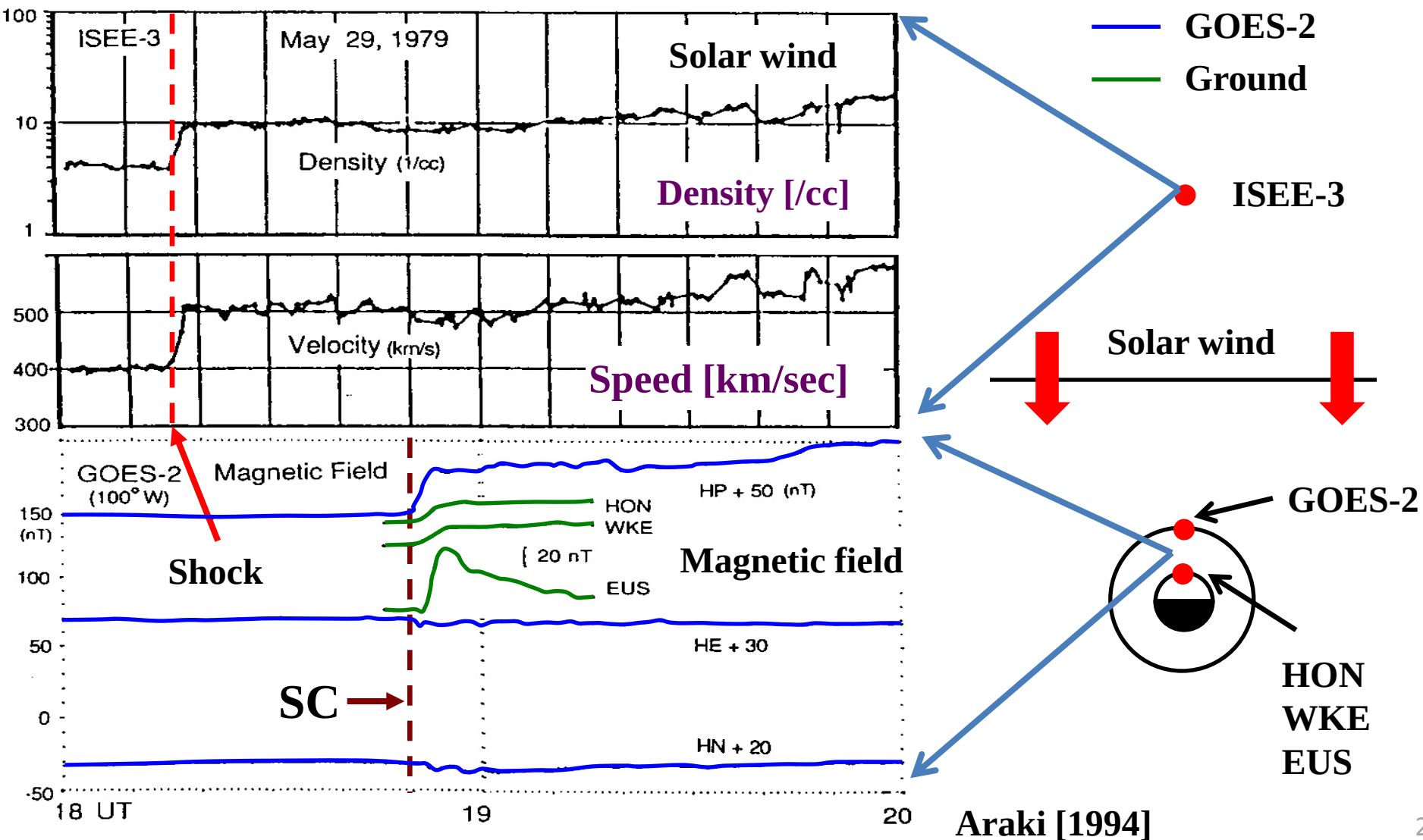


**IUGONET観測データに基づく赤道帯における
磁気急始(SC)の日変化の季節依存性
-熱圏-中間圏における中性大気風との関連性-**

**新堀淳樹 (京大RISH)、辻 裕司、菊池 崇、荒木 徹、林 寛生、
津田敏隆、池田昭大、魚住禎司、R. E. S. Otadoy、歌田久司、
B. M. Shevtsov、S. I. Solovyev、長妻 努、湯元清文、
IUGONETプロジェクトチーム**

I. はじめに

I.1 磁気急始(Geomagnetic Sudden Commencement: SC)



I. はじめに

I.2 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、成層圏突然昇温

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)

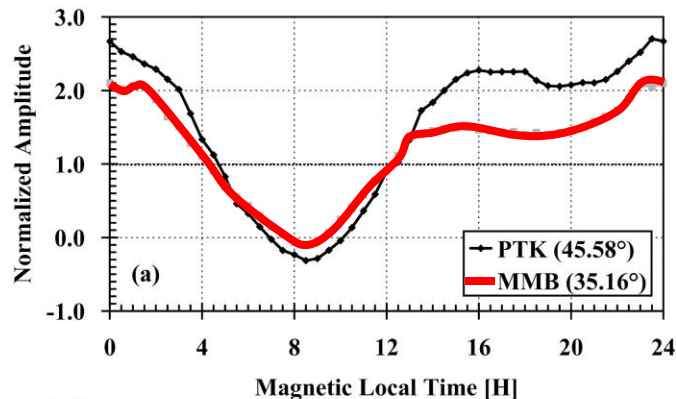
電離圏電流→電離圏の変動(地球側の変動)

電離圏の状態に関する季節変化・太陽活動依存性
(太陽紫外線、中性大気との相互作用)

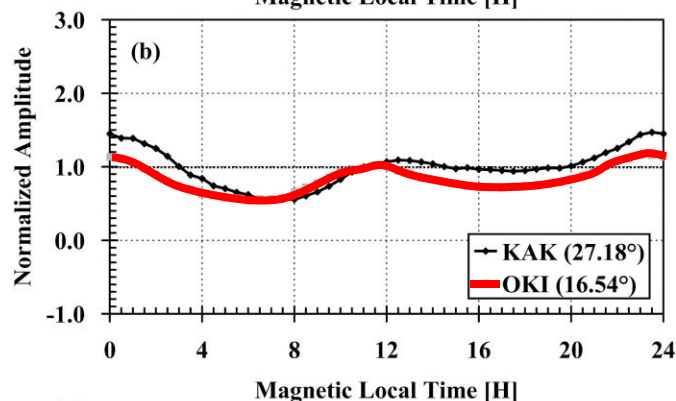
I. はじめに

I.3 SCの電流系と磁場振幅の磁気地方時依存性

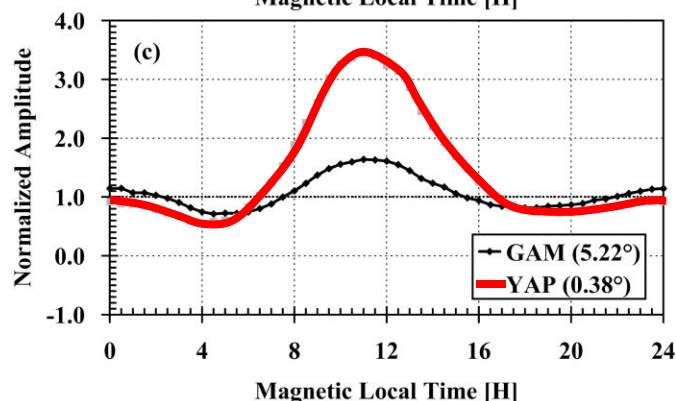
中緯度



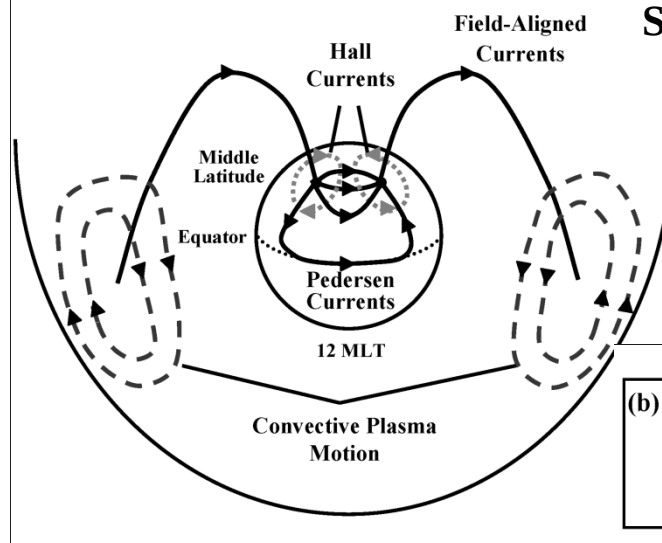
低緯度



赤道域

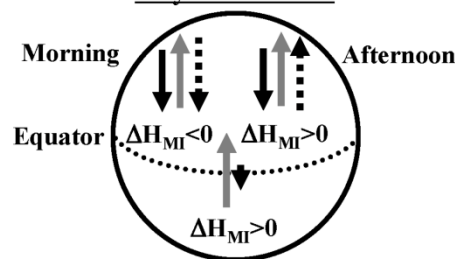


(a) MI Current System in the Magnetosphere and Ionosphere



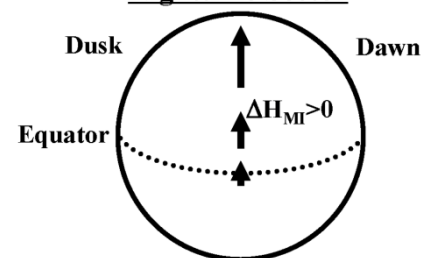
Shinbori et al. [2009]

Daytime Sector



昼間側

Nighttime Sector

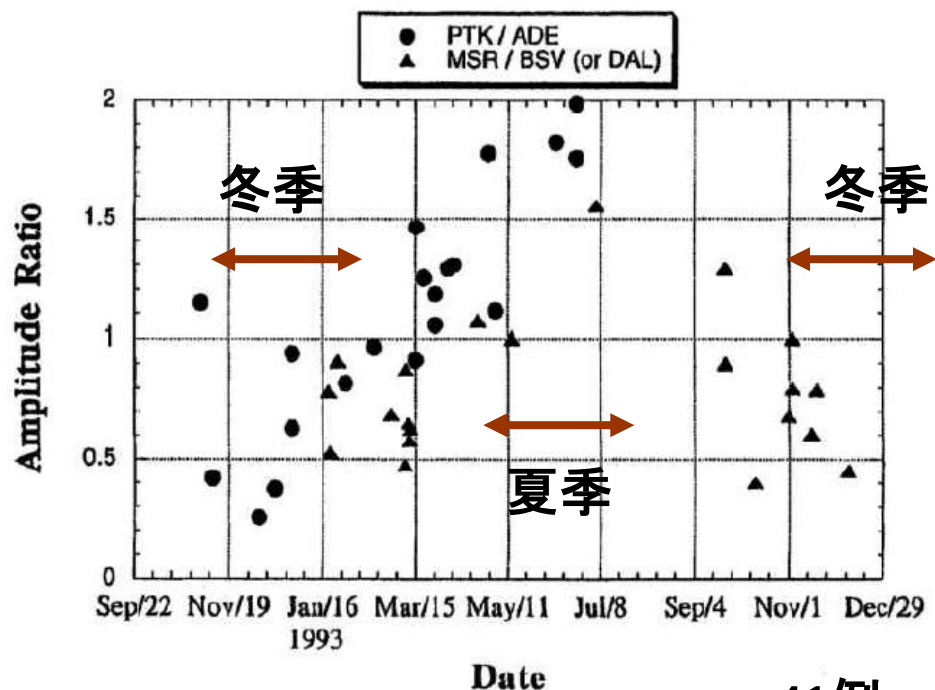


夜側

I. はじめに

I.4 SCの磁場振幅の季節依存性

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

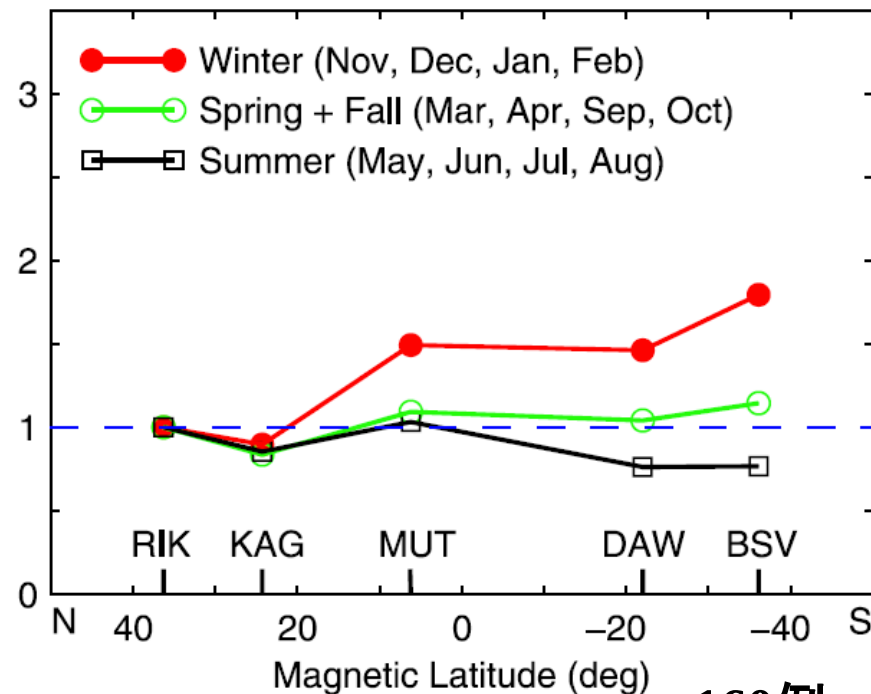


Yumoto et al. [1996]

41例

要因：電離圏電流の季節変動

(f) Southward IMF: Seasonal variations



Huang and Yumoto [2006]

160例

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

I. はじめに

I.5 これまでの問題点と本発表の目的

問題点

多量の観測点、データを用いていないため、各磁気地方時と磁気緯度に対するSC振幅の季節依存性が不明瞭である。

- 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
- 各機関の保有するデータセット同士の壁

目的

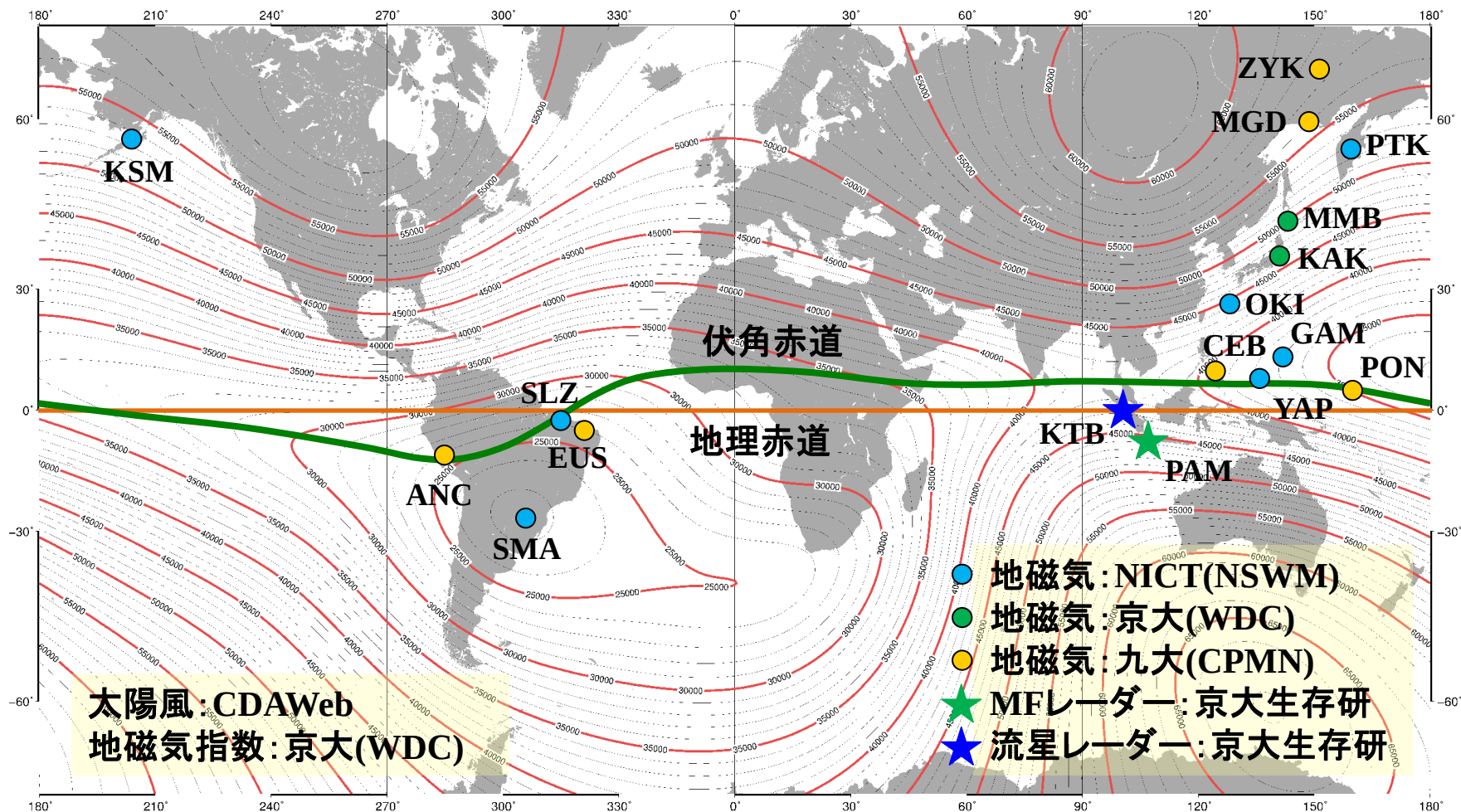
◎IUGONETプロジェクトの検索システム・解析ソフトの助けを借りて、1996/01-2010/09の12年間という長期間にわたる地磁気(京大、九大、NICT)、熱圏風(京大)データを解析することで、(1) SC振幅の日変化の季節とその緯度依存性、(2) 赤道帯における熱圏風がSC振幅の季節変化に与える影響を明らかにする

II. 観測データと解析手法

II.1 使用した地上観測点

International Geomagnetic Reference Field Model -- Epoch 2005

Main Field Total Intensity (F)



Map Date : 2005
Units (Total Intensity) : nanoTesla
Contour Interval : 1000 nanoTesla
Map Projection : Mercator

<http://www.ngdc.noaa.gov/wist/magfield.jsp>

II. 観測データと解析手法

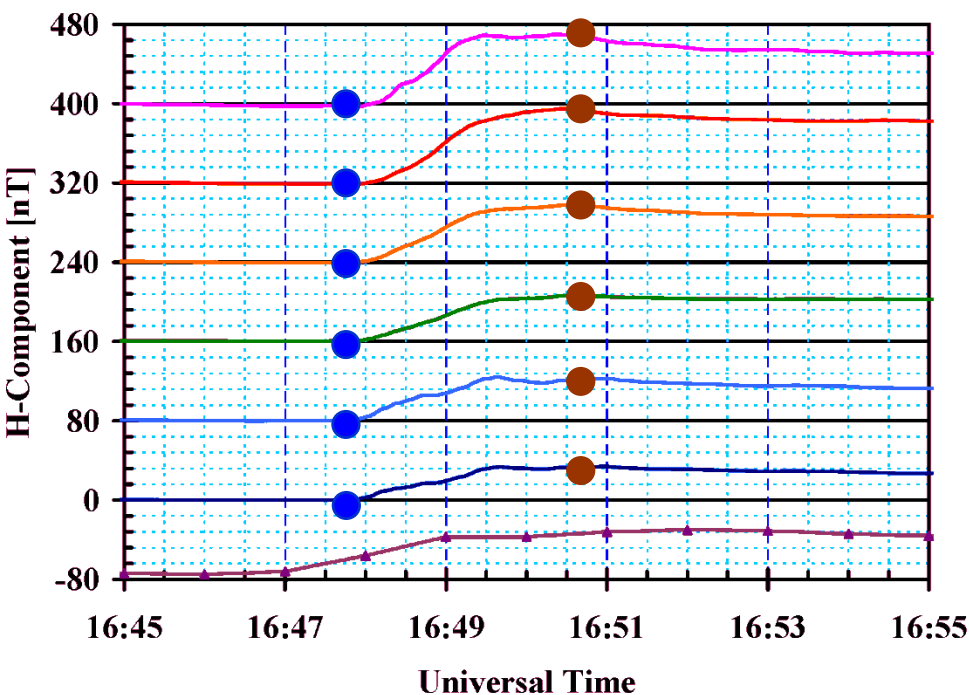
II.2 地磁気観測点、解析期間、SCイベント数

	Geographic latitude [deg]	Magnetic latitude [deg]	Period	SC events	Data site
CHD	70.62	64.66	96/01-02/05	2113	CPMN(Kyushu)
ZYK	65.75	59.74	96/01-07/06	2502	CPMN(Kyushu)
KSM	58.68	58.09	01/11-07/07	1452	NSWM(NICT)
MGD STC	59.97	53.62	96/01-07/07 07/07-08/10	3005	CPMN(Kyushu) NSWM(NICT)
PTK	52.94	45.58	97/10-08/09	2256	CPMN(Kyushu) NSWM(NICT)
MMB	43.90	35.16	96/01-08/09	3116	WDC(Kyoto)
KAK	36.23	27.12	96/01-08/12	3163	WDC(Kyoto)
OKI	24.75	16.54	96/04-08/10	2028	NSWM(NICT)
GAM	13.58	5.32	96/08-06/12	2721	WDC(Kyoto) NSWM(NICT)
CEB	10.35	0.85	98/08-05/06	1599	CPMN(Kyushu)
YAP	9.30	0.38	98/09-08/08	1442	NSWM(NICT)
PON	7.00	0.27	97/03-04/05	1631	CPMN(Kyushu)

II. 観測データと解析手法

II.3 解析手法

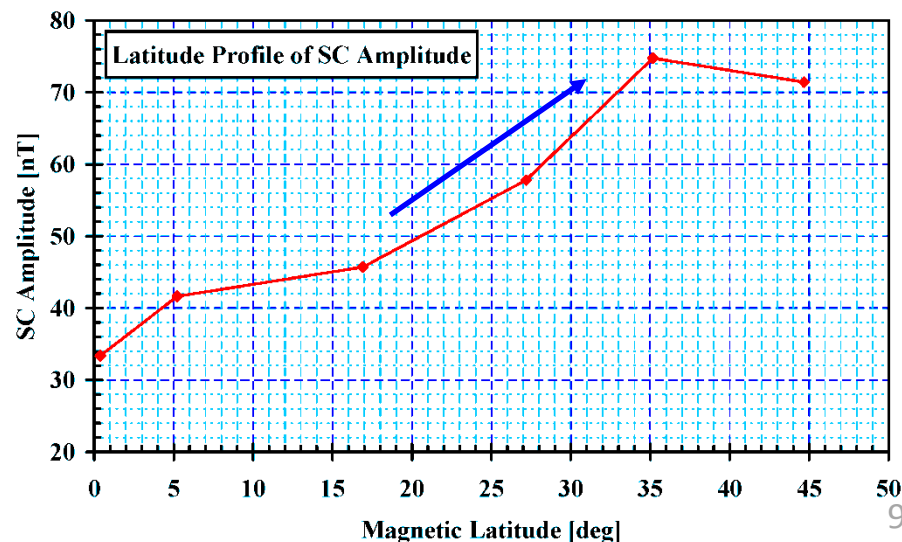
[2001年10月21日16:47 (UT)のSCイベント](夜側)



SCの振幅の定義

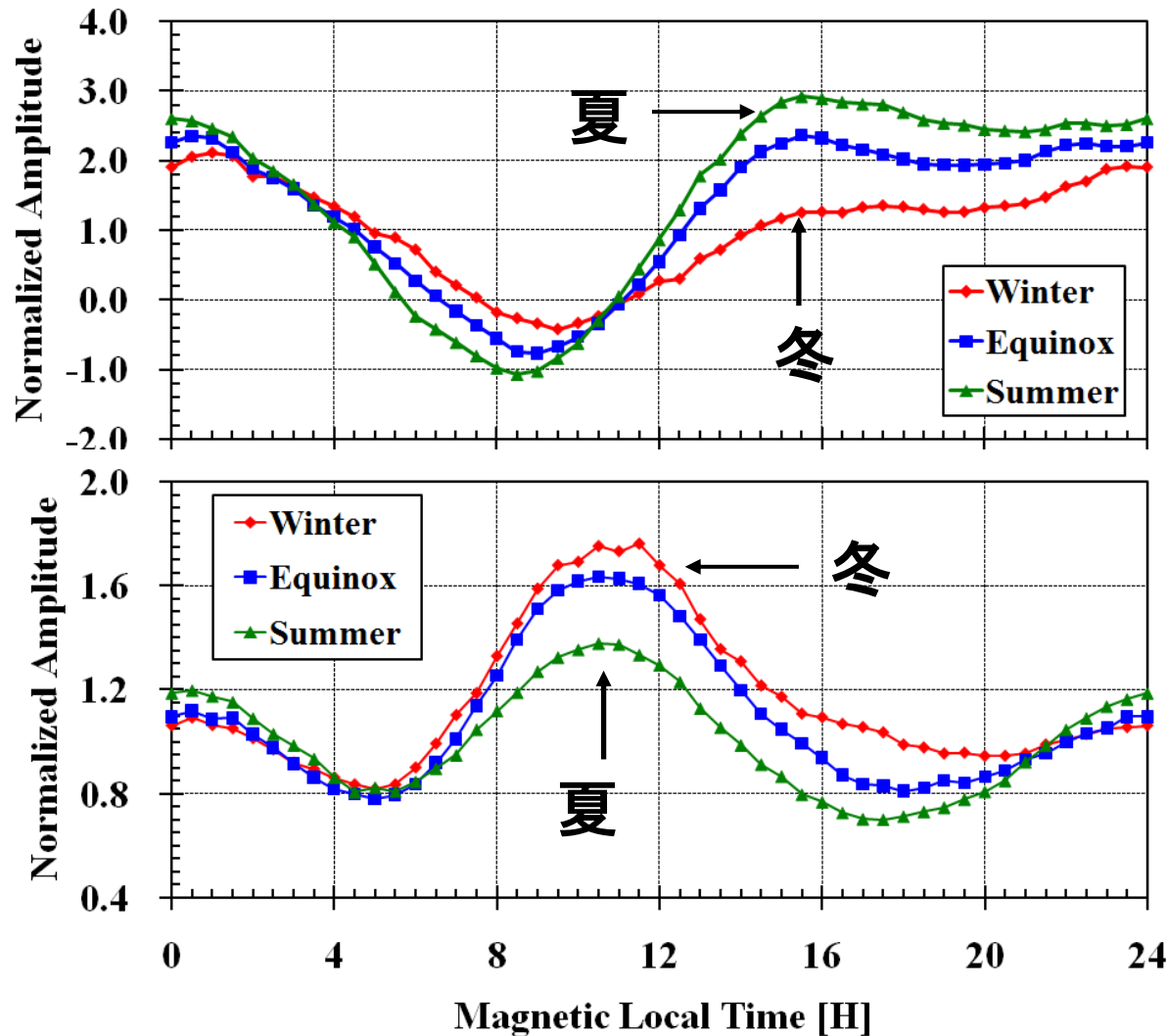
開始点の値から低緯度での磁場の最大値の差

緯度補正をかけたSYM-Hでの振幅で規格化



III. 解析結果

III.1 中緯度・赤道域における季節変動

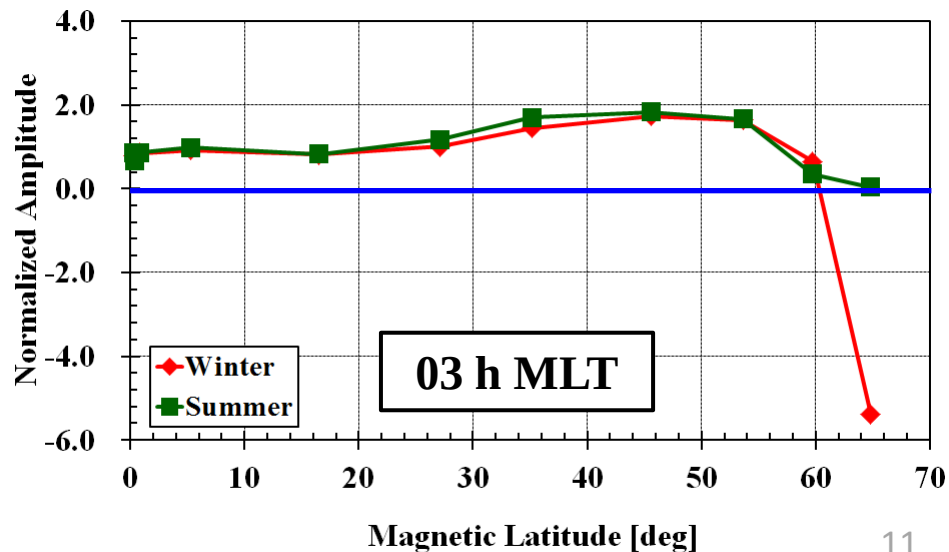
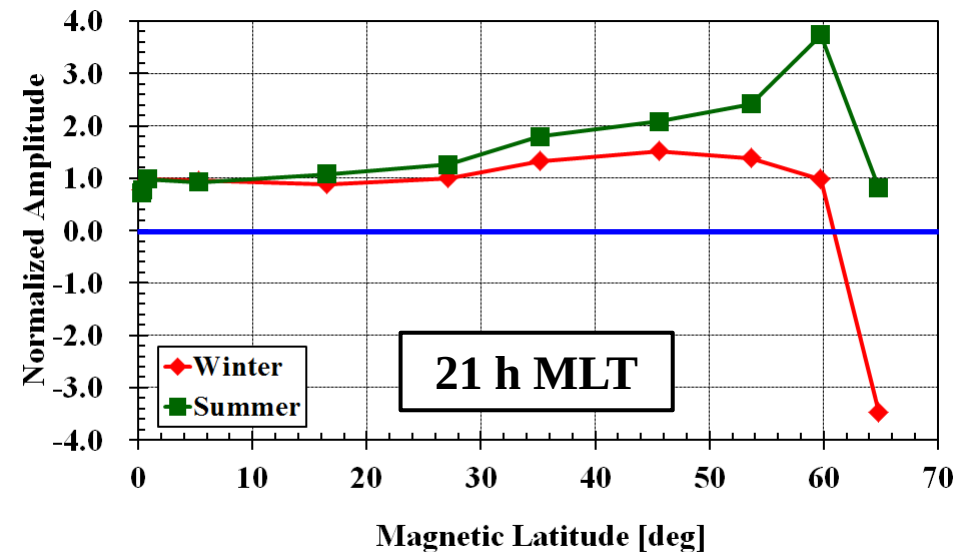
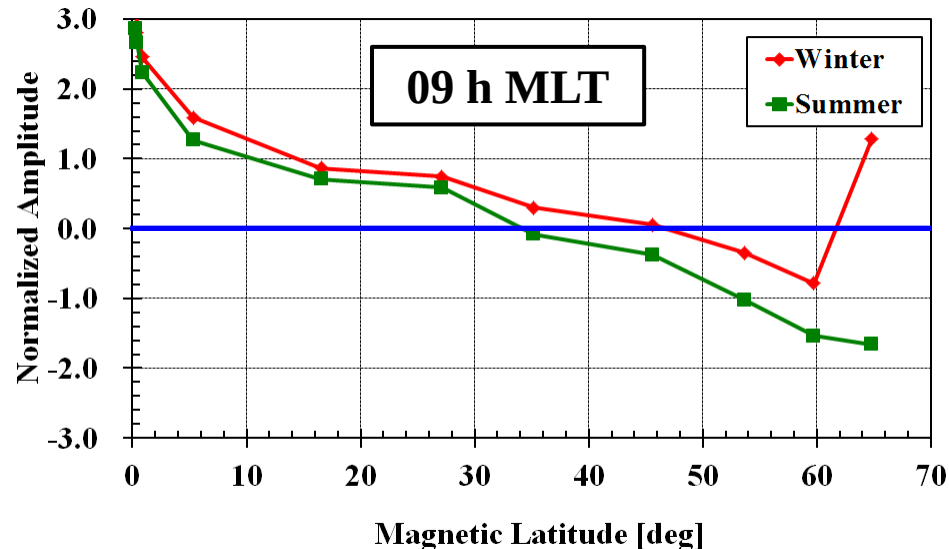
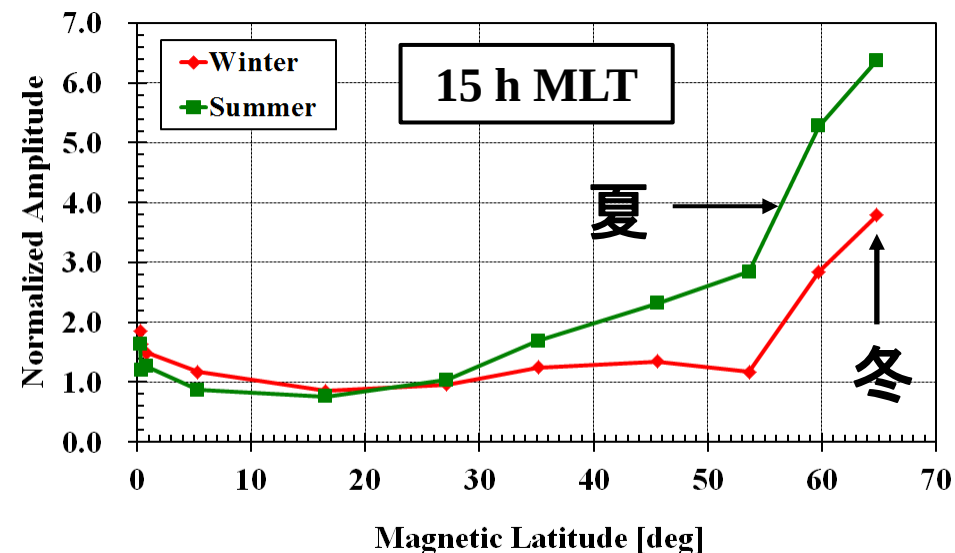


上段:
マガダン (53.62度)
下段:
グアム (5.32度)

中緯度:
DP2型の振幅が**夏季**に最大となる
赤道域:
赤道ジェット電流による振幅が**冬季**に最大となる

III. 解析結果

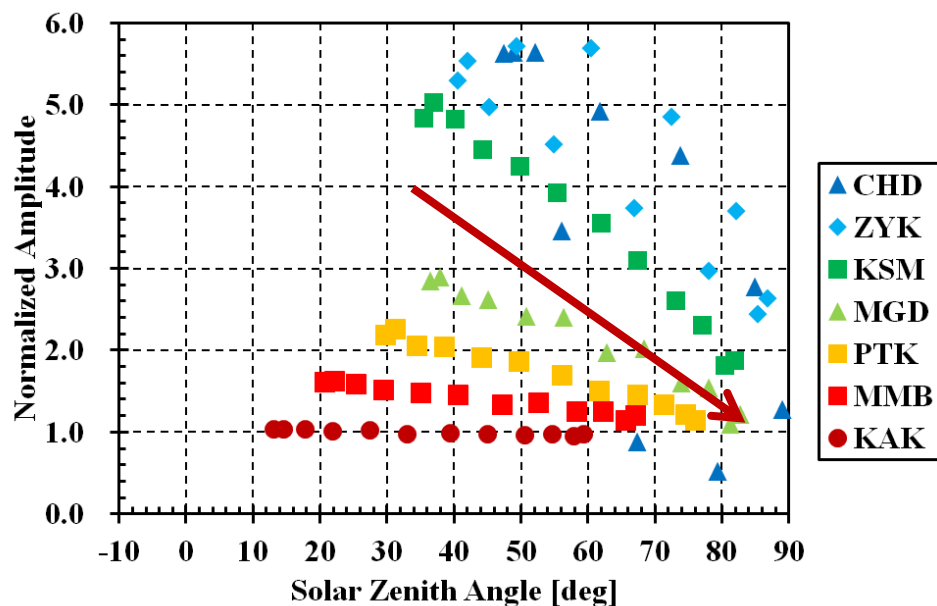
III.2 季節依存性の緯度変化



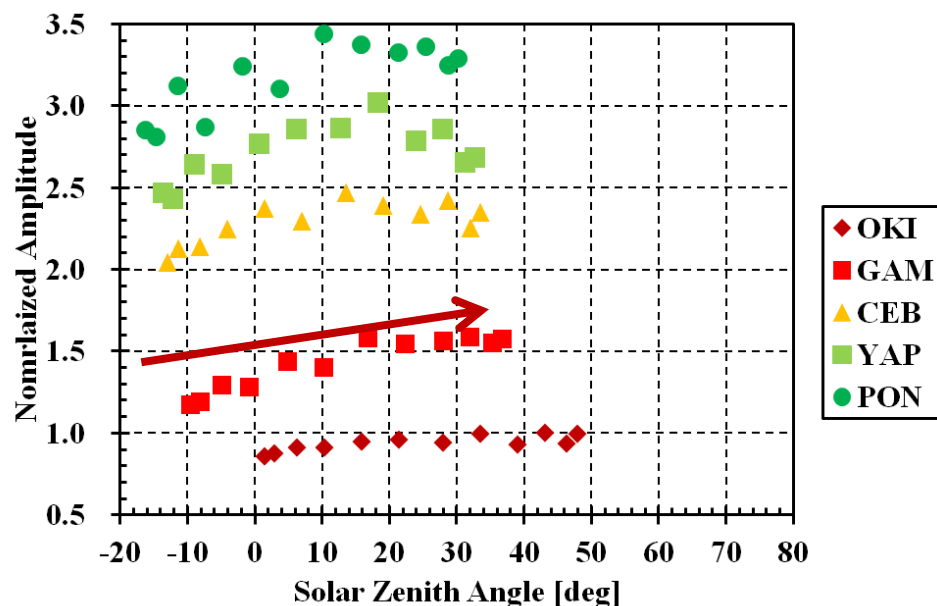
III. 解析結果

III.3 太陽天頂角依存性

(1) 中緯度領域(15 h MLT)



(2) 低緯度・赤道域(12 h MLT)



夏至

冬至

夏至

冬至

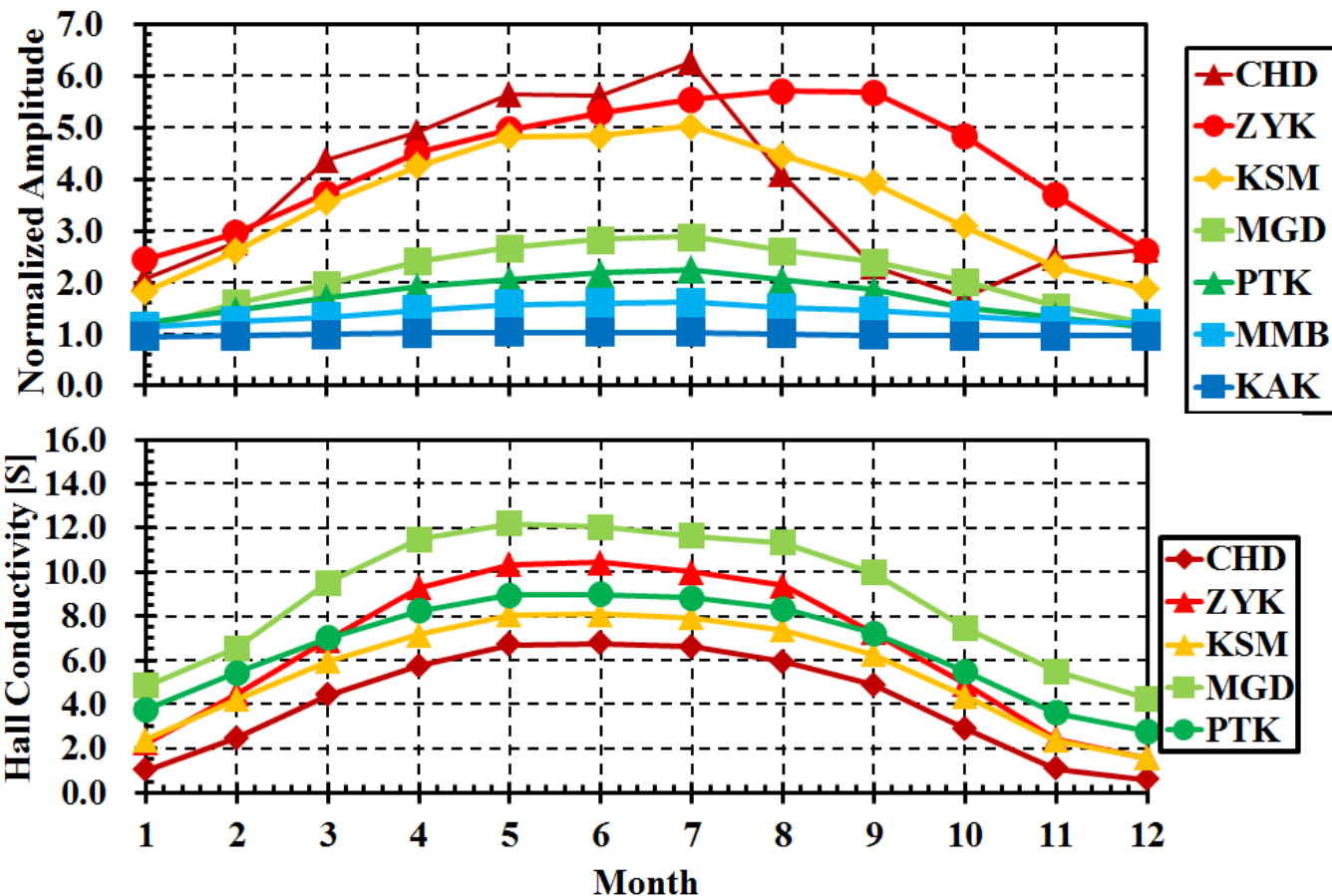
中緯度域と赤道域とは逆の傾向にある

→中緯度: 太陽天頂角の増加とともに振幅が減少

赤道域: 太陽天頂角の増加とともに振幅が増加

IV. 考察

IV.1 電離圏伝導度と中緯度でのSC振幅の比較



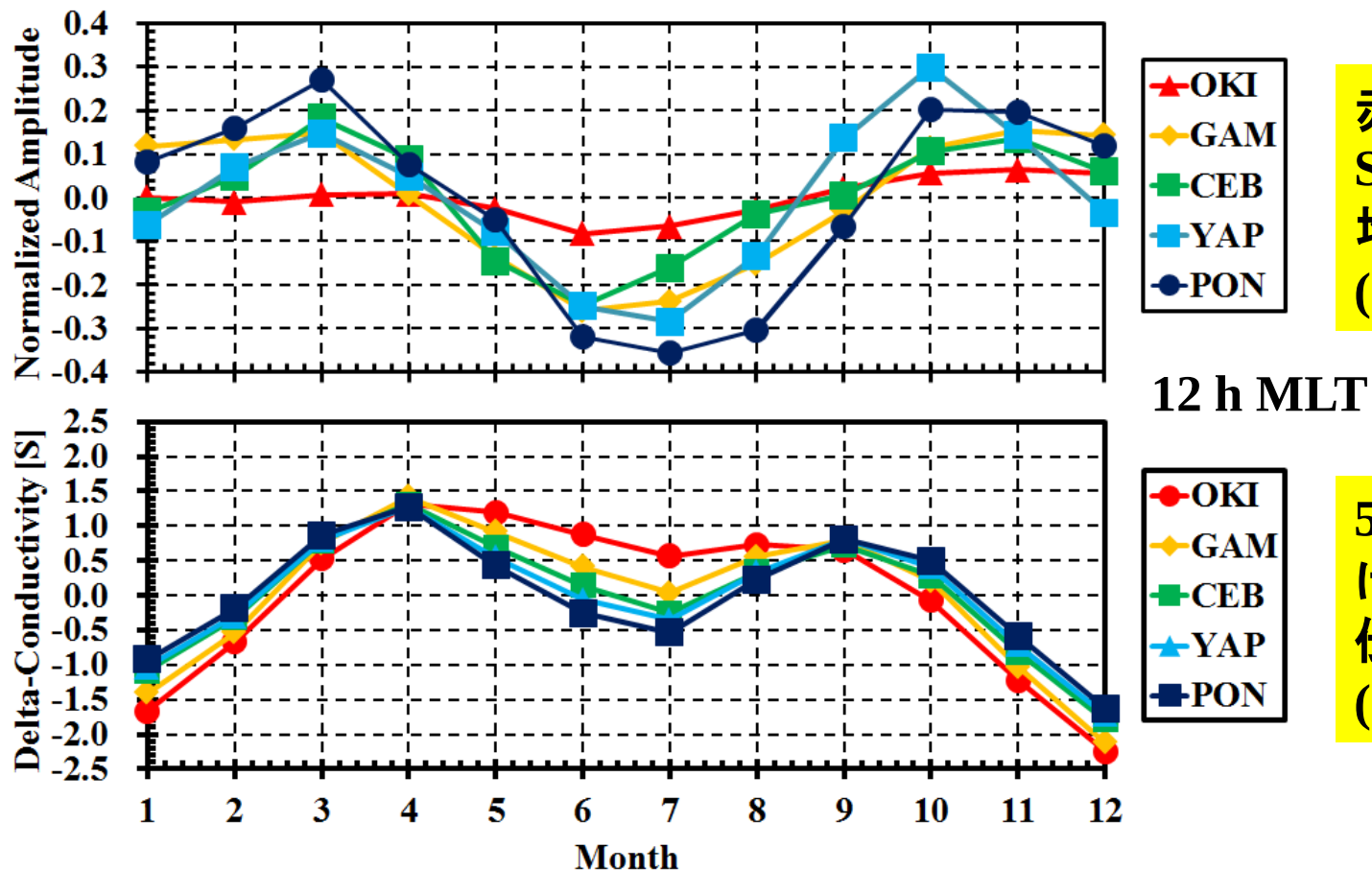
中緯度における
SC振幅の月別平
均推移

各観測点における
Hall伝導度

夏季の電気伝導度とSC振幅の季節変動の傾向が一致

IV. 考察

IV.2 電離圏伝導度と赤道域でのSC振幅の比較



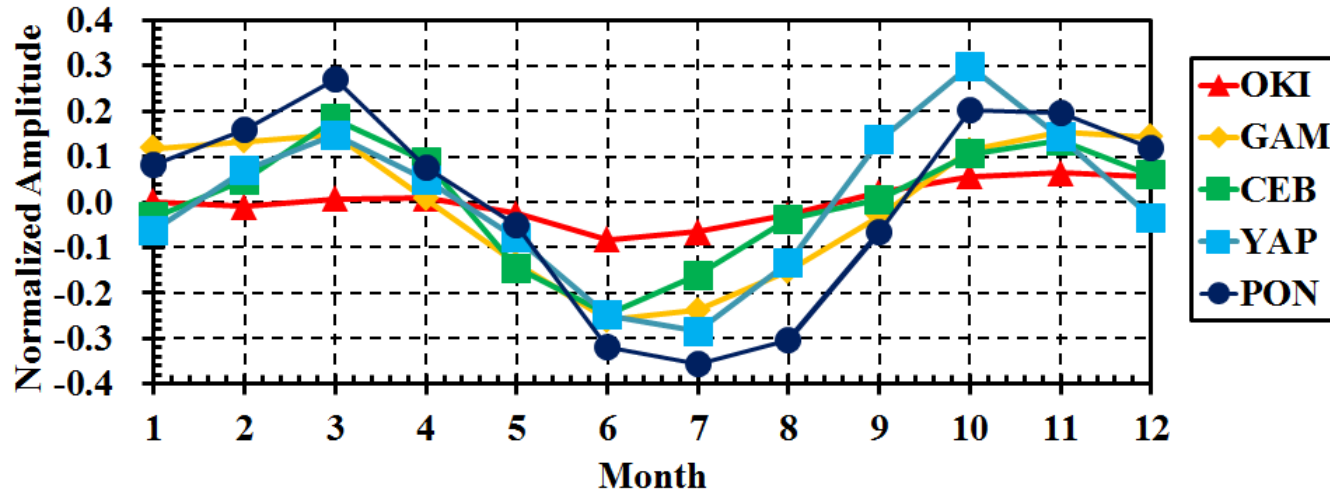
赤道域における
SC振幅の月別平
均推移
(年平均値を除去)

5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)

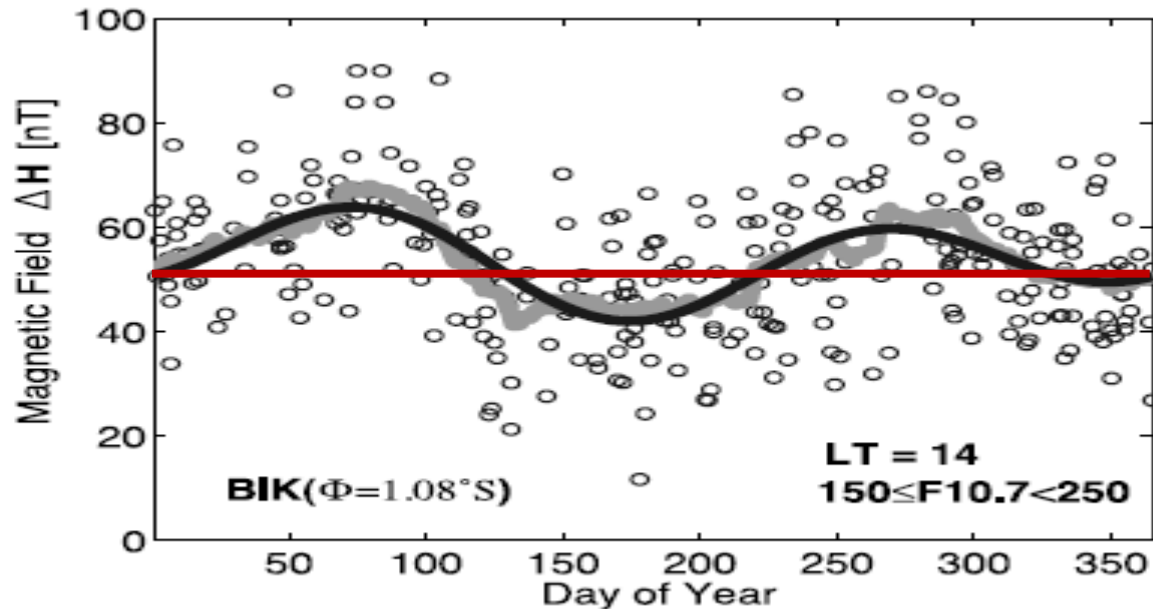
夏季の電気伝導度とSC振幅の季節変動の傾向が一致しない

IV. 考察

IV.3 赤道域におけるSCとSq振幅の季節変動の類似性



赤道域における
SC振幅の月別平
均推移
(年平均値を除去)



赤道域における
Sq振幅の月別平
均推移

両者とも季節変動の傾
向がほぼ同じ

⇒ **Equinox: 最大**
夏至: 最小

IV. 考察

IV.4 電離圏電流と電場の関係

(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

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

季節変動の類似性⇒電離圏電気伝導度の季節変動を反映



○太陽天頂角に依存しない成分が存在する
(冬季と夏季における非対称性)



○中間圏・熱圏領域における中性大気風に伴う電離圏電子
密度構造の変化

IV. 考察

IV.2 中間圏・熱圏風の使用観測点



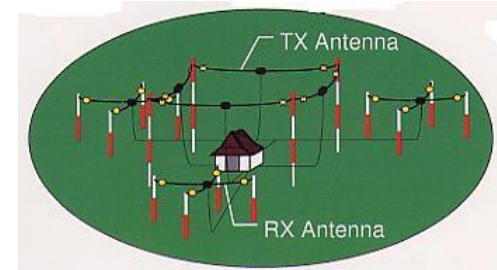
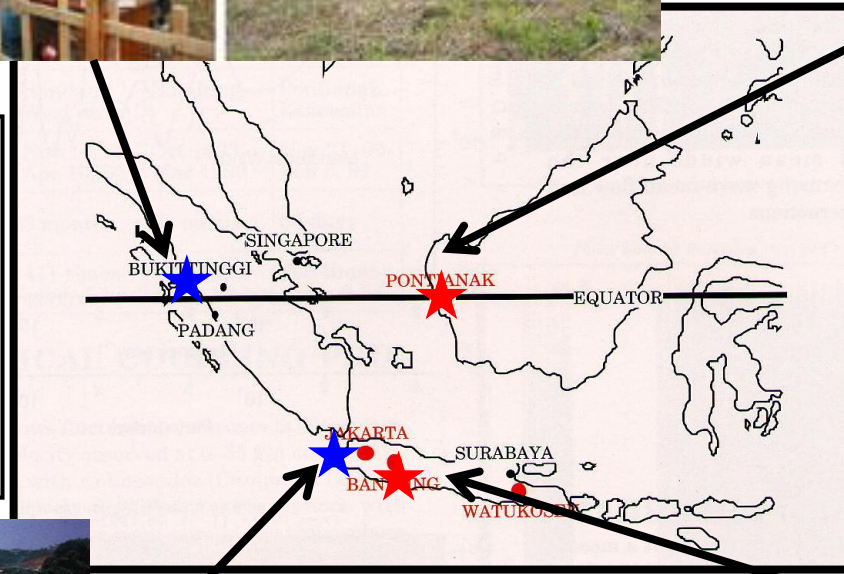
Meteor radar
Kototabang (2002-)



MF radar
Pontianak (1995-)



Regional network in
Indonesia (1992-)
流星レーダー
(Jakarta, Koto Tabang)
MFレーダー
(Pontianak,
Pameungpeuk)



Meteor radar
Jakarta (1992-1999)



MF radar

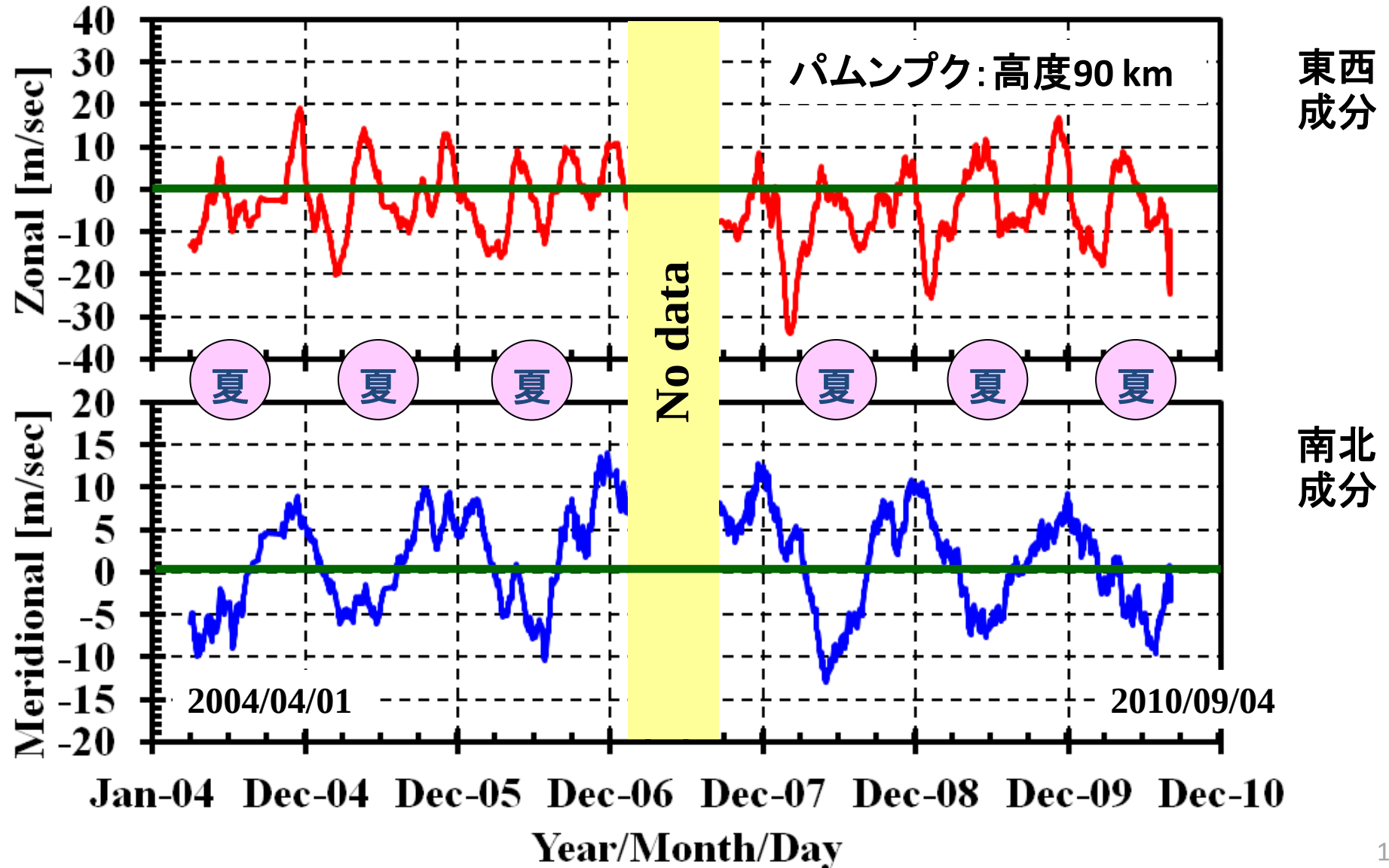


MF radar
Pameungpeuk (2004-)



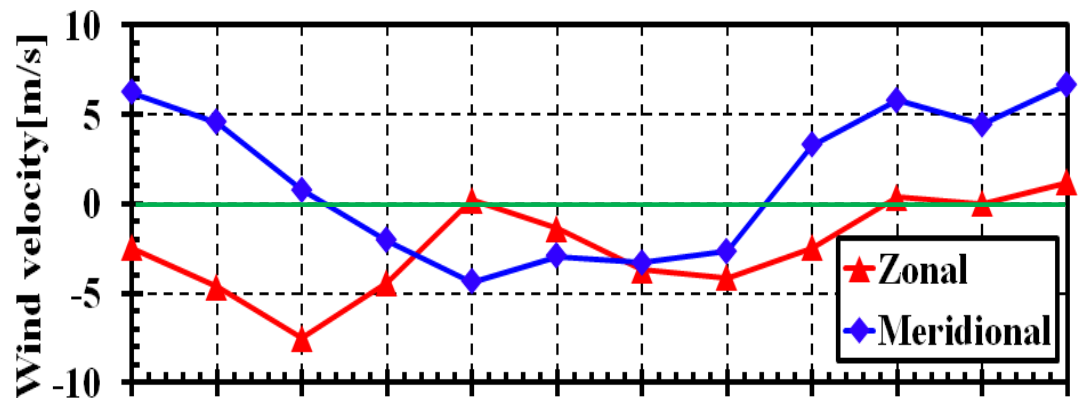
IV. 考察

IV.5 赤道熱圏下部領域の風速の長期変動



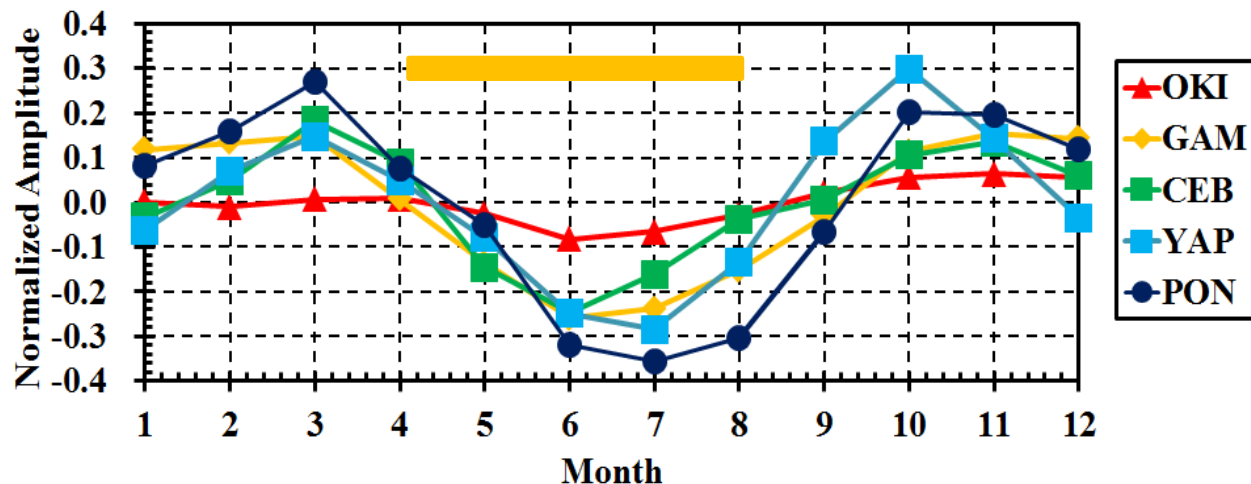
IV. 考察

IV.6 熱圏風と低緯度・赤道でのSC振幅の比較



コタバン+パムンプク

高度86-100 kmの熱圏東西と
南北風速の季節変動
[2002-2010年]



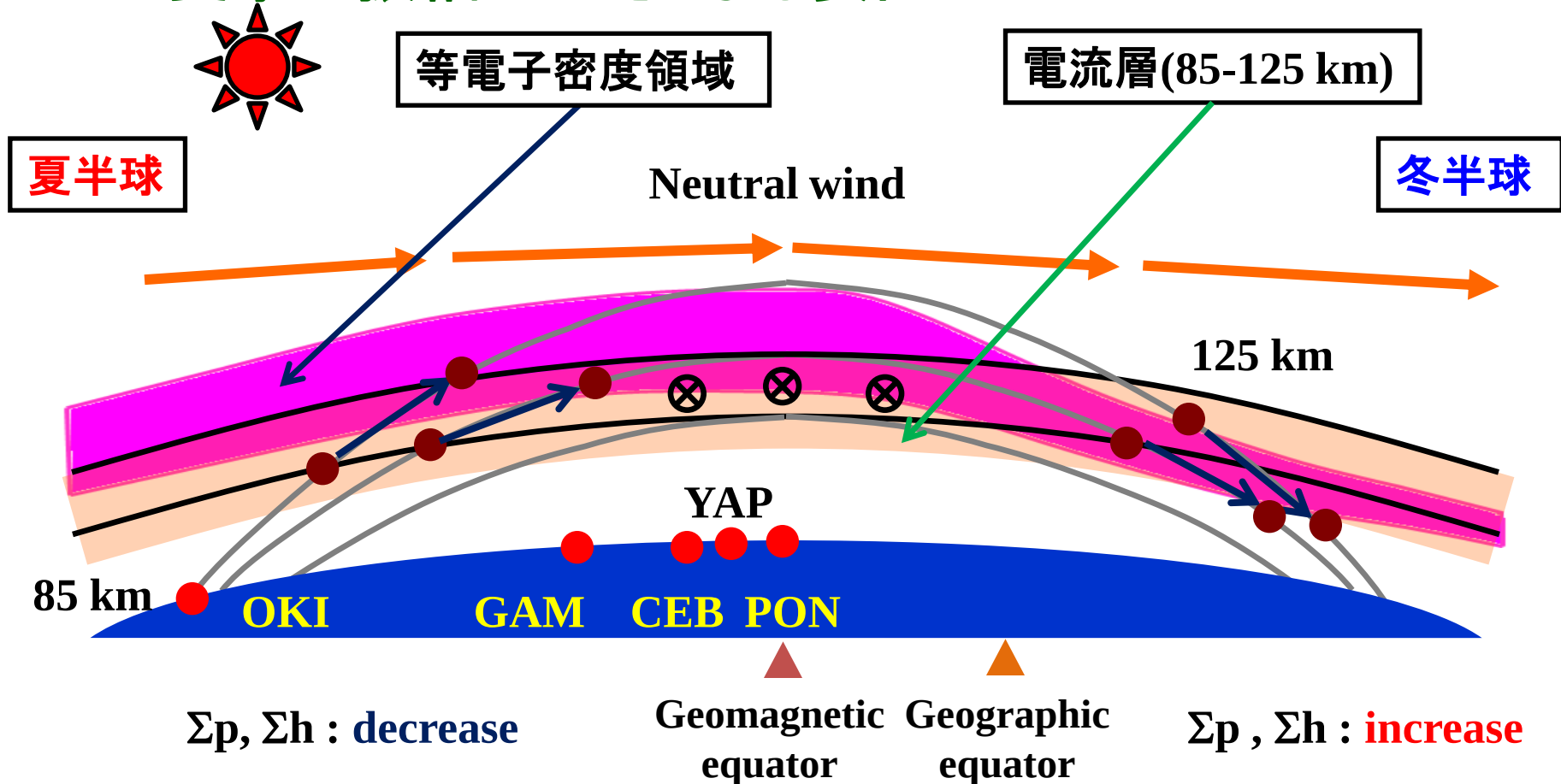
赤道域におけるSC振
幅の月別平均推移
(年平均値を除去)

熱圏領域における南北風が北風となる時期にSC振幅が減少

→熱圏風が電離圏電子密度の分布を変化させている可能性を示唆

IV. 考察

IV.7 夏季に振幅が小さくなる要因



赤道電離圏を南北に交差する中性大気風によって電離圏E領域におけるプラズマの等密度線が緯度に依存して変化

→ 夏半球側で電流層のプラズマ密度が減少?(伝導度の低下)

V. 結論

(1)サブオーロラ帯・中緯度における昼間側SCの磁場振幅の日変化には、電離圏の電気伝導度が大きい夏季に時期において最大になるという明瞭な季節依存性が存在する。

その大きさは、冬季のものと比べて約1.5-1.8倍になる。

一方、夜側での振幅の季節変化は、中緯度では夏季に振幅が大きくなり、オーロラ帯では、逆の傾向にある

→西向きのジェット電流の強度が冬季に大きいことを示唆

(2)低緯度以南領域の昼間側におけるSCの磁場振幅は、サブオーロラ帯・中緯度のものと異なり、夏季よりも冬季において最大となる。

この傾向は、地磁気日変化の季節変動とも類似する。

このことは、伏角緯度の低い赤道電離圏での中性大気風の輸送に伴う電離圏プラズマ密度構造の変化による電気伝導度の変化を示唆する。

V. 結論

- (3) **異なる分野間のデータ**(今回の場合: 地磁気、伝導度モデル、熱圏風)の統合解析、比較、検討を容易に行える環境(TDASソフト)によって、これまでわからなかった物理プロセスの解明への糸口をつかむことができた
- ⇒ **IUGONETのメタデータデータベース・統合解析ツールが各個人の研究推進の手助けになり、副産物的な別のサイエンスを生む**

IV. 考察

IV.0 電離圏伝導度と電流

電離圏電流と電場の関係式(オームの法則)

$$\mathbf{J}_{\perp} = \sum_P \mathbf{E}_{\perp} - \sum_H \frac{\mathbf{E}_{\perp} \times \mathbf{B}}{B}$$

電離圏伝導度

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

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

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

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

$$\omega_{gi} = \frac{q_i B}{m_i}$$

$$\omega_{ge} = \frac{e B}{m_e}$$

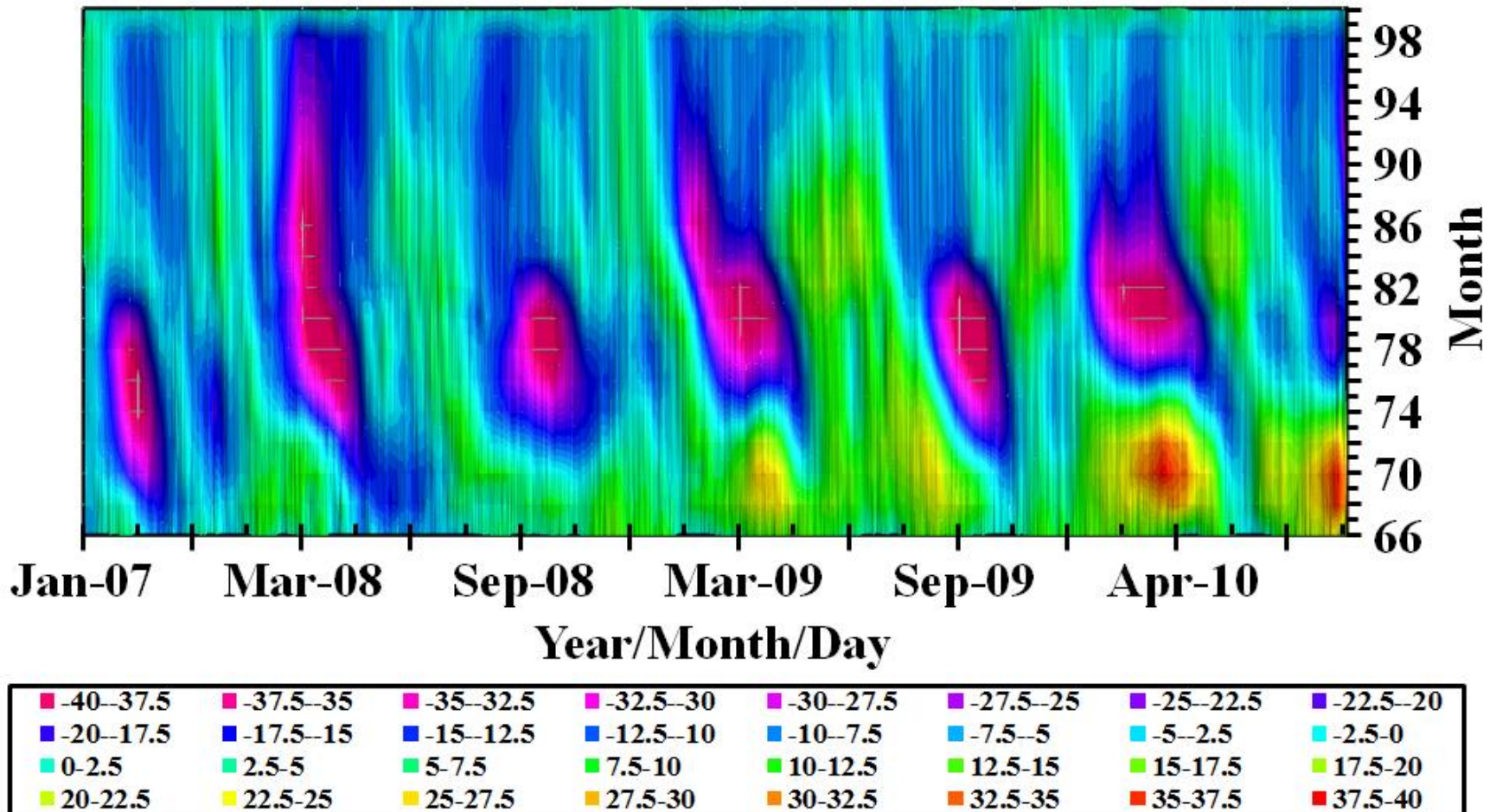
電離圏電子(プラズマ)密度に比例

⇒ 太陽EUV放射、電離圏電子密度構造(熱圏風に依存)

VI. 付録

＜パンプクにおける熱圏・中間圏東西風速の長期変動＞

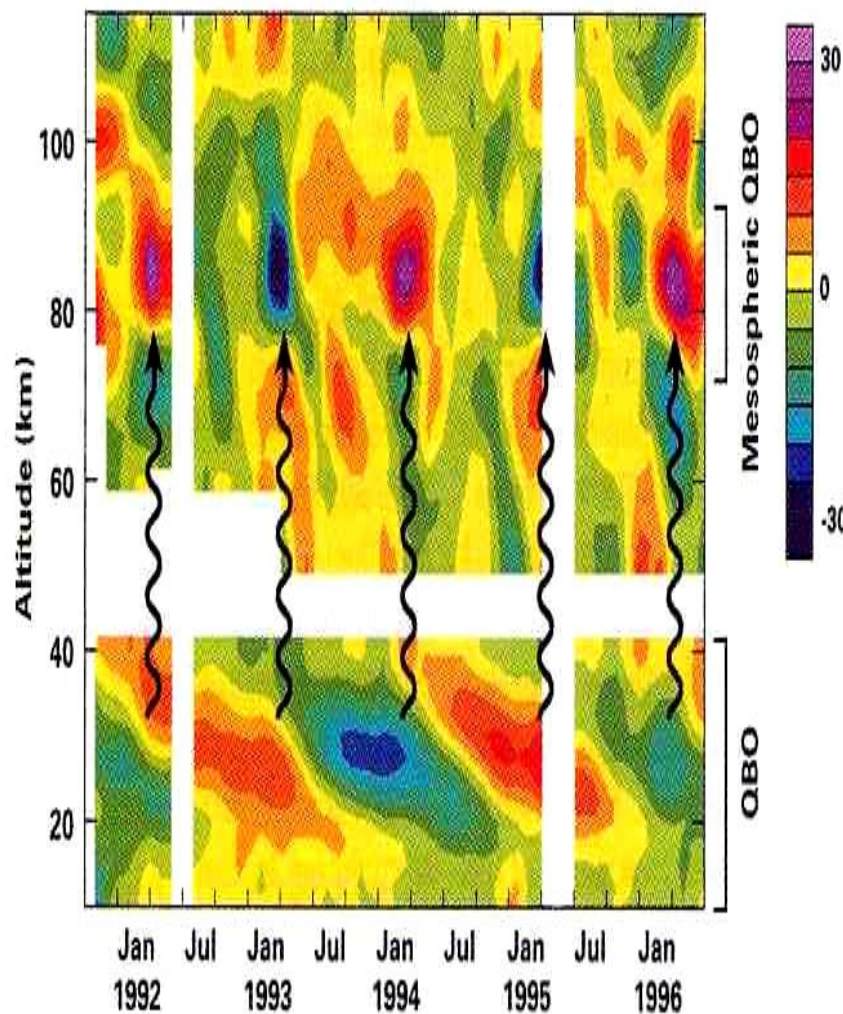
Annual variation of zonal wind at PAM



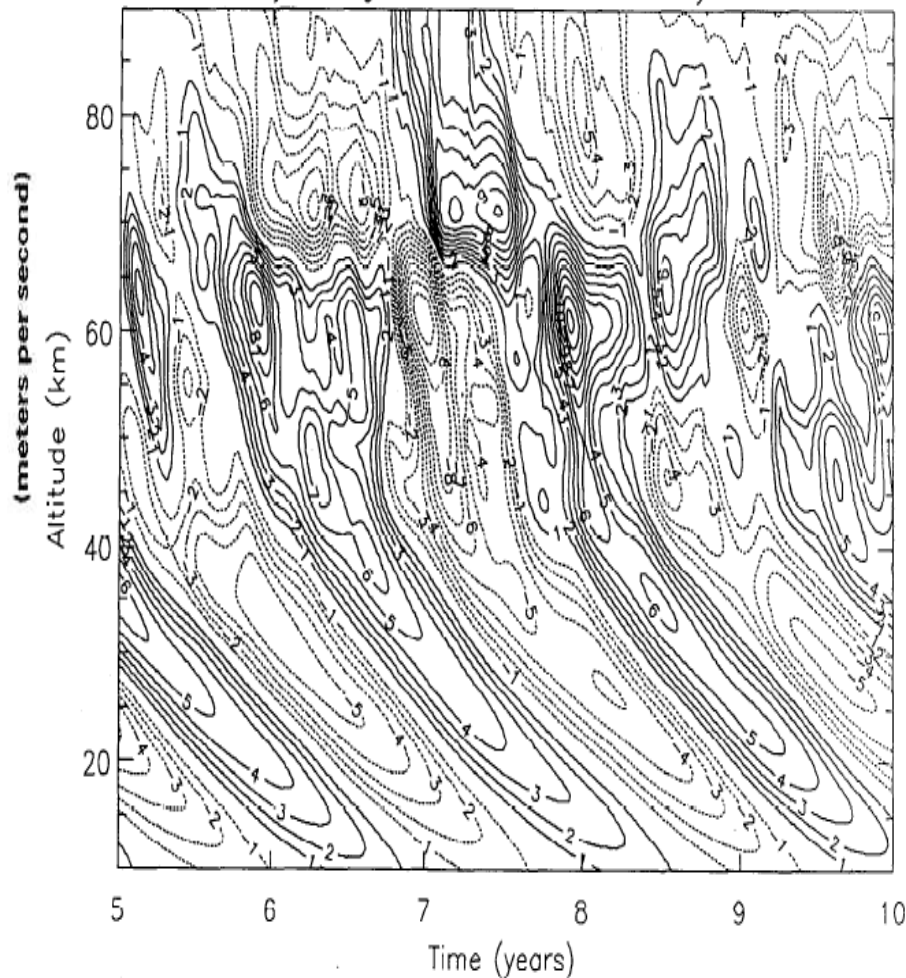
中間圏のQBO :

Burrage et al. (JGR, 1996)

Equatorial Winds with AO and SAO Removed



180 - Day Average with Mean and Annual Cycle Removed

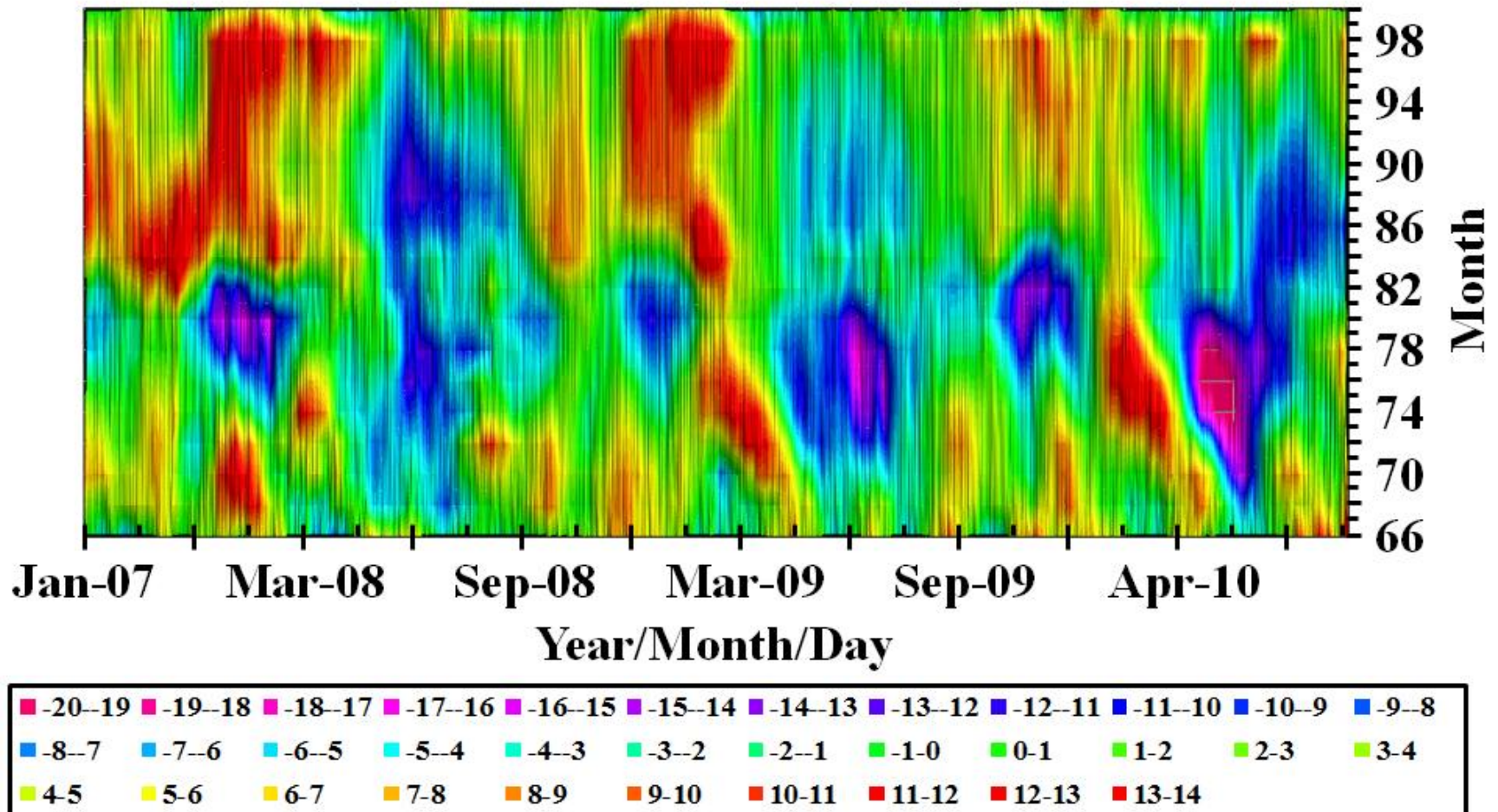


重力波をパラメータ化モデルで再現されているらしい中間圏QBO (y-z 2Dmodel)、Mayr et al. (JGR, 1997)

VI. 付録

＜パンプクにおける熱圏・中間圏南北風速の長期変動＞

Annual variation of meridional wind at PAM



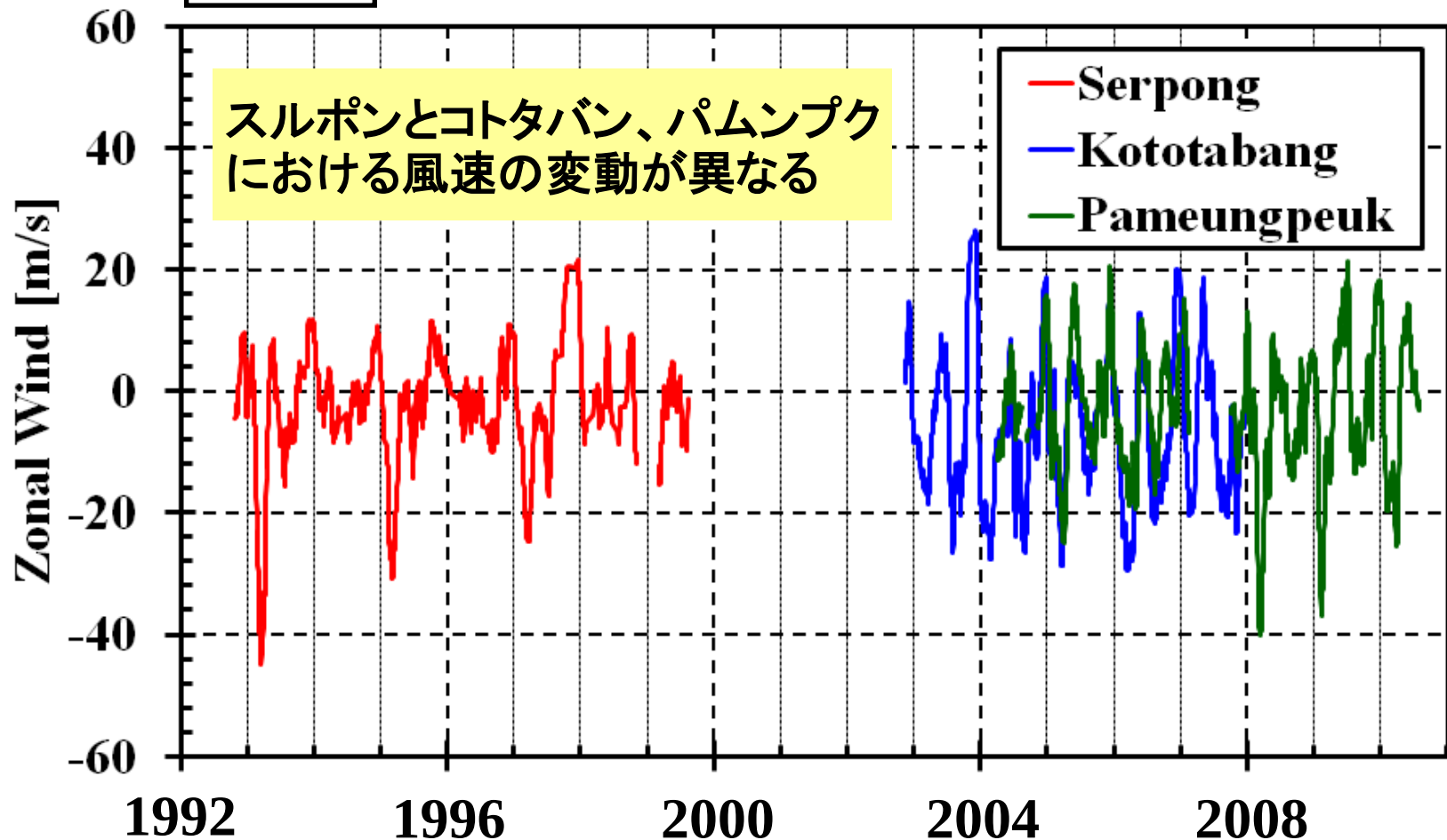
VI. 付録

＜東西成分の平均風速の長期変動＞

Long-term variation of thermospheric wind

(1992/11/15-2010/07/31)

88 km



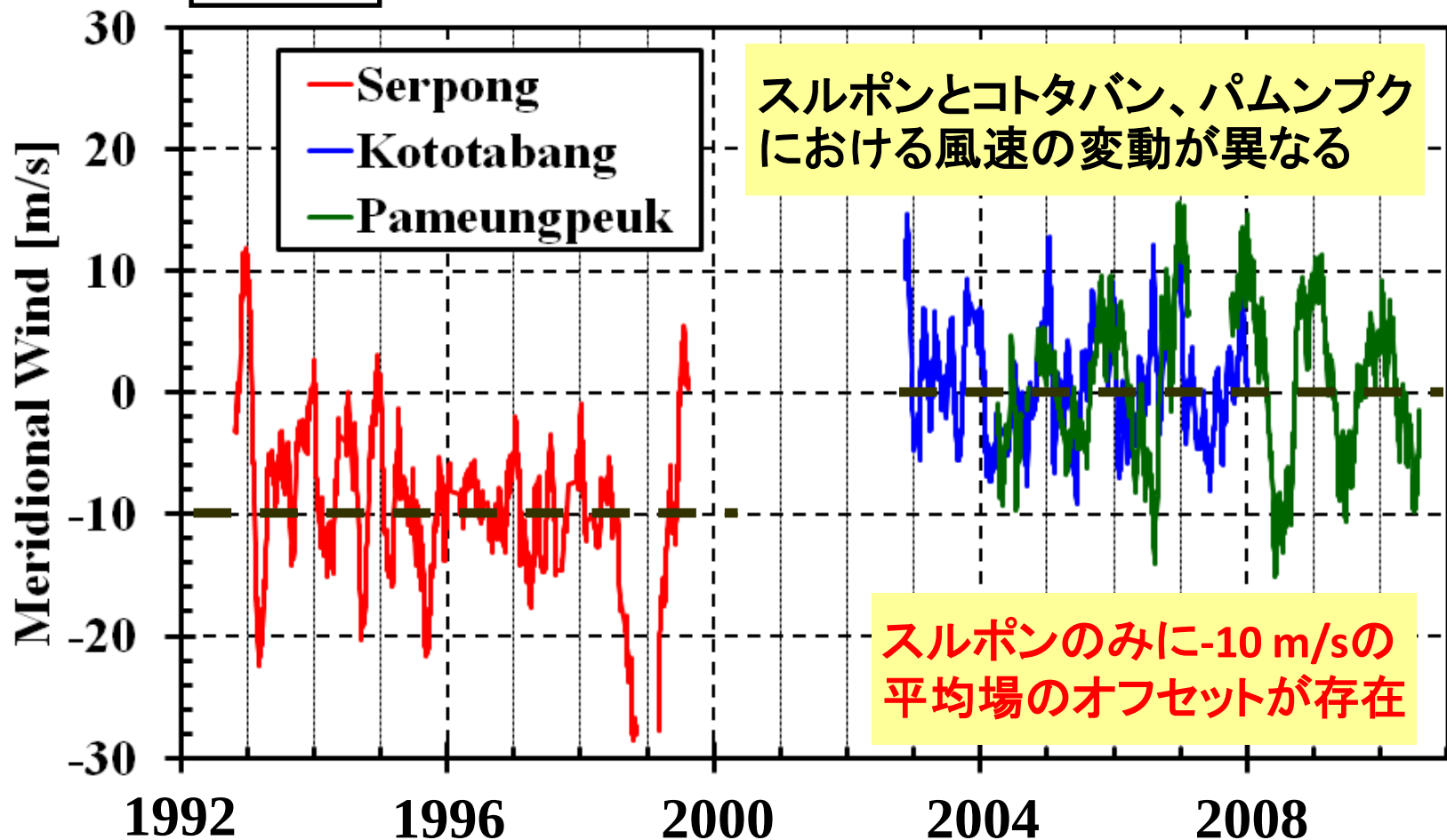
VI. 付録

＜南北成分の平均風速の長期変動＞

Long-term variation of thermospheric wind

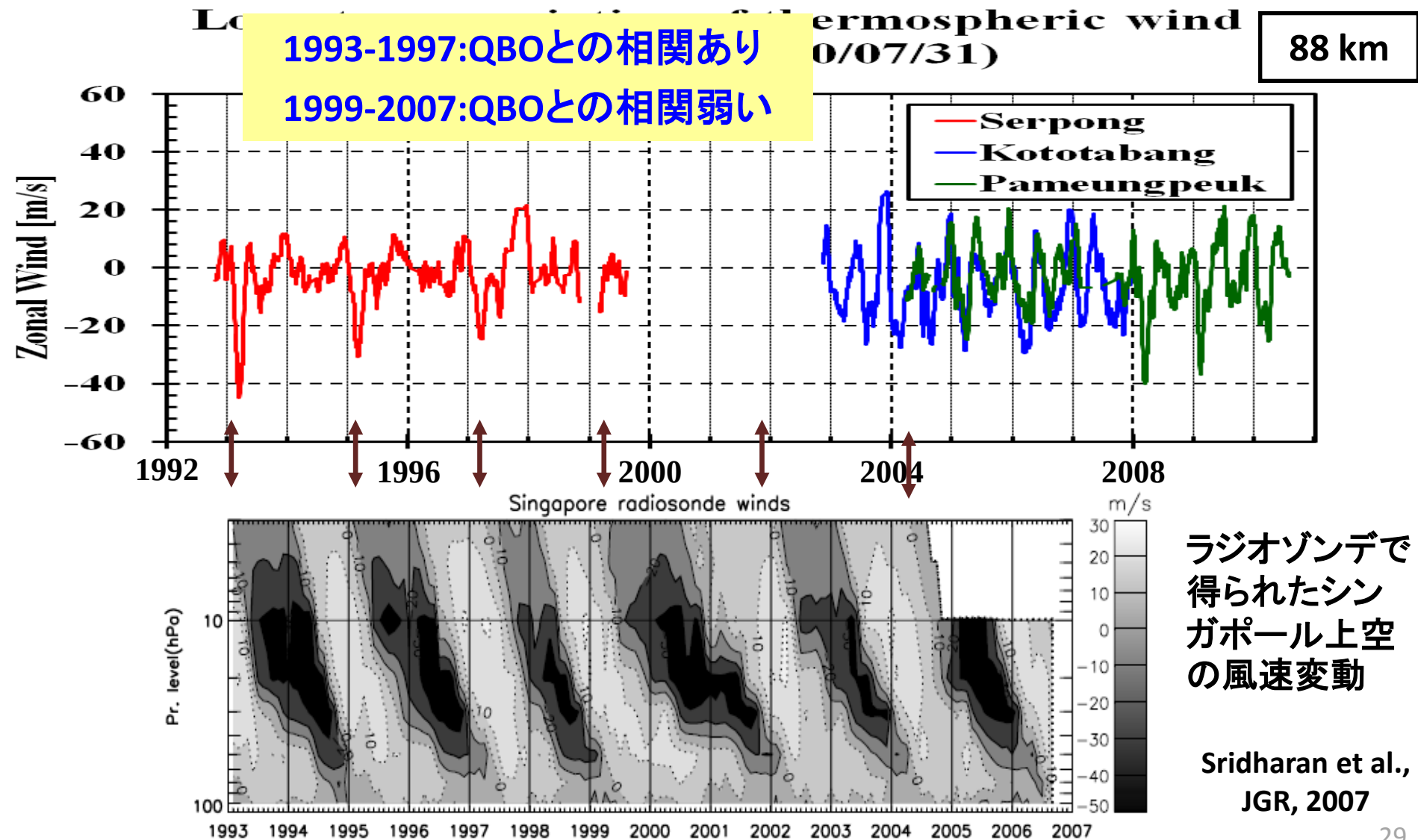
(1992/11/15-2010/07/31)

88 km



VI. 付録

＜成層圏準2年周期変動と東西方向の風速変動との比較＞

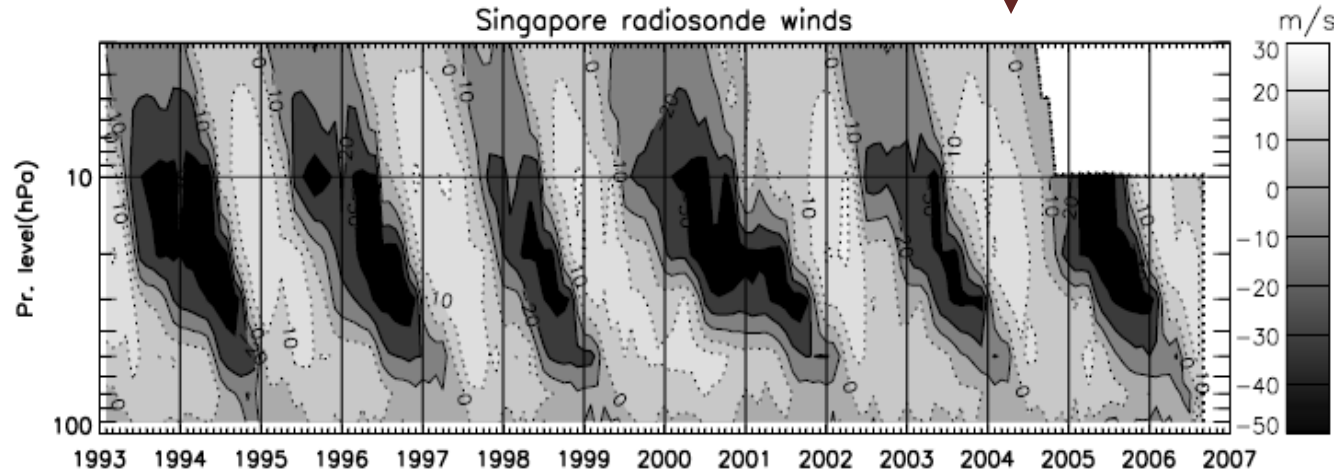
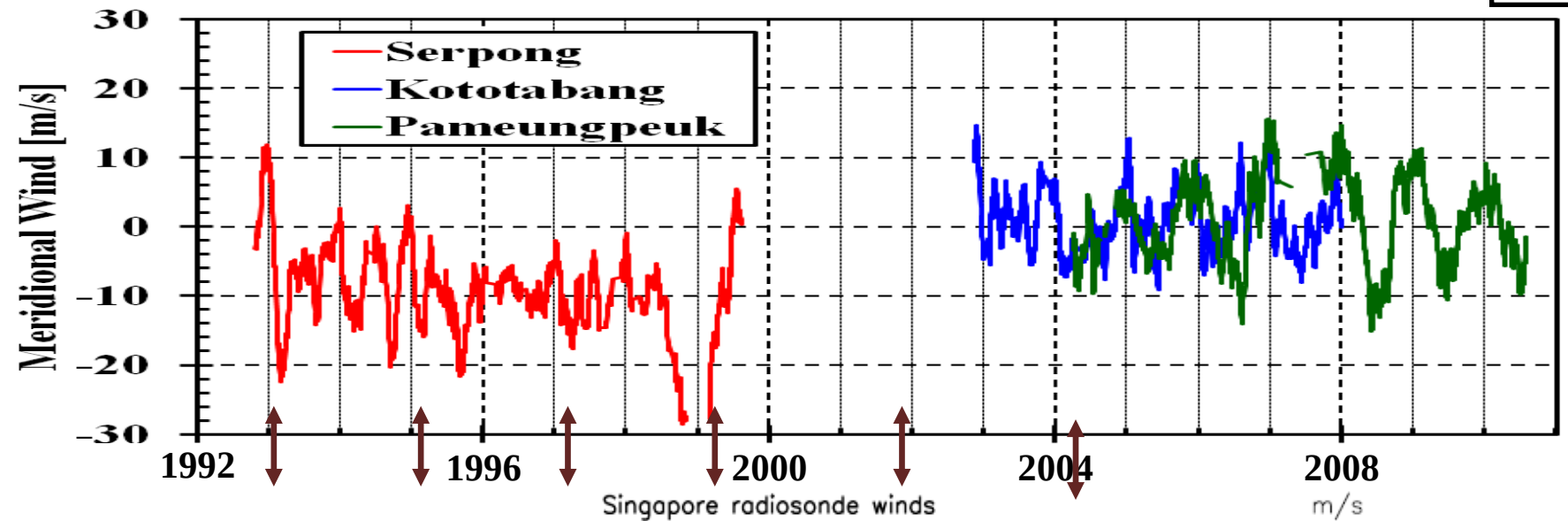


VI. 付録

＜成層圏準2年周期変動と南北方向の風速変動との比較＞

Long-term variation of thermospheric wind
(1992/11/15-2010/07/31)

88 km



ラジオゾンデで
得られたシン
ガポール上空
の風速変動

Sridharan et al.,
JGR, 2007

VI. 付録

<3観測点における風速の長期変動のまとめ>

(1) 東西成分

○スルポン: 1993、1995、1997年の2年ごとに1-3月においてシャープな西向きの変動が出現する

→成層圏準2年周期変動(QBO)との対応?

○他2点: 半年周期で東風と西風が入れ替わる

冬季、夏季: 東風

春分点、秋分点: 西風

パンプクで、2008年と2009年の1-3月にシャープな西向きの変動が出現する

(2) 南北成分

○スルポンのみに-10 m/sの平均場のオフセットが存在

→観測器の問題?

それとも自然現象(同じ測器のコタバンでは見えない)

○他2点に明瞭な季節変動が存在

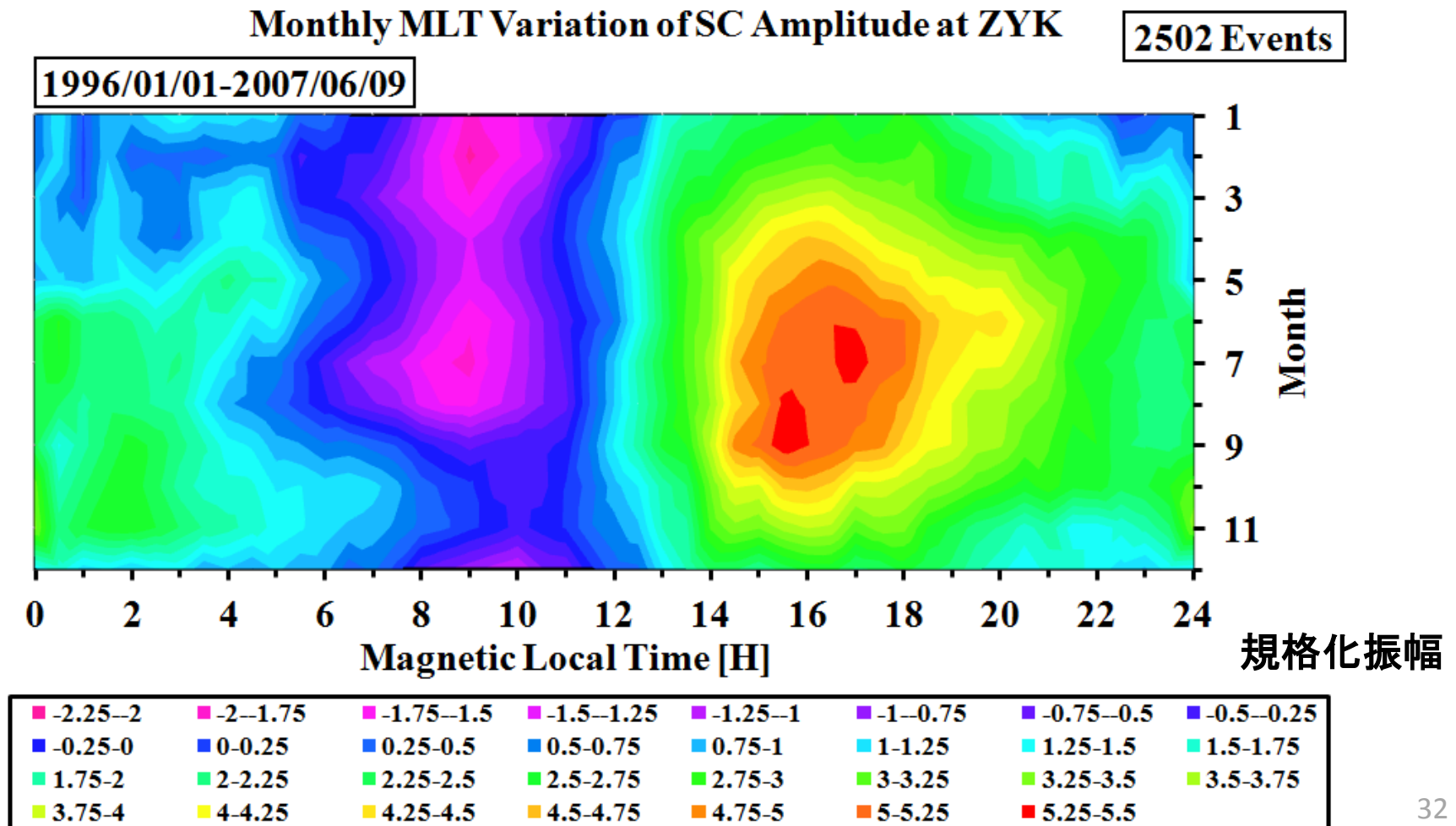
夏季: 北→南、冬季: 南→北(北半球側から見て)

III. 解析結果

III.1 サブオーロラ帯域における季節変動

(1) ズリヤンカ (59.74度)

夏季においてSCの振幅の日変化が最大

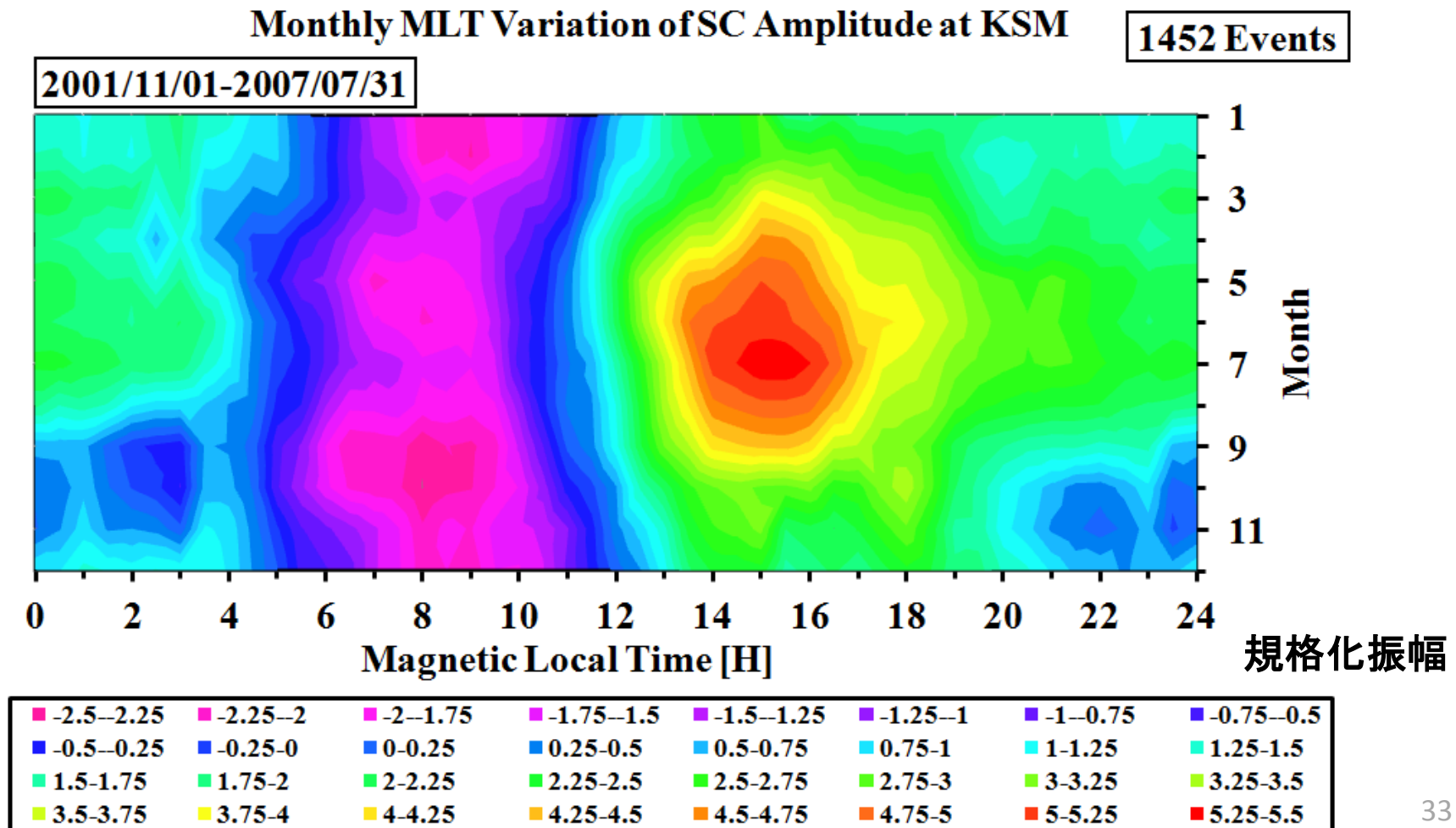


III. 解析結果

III.1 サブオーロラ帯域における季節変動

(2) キングサーモン (58.09度)

夏季においてSCの振幅の日変化が最大



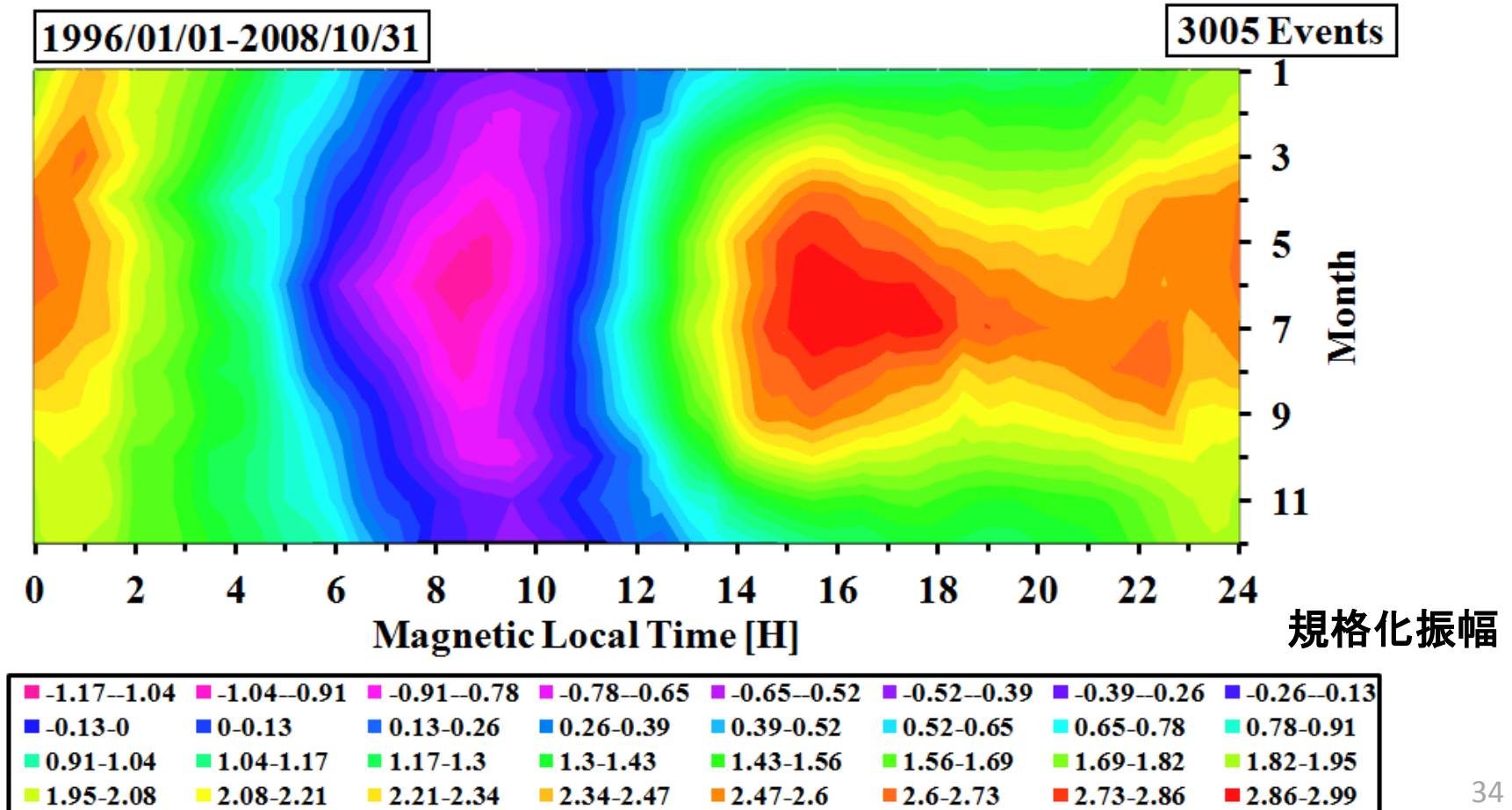
III. 解析結果

III.2 中緯度における季節変動

(1) マガダン (53.62度)

夏季においてSCの振幅の日変化が最大

Monthly MLT Variation of SC Amplitude at MGD/STC

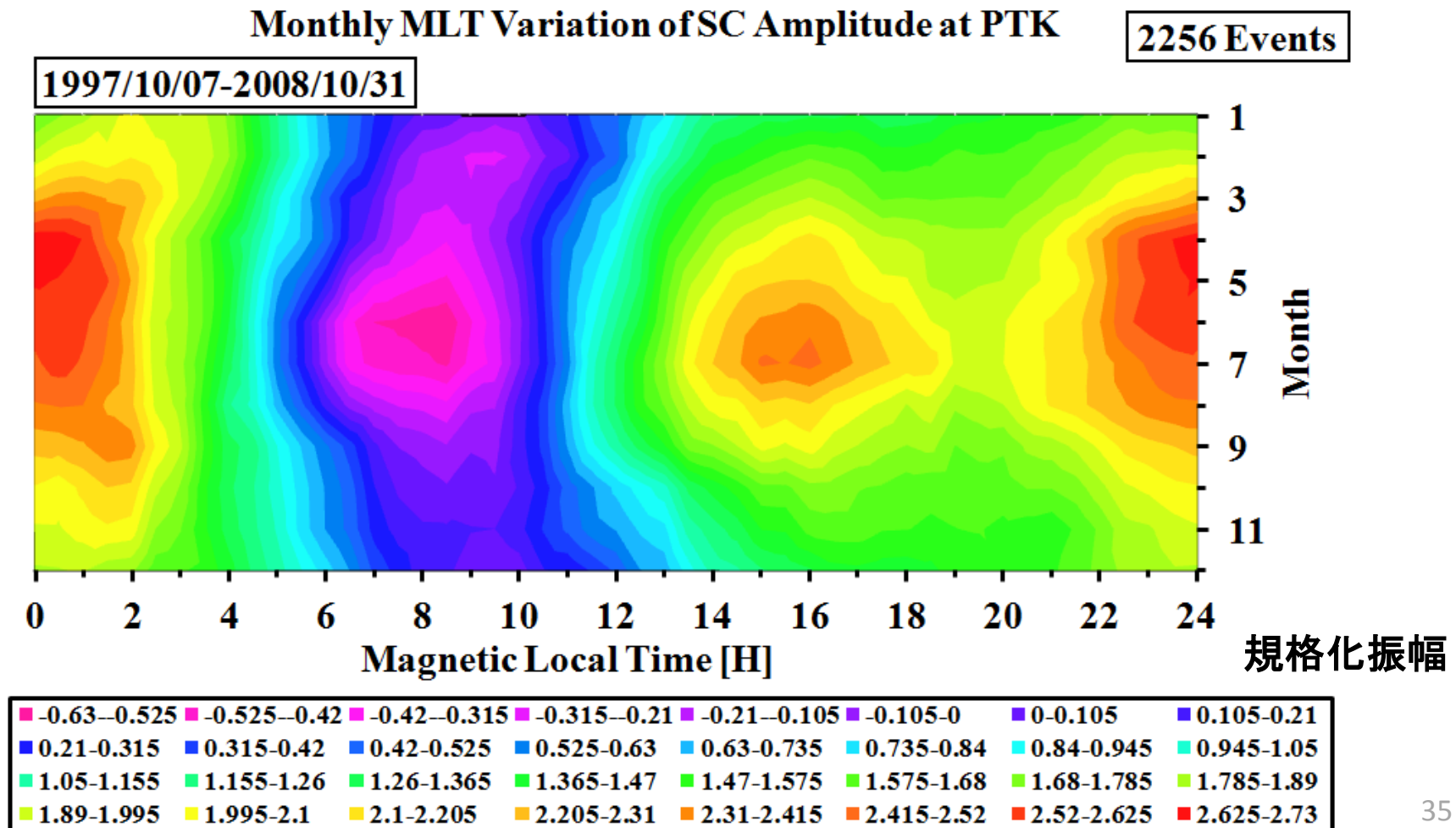


III. 解析結果

III.2 中緯度における季節変動

(2) パラツンカ (45.78度)

夏季においてSCの振幅の日変化が最大

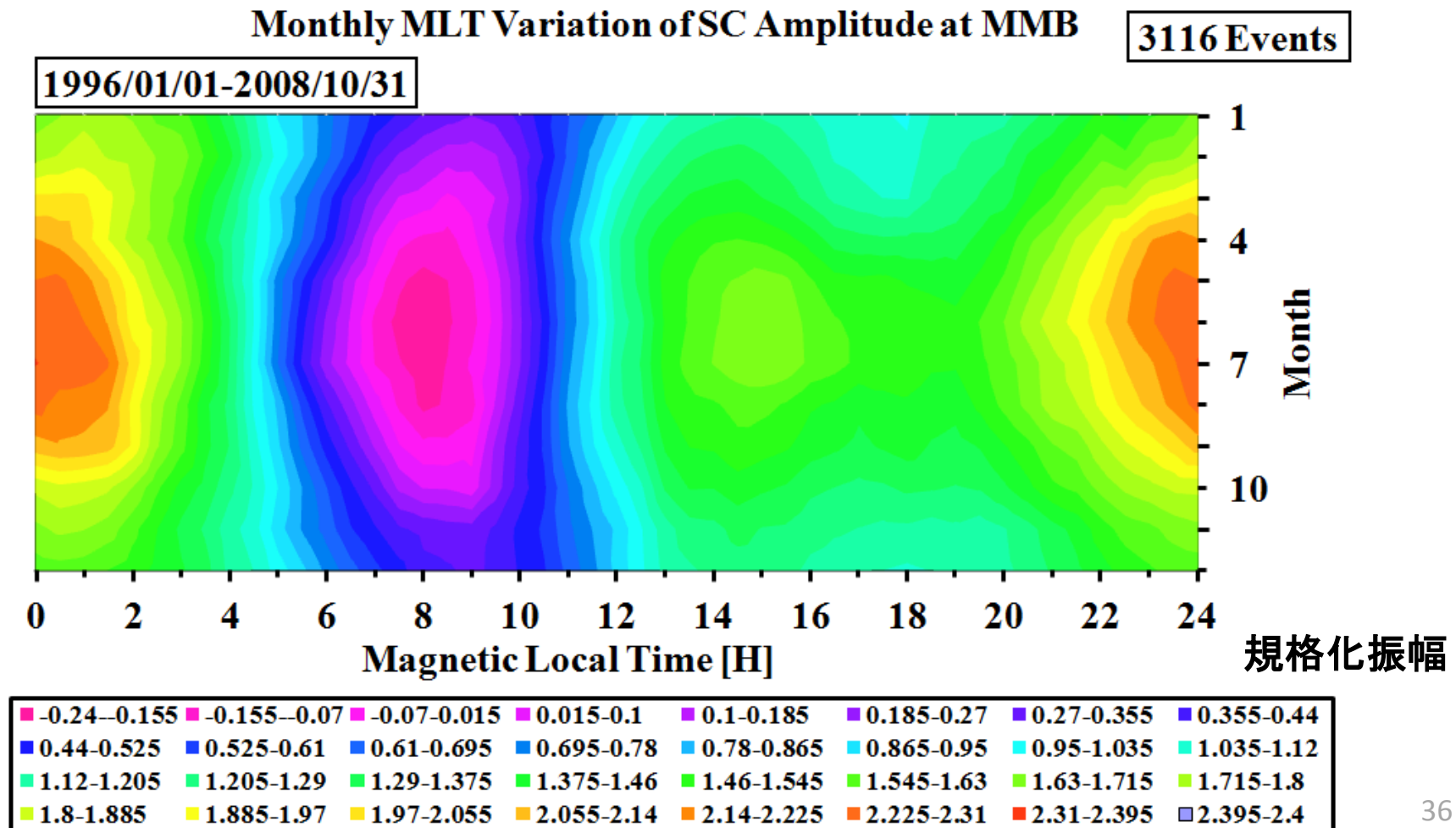


III. 解析結果

III.2 中緯度における季節変動

(3) 女満別 (35.16度)

夏季においてSCの振幅の日変化が最大

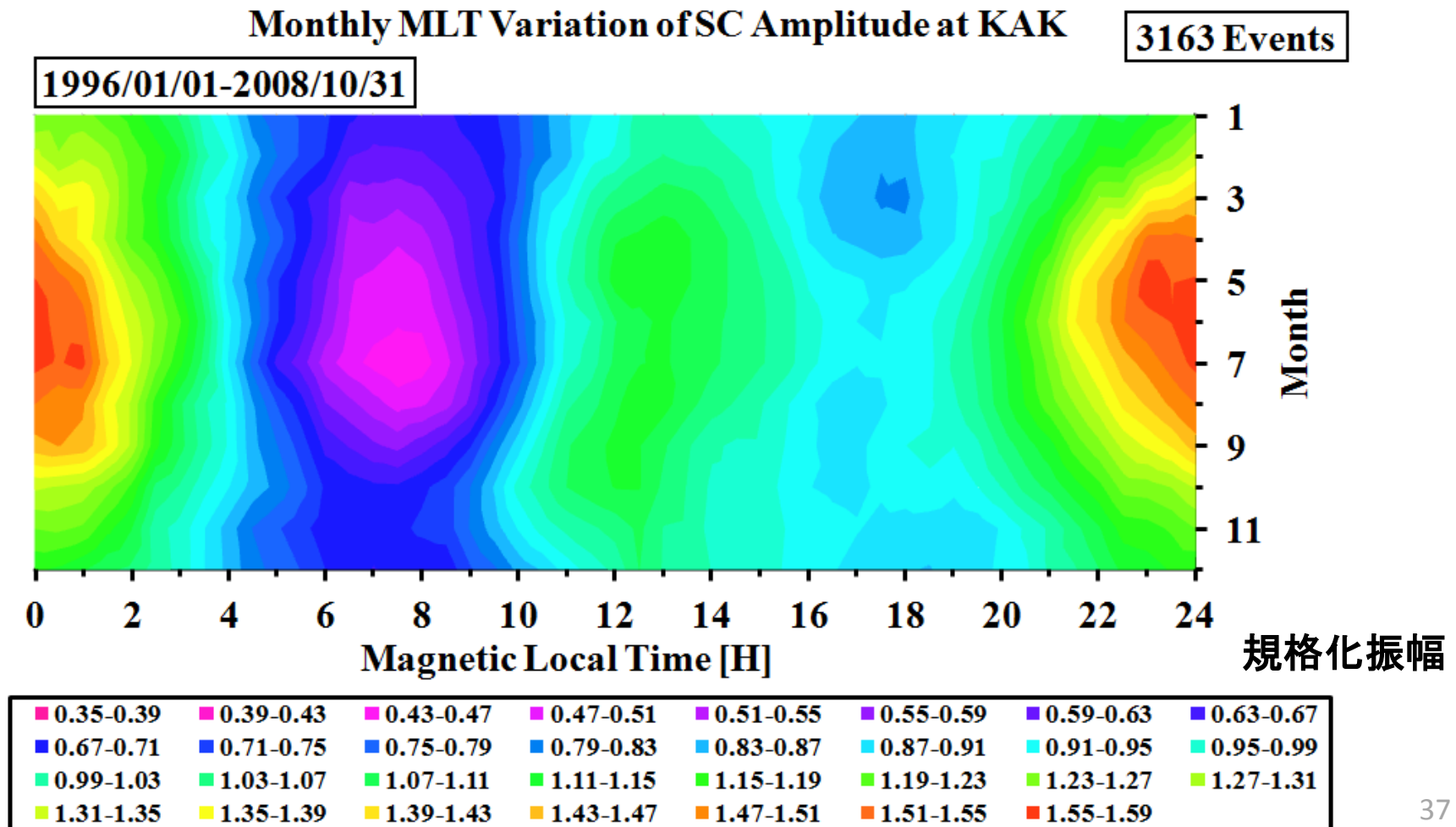


III. 解析結果

III.3 低緯度における季節変動

(1) 柿岡 (27.12度)

夏季において昼間側のSC振幅がやや減少

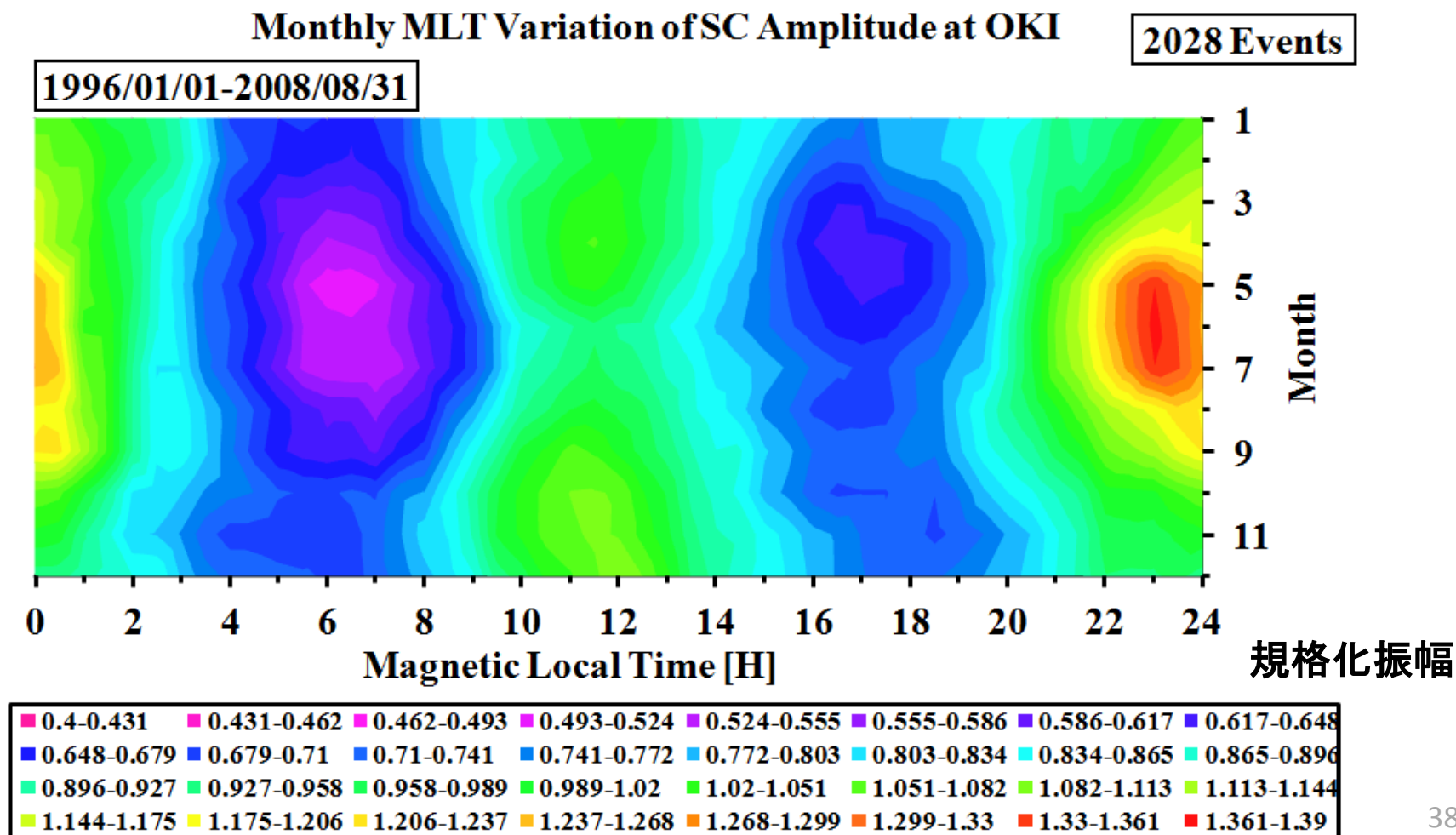


III. 解析結果

III.3 低緯度における季節変動

(2) 沖縄 (16.54度)

夏季において昼間側のSC振幅がやや減少

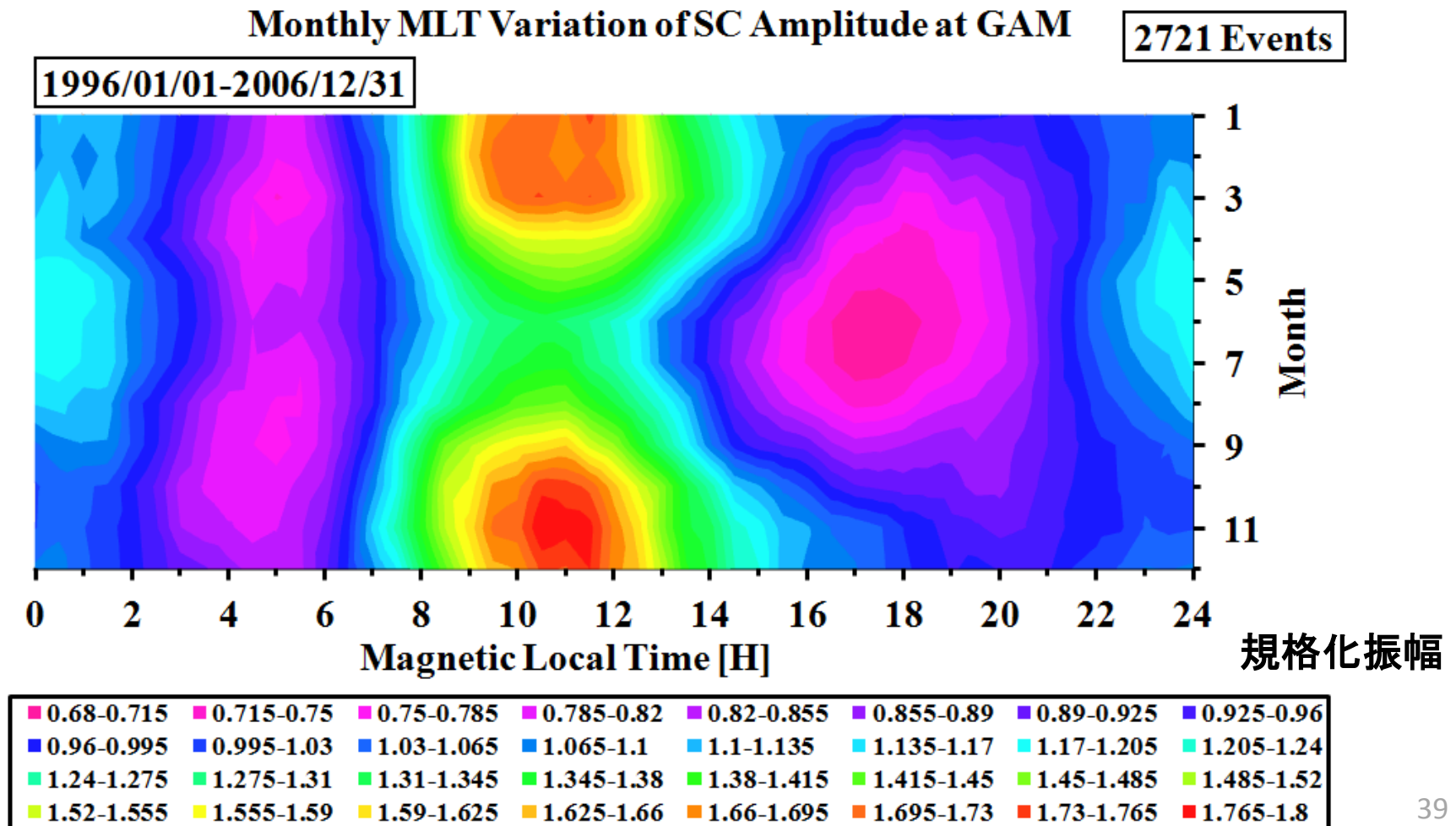


III. 解析結果

III.4 赤道域における季節変動

(1) グアム (5.32度)

夏季において昼間側のSC振幅が減少傾向

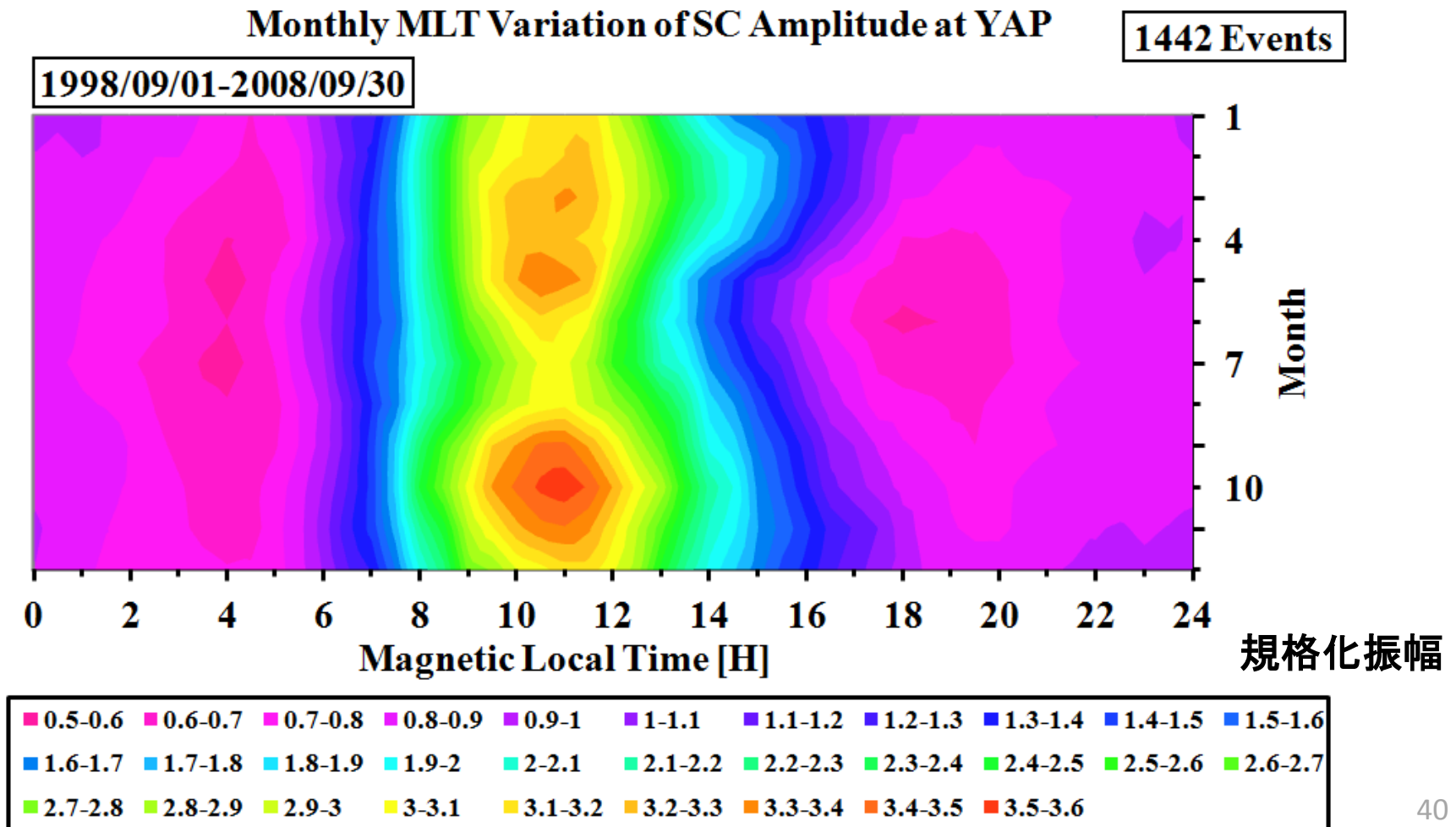


III. 解析結果

III.4 赤道域における季節変動

(2) ヤップ (0.38度)

夏季において昼間側のSC振幅が減少傾向

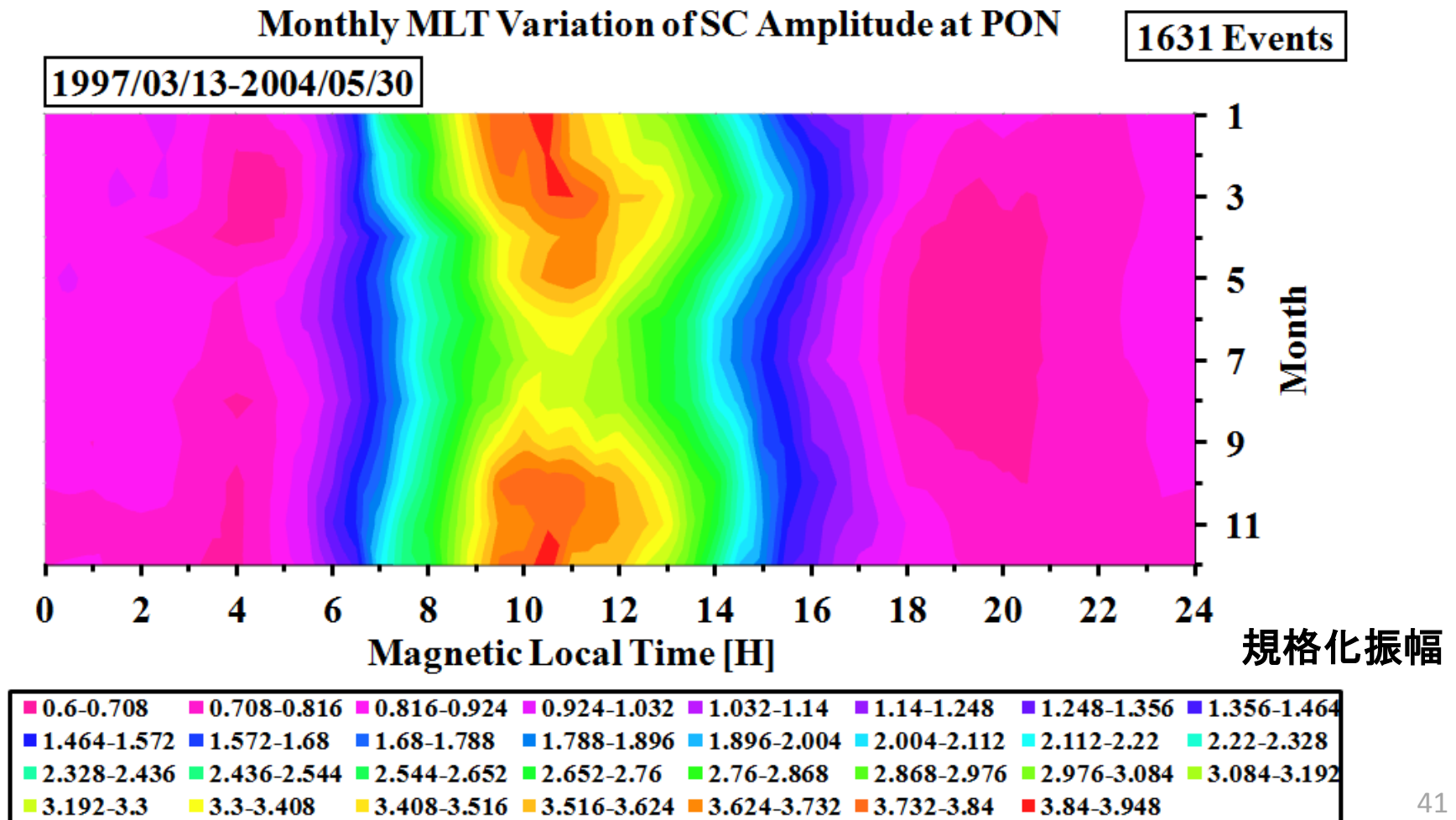


III. 解析結果

III.4 赤道域における季節変動

(3) ポンペイ (0.27度)

夏季において昼間側のSC振幅が減少傾向

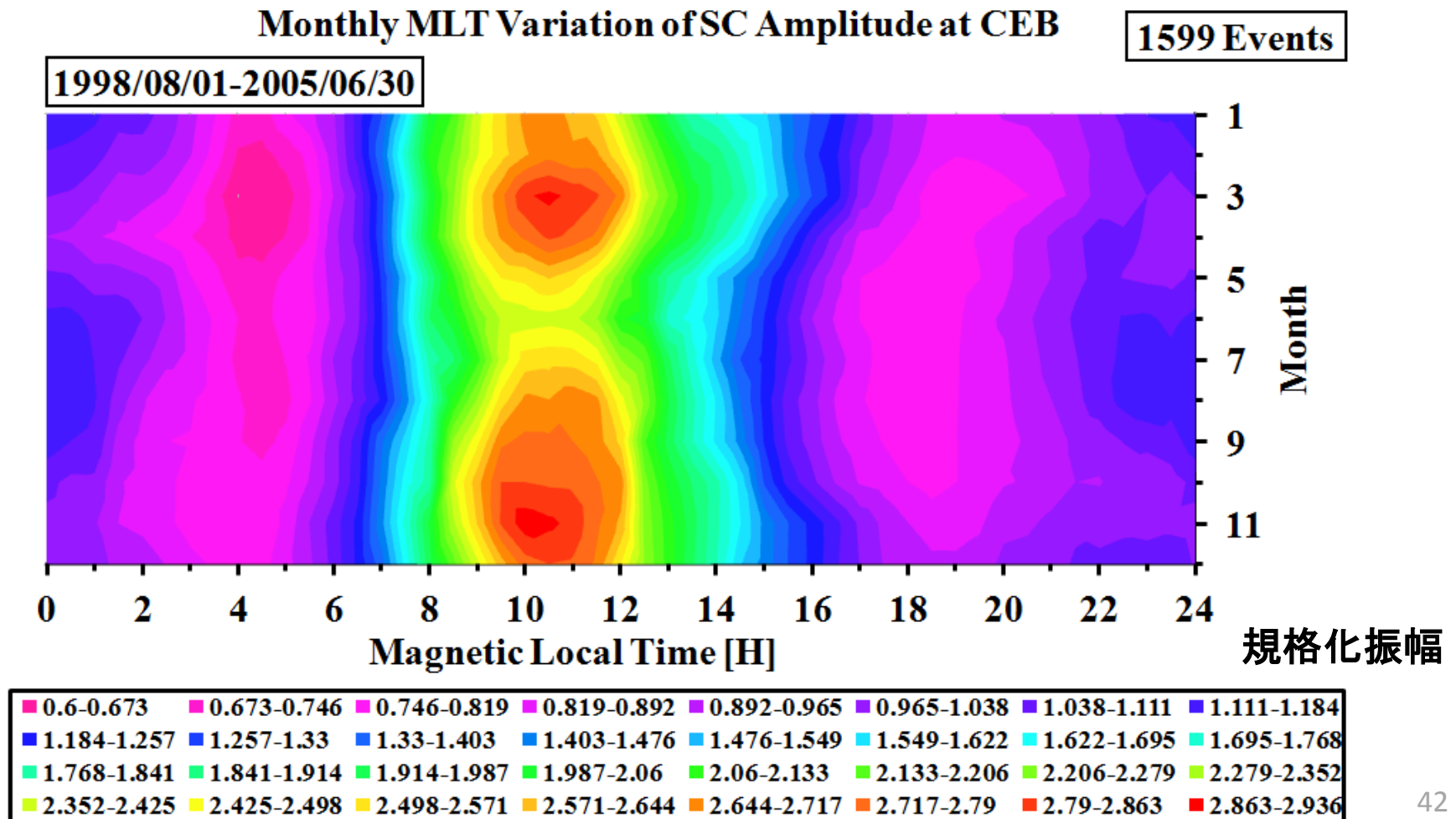


III. 解析結果

III.4 赤道域における季節変動

(4) セブ (0.27度)

夏季において昼間側のSC振幅が減少傾向

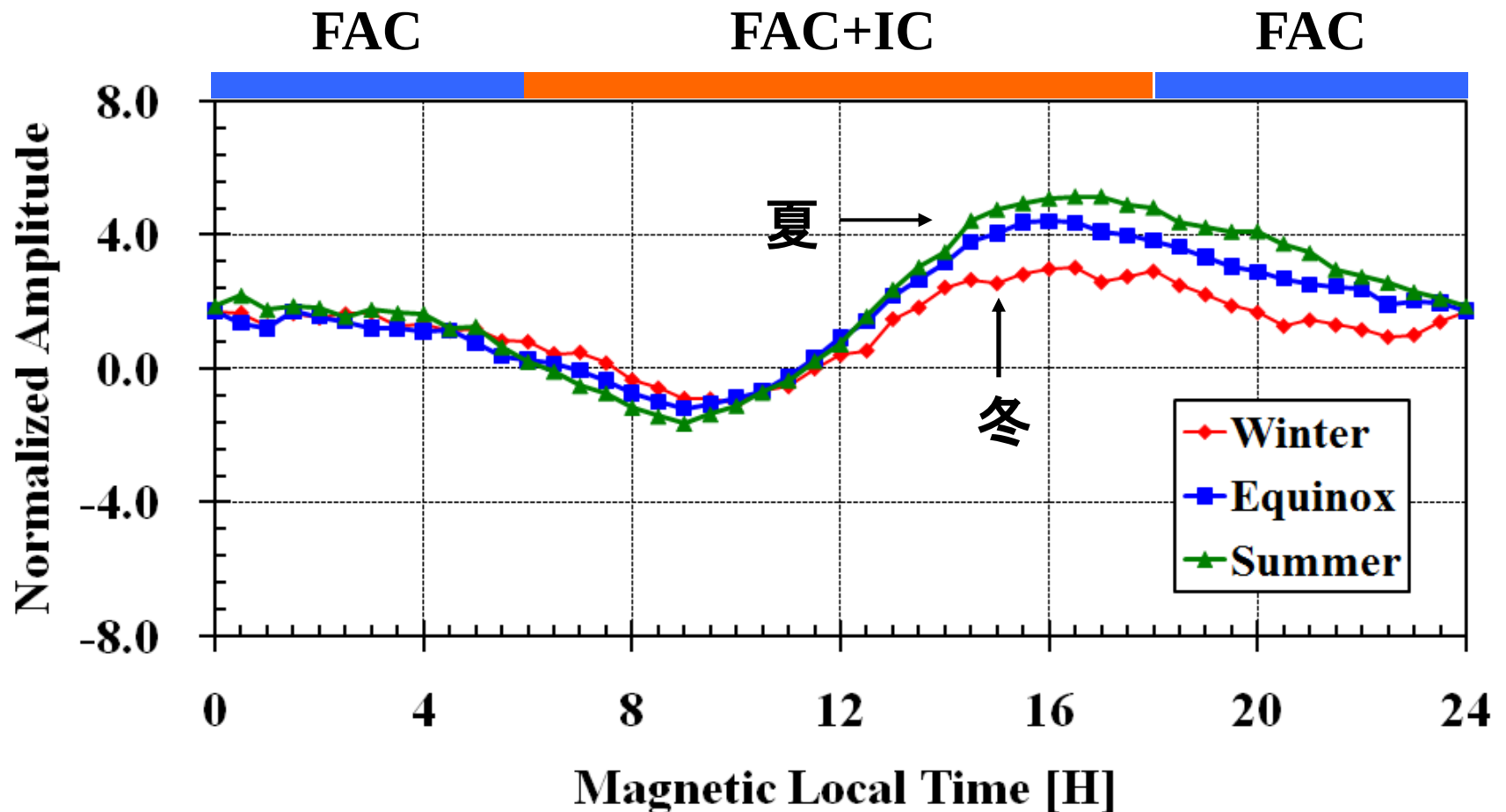


III. 解析結果

III.1 サブオーロラ帯域における季節変動

(1) ズリヤンカ (59.74度)

夏季においてSCの振幅の日変化が最大

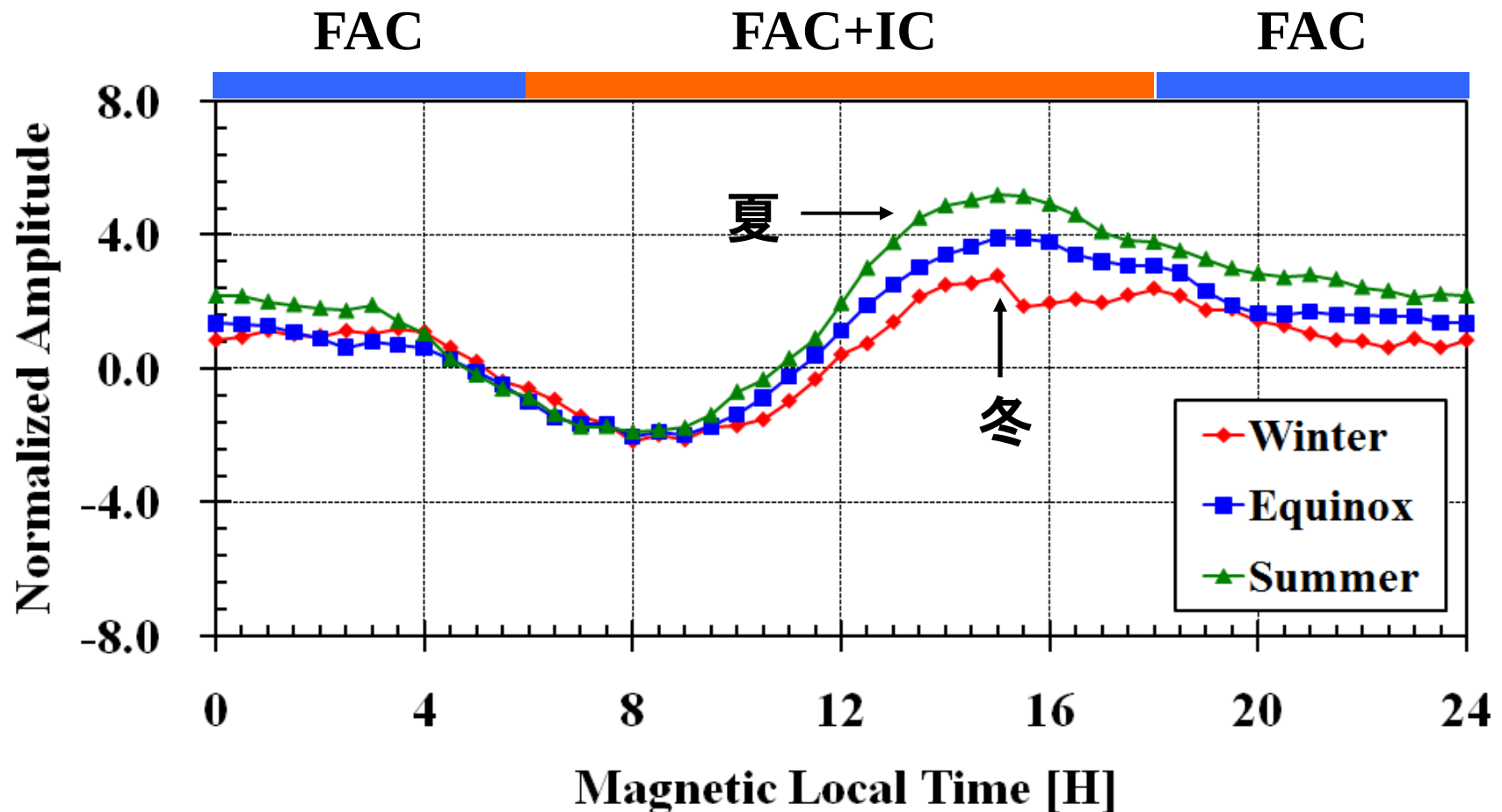


III. 解析結果

III.1 サブオーロラ帯域における季節変動

(2) キングサーモン (58.09度)

夏季においてSCの振幅の日変化が最大

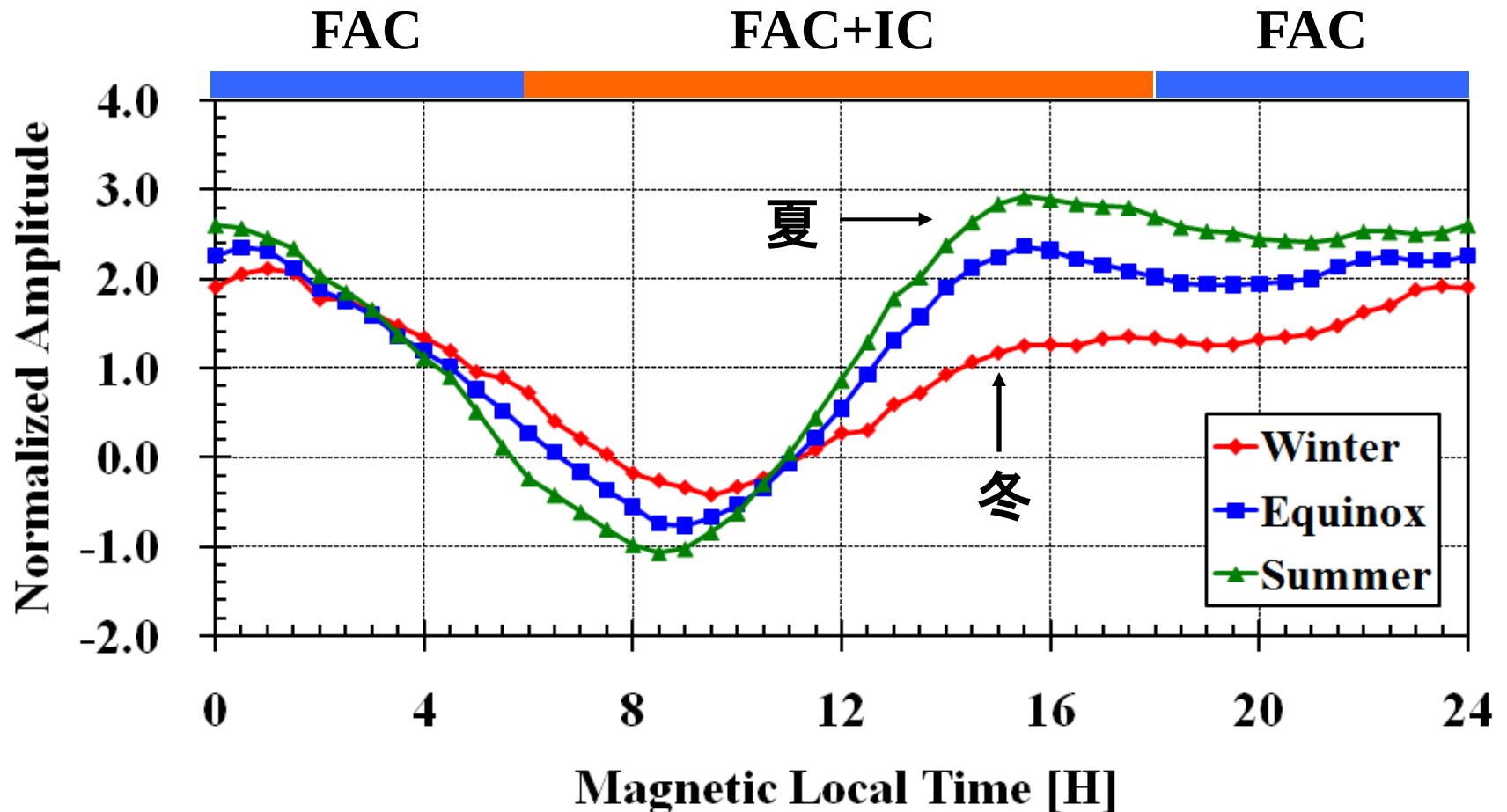


III. 解析結果

III.2 中緯度における季節変動

(1) マガダン (53.62度)

夏季においてSCの振幅の日変化が最大

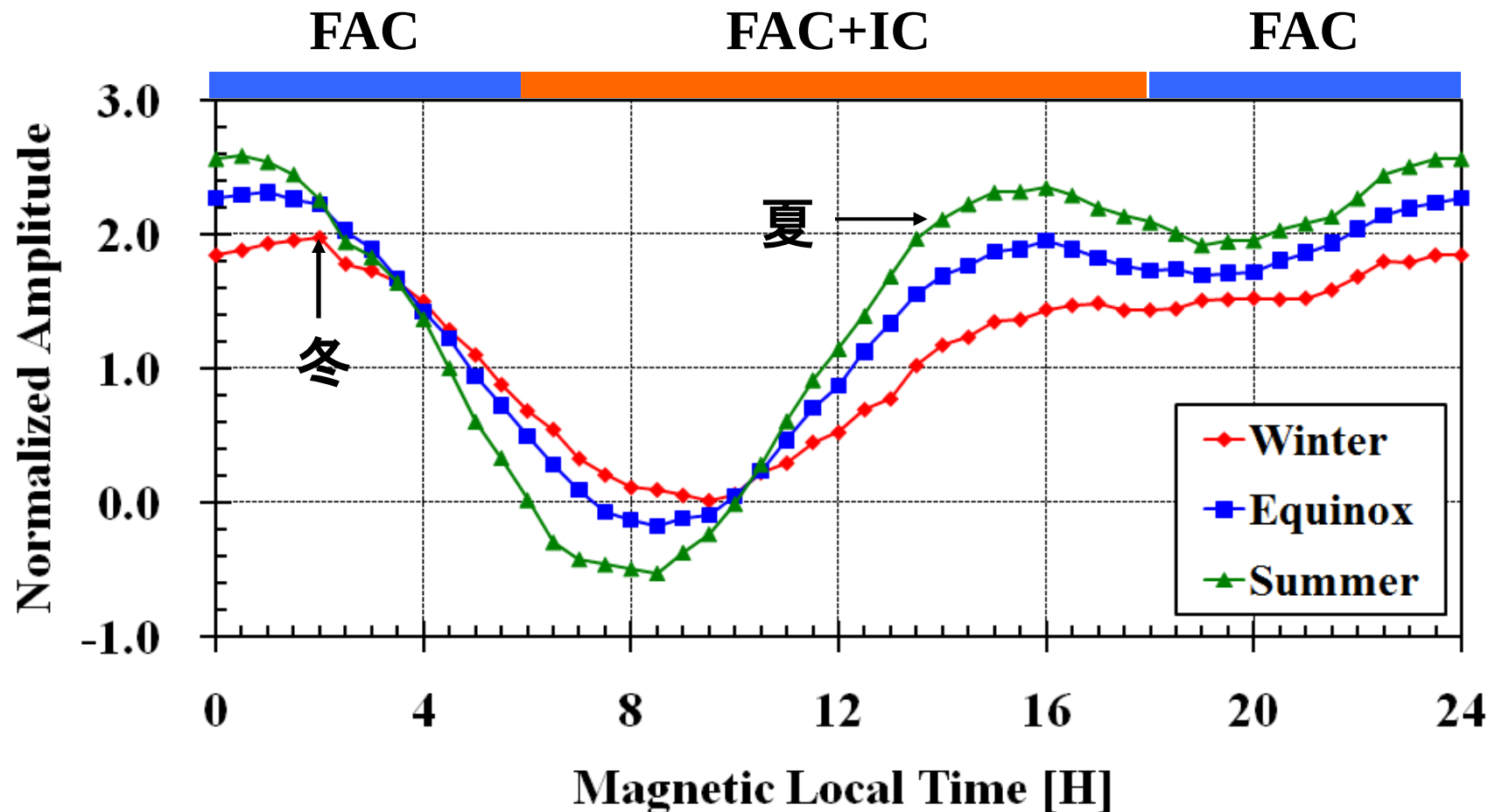


III. 解析結果

III.2 中緯度における季節変動

(2) パラツンカ (45.78度)

夏季においてSCの振幅の日変化が最大

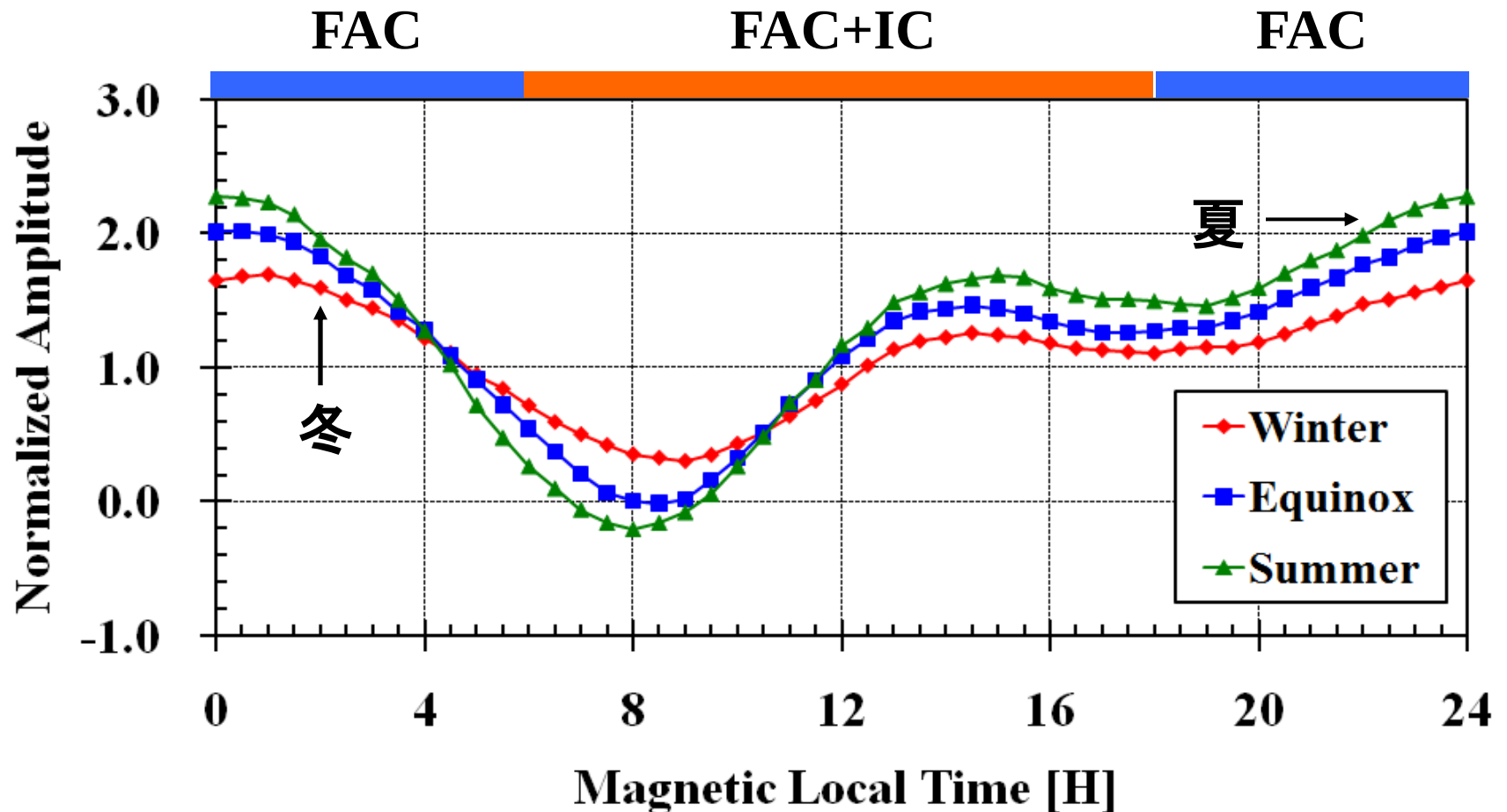


III. 解析結果

III.2 中緯度における季節変動

(3) 女満別 (35.16度)

夏季においてSCの振幅の日変化が最大

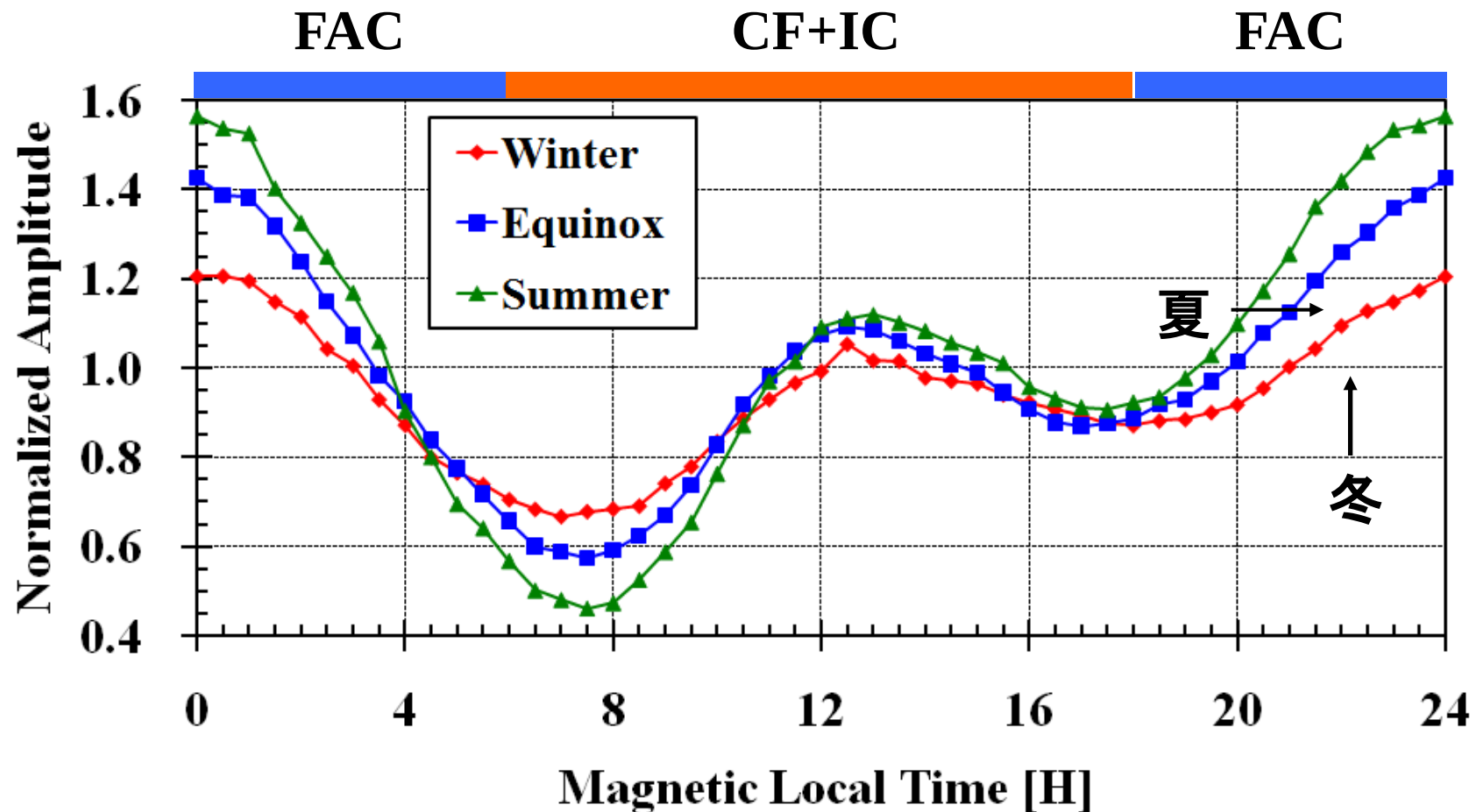


III. 解析結果

III.3 低緯度における季節変動

(1) 柿岡 (27.12度)

夏季において昼間側のSC振幅がやや減少

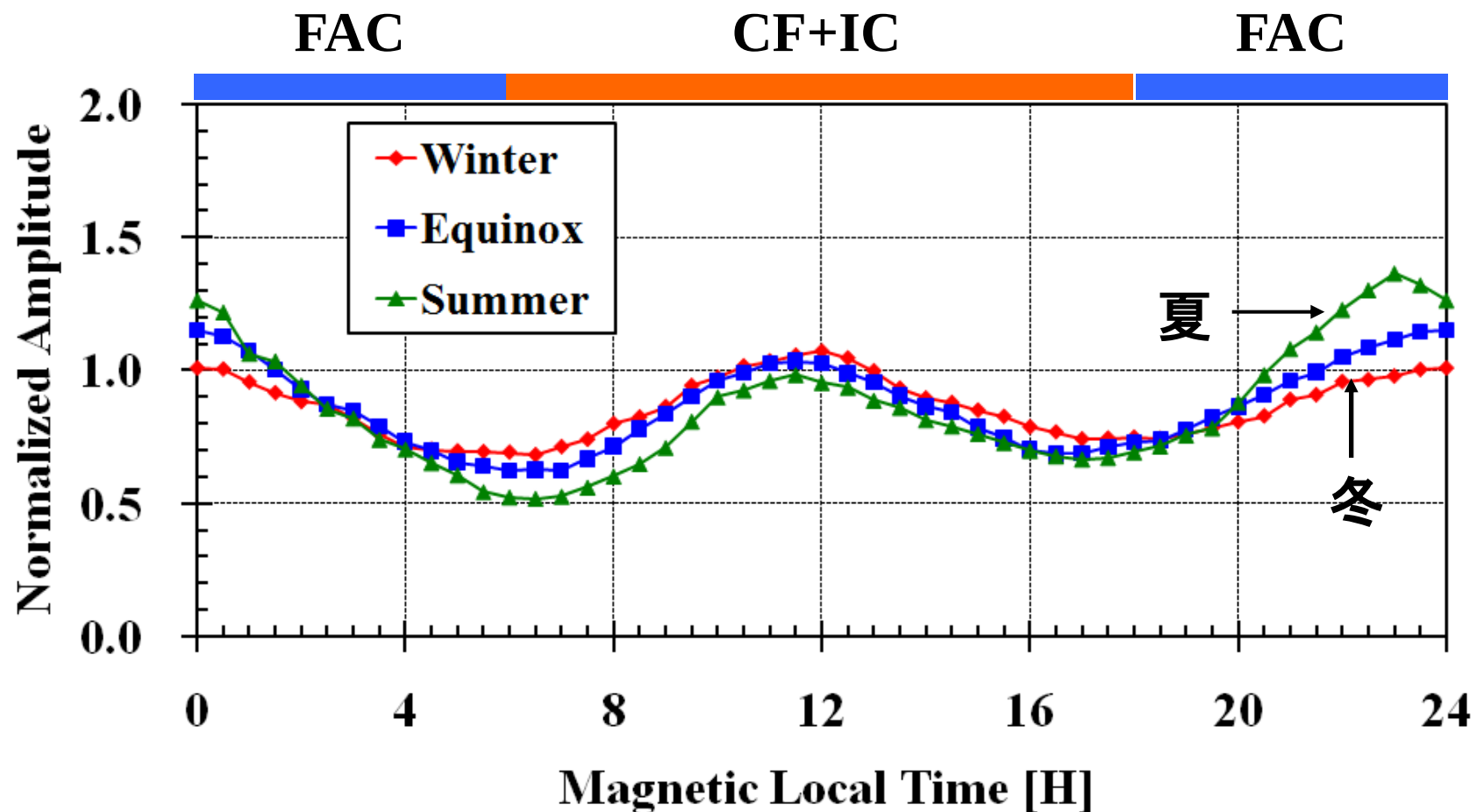


III. 解析結果

III.3 低緯度における季節変動

(2) 沖縄 (16.54度)

夏季において昼間側のSC振幅がやや減少

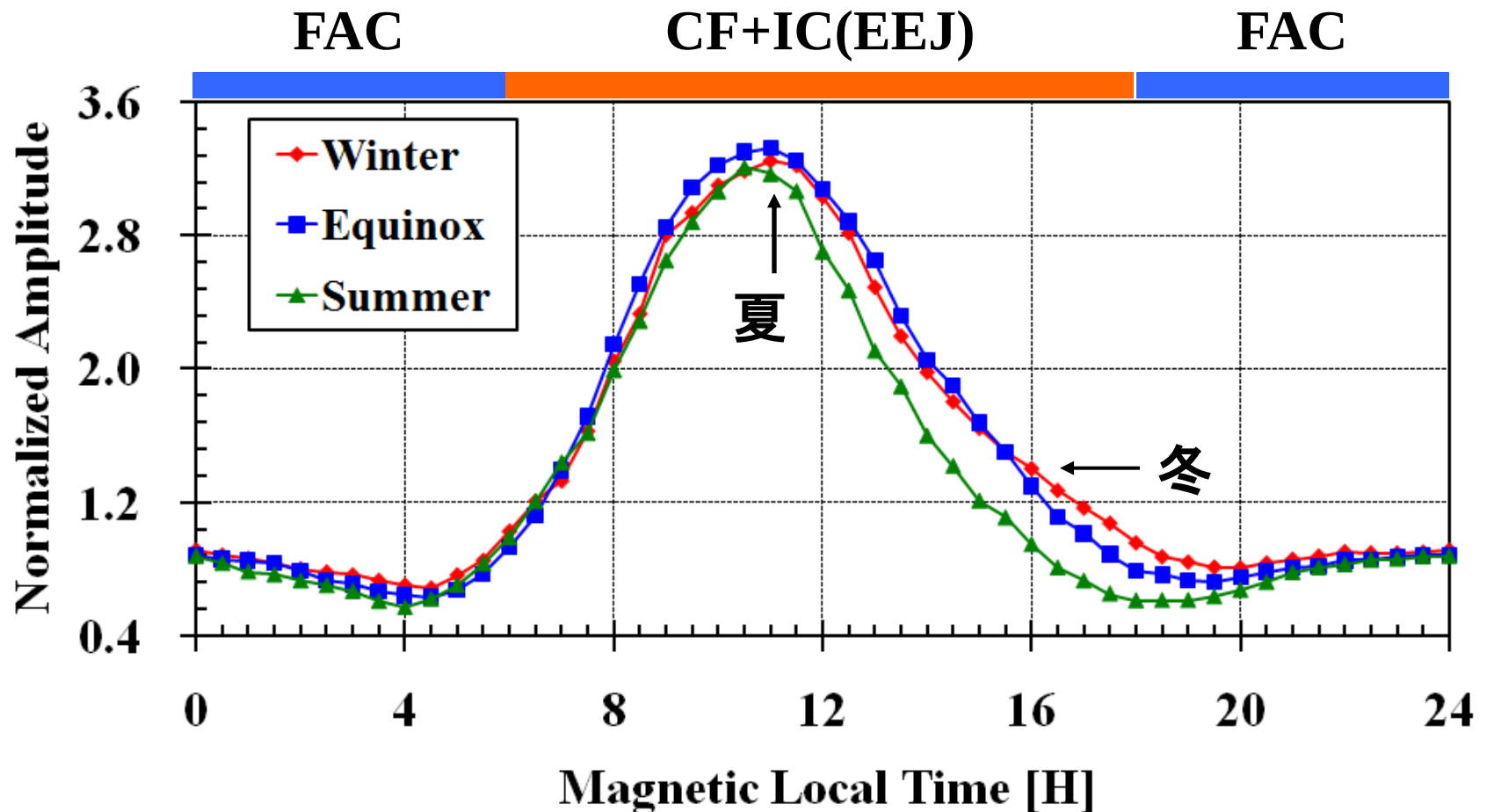


III. 解析結果

III.4 赤道域における季節変動

(2) ヤップ (0.38度)

夏季において昼間側のSC振幅が減少傾向

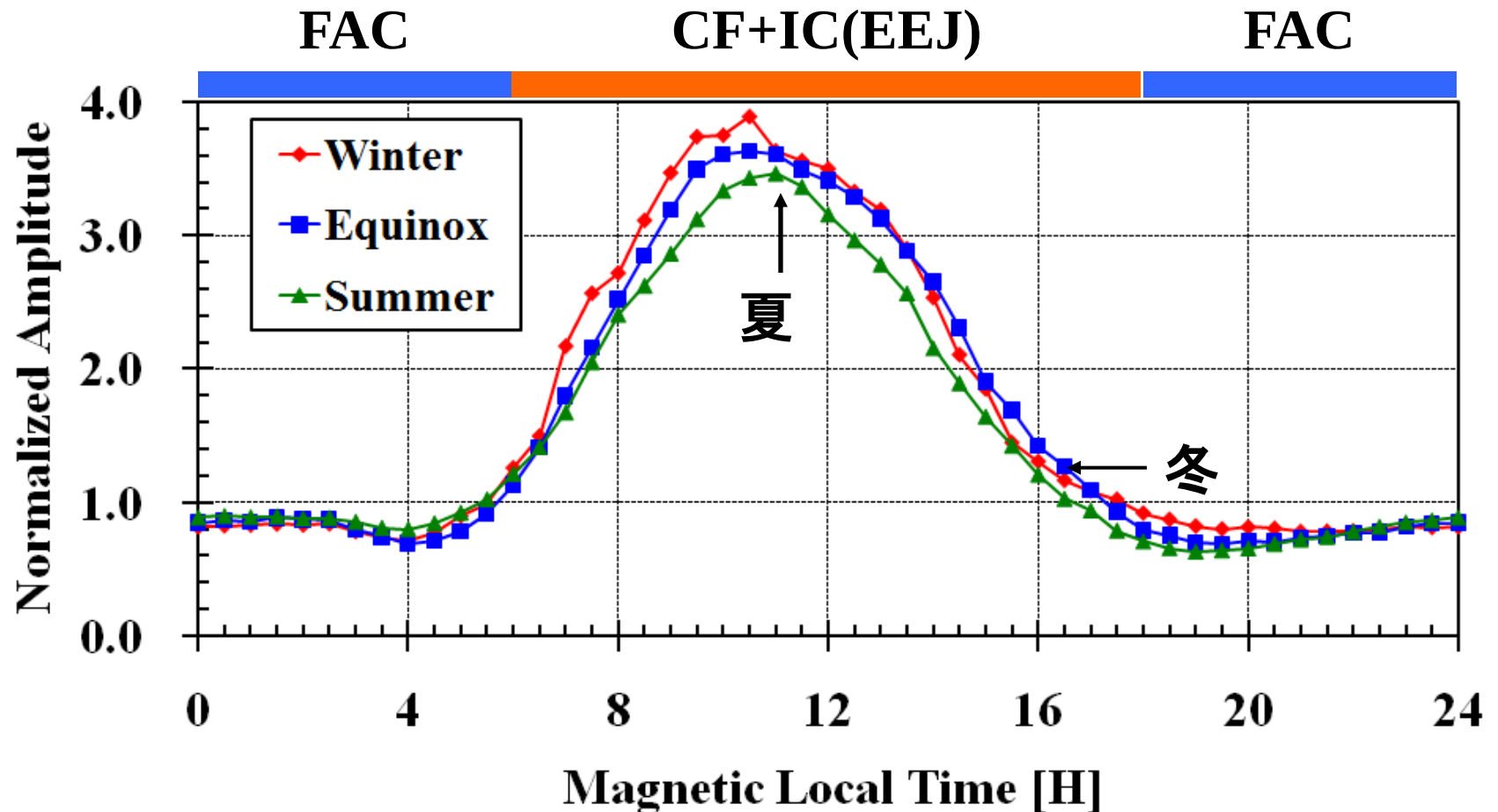


III. 解析結果

III.4 赤道域における季節変動

(3) ポンペイ (0.27度)

夏季において昼間側のSC振幅が減少傾向

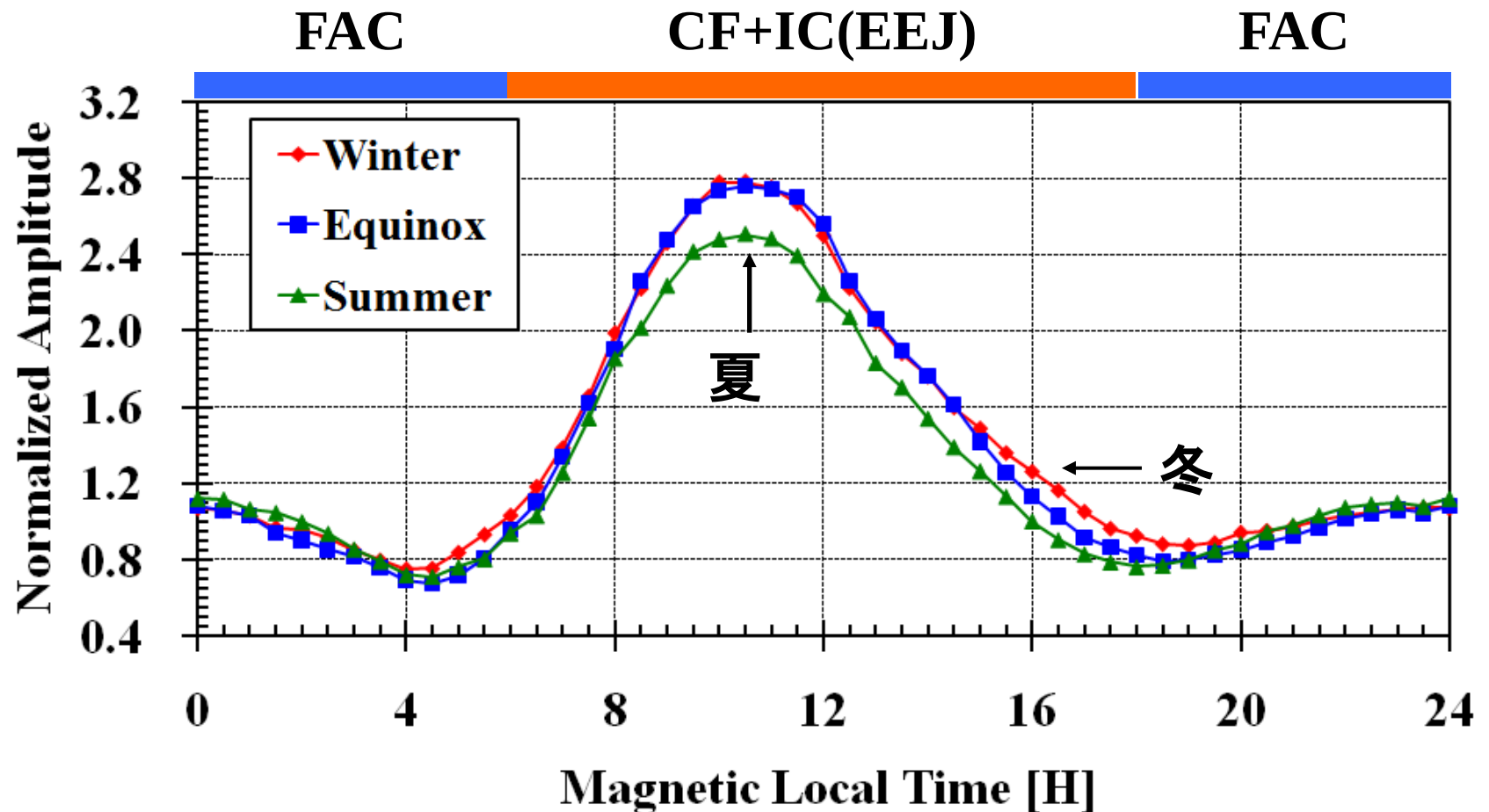


III. 解析結果

III.4 赤道域における季節変動

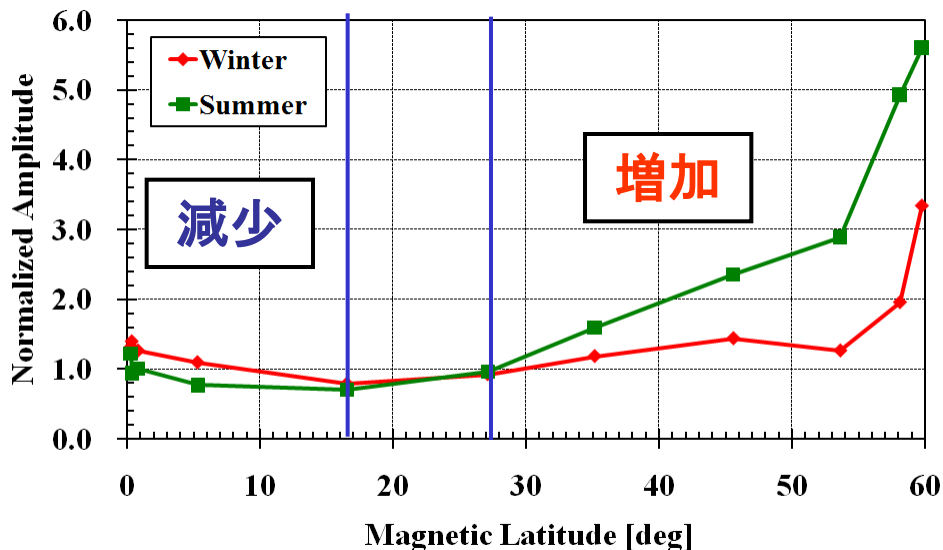
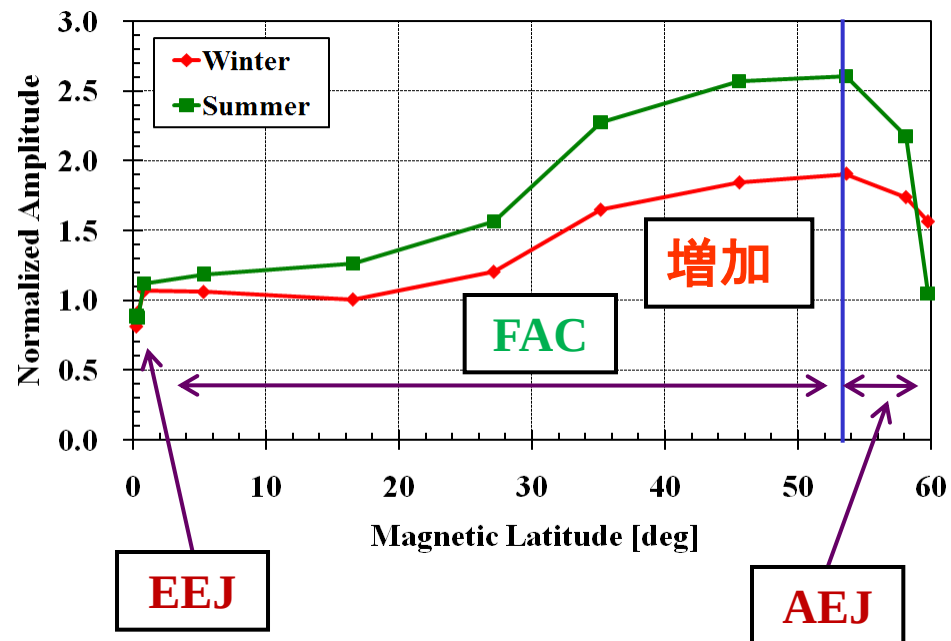
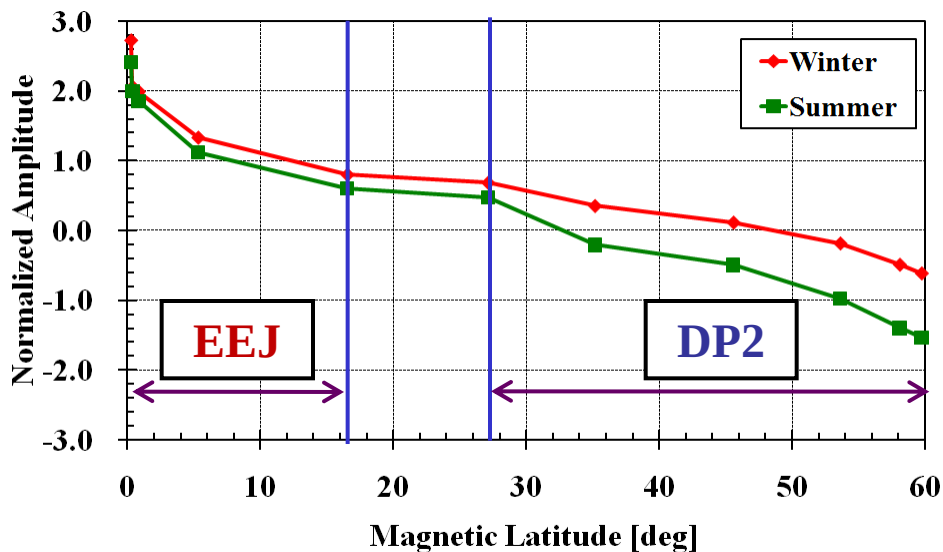
(4) セブ (0.27度)

夏季において昼間側のSC振幅が減少傾向



III. 解析結果

III.5 磁気緯度分布の季節変動



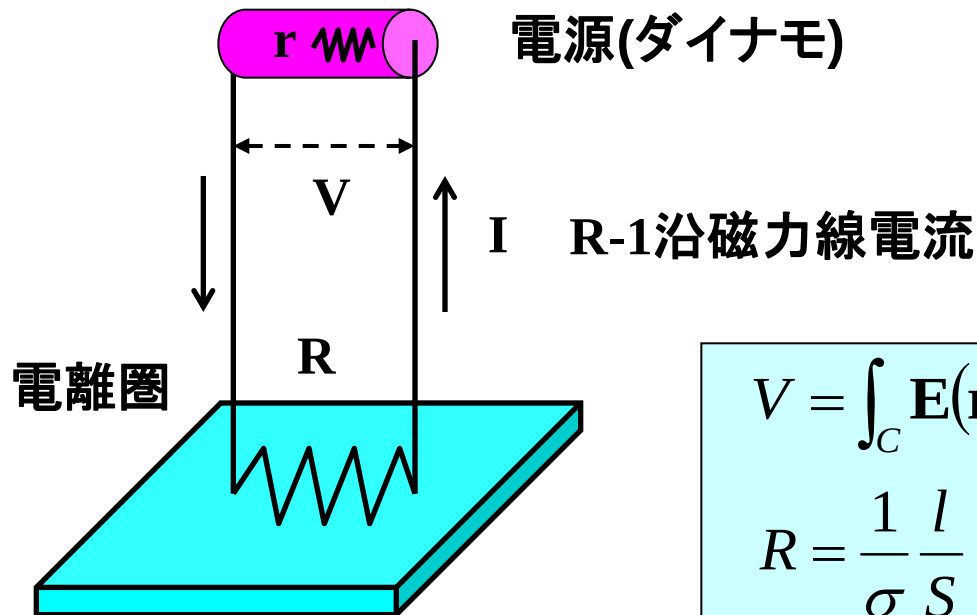
夏季において振幅が増大するが、昼間側の磁気赤道域では減少傾向にある

左上図: 午前側領域(8 h MLT)
左下図: 午後側領域(16 h MLT)
右上図: 真夜中領域(0 h MLT)

IV. 考察

IV.1 中緯度の日変化からわかること-1

中緯度における振幅の日変化は夏季の時期に最大になる



V : 電源の電圧
 R : 電離圏の抵抗
 I : 沿磁力線電流
 r : 電源の内部抵抗

$$V = \int_C \mathbf{E}(\mathbf{r}) \cdot d\mathbf{r} = \int_C -(\mathbf{V}_{sw} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{r}$$

$$R = \frac{1}{\sigma} \frac{l}{S} \quad (\sigma: \text{電気伝導度})$$

電流回路に対するオームの法則

$$I = \frac{V}{r + R} = V(r + R)^{-1}$$

※内部抵抗の正体
プラズマ波動など

IV. 考察

IV.2 中緯度の日変化からわかること-2

① $r \ll R$ の場合

$$I \approx \frac{V}{\textcircled{R}} \left(1 - \frac{r}{R} \right)$$

電離圏の抵抗の
大きさをFACの強
度が決定

→ 電圧源

明瞭な季節変動が存在

→ 夏季: 大、冬季: 小

電離圏の電気伝導度を素直に
反映

② $r \gg R$ の場合

$$I \approx \frac{V}{\textcircled{r}} \left(1 - \frac{R}{r} \right)$$

ダイナモの内部抵
抗の大きさをFAC
の強度が決定

→ 電流源

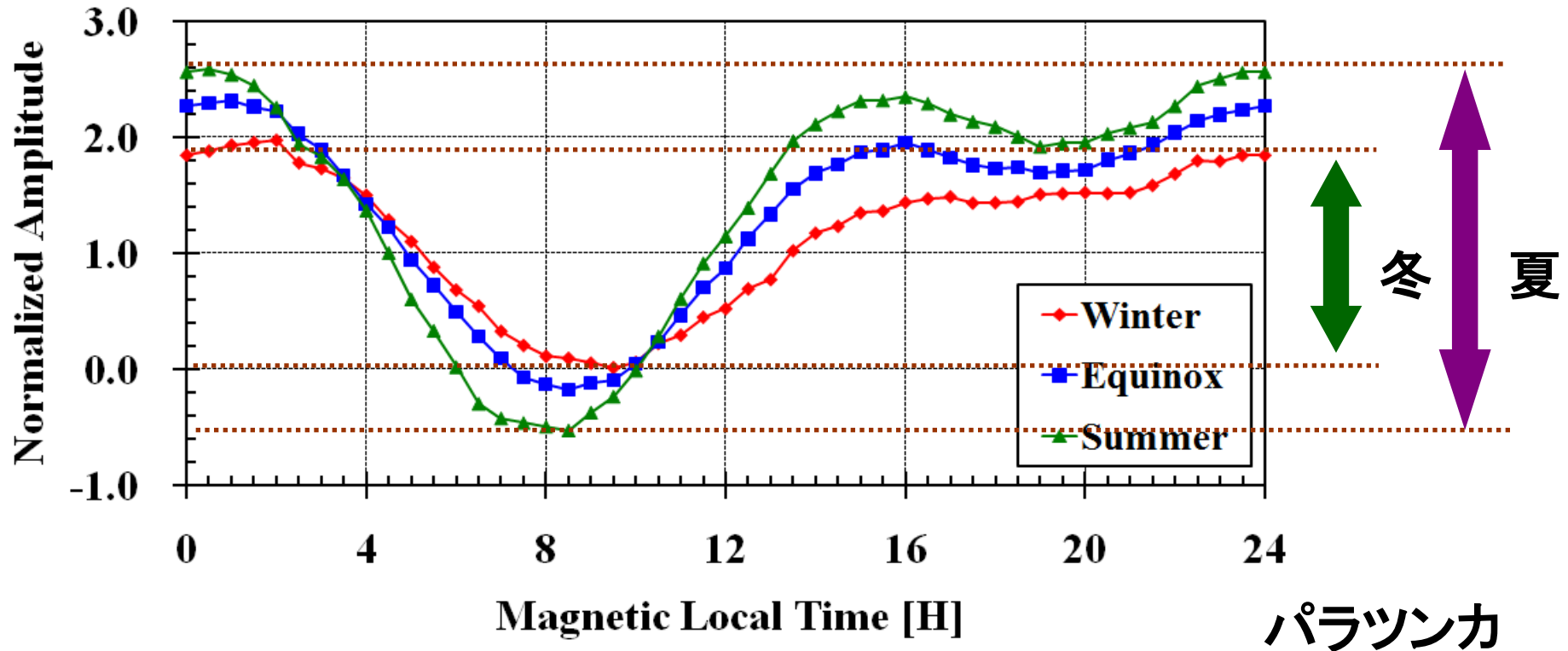
季節変動は不明瞭

→ 夏季、冬季ともに不変化

電離圏の電気伝導度を素直
に反映しにくい

IV. 考察

IV.3 中緯度の日変化からわかること-3



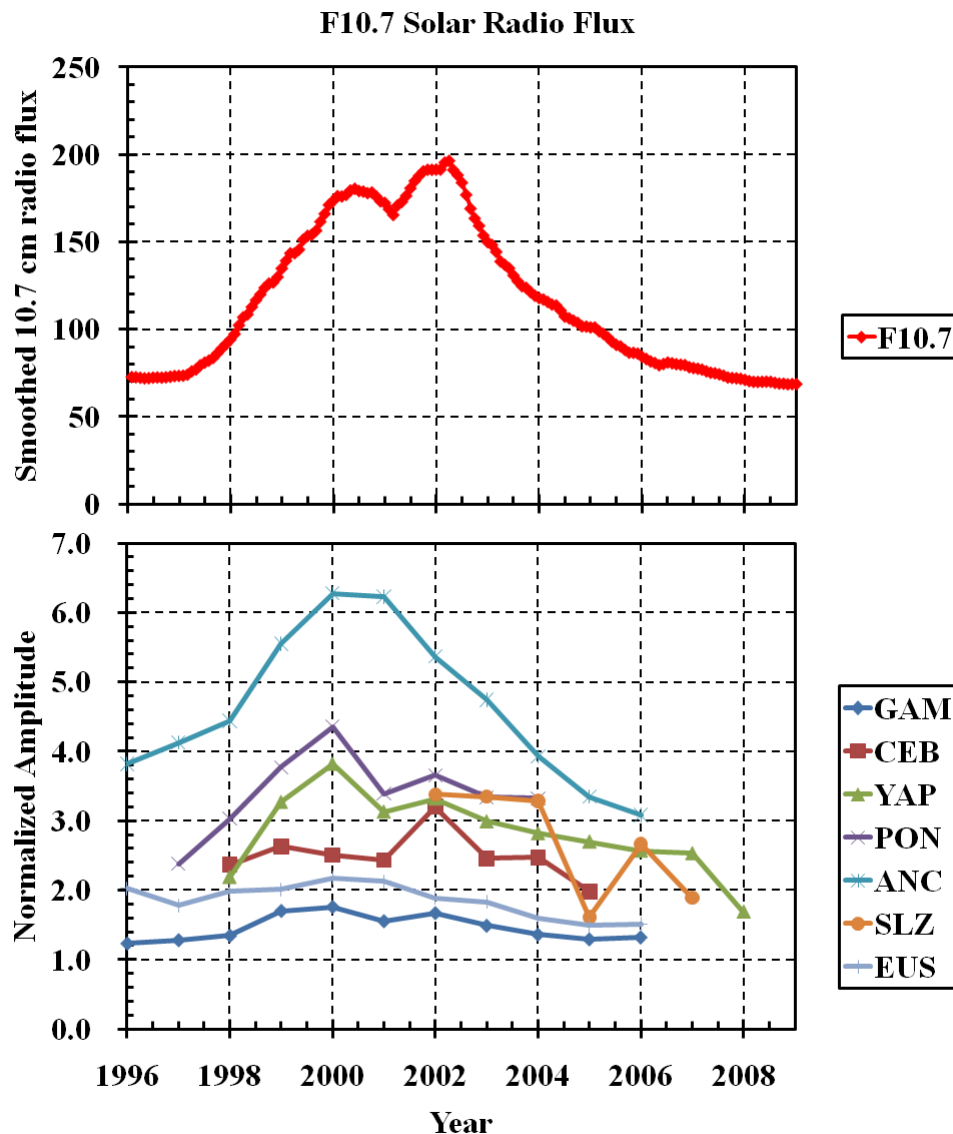
中緯度の日変化: 夏季→大、冬季→小

⇒SCの電流系=電圧源

FACの強度は電離圏の電気伝導度に強く依存

IV. 考察

IV.4 太陽活動依存性について



左上図: 太陽電波F10.7フラックス

左下図: 昼間側(10-14 h MLT)の
赤道域におけるSCの磁場
振幅

○全ての赤道域観測点での磁場
振幅に太陽活動依存性が存在
する

極大期: 振幅増加

極小期: 振幅減少

○ANCにおいてそれが最も大きい

○電離圏電気伝導度の太陽活動
依存性を反映