

プラズマ速度分布データへの Maxwell 混合分布モデルの応用

Application of Maxwellian mixture model to plasma velocity distribution

上野 玄太[1], 樋口 知之[1], 町田 忍[2], 荒木 徹[3], 斎藤 義文[4], 向井 利典[4]

Genta Ueno[1], Tomoyuki Higuchi[2], Shinobu Machida[3], Tohru Araki[4], Yoshifumi Saito[5], Toshifumi Mukai[5]

[1] 統数研, [2] 京大・理・地球惑星, [3] 京大・理・地球物理, [4] 宇宙研

[1] ISM, [2] Inst. Stat. Math., [3] Dept. of Geophys., Kyoto Univ., [4] Geophysics, Kyoto Univ., [5] ISAS

近年の衛星観測から、3次元プラズマ速度分布の精密な測定が可能になり、その結果、熱平衡状態にまで緩和しておらず、速度分布に複数の極大を有するプラズマが存在することが明らかになった。このようなプラズマに対しては、速度分布函数を一括して扱う単純なモーメント量（数密度、平均速度、温度）を用いるのではなく、これら複数の成分を独立に抽出し、おのおののモーメント量により議論することが望まれる。しかし、複数成分は部分的に重なり合う場合が多いので、成分の独立抽出を客観的な方法で実施することは難しく、観測例を数多く統計的に扱う場合には問題はより一層深刻であった。そこで、3次元プラズマ速度分布に3軸非等方 Maxwell 分布（多変量正規分布）の混合分布モデルを適用する方法を導入した。

混合分布モデルの適用対象は、速度分布函数を数密度で規格化して得られる確率函数である。この確率函数を、Maxwell 分布の和からなる混合分布モデルであてはめる。この混合分布モデルの対数尤度を偏微分して0とおくことにより、各分布の混合比、速度ベクトル、温度行列、事後確率の推定値の表式が得られることから、それらの式をもとに、事後確率を欠測データとして扱い、EM アルゴリズム (Expectation-Maximization Algorithm) を用いて未知パラメータを反復的に推定する。

また、データにモデルが自動的に当てはめられるようになった今、データを人間が参照しないでその妥当性を判定する数値的基準が必要になる。例えば、2こぶの観測データを2成分混合分布で当てはめるのはよいが、1こぶの観測データを2成分混合分布で当てはめ、その結果をもとの観測データの特徴を考慮せずに用いるのは好ましくない。そこで、ここではまず2成分混合分布モデルで当てはめを行い、得られたモデルが2こぶを持つならば元のデータも2こぶを持つと予想されるためそのまま2成分モデルの結果を採用し、もしモデルが1こぶしか持たない場合には改めて1成分モデルでの当てはめを行ってその結果を採用することとした。

以上の方法を磁気圏尾部での観測データに適用すると、共存する高温および低温の成分の各々のモーメント量を取り出すことができた。また、電子の速度分布データにモデルをあてはめることで、ノイズである光電子成分の寄与を除いた自然電子成分のモーメント量を得ることができる。