

## 派遣機関報告書

1. 派遣機関名 : 大阪大学大学院基礎工学研究科
2. 交流テーマ : 逆圧力勾配境界層乱流の大規模数値計算による翼形状空力現象の解明と新たな予測モデル開発へ向けた国際共同研究
3. 研究者氏名 : 関本 敦 大阪大学大学院基礎工学研究科 物質創成専攻 化学工学領域 助教
4. 派遣期間 : 平成 30 (2018) 年 9 月 22 日～10 月 2 日
5. 研究者等の活動およびその成果に関する評価、所見

派遣研究者がこれまで行ってきた乱流中の秩序構造に関する基礎的研究をさらに継続・発展させ、乱流モデルの精度向上に向けた国際共同研究をモナッシュ (Monash) 大学にて実施した。本研究テーマである航空機翼まわりの流れの予測及び制御は、航空機の設計および安全運航のために必要不可欠な技術基盤であり、流体物理や数理的な深い考察に基づいて新たな理論構築にチャレンジする方向性は基礎工学の理念に根ざした派遣研究者オリジナルの視点であり高く評価できる。今回派遣を通じて国際的な研究協力体制を加速することができ、今後のさらなる研究成果が期待できる。

また、派遣先では Monash 大学および Melbourne 大学の若手研究者らが主催するセミナーでの招待講演を行った。派遣研究者の最近の研究をオーストラリアの有名大学の教員やポスドク大学院生の前で紹介し、海外の教育機関においても自身の研究成果へのフィードバックを得ることができている。セミナーに参加していた数理科学や大気乱流の分野の専門家とも研究交流や議論を深めることができおり、今後は学際的研究への発展も期待できる。また、実際に共同研究を進めている Monash 大学博士学生への指導を通して、共同研究の成果を促進するとともに、派遣研究者の教育者としての素養や指導力を磨くことができたものとする。

この国際共同研究の為の機会の設定と実施に関して強くご支援を頂いた (公財) 航空機国際共同開発促進基金殿に深く感謝申し上げます。

6. 研究者報告書 : P.2～3参照

## 研究者報告書

1. 研究者氏名 : 関本 敦
2. 交流テーマ : 逆圧力勾配境界層乱流の大規模数値計算による翼形状空力現象の解明と新たな予測モデル開発へ向けた国際共同研究
3. 派遣機関名 : 大阪大学大学院基礎工学研究科
4. 派遣期間 : 平成 30 (2018) 年 9 月 22 日～10 月 2 日

### 5. 交流活動の成果

#### (1) Monash 大学との国際共同研究

Monash 大学 Prof. Soria 氏が代表を務めるグループを訪問し、同所属 Dr. Atkinson 氏 (講師), Dr. Karami 氏 (研究員) および博士課程学生 Z. Wu 氏, S. Senthil 氏との国際共同研究を行った。派遣研究者がこれまでに行った成果は、第一著者として“Journal of Fluid Mechanics”誌に投稿する予定である。特に本共同研究の成果の一部は、その後に行われた日本国内の流体力学会年会において発表し好評を得ており、流体力学会学会誌「ながれ」特集号の注目研究として選ばれた。

(P.4 参照)

今後の研究のために、Monash 大学と大阪大学側で進める研究の役割分担を明確にすることができた。Monash 大学側で乱流中の組織構造に基づいた物理的考察を行い、大阪大学側の研究ではラージエディシミュレーションを用いた境界層乱流のシミュレーションを実施してより高レイノルズ数のデータを得て、それらをもとに新たな乱流モデルおよび壁面モデル開発を行う。訪問先の若手研究者と密に議論をすることによって、お互いに見識を深めることができた。これまでの共同研究成果は S.Senthil 氏および Z.Wu 氏によってそれぞれ AFMC (オーストラリア流体力学会議, 2019 年 12 月, アデレード) にて派遣研究者と連名で発表される予定である。

#### (2) Melbourne 大学および Monash 大学流体力学セミナー

Melbourne 大学 Fluid Mechanics Group のセミナーに招待を受け「On the scaling of the statistics of adverse-pressure-gradient turbulent boundary layers」(逆圧力勾配乱流境界層の統計量のスケールリング) と題する講演を行い、Monash 大学との共同研究内容について外部からの有用な意見を得ることができた。その後、メルボルン大学の若手研究者らから実験設備や個々の研究内容について紹介して頂いた。Dr. Charitha de Silva 氏にはメルボルン大学内の実験施設見学、Dr. Woutijn Baars 氏には大気乱流の最新の実験結果や論文について、Dr. Sean Symon 氏から複雑な流れの解析方法である Resolvent mode analysis や DMD (Dynamic Mode Decomposition, 動的モード分解) の研究について、Dr. Daniel Chung 氏には粗面乱流のシミュレーションやモデルについて紹介して頂いた。

Monash 大学での Fluid Seminar Series では「Unstable Periodic Orbits in Homogeneous Shear Flow」(一様せん断流における不安定周期解) と題して講演を行った。このセミナーには工学系と数学系の流体力学研究者が集まるため、分野の異なる専門家とも深い議論ができた。訪問大学の学生や若手研究者と交流を持つことができ、共同研究の成果を対外発信するだけでなく、最新の研究成果について意見交換することができた。

論文掲載によって発信するだけでなく、実際に顔を合わせて議論することにより、互いに理解を深めることができるため大変有意義であり、国際交流の機会を与えて下さったことに深く感謝

申し上げる。今後、本研究をさらに推進し、日本国内の学会および航空機産業の生産現場へとフィードバックしていくよう心掛けていきたい。

## 6. 交流活動

航空機の翼形状などの曲がった壁面場の流れは、逆圧力勾配の影響によって流れが剥離し揚力が急激に変化するため、そのメカニズムや現象の予測は航空機の設計および安全運航のために必要不可欠である。派遣研究者は Monash 大学の機械航空学科 Soria 教授のグループ (Laboratory for Turbulence Research in Aerospace and Combustion (LTRAC), Mechanical Aerospace Engineering) を訪問し、国際共同研究「逆圧力勾配境界層乱流の大規模数値計算による翼形状空力現象の解明と新たな予測モデル開発」及び若手研究者による海外国際交流 (メルボルン, オーストラリア) を以下の日程・内容で行った。

9月22日 関西国際空港発

9月23日 メルボルン到着 (ケアンズ経由)

9月24日 Monash 大学訪問, 共同研究実施打ち合わせ

Monash 大学 Prof. Soria 氏と同グループ所属 Dr. Atkinson 氏 (講師), Dr. Karami 氏 (研究員) と博士課程学生 Zehuan Wu 氏, S. Senthil 氏とミーティングを行った。同グループの研究の進捗状況を確認するとともに今後の方針を打ち合わせた。

9月25日 Melbourne 大学 Fluid dynamics セミナーおよび若手研究者との交流

Melbourne 大学の Dr. Daniel Chung 氏がオーガナイザーを務める Fluid Mechanics セミナーで招待講演を行った。Monash 大学の Prof. Soria グループとの共同研究内容について発表した。その後、メルボルン大学の若手研究者らから実験設備や個々の研究内容について紹介して頂いた。Dr. Charitha de Silva 氏にはメルボルン大学内の実験施設見学, Woutijn Baars 氏には大気乱流の最新の実験結果や論文について, Dr. Sean Symon 氏から複雑な流れの解析方法である Resolvent mode analysis や DMD の研究について, Dr. Daniel Chung 氏には粗面乱流のシミュレーションやモデルについて紹介して頂いた。

9月26~28日 Monash 大学 Fluid dynamics セミナー, Monash 大学共同研究実施

26日午前から Monash 大学にて共同研究実施。同日 15 時からは Monash 大学の流体力学を専門とする若手研究者によって開催される流体力学セミナーにおいて招待講演を行った。Monash 大学 Lecturer の Dr. Deguchi 氏にホスト役を務めて頂き、流体数理の専門家から工学系までの幅広い分野に跨がる教員や学生 (計 30 名程度) が参加し、活発で深い議論が展開された。27日には訪問先 (Monash 大学, LTRAC wall-bounded turbulence group, Prof. Soria とその博士課程学生 (10 名)) のミーティングに参加して、進捗報告や取り組んでいる課題の解決方法について打ち合わせを行った。その後、訪問先グループの博士課程学生 Sheva 氏, Wu 氏らとともに具体的な共同研究を進めた。28日 (金) は、2018 年からビクトリア州の休日となっていたが、博士課程学生らと共同研究を進めた。

10月1日 Monash 大学共同研究実施, メルボルン出発

Prof. Soria とミーティング。自身が筆頭著者となる論文の投稿スケジュールと今後の研究の担当と進め方について打ち合わせた。定期的にオンラインミーティングを行い、研究進捗を報告し合うことを確認した。

10月2日 関西国際空港 着

以上

(参考) 関連業績リスト

国際雑誌

- 1) Atsushi Sekimoto, Vassili Kitsios, Callum Atkinson and Julio Soria, Outer scaling of adverse-pressure-gradient turbulent boundary layers, Journal of Fluid Mech. (submitted)

雑誌解説論文

- 1) 関本 敦, バシリ キトシオス, キャロム アトキンソン, ソリア フリオ, "自己相似逆圧力勾配乱流境界層の直接数値シミュレーションと統計量スケーリング" <注目研究 in 年会 2018>, ながれ 37, pp. 536--539 (2018)

国際学会プロシーディング

- 1) M. P. Eisefelder, J. S. Muller, A. Sekimoto, A-J. Buchner, V. Kitsios, C. Atkinson, K. Overleithner and J. Soria, Stability of a self-similar adverse pressure gradient turbulent boundary layer, Proceedings of 21th Australasian Fluid Mechanics Conference (AFMC21, 2018)
- 2) Zehuan Wu, Atsushi Sekimoto, Callum Atkinson, Julio Soria, Quadrant analysis and integral length scale of Couette-Poiseuille flows on the verge of separation, Proceedings of 21th Australasian Fluid Mechanics Conference (AFMC21, 2018)
- 3) S. Senthil, C. Atkinson, V. Kitsios, A. Sekimoto and J. Soria, Investigation of the factors contributing to skin friction coefficient in adverse pressure gradient turbulent boundary layer flow using direct numerical simulation, Proceedings of 21th Australasian Fluid Mechanics Conference (AFMC21, 2018)
- 4) Jens S. Müller, Kilian Oberleithner, Michael P. Eisefelder, Atsushi Sekimoto, Abel-John Buchner, Vassili Kitsios, Callum Atkinson, Julio Soria, Modal analysis of coherent structures in self-similar turbulent boundary layers with adverse pressure gradient, 11th International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena (TSFP11, 2019)
- 5) Shevarjun Senthil, Callum Atkinson, Vassili Kitsios, Atsushi Sekimoto, Julio Solia, Contribution of intense Reynolds stress structures to the skin friction coefficient in adverse pressure gradient turbulent boundary layer flow, Proc. of 17<sup>th</sup> European Turbulence conference (ETC17, 2019)
- 6) Zehuan Wu, Atsushi Sekimoto, Callum Atkinson, Julio Soria, Mean skin friction generation in Couette-Poiseuille flows, Proc. of 17<sup>th</sup> European Turbulence conference (ETC17, 2019)