

まえがき

光が当たることによって物質が変質するという現象は、染料（色素）の退色、植物における光合成反応、視覚の初期プロセスの例に見られるように、すでに19世紀から身近で重要な問題として研究の対象であった。光物質変換の研究には歴史上いくつもの節目があったが、固体では、写真の感光材として知られる塩化銀の光黒化や、アルカリハライドの色中心生成の発見などがよく知られている。1980年代の半ばごろに発見された、光誘起相転移もそのような節目の1つである。この現象の最大の特徴は、光の照射によって物質を構成する膨大な数の電子や原子の配置が一斉に変化する点にあり、そのため、電気伝導性、磁性、誘電性など様々な固体の巨視的特性が劇的に変質する。

光誘起相転移の研究は30年以上にわたるが、現在起きつつある、あるいは数年の間に訪れようとしているこの分野の展開は、光の使い方そのものが変わる、という意味で劇的なものと言えるのではないだろうか。光によるキャリアドーピングや光誘起構造変化などの実効を引き金にしていた従来の研究では、光の強度（=励起キャリアの数）が重要なパラメータであったが、光の高周波振動電場や磁場そのもので物質中の電子やスピンを駆動する新たな試みでは、電場や磁場の振幅や位相が問題になっている。この状況を、かつて光誘起相転移の開拓期と比較してみると興味深い。光ドーピングや構造変化による相転移は、それ以前から議論されていた光照射による格子温度の上昇とはまるで異なるものであったが、今、起きようとしていることも、それと同等あるいはそれ以上のインパクトを持っている。なぜなら、電磁波としての特性をより直接的に使う、光でのみ可能な物質変換の方法論は、化学ドーピングや圧力印加を光ドーピングや光誘起構造変化に置き換えたのとはまったく異なるからである。

とは言え、こうした試みはまだ始まったばかりである。原子分子におけるデモンストレーションから、ようやく固体へ研究対象が拡張されつつあるが、今のところ主な研究対象はバンド理論で記述できる半導体や金属に限られており、

強相関電子系など複雑系物質における本格的な展開は（少なくとも実験的には）これからと言える。その意味では、本シリーズの刊行緒言にある、「研究成果が生まれる現場に立ち会った最前線の研究者が丁寧に解説します」という趣旨からはやや外れるかもしれない。そうってしまったのは、筆者の筆が遅く、本書を書く機会をいただいてからあまりにも時を経たために、“はからずも”，上記のような新たな研究フェーズが始まってしまったからである。そのため、ごく最近の成果について述べた第8章では、現時点では一般的とは言えないことも含まれている。しかし、所詮研究とはそうしたものであり、後になって、「あのときはあんなふうに考えてたんだなあ」というようなことも出てくるものである。本書の読者が、将来、本書で述べている描像の限界や誤りを指摘し、この分野をより実りある方向へと開拓することを期待したい。

本シリーズの対象となるような先端研究分野では当然のことかもしれないが、本書を書くにあたり苦勞したことは、光誘起相転移や、光による強電場効果を理解するために必要な基礎概念があまりにも多岐にわたることであった。各章の内容が同じ本の中にあることは通常あり得ない。その異なる内容をどのように関連づけ、後半の研究成果へと導くのかについては、配慮したつもりではあるが、うまくいったかどうかはわからない。

本書の第5-8章で述べた内容は、多くの方々と共同研究の成果である。山本薫（岡山理大）、薬師久弥（分子研、豊田理化学研究所（当時））、米満賢治（中央大）、佐々木孝彦（東北大金研）、石原純夫（東北大理）、岸田英夫（名大工）、有馬孝尚（東大新領域）、岩野薫（物構研）、高橋聡（名工大）、妹尾仁嗣（理研）ほか多くの方々との出会いがなければ本書で紹介した研究は為しえなかった。全員のお名前をあげることはできないが、この場をお借りしてすべての共同研究者に心より感謝したい。また、これらの研究は、東北大学大学院理学研究科の筆者の研究グループのスタッフとかつて在籍した、あるいは現在在籍している学生諸氏とともに行ったものでもある。極めて困難な実験に果敢に挑み、信じられないほどの執念によってそれらを遂行した伊藤弘毅博士と川上洋平博士、および中屋秀貴博士（現(株)アドバンテスト）、伊藤桂介博士（現東北大学金属材料研究所）をはじめとする、すべての卒業生と在学中の学生に敬意と感謝を表したい。また、筆者をこの分野にお導きいただいた恩師の中村新男先生（現名古屋産業技術研究所、名古屋大学名誉教授）と時崎高志先生（現産総研）、ご指導いただいた多くの諸先生方に感謝いたします。

本書を書くことができたのは、シリーズ編者の須藤彰三先生に機会をいただいたことによる。しかし、依頼を受けてから、あまりにも長い年月を経ってしまった。これはもちろん筆者の浅学非才のためでありお詫びをするほかない。しかし、そのおかげで上記のような新たな展開に関しても言及することができたのは筆者にとっては幸運と言えるのかもしれない。また、ご多忙の中本書の草稿を丁寧にお読みいただき、数多くのご指摘と本質的なコメントをいただいた、共同研究者でもある米満賢治教授と石原純夫教授に感謝いたします。

本書の構成について：

本シリーズ（基本法則から読み解く 物理学最前線）の特徴は、必要最低限な基礎知識から先端的な研究内容へ、可能な限り直接つながる構成になっていることである。本書では、まず光誘起相転移や強相関電子系の物性を理解するために必要な基本概念として、相転移の臨界現象と不均一性（第2章）、強相関電子系と絶縁体—金属転移（第3章）、固体の光励起状態（第4章）に関する説明を行う。その後、第5、6章（電荷秩序型有機絶縁体における光誘起絶縁体—金属転移、ダイマーマット絶縁体における光誘起相転移）、第7章（光誘起相転移の初期過程）、第8章（瞬時強電場が拓く固体のコヒーレント極端非平衡）では、ここ10年に行われてきた光誘起相転移に関する研究の展開の中で、筆者らの研究グループで行ったものを中心にまとめた。第5、6章と第8章では随分と趣が異なることを感じられる読者も多いだろう、すなわち、第5、6章では、第2章で述べる協力性や臨界性、あるいは相境界の不安定性などの相転移の熱力学的な概念が主役を演じているのに対し、第8章では、第4章で述べる、光や光によって直接物質内に作られる励起状態のコヒーレンスがより重要な役割を果たしている。これは、光誘起相転移という現象が、光を単なる“ゆらぎ”を与えるエネルギー源として利用したものから、光の電場によって物質内の電子を直接操作する、より制御性の高いものに変わりつつあることを示している。第7章は、その過渡期における研究であり、それらの橋渡しと理解していただきたい。