

## 新任教員紹介

# 動力機械工学科・准教授 高倉葉子

### 略歴

- 1954.8 愛知県生まれ
- 1979.3 東京大学工学部航空学科卒業
- 1979.4 (株)数値解析研究所 入社
- 1982.3 富士通(株) 入社
- 1991.7 東北大学博士(工学)取得
- 1994.4 東京農工大学工学部
- 2000.1 AIAA(米国航空宇宙学会) Associate Fellow
- 2000.8~2001.7 日本学術振興会特定国派遣研究者としてケンブリッジ大学, マンチェスター・トロポリタン大学等で在外研究
- 2008.1 日本流体力学会フェロー
- 2009.4 現職



### 担当科目

数値解析, 流体力学, 機械工学演習(共担), 動力機械工学概論(共担), エネルギー変換概論(共担), 機械工学実験(共担), 圧縮性流体力学特論, エアロダイナミクス特論(共担)など

### 研究活動内容

舞台演出家・野田秀樹は, アポロ 11 号の「人類初めて月面に立つ」のテレビ中継画像は, 我々の“世代の記憶”だといいます。中学生の頃夏休みにはいつて深夜まで見入った映像におけるスローモーションビデオのような人間の動きは, 学習して間もないニュートン力学を印象づけました。かつての米ソの宇宙開発競争時代に育ち, 宇宙への想像をかきたてられてきたこともあって, 大学では航空学科に進みました。卒業後計算機メーカーに在職し, 航空宇宙技術研究所(現・宇宙航空研究開発機構)との共同研究において圧縮性流体の数値計算にのめりこみ, その後東京農工大学工学部にて超音速の流体振動・波動(衝撃波現象など)や低速の流体振動(カルマン渦が誘起する振動)の実験や数値計算に携わってきました。この間の活動も頭の片隅にある“世代の記憶”のなせるわざなのかもしれません。

著者の主要な研究活動内容は, 以下の(1)(2)に大別されます。

#### (1) 圧縮性流体の数値計算法に関する研究:

- ・衝撃波捕獲法(TVD法)の実用化  
さらに TVD 法を以下の流れの数値計算に適用:  
遷音速翼流れ, 遷音速風洞内航空機全機モデル流れ,  
無人シャトル付 H2 ロケットまわりの超音速流れ等
- ・高精度衝撃波捕獲法: WENO 法の適用, 及び ADER 法の開発
- ・移動境界を有する圧縮性流れの数値計算法の開発

#### (2) 実験と数値シミュレーションによる現象の解明:

- ・超音速キャビティ流れに関する空力音響学的研究
- ・衝撃波の伝播, 減衰, 反射, 回折に関する研究
- ・可撓壁による流体振動制御:  
非圧縮性流体中に置かれた可撓壁付き円柱/角柱の連成運動のメカニズムの解明
- ・低速/超音速流中に置かれた凹状物体流れに関する研究:
- ・生体流体力学: 動脈瘤を有する血管内流れに関する研究

この中から, いくつかの例を次に示します。

### 衝撃波捕獲法とは?

流体力学問題の数値計算法では, 風上差分を用いないと数値解は不安定になり非物理的な振動が生じることは周知のとおりです。さて近年, 不連続を扱う非線形保存則において, 次の条件

- ・TV 安定性: TV(全変動量)が時間とともに増加しない
- ・適合性: 時間刻み幅と格子幅を無限小にすると, 局所打ち切り誤差は無限小になる

を満たすとき数値解が厳密解(すなわち保存則の弱解)に収束することが証明されました。ここで弱解とは, 偏微分方程式の解として微分不可能な不連続を含むものも許容するときの解のことで, 無数に存在します。その中から唯一解を得るために, 数学的なエントロピー条件が課せられます。この条件はエントロピー増大の法則に対応しており, 物理的に正しい弱解を選択することになります。TVD (Total Variation Diminishing) 法とは以上の条件を満たす数値計算法の総称です。

### 遷音速風洞内航空機全機モデル流れ

現 JAXA の研究者とともに世界に先駆けての TVD 法の 3 次元実用化を行い, さらにそれを様々な流れ場に適用してきました。図 1 に示した例は, 遷音速風洞中に置かれた全機模型まわりの格子と流れ場の数値解(圧力分布)です。風洞内の流れ場と風洞壁の影響を受けない上空での流れ場とを数値的に求めて実験の情報と補完し合えば, 航空機設計等に有効と考えられます。本年 2009 年 6 月に日本航空宇宙学会等が主催した流体力学講演会のポスターに, この数値計算を発展させたものが表示されており, 感慨深く眺めた次第です。

### 高精度衝撃波捕獲法とは?

現状の衝撃波捕獲法(TVD法)の問題点は, 非線形保存則に適用すると 2 次精度止まりとなることです。そのため, 音波や乱流などによる微弱な圧力変動と衝撃波による強い圧力変化を同時に捕らえることは困難です。それを改善すべく, 不連続を含む非線形保存則に対する解法高精度化の試

みは、気概のある世界中の研究者に脈々と受け継がれ、ENO/WENO 法、ADER 法、Discontinuous Galerkin 法などにおいて、この 10 年の間に新たな進展が示されました。ENO/WENO 法は主に空間精度を良くしたものであり、ADER 法は空間・時間ともに高精度を達成するものです。

図 2 は、左側の初期条件に対する TVD 法と WENO 法の Euler 方程式解 ( $t=0.47$ ) を密度分布で示したものです。TVD 法はあるべき解の振動まで取り除いてしまい、TVD 法に対する WENO 法の優位性が顕れています。

図 3 は、スカラー線形移流方程式に対する長時間伝播の波を示したもので、 $t=40$  における ADER 法と WENO 法の数値解が厳密解とともに示されています。同じクーラン数 ( $CFL=0.8$ )、すなわち同じ時間増分のもとでは、ADER 法は WENO 法よりも長時間伝播の波を精度よく捉えることがわかります。つまり、高精度衝撃波捕獲法は、衝撃波と微弱な密度・圧力擾乱 (音波・乱流など) が干渉する流れ場に有効であるといえましょう。

図 4 は超音速パラシュート模型流れに対する WENO スキームの数値解を示しています。衝撃波背後からの渦放出が見られ、高精度スキームは渦と衝撃波の干渉を解像度良く捕らえていることがわかります。

著者が英国での在外研究において、Toro 教授の ADER 法を線形から非線形保存則へと拡張適用してその効果を確信し、英国を去る前の夏の長い日の夕暮れ時、教授と静かに今後の展望を話したことを昨日のことに思い出します。

**生体流体力学：動脈瘤を有する血管内流れに関する研究**

数値計算法の開発や外部流や内部流の実験と数値計算を行う一方、生体流体力学にも携わってきました。動脈瘤は破裂すると死に至る可能性が高い疾患ですが、近年の CT スキャン技術の発達のため未破裂の状態で見られることが多くなっています。その際、図 5 に示すようにステントとコイルにより瘤への塞栓術を施すことを血管内治療と呼びます。ステントの設計指針の一つとして、管摩擦係数の小さいステント (図 6) ほど瘤内流れの抑制効果を持つという結果が得られました。

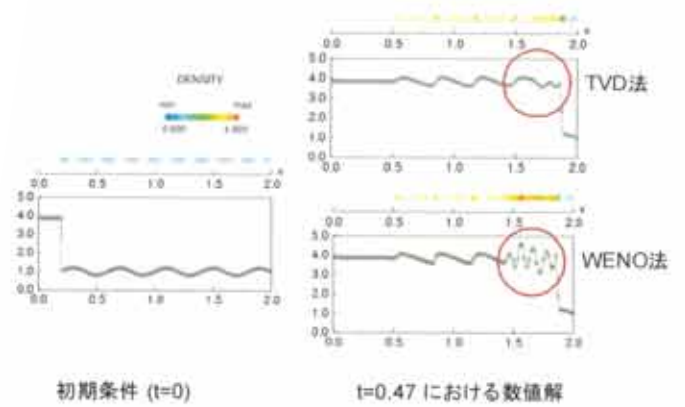


図 2. TVD 法と WENO 法

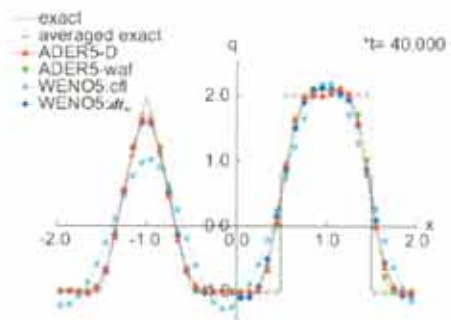


図 3. 長時間伝播する解: WENO 法と ADER 法

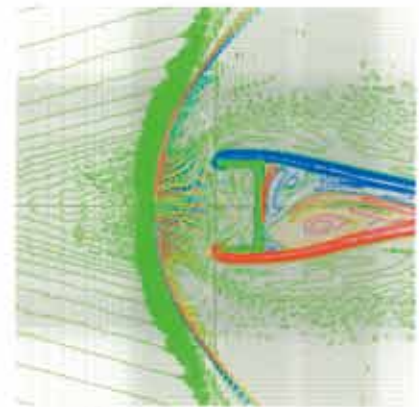


図 4. 凹型物体まわりの流れの速度分布 ( $M=4$ )

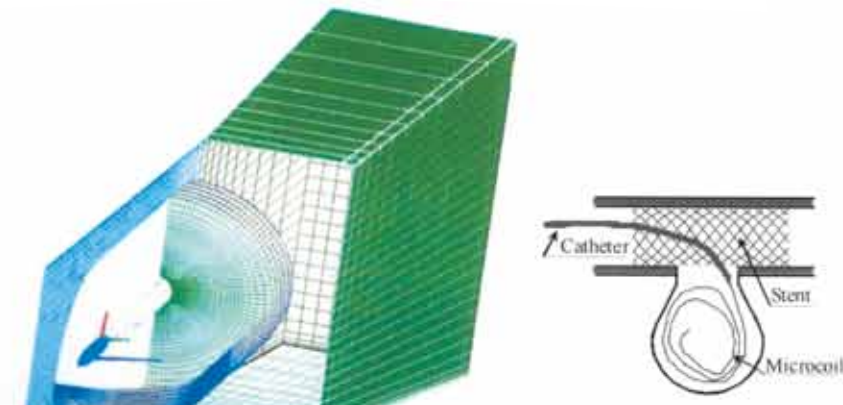


図 5. 血管内治療



図 1. 遷音速風洞内航空機全機モデル流れの数値計算

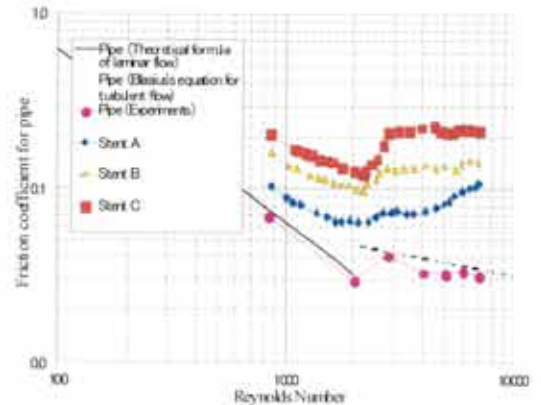


図 6. ステントの管摩擦係数