



電磁圏シンポジウム 九州
2011/02/28-03/01

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

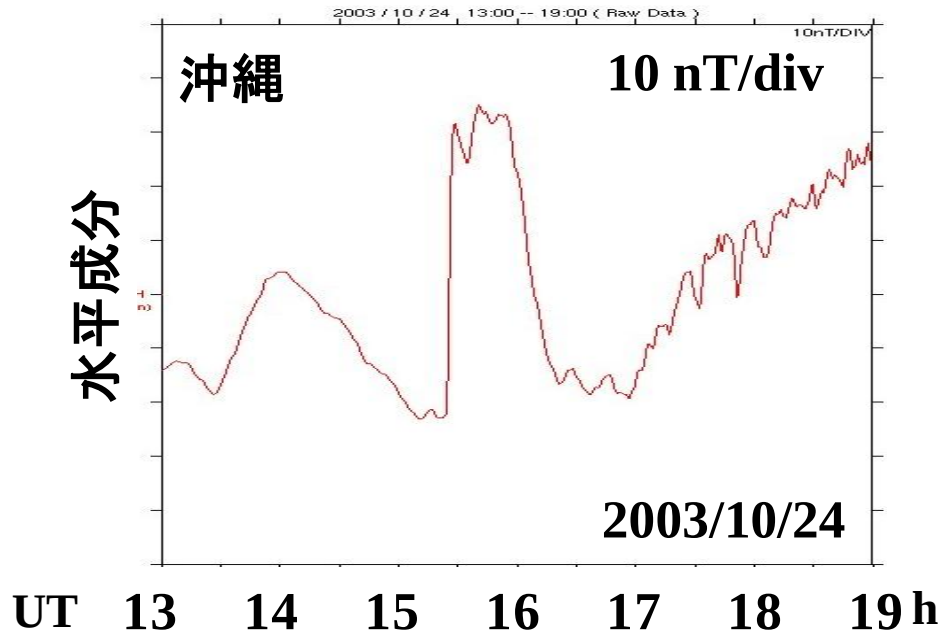
高緯度から磁気赤道域における磁気急始 (SC)の磁場振幅の季節依存性について

新堀淳樹・辻裕司・菊池崇・荒木徹・池田昭大・魚住禎司・
S. I. Solovyev・Boris M. Shevtsov・Roland Emerito S. Otadoy・
歌田久司・長妻努・湯元清文・

IUGONETプロジェクトチーム

1.1 Sudden Commencement(SC)研究の意義

SC現象の特徴



○孤立現象

開始時刻や発生要因を見極め易い

○磁気圏－電離圏におけるプラズマ・電磁環境の急変に伴う状態遷移過程の理解に欠かせない

Ex. 太陽フレア、地震、サブストーム、雷、破局

SCの磁場振幅の持つ情報

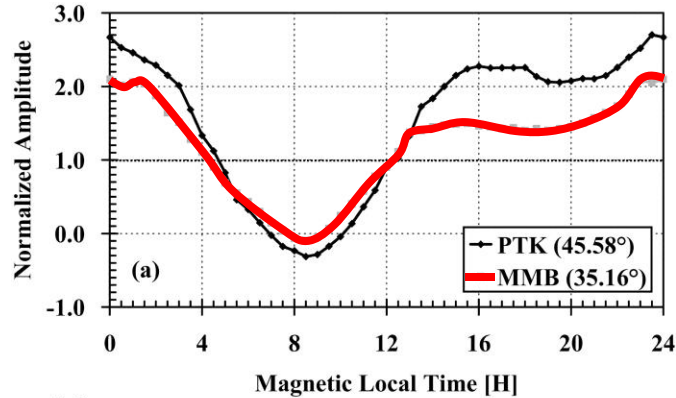
磁気圏電流→太陽風の変動(動圧・惑星間磁場)

電離圏電流→電離圏の変動(地球側の変動)

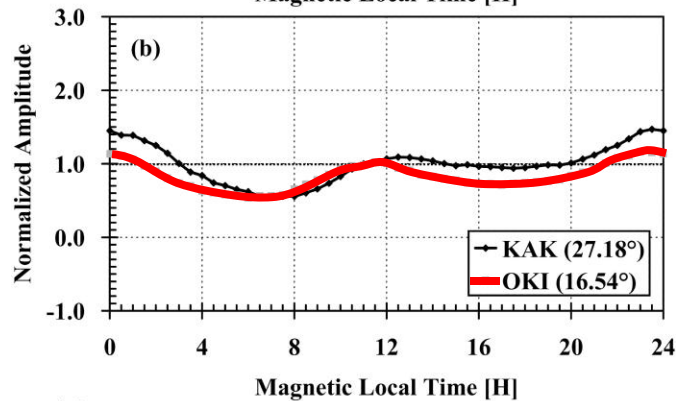
地下誘導電流→地殻の伝導度分布

1.2 SCの電流系と磁場振幅の磁気地方時依存性

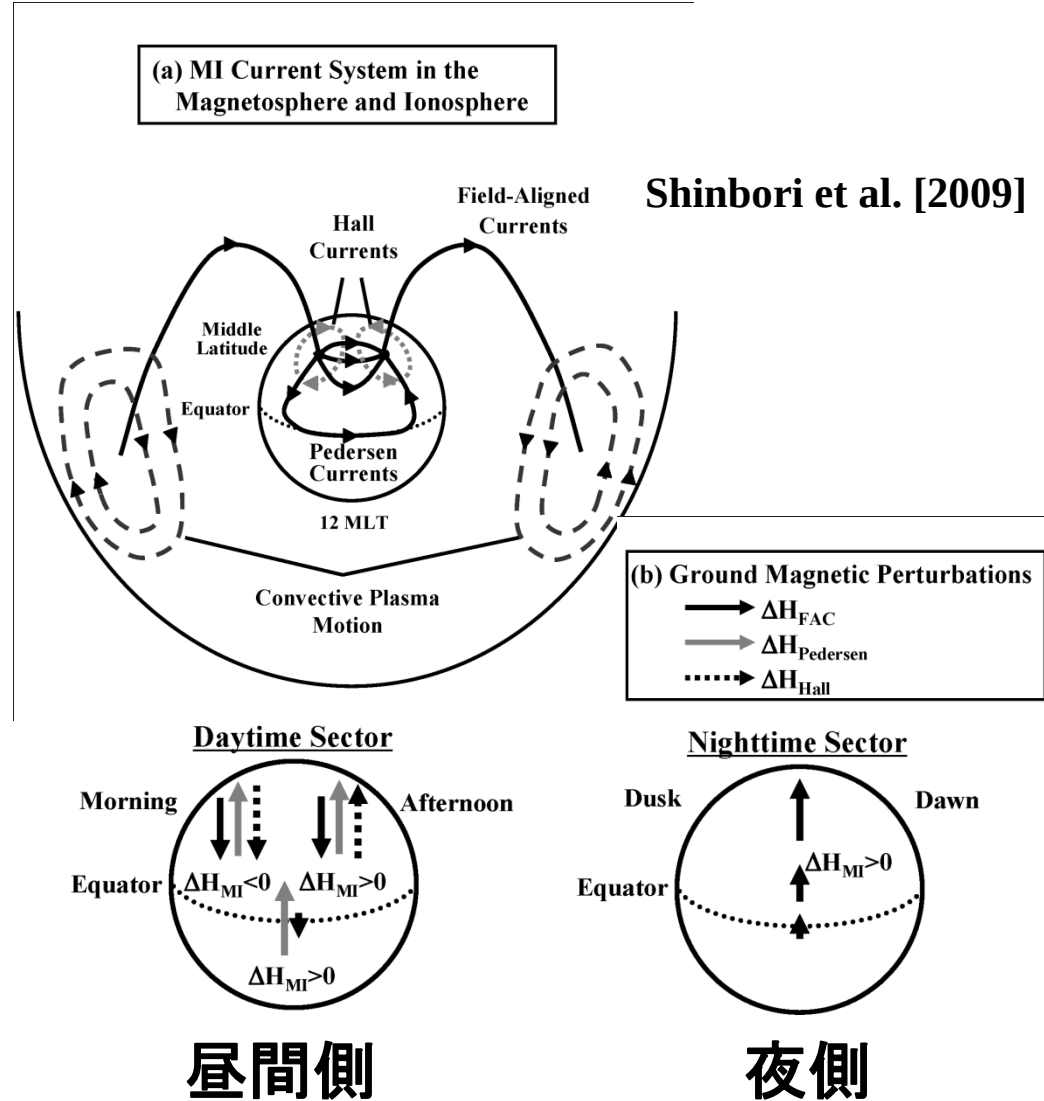
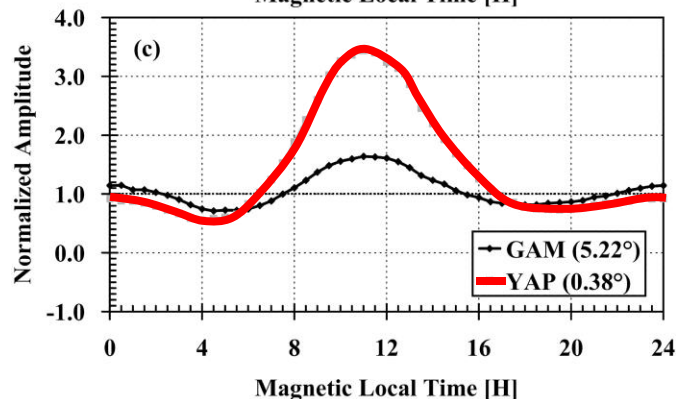
中緯度



低緯度

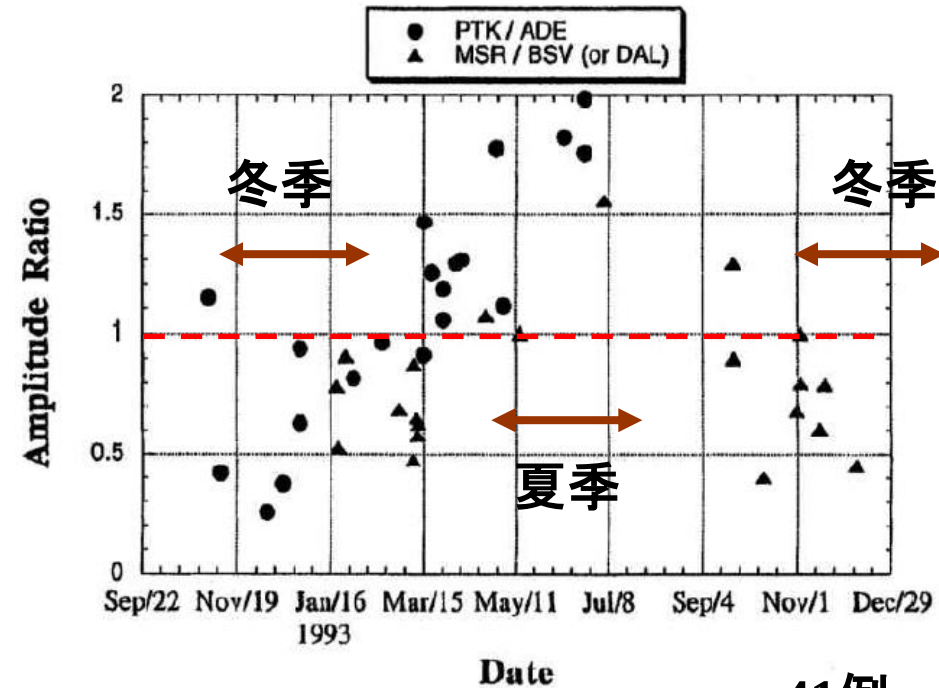


赤道域



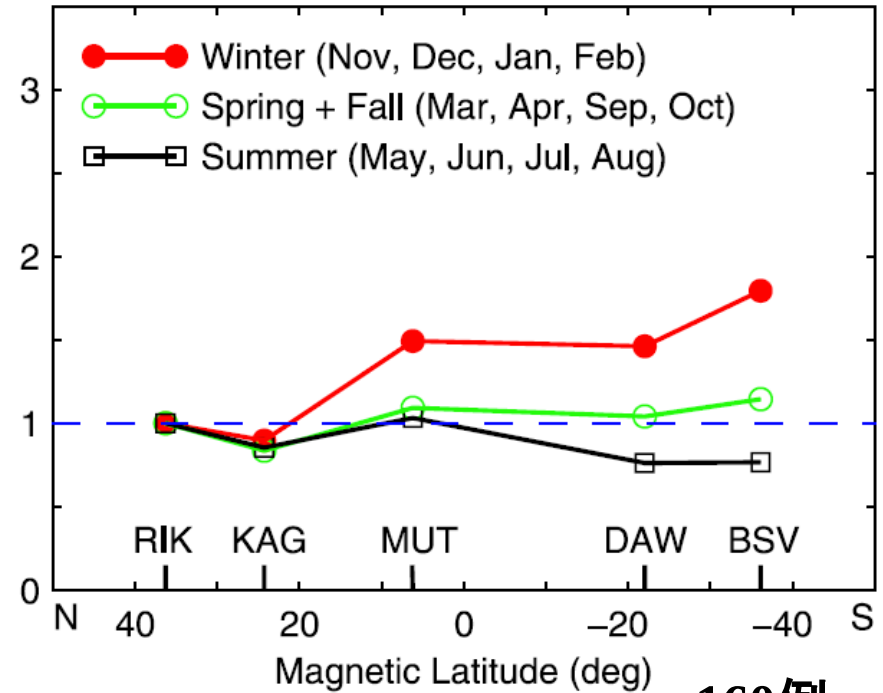
1.3 SCの磁場振幅の季節依存性

SC & SI Observed at 210° LOW-LAT. Conjugate Points



Yumoto et al. [1996]

(f) Southward IMF: Seasonal variations



Huang and Yumoto [2006]

要因：電離圏電流の季節変動

要因：磁軸の傾きの効果

※統計に用いているイベント数が少ない

1.4 これまでの問題点

多量の観測点、データを用いていないため、磁気地方時(MLT)と磁気緯度(MLAT)に対するSC振幅の季節依存性を複合系の立場から考察している研究例が少ない。

1. 技術的な側面

- 観測データの在処や使い方が不明
- 容易に多量の時系列プロットを行うことが困難な環境
(データ種によって形式が異なる)
- 各機関の保有するデータセット同士の壁

2. 現象の捉え方や重要性の認識不足

- 単なる磁気圏圧縮として捉えているものが多い
- グローバルな電流システムとして見ていない

2. 本発表の趣旨・目的

◎IUGONETの解析ソフトの助けを借りて、1996/01-2010/07までの12年間という長期間にわたる地磁気(京大、九大、NICT)、電離圏電気伝導度モデル値(京大)データを解析することで、

(1) **磁場振幅の日変化の特徴とその季節依存性**

⇒SCを作り出す電流系の性質

(2) **その磁気緯度依存性**(赤道域と高緯度で違いがあるか?)

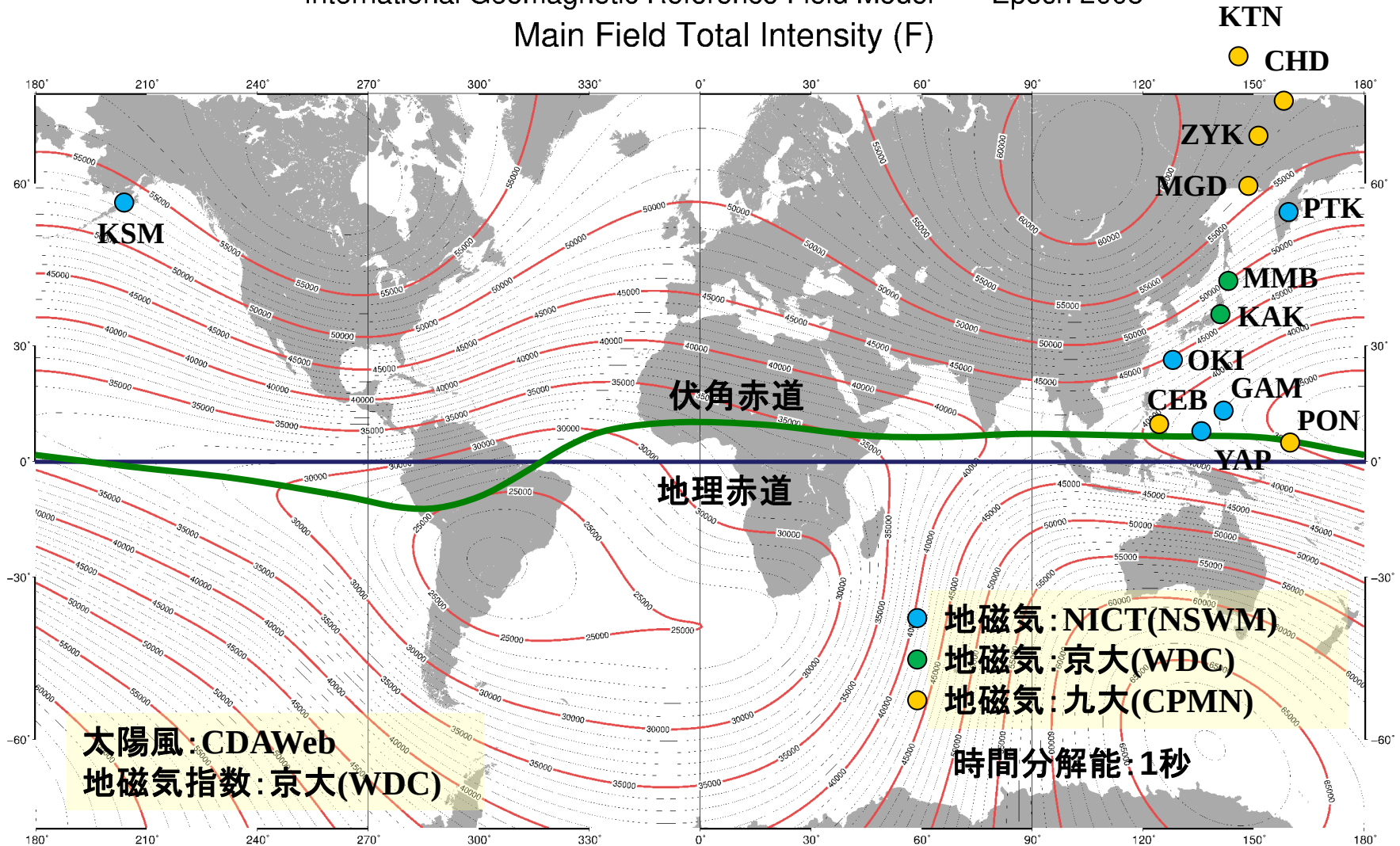
⇒高緯度と赤道域で違いを生む機構は何か?

を明らかにする

2. 使用データ、及び解析手法

2.1 使用した地上観測点

International Geomagnetic Reference Field Model -- Epoch 2005
Main Field Total Intensity (F)



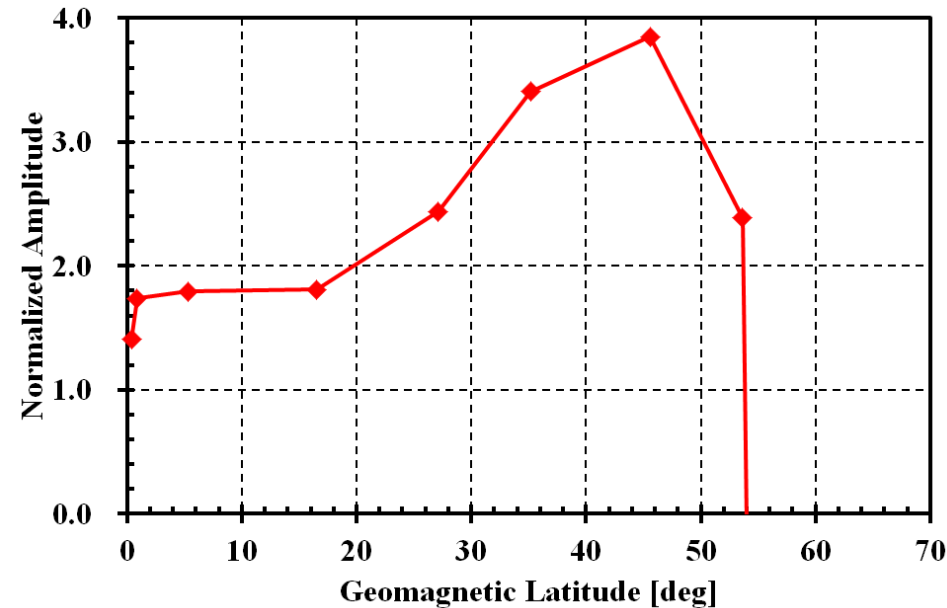
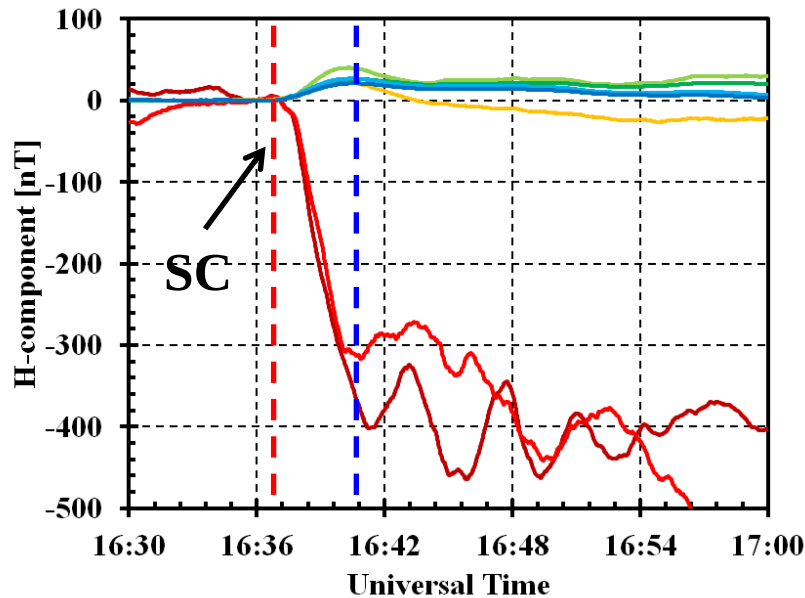
2. 使用データ、及び解析手法

2.2 地磁気観測点、解析期間、SCイベント数

	GLAT[deg]	GMLAT [deg]	Period	SC events	Data site
KTN	75.9	70.1	96/01-07/02	1670	CPMN(Kyushu)
CHD	70.6	64.6	96/01-07/08	2635	CPMN(Kyushu)
ZYK	65.7	59.7	96/01-07/06	2502	CPMN(Kyushu)
KSM	58.6	58.0	01/11-07/07	1452	NSWM(NICT)
MGD STC	59.9	53.6	96/01-07/07 07/07-08/10	3005	CPMN(Kyushu) NSWM(NICT)
PTK	52.9	45.5	97/10-08/09	2256	CPMN(Kyushu) NSWM(NICT)
MMB	43.9	35.1	96/01-10/10	3511	WDC(Kyoto)
KAK	36.2	27.1	96/01-10/10	3531	WDC(Kyoto)
OKI	24.7	16.5	96/04-08/10	2028	NSWM(NICT)
GAM	13.5	5.3	96/08-06/12	2721	WDC(Kyoto) NSWM(NICT)
CEB	10.3	0.8	98/08-05/06	1599	CPMN(Kyushu)
YAP	9.3	0.3	98/09-08/08	1442	NSWM(NICT)
PON	7.0	0.2	97/03-04/05	1631	CPMN(Kyushu)

2.3 解析手法

[2002年9月7日16:36 (UT)のSCイベント](夜側)



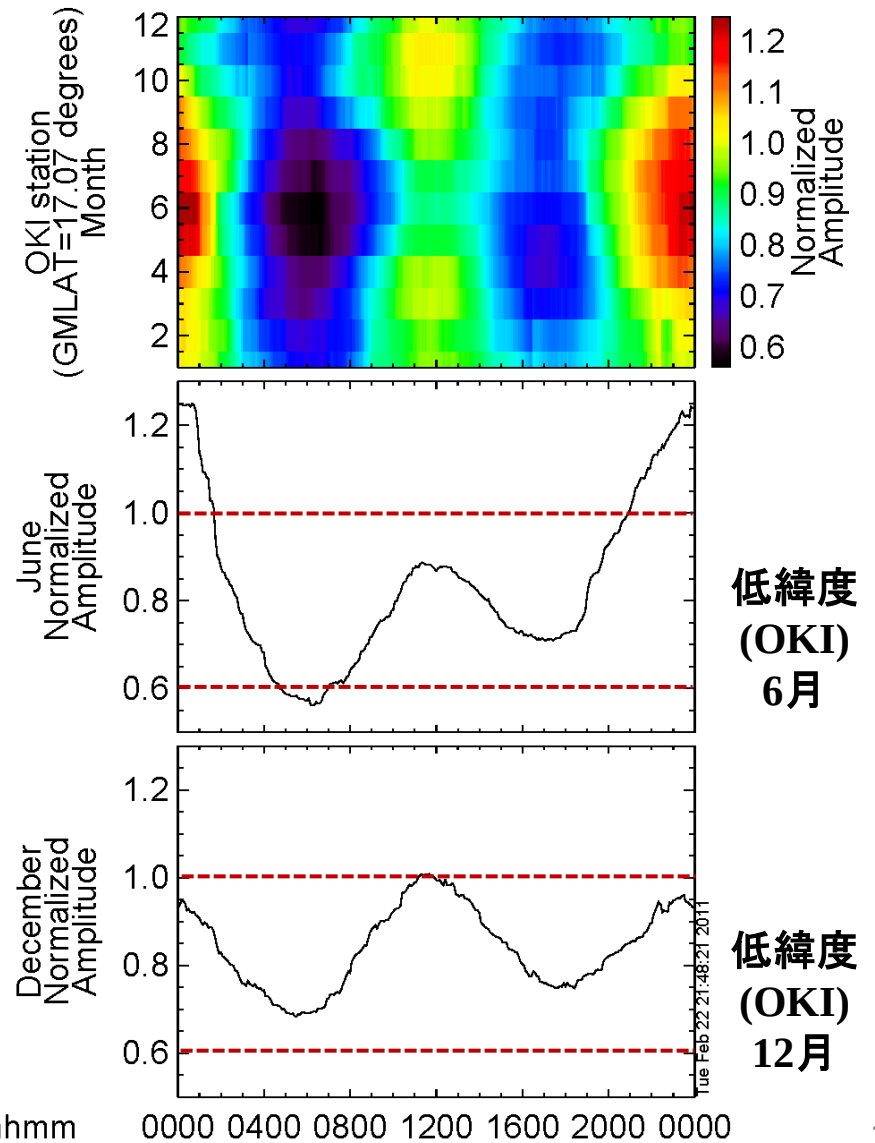
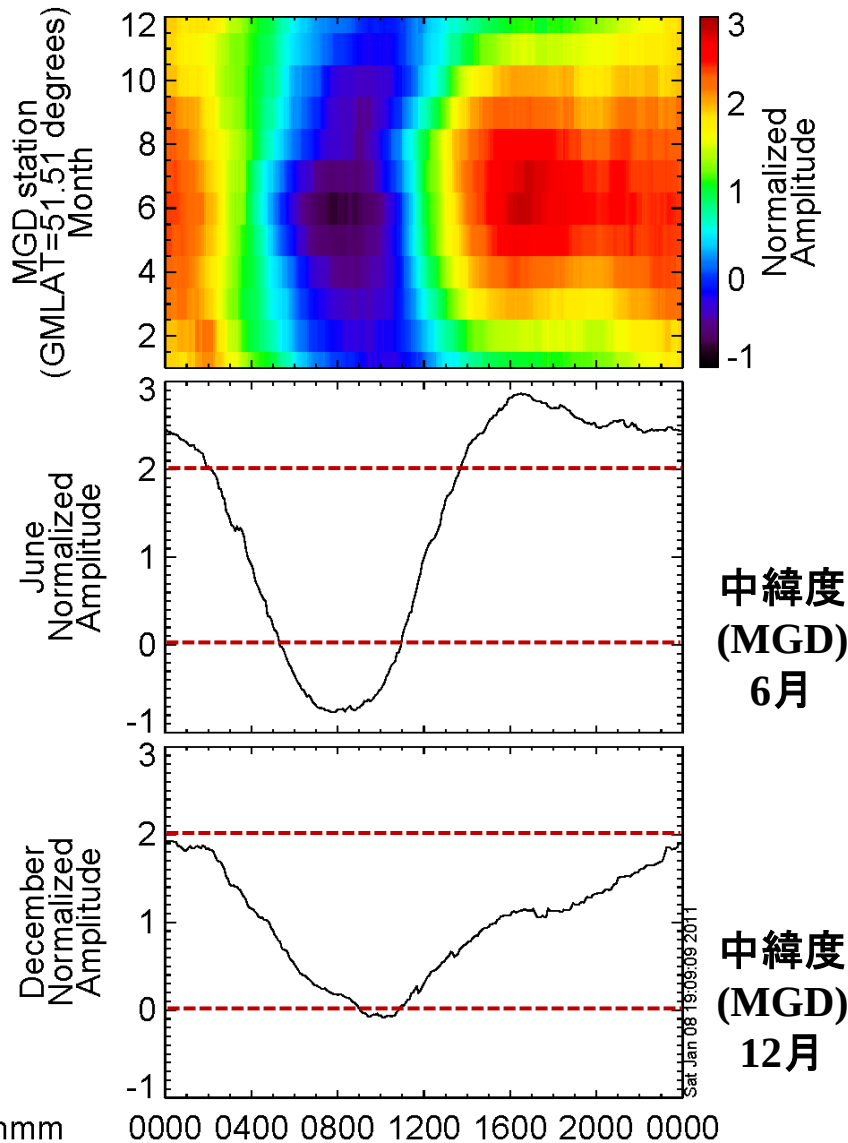
SCの振幅の定義

開始点の値から低緯度での磁場の最大値の差

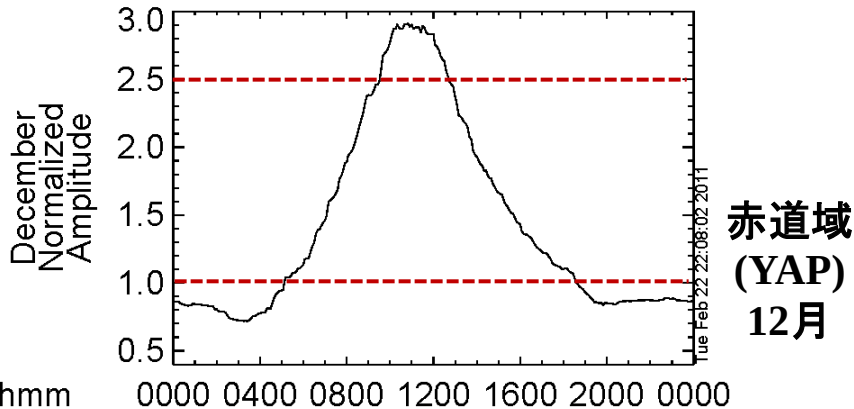
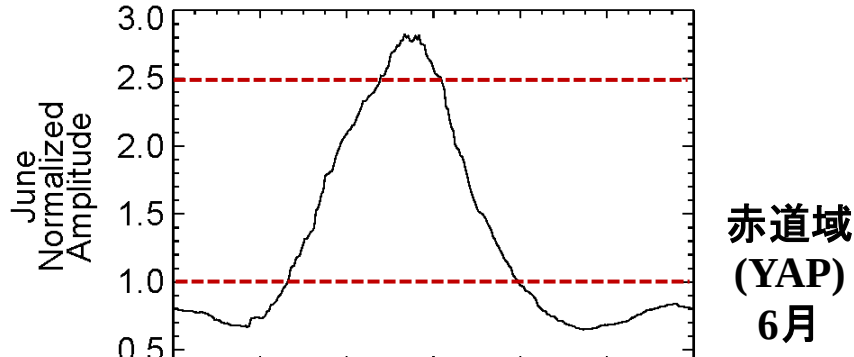
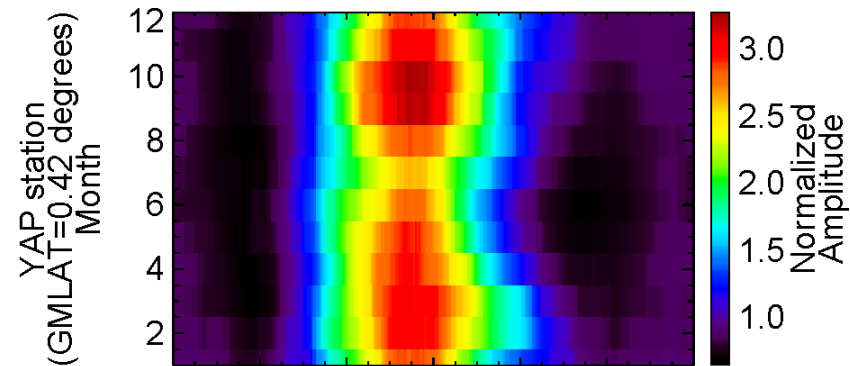
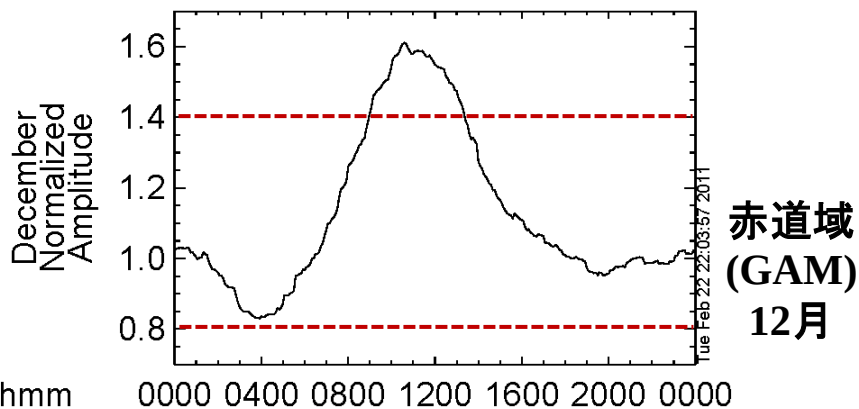
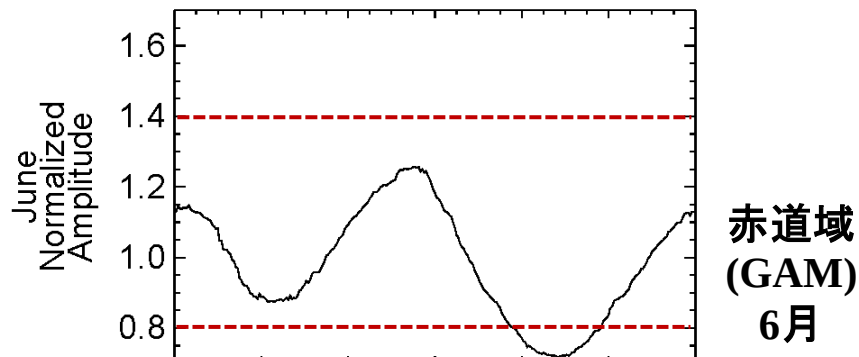
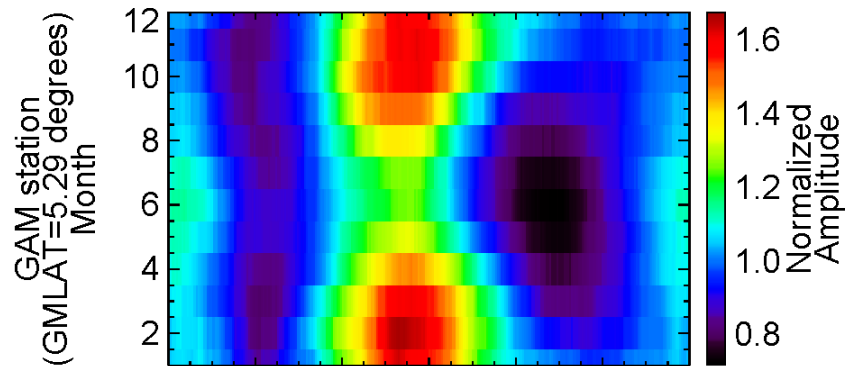
緯度補正をかけたSYM-Hでの振幅で規格化

3. 解析結果

3.1 中緯度・低緯度のSC振幅の季節変動

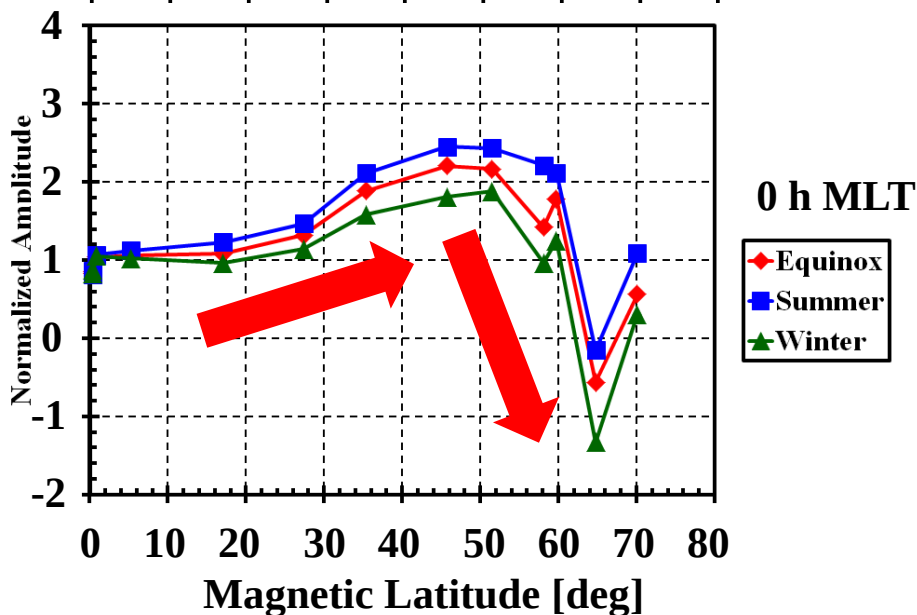
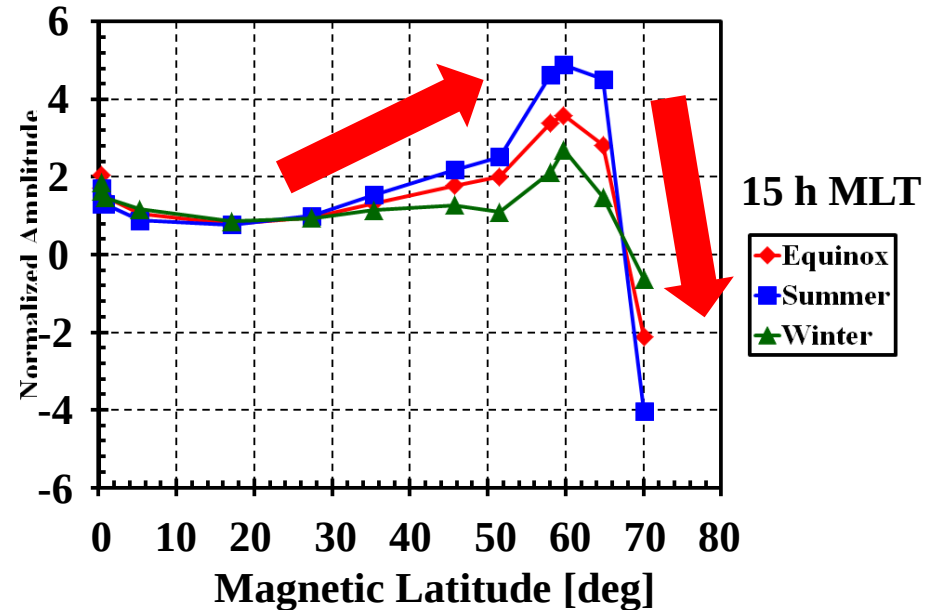
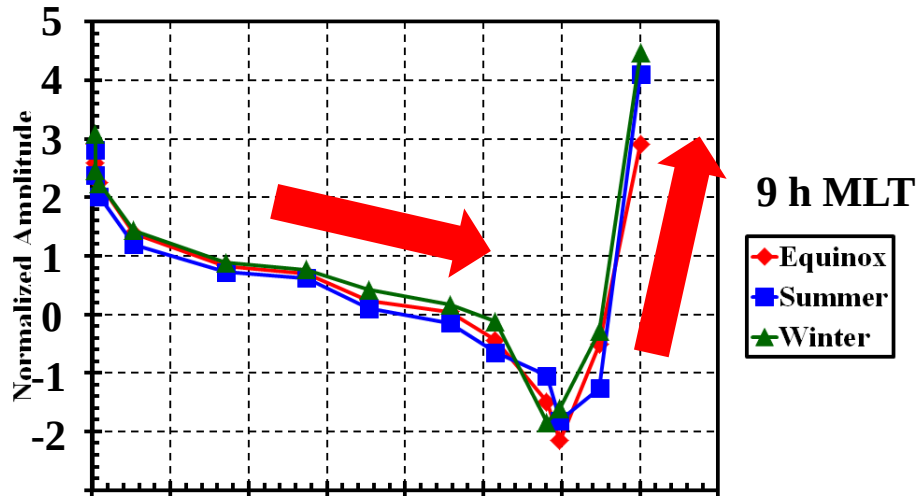


3.2 赤道域のSC振幅の季節変動



3. 解析結果

3.3 SC振幅の季節変動の磁気緯度依存性



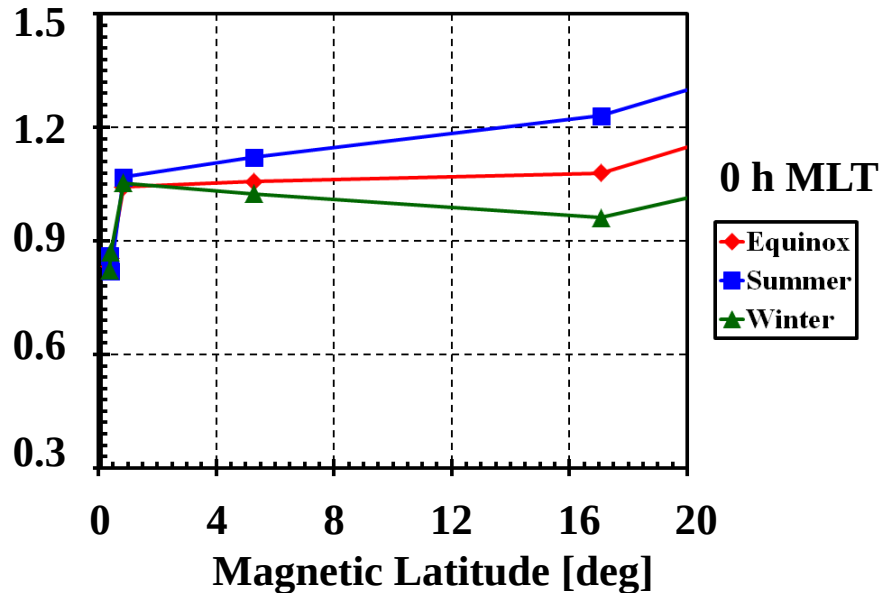
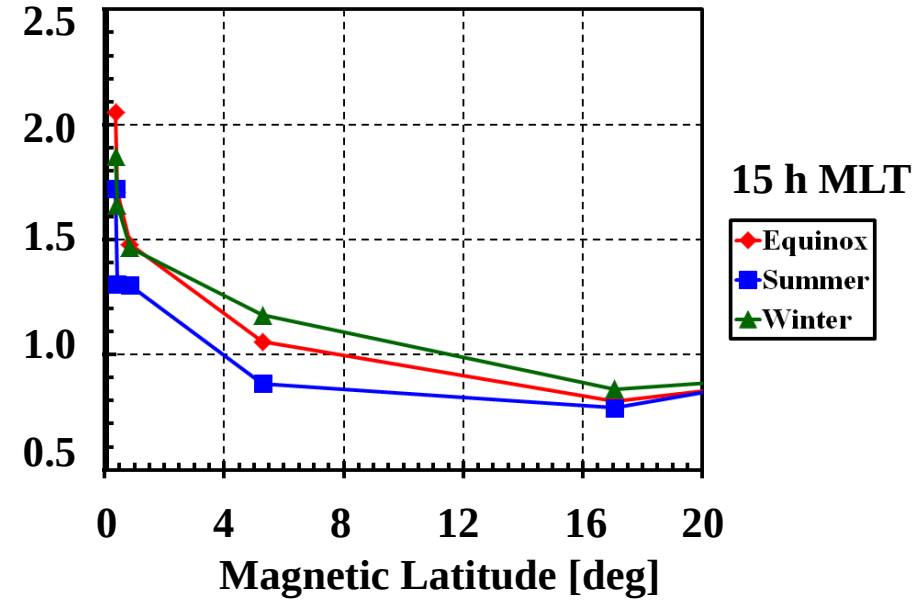
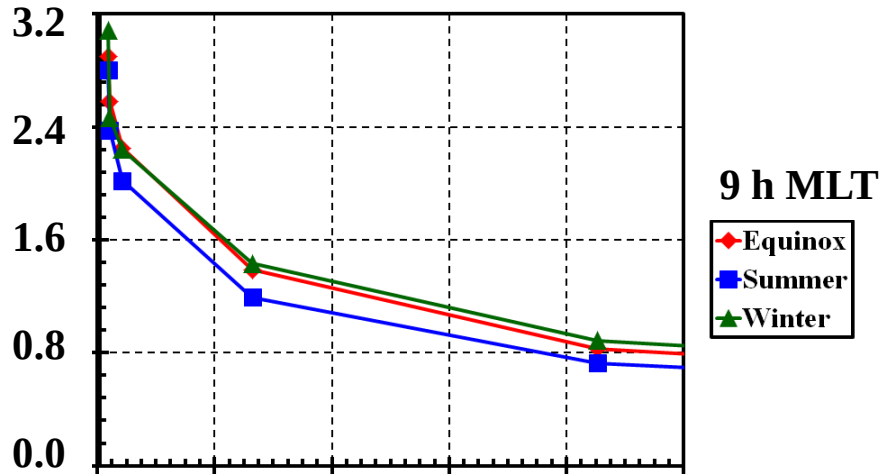
低緯度以北のSCの振幅

⇒夏季に増加

※朝側領域での季節変化

⇒比較的小さい傾向

3.4 赤道域におけるSC振幅の季節変動の詳細



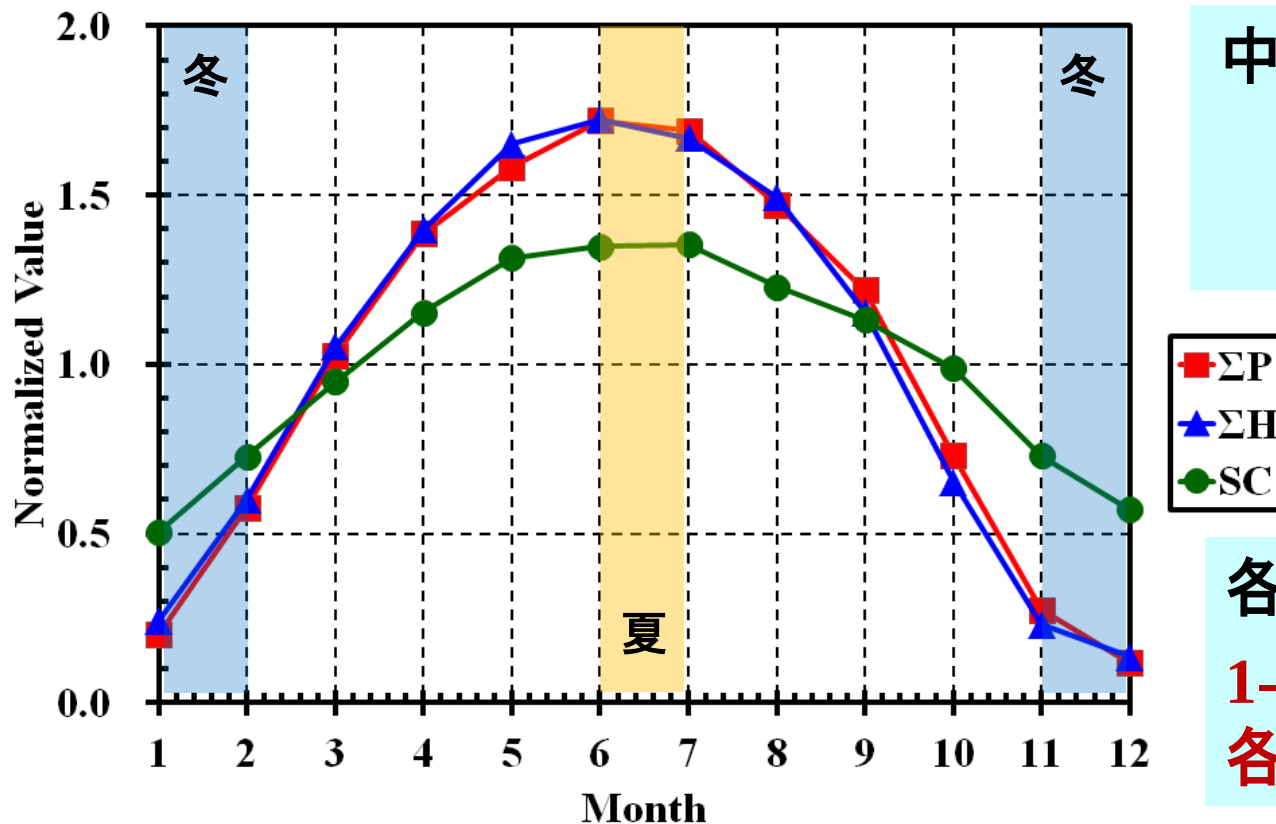
低緯度以南のSCの振幅

⇒夏季の時期に減少する。

※赤道ジェット電流の強度
が夏季にやや減少

4.1 電離圏伝導度とSC振幅の季節変動の比較

中緯度(MGD, MLAT=53.6 degree)



中緯度電離圏の季節

夏：6-7月

冬：12-1月

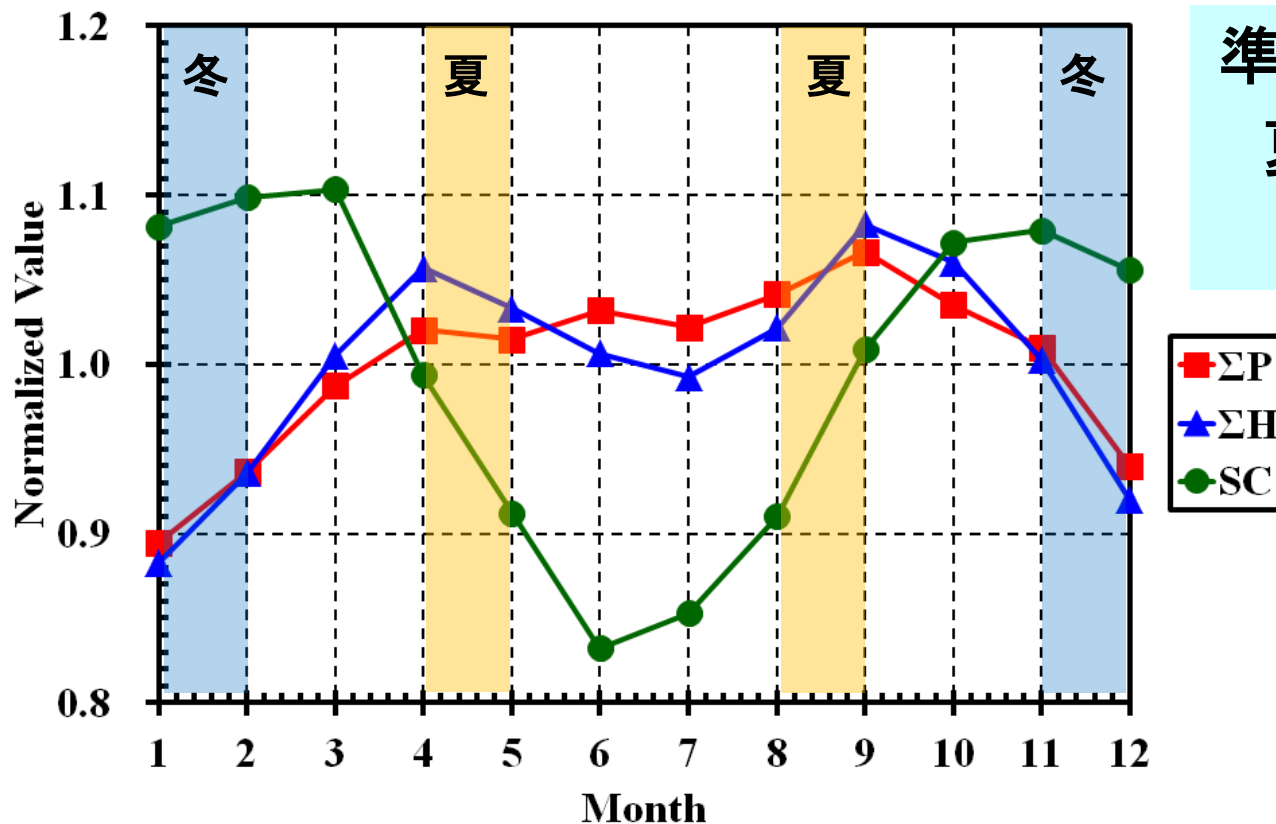
各パラメータの値

1-12月の平均値で
各月の値を規格化

電気伝導度とSCの振幅＝夏季に最大
⇒電離圏電流と伝導度の大きさが比例

4.2 電離圏伝導度とSC振幅の季節変動の比較

準赤道(GAM, MLAT=5.3 degree)



準赤道電離圏の季節

夏：4-5月と8-9月

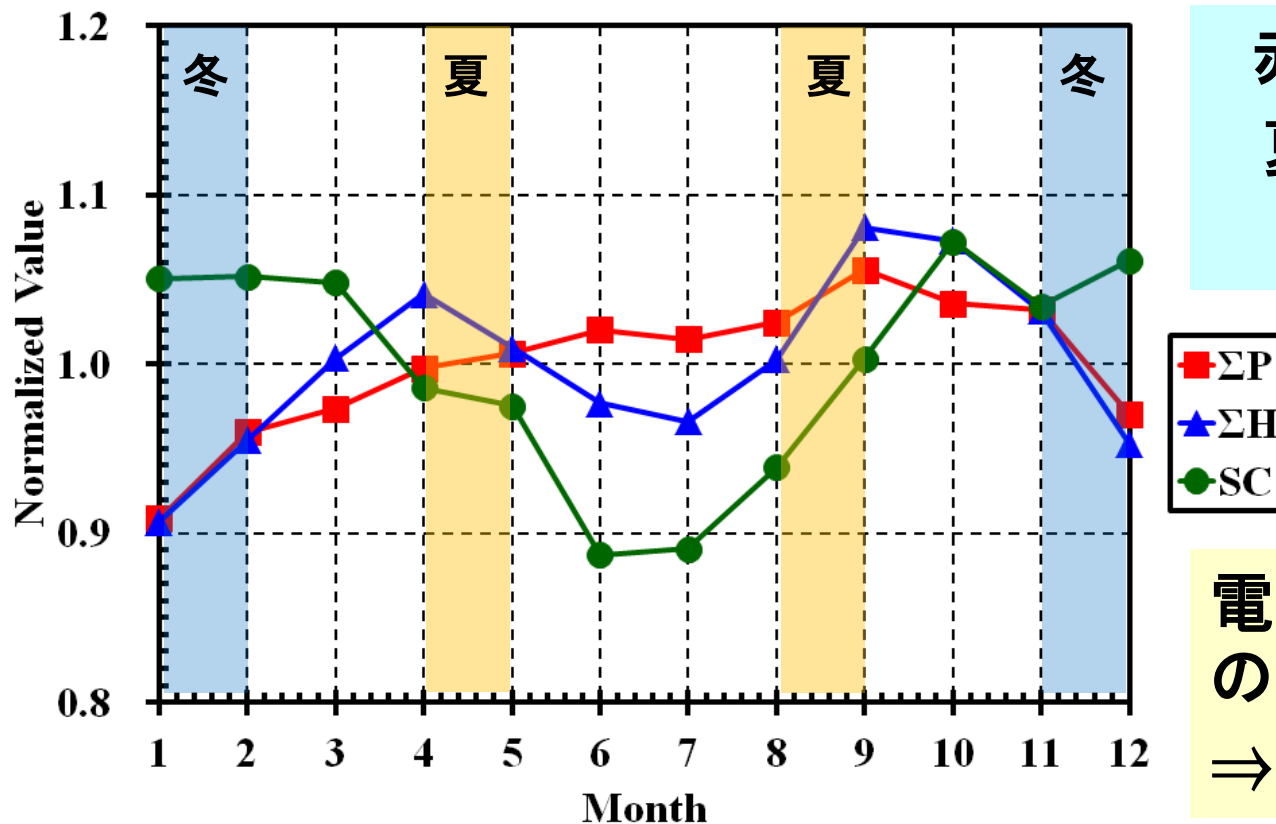
冬：12-1月

電気伝導度とSCの振幅＝必ずしも赤道の季節に依存しない

⇒伝導度は、夏に増加、振幅は、冬に増加

4.3 電離圏伝導度とSC振幅の季節変動の比較

磁気赤道(PON, MLAT=0.2 degree)



赤道電離圏の季節
夏：4-5月と8-9月
冬：12-1月

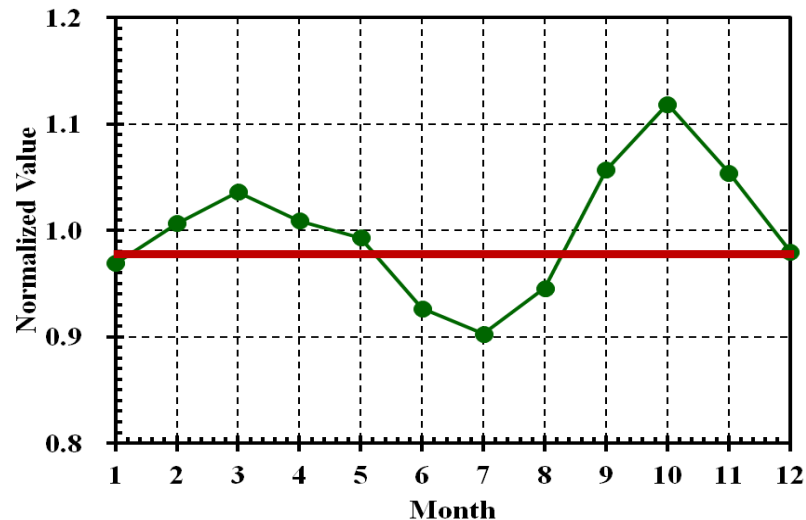
電離圏電流と伝導度
の大きさが比例しない
⇒電場の季節変動

電気伝導度とSCの振幅＝必ずしも赤道の季節に依存しない

⇒伝導度は、夏に増加、振幅は、冬に増加

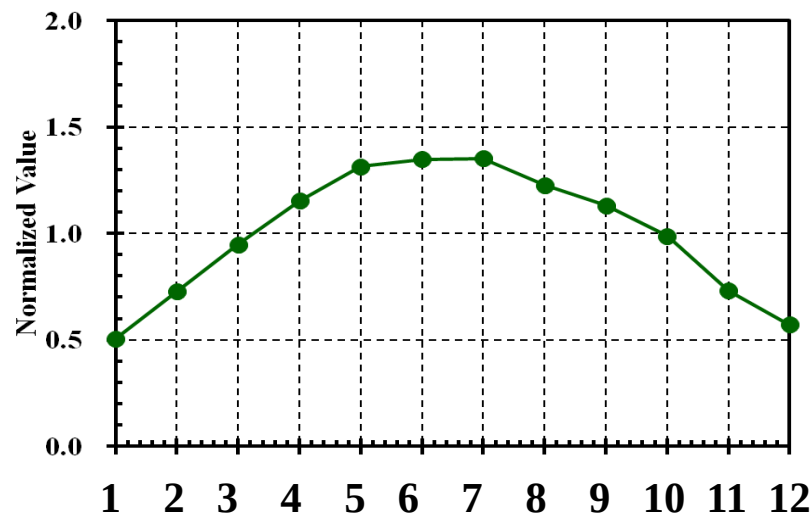
4.4 赤道域のSCとSq振幅の季節変動の比較

磁気急始の振幅の季節変動



赤道域

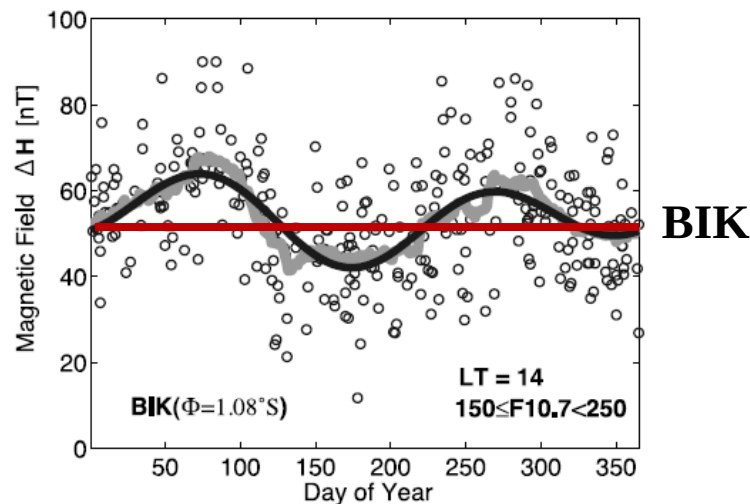
YAP



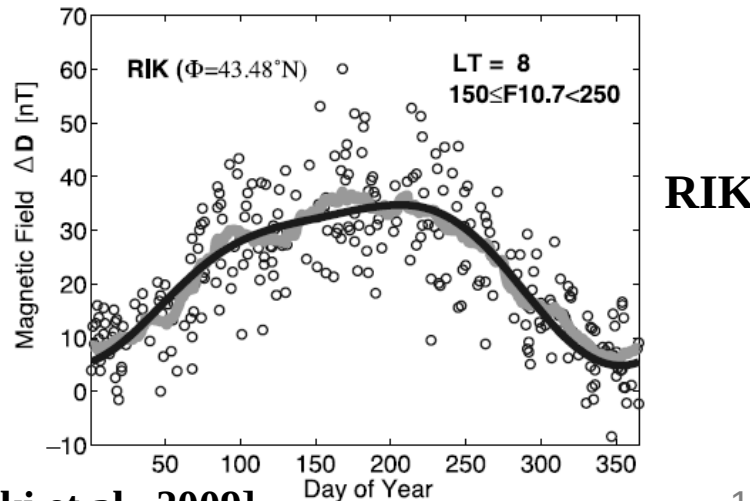
中緯度

MGD

日変化の振幅の季節変動

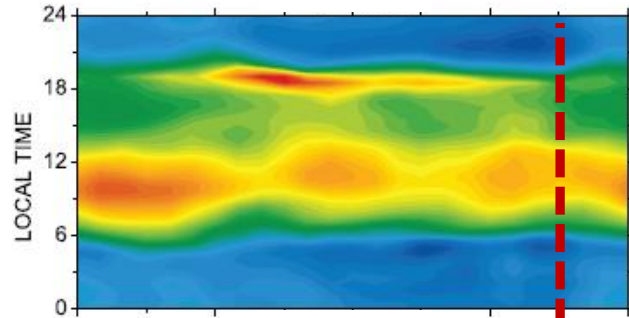


BIK

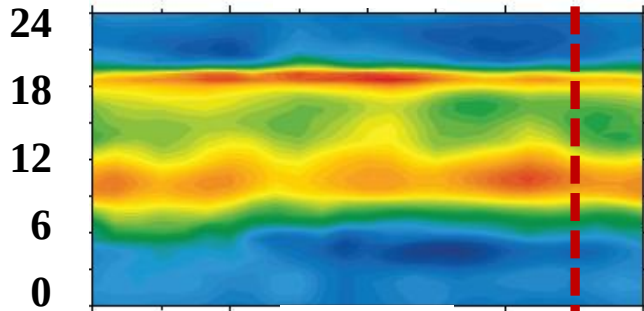


RIK

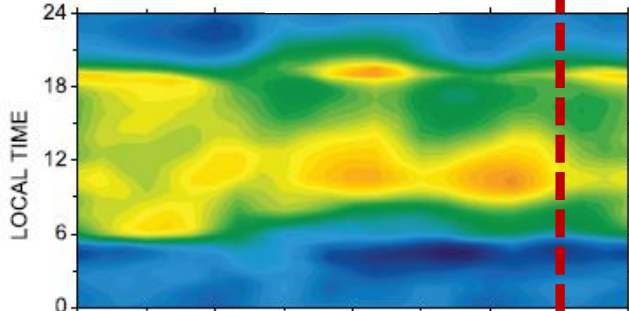
4.5 赤道域のSC振幅の特異な季節変動の理由

ROC Winter $\lambda = 150$ 

Equinox



Summer



-180 -90 0 90 180

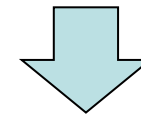
OSC振幅を決めるもの

電離圏電気伝導度

電離圏電場強度

$$\mathbf{J} = \Sigma \cdot \mathbf{E}$$

地理経度:130-300Eの領域では、夏季に比べて冬季の東西電場強度が約2倍ほど大きい



極域から赤道域へ侵入する電場強度も同様の傾向が存在??

地磁気静穏時の赤道電離圏の鉛直プラズマドリフトの経度と季節依存性

[Fejer et al., JGR, 2008]

◎長期の地上観測データ解析が可能なIUGONETで開発している解析ソフトを利用して、1996/01-2010/10までの12年間という長期間にわたる地磁気データ(京大、九大、NICT)や電離圏電気伝導度モデル値(京大)等を解析した。

その結果、以下のような高緯度から磁気赤道域における磁気急始(SC)の磁場振幅の季節依存性の特徴が分かった

1. 高緯度から中緯度領域：

昼間側の振幅変化は、典型的なDP2型の磁場変動を示す一方、夜側は、FACの作る磁場効果が卓越していた

電離圏の電気伝導度の高い夏季の時期に、DP2型の電離圏電流や沿磁力線電流(FAC)の作る磁場効果が最大になる

⇒SCの電流系は電圧源で構成されているといえる

2. 低緯度以南領域:

昼間側の振幅変化は、**中緯度のものと異なり、昼間側の赤道ジェット電流の寄与が夏季の時期に最小**となる。

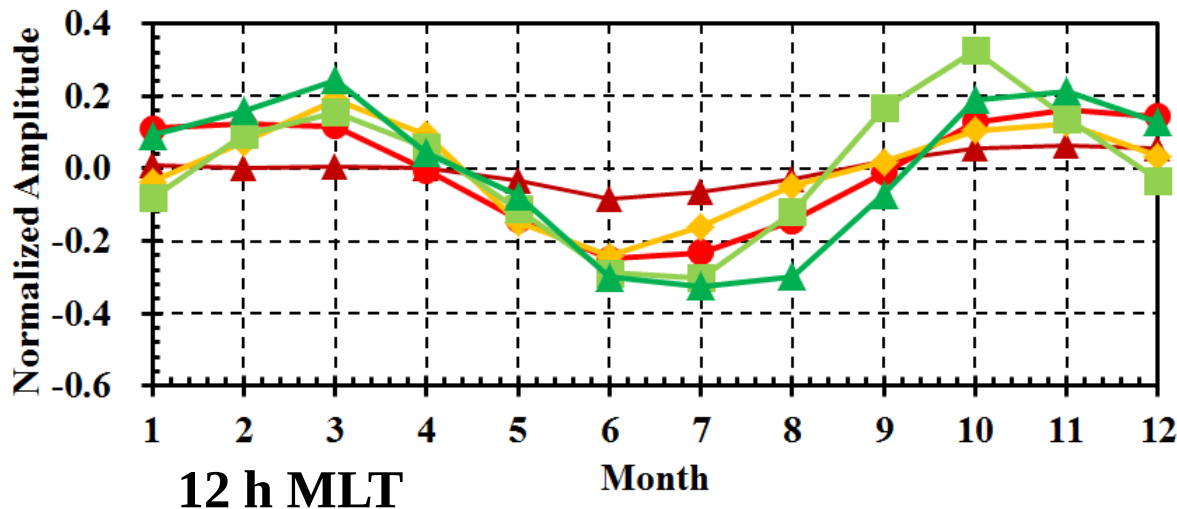
○振幅が最大となる時期は、観測点の夏に対応しない

○オームの法則から、極域から赤道電離圏へ侵入する**電場強度が北半球の夏の時期に最小**となることが考えられる

○緯度分布の解析から、夜側には西向きの電離圏電流が流れている可能性を示唆した

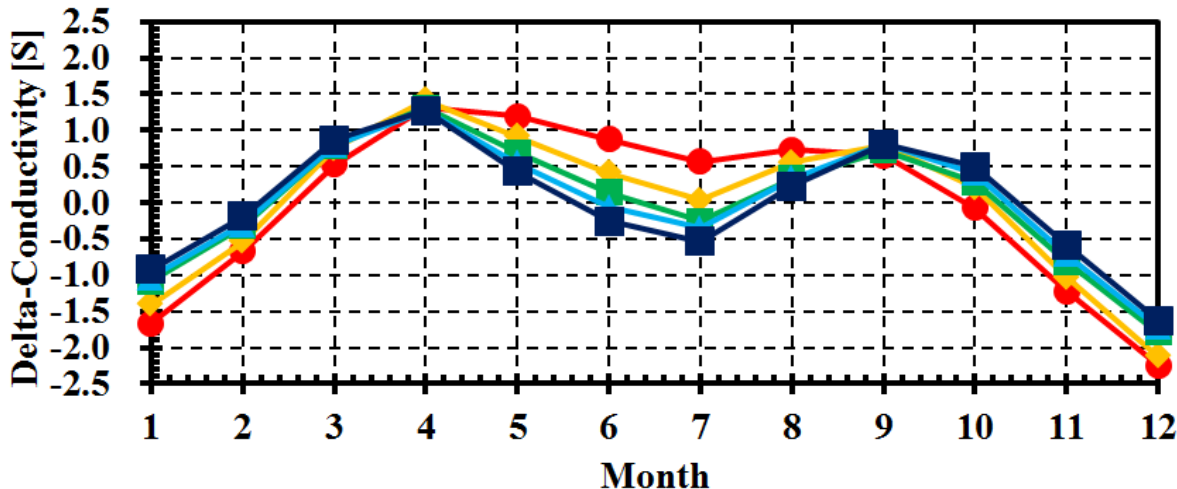
これまで多量のデータを用いた赤道域のSCの磁場振幅の季節依存性の報告例はなく、本解析によって新たに得られた事項である。

4.5 電離圏伝導度と赤道域でのSC振幅の比較



赤道域における
SC振幅の月別平均推移
(年平均値を除去)

電気伝導度と振幅の季節
変動の傾向が一致しない

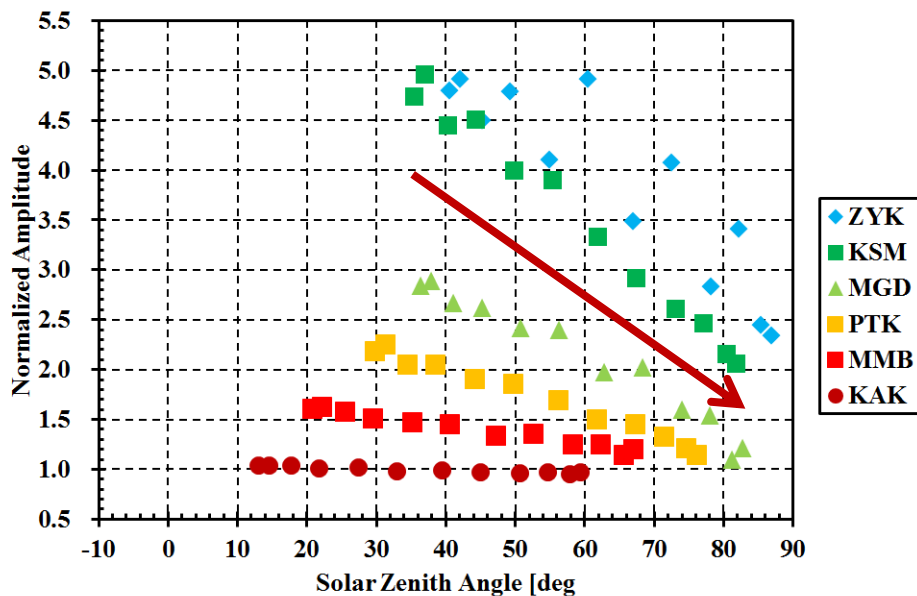


5つの観測点にお
けるCowling伝導
度の変化
(年平均値を除去)

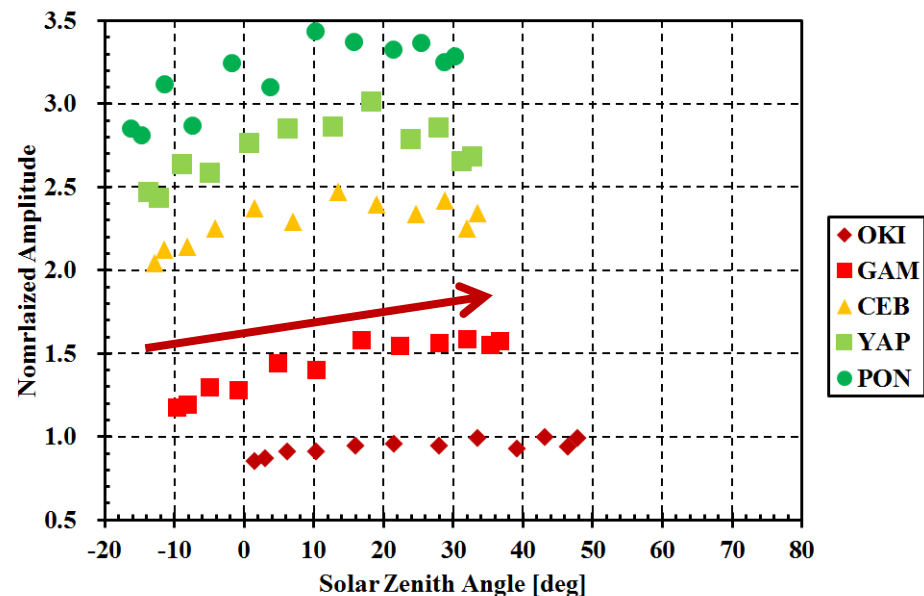
Cowling伝導度の季節変動には合致しない(伝導度の導出の仮定 $J_z=0$ はOKか？鉛直電流がある場合、赤道電離圏電流の大きさが変化する)

III.3 太陽天頂角依存性

(1) 中緯度領域



(2) 低緯度・赤道域



夏至

冬至

夏至

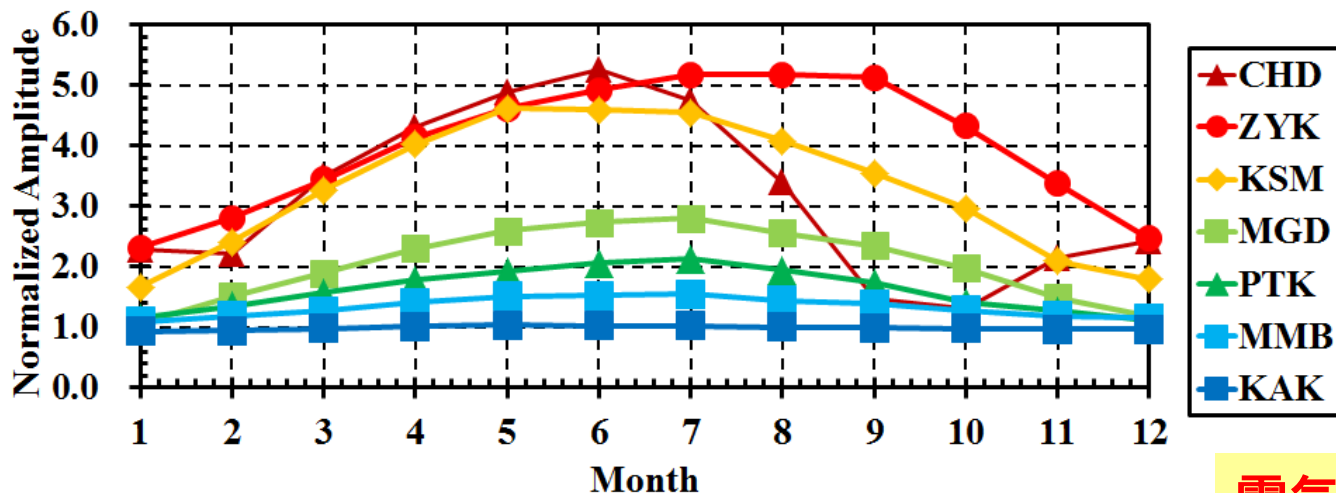
冬至

中緯度域と赤道域とは逆の傾向にある

→ 中緯度: 電離圏の伝導度が太陽天頂角に素直に依存

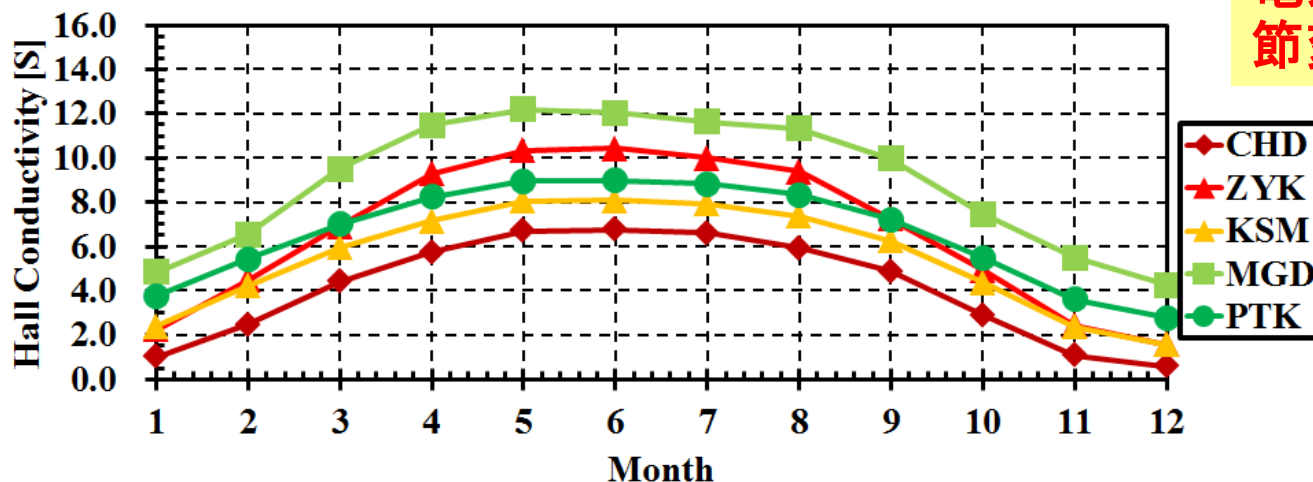
赤道域: 太陽天頂角以外の物理機構が存在

IV.1 電離圏伝導度とオーロラ帯・中緯度のSC振幅の比較



中緯度における
SC振幅の月別平
均推移

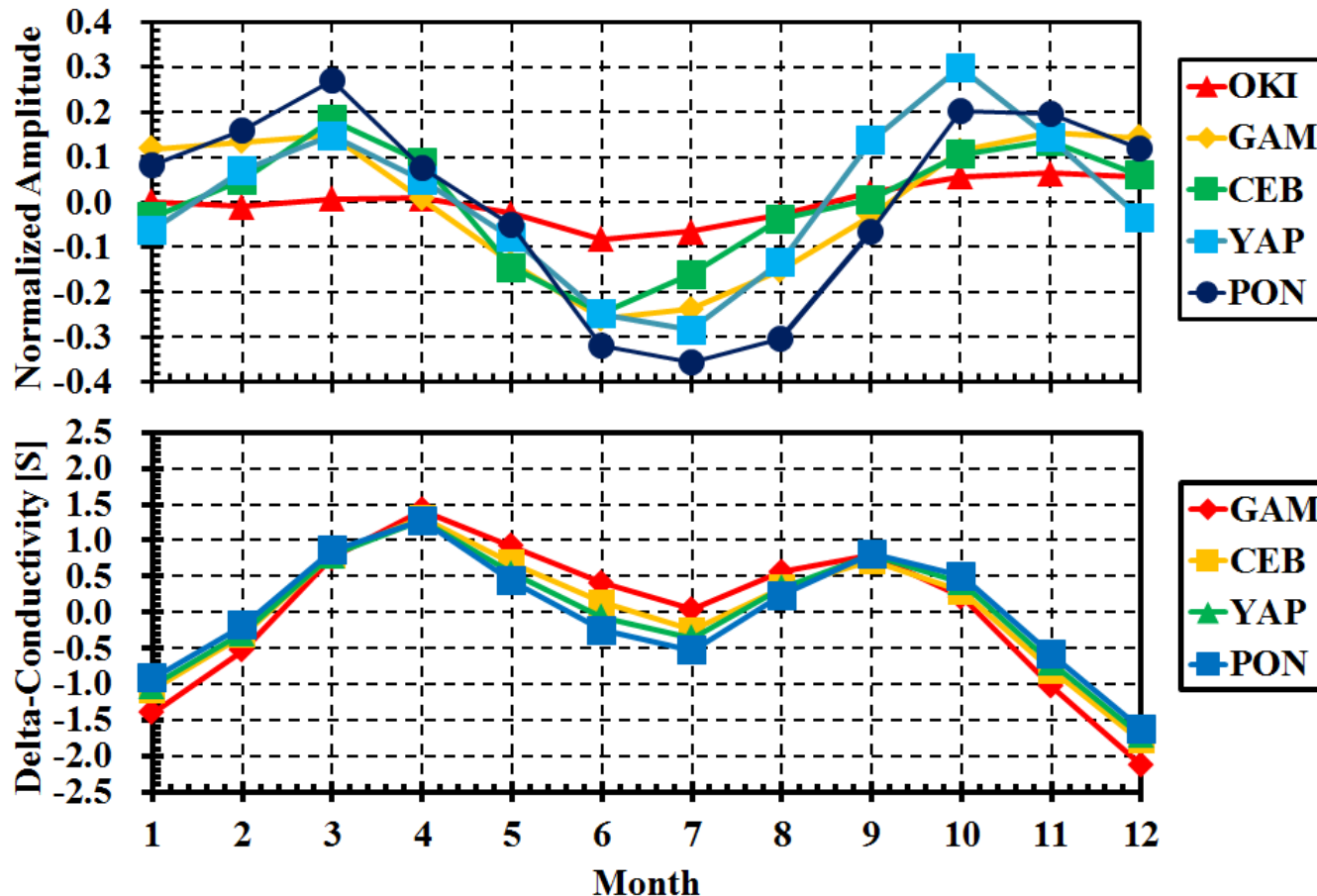
電気伝導度と振幅の季
節変動の傾向が一致



各観測点における
Hall伝導度

電離圏電流の季節変化を反映するとともに、夜側の振幅の季節変動から夏季の時期にFACの強度が強いことが推察される

IV.2 電離圏伝導度と赤道域でのSC振幅の比較



赤道域における
SC振幅の月別平
均推移
(年平均値を除去)

4つの観測点にお
ける電離圏電気
伝導度の変化
(年平均値を除去)

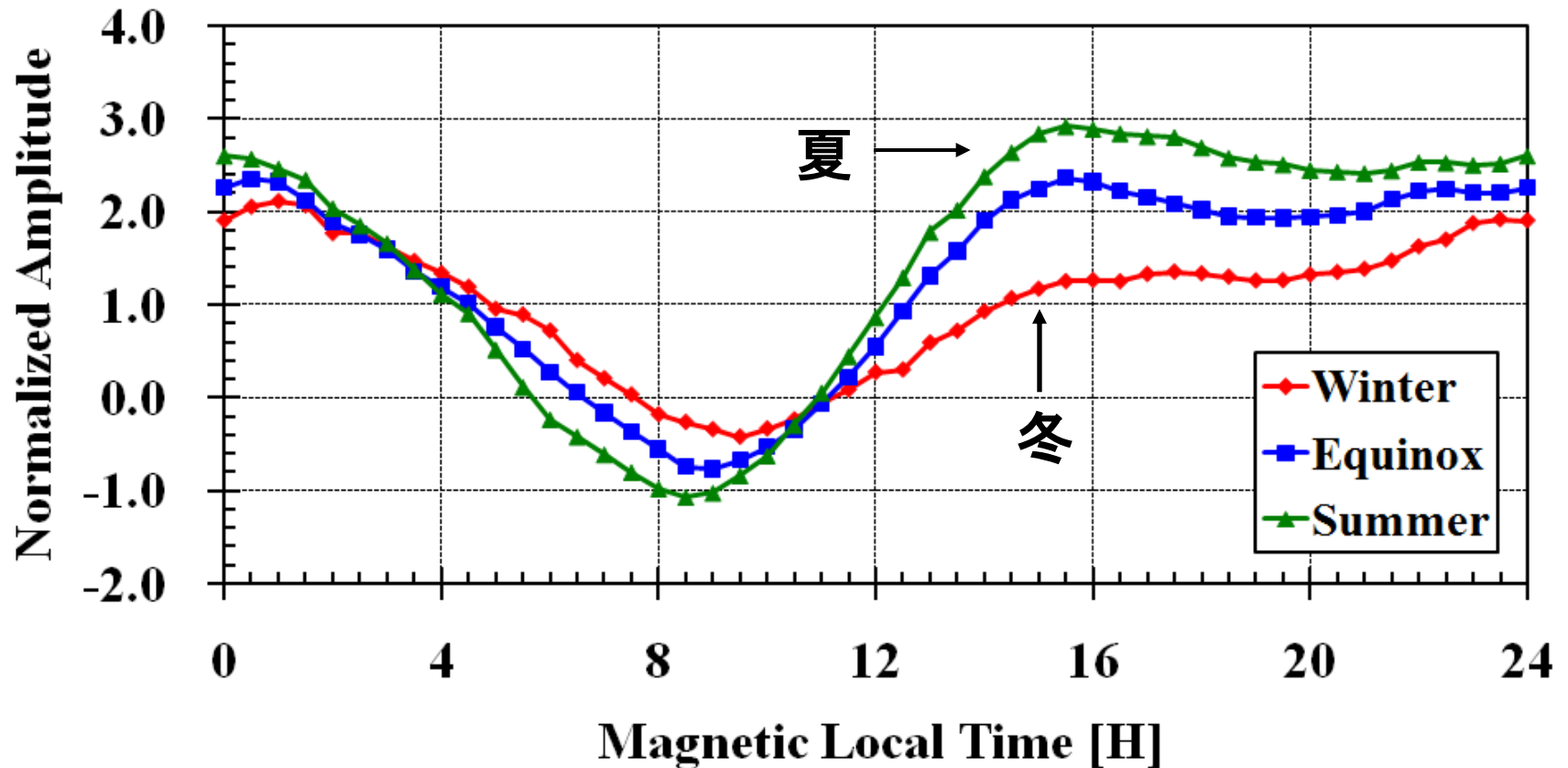
電気伝導度の変化: 4月と9月に極大を迎え、冬至に最小になる

SC振幅: 3月と10月に最大を迎え、夏至の時期に最小になる

→ 電気伝導度の季節変化を素直に反映しない(IRIモデルの限界)

III.1 中緯度における季節変動

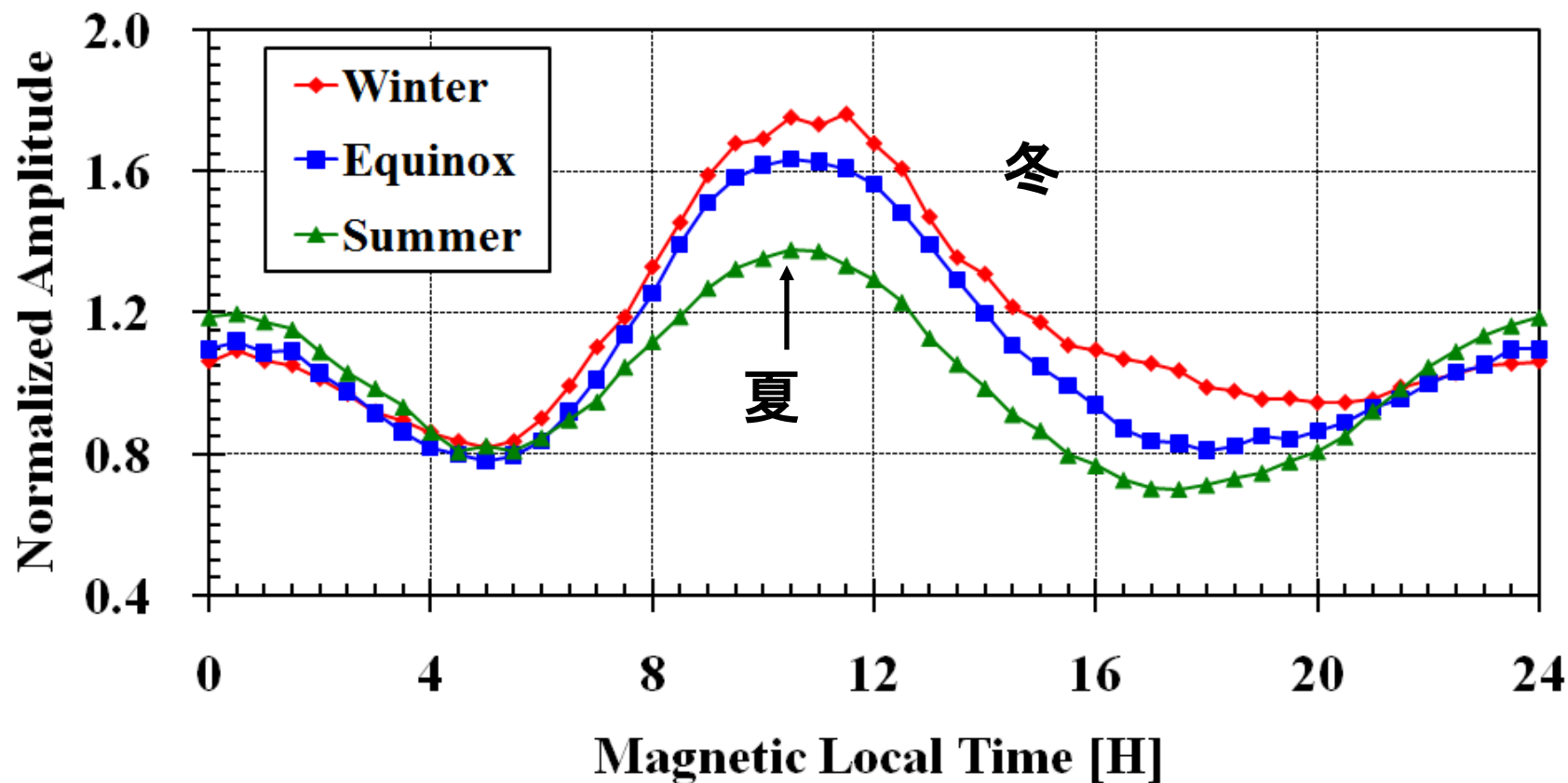
○マガダン (53.62度)



夏季においてSCの振幅の日変化が最大

III.2 赤道域における季節変動

○グアム (5.32度)



夏季において昼間側のSC振幅が減少傾向

3. 解析結果

3.3 赤道域におけるSC振幅の季節変動

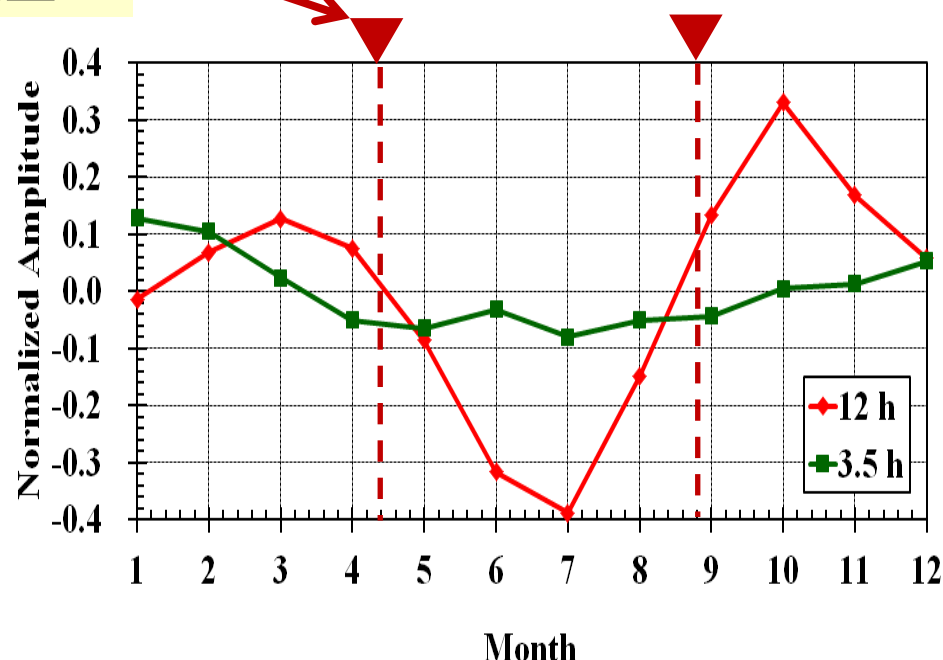
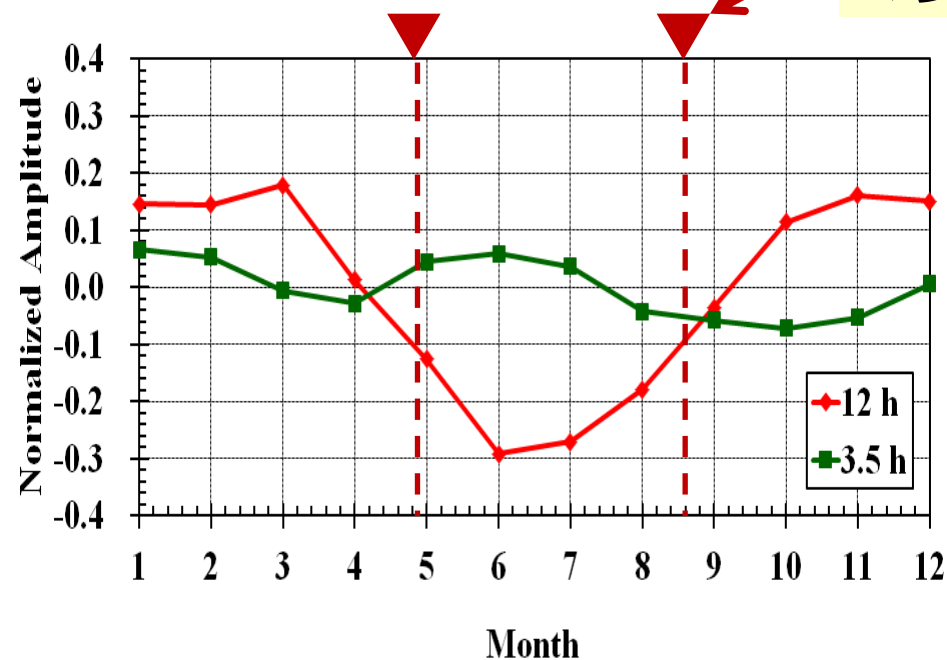
グアム(5.29N)

ヤップ(0.38N)

各観測点
の夏至

Monthly Variation of SC Amplitude at GAM

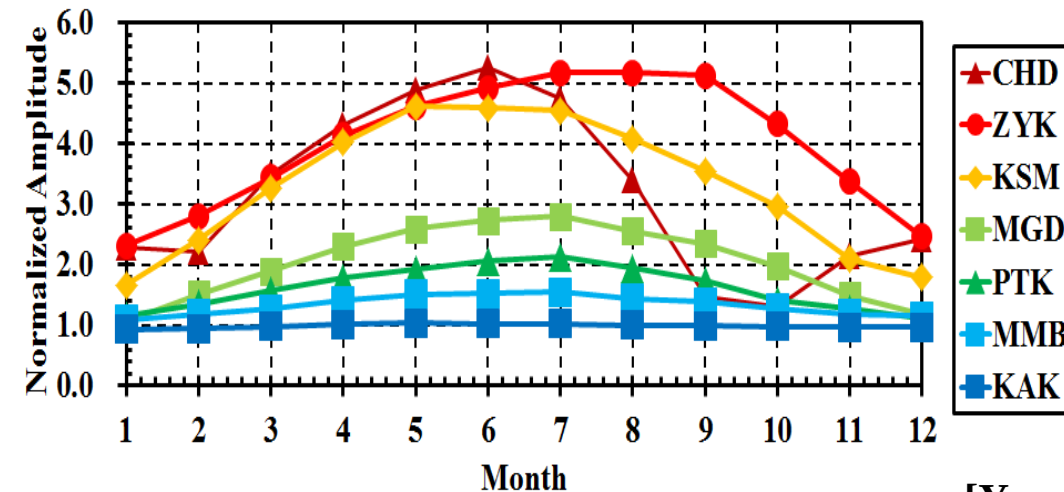
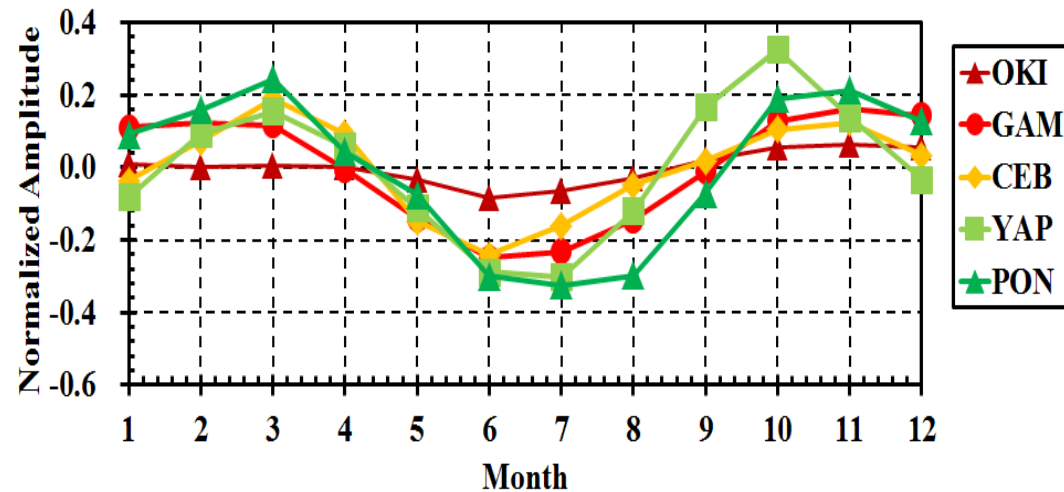
Monthly Variation of SC Amplitude at YAP



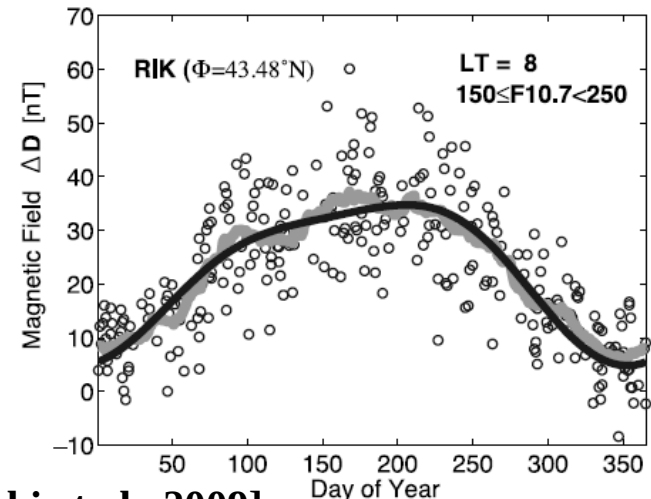
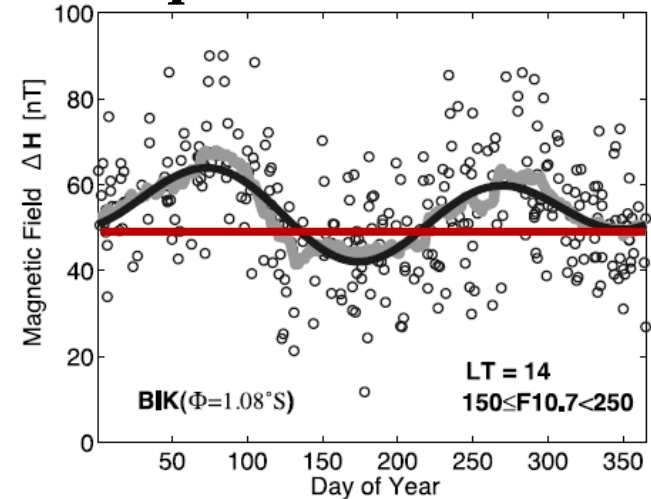
- ※赤道観測点での夏至(太陽天頂角=0度)の時期に一致しない
- ※夜側と昼間の季節依存性が異なる

4.3 赤道域のSCとSq振幅の季節変動の比較

SC振幅の季節変動



Sq振幅の季節変動



[Yamazaki et al., 2009]

4.4 SCとSq振幅の季節変化の類似性の考察

(1) SC振幅⇒磁気圏電場による電流

$$J = \underline{\Sigma} \cdot E$$

(2) Sq振幅⇒電離圏ダイナモ 電場による電流

$$J = \underline{\Sigma} \cdot (E_p + U \times B)$$

季節変動の類似性⇒電離圏伝導度と電場強度の季節変動

(1) 電場の季節変化

⇒赤道域で形成される電場強度が夏季の時期に比較的弱い可能性

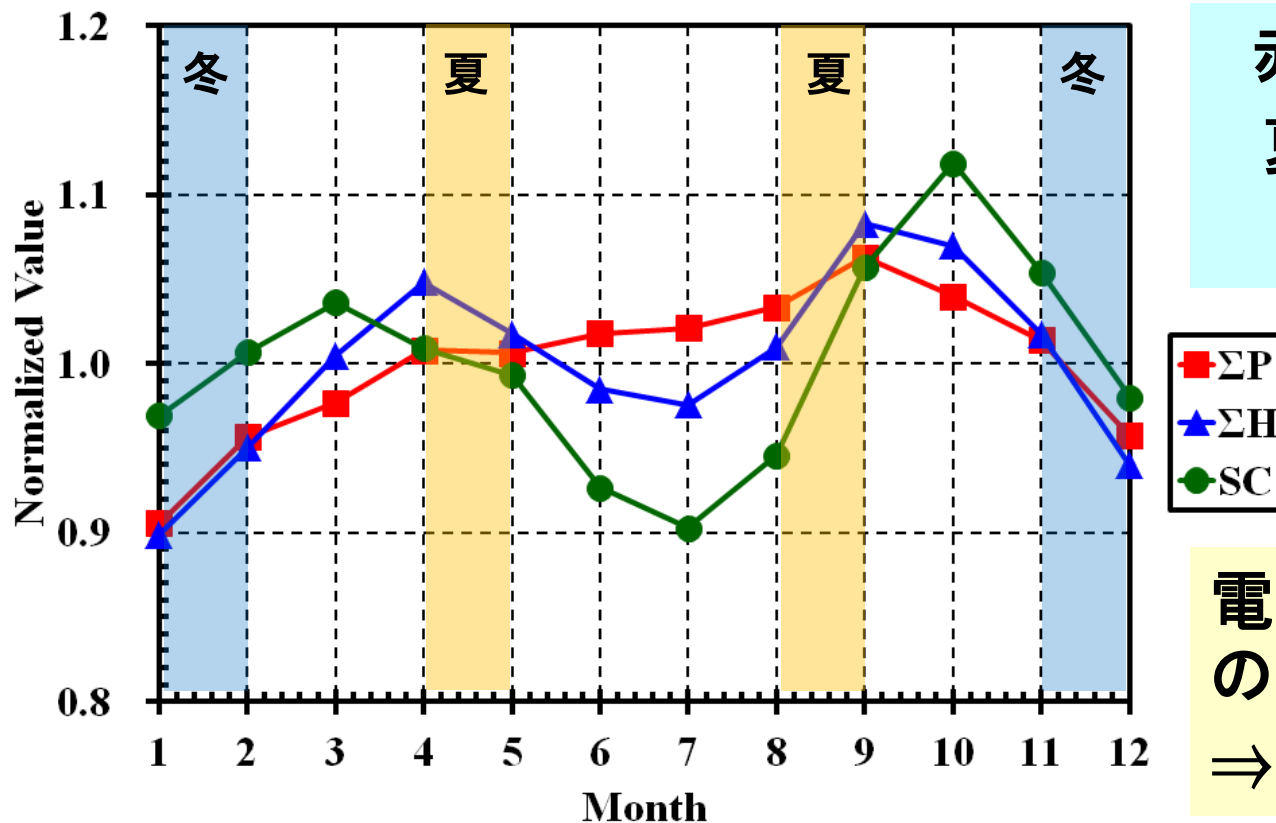
電場ポテンシャルモデルを用いた検証が必要

(2) 赤道MLT領域での中性大気風の影響

⇒F領域の電流の寄与は？

4.4 電離圏伝導度とSC振幅の季節変動の比較

磁気赤道(PON, MLAT=0.2 degree)



赤道電離圏の季節

夏：4-5月と8-9月

冬：12-1月

電離圏電流と伝導度
の大きさが比例しない
⇒電場の季節変動

電気伝導度とSCの振幅＝必ずしも赤道の季節に依存しない

⇒伝導度は、夏に増加、振幅は、冬に増加

4.1 解析結果のまとめ

(1) 高緯度～中緯度

昼間側：DP2型の磁場変動

KTN：朝側⇒増加、午後側⇒減少

CHD-MMB：朝側⇒減少、午後側⇒増加

夜側：FACの作る磁場変動（MMB以下の地点で顕著）

電離圏伝導度の高い夏至の時期に最大

⇒電離圏の季節変化に素直に順応

(2) 低緯度～赤道域

季節に振幅が素直に順応しない

昼間側の赤道ジェット電流が北半球の夏至の時期に最小

⇒高緯度～中緯度の季節変化とは様相が異なる