

スーパーコンピュータ「京」におけるメモリアンテンシブな

アプリケーションの評価および高性能化

井上 俊介† 堤 重信‡ 前田 拓人§ 南 一生†

1. はじめに

スーパーコンピュータ「京」は、ノードあたり 128GFLOPS の演算性能および 64Gbyte/s のメモリ性能を有し、理論上の Byte/Flop(B/F)値は 0.5 である。一方、メモリアンテンシブなアプリケーションを実行する場合、必然的に要求 B/F 値が高まるため、単体性能の観点における高性能化の課題は、十分にメモリスループットが得られていること、データの再利用性を高めることの 2 点に絞られる。本研究では、スタガード格子差分法による地震動シミュレーションコード Seism3D[1]を用いて、「京」におけるメモリアンテンシブなアプリケーションの評価手法および高速化手法の確立を目指す。

2. 評価手法

「京」上で実行されるメモリアンテンシブな演算カーネルにおいては、そのカーネルの持つ要求 B/F 値と、「京」のメモリが持つ実効 B/F 値(=0.36)との比によって、図 1 のように実効性能の推定が可能である[2]。

```
do j = 1, NYP
  do i = 1, NXP
    do k = 1, NZ
      dzv(k,i,j) = (v(k,i,j) - v(k-1,i,j)) * R40z &
        - (v(k+1,i,j) - v(k-2,i,j)) * R41z
    end do
  end do
end do
```

——— ストア配列: メモリアクセス=ロード1回, ストア1回
——— ロード配列: メモリアクセス=ロード1回
- - - - キャッシュ上の配列: メモリアクセスなし
演算数: 5 (積2, 和3)

要求 B/F = (4byte*3)/5 = 2.4 → 推定性能 = 0.36/2.4 = 15%

Figure 1 実効性能の推定

Seism3D の主要な演算カーネルは、すべてメモリアンテンシブであるため、本手法から達成可能な実効性能値が決定され、基本的に実測値もそれに従う。一方、実測値と推定値に乖離があるカーネルにおい

ては、なんらかの問題が発生しており、メモリスループットが十分に出ていない現象が観察される。従って、これらの演算カーネルにおける高速化は、阻害要因を除くチューニングが効果的である。また、推定性能に達しているカーネルにおいては、差分計算の特性を生かしたキャッシュ上の再利用性を検討し、更なる高速化を目指す。

3. 高性能化手法

推定性能に達していない演算カーネルの殆どが、最内ループにストリーム配列を多用した結果、キャッシュ競合が発生していた。これらの演算カーネルに対しては、ループ分割を実施することにより、キャッシュ競合のリスクを低減させ、メモリスループットを十分に確保することが可能になる。また、差分計算による微分項求解ルーチンにおいては、ループ融合や cyclic 分割を利用したキャッシュにおけるデータの再利用性の向上と、ストアプレッシャーを軽減する XFILL 指示行を利用することにより、推定性能および実効性能の向上を達成した[3]。

4. まとめ

Seism3D の主要カーネルを、上述した手法を用いて評価および高速化を実施した結果、「京」のフルノードである 82,944 並列にてピーク性能比 19.7%(2.1PFLOPS)を達成した。ポスターでは、評価手法と性能向上手法についてより具体的に報告する。

参考文献

- [1] T. Furumura and L. Chen "Parallel simulation of strong ground motions during recent and historical damaging earthquakes in Tokyo" Japan, Parallel Computing, Vol31, pp149-165 (2005) .
- [2] K. Minami. et al, "Performance Tuning and Evaluation of Sparse matrix-vector multiplication on the K computer" High Performance Computing Symposium, pp.144-152(2012).
- [3] S. Inoue et al "Performance optimization of seismic wave simulation code on the K computer" High Performance Computing Symposium, pp.44-52 (2013).

† 理化学研究所 計算科学研究機構
RIKEN Advanced Institute for Computational Science
‡ 株式会社富士通九州システムズ
Fujitsu Kyushu Systems Ltd
§ 東京大学地震研究所
Earthquake Research Institute, The University of Tokyo