私の研究

高性能計算とは

中里　直人（なかさと　なおひと）
公立大学法人会津大学
コンピュータ工学部門分散並行処理学講座
上級准教授

1．はじめに

高性能計算という耳慣れない言葉が私の研究対象です。身の回りのことや宇宙で起きている現象まで、現実世界の様々なことは微分方程式でモデル化することができます。この微分方程式をできるだけ高性能に、言い換えるとより短い時間で高性能に計算する方法を研究するのが私の専門です。そのためには、最近のテレビやスマートフォンなどにも搭載されている計算機をうまく利用する必要があります。身近なスマートフォンやパソコンには、いくつもの計算機が組み込まれています。典型的なものでは２個から８個の計算機が、メールを読んだり、ゲームをしたり、メッセージを通信する処理を分担しています。同じように、微分方程式を解くためのコンピュータ（スーパーコンピュータや専用並列コンピュータ）も、たくさんの計算機が組み合わさっています。たくさんというのは、場合によっては１万個を超える数にもなります。

2．波の高性能計算

スマートフォンやパソコンは様々な処理をこなしますが、微分方程式を解くコンピュータは、全体が一緒になって一つの目的に邁進します。この並列コンピュータは、たくさんの計算機が一緒になって問題を分割して計算をします。処理を分割して担当するのは、人間社会でもよくあることです。役割ごとに部署を置くことで、それぞれが与えられた職務を遂行します。並列コンピュータも同様で、「微分方程式を解く」という目的を、うまく分割して、例えば100個の計算機を同時に使って解く必要があります。

例えば、池のどこかに石を上から落とすということを考えます。石が水面にぶつかった結果、池には波が立ちます。この現象を微分方程式で表すと、浅水（せんすい）方程式と呼ばれる方程式となります。浅水方程式を解くには、池を縦横に格子状に分割して、それぞれの場所では、水深や波の高さなどを情報として保持します。この全体により池で発生した波の様子を表すことができます。石が落ちた場所では、落ちた直後に水面が深く下がり、その波が徐々に周りに広がります。池をどれくらい細かく分割するかによって、計算の精密さの具合が異なってきます。図１はこの考え方を太平洋に適用した場合の例です。この図は、太平洋の水深を色で表しています。これは地球規模での波の発生を計算する場合の例になります。この場合東西方向には2,581分割し、南北方向には2,879分割しており、一つの場所は7.5km四方を表します。結果として約743万ヵ所での波の変化を、計算により

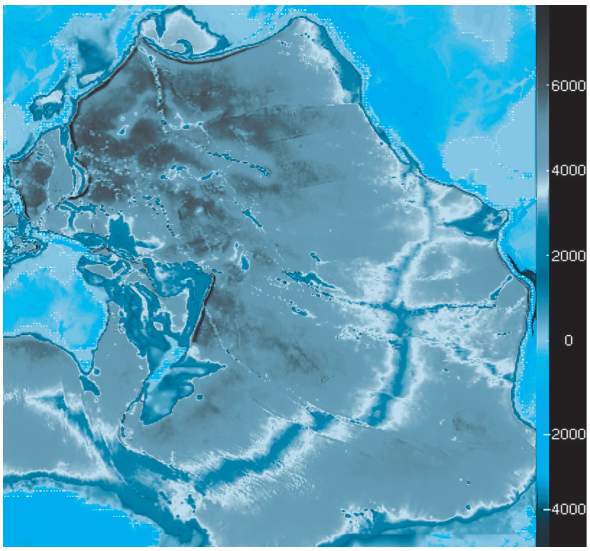

図１　日本列島と太平洋を含む領域の海深データ

求める必要があります。例えば、100個の計算機のある並列コンピュータで計算する時には、この全ての領域を東西と南北にそれぞれ10分割ずつします。結果、ほぼ正方形の領域が100個できて、それぞれの領域を異なる計算機が担当します。この方法を研究するのが私の研究テーマのひとつです。

一見単純に思えることですが、これはあまり簡単ではありません。この作業分担は、広い体育館を雑巾がけすることにたとえられます。１人で雑巾がけをするよりは、100人で行った方が早く終わります。並列処理の目的もこの高速性です。雑巾がけを100人で行う時にも、太平洋の分割と同様に、体育館を縦横で100個の領域に分割して、100人各自が担当箇所を雑巾がけすることができます。この時に、各自が好き勝手に雑巾がけをするとどうなるでしょう？　Ａさんは縦方向に、Ｂさんは横方向に、Ｃさんは斜めに自分の領域を雑巾掛けていくかもしれません。このような方法は効率がよいでしょうか？　例えば、隣同士のＡさんとＢさんは、雑巾を掛ける方向をうまく調整したほうが良いように思えます。

並列計算の研究は、この「調整」方法について研究をしていると言えます。並列計算でも、100個の計算機が担当領域を好き勝手に計算することはできません。できるだけ単純で効率よく「調整」を行うことが、全体の計算を高速にすることにつながります。調整をする際には、隣同士で情報をやりとり（伝言）します。遊びの世界での伝言ゲームでは、途中で情報があやふやになることがゲームとしての機微ですが、並列計算では伝言ゲームのように不正確な情報を伝達すると、計算自体が成り立たなくなります。並列計算での伝言は、正確な情報を正確なタイミングで伝える必要があり、この部分に様々な研究の余地があります。

３．桁数の多い並列コンピュータ

図２は我々の研究グループが開発した専用並列コンピュータ GRAPE-MP です。これは、会津大学、一橋大学、国立天文台、高エネルギー加速器研究機構の研究者が共同で開発しました。GRAPE-MP は「専用」並列コンピュータであり、

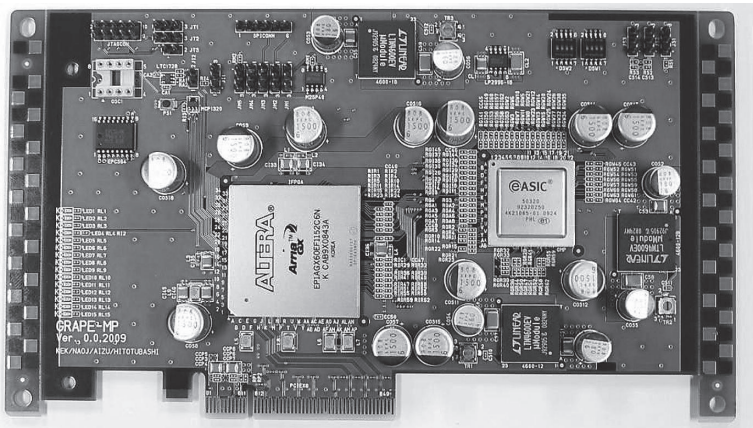

図２　専用並列コンピュータ GRAPE-MP

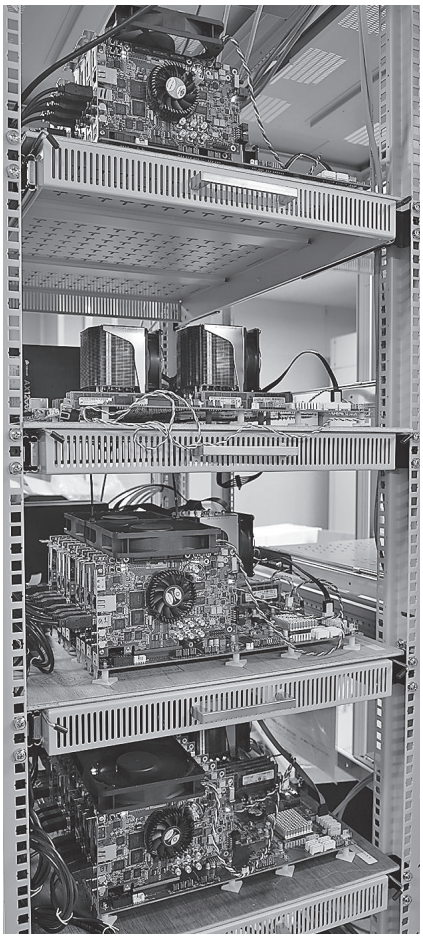

図３　GRAPE-MPX システム

特定の方程式を高速に計算するために設計されました。そのため、前に説明した浅水方程式を効率よく解くことはできません。GRAPE-MP は、素粒子物理学の実験を検証するために設計されました。この検証を行うために、特別の専用コンピュータを開発する必要があったのは、計算の桁数を大きくとるためです。

手軽に使える電卓のディスプレイは８桁の表示ができます。それにあわせて、８桁まで計算ができるようになっています。パソコンの表計算ソフトウエアでは、詳細の設定によりますが、最大で16桁程度の計算ができます。それにくらべて、素粒子物理学の検証には30桁から60桁の計算が必要となる場合があります。GRAPE-MP はこの計算を高速に行うために専用に開発しました。そのために、GRAPE-MP の計算機の内部設計を独自に行い、さらに計算ボードを研究グループで共同して実現する必要がありました。図２の GRAPE-MP には、計算機が６個搭載されています。全体の計算を６個に分担させることで、30桁の計算を高性能に行うことができます。

さらに、GRAPE-MP を拡張して、2015年からは GRAPE-MPX という計算機システムを設計して利用を開始しています。図３は高エネルギー加速器研究機構に設置された GRAPE-MPX システムです。GRAPE-MPX は複数の計算ボードからなるシステムです。GRAPE-MPX では、計算桁数は最大で60桁まで実行可能で、全体では384個の計算機で並列計算が可能です。演算桁数を30桁にすれば1,152個の計算機を利用可能です。ここまでの演算桁数が計算可能で、大規模なシステムを実現したのは我々のグループが最初になります。これにより、素粒子物理学の検証に必要な数値積分計算を次々とこなすことが可能となります。

４．おわりに

高性能・並列計算により、世界の様々なことを理解することができるようになります。今回は高性能計算やそれを実現する手段としての並列計算についての概説と、具体的な研究事例として、演算桁数の大きい専用並列コンピュータ GRAPE-MP/MPX について紹介しました。

＜プロフィール＞
1972年 北海道生まれ。1995年 東北大学理学部卒業、1997年 東京大学大学院理学系研究科天文学専攻修士課程修了、2000年 東京大学大学院理学系研究科天文学専攻博士課程修了、博士（理学）取得。2007年より、会津大学コンピュータ理工学部准教授、2013年より同上級准教授。2015年より、会津大学先端情報科学研究センター（CAIST）の並列計算クラスター（ARC-HPC）が発足し、そのリーダーを務めている。