

無衝突プラズマの非平衡エントロピー

中村 匡 [1]
[1] 福井県大

Non-equilibrium thermodynamical entropy

Tadas Nakamura[1]
[1] FPU

<http://mira.bio.fpu.ac.jp/tadas>

It is known space plasmas often have non-equilibrium distribution functions because their binary collision frequencies are extremely low. Given a non-equilibrium distribution f , it is possible to calculate information theoretic entropy by integrating $f \log f$. It is known, but not well understood, that the information theoretic entropy is not directly related to thermodynamical entropy; thermodynamical entropy is defined only when the system is in equilibrium. For instance, it is not known how to relate information theoretic entropy to thermodynamical quantities such as free energy.

However, we plasma physicists intuitively believe that non-equilibrium distribution has some kind of "free energy"; we expect unstable non-equilibrium distribution causes instability because of its "free energy". The purpose of the present paper is to define this "free energy" based on the information theoretic entropy.

Two assumptions are postulated to this end: (1) information theoretic entropy does not decrease in a isolated system; (2) information theoretic entropy corresponds to thermodynamical entropy when the distribution function is Maxwellian. In the presentation, discussions will be given on the plausibility of these assumptions as well as the tactics for actual calculation of "free energy".

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ッ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 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。これはボルツマンの H 関数に対応するものである。この情報エントロピーは「エントロピー」という名前がついてはいるが、いわゆる熱力学的エントロピーとは直接関係はなく、その値から自由エネルギーなどの熱力学的変数を算出する方法は知られていない。熱力学的エントロピーとは、熱平衡状態でしか定義できないためである。この点については誤解が多く、とくに近年、衛星観測で得られた分布関数から情報エントロピーを計算して、それを熱力学的エントロピーと混同して議論する研究が散見される。

しかしながら、非平衡状態の分布関数は、自由エネルギーのようなものを含んでいるということは直感的に期待される。たとえば、非平衡の速度分布から不安定性によって波動が生じる過程を、われわれが漠然と「非平衡分布の自由エネルギーが波動のエネルギーに移った」などと表現するとき、暗黙のうちに非平衡分布でも「自由エネルギー」という概念が使えることを想定している。

本研究では非平衡分布の情報エントロピーを熱力学的変数と関連付ける方法について考察する。そのため(1)孤立系では情報エントロピーは常に増大する(2)分布がマックスウェル分布の場合、そこから計算した情報エントロピーは熱力学的エントロピーに対応する、という二点を仮定し、それから利用できる最大エネルギーとして自由エネルギーを算出する。この二つの仮定は一見妥当のように思えるが、実は無衝突プラズマの場合には非自明であり、とくに仮定(1)は粗視化した分布関数に対してエントロピーが増大するのか、という昔からある難問を含んでいる。講演では、実際の計算法とともに、これらの仮定の妥当性や結果の有用性などについても議論する。