

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2023

課題番号：17K05313

研究課題名(和文) 浅水方程式系における自由境界問題の解析

研究課題名(英文) Analysis of free boundary problems in shallow water systems

研究代表者

大縄 将史 (Ohnawa, Masashi)

東京海洋大学・学術研究院・准教授

研究者番号：10443243

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、不連続に変化する箇所を含む水や空気の流れがどのように維持されているのかについて研究しました。実際の例は川の流れが堰を下った後や、山を越えたおろし風が平地に近づくときに気流の乱れを引き起こす場面などに見られます。これらの流れでは流体底面の地形の変化によって流れを波のパターンが伝わる速度以上に加速し、その後の緩やかな地形の所でそれが維持できなくなるために不連続に減速する際にエネルギーを解放し、外部に損傷を与えます。従来の研究では限られた地形における流れしか解析することができませんでしたが、本研究によってその制約を克服し、このような流れの構造の維持機構を明らかにしました。

研究成果の学術的意義や社会的意義

流れが不連続に変化するときにはエネルギーを解放します。河川の堰では人工的に急勾配の後に平らな地形を続けてそのような流れを作り出し、流れの勢いを弱めるものですが、洪水や津波が堤防を乗り越えた際には、周囲の建築物や堤防自体を損傷させるため、このような流れの形成や維持の仕組みを理解することは防災上重要なことです。本研究では実際に現れるあらゆる地形での流れを解析できる手法を開発できました。将来的には流れを制御し、防災に役立てられることが期待されます。

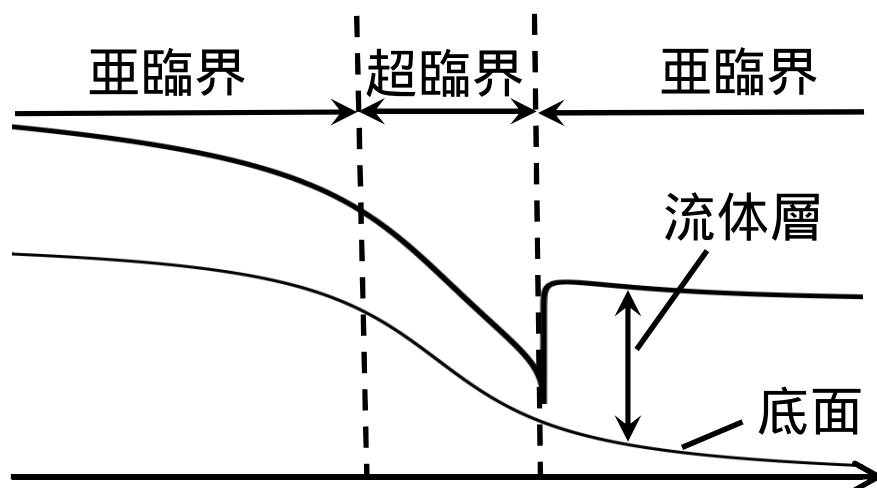
研究成果の概要(英文)：In this study, we investigate how flows of water and air, which include discontinuous changes, are maintained. Examples in practice can be observed when river flows descend downstream of weirs or when downhill winds cross over mountains and disturb airflow as they approach flat terrain. In these flows, orographic changes of the fluid bed accelerate flows faster than the propagation speed of wave patterns, causing energy release when they abruptly decelerate upon encountering gentle terrain, causing external damage. Previous studies were constrained to flows in limited terrains. However, this study overcome those limitations and elucidated the mechanism for sustaining the structure of such flows.

研究分野：流体力学 微分方程式

キーワード：不連続流 流体の遷移 漸近安定性

1. 研究開始当初の背景

津波や洪水がどのように伝わるかを正しく計算・認識することは防災上非常に重要なテーマです。これらの流れの特徴は水面高が急激に変化することや、元々水のない所へ水が流れていくことです。こういった「不連続性」を持つ流れを数値計算や数学的方法で解析することは多くの困難を伴っており、理解できていないことが数多く残されています。



河川の堰付近における不連続（跳水と呼ばれる）。この所は勾配と摩擦係数が等しくなる場所。ここを境に亜臨界状態から超臨界状態に連続的に遷移する。勾配がさらに大きくなった後に緩い勾配になると不連続的に亜臨界状態に戻る。

2. 研究の目的

本研究の目的は、水の波の動きを表現する方程式の中で最も基本的な浅水方程式系の自由境界問題を数学的に解析することです。ここで自由境界とは、水面高が不連続を含む際はその位置あるいは水面高が 0 になる位置の二つの内容を指し、上述の「不連続」が起きている場所です。不連続性をもつ流れの数学的な解析はできていないことが非常に多く、特に災害に結びつきやすいこれらの流れの生成・維持機構を解明することで予測や制御に役立てることを目的とします。

3. 研究の方法

解析の手法としては物理的な考え方ともっとも相性の良いエネルギー法を用います。不連続性を持つ流れの解析が困難なのは、流れの中に水面パターンが伝わる速さと流体自体の速度の大小関係が入れ替わる箇所が混在することです。そのために、本研究では複数の種類のエネルギーを構成しました。また、不連続を含む流れは地形が急激に変化する場所に現れますが、そのような場の解析は従来困難でした。本研究では時空間を一体として扱うことで地形が急激に変化する場での解析を可能にしました。

4 . 研究成果

本研究では時間変化せず(定常流)不連続点を含む流れの漸近安定性を証明しました。漸近安定性とは定常流に小さな摂動を加えたときに、その摂動がどんどん小さくなることです。特徴的なことは、地形の変化がどれほど急激であっても定理の主張が成立することです。また、証明のアイデアは水の流れだけでなく、ジェット飛行機のエンジンのような形状をしたノズル内の気体の流れに対しても適用できます。また、当初予期していなかったことですが、流れが超臨界(流速が位相速度を上回る)状態から亜臨界(流速が位相速度を下回る)状態へ不連続に変化する場合だけでなく、亜臨界から超臨界に連続的に変化する場合にも漸近安定性を示すことができました。これによって考え得るあらゆる定常流を対象にすることができるようになりました。現在これらの成果を論文としてまとめています。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Suzuki Yukihito, Ohnawa Masashi, Mori Naofumi, Kawashima Shuichi	4. 巻 31
2. 論文標題 Thermodynamically consistent modeling for complex fluids and mathematical analysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Mathematical Models and Methods in Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 1919 ~ 1949
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0218202521500421	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Masashi Ohnawa and Masahiro Suzuki	4. 巻 17
2. 論文標題 Time-periodic solutions of symmetric hyperbolic systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Hyperbolic Differential Equations	6. 最初と最後の頁 707-726
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0219891620500216	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 7件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 大縄将史, 鈴木政尋
2. 発表標題 砕波を伴う山越え気流の漸近安定性
3. 学会等名 日本数学会2022年度年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大縄将史, 鈴木政尋
2. 発表標題 摩擦の影響を受ける河川流の漸近安定性
3. 学会等名 日本数学会2022年度秋季総合分科会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大縄将史
2. 発表標題 Some properties of a finite difference approximation to a fractional Burgers equation
3. 学会等名 The Eighth Japan-China Workshop on Mathematical Topics from Fluid Mechanics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大縄将史, 鈴木政尋
2. 発表標題 拡大管内の衝撃波の漸近安定性
3. 学会等名 日本数学会2021年度秋季総合分科会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大縄将史, 鈴木政尋
2. 発表標題 砕波を伴う山越え気流の漸近安定性
3. 学会等名 日本数学会2022年度年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木政尋, 大縄将史
2. 発表標題 対称双曲型方程式系の時間周期解について
3. 学会等名 日本数学会2021年度年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大縄将史
2. 発表標題 On steady solutions with jumps in shallow water equations
3. 学会等名 Workshop on Mathematical Fluid Dynamics and Related Topics (発表が確定し概要を提出したものの, 開催中止) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大縄将史
2. 発表標題 Remarks on the dynamics of rotating shallow water systems
3. 学会等名 第7 回弘前非線形方程式研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大縄将史
2. 発表標題 回転浅水系における非自明状態への漸近過程
3. 学会等名 Workshop on Analysis in Kagurazaka 2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大縄将史
2. 発表標題 ある移流拡散系における衝撃波の形態と 安定化機構の関係
3. 学会等名 応用数学合同研究集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大縄将史
2. 発表標題 Growing solutions in fractional Burgers equations
3. 学会等名 流体と気体の数学解析 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大縄将史
2. 発表標題 Dynamics of shallow water flows in domains with varying sections
3. 学会等名 九州における偏微分方程式研究集会 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大縄将史
2. 発表標題 周期境界条件下の浅水波系について
3. 学会等名 日本数学会2023年度年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大縄将史
2. 発表標題 流体系におけるなめらかでない解の安定化機構
3. 学会等名 数学と現象 : Mathematics and Phenomena in Miyazaki 2023 (招待講演)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Christian Klingenberg and Michael Westdickenberg eds.	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 1450
3. 書名 Theory, Numerics and Applications of Hyperbolic Problems II: Aachen, Germany, August 2016	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	鈴木 政尋 (Suzuki Masahiro) (30587895)	名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授 (13903)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計1件

国際研究集会 Mathematical Analysis on Fluid Dynamics and Conservation Laws	開催年 2022年～2022年
-------------------------------------------------------------------------	--------------------

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------