

メカニクス・構造研究連絡委員会
計算力学専門委員会報告

大規模計算力学ソフトウェア開発に関する
日本の統合的戦略

平成15年7月15日

日本学術会議
メカニクス・構造研究連絡委員会
計算力学専門委員会

この報告は、第17期、第18期日本学術会議メカニクス・構造研究連絡委員会
会計算力学専門委員会の審議結果を取りまとめて発表するものである。

日本学術会議第17期、第18期メカニクス・構造研究連絡委員会
計算力学専門委員会委員

矢川 元基（委員長：東京大学大学院 教授）

笠木 伸英（委員兼幹事：東京大学大学院 教授）（第17期）

佐々木 猛（委員兼幹事：鹿島建設（株）ITソリューション部長）

姫野龍太郎（委員兼幹事：理化学研究所 情報基盤研究部情報環境室室長）（第18期）

本間 利久（委員：北海道大学大学院 教授）

茂里 一紘（委員：広島大学大学院 教授）

要 旨

1. 報告書等の名称

メカニクス・構造研究連絡委員会 計算力学専門委員会
「大規模計算力学ソフトウェア開発に関する日本の統合的戦略」

2. 報告書等の内容

(1) 作成の背景

計算力学とは、対象とそれを取りまく現象との間の因果関係を説明するモデルを構築し、計算機シミュレーションによってモデルの妥当性を説明しようとする、さまざまな領域における問題解決の有力な方法論のひとつである。20 世紀後半の計算機の進歩、発展に後押しされた計算力学は、理論、実験に続く第 3 の手法として学会や社会へ広く浸透したが、もはや理論、実験・観察、を補完するにとどまっていない。また、単に細分化された個々の領域の問題解決、精緻化、効率化に資するだけでもない。生命科学、ナノテクノロジー、宇宙科学など新たなフロンティア領域の開拓には計算力学が必須である。価値観や社会環境などを反映した複雑システムの一部として工学に向き合う際にも強力なツールとなり得るポテンシャルを秘めている。また、計算力学へのニーズは、モデリングの高度化、計算機ハードウェア、ネットワーク技術や情報基盤ソフトウェアへのニーズとしてポジティブスパイラルの波及効果がある。このように、21 世紀において、あらゆる科学技術分野の基盤として計算力学はますます発展することが予想される。

(2) 現状及び問題点

わが国の計算力学の基礎的学問としてのレベルは欧米先進国とほぼ肩を並べる状況にある。しかし、わが国の産業界において使われているソフトウェアの大半は欧米製であり、わが国独自の研究成果が必ずしも有効に生かされていない。その最大の理由のひとつは、計算力学の研究成果を第 3 者が使えるように具体化したもの、すなわち計算力学ソフトウェアの開発という点においてわが国は戦略が欠如していたからといえる。また、計算力学の重要性に鑑み、我が国のさまざまな学協会において計算力学関連の活動組織が生まれ、独自の活動が展開されてきたが、計算力学の横断的学問体系としての性格を有効に活かせるような、学協会間の連携がこれまで図られておらず、結果的にわが国全体としては非効率さが目立つようになっている。

(3) 提言の要旨

現在のところ、国全体で計算力学についての戦略を議論する場が見当たらない。したがって、計算力学の研究開発に携わっている研究者や研究グループは、それぞれの機関で個々のポリシーのもとで研究や開発を行っている。これでは、国全体としての大きな流れにはなり得ず、資金的、マンパワー的効率も極めて悪い。一案として、省庁の垣根を

越えた場である総合科学技術会議の中に検討会を設置し、その中で国全体としての中長期的戦略作成とフォローがなされることが考えられる。

今後国際的な戦略がますます重要になると思われるが、特に、計算力学ソフトウェア開発については、アジア全体が欧米にかなり差をつけられており、我国はアジアでのリーダーシップをなんとしても発揮しなければならない。韓国、台湾、中国、インドなどソフトウェア研究開発のポテンシャルが高い国々と協力することを考える必要があろう。また、これまで我国において、計算力学分野へまとまった国費投入がなされてきた例は少なかった。これまで述べてきた背景から、今後このことは改められるべきである。国が投資すべき対象としては、

- ・ 戦略的分野への中長期的な観点からの研究開発
- ・ 学際的でありかつ広い分野をカバーするテーマ
- ・ 異質な研究者が参加することにより新しい領域を創出できるテーマ

などがあげられる。また、計算力学研究開発の成果は大学とベンチャー会社の協力で計算ソフトウェアの形に集大成されることが一般的であるが、その場合、例えば5年間の国費による重点投資のあと、さらに5年間、自立できるまでのインキュベーション期間の投資（実用化されるまでの投資）がどうしても必要である。このようにして開発が始まってから10年後に、ようやく欧米の計算力学応用ソフトと競争できる道が開かれるのである。

さらには、それらの産業応用ソフトにまでの育成、出来上がったソフトの流通、メンテナンス、利用法に関する教育・訓練のための中立の産学官交流の場を、各地（できれば各県）に分散させて有することを提案したい。現在は大企業でしか使われていない計算力学もコンピュータの低価格化によって、いずれは中小企業においても利用されることになるのが確実であるが、地域に密着したこの種の交流の場の存在は我国の産業技術基盤向上にとっても極めて効果的なものとなろう。

3. 報告書等の対象者又は機関等

- ・ 研究教育機関：大学、国立研究所など
- ・ 産業界：ソフトウェア、製造業など（特に3章、4章）
- ・ 計算力学関連学協会（特に2章）
- ・ 行政機関：総合科学技術会議（特に4.1節、5章）、文科省（特に3章、4.1節、5章）、経産省（特に3章、4.1節、5章）など

目 次

1. はじめに	1
2. 計算力学分野における産学連携および学会連携	3
2. 1 産学連携	3
2. 2 学会連携	5
3. 計算力学分野における人と社会	9
3. 1 次世代人材育成のための中等教育のあり方	9
3. 2 計算力学と技術倫理	11
3. 3 技術者認定	13
4. 計算力学分野の発展に向けて	16
4. 1 大規模ソフトウェア開発	16
4. 2 環境問題と計算力学	20
4. 3 ネットワーク時代と計算力学	22
5. 計算力学分野における統合的戦略の策定に向けて	24
6. おわりに	26

1. はじめに

工学の扱う対象は、人工物、人と社会、環境、およびそれらの複合システムであり、実体、数値、画像、音、概念などの形態をとる。また、対象はそれをどのような時空間スケールで観察するかによって、連続系、離散系、状態、イメージといった概念によって取り扱われ、それら対象が示す振舞いは、観察から得られた知見に基づく数理モデル、自然の摂理や直観に基づく創発的モデル、場合によっては何ら近似を含まない第一原理モデルによって記述される。計算力学とは、対象とそれを取りまく現象との間の因果関係を説明するモデルを構築し、計算機シミュレーションによってモデルの妥当性を説明しようとする、さまざまな領域における問題解決の有力な方法論のひとつである。

計算力学は、もはや理論、実験・観察、を補完するにとどまらず、また、単に細分化された個々の領域の問題解決、精緻化、効率化に資するだけでもない。生命科学、ナノテクノロジー、宇宙科学など新たなフロンティア領域の開拓には計算機シミュレーションが必須である他、価値観や社会環境などを反映した複雑システムの一部として工学に向き合う際にも強力なツールとなり得るポテンシャルを秘めている。また、計算力学へのニーズは、モデリングの高度化、計算機ハードウェア、ネットワーク技術や情報基盤ソフトウェアへのニーズとしてポジティブスパイラルの波及効果がある。

20 世紀後半の計算機の進歩、発展に後押しされた計算力学の、学会や社会への浸透にはすさまじいものがあり、1997 年の日本学術会議 17 期からの大幅な第 5 部改編において、このような現実が配慮され、メカニクス・構造研究連絡委員会の中に計算力学専門委員会が発足した。それまで、せいぜい学会レベルでのネーミングでしかなかった計算力学という名称が国の組織の中に組み込まれたことの意義は極めて大きい。第 17 期・第 18 期にわたる計算力学専門委員会の活動は、新しい学問である計算力学がいかなる形で社会的貢献をなすことができるかをさぐることを主な目的とし、以下に述べるような活動を行ってきた。

(1) 関連学会の連絡会議発足

計算力学の重要性に鑑み、我が国のさまざまな学協会において計算力学関連の活動組織が生まれ、独自の活動が展開されてきた。しかしながら、計算力学の横断的学問体系としての性格を有効に活かせるような、学協会間の連携が図られておらず、結果的に類似の講演会や研究会などが非効率的に組織されるなどの弊害も指摘されるようになった。そこで、本委員会が中心となって、国内の計算力学に関連の深い様々な学協会に対して、計算力学連絡会設置への理解を求めるとともに計算力学連絡会への参加を呼びかけた。現在、計算力学連絡会には 21 の学協会が登録されている。また、第 18 期では、委員会の下に連絡会に登録された各学協会の代表で構成する拡大委員会、若手の研究者を中心に実際の活動を企画する拡大幹事会を設け、計算力学関連の様々な企画等に関する情報交換の場を提供している。さらに、第 51 回理論応用力学講演会において、構造研究連絡委員会計算力学専

門委員会の企画としてパネルディスカッション「計算力学の将来」を開催した。

(2) 啓蒙書「計算力学と社会」の出版

21 世紀の計算力学像についての提言をとりまとめ計算力学研究分野のみならず広く理工学の他の分野、あるいは一般社会への啓蒙を図るべきであり、そのためには各分野の第一線で活躍する専門家から意見や展望を集約することが肝要という委員会での議論に基づき、専門委員会の委員をはじめ 30 名の著者からなる本書の出版に至った。本書は 2 部構成となっており、第 1 部「計算力学と社会との関わり」では、計算力学という学問分野がどのような社会性を有しているかを横系的に眺め、また、第 2 部「各専門分野における計算力学と社会的インパクト」では、様々な個別の分野で計算力学がいかに使われ、また貢献しているかについて、各著者の個人的観点から執筆がなされている。

(3) 計算力学連絡会議のウェブサイト運営

専門委員会幹事の一人である理化学研究所姫野委員のご尽力によりホームページを立ち上げ、関連学会の講演会カレンダーなど各種活動の情報交換を行っている。今後は、このページを計算力学関連のポータルサイトの一部として広く社会との接点とすべく議論を進めている。

(4) 数値シミュレーションに関するオープンスクールの企画

広く社会へ計算力学の魅力を伝え、また昨今懸念されている理科離れ対策の一環として、以下のオープンスクールを企画した。この企画は、(2)の啓蒙書の中にある「次世代人材育成のための中等教育のあり方」を具体化したものである。オープンスクールは、流体力学分野の数値シミュレーションを中心的な話題として、日本学術会議メカニクス・構造研究連絡委員会計算力学専門委員会が主催、日本科学未来館と日本原子力研究所の後援を得て、平成 14 年 11 月 23, 24 日に日本科学未来館で開催された。ここでは、中高生向けに、動画を盛り込んだ分かりやすい話題、PC を用いたデモを提供し、計算力学の可能性を社会にアピールすることができた。

本報告書は、こうした活動を通じて、21 世紀の計算力学像についてまとめたものである。とくに、大規模計算力学ソフトウェア開発に関する日本の統合的戦略の整備に向かったの提言となることを念頭に置いている。とりまとめにあたっては、計算力学専門委員会委員以外に、奥田洋司氏（東京大学大学院）、小池秀耀氏（(株)富士総合研究所）、鈴木克幸氏（東京大学大学院）、田中正隆氏（信州大学工学部）、吉村忍氏（東京大学大学院）ほかの方々から有益なご意見を賜った。紙面を借りてここに深く感謝申し上げる。

2. 計算力学分野における産学連携および学会連携

2. 1 産学連携

(1) わが国における計算力学に関する産学連携の現状

計算力学におけるソフトウェアの開発に関して、多くの基幹ソフトウェアは米国製である。例えば、構造解析の NASTRAN, MARC また数学ソフトの MATHEMATICA などである。構造解析プログラムは古くから FORTRAN が使われているが、最近のパソコン用ソフトは C または C++言語が主流である。これは、ワークステーションの OS である UNIX や WINDOWS が C や C++で記述されており、その GUI ソフトがこれらの OS とのやり取りが必要となり、OS の言語と同じ言語でコーディングすると都合が良いためである。

これらのスキルは OS の開発国である米国が圧倒的に有利であり、その技術移転や技術者の移動が容易であるからと思われる。わが国でも独自の OS の開発や応用システムの開発が行われてきているが、最終的には世界標準になるものは極めて少ないのが現状である。これは、現在、英語が世界標準の言葉であり、OS が米国製と言う極めて大きなハンディを背負わざるを得ないからである。米国のソフトは OS と英語の世界標準の相乗効果で益々有利な開発環境にあり、ユーザー層も広い。また、わが国の独自の応用ソフトも米国製の結果との照査を求められることも多い。

これらの背景として、米国では世界各国から優秀な技術者が集まる土壤が出来上がっているのが、理由の一つと考えられる。つまり、これは良い情報を発信する所には良い情報が集まると言う諺のとおり、良い技術者、良い会社、良い大学には良い人間が集まると言う典型である。つまり、米国では知的な財産に価値を与え対価を払うという価値観が定着しているように思える。

翻ってわが国では、物や肉体労働は有料であるが、考え方や知識は無料であると言うような長い習慣がこれらの環境を阻害しているのも一つの要因である。

一方でわが国では、コンピュータのハード面では米国と遜色ないのも現実である。恐らくわが国のハード技術は世界最高水準であることは間違いなく、その反面でソフトの技術は米国に一步も二歩も後塵を配しているのが現実である。

今やこれは文化や慣習の違いであると言う一言では済まされない深刻な問題であると捉えるべきである。

また、この分野におけるアジア諸国、特に、インド、韓国、台湾、中国の追い上げも厳しく、ある分野においては、すでにわが国を凌駕していると考えられているものもある。

最近では IT が企業や国の戦略の大きな柱であると言うことが言われているが、その内容や実態は未だに曖昧であり、これらの具体的な戦略が必要である。

しかし、これからの IT はハードよりもむしろソフトの技術を制するものが世界のリーダーとして君臨すると言われている。次節では、産学連携という立場からこの問題を考えてみる。

(2) 計算力学における産学連携への提言

提言の目的は産学連携により新しいソフトウェア産業を創出し、この分野に国民の雇用機会を与え、国としての産業形態を変革し、21世紀にわが国が国際社会の中で科学技術を中心に世界に伍して行くための基盤を作ることである。

わが国におけるソフトウェア関連の産学連携は、通産省が主管するIPA、科学技術庁が主管する科学技術振興財団による研究助成、文部省、民間学術財団による研究助成など多岐に亘っている。調査によれば、これらの助成は量的（金銭的）には米国の約50%程度と評価されている。これらの内訳であるが、これまでは概してハード偏重の傾向が強かったことは否定できない。これからは少なくともこの比率を50%程度に高めるべきである。また、研究期間が単年度のものも多く、すでにほぼ完成しているものや、成功の確度が高い既存の技術を基盤としたテーマが提案されることも多いと思われる。研究期間の短い助成はどうしても画期的な技術は生まれにくい弊害も伴う。

計算力学におけるソフトウェアは結果としての解析コードの開発も勿論重要であるが、その基盤となっているのが人材育成であり、これは一朝には育たない厄介な問題を抱えている。現在、この問題がこの分野で最も危惧されている。これらの解決には科学技術関係のソフトウェアの開発において長期的な目標を設定し、また、それを実現する国家的プロジェクトの維持と資金が必要である。

産学連携における研究テーマでは、大学でのシーズ的な研究を民間が実用化に向けて、共同で開発することが基本であり、これらの組織も大学を中心に出来つつあるが、まだ、その人的、経済的基盤は十分とはいえない。そこで、このような組織にある程度長期的な視点から大まかテーマの研究助成を行い、その具体的な評価や運営を第三者機関に任せ、その評価は社会に委ねることも一つの方法である。プロジェクトへの参加は官、民、学および海外からも広く人材を募集し、門戸を開放すべきである。極端な例であるが、わが国のゲームソフトはすでに世界一と言われ産業として成立している。この背景には、成果が直接社会に評価され、競争に打ち勝ったものに経済的な評価が与えられるため、自由な若者の参入が原動力となっているのも大きな理由の一つであることを忘れてはならない。

成果としてのソースコードを公開し、その応用や、商業化はそれぞれの主体に任せるのも一方法である。シーズ的开发テーマは、各大学の研究室に眠っているものが多く、これらを発掘し、これらの中から産業界で応用できるものを共同で実用化するのが最も現実的である。これらの基本ソフトをネット上で流通させ、各自が改良を加えて、再還流させ、その内容を拡充し、その結果、開発されたソフトは共通の財産として第三者機関が管理、運用して行く手法も考えられる。

なお、最近の動きとして、2002年度から5年間の計画で文部科学省の戦略ソフト開発プロジェクトが開始されている。

2. 2 学会連携

(1) 計算力学における関連学協会の現状

近年の計算力学は、従来不可能であった数値解析や数値シミュレーションを実現する強力なツールとして、あるいは新しいものづくり手法、設計手法を可能にするツールとして認知されると共に、それ自身が既存の学問領域の脇役に留まらず、新たな学問の体系としても確立されてきたという、いわば二重の発展の側面を有している。対象とする事象を記述する数学的な問題設定が可能であっても、その解を得ることは工学で扱う複雑な事象に対しては多くの場合不可能である。しかし、計算機性能の向上と共に、それらに対する数値的な解を許容される時間において得ることが可能になったこと、複雑な現象の予測が時間空間的な制約を超えて計算機上のシミュレーションとして可能になったことは、既存の産業の構造変革を誘導し、多くの新規産業を創出するなど、新しい価値を生み出した。また、現象のマクロなモデリングや予測に加えて、ミクロな素過程の力学を基にマクロを理解するシミュレーションや数値解析手法が可能になったことは、科学・技術に新しい発展の可能性を付与することになった。さらに、数値計算から生み出される膨大な数値データを、効率よく処理し、転送し、可視化し、記録保存する技術、計算機と人間とのインターフェースに関わる技術、そしてネットワーク技術などの飛躍的な発展を促し、さらにそれらが新しい技術や文化の創造につながっていった。

このように近年の計算力学、そして広く計算工学の発展にはめざましいものがあり、多くの学協会においてこの分野に関わる研究活動は増加し、またそれらを専門とする学会や部門（例えば、日本機械学会計算力学部門、日本計算工学会、日本数値流体力学学会など）の設立も相次いだ。現在、これらの諸学会の活動は、その幼年期を経て、青壮年期を迎え、大きく花開いていると言ってよいであろう。ところで、多くの専門学問領域における計算力学は、その対象とする事象や具体的な問題は異なっても、同一のあるいは類似の知識や技法を共有することも多いので、相互の交流や融合が必要であると言われている。また、現代社会は、既存の個々の学問分野の成果のみならず、その統合としての工学や科学が、市民の身近な諸相の変化にどのように現れるのかを明示するよう要請している。そして、市民は技術の提唱する一元的な価値のみならず、自らが学習し、多元的な座標軸から価値を読みとる市民として選択をすることを求めている。これに応えるためには、工学の各分野が生み出す学術的な成果や技術が、より横断的な学会組織や評価の機会にさらされることが肝要である。計算力学もその例外であり得ない。

(2) 学会連携への取り組み・提言

前記のような背景から、計算力学専門委員会では、関連学協会の連絡、交流、協力を可能ならしめる機構の構築について議論を進めたが、以下のようないくつかの問題や要請が存在することを認識するに至った。

1. 計算力学に関わりを持つ各学協会の多くに、会員の固定化、活動のマンネリ化を危惧する声があり、個別の専門領域を越えて情報や意見を交換する機会が必要である。
2. 産業界からは、工学系学会の数が多く、類似の活動もあることから、連携や協力を通じて、関連学会の活動をまとめられないかという要請がある。
3. 昨今の日本経済・産業の不調や会員数の伸び悩みもあって、学協会の財政基盤は一般に脆弱である。事務局の省力化、ジャーナル合同編集、シンポジウム合同開催の可能性を求める声がある。また、複数の学会が類似のテーマを掲げた講習会を開催し、参加者を奪い合う状況を回避したいとの要望もある。

そこで、平成10年6月、学術会議第5部に登録されている178の学協会に対して、関連学会の横断的な連絡組織として「計算力学連絡会議」を設置することを提案し、アンケート形式で回答を募った。その結果、72の回答を得たが、その内50の学協会から「計算力学連絡会議」の設置に関心を有する旨回答が寄せられた。この結果を受けて平成10年7月に、各学協会の代表者が集まって、第17期計算力学専門委員会の下部組織として、計算力学連絡会議（委員長：笠木伸英、幹事：姫野龍太郎）を正式に発足させた。表1に21の参加学協会を示す。

表1 計算力学連絡会議登録学協会（順不同）

土木学会 日本建築学会 日本機械学会 日本油空圧学会 日本材料学会 日本応用数理学会 日本原子力学会	可視化情報学会 日本流体力学会 日本数値流体力学会 日本風工学会 日本燃焼学会 日本熱物性学会 日本レオロジ-学会	繊維学会 日本ゴム協会 日本化学会 化学工学会 化学ソフトウェア学会 日本ファジィ学会 日本計算工学会
--	---	---

計算力学連絡会議では、その後幹事会を開催してさらに連絡会議としての活動について討議を重ね、その役割の展望を以下のようにまとめた。

- (1) ホームページの作成（各学協会からの情報を盛り込み、リンクを貼る）
- (2) 連合的・横断的なシンポジウム開催
- (3) 登録会員間で学会誌の交換
- (4) 計算力学国際誌発行、電子ジャーナル発行、「計算力学の進展」、「計算力学ハンドブック」などの書籍編纂

(5) 国家的大規模プロジェクトの提案

(6) 科学技術行政への提言

また、将来、学協会だけでなくハード・ソフトウェアのベンダーにも参加を呼びかけ、計算力学コンソーシアムなどに成長することが望ましいとの結論に至った。これを受けて、平成 11 年 1 月に、前回アンケートで計算力学に関心を有すると回答した 55 の各学協会に再度アンケートをとり、計算力学連絡会議に対してどのようなニーズがあるのかを探った。30 の回答のとりまとめ概要は以下の通りである。

表 2 計算力学連絡会議の活動に対する要望の内訳

内容	回答数	割合 (%)
HP及びカレンダー作成協力	26	87
HP作成に興味がない	4	13
HPリンク可能	21	70
計算力学関連講演会開催	24	80
学会誌交換可能	12	40
学会誌交換の回答保留	16	53
計算力学ジャーナルに対して興味がある	24	80
大規模プロジェクトに対して興味がある	24	80
コンソーシアムに対して興味がある	22	73
計算機センタ調査に対して興味がある	17	57

表 2 の結果から、多数の学協会が、計算力学連絡会議のホームページ開設に対して希望を持ち、協力を惜しまないこと、そして合同の計算力学関連の講演会、ジャーナル発行、大規模プロジェクト提案についても強い期待を持っていることが判明した。

以上の結果を受けて、平成 11 年 6 月以来、理化学研究所の協力を得て、計算力学連絡会議ホームページ (<http://cf-d-duo.riken.go.jp/renrak.htm>) を開設し、学術会議計算力学専門委員会、計算力学連絡会議の紹介と共に、各学協会の協力を得て、関連学協会へのリンク、計算力学関連の講演会、シンポジウム、講習会などの諸行事カレンダー、あるいは関連情報の公開を続けている。現在に至るまで概ね好評を得ているが、今後ともホームページのコンテンツの充実に努めてゆく必要がある。

以上、計算力学専門委員会の下で進められてきた計算力学関連の学協会の連携を計る試みについて述べてきたが、今後の課題として、関連学会活動の一層の促進と、それらの交流・協力や情報交換を可能とする連絡会議を発展させ、さらにはハード・ソフトウェアのベン

ダーの参加も得て計算力学コンソーシアムの設立を進め、社会のニーズを広く捕らえ、それらに着実に応えてゆく機能を付与すべきであろう。コンソーシアムの目標設定、運用規定の整備、財政など、具体的な検討を急ぐ時期になっている。特に、権威ある評価機能を計算力学コンソーシアムに付与し、多くの関連団体や企業から生み出されるソフトウェアに対する品質保証制度を確立し、健全なソフトウェアの育成を涵養することも期待される。なお、関連学会の中には、計算力学のソフトウェアを開発することを主とする学会と応用することを主とする学会があるなど、それぞれが固有の伝統と特色を有していることも事実であり、それらを活かしながら連携・協同を計ることが重要である。

3. 計算力学分野における人と社会

3. 1 次世代人材育成のための中等教育のあり方

(1) 人材育成の必要性

計算力学の発展により、これまで実験でも確認することができなかった複雑な現象を詳細に把握・理解し、新しい発見のみならず、より適正な設計、開発、予測による物作りなどが可能となった。その社会的インパクトははかり知れない。

計算力学の進歩は、コンピュータの性能の急速な向上によるところが大きい。それ以上に、コンピュータの性能向上を十分に駆使し、それにふさわしい計算技術の開発や結果の表示に革新的向上を実現した研究者の貢献が大きい。

これまで、わが国には多くの分野で計算力学に対応する人材があった。しかしながら、今後、これまで以上のハード面での性能向上が予想され、また、社会現象も含めたより複雑な現象への挑戦や、より強い社会からの期待と要請を考えると、長期的視点に立った人材育成方を考えておく必要がある。

計算力学では、コンピュータハンドリング技術のみならず、数学の素養、工学的センス、そして現象を的確に把握する能力が重要である。こうした能力は、初等教育ないしは中等教育（中学・高等学校教育）でその基礎が養われる。特に、数学にあっては、コンピュータの進歩により、数学を取り巻くパラダイムが大きく変化したことを認識する必要がある。そうした理解を踏まえて、中等教育における数学教育への対応を講ずることが、この分野の人材育成にとって不可欠である。ただし、このことは中等教育全体の枠組みのなかで慎重に検討されるべきことは言うまでもない。

(2) 中等教育における数学教育の現状

中等教育（中学・高等学校教育）における数学教育の学習指導要領が改訂され、中学校では 2002 年度に一斉実施、高等学校では 2003 年から順次実施となっている。小学校と中学校の数学の時間数は、週休 2 日や「総合的な学習」の導入などのため、約 15% 少なくなる。それに伴い、教育内容も考え方を重視したものとなり、計算技術に関しては、その程度や範囲は軽減する方向に改訂される。図形に関する教科内容も省かれたり高等学校へ移行される。

高等学校の数学は、数学基礎、数学 I、II、III、および数学 A、B、C で構成され、科目間での教科内容の割り振りの変更はあるものの、時間数の削減はない。しかし多くは選択制となる。数学 B、C はその教科内容の半分を履修すればその科目を学んだことになる。

数学 B や C は、コンピュータの使用を想定した内容が多く、「統計とコンピュータ」、「数値計算とコンピュータ」、「式と曲線」および「統計処理」などの内容が含まれてはいる。しかしこれらの内容は選択されることは余りない。とりわけ計算シミュレーションで重要となる「数値計算とコンピュータ」はほとんど選択されないし、開講もされない。これには、計算機を使用した教育を実施するには設備や教員が十分でないという現実があると共に、大学入試の出題範囲から外す大学が多いという事情がある。

このように、中等教育では数学そのものの教科内容が軽減される方向にあり、コンピュータを利用した数学教育は実質的にはほとんどなされていない。最近、精力的に進められている情報教育も、多くの学校では、モラルやインターネットの使い方等を主とした学習となっており、数学的なものとしては表計算程度である。

計算力学のための中等教育内容としては、数学と理科、すなわち物理や化学などとの連携がこれまで以上に重要となるが、現実には、数学教育と理科教育との相互関連がほとんどないまま教えられている。例えば、力学に関係深いベクトルも、理科数学で無関係に教育され、また微分方程式も既に教科内容から消えている。

数学を例として述べたが、中等教育の現状は、計算力学の人材育成という意味では、必ずしも十分になされていない。

(3) 中等教育のあり方についての提言

計算力学は社会・産業のいろいろなところで今後ますます重要となる。それに伴い、そうした科学技術に携わる人材の量的質的供給は、近い将来、わが国の重要課題となる。人材育成には長い年月が必要とされるが、中等教育の現状を見ると、長期的展望に立った人材育成のための対応を早急に講ずることが必要である。

1. コンピュータの利用によって、数学を取り巻くパラダイムが大きく変化しつつあることを認識し、具体的なシミュレーションを試みるなど、コンピュータの使用を前提とした数学教育を実施することが必要である。

2. コンピュータの使用が社会の中でますます重要となってきた。数学教員に要求される能力もおのずと変化している。コンピュータを駆使した研究経験を持つ工学系大学院修了者が、もっと多く、中等教育の数学や理科を担当できるよう教員資格のあり方を見直すことも検討すべきである。従前の資格試験では工学系学生が中等教育の教員となることはほとんど不可能であるが、特例的措置の導入や工学系大学院学生の中等教育現場への派遣などがあってもよい。

3. 大学は、高等学校の教育に大きな影響を与える大学入試を工夫し、中等教育でコンピュータの使用を前提とした数学の学習がより効果的に行なえるように務める。

4. 中学校・高等学校への計算機の導入ないしは大学などの大型計算機への接続を図ることにより、中等教育での計算機環境を格段に整備する。専門的知識と経験をもった教員の配置も措置する。

3. 2 計算力学と技術倫理

(1) 技術倫理に関する理解共有の必要性

技術に関わり合う専門職能集団を技術者とよび、技術業を生業として社会に貢献する人々と考える。産業界はもとより、教育研究機関で活動する教育者、研究者も含まれる。さて、技術者は、これまで我が国の飛躍的経済成長の原動力となったものづくり技術の発展を支えてきたし、今後科学技術立国を唱う我が国を支える基盤的役割を期待されていることを誇りにすべきである。しかし、同時に、科学技術が人類の環境と生存に重大な影響を与えることを認識し、自らの良心と良識に従う自律ある行動が、科学技術の発展とその成果の社会還元にとって不可欠であることを自覚し、定められた倫理規定を包括的に遵守することを誓約する必要がある。技術者が、人類の安全、健康、福祉の向上と環境保全のためにこそ、その専門的能力・技芸を最大限に発揮することを社会に約束するのである。

最近、土木学会、情報処理学会、電気学会、そして最大規模の日本機械学会[1]など、工学系学会で倫理規定の新設や改定が続いており、会員への周知伝達や技術倫理に関する教育・啓蒙活動を開始している。一般に、技術者の社会的責任、自己の研鑽と向上の努力、社会利益のための情報公開、契約の遵守、他者の意見や権利の尊重などが規定として明文化されている。さて、昨今のトンネル内コンクリート崩落事故や核燃料臨界事故などに見られる我が国の技術のほころびには、技術倫理に関わる多くの問題点が認められるが、以下に述べるように、「技術倫理」は新世紀における技術者の存在に関わるより根源的な意味合いを有しており、計算力学分野においても理解を共有する必要性がある。

倫理とは、広辞苑によれば「人倫のみち。実際道德の規範となる原理。道德。」とある。結局のところ、他者への思いやり、そして危険を予知する想像力の問題であり、技術にも同じ要素が求められていると言える。さて、社会と、医者や弁護士などの専門職能集団との間には、社会契約説[2]と表される相互約束が存在している。同様に、現代社会は、技術者に高度の専門的サービスを独占的に供給することをすでに実質的に委託しており、一方、技術者は、その専門技術や技芸の遂行に当たって、自らの利害よりも、社会の利益、すなわち健康、福祉、環境などを優先することが了解されているものと理解するのである。この背景には環境問題、社会の情報化、経済を始めとした諸相の国際化があり、社会契約説が浸透している欧米諸国と対等な立場で仕事のできる技術者が求められている点も指摘できよう。因に ASME, IMechE, IEEE などの学会では、古くから倫理規程に関連するアクションプランが制定されており、最近では米国の工学高等教育認可機関 ABET の「ABET Code of

Ethics of Engineers」などが技術倫理のグローバルスタンダードの一つと考えられている。一方、我が国では、長い間社会と技術者との相互了解は明示的に契約されることはなく、いわば技術者魂（Engineering Mind）として良識ある技術者には当然備わっていると了解されてきたのであるが、技術革新、国際化、規制緩和の時代には不十分であることが明らかになってきた。

（２）行動規範策定の要件

技術倫理に沿った行動規範を確立することは容易ではない。まず第一に、現代社会の中での技術者は、多くの場合企業や団体など、組織に属して仕事をすることが多いから、自らの仕事の結果が組織というフィルターを通してフィードバックされる。従って、組織の外の空気によほどの感度を持たない限り、組織人としての利害や論理が優先しがちである。生み出される技術が、社会にどのように受け入れられ、どのような人を創り出し、どのような思潮の変化を招くことになるのか、問いかけてみる必要がある。技術者は社会のために働いている、組織はその方法であり、窓口に過ぎないという自覚を忘れないようにしたいが、それを実践するには厳しい倫理観と勇気が必要である。工学系学会が、そのような技術者個人の支援者になるべく制度設計を始めていると聞いている。

第二に、より本質的なことであるが、新世紀の社会では、エネルギー・環境、生命・医療、情報ネットワークなど、人間の存在の根幹や社会の基本的枠組みに影響する技術がさらに進展するものと予想される。これらの技術の影響は、多面的かつ複合的で、評価の物差しは多数であるから、真に社会に良いかどうかを個人が判断することは決して容易ではない。計算力学の生み出す情報はデジタルの数値に過ぎないが、これらの表現の方法や解釈は専門家の判断に任されており、適切な配慮を欠けば、感覚的な印象が判断の基準になりがちな一般市民である受け手に多大な被害が及ぶ可能性がある。また、多くの連鎖を含む現代社会では、一面的な利益が他の面で不利益となり得ることは多々あることである。技術者はこれらに対する的確な洞察力の行使を惜しんではならないが、その際、自らも市民の一人である感覚を活かす必要もある。

（３）計算力学における技術倫理に関する提言

計算力学における基本的課題、そして最高の倫理は、まず、生み出される数値データの品質保証である。計算結果だけが一人歩きしないために、基本的な計算上件や計算法の記述も欠かせない。例えば、米国航空宇宙学会は数値計算結果の評価マニュアル[3]を発行しているし、米国機械学会の複数の論文集では計算結果の誤差評価の記述のない論文原稿は受け付けないとの規則を掲げているものもある。計算精度や計算誤差は、計算力学にとって存立のかかる基本的な課題であるにもかかわらず、我が国ではその評価方法の標準化が遅れている。計算力学が世界のトップクラスのレベルにある我が国としては、見逃せない事実であり、早急に解決すべきである。

さらに、計算力学のアウトプットとして、その品質保証されたデータや評価プロセスに関する情報と共に第三者に渡るとき、適切な解釈の方法がどのように引き渡されるかも重要な課題である。計算力学に関わる技術者や研究者は、数値計算を手際よく行って結果を素早く求めることに奔走しがちであるから、十分に注意が必要である。計算結果の表示・表現においても、自らの仕事を印象深く伝えたいと意図されることが多く、受け手の計算力学に対する理解度や、受け手がそれをどのように使用するかまで配慮が及ばないことも多い。計算結果がどのような目的で、どのような場面で使われ、結果として社会にどのような影響が及ぶのかを事前に十分に吟味する姿勢が益々重要になる。

技術者が、産業組織の中で、製品の性能やコスト目標の達成を越えて、視野を拡げるべき時期に至っている。研究者も、自らの生み出す研究成果が社会に与える多面的影響に思いを巡らすことが迫られている。さらに、技術が社会の中での実践を目標とする実学であることを考えれば、自然科学領域にとどまらず、社会科学、人文科学の中からも必要な領域と適宜連携し、そのような多元的な価値観を持って社会が直面する様々な問題に対処しなければならない。技術倫理遵守を公約する自律的な技術者を、専門職（プロフェッション）として認可し、国際的に相互認証する新しい技術士制度も整備されつつある。計算力学分野においても、関連技術者、研究者の意識改革を促すため、迅速かつ組織的対応が必要である。

3. 3 技術者認定

（1）工学技術者の品質

有限要素法の考え方が初めて登場してからすでに半世紀近くが経過した。その間に、計算機の性能は目覚しく向上し、インターネットの普及とともに社会の隅々にまで普及してきた。さらに計算力学の理論およびアルゴリズム、プログラミング技術も著しく発展し、ほとんどあらゆる人工物の設計から自然現象の評価に至るまで、応用分野は大きく広がってきている。計算力学はいまや現代産業化社会を支える基盤技術となっている。このような事実を象徴するように、国内にも多くの計算力学関係の学会や部門等が設立され、その基に多くの講演会や講習会、研究会が開催されている。国際的にも WCCM（計算力学世界大会）や USNCCM（米国計算力学講演会）、ECCM（欧州計算力学講演会）、APCOM（環太平洋計算力学講演会）を始めとする様々な国際会議が定期的に開催されるようになってきた。さらに、現在、（社）日本機械学会計算力学部門が中心となって編集作業が進められている「計算力学ハンドブック（I：有限要素法・境界要素法（構造編）、II（有限要素法・境界要素法（非構造編）、III（差分法・有限体積法）、IV（原子・分子・離散粒子シミュレーション））」や、日本機械学会全体の取り組みとして編纂作業が進められている機械工学便覧の計算力学編のように、これまで蓄積されてきた計算力学に関する知識が集大成されるようになって

てきており、それを基盤として次の新しい発展が期待されている。

このような国内外の学会および講演会は、計算力学の新しく生み出される知識を集積し、それらを様々な分野に広く普及させるという観点から、計算力学の発展に重要な役割を果たしてきた。一方、工学を取り巻く昨今の状況を見てみると、従来は個々の大学や学科、または採用側の取り組みに任されていた工学技術者の品質というものに対して、グローバルスタンダードに則った技術者教育のレベルアップと品質保証が求められるようになってきた。そのような社会的要請を受けて 1999 年 11 月に日本技術者教育認定機構（JABEE）が設立され、各学会を起点として各大学で行なわれている工学教育に対する具体的な認定作業が始まろうとしている。一方、このような工学全体に対する動きとは独立に、IT（情報技術）が新たな産業（社会）革命の担い手として脚光を浴びるようになってきており、そのような背景のもとに「情報処理技術者」への期待が高まり、「情報処理技術者試験」が技術者の品質を保証する上で重要な役割を果たしている。この試験には、2 種試験、1 種試験、初級システムアドミニストレータ試験、ネットワークスペシャリスト試験など種々のレベルと分野を対象とするものがあり、毎年数十万人規模の受験者が挑戦し数万人規模の合格者が誕生している。

（2）計算力学技術者の認定制度に関する提言

このような社会情勢の変革の中で、力学とコンピュータ（情報技術）を融合した計算力学の専門家である計算力学技術者についても、社会的な重要性が増すにつれて、適切な品質保証の必要性が高まってきている。しかし、現在のところ、上述した既存の体制のもとでは、計算力学技術者が客観的に適切な評価を受けられる状況にはなっていない。

たとえば、上述の技術者教育認定制度によれば、機械工学を例にとると、その主な習得分野は

- ・材料と機械の力学
- ・エネルギーと流れ
- ・情報と制御
- ・設計と生産

という、敢えて言えば旧来の伝統的な縦型分類に従う 4 項目に分断されている。このために、力学とコンピュータ（情報技術）を統合化し、さらには設計の視点を融合した横断分野である計算力学が、適切な評価を受けられる状況にはない。また、情報処理技術者試験においては、当然のことながら力学に関する知識は一切問われないために、その合格者が計算力学技術者の専門知識や技能を有することを保証するものでもない。

計算力学技術者の品質保証は、これまで大学教育、企業内研修、ソフトウェアベンダーによるソフトウェア利用講習会等の活動を通して担保されてきた。しかし、それらは世の中にはっきりと見える形で資格として認定されたものではなく、その内容やレベルもまちまちであった。このために、計算力学技術者にとっても、彼らを採用する企業側にとって

も、ほとんど有効に活用されていない。

また、計算力学の特殊性として、現在、計算力学関係の教員は全国のあらゆる大学の様々な学科において教育に従事しているものの、いずれの大学や学科においても単独で「計算力学教育」を適切に認定するだけの存在にはなっていない。

以上のような状況を考えると、計算力学に深くかかわる学会等の組織が中心となって、一刻も早く積極的に標準的な「計算力学教育」を整備し、標準テキストや標準問題集の作成、講習会やソフトウェア演習の実施等の適切な手段を通して「計算力学専門技術者」の教育・認定作業にあたり、計算力学に関する社会基盤の確立を目指していくべきであると考えられる。なお、大学や企業等において行なわれる個別の計算力学教育の取り組みは、このような認定制度の中に上手に組み入れていくことが望まれる。このような認定制度が整備されることによって、計算力学技術者自身の社会的価値が高まるばかりでなく、彼らを採用する研究機関や企業側にとっても、一定レベルの知識・技能を期待できるようになると考えられる。ただし、こうした認定制度を実行に移すに当たっては、社会的なニーズの把握、認定すべき知識・技能の範囲の明確化、その認定方式等について、広い視点から詳細な検討が必要不可欠であると考えられる。

4. 計算力学分野の発展に向けて

4. 1 大規模ソフトウェア開発

(1) 大規模ソフトウェア開発の必要性

計算力学は情報技術と科学技術の各分野との融合領域である。一口に計算力学というが、計算力学は大きく二つの要素に分けられる。すなわち、数値実験と数値実験を行うためのソフトウェア・ハードウェアの開発に分けられる。前者は応用分野に近い領域にあり、ハードウェアは情報科学技術に近い領域にある。そして応用ソフトウェアは応用分野と情報科学技術の中間に位置する。もちろん、数値実験とソフトウェアの開発は不可分の関係にあり、研究では同一の研究者が両方を行っている場合も多い。しかしながら、計算力学が発展し、研究対象が複雑で大規模なものとなるにしたがって、数値実験とソフトウェア開発は連携しつつも独立の学問となりつつある。ここでは主として「産業界で利用される実用的な大規模ソフトウェア」（以下、大規模ソフトウェア）の開発について論じる。「実用的な」とは、ソフトウェア・パッケージのように広く一般に使用されるソフトウェアを意味している。流体解析、構造解析、各種CADなどの大規模ソフトウェアは、研究開発や産業技術の基盤的技術であり、21世紀の科学技術や産業の発展の鍵を握っている。計算力学の普及、社会的貢献のためには大規模ソフトウェアの開発が必要不可欠である。しかしながら、大規模ソフトウェアの開発はますます困難になっている。

(2) 計算力学の発達と新たなパラダイム

計算力学は技術革新の時代にあるが、この技術革新の最大のポイントは、コンピュータ、ネットワークの発達及びこの50年間のソフトウェア、情報技術、データの蓄積等により、従来は不可能であった複雑で大規模な問題を解析することが可能となったことである。具体的には、分散メモリー型並列コンピュータの実用化により、計算速度の飛躍的向上が可能となるとともに、メモリーやディスク容量も飛躍的に増大した。表1にENIAC以来のコンピュータの性能向上の推移を示す。この表を見るとわかるように、コンピュータのピーク計算速度は約1000億倍に、記憶容量は約100億倍に向上している。最近では、計算速度は5年間で10倍以上の速度で向上している。このようなコンピュータの発達はLSIの性能向上と並列コンピュータの実用化によるものである。LSIは今後も従来のトレンドで性能向上を続けるものと予想され、コンピュータのピーク性能は今後も5年間で10倍以上向上するものと予想される。記憶容量も同様の速度で向上するものと考えられる。

表1 コンピュータの発達

コンピュータ	年	演算速度 (MFLOPS)	記憶容量
ENIAC	1946	3.3×10^{-4}	20W
CDC6600	1964	1.0	32kW
CDC7600	1968	4.0	65kW
CRAY-1	1976	160.0	8MB
VPP800	1998	1.0×10^6	2×10^6 MB
SX-5	1998	1.0×10^6	1×10^6 MB
SR8000	1998	1.0×10^6	1×10^6 MB
地球シミュレータ	2001	40.0×10^6	1×10^6 MB

また、インターネット上に蓄積された知識（データ、ソフトウェアを含む）は、ここ5年間で驚異的に増大しており、だれもが容易にアクセスできるようになった。このようなハードウェアの進歩を背景に計算力学も新しい発展段階に達している。これからの計算力学が挑戦すべき課題は、過去の蓄積をベースに、より複雑な自然現象全体を解析すること、すなわち「統合化」である。統合化を実現する為には、数値解法の面では多原理統合型シミュレーション技術などが必要となり、情報技術的にはタスク並列処理、ネットワーク上での分散協調処理などが必要となる。なによりも重要なことは、50年間に渡って蓄積されてきたソフトウェア・リソースを、複雑で大規模な問題を解決する為に、ネットワークや並列コンピュータ上で統合化する技術の確立である。

（3）大規模ソフトウェアの開発の困難さ

しかしながら、この技術革新を推進する上で、新たな技術的困難が発生している。ソフトウェア開発がハードウェアの進歩についていけないという問題である。たとえば、タスク並列を含めた並列処理技術は全く未成熟で、ハードウェアの進歩に利用技術が追従できていないという現象が生じている。また、ネットワーク上に分散する膨大な知識から必要とする知識をいかにして抽出するかが大きな問題となっている。さらに、大規模・複雑化したソフトウェアの開発はますます困難になっており、危機的状況に陥りつつある。表2にE.Yourdonがまとめたソフトウェア開発の難易度[4]を示すが、最近の計算力学用の先端ソフトウェアは大規模・複雑化し、現在の技術レベルでは限界に近い規模と複雑さになっている。図1は米国の大規模ソフトウェアの開発における、計画からの開発の遅れを示したものである。大規模開発になると計画の2倍の開発期間がかかっている。図2は開発プロジェクトの中止率を示したものであるが、大規模開発では半数が中止に追い込まれている。計算力学は飛躍的発展期にあるが、ハードウェアの進歩や情報技術の蓄積を生かし技術革新を実現する為には、ハードウェアを使いこなす技術、すなわちソフトウェア開発の面で大きなブレークスルーを必要としている。F.P. Preparata は、並列計算について次のように述べている[6]。「技術としても並列計算の現実には満足するものに程遠く、システム科学が対応する物理的現実よりも遅れているという、科学技術の歴史の中でも珍しい例

となってしまう。しかし、並列計算は不可避であり、やがて中心的な役割を果たすようになると主張したい。並列性に頼るほかに手だてがない、社会的に重要な応用がある為である」。この言葉は、並列計算を大規模ソフトウェア開発やデータマイニングあるは分散協調処理に置き換えても、そのまま成立する。計算力学の発展にとって最大の障害はソフトウェアの開発の困難さにある。

表2 ソフトウェア開発の難易度[4]

ソフトウェアの規模	難易度	開発人数	開発期間
1千行以下	非常に簡単	1	数週間
1万行まで	簡単	2, 3	半年
10万行まで	やや難しい	6～10	2, 3年
1百万行まで	難しい	50～100	3～5年
1千万行まで	不可能に近い	経験者はほとんどいない	
1千万行以上	非常識	Star Wars 計画	

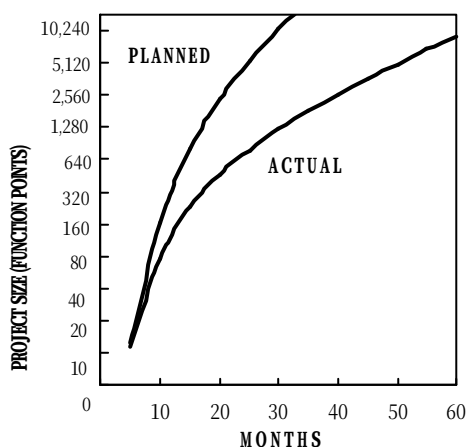


図1 大規模ソフトウェア開発における計画とのずれ[5]

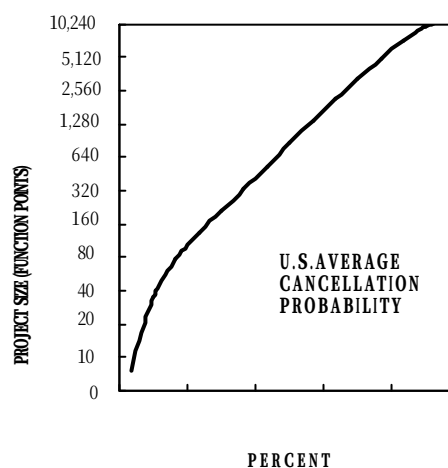


図2 大規模ソフトウェア開発における中止率[5]

過去、ソフトウェアの生産性はほとんど上がっておらず、ライブラリーや再利用はあまり効果が無い[7]。この原因は科学技術分野の応用ソフトウェアが完成するには使用経験の蓄積が必要だからである。計算力学用ソフトウェアの生産効率を上げる新しい方法として PSE: (Problem-Solving Environments) が提案されている[8]。PSEの定義は、対象とする問題群を解くために必要な全ての計算環境を提供するコンピュータ・システムというもの

である。PSEに関する具体的な研究開発課題は以下のとおりである。

◆PSEの開発

◆マルチレベルの抽象化と複雑な特性の開拓

◆レガシー・ソフトウェアの再利用

◆コンポーネントとコンビネーションのためのテスト・ベッドの構築

◆重要なコンポーネントの開発

形状モデリング、可視化、シンボリック数学、データベース、最適化など

◆ソルバーと問題のための知識ベースの構築

◆マルチスケール、マルチフィジックスの応用問題に関する統合化

PSEを構築することにより、プログラミングの生産性は2～3オーダー向上すると予測されている[8]。

(4) 計算力学用ソフトウェアの開発体制

大規模ソフトウェア開発を行なう上で不可欠の要素としてソフトウェアの開発体制の問題がある。この際、考慮すべき点は以下のとおりである。

①複雑な現象が解析可能となり、計算力学の適用範囲が著しく拡大している。これに伴い、実用レベルの計算力学用ソフトウェアも複雑化、大規模化している。1研究者、1研究機関で実用的ソフトウェアを開発することは不可能になりつつある。ユーザー、応用分野の専門家、情報技術の専門家等の協力体制が不可欠である。

②ネットワークや並列コンピュータの発達により、アプリケーション・ソフトウェアの複雑化、大規模化が加速されている。これからの計算力学用ソフトウェア・システムの方向は、ネットワークで結合されたヘテロジェニアスなコンピュータ環境で様々なソフトウェア・コンポーネントを統合化し、問題を解決する環境（PSE：Problem Solving Environment）を構築することに向かっている。

③大規模ソフトウェアは使用経験により成長発展していく特性をもっている。従って、優れたソフトウェアを開発するには長期的な保守改良体制と、多くのユーザーを獲得することが必要不可欠である。一度、成長曲線に乗ると画期的な新技術が出現しないかぎり、新たなソフトウェアが参入することは困難となる。

これらの課題を克服し、大規模ソフトウェアを開発するためには、長期的戦略が必要である。例えば、米国は計算力学の振興に国をあげて取り組んでいるが、米国の研究開発計画の特徴は、極めて戦略的である事である。図3は米国の各研究プロジェクトの関連を示したものである。米国の計算力学分野の研究開発が成功している要因は多数あるが、最も重要なことは、図3に示すような、基礎研究から実用レベルに至る、国の明確な支援体制が存在する事である。また、米国の研究開発体制で特筆すべきことは、国の資金で開発した多くのソフトウェアは無料で公開され、かつ、そのソフトウェアをビジネスに利用する事が広く認められている事である。ソフトウェアの特徴は、前述したように、使用経験に

より成長発展していくところにある。米国の大規模ソフトウェア開発の成功は、米国のソフトウェア開発体制が、このようなソフトウェアの特性に適合していることに多くを負っている。

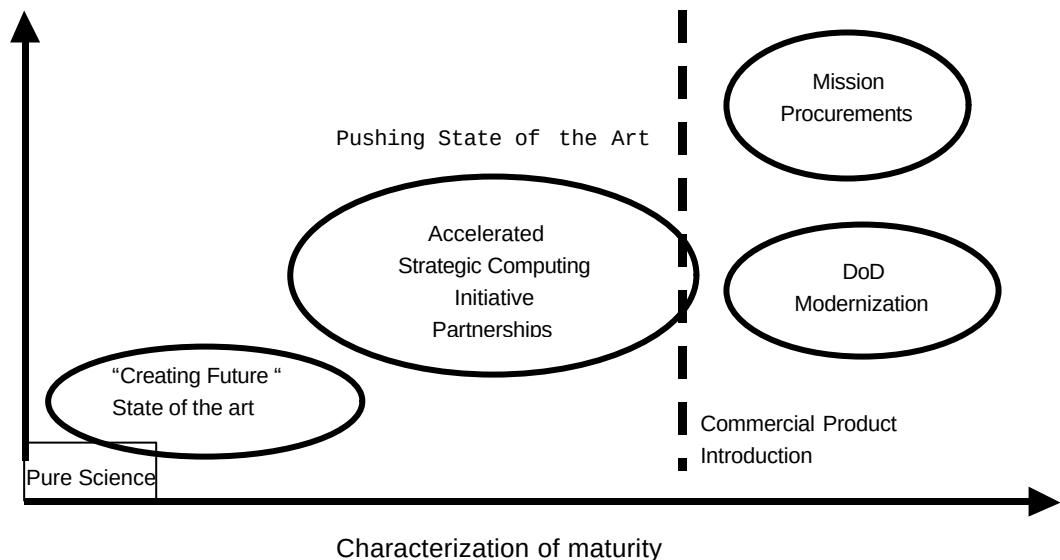


図3 米国における各研究プロジェクトの関連

4. 2 環境問題と計算力学

(1) 顕在化している環境問題

これまで、計算力学は工業製品を作るための手段として、工学とともに発展してきた。しかし、近年地球環境問題の深刻化に伴い、環境問題に計算力学を適用した例が多く見られるようになってきている。(また、工学自体も環境への考慮をするように変革を求められている。)地球環境問題の解決には、自然を理解し解析するための技術、自然との共存をはかるための技術が必要である。

現在顕在化している環境問題には、地球温暖化、オゾン層の破壊や資源の枯渇などのグローバル(マクロ)なものから、酸性雨、海洋汚染のようにリージョナル(メソ)なもの、ゴミ問題や産業廃棄物処理、工業製品のリサイクルのようにローカル(ミクロ)なものまで、様々なレベルのものが存在する。これらの異なるレベルの問題は互いに密接に関連し、マクロな地球温暖化の防止や資源の枯渇に対処するためには個々の生産者、消費者のリサイクルや省エネルギーといったミクロレベルの活動が重要になってくる。

これらの様々な問題に対して、計算力学は有効な手法を提案している。ここでは、そのいくつかに関して簡単に紹介する。

(2) マクロな環境問題と計算力学

マクロな視点からの環境問題で、計算力学と密接な関連を持つのは環境予測・評価における数値シミュレーションの利用である。文部科学省では平成 9 年度より地球環境問題の解決、自然災害に対する対策等への貢献を図るため「地球シミュレータ」としてソフトウェア、ハードウェアの両面にわたって研究開発を行っている[9]。具体的な研究テーマは以下の通りである。

- ・ 超高速並列計算機システム「地球シミュレータ」の開発
- ・ 大気・海洋分野のモデリングと高解像度シミュレーション
- ・ 固体地球分野のモデリングとシミュレーション
- ・ 「地球シミュレータ」用大規模並列ソフトウェアの開発

(3) ミクロな環境問題と計算力学

ミクロな視点での環境問題は、工業製品の設計における環境問題の考慮が近年活発に行われている。リサイクルや高効率化により省エネルギーを達成する努力や、水素燃料などの無公害エンジンの開発も活発に行われており、計算力学は欠かすことのできないツールである。特に、従来にないコンセプトの製品を設計する際は経験が全く利用できないことが多く、数値シミュレーションにより試作の回数を削減することは重要である。

近年、製品設計においても分解しやすい設計、リサイクルしやすい設計が求められ、「エコデザイン」[10]と呼ばれている。UNEP（国連環境計画）はエコデザインの概念として以下の 8 項目を示している。

- | | |
|------------------|-------------------|
| (1)新しい製品コンセプトの開発 | (2)環境負荷の少ない材料の選択 |
| (3)材料使用量の削減 | (4)最適生産技術の適用 |
| (5)流通の効率化 | (6)使用時の環境影響の軽減 |
| (7)寿命の延長 | (8)使用後の最適処理のシステム化 |

この中で、特に(1)、(3)、(4)、(7)の項目に対して計算力学の解析技術、最適設計技術が有効である。

また、材料の設計においても、リサイクル性を高めるために様々な試みが行われ、「エコマテリアル」[11]と呼ばれている。これらの製品設計、材料設計においても計算力学は非常に有効な手法である。特に、最適設計の技術は近年繊維複合材の設計にとどまらず、より複雑な粒子複合材や合金の設計や形状の最適設計に用いられている。

4. 3 ネットワーク時代と計算力学

(1) ネットワーク時代のソフトウェア開発

高速情報通信網は最近の10年間に飛躍的に発展し、現時点ではすでに実生活に不可欠なインフラとなっている。21世紀初めには世界の隅々までに「クモの巣(Web)」状の便利なネットワークがはりめぐらされて、世界のいたるところと瞬時にコミュニケーションが出来るようになる。このような状況では、我々の生活習慣はネットワーク時代にふさわしく変貌を遂げなければならないし、計算力学のありかたもそれに対応して変化しなければならない。

ネットワーク時代でのソフトウェア開発に限定すれば、技術情報をインターネットを通じてお互いに共有できる状態が望ましい。ソフトウェアのデータベースを作成してそれをインターネットを通じて公開し、関連グループから有効利用できるコラボレーション・システムを作れば、国内のあらゆるグループ間での協力体制ができ上がるはずである。

しかしながら、現実にはなかなか実現しにくい状況が続いているといえる。コラボレーション・システムのひな形は比較的容易に作ることが出来るかも知れないが、このようなコラボレーション・システムの維持管理にはかなりのエネルギーが必要だからである。

すなわち、データベースは日々更新しなければ利用価値は減少するし、新しく開発したソフトウェアをシステムにアップロードし関連するグループで共同利用できるようにタイミングよくシステムを更新して行くための維持管理の経費は膨大になるからである。

それでも、このコラボレーション・システムから必要経費をカバーして余り有る収益が見込まれるなら、そのシステムは維持管理されて継続利用されることになる。しかしながら、実際はコラボレーション・システムの開発が多数試みられてそれなりの成果を収めたあとで、利用者が少なくなってホコリをかぶって捨て去られるものも少なくない。これは、知的資産の国家的損失とも言える。

(2) ネットワーク時代の計算力学

ネットワーク時代になって多量のデジタル情報を瞬時に送受信できるようになった。近年、コンピュータネットワークを利用したグリッドコンピューティングシステムの国家的研究プロジェクトが米国や日本で進行中である。

米国では、IPG(NASA)、Science Grid(エネルギー省)、Distributed TraGrid Facility(NSF)、日本ではITBL計画、SuperSINET計画などがそれである。これらは、国内に分散しているコンピュータ資源をネットワークで接続して共同利用し、資源の利用や研究開発の効率を高めるものである。これらの利用システムの開発が完成すれば、ネットワークから高性能のコンピュータが容易に利用できるようになる。

計算力学の側面からみると、これらの国家的なプロジェクトで開発された高度なソフトウェアを利用するためには、その維持管理に多額の費用が必要である。従来から、ハード

ウェアの開発には比較的熱心で予算も充当されているが、ソフトウェアの開発は、その目的や利用性の評価が困難な場合も少なくなく、相当の労力を投入したソフトウェアが多数、埋もれているのも現実である。その意味で最近開発された「地球シミュレーター」は数少ない成功例として内外から大きな評価を得ている。これは、当初からネットワークを利用したユーザーを意識して設計された基本概念によるものである。

我国の大学や研究機関には、有用なソフトウェアが多く死蔵されており、これらに光を当て、ネットワーク上で一般に利用することができれば、基盤的な技術財産の有効利用として極めて有意義である。例えば、開発の重複が避けられ、人的な資源をより先端的な研究、開発に注力できるからである。しかし、前節でも述べたようにソフトウェアの維持管理には多大の費用が必要であり、個々の組織で実施することは不可能に近い。そこで、国内外の有用なソフトウェアを登録、管理、サービスできるような第三者的な機構があれば、これらを有効に活用し、製品開発の速度を速め、国家的にも生産性が向上するものと思われる。また、このことは、技術の継承や人材の育成にも極めて有用である。

5. 計算力学分野における統合的戦略の策定に向けて

(1) はじめに

計算力学は、言うまでもなく工学や工業の高度化のための中心的存在である。特に、製造業において計算力学は必須の手段となっている。言い換えれば、計算力学の知識なしには、高性能で経済性の高い製品を生み出すことは、いまや不可能である。原子力などの安全性向上や自然の理解においても計算力学の活用は不可欠である。このように計算力学は我々の生活の向上になくてはならない存在となった。また、最近 IT という言葉がよく聞かれるが、計算力学はまさに IT 技術の中心的課題であると言えよう。

今後とも、計算力学の深化と多面応用によって、我国の産業競争力を高めるとともに、安全・安心な社会をつくりだすことが重要である。このために特に国としてなすべき役割について、ここでは以下の3点を提案する。

(2) 中長期的戦略作成とそのフォロー

現在のところ、国全体で計算力学についての戦略を議論する場が見当たらない。したがって、計算力学の研究開発に携わっている研究者や研究グループは、それぞれの機関で勝手に研究や開発を行っている。これでは、国全体としての大きな流れにはなり得ず、資金的、マンパワー的効率も極めて悪い。一案として、省庁の垣根を越えた場である総合科学技術会議の中に常備の委員会や検討会を設置し、その中で国全体としての中長期的戦略作成とフォローがなされることが考えられる。

もちろん、国内をまとめることがまずは必要であるが、今後国際的な戦略がますます重要になろう。特に、ソフトウェア全体について言えることであるが、アジアは計算力学方面で欧米にかなり差をつけられており、我国はリーダーシップをなんとしても発揮しなければならない。韓国、台湾、中国、インドなどソフトウェア研究開発のポテンシャルが高い国々と協力することを考える必要があろう。また、我国の製造現場で用いられている計算力学ソフトウェアはほとんど全てが欧米製であるという現状は先進国として早急に何とかしなければならない。

(3) 国の投資

これまで我国において、計算力学分野へまとまった国費投入がなされてきた例は、少なかった。これまで述べてきた背景から、今後このことは改められるべきである。ただし、国が計算力学へ投資する場合、民間との投資役割分担を考えておく必要がある。すなわち、国が投資すべき対象としては、一民間企業では投資が難しいもの、すなわち

- ・ 中長期的な観点からの戦略分野への研究開発
- ・ 学際的で広い分野をカバーするテーマ

- ・異質な研究者が参加することにより新領域創出に資するテーマ

などがあげられる。また、計算力学研究開発の結果は計算ソフトウェアの形に集大成されることが一般的であるが、その場合、例えば5年間の重点投資のあとさらに5年間、産業界で自立できるまでの過渡期間の投資（実用化されるまでの投資）がどうしても必要である。このようにして10年後に、ようやく欧米の計算力学応用ソフトのように自立の道が開かれるのである。

なお、産業界で使われている計算力学応用ソフトも、もとは大学などでの基礎研究からスタートすることが多く、その点から科学研究補助金の一項目やキーワードに計算力学が含まれることが強く望まれる。

（４）産学官交流の場

大学などで生まれた計算力学基礎研究成果には、金の卵とみなせるものも少なくないと思われるが、必ずしも有効に生かされていないのが現状といえる。それらの産業応用ソフトにまでの育成、出来上がったソフトの流通、メンテナンス、利用法に関する教育・訓練のための中立の産学官交流の場を、各地（できれば各県）に分散させて有することを提案したい。現在は大企業でしか使われていない計算力学もコンピュータの低価格化によって、いずれは中小企業においても利用されることになるのが確実であるが、地域に密着したこの種の交流の場の存在は我国の産業技術基盤向上にとっても極めて効果的なものとなろう。

6. おわりに

以上、第17期・第18期にわたる計算力学専門委員会の活動を通じて議論されてきた、計算力学関連における、産学連携や学会連携、人と社会との関わり、将来構想、に焦点を当て、現状評価や提言をとりまとめた。限られた紙面での報告ではあるが、計算力学分野をとりまく問題意識、課題、今後の戦略について概ねのご理解を頂けるものと思われる。

当該分野の社会的インパクトの大きさと変革スピードの速さを鑑みるに、ここでの提言が関係各方面において何らかの参考になれば幸いである。また、本委員会において議論された学会連携の精神や、関連学協会からなる拡大委員会の機能は、別途、JACM (Japan Association for Computational Mechanics) に引き継がれるものと期待していることを付記する。

最後に、学術会議第17期において計算力学専門委員会が設置されるにあたって、また設置後によせられた、多くの方々のご努力に心より感謝申し上げる。

参考文献

- [1] 日本機械学会倫理規定, 日本機械学会誌, 103 巻 975 号, 2000 年, p. 120. (あるいは, <http://www.Jsme.or.jp/>)
- [2] 札野順, 日本機械学会誌, 技術倫理の構築に向けて, 103 巻 974 号, 2000 年, pp. 24-26.
- [3] AIAA, Guide for the Verification and Validation of Computational Fluid Dynamics Simulations, G-077-1988.
- [4] E. ヨードン: CASE 時代の最新プロジェクト管理技術, マグロウヒル (1988).
- [5] W.W. Gibbs: Scientific American, Sept. (1994) p86.
- [6] 上林弥彦他 編: 超並列計算講義, 共立出版 (1996).
- [7] R.Rice: Future Scientific Software Systems, IEEE Computational Science & Eng. (1997).
- [8] E. Houstis et al.: IEEE Computational Science & Eng. (1997).
- [9] 科学技術庁 計算科学技術推進室「地球シミュレータ」計画の推進について 平成9年7月, 2000
- [10] 山本 良一, 略環境経営 エコデザイン, ダイヤモンド社, 1999
- [11] エコマテリアル研究会, エコマテリアル辞典, サイエンスフォーラム, 1996