

# 並列化を容易にする 並列プログラミング言語 XcalableMP Fortran

理研 AICS  
プログラミング環境研究チーム  
村井 均

# はじめに

- 並列プログラミング言語XcalableMP
  - 分散メモリ型システムを対象とする。
  - PGAS (Partitioned Global Address Space) プログラミングモデル
  - 指示文ベース  「高生産性」を実現
- Omni XcalableMP処理系
  - 理研AICSと筑波大で開発中のXMP処理系

# もくじ

1. 並列プログラミング言語XcalableMP
2. Omni XcalableMP処理系
3. XcalableMPの利用例

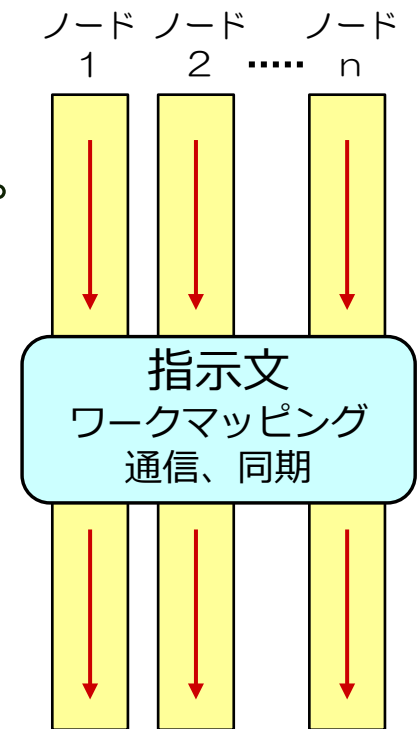


# XcalableMP

- PCクラスタコンソーシアムのXMP規格部会（XMP-WG）で検討中。
- MPIに代わる並列プログラミングモデルを目指す。
- 目標：
  - Performance
  - Expressiveness
  - Optimizability
  - Education cost

# XcalableMPの特徴 (1)

- Fortran/Cの拡張 (指示文ベース)
  - コードの書き換えや教育のコストを抑制
- SPMDモデル
  - 各ノードが独立に(重複して)実行を開始する。
  - タスク並列のためのMIMD実行も可能。
- 明示的な並列化と通信
  - ワークマッピング(並列処理)、通信および同期は「集団的」な指示文によって明示される。
  - チューニングが容易



# XcalableMPの特徴 (2)

## □ グローバルビュー

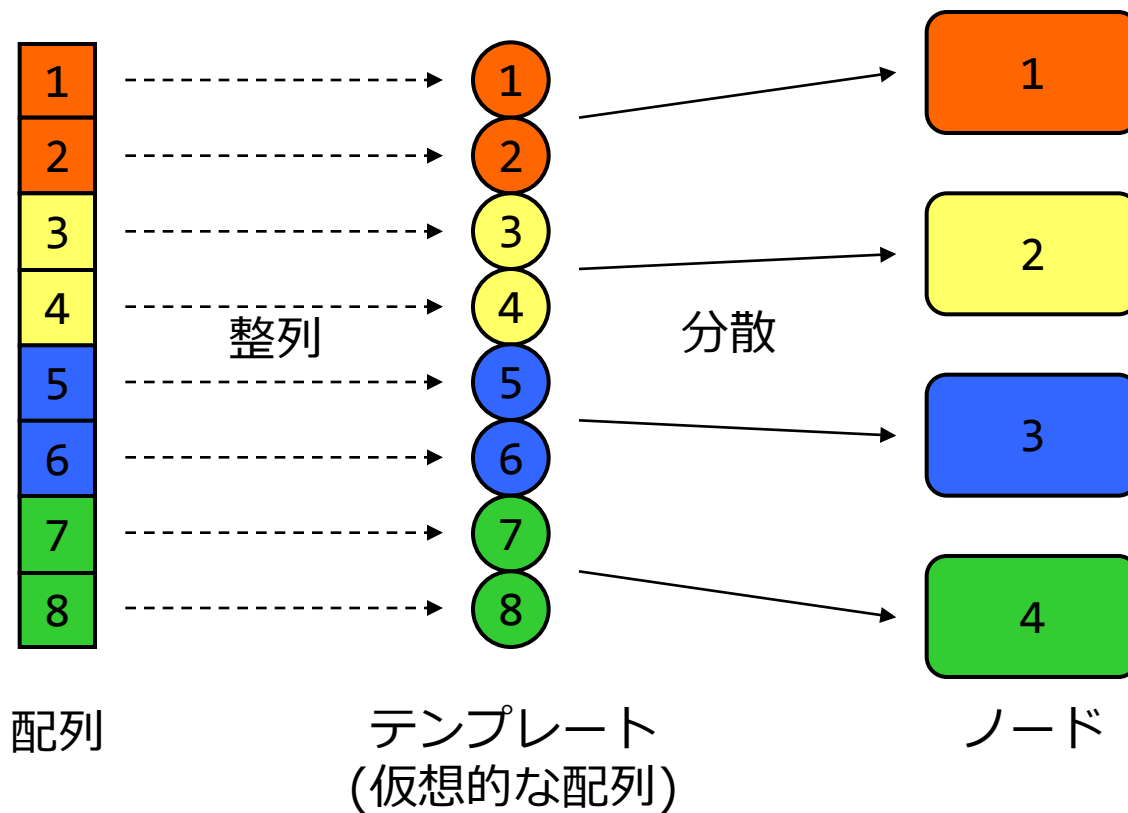
- データ並列とワークマッピングによって、典型的な並列化をサポートする。
- 基本的に、指示文を挿入するだけ。

## □ ローカルビュー

- Fortran 2008のcoarrayをベースとする、PGAS (Partitioned Global Address Space) 機能を提供。
- 低レベル記述による完全性と性能の保障。

# データ分散モデル

## □ 整列 + 分散による2段階の処理



- 配列はテンプレートに整列され、
- テンプレートはノードに分散される。

# データ分散指示文

## □ align指示文の例

配列aの要素iを、テンプレートtの要素i-1に整列させる。

```
!$xmp align a(i) with t(i-1)
```

## □ distribute指示文の例

ノード集合pに、テンプレートtをブロック形式で分散する。

```
!$xmp distribute t(block) onto p
```

他に、サイクリック、ブロックサイクリック、不均等ブロックを指定できる。



# ワークマッピング指示文

## □ task指示文

```
!$xmp task on t(k-1)  
  a(k) = ...  
!$xmp end task
```

t(k-1)のオーナーが、a(k)への代入を実行する。

## □ loop指示文（並列ループ）

```
!$xmp loop on t(i-1)  
do i = 1, n  
  a(i) = ...  
end do
```

t(i-1)のオーナーが、繰り返しiにおいて、a(i)への代入を実行する。

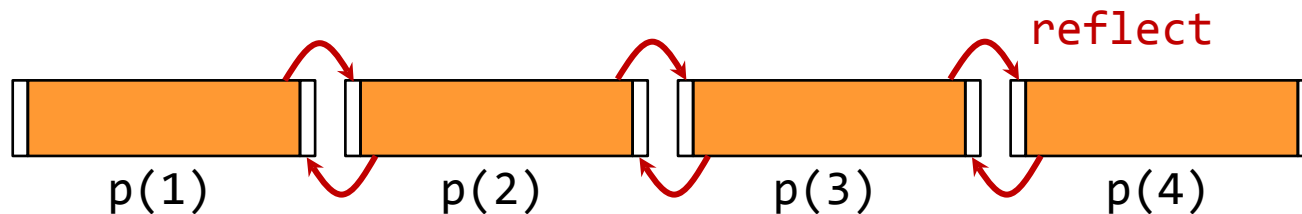
# 通信指示文 (1)

## □ shadow指示文 & reflect指示文

aの上下端に幅1のシャドウを付加する。

```
!$xmp distribute t(block) onto p  
!$xmp align a(i) with t(i)  
!$xmp shadow a(1:1)  
...  
!$xmp reflect (a)
```

aに対する隣接通信を実行する。

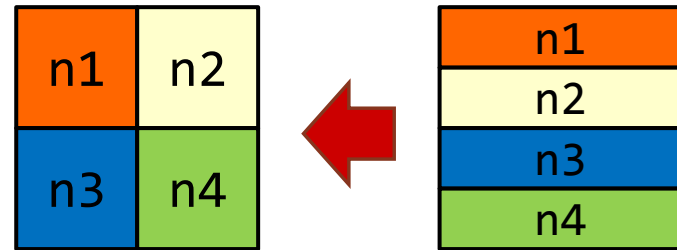


# 通信指示文 (2)

## □ gmove指示文

- 通信を伴う任意の代入文を実行する。

```
!$xmp gmove  
a(:, :) = b(:, :)
```



a(block, block)

b(block, \*)

- その他に、ブロードキャスト (bcast) や集計演算 (reduction) を指定できる。

# XcalableMPプログラムの例

```
!$xmp nodes p(npx,npy,npz)

!$xmp template (lx,ly,lz) :: t
!$xmp distribute (*,*,block) onto p :: t

!$xmp align (ix,iy,iz) with t(ix,iy,iz) ::
!$xmp&      sr, se, sm, sp, sn, sl, ...

!$xmp shadow (0,0,0:1) ::
!$xmp&      sr, se, sm, sp, sn, sl, ...

lx = 1024

!$xmp reflect (sr, sm, sp, se, sn, sl)

!$xmp loop on t(ix,iy,iz)
do iz = 1, lz-1
do iy = 1, ly
do ix = 1, lx
    wu0 = sm(ix,iy,iz ) / sr(ix,iy,iz )
    wu1 = sm(ix,iy,iz+1) / sr(ix,iy,iz+1)
    wv0 = sn(ix,iy,iz ) / sr(ix,iy,iz )
    ...
```

ノード集合の宣言

テンプレートの宣言と  
分散の指定

整列の指定

シャドウの指定

重複実行される

隣接通信の指定

ループの並列化の指定

➡ 処理系がSPMD化

# ローカルビュー機能

- SPMD実行モデルの下で、各ノードの振る舞いをプログラムすることが可能 → よりきめ細かな最適化
- Fortran 2008のcoarray機能をサポート。
  - XMP/Cでも利用できる。

```
int A[10]:[*], B[10]:[*];  
...  
A[:] = B[:]:[10];
```

ノード10上のB[:]を、各ノード上のA[:]へブロードキャスト

※ 「部分配列」記法も利用可能

# もくじ

1. 並列プログラミング言語XcalableMP
2. Omni XcalableMP処理系
3. XcalableMPの利用例



# Omni XcalableMP

- 理研AICSと筑波大で開発中のXMP処理系
  - XMP/C
  - XMP/Fortran
- オープンソース
- トランスレータ + ランタイム(MPIベース)
- 対応プラットフォーム
  - Linuxクラスタ、Cray XT5、京コンピュータ
  - その他、MPIが動作している任意のシステム

近日公開  
予定

# 現況

- プロトタイプ(ver. 0.6.0)を公開中
  - XMPの主要な機能を実装済み
  - 制限事項あり (後述)
- 拡張機能
  - アクセラレータ向け拡張 (XMP-dev)
  - プロファイラ・インタフェース
  - スレッド並列 (OpenMP)



# ver. 0.6.0の制限事項

|              | XMP/C        | XMP/F        |
|--------------|--------------|--------------|
| nodes        | ○            | △            |
| distribute   | △ (gblock以外) | △ (gblock以外) |
| template_fix | ×            | ×            |
| task         | △ (実行制御のみ)   | △ (実行制御のみ)   |
| gmove        | △            | △            |
| post/wait    | ○            | ×            |
| local_alias  | —            | ×            |
| coarray      | ○            | ×            |
| 組込み手続き       | △            | △            |

○ 実装済み。△ 制限あり。× 未実装。

# もくじ

1. 並列プログラミング言語XcalableMP
2. Omni XcalableMP処理系
3. XcalableMPの利用例



# SCALEp

- large eddy simulationに基づく気候モデル「SCALE-LES」の力学コアプロトタイプ。
- グローバル並列化の方針
  1. 3次元配列の水平方向2次元にブロック分割を指定。
  2. loop指示文により、3重ループの外側2重ループを並列化。
  3. reflect指示文により、周期的な隣接通信を指定。

# SCALEpコード (抜粋)

```
!$xmp nodes p(N1, N2)
!$xmp template t(IA, JA)
!$xmp distribute t(block, block) onto p
```

ノード配列とテンプレートの宣言

```
real (8) :: dens(0:KA, IA, JA)
```

```
!$xmp align (*, i, j) &
!$xmp with t(i, j) :: dens, ...
!$xmp shadow (0, 2, 2) :: dens, ...
```

データの分散

```
!$xmp reflect (dens(0, /periodic/2, &
!$xmp /periodic/2), ...)
```

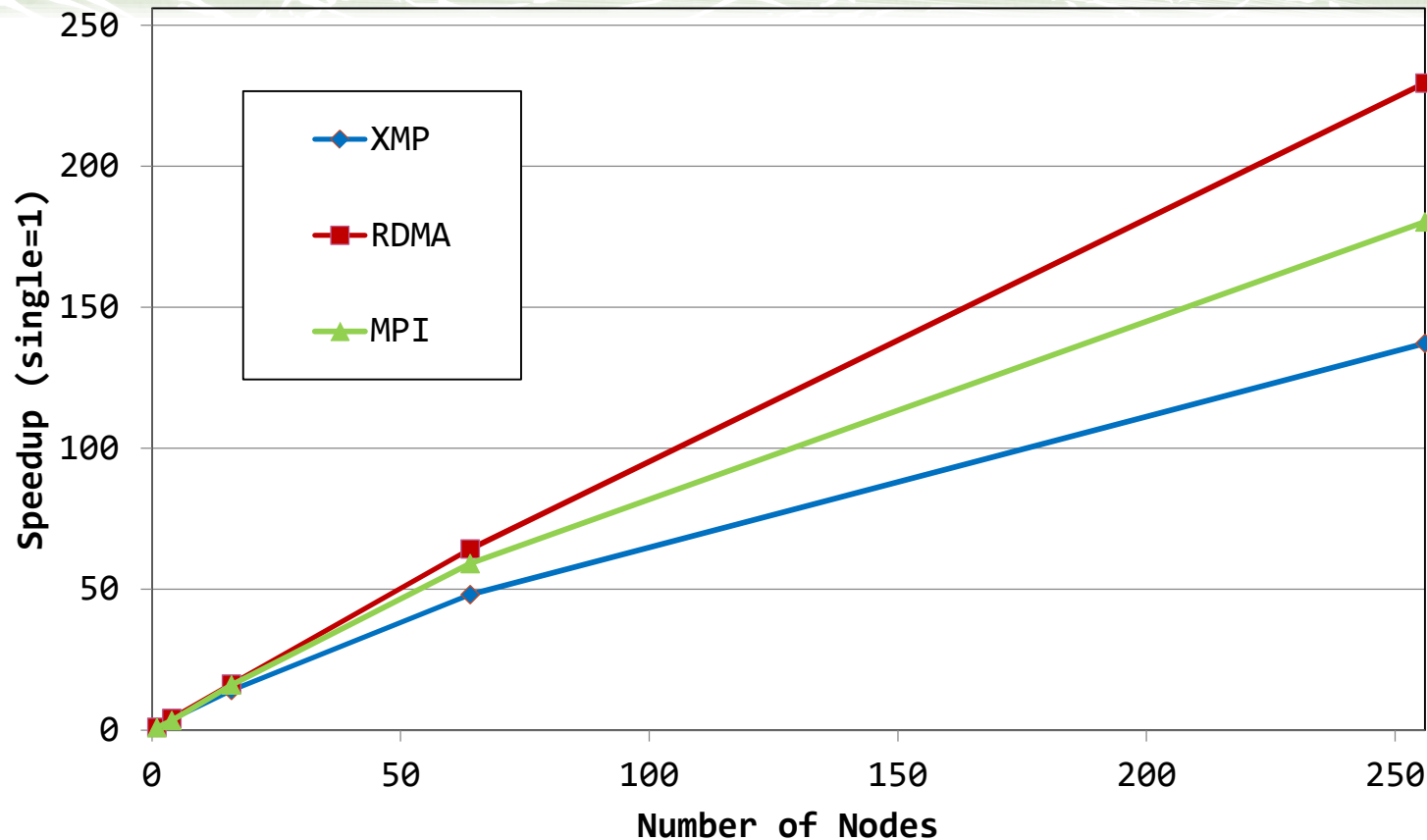
隣接通信

```
!$xmp loop (ix, jy) on t(ix, jy)
do jy = JS, JE
  do ix = IS, IE
    do kz = KS+2, KE-2
      ... dens(kz, ix+1, jy) ...
    end do
  end do
end do
```

ループ並列化

SCALEpのような「規則的な」コードは、XMPを用いて極めて容易に並列化できる。

# 京における評価結果



- 水平方向512x512, 鉛直方向128
- 時間発展ループ500回転
- ハイブリッド並列化

# HPC Challenge ベンチマーク (1)

- 生産性（実装の「エレガントさ」）と性能を競う「クラス2」
- 以下の4つのベンチマークを並列化
  - Global HPL
  - Global RandomAccess
  - Global FFT
  - himenoBMT（自由課題）

# HPC Challenge ベンチマーク (2)

- Global HPL (XMP/C)
  - グローバルレビュー並列化
  - BLASの利用
- Global RandomAccess (XMP/C)
  - XMPのcoarray機能を用いて、recursive exchangeアルゴリズムを実装。
  - coarray機能の実装には、京のMPIの拡張RDMAインタフェースを用いた。

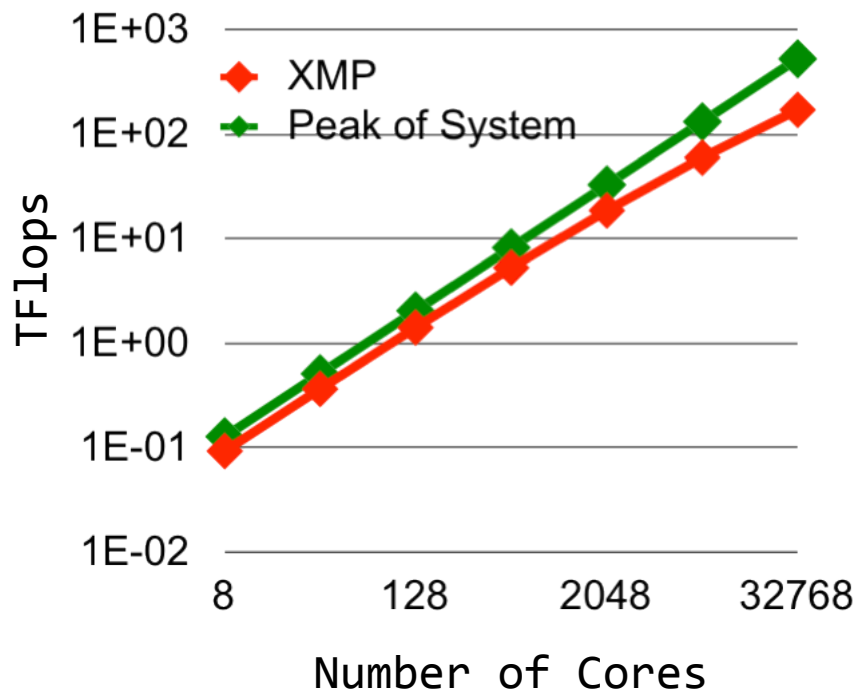
# HPC Challenge ベンチマーク (3)

- Global FFT (MPI + XMP/Fortran)
  - FFTE5.0を利用
  - 実行時に正方行列の分散転置処理を検出し、MPI\_Alltoallによる最適化された通信ランタイムを起動。
- himenoBMT (XMP/Fortran)
  - 典型的なステンシル計算コード
  - グローバルビューによる並列化 (データマッピング、ワークマッピング、ステンシル通信)

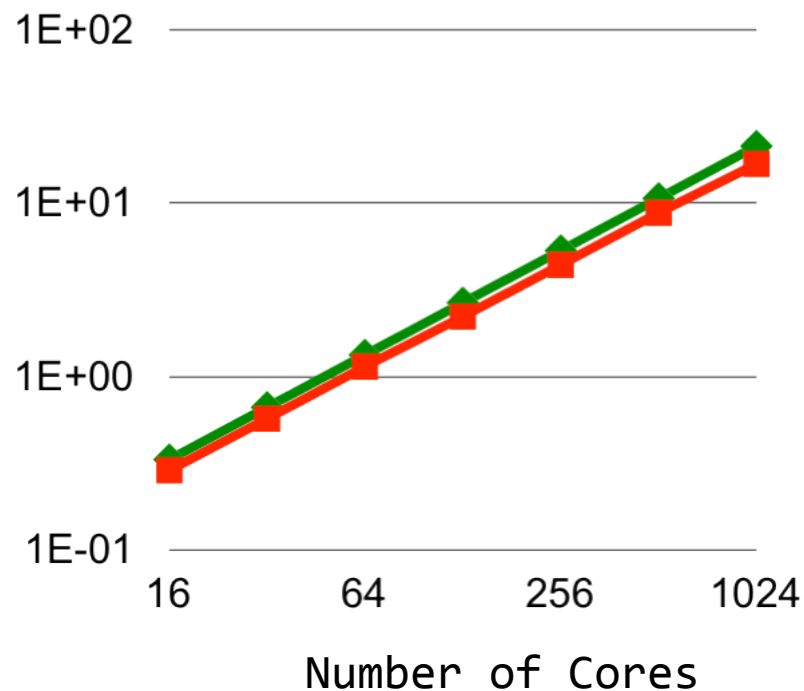


# Global HPL評価結果

## 京コンピュータ

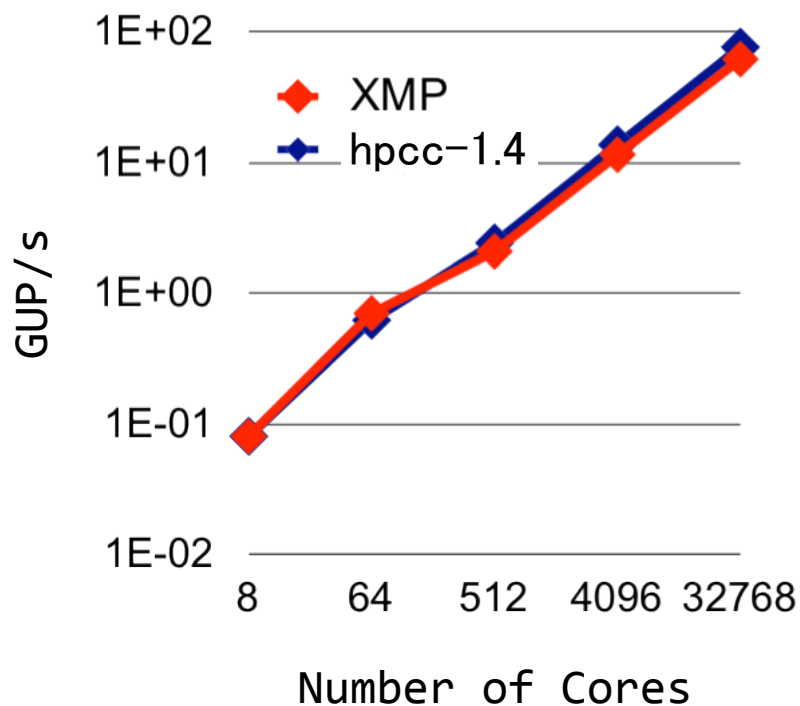


## Linuxクラスタ (筑波大HA-PACS)

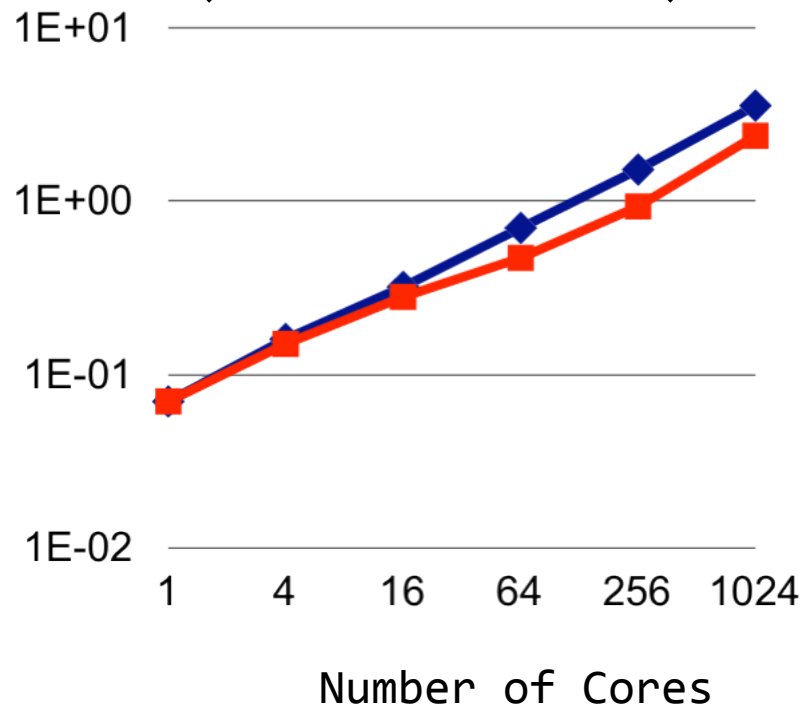


# Global Random Access 評価結果

## 京コンピュータ

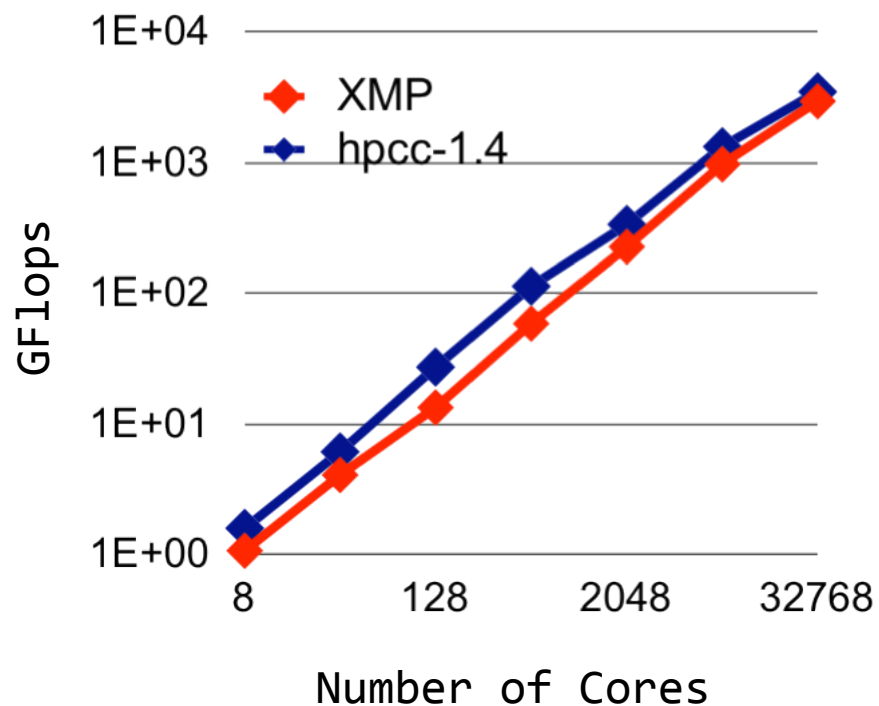


## Linux クラスタ (筑波大 HA-PACS)

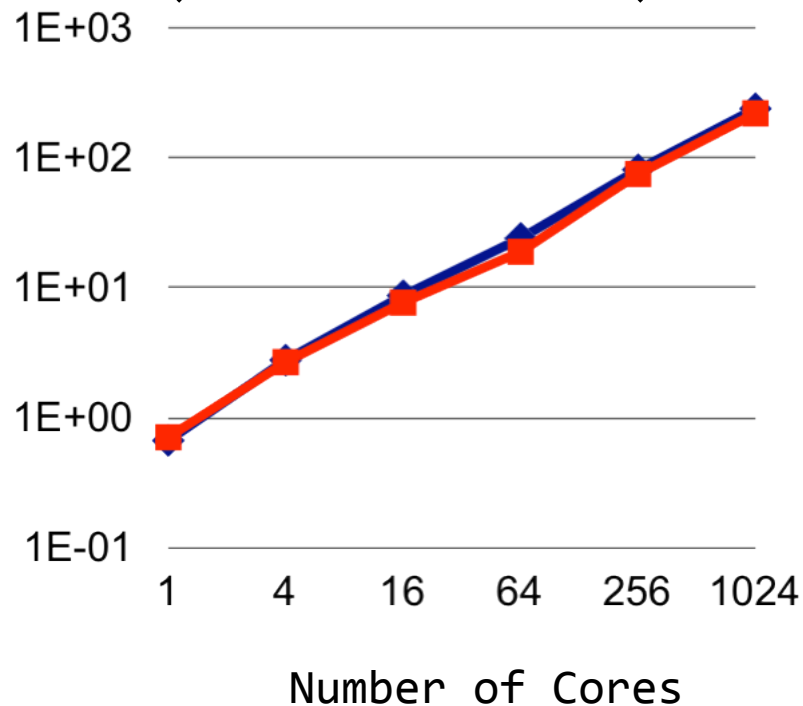


# Global FFT評価結果

## 京コンピュータ

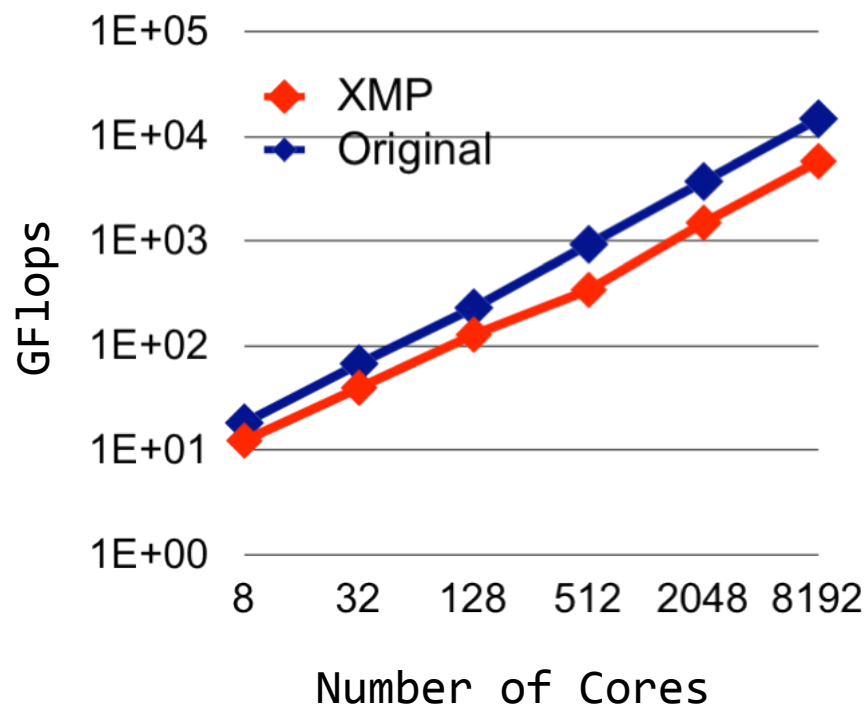


## Linuxクラスタ (筑波大HA-PACS)

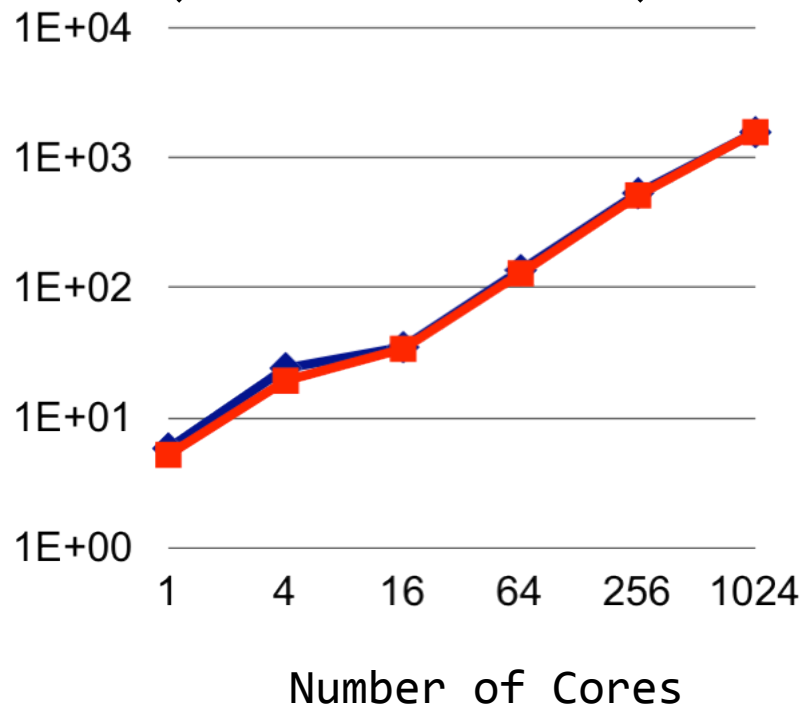


# himenobmt評価結果

## 京コンピュータ



## Linuxクラスタ (筑波大HA-PACS)



# おわりに

- 並列プログラミング言語XcalableMP
  - MPIに代わる並列プログラミングモデル
  - Fortran/C + 指示文
  - グローバルビューとローカルビュー
- Omni XcalableMP処理系
  - ver. 0.6.0を公開中。
  - 近日中に、京で利用可能に。

# 今後の課題

- OpenMPとの混在
  - XMP-WGで検討中
  - Global FFTで実験
- 既存プログラム（ライブラリ）の利用
- GPUクラスタへの対応
- プロファイラscalascaとの連動
- 通信の最適化
  - アルゴリズムの変更、RDMAの利用

[www.xcalablemp.org](http://www.xcalablemp.org)

