

## 非線形無衝突プラズマの「不均質」な複雑性

## Nonlinearity, Stochasticity, and Multi-scale Couplings in Collisionless Plasmas

吉田 善章 [1]; 松元 亮治 [2]; # 中村 匡 [3]

Zensho Yoshida[1]; Ryoji Matsumoto[2]; # Tadas Nakamura[3]

[1] 東大・新領域; [2] 千葉大・理・物理; [3] 福井県大

[1] Grad. School Frontier Sci., Univ. Tokyo; [2] Dept. Physics, Fac. Sci., Chiba Univ.; [3] FPU

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

天文・物理・地球物理の広い分野にまたがって、プラズマの非線形性・乱流の研究は基礎・応用ともに興味をつきない話題を提供し続けている。この種の問題を考える時、プラズマの（中性流体と対比される）著しい特徴のひとつは、いろいろな固有スケールによって階層が定義されることである。イオンや電子のジャイロ半径や慣性（スキン）長、デバイ長などは、それぞれ異なる運動様式が支配するスケールを規定している。このような階層性は、スケール不変性（相似則）を壊すために、フラクタルのような「均質な複雑性」ではない、極めて多様な構造（不均一性）を作り出す。その「構造」を媒介にして階層間の連関が生まれる。構造の形成には非線形性が重要な働きをしており、理論としては「特異点」あるいは「特異摂動」の問題としてアプローチされている。

種々の固有スケールをもつ物理素過程の協調結果として、実際に実験・観測でみられるプラズマ中の現象が生じるわけだが、これは予想されるようにきわめて多彩で複雑な広がりを見せている。そして近年の実験・観測・シミュレーションの高精度化にともなって、この多彩な現象の本質に迫る手がかりがそれぞれの分野で得られつつあると期待したい。たとえば、天文学で長年研究対象になってきた降着円盤の問題に、新たにプラズマ乱流の視点から光があたっているのは他分野でもよく知られている。また近年、銀河団プラズマにおける熱輸送の問題が注目されている。近年の観測から、銀河団中心部のプラズマが従来理論的に予想されていたほど冷えていないことがわかり、加熱源が問題になっている。また、地球磁気圏などの *in situ* なプラズマ観測も、異なる固有スケール間の協調現象をターゲットにした多点・高精度の観測計画が提案され、たとえば、運動論的な微視的現象がリコネクションや境界層乱流輸送などの大規模現象をいかにコントロールするか、などの研究が活発になっている。

このような現象は必然的に非線形問題になるが、非線形方程式の数学的な構造によって秩序構造の性質をある程度予測することができる。例えば、ねじられた磁力線が最も小さなエネルギーをとろうとすると Taylor relaxed state とよばれる状態になることが知られており、太陽コロナなどは、これに近いと考えられている。流れの問題は、これよりずっと難しくなるが、例えば木星大気の大規模な帯状流などは、ある種のエネルギー極小状態であると考えられる。核融合プラズマの研究では、プラズマをできるだけ「自然なありよう」で安定的に閉じ込めて高い性能を得ようとする試みが続けられているのだが、その答えは、このような自己組織化のメカニズムを理解することにあるだろう。近年の研究では、マイクロな乱流からマクロな流れが自発的に形成されることで、プラズマの閉じ込め特性が

改善されることが知られるようになった。

本講演会の短い講演時間の中に、ここにのべた多彩な研究内容について網羅的に記述することは望むべくもないが、いくつかの典型的な例を紹介する個とによって、物理・天文・地球物理という狭い枠をこえて、プラズマ非線形現象に通底する問題意識のようなものをいくばくかでも明らかにすることが本講演の意図する所である。