

## パネルディスカッション「計算科学の現状と課題」の報告と講評

久保田弘敏（東海大学総合科学技術研究所）

2006年6月23日、如水会館において、(独)宇宙航空研究開発機構の主催により「航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2006」が開催された。その中で、同日 17:00-18:00 に標記のパネルディスカッションが行われた。以下はその報告と講評である。

### 1. パネルディスカッションの目的

航空宇宙分野における次世代の計算科学推進の中核を担う研究者・技術者にパネリストをお願いし、それぞれの夢を語ってもらう。その夢を実現するための方策についての議論を行うとともに、日本の計算科学および宇宙航空研究開発機構(JAXA)における計算科学の現状と課題を、計算工学も含めて討論する。

### 2. パネルディスカッションの内容

#### (1)パネリストおよびコーディネータ

##### ①パネリスト

- 横浜国立大学大学院環境情報学研究院 宮路幸二氏
- 三菱重工業株式会社名古屋航空宇宙システム製作所 内山直樹氏
- 石川島重工業株式会社航空宇宙事業本部 土屋直木氏
- 宇宙航空研究開発機構(JAXA)情報・計算工学センター 山西伸宏氏
- 宇宙航空研究開発機構(JAXA)航空プログラムグループ 牧野好和氏
- 宇宙航空研究開発機構(JAXA)航空プログラムグループ 山根 敬氏
- 宇宙航空研究開発機構(JAXA)宇宙科学研究本部および情報・計算工学センター 高木亮治氏

##### ②コーディネータ

- 東海大学総合科学技術研究所 久保田弘敏

#### (2)計算科学に関するパネリストの夢についてのプレゼンテーション

- 宮路幸二氏  
圧縮性のCFDをベースにした連成問題の中で、非定常現象が重要になるよ

うな問題、特にデルタ翼のウイングロック現象や空力弾性の問題であるフラッタ等を解析している。将来的には、ロケットや飛行機の挙動を、推進系、構造系から誘導制御系までを含めた連成解析の幅をさらに広めたシミュレーションを行うことにより解明したい。また、自然科学に貢献できるように計算科学の研究が出来れば良い。

● 内山直樹氏

製品に直結する空力設計課題あるいは何か説明できないような事象がおきた時の対応の解析を行っているが、将来は、振動現象を解析できるマルチディシプリナリー問題の解決、および計算工学の技術を設計ベースに取り込んで「航空機の賢い設計」を行いたい。要素研究として乱流遷移・剥離の問題を解明することも一つの夢だが、電気分野や応用数学、数理解析の研究をしている人々とCFDをやっている人たちでインタラクションが持てたら色々な知見が得られるのではないかと思う。

● 土屋直木氏

エンジン設計に必要なCFD技術の研究開発とその応用および製品開発で起こってくる様々な問題をCFDを使って解決している。将来は、短期的にはリグ試験をシミュレーションに置き換えるバーチャルリグテストを実現することを考えており、そのため、(1)空力、構造、伝熱、音響等の複数分野を同時に解く手法である多分野統合解析、(2)エンジン内部のような複雑な形状をより手軽に扱えるようにすること、(3)計算時間の短縮、が必要である。長期的には、要素だけでなくエンジン全体をシミュレートすること、および製造も考慮した全体の最適化やコスト最小設計ができることが夢である。

● 山西伸宏氏

JAXA内のロケット系、衛星系、有人宇宙系などのプロジェクトで出てきた課題、問題などを数値シミュレーションの力を借りて解決することを仕事としており、情報・計算工学センターのプロジェクト課題対応チームでは4月発足以来14件の課題中10・11件を解決してきた。入社時は、ロケットエンジン・インデューサーのキャビテーションのシミュレーションをやっていた。将来の夢は、計算科学をロケットや有人衛星開発などの宇宙活動に役立たせることである。

● 牧野好和氏

計算技術を利用して超音速機概念設計を行い、CADベースの形状定義ソフト等の簡単なツールを使うことで効果を確認できないかと考えている。このような研究を継続して行くことにより、次世代超音速機を実現することが将来の夢である。また、近い将来には超音速実験機を飛ばすことにより自分の空力コンセプトを実証し、低ソニックブームの技術を適用した実験機を飛

ばして世界にアピールしたい。

● 山根 敬氏

JAXA で開発した共通基盤コード UPACS を用いて、ガスタービン翼の空気冷却の効果を明らかにするための熱制御解析技術の研究を行っている。将来は、タービン翼全体について、流体と伝熱の解析を一緒にした連成解析を高速で行うことの可能性を見出したい。その連成解析は上記 UPACS をベースにして行うものであるが、UPACS は複数の人数で作って皆で共同で使うという利点があり、連成解析、LES、高次精度化等に応用範囲が広がってきているので、今後の利用体制も考慮しているところである。

● 高木亮治氏

将来の夢は、ソフトウェア開発を介して皆で仲良くやっていくことで、皆で議論して協力して出来たソフトを共有して、どんどん良い物に育てていくことを望んでいる。JAXA の存在意義および計算科学という意味ではソフト開発が必須で、できたソフトを皆で使って育てていくことにより最終的には JAXA 初の、かつ日本初の世界的なものにしてゆきたい。

### (3) 討論

パネリストのプレゼンテーションに続いて、コーディネータ、パネリスト、会場聴衆の間で次のテーマについて討論が行われた。主たる議論を以下に列記する。ただし、テーマごとにまとめたので、発言順ではなく、また発言者名も、1 省略した。

#### ① パネリストの夢と現実のギャップがあるか。あるとすればどう埋めるか

- 空力弾性の代表的なフラッタの問題では、タイムマーチングだと計算時間が莫大になってしまい、ワンケースでデモンストレーション的に示すのが精一杯である。そのために、最近ではタイムマーチングでない手法が使われているようなので、その適応範囲や正確さ等を調べる必要がある。他に連成問題で使える手段のアイデアがあれば教えていただきたい。
- 企業では、マルチディシプリナリー問題に関しては、航空機のマヌーバや空力弾性現象、あるいはロケット関係の音響振動が問題になって、対策が必要になっている。こういった非定常のマルチディシプリナリーの現象はかなり研究している人口が多くて、それなりにやり方が見えているので、後は計算機のパワーが上がればそれなりに解決できるのではないかと思われる。ただ、企業では短いタイムスケールで間違いのない判断をしないとイケないので、大規模なことにすぐ取り組むというのは難しい。したがっ

て、計算機が速くなるのを待って誰もがそういったことが出来るのを期待するというのも一つの解だが、今はその過渡期なので、企業としてはやはり JAXA や大学の力を借りるのももう一つの解である。

- メーカーとの連携では、JAXA もコンピュータを随分使っているが、計算機パワーを上げる環境を引き続き成立させていくということを JAXA でも全体の方針として進めている。マルチディシプリナリーの解析は非定常性ということもあって非常に大規模な計算が必要になるが、領域分割などの並列化だけで対処するのではなく、コンピュータそのものが速くなる必要がある。

## ② 計算機システムの進化の方向は何か

- 超大型の計算機を作るのか、あるいは地球シミュレータの十分の一くらいのもをパソコンにミニチュアライゼーションする技術を作って皆さんに配るくらいのことをするのかといえば、計算機の進化の観点から言えば後者が適している。そうならないのは、日本の体制がおかしいからである。生産サイド、設計サイドでそういうニーズがあるのなら、国の計算プロジェクトの中で提案すれば、例えば 200 万円位で地球シミュレータの十分の一くらいの計算機が手に入るかもしれない。
- 設計という観点から言うと地球シミュレータの十分の一くらいのシステムが 10 個ある方がふさわしい。一方で、サイエンス的要求からは大規模計算、すなわち、たくさん格子を使って細かい解析をするニーズがある。したがって、使う計算機の種類は二つある。JAXA はもちろん科学をやるが、比較的エンジニアリングの比重が大きければ、その方法に適した計算機を入れるほうが良い。
- 計算機が 2 種類あってもよいが、現状では一方に偏っている。2 種類必要だから、作ってほしいというムーブメントがないといけない。
- ケーパビリティコンピューティングとキャパシティコンピューティングの両方が必要で、東工大にも最近廉価で新しいシステムが入った。

## ③ 数値計算スキームは淘汰されたのか。すなわち、同じ対象に対して計算出来るコードは沢山あるが、そこで唯一のものを選ぶという方向性があるのか、場合ごとに変えていくのが良いのか

- JAXA は UPACS というソフトを出しているが、UPACS に全て統一しなさいと言っているわけではなく、こういったものがあると言っているわけで、数ある中のワンオブゼムと考えている。したがって、場合ごとに変えてよいと考える。

- 場合ごとに変えるとする、組み合わせバランスの問題を解決しないと、あっちでもこれをやりこっちでもこれをやりと、いつまで経っても解決しない。そういう状況がここ十数年続いている。いつも切磋琢磨しているといってもいいが、ある種統一したような仕組みが1個ないと進まないだろう。
- 数値計算スキームの淘汰が起こらない理由は、例えば文科省の次世代科学計算ソフトプロジェクトの中に流体があることである。すなわち、5年経ってそれができたらまた次世代のソフトを作られなければいけない。いつまで経っても、その時その時お金が付くからコードを作ろうという話になって到達しない。計算を行うのにこれで十分だとか、このコードでこういった設計ができ、こうなるということを示し、これに関してはもう要らないという所まで言わないとこのことはなくなる。これは JAXA の仕事ではなく、日本の計算科学の問題である。
- CFD コードは成熟した感じがあるという見方もある。全員がそれで十分とは決して思っていないが、取りあえず今何を欲すれば良いのかということが結論づけられていない状況にあるのではないか。空力に関しては、ある程度このコードはこんなものかと見えてくるが、それで設計ができるのかが問題だ。『今後の宇宙航空研究開発機構における計算科学の基盤研究のあり方について』の図2（後出）で、日本の今の状況で様々な課題という矢印、課題の提示がやはり一番大事だと思う。例えば多分野統合も本当にケースバイケースで主旨もみな違うし、色々なアイデアも出て来る。問題は計算の基盤的研究をやるところでそれを解決していく仕組みを作ればよい。

#### ④ JAXA の計算科学はどうあるべきか、あるいはどうあってほしいか

- JAXA の計算科学のあり方として、ソフトの充実を図る、ソフトを共同で開発することを JAXA 主導で行う、ソフト開発を進めていく環境を整備すべき、人材をもっと集めるべき、外部との連携をもっと良くすべきではないか、との意見がある。
- JAXA 宇宙科学研究本部は、特に計算科学とは限らず全ての活動において大学と共同で研究するという環境は非常に良い。計算科学、特に JAXA に絞った形の計算科学にしても、JAXA だけが計算科学をやるわけではなく、当然各大学やメーカーと一緒に共同でやるというのが大前提である。それは例えば JAXA ではスーパーコンピュータを用いた計算ができ、大学ではアプリケーションソフトの計算、メーカーでは具体的な課題の計算を行う等の特質がある。JAXA でもロケット、衛星、航空機等の開発をやっている、現場から様々な課題、シーズ的な研究課題が上がって来て、大学で

研究をしてもらうという良い関係を作っていくのが基本だと思う。

- JAXA が色々な大学とかメーカーと連携することに別に反対はないだろうし、具体的にどうやって実現するのかという議論をすればよい。ひとつのやり方として、JAXA は UPACS というソフトウェアを外に出して使ってもらい、それを皆で共有する。そして、使ってもらおうという形を積み重ねていって密接な関係を築いていければよい。
- JAXA が当然行うべきプロジェクト、例えばロケットの打ち上げ、エンジンの開発および SST 実験機の飛行実験等を成功させるための計算科学というのはもちろんあり、と同時に、直接にはプロジェクトにタッチしないが常に実力を蓄えておかなければいけない基盤科学技術としての計算科学がある。それらがいつもバランス良く進んでいくのが JAXA のあるべき姿ではないか。
- JAXA 総合技術研究本部に設置された「計算科学の基盤研究に関する委員会」が作成した『今後の宇宙航空研究開発機構における計算科学の基盤研究のあり方について』では、JAXA の基盤科学としての計算科学はどうあるべきか議論をして、いくつかの提言を行い、第3部では、水平連携・垂直連携の推進、世界トップレベルの研究開発、人材をいかに取り入れていくか、それで外部との連携をいかに進めるか等、当面のアクションアイテムを挙げている。その中の図2（後出）では、研究開発プロジェクトと基盤研究を図式的に表している。すなわち、様々な研究開発プロジェクトが樹木であり、それに養分を与える土壌が基盤研究で、これは従って横断的になっている。樹木だけでも恐らく JAXA は成り立っていかないだろうし、土壌だけでも JAXA は成り立っていかない。この樹木と土壌とがバランス良く干渉しあって養分を与える、こういうところで JAXA が成り立っていくと考える。
- 『今後の宇宙航空研究開発機構における計算科学の基盤研究のあり方について』の図1（後出）の考え方が何か不十分な気がする。図は計算科学の方法論を示すものであり、その中の「解析対象の現象」から「現象の理解・工学的応用への知見」は一方向の矢印で表されているが、実際は逆の矢印が同時にあって、ループになって初めてフィードバックが機能し、色々な分野で計算科学が生きるのではないか。
- 『今後の宇宙航空研究開発機構における計算科学の基盤研究のあり方について』の図1（後出）は非常に工学系に偏っている。理学系のデータベースが日々出来てきていて、それを使ったバーチャルなデータリソース、データマイニング等をサポートする要求が非常に強くあるのに、その考慮がなされていない。例えばウェブを作った研究所はデータベースを持ってい

る。したがって、広い意味での計算科学では、やはりそこを避けて通ることは出来ないと思う。

#### (4)総括(講評)

1時間という短い時間であったが、日本の航空宇宙分野の計算科学の中核を担うパネリストにそれぞれの仕事と将来への夢を語ってもらい、その夢と現実のギャップをどう埋めるかについて議論した。各パネリストの活動分野での努力によってそのギャップは埋められつつあるようで、その将来は明るいと感じられたが、なおも多分野統合解析の取り扱いや計算機の能力等に課題があることも指摘され、JAXA、大学、企業の連携が必要なことが提言された。

さらに議論を発展させて、広く計算科学はどうあるべきかを討論した。主たるテーマは、(1)計算機システムの進化の方向は何か、および(2)数値計算スキームは淘汰されたのか、である。

(1)については、超大型の計算機を作るのか、地球シミュレータの十分の一くらいの計算機を10個作るほうがよいのかという興味ある議論がなされたが、サイエンス的要求からは超大型計算機が必要で、工学的設計の要求からは比較的小型の計算機を多数使う方が適しているので、ニーズによって使い分けるのが望ましく、したがって、2種類の計算機が必要だというユーザーからの要求を強く発信してゆかなければならない、ということを確認した。計算機システムの構築は国の施策によって強く左右されるので、そのことも認識しておく必要がある。

(2)については、CFDコードの発達は成熟段階に来ているので、一つの問題を解決するのに必要なコードは一つに淘汰されてきているのかという問題指摘がなされた。しかるに、同じ対象に対して計算出来るコードは沢山あるが、ここでは唯一のものを選ぶという方向性がいいのか、それとも場合ごとに変えていくのが良いのかということである。このことについては、場合ごとに使用コードを変えてもよいが、あまり無制限にするのではなく、ある種統一する仕組みを作るべきではないかという議論がなされた。この議論も将来の方向性を考える上で有意義であった。

さらに、JAXAの計算科学のあり方についても議論がなされた。JAXAが当然行うべきプロジェクト、例えばロケットの打ち上げ、エンジンの開発およびSST実験機の飛行実験等を成功させるための計算科学と同時に、直接にはプロジェクトにタッチしないが常に実力を蓄えておかなければいけない基盤科学技術としての計算科学をバランス良く進めて行くべきで、JAXA内部の水平連携・垂直連携の推進、世界トップレベルの研究開発、大学・企業との連携強化、人

材確保・育成等の必要性が提言された。JAXA 総合技術研究本部に設置された「計算科学の基盤研究に関する委員会」が作成した『今後の宇宙航空研究開発機構における計算科学の基盤研究のあり方について』についても、基盤研究としての計算科学のあり方、および工学系に偏らず理学系の基盤研究も重視すべきである、という意見も示された。これらの議論は、今後の JAXA の計算科学の進めかたを決める上で生かしていただきたい。

パネリストおよび聴衆の全員が計算科学のあり方に認識を有していて、強く期待しているということがわかるパネルディスカッションであった。問題点・課題は多いが、将来の計算科学を発展させるためにオールジャパンでやっていくべきで、そのためには JAXA の計算科学の方向性が非常に重要であることを確認して閉会とした。

以上



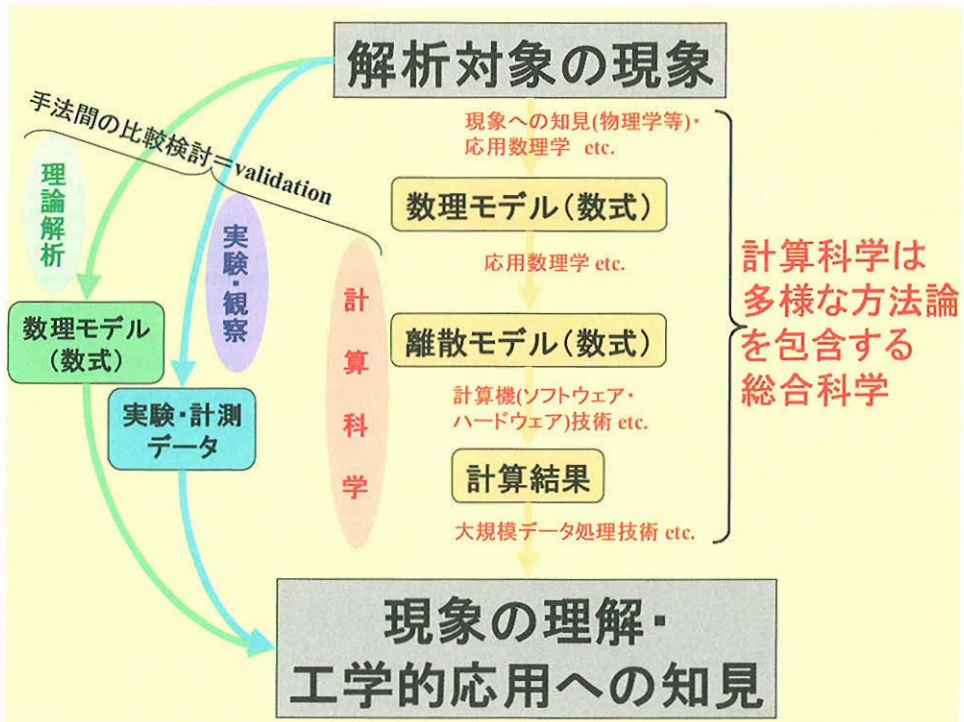


図1. 計算科学の方法論

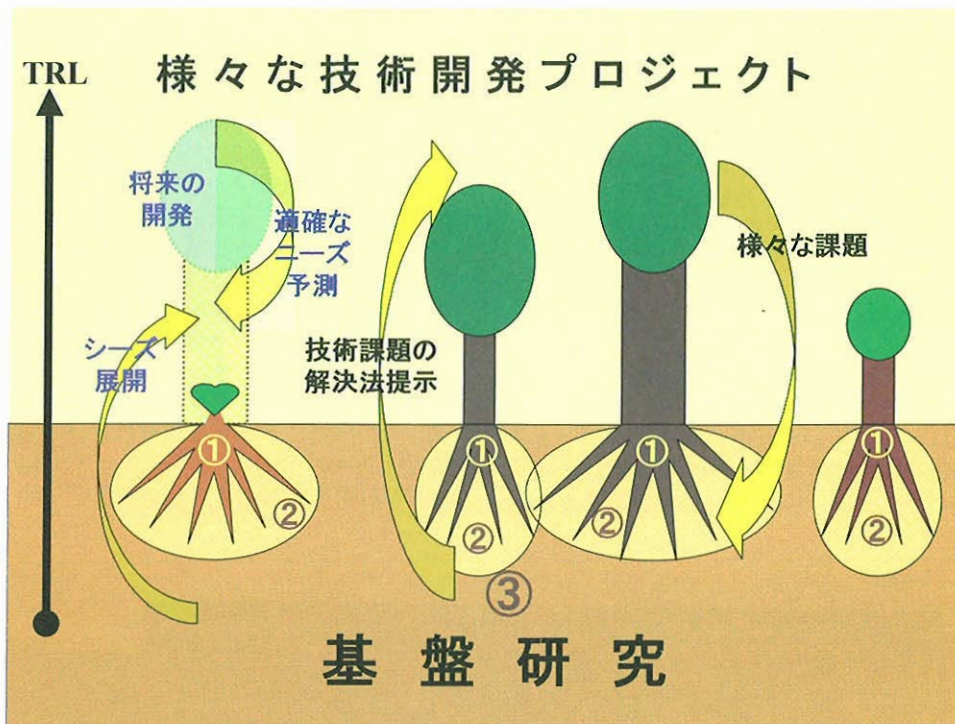


図2. 技術開発における基盤研究と開発プロジェクトの関係の模式図