



Title	Dynamical Systems Approach to Vortex Dynamics in Turbulence
Author(s)	安田, 達哉
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/52057
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 （ 安 田 達 哉 ）	
論文題名	Dynamical Systems Approach to Vortex Dynamics in Turbulence (乱流中の渦動力学への力学系的アプローチ)
論文内容の要旨	
乱流において、普遍的統計法則が報告されている一方、瞬間場が解析対象となる動力学に関しては、十分な理解に至っていない。乱流運動は時間的に複雑に振る舞い、且つ、厳密に再現されることがないため、未解決難題として依然と立ちはだかっている。乱流の動力学を解明するためには、乱流に内在する「非再現性」・「乱雑性」を克服する必要がある。そこで、本研究では、乱流にみられる時空間的振る舞いを力学系における不安定周期軌道によって捉え、不安定周期軌道に沿って再現性のある動力学の解析を実施した。 低レイノルズ数乱流に関しては、乱流の性質を再現する不安定周期軌道が数値的に求められている。申請者はまず、この不安定周期運動を対象に、再現性ある動力学の解析を実施した。この周期運動は、特別な空間対称性によって、「乱雑性」が低減されている。その結果、一般の乱流では捉えることが困難である、大スケール渦構造と小スケール渦構造の動力学的相互作用により、空間平均運動エネルギーに代表される大域量の大きな時間変動を引き起こされることが明らかにされた。不安定周期運動を用いた動力学解析は、ひとつの有効なアプローチであると考えられる。 次に、同様のアプローチを高レイノルズ数乱流に適用することを期待し、高レイノルズ数乱流のラージ・エディ・シミュレーション（LES）を実施した。それにより、十分に高レイノルズ数においても乱流運動が時間準周期的に振る舞うことを明らかにした。この結果を受けて、高自由度力学系における不安定周期運動として乱流運動の時間的振る舞いの理解に繋がる可能性を示唆する。LESを用いることにより実効的な自由度を低減し、ニュートン・クリロフ・フックステップ法を用いて、近年報告されている渦伸長によるエネルギー伝達事象を内包する不安定周期運動を求めることに成功した。	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 （ 安 田 達 哉 ）			
論文審査担当者	(職)		氏 名
	主 査	教 授	河原源太
	副 査	教 授	川野聡恭
	副 査	教 授	杉山和靖

論文審査の結果の要旨

本論文では、高レイノルズ数乱流において、壁などの境界から離れた領域に見られる一様等方な乱れの性質を決定する渦構造の動力学が、力学系のアプローチと数値シミュレーションにより議論されている。本論文で用いられている力学系のアプローチとは、ナビエ・ストークス方程式やフィルタリングされた方程式に対する、乱流状態を表す複雑でかつ再現性のない数値解の代わりに、乱流状態の統計的性質や動力学特性を再現する不安定周期解に基づいて、乱流中の渦構造の動力学を論じる手法である。まず、直交する三方向に周期的でかつ、Kida の高対称性とよばれる空間対称性を有する乱流運動中に認められる運動エネルギーやエネルギー散逸率の大振幅時間変動を担う動力学について検討を加えている。高対称乱流は、エネルギー注入により維持される大スケールの管状渦構造と、それらの間に形成されるひずみ流による伸長の結果生じる渦層および層内に埋め込まれた小スケールの渦管とからなる。大スケール渦は、それに巻き付いた小スケール渦の誘導する軸流の影響により引き伸ばしあるいは圧縮の作用を受け、渦の旋回強度を時間的に変動させる。不安定周期解を用いて、この時間変動のメカニズムを明らかにし、それにより乱流の運動エネルギーやエネルギー散逸率の大振幅時間変動の原因を同定している。また、周期箱において定常外力により駆動される高レイノルズ数乱流の振舞いを LES (Large-Eddy Simulation) を用いて議論している。外力は定常であるにも拘らず、乱流の運動エネルギーやエネルギー散逸率は回帰的な時間変化を示す。この回帰的な変動が、外力により維持される大スケール渦構造の成長、減衰と、エネルギーカスケードを担う小スケール渦構造の生成、消滅によって特徴付けられることを明らかにしている。さらに、このような LES における乱流状態の特性を再現し得る不安定周期解を数値的に求め、その生成の起源を示す分岐図を得ている。以上の研究成果は、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。