

WEB 座談会：数値流体力学シンポジウムを考える

- このままで良いのか CFD シンポ (Part 1) -

参加者：三宅裕（福井工業大学・工学部機械工学科、元大阪大学）
中橋和博（東北大学大学院・工学研究科航空宇宙工学専攻）
姫野龍太郎（理化学研究所・情報基盤センター）
持田灯（東北大学大学院・工学研究科都市・建築学専攻）
牛島省（京都大学大学院・工学研究科環境地球工学専攻）
飯田明由（工学院大学・工学部機械工学科）
寺本進（東京大学大学院・工学研究科航空宇宙工学専攻）
司会者：山本誠（東京理科大学・工学部機械工学科）

1 参加者自己紹介

山本：

皆様、WEB 座談会への参加をご快諾いただき、誠にありがとうございました。メンバーが揃いましたので、早速、WEB 座談会を開始させていただきたいと思えます。

数値流体力学シンポジウム（以下、CFD シンポ）も 17 回を数え、かなりマンネリ化が進んでいるように思われます。そこで、このあたりで CFD シンポの過去、現在を見直し、将来への発展を議論してはどうかと考え、本 WEB 座談会を企画いたしました。企画に当たって、幅広い年齢層と専門分野を網羅すべく、各年齢層と専門分野を代表される方 7 名を選ばせていただきました。よろしくお願ひいたします。

本 WEB 座談会のテーマは「数値流体力学シンポジウムを考える - このままで良いのか CFD シンポ」としました。一応、3 部構成にして、以下のようなサブテーマで話を進めたいと思えます。

- (1) 参加者自己紹介
- (2) CFD シンポの果たしてきた役割（過去）
- (3) 現在の CFD シンポの問題点（現在）と CFD シンポの将来（未来）

座談会の進め方として、WEB 座談会の性質上、自発的な発言を待っているとなかなか話が進みませんので、勝手なことを言って申し訳ありませんが、私の方で発言の順番を決めさせていただきます。（1）の自己紹介については、若い順に（間違っていたらごめんなさい）、

寺本先生->飯田先生->牛島先生->持田先生->姫野先生->中橋先生->三宅先生
とします。略歴、研究テーマ、CFD とのかかわり、趣味等、何でも結構ですので、自己紹介をお願いします。なお、話の進行を全員が理解できるように発言は「Reply All」で全員に発信してください。また、自分の順番になりましたら、私の合図を待たずに勝手に発言していただいて結構です。

それでは寺本先生から順番に、自己紹介をお願いいたします。

寺本：

東京大学の寺本です。座談会へ参加させて頂くのは初めてなので、皆様の御発言を聞いてからそれに合わせて話せば良いものだと思っていたのですが、トップバッターを指名されて面食らっております。的確な発言が出来ないかもしれませんが、よろしくお願い致します。

私は平成6年に修士課程(航空宇宙工学)を修了した後、石川島播磨重工業株式会社で3年間ジェットエンジンの空力設計に係わり、その後宇宙科学研究所(ISAS、現JAXA)の藤井先生の下で約4年間お世話になって、平成13年から東京大学航空宇宙工学科で講師を務めております。

CFDとの係わりで言うと、修士時代にはDSMCをやっている圧縮性NSは少しかじった程度でした。IHIの同期にCFDに詳しい人がいまして、その人に教えてもらいながら週末等に遊び半分でコード作りをしたのがCFDとの本格的な出会いでした。遊び半分でしたので、期限を気にする必要も無くスキームや乱流モデル等を色々試すことが出来ました。今にしてみると、このときゼロからコード作りをしたことが随分役に立っていると思います。業務では設計ツールとしてCFDを使っていました。

ISAS時代は専らCFDユーザとして、様々な圧縮性流れの解析をやらせて頂きました。今は航空宇宙の推進分野におりますので、ジェットエンジンやロケットに係わる流れの数値解析をするとともに、今までのCFDが苦手としていたことに取り組みめないかと思い、LESの勉強を始めたところです。

CFDと係わるようになってまだ10年程度ですが、この間にCFDは「研究の対象」から「流れ解析の道具」へと、その性格を変えて来たように思います。CFDコードを自前で組むのが普通だった時代は、私位で最後なのでは無いでしょうか。その意味で、コード作りを通したCFDの基礎の勉強、CFDを使った流れ解析、さらに設計ツールとしてのCFDと、様々なCFDを経験できていることは、恵まれたことだと思っています。

飯田：

工学院大学の飯田です。よろしくお願い致します。学部時代からずっと乱流の計測や風洞実験を行っています。大学院修了後は、日立の機械研究所で空力騒音に関する研究を行いました。主に新幹線の低騒音化について検討しておりまして、パンタグラフや床下からの空力騒音を低減するために風洞実験や野外実験を中心とした研究をしておりまして、根っからの実験屋です。

3年ほど前に工学院大学に移ってきましたが、基本的には実験を中心とした研究をしています。最初、私のような実験屋がこの座談会に出てもいいのかなと思いましたが、実験屋の意見も参考にしたいということでしたので、参加させて頂きました。

実験が中心といっても、企業での開発にはCFDは欠かせないものとなっていますから、私もユーザーとしてCFDを利用していました。幸い私が日立で研究をしていた当時は、現東京大学生産技術研究所教授の加藤千幸先生が日立に在籍しておりましたので、加藤先生の作られたLESプログラムを利用してパンタグラフや碍子カバーの解析を行っていました。研究所には超

並列コンピュータがありましたので、格子数が数百万程度の大規模流れ解析を行っていました。実験屋でありながら、第一線の数値解析コードを利用させてもらい非常に恵まれておりました。

風洞実験屋からすると数値解析の魅力は、流れ場の空間分布の測定が可能なことです。PIVが発達してきたとはいえ、流れの空間分布を実験で測定するのは非常に難しいです。LES解析でパンタグラフ周りの流れ場、特に渦度や空力音源項が出てきたときには感動しました。実験屋の立場からは、ある一点の詳細なデータを取得することに関しては、解析に負けないという自信というか、負けたくないという気持ちがありますが、こと空間分布の測定に関する限り、CFDは非常に魅力的です。

学生時代は一樣等方性乱流に関する基礎研究をしていましたが、そのとき、散逸渦スケールがコルモゴロフ・スケールの8倍くらいで、かなり間欠的に局在しているようだという結果を得ましたが、定量的な値が得られたにもかかわらず、実際のイメージというか、渦のダイナミックな様子はわかりませんでした。最近の数値解析では、散逸渦の分布や構造までわかってしまいます。箱の中でワームが動いている図を見せられるときは、「うわー」すごいなと脱帽してしまいました。ダイナミックPIVが本格化してきたので、実験屋としても、なんとか巻き返しをしたいなと思っています（笑）。

牛島：

京大の牛島です。どうぞ宜しくお願いいたします。このようなたいへんなタイトルの座談会に参加させて頂くことになったのですが、私にどれほどのことが発言できるのか、心もありません。まずは自己紹介とのことですので、簡単に書かせて頂きます。

私は土木工学の出身で、学生時代は河川や湖などの水の流れを扱う研究室におり、主に水理実験をしておりました。その後、電力中央研究所に勤め、高速増殖炉内の熱流動の数値計算や基礎実験に携わりました。扱う対象が、川の水から液体金属ナトリウムへと大きく変わりましたが、流体ということではどちらも同じものだとわかりました。このときに、土木や機械や原子力など、分野名が異なっても基本的なところでは似たようなことをしているのだと理解しました。

その後、もんじゅの事故などがありまして、FBRから再び電力の水理関係の仕事に移り、現場からの依頼研究などに取り組みました。現場の問題は、想像を超える複雑な現象の組み合わせであることが多く、CFDの応用を目指していた私は、自分の能力と現場のニーズの格差に驚き、しばしば無力感に襲われました。たいへん貴重な経験をさせて頂いたと思います。

2000年からは大学に移り、非圧縮性の流体計算について、もう一度基本的なところから勉強し直しております。近いうちに、再び現場の複雑な問題へ最近の研究成果を応用していきたいと考えています。

持田：

東北大学の建築の持田です。年度末の慌ただしい時期に、皆さんのレスポンスの早さに驚いています。（注：このWEB座談会は2004年3月から4月にかけて行われました。）

建築環境の分野で流体が必要とされる問題は、室内の空調、換気、通風等の話と屋外のビル風、空気汚染、ヒートアイランド等いろいろありますが、私は主として屋外の話をやっております。特にヒートアイランドに関係する温熱環境予測との関係でCFDを利用することが最近は多いと言えます。

私は大学生の時には都市計画をデザインと言うより少し理詰めにするようなことに興味があり、大学院は、当時、市街地の風環境の風洞実験で有名であった東大生研の村上周三先生の研究室に進みました（80年代はじめのことです）。研究の出発は市街地内の拡散問題の風洞実験法の研究です。

その後、村上先生がCFDの方に主軸を移され、又、生研の加藤信介先生の室内環境についてのCFDの研究や小林敏雄先生、吉澤徹先生等、NSTグループの皆さんの研究の影響をいろいろと受け、私の研究もCFDの方にシフトしていきました（80年代の半ばのことです）。吉澤先生のお薦めもあり、比較的早い段階でLESを行いました。当時は、堀内潔先生や森西洋平先生も生研にいらっしゃり、いろいろ新しい情報を得ることができました。LESでそれなりの結果が出てくると、次にこれとの比較から、建物まわり、或いはBluff Body まわりの流れに適用した時のRANS系モデルの精度検証をし、改良するという方面の研究に興味を持ちました。そして、これをいろいろやっているうちに、90年代前半になりました。また、この時期は同時にDynamic 型のLES等の研究も行っていました。

90年代半ばになると、村上研の優秀な後輩達（東大生研の大岡龍三先生や新潟工大の富永禎秀先生等）との共同研究で、放射や伝導との連成、広域の気象モデルとの接続、樹木効果の組み込み、飛雪モデルの組み込みというふうには話がどんどん広がっていきました。この辺で「CFDのための研究」から「CFDを利用した都市環境、建築環境の研究」へと方向性が変わったと思います（自覚的に舵をきったというよりも、外部資金獲得とか外的要因の影響も多いと思います）。この辺のシミュレーションになると、CFD以外にも重要な要因がいろいろ入ってくるので、そちらにエネルギーが割かれ、最近では、数値流体手法そのものの研究には、余り貢献できておりません。10年ほど前、「もう一息」と思っていたことが、未だそのままになっており、忸怩たるものがあります。少し長くなりましたので、この辺で。

姫野：

理化学研究所の姫野です。すみません。速いテンポのレスポンスを乱してしまいました。自己紹介を。

私は大学での専門が電気だったのですが、卒業して日産自動車に入った後、流体のシミュレーションに取り組みました。電磁気と理想流体の解析は同じポテンシャル問題だったので、最初はそれほど違和感はありませんでした。その後1988年から2年ほど、日産から宇宙研の桑原先生の元に派遣され、CFDの勉強をさせてもらいました。そこで開発した方法で自動車の空力に適用して、設計で使えるものにしました。6年前に理研に移り、変化球のシミュレーションや血流のシミュレーションを行っています。今はなかなか自分で計算に取り組む時間を取れないのが悩みです。

中橋：

東北大航空宇宙の中橋です。よろしくお願ひします。自己紹介ということで、とりあえず私のこれまでのやってきたことを書いてみます。

学生時代に人工衛星大気圏再突入の際の極超音速流れを計算していましたが、化学反応を伴った流れという共通点で航空宇宙技術研究所(現JAXA)の角田支所に呼ばれ、液酸液水ロケットエンジンのノズル内流れの計算を行うことになりました。その当時の角田支所の計算機は非常に貧弱で、それを用いての化学非平衡流の計算には苦勞しましたが、作成したロケットノズル性能計算および設計コードは今でも役立っていると聞き、うれしく思っています。

1983年から2年間、米国のNational Research Councilというポスドク制度でNASA Ames Research Centerに滞在する機会を得ました。超音速ノズル出口流れの3次元NS計算をやっていたG.S.Deiwertが受け入れてくれそうだと聞き、彼にアピールするために衝撃波やせん断層を捕らえるための解適合格子法の研究プロポーザルを一生懸命書いたのがついこの前のようです。当時のAmes CFD研究室は、チーフのH.Lomaxをはじめとして主要なCFD研究者がいるメッカとなっていました。幸い、プロポーザルの研究もうまく行き、カルフォルニアで非常に楽しい2年を過ごすことができました。

帰国してからは、原動機部に移って翼列流れの計算を担当することになりましたが、個人的には1984年のICNMF(国際数値流体力学会議)で知り合ったR. Lohnerの有限要素法(FEM)に興味を持ち、帰国後すぐに彼らの方法を真似てテイラーガラキン法のプログラムを作りました。FEMに興味を持ったのは、Ames滞在中の計算で構造格子の自由度のなさに苦勞していたためです。しかし、当時のFEMは計算の振動を抑える方法も差分法(FDM)に比べ幼稚であったために計算の質は悪く、そのことからFDMとFEMの組み合わせでのハイブリッド計算法を始めました。以後、計算法はFEMから有限体積法に代えたものの、格子ではプリズム、四分木・八分木法による非構造格子、四面体・プリズムのハイブリッド格子と様々なことを試みて実形状の計算を素早く得られるようにと努力してきました。学生等のがんばりで、最近では航空機全機形状でもCADデータから1日でCFD結果を得られるまでになったことには、20年前はもちろんのこと10年前でも思いもよらなかった進展です。

とはいうものの、今のCFD技術に満足しているわけではなく、まだまだ試行錯誤が続きそうです。そのことはこの座談会の話題になるのでしょうか。

三宅：

福井工業大学の三宅裕です。小生はすでに半ば引退しておりますので、このような座談会に顔を出して皆様にお役に立つような意見を開陳できるかどうか甚だ心許ないところですが、CFDの日本での急速な発展の時期にいくらかの関わりを持ったということでご指名を頂いたということかと心得ています。

流れの数値計算に関する小生の出発はターボ機械羽根車の非粘性非圧縮流れの解析で、境界形状が複雑で、線形流れながら解析解が難しいために数値解を求める必要に迫られたためです。固体面上の流れが分かればよいこと、線形なので重ねあわせができること、計算機

容量が比較的小さくてよいことなどのために、境界要素法を用いていました。ただし、当時は、流体工学の業界では境界要素法とは呼ばず、特異点法と呼んでいました。この解析は、今ではすでに歴史の一部になってしまった「石油ショック」への対応のため、ウラン遠心分離機の支持のための溝つき軸受の解析にも有効でした。

その後、1980年ごろから乱流解析を志し、大学院の学生諸君とともに手探りで、溝乱流の LES を始めたものです。流れの数値解析は、日本では機械工学、航空工学、土木工学などの領域でそれぞれ独立にお互いの交流が無く進められていました。ところが文部省（当時）の科学研究費に初めて戦略的配分の考えが導入されて1985年（昭和60年）に「重点領域研究」がスタートしました。これに応募すべく CFD の研究者の統合が図られ、航空分野は保原充教授（名大、現名誉教授）、機械工学分野は大宮司久明教授（東北大、現名誉教授）が代表され、小生もお供して3人で文部省のヒヤリングに参加しました。結果は「数値流体力学」は最初の八つの理工系重点領域の一つに採択され、これが CFD の急速な発展の引き金の一つになったと思います。その後、この重点領域研究は「乱流の数値モデル」（代表：大宮司久明教授）と特定領域研究に名前を変えてからの「乱流要素渦」（代表：木田重雄・核融合研究所教授（現京都大学教授））にいたるまで、CFD は、文部科学省の科学研究費の中では少なくとも、日本の重点研究領域であり続けたと思います。

この座談会のテーマは「数値流体力学シンポジウムの今後」のようですが、このシンポジウムは、最初の重点領域研究の成果発表の場として発足したのですが、CFD 研究の成熟に合わせて、工夫が必要かもしれませんね。

山本：

ありがとうございました。皆さん、まったく別々のバックグラウンドを持たれていますが、CFD シンポを共通の活躍の場とされていることがよく分かりました。

さて、最後に私の自己紹介ですが、私は大学院（機械系）終了後、寺本先生と同じように石川島播磨重工で3年お世話になり、平成2年から東京理科大に勤務しています。研究分野は、乱流やマルチフィジックス現象のモデリングと、開発したモデル/計算法の産業応用です。CFD シンポとのかかわりは恐らく第2～3回頃からで（すみません、良く覚えていません）、CFD シンポと共に研究生活を送ってきたように思っています。

（「2 CFD シンポの果たしてきた役割（過去）」へ続く）