

## 無衝突プラズマの不可逆性

# 中村 匡 [1]  
[1] 福井県大

## Irreversibility of Collisionless Plasmas

# Tadas Nakamura[1]  
[1] FPU

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

It is often said that physical processes in collisionless plasmas are reversible. This is because the collision term, which is believed to cause reversibility, is absent in the Vlasov equation. It is true that the collision term is the source of irreversibility, but it does not necessarily mean it is the only source of reversibility. Moreover, the collision term in the Boltzmann equation is an *ad hoc* term introduced to express the relaxation process in collisional gases; microscopic equation of each particles is reversible.

What is discussed in this presentation is the reversibility resulting from microscopic equations; collisionless plasmas is a good example. When we define an irreversible process as 'a process whose time reversal evolution does not spontaneously happen almost for sure', then irreversible processes may take place in a system with large number of degree of freedom even without dissipations. For example, suppose an instability leads a perfect fluid to turbulent flow starting from an equilibrium state. The time reverse process of this turbulence never happen *almost surely*, in mathematical meaning (means zero probability measure). In this sense, the process is as irreversible as processes in collisional gases.

There had been long controversy on the origin of reversibility from the very beginning of statistical physics. In the presentation, controversy such as Loschmidt's reversibility paradox or Poincaré's recurrence theorem will be discussed along with the modern perspective of typicality. Also, the problem of statistical equilibrium for collisionless system will be examined.

講演者は、2016年春の地球惑星連合大会でランダウ減衰の不可逆性について論じた。多くの教科書では、ブラソフ方程式に衝突項がないため、無衝突プラズマで起こる現象は可逆であると解説している。しかし、衝突項によって不可逆性が生じるという事実は、衝突項がなければ可逆であるということを必ずしも意味しない。また、衝突項というのは気体の緩和過程を表現するために *ad hoc* に入れられた現象論的な項と考えられ、このため、もともとの微視的な運動方程式は可逆であるのに、巨視的には不可逆性があらわれてくる。

流体的線形波動などのごく限られた場合をのぞいて、可逆な方程式で記述される巨視的な現象の多くが不可逆であり、無衝突プラズマもその一例である、というのが本講演の論点である。「可逆」という言葉を字義通り、つまり「時間逆転をした過程が実際に起こりうる」という意味に解釈すると、衝突のあるなしに関わらず、多自由度系の現象は不可逆性をしめす。たとえば、散逸のない理想流体で、動的平衡状態から不安定で乱流がおこる場合、乱流が飽和した状態を長時間放置しておくともどるような現象は、ほぼ確実（数学的に確率測度ゼロという意味で）に起こらないからである。

不可逆性の起源については、統計力学の黎明期から現在に至るまでいろいろな議論がなされている。講演ではロシュミットの逆行性批判やポアンカレの再帰定理などの歴史的な話題から、近年盛んになってきた典型性の議論までをふまえて、無衝突プラズマの不可逆性について論じる。また、その不可逆性が行き着く先である、無衝突系の平衡状態についても考える。