	領域代表者	東京大学・物性研究所・教授 松田 康弘（まつだ やすひろ） 研究者番号:10292757
	研究領域情報	領域番号：23A201 キーワード：強磁場、化学結合、カストロフィー 研究期間：2023年度～2027年度

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

磁場は物質科学をはじめとした科学研究全般において重要な役割を果たす。それは、磁場が荷電粒子の運動に直接的な効果を及ぼし、その反応から対象とする系の性質を詳しく調べることができるためである。一方で、強磁場発生には高度な技術が必要であり、物質の性質を大きく変えるような効果を生むのは一般に難しい。しかしながら、地球を離れて宇宙まで範囲を広げると、白色矮星や中性子星などでは超巨大磁場が発生しており、そこではもはや原子同士で化学結合をつくることができず、原子やプラズマの状態であると予想されている。よって、宇宙まで含めた自然界では、磁場はその成り立ちに重要な役割を果たしていると期待される。もともと、地球上自然界は弱い磁場環境で形成されており、そこでの生成物を用いて人工的に発生可能な磁場が、弱い磁場（摂動磁場）にとどまるのは自然の摂理とも考えられる。しかし、極限的な強磁場においては自然の隠された性質が現れると期待され、強磁場発生限界への技術的挑戦は、半世紀以上にわたり世界的に継続されてきた。

2018年に1200テスラという物質科学に应用可能な屋内人工磁場としては世界最強の磁場の発生に、東京大学物性研究所が成功した。これは地磁気の約2400万倍である。このことを受けて、物質における原子間の化学結合の様式も変化させるような、強い磁場（非摂動磁場）効果を探索できる環境が整った。固体をはじめ、高分子や分子、プラズマや素粒子までを研究対象にして、宇宙空間の巨大磁場効果を模した、未発見の超強磁場効果を探索することが本研究の目的である。化学的カストロフィーとは、強磁場効果で分子破壊が起こる現象であり、非摂動磁場効果の典型例である。破壊と変革の象徴的意味から研究課題名に含めている。

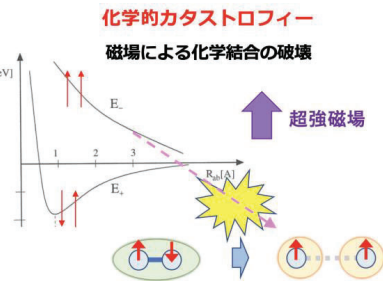


図1 化学的カストロフィーのイメージ図

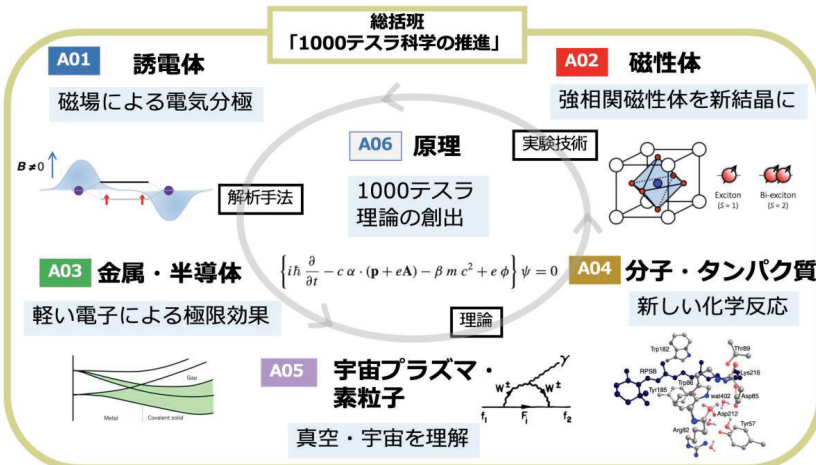


図2 研究組織の概念図

●1000テスラ超強磁場

研究で用いる1000テスラ超強磁場は、電磁濃縮法という破壊型手法により発生される。体育館程度の建物に設置した大型コンデンサー電源に蓄えた2～5百万ジュールのエネルギーをコイルに電流として注入する。電流による電磁力でコイル内に設置している金属円筒を音速の10倍程度の速度で収縮させ、その内側にとらえている磁束を高密度に濃縮して超強磁場を発生させる。種となる元磁束は、別のコイルとコンデンサー電源によって濃縮前の金属円筒内部につくられる。磁場発生に用いるコイルや金属円筒は一回の磁場発生で測定対象試料とともに破壊される。

磁場発生時間は10万分の1秒程度であり、測定のチャンスは1度だけ（シングルショット計測）である。この短時間物理計測には高度な技術が必要とするが、超強磁場中で可能な光学的、電気的、機械的計測が近年急速に発展している。本研究においても、様々な高速シングルショット計測によって、非摂動磁場効果の探索を行う。

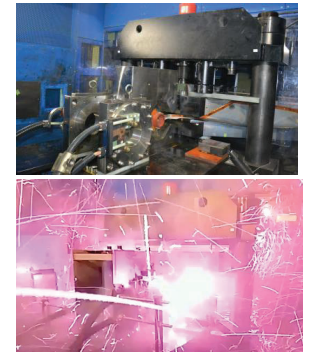


図3 電磁濃縮法装置の写真。(上) 磁場発生前。(下) 磁場発生時。

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●固体版化学的カストロフィー

磁場はこれまで物質科学において主に電子状態を精密に調べる手段として重要な役割を果たしてきたが、本研究では、結晶構造も含めた物質の性質を大きく変える手段として磁場が有する可能性を明らかにする。化学的カストロフィーを引き起こすには宇宙の超巨大磁場が必要であるが、物質内部で、それを模したカストロフィー現象を1000テスラ磁場中で観測できると考えている。物質内部では多数の原子が結びつき、様々な相互作用エネルギーの拮抗が多彩な性質を生み出しているため、そのエネルギーバランスを磁場で変えることができれば固体版の化学的カストロフィーを実現できる。例えば、固体中に分子様の原子集団が形成される物質がいくつか発見されているが、それらの固体内分子の磁場による破壊を示唆する結果がこれまでに得られている。(図4) また、磁性イオンを含まない、典型的な誘電体への磁場効果はこれまでほとんど注目されていないが、化学結合への磁場効果の観点から、誘電的性質に対してもカストロフィー現象を誘起できる可能性がある。さらには結晶中に広がった伝導電子は磁場の影響を強く受け、結晶構造をも変える可能性を秘めており、その探索を行う。

●1000テスラを軸とした学融合

物質科学の範囲を越え、化学反応への非摂動的磁場効果、素粒子や宇宙プラズマを対象とした新しい磁場誘起現象、についても明らかにする。高速で反応が起こる光化学反応に注目し、分子やタンパク質を対象として、強磁場新分子の生成や光受容タンパク質の磁場誘起新機能の探索などを行う。素粒子物理では、強磁場中での真空からのアクシオン粒子生成の観測などを旨とし、宇宙プラズマ研究では、実験室で生成する高密度レーザープラズマの強磁場中での特異な振る舞いから宇宙磁気プラズマ現象を解明する。いずれも、これまでの磁場範囲を大きく拡張することで新しい発見が期待される。

本研究では、固体、高分子、分子、プラズマ、素粒子を実験対象として、超強磁場で誘起される現象の統一的理解を目的としている。それにより1000テスラ超強磁場を軸とした新しい学融合分野をつくる。(図5) 様々な挑戦的研究課題が現れることが期待され、若手研究者の活躍の場が創出できると考えている。

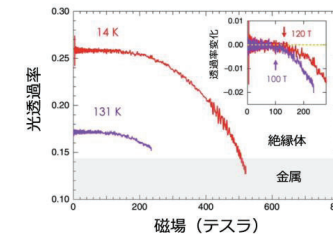


図4 固体内分子破壊を示唆するバナジウム酸化物の絶縁体金属転移

1000テスラ科学



図5 磁場を通じて形成される学融合のイメージ図