

## ムーアの法則と大規模数値シミュレーション

高度情報科学技術研究機構評議員  
東京理科大学教授 河村 洋

よく知られているように、ムーアの法則は、半導体の集積密度が年と共に指数関数状に増大していることを示す経験則です。放射能は半減期ごとに半分に減少しますが、半導体の集積度は半減期ならぬ"倍増期"ごとに二倍になると云うものです。このムーアの法則は、最近では、CPUの速度などにも幅広く適用されていて、倍増期は約24ヶ月（2年）と云われています。

top500は、計算速度の順に世界の大きなスーパーコンピューターを並べたものです（[www.top500.org](http://www.top500.org)）。そこに掲載された計算速度の年次発展を図1に採録します。真ん中の折れ線が、トップのコンピューターの計算速

度の進化で、2002年から2004年にかけて平坦になっている部分が、地球シミュレーターが一位でいた期間です。それに対して最上段は1位から500位までの合計の線で、これらは平均化されているのでほぼ直線になっています。最上段の合計の線に着目して上記の"倍増期"を求めてみると、13~14ヶ月であることがわかります。つまり、大型のスーパーコンピューターの平均的な計算速度は、ムーアの法則によるCPU自体の速度向上よりもさらに速く、1年少々で2倍になっていることとなります。これは、むしろ計算機の並列化の技術の進歩に支えられたものです。なお、図中の2010年頃の丸印は、開発が開始された

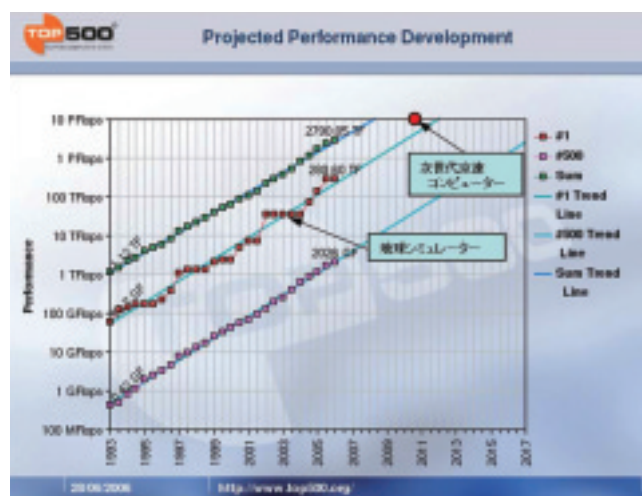


図1. 世界の大型コンピューターの性能の年次発展。  
下段が500位、中段がトップ、最上段が1位~500位の合計。(top500.orgによる。)

次世代京速コンピューターの計画値です。この年に、10P（ペタ）すなわち1京（ $10^{16}$ ）FLOPSの計算速度を実現して、世界のトップに再び立とうという目標が示されています。

最近の科学技術の進歩はこのような大型計算機の進歩に広く支えられていますが、その典型的な例の一つに、私が関与している乱流の直接数値シミュレーション（DNS:Direct Numerical Simulation）があります。乱流は、自動車や列車や航空機の周り、原子炉内の流れ、一般の工業機器等に広く見られる流れの形態ですが、非常に複雑なため、その特性を求めるのは、実験に依ってきました。しかし、スーパーコンピューターの登場によって、この乱流を特別な仮定なく数値的に計算しようという試みが始まりました。しかし、乱流のDNSは非常に多くの格子点（メモリー）と高速の計算速度を必要とするため、初期には、流速が低くて乱流になったばかりの弱い乱流について基礎研究的な計算が出来るだけでしたが、その後のコンピューターの進展に支えられて、最近ではかなり"乱流らしい乱流"も計算出来るようになってきました。私は、(旧)日本原子力研究所在職時代に高温ガス炉（HTTR）の開発に従事しておりましたので、最近、流路形状をやや単純化したもののほぼ実際の冷却条件での乱流熱伝達のDNSを実施しました。これは、乱流熱伝達としては世界的にも最大規模の計算です。図2は、その

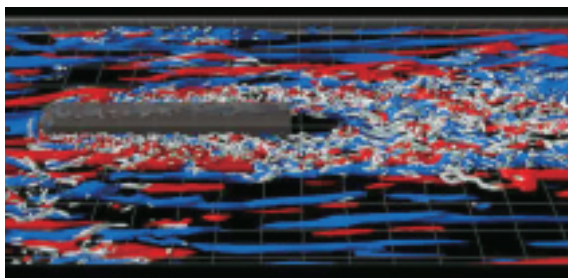


図2. 高温ガス炉（HTTR）の燃料チャンネルにおけるリブ周りの乱流の直接数値シミュレーション

結果のごく一部ですが、燃料棒の周りにつけられたリブ（突起）の周りに細かい渦が激しく発生する様子がよく捉えられています。計算された流れの諸特性も、当時私の同僚が実施された実験結果と大変よく一致しました。

このような物体まわりの流れは、広く我々の周りで見られるものです。レオナルドダビンチは、川の流れの中にある障害物の周りの流れをスケッチしています。図3は、レオナルドダビンチが、500年前にすでに物体の周りに発生する乱流の特徴を大変よく捕らえていたことを示すものとして、有名です。この絵と、今回の乱流DNSでは、条件はむしろ違いますが、両者の様相は非常に類似しており、レオナルドダビンチが観察した物体まわりの乱流を、500年の時を経て、コンピューター上に再現することができるようになったといえます。

RISTは、地球シミュレーターの活用に大きく貢献してこられました。今後はさらに技術力を蓄積されて、我が国における次世代のコンピューターにもより大きな貢献をされることを期待しています。



図3. レオナルドダビンチによる流れに置かれた物体まわりの乱流のスケッチ