

III-5

プラズマの学術と検討課題 Fundamental Plasma Physics and Research Subjects

伊藤公孝^{a,b}、Kimitaka Itoh^{a,b}

核融合科学研究所^a、九大伊藤極限プラズマ研究連携センター^b

NIFS^a, Itoh Research Center for Plasma Turbulence Kyushu Univ.^b

核融合研究開発の転換期には、プラズマ物理の problem definition も行われて来た。核融合原型炉の設計を進める時代を迎える時に、プラズマ物理など基礎学術研究の位置づけと課題を考えてみたい。

ケルビン卿の展望

歴史にアナロジーを求めれば、19世紀物理学の大躍進とその転換がある。Newton による天体の力学と地上の力学の統一、Maxwell による力学と電磁気学の統一を達成し、物理学がほとんど完成されたと考えていた当時の気風のなか、20世紀の物理研究は、「物理学の行方に黒雲が立ちこめている」というケルビン卿の言葉で始まった。当時、エーテルと固体比熱の問題があり、この問題は相対論と量子論の出現によって解決された。ほとんど完成された体系に収まらない特異な問題が、新しいより豊富な学問を作り出すという、基礎科学進展のプロトタイプになっている。

原型炉設計へと展開するとき基礎学術が受け持つ重要課題は、「想定」の中に潜む問題を析出させ、解決のための新しい学問方法を生み出す事にある。

原型炉実現の判断

原型炉の設計は製作を目指している。実行の判断の基盤を提示することも基礎科学の受け持つ重要課題である。

未踏領域にチャレンジする大型研究では、「研究目的がどれだけ満たされるか」本来的に不確かさを伴う。(結果の見通しが確実に分かっているようでは「未踏領域」ではない。) この背反する要因をもつ未踏領域研究の可否判断は、確率的期待度評価法を導入して中心的な目標の達成可能性を評価するとともに、関連する「研究領域」の概念を定義し、双方の観点からプロジェクト計画遂行の妥当性やあり方を考えるべきである。[1]

核融合研究に於ける問題

中心的な目標の達成可能性評価の観点から、基礎科学の位置づけを見てみよう。核融合炉設計では、エネルギー閉じ込め時間のようなデータが集められて外挿される。外挿の基礎として、温度勾配と熱流の関係が $q = -\chi \text{ grad } T$ (または輸送行列) のような拡散的な輸送が想定され、それをもとに核融合燃焼の動的応答が予想される。ここに

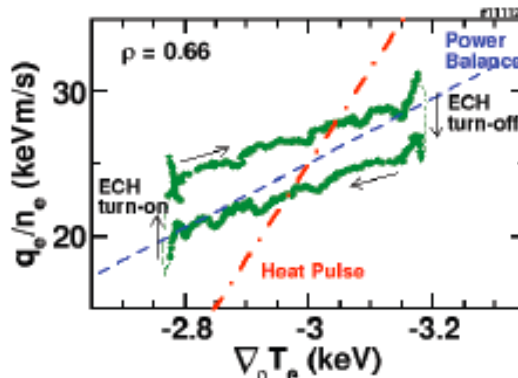


図1 熱流と勾配の関係。観測の成果(実線)と従来の拡散モデルで推定(点線・破線)を比較。

は仮定が潜んでいる。最近、精密な観測により、熱流と勾配との間にはヒステリシスが存在する事がLHDにおいて明らかになった[2]。このヒステリシスは、プラズマ中のマイクロ乱流がプラズマ全体のマクロな構造と結合している事に起因する、乱流プラズマに普遍的な現象と考えられる。結果の一例を図1に引用する。従来信じられて来た関係とは全く異なり、核融合炉燃焼の動的応答の予想に大きな影響を与える。

エネルギー閉じ込め時間に対する水素同位体効果も同様な位置にある。

こうした問題を的確に同定し、信頼性の高い解決を提供する事が基礎科学の重要な位置づけである。

研究の普遍化による推進と新しい学問

上記「研究領域」も具体的に考える事が出来る。

プラズマ研究は、現代の科学・技術・産業の基幹をなし、将来の発展の源である。特に極限的な非平衡状態でのプラズマ（揺動や場の励起スペクトルが熱平衡の等分配則からかけ離れ、強い時空不均一性やダイナミクスを含むプラズマ）研究は、基礎物理学の中心課題としてのインパクトに併せ科学技術イノベーションを先導するポテンシャルも持つ。最近の進展において、「極限的非平衡性」が多様なプラズマの特徴（ダイナミクスや機能）を説明する上での鍵概念であることが示されている[3]。このような極限的非平衡性を持つプラズマの統合研究を更に発展させ、爆発的に拡大するプラズマの観測情報を整理統合し、非平衡極限プラズマの学理基盤を活かした予測能力を展開することにより、現在試行錯誤や経験則で開発されているプラズマ加工法や核融合研究においても、研究開発を格段に加速出来る。この展望に立って「非平衡極限プラズマ全国共同連携ネットワーク研究計画」が提案され、日本学術会議提言「学術の大型施設計画・大規模研究計画—企画・推進策の在り方とマスタープラン策定について—」(2010, 2011)[4]に採用され、現在、同2014版への採択が審議されている。

基礎学術が果たす役

未踏領域にチャレンジする大型研究では基礎学術が果たす役は大きくチャレンジも大きい。プラズマ物理学・核融合科学研究それ自身の価値を確立し、核融合炉の実現をより確実なものとし、近い将来に学術界や社会へ研究の成果を循環させる大役である。

謝辞：本稿をまとめるにあたっては、山田弘司、伊藤早苗、および非平衡極限プラズマ全国共同連携ネットワーク研究計画の皆様との議論に感謝します。また、科学研究費(21224014, 23244113)の支援に感謝します。

[1] 伊藤早苗:「未踏領域の研究の評価と判断」、学術の動向 **9** (2004) No.6, 42

[2] S. Inagaki et al., Nucl. Fusion **53** (2013) 113006

[3] 伊藤早苗、兒玉了祐、藤澤彰英他、J. Plasma Fusion Res. **87** (2011) 371

[4] 日本学術会議提言「学術の大型施設計画・大規模研究計画—企画・推進策の在り方とマスタープラン策定について—」

<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-21-t90-2.pdf>,