

研究集会『生物流体力学における流れ構造の解析と役割』アブストラクト (2013-10-21 版)

日時: 2013年11月11日(月) - 13日(水)

会場: 京都大学 数理解析研究所 110号室

- 最新情報は、<http://fluid.hiroshima-u.ac.jp/~makoto/> から、『研究集会「生物流体力学における流れ構造の解析と役割」』をクリックしてご確認ください。
- 発表者の氏名には*がついています。統合講演は講演題目に○がついています。

11月11日(月)

「トンボの自由飛翔における前翅と後翅の位相差の役割」

*南 慶輔, 稲室 隆二 (京都大学大学院工学研究科)

トンボは前翅と後翅の位相差 (ϕ) を調節することで、巧みに飛行していることが知られている。本研究ではトンボの自由飛翔における前翅と後翅の位相差の役割を、2次元および3次元羽ばたきモデルを用いた数値計算により調べた。まず、2次元モデルの計算において、流体力およびモデルの並進運動は、 $Re \geq 200$ であまり変化しないことを確認した。次に、3次元モデルの計算において、 $Re=200$ で実際のトンボの Re 数 ($=2300$) の自由飛翔を概略推定した。その結果、モデルは前進・上昇飛行が可能で、位相差を変えることで運動方向を変更できることが分かった。

「二次元多重連結領域における非圧縮流体の流線構造の位相分類と語表現」

*坂上貴之 (京都大学大学院理学研究科), 横山知郎 (京都教育大学教育学部)

二次元多重連結領域における非圧縮流体の流線パターンの位相構造を考え、それに対して一意な文字列を割り当てる方法について解説する。流線パターンの文字列表現により流れの構造を特定の文字列として特徴づけることが可能になるだけでなく、流線の位相パターンの時間発展を文字列の遷移として記述することができる。起こりうる流れのパターンの組み合わせ論的な分類や、文字列の変化だけから起こりうる流線パターンの遷移をすべて列挙できるなど文字化したことによるメリットについて説明する。生命流体における流れ構造とその役割を特徴づける基盤的技術としての展開について生命流体の理論的研究をしている多くの参加者と議論をしたいと考えている。

○ 「生物の飛翔, 遊泳時の渦, スポーツに関する渦」

伊藤慎一郎 (工学院大学工学部)

生物の動きとスポーツの動きには意外にも渦が深くかかわっている。そしてそれらはレイノルズ数が深く関

わっている。レイノルズ数 100 程度で行動する小さな昆虫たちは飛翔時には前縁剥離渦を積極的に使い、レイノルズ数 10 万程度の鳥たちは渡りの時には渦を積極的に使う。もっと大きな鳥たちはできるだけ作らないようにする。魚の遊泳ではカルマン渦列が推進と群れに深く関わってくる。同じようにスポーツにおいても水泳では手のひらの推進力には渦が深くかかわり、スキージャンプでも 3 次元の渦形成が飛距離に影響を及ぼす。ふらつくナックルボール、ブレ球シュートのような不規則な動きをする変化球は 3 次元双子渦によって軌道の変化をもたらされる。身近な生物の動き、スポーツにおける動きを渦の動きによって説明する。

「蝶を模した 3 次元羽ばたき翼モデルによる自由飛翔とピッチング安定性」

*鈴木康祐, 稲室隆二 (京都大学大学院工学研究科)

蝶は、翼の打ちおろし時と打ち上げ時でストローク面を変えることで、打ちおろし時に揚力を、打ち上げ時に推力を発生させていると言われている。本研究では、蝶の羽ばたき方を模した単純な 3 次元翼モデルを構築し、その翼のモデルがどの程度の揚力・推力を発生させるかを数値計算により調べた。また、翼モデルの流体中での自由運動を計算し、静止状態から飛び立って、重力に打ち勝ち上昇飛行が可能となるレイノルズ数と質量の条件を明らかにした。さらに、翼モデルの運動はピッチングに関して不安定であることを確認し、ピッチングを安定化させるための制御法について検討した。

「蝶を模した 3 次元羽ばたき翼モデルによる自由飛翔とピッチング安定性」

*横山 直人 (京都大学大学院工学研究科), 飯間 信 (広島大学大学院理学研究科), 泉田 啓 (京都大学大学院工学研究科), 平井 規央 (大阪府立大学大学院生命環境科学研究科)

昆虫の羽ばたき飛翔は、流体の運動と固体としての蝶の運動の相互作用によって実現される。蝶の羽ばたき飛翔は、横方向だけでなく、縦方向にも不安定であることが知られている。本研究では、流体の運動と蝶の運動の時間スケールに着目し、蝶の羽ばたき飛翔の縦方向不安定性とその制御を議論する。

「ダイナミックソアリングのスケーリング則」

*米原善成, 佐藤克文 (東京大学大気海洋研究所)

大型のミズナギドリ目鳥類は羽ばたかずに風の力のみを利用する滑空を行う。海面からの高度によって変化する風速の勾配を利用する滑空はダイナミックソアリングと呼ばれている。ミズナギドリ目鳥類 5 種に加速度ロガーを装着し、ダイナミックソアリングの飛行様式の比較を行ったところ、大型種ほど長い周期をもち、周期は体重の 0.66 乗に比例していた。また、グライダーの運動方程式から、必要最低限の風速勾配で飛ぶ場合に予想されるダイナミックソアリング周期は体重の 0.15 乗に比例した。加速度ロガーで記録されたダイナミックソアリング周期の実測値は、小型の種では理論値に比べて小さな値となり、大型の種では理論値に比べて大きい値となった。

「Ordered structure in pigeon flocks -analysis of GPS trajectory data -」

*右衛門佐 誠, 水口 毅 (大阪府立大学大学院工学研究科), 早川 美徳 (東北大学教育情報基盤センター)

伝書鳩が群れを為し、ねぐらから遠く離れた場所からでも帰ってくる様子は非常に興味深く、昔から研究対象となってきた。近年では、飛行するハトの個体に GPS 装置を装着し、その飛行データを取得し、解析する研究も行われている [1]。先行研究 [1] では、個体間の速度方向の時間遅れを測定することで、群れの中に方向選択に関する階層構造が存在することが明らかにされた。我々は同様のデータを動力学的な観点から再解析を行った。解析の結果、個体間の相対位置の変化が左右方向に比べて、前後方向は小さいということが明らかになった。講演では、個体間の相対位置の変化に関するデータの解析結果を報告する。 [1] M. Nagy, Z. Akos, D. Biro, T. Vicsek, Nature 464, 890 (2010).

11月12日(火)

「動物のGPS軌跡データと方向統計学」

*島谷 健一郎 (統計数理研究所)

GPSデータなどの動物行動軌跡に関するモデリングはrandom walkを基本とするが、単なるrandom walkではたいのデータは説明できない。ここでは、動物の進行方向に主眼を置き、最新の方向統計学の成果を取り入れた軌跡モデルを紹介する。動物の意志を確率分布を含む数式で表現し、フリーパラメータは最尤法で最適化できるなど、実データへ直接適用できる。最尤推定値には、動物が移動した意志の強さやナビゲーション能力などの解釈も伴う。さらに、この過程で、動物の意思決定に3段階のタイムスケールが見られる様子も導かれる。

「羽ばたく蝶の実験とパネル法モデルに基づく制御の検討」

*泉田 啓, *李 承珪, 山本 啓貴, 横山 直人 (京都大学航空宇宙工学専攻)

羽ばたく蝶のモデルをパネル法を用いて構築する。生体の蝶を用いた実験観測と流場などを比較して、パネル法モデルの妥当性を評価する。つづいて、パネル法モデルを用いて羽ばたき軌道を探索し、周期的な羽ばたきの平衡解をもとめるが、得られた軌道は不安定である。そこで、羽ばたく蝶の飛翔を安定化させる人工的な能動的制御を設計する。人工的な制御系を用いる数値シミュレーションと生体の蝶の飛翔と比較して、類似点と相違点について検討を加える。

「ミドリムシ生物対流の局在構造ダイナミクスの解析」

*庄司 江梨花, 泉 俊輔, 西森 拓, 粟津 暁紀, 飯間 信 (広島大学大学院理学研究科)

流体中の微生物懸濁液は集団になることによって生物対流と呼ばれる秩序パターンを形成することがある。本研究では走光性を示すミドリムシの生物対流を取り扱う。ミドリムシ個体は強い光に対して負の走光性を示す。ミドリムシ懸濁液に下から強い光をあてると局在対流を形成する。本研究では、ミドリムシ生物対流の局在メカニズムについて調べるため、実験を行った。その結果について報告する。

「微生物の走光性にもなう局在対流パターンの光応答性」

*末松 J. 信彦 (明治大学大学院先端数理科学研究科)

走光性を示す単細胞微生物であるミドリムシは、強い光源から逃げるように泳ぐ。この微生物の培養液に下から空間均一な光を照射すると、局所的に対流パターンが形成される。本研究では、この局在化機構の解明およびパターン制御を目的として照射光に様々な摂動を与え、対流パターンの応答を観察したので、その成果について報告する。

○ 「細胞スケールから解き明かす生物流れ」

*石川 拓司 (東北大学大学院工学研究科)

生物流れは健康問題や環境問題と密接に関わっていますが、未解明な点が数多く残されている未踏領域です。我々は人体内の血液循環や腸内フローラ、気管内の繊毛流れなどを対象とし、細胞スケールから流れを調べる

ことで、生物流れの機能を解明しています。また、石油の代替エネルギーとして脚光を浴びている微細藻類も研究対象とし、藻類が作り出す生物流れも調べています。本講演では、我々のこうした最新の研究成果をご紹介します。

「動物のからだの左右を決める回転繊毛間の流体相互作用」

*高松 敦子 (早稲田大学先進理工学部), 石川 拓司 (東北大学大学院工学研究科), 篠原 恭介, 濱田 博司 (大阪大学大学院生命機能研究科)

動物のからだには左右差がある。マウスでは初期胚のノードと呼ばれるくぼみを満たす体液の流れが最初のトリガーとなり、左右差が決定することが知られている。ノードは百余りの細胞で構成され、それらの細胞には1本ずつ繊毛が生えている。各繊毛はからだの尾側に傾いた回転軸周りに時計回りに回転する。これによって左向きの一方向流が生成される。本発表では2つの繊毛の回転運動が位相同期する実験データを紹介する。さらに、繊毛間に流体相互作用を仮定して、それらが同期しうることを、境界要素法による計算と位相縮約法を組み合わせた理論により示す。これに基づき、繊毛の同期によって効果的な流れが形成される可能性について議論する。

「回流水槽を用いたルアーの計測」

*高橋 直也, 谷越 脩生, 高水 祐輔 (東京電機大学工学部), 野田 茂穂, 姫野 龍太郎 (理化学研究所)

ルアーは、単純な形状でありながら、水中で複雑な動きをすることが知られている。本研究では、その代表的なルアーであるクランクベイド型ルアーの周りの流れを観察するため、回流水槽内に係留し、流れをPIV計測した結果を報告する。

「魚群のダイナミクスと情報伝達」

*阪上 雅昭, 寺山 慧, 炭谷 竜太 (京都大学人間環境学研究科)

イワシ群れに代表される魚群の形状の多様さ、そして外敵の攻撃に対する反応の俊敏さには驚かされる。本講演では、まず、代表的な群れの形状であるトーラスについて中心からの距離と回転速度の関係、いわゆる回転曲線の観測結果を報告する。次に、群れの代表的モデルである丹羽モデルのシミュレーション結果と比較する。最後に、群れの俊敏さに関連する速い情報伝達モードの伝搬の観測結果についても報告する。

「メゾスケール生物流体乱流の特性」

*松本剛 (京都大学大学院理学研究科)

高密度の枯草菌をふくむ流体に乱流が生じることが実験的に示されており、これを再現する Navier-Stokes 方程式に類似の連続体モデルが現象論的に提唱されている (Wensink et al., PNAS, 109, 14308, 2012)。本講演では、この連続体モデルが示す乱流状態について、Navier-Stokes 方程式にしたがう古典乱流を参照して比較検討をおこなう。

11月13日(水)

「ヒラムシに見る柔構造と渦構造の相互作用による効率的な遊泳メカニズム」

*風間 俊哉, 小林 亮, 飯間 信 (広島大学理学研究科)

ヒラムシは、プラナリアに近い無脊椎動物で、自由生活を営む種の多くは、楕円形で扁平、そして柔らかい構造である。我々はこの生物の示す遊泳運動に着目する。例えば、オオツノヒラムシの場合、身体を水平にして、両サイドをあたかも羽のように上下させてはばたき、かつ側部に前方から後方に向かって波を送って遊泳する。この時流体の動きを可視化すると、後方に流体の渦が形成されていることが分かった。ヒラムシにおいては、この”渦”と、筋繊維質の”柔構造”との相互作用が、推進メカニズムや遊泳効率と何らかの関係があるのではないかと著者等は考え、その関係理解のために、離散渦法を用いて数理的に考察する試みを行ったので報告する。

「魚群遊泳運動の流体力学的特性の数値シミュレーション研究」

*矢田貝 弦 (東北大学大学院情報科学研究科), 服部 裕司 (東北大学流体科学研究所)

群れを成して遊泳する魚群まわりの流れの特性・構造と、それによって魚が得る利得について、数値シミュレーションによって得られた結果を発表する。

○「流れと柔軟構造物の連成シミュレーション」

*竹内伸太郎 (大阪大学大学院工学研究科), Lucy Zhang(レンセラー工科大学)

流体と固体の相互作用問題、特に変形能を有する構造物との連成解析は、流体関連振動や生体内流れなど広い範囲での応用が期待されている。本講演では、流体と固体の運動を連成させる上で注意を払う点などについて触れたあと、流体と固体の記述法の組合せによる複数のカップリング手法(オイラー・ラグランジュ的ハイブリッド手法またはオイラー・オイラー的手法)を紹介する。またそれらの応用例として、生体内流れへの適用を意識した研究例や最近の研究動向などをいくつか紹介する。

「精子の遊泳と境界の相互作用」

*石本 健太 (京都大学数理解析研究所)

精子の遊泳は受精にとって非常に重要であるが、生体内や実際の観察では、メスの体や顕微鏡のプレパラートなど物理的な境界が伴う場面が多い。また、多く種類の精子が境界付近に集まることが古くから知られており、近年この現象が、流体を介した境界との相互作用に依ることが分かってきた。そこで、我々は境界要素法を用いた遊泳精子まわりの流体解析を行い、精子の形態や泳ぎ方と境界付近での遊泳安定性の関係を調べた。その結果、実際に観測される精子のパラメータ領域では境界付近での遊泳は安定的であるが、一方で奇形精子のパラメータでは安定に遊泳できないことがわかった。

世話人・問い合わせ先:

飯間 信 (広島大学大学院理学研究科) email: makoto@mis.hiroshima-u.ac.jp

この研究会は、RIMS 共同研究「生物流体力学における流れ構造の解析と役割」の一環として行われます。また、科学研究費基盤研究 (C)(23540433) の援助を受けています。