磁気圏-電離圏複合系における対流に関する研究会@名古屋

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

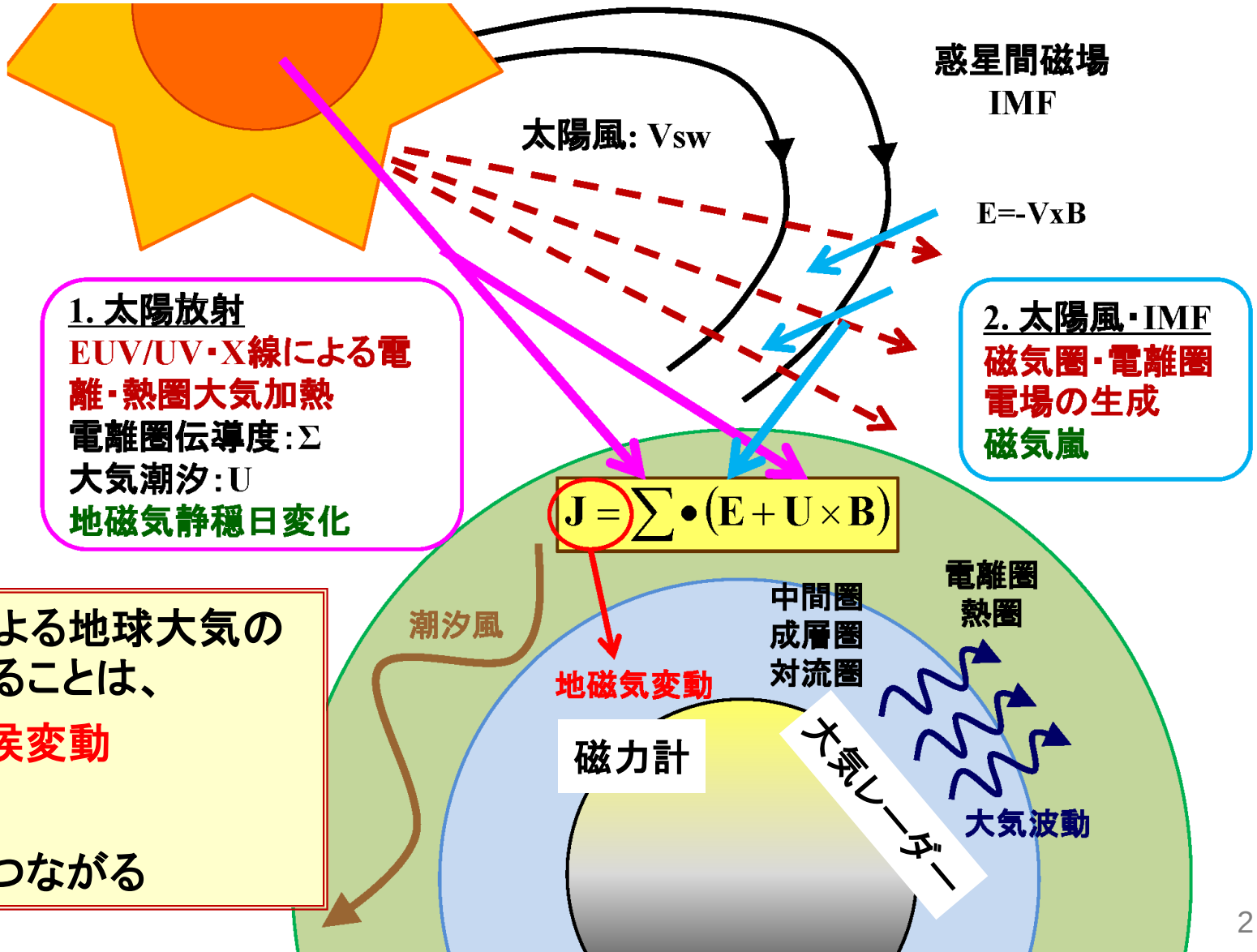
[1]京都大学生存圏研究所

[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、

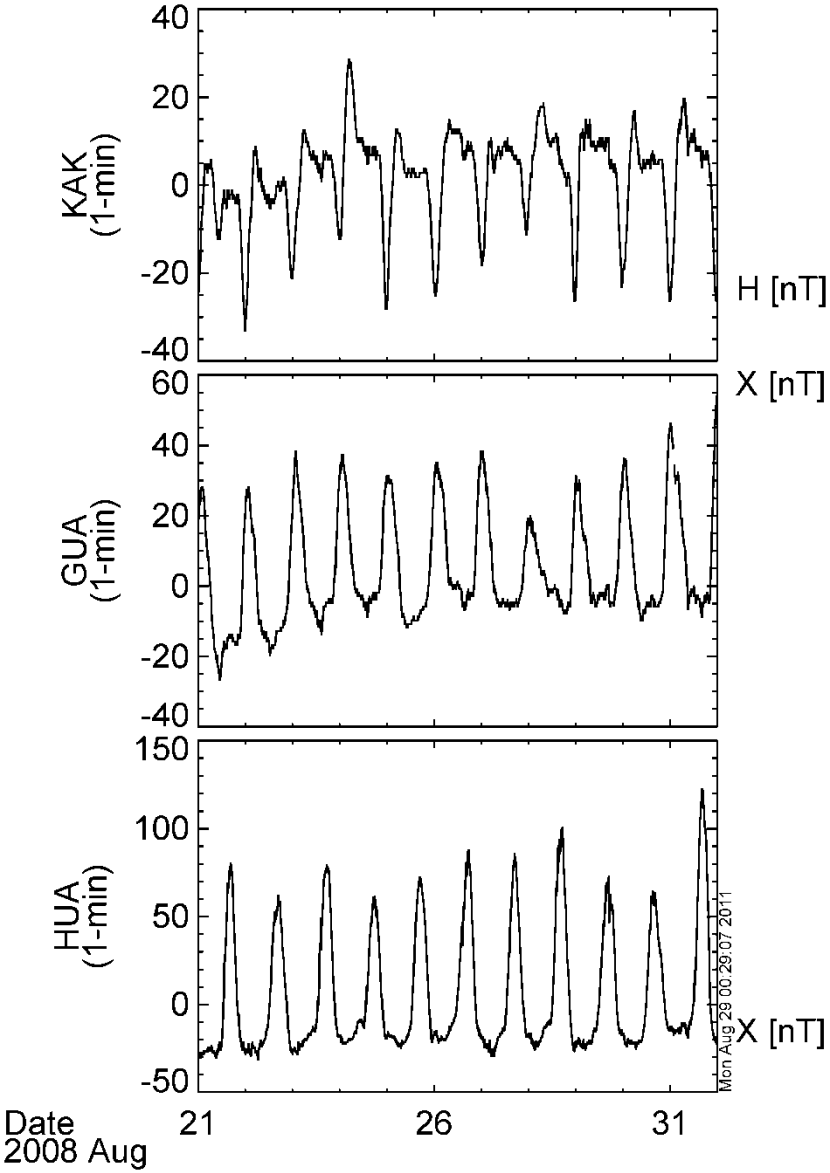
○(宇宙)気候変動

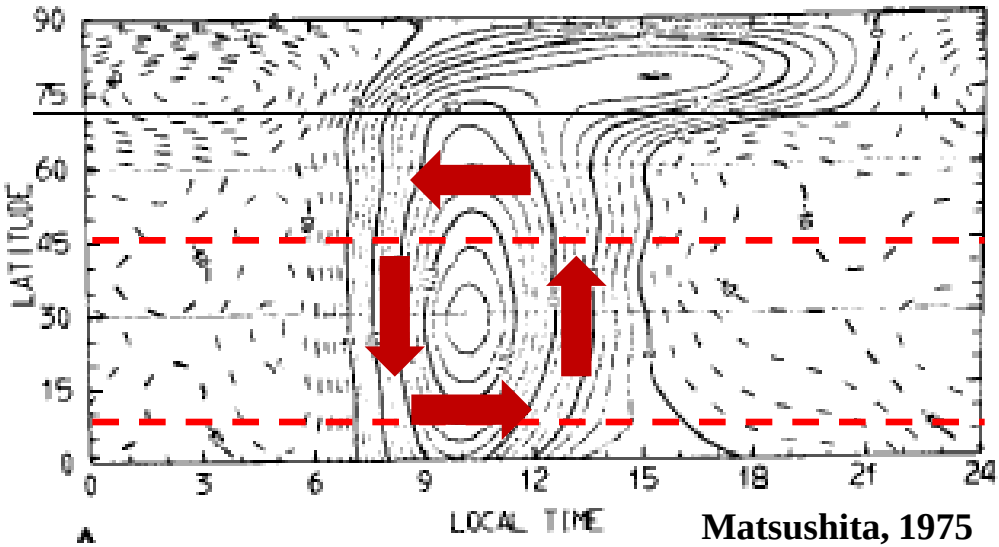
○惑星大気

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. はじめに

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(UxB)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

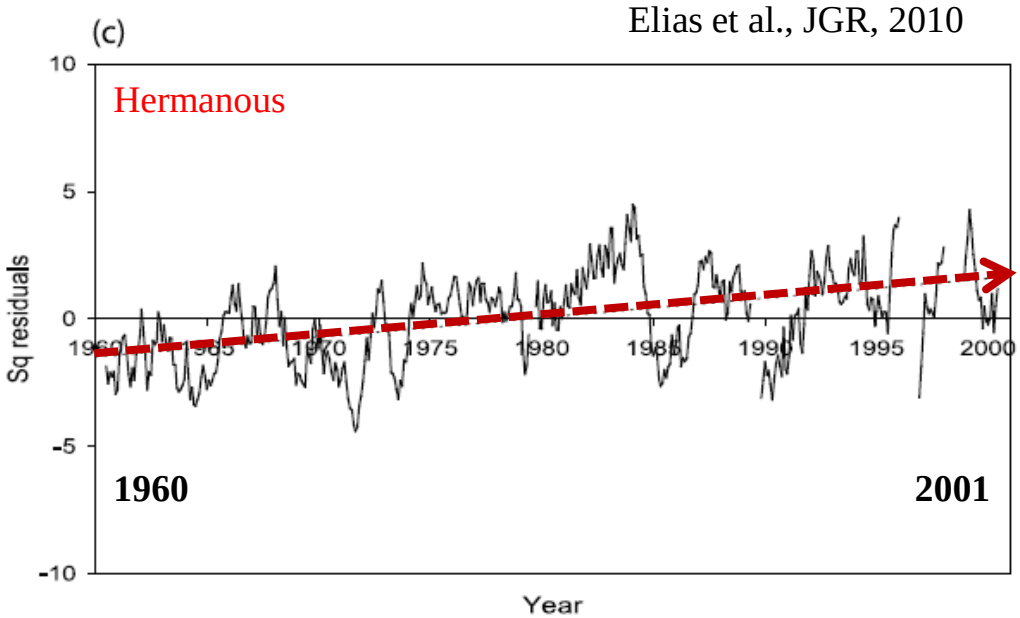
	観測点数	太陽データ	Sq場の経年変動	主磁場の永年変化の影響	特記事項
Sellek [1980]	3点	太陽黒点数	あり 増加傾向	あり	親論文
Schlapp et al., [1990]	11点	太陽黒点数	あり 増加傾向	あり	Hermanusでは、モデル予測値よりも経年変動が1桁ほど小さい
Macmillan and Droujinina [2007]	14点	F10.7	あり 観測点に依存	議論はしているが、明示していない	Sq場の年変動は、太陽放射のプロキシとして使える
Elias et al. [2010]	3点	太陽黒点数	あり 増加傾向	あり	地球温暖化による電離圏変動がSq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

1. はじめに

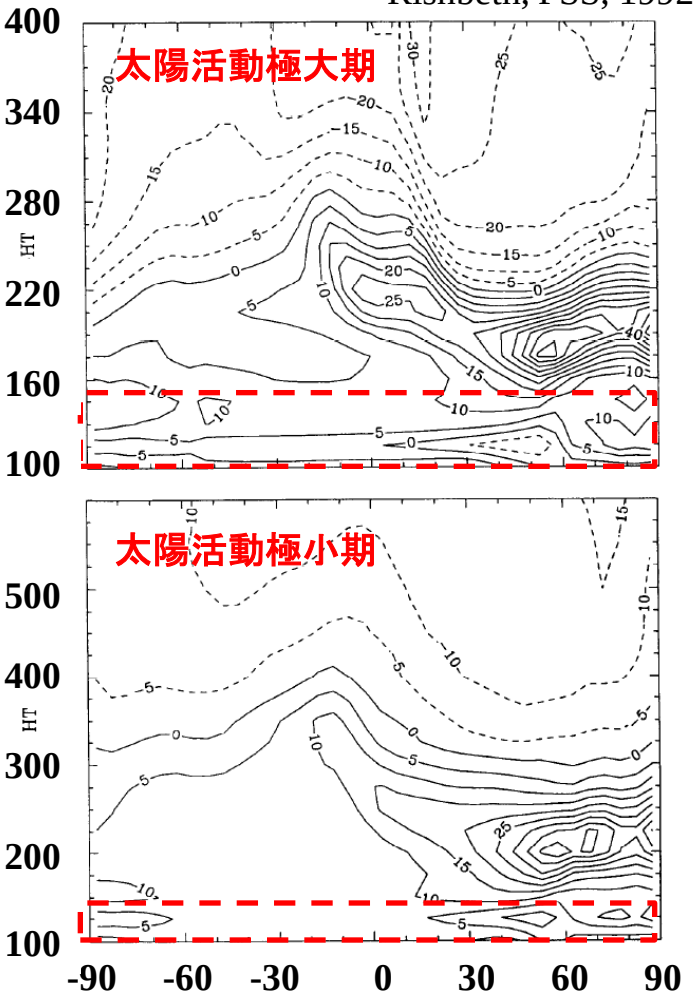
1.4 これまでの地磁気日変化の長期トレンドの研究

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

Elias et al., JGR, 2010



Rishbeth, PSS, 1992



- **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**
  CO_2の量：200%増
  ⇒電離圏電子密度:5%増

1. はじめに

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

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

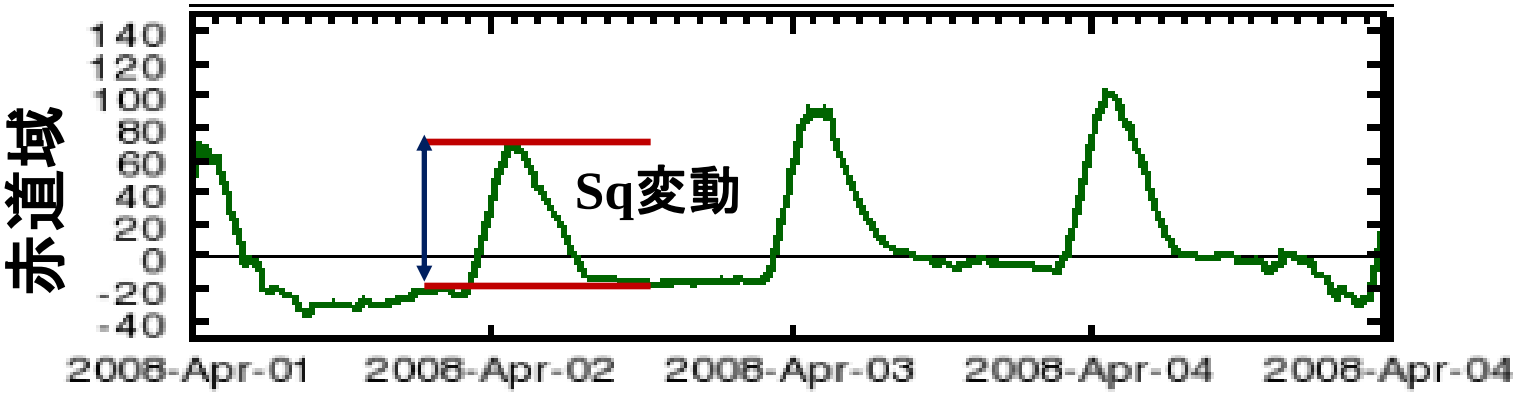
熱圏下部中性風(1日平均値) :京大RISH

2.2 地磁気静穏日とSq振幅の同定方法

〇地磁気静穏日: **Kp指数の1日の最大値が4未満**

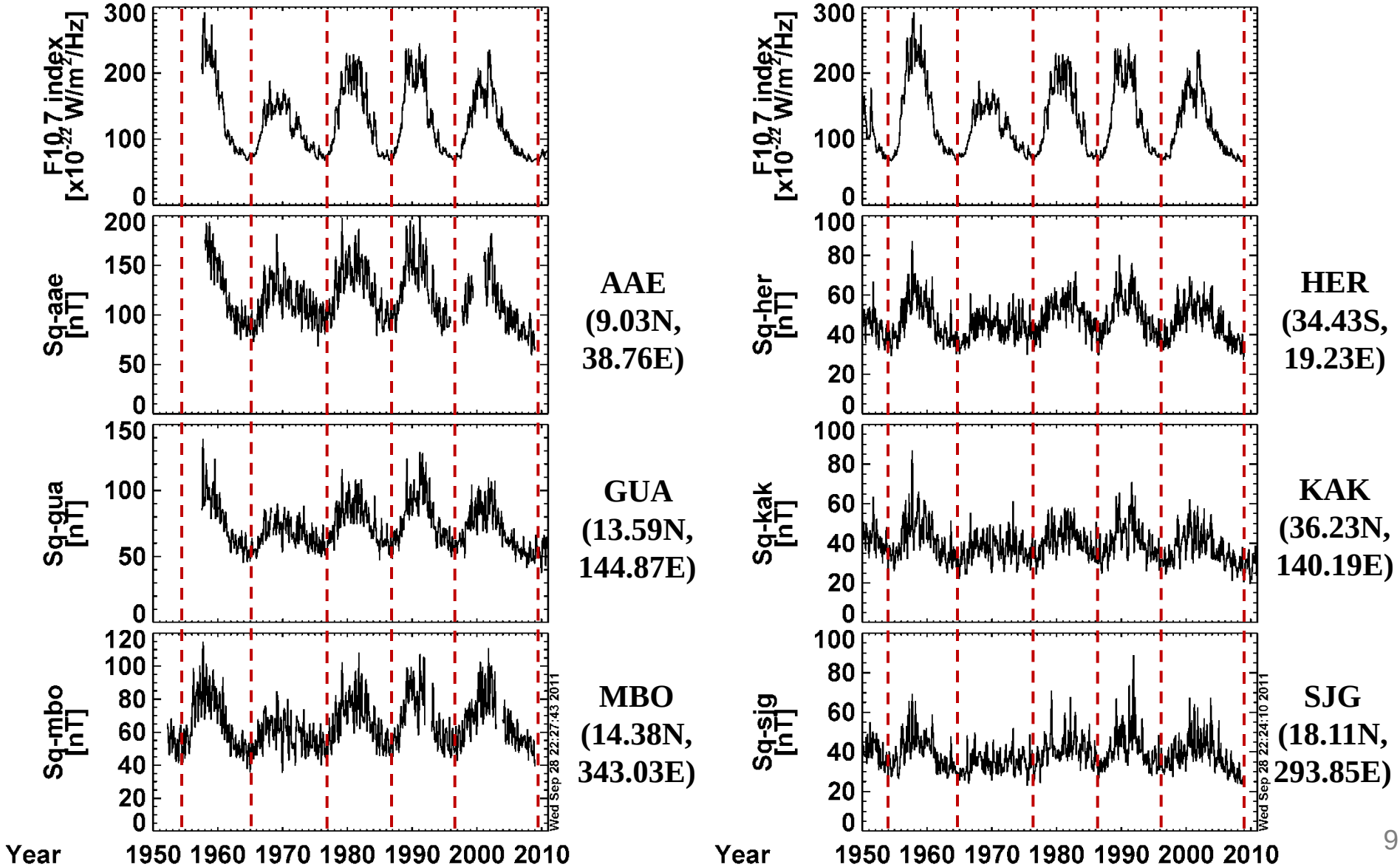
〇 Sq振幅:1日の変化の最大と最小の差を**1月平均値**

〇太陽活動依存性の除去:**2次回帰曲線からのずれを計算**



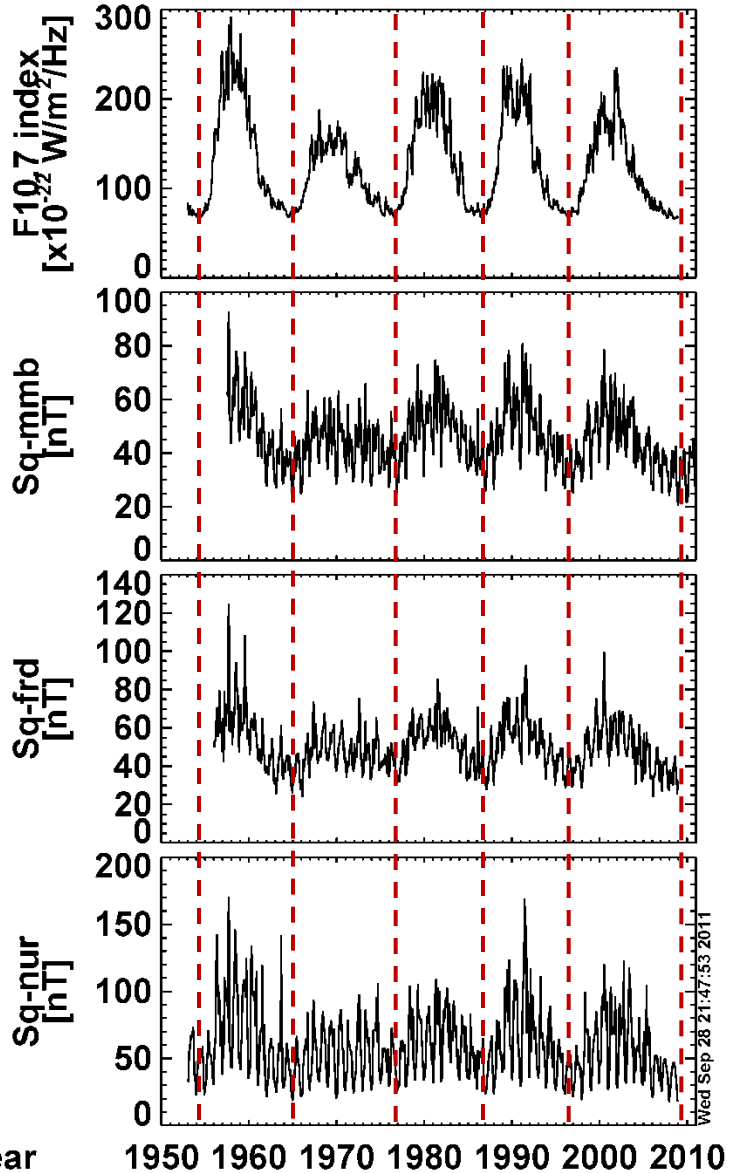
3. 解析結果

3.1 Sq場の振幅の太陽活動依存性(赤道域、低緯度)



3. 解析結果

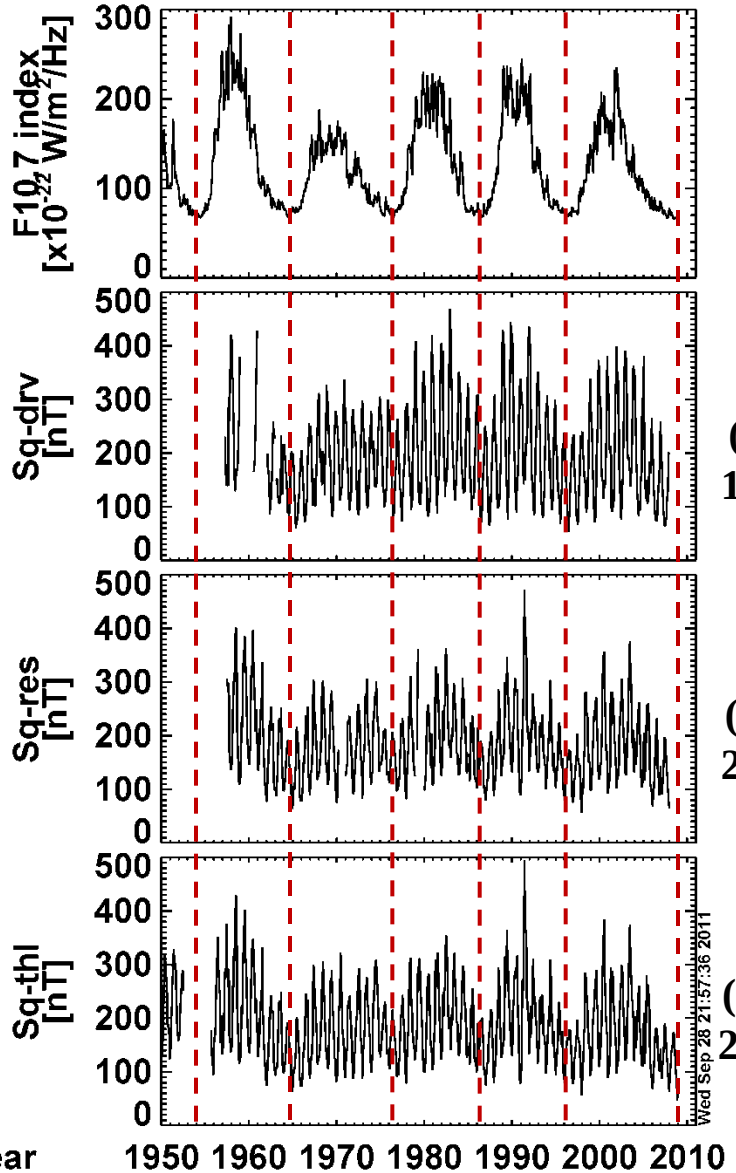
3.2 Sq場の振幅の太陽活動依存性(中緯度、高緯度)



MMB (43.91N, 144.18E)

FRD (38.20N, 282.63E)

NUR (60.50N, 24.65E)



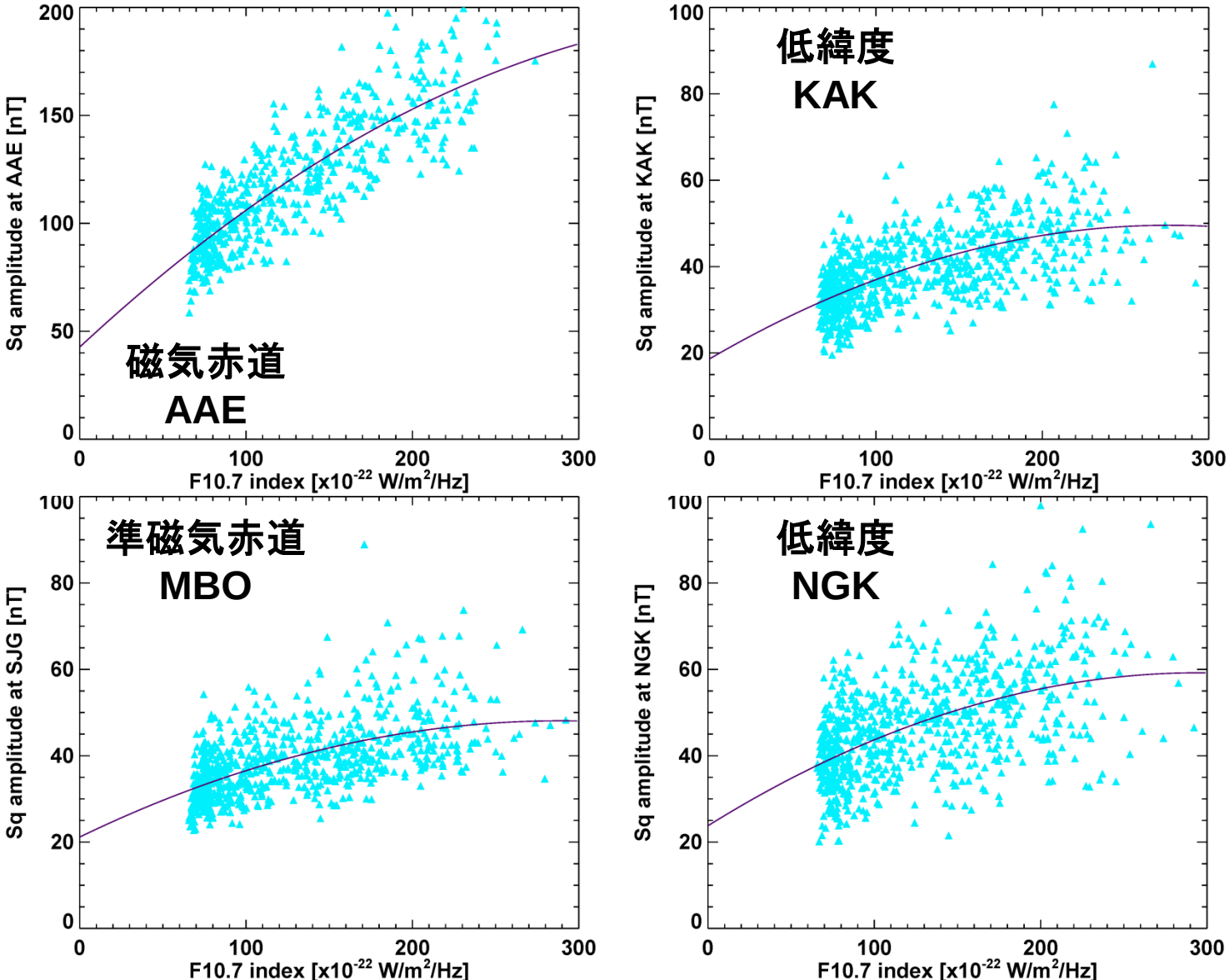
DRV (66.66S, 140.00E)

RES (74.69N, 265.10E)

THL (77.48N, 290.83E)

3. 解析結果

3.3 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

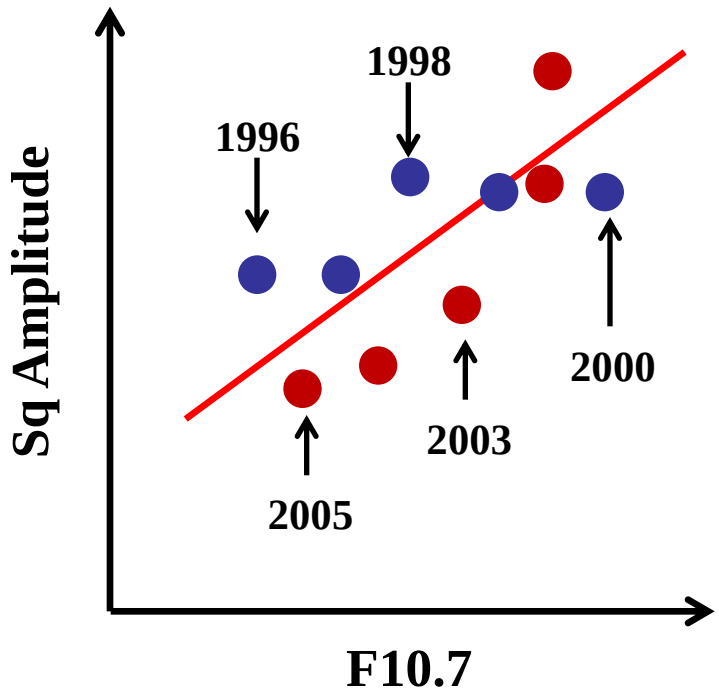
1ヶ月平均

線型関係になく、上に凸型をした2次曲線の関係

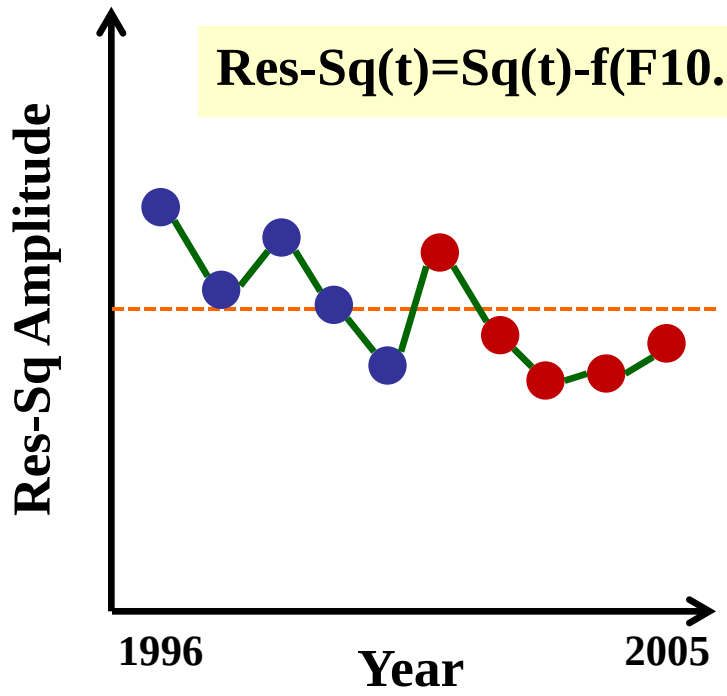
3. 解析結果

3.4 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



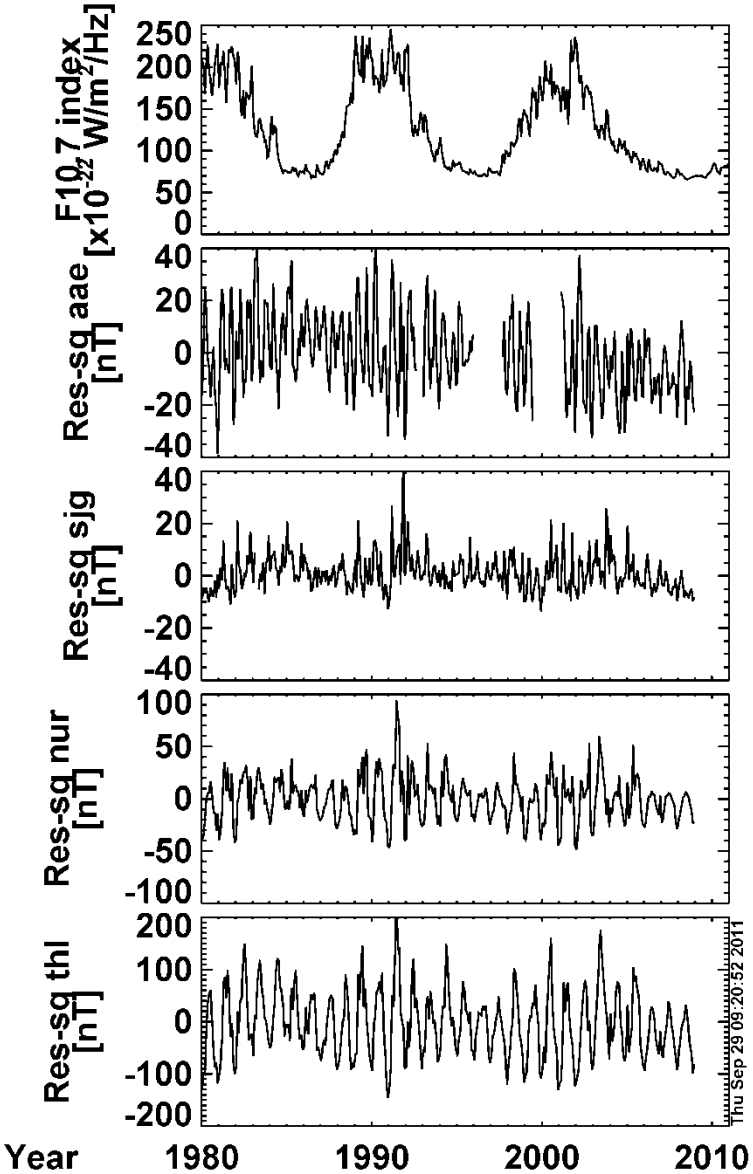
太陽活動に依存する成分を除去

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. 解析結果

3.5Res-Sq場の振幅の長期変動(赤道域-高緯度)



AAE (9.03N, 38.76E)

SJG (18.11N, 293.85E)

NUR (60.50N, 24.65E)

THL (77.48N, 290.83E)

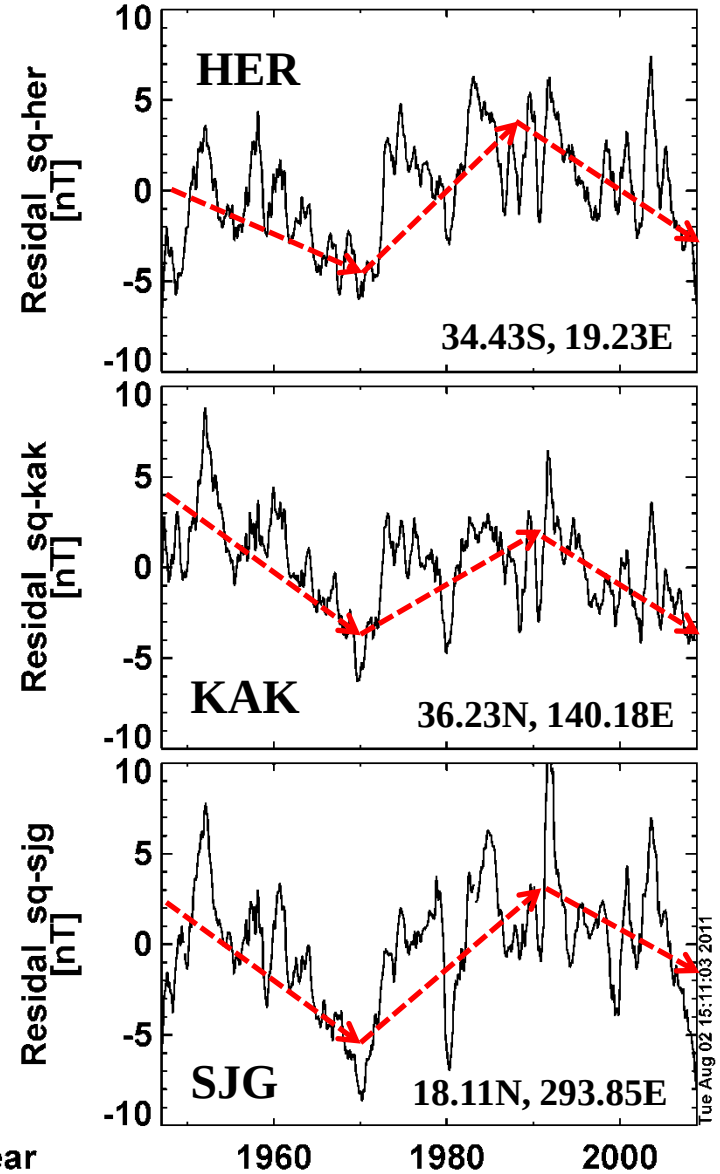
1. 赤道域・低緯度域
   半年周期変動が卓越
2. 中緯度・高緯度域
   1年周期変動が卓越
3. 各領域で共通な特徴
   季節変化の振幅が太陽活動極大期に大きくなる

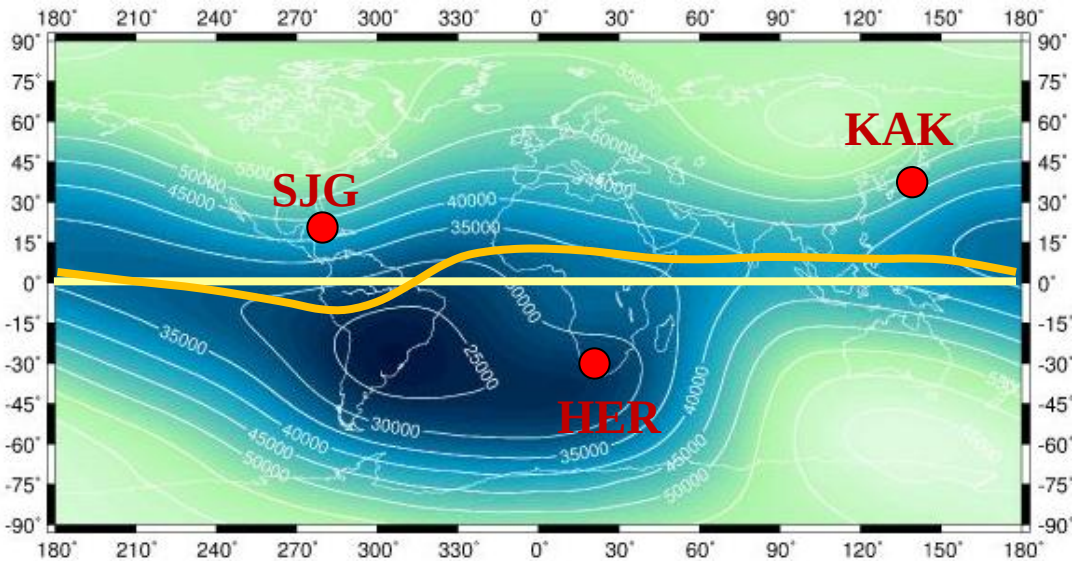
極域Sqp変動(R-1電流系)の季節変動は、太陽活動極小期に小さくなる傾向。

太陽風の長期的な変動の情報も存在？

3. 解析結果

3.6 Res-Sq場の振幅の長期変動(低緯度)





Station map

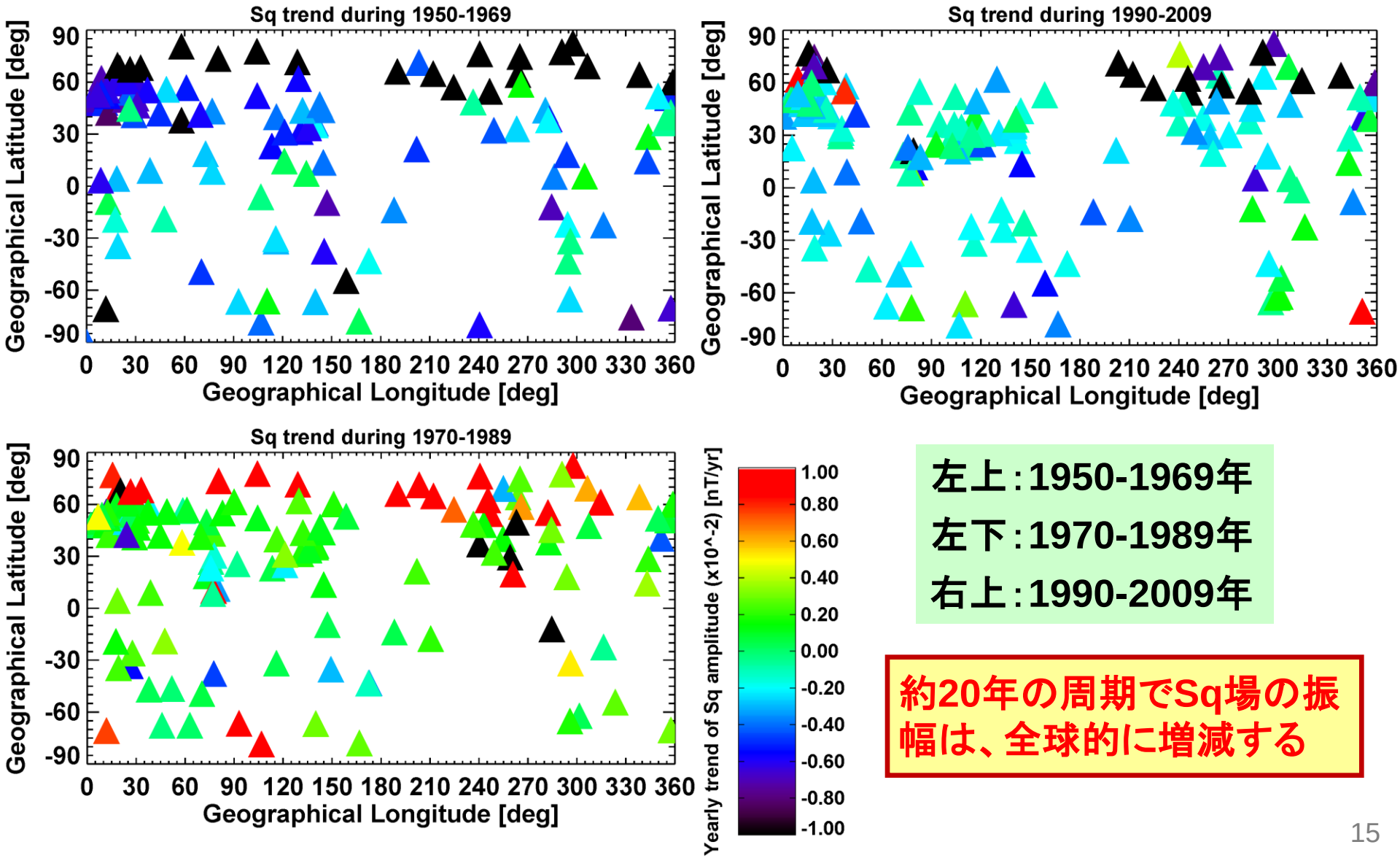
○低緯度域のresidual-Sq場の振幅は、各観測点で増加・減少する期間がほぼ同期する

⇒グローバルな現象

○特に、1970年代で振幅が減少する

3. 解析結果

3.7 Res-Sq場の振幅の経年変化(地理分布)

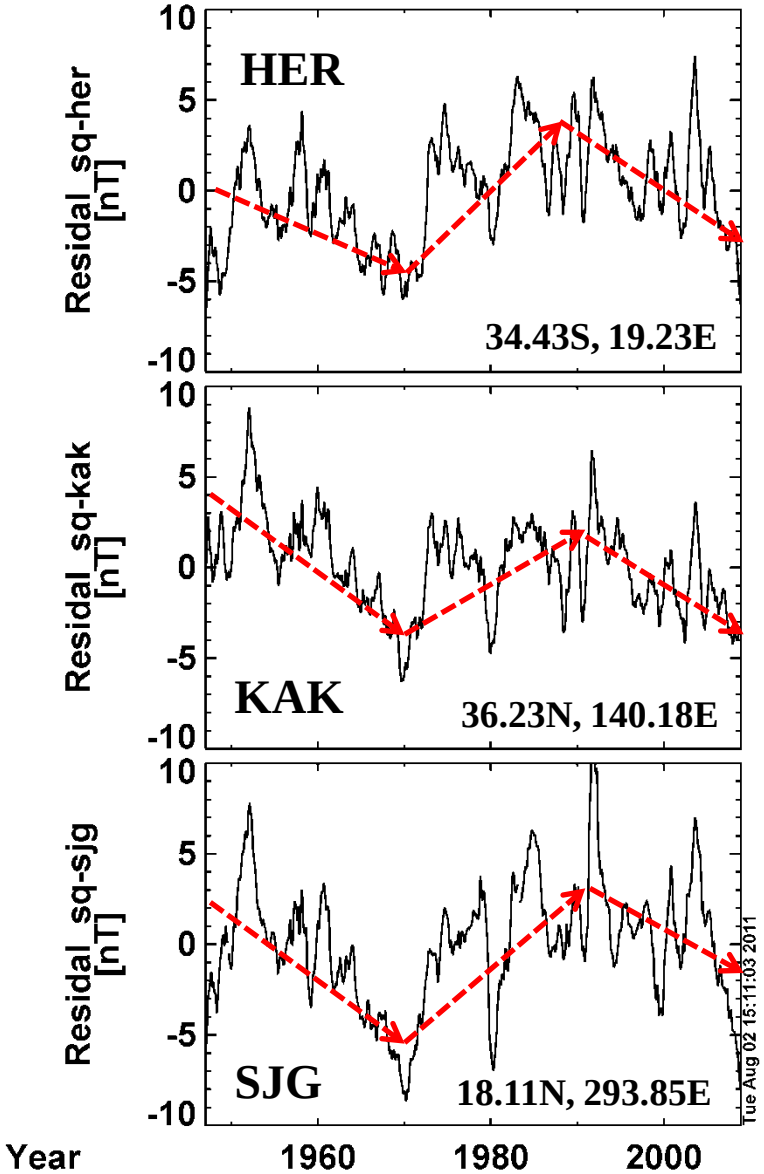


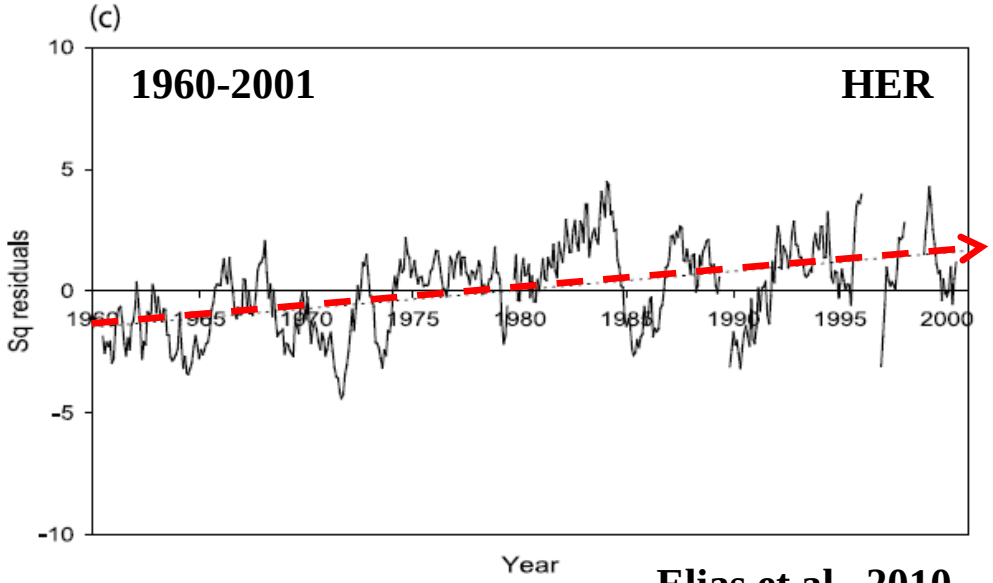
左上：1950-1969年
左下：1970-1989年
右上：1990-2009年

約20年の周期でSq場の振幅は、全球的に増減する

4. 考察

4.1 これまでの研究結果との比較





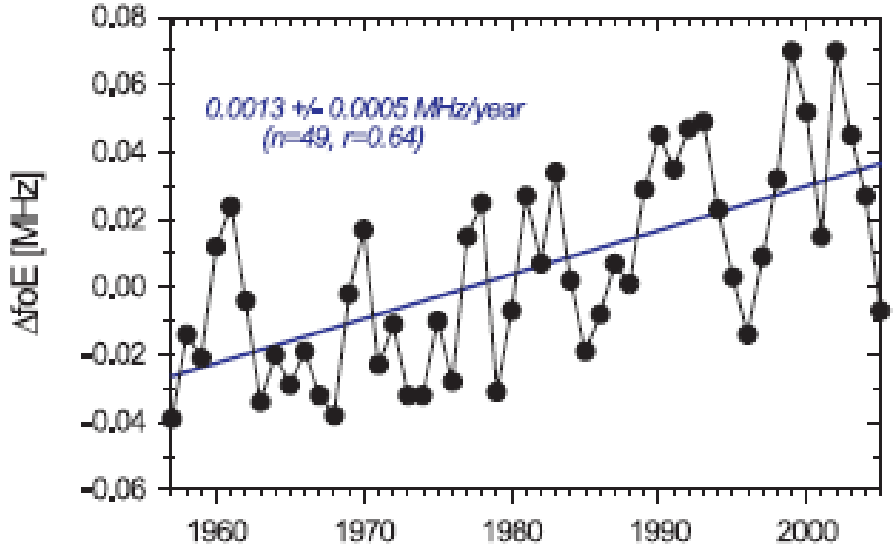
Elias et al., 2010

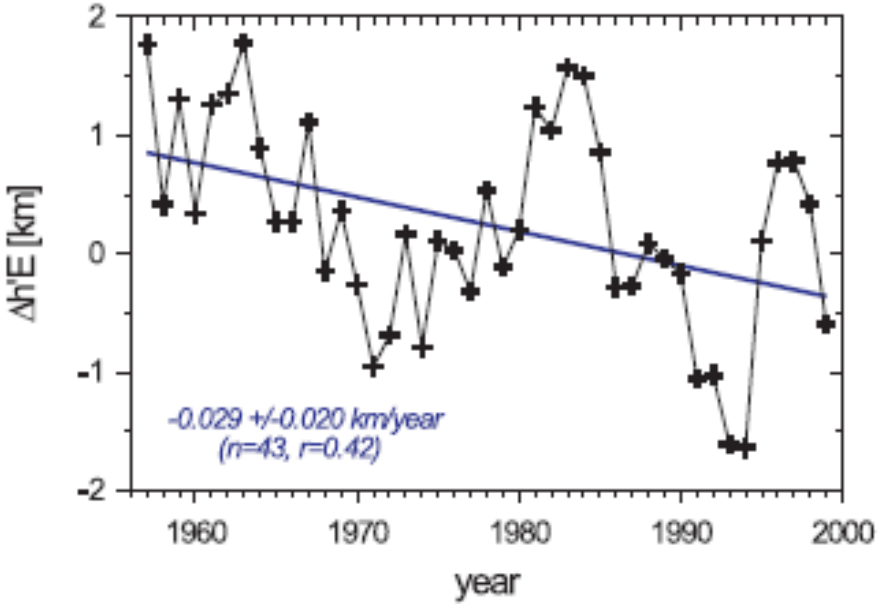
○Sq場の振幅の経年変動は、単純に増加傾向ではなく、20年ごとに増加・減少を示す。

○Elias et al. [2010]で報告されているような地球温暖化によるトレンドは、解析期間の延長と手法の違いによって見えなくなる?

4. 考察

4.2 電離圏E領域の長期変動





グローバルに分布しているイオノゾンデ観測点から得られたΔfoEとΔh'Eの長期トレンド。[Bremer, 2008]。

ΔfoEは、77の観測地点から、Δh'Eは、33の観測地点からの平均値を表す。

○ΔfoEの増加から電離圏E領域の電子密度は、増加傾向にある

○Δh'Eの減少から電子密度が最大となる高度は、降下する傾向にある

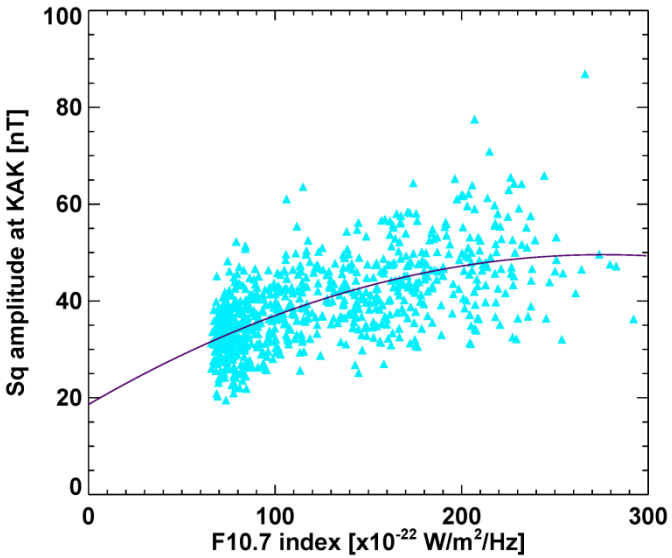
⇒超高層大気の長期変動を反映

○Sq場の振幅の経年変動とは異なる変動であり、熱圏領域の中性風に長期的な変動が存在？

4. 考察

4.3 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

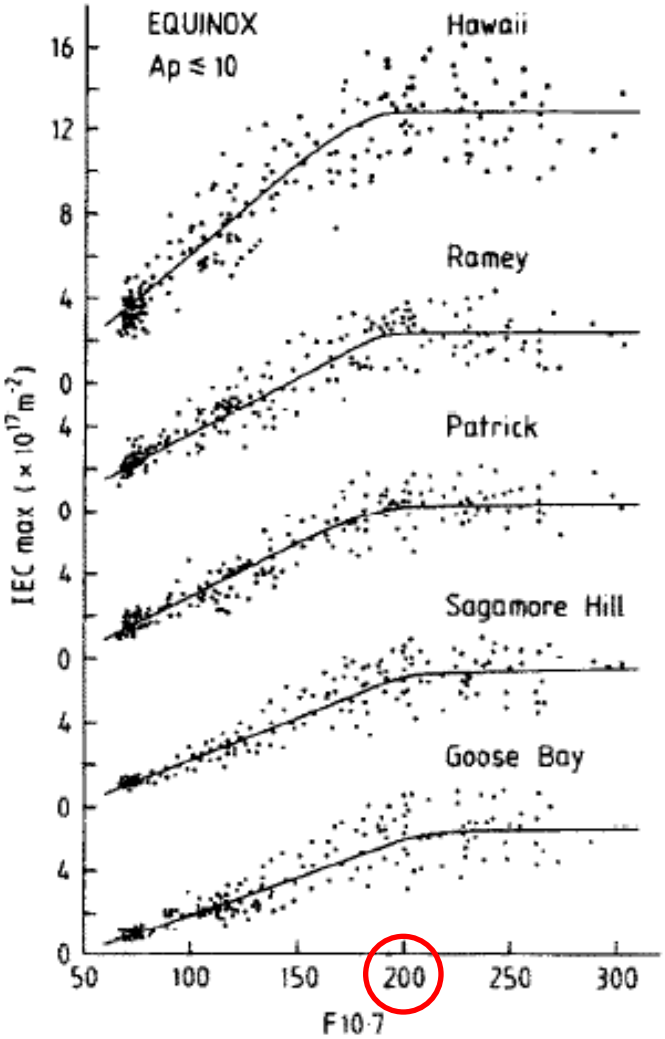
200以上では飽和状態

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??

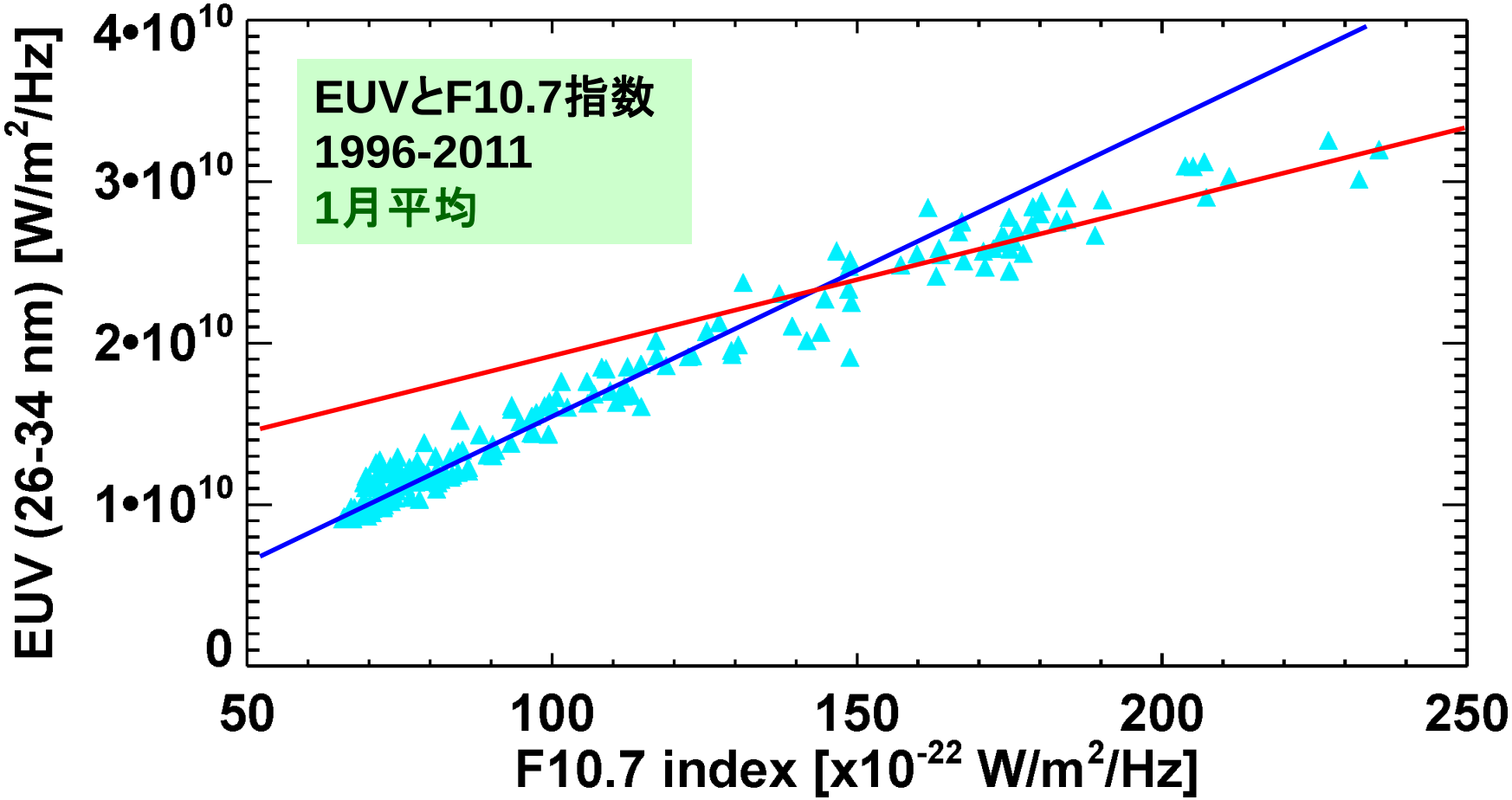
（F10.7⇔EUV Nonlinear relationship）

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



4. 考察

4.4 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？

5. 結論

〇1947-2010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40年の周期？で増加・減少する。

3. 2と同様の傾向が太陽風駆動の極域Sqp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

6. 今後の方針

〇今後の方針:

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

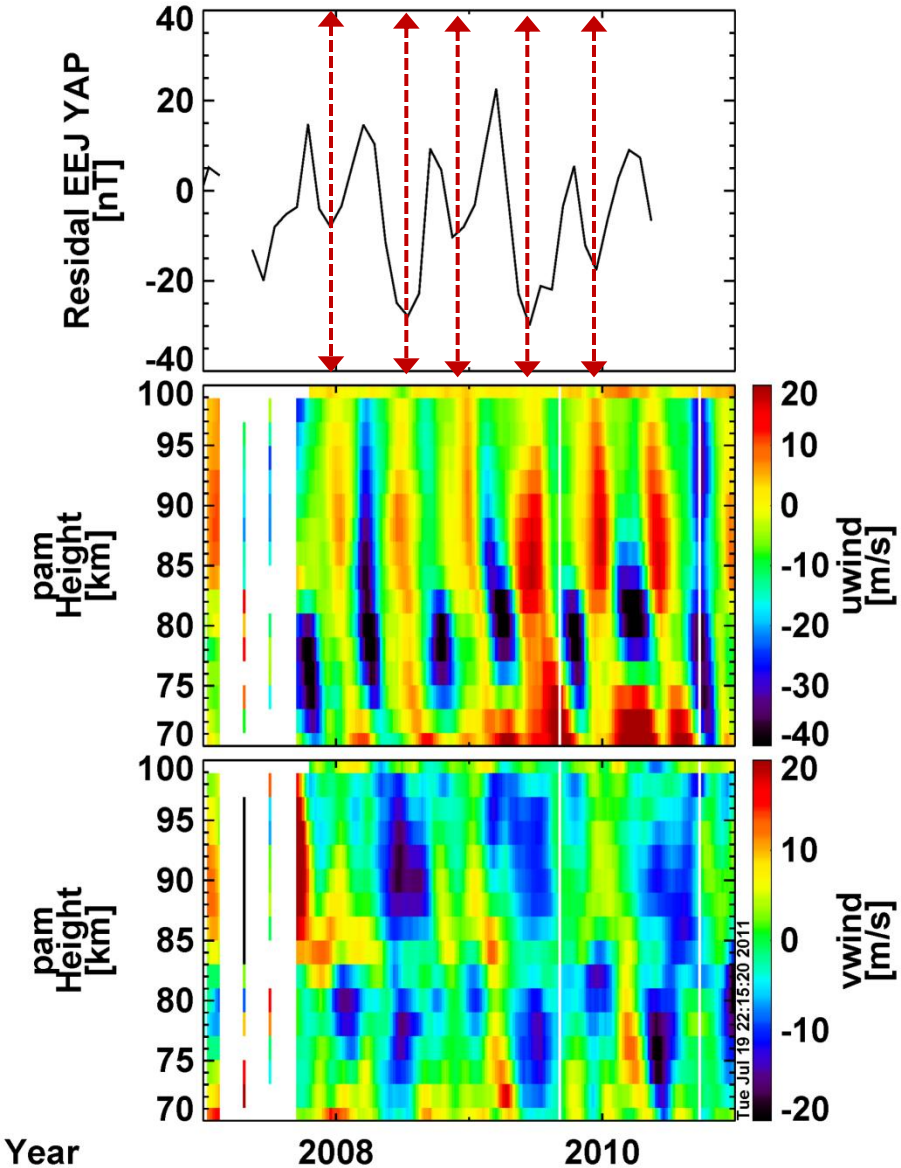
電離圏電気伝導度モデル値との相関解析を行い、背景磁場の減少・増加に伴うSq場の振幅変動を取り除き、超高層大気の長期変動の寄与を定量的に評価する

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

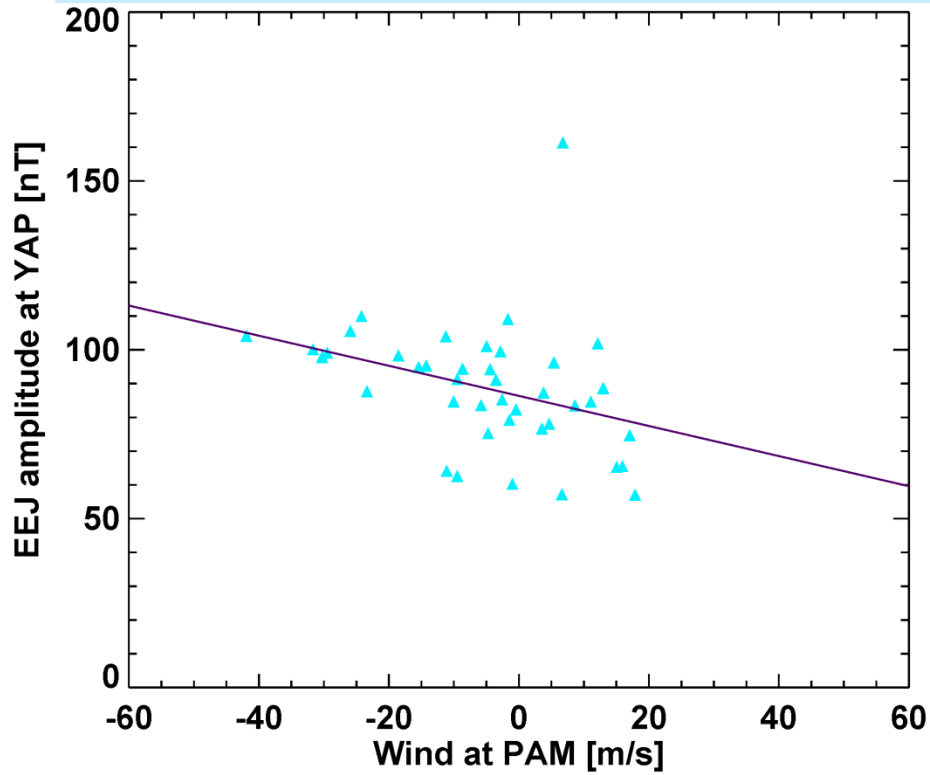
6.今後の方針

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>

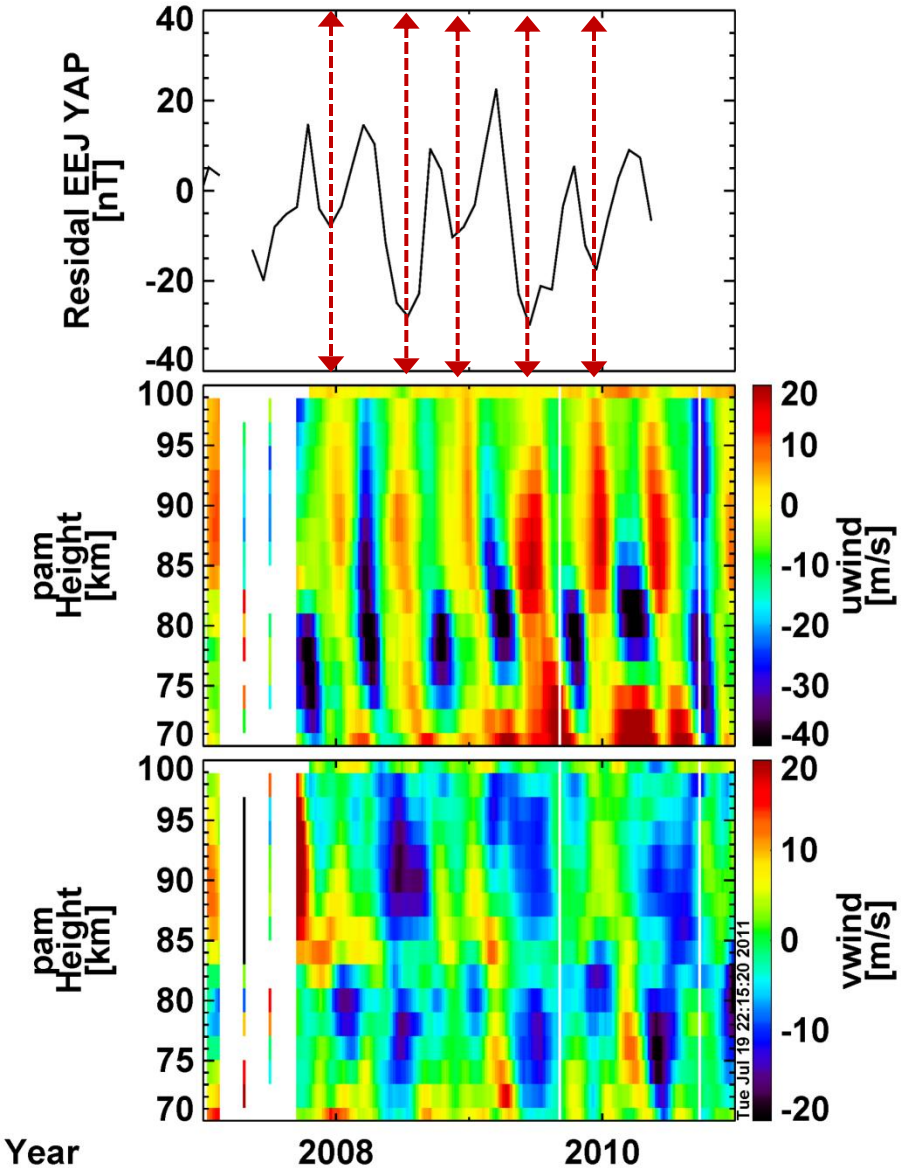
阿部・新堀・池田・林・津田・湯元



パムンプク上空の高度96kmの東西風とYAPの赤道ジェット電流との相関関係

6.今後の方針

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