

## 原子・緩和過程に支配されるプラズマの相乗的複雑性と構造形成

## Synergetic Complexity and structure formation of plasmas dominated by atomic and relaxation process

# 岸本 泰明 [1]

# Yasuaki Kishimoto[1]

[1] 京大・エネ科

[1] none

<http://www.center.iae.kyoto-u.ac.jp/kishi/index.html>

これまで、核融合プラズマ研究では、乱流輸送現象や電磁流体现象を中心に、散逸の微小な高温プラズマの物性が精力的に研究され、理解が進展した。一方、自然界のプラズマや実験室・産業応用のプラズマに広く目を転じると、ここでは、固体や液体などの凝集相や気相、あるいは少数多体系としての特性を持つクラスターや粉塵なども含め、様々な状態にある物質が、様々な波長領域の輻射場や荷電粒子との相互作用による多彩な原子・分子過程、衝突緩和過程を通して、中性原子や分子、多価イオンや電子などが共存した複雑なプラズマ状態を作り出している。このようなプラズマ状態は反応性媒質としての特性を有し、多くの場合、非平衡かつ非定常で不均一性が強く、また外場のみならず媒質自身が自己無撞着に作る内場との非線形相互作用を通して通常の中性気体では見られない豊富かつ新奇な現象を創出する。これらの状態は、近年著しい展開を見せている高強度レーザーと物質との相互作用におい創り出されるプラズマや成層圏や磁気圏で発生する放電・雷過程、太陽表面や輻射場の影響を受けた星間プラズマの中にも普遍的に見ることが出来る。これらは、分子・原子過程が強く関与した非線形媒質として物性論の立場からも興味深い研究対象であるが、必ずしも完全な解明には至っていない。これは、原子・分子過程や緩和過程を含んだプラズマ挙動が極めて複雑であり、そのモデル化が困難なことにも起因している。

これまでの研究では、与えられた外場における単一あるいは少数原子・分子の分子動力学に準拠したモデルや、媒質全体を理想的なプラズマ状態と見なし、近接粒子間の相互作用を無視した平均場中での集団的相互作用を記述するモデルが中心であった。我々はこのような中性原子や分子、多価イオンや電子が共存した複雑なプラズマ現象の理解を目的に、マクロないしセミマクロな系の解析に適したプラズマ手法を基礎に、電磁場や粒子衝突による物質の電離・再結合過程、生成された荷電粒子間のクーロン衝突・緩和過程などの様々なマイクロ過程を導入した拡張型粒子シミュレーションコード (EPIC3D) の開発を進めている。最近、この EPIC3D を用いて、圧縮気体の放電・雷過程や極短パルス高強度レーザーと固体やクラスター媒質との相互作用シミュレーションを行い、原子過程が強く関与した様々な時定数を持った過渡過程やそれに由来する顕著な構造形成現象が見出されている。

放電・雷過程のシミュレーションでは、発生初期の線状構造を持ったストリーマや微細な枝葉分岐構造を持ったスプライトと云った電離構造の再現に成功している。これらの構造形成は、時定数の異なった電離過程によって支配されており、突発的かつ大域的な相変化を伴った電離ダイナミクスが見出されている。このような放電・雷過程は長い研究の歴史にもかかわらず未解明な部分が多く、現象の突発的な発性機構や微細な分岐構造の出現は統計力学や非線形物理の観点からも興味深い。シミュレーションにおいても分岐構造のフラクタル性が観測されている。このような放電・雷過程は学術的観点のみならず、回路の短絡にかかわる様々な電気工学デバイスの健全性や、また落雷発生時の電磁波障害やレーザー誘雷等の落雷回避の工学的観点からも重要である。

また、高強度レーザーと固体との相互作用シミュレーションでは、高エネルギー電子の生成に伴う電子衝突による電離過程に加え、固体中を高速で運動する電子流によるプラズマ波のチェレンコフ放射によってプラズマ波乱流が励起され、その乱流場によって光速の 30% に及ぶ高速の電離波伝播が観測された。また、電子熱伝導による熱波電波と電離波伝播が連動して物質のイオン化を促進することなども見出され、これまで考えられていた以上に複雑な電離ダイナミクスを通して物質はプラズマ化することが分かってきている。

本報告では、上記のような物理過程を「無衝突プラズマとしてのマクロ (セミマクロ) なダイナミクス」と「原子・分子過程や衝突緩和過程、輻射過程などのデバ依長内部のマイクロなダイナミクス」の結合によって作りだされる「相乗的複雑性」と位置づけ、このような視点に基づいて原子過程や緩和過程が強く関与したプラズマのダイナミクスを議論する。

[1] Y. Kishimoto and T. Masaki, A paradigm of kinetic simulation including atomic and relaxation processes &#8211; A sudden event in lightning process&#8211;  
J. Plasma Phys. accepted for publication (2006)

[2] T. Masaki and Y. Kishimoto, Multi-stage ionization dynamics of carbon film irradiate high power lasers,  
Journal of Plasma and Fusion Research, 81, No.10, 643-644 (2005)