

大学名	九州大学		
University	Kyushu University		
学部/研究科	マス・フォア・インダストリ研究所		
Faculty/Department	Institute of Mathematics for Industry,		
研究指導者	福本 康秀	職名	教授
Research Advisor	Yasuhide Fukumoto	Position	Professor
帰国留学生	ゾウ ロン		
Former International Student	ZOU Rong		
派遣期間	令和 元年10月 8日 ~ 令和 元年10月17日 (10日間)		
Period of Stay	10 days (October 8, 2019 - October 17, 2019)		

### <帰国留学生プロフィール/Profile>

国籍	中華人民共和国・アジア
Nationality	China/Asia
所属機関	浙江師範大学・講師
Affiliation	Zhejiang Normal University/Lecturer
現在の職名	講師
Position	Lecturer
研究分野	流体力学・電磁流体力学
Major Field	Fluid mechanics/Magnetohydrodynamics



研究指導風景(10月16日)  
A scene of supervision(Oct. 16)

### <研究指導者からの報告/Research Advisor Report>

<b>①研究指導概要 / Outline of Research Guidance</b>
<p>帰国留学生は、九州大学大学院数理学府博士後期課程に在籍中、磁気回転不安定性の局所線形安定性の問題に取り組み、ラグランジュ変数を用いる独自の定式化を行って、長年にわたって見落とされてきた新たな効果を発見した。これが学位論文である。このオリジナルな手法によって、大域的線形安定性解析、さらに、波の相互作用が誘導する平均流の計算を通して非線形安定性解析に進むことができる。これの鍵を握るのが波のエネルギーである。トポロジカル電磁流体力学の概念である等磁束・循環攪乱のアイデアを用いて、帰国留学生は、学位取得後、新たな波のエネルギーの公式を導いた。等磁束・循環攪乱を構成する2つの補助ベクトル場のうち、一つは流体粒子の位置のラグランジュ変位である。もう一つは電流に関係しているが、意味するところが不明である。この意味を明らかにし、2つ目の補助ベクトル場が必要であるかどうか、新しいエネルギーの公式の用途について検討を加えた。</p>
<b>②研究指導の成果 / Results of Research Guidance</b>
<p>2番目の補助変数の物理的内容を理解するため、ホールMHDの定式化をヒントに、「電子流体」と「イオン流体」からなる2流体モデルによって検討した。これはMHD(電磁流体力学)の拡張である。2流体モデルによって電流密度を書き下し、その時間積分が第2補助変数ベクトルであることをつきとめた。しかし、新しいエネルギーの公式は純粋にMHDの枠組みで得られ、その基礎にある「等磁束・循環攪乱」もMHDの枠内にあって、その場合、第1補助ベクトル場で十分である。第1補助ベクトル場のダイナミクスを支配するFrieman-Rosenbluth方程式は非圧縮MHD方程式と等価である。第2補助変数ベクトル場の必要性の有無が残された課題である。</p> <p>電気伝導性流体が円筒内に閉じ込められ、流れが剛体回転運動を行い、軸方向に一樣かつ中心からの距離に比例する周方向磁場がかけられた基本場に対する攪乱場とスペクトルを、ベッセル関数を用いてあらわし、それを用いて攪乱のエネルギーを陽に書き下すことに成功した。</p>
<b>③訪問大学等での学術交流 / Scholarly Exchanges Done at Universities Visited, etc.</b>
<p>滞在中、数学の研究者および大学院生相手に、計4回のセミナー講演を行った。うち3回は「トポロジカル電磁流体力学入門」である。ヘルムホルツ(1858)は「渦度」や「渦線」を導入し、渦度ベクトルの基本的性質「渦線は流体に凍りついている」を導き出した。「ダイナミクス」には元来「力」という意味合いがあり、とくに、ニュートンの運動法則に付随する属性を指して使う。これに対して、任意の流体運動(微分同相写像)のもとで成り立つ属性を「キネマティクス」、そのとき不変であるものを「位相(トポロジ的)不変量」と呼ぶ。20世紀後半、トポロジーとダイナミクスの境目を明瞭に照らす枠組み—オイラー・ポアンカレ形式—が定式化された。ヘルムホルツの精神にもとづく流体力学の紹介を2回で行った。</p> <p>3回目は、渦糸の3次元運動を最も単純化して扱う「局所誘導近似」とその無限自由度完全可積分性の解説を行った。局所誘導方程式は非線形シュレディンガー方程式と等価なソリトン方程式である。この背後に、局所誘導階層を導く陪ハミルトニアン構造がある。これから導かれる再帰演算子は、流体運動を支配するオイラー方程式に対するリー・ポアンソ構造から導かれる。さらに、局所誘導方程式の定常解が、対称こまの運動や弾性棒の平衡系と等価であることを紹介した。</p> <p>4回目は、浅水波方程式に川底の抵抗の効果を加えた「洪水波方程式」の導出と、その定常解である「転波」について解説した。転波は一種の衝撃波列である。転波は重力波より速く進行するが、転波とともに運動する座標系においては、超臨界の領域と亜臨界の領域が交互に並んでいる。転波の安定性が重要な課題であると述べて締めくくった。</p> <p>第1回目のセミナー終了後、帰国留学生を含む浙江師範大学・数学計算科学科の教員と、日中の数学・数理学府研究の動向に関する情報交換、研究者の交流および留学生の交換に向けて懇談を行った。先方からの主な参加教員は、Yang学科長(力学系)、Zhang教授(可積分系)、Jiang教授(偏微分方程式)、Jin准教授(偏微分方程式)であった。浙江師範大学の学生数は、九州大学の2~3倍である。当然教員志望が多いが、これは、九州大学理学部数学科と共通である。中国では、学部卒で教員になると勤務する学校を選べないが、修士修了後に教員になるとその自由度を獲得できる。多くはないが、博士号を取得した研究者もいる。また、浙江師範大学では多くの留学生を受け入れている。アフリカからの留学生が多いのが特徴である。</p> <p>双方の大学で大学院生を交換して、夏季中期インターンシップ(3か月程度)を実施する可能性を打ち合わせた。</p>

<帰国留学生からの報告/Former International Student Report>

①研究指導の成果 / Results of Research Guidance

We examined the evolution equations for isomagnetovortical perturbations in terms of two auxiliary vector fields and have succeeded in constructing a new formula of the wave energy. Our formulation uses two auxiliary vector field, one of which is the Lagrangian displacement of a fluid particle. We found the relation of the second field to the Hall MHD.

②今後の計画 / Further Research Plan

The first auxiliary vector field is sufficient to construct the Frieman-Rosenbluth equation, which is equivalent to MHD equations. We have to clarify whether the second one is prerequisite or not for isomagnetovortical perturbations, and then to clarify the utility of our new energy formula. Then I calculate the spectra of a cylindrical MHD field.

③本事業に対する意見・感想等 / Your general impression and opinion about the Follow-up Research Guidance

This Follow-up Research Guidance is very important for my research on magnetorotational instability (MRI) with my PhD supervisor, Prof. Yasuhide Fukumoto. We had very fruitful discussions about the MRI, especially about the formulation of the MHD wave energy and the MRI analysis base on it. We are preparing a draft on MRI and wave energy. Many ideas in the draft become clear by this direct and intensive discussion and the next steps are well planned. This guidance improved my knowledge a lot and accelerated my research which slowed down without direct discussion. At the same time, we had good communications with my colleague in Zhejiang Normal University, which stimulate us for new ideas in the future research. Encouraged by this guidance from Prof. Fukumoto, I will move on with our MRI research.



3回目のセミナー終了後の記念撮影(10月11日)  
Group photo after 3rd seminar (Oct. 11)



セミナー後のキャンパス散策(10月11日)  
A scene of walking in campus after a seminar (Oct. 11)