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

IUGONET

Metadata DB for Upper Atmosphere

超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究

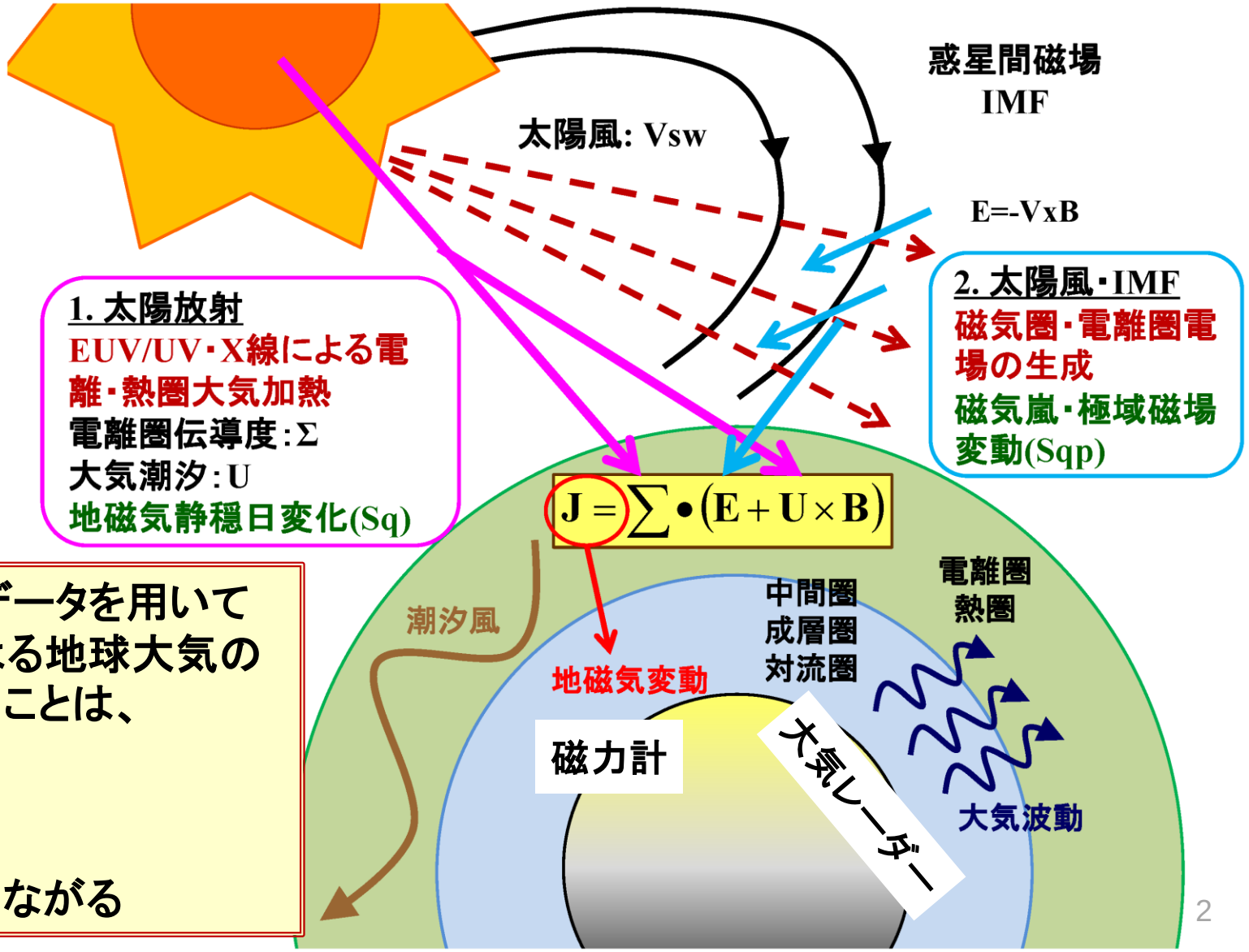
Inter-university Upper atmosphere Global Observation NETwork

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、

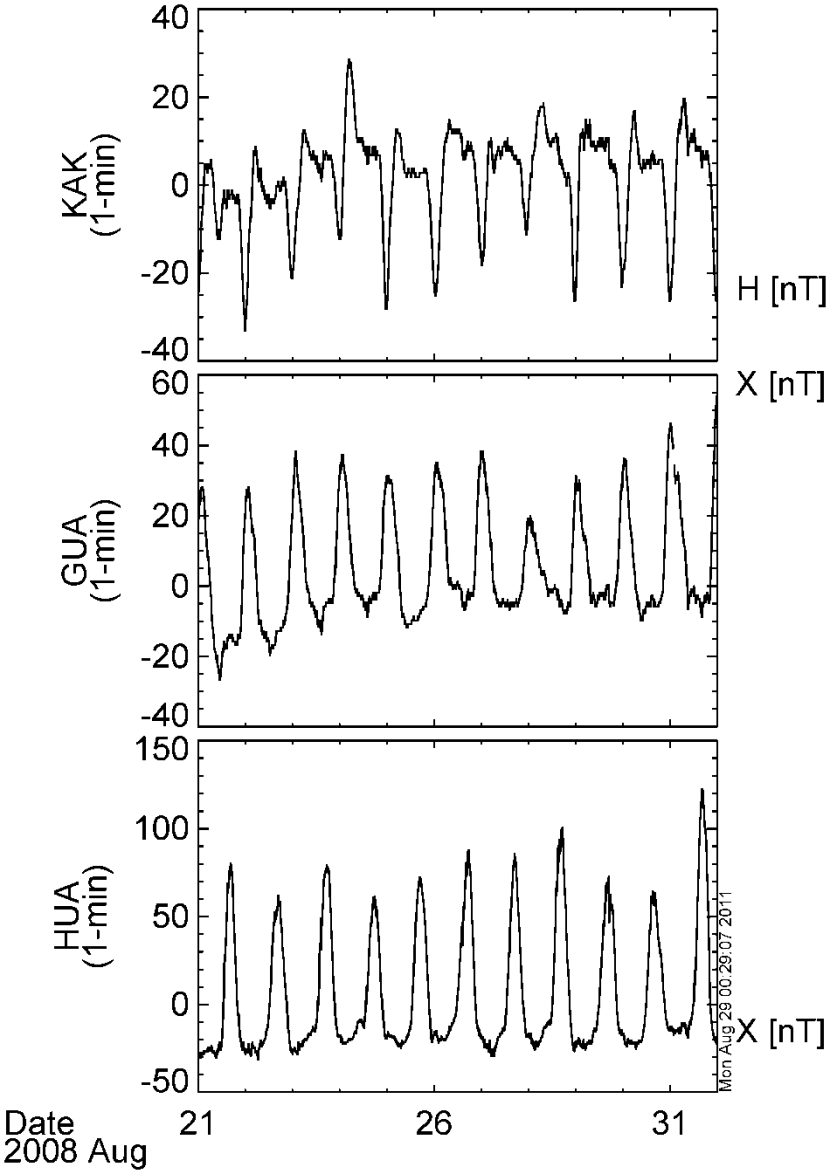
○気候変動

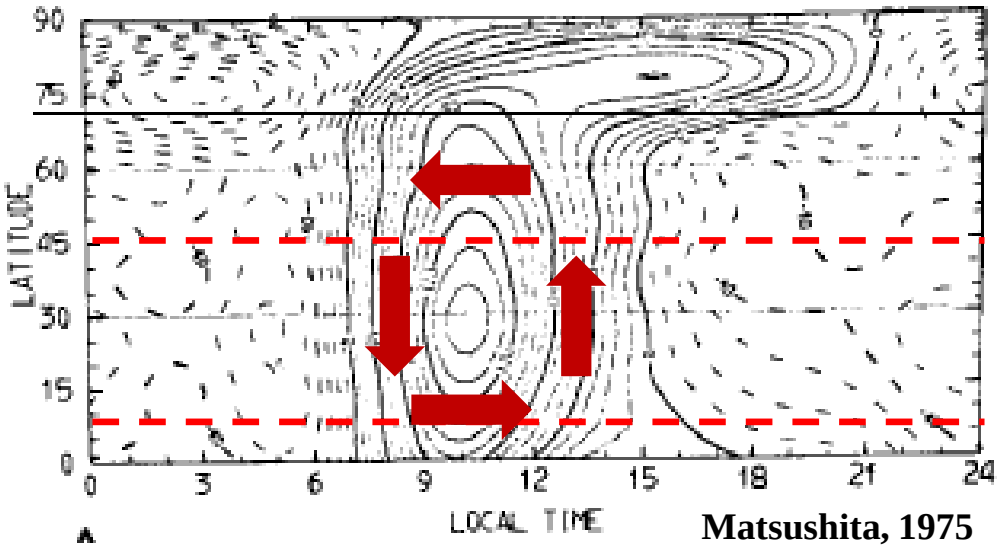
○惑星大気

の理解へとつながる

1.はじめに

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





Matsushita, 1975

[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

$$\mathbf{J} = \sum \cdot \left(\mathbf{E} + \mathbf{U} \times \mathbf{B} \right)$$

○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(UxB)の変化

太陽潮汐風の変化

1.はじめに

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
Macmillan and Droujinina [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Sqp変動と太陽潮汐駆動のSq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タとの相関も線形関係にあるか？

1.はじめに

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. 解析手法

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. 解析手法

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:

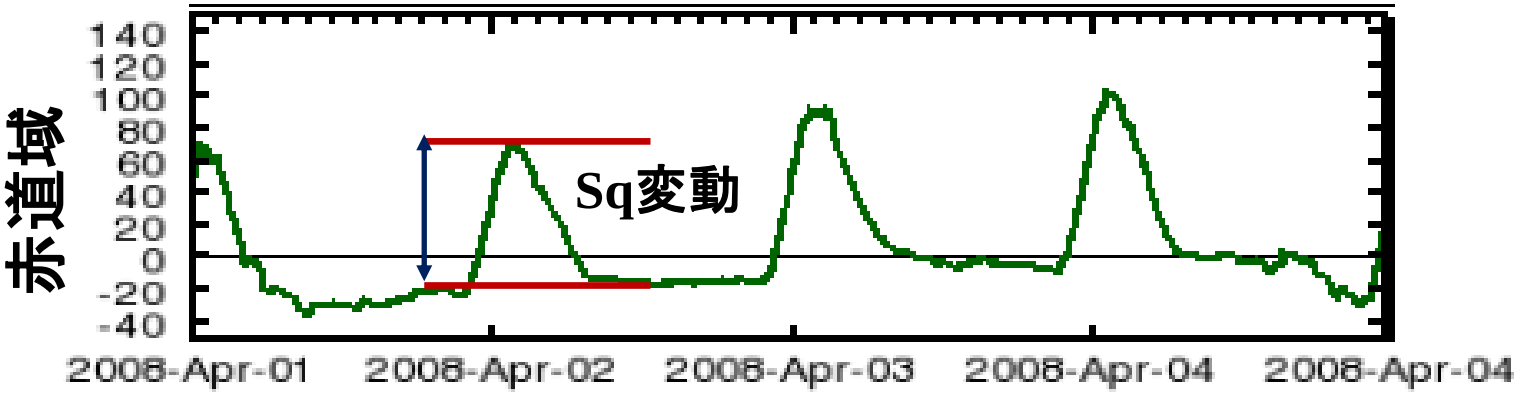
地磁気Kp指数の1日のデータの中で最大値が4未満

○ 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

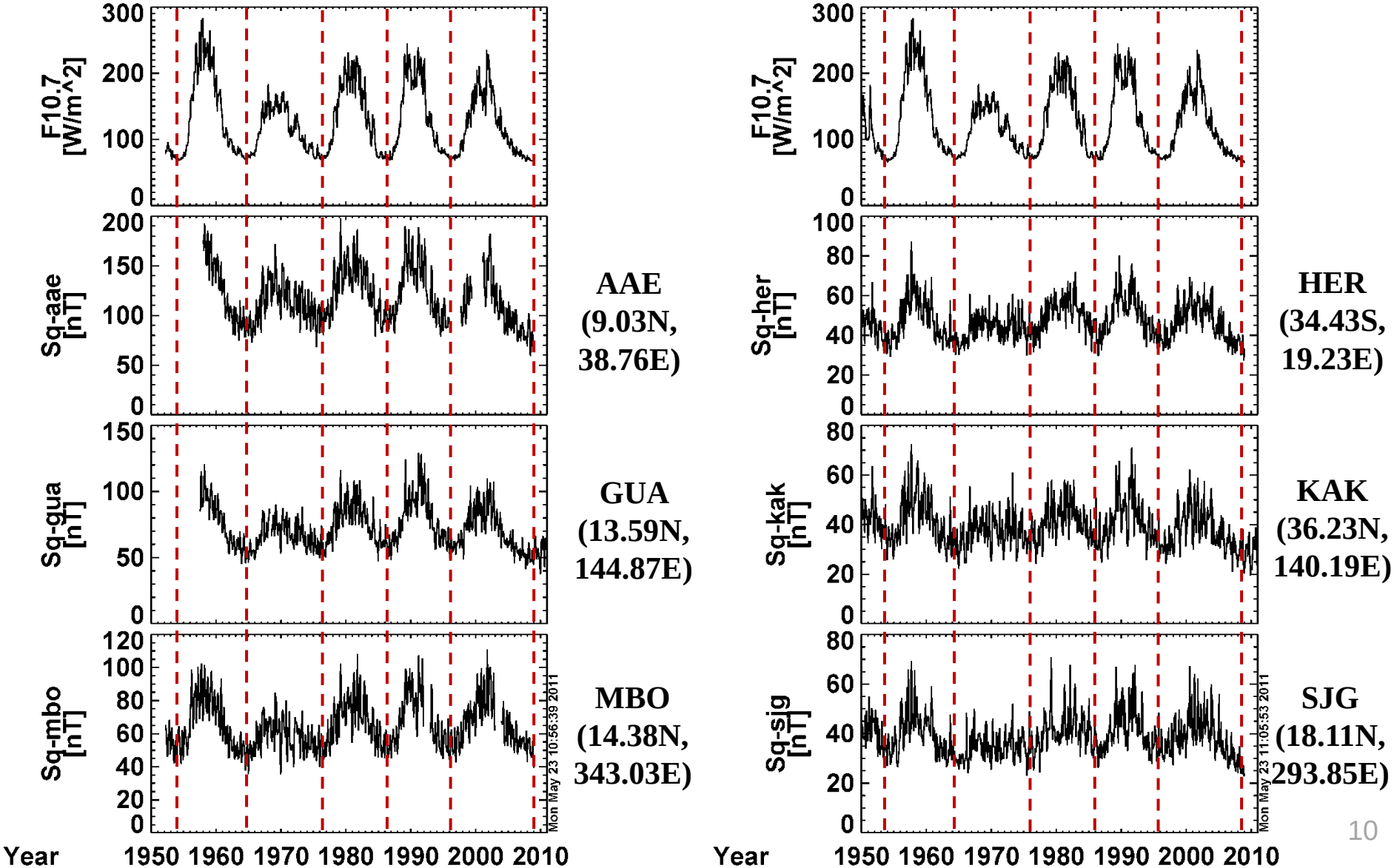
○太陽活動に関するデータとの相関解析:

線形回帰ではなく、2次回帰曲線からのずれを計算



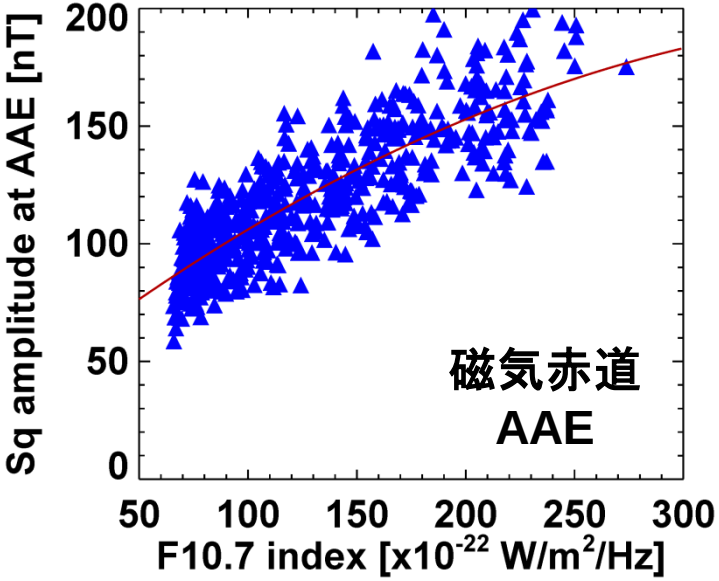
3.解析結果

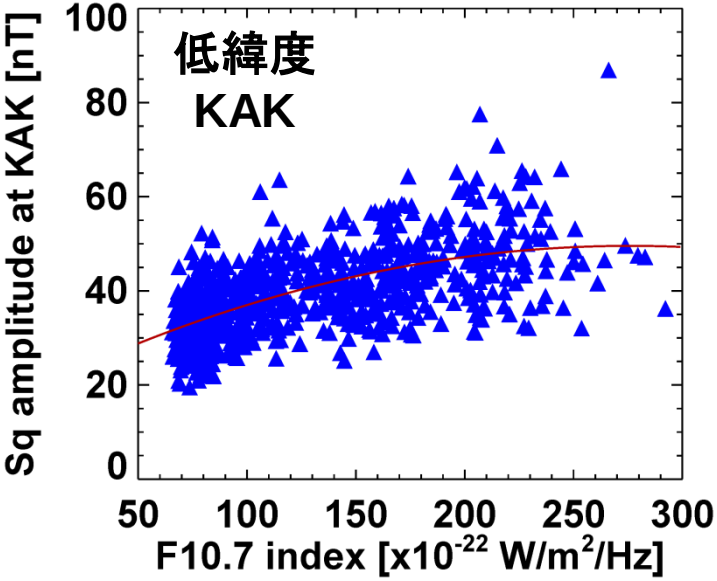
3.1 Sq場の振幅の太陽活動依存性(赤道域、低緯度)



3.解析結果

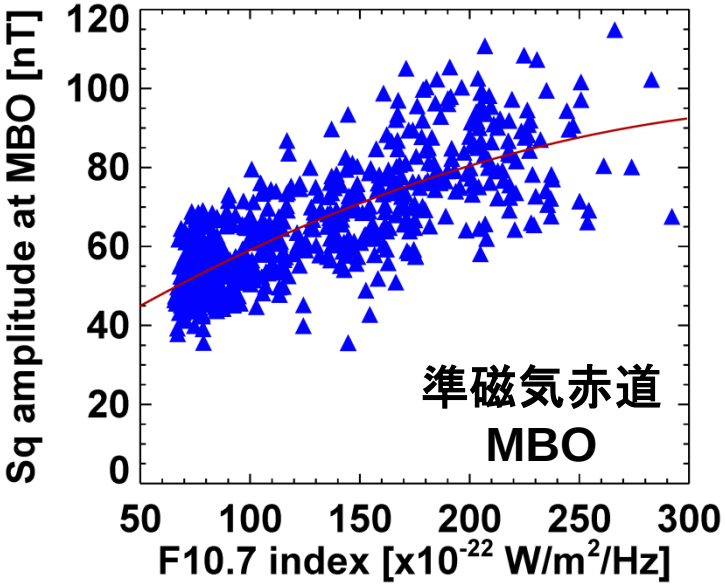
3.2 Sq場の振幅と太陽F10.7指数との対応関係

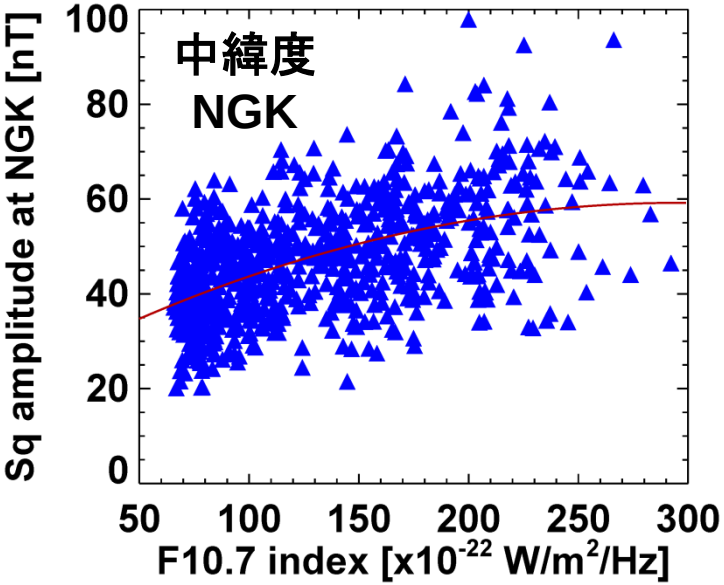




Sq場の振幅とF10.7指数のデータ

1ヶ月平均



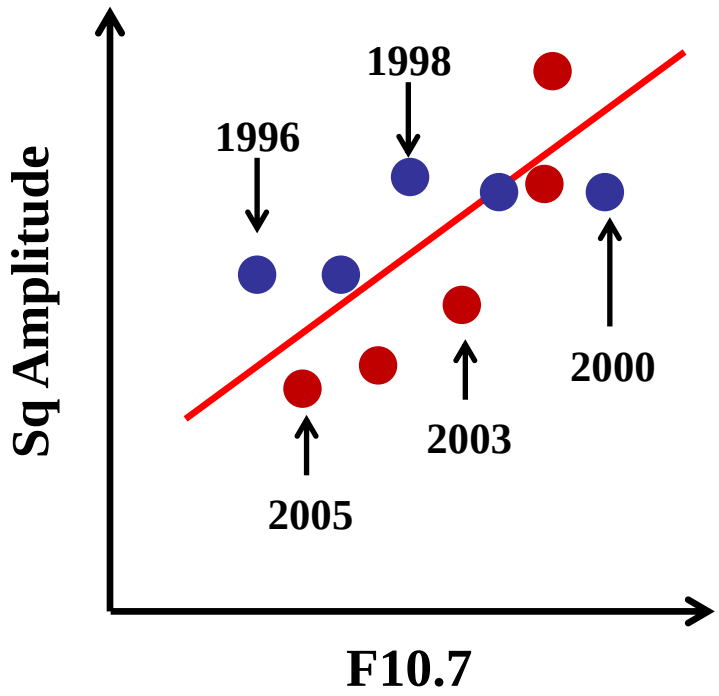


上に凸型をした2次曲線の関係

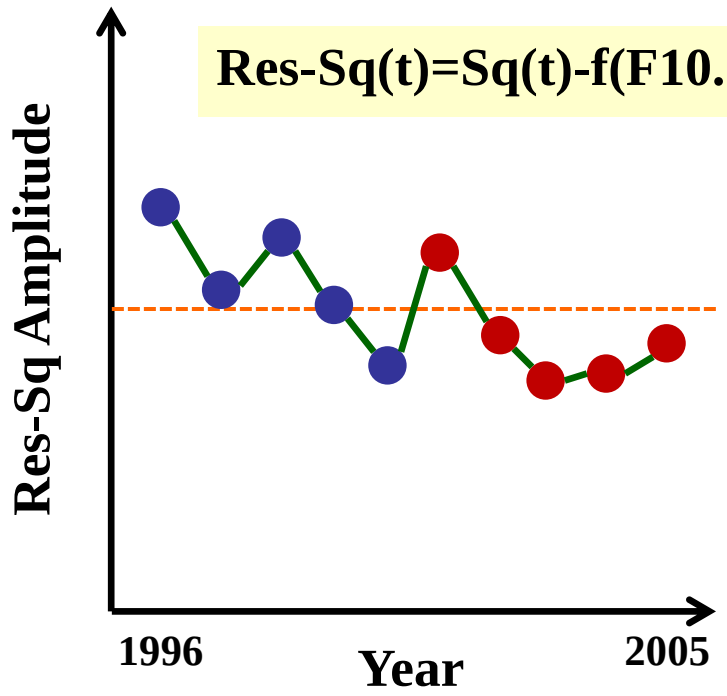
3.解析結果

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



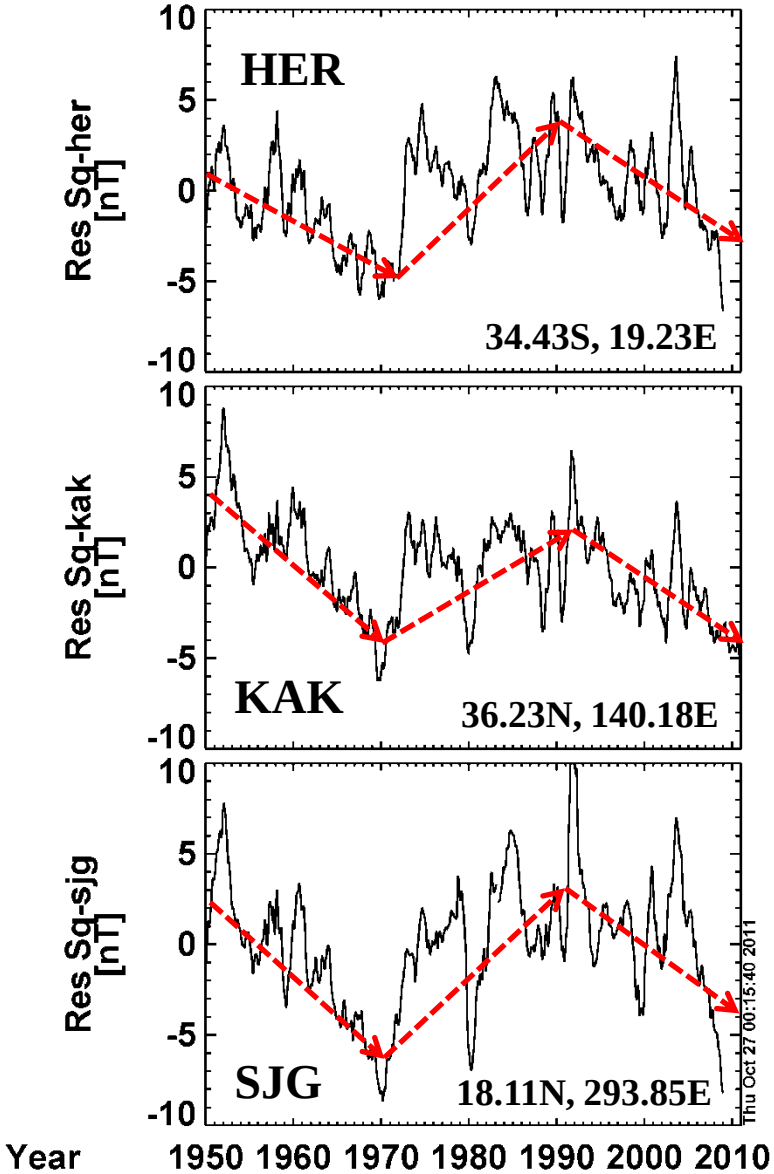
太陽活動に依存する成分を除去

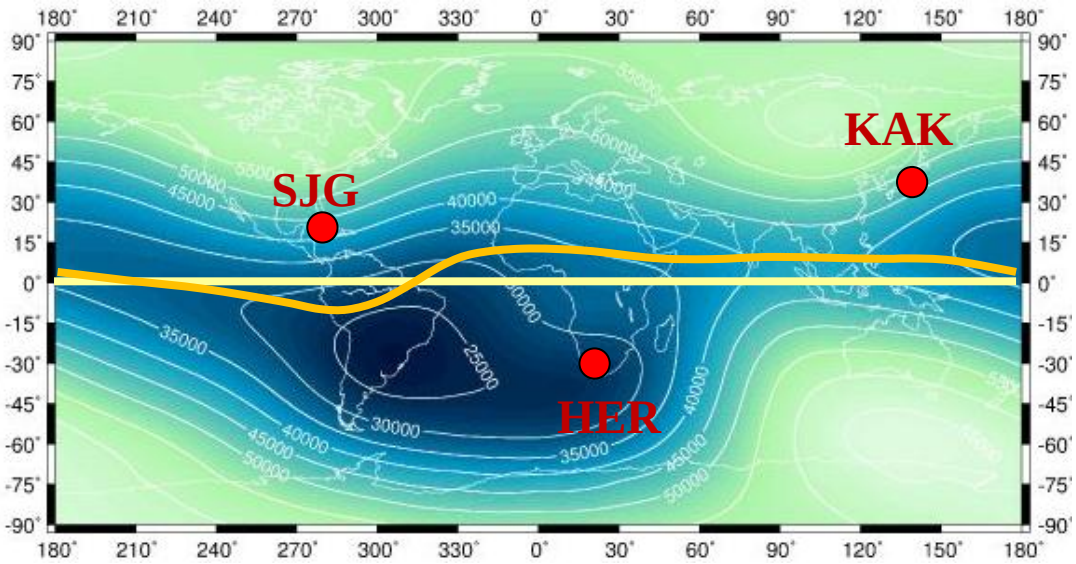
Sq振幅に影響する残りの成分

＝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.解析結果

3.4 Res-Sq場の振幅の長期変動(低緯度)





SJG、HER、KAKの位置

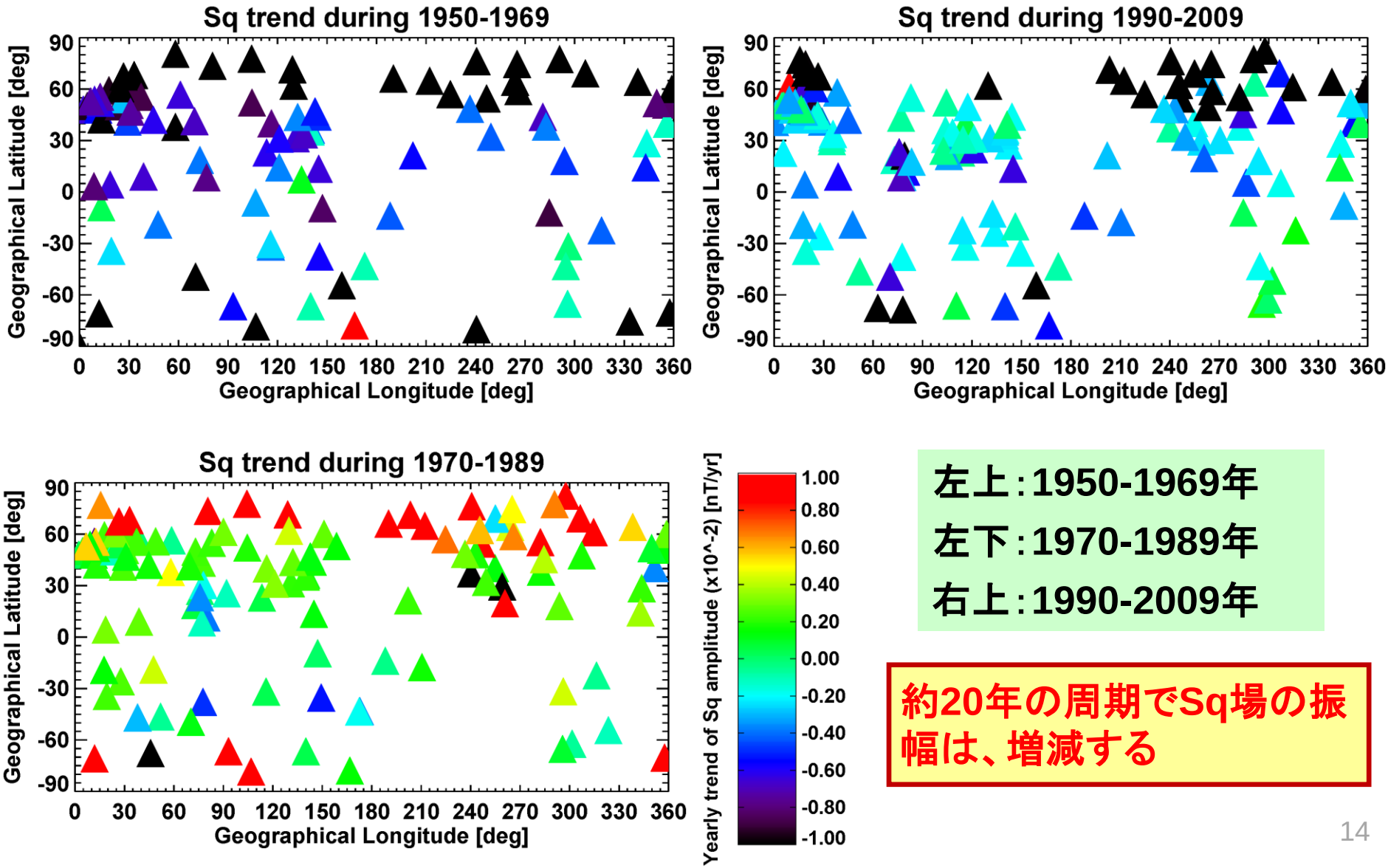
○Residual-Sq場の振幅は、各観測点で増加・減少する期間がほぼ同期

⇒グローバルな現象

○1970年と2010年代で振幅が極小

3.解析結果

3.5 Res-Sq場の振幅の経年変化(地理分布)



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. 議論

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

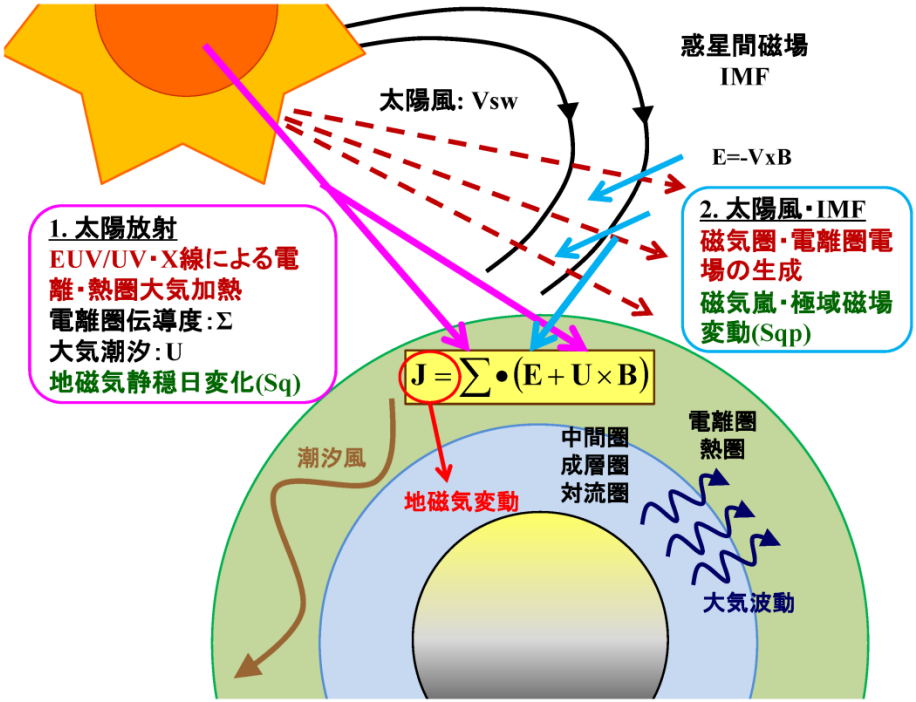
両者の駆動源が異なるが、Res-Sq場の振幅の長期変動は、同じ傾向を示すことから、両者に共通に含まれている電気伝導度の変化が反映する

↓

地球の超高層大気固有の変動？

$$J_{sqp} = \Sigma \cdot E_{conv}$$

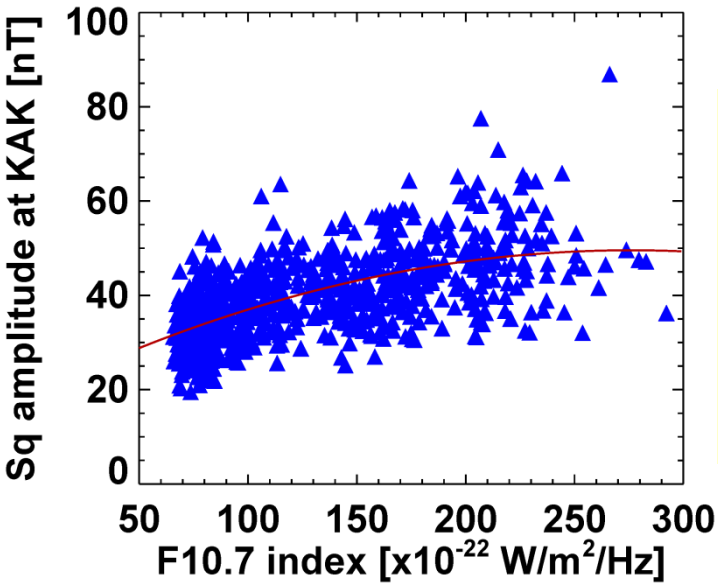
$$J_{sq} = \Sigma \cdot (E_p + U \times B)$$



4. 議論

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



電離圏電子数：

F10.7=200位までは線形増加

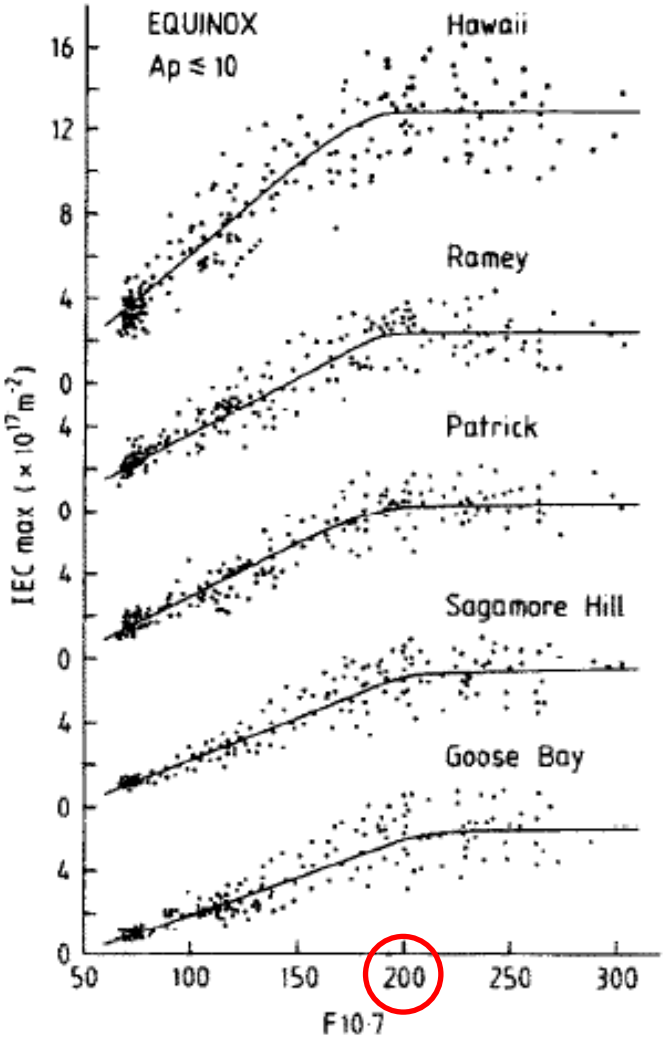
200以上では飽和状態

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、電離圏の形成に関係するEUV変動を反映しない??

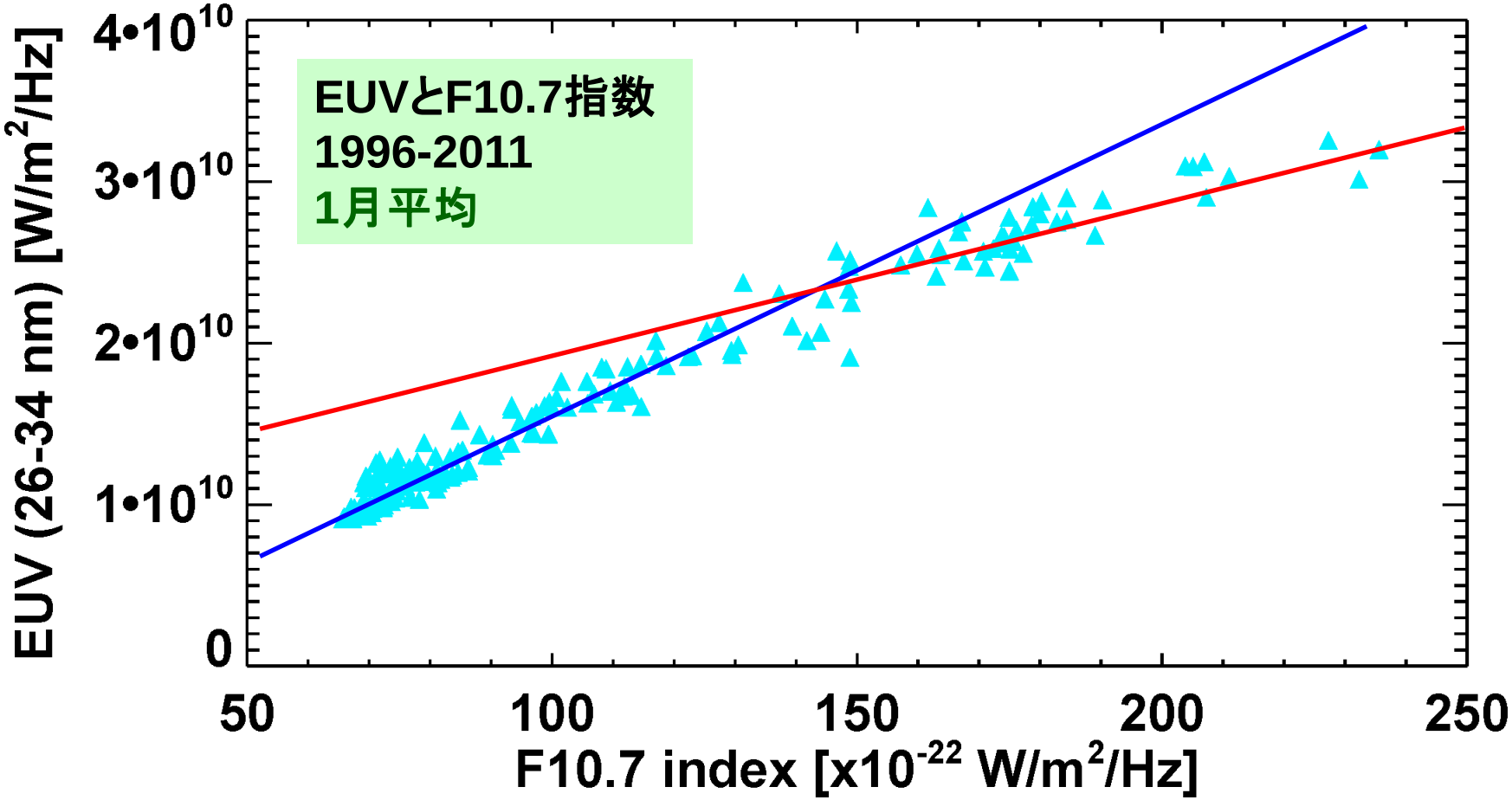
（F10.7⇔EUV Nonlinear relationship）

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



4. 議論

4.3 太陽F10.7指数と極端紫外線(EUV)の対応関係

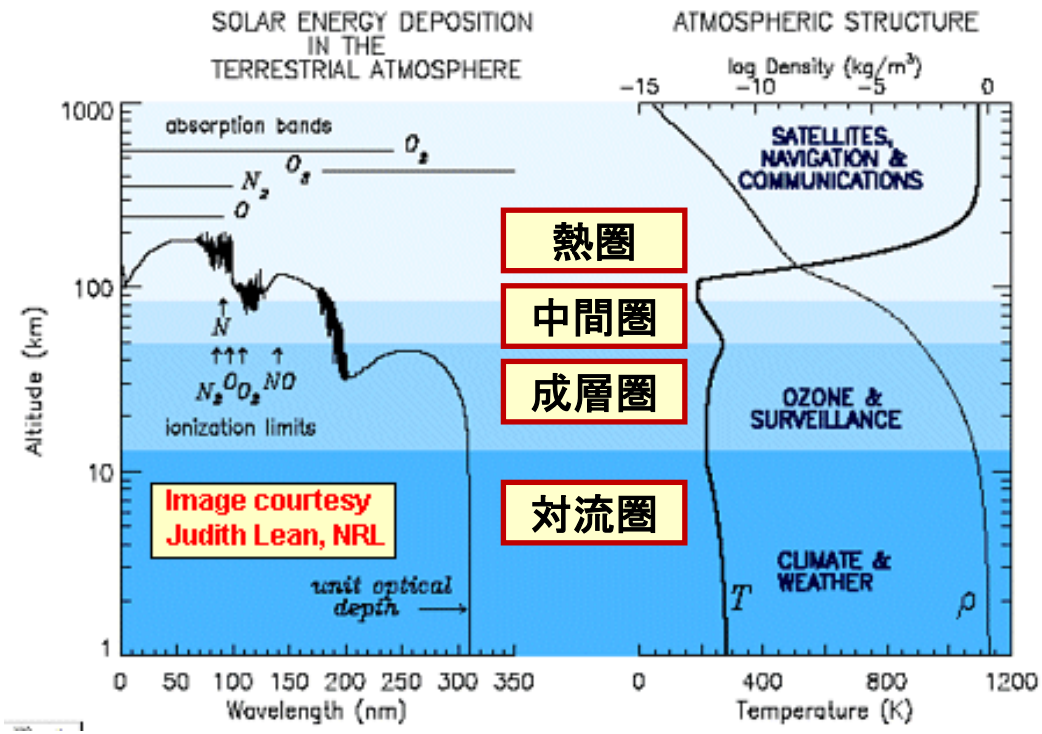


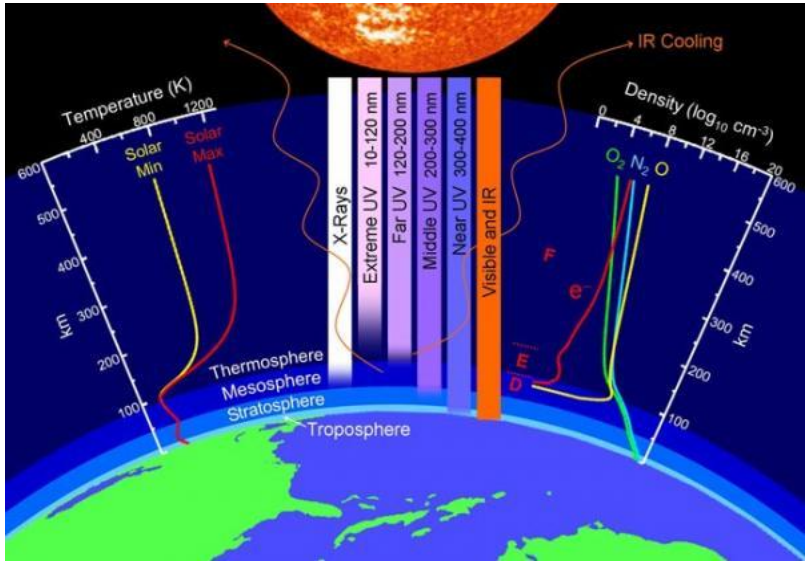
太陽F10.7指数と極端紫外線との関係は、線型関係になく、高いF10.7指数の領域では、極端紫外線の増加率は減少する

⇒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. 議論

4.4 太陽紫外線(EUV/UV)データの必要性





種	電離		解離	
	Vp(eV)	λ(nm)	Vp(eV)	λ(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		

熱圏・電離圏大気の変動に関係する波長領域

E領域：90-150 nm (NO, O, O_2)

F領域：100 nm以下(H, He, O)

5. まとめ

〇1947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。

6. 今後の方針

〇今後の方針:

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Sqp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