

雷・宇宙線・気候 (太陽-地球間結合)

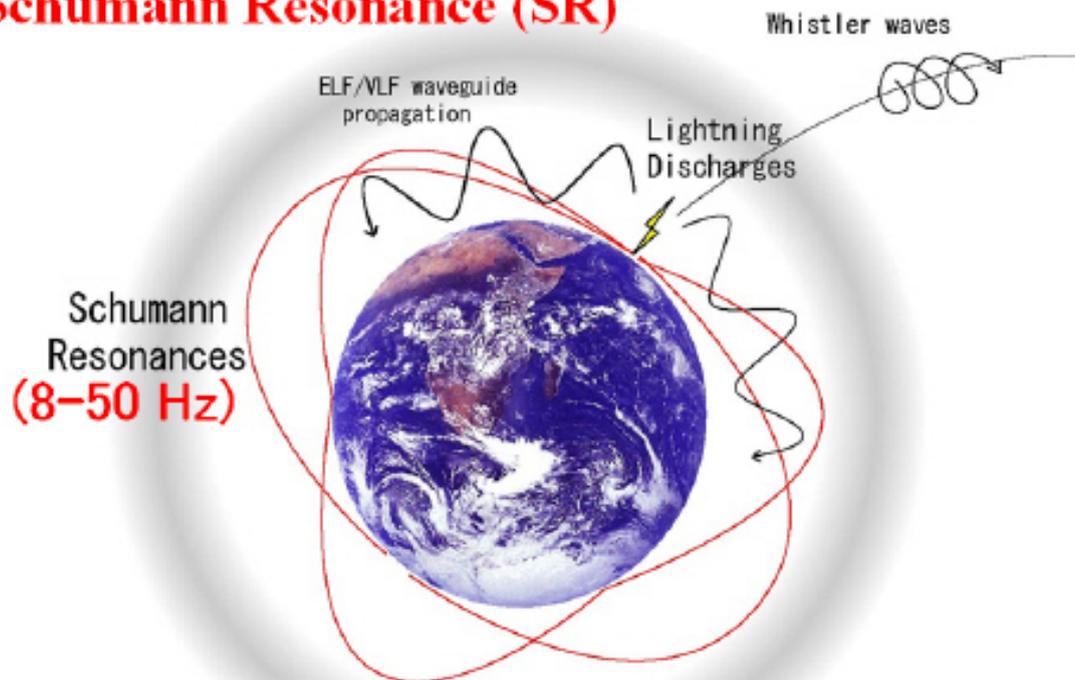


<key points>

- 雷活動に約30日の周期性が存在
- 電離層効果ではない
- 雲量と雷活動との相関解析
- 雲量とは逆位相関係にある
(雲量多い → 雷活動低下)
- 何が雲量コントロール？
- 11年周期での雲量・宇宙線変動
→ 温暖化??

雷の放射する電磁波

Schumann Resonance (SR)



- ELF range (8-50 Hz)
- Waveguide propagation
- Low attenuation rate (< -1 dB/Mm)

Ionosphere

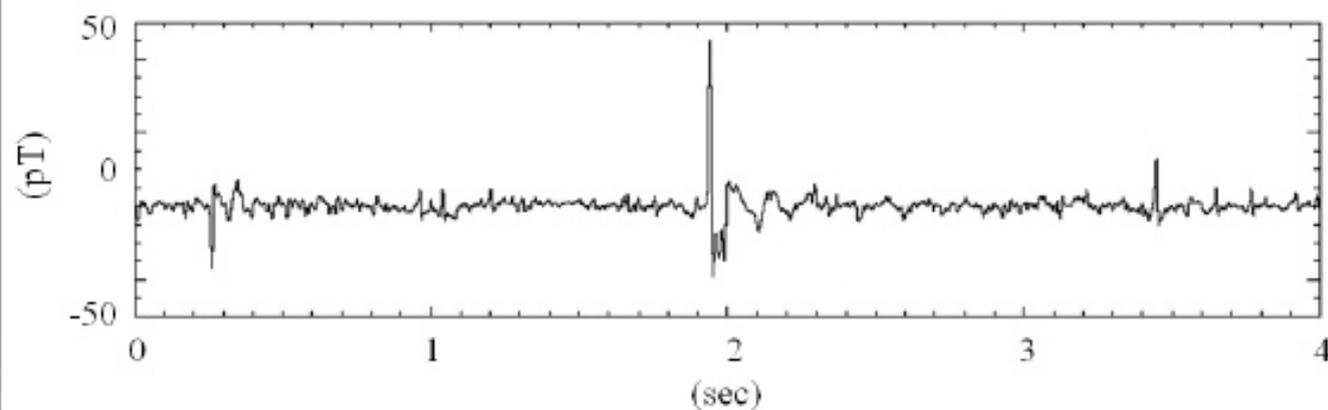
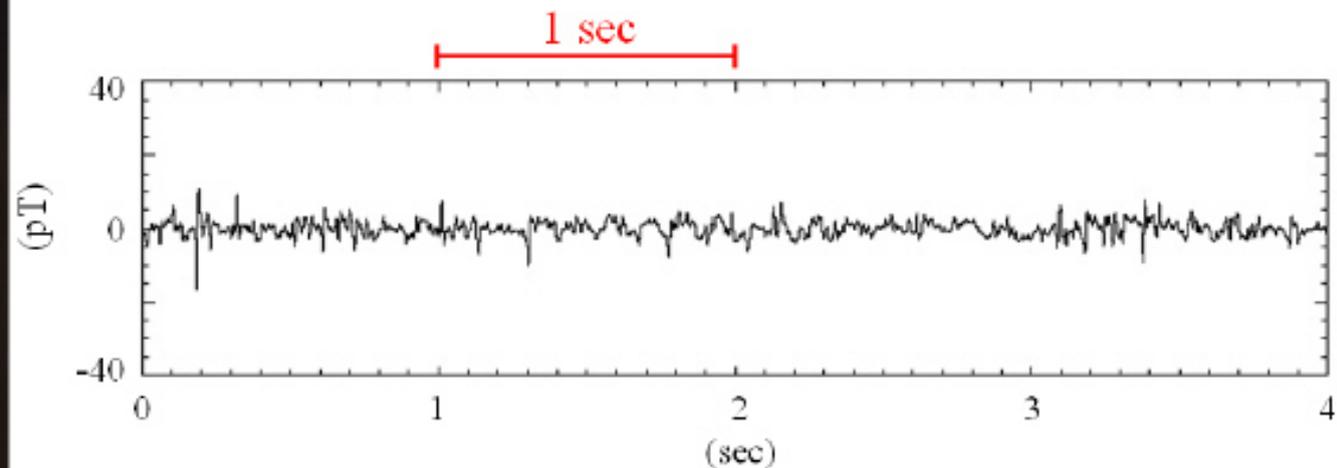
• 1-100 Hz ELF波動観測網

- * search coil 磁力計 (NS, EW)
- * アンプ (6-66 dB)
- * データ記録計 (16bit, $f_s=400\text{Hz}$)



Syowa	(SYO)	(39.5°E, 69.0°S)	Feb., 2000 –
Onagawa	(ONG)	(141.5°E, 38.4°N)	June, 2001 –
Kiruna	(ESR)	(21.1°E, 67.9°N)	Aug., 2003 –
Santa Cruz	(SCZ)	(21.1°E, 67.9°N)	Mar., 2006 –

SRの磁場波形プロット



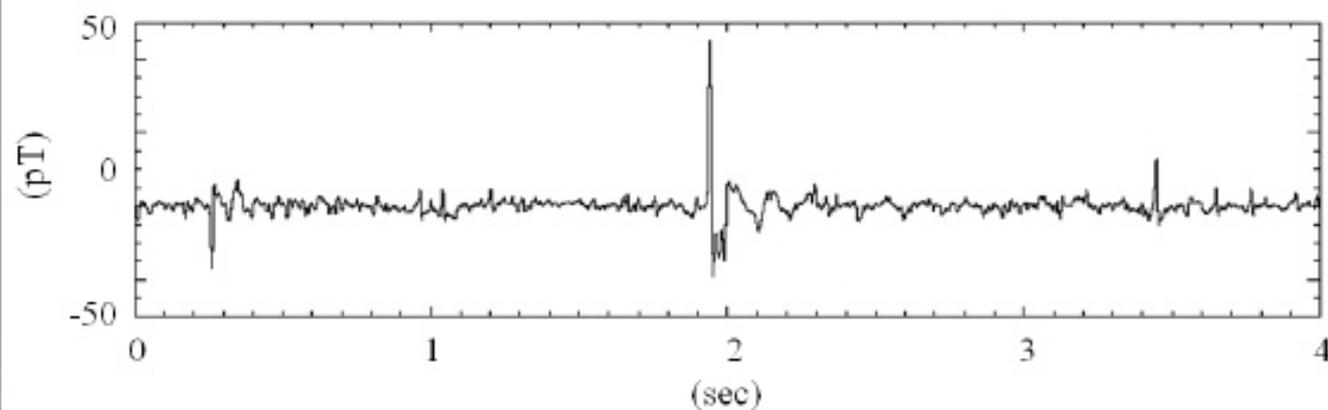
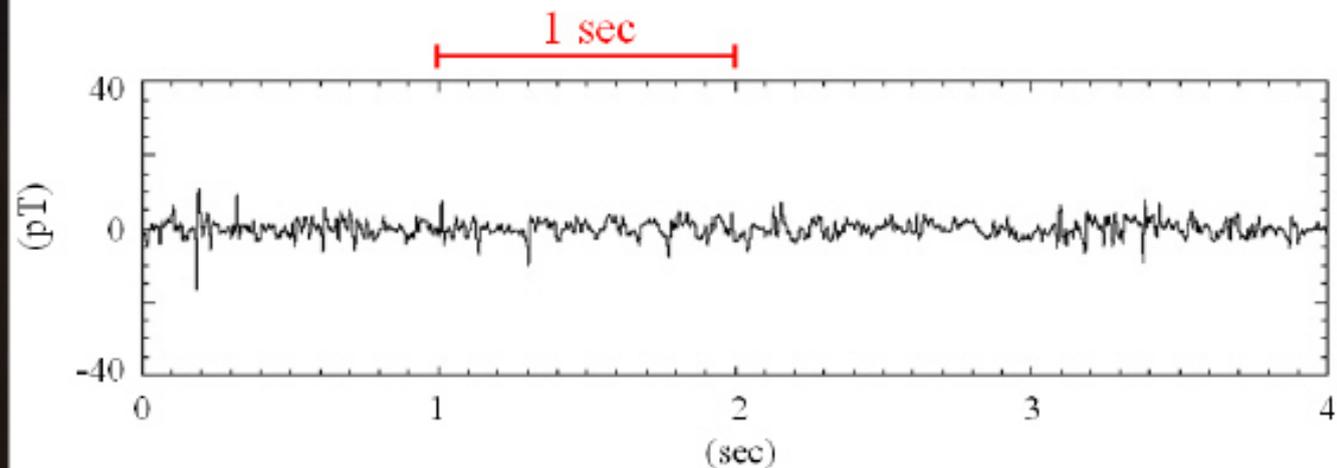
• 1-100 Hz ELF波動観測網

- * search coil 磁力計 (NS, EW)
- * アンプ (6-66 dB)
- * データ記録計 (16bit, $f_s=400\text{Hz}$)

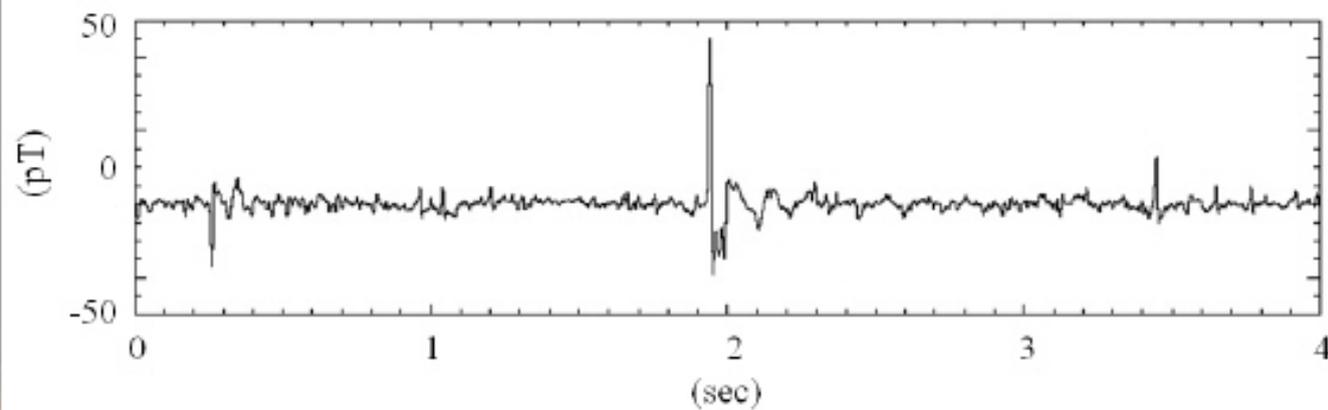
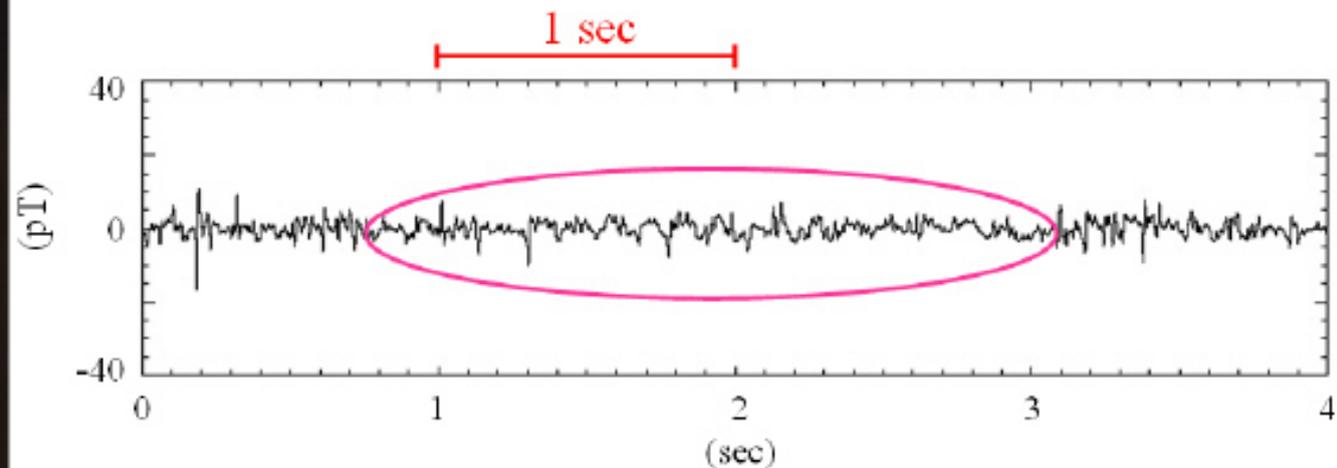


Syowa	(SYO)	(39.5°E, 69.0°S)	Feb., 2000 –
Onagawa	(ONG)	(141.5°E, 38.4°N)	June, 2001 –
Kiruna	(ESR)	(21.1°E, 67.9°N)	Aug., 2003 –
Santa Cruz	(SCZ)	(21.1°E, 67.9°N)	Mar., 2006 –

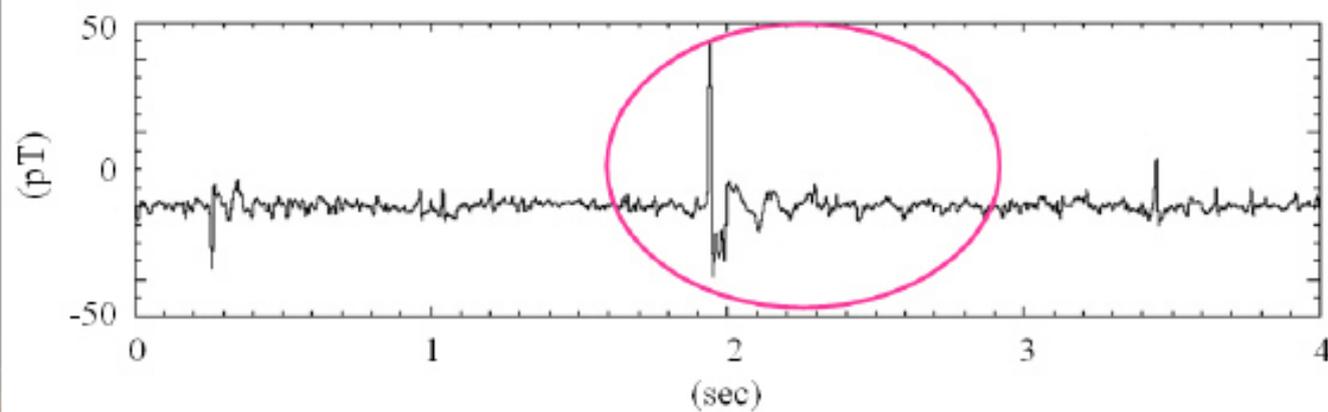
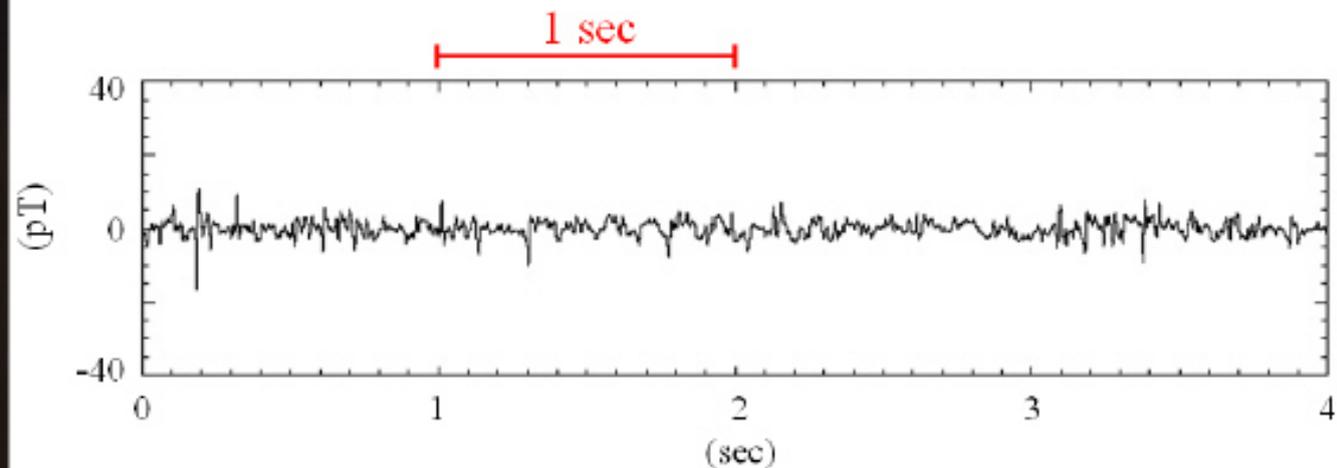
SRの磁場波形プロット



SRの磁場波形プロット

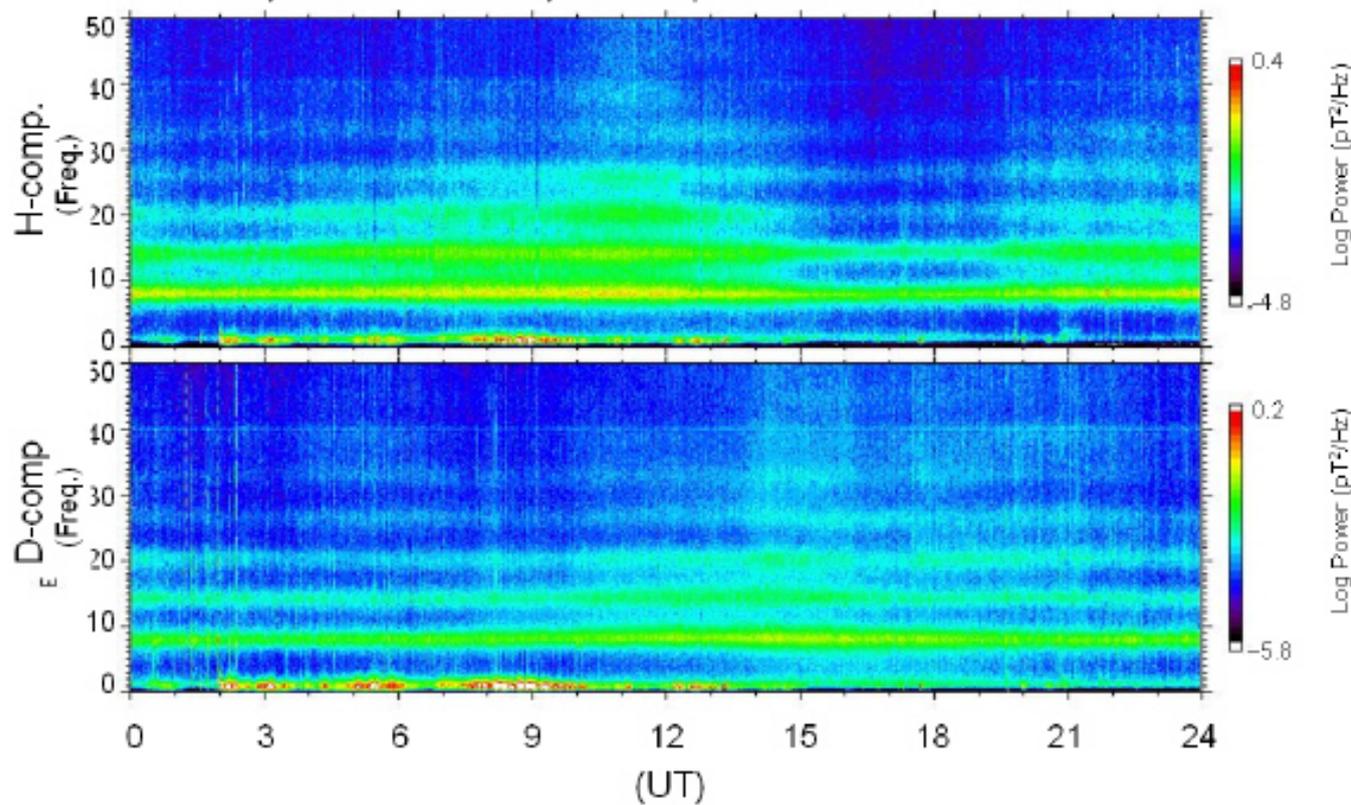


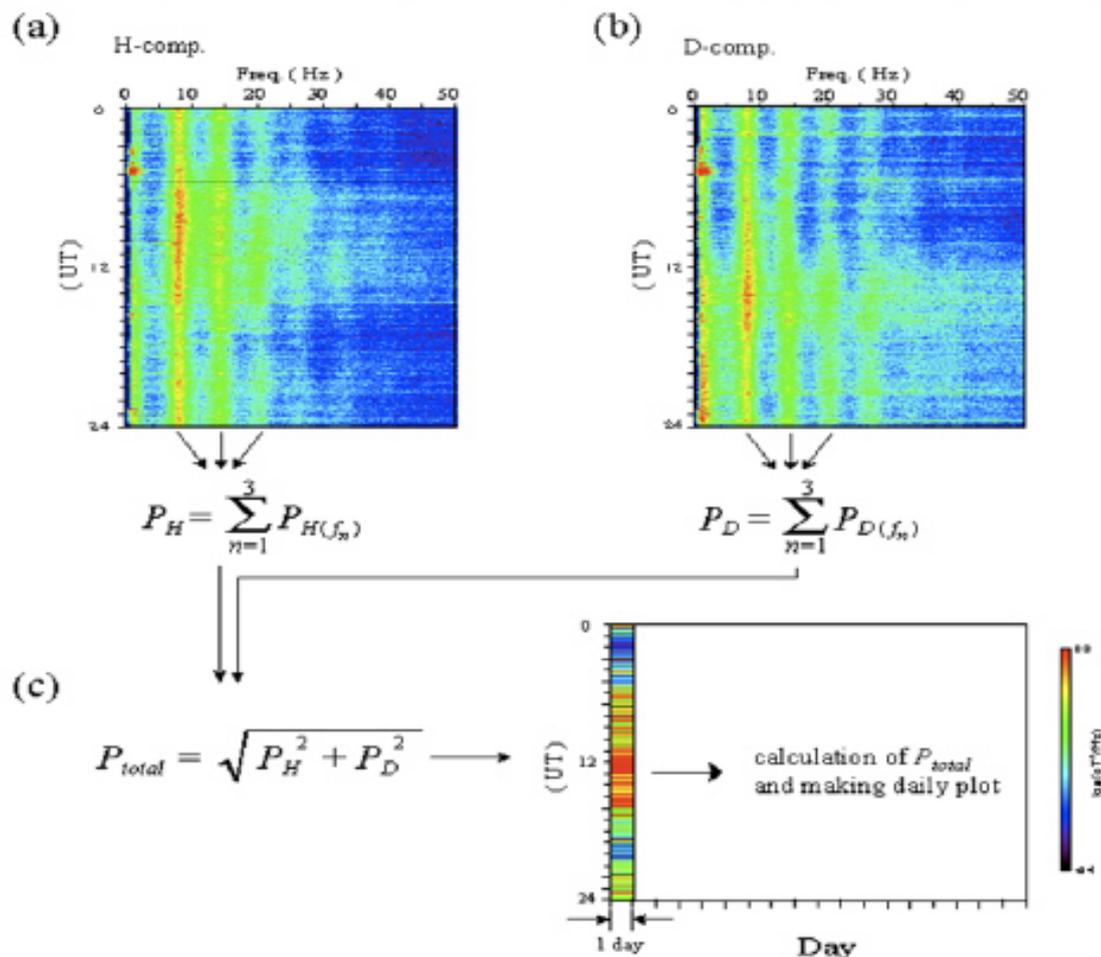
SRの磁場波形プロット



Dynamic Spectrum

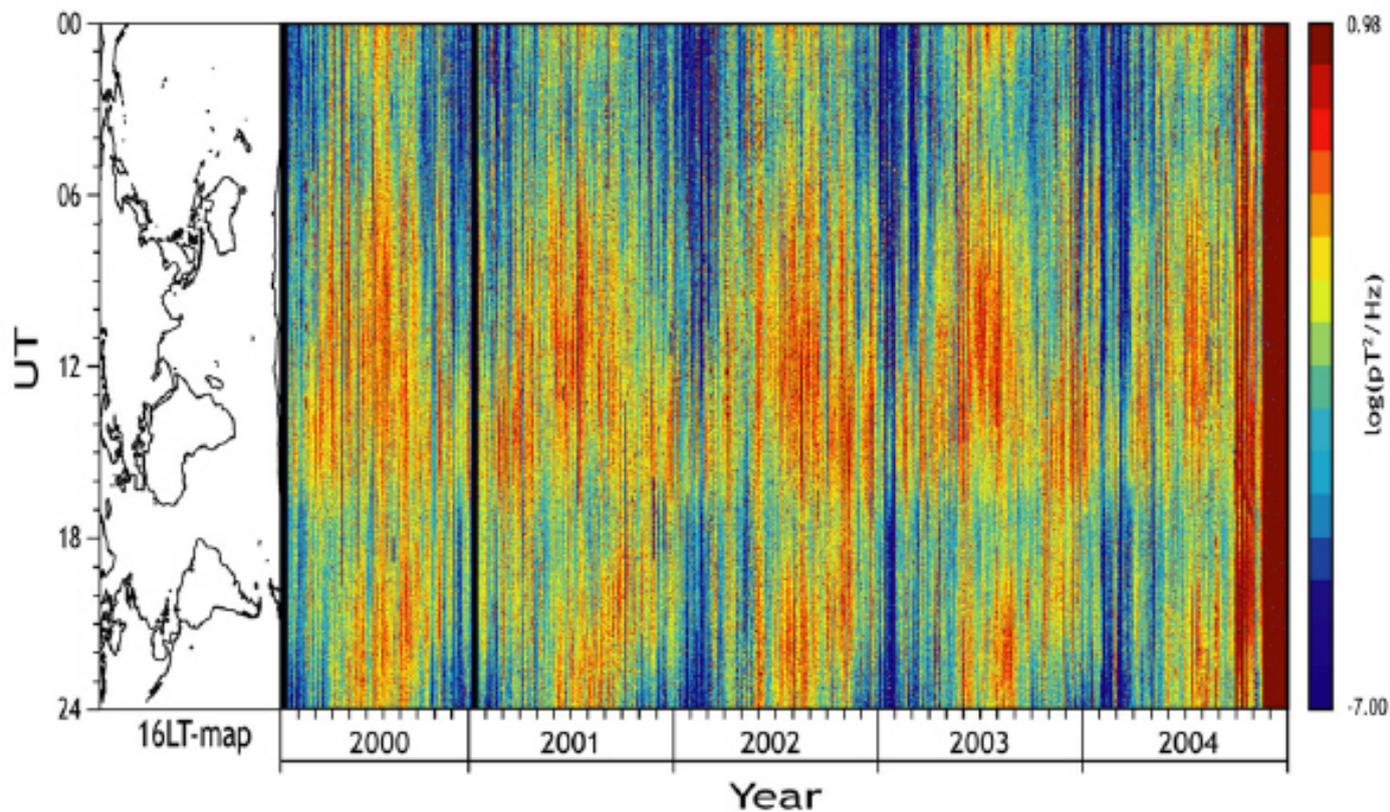
Syowa ELF Data Dynamic Spectrum 2003/ 07/ 05





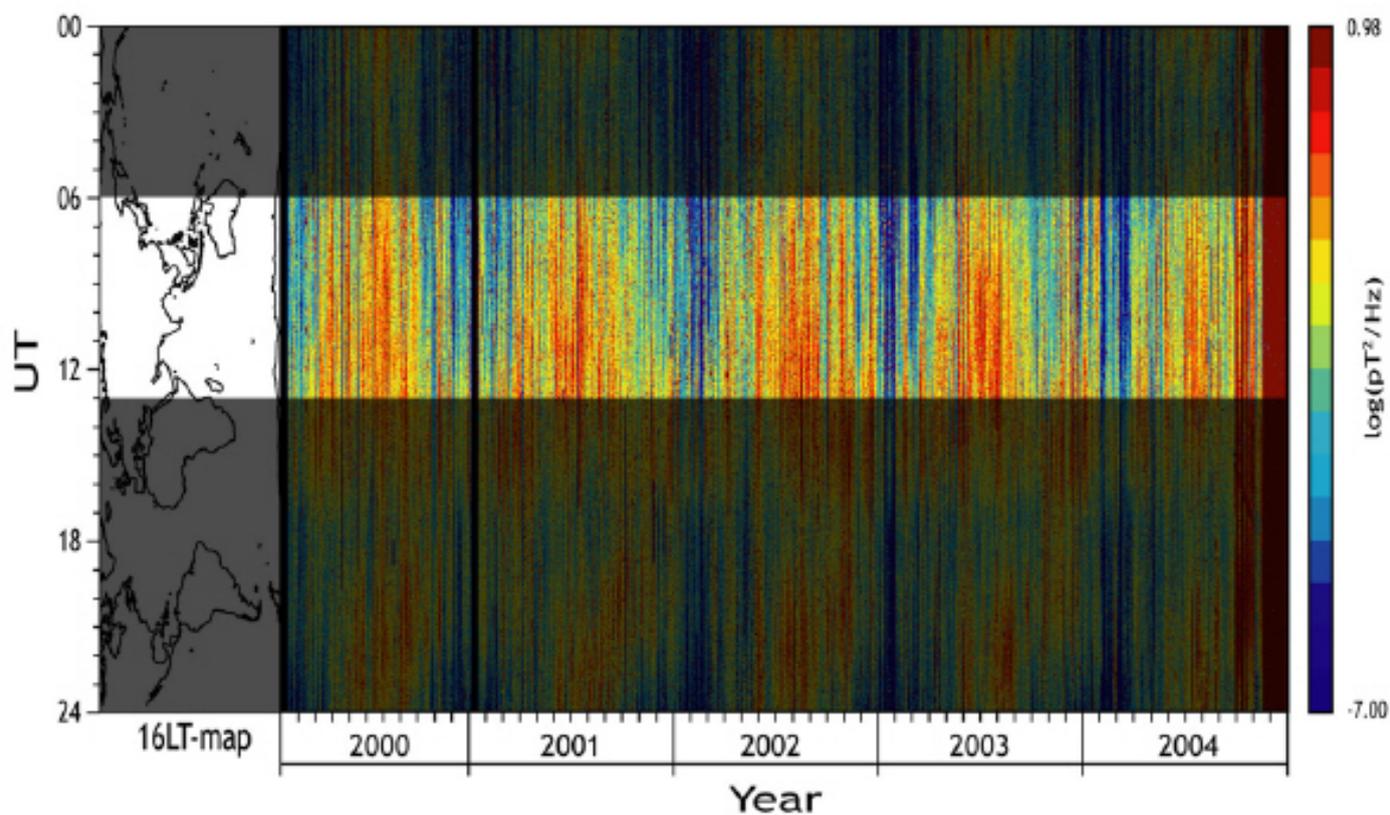
Syowa UT-Day Diagram

• SR spectral power variation (SR_{spv}) - Feb. 2000 ~ Dec. 2004



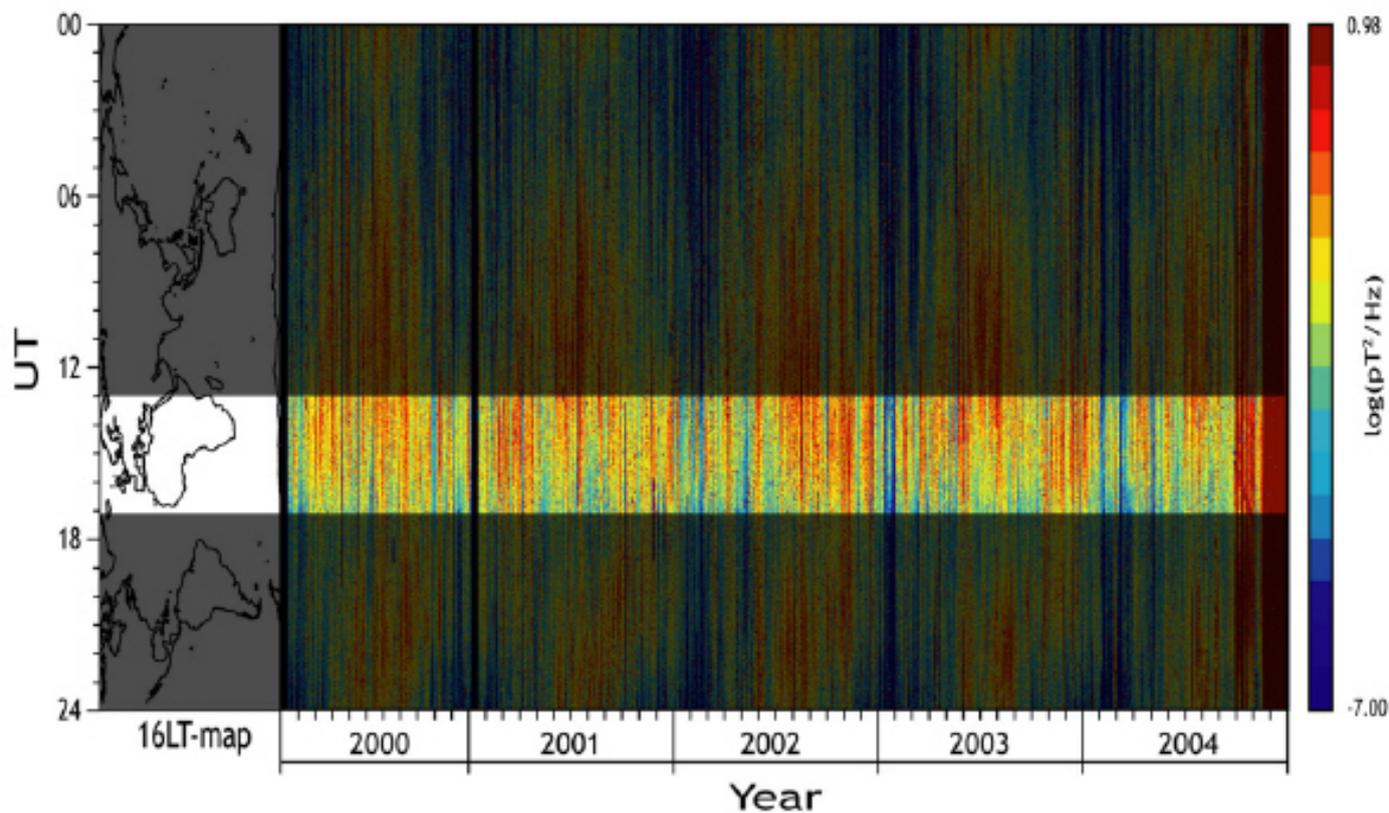
Syowa UT-Day Diagram

- SR spectral power variation (SR_{spv}) - Feb. 2000 ~ Dec. 2004



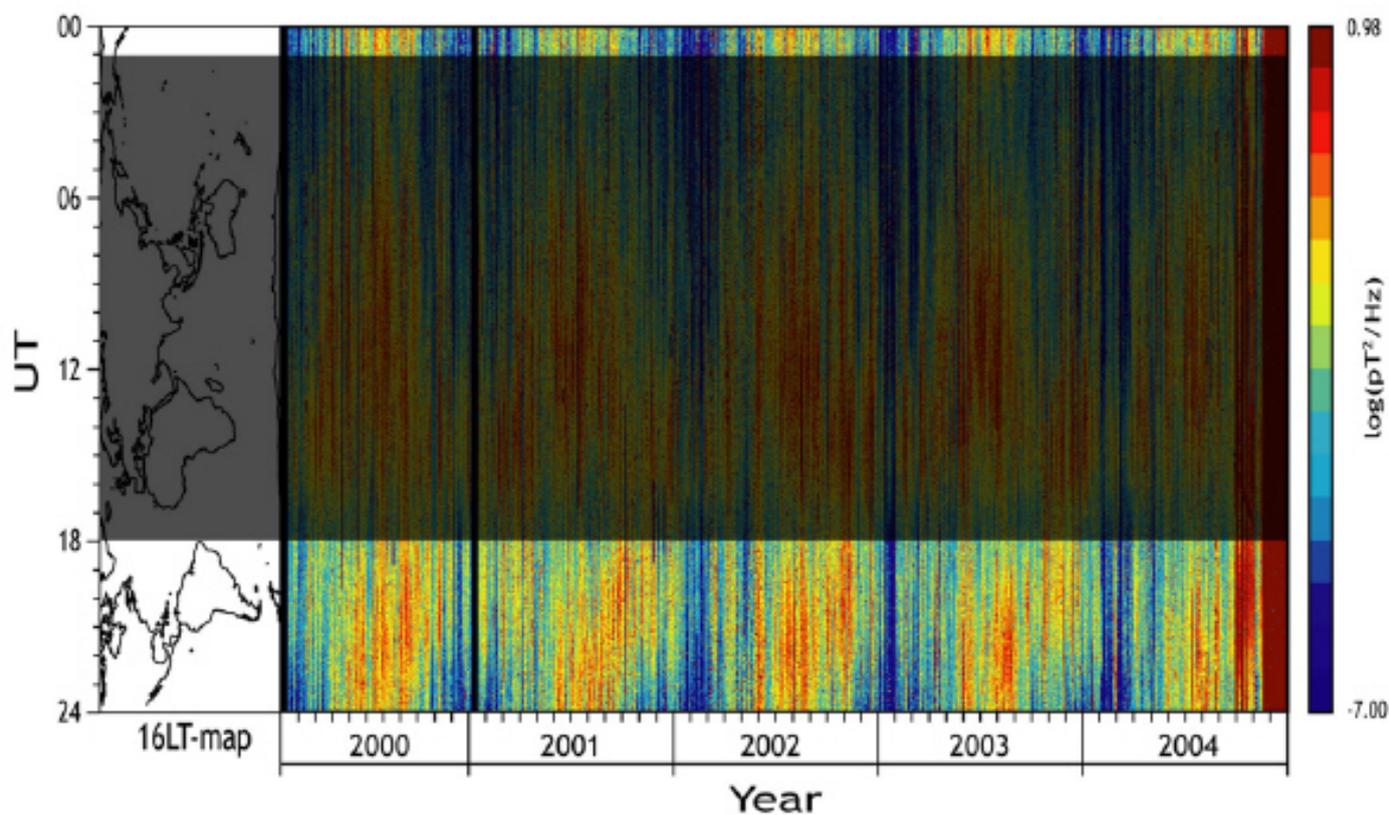
Syowa UT-Day Diagram

- SR spectral power variation (SR_{spv}) - Feb. 2000 ~ Dec. 2004



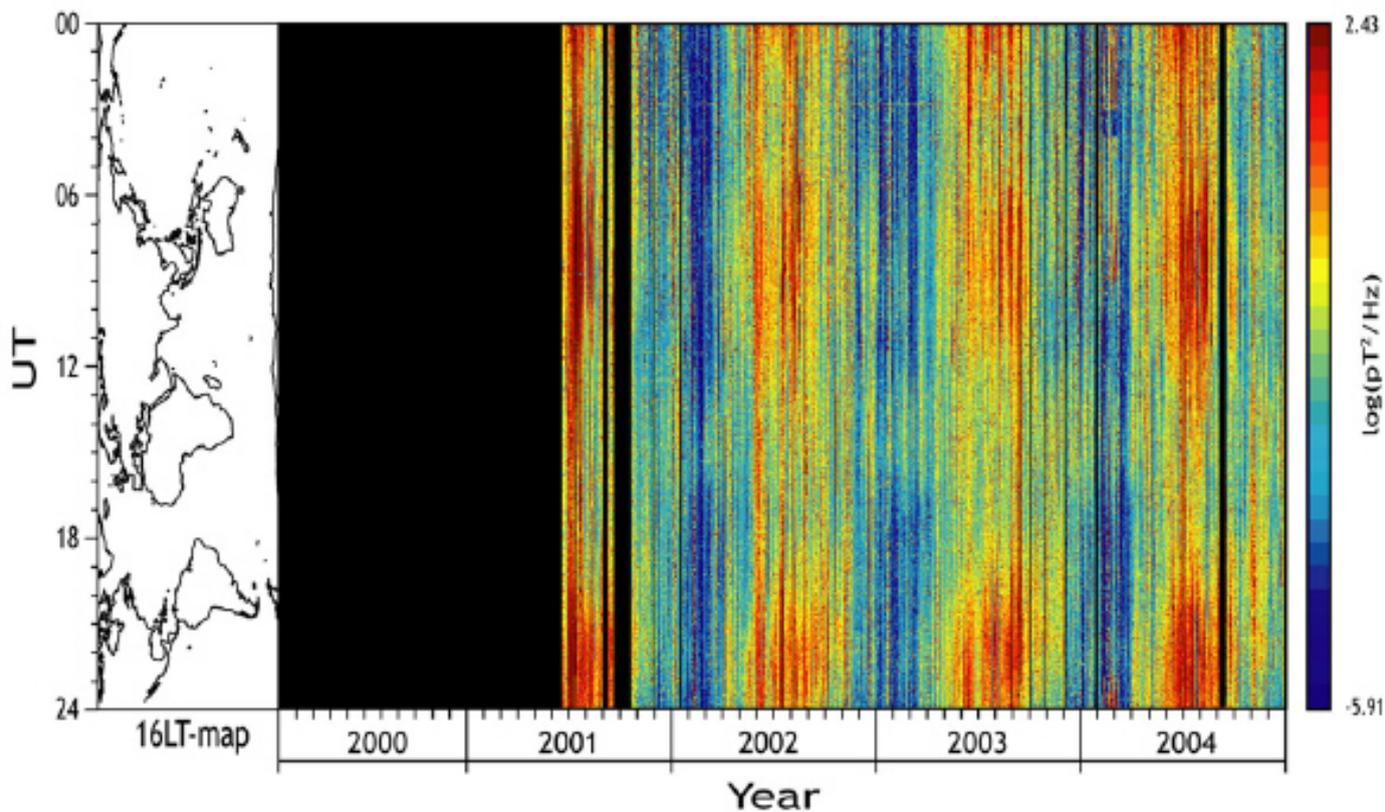
Syowa UT-Day Diagram

- SR spectral power variation (SR_{spv}) - Feb. 2000 ~ Dec. 2004

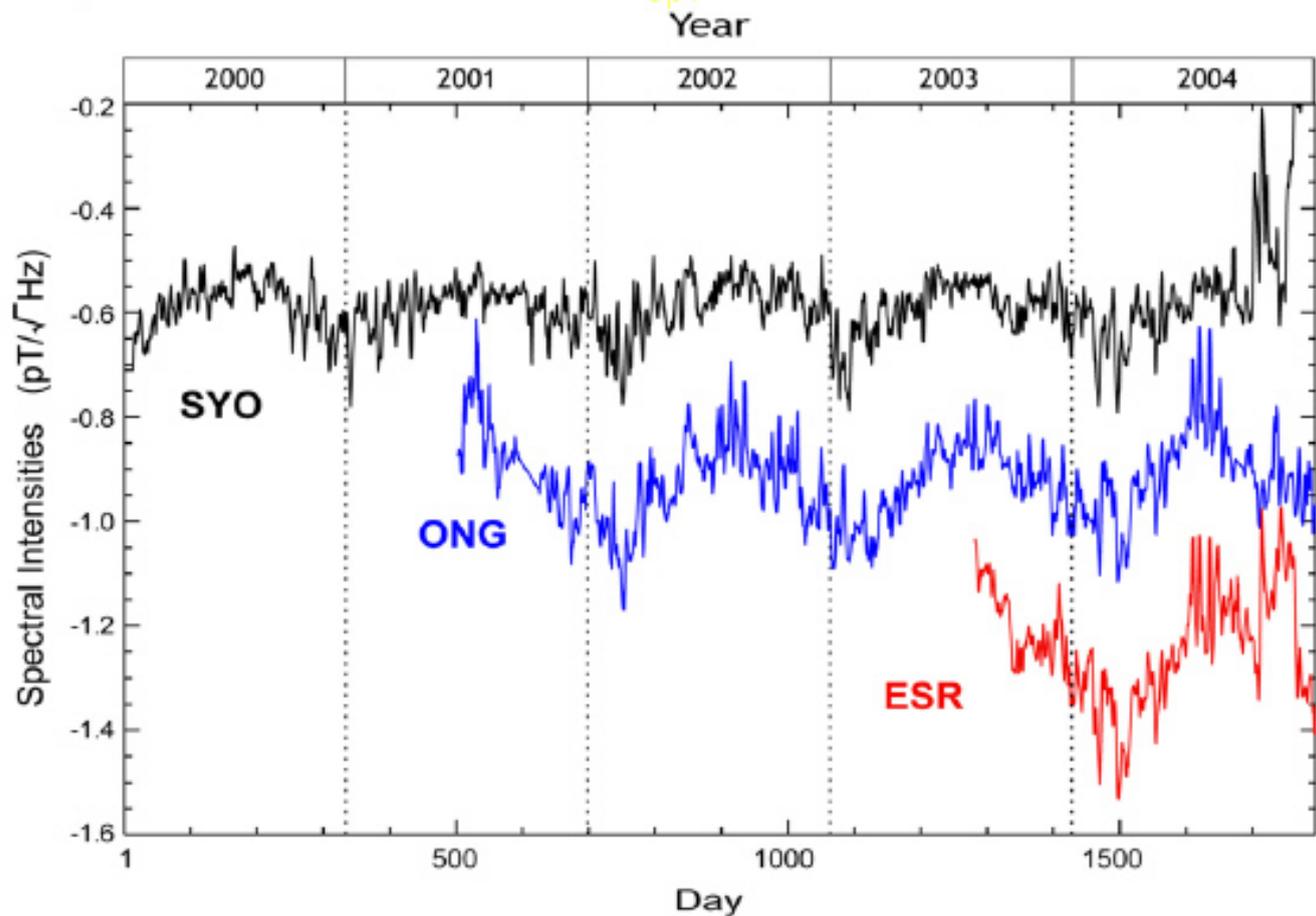


Onagawa UT-Day Diagram

• SR_{spv} - June 2001 ~ Dec. 2004

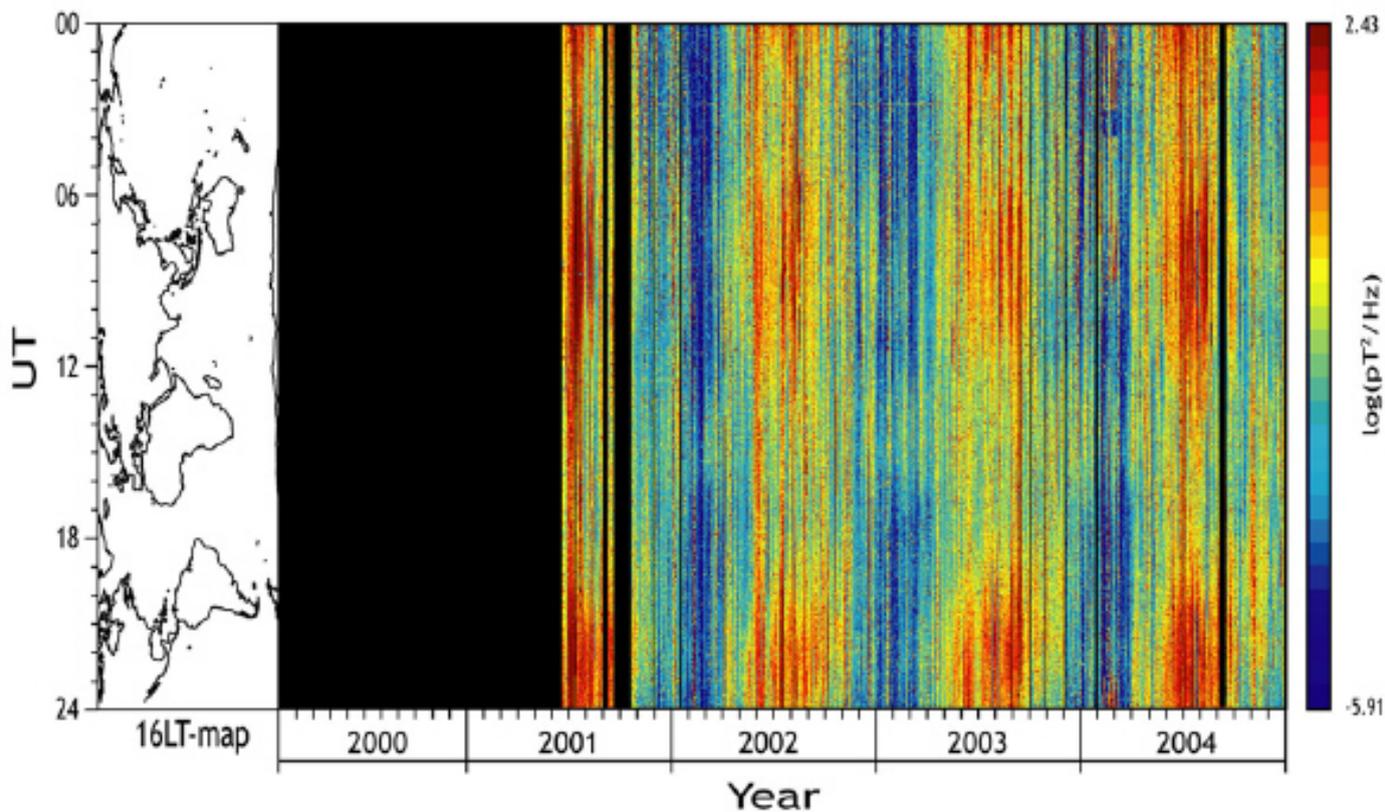


Daily Mean Variation of SR^{spv}



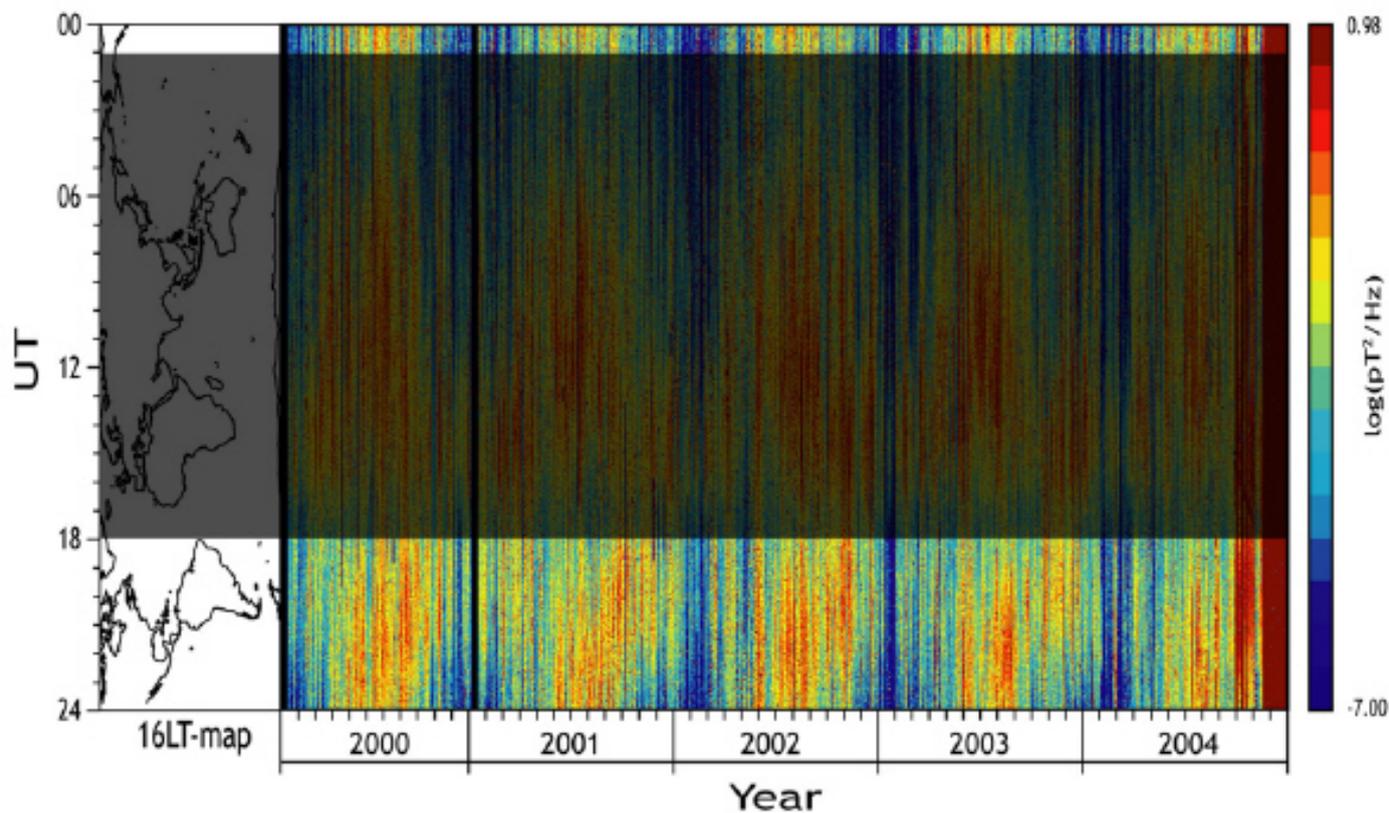
Onagawa UT-Day Diagram

• SR_{spv} - June 2001 ~ Dec. 2004



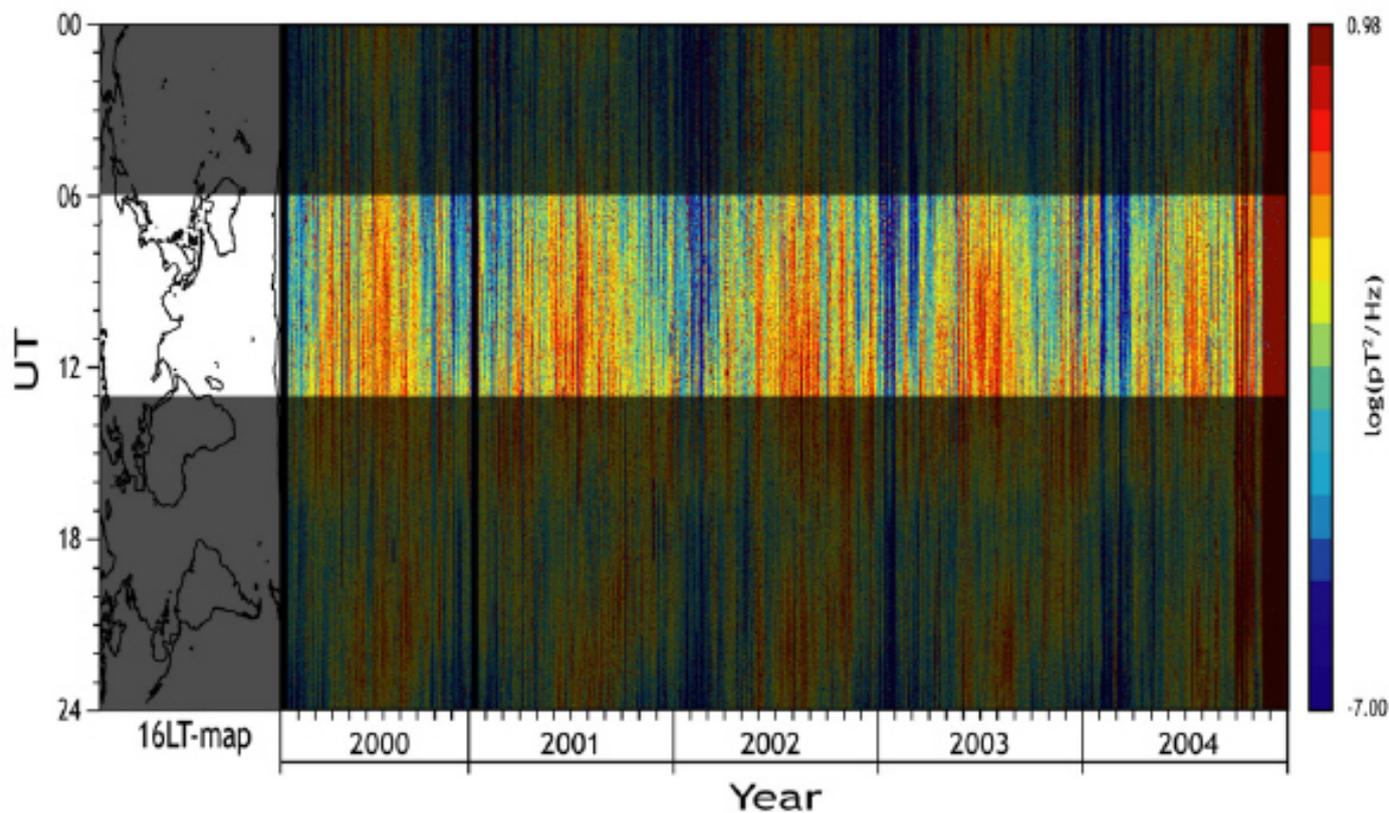
Syowa UT-Day Diagram

- SR spectral power variation (SR_{spv}) - Feb. 2000 ~ Dec. 2004



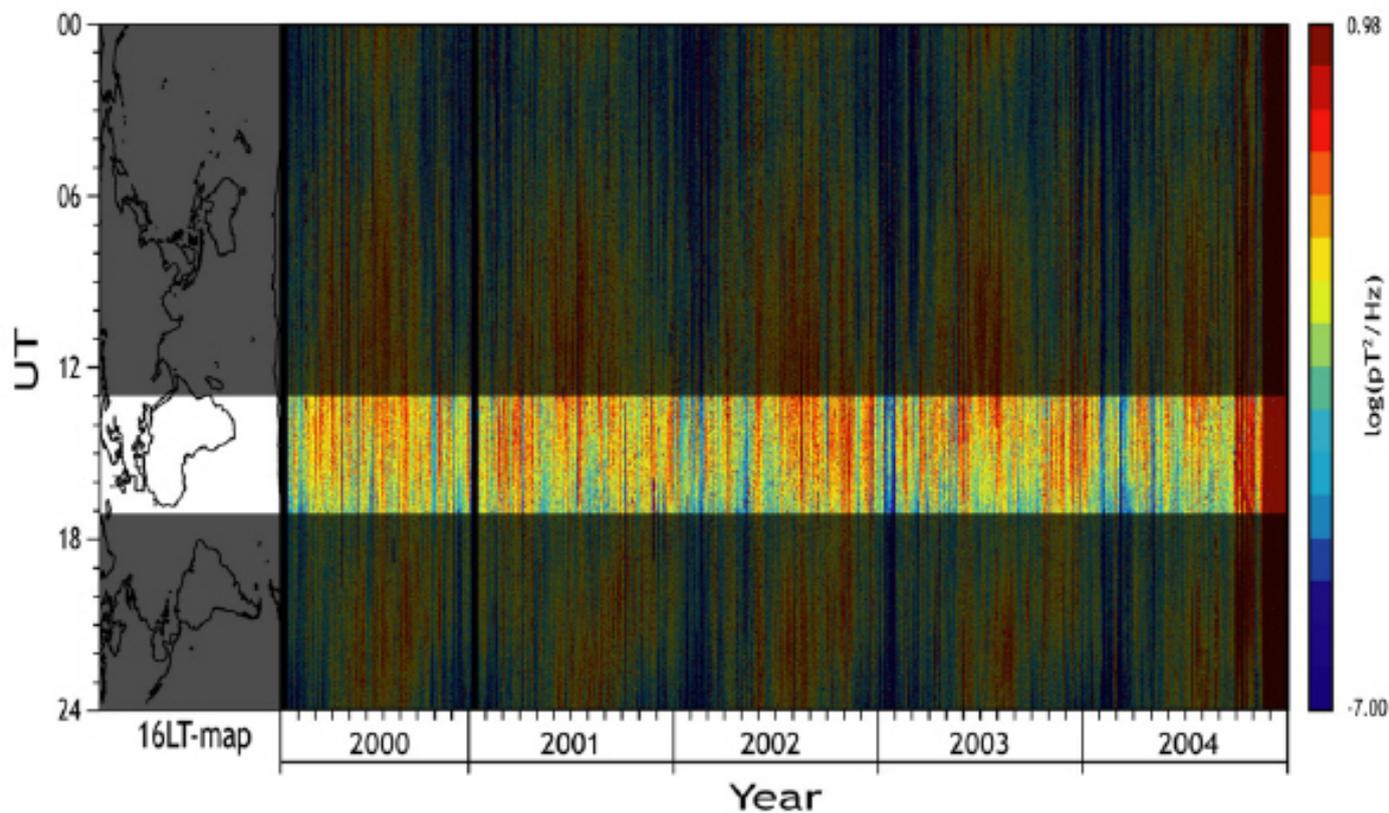
Syowa UT-Day Diagram

- SR spectral power variation (SR_{spv}) - Feb. 2000 ~ Dec. 2004



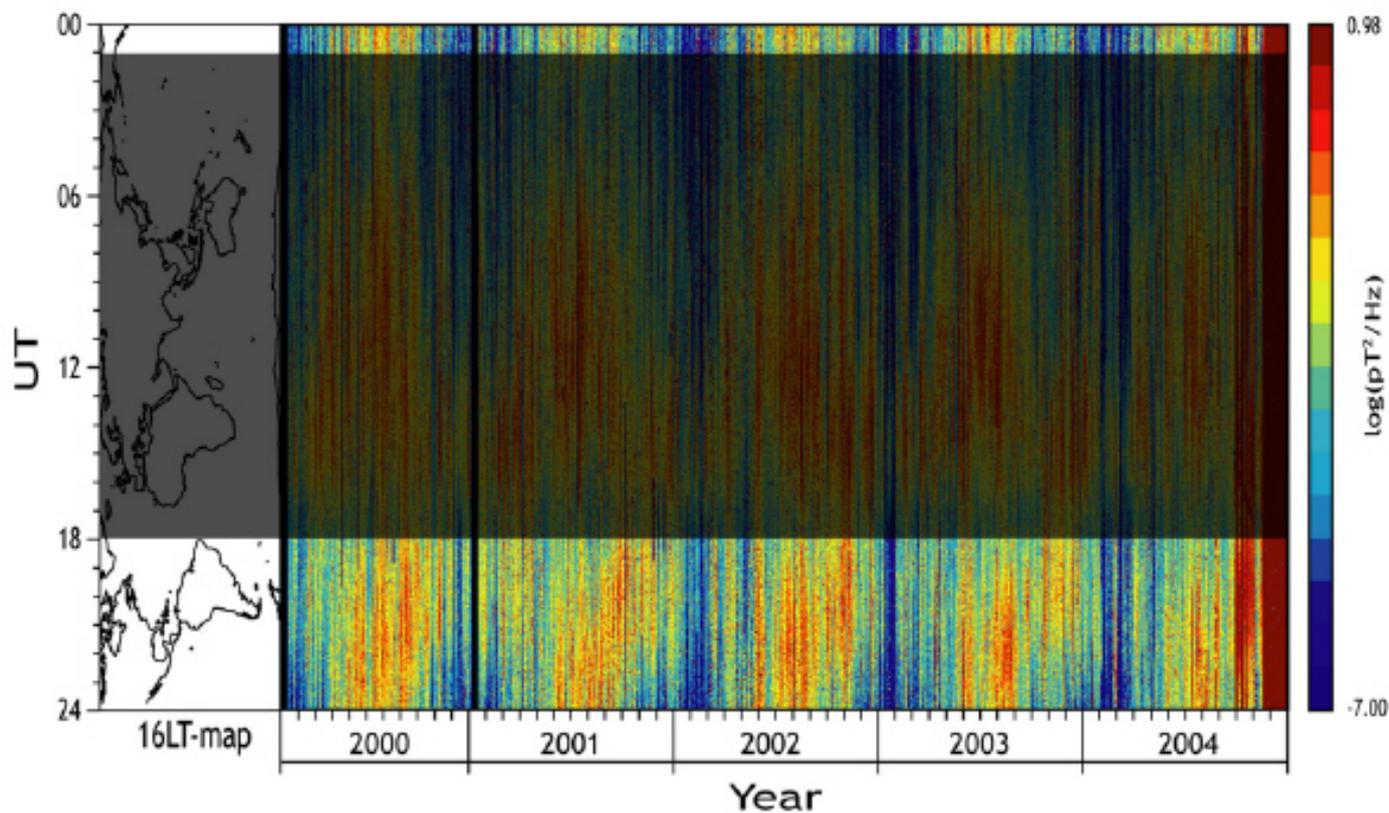
Syowa UT-Day Diagram

- SR spectral power variation (SR_{spv}) - Feb. 2000 ~ Dec. 2004



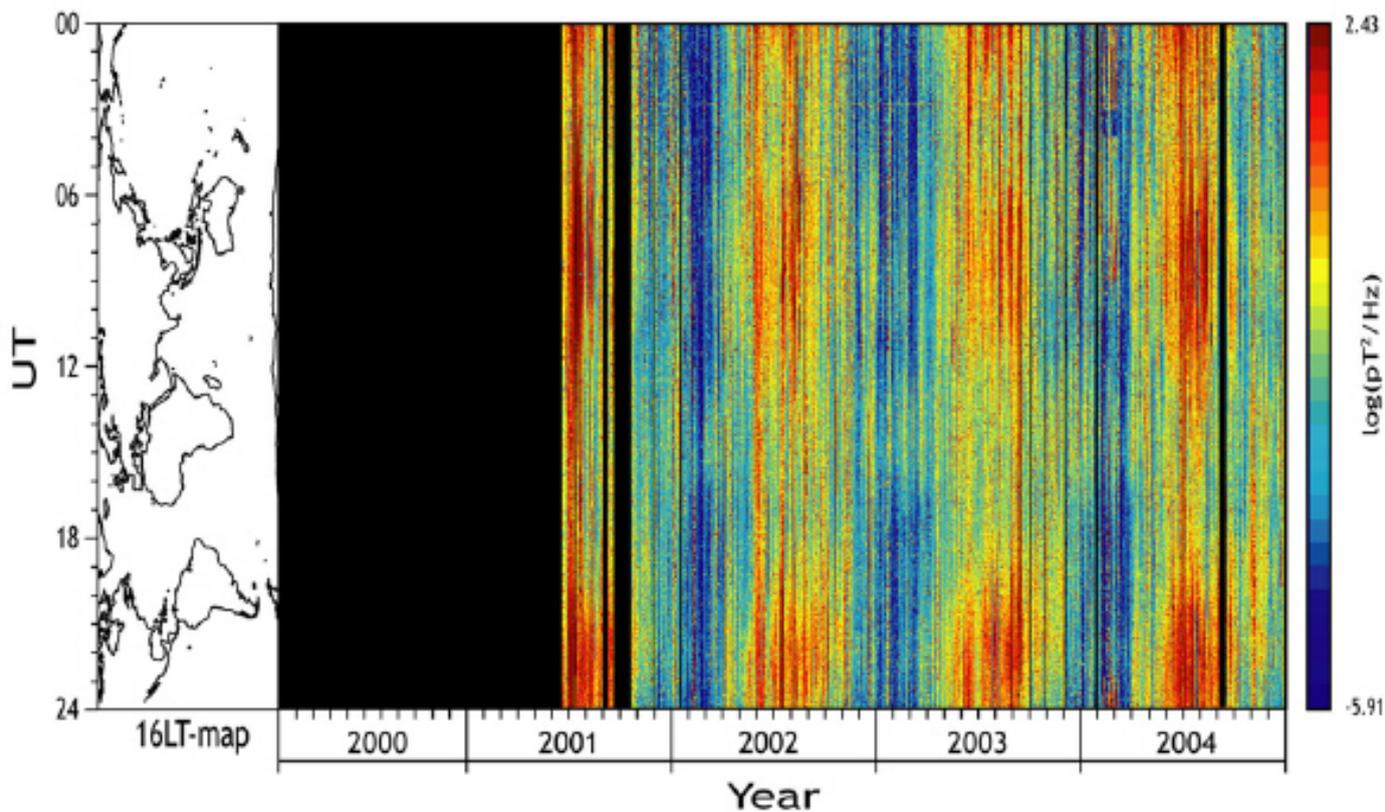
Syowa UT-Day Diagram

- SR spectral power variation (SR_{spv}) - Feb. 2000 ~ Dec. 2004

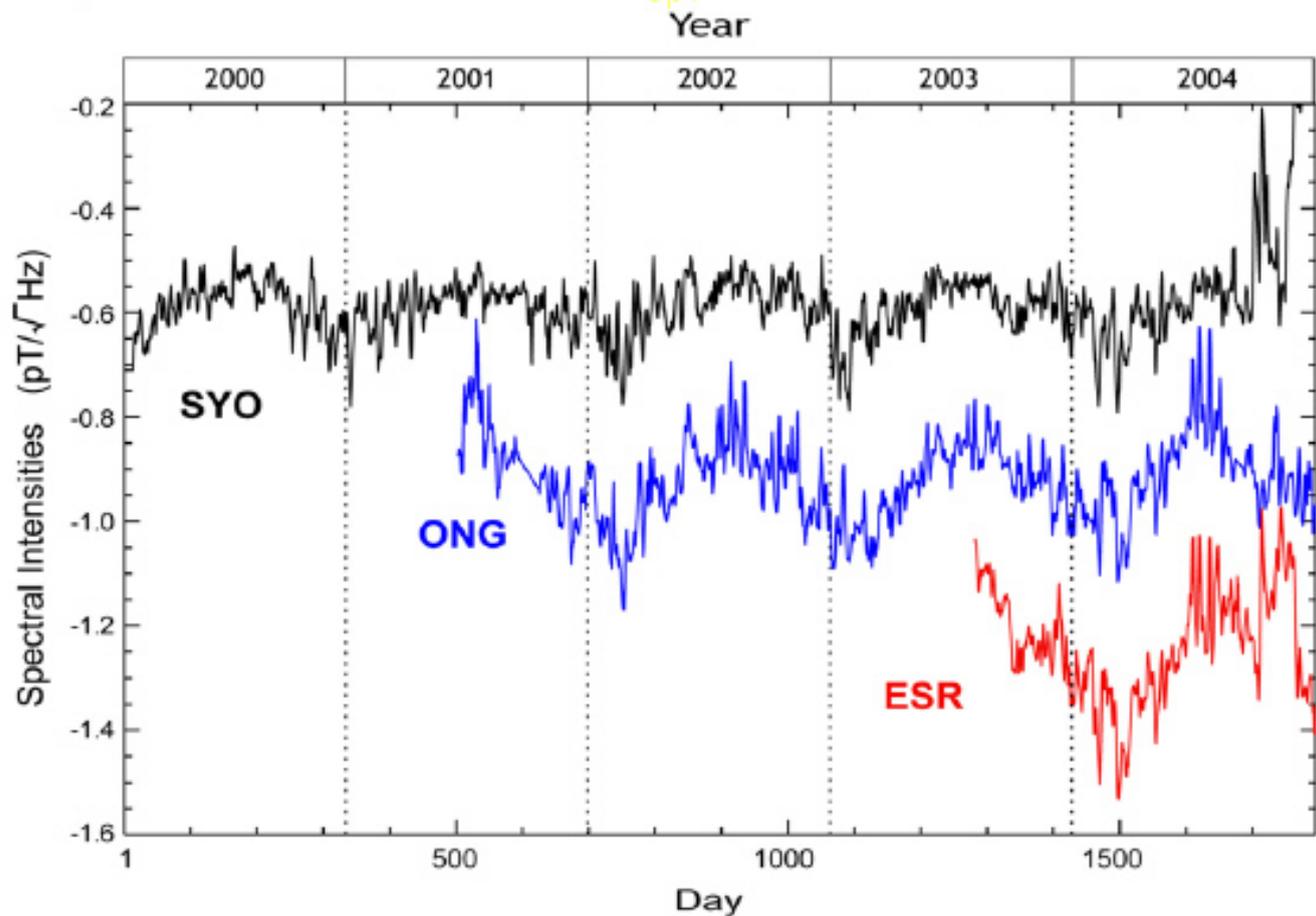


Onagawa UT-Day Diagram

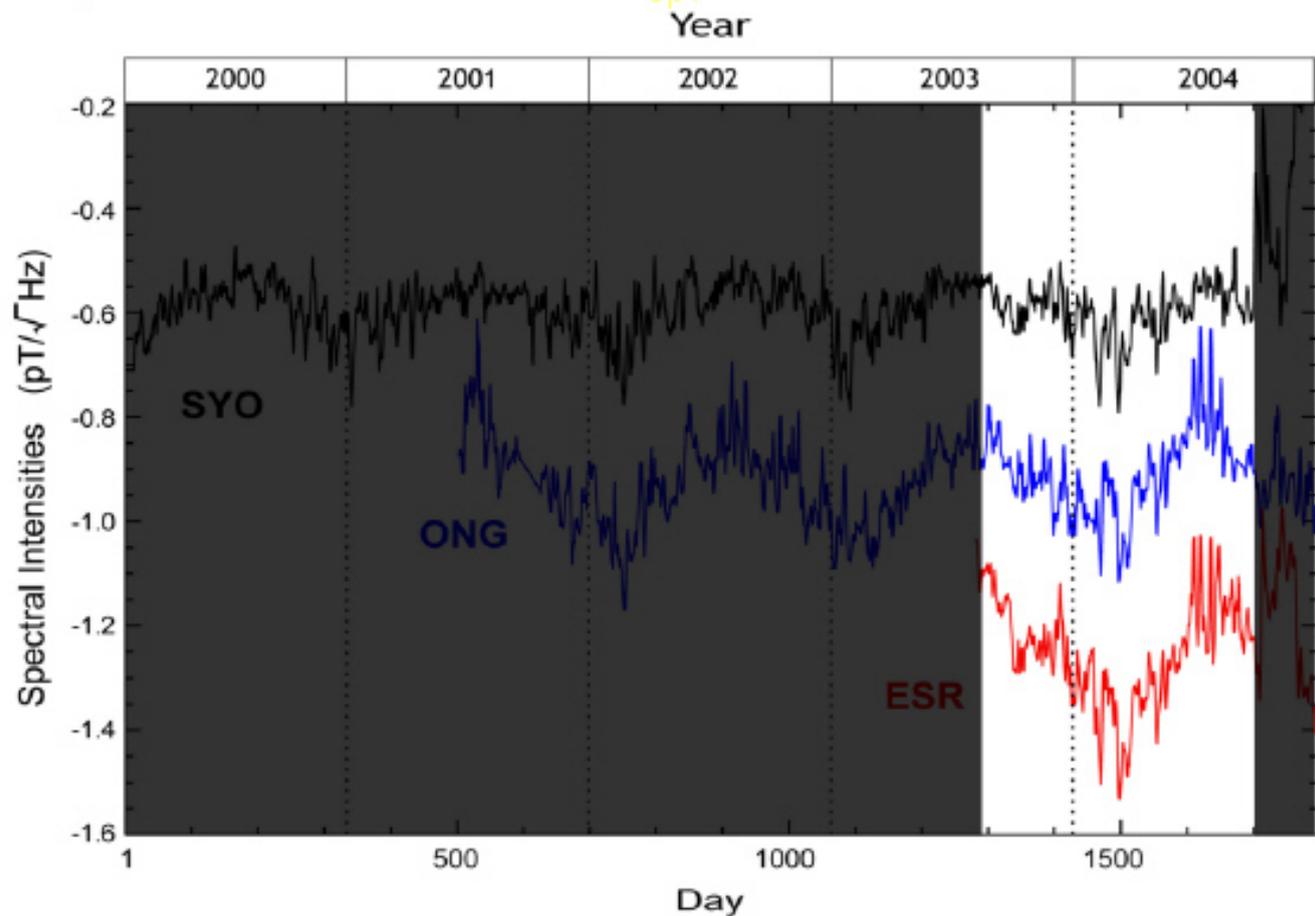
• SR_{spv} - June 2001 ~ Dec. 2004



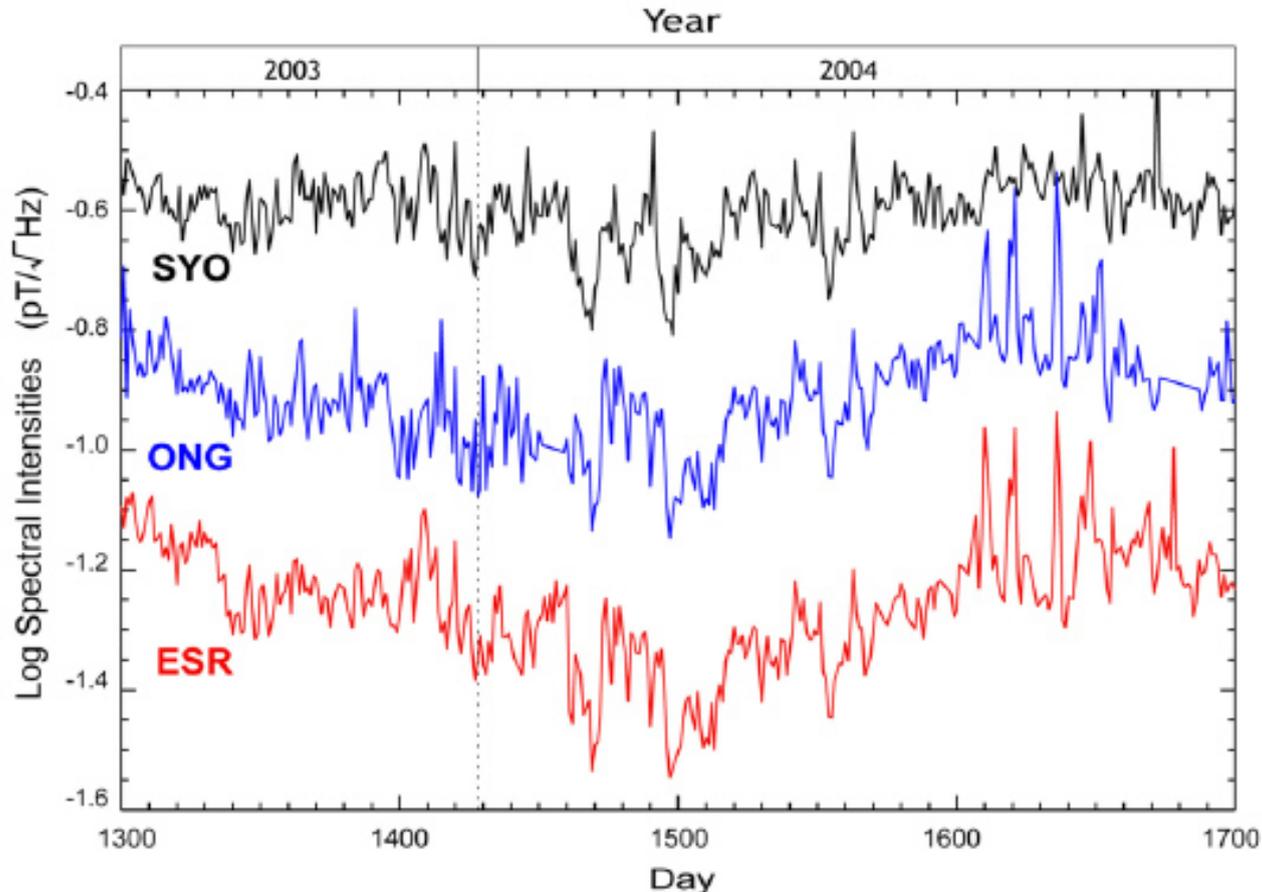
Daily Mean Variation of SR_{spv}



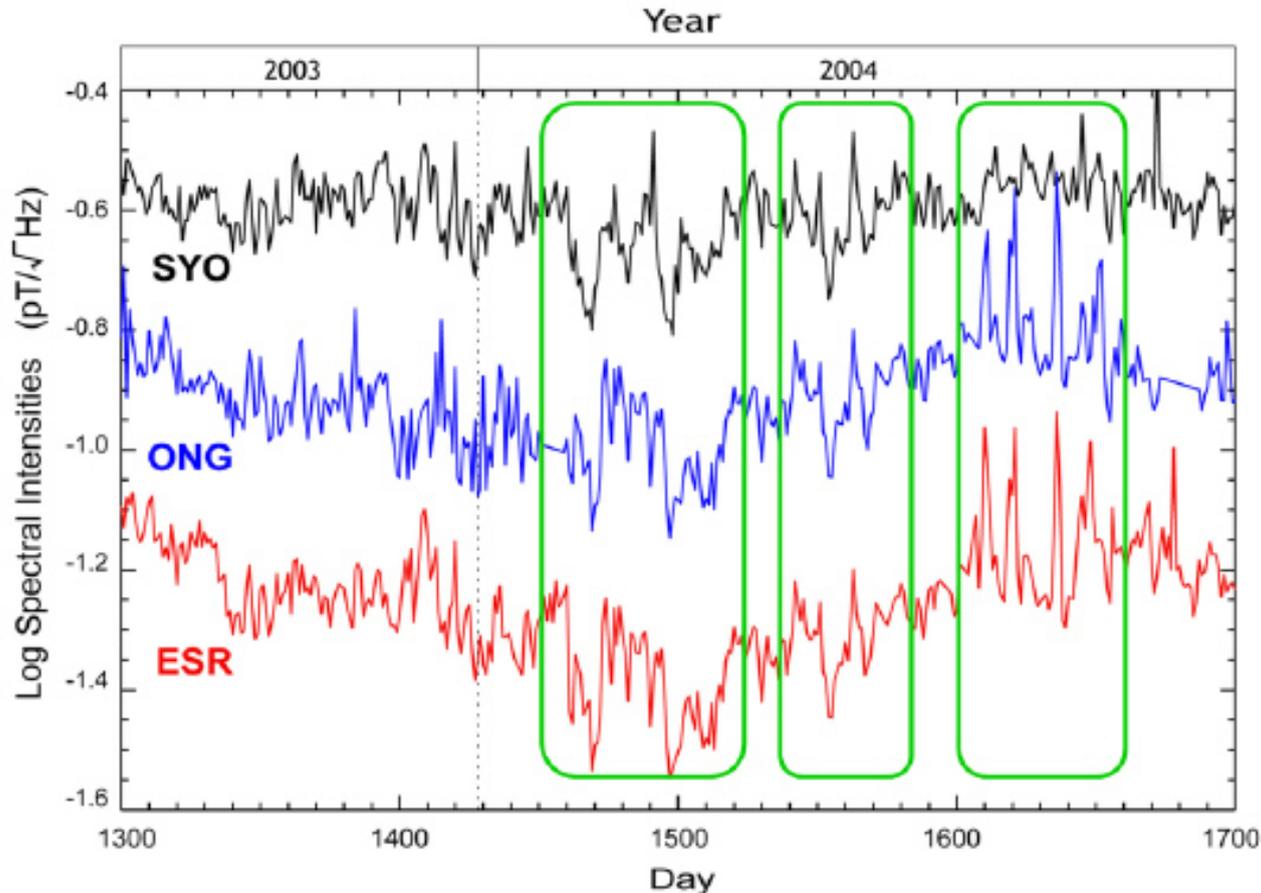
Daily Mean Variation of SR^{spv}



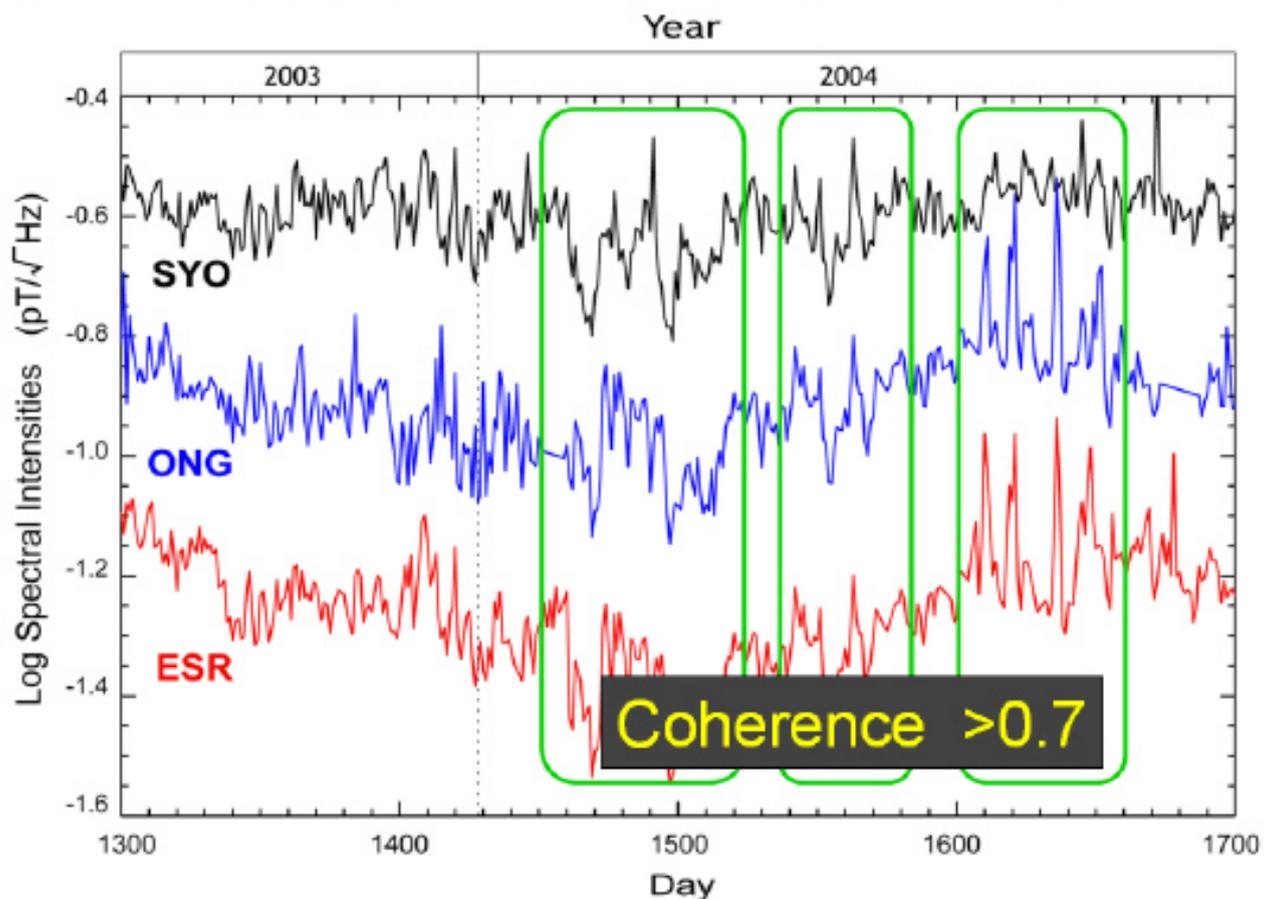
Daily Mean Variation of SR_{spv}



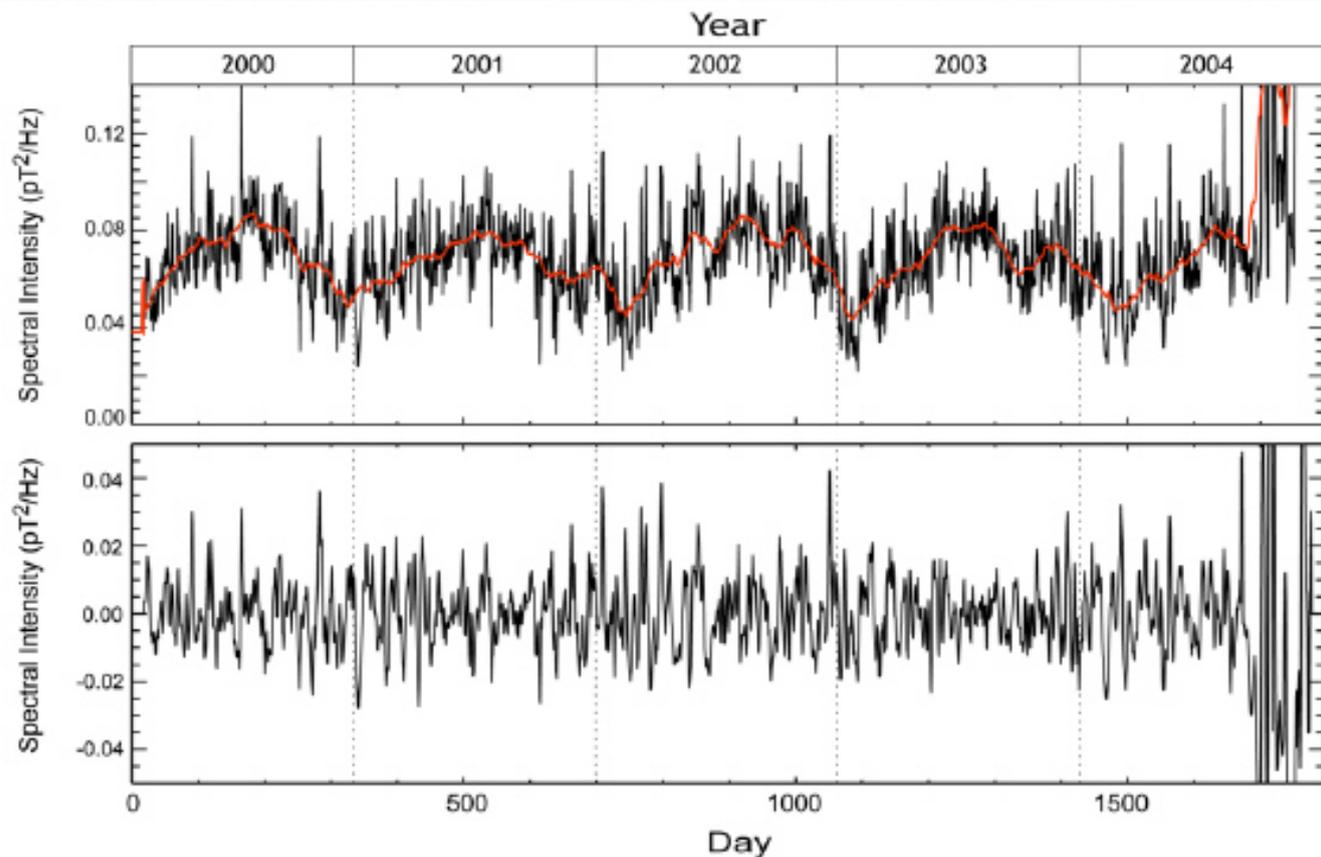
Daily Mean Variation of SR_{spv}



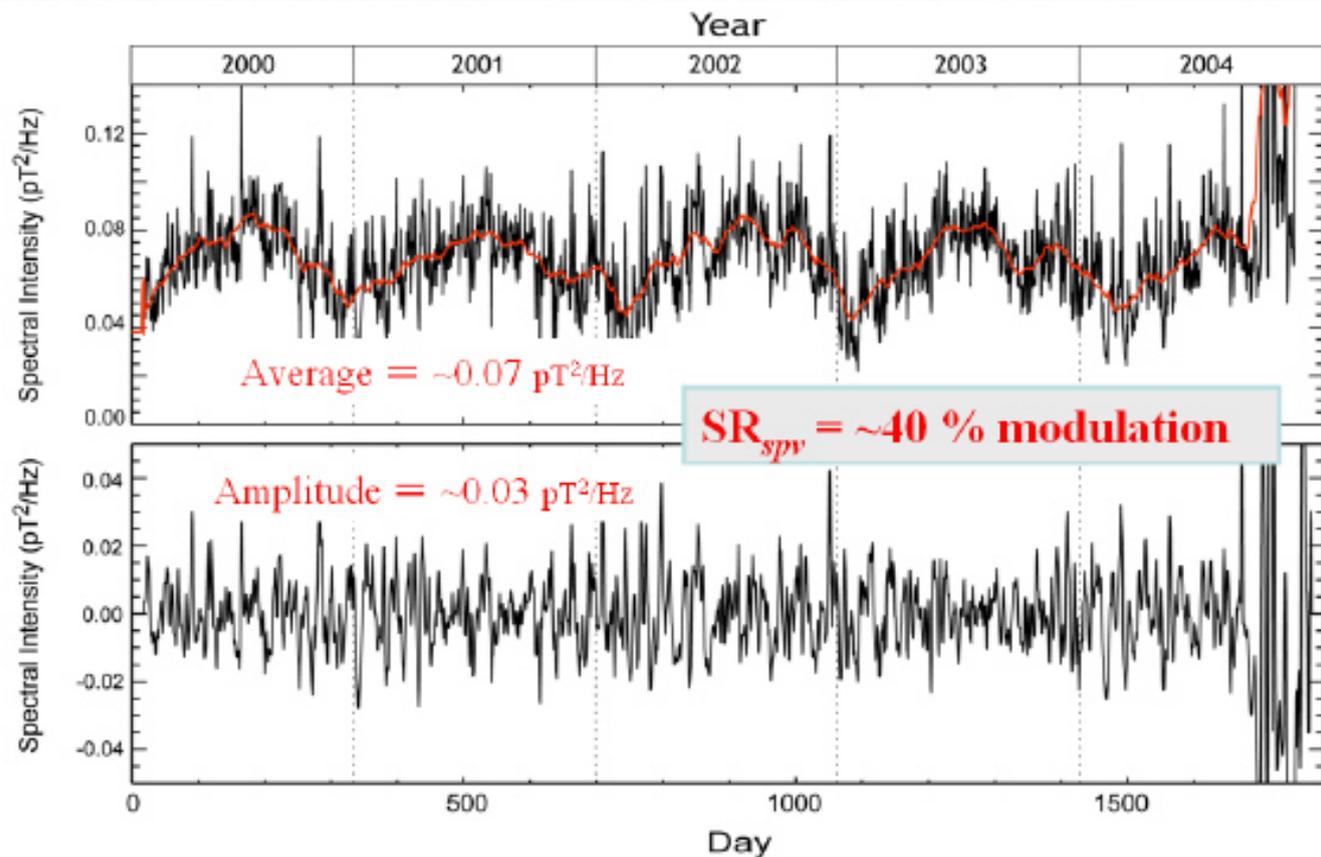
Daily Mean Variation of SR_{spv}



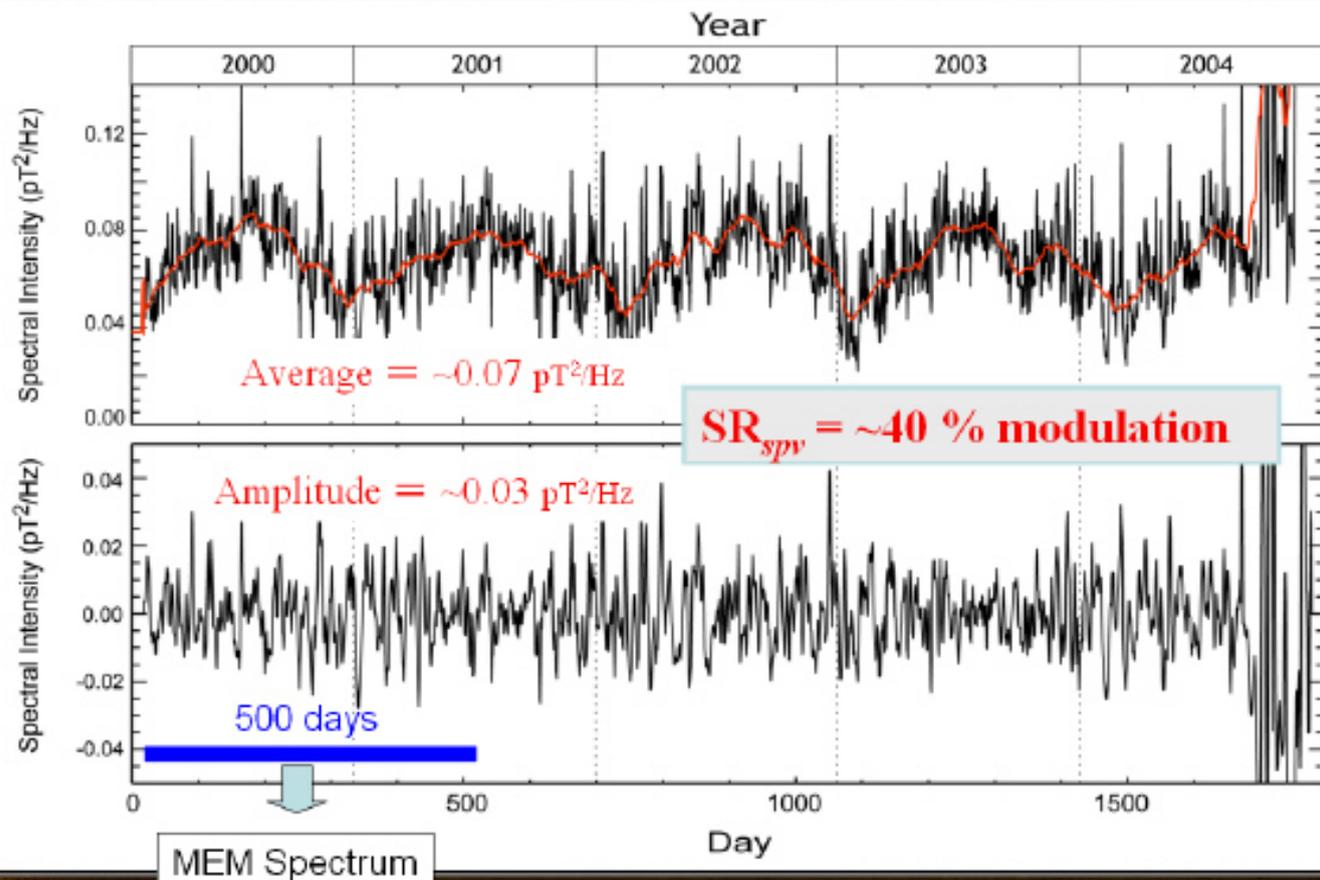
Daily Mean Values of Syowa SR_{spv}



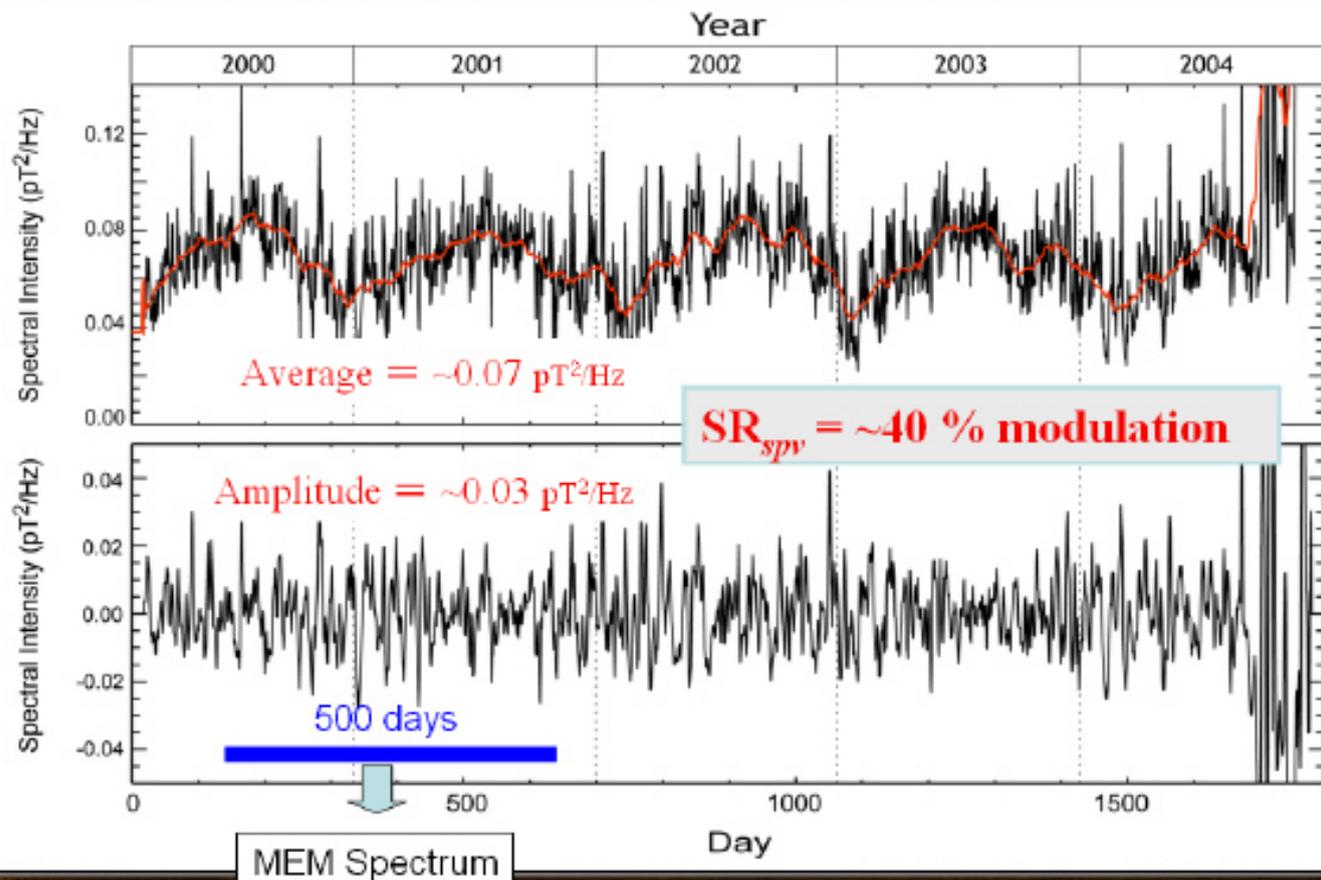
Daily Mean Values of Syowa SR_{spv}



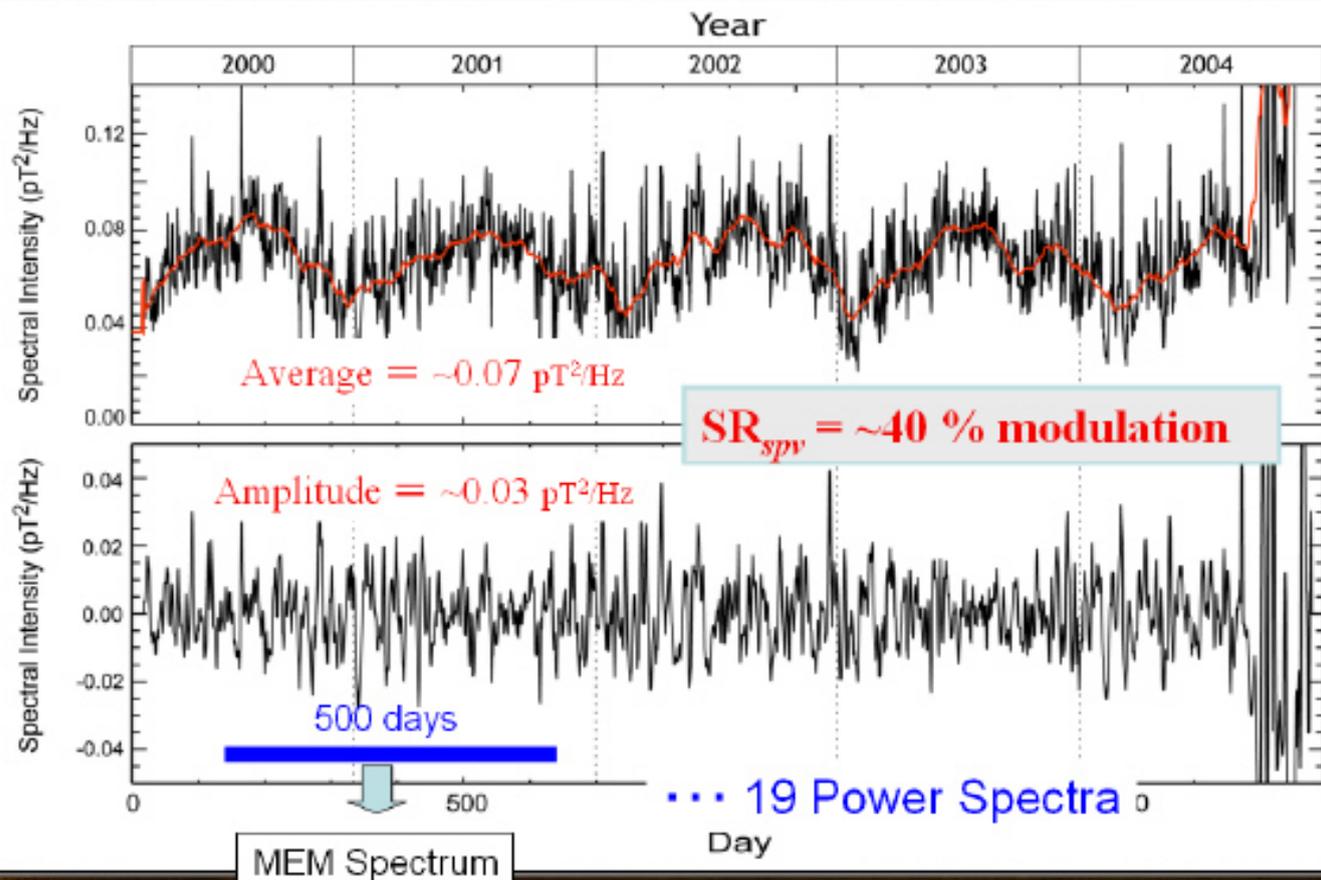
Daily Mean Values of Syowa SR_{spv}



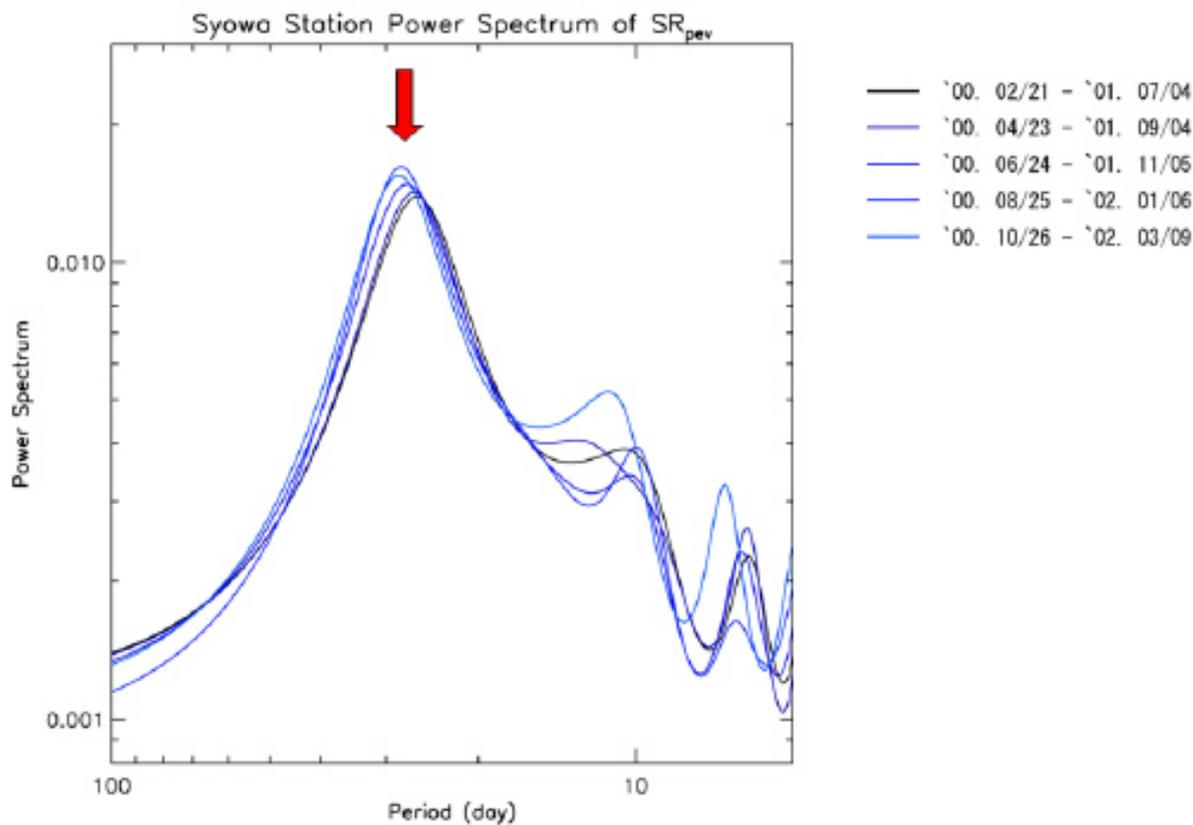
Daily Mean Values of Syowa SR_{spv}



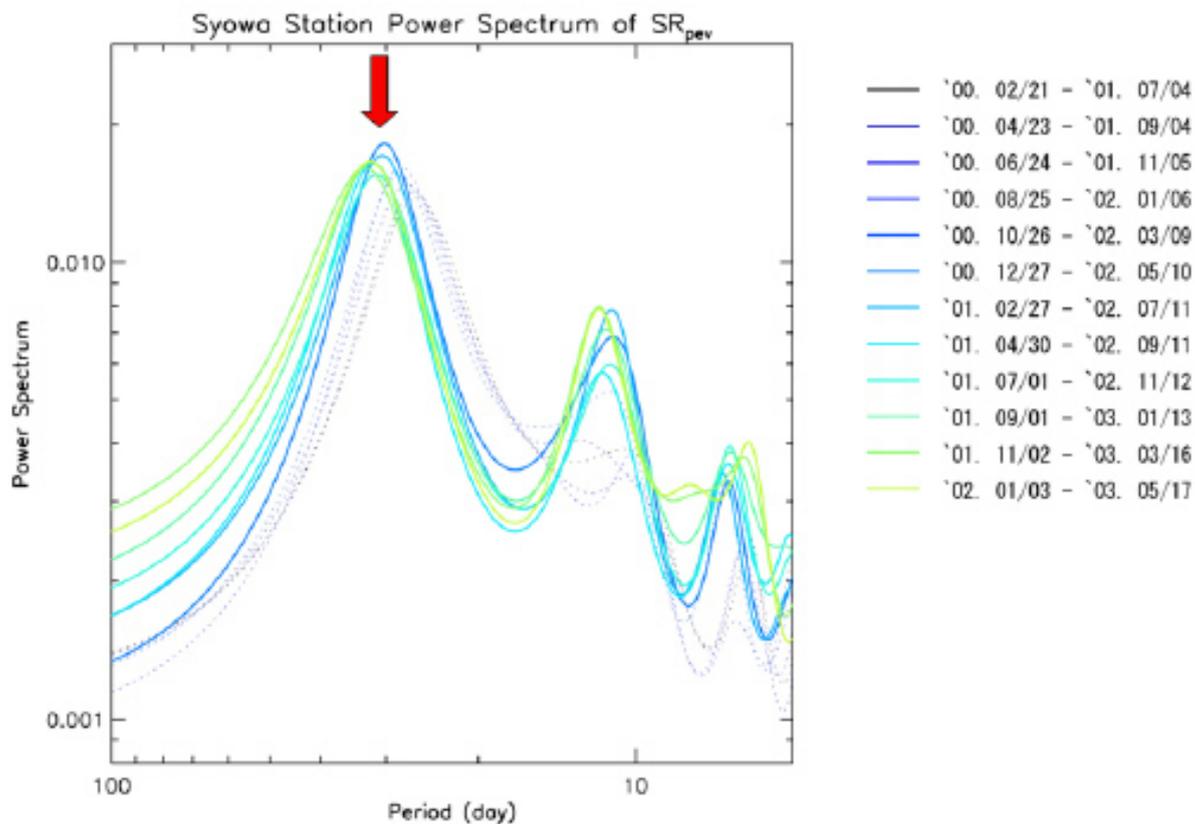
Daily Mean Values of Syowa SR_{spv}



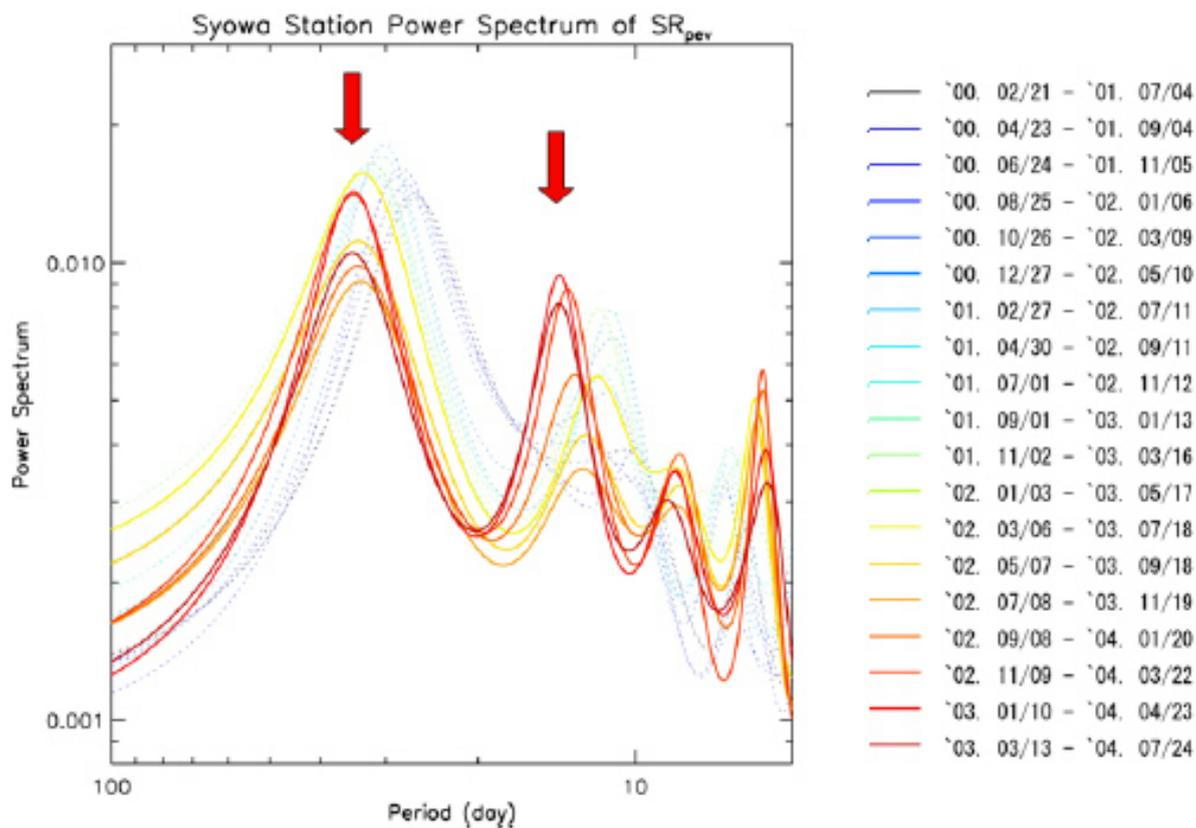
MEM Spectrum



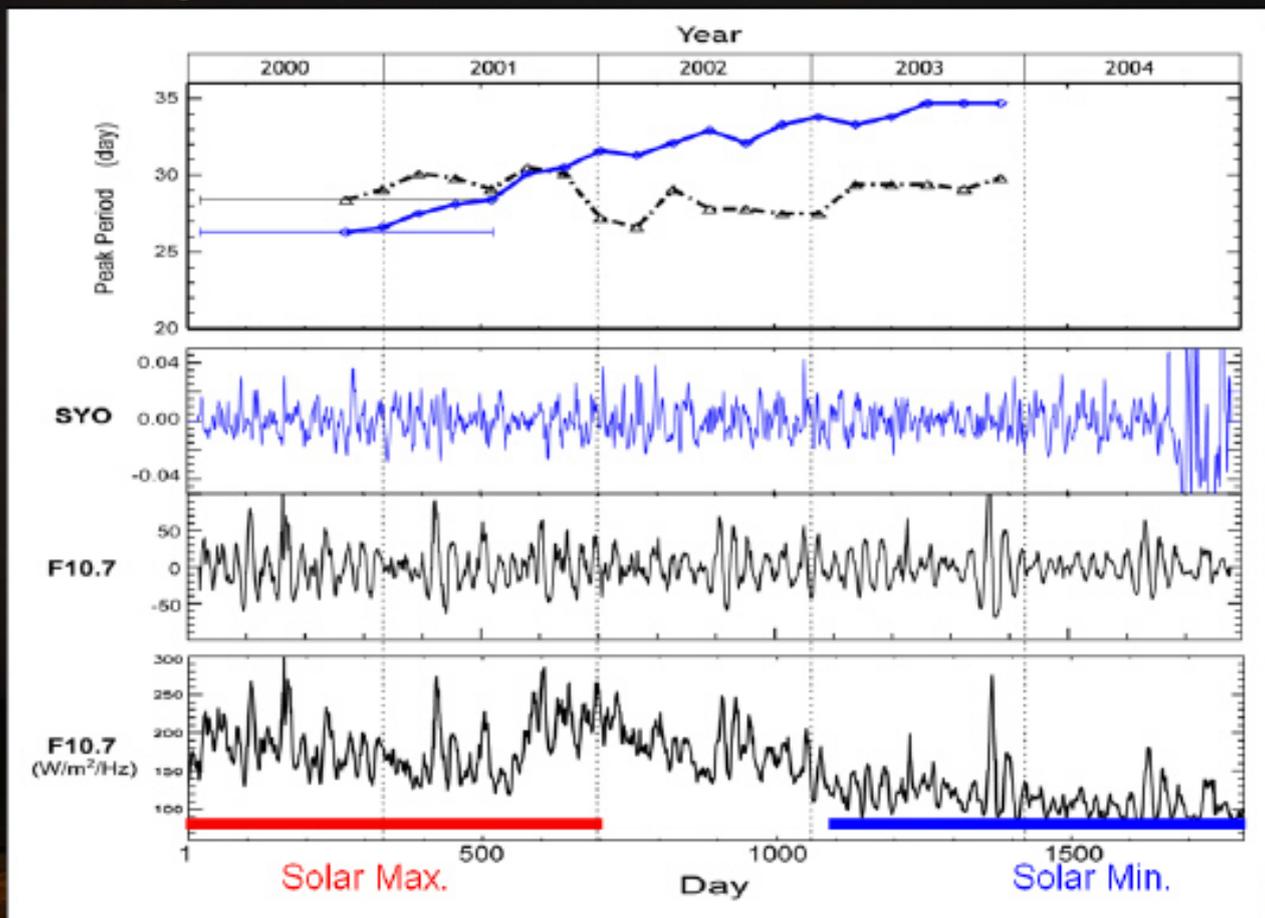
MEM Spectrum



MEM Spectrum

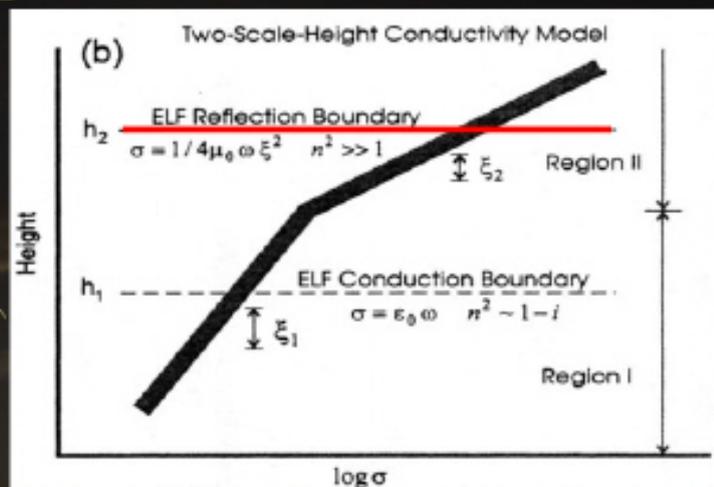


Periodicity Variation



Ionospheric Reflection Height

Two-scale height conductivity model [Sentman, 1996]



h_1 : conduction boundary,
 h_2 : reflection boundary,
 f_n : resonance frequency
 s_1, s_2 : scale height

$$\left\{ \begin{array}{l} h_1(f_n) = h_1(f_1) - s_1 \ln(f_1/f_n) \quad \dots(1) \\ h_2(f_n) = h_2(f_1) - s_2 \ln(f_n/f_1) \quad \dots(2) \end{array} \right.$$

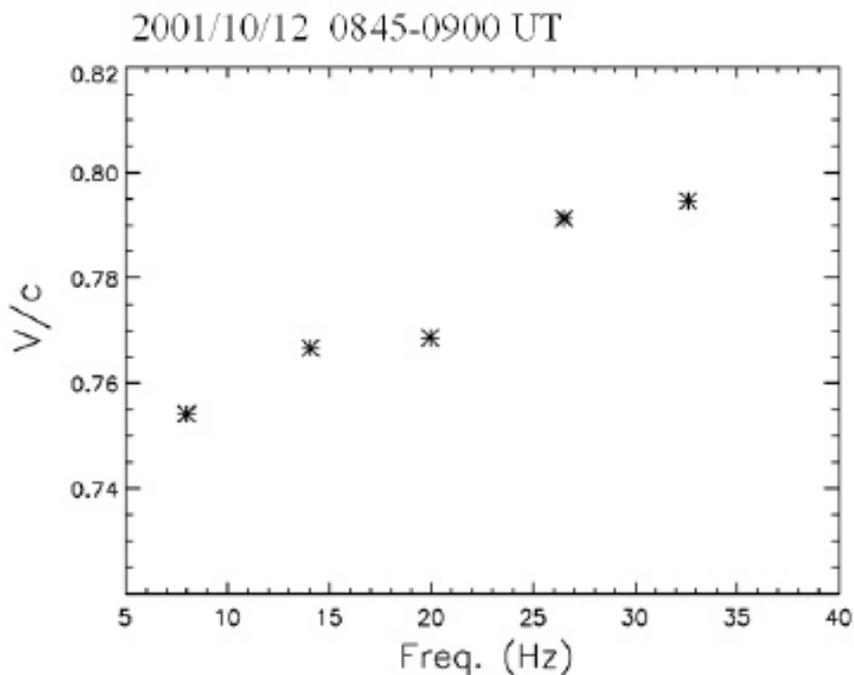
$$\frac{v}{c}(f_n) = \sqrt{\frac{h_1(f_n)}{h_2(f_n)}} \quad \dots(3)$$

Earth-Ionosphere Cavity resonances

Using equations (1)–(4), the inospheric reflection height (h_2) can be estimated.

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{n(n+1)} \cdot \frac{v}{R_E}$$

$$\therefore \frac{v}{c}(f_n) = \frac{2\pi f_n}{\sqrt{n(n+1)}} \cdot \frac{R_E}{c} \quad \dots(4)$$

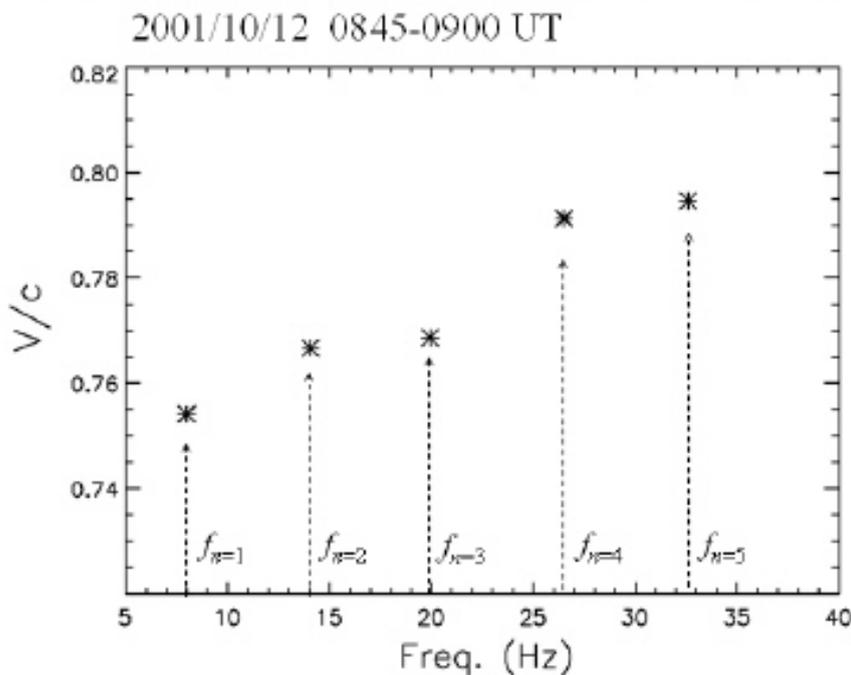


Earth-Ionosphere Cavity resonances

Using equations (1)–(4), the ionospheric reflection height (h_2) can be estimated.

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{n(n+1)} \cdot \frac{v}{R_E}$$

$$\therefore \frac{v}{c}(f_n) = \frac{2\pi f_n}{\sqrt{n(n+1)}} \cdot \frac{R_E}{c} \quad \dots(4)$$

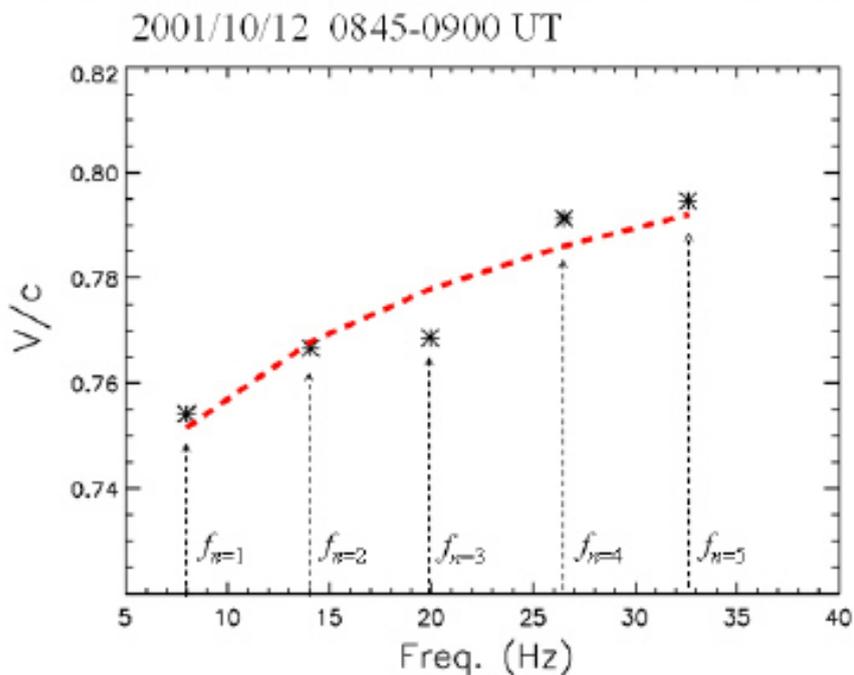


Earth-Ionosphere Cavity resonances

Using equations (1)–(4), the ionospheric reflection height (h_2) can be estimated.

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{n(n+1)} \cdot \frac{v}{R_E}$$

$$\therefore \frac{v}{c}(f_n) = \frac{2\pi f_n}{\sqrt{n(n+1)}} \cdot \frac{R_E}{c} \quad \dots(4)$$



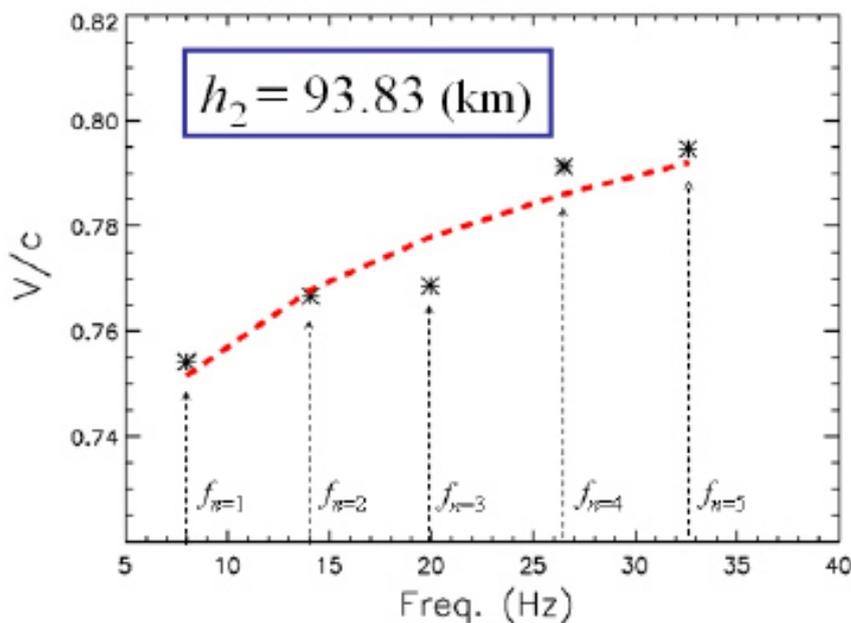
Earth-Ionosphere Cavity resonances

Using equations (1)~(4), the ionospheric reflection height (h_2) can be estimated.

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{n(n+1)} \cdot \frac{v}{R_E}$$

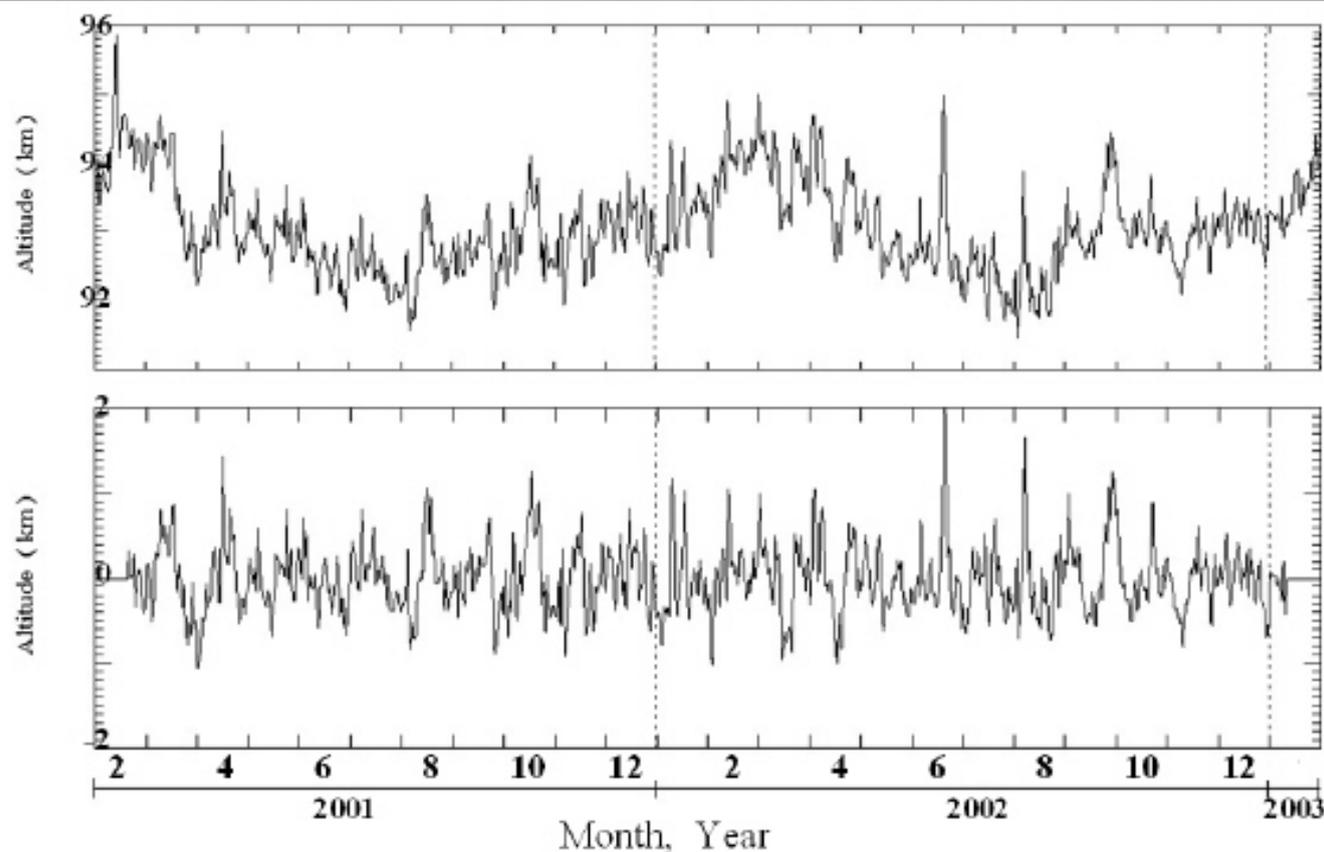
$$\therefore \frac{v}{c}(f_n) = \frac{2\pi f_n}{\sqrt{n(n+1)}} \cdot \frac{R_E}{c} \quad \dots(4)$$

2001/10/12 0845-0900 UT



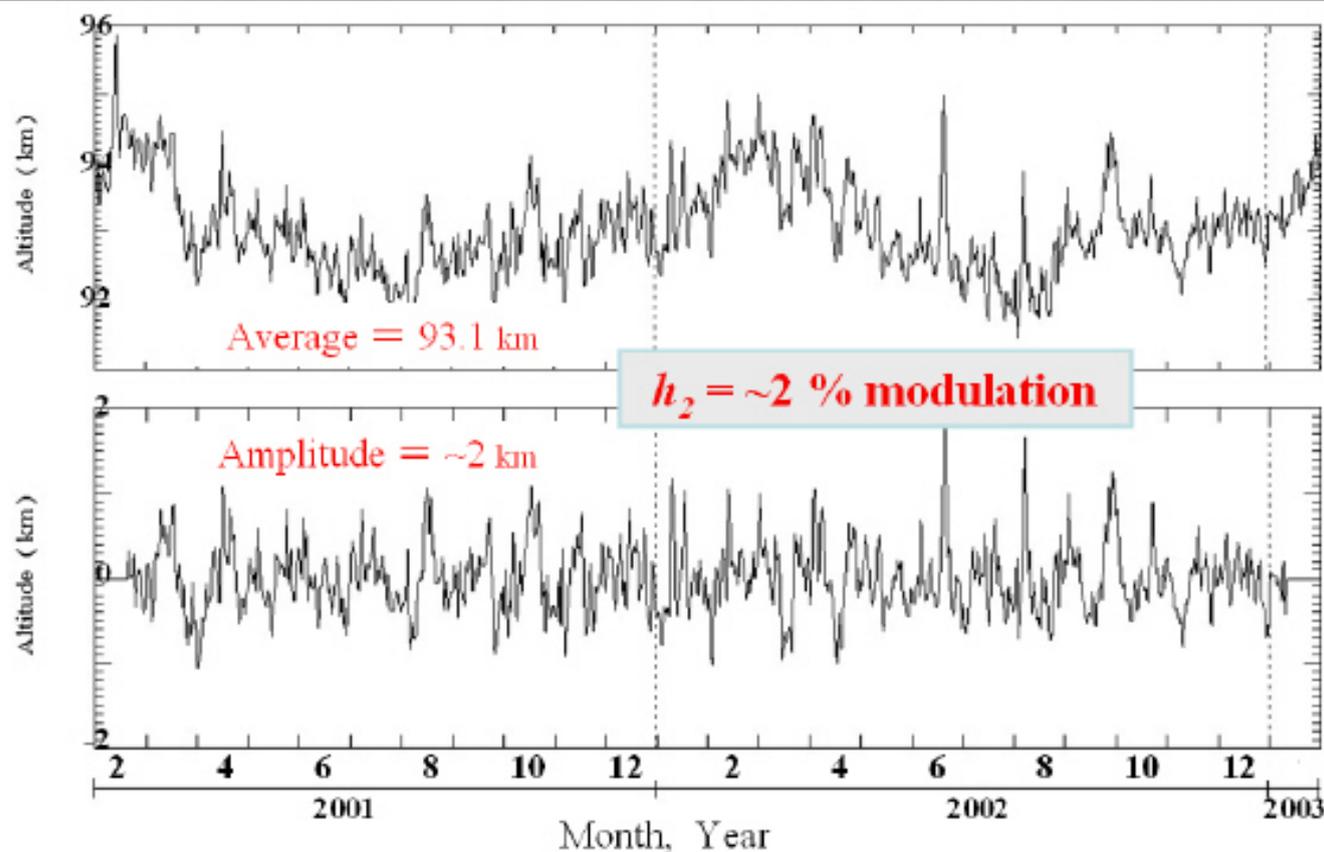
Ionospheric Reflection Height

Syowa Data (2001/02 - 2003/01)



Ionospheric Reflection Height

Syowa Data (2001/02 - 2003/01)

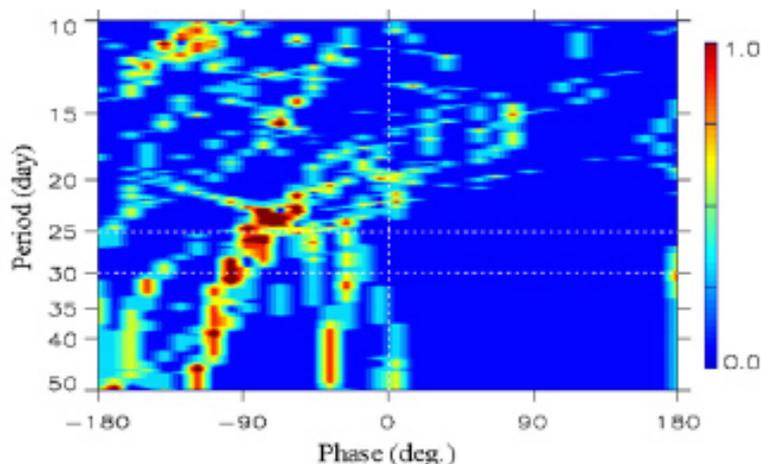


Cross spectral analysis

Phase relation between

$$\theta_{SR_{spv}} \text{ vs } \theta_{h_2}$$

Phase difference = 90 deg.



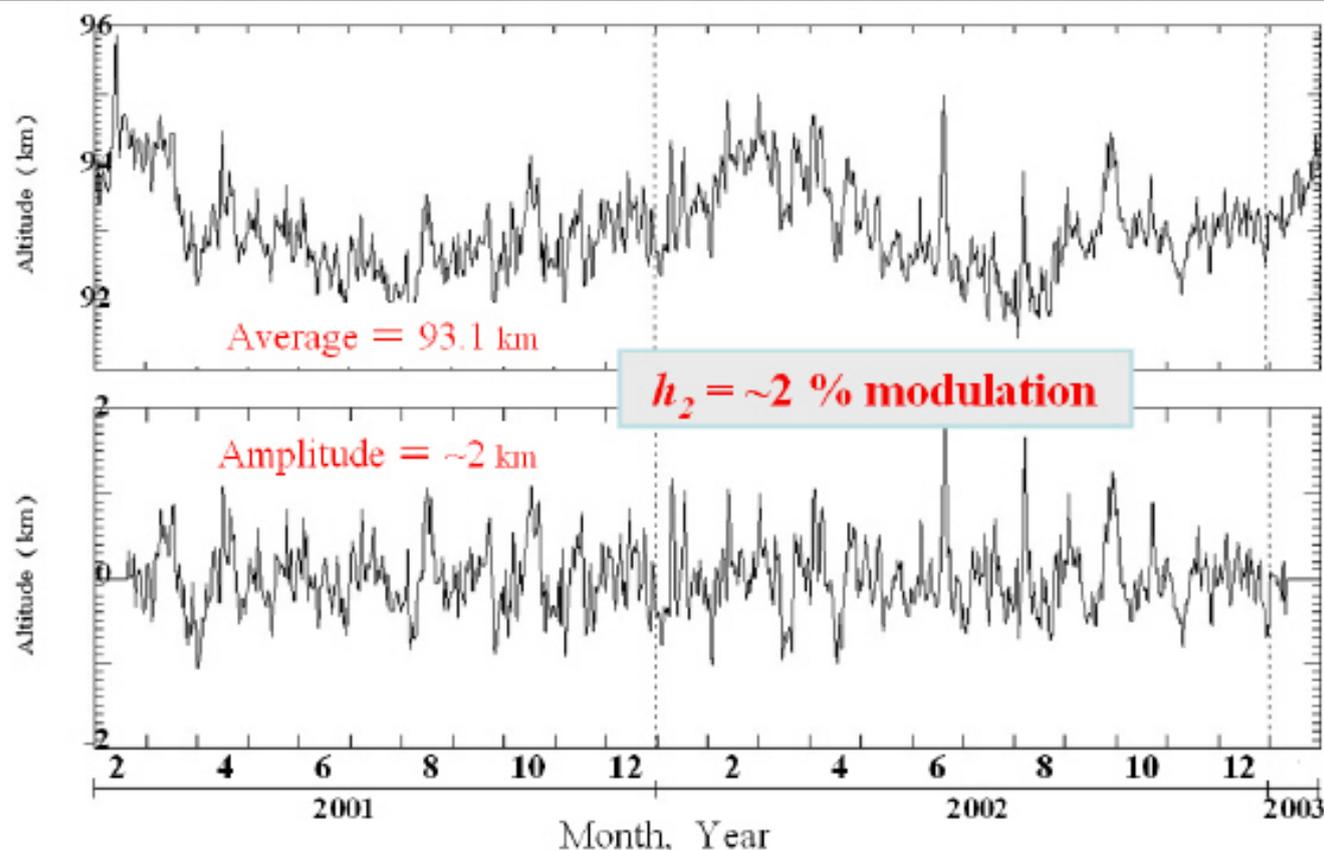
$$H_{\phi} = \frac{I_{dl}(f_n)}{4\pi R_E h_2} \sum_m \frac{2n+1}{n(n+1) - \nu(\nu+1)} P_n^1(\cos \theta)$$

- 1) Phase difference (~90 deg.) is not reasonable,
- 2) ~2% amplitude of h_2 can not make ~40% amplitude of SR_{spv}

∴ ~30 day modulation lightning activity itself

Ionospheric Reflection Height

Syowa Data (2001/02 - 2003/01)

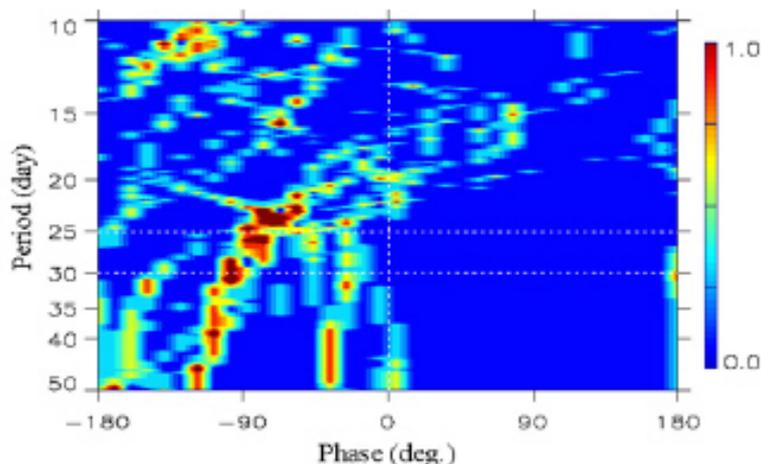


Cross spectral analysis

Phase relation between

$$\theta_{SR_{spv}} \text{ vs } \theta_{h_2}$$

Phase difference = 90 deg.



$$H_{\phi} = \frac{I_{dl}(f_n)}{4\pi R_E h_2} \sum_m \frac{2n+1}{n(n+1) - \nu(\nu+1)} P_n^1(\cos \theta)$$

- 1) Phase difference (~90 deg.) is not reasonable,
- 2) ~2% amplitude of h_2 can not make ~40% amplitude of SR_{spv}

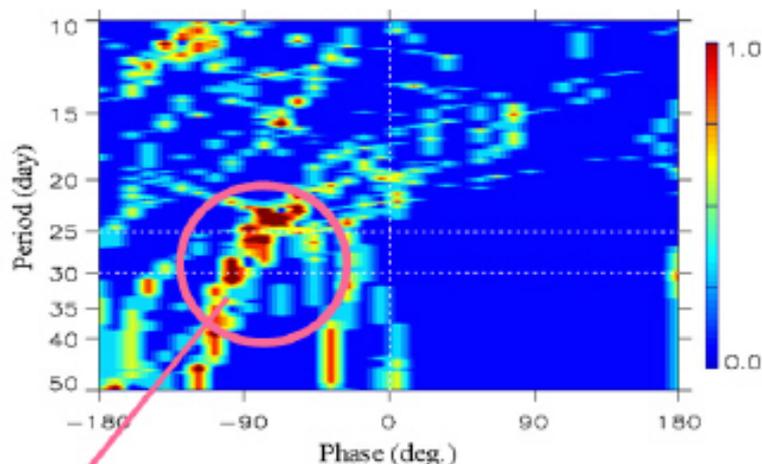
∴ ~30 day modulation lightning activity itself

Cross spectral analysis

Phase relation between

$$\theta_{SR_{spv}} \text{ vs } \theta_{h_2}$$

Phase difference = 90 deg.



$$H_{\phi} = \frac{I_{dl}(f_n)}{4\pi R_E h_2} \sum_m \frac{2n+1}{n(n+1) - \nu(\nu+1)} P_n^1(\cos \theta)$$

- 1) Phase difference (~90 deg.) is not reasonable,
- 2) ~2% amplitude of h_2 can not make ~40% amplitude of SR_{spv}

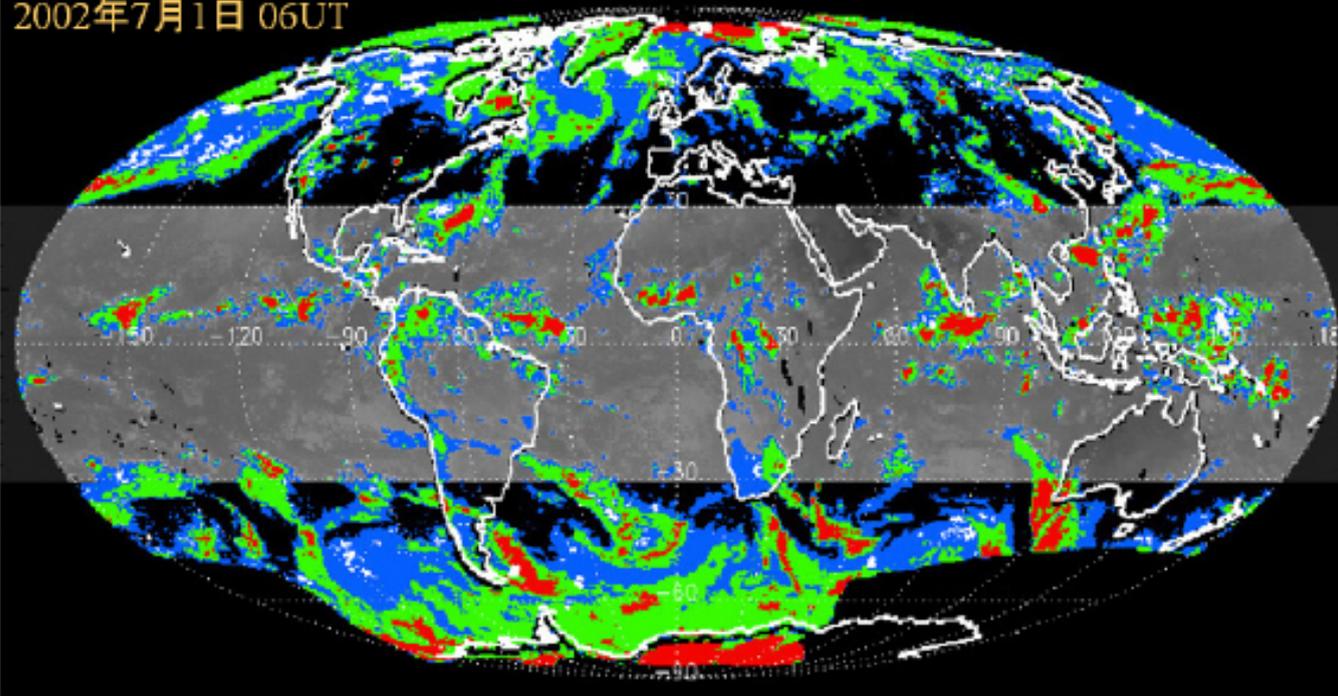
∴ ~30 day modulation lightning activity itself

赤外雲画像

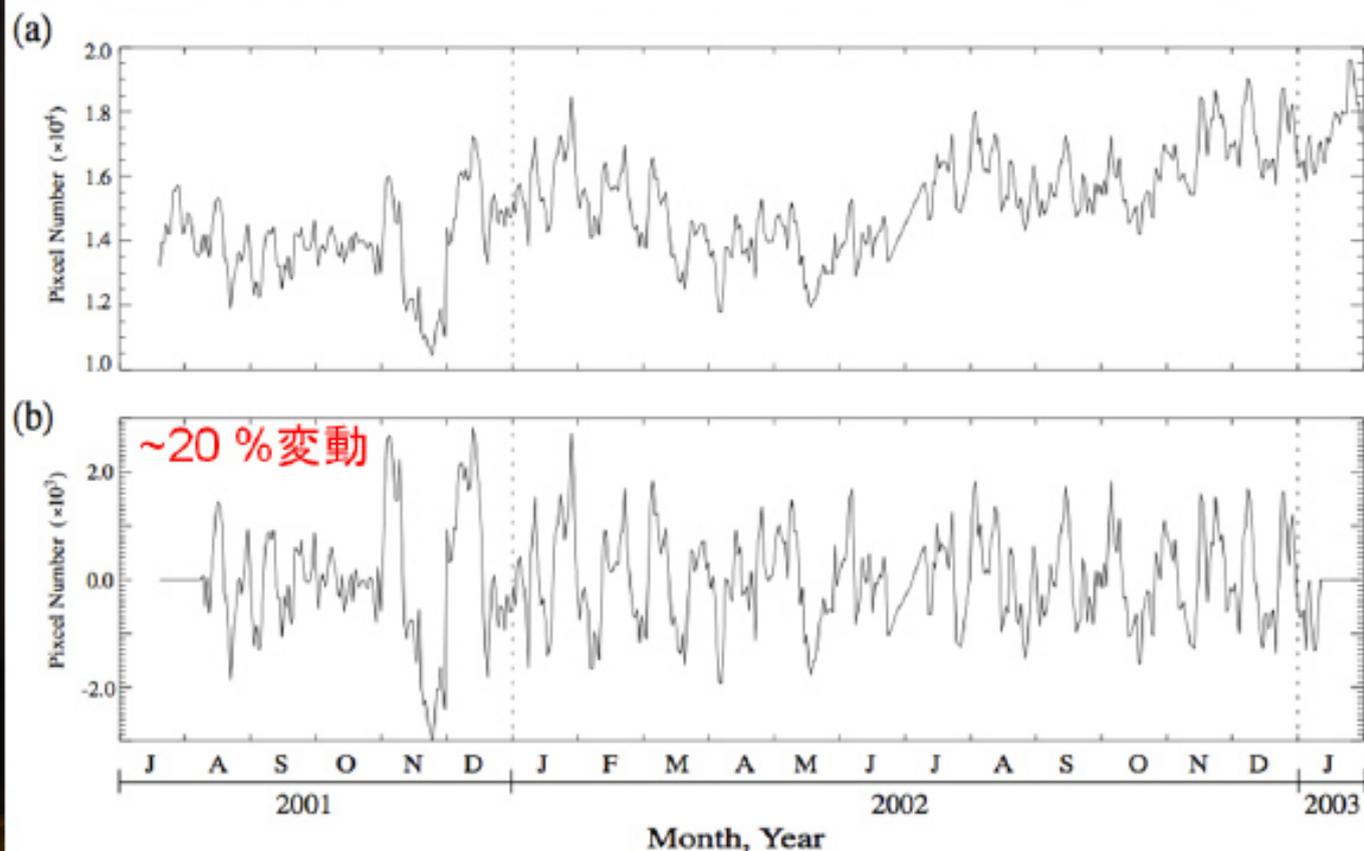
- ・ 緯度±30度に存在する雲で、雲頂高度 > 8 km
- ・ 陸域と海域に分けて雲量を推定

8 (images/day)のデータから日平均値

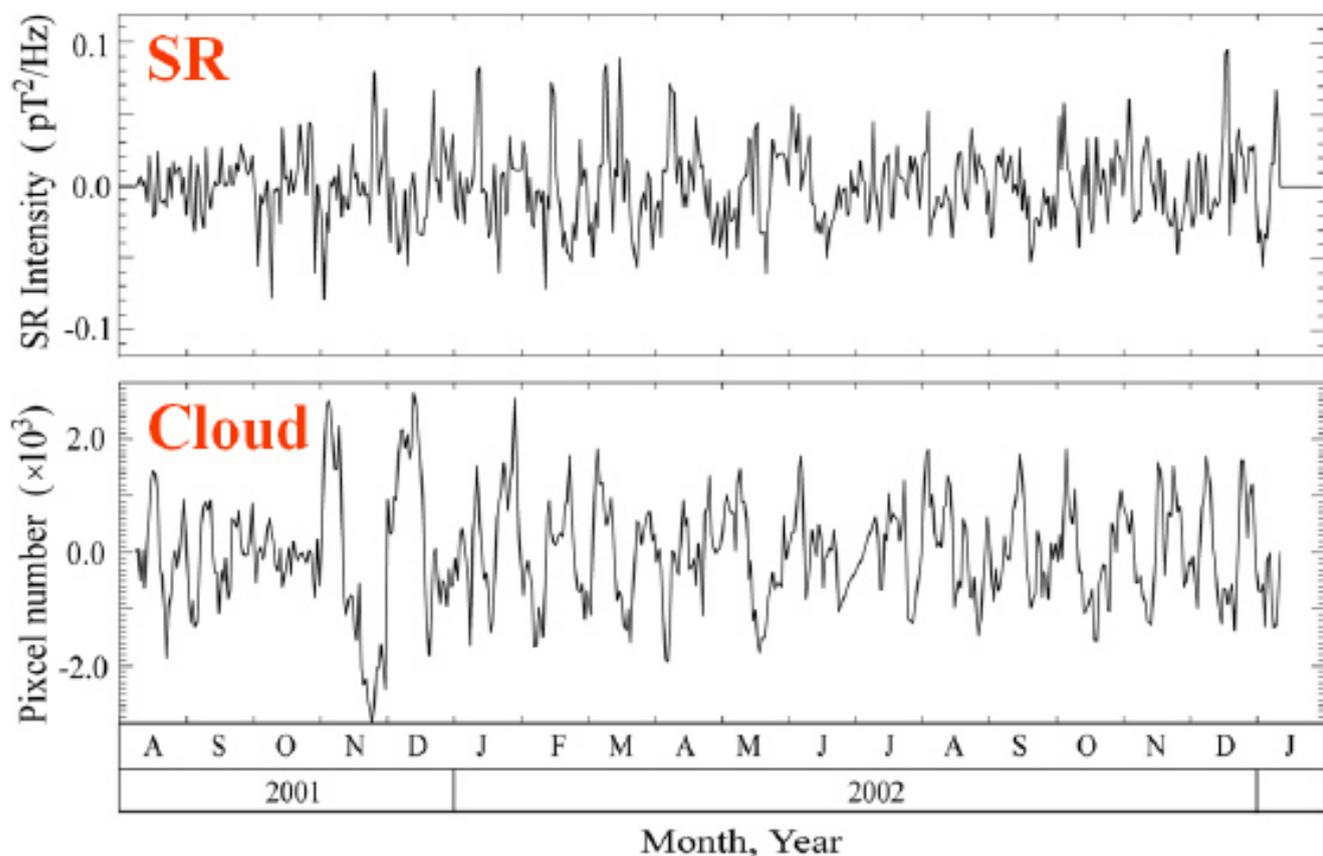
2002年7月1日 06UT



SR_{spv} と雲量との相関解析 2001/08 – 2003/01

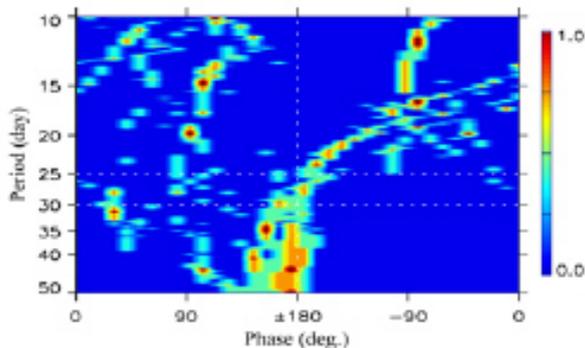
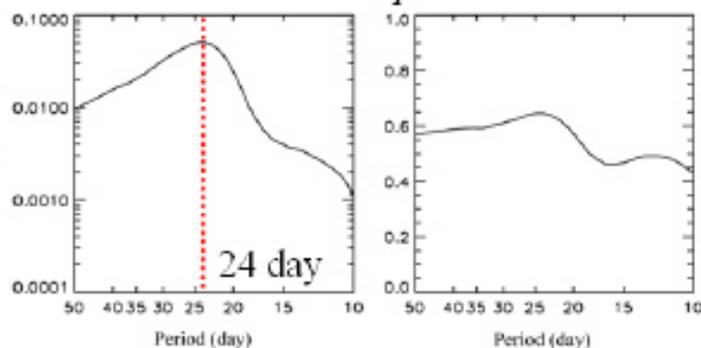


SR_{spv} と雲量との相関解析 2001/08 - 2003/01

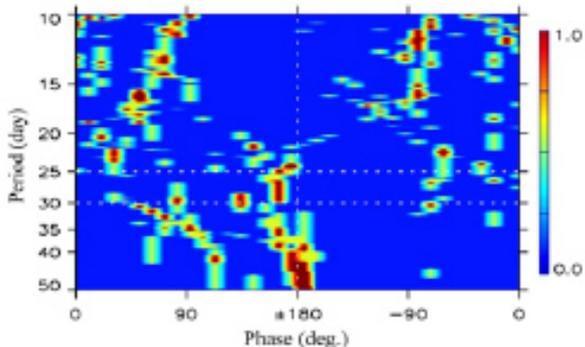
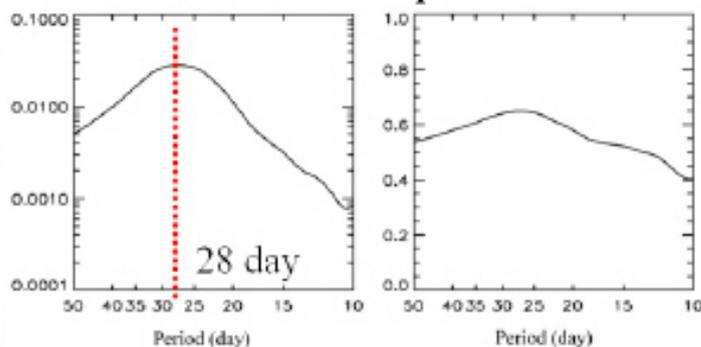


SR_{spv}と雲量との相関解析

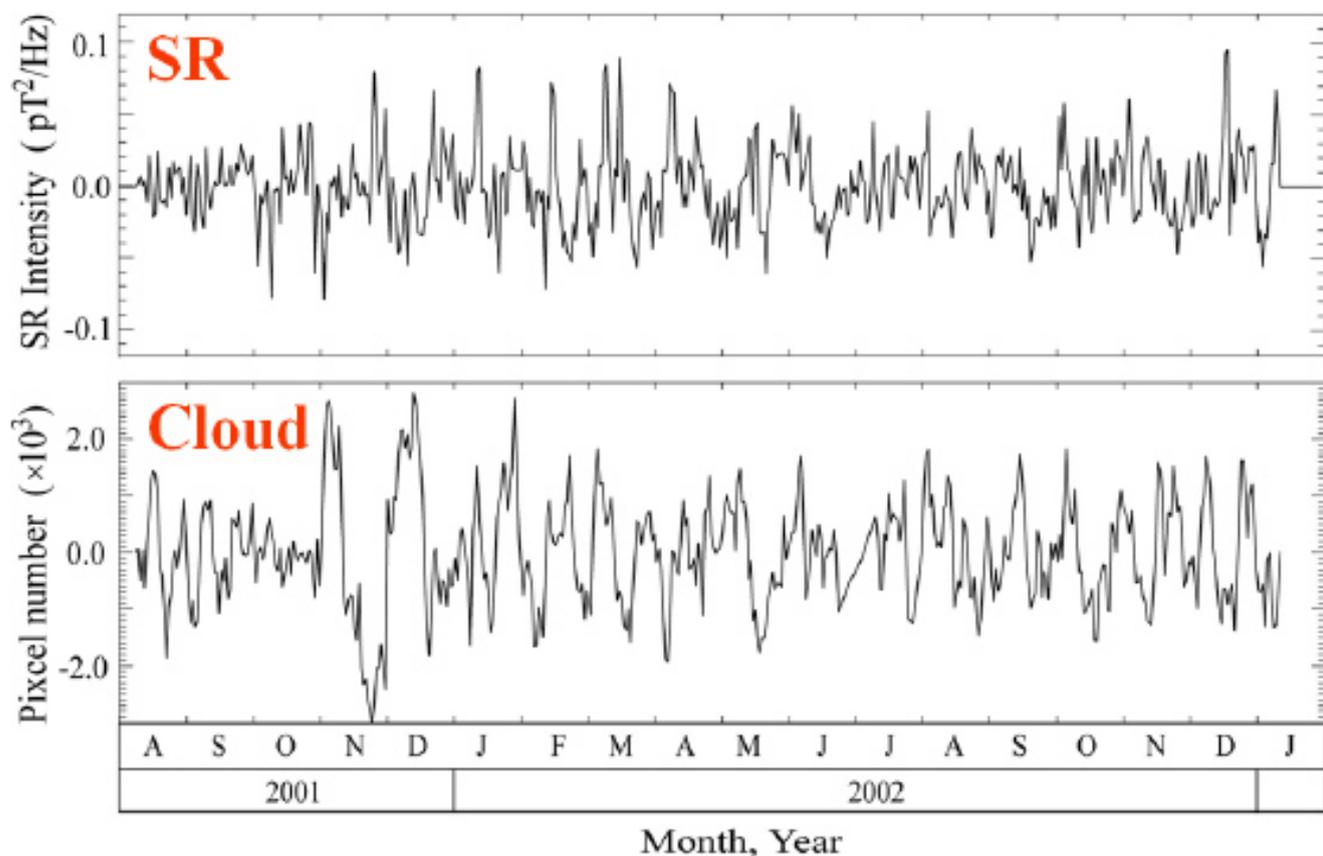
>8 kmの雲量とSR_{spv}



>10 kmの雲量とSR_{spv}

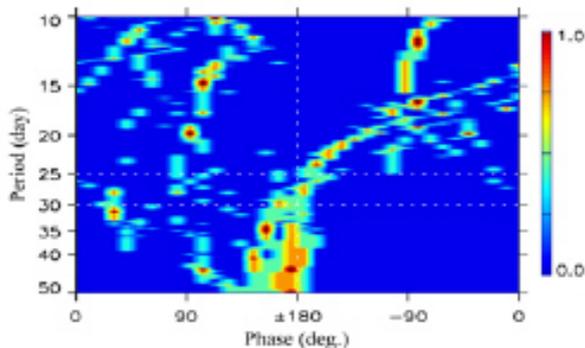
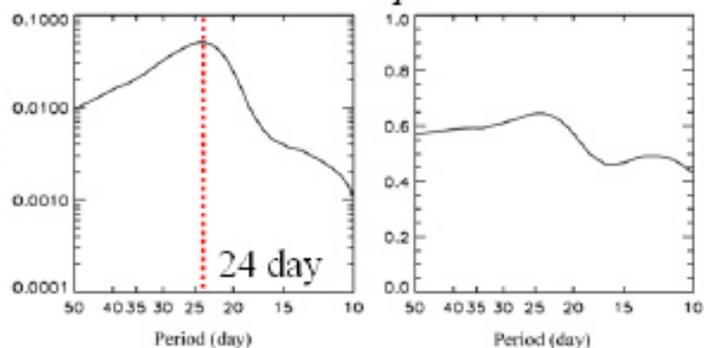


SR_{spv} と雲量との相関解析 2001/08 - 2003/01

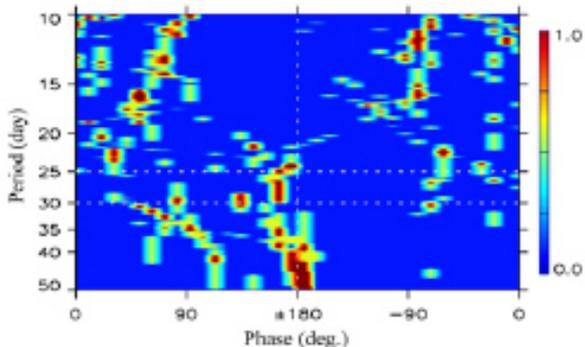
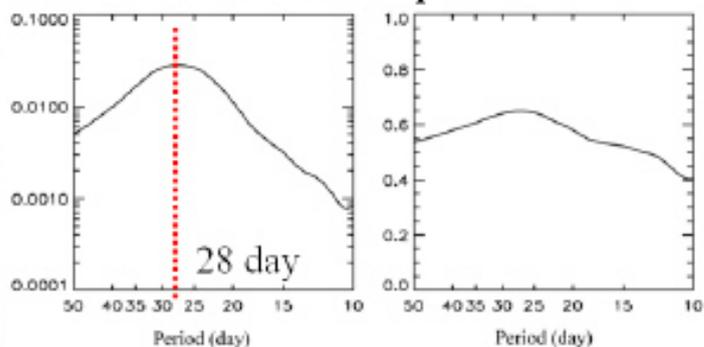


SR_{spv}と雲量との相関解析

>8 kmの雲量とSR_{spv}

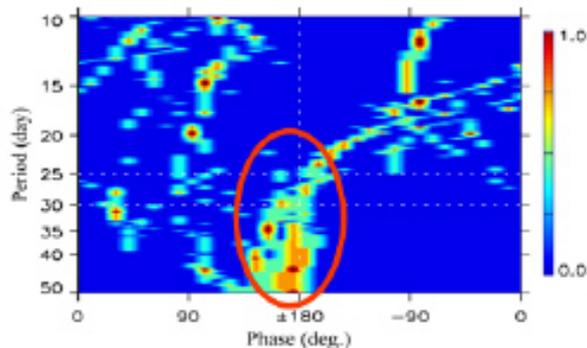
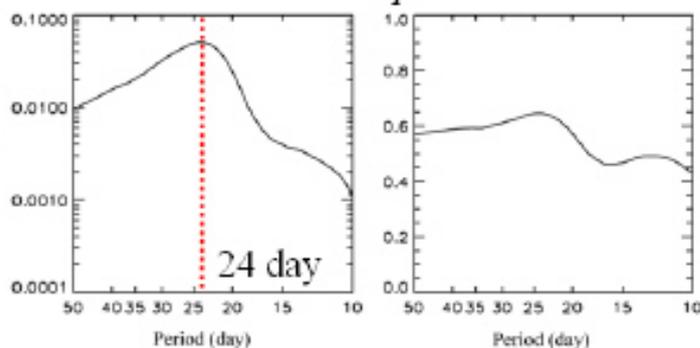


>10 kmの雲量とSR_{spv}

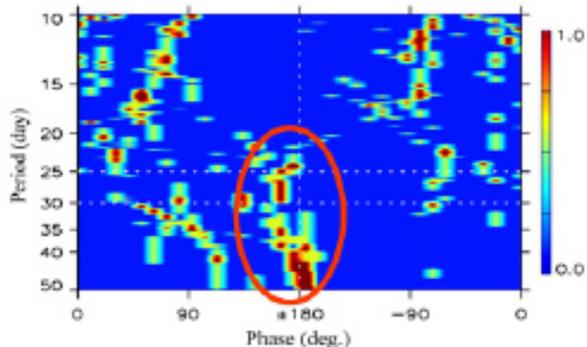
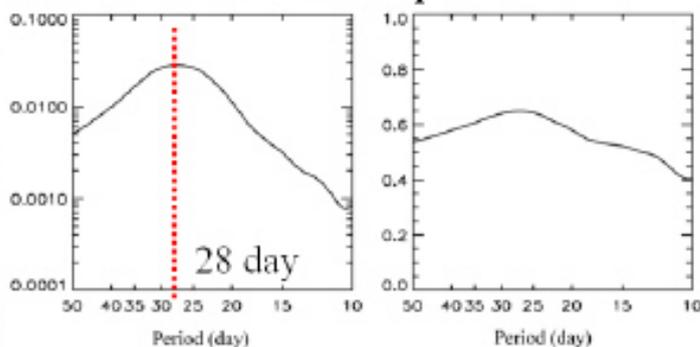


SR_{spv}と雲量との相関解析

>8 kmの雲量とSR_{spv}



>10 kmの雲量とSR_{spv}



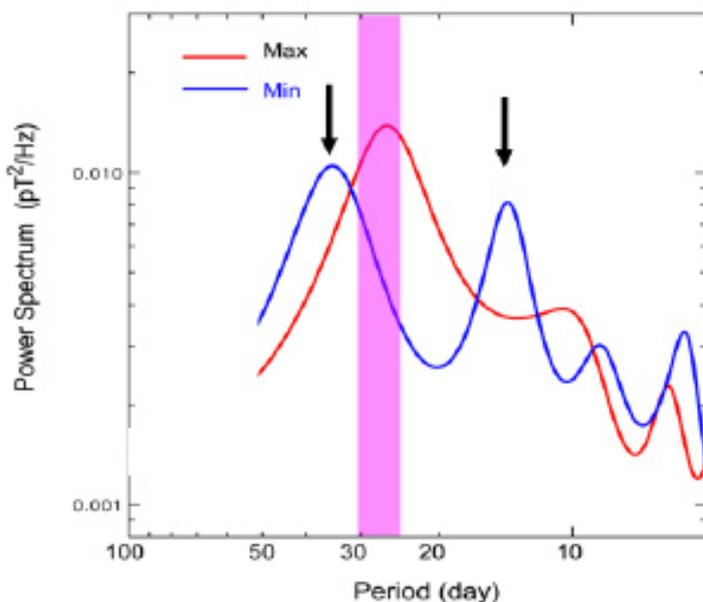
Comparison between SR_{spv} and OLR

OLR (Outgoing Longwave Radiation) : Index of cloud amount

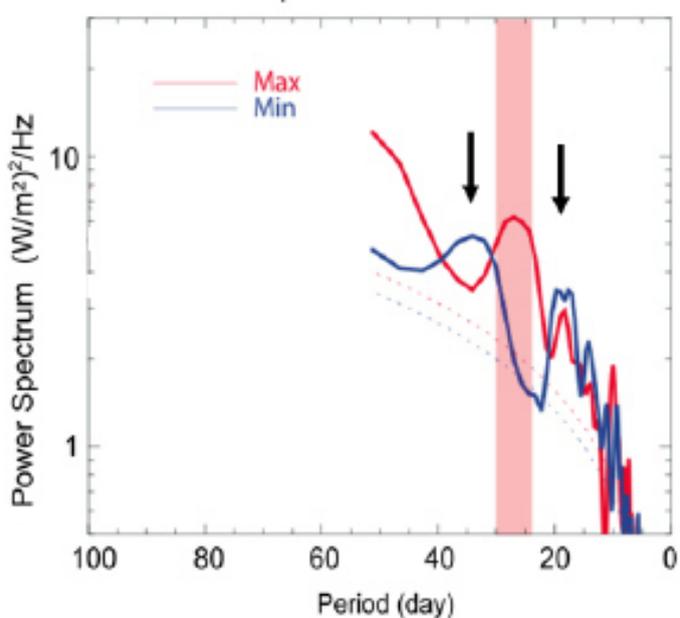
SR_{spv}

OLR

Power Spectrum of Syowa SR_{spv} Variation



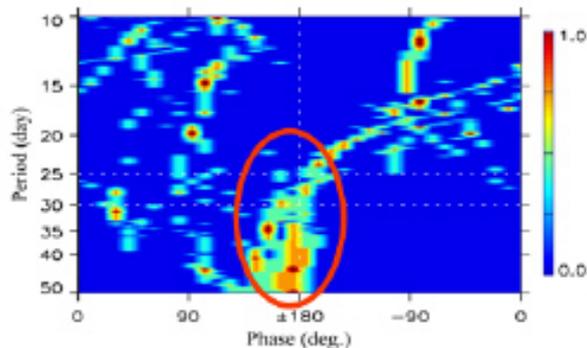
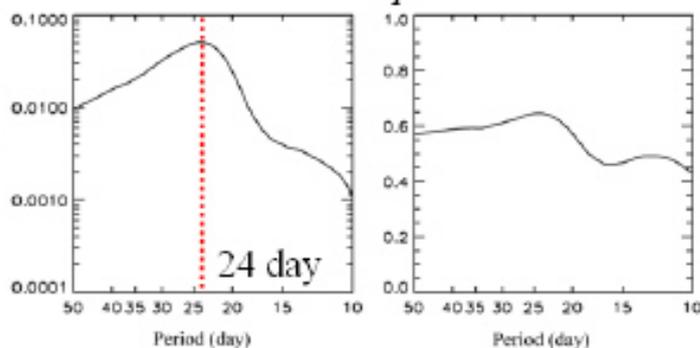
Power Spectrum of OLR variation



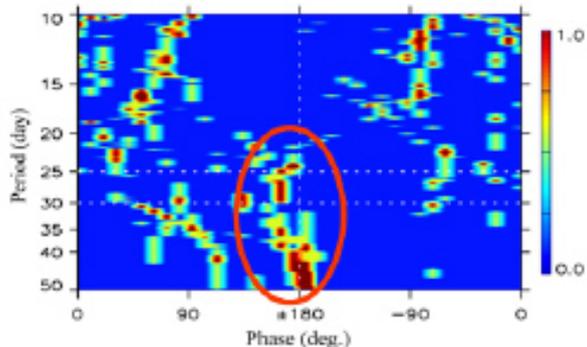
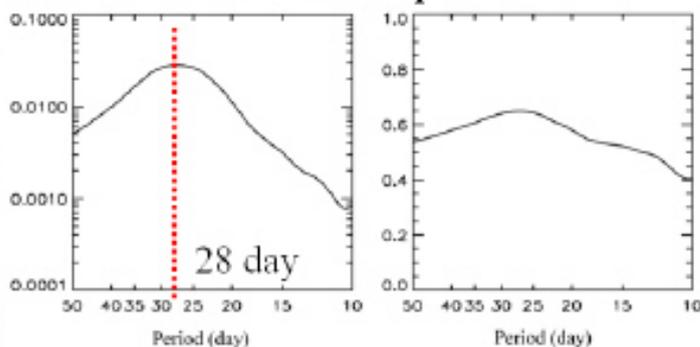
[Okazaki et al., @ this session]

SR_{spv}と雲量との相関解析

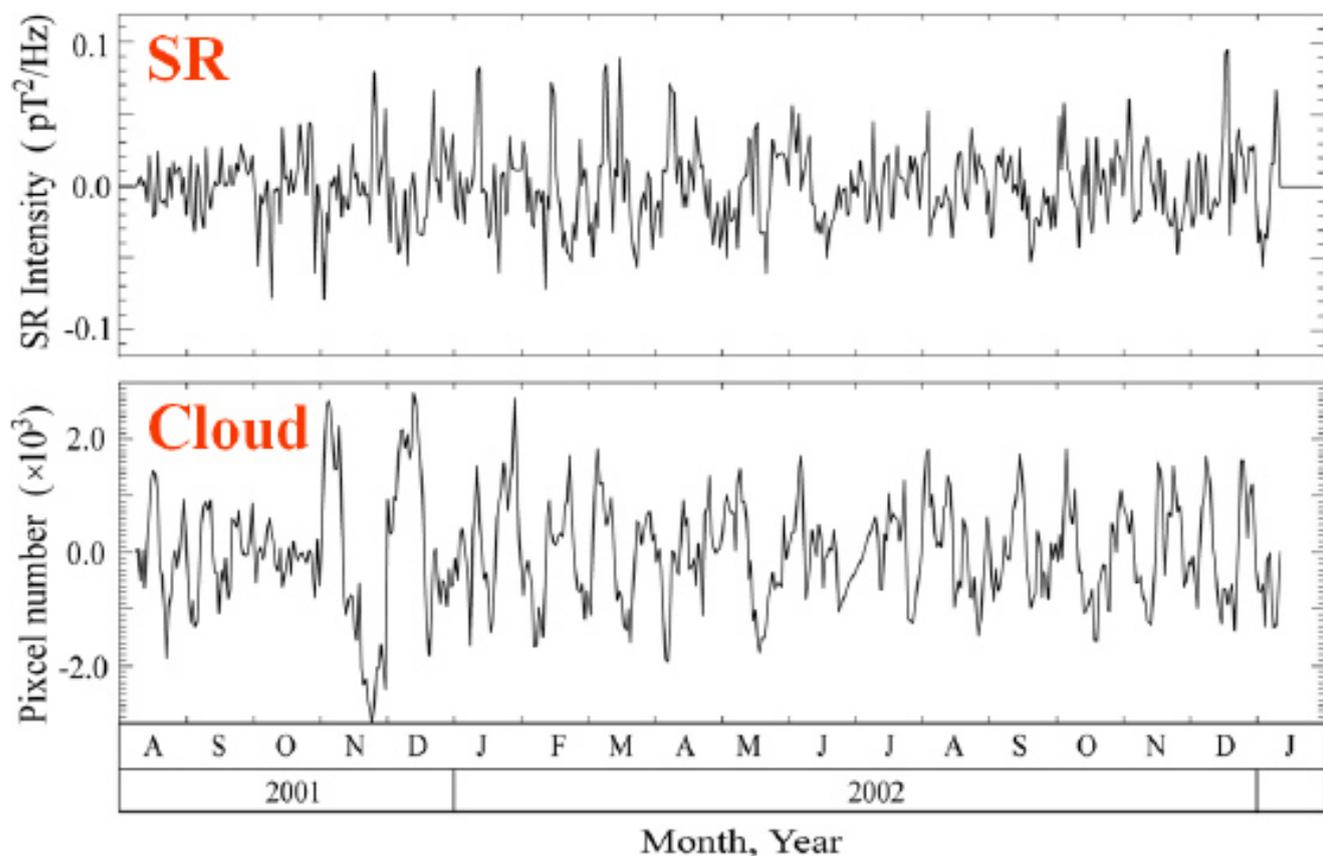
>8 kmの雲量とSR_{spv}



>10 kmの雲量とSR_{spv}

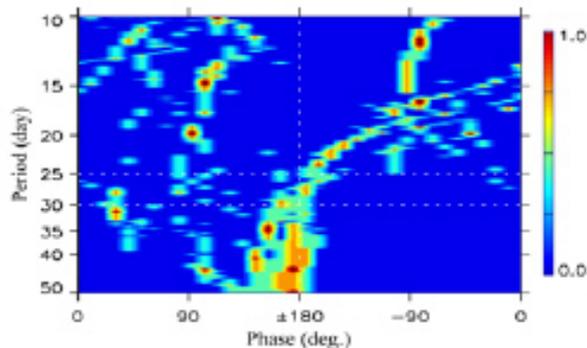
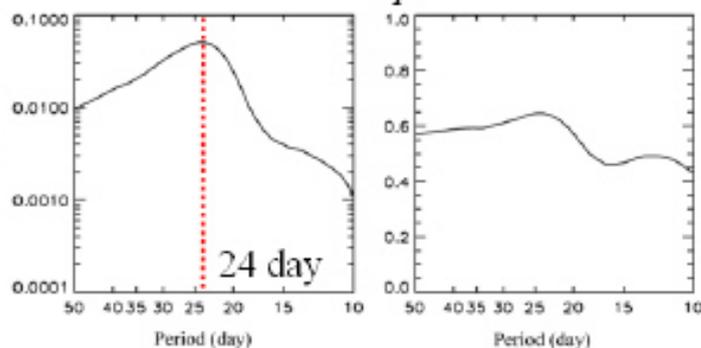


SR_{spv} と雲量との相関解析 2001/08 – 2003/01

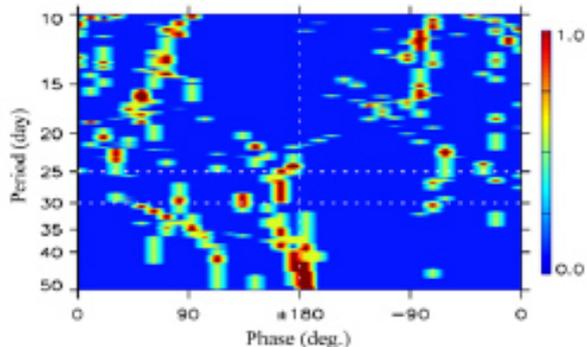
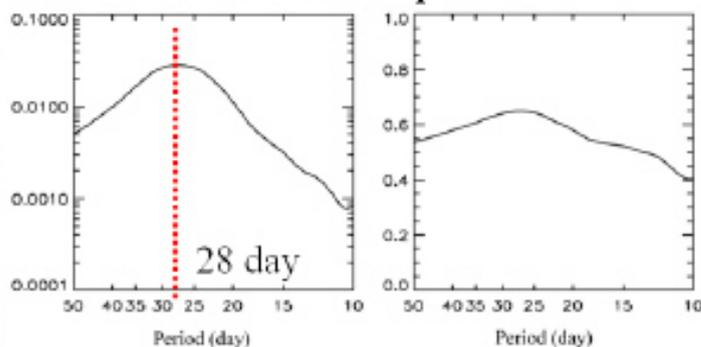


SR_{spv}と雲量との相関解析

>8 kmの雲量とSR_{spv}

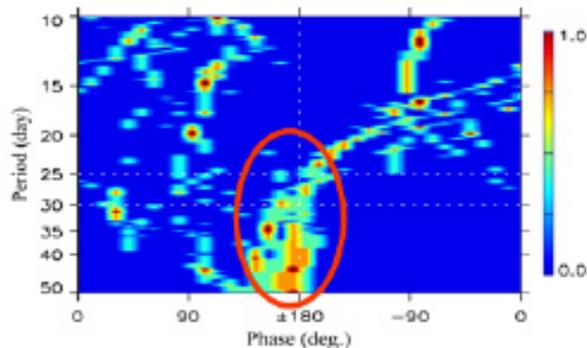
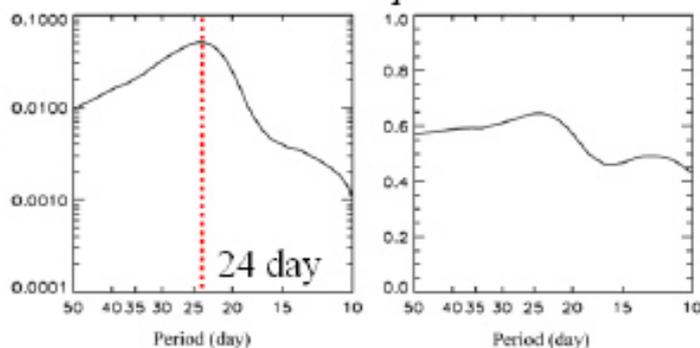


>10 kmの雲量とSR_{spv}

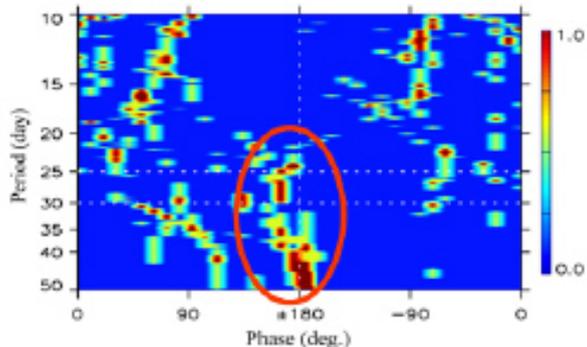
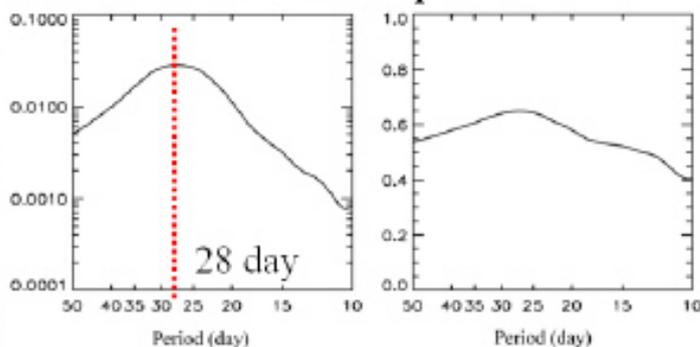


SR_{spv}と雲量との相関解析

>8 kmの雲量とSR_{spv}



>10 kmの雲量とSR_{spv}



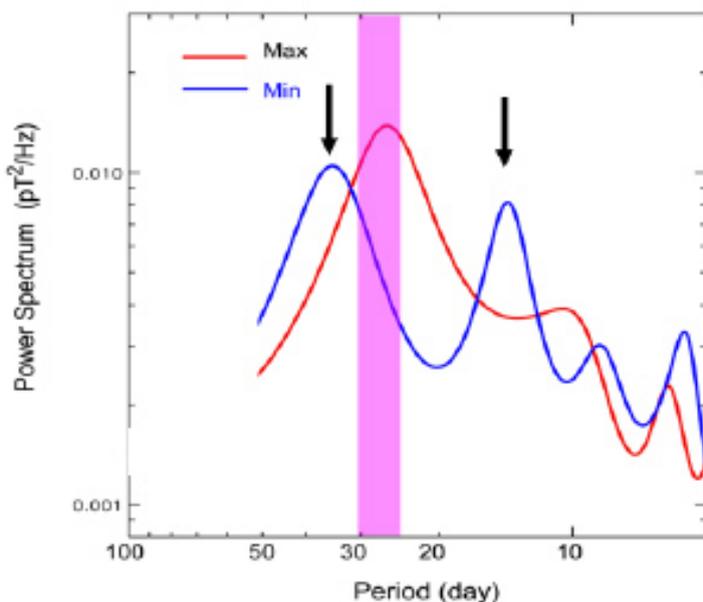
Comparison between SR_{spv} and OLR

OLR (Outgoing Longwave Radiation) : Index of cloud amount

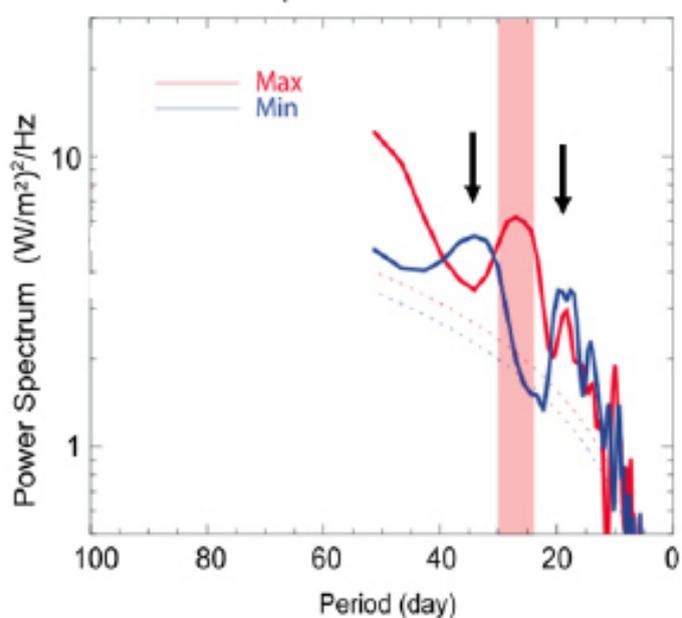
SR_{spv}

OLR

Power Spectrum of Syowa SR_{spv} Variation



Power Spectrum of OLR variation



[Okazaki et al., @ this session]

雲量変化の周期

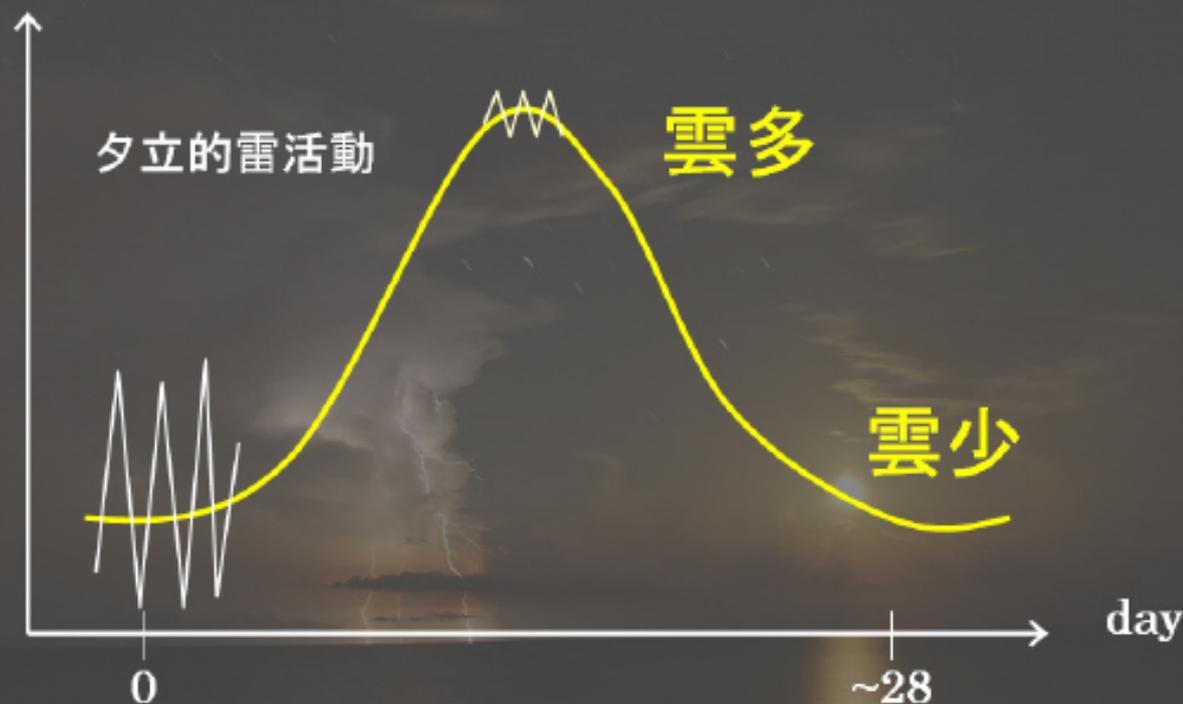


Fig. Schematic illustration showing the variations of long-term upper cloud coverage (solid line) and short-term upper cloud coverage (red line) which are related to temporal thunder clouds

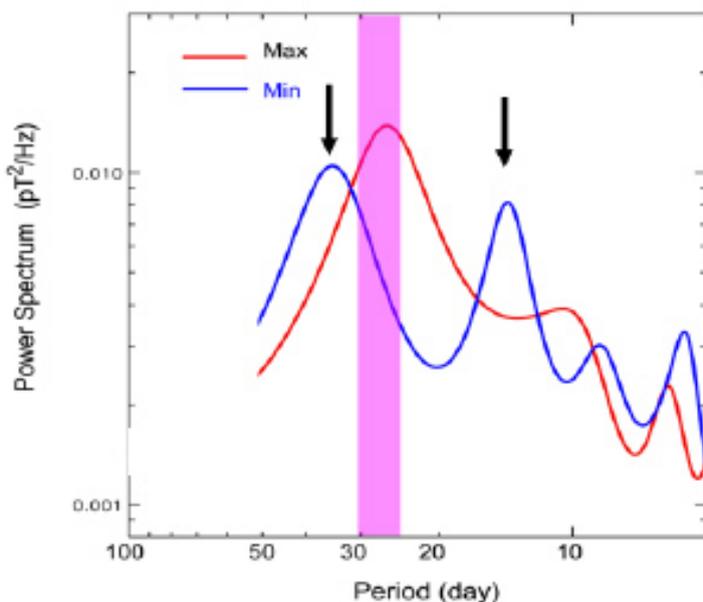
Comparison between SR_{spv} and OLR

OLR (Outgoing Longwave Radiation) : Index of cloud amount

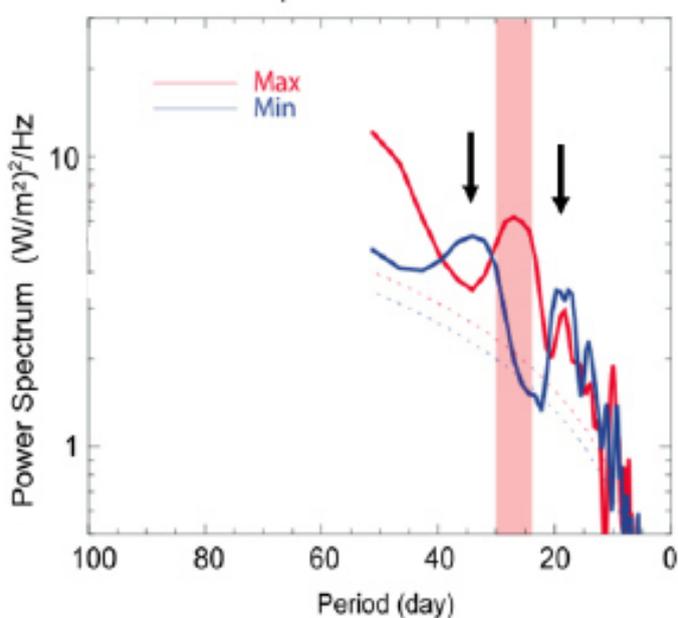
SR_{spv}

OLR

Power Spectrum of Syowa SR_{spv} Variation



Power Spectrum of OLR variation



[Okazaki et al., @ this session]

雲量変化の周期

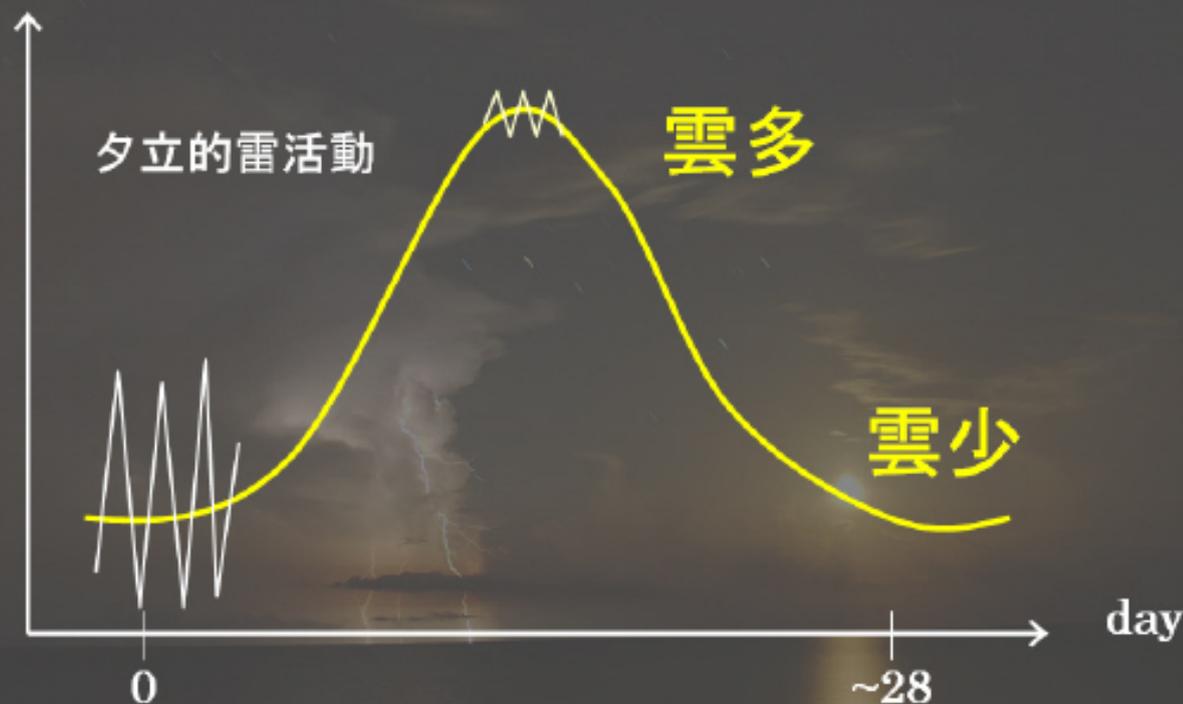
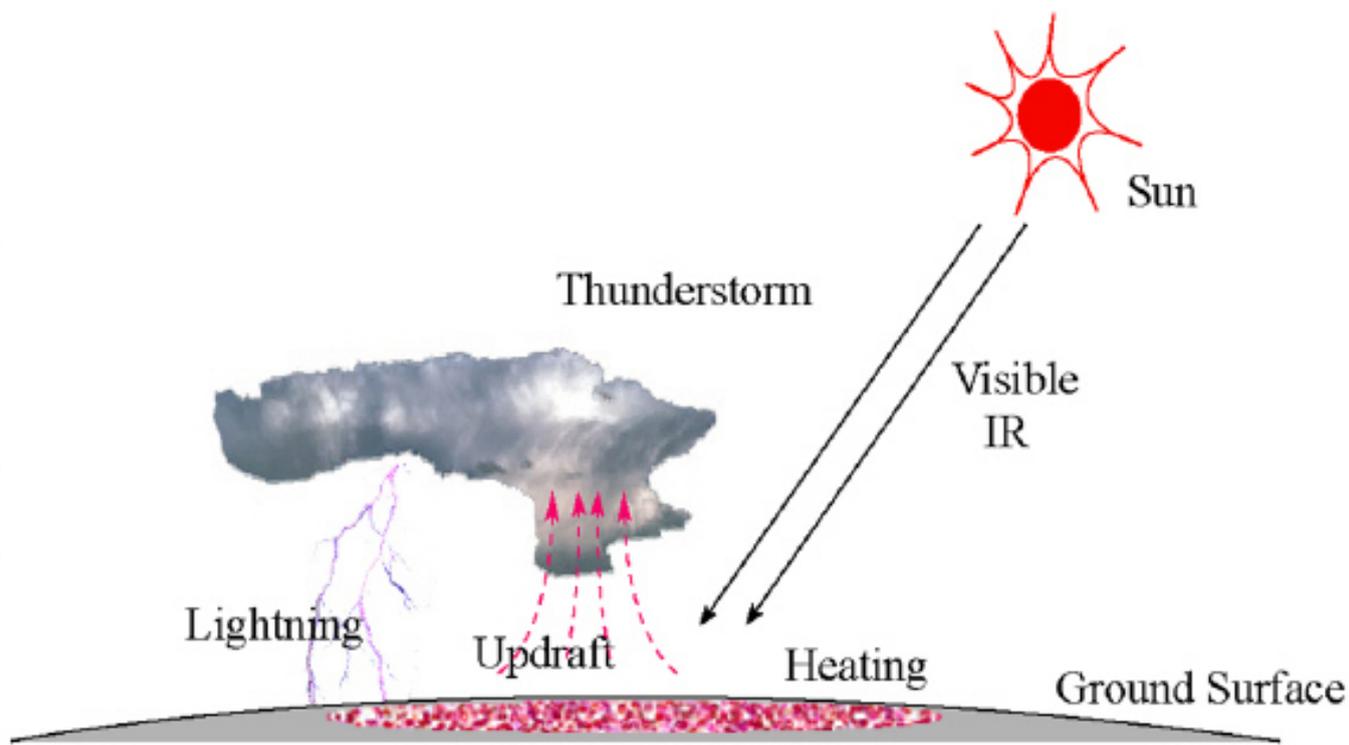
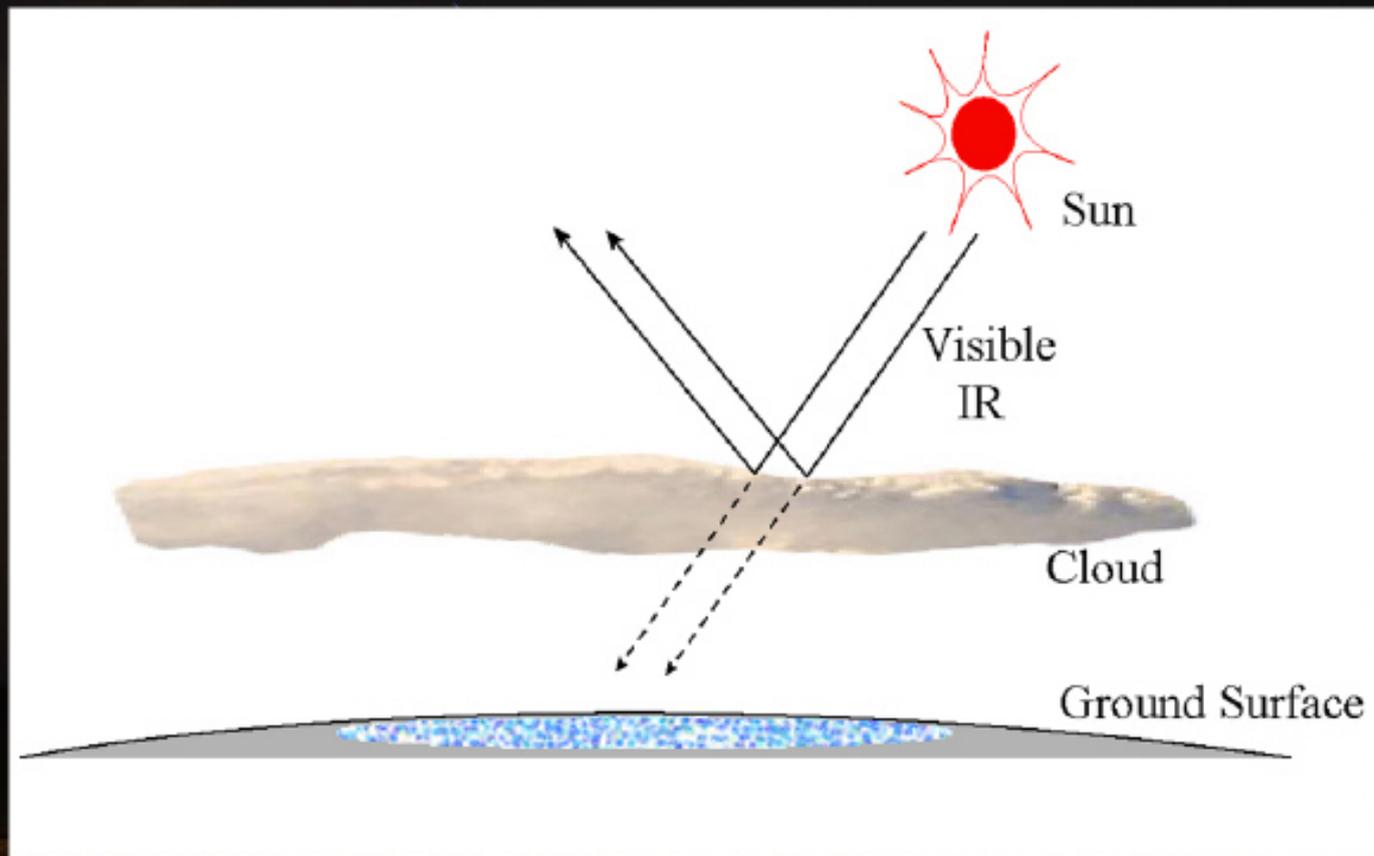


Fig. Schematic illustration showing the variations of long-term upper cloud coverage (solid line) and short-term upper cloud coverage (red line) which are related to temporal thunder clouds

雲量少ない → 雷活動増加



雲量が多い → 雷活動低下

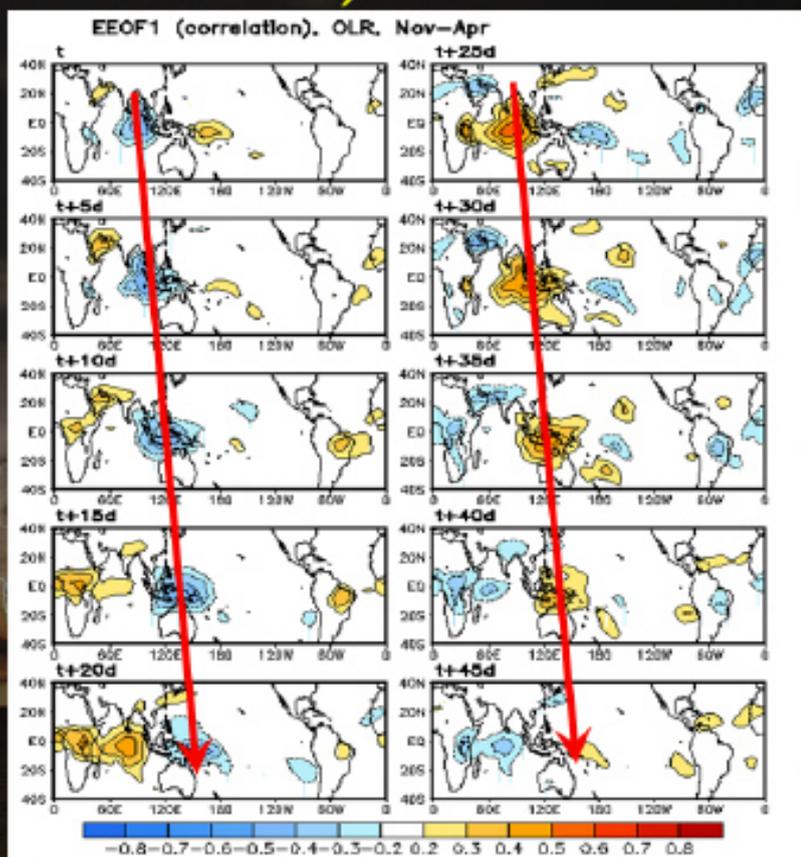


MJO (Madden-Julian Oscillation)

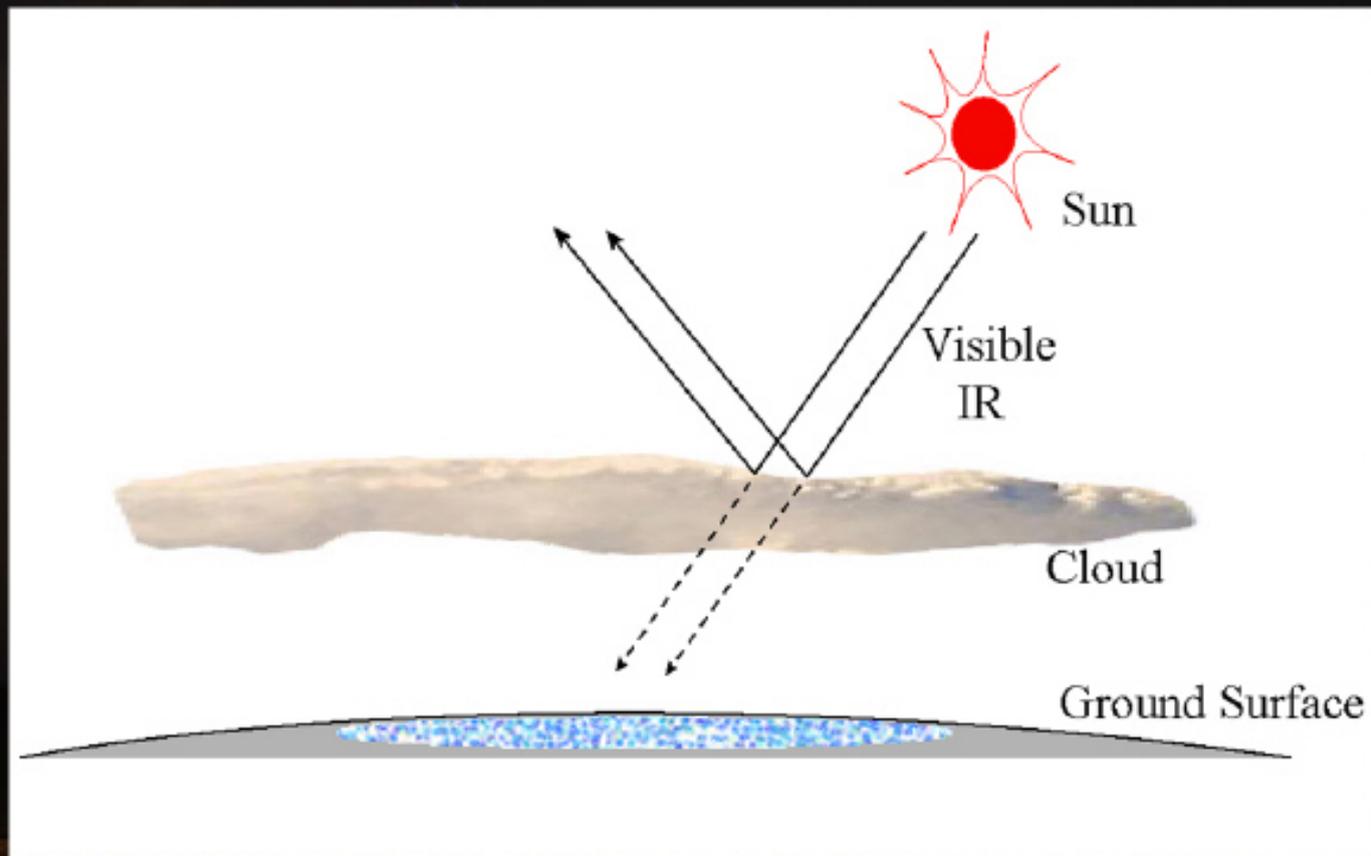
・インド洋～太平洋を低気圧域/高気圧域が東進

・周期: 30 – 60 days

雷の30日変動はMJOと関係している？



雲量が多い → 雷活動低下

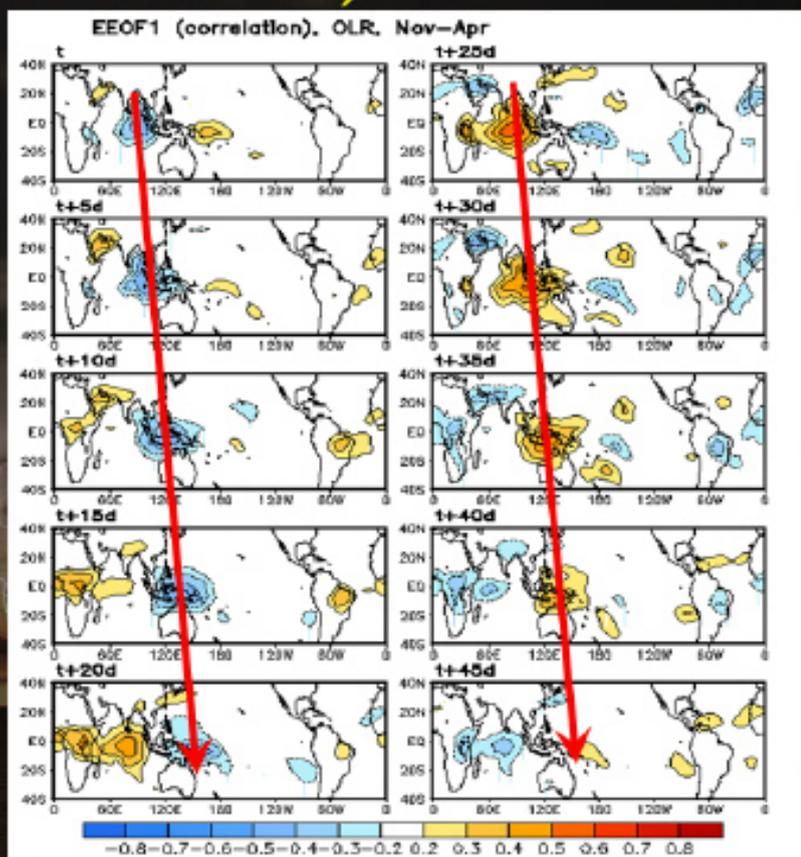


MJO (Madden-Julian Oscillation)

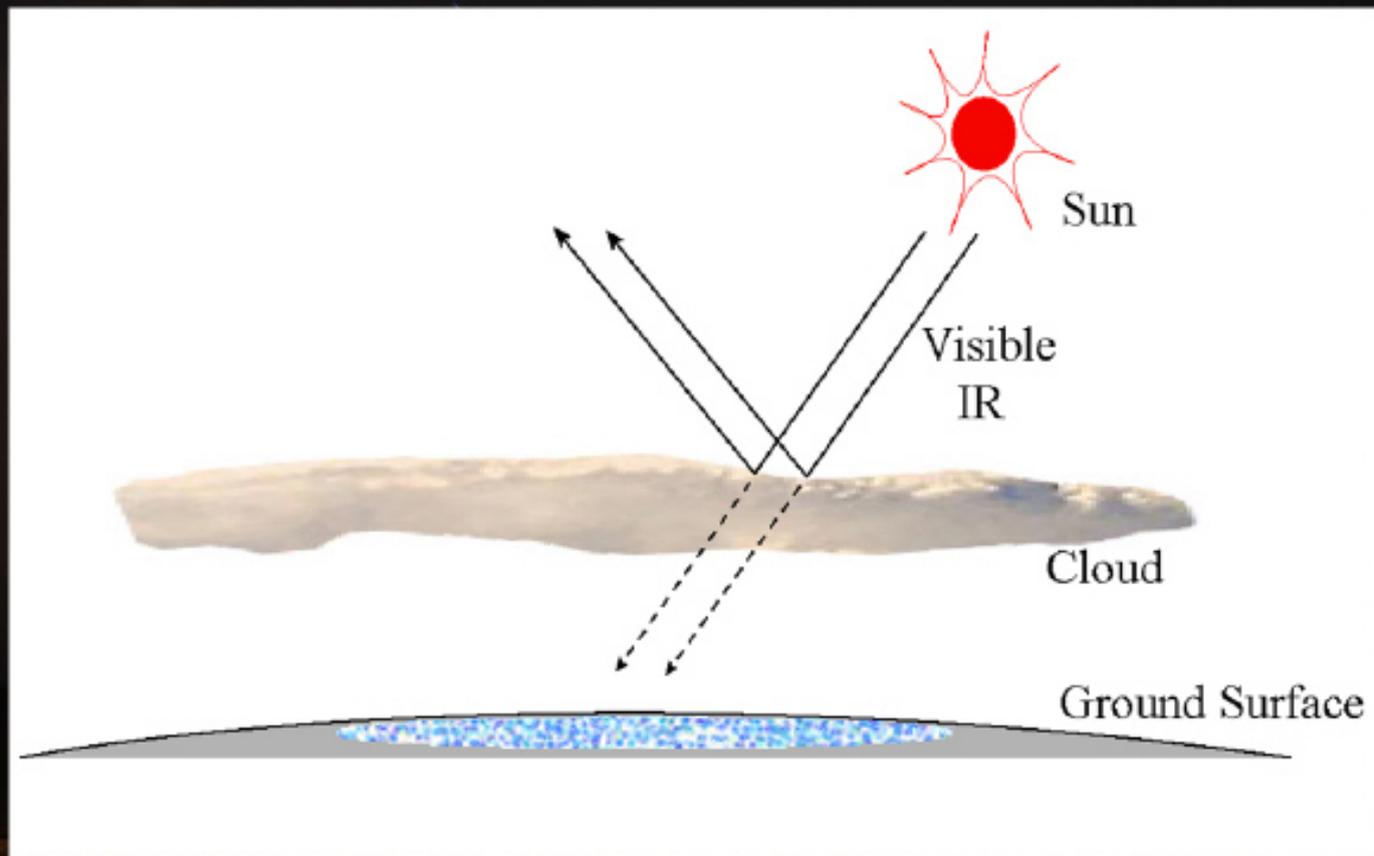
・インド洋～太平洋を低気圧
域/高気圧域が東進

・周期: 30 – 60 days

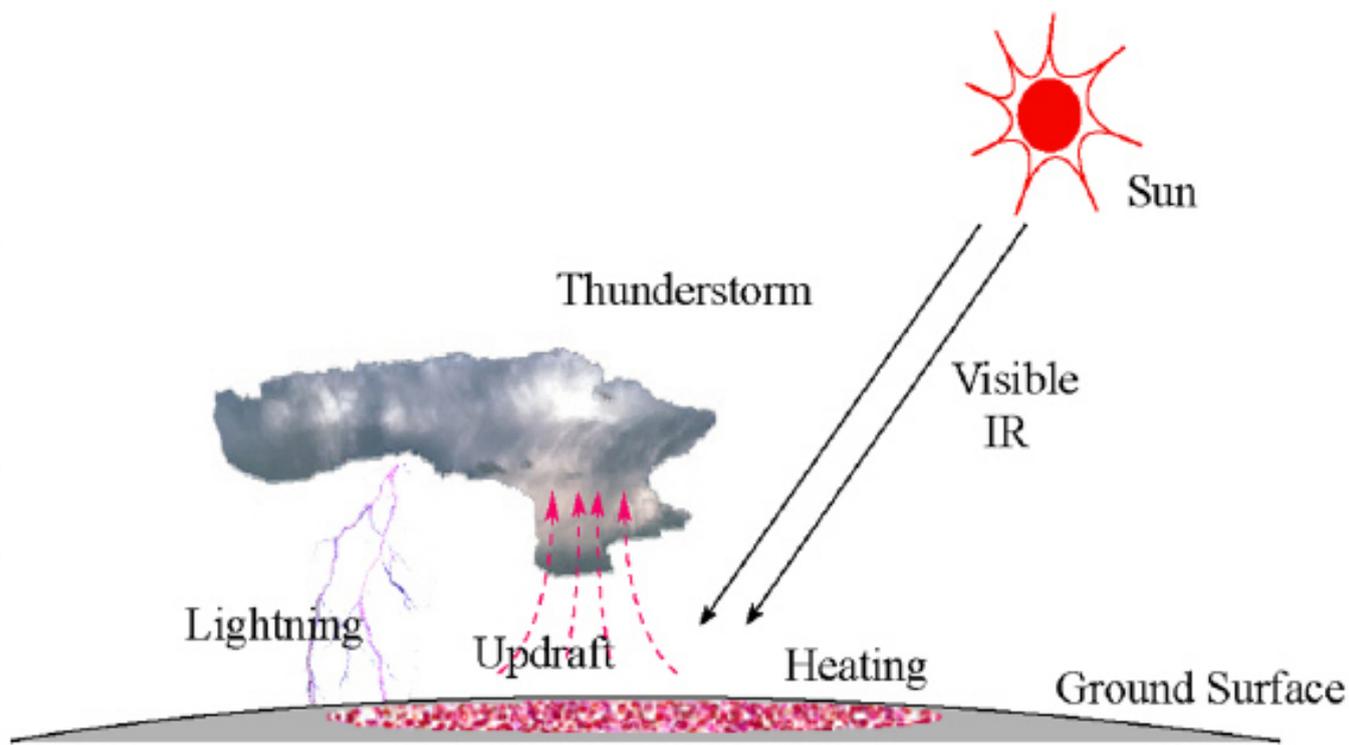
雷の30日変動はMJOと
関係している？



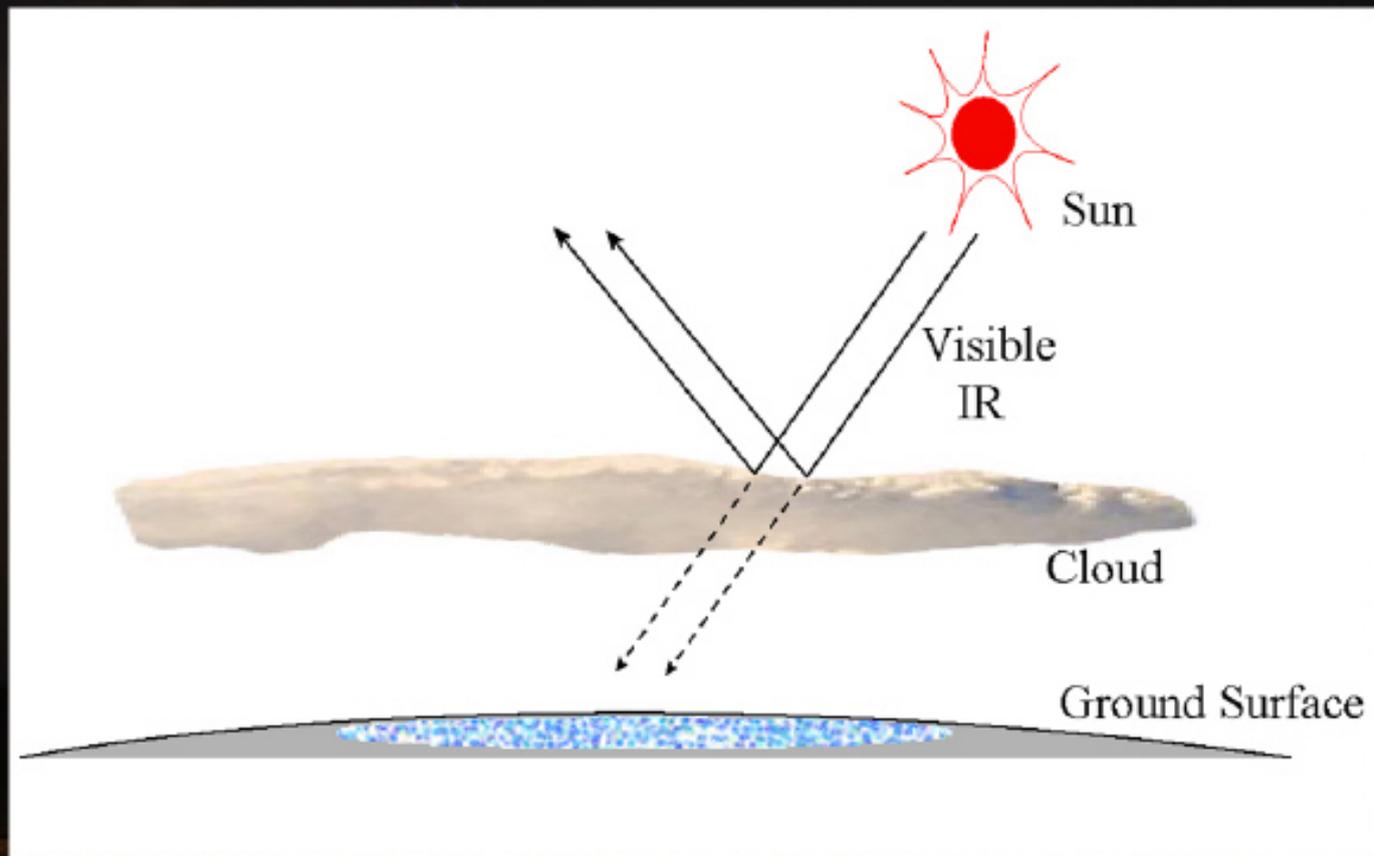
雲量が多い → 雷活動低下



雲量少ない → 雷活動増加



雲量が多い → 雷活動低下

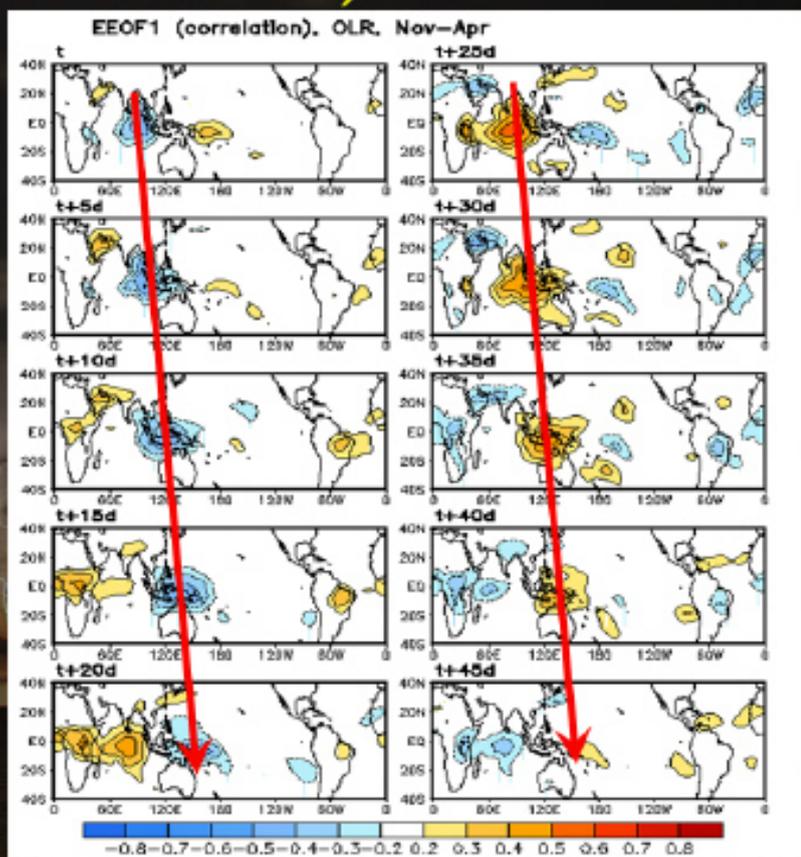


MJO (Madden-Julian Oscillation)

・インド洋～太平洋を低気圧域/高気圧域が東進

・周期: 30 – 60 days

雷の30日変動はMJOと関係している？



何が雲量・雷活動の30日変動をコントロール？

• Global Circuit?

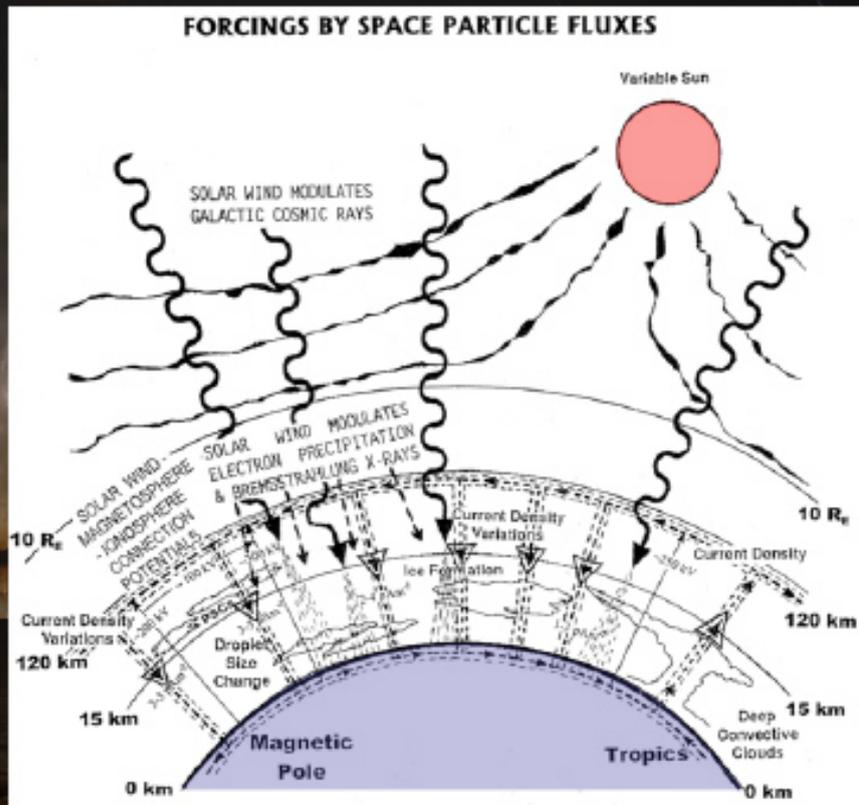
太陽活動・雷活動が全球ポテンシャル分布を決める



エアロゾル分布、雲量

• 宇宙線?

エアロゾル分布、雲量



何が雲量・雷活動の30日変動をコントロール？

• Global Circuit?

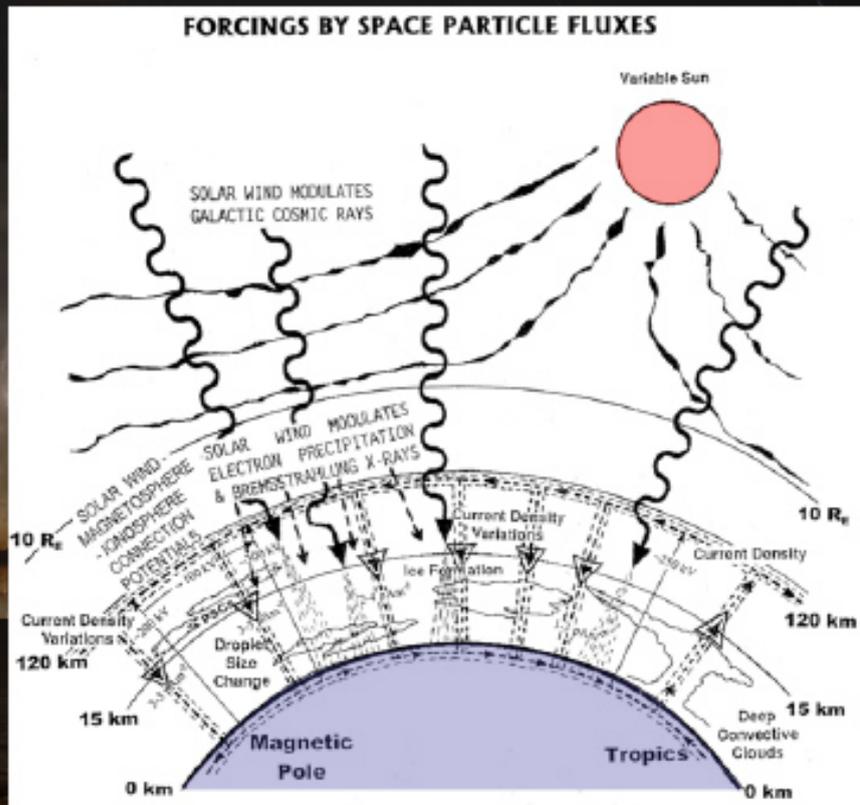
太陽活動・雷活動が全球ポテンシャル分布を決める



エアロゾル分布、雲量

• 宇宙線?

エアロゾル分布、雲量



何が雲量・雷活動の30日変動をコントロール？

• Global Circuit?

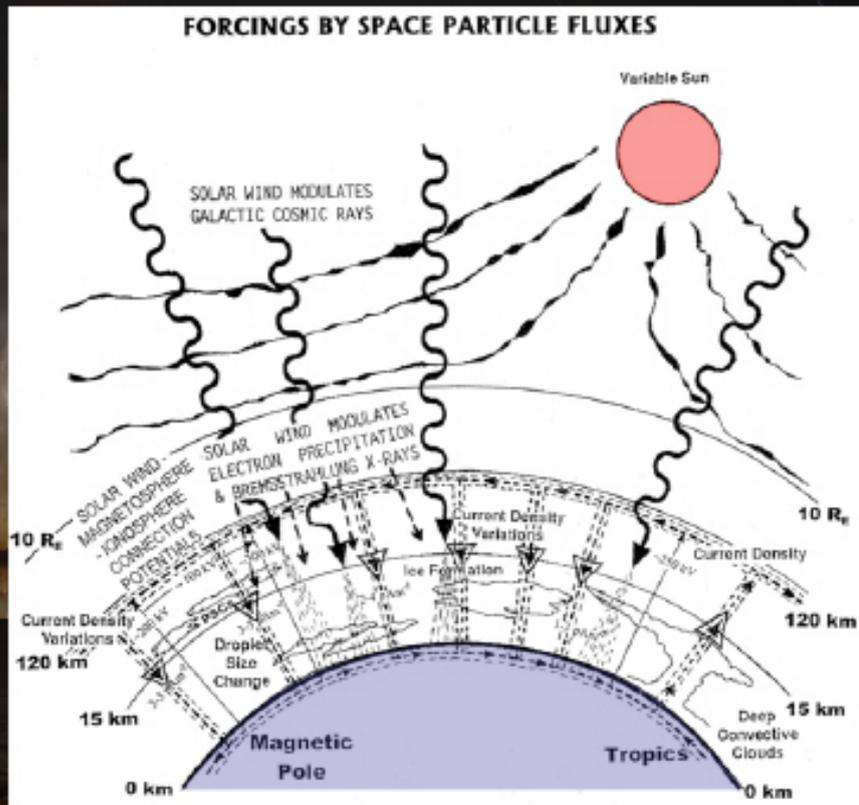
太陽活動・雷活動が全球ポテンシャル分布を決める



エアロゾル分布、雲量

• 宇宙線?

エアロゾル分布、雲量



何が雲量・雷活動の30日変動をコントロール？

• Global Circuit?

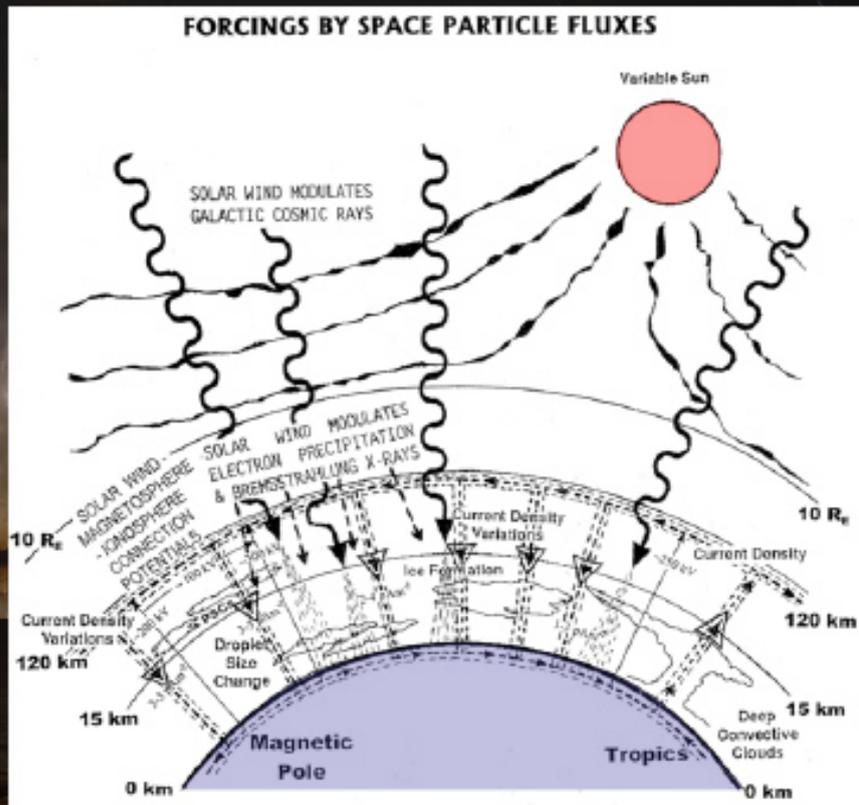
太陽活動・雷活動が全球ポテンシャル分布を決める



エアロゾル分布、雲量

• 宇宙線?

エアロゾル分布、雲量



何が雲量・雷活動の30日変動をコントロール？

• Global Circuit?

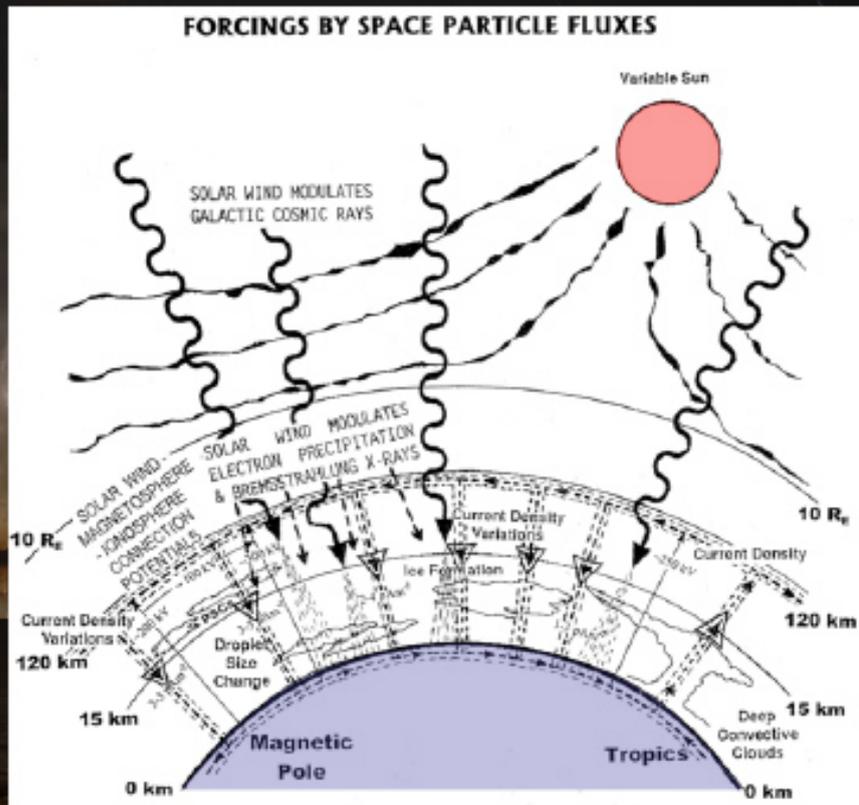
太陽活動・雷活動が全球ポテンシャル分布を決める



エアロゾル分布、雲量

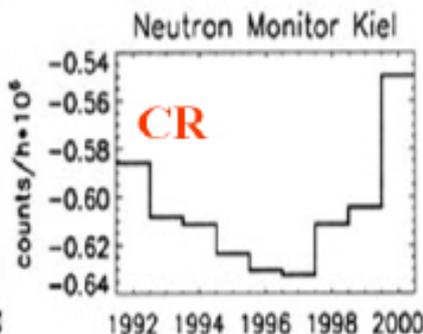
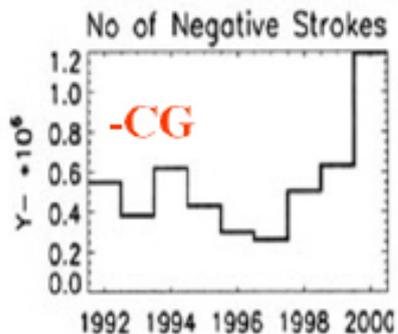
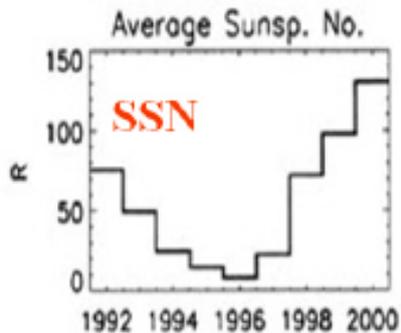
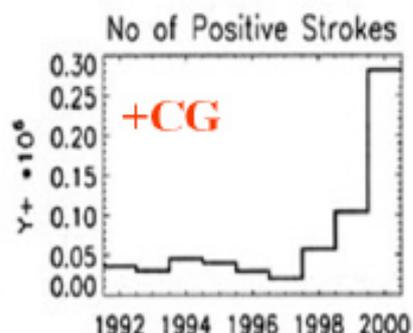
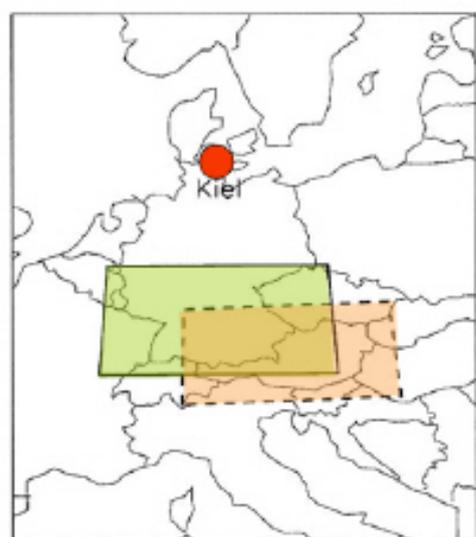
• 宇宙線?

エアロゾル分布、雲量



CR flux と 雷発生頻度 [Schlegel et al., 2001]

雷 ... BLIDS (ドイツ), ALDIS (オーストリア)



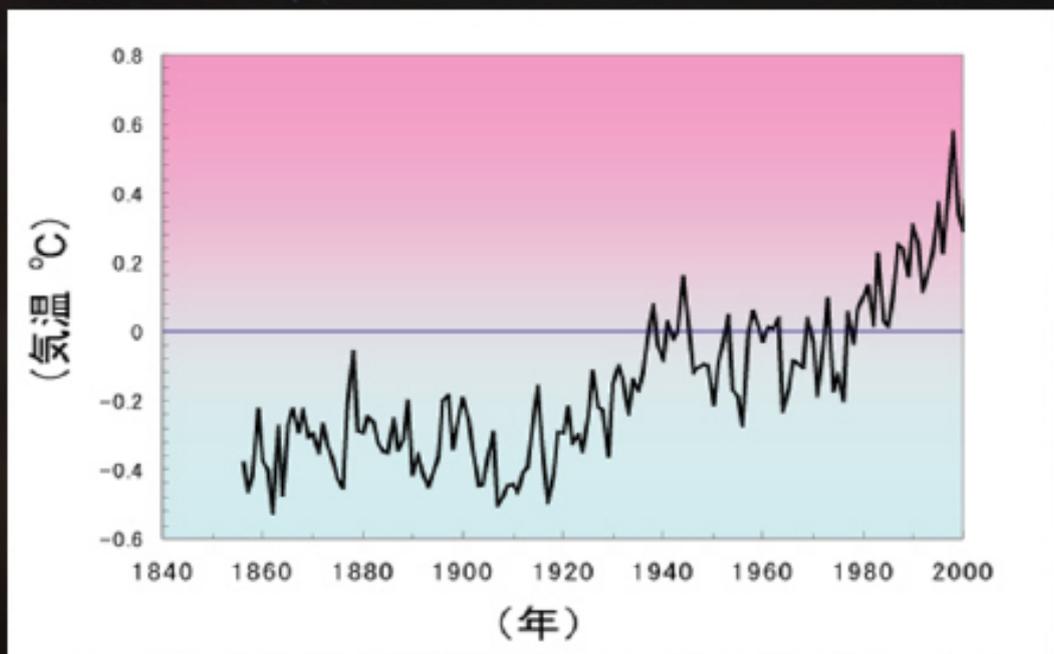
[Schlegel et al., JASTP, 2001]

2008年5月 連合学会

プログラム日程(2008/03/17現在)

日程 会場 (定員)	5月25日(日)				5月26日(月)				5月27日(火)				5月28日(水)				5月29日(木)				5月30日(金)																																															
	AM1	AM2	PM1	PM2	AM1	AM2	PM1	PM2	AM1	AM2	PM1	PM2	AM1	AM2	PM1	PM2	AM1	AM2	PM1	PM2	AM1	AM2	PM1	PM2																																												
国際会議室 (200)	A022 新緑祭 A021 湯けっぴり ナイト 18:00-19:30 全席 自由				U04 4月探査班「かて り」				U02 地球環境と地球惑星				特別プログラム 世界の気候変動と1世紀の調査				U03 進むべき道①				U04 実用トランプ地質史学**				S14 地質史学の他種・資源活用																																											
101A (70)	R223 レアメタル・レア アース				K130 岩石・鉱物・資源				K211 宇宙 宇宙探査 惑星科学				G236 地球探査科学				S211 化学 有機・無機 系の進化				E158 人間環境と気候 リスク				K135 CGO				W155 コアがわかる地球 環境変動史				Y151 地質 ハザード 地・海洋 地質災害 軽減技術 軽減技術				J142 地 球・海洋 環境学 研究発表				E108 宇宙プラズマ**				W153 環 球学				M154 電 気工学と地 球																			
101B (70)	G121 震動計・震度計				V152 火山・大気環境				J24 科学 史・科学 誌				G118 地 球地質と 構造地質 学				J228 サンプル				C219 定常モデルと 岩石物理				L131 海に閉じた土壌モデル				F126 同位 体・水文学 2008				J117 地質・火山・気候 変動学				Z150 地形				E110 地球内部電磁 気学				L172 土壌学				L121 空 中・水 環境学 研究発表																			
201A (140)	J243 3Dプロジェクタ**				A001 高知産業祭サッ ション				V151 変動地質学				V170 火山の熱水系				S12 地球探査トランプ				I128 地球探査科学				E306 3Dプロジェクタ 大規模				J235 地球環境と地 球の未来				S133 アストロバイオロ ジー ①145①				S134 アストロバイオロ ジー ①145②																															
201B (140)	T229 プレート収束帯の震動変動				J138 新探査レゾリューションと地質学				T221 北方 地質探査 とその地 球学				E114 電磁圏・地電				E112 磁気圏電離圏結合				M134 磁気圏・電離圏				P146 太陽系小天体				E307 高知産業祭と高知産業 祭**				S135 アストロバイオロ ジー ①145③				S136 アストロバイオロ ジー ①145④																															
300 (70)	G130 地質と環境 学 ①130①				J150 地球環境 学 ①130②				G121 地 球探査 学				L13 地質 探査の地 球学				J236 地質 探査の地 球学				J191 情報地球惑星 科学				C202 温室効果ガス と気候変動				G218 地下水と地質探査				J211 地質 探査の地 球学				G132 地質探査				F208 地質探査と気 候				J144 地質探査の 新展開				J237 地質探査 学				F209 地質探査と気 候				J238 地質探査の 新展開				J239 地質探査 学				J240 モンテカルロ地質 学			
201A (110)	A026 キン テン地質 学				A003 教育とアウリー ア				A026 地質 学 ①130③				C203 自然資源と環境学				I27 レゾリューションと地質探査				G140 地質探査の 新展開				S140 地質 探査				G181 ガスハイドレート				G165 地質探査				F208 地質探査と気 候				J144 地質探査の 新展開				G166 地質探査 学				G167 地質探査 学				F118 地質探査 学															
201B (110)	K131 地質探査学				A004 地質 学 ①130④				S138 地質探査学 研究発表				L132 地質探査学 研究発表				S122 地質探査学 研究発表				G121 地質探査学 研究発表				G111 地質探査学 研究発表				G119 地質探査学 研究発表				R224 ハイドレート資源開発				F117 地質探査学 研究発表				F118 地質探査 学																											
300 (200)	J236 地球環境と地質探査				P221 月				S146 地質探査学 研究発表				S225 地質探査学 研究発表				S144 地質探査学 研究発表				S145 地質探査学 研究発表				S146 地質探査学 研究発表				S147 地質探査学 研究発表				S148 地質探査学 研究発表				S149 地質探査学 研究発表				S150 地質探査学 研究発表																											
300 (200)	S143 地質探査学				S230 地質探査学				S147 地質探査学				J237 地質探査学 研究発表				S141 地質探査学 研究発表				J235 地球環境と地質探査				L214 地質探査学				S148 地質探査学 研究発表				J240 地質探査学 研究発表				S149 地質探査学 研究発表				S143 地質探査学																											

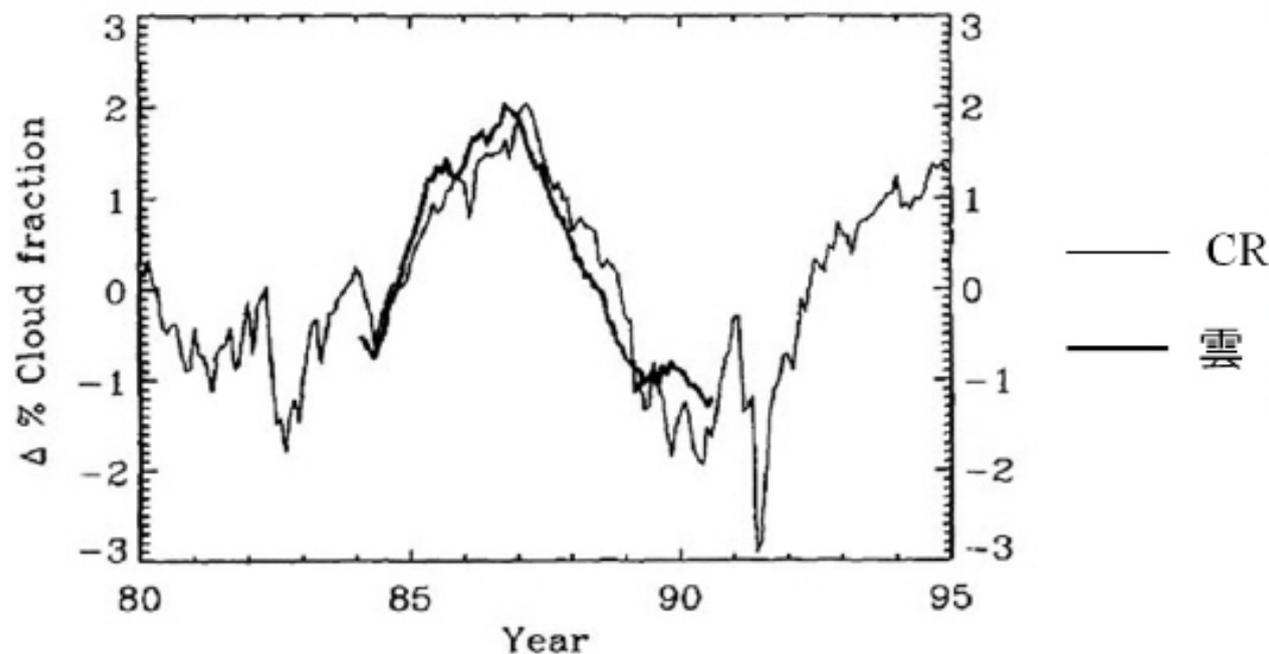
地球温暖化



・気温とCO₂濃度の正相関
(CO₂濃度の上昇は“因”なのか“果”なのか?)

CR flux と 雲量 [Svensmark and Friis-Christensen, 1997]

雲量 … ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project) データ
 CR … 緯度の異なる5点でのNeutron Monitor データ



[Svensmark and Friis-Christensen, JASTP, 1997]

エアロゾルと雲核の形成



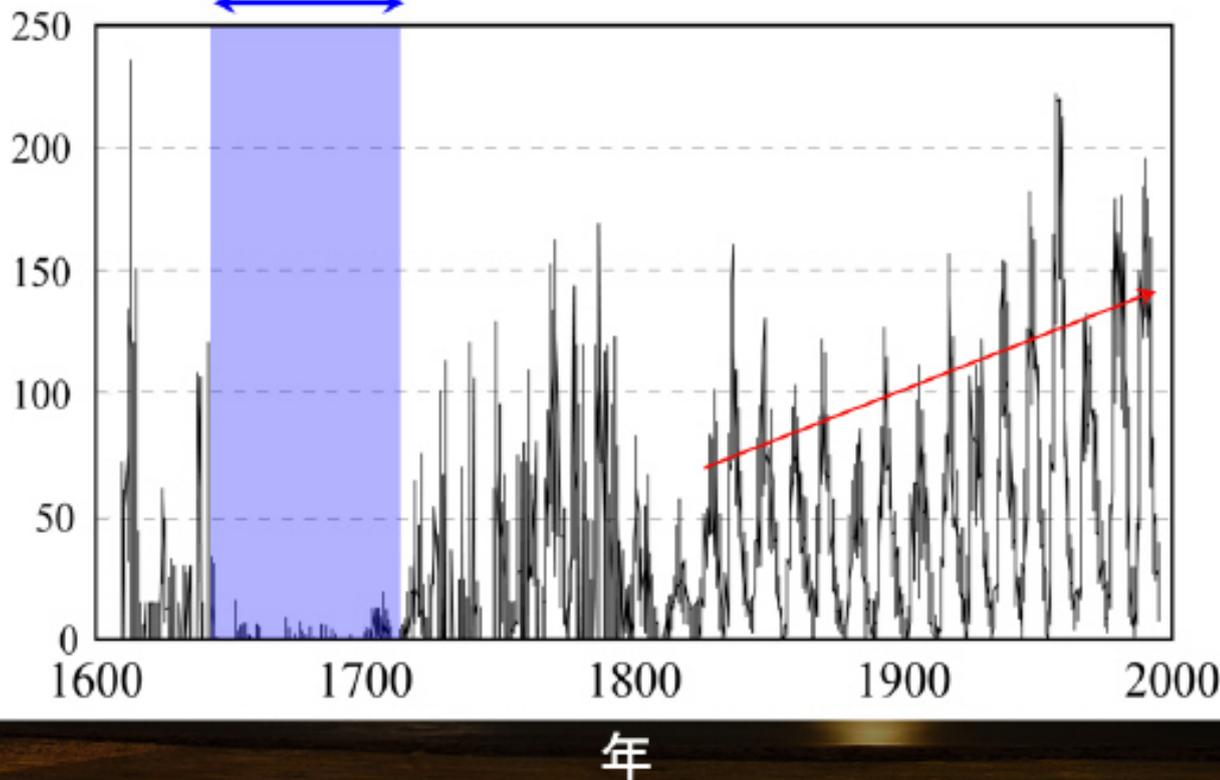
太陽黒点数の遷移

SSN大→CR flux小

→エアロゾル量小→雲量小→温暖化

マウンダー極小期
1645-1715年

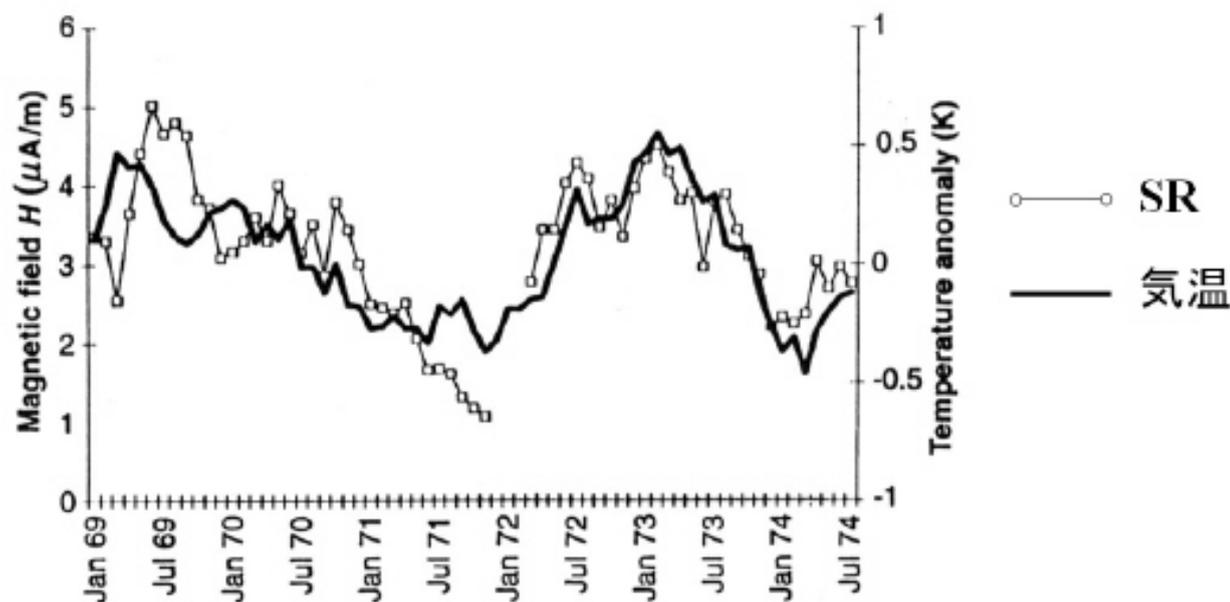
太陽黒点数



SRと気温変動 [Williams, 1992]

B ... SRのスペクトル強度

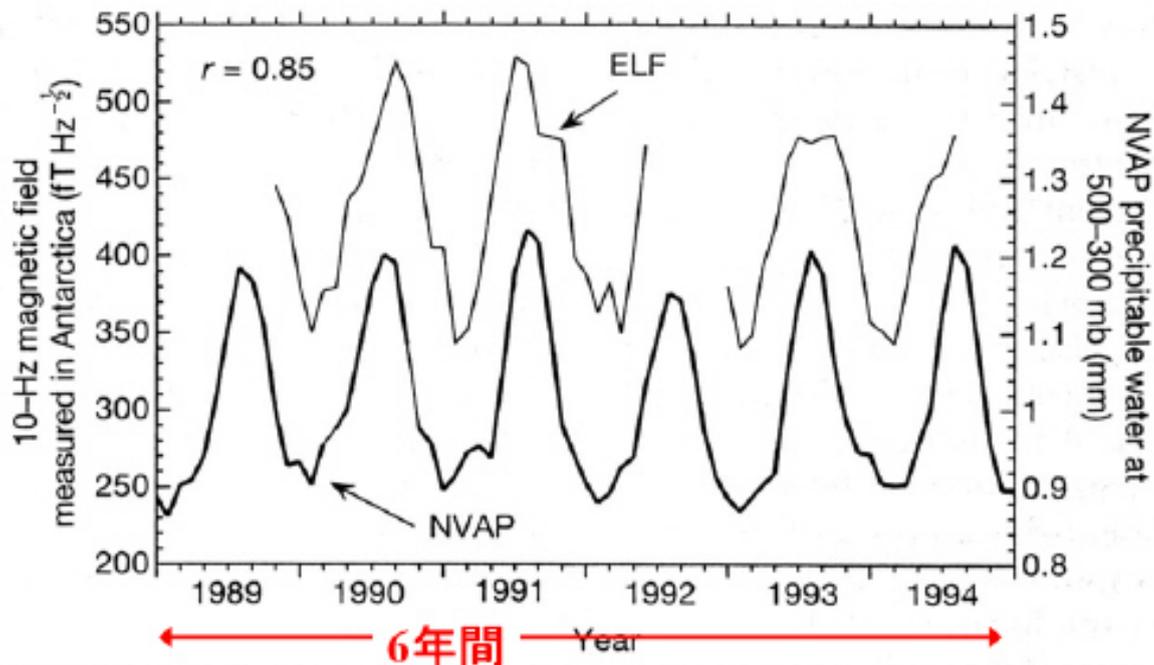
T ... 熱帯域における地表面温度の平年値からの差



SRと水蒸気量

雷活動 ... 南極Arrival Heights基地

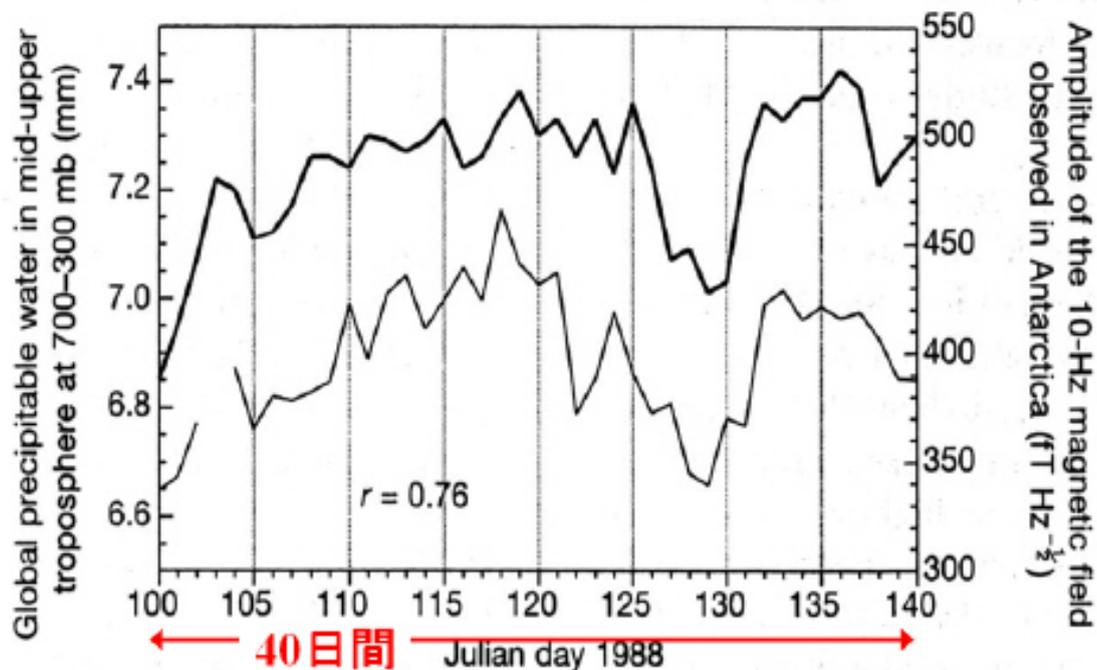
水蒸気量 ... UARS, TOVSのマイクロ波・ミリ波観測データ

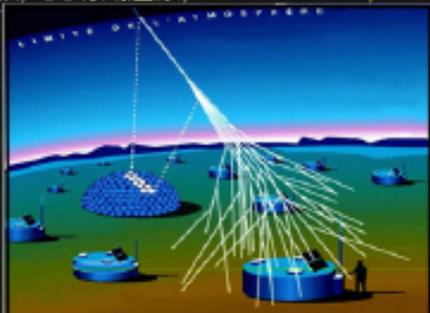


SRと水蒸気量

雷活動 ... 南極Arrival Heights基地

水蒸気量 ... UARS, TOVSのマイクロ波・ミリ波観測データ





宇宙線 - 陽子

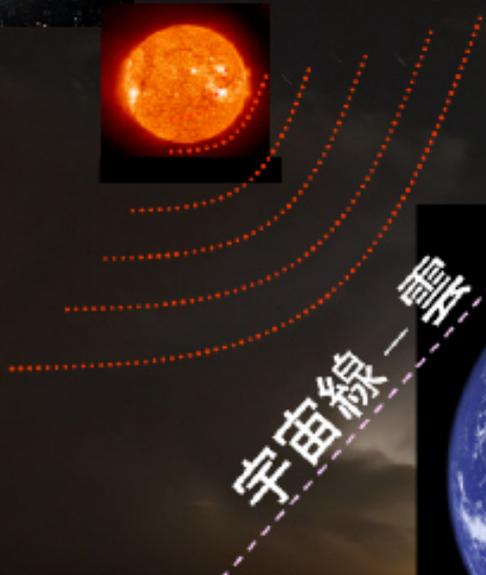
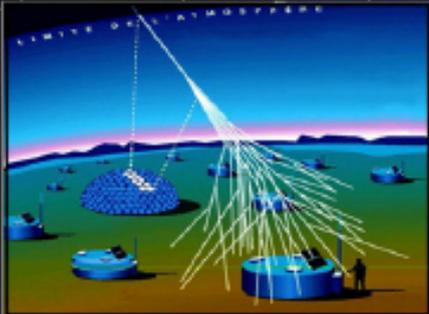


宇宙線 - 陽子



雲 - 雷





宇宙線 - 雲



宇宙線 - 雷



雲 - 雷

