

第 18 回数値流体シンポジウム圧縮性流セッションを概観

して Overview of " Compressible Flow " Session at the 18th CFD
Symposium

松島 紀佐*

*東北大学 工学研究科

Kisa Matsushima

* Tohoku University

E-mail: kizam@ad.mech.Tohoku.ac.jp

1 はじめに

第 18 回数値流体シンポジウムにおける圧縮性流のセッションを纏めよ、というご依頼を 1 月中旬に頂きました。そのつもりでシンポジウムに臨んではおりませんでした事や、まとめ上げるだけの見識は持っていない事など、気にかかることはあったのですが、チャレンジさせて頂くつもりで御引き受け致しました。なんとかダイジェストとして、一見するだけで役に立つ纏めにしたく思っております。ということとで、平易な文章で簡潔に書きたいと考えています。

さて、平成 16 年度第 18 回シンポジウムの圧縮性流セッション (B4,B5) では 8 件の発表がありました。また、1 日目の宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部 藤井先生の基調講演が高速気流を中心としたお話でありました。その御講演に対しては質問も活発になされ、印象に残るものでありましたので、ここでは、その基調講演の内容をふまえて、圧縮性流セッションの発表について概観したいと思います。

2 基調講演

「CFD は何を変えたか?—航空宇宙 CFD の 30 年から見る CFD の将来—」というタイトルのもと、今後の CFD の進むべき方向についての示唆に富んだ貴重な提言で、CFD に従事する我々が鼓舞される内容でした。私見を含むかも知れませんが、講演は、

1. 現在の CFD (達成された課題、そうでない課題)
2. 普遍的な CFD への期待とは
3. 今後の CFD 方向性

というサブタイトル順に進み、結論の一つとして、CFD を有意義に活用出来る技術に育てるための近未来的に重要な手法として、DES や LES/RANS ハイブリッド法と局所的な非定常性も正確に評価し、時間履歴効果を取り入れることのできる効率的な時間積分 (非定常計算) 法を挙げられておりました。詳しくは、藤井先生の原論文やその参考文献を読んで頂くとして、ここでは、1. から 3. の内容のなかで将来展望につながる観点から筆者の印象に残っ

た事を述べます。

1. では CFD の素晴らしい成果や実用上の貢献を認めつつ、形状は簡単で単純に見えるシミュレーションが実は容易でない場合があることを指摘しておられました。その例として、円錐や球頭円柱周りの遷音速から超音速流れ場における Base Flow の再現、また、高迎角を持った翼(翼型)に見られる失速、などの正確なシミュレーションの困難さが挙がっておりました。これらの解決には、(前段落でも述べましたが)信頼性の高い粘性・乱流現象のシミュレーション手法や、定常現象を扱うにしても局所的な非定常性を考慮することの必要性が指摘されております。

2. では、CFD への究極の期待は、CFD でしか出来ない現象のシミュレーションを行って計測技術や設計に貢献をすることであると強調されました。実験設備の制約のない事を生かした CFD でなければできない現象のシミュレーション、例えばレイノルズ数効果、を正しく行えることが、CFD に求められているわけです。この解決には、「低レイノルズ数から高レイノルズ数の流れまで広く扱える信頼性のある計算手法が必要である。出来れば、1 つの手法で連続的に評価する技術が望まれる。(シンポ原論文より抜粋)」が、しかし、現状の CFD 技術は残念ながらこの要請に応えていないようであります。

3. においては、CFD が 21 世紀における主要技術となるために、今後発展して行くべき方向として 3 個のキーポイントが示されました。まず、振り返って、現状の CFD は、その信頼性が保証されている範囲で、風洞試験の代替として空力データ取得や流れ場現象の把握、設計ツールとしては局所的な形状修正(創生ではない!)のためのパラメトリック試行評価手段として、使われている。その方向での CFD 技術に更に改良を重ねていく必要はもちろんでありますが、藤井先生の示された 3 つのキーポイントは、それを越えた新たな方向を示すものだといえます。そのキーポイントとは、

- ① 先に述べたレイノルズ数効果に代表されるスケール効果を捉える。そのために手法の改良や新手法の提案が必要である。
- ② 流れの基本的特徴・本質を捉える。その上で、数理モデルの工夫をし、簡略化シミュレーションを実現する。そのためには、流体力学に対する理解度を深め、センスを磨く必要がある。
- ③ 新規または革新的な流体機械や航空機のアイディアを試し、それらの概念設計に使う。そのためには、工学的な目を持つこと、また、CFD 利用技術のブラッシュアップと CFD 自体の整備 (CFD を使いやすいツールにする努力) が必要である。

これらは CFD が真に実用的に役立つ技術となり、大きく発展するために達成されなければならないもので、乗り越えるべき課題も大きいと考えられます。これらキーポイントを纏めて、“Beyond Wind-Tunnel” という標語で表現されていたと思います。

この、“Beyond Wind-Tunnel” という表現についてですが、風洞実験と CFD の関係について、誤解の無きように、以下筆者なりのコメントを付け加えます。これは決して、CFD が風洞実験に置き換わるとか CFD が風洞を超える、という意味ではありません。実際の自然現象を計測できる風洞実験が無くなって良いはずはなく、CFD 計算の信頼性の確認はまず実験との比較で行われるべきであることは明らかです。その上で、経済的に多数の試行錯誤が行

える事や、壁や模型支持装置・プローブなどとの干渉無しに計測が行える事などの CFD ならではの利点を生かし、風洞試験とお互いの協力してよりすすんだ空気(流体)力学の発展を目そうという意味として理解すべき言葉であると思っています。ある面では、CFD が風洞試験を超えているでしょうし、他の面では、風洞実験が CFD を超えているでしょう。お互いの得意な面を生かしあって、複雑な流体现象の解明についても、新しいアイデアを現実的なものとする流体機械の革新設計の分野においても、新しい課題に挑戦していくべきという意味に解釈しています。

CFD に携わるものとして筆者がこの“Beyond Wind-Tunnel” という言葉に最も鼓舞された点は、CFD による新しい機械や航空機の革新的概念の提案を活性化して行くべきという姿勢でした。大きなリスクの伴う全く新しい概念の航空機を計算機上で試し、その実現性を確認したり、そのアイデアを育てたりしていくという CFD の方向性の示唆に共感を覚えたからです。ただし、CFD は、Navier-Stokes 方程式といった基礎方程式が正しいことが前提であります。また、数値モデルを使うこともあります。その基礎方程式や数値モデルが正しいかどうかは風洞試験に代表される実験でしか検証出来ないのですから、風洞実験の重要性は量り知れません。少し話がそれましたが、ここで、閑話休題。

基調講演に関し、質疑応答で、「スケール効果を正しくシミュレーションするためには、乱流遷移現象を正しく捉えることが必要ではないか。」ということが議論され、その結果、遷移を正しく扱うことの重要性が再認識されたことを述べておきます。

3 「圧縮性」セッションについて

B4, B5 のセッションでの御講演の概観の仕方は数値手法または計算対象の流れ場で分類するなどいろいろありますが、ここでは、これらを、前節で示された 21 世紀の主要技術としての CFD への橋渡し研究であるとする観点で見てみます。すると、それぞれがその方向性の一翼を担うべき目標を掲げた研究である事がわかります。そこで、前節のキーポイントの観点から、圧縮性のセッションを眺めてみます。強引と感じられる場合もあるかとは思いますが、8 件の発表を、3 つのキーポイントの何れかに関連付けますと、①に分類されるものが 3 件、②に分類されるものが 5 件、③に分類されるものは 0 件です。

① の内訳は、直交格子法で強制対流場を解くための計算手法(B4-1)、Building Cube 法と呼ばれる、直交高密度格子システムを用いた DNS 的アプローチの高精度計算法(B4-3)、および時間精度を保障する効率的な非定常粘性計算の時間積分法(B4-4)それぞれの新しい手法提案であります。特に、Building Cube 法による数値シミュレーションは乱流モデルを使わない事と、厳密に規則的な、座標変換の必要のない格子を使用する事で、モデルや格子の依存性を極力排除し、高精度の流体现象を計算で捉えようとするものです。今後の計算機性能の飛躍的進歩を意識された上での、CFD の方向性の提言であるとも言えると思います。境界層内が非常に細密な等方的（現状は正方形）メッシュで離散化されることで、渦現象の捉え方が詳細になり、乱流状態につながる非定常渦現象の興味深い有意義な計算結果が得られております。

② の内訳を現象のモデル化という観点で述べてみます。内訳は、空力特性の流速および形

状変化の依存性の解明(B5-1)、衝撃波 3 次元構造の解明つまり、衝撃波相互干渉や衝撃波と境界層干渉のモデル化につながる研究(B5-2、B5-3)、超音速ノズル性能とノズル形状および壁面境界層状況との相関の解明(B5-4)、抵抗値を少ない因子でモデル化する為の準備として抵抗値をその物理的要因に分解する研究(B4-2) のようになります。B4-2 を除いた 4 件はいずれも粘性現象が深く関わっており、モデルを作るためには複雑な現象の精密なシミュレーションが必要となりますので①との関連が少なからずあると思われます。B4-2 は、空力抵抗モデル化のための因子分解の試みで、簡略モデルによる最適設計更には新しい翼形状開発を意識していますので、③につながる可能性のあるものといえます。

③ に分類されるものは、このセッションにはありませんでした。藤井先生の論文に述べられている火星での航空機など、新コンセプトの機械や航空機・航空機要素の試行計算の発表を今後期待したいと思います。

4 おわりに

第 18 回数値流体シンポジウム 1 日目の基調講演と 2 日目午前の圧縮性セッションの纏めをさせて頂きました。読み返してみますと、纏めの名を借りて、「航空宇宙 CFD の 30 年から見る CFD の将来」のご講演に対する、筆者なりの解釈を述べてしまったように思います。僭越であるかも知れませんがお許し願います。また、ご存知の様に数値流体力学の応用分野が広がったことで圧縮性流体が関連する、独立した他のセッション (A6 乱流、B1,B2,B3 音響、D6 計算スキーム) がいくつかありますので、そちらの概要も参考にして頂ければと思います。

以上