

Title	Experimental Study of Turbulent Flows Driven by Precession in a Sphere and Spheroids
Author(s)	堀本, 康文
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/69615
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏 名 (堀 本 康 文)

論文題名

Experimental Study of Turbulent Flows Driven by Precession in a Sphere and Spheroids
(歳差運動により駆動される球体および回転楕円体内の乱流の実験的研究)

論文内容の要旨

回転する物体の回転軸自身がほかの軸のまわりに回転する運動を歳差運動とよぶ。流体を充填した容器を歳差運動させると内部に乱流が維持される。地球も歳差運動をしていることから、とくに地球内部の融解鉄の流れによる地磁気の生成維持の観点からこの系は古くから研究されてきた。ところが、この系の動力学は容器の単純な運動からは想像できないほど複雑であり、多くの未解決問題が残されていた。本研究では、歳差運動をする球体および回転楕円体内の乱流に関する、以下の三つの未解決問題を室内実験（流れの可視化と流速計測）とその結果の理論解析により解決した。

歳差が十分弱いとき、容器内には定常流が維持され、歳差が強くなると非定常流へと遷移する。回転楕円体ではこの不安定性には三つの可能性がある。しかし、それらのパラメタ依存性は容器の楕円率などが複雑に関係する問題であり、系統的には調べられていなかった。本研究では先行研究の理論を解析して、それぞれの不安定性が卓越するパラメタ域を求めた。そして、流速計測で得た臨界パラメタとの一致から、その予測の妥当性を実証した。

歳差が強くなると、上述の非定常流は発達した乱流へと遷移する。回転楕円体ではこの乱流遷移は亜臨界遷移である。ところが、この遷移過程の容器形状依存性や乱流中の流れの構造は未解明であった。本研究では、楕円率の小さな回転楕円体および球体内での乱流遷移を定量的に調べた。その結果、球体では回転楕円体と質的に異なる遷移過程により発達した乱流が生じること、しかし一方で、発達した乱流の構造は回転楕円体内の乱流と酷似していることを明らかにした。さらに、発達した乱流が維持されるパラメタ域も同定した。

容器内の発達した乱流の存在は古くから知られるが、なぜ容器内に発達した乱流が維持されるのかという問題は未解決であった。本研究では、微量な添加剤による乱流の抑制現象を利用してこの問題を解決した。添加の前後の乱流を詳細に比較することで、乱流中の渦がひずみ速度場を介してより小さな渦を形成し、さらにそれが階層的に生じることで容器内の発達した乱流が維持されることが明らかとなった。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (堀 本 康 文)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授 後藤 晋
	副 査	教授 川野 聡恭
	副 査	教授 河原 源太
	副 査	教授 杉山 和靖

論文審査の結果の要旨

本論文には、自転軸が歳差運動をする球体あるいは回転楕円体容器内に充填された流体の流れに関する室内実験結果および理論解析がまとめられている。地球の自転軸が非常にゆっくりと歳差運動をしていることから、この系は地球内部の融解鉄の運動とそのダイナモ効果の解明のために古くからよく研究されてきた。しかし、その単純な駆動機構にも拘わらず維持される流れは非自明であり、しかも、そのパラメタ依存性も複雑である。ここで、充填された流体が非圧縮のニュートン流体の場合、歳差運動をする容器内の流れは（自転の強さを表す）レイノルズ数と（歳差の強さを表す）ポアンカレ数の二つの無次元パラメタに支配される。本論文では系統的な室内実験により、この流れのパラメタ依存性およびその維持機構を明らかにした。主な成果は以下の三点である。（一）レイノルズ数が十分に大きくポアンカレ数が十分に小さい場合、歳差運動をする回転楕円体容器内には定常流が維持されるが、レイノルズ数を固定したままポアンカレ数を大きくすると、ある臨界値でこの定常流は周期流へと遷移する。本論文では、この不安定性の楕円率依存性を理論的に明らかにし、実験で得られた臨界ポアンカレ数のレイノルズ数および楕円率への依存性を見事に説明した。（二）レイノルズ数を固定したままポアンカレ数をより大きくすると、（一）で現れた周期流は分岐を繰り返して、発達した乱流へと遷移する。本論文では、この発達した乱流への遷移過程に容器形状の微妙な差異が大きな影響を与えることを実験的に示した。即ち、発達した乱流は、球体容器内では連続的な遷移により出現する一方で、楕円率が有意な回転楕円体内では亜臨界的に現れる。さらに、本論文では、この楕円率依存性を定常旋回流に対する理論解析を用いて説明した。（三）この発達した乱流の維持機構を実験的に説明した。実験で用いた手法はユニークである。即ち、容器内の流体に微量の界面活性剤を添加し、その乱流抑制現象に着目した解析を行った。つまり、界面活性剤による乱流抑制の理論を用いることで、乱流の維持機構を逆に解明した。その結果、歳差運動をする球体容器内の乱流渦がエネルギーカスケード機構により生成されるという明確な証拠を示した。（一）～（三）のいずれの研究成果も、長く未解決であった重要な問題を解決した世界第一線の成果であり、本論文は博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。