

PEM026-03

会場:101

時間:5月24日 14:45-15:00

## 無衝突プラズマのエントロピーにおける粗視化の問題 Coarse-grained entropy of collisionless plasmas

中村 匡<sup>1\*</sup>

Tadas Nakamura<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 福井県立大学

<sup>1</sup>Fukui Prefectural University

宇宙空間プラズマでは、二粒子間衝突の頻度が無視できるほど小さいため、速度分布が長時間マクスウェル分布から大きく離れた状態になっていることが頻繁にある。このような非平衡の速度分布  $f(x,v)$  が与えられた場合、いわゆる情報エントロピーは  $f \log f$  を積分して計算することができる。しかしプラズマの分布関数が熱平衡分布（マクスウェル分布）から離れている場合、この情報エントロピーと熱力学的エントロピーは直接には結びついてはおらず、したがって、分布関数というミクロな量と温度や自由エネルギーなどのマクロな熱力学的物理量の関係も不明である。昨年秋のSGEPSS講演会で、仮想的な準静過程を使って「自由エネルギー」の上限を見積もる方法と、それにとまなう諸問題について報告したが、今回は、その問題の中で応用上もっとも深刻と思われる粗視化の問題について考える。

無衝突プラズマを記述するブラソフ方程式に従えば、 $f \log f$  を積分して得られたエントロピーは時間変化しないということが知られている。しかし、現実のプラズマに起こっている諸現象は不可逆であるので、この情報エントロピーは不可逆性の指標としては適当ではないと考えられる。そこで、位相空間内の有限体積内で平均した分布関数、つまり、いわゆるいわゆる粗視化した分布関数を使って情報エントロピーを計算すると、これが時間変化することは示せる。この時間変化が時間発展にともなって単調増加かどうかは未解決問題ではあるが、それを仮定すると、上述の準静過程による議論で、熱力学的な応用が可能になる。

ところが、この粗視化による情報エントロピーの計算には重大な問題がある。エントロピーの値そのものが、粗視化のプロセスにつかう位相空間体積平均のサイズによってしまうという問題である。このサイズは、情報エントロピーを可逆性の指標とするために仮想的に導入したものであって、選び方に恣意性があり、現実の物理量には対応しない。したがって、計算した情報エントロピーがこのサイズによるということは、そのエントロピーそのものが確定した物理量ではないことを意味する。

これは応用上重大な問題である。人工衛星などで観測されたプラズマ分布関数というものは、観測機の観測精度によって粗視化されたものであり、これからエントロピーを計算すると、値が観測精度によって変わってしまうことになる。また、粒子シミュレーションやブラソフなどでも、エントロピーを計算するときには、グリッドサイズなどで粗視化した分布関数を使わざるを得ないので、同様な問題が生ずる。講演では分布関数の粗視化とエントロピーの関係を議論し、確定した物理量としてなにをみつかわかべきを考える。

キーワード: 無衝突プラズマ, Vlasov 方程式, エントロピー, 熱力学

Keywords: Collisionless Plasma, Vlasov Equation, Entropy, Thermodynamics