



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

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¹・小山 幸伸²・林 寛生¹・能勢 正仁²・大塚雄一³・

堀智昭³・津田敏隆¹・IUGONET プロジェクトチーム

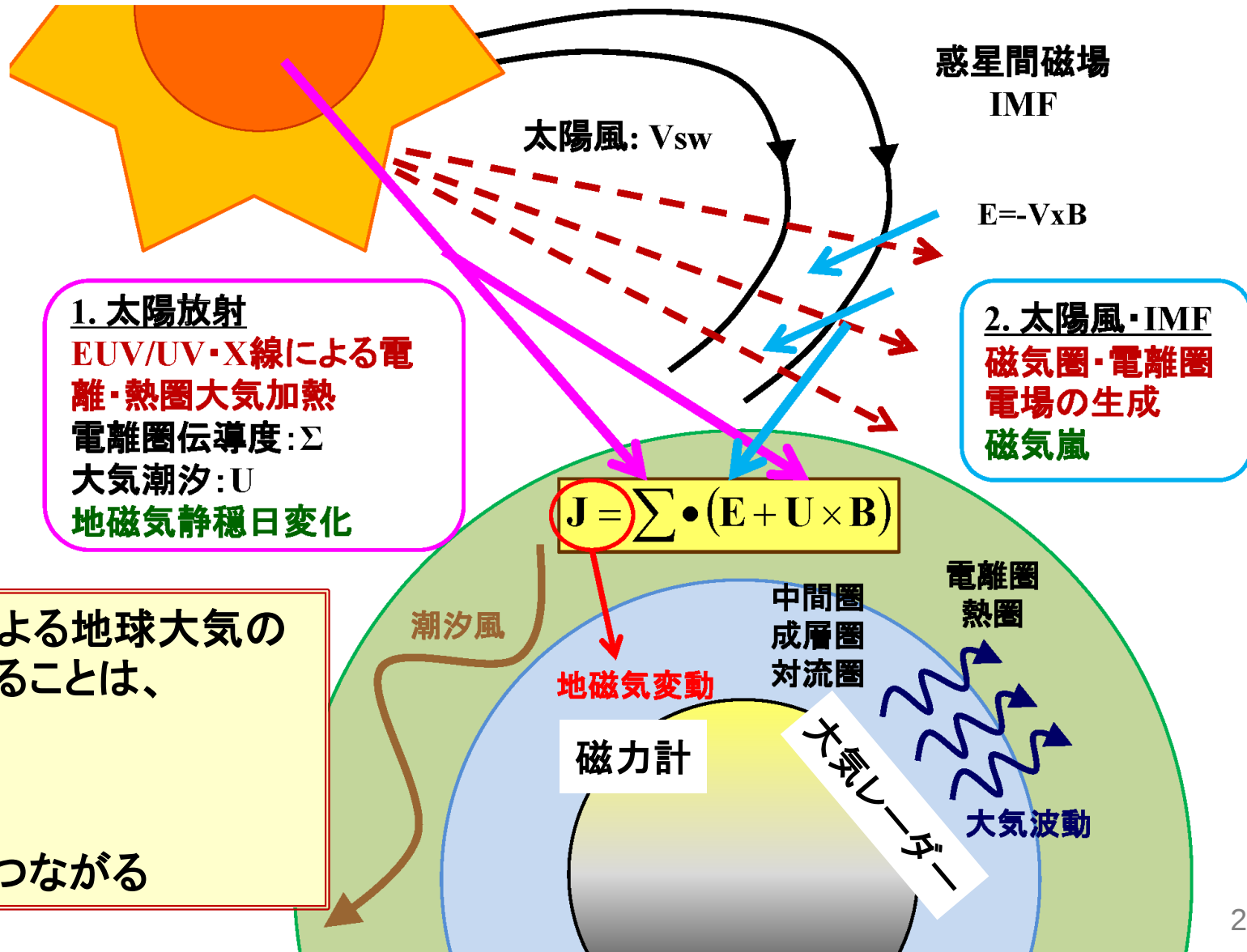
¹京都市大学生存圏研究所

²京都大学地磁気センター

³名古屋大学太陽地球環境研究所

1. はじめに

1.1 太陽活動と超高層大気変動との関わり



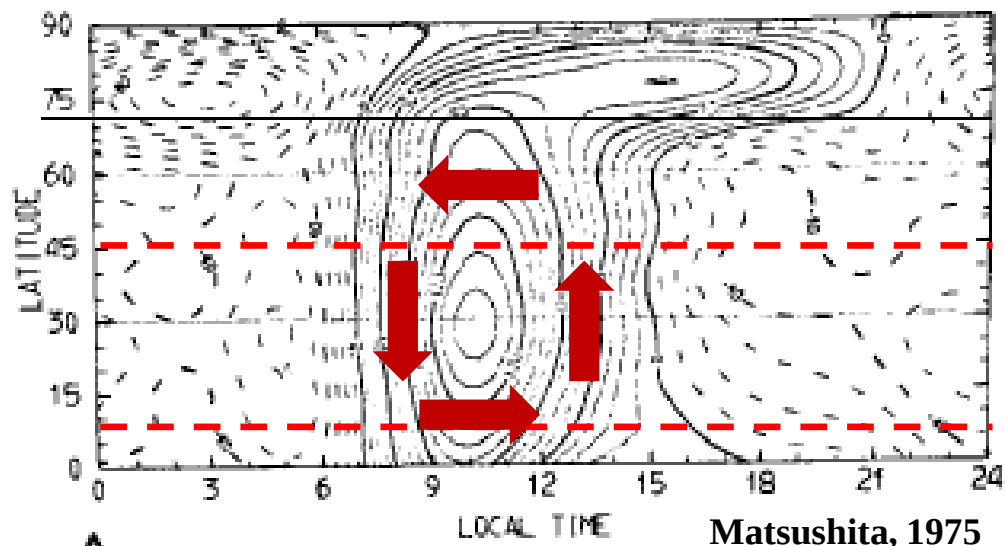
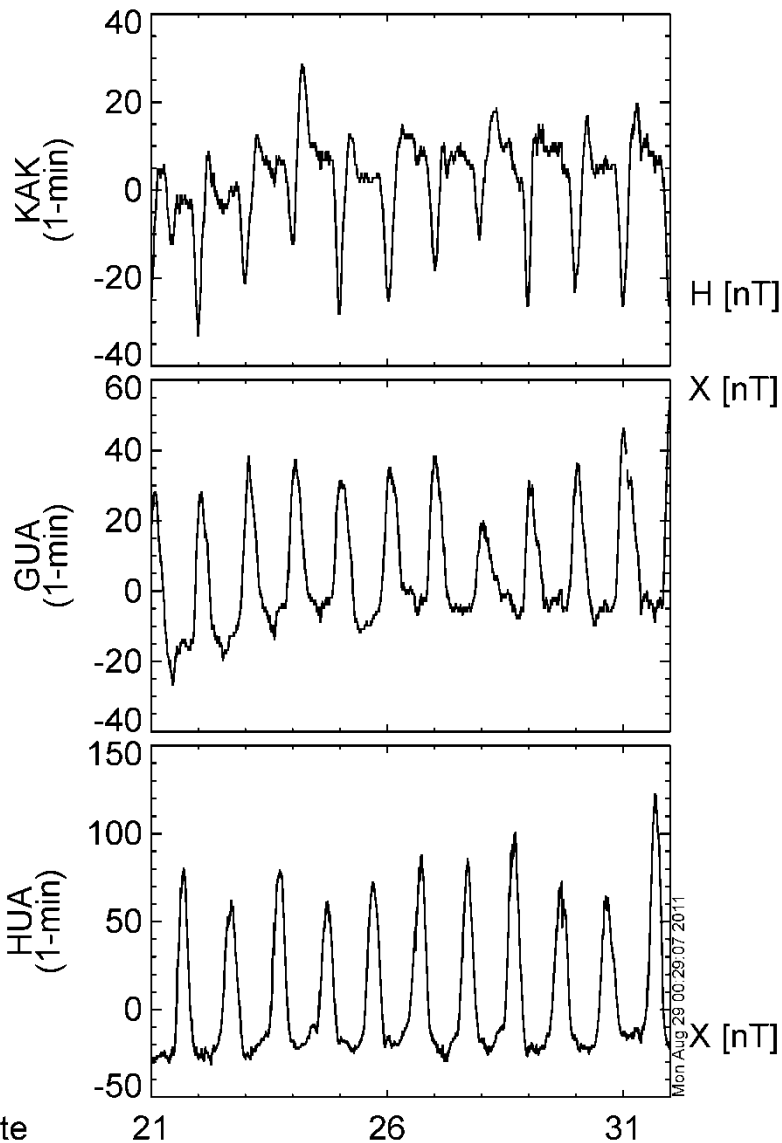
太陽活動による地球大気の
応答を調べることは、

○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



磁氣的静穩時の地磁気変化

= Sq (Geomagnetic Solar daily Quiet variation)

[原因]

電離圏高度の中性風によって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(下層大気からの影響)

1. はじめに

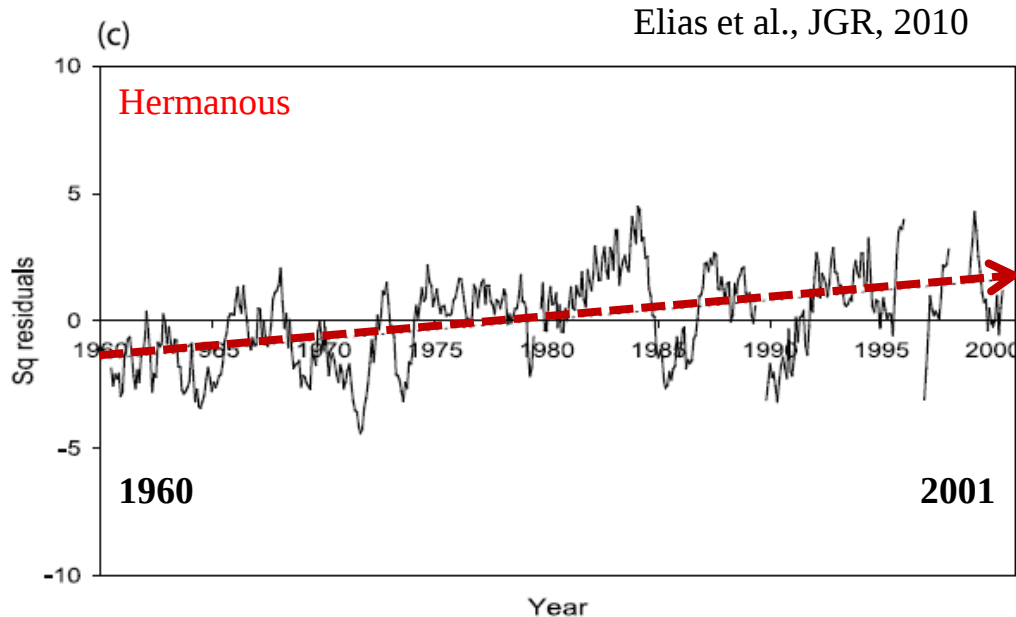
1.4 これまでの地磁気日変化の長期トレンドの研究

	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
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

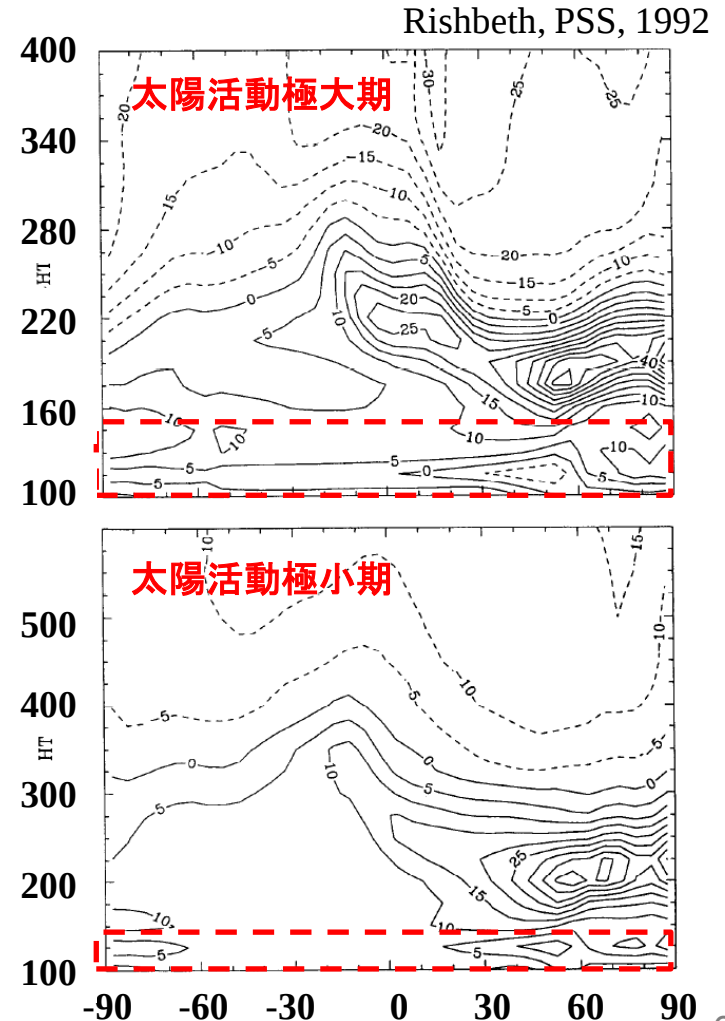
1. はじめに

1.4 これまでの地磁気日変化の長期トレンドの研究

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



1.5 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熱圏・中間圏の風速データを用いて、**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検索と解析ソフトを基に研究推進の効率

(2) 解析手法の改良

地磁気静穏日の閾値の具体化(Kp指数の利用)

太陽活動依存性の指として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

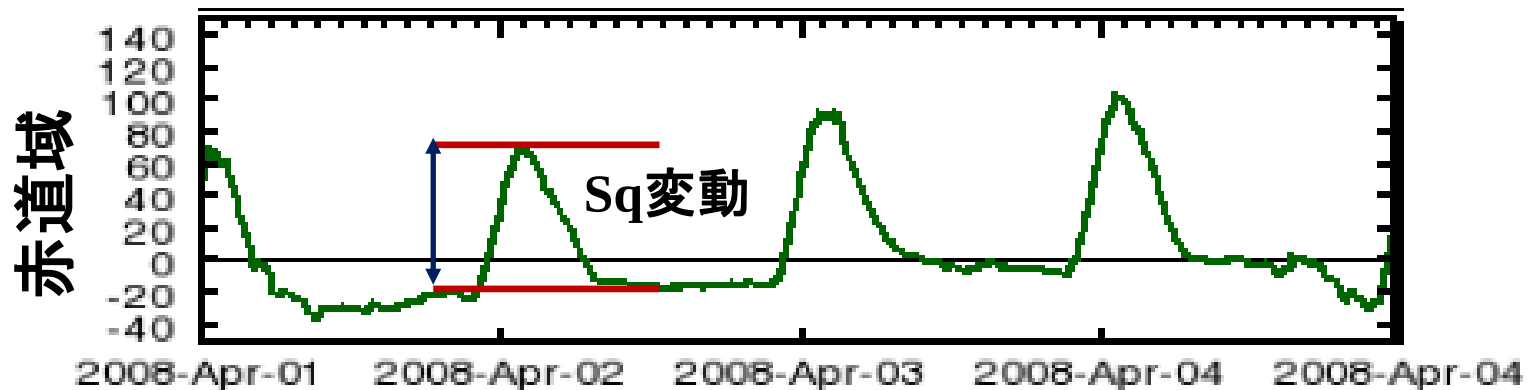
熱圏下部中性風(1日平均値): 京大RISH

2.2 地磁気静穏日とSq振幅の同定方法

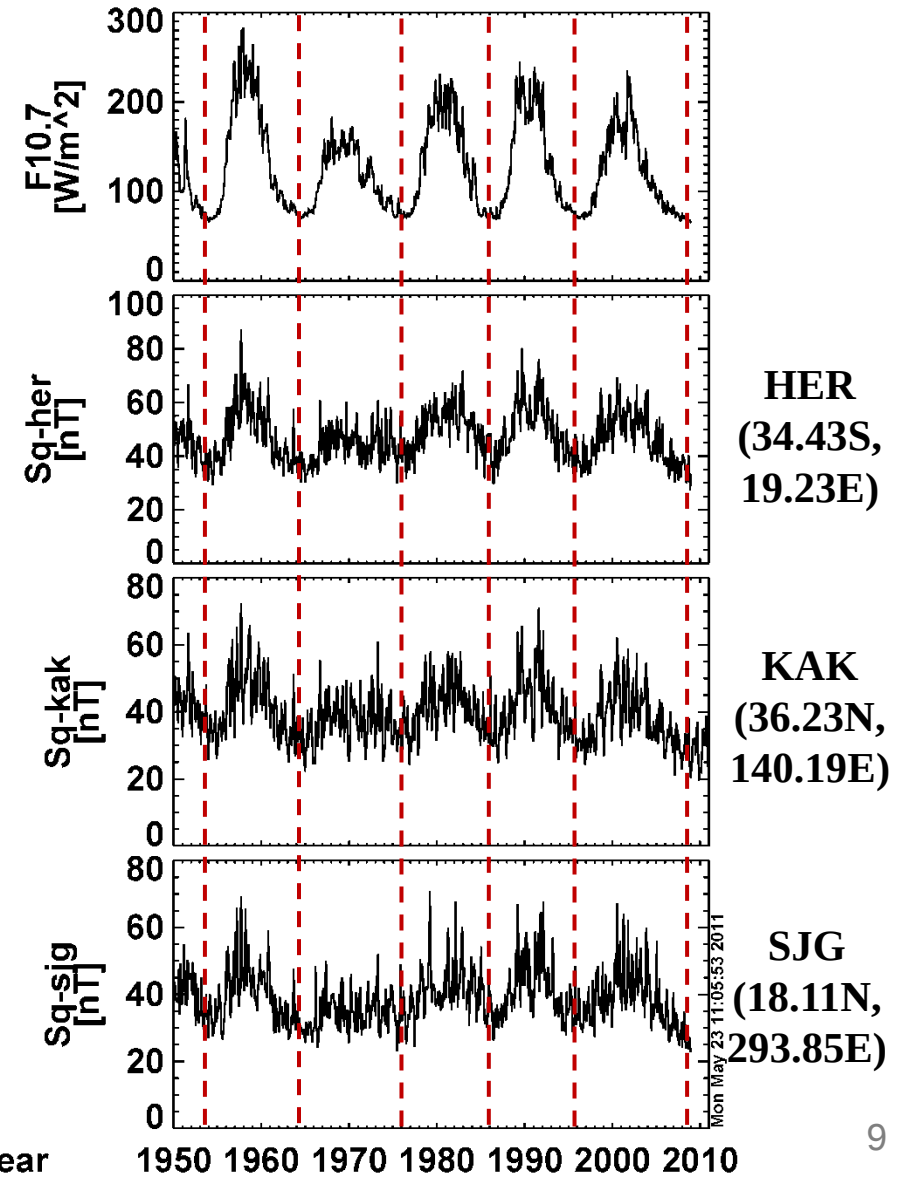
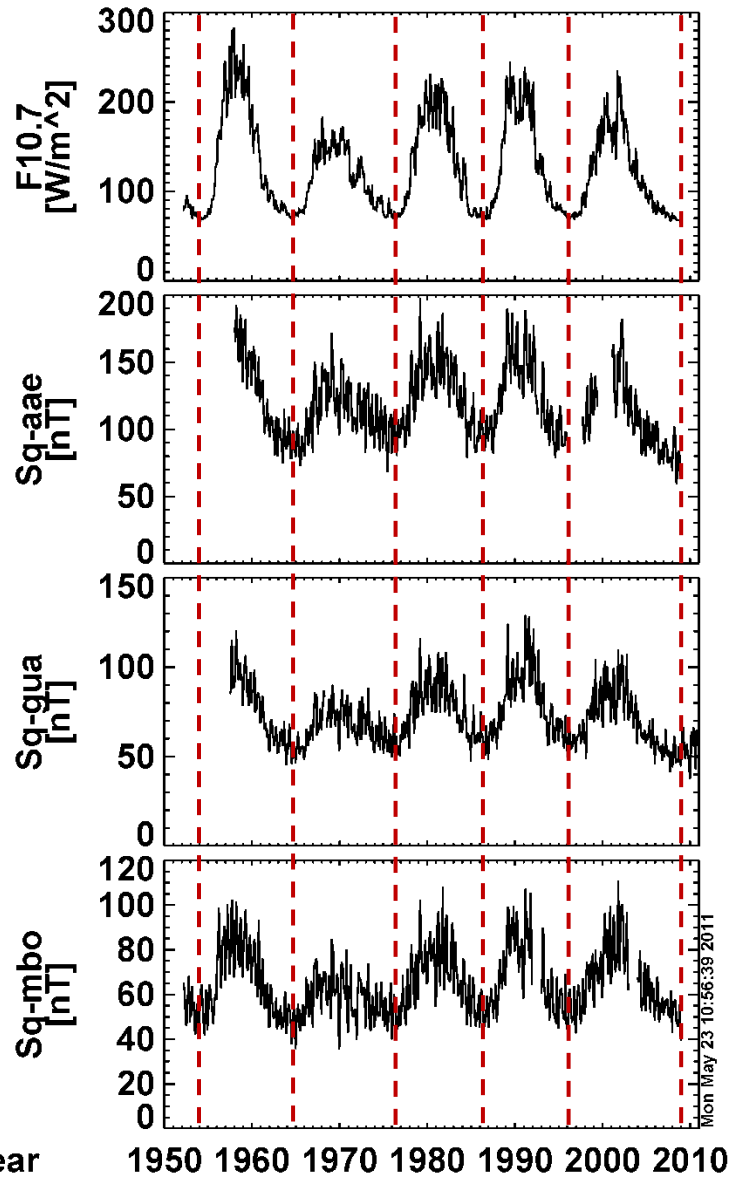
○地磁気静穏日: **Kp指数の1日の最大値が4未満**

○Sq振幅: 1日の変化の最大と最小の差を**1月平均値**

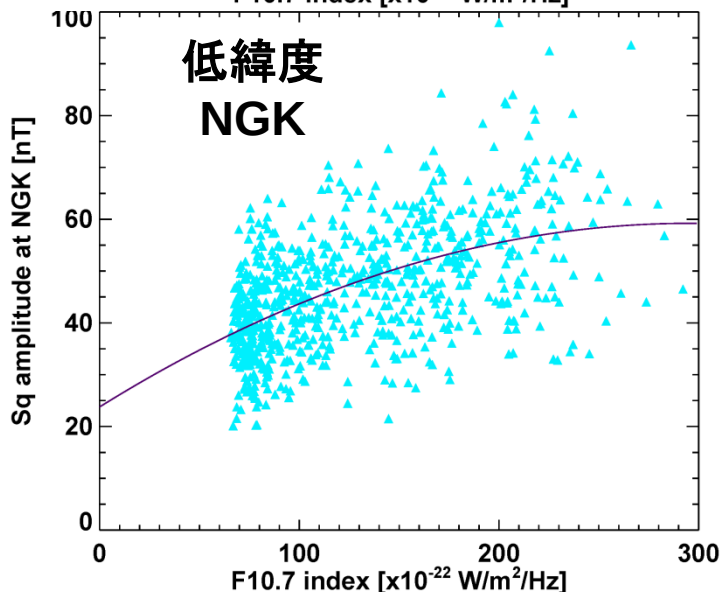
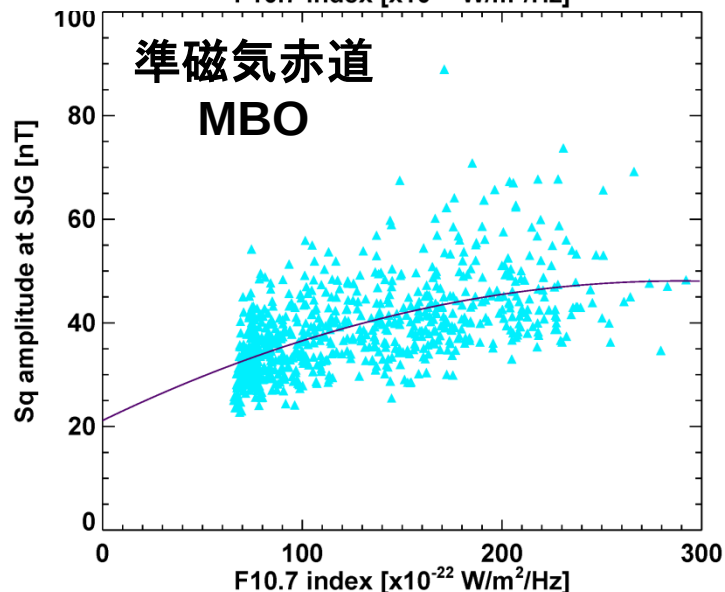
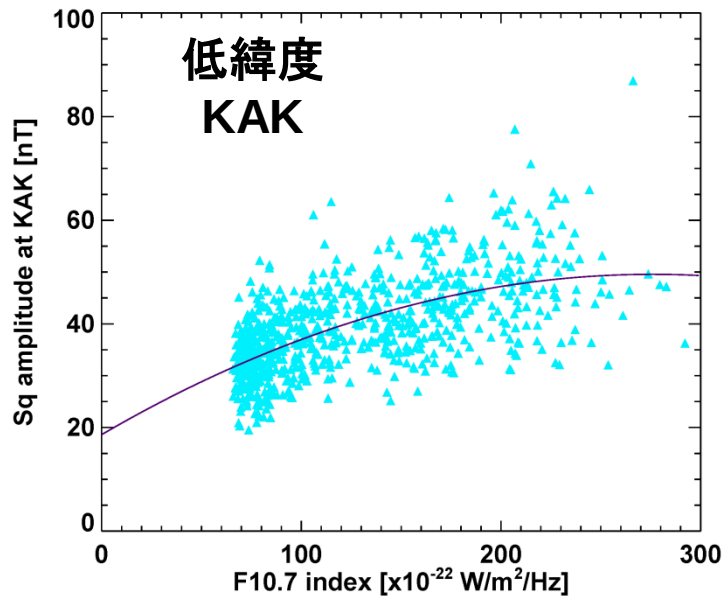
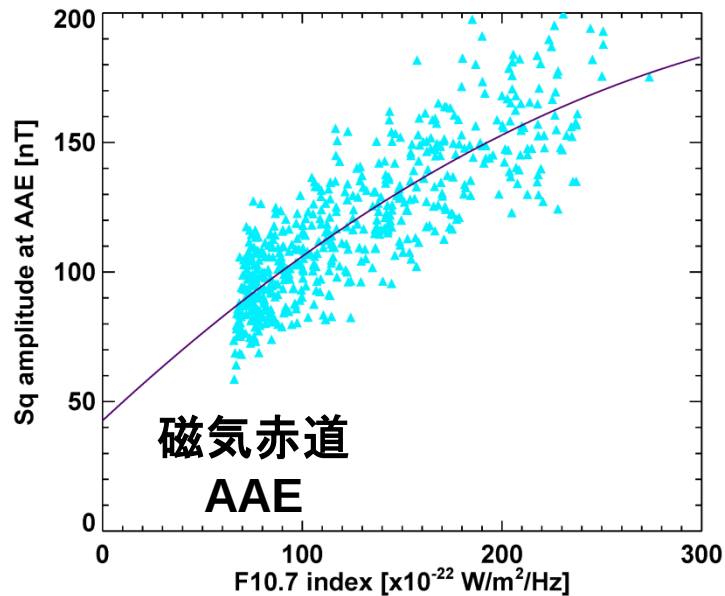
○太陽活動依存性の除去: **2次回帰曲線からのずれを計算**



3.1 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

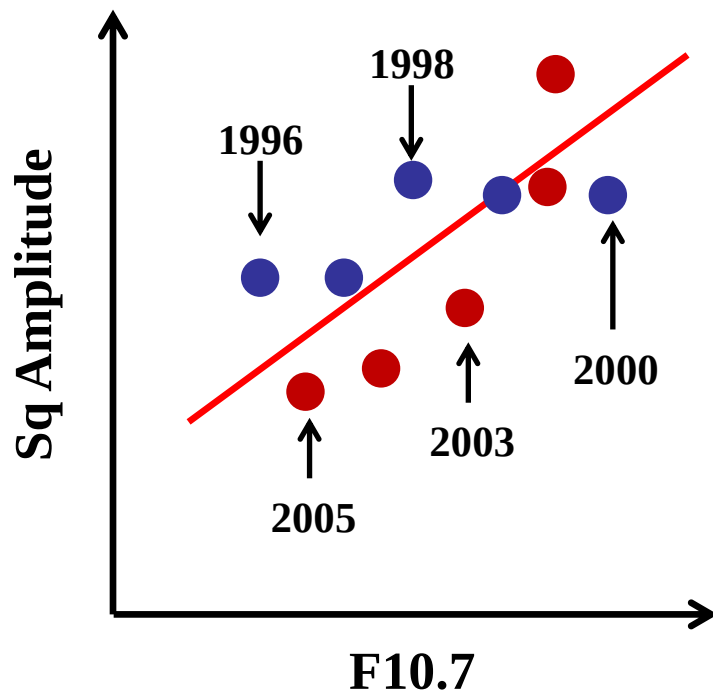


Sq場の振幅
とF10.7指数
のデータ
1ヶ月平均

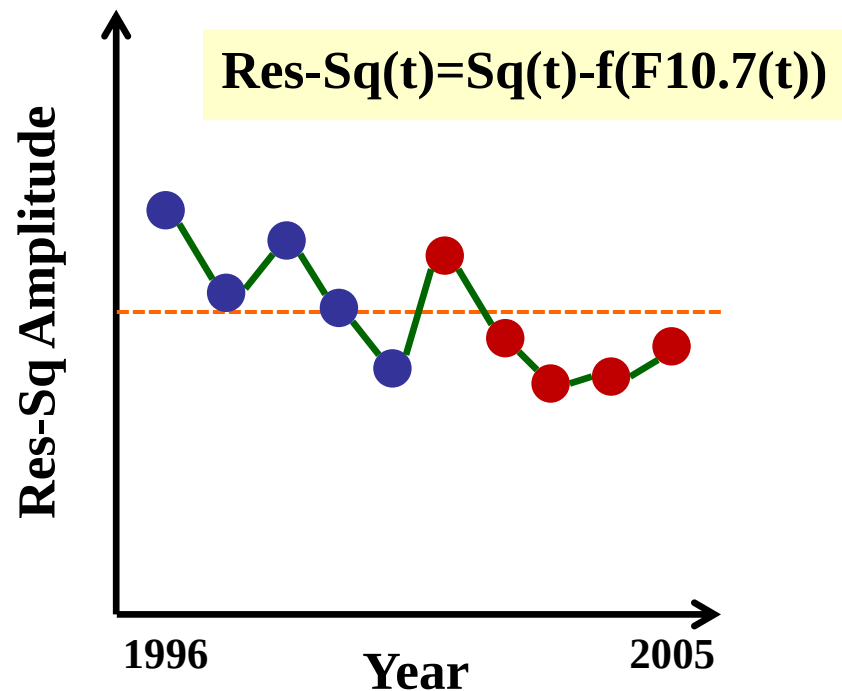
線型関係に
なく、上に凸
型をした2次
曲線の関係

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

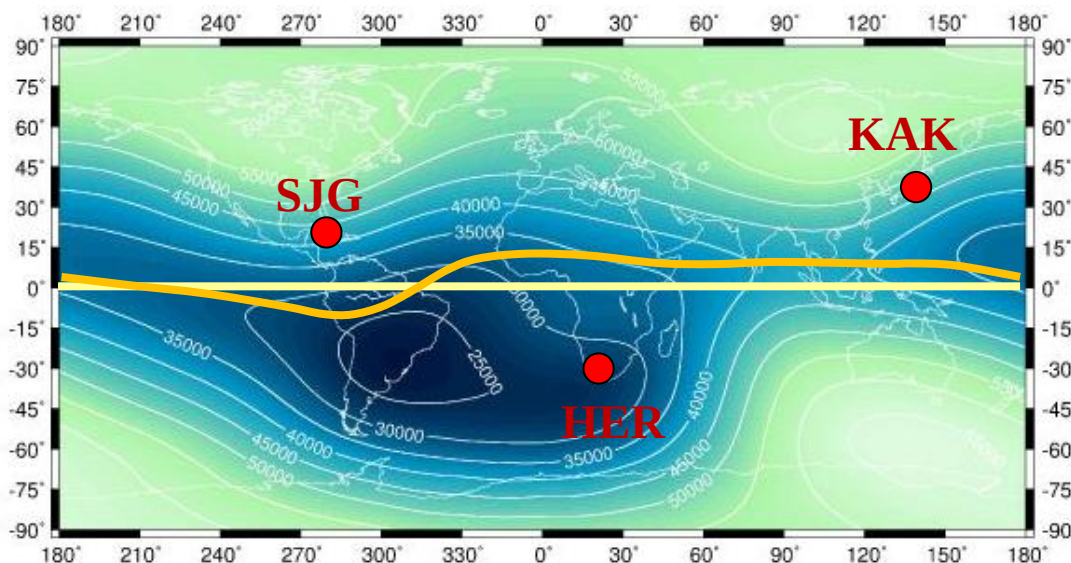
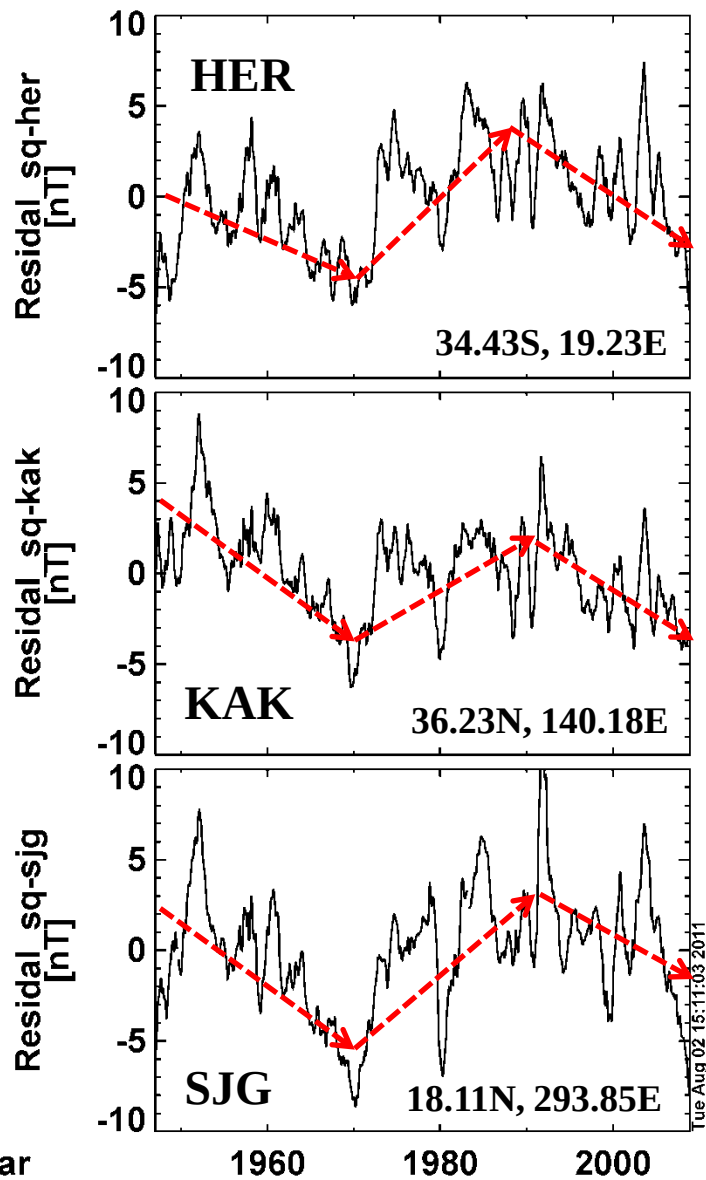


太陽活動に依存する成分を除去

Sq振幅に依存する残り成分

= 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 太陽活動成分を差し引いたSq場の長期変動(低緯度)



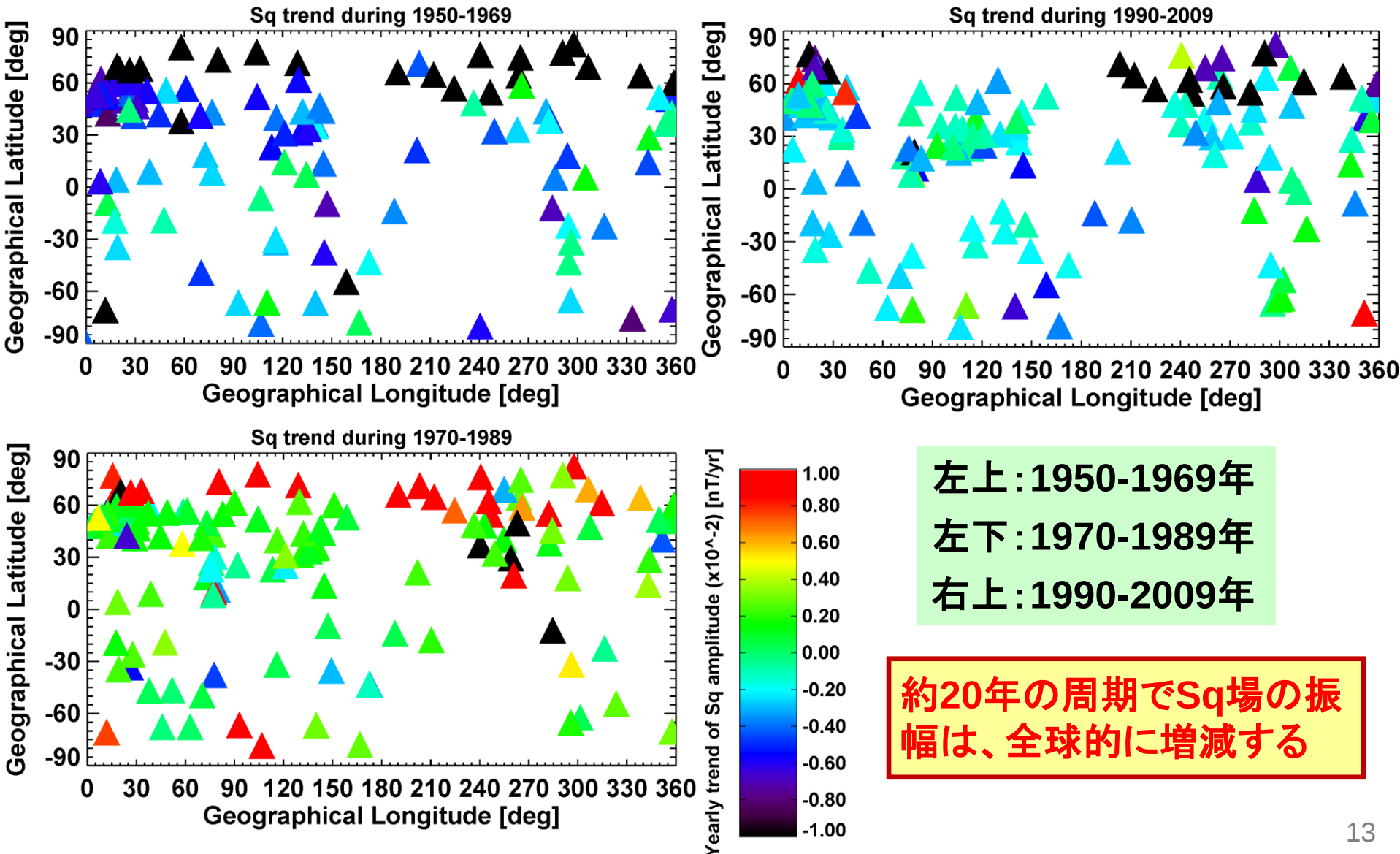
Station map

○低緯度域の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する

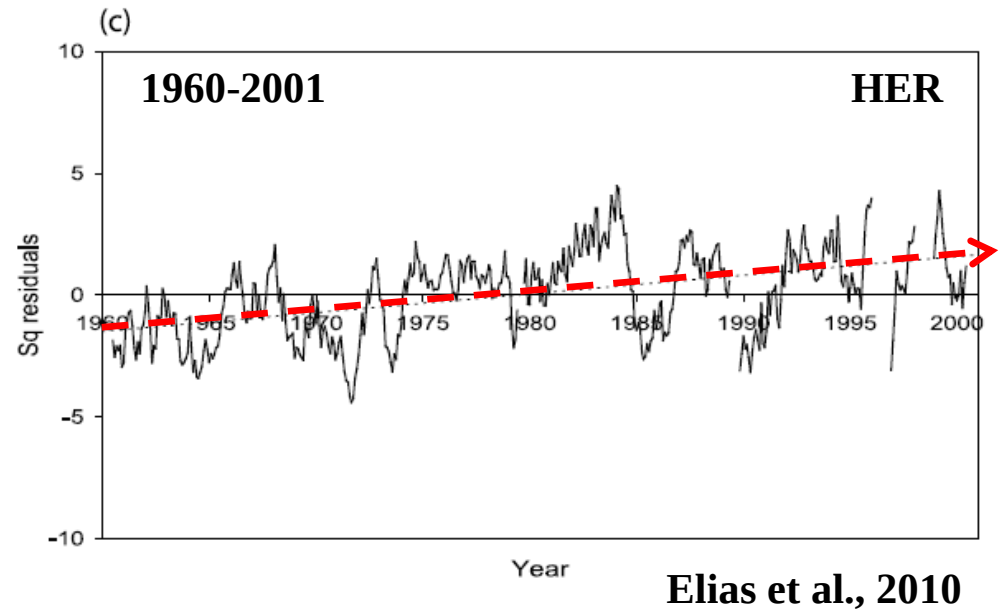
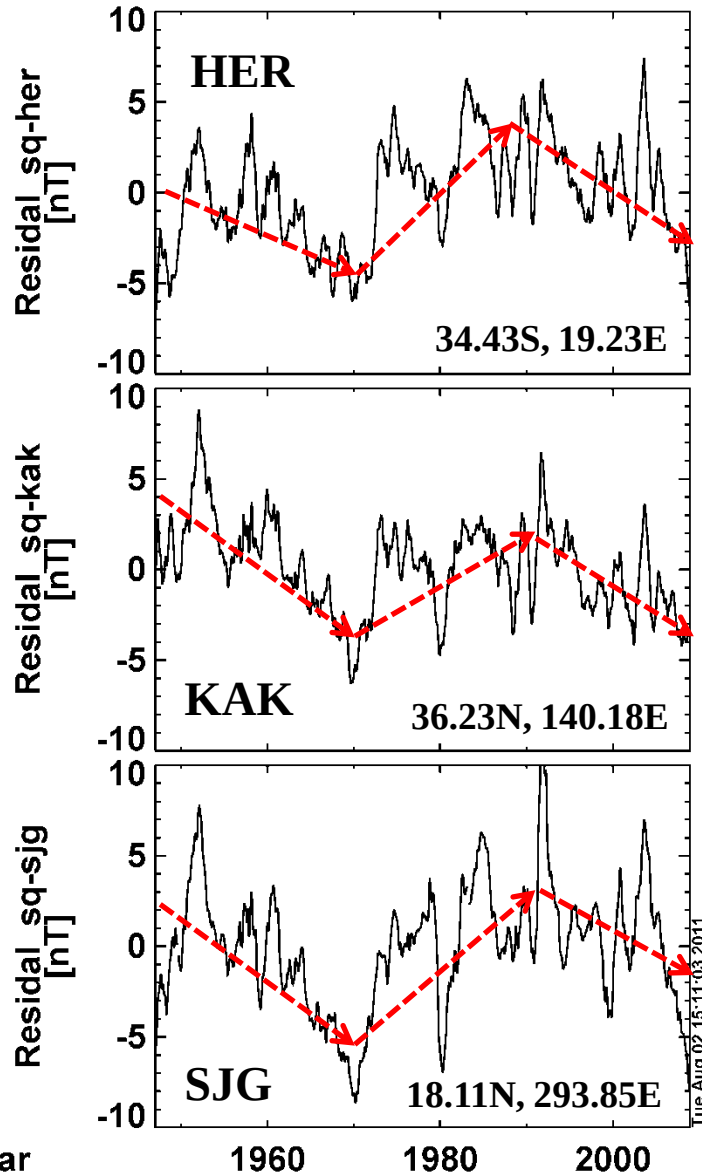
⇒グローバルな現象

○特に、1970年代で振幅が減少する

3.5 Sq場の振幅の経年変化(地理分布)



4.1 これまでの研究結果との比較



○Sq場の振幅の経年変動は、単純に増加傾向ではなく、**20年ごとに増加・減少**を示す。

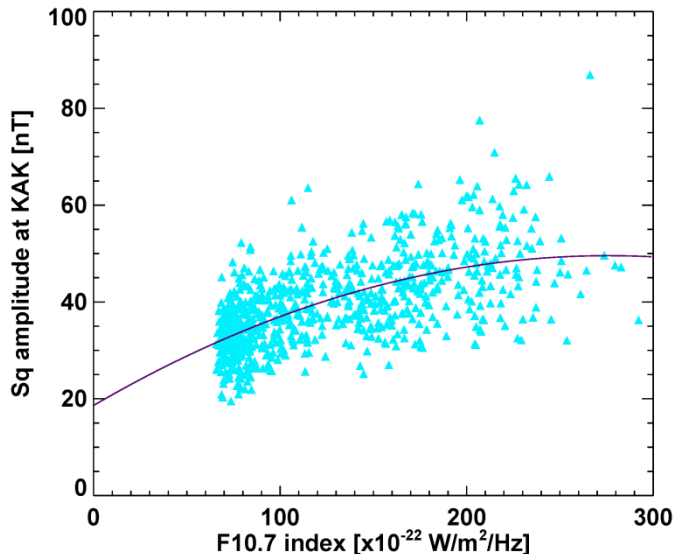
太陽黒点⇒**F10.7指数**

線型回帰⇒**2次回帰**

解析期間の延長

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



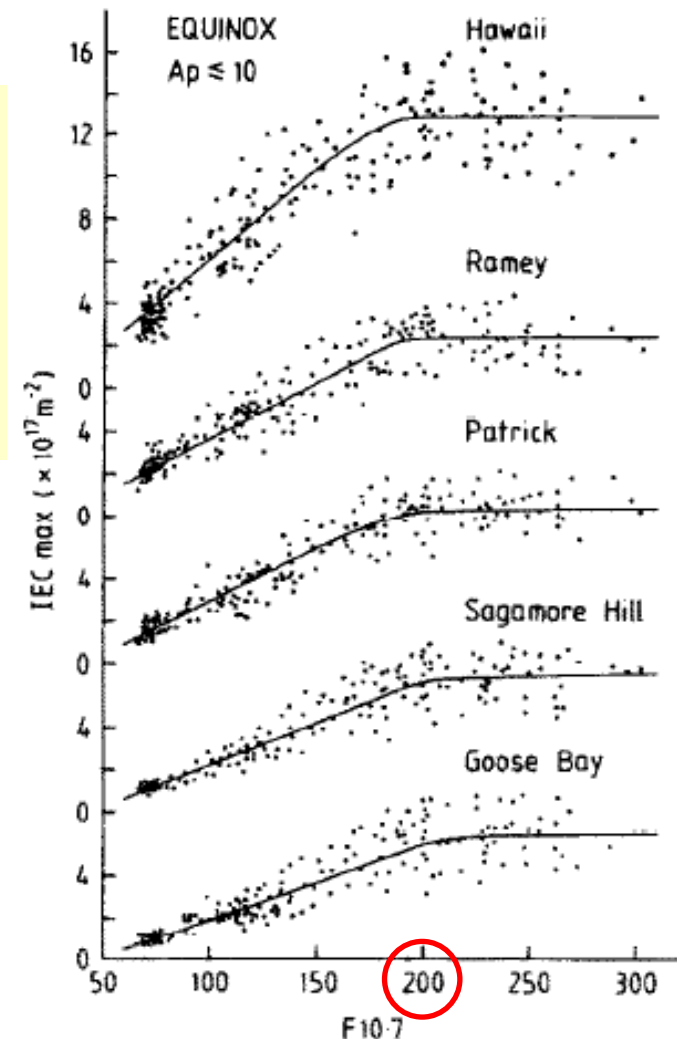
電離圏電子数:
F10.7=200位までは線形増加
200以上では飽和状態

線型関係になく、上に凸型をした2次曲線の関係

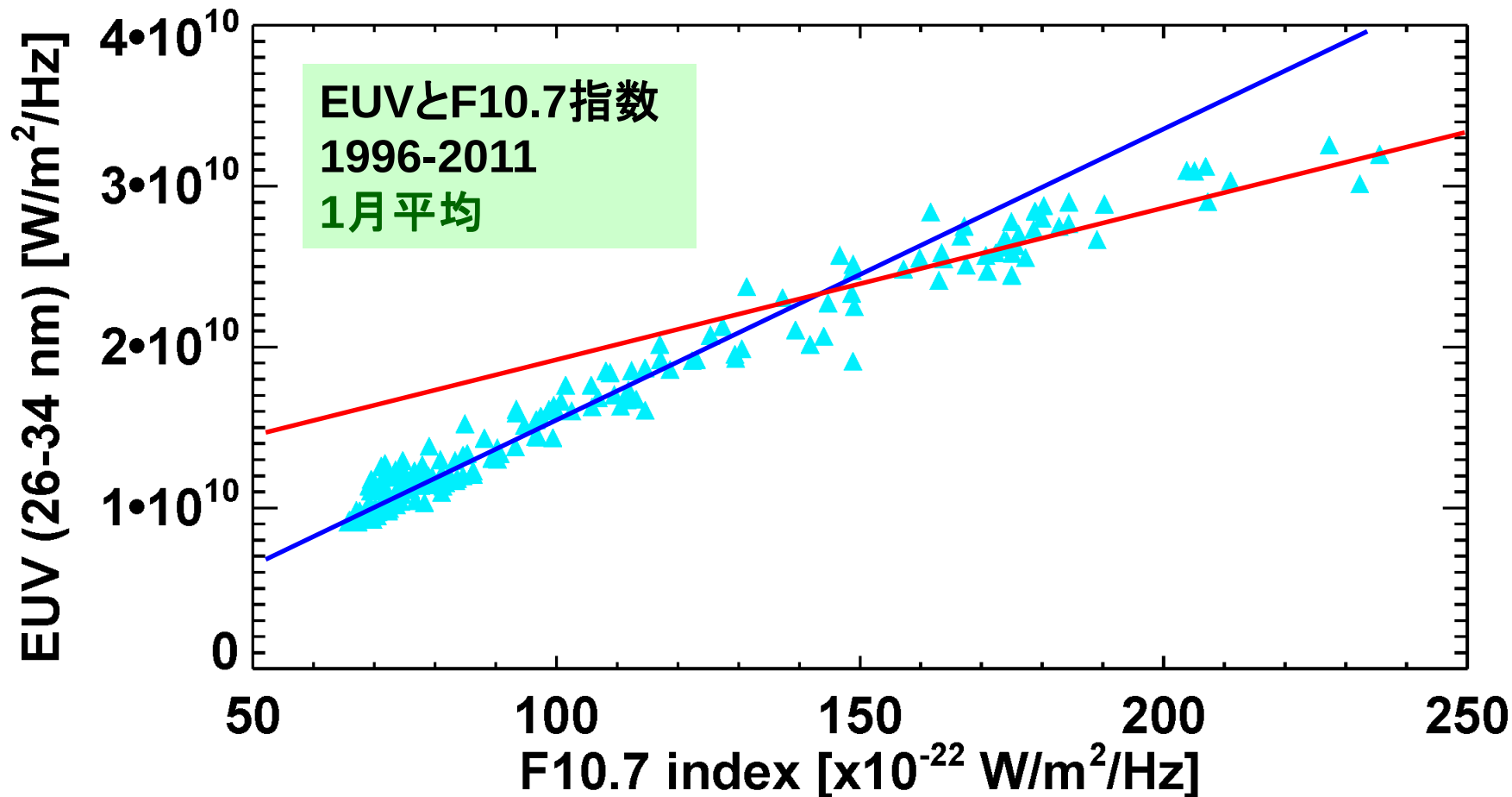
高いF10.7値は、電離圏の形成に関するEUV変動を反映しない??

(F10.7 ⇔ EUV Nonlinear relationship)

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

○1947-2010年までの太陽F10.7指数とIUGONETの保有する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40年の周期？で増加・減少**する。
3. 2と同様の傾向が**極域におけるSq_p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。

同様の関係が**極端紫外線(26-34 nm)とF10.7指数との間**に見受けられる

○今後の方針:

1. 10.5年周期以外の太陽活動の機構の理解

地磁気変動に現れる比較的短い太陽活動の原因を探る

→太陽研究者との議論

(この分野との連携しているIUGONET強み)

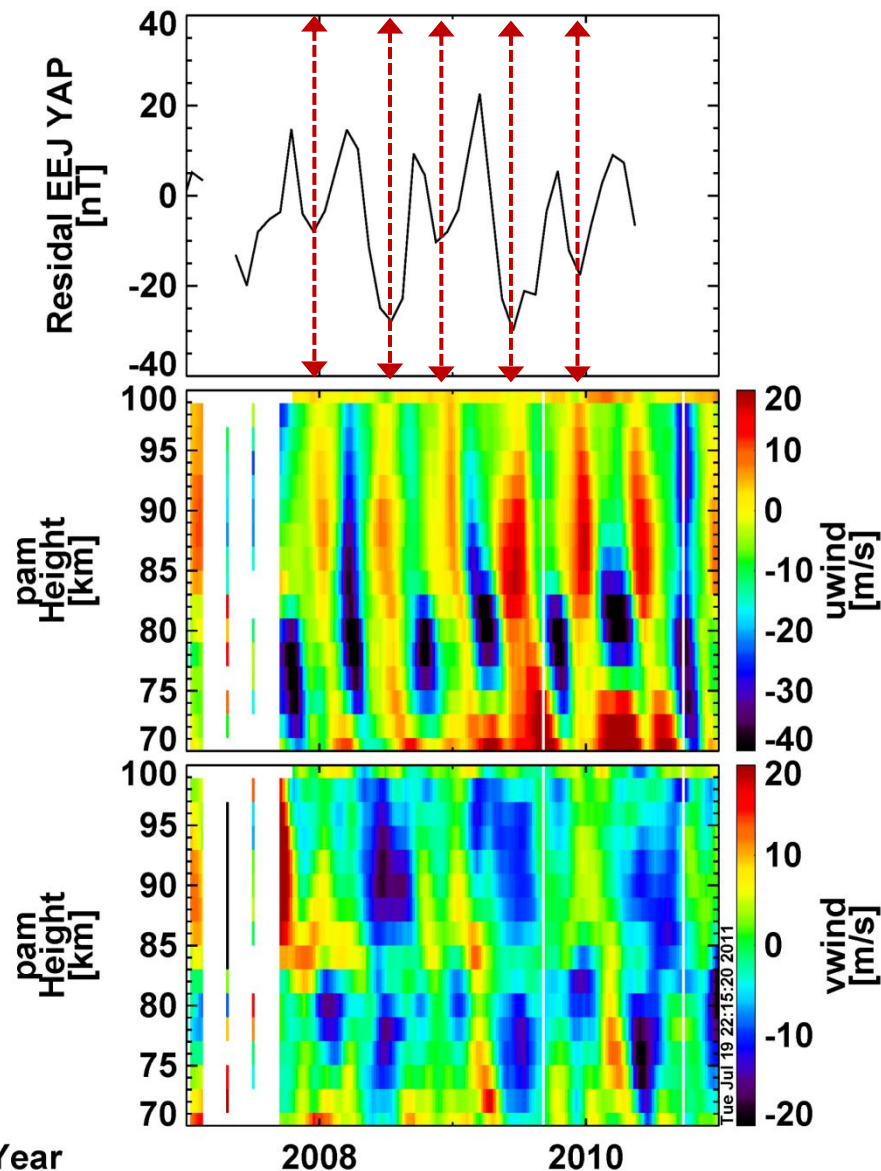
2. 電離圏電気伝導度モデル値を用いた定量的評価

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. 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

6.1 赤道ジェット電流と中性風との関係



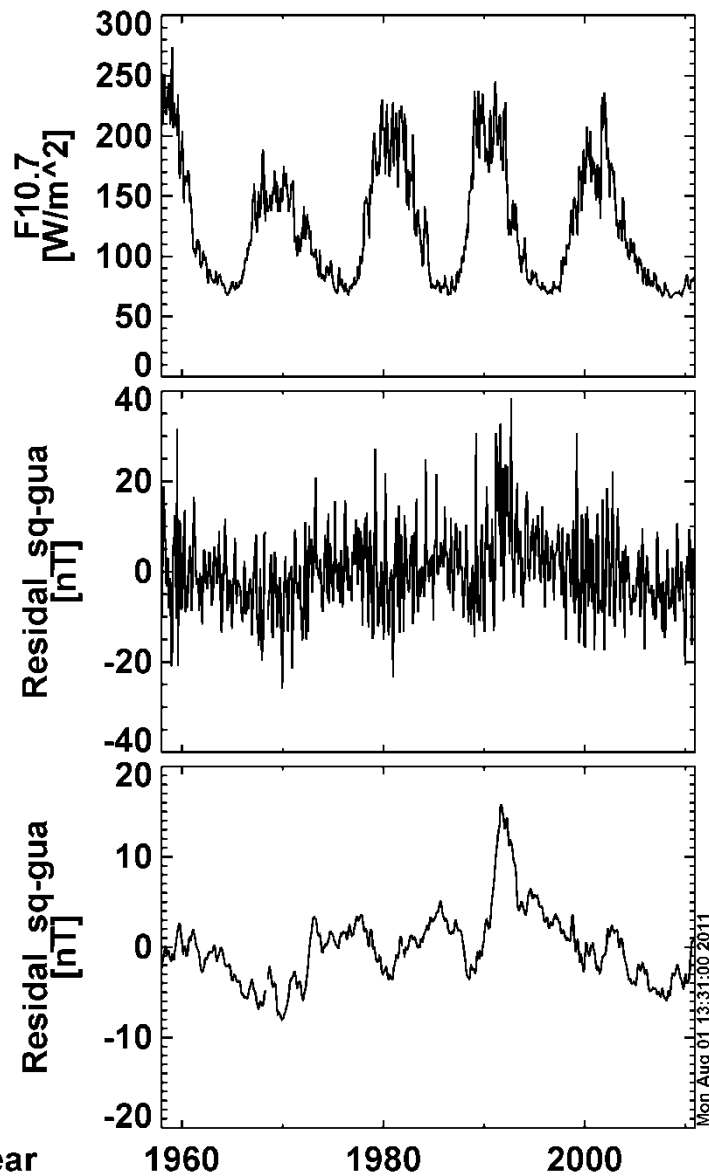
<九大SERC-京大RISH共同研究>

阿部・新堀・池田・林・津田・湯元

●赤道ジェット電流による地磁気H成分の変化と熱圏下部領域の東西風との間には、相関関係が存在

赤道ジェット電流の強度を決めるCowling伝導度が中性風によるダイナモ電場によって変化する、つまり**不完全Cowling効果**になる

3.7 太陽活動成分を差し引いたSq場の長期変動(赤道域)



上段:F10.7指数の1ヶ月平均値

中段:1ヶ月平均値の太陽活動成分を
抜き去ったSq場の振幅

下段:上記のデータに対して1年の移
動平均をかけたもの

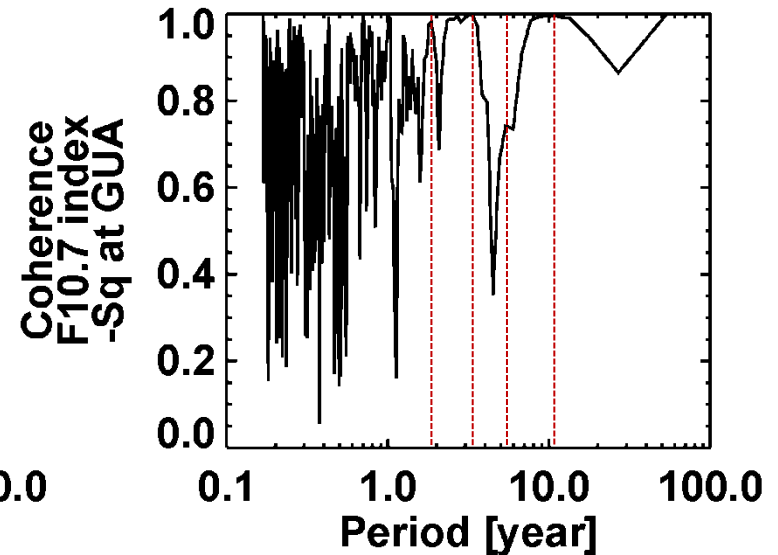
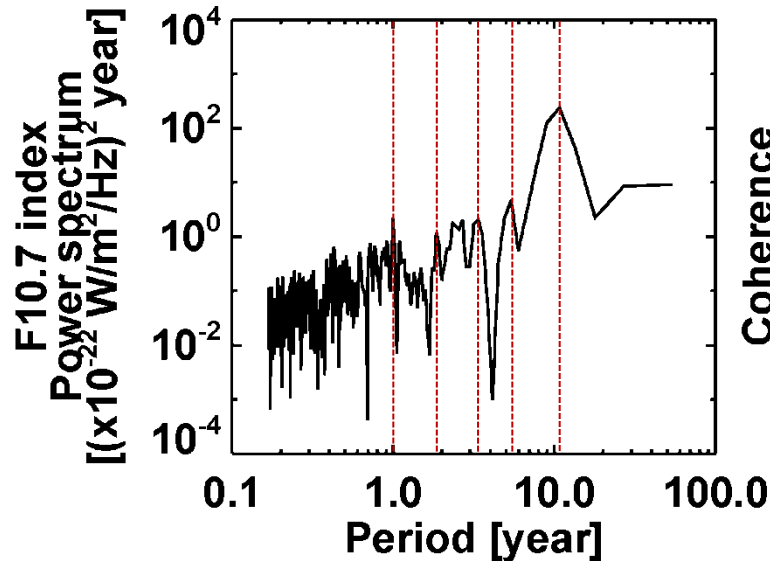
○Sq場の振幅は、1958-1970年と
1990-2008年の2期間で**減少傾向**を
示し、それ以外のところでは、**増加傾
向**を示す。

⇒**超高層大気の長期変動を反映?**

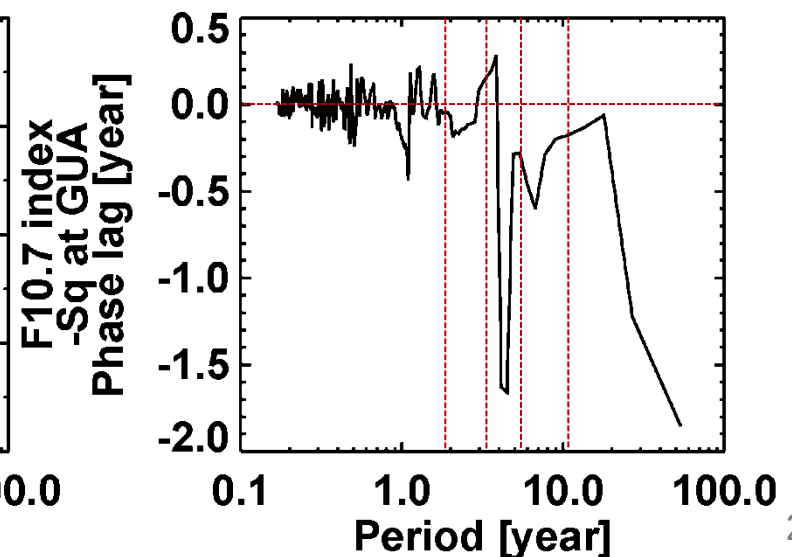
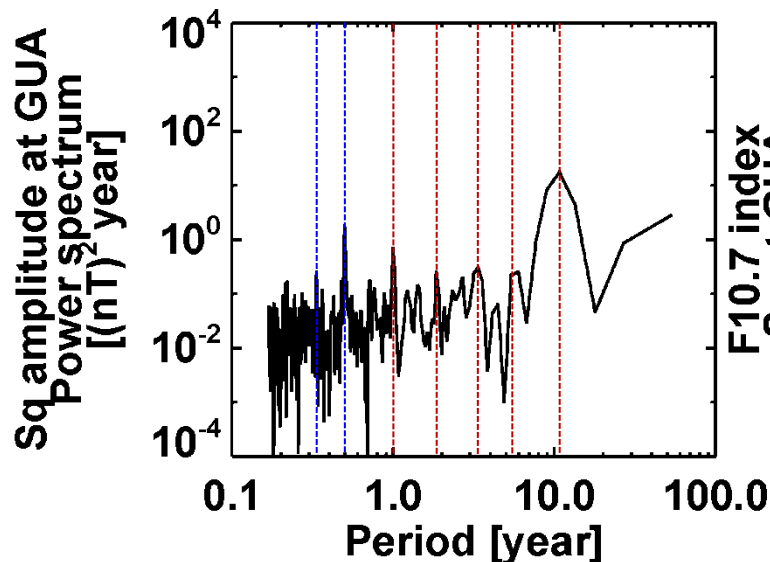
3. 解析結果

3.2 F10.7指数とSq場(赤道域)の周波数解析とコヒーレンス

**F10.7
index
(1-month
mean)**



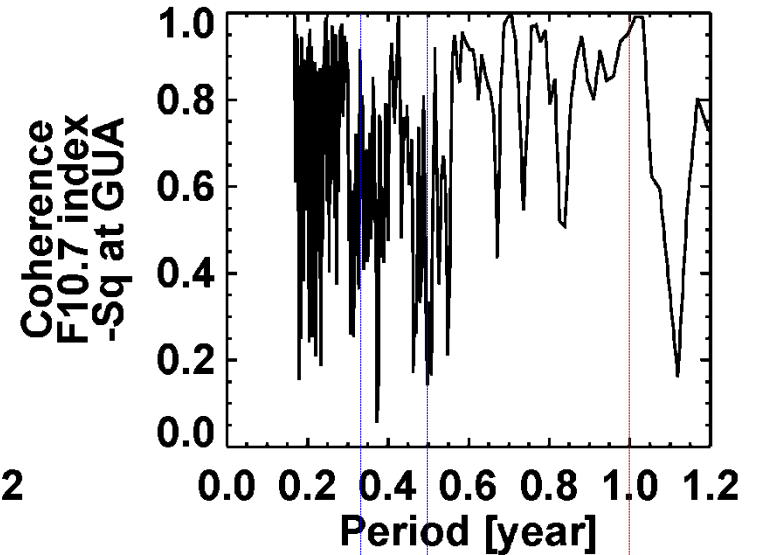
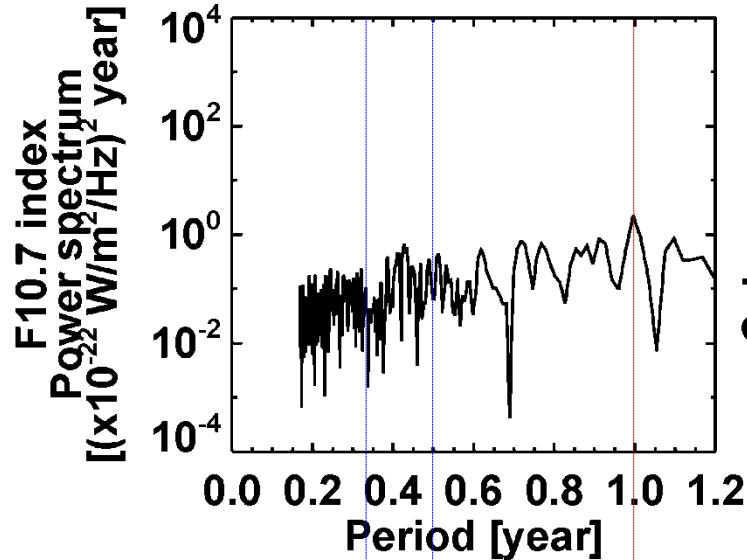
**Sq
amplitude
GUA
(13.59N,
144.87E)**



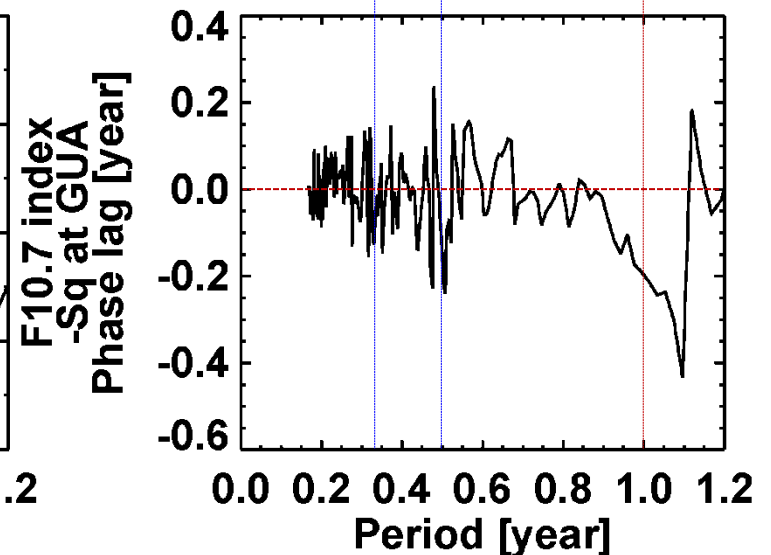
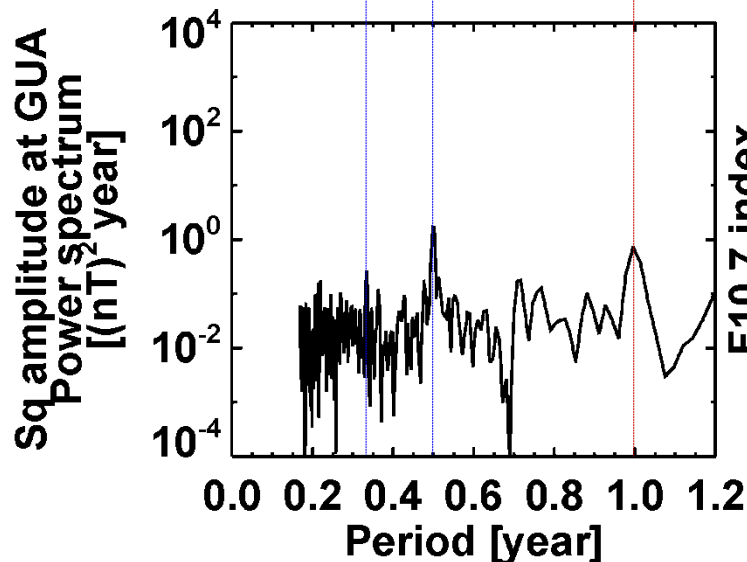
3. 解析結果

3.2 F10.7指数とSq場(赤道域)の周波数解析とコヒーレンス

**F10.7
index
(1-month
mean)**



**Sq
amplitude
GUA
(13.59N,
144.87E)**



3.2 F10.7とSq場(赤道域)の周波数解析のまとめ

○パワースペクトルのピーク周波数(年)

F10.7 10.5 5.2 3.3 1.8 1.0

Sq 10.5 5.2 3.3 1.8 1.0 0.5 0.33

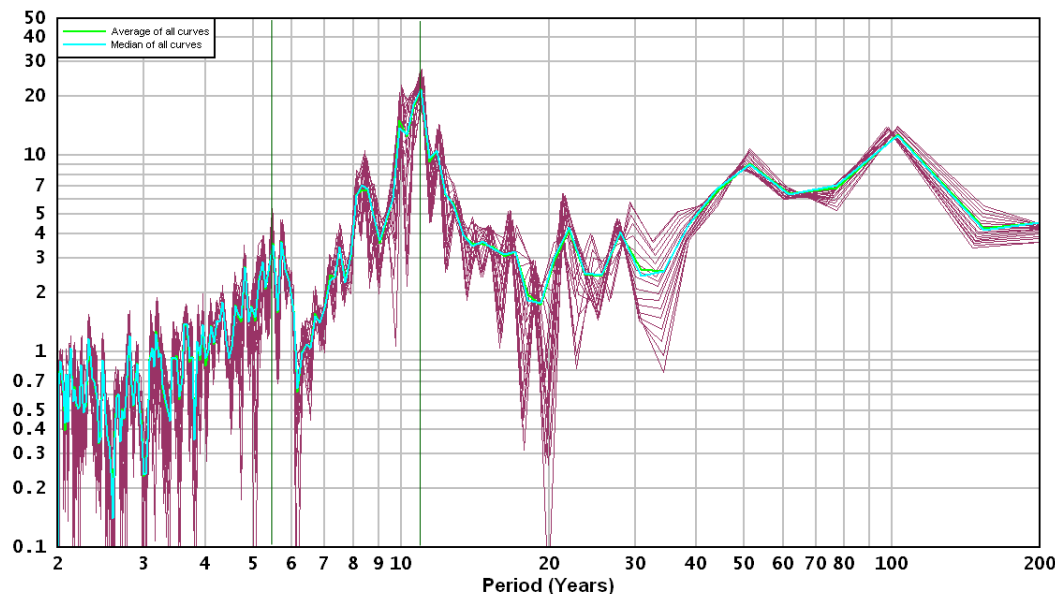
○各ピーク周波数におけるコヒーレンス

0.99 0.73 0.99 0.97 0.95 0.2 0.55

→コヒーレンスの値から、これらの周波数スペクトルは、お互いに相関が高いことがわかる。

今後は、各周波数の意味について考える予定

FFT Power Spectrum SSN 1700-2008



太陽黒点数のFFTスペクトル
(1700－2008)

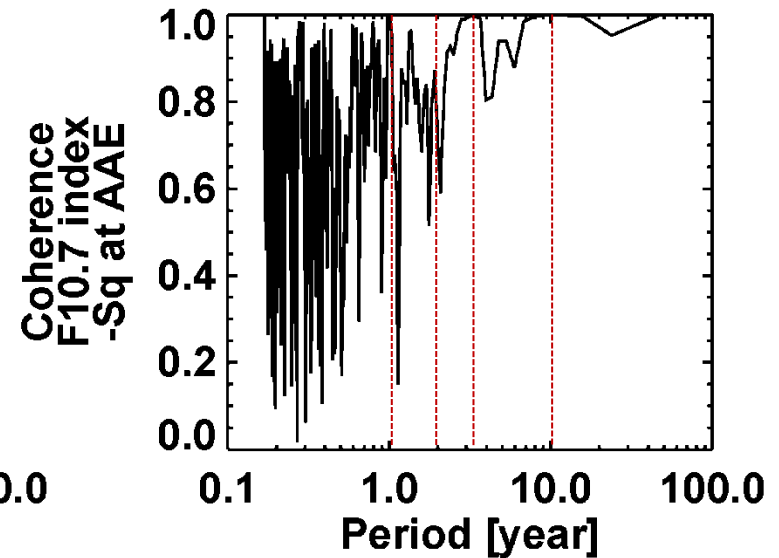
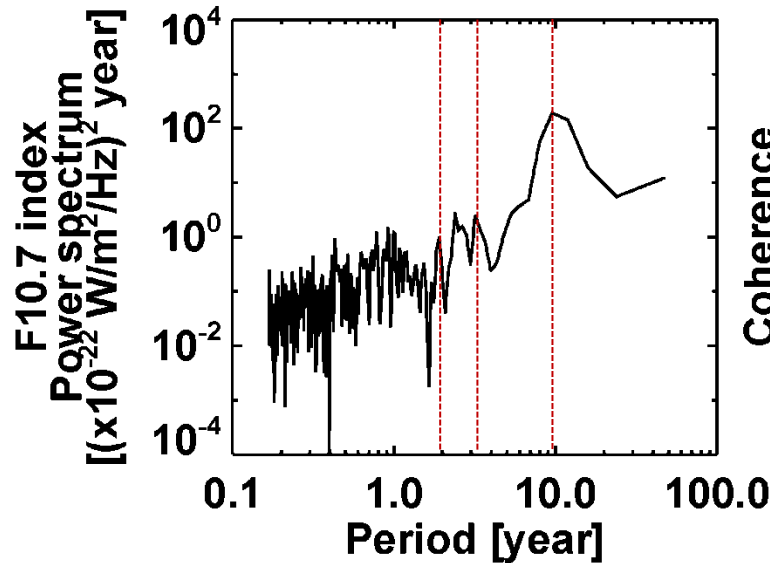
5.2年、10.5年周期のスペクトルは、黒点にもみられる

<http://www.leif.org/research/FFT-Power-Spectrum-SSN-1700-2008.png>

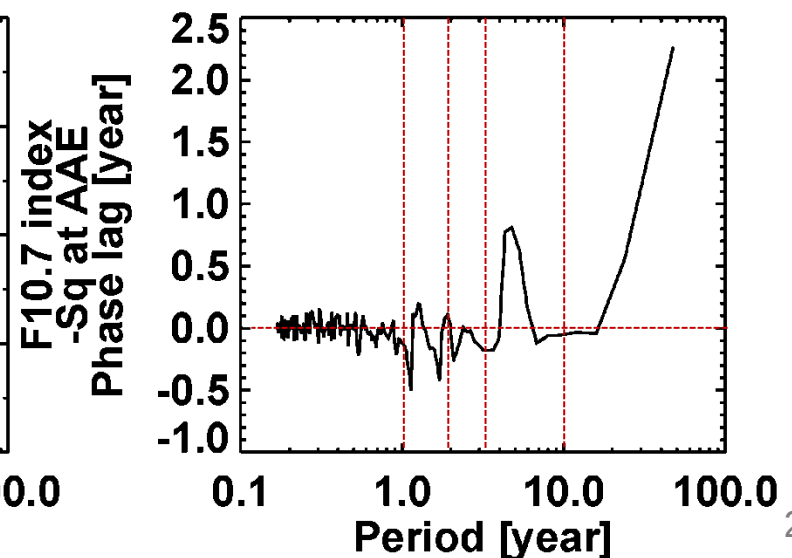
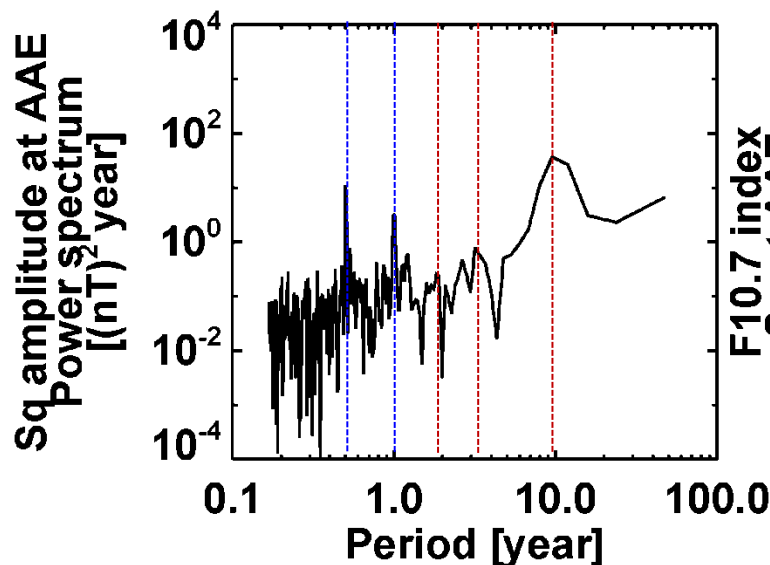
A. 解析結果(付録)

A.1 F10.7指数とSq場(赤道域)の周波数解析とコヒーレンス

**F10.7
index
(1-month
mean)**



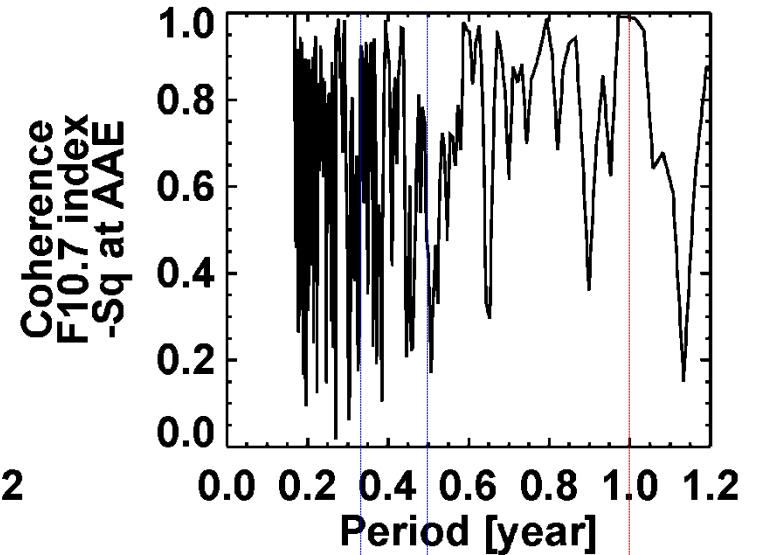
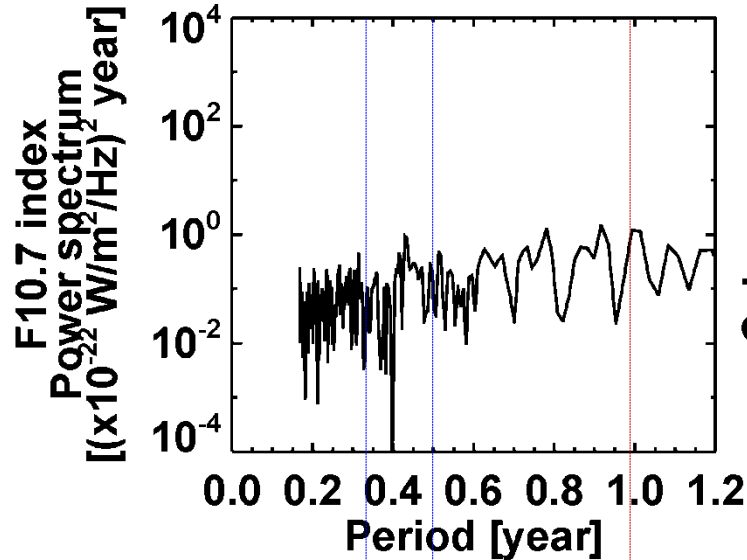
**Sq
amplitude
AAE
(9.04N,
38.76E)**



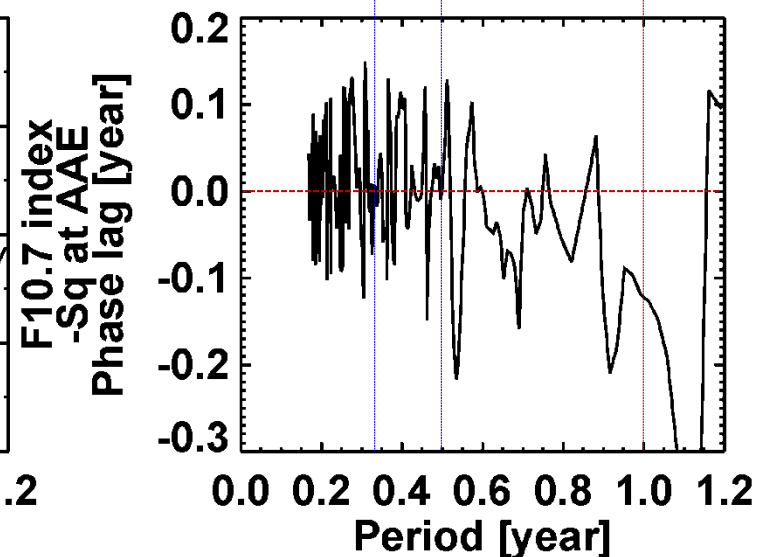
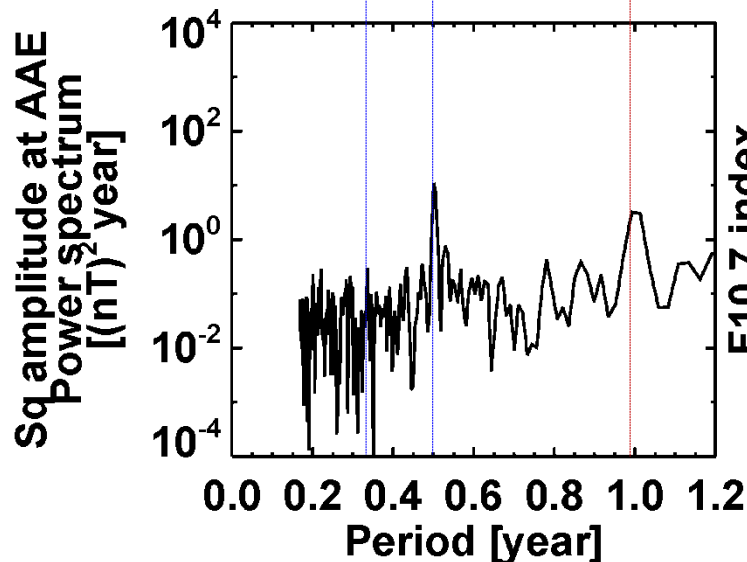
A. 解析結果(付録)

A.1 F10.7指数とSq場(赤道域)の周波数解析とコヒーレンス

**F10.7
index
(1-month
mean)**



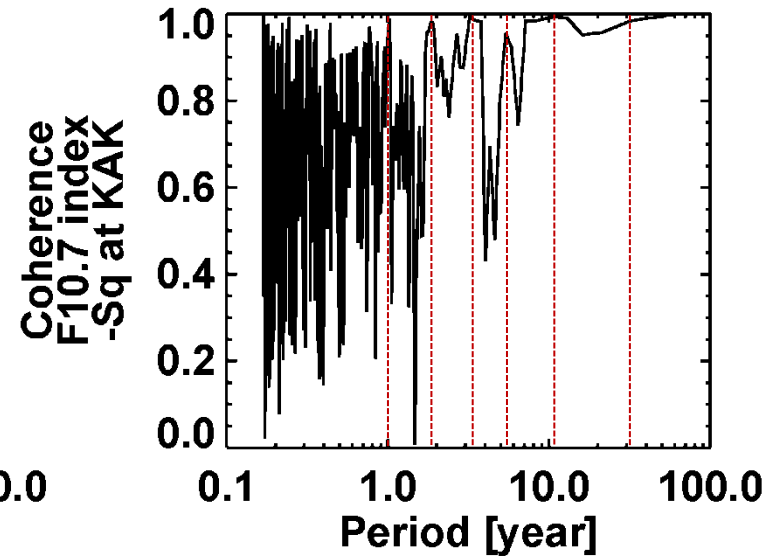
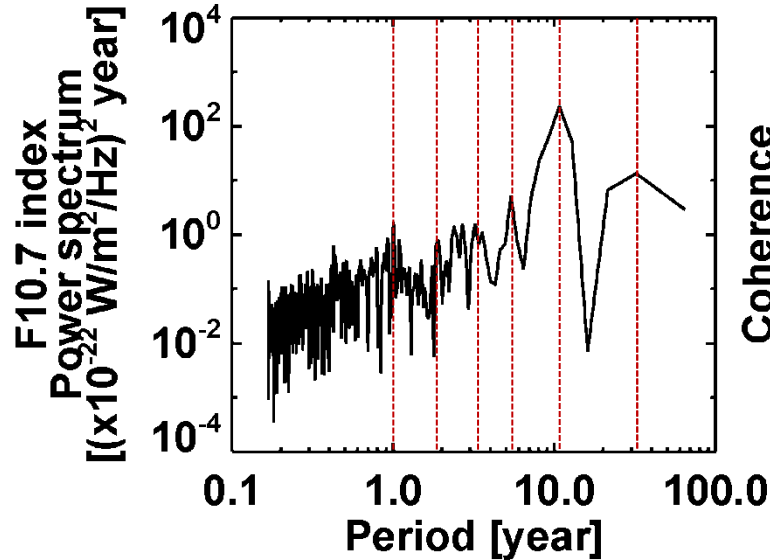
**Sq
amplitude
AAE
(9.04N,
38.76E)**



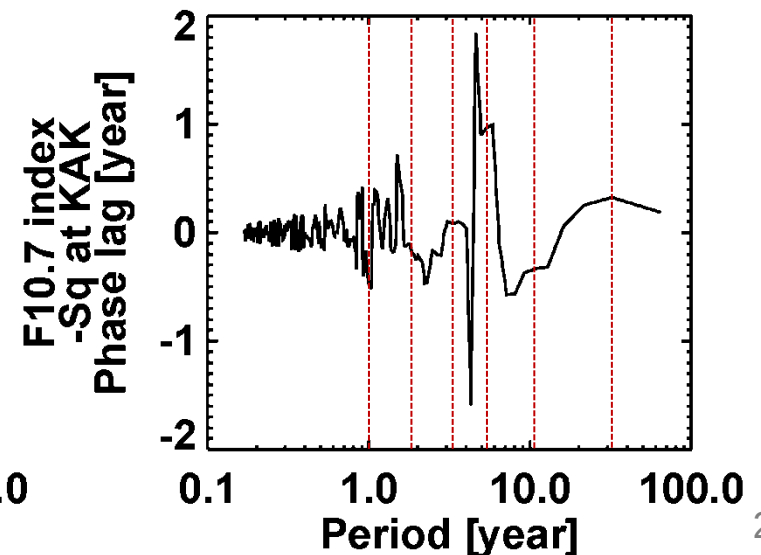
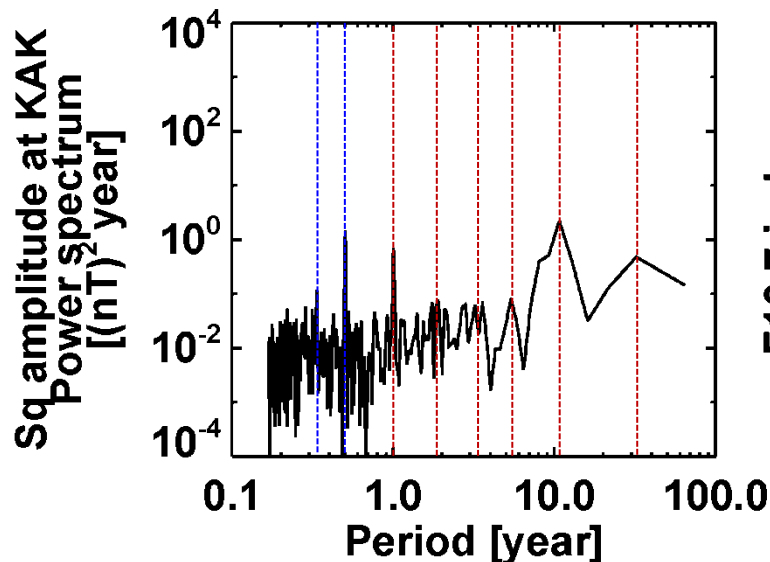
A. 解析結果(付録)

A.2 F10.7指数とSq場(低緯度)の周波数解析とコヒーレンス

**F10.7
index
(1-month
mean)**



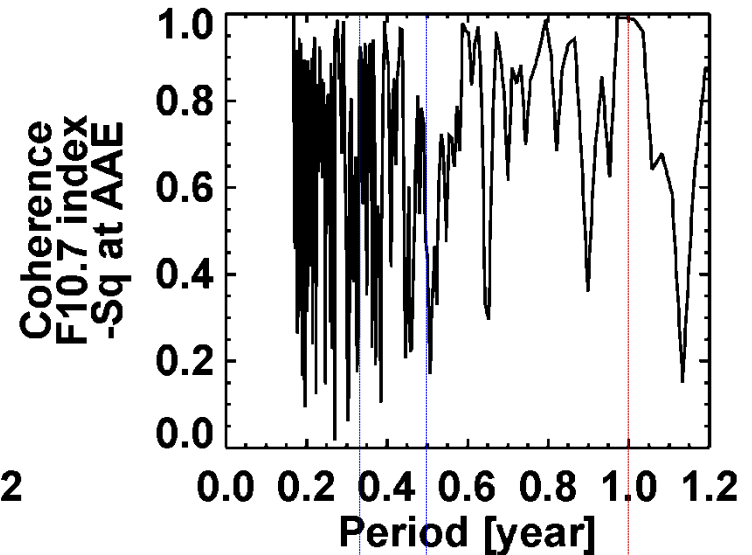
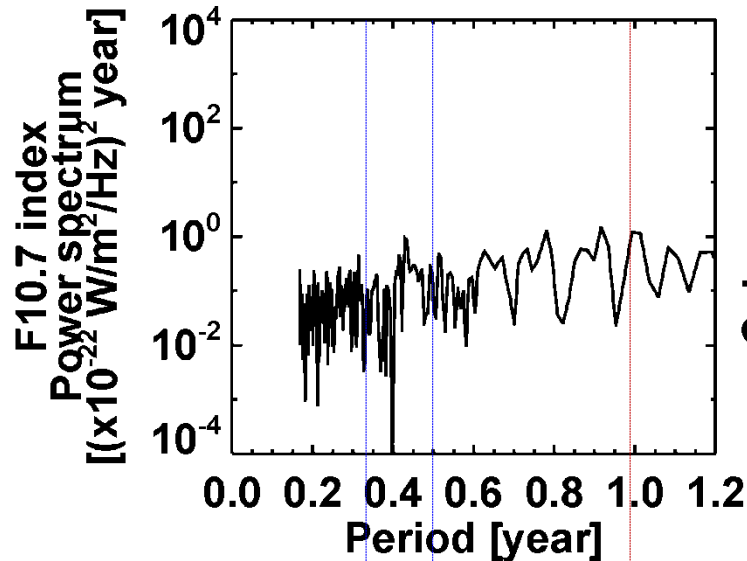
**Sq
amplitude
KAK
(36.23N,
140.18E)**



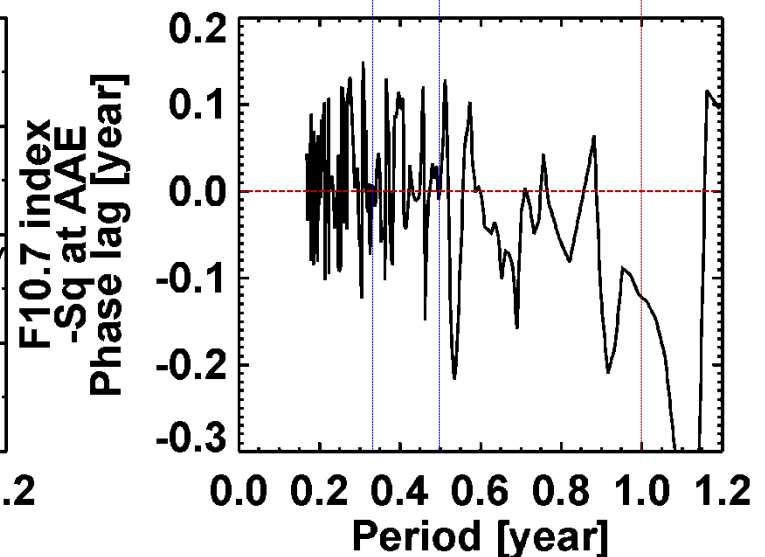
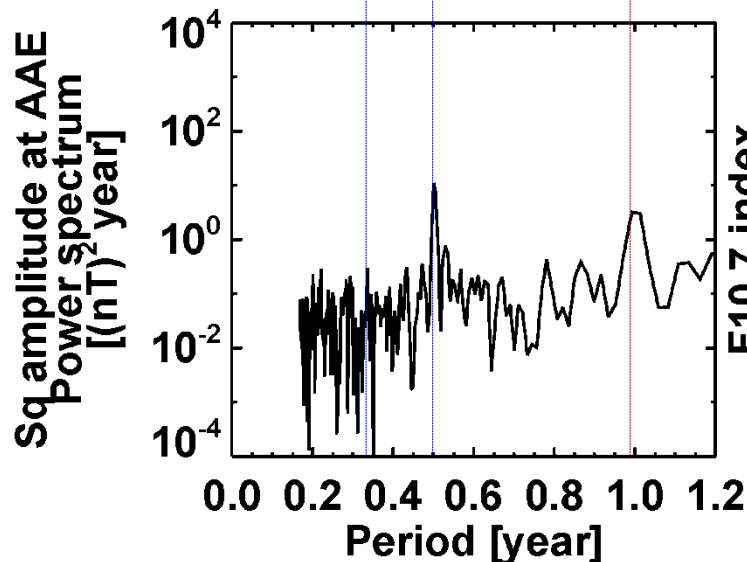
A. 解析結果(付録)

A.1 F10.7指数とSq場(低緯度)の周波数解析とコヒーレンス

**F10.7
index
(1-month
mean)**



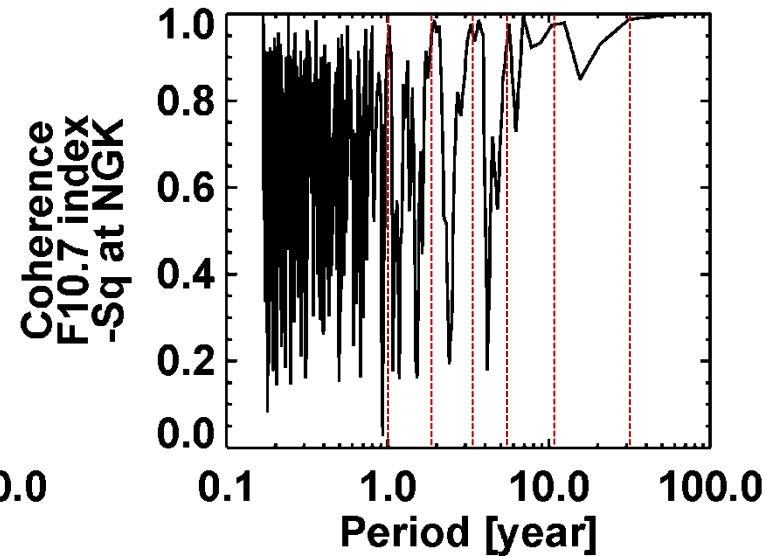
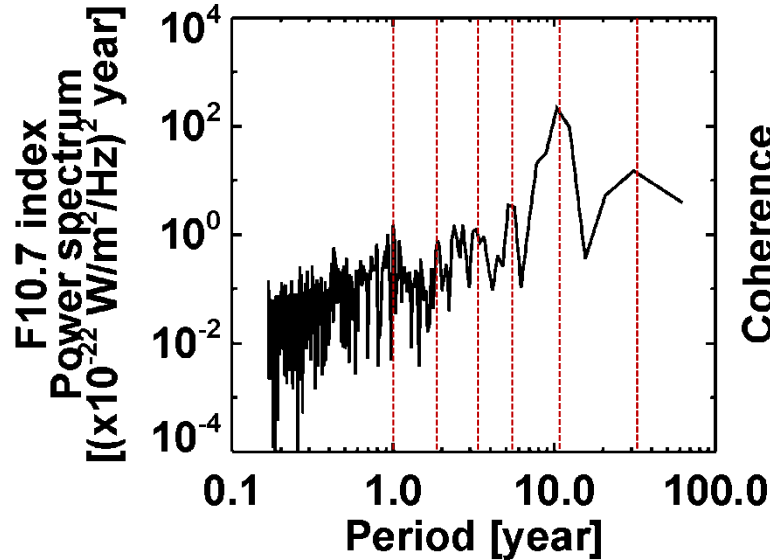
**Sq
amplitude
KAK
(36.23N,
140.18E)**



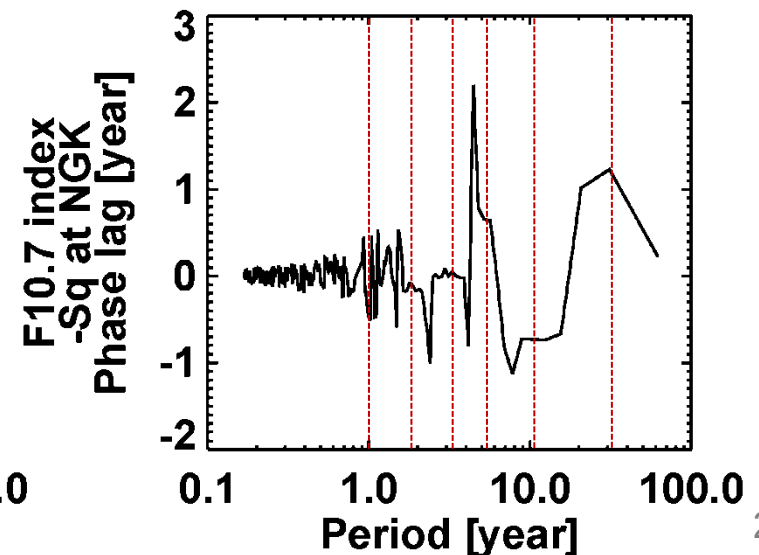
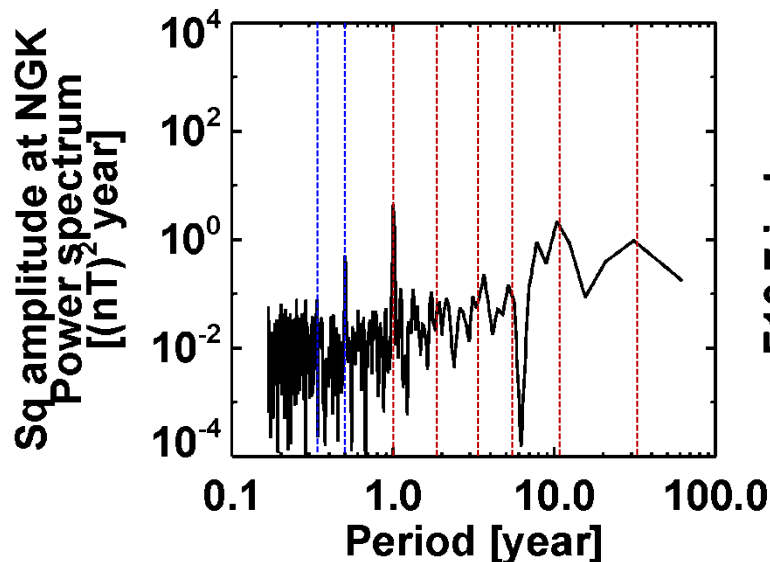
A. 解析結果(付録)

A.3 F10.7指数とSq場(中緯度)の周波数解析とコヒーレンス

**F10.7
index
(1-month
mean)**



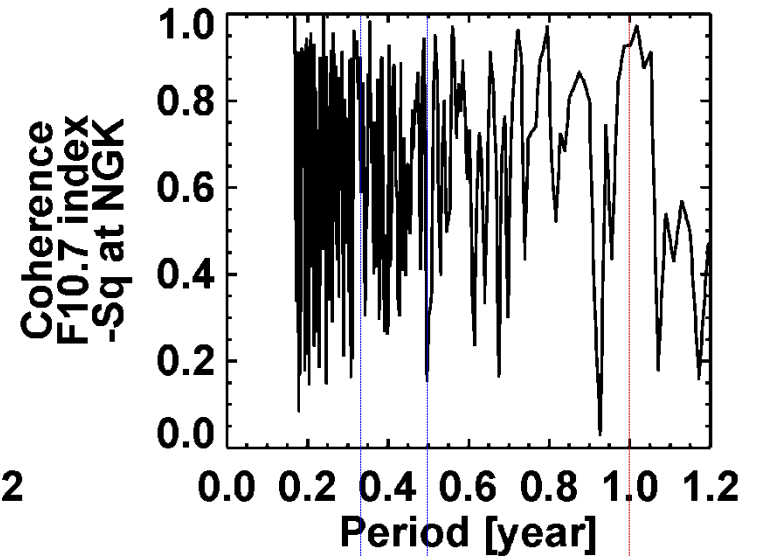
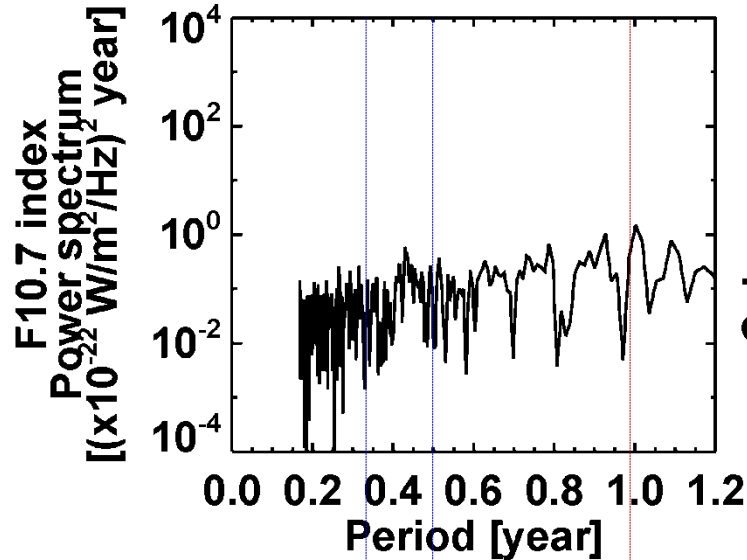
**Sq
amplitude
NGK
(52.07N,
12.67E)**



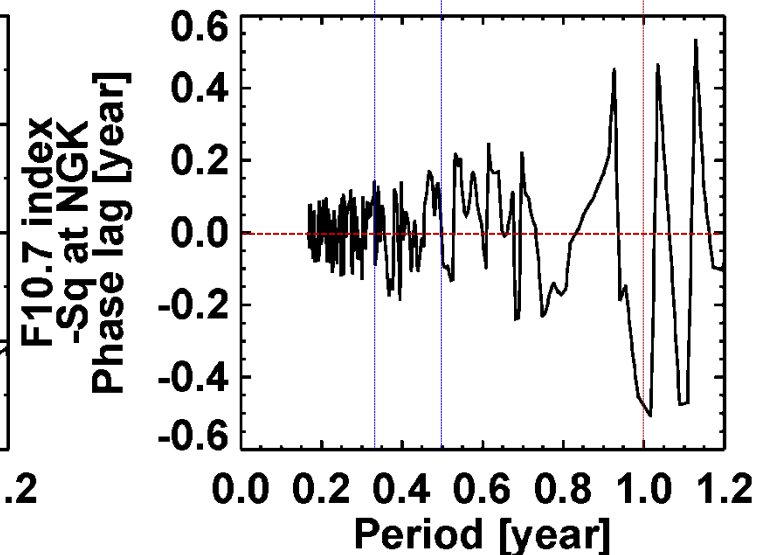
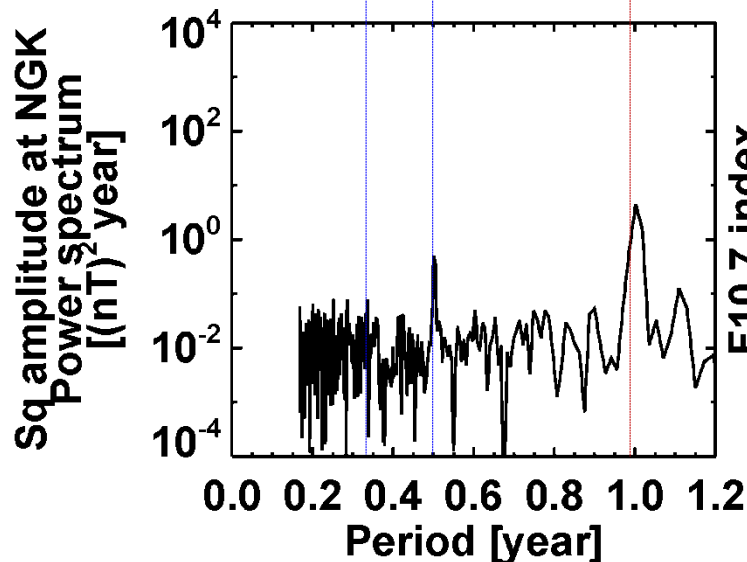
A. 解析結果(付録)

A.3 F10.7指数とSq場(中緯度)の周波数解析とコヒーレンス

**F10.7
index
(1-month
mean)**



**Sq
amplitude
NGK
(52.07N,
12.67 E)**



○1947-2010年までの太陽F10.7放射フラックスと地磁気データを用いて、Sq場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。

1. Sq場の振幅は、**太陽活動11年周期にほぼ同期して変動**する。
2. F10.7とSq場の振幅との周波数解析の結果、太陽活動10.5年周期成分以外に、**5.3、3.3、1.8及び1.0年のところに共通のスペクトルピークが現れた**。それぞれの**コヒーレンスの値は、0.75以上**であり、**両者の相関がかなり高い**。
3. 太陽活動に同期しない短期的な以下の変動が見られる
4ヶ月と6ヶ月周期：電離圏や熱圏大気の変動？
4. 太陽活動成分と差し引いた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。