

課題No.35 個別会合 (第2回)

日時：2021年7月29日(木) 9:00-10:30

会場：Zoomミーティング

参加者 (敬称略, 順不同, 所属記載無しはNIFS) :

吉田善章 (所長), 伊藤篤史, 坂本隆一, 河村学思, 釵持尚輝, 横山雅之, 藤原大, 佐竹真介, 後藤拓也, 關良輔, 中野治久, 奴賀秀男, 村上定義 (京大), 田辺克明 (京大)

議事次第

- ・提案の背景などのおさらい
- ・ユニットテーマ提案書 (案) の中身について
- ・研究課題, 装置などについて
- ・ディスカッション

《ユニットテーマ提案書(案)の中身, 研究課題, 装置などについて山口から紹介》

- ・ユニットテーマ「高自律性開放系の統合的記述と制御・設計を通じて, 我々を形作る秩序の起源に迫る」
- ・具体目標: 不純物の選択的排気と核燃焼プラズマの定常保持を実現する装置の提案
- ・学術的意義: 物質の均質化に抗う構造を非平衡開放系の内部に能動的に作り出し, その背後, その過程 (最適化, 情報処理含む) の背後にある基本原理を明らかにする
- ・方法: NIFSのシミュレーション資産活用, 最適化手法の深化, データ駆動科学と制御, 実験による実証, 自分たちで小型装置を製作
- ・具体的な装置の例: コンパクト準ヘリカル対称装置 (3Dプリントから始める)

議論の記録 (山口の発言には適宜, 補足を加えている)

佐竹: ユニットテーマの「我々を形作る秩序の起源に迫る」が提案書の内容にはあまり書かれていない. 提案書だけを読んだ人は理解できないのではないかと. 「3. テーマ概要」に具体的に書くか, ユニットテーマの書き方を工夫するかのどちらか?

山口: 「物質の均質化に抗う…」の部分に込めたつもりだが, 伝わりにくいかもしれない. 検討する.

伊藤: コンパクト装置の話が面白かった. それを前面に出したユニットテーマにして, それを実現する目的手段として前半の話が必要というロジックもありだと思う. 人が自発的に集まるテーマになりそうに感じる.

山口: 一方で, これまでのユニット議論の流れの中において感じたこととして, こういうものを前面に出すとむしろ良くないかもと考えたりもする. 研究としてはいずれにせよ進めるつもりであり, もし人が集まってくれるなら嬉しい.

田辺: 統合シミュレーションに関して, 現在の提案書に書かれていることは業界が目指していることと近いところがあるのかもしれない. もしオリジナリティをとということであれば, エントロピーを活用した, シミュレーションの負荷を抑えるハイブリッドコーディング, 簡略化したコーディング・アルゴリズムを編み出すということも考えられるのではな

いか。そのようなアルゴリズムでプラズマの挙動を精度良く再現できたなら、ヒトのニューロンの挙動とのアナロジーを見出し、（後者を？）説明できるかもしれない。自我や意識の起源、意思決定の根本的なメカニズムに迫るという方向で繋がりを書くこともできるかもしれない。

伊藤：アルゴリズムとして計算負荷を下げることをエントロピーという概念から取り組めないかということ？

田辺：そう。提案書の中でエントロピーを下げるという文言があるが、それはシミュレーション手法のことか、プラズマのエントロピーを下げる条件を従来のシミュレーションで見出すということか？

山口：後者にあたる。

伊藤：スパコン向けにコードをチューニングすることもエントロピーを下げることに対応すると理解した。

田辺：研究課題の内容は、従来のシミュレーションに沿った方向性なのか、新しいものに取り組むというイメージか。

山口：統合シミュレーション自体は従来の方向性に近い。最適化は比較的単純なことはやられてきているが、このテーマで取り上げている方法は新しい。

田辺：炉の中でエントロピーを低減するような閉じ込め手法とは、単純に反応確率を上げるために局所的な密度を高めたいということ、エントロピーという言葉を使って言い換えただけなのか、本質的に違うものなのか。

山口：言い換えともいえる。例えば不純物イオンの密度における逆勾配状態を積極的に作り出して維持するような最適化を、秩序を作る=エントロピーを下げるという観点で捉えている。

田辺：奇抜な、新しい構造ということではない？

山口：どうやってそれを実現するかというときに、今まで考えられてこなかったような構造を作ることによって実現される可能性がある。一方でその目的自体は、核融合炉実現において重要なこととして長らく認識されている。

田辺：コンパクト装置はその例？

山口：どちらかという現状は従来の閉じ込め改善という路線。そこに、コンパクト性やダイバータ配位（+ヘリカルコイル独自の利点）などを取り入れたもの。具体的な装置を提案・製作する一例としてご紹介した。

田辺：（装置を前面に出すものと、壮大な話をするものと）2つのユニットを立ち上げるということ？

山口：ある意味、（装置を使うような直接的な研究を）やりたいがために、壮大な話を含めた提案にしたような背景もある。

釘持：「我々を形作る起源に迫る」の「我々」とは「地球・生命・社会科学」のことなのか、構造ということなのか？

山口：人間を含む生命を意識している。

釘持：スライド資料には生命の話もあるが、提案書だと自己評価の部分だけになっている。

山口：テーマについては提案書の中身と繋がるように直す方向で考え直す。

伊藤：ペレット投入や不純物排気の際の理想的な密度制御は確かに低エントロピー化と言えるのかもしれないが、核融合炉の低エントロピー化は本当に必要か？生体分子系を考えたとき、まずは自由エネルギーを下げる方向で議論する。プラズマが自由エネルギー的に低い方向へ行けばとりあえず妥協できる部分もあるならば、全ての低エントロピー化までは必要ないかもしれない。今までやってきた方向性に高度な技術を持ち込めば10年後には実現しているという趣旨であると理解したがそれでよいか。

佐竹：低エントロピー化なのかはわからないが、磁場の設計や加熱の仕方を最適化することで、自発的に、あるいはtransitionを起こして（不純物の吐き出しに）持っていく、そういう状況に持っていけるのかどうかを最適化の目標とするという考え方がある。一方で、アクチュエータが必要となると、発生したエネルギーの何割を回帰させるかという拘束もでてきて、多目的最適化の問題となる。そういったこともこのテーマの中に含まれていると思う。必ずしも低エントロピー化する方向に最適化されているわけではないのかなと思う。

伊藤：目指す構造が自己組織化であるという捉え方をした時に、closed/open系だから初めて許される変化の方向がある。核融合炉の中で様々なファクターがある時に、どれが外部のインプットとみなせて、どれが内在するインプットとみなせるのか。外部のインプットは $+\alpha$ の（ノブとして）考えられると楽かなと思う。

山口：核融合炉においてはアルファ粒子加熱自体が外部からのエネルギー源となり、それをプラズマ自身が決めてしまうのが難しい。実際にシミュレーションしてみたら大したことがないのかもしれない。

釘持：装置について、小さいうちは真空までは考えずにコイルだけ、1m規模程度になれば磁場だけではなくプラズマ性能も見ていく？

山口：そのように考えている。小さくても、全体をチャンバーに沈めてプラズマをつけるくらいはしてもいいと考えている。proto-CIRCUSやUST_1,2といった装置に触発された考え方。少なくとも磁場は見たい。性能は微妙でも（コイルなど閉じ込め概念そのものが新しければ）「プラズマがついた」というだけでも意義は見出せるのではないかな。

釘持：ヘリオトロンJへの実験提案はユニットの後半などを待たず早めにしていくといいと思う。

河村：テーマに出ていく「我々」の中に、プラズマが含まれると考えてもいいのでは。プラズマがプラズマ自身を見て構造を作っているとも考えられるので、関連づけることは可能ではないか。周囲の環境に合わせて自分自身が変わっていくといった点で（進化などと）アナロジーはあるように思う。

佐竹：高自律開放系の～を通じて、生命、人間、人間の活動（システムの構築など）の「秩序形成の起源に迫る」というのはどうか。

山口：最適化や設計をしていく、その営み自体も入っているようなイメージ。

佐竹：生命の進化もある種の秩序形成に向かっていると考えられると思う。

河村：開放系の構造といった時に、その構造は壊れることなく維持されたものであるとい

うことが暗黙のうちに含意されていると思う。それと設計という言葉はお互いにかち合うような印象もしてきた。しかし、秩序形成を設計が促進するという意味では成り立つ。

山口：秩序だけでなく構造が維持されるか消えるかといったことは「創発と消失の科学」の方でも触れられており、深掘りできるテーマに思える。

河村：HとHeで粒子ソース分布が違うという絵は、ポンチ絵としてはいいが、Heもリサイクリングの影響でソースは周辺ピークするので、注積が要るように思う。