

## 廉価な計算資源の構築—コンピュータクラスタによるハイパフォーマンスコンピュータ（HPC）の試作—

近藤正紀<sup>1)</sup>

1) 新潟医療福祉大学医療情報管理学科

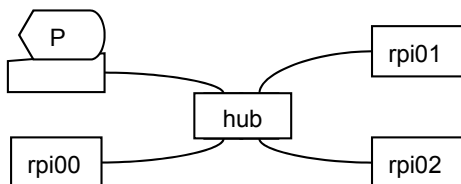
【背景・目的】コンピュータの発明によって人類は計算という単純労働から解放されたが、人間の欲望は留まるところを知らない。

コンピュータの演算性能は、多数の演算ユニットを並列動作させることでも得ることができる。事実、近年のスーパーコンピュータは殆どがこの方法によって構築されている。因みに日本国政府の政府調達において、スーパーコンピュータは50TFLOPS以上の理論演算性能を有するものとしている。

一般的なPCの処理能力を1とすると、必要な処理能力が10以下ならば市販のPCによって賄うことができると言われる。また、10000以上ならば所謂スパコンを利用する。ところがその中間は適したコンピュータが存在しない。

そこで、本研究では所謂スパコンとPCの中間に位置し、廉価且つ手軽に使用できるHPCの構築を目指す。

【方法】HPCを構築する方法にはCPUの回路をゼロから設計する方法等いくつかあるが、本研究においてはコストを抑制することも目的であるため、シングルボードコンピュータRaspberry Pi 2をノードとするクラスタによって構築する。試作システムの構成は以下の通りである。



本試作では図の通りマスター1台（rpi00）、スレーブ2台（rpi01、rpi02）の構成であるが、スレーブノードはスケラブルに増設可能である。この3台の上で並列コンピューティングの標準規格であるMPIを動作させる。マスター/スレーブそれぞれでプログラムをNFSで共有する。

PCよりrpi00に対してプログラムの実行指示を出し、rpi00が各スレーブノードに対して並列計算の指示と結果の収集等を行う。処理時間はrpi00上のプログラムの動作の開始から終了で計測する。ノード単体（1コア）では実測92.88MFLOPSとのことなので、2ノードで0.2GFLOPS弱の理論性能を得ることになる。マルチコア化は次の段階とする。

【結果】並列動作のテストとして円周率（ $\pi$ ）の算出をPythonで記述し、並列化の効果を実験した。 $\pi$ は特性解析がなされていることからコンピュータの動作や性能

を確認する際に便利である。 $\pi$ をコンピュータで計算するために各種のアルゴリズムが開発されているが、動作確認の計算には以下の式を用いた。

$$\pi = 4 \int_0^1 \frac{1}{1+x^2} dx$$

区間[0, 1]を $10^7$ 個に分割して区分求積法によってマスター単体で計算した結果は、3.14159 26535 89730 94351、要した時間は約104秒であった。 $\pi$ の精度は、Pythonのfloat型が53bitのため、式1を用いる方法ではこれが限界である。

同じ計算を二分して並列処理した結果、処理時間は約63秒に短縮された。1プロセッサでの時間を $T_1$ 、 $p$ プロセッサでの時間を $T_p$ とし、 $s(p)=T_1/T_p$ を並列効果と定義すると、今回の並列効果は1.65となる。理想は $s(p)=p$ である。

PCを除いた製作コストは、約2万円であった。

【考察】今回の試作では市販のCPUモジュールを利用している。その結果、かつてディスクリート回路で試作した場合と比較して、遥かに簡単かつ廉価、高性能な回路を構成することができた。半導体加工の施設を持たない場合の並列コンピュータ開発としては、既存のCPUモジュールを利用することは、最良の選択であると考えられる。

オーバーヘッドを無視した並列効果 $\alpha$ は、プロセッサ数 $p$ 、プログラムの並列化率を $r$ としたとき、次式で表される。

$$\alpha = \frac{1}{1-r+r/p}$$

プログラムの主要部分は $10^7$ 回のループであり、このループを二分したのでソースコード上の並列化率はほぼ100%。そこにソースコード共有のためのコードを追加している。実測した並列効果1.65に式2を適用すると、並列化率 $r$ は約78.8%となる。オーバーヘッドがかなり大きい、その原因としてPythonを使用したこと、ループ回数が $5 \times 10^6$ と少なめであること、通信機器の処理能力が低いことが考えられる。

【結論】本稿では市販のCPUモジュールをクラスタ接続することにより、HPCの中核を構成することに成功した。ただし、手持ちの機材を流用したこともあり、特にノード間通信がボトルネックとして浮上した。これはノードの増加によって顕著となることが予想される。通信コストを抑えるための更なる検討が必要である。

$\pi$ は現在133兆桁を超える精度で求められており、今回の精度を上回るためには、多倍精度計算を行う必要がある。Machinの公式を始めarctan系公式については多倍精度アルゴリズムが提案されているが、並列化の方法を慎重に検討しないと、逆に演算時間の増加を招く結果になる。近年大学でのスーパーコンピュータ利用による $\pi$ の計算に許可が下りない傾向にあるとのことで、今後はこのようなコンピュータが主流になるとも考えられる。