



太陽研究会「太陽の多角的観測と宇宙天気研究の新展開2012」2012年1月12日

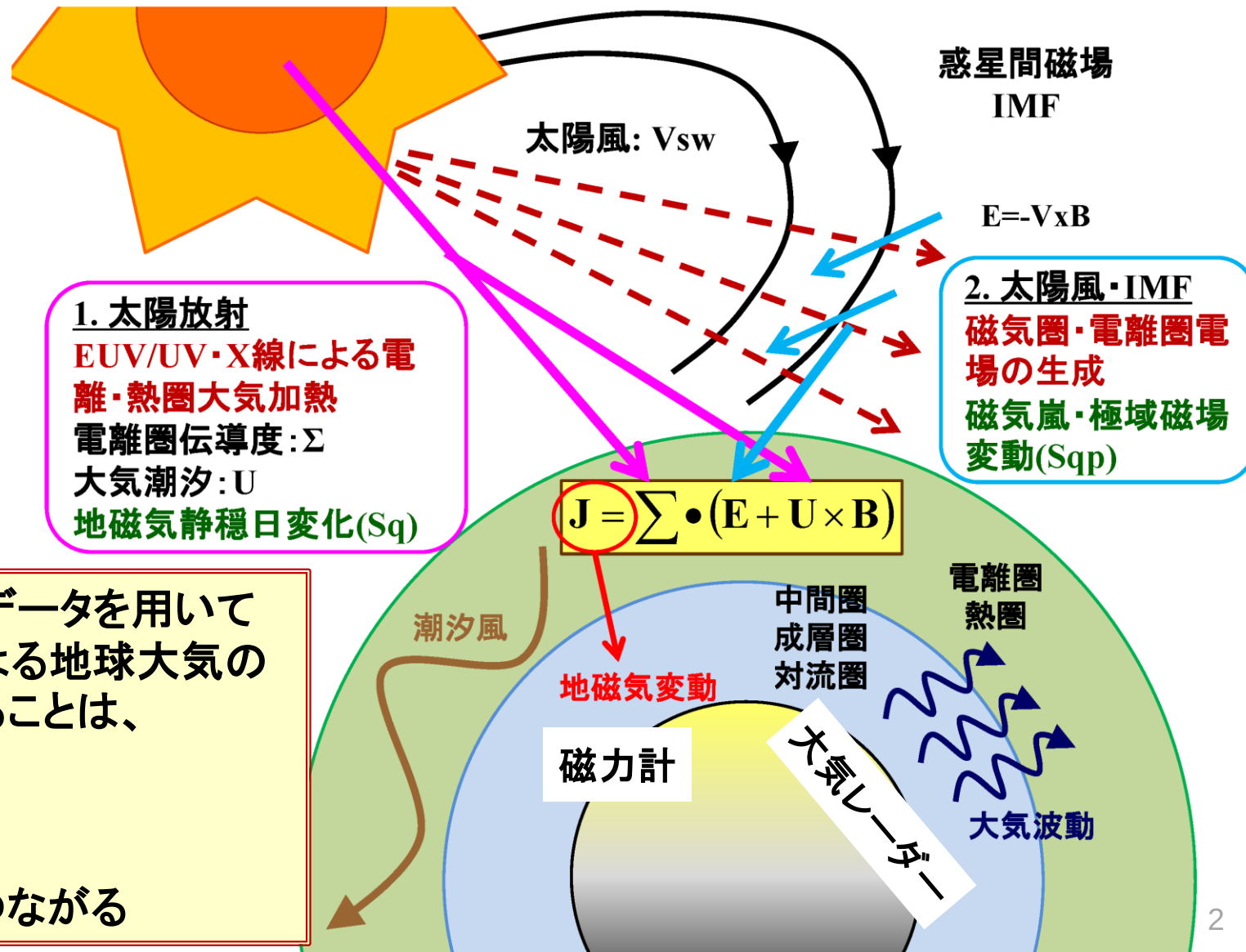
超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究
Inter-university Upper atmosphere Global Observation NETwork

太陽活動と地磁気静穏日変化との 長期的な関係について

新堀淳樹(京大・生存研)・小山幸伸(京大・地磁気センター)・能勢正仁
(京大・地磁気センター)・林寛生
(京大・生存研)・堀智昭(名大・STE研)・大塚雄一(名大・STE研)・
浅井歩(京大・宇宙ユニット)・上野悟(京大・天文台)・
磯部洋明(京大・宇宙ユニット)・横山正樹(和歌山大)

1.はじめに

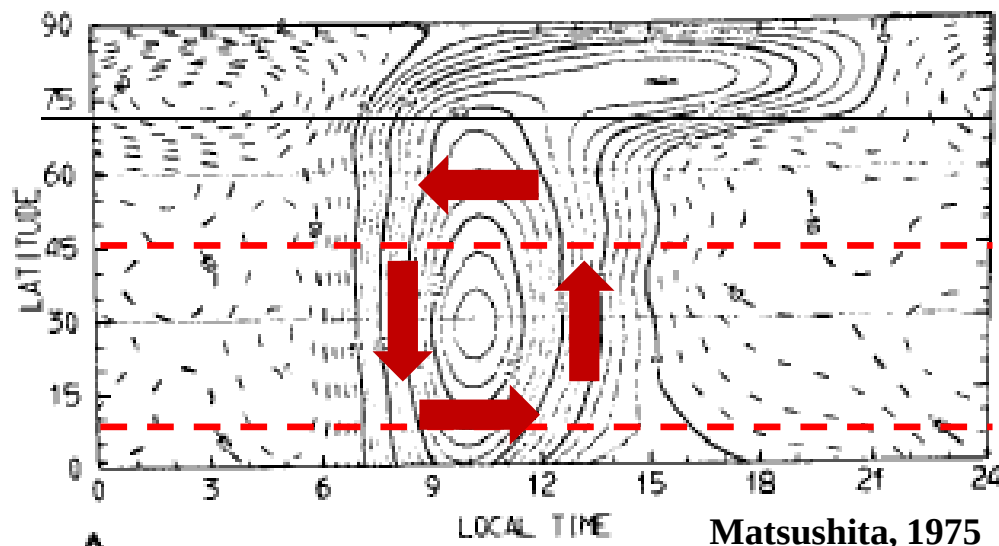
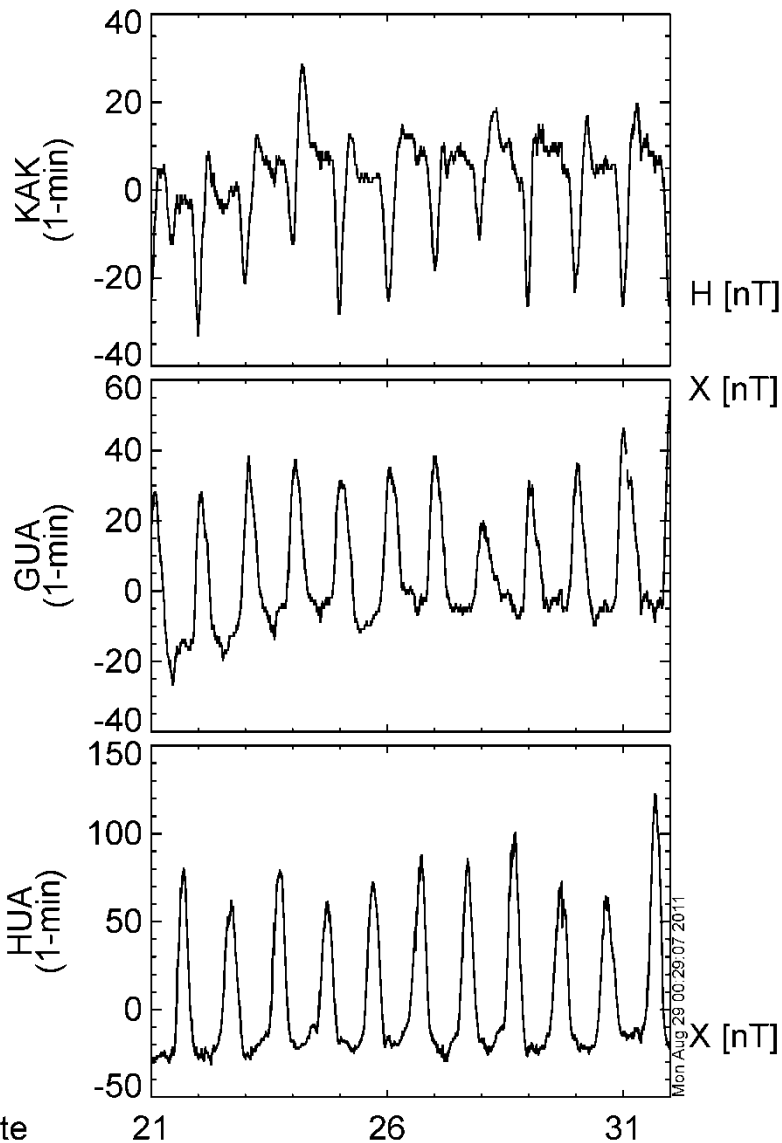
1.1 太陽活動と超高層大気変動との関わり



長期の観測データを用いて
 太陽活動による地球大気の
 応答を調べることは、

- 気候変動
 - 惑星大気
- の理解へとつながる

1.2 地磁気日変化(Sq: Geomagnetic solar daily quiet variation)



[原因]

1. 赤道域-中緯度

電離圏高度の中性風によって駆動される電離圏電流

2. オーロラ帯・高緯度

太陽風-磁気圏相互作用で形成された電場で駆動される電離圏電流

1.3 地磁気静穏日変動の振幅を決めるもの

○地磁気日変動(Sq)の振幅

アンペールの法則から電離圏電流の大きさに比例する

オームの法則から電離圏電流の大きさは、電離圏電気伝導度の大きさと起電力に比例する

$$\mathbf{J} = \Sigma \cdot (\mathbf{E} + \mathbf{U} \times \mathbf{B})$$

○電離圏伝導度(Σ)の変化

太陽活動依存性＝太陽放射(UV/EUV)の11年周期性

季節依存性＝地球の自転軸の傾きの効果

地磁気永年変化＝磁場減少による伝導度の増加

○起電力($\mathbf{U} \times \mathbf{B}$)の変化

太陽潮汐風の変化

1.4 これまでの地磁気日変化の長期トレンドの研究

	観測 点数	太陽デ ータ	Sq場の 経年変動	主磁場の永年 変化の影響	特記事項
Sellek [1980]	3点	太陽黒 点数	あり 増加傾向	あり	親論文
Schlapp et al., [1990]	11点	太陽黒 点数	あり 増加傾向	あり	Hermanusでは、モ デル予測値よりも 経年変動が1桁ほど 小さい
Macmilla n and Droujinin a [2007]	14点	F10.7	あり 観測点に 依存	議論はしてい るが、明示し ていない	Sq場の年変動は、 太陽放射のプロキ シとして使える
Elias et al. [2010]	3点	太陽黒 点数	あり 増加傾向	あり	地球温暖化による 電離圏変動がSq場 の変動に存在する 可能性を示唆

1.5 これまでの問題点

[問題点]

○使用している地磁気観測点の長期解析の不足

⇒多数の観測点ではどうか？

太陽風駆動の S_{qp} 変動と太陽潮汐駆動の S_q との違いがあるか？

前者：太陽風・IMF、後者：太陽紫外線

○分野間の観測データを用いた統合解析の不足

⇒分野横断的な観測データの統合解析(地磁気＋MLT領域の風)

○適切な観測パラメタの選択

太陽側：太陽黒点、F10.7指数、紫外線

地球側：地磁気観測点、電離圏・熱圏データ

○解析手法やそれに至る仮定の問題

太陽活動度を示すパラメータ同士、本当に線形関係か？

電離圏・地磁気変動と太陽活動度パラメータとの相関も線形関係にあるか？

1.6 本発表の趣旨

[目的]

IUGONETプロジェクトから提供される長期でかつグローバルに展開している観測点の地磁気データと熱圏・中間圏の風速データを用いて、**全球的な地磁気日変化振幅(Sq場)の長期変動の特徴**を明らかにする。

そして、**適切な太陽関連パラメタとの相関解析を行う**ことによって、そこに見られる超高層大気の長期変動の要因を探る。

(1) 多点の地磁気観測点や熱圏風速の長期データ解析

IUGONETで開発したメタデータ検索と解析ソフトを基に研究推進の効率化の図った

(2) 解析手法の改良

地磁気静穏日の閾値の具体化

太陽活動依存性の指標としてF10.7フラックスを利用

2.1 使用観測データ

○太陽関連データ

太陽F10.7指数(1947年-2011年) : 1日平均値

提供元: NGDC/NOAA

太陽紫外線(26-32 nm)(1996年-2011年): 1日平均値

提供元: SOHO/SEM

○地磁気関連データ

地磁気データ(1900年以降): 1時間平均値、180点以上

地磁気指数(Kp指数、1932年-2011年) : 3時間値

提供元: 京大地磁気センター

2.2 地磁気静穏日とSq振幅の同定方法

○地磁気静穏日の決定方法:

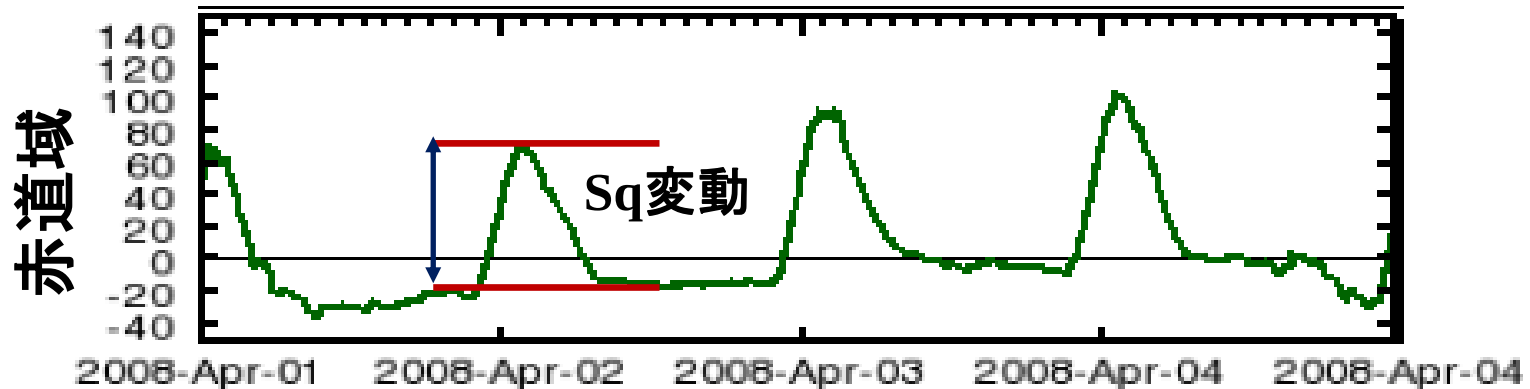
地磁気Kp指数の1日のデータの中で最大値が4未満

○地磁気日変化振幅(Sq場):

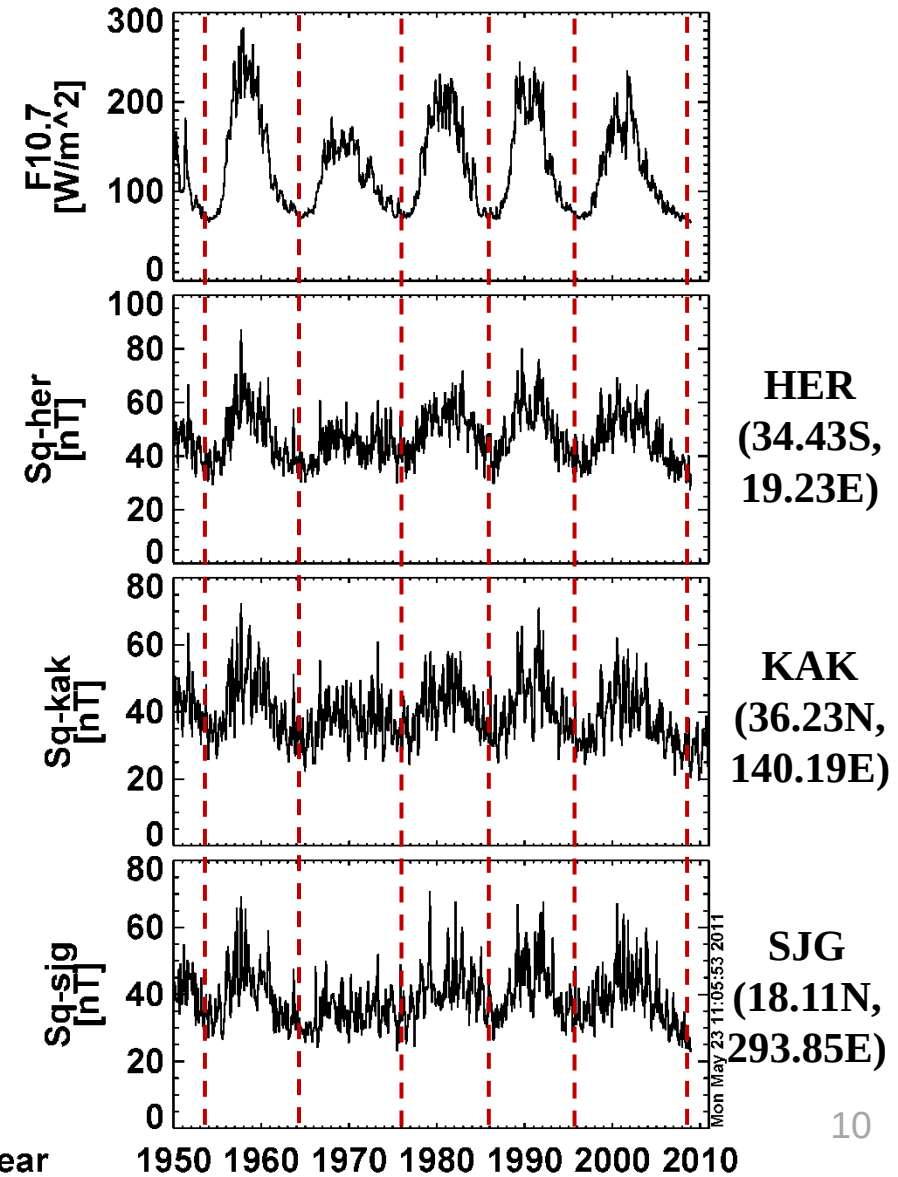
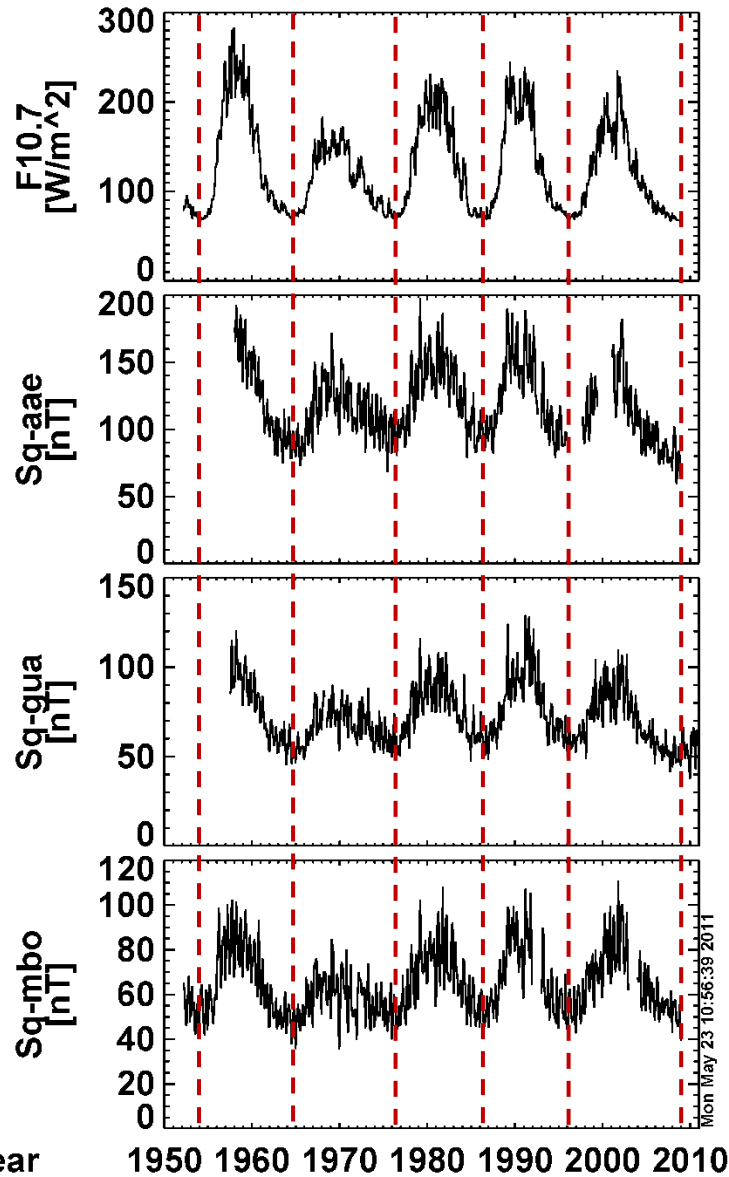
1日の変化の最大と最小の差を1月平均値

○太陽活動に関するデータとの相関解析:

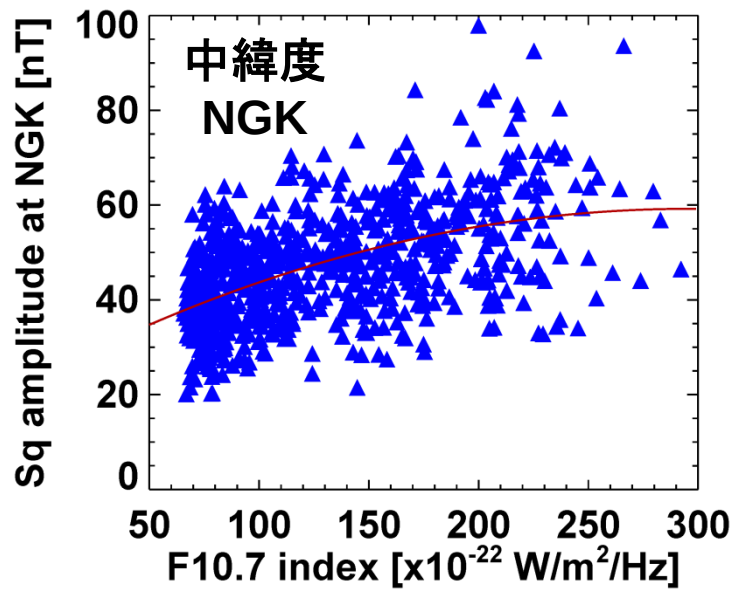
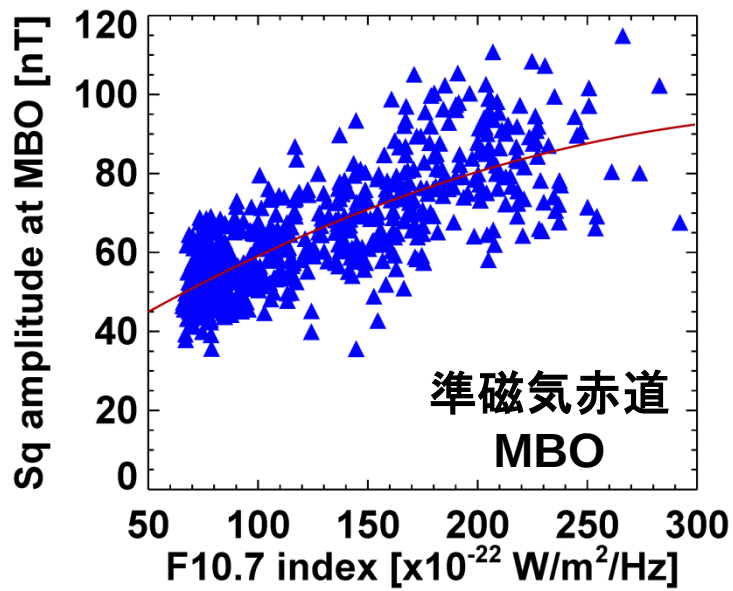
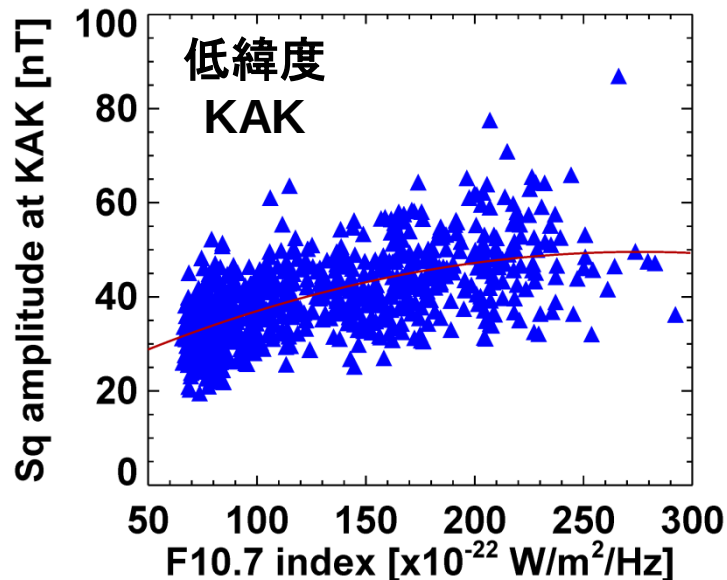
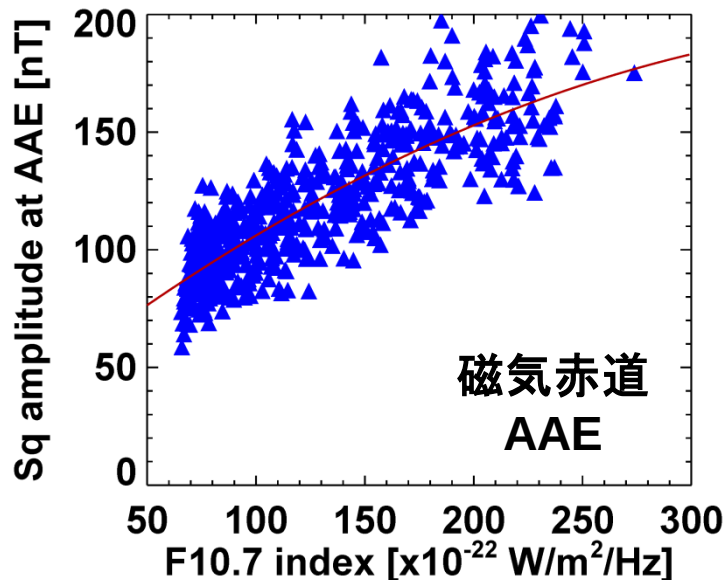
線形回帰ではなく、2次回帰曲線からのずれを計算



3.1 Sq場の振幅の太陽活動依存性(赤道域、低緯度)



3.2 Sq場の振幅と太陽F10.7指数との対応関係

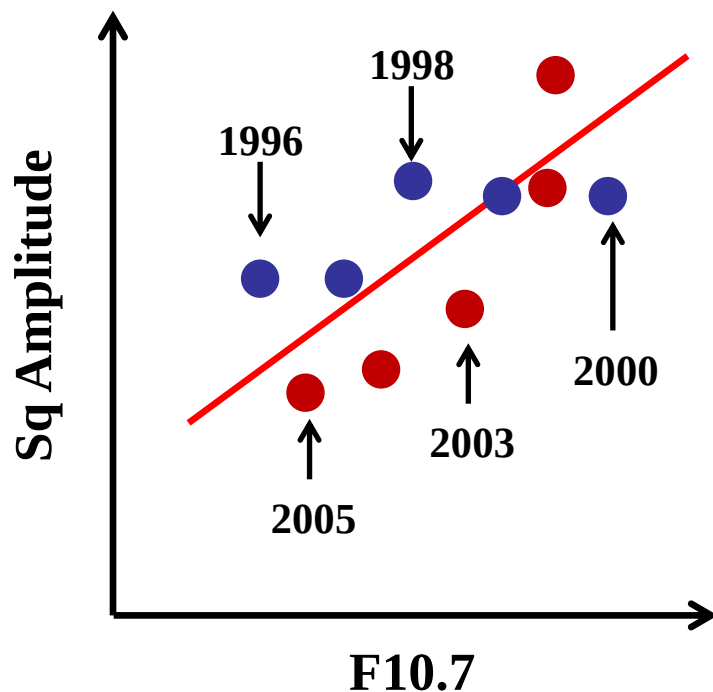


Sq場の振幅
とF10.7指数
のデータ
1ヶ月平均

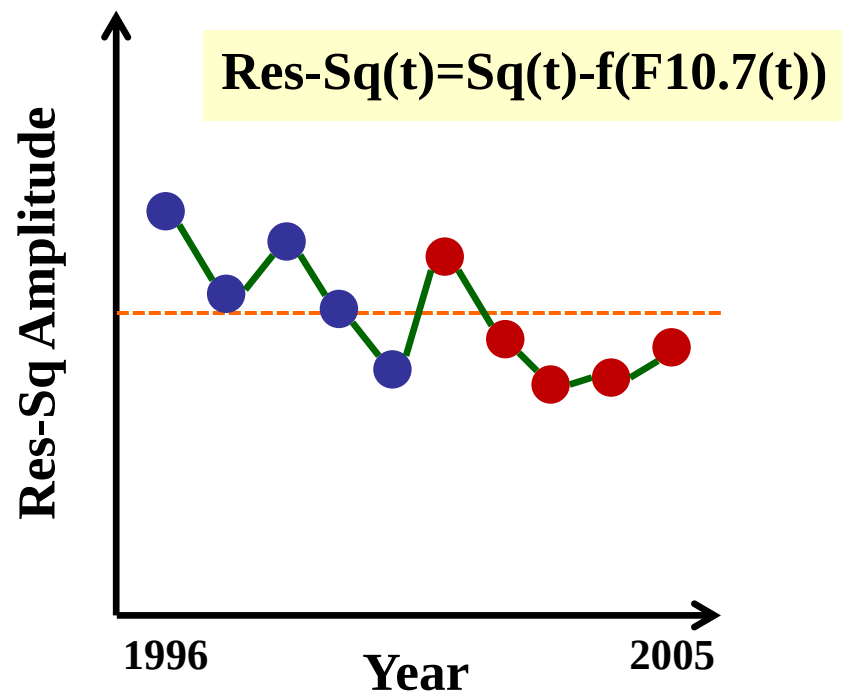
上に凸型を
した2次曲線
の関係

3.3 Sq場の振幅から太陽活動依存性の除去

F10.7とSq振幅の相関図



回帰曲線からのずれの時系列プロット

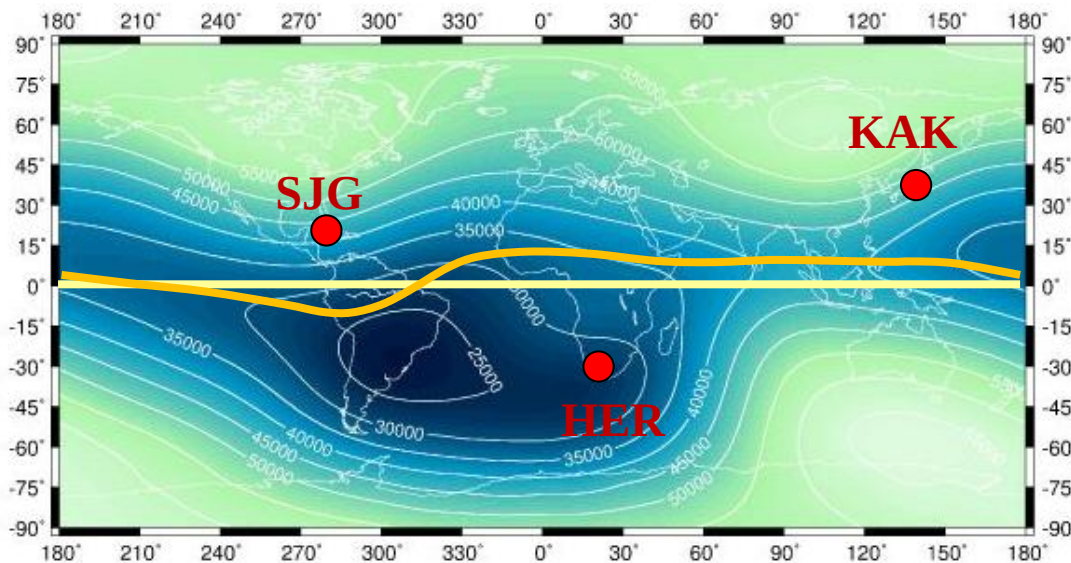
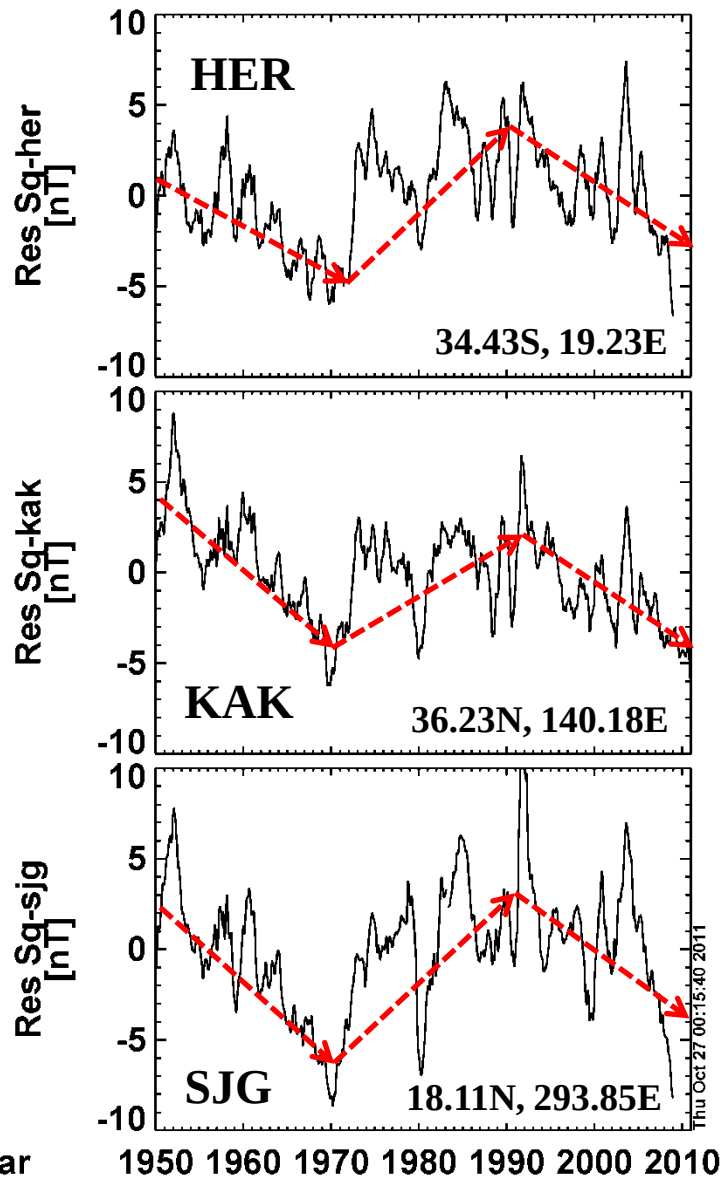


太陽活動に依存する成分を除去

Sq振幅に影響する残りの成分

= 地磁気永年変化 + 地球大気密度の変化 + 熱圏の中性風の変化

3.4 Res-Sq場の振幅の長期変動(低緯度)

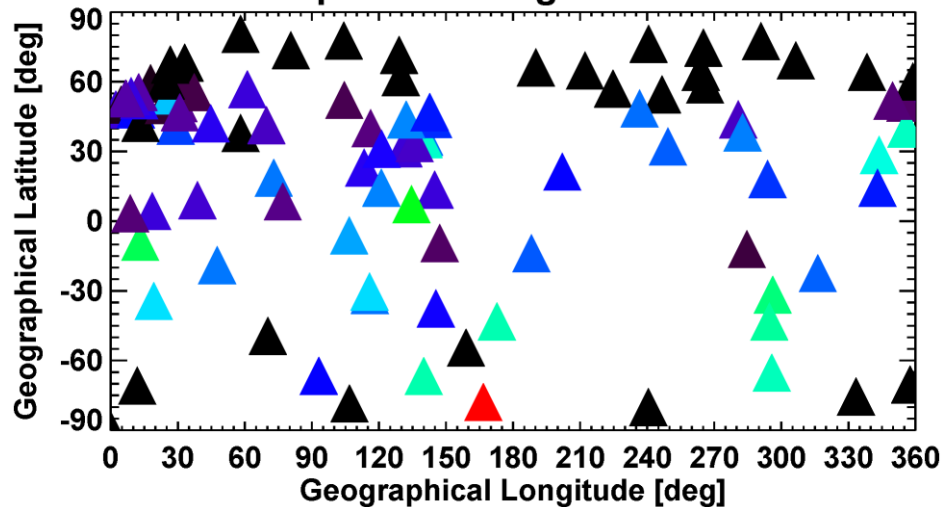


SJG、HER、KAKの位置

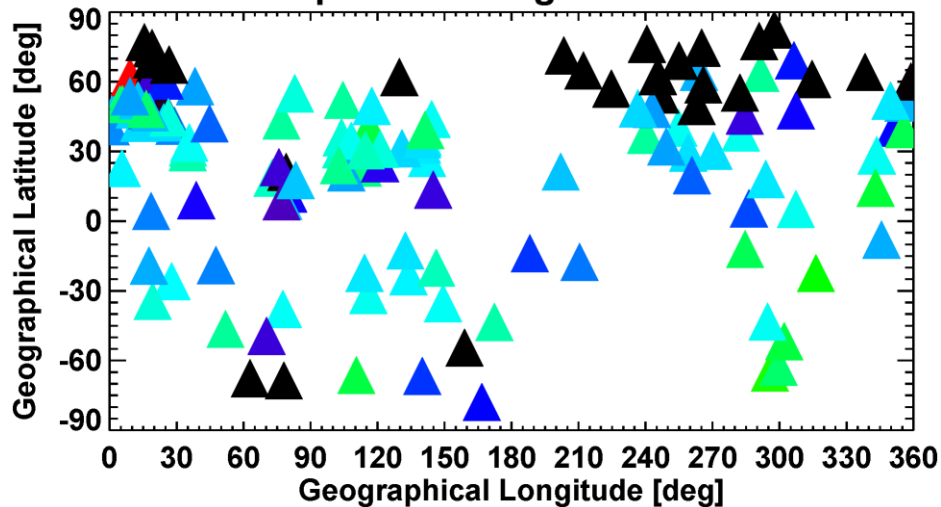
- Residual-Sq場の振幅は、各観測点で増加・減少する期間がほぼ同期
⇒グローバルな現象
- 1970年と2010年代で振幅が極小

3.5 Res-Sq場の振幅の経年変化(地理分布)

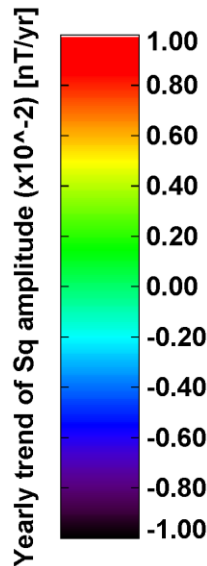
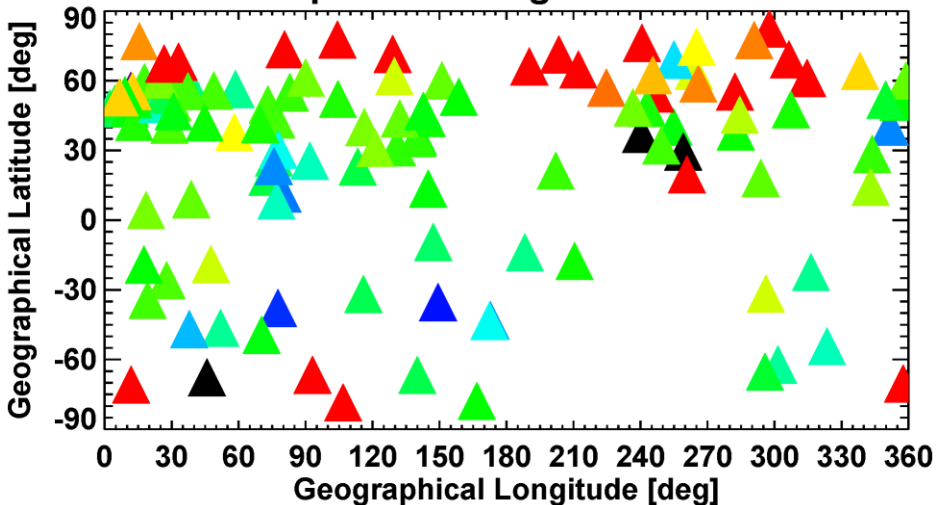
Sq trend during 1950-1969



Sq trend during 1990-2009



Sq trend during 1970-1989



左上: 1950-1969年

左下: 1970-1989年

右上: 1990-2009年

約20年の周期でSq場の振幅は、増減する

4.1 Res-Sq場の振幅の経年変化の特徴

1950-2010年の期間に限ってみれば、オーロラ帯・極冠域のSqp変動と赤道から中緯度のSq場の振幅は、**約20年ごとに増減を繰り返す**特徴を持つ。

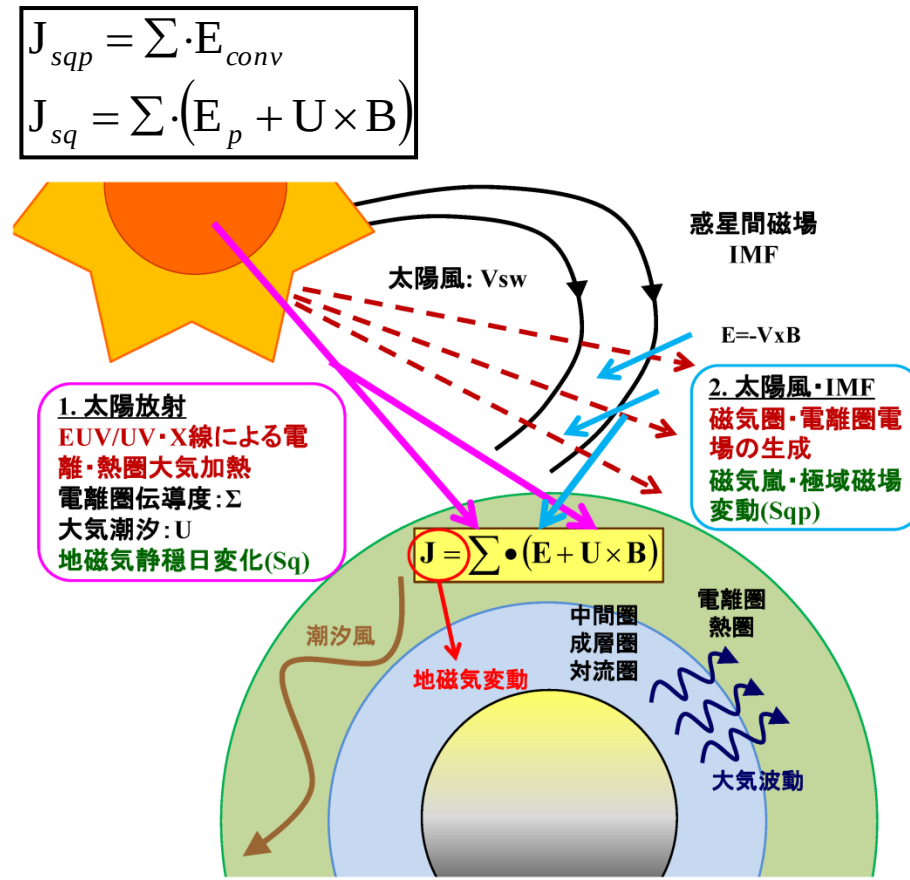
[Sqp場とSq場の発生機構]

①Sqp場:太陽風→極域電離圏対流

②Sq場:太陽放射→熱圏風ダイナモ

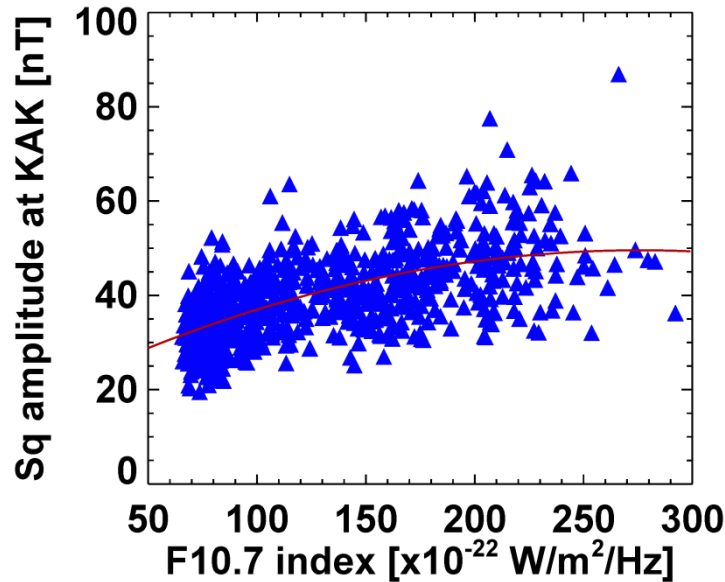
両者の駆動源が異なるが、Res-Sq場の振幅の長期変動は、同じ傾向を示すことから、両者に共通に含まれている**電気伝導度の変化が反映する**

地球の超高層大気固有の変動？



4.2 Sq場の振幅と太陽F10.7指数との対応関係の意味

F10.7指数とSq場の振幅の関係



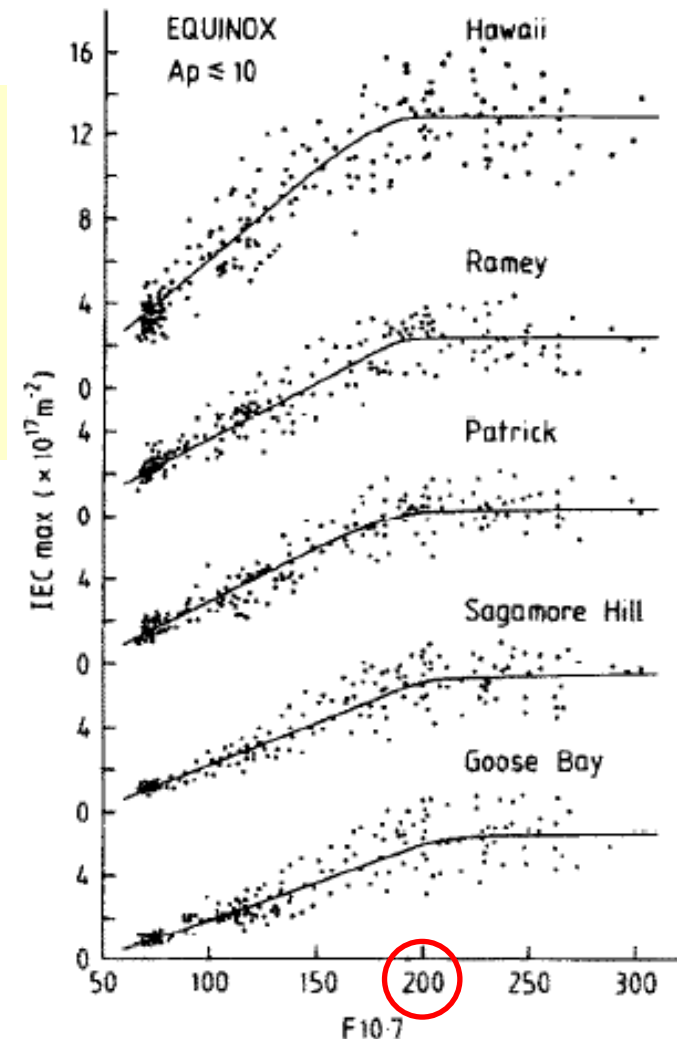
線型関係になく、上に凸型をした2次曲線の関係

高いF10.7値は、電離圏の形成に関するEUV変動を反映しない??

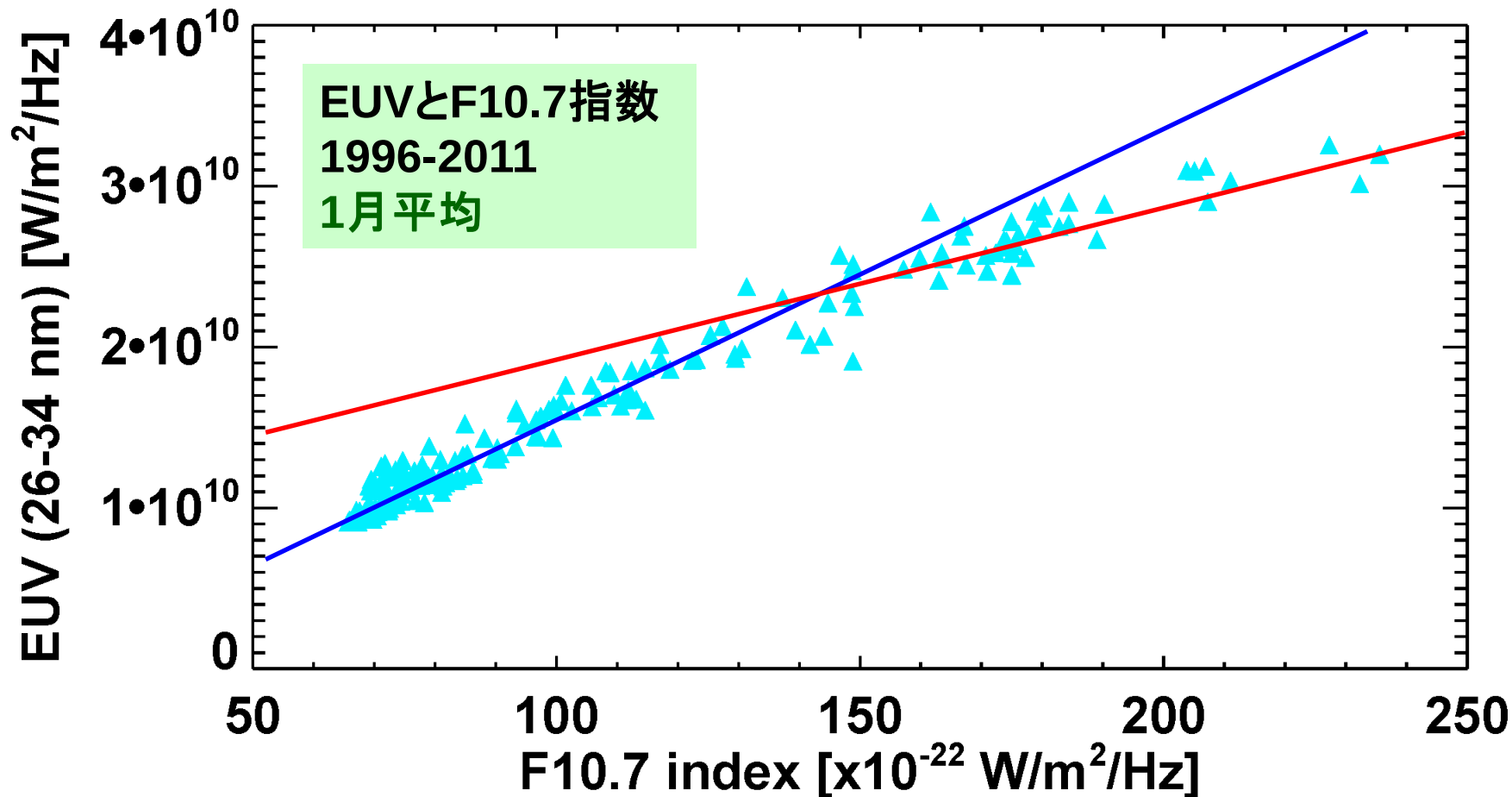
(F10.7 ⇔ EUV Nonlinear relationship)

電離圏電子数:
F10.7=200位までは線形増加
200以上では飽和状態

1981-1985 Balan et al., 1993
(Mar., Apr., Sep., Oct.)



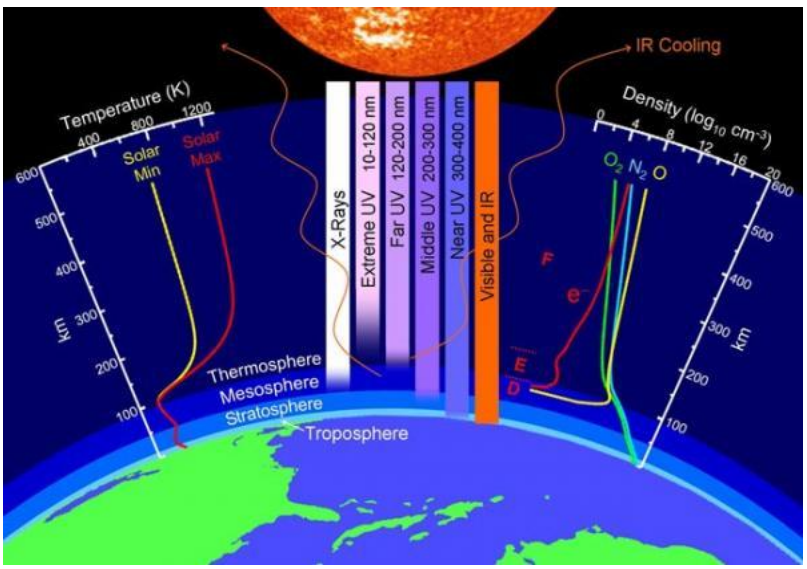
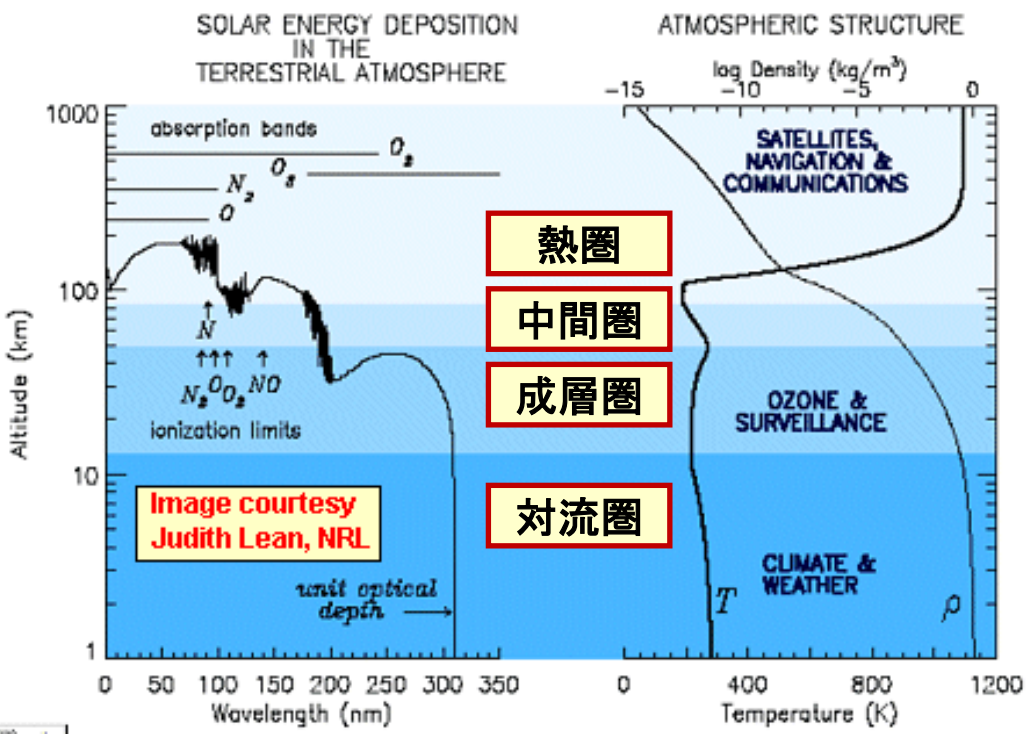
4.3 太陽F10.7指数と極端紫外線(EUV)の対応関係



太陽F10.7指数と極端紫外線との関係は、**線型関係になく**、高いF10.7指数の領域では、**極端紫外線の増加率は減少**する

⇒**熱圏大気を電離する太陽紫外線のデータを使用すべき？**

4.4 太陽紫外線(EUV/UV)データの必要性



熱圏・電離圏大気の変動に関する波長領域

E領域: 90-150 nm (NO, O, O₂)

F領域: 100 nm以下(H, He, O)

種	電離		解離	
	Vp(eV)	$\lambda(\text{nm})$	Vp(eV)	$\lambda(\text{nm})$
N ₂	15.58	79.6	9.76	127
O ₂	12.08	102.6	5.12	242.2
O	13.61	91.1		
N	14.54	85.3		
NO	9.25	134	6.51	190.5
H	13.59	91.2		
He	24.58	50.4		

○1947年から2010年までの長期の期間における太陽F10.7放射フラックスとIUGONETの保有する地磁気、及び熱圏・中間圏風速のデータを用いて、地磁気静穏日変化(Sq)の振幅の太陽活動依存性とその長期トレンドの解析を行った。その結果、以下のような結果が得られた

1. Sq場の振幅は、**太陽活動11年周期に同期して変動**し、太陽放射フラックス(F10.7)が最大となる極大期には、Sq場の振幅が増大する。
2. 太陽活動11年周期と差し引いたSq場の振幅の長期変動は、必ずしも増加傾向の経年変動を示すとは限らず、その振幅は、**約40年の周期？で増加・減少**する。
3. Sq場の振幅は、太陽活動指数F10.7フラックスの増加とともに増加していくが、必ずしも、**線形応答ではなく、2次曲線的な応答**をする。特にF10.7フラックスが**200以上の領域**では、Sq場の振幅の増加は、**鈍くなる傾向**である
4. F10.7フラックスと太陽紫外線との関係が必ずしも線形関係でないため、**実際の超高層大気を電離する紫外線データを用いた解析が必要**である。

○今後の方針:

1. 太陽紫外線実データを用いたSq場の解析

Res-Sq場の振幅を求めるのに、F10.7指数ではなく、地球超高層大気の電離に効く紫外線データを利用する

Res-Sq場の振幅トレンドにどのような違いがあるかを考察する

2. 電離圏電気伝導度モデル値を用いた定量的評価

電離圏電気伝導度モデル値との相関解析を行い、背景磁場の減少・増加に伴うSq場の振幅変動を取り除き、超高層大気の長期変動の寄与を定量的に評価する

3. 電離圏TEC値とEUVとの関係の特徴を探る

1997年4月以降の太陽活動1周期以上のGPS-TEC値データとF10.7指数やEUVフラックスにどのような相関関係があるかを調査する

4. 太陽風の長期解析

極域Sq_p場の振幅を決めているのは、太陽風であるため、この太陽活動1周期でどのように太陽風と相関があるか調べる