

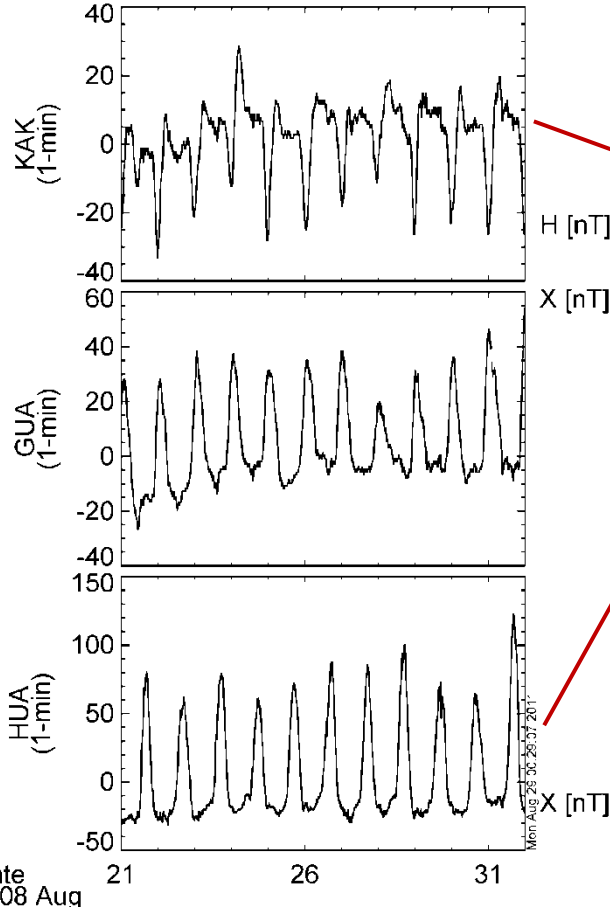
IUGONET

Metadata DB for Upper Atmosphere

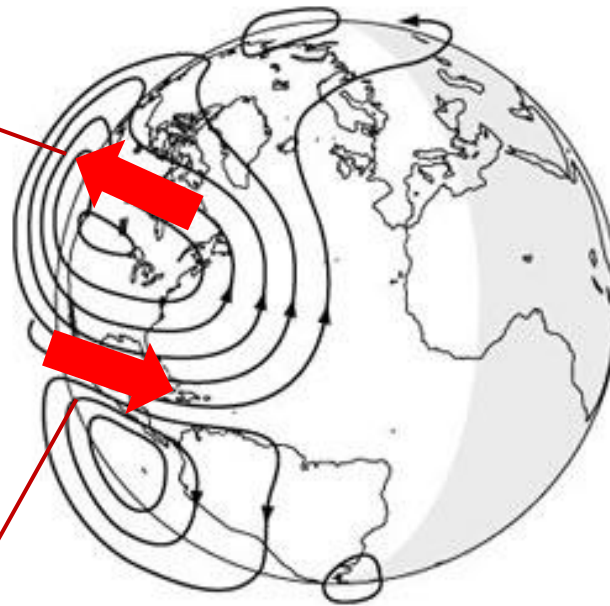
地磁気日変動の振幅から推察される超高層大気の長期変動について

新堀淳樹¹・小山幸伸²・能勢正仁²・堀智昭³・大塚雄一³・谷田貝亜紀代¹・IUGONETプロジェクトチーム
¹京大生存研、²京大地磁気センター、³名大STEL

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



地磁気日変化の例



地磁気日変化の電流系
[Richmond and Thayer (2000)]

アンペールの法則: $J \propto \Delta B$
オームの法則:

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

Sq場の振幅を決める要素

- 電離圏伝導度の変化
太陽活動、季節変化
- 起電力($U \times B$)の変化
太陽潮汐風と地球磁場の永年変化

地磁気静穏日変化の振幅を見る意義

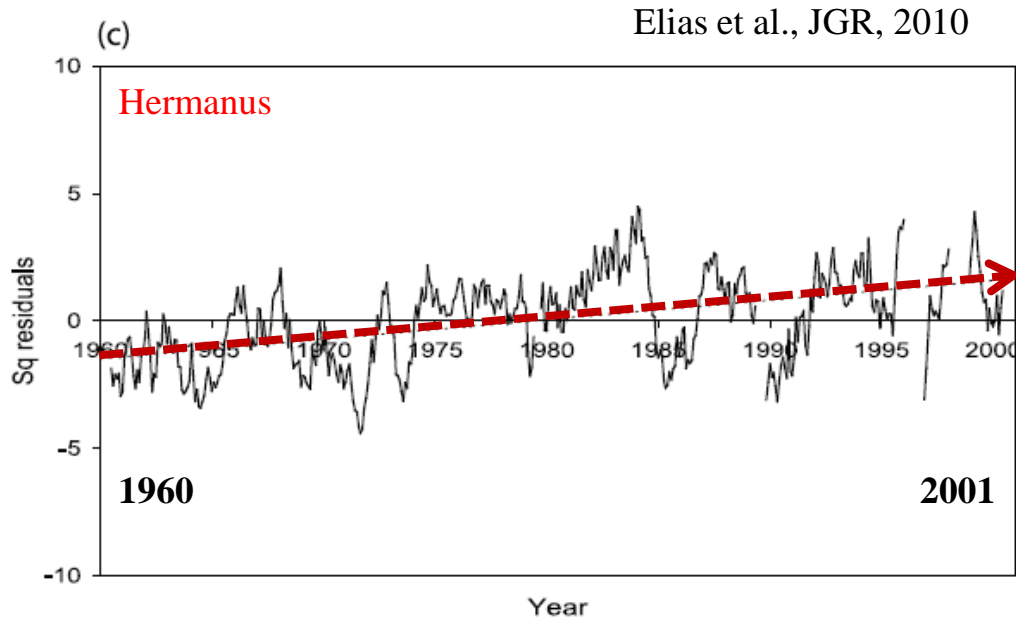
地球の超高層大気変動のシグナル(太陽活動、地球温暖化による影響)をみる事が可能

1.2 これまでの地磁気日変化の長期トレンドの研究-1

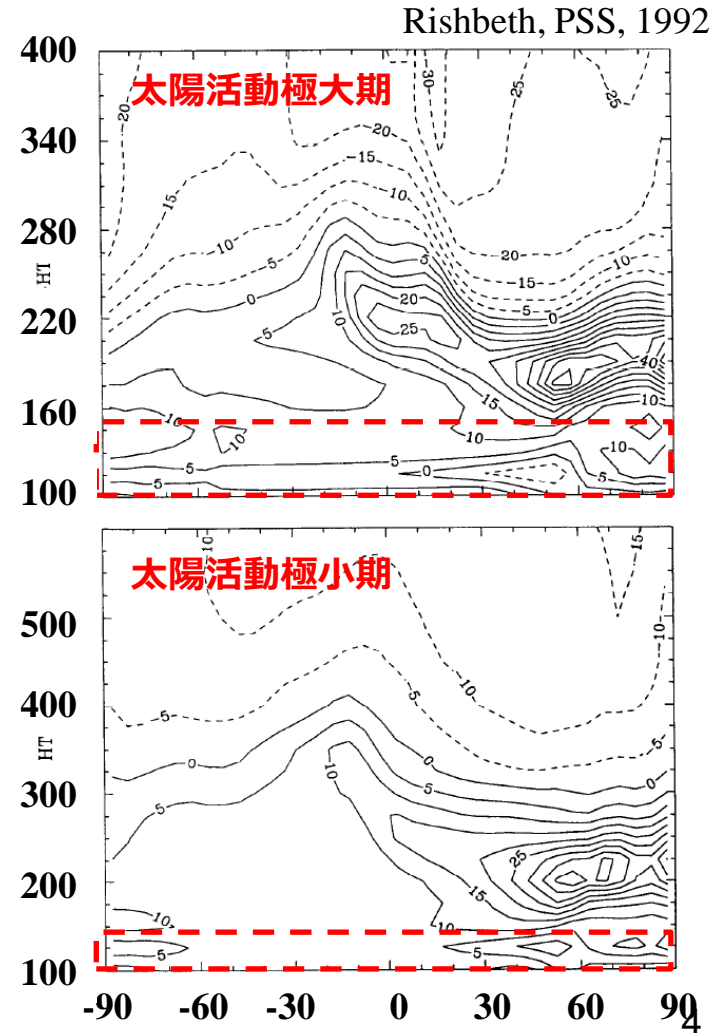
| | 観測 点数 | 太陽 データ | Sq場の経年 変動 | 主磁場の永年 変化の影響 | 特記事項 |
|--|----------|-----------|--------------|-----------------|----------------------------------|
| Sellek [1980] | 3点 | 黒点数 | あり 増加 | あり | 親論文 |
| Schlapp et al., [1990] | 11点 | 黒点数 | あり 増加 | あり | Hermanusでは、モデル予測値よりも経年変動が1桁ほど小さい |
| Macmillan and Droujinina [2007] | 14点 | F10.7 | あり 場所に依存 | ? | Sq場の年変動は、太陽放射のプロキシとして使用可 |
| Elias et al. [2010] | 3点 | 黒点数 | あり 増加 | 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 |

1.3 これまでの地磁気日変化の長期トレンドの研究-2

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



- Sq振幅の増加 : 9.9%(Her)
- 地磁気永年変化に伴う増加 : 7.0%(Her)
- 温室効果ガスによる電離圏の影響
- CO₂の量 : 200%増
- ⇒ 電離圏電子密度:5%増



1.4 地磁気日変化の長期トレンド研究の残された課題

- Sq場の振幅に対する太陽活動度の影響は**線形性を仮定**
 - ⇒非線形性の効果が入っている可能性
- 熱圏温度の長期トレンドの影響は**未考慮**
 - ⇒電離圏電気伝導度や起電力に関係する中性粒子との衝突周波数、及び潮汐波動の長期変動の効果がある可能性
- ⇒**これらの効果は解析結果の誤差に入っているかもしれない**
- 解析に用いた観測点数の不足
 - ⇒グローバルな現象であるか不明

[目的]

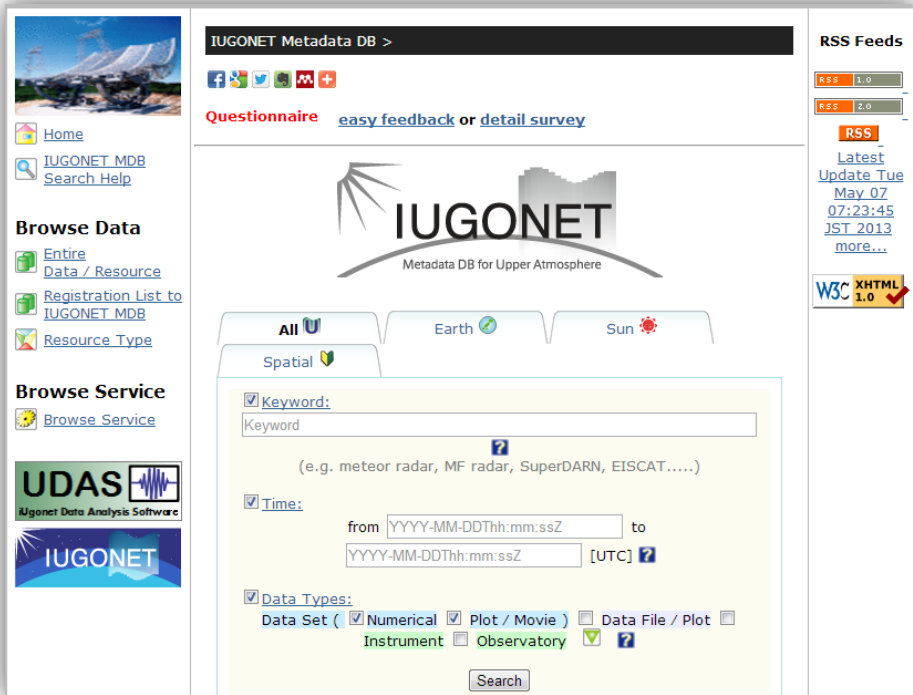
IUGONETプロジェクト参加機関が国際協力の下で、全球的に展開している観測点の長期地磁気データを用いて、**全球的な地磁気日変化振幅(Sq場)の長期変動の特徴**を明らかにする。

太陽関連パラメタとの相関解析、及びスペクトル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。

2.1 IUGONETプロダクトを用いた観測データの取得と解析

IUGONET メタデータ・データベース (MDDDB)

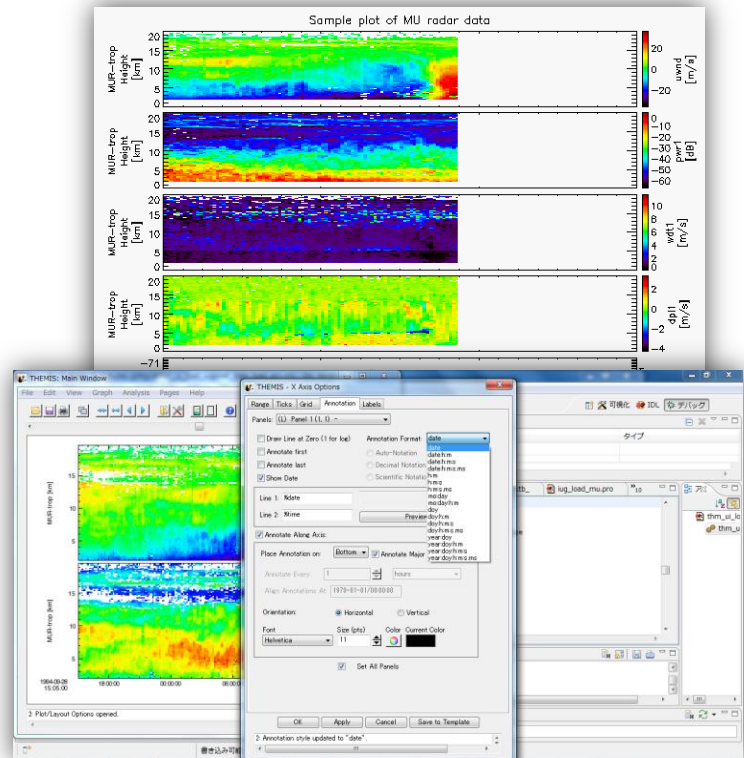
多種多様な太陽・地球大気地上観測データを検索可能！



<http://search.iugonet.org/iugonet>

iUgonet Data Analysis Software (UDAS)

IUGONETデータ他を扱える統合解析ツール



<http://www.iugonet.org/en/software.html>

多点の地磁気観測点の長期データ解析の効率化

2.2 使用観測データ

○太陽関連データ

F10.7指数(提供元：NGDC/NOAA)、黒点数(提供元：SIDC)

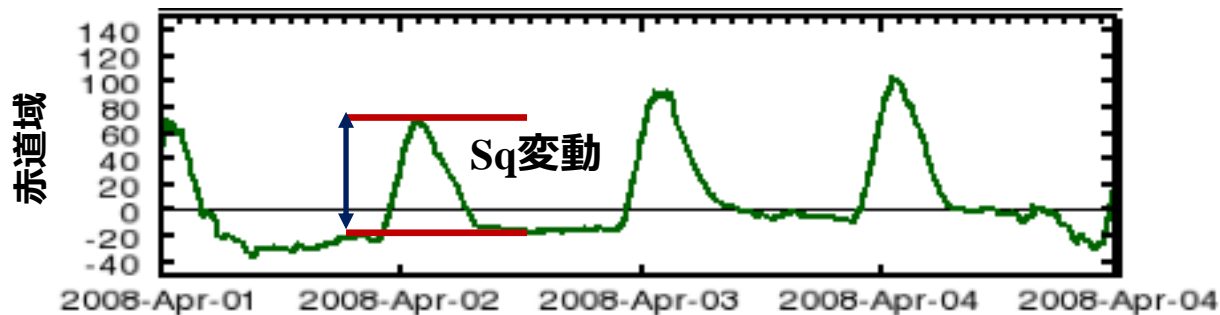
○地磁気関連データ

地磁気(1890年以降)：1時間平均値、180点以上

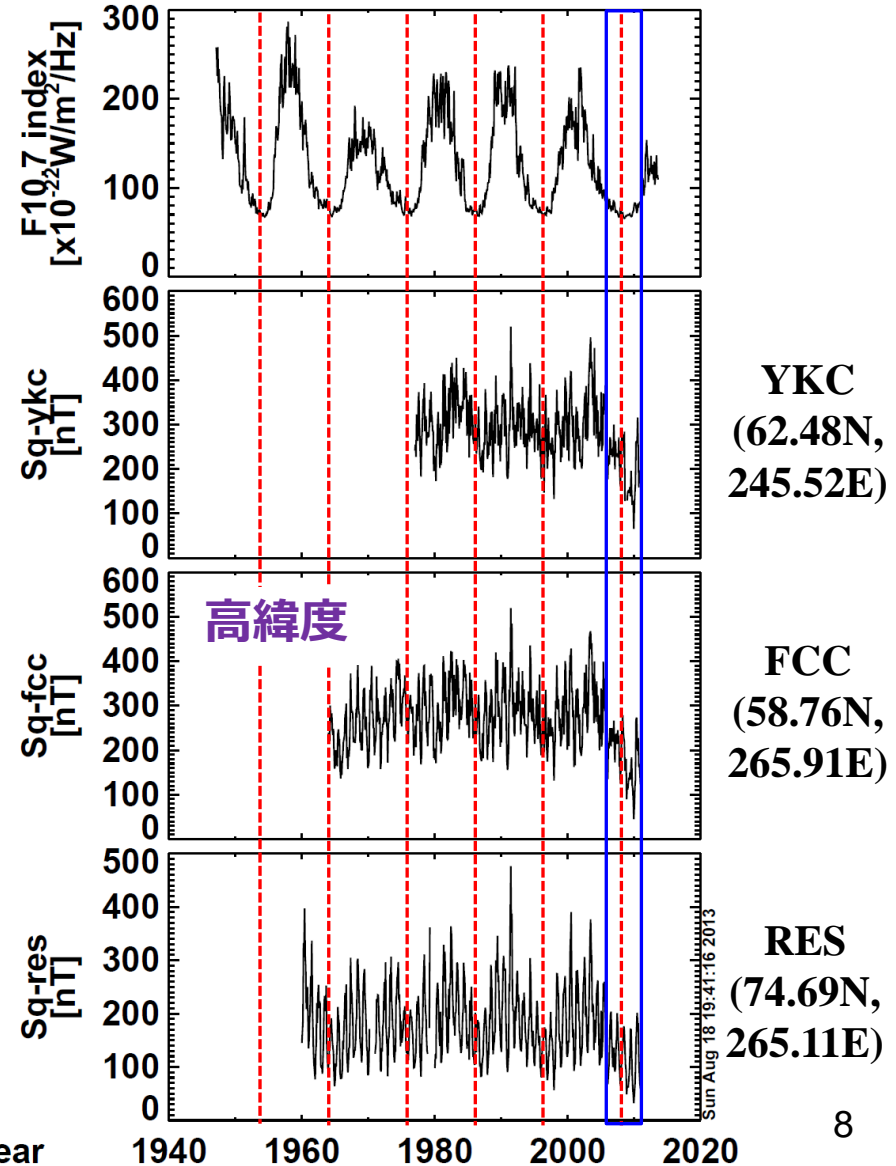
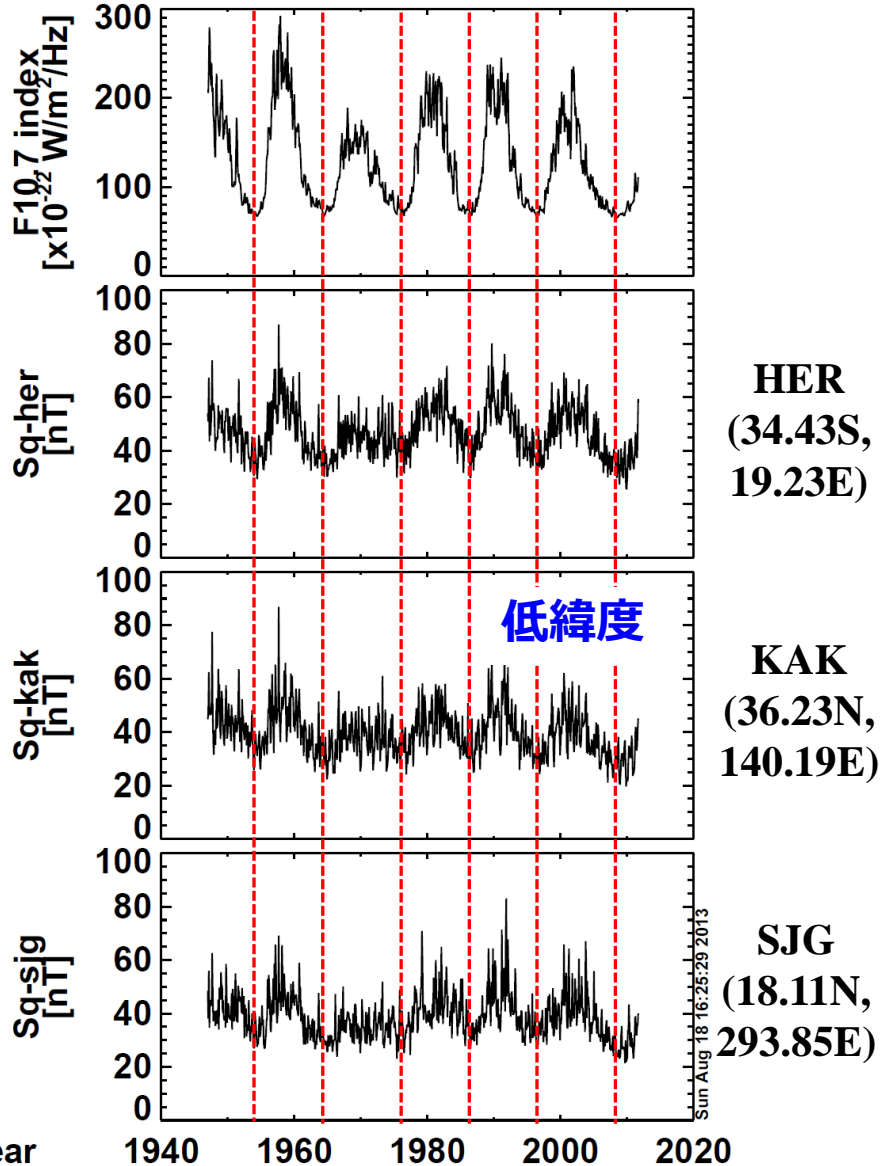
地磁気指数(aa、Kp指数)：3時間値(京大地磁気センター)

2.3 地磁気静穏日と地磁気静穏日変化振幅の同定方法

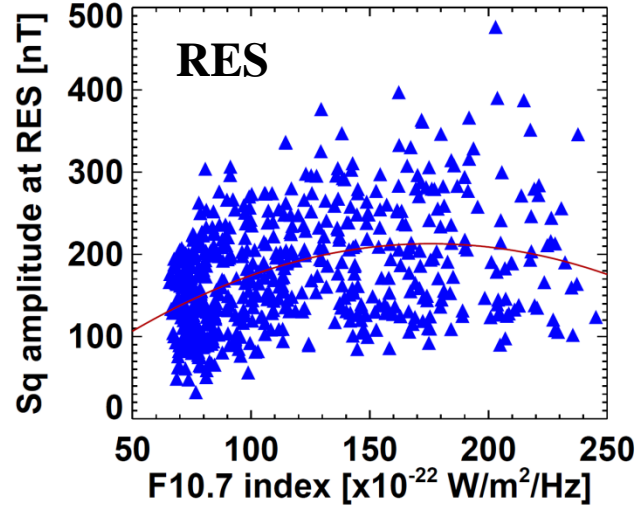
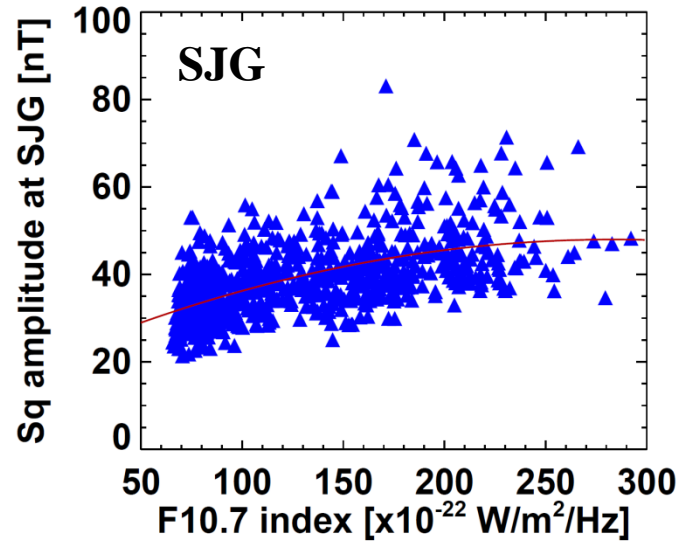
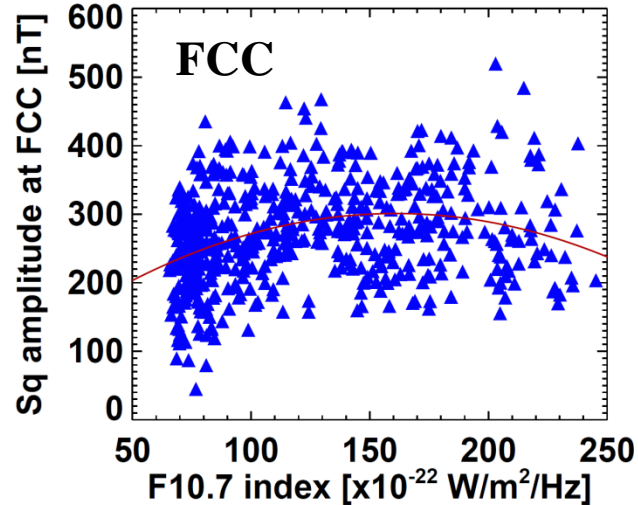
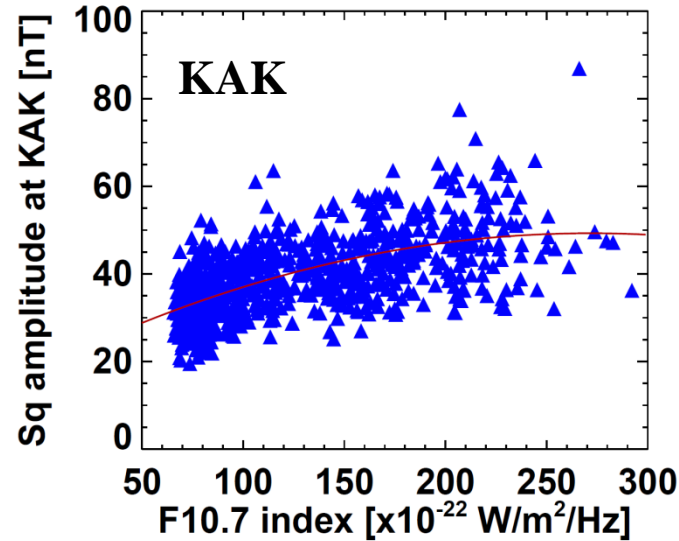
- 地磁気静穏日：地磁気Kp指数の1日のデータの中で最大値が4未満
- 地磁気日変化振幅：1日の変化の最大と最小の差
- 太陽関連データとの相関解析：2次回帰曲線からのずれを計算



3.1 地磁気静穏日変化の振幅の太陽活動依存性(低緯度、高緯度)



3.2 太陽活動度と地磁気静穏日変化の振幅の相関関係

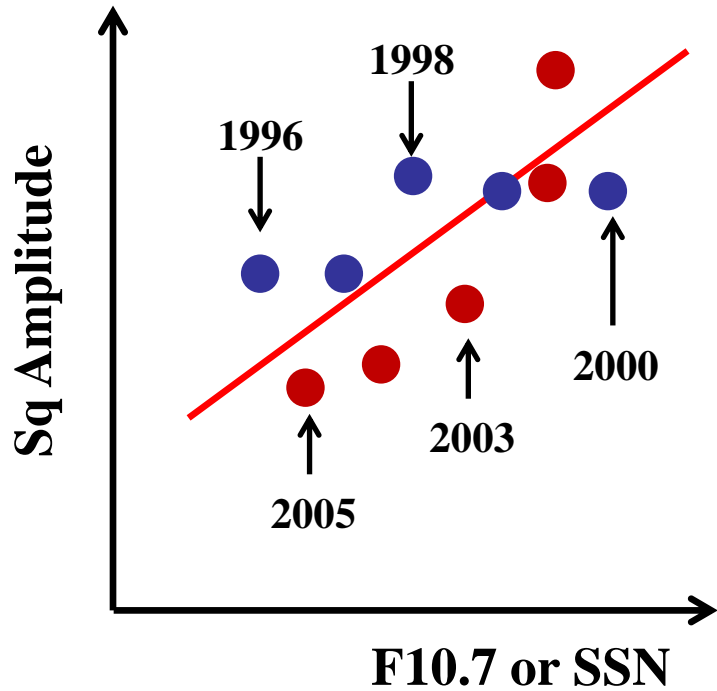


左：低緯度
右：高緯度

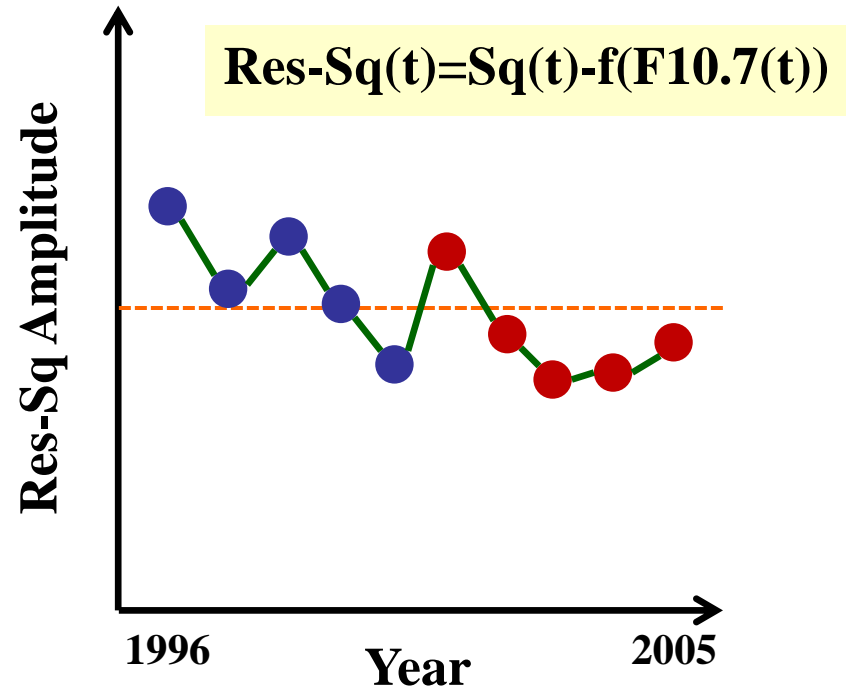
Sq場の振幅は、
F10.7指数の大き
さに対して、**1次**
の比例関係にない
上に凸型をした**2**
次曲線の関係
高緯度ほどその傾
向が**顕著**

3.3 地磁気静穏日変化の振幅から太陽活動の影響を最小化

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

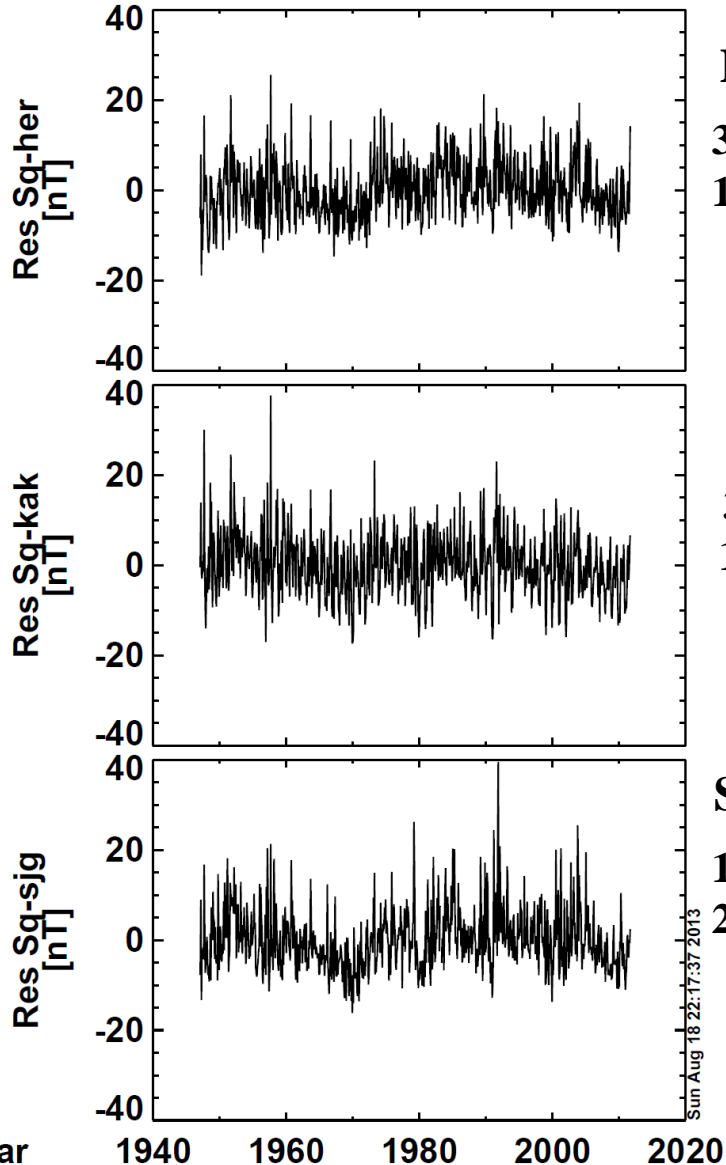


太陽活動による影響をできる限り除去

地磁気静穏日変化の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

3.2 Res-Sq場の振幅の長期変動(低緯度)



HER
34.43S,
19.23E

KAK
36.23N,
140.18E

SJG
18.11N,
293.85E

太陽F10.7電波フラックスとSq場の相関から求めた回帰曲線からのズレ成分に対する時系列プロット
低緯度3観測点

トレンド検定結果

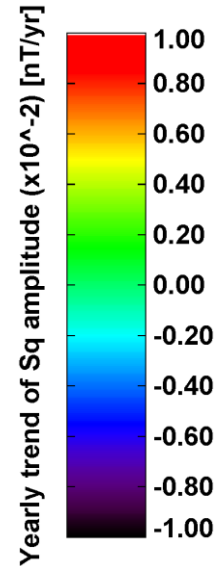
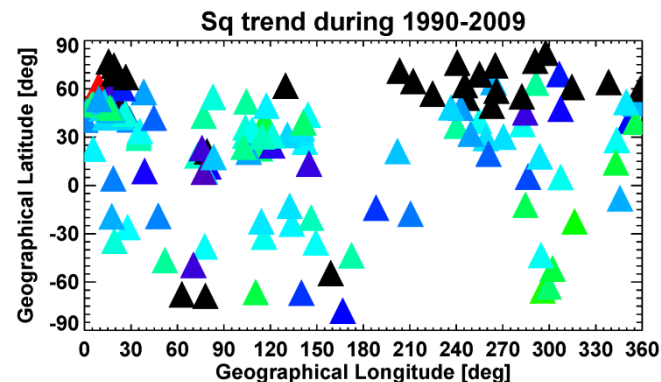
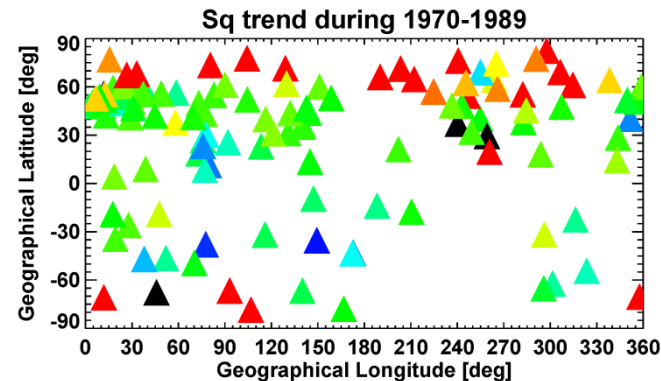
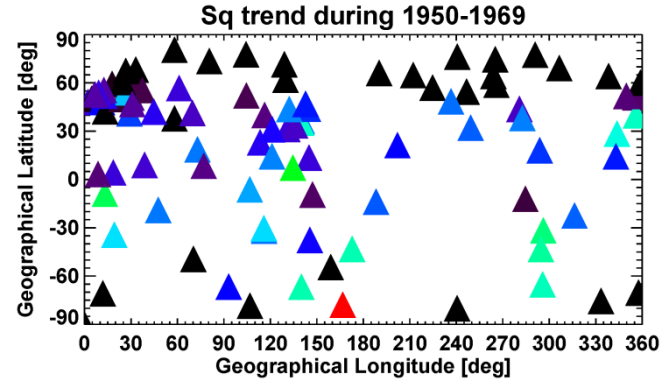
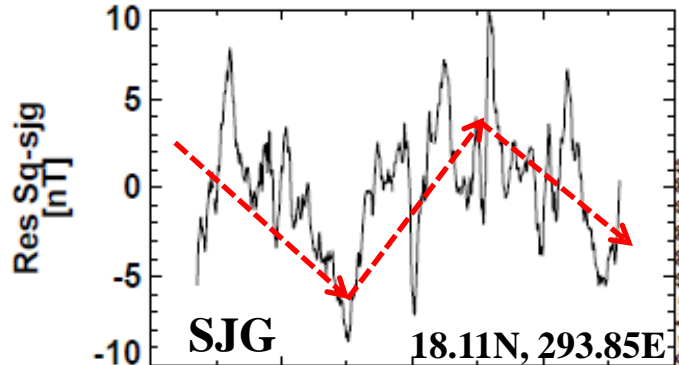
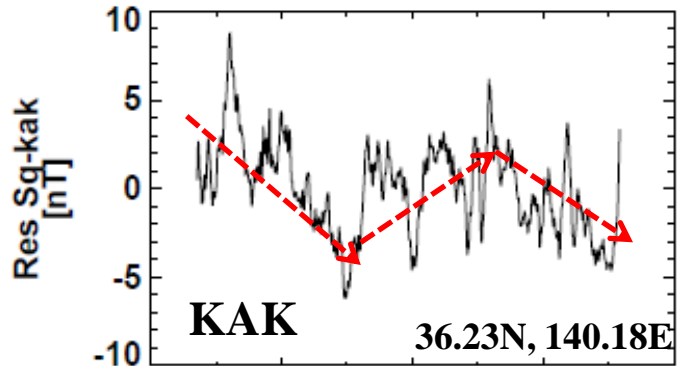
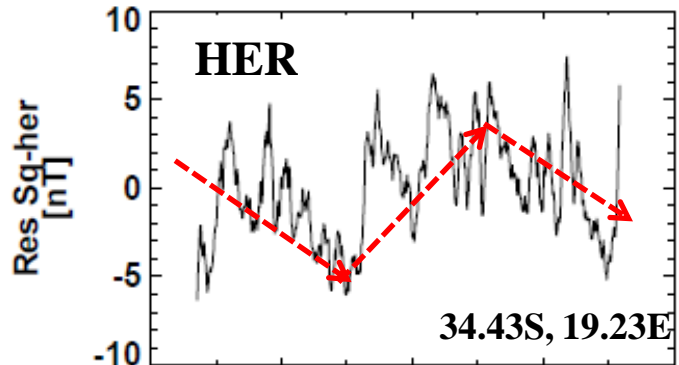
| | HER | KAK | SJG |
|----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 検定 | 上昇 | 下降 | 無し |
| 傾き [nT/mon] | 2.9×10^{-3} | -4.3×10^{-3} | 2.6×10^{-4} |
| 誤差 [nT/mon] | $\pm 2.0 \times 10^{-3}$ | $\pm 2.2 \times 10^{-3}$ | $\pm 2.2 \times 10^{-3}$ |

統計検定結果

1950-2010年にわたるSq振幅の経年変化は、観測点によって傾向が異なる

→ **Elias et al. [2010]の結果を否定**

3.2 Res-Sq場の振幅の長期変動



約20年の周期でSq振幅は、増減

4.1 解析結果のサマリー

1. Sq振幅は、**太陽活動11年周期に同期して変動し**、極大期には、Sq場の振幅が増大する。また、**太陽活動サイクル23/24の極小期**におけるSq場の振幅は、これまでの**50年間の中でかなり小さく**、その傾向がオーロラ帯で顕著である。
⇒**今極小期の異常性を示唆**
 2. Sq場の振幅は、F10.7太陽活動指数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次曲線的な応答し**、その傾向は、**高緯度ほど顕著**である。
⇒**これまでの研究において、Sq場の振幅に対する太陽活動度の影響に対して、線形性を仮定した点は間違い。**
 3. F10.7との回帰曲線解析から求めたRes-Sq場の長期変動は、必ずしも増加傾向の経年変動を示すとは限らない。
⇒ **Elias et al. [2010]で報告されたSq場の振幅の増加傾向は普遍的なものではないことが統計検定によって判明した。**
- また、Res-Sq場の長期変動には**約20年の周期をもって増減するという特徴**が見られる。

4.2 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

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

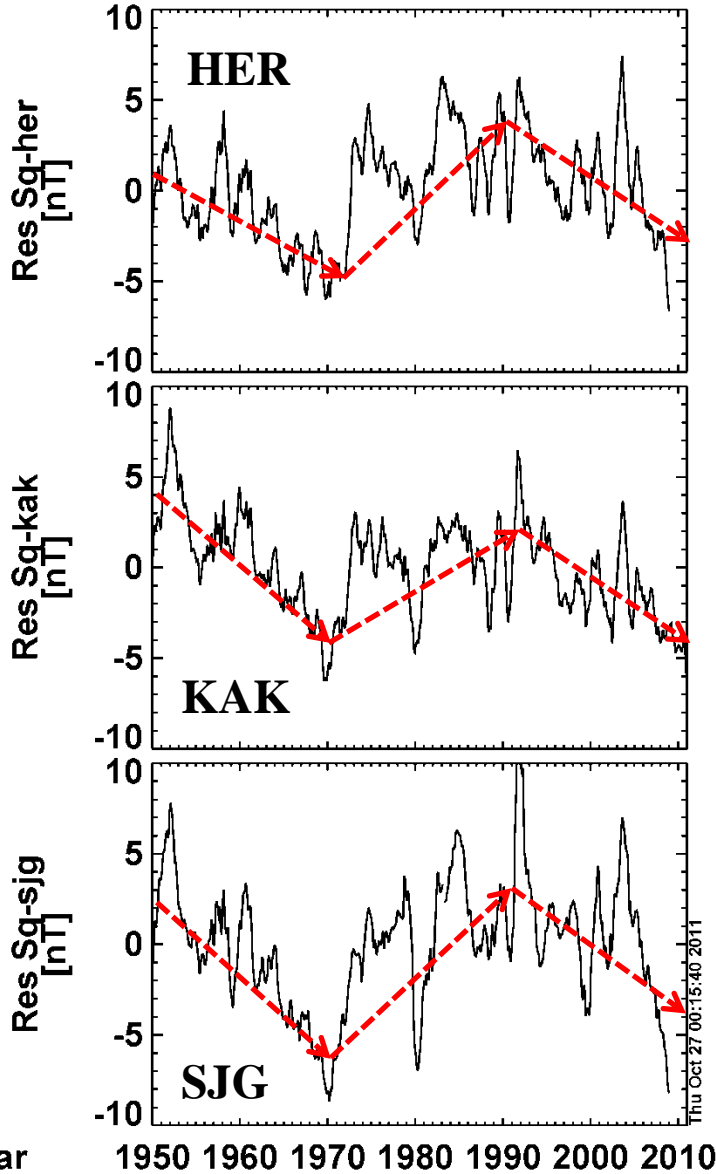
地磁気永年変化 = 磁場減少による伝導度の増加

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

太陽潮汐風の変化、**地磁気永年変化**

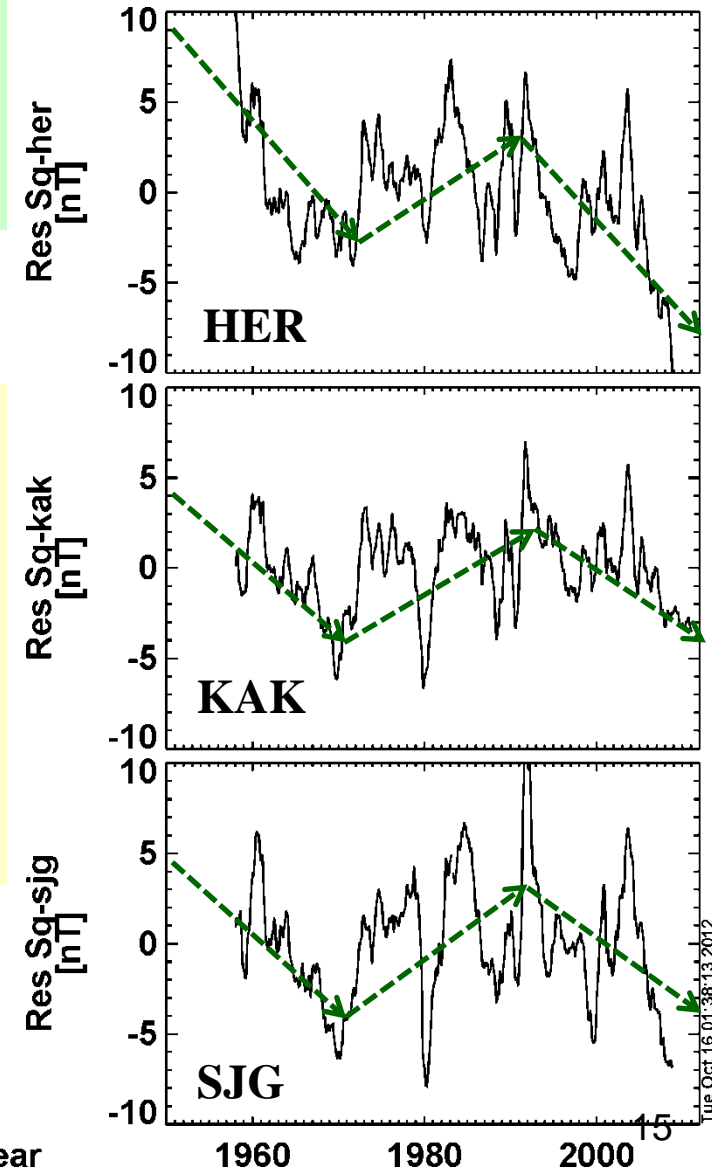
電離圏電気伝導度のモデル値で回帰解析したSq場の振幅を見る必要

4.3 F10.7と電気伝導度モデル値で計算したRes Sq場の比較



左図 : F10.7
 右図 : Hall電気伝導度

両者の結果とも大きな違いがなく、20年毎に増減が入れ替わる。ただし、観測点(HER)だけ最初の部分の変化が異なる



Year

Year

4.4 Res-Sq場の振幅の経年変化の特徴

1950年以降、太陽活動による影響を小さくしたRes Sq場の振幅は、**約20年ごとに増減を繰り返す**特徴を持つ。

●20年周期の変動は、1950年以前でも成立するか？

太陽磁場反転22年周期と関係??



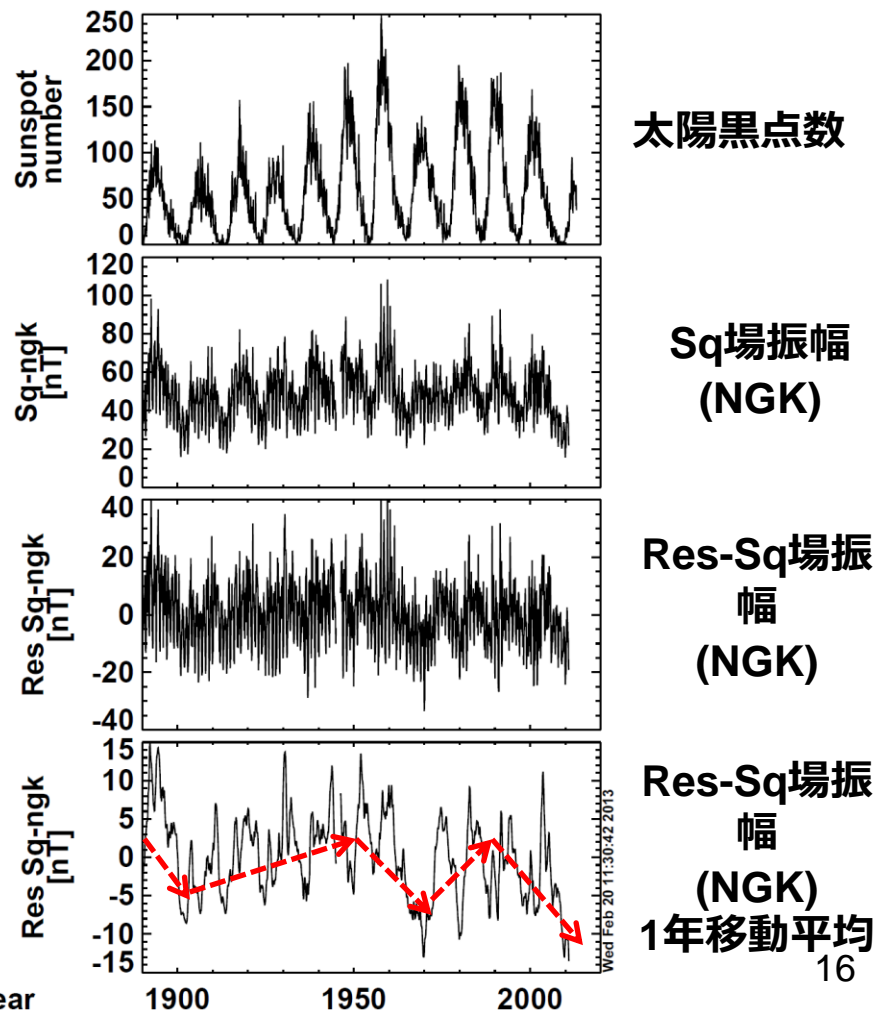
長期に使用可能な太陽黒点数との相関解析、スペクトル解析を実行

太陽活動の影響を小さくしたSq場の振幅の長期変動は、**必ずしも20年の周期では増減することはない**

1890-1900年：減少、1900-1950年：増加

1950-1970年：減少、1970-1990：増加

1990年以降：減少



1. Sq振幅は、**太陽活動11年周期に同期して変動し**、極大期には、Sq場の振幅が増大する。また、**太陽活動サイクル23/24の極小期**におけるSq場の振幅は、これまでの**50年間の中でかなり小さいもの**となっている。
2. Sq場の振幅は、F10.7太陽電波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太陽電波フラックスが**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。
3. F10.7との回帰曲線解析から求めたRes-Sq場の長期変動は、必ずしも増加傾向の経年変動を示すとは限らない。したがって、Elias et al. [2010]で報告された**Sq場の振幅の増加傾向は普遍的なものではない**ことが統計検定によって判明した。
4. Res-Sq場の長期変動には**20年の周期**をもつが、**電離圏電気伝導度モデル値を用いた相関解析からも同様の結果**を得た。

○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