

極域熱圏のメソスケール 擾乱に伴う電離層電流系

名大STE研総合解析部門M2

岩政和俊

Introduction

中性風による生成電流の研究(flywheel effectなど)

●観測とモデルの比較による研究

磁気あらしのmain phaseのあとで中性風がfield-aligned current を支配することをモデルを使いDE 2の観測と比較した。

[Deng et al, 1993]

●データ解析による研究

地磁気データから得られた等価電流系を解析し、flywheel effectの存在と、極域でのそのグローバルパターンを得た。

[K. Asamura and T. Iemori, 1995]

主に、グローバルな熱圏対流のダイナモ電場に対する電流系についての研究が行われてきたが、ローカルな熱圏変動(中性風)に対して電離圏がどのような影響を受けるかはまだよく分かっていない。

最近の観測

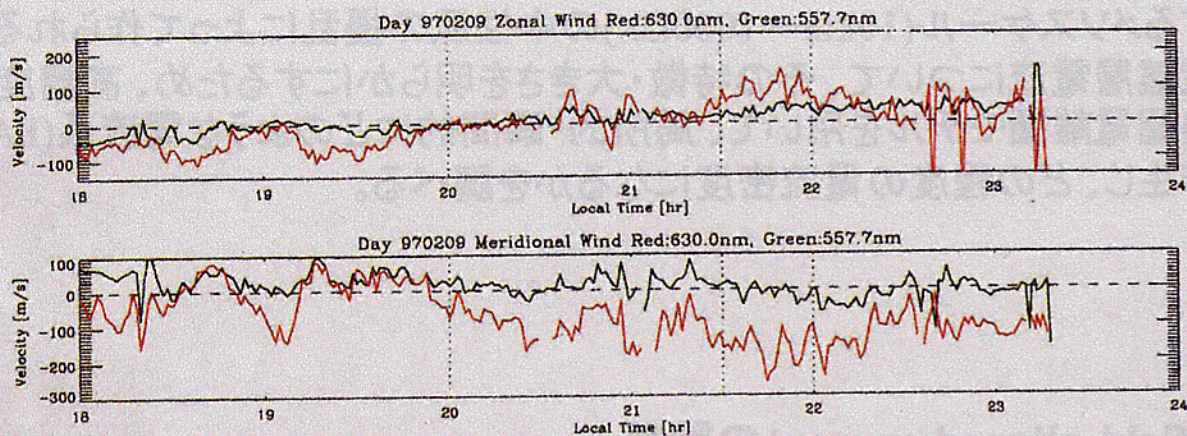
局所的(メソスケール)で激しい中性風の存在が明らかになってきた。
("local flywheel effect") [Ishii et al, 1999] など

→局所的・瞬間的にはかなり大きな電流密度になる可能性

カस्प領域で加熱された熱圏風や、日食時の瞬間的な太陽EUVの遮断に伴う局所熱圏変動なども観測されている。

→局所的に電離層電流の生成が起こる可能性

局所的に激しく変動する中性風の観測の例



[Ishii et al, 1999]

100m/sを超える大きな風が激しく変動している



研究目的・手法

極域の熱圏においてオーロラ活動に伴う、時間的・空間的に激しく変動するメソスケール(10km~1000km)の中性風の擾乱によって作られる電離層電流について、その特徴・大きさを明らかにするため、高精度の熱圏電離層モデルを用いて、局所的・瞬間的にどのような電流系(FAC)が生じ、どの程度の電流密度になるかを調べる。

field-aligned currentの計算

磁気圏からかかる電場を \vec{E} 、中性風の速度を \vec{U}_n とすると、電離層を流れる電流は、

$$\vec{J} = \vec{\sigma} (\vec{E} + \vec{U}_n \times \vec{B})$$

$\vec{\sigma}$: conductivity tensor

中性大気の運動のみによる電流を考えると、磁力線に垂直な方向に流れる電流 \vec{J}_\perp は、

$$\vec{J}_\perp = \sigma_P (\vec{U} \times \vec{B}) + \sigma_H (\vec{b} \times (\vec{U} \times \vec{B}))$$

σ_P : Pedersen conductivity

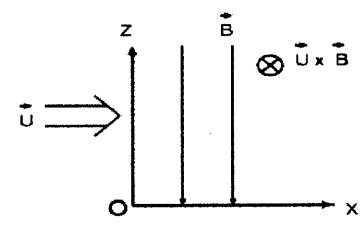
σ_H : Hall conductivity

\vec{b} : 磁場方向の単位ベクトル

$\nabla \cdot \vec{J} = \nabla \cdot (\vec{J}_\parallel + \vec{J}_\perp) = 0$ から

$$j_\parallel = - \int (\nabla_\perp \cdot \vec{J}_\perp) dl_\parallel$$

としてfield-aligned currentを計算する。



モデル

中性風は、強いオーロラ活動に伴う加熱によって発生すると仮定し、ローカル熱圏モデルに加熱率を与えて計算する。

ローカル熱圏モデル

- 鉛直方向・緯度方向の2次元

鉛直方向: $0 < z < 700$ km, $\Delta z = 4$ km

緯度方向: $0 < y < 4000$ km, $\Delta y = 5$ km

- 中性大気は非静水圧（非静力学）圧縮性流体方程式系
- 基本場（MSISE-90）からの変動量を変数とする。

Continuity
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -v \frac{\partial \rho}{\partial y} - w \frac{\partial \rho}{\partial z}$$

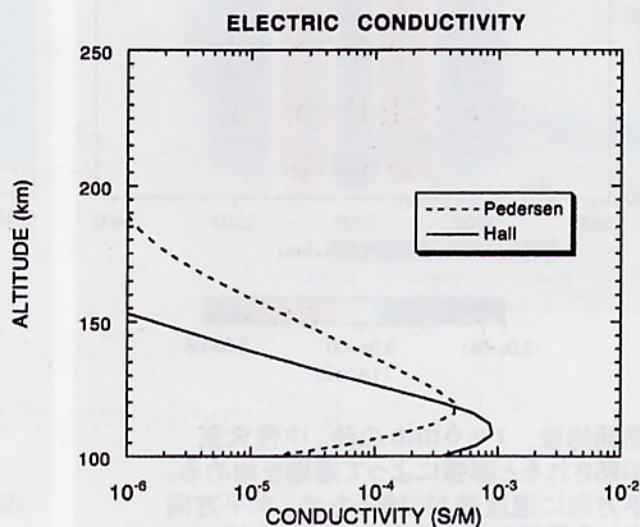
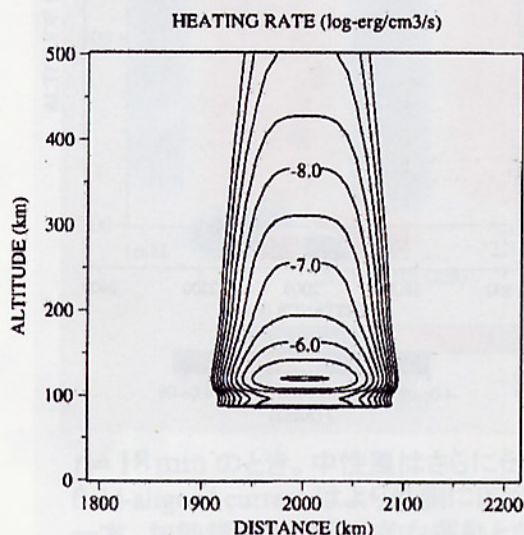
Momentum
$$\frac{\partial u}{\partial t} = -v \frac{\partial u}{\partial y} - w \frac{\partial u}{\partial z} + 2\Omega \sin \phi v - v_{ni}(u - u_i) + \frac{1}{\rho} \nabla \cdot (\eta \nabla u)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -v \frac{\partial v}{\partial y} - w \frac{\partial v}{\partial z} - 2\Omega \sin \phi u - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - v_{ni}(v - v_i) + \frac{1}{\rho} \nabla \cdot (\eta \nabla v)$$

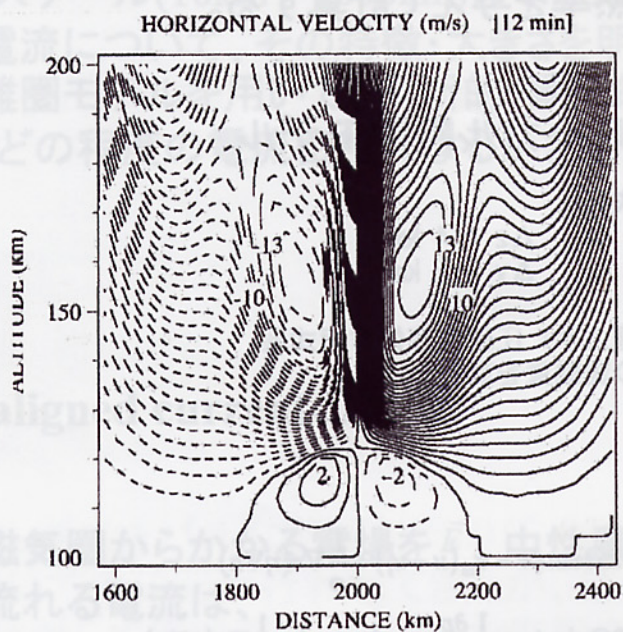
$$\frac{\partial w}{\partial t} = -v \frac{\partial w}{\partial y} - w \frac{\partial w}{\partial z} - 2\Omega \cos \phi u - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g - v_{ni}(w - w_i) + \frac{1}{\rho} \nabla \cdot (\eta \nabla w)$$

Energy
$$\frac{\partial T}{\partial t} = -v \frac{\partial T}{\partial y} - w \frac{\partial T}{\partial z} - \frac{R}{c_v} T \left(\frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \frac{1}{\rho c_v} \frac{\partial}{\partial z} \left(\kappa \frac{\partial T}{\partial z} \right) - \frac{Q}{c_v}$$

State
$$p = \rho RT$$

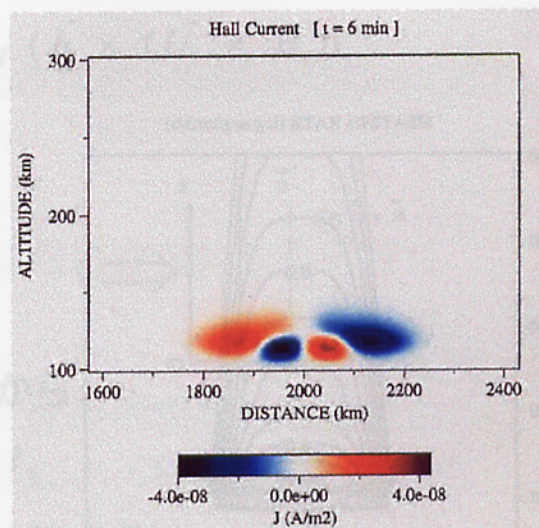
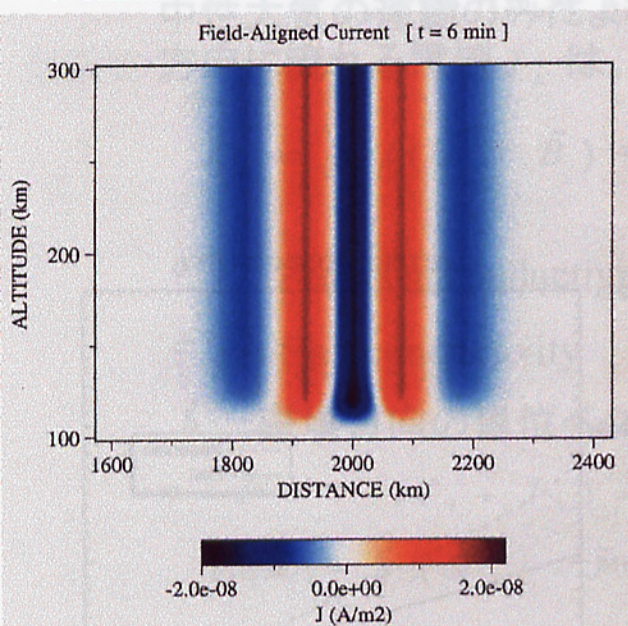


オーロラ領域の加熱によって発生する中性風

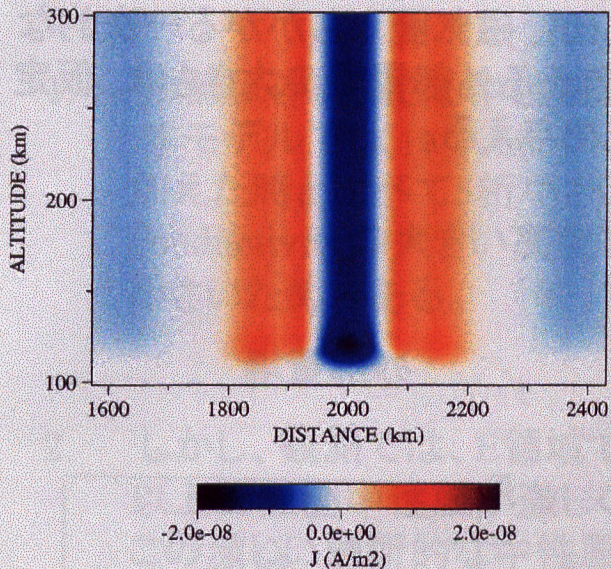
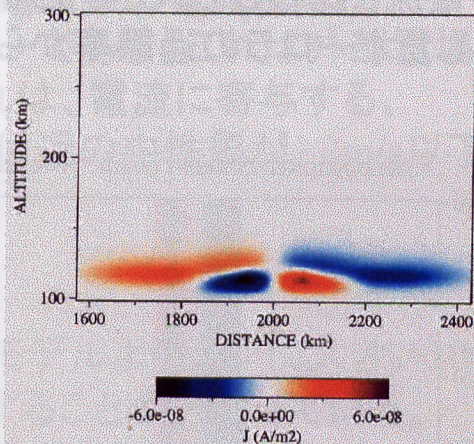


中性風によって生じる電流

$t=6\text{min}$

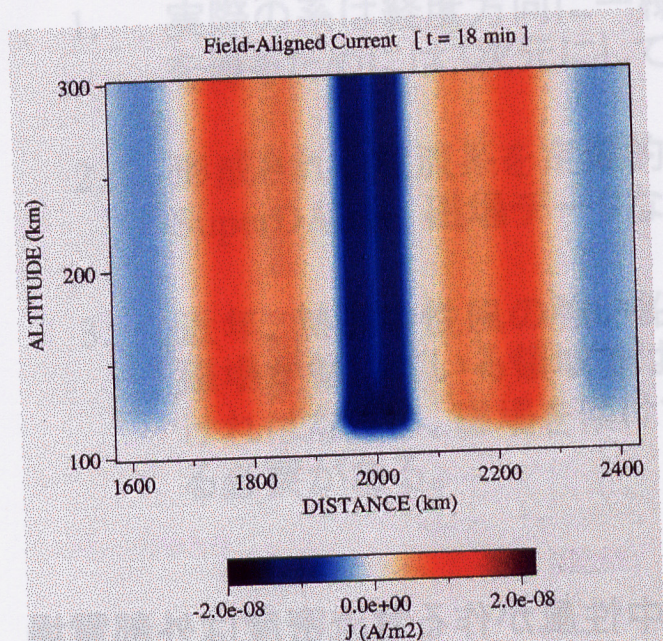


加熱開始後、 $t = 6\text{ min}$ の時。中性大気は加熱されると膨張によって運動を始める。水平方向に速度差ができるため、水平方向に流れる電流に差が生じる。その差が、field-aligned currentとなる。

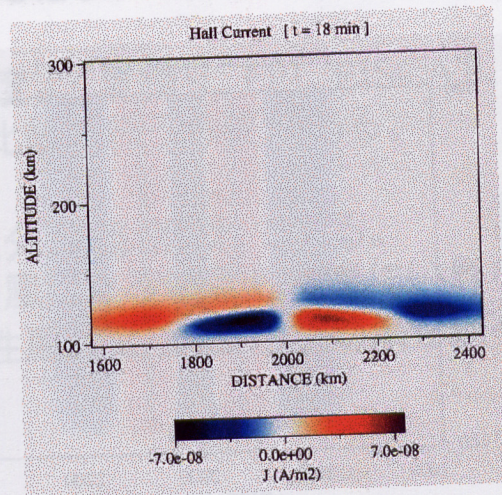
Field-Aligned Current [$t = 12 \text{ min}$]Hall Current [$t = 12 \text{ min}$]

加熱開始後 $t = 12 \text{ min}$ の時。中性大気の運動は、対流により外側に広がる。同時に、field-aligned currentも外側に広がる。

$t=18\text{min}$

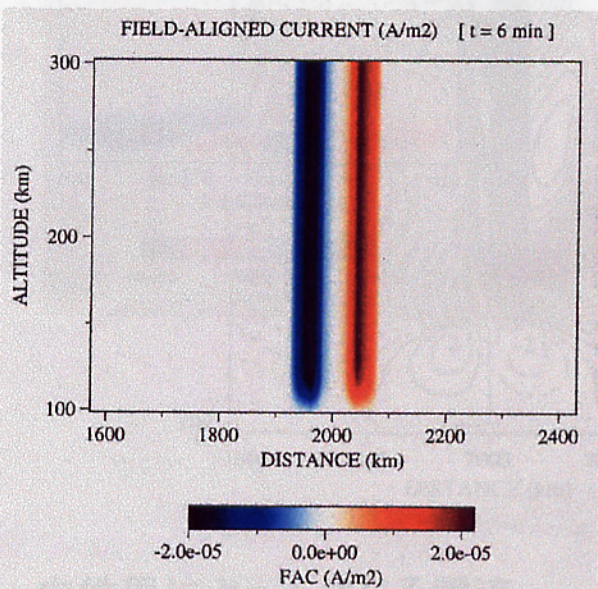


$t = 18 \text{ min}$ のとき。中性風はさらに伝播し、field-aligned current はより外側に広がる。一方、加熱領域では定常的な運動となり中心の下向きのfield-aligned currentは一定となる。



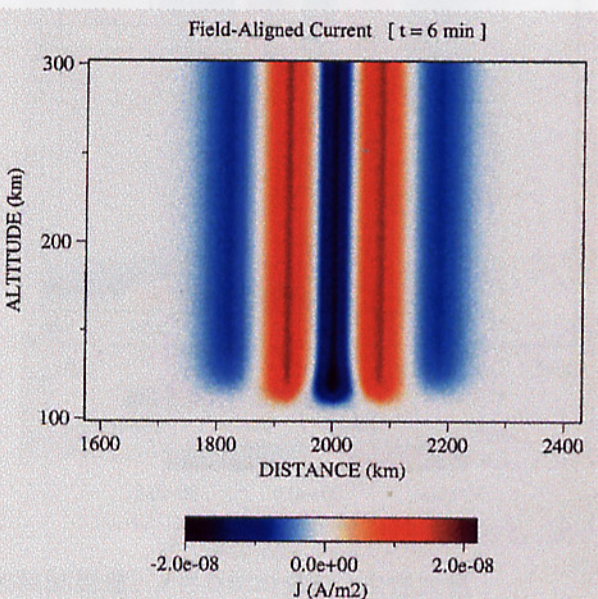
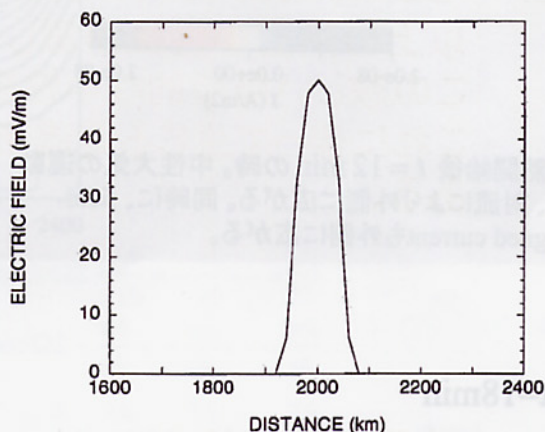
外部電場による電流との比較

中性風が作るfield-aligned currentが、磁気圏からかかる一次的な電流と比較して大きさを比べる。与える外部電場の大きさは、仮定したオーロラの過熱率から計算して与える。



外部電場をかけた時に生じるfield-aligned current。電場の勾配のある狭い領域に電流が集中している。

外部電場



加熱開始後、 $t = 6$ min の時。中性大気は加熱されると膨張によって運動を始める。水平方向に速度差ができるため、水平方向に流れる電流に差が生じる。その差が、field-aligned currentとなる。

中性風が作る電流密度は外部電場がかかることによって生じる電流密度と比べて3桁小さい。

1. 加熱に伴い生じる中性風が作る電流系の電流密度は、本モデルでは 10^{-8} A/m^2 のオーダーである。これは外部電場を加えた時と比べて3桁小さい。これは、電流に寄与する、conductivityの大きい高度120km付近の中性風が、2m/s以下と小さいためである。
2. しかし、観測では、E領域では本モデルより遥かに大きい100m/s以上の熱圏中性風が激しく変動することが分かっている。この激しい局所的な中性風の原因はまだ分かっていないが、これに伴って生じる電流密度は本研究よりも大きくなる可能性がある。

その他の問題点

1. 実際の系は経度方向に一様ではないので、より現実的なモデルを得るためには3次元にして調べる必要がある。
2. 形成される電流系を定量的に精度よく見積り、FPI、EISCAT、SuperDARN、磁場データなどと比較を行う必要がある。
3. 近年、熱圏中性風の強い鉛直成分が観測されている。磁場が傾いている領域では鉛直風による効果も考慮にいれなければならない、磁場を傾けて中性風の鉛直成分の効果を調べる必要がある。

まとめ

1. 局所的な熱圏の加熱に伴って発生する中性風から生じる field-aligned current を計算した。
2. 中性風の伝播とともに、field-aligned current は、加熱領域から外側に広がっていくことが分かった。
3. 計算された field-aligned current は、外部電場によるものと比べて小さいものであった。
4. しかし、本研究で用いた加熱モデルでは説明できない大きな中性風が観測されており、その場合、電流系は本研究より大きくなる可能性がある。