



# IUGONET

Metadata DB for Upper Atmosphere

電磁圏物理学シンポジウム

九州大学

2012/03/13-14

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

## 地磁気日変化の振幅に見られる超高層大 気の長期変動について

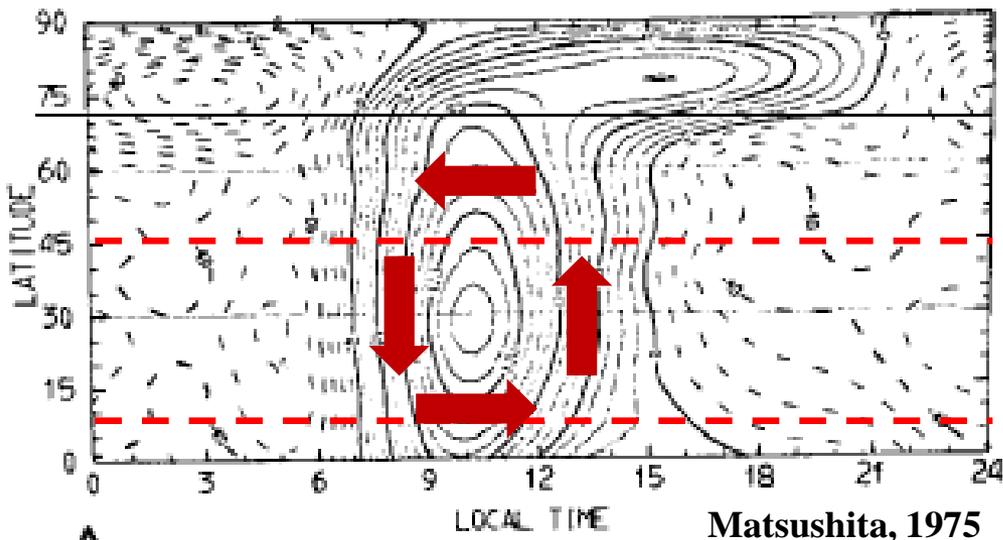
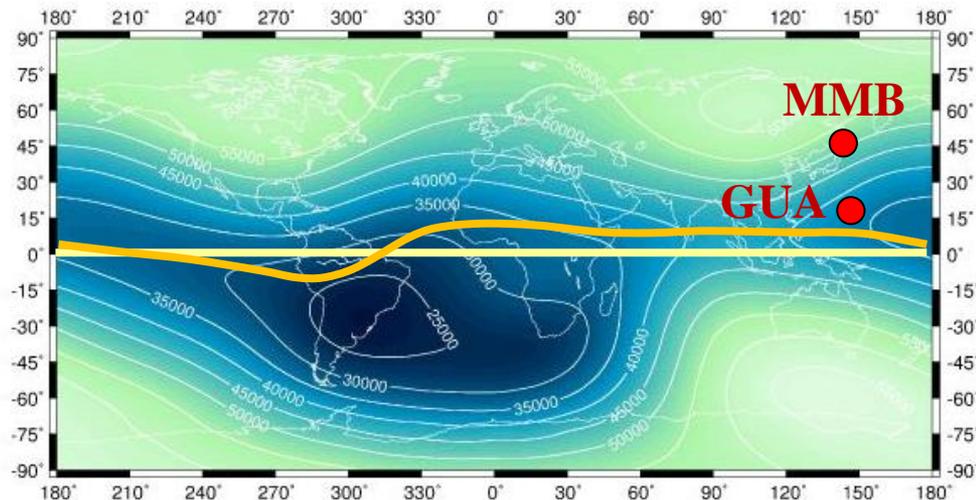
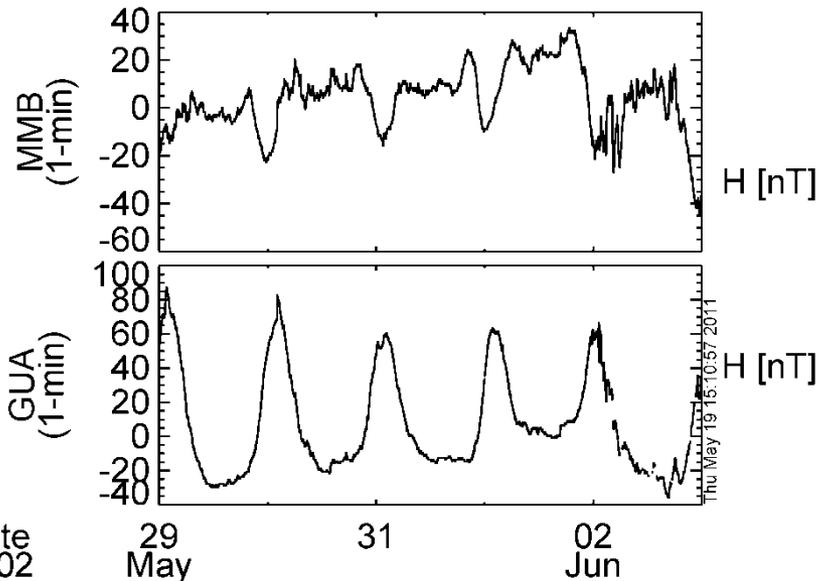
新堀 淳樹<sup>1</sup>・小山 幸伸<sup>2</sup>・林 寛生<sup>1</sup>・能勢 正仁<sup>2</sup>・大塚雄一<sup>3</sup>・堀智昭<sup>3</sup>・

IUGONET プロジェクトチーム

<sup>1</sup>京大大学生存圏研究所、<sup>2</sup>京都大学地磁気センター、

<sup>3</sup>名古屋大学太陽地球環境研究所

## 1.1 地磁気日変化



擾乱の少ない磁氣的静穏時の地磁気の日変化は、**Sq** (Geomagnetic Solar daily Quiet variation)と呼ばれ、電離圏高度の中性風によって駆動される電離圏電流がその要因である

## 1.2 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の大きさの掛け算に等しい

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

### ○電離圏伝導度( $\Sigma$ )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(+地磁気永年変化)の変化

## 1.3 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

## 1.4 これまでの問題点と目的

### [問題点]

- 使用している地磁気観測点の長期解析の不足
- 分野間の観測データを用いた統合解析の不足
- 解析手法やそれに至る仮定の問題

### [目的]

IUGONETプロジェクトから提供される長期の地磁気と太陽活動の指標となるF10.7を用いて、**全球的なSq場の振幅の長期変動の要因**を明らかにする

#### (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DB検索と統合解析ソフト(UDAS)を最大限に利用することで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

地磁気データ(1時間値、1900年以降のデータ):京大WDC

地磁気指数(Kp指数、1932年-2010年):京大WDC

太陽F10.7フラックス(1947年-2010年):NGDC/NOAA

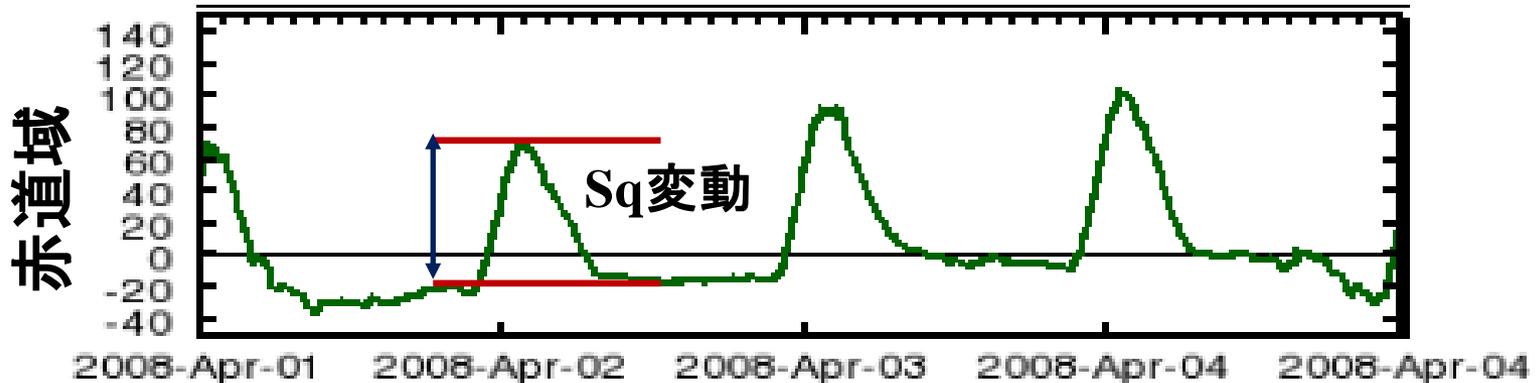
熱圏下部中性風(1日平均値):京大RISH

## 2.2 地磁気静穏日とSq振幅の同定方法

○地磁気静穏日: **Kp指数の1日の最大値が4未満**

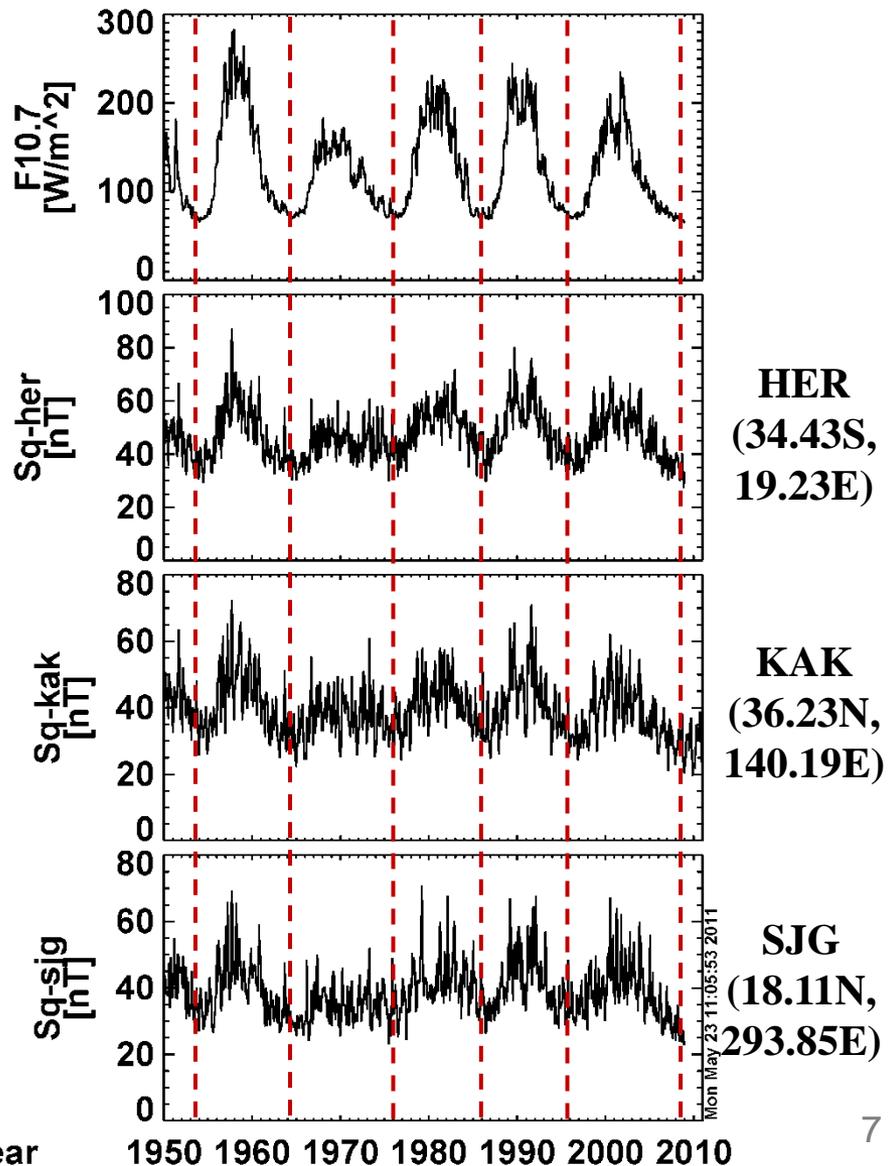
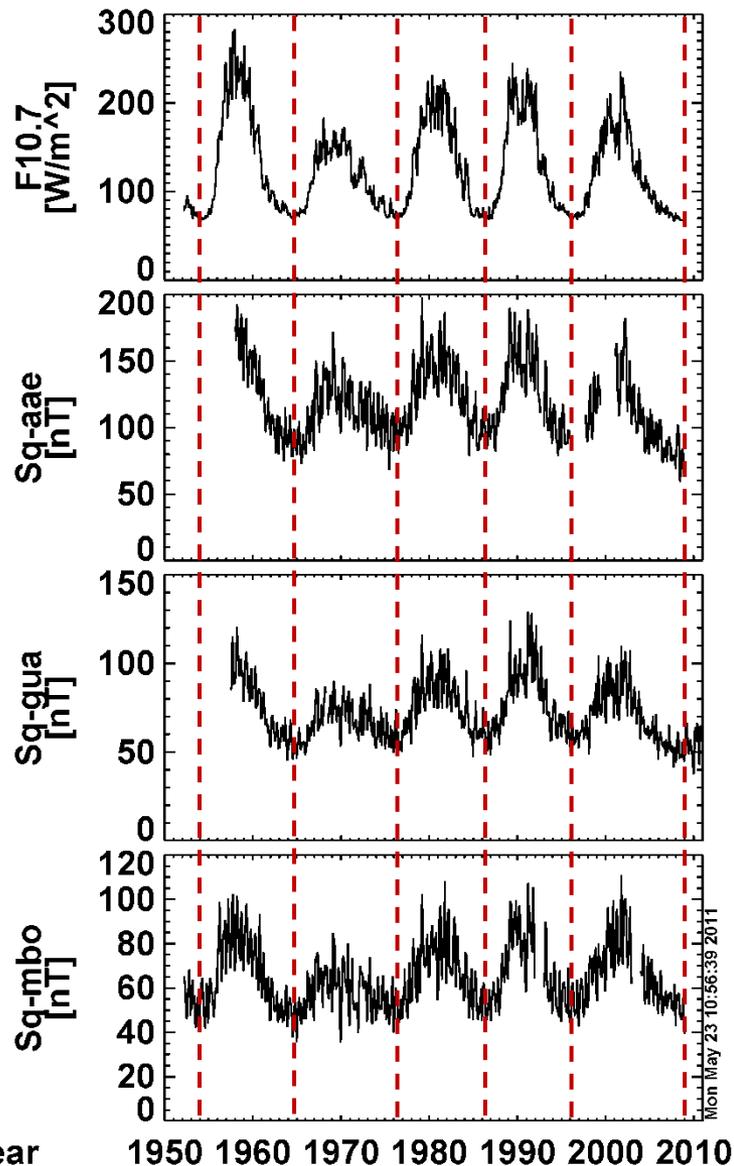
○Sq振幅:1日の変化の最大と最小の差を**1月平均値**

○太陽活動依存性の除去:**2次回帰曲線からのずれを計算**

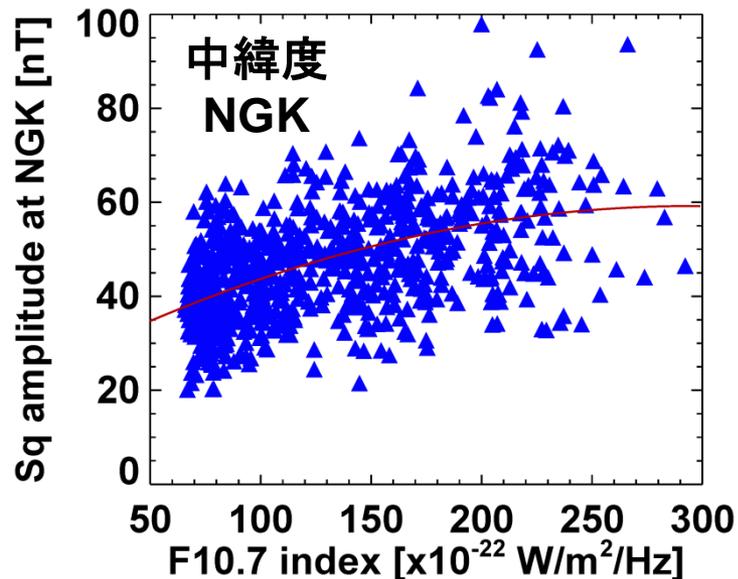
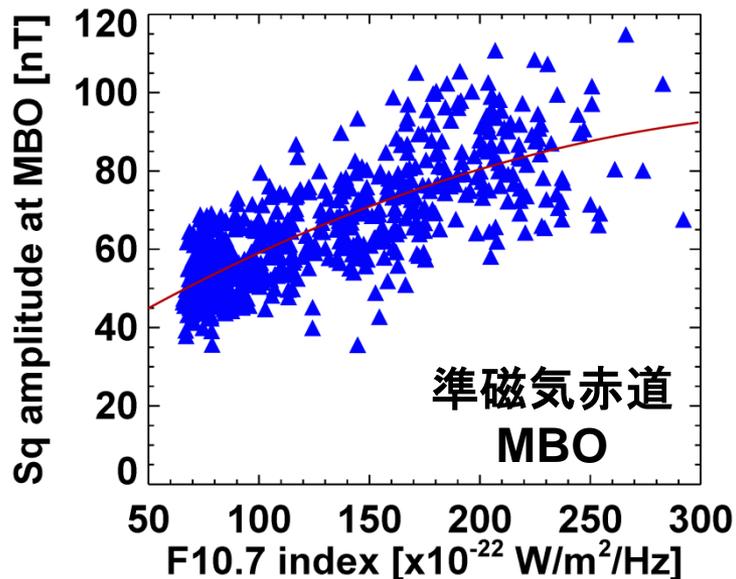
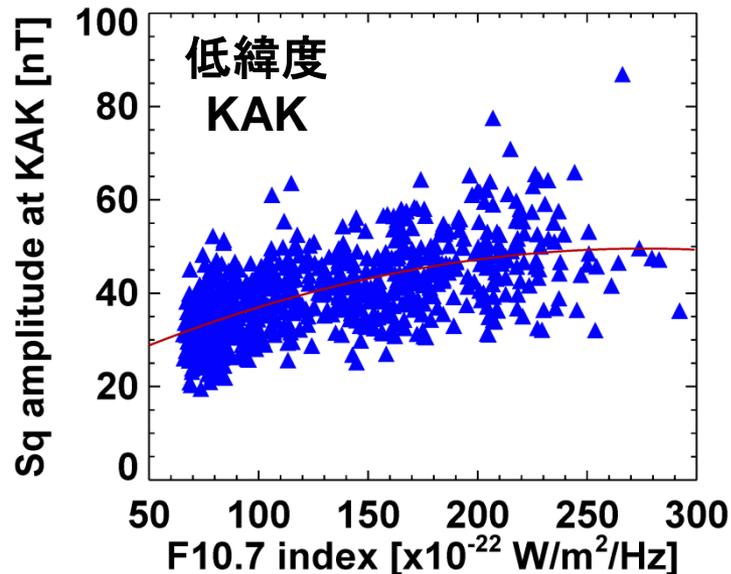
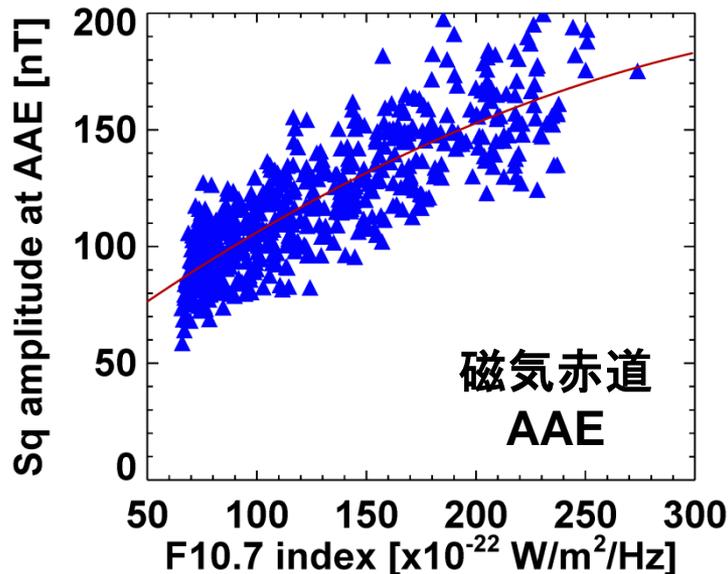


# 3. 解析結果

## 3.1 Sq場の振幅の太陽活動依存性(赤道域、低緯度)



## 3.2 Sq場の振幅と太陽F10.7指数との対応関係

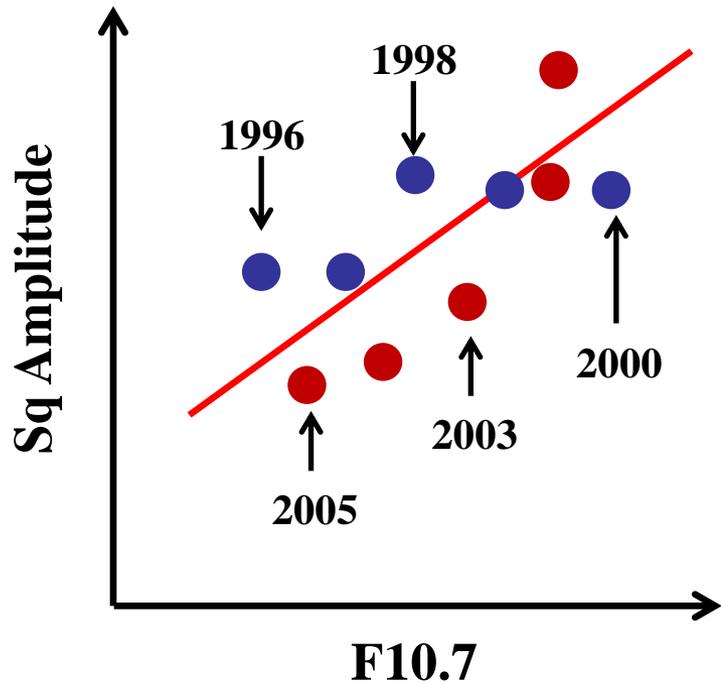


Sq場の振幅  
とF10.7指数  
のデータ  
1ヶ月平均

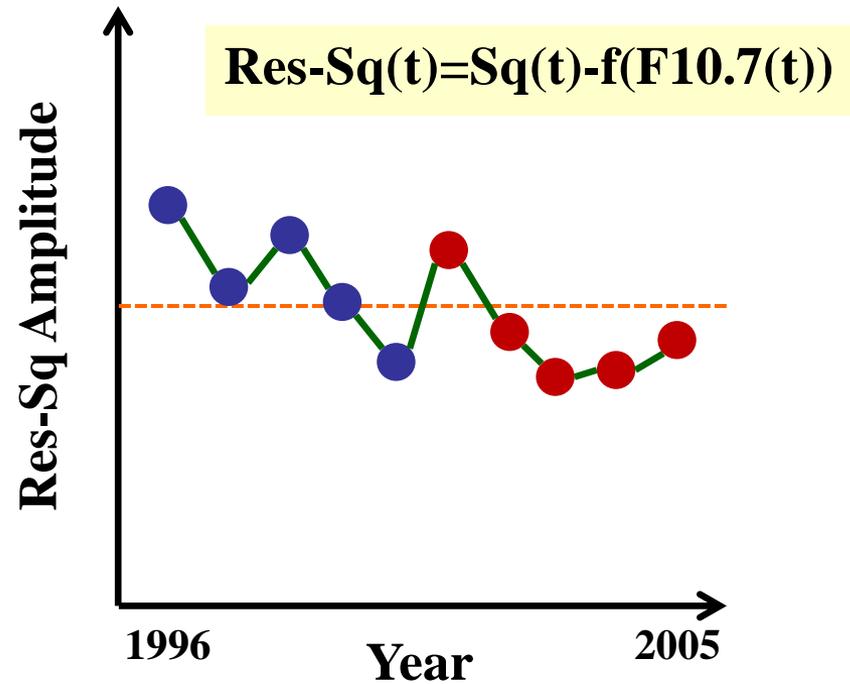
上に凸型を  
した2次曲線  
の関係

## 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

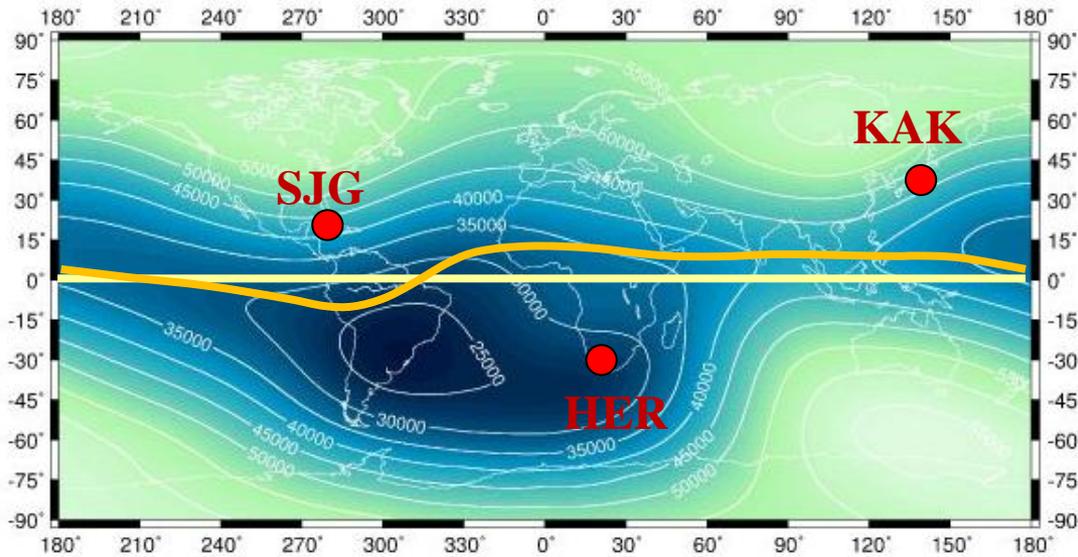
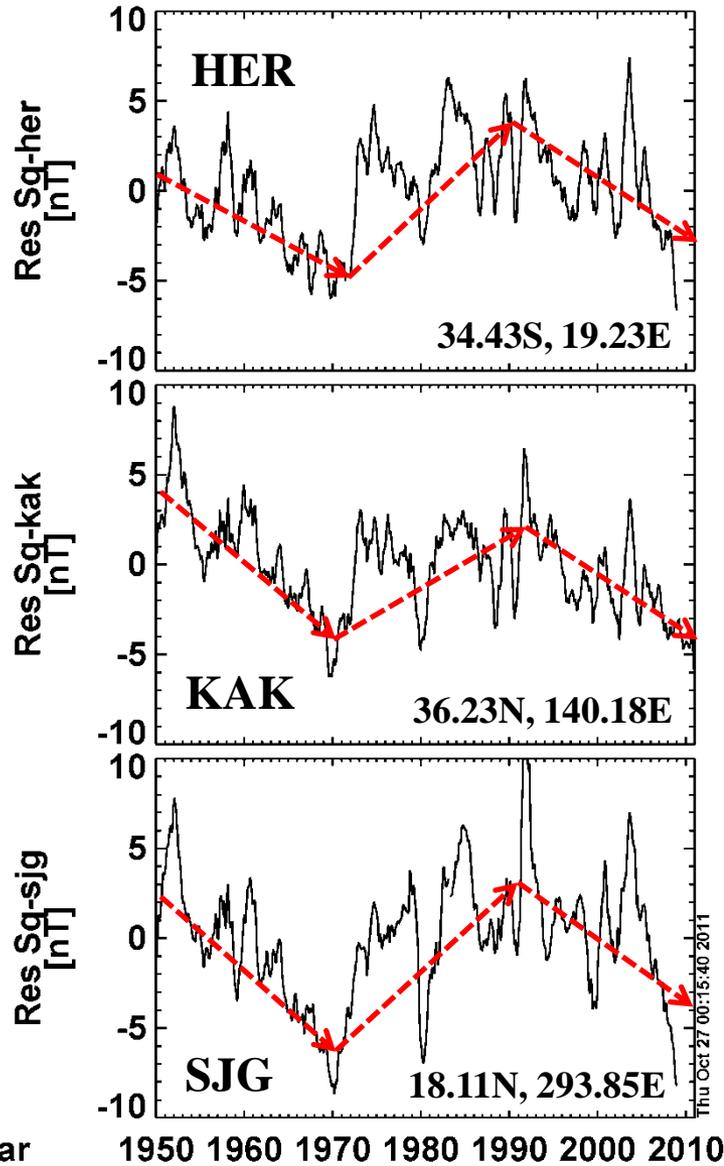


太陽活動に依存する成分を除去

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

## 3.5 Res-Sq場の振幅の長期変動(低緯度)

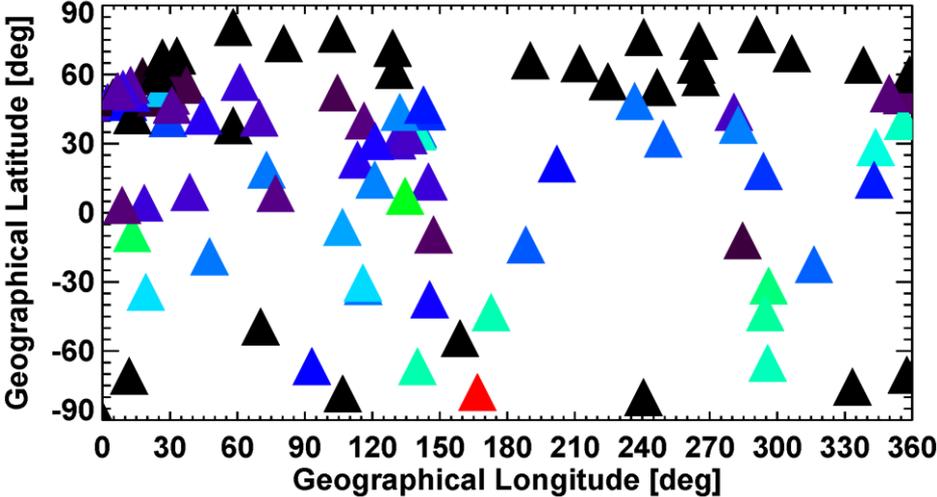


SJG、HER、KAKの位置

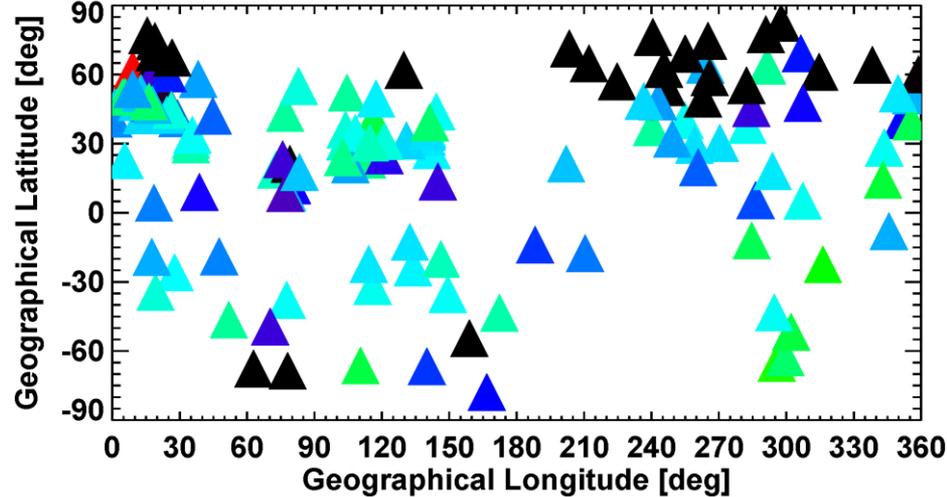
- Residual-Sq場の振幅は、各観測点で増加・減少する期間がほぼ同期  
⇒グローバルな現象
- 1970年と2010年代で振幅が極小

## 3.6 Res-Sq場の振幅の経年変化(地理分布)

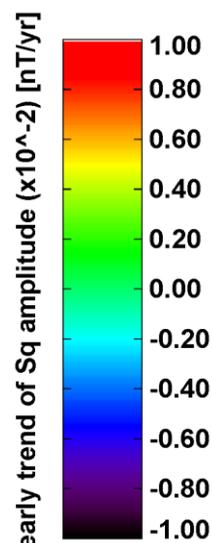
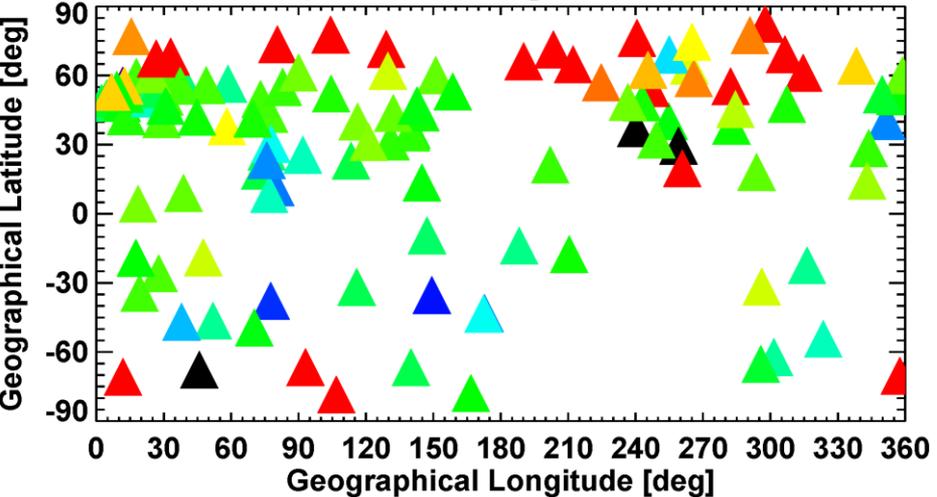
Sq trend during 1950-1969



Sq trend during 1990-2009



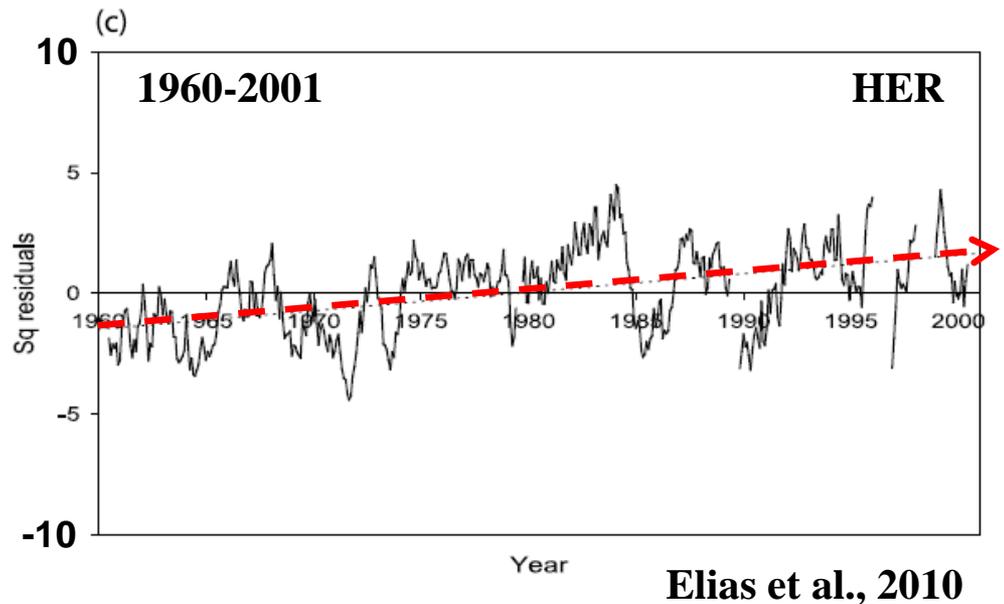
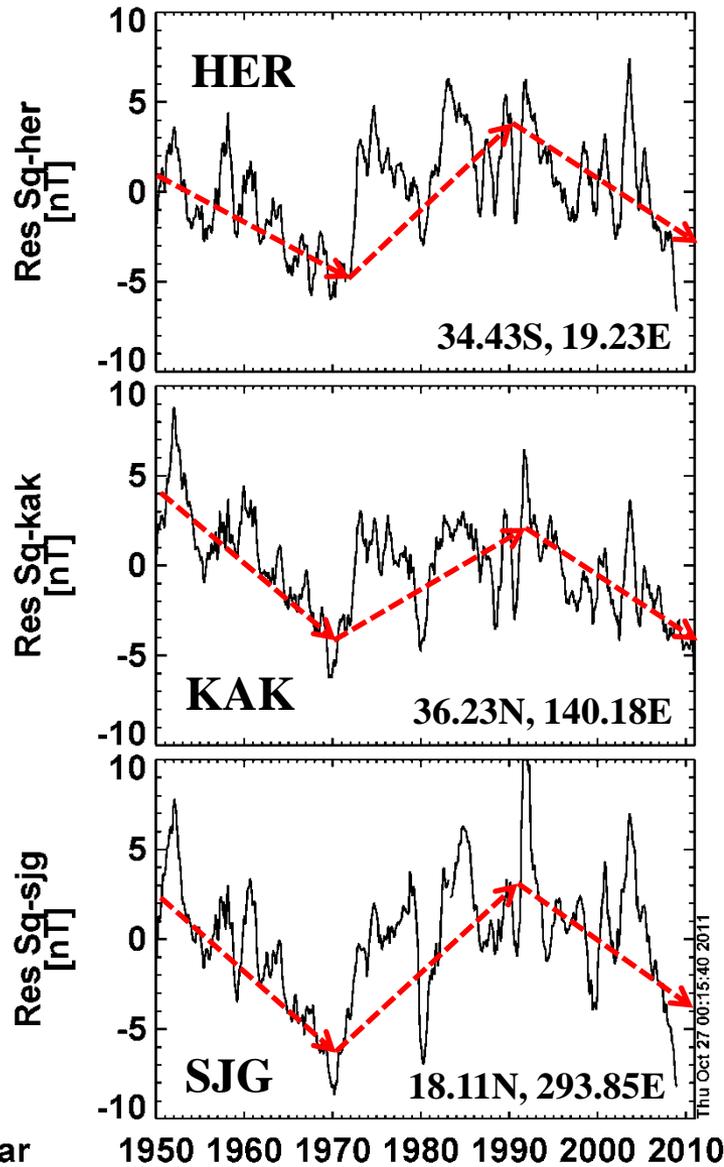
Sq trend during 1970-1989



左上: 1950-1969年  
 左下: 1970-1989年  
 右上: 1990-2009年

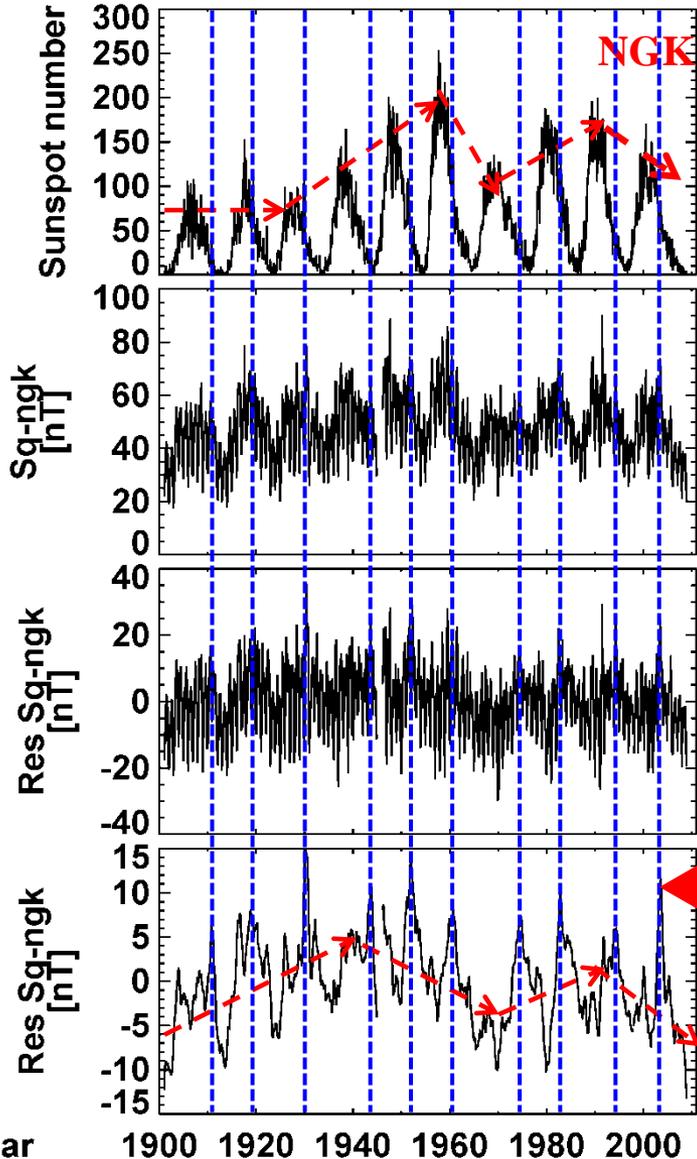
約20年の周期でSq場の  
 振幅は、増減する

4.1 これまでの研究結果との比較



○Sq場の経年変動は、単純に増加傾向ではなく、**20年ごとに増加・減少**を示す。  
 ○Elias et al. [2010]で報告されているような単なる増加傾向は見えない  
 ⇒**1970-1990年の増加期**だけしか解析していなかったため？

### 4.2 約100年の地磁気変動の経年変化(太陽黒点使用)



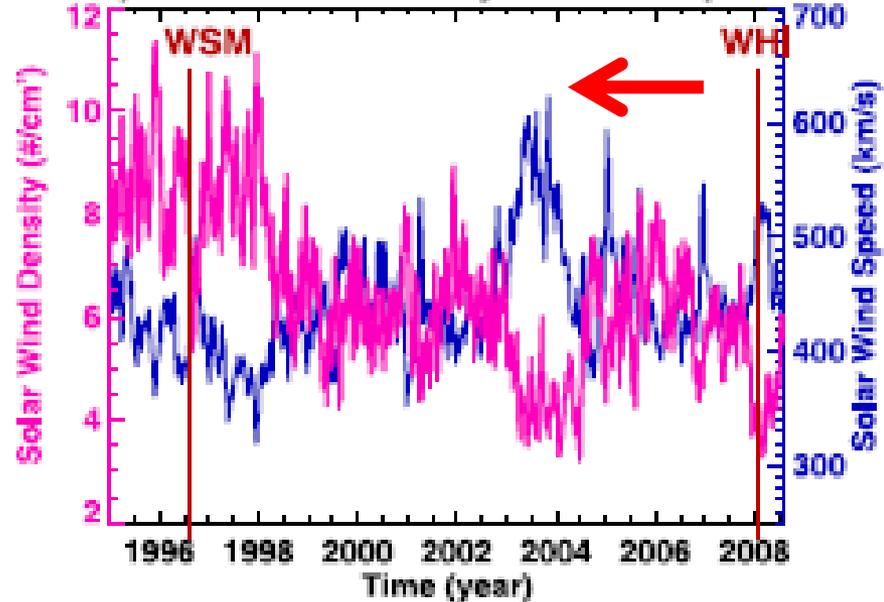
太陽黒点  
1ヶ月平均

Sq場の振  
1ヶ月平均

太陽活動  
いたSq場の振幅  
1ヶ月平均値

太陽活動を差し引  
いたSq場の振幅  
1年の移動平均値

a) Solar wind density vs. wind speed



1990-2010 (20年)  
○Res-Sq場の急激な  
振幅増大が太陽活  
動減退期に発生

## 3 電離圏電気伝導度を用いたRes-Sq場の振幅の評価

Sq場の振幅は、オームの法則から電離圏を流れる電流の大きさに比例

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

その電離圏電流は、上式のように、電離圏電気伝導度と中性風駆動の起電力項の掛け算(非線形)として変動する



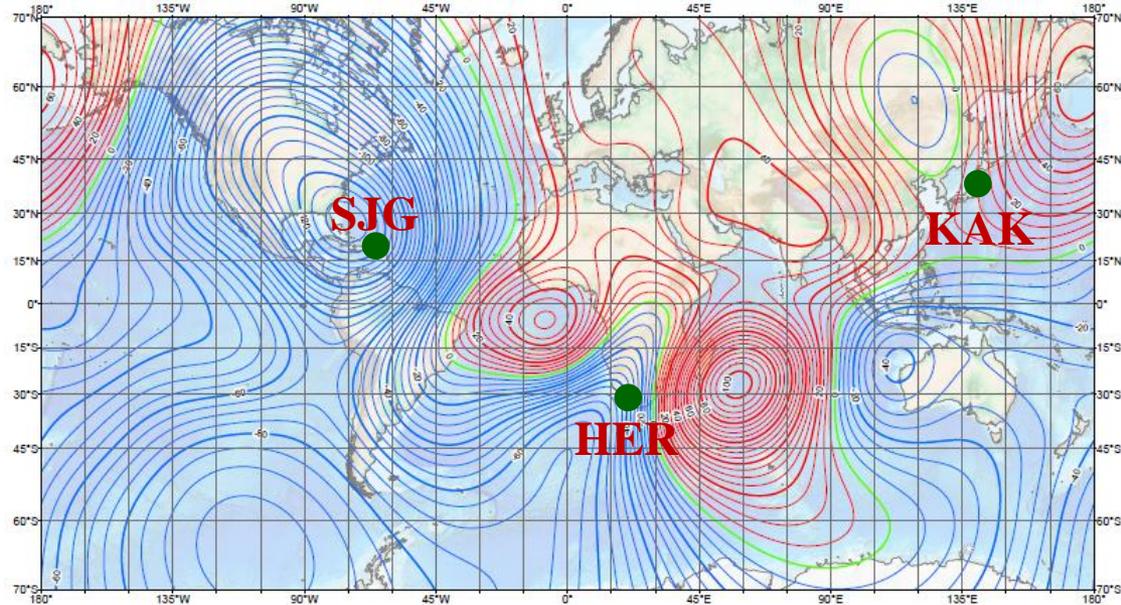
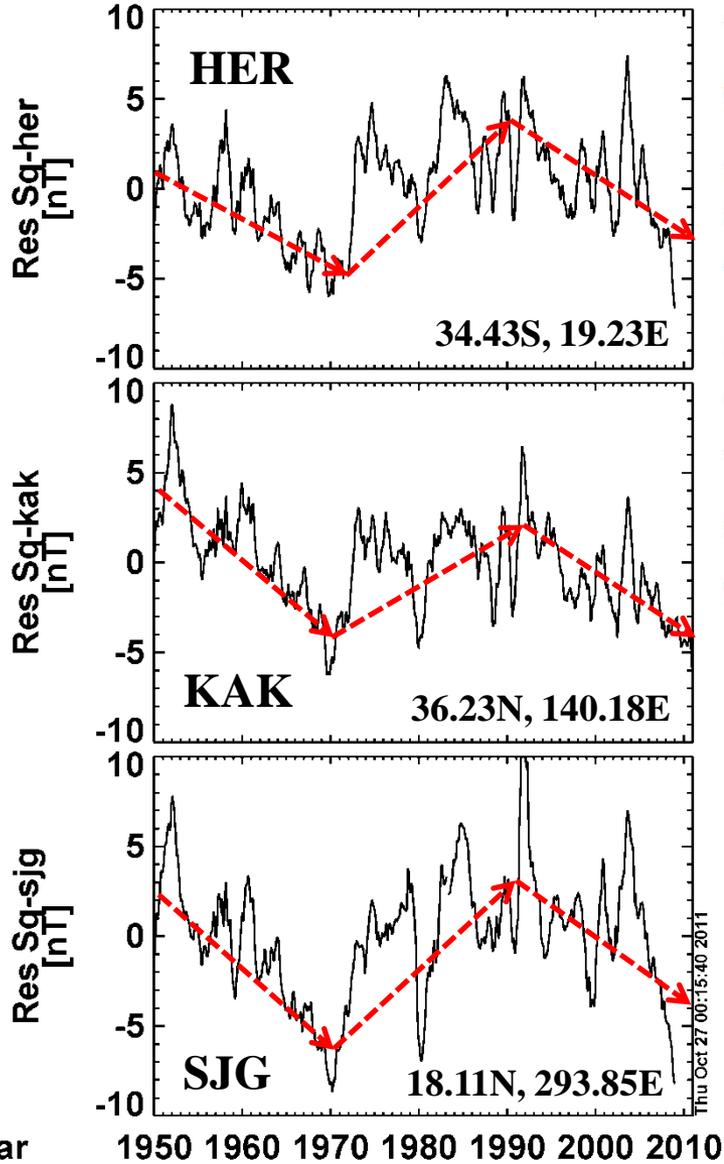
電離圏電気伝導度は、太陽活動による電離圏電子密度変動成分以外に地磁気の永年変化による長期的な変動が入っている

⇒伝導度は背景磁場の大きさに依存する

電離圏電気伝導度のモデル値で規格化したSq場の振幅で解析する必要

$$\sigma_P = \frac{\varepsilon_0 \omega_e^2 V_{en}}{V_{en}^2 + \Omega_e^2} + \frac{\varepsilon_0 \omega_i^2 V_{in}}{V_{in}^2 + \Omega_i^2}$$

4.4 電離圏電気伝導度を用いたRes-Sq場の振幅の評価



地磁気の永年変化の全球分布

HER: -40 nT/yr  
KAK: +10 nT/yr  
SJG: -62 nT/yr

地磁気の永年変化から予測されるSq場の長期変動とは異なる

地磁気の減少⇒Σの増加⇒Sq場の振幅増加

○1947-2010年までの太陽F10.7指数と地磁気データを用いて、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。

特に、2-4は、本解析で新しく得られた事項である。

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20-40年の周期?**で増加・減少する。

その周期は、各年において規則性はない

3. 2と同様の傾向が太陽風駆動の**極域Sq<sub>p</sub>変動**にも現れており、駆動源の違いにもかかわらず、**傾向が中低緯度のSq場の振幅の長期変動の特徴に類似**している。

⇒**グローバルな地球大気の長期変動を反映?**

4. F10.7指数とSq場の振幅の関係は、**必ずしも線形関係でなく**、高いF10.7指数(150以上)では、Sq場の振幅の増加率が減少する。

## ○今後の方針:

**1. 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

※現在、電気伝導度の計算ルーチンの開発中

IUGONETのサービスツールとして将来的に公開予定

**2. 中間圏・熱圏下部(MLT)の中性風との相関解析**

F10.7指数とSq場の振幅との周波数・コヒーレンス解析をSq場の振幅とMLT領域の風速との相関解析を行う

MLT領域の使用予定観測データ

⇒MF、流星レーダー、信楽MULレーダー