

スーパーコンピューティングの将来

The Future of Supercomputing

牧野 淳一郎 [1]

Junichiro Makino[1]

[1] 東大・理・天文

[1] Department of Astronomy, University of Tokyo

計算機の能力の進歩は我々の数値シミュレーションの能力の拡大に直接つながるものであり、過去 60 年間にわたって計算機の能力が指数関数的な向上を続けてきたことが数値シミュレーションによる科学の進歩をささえてきたことは改めて強調するまでもない。しかし、過去 15 年程度、あるいはこれから将来の計算機、特に大規模数値計算に使える計算機の技術動向をみると、それが「正しい」方向を向いているのかどうかは疑問な面もある。天体シミュレーション向けの専用計算機 GRAPE を開発してきた経験から、現在と近い将来におけるスーパーコンピューティングの動向をまとめてみる。

スーパーコンピューターは、基本的には単にその時代で最も速い計算機である。1960 年代には、これは本当に単に速くて高い計算機であった。代表例は CDC 6600/7600 である。1970 年代に入ると Cray-1 に代表されるベクトル機の時代になる。これは、頑張ればクロック毎に 1 演算できるフルサイズの浮動小数点乗算器を実装できる程度に計算機の論理回路のサイズが大きくなった時期に対応する。1980 年代には Cray や日本のメーカーのベクトル機他、非常に沢山のメーカーの色々なアーキテクチャの並列計算機があった。これが 1990 年代になるとベクトル計算機のメーカーは次々に撤退し、並列計算機のメーカーは殆ど倒産し、生き残ったのはほぼ PC クラスタと、汎用スカラー並列機のクラスタだけ、という状態になる。

こうなった理由は簡単で、ローエンドの PC に比べてベクトル計算機やいろんな並列計算機のコストパフォーマンスが相対的に悪くなったからである。1975 年には Cray-1 は DEC PDP-11 の 60 倍の価格性能比をもっていたが、2005 年に SX-8 と Pentium D の載った PC を比べると、SX がほぼ 100 倍悪くなっている。これは、30 年前と現在では、ベクトル機の意味が本質的に違う、ということである。1975 年には Cray はほぼどんなプログラムにも DEC PDP-11 より価格あたりで高い演算能力を提供したが、2005 年の SX はほぼどんなプログラムでも価格あたりの演算能力は PC に劣るからである。

大きな価格性能比の差の最大の要因はトランジスタをどれだけ有効に演算に使っているかである。1975 年頃までは、スループット 1 の演算器を作るのが困難だった。このことは、大きな計算機ほど演算回路の割合が大きくでき、効率が良かった。また、ベクトル方式は高価で貴重な演算器を有効に使う方法だった。

しかし、1つの計算機を複数の演算器で構成する並列計算機になると、大きな計算機ほど効率が悪くなる。これは単純に、大きな計算機では演算器同士をつなぐ何かが必要であり、それは演算器の数に比例以上に大きくなるからである。

ベクトル計算機ではさらにそれが 30 年前の半導体技術には最適なものであったが現在の技術に適合してはいない、という理由のためにコスト高になっている。PC 用のマイクロプロセッサは 15 年ほど前の半導体技術に適合しており、ベクトルプロセッサに比べるとトランジスタを有効に使えるからである。

しかし、マイクロプロセッサベースの並列計算機も 2つの問題をもつ。一つは、ネットワーク部分が高価で性能も低いため大規模並列計算で性能をだせないことである。このことは、プログラム開発が非常に困難になるというさらに大きな問題に直結する。

もうひとつはベクトルプロセッサよりましとはいえトランジスタ利用効率が低いことである。現在のマイクロプロセッサは LSI チップ上のトランジスタの 0.1% 以下しか演算に使っていない。

重要なことは、上の 2つの問題は計算機メーカーにまかせていては解決しない、ということである。20 年前には革新であったマイクロプロセッサベースの並列計算機、あるいは 10 年前の革新である PC クラスタは、どちらも、大規模数値計算をするユーザー側が先導して作ってきたものであり、計算機メーカーや計算機科学の研究者が作ったものではない。このことは、現在、あるいは将来も大きくは変わらない、と考えるべきである。つまり、スーパーコンピューティングの将来を決めるのは使う側である。これからの 10 年を担う革新がどのようなものでありうるかについても簡単に紹介したい。