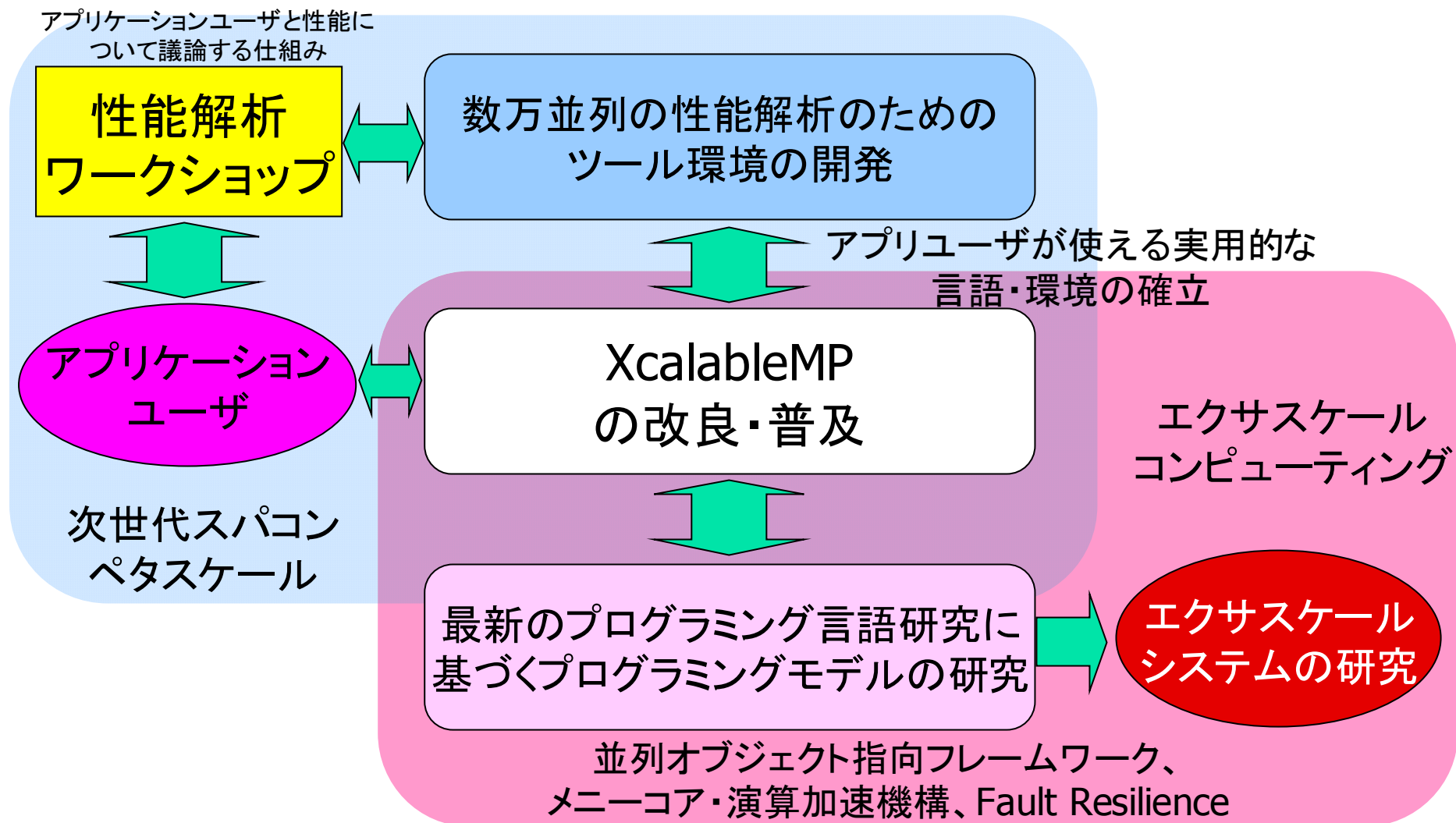


ペタスケールシステムを使いこなす プログラミング環境を目指して

理化学研究所 計算科学研究機構(AICS)
プログラミング環境チーム チーム・リーダ
佐藤 三久

AICS プログラミング環境研究チームの研究概要

プログラミングモデルおよび言語はマシンとプログラマをつなぐ要であることを踏まえ、次世代スパコンの数十万を超える並列性を使いこなす現実的な言語を提供し生産性の向上に貢献するとともに、これからのエクサスケールに向かうための基礎となるモデル・言語の研究を推進する

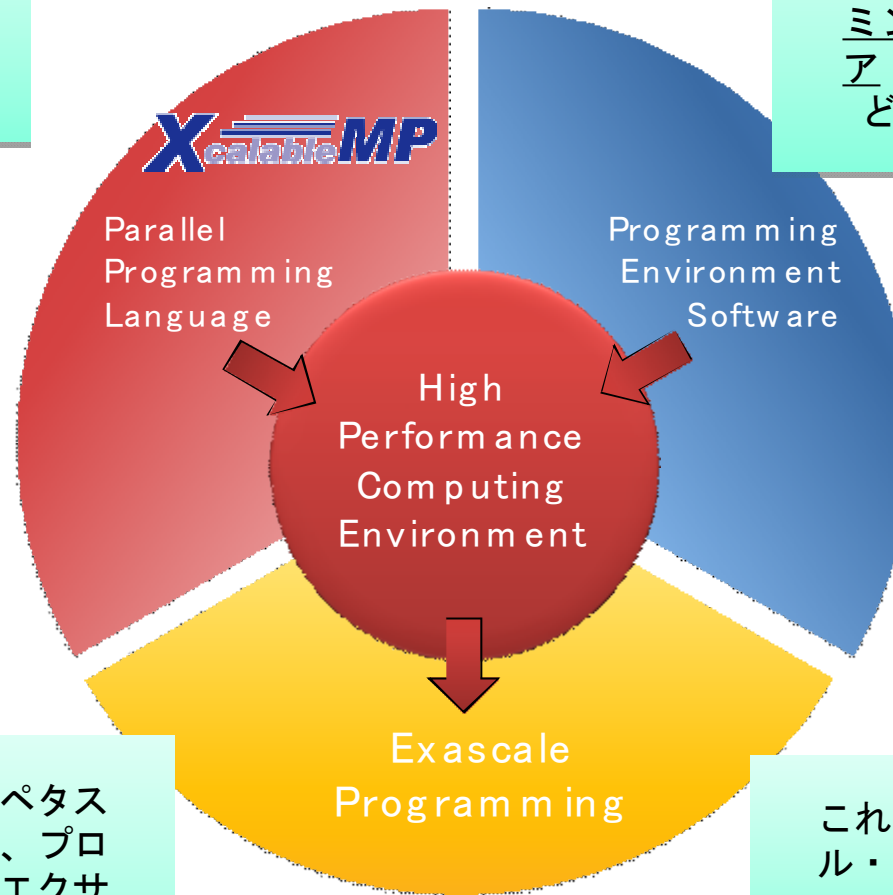


AICS プログラミング環境研究チームの研究概要

新しい並列プログラミング言語XcalableMPの研究開発・普及活動を行います。

大規模な並列プログラムに対応するプログラミング環境ソフトウェア（性能解析ツールなど）を開発します。

現在広く用いられている方法に比べ、簡単に並列計算機の性能を引き出すことができます。



京コンピュータ（ペタスケール）を超える、プログラミング環境をエクサスケールのための新しい研究します。

これからのエクサスケール・コンピューティングの実現を目指します

HPC並列プログラミング言語の必要性

■ 現状と課題

- 並列プログラムの大半はMPI通信ライブラリによるプログラミング
 - 生産性が悪く、並列化のためのコストが高い。
- 並列プログラミングの教育のための簡便で標準的な言語がない(MPIでの教育にとどまっている)
- 研究室のPCクラスターから、センター、ペタコンまでに到るスケーラブルかつポータブルな並列プログラミング言語が求められている

- 既存言語を指示文により拡張し、これからの大規模並列システム(分散メモリシステムと共有メモリノード)でのプログラミングを助け、生産性を向上させる並列プログラミング言語を開発

XcalableMP

- E-scienceプロジェクトで開発
- 計算科学研究機構で、実用化、普及を目指す。

Current Problem ?!

```
int array[YMAX][XMAX];

main(int argc, char*argv){
    int i,j,res,temp_res,dx,llimit,ulimit,size,rank;

    MPI_Init(&argc, &argv);
    MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &rank);
    MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &size);
    dx = YMAX/size;
    llimit = rank * dx;
    if(rank != (size - 1)) ulimit = llimit + dx;
    else ulimit = YMAX;

    temp_res = 0;
    for(i = llimit; i < ulimit; i++){
        for(j = 0; j < 10; j++){
            array[i][j] = func(i, j);
            temp_res += array[i][j];
        }
    }

    MPI_Allreduce(&temp_res, &res, 1, MPI_INT, MPI_SUM, MPI_COMM_WORLD);
    MPI_Finalize();
}
```

MPIしか、使えるものがない
MPIの並列プログラムはむずかしい... いっぱい書き換え
ないといけないし、時間がかかる、デバグもむずかしいし、...



We need better solutions!!

```
#pragma xmp template T[10]
#pragma xmp distributed T[block]

int array[10][10];
#pragma xmp aligned array[i][*] to T[i]

main(){
    int i, j, res;
    res = 0;
    #pragma xmp loop on T[i] reduction(+:res)
    for(i = 0; i < 10; i++){
        for(j = 0; j < 10; j++){
            array[i][j] = func(i, j);
            res += array[i][j];
        }
    }
}
```

いまのプログラムに指示文を加えるだけだから、簡単！性能チューニングも可能、...
どこでも使えるから安心、並列プログラミングも習得にもお勧め！

work sharing and data synchronization

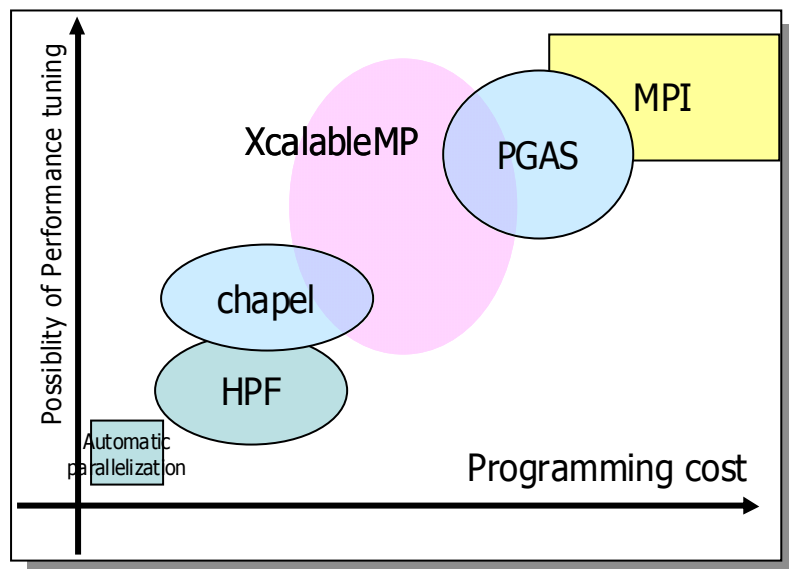


HPC並列プログラミング言語XcalableMP

目標: 既存言語を指示文により拡張し、これからの大規模並列システム(分散メモリシステムと共有メモリノード)でのプログラミングを助け、生産性を向上させる並列プログラミング言語を設計・開発する

並列言語 XcalableMPの概要

- ✓ XcalableMP仕様策定ワーキンググループを組織し、言語仕様を策定
- ✓ ベース言語(C, Fortran95)を指示文で並列拡張
- ✓ グローバルビューでは、データ並列プログラミングモデルとワークシェアによって、典型的な並列化をサポート
- ✓ 通信モデルを明確化して、performance-awareな並列化を促進
- ✓ ローカルビューとしてPGAS(Partitioned Global Address Space)を提供



```
int array[YMAX][XMAX];
```

```
#pragma xmp nodes p(4)  
#pragma xmp template t(YMAX)  
#pragma xmp distribute t(block) on p  
#pragma xmp align array[i][*] to t(i)
```

data distribution

```
main(){  
  int i, j, res;  
  res = 0;
```

add to the serial code : incremental parallelization

```
#pragma xmp loop on t(i) reduction(+:res)  
for(i = 0; i < 10; i++){  
  for(j = 0; j < 10; j++){  
    array[i][j] = func(i, j);  
    res += array[i][j];  
  }  
}
```

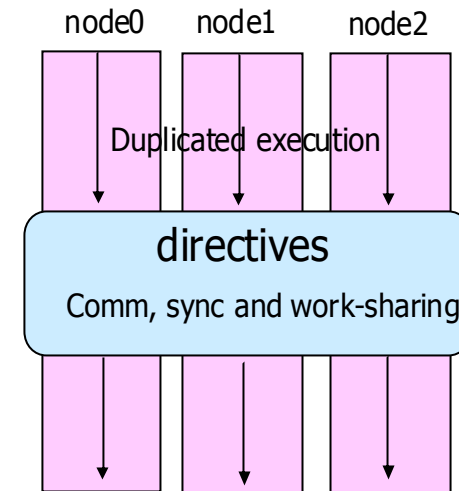
work sharing and data synchronization

XcalableMP



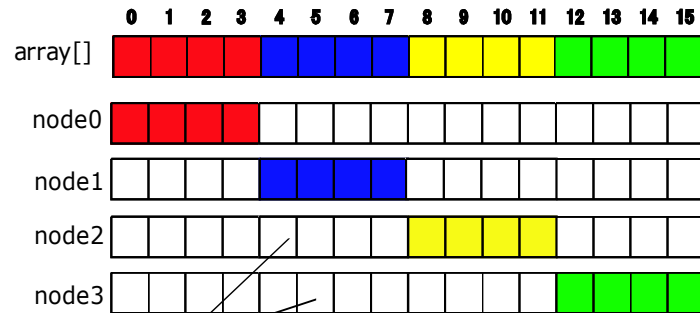
XcalableMP : directive-based language eXtension
for Scalable and performance-tunable Parallel Programming

- 基本の実行モデルはSPMDモデル。
同時に、同じプログラムを書くノードで実行
- 既存の言語をベースに、指示文で言語を拡張。
書き換えと教育のコストを低減
- “global view”では、データ並列での典型的な
並列化をサポート。OpenMPのように
簡単な指示文を使って、逐次コードをできるだけ
書き換えずに並列化できるようにする。
- “local view”では、CAF-like PGAS (Partitioned Global Address Space) 機能をサ
ポート。
- 通信と同期操作については、明示的に行う。すべての通信・同期は指示文で行われ
ることとし、性能チューニングをやりやすくする。
- 柔軟性と拡張性のために、実行モデルをMPIが混在できるようにし、チューニングさ
れたMPIライブラリを利用可能にする。
- マルチコアあるいはSMPクラスタ向けには、OpenMPとの混在のプログラミングを可
能とし、ノード内はOpenMPで記述。



XcalableMPの概要

**#pragma xmp loop on t(i)
for(i=2; i <=10; i++)**



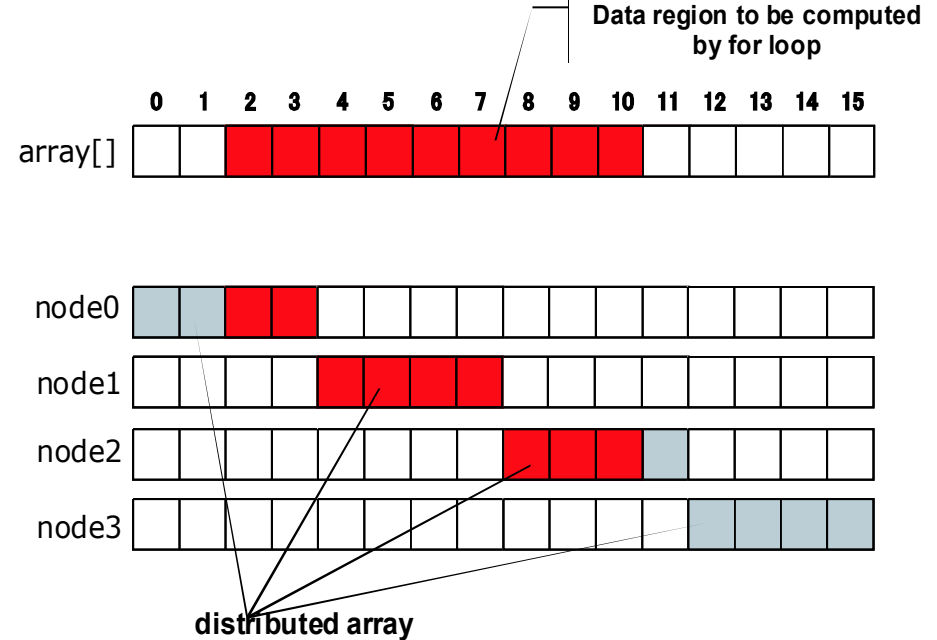
Reference to assigned to other nodes may causes error!!

Assign loop iteration as to compute own data

Communicate data between other nodes

- #pragma xmp nodes p(*)
- #pragma xmp template T(0:15)
- #pragma xmp distribute T(block) on p
- #pragma xmp align array[i] with T(i)

- データ分散の記述
- 並列ループでのデータアクセスの制御
- 大域のイメージでのデータの移動(gmove)
- Coarrayによるput/get



```
!$xmp nodes p(*)
!$xmp template t(N)
!$xmp distribute t(block) to p
real A(N,N),B(N,N),C(N,N)
!$xmp align A(i,*), B(i,*),C(*,i) with t(i)

A(1) = B(20) // it may cause error
!$xmp gmove
A(1:N-2,:) = B(2:N-1,:) // shift operation
!$xmp gmove
C(:, :) = A(:, :) // all-to-all
!$xmp gmove out
X(1:10) = B(1:10,1) // done by put operation
```

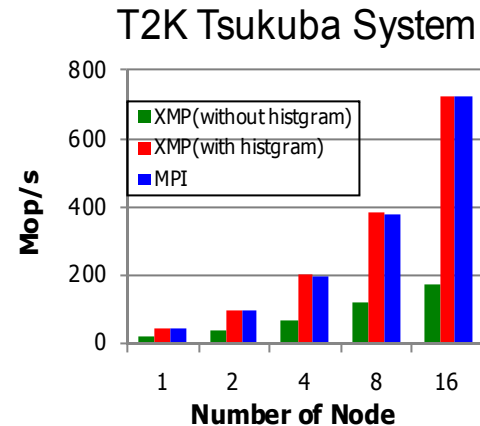
A				B			
n	n	n	n	n	n	n	n
o	o	o	o	o	o	o	o
d	d	d	d	d	d	d	d
e	e	e	e	e	e	e	e
1	2	3	4	1	2	3	4

C
node1
node2
node3
node4

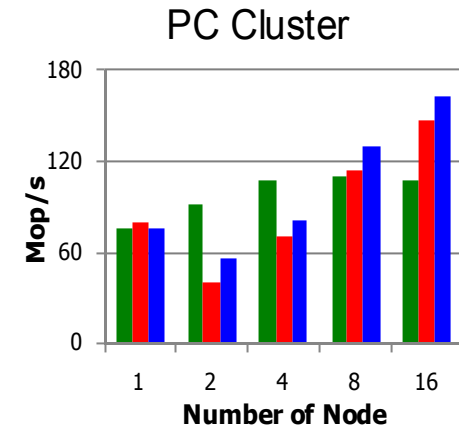
XcalableMP: 開発の状況

- XcalableMPの仕様の検討
 - 言語検討委員会にて月1回のMeetingとMLで議論
- XMPコンパイラの開発・評価
 - C版のXMPコンパイラのリリース(Ver. 0.5)
 - Fortran版は現在開発中(少々遅れ気味)
- XcalableMP ベンチマークと評価
 - NPBのXMPベンチマークの作成
 - SC10 HPCC Class2 で今年も、Honorable Mention
- プログラミング環境の整備
 - 性能チューニングツール(scalasca)への組み込み
- プログラミングモデルの検討
 - IO, マルチコア、GPGPU
 - MPIライブラリのインタフェース

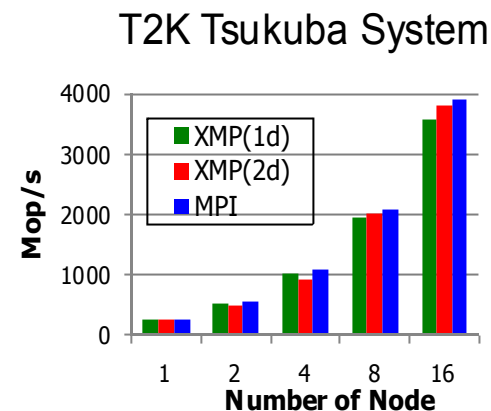
NPB ISの結果



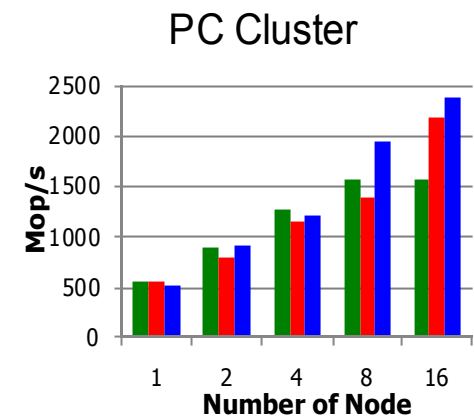
- Coarrayを用いた記述
- MPIと同等



NPB CGの結果



- 2次元分割による並列化
- MPIと同等



AICS プログラミング環境研究チーム: 3つの基本方針

- ① 我が国発の実用的な並列プログラミング言語の研究開発・普及を目指す。
 - 現在開発を進めているXcalableMPを実際のアプリケーションに適用し、実用的な観点からの高度化を図り、次世代スパコンを利用する並列アプリケーション開発の生産性を向上させるとともに、我が国発の実用的な並列プログラミング言語として、国際的な普及を図る。
- ② 計算科学アプリケーション開発と協働するプログラミング環境ソフトウェアの開発を行う。
 - 性能解析のためのワークショップを定期的に開催
 - 数十万並列規模のプログラムに対応する性能解析環境ツールを開発、実際の計算科学アプリケーションをアプリケーション開発者とともに性能解析を進める協働関係を構築
- ③ エクサスケール・コンピューティングを目指した並列プログラミング環境の研究を進める。
 - 並列オブジェクト指向言語、DSL (Domain Specific Lang.) などの計算機科学の先端的な研究成果を取り入れつつ、新規の言語を設計していくアプローチ
 - これからのエクサスケールシステムのアーキテクチャの検討に、プログラミングモデルからの示唆を与える

おわりに



- 並列プログラミング言語研究のあり方について
 - アプリケーションユーザに実際に使ってもらえるものを作るためには、単独のグループによる「研究」ではなく、コミュニティで作るものでなくてはならない(むしろ、「規格化活動」に近い)
 - 使ってもらうためには、少なくとも10年に渡って開発体制が維持されることが必要(大学では難しい、機構でやるべきこと！)
 - 言語の設計については、これまでの成果(反省)が反映されるべき
 - 同時に、エクサスケールのアーキテクチャを見据えた、これからのプログラミングを牽引する言語・モデルの研究も必要(若手を活用！)
- アプリケーション開発とともに実用的な研究を進める体制の重要性
 - HPCの研究は、アプリに使われてこそ価値がある
 - ワークショップ(研究発表の「学会」ではない)などの仕組みを整備すべき
 - 学際的な研究体制の構築は、機構の重要なポイント！