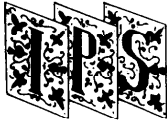


解説



計算機ベンチマークの最新動向

4. 科学技術計算のベンチマーク†

長嶋 雲 兵†† 妹尾 義 樹†††

1. はじめに

近年の科学技術の急速な進歩にともない、地球上では直接に実験できない分野や、仮に可能でも莫大な費用を要する研究分野が急速に広がっている。このため流体、気象、天文そして物質科学などでは、計算機シミュレーションが研究や技術開発のための強力な手段となってきた。また最近では、製品のライフサイクルの短縮にともない、製品開発速度の向上と開発経費削減のために、超高速計算機と洗練された数値計算技術を基礎とする大規模計算機シミュレーションへの期待が一層高まってきている。

もともと科学技術計算では、解析解が得られない複雑で巨大な問題に対し、数値計算により近似解を与えることを目的にすることが多い。このために要求される演算量は莫大で、いつの時代でも高速計算の限界に挑む試みが多くなされている。この限界への挑戦のための HPC (High Performance Computing) 技術は、計算機技術と計算技術の相乗作用によって初めて発展が可能である。

計算機アーキテクチャの革新により、新しい数値計算の手法が従来の手法を凌駕してしまうことも珍しくはない。他方、NASA の過大な要求仕様に答えた Cray 1 を引くまでもなく、米国 Grand Challenge の Paragon や CM 2 をはじめ、我が国の QCD の CP-PAX や天体物理の GRAPE などの超並列計算機開発に見られるように、ユーザの計算機に対する過大な要求が新たな

計算機アーキテクチャを生み、計算機科学の発展を強力に促してきた。

特に近年では、RISC やベクトル処理そして並列処理などのアーキテクチャやコンパイラの最適化技術などの進歩にともない多種多様な計算機が市場に現れてきた。ピーク性能などのカタログ性能があまり役に立たないことが多いこれらの計算機において、性能や特徴を統一的に評価するためのベンチマークの重要性はますます大きくなってきている。良いベンチマークは、計算機を正しい方向に発展させるとともに、ユーザの計算機選択に正しい指針を与える。しかし、複雑な計算機システムを用途に応じた様々な評価尺度で定量的に公正に評価できるベンチマークの開発は簡単ではない。また、急速に進歩する HPC 技術により、すぐに陳腐化しないベンチマークの開発には種々の工夫を要する。

これらの問題を解決すべく、HPC における性能評価、ベンチマークについては欧米で盛んに研究が行われている^{*}。WS やベクトル型計算機を対象とした数値計算のためのベンチマークについての日本語で書かれた解説としては、少し古いながら 1990 年の島崎の解説¹⁾が珠玉である。並列計算機など新しいアーキテクチャを考慮した科学技術計算に関するベンチマークの動向の解説としては、関口と小柳による解説²⁾が詳しい。本稿では現在広く行われている海外の科学技術計算向けのベンチマークのいくつかについて簡単に紹介し、あわせて過去の解説ではあまり触れられていない日本のグループの活動についていくつか紹介する。

† Trends of Benchmarks for Numerical Computation in Science and Technology by Umpei NAGASHIMA (Department of Information Sciences, Faculty of Science, Ochanomizu University) and Yoshiki SEO (NEC Corporation, C&C Research Laboratories).

†† お茶の水女子大学理学部情報科学科

††† 日本電気(株)C&C 研究所

* 科学技術計算用計算機に関する性能評価についての News group としては Comp. Benchmarks や Comp. Parallel での議論が多い。特に並列計算機については後者において性能評価が議論されることが多い。

2. 海外の科学技術計算向けベンチマーク

計算機の性能を表す指標として、マシンサイクルやメモリのアクセスタイムなどのカタログ的なハードウェア性能指標だけでは、実際の応用プログラムを実行させたときの性能の予測は不可能である。そこで、これらの評価指標に加えコンピュータ上の作業負荷の代表として、Dhrystone³⁾, Whetstone⁴⁾, Livermore Fortran Kernels⁵⁾, NAS Parallel Benchmark (NPB)⁶⁾, Linpack⁷⁾, SPEC⁸⁾, PERFECT⁹⁾といったベンチマークによる性能評価が提案され広く利用されてきた。

Dhrystone, Whetstone, Livermore Fortran Kernels については島崎の解説¹⁾を参照されたい。本章では、科学技術計算のベンチマークとして代表的な Linpack, PERFECT と SPEC/HPC (SPEC hpc 96)¹⁰⁾, NPB, そして PARKBENCH¹¹⁾を簡単に紹介する。ここで紹介したベンチマークの参考文献には、それぞれ対応するベンチマークの文献入手先 URL をなるべく示すようにしたので、より詳しい情報が欲しい方は直接そちらを参照されたい。また、そのほかのベンチマークについては後述する日本規格協会システム性能評価標準化調査研究委員会が性能評価ベンチマークの要覧をまとめている¹²⁾。その一覧は、長谷川らを中心とする PIIASE プロジェクト¹³⁾の <http://phase.etl.go.jp/benchmark/jspec/jspec-report 95.html> からアクセス可能である。

2.1 Linpack

Linpack⁷⁾は LU 分解を用いて連立一次方程式の解を求めるプログラムで、サイズは 100, 1000 (TPP), 無制限 (HPC) の 3 種類が用意されている。いずれも、Fortran 77 で記述されているが、サイズ 100 には C 版もある。TPP, HPC に関しては、内蔵の結果判定の誤差チェックを満足する限りどのような最適化も認められている。

現在最も多くの計算機上で Linpack の評価が行われており、多くの計算機の性能比較が可能であるが、対象が LU 分解に限定されるため、評価結果の汎用性に乏しい。また、サイズ 100 や TPP は、ハイエンドの分散メモリ並列計算機にとっては、問題サイズが小さすぎる状況にある。たとえば、1000 台程度の並列計算機でサイズ

1000 の TPP を実行するのは、並列度の観点から無意味である。

このような計算機を対象に並列化された Linpack は、一般に演算量が問題サイズ n の 3 乗に比例する一方で、プロセッサ間通信量は n の 2 乗に比例する。つまり、 n を大きくするほど並列化オーバーヘッドの点で並列計算機にとって有利になる。最近の Linpack レポートを見ると、10 の 6 乗以上の大きさの問題を解かれるケースが増えているが、このように巨大な問題を 64 bit 精度の LU 分解で解くことの意味も怪しくなっている。

2.2 PERFECT と SPEC/HPC

PERFECT⁹⁾は多くの大規模計算機ユーザから提供された実用の応用プログラムを集めたものである。スーパーコンピュータを利用する側の目的に合わせた実践的な現場密着型のベンチマークとして、大型の共有メモリ型ベクトル計算機の応用プログラムレベルの性能を測ることを主目的としてきた。各種ベクトル計算機で多くのデータが集められたが、分散メモリ型並列計算機にスーパーコンピュータの主流が移りつつあるため、1995 年に PERFECT はその活動を終え、その活動は SPEC/HPC (SPEC hpc 96)¹⁰⁾に引き継がれることとなった。

現在、SPEC/HPC は、地質解析のプログラムを基にした SPECseis 96 および非経験的分子軌道計算のプログラムを基にした SPECchem 96 の 2 つの Fortran プログラムからなり、それぞれ、Small (SM), Medium (MD), Large (LG), Extra large (XL) の 4 種類のサイズの問題が用意されている。

これらのプログラムは逐次版とともに SPMD 型の並列化版も参考プログラムとして用意されており、自由な最適化が許されている。これらは PVM を用いて並列化されているため、移植性が良く、多くの計算機で実行が可能であるが、プログラム規模 (ライン数) が大きいので最適化は困難である。個々の実行時間 (秒単位) を 86400 で割って 1 日に何回、それぞれのプログラムを実行できるかという指標を導入して性能評価に用いる。

SPEC/HPC は現在テスト段階であるが、今後は、PERFECT がそうであったように、使用さ

れるベンチマークプログラムと測定計算機種の拡大により、大規模並列プログラムの標準となることが期待されている。(SPEC 全体の枠組みについては、本号の記事「SPEC ベンチマーク」を参照されたい。)

2.3 The NAS Parallel Benchmarks

The NAS Parallel Benchmarks (NPB)⁹⁾は、並列計算機の性能評価のためのベンチマークであり、現在並列計算機の評価では最も広く使われている。これは、大規模数値流体力学の計算ならびにデータ転送を代表している5個の並列カーネル (EP: 粒子追跡, MG: マルチグリッド法のカーネル, CG: 共役勾配法のカーネル, FT: FFT を用いた3次元偏微分方程式の解法のカーネル, IS: 大規模整数ソート) と3個の並列応用プログラム (LU, SP, BT: いずれも Navier-Stokes 方程式の解法の応用プログラム) からなり、問題のサイズは、Class A (中規模) と Class B (大規模) の2つである。プログラムデバッグ用に Tiny という Class A よりさらに小さな問題も用意されている。しかし、超並列計算機の性能評価には Class B でも問題が小さすぎるようになってきている。評価結果は実行時間を Class A, Class B についてそれぞれ Cray YMP/1, Cray C 90/1 との性能比で表し、さらに性能のプロセッサ数依存性 (Scalability) のグラフを表示する。NPB では、作成したプログラムソースの公開義務や計算結果のチェックには規定もなく、評価結果の信頼性は測定者の良心に大きく依存している。

このベンチマークの特徴は、問題がアルゴリズムのみによって与えられており、個々の計算機アーキテクチャに特化したプログラム開発と自由なチューニングを許していることである。これは、高並列計算機のようなアーキテクチャに対する性能評価を可能とするが、プログラムの実装に多くの労力を必要とし、さらに測定者が測定に用いたソースを公開する義務がないため結果の再現性に疑問が残るという欠点もある。

それらの欠点を踏まえてバージョン2 (NPB2) が、1995年12月に提案された¹⁰⁾。NPB2では、問題をアルゴリズムで与えるのではなく、Fortran 77 とメッセージパッシングライブラリ MPI で書かれたプログラムソースで与え、それに対し、ただ走らせるためのだけの修正 (as is)、プロ

グラム行数の5%、それ以上の修正という3段階の最適化レベルが設定されている。また問題サイズとしてBよりさらに大きなClass Cが追加された。計算結果のチェックも問題に内蔵されている。現在はまだ提案のみで、最適化レベルの規定が問題になることが予想されるが、今後はNPBからNPB2への移行が進むであろう。

2.4 PARKBENCH

PARKBENCH¹¹⁾は、1992年米国ミネアポリスで開催された Supercomputing 92 の Parallel Benchmark Working Group を前身とする PARKBENCH 委員会によって維持管理されている。まず最初に Supercomputing 93 で1年の活動成果が報告された。

このベンチマークの目的は計算機開発者およびユーザに分かりやすい標準的な並列ベンチマークセットの生成と配布、評価方法の規格標準化、評価結果のデータベース構築と公開にあるため、問題が各種各レベルで詳細に決められている。それらは、単一プロセッサの性能評価のための基本線形演算、メモリ性能、マルチプロセッサのための通信性能を評価する低レベルカーネル、行列積、FFT、偏微分方程式、NAS PB、I/O性能を評価する科学技術計算分野のカーネル、加えて2つの小規模応用プログラムがある。

問題は Fortran 77 と PVM または HPF で書かれたプログラムで与えられ、プログラムの最適化は自由であるが、小規模応用プログラムでは制限がある。また並列処理言語 HPF を用いた問題も含まれており、テンプレートをを用いた配列代入時の通信、独立代入、引数配列の分散などの性能が評価される。問題サイズは各項目ごとに詳細に記述されているが、比較的小規模なものとなっている。

PARKBENCH は、ベンチマークとしての知名度は低いですが、並列計算機の性能評価のため、すでに普及しているベンチマークで取り上げられている問題をもとに、独自の実施方法および評価方法をとっている。このベンチマークの特徴は、問題そのものよりむしろ、詳細に規定されたベンチマークの結果のデータベースを公開し広く第三者の利用に供しているところにある。

3. 性能評価に関する国内の活動

日本では各社各サイトが独自のベンチマークを持ち、それらを独自に実行する機会が多く、その結果はほとんどが非公開であるため、世界中で利用されている科学技術計算のためのベンチマークはほとんど外国製のものである。それらの多くは、計算機を現実の数種類のプログラムを用いて実践的に評価し、その計算機の利用経験のないユーザに分かりやすいように性能を各プログラムの実効性能の幾何平均などの簡単な数字で表現しようという傾向が強かった。しかし、これでは計算機の特長については何の情報も得られない。

理想的には何らかの試験というのは受ける側(計算機開発者)と行う側(ユーザ)双方に有意義なものでなければならない。日本のグループは早くからこの点に注目し、ベンチマークの実施そのものより、ベンチマークそのもののあり方を研究してきた。

最近では新しいアーキテクチャに基づく多様な計算機の出現により、外国のベンチマークにもそのような視点が多く見られるようになってきた。残念ながらまだ世界で広く通ずる日本製のベンチマークは出ていないが、本章では通常の解説では紹介される機会の少ない日本の研究者による活動の一端を紹介する。

3.1 科学技術用高速計算システム技術研究組合「評価尺度研究会」の活動

通産省工業技術院の大型工業技術研究開発制度(大型プロジェクト制度)による委託で、次世代スーパーコンピュータの研究開発を行った科学技術用高速計算システム技術研究組合は、新しい計算機の性能に関し、ユーザと開発者の間で共通の議論の場を作ることを目的に、「評価尺度研究会」を1988年に設置し約1年間の活動を行った¹⁵⁾。

本研究会の目的は、並列処理向け評価カーネルの創設、並列処理向け性能測定法の議論、1つの評価軸のみの性能評価を重視する慣習の改善、急速に増大するハードウェアの速度および容量に整合できるスケラブルなベンチマークプログラムの構築法の研究にあった。また評価すべき対象分野は、数値処理だけに限らず画像処理や画像表示技術などにも及んだ。

本研究会ではベンチマークの評価方法を、演算

の複雑さの度合いを表す「クラス」とプログラムの最適化許容の度合いを示す「レベル」という2つのカテゴリで分類し、階層的なベンチマークを行うことを提案した。こういった階層的ベンチマークの思想は、EuroBen^{16),17)}やNPB²¹⁾などの最近の欧米のベンチマークにも見られるようになってきている。

さらに本研究会では、基本演算性能レベルのカーネルとして、いくつかの大規模応用プログラムの中から45ループを抽出し、それぞれに対しクラス分類の他、ループ構造、演算種別、データ依存関係、データアクセスパターン等の解析を行い、計算機の特長を評価するためのループの分類を試みた。また、演算器へのデータ供給能力と演算性能のバランスを評価するため、各ループの実行に必要なデータ量と演算量の比を、ベンチマークの特性分類の1つとして採用した。これは、メモリシステムの性能と同時に、並列計算機における、演算・通信能力のバランスを評価する狙いを持っていた。

また数値アルゴリズムレベルのルーチンとしては、メーカーがなく、すでに広範囲に使用され、また過去に性能測定の実績がありテストデータやパラメータが揃っているなどの、ベンチマークとしての整備の容易さを理由に、二宮らが開発したNUMPAC¹⁸⁾の一部(7ルーチン:連立一次方程式3,固有値解析4)を提案した。さらに実用レベルとして、実際に研究機関などで頻繁に実行されている連続、離散、粒子系のプログラムをいくつか収集した。

残念ながら本研究会の活動は1年間であったため、実際の計算機を用いたベンチマークの結果は得られなかった。ここでの成果は、日本応用数理学会の「スーパーコンピュータ評価技術」研究部会^{19),20)}に引き継がれ、ベンチマーク策定技術の検討が行われた。(3.3節参照)

3.2 後藤-小柳のベンチマーク

後藤らは、アーキテクチャの性能評価を重視したベンチマークとして、NPBと同様、問題をプログラムではなく自然言語で与えることにより、プログラムに最適化などに関する完全な自由度を与え、計算機のアーキテクチャを強く反映したベンチマークを行うことを提唱した²¹⁾。

彼らの問題には、乱数生成、基本関数の計算、

FFT, 密行列の積, LU 分解, 密対称行列の三重対角化, 規則的な疎行列の処理, リストベクトル指定の疎行列処理などが含まれている。それぞれの問題ごとにいくつか問があるが, おおむね計算時間を測定することに重きをおいている。

これらの問題は基本的な科学技術計算の断面を示しており, またベンチマークの思想および手法としても斬新で, NPB をはじめ多くの海外のベンチマークもほぼこの線に沿っている。惜しむらくは本提案が NPB とほぼ同内容で同時期に発表されたにもかかわらず, 世界的に認知されなかったことである。

3.3 日本応用数学会「スーパーコンピュータ評価技術」研究部会の活動

日本応用数学会「スーパーコンピュータ評価技術」研究部会は, 先に紹介した科学技術用高速計算システム技術研究組合「評価尺度研究会」の活動を継承し, 1990 年春から 1992 年までの 2 年間活動した^{18),19)}。

本研究部会では「ベンチマークとは, 計算機ユーザのために, ユーザが計算機を買ったときにまず感じる性能を抽象的に表すものではなく, 計算機システムの総合的な姿を明らかにし, 計算機開発者とそれを実際に用いるユーザの要求をつなげるための指標を抽象化したものでなければならない。」という思想の下, 従来の性能評価技術の調査に加え, システムから見た性能評価指標, 応用分野から見た性能評価指標の抽出を行った。

また, 本研究部会のメンバを中心に 2 回の日米性能評価研究会 (1991 年, 1994 年) を開催し, 従来のベンチマークが, 実際的で大規模なプログラムの現実の計算機上での速度測定に重点をおくことへの警鐘と, 本研究部会が提唱したベンチマークが本来持つべき姿を海外の研究者に認識させることに一役買った。さらに議論の発展のために, 1995 年には計算機性能ならびに解析に関する国際研究集会 (PERMIN'95) が開催された。

3.4 日本規格協会システム性能評価標準化調査研究委員会の活動

アメリカでは本号の他の記事でも紹介されているように, 科学技術計算にのみ特化するのではなく, より広範囲な評価基準の確立のために TPC や SPEC などの性能評価のための標準化団体が作られ, そこで作成したベンチマークを用いて実

際の評価が行われている。日本でも 1994 年から日本におけるベンチマークのあり方やその標準化の方向を検討する目的で, 日本規格協会情報標準化センター (INSTAC) 内にシステム性能評価標準化調査研究委員会が設置された¹²⁾。

本委員会では, CPU から System, Database, Network, Graphics といった評価対象分野を縦軸に, PC, WS, Server, HPC, 汎用機などの被評価システムを横軸に置き, 各種のベンチマークが対象とする範囲を整理し, また, 超並列計算機から汎用機, PC までを含めた 41 のベンチマークに関し, 対象システム規模, 分野, 測定量, 実施の難易, 入手先, 文献 URL などから将来の動向と注目度などの 20 項目についてまとめている。

4. まとめとして

科学技術計算における計算機性能の総合的評価のためのベンチマークは, 計算機の通常の利用状況における計算機システムと実際の応用プログラムの性能に関する現実的な指標を与え, 計算機システムおよびプログラムの性能や特徴を抽象的に表現することを目的としている。つまり, ベンチマークは計算機を設計する立場から見た応用プログラムのモデルであり, 設計者 (計算機科学者) はこれを利用して設計の良否の判断を行う。

一方, ベンチマークは科学技術計算を実行する立場から見た計算機のモデルであり, 応用プログラム開発者 (計算科学者) は高い演算性能を得るため, それらの指標をもとに, より計算機の特徴に合わせたコード開発を行う。この際, ベンチマークが健全ならば, 計算機の健全な発展と効率の良い応用プログラムの作成を促すことが期待できる。

どんなテストでも問題の与え方が一番問題であり, ベンチマークも例外ではない。それは結果の評価方法と密接に関わっているからである。NPB や後藤-小柳のベンチマークに見られるように, 問題をプログラムで与えるのではなく通常の試験問題のように自然言語や数学的記述で与えるという立場もある。新しい並列計算機の性能を引き出すためには, 本質的に新しいアルゴリズムやプログラムが必要であるし, 特定のアーキテクチャに有利にならない公平なプログラミングは困

難だという考え方が、その根底にある。しかしこれは、ベンチマークにプログラミング作業を押しつけることになるし、またこの作業には高度な技術が要求されるため、プログラムにより問題を与える形態のベンチマークは依然として必要になる。その場合与えられるプログラムは、応用プログラムの動的特性を結果によく反映する必要があり、またその実行結果から簡単に動作特性が理解できる必要がある。そのためベンチマークプログラムはできる限り実際に使われている大規模なものを用いることが望ましいが、大規模なプログラムの実行結果は、システムの多様な構成要素が複雑に絡み合ったものであるため、その結果から特定の計算機の細部の長所や欠点を推測することは非常に困難であり、計算機の設計にベンチマークからの情報が反映されにくい。さらに実験システムなどの評価を行うためのベンチマークの実施には、言語系、OS、I/Oなどの整備に莫大な時間と労力を必要とする。ここに個々の計算機の特性を考慮することに関する階層的概念を持つベンチマークの必要性がある。

逆にユーザは、ベンチマークから問題を解く速度を見積もるための基礎情報を得て、計算機の性能比較や計算方法およびプログラムの評価を行う。時にはその結果を計算機運用のための基礎情報とすることもあるし、また1人のユーザでも解きたい問題は多様であるので、実際には多様なプログラムを様々な環境で実行することが望ましい。しかしそれにはプログラムの移植や最適化の労力や実行環境の整備も必要となるため、それは一般に困難である。多様な計算機で実行されたベンチマークの結果を用いて、それぞれの計算機で自分の持つプログラムの性能予測を行い、その結果によりアルゴリズムやプログラムの改良の情報を得ることができるようになる必要がある。ここに個々の計算機の特性を考慮することに関する階層的概念を持つベンチマークの必要性がある。

このようにベンチマークはユーザプログラムの共通的な特徴をよく代表し、結果が容易に検証可能である必要がある。加えて必要な入力や出力データは小さく、メモリや実行時間がシステムの性能により調節可能で、その実施が容易でなければならない。またその記述言語は、科学技術計算の現場で広く用いられていることが必要である。

ベンチマークの結果の評価には、ちょうど大学入試での偏差値が、本来の意味を吟味されることなく入試の難易度を示す指標として一人歩きし、それが大学全体の質を表しているかのような誤解のもと、大学の無意味な序列化を促したように、ベンチマークの数値が、その背景や多様な測定条件の考慮なしに、単に計算機の価値の指標として、市場戦略の材料となる危険性がある。

また設計者にとっては、ベンチマークの性能向上は実際の応用プログラムの性能向上を目指しているにもかかわらず、入試の偏差値の誤解が、偏差値を上げるためだけの不毛な受験テクニックをあみださせたように、ベンチマークのみの性能を上げるためのシステムを生む恐れもある。

結果を評価する際に陥りやすい誤謬を避けるための方法論は、ベンチマークの結果を基にした計算機の性能評価指標の選択の問題から、結果から何を読みとるべきか、またベンチマークテストのそのもののあり方など広範囲で詳細な議論が続けられている。

今後も科学技術計算のニーズの拡大を背景に、並列・ベクトル型計算機、SIMD型やMIMD型の超並列計算機、RISC・スーパスカラなどの高速マイクロプロセッサなどの様々な計算機を比較・評価・特徴づける技術がますます重要となってきた。

謝辞 東京大学小柳義夫教授、電子技術総合研究所関口智嗣主任研究官、RWCP佐藤三久主任研究員、日本規格協会システム性能評価標準化調査研究委員会の委員各位に感謝します。

参 考 文 献

- 1) 島崎真昭：数値計算におけるベンチマーク、情報処理、Vol. 31, No. 3, pp. 313-320 (Mar. 1990).
- 2) 関口智嗣、小柳義夫：スーパーコンピュータの性能評価の現状、応用数理、Vol. 3, No. 1, pp. 27-38 (1993).
- 3) Weicker, R. P.: Dhystone: A Synthetic Systems Programming Benchmark, Communications of the ACM, Vol. 27, No. 10, pp. 1013-1030 (1984).
- 4) Curnow, H. J. and Wichmann, B. A.: A Synthetic Benchmark, The Computer J., Vol. 19, No. 1, pp. 43-49 (1976).
- 5) McMahon, F. H.: The Livermore Fortran Kernels: A Computer Test of the Numerical Performance Range, Technical Report UCRL

- 53745, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA 94550 (Dec. 1986).
- 6) Bailey, D. H. and Barton, J. T.: The NAS Kernel Benchmark Program, Technical Report 86711, NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA 94035 (Aug. 1985). 一般的情報は, <http://www.nas.nasa.gov/NAS/NPB>, 1995年12月の最新データは <http://www.nas.nasa.gov/NAS/TechReports/NASreports/NAS-95-021/nAS-95-021.html> である.
 - 7) Dongarra, J. J.: Performance of Various Computers using Standardlinear Equations Software in a Fortran Environment, Computer Architecture News, Vol. 16, pp. 47-69 (1988).
 - 8) Dixit, K. M.: The SPEC benchmarks, Parallel Computing, Vol. 17, No. 10, pp. 1195-1209 (1991). 一般的情報は, <http://www.specbench.org>
 - 9) Berry, M. et al.: The PERFECT Club Benchmarks: Effective Performance Evaluation of Supercomputers, Intl. J. Supercomputer Appl., Vol. 3, pp. 5-40 (1989).
 - 10) SPEC/HPC (SPEChepc96): <http://www.specbench.org/hpg/>
 - 11) PARKBENCH (PARallel Kernels and BENCHmarks): <http://www.epm.ornl.gov/walker/parkbench>. 問題は netlib.cs.utk.edu から anonymous ftp で入手可能.
 - 12) システム性能評価標準化調査研究委員会報告書, (財)日本規格協会情報技術標準化センター (Mar. 1995, 1996), <http://phase.etl.go.jp/benchmark/jspec/jspec-report95.html>
 - 13) 長谷川秀彦, 関口智嗣: ソフトウェアライブラリ PHASE, 数値解析シンポジウム予稿集 (June 1996), 印刷中.
 - 14) Bailey, D. H. et al.: The NAS Parallel Benchmarks 2.0, Report NAS 95-020 (Dec. 1995). <http://www.nas.nasa.gov/NAS/TechReports/NASreports/NAS-95-020/NAS-95-020.html>
 - 15) 評価尺度研究報告書-組合自主研究, 科学技術用高速計算システム技術研究組合, (社)日本機械工業連合会 (July 1990).
 - 16) Friedli, A., Gentzsh, W., Hochney, R. and van der Steen, A. J.: A European Supercomputer Benchmark Effort, Supercomputer, Vol. 6, No. 6, pp. 14-17 (1989).
 - 17) van der Steen, A. J.: The Benchmark of the EuroBen group, Parallel Computing, Vol. 17, No. 10, pp. 1211-1221 (1991).
 - 18) 二宮他: 数値計算ライブラリー NUMPAC, 名古屋大学大型計算機センター.
 - 19) 日本応用数学会 次世代スーパーコンピュータ性能評価技術調査委員会, 平成2年度次世代コンピュータ性能評価技術調査報告書.
 - 20) 日本応用数学会 次世代スーパーコンピュータ性能評価技術調査委員会, 平成3年度次世代コンピュータ性能評価技術調査報告書, (社)日本機械工業連合会 (Mar. 1992).
 - 21) Wong, W. F., Goto, E., Oyanagi, Y. and Yoshida, N.: Six Benchmark Problems for Number Crunchers, Proc. of Int. Symp. on Supercomputing, pp. 120-125 (1991). (平成8年5月12日受付)



長嶋 雲兵 (正会員)

1955年生, 1983年北海道大学大学院理学専攻科化学第二専攻博士後期課程修了。同年岡崎国立共同研究機構分子科学研究所計算機センター助手, 1992年お茶の水女子大学理学部情報科学科助教授, 1996年, 同教授。主たる研究テーマ: 理論化学, 大規模数値計算, 並列分散処理, 計算機性能評価, ニューラルネットワーク。理学博士, 日本化学会, 日本応用数学会, IEEE, ACM各会員。



妹尾 義樹 (正会員)

1961年生, 1984年京都大学工学部情報工学科卒業, 1986年同修士課程修了。同年NEC入社。以来C&C研究所にてスーパーコンピュータの研究開発に従事。特に並列処理アーキテクチャ, 分散メモリマシンのための並列化支援システム, 並列アルゴリズムに興味を持つ。現在C&C研究所主任, 工学博士, 1988年本会論文賞受賞。