

2021 年 8 月 2 日

ユニットテーマ提案書

1. ユニットテーマ

激変環境の物理

2. 提案者（氏名・所属）

陰山 聡（神戸大学）

3. テーマと研究内容の概要

激変と呼べるほどの大きな環境の変化と、その中でも維持される秩序構造がもつ性質を探索する。研究手法として、主に計算機シミュレーションと実験の 2 つのアプローチをとる。計算機シミュレーションに関してはメゾ次元（4 次元から 7 次元）のデータに潜む秩序を効果的に解析するための方法論（視覚の拡張）の研究も推進する。この課題に興味のある理論・シミュレーション・実験研究者を広く募り、まずは計算機シミュレーションと実験のそれぞれにおいて激変環境の典型モデル系を構築する。そして共同でその物理を探索すると共に、得られた知見を各自の個別研究課題にも活用していく。

4. 位置づけ

地球環境は人類にとって常に好ましい（favorable）ものであるとは限らない。長期的に見れば人類にとって都合の悪い環境、ときには敵対的（adversarial）ともいえる状態、いわば「逆環境」に遷移することもある。激しい変化の途中だけでなく、激変後の環境の中でもたくましく文明を発展させる術を人類は考える必要がある。そのような大目標に向けてプラズマ物理が最も貢献できるのは、地球環境そのものの研究というよりも、広い意味での「環境」とその「激変」、そして激変後の逆環境の中でもしなやかに生き残る秩序構造の一般理論の探求であろう。

ホメオスタシスは外部環境の変動が大きくない場合を想定しており、レジリエンスは環境の大きな変動があっても最後には元の好ましい状態にもどることを前提としている。それに対して、この「激変環境の物理」では、悪化した環境が元の好ましい状態に戻らない場合についても考えるという点でより一般的なものと言える。

5. 研究の方法

5.1 計算機シミュレーション

シミュレーションのモデル系はメンバー間の議論を通じて構築するが、それがどのようなものであれ、時間（1 次元）と空間（3 次元、または速度空間を考慮する場合は最大 6 次元）の合計 4～7 次元の時空間データから秩序構造とその変形を抽出する必要がある。シミュレーション科学としての本テーマの最大のチャレンジ（つまり他分野への波及効果）は、このようなメゾ次元（4～7 次元）データからの効果的な構造抽出手法の開発である。人間の視覚（sight）

をそのまま活用しているに過ぎない現在のいわゆる「データ可視化」を脱却し、メゾ次元構造の効率的な解析に適した斬新な手法を開発する。いくつかアイディアはある：(1)「究極の多次元視覚」とも言える Plenoptic function を介した解析手法（これは我々が開発した4次元ストリートビューの進化形である）、(2)断面の高次元化、(3)網膜の高次元化、など。その開発にあたっては最新のデータ科学や機械学習の成果を積極的に取り込んでいく。

5.2 実験

激変環境のモデル実験についても議論を通じて決めるが、その（あくまでも）候補の一つとして、地球磁場の再現実験をここでは挙げたい。MHD ダイナモで生成される地球の双極子磁場は、（好ましい）地球環境を構成する基本要素の一つである。しかし地磁気は長期的には決して安定なものではなく、平均すれば数十万年に一度、つまり地球科学的な時間スケールで見れば頻繁と言えるほど逆転する。逆転は千年のオーダーで続き、その間、好ましい地球環境を保護してくれる地磁気が弱くなる時期が続く。激変環境の典型例と言える。

液体金属を使ったダイナモ実験は、その質量密度と電気抵抗の高さの故に難しい。一方、プラズマを使ったダイナモ実験はまだ十分開拓されていない領域であり、チャンスがある。これまでの実験ではダイナモ（磁場の生成）に必要な速さのプラズマ流をつくることができないという問題があった。

そこで、プラズマのジェットを使ったダイナモ実験ができないかと考えている。球形の容器の壁面をカスプ磁場列で覆うことで、球内部に無磁場領域をつくり、そこに外部から複数のプラズマジェットを注入する。ジェットの注入角度をうまくデザインすることで、双極子磁場の生成とその逆転を再現する実験ができるのではないかな。

この実験がうまくいき、地磁気よりも強い磁場が生成され、さらにその磁場の逆転がおきれば、実験装置の近くに置いた方位磁石の針がひっくり返る様子を観察することができるであろう。それは、地磁気、ひいては地球環境が未来永劫不変なものでは決していないということを社会に広く印象づける成果となるであろう。

6. 自己評価

1) 未来志向であること

本テーマ提案の背景には人類文明の存続に対する強い危機感がある。未来志向であることはまちがいない。（むしろ未来志向すぎるかもしれない。）

2) 目標を具体的に示していること

激変環境を定量的に定義すること自体が目標に含まれるので、現状では具体性にかけるくらいがあることは否定できない。今後磨き上げていきたい。

3) 10年後に学术界に輝くテーマに育つこと

激変環境と秩序構造は普遍的なものである。物理学に限らず、生物学や社会科学などにも適用できる法則、概念、手法などの獲得が期待できる。

4) 多様な「個人のテーマ」を包摂できること

この点は問題ないと思う。