

計算における専用と汎用

－ GPU と PCS を用いた科学技術計算の考察 －

根木 颯也^{†1} 後藤 麦彦^{†1} 矢島 雄河^{†1} 前山 和喜^{†1†2} 田中 輝雄^{†1}

工学院大学^{†1} 総合研究大学院大学^{†2}

1. はじめに

本研究は、特定の用途のために開発された計算機器における「汎用」について論じる。対象は、21世紀初頭にグラフィック計算のために開発された GPU (グラフィックス・プロセッシング・ユニット) と、主に 20 世紀前半の事務統計処理に用いられた PCS (パンチ・カード・システム) である。本研究では、これらの装置の想定されていた計算対象、ハードウェアスペック、用いられた計算アルゴリズム等の観点から比較分析し、専用の機器として作られた機器が汎用的な用途に用いられていく過程を明らかにしていく。

2. GPU について

一般的に最初の GPU とされているのは、1999 年に発表された NVIDIA の GeForce 256 である。これは、グラフィックス処理全般を GPU 単体で処理できる仕組みが実装されていた。その後も、複雑で高度なグラフィックス処理に対応するために性能を向上させていく。例えば 2001 年にポリゴン処理をプログラム可能にするプログラマブルシェーダに対応した GPU が開発されることにより、GPU 内部の処理をある程度自由に書き換えられるようになった。これによってグラフィック表現の幅が広がった。さらに 2004 年発表の GPU である GeForce 6800 は、内部の演算器の数を増やすことでグラフィックス処理に重要な並列演算性能を大きく向上させた。これらの技術革新はハイパフォーマンスコンピューティング (HPC) 分野における GPU の応用を促進し、アルゴリズムを実装する上での自由度と並列処理能力が評価された。2006 年に NVIDIA が汎用計算向けの統合開発環境 CUDA を提供したことにより、GPU を使った汎用計算の普及は勢いを増した。現在では、HPC や機械学習といったグラフィック以外の領域でも GPU は広く利用されている [1]。

3. PCS について

PCS は、1880 年代から 1950 年代にかけて、大量の事務処理に利用されていた機器の総称である。PCS は穿孔されたパンチカードをソート、マージ、仕分け、集計、印刷、計算結果の穿孔などの処理を行うシステムである。PCS は作表機、分類機、照合機などの複数の機器から構成され、これらの装置を協働させることにより、効率的なデータ処理が可能なシステムとなる [2]。

PCS は、ハーマン・ホレリスによって 1890 年のアメリカ合衆国国勢調査における統計事務のために開発された。その後は事務用の統計システムとして一般管理事務、生産管理、医学統計などあらゆる分野で広く普及した。

1933 年頃にウォーレス・ジョン・エッカートにより、天文学における微分方程式を解くための計算に利用されはじめた。またマンハッタン計画におけるシミュレーション計算において作表機の利用が提案されるなど、科学技術計算における PCS の有用性は広く認識されることになった。

4. 「専用機」と「汎用機」について

一般的に専用機は、特定のタスクやアプリケーションのために最適化した設計にされている。一方で、他の用途には適していない傾向がある。これらは不必要な機能を省略し、製造コストを削減することで、大量生産されやすくなり、結果として価格が低下し普及が進む。対して汎用機は、ある程度広い用途で使うことを目的として設計されている。ただし、公的な定義や統一的な見解がなく、境界は曖昧である。

本研究で、GPU と PCS という専用機を扱っている。この 2 つを選んだのは、専用機として開発された後に汎用的な使われ方をされるようになっていった機器であり、専用の計算が“汎用”になっていく過程を議論しやすいと考えたからである。その他の計算機器としてパーソナルコンピュータやスーパーコンピュータがある。しかし、前者はそもそも汎用的利用を意図して開発されており、後者は開発時点でそのアーキテクチャの専用や汎用を指向して開発されていくという特徴がある。そのため本研究では議論に含めなかった。

Historical Case Studies on “General Purpose” and “Special Purpose” in Scientific Computation

Soya Negi ^{†1}, Mugihiko Goto ^{†1}, Yuga Yajima ^{†1},

Kazuki Maeyama ^{†2}, Teruo Tanaka ^{†1}

^{†1} Kogakuin University

^{†2} The Graduate University for Advanced Studies

5. GPU と PCS における汎用化

GPU と PCS の汎用化の過程を比較分析する。分析の焦点は、GPU と PCS がいかに汎用的な計算のための機器としての地位を獲得していったかである。

GPU は主に HPC 分野の研究者によって汎用に用いられることになった。例えば、2 つの入力テクスチャの色を足し合わせて別のテクスチャを出力するブレンド処理という一般的なグラフィックス処理が存在する。この処理を図 1 のように 2 つのテクスチャを 2 つの配列と見なすことで、配列の加算ができる。テクスチャへのデータ配置を入力、GPU 上での描画処理を演算、GPU の描画結果を CPU へ書き戻す処理を出力として扱っている [1]。この 3 種の操作は、まさに現代コンピュータの CPU を用いた計算処理である。

PCS は 1933 年頃から、コロンビア大学の天文計算局で、微分方程式の解析などの天文学における計算に応用され始めた。それまでの大勢の計算手の労力による計算ではなく、あらかじめ数表を PCS で自動計算し、それを辞書の要領で引いて計算する方式に移行していった。科学技術計算で用いる方程式を計算するための数表を、応用数学の知見を活かして大量の四則演算や繰り返し処理によって計算している。多少のハードウェアの改造を伴いつつも、事務統計計算機としての機能を保ったまま、科学技術計算の機能が拡張された [3]。

ここで両者に共通するのは、ユーザの創意工夫によってメーカーの意図していない新たな用途が生まれたことである。GPU はゲーム開発者やゲームをユーザとして意識して開発されたはずだが、実際に GPU の計算対象拡張したのは HPC 研究者である。PCS では企業などの事務計算を必要とするユーザが対象とされていたが、科学技術計算の用途への拡張は天文学者によって行われた。

そして両者の異なる点は、汎用化計算の位置づけである。GPU は、行列計算という汎用的な計算対象をグラフィックス処理という専用計算に落とし込むことによって効率よく汎用的な計算を行なっている。CUDA のような統合開発環境を構築することで、専用計算の内側で汎用性を実現している。対して PCS は、元々のパンチカードを用いた事務計算の強みを活かせるように、方程式を事務計算の枠組みに落とし込むことによって、専用計算を汎用計算へと拡張している。つまり、前者は計算方法を汎用化させ、後者は計算対象を汎用化させているという異なる点が認められる。

また、両者は“プログラマブルという汎用的な計算”の度も異なる。PCS は人間の手で配線を組み替えることによって実現している。これすらも当時の計算機

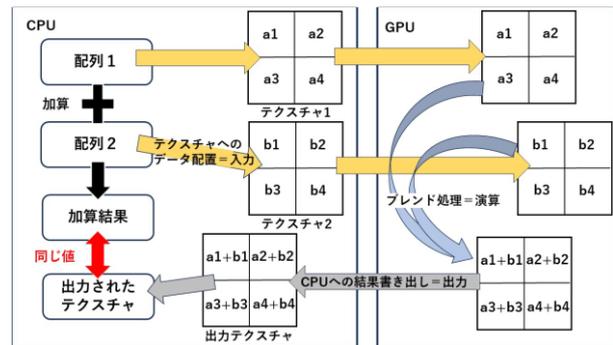


図 1 GPU による配列の加算

器においては画期的なことであったが、その自由度は限定的であった。その後、CPU を核とする現代コンピュータの利用が当たり前になると、多くはプログラムによる汎用計算として実装されるようになる。その流れの中で、専用機である GPU も、CPU での計算のようにプログラムが出来るような環境に近づけている。

この違いは、単に GPU と PCS の違いを超え、計算概念そのものの発展を示している。しかしこれらは、どちらも大規模な行列計算による科学技術計算であり、完全な「汎用計算」を実現しているわけではない。

6. おわりに

本研究では、PCS と GPU の用途を拡張していく過程を比較分析することにより、計算の汎用化という現象を明確にしようと試みた。計算をより汎用的にしていくことは、ユーザによって計算対象が広げられていく事象であるともいえる。この計算実践の拡張は、メーカーが想定していない用途での利用を試みようとする潜在的なユーザによって生まれている。当然、完全な汎用計算の実現には至っていない。しかし本研究は、手に入れやすい専用計算機を効率よく使おうとする実践の内側で、汎用化への展開を明らかにすることにより、普遍的な計算概念の一端を見出した。つまり、専用計算の技術や応用数学の知見を組み合わせることで計算の枠組みを拡げている。それを抽象化したものが現代のプログラムである。

参考文献

- [1] 大島聡史：これからの並列計算の計算のためのGPGPU 連載講座 (1)GPU と GPGPU の歴史と特徴, 東京大学情報基盤センター, <https://www.cc.u-tokyo.ac.jp/public/VOL12/No1/201001gpgpu.pdf>(参照2023-12-18).
- [2] 平山健三・増山元三郎・中村重男：パンチカードの理論と実際, 南江堂 (1970)
- [3] W. J. Eckert : Punched Card Methods in Scientific Computation, THE THOMAS J. WATSON ASTRONOMICAL COMPUTING BUREAU COLUMBIA UNIVERSITY (1940).