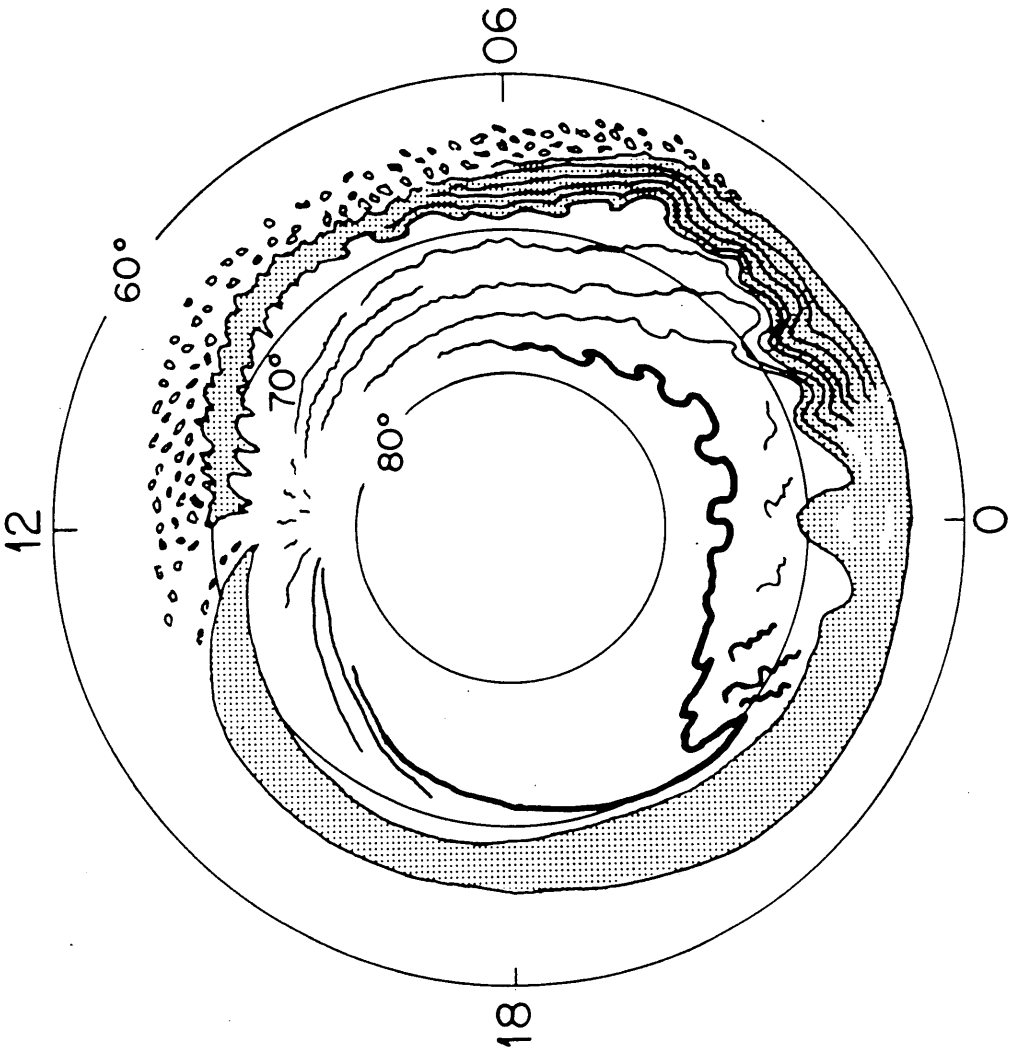
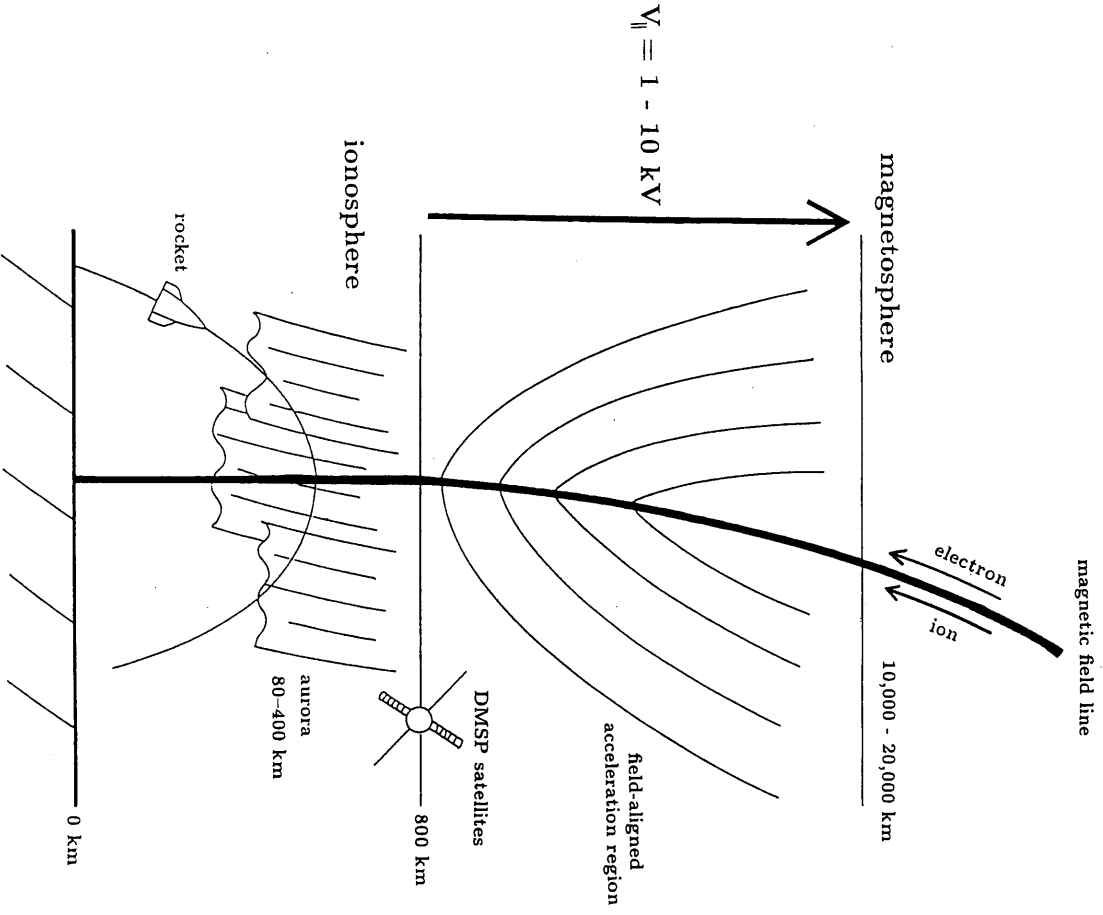


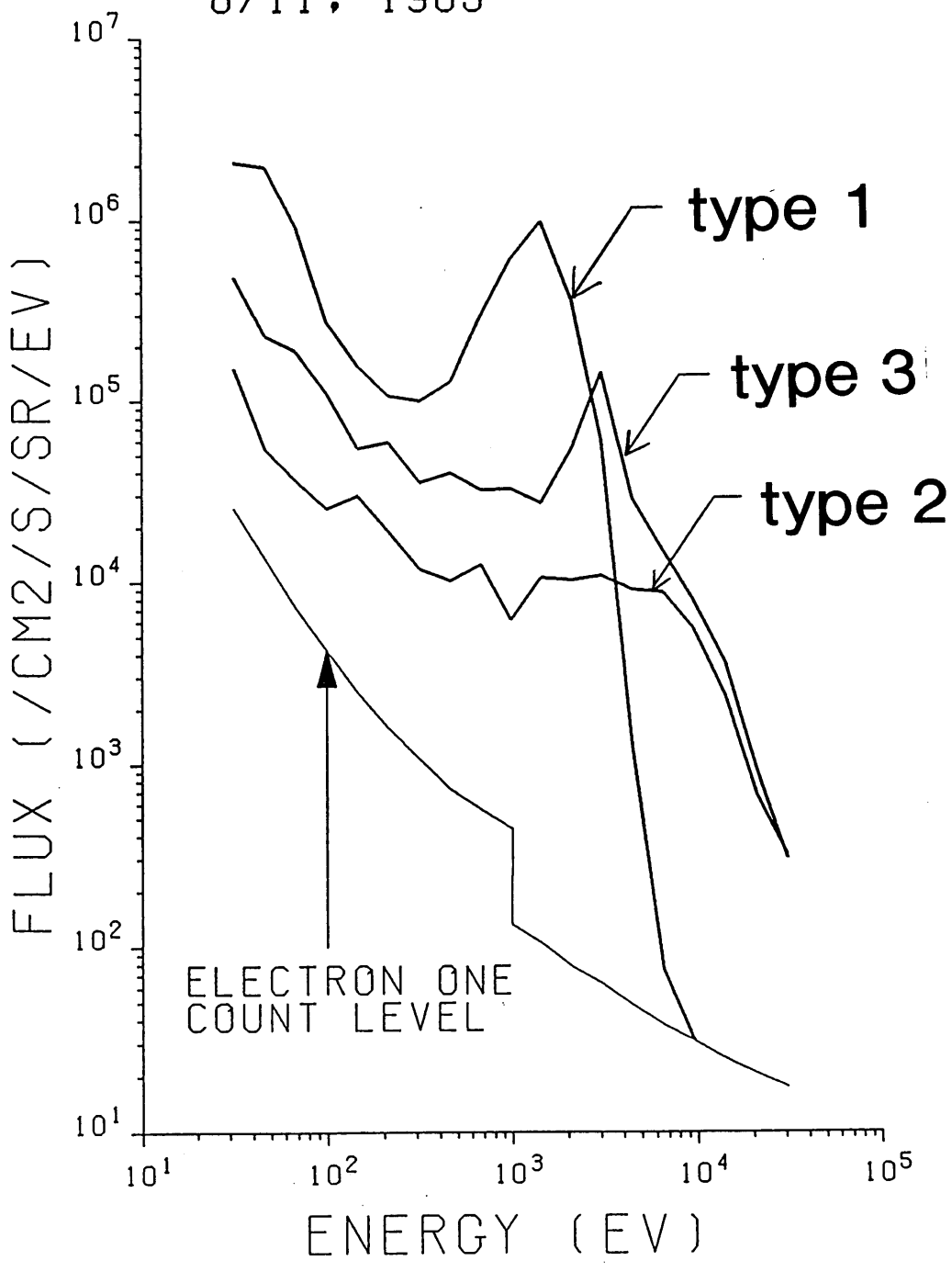
オーロラを作り出す沿磁力線加速電場に関するレビュー

堀川和夫 (名大S T E研)
若手会夏の学校 (平成14年7月22日)

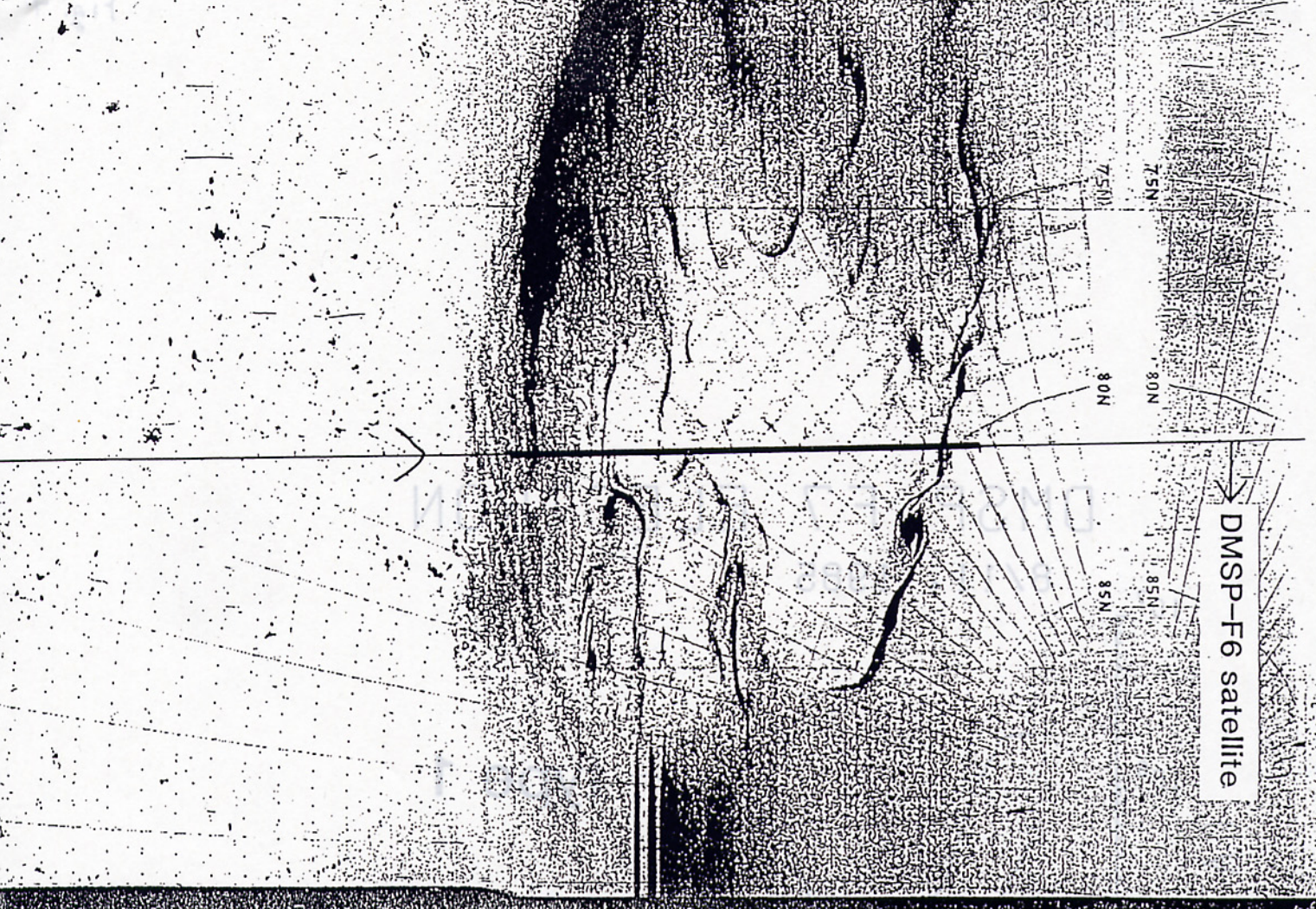


DMSP F7 ELECTRON

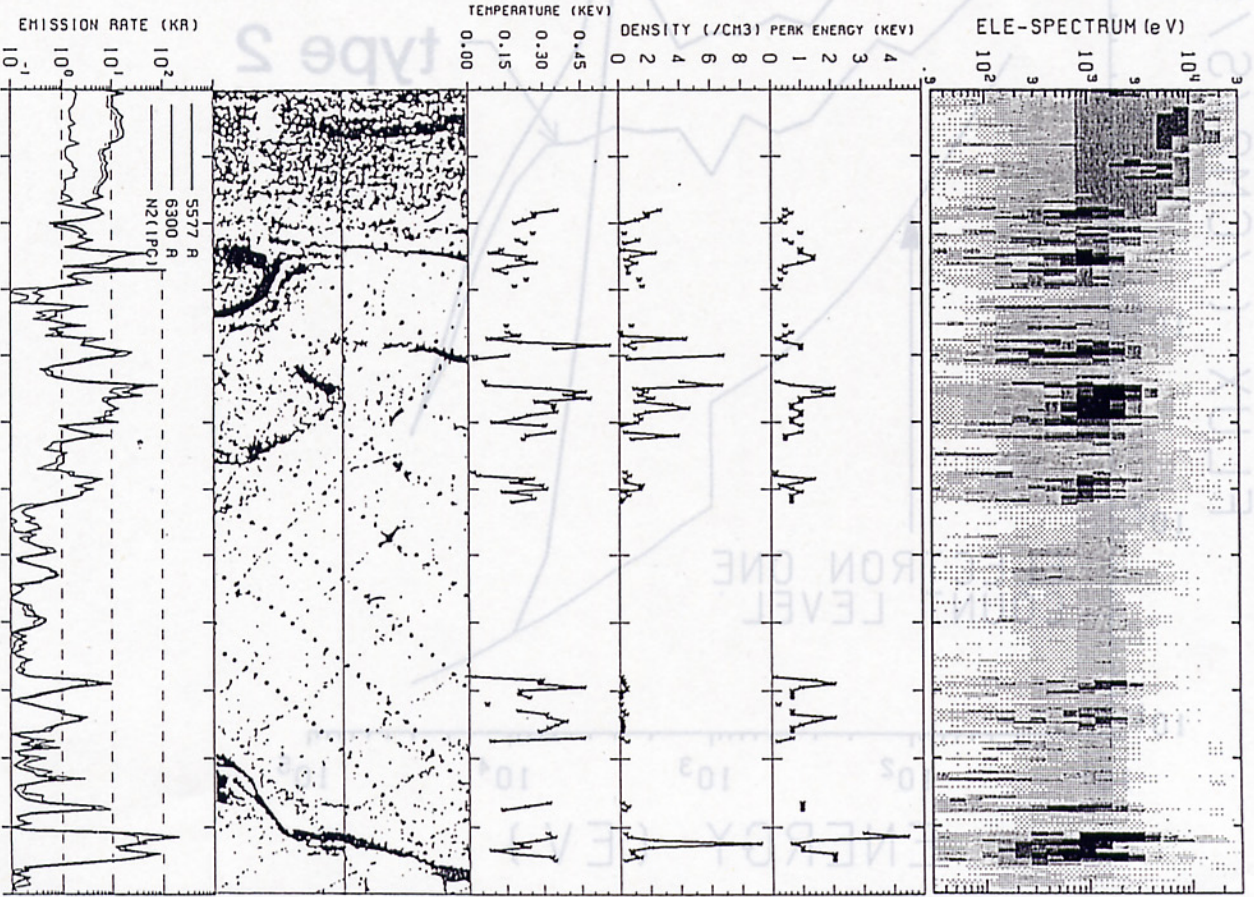
8/11, 1985



DMSP-F6 satellite



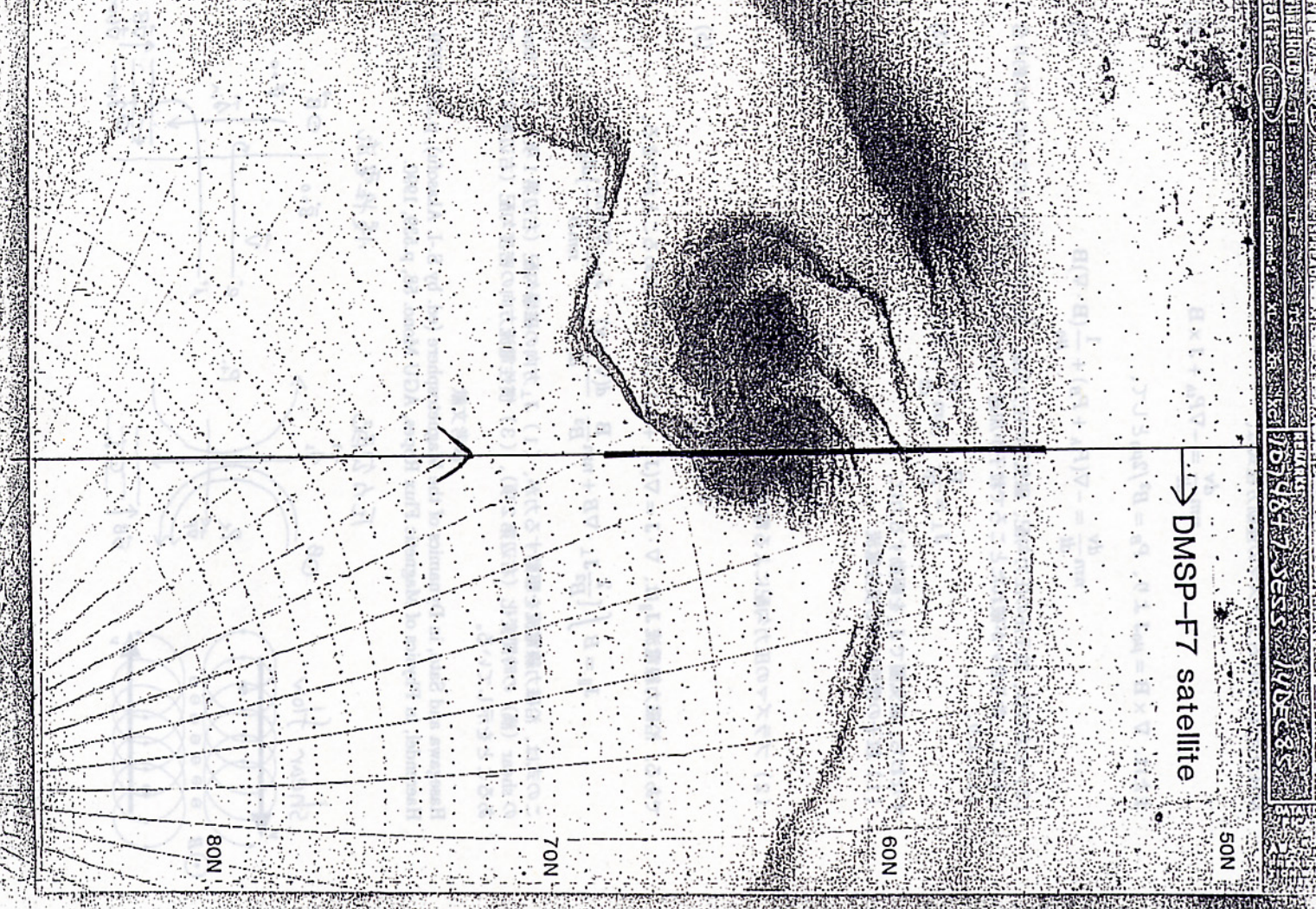
DMSP/F6 12/13 (347TD) 1985



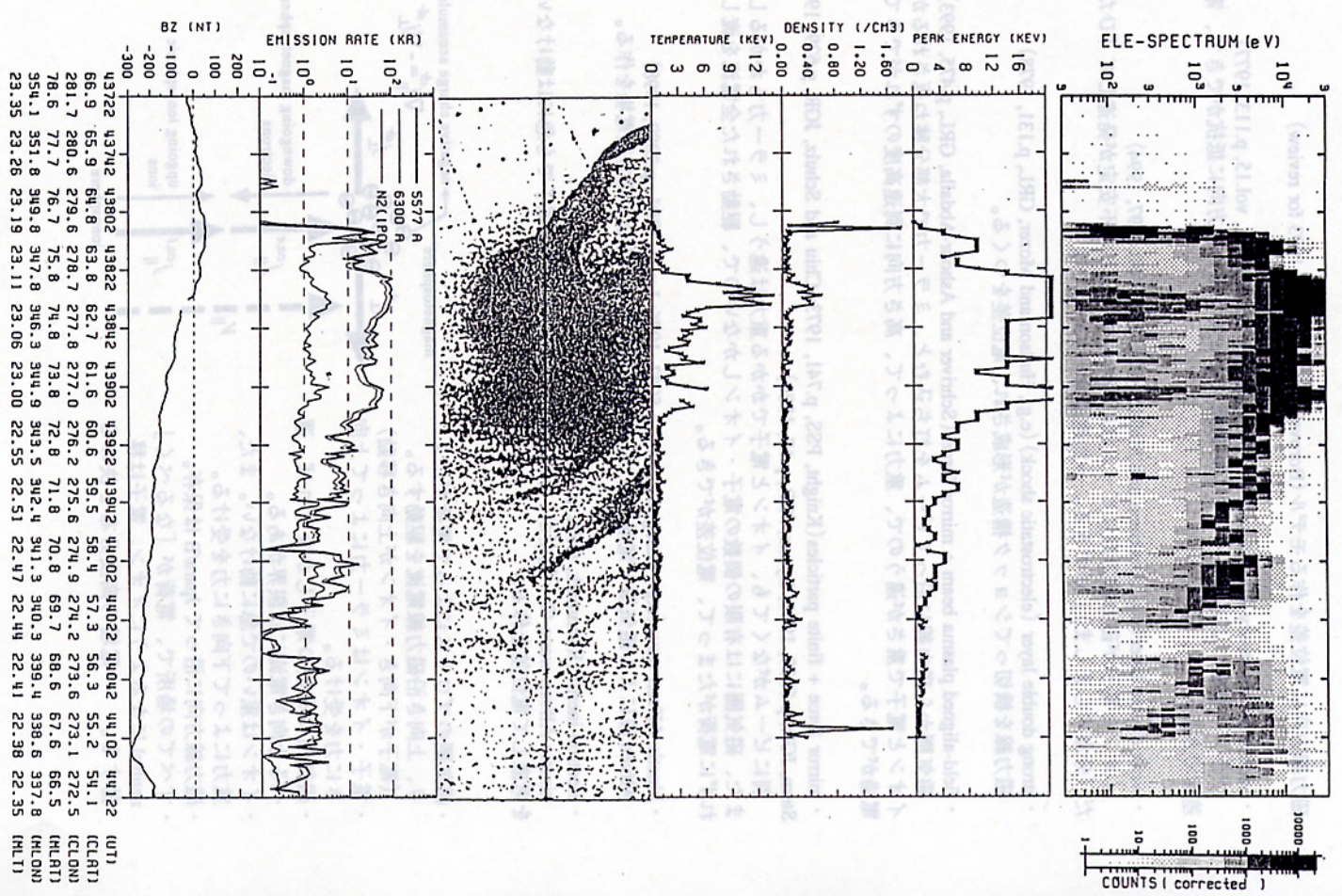
EMISSION RATE (KR)	5577 A	6300 A	N2(1Pg)
32330	69.9	70.9	20.1
32350	70.9	71.9	18.5
32410	72.9	72.9	16.4
32430	72.9	73.9	14.2
32450	74.9	74.9	12.1
32510	75.8	75.8	9.0
32530	76.6	76.6	6.0
32550	77.5	77.5	2.9
32610	78.3	78.3	358.4
32630	79.0	79.0	353.9
32650	79.8	79.8	349.3
32710	79.8	79.8	342.9
32730	80.3	80.3	80.0
5.31	106.9	106.9	106.9
5.32	106.9	106.9	106.9
5.32	106.7	106.5	106.2
5.31	106.5	106.6	106.1
5.32	106.3	105.9	106.3
5.31	105.9	105.9	105.9
5.31	105.8	105.8	105.3
5.32	105.9	105.9	105.3
5.30	105.3	105.3	105.3

→ DMSP-F7 satellite

50N 60N 70N 80N



DMSP/F7 12/14 (348TD) 1985

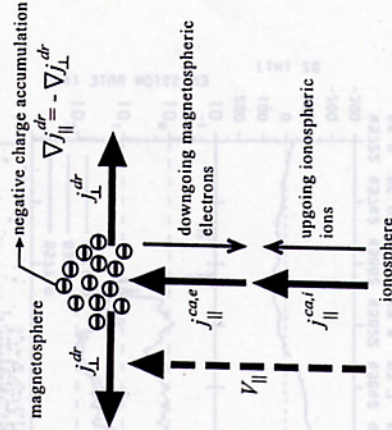


磁力線方向に電位差を作るモデル (Borovsky, JGR, p.6101, 1993 for review)

- anomalous resistivity (Papadopoulos, Rev. Geophys. Space Phys., vol.15, p.113, 1977) プラズマ波動による電子やイオンの散乱によって、磁力線方向に抵抗ができて、電位差ができる。
- weak double layer (e.g., Koskinen and Malkki, AGU Mono 80, p.97, 1994) イオンと電子が磁力線方向にビーム状に打ち込まれると、不安定が発達して「ひだひだ (分布のしましませ)」ができる。→ 加速度は小さいのでは？
- strong double layer (electrostatic shock) (e.g., Hudson and Mozer, GRL, p.131, 1978) 磁力線を横切ってシヨック構造が形成され、電位差をつくる。

- field-aligned plasma beam + mirror force (Schriver and Ashour-Abdalla, GRL, p.475, 1993) 磁気圏から磁力線に沿ってビームを打ち込むと、ミラー力で大部分跳ね返されるが、イオンと電子で重さが違うので、重力によって、高さ方向に到達高度のずれができて、電場ができる。
- mirror force + finite particles (Knight, PSS, p.741, 1973; Chiu and Schulz, JGR, p.629, 1978; Stern, JGR, p.5839, 1981; Lyons, JGR, p.17, 1980) 別にビームがなくとも、イオンと電子でかかる重力は違うし、ミラー力もかかるし、また、磁気圏には有限の個数の電子・イオンしかないで、駆動された全電流を流しきれずに電荷がたまると、電位差ができる。

- kinetic Alfvén wave (e.g., Hasegawa, JGR, p.5083, 1976; Lysak, GRL, p.2089, 1998) Alfvén 波による磁気圏・電離圏の coupling を考えて A C 的な沿磁力線電場を作る。
- electron inertia (Ronmark, GRL, p.983, 1999) kinetic Alfvén wave の一種だが、2 流体で考え、電子の慣性 (電子でも急には動けない) を考慮して電位差を作る。



- 磁気圏のプロセスによって電荷がたまり、上向き沿磁力線電流を駆動する。(電子が下向き・イオンが上向き移動)
- 電子・イオンはミラー力によって上向きに力を受ける。
- 磁気圏に有限の電子しかなければ、運べる上向き電流には限界がある。
- イオンは重いので急に動けない。また、重力によって下向きに力を受ける。
- 磁力線方向に沿って Jpara/B は保存。
- すべての場所で、電荷が「なるべく」neutral になるようにイオン、電子は移動する。→ 電場の高度分布を決める

MHD 近似におけるプラズマの運動方程式は、

$$nm \frac{dv}{dt} = -\nabla P_{th} + \mathbf{J} \times \mathbf{B} \quad (1)$$

または、 $\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J}$ より、 $P_B = B^2/2\mu_0$ として、

$$nm \frac{dv}{dt} = -\nabla(P_{th} + P_B) + \frac{1}{\mu_0} (\mathbf{B} \cdot \nabla) \mathbf{B} \quad (2)$$

(2) の右辺は、粒子圧の圧力勾配、磁気圧の圧力勾配、磁気線の張力、の3つの力の釣り合いを表し、釣り合いが破れたところで粒子が加速 ($nm dv/dt$) される。

(1) より、

$$\mathbf{J}_\perp = \frac{\mathbf{B}}{B^2} \times (nm \frac{dv}{dt} + \nabla P_{th}) \quad (3)$$

すなわち、磁気圏で \mathbf{J}_\perp を駆動する力は、

(1) 粒子の慣性による慣性電流

$$\mathbf{J}_{in} = \frac{\mathbf{B}}{B^2} \times (nm \frac{dv}{dt}) \quad (4)$$

(2) プラズマの圧力勾配による電流

$$\mathbf{J}_{\nabla P} = \frac{\mathbf{B}}{B^2} \times \nabla P_{th} \quad (5)$$

である。沿磁力線電流 \mathbf{J}_\parallel は、 $\nabla \cdot \mathbf{J} = \nabla(\mathbf{J}_\perp + \mathbf{J}_\parallel) = 0$ より求めることができる。

$$\mathbf{J}_\parallel = \mathbf{B} \cdot \left[\frac{2}{B^2} \mathbf{J}_\perp \cdot \nabla \mathbf{B} + nm \frac{\mathbf{B}}{B^2} \cdot \frac{d(\nabla \times \mathbf{v})}{dt} - \frac{\mathbf{J}_{in} \cdot \nabla(nm)}{nm B} \right] \mathbf{d}l_\parallel \quad (6)$$

この式は、沿磁力線電流を駆動する力が、(1) \mathbf{J}_\perp 方向の磁場勾配 (右辺第1項)、(2) flow の shear (渦) の時間変化 (右辺第2項)、(3) 慣性電流方向の密度勾配 (右辺第3項)、であることを示している。

参考文献

Hasegawa and Sato, in Dynamics of the Magnetosphere (ed. by S.-I. Akasofu), p.529, 1979.
Haerendel, in Physics of Magnetic Flux Ropes, AGU Mono. 58, p.539, 1990.

