

SGEPSS秋学会 2010/10/31-11/3



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

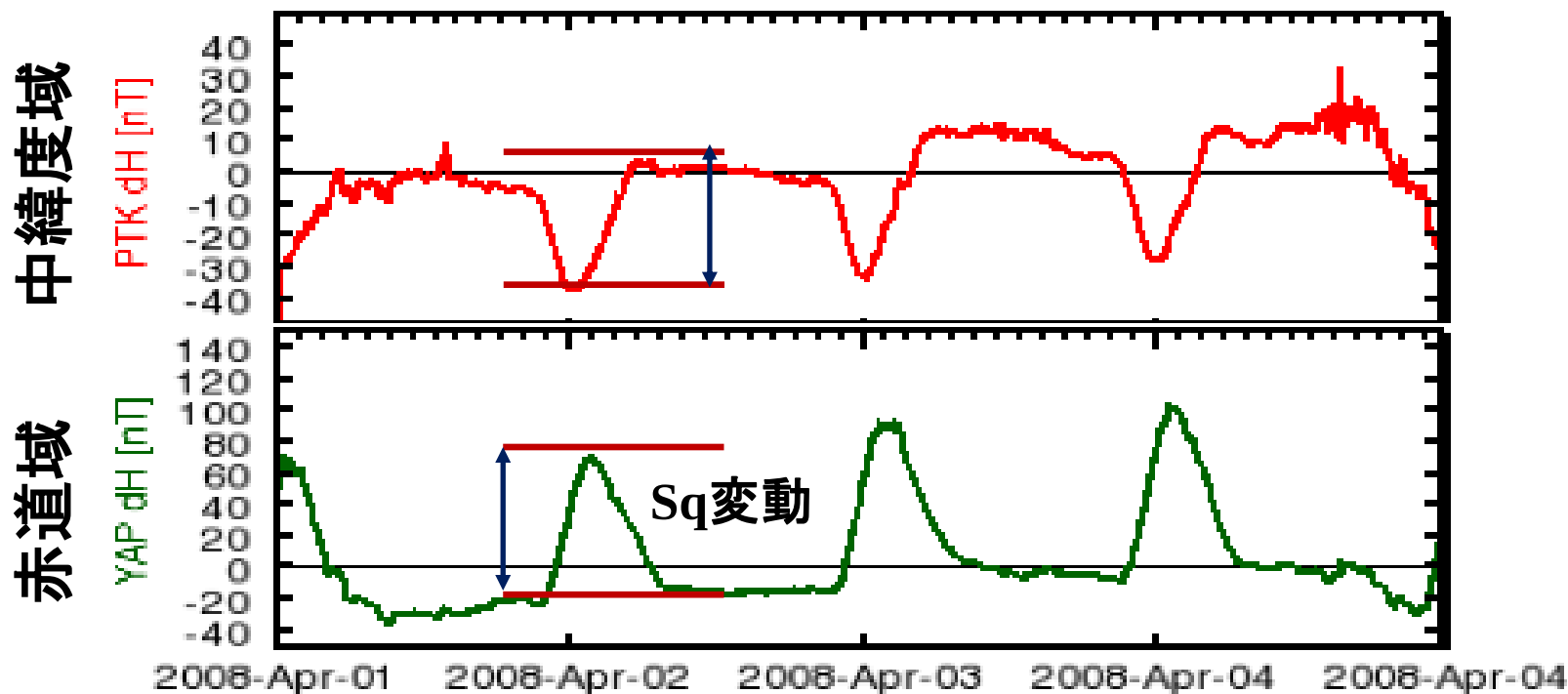
IUGONET観測データに基づく地磁気静穏 日変化と熱圏風の長期トレンドについて

新堀淳樹・林寛生・能勢正仁・小山幸伸・
津田敏隆・IUGONETプロジェクトチーム

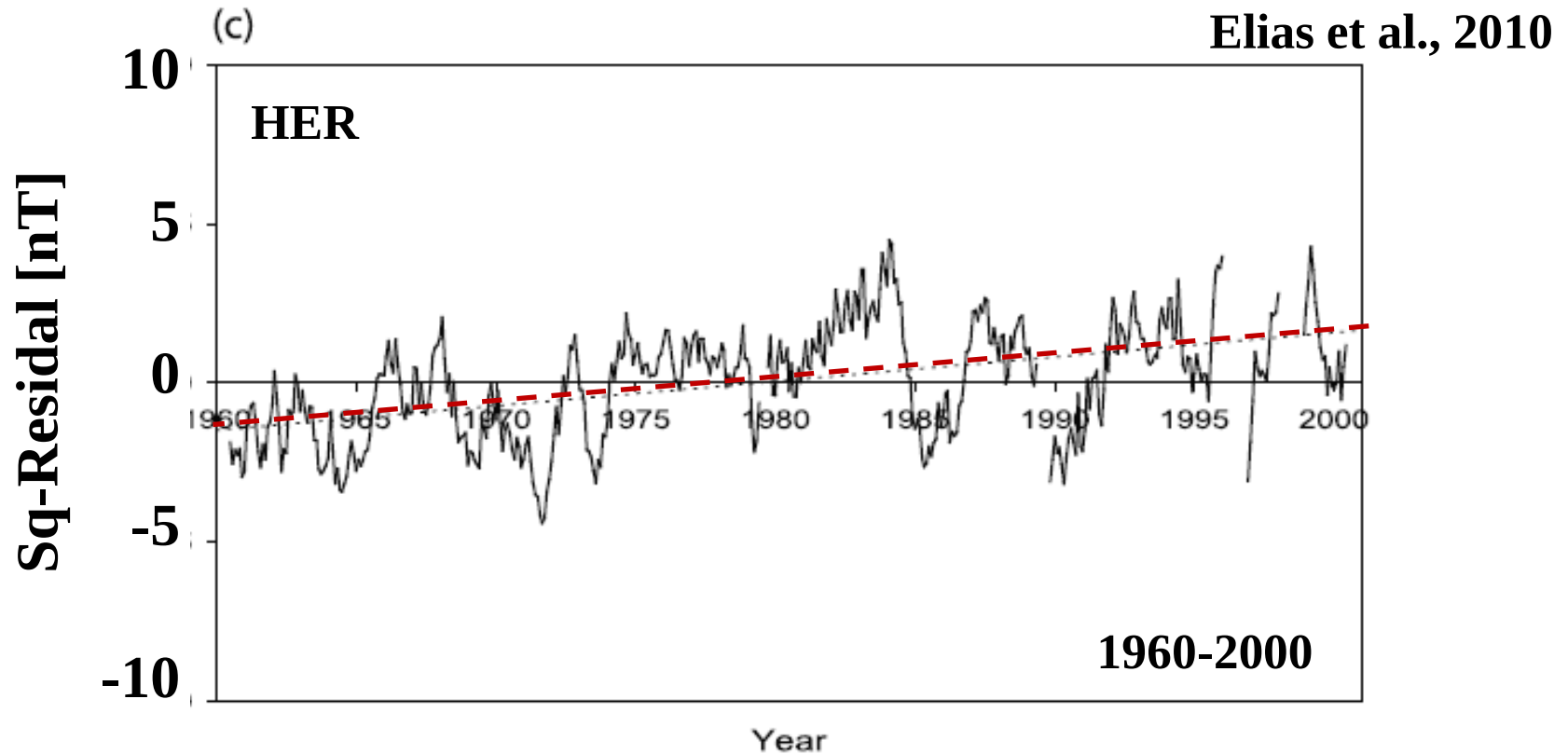
1.1 地磁気日変化

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

Sq変動の観測例



1.2 これまでの地磁気日変化の長期トレンドの研究-1



Sqの振幅には、季節・太陽活動依存性以外の長期的な年変動が存在する[Sellek, 1980; Schlapp et al., 1990, Macmillan and Droujinina, 2007; Elias et al., 2010]

1. はじめに

1.3 これまでの地磁気日変化の長期トレンドの研究-2

	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

1.3 これまでの地磁気日変化の長期トレンドの研究-3

[残されている問題点]

○使用している地磁気観測点の不足

Sq場の振幅には、太陽活動依存性に加えて、経年変動が存在することがわかっているが、**全球的な経年変動の特徴は、わかっていない**

○分野間の観測データを用いた統合解析の不足

Elias et al. [2010]では、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しているが、**モデルに基づいてのみ、その超高層大気変動を議論しているため、実際の観測データを見ていない**

○解析手法の問題

太陽活動依存性を取り除く際に、太陽黒点数を用いているが、これでは**2009年のような無黒点日が多い静穏期には適用が困難**となる。

地磁気静穏日の同定方法(ある月の中で最も静穏な日を5日間、選択)

⇒ある閾値の具体化し、データ点を増やす必要がある

1.4 本発表の趣旨

IUGONETプロジェクトに属する2機関(京大地磁気センター・生存圏研究所)が保有している長期の地磁気、及び熱圏・中間圏における中性風データを用いて、Sq振幅の長期変動の要因を明らかにする。

ここでは、これまでの研究の問題点を克服するために以下の改良を加えている

(1) 多点の地磁気観測点のデータを解析

IUGONETで開発中のメタデータ検索システムと解析ソフトを利用して、研究推進の効率化を図った

(2) 解析手法の改良

地磁気静穏日の閾値の具体化

太陽活動依存性の差し引きに非線形回帰を採用

2.1 使用観測データ

地磁気データ(1時間値、1950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

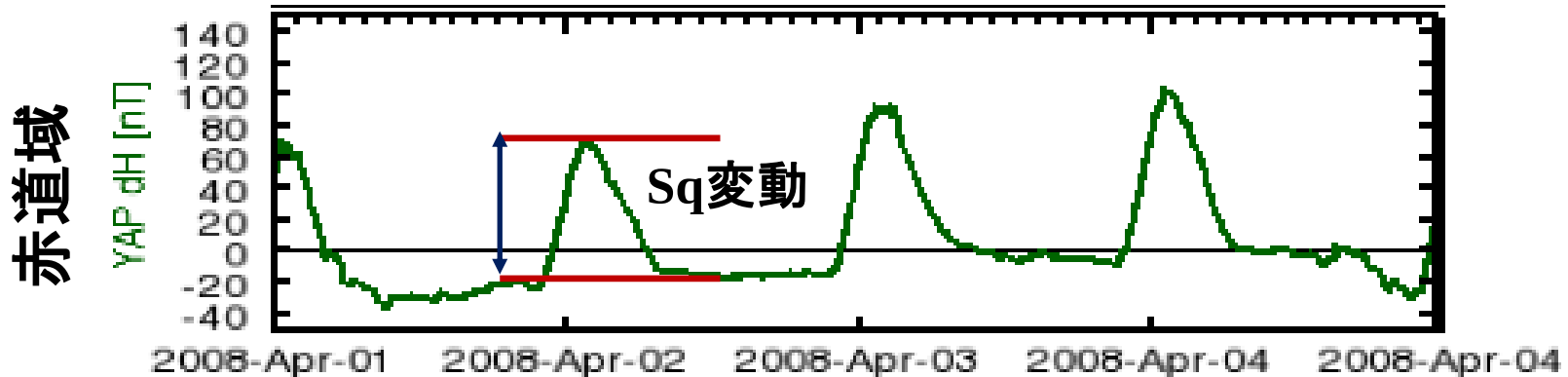
熱圏下部中性風(1日平均値): 京大RISH

2.2 地磁気静穏日とSq振幅の同定方法

○地磁気静穏日: Kp指数の一日の総和が24以下

○Sq振幅: 一日の変化の最大と最小の差

○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 地磁気日変化の長期変化(太陽活動との比較)

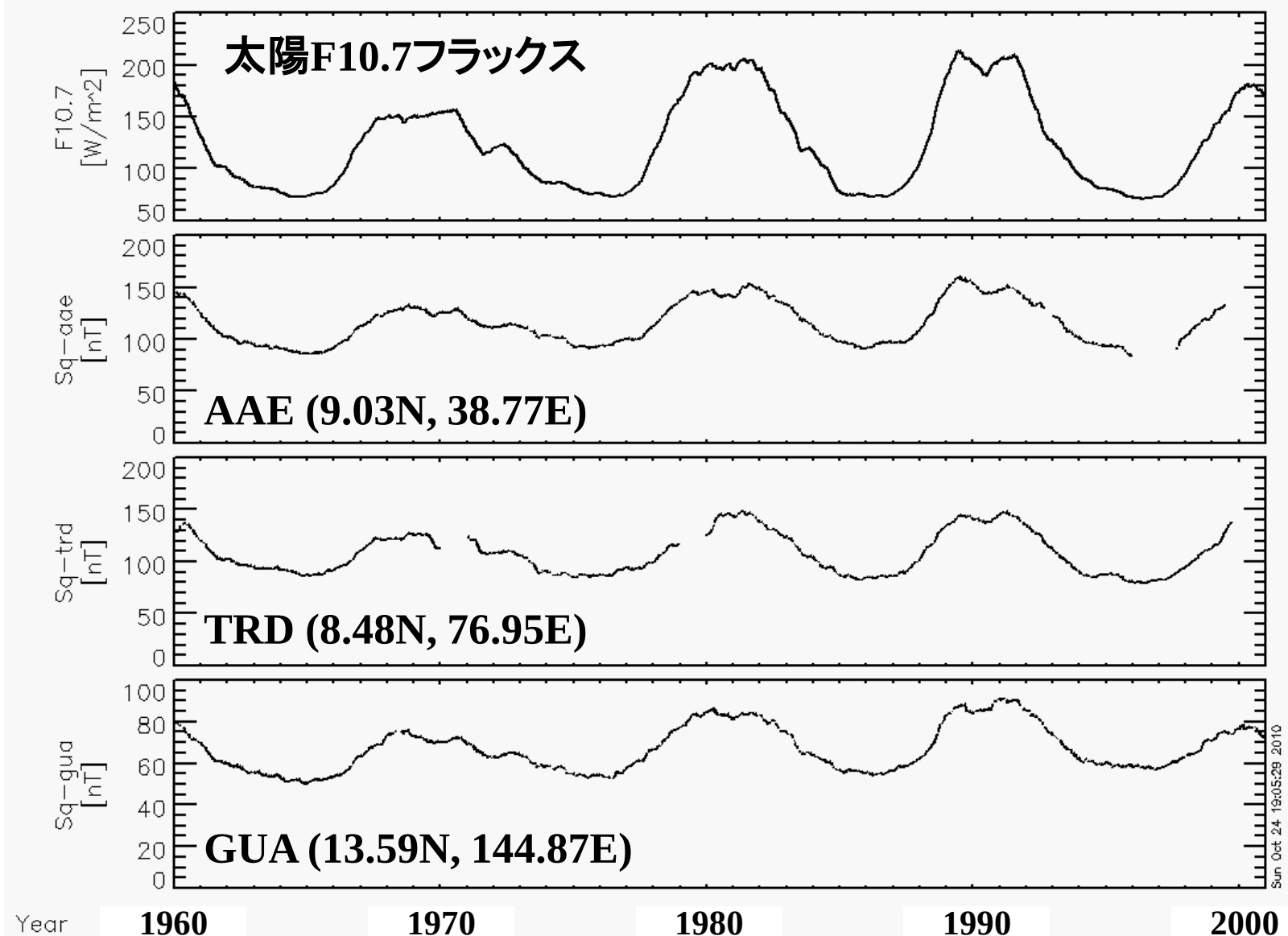


Figure 10 consists of two scatter plots showing the relationship between Sq Amplitude and F10.7. The top plot shows Sq Amplitude at AAE [nT] on the y-axis (ranging from 80 to 160) versus F10.7 [W/m²] on the x-axis (ranging from 60 to 220). The bottom plot shows Sq Amplitude at HER [nT] on the y-axis (ranging from 30 to 60) versus F10.7 [W/m²] on the x-axis (ranging from 60 to 220). Both plots include green data points, a red linear regression line, and a blue quadratic regression line. The regression equations and correlation coefficients (C.C.) are provided for each fit.

Top Plot: Sq Amplitude at AAE [nT] vs F10.7 [W/m²]

- Legend: 赤: 線型回帰 (Red: Linear Regression), 青: 2次関数回帰 (Blue: Quadratic Regression)
- Linear Regression Equation: $y = 4.5E-01x + 5.9E+01$, C.C. = 9.8E-01
- Quadratic Regression Equation: $y = -6.2E-04x^2 + 6.2E-01x + 4.9E+01$, C.C. = 9.9E-01

Bottom Plot: Sq Amplitude at HER [nT] vs F10.7 [W/m²]

- Linear Regression Equation: $y = 1.1E-01x + 2.8E+01$, C.C. = 9.3E-01
- Quadratic Regression Equation: $y = -1.3E-04x^2 + 1.5E-01x + 2.6E+01$, C.C. = 9.4E-01

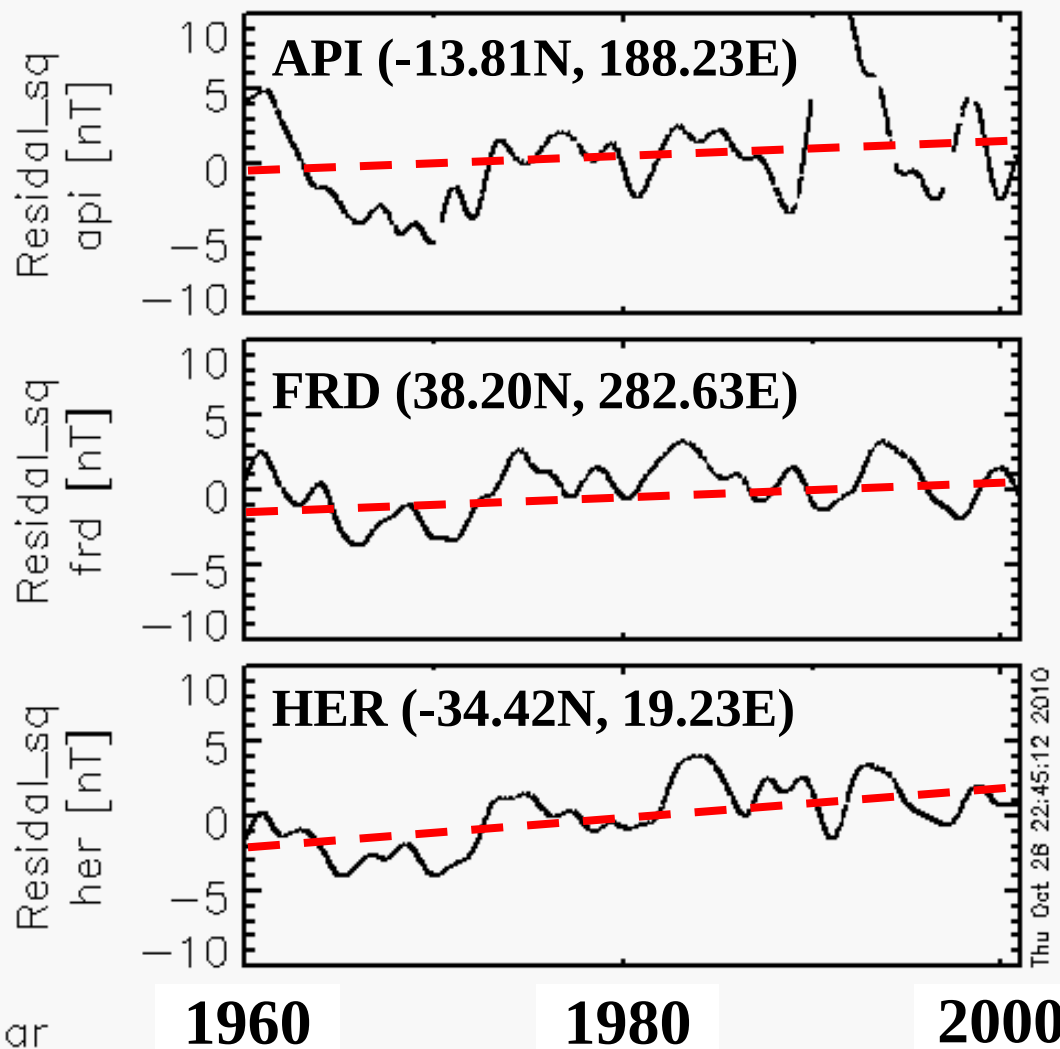
下段: HER (-34.42N, 19.23E)

地磁気日変化の振幅は、太陽放射F10.7フラックスにほぼ線型的に比例する

この回帰曲線からのずれ
の経年変化が**太陽活動以外を因子とする成分**(地磁
気永年変化、電離圏、熱圏
風速の長期変化)を表す

3.3 地磁気日変化の長期変化(太陽活動成分を除去)

(1) Elias et al. [2010]で用いられた3観測点



3観測点とも**Sq振幅が増加傾向**を示し、HERがその増加量が最も大きい

API:

0.055 ± 0.0027 [nT/yr]

FRD:

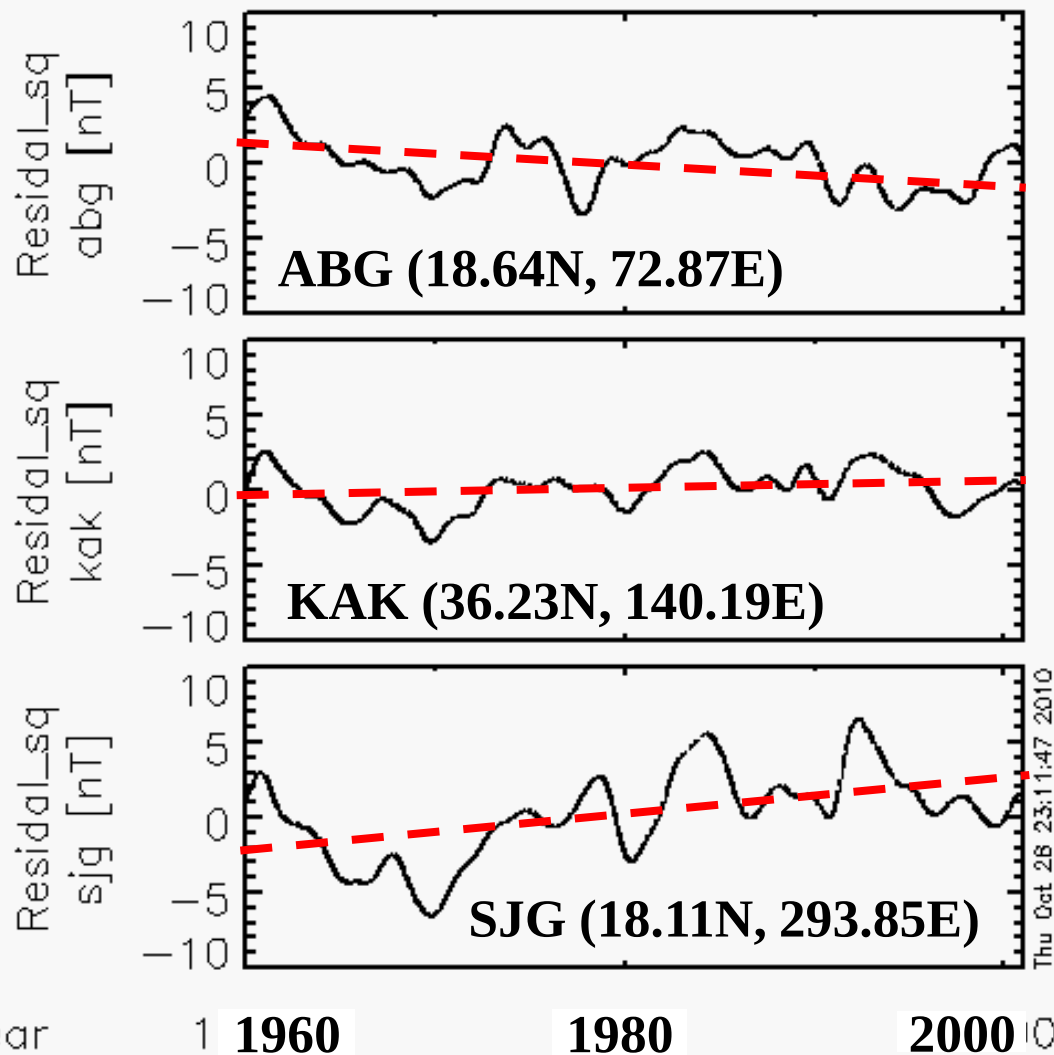
0.037 ± 0.0015 [nT/yr]

HER:

0.10 ± 0.0012 [nT/yr]

3.3 地磁気日変化の長期変化(太陽活動成分を除去)

(2) その他の3観測点



観測点によって、Sq場の
経年変動は、**増加傾向**
向や**減少傾向**を示す

⇒Elias et al. [2010]の
結果とは異なる

ABG:

-0.053 ± 0.0013 [nT/yr]

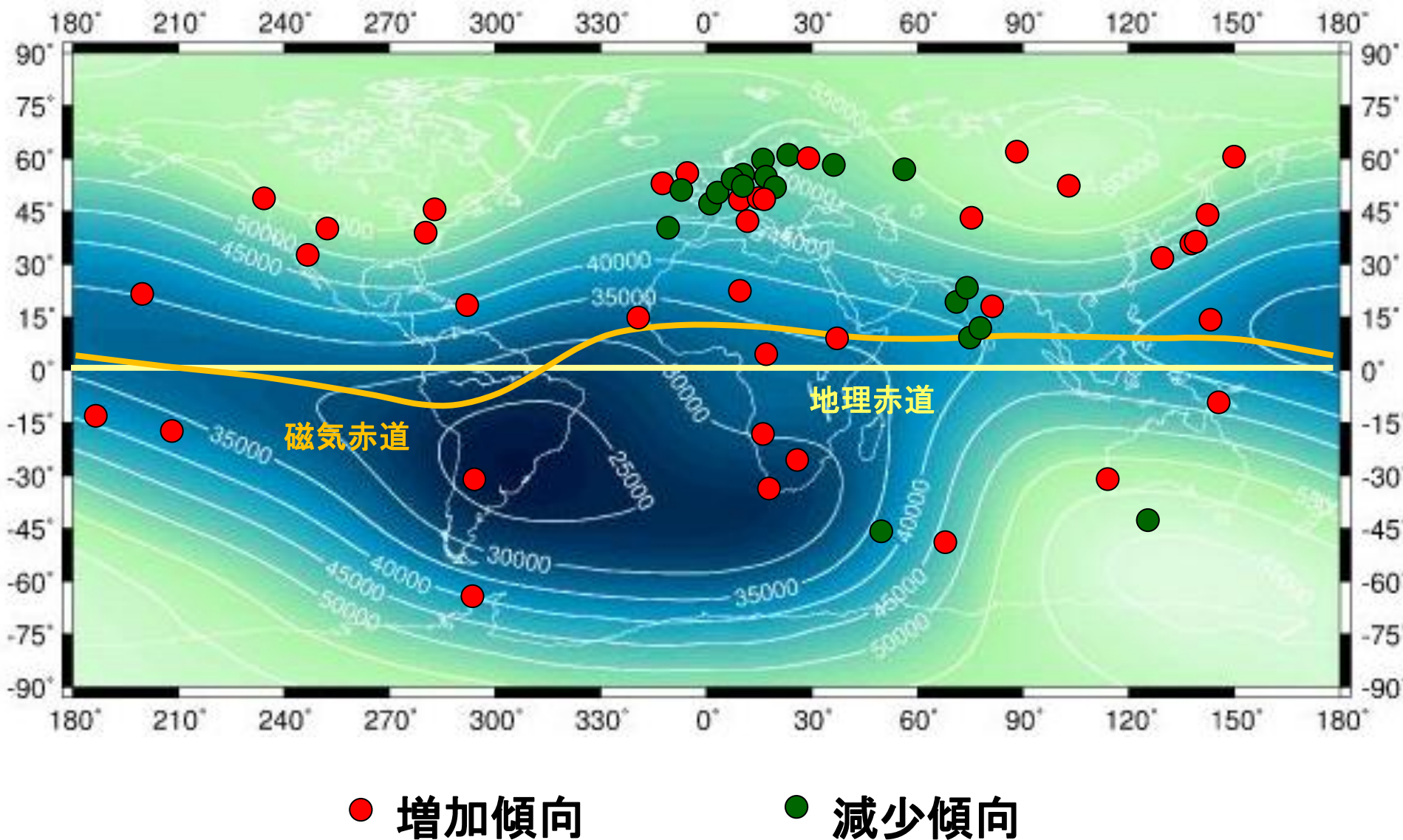
KAK:

0.027 ± 0.0010 [nT/yr]

SJG:

0.121 ± 0.0019 [nT/yr]

3.4 Sq振幅の経年変動の統計解析



4.1 Elias et al. [2010]との比較

1960-2001年までの期間におけるSq振幅の年変化の割合

観測点	Sq変化量[nT/yr] [本結果]	Sq変化量[nT/yr] [Elias et al., 2010]
Apia	0.041 ± 0.0025	0.08 ± 0.01
Fredericksburg	0.057 ± 0.0019	0.048 ± 0.008
Hermanus	0.109 ± 0.0021	0.076 ± 0.006

○基本的にこの3観測点について見れば、Sq振幅が年々増加傾向にある結果は、Elias et al. [2010]の結果と一致している。

ただし、本解析でその変化の割合が異なるのは、以下のように解析手法を厳密化した点である。

- (1) 地磁気静穏日変化の具体化($\Sigma Kp < 24$ 、データ量の増加)
- (2) 2次曲線による非線形回帰を使用(太陽活動の除去)

4.2 Sq場の振幅に依存するパラメータ

電離圏電流と電場の関係式

$$\mathbf{J}_{\perp} = \begin{pmatrix} \Sigma_P & -\Sigma_H \\ \Sigma_H & \Sigma_P \end{pmatrix} \cdot (\mathbf{E}_P + \mathbf{U} \times \mathbf{B})$$

電離圏伝導度

$$\Sigma_P = \int \left(\frac{v_{en}}{v_{en}^2 + \omega_{ge}^2} + \frac{m_e}{m_i} \frac{v_{in}}{v_{in}^2 + \omega_{gi}^2} \right) \frac{n_e e^2}{m_e} dz$$

$$\Sigma_H = - \int \left(\frac{\omega_{ge}}{v_{en}^2 + \omega_{ge}^2} + \frac{m_e}{m_i} \frac{\omega_{gi}}{v_{in}^2 + \omega_{gi}^2} \right) \frac{n_e e^2}{m_e} dz$$

$$v_{in} = 2.6 \times 10^{-15} (n_n + n_i) \sqrt{M_n}$$

$$v_{en} = 5.4 \times 10^{-10} n_n \sqrt{T_e}$$

$$\omega_{gi} = \frac{q_i B}{m_i}, \omega_{ge} = \frac{e B}{m_e}$$

$$n_k = n_{k0} \exp \left(- \frac{z}{H_k} \right)$$

①電離圏のプラズマ密度

②主磁場強度

③中性粒子との衝突周波数

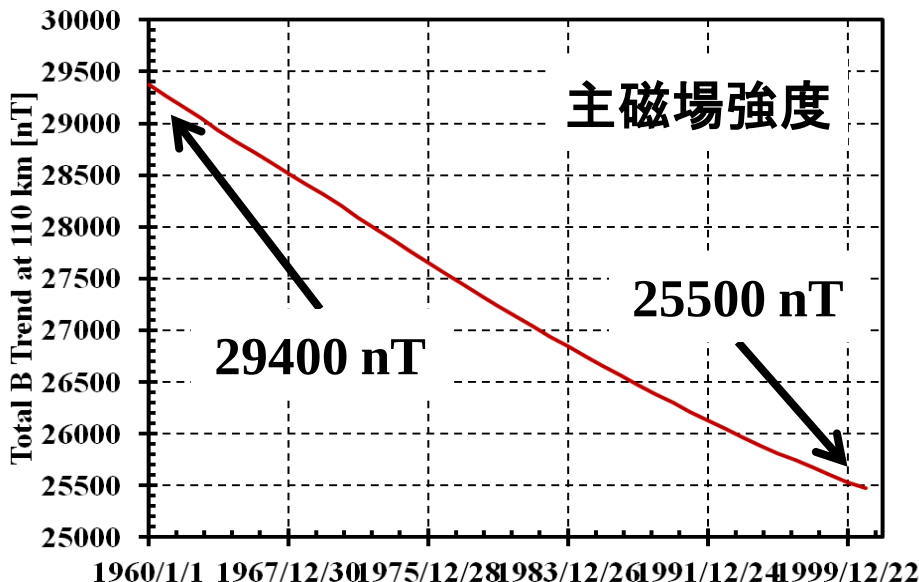
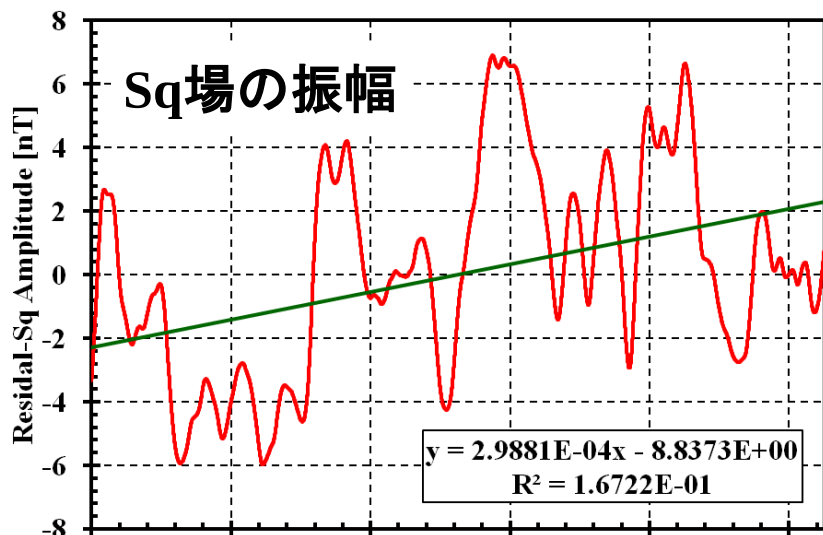
④熱圏・中間圏の中性風

①-③: 電離圏電気伝導度を変化させる因子

②と④: 電離圏ダイナモ(起電力)を変化させる因子

4.3 Sq振幅と主磁場の経年変動の関係(事例比較)

Hermanous (-34.42N, 19.23E)におけるSq場の振幅と電離圏高度110kmにおける主磁場強度の経年変化



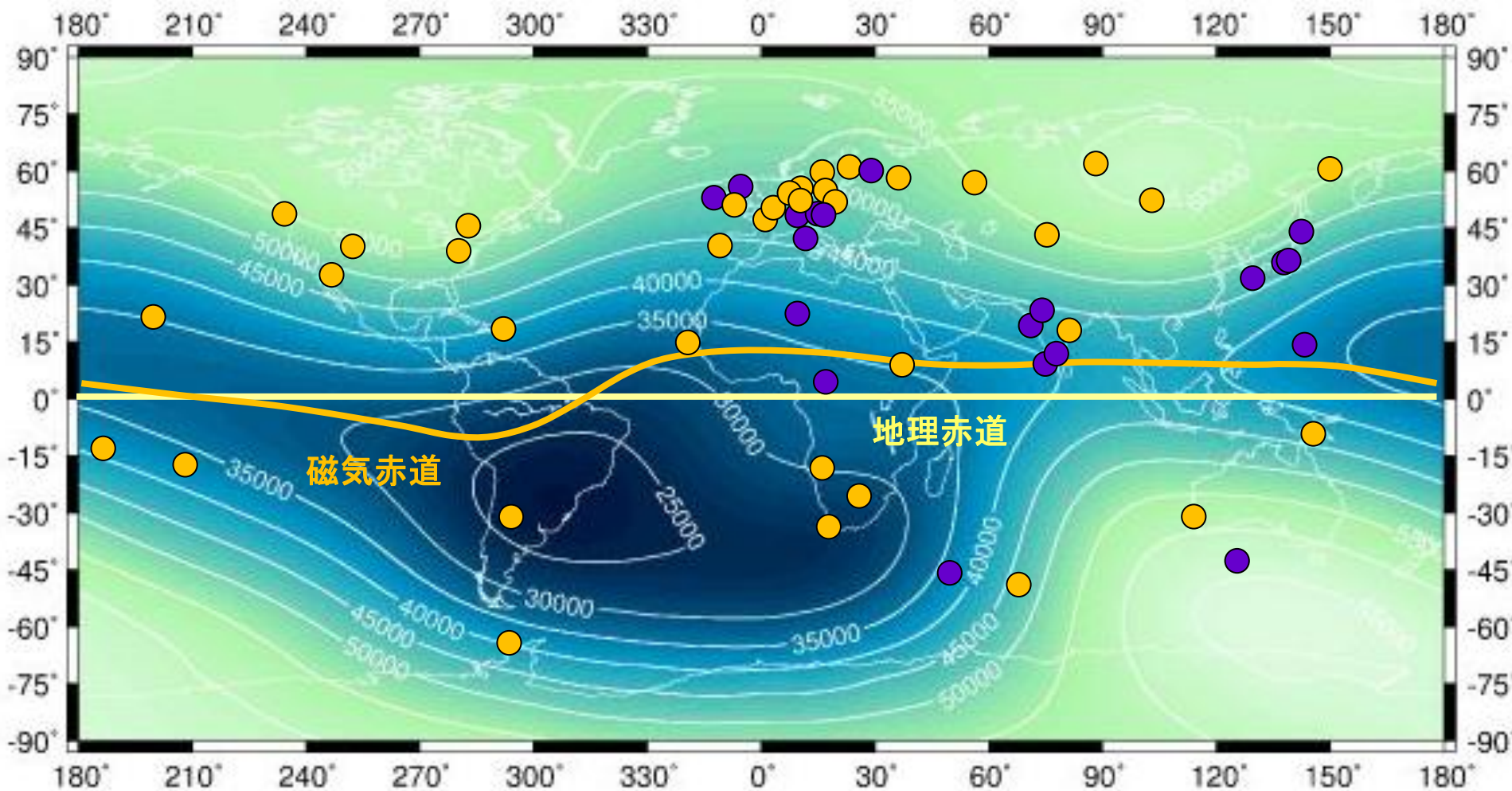
1. 主磁場強度の減少とともにSq場の振幅が増加傾向にある

主磁場強度の減少に伴う電離圏電気伝導度の増加

2. 準2年周期的な変動がSq場の振幅に存在する

成層圏QBOとの対応??

4.4 Sq振幅と主磁場の経年変動の関係(統計比較)



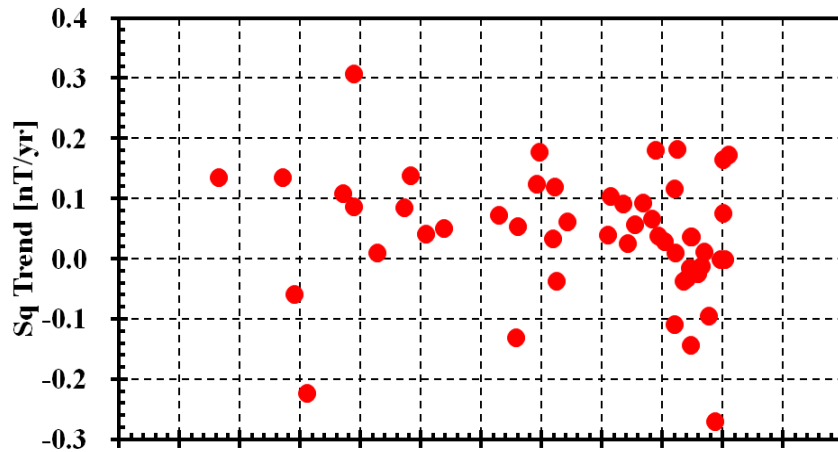
● $dS_q\text{-tre}/dF\text{-tre} < 0$

● $dS_q\text{-tre}/dF\text{-tre} > 0$

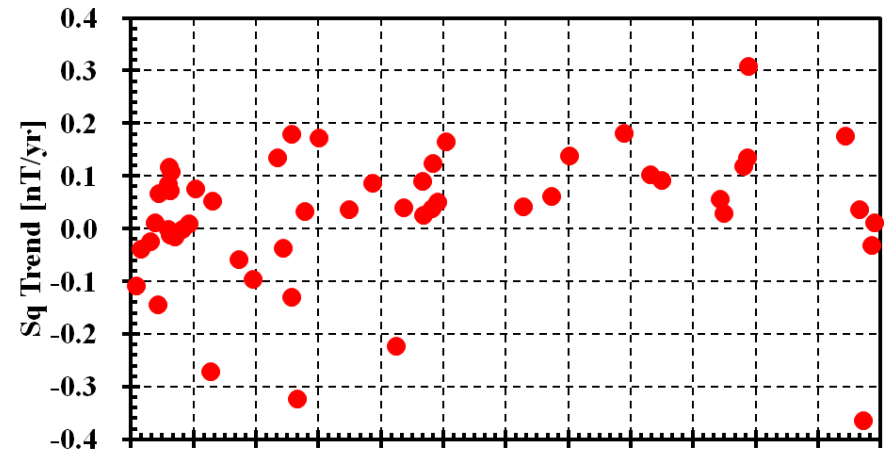
4.5 Sq振幅と主磁場の長期トレンドの比較

Sq場の変動

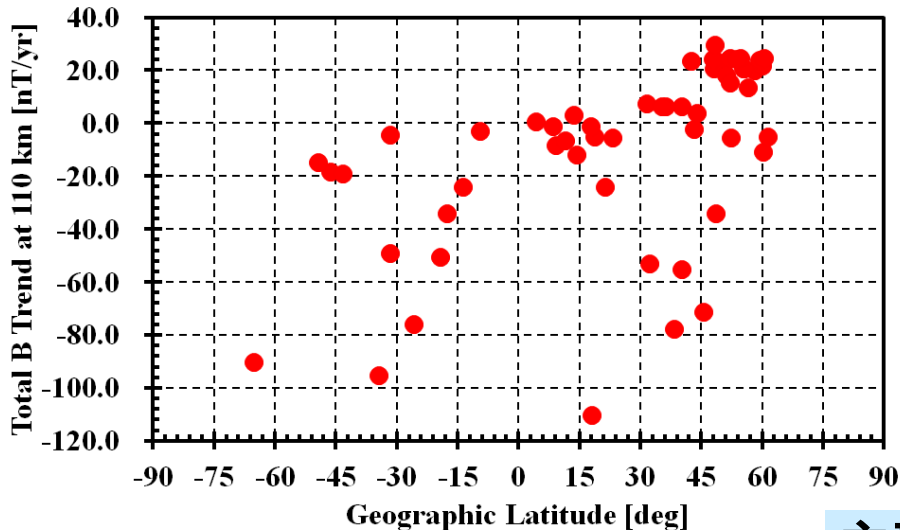
Sq Trend



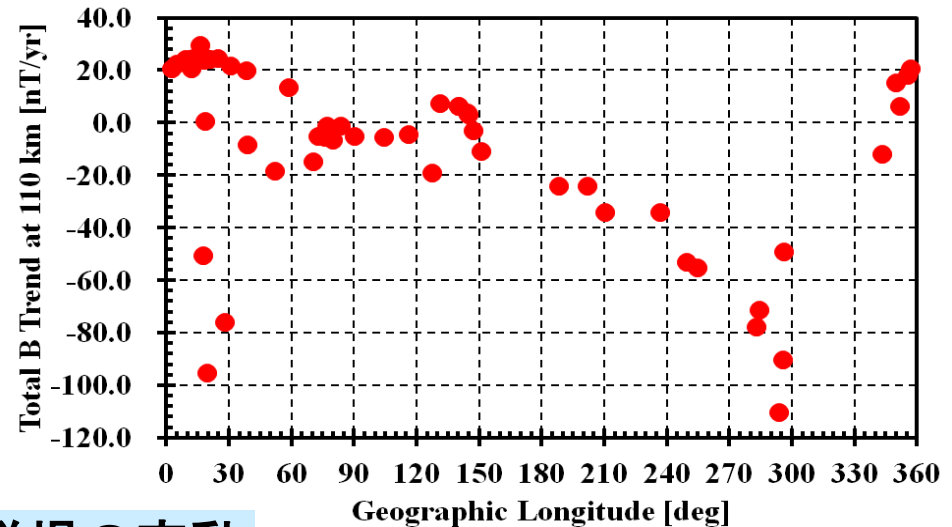
Sq Trend



Total B Trend at 110 km

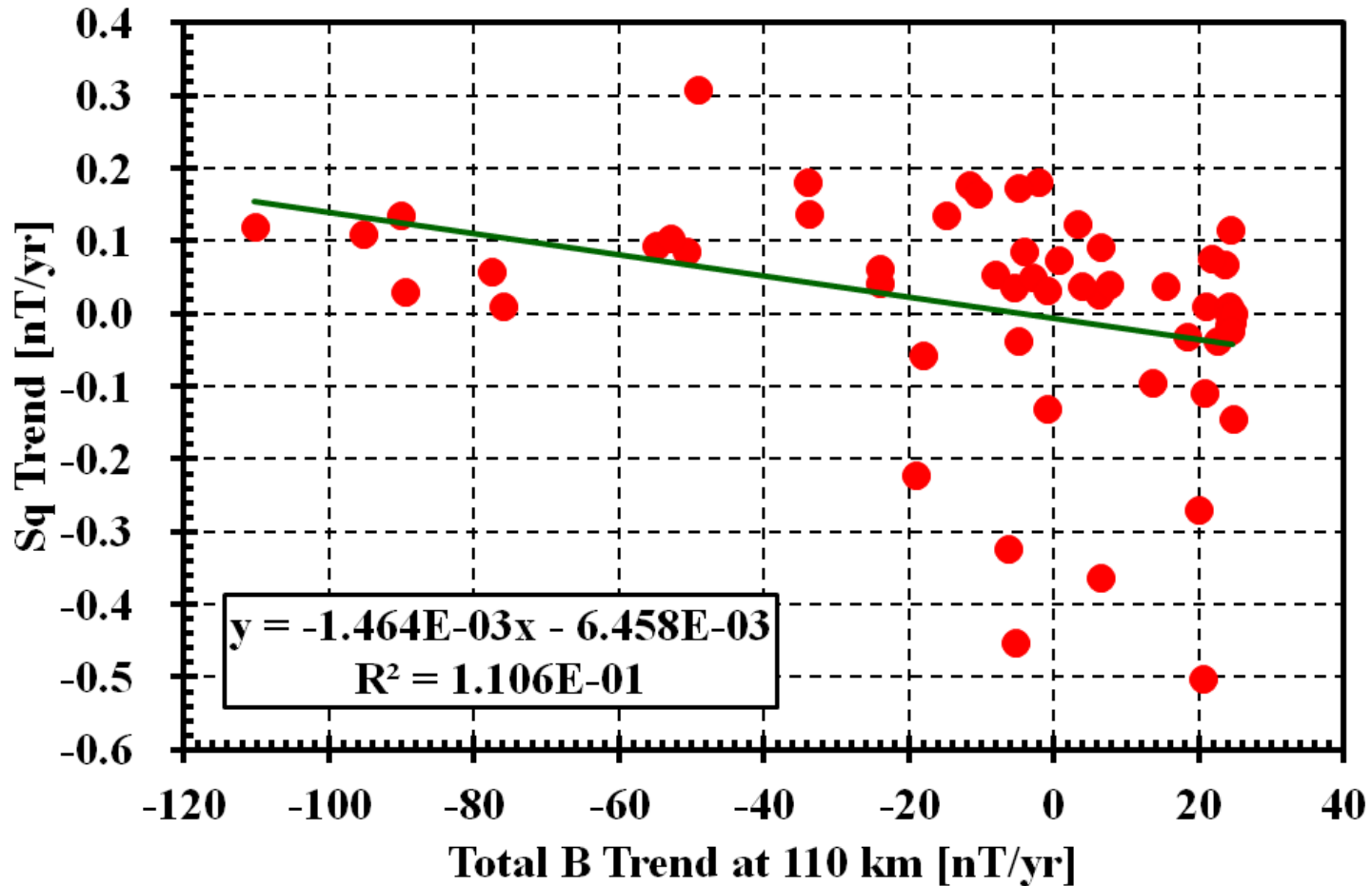


Total B Trend at 110 km



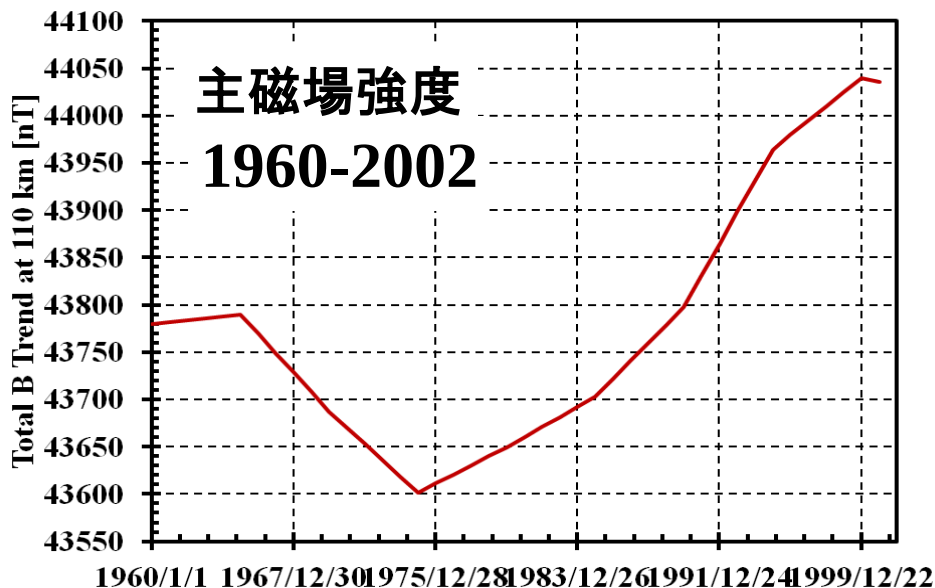
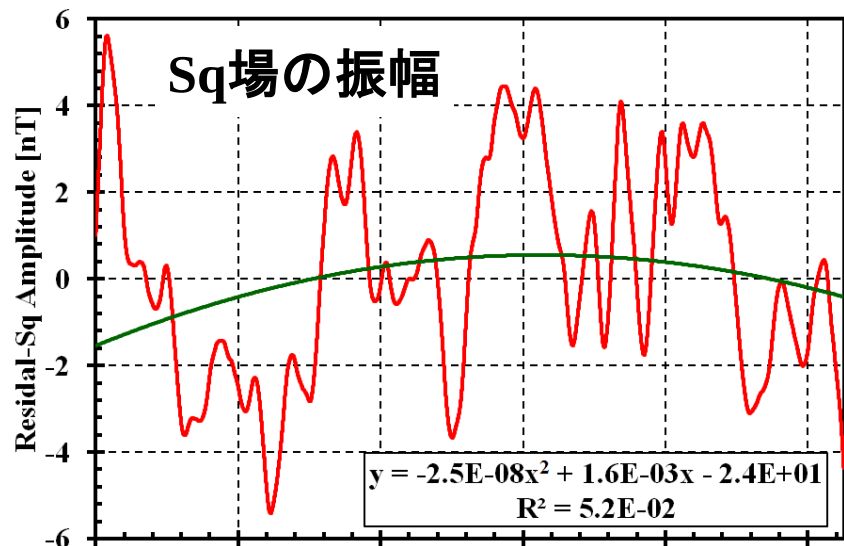
主磁場の変動

4.6 Sq振幅と主磁場の長期トレンドの関係



Sq振幅の経年変化は、主磁場の経年変化とは逆相関となっており、主として磁場減少がSq場の振幅を増加させている

4.7 Sq振幅と主磁場の変動が複雑な場合



柿岡におけるSq場振幅と電離圏
高度110kmにおける主磁場強度の
経年変化

1. 1976年以前

主磁場強度の減少とともにSq
場の振幅が増加傾向

2. それ以降

主磁場の増加とともにSq場の振
幅が減少する

ただし、両者の位相は、6年程度
ずれている??

3. 直線近似でよいか?

今後の検討課題

1. 1960年から2001年までの期間における55の地磁気観測点のデータを用いて、地磁気静穏日変化(Sq)の振幅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
2. 全ての観測点の示すSq振幅の長期変動は、強い太陽活動依存性があり、太陽放射フラックス(F10.7)にほぼ線型的に比例する。
3. Sqの振幅は、全球的にみて年々増加傾向にあるが、ヨーロッパ地域やインド地域では、減少を示す観測点が多く存在する。

これは、IUGONETがカバーする多点の観測データを用いることによって新たに明らかにした事項である。

その年変動の1年あたりの変化率は、0.1-0.2 [nT/yr]に集中するが、大きいもので0.4 [nT/yr]に達する。

4. Sq振幅の経年変化は、主磁場の経年変化とは逆となっており、主として主磁場の変化がSq場の振幅を制御している。

ヨーロッパ地域など、主磁場の増加がみられるところでは、Sq振幅の経年変化は、減少傾向を示す場合が多い。

1. 使用できる全ての地磁気観測点のデータを用い、全球的なSq振幅の年変動の傾向を明らかにする。
2. 電離圏電気伝導度と用いて、地磁気永年変化に伴う電離圏伝導度の増加の寄与を取り除いて、それ以外の成分を抽出し、**地球環境変動に伴う超高層大気の変動成分を明らかにする**
3. 熱圏風との比較解析やSqの短期変動の機構も明らかにする

