IUGONET

Metadata DB for Upper Atmosphere

JPGU2011 2011/05/22-05/27

宇宙天気セッション

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

IUGONET観測データに基づく地磁気静穏日変化と熱圏風の長期変動について

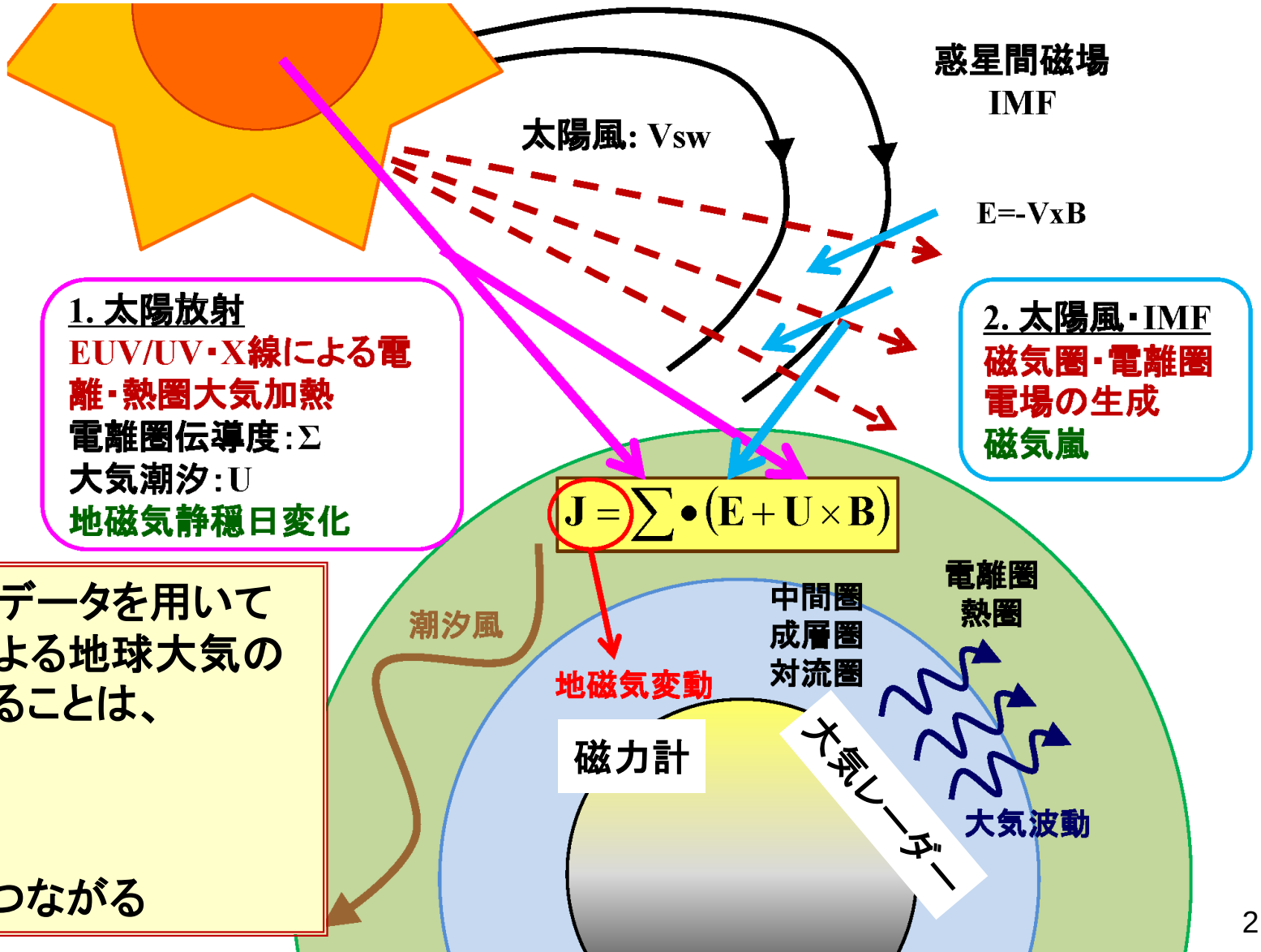
新堀 淳樹[1]・小山 幸伸[2]・林 寛生[1]・能勢 正仁[2]・津田 敏隆[1]・IUGONET プロジェクトチーム

[1]京都大学生存圏研究所

[2]京都大学地磁気センター

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、

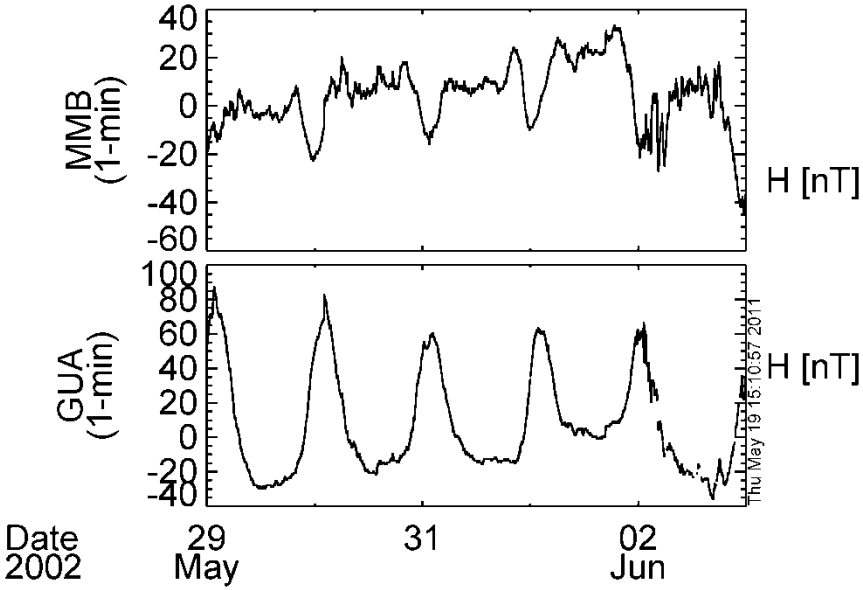
○気候変動

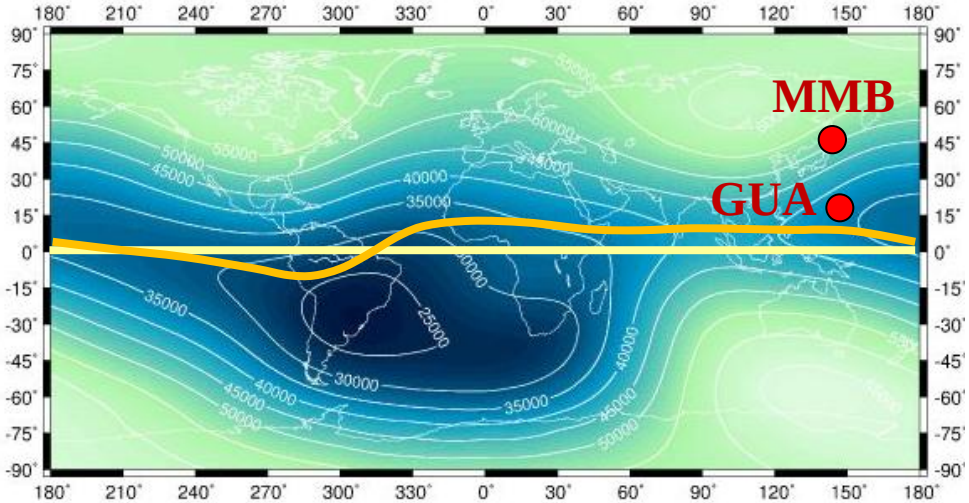
○惑星大気

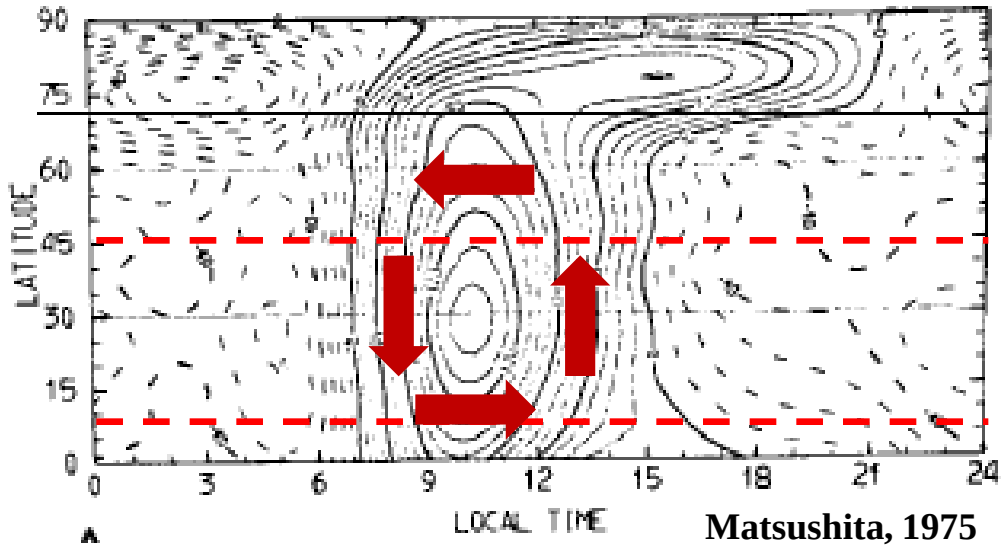
の理解へとつながる

1. はじめに

1.2 地磁気日変化







Matsushita, 1975

擾乱の少ない磁気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. 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

1.5 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

⇒多数の観測点ではどうか、グローバルな観点からどうみえるか？

○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)

○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

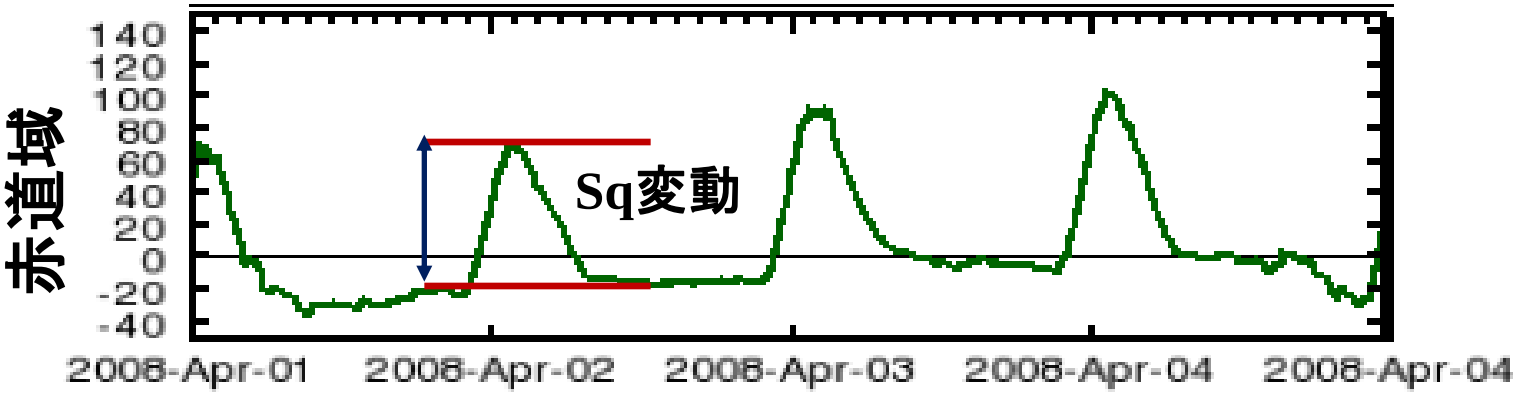
熱圏下部中性風(1日平均値) :京大RISH

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**

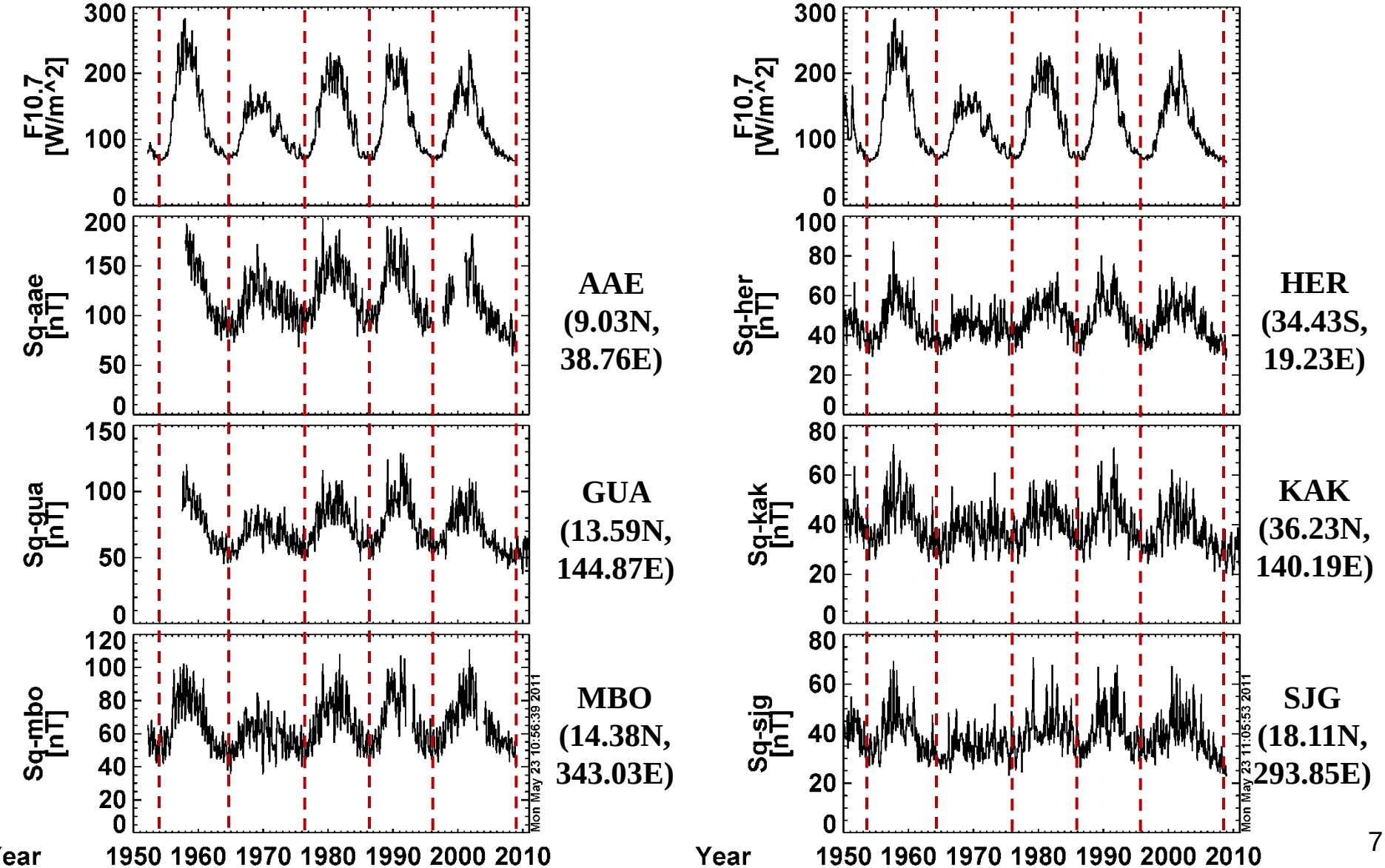
〇 Sq振幅:1日の変化の最大と最小の差を**1月平均値**

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**



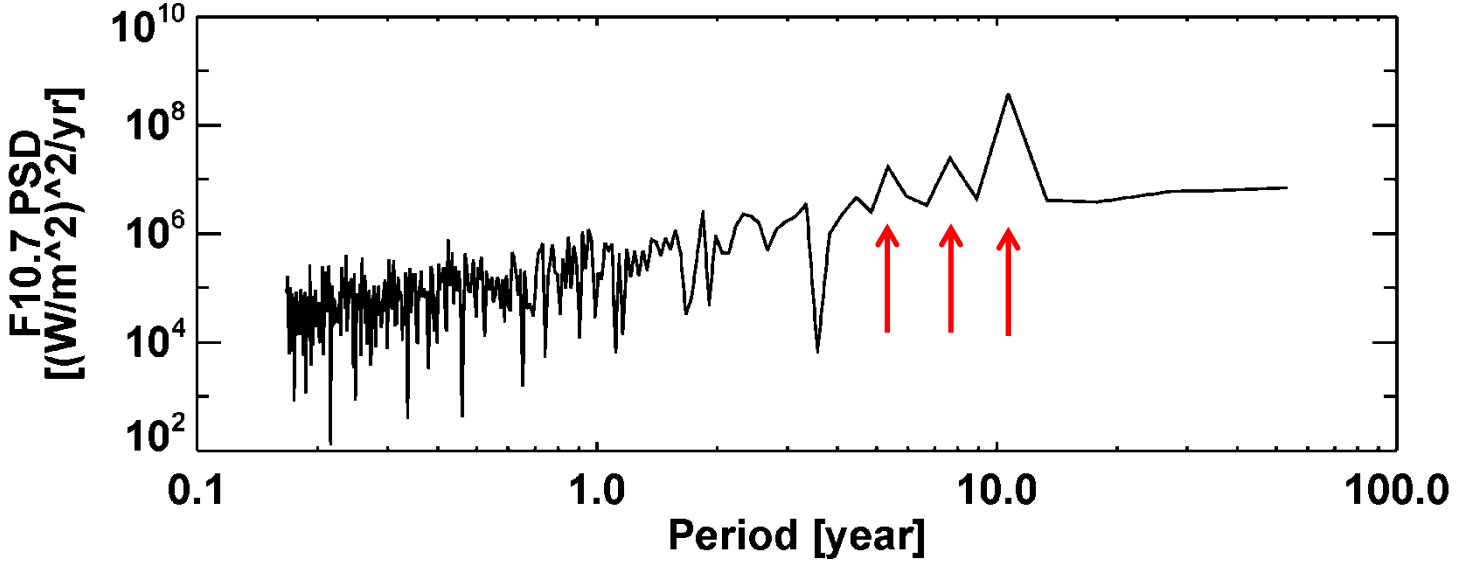
3. 解析結果

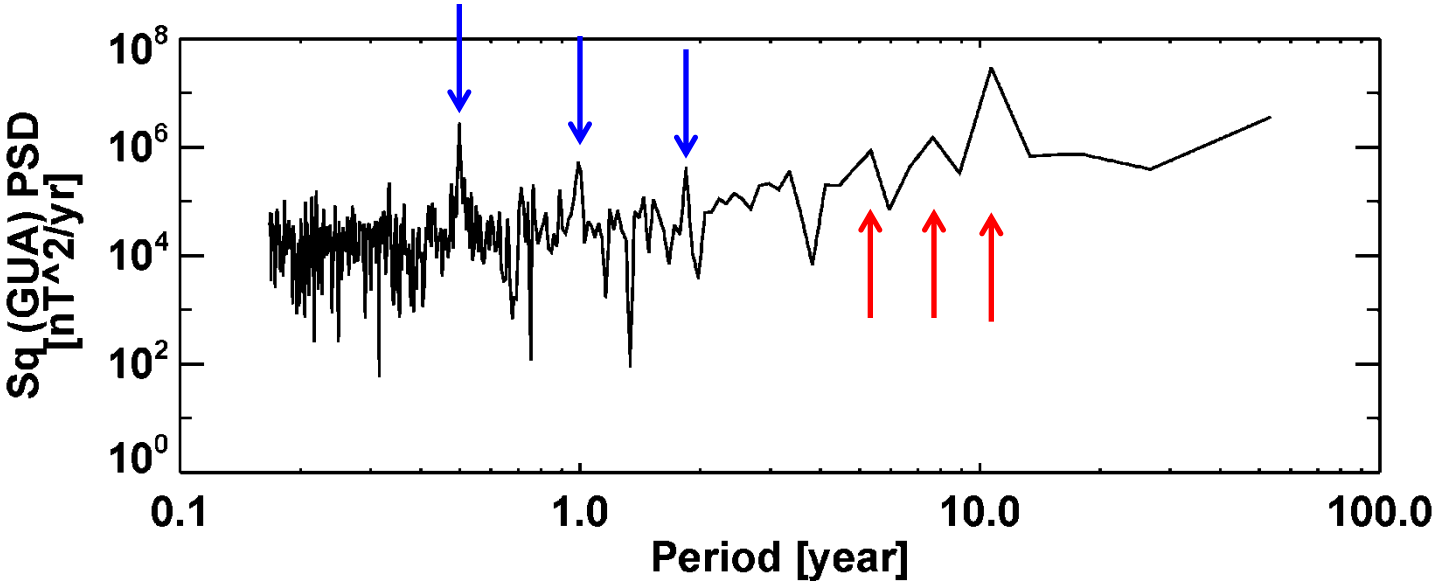
3.1 Sq場の振幅の太陽活動依存性(赤道域、低緯度)



3. 解析結果

3.2 F10.7とSq場(赤道域)の周波数解析





赤色の矢印

太陽活動による変動

(5.2, 7.5, 10.5年)

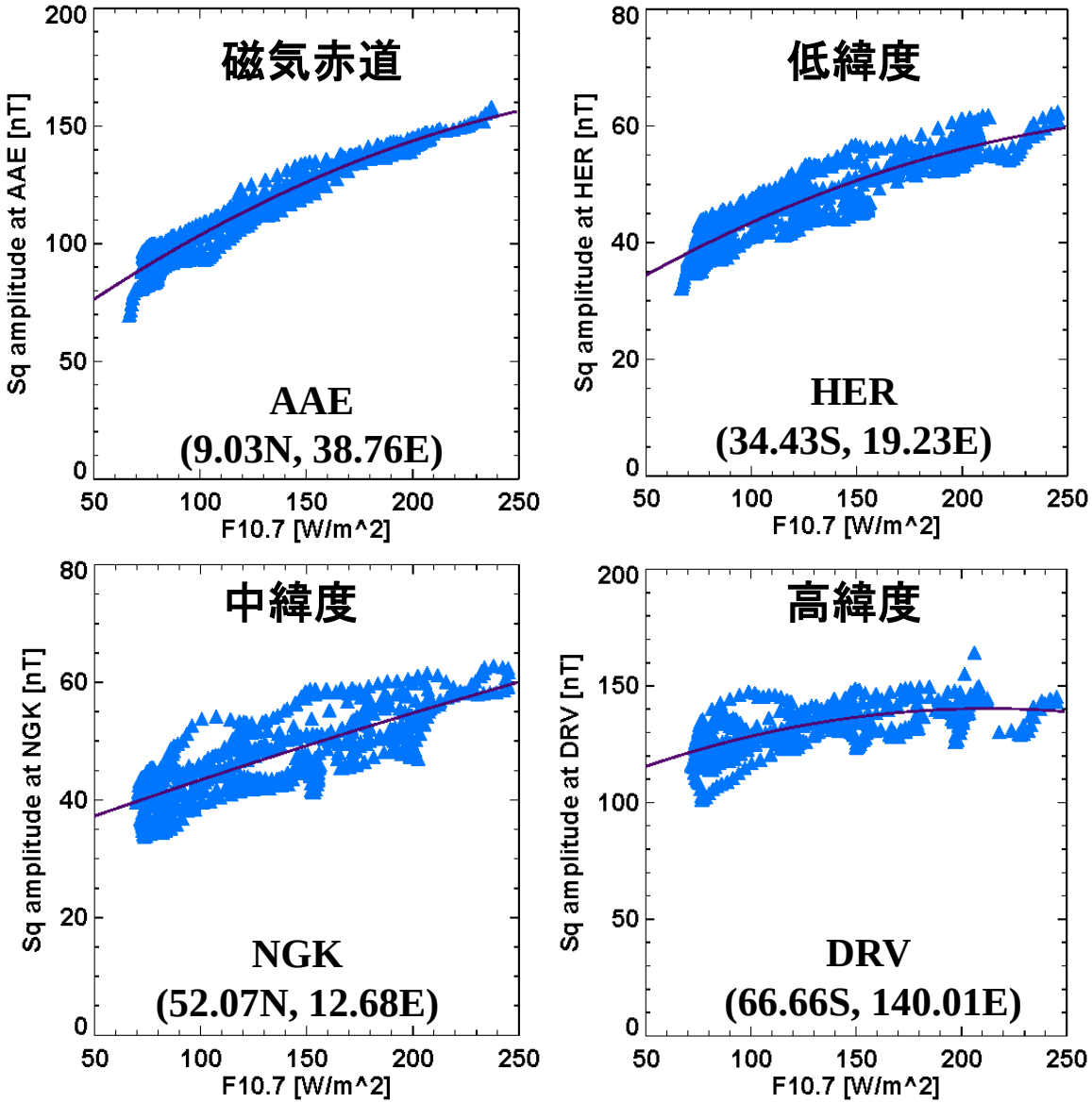
青色の矢印

地球側の変動

(0.5, 1.0, 1.8年)

3. 解析結果

3.3 Sq場の振幅と太陽F10.7フラックスとの対応関係



Sq場の振幅とF10.7フラックスのデータ

1年の移動平均

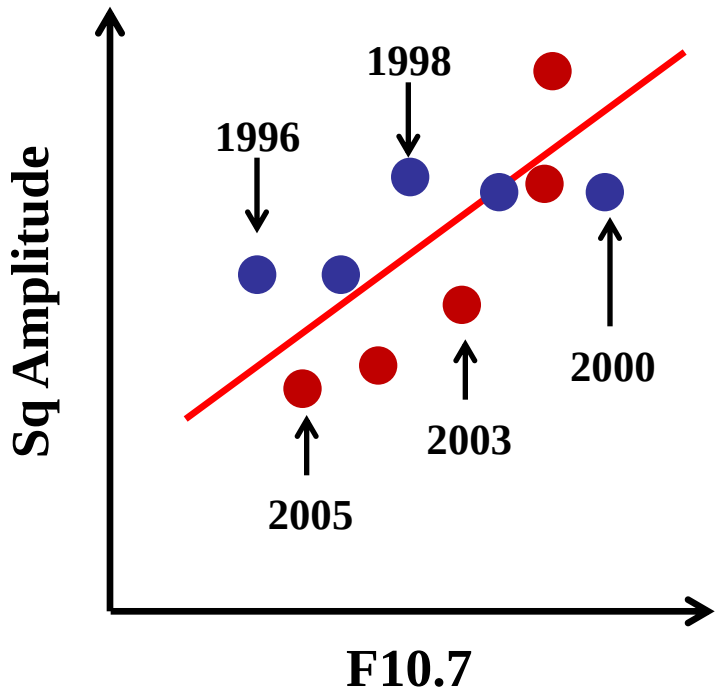
Sq場の振幅とF10.7フラックスとの間の関係は、線型関係になく、上に凸型をした2次曲線の関係にある

⇒緯度によってその変化の仕方が異なる

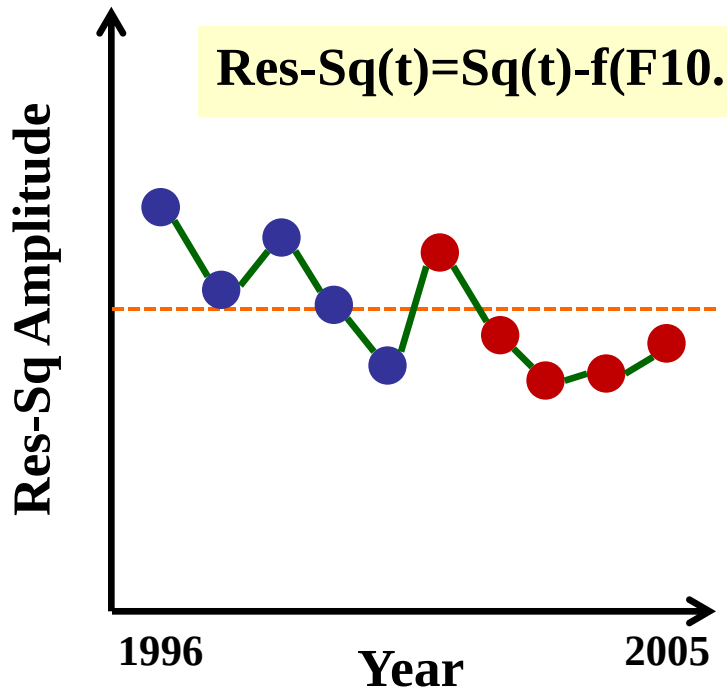
3. 解析結果

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



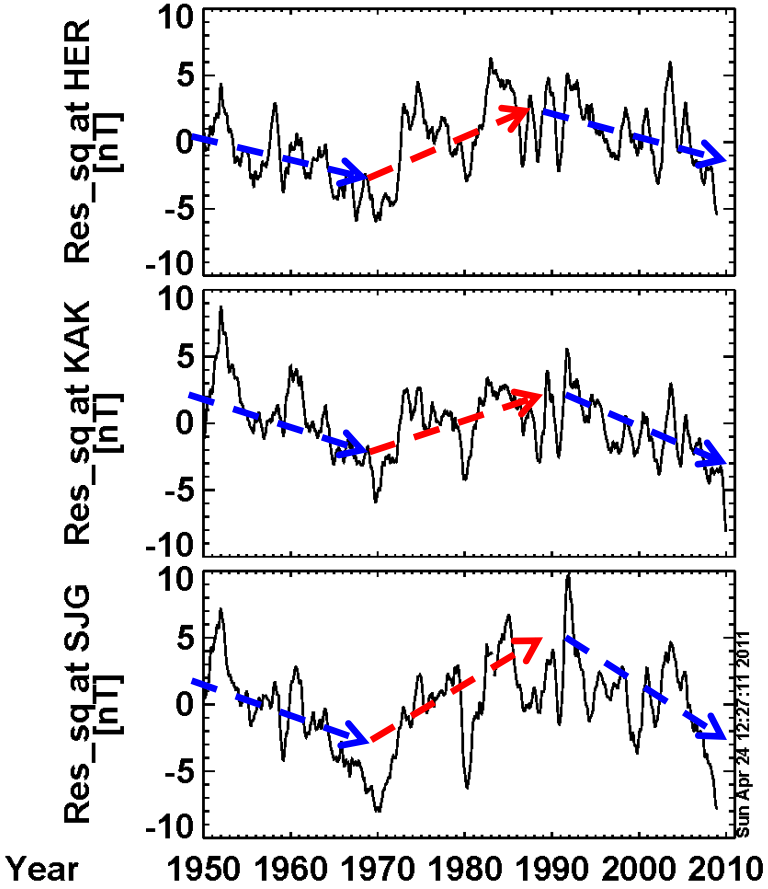
太陽活動に依存する成分を除去

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

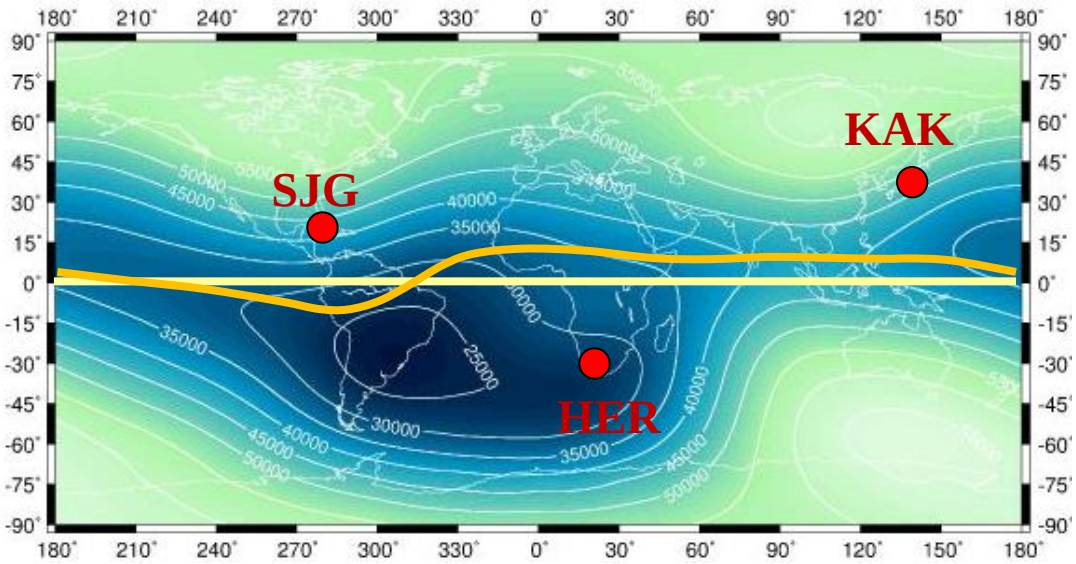
3.5 太陽活動成分を差し引いたSq場の長期変動(低緯度)



上段：HER (34.43S, 19.23E)

中段：KAK (36.23N, 140.19E)

下段：SJG (18.11N, 293.85E)



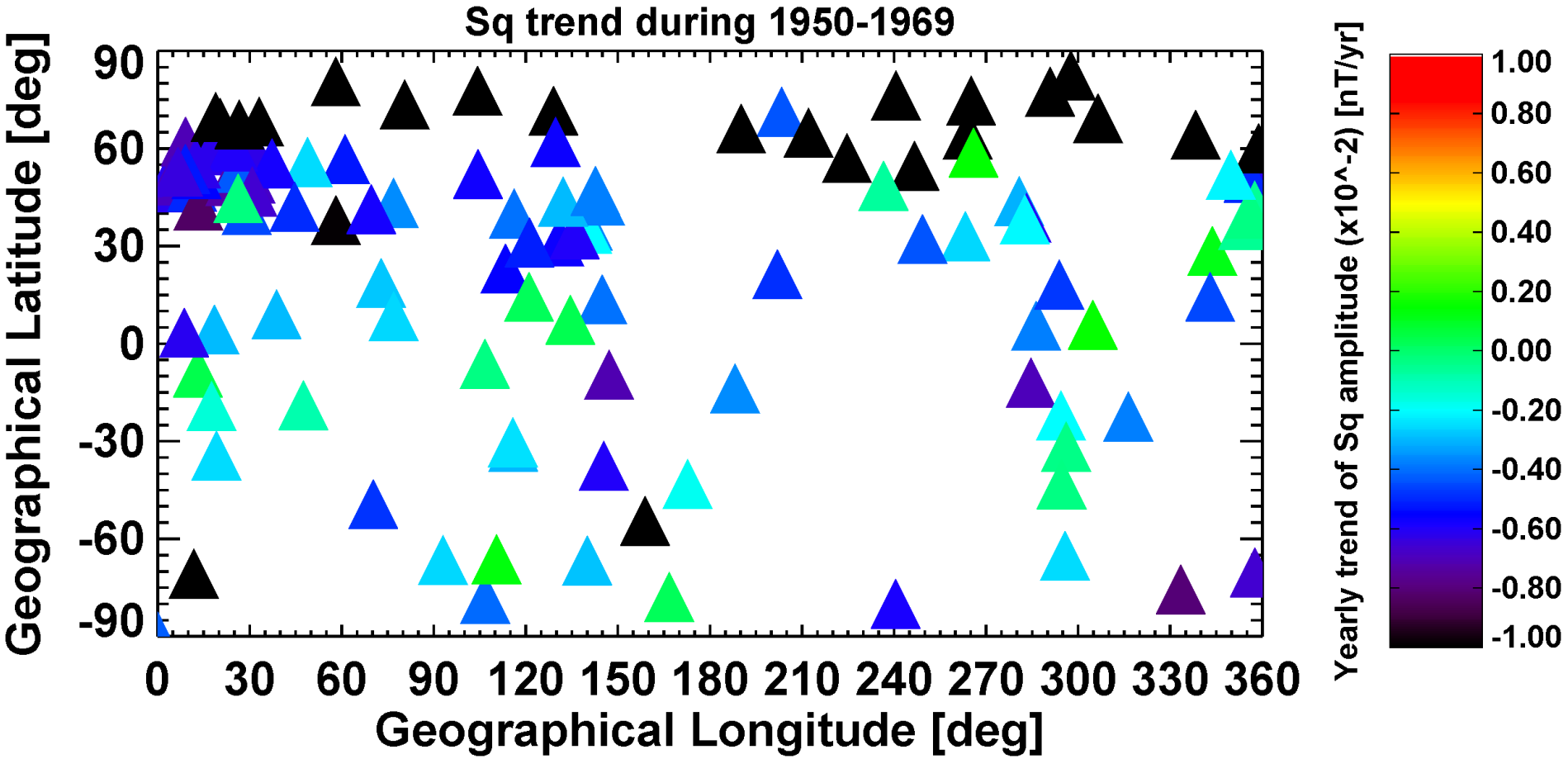
Station map

○低緯度域のresidual-Sq場の振幅は、各観測点ともに増加する期間と減少する期間がほぼ同期している

○このような増加と減少の傾向は、極域、中・低緯度及び赤道域にわたる広範な領域で現れていることが予想される

3. 解析結果

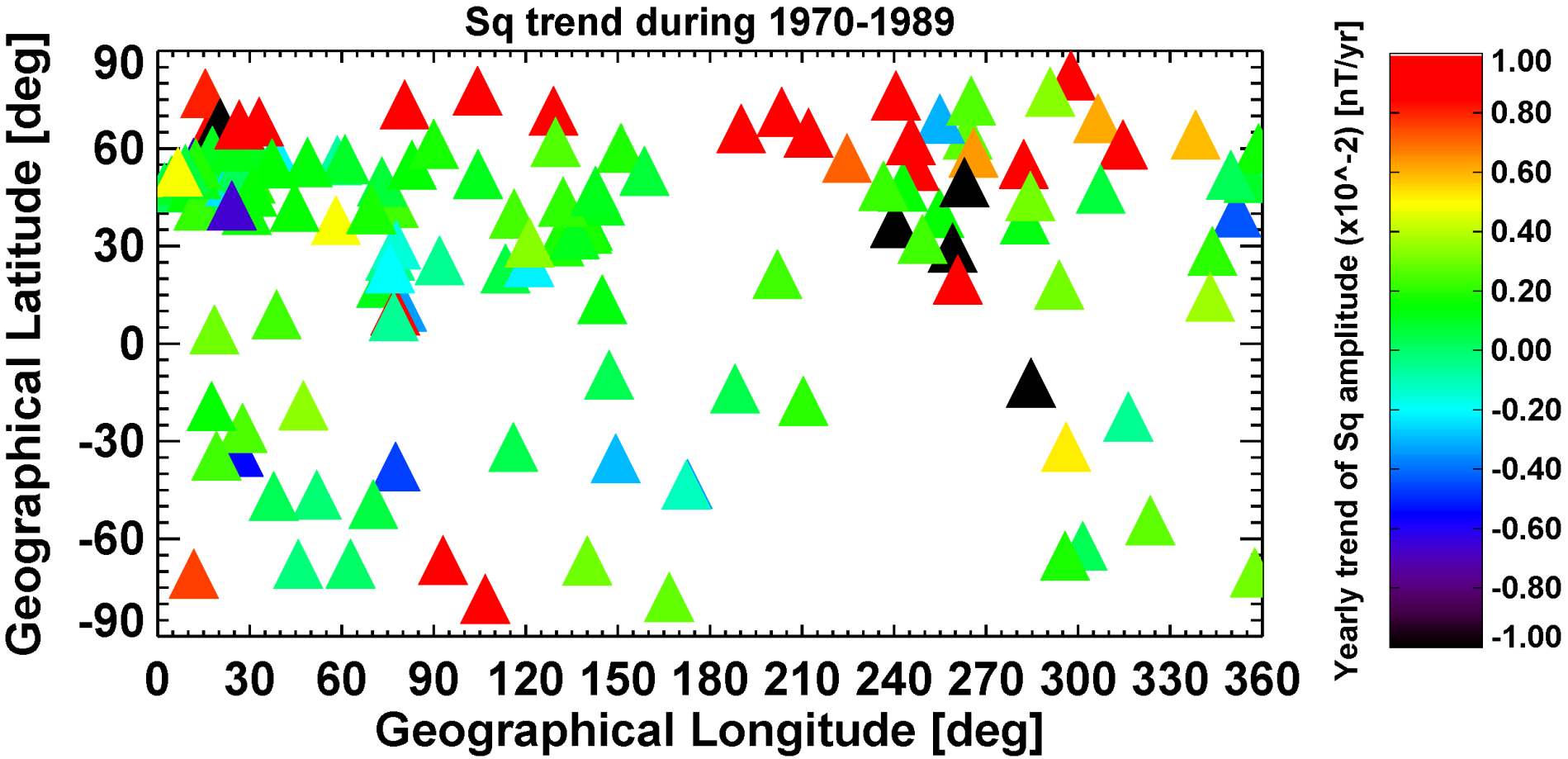
3.6 Sq場の振幅の長期変動(地理分布)



1950年から1969年までの期間では、Sq場の振幅の経年変化は、減少傾向にあり、その傾向は、ほぼ全球的に起こっている

3. 解析結果

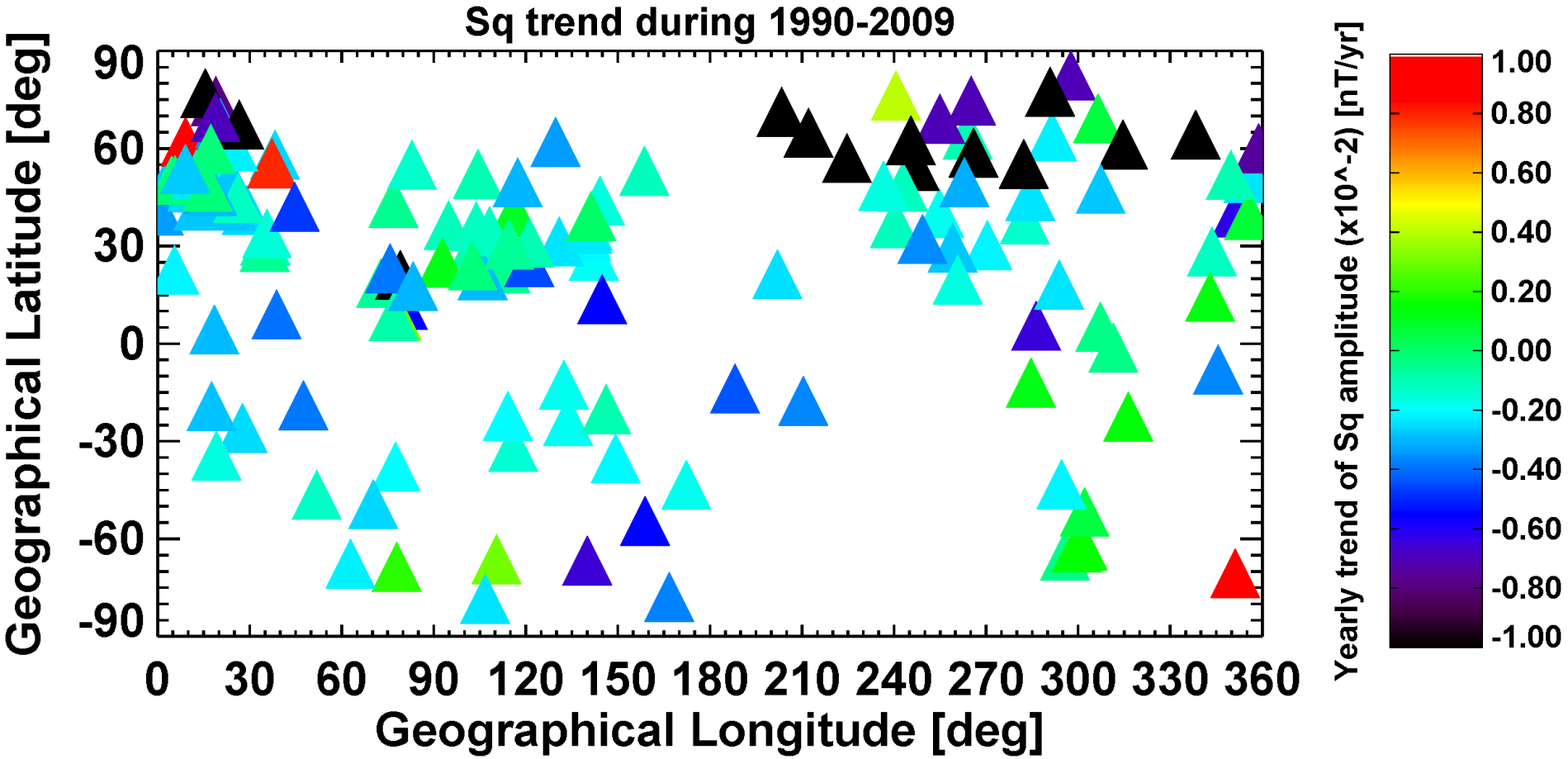
3.7 Sq場の振幅の長期変動(地理分布)



1970年から1989年までの期間では、Sq場の振幅の経年変化は、増加傾向にあり、その傾向は、ほぼ全球的に起こっている

3. 解析結果

3.8 Sq場の振幅の長期変動(地理分布)



1990年から2009年までの期間では、**Sq場の振幅の経年変化は、減少傾向**にあり、その傾向は、ほぼ全球的に起こっている

4. 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. 2と同様の傾向が極域における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。

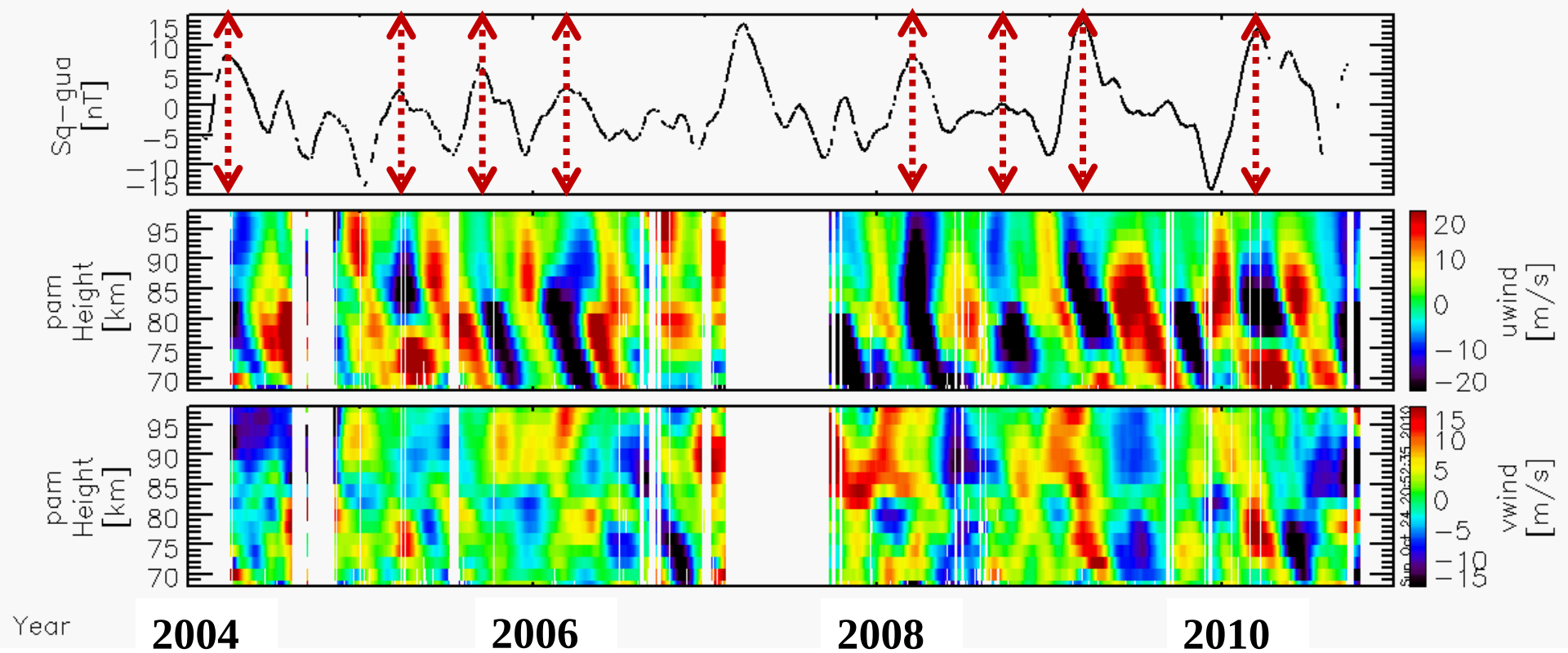
⇒グローバルな地球大気の長期変動を反映?

〇今後の方針:

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。

5. 今後の方針

5.1 赤道ジェット電流と中性風との関係



●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

A. F10.7と電離圏全電子数との関係

F10.7（日平均）=66～303で変動
（黒点数とリニアな関係）

Table 1. IEC stations and subionospheric coordinates

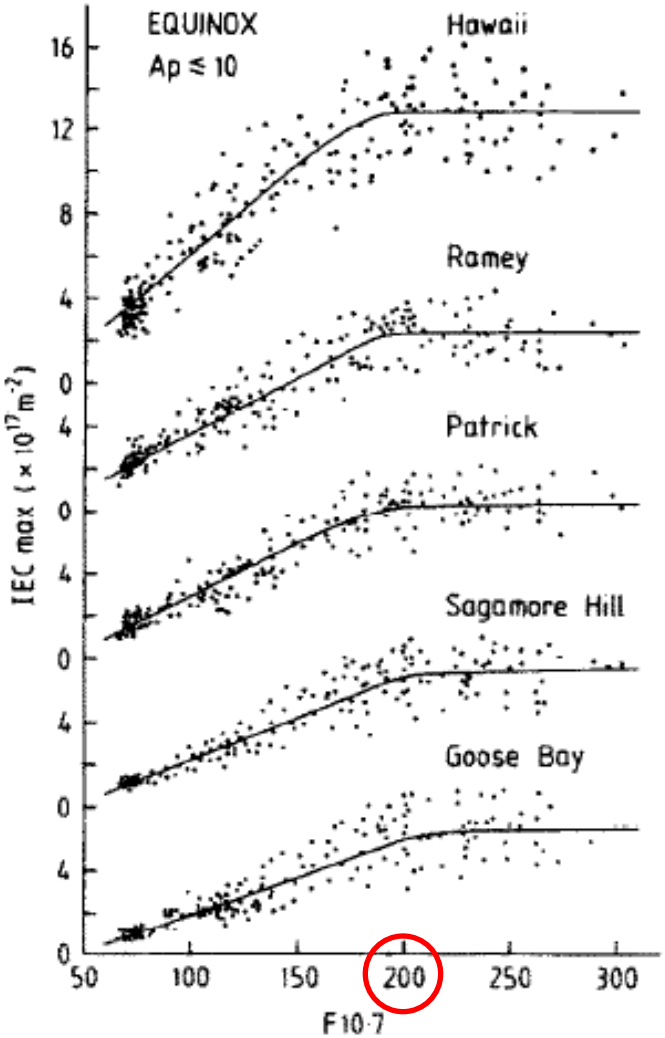
Station	Satellite	Subionospheric coordinates: Geographic latitude (N)	Geographic longitude (E)	Geomagnetic latitude (N)
Hawaii	*GOES*-3	19	206	19.6
Ramey	*GOES*-2	17	289	28.7
Patrick	*GOES*-2	26	276	37.2
Sagamore Hill	*GOES*-2	38	283	50.0
Goose Bay	*GOES*-2	47	286	58.6

電離圏電子数：
F10.7=200くらいまでリニアに増加
200以上ではSaturate

太陽活動が活発な時期では、F10.7はEUV変動を反映しないこと証拠では？
（F10.7⇔EUV Nonlinear relationship）

21太陽周期

1981-1985
(Mar., Apt., Sep., Oct.)

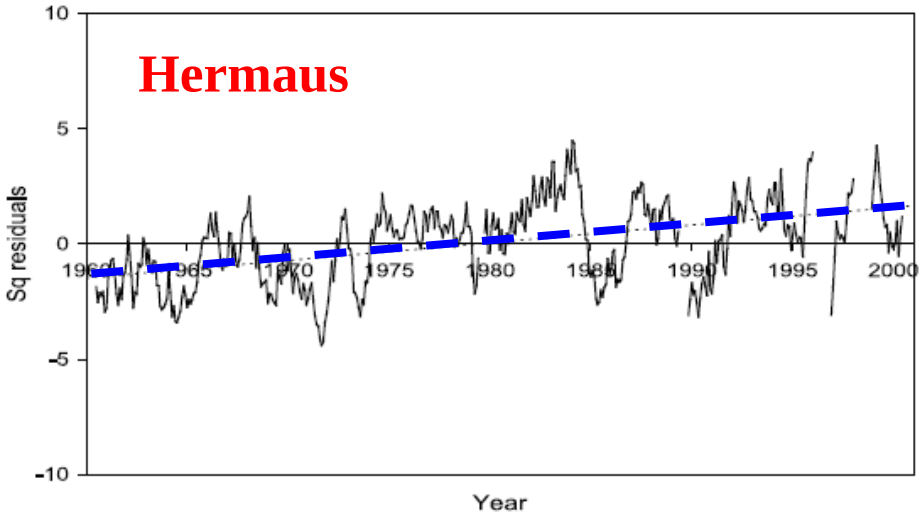


Balan et al., 1993

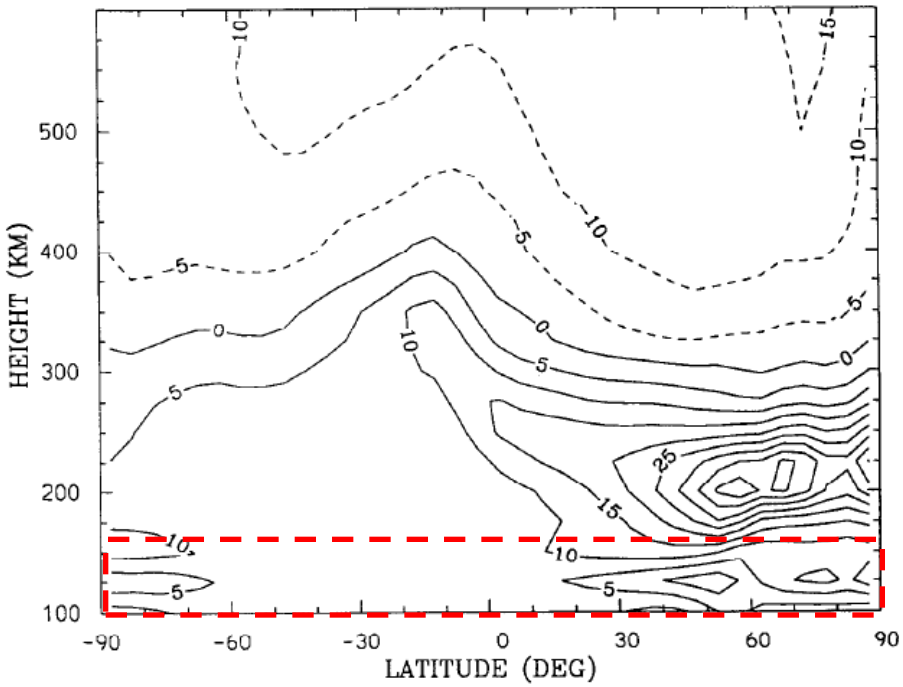
1. はじめに

1.5 これまでの地磁気日変化の長期トレンドの研究

Elias et al., JGR, 2010



Rishbeth, PSS, 1992

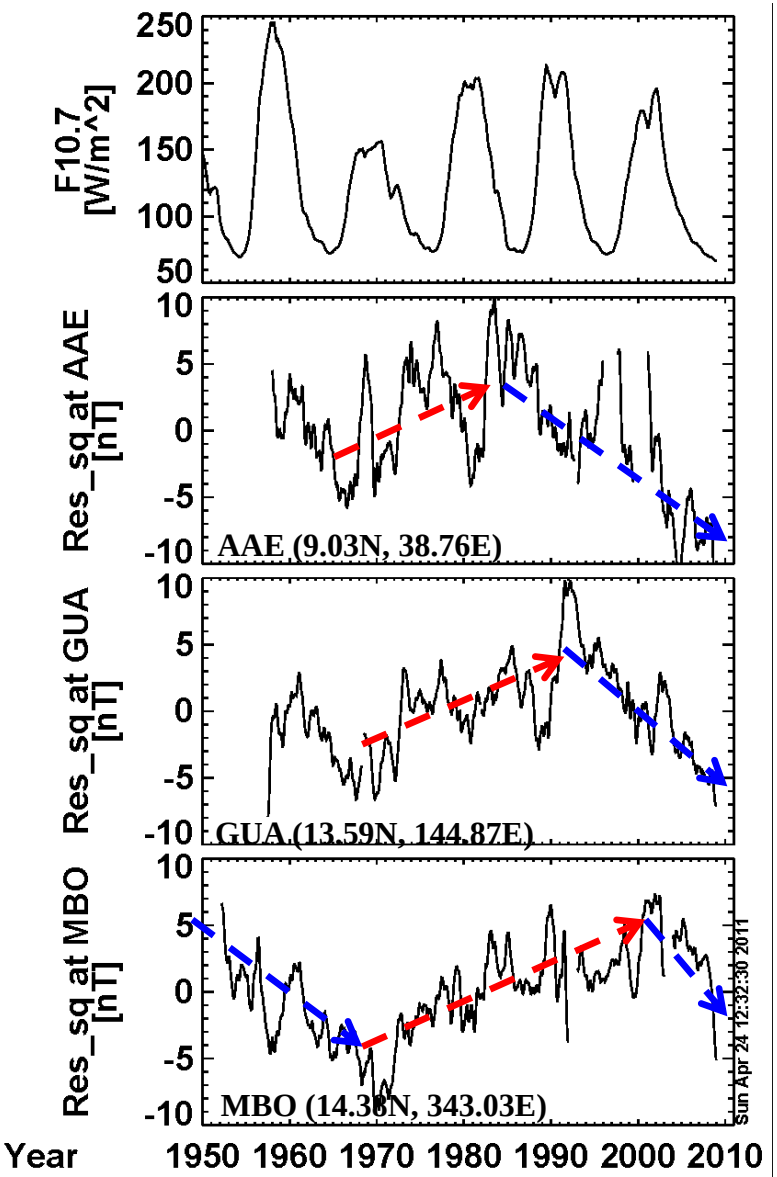


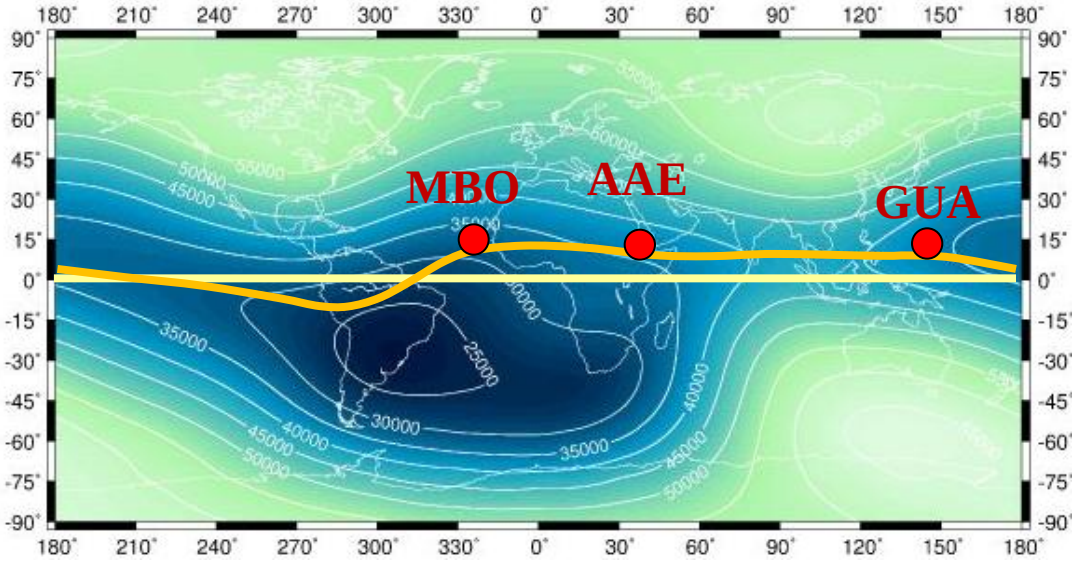
左上図：Sq場の経年変動
右図：CO_2の量を200％変化させたときの電子密度の変化率

○太陽活動の効果を差し引いたSq場の振幅は、右肩上がりの経年変動を示し、その大きさは、背景磁場の減少効果を考慮しても大きい
○残りの寄与として、大気モデル計算から示唆されるように、温暖化ガスの増加に伴う電離圏電子密度の増加が考えられる

2. 解析結果

2.3 太陽活動成分を差し引いたSq場の長期変動(赤道域)





Station map

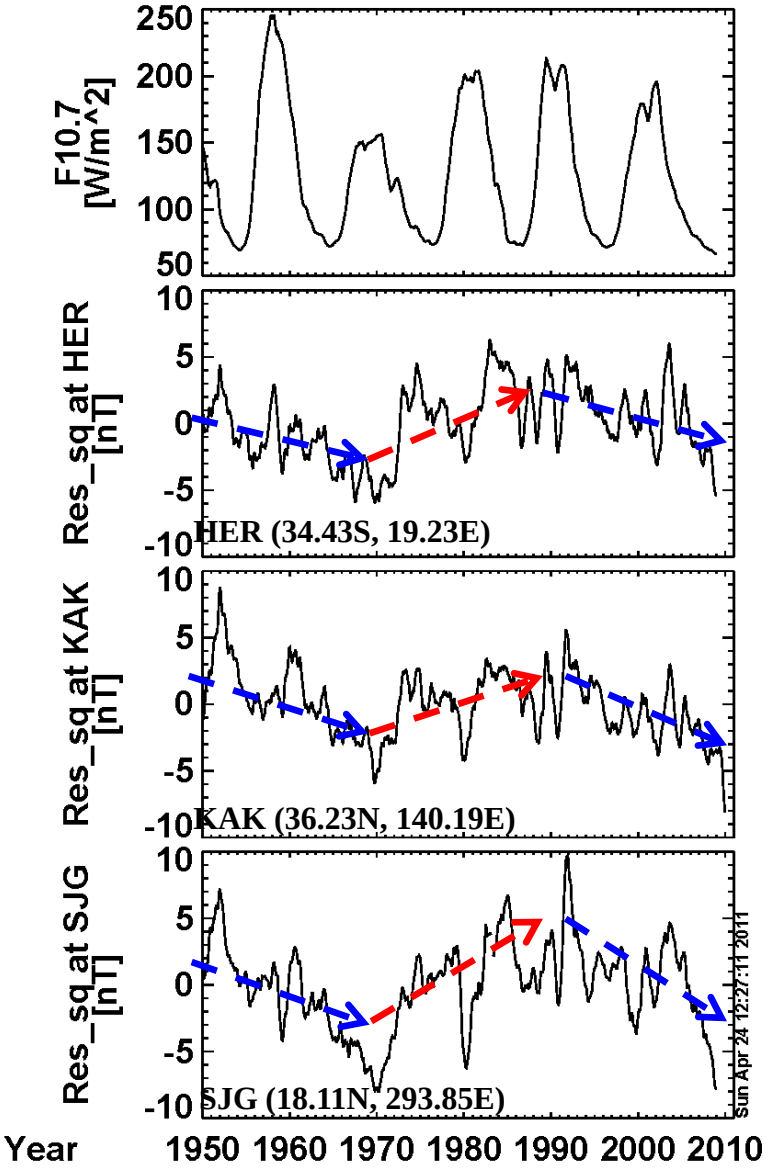
各観測点においてresidual-Sq場の振幅が増加する期間と減少する期間とが異なる

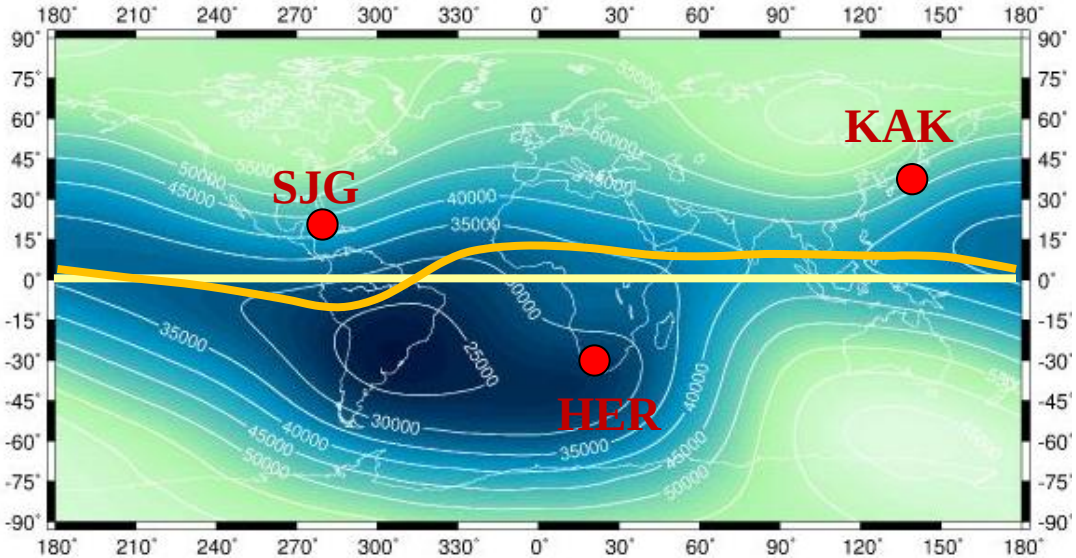
●赤道ジェット電流の経度依存性を反映

赤道域のジェット電流を駆動する電離圏伝導度は、伏角に強く依存する

3. 解析結果

3.5 太陽活動成分を差し引いたSq場の長期変動(低緯度)





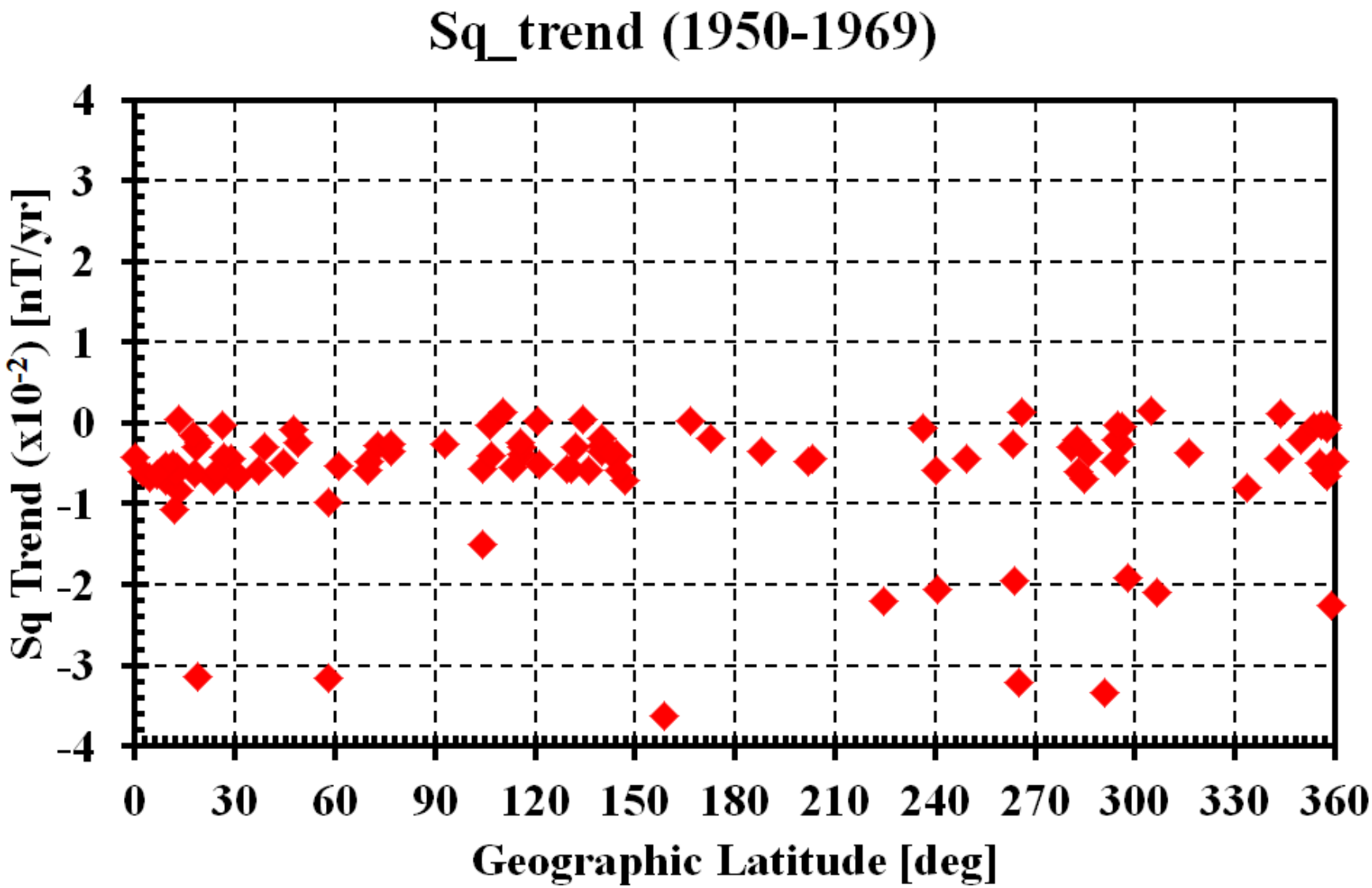
Station map

○低緯度域のresidual-Sq場の振幅は、各観測点ともに増加する期間と減少する期間がほぼ同期している

○このような増加と減少の傾向は、極域、中・低緯度及び赤道域にわたる広範な領域で現れていることが予想される

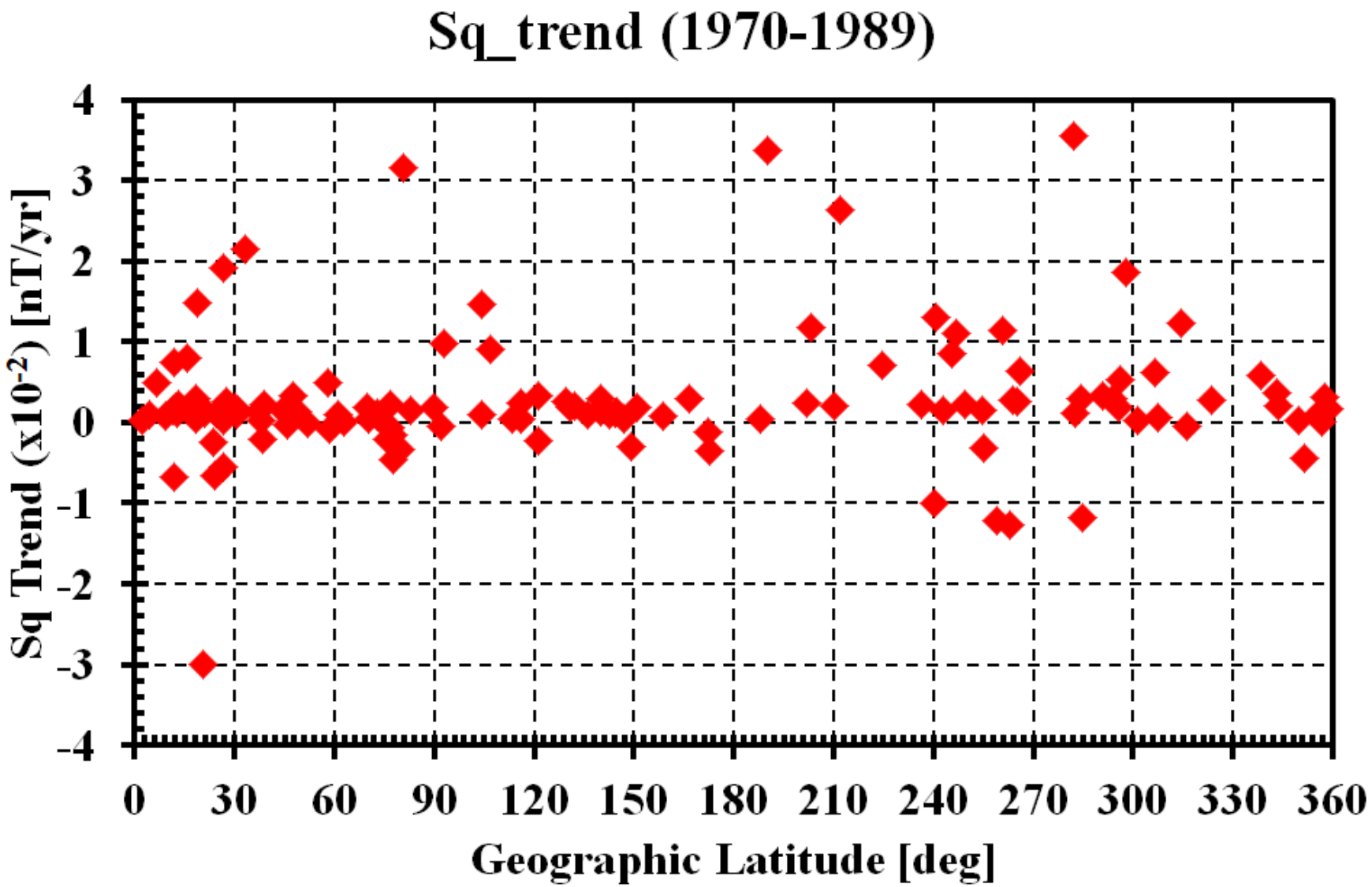
2.解析結果

2.5 Sq場の振幅の長期変動(地理経度の依存性)



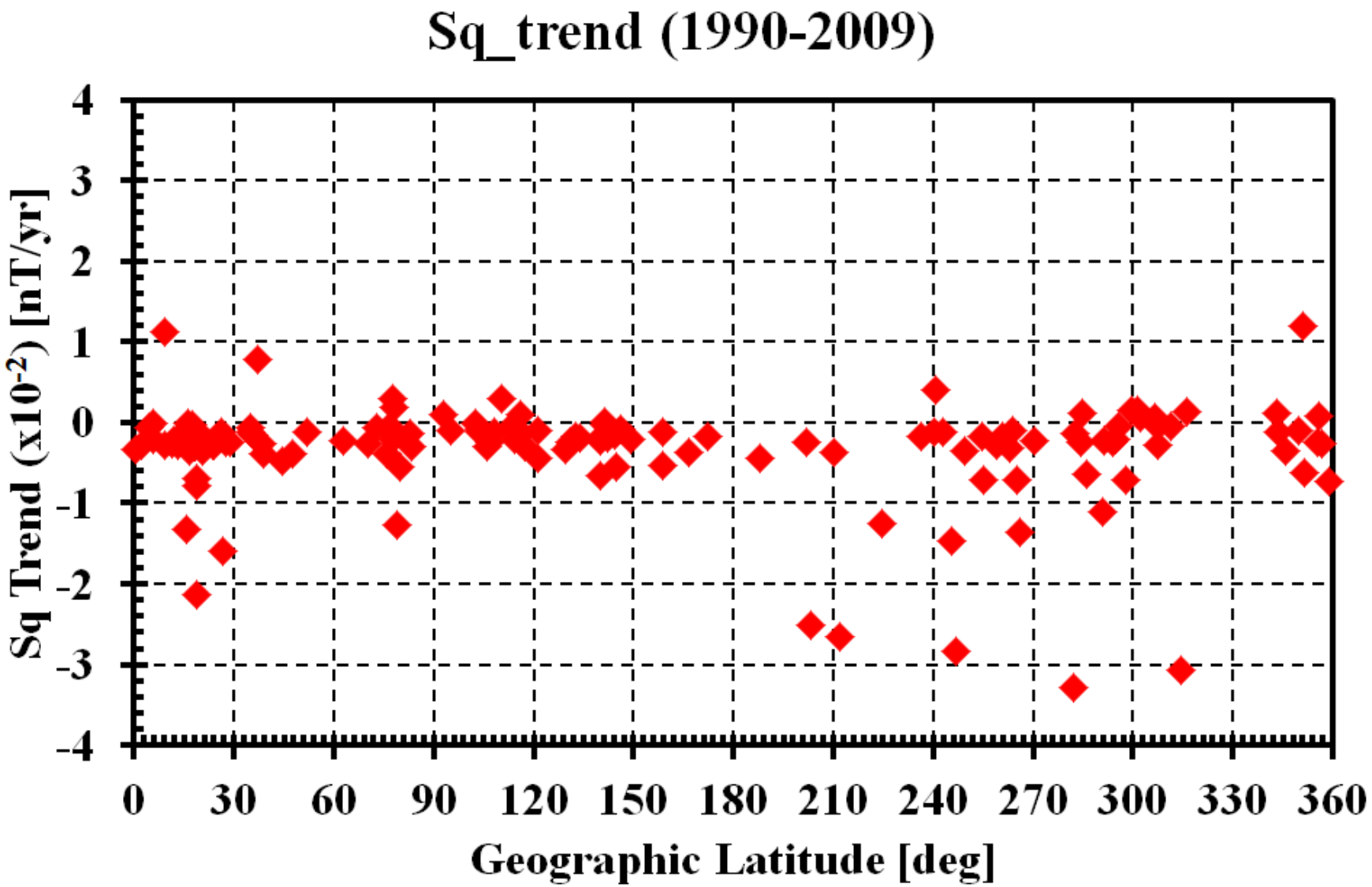
2.解析結果

2.5 Sq場の振幅の長期変動(地理経度の依存性)



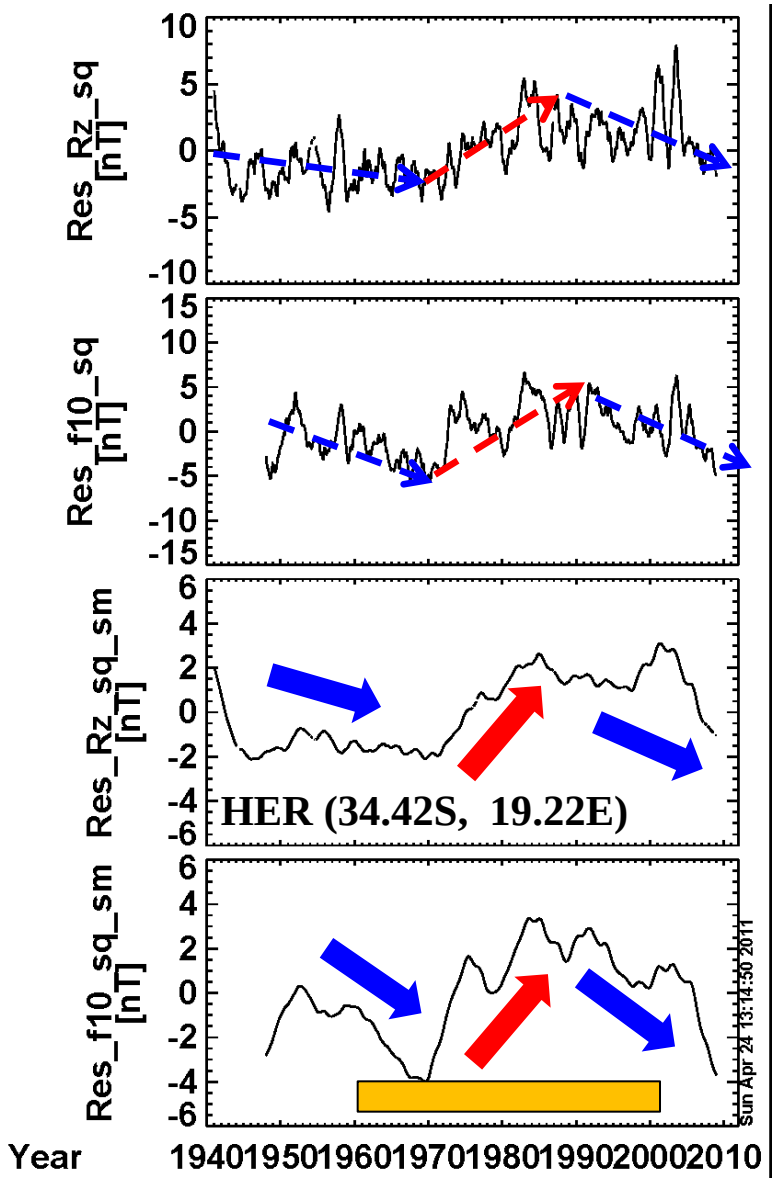
2.解析結果

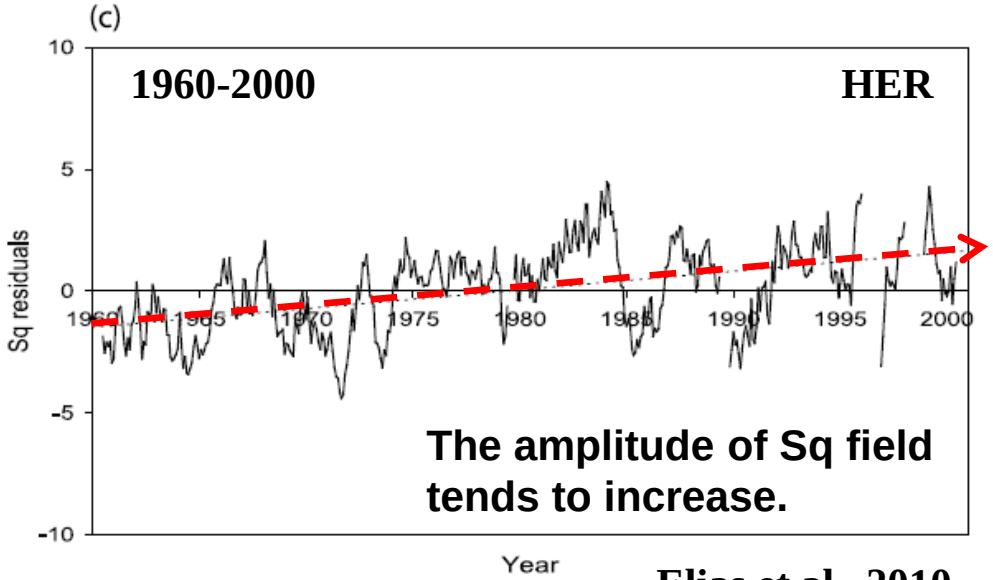
2.5 Sq場の振幅の長期変動(地理経度の依存性)



3. 議論

3.1 Elias et al. [2010] の結果との比較





Elias et al., 2010

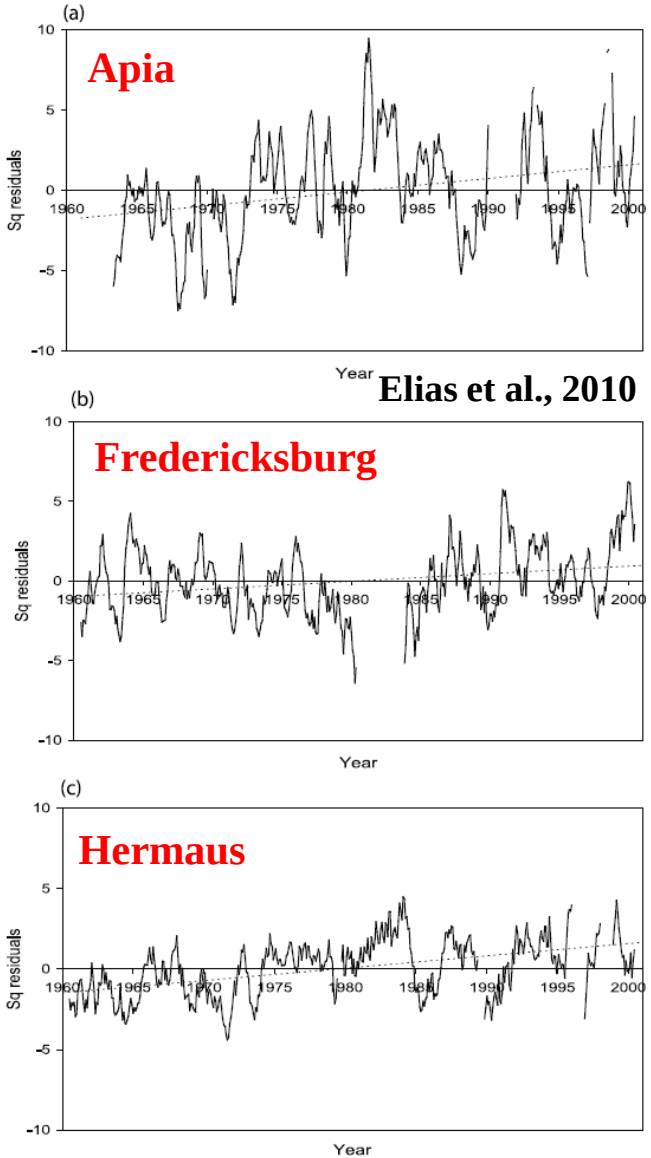
前の図で示したresidual-Sq場の振幅に11年の移動平均をかけて、長期の変動を見やすくした。

1970以前と1990年以降は、減少傾向

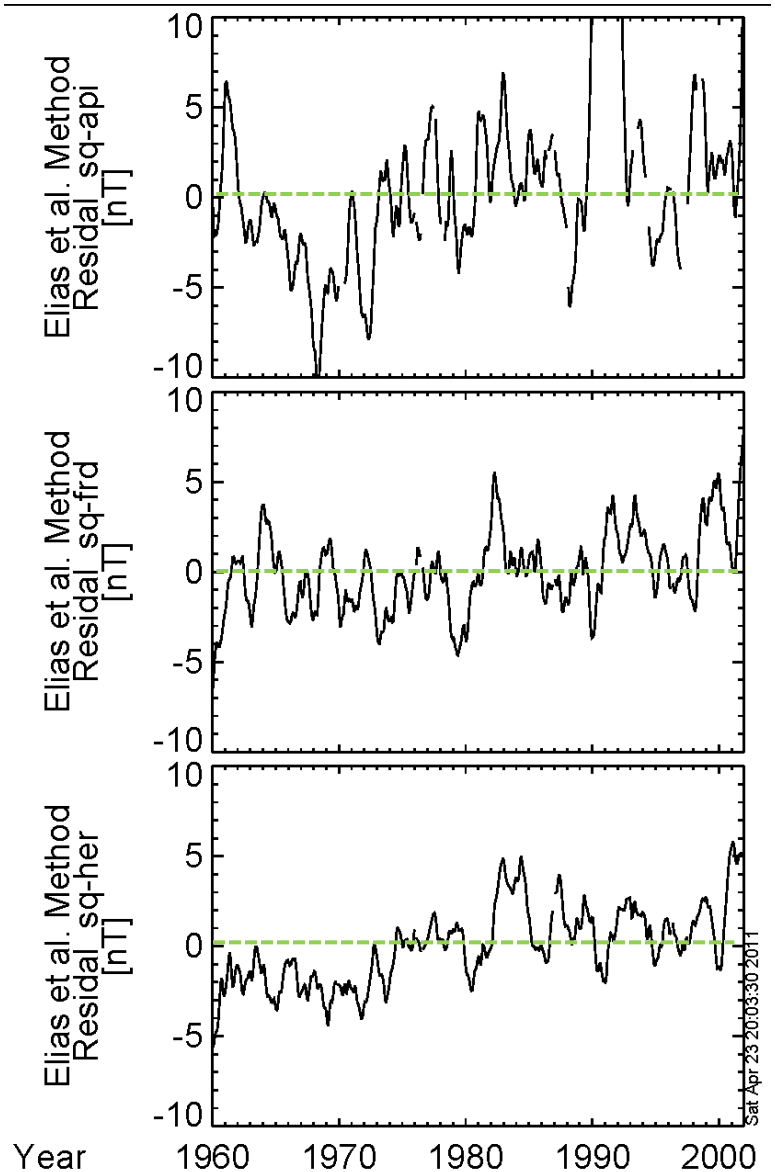
1990年以降の減少は、太陽黒点よりもF10.7を用いる方がよく現れている

3. 議論

3.1 Elias et al. [2010] の結果との比較



Elias et al., 2010



3.4 電気伝導度と地磁気の関係

1. 電離圏電気伝導度

電子密度、電子・イオンのサイクロトロン周波数、および電子-中性粒子とイオン-中性粒子との衝突周波数に関係

電子・イオンのサイクロトロン周波数=背景磁場強度に比例

イオン-中性粒子との衝突周波数= 中性大気密度とその平均分子量に比例

電子-中性粒子との衝突周波数=電子温度に関係

$$\Sigma_P = \int_{h1}^{h2} \left[\frac{n_e}{m_e \nu_{ne}} \frac{\nu_{ne}^2}{\nu_{ne}^2 + \Omega_e^2} + \frac{n_i}{m_i \nu_{ni}} \frac{\nu_{ni}^2}{\nu_{ni}^2 + \Omega_i^2} \right] \cdot e^2 dh$$

$$\Sigma_H = \int_{h1}^{h2} \left[-\frac{n_e}{m_e \nu_{ne}} \frac{\nu_{ne} |\Omega_e|}{\nu_{ne}^2 + \Omega_e^2} + \frac{n_i}{m_i \nu_{ni}} \frac{\nu_{ne} \Omega_i}{\nu_{ni}^2 + \Omega_i^2} \right] \cdot e^2 dh$$

3. 議論

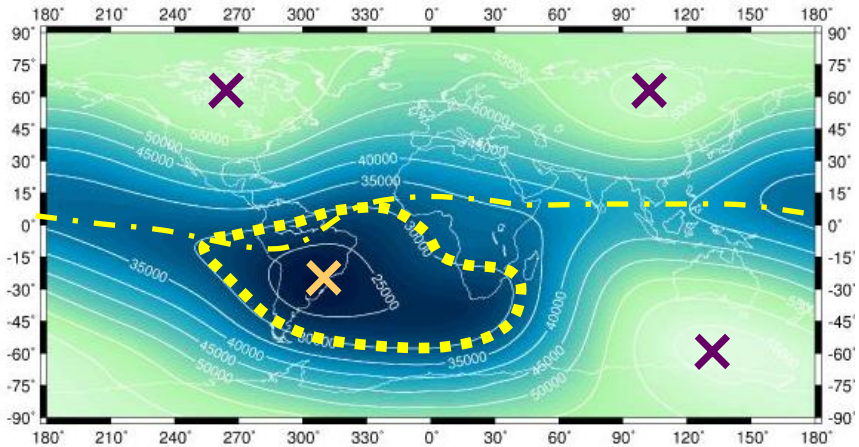
3.4 電気伝導度と地磁気の関係

2. 電離圏電気伝導度の地理分布

磁場の強弱によって伝導度の値が変化する

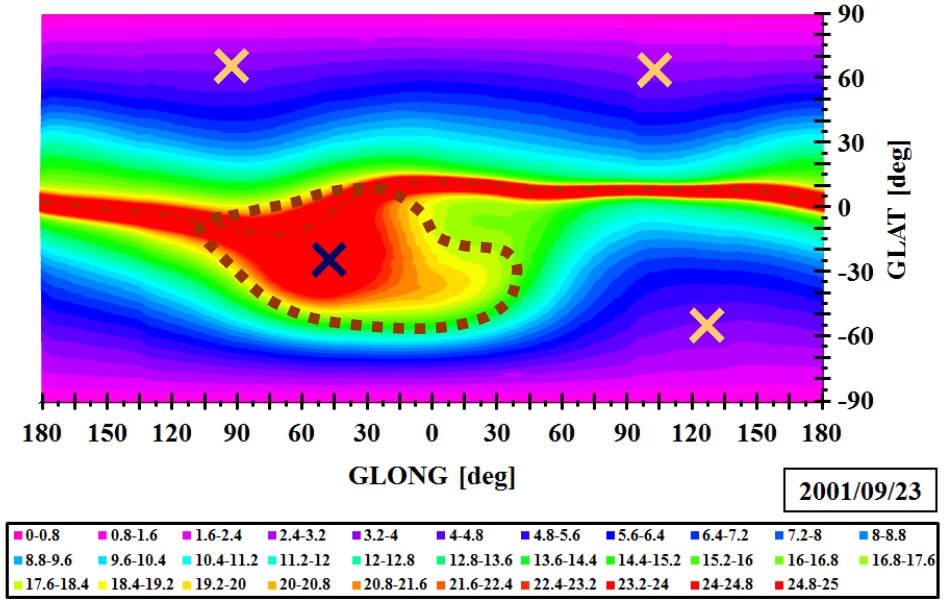
磁場強度：減小、伝導度：増加

磁場強度：増加、伝導度：減少



●電離圏伝導度モデル値と地球磁場モデル値を求める意義

地球磁場の永年変化による電離圏伝導度の増加分を定量的に評価し、他の寄与分(風速変動の効果など)を導出する

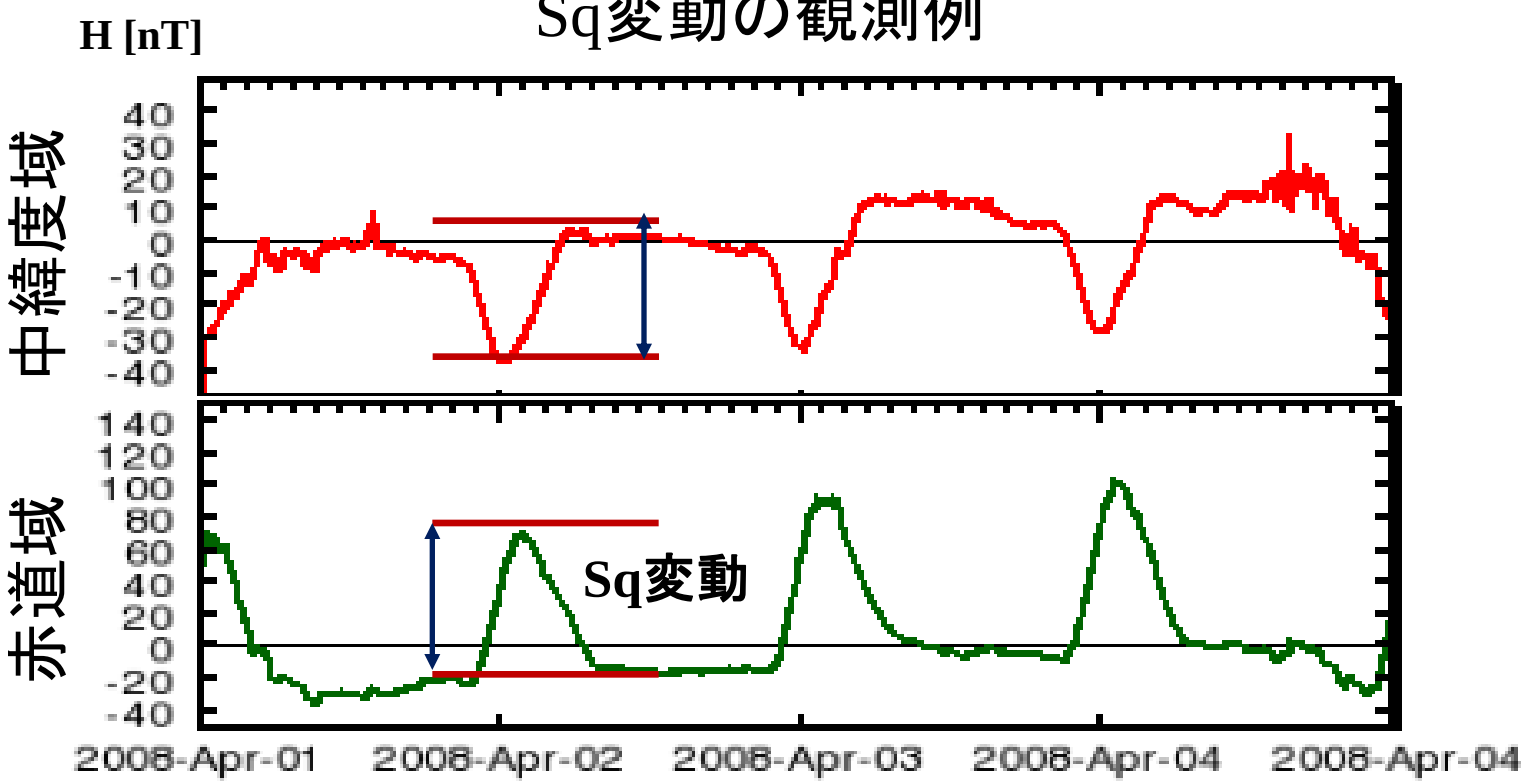


1. はじめに

1.2 地磁気日変化

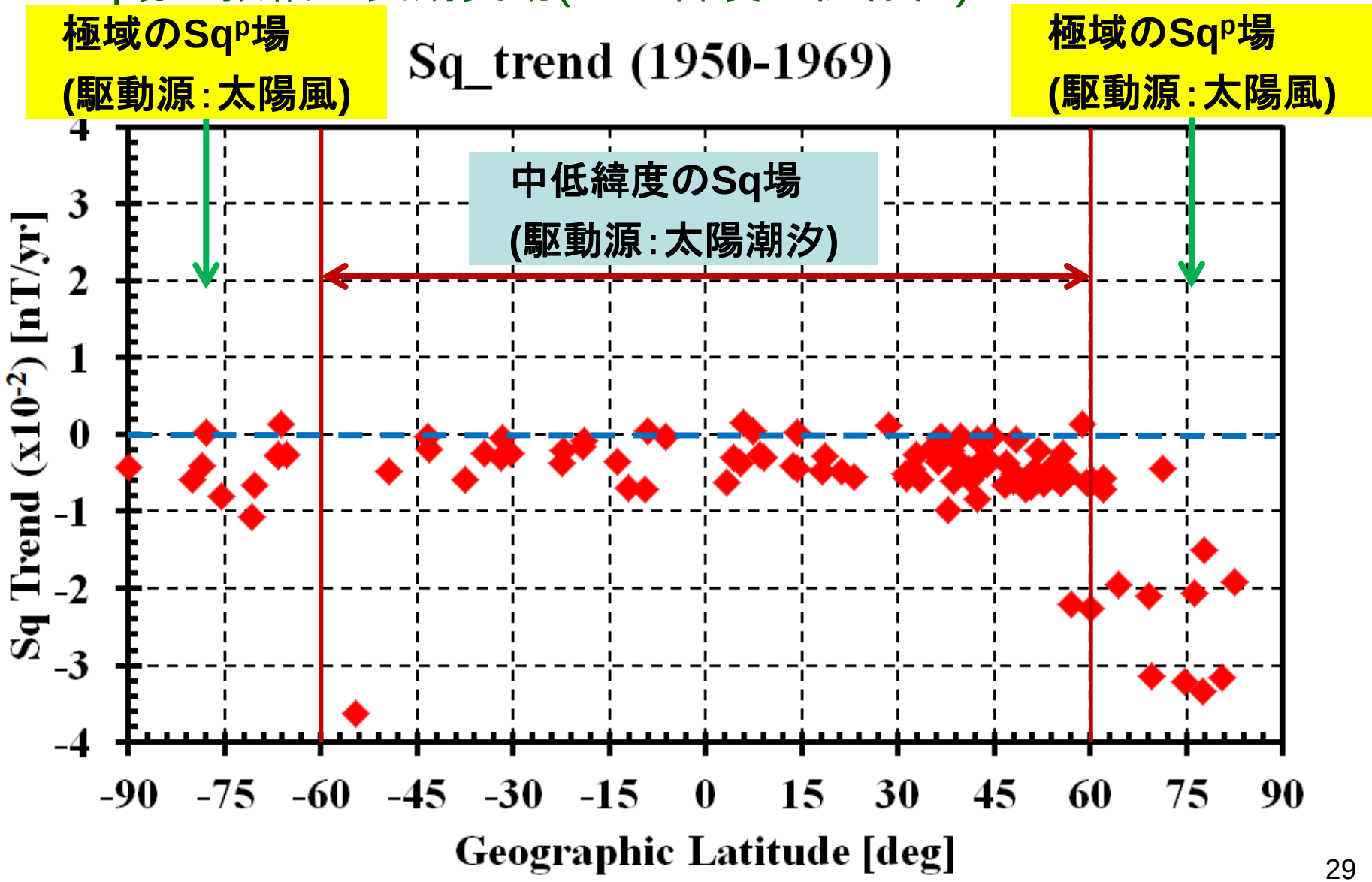
擾乱の少ない磁気的静穏時の地磁気の日変化は、Sq (Geomagnetic Solar daily Quiet variation)と呼ばれ、電離圏高度の中性風によって駆動される電離圏電流がその要因である

Sq変動の観測例



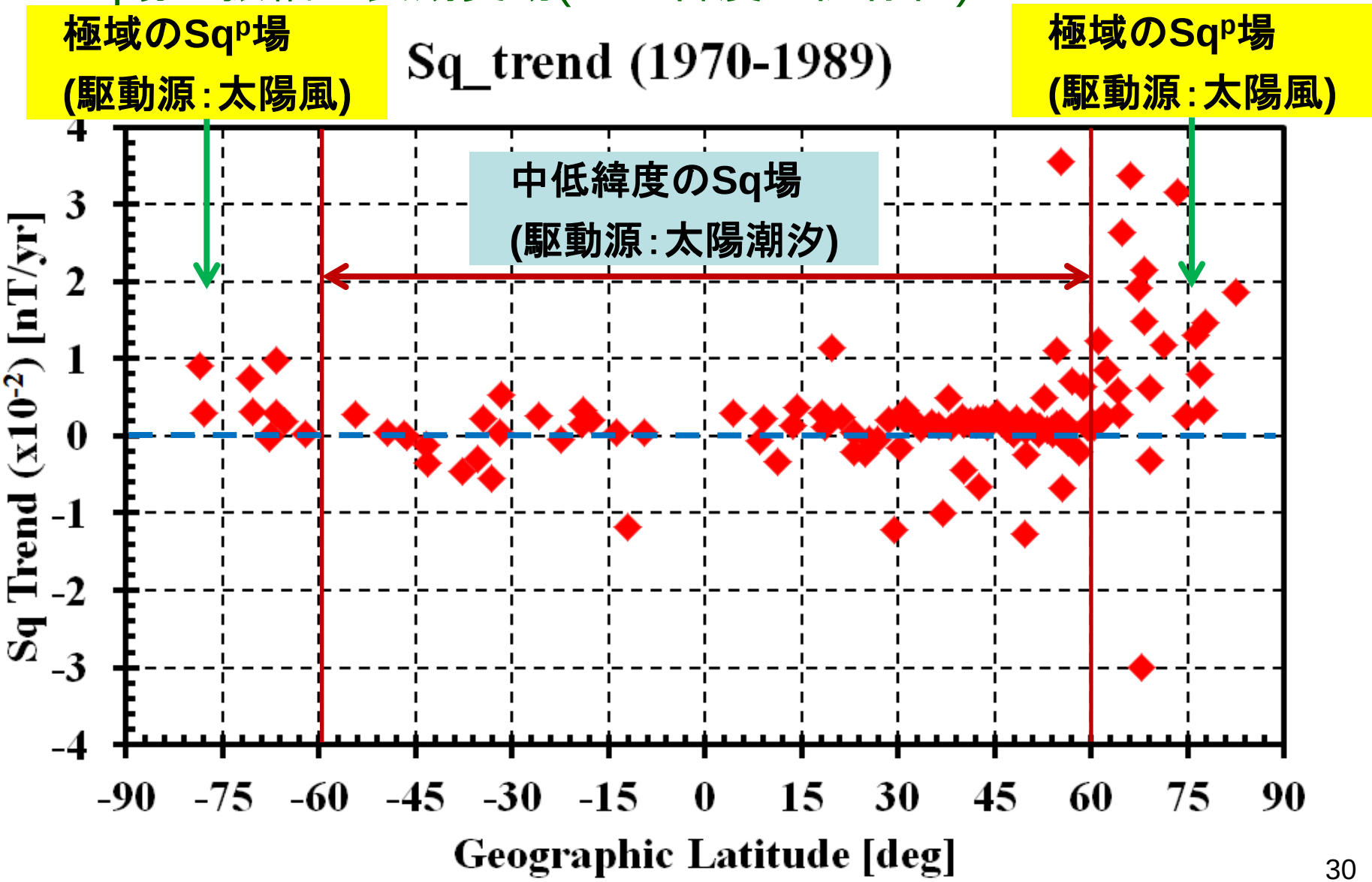
3. 解析結果

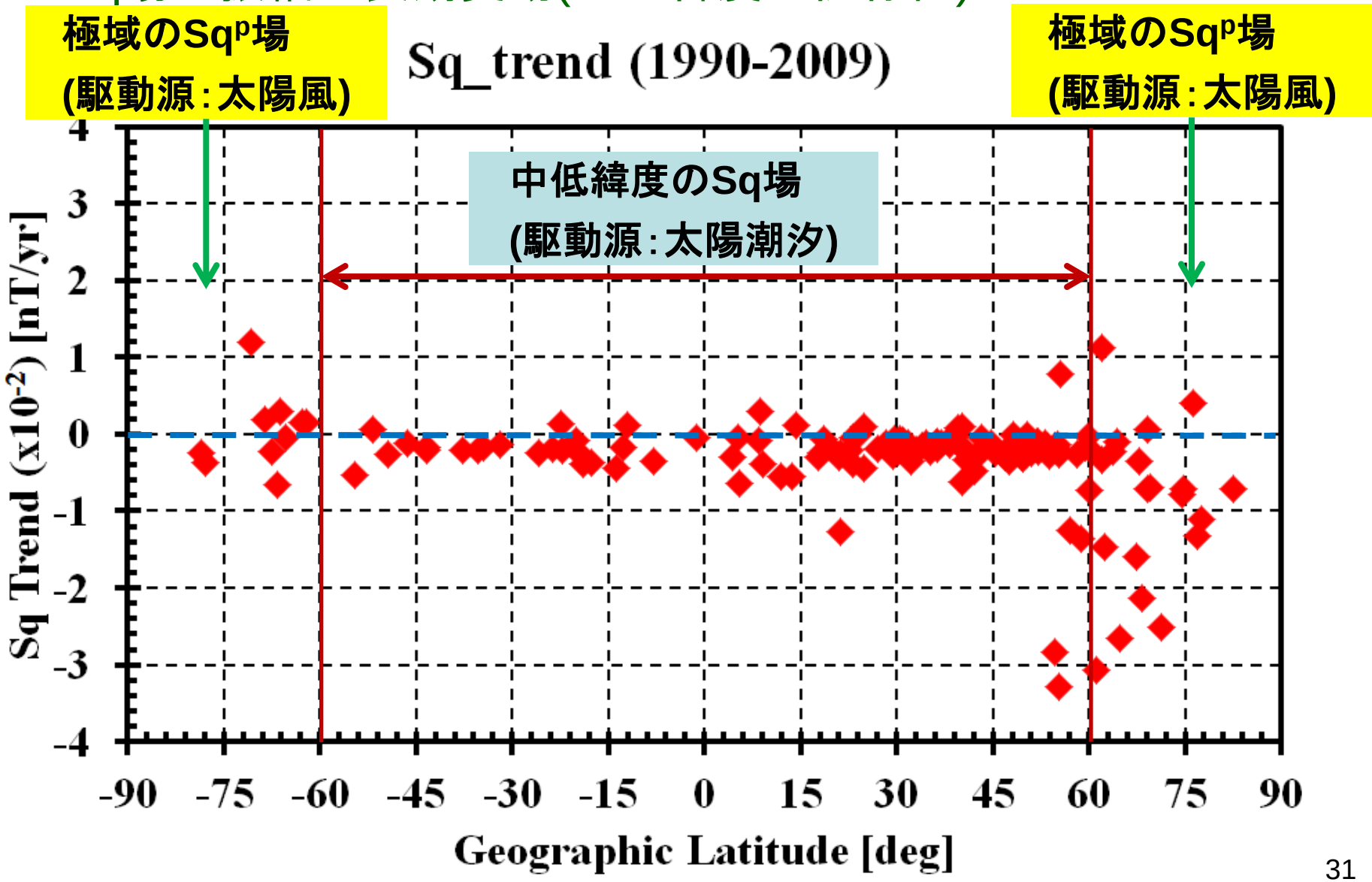
3.4 Sq場の振幅の長期変動(地理緯度の依存性)



3. 解析結果

3.4 Sq場の振幅の長期変動(地理緯度の依存性)



3. 解析結果

3.4 Sq場の振幅の長期変動(地理緯度の依存性)