

2021 年 10 月 20 日

ユニットテーマ提案書

- **ユニットテーマ：** 地球を取り巻くエネルギー循環の劇的変容の体系化 II・模擬室内実験
Drastic Changes in Energy Flows surrounding the Earth II (Laboratory Experiments)
- **提案者（氏名・所属）：** 長谷川裕記・核融合科学研究所、石黒静児・核融合科学研究所

“核融合研は、何処から来て、何処へ行くのか”（位置づけ・テーマ概要・自己評価）

本研究所は、創設時において、大型ヘリカル装置（LHD）を用いた実験研究とともに、理論・シミュレーション研究により、自由な発想に基づき広く核融合に関する研究を総合的に推進することを謳い、その研究活動を開始しました。この LHD を超伝導で運転する目的はほぼ達成され、超伝導 LHD 研究がまさに完遂されようとするいまこのとき、これを常伝導化し、自由な発想による研究を開始することは非常に大切なことであると考えます。それと同時に、その発展途上において中断と言っても過言ではない状況に置かれている理論・シミュレーションによる自由な発想に基づく核融合の学術研究を再起させることもまた、大変重要です。

本研究所に設置されていた理論・シミュレーション研究センターは、創設前のプラズマ研究（磁気圏サブストームやオーロラ現象、太陽フレア、スフェロマック生成、RFP 形成、トカマク崩壊など）、そして、MHD プラズマの基本的な非線形非平衡動的プロセスとしての外部駆動磁気リコネクションを世界に先駆けて提唱した経験をもとにして、創設時に、自由な発想で広く核融合に関する総合的なシミュレーション研究を開始しました。その時の哲学的な指針は、“自然界においては、全てのシステムは開いており、外部からのエネルギーの流入によって活動し、そのエネルギーの循環においてエネルギーの澁み点（特異点）が発生し、そこにエネルギーの異常な蓄積が生じ、遂にはエネルギーの爆発的な解放が発生し、新しいフェーズへと転換する”というものでした。

この指針に基づき、各種実験棟とともに計算機実験棟（シミュレーションラボ）（現シミュレーション科学研究棟）が整備され、大型シミュレーション研究用解析装置や巨大仮想現実装置を導入し、核融合プラズマ研究を基軸として、固体物性や流体物理の専門家をリクルートし、通信・放送機構（現情報通信研究機構）からの競争的資金の獲得、早稲田大学の脳科学者や慶応義塾大学の新薬開発研究者などとの共同研究の推進など、幅広くその学術研究を展開してきました。ただ、惜しむべくも、ここ 15 年以上は、その活動の多くが LHD 研究に注がれていたこともあり、このような幅広い学術研究は停滞していました。そして、今回、本研究所は“何処へ行くのか”を反芻し、我々は次のような結論に達しました。

ここで、我々地球上の人類が存在し、活動しているのは、地上では太陽からのエネルギー、そして、地下では超新星の爆発により生まれた放射性元素の放射熱と、ともに天体の核融合反応に依拠していることを思い起こします。つまり、我々を取り巻くすべての活動は本研究所の対象となりうることを示しています。核融合炉の開発は、その天体の核融合反応を人類の力で創り出そうという野心的課題の一つと言えます。このことに鑑み、核融合炉実現に寄与する学術研究とともに、地球を取り巻くエネルギーの循環を解き明かす学術研究を、本研究所の今回の改革の柱にすべきであると提案します。

2 ページ以内で記述し、10.5pt・行間 1 行を使用してください。青字の注意書きは削除してください。

そこで、その目的に向けて、実現可能であると考えられる 2 つの研究テーマを取り上げました。本提案書では、「地球エネルギー循環における劇的変容過程の模擬室内実験」について概要を記します。

(研究内容/方法の概要・自己評価) 時々刻々と変化する地球磁気圏の大域的な振る舞いを直接観測することは甚だ困難である一方、地球内部は直接観測が不可能です。それらを実験室内で模擬し、諸条件を自由に变化させて、その振る舞いを観測し、その過程の因果関係を解明することは、様々な過程が複雑に絡み合う自然界に対する認識を深める事につながると考えます。そこで、地球を取り巻く環境で起きている劇的変容現象として、次の 3 つの模擬実験を提案します。

(1) 太陽風—磁気圏—電離圏結合の模擬実験：常伝導 LHD の巨大な真空容器内に、模擬地球（表面磁場 $\sim 0.5\text{T}$ 、半径 $\sim 10\text{cm}$ ）を配し、それが作るダイポール磁場に向けて、太陽風を模擬したプラズマ流を吹き付けます。真空容器内には、ポロイダルコイルによる縦磁場を予め作っておき、プラズマ流がこの縦磁場（太陽風磁場を模擬）を引き連れて流れ込んでいくようにします。このプラズマ流の密度、温度、流速、磁場強度などを様々に変化させ大域的な計測を行うことで、ダイポール磁場前面、及び、尾部の磁気中性面における駆動磁気リコネクションや、磁気圏赤道面内に誘起される二つ目玉対流生成、さらに、その対流による大域的な沿磁力線電流系形成など、衛星による局所的観測では困難な大域的劇的変容過程の実験的な全容解明を目指します。模擬地球表面に電離層を模した電気伝導度の低い媒質を施すことにより、大域的な沿磁力線電流によるアルフベン不安定性の発生、電流成長に起因するダブルレイヤの形成、それによるオーロラアークの発光などの再現も視野に入れていきます。予備的な考察は 10^{-3}T の常伝導 LHD 実験において本模擬実験が可能であることを確認しています。

(2) マントル表面に浮かぶプレート衝突による地震模擬実験：球形、或いは、直方体の実験装置に、二つ目玉の対流が発生するように熱源を用意し、その表面を二つの薄い固体層で覆います（図 1）。対流が衝突する接触面が二つの固体層の接触面と一致するように固体層を配置することによって、接触面での固体層の上下動と破壊の様子を観察します。対流物質の粘性、熱源強度、固体層の物質や厚さ等、様々な組み合わせを試すことにより、固体が崩壊する条件や挙動を詳細に調べます。この模擬実験によって、マントル対流とプレート衝突による地震の発生メカニズムに対する何らかの学術的知見が得られるものと考えています。

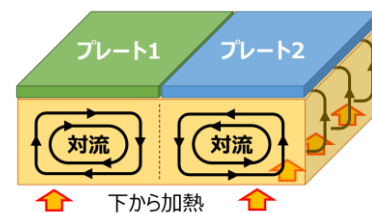


図 1: マントル表面に浮かぶプレート衝突による地震模擬実験の模式図。

(3) 地磁気ダイナモと逆転現象を模擬する実験：地球内部の電磁的物理過程を模したプラズマ実験装置として球状の真空容器（中心部と容器内壁に磁石を配しプラズマが触れないようにする）を設計し、その中心部からプラズマを射出することにより、強制的にプラズマ流を生成します。その際、プラズマに角運動量を与えるように射出することで、ヘリシティを持った流れとし、ダイナモ機構により双極子磁場を生成させる実験を行います。さらに、この生成された双極子磁場が逆転する現象の再現を目指します。

これらの実験研究を進めるに当たっては、国内外の様々な分野の実験研究者の協力を得るとともに、本テーマのシミュレーション研究グループと相互に深い意見交換を行いながら、模擬実験装置の開発、そして、自然界における劇的変容に対する一般的な法則性を見出すことを目指します。