Empowered by Innovation NEC

Fortran 2008のcoarray機能

2013年11月

NEC
林　康晴

内容

Fortran 2008のcoarray機能

- プログラミングモデル
- データの整合性を保証する方法

XMPにおけるcoarray機能

- XMP/Fortran・XMP/Cとcoarray
- coarrayの拡張仕様

Fortran 2008のcoarray機能まとめ

Fortran 2008のcoarray機能

Fortran 2008

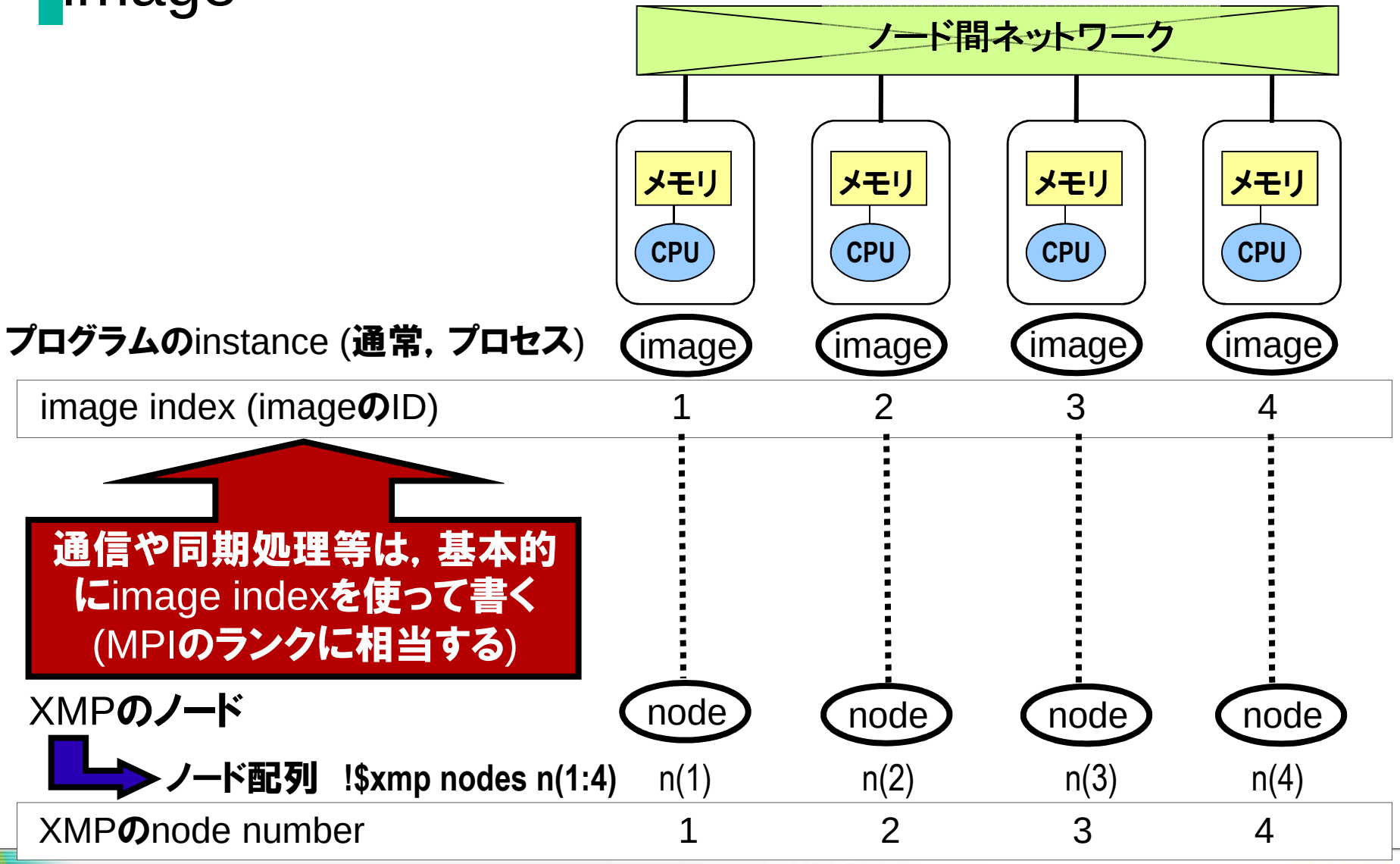
- 2010年，最新のISO規格に

目玉の1つとして，coarray機能が導入された

- (主として)分散並列処理のための機能
- (MPIのような)ローカルモデル・全手動の並列化
  - 通信は，代入文の形式で，片側通信方式により記述する

Fortran 2008のcoarray機能概要(1)

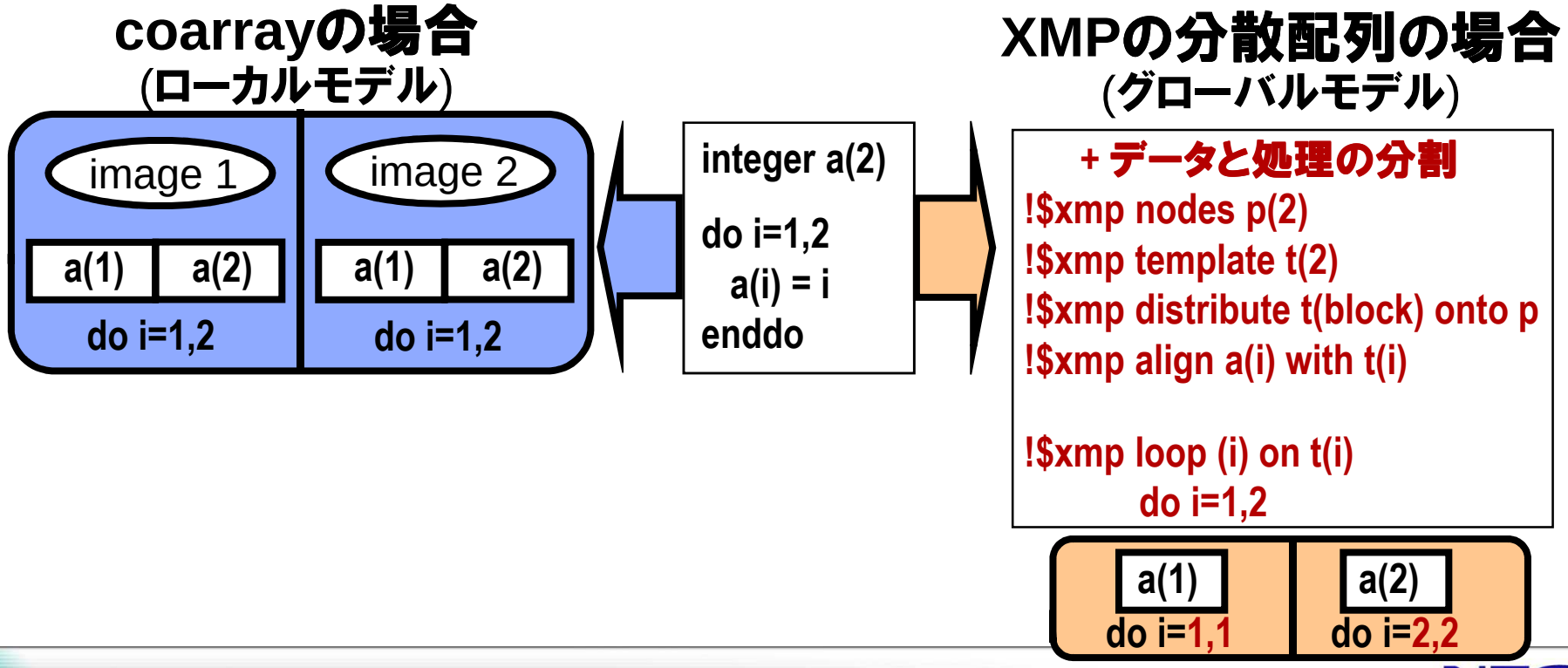
image



Fortran 2008のcoarray機能概要(2)

データマッピングと処理の分割

- データ・処理は，各image上にそれぞれ割り当てられる
  - プログラム上のデータ・処理は，各image上にそれぞれ割り当てられる（ローカルモデル）
    - データマッピング・処理の分割は，プログラムと一体(プログラミングの時点で完了していなければならない)



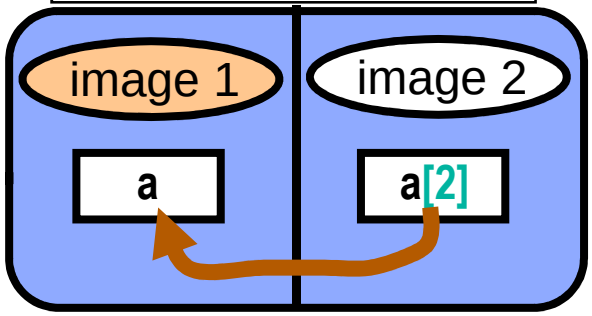
Fortran 2008のcoarray機能概要(3)

通信(片側)

- imageの構成を，宣言時にcodimension([*])で指定する
  - [n1,n2,…,*]のように，多次元の指定も可能
- coarrayの参照時に，image selector([i])を指定して，他のimage i 上のデータにアクセスできる(通信)

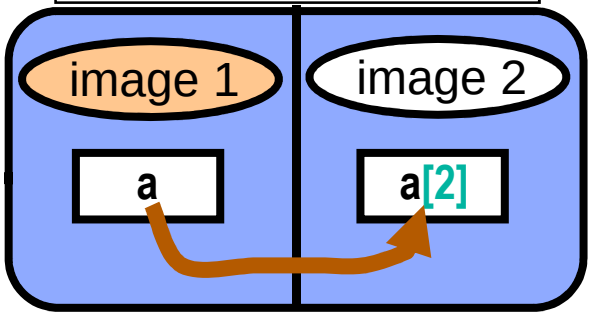
get

```
integer,save :: a[*]

if(this_image().eq.1)then
  a = a[2]
endif
```



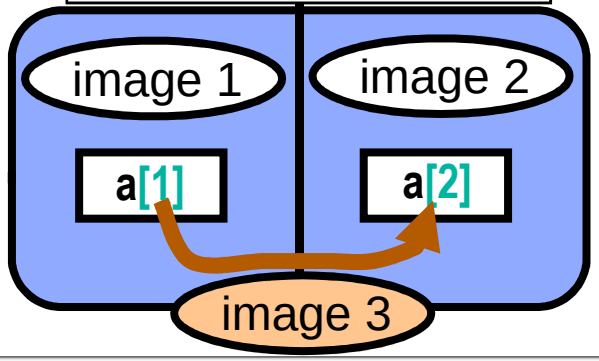
put

```
integer,save :: a[*]

if(this_image().eq.1)then
  a[2] = a
endif
```



第三者による操作

```
integer,save :: a[*]

if(this_image().eq.3)then
  a[2] = a[1]
endif
```

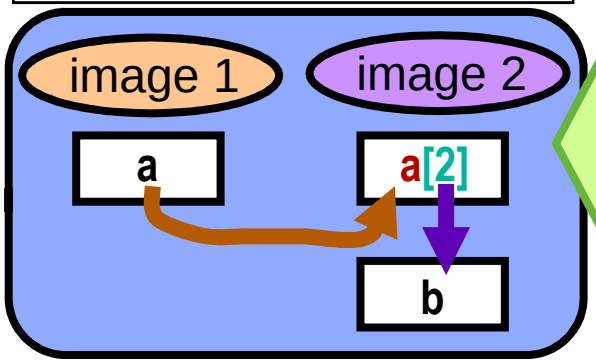


Fortran 2008のcoarray機能概要(4)

データの整合性は，ユーザが保証する必要がある

定義と使用の競合

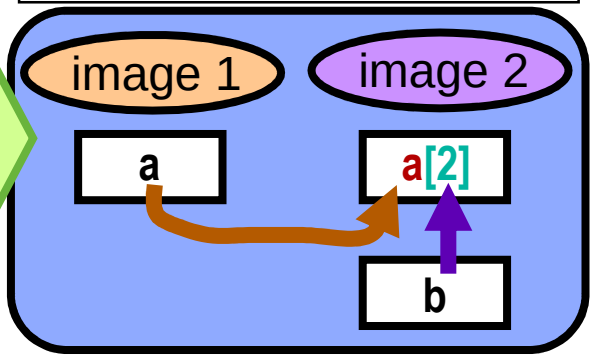
```
integer,save :: b, a[*]

if(this_image().eq.1)then
  a[2] = a
else if(this_image().eq.2)then
  b = a
endif
```



ユーザーが，正しい順序での実行を保証するようなコードを書く

定義と定義の競合

```
integer,save :: b, a[*]

if(this_image().eq.1)then
  a[2] = a
else if(this_image().eq.2)then
  a = b
endif
```



Fortran 2008のcoarray機能概要(5)

データの整合性を保証するための手段

- Fortranの同期機能(image control statements)
  - **SYNC ALL文，SYNC IMAGES文**
  - **CRITICAL構文**
  - **LOCK文，UNLOCK文**

- Fortran以外の同期機能 + SYNC MEMORY文
  - **SYNC MEMORY文で，メモリ操作の完了を保証できる。**

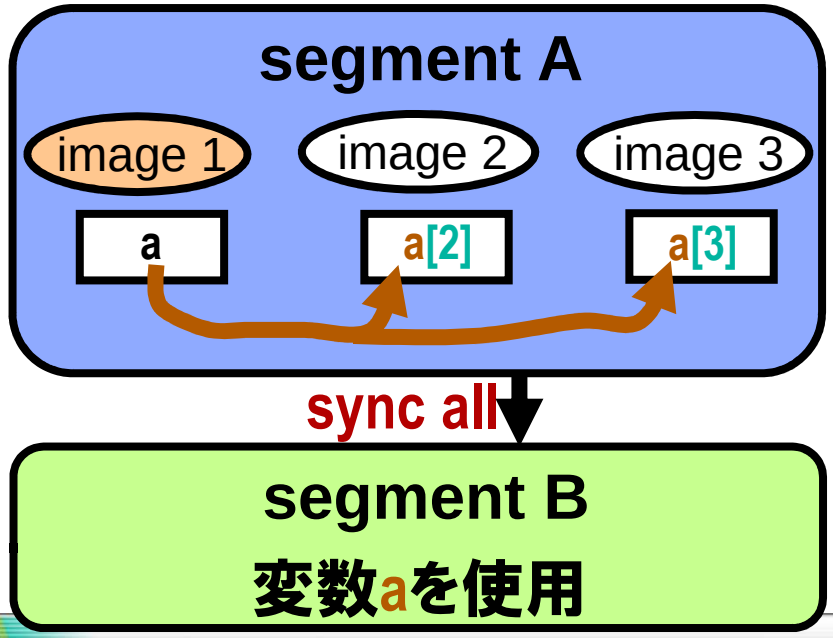
- atomic subroutineによる同期 + SYNC MEMORY文
  - **atomic subroutine (atomic_ref・atomic_define)の引用によって同期をとることができる。**

データの整合性を保証するための手段 (1)

Fortranの同期機能 1/4

- SYNC ALL文
  - 全imageで同期を取る(プログラムはsegmentに分割される)
  - ALLOCATABLE属性を持つcoarrayを明示的 又は 暗黙的に割付け・解放する文(RETURN文等)も同等の効果を持つ

例: segment Bは，segment Aの実行後に実行される。




```
integer,save :: a[*]  ! coarray

if(this_image().eq.1)then
   do i=2, num_images()
     a[i] = a !全imageのaの値を定義
   enddo
endif
sync all
! 各imageがaを使用
        :
```

segment A

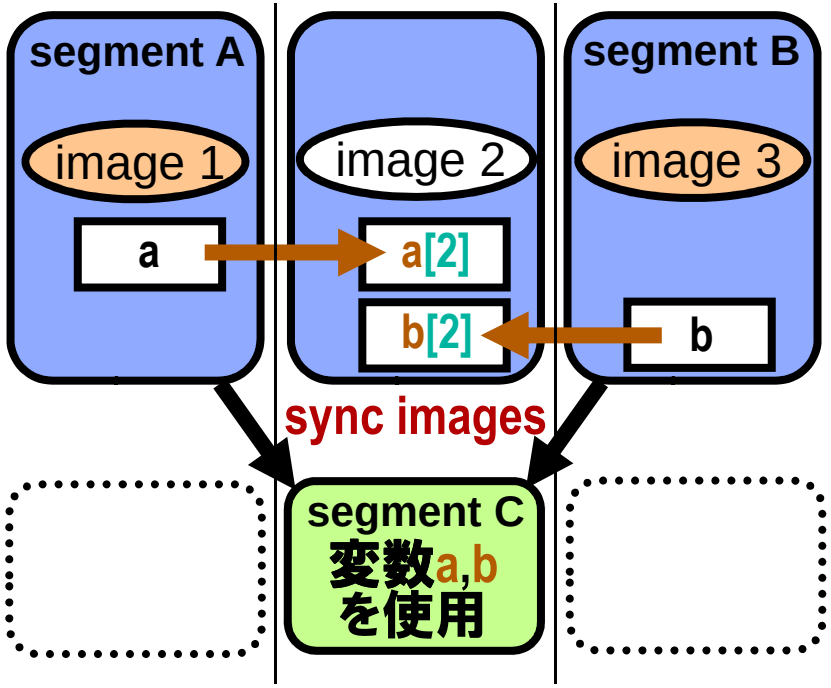
segment B

データの整合性を保証するための手段 (2)

Fortranの同期機能 2/4

- SYNC IMAGES文
  - 指定したimageと同期を取る

例: segment Cは，segment A・Bの実行後に実行される。



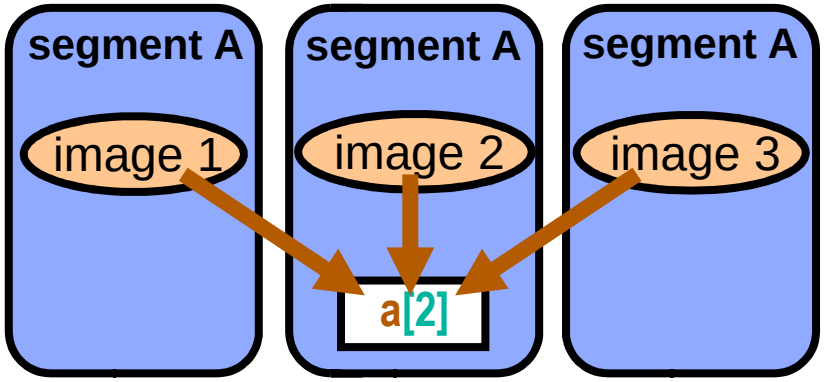

```
integer,save :: b[*], a[*]  ! coarray
if(this_image().eq.1)then                 } segment A
   a[2] = a
   sync images(2)
else if(this_image().eq.3)then            } segment B
   b[2] = b
   sync images(2)
else if(this_image().eq.2)then
   sync images((/1, 3/))
   変数a, bを使用                          } segment C
endif
```

データの整合性を保証するための手段 (3)

Fortranの同期機能 3/4

- LOCK文・UNLOCK文
  - 指定した変数(ロック変数)の，ロック・アンロック操作を行う
  - ロック変数は，LOCK_TYPE型でなければならない
    - 組込みモジュールISO_FORTRAN_ENVで定義されている

例: **segment Aは，ロックを獲得したimageだけが実行する**




```
use, intrinsic :: ISO_FORTRAN_ENV
type(LOCK_TYPE),save :: lock[*]
integer,save :: a[*]

lock(lock[2])
  a[2] = a[2] + 1   } segment A
unlock(lock[2])
```

- lock(ロック変数, acquired_lock=論理型変数)

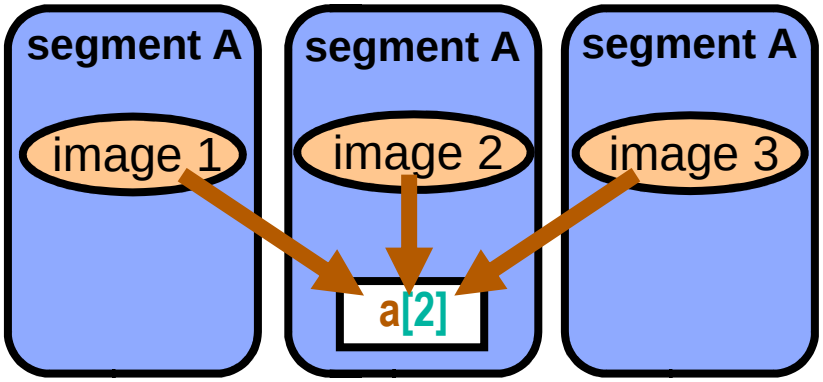
のようにACQUIRED_LOCK指定子をつけると，非ブロッキング実行となり，
論理型変数が，ロックを獲得できた場合 真，出来なかった場合 偽となる

データの整合性を保証するための手段 (4)

Fortranの同期機能 4/4

- CRITICAL構文
  - 同時に実行するimageを1つに制限する。
    - コードの一部分に対するロックとも考えられる

例: segment Aは，各imageが逐次的に実行する。




```
integer,save :: a[*]  ! coarray

critical
   a[2] = a[2] + 1      } segment A
end critical
```

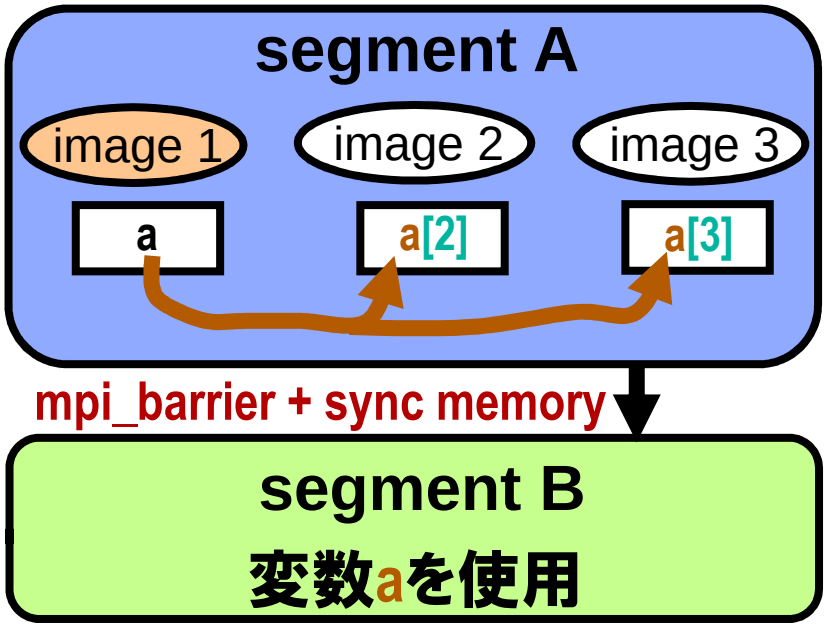
データの整合性を保証するための手段 (5)

Fortran以外の同期機能 + SYNC MEMORY文

- SYNC MEMORY文
  - segmentを分割し，コンパイラによるコード移動を制限する

例: segment Bは，segment Aの実行後に実行される。

  - sync memoryが無いと，コンパイラが，定義と使用の実行順序を変更する可能性があるため，正しい実行は保障されない。




```
integer,save :: a[*]  ! coarray
if(this_image().eq.1)then
   do i=2, num_images()
     a[i] = a ! 全imageのaの値を定義      } segment A
   enddo
endif
sync memory.....
call mpi_barrier(MPI_COMM_WORLD,ierr)
sync memory.....
! 各imageがaを使用                       } segment B
        :
```

データの整合性を保証するための手段 (6-1)

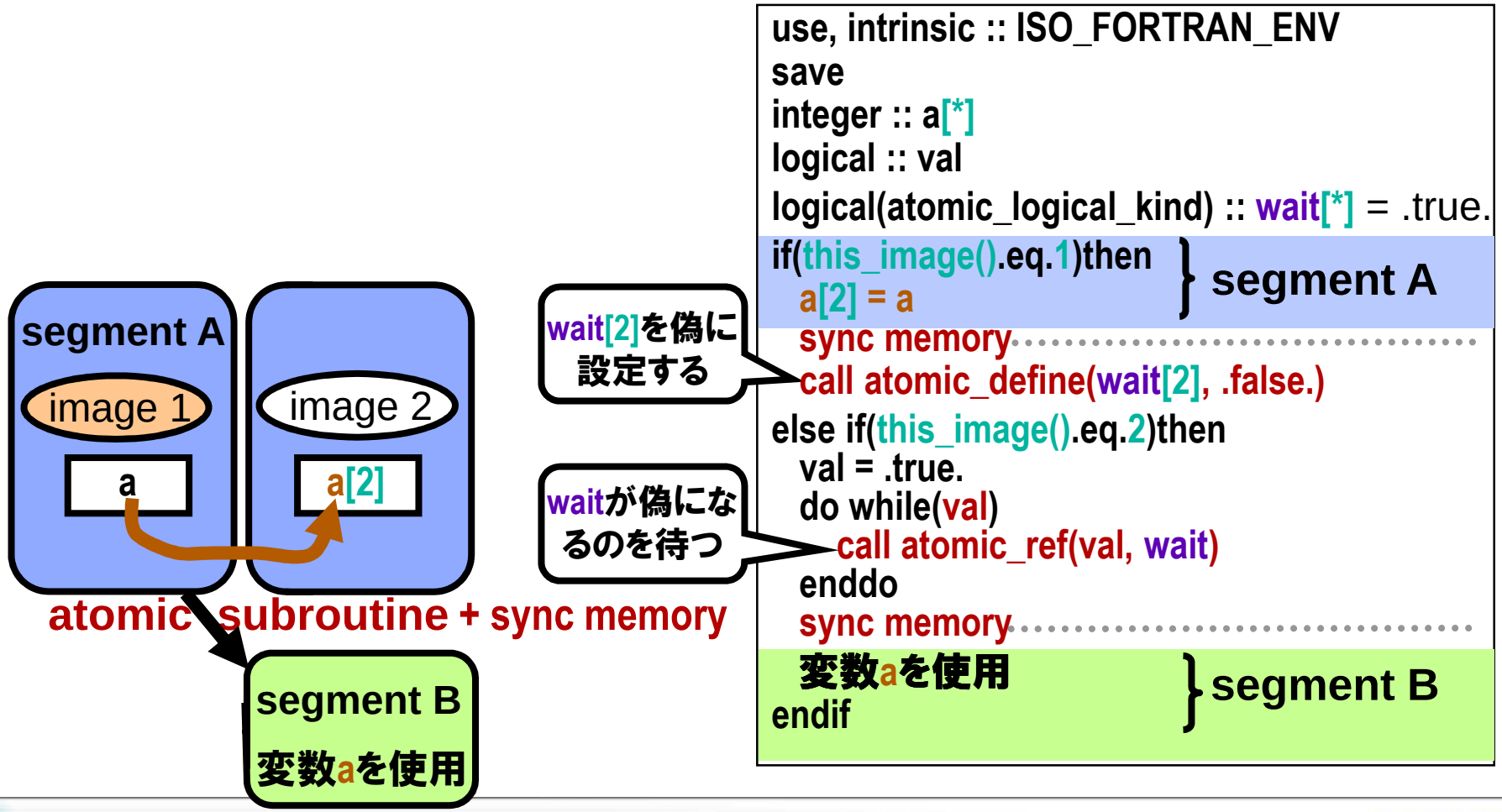
atomic subroutine (2種類)

- **atomic_ref(VALUE, ATOM)**
  - 引数ATOMの値を，引数VALUEにatomicに代入する
- **atomic_define(ATOM, VALUE)**
  - 引数VALUEの値を，引数ATOMにatomicに代入する
- **ATOM引数は，以下のいずれかの型のcoarray**
  - INTEGER(KIND = ATOMIC_INT_KIND)
  - LOGICAL(KIND = ATOMIC_LOGICAL_KIND)
    - ✓ ATOMIC_INT_KIND, ATOMIC_LOGICAL_KINDは，組込みモジュールISO_FORTRAN_ENVで定義されている
- **同じATOM引数に対するatomic subroutineの呼出しは，同時に実行される可能性があっても許される。**
  - そのような場合，実行順序がどうなるかはもちろん分からない。

データの整合性を保証するための手段 (6-2)

atomic subroutineによる同期 + SYNC MEMORY文

例: segment Bは，segment Aの実行後に実行される。



XMPにおけるcoarray機能

XMP/Fortranは，Fortranの上位互換

- 全てのcoarray機能を利用可能

XMP/Cは，拡張によりcoarray機能をサポート

- *codimension*の宣言・*image selector*の指定が可能

```
float a[10]:[*], b[10]:[*]    /* coarrayの宣言 */
b[:]:[1:10] = a[:]            /* coarrayの参照 */
```

  - XMP/Cでも，codimension・image selector部分の添字の下限値は1

- XMPのライブラリ関数により同期機能をサポート

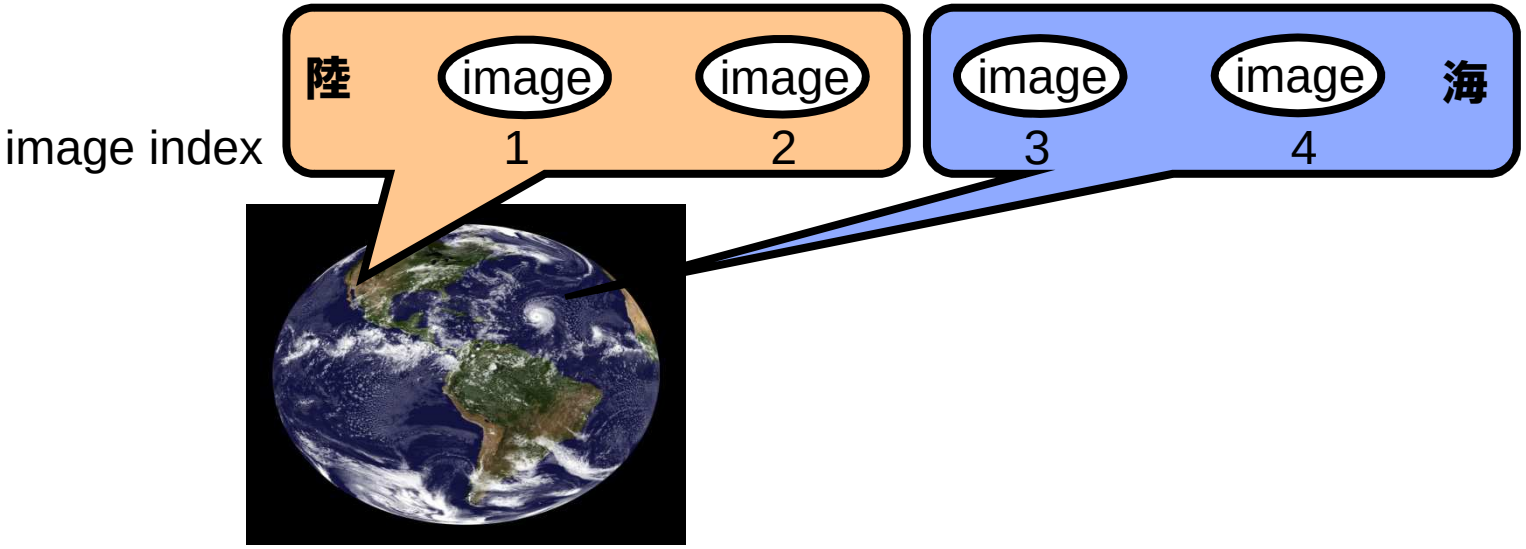
```
void xmp_sync_all(int *stat)                          /* sync all文と同様 */
void xmp_sync_memory(int *stat)                       /* sync memory文と同様 */
void xmp_sync_image(int i, int *stat)                 /* sync images(i)文と同様 */
void xmp_sync_images(int num, int*, int *stat) /* sync images((/i1,i2,…/))文と同様*/
void xmp_sync_images_all(int *stat)                   /* sync images(*)文と同様 */
```

さらに，タスク並列のための拡張機能を提供

Fortran 2008のcoarray機能の問題点の1つ

タスク並列プログラムが書きにくい

- imageとimage indexの対応は固定(contextは1つ)
- **常に全image上での処理**となり，タスク内処理の記述が面倒



(例)「海」側のタスクは，

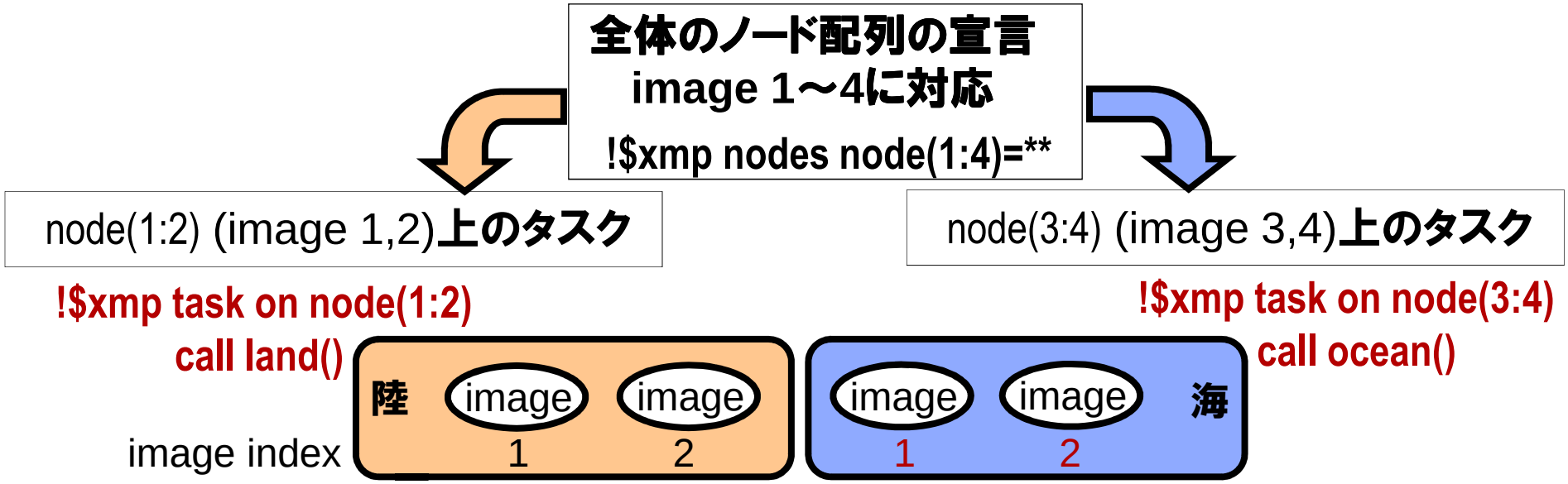
- image index 3と4を使用しなければならない
- sync all と書くと，陸・海全体での同期となってしまう

既存のプログラムをそのまま組み込めない

[XMP] タスク並列のための拡張(1) 1/3

タスク内処理

- XMPのTASK指示文と「全image」を連動させる
  - image indexにTASK指示文に対応したcontextを持たせる



- TASK指示文で指定されたimageの集合が「全image」

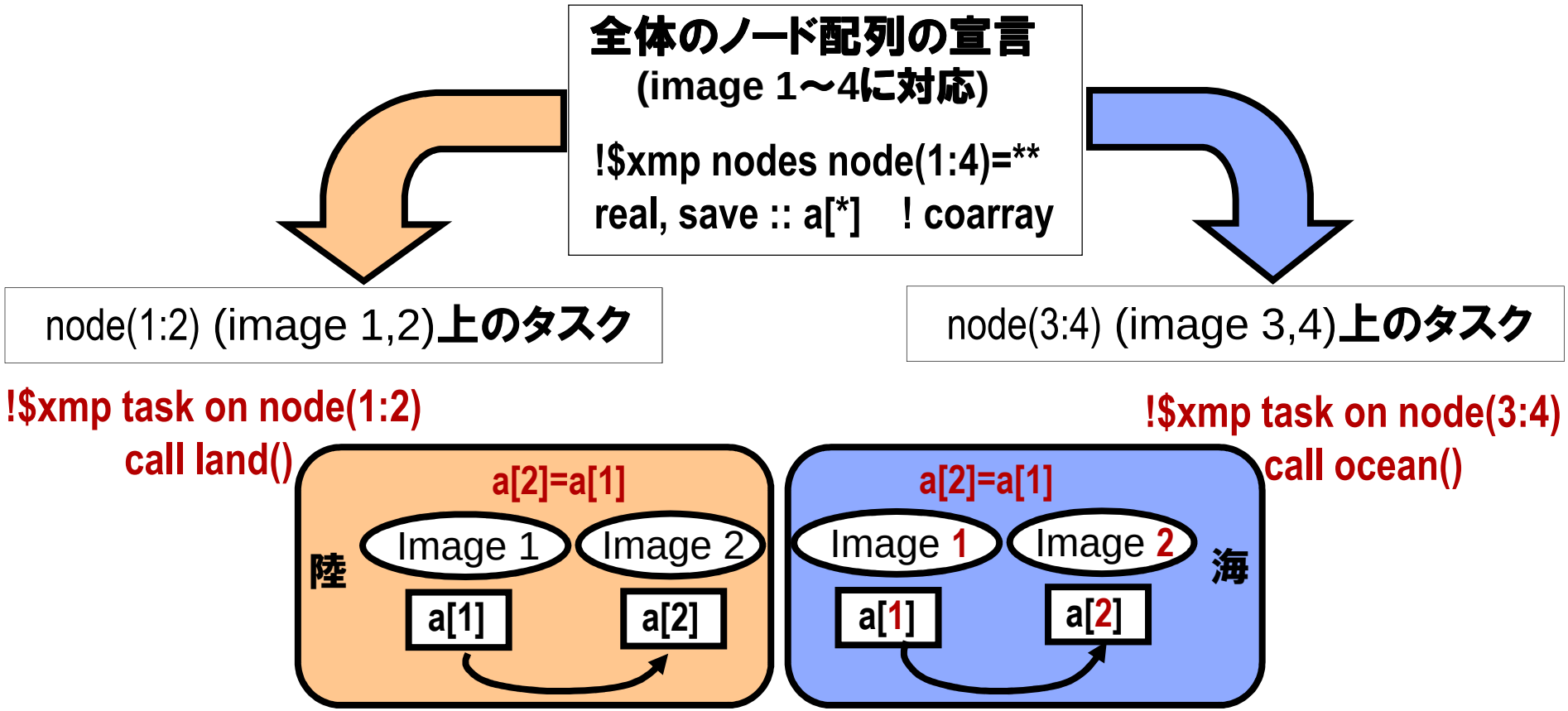
  → タスク内に閉じたimage indexでプログラムを記述できる

[XMP] タスク並列のための拡張(1) 2/3

タスク内処理：通信

- (既定値では)タスク内のimage上のcoarrayだけが参照可能

[例]陸タスク・海タスク共に，タスク内のimage 1のaをimage 2のaに代入する

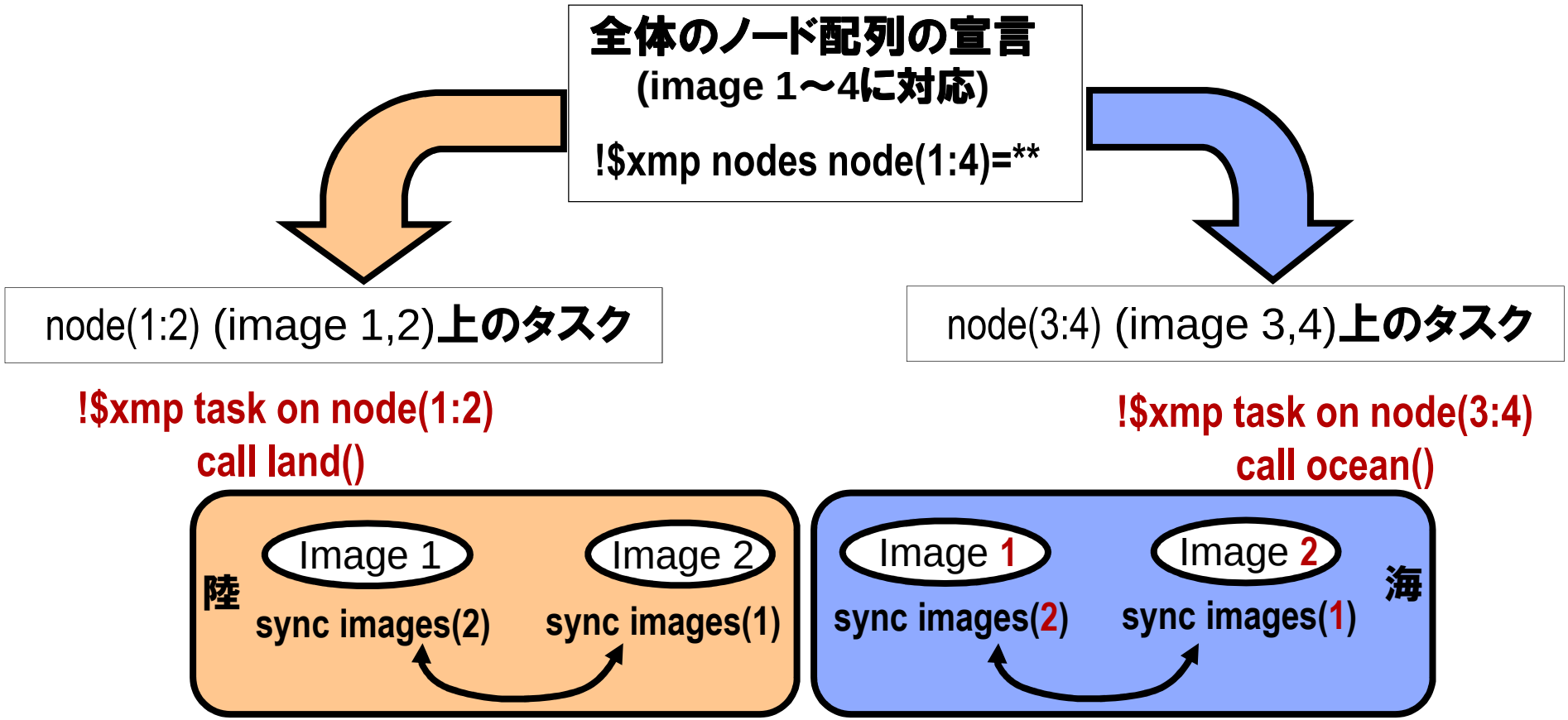


[XMP] タスク並列のための拡張(1) 3/3

タスク内処理：同期

- (既定値では)同期等のimage間処理もタスク内に閉じる

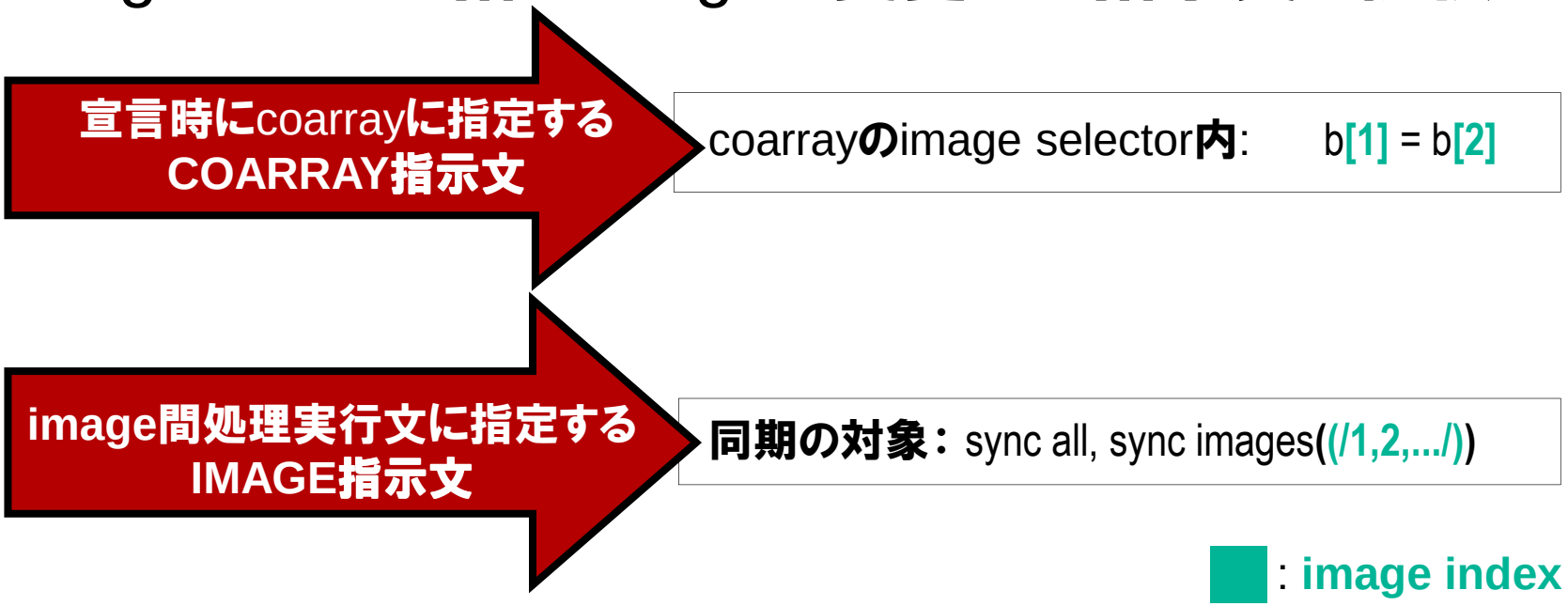
[例]陸タスク・海タスク共に，タスク内のimage間で同期を取る



[XMP] タスク並列のための拡張(2) 1/3

タスク間処理 (contextの指定)

- image indexが指すimageを変更する指示文を提供



- 異なるimage集合間のimage index変換手続を提供
  - (プログラム開始時の)全image集合におけるimage indexへの変換
  - 実行中のタスクを構成するimage集合におけるimage indexへの変換

[XMP] タスク並列のための拡張(2) 2/3

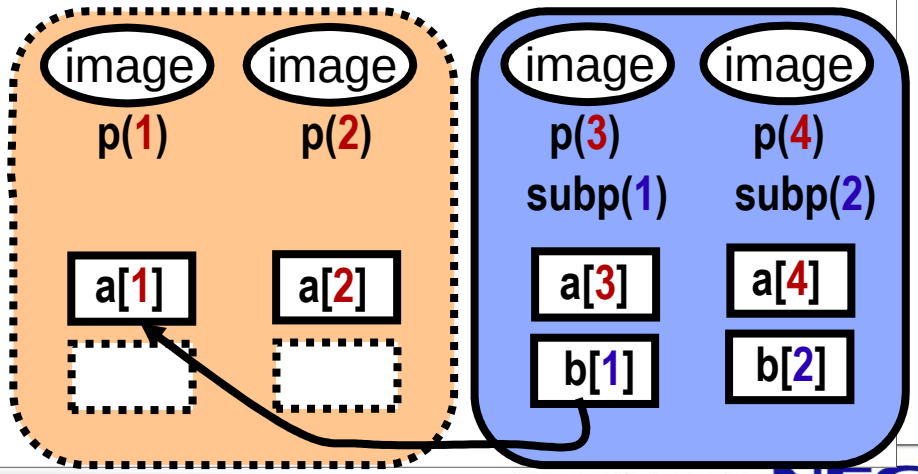
タスク間処理 (contextの指定)

●COARRAY指示文 (宣言の指示文)

- 各coarrayが参照可能なimage集合の範囲を指定できる
- TASK指示文に関係なく，常に指定されたノード配列に対応するimage集合の範囲が参照可能になる(見える)

(例)

```
!$xmp nodes p(4) =**          ! 全体のノード配列pの宣言
      real,save :: a[*], b[*] ! coarray aとb
!$xmp coarray on p :: a       ! coarray aは常にp(1:4)全体上の実体が見える
        :
!$xmp task on p(3:4)
      block     ||
  !$xmp nodes subp(2)=*

        me = this_image()
        if(me.eq.1)a[1] = b[1]
      end block
!$xmp end task
```



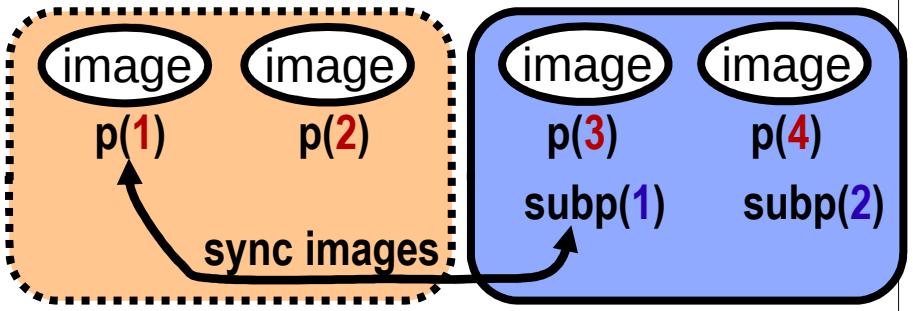
[XMP] タスク並列のための拡張(2) 3/3

タスク間処理 (contextの指定)

- **IMAGE指示文 (実行文への指示文)**
  - 同期等の実行文のimage indexのcontextを指定できる
  - TASK指示文に関係なく，常に指定されたノード配列に対応するimage集合上でのimage indexを意味する。

(例)

```
!$xmp nodes p(4) =**          ! 全体のノード配列pの宣言
        :
!$xmp task on p(3:4)
      block      ||
  !$xmp nodes subp(2)=*
        me = this_image()
        if(me.eq.1)then
  !$xmp image (p)
            sync images(1)    ! 1は，ノード配列p上の1 (p(1))を意味する。
        endif
      end block
!$xmp end task
```



Fortran 2008のcoarray機能まとめ

データマッピング

coarrayは全image上に必ず割り付けられる

例) 2次元配列a(10,10)は，各image上にそれぞれ存在する

```
real,save :: a(10,10)[*]
```

通信

代入文の形で書く(片側通信・手動)

例) image 2上のbを，image 1上のbに代入する

```
b[1] = b[2]
```

[*] : image index

並列処理・同期

各imageは並列に動作し，image間処理は手動

同期： sync all, sync images((/1,2,.../))

メモリ操作完了の保証： sync memory

1 image毎の実行： CRITICAL構文

ロック・アンロック： LOCK文, UNLOCK文

その他

atomicな値の引用・確定： atomic_ref(), atomic_define()

各種問合せ手続： this_image(), num_images() 等

XMPでは

- Cでもcarray機能を利用可能
- グローバルモデルと併用可能
- タスク並列処理が記述しやすい