

赤道大気レーダーで昼間に観測された高度 150km の沿磁力線不規則構造の統計解析

水谷徳仁¹、大塚雄一¹、塩川和夫¹、横山竜宏²、山本衛³、A. K., Patra⁴、丸山隆⁵、石井守⁵

1. 名大 STE 研 2. コーネル大 3. 京大 RISH 4. NARL 5. NICT

1. 背景

高度 150km 沿磁力線不規則構造(150kmFAI エコー)とは、高度 130km から 170km 付近に出現し、日中に観測される電離圏エコーである。150kmFAI エコーはヒカマルカ（ペルー、磁気伏角：0 度、磁気緯度：0.9 度 N）のレーダー（送信周波数（他のレーダーの記述でも同じ）：50MHz）で最初に観測された[Balsley, 1964]。図 1 のように、150kmFAI

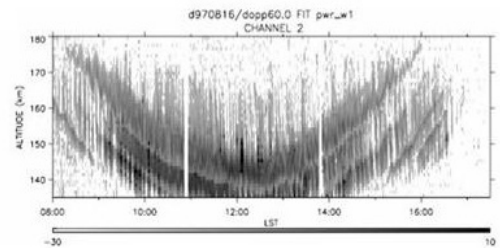


図 1 ヒカマルカで観測された高度 150km 沿磁力線不規則構造強度のレンジ・時間断面 [Fawcett, 1999]

エコーの特徴として、発生高度が午前中は時間とともに下降し、正午頃に最低になった後、午後は上昇していることがあげられる。このように、エコー強度の時間・高度断面図において、150kmFAI エコーはネックレスの形状に似ているといふことから、ネックレスエコーと呼ばれることもある。ヒカマルカの観測以来、150kmFAI エコーはポンペイ（ミクロネシア、磁気伏角：0.5 度、磁気緯度：0.3 度 N）のレーダー（50MHz）[Kudeki et al., 1998]、サン・ルイス（ブラジル、磁気伏角：2.6 度、磁気緯度：1.3 度 S）のレーダー（30MHz）[de Paula and Hysell, 2004]、コロゴ（コートジボワール、磁気伏角：4.0 度、磁気緯度：2.6 度 S）の HF レーダー[Blanc, 1996]のように磁気赤道付近のみで観測されており、磁気赤道域特有の現象であると考えられていた。生成原因も磁気赤道を前提として考えられた[Tsunoda and Ecklund, 2004]。しかし、近年、磁気赤道から離れたガダンキ（インド、磁気伏角：12.5 度、磁気緯度 6.4 度 N）のレーダー（53MHz）[Choudhary et al., 2004]やコッタバン（インドネシア、磁気伏角：-21.2 度、磁気緯度 10.4 度 S）の赤道大気レーダー（47MHz）[Patra et al., 2008]でも 150kmFAI エコーが観測されることがわかった。また台湾（磁気伏角 35 度 N、磁気緯度 13.3 度 N）にあるチュンリーレーダー（52MHz）、でも 150kmFAI エコーは観測されている[Chu, private communication 2004]。表 1 に 150kmFAI エコーの観測地点とそれぞれの地点の磁気緯度・磁気伏角をまとめる。磁気赤道から離れた場所で観測されたことにより、従来考えられていた生成原因を見直す必要が生じた。本研究ではインドネシア・コッタバンにある赤道大気レーダー(Equatorial Atmosphere Radar; EAR)で観測される 150kmFAI エコーの統計解析を行った。今回の発表では、発生頻度、ドリフト速度の統計解析結果について述べる。

表 1 これまでに昼間の高度 150km 沿磁力線不規則構造が観測された場所・磁気緯度・磁気伏角

観測場所 [地理座標]	磁気緯度	磁気伏角
ヒカマルカ（ペルー）[11.9°S, 76°W]	0.9°N	1.3°
ポンペイ（ミクロネシア）[7.0°N, 158.2°E]	0.3°N	0.5°
サン・ルイス（ブラジル）[2.3°S, 44.2°W]	1.3°S	2.6°
コロゴ（コートジボワール）[9.4°S, 5.6°E]	2.6°S	4.0°
ガダンキ（インド）[13.5°N, 79.2°E]	6.4°N	12.5°
コッタバン（インドネシア）[0.2°S, 100.3°E]	10.4°S	-21.2°
チュンリー（台湾）[24.6°N, 121.0°E]	13.3°N	35.0°

2. 観測

EAR は 3 素子八木アンテナ 560 本で構成されており、略円式アクティブ・フェーズド・アレイ方式である。送信周波数は 47MHz、送信尖頭出力は 100kW である[Fukao et al., 2003]。今回の観測では、レンジ分解能 1.2km、時間分解能は 2007 年 8 月が 465 秒、2008 年 2 月が 82 秒、2008 年 2 月を除く 2007 年 9 月から 2009 年 10 月までが 344 秒である。ビーム方向は、高度 150km において磁力線に直交する 8 つの方向にレーダー・ビームを向けた。ビーム方向の方位角、天頂角はそれぞれ、2007 年 8 月 10 日から 12 日は(120 度, 37.6 度)、(180 度, 21.2 度)、(240 度, 38.8 度)の 3 方向、2007 年 8 月 22 日から 28 日は(165 度, 21.8 度)、(180 度, 21.2 度)、(195 度, 21.9 度)の 3 方向、2008 年 2 月は(150 度, 24.0 度)、(165 度, 21.8 度)、(180 度, 21.2 度)、(195 度, 21.9 度)の 4 方向、2008 年 2 月を除く 2007 年 9 月から 2009 年 10 月までは(135 度, 28.5 度)、(150 度, 24.0 度)、(165 度, 21.8 度)、(180 度, 21.2 度)、(195 度, 21.9 度)、(210 度, 24.3 度)、(225 度, 29.2 度)、(240 度, 38.8 度)の 8 方向の観測となっている。

3. 結果及び考察

3.1 150kmFAI エコーの発生頻度

EAR によって観測された高度 150km 沿磁力線不規則構造 (150kmFAI エコー) の発生頻度について述べる。観測期間は 2007 年 8 月から 2009 年 10 月である。表 2 に EAR で 150kmFAI エコーの観測が行われた日を示す。赤字で示した日は、150kmFAI エコーが観測された日である。毎月 1 週間程度 150kmFAI エコーの観測が行われているが、EAR のメンテナンスのために、2008 年 1 月、2009 年 1 月～3 月は観測が行われていない。また、2008 年 2 月は 1 日のみの観測となっている。観測日数は 129 日、そのうち 150kmFAI エコーが観測されたのは 90 日である。

2007 年 8 月から 2009 年 10 月までの観測データを基に求めた月別の 150kmFAI エコー発生頻度のグラフを図 2 に示す。図 2 より、150kmFAI エコーの観測が行われていない 1 月と 1 回しか観測が行われていない 2 月を除くと、3 月、4 月は発生頻度が 30%以下で、5～12 月では 60%以上であることがわかる。このことから、150kmFAI エコーの発生頻度には弱い季節依存性があると言える。

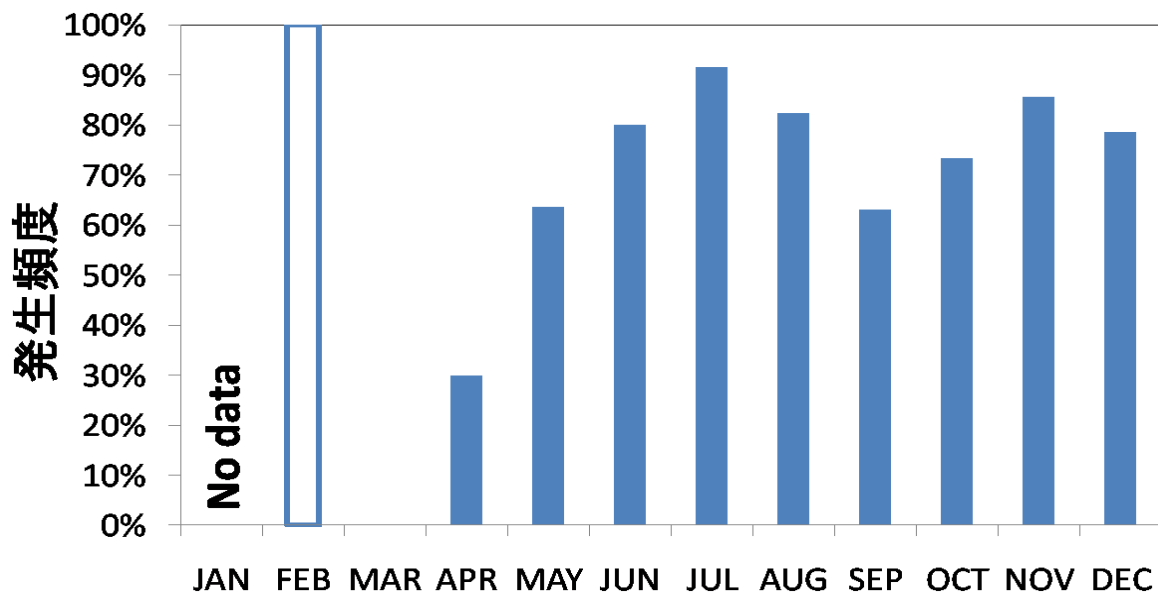


図 2 コトタバンにおける 150kmFAI エコーの月別発生頻度(観測期間 2007 年 8 月～2009 年 10 月)

表 2 EAR によって高度 150kmFAI エコーの観測が行われた日(2007 年 8 月～2008 年 9 月)
(□は 150kmFAI エコーが観測された日を示している。)

2007 年 8 月	10, 11, 12, 22, 24, 25, 26, 27, 28 日
9 月	6, 19, 20, 21, 22, 23 日
10 月	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 日
11 月	19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 日
12 月	12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 日
2008 年 1 月	EAR のメンテナンスのため観測なし
2 月	2 日
3 月	5, 6, 7, 8, 9, 10 日
4 月	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 日
5 月	3, 4, 5, 6, 7 日
6 月	2, 3, 4, 5, 6 日
7 月	1, 2, 3, 4, 5, 30, 31 日
8 月	1, 2, 3, 4 日
9 月	19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 日
10 月	27, 28, 29, 30 日
11 月	26, 27, 28, 29, 30 日
12 月	1, 23, 24, 25, 26, 27, 28 日
2009 年 1 月	EAR のメンテナンスのため観測なし
2 月	EAR のメンテナンスのため観測なし
3 月	EAR のメンテナンスのため観測なし
4 月	28, 29, 30 日
5 月	21, 22, 23, 24, 25, 26 日
6 月	21, 22, 23, 24, 25 日
7 月	20, 21, 22, 23, 24 日
8 月	18, 19, 20, 21 日
9 月	17, 18, 19, 20, 21 日
10 月	20, 21, 22, 23 日

3.2 ドリフト速度

3.2.1 解析手法

3.2 節では高度 150km 沿磁力線不規則構造 (150kmFAI エコー) のドリフト速度の統計解析結果について述べる。150kmFAI エコーのドリフト速度の解析には、2007 年 8 月～2009 年 9 月までに赤道大気レーダーによって観測された 150kmFAI エコーのドップラー速度データを用いた。9 時 LT～15 時 LT まで 1 時間ごとに平均した。また、Scherliess and Fejer [1999] の F 領域の鉛直ドリフトの経験モデルと比較するために、磁力線直交・上／南向きでは 5 月～8 月、

3, 4, 9, 10 月、11 月～2 月と 3 つの季節に分けて平均した。東西方向では 2003 年～2005 年のヒカマルカの東西ドリフト[Fejer, Private Communication 2010]と比較するために、5 月～8 月、3, 4 月、9, 10 月、11 月～2 月の 4 つの季節に分けて平均した。150kmFAI エコーの判別は、エコー強度の時間・高度断面図から SN 比のクライテリアを-3dB とし、目視で 150kmFAI エコーの有無を判別した。

まずはその解析手法について述べる。150kmFAI エコーの磁力線直交・上／南向きドリフト速度は、方位角 180 度のビーム方向のみを用いて解析を行った。150kmFAI エコーの東西ドリフト速度には、最大 8 方向のビーム方向のうち方位角 165 度と方位角 195 度の 2 つのビーム方向を用いて解析を行った。方位角 165 度、方位角 195 度のビーム方向がどちらも観測を行っていない場合、または片方だけが観測を行っていない場合は欠測とした。図 3 で、 V は実際のプラズマドリフト速度、 V_{165° はビーム方向が方位角 165 度の視線方向のドップラー速度、 V_{195° はビーム方向が方位角 195 度の視線方向のドップラー速度を表している。また、 v_{x165° は方位角 165 度のビーム方向の東西 FAI ドリフト速度、 v_{y165° は方位角 165 度のビーム方向の磁力線直交・上／南向き FAI ドリフトの速度を表している。同様に v_{x195° は方位角 195 度のビーム方向の東西 FAI ドリフト速度、 v_{y195° は方位角 195 度のビーム方向の磁力線直交・上／南向き FAI ドリフト速度を表している。ここで、 V_{165° と V_{195° は次式で表される。

$$V_{165^\circ} = -v_{x165^\circ} \sin 15^\circ + v_{y165^\circ} \cos 15^\circ \quad (4.1)$$

$$V_{195^\circ} = v_{x195^\circ} \sin 15^\circ + v_{y195^\circ} \cos 15^\circ \quad (4.2)$$

ここで $v_{x165^\circ} = v_{x195^\circ} = v_x$ 、 $v_{y165^\circ} = v_{y195^\circ} = v_y$ のように、方位角 165 度と 195 度のビームで観測している範囲において FAI ドリフトが一樣であると仮定すると、(4.1)式、(4.2)式から東西 FAI ドリフト速度 v_x 、南北 FAI ドリフト速度 v_y が求まる。

$$v_x = \frac{V_{195^\circ} - V_{165^\circ}}{2 \sin 15^\circ} \quad (4.3)$$

$$v_y = \frac{V_{195^\circ} + V_{165^\circ}}{2 \cos 15^\circ} \quad (4.4)$$

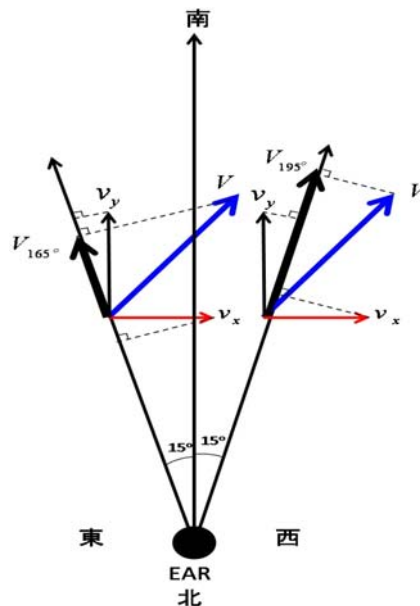


図 3 方位角 165 度のビームと方位角 195 度のビームの視線方向速度成分と東西成分、磁力線直交上／南向き成分を表した図

3.2.2 磁力線直交・上／南向きドリフト速度

150kmFAI エコーの磁力線直交・上／南向きドリフト速度の結果を図 4 に示す。左のグラフが 11～2 月、真ん中のグラフが 3, 4, 9, 10 月、右のグラフが 5～8 月である。横軸は地方時、縦軸は磁力線直交・上／南向きドリフト速度である。速度は、正の値が磁力線直交・上／南向きである。赤線が 150kmFAI エコーの磁力線直交・上／南向きドリフト速度である。黒線は 150kmFAI エコーの磁力線直交・上／南向きドリフト速度の標準偏差を示している。また、当研究では 150kmFAI エコーの磁力線直交・上／南向きドリフト速度と Scherliess and Fejer [1999] の F 領域鉛直プラズマドリフト速度の経験モデルとを比較した。図 4 の青線が Scherliess and Fejer [1999] の F 領域鉛直プラズマドリフト速度の経験モデルである。Scherliess and Fejer [1999] の F 領域鉛直プラズマドリフト速度の経験モデルでは、鉛直ドリフト速度は、日、地理経度、F10.7、地方時の関数として与えられる。そこで、地理経度をコタバンの経度である東経 100.32 度とし、F10.7 を太陽活動の極小期に相当する 70 に設定した。図 4 より、3, 4, 9, 10 月では 150kmFAI エコーの磁力線直交・上／南向きドリフト速度、F 領域鉛直プラズマドリフトの経験モデルとも、午前中速度が大きくなり、午後にかけて減少するという日変化の傾向、また値ともほぼ一致していることが見て取れる。11～2 月、5～8 月に関しては、150kmFAI エコーの磁力線直交・上／南向きドリフト速度が F 領域鉛直プラズマドリフトの経験モデルよりも値が小さくなっていることが見て取れる。しかし、概ね 150kmFAI エコーの磁力線直交・上／南向きドリフト速度の標準偏差の範囲内に F 領域鉛直プラズマドリフトの経験モデルの値があることがわかる。このことから、11～2 月、5～8 月も 150kmFAI エコーの磁力線直交・上／南向きドリフト速度と F 領域鉛直プラズマドリフトの経験モデルはほぼ一致していると言える。よって、全ての季節で 150kmFAI エコーの磁力線直交・上／南向きドリフト速度と F 領域鉛直プラズマドリフトの経験モデルがほぼ一致していることがわかった。以上より、150kmFAI エコーの磁力線直交・上／南向きドリフト速度は F 領域の $E \times B$ ドリフトと一致することがわかった。

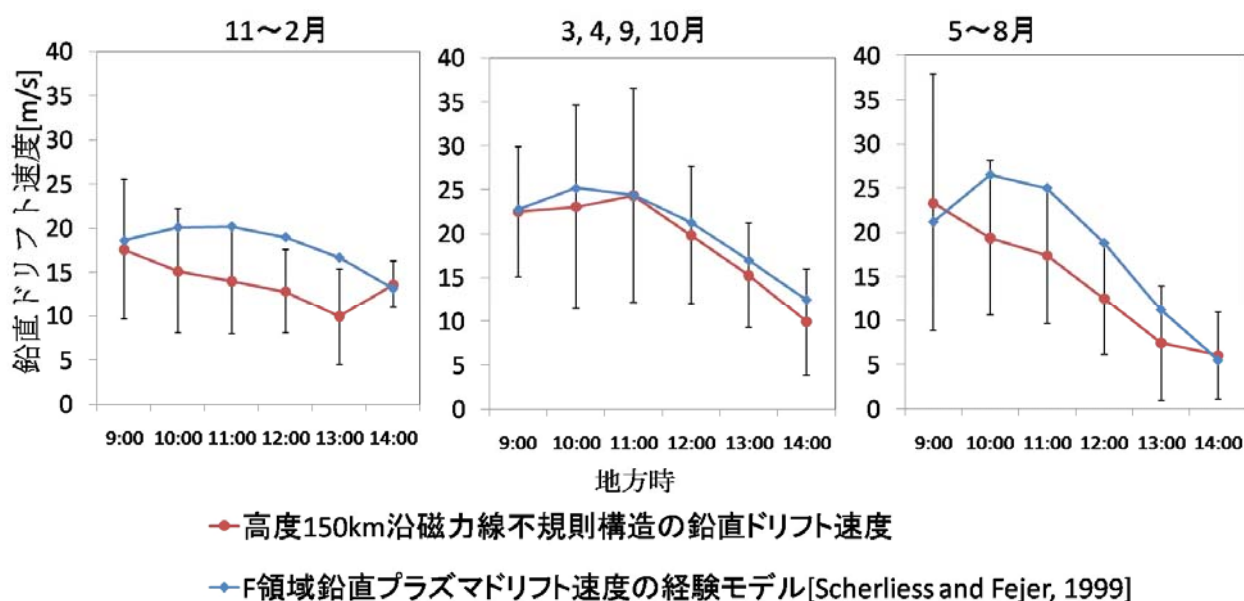


図 4 コタバンにおける 150kmFAI エコーの磁力線直交上向き・南向きドリフト速度と F 領域の鉛直 $E \times B$ ドリフトの経験モデル[Scherliess and Fejer, 1999]

次に、インドのガダンキのレーダーで観測された 150kmFAI エコーと比較した結果を示す [Patra, private communication 2009]。図 5 はガダンキとコッタバンで 150kmFAI エコーの観測が行われた 2008 年 7 月 1～5 日、2009 年 6 月 23～25 日、2009 年 7 月 23 日の 150kmFAI エコーの磁力線直交・上/南向きドリフト速度の 15 分平均のプロットである。星印がコッタバン、白丸がガダンキである。図 5 より、コッタバンとガダンキの磁力線直交・上/南向きドリフト速度は、午後にかけて速度が低くなっていくという日変化の傾向が一致していることが見て取れる。また、値もほぼ一緒である。以上より、コッタバンの 150kmFAI エコーの磁力線直交・上/南向きドリフト速度とガダンキの 150kmFAI エコーの磁力線直交・上/南向きドリフト速度はほぼ一致している。よって、東南アジア域の F 領域の $E \times B$ ドリフトが東南アジア域の 150kmFAI エコーの磁力線直交・上/南向きドリフトと一致する、また南アジア域の F 領域の $E \times B$ ドリフトが南アジア域の 150kmFAI エコーの磁力線直交・上/南向きドリフトと一致する、というような狭い領域に限られた現象ではなく、南アジア域から東南アジア域にかけての広い範囲にわたる F 領域の $E \times B$ ドリフトが、150kmFAI エコーの磁力線直交・上/南向きドリフトと一致することがわかった。

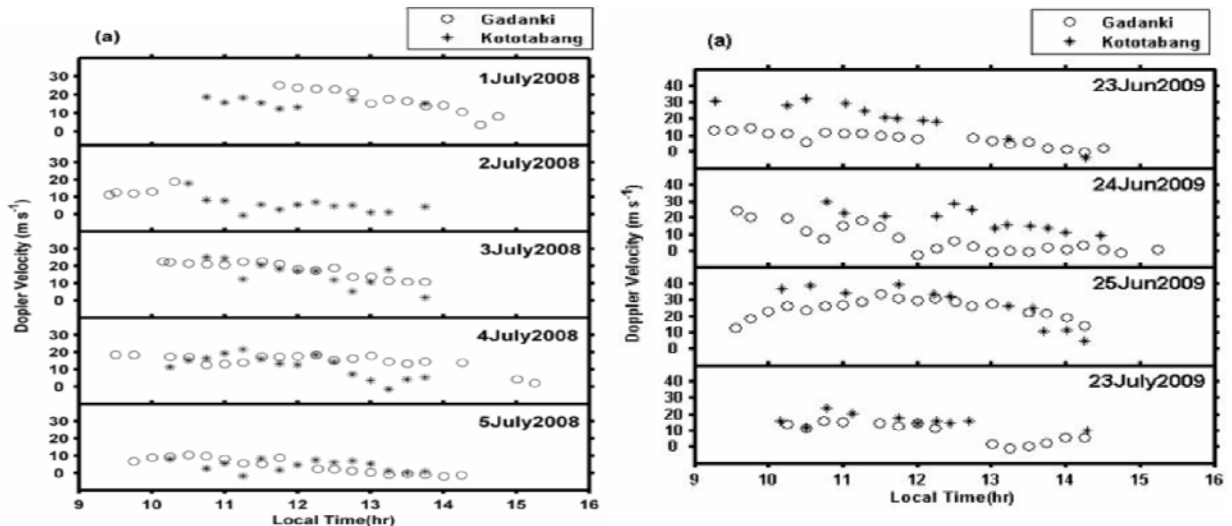


図5 2008年7月1～5日、2009年6月23～25日、2009年7月23日のガダンキとコッタバンの150kmFAI エコーの磁力線直交上向き・南向きドリフト速度の15分平均[Patra, private communication 2009]。

3.2.3 西向きドリフト速度

コッタバンの赤道大気レーダーによる 150kmFAI エコーの観測で、2007 年 8 月～2009 年 9 月に得られたデータを用いて 150kmFAI エコーの西向きドリフト速度の解析を行った。図 6 は季節別の 150kmFAI エコーの東西ドリフト速度のプロットである。左上の図が 9, 10 月、右上が 3, 4 月、左下が 5～8 月、右下が 11～2 月である。速度は負の値が西向きを示す。青線はヒカマルカの IS レーダーの観測による 150kmFAI エコーの東西ドリフト速度で、2003 年～2005 年の 5 分毎の平均である [Fejer private communication, 2010]。赤線はコッタバンの 150kmFAI エコーの東西ドリフト速度の 1 時間平均である。図 6 より、3, 4 月以外は、コッタバン及びヒカマルカにおいて、150kmFAI エコーの東西ドリフトの西向きの速度が午後に減少するという同様の日変化の傾向を示すことがわかる。しかし、西向きの東西ドリフト速度の値はコッタバンよりもヒカマルカの方が 10～30m/s 程度大きいことがわかる。

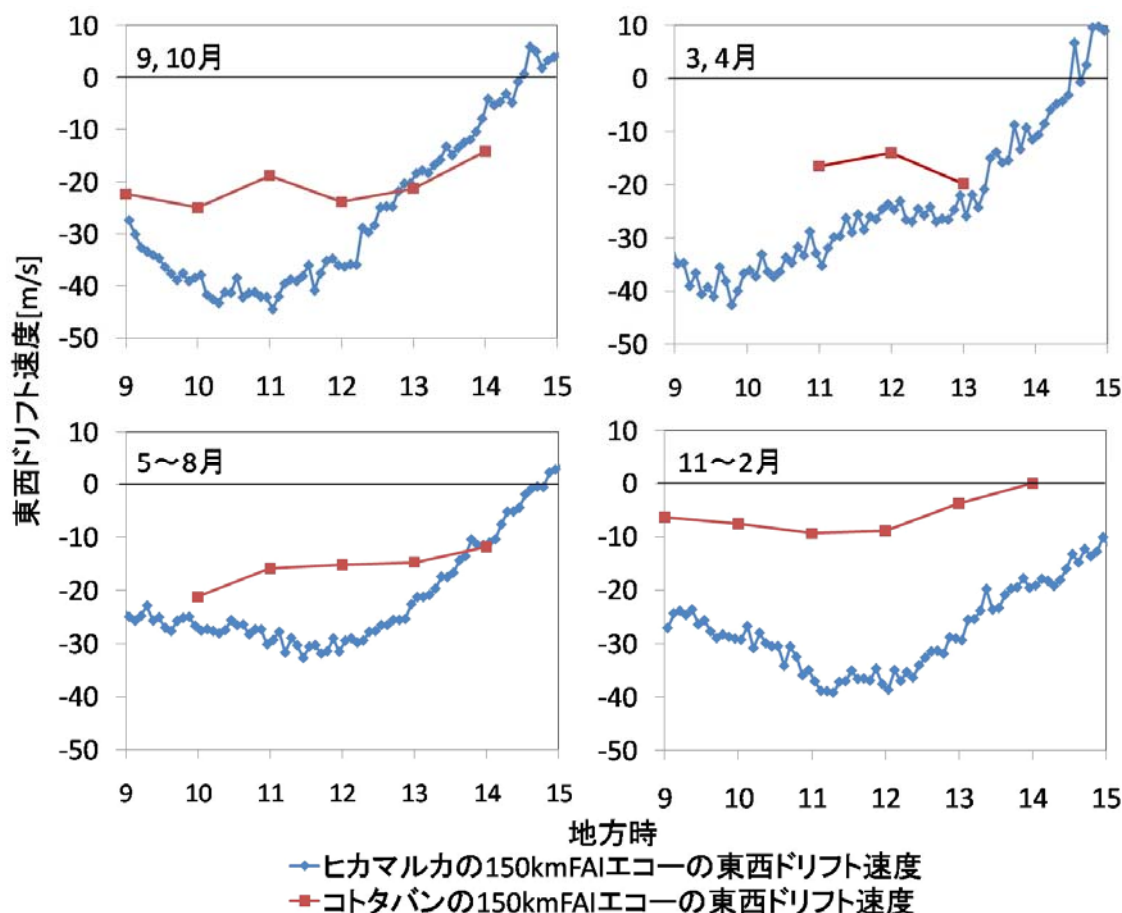


図6 ヒカマルカとコッタバンの 150kmFAI エコーの東西ドリフト速度。横軸が地方時、縦軸が東西ドリフト速度で、左上図が 9, 10 月、右上図が 3, 4 月、左下図が 5~8 月、右下図が 11~2 月である。青線がヒカマルカの 150kmFAI エコーの東西ドリフト速度である。2003 年~2005 年の平均である。赤線はコッタバンの 150kmFAI エコーの東西ドリフト速度の 1 時間平均である。

また、コッタバンの 150kmFAI エコーの東西ドリフトとヒカマルカの F 領域の東西ドリフト [Fejer et al., 1991]を比較した。その結果を図 7 に示す。ヒカマルカの F 領域の東西ドリフトは、1979 年~1988 年 6 月の間の観測のうち 175 日のデータを使用したものである。但し、1979 年と 1982 年~1983 年は観測が行われていない。図 7 は横軸が地方時、縦軸が東向きドリフト速度である。実線がヒカマルカにおける F 領域の東西ドリフト速度、点線がコッタバンの 150kmFAI エコーの東西ドリフト速度である。青線が 11 月~2 月、赤線が 3, 4, 9, 10 月、緑線が 5 月~8 月である。図 7 を見ると、午後にかけて西向き(負)の速度が減少していくという日変化の傾向はどの季節でも一致している。しかし、どの季節においてもヒカマルカの F 領域の東西ドリフトに比べてコッタバンの 150kmFAI エコーの東西ドリフトが 15m/s~40m/s 小さくなっていることがわかる。以上の値の違いはコッタバンの緯度とヒカマルカの緯度の違いが関係していると考えられるが、はっきりとした理由はわかっていない。

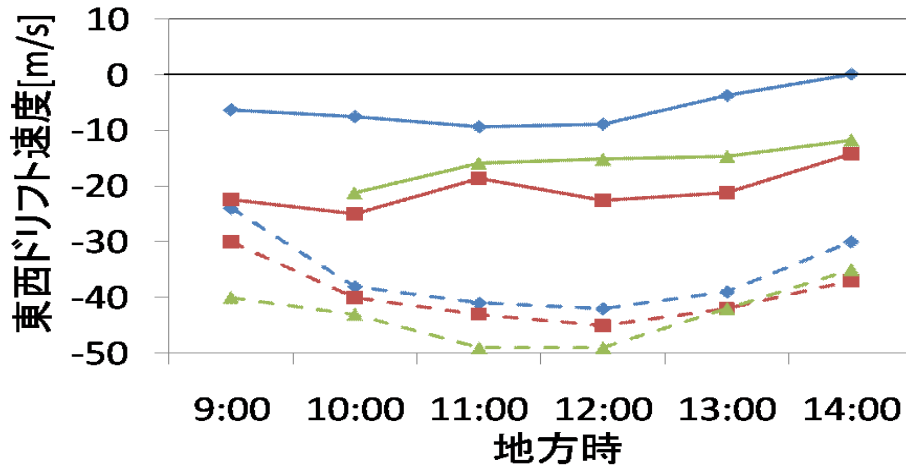


図 7 コトタバンの 150kmFAI エコーの東西ドリフト速度とヒカマルカの F 領域の東西ドリフト速度[Fejer et al., 1991]。横軸が地方時、縦軸が東西ドリフト速度で、実線がヒカマルカの 150kmFAI エコーの東西ドリフト速度、点線がヒカマルカの F 領域の東西ドリフト速度の 1 時間平均である。青線が 11 月～2 月、赤線が 3, 4, 9, 10 月、緑線が 5 月～8 月である。

Chau and Woodman [2004]では、F 領域の東西ドリフトの速度とヒカマルカの 150kmFAI エコーと F 領域の東西ドリフトの比較が行われ、本研究の結果と同じように、150kmFAI エコーのほうが F 領域の東西ドリフトよりも速度の値が小さくなるという結果が出ている。この値の差について、Chau and Woodman [2004]では 2 つ理由を挙げている。1 つ目は、E 領域の東西風の緯度変化が原因であるという理由である。この理由について、図 8 に図示した。昼間は E 層で電場が生成され、磁力線に沿って電場は伝わると考えられるので、150kmFAI エコー、F 層の東西ドリフトは E 層で作られた電場により生成されると考えられる。図 8 より、ヒカマルカの 150kmFAI エコーとコトタバンの 150kmFAI エコーの電場生成領域には、緯度の違いがあることがわかる。このため、コトタバンの 150kmFAI エコーとヒカマルカの 150kmFAI エコーの東西ドリフト速度の値の違いは、E 領域の東西風の緯度変化が原因であるという理由は成立する。しかし、コトタバンの 150kmFAI エコーの電場生成領域とヒカマルカの F 層ドリフトの電場生成領域にはほとんど緯度の違いがない。よって、ヒカマルカの F 層の東西ドリフト速度とコトタバンの 150kmFAI エコーの東西ドリフトの速度の差は E 領域の東西風の緯度変化では説明できない。また、コトタバンの 150kmFAI エコーと、ヒカマルカの F 層のドリフトはほぼ同じ緯度領域の電場生成領域から磁力線を伝わってきたと考えられることから、コトタバンの 150kmFAI エコーの東西ドリフト速度とヒカマルカの F 領域の東西ドリフト速度の差は、ヒカマルカの 150kmFAI エコーの東西ドリフト速度とヒカマルカの F 領域の東西ドリフト速度の差とほぼ変わらないと考えられる。よって、この値の違いについては、150kmFAI エコーはメータースケール FAI の東西ドリフトを見ているのに対し、F 領域のドリフトは背景のドリフトを見ているため、コトタバンの 150kmFAI エコーとヒカマルカの F 領域の東西ドリフト速度の東西ドリフト速度の値に違いが出る可能性も考えられる。また、Chau and Woodman [2004]で挙げられている理由の 2 つ目は、高度 150km 付近では東西中性風の影響があり、150km 付近で電場が生成され、そのために、F 領域と高度 150km ではドリフト速度が異なるというものである。コトタバンの

150kmFAI エコーの東西ドリフト速度とヒカマルカの F 領域の東西ドリフト速度の比較、またヒカマルカにおける F 領域の東西ドリフト速度とヒカマルカの 150kmFAI エコーの東西ドリフト速度の比較における値の違いの理由になると考えられる。

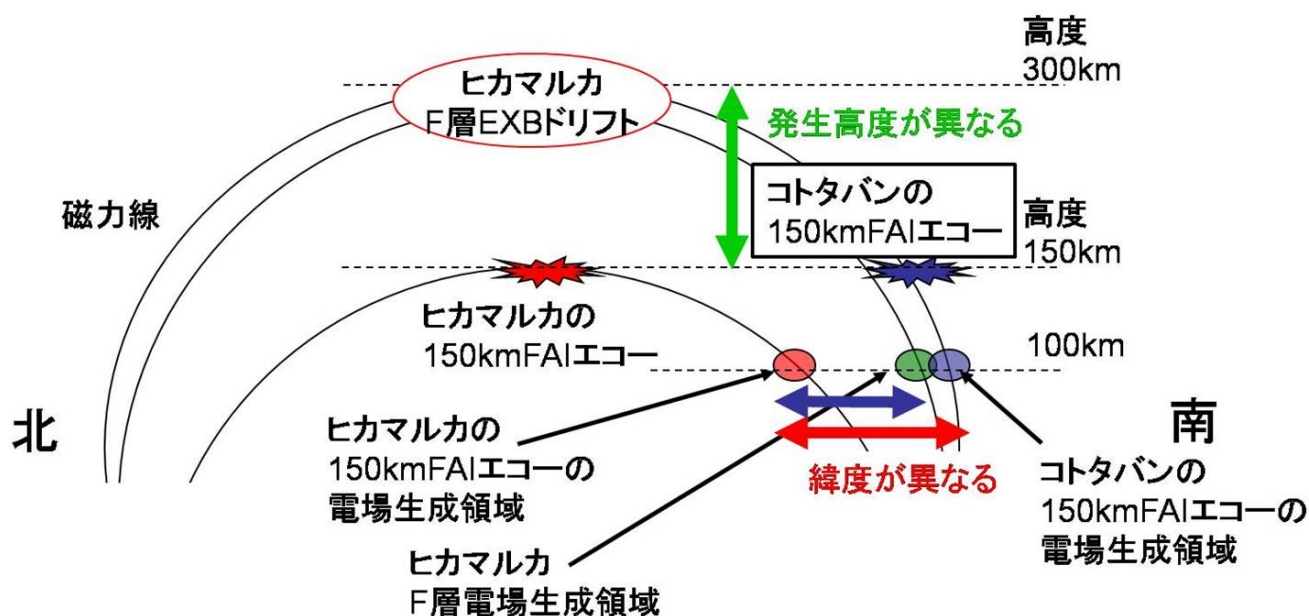


図8 150kmFAI エコーの東西ドリフト速度と F 領域の東西ドリフト速度の値の違いが E 領域の東西風の緯度変化によるという Chau and Woodman [2004]の主張を示す南北断面図。

4. まとめ

2007 年 8 月から 2009 年 10 月までの期間に赤道大気レーダーによって観測された 150kmFAI エコーのデータを統計解析した。その結果を下にまとめる。

- ① 150kmFAI エコーの発生頻度は、3 月、4 月は 30%以下、5 月～12 月は 60%以上という弱い季節依存性があることがわかった。
- ② 磁力線直交・上／南向きドリフト速度は、F 領域の $E \times B$ ドリフトと一致することがわかった。また、インド・ガダンキの結果とほぼ一致することから、南アジア域から東南アジア域にかけての広い範囲にわたる F 領域の $E \times B$ ドリフトが、150kmFAI エコーの磁力線直交・上／南向きドリフトと一致することがわかった。
- ③ 東西ドリフト速度は、ヒカマルカの 150kmFAI エコー、また F 領域の東西ドリフトと比較した結果、西向きであることと、午後にかけて西向きの速度が減少していくという日変化の傾向は一致することが分かったが、値はヒカマルカよりも小さくなることがわかった。

5. 参考文献

- [1] Balsley, B. B., Evidence of stratified echoing region at 150 km in the vicinity of magnetic equator during daylight hours, J. Geophys. Res., 69, 1925, 1964.
- [2] Blanc, E., B. Mercandalli, and E. Houngninou, Kilometric irregularities in the E and F regions of the daytime equatorial ionosphere observed by a high resolution HF radar, Geophys. Res. Lett., 23, 645, 1996.

- [3] Chau, J. L. and R. F. Woodman, Daytime vertical and zonal velocities from 150-km echoes: Their relevance to F-region dynamics, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L17801, doi:10.1029/2004GL020800, 2004.
- [4] Choudhary, R. K., J.-P. St.-Maurice, and K. K. Mahajan, Observation of coherent echoes with narrow spectra near 150 km altitude during daytime away from the dip equator, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L19801, doi: 10.1029/2004GL020299, 2004.
- [5] de Paula, E. R., and D. L. Hysell, The Sao Luis 30 MHz coherent scatter ionospheric radar: System description and initial results, *Radio Sci.*, 39, RS1014, doi:10.1029/2003RS002914, 2004.
- [6] Fawcett, C., An investigation of equatorial 150-km irregularities, Ph.D. thesis, Univ. of Illinois at Urbana-Champaign, 1999.
- [7] Fejer, B. G., E. R., de Paula, S. A., Gonzalez, and R. F., Woodman, Average vertical and zonal F region plasma drifts over Jicamarca, *J. Geophys. Res.*, 96, 13,901, 1991
- [8] Fukao, S., H. Hashiguchi, M. Yamamoto, T. Tsuda, T. Nakamura, and M. K. Yamamoto, T. Sato, M. Hagio, and Y. Yabugaki, The Equatorial Atmosphere Radar (EAR): System description and first results, *Radio Sci.*, 38(3), 1053, doi:10.1029/2002RS002767, 2003.
- [9] Kudeki, E., C. D. Fawcett, W. L. Ecklund, P. E. Johnston, and S. J. Franke, Equatorial 150-km irregularities observed at Pohnpei, *Geophys. Res. Lett.*, 25, 4097, 1998.
- [10] Patra, A. K., T. Yokoyama, Y. Otsuka, and M. Yamamoto, Daytime 150-km echoes observed with the Equatorial Atmosphere Radar in Indonesia: First results, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L06810, doi:10.1029/2007GL033130, 2008.
- [11] Scherliess, L. and B. G. Fejer, Radar and satellite global equatorial F region vertical drift model, *J. Geophys. Res.*, 104, 6829, 1999.
- [12] Tsunoda, R. T., and W. L. Ecklund, On a summer maximum in the occurrence frequency of 150 km (F₁) radar echoes over Pohnpei, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L06810, doi:10.1029/2003GL018704, 2004.