

# 地球シミュレータでのXcalableMP言語の評価

上原均<sup>1</sup>、横川三津夫<sup>2</sup>、村井均<sup>3</sup>

1:海洋研究開発機構地球情報基盤センター、2:神戸大学大学院システム情報学研究所、3:理化学研究所計算科学研究機構

## 研究の背景と目的

近年の計算機の著しい計算性能向上に従い、その並列度も急激に上昇しており、3~5年後には100万並列に達したポストペタスケール級計算機が登場することが推定される。しかし、高並列計算機を活用するための高並列プログラムの開発が非常に難しい事も既に専門家から指摘されている。

それに対して、地球シミュレータでは、数多くの地球科学系アプリケーションが実行されているが、その多くは数千未満の並列規模を想定しており、かつアプリケーションによってはコードが数十万行に及ぶため、ポストペタスケール級のような高並列HPC環境への移行は早急に検討する必要がある。

そこで我々は、将来のポストペタスケール級計算機環境において有望と思われるPGASモデルに基づいたXcalableMP言語（以下、XMP）<sup>[1]</sup>による地球科学系アプリケーションの計算表現可能性や性能の評価を地球シミュレータにおいて試みた。

XMP言語は指示行ベースでFORTRAN言語あるいはC言語を拡張した言語で、スーパーコンピュータ「京」やPCクラスタなどのスカラー型計算機で主に開発・評価が進められている一方で、ベクトル型計算機での動作実績は乏しく、かつ地球科学系のアプリケーションへの適用事例も乏しい。

なお本報告は、海洋研究開発機構、神戸大学、理化学研究所の共同研究の成果である。

## 地球シミュレータ(ES)

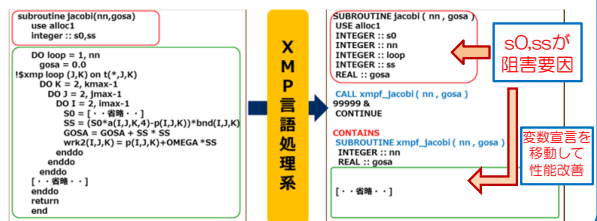
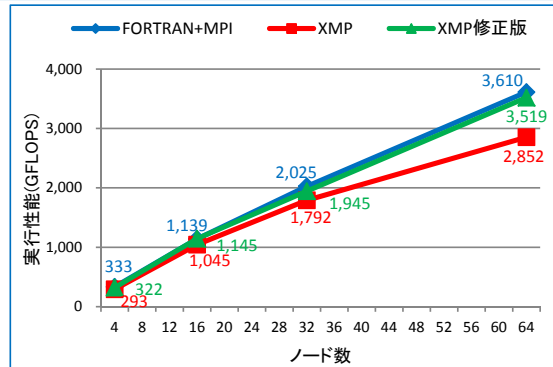
2015年3月に3世代目（NEC SX-ACE）に更新



計算ノード	CPU数(コア数)	1(4)
	演算性能/core	64GFLOPS
	メモリ容量	64GB
システム	総ノード数(クラスタ構成)	5,120(512×6, 2,048×1)
	総演算性能	1.3PF
	総メモリ容量	320TB

## 姫野ベンチマークでの評価

- Omni XcalableMP コンパイラ ver. 0.9.2 使用
  - 理研と筑波大がリファレンス実装として開発中
- 姫野ベンチマーク：非圧縮性流体解析コード
  - ポアソン方程式をヤコビ反復法で解く
  - 特性：メモリ律速 → 地球科学系アプリの多くと共通
- FORTRAN+MPI版<sup>[2]</sup> (MPI版)とXMP版<sup>[3]</sup>を比較
  - モデルサイズXL (1024×512×512)
  - 回数2000回に固定、フルフラットMPI実行
  - メモリレイアウト共通化の為、XMP版袖領域を調整
- 主要コストとなる隣接参照ループの性能(右図参照)
  - 256core時のピーク性能比：MPI版**22.0%**、XMP版**17.4%**
- XMP版での性能低下の原因究明
  - XMP版は上記ループを内部副プログラム化
  - 親プログラムで宣言された変数が上記ループ内で使用
    - ⇒ 親子結合の変数はグローバル変数扱い ⇒ レジスタに保存
    - ⇒ 後続命令の追越しを阻害 ⇒ 性能低下
- 改善策
  - 性能低下を引き起こす変数の宣言場所の見直し
    - ⇒ 内部副プログラム内での変数宣言に変更
    - ⇒ 後続命令の追越しが有効化 ⇒ 性能向上
  - 性能測定：
    - 256core時のピーク性能比：**17.4%→21.5%に改善**



## 実アプリケーション・カーネルでの評価

全球雲解像モデルNICAM科学コアNICAM-DC<sup>[4]</sup> (ver. 1.1 2014/11/22)

- 高コスト演算ルーチンのカーネル化とXMP言語への書換え
- XMP書換え前後で性能比較
- 内部副プログラム化による性能低下と上記対策での性能改善を複数箇所を確認
- ※モジュール利用でも性能低下は回避可能

演算カーネルと対策前後での実行時間比較(秒)

演算カーネル	カーネル	XMP版	XMP修正版
演算ループ①	0.063	0.116	0.087
演算ループ②	7.836	8.829	8.304

NICAM-DCの演算カーネルのXMP化例

```

subroutine sub_init(Qin,Qin_pl,Qout,Qout_pl)
  use mod_adm
  integer :: l
  real(8) :: Qin(6,ADM_gall, ADM_kall,ADM_lall, 2)
  real(8) :: Qout(ADM_gall, ADM_kall,ADM_lall, 2)
  !$xmp nodes p(10)
  !$xmp template t(ADM_lall)
  !$xmp distribute t(block) onto p
  !$xmp align (*,*,k,*) with t(k) :: Qin
  !$xmp align (*,*,k,*) with t(k) :: Qout
  !$xmp loop on t()
  do l = 1,ADM_lall
    Qin(:, :, l, :) = 0.0D0
    Qout(:, :, l, :) = 0.0D0
  enddo
end
    
```

## 今後の課題

- NICAM-DC通信カーネルのXMP化と性能評価
- 実アプリでの性能評価の継続

## 参考

- [1] XcalableMP, <http://www.xcalablemp.org/>
- [2] 姫野ベンチマーク, <http://aoccc.riken.jp/supercom/himenobmt/download/mpl-vpp/>
- [3] 姫野ベンチマークXMP版, <https://github.com/omni-compiler/XMP-Benchmark>
- [4] NICAM-DC, <http://scale.aics.riken.jp/nicamdc/index.html>

本研究の一部は、文部科学省フラッグシップ2020プロジェクト(ポスト「京」の開発)「ポスト「京」で重点的に取り組むべき社会的・科学的課題」における重点課題④「観測ビッグデータを活用した気象と地球環境予測の高度化」として実施されました。