

## 静止軌道プラズマ環境の極値統計解析

中村雅夫、米田麻人（大阪府立大学）、坪内健（東工大）

### はじめに

静止軌道の衛星帯電は、サブストームに伴う高温電子のフラックスにより引き起こされると考えられている。そのため、衛星帯電の発生頻度と電位を統計的に理解するためには、静止軌道のプラズマ環境の統計解析が重要である。特に、高電位の衛星帯電を引き起こすのは、稀におこる大規模なサブストームに伴う非常に高温の電子と考えられ、その発生頻度と最悪値を調べる必要がある。過去にも、Cho et al.によりLANL静止軌道衛星データを用いた解析がおこなわれているが[1]、本研究では、極値統計解析手法を用いて、より詳細に静止軌道プラズマの高温事象の発生頻度と最悪値を調べた。

### 極値統計解析

極値統計とは、稀にしか起きない極端事象を取り扱う理論を用いた統計であり、そこでは、取り扱う事象の標本平均はそれ程重要でなく、全体に対する端の方(分布の裾と呼ぶ)の位置や振る舞いが重要になる。本研究では、閾値モデル (POT: Peak Over Threshold model) に、一般化パレート分布(GPD: Generalized Pareto Distributions)を適応した極値統計解析をおこなう。一般化パレート分布では、条件付き確率分布関数  $F(X|X > \mu)$  が以下の形で表される。

$$F(X|X > \mu) \sim W_{\mu, \sigma, \gamma}(x) = 1 - \left(1 + \gamma \frac{x - \mu}{\sigma}\right)^{-\frac{1}{\gamma}}$$

$\mu$ 、 $\gamma$ 、 $\sigma$ は、それぞれ位置パラメーター、形状パラメーター、尺度パラメーターと呼ばれる。位置パラメーター $\mu$ は、閾値にあたり極値統計の適応領域を示す。形状パラメーター $\gamma$ が負( $\gamma < 0$ )の時、パレート分布IIと呼ばれ上限値( $\mu - \sigma\gamma$ )が存在し、ゼロ( $\gamma = 0$ )の時、thin tailを持つ指数分布で上限値を持たず、正( $\gamma > 0$ )の時、heavy tailを持つパレート分布と呼ばれ上限値を持たない分布となる。

### 解析結果

NASAのCDAweb[2]で公開されている7機のLANL静止軌道衛星のMagnetospheric Plasma Analyzer (MPA)のKey Parameterの全データに対し、電子とイオン温度の磁場に平行と垂直成分について極値統計解析をおこなった。通常極値統計解析では、観測データを真値の標本として、平均超過関数などを用いて閾値を決め、最尤法を用いて一般化パレート分布のパラメーターを決定する。しかし、LANL静止軌道衛星の温度データの極端領域にエラーデータとも考えられる不自然なデータ(標本)が見られ、それをそのまま解析をおこなうと、温度に上限値が存在せず、実際には考えられない高い頻度で極端現象が

起こると推定されてしまう。そこで本研究では、観測データの確率密度関数 (PDF: Probability Density Function) の極端領域に一般化パレート分布曲線を視覚的にフィッティングすることによりパラメーターを決めた。図1に、電子温度の磁場に平行成分に対しておこなった解析結果を示す。黒丸は観測から求めた確率密度関数、図中の2つの曲線がフィッティングの結果得られた一般化パレート分布曲線で、異なる適応範囲を持つ2つの極値分布が得られた。なお、観測と推定がずれる高温領域の頻度が低い観測データはエラーデータと考えているが、より詳細に検証する必要がある。この解析から、電子温度の磁場に平行成分は上限値 45.3 keV を超えることは無く、例えば SCTHA 衛星で観測された最悪値の 25 keV 以上の電子が観測されるのは 10 年間に 4.1 回程度と推定される。

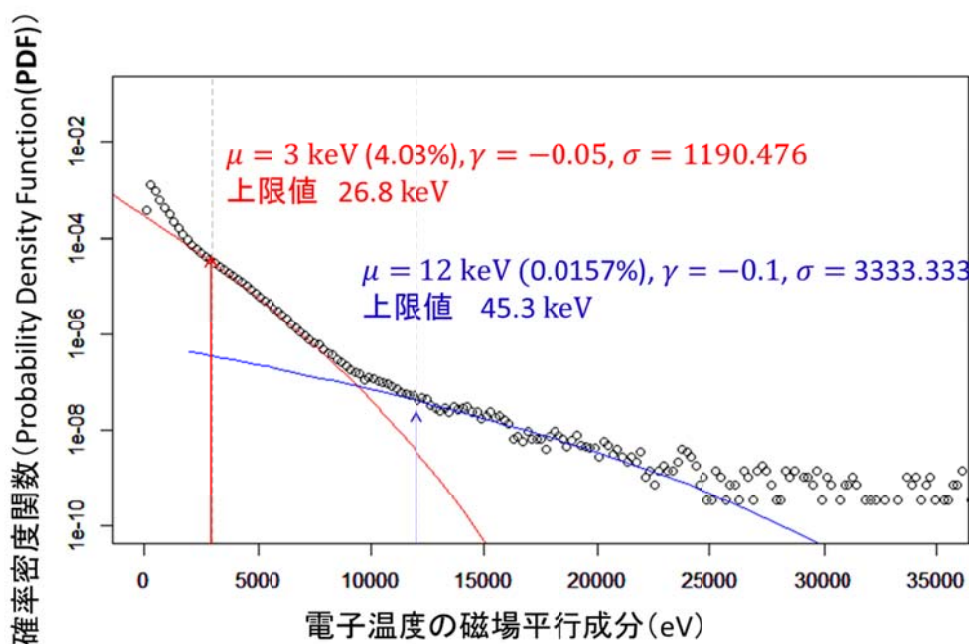


図1：電子温度の磁場に平行成分の確率密度分布と一般化パレート分布曲線

## まとめ

静止軌道プラズマの電子とイオンの温度に対して極値統計解析をおこない、極端に高温度な事象の発生頻度と上限温度を推定した。この静止軌道プラズマ環境が荒れた事象の極値統計解析結果から、人工衛星を設計する際の基準を得ることができる。

## 参考文献

[1] Cho, M., Kawakita, S., Nakamura, S., Takahashi, M., Sato, T. and Nozaki, Y., "Number of arcs estimated on solar array of a geostationary satellite", Journal of Spacecraft and Rockets, vol.42 no.4, pp.740-748, 2005.

[2] <http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/>