



地磁気日変化の季節・太陽活動依存性について

新堀淳樹¹, 小山幸信², 能勢正仁³, 堀智昭¹, 大塚雄一¹
名大ISEE¹, 大分高専², 京大地磁気センター³

1. はじめに

1.1 地磁気日変化(Sq) とは？

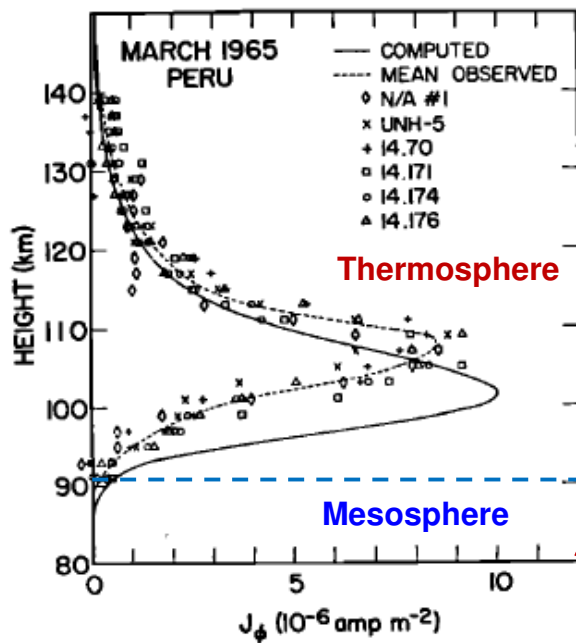
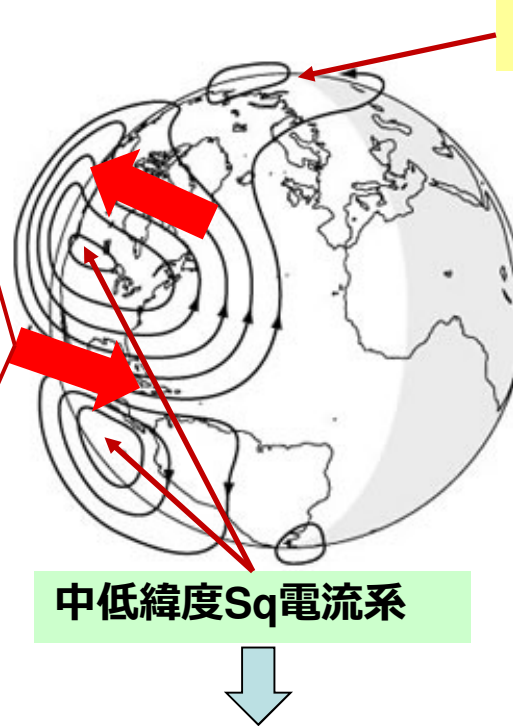


Fig. 3 ロケット観測から得られた電離圏電流密度の高度プロファイル[Forbos, 1981]



高緯度Sq電流系

太陽風

Fig. 2 Sq電流系の外観図 [Richmond and Thayer (2000)]

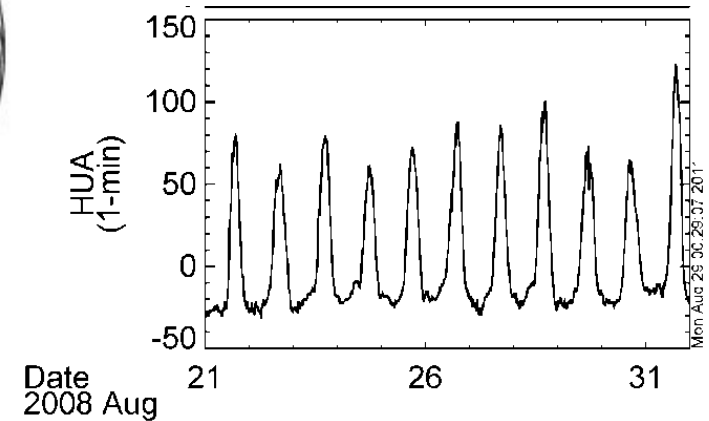
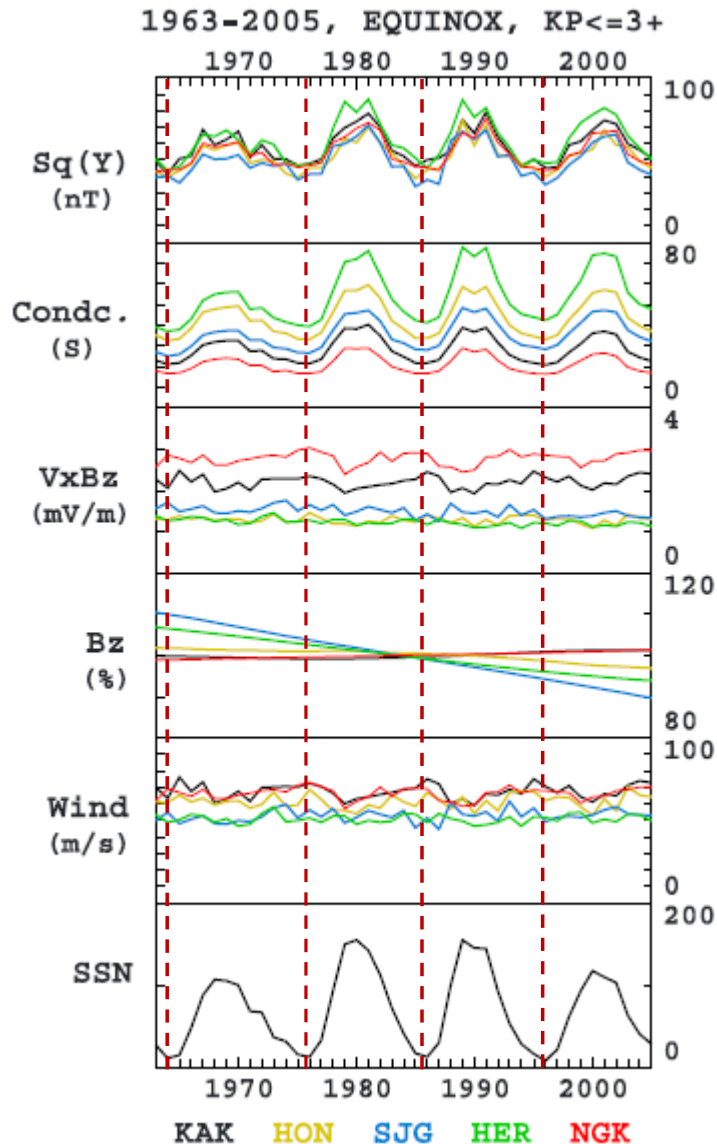


Fig. 1 Sq変動の例

Sq場の長期変動を研究する意義

高度90-150 kmにおける超高層大気・電離圏の長期変動シグナル(太陽活動、下層大気による影響、地磁気永年変化など)を捉えることが可能

1.2 Sq場の長期変動に関するこれまでの研究事例



○太陽活動依存性 [e.g., Sellek, 1980]

Sqの磁場振幅には太陽活動度の指標(相対黒点数、F10.7フラックス)とよい相関がある

○長期変動

-背景磁場の永年変化の影響[e.g., Shinbori et al., 2014]

-下層大気の影響[e.g., Elias et al., 2010]

○電離圏ダイナモ電場の長期変動[Takeda, 2013]

電離圏ダイナモ電場の強度には太陽活動による影響がほとんど見られない。

(むしろ、反相関?)

1963-2005までのSq場の長期変動
[Takeda, 2013].

1.3 過去の研究の問題点と本研究の目的

- Sq振幅の長期変動に関する研究の問題点

1. 地磁気の東西、あるいは南北成分を主に利用している点
2. 各地方時と月に分けたSqの磁場振幅の季節変化、太陽活動依存性について十分に調べられていない点

$$\text{Sq-Y} = |\text{Sq-Y}(15 \text{ h LT}) - \text{Sq-Y}(9 \text{ h, LT})|$$

3. データ解析に用いている観測点が少ない点

- 本研究の目的

赤道域から中緯度に分布する地磁気観測点から得られた長期の地磁気データと太陽活動度指数(F10.7)を合わせて解析することにより、**Sq磁場変動の東西、南北成分の季節変化や太陽活動依存性を明らかにする**

- Sq-XとSq-Yの地方時と季節変化の違い

- 赤道域Sq-Yの磁場変化から推定される南北半球沿磁力線電流の季節・太陽活動依存性

2.1 観測データ

○太陽活動指数: solar F10.7 flux (NGDC/NOAA)

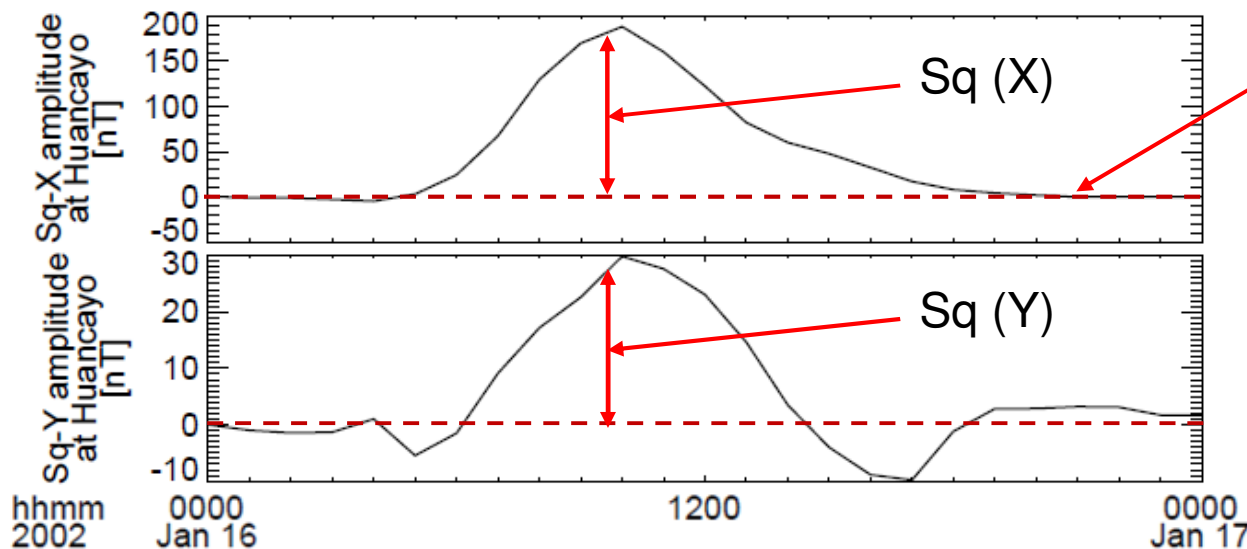
○地磁気: 1時間値 (WDC Kyoto)

→女満別(中緯度)とGuam(赤道域)のデータを中心に解析

○地磁気指数(Kp index): 3時間値(WDC Kyoto)

2.2 Sq磁場変動の同定方法

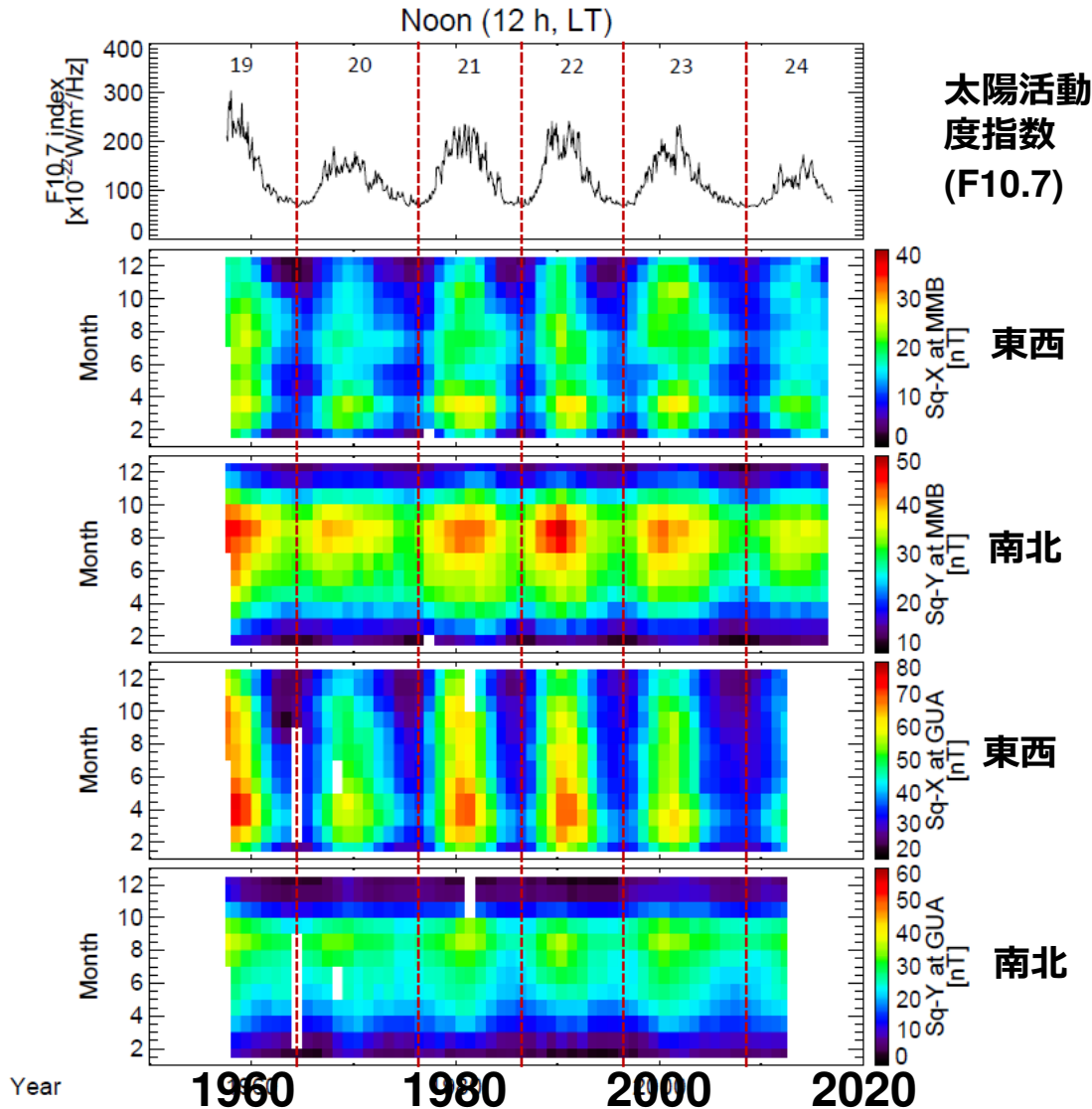
○地磁気静穏日の定義: $Kp < 4$



真夜中付近(22 – 2 h, LT)を平均した磁場の値をベースラインとして定義

各地方時について月平均を行ったSq-XとSq-Yを解析

3.1 Sq場の季節変化と太陽活動依存性



○ 季節変化

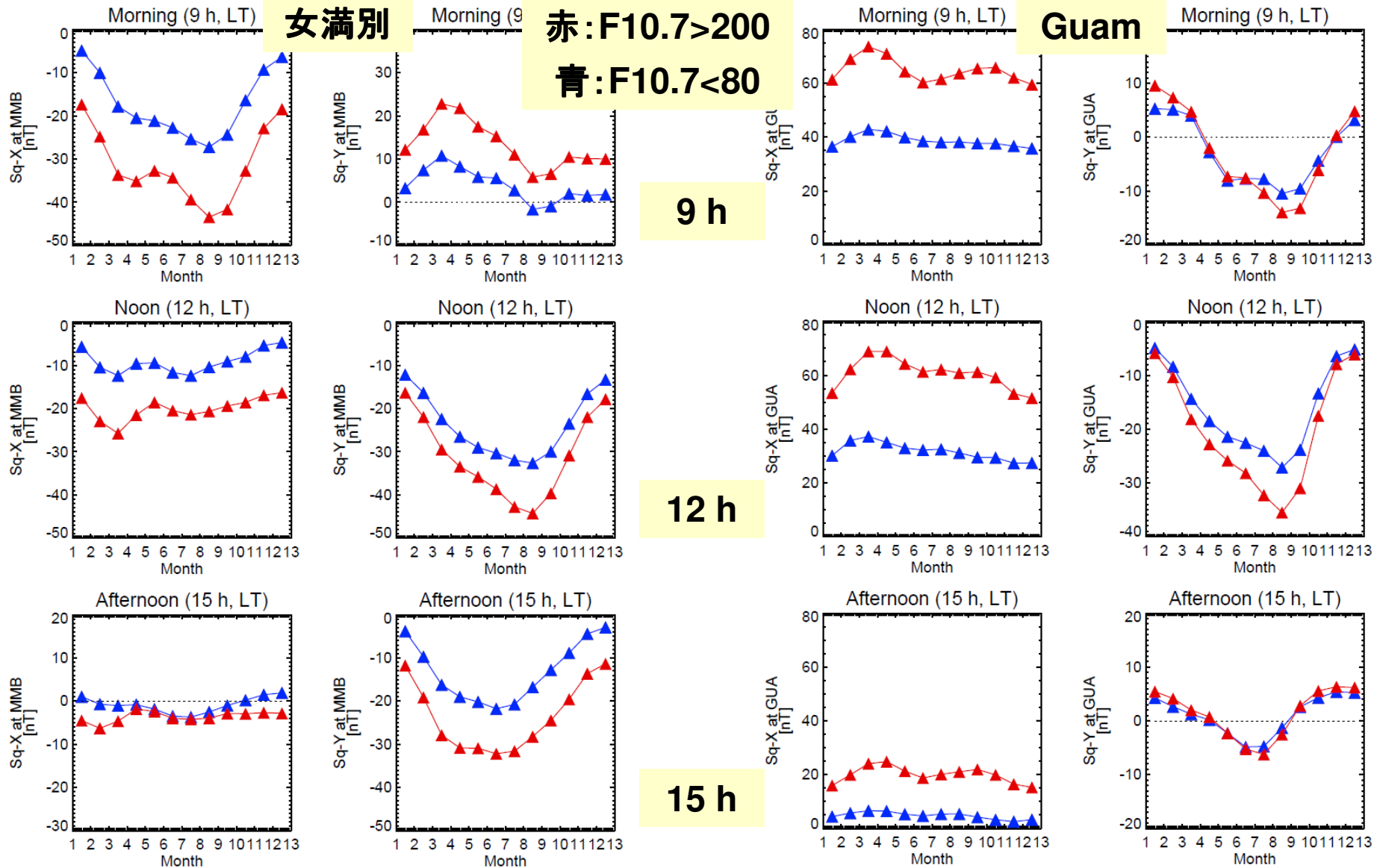
電場の成分に対して変動の
パターンが異なる

Sq-Xの最大が3月

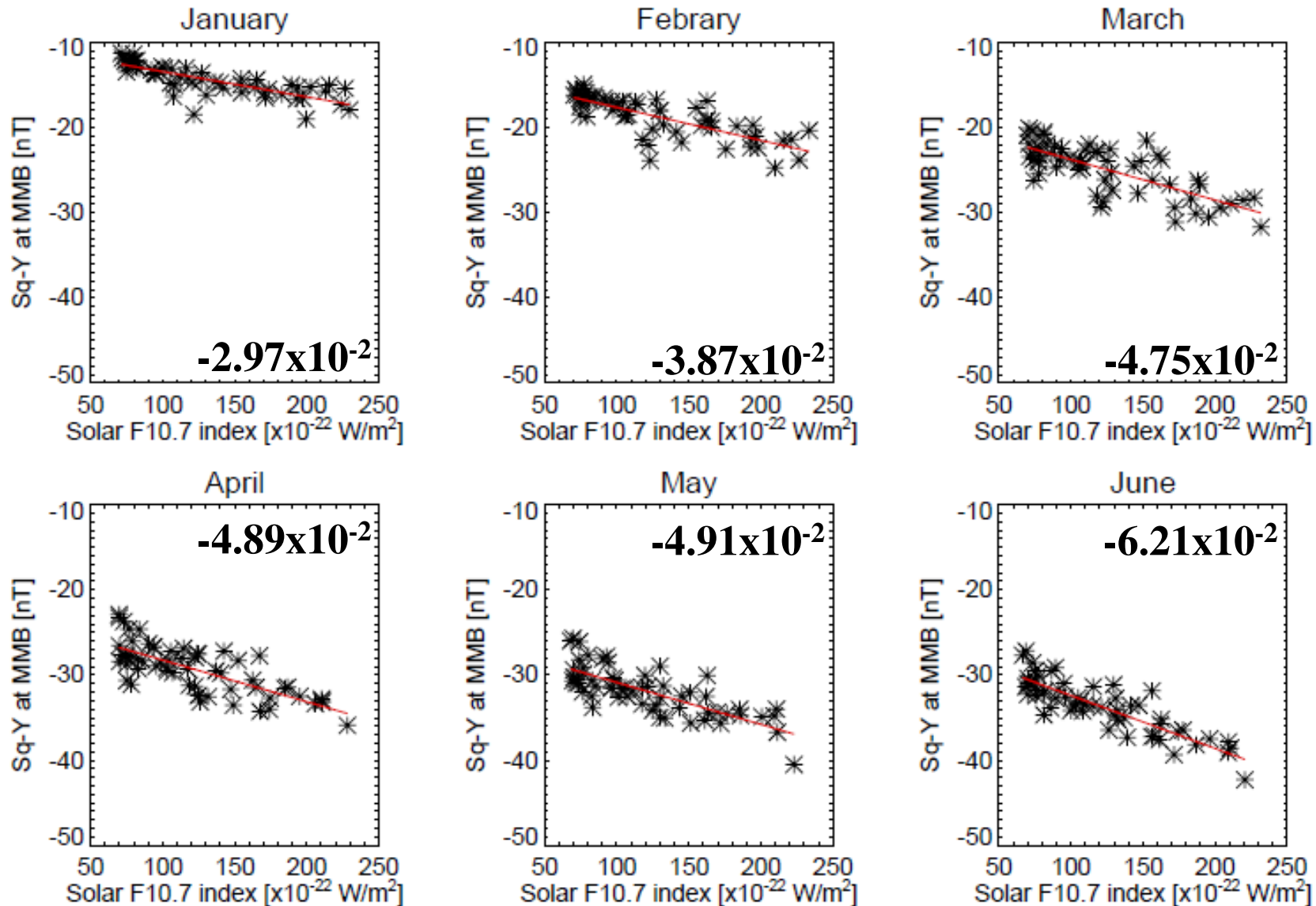
Sq-Yの最大が8月

○ 太陽活動11年周期性

3.2 Sq場の地方時毎における季節変化と太陽活動依存性

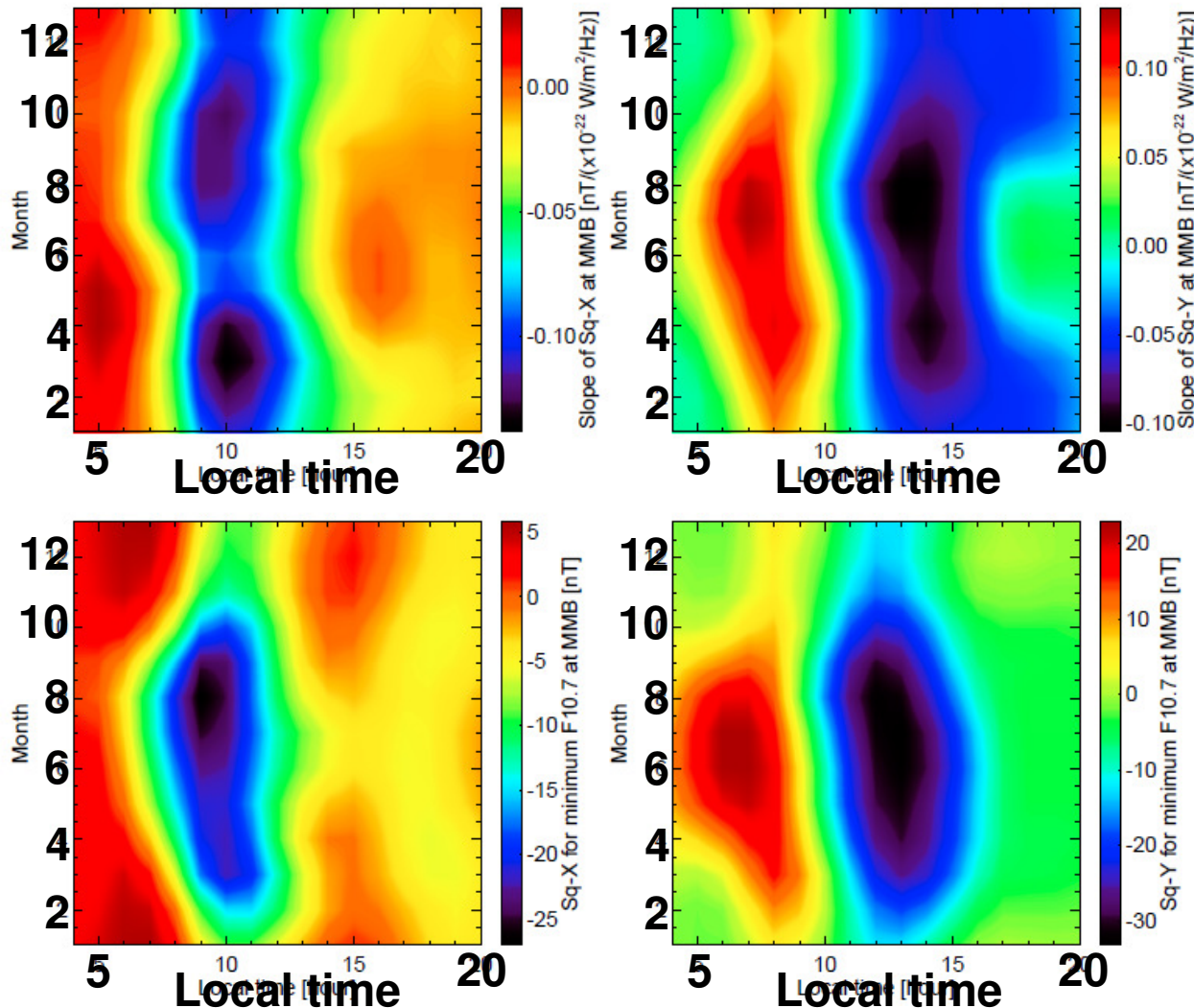


3.3 正午の女満別におけるSq-YとF10.7の相関関係



3. 解析結果

3.4 中緯度SqのF10.7に対する感度分布とF10.7最小値での直線近似から見積もられるSqの磁場変動分布

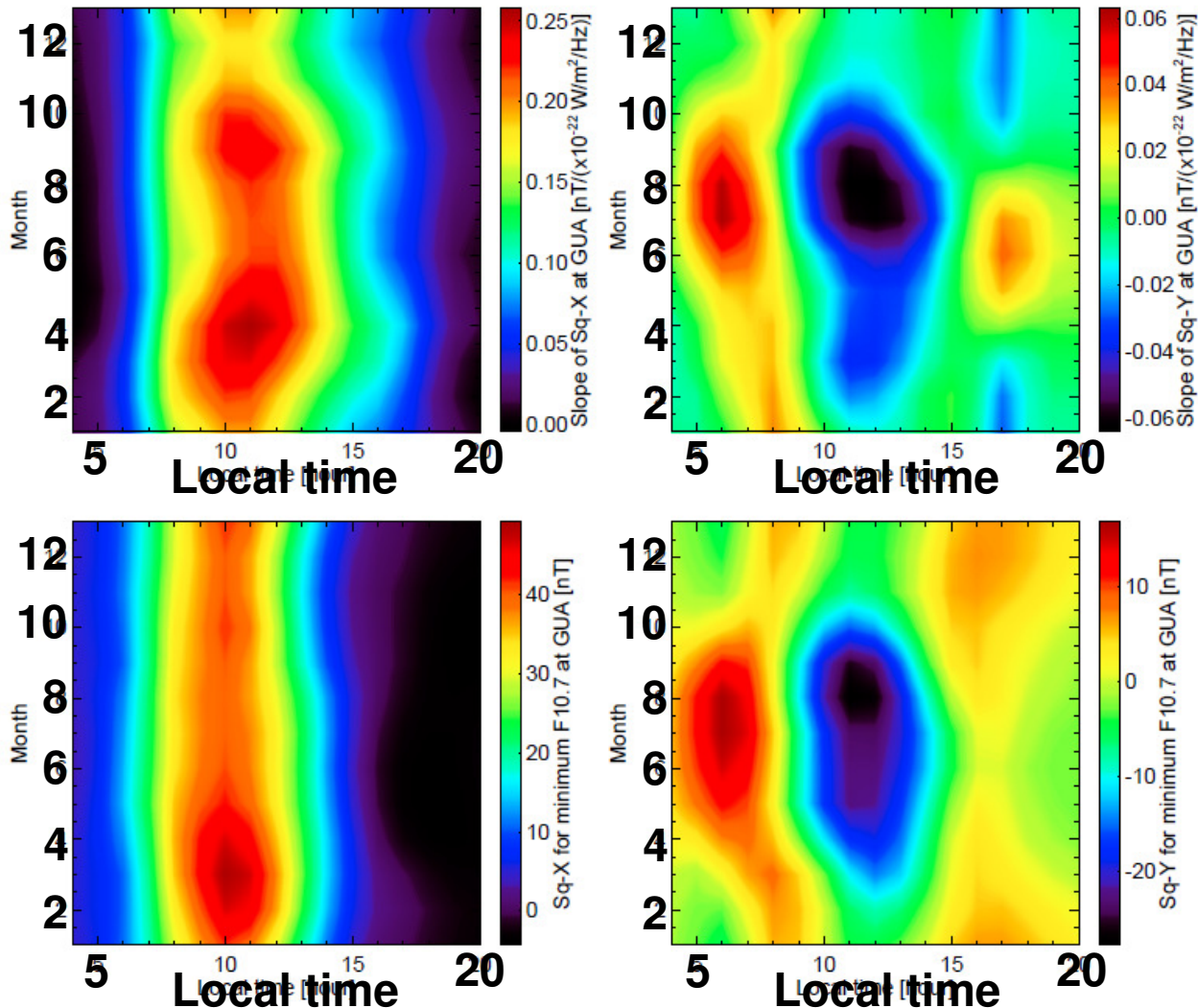


左列: Sq-X
 右列: Sq-Y
 上段: 直線近似で得られた傾きの分布
 下段: 直線近似から見積もられる最小F10.7におけるSqの磁場振幅分布

○Sq場の変化に対する太陽活動の感度が地方時と季節に応じて変化する
 ○Sq-Yは9と15時で対称な変化をしていない

3. 解析結果

3.5 赤道域SqのF10.7に対する感度分布とF10.7最小値での直線近似から見積もられるSqの磁場変動分布



左列: Sq-X

右列: Sq-Y

上段: 直線近似で得られた傾きの分布

下段: 直線近似から見積もられる最小F10.7におけるSqの磁場振幅分布

○Sq場の変化に対する太陽活動の感度が地方時と季節に応じて変化する

○Sq-Xは3月に最大となる

4.1 Sq-XとSq-Yの季節変化と太陽活動依存性の特徴

○ Sq-X とSq-Yは中緯度、赤道域共に明瞭な季節変化と太陽活動依存性を示した

1. Sq-XとSq-Y成分で季節変動のパターンが異なる

[女満別：9 h, LT]

[グアム:12 h, LT]

Sq-X: 8月に最大、1月に最小

Sq-X : 3月に最大、12月に最小

Sq-Y: 2月に最大、8月に最小 Sq-Y: 8月に最大、2月に最小

→ 電離圏E領域の電子密度の季節変化のパターンに合致しない

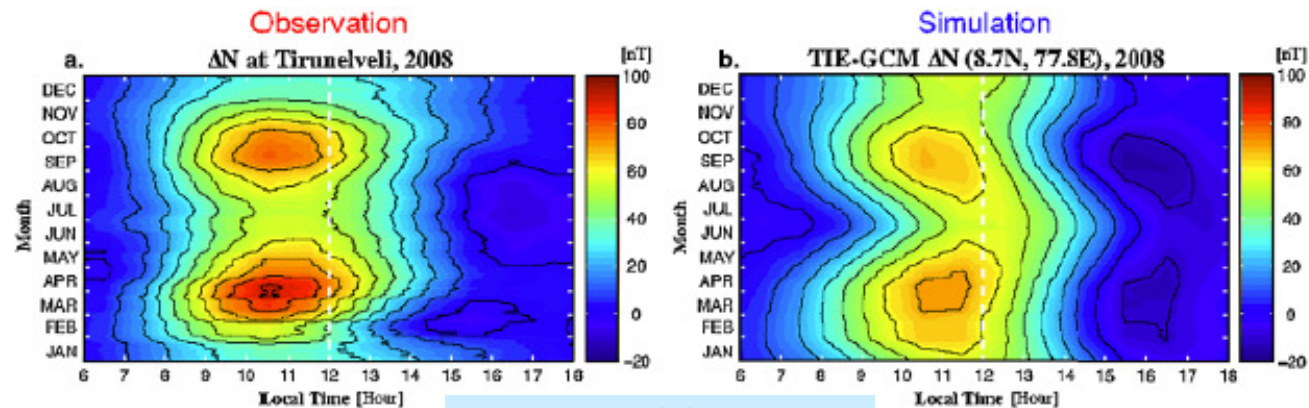
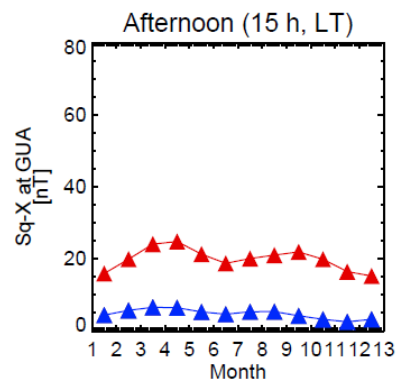
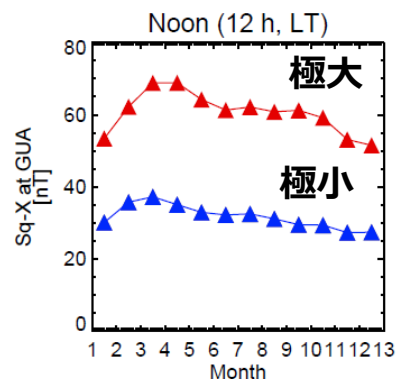
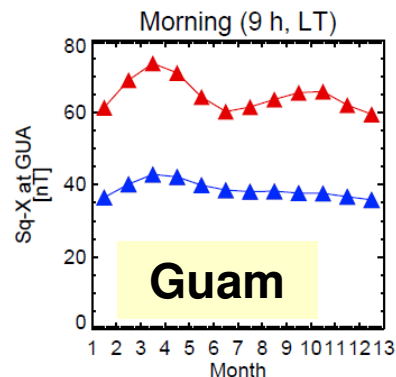
電離圏ダイナモに関連する下部熱圏域の中性風の影響

$$\mathbf{J} = \sum \bullet (\mathbf{E} + \mathbf{U} \times \mathbf{B})$$

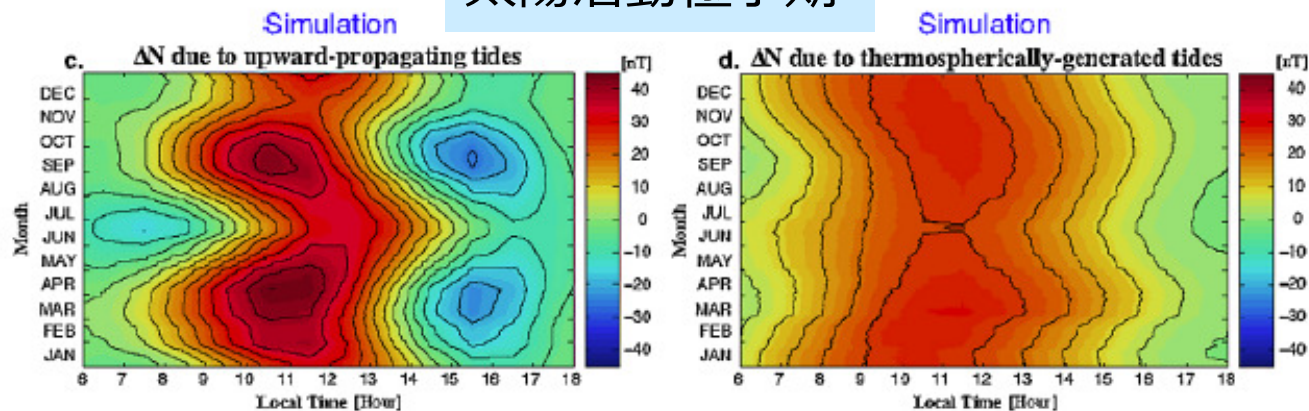
電離圏電子密度、中性大気密度、磁場強度

下部熱圏の中性風

4.2 赤道域におけるSq-Xの季節変化



太陽活動極小期



TIE-GCMで計算された赤道域の磁場変動[Yamazaki et al., 2014]

下段左: 下層大気の効果、下段右: 太陽放射による熱潮汐のみ

観測では太陽活動極大期にSAO変動が卓越する

4.3 Sq-X、Sq-Yの太陽活動依存性

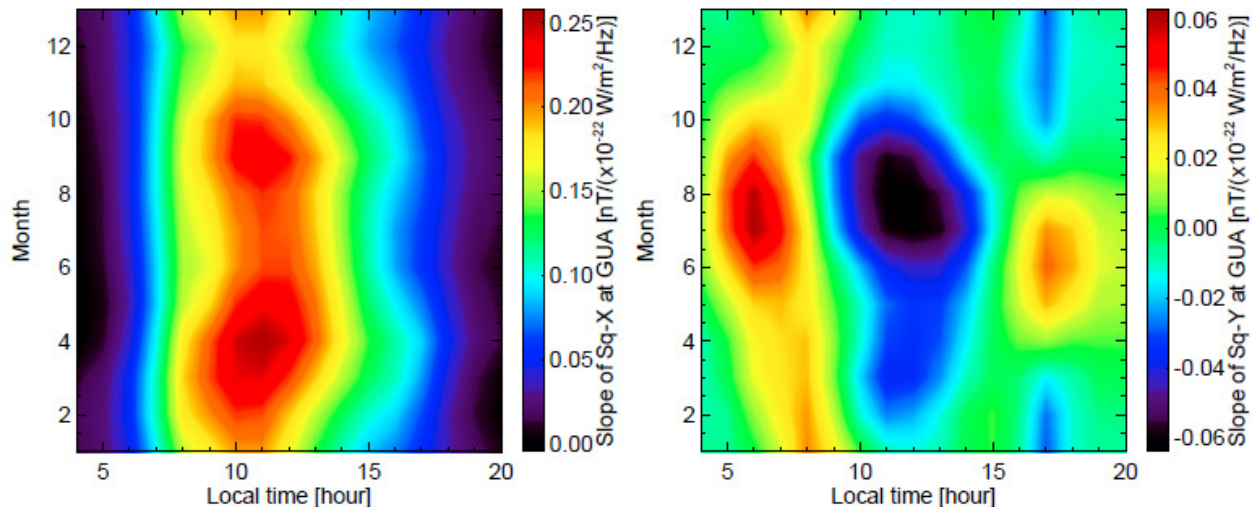
太陽活動度指数(F10.7)に対するSq-X、Sq-Y成分の感度が各月ごとに異なる

→Takeda [2002]で報告されている結果と基本的に整合 (ただし、Sq-Yのみ)

- 中性風の季節変化(太陽活動と関係が薄い成分)
- 両半球を流れる沿磁力線電流の効果

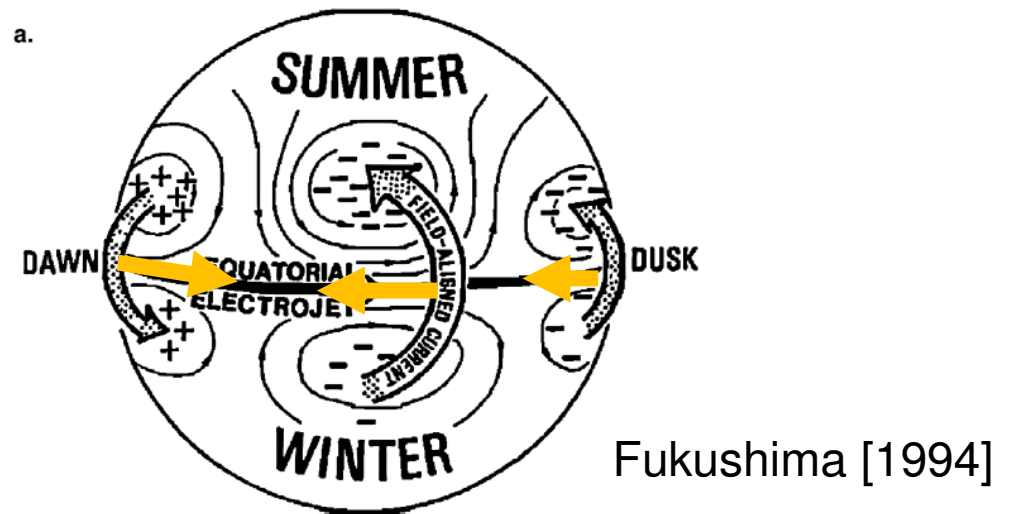
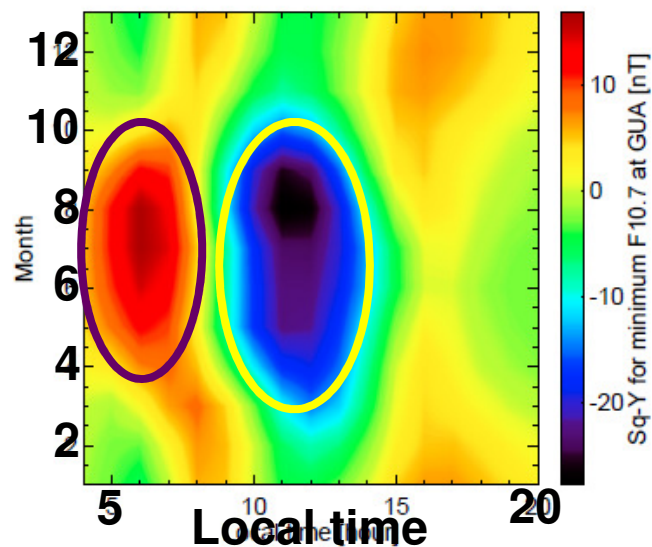
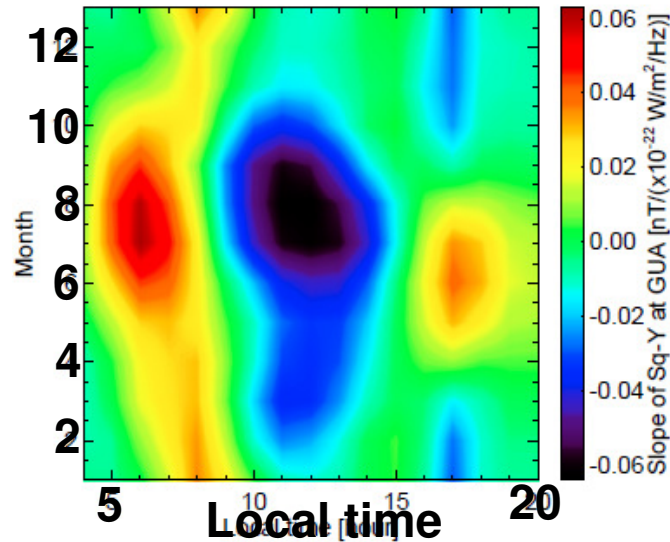
本研究で得られた知見

中緯度と赤道域ともに太陽活動に対するSq-X、Sq-Y成分の感度が月だ



4.4 Inter-hemispheric FACsによる赤道域Sq-Y変動

- 赤道Sq-Y成分の日変化波形の季節変化は、Fukushima[1994]で提案された南北両半球をつなぐInter-hemispheric FACsの作る磁場変化に酷似



4.4 Inter-hemispheric FACsによる赤道域Sq-Y変動

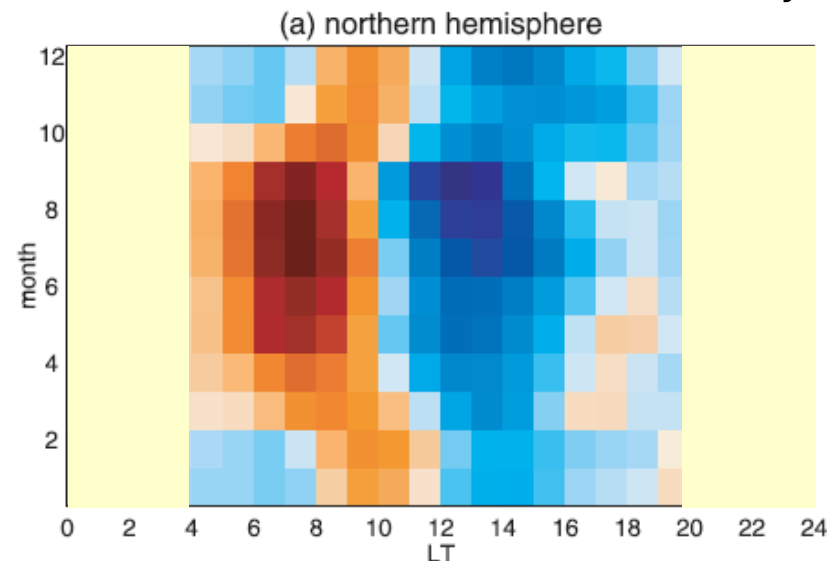
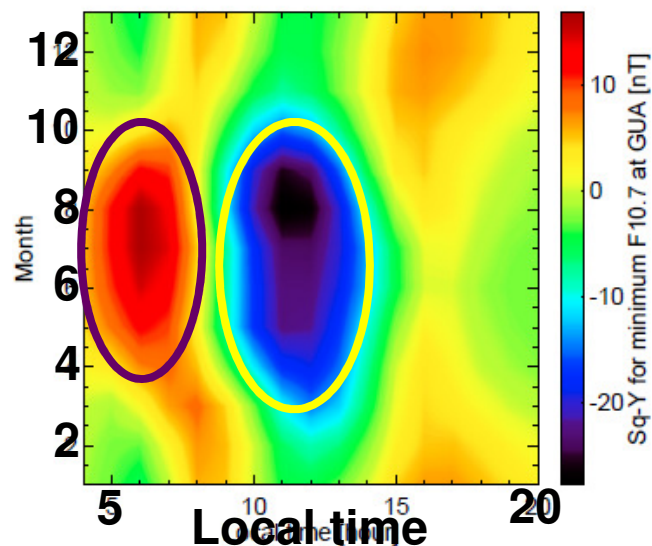
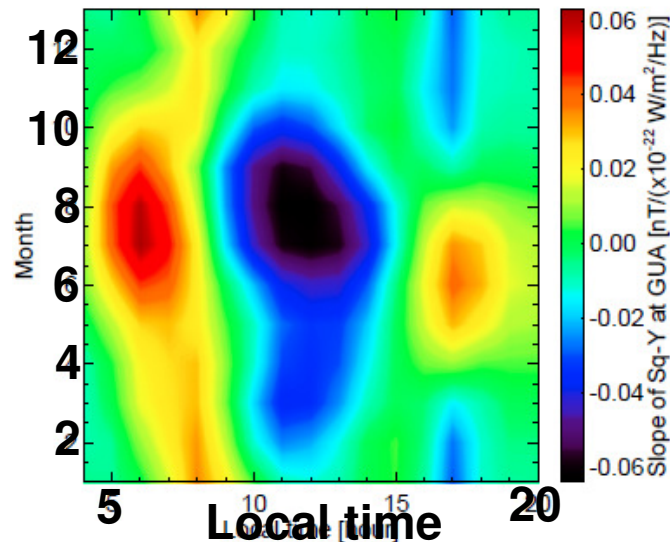
- 北半球の低緯度に分布する地磁気観測点で得られたD成分の地方時と季節変化がよく一致している

本研究で得られた知見

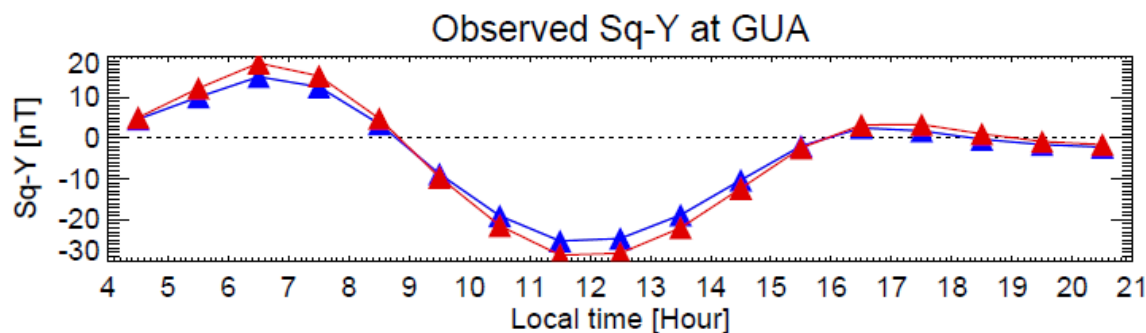
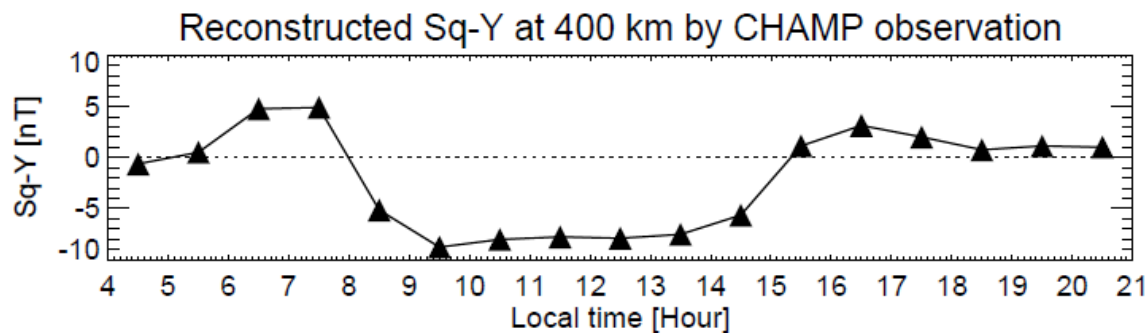
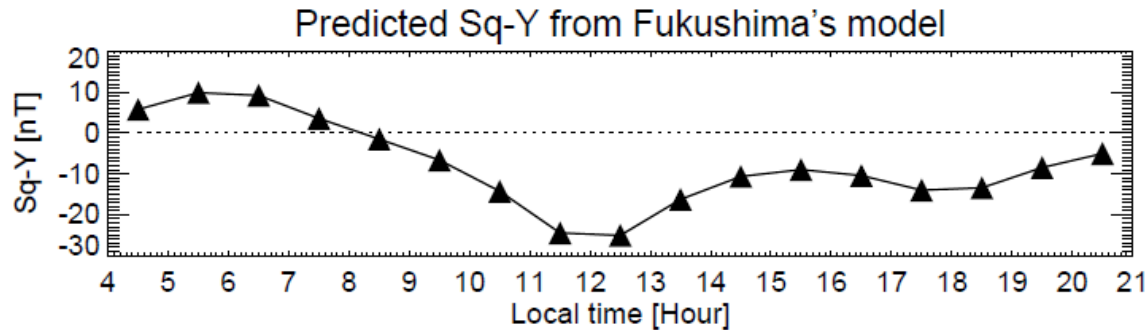
南北両半球をつなぐFACには太陽活動による影響が存在

正相関：朝-正午、負相関：夕方側

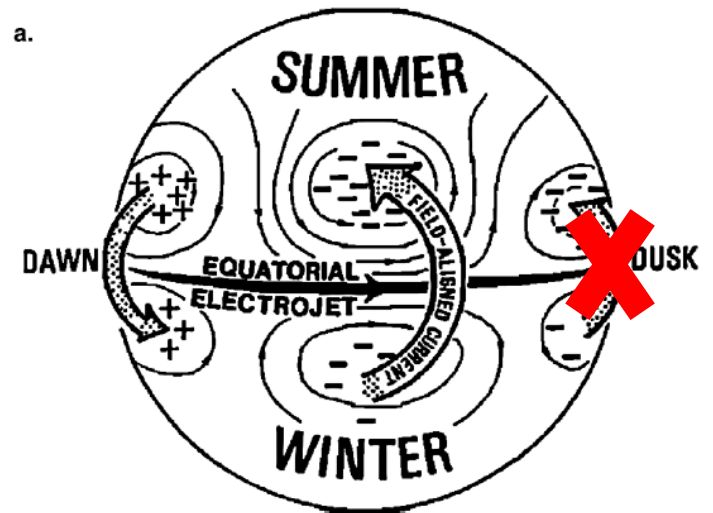
Yamashita and Iyemori [2002]



4.5 モデル、衛星、地上観測による赤道域Sq-Y変動の比較



夕方側の電流の向きが観測に一致しない



Fukushima [1994]

a.

○1957-2016年までの長期にわたる地磁気1時間値を用いて、女満別(中緯度)とGuam(赤道域)におけるSq磁場変動の南北、東西成分の季節変化と太陽活動依存性について調べた。

1. Sq-XとSq-Y成分は明瞭な季節変化と太陽活動依存性を示した
2. 季節変化のパターンは、**Sq-XとSq-Yとはかなり異なる**
3. 太陽F10.7指数とSq-X, Sq-Yの相関解析を行った結果、Sq-X, Sq-YともにF10.7と線形の関係を示した。ただし、その**直線近似の傾きは地方時と月によって変化する**
4. 赤道域Sq-Yの日変化の季節変化は南北両半球を流れるInter-hemispheric FACsの作る磁場変化に酷似しているが、**夕方側の電流の向きはFukushima [1994]モデルに反する**
5. その磁場変化には**弱い太陽活動依存性**がある。この結果は、ある時期だけを解析したCHAMP衛星結果とは異なる

→**長期データベース、データ解析ツールの存在の貢献**

○この内容は以下のJGR論文に投稿し、現在、2回目の修正版の査読中

Title: Characteristics of seasonal variation and solar activity dependence of the geomagnetic solar quiet daily variation

Authors: Atsuki Shinbori, Yukinobu Koyama, Masahito Nosé, Tomoaki Hori, and Yuichi Otsuka

○査読者からはそれなりに高い評価を得ている

Reviewer 1: Their main new result is to clarify that the LT and seasonal dependence of Sq variations to solar activity. They then interpret the characteristics of the seasonal variation of the equatorial Sq-Y component as being suggestive of the variations of interhemispheric FACs between the dawn sector and the pre-noon to dusk sectors.

Overall I find the data analysis and results to be fairly clear and convincing.

Reviewer 2: The manuscript deals with a scientifically important and interesting topic, namely the solar quiet (Sq) variation and field aligned currents.

Reviewer 3: Previous studies found that the influence of the solar cycle on the Sq field depends on the season. The present study extends the current knowledge by addressing the local-time dependence. I consider this to be significant progress.

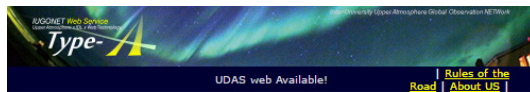


2. Analysis method

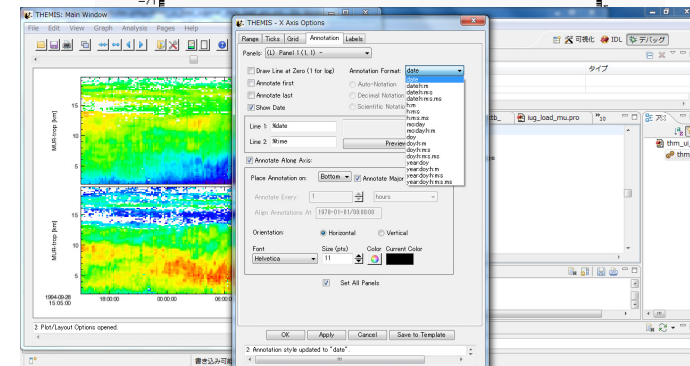
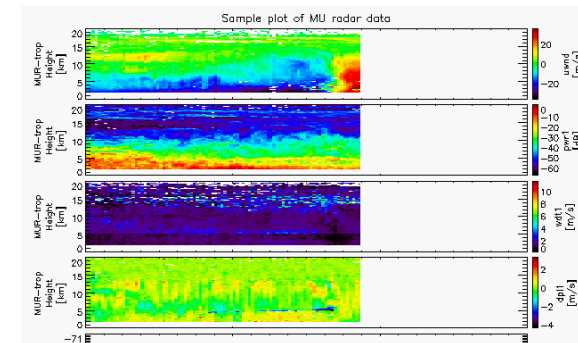
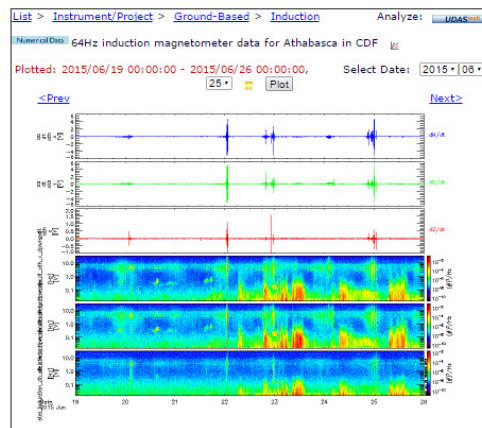
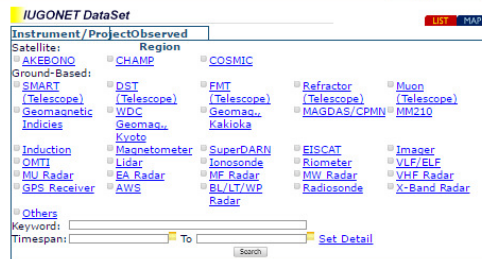
2.1 Data acquisition and analysis using the IUGONET products

IUGONET data analysis service
(**IUGONET Type-A**) to cross-search various
kinds of ground-based solar and earth's
atmospheric observation data.

iUgonet Data Analysis Software (UDAS)
Integrated data analysis tool to handle the
IUGONET data.



<http://search.iugonet.org>



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

The IUGONET data analysis system is a powerful tool for data handling and integrated analysis for the long-term variation in the upper atmosphere.