

2021 年 7 月 29 日

## ユニットテーマ提案書

### 1. ユニットテーマ

地球エネルギー環境

### 2. 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

### 3. テーマと研究内容の概要

本テーマでは、地球を取り巻くエネルギー循環の全容を科学的に明らかにし、その巨視的、微視的エネルギー伝搬過程を支配する動的な一般法則性の体系を確立することを目指す。この体系の確立は、将来の核融合炉開発にも資するものである。この目標のもと、次に示す研究から開始する。

#### I. 複雑・多様性を有する系のシミュレーションを可能にするアルゴリズム研究

非平衡性を有するシステムにおける不安定性や散逸過程は、その多くは、そのシステム大の階層での物理過程ではなく、それよりもミクロな階層の物理過程に基づく現象である。一般に、有限のシステムを循環するエネルギーの流れにはボトルネックとなる場所が存在する。そこにエネルギーの過剰集積が起き、遂にはそのシステムを構成するミクロ構造の破壊へと進展する。この一般的性質を利用し、マクロシステムにおけるエネルギー解放（爆発）現象をシミュレーションするアルゴリズムとして提唱されたのがマクロ-ミクロ連結階層アルゴリズム（MMI 法）である。本研究では、地球を取り巻く複雑・多様なエネルギー変換過程の解明のための、MMI アルゴリズムを基盤としたシミュレーション法を開発することを目指す。具体的には、核融合実験周辺プラズマや既に研究実績のある太陽風-磁気圏-電離層結合系がその例である。マントル対流とプレートの衝突による地震発生、地球磁場の逆転現象なども重要な研究対象である。将来的には、経済環境（マクロ経済とミクロ経済の結合）や神経回路（大域的な認知機能と微視的なニューロンによる局所回路の結合）（ともに、絶えず情報が流入する非平衡系である）などにも拡張することも視野に入れている。

#### II. エネルギー環境模擬実験

地球周辺のエネルギー環境については、衛星による観測が長年にわたってなされてきたが、因果関係の物理機構や定量性において未解明な部分が多い。そこで、本研究では、地球周辺のエネルギー環境の一部である太陽風-磁気圏-電離層を模擬したプラズマ実験装置を提案し、詳細な大域的計測を行い、プラズマ流（太陽風）がもたらすエネルギーが、ダイポール磁場（地球磁場）を介してどのように地球内に伝搬・変換されるのか、その過程の実験的全容解明を目指す。

### 4. 位置づけ

我々を取り巻く自然界の営みは、恒星内部の核融合反応をエネルギー源としている。太陽中心の核融合反応によるエネルギーが熱対流により表面に輸送され、6,000K の黒体輻射される光（電磁波）が太陽表面から地球上に絶え間なく降り注ぐとともに、太陽コロナから噴出される太陽風（プラズマ流）が、太陽磁場を伴って地球に吹きつけている。太陽光は、人類の持続可能な生存、発展を可能とする地球生命環境を育む源であり、太陽風は、地球双極子磁場との衝突により地球磁気圏を構成し、地球生命環境には好ましくない高エネルギー粒子の侵入を防ぐとともに、地球磁気圏における多様な

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。

プラズマ現象を生起している。他方、恒星が超新星爆発を起こして生じる核融合連鎖反応では数多くの重元素（放射性元素）が生成されるが、地球内部の熱源は、放射性元素の崩壊熱によるものである。そして、この熱エネルギーが地球表面に伝わる過程において様々なエネルギー形態に変換され、双極子磁場発生、マントル対流発生、プレート衝突による大地震発生などに至る。このように、地球を取り巻く自然界は、核融合を源とするエネルギーが展開する非平衡な系であり、多様性目つ複雑性を有する諸現象が非可逆的、非線形的に生起している。このような系では、絶えず注入されるエネルギーにより様々な領域、様々な時間で、巨視的あるいは微視的な不安定性が発生し、時には急激な散逸過程によるエネルギー緩和を伴い、安定な構造へと移る。このプロセスが常時繰り返されている。

核融合科学研究所では、その初期から中期における研究において、世界に先駆けて、そのような自然系のひとつである太陽風-磁気圏-電離層結合系におけるエネルギー伝搬過程の体系を理論的、シミュレーション的に説明することに成功するとともに、地球内部の双極子磁場発生とその逆転現象をシミュレーションによって明らかにするなど、多くの学術経験を有している。さらに、それら一連の研究から、Macro-Micro Interlocked (MMI) アルゴリズムを提唱し、複雑な3次元動的現象を直感的に把握する可視化表現技法の開発もおこなってきた。

以上の背景から、本テーマでは、本研究所の類まれな研究経験に基づいた独創的な手法により、未だ誰一人解き明かしていない「地球の内外を取り巻く大域的エネルギー循環」の全容解明を目指す。

## 5. 研究の方法

- ・ スーパーコンピュータ（プラズマシミュレータ）及び、周辺サーバ、可視化装置群：初期フェーズでは現行機を、そのリース期間終了後は、新たに導入した機種（総主記憶容量：1 PiB、総演算性能：50 PFlops、MMI法と親和性の高いヘテロジニアスなアーキテクチャを採用）を利用して、コード開発、シミュレーション研究を実施する。
- ・ エネルギー環境模擬実験のためのプラズマチャンバー（常伝導LHD、もしくは、新設）：装置径1～10 m規模の真空容器内に、ダイポール磁場発生装置、プラズマ流射出装置、各種計測装置等を設置し、太陽風-磁気圏-電離層を模擬したプラズマ実験をおこなう。

## 6. 自己評価

**1) 未来志向であること**：本テーマでは、地球を取り巻くエネルギー環境の全容を、これまでの核融合科学研究所における研究活動を基盤とした先進的手法を拡張発展させ、科学的に解明する。将来的には、その学術成果を地球エネルギー環境のクリーン化に発展させる計画である。

**2) 目標を具体的に示していること**：本テーマの大目標実現のために設定された上述の2つのサブテーマは、少なくとも、今後10年間の研究において実現可能なものであり、十分な具体性を有する。

**3) 10年後に学术界に輝くテーマに育つこと**：本テーマは、世界でも類まれな実験研究環境、シミュレーション研究環境が備わる本研究所でしか実現できない独自性を有し、将来の国内外の学术界をリードする自信がある。

**4) 多様な「個人のテーマ」を包摂できること**：本テーマでは、多様な実験計測研究、多様な現象に関するシミュレーション研究を通して、その目標の実現をめざしており、多様な研究者を包摂するテーマとなっている。