

革新的超高压技術に基づく地球深部物質科学と材料科学の新たな学際融合分野の創成

① ビジョンの概要

世界を先導する超高压実験技術の更なる発展と、関連する量子ビームラインの高度化を通じて、従来の限界を大きく超える圧力の発生や、高精度かつ高速な構造・物性測定とイメージング、新材料開発などを推進する。これらの独自技術を基盤として、地球惑星科学の他分野の研究者や、物理学・化学・材料科学分野などの研究者との連携により、地球深部物質科学の新たな発展を期すとともに、新物質合成などの融合分野の開拓・創成を図る。

② ビジョンの内容

超高压実験技術の進歩とともに発展した地球深部物質科学は、地球内部を構成する物質の結晶構造と化学組成を解明した。いわば「静的」な地球深部物質の概要が明らかになった現在、地球の「動的」挙動の解明が今後の重要課題となる。

一方で、太陽系惑星や小惑星などの表面の化学組成と内部の磁場の特徴が明らかにされ、系外惑星についても多くの情報が得られている。巨大惑星内部は、地球の中心をはるかに超える 1000 万気圧領域の世界であり、実験技術の更なる高度化による巨大惑星深部物質の解明も重要な課題である。

これらの「動的地球」と「惑星深部」をキーワードとした地球深部物質科学の新展開に加え、他分野の研究者との協働により新たな融合分野の創成が見込まれる。超高压を利用した「新材料の開発」を進め、融合分野としての超高压材料科学を開拓することも、当該分野において推進すべき重要な課題である。

このような重要課題の推進には、共通の基盤である量子ビーム施設に設置された装置の不断の高度化が必要である。またナノ多結晶ダイヤモンド（ヒメダイヤ）による超高压実験技術の発展は、巨大惑星深部の物質探査や地球深部ダイナミクス解明に新たな道を切り拓くと期待される。これらの共用設備や独自技術を活用できる体制を整備し、先端研究を学際的に推進するとともに、新たな融合的学術分野の創出を目指す。

③ 学術研究構想の名称

コンソーシアム組織の形成による地球深部物質科学と超高压材料科学の基盤強化

④ 学術研究構想の概要

当該分野において不可欠な量子ビームの更なる有効活用のため、ビームライン（BL）設置の大型装置等の高度化を、共同利用・共同研究拠点「PRIUS」を運用する愛媛大 GRC を代表拠点とし、中核拠点とともに推進する。一方で、地球深部の動的挙動や惑星深部物質の解明を目指して、ヒメダイヤを用いた革新的超高压実験技術の開発とともに、高温超伝導物質や新たな機能性材料の開発にも取り組む。

上記の目標達成のため、代表拠点・中核拠点とともに、高压科学関連量子 BL や PRIUS のユーザーを中心に、幅広い物質科学分野の研究者、また大学・研究開発法人・企業等の様々な機関に所属する研究者の参画によるコンソーシアムを形成する。これらの多様な分野や所属の研究者の協働により、BL の高度化や、共通の革新的技術の開発をすすめ、強い連携のもと学際的な共同研究の促進を図る体制を整備する。

これにより、我が国の地球深部物質科学分野の研究力の更なる強化を行うとともに、幅広い分野の研究者とともに新たな融合的研究分野の創成を目指す。また、他分野の研究者との連携により、動的地球科学と惑星深部科学をキーワードとした地球惑星科学の新たな分野の開拓をすすめる。更にコンソーシアム機能を利用した研究人材の育成と流動化を図るとともに、新たなキャリアパスの確保・拡張も推進する。

⑤ 学術的な意義

量子ビームは、超高压下での微小試料の観察と親和性が高く、地球深部物質科学の不可欠のツールである。SPRING-8 最初の論文が当該分野から発表され、マントル最下部でのポストペロブスカイト相の発見など、世界を先導する研究成果が発信されている。SPRING-8 や J-PARC におけるナノビーム利用や高輝度化などを見据え、新たな実験技術の開発を進めることは、我が国が引き続き世界をリードするための重要な課題である。

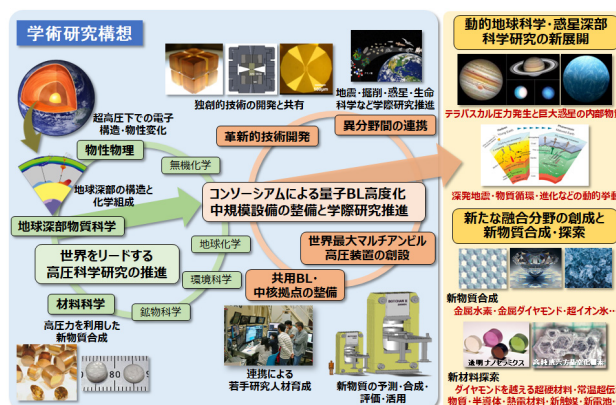


図1 本ビジョンの概要とロードマップ

一方、当該分野で開発されたヒメダイヤは、革新的超高压実験技術の発展に大きく貢献している。また超高压合成六方晶窒化硼素単結晶は、2次元結晶の物理の急速な発展を促した。これらの新物質の成功は、材料科学分野における超高压の利用という新たな方向性を示すものであり、その応用や更に新しい物質の創出のためには、より大型の超高压合成装置の設置が望まれる。

地球や惑星深部の物質構成と、その動的挙動の探求には、超高压実験に基づく物質科学的手法が重要な役割を果たしている。本構想により、太陽系惑星内部の物質構成や化学組成の解明の進展とともに、系外惑星内部の物質にも重要な制約を与えることができる。また、地球深部物質の超高压下での動的挙動の観察により、地球深部のダイナミクス・進化過程についても重要な情報が得られる。一方で、超高压領域の圧力の他分野への応用は、従来にない物質・材料の開発を可能にするとともに、新しい融合的学術分野を生み出す。これらの結果、深発地震の発生メカニズムの解明、水素の金属化の検証、超イオン氷の存在と構造の解明、多様な新材料・物質の開発など、多くのブレークスルーがもたらされる可能性が強い。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

地球深部物質科学分野は、日・米・欧の3極が世界をリードしてきた。米国では、超高压地球科学コンソーシアムが、全米約60の研究機関を組織した連携活動をすすめている。2023年には、GRCの世界最大MA(BOTCHAN-6000)と同じ装置が建設される。欧州では、バイエルン地球科学研究所(BGI)が中核となり、ヨーロッパ放射光施設(ESRF)などとの強い連携のもと研究をすすめている。アジアでは中国の躍進が目覚ましく、中国地質大学などが大型装置の導入を進めている。また北京超高压中心は、物理学・材料科学など広範な分野をカバーする一大研究拠点を形成しつつある。本構想は、独自の革新的装置・技術を高度化するとともに、量子ビームの効率的活用により欧米をリードし、アジアの研究の中心としての地位を確保・発展させるものである。

⑦ 社会的価値

第一義的には、目に見えない地球や惑星の深部がどのような物質でできており、太陽系全体を含めそれらがどのように形成されたかという、知的好奇心に応える基礎科学の深化に強く関係している。一方で、巨大地震や火山の発生機構を理解し予測する基盤となる。他方で、超高压を利用した材料科学の新たな発展に結びつき、新素材の開発を通じて多大な産業的・経済的価値をもたらす可能性がある。超高压実験は高温超伝導体探査の重要なツールであり、エネルギー問題解決のブレークスルーをもたらすと期待される。

⑧ 実施計画等について

代表・中核拠点と参画拠点、また実施体制を決定し、高度専門職人材に加え、博士研究員と研究支援員の募集・採用を進める(R6-R7)。また、中規模装置の設置、量子BLの高度化、大型MA(BOTCHAN-II)設置などを進める(R8-R9)。これにより、特に「動的地球科学」・「惑星深部科学」・「新材料の開発」をキーワードとした共同研究を重点的に推進するとともに、新たな融合分野の創成に向けた取り組みを進める(R10-R15)。

愛媛大を代表機関とし、岡山大・東大・阪大・東北大・NIMSの5拠点を中核機関として事業を実施する。これら以外にも、関連量子BLや大学・研究開発機構・企業研究所等の拠点も事業に参画するとともに、ESRF・APSや、BGIを始めとする海外の大学・研究機関の研究者の本事業への参画も見込まれる。

経費65.5億円：[設備：計44億円](1)量子BL設備(18億円)、(2)超大型超高压合成装置(10億円)、(3)中規模設備(16億円)。
[人件費：12.5億円](1)高度専門職人材(5億円)、(2)博士研究員(6億円)、(3)研究補助員(1.5億円)。
[消耗品等：9億円](1)超合金(3億円)、(2)焼結ダイヤ(2億円)、(3)ヒメダイヤ加工(1億円)、(4)圧力媒体等(1億円)、(5)光熱費(1億円)、(6)旅費(0.5億円)、(7)広報等(0.5億円)。

⑨ 連絡先 入船 徹男(愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター)

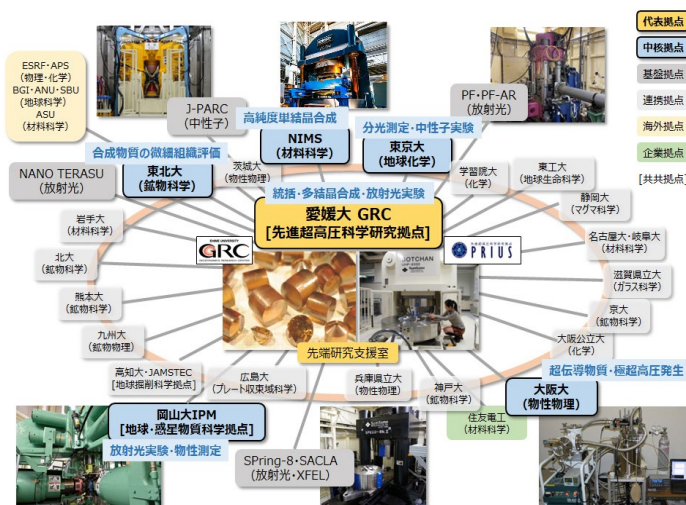


図2 実施体制と役割