

大阪大学サイバーメディアセンター 計算機利用ニュース

Vol. 6 No.2 2011.1 第11号

Cybermedia Center, Osaka University



FI³ (Fast Ignition Integrated Interconnecting simulation system)の 概要とデータの流れ. 各コードに適した計算機でシミュレーションが実行 され, 必要なデータはネットワークを介して授受する.

(利用者報告より)

大規模計算機システム利用案内(サービス内容・サービス時間等)

主なサービス内容	係・連絡先等	月~金	土・日・祝日				
・開館時間(吹田本館)							
センター見学の申込、広報	学の申込、広報 学の申込、広報						
利用負担金に係る会計事務(請求及び収納)	 求及び収納) 情報推進部情報企画課 会計係(本館1F) 						
利用案内受付 利用案内、利用申請、利用負担金、 利用者講習会受付、 計算機マニュアル・図書の閲覧、貸出	情報推進部情報基盤課 研究系システム班(本館2F) 電話 06-6879-8812,8813 system@cmc.osaka-u.ac.jp	13:00~17:15	館				
利用方法問い合わせ スーパーコンピュータ、PCクラスタ等の 利用方法	同上						

・サービス時間

٦

(注)障害の発生等により、予告なしにサービスを中止することがあります。計画停電・定期保守によりサービスを停止することがありますが、この場合はホームページに掲載します。

Т

・大規模計算機システムURL

大規模計算機システムホームページ	http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/j/
大規模計算機システムポータル (スーパーコンピュータ等についての情報を提供 しています。マニュアルの閲覧、パスワード の変更等が行えます。)	https://portal.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp

•利用相談

プログラム、センターの利用に関する 質問・相談	利用相談を電子メールで受付けます。 E-mail: hpc-support@hpc.cmc.osaka-u.ac.jp
	に質問・相談をお寄せください。
	※お問い合わせの際には、利用者番号をお申し出ください。

目 次

寄稿記事 ・次世代スパコン「京」と計算科学のあり方 高部 英明 	1 3
大規模計算機システム利用者報告	9
・NICT 宇宙天気クラウドを用いた太陽活動領域磁場の再現 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	11
・非平衡エネルギースペクトルによる1方程式SGSモデルの検証 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	19
・レーザープラズマシミュレーションのための2次元輻射流体コード ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 長友 英夫	27
センター報告	31
・第16回スーパーコンピューティングコンテスト(SuperCon2010) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	33
·2010 年度利用者講習会アンケート集計結果	34
 ・ 大規模計算機システム O&A・LINK 集 	37
・2010年度大規模計算機システム利用相談員・指導員名簿 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	40
利用規程等 ••••••••••••••••••••••••••••••••••••	41
・規程関係 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	43
大阪大学サイバーメディアセンター大規模計算機システム利用規程 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	43
大阪大学サイバーメディアセンター大規模計算機システム利用負担額一覧 ・・・・・・・	45
大阪大学サイバーメディアセンター大規模計算機システム試用制度利用内規 ・・・・・	46
大阪大学サイバーメディアセンター大規模計算機システム利用相談員指導員内規・・・	46
大型計算機利用大阪地区(第6地区)協議会規程	47
ネットワーク専門部会内規	47
・ 附表 ···································	49
大規模計算機システムホスト一覧	49
SX-8R, SX-9 及び PC クラスタのジョブクラス一覧	49
募 集	51
大規模計算機システムを利用して行った研究・開発等の記事の募集について ・・・・・・・	53

寄稿記事

次世代スパコン「京」と計算科学のあり方

高部 英明 大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター

概要

この11月、中国のスパコンが世界最速になった経 緯を説明しながら、世界のスパコン競争の背景に迫 る。我が国の次世代スパコン「京」の果たす役割に ついて議論。「京」の一般利用が開始する2012年11 月の前の月に、完成も祝して、国際純粋応用物理連 合(IUPAP)主催の Conference on Computational Physics を「京」の建屋も利用して開催する。会議 の紹介もさせていただいた。スパコンが国防の要で ある現実を紹介し、平和憲法を持つ我が国での「京」 による目覚ましい成果は「核無き世界」実現を間接 的に支援する事実を潜在的利用者に訴えた。

1. 世界最速スパコンを必要とする世界の 事情

スパコンの性能は半導体の集積度の「ムーアの法 則」同様、指数関数的に年代と共に向上してきた。 研究の最前線ではシミュレーション結果が「理論」、 「実験」に次ぐ研究手法として確立されてきたよう に「雰囲気」として「何となく」感じられるように なってきた。しかし、計算科学の発見でノーベル賞 が出ていない現実は、どことなく計算科学に従事す る研究者を卑屈にしているように感じられる。ENIAC に始まる「軍事の助っ人」として登場した汎用計算 機は、初期にはFermi-Pasta-Uramの非線型格子の再 起現象の発見など、非線型な物理が当時、普遍的と 思われたエルゴード問題などに、新鮮な視点を提供 し、新しい物理学がコンピュータにより続々、生み 出されるのではないかと期待を持たせたのに。

ところが、次の計算機はロスアラモスで MANIAC として開発され、主に、当時「スーパー」と研究所 内で呼ばれた水爆の物理統合型の計算の道具として 軍事機密の下に活躍することになった。これが、米 国の冷戦期の核兵器防衛システムに大きく貢献した ことは疑いない。1976年の CRAY-1 の登場以降、「ス パコン」の時代を迎えても、スパコンの軍事優先の 価値観は、冷戦構造終結後の今も健在である。 11月11日に更新された世界中のスパコン性能ラ ンキング TOP500[1]では、中国の「国防科学技術大」 が開発した天津スパコンセンターの「天河1A」が 1位を獲得し、中国のスパコンが初めて首位になっ た。なぜ「国防科学技術大学」なのかと疑問に思う 人は、計算科学の分野の「もぐり」である。我が国 の地球シミュレータが 2002 年に世界の並みいる、特 に米国のスパコンを抜いて世界一位に躍り出た時、 旧ソ連の「スプートニク」の衝撃以来の「コンピュ ートニク」の衝撃として、世界における米国の科学・ 技術の独占的優位性への脅威として喧伝された。

なぜ、そこまで衝撃として受け止められたのか。 理由は明快である。1996年の包括的核実験禁止条約 (CTBT)は、地下核実験を含めて、あらゆる核実験を 禁止した。しかし、冷戦が終結して 20 年が経とうと しても、世界の大国間では核兵器による国家間の緊 張的平和維持という戦略から抜け出していない。米 国では CTBT の発足を受け、クリントン政権は「科学 を基礎とした核兵器の維持管理」(Science Based Stockpile Stewardship: SBSS)というプロジェクト を発足させた。エネルギー省(DoE)の中の国家核安全 保障局(National Nuclear security Administration: NNSA)の中で年間 2000 億円近い予算が SBSS に投入 されている。その中の約 300 億円が計算科学「ASC」 としてスパコン予算やソフト開発に毎年手当てされ ている[2]。

SBSS とは、米国の核兵器能力を常に世界一位に維持する目的で、核兵器の起爆から爆発までを、3 次元の物理統合型のシミュレーションで確実に予言することを目指した計画である。プログラムが複雑になればなるほど、その予言性は困難となる。そこで、 CTBT に触れない未臨界実験や実験室核爆発の実験データとの比較で膨大なシミュレーション・プログラムの予言能力を高めるように改良していく。製造から何年も経った核弾頭の金属疲労やプルトニウムの物性変化などによる爆発能力の変化を全てスパコンではじき出そうというのが、図1に示した壮大なSBSSの心臓部分である[3]。



ストレンションが正式の「お子を塗破してたる気品の能行管理」の気品因。不高が交級とフルドニウム原爆(フライマリー)の性能実験を行い、レーザー核融合で水爆燃焼(セカンダリー)の物理を研究する。それらの 実験データは理論・シミュレーションが正しいか確認・検証するために利用される。核兵器容器の経 年変化による劣化などは材料や化学の研究を並行して必要とする。

SBSS はフランス、中国も同じ方針で米国と合意している。従って、いかに予言性の高いシミュレーション・プログラムを開発するかという物理の数理モデルや計算科学の実力と同時に、いかに高速のスパコンを開発するかが SBSS の要となる。以上のことから中国の「国防科学技術大」が世界一を目指し、つかの間の勝利を収めたことを理解して頂けると思う。

2. 次世代スパコン「京」に至る経緯

私は初代・地球シミュレータ(ES)[4]の運用開始か ら計画推進委員会委員(委員長は松本紘・現京大総 長)として主に ES の戦略的利用の推進などに意見を述 べてきた。同時に、成果報告会では材料、原子力、生 命、創薬から環境、気象、宇宙に至るまで極めて学 術的に幅広い計算科学の成果をヒアリングし、評価 してきた。また、松本委員長の下、研究課題選定委 員会の委員も長く務めさせていただき、異なる分野 のそれぞれに極めて重要と主張する提案を、自分な りの価値観で採点していき、合議で採否を決定してき た。さらには、平成17年度に開始された文科省の大 型研究装置、Spring-8とESの産業利用を目指した「地 球シミュレータ戦略活用プログラム|の審査委員長を 仰せつかった。このような ES での立場から多様な分 野の計算科学の最先端に触れ、同時に計算科学を糧と する多くの研究者と知り合う機会を得た。

科学技術基本計画第三期[5]に謳われた「国家基盤 技術」としての次世代スパコンの提案をすべく、ES の推進委員などを中心に作業会を何度も行い、計算 科学の難題である多階層問題を得意とする世界的に もユニークなコンセプトの提案を行った。推定予算 は 400 億円であったが、理研の 1000 億円の提案が最 終的には採択された。その理由のひとつの大きな要 素に、「ES に次ぐ、世界最速を日本が奪い返す」と いうキャッチフレーズが財務省の理解を得たところ があるようだ。

一般会計で予算化された次世代スパコン「京」の生 い立ちも円滑なものではなかった。リーマンズ・ショッ クの影響を受けた経済の後退が、当初、NEC、日立、富 士通3社連合による全日本のスパコン開発の形態か ら、NEC・日立の事業からの撤退という危機を迎え、 富士通単独でのスカラー超並列へと変わらざるを得 なかった。同時に、政権交代による「事業仕分け」 では蓮舫議員の「なぜ一番でないといけないのです か」という言葉を引き出すはめになった。ただし、 「事業仕分け」は法的拘束力がないことからほぼ当 初の計画通り事業は推進されてきており、2012年 の11月には採択課題の一般利用が開始できそうで ある。

計算機の名前は公募され「京」(けい)と決まった。 私は最初「京(みやび)」かと思い、「官僚の方もな かなかしゃれた名前を付ける」と感心したのである

-4-

が、良く聞くと KEI だという。10 ペタ・フロップス の計算速度を実現するスパコンだから 10 ペタは日 本では1 京(1 万兆)という単位であり、この名前 に落ち着いたようだ。確かに外国人には発音しやす い。中国のスパコンが座を奪うまで一位だった米国 オークリッジのスパコンの愛称は「ジャガー」で、 計算機本体に巨大な躍動する豹が描かれている。命 名も国それぞれである。

3. 計算物理国際会議(神戸、2012年10月)

2009 年、T さん (現文科省次世代スパコン推進室・ 技術参与)から電話がかかってきた。彼とは、ES で の課題審査や IUPAP (純粋応用物理国際連合)[6]の C20: Computational Physics の活動を通して旧知の 仲である。内容は IUPAP:C20 主催で毎年開催されて いる CCP (Conference on Computational Physics)を 2012 年、「京」の公開と併せて神戸で開催したい。 ついては、私にその国際会議の議長をしてほしいと いう依頼である。何度かお断りしたが、何度も説得 され、条件として「やりますが、会議のプログラム は私のビジョンで全て決めさせていただく」という 条件で引き受けた。

ビジョンとは何か。物理や科学の国内・国際会議 がどんどん分野別に細分化されていく事への危機感 であり、次世代の若者が広い視野を持ちながら自分 の専門に打ち込める学術推進形態を作っていかなけ ればいけないという反省に基づく責任感がベースで ある。計算科学こそ「計算手法」という横糸で、細 分化された研究分野を串刺しにできる学際領域であ る。この特徴を今までの CCP では生かすことができ ていない。議長を引き受けてから 09 年 12 月には高 尾(台湾)で開催された CCP2009 を視察、10 年 6 月 にはノルウェーのトロンハイムで開催された CCP2010 に参加した。基調講演は色々な分野の話題 があり、それなりに学際性が出ているが、パラレル・ セッションは分野別で「これでは計算科学の魅力が 生かされていない」と強く感じた。

IUPAP は、日本では日本物理学会(JPS:会員数約2 万人)と応用物理学会(JSAP:会員数約2.3万人)が加 盟する、世界の物理学会の「国連」に相当する。そ の中には20の委員会(Commission)があり、C20が計 算物理で、1996年に設立された一番新しい委員会で ある。前記のT氏が委員長の時、CCP会議を毎年、 欧州、米国、アジア太平洋と3年ごとに地球を周り ながら開催することを決定した。幸運にも2012年が アジア太平洋の年である。日本での CCP 開催は初め てであることも含め、「京」のお披露目に併せて神戸 で開催することを提案し、IUPAP 総会で承認された。 なお、2011年は「ジャガー」の米国オークリッジ国 立研究所主催で開催される (October 16-20 in Gatlinburg, TN USA)。

CCP2012 は文科省・理研などの支援を受け、次世 代スパコンの建屋も借りて実施する。主会場は「京」 から歩いて10分の「ニチイ学館 神戸ポートアイラ ンドセンター」で、2012 年 10 月 14-18 日の間、開 催する。仮のポスターが図2である。現在、文部科 学省・情報課・次世代スパコン推進室と連携しなが ら会議の準備を進めている。同時に推進室が支援す る「次世代スパコン戦略プログラム」5分野[7]の 方々とも連携して開催したいと考え、すでに、2分 野の代表との意見交換を行った。また、スパコン建 屋に併設されている「計算科学研究機構」[8]の平尾 機構長も尋ね、CCP2012 開催に関する説明と協力を お願いした。計算手法でセッションを組み、基礎と 応用が同じ土俵で「手法」という共通項で情報交換 し合う仕組み。この新しい試みは平尾機構長の機構 構想とも思想として合致するところがあり、このよ うな国際会議の開催に支援を表明していただいた。

CCP2012 (Conference on



図 2 CCP2012 年の仮のポスター

-5-

今後は関係機関、各学会・協会などへの共催など の申請。会議開催の支援財団などへの財政支援の申 請など多くの事務的な仕事が待っている。1年半前 を目処に行動を開始していく必要がある。同時に、 このような国際会議主催は私ひとりの力でできるこ とではない。現地実行委員会、国内・国際プログラ ム委員会、国際運営委員会など色々な分野の方々に 参画していただき、少しずつ会議のビジョンと内容 が見えるようにしながら多数の方の参加を促してい く必要がある。

4. 最後に

世界最速のスパコンが世界での軍事的ヘゲモニー 確保に必要不可欠であるという出だしの記述は、日 本の科学者、特に計算科学に従事する研究者には衝 撃的かも知れない。日本では科学の表と裏の面をし っかり学ぶ機会が無く、科学・技術はイコール人類 の未来を輝くものにする、という固定観念を多くの 方が持っている。しかし、その考えは憲法第9条と いう世界でも極めてまれな平和憲法を持つ国の研究 機関にいる研究者が持つ「例外的な価値観」である ことを理解しておく必要がある。そして科学・技術 というコインの表と裏の顔が全く異なるのがスパコ ン開発であり、大型計算科学であることを自覚して おかなければいけない。

私のセンターが推進するレーザー核融合研究では、 米国など、実験結果はほとんど公開しているが、レー ザー照射から爆縮、核融合反応、ミニ核爆発現象の 全てをシミュレーションするプログラム(これを「物 理統合型シミュレーション・コード」と呼んでいる) は最高軍事機密である。だから、私はレーザー核融 合推進のため自分の青春を、大海に飛び込む気持ち で、関連する物理の勉強、数理モデルの勉強、自分 なりのモデル化。非平衡部分電離プラズマの原子の X 線吸収や放射のデータベース作成など、すべて、 自分自身で行ってきた。今から思うと、核大国がプ ログラムを極秘扱いにしていたお陰で、私は、色々 な物理を自学自習し、様々な物理が絡む複雑現象の 全体像と細部のモデルの連携など頭の中で全てを捉 えることができるようになった。それが今日の幅広 い物理のセンスの源になっていると思い、逆境から 出発したことに感謝の思いである。

米国では物理関連 R&D の約7割は国防研究と関連 している[3]。核兵器研究所である米国リバモア研の 友人と2時間にわたり「科学・技術の進歩に国防研 究は不可欠か」という議論をしたことがある。当然、 私は「無くとも科学・技術を進歩させることはできる」 という論理を展開した。しかし、2時間議論しても結 局、平行線で共通認識を得ることはでき無かった。

次世代スパコン「京」に代表される世界最先端の 研究技術が、日本という国防研究を持たない国で世 界の計算科学をリードすることは極めて重要な意味 を持つ。日本が基礎科学や産業応用など平和利用に 徹して世界最高速のスパコンを使いこなし、そこか ら、科学・技術推進の未来像を、つまり、新しいパ ラダイムを世界に発信していくことができるならば、 オバマやキッシンジャー達が提唱した「核無き世界 (Nuclear-weapon-free world)」における科学・技術 の推進のあるべき姿を日本が世界に示すことができ るかも知れない。むしろ、日本で「京」が活躍する ことが「核無き世界」実現を勇気づけるということ を、関係者は意識しつつ成果を上げてほしい。京の 利用者こそ平和のメッセンジャであることを自覚す べきと考えている。

私は CCP2012 ではスパコンと国防研究との関係も 取り上げ、いかにして計算科学の平和的科学推進の 比重を増していくことができるか、パネル討論で議 論したいと考えている。米国では NSF, DOE, DOD で 計算科学の大きなプロジェクトに関与している友人 がいるので彼らを口説いて参加させようと考えてい る。また、10月には CCP2012 への積極的参加を中国 に促すため、図3のように、中国計算物理学会の会 長、副会長、および、北京にある計算物理応用数学 研究所(IAPCM)[9]の所長と会談を上海で行い、中国 側の全面的協力で合意することができた。IAPCM の Zhu Shao-Ping 所長とはごく親しい仲であり、彼が 中国の窓口で多くの若手と重要人物を CCP2012 に送 り出してくれることになった。



図3 中国計算物理学会関係者と。 左より IAPCM 所長、筆者、会長、一人置いて、副会長

私達、科学者は保守的な政治に対し、未来のある べき国際連係のお手本を示す「民間大使である」と いうのが持論である。CCP2012 では「京」の発展も 願いながら、京を取り巻く国際連携も模索してみた いと考えている。

参考文献

 [1] TOP500 の URL アドレスは <u>http://www.top500.org/</u> この中の下記の URL に 2010 年 11 月時点での世 界最速 500 のランキングと性能が詳しく記載さ れている。 <u>http://www.top500.org/list/2010/11/100</u>
 [2] SBSS については日本ではあまり知られていない。 たとえば米国物理学会のページの URL http://www.aip.org/fyi/2010/081.html

などを参照してほしい。 SBSS の傘下の計算科 学プロジェクト「ASC」については例えば、 <u>http://www.sandia.gov/nnsa/asc/</u>等に詳し い。

- [3] 高部英明著「レーザー核融合から新しい宇宙物 理学の誕生へ」、立花隆編、「宇宙の核融合・地 上の核融合」(クバプロ出版、2008 年)の pp. 153-172。
- [4] 地球シミュレータセンター: <u>http://www.jamstec.go.jp/esc/index.html</u>
- [5]http://www.mext.go.jp/a_menu/kagaku/kihon/m ain5_a4.htm
- [6] IUPAP: <u>http://www.iupap.org/</u>, C20: Commission on Computational Physics <u>http://www.iupap.org/commissions/c20/membe</u> <u>rs.html</u>
- [7] 戦略 5 分野: <u>http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/21/07/</u> 1282265.htm
- [8] 計算科学研究機構 <u>http://www.riken.go.jp/r-world/riken/form/</u> <u>aics.html</u>
- [9] IAPCM: <u>http://www.iapcm.ac.cn/</u>

大規模計算機システム

利用者報告

【論 文】

NICT 宇宙天気クラウドを用いた太陽活動領域磁場の再現

井上 諭、森川 靖大

情報通信研究機構 電磁波計測研究センター 宇宙環境計測グループ

(inosato@nict.go.jp)

はじめに 1

太陽表面を観測すると、しばしば黒点と呼ばれる 黒いシミの塊が観測される。この黒いシミの塊であ る黒点の正体は強い磁束の断面であり、その上空で は「太陽フレア」や「コロナ質量放出 (CME)」と呼 ばれる爆発現象 (太陽嵐) が生じている。黒点の磁気 活動が活発化した領域は「太陽活動領域」と呼ばれ ており、規模の大きな太陽嵐を引き起こす源となり うる。それゆえ、太陽活動起源の地球磁場の電磁気 的な擾乱現象を予測する「宇宙天気予報」において も非常に重要な研究対象となる。太陽嵐は活動領域 に蓄積された磁気エネルギーの解放現象であると広 く理解されており、太陽嵐の発生メカニズムを理解 するためには、太陽活動領域の3次元の磁場構造の 理解が必要不可欠となる。しかしながら、観測では 太陽表面 (光球面)の2次元面での磁場の観測は可能 であるが、3次元の磁場を直接観測するのは現段階 では難しい状況にある。そこで著者らは、光球面の 観測磁場データに基づいて、上空の磁場を数値的に 外挿する方法を開発してきた。この方法は、太陽コ ロナのプラズマは低β近似が成立するという条件下 で、フォースフリー近似

$$\boldsymbol{J} \times \boldsymbol{B} = 0 \tag{1}$$

(Bは太陽コロナ磁場、Jはコロナ中に流れる電流) に基づき、観測で得られた太陽表面の磁場データを 2 境界条件として境界値問題を解く事で3次元の太陽 活動領域磁場を数値的に得る事を可能にした。本稿 では、2006年12月にX3.4クラスフレアを引き起こ した太陽活動領域 NOAA10930 の 3 次元磁場構造の 解析結果を紹介する。活動領域 NOAA10930 が引き 起こしたフレアは、2006年9月に打ち上げられた太 クラウドコンピューティング環境である。宇宙天気 陽観測衛星「ひので」[1] に搭載されている望遠鏡で

彩層で観測されるフレアリボン (図 1a) や、X 線望遠 鏡ではフレア発生前にしばしばコロナ中で観測され る X 線 Sigmoid(図 1b) 等、フレアの特徴的な描像の 観測に成功している。また同時に、可視光望遠鏡では 高解像度の光球面での磁場データも提供してくれて いる。本研究では、「ひので」衛星が観測したフレア 6時間前の磁場データを用いて3次元の磁場計算を実 施する。しかしながら、空間解像度の高い磁場デー タを用いれば、それだけの計算コストが必要となる。 「ひので」衛星は光球面の磁場データを1000×512の 解像度で提供してくれており、このデータを最大限 に活かした3次元計算となれば1000×512×512程度 の格子点が必要となる。近年のスーパーコンピュー ターの目覚ましい発展に伴い大規模な計算は可能と なりつつあるが、大規模数値データの高速転送と円 滑な解析環境は未だ大きな問題として残っている。そ こで情報通信研究機構では、こういった大規模計算 データを処理するために「宇宙天気クラウド」と呼 ばれるクラウドコンピューティング環境を構築して いる。本稿では、宇宙天気クラウドを試験的に用い て太陽活動領域 NOAA10930 の 3 次元磁場構造の計 算と解析を行った結果を紹介する。さらに、今後の 大規模計算とそれをサポートする宇宙天気クラウド を活用した研究の展望を述べる。

宇宙天気クラウドにおける大容 量データ解析環境の構築

宇宙天気クラウドの概要 2.1

宇宙天気クラウドとは、情報通信研究機構(以下、 NICT) で構築を進めている、宇宙天気研究のための クラウドは、それを利用する研究者にとってあたか も観測されており、可視光望遠鏡ではフレア発生時に もスーパーコンピューター・解析用の高性能サーバ・



図 1: (a) 「ひので」衛星の可視光望遠鏡で観測されたフレアリボン。(b) 「ひので」衛星の X 線望遠鏡が 観測した X 線 Sigmoid。(a、b 共にひので科学プロジェクト提供)



図 2: 宇宙天気クラウドのイメージ。観測所やスーパーコンピュータからのデータを格納するための大規模 分散ストレージを用意し、さらにそのデータの解析や可視化を行うためのデバイスも同じネットワーク空 間上に置くことで、宇宙天気研究向けの仮想研究環境を実現することを目標としている。

感じられるような、仮想的な研究空間を目指すもの である (図 2)。現在、NICT が運用する高速テスト ベッドネットワーク JGN2plus によって全国の計算 機リソースを結び、観測やシミュレーションによっ て得られるデータの保管や処理、それらデータの解 析および可視化に必要なリソースを同一ネットワー ク空間上に揃えつつある。

スーパーコンピュータを始めとする計算機の進歩 に伴い、着々と計算の高速化が進み、その結果として 得られるデータも巨大化しつつあるが、現行のスー パーコンピュータに付随するリソースでは巨大化す るデータの保管や解析を行う事は難しく、実際には ネットワークを介して研究者の手元にファイル転送を

数百 Terabyte 級の大容量ストレージといった様々な 実施することとなる。本稿の次節以降で述べる研究 大規模計算機リソースが研究室内にあるかのように に際しても、データは NICT 本部 (東京都小金井市) まで転送された後にその解析が行われている。現在 のネットワーク環境では、例えば大阪大学サイバーメ ディアセンターから NICT 本部へファイル転送する 場合、1 日で転送できる量は最大でも 170 Gigabyte 程度であり、スーパーコンピュータ上で1日に340 Gigabyte 以上のファイルが生成された場合、計算時 間のおよそ倍以上の時間が転送に必要とされる。340 Gigabyte/day というファイル生成速度はスーパーコ ンピュータ上では容易に達成可能な値であり、今や多 くの研究テーマにおいてこのファイル転送が高分解 能データを用いた研究の妨げとなってしまっている。 宇宙天気クラウドでは、このような問題の解決を図 るため、スーパーコンピュータ上で生成されたデー

タが、遠隔地にある解析用サーバにおいて体感的に は即座に解析できるような環境を整えるべく、大規 模ネットワーク分散ストレージおよびデータ高速転 送システムの構築を行った。

大規模ネットワーク分散ストレージの 2.2構築

宇宙天気クラウドでは、高分解能データの保管や 処理を行うための数百 Terabyte~数 Petabyte サイ ズの容量を有するネットワーク分散ストレージを構 築している。市販の機材の組み合わせによりストレー ジサーバを構築することで1 Terabyte 当たり1万 円程度の低コスト化を図っており、またネットワー ク分散ファイルシステムの実装に Gfarm v2 を用い ることで高い拡張性と安定性を保っている。2009年 10月より試験運用を行っているこのストレージの容 量は 2010 年 12 月現在 420 Terabyte であり、今後も 増加する予定である (図 3)。したがって、格子点数 512³ 以上の高分解能データもこのストレージ上に十 分収納することが可能である。

データ高速転送システムの構築 $\mathbf{2.3}$

大阪大学サイバーメディアセンターのスーパーコ ンピューターのディスクの一部とネットワーク分散ス トレージとを JGN2plus で接続すると共に、データ の自動転送システムの構築を行った。その結果、図4 に示すような形で計算から解析までを実施すること が可能となった。スーパーコンピューター上での計算 は従来通りに行い、その出力先をファイル転送用の 特定のディレクトリに指定する (図 4(a))。データは ディレクトリ階層を保持したまま JGN2plus を介し て自動的にネットワーク分散ストレージ上へと転送 される (図 4(b))。本ネットワーク分散ストレージは NFS 等と同様に解析用サーバから一般的なコマンド やプログラムでアクセス可能であるため、転送後の ファイルの解析は従来通りに実施することが可能で ある (図 4(c))。ただし、現行のシステムはスーパー

レージへの一方的な同期のみに対応しており、その 前提での利用となる点に注意が必要である。転送速 度計測のための予備的実験として、格子点数 5123の データを大阪大学サイバーメディアセンターのスー パーコンピューターからクラウドストレージへと転 送したところ、1日当たり 1.7 Terabyte のデータを 転送できることが確認された。これにより、構築し た環境は従来の10倍程度の転送速度を有しているこ とが示されており、本稿のシミュレーションのデータ の格子点数を 512³ 程度とした場合でも、スーパーコ ンピューター上で計算されたデータを、解析用ワー クステーションから体感的に即座に扱うことが可能 であることを示している。

このように宇宙天気クラウドでは、研究に実利用可 能な計算機リソースやネットワーク環境を整えつつ ある。計算機リソースの詳細や利用方法については、 https://seg-web.nict.go.jp/scuser/ を参照頂 きたい。

3 数値計算法

本研究で用いた具体的な計算手法について述べる。 矩形型モデルで計算を行う際、太陽表面は観測磁場 データを境界条件として適用できるが、側面と上面 の境界は観測データがないので境界条件を与える事 はできない。そこで、本研究では「SOHO」衛星が観 測した光球面に対して視線方向の磁場データから計 算された全球ポテンシャル磁場を用いて境界条件を 設定する。図 5a は「SOHO」衛星の磁場データから 求められたポテンシャル磁場である。ポテンシャル 磁場は、視線方向の磁場成分のみから一意に求めれ る事が数学的に証明されている。ただし、ポテンシャ ル磁場は磁場の最小エネルギー状態に相当しており、 太陽嵐を引き起こすエネルギーレベルの高い活動領 域磁場のモデリングには相応しくない。「SOHO」衛 ■ 星と「ひので」衛星が提供する磁場データの決定的 な違いは、「SOHO」衛星は視線方向の磁場成分しか 提供してくれないのに対して、「ひので」は光球面に 対して接線方向の磁場データも提供してくれる。太 コンピューターのディスクからネットワーク分散スト 陽フレア等を発生させる磁気エネルギーが蓄積され



図 3: ネットワーク分散ストレージの総容量、使用量、格納ファイル数の推移。総容量と使用量に関しては 物理容量換算である。



図 4: 宇宙天気クラウドの利用者から見たデータ高速転送システムの仮想環境のイメージ。一部の制限はあ るが、スーパーコンピューター上の特定のディスク領域がネットワーク分散ストレージと共有されて見える ようになる。

た磁場構造を構築するためには、この接線成分が重 要になるので、太陽活動領域の3次元構造を再現す るためには「ひので」衛星の磁場データを太陽表面 の境界条件として用いる事が必要不可欠となる。計 算する領域は活動領域に特化するので、図8aの灰色 の矩形領域に着目する。太陽表面に関しては、「ひの で」衛星の観測視野よりも計算領域の大きさを十分 にとるため、図5bのように「ひので」衛星の観測視 野の外側は「SOHO」衛星の磁場データで補う。他の 境界条件はSOHO/MDIから計算されたポテンシャ ル磁場の3成分で固定する。 解くべき方程式は下記の方程式であり、

$$\frac{\partial \boldsymbol{v}}{\partial t} = -(\boldsymbol{v} \cdot \boldsymbol{\nabla})\boldsymbol{v} + \frac{1}{\rho}\boldsymbol{J} \times \boldsymbol{B} + \nu \boldsymbol{\nabla}^2 \boldsymbol{v}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t} = \boldsymbol{\nabla} \times (\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B} - \eta_{nlfff} \boldsymbol{J}) - \boldsymbol{\nabla} \phi, \quad (3)$$

$$\boldsymbol{J} = \boldsymbol{\nabla} \times \boldsymbol{B},\tag{4}$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + c_h^2 \boldsymbol{\nabla} \cdot \boldsymbol{B} = -\frac{c_h^2}{c_p^2} \phi, \qquad (5)$$

式、アンペールの式、Dedner によって 導入され 計算された磁場構造の信頼性を検証する事である。そ た **∇**·**B**の数値ノイズを移流と拡散により除去する 役割を果たす方程式である [2] 。 B は磁場、v は速 ボンと磁力線の比較を行った結果を図7に示す。フ 度場、 ρ は密度、Jは電流密度、 ϕ は $\nabla \cdot B$ の数値 ノイズを除去するために取り入れられた関数で物理 的な意味は特にない。密度は |B| に比例するように 与えられており、電気抵抗は以下のように与えられ れたシア、あるいはツイストした磁力線に相当して ている。

$$\eta = |\boldsymbol{J} \times \boldsymbol{B}| |\boldsymbol{v}| / B^2. \tag{6}$$

この形式は、速くフォースフリー磁場に収束するよ うに便宣的に取り入れられている。ν, c_p, c_h は定数 で、それぞれ 1.0×10⁻³, 0.1, 0.2 としている。用い た格子点数は最大で 512 × 512 × 256 で多重格子法 を採用している。ただし、今回は 128 × 128 × 64 の 最低解像度の結果を紹介する。この理由は後で述べ る。用いた空間微分はは2次の中心差分法で近似さ れ、時間積分は4次のルンゲクッタジル法が用いら れた。

結果 4

図 6a は、計算領域の境界の鉛直磁場成分のみを用 いて計算されたポテンシャル磁場である。この磁場構 造を初期条件として、境界値問題を解く。図 6b は、 太陽表面に対して鉛直磁場成分だけでなく、観測か ら得られる接線磁場成分も用いて外挿されたフォー スフリー磁場である。特に、黒い矩形領域で囲まれ た部分がポテンシャル磁場とは大きく異なっており、 ここは正負の磁場の鉛直成分が0になる磁気中性線 の上空に相当している。図 6c は、図 6b の拡大図で、 紫色の等値面は電流密度の強い領域をプロットして おり、この領域は太陽嵐を引き起こす自由エネルギー が蓄積された領域に相当している。つまり、この結 果は活動領域中の爆発を引き起こす"ひずみ"のある 場所と構造を計算機の中で再現できた事を意味して いる。

上から順に、規格化された運動方程式、誘導方程 のは観測結果をどれだけ繁栄しているのか、つまり こで、「ひので」の可視光望遠鏡が観測したフレアリ レアリボンは、フレア時にリコネクションした磁力 線の足下に相当していると考えられている。これら の磁力線は、フレア発生前にはエネルギーの蓄積さ いる。すなわち、この活動領域の磁力線を正確に再 現しているならば、計算により再現されたねじれた 磁力線の足下は、フレアリボンの位置に相当してい る事になる。図 7a-d は、2006 年 12 月 13 日 02:18, 02:20, 02:22, 02:24 UT に観測されたフレアリボンに 対して、2006年12月12日の20:30 UT に観測され た磁場データから計算された磁力線をプロットした 結果である。フレアリボンと磁場データの観測に時 間差が生じているのは、観測手法が異なる事に起因 している。しかしながら、計算によって再現されたフ レア前のねじれた磁力線の足下は、フレアリボンの 位置によく一致している事がわかる。つまり、この 結果は計算された磁場構造は信頼できると共に、フ レアを引き起こした領域の磁場構造をよく再現して いる事がわかる。また磁場データとフレアリボンの 観測の時間差が6時間あるにもかかわらずよい一致 を示した事は、すでに6時間前にはフレアを引き起 こすようなエネルギーの蓄積された磁場構造が形成 される事が示唆される。

> フレアの発生メカニズムを調べる上で、磁力線 の"ねじれ"を調べる事は非常に重要である。なぜな ら、磁力線のねじれがある回転数以上に達すと、磁 場構造がキンクモードに対して不安定化する事でフ レア発生の要因となり得るからである。そこで、全 領域の磁束に対して強いねじれが占める磁束の割合 を調べた。磁力線の"ねじれ"を定量的に表す量とし て以下の量を定義する。

$$T_n = \frac{1}{4\pi} \int \alpha L dl \tag{7}$$

 α はフォースフリーパラメータで、光球面において 一見、計算された磁場構造はエネルギーが蓄積 磁場の捻れの度合いを表す量である。 L は磁力線の された領域の再現に成功した様に見えるが、重要な 長さを表しており、T_n は磁力線の回転数を表してい



図 5: (a)「SOHO」衛星から得られる全球ポテンシャル磁場。黄色い球形が太陽を表しており、線は磁力線 を表している。灰色の矩形領域の中に活動領域が存在している(塩田 大幸博士(理化学研究所)提供)。(b) 「SOHO」衛星の観測した磁場データに「ひので」衛星が観測した磁場データを重ね合わせた結果。後者は 前者よりも観測視野は狭いが、高解像度の磁場データを提供してくれる。



図 6: (a) 光球面の鉛直磁場成分から計算されたポテンシャル磁場。緑色の線は磁力線を表している。(b) 光 級面の磁場3成分を用いて計算されたフォースフリー磁場。(d) b の拡大図。紫の等値面は強い電流領域を 表している

形状はキンクモードに対して不安定になる事が指摘 回転以上のねじれが必要となるが、今回の結果から されており [3] 、活動領域に $T_n > 1.75$ を満たす磁 活動領域 NOAA10930 を構成している強いねじれは、 力線がどれだけ占めているのかを調べる事は、フレ アの開始を理解する上で極めて重要となる。図8は、 た。それゆえ、キンク不安定性によるフレアの開始 縦軸は

$$F(\tau) = \frac{\int_{|T_n| > \tau} B_z dS}{\int B_z dS},\tag{8}$$

で定義される量で、全磁束に対して強いねじれが 占める磁束の割合である。本研究では、 $\tau = 0.5$ と $\tau = 1.0$ についてプロットした。12月12日20:30 UT がフレアの発生6時間前で、12月13日04:30 UTは 最低解像度の結果である。実は、磁場データの解像 フレア発生の2時間後である。フレアの発生前に着 度を上げて計算を実施するとフレアリボンやX線の 目すると、半回転している磁力線が占める磁束は全 観測との一致性が悪くなる事が、本結果より得られ 体の 40%、一回転にいたっては 5% にも達していな ている。原因は様々でまだ統一的な理解には達して

る。Török 等の線形解析によれば、 $T_n > 1.75$ で磁場 い。キンクモード不安定性が成長するためには 1.75 ほとんどが半回転から1回転の間である事がわかっ 機構は本活動領域では難しい事が示唆され、別のメ カニズムによる可能性が挙げられる。

$\mathbf{5}$ 今後の展望

今回、本稿で記載させて頂いた結果は多重格子の

(a) 02:18 UT on Dec.13



(c) 02:22 UT on Dec.13

(b) 02:20 UT on Dec.13



(d) 02:24 UT on Dec.13



図 7: 「ひので」の可視光望遠鏡で観測されたフレアリボンの時系列データに対して、6時間前に観測された 磁場データから計算された磁力線をプロットした結果を示している。磁力線は緑色の線で表されており、赤 と青の等高線は光級面に対して正負の鉛直磁場成分を表しており、これは正負の黒点の位置を表している。

光球面はそうではない。それゆえ、解像度を上げると 非フォースフリーな磁場成分をよく解像してしまい、 フォースフリー磁場の再現性が悪くなる。この問題 に対して、Wiegelmann 等により光球面の磁場のプ も導入を開始して現在データの解析を行っている。

これまで、活動領域に特化した磁場構造に着目 して解析を行ってきた。解析で得られた活動領域の 物理状態を念頭に置き、次に理解すべきは太陽嵐の 発生機構とそれに付随する現象である。これまでに 多くの太陽嵐の発生に関する数値シミュレーション が成されてきた ([5] 等) が、共通の問題点としては、 シミュレーションで与えられていた初期条件があま

いないが、考えられる原因の一つとしては、光球面のりにも簡略化、理想化されていた事である。しかし 磁場データがフォースフリー条件を満足していないながら、本研究では観測磁場データに基づいて、非常 事にある。太陽コロナは低β近似がよく成立するが、 に高精度の太陽活動領域磁場の再現に成功した。そ こで次の課題としては、観測磁場データに基 づいて 得られた安定かつ平衡な活動領域磁場が、いかにし て不安定、あるいは非平衡な構造へと遷移し、太陽フ レアを引き起こすのか? そして、いかにしてコロナ リプロセス処理の方法等が提案されており [4]、我々 質量放出 (CME) へと成長するのか?、また、太陽嵐 に伴い発生するコロナ中を伝搬する波動の理解等が 挙げられる。そのためには、精密な活動領域を包括す る領域での大規模な数値シミュレーションが必要と なる。我々の計算結果から、黒点間(フレアリボンの スケール)を結ぶ磁気シアを再現するには、本研究の 計算領域のサイズで、256³の格子程度で可能である 事を示唆している。この領域を含み、CMEの形成過 程やコロナ中の波動の伝搬を再現するためには、よ



図 8: *F*(*τ*)の時間発展。12月12日 20:30 UT がフレア発生前 (6 時間前)の時刻で、12月13日 04:30 UT がフレア発生後 (約2時間)の時刻を表している。

り領域を広く取り最低限 512³の格子が必要となる。 また磁気中性線近傍の磁場構造まで明らかにするた めには、それ以上の格子数が必要となる。2010年に 打ち上げられた Solar Dynamics Observatory(SDO) 衛星は太陽全面でベクトル磁場を観測しており、広 範囲での観測磁場データを提供していくれている。 また近年のスパーコンピューターの発展から、512³ 以上の計算は可能であり、NICT 宇宙天気クラウド は高速データ転送、円滑な解析環境を提供してくれ ている。こうした最新の太陽観測衛星、最新のスー パーコンピューター、そして最新技術を駆使したイ ンフォマティクスが太陽嵐の謎を解き明かしてくれ、 宇宙天気予報の実現に大きく貢献できると筆者は期 待している。

本稿の内容は、文献 [6]、[7]、[8] に詳細にまとめら れている。

6 謝辞

本研究では、大阪大学サイバーメディアセンター のスーパーコンピューターシステムを使用させて頂 きました。また、本研究は名古屋大学の草野 完也教 授、Kyung Hee 大学の真柄 哲也准教授、理化学研究 所の塩田 大幸博士、名古屋大学の山本 哲也博士との 共同研究で遂行されています。宇宙天気クラウドの 利用にあたり、NICT の村田 健史グループリーダー、 亘 慎一博士をはじめとした多くの開発メンバーに感 謝致します。観測データは太陽観測衛星「ひので」と 「SOHO」のデータを使用させて頂きました。

参考文献

- [1] Kosugi, T., et al. 2007, Sol. Phys., 243, 3
- [2] Dedner, A., Kemm, F., Kröner, D., Munz, C.-D., Schnitzer, T., & Wesenberg, M. 2002, Journal of Computational Physics, 175, 645
- [3] Török, T., Kliem, B., & Titov, V. S. 2004, A&A, 413, L27
- [4] Wiegelmann, T., Inhester, B., & Sakurai, T. 2006, Sol.Phys, 233, 215
- [5] Inoue, S., & Kusano, K. 2006, ApJ, 645, 742
- [6] Inoue, S., et al., submitted to The Astrophysical Journal Letters
- [7] Inoue, S. and Magara, T., submitted to The Astrophysical Journal Letters
- [8] Inoue S. and Morikawa, Y., submitted to Plasma and Fusion Research

「非平衡エネルギースペクトルによる1方程式SGSモデルの検証」

川村 康太、堀内 潔、高橋 雄太

東京工業大学 大学院理工学研究科 機械宇宙システム専攻

1. 諸言

Kolmogorov の-5/3 乗則⁽¹⁾は、大きなスケールから 小さなスケールへとエネルギーが伝達されていく乱 流のエネルギーカスケードを示す重要な統計法則で ある。しかしながら、高レイノルズ数の実験や DNS(direct numerical simulation)において-5/3 乗則か らの間欠性が報告されている⁽²⁾⁽³⁾。また、乱流の非平 衡・非定常性を考慮した場合、-7/3 乗のべきを持つ スペクトルが解析的なアプローチから導出されてい る。一方、工学的な流れ場では、DNS は高レイノル ズ数において実行困難であり、小スケールの粗視化 を施す LES (large-eddy simulation)が有望な近似解析 手法として挙げられるが、LES で汎用されている Smagorinsky モデル⁽⁴⁾では-5/3 乗成分のみが仮定され ている。そのような背景から本稿では、統計的に定 常な強制一様等方乱流の DNS データ、LES データを 用いて、モデルの予測精度と非平衡成分との関係を 取り上げて、LES における非平衡な subgrid-scale (SGS)モデルに対する考察を報告したい。

2. 支配方程式と SGS モデル

本研究で対象とする流れ場は非圧縮性強制一様等 方乱流であり、DNS における支配方程式は Navier-Stokes 方程式と連続の式である。

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial (u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} + f_i$$
(2.1)

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \tag{2.2}$$

ここで*x*_iは*i*方向の空間座標、*u*_iは速度ベクトルの*i* 方向成分、*ρ*は密度、*p*は圧力、*v*は動粘性係数、*f*_i は外力の*i*方向成分である。

LES ではスケールの粗視化として支配方程式に以下のようなフィルター操作を施し、GS 成分と SGS 成分に分離する。本研究では Cutoff フィルターを用いた。

$$f = \overline{f} + f' \tag{2.3}$$

$$\overline{f} = \int_{-\infty}^{\infty} f(x')G(x - x')dx'$$
(2.4)

この操作により LES の支配方程式は、

$$\frac{\partial \overline{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial (\overline{u}_i \overline{u}_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} - \frac{\partial \overline{p}}{\partial x_i} + v \frac{\partial^2 \overline{u}_i}{\partial x_j \partial x_j} + f_i$$
(2.5)

$$\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_i} = 0 \tag{2.6}$$

となる。ここに、格子以下のスケールの変動の粗視 化の帰結として、以下のような SGS 応力項、

$$\tau_{ij} = \overline{u_i u_j} - \overline{u_i u_j}$$
 (2.7)
が式(2.5)中に生じ、この応力を GS 成分と関係づけ
る SGS モデルが必要となる。本研究では、以下に述
べるような SGS 渦粘性係数モデルを用いた検証を
行った。

$$\tau_{ij} = \frac{1}{3} \tau_{kk} \delta_{ij} - 2\nu_e \overline{S}_{ij}, \qquad \overline{S}_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \overline{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u}_j}{\partial x_i} \right)$$
(2.8)

ここで v_e は SGS 渦粘性係数、 δ_{ij} は Kronecker のデル タである。

SmagoriskyモデルではSGS成分のエネルギー生成 Pと散逸D

$$P = -\tau_{ij}\overline{S}_{ij}, \quad D = \nu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial \overline{u}_i}{\partial x_j} \frac{\partial \overline{u}_i}{\partial x_j} \right)$$
(2.9)

$$D \approx \frac{C_{\varepsilon} K_G^{3/2}}{\Delta} \tag{2.10}$$

が等しい(局所平衡仮説)とし、SGS エネルギー $K_{\rm G}$ (= $\tau_{ii}/2$)と $v_{\rm e}$ を決定する。 C_v , $C_{\rm e}$ はモデルパラメー タである。

$$K_G = \frac{C_{\nu}}{C_{\varepsilon}} \Delta^2 (2\overline{S}_{ij} \overline{S}_{ij})$$
(2.11)

$$v_e = (C_s \Delta)^2 (2\bar{S}_{ij} \bar{S}_{ij})^{1/2}$$
(2.12)

ここで C_S はSmagorinsky定数、 Δ は格子間隔である。

一方、1 方程式モデルでは SGS エネルギー方程式 を近似することによって *K*_G のモデル方程式を導出 し、*v*_eを決定する⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

$$\frac{\partial K_G}{\partial t} + \overline{u}_j \frac{\partial K_G}{\partial x_j} = C_v \Delta K_G^{1/2} \left(2\overline{S}_{ij} \overline{S}_{ij} \right) - \frac{C_e K_G^{3/2}}{\Delta}$$
(2.13)

ただし、本研究では拡散項を無視している。

1 方程式モデルは Smagorinsky モデルに比べ、次の 二つの利点を有する。一つは、K_Gの輸送の効果を取 り入れることができるという点であり、もう一つは、 Smagorinsky モデルでは圧力が真の圧力と K_Gの総和 (圧力ヘッド)として算出され両者の分離が困難な のに対し、1 方程式モデルではそれが可能な点であ る⁽⁵⁾。

3. 強制一様等方乱流の DNS、LES

本研究で対象とする流れ場において、計算領域の 長さは全方向に 2π 、格子点数 Nは DNS が 512³、LES が 32³ と 64³、動粘性係数は v=1.35×10⁻³、時間刻みは Δ t=0.0005 とした。また、境界条件に周期境界条件、 空間の離散化にはスペクトル法を用い、DNS では 3/2 則を用いてエイリアシング誤差を除去し、LES では 非線型項に skew-symmetric form を用いてエイリア シング誤差を除去した。時間積分には DNS は低容量 型 3 次精度 Runge-Kutta 法、LES は 3timestep splitting 法を用いた。外力項には低波数領域(0 $\leq k \leq 2.5$)に速 度場に依存する外力 (式(3.1)) を各時間ステップご とに注入する Linear forcing⁽⁷⁾を用いた。

 $f_i(k) = Au_i(k)$ (*i*=1,2,3) (*A*=0.14) (3.1) なお、LES の SGS モデルとして Smagorinsky モデ ルと 1 方程式モデルを用い、本研究では *Cs*=0.17,*Cv*=0.05,*Ce*=1.0 とした。LES の初期条件とし て DNS データに Cutoff フィルターを施して高波数 成分を除去し格子点数をそれぞれ 32³,64³ としたも のを用いた。

Fig.1 は DNS の乱流エネルギー及び散逸率の時間 変動を示しており、乱流エネルギーは時間の経過と 共に概周期的な変動をし、散逸率も同様に変動して いるが、この周期的変動には時間遅れが存在するこ とが見て取れる。この時間遅れは大規模スケールの エネルギー成分が非線形相互作用によって小さなス ケールへとカスケードされることに対応している。



Fig.1 Temporal variations in turbulent kinetic energy and dissipation rate obtained from DNS data. ($R_{\lambda} \approx 120$) solid line : turbulent kinetic energy dashed line : dissipation rate



Fig.2 Temporal variations in turbulent kinetic energy and dissipation rate obtained from LES data using Smagorinsky model (N=64³).
solid line : turbulent kinetic energy dashed line: total dissipation rate



Fig.3 Temporal variations in turbulent kinetic energy and dissipation rate obtained from LES data using one-equation model (*N*=64³).
solid line : turbulent kinetic energy dashed line: total dissipation rate



Fig.4 Temporal variations in turbulent kinetic energy comparing DNS data (converted $N=512^3$ to $N=64^3$) to LES data($N=64^3$). circle plotted: DNS data($N=512^3$ to $N=64^3$) solid line: LES data using Smagorinsky model dashed line: LES data usingone-equation model

Fig.2 と Fig.3 はそれぞれ SGS モデルに Smagorinsky モデルと 1 方程式モデルを使用した LES の乱流エネルギーと散逸率の時間変化を示して いる。この結果から Smagorinsky モデル、1 方程式モ デルの双方において、周期的変動の時間遅れは予測 できていることが見て取れるが、Smagorinsky モデル では変動の振幅が過小に予測されている。

また、Fig.4 は同じレイノルズ数における LES と 512³のデータを64³に削減した DNS の乱流エネルギ ーの値の時間変化を比較した図であり、SGS モデル 間の比較をすると1方程式モデルの方が長期的予測 精度は高い。しかし、時間が経つにつれ予測精度は 低下する。

4. 非平衡エネルギースペクトルの導出と 抽出

定常的なエネルギーカスケードが起きる慣性小領 域のエネルギースペクトルを良く近似する Kolmogorov の-5/3 乗則は、

 $E(k) = C_{\kappa} \varepsilon^{\frac{2}{3}} k^{-\frac{5}{3}}$ (4.1) と表せる。ここで、 ε はエネルギーの散逸率を示し、 C_{κ} は Kolmogorov 定数である。Lilly⁽⁸⁾は Smagorinsky モデルが Kolmogorov 則と適合していることを示し、 C_{s} の理論値を約 0.2 とした。

Yoshizawa⁽⁹⁾は TSDIA(two-scale direct-interaction approximation)を用いて Kolmogorov の定常状態を基

にエネルギースペクトルを展開し、次式のように -7/3 乗を含むスペクトルを導出している。

$$E(k) = C_{\nu} \varepsilon^{\frac{2}{3}} k^{\frac{-5}{3}} - C_{\nu} \varepsilon^{\frac{-2}{3}} \dot{\epsilon} k^{\frac{-7}{3}}$$
(4.2)

Woodruff and Rubinstein⁽¹⁰⁾は多重スケール摂動法 を一様等方性乱流におけるエネルギーフラックスに 対する Heisinburg model に適用した。Heisinburg model は様々な運動スケール間の乱流エネルギー伝 達に対する非線形非局所相互作用の役割を捉えた closure である。Heisinburg model において、 Kolmogorovの-5/3 乗則を初項としてスペクトルの汎 関数とした摂動展開を行い、式(4.2)と同様な-7/3 乗 スペクトルを導出した。この展開の高次項を求める と、次式の階層的な指数を含んだスペクトルの近似 式が得られる。

$$E(k) \approx C_{\kappa} \varepsilon^{\frac{2}{3}} k^{-\frac{5}{3}} + C_{1} \dot{\varepsilon} \varepsilon^{-\frac{2}{3}} k^{-\frac{1}{3}} + \cdots$$
(4.3)

第2項は散逸率の時間微分 $\dot{\epsilon}$ を含んでいるため長時 間平均を取ると0となり、通常の長時間平均では定 常な-5/3 乗成分のみが抽出される。そこで散逸率の 時間微分 $\dot{\epsilon}$ の符号により条件付き平均を施し、式 (4.4)のように $\dot{\epsilon}$ が正値をとる Phase 1 と負値をとる Phase 2 に分類する。

$$\begin{cases} E^{+}(k) = E_{0}(k) + E_{1}^{+}(k) & (when \ \dot{\varepsilon} \ge 0 : \text{Phase 1}) \\ E^{-}(k) = E_{0}(k) + E_{1}^{-}(k) & (when \ \dot{\varepsilon} < 0 : \text{Phase 2}) \end{cases}$$
(4.4)

ここで、
$$E_1^-(k) \approx -E_1^+(k)$$
であることに注意すると、
 $E_0(k) = \frac{1}{2} \{E^+(k) + E^-(k)\}, E_1^+(k) = \frac{1}{2} \{E^+(k) - E^-(k)\}$ (4.5)

Fig.5 はこの条件付き平均を用い、DNS データか ら抽出されたスペクトルの絶対値を示すが、赤線で 示した $E_1^+(k)$ は-5/3 乗に、青線で示した $E_0(k)$ は-7/3 乗の勾配を有することが見て取れる。なお、 Kolmogorov 定数は $C_K \approx 1.58$ となる。Fig.6 は縦軸を 時間軸として、左側の枠でエネルギースペクトルの 長時間平均からの変動が正値をとる波数帯を赤色、 負値をとる波数帯を青色で示し、右側の枠は乱流エ ネルギー及び散逸率の時間変動を示している。この 結果から、Phase 1($\dot{\epsilon} > 0$)においては変動成分が低波 数領域で正値、高波数領域で負値を示しているのに 対し、Phase 2($\dot{\epsilon} < 0$)ではそれとは逆に低波数領域で 負値、高波数領域で正値をとっていることがわかる。 すなわち Phase 1 から Phase 2 に移行する際に低波数 領域から高波数領域へとエネルギーカスケードが生 じており、このように散逸率の時間微分*を*の符号に よって場合分けされる 2 つの Phase が明確に交互に 現れ、乱流中においてエネルギーが伝達されること が示唆される。

Fig.7 は LES により得られた GS エネルギースペク トルと DNS のスペクトルを示している。以下、波数 k は全て DNS データの Kolmogorov 長 η で正規化す る。両モデルにおいて、GS 成分の慣性小領域では 概ね-5/3 乗と-7/3 乗のスペクトルが抽出されている。 青線で示した Smagorinsky モデルは高波数成分で の減衰が過剰に予測されており、散逸的過ぎること が見て取れるが、赤線で示した 1 方程式モデルは DNS データと良い一致を見せており、改善されている。

Fig.8 と Fig.9 に、LES により得られた GS 成分の エネルギースペクトルの時間変化を示す。Fig.8 は Smagorinsky モデル、Fig.9 は 1 方程式モデルによ り得られた結果である。この二つの図を比較すると、 Smagorinsky モデルでは高波数帯での低減が顕著 であるのに対して、1 方程式モデルでは高波数成分 が励起され、高波数帯への伝達が強いと考えられる。 また、1 方程式モデルは Smagorinsky モデルと比較し て 2 つの Phase が明確に交互に現れていることが見 て取れる。



Fig.5 Energy spectra normalized by $(\langle \varepsilon \rangle \nu^5)^{1/4}$ obtained from DNS data are plotted versus $k\overline{\eta}$. red dashed line : -5/3spectrum blue solid line : -7/3spectrum







Fig.7 Energy spectra obtained from DNS and LES data. black line : DNS data, blue line: LES data using Smagorinsky model ($N=32^3$), red line: LES data using one-equation model ($N=32^3$)



Fig.8 Isocontours of $E_1^+(k)$ and $E_1^-(k)$ normalized by $(\langle \varepsilon \rangle \nu^3)^{1/4}$ obtained from LES data using Smagorinsky model (*N*=64³). The small frame shows the temporal variations of *K* and ε .



Fig.9 Isocontours of $E_1^+(k)$ and $E_1^-(k)$ normalized by $(\langle \varepsilon \rangle V^5)^{1/4}$ obtained from LES data using one-equation model (*N*=64³). The small frame shows the temporal variations of *K* and ε .



Fig.10 Isocontours of transfer function T(k) normalized by $\langle \varepsilon \rangle \overline{\eta}$ obtained from DNS data. The small frame shows the temporal variations of *K* and ε .



Fig.11 Isocontours of energy flux $\Pi(k)$ obtained from DNS data. The small frame shows the temporal variations of *K* and ε .

 エネルギー伝達関数による SGS モデル の検証

本節では、エネルギースペクトルの支配方程式、

$$\frac{\partial E(k,t)}{\partial t} = -2\nu k^2 E(k,t) + T(k,t) + F(k,t)$$
(5.1)

の中のエネルギー伝達関数 T(k)およびエネルギー流 束関数 Π(k)を用いて各モデルのエネルギー伝達の予 測精度の検証を行う。

$$T(\mathbf{k},t) = \frac{1}{2} \operatorname{Im} \left(u_n^*(\mathbf{k},t) P_{nlm}(\mathbf{k}) \int d^3 \rho u_l(\mathbf{p},t) u_m(\mathbf{k}-\mathbf{p},t) \right) (5.2)$$

$$\Pi(k,t) = \int_{k}^{\infty} T(k',t) dk'$$
(5.3)

ここで、 $\tilde{u}(\mathbf{k})$ は速度ベクトルのフーリエ変換、*は 共役複素数、 \tilde{P}_{nlm} は orthogonalising operator、 \mathbf{k} は波 数ベクトルである⁽¹¹⁾。

Fig.10はDNSデータから得られたエネルギー伝達 関数 T(k)の長時間平均からの変動が正値をとる波数 帯を赤色、負値をとる波数帯を青色で示し、右側の 枠は乱流エネルギー及び散逸率の時間変動を示して いる。この結果から、Fig.6のエネルギースペクトル の変動と同様に符号の反転が生じていることが見て 取れる。また、それらと同様に Phase 1 では低波数 領域(kn ≤ 0.5)において強いエネルギーゲインが存 在し、それが高波数へと伝達されていく顕著なエネ ルギーカスケードが確認されるが、一方 Phase 2 に おいては低波数領域のエネルギーゲインは減少し、 負値が支配的となる。これは Phase 1 においては次第 に大きなエネルギーを持つ大規模な構造が発達し、 Phase 2 に移行するにつれてエネルギーが大スケー ルから小スケールへと伝達されることと対応してお り、階層的な構造をもつ非平衡エネルギースペクト ルは速度の3成分相互作用(triad interaction)によって 誘起されることが示される。Fig.11はDNSデータか ら得られたエネルギー流束関数 Π(k)の長時間平均か らの変動が正値をとる波数帯を赤色、負値をとる波 数帯を青色で示し、右側の枠は乱流エネルギー及び 散逸率の時間変動を示している。この結果からも Fig.6 のエネルギースペクトルの変動と同様に符号 の周期的な反転が生じていることが見て取れる。



Fig.12 Isocontours of energy flux $\Pi(k)$ obtained from LES data using Smagorinsky model ($N=64^3$). The small frame shows the temporal variations of *K* and ε .





以上をまとめると、エネルギースペクトルの変動及 びエネルギー伝達関数の変動は散逸率 ε の時間変化 が正値の Phasel において低波数領域で正値、高波数 領域で負値を、ε の時間変化が負値の Phase2 におい て低波数領域で負値、高波数領域で正値をとる。この ように 2 つの Phase が交互に出現することで乱流中 においてエネルギーが伝達されることが示される。

Fig.12 と Fig.13 に、LES により得られた GS 成分 のエネルギー流束関数 $\Pi(k)$ の時間変化を示す。 Fig.12 は Smagorinsky モデル、Fig.13 は 1 方程式モデ ルにより得られた結果である。Fig.11 に示した DNS の結果と同様に、 $\Pi(k)$ は周期的な符号の反転を示す が、Smagorinsky モデルでは、その周期が DNS デー タに比べて短いのに対して、1 方程式モデルでは概 ね一致している。さらに、Smagorinsky モデルでは $k\bar{\eta} \ge 0.4$ の領域での $\Pi(k)$ の強度が DNS データに比べ て低く予測されており、SGS へのエネルギー伝達が 過小評価されていることがわかる。この過小評価は 1 方程式モデルでは大きく改善されており、これら の結果は§4 のエネルギースペクトルの結果と整合 している。

なお、格子点数 32³の LES 計算においても概ね同 様な結果が得られたことを付記する。

6.1 方程式モデルと非平衡スペクトルとの 相関

前節では、GS 成分のエネルギースペクトルと伝達 関数によって SGS モデルの比較を行い、高波数領域 において 1 方程式モデルに比べて Smagorinsky モデ ルの予測精度が低いことを示した。本節では、両モ デルの検証を各モデルが仮定する SGS エネルギー スペクトルの観点から行う。

SGS エネルギー K_G の支配方程式は、

$$\dot{K}_G = C_v \Delta K_G^{1/2} \left(2\overline{S}_{ij} \overline{S}_{ij} \right) - \frac{C_e K_G^{3/2}}{\Delta}$$
(6.1)

となる。
$$\tau = \delta t (\delta << 1)$$
とおき、 $K_{G}(\tau)$ を

$$K_G(\tau) = K_0 + \delta K_1(\tau) + \delta^2 K_2(\tau) + \cdots$$
(6.2)

と展開する。ここで、展開の初項を求めると、

$$K_0 = \frac{C_{\nu}}{C_{\varepsilon}} \Delta^2 \left(2\overline{S}_{ij} \overline{S}_{ij} \right) \tag{6.3}$$

となり、平衡状態を仮定した SGS エネルギー K_0 が得られるが、この解は Smagorinsky モデルに対応する。 Smagorinsky モデルは Kolmogorov の-5/3 乗則に整合 していることが示されている⁽⁸⁾が、式(6.3)を用いて 式(6.2)を書き換えると、

$$\dot{K}_{G} = \frac{C_{\varepsilon}}{\Delta} K_{0} K_{G}^{1/2} - \frac{C_{\varepsilon} K_{G}^{3/2}}{\Delta}$$
(6.4)

次に、SGS エネルギーKGの1 次展開

$$K_G(\tau) = K_0 + \delta K_1(\tau) \tag{6.5}$$

の解を求める。式(6.4)より、

$$\delta \frac{\partial K_G}{\partial \tau} = \delta \frac{\partial (K_0 + \delta K_1)}{\partial \tau} = \frac{C_\varepsilon}{\Delta} K_0 (K_0 + \delta K_1)^{1/2} - \frac{C_\varepsilon K_0^{3/2}}{\Delta}$$
(6.6)

式(6.6)において、

$$\frac{C_{\varepsilon}}{\Delta}K_0 (K_0 + \delta K_1)^{1/2} \approx \frac{C_{\varepsilon}}{\Delta}K_0^{3/2} \left(1 + \frac{\delta}{2}\frac{K_1}{K_0}\right)$$
(6.7)

のように近似し、両辺の O(δ)の項を比較すると、

$$K_1(t) = \frac{1}{\delta} \cdot 2\frac{\Delta}{C_{\varepsilon}} \left(\frac{\dot{K}_0}{K_0}\right) K_0^{1/2}$$
(6.8)

を得る。-5/3 乗則を用いて K₀を求めると、

$$K_{0} = \int_{\frac{\pi}{4}}^{\infty} E_{0}(k) dk = \int_{\frac{\pi}{4}}^{\infty} C_{K} \varepsilon^{\frac{2}{3}} k^{-\frac{5}{3}} dk = \frac{3}{2} C_{K} \varepsilon^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\Delta}{\pi}\right)^{\frac{2}{3}}$$
(6.9)

となる。式(6.8)に式(6.9)を代入して、

$$K_{1} = \frac{1}{\delta} \cdot \left[2 \left(\frac{2}{3} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\Delta}{\pi} \right)^{\frac{4}{3}} \pi \frac{C_{K}^{\frac{1}{2}}}{C_{\varepsilon}} \right] \dot{\varepsilon} \varepsilon^{-\frac{2}{3}}$$
(6.10)

を得る。 δK_1 に対応するエネルギースペクトル $E_1(k)$ を $E_1(k) \propto k^{-\alpha}$ と仮定して求めると、

$$\delta K_{1} = \int_{\pi/\Delta}^{\infty} E_{1}(k) dk = \int_{\pi/\Delta}^{\infty} C_{1} \left(\dot{\varepsilon} \varepsilon^{-\frac{2}{3}} \right) k^{-\alpha} dk = \frac{C_{1}}{\alpha - 1} \left(\frac{\pi}{\Delta} \right)^{-\alpha + 1} \dot{\varepsilon} \varepsilon^{-\frac{2}{3}}$$
(6.11)

(---

となる。式(6.10)と式(6.11)が等しいとすると、

$$\alpha - 1 = \frac{4}{3}, \qquad \frac{C_1}{\alpha - 1} = 2\left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{1}{2}} \pi \frac{C_K^{\frac{1}{2}}}{C_s}$$

$$\therefore \alpha = \frac{7}{3}, \qquad C_1 = 4\left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{2}} \pi \frac{C_K^{\frac{1}{2}}}{C_s}$$
(6.12)

となり、

$$E_{1}(k) = \frac{1}{\delta} 4 \left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{2}} \pi \frac{C_{\kappa}^{1/2}}{C_{\varepsilon}} \left(\dot{\varepsilon} \varepsilon^{-\frac{2}{3}}\right) k^{-\frac{7}{3}}$$
(6.13)

を得る。したがって、 K_1 は非平衡スペクトルの-7/3 乗成分に対応する。

まとめると、1 方程式モデルにおいて SGS のエネ ルギースペクトル *E*(*k*) は、

$$E(k) = E_0(k) + \delta E_1(k) + \cdots$$

= $C_K \varepsilon^{\frac{2}{3}} k^{-\frac{5}{3}} + C_1 \dot{\varepsilon} \varepsilon^{-\frac{2}{3}} k^{-\frac{7}{3}} + \cdots$ (6.23)

のような階層的なスケール指数の高次項を含んだス ペクトルであることがわかる。

以上より、GS エネルギーK_Gの定常・平衡状態を 仮定した Smagorinsky モデルでは-5/3 乗成分しか考 慮されていないのに対し、1 方程式モデルでは非定 常・非平衡な高次のスペクトル成分が取り入れられ ていることが示される。したがって、Smagorinsky モデルでは GS 成分ではスペクトルの-7/3 乗といっ た高次成分はとらえられているものの、対応する SGS 成分は考慮されていないのに対し、1 方程式モ デルでは SGS エネルギーが GS 成分の非定常変動に 追随することがわかる。このことが1 方程式モデル の高精度性の要因として考えられ、非平衡成分の存 在が SGS エネルギー伝達において重要な役割を果 たしていることが示唆される。

7. 結論

本稿では強制一様等方乱流の DNS データ、LES データを用いて LES の非平衡 SGS モデル解析を紹 介した。得られた結論の要約を下記に示す。

- ・強制一様等方乱流の DNS データを用いて、GS 成 分の非平衡エネルギースペクトルの抽出とエネル ギー伝達関数の解析を行い、エネルギーカスケー ド機構は 2 つの Phase に分けられ、各 Phase で-7/3 乗スペクトルの符号反転が生じ、GS の高波数成分 への伝達が起きる。
- ・LES において、SGS モデルの検証を行い、 Smagorinsky モデルは散逸的過ぎ、高波数成分への エネルギー伝達の予測精度が低いのに対し、1 方 程式モデルでは予測精度が改善される。
- ・1 方程式モデルに対応する SGS エネルギーの近似 解を求め、Smagorinsky モデルでは-5/3 乗成分しか 考慮されないのに対し、1 方程式モデルでは非平 衡成分が取り入れられることを示した。このため に SGS へのエネルギー伝達が改善すると考えら れる。
- ・最後に、Tabel1に各計算手法におけるメモリ使用 量と計算時間を示す。この表から DNS に比べ LES では著しい計算量の軽減が図れることがわかる。 また、1 方程式モデルは計算コードへの導入が比 較的容易であり、計算負荷の増加も 20%程度であ り、工学的実用性が高い。

計算手法	格子点数	CPU数	メモリ	計算時間(/1000steps)
LES(Smagorinskyモデル)	64 ³	1(SX-8R)	約900MB	約22分
LES(1方程式モデル)	64 ³	1(SX-8R)	約900MB	約25分
DNS	512 ³	1(SX-9)	約46GB	約20時間40分
DNS	512 ³	16(SX-9)	約46GB	約3時間10分
DNS	1024 ³	32(SX-9)	約350GB	約20時間

Table 1. Profiles of computed cases

本研究は、文部科学省科学技術研究費補助金 (No.20560148)により行われた。DNS と LES 計算の 実行には、大阪大学サイバーメディアセンターの SX-8,SX-9 システムを利用した。この利用に際して は、大阪大学サイバーメディアセンターから多くの 有益なご助言を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- Kolmogorov, A.N., The local structure of turbulence in incompressible viscous fluid for very large Reynolds number. *C.R.Acad.Sci.* USSR **30**(1941), 301-305.
- (2) Kaneda, Y., Ishihara, T., Yokokawa, M., Itakura, K., and Uno, A. Energy dissipation rate and energy spectrum in high resolution direct numerical simulations of turbulence in a periodic box. *Phys. Fluids* 15(2003), L21-L24.
- (3) Tsuji, Y., Intermittency effect on energy spectrum in high-Reynolds number turbulence. *Phys. Fluids* 16(2004), L43-L46.
- (4) Smagorinsky, J., General circulation experiments with the primitive equations, *Monthly Weather Rev.* 91(1963), 99-164.
- (5) Yoshizawa, A. and Horiuti, K., A Statistically-Derived Subgrid-Scale Kinematic Energy Model for the Large-eddy simulation of Turbulent Flows. J. Phys. Soc. Japan 54(1985), 2834-2839.
- (6) Horiuti, K., Large Eddy Simulation of Turbulent Channel Flow by One-Equation Modeling. J. Phys. Soc. Japan 54(1985), 2855-2865.
- (7) Rosales, C. and Meneveau, C., Linear forcing in numerical simulations of isotropic turbulence: Physical space implementations and convergence properties. *Phys. Fluids* 17(2005), 095106.

- (8) Lilly, D.K., On the application of the eddy viscosity concept in the inertial subrange of turbulence, NCAR Manuscript 123(1966).
- (9) Yoshizawa, A., Nonequilibrium effect of the turbulent-energy-production process on the inertial-range energy spectrum. *Phys. Rev. E* 49(1994), 4065-4071.
- (10) Woodruff, S.L. and Rubinstein, R., Multiple-scale perturbation analysis of slowly evolving turbulence. *J. Fluid Mech.* 565(2006), 95–103.
- (11)Domaradzki, J.A., Analysis of energy transfer in direct numerical simulations of isotropic turbulence, *Phys. Fluids* **31**(1988), 2747-2749.
- (12) Yoshizawa, A., Eddy-viscosity-type subgrid-scale model with a variable Smagorinsky coefficient and its relationship with the one-equation model in large eddy simulation. *Phys. Fluids* A 3(8) (1991), 2007-2009.
- (13) Dejoan, A. and Schiestel, R. LES of unsteady turbulence via a one-equation subgrid-scale transport model. J. Heat and Fluid Flow 23(2002),398-412.

レーザープラズマシミュレーションのための2次元輻射流体コード

長友 英夫 大阪大学 レーザーエネルギー学研究センター

1. はじめに

大阪大学レーザーエネルギー学研究センター (以下、阪大レーザー研)では、レーザー核融合 の高速点火核融合[1,2]をはじめ、大型レーザーを 用いた様々なレーザープラズマに関する研究を行 っている[1]。通常、レーザープラズマに関する実 験は極めて短時間、微小空間内で行われることか ら、高度な実験・計測技術だけでなく計算シミュ レーションによる解析、実験設計が重要な役割を 担う。このため、様々なコードの開発研究も含め たシミュレーション研究が行われている。

プラズマのシミュレーションでは、解析したい 現象に応じたコードの選択が必要である。例えば、 プラズマは電磁気現象であるが、電磁気力は到達 距離が長いため遮蔽の効果に依存して空間スケー ルが変動する。また、電子とイオンという2成分 の粒子が混在しているが、これらの質量比が大き いため、電磁場に対する応答に大きな差が生じる。 シミュレーションでは解像度・時間ステップなど の制約により、大きなスケール差がある現象を同 時に解析することは難しく、このためコードの選 択が重要になるのである。ここでは、高速点火核 融合のシミュレーション解析用に開発された FI³ (Fast Ignition Integrated Interconnecting simulation system) の概要を紹介し、サイバーメディアセンタ ー (以下、CMC) のコンピュータの活用例を示す。

2. レーザープラズマシミュレーション概要

高強度のレーザーを固体物質に照射した場合、 物質表面は瞬時に溶融、気化を経てプラズマ化さ れる。レーザーの強度や解析した物理の時間、空 間スケールによっては、プラズマは局所的に熱平 衡状態である場合、およびそうでない場合があり 両者を解くシミュレーション手法はお互い大きく 異なる。



図1:FI³の概要とデータの流れ。各コードに適した計算機でシミュレーションが実行され、必要なデータは ネットワークを介して授受する。 前者の場合は、プラズマは連続体、すなわち流 体近似して扱うことができる。流体近似するとは いえ、多くの点で、一般的な空気や水などの流体 シミュレーションとは異なる。例えば、短時間の レーザー照射・吸収によってエネルギーが付与さ れるために、固体、液体、プラズマと急激な相変 化を伴う。しかも、プラズマの温度は極めて高く 電子・イオンの熱伝導だけでなく、輻射によるエ ネルギー輸送も無視できなくなる。これらの計算 はベクトル並列計算機に適しており、主に CMC の SX-8, SX-9 で実行している [3]。

一方、後者の場合、超高強度レーザー場にある 電子は極めて高いエネルギーになり相対論を考慮 した運動になる。当然、プラズマは強い非平衡状 態であることから粒子(電子、イオン)の運動は 運動論的に取り扱わなければならない。このため、 粒子-電磁場、粒子-粒子などの相互作用を含む運動 を逐一記述する電磁粒子法が用いられている。各 粒子は位置、速度情報を持ち、それらの分布を考 慮して空間情報(電場、磁場)が求まる。ただし、 計算には多大なメモリーを必要とし、比較的並列 処理に適していることから、CMC の PC クラスタ を主に利用している。ただし、現状の PC クラスタ ではシミュレーション可能な空間サイズ、時間ス ケールには大きな制約があるため、阪大レーザー 研の大型レーザーを用いたレーザープラズマ相互 作用の実験の3次元実スケールシミュレーション は行えていない [4,5]。

このため、レーザーとプラズマが直接相互作用 をする領域以外は、高速電子を相対論フォッカー プランク方程式で近似し、高速電子輸送を計算す る手法を採用している[6]。背景のバルクプラズマ は流体として扱い、高速電子とバルクプラズマの 衝突を考慮している。流体コードと同様、フォッ カープランク方程式の解法は、ベクトル並列処理 に適していることから主に CMC の SX-8, SX-9 で 計算を行っている。

以上に示したように、FI³では3つのコード、す なわち、マクロ的なプラズマを記述する輻射流体 コード (PINOCO)、相対論的レーザープラズマ相 互作用を解析するコード (相対論的電磁粒子コー ド:FISCOF1D、または2D)、および高速電子の伝 播とコア加熱を解析するコード (2次元相対論的 フォッカープランクコード:FIBMET)から成り立 っており、それぞれは独立して実行できる。統合 シミュレーションが必要な場合は、それらの間を 通信プロトコルによってデータを授受することに よって連結される。図1にFI³の概要とデータフロ ーを示す。

3. コード間の通信方法

冒頭で述べた通り、これまでに述べた各コード は、お互い密接に関係している。しかし、それぞ れに適したスーパーコンピュータで実行するよう に最適化されているため、すべてを一つのコード に統合して実行することは困難である。それぞれ 適切なコンピュータで実行し、必要に応じでデー タの授受を行うことでコード間の整合性を保つこ とにした。その際、FI³におけるデータのやりとり は、坂上らによって開発されたネットワークプロ $\vdash \exists \mathcal{N}, \text{ DCCP }$ (Distributed Computing Collaboration Protocol) を用いて行っている[7]。DCCP は可搬性 の高い TCP/IP 経由の通信プロトコルであり、異な るアーキテクチャ,例えば SX-8, SX-9 などのスー パーコンピュータと PC クラスタ、パソコンなどと の間でもインターネット経由のデータ転送が可能 である。特に、FI³の各コードは、超並列コンピュ ータ向きの電磁粒子コード、ベクトルコンピュー タ向きの輻射流体コード、フォッカープランクコ ードがあるが、これらをつないでデータ転送する ことも可能である。最近では、SINET を介して阪 大の PC クラスタと東北大の SX-9 とを繋いだテス トシミュレーションにも成功しており、将来的に は複数の大規模計算の連携計算に非常に有効であ ると考える。

4. 計算例

コードを連結したシミュレーション結果の例と

して阪大レーザー研で行われている高速点火実験 とほぼ同じ条件のシミュレーション結果を示す[8]。 爆縮レーザーは 3kJ で、加熱レーザーによって発生 した 5kJ の電子ビームを入射した。輻射流体シミュ レーションによって得られた、電子ビームの入射 直前の爆縮コアの密度、および電子温度分布を図 3に、電子ビームを入射したことによる加熱効率 を図4にそれぞれ示す。爆縮によって先端が崩れ たコーンを電子ビームが通過する場合強い磁場が 生成され、このような形状ではビームを発散させ る向きの磁場が支配的となる。その結果、高速電 子ビームの広がり角は大きくなり、高密度領域に



図2:爆縮シミュレーションで得られた密度、温度 分布に電子ビームを与え、相対論高速電子輸送コ ードで加熱過程のシミュレーションを行った。



at t=3ps (w E&B-field)

図 3:高速電子によるコーン先端から爆縮プラズマ における加熱率[W/cm3]の分布。上図が磁場の効果 を考慮していない場合で、下図が磁場の効果を考 慮した場合。 吸収されるエネルギーが低下したことが明らかに なった。また、磁場の影響だけでなくコーン先端 における衝突効果による散乱の影響も明らかにな った。これまでの研究ではこのようなメカニズム はほとんど理解されていなかったが、統合シミュ レーションによって個々の物理メカニズムとその 相互作用が全体に及ぼす影響が明らかになってき ている。このような多階層連結シミュレーション は、レーザー核融合の高速点火実験の最適設計に 活用されているほか、医療用粒子ビーム発生のシ ミュレーションなどへの応用が考えられている。

5. まとめ

CMCにおいて実施されているレーザープラズマ シミュレーション例を示した。それぞれのコード は様々な物理モデルが含まれており、コードの最 適化チューニングには多大な労力が必要であるが、 CMC のベクトル並列マシンと PC クラスタの環境 下であれば比較的容易に実行させることが可能で ある。すなわち、研究の最先端のモデルを考慮し た結果を迅速に得ることができる。

参考文献

- (1) M. Tabak, et al., Phys. Plasmas 1, 1626, (1994).
- (2) R. Kodama, et al., Nature, 418, 933, (2002).
- (3) H. Nagatomo, et. al., Phys. Plasmas 14 056303 (2007).
- (4) H. Sakagami, et. al, Laser Part. Beams, 24, 191-198, (2006).
- (5) H. Nagatomo, et. al., Phys. Plasmas 14 056303 (2007).
- (6) T. Johzaki, et al., J. Plasma Fusion Res., Ser, 6, 341, (2004).
- (7) T. Sakaguchi, et al., Parallel and Distributed Computing: Applications and Technologies, Springer-Verlag, 90-93, (2004).
- (8) T. Johzaki, et al., J. Phys.: Conf. Ser. 244 022040 -1-4, (2010).

センター報告

・第16回スーパーコンピューティングコンテスト(SuperCon2010)	- 33
 ・2010 年度利用者講習会アンケート集計結果 	- 34
 ・大規模計算機システム Q&A・LINK 集 	- 37
・2010 年度大規模計算機システム利用相談員・指導員名簿	- 40

第16回スーパーコンピューティングコンテスト(SuperCon2010)

大阪大学 サイバーメディアセンター 大規模計算科学研究部門 時田 恵一郎

1. 「電脳甲子園」

2010年8月23日から27日までの5日間に わたって、高校生を対象とする「スーパーコンピュー ティングコンテスト(SuperCon2010)」が、東京工業 大学学術国際情報センター(GSIC)及び大阪大学サ イバーメディアセンター(CMC)で開催されました。

このコンテストは、2名又は3名を1チームとす る高校生参加者たちが、与えられた課題を解くプロ グラムを3日間に渡って作成し、最終日にスーパー コンピュータで実行して、解答の正確さや計算の速 さを競うもので、そのレベルの高さから、別名「電 脳甲子園」とも呼ばれています。

1995年の第1回から2005年の第11回ま では東工大GSICの単独主催でしたが、2006年の 第12回からは阪大CMCも共同主催しています。富 士川以東 50Hz 地域からの10チームは東工大で、 60Hz 地域からの10チームは阪大でプログラミン グを行いますが、Wikiやポリコムなどで相互に交流 し、開会式・表彰式などもポリコムを使った二元中 継で行います。

4日間にも渡る長丁場で、実際にスーパーコン ピュータを高校生が使うことができるという、世界 的にも大変ユニークなコンテストです。毎年交互に 両大学のスーパーコンピュータを使います。200 7年は阪大 CMC の SX-8R、2009年は SX-9が使わ れました。今年は東工大 GSIC の TSUBASA が使われま した。

過去の出場者が大学進学後に国際大学対抗プログ ラミングコンテストで活躍するなど、次世代の情報 科学を担う若手育成にも貢献しており、平成20年 度の文部科学大臣賞も受賞しました。

2. 予選

今年の予選課題は、長方形の歩道にレンガを敷き 詰める方法の総数を求める問題が出題されました。 課題は6月1日にウェブに公開され、6月22日正 午までに課題を解くプログラムを添えてメールで申 し込みます。参加者が2名以上集まらない人のため に、希望者には「認定証」も発行しています。予選 課題を正確に解くプログラムが書けたら、「スーパー コン1級」が認定されます。

今年の予選には、全国から29校42チームが参 加し、例年以上の激戦を勝ち抜いた上位15校20 チーム(東工大会場7校10チーム、阪大会場8校 10チーム)が本選出場を果たしました。

3. 本選

本選課題も予選課題と同様ですが、建物などの障 害物が存在する広場にレンガを敷き詰める方法の総 数を求めるもので、実は最先端の物理学の研究とも 関係のある難問です。総数自体は膨大な数となり オーバーフローを起こしてしまうので、与えられた 整数で割った余りを答えます。このような問題がた くさん与えられ、できるだけ速くかつ多く解答する プログラムを作成したチームが優勝です。

熱戦の結果、筑波大学附属駒場高等学校(東京都) のチーム ZATORIKU(原将己君、吉里陸君、河合眞 一郎君)が優勝を果たしました。2位は早稲田高等 学校(東京)のチーム warosu、3位は八千代樟蔭高 等学校(千葉)のチーム nemui となりました。また、 審査の結果、アルゴリズムを工夫して優れたプログ ラムを作成したチームに、電子情報学会と情報処理 学会から贈られる学会奨励賞は、甲陽学院高等学校 (兵庫県)のチーム YAMERO に授与されました。

最終日の成果発表会、表彰式の後には、軽食やお やつが出される懇親会も行われ、高校生参加者たち は、両大学の教授、大学院生チューターらとプログ ラミングや大学生活などについて語り合いました。 また、両会場のスーパーコンピュータの見学会も行 われ、高校生たちは初めて見るマシンに目を輝かせ ていました。

参考

SuperCon2010 ホームページ: http://bit.ly/gKpcS8

2010 年度利用者講習会 アンケート集計結果

講 習 会 名	講 習 会 名 開催日時		受講者数	554 T		アンケート		
		1.02 11.224	2300 14 223	学内	学外	回収数		
SXのベクトル化・並列化の基礎からチューニングまで	7月8日(木) 10:30~16:00	15	19	15	4	11		
CMCのPCC利用者のためのインテルソフトウェア開発 ツールの初歩からチューニングまで	7月9日(金) 10:30~17:00	16	17	15	2	8		
初心者のためのスーパーコンピュータ入門 (ベクトル化・並列化の基礎からチューニングまで)	9月3日(金) 10:00 ~ 17:00	9	11	2	9	11		
IDL利用入門	9月13日(月) 13:30~17:00	8	8	8	0	8		
AVS可視化処理応用 (AVS/Express & Fortranプログラム入門)	9月28日(火) 10:00~17:00	5	6	6	0	4		
合 計		53	61	46	15	42		

	あなたは	本センター	ーの利用者	ですか?	所属は	? 職種!	ま?							
講 習 会 名		利用者		所属			職名							
	itto	しいいえ	無同容	学内	学外	無同物	教員	技術職員	非政策的	大学院生	学部学生	研究生	その他	無回答
SXのベクトル化・並列化の基礎からチューニングまで	7	4		7	3	1				7	3			1
CMCのPCC利用者のためのインテルソフトウェア開発 ツールの初歩からチューニングまで	6	2		6	2		2	1		3			2	
初心者のためのスーパーコンピュータ入門 (ベクトル化・並列化の基礎からチューニングまで)	5	5	1	2	9			2			8			1
IDL利用入門	3	5		7		1				3	3		2	
AVS可視化処理応用 (AVS/Express & Fortranプログラム入門)	2	1	1	4						2	1			1
合 計	23	17	2	26	14	2	2	3	0	15	15	0	4	3

講 習 会 名	どういう方法	までこの講習	会を知りまし	開催日時は適当ですか?					
	ホームページ	研究室の教 員	研究室の知 人	メール	その他	適当	普通	不適当	わからない
SXのベクトル化・並列化の基礎からチューニングまで		8		2	1	6	4	1	
CMCのPCC利用者のためのインテルソフトウェア開発 ツールの初歩からチューニングまで		4	1	2	2	6	2		
初心者のためのスーパーコンピュータ入門 (ベクトル化・並列化の基礎からチューニングまで)		7	2	2	1	5	6		
IDL利用入門		6		2		6		1	1
AVS可視化処理応用 (AVS/Express & Fortranプログラム入門)		2		1	1	2	2		
合 計	0	27	3	9	5	25	14	2	1

講 習 会 名	希望した	内容に満	足しました	:か?			これからの研究に役立ちますか?						
	大変満足	满足	普通	悪い	わからない	無回答	大変役立つ	役立つ	普通	役立たな い	わからない	無回答	
SXのベクトル化・並列化の基礎からチューニングまで	2	2	5		2		1	4	4		2		
CMCのPCC利用者のためのインテルソフトウェア開発 ツールの初歩からチューニングまで	4	1	3				3	2	2		1		
初心者のためのスーパーコンピュータ入門 (ベクトル化・並列化の基礎からチューニングまで)	3	5	3				3	7			1		
IDL利用入門	2	1	5				1	6			1		
AVS可視化処理応用 (AVS/Express & Fortranプログラム入門)	2	1	1				1	3					
合 計	13	10	17	0	2	0	9	22	6	0	5	0	

講 習 会 名	講習内容は	は理解できま	したか?		講習会資料は適当で満足しましたか?						
	よく理解 できた	大体理解 できた	まったく理解 できなかった	無回答	大変満足	満足	普通	悪い	無回答		
SXのベクトル化・並列化の基礎からチューニングまで	1	9		1	4	6	1				
CMCのPCC利用者のためのインテルソフトウェア開発 ツールの初歩からチューニングまで	2	4	2	- 	1	4	3				
初心者のためのスーパーコンピュータ入門 (ベクトル化・並列化の基礎からチューニングまで)	4	5		2	3	7	1				
IDL利用入門	1	7			2	4	2				
AVS可視化処理応用 (AVS/Express & Fortranプログラム入門)	1	3			2		2				
合 計	9	28	2	3	12	21	9	0	0		

講 習 会 名		なければ、 対象にご るでしょう	回答内容
	回答	無回答	
SXのベクトル化・並列化の基礎からチューニングまで	6	5	プラズマ像のイメージング。レーザープラズマに関する粒子シミュレーショ ン。計算用プログラムの解読・チューニング。プラズマ粒子計算。 FORTRANのプログラム書き換え。自身のコードの作成・チューンアップ。
CMCのPCC利用者のためのインテルソフトウェア開発 ツールの初歩からチューニングまで	3	5	プラズマ診断のためのプログラミング。プラズマの粒子計算。物理シミュ レーション。
初心者のためのスーパーコンピュータ入門 (ベクトル 化・並列化の基礎からチューニングまで)	3	8	計算。流体の数値計算。研究。
IDL利用入門	6	2	卒業研究等。研究。画像解析。画像処理(SEM画像)。月の研究に利 用。数值simulation結果の解析・可視化。
AVS可視化処理応用 (AVS/Express & Fortranプログ ラム入門)	2	2	粒子シミュレーション。研究。
合 計	20	22	

講 習 会 名	あなたは、ス がありますか	あなたは、スーパーコンピュータを使ったこと がありますか?				今後、大規模計算機システムのスーパーコ ンピュータの科学技術計算を利用されます か?			
	ある	ない	その他	無回答	する	しない	その他	無回答	
SXのベクトル化・並列化の基礎からチューニングまで	5	6			8	2	1		
CMCのPCC利用者のためのインテルソフトウェア開発 ツールの初歩からチューニングまで	5	3			6	1			
合計	10	0	0	0	14	3	1	0	

講 習 会 名		あなたは、スーパーコンピュータを使ったこと がありますか?				今後、大規模計算機システムのスーパーコ ンピュータの科学技術計算を利用されます か?			
	Fortran言 語	C言語	Gaussian	その他	無回答	する	しない	その他	無回答
初心者のためのスーパーコンピュータ入門 (ベクトル化・並列化の基礎からチューニングまで)	3	4		1	4	6	3		2
IDL利用入門	2			1	5	3	2	1	2
AVS可視化処理応用 (AVS/Express & Fortranプログラム入門)	2			1	1	3			1
合計	7	4	0	3	10	12	5	1	5

講 習 会 名		今後、大規模計算機システムのアプリ ケーションサーバの科学技術計算を利 用されますか?				今後、大規模計算機システムのアプリ ケーションを利用されますか?			
	する	しない	その他	無回答	する	しない	その他	無回答	
SXのベクトル化・並列化の基礎からチューニングまで	3	4	4		3	4	4		
CMCのPCC利用者のためのインテルソフトウェア開発 ツールの初歩からチューニングまで	2	3	1	2	2	3	1	2	
合計	5	7	5	2	5	7	5	2	

大規模計算機システム Q&A・LINK 集

利用について

1. 大規模計算機システムにログインする方法を教えてください。

ログイン先はログインサーバ(login.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp)となります。また、接続には SSH に対応し たターミナルが必要となります。(本システムでは Windows の場合、TeraTerm を推奨しています。) 詳細な手順は下記の URL をご覧ください。

http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/j/tebiki/login.html

2. スーパーコンピュータを使用して計算を行う方法を教えてください。

大まかには以下の様な流れになります。

- 1) プログラムのソースファイルをフロントエンド端末でコンパイルします。その際、実行したい スーパーコンピュータ(SX-8R、SX-9、PCC)に合ったクロスコンパイルを行う必要があります。
- 2) プログラムを実行する際に使用する資源(CPU数、メモリサイズ、ノード数等)とプログラム名 を指定したジョブスクリプトを作成します。
- 3) 作成したジョブスクリプトを NQS キューに投入します。
- 4)数分~数日後、スーパーコンピュータの空き状態やジョブ実行優先順位(フェアシェア値)に 適したタイミングでプログラムが実行されます。

具体的な手順については下記の URL をご覧ください。

http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/j/service/front_guide.html

また、下記の URL のページにある各リンク先のページも参考にしてください。

http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/j/tebiki/manual-sx.html

3. 大規模計算機システムにファイル転送を行う方法を教えてください。

ファイルを転送する為にはファイルサーバ(ftp.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp)に接続する必要があります。そ の際に必要となるアカウントは大規模計算機システムのアカウントとなり、ファイルの転送先は大規模 計算機システムのホームディレクトリになります。また、ファイルサーバに接続するためには SSH に対 応したファイル転送ソフトが必要になります。(Unix/Linux:sftp、scp、Windows:WinSCP など) 詳細な設定、手順は下記の URL をご覧ください。(sftp、scp、WinSCP を例に手順を記述しています) http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/j/tebiki/file_transfer.html

4. パスワードの変更方法を教えてください。

大規模計算機システムへログインするアカウントと大規模計算機システムポータルにログインするア カウントは共通となっています。パスワードの変更は大規模計算機システムポータルの Web ページから のみ可能です(コマンドラインからは行えません)。

パスワード変更する為には下記の URL の「★パスワード変更のお願い」のリンク、またはログイン後の「パスワード変更」タブを選択してください。

https://portal.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/

なお、Mac OS を利用されている場合は Firefox をご利用ください。

サポートについて

5. 大規模計算機システムのサポート情報を教えてください。

問い合わせ頂く内容により、担当部署が変わります。大規模計算機システムの利用に関する質問や、 問い合わせ先が不明な質問は研究系システム班(system@cmc.osaka-u.ac.jp) 宛にお問い合わせください。 その他、問い合わせ先等の詳細は下記の URL をご覧ください。

http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/j/support/inquiry.html

また、大規模計算機システムで提供しているアプリケーションやライブラリについての質問や、実行 するプログラムに関する質問は利用相談員 (hpc-support@hpc.cmc.osaka-u.ac.jp) 宛にお問い合わせくださ い。

詳細は下記の URL をご覧ください。

http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/j/support/advisor.html

6. 各種マニュアルの利用方法を教えてください。

SX-8R、SX-9 用プログラム関係(C、Fortran、MPI、ASL など)や、NQS 関係のマニュアルについて は大規模計算機システムポータルの Web ページに掲載しております。

下記の URL にてログイン後、「マニュアル」タブを選択してください。

https://portal.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/

その他、本サイバーメディアセンターにて提供しているアプリケーション等のマニュアルについては 研究系システム班 (system@cmc.osaka-u.ac.jp) 宛にお問い合わせください。

運用について

7. 大規模計算機システムを利用する為の利用資格を教えてください。
 利用資格は下記の URL をご覧ください。
 http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/j/shikaku/index.html

大規模計算機システムを利用する際に必要な負担金について教えてください。
 本センターの負担金は、登録時に一定額を支払っていただく年間登録制をとっており、登録後の利用による負担金は発生しません。なお、負担金の金額に応じてジョブ実行優先順位(フェアシェア値)、並列実行 CPU 数、メモリサイズ、ファイル使用量などの利用可能な資源に制限をかけています。
 詳細は下記の URL をご覧ください。

http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/j/futankin/index.html

9. 大規模計算機システムの利用申請の手続きなど、申請関係の情報を教えてください。

利用申請の手続きには、本サイバーメディアセンター指定の利用申請書を提出して頂く必要がありま す。

利用申請の手続きについては下記 URL をご覧ください。

http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/j/shinsei/index.html

提出して頂く為の利用申請書と、パスワードが不明となった場合に提出して頂くパスワード変更届は、

下記の URL からダウンロード可能となっています。

http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/j/shinsei/forms.html

特に、利用申請書を記入される際は、下記 URL の記入要綱を参考にしてください。

http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/j/shinsei/youkou.html

年度を越えて利用を継続される場合は、本サイバーメディアセンターからお送りする書類(継続利用 申請書)に必要事項を記入の上、書類受取時~3月中旬までに提出して頂く必要があります。

下記の URL を参考にしてください。

http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/j/shinsei/chuui.html

10. 大規模計算機システムの試用制度について教えてください。

試用制度とは、利用資格のある方を対象とした、無料で大規模計算機システムを利用できる制度です。 利用可能な資源は、1万円の負担金を支払った場合と同等となりますが、利用可能期間は4月~9月に申 請なら3ヶ月間、10月~3月に申請なら1ヶ月間となります。利用申請はWebページから受け付けてい ます。

詳細と、利用の申請については下記の URL をご覧ください。

http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/j/futankin/shiyou.html

その他

他大学の情報基盤センターについて教えてください。
 他大学、機関については下記の URL のリンクを選択してください。
 http://www.cmc.osaka-u.ac.jp/j/intro/link.html

2010年度大規模計算機システム利用相談員・指導員名簿

【利用相談員】 委嘱期間:2010.6.1~2011.3.31

氏名	所属	職名
高木 達也	大阪大学大学院薬学研究科	教授
山井 成良	岡山大学情報統括センター	教授
武知 英夫	阿南工業高等専門学校機械工学科	准教授

【利用指導員】 委嘱期間:2010.6.1~2011.3.31

氏 名	所属	職名
板野 智昭	関西大学システム理工学部	准教授
藤 堅正	近畿大学理工学部	講師
武知 英夫	阿南工業高等専門学校機械工学科	准教授

利用規程等

 ・規程関係	43
大阪大学サイバーメディアセンター大規模計算機システム利用規程	43
大阪大学サイバーメディアセンター大規模計算機システム利用負担額一覧	45
大阪大学サイバーメディアセンター大規模計算機システム試用制度利用内規	46
大阪大学サイバーメディアセンター大規模計算機システム利用相談員指導員内規	46
大型計算機利用大阪地区(第6地区)協議会規程	47
ネットワーク専門部会内規	47
 ・ 附表	49
大規模計算機システム ホスト一覧	49
SX-8R、SX-9 及び PC クラスタのジョブクラス一覧 覧	49

・規程関係

大阪大学サイバーメディアセンター大規 模計算機システム利用規程

- 第1条 この規程は、大阪大学サイバーメディアセンター(以下「センター」という。)が管理・運用する全国共同利用の スーパーコンピュータシステム及びワークステーションシ ステム(以下「大規模計算機システム」という。)の利用に 関し必要な事項を定めるものとする。
- 第2条 大規模計算機システムは、学術研究及び教育等のために利用することができるものとする。
- 第3条 大規模計算機システムを利用することのできる者 は、次の各号のいずれかに該当する者とする。
- (1) 大学、短期大学、高等専門学校又は大学共同利用機関の 教員(非常勤講師を含む。)及びこれに準ずる者
- (2) 大学院の学生
- (3) 学術研究及び学術振興を目的とする国又は地方公共団 体が所轄する機関に所属し、専ら研究に従事する者
- (4) 学術研究及び学術振興を目的とする機関(前号に掲げる 機関を除く。)で、センターの長(以下「センター長」という。)が認めた機関に所属し、専ら研究に従事する者
- (5) 科学研究費補助金の交付を受けて学術研究を行う者
- (6) 第1号、第3号又は第4号の者が所属する機関との共同 研究に参画している民間企業等に所属し、専ら研究に従事 する者
- (7) 前各号のほか、特にセンター長が適当と認めた者
- 第4条 大規模計算機システムを利用しようとする者は、所 定の申請を行い、センター長の承認を受けなければならな い。ただし、前条第6号の者は、この限りでない。
- 2 前項の申請は、大規模計算機システム利用の成果が公開で きるものでなければならない。
- 第5条 センター長は、前条第1項による申請を受理し、適 当と認めたときは、これを承認し、利用者番号を与えるも のとする。
- 2 前項の利用者番号の有効期間は、1年以内とする。ただし、 当該会計年度を超えることはできない。
- 第6条 大規模計算機システムの利用につき承認された者(以下「利用者」という。)は、申請書の記載内容に変更を生じた場合は、速やかに所定の手続きを行わなければならない。
- 第7条 利用者は、第5条第1項に規定する利用者番号を当 該申請に係る目的以外に使用し、又は他人に使用させては ならない。
- 第8条 利用者は、当該申請に係る利用を終了又は中止した ときは、速やかにその旨をセンター長に届け出るとともに、 その利用の結果又は経過を所定の計算機利用報告書により センター長に報告しなければならない。
- 2 前項の規定にかかわらず、センター長が必要と認めた場合

は、計算機利用報告書の提出を求めることができる。

- 第9条 利用者は、研究の成果を論文等により公表するとき は、当該論文等に大規模計算機システムを利用した旨を明 記しなければならない。
- 第10条 利用者は、当該利用に係る経費の一部を負担しなけ ればならない。
- 第11条 前条の利用経費の負担額は、国立大学法人大阪大学 諸料金規則に定めるところによる。
- 第12条 前条の規定にかかわらず、次の各号に掲げる場合に ついては、利用経費の負担を要しない。
- (1) センターの責に帰すべき誤計算があったとき。
- (2) センターが必要とする研究開発等のため、センター長が 特に承認したとき。
- 第13条 利用経費の負担は、次の各号に掲げる方法によるものとする。
- (1) 学内経費(科学研究費補助金を除く。)の場合にあっては、 当該予算の振替による。
- (2) 前号以外の場合にあっては、本学が発する請求書の指定 する銀行口座への振込による。
- 第14条 センター長は、この規程又はこの規程に基づく定め に違反した者その他大規模計算機システムの運営に重大な 支障を生じさせた者があるときは、利用の承認を取り消し、 又は一定期間大規模計算機システムの利用を停止させるこ とがある。
- 第15条 この規程に定めるもののほか、大規模計算機システ ムの利用に関し必要な事項は、センター長が定める。
- 附 則
- 1 この規程は、平成12年4月1日から施行する。
- 2 大阪大学大型計算機センターの利用に関する暫定措置を 定める規程(昭和43年9月18日制定)は、廃止する。
- 3 この規程施行前に大阪大学大型計算機センターの利用に 関する暫定措置を定める規程に基づき、平成12年度の利用 承認を受けた利用者にあっては、この規程に基づき利用の 登録があったものとみなす。
- 附 則
- この改正は、平成13年1月6日から施行する。
- 附 則
- この改正は、平成13年4月1日から施行する。
- 附 則
- この改正は、平成14年4月1日から施行する。

附 則

- この改正は、平成 14 年 6 月 19 日から施行し、平成 14 年 4 月 1 日から適用する。
- 附 則
- この改正は、平成15年4月1日から施行する。
- 附 則
- この改正は、平成16年4月1日から施行する。

附 則 この改正は、平成18年2月15日から施行する。 附 則 この改正は、平成19年9月28日から施行する。 附 則 この改正は、平成20年4月16日から施行する。

大規模計算機システム利用負担額一覧

(国立大学法人大阪大学諸料金規則第3条(17)サイバーメディアセンター大規模計算機システム利用経費負担額)

	計算機資源の		スーパーコ				
		SX-	-8R	SX	-9	ファイル	年間負担額 (後期利用は半額)
区分	シェア値	並列実行 C P U 数	メモリ制限	並列実行 CPU数	メモリ制限	利用の 制限	
	1	4	16GB	備考 11	備考 11	50GB	0円(備考7)
	1	4	16GB	備考 11	備考 11	50GB	1 万円
基	10	4	32GB	4	256GB	1TB	10 万円
本 負 担	50	8	制限なし	8	512GB	2TB	50 万円
額	100	制限なし	制限なし	制限なし	制限なし	ЗТВ	100 万円
	260	制限なし	制限なし	制限なし	制限なし	4TB	200 万円
	450	制限なし	制限なし	制限なし	制限なし	5TB	300 万円
ファイル追加 オプション	ファイル追加 100GB につき 1 万円						
消費税額	上記負担額で算出した合計額に 100 分の 5 を乗じて得た額						

備考

- 1 基本負担額は年度の最初の登録時に算出する。
- 2 各基本負担額の制限内でスーパーコンピュータ、クラスタシステム、ファイルなど計算機資源を利用できる。なお、 スーパーコンピュータ、クラスタシステムにおける CPU・メモリなどの計算機資源は、フェアシェアスケジュール機 能により設定したシェア値に応じて割り当てられる。
- 3 基本負担額1万円の場合、登録者数は1名とする。その他の場合、登録者数は特に制限を設けない。
- 4 後期(10月~3月)利用の基本負担額及びファイル追加オプションは、年間負担額の半額とする。
- 5 上記の基本負担額以外に 50 万円単位での申請を 1,000 万円を上限として受け付ける。その場合のシェア値及びファ イル利用の制限の設定については以下のとおりとする。 シェア値は、300 万円未満が基本負担額の 1.3 倍、300 万円以上が基本負担額の 1.5 倍とする。 ファイル利用の制限は、50 万円につき 0.5TB を加算する。
- 6 ファイルサーバはファイル使用量の制限内で利用できる。なお、制限値以上の利用は 100GB 単位での追加オプション となる。
- 7 別に定める試用制度による利用を認められた者は、基本負担額1万円の場合と同じ資源を、登録のあった月から、前期(4月~9月)3ヶ月間、又は後期(10月~3月)1ヶ月無料で利用できる。ただし、当該会計年度を越えての利用はできないものとする。
- 8 大学院の学生が基本負担額1万円で利用する場合、負担額を半額とする優遇措置を受けられる。
- 9 企業利用者は、科学研究費補助金及び共同研究プロジェクトでの利用を除き負担額を3倍の設定とする。
- 10 先端研究施設共用イノベーション創出事業に係る利用期間は四半期単位とする。なお、負担額は前項の年間負担額の 1/4の設定とする。
- 11 試用制度及び基本負担額1万円でSX-9を利用する場合、ジョブクラス表のデバッグクラス(DBG9)のみを可能とする。

大阪大学サイバーメディアセンター大規 模計算機システム試用制度利用内規

- 第1条 この内規は、大阪大学サイバーメディアセンター(以下 「センター」という。)が管理運用する全国共同利用のスー パーコンピュータシステム及びワークステーション(以下「大 規模計算機システム」という。)の試用制度を利用するため の必要な事項を定める。
- 第2条 試用制度は、初めてセンターの大規模計算機システムを 利用する者(以下「利用者」という。)に一定の期間利用さ せることによって、同システム利用についての知識の向上と 教育研究活動と学習に役立てることを目的とする。
- 第3条 試用制度を利用することができる者は、次の各号のいず れかに該当するものとする。
- (1)大学、短期大学、高等専門学校又は大学共同利用機関の教員 (非常勤講師を含む。)及びこれに準ずる者
- (2) 大学院の学生
- (3) 学術研究及び学術振興を目的とする国又は地方公共団体が 所轄する機関に所属し、専ら研究に従事する者
- (4) 学術研究及び学術振興を目的とする機関(前号に掲げる機関 を除く。)で、センターの長(以下「センター長」という。) が認めた機関に所属し、専ら研究に従事する者
- (5) 科学研究費補助金の交付を受けて学術研究を行う者
- (6) 前各号のほか、特にセンター長が適当と認めた者
- 第4条 利用者は、所定の申請書により申請し、センター長の承 認を得なければならない。ただし、上記の申請はセンターホ ームページから行えるものとする。
- 第5条 センター長は、前条の申請について適当と認めた場合は、 当該利用番号を与えて承認するものとする。
- 第6条 利用者の有効期間は、前期(4月~9月)3ヶ月間、又は 後期(10月~3月)1ヶ月間とする。ただし、当該会計年度 を超えることはできないものとする。
- 2 基本負担額 10,000 円の場合と同じ計算機資源を利用可能とする。
- 3 利用有効期間を超えた場合は、強制的に利用を取り消すもの とする。
- 第7条利用者は、当該利用番号を当該申請に係る目的以外に使 用し、又は他人に使用させてはならない。
- 第8条 センター長は、この内規に違反した場合、もしくは氏名 等を偽り利用した場合、その他大規模計算機システムの運営 に重大な支障を生ぜしめた場合には、当該利用の承認を取り 消すことがある。

附則

この内規は、平成12年11月30日から施行し、平成12年4月1日から適用する。

附則

この改正は、平成13年1月6日から施行する。

附則 この改正は、平成14年4月1日から施行する。 附則 この改正は、平成16年4月1日から施行する。 附則 この改正は、平成18年4月1日から施行する。 附則 この改正は、平成19年1月5日から施行する。 附則 この改正は、平成19年9月28日から施行する。

大阪大学サイバーメディアセンター大規模計算 機システム利用相談員指導員内規

- 第1条 大阪大学サイバーメディアセンター(以下「センター」 という。)は、センターが管理・運用する全国共同利用のス ーパーコンピュータシステム及びワークステーション(以下 「大規模計算機システム」という。)の共同利用の効果を高 め学術研究の発展に資するため、大規模計算機システム利用 相談及び指導活動(データベース開発指導を含む。)を行う。
- 2 前項の目的のため、センターに利用相談員(以下「相談員」 という。)及び利用指導員(以下「指導員」という。)を置 く。
- 第2条 相談員及び指導員は、共同利用有資格者の中から高性能 計算機システム委員会が候補者を推せんし、センター長が委 嘱する。
- 第3条 相談員及び指導員の任期は、当該委嘱する日の属する年 度の末日までとする。ただし、再任を妨げない。
- 第4条 相談員は、電子メール等を利用しオンラインで、第1条 第1項のセンター利用相談活動を行うものとする。
- 第5条指導員は、所属の地区協議会連絡所において、第1条第 1項のセンター利用指導活動を行うものとする。
- 第6条 相談員及び指導員には、センター利用相談及び指導の必 要上、計算機利用のために特定の番号を与えることができる。 2 前項に係る利用経費の負担額は免除する。
- 第7条 センターは、相談員及び指導員に対し相談及び指導上必 要な資料もしくは情報を提供するものとする。
- 第8条 センターは、相談員及び指導員に対する研修会並びに研 究連絡会等を実施するものとする。
- 2 前項の企画及び実施に当たっては、高性能計算機システム委員会が企画・立案し、教授会の承認を得るものとする。
- 第9条 相談員には、第6条第1項の目的以外においても、一定 量の大規模計算機システム使用にかかるジョブ優先処理等の 特典を与えることができる。
- 第10条 この内規に定めるもののほか、必要な事項については 高性能計算機システム委員会で検討後、教授会の議を経てセ ンター長が別に定めるものとする。

附 則

この内規は、平成12年11月30日から施行し、平成12年4月1日から適用する。

附 則

この改正は、平成19年9月28日から施行する。

附 則

この改正は、平成22年9月16日から施行し、平成22年7月22日から適用する。

大型計算機利用大阪地区(第6地区)協議会規程

- 第1条 大型計算機利用大阪地区(第6地区)協議会(以下「本 会」という。)は、大阪大学サイバーメディアセンターが管理・ 運用する共同利用・共同研究拠点のスーパーコンピュータシス テム、コンピュータシステム及び関連するネットワーク(以下 「大規模計算機システム等」という。)の利用を希望し、本会 に所属するものの利便をはかることを目的とする。
- 第2条 本会の事務局を大阪大学サイバーメディアセンター内 に置く。
- 第3条 本会は、大阪、和歌山、奈良、兵庫、岡山、香川、愛 媛、高知及び徳島の9府県内にある連絡所をもって会員とす る。
- 2 上記以外で、理事会が特に認めた連絡所は会員とすることが できる。
- 第4条 連絡所を設けようとするものは、責任者を定め、連絡 所登録申請書を本会事務局へ提出し、理事会の承認を受けなけ ればならない。
- 2 前項の連絡所の廃止をするものは、連絡所廃止届を本会事務 局へ提出しなければならない。
- 3 連絡所の責任者は、その連絡所に所属し、大規模計算機シス テム等を利用するものを代表して、必要な事務を処理する。
- 第5条 本会は、第1条に示された目的を達成するため、次の 事業を行う。
 - 一 会員の登録承認
 - 二 大阪大学サイバーメディアセンターと会員間の連絡及び 調整
 - 三 他の地区協議会との事務連絡及び情報交換
 - 四 その他理事会が必要と認めた事項
- 第6条 本会に会長1名、理事若干名の役員を置く。
- 2 本会に幹事若干名を置き、役員を補佐せしめることができ る。
- 3 幹事は、理事会の承認を経て、会長が委嘱する。
- 第7条 会長は本会を代表し、本会の業務を総括する。
- 2 会長は理事の互選によって定める。
- 3 会長の任期は2年とし、再任を妨げない。ただし、任期途中 で交代した会長の任期は、前任の会長の残任期とする。

第8条 理事は会員の互選によって定める。

2 理事の任期は2年とし、再任を妨げない。ただし、任期途中 で交代した理事の任期は、前任の理事の残任期とする。

- 第9条 会長は理事会を招集し、その議長となる。
- 2 理事会は次の事項を審議する。
 - 一 連絡所の設置の承認
 - 二 事業計画の立案並びに実行
 - 三 その他会長が必要と認めた事項
- 3 理事会は、理事現在数の2分の1以上の出席がなければ開催 することができない。ただし、あらかじめ委任状を提出したも のは出席者とみなす。
- 4 理事会の議事は、出席者の過半数をもって決し、可否同数の ときは、議長が決する。

第10条 会長は年1回以上総会を招集し、その議長となる。

- 2 総会は次の事項を審議する。
 - 一 本会規程の改廃
 - 二 事業報告
 - 三 事業計画
 - 四 その他理事会が必要と認めた事項
- 3 総会は、会員現在数の5分の1以上の会員が出席しなければ 開催することができない。ただし、あらかじめ委任状を提出し たものは出席者とみなす。
- 4 総会の議事は、出席者の過半数をもって決し、可否同数のと きは議長が決する。
- 第11条 本会は、特定事項の審議等のため、必要に応じて専門 部会を置くことができる。
- 2 専門部会に関し必要な事項は、本会が別に定める。
- 附 則

この改正は、平成12年10月4日から施行し、平成12年4月 1日から適用する。

- 附 則
- この改正は、平成 14 年 10 月 15 日から施行し、平成 14 年 4 月 1 日から適用する。
- 附 則
- この改正は、平成 17 年 10 月 14 日から施行し、平成 17 年 4 月 1 日から適用する。
- 附 則

この改正は、平成 21 年 10 月 16 日から施行し、平成 21 年 4 月 1 日から適用する。

ネットワーク専門部会内規

- 第1条 大型計算機利用大阪地区(第6地区)協議会(以下「第 6地区協議会」という。)規程(以下「協議会規程」という。) 第11条に規定する専門部会として、ネットワーク専門部会(以 下「専門部会」という。)を置く。
- 第2条 専門部会は、学術研究、教育活動等を支援するネット ワークの情報交換等の便宜を図り、地域に貢献することを目的 とする。
- 第3条 専門部会は、次の各号に掲げるものをもって構成する。
 - 1 協議会規程第3条に規定する会員
 - 2 その他専門部会が必要と認めた者
- 第4条 専門部会に部会長を置き、第6地区協議会会長が指名 する。

- 2 部会長は、専門部会を招集し、その議長となる。
- 第5条 専門部会は、通常は年1回、第6地区協議会の開催に 併せて開催することとし、必要に応じて開催することができ る。

附 則

この内規は、平成 14 年 10 月 15 日から施行し、平成 14 年 4 月 1 日から適用する。

・附表

大規模計算機システム ホストー覧

サーバ名	ホスト名
ログインサーバ※	login.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp
ファイル転送サーバ	ftp.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp
Mail サーバ	mail.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp

※スーパーコンピュータなどの演算システムへは、ログインサーバ経由での接続となります。 (ホストー覧表には明記していません)

SX-8R、SX-9 及び PC クラスタのジョブクラス一覧

スーパーコンピュータと PC クラスタのジョブ資源制限値は、次のとおりです。

b =7	ŕ	使用(PU 数	主記憶(GB)		
	既定値(分) 最大値(時間)		既定値	最大値	既定値	最大値
DBG	1(1 分)	1(10 分)	1	4	1	16
SX8F(SXF)	1	24	1	8	1	120
SX8L(SXL)	1	120	1	32	1	1000
SX8L(届出制)	1	240	1	64	1	2000
DBG9	1(1 分)	1(10 分)	1	4	1	128
SX9	1	24	1	64	1	4000
SX9(届出制)	1	240	1	128	1	8000
		720(4CPU まで)				
PCC	1	120(16CPU まで)	4	128	2	512
		24(128CPU まで)				

(注)DBG クラス、経過時間の括弧内の数字は CPU 時間の既定値と最大値です。





・大規模計算機システムを利用して行った研究・開発等の記事の募集について ------53

大規模計算機システムを利用して行った研究・開発等の記事の募集について

センターでは、大規模計算機システムを利用して研究したことを主体とする内容の 広報誌の発行を予定しています(年2回)。この広報誌に掲載する次の内容の記事 を募集しますので、皆さんのご投稿をお待ちします。

- 1. 随筆
- 2. 大規模計算機システムを利用して行った研究・開発の紹介
- 3. プログラムの実例と解説
- 4. その他、広報誌に掲載するにふさわしいもの

*投稿いただいた方には、掲載した広報誌5部を進呈いたします。

【原稿の執筆および提出方法】

- 1. 原稿の執筆は、以下の書式設定で作成をお願いします。
 - ・ベージ設定(Microsoft Word2003の設定です。)
 - ・用紙サイズ A4縦
 - ・1ページの文字数と行数:行数 40、行送り 18.2pt、1頁2段書き
 - ・フォント 本文 MS 明朝 10Point
 - 題名 MS ゴシック 14Point、
 - 執筆者氏名 MS 明朝 10Point、なお、姓と名の間及び機関と学部と専攻名の間は半角スペースを入れる。
 - ・余白
 上 20mm、下 20mm、左右 20mm、印刷形式:標準
 - ・その他 セクションの開始位置:次のページから開始
 用紙の端からの距離:ヘッダ 15mm、フッタ 17.5mm
 垂直方向の配置:上寄せ
 - ・文字等の設定
 - ・年は西暦で記述する。
 - ・数字、英字は半角(書式:times new roman)、数字英字を括弧で閉じる場合は、括弧も同様に 半角
 - ・文字、漢字は全角、文字漢字を括弧で閉じる場合は、括弧は全角
 - ・日本語文中の句読点は半角の",""."を使用せず、全て全角の"、""。"とする。
- 2. Microsoft Word2003 以外の日本語ワープロソフト及び、その他の文書作成ソフトで作成された原稿を 投稿される場合は、pdf ファイルに変換してください。
- 3. 原稿は、電子メールにて以下のアドレスにお送りください。
 - soumu@cmc.osaka-u.ac.jp

なお、送信の際、件名を「計算機利用ニュース原稿」と入力くださるようお願いします。

- 4. 原稿ファイルの容量が 10MB を超える場合は、CD-R 等の電子媒体に記録のうえ以下の送付先にお送り ください。
 - 【原稿の送付先】
 - $\overline{7}567 0047$

大阪府茨木市美穂ヶ丘5-1 大阪大学情報推進部情報企画課総務係

【注意事項】

- 1. お送りいただいた原稿を掲載する際、原稿の修正をお願いすることがありますのでご了承ください。
- 2. 提出いただいた原稿は、サイバーメディアセンターのホームページにて公開いたしますので、ご了承 ください。

広報委員会委員

阿	部	浩	和	(委員長、大阪大学サイバーメディアセンター)
藤		堅	Æ	(近畿大学理工学部)
豊	永	昌	彦	(高知大学教育研究部自然科学系理学部門)
前	迫	孝	憲	(大阪大学大学院人間科学研究科)
養	老	真		(大阪大学大学院法学研究科)
小	郷	直	言	(大阪大学大学院経済学研究科)
清][[清	(大阪大学サイバーメディアセンター)
竹	蓋	順	子	(大阪大学サイバーメディアセンター)
時	田	恵-	一郎	(大阪大学サイバーメディアセンター)
降	籏	大	介	(大阪大学サイバーメディアセンター)
義	久	智	樹	(大阪大学サイバーメディアセンター)
馬	場	健		(大阪大学サイバーメディアセンター)

大阪大学サ 計算機	イバーメディアセンター 利用ニュース 2010年度	Vol.6 No.2 2011年1月発行
編集者	大阪大学サイバーメディア 広報委員会	イセンター
発行者	大阪府茨木市美穂ヶ丘5-1 大阪大学サイバーメディア Cybermedia Center, Osaka U Tel: 06-6879-8804 URL: http://www.hpc.cmc	l (〒567-0047) イセンター Iniversity .osaka-u.ac.jp/j/
印刷所	大阪市福島区玉川3-6-4 阪東印刷紙器工業所	

(お願い) このニュースは、本センター利用者(利用登録者)の皆様に配布しています。 お近くの研究者・大学院生の方にも、このニュースをご回覧くださるようお願い申し上げます。