

＝71号 特別企画＝

トップレベルの スパコン TSUBAME



松岡 聡 教授

東京工業大学には「TSUBAME」という名称のスーパーコンピュータ、通称スパコンが存在する。「TSUBAME」という名前には東京工業大学のシンボルマークであるつばめが掛けられている。TSUBAME は2006年から運用を開始し、初期のTSUBAME 1.0からTSUBAME 1.2への進化を経て、2010年、さらなる性能の向上をとげて、TSUBAME 2.0としての運用が始まった。これを機に今号の特別企画では、TSUBAME の設計者である松岡先生にお話を伺った。

計算機としての TSUBAME

2010年11月に発表された、TOP500 というスパコンの演算性能ランキングにおいて、TSUBAME 2.0 は世界4位を獲得した。このランキングで上位を占めるスパコンに共通するポイントのひとつとして、ベクトルプロセッサと呼ばれる処理装置を多く搭載していることが挙げられる。TSUBAME は誕生当初から他のスパコンに先駆ける形でベクトルプロセッサの搭載を始め、このたびのバージョンアップでは、さらに多くのベクトルプロセッサを搭載するに至った。まずは、スパコンの基本的な構造と、演算処理の方法について述べ、多数のベクトルプロセッサの搭載がスパコンの高性能化につながる理由を説明する。

スパコンは、ノードと呼ばれる計算機が多数集まることで成り立っている。ノードは、一般的なコンピュータと同じように、プロセッサ、メモリ、外部記憶装置から構成されているため、個別に演算を行うことができる。スパコンは、ノードそれぞれが個別に演算を行えることを利用して、演算処理を複数のノードに分散させ、演算を行う。その結果を集約することで、スパコン全体として大規模な演算が可能となるのである。TSUBAME 2.0 におけるノードの台数は、TSUBAME 1.2の約2倍である1400台と多数におよぶ。



スパコンの高い演算性能を活かす代表的な利用例は、シミュレーションである。天体の運動や気象の変化などの複雑な現象をシミュレートする場合、モデルを簡略化したり演算の精度を下げたりすると、結果が実際の現象からかけ離れてしまう。実際の現象に見合うよう正確にシミュレートするためには大規模な演算を行う必要があり、それを一般的なコンピュータで行うと膨大な時間がかかる。このようなシミュレーションを現実的な時間で行うことができるのはスパコンだけである。

天体や気象に関するシミュレーションにおいて、それぞれ異なる種類の演算が行われる。天体に関する演算では、惑星どうしの相互作用を考慮するため、ひとつひとつの演算が多く処理を必要とする。一方、気象に関する演算では、シミュレートする領域を細かい区画に分け、それぞれの区画に対し同じような処理を行う。このように、演算に対する処理の違いから、演算の種類は、個別に処理を行った方がよいものと、まとめて同じ処理を行った方がよいものに大まかに分けられる。

演算に用いられるプログラムや演算対象となるデータは、外部記憶装置などからメモリ上に読み込まれた後、プロセッサに転送されて、処理される。プロセッサはプログラムの実行や演算処理を担う装置であり、スカラープロセッサとベクトルプロセッサの2種類がある。スカラープロセッサはひとつの処理をひとつのデータに対して行い、ベクトルプロセッサは同じ処理を複数のデータに対してまとめて行う。一度の演算で複数のデータを扱う場合、ベクトルプロセッサで処理すると、処理対象のデータをまとめて転送して処理できるため(図1)、スカラープロセッサよりもデータの転送回数が少なくて済み、効率が良い。先程の例でいうと、気象に関する演算は複数のデータに対し同じような処理を行う必要があるため、ベクトルプロセッサが適するということになる。このことから、2種類のプロセッサをスパコンに搭載し、演算の種類に応じてプロセッサを選択できるようにすることで、スパコンの実行性能を向上させることができる。

しかし、従来のスパコンの多くはスカラープロセッサを主軸として搭載していた。これは、ベクトルプロセッサがスカラープロセッサに比べ多数の演算装置を内蔵しており、それに適したプログラムを作るのが難しいためである。このような問題に対し、TSUBAME は当初からベクトルプロセッサも搭載したベクトル・スカラー混合型のスパ

コンとして設計され、バージョンアップを進めていくにつれて、より多くのベクトルプロセッサを搭載してきた。TSUBAME 2.0 では、前のバージョンである TSUBAME 1.2 と比較してスパコン全体でベクトルプロセッサの性能値を20倍と大きく向上させ、スカラープロセッサの性能値も4.4倍に向上させた。また、ベクトルプロセッサ対応のアプリケーションを採用することで、より短時間での演算を可能にした。

このように、スカラープロセッサだけでなくベクトルプロセッサも搭載し、両立をはかることで、演算の効率をよくなり、実用面での性能を向上させることができるのである。

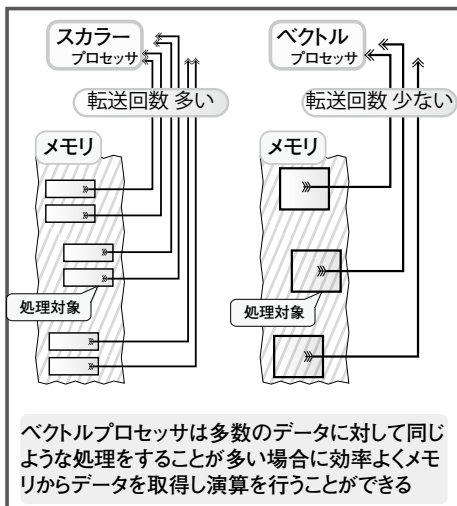


図1 プロセッサにおけるデータ転送の違い

「みんなのスパコン」

ここまでは計算機としての TSUBAME について紹介してきたが、次は利用者の視点で TSUBAME を見ていこう。TSUBAME のコンセプトに、「みんなのスパコン」というものがある。このたび、TSUBAME 2.0 のバージョンアップとともに以前よりも使い勝手をよくし、さらなる利用者の拡大がはかられた。そこで、TSUBAME 2.0 になって利用方法にどのような変更が加わったのかについて紹介する。

まず、外部の研究機関に提供する処理能力の割合を増加させた。スパコンは非常に高い演算性能を持っているが、独自に導入するには莫大な費用がかかる。また、メンテナンスが難しく、運用には高度な技術が要求される。これらの理由から、公共性の高い研究を行っているにもかかわらず、スパコンの導入に踏み切れない研究機関は非常に多い。TSUBAME は、これまでそのような研究機関に処理能力の2割を提供してきたが、TSUBAME 2.0 の運用開始によるさらなる処理能力の向上の結果、提供することのできる割合を3割に増やすことができた。それに加えて、利用者が研究の成果を公開する場合は、通常より安価に利用することができるようにもしている。

また、学部生など、普段スパコンを利用する機会がなかった人でも TSUBAME を利用しやすくなるようにさまざまな工夫がなされた。その工夫のひとつに、利用可能な OS の種類を増やしたことが挙げられる。OS とはプログラムの実行順序や割り当て時間、メモリ上にあるデータを管理する司令塔のようなものである。これまで TSUBAME で利用できたのは Linux という OS だけだったが、別の OS を使っている人には、操作方法の違いのために扱いづらいという印象を持たれがちだった。そこで、TSUBAME 2.0 は多くの人が使用している Windows も OS として利用できるようにした。

それに伴い、現在学内に設置されている学生用のコンピュータも Windows に置き換える予定だ。学内にいる学生用のコンピュータと TSUBAME 2.0 の両方で Windows を利用できるようにすることで、今まで別々だった TSUBAME と教育用端末のサーバを統合させることが可能となる。こうすることで各学生のデータを TSUBAME 2.0 に集約することができる。

この一連の変更により可能になるサービスとして、TSUBAME 2.0 をより手軽に利用できる MYTSUBAME というものが予定されている。利用者は MYTSUBAME を利用するためのプログラムをインストールした Windows を用いることにより、必要に応じて TSUBAME 2.0 に保存してあるデータにアクセスしたり、TSUBAME 2.0 に大規模な演算を行わせたりすることができる。そのうえ、学内の端末に限らず、利用者は自分の持っているコンピュータの Windows にそのプログラムをインストールしておけば、どこからでも MYTSUBAME を通して自分のコンピュータから直接操作しているかのように TSUBAME 2.0 を使えるのである。

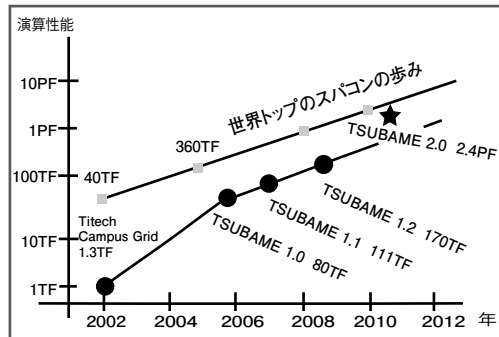


図2 性能の向上のグラフ



さらなる発展のために

先述の通り、TSUBAME 2.0 は世界トップクラスの高い演算性能を手に入れた。一方で、設計にたずさわった松岡先生は、性能や使い勝手の面だけでなく、開発コストや電力効率などの運用コストに関する面にもこだわりを持って取り組んだと語る。

一般的に、世界トップクラスのスパコンは開発に 1000 億円規模の莫大な予算が使われている。しかし、TSUBAME 2.0 は 30 億円という低予算にもかかわらずトップクラスの性能を実現している（図 2）。通常、スパコンを構成するプロセッサやメモリなどのパーツには、一般的なコンピュータのパーツよりも高い性能が求められ、開発と製造にコストがかかることが多い。これに対して、TSUBAME 2.0 のパーツは、比較的安価に製造できる汎用製品の技術をベースに製作されたため、コストを抑えつつ高い性能を実現することが可能となった。

また、スパコンを運用するためのコストとして電力効率も重要な問題となる。スパコンは、それ自体を動かすためだけでなく、スパコンから放出される大量の熱を処理するための冷却装置にも多くの電力を必要とする。そこで、TSUBAME 2.0 では密閉型の水冷ラックなどを用い、冷却を効率的に行うことで、冷却にかかる電力を抑えた。このように電力面に配慮した設計を行うことによって、TSUBAME 2.0 では TSUBAME 1.0 の 30 倍の性能を持たせつつ、エネルギー消費を TSUBAME 1.0 と同等に抑えることに成功した。

このような工夫の結果、グリーン 500 という演算性能あたりの電力効率に関するランキングにおいて、TSUBAME 2.0 は世界 2 位となった。また、電力効率のみならず演算性能の面から見ても世界トップクラスであることから、運用スパコンとしては世界 1 位の座を獲得した。

スパコンをはじめとしたコンピュータの世界では、技術の進歩が非常に早いので、日々開発を続けていかないとすぐに取り残されてしまう。現在スパコンが目指すべき目標は、今後 10 年で演算性能を 1000 倍にすることだと言われている。近年、エネルギー資源や気候変動といった環境問題の分析が強く求められるようになってきている。これらの分析には地球の大気や海洋などのさまざまな要素、およびそれらの相互作用をも考慮したモデルを用いる必要があり、現在最先端のスパコンでも処理するのに時間がかかってしまう大規模な演算が要求される。このような地球規模のシミュレーションは、演算性能が 1000 倍になったスパコンによって可能になると期待されている。

スパコンの性能が向上することは、その分スパコンを利用してできる研究が増え、さらなる演算性能を求める研究が現れることにつながる。だからこそ、スパコンの進化に終わりはない。TSUBAME は、演算性能や省エネルギーの面で世界の指標となるだけでなく、スパコンと企業や学生の関係をより近くし、科学や技術の発展、学生の教育に貢献するであろう。松岡先生はあらゆる面から TSUBAME の改良を試み、すでに TSUBAME 3.0 の設計にとりかかっている。TSUBAME はこれからも進化し続けていく。

情報工学を志す自分にとって、世界トップクラスのスパコンを開発している松岡先生にお話を伺えたことは貴重な経験となりました。松岡先生のお話はとてもわかりやすく、大変興味深い内容でした。TSUBAME 1.2 から TSUBAME 2.0 への移行でお忙しい中、取材に対し丁寧に応じいただき、ありがとうございました。（清水 遥）