

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名：現代数学解析による流体力学の未解決問題への挑戦

2. 研究代表者：柴田 良弘(早稲田大学理工学術院基幹理工学部 教授)

3. 研究概要

本研究では、現代数学解析を専門とする数学者と第一線の流体力学者との協働により、流体力学の未解決問題に対して厳密な定式化と解の挙動の解析手法を開発し、それを社会的に重要な課題に適用し精密な実験により検証することによってその有効性を実証する。本研究は過去には緊密な関係にあった数学解析と流体力学を現代のレベルで再び結びつけるもので、恒常的な人類の文化になる種を両者の協働で探求するものである。

4. 中間評価結果

4-1. 研究の進捗状況及び研究成果の現状

(1) 進捗状況

流体の不安定現象とその制御に関する研究は長い歴史をもつが、そのマイクロからマクロにわたる統一的な理解は依然として大きな問題が残っている。マイクロの素過程がどのようにマクロの階梯を昇っていくのか、それをどのように数学的に記述するのかは大きなチャレンジである。偏微分方程式論の安定性理論の専門家である柴田代表者による本 CREST は自然科学の原点である精密な実験に立ち戻り、そこから新たな出発点を模索し、モデル化、そして数学解析へと研究を推進してきた。実験においても新発見があり、素過程及びマクロな記述の両面から進展があり、望ましい順調な進捗状況である。数学的にも物体後流問題では気象学のアイデアの導入、気泡周辺の速度場揺らぎに対して、レイリー・プレセット確率微分方程式モデルを提案するなど、新たな方向を目指す努力が試みられ、後半に向けて足場作りが進み、今後が期待される。また2相流体のベナール対流の大域分岐幾何解析とその漸近挙動解析も最近の非線形解析の新たな流れの一つであり興味深い。ダイナミクスを支配する基本パターンとしての空間局在進行パターンの発見は重要であり、今後の対流研究に一石を投じるものである。

圧力波と気泡雲の関係が実験によって明らかにされた。とくに圧力パルスが発生時期についての知見は新しく、当初計画ではなかったことである。そのモデル化も、検討課題も多く残っているが、第一歩の定性的段階として成功を収めている。また単一気泡に関するレイリー・プレセット確率微分方程式モデルも実験結果を良く再現するものとして新たな展開であり、これが気泡雲のマクロ集団の記述につながる事が期待される。また生物対流への展開に関しても流体研究者からの本格的参入は新たな流れを作る可能性がある。

気泡の発光現象の映像化と定量化は世界的レベルと思われる。モデルと数値計算の精度が実験と同じオーダーになれば国際的認知度は格段に上がるであろう。今年度開催予定の国際会議において visibility を上げていただきたい。流体関係では地球流体から実験室まで多重スケールの問題は山積している。本 CREST の課題設定による切り口が多重スケール解析に向けて、精密実験とそれを支持する理論体系により鋭い1本の筋が通されることが期待される。

(2) 研究体制

個々のチームの成果を全体の大きなテーマにどう纏め上げていくか、その試行錯誤がこれまでに試みられた。有限の資源をどのように配分し、それを CREST チーム全体の士気向上につなげ、一体感をもたせるかは実に困難である。研究代表者はかなり努力を傾注されたと思われ、その成果も既に一部出ている。数学者が実験家と協働しながら、数学理論にどうつなげていくのか、代表者の果敢な取り組みに期待したい。

4-2. 今後の研究に向けて

チーム間協働と一体感の向上をより推進してもらいたい。ヘテロな研究者群と様々な知見が新たな展開を生み出す原動力となると思われる。実際、気象学や確率微分方程式の専門家の知見も今後必要になる可能性も高く、実験においても非接触計測をどこまで進めるのか、全体のロードマップを見つつ、柴田 CREST のメッセージを形成してもらいたい。

実験と数学理論をつなぐという JST 数学領域の重要な課題を流体の不安定現象をテーマに今後も取り組んで欲しい。とりわけキャビテーション問題における単一気泡のダイナミクスからその集団としての気泡雲のマクロな挙動が理解できれば、騒音、物体の壊食効果の解明のみならず、その破壊効果を利用して、洗浄や分解という工学的応用の範囲も広がり社会的インパクトも大きい。多重スケールという数学理論の構築においても、伝統的手法に限定されることなく、あらゆる視点を取り入れて推進すればブレークスルーのチャンスが訪れるであろう。

4-3. 総合的評価

流体の不安定現象とその制御は長い歴史をもつが、そのマイクロからマクロにわたる統一的な理解は依然として大きな問題が残っている。キャビテーションにおいてもマクロ及びメゾレベルの研究はこれまでであるが、その詳細については未開拓であった。本 CREST 研究では、気泡雲崩壊の衝撃圧に着目し、その素過程からマクロレベルまでの機構を実験家と協働して明らかにすることにより一定の成果を収めつつあることは、大きく評価できる。マイクロの素過程がどのようにマクロの階段を昇っていくのか、それをどのように数学的に記述するのかは多重スケール問題に共通する大きなチャレンジである。自然科学の原点である精密な実験に立ち戻り、モデル化、そして数学解析へと研究を推進してきた姿勢は本数学領域の趣旨に沿うものであり、それを数学者が牽引してきたことの意義は大きい。実験においても新発見があり、素過程及びマクロな記述の両面から進展があり、望ましい状況となっている。数学的にも物体後流問題では気象学のアイデアの導入、気泡周辺の数値場揺らぎに対して、レイリー・プレセット確率微分方程式モデルを提案するなど、新たな方向を目指す努力が試みられ、後半に向けて足場作りが進み、今後が期待される。また2相流体のベナール対流の力学系的観点からの研究は重要であり、今後生物対流を含め、多方面への発展が期待されるものである。

既にチーム編成の組み替えは実行されているが、後半に向けて実験と理論グループをどのように纏め集約していくか、試行錯誤が伴うであろうが大胆な決断も必要と思われる。小さな結果の羅列に終わることなく、インパクトのある柴田チーム全体のメッセージが発信されるようなリーダーシップが望まれる。