ISSN 2186-5647

回転水槽を用いた乱流現象の観測実験の立ち上げ

日大生産工(院)　○髙橋 芳文　　日大生産工　佐々木 真

1.　背景

乱流は自然界に普遍的に存在するものであり、磁場閉じ込めプラズマや惑星、気象現象など様々な現象で乱流が生じている。このような系ではしばしば乱流により構造形成や輸送、伝播、拡散、突発性現象が起きる。特に惑星のような回転流体系や磁場閉じ込めプラズマでは準二次元乱流が発達し、その非線形現象によって活発な構造形成が引き起こされる。例えば木星における縞模様はプラズマにおけるゾーナルフローと同種の流れである[2]。というのも回転流体系である木星や核融合プラズマでは、コリオリ力とローレンツ力が数理的に同じ形として運動方程式に入ってくるため、生じる乱流も同じものである[1]。ゾーナルフローは核融合プラズマの特性を支配するものであり、その特性の理解は喫緊の課題となっている。しかし、その全容の計測は非常に困難である。核融合プラズマでは温度が数億度にもなるため、流れ場の３次元・大域的な計測は困難である。一方で惑星における計測では多数の衛星を打ち上げる必要があり非常にコストがかかってしまう。

そこで本研究では、ゾーナルフローの詳細な大域計測を可能にすべく、回転水槽を用いた実験を立ち上げる。その上でゾーナルフローと乱流の相互作用について詳細な解析を行うことを目指す。

2.　実験装置および測定方法

開発した実験装置をFig.1に示す。φ700の回転台の中心にφ500の円柱水槽を置き、その水槽内に円錐台を入れる。回転台の上に三脚を置き、三脚にカメラを取り付け、円柱水槽内の様子を真上から撮影する。回転台を回転させることで、それに伴い円柱水槽や三脚も回転をする。水をいれた円柱水槽の中にインクを入れ、インクがどのように動くかを把握することで乱流の動きを可視化する。円柱水槽内に入れる円錐台をFig.2に示す。円錐台の傾斜によって、水面と傾斜間に高さ勾配が生まれる[3]。その高さ勾配がドリフト波と呼ばれる乱流を引き起こす駆動力となり、惑星や核融合プラズマで引き起こされる乱流と同種の乱流が生じることが期待される。

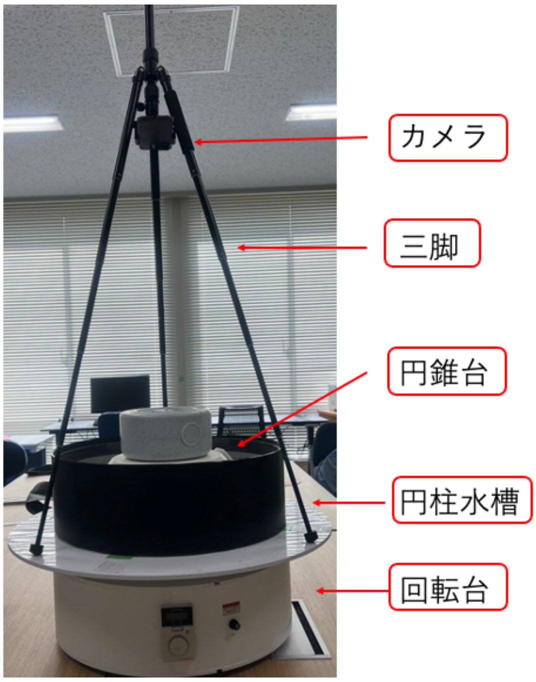

Fig.1 回転水槽実験装置

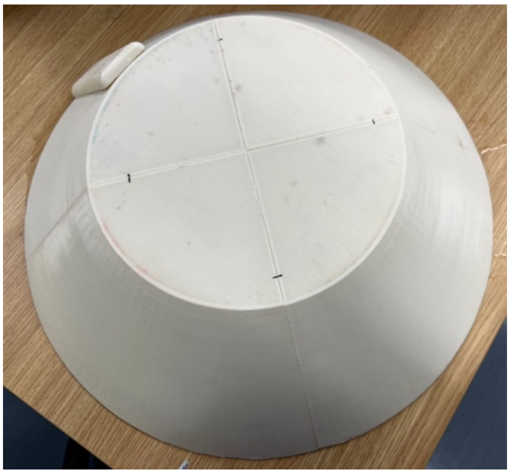

Fig.2 円錐台

3.　実験結果

本実験では赤色のインクを入れたことで赤色に染まった水を円柱水槽内に入れている。

Start up of an experiment for investigation on turbulent flow interaction by using a rotating water tank

Yoshifumi TAKAHASHI, Makoto SASAKI

そこに青色のインクを入れ、三脚に取りつけたカメラで動画を撮影し、青色インクの動きを観測する。回転台は 90[rad/s]で回転させる。実験開始前からの水面の乱流を抑えるため、回転させてから 5 分以上経過してから回転している円柱水槽内青色の食紅を入れ実験を実施した。三脚に取り付けたカメラから回転している水槽のスナップショットしたものを Fig.3 に示す。

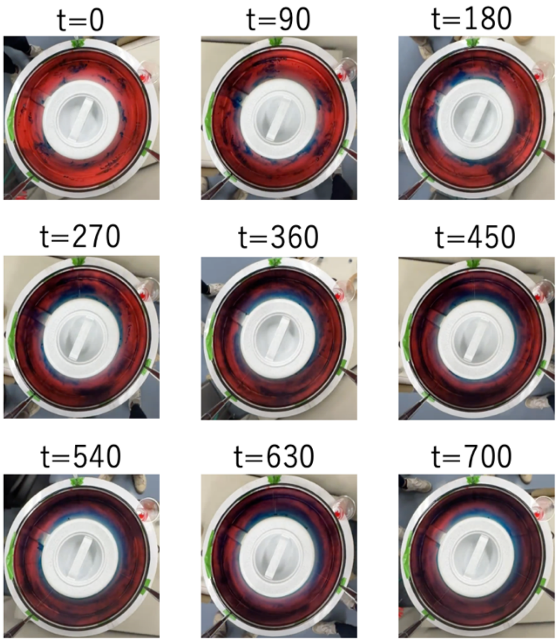

Fig. 3 水槽内のスナップショット画像

Fig.3 のスナップショット画像を確認すると時間 t[s]が経過することで青色インクが流体運動に同期して時空間的に変動している様子が確認できる。また、t=180[s]くらいから青インクと赤インクの層状構造が形成され始める。これがゾーナルフロー状の構造形成の可能性がある。水面まで距離を 0 とし、水槽の外周を正の方向とし 72mm、円柱水槽の中心から x 軸正の方向を 0°として時計回りに 270°進んだ地点での青インクの時間発展を示したものを Fig.5 に示す。Fig.5 で定常的な乱流状態が実現していることが確認できる。上述のゾーナルフロー状構造と乱流の時空間特性については発表で詳述する。

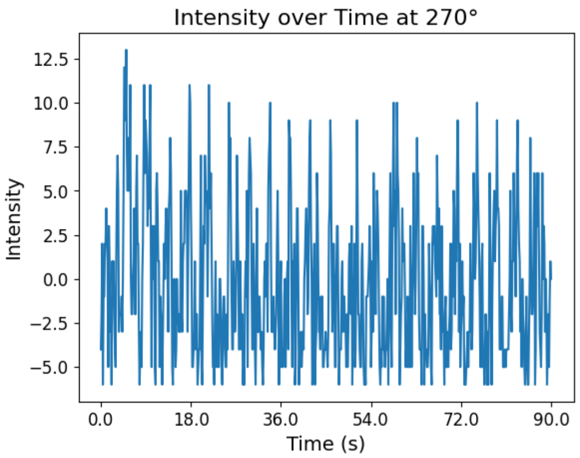

Fig.5 局所的な乱流の時間発展
(t=300[s]から390[s])

4. まとめ

準二次元乱流の相互作用の素過程を調べるために回転水槽実験装置を立ち上げた。実験装置は設計、選定などを行い、一から装置を立ち上げた。円錐台によって高さ勾配を作りドリフト型乱流の励起を試みている。カメラによる計測を行いゾーナルフロー状の層構造の形成を確認した。また、時空間に変動する乱流も共存する系を実現した。発表では励起している乱流や層構造について詳述する

参考文献

1) Diamond, Patrick H., et al., "Zonal flows in plasma-a review.", Plasma Physics and Controlled Fusion, 47.5, (2005)
2) Boris Galperin, Peter L, "Zonal Jets Phenomenology, Genesis, and Physics", (2019):, p.119-133
3) O D Guran and P H Diamond, Zonal flows and pattern formation, Journal of physics, (2015)