

# The Physics of Laser Plasmas and Applications - Volume 1

## Physics of Laser Matter Interaction

Hideaki Takabe (384 pages)

ISBN 978-3-030-49612-8      ISBN 978-3-030-49613-5 (eBook)

<https://doi.org/10.1007/978-3-030-49613-5>

Springer Nature Publisher, August 29, 2020.

### ■ 以下、上の本の案内 ■

本書の案内(Springer page)

<https://www.springer.com/jp/book/9783030496128>

本書の Preface and Contents の PDF がダウンロード可能。

<https://link.springer.com/content/pdf/bfm%3A978-3-030-49613-5%2F1.pdf>

本書の中身全てを紹介(Book preview)

<https://books.google.co.jp/books?id=hf75DwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ja#v=onepage&q&f=false>

Amazon で購入。

<https://www.amazon.co.jp/-/en/Hideaki-Takabe/dp/3030496120>

以下に、読みやすいように本の Preface(まえがき)の和訳を示します。謝辞の部分は省略しています。全3巻でどのような内容を議論しようとしているか御理解いただけたと思います。第2巻は来年前半、第3巻は来年度内の刊行を目指して執筆中です。

なお、全3巻とも出版社の契約は「原稿買取」です。ですから、たくさん売れたからといって私個人が利益を売るわけではありません。その意味で、これは刊行された本を広く知っていただくための案内であり、商業活動ではないことをご理解ください。

## 「まえがき」和訳 (Preface: 謝辞除く)

今年 2020 年はレーザー誕生から 60 年です。1960 年、メイマンがレーザー発振に成功したとき、衝撃的な新しい光の発明として世界中にニュースが流れました。4 年後、「007」の映画「ゴールド・フィンガー」のシーンにレーザーが登場し一般の人も未来の光を目にし驚きました。そして、1972 年にレーザー爆縮核融合の概念が Nature 誌に登場し、翌年の石油危機の後押しもあり、核融合を目指す大型レーザーが建設されました。エネルギー危機による社会の混乱は学生の私を核融合エネルギーに惹きつけ、私は研究者の道を選びました。

大学院生、若手教員としてレーザー核融合研究に邁進。大型レーザーによる実験を解析する内、諸々の物理が絡む物理統合型の解析の難しさに直面しました。現象はミリの空間で起こる流体、放射、輸送、原子、運動論などが絡んできます。非線形プラズマ物理、カオス物理、非平衡・非局所な物理、非平衡原子物理、オパシティ、電磁場・流体の乱流など多様な物理が現象を支配している。宇宙物理の多様な課題が空間ミリ以下の爆縮されたプラズマに凝縮されている。時間と空間が 10 桁以上小さい世界で同じ物理が織りなす現象です。

さらに、1980 年後半、パルス圧縮法 (CPA) が G. Mourou 達により発明され (2018 年ノーベル賞)、高強度レーザーの強度をさらに 1 万倍以上に高くできるようになりました。超高強度なレーザー場は電子を相対論的に加速し、電子のローレンツ因子は 1 万にも達します。この新たな技術は小規模な研究室で相対論的プラズマ物理学の研究を可能としました。同時に相互作用がカオス物理に支配されることが明らかとなりました。

過去 60 年で、レーザー生成プラズマの物理の学術は成熟し、挑戦的な課題を私たちに突きつけてきました。課題が明らかになってきたのは、超微で起こる超短時間の現象を計測する技術の進歩があったからです。ただし、高強度レーザーによるプラズマの基礎科学研究から産業技術にいたる幅広い応用には、さらに物理現象を解明し、実験を積み重ね、プラズマを制御していく研究が必要です。

私は理論・シミュレーション手法で 40 年間、レーザー・プラズマ物理学を研究してきました。私は核融合の大型レーザー激光 XII 号と超高強度レーザー LFEX を有する大阪大学で研究してきました。同僚の多くが実験家であり、彼らと議論し、彼らから評価され、批判されて来たことは理論と実験を結びつける場として大変貴重な環境でした。そして世界中の研究者と議論できたことで多くの刺激を受けてきました。

私がこの三冊の本を書こうとしたとき心がけたことは、物理の説明は数式に終わらず、直感的に本質が理解できるように説明することでした。実験家が物理のコアをイメージできるように工夫しました。同時に、専門家以外の学生・研究者に興味を持って頂くように、

複雑な方程式を使わないように心がけました。概念図を適宜配置し、物理のイメージ理解に役立てました。本書にはレーザー・プラズマ物理の宇宙物理解明への応用である「実験室宇宙物理」の話題を各所に紹介しています。これはレーザー爆縮核融合と超新星爆発に於ける流体乱流による物質混合の物理類似性から著者が発想した学術です。具体的な実験の提案なども紹介しました。

この本は1冊の本として書き始めました。しかし、書き進む内に1冊ではレーザー・プラズマの学術の全容を伝えることが出来ないと考えようになりました。そして、執筆開始から1年ほどして全3巻は必要であると判断したのです。第1巻は高強度レーザーの場のエネルギーが電子の運動エネルギーに変換される物理(吸収過程)と、電子がもらうエネルギー形態、つまり、非熱的過熱を議論します。相対論的領域ではカオス物理がとなり非局所加熱や確率論的過熱を議論します。第1巻では電磁気学、力学、解析力学、量子力学、相対性理論の基本的な知識を仮定して議論を進めています。

第2巻はレーザーで加熱され、生成されたプラズマの物理学を議論します。プラズマはほぼ局所熱平衡にあると仮定しています。レーザーによる急激な加熱により、固体物質の表面は高温となり、生じる百万気圧を超える圧力は強い衝撃波を生みます。固体を超える密度で超高温の物質は惑星や星の内部のプラズマを再現します。研究の基本は圧縮性流体力学です。加熱と高圧を結びつけるのはエネルギー輸送です。非局所的エネルギー輸送が大きな課題になります。プラズマ流体の応用は爆縮核融合ですが、爆縮現象は球対称からずれるのが自然の摂理。そこに見られる磁場生成や流体不安定の物理を議論します。不安定も非線形に発展すると乱流状態になります。乱流による物質の混合(乱流混合)はそれ自体が理学として奥深いのと、これを解明し制御すること無しにレーザー核融合は実現できません。さらに、制御できるかどうかは現時点では不明です。第2巻の基礎として流体力学、熱力学、統計力学、量子統計力学、原子物理学が必要です。

第3巻では無衝突で非平行なプラズマ物理学を議論します。個体に比べ低密度の膨張プラズマは密度が荒く言うと  $10^{21}\text{cm}^{-3}$  以下で、温度は 1keV 程度です。低密度ではプラズマはクーロン散乱に対し無衝突衝で、分布関数も Maxwell 分布からずれた非熱平衡な性質が重要になります。無衝突衝プラズマでは電磁場の擾乱が不安定となり粒子と場の相互作用がプラズマの流体現象に大きく影響してきます。その結果、粒子加速、異常輸送、反物質生成などを議論する必要性が生じます。またレーザー生成のガンマ線は光核反応の研究に有益です。第3巻では、電磁気学、運動論、統計力学、相対論、核物理、量子電気力学の基礎から議論を始めます。

レーザー・プラズマ物理学の特徴は単一の学術分野でなく、統合型物理と表現できます。学術として陸上競技で比喻するなら、「100メートル競争」のように単一の能力の世界

を追求するのではなく、「十種競技」のように多彩な能力がバランス良く求められます。普段の勉強と努力により本質を見抜く眼力を養っていくことが求められます。

私は理論プラズマ物理学者ですから、教科書では主に理論的な議論を展開しています。実験では計測法はデリケートで誤差も含め専門的知識を必要とします。本書では実験結果を沢山引用しましたが、診断方法や計測精度については議論していないことをお断りしておきます。論文の引用は出来るだけ最新の論文を読み、私にとって有益と思われた論文のみに限っています。関連した論文を多数引用するのは、読者を惑わすと考えました。引用した論文は専門家が物理をより深く理解するために役立つと考えています。

## 第 1 巻の案内 (裏表紙の和訳)

全 3 巻で、レーザーと物質の相互作用、高温高密度プラズマの圧縮性流体の物理、レーザー・プラズマ中の荷電粒子の運動論的物理学を紹介します。第 1 巻は高強度レーザーの物質、プラズマ中での吸収の物理を非相対論と相対論の強度の場合について議論します。非専門家でも個々の物理の直感的なイメージがつかめるように説明を試みています。

集光されたレーザー強度が  $10^{13-16}\text{W}/\text{cm}^2$  の場合は主に、レーザー電場による振動エネルギーがイオンとの非断熱的クーロン衝突により熱運動に変換されます。プラズマ中の集団運動とレーザー場の結合でエネルギーが変換される現象も説明しています。本書の主な話題はレーザー強度が  $10^{18}\text{W}/\text{cm}^2$  近辺からそれ以上の超高強度レーザーの電子との相互作用の物理です。この領域では電子の相対論的かつ非線形、カオス的な運動がエネルギー変換の物理の本質になります。

相対論効果により、相対論的質量変化、相対論的非線形効果、電子のカオス的運動などが、新しい物理として登場します。この本では広い強度領域で起こるレーザー・プラズマ相互作用の物理にチャレンジします。

本書は学部高学年、大学院生や高強度レーザーが固体やガスやプラズマなどの照射された時に起こる物理を知りたい読者に最適なテキストです。複雑な数式を使わずに議論が進展するので、工学系の学生や研究者、さらに、自習用の教科書として価値がある本です。