FUJITSU

shaping tomorrow with you

XcalableMPの仕様について

2013/11/01

富士通
岩下 英俊

XMPプログラムの例(at a glance)

FUJITSU

- FortranまたはCがベース。指示文(ディレクティブ)拡張
  - ディレクティブだから、逐次プログラムから徐々に並列化できる。

```
module defs
  !$xmp nodes p(4)
  !$xmp template t(YMAX)
  !$xmp distribute t(block) on p

  ineger a(XMAX, YMAX)
  !$xmp align a(*, j) with t(j)
end module

use defs
integer i, j, res
res = 0

!$xmp loop on t(j)
do j = 1. YMAX
  do i = 1, XMAX
    a(i, j) = foo(i, j)
    res = res + a(i, j)
  end do
end do

!$xmp reduction(+: res)
...
```

```
#pragma xmp nodes p(4)
#pragma xmp template t(YMAX)
#pragma xmp distribute t(block) on p

int a[YMAX][XMAX];
#pragma xmp align a[j][*] with t(j+1)

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

  #pragma xmp loop on t(j+1)
  for (j = 0; j < YMAX; j++) {
    for (i = 0; i < XMAX; i++) {
      a[j][i] = foo(i, j);
      res += a[j][i];
    }
  }

  #pragma  xmp reduction(+: res)
  ...
```

内容

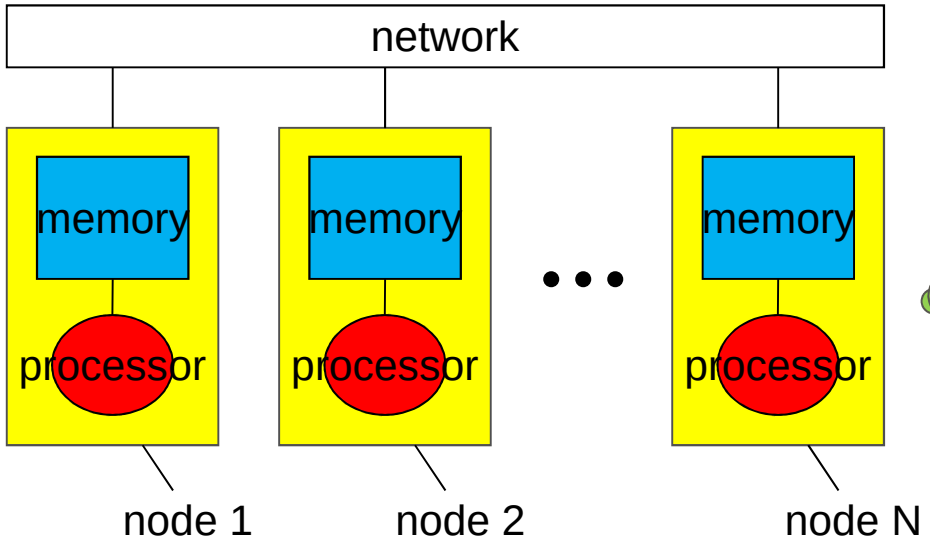
FUJITSU

- XcalableMP（XMP）
  - ハードウェアモデル
  - 実行モデル
  - 言語仕様の体系
- 主な仕様のご紹介、例を交えて
  1. テンプレートの分散
  2. データのマッピング
  3. 計算のマッピング
  4. 通信・同期
- まとめ

XMPのハードウェアモデル

FUJITSU

- 複数の“ノード”が、ネットワークで結合されたもの



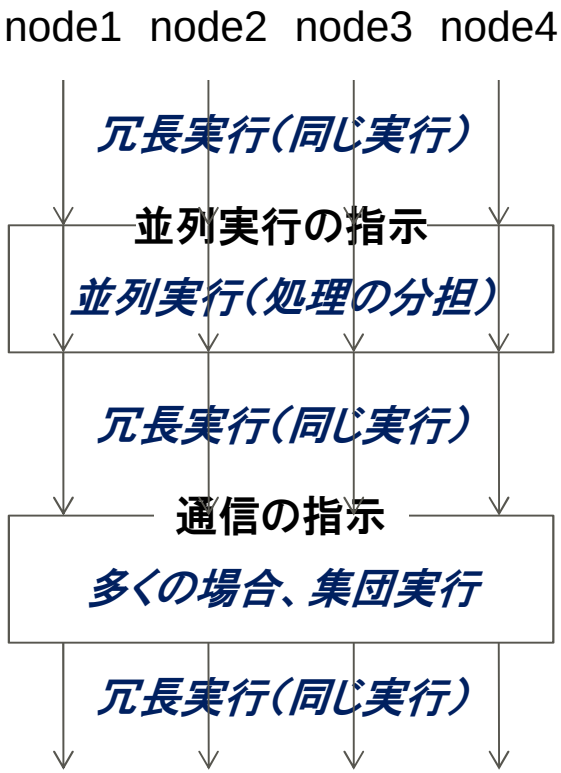
XMP並列プログラミングは、
1. データをノードにマッピング
2. 計算をノードにマッピング
3. ノード間通信を指示
の3つ

- マルチコア、アクセラレータとのハイブリッド並列も視野に
  - OpenMPとの混在が可能
  - GPUとの連携も検討中

XcalableMPの実行モデル

FUJITSU

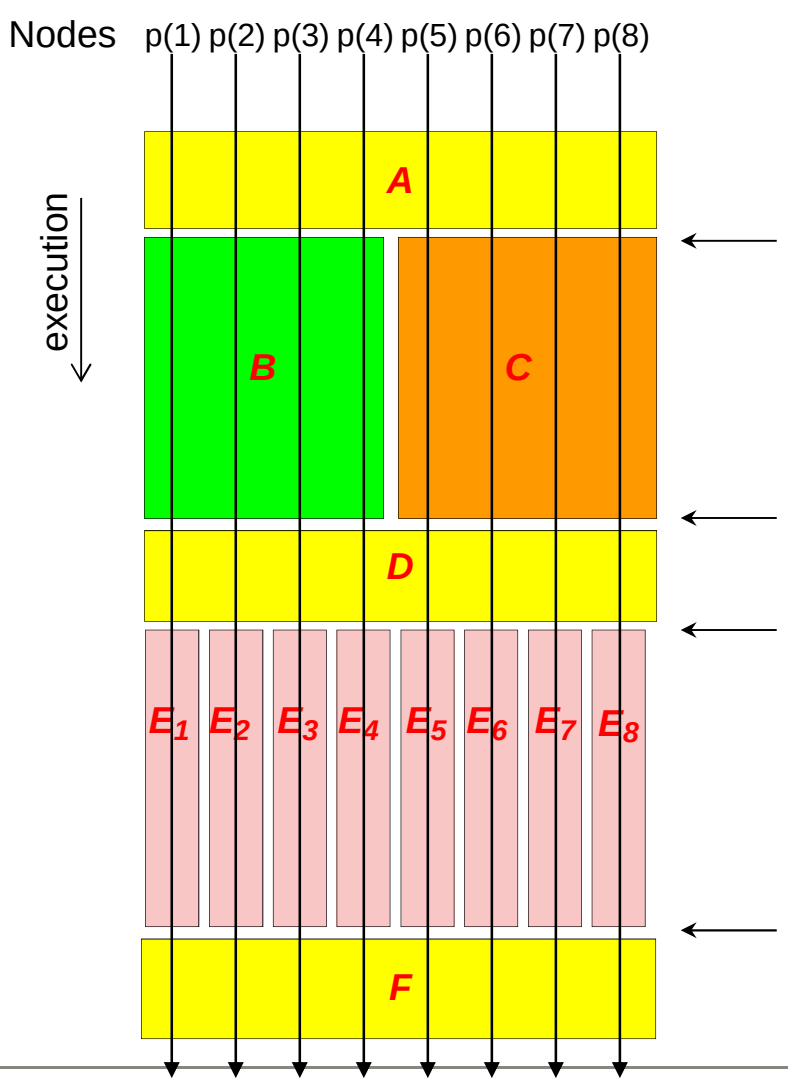
- 基本的には、SPMD実行モデル
  - “冗長実行部”では各ノードが独立に実行。
  - HPFと違い、“ローカル変数”が存在する。
  - 並列実行の指示があれば、並列実行を行う。
    - LOOP指示構文　・・・ループ並列
    - ARRAY指示構文　・・・配列代入文の並列実行
    - TASK指示構文　・・・タスク並列
  - 通信／同期の指示があれば、それを実行する。
    - 多くの場合、集団（collective）実行



冗長実行と並列実行

FUJITSU

■ TASKS/TASK指示構文、LOOP指示構文




```
!$xmp nodes p(8)
!$xmp template t(n)
!$xmp distribute t(block) onto p
```

8ノードで冗長実行

```
!$xmp tasks
```

```
!$xmp task on p(1:4)
```

B 4ノードで冗長実行

```
!$xmp end task
```

```
!$xmp task on p(5:8)
```

C 4ノードで冗長実行

```
!$xmp end task
```

```
!$xmp end tasks
```

8ノードで冗長実行

```
!$xmp loop on t(1:n)
do i=1,n
```

$E_1 \sim E_8$

```
end do
```

8ノードに計算負荷分散

8ノードで冗長実行

XMP V1.1仕様の体系

FUJITSU

- グローバルビュー関連
  - テンプレートの分散
    - NODES指示文
    - TEMPLATE指示文
    - DISTRIBUTE指示文
    - TEMPLATE_FIX指示文
  - データマッピング
    - ALIGN指示文
    - SHADOW指示文
  - 計算マッピング
    - LOOP指示構文
    - ARRAY指示構文
    - TASKS/TASK指示構文
  - 通信と同期
    - REFLECT指示文
    - GMOVE指示構文
    - BARRIER指示文
    - REDUCTION指示文
    - BCAST指示文
- ローカルビュー関連
  - 言語拡張(F,Cとも)
    - Coarray記法
  - Coarray関連の指示文／組込み
    - COARRAY指示文
    - IMAGE指示文
    - LOCAL_ALIAS指示文(F)
    - POST/WAIT指示文
    - LOCK/UNLOCK指示文(C)
    - Image Index変換組込み手続
- XMP/C言語拡張
  - 部分配列，配列式，配列代入
  - 記述子問合せ　xmp_desc_of
- 組込み／ライブラリ手続
  - 問合せ関数
    - xmp_node_num, xmp_num_nodes等
    - xmp_dist_blocksize等
- 付録

NODES宣言指示文

FUJITSU

ノード配列の宣言

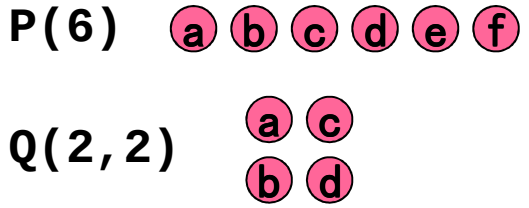
- 仮想的に配列状に構成される。ノード数は実行時に決めることもできる。

!$xmp **nodes** ***P***(| ***<整数式>*** / ******* | , ...) [= ******* / = ***<ノード参照>***]

- 左辺*P*の添え字の * は、ノード数を実行時に決める。最終次元のみ出現可。
- 右辺が * のとき、*P*は全実行ノードであることを意味する。
- 右辺が *<ノード参照>* のとき、*P*は右辺の全ノードの別名として宣言される。

- 例

```
!$xmp nodes P(6)
!$xmp nodes Q(2,2)=P
```



TEMPLATE／DISTRIBUTE宣言指示文

FUJITSU

- テンプレートの形状を宣言する。

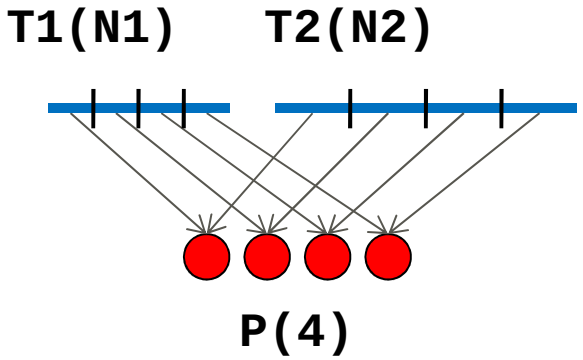
!$xmp **template** ***T*** **(** **<*整数式*>** | **<*整数式*> : <*整数式*>** | : **, ...) , ...**

- テンプレートをノード配列に分散する。

!$xmp **distribute *T*(<*分散種別*>, ...) onto *P***
<*分散種別*> は，分散する次元は、**block, cyclic**など指定
分散しない次元は *

- 【例】

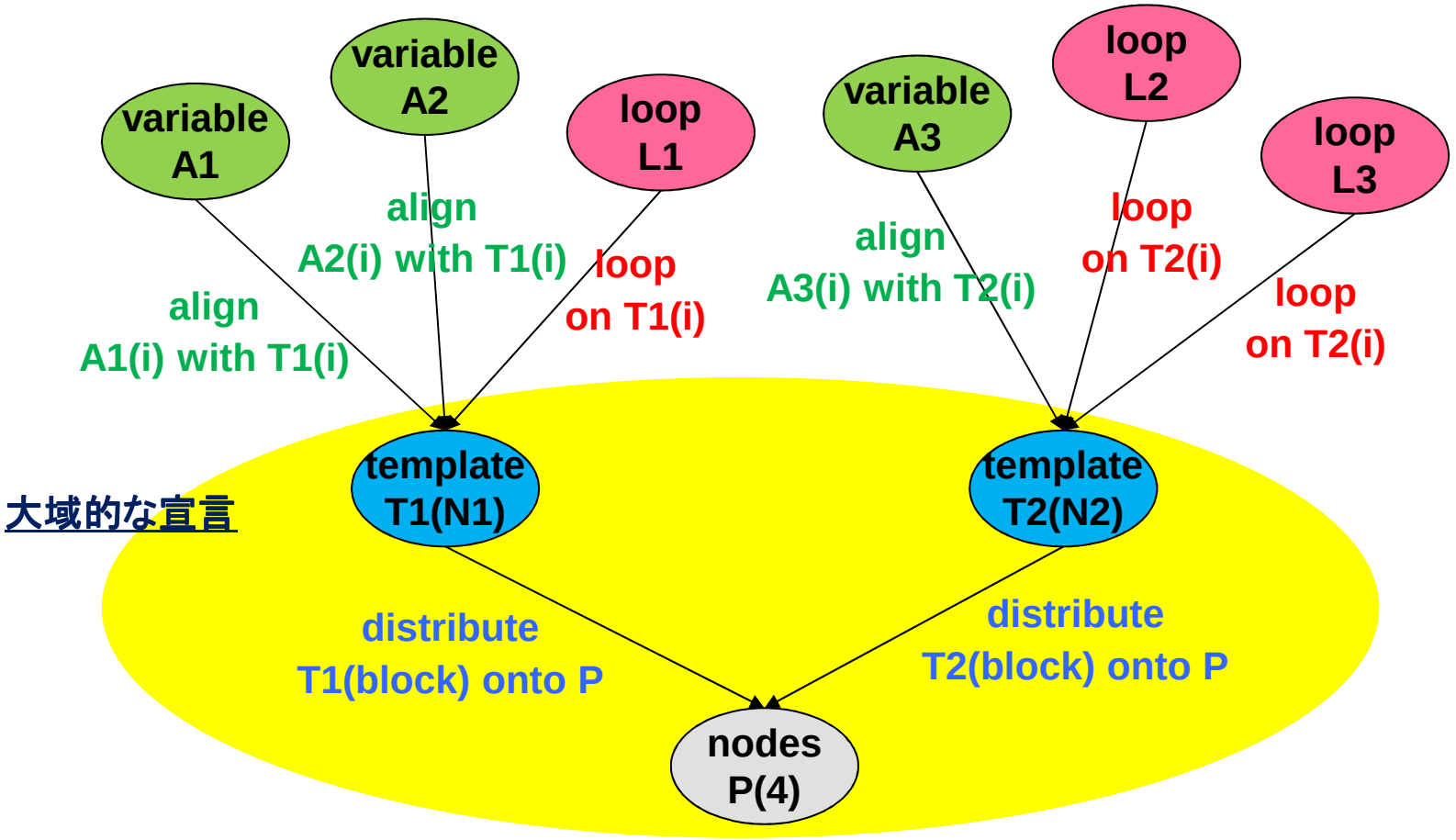
```
!$xmp nodes P(4)
!$xmp template T1(N1),T2(N2)
!$xmp distribute T1(block) onto P
!$xmp distribute T2(block) onto P
```



テンプレートとは？

FUJITSU

- テンプレートは、分散を表現するための、実体のない仮想的な配列
  - 変数は、テンプレートを仲介としてノードにマッピング
  - ループの反復も、テンプレートを介してノードにマッピング
- テンプレートの形状・分散は、プログラム全体の並列化のスキーム



XMP V1.1仕様の体系

FUJITSU

- グローバルビュー関連
  - テンプレートの分散
    - NODES指示文
    - TEMPLATE指示文
    - DISTRIBUTE指示文
    - TEMPLATE_FIX指示文
  - データマッピング
    - ALIGN指示文
    - SHADOW指示文
  - 計算マッピング
    - LOOP指示構文
    - ARRAY指示構文
    - TASKS/TASK指示構文
  - 通信と同期
    - REFLECT指示文
    - GMOVE指示構文
    - BARRIER指示文
    - REDUCTION指示文
    - BCAST指示文
- ローカルビュー関連
  - 言語拡張(F,Cとも)
    - Coarray記法
  - Coarray関連の指示文／組込み
    - COARRAY指示文
    - IMAGE指示文
    - LOCAL_ALIAS指示文(F)
    - POST/WAIT指示文
    - LOCK/UNLOCK指示文(C)
    - Image Index変換組込み手続
- XMP/C言語拡張
  - 部分配列，配列式，配列代入
  - 記述子問合せ　xmp_desc_of
- 組込み／ライブラリ手続
  - 問合せ関数
    - xmp_node_num, xmp_num_nodes等
    - xmp_dist_blocksize等
- 付録

ALIGN宣言指示文

FUJITSU

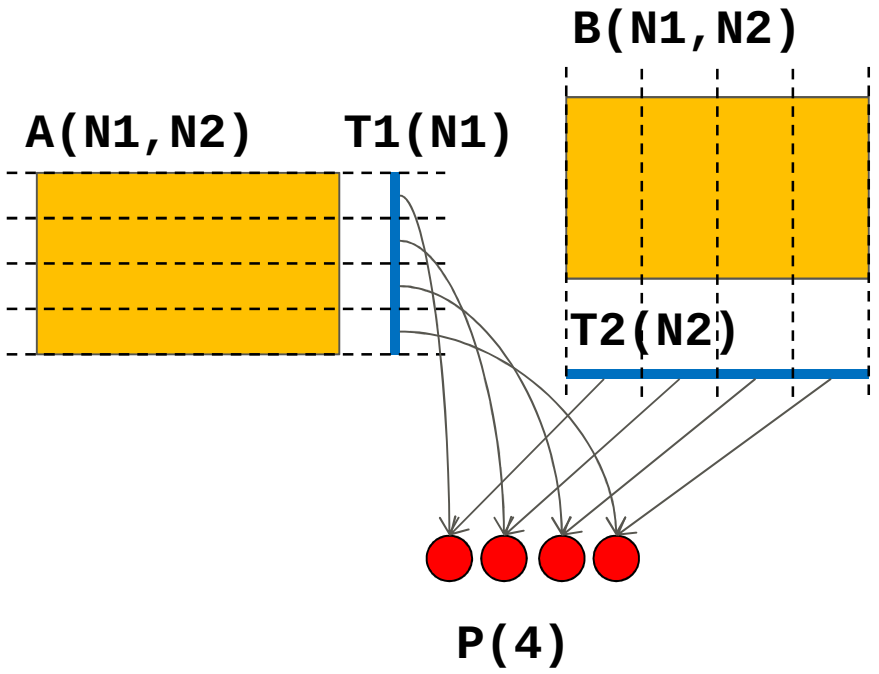
■ 配列変数をテンプレートに整列させる。

!$xmp **align** ***A*** **(** | **<*変数名*>** | **, ...)** ***T*** **(** | **<*変数名*>** **[{ + | - } <整数式>]** | **, ...)**
***** *****
: **:**

■【例】

```
!$xmp nodes P(4)
!$xmp template T1(N1),T2(N2)
!$xmp distribute T1(block) onto P
!$xmp distribute T2(block) onto P

      real A(N1,N2), B(N1,N2)
!$xmp align A(i,*) with T1(i)
!$xmp align B(*,j) with T2(j)
```



LOOP実行指示文

FUJITSU

- DOループ、forループのiterationをテンプレートに整列させる。
  - 単一ループに対する指示

```
!$xmp loop on T ( | <変数名>  [ { + | - } <整数式> ] | ) [ <reduction節> ]
                  |                  *               |
                  |                  :               |
      do i = ...
        ...
      end do
```

  - 多重ループに対する指示

```
!$xmp loop (<i1>, ... ,<in>) on T (|<変数名>  [ {+|-} <整数式> ] | , ...) [<reduction節>]
                                   |                  *          |
                                   |                  :          |
    do <i1> = ...
      ...
      do <in> = ...
        ...
      end do
      ...
    end do
```

XMPプログラムの例(再掲)

FUJITSU

- ノードとテンプレートは、大域的に宣言するのがよい。
- 共通のテンプレートに対して、データと計算をマッピングしていく。

```
module defs
  !$xmp nodes p(4)
  !$xmp template t(YMAX)
  !$xmp distribute t(block) on p

  ineger a(XMAX, YMAX)
  !$xmp align a(*, j) with t(j)
end module

use defs
integer i, j, res
res = 0

!$xmp loop on t(j)
do j = 1. YMAX
  do i = 1, XMAX
    a(i, j) = foo(i, j)
    res = res + a(i, j)
  end do
end do

!$xmp reduction(+: res)
...
```

```
#pragma xmp nodes p(4)
#pragma xmp template t(YMAX)
#pragma xmp distribute t(block) on p

int a[YMAX][XMAX];
#pragma xmp align a[j][*] with t(j+1)

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

  #pragma xmp loop on t(j+1)
  for (j = 0; j < YMAX; j++) {
    for (i = 0; i < XMAX; i++) {
      a[j][i] = foo(i, j);
      res += a[j][i];
    }
  }

  #pragma  xmp reduction(+: res)
  ...
```

テンプレートの分散

データマッピング

計算マッピング

通信・同期

整列(alignment)による通信の削減・削除

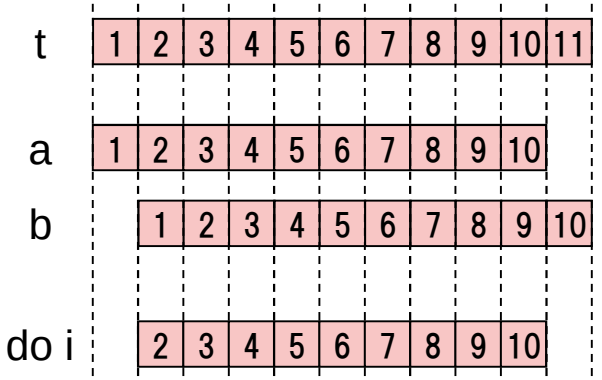
FUJITSU

- データのALIGN指示と、データが出現するループのLOOP指示で、alignmentを合わせ、通信が起こらないようにする。

```
!$xmp nodes p(2)
!$xmp template t(11)
!$xmp distribute t(block) onto p

      real a(10),b(10),c(10)
!$xmp align a(i) with t(i)
!$xmp align b(i) with t(i+1)

!$xmp loop on t(i)
      do i=2,10
        a(i)=a(i)+1.0
        b(i-1)=a(i)
      end do
```



整列していれば通信は発生しない。

- 分散種別(block, cyclic, ...)には依存しない！

XMP V1.1仕様の体系

FUJITSU

- グローバルビュー関連
  - テンプレートの分散
    - NODES指示文
    - TEMPLATE指示文
    - DISTRIBUTE指示文
    - TEMPLATE_FIX指示文
  - データマッピング
    - ALIGN指示文
    - SHADOW指示文
  - 計算マッピング
    - LOOP指示構文
    - ARRAY指示構文
    - TASKS/TASK指示構文
  - 通信と同期
    - REFLECT指示文
    - GMOVE指示構文
    - BARRIER指示文
    - REDUCTION指示文
    - BCAST指示文
- ローカルビュー関連
  - 言語拡張(F,Cとも)
    - Coarray記法
  - Coarray関連の指示文／組込み
    - COARRAY指示文
    - IMAGE指示文
    - LOCAL_ALIAS指示文(F)
    - POST/WAIT指示文
    - LOCK/UNLOCK指示文(C)
    - Image Index変換組込み手続
- XMP/C言語拡張
  - 部分配列，配列式，配列代入
  - 記述子問合せ　xmp_desc_of
- 組込み／ライブラリ手続
  - 問合せ関数
    - xmp_node_num, xmp_num_nodes等
    - xmp_dist_blocksize等
- 付録

SHADOW宣言指示文

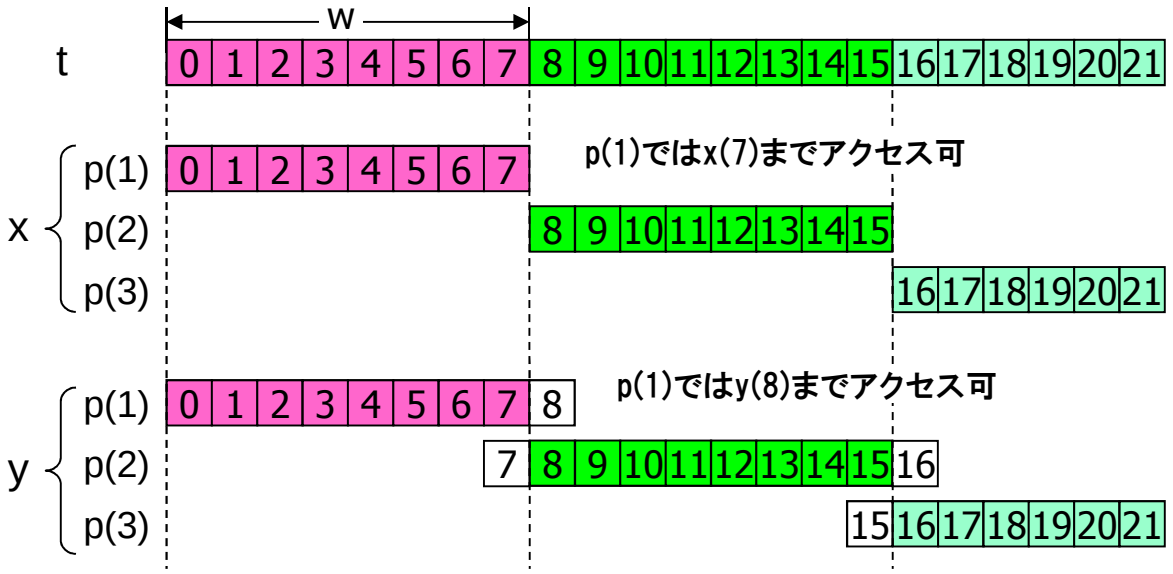
- block分散または不均等block分散で、分割範囲に「袖」を加える。
  - 通常の分割範囲に加えて、袖の領域までローカルにアクセスできる。
  - 隣接ノードとの値の一貫性は、利用者の責任。

!$xmp **shadow *A*** **(** | ***<整数式>*** | **, ...) , ...**
| ***<整数式>*** **:** ***<整数式>*** |
| **:** |

```
!$xmp nodes p(3)
!$xmp template t(0:21)
!$xmp distribute t(W) onto p

dimension x(0:21)
!$xmp align x(i) with t(i)

dimension y(0:21)
!$xmp align y(i) with t(i)
!$xmp shadow y(1)
```



REFLECT実行指示文

FUJITSU

■ すべての「袖」領域に、それぞれ隣接ノードの値をコピーする。

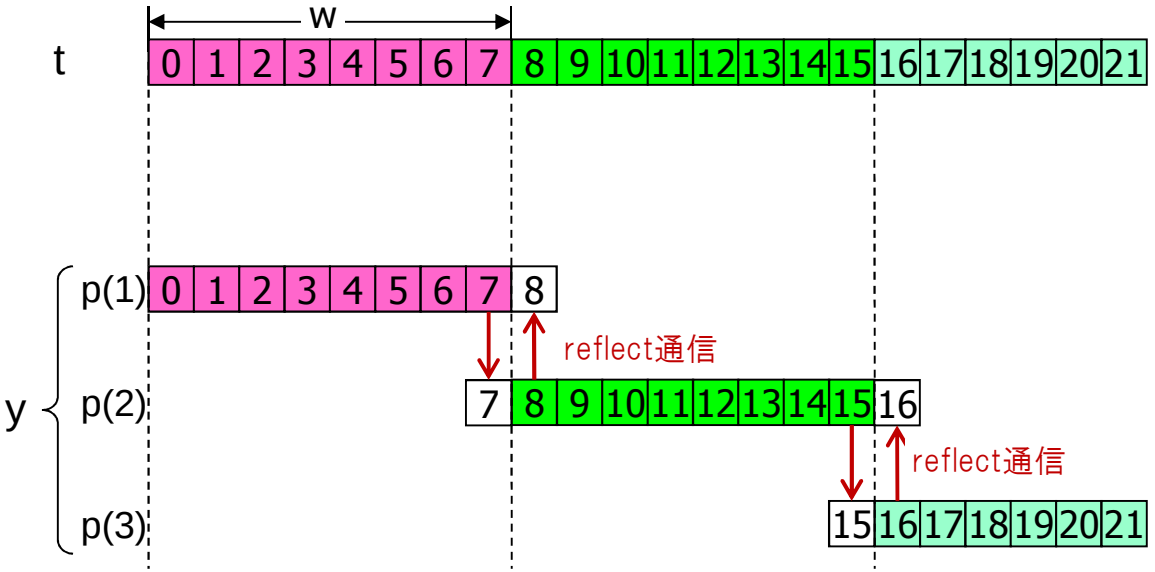
!$xmp **reflect (*A*)** [<width節>] [<async節>]

```
!$xmp nodes p(3)
!$xmp template t(0:21)
!$xmp distribute t(W) onto p

dimension x(0:21)
!$xmp align x(i) with t(i)

dimension y(0:21)
!$xmp align y(i) with t(i)
!$xmp shadow y(1)

!$xmp reflect (y)
!$xmp loop t(i)
do i = 1, 20
   x(i) = 0.25 * (y(i-1) + 2*y(i) + y(i+1))
end do
```



SHADOW/REFLECTの例

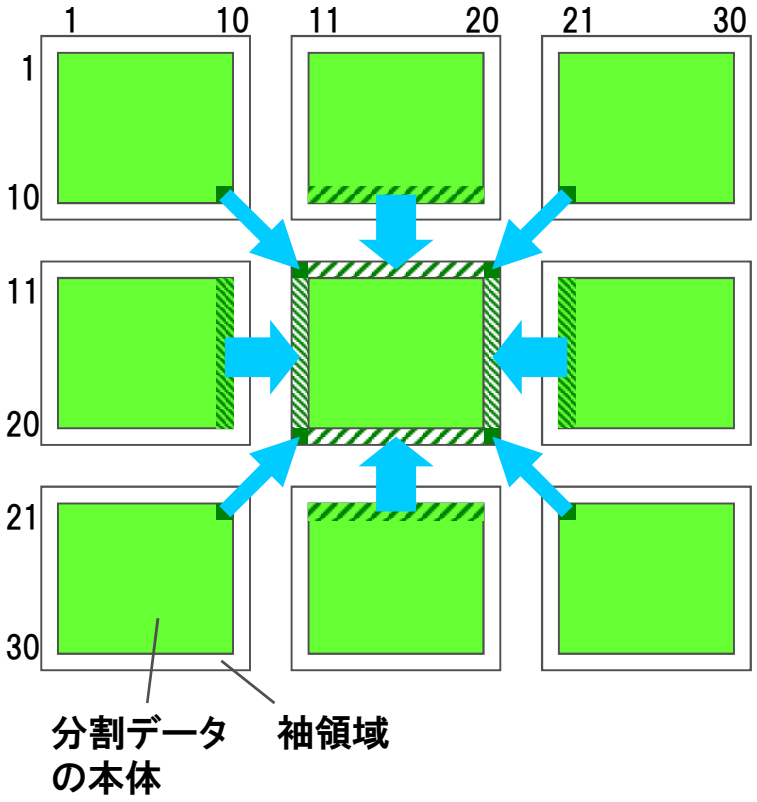
FUJITSU

- 2次元分割、隣接8ノードと袖通信がある例
  - 通信の記述はREFLECT指示文1つだけ

```
!$xmp nodes p(3,3)
!$xmp template t(30,30)
!$xmp distribute t(block,block) onto p
      real a(30,30)
!$xmp align a(i,j) with t(i,j)
!$xmp shadow a(1,1)

! *** 袖領域に値を設定 ***

!$xmp reflect a
!$xmp loop (i,j) on p(i,j)
      do j=1,100
        do i=1,100
          a(i,j) = a(i-1, j-1) + a(i, j-1) + a(i+1, j-1) +   &
                   a(i-1, j   ) + a(i, j   ) + a(i+1, j   ) +   &
                   a(i-1, j+1) + a(i, j+1) + a(i+1, j+1)
        enddo
      enddo
```



XMP V1.1仕様の体系

FUJITSU

- グローバルビュー関連
  - テンプレートの分散
    - NODES指示文
    - TEMPLATE指示文
    - DISTRIBUTE指示文
    - TEMPLATE_FIX指示文
  - データマッピング
    - ALIGN指示文
    - SHADOW指示文
  - 計算マッピング
    - LOOP指示構文
    - ARRAY指示構文
    - TASKS/TASK指示構文
  - 通信と同期
    - REFLECT指示文
    - GMOVE指示構文
    - BARRIER指示文
    - REDUCTION指示文
    - BCAST指示文
- ローカルビュー関連
  - 言語拡張(F,Cとも)
    - Coarray記法
  - Coarray関連の指示文／組込み
    - COARRAY指示文
    - IMAGE指示文
    - LOCAL_ALIAS指示文(F)
    - POST/WAIT指示文
    - LOCK/UNLOCK指示文(C)
    - Image Index変換組込み手続
- XMP/C言語拡張
  - 部分配列，配列式，配列代入
  - 記述子問合せ　xmp_desc_of
- 組込み／ライブラリ手続
  - 問合せ関数
    - xmp_node_num, xmp_num_nodes等
    - xmp_dist_blocksize等
- 付録

LOCAL_ALIAS宣言指示文

FUJITSU

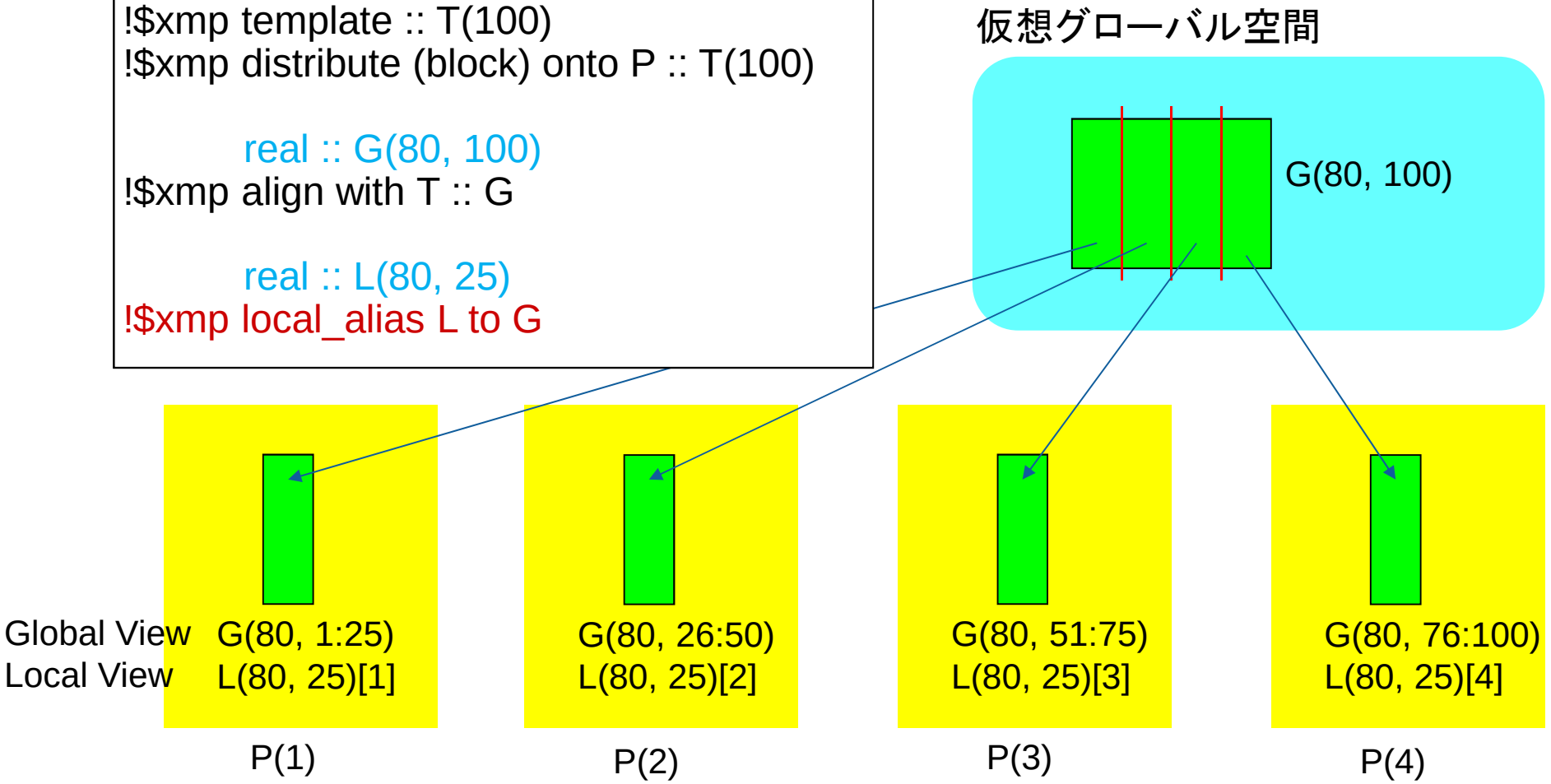
- グローバル配列Gに、ローカルビューの別名Lを付ける

```
!$xmp nodes P(4)

!$xmp template :: T(100)
!$xmp distribute (block) onto P :: T(100)

      real :: G(80, 100)
!$xmp align with T :: G

      real :: L(80, 25)
!$xmp local_alias L to G
```



まとめ

FUJITSU

- XcalableMPの特徴
  - テンプレートが活躍する言語仕様体系
    - HPFと違い、計算マッピングも通信も手動だから
    - テンプレートは、プログラム全体の並列化の戦略（スキーム）を表現する
    - データもループiterationも、テンプレートに整列させる
  - 通信はREFLECTが最重要
    - XMPが確実に性能を出せるのは、ステンシル計算
    - 他の通信パターンでは何が重要だろうか
  - グローバルビューとローカルビューとの連携
    - グローバルからローカルへのalias（名前の呼び分け）が提供されている
    - 逆のaliasも必要。要件を具体化したい
- XcalableMPの今後
  - ハイブリッドへ（アクセラレータ、MPI、OpenMP）
  - トポロジ対応、片側通信
  - まずはOMNI XMPの実装に協力し、利用者を増やしたい