OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Lifetime and Growing Process of Localized Turbulence in Plane Channel Flow
Author(s)	金澤, 昂弘
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/69614
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　　名　（金　澤　昂　弘）	
論文題名	Lifetime and Growing Process of Localized Turbulence in Plane Channel Flow （チャネル流における局在乱流の寿命と成長過程）

論文内容の要旨

円管流や平行平板間流などの壁面せん断流における層流から乱流への遷移は，有限振幅の攪乱の成長によって発生する．この本質的に非線形な現象は乱流にまつわる未解決問題の中でも特に難しい問題とされている．本研究は，壁面せん断流れにおける空間局在攪乱から乱流への遷移過程の特定を目的とする．チャネル流の直接数値計算(DNS)により，局在乱れの寿命や発生，成長過程を調べることで乱流の初期過程の解析を実施した．

遷移域のレイノルズ数において，空間局在した過渡的乱流が観測されている．本研究では，流れ方向局在乱流の寿命をスパン方向の周期箱寸法を変えながら測定した．その結果，寿命は乱流の構成単位となる秩序構造の，独立な過程で決定されることが明らかとなった．これは他の壁面せん断流で発生する，過渡的乱流の寿命を定性的に評価することが可能であることを示唆する結果となった．

次に本研究では，有限振幅の攪乱から乱流へ遷移する過程を，edge stateと呼ばれる解の性質により説明できると考えた．edge tracking法とNewton-Krylov hookstep法により，空間構造が流れ方向とスパン方向に局在した非線形解を求めた．安定性解析を行った結果，不安定固有値が1つの解のedge stateであることが明らかとなった．不安定モードの固有関数分布より，空間局在乱流の成長の初期過程が，スパン方向に新たな秩序構造の発生させることで説明されることを示した．

また，斑点状の局在乱流が成長すると帯状の乱流を形成することが知られている．本研究においても非常に大きな周期箱寸法で発生する，局在した乱流帯を観測した．長時間積分により，低レイノルズ数で統計的平衡状態が実現し，持続する局在乱流の存在を示した．支配方程式に空間分布する減衰項を付加することで，この局在した乱流帯の下流端領域を抽出することに成功した．そしてこの領域に埋め込まれた周期運動を発見し，局在した乱流帯の生成維持機構を担う重要な動力学を特定した．

様式７

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　　名　（金　澤　昂　弘）		
	（職）	氏　　名
論文審査担当者	主 査　教 授	河原源太
	副 査　教 授	後藤　晋
	副 査　教 授	杉山和靖

論文審査の結果の要旨

本論文では，平行平板間において圧力勾配により駆動される，いわゆる平面ポアズイユ流の乱流遷移について理論および数値シミュレーションによる検討を加えたものである．平面ポアズイユ流に代表される壁面上に形成される剪断流は，層流状態が線形安定であるにも拘らず乱流が現れる亜臨界問題の典型例であり，その解明には有限振幅撹乱からの非線形の流れの動力学を論ずる必要があり，流体力学における難問と見なされてきた課題である．この問題に対して本論文では力学系理論に基づく新規のアプローチを展開している．

まず，亜臨界乱流遷移に現れる空間局在乱れの寿命とその空間的な広がりとの関係について，乱れの空間的広がりを巧みに制御した数値シミュレーションを実施している．このシミュレーションでは，壁面に平行な２方向に周期境界条件を課し流れ方向の周期は乱れが局在するに十分な大きさにとるが，スパン方向の周期は乱れが局在することなく広がるよう小さくとる．そこで，乱れのスパン方向の広がりを，周期を変えることにより変化させ，広がりに対する乱れの寿命の依存性を調べている．その結果，乱流が層流化するまでの寿命が乱れのスパン方向への広がり（長さ）に対して指数関数的に増加することを明らかにしている．この事実は，乱れを構成する低速ストリークや流れ方向渦といった秩序構造の間の相互作用は弱く，それらの時間発展が近似的に独立していると見なせることを意味する．また，乱れの寿命のレイノルズ数に対する依存性は二重指数関数で近似できることも明らかにしている．

次に，エッジ状態とよばれるナビエ・ストークスの不変解を数値的に求め，その不安定多様体により乱流遷移過程を理論的に記述することに成功している．平面ポアズイユ流では流れ方向に局在する周期解の存在が知られていたが，この解をスパン方向の周期を増加させながらニュートン法によって追跡し，スパン方向に局在した周期解が存在することを明らかにしている．この解はスパン方向に局在してもエッジ状態であり続けることを明らかにし，この解の不安定固有関数および不安定多様体によって乱れの空間発達のメカニズムを解明している．

さらに，極めて大きい周期箱においては，平面ポアズイユ流での乱流縞とよばれる空間局在構造の長さが時間的に平衡状態を保つことを明らかにし，時間的に発達するという従来の概念を覆す数値シミュレーション結果を提示している．また，空間局在した外力をナビエ・ストークス方程式に導入することによって，乱流縞の起源を与える周期解を求めることに成功し，亜臨界乱流遷移で発生する乱流縞を外力パラメターに関して超臨界乱流遷移として捉えられることを明らかにしている．

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．