の夏および冬について、
- 気温、気圧、降水量、風速の太陽活動極大期と極小期の差の空間分布を、
- 海面および子午面について調べた。

5つの太陽活動極大期の1-2月におけるSL Pressure Anomaly



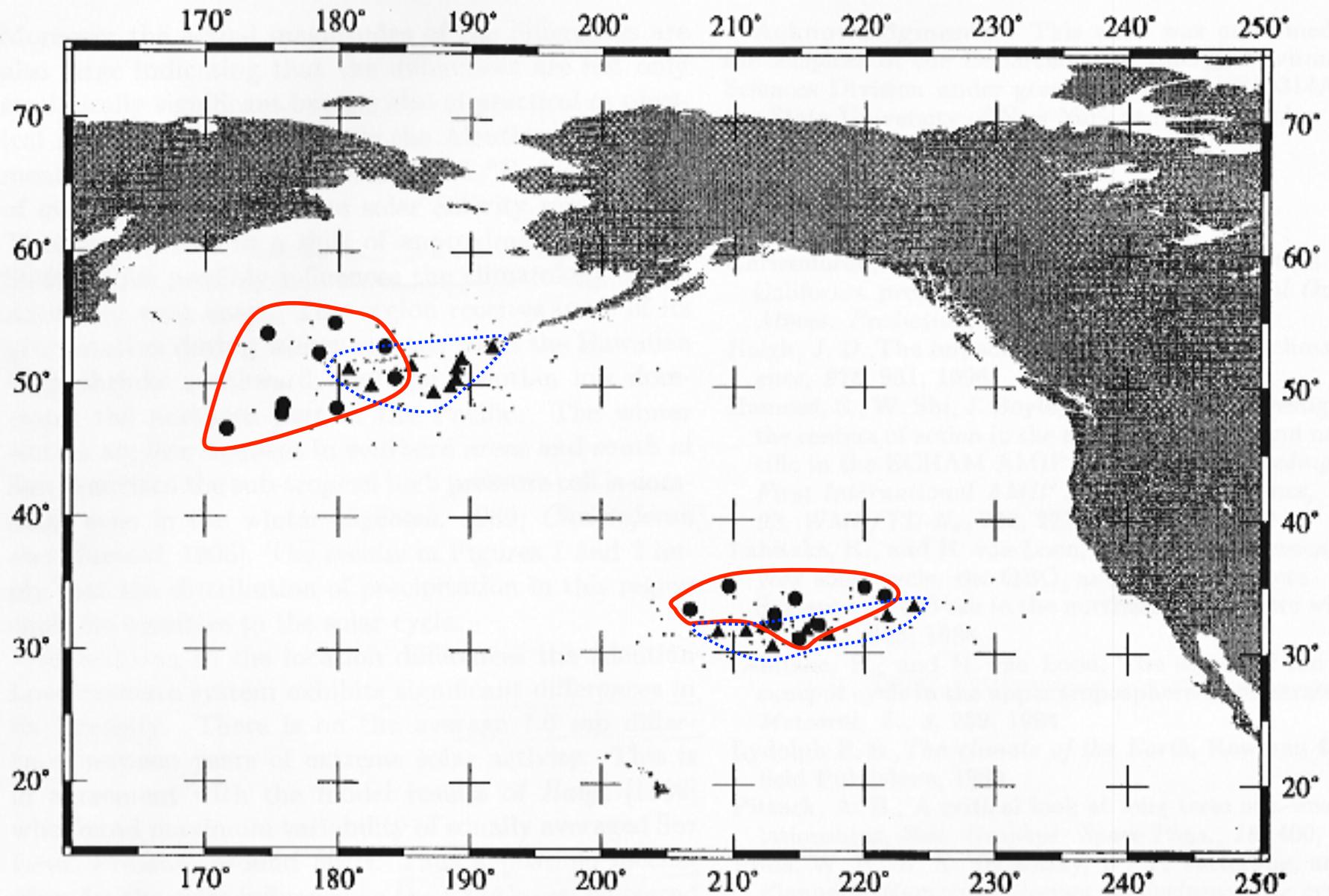
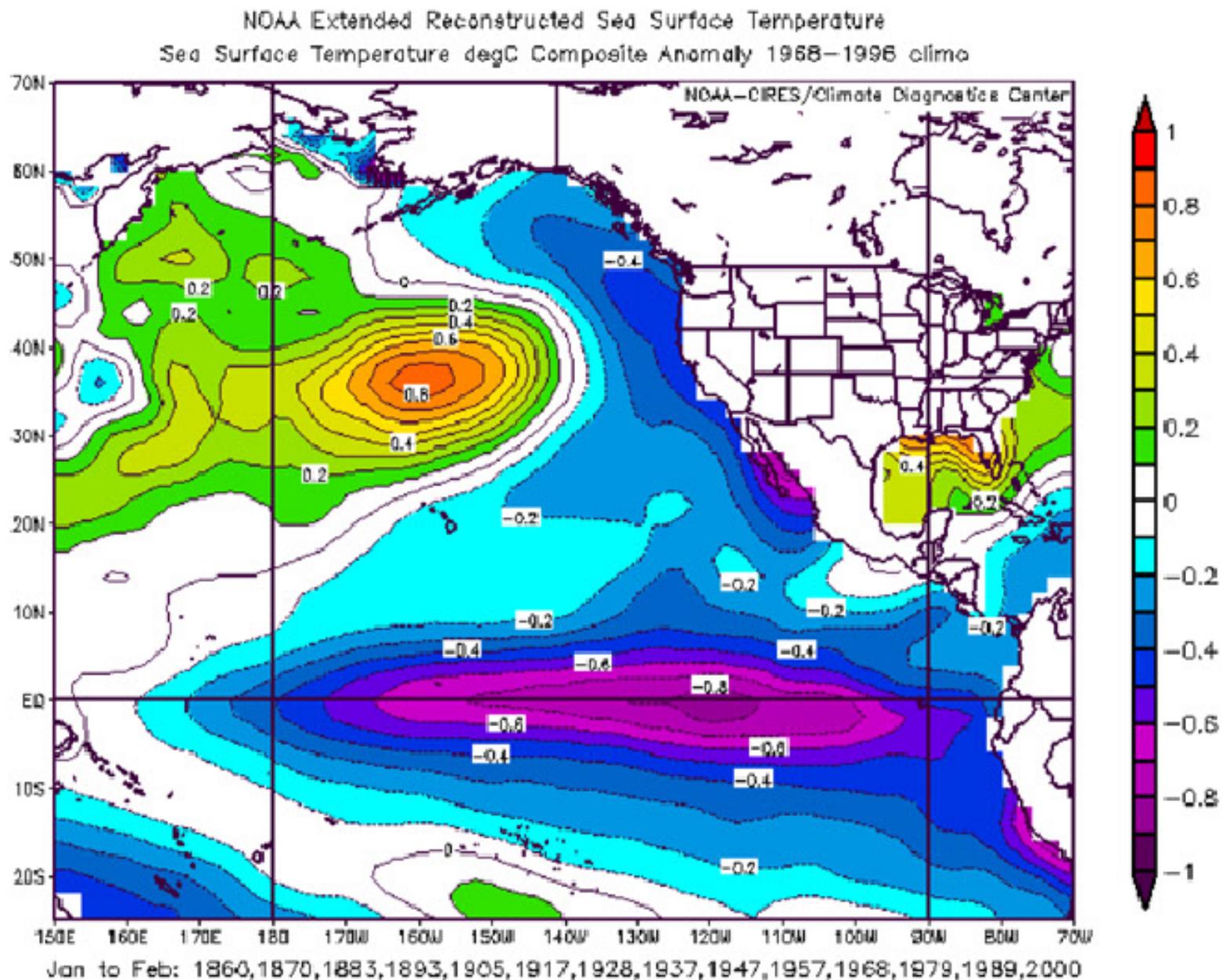


Figure 2. Locations of the two COAs in the Pacific Ocean. Dots indicate seasonal positions during 1900-1994, triangles indicate years of solar minima and solid circles indicate years of solar maxima

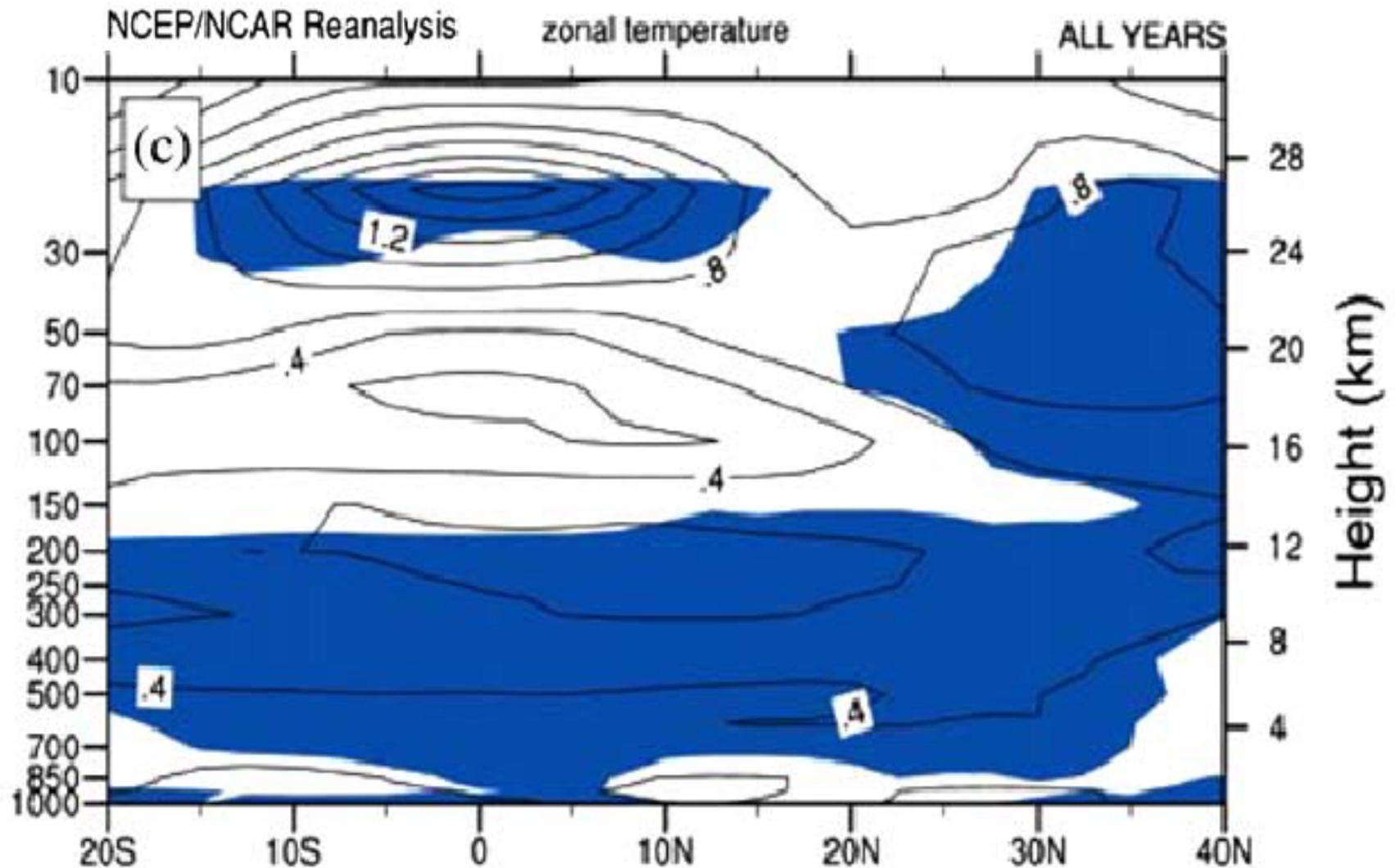
(Christoforou and Hameed, 1997)

5つの太陽活動極大期の1-2月におけるSST Anomaly



(van Loon & Meehl, 2008)

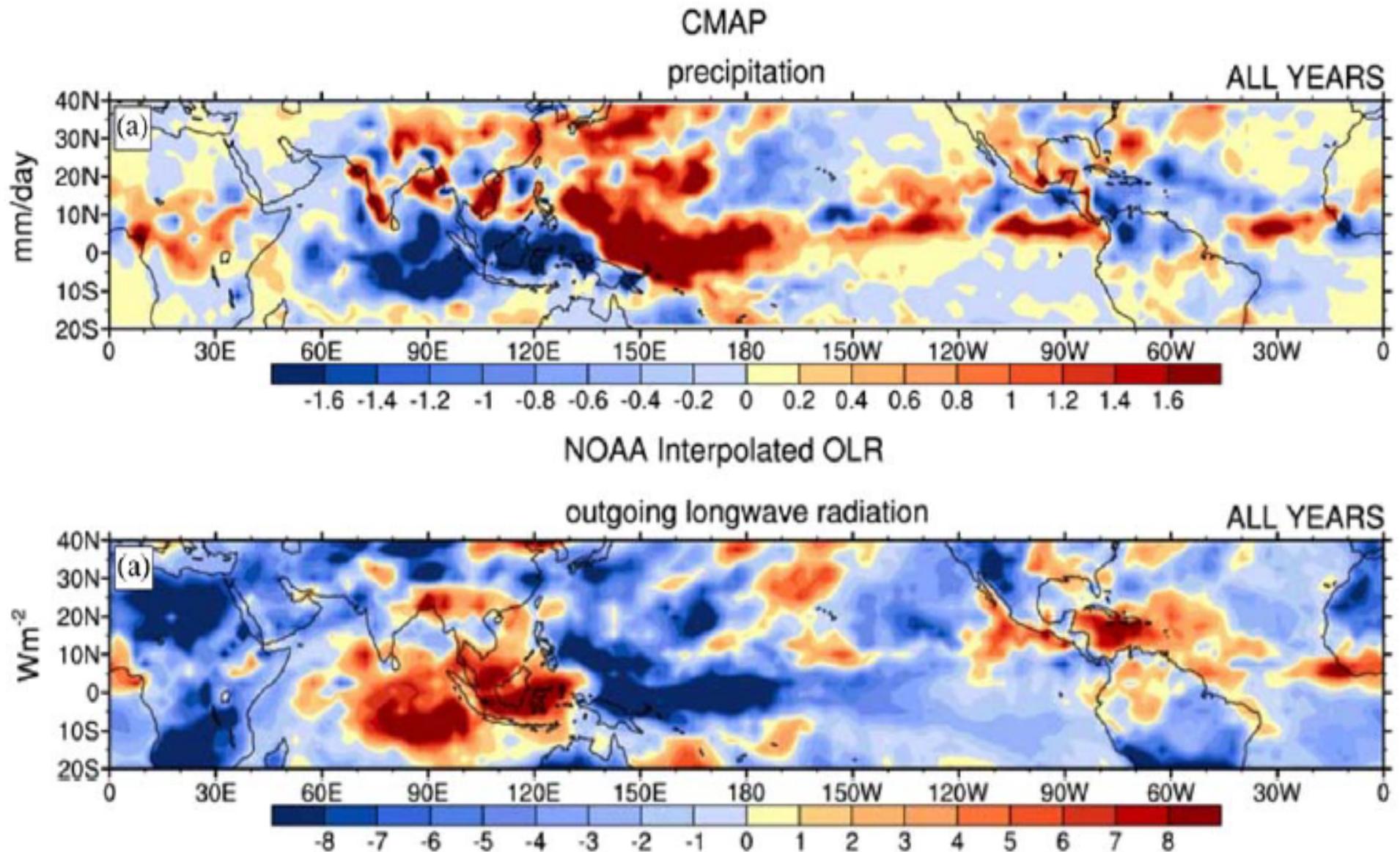
経度方向に平均した7-8月における太陽活動極大期一極小期の温度差



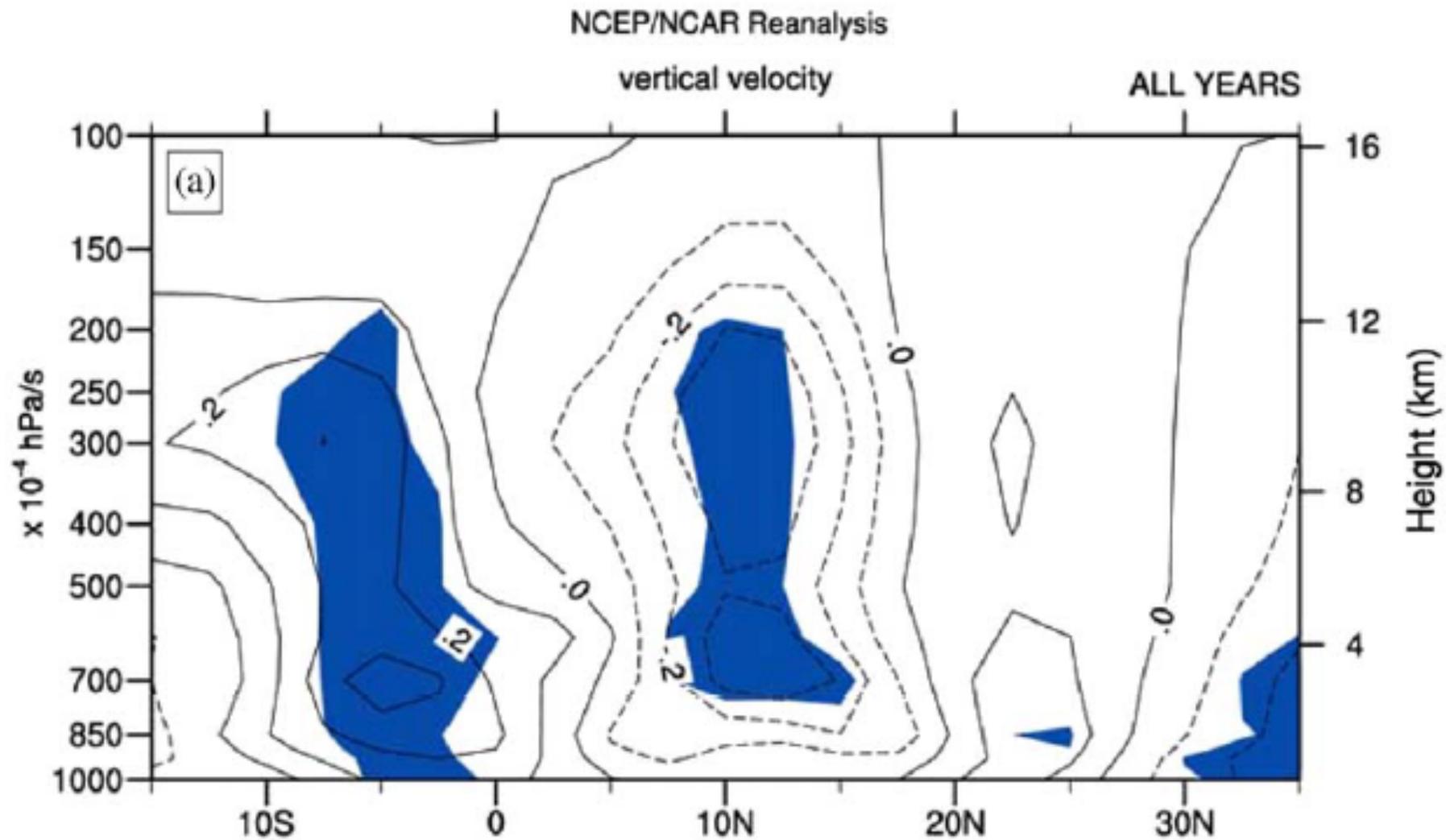
青色は統計的に有意な部分を示す。

対流圏ほぼ全域と成層圏の温度が上昇している

7-8月における太陽活動極大期一極小期の 降水量差(上)とOLR差(下)



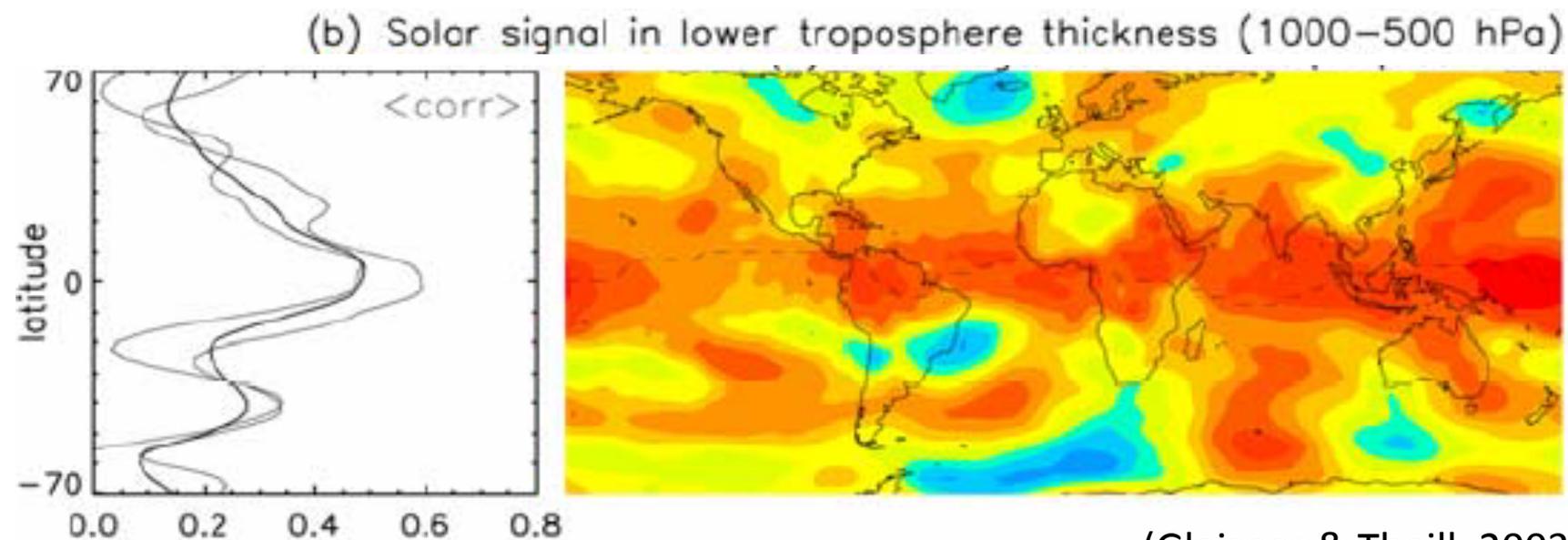
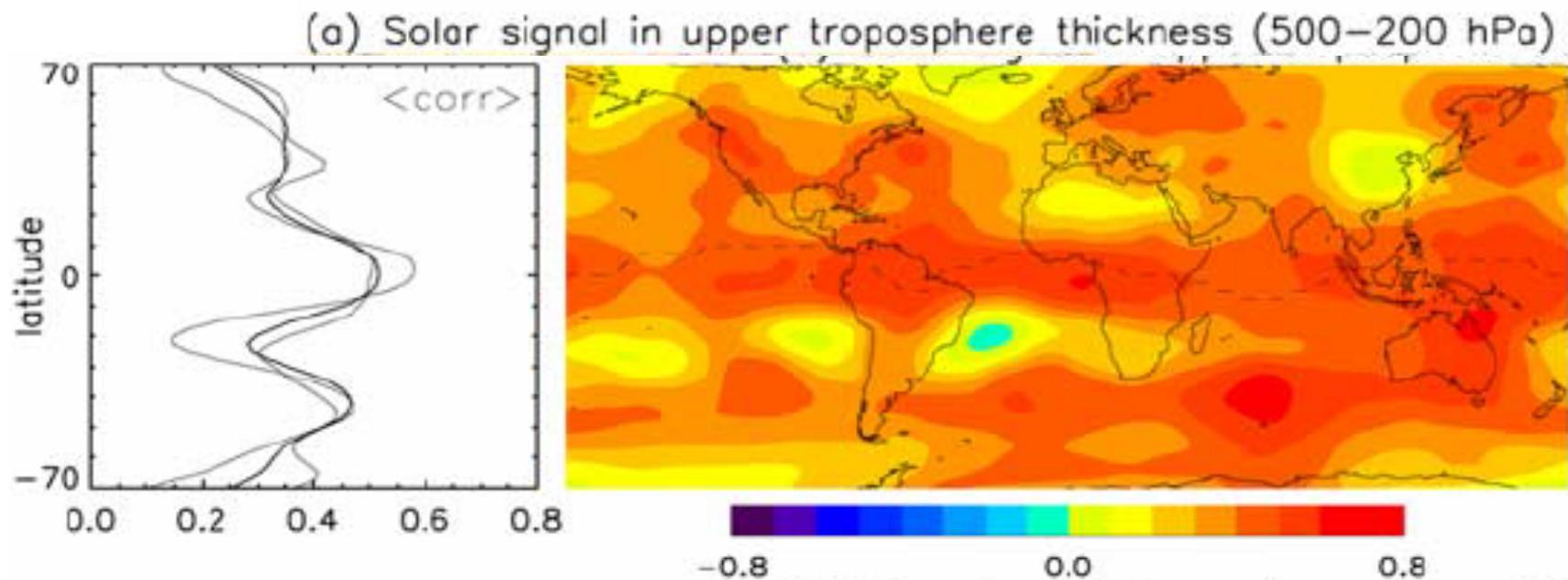
経度方向に平均した7-8月における 太陽活動極大期一極小期の鉛直方向の速度差



Gleisner & Thejll (2003) GRL

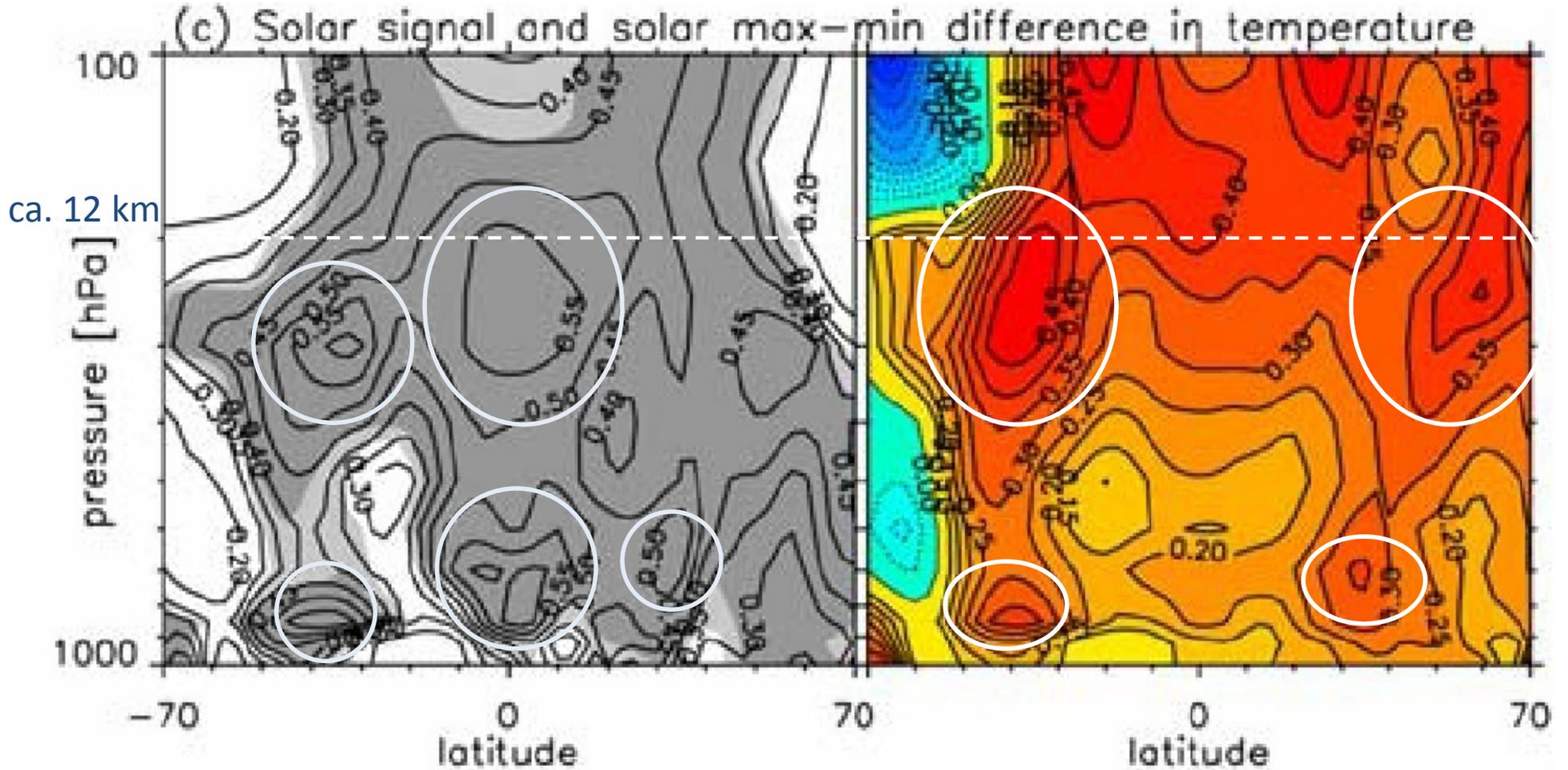
- NCEP/NCARの再解析データ(1958-2001)を用いて、
- 特にGeopotential height, temperature, vertical velocityについて、
- ENSOと火山噴火の影響を取り除いた上で、
- 太陽活動との相関のグローバルな空間分布を調べた。

成層圏上部、下部の厚さと太陽活動(F10.7)との相関



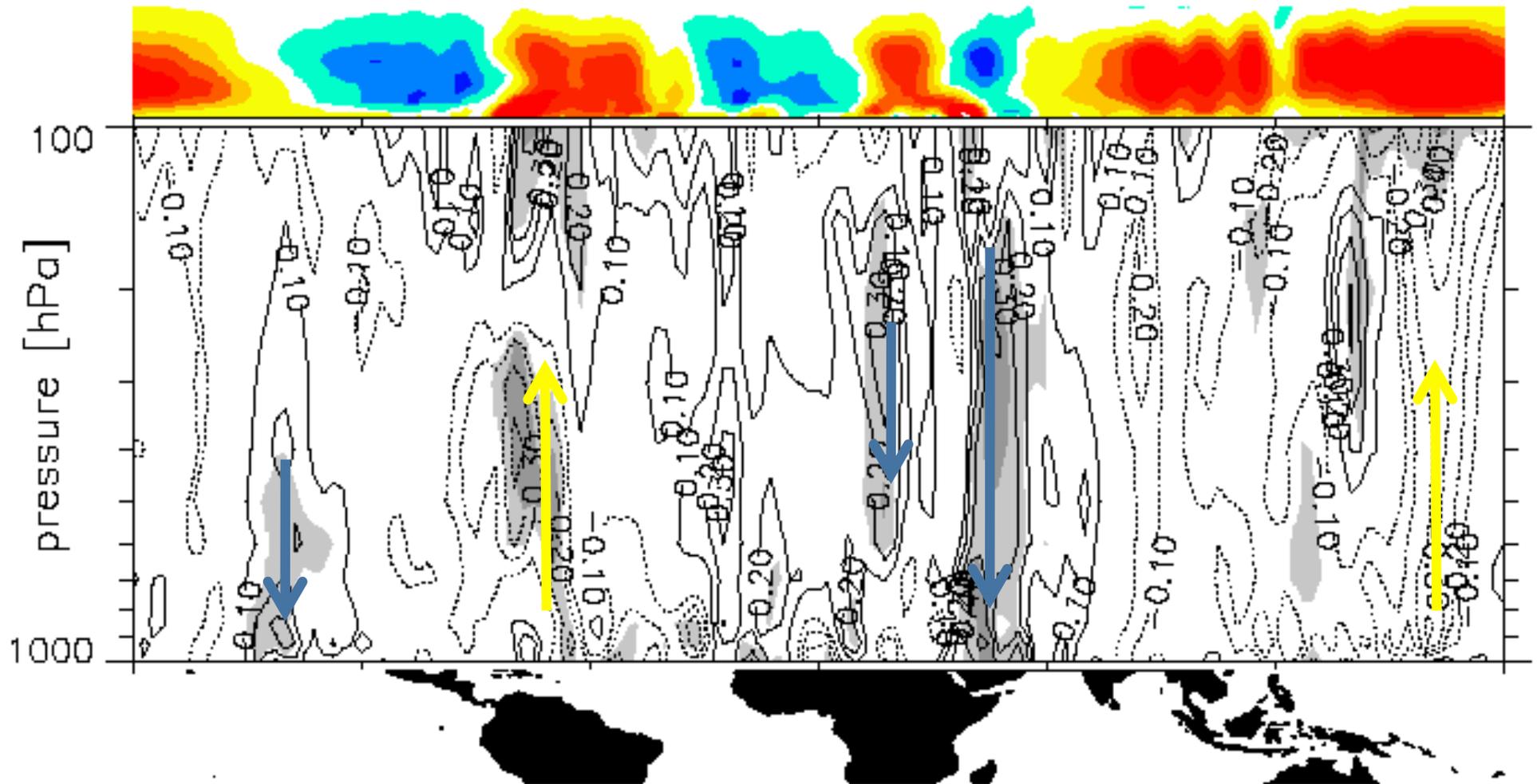
(Gleisner & Thejll, 2003 GRL)

経度方向に平均した気温とF10.7の相関の子午面分布 (左)、とその太陽活動極大期極小期の差(右)

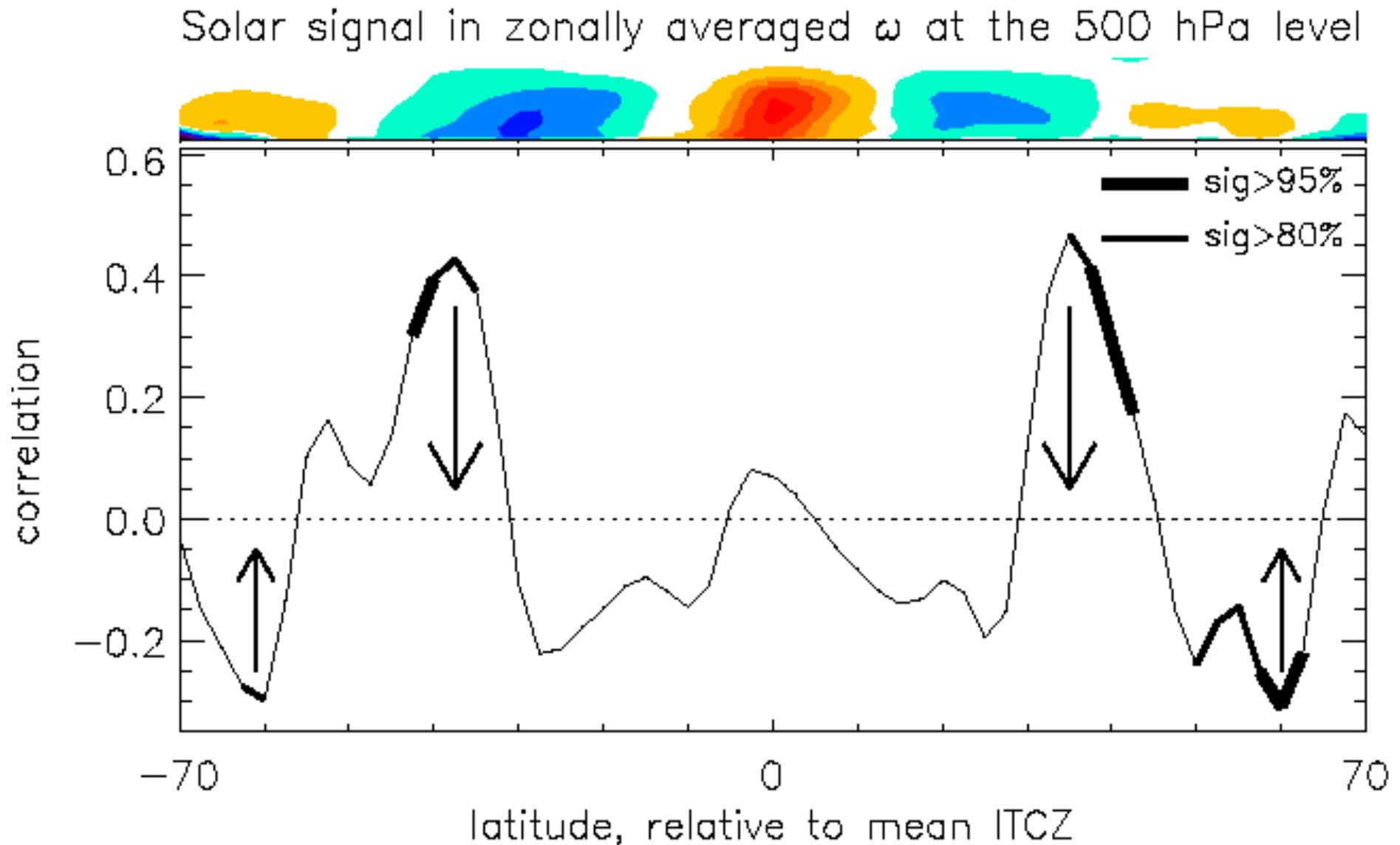


赤道域(12.5 S-12.5N)における鉛直方向の風速とF10.7の相関の経度方向分布

(b) Solar signal in meridionally averaged ω



500 hPaでの鉛直方向風速とF10.7の相関の緯度方向変化



中～低緯度域について

11年周期の太陽活動が、

- 子午面循環(Hadley, Farrel循環)および経度方向の循環に、影響を与えていること、
- 太陽活動極大期にHadley循環、Farrel循環が強化すると共に高緯度側に拡大
- その結果の変動が、赤道域および中緯度域(40度付近)に顕著に出ていること、

が明らかになってきた。

2.1.3 太陽活動と雲量変動

Svensmarkらの一連の研究

- Svensmark & Friis-Christensen (1997) JASTP
- Svensmark (1998) PRL
- Marsh & Svensmark (2000) PRL
- Svensmark (2007) A &G

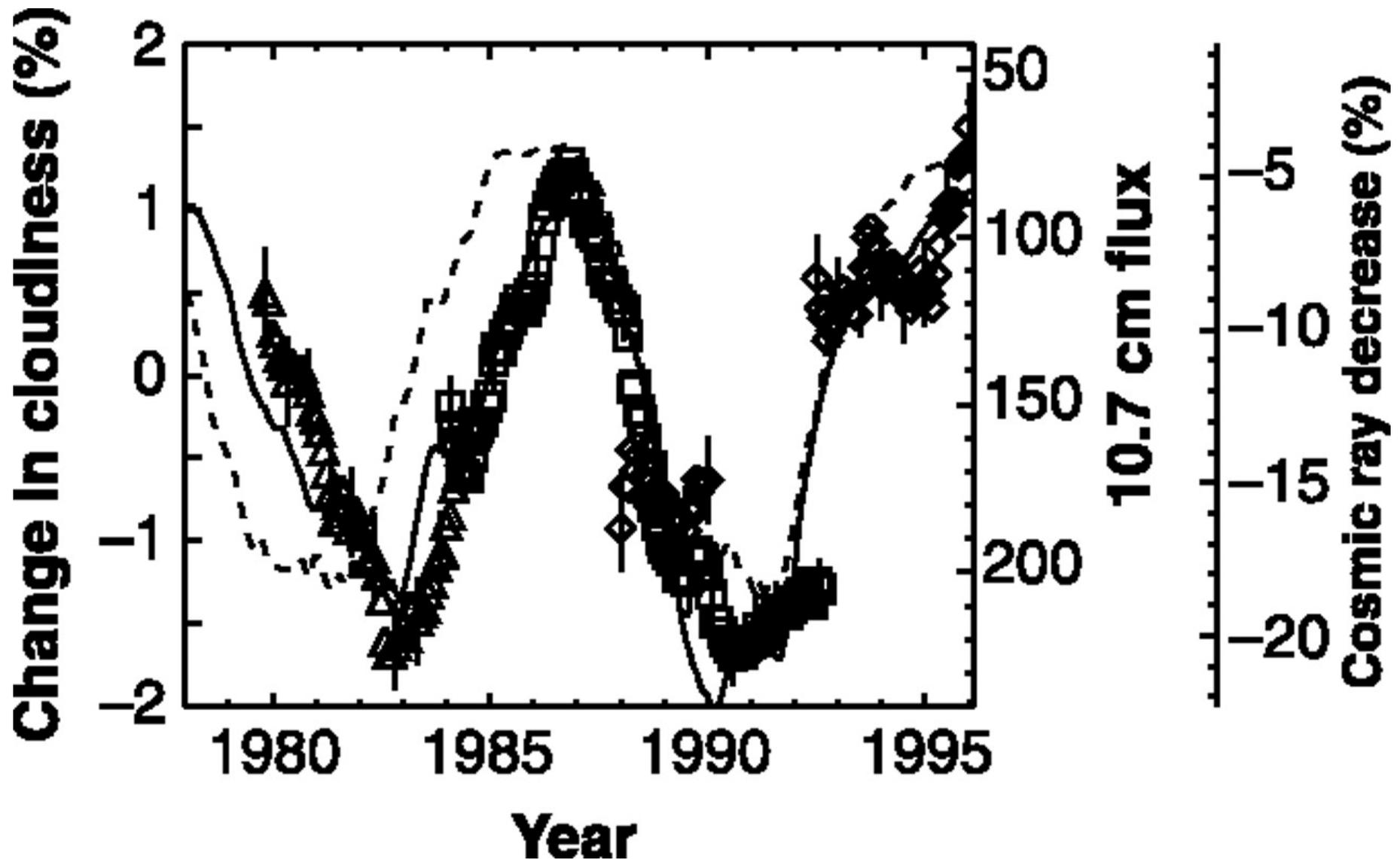
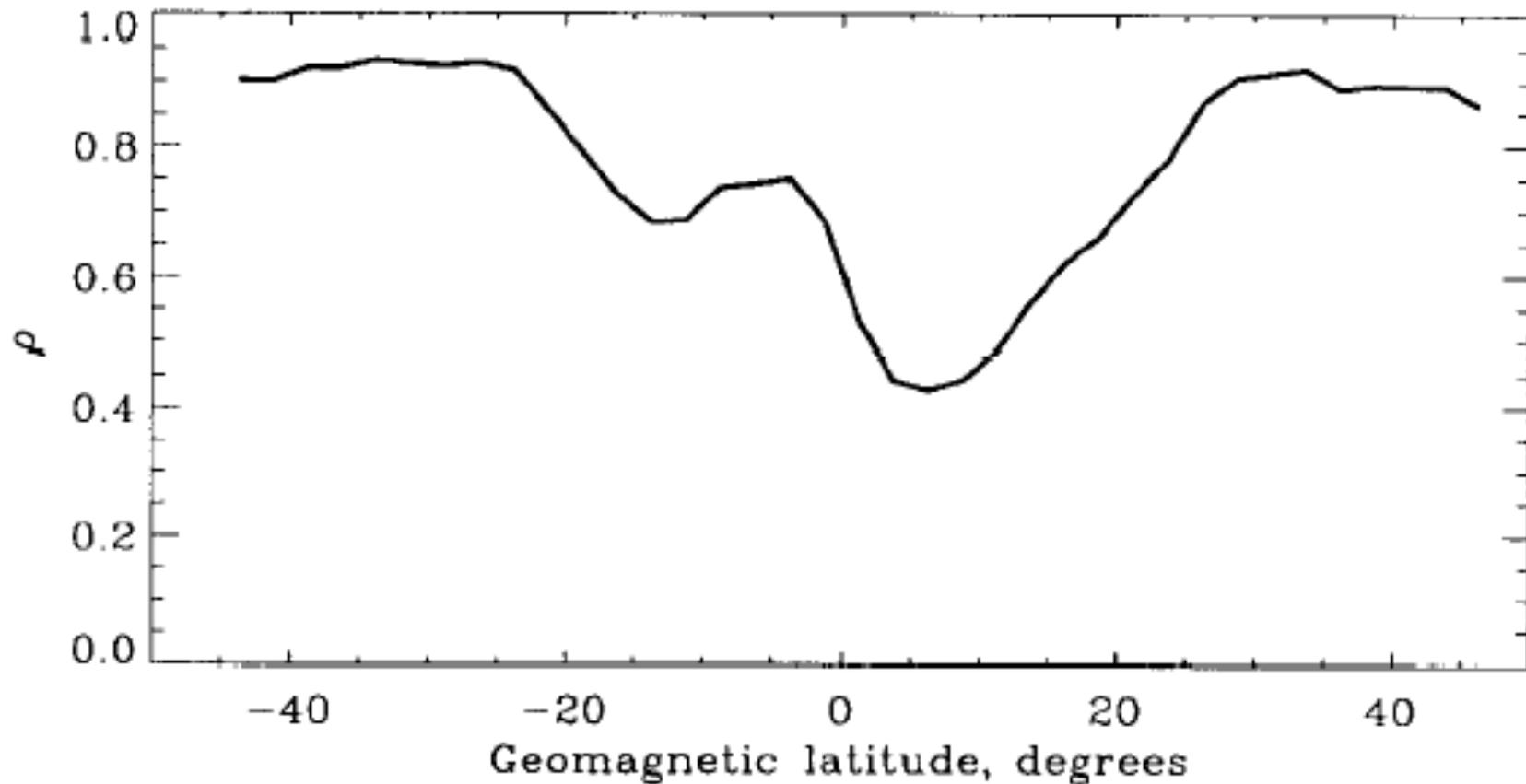
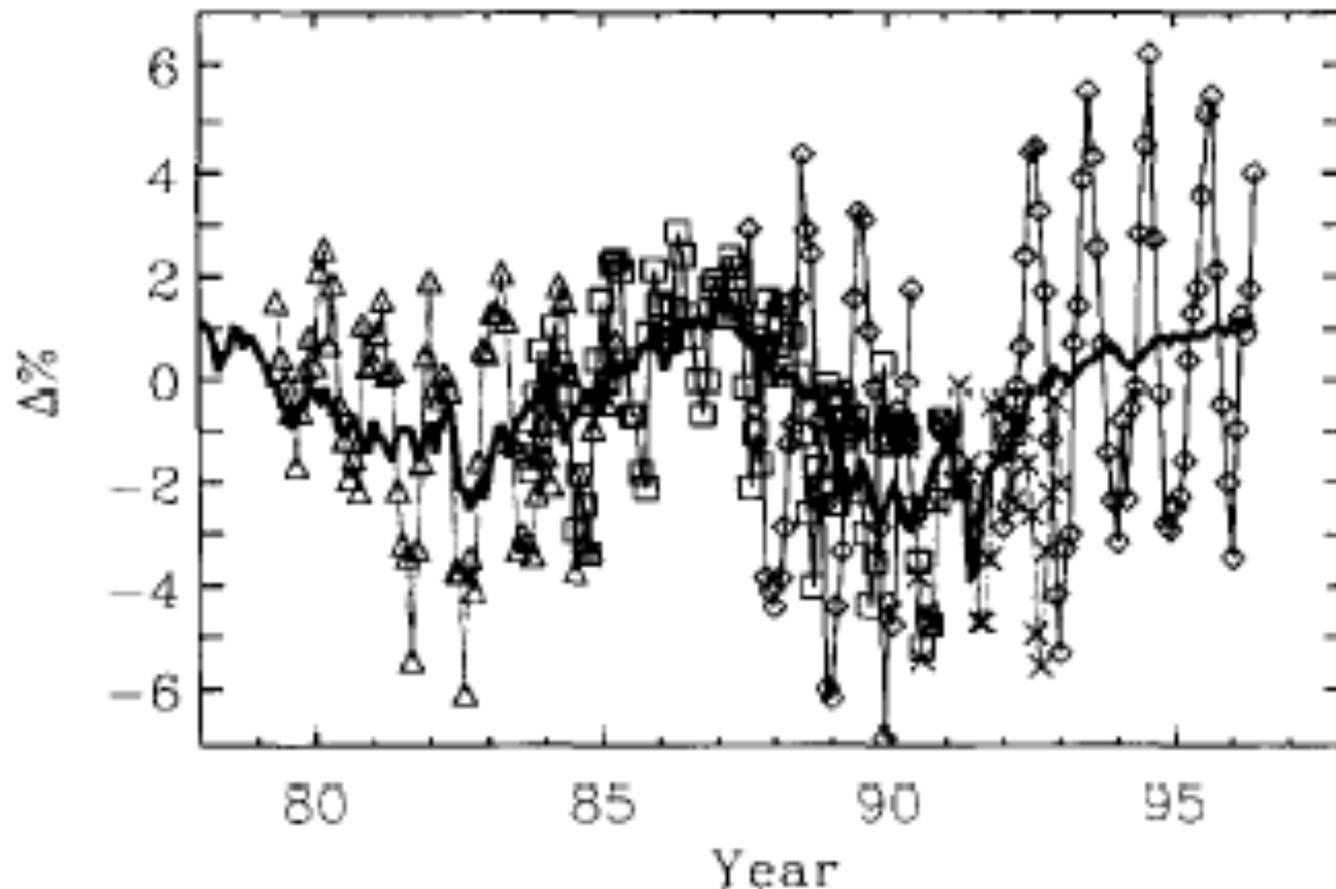


Fig. 5. Changes in cloud cover compared with the variation in cosmic ray fluxes (solid curve) and 10.7 cm solar flux (broken curve). Data is from Nimbus 7 and Defense Meteorological Satellite Program (DMSP) (SHover oceans) and International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP) over oceans with the tropics excluded. All data smoothed with a 12-month running mean.

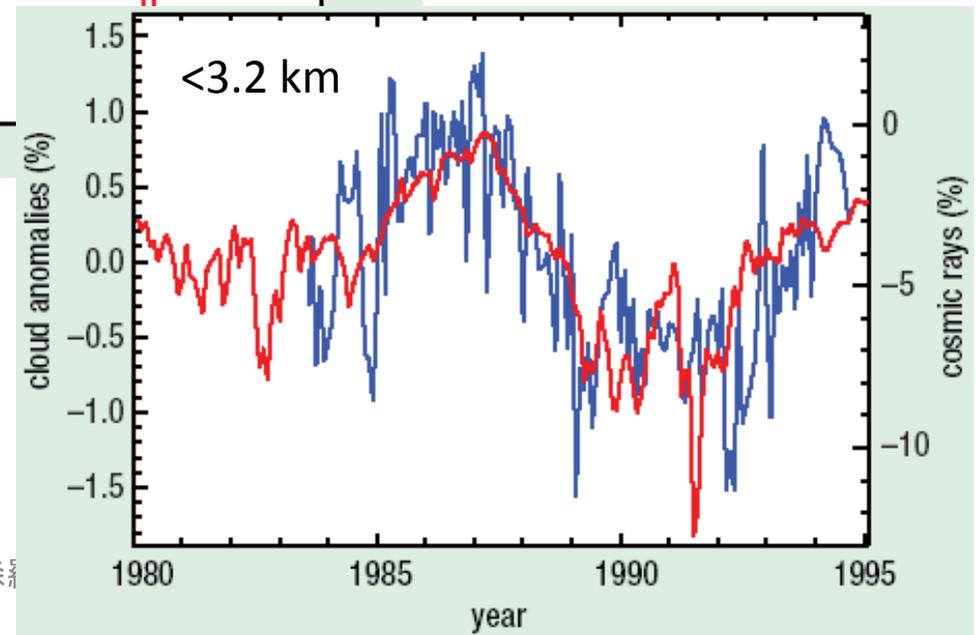
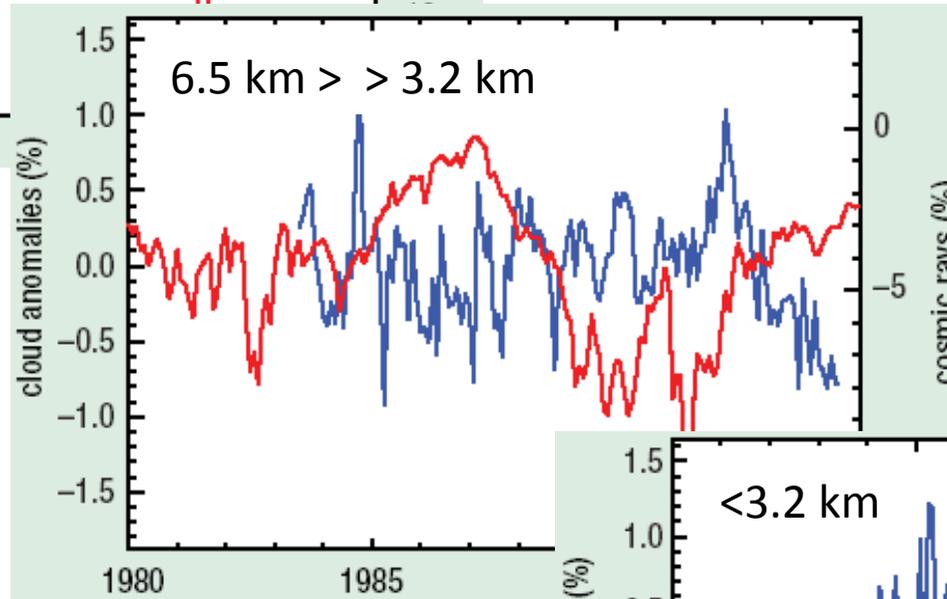
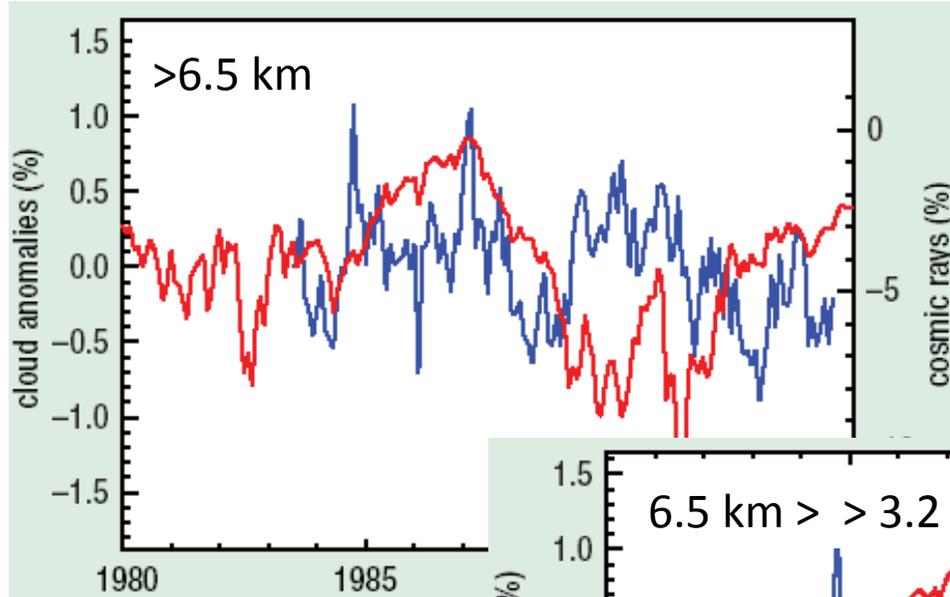
赤道域では、cosmic ray fluxとcloud cover の相関が低い



- 静止衛星のデータのみ使用(4つの衛星のcomposite)
- 海上のデータのみ使用
- 12か月のフィルターでスムージング
- 赤道域(22.5N> >22.5S)は除外



太陽活動と雲量変動 (赤道域含む)

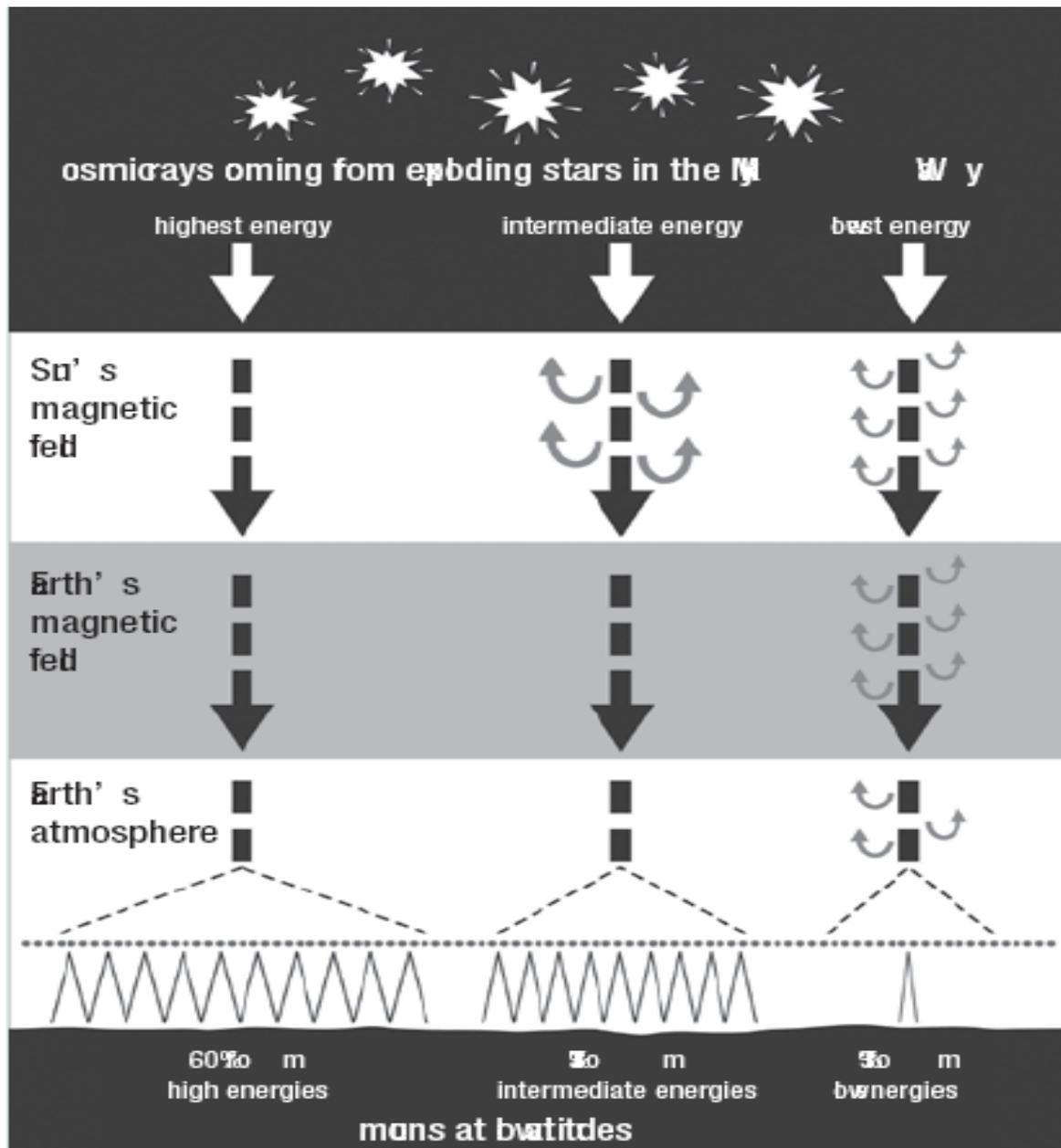


低層 (< 3.2 km) でのみ
良い相関がみられる

(Svensmark, 2007 A&G)

20100223-24 森

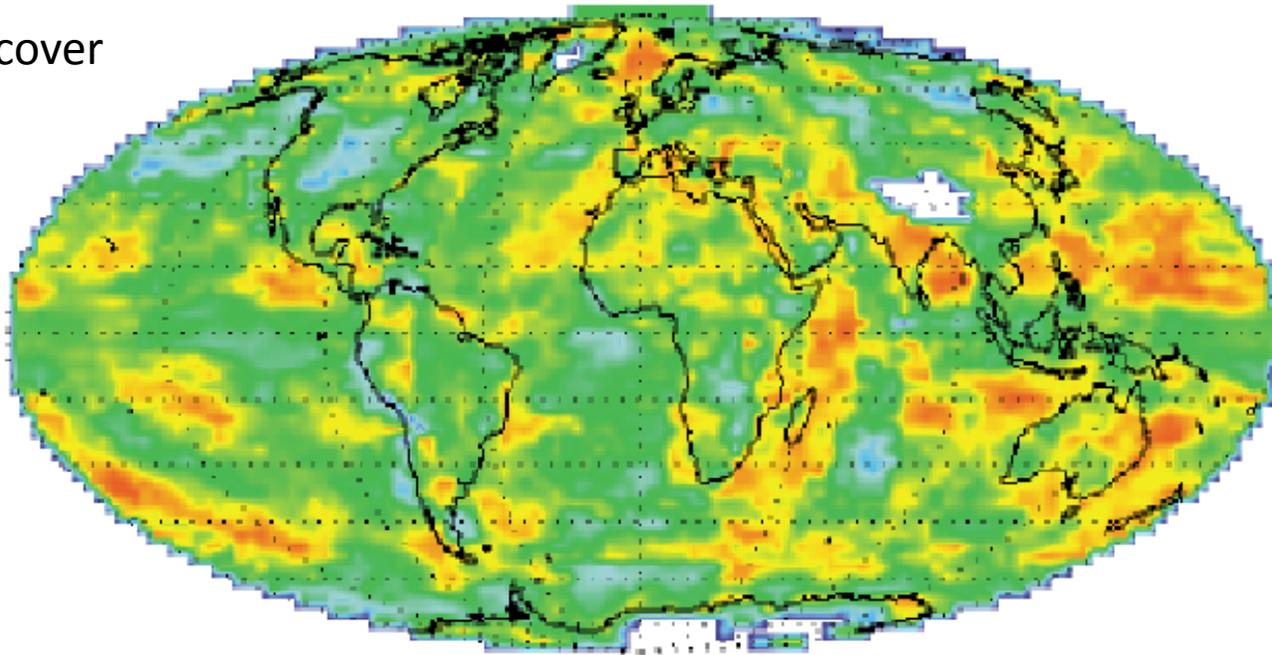
何故、下層大気でのみGCRと雲量が相関するのか？



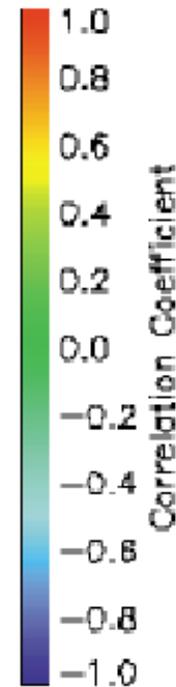
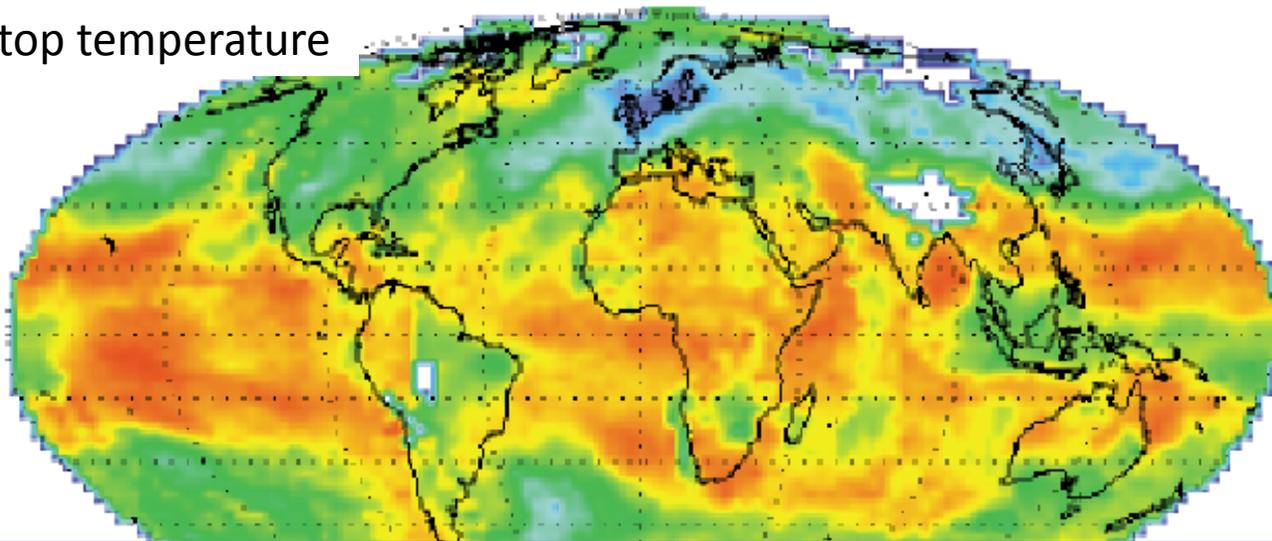
エアロゾルと反応してイオンを作り、雲の形成を促進する働きをする
muonは、高エネルギーのGCRに多く含まれ、その影響は、大気低層まで到達する。一方、中から低エネルギーのGCRは、大気上層部でイオンを生み出しつつ減衰する。その結果、大気中～上層では、イオンは過剰に存在するようになるが、下層では、不足状態が続く。

(Svensmark, 2007 A&G)

Low IR cloud cover

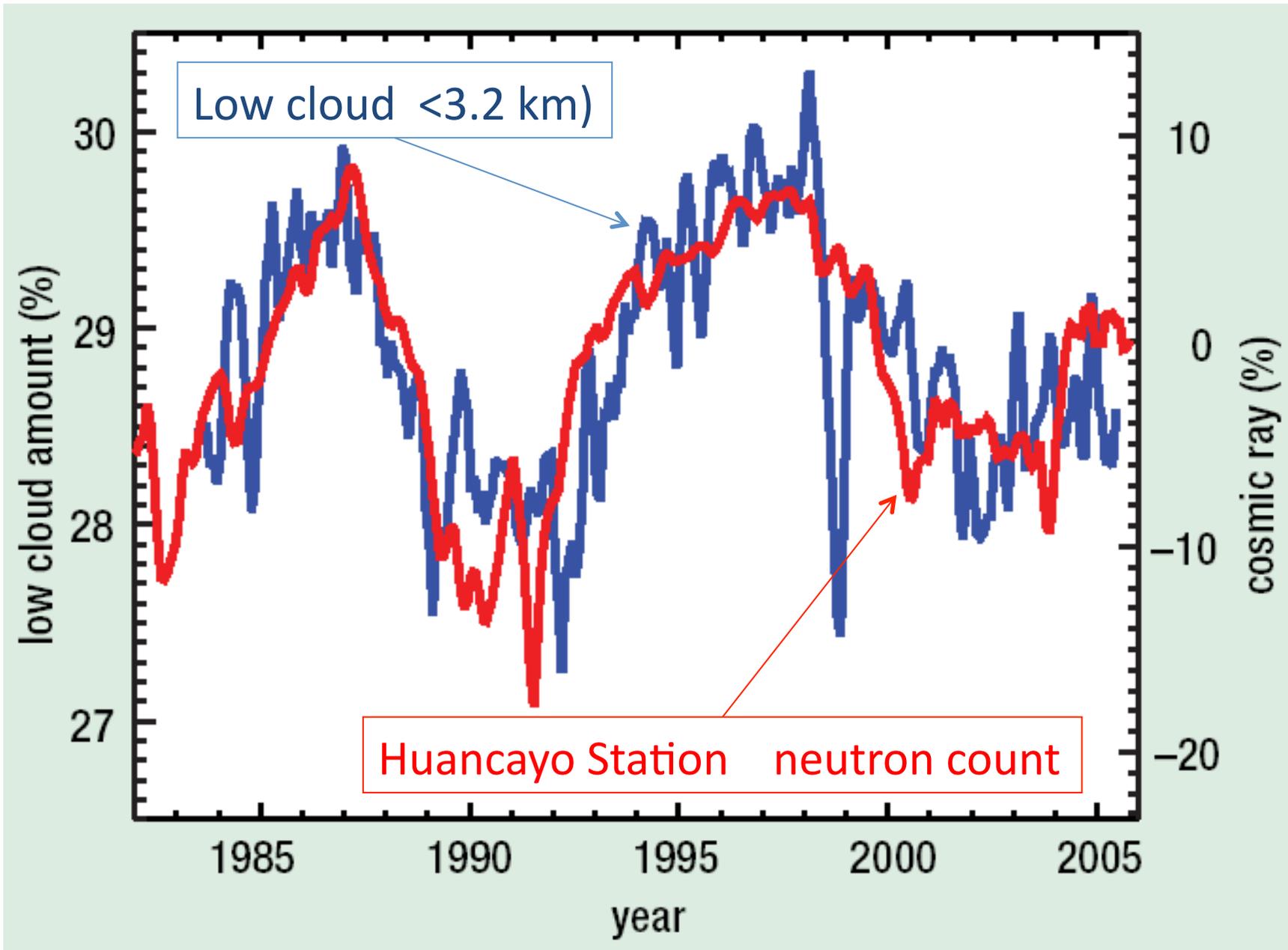


Low IR cloud top temperature

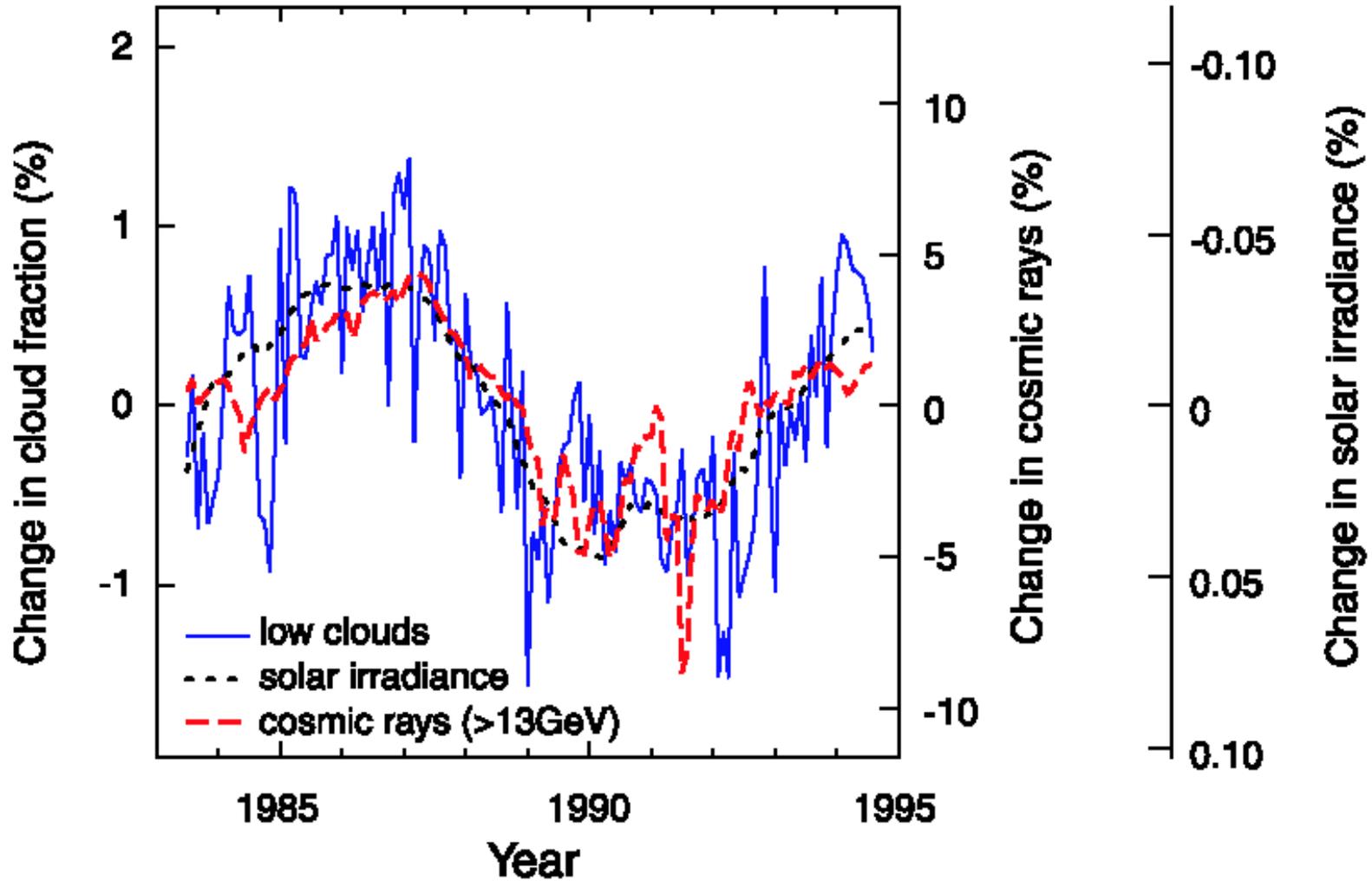


中・低緯度域でGCRとの正相関が強い。北半球高緯度域で逆相関が見える。

(Marsh & Svensmark, 2000)



雲量の変動は、Solar irradianceの変化とも良く合っている

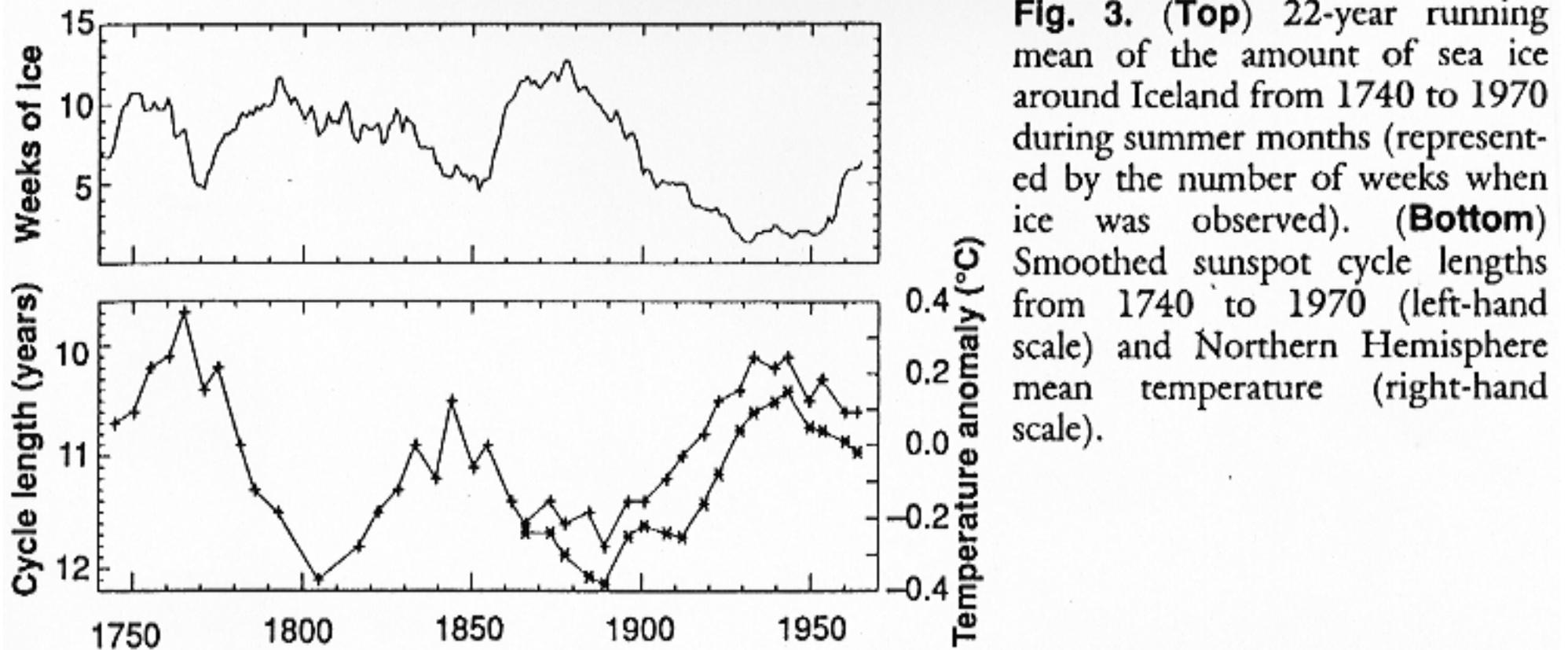


Svensmarkらが示したこと

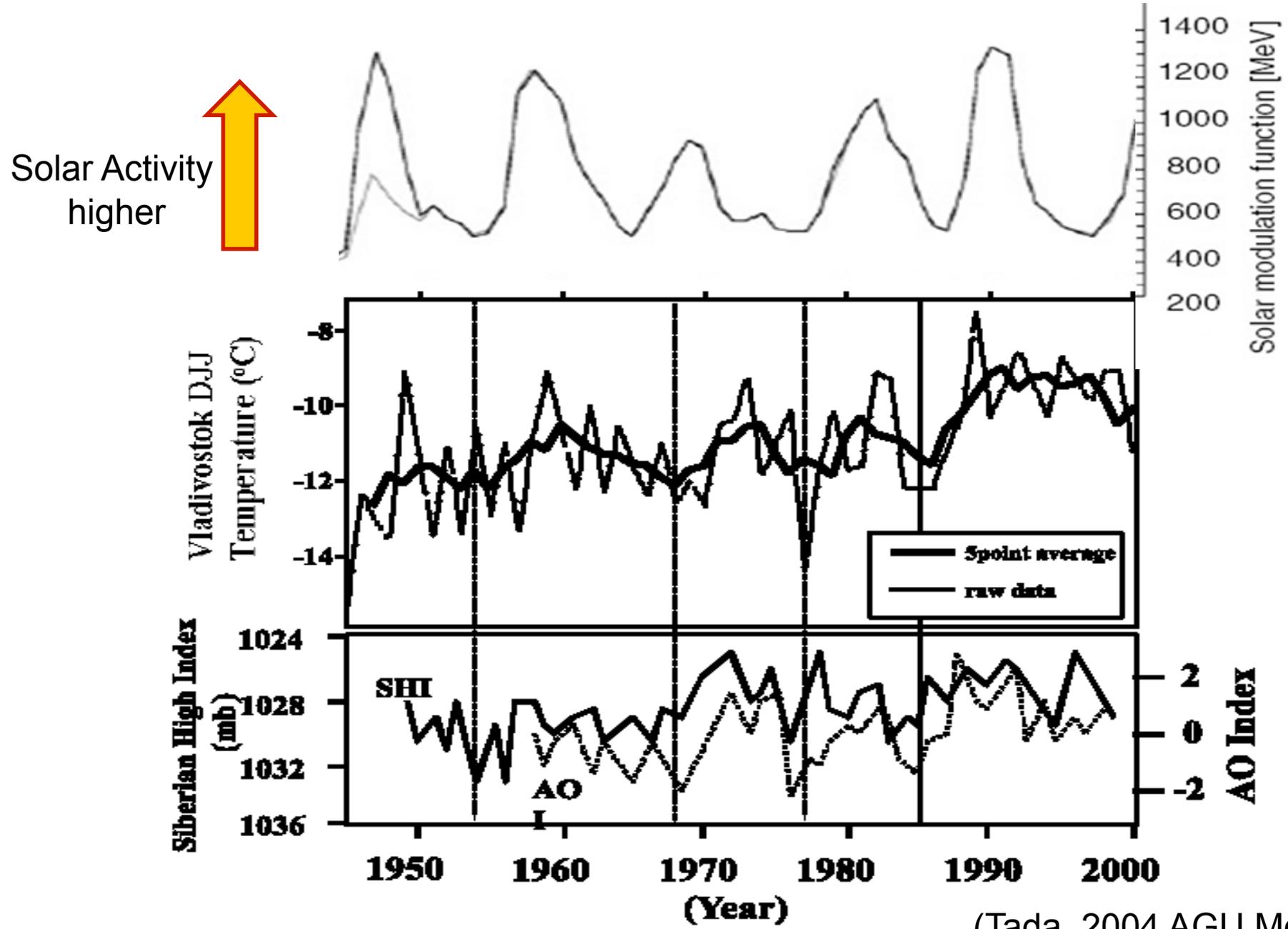
- 対流圏低層のCloud cover変動は、GCRの変動と一番相関が強い(但し、総放射量変動とも相関)
- 中～低緯度でCloud coverとの相関が高い。高緯度域ではどちらかと言えば逆相関
- 太陽活動大 → GCR小 → cloud cover小 → 温度上昇
- Cloud cover変動の振幅は、2%程度。相対変動幅として、7%前後
- これは、Svensmark (2007)によると、 1.2 w/m^2 の変化に相当(ただし、どの様に推定されたか、詳細は不明)

2.1.4 太陽活動と環境変動

北大西洋高緯度海域における夏の海氷量と太陽黒点周期の長さおよび北半球平均気温との関係



太陽活動とAsian Winter Monsoon



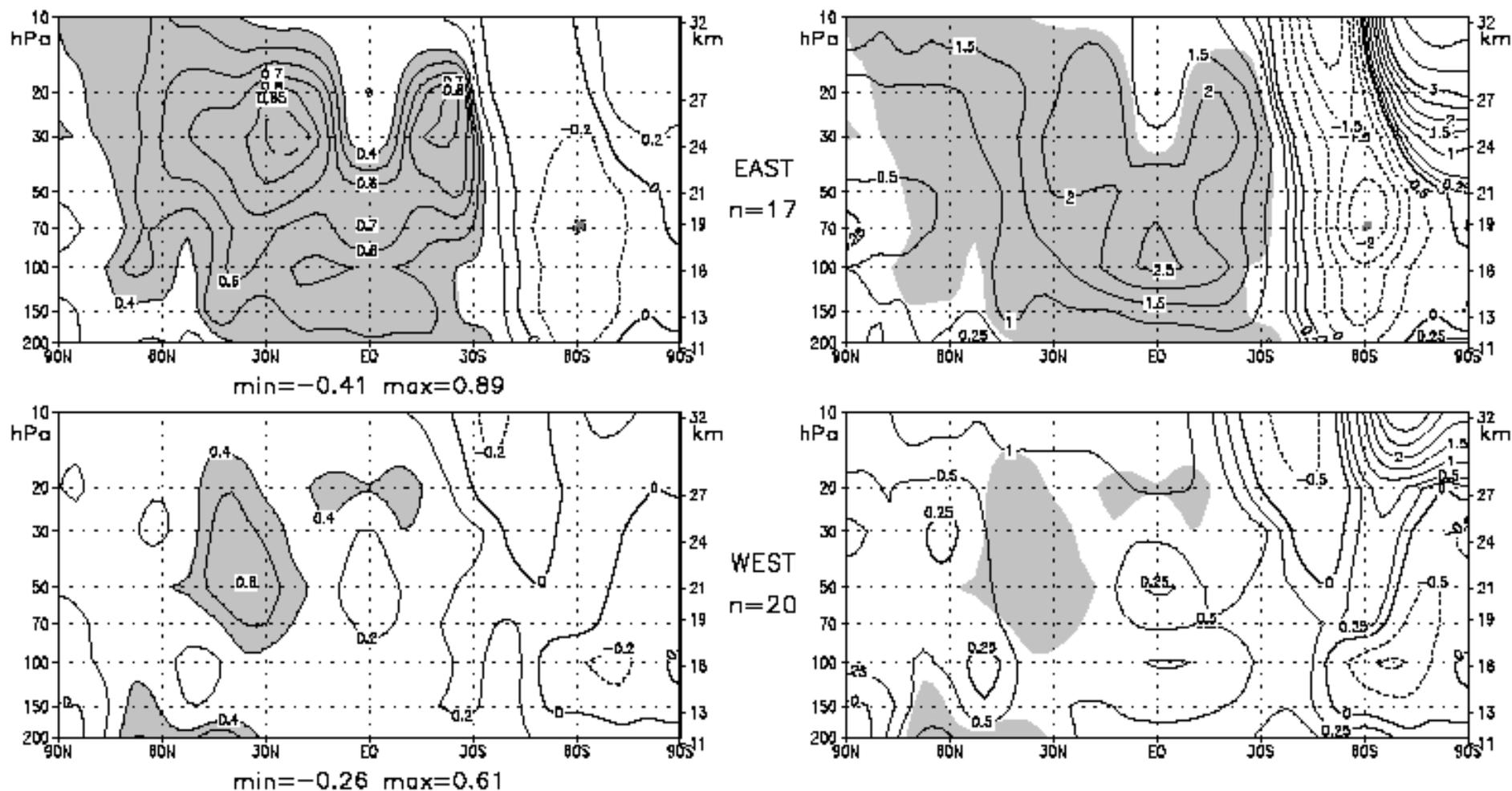
(Tada, 2004 AGU Monogr.)

まとめ

1. 赤道域および中緯度域の対流圏(および成層圏)において、太陽活動に伴った気温、気圧、降水量などの変動が起こっている。
2. こうした変動は、ハドレー、ファレル循環の強度や幅の変動、ウォーカー循環の変動を反映していると考えられる。
3. 北半球高緯度域の成層圏(および対流圏上部)においては、QBOのphaseで仕分けすると、AOに似たパターンの気温や気圧の変動が見えてくる。
4. また、アリューシャン低気圧の位置や強度を通じて、その影響は海面にまで達している。
5. 低層雲量も太陽活動に伴って変動しているが、その変動は、中緯度に限られる。

参考

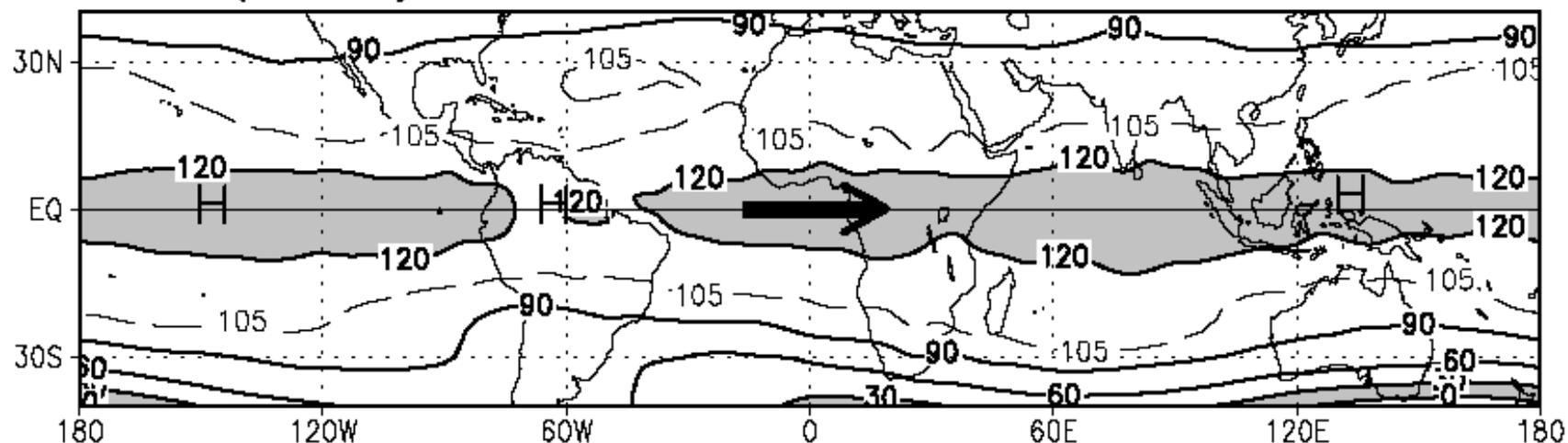
成層圏の7-8月における平均温度とSolar fluxの相関 (左) 太陽活動極大期一極小期の温度差(右)の緯度、 高度分布



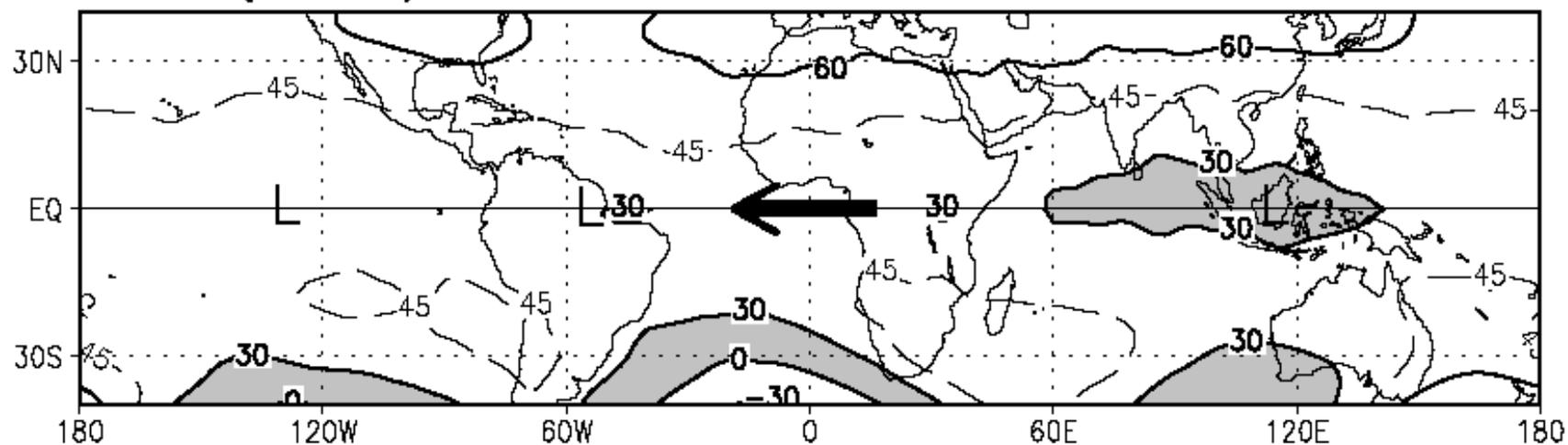
参考

7月における太陽活動極大期一極小期の geopotential heightの差

East (n=17)



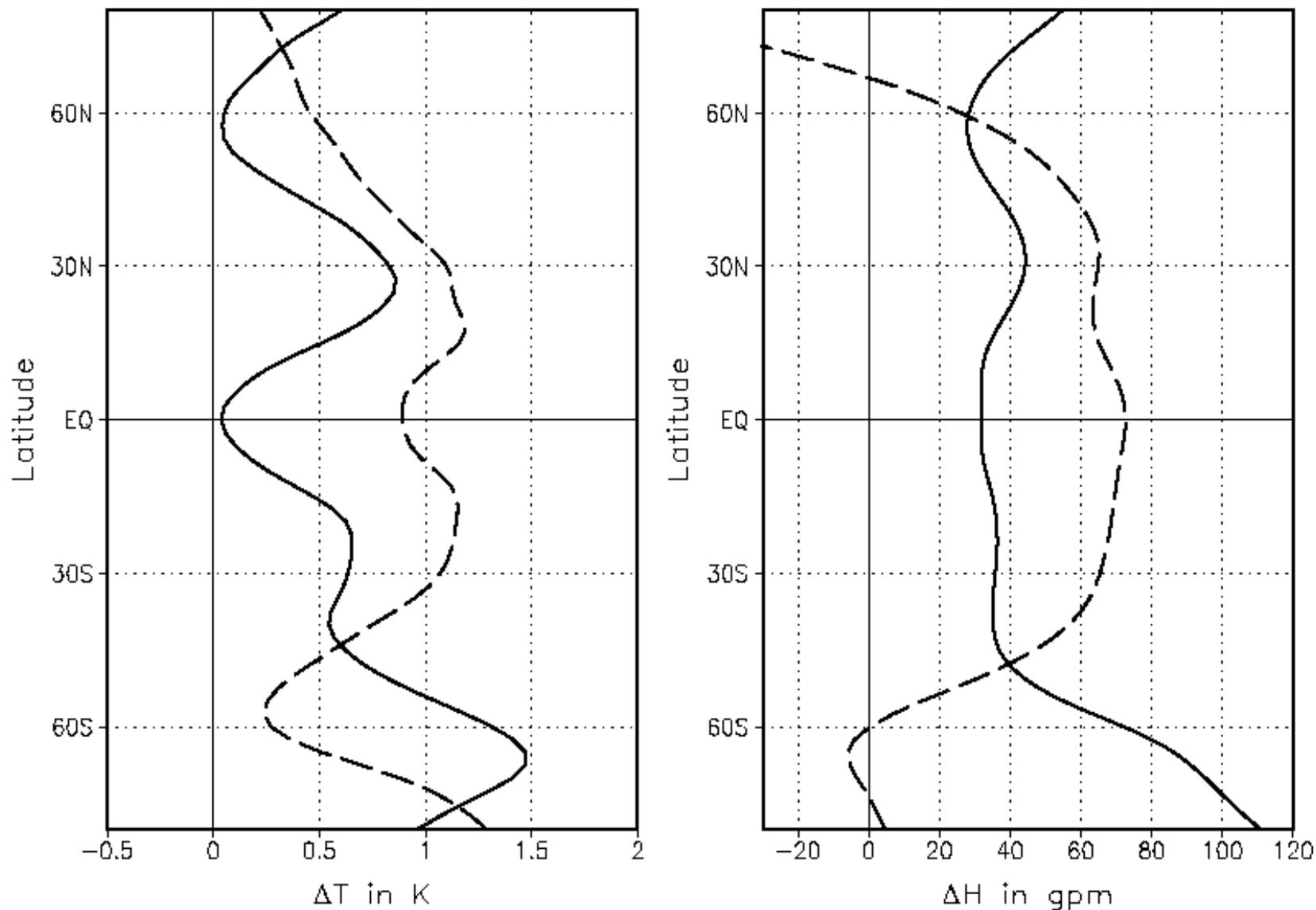
West (n=20)



(Labitzke, 2006 SSR)

参考

30 hPaにおける年平均温度(左)およびgeopotential height(右)の太陽活動極大期一極小期の差の子午面分布



(Labitzke, 2006 SSR)

参考

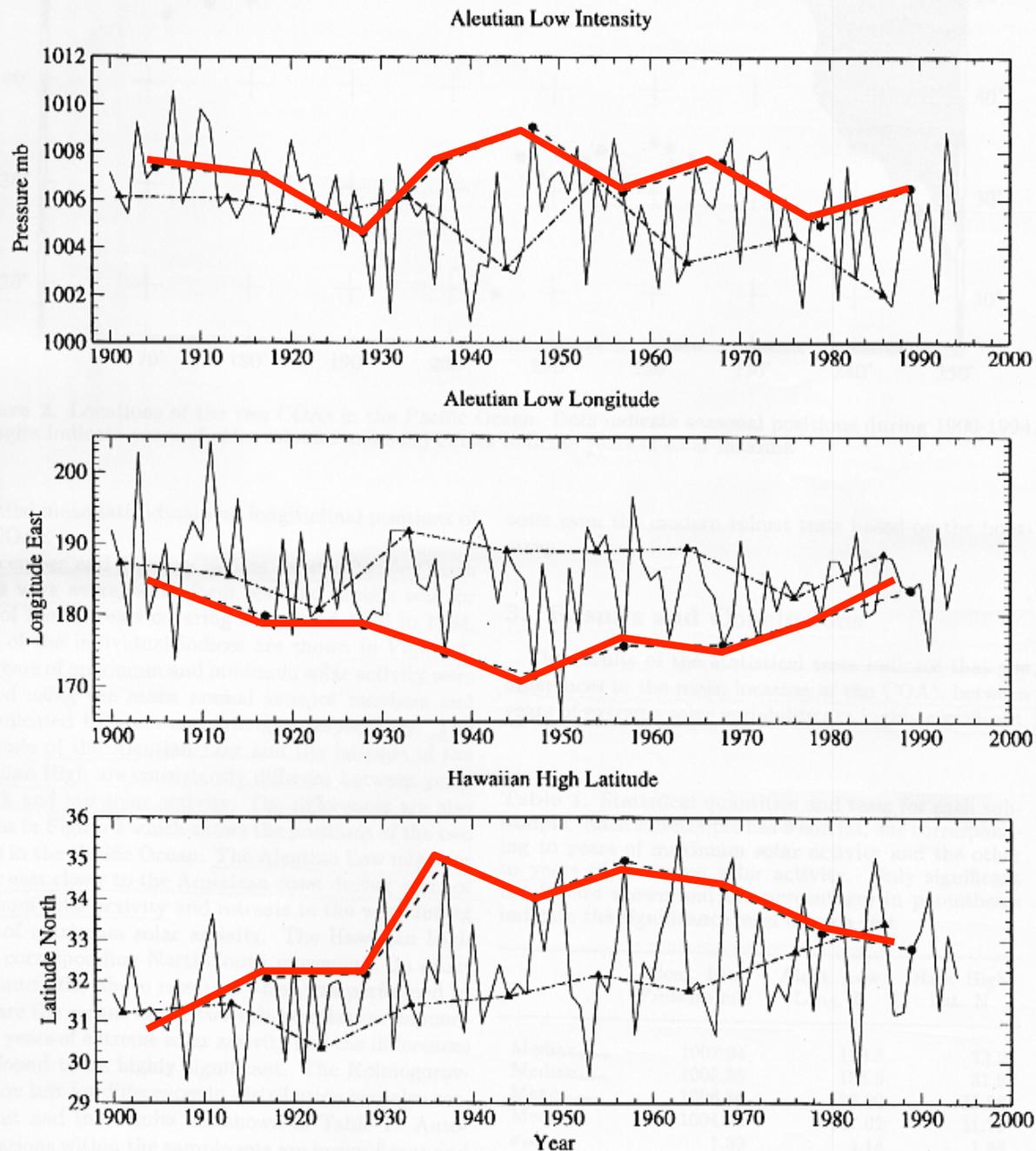


Figure 1. Line plots of selected Centers of Action indices, that show significant deviations between years of low and high solar activity. Triangles indicate years of low solar activity and circles, the years of high solar activity. Top panel gives the pressure index of the Aleutian Low, the middle panel gives the Longitudinal index of the Aleutian Low and the bottom panel gives the Latitudinal index of the Hawaiian High

(Christoforou and Hameed, 1997)

参考文献

Labitzke and van Loon, 1988: Associations between the 11-year solar cycle, the QBO and the atmosphere. I - The troposphere and stratosphere in the Northern Hemisphere in winter, *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics* (ISSN 0021-9169), vol. 50, pp. 197-206

Labitzke, 2006: Influence of the Solar Cycle on the General Circulation of the Stratosphere and Upper Troposphere

Salby, M. L.; Callaghan, P. F., Influence of the Solar Cycle on the General Circulation of the Stratosphere and Upper Troposphere., *Space Science Reviews*, Volume 125, Issue 1-4, pp. 287-303

van Loon and Meehl, 2008: The response in the Pacific to the sun's decadal peaks and contrasts to cold events in the Southern Oscillation., *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, vol. 70, issue 7, pp. 1046-1055

Christoforou and Hameed, 1997: Solar cycle and the Pacific 'centers of action'.
Geophysical Research Letters, Volume 24, Issue 3, pp. 293-296

van Loon, Harry, Meehl, Gerald A., 2004: Arblaster, Julie M., A decadal solar effect in the tropics in July-August., Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, Volume 66, Issue 18, pp. 1767-1778

Gleisner and Thejll, 2003: Patterns of tropospheric response to solar variability., Geophysical Research Letters, Volume 30, Issue 13, pp. 44-

Svensmark., 1998: Influence of Cosmic Rays on Earth's Climate., Physical Review Letters, Volume 81, Issue 22, November 30, 1998, pp.5027-5030

Svensmark and Friis-Christensen, 1997: Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage-a missing link in solar-climate relationships., Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, Volume. 59, pp. 1225-1232

Svensmark., 2007: Cosmoclimatology: a new theory emerges., Astronomy & Geophysics, Volume 48, Issue 1, pp. 1.18-1.24

Marsh and Svensmark, 2000: Low Cloud Properties Influenced by Cosmic Rays., Physical Review Letters, Volume. 85, Issue 23, pp. 5004-5007

Carlsaw et al., 2002: Cosmic Rays, Clouds, and Climate., Science, Volume 298, Issue 5599, pp. 1732-1737

Friis-Christensen and Lassen, 1991: Length of the Solar Cycle: An Indicator of Solar Activity Closely Associated with Climate, Science, Volume 254, Issue 5032, pp. 698-700