

東京大学情報基盤センターSR8000 を用いた HPC 教育への取り組み

東京大学工学部 システム創成学科 シミュレーションコース

基礎プロジェクト1 (3年夏学期)

テーマH『超並列コンピュータを用いた複雑構造物の変形シミュレーション』

<http://garlic.q.t.u-tokyo.ac.jp/~okuda/lecture/>

奥田洋司

okuda@q.t.u-tokyo.ac.jp

東京大学大学院工学系研究科システム量子工学専攻
兼任学部：工学部システム創成学科シミュレーションコース

概要

本稿は、東京大学情報基盤センターの支援を受けて平成13年度夏学期に実施された東京大学工学部システム創成学科シミュレーションコースの演習「基礎プロジェクト1(3年生) テーマH『超並列コンピュータを用いた複雑構造物の変形シミュレーション』」の報告である。この演習では、SR8000を用いた並列有限要素解析を通じてHPCを実感する、モデリングから可視化までの一連のCAE(Computer-Aided Engineering)プロセスを体験する、シミュレーションを実現している力学、近似理論、数値計算法、計算機利用技術の基礎を学ぶ、等を目的としている。以下においては、まず、演習の位置付けやHPC教育の必要性に関する筆者の考え方を述べ、続いて、演習の具体的な内容、結果、教育効果、反省点などについて述べる。

1. はじめに

1.1 システム創成学科における「プロジェクト」演習の位置付け

東京大学工学部システム創成学科(<http://www.si.t.u-tokyo.ac.jp>)は、平成13年4月に第一期生である3年生を迎えたばかりの新しい学科である。システム創成学科は、工学システム、生体システム、社会システムなどのさまざまなシステムを分析し、創造し、評価する、一言でいうと創成(イノベーションあるいはクリエーション)を目指しており、以下の4コースから構成されている。

環境・エネルギーシステムコース(53名)

シミュレーションコース(32名)

生体・情報システムコース(37名)

知能社会システムコース(47名)

()内は学生定員

本学科で開講されている科目は、学科共通の「汎工学」と、各コースでその特徴を活かして実施される「領域工学」および「プロジェクト」に大きく分類される。プロジェクトは一種の演習であるが、カリキュラムの中心に位置付けられている。講義で習った知識を現実的な問題に応用する訓練を通じて知識の理解を深めるとともに、自己表現、ディベート、共同作業など、講義だけでは習得不可能なスキルと感性を習得することを目的としている。工学や技術に対する目的意識を高め、課題探求能力の育成および広い社会性を身に付ける、というのが謳い文句である。

シミュレーションコースで実施されているプロジェクト（正確にはプロジェクト1）のテーマを表1に示す。学生は各自の興味に応じて、一学期あたり2テーマを選択し、2年冬学期～3年冬学期の間に計6テーマに取り組むことになっている。なお、表1の他に、輪講や見学を行うプロジェクト2（3年夏・冬）や、各研究室からテーマを提供する領域プロジェクト（4年夏）も同時に実施されている。

表1 シミュレーションコースでのプロジェクト1のテーマ
（2年冬～3年冬の間一人あたり6テーマを履修）

- | | |
|---|-------------------------------|
| A | パソコンの解体・組立とサーバー製作 |
| B | 駒場キャンパス・モデリング |
| C | 重大事故の分析 |
| D | 「壊す」 |
| E | 身近な環境モニタリング |
| F | 表現とコミュニケーション |
| G | 材料の環境インパクト |
| H | 超並列コンピュータを用いた複雑構造物の変形シミュレーション |
| I | 脳のシミュレーション |
| J | 複雑系の進化 |
| K | エネルギーシステムシミュレーション |
| L | パーソナルコンピュータを用いたフーリエ変換 |
| M | 表面構造シミュレーションとトンネル顕微鏡観察 |
| N | 界面量子輸送シミュレーション |
| O | フィードバック |

本稿で HPC (High Performance Computing) 教育への取り組みとして紹介するのは、テーマ H 「超並列コンピュータを用いた複雑構造物の変形シミュレーション」である。

1.2 HPC 教育の必要性

具体的な実施報告に入る前に、このテーマに取り組んだ背景である HPC 教育の必要性について筆者の考え方を述べておきたい。

産業界における高度科学技術計算ソフトウェアへのニーズ[1]

ハイエンドのベクトル計算機、並列計算機が日米を中心に次々と開発されている。また、PC クラスタによって比較的廉価に並列計算環境を構築できるようになった。こうした日進月歩のハードウェア先行状況に対して、産業界で用いられている科学技術計算ソフトウェアはハイエンド計算機環境における高度な並列化や計算の大規模化等への対応が十分に進んでいない。特に、ナノテクノロジー分野をはじめとするフロンティア領域では、実験が非常に困難でありシミュレーションが必須であるにもかかわらず、ハイエンド計算機環境を有効に利用できかつ信頼性のある科学技術計算ソフトウェアが世界的に不足し深刻な問題となっている。さらに、我が国の状況に目を向けてみると、産業界で用いられているシミュレーションソフトウェアは、例えば構造系では NASTRAN、ABAQUS、PAM-CRASH、ADINA など、流体系では STAR-CD、FLUENT、FIDAP など、欧米製に席卷されており、看過できない状況にある。

先端的技術をシステムとしてとらえる[2]

工学系の基礎教育、専門教育において、従来のような各論の積み上げ型教育システムの問題点が議論されている。複雑化した先端的技術をシステムとしてとらえ、総合的な視野で技術開発に取り組むことのできる資質を体得するには、シミュレーションが有効な手段であることは明白である。しかしながら、現在の計算力学教育は、コンピュータリテラシー、数値解析理論と多少のプログラミングに留まっていることが多く、この目的に到達しているとは言い難い。ハイエンドのコンピュータ環境、計算サービス環境と多機能のアプリケーション、ビジュアライゼーションを駆使した、いわゆるハイパフォーマンス計算力学教育の導入が望まれる。

欧米の大学における HPC 教育の例を紹介しておこう。米国のライス大学やミネソタ大学では、1995 年より学部学生を対象として最大 10 週間のカリキュラムを設け、先端的な計算力学技法や計算力学ツール、1056 ノードの CRAY T3E-1200 などのハイエンドの計算プラットフォームを提供して、実際問題の大規模並列流体解析を実施している。このプロジェクトには NSF などが支援している。ミシガン大学では、構造解析の商用コード NASTRAN の利用法を習得する講義を設け、実際のシミュレーション技法を身に付けた人材の養成を行っている。この講義の履修者には就職後に給与上の特典が設けられているなど、企業のニーズが高いことが窺われる。ドイツのミュンヘン工科大学では、計算力学の重要性を謳って、土木、機械、自動車、航空、バイオメカニクスを横断的にカバーするシミュレーション技術のエキスパートを養成する計算力学国際コース（修士課程、英語での履修）を設け、広く国内外からの入学を募っている。この数年、計算力学分野を大学内に組織化する同様の傾向が欧州の大学に多く見られる。

計算科学研究の成果を教育システムへ

さきほど、我が国の産業界が欧米製のソフトウェアに席卷されている状況について述べた。とは言え、高度計算科学に関する個々の研究室での寄与は世界レベルにある。ごく一部の例であるが、数値計算ライブラリ ILIB[3]、未来開拓事業「計算科学」による設計用大規模並列有限要素解析ソフトウェア ADVENTURE[4]、振興調整費による固体地球シミュレータ GeoFEM[5]、などが挙げられる。それらを組織化、統合化することで、教育システムとして当該人材層の充実化を図ることができよう。

名 称	超並列コンピュータを用いた複雑構造物の変形シミュレーション		
担当者	奥 田 洋 司 助教授		
学 期	3年夏学期 後半	時 間	水曜日 3～5限 (13:00～17:30)
場 所	本郷	Homepage	http://garlic.q.t.u-tokyo.ac.jp/~okuda/lecture/
目 的	超並列コンピュータやクラスタコンピュータを駆使して実験や理論的アプローチが困難な問題を解明するための大規模で複雑な計算を行う様子を、ハイパフォーマンス・コンピューティング(HPC)という。HPCは、産業機械、自動車、航空、船舶、土木、建築、原子力、電気電子など様々な理工学分野において、先端的な技術開発のために必須の技術となりつつある。本演習では構造解析分野に注目し、実機構造物や機械部品のCADによるモデリング、並列有限要素解析ソフトウェアと並列コンピュータを用いた変形・応力計算、さらにビジュアライゼーションツールによる計算結果の可視化まで、一連のHPCプロセスを体験する。これによって、科学技術シミュレーションの威力と限界を理解する。		
Keyword	超並列コンピュータ、CAD、有限要素法、構造解析、ビジュアライゼーション		
実施方法 日 程 (詳細内容)	<p>3～4名で1チームを構成する。産業界におけるHPCの現状を学んだ後に、構造信頼性を検討しようと思う問題をなるべく実際の条件で各チームが設定する。CAD、並列有限要素解析、ビジュアライゼーションのソフトウェアは提供されたものを用いる。モデリング(形状/境界条件/要素分割など)、計算効率、解析結果に基づく構造健全性評価、などの側面からシミュレーション結果を討論する。</p> <p>第1回 概要説明、班分け、講義「産業界におけるHPCの現状」 第2回 例題設定、ソフトウェア環境、計算機環境の説明 第3回 モデリング 第4回 解析と可視化 第5回 成果発表の準備 第6回 成果発表と討論 第7週 予備日</p>		
教 材	<p>使用予定のソフトウェア： 3次元ソリッドモデラ、メッシュジェネレータ、並列有限要素解析ソフトウェア「GeoFEM」、ビジュアライゼーション・ソフトウェア</p> <p>参考文献： 矢川・関東・奥田，現代工学の基礎 計算力学，岩波書店 日本機械学会編，固体力学におけるコンピュータアナリシス，コロナ社 川井・岸（共編），機械のため有限要素法入門，オーム社 その他、資料を適宜配布する。</p>		
成績評価	出席と成果発表での出来、討論への参加意欲により行う。		
受講者へのメッセージ	本演習では、各種のソフトウェアを使いこなし、かつ世界最大級のコンピュータを利用することで、HPCの実際や産業界での設計開発プロセスの一端が体験できます。演習ではソフトウェアをブラックボックス的に使いますが、シミュレーション結果を見たときに、そこに用いられている力学や近似理論についても大いに興味を持って欲しいと思います。		
備 考			

図1 シラバス

2. 実施方法

2.1 演習内容の概略

図1はあらかじめ学生に示されたシラバスである。このテーマの履修者は12名(本テーマを含め同時に3つのプロジェクトテーマが実施されており、学生はそのどれかひとつを選択)であり、3名ずつの4チーム編成とした。

具体的な内容は、

- ・産業界におけるHPCの現状を学ぶ
- ・構造信頼性を検討しようと思う問題をなるべく実際的な条件で各チームが設定する
- ・CAD、並列有限要素解析、ビジュアライゼーション等のソフトウェアを使いこなす
- ・モデリング(形状/境界条件/要素分割など)、計算効率、解析結果に基づく構造健全性評価、などの側面からシミュレーション結果を討論する

というものである。スーパーコンピュータを用いた100万自由度規模の並列構造解析を通じてHPCを実感する、モデリング～可視化の一連のプロセスを体験する、シミュレーションを実現している力学、近似理論、数値計算法、計算機利用技術の基礎を学ぶ、等を目的としている。

講義の回数としては7回(7週)割り当てられている。知識を提供するだけのいわゆる講義は、CAEの概論や演習のガイダンスを第1回と第2回に集中して行ったほか、演習が進んだ段階の第5回に特別講義として櫻山和男教授(中央大学土木工学科)をお招きし、並列計算機、並列計算の基礎、クラスタコンピューティング、流れ問題の大規模並列有限要素解析などについて話題提供をお願いした。これ以外の時間の殆どは、グループごとの演習やコンサルティングに費やされたが、期間中、学生は課題をこなすために講義の時間帯(13:00~17:30)以外にかなりの時間を割くことが要求されたと思われる。なお、図1のシラバスに書かれた「毎回の内容」は、演習の進み具合に応じてかなり変更された。また、ある1グループは熱流体解析を特に希望したのでそれを受け入れた。

3年夏学期ということもあり、学生はそれまでにC言語、数値計算、Windows、Unix、コンパイルなどの基礎的な知識を身に付けてはいるものの、CAD、有限要素法、要素分割、境界条件の設定、構造解析、流体解析、ビジュアライゼーション、並列解析、MPI、バッチ処理といったCAEやHPCの個別技術に関する知識や経験はゼロに近い。また、ネットワーク環境についても、殆どの学生はメールやWEBなどには日常的にアクセスしているが、telnetやftpを使うようなことはない。したがって、演習を実施するにあたっては、課題自体に関する事柄に加え、ソフト、ハードの環境を使いこなすためのドキュメント整備、コンサルティングに多くの時間を割いた。謝辞にもあるように、関係各方面からの支援も頂いた。

2.2 ハードウェア環境・講義形態

演習では後で述べるように様々なソフトウェアを用いたが、並列有限要素解析には、東京大学情報基盤センターとシステム創成学科シミュレーションコースとの申し合わせのもとにHITACHI SR8000/MPPの専用キュー(1ノード)を使わせて頂いた。本コースの学生は全員ノートパソコン(CPU Celeron 500MHz, メモリ 128MB, ディスク 12GB)を貸与されており、Windows環境で動くソフトウェアに関してはこのノートパソコンを用いた。

シミュレーションコースの講義室には無線 LAN が敷設されており、それを利用して講義や演習に必要な資料の提供、データ配信、情報交換などはすべてネットワーク経由で行った。各種のドキュメントも講義の進行に従って HTML 化し[2]、講義の時間中も、教官、学生ともにノート PC に向き合うというスタイルで行われた。これらの様子は実際に講義の WEB ページをご覧ください。(http://garlic.q.t.u-tokyo.ac.jp/~okuda/lecture/classroom_2001.html)

2.3 ソフトウェア環境

本プロジェクトでは、モデリングから並列解析を経て可視化までの一連の CAE プロセスを体験するために、表 2 に示すような応用ソフトウェアを用いた。概ね、演習で利用する順番に並べてある。できる限りライセンスフリーの環境を選んでいる。また、演習の目的に鑑み、個々のソフトウェアは「使いこなせる」ものであれば良いとし、理論やプログラミングについては後回しに位置付けている。

表 2 用いた応用ソフトウェア

	用途・機能	名称	OS	開発元
1	3次元形状作成	GMMSolid	Win	ACROVA 社製
2	自動要素分割	KSWAD	Win	クボタ社製
3	自動要素分割	GRID3D-UNST	Unix	原研 CCSE (フリー)
4	要素の可視化・境界条件の設定	GPPView	Win/Unix	東大・RIST (フリー)
5	領域分割	PartGeoFEM	Unix	東大・RIST (フリー)
6	並列有限要素解析	GeoFEM Ver.4.0	Unix	東大・RIST (フリー)
7	解析結果の可視化	MicroAVS	Win	ケイ・ジー・ティー社製
8	(各種ユーティリティー) 四面体要素から六面体要素への変換 並列解析結果の 1 領域への結合	IPP merge	Unix Unix	横浜国大 (フリー) 東大・RIST (フリー)

3. WEB に提供したドキュメント

講義の進行に従って逐次整備されたドキュメントで、その主なものについての項目と内容を表 3 に示す。

表 3 WEB に提供したドキュメント

	項目	内容
1	概要	講義のシラバスと目標
2	実施方法	受講者名簿、グループ分け、グループ内での役割分担、スケジュール (毎回の内容)、教官との連絡方法、ファイル授受の方法
3	モデリングから可視化ま	以下のキーワードの順に、演習全体の流れ、用いるソフトウェアの役

	での流れと用いるソフトウェア	割を初心者向けに解説。これにより、演習内容の具体的なイメージをつかむことができる。詳細は下記5で説明。 キーワード：3次元形状モデリング(CAD)、メッシュジェネレーション、境界条件設定・メッシュ確認、パーティショニング、3次元並列有限要素法構造解析、解析結果の可視化
4	ハードウェア環境	SR8000/MPPのシステム紹介、特長、FAQについて情報基盤センターのホームページにリンク。さらに、以下の項目について説明を追加。 ノードとPE、インタラクティブ処理とバッチ処理、ノードの占有と共有、mpp-pとmpp-s、バッチジョブの投入方法、GeoFEMの走らせ方
5	ソフトウェア環境/処理の流れの詳細/主なマニュアル	上記3のキーワードに関して、より具体的な作業内容、ソフトウェアの入手方法、インストール方法、使い方、コマンドの説明、データの説明、サンプルデータの提供、チュートリアルやマニュアルへのリンク
6	関連サイト・関連ドキュメント	演習の中心になる並列有限要素解析ソフトウェア GeoFEM に関する補足。第3回 GeoFEM セミナーでの本プロジェクトの実施報告。
7	各グループの進捗状況	課題への取り組み状況を、回を追って掲載。講義風景の写真。
8	レポートの書き方・提示課題・質問と回答	講義中やメールで寄せられた質問とその回答

4. 演習内容

4.1 3次元形状モデリング(CAD)

グループごとに自らの興味に基づいて構造解析(3次元静的弾性解析)の対象、境界条件を決めると、まずはGMMSolidを用いて、プリミティブ(primitive, 直方体や円柱などの基本的な立体要素)の集合演算によりモデル作成を行う。表4は、各グループが設定した当初の問題設定である。演習であり、遊び心も取り入れて工学上の常識にはあまりこだわらないこととした。「当初の」というのは、後で述べるように様々な理由から必ずしも全てのグループが最終的にこれらの課題を遂行できたわけではなく、また、これら以外にも教官側から例題を提供することになったためである。

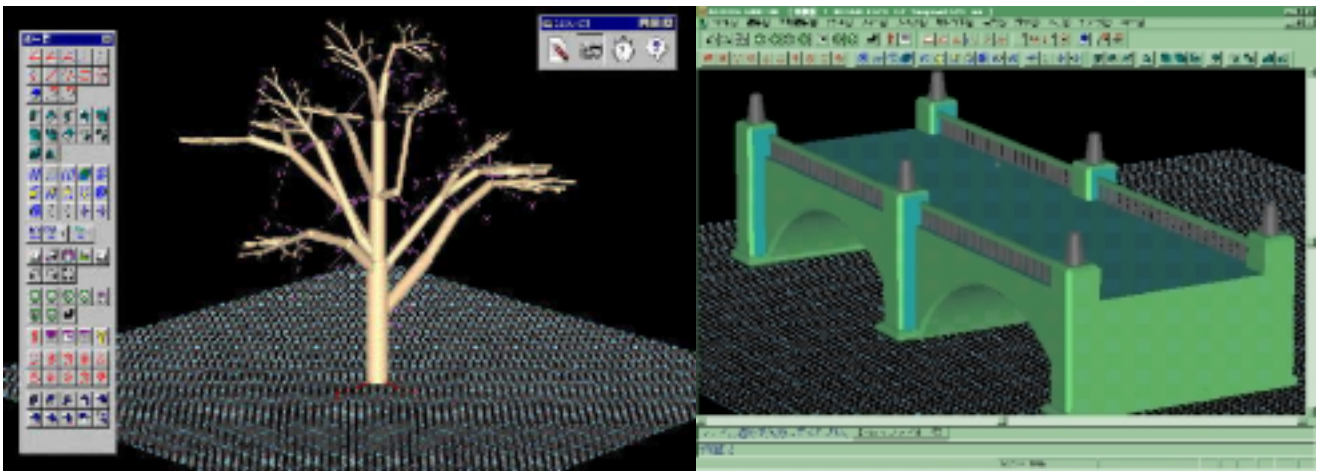
なお、GMMSolidは筆者の研究室に導入されているライセンス版2本の他に、ノートPCでは体験版を用いた。

表4 問題設定

名称	内容
グループ1(部屋冷々)	クーラーによる室内の冷え具合をシミュレーションし、最適なクーラーの配置を考える(熱流動解析)
グループ2(二重橋)	構造物として皇居の二重橋を取り上げ、橋の上に様々な荷重が負荷されたときの変形、応力状態をシミュレーションする

グループ 3 (銀杏狩)	銀杏の木がどのような枝ぶりになるのかを構造解析でシミュレーションする
グループ 4 (鼻高々)	人の頭部をモデル化し、鼻先などに力を加えるどのような顔になるのかを構造解析でシミュレーションする

図 2 に CAD モデルの例を示す。図 2 (a)の樹木モデルなどなかなかの力作ではあるが、要素分割や構造解析の困難さからこのモデルは見送られた(「腕立て伏せをする人」のモデルに変更)。また、二重橋については、図 2 (b)よりもやや簡略化したモデルで有限要素解析を行った。



(a)樹木

(b)二重橋

図 2 GMMSolid による CAD モデル

4.2 メッシュジェネレーション (要素分割)

プリミティブの集まりであった CAD データを、番号付けされた節点 (node) と要素 (element) からなるモデルに変換し、有限要素解析 (ここでは構造解析) のためのデータを作成する。この部分が、実はシミュレーションの全プロセスを通じて最も人的コストのかかる部分である。実際、KSWAD のメッシュジェネレーション機能を用いて解析対象をピラミッド型の四面体要素に分割する作業は、教官がかなりの部分をサポートした。図 3 は KSWAD により作成されたメッシュの例である。

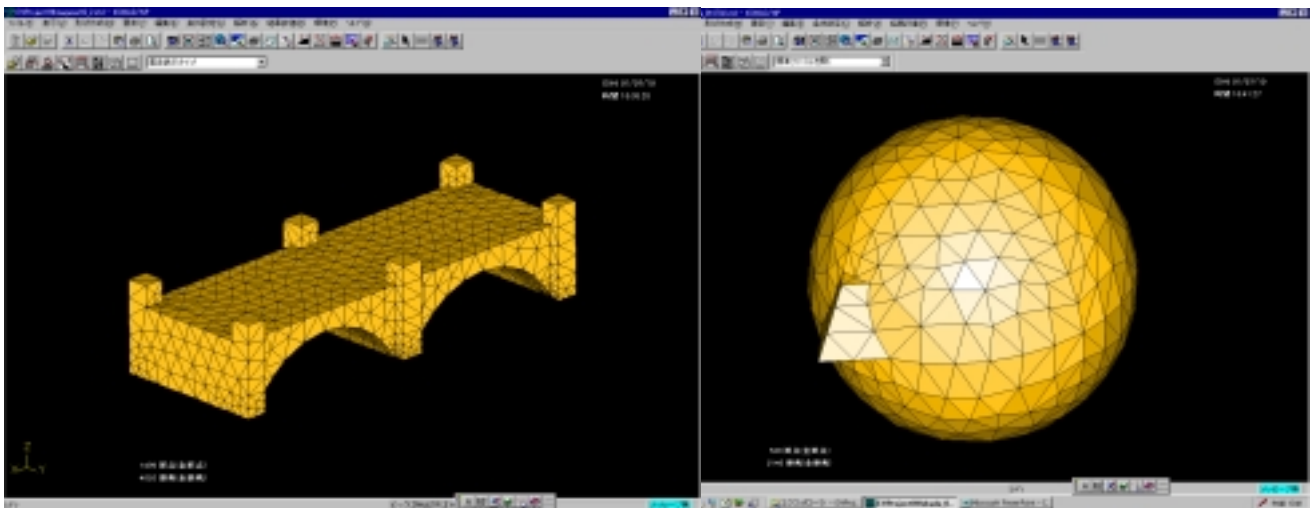
また、当初は予定されていなかったが、日本原子力研究所計算科学推進センター (CCSE) より GRID3D-UNST を用いて作成された四面体要素分割データを提供して頂いた (図 4)。ただし、図 4 (a)と図 4 (c)の CAD データ (GMMSolid を用いて作成) は東大が提供したものである。

これら四面体要素を用いた要素分割データは、さらに IPP の要素細分化機能を用いてブロック型の六面体要素に変換した。なぜなら、この後に用いる有限要素解析ソフトウェア

GeoFEM Ver.4.0 では、六面体要素のみがサポートされているためである（この制約は近い将来解消される見込み）。図5に図3のモデルを六面体要素に細分割した様子を示す。

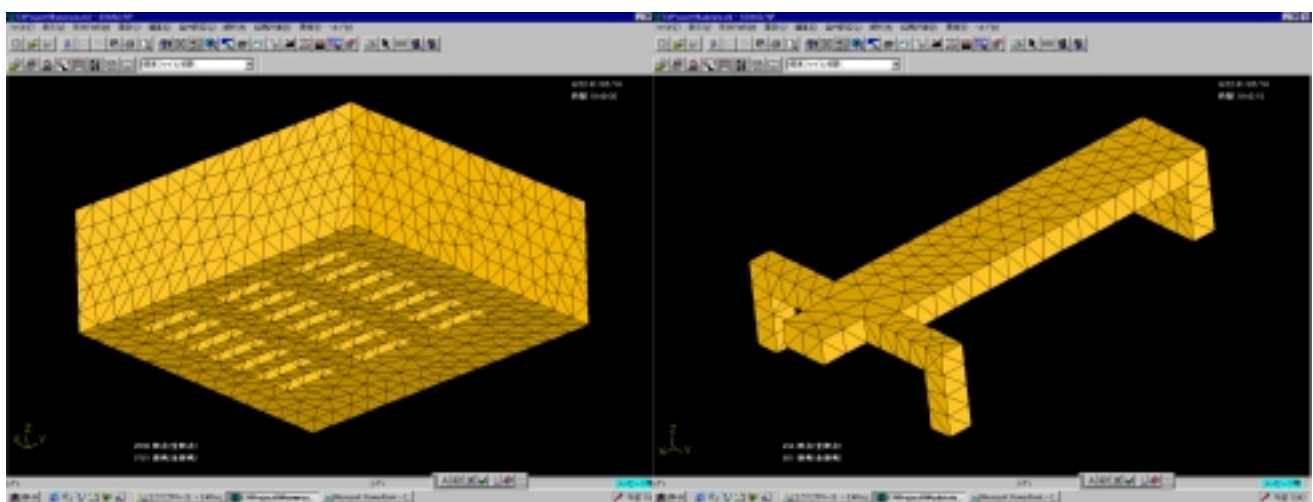
4.3 境界条件設定・メッシュ確認

有限要素法の入力データには、メッシュに関するデータだけではなく、境界条件など解析に必要な他の様々なデータが含まれている。CADモデル作成時に同時にこのようなデータも指定できると都合がよいが、ここでは、オフラインに処理している。すなわち、GPPView（メッシュ表示ツール）の機能を用いて、面や点の情報を抽出し（いったんファイルに落とす）、さらにエディタ経由で上記の要素データに加えることにより、完成したフォーマットの有限要素法の入力データを作成する。また、GPPViewを用いて、メッシュデータを様々な方向から眺め、確認する（図5はGPPViewによる表示である）。



(a)二重橋

(b)人の頭部



(c)机の配置された室内

(d)腕立て伏せをする人

図3 KSWADによる四面体要素分割

4.4 パーティショニング

これまでの手続きで作成されたデータは、1領域からなる通常の有限要素解析の入力データである。並列解析を行う GeoFEM では、 n 個の PE (Processing Element、プロセッサ) を用いて並列計算する際、解析領域を n 個にパーティショニング (領域分割) し、各部分領域の計算を各 PE に担わせる。並列計算の際には部分領域間で通信が必要となるが、通信は部分領域間で節点や要素がどのように接続しているかという情報 (通信テーブル) に基づいて行われる。パーティショニングでは、領域を分割すると同時にその通信テーブルも作成する。実際のパーティショニングでは、1領域の入力データを PartGeoFEM に通すことで、並列計算用に分割して複数の入力データが作成される。

図6はパーティショニングされたモデルの例である。(図6(a)の機械部品は、GeoFEM に付随してダウンロードできるサンプルデータに含まれている。)

これでようやく並列解析のためのデータが準備できたことになる。ただし、各グループがそれぞれの問題を解析できるようになるまでには、上記のサンプルデータを用いて 1PE での計算、 n PE での並列計算、と経験を積む必要があった。SR8000 のインターラクティブ処理やバッチ処理、mpirun といった概念が、それまでは専ら Windows ユーザーであった学生にとって戸惑いの大きなものであったことは想像に難くない。

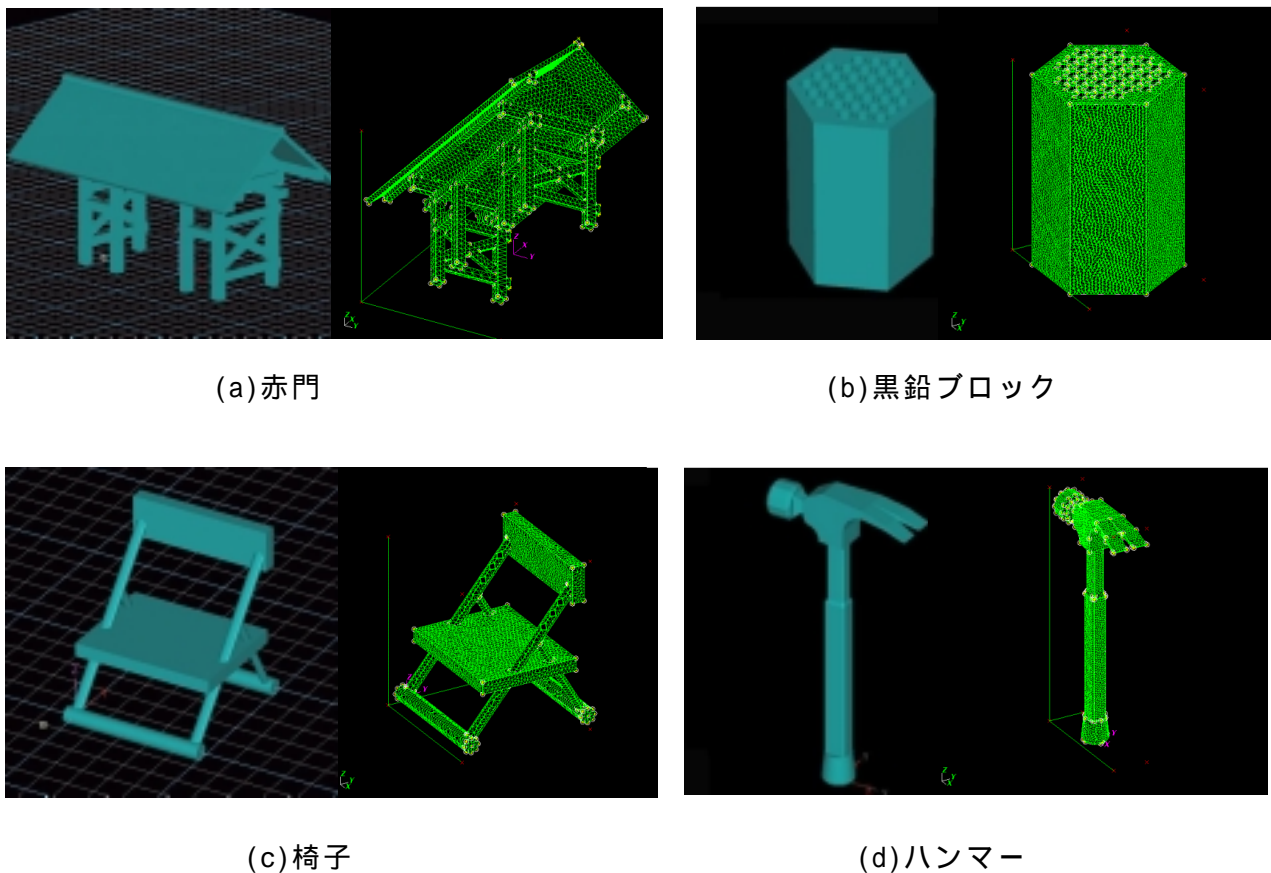
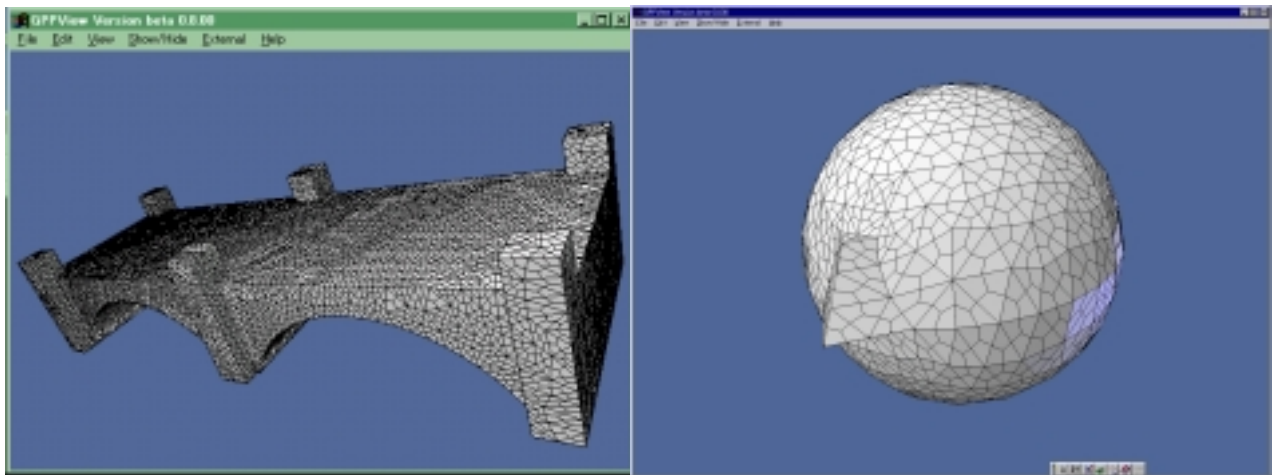


図4 GRID3D-UNST による四面体要素分割

4.5 並列有限要素解析

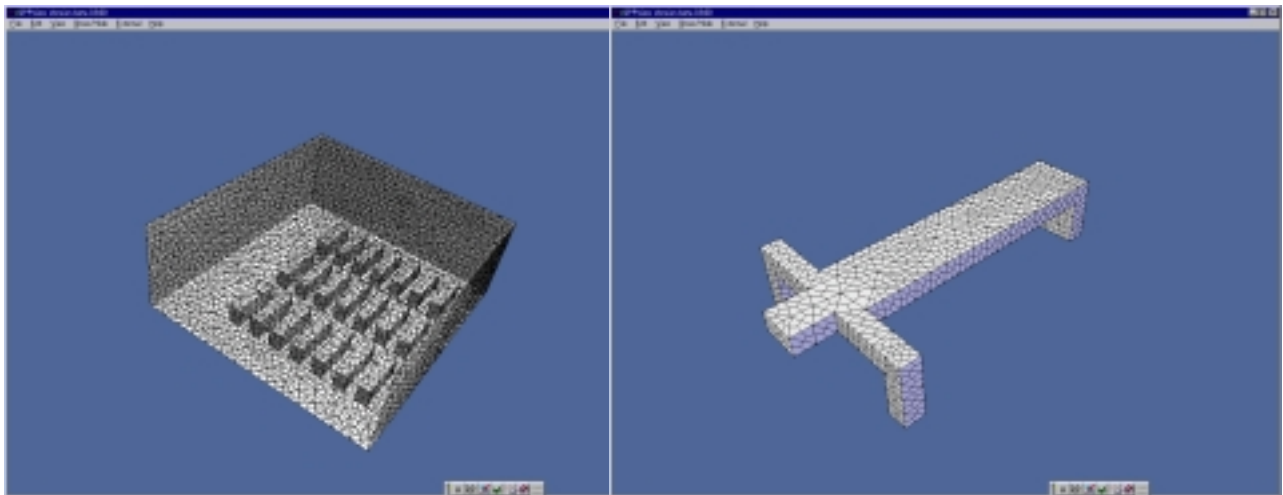
メッシュ生成の都合などから、各グループはそれぞれの設定した問題と、教官がメッシュを与えた問題について並列有限要素解析に取り組んだ。その結果、いくつかの問題については満足のゆく計算結果を得るに至らず時間切れとなった。「人の頭部(鼻高々)」では計算結果は得られるものの不可思議な解であった。熱流動解析に挑戦した「部屋冷々」では計算が発散した。「黒鉛ブロック」はエラーなどで解析コードが走らなかった。

しかしながら、GeoFEM のサンプルデータやその他の問題は、ひと通り並列解析が実行できた。図7は解析結果の例である。



(a)二重橋

(b)人の頭部



(c)机の配置された室内

(d)腕立て伏せをする人

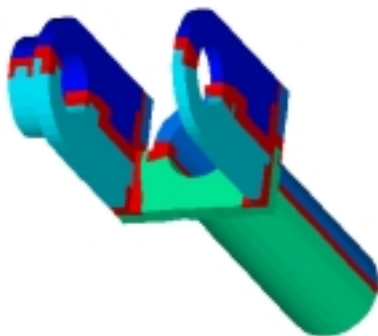
図5 六面体要素分割 (GPPView による表示)

各解析例題とも領域数（PE 数）を変更して計算時間や CPU 利用率の測定を行っている。PE 数を増やすことにより計算時間の短縮が図れること、解析規模が小さいときにはかえって計算時間がかかることなどを経験したようである。

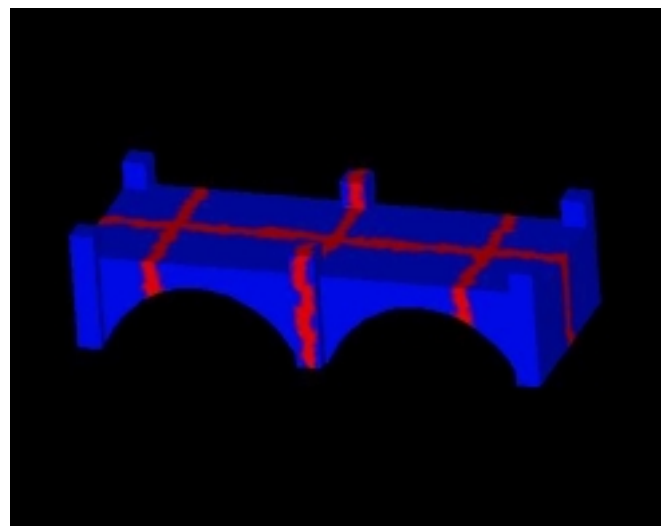
一例として、二重橋（106,319 節点、90,704 要素、272,112 自由度）の応力解析結果を紹介する。応力のソルバーは CG 法、前処理は SSOR である。表 5 に PE 数を変化させたときの計算時間、CPU 利用率を示す。解析規模がそれほど大きくないため、PE 数が大きいときの加速効果はよくない。学生のレポートでは「10 領域のときは 8 領域や 6 領域のときよりも時間がかかってしまった。これは 10 領域からは 2 ノードを使っているため、ノード間でもデータのやり取りを行わなければならないため、1 ノードしか使っていない 8 領域よりも時間がかかったと思われる。（中略）2 ノードにすることは単純に時間を節約することにはつながらないし、もし使う場合でもフルに 16 領域で計算しないと無駄が増えてしまうことが予想された。」と考察されている。

表 5 二重橋の並列応力解析

PE 数	総時間（分:秒）	CPU 利用率（%）
2	14:09	99.0
4	7:35	97.8
6	6:20	95.3
8	6:06	90.4
10	6:55	94.7
12	2:55	93.8
14	2:50	90.5
16	2:36	90.2



(a) 機械部品



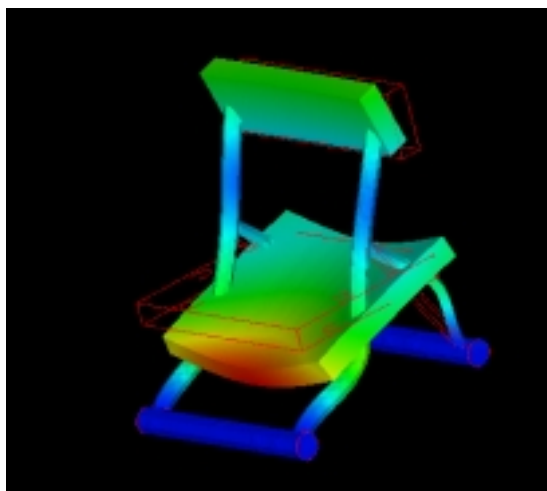
(b) 二重橋

図 6 パーティショニング

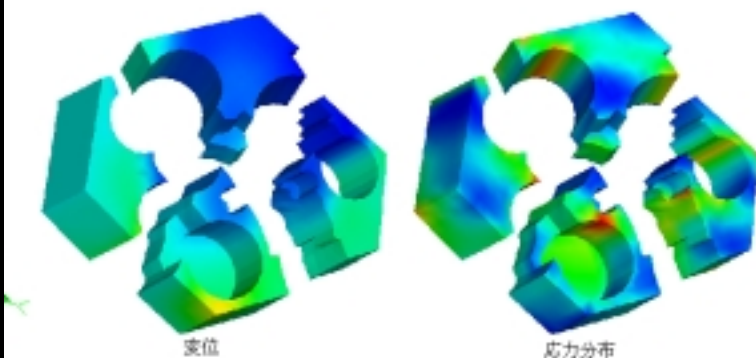
4.6 解析結果の可視化

GeoFEM の計算結果は可視化ツール AVS の非構造格子データフォーマットである UCD 形式で出力される。MicroAVS は筆者の研究室に導入されているライセンス版 2 本の他に、ノート PC では体験版を用いた。並列解析結果は各部分領域ごとに、もしくは統合ツール merge を用いて 1 領域データに変換して MicroAVS で表示する。

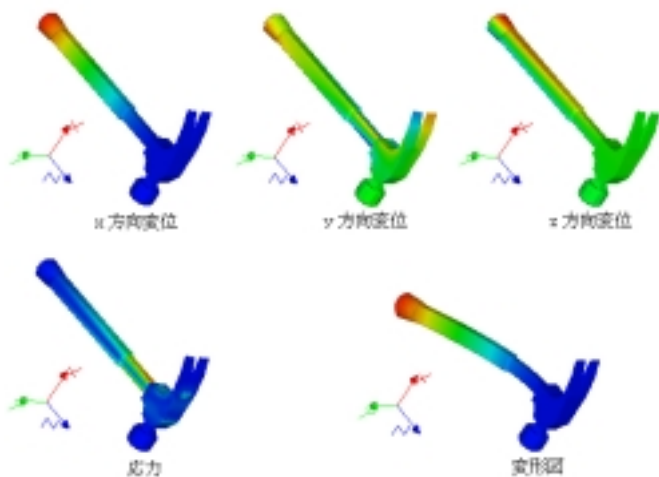
可視化後の画像データはさらに加工してレポートに貼り込んだり、アニメーションを作成することを推奨した。



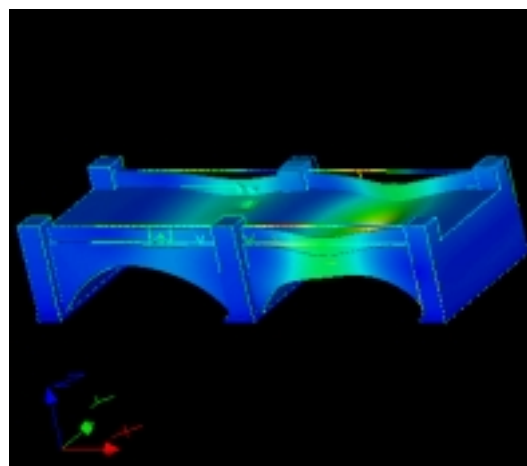
(a)椅子



(b)カーボンブロック



(c)ハンマー



(d)二重橋

図 7 六並列解析結果 (MicroAVS による表示、変形状態、ミーゼス応力)

5 . 学生から寄せられた講義に対する感想

最終レポートの中で本プロジェクト課題に関する感想を求めた。原則としてすべてを順不同で以下に記す。参考になる意見も多々あり、今後に反映していきたいと考えている。

・いまだに解析を終えていない身で感想というのも変な話だが感じたことを書いていきたいと思う。まず、この講義はスーパーコンピュータによる大規模解析を体験するというのが主たる目的であるが、それ以前に私にはコンピュータそのものに関する知識があまりなかったため、UNIXでの解凍圧縮、コマンド、アクセスといったレベルからの学習が必要であった。しかし、本講義では主にウェブによってそこら辺のフォローが完璧であり、周りより一歩後退していると思われる私でも授業になんとか付いていくことが出来た。この部分は大いに喜ばしかった。次に解析自体であるが、物理的、数学的にきちんとした基礎を築いていない私たちが本解析に使われるソフトの中身全てを理解して実行するというのは当然無理な話であり、結果として指示された事柄を順にこなしていくという形になってしまうのは仕方のないことであり、その中で自分なりに理解しようとあがくことで知識も少しずつだが蓄積されてきた。しかし(コロキウムのレポートでも書いたが)完全な把握というものが行われていない以上、何らかのエラーに対する対処法はまったくといっていいほど出来なかった。それは今回の解析の結果として現れているとおりである。この点がなんらかの形で改善されるとよいと思う。(具体的には、ウェブ、文章によるサポートの強化等)総じてこの講義は楽しく、非常に有意義な時間であったように思う。願わくば主旨である解析の結果がうまく出てくれることである。もちろんこれ以降(7月31日現在)も試行錯誤はしていくが、こうなるとあとは神に祈るのみという感がなきにしもあらずだったりもする。

・自分たちから望んだことですが流体の解析は構造解析よりも難しく結果が出せなかった。また燃料管のほうもレポート締めきりには間に合わなかったが、できればきちんと結果を出したいです。ただ、100M規模のファイルを扱うには無線LANでは遅い気がしました、また貸与されたノートパソコンで扱うのもかなり動作が重かったです。

・とにかく使いづらかったので苦労した。あと私はビジュアライゼーション担当だったのですが、分担してもあんまり活躍する場面もなかったのと、それから作業の分担がされていたので、積極的に解析の内容に関わらなかったということもあり、次回からは明確な分担を決めないほうが良いと思います。内容自体はとて興味のあるものなので、またやってみたいと思った。

・最新のというか、今まで決して触ることもできなかったスーパーコンピュータを使うことが出来てとてもうれしかった。しかし、その分全てが新しく、戸惑うことも多かったように感じる。毎週毎週きちんとした説明をしていただいていたのでわかりやすかったが、もうすこし早めにそういったサポートが完備されているとうれしかった。最終日にPMRの分割後の切断について説明があったが、正直言ってそこまで手がつけられる状況ではなかったからである。また、やるべきことが当初の予定よりもどんどん増えていったこともきつかったと思う。特に、当初は眼鏡橋の検証のみで手一杯だったのに、椅子のモデルまで扱うことになったときは多少ショックであったし、一番細かい切断を行った眼鏡橋のデータも結局はレポートに間に合わせるができなかった。できればもう少しひとつのテーマについて深く扱えると良いと思う。

・やるべきことがよくわからず最初のほうではとてもとまどった。最後のほうでやるべきことがわかってくると少し面白くなってきたが、同時に苦労もした。慣れの部分も大きくあると思うのでもっとやってみたらもっと面白くなるかもしれないと思う。コンピュータに対する知識はとて増えた。今まで圧縮解凍ソフトも持っていなかったのだが人並みには扱えるようになってきたようだ。今まで全然ノートパソコンをつかっていなかったが急に使うようになりシミュレーションコースらしくなってきた。プロジェクトという意味ではいい企画だったと思う。しかし、ノートパソコンを持ち運ぶのはとてもおもかった。ロッカーがほしかった。印刷してわかったがカラープリンタがあればと思った。教室につけてほしい。

・まずはこのレポートの言い訳を。当初の目的ではPMRを用いて100万自由度の規模で解析を行う予定であったが、どうしてもコンパイルがうまくいかず、生成したモデルのまま解析を行ってレポートして提出する事態になってしまった。(ただ、上に書いたように色々なデータを消しながら解析をおこなってもディスク容量が一杯になってしまったため、コンパイルできていたとしても100万自由度の解析を行うことができたかどうかはわからない。)総じて非常に楽しいプロジェクトであった、先生の熱意が感じられた。データが壊れていたり、バグが見つかったり、最初に作成したモデルが要素分割できなかつたりと、当初の計画とは違った講義になったようであるが、今回が初めてなので仕方のないところであろう。来年以降

にいかして頂きたいと思う。講義について敢えて難をあげるとすれば、GeoFEM をブラックボックスとして扱すぎたためにエラーが出てもなかなか対処できなかったことである。出来れば学生の見ているままで（エラーへの対処も含めて）解析の実演をしてもらいたかった。GeoFEM に対する要望。一領域データを分割すると E が D に変わり、このままでは解析できなくなる。直して解析した後一領域に統合するとまた E が D にかわり MicroAVS で出力できなくなる。これはあまりに効率が悪いと思うので、プログラムの中で変わった D を E にもどしたり、一括変換するツールがあったりすれば便利だともった。講義終盤になって vi で一括置換できることを知ったが（それまではダウンロードして Word で置換してアップロードしていた。）それでもファイルを一つずつ開いて置換していくのは面倒くさい。

・モデルを作って、解析して可視化するという一連の流れを体験するというのが、講義の目的だった。だいたい一連の流れを体験し、並列コンピュータで、できることできないこと、並列コンピュータはどういったものに一番威力を発揮するかが、多少なりともわかったのはよかった。木のモデルは苦心してつくって、結局使えなかったが、腕立て伏せのモデルを解析できて逆に面白くなった。人体にかかる加重というのは日頃から体験しているわけだし、またスポーツをやっている人にとってその加重がどこに加わるかというのは競技力の向上やけが防止の意味で非常に重要で、かつ繊細なところがあり、この加重の可視化ができるのは有用であると思う。講義の改善すべき点としては、はじめにもらった大量のプリントは結局ただそれを見ろとして渡され、どこがポイントなのかわからないまま、結局たいした意味がなく、もう少し講義資料をきちんとまとまった形にして欲しかった。

・講義のテーマ自体はかなり興味深いものであったが、実際に自分で解析を行おうとすると予想以上に難しく、自分の基礎知識と経験のなさを実感した。講義の形式としては複数のソフトを一度に与えられて次週までに使いこなせるようにするというやり方はかなりつらかった。実際、自分が V（可視化）担当ということもあって、MicroAVS 以外のソフトに関しては未だに充分使いこなせるようになっていない点もある。また、全ての指示が WEB 上にあるというのも不慣れなものにとっては、とっつきにくい感があった。私個人としては、「パソコンのディスプレイを見ながら」よりは紙に印刷したものの方があつかいやすく、スムーズに作業が進められる。返却するといいいながら、結局最後まで返してもらえなかったレポートのことも少し気になった。具体的な反省点としては、まず解析対象の選択の時点では随分と難しいものを選んでしまったという気がする。考察にも書いたが、人工物でないためにあらゆる条件の設定が難しくなっている。最初は物性値などがわかっている簡単なものからはじめればよかったと少し後悔している。前半のプロジェクトで、金属棒の引っ張り実験を行ったが、例えばこのような例題ならもう少しうまくいったのではないだろうか。また、今回の解析では顔は変形してもちぎれるようなことはなかったが、金属棒の引っ張りなら分断のような結果も得られたのだろうか。できれば実際に試してみたいところだが、時間的にも技術的にも今回は無理のようだ。また、赤門についても結局会席がまにあわなかったため本レポートに載せることができなかった。すでに夏休休暇に入っているためにグループ内でのやりとりが行いにくくなっていたのが致命的だった。次の機会には、今回の反省を活かしてよりよい解析を行いたいともう。また、今回試さなかった流体の解析なども行えればと思う。

・SR8000 上での GeoFEM の不具合で少々困りました。今回は SR8000 上での初めての解析ということなので、仕方ないといえば仕方ないのですが、なかなか思い通りに行かなくてくやしかったです。（中略）また講義の時間だけでの作業では到底解析がすすまず、家から SR8000 へ telnet して作業ということが多くありました。電話代がかさみました。こういった状況のことも考えてグループ間でも助け合えるような講義にしたほうがいいとおもいます。今の状態では一つのグループ内で致命的な人員不足、または家での環境不足が起こった場合に対処するのが難しいと思います。総合的には自分の興味のある分野であったことが幸いしてさほど苦になることはありませんでした。20 分にも及ぶ解析の結果変位がまったくなかったり、顔が無残にもぐちゃぐちゃつぶれたり、GeoFEM のインストールがされていないのに解析しようとしていたり、講義全体としては無我夢中の体当たりでしたがそれが楽しかったと思います。3ヶ月ほどでしたが、どうもお世話になりました。

・講義の内容は、整理できるとわかるのだが、当初はまったくわからなかった。講義で行いたい内容を事前に、一通り理解させて欲しかった。しかし、結果として講義内容は非常に面白く、やりがいがあるものだった。

6 . SR8000 利用について学生から寄せられた要望、コメント

最終レポートの中で SR8000 の利用にあたっての要望やコメントを求めた。原則としてすべてを順不同で以下に記す。従来、SR8000 などハイエンド計算機環境のユーザーは大学院

生以上の経験豊かな研究者であろう。今回のプロジェクト履修者らは、それに較べてはるかに経験や知識の少ないユーザー達であることを断っておく。

- ・ mpp(-p?) のほうに入ることの出来る人数が少なすぎると思う。バッチジョブを流すという方法ももちろんあるのだが出力を目で追いながら解析を行いたい場合などやはり mpp には入れないのは不便である。授業中はもちろんのこと授業時間外でもいっぱい入れなかったことは多々あった。そこを改善してもらえともう少し快適に使えたのではないかとおもう。コンピュータに関する知識が未だ浅い私に言えるのはこれくらいだと思う。もうひとつあえて言うなら割り当てられた容量が小さかったため、ちょっと大きなデータを解析しようとするときにメモリ不足のエラーがでてしまった。これももう少し何とかしてほしいと思う。

- ・ インプットアウトプットが遅い。一人あたりの容量が少ない。

- ・ とにかく SR8000 がブラックボックス的であった。奥田先生や周りの人の話をきいて、テストランぐらいいはなんとかできたが、それ以上のことは出来なかった。自分自身が不勉強ということもあったが、もっと使いやすくしてほしいです。

- ・ まず、個人に与えられているディスク容量がすくなく、2、3解析を行うだけですぐにいっぱいになってしまうのはとても不便に感じた。今 400MB とのことなので、600MB や 1GB くらいはほしいとおもう。あと、mpp-p は 2 ノード分しか入れないので、解析の際はもとより、領域分割の際にログインさえ出来ないという状態が続いたので、ぜひもう少し同時にログインできるように上限をあげてほしい。最後に、vi を扱う際スクロールの時に画面がおかしくなるという問題が生じたため直していただきたいと思う。

- ・ 説明がわかりにくかった。また一度に使えるユーザーが限られていることが今回のプロジェクトでは困った点となった。パーミッションの変え方がよくわからず、共同作業でデータをやり取りするのが大変だった。逆に共同でつかっているものなので私のミスで全コンピュータに影響がでてしまうのではないかと心配になった。上にあげた全ては私の計算機に対する知識の不足によるものかもしれない。これといって難点はみつからなかった。

- ・ 世界最速クラスのコンピュータを使わせてもらったことは大変貴重な経験であり、嬉しかった。ただ、メモリがどれだけで何 FLOPS とかというデータを示されるよりも、実際に「遅い」コンピュータで例題の解析を行うことができれば SR8000 のありがたみをより実感できたとおもう。操作は基本的に難しかった。ただこれは自分が UNIX に不慣れであったからであり、文句を言うのであれば駒場時代の情報処理の講義に言うべきである。この講義の課題をこなすにあたり、解析をつづけていたらあつというまにディスク容量をオーバーしてしまったようである。その後も大きなデータが生成されることがわかっていたので、どのファイルを消すか非常に迷った。(telnet でアクセスしていたお陰でファイルのダウンロードが簡単であったのが救いであった。)それから、mpp-p にログインできる人数をもっと増やして欲しい。

- ・ 基本的に普段は Windows 以外の OS を使わないので、UNIX の知識を前提とする SR8000 の操作はかなり慣れないものが多く難しく感じられた。非常に素人じみた考えなのかもしれないが、コマンドラインからの操作に不慣れなものとしては、もっと直感的に操作できるシステムがあれば作業がよりスムーズに進んだのではないと思う。

- ・ SR8000 の利用において一番戸惑ったのは標準インストールされているプログラムの少なさである。シェルが csh であり、tab によるコマンドの補完やコマンドミス入力の訂正機能が使えなかったのも UNIX にあまり馴染みがない者としては、間違ったコマンドをすべて打ち直さなければならないのでぜひとも欲しい機能であると思いました。UNIX のプログラムはほとんど tar ボールの形式で配布されていることを考えると gzip、bz2 もぜひインストールされていると便利だと思います。また、標準のパスであるが MPI など、よく使うライブラリへもパスを通しておく方が利用しやすかったのではないかと思います。その他に、mpp-p の利用者が多すぎてログインできないことが多くて困った。バッチジョブのリクエストの仕方を知らなかったのが悪かったのですが、やはり、UNIX に不慣れなのでインタラクティブな使用の仕方のほうがなじみやすかったです。

- ・ mpp-p に 6 人しかログインできないのは不便だった。ログインできる人数を増やすか、mpp-s でも並列計算が出来るようにしてほしい。Windows になれている人には、ユニックス系のテキスト表示は慣れるまで時間がかかる。慣れるまでの時間ももっと必要だった。

7. おわりに

学生間でばらつきはあるが、講義、個別のコンサルティング、ドキュメント整備を進めることによって、最初は、CAD、FEM、スーパーコンピュータなどの予備知識が殆どない状態から、モデリング、SR8000での並列GeoFEM計算、可視化まで一連のCAEプロセスを実行できるようになった。慣れてきた学生は、境界条件をいろいろ変化させて解析結果への影響を調査するなどシミュレーションの面白さを理解しつつあるようである。

冒頭に記したプロジェクトの目的を達成できたとはとても言いがたく反省点は多々あるが、学生諸君からのコメントも大いに参考にして今後もこのプロジェクト課題は発展充実させて継続する予定である。ご意見、ご批判を賜れば幸いです。

謝辞

本プロジェクトの遂行にあたりまして、東京大学情報基盤センターよりSR8000/MPPの利用環境を試験的に提供して頂きました。同センタースーパーコンピューティング部門の金田康正教授より有益なアドバイスと本プロジェクト実施への励ましを頂きました。中央大学土木工学科の檜山和男教授より特別講義において当該研究分野の最先端の状況をご披露頂きました。日本原子力研究所計算科学推進センター(CCSE)より四面体要素による要素分割データを提供して頂きました。高度情報科学技術研究機構(RIST)のGeoFEM開発チームより様々なドキュメントの提供、アドバイスを頂きました。東京大学大学院生の櫛田慶幸氏、横浜国立大学大学院生の江連真一氏よりGeoFEM利用に関する様々な支援を頂きました。この場をお借りして皆様にお礼申し上げます。

参考文献

- [1]奥田洋司, 矢川元基, 未来型計算力学, 日本シミュレーション学会, シミュレーション, Vol. 19, No. 4, pp.246-253, 2000.
- [2]奥田洋司, これからの計算力学, 日本機械学会第13回計算力学講演会講演論文集, No. 00-17, pp.747-748, 2000.
- [3]<http://www.hints.org/>
- [4]<http://adventure.q.t.u-tokyo.ac.jp/>
- [5]<http://geofem.tokyo.rist.or.jp/>