

ユニット#15 (プラズマのフローと構造形成) 個別会合 議事メモ

開催日時: 2021/07/20 (火), 15:00-16:55

出席者:

高橋裕己、吉沼幹朗、小林達哉、磯部光孝、伊藤篤史、大石鉄太郎、岡村昇一、神尾修治、
釘持尚輝、坂本隆一、相良明男、清水昭博、庄司主、關良輔、徳澤季彦、登田慎一郎、
仲田資季、沼波政倫、松岡清吉、森高外征雄、矢内亮馬、山口裕之、横山雅之、
吉田善章所長、吉村泰夫、渡邊清政、稲垣滋 (九大) 計 27 名

(1) 会合の趣旨説明 (高橋)

ユニット構想フェーズが 6 月で終了し、今後はユニット構築フェーズとなり、具体的な研究をどのように展開していくのかを未来志向で示していく必要がある。未来を考えるためには現状の土台の理解が重要であり、ここまではわかったがここは解明されていない、そのためにはこういった加熱・計測機器があると良い、あるいは、機器の性能向上があれば新しい展開が開ける、ここがボトルネックになっている、といったことを把握しておく必要がある。そのため、今日の個別会合ではフローと構造形成に関連した研究のプロパーから、それぞれのトピックについてのご紹介をいただく。その後、7/30 締め切りのユニット構築提案書について、現段階でのたたき台を紹介し、ご意見を伺いたい。

(2) フローと構造形成にかかるトピック紹介

“[LHD での流れ分布の形成](#) (リンクは所内のみ)” (吉沼)

高橋: 今日の発表ではフローと不純物ホールの関係については触れられていなかった。イオン温度勾配が成長すると不純物ホールが顕著になっていくという結果があったと思うが、その点はどういう解釈か?

吉沼: 中村先生が整理した結果と直接つながるかは不明だが、高 Ti 放電で温度勾配がついてくると accumulation rate が負になり、不純物が排出されることになる。

渡邊: LHD では運動量の輸送係数評価はどれくらい進んでいるか?

吉沼: トルク評価などは行われているが、あまり広く行われていない印象がある。高 Ti 放電での自発フローについては、勾配とフラックスの関係で調べられていたと思う。

渡邊: あまり積極的、系統的に行われていなかったということであれば、それに何か理由はあるか?

吉沼: 計算コードは AutoAna に残っているはずだが、それを実際に使った整理はあまり行われていないのではないか。実際それを使って整理する人が少なかつただけで、環境の整備はされている。

高橋: 高 Ti 実験では、過去にイオン熱輸送と運動量輸送の関係を調べる研究が行われており、Pr 数に着目した整理などがされた。

渡邊: トカマクではどのようにして輸送係数が決まるのかの研究はそれなりに行われている。ヘリカルではリップルや NC の影響がトカマクよりも大きいので、そういった幾何形状の影響で輸送係数がどう決まるのかに興味がある。

鈿持: p22 の回転変換分布とフローの関係について、フローのフットポイントが時間的に変化していくのは磁気島の効果によるものか? 1/2 有理面ができる前はフットが無いフロー分布なのか。

吉沼: 1/2 有理面が無い放電の結果は見えていない。真空でも 1/2 は存在する。周辺のヘリカルリップルがあるので、そこだけフローが無いわけではなく、全く流れないのが不思議である。トルクの分布が周辺に局在していたときにどうなるのかは明らかではない。

鈿持: 左下の図によると、フロー分布は時間的に赤から緑になり、フットがコア側に動いているが、1/2 が消えると赤の状態に戻るのか。自分が去年行った実験結果もあるので、データを見てみる。

高橋: こういった研究を行ってきた中で、あるいは今後発展的に行う上で、必須の計測は何か。フローや電場の関連だと CXS や HIBP、磁場構造だと MSE が必要になると思うがどうか。

吉沼: 揺動関連も重要。今観測できているのはミーンバリューで、オペレーションが変わった結果、変わるような量としてわかりやすいもの。細かい構造の違いがプラズマに与える影響を調べるためにはやはり揺動をモニターし続ける必要がある。

“[フローが乱流輸送に及ぼす影響](#) (リンクは所内のみ)” (小林)

高橋: 乱流による粒子輸送という表現があり、発表資料の中で式も示していただいたが、これは $E_{\theta} \times B_t$ による径方向の輸送か。つまり、ポロイダル電場揺動と密度揺動に位相差があると正味の径方向フラックスが発生するという機構か。

小林: そうだ。

高橋: DIII-D の例が示されていたが、他にも CHS や TJ-II でも計測例があると思う。同一磁気面でポロイダルの異なる点を同時に計測する必要がありそうなので、そうなるとプローブ計測になり、どうしても小型・中型装置でないと研究しにくい印象がある。

小林: $E\theta$ ではなく $k\theta$ を別の方法で取得するというやり方もあるが、 $k\theta$ もいずれにしても 2 点で求める必要がある。CHS や TJ-II も Beyond paradigm に立ち向かった数少ない例だと思う。プローブだけではなく HIBP でも可能だが、LHD の HIBP は例外的で、それを除くとやはり中型装置までの研究となり、大きな潮流になるにはまだ壁がある気がする。

岡村: PANTA の磁場は?

小林: 0.1 T。

岡村: 常電導 LHD も初期の CFQS も磁場は小さい。そういったターゲットで今回紹介されたような研究はできるか?

小林: できると思うし、そこからスタートするべきだと思う。基礎研究にとどまらない研究である、という意義をうまく説明して大型装置の人にも興味をもってもらえると良い。乱流計測に特化した研究など、何か路線があると良いのではないか。TJ-II や PANTA などは上手にやっている印象がある。HL-2A など、昔はパフォーマンス路線でなかなかできなかったが、最近ではプローブを多数挿入する実験で成果を出しているなど、ある意味での割り切り、言葉を変えると、ターゲットの明確化が必要かもしれない。

高橋: 常電導 LHD や CFQS など、プローブがいくつかインストールされると良いだろう。PANTA でも粒子フラックスを評価するときはラングミュアプローブを使ったのか?

小林: そうだ。4つのピンを備えており、マッハプローブで一成分の速度を測り、ポテンシャル計測でもう一成分の速度を測る。

高橋: 途中の話で v_{in} が出てきたが、実際にどういう評価をしているのか。ニュートラルの温度や密度が必要になるがどうやって見積もっているのか。

小林: 入れているガス量、電離量がわかっており、温度は室温としているが、どこまで詰められるかは限界があるので、最終的な見積もりには幅が生まれる。

清水: 密度揺動とポテンシャル揺動の計測結果を示しているが、一方で、温度揺動を測っている例はあまりないと思うが、それはプローブで測れるのか。

小林: 私がいたときはやっていなかったが、今はどうなっているかわからない。ただ、それができると熱輸送の評価にもつながり画期的だと思う。それができるとフレームワークや計画を用意できると良いし、個人的にも取り組んでみたい。熱輸送の場合は粒子輸送と違って、エネルギー保存から輸送が出せるので、その結果と比較しながら進めれば、計測の不確定性もある程度抑えつつ、やっていけると思う。

稲垣: 密度揺動と同期した温度揺動ということであれば、コンディショナルサンプリング法で統計的に求めることはできる。相関を持った揺動成分は抜き出すことができるはず。

小林: トリプルプローブではやってないのか。

稲垣: こちらの装置くらいの大きさだと、プローブサイズの影響が出てしまうので、波面にプローブを沿わせるときなどに誤差が生じる。LHD くらいのサイズであればプローブが相対的に十分小さくなるので可能だと思う。

小林: 実際の閉じ込めにどう効いてくるのかを見るためには、密度揺動だけでは不十分なので、温度揺動による熱輸送もおさえておく必要がある。

稲垣: 流れの研究としてどこまでをスコープにしているのか? 流れを運動量輸送だと思うと、やはり、駆動力と減衰力をしっかりと理解できると良い。ビーム以外の自発的な駆動力として、Maxwell 応力と Reynolds 応力を測るのが重要だと思う。それらを測ろうと思うと、ベクトル場の揺らぎを測ることになるので大変で難しいと思うが、大学ではできない、研究所としてできる課題として、是非チャレンジしていただきたい。

(3) [ユニット構築提案書の紹介](#) (リンクは所内のみ、高橋)

小林: 第一原理がわかっているのが利点とあったが、複雑系や多体系では、相互作用が難しいところで、第一原理がわかっているのは必ずしも強みにならないのではないか。他の複雑系でも状況は同じのように思うが。文章の流れとして、必ずしもそこにその一文が無くても良いのではないか。

高橋: 他分野への展開や波及を考えたときに、例えば生物群の構造形成など、現象論的な説明があるものの第一原理がわかっていないような現象を考える時の、プラズマ研究サイドの強みの一つであると認識している。

稲垣: やることを聞いていると、研究の重心が分岐現象の理解にフォーカスしているような印象で、流れと構造形成というところの関係が良くわからなかった。LH 遷移に取り組むというように見えたが、内容はトカマクでやっていることとあまり変わらないような印象を受けたので、このユニットならではのアプローチがあると良いと思う。

岡村: 乱流を調べるとかフローを調べるということは、世界中でどこでもやっている。その中で、このユニットで研究した時に当然、論文を書いて投稿をする。その時にレフェリーが新規性やユニーク性を評価するわけで、どこかと同じようにやって測定して同じように出ました、というのは CFQS という一つの装置でやったからと言って、ユニークというわけにはいかない。世界的にはこういう風に研究は動いているが、その中でこの研究ユニットでは、こういう新しい側面の研究を展開するということが強調されている必要がある。大事なテーマは皆やっている。それを皆と同じようにやっていると足りない。そこをどうするのか。この研究グループでは世界的にやっていない話として何をやるのか。

高橋: そういったことを考える時に、一人で考えていては一人のアイデアしか出ない。協力者との議論や他のユニット提案者との連携の議論の中で意見交換を行い、大変参考になっているが、今日紹介した現時点での提案書は個人の構想をもとに作ったものであり、おっしゃることはもっともだと思うが、今この場でこれだ、ということは提示できない。考えるのは個人テーマではなくユニットとしての研究テーマであるし、今はユニットを構築していくフェーズなので、是非いろいろな人からインプットをいただいて、世界的な潮流の中で存在感のある研究を提示できるように内容を練っていききたい。

岡村: 稲垣さんのように、そういう研究を先頭になってやっている人はそういうことが分かっているはずなので、ある意味、稲垣さんが唸るようなことを一言言わないといけないかもしれない。

高橋: 稲垣さんを唸らせるようなことなら、稲垣さんに相談すれば良いのでは。

岡村: そういうことを言っているのではない。

高橋: 承知している。研究を広げたり深めたり具体化したりすることは、レスポンスブルな人間がアンテナの感度を高めて頭を絞らない限り前に進まない。

吉沼: フローの観点から研究をするということだが、それは全ての現象をフローで表現するというくらい強いメッセージなのか。つまり、現象の時間スケール空間スケール全てを

フローの組み合わせで表現できるということを目指すのか。それともフローと現象の関係を調べていくということか。

高橋: ユニット研究をどう進めていくかに関わる場所であるが、科学全般への波及を目指すのであれば、理想的には前者のような考え方で、広く包括するような法則やフォーミュレーションを出すということになる。一方で、10年というユニットの活動期限があり、その中で解明できるテーマを提示する必要がある。そういった意味で研究を具体化する必要があるが、あまり個別具体的なことばかり言ってもそれではユニットとして活動する意味があまりない。分節化した上で、それを統合して他にはない特色を出せるのが良い。

吉沼: 雁の群れがV字型になるというメカニズムはまだわかっていないが、仮説としては、全体として疲労が最小になるように群れの構造が形成されているという説明がある。そこはどうか。

稲垣: 鳥の群れの形成について、鳥が自分の周りにはいる鳥たちのベクトルを見て、ベクトルの平均値になるように自分の配向運動を調整するというモデルをたてると群遊や、あるいは魚の群泳ができるという話がある。他にも磁性体の磁化スピンの揃うというのも自分の周りのスピンの向きを見て自分のスピンの向きを決めるというルールで考えると、遷移現象と共通する部分がある。プラズマも近接相互作用のモデルを立てると何かしらの構造が形成されるということを数理で表現できるかもしれない。アクティブマターなどは数理モデルが先行しており、数理モデルのパラメータとしてどれくらいの半径の鳥を見るか、などはえいやと決めているところがある。それをモデル内で数値的に変えるのではなく、観測的に変えることができるというのが、一つのプラズマの利点だと感じる。