プログラミングの基礎
（ファイルシステム、バッチジョブ、makeについて）

大島 聡史 (東京大学情報基盤センター)
ohshima@cc.u-tokyo.ac.jp

東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

東京大学情報基盤センター
INFORMATION TECHNOLOGY CENTER, THE UNIVERSITY OF TOKYO

目次

- ファイルシステム
- MPI-IOの使い方
- バッチジョブの操作（上級編）
  - ステージング
  - ジョブの詳細な情報の把握
  - コマンドラインオプションの利用
  - ステップジョブ
- makeの利用
- makeの応用（makeを使った並列処理）

この講習の目的

- Oakleaf-FXにログインして効率的に作業を行えるようになることを目指し、ファイルシステムやジョブの操作について学ぶ
- 入出力の負荷が高いプログラムに有効なMPI-IOについて学ぶ
- 大規模なプログラムを作成する際に必須となる、分割コンパイルの方法について学ぶ
- makeを使用した並列処理の方法について学ぶ

演習で使用するファイル

- /home/t00001/public に、この講習会で使用したプログラム、課題の解答などのファイルを置きました。ご利用ください。

ファイルシステム

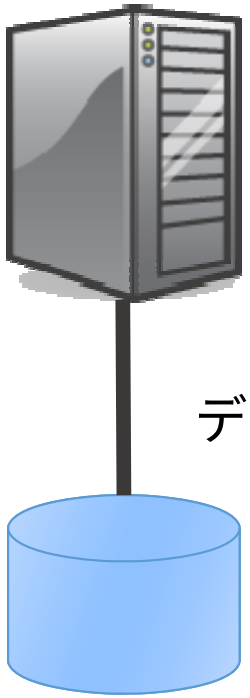
Oakleaf-FXで利用可能なファイルシステム

PATH	種類	備考
/home/ログイン名	FEFS	共有ファイルシステム
/group[1-3]/グループ名/ログイン名(*)	FEFS	
/mppx[bc]/ログイン名(*)	FEFS	外部ファイルシステム （データ保存期間は一年間）
/work	FEFS	ローカルファイルシステム （ステージング用）
/tmp	NFS	使用を推奨しない
/dev/shm	Ramdisk	メモリ上に確保された領域

(*) 負荷分散のため、グループ、ユーザ毎に/group[1-3], /mppx[bc] のいずれかを使用

ローカルディスク

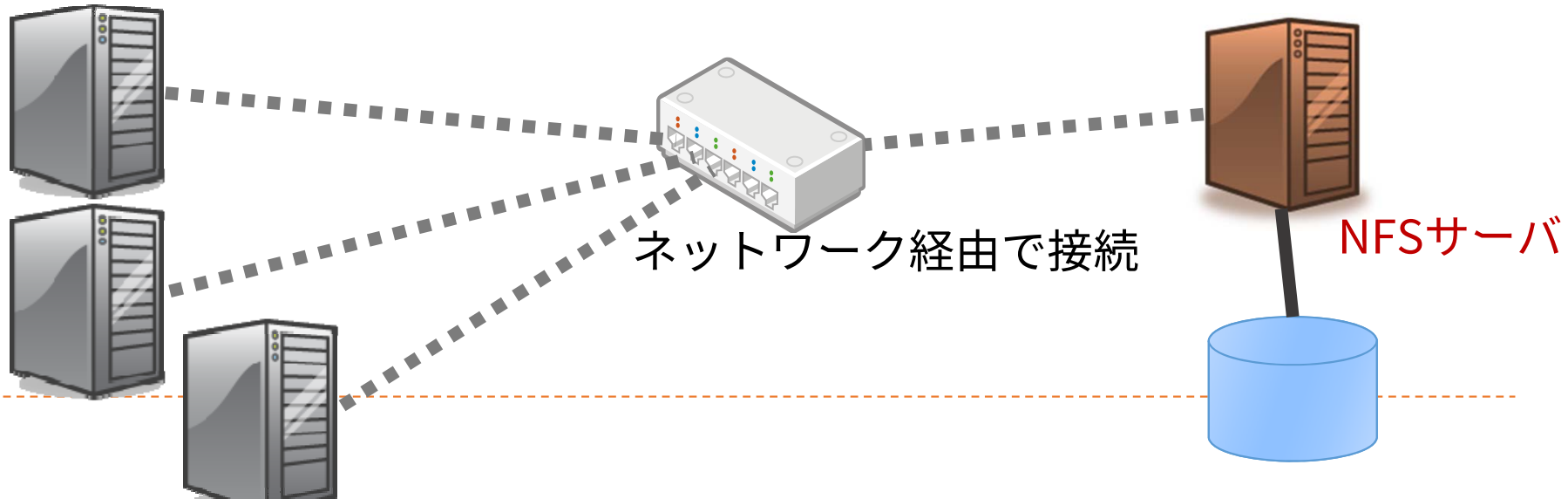
- 他のノードから直接アクセスできない記憶域
  - Oakleaf-FXでは、計算ノードとインタラクティブノードにはローカルディスクはない



ディスクと直接接続

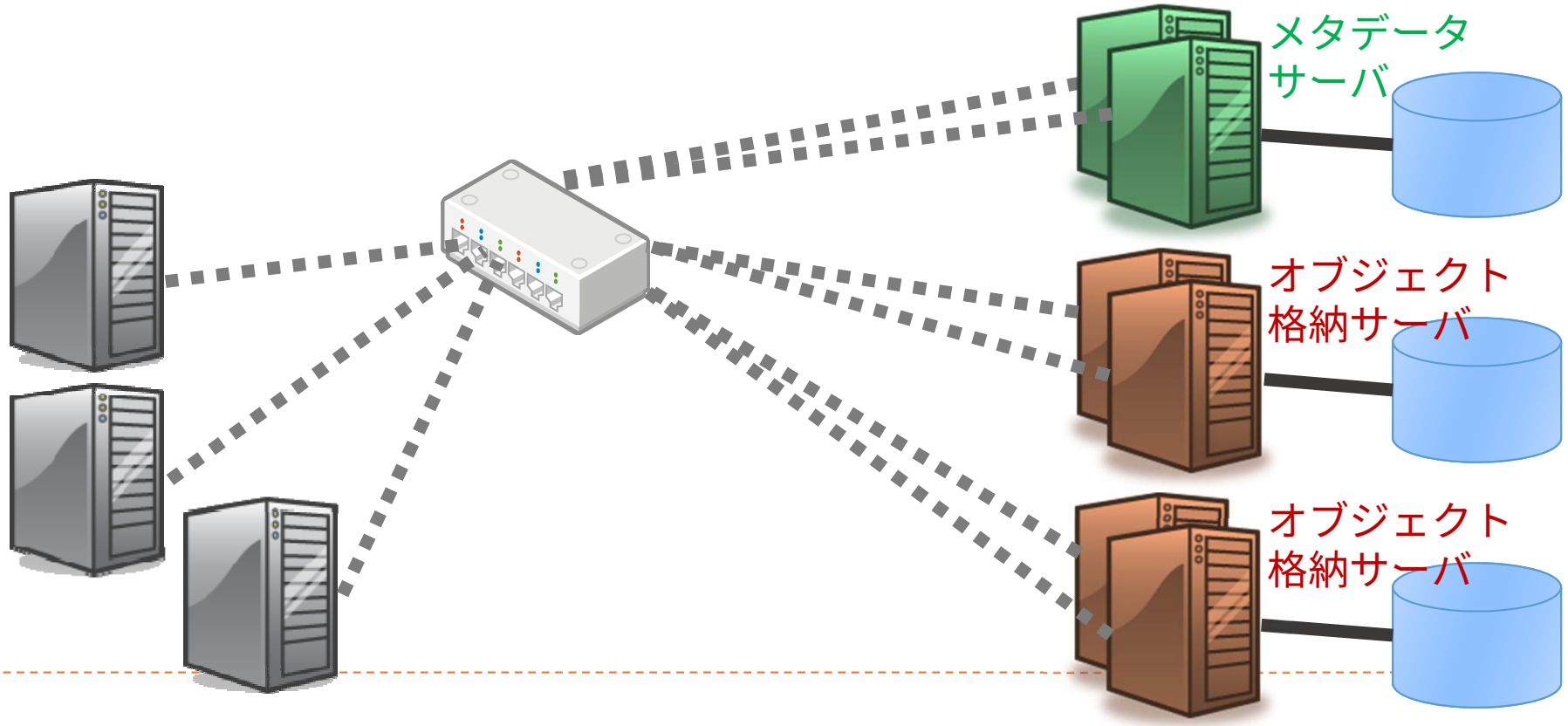
NFS (Network File System)

- ネットワーク経由で複数クライアントからアクセス可能
- 普通のLinux系OS等で安価かつ容易に構築可能
- サーバは1台のみ、動的な負荷分散機能がない
- Oakleaf-FXにおける設定
  - OS起動等のために、1ラック(96ノード)ごとに1台使用
  - /tmp (NFS領域) には書き込みを行わないことを推奨



分散ファイルシステム

- 複数のファイルサーバにデータおよびメタデータを分散配置
  - 1ファイルのデータを複数台のサーバに分散可能
  - フェイルオーバーにより、サーバ故障に対応可能



分散ファイルシステムの特徴

- 複数のファイルサーバにデータを分散可能
  - 多くのクライアントからアクセスする場合に効率がよい
- 構成がNFSより複雑
  - NFSに比べると1クライアントからのアクセス性能は低い場合がある
  - ただし、1ファイルのデータを複数のサーバに分散させれば、1クライアントからのアクセス性能を上げることができる
    - lfs setstripeなど

Oakleaf-FXの分散ファイルシステム

- FEFS(Fujitsu Exabyte File System)
  - Lustre ファイルシステムをベースに富士通が開発
    - Lustre との高い互換性
  - 数万規模のクライアントによるファイル利用を想定
    - 最大ファイルサイズ、最大ファイル数等の拡張

- Lustre
  - 大規模ファイル入出力、メタデータ操作の両方で高性能なファイルシステム
  - データの分散方法をファイルごとに指定可能(後述)

利用可能な容量(quota)

- 共有ファイルシステムは、個人、またはグループに対して利用可能容量の制限(quota)がある
- show_quotaコマンドで構成を確認可能

```
$ show_quota
Disk quotas for user c26002
    Directory              used(MB)    limit(MB)       nfiles
    /home/c26002            102,868      204,800       75,296
    /group/gc26/c26002       39,453            -          416
    /group/gv31/c26002            0            -            0
    /group/gv32/c26002            0            -            0
    /group/gv35/c26002            0            -            0
    /mppxb/c26002                 0            -            4

Disk quotas for group gc26 gv31 gv32 gv35
    Directory              used(MB)    limit(MB)       nfiles
    /group/gc26          39,697,121   40,960,000    8,160,598
    /group/gv31                   0    4,096,000            5
    /group/gv32                   0    8,192,000           13
    /group/gv35                   0    4,096,000            9
```

演習（storage）

- 自ユーザに割り当てられたストレージの構成と容量制限値（quota値）を確認せよ

- それぞれのファイルシステムでファイル展開コマンドを実行し、性能の差を確認せよ
  - （用意されたスクリプトを用いて測定してみよう）

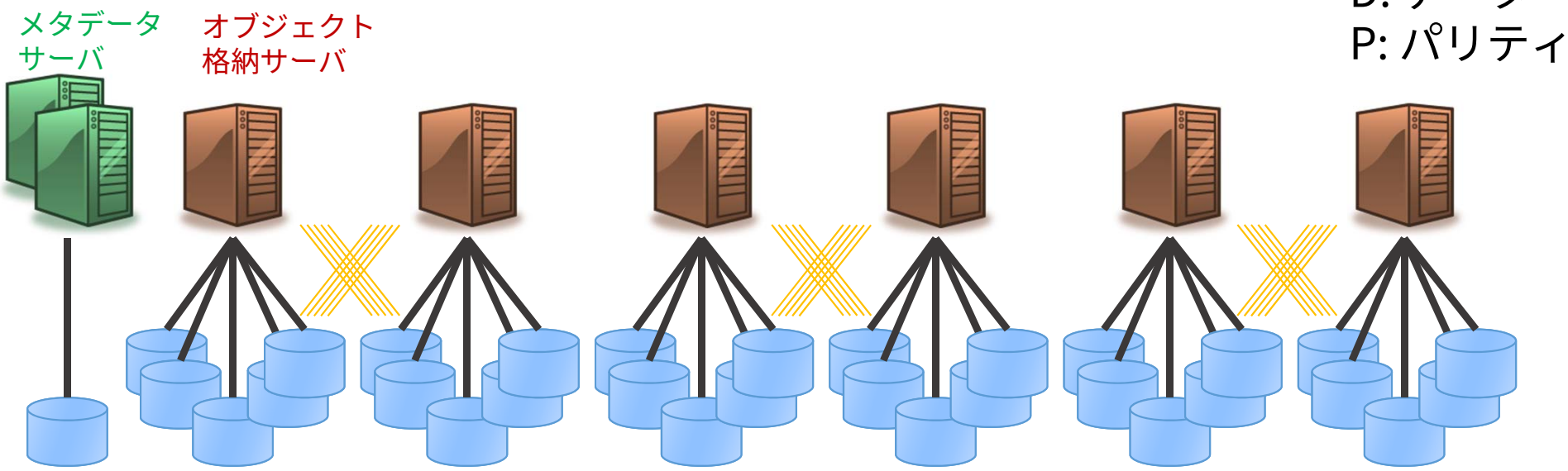
解説と補足

- ファイルシステムのquotaを確認するには show_quotaコマンドを使用する
- ファイル展開プログラムの実行手順と内容
  1. ./create_tar.sh ファイル数
     - 指定された数のファイルが格納されたtar.gzファイルを作成
  2. ジョブスクリプト extract_test.sh（pjsubで実行）
     - extract関数の説明（引数：ディレクトリ）
       - 指定したディレクトリにファイルを展開し、所要時間を表示
       - PJM_O_LOGNAMEという環境変数に、ユーザ名が格納されている
       - –I "test.tar.gz …"はステージングのための指定(後述)
     - FEFS同士ではほとんど性能に差が生じないこと、メモリ（/dev/shm）とは性能差が大きいことがわかる

Lustre/FEFSのデータ配置

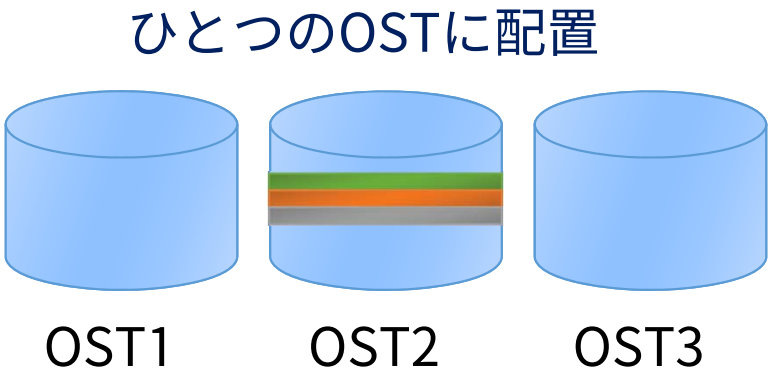
- 複数のOST (Object Storage Target: 仮想的なディスク)で構成
- 各OSTは1つのRAIDグループに対応
  - 共有: RAID6 (9D+2P) x 480、ローカル: RAID5 (4D+1P) x 600、外部: RAID6 (8D+2P) x 236
- メタデータの格納先 (MDT: Metadata Target)はRAID1

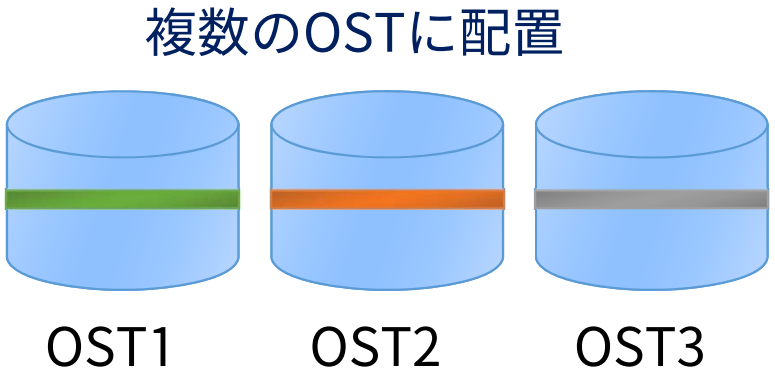
D: データ
P: パリティ



参考：Lustreのデータ配置の指定

- データ配置の指定
  - ファイルのデータをひとつのOSTに配置するか、複数のOSTに分散して配置するかはユーザが指定できる
  - デフォルトではひとつのOSTに配置
  - lfs getstripe / lfs setstripeコマンドで参照・変更可能





参考：Lustreのデータ配置の指定(例)

- lfs setstripe –s *size* –c *count* ファイル名
  - *size* 毎に *count* 個のOSTに渡ってデータを分散配置する設定にした空のファイルを作成する

(lustre_stripeディレクトリに、ここで使用したスクリプトがあります)

```
$ dd if=/dev/zero of=/mppxc/t00004/4G.dat bs=1M count=4096
4096+0 records in
4096+0 records out
4294967296 bytes (4.3 GB) copied, 35.6352 s, 121 MB/s
```

OST数が1の場合の書き込み性能

```
$ rm /mppxc/t00004/4G.dat
$ lfs setstripe -s 1M -c 50 /mppxc/t00004/4G.dat
```

ストライプ設定の変更(50個のOSTにデータを分散)

```
$ dd if=/dev/zero of=/mppxc/t00004/4G.dat bs=1M count=4096
4096+0 records in
4096+0 records out
4294967296 bytes (4.3 GB) copied, 17.6508 s, 243 MB/s
```

OST数が50の場合の書き込み性能

MPI-IO: 並列入出力関数

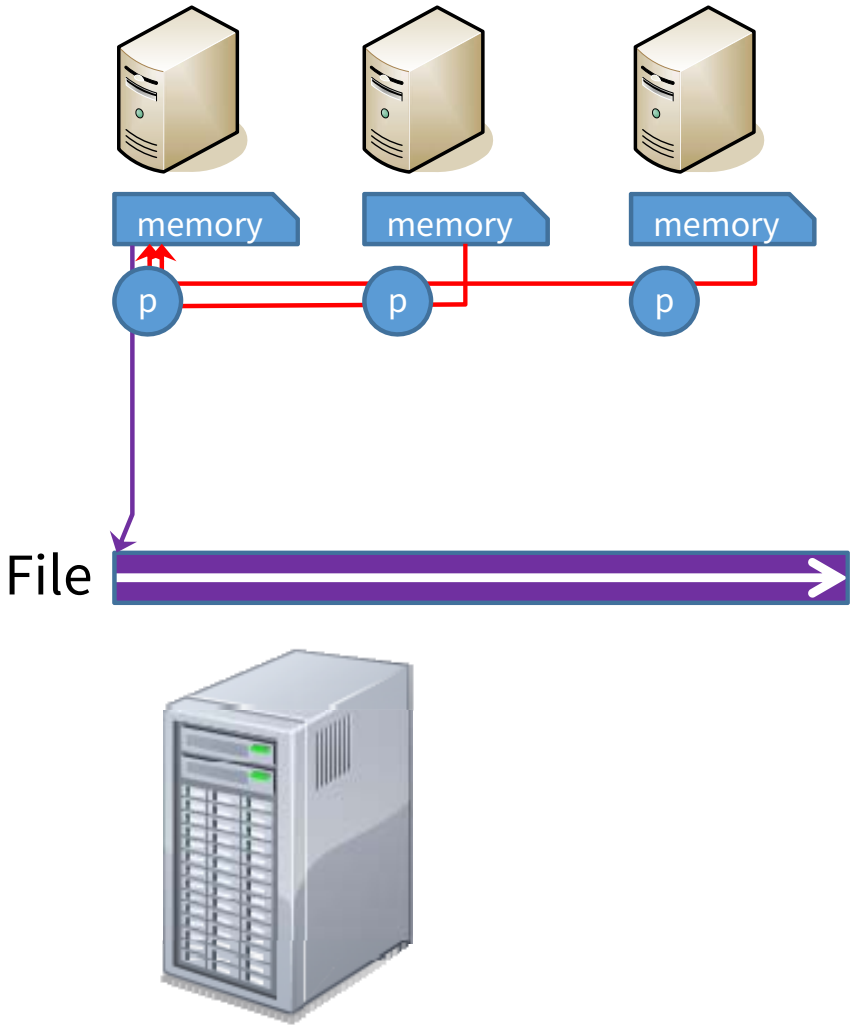
MPI-IO とは

- 並列ファイルシステムと効率的にやり取り（送受信）するためのシステム
  - メモリ・ファイル双方における不連続域アクセス
  - 集団入出力
  - 明示的オフセットを用いた seek 発行の削減
  - プロセス間共有ファイルポインタ
  - ノンブロッキング出力
  - etc.

- 以後 API は C言語での宣言を説明していくが、Fortran でも引数はほぼ同じである
  - 末尾に返り値用の引数がつく、各自リファレンスを参照のこと
- C++宣言はもう使われていない、C宣言を利用する

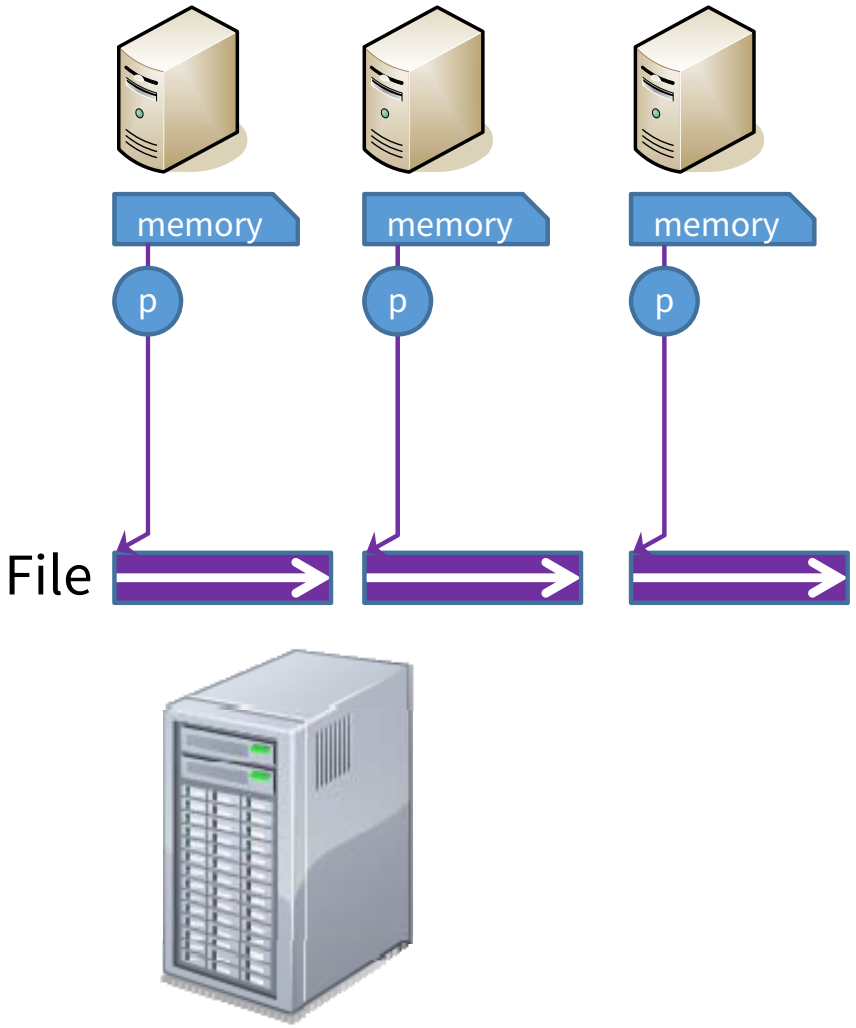
非MPI-IO：
よくある並列アプリ上ファイルI/O

- 逐次入出力
  - 1プロセスのみでI/Oを行い、(MPI)通信によりデータを分散・集約する
  - 利点
    - 単一ファイルによる優秀な取り回し
    - 書き込み操作回数の削減？
  - 欠点
    - スケーラビリティの制限？
      - 書き込み時間の増加
    - 並列入出力をサポートしたファイルシステムの性能を生かせない



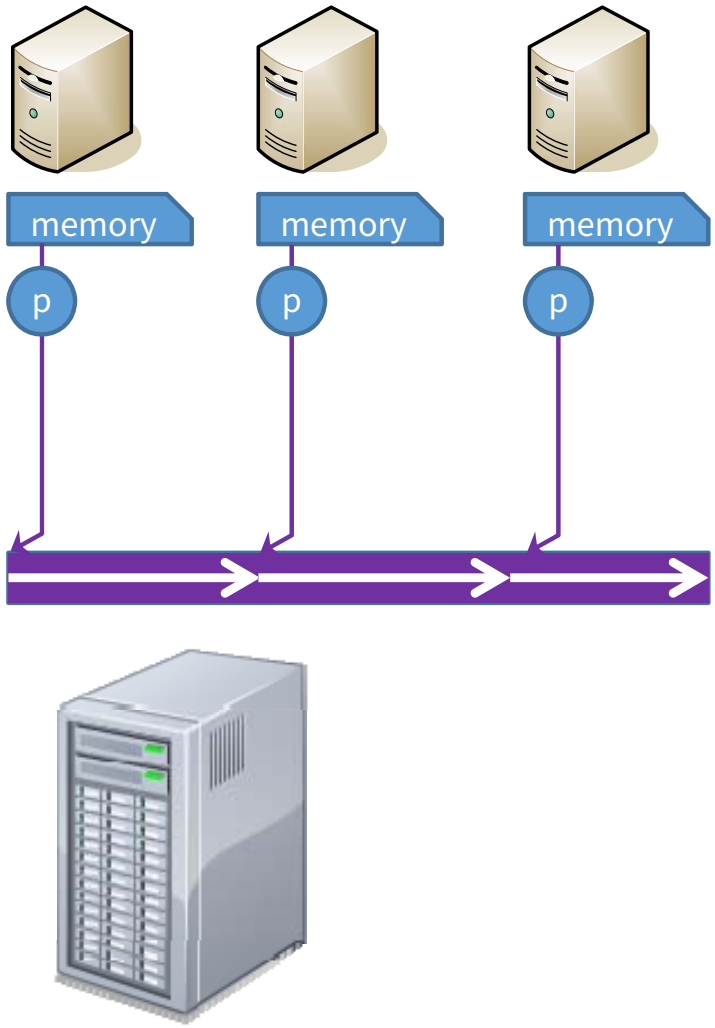
非MPI-IO：
よくある並列アプリ上ファイルI/O

- 並列入出力
  - 各プロセスが個別にI/Oを行う
  - 利点
    - ファイルシステムの並列入出力サポートを生かせる
    - スケーラビリティ向上？
  - 欠点
    - 入出力回数の増大？
      - 多数の小ファイル書き込み
    - 複数ファイルによる劣悪な取り回し



MPI-IOによる並列アプリ上ファイルI/O例

- 単一ファイルに対する並列書き込み
  - 前二つの欠点を軽減



講習で用いるMPI-IOモデル

- 明示的オフセット
  - プロセス毎のファイルポインタを利用し、実行毎に位置を指定しながら読み書きを行う
  - MPI_File_read_at, MPI_File_write_at
- 連続アクセス（プロセス毎 seek & read/write）
  - プロセス毎のファイルポインタを利用し、連続した範囲に対して読み書きを行う
  - MPI_File_seek, MPI_File_read, MPI_File_write
- 不連続アクセス
  - プロセス毎のファイルポインタを利用し、１ファイル内の不連続な範囲に対して読み書きを行う
  - MPI_File_set_view
- 共有ファイルポインタ
  - プロセス全体で共有されるファイルポインタを用いて、協調して入出力を行う
  - MPI_File_read/write_share

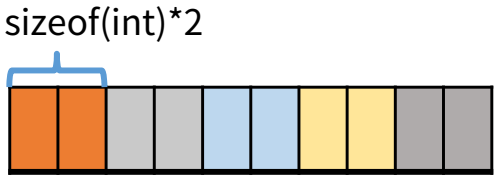
ファイルの open と close

- すべてのモデルについて利用前にファイルをopen、利用後に close する必要がある
- int MPI_File_open(
    MPI_Comm comm, //コミュニケータ
    char *filename, //操作ファイル名
    int amode, //アクセスモード（読専、書専等）
    MPI_Info info, //実装へのユーザからのヒント
    MPI_File *fh //ファイルハンドラ
)
- int MPI_File_close(
    MPI_File *fh //ファイルハンドラ
)

明示的オフセット

- 読み書き開始位置を毎回指定しながら書き込む
  - MPI_File_open でハンドラを取得
  - MPI_File_read/write_at で読み書き
  - MPI_File_close でファイルを閉じる
- ファイルポインタの変更を行わない（いわゆるストリームやカーソルを使わない）
  - スレッド利用のハイブリッドプログラムに最適

```
…
#define COUNT  2
MPI_File fh;
MPI_Status st;
int buf[COUNT];
int bufsize = sizeof(int)*COUNT;
MPI_File_open(MPI_COMM_WORLD,  “datafile” ,
                MPI_MODE_RDONLY, MPI_INFO_NULL,
                &fh);
MPI_File_read_at(fh, rank*bufsize, buf, COUNT,
MPI_INT, &st);
MPI_File_close(&fh);
…
```



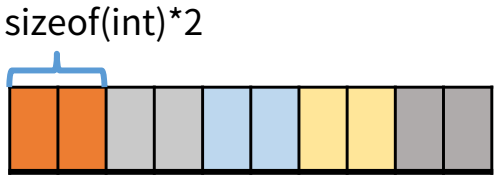
MPI_File_read/write_at

- int MPI_File_read_at(
  MPI_File fh, //ファイルハンドラ
  MPI_Offset ofs, //オフセット（バイト）
  void *buf, //読み込みバッファ先頭アドレス
  int count, //データの「個数」
  MPI_Datatype dt, //データの型
  MPI_Status *st //終了状態の返値
)
- MPI_File_write は read と同じ引数、読み込みバッファ部分に書き込みバッファの先頭アドレスを示す

連続アクセス（プロセス毎 seek & read/write）

- プロセス毎のファイルポインタを利用し、読み書きを行う（標準IO関数に近い方法）
  - MPI_File_open でハンドラを取得
  - MPI_File_seek で読み書きすべき位置に移動（プロセス毎に違う）
  - MPI_File_read/write で読み書き
  - MPI_File_close でファイルを閉じる

```
…
#define COUNT  2
MPI_File fh;
MPI_Status st;
int buf[COUNT];
int bufsize = sizeof(int)*COUNT;
MPI_File_open(MPI_COMM_WORLD,  “datafile” ,
              MPI_MODE_RDONLY, MPI_INFO_NULL,
              &fh);
MPI_File_seek(fh, rank*bufsize, MPI_SEEK_SET);
MPI_File_read(fh, buf, COUNT, MPI_INT, &st);
MPI_File_close(&fh);
…
```



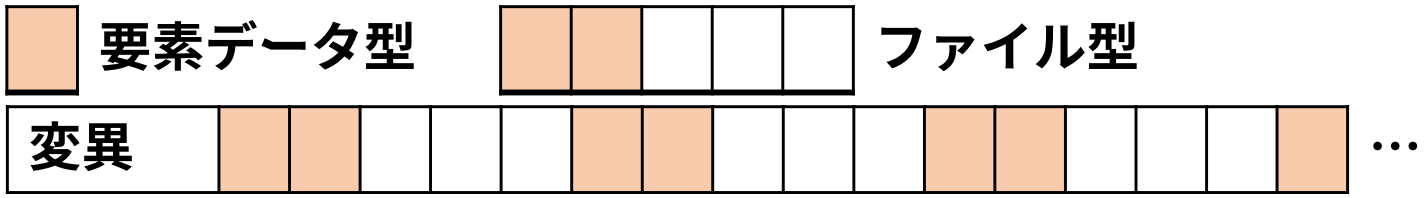
各read/write毎のカーソル（ストリーム）の移動の仕方についてはMPI_File_set_view関数（後述）で細かく制御可能

MPI_File_seek/read/write

- int MPI_File_seek(
  MPI_File fh, //ファイルハンドラ
  MPI_Offset offset, //オフセット位置(バイト)
  int whence //指定手法（セット／増加／終端等）
)
- int MPI_File_read(
  MPI_File fh, //ファイルハンドラ
  void *buf, //読み込みバッファ先頭アドレス
  int count, //データの「個数」
  MPI_Datatype dt, //データの型
  MPI_Status *st //終了状態の返値
)
- MPI_File_write は read と同じ引数、読み込みバッファ部分に書き込みバッファの先頭アドレスを示す

不連続アクセス：前提知識

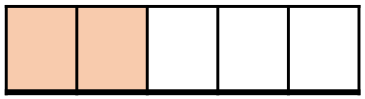
- ファイルビュー
  - ファイル内で実際に操作できるウィンドウ
  - 以下の要素で指定（デフォルトは 0, MPI_BYTE, MPI_BYTE）
    - 変異：ファイルの先頭から読み飛ばすサイズ（バイト）
    - 要素データ型：データアクセスの基本単位（MPI_Datatype）
      - ファイルのオフセット単位になる
      - ファイルポインタも基本単位分スライドする
    - ファイル型：ファイルのどの部分がどのデータ型で見えるのか
      - 要素データ型のみから構成されるデータ型な必要がある
      - 操作不可能領域を作るために余白やextent（実データ長）を設定
        - MPI_Type_vector のストライドや、MPI_Type_create_resizeのlb, extent を使う
        - ※今回は後者だけ扱います（おまじないレベル？）



派生データ型（MPI_Send等でも利用可能）

- MPI_INT などの MPI_Datatype をユーザ定義可能
  - 型作成→コミットという手順をとる
- MPI_Type_contiguous
  - 同じ基本型を複数並べる
- MPI_Type_create_resized
  - 型の実サイズを再定義
  - 型の前後に余白を作る

- 注意！(ファイル操作と切り分けたため右では無視している)
  - ファイル可搬性のためにはバイト指定部分に言語の基本データ型を使わないほうがよい
    - ファイル書き込み時の表現形式を使う
    - MPI_File_get_type_extent で書き込み時のMPI_Datatypeのextentを取得できる（リファレンスを参照）



←作成する型

```
...
MPI_Datatype filetype, temptype;

MPI_Type_contiguous(2, MPI_INT, &temptype);
// MPI_INT 2個のデータ型 temptype の作成

MPI_Type_create_resized(
    temptype, //拡張元の型
    0, //前方のデータ開始位置（最初からtemptypeを詰める）
    5*sizeof(int), //後方型終了位置（前後ともバイト単位）
    &filetype // 新しい型の格納先
);
// temptype の後ろに3個のint 分の余白を作成

MPI_Type_commit(&filetype);
// Datatype のコミット
...
```

不連続アクセス

- プロセスの読み書き可能位置を変更し、１ファイル内を不連続にアクセスする
  - 派生型の作成（前頁）
  - MPI_File_open
  - MPI_File_set_view でファイルビューの作成
  - MPI_File_read/write で読み書き
  - MPI_File_close
- 右は1000個のint をbuf に読み込む例

```
…
MPI_Datatype filetype, temptype;
MPI_Type_contiguous(2, MPI_INT, &temptype);
MPI_Type_create_resized(temptype, 0, 5*sizeof(int),
&filetype);
MPI_Type_commit(&filetype);
int count = 1000;
int disp = 0;
MPI_File_open(MPI_COMM_WORLD,  “datafile” ,
              MPI_MODE_RDONLY, MPI_INFO_NULL,
              &fh);

MPI_File_set_view(
    fh, disp, MPI_INT,
    filetype,  “native” , MPI_INFO_NULL);

MPI_File_read(fh, buf, count, MPI_INT, &st);

MPI_File_close(&fh);

…
```

MPI_File_set_view

- int MPI_File_set_view(
  MPI_File fh, //ファイルハンドラ
  MPI_Offset disp, //変異 （バイト数）
  MPI_Datatype dt, //要素データ型
  MPI_Datatype filetype, //ファイル型
  char* dtrep, //データ表現形式
  MPI_Info info //実装へのユーザからのヒント
)
- データ表現形式による可搬性向上
  - “native”: メモリ上と同じ姿での表現（何も変換しない）
  - “internal”: 同じMPI実装を利用するとき齟齬がない程度の変換
  - “external32”: MPIを利用する限り齟齬がないように変換
  - そのほかにもある→MPI仕様書を参照

集団入出力

- 頻繁にあり得るモデルとして…
  - 変異をずらすことでプロセス毎にサイクリックに分割してデータを読む
  - すべてのプロセスが同タイミングで読み込みを行うことが多い

  そんな時は……
- 集団入出力
  - 読み書きの結果は単独入出力と変わらない
  - 同時入出力を行っているというヒントを与えることで、MPI処理系が最適化してくれるかもしれない

```
…
MPI_Datatype filetype, temptype;
MPI_Type_contiguous(2, MPI_INT, &temptype);
MPI_Type_create_resized(temptype, 0, 5*sizeof(int),
&filetype);
MPI_Type_commit(&filetype);
int count = 1000;
int disp = rank*sizeof(int)*2;
MPI_File_open(MPI_COMM_WORLD,  “datafile” ,
              MPI_MODE_RDONLY, MPI_INFO_NULL,
              &fh);

MPI_File_set_view(
    fh, disp, MPI_INT,
    filetype,  “native” , MPI_INFO_NULL);

MPI_File_read_all(fh, buf, count, MPI_INT, &st);

MPI_File_close(&fh);

…
```

共有ファイルポインタ

- 複数プロセスで単一ファイルを読み書きしたいこともある
  - 例：ログファイルなど
- 共有ファイルポインタ
  - ファイルポインタを共有できる
  - MPI_File_open
  - MPI_File_read/write_sharedで共有ファイルポインタを用いて入出力
  - MPI_File_close
  - 注意：読み書き動作が他プロセスの読み書きにも影響する
- 集団入出力
  - MPI_File_read/write_ordered
  - 順序が保証される（ランク順に処理される、並列ではない）

```
…
#define COUNT  2
MPI_File fh;
MPI_Status st;
int buf[COUNT];
MPI_File_open(MPI_COMM_WORLD,  “datafile” ,
              MPI_MODE_RDONLY, MPI_INFO_NULL,
              &fh);
MPI_File_read_shared(fh, buf, COUNT, MPI_INT, &st);
MPI_File_close(&fh);
…
```

（ログファイル・デバッグくらいしか使い道が無いかもしれない）

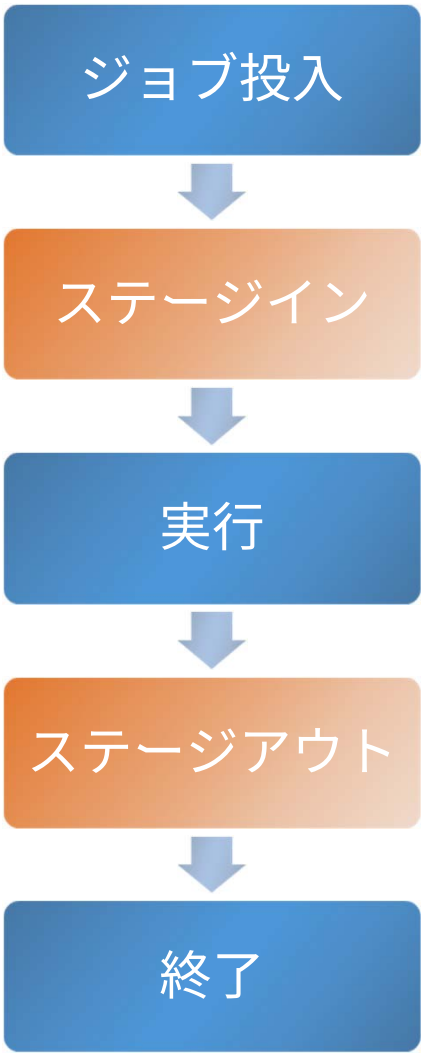
その他の便利な機能

- ノンブロッキング入出力
  - MPI_File_iXX ⇔ MPI_Wait
  - MPI_File_XX_begin ⇔ MPI_File_XX_end
  - (XX: read, read_at, read_all, write, write_at …)
- さまざまな派生型を用いた応用
  - MPI_Type_create_darray, MPI_Type_create_subarray
    - 配列型
    - ファイルビューを用いたのりしろ込みのアクセス
  - MPI_Type_create_indexed_box
    - 不規則ファイルアクセス

バッチジョブの操作（上級編）

1. ステージング
2. ジョブの詳細な情報の把握
3. コマンドラインオプションの利用
4. ステップジョブ

1.ステージング



- 共有ファイルシステムとローカルファイルシステムの間で、ジョブの入力ファイル、出力ファイルを転送する手法
- ジョブが利用するファイルシステムをローカルファイルシステムにすることで、入出力の競合を減らすことが可能
  - 多くのI/O処理を行う大規模なプログラムにて大きな効果を発揮する
- ステージイン
  - 入力ファイルなどをローカルファイルシステムに転送
- ステージアウト
  - 出力ファイルなどを共有ファイルシステムに転送

ジョブ実行時ディレクトリ

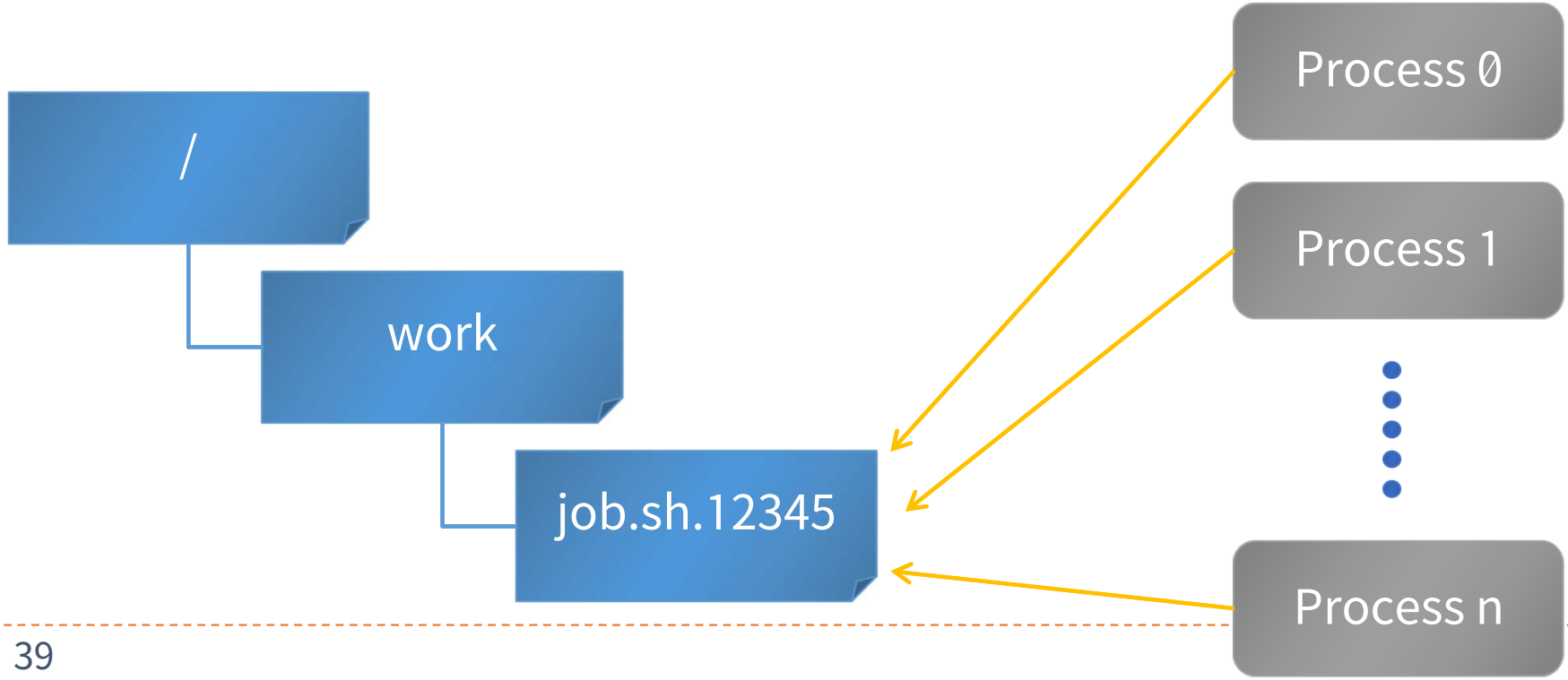
- ステージングを利用する場合、ジョブの実行時ディレクトリはジョブを投入した際のディレクトリとは異なるディレクトリになる

	ジョブ実行時ディレクトリ	$PJM_O_WORKDIR	$PJM_JOBDIR
非ステージングジョブ	A	A	A
ステージングジョブ(共有モデル)	B	A	B
ステージングジョブ(非共有モデル)	B/*rank*	A	B

- A: ジョブ投入時ディレクトリ
- B: /work/jobname.jobid
- 非ステージングジョブでは、/work/jobname.jobidというディレクトリは作成されない

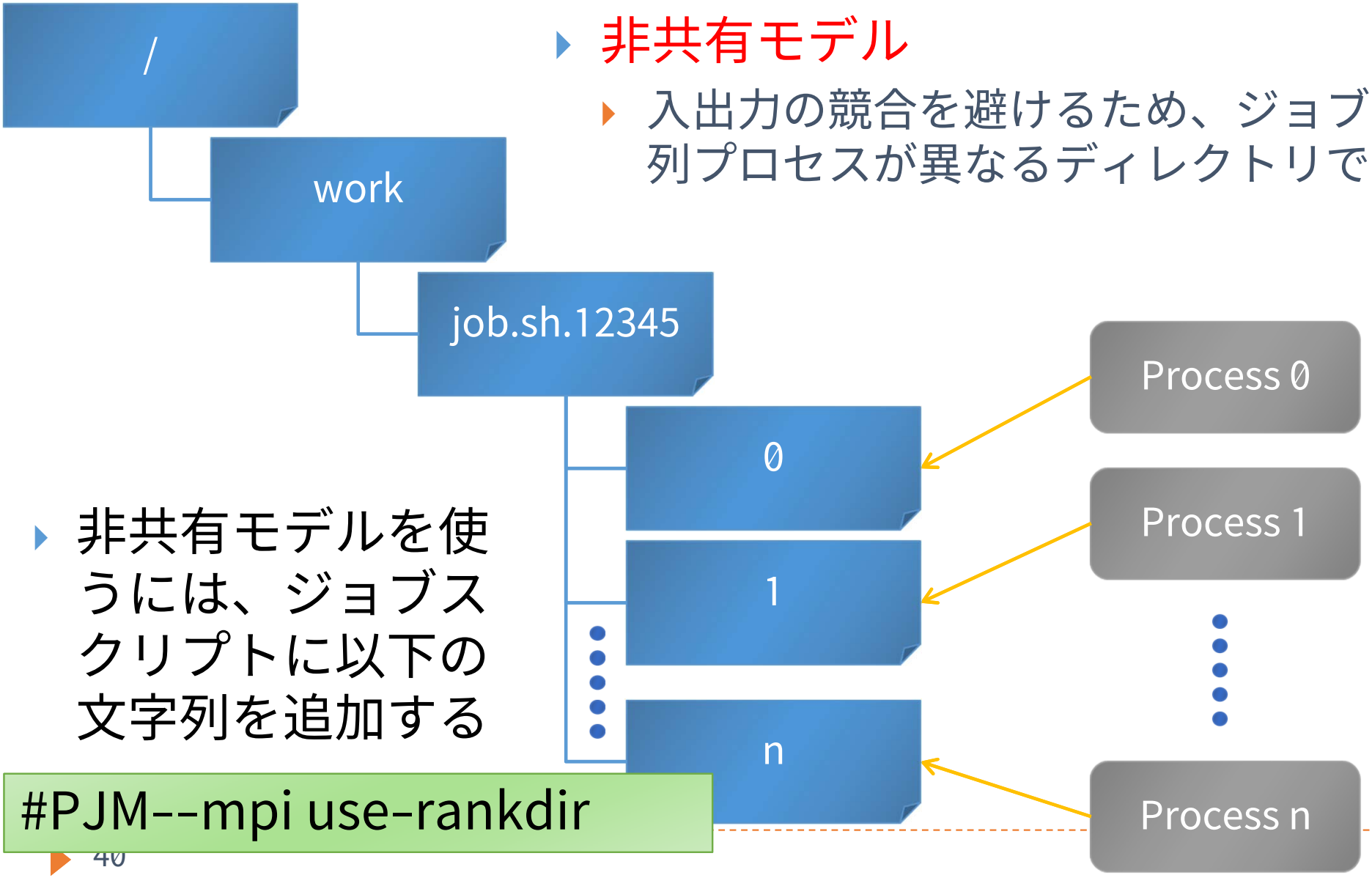
共有モデル

- 共有モデル
  - ジョブ内の並列プロセスが同じファイルに対して入出力
  - ジョブ内で同一ファイルを共有



非共有モデル

- 非共有モデル
  - 入出力の競合を避けるため、ジョブ内の並列プロセスが異なるディレクトリで実行



- 非共有モデルを使うには、ジョブスクリプトに以下の文字列を追加する

```
#PJM--mpi use-rankdir
```

ステージインのオプション

- #PJM-I “*srcfile dstfile*” ← 「“」 「”」も必要
  - *srcfile*を*dstfile*に名前変更してステージイン
- #PJM-I "*srcfile1 srcfile2 … dstdir/*"
  - *srcfile**を*dstdir*ディレクトリに(存在しなければ作成して)ステージイン
  - 最後の「/」も必須
- #PJM-D "*srcdir dstdir*"
  - *srcdir*以下のファイルを*dstdir*ディレクトリに(存在しなければ作成して) ステージイン
- *srcfile,srcdir*を相対パス指定したときはジョブ投入ディレクトリが起点になる

ステージアウトのオプション

- #PJM-O "*srcfile dstfile*"
  - *srcfile*を*dstfile*に名前変更してステージアウト
- #PJM-O "*srcfile1 srcfile2 … dstdir/*"
  - *srcfile**を*dstdir*ディレクトリに(存在しなければ作成して)ステージアウト
  - 最後の「/」も必須
- #PJM-E "*srcdir dstdir*"
  - *srcdir*以下のファイルを*dstdir*ディレクトリに(存在しなければ作成して) ステージアウト
- *dstfile,dstdir*を相対パス指定したときはジョブ投入ディレクトリが起点になる

複雑なファイル名の指定

- 以下の表記を使用して、ステージングのファイル名にジョブID等を含めることが可能
- %j
  - ジョブID
- %n
  - ジョブ名
- %r
  - ランク番号(非共有モデル利用時)
  - %03rの様な指定も可能(rank=1の時、001等)

ステージングジョブ用コマンド

- pjstgchk
  - ステージング書式の文法チェック
- pjcat [-e | -o] -f
  - 標準出力・エラー出力の表示
  - -fはtail -fと同様の動作(継続して表示)
- pjlist [-a] [-l] [-R] JOBID [rank]
  - ジョブ実行時ディレクトリのファイルリストの表示
- pjget [-f] [-p] [-r] JOBID [rank:] src dst
  - ジョブ実行時ディレクトリ上のファイルをコピー
  - -fは既存ファイルを削除してからコピー
  - -p,-rはcpコマンドと同様

ステージング実行例 1

- MPIプログラムを実行し、ログをジョブIDがついたディレクトリに保存する

```
#PJM--mpi use-rankdir
#PJM-I "a.out input.dat ./"
#PJM-O "stderr.%r logs_%j/"
#PJM-O "stdout.%r logs_%j/"

mpiexec --stdout-proc stdout ¥
  --stderr-proc stderr ./a.out input.dat
```

ステージング実行例２

- MPIランクごとに異なるファイル名のデータをステージインする

```
#PJM--mpi use-rankdir
#PJM-I "program ./"
#PJM-I "rank=0 master.dat ./"
#PJM-I "rank=1- worker_%r.dat ./”

mpiexec ./program …
```

- ランク番号は範囲で指定することができる
  - 書式：rank=N1-N2
    - N1省略時：0
    - N2省略時：MPIプロセス数-1

2.ジョブの詳細な状態の把握

- pjstat –s ジョブID
  - ジョブの、より詳しい状態を確認するコマンド
  - ジョブIDを指定しない場合は実行前・実行中の、自分のすべてのジョブが対象

- pjstat –X ジョブID
  - 実行中のジョブのノード割り当て、ランク割り当てを確認するコマンド

➢ pjstatには他にも様々なオプションがある。これら以外のオプションはman pjstatやオンラインドキュメントを参照のこと。

pjstat –s の出力例

```
Oakleaf-FX scheduled stop time: 2012/06/29(Fri) 09:00:00 (Remain:
2days 17:26:40)

 JOB ID                     : 288534
 JOB NAME                   : STDIN
 JOB TYPE                   : INTERACT
 JOB MODEL                  : NM
 RETRY NUM                  : 0
 SUB JOB NUM                : -
 USER                       : t00004
 PROJECT                    : gt00
 RESOURCE UNIT              : oakleaf-fx
 RESOURCE GROUP             : interactive_n1
 APRIORITY                  : 127
 PRIORITY                   : 63
 SHELL                      : /bin/bash
 COMMENT                    :
 LAST STATE                 : RNA
 STATE                      : RUN
 PRM DATE                   : 2012/06/26 15:33:07
 ...
 MAIL ADDRESS               : t00004@oakleaf-fx-6
 STEP DEPENDENCY EXP        :
 STEP EXITING WAIT MODE     : 2
 FILE MASK                  : 0022
 STANDARD OUT FILE          : -
 STANDARD ERR FILE          : -
 INFORMATION FILE           : -
 PJSUB DIRECTORY            : /home/t00004/private/
 FILE SYSTEM NAME           :
 APPLICATION NAME           : :submitted on oakleaf-fx-6
 ACCEPT DATE                : 2012/06/26 15:33:05
 QUEUED DATE                : 2012/06/26 15:33:06
 EXIT DATE                  : -
 LAST HOLD USER             :
 HOLD NUM                   : 0
 HOLD TIME                  : 00:00:00 (0)
 JOB START DATE             : 2012/06/26 15:33:07<
 JOB END DATE               : -
 JOB DELETE DATE (REQUIRE)  : -
 JOB DELETE DATE            : -
 STAGE IN START DATE        : -
 STAGE IN END DATE          : -
 STAGE IN SIZE              : 0.0 MB (0)
 STAGE OUT START DATE       : -
 STAGE OUT END DATE         : -
 STAGE OUT SIZE             : 0.0 MB (0)
 NODE NUM (REQUIRE)         : 1
 CPU NUM (REQUIRE)          : 8
 ELAPSE TIME (LIMIT)        : 02:00:00 (7200) <DEFAULT>
 MEMORY SIZE (LIMIT)        : 28672.0 MiB (30064771072)
 DISK SIZE (LIMIT)          : 240000.0 MB (240000000000)
 ...
 NODE NUM (ALLOC)           : 1:1x1x1
 MEMORY SIZE (ALLOC)        : 28672.0 MiB (30064771072)
 CPU NUM (ALLOC)            : 16
 ELAPSE TIME (USE)          : 00:00:12 (12)
 NODE NUM (UNUSED)          : 0
 NODE NUM (USE)             : 1
 NODE ID (USE)              : 0x030F0006
 TOFU COORDINATE (USE)      : (8,4,0)
 MAX MEMORY SIZE (USE)      : 0.0 MiB (0)
 CPU NUM (USE)              : 0
 USER CPU TIME (USE)        : 0 ms
 SYSTEM CPU TIME (USE)      : 0 ms
 CPU TIME (TOTAL)           : 0 ms
 DISK SIZE                  : 0.0 MB (0)
 I/O SIZE                   : 0.0 MB (0)
 FILE I/O SIZE              : 0.0 MB (0)
 EXEC INST NUM              : 0
 EXEC SIMD NUM              : 0
 TOKEN                      : -
```

pjstat -X の出力例

- 同一ノードには同一のNODEIDが表示される
  - 2ノード、8プロセス（1ノードあたり4プロセス）の場合の例

```
$ pjstat -X

JOBID        RANK NODEID
288538          0 0x010A0006
                1 0x010A0006
                2 0x010A0006
                3 0x010A0006
                4 0x02020006
                5 0x02020006
                6 0x02020006
                7 0x02020006
```

3.コマンドラインオプションの利用

- pjsub -L node=2,rscgrp=tutorial スクリプト名
  - スクリプト内の記述に関わらずtutorialリソースグループの2ノードを使用して実行
  - ジョブスクリプトに書いたものより、コマンドライン引数で指定したオプションのほうが優先される
  - 投入したスクリプトに記述された設定と実際のオプションが異なる場合がある
  - pjstatコマンドを使って確認すれば正しい（実際に有効となっている）情報が得られる

演習（job）

- ジョブの投入・実行と環境変数に関する実験
  - pjsub -L rscgrp=tutorial,node=1 コマンドを実行し、標準入力に env|sort; sleep 30を入力してCtrl-Dキーで終了
  - pjstat -sで詳細情報を確認せよ
  - ジョブ終了後、STDIN.o～に出力された内容を確認せよ

  - どのような環境変数が設定されたか？
  - env を mpiexec env に変更すると、どのような環境変数が設定されるか？

解説と補足

- 標準入力から与えたジョブスクリプトのジョブ名はSTDINになる (-Nオプションで変更可能)

- ジョブ内では、PJM_で始まる環境変数が設定される
  - PJM_O_で始まる環境変数には、pjsubした環境の情報が格納される

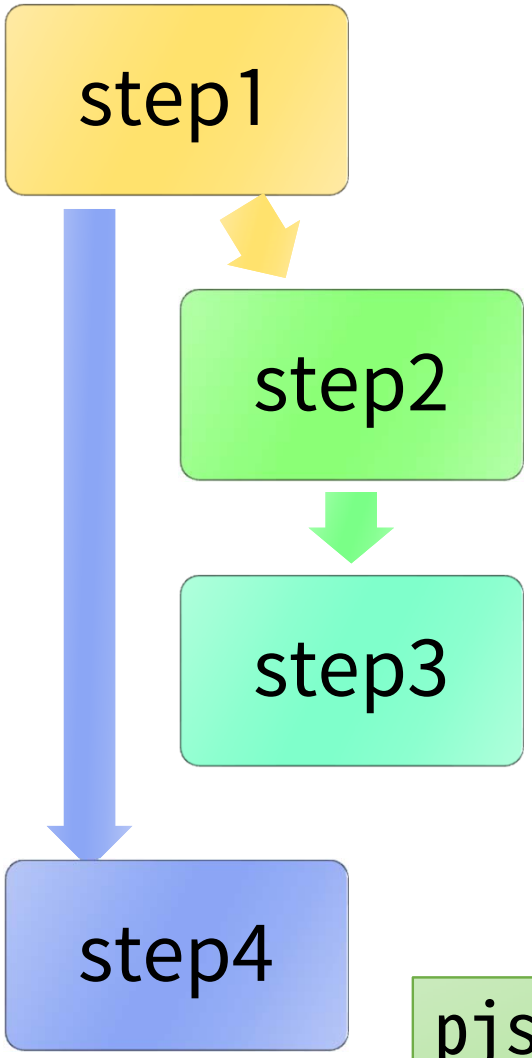
- 更に、MPIプロセス内では、FLIB_またはOMPI_で始まる環境変数が設定される

4.ステップジョブ

- 複数のジョブの間で実行の順序関係や依存関係を指定可能
- ステップジョブは複数サブジョブから構成され、各サブジョブは同時に実行されることはない

```
pjsub --step --sparam "sn=1" step1.sh
[INFO]PJM 0000 pjsub Job 12345_1 submitted.
$ pjsub --step --sparam "jid=12345, sn=2, sd=ec!=0:after:1" step2.sh
[INFO]PJM 0000 pjsub Job 12345_2 submitted.
$ pjsub --step --sparam "jid=12345, sn=3, sd=ec!=0:all" step3.sh
[INFO]PJM 0000 pjsub Job 12345_3 submitted.
$ pjsub --step --sparam "jid=12345, sn=4, sd=ec==0:one:1" step4.sh
[INFO]PJM 0000 pjsub Job 12345_4 submitted.
```

ステップジョブの実行例



- step2
  - 依存するサブジョブ1の終了コードが0以外の場合(ec!=0)、自分と自分に依存するサブジョブすべてを(after)削除
- step3
  - 依存するサブジョブ2(省略時は直前のサブジョブ)の終了コードが0以外の場合(ec!=0)、依存関係にかかわらず後続のサブジョブすべてを削除(all)
- step4
  - 依存するサブジョブ1の終了コードが0の場合(ec==0)、自分を削除(one)

pjstat -Eで、サブジョブを展開して表示可能
終了したジョブの場合は、pjstat -H -E

makeの利用

make

- プログラムの分割コンパイル等を支援するツール（ソフトウェア）
- 変更があったファイルのみを再コンパイルする、等の指定が可能
- 大規模なプログラムを書くときに便利
- 本質的にはワークフロー言語の実行エンジン
- コンパイルに限らず、処理の依存関係を記述して、依存関係に従ってコマンドを実行できる
- Oakleaf-FXだけではなく、一般的なLinux環境の多くで利用可能
  - makeの実装による依存性（違い）もあるため注意すること

- この講習会では GNU make (version 3.81)を使用する

Hello, world!

- hello.c

```
#include <stdio.h>
int main(int argc, char** argv) {
  printf("Hello, world!¥n");
  return 0;
}
```

- Makefile

```
hello: hello.c
        gcc -o hello hello.c
```

  - スペースではなくタブを入れる

- 実行

```
$ make hello
gcc -o hello hello.c
```

さらにもう一度makeを実行するとどうなるか？

```
$ make hello
make: `hello' is up to date.
```

※コマンド(gcc)は実行されない

Makefileの構造

- ルールは、ターゲット、依存するファイル、コマンドで記述される

```
ターゲット: 依存するファイル …
        コマンド
        …
```

- makeの実行
  - make ターゲット
  - ターゲットを省略した場合は、Makefileの最初のターゲットが指定されたものとして実行される
    - Makefileを1行目から順番に見ていって最初に出現したターゲット、という意味

コマンドが実行される条件

- 以下のいずれかが満たされるとコマンドを実行
  - ターゲットが存在しない
  - (ターゲットのタイムスタンプ)
    < (依存するいずれかのファイルのタイムスタンプ)

- 依存するファイルXが存在しない場合、make Xを先に実行
- コマンドを実行した後の終了ステータスが0以外の場合は続きの処理を実行しない

少し複雑な例

- hello.c

```
#include <stdio.h>
void hello(void) {
  printf("Hello, world!¥n");
}
```

- main.c

```
void hello(void);
int main(int argc, char** argv) {
  hello();
  return 0;
}
```

- Makefile

```
hello: hello.o main.o
        gcc -o hello hello.o main.o
hello.o: hello.c
        gcc -c hello.c
main.o: main.c
        gcc -c main.c
```

1. 実行

```
$ make
gcc -c hello.c
gcc -c main.c
gcc -o hello hello.o main.o
```

2. hello.cを書き換え

例: world! を world!! に書き換え

3. makeを再実行

```
$ make
gcc -c hello.c
gcc -o hello hello.o main.o
```

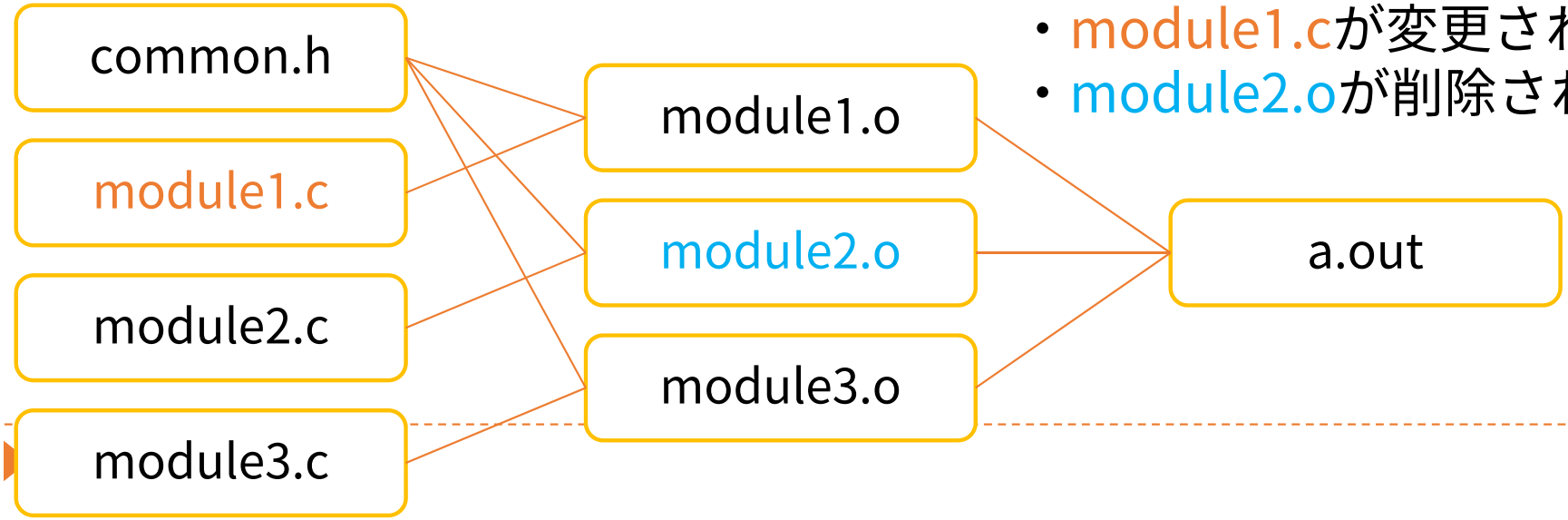
分割コンパイル

- 2回目のmakeで起きていたこと
  - main.oのコンパイルは、main.cに変更がなかったため行われなかった
- Makefileに依存関係を適切に記述することで、変更があった部分だけを再コンパイルすることができる

依存関係の記述

```
module1.o: module1.c common.h
        gcc -o module1.o module1.c -c
module2.o: module2.c common.h
        gcc -o module2.o module2.c -c
module3.o: module3.c common.h
        gcc -o module3.o module3.c -c
a.out: module1.o module2.o module3.o
        gcc -o a.out module1.o module2.o module3.o
```

以下の場合に何が起きるか考えよ
- module1.cが変更された場合
- module2.oが削除された場合



makeのtips

- Makefile（makeの対象となるファイル）の指定

```
$ make -f test.mk
```

- 長い行

```
hello: hello.o main.o
        gcc -g -Wall -O3 ¥
          -o hello hello.o main.o
```

※半角円記号（¥）と　半角バックスッシュ（＼）は同じもの（フォントなどの都合）

- PHONYターゲット

```
.PHONY: clean
clean:
        rm -f hello hello.o main.o
```

（偶然、運悪く）cleanというファイルが存在していたとしても必ず実行される

- ディレクトリを移動してmake

```
$ make -C hello2 target
```

cd hello2; make target と同様
実行後は元のディレクトリに戻る

演習（whitespace）

1. コマンドの前のタブをスペースにした場合にどのようなエラーが出力されるかを確認せよ
2. .PHONY: X があるときとない時で、make X の動作に違いがあることを確認せよ

- 実験方法
  1. 適当なMakefileを用意し、タブをスペースに書き換えてmakeコマンドを実行する
  2. 例：右のようなMakefileを作り、clean1ファイルやclean2ファイルを作って（touch clean1など）makeしてみる

```
.PHONY: clean1
clean1:
	/bin/rm clean1
clean2:
	/bin/rm clean2
```

解説と補足

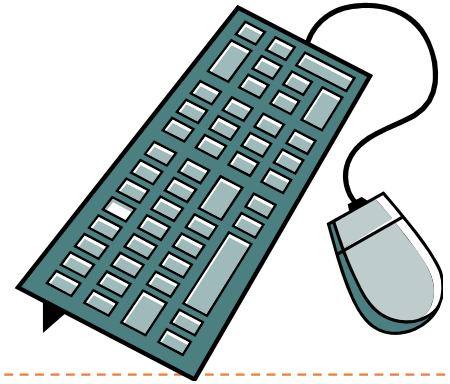
- 誤ってタブをスペースにした場合、“missing separator” などのメッセージが表示される
  - 環境設定などにより異なる場合もある
  - より親切な警告メッセージが表示される場合もある

少なくともOakleaf-FXではわかりやすいエラーメッセージが表示されるようである
※環境変数LANGがja_JP.UTF-8でもCでも良い
※スペースが8個の場合だけ特別扱いされる模様

高度なMakefileの書き方

- 変数、関数の使用・特別なルールの書き方

- Makefileのより簡潔な記述
- より柔軟な出力やエラー制御



変数の使い方

- 代入方法

```
OBJECTS=main.o hello.o
```

- 参照方法

```
hello: $(OBJECTS)
```

${OBJECTS}でもよい
$OBJECTSとすると、$(O)BJECTSと同じことになる

- 変数代入時における変数の参照（展開）

```
CFLAGS=$(INCLUDES) -O -g
INCLUDES=-Idir1 -Idir2
```

CFLAGSは -Idir1 -Idir2 -O -g に展開される（置き換えられる）

makeの動作の制御

- 実行しようとするコマンドを表示しない

```
test1:
	@echo Test message
```

- コマンド終了時ステータスを無視する（実行結果に問題があっても次のコマンドを実行する）

```
test2:
	-rm file1 file2 file3
```

条件分岐

- コマンドの条件分岐

```
hello: $(OBJECTS)
ifeq ($(CC),gcc)
        $(CC) -o hello $(OBJECTS) $(LIBS_FOR_GCC)
else
        $(CC) -o hello $(OBJECTS) $(LIBS_FOR_OTHERCC)
endif
```

- 変数代入の条件分岐

```
ifeq ($(CC),gcc)
  LIBS=$(LIBS_FOR_GCC)
else
  LIBS=$(LIBS_FOR_OTHERCC)
endif
```

- 変数代入には行頭のタブは不要
- 行頭のスペースは無視される
- コマンド中には書けない

- 利用可能なディレクティブ
  - ifeq, ifneq, ifdef, ifndef

関数（組み込み関数）

- 変数と似た参照方法で利用可能

```
VALUE=$(subst xx,yy,aaxxbb)
```
VALUEにaayybbが代入される

```
CONTENTS=$(shell cat data.txt)
```
CONTENTSにはdata.txtの中身が代入される

```
SECOND=$(word 2, This is a pen)
```
SECOND=isと同じ

```
CDR=$(wordlist 2,$(words $(LIST)), $(LIST))
```
CDRには$LISTの2番目以降の単語のリストが代入される
wordは単語抽出、wordsは単語カウント

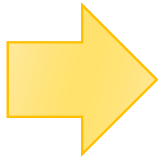
- 他の関数の例
  - dir, notdir: シェルのdirname, basenameに似た動作
  - suffix, basename: 拡張子とそれ以外の部分に分ける
    - シェルのbasenameとは違う
  - wildcard: ワイルドカードを展開

特殊な変数

- ターゲット名や依存ファイル名などに展開される特殊な変数がある

$@	ターゲット名
$<	最初の依存ファイル
$?	ターゲットより新しい依存ファイル
$+	すべての依存ファイル

```
hello: hello.o main.o
        gcc -o hello ¥
        hello.o main.o
hello.o: hello.c
        gcc -c hello.c
main.o: main.c
        gcc -c main.c
```



```
CC=gcc
OBJECTS=hello.o main.o
hello: $(OBJECTS)
        $(CC) -o $@ $+
hello.o: hello.c
        $(CC) -c $<
main.o: main.c
        $(CC) -c $<
```

型ルール

- 指定したパターンにマッチしたら対応するコマンドを実行する

```
%.o : %.c
	$(CC) -c $(CFLAGS) $(CPPFLAGS) $< -o $@
```

  - ***.o は ***.c に依存する

```
hello: hello.o main.o
	gcc -o hello ¥
	hello.o main.o
hello.o: hello.c
	gcc -c hello.c
main.o: main.c
	gcc -c main.c
```

```
CC=gcc
OBJECTS=hello.o main.o
hello: $(OBJECTS)
	$(CC) -o $@ $+
%.o: %.c
	$(CC) -c $<
```

変数の評価タイミング

```
DATE1  = $(shell date)
DATE2 := $(shell date)
DATE3  = `date`
```

- DATE1
  - 参照されるたびにdateが実行される（毎回再評価する）
  - 実行されるタイミングは最初(アクションが実行される前)
- DATE2
  - (参照されなくても)1度だけdateが実行される（右辺が変わっていなければ再評価しない）
  - 実行されるタイミングは最初(アクションが実行される前)
- DATE3
  - 最初は`date`という文字列が展開されるだけ
  - dateが実行されるのは各アクションが実行されるとき

演習（date）

- 以下のルールDATE1をDATE2,DATE3に変更して実行せよ。2つechoの出力に違いはあるか？

```
test:
	echo $(DATE1)
	sleep 1
	echo $(DATE1)
```

- DATE1,DATE2は、一見すると出力が同じであるが、どうすれば動作の違いを説明できるか？
- DATE4 := `date`
  - はどれと同じ動作になるか

実験方法

1. 下記のMakefileを用意して実行する

```
DATE1  = $(shell date)

test:
        echo $(DATE1)
        sleep 1
        echo $(DATE1)
```

2. DATE1をDATE2やDATE3に変えて実行して変化を確認し、理由を考える

解説と補足

- dateコマンドだけでは明確な違いがわかりにくいため、以下のようにして情報を取得
  - より細かい単位で表示 (+%N でナノ秒単位の表示)
  - date実行時にログを出力する
  - 実行開始時刻を付加する、時刻表示前にsleepする

- 違いのまとめ
  - date1, date2: 「最初」に時刻を変数に代入している、実行するコマンドを表示する時点で展開されている
  - date3, date4: 実行時に代入
  - date2: 二度目の実行時に再度実行「しない」
  - date3 = date4

makeの応用（makeを使った並列処理、GXP/GXP makeの利用）

並列処理への応用

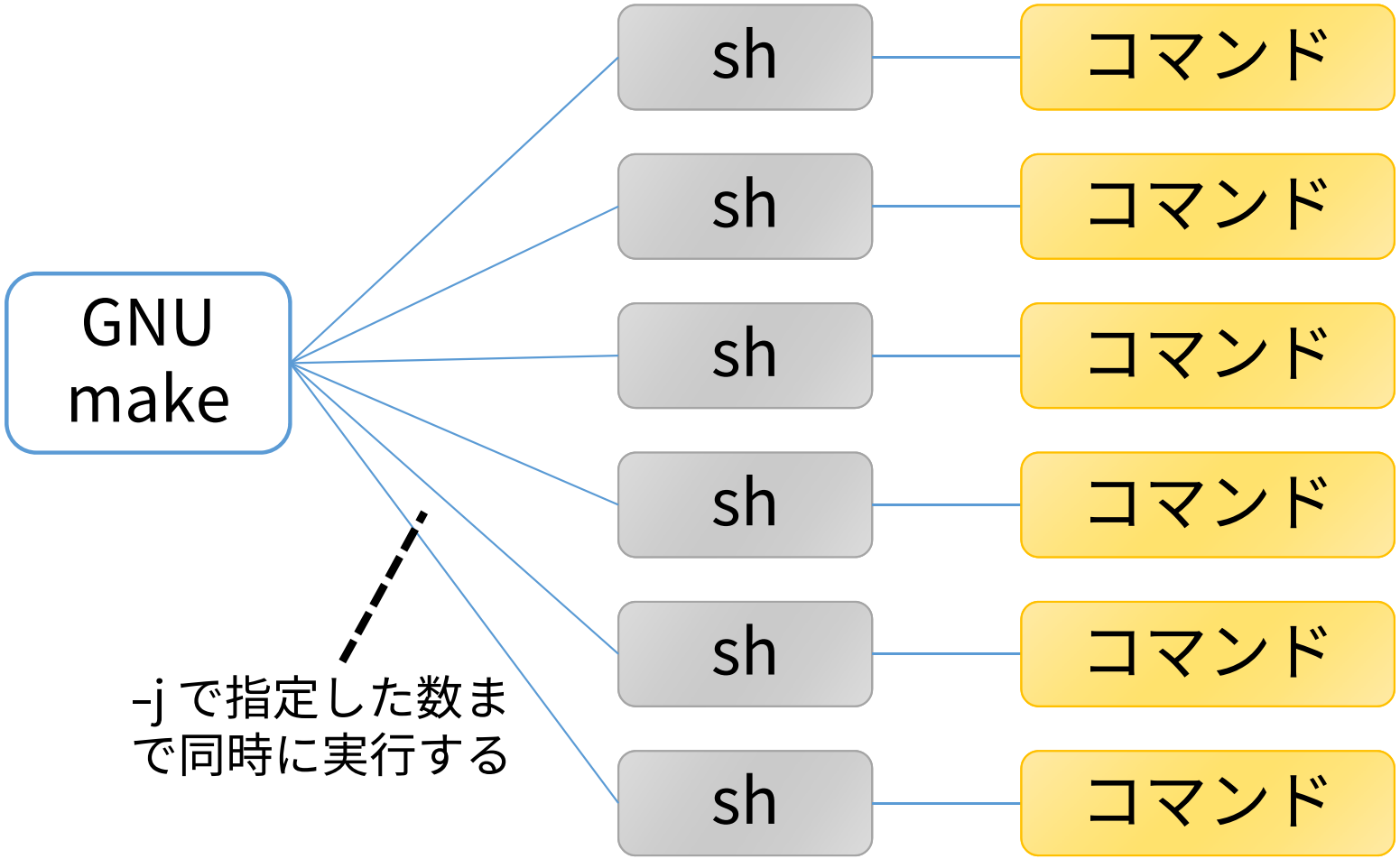
- makeは本質的にはワークフロー言語とその実行エンジンである
  - コンパイル以外にもいろいろなことができる
- makeを使う上での便利な点
  - 実行するコマンドの依存関係を簡単に記述可能
  - 簡単な並列化
    - 依存関係の解析はmakeが自動的に行ってくれる
  - 耐故障性
    - 途中で失敗しても、make し直せば続きから実行してくれる

並列make

- `make -j` による並列化
  - 同時実行可能なコマンドを見つけて並列に実行
  - 依存関係の解析は make が自動的に行ってくれる

```
all: a b

a: a.c
	$(CC) a.c -o a

b: b.c
	$(CC) b.c -o b
```

並列makeの動作の仕組み



並列make使用時の注意点

- make -j 最大並列度
  - 最大並列度で指定した数まで同時にコマンドを実行する
  - 最大並列度の最大値は 4096 (RHEL6における制約)
    - それ以上を指定すると 1 を指定したものとみなされる
  - 省略した場合、可能な限り同時にコマンドを実行する（並列度∞）
- make -j が正常に動作しない場合
  - Makefileの書き方の問題
    - 暗黙の依存関係
    - 同名の一時ファイル
  - リソース不足
    - 使用メモリやプロセス数が多すぎる
    - 最大並列度を適切に設定する必要がある

暗黙の依存関係

- 逐次 make の実行順序に依存した Makefile の記述をしてはいけない
- 左のターゲットから順番に処理されることに依存した Makefileの例

```
all: 1.out 2.out
1.out:
	sleep 1; echo Hello > 1.out
2.out: 1.out
	cat 1.out > 2.out
```

- 本来は依存関係を明示する必要がある

(wrong_makefiles/wrong1.mak に、ここで使用した Makefile があります)

同名の一時ファイル

- 逐次 make 実行順序に依存する Makefile の別な例
- 同名の一時ファイルを使用すると、並列実行時に競合する
  - 実行できたとしても正しい結果が得られない可能性

```
all: a b
a: a.c.gz
	gzip -dc < a.c.gz > tmp.c
	$(CC) tmp.c -o a
b: b.c.gz
	gzip -dc < b.c.gz > tmp.c
	$(CC) tmp.c -o b
```

tmp.cが競合
→異なる名前
にすれば良い

(wrong_makefiles/wrong2.mak に、ここで使用した Makefile があります)

演習（make）

- Makefileの読み方を確認し、並列実行時の挙動を理解する
- 以下のMakefileについて、変数や%を使わない場合にどのようなMakefileとなるだろうか
- 「make」と「make –j」の実行時間を予想し、実際に測定して比較せよ

```
FILE_IDS := $(shell seq 1 10)
FILES    := $(FILE_IDS:%=%.dat)

all: $(FILES)

%.dat:
        sleep 5
        touch $@
```

解説と補足

- test.mkに特殊変数展開前、test2.mkに展開後のファイルを用意した
- 「`time make -j 数値`」とすれば並列度を変更して計測できる
- 様々な並列度で試してみていただきたい
  - 並列度と実行時間の関係を予想し、確認してほしい

複数ノードで並列make

- Oakleaf-FX の場合、1 ノードで使える CPU コア数は 16 まで
- 多数のノードを使用すれば、よりたくさんの処理を行うことが可能
- makeは複数ノードを使った処理に対応していない
- GXP make を使用すると複数ノードで並列make を実行可能
  - GXP make は並列シェル GXP と一緒に配布されているソフトウェア
  - Make の処理を、マスターワーカー型の並列処理として複数ノードで実行可能
  - 各ノードでファイルが共有されていることが前提

GXP

- 並列分散環境を簡単に扱うための、並列版シェル
  - 多数のノードのインタラクティブな利用
  - 並列ワークフローの実行 (GXP make)
- 詳しい情報

  http://www.logos.t.u-tokyo.ac.jp/gxp
  http://sourceforge.net/projects/gxp
- ダウンロード方法

```
$ cvs -d ¥
  :pserver:anonymous@gxp.cvs.sourceforge.net:/cvsroot/gxp ¥
  co gxp3
```

※cvsで入手したものにパスを通せばすぐに使えます

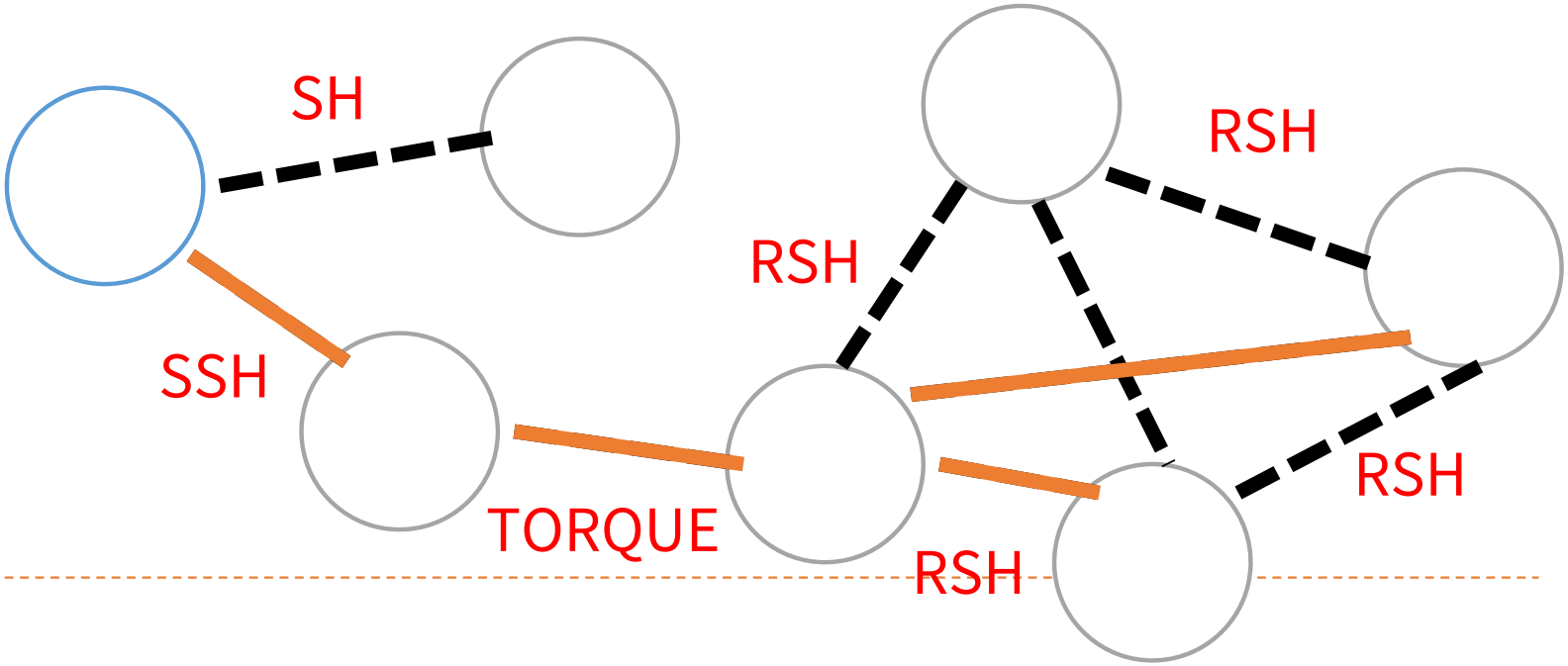
- Oakleaf-FX 上のインストール先

  /home/t00001/public/gxp3

GXPの動作

- 各計算ノードでデーモンプロセス(GXPD)を起動
  - ノード集合と、GXPD の起動方法を指定 (use)
    - SSH, PBS, GridEngine 等が利用可能。拡張も可能
  - ノード集合を指定して、GXPD を起動 (explore)
- e(execute) コマンドでユーザプロセスを起動
  - 全部または一部のノードを指定可能

use
explore
execute



バッチジョブ内でGXPを使用する

```
#PJM-L node=4
#PJM--mpi proc=4
```

ノード数を取得

```
NODES=ノード数
```

```
gxpc --root_target_name head
gxpc rsh YYY XXX %target% %cmd%
gxpc use YYY head node
gxpc explore node[[1--$NODES]]
```

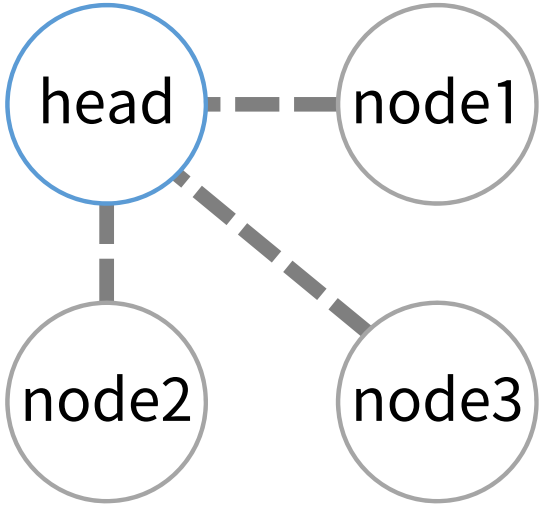
各ノードでGXPDを起動

コマンドの実行

```
gxpc cd `pwd`
gxpc e 'echo $GXPC_EXEC_IDX `hostname`'
```

```
gxpc quit
```

XXX は、各ノードでプロセスを起動するためのrsh-likeなコマンド



Oakleaf-FX上でGXPを使用する

- Oakleaf-FX では、プロセス起動に rsh 等を使用できないため、MPI プロセス経由で起動する

```
gxpc --root_target_name head
gxpc rsh mpi_redirect redirect_client %target% %cmd%
gxpc use mpi_redirect head node

mpiexec redirect_server &

NODES=`redirect_client getsize`
gxpc explore node[[1--$NODES]]

gxpc cd `pwd`
gxpc e 'echo $GXPC_EXEC_IDX `hostname`'

gxpc quit
redirect_client shutdown
wait
```

←redirect_serverをバックグラウンドで起動

←ノード数を取得

←redirect_serverを終了

より簡単な方法

- 用意された、初期化からExploreするところまでを実行するスクリプト、終了処理を実行するスクリプトを使用すれば、より簡単に記述可能

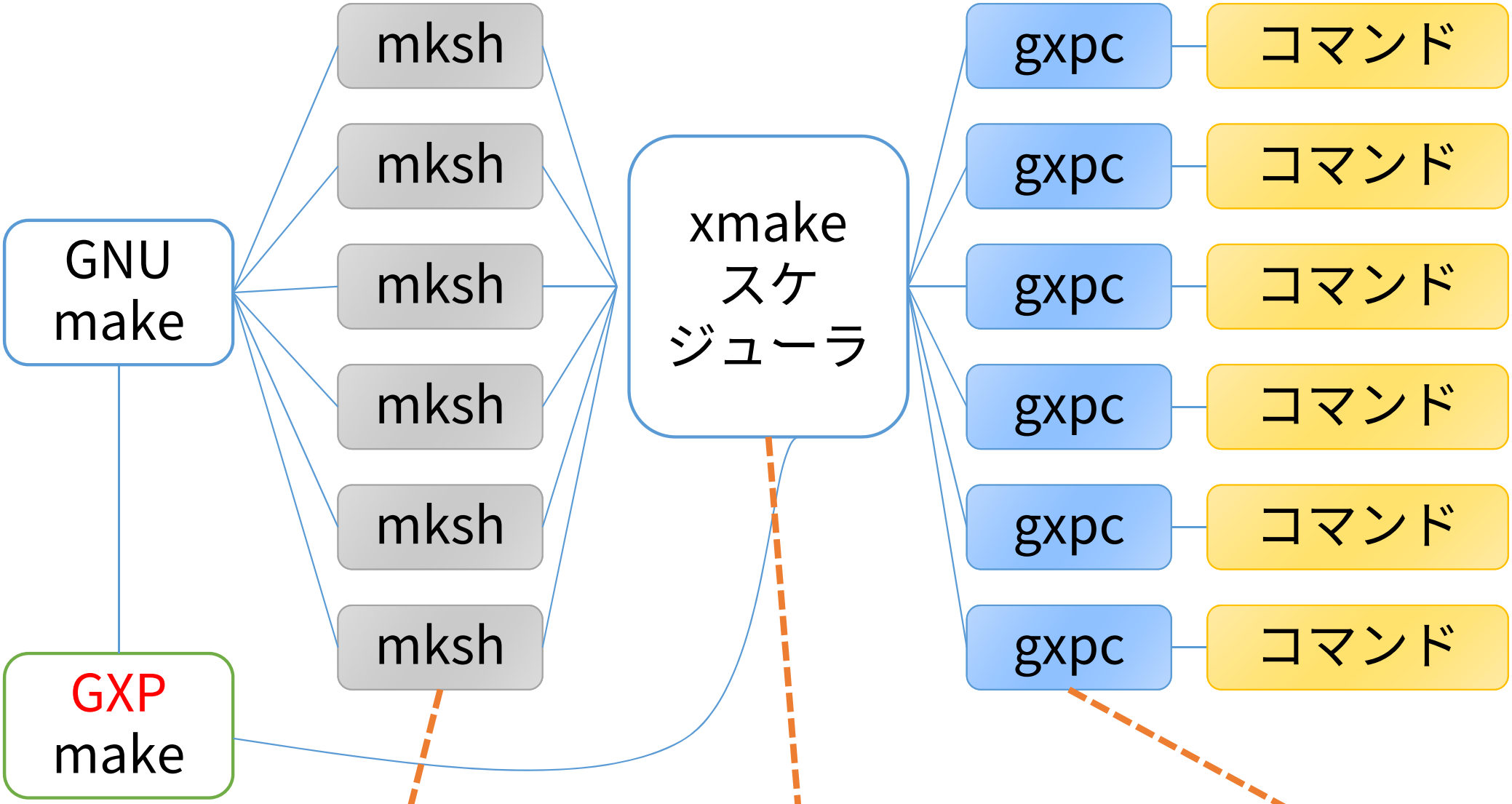
```
#PJM -L node=4

. /home/t00001/public/fx10_gxp/gxp_init.sh

gxpc cd `pwd`
gxpc e 'echo $GXPC_EXEC_IDX `hostname`'

. /home/t00001/public/fx10_gxp/gxp_finalize.sh
```

GXP make

- makeで実行される各コマンドをGXP経由で実行
  - -jオプションと組み合わせて、ノードにまたがってmakeを並列実行することができる
  - 各ノードでファイルが共有されている必要がある
- gxpc make …
  - … には、GNU makeに渡すことができるすべてのオプションを渡すことができる
- Oakleaf-FXでのGXP makeの実行
  - CPU数の自動取得に失敗するため、作業ディレクトリ上に以下の内容でgxp_js.confというファイルを作成

```
cpu  16
```

GXP makeの動作の仕組み



GXP make サンプルスクリプト

```
#PJM-L node=4
#PJM--mpi proc=4

. /home/t00001/public/fx10_gxp/gxp_init.sh

gxpc cd `pwd`
gxpc make -j 64

. /home/t00001/public/fx10_gxp/gxp_finalize.sh
```

GXPDの起動

並列makeの実行

GXPDの終了

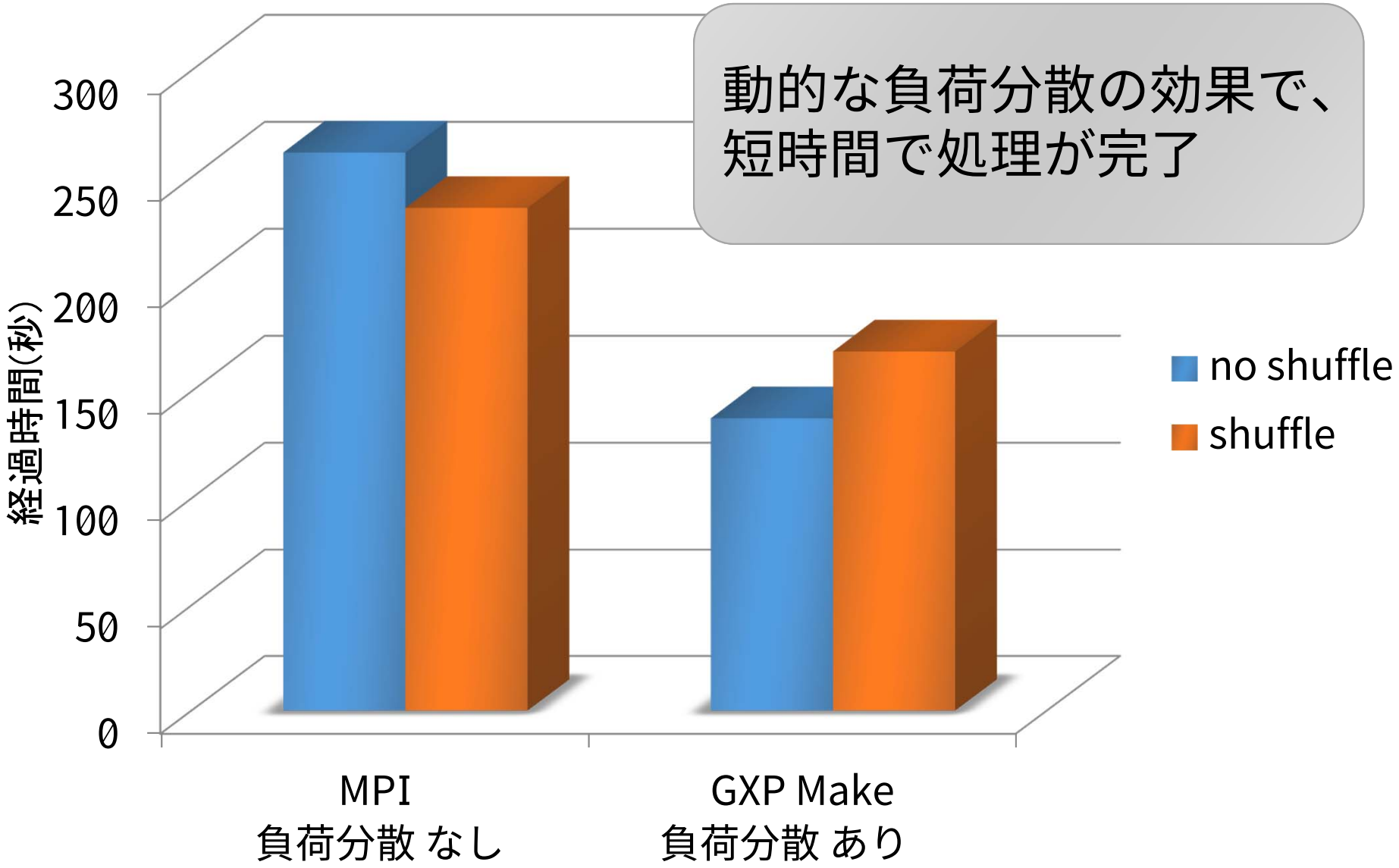
演習（gxp）

- 以下に述べる並列処理を実行せよ
- 処理の内容
  - 複数の入力ファイルがある(in/inpXX-Y.dat)
  - 入力ファイルごとに、その内容に従って「処理」を行い、1つの出力ファイルを生成する(out/outXX-Y.dat)
    - 入力ファイルの内容により、処理時間は異なる
  - それぞれのタスクは独立で、並列実行可能
- 以下のそれぞれの場合を実際に試して、実行時間の違いの理由を考えよ
  - 処理するファイルをプロセスごとに固定する場合(MPI)
  - マスターワーカー型の負荷分散を行う場合(GXP make)

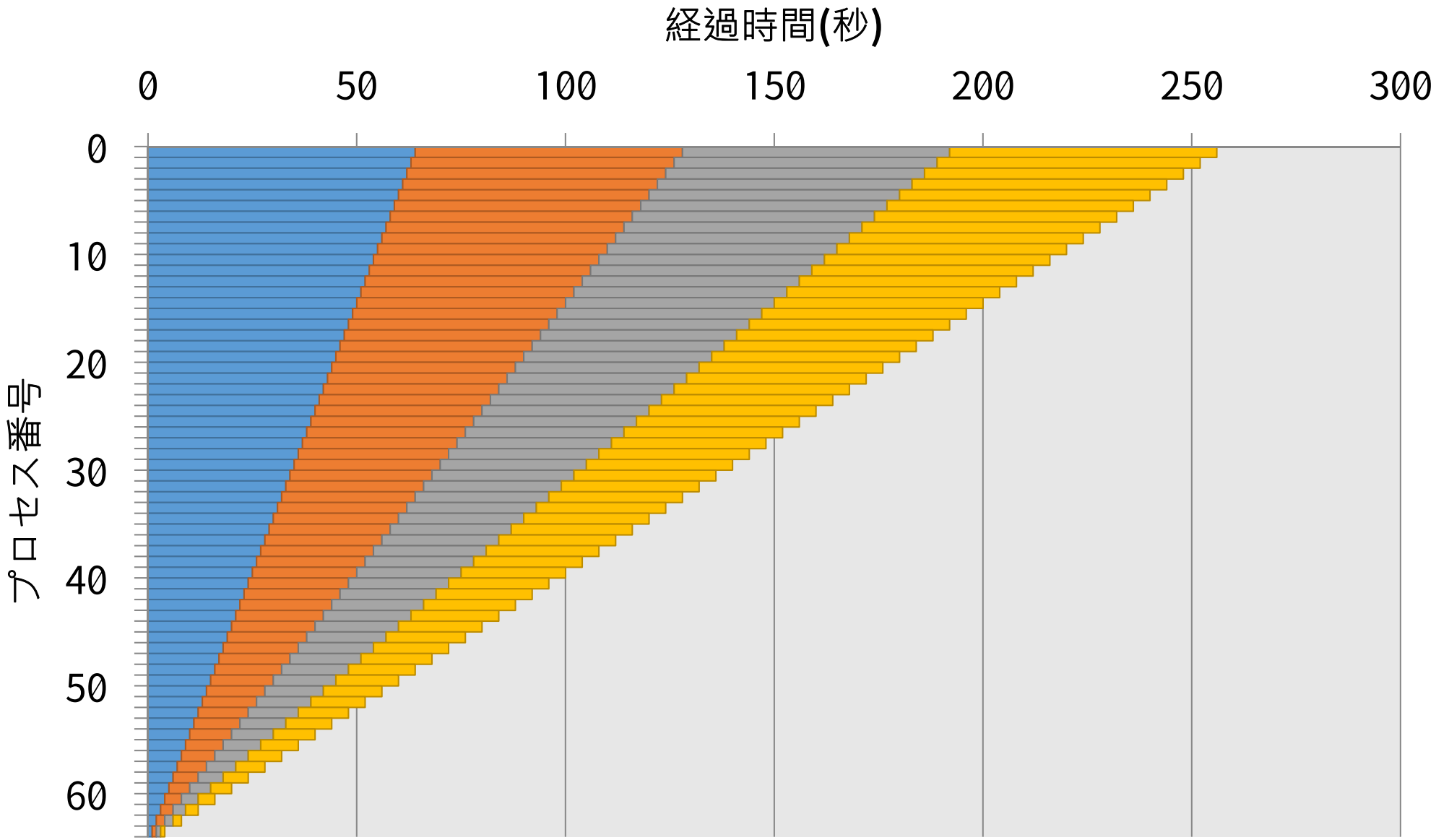
解説と補足

- サンプルプログラムの説明
  - nolb.cがMPI版
    - make nolbでコンパイル可能
    - pjsub.shがジョブスクリプト
  - GXP make版のジョブスクリプトはpjsub_gxp.sh
  - make infiles で入力ファイルを作成
  - ./shuffle.sh で入力ファイルの内容をシャッフル

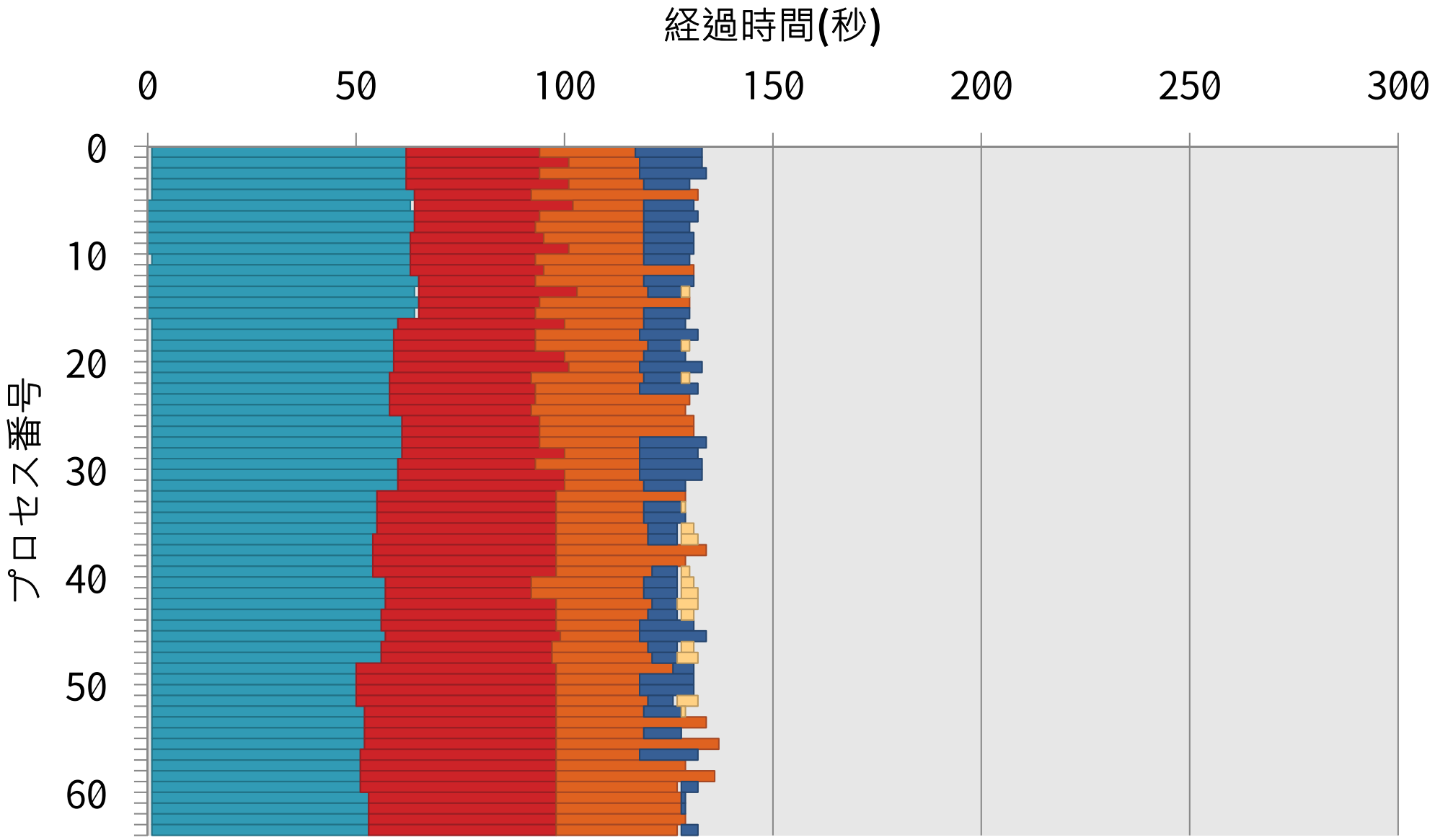
実行時間の比較


動的な負荷分散の効果で、
短時間で処理が完了
経過時間(秒)
300
250
200
150
100
50
0
no shuffle
shuffle
MPI
負荷分散 なし
GXP Make
負荷分散 あり

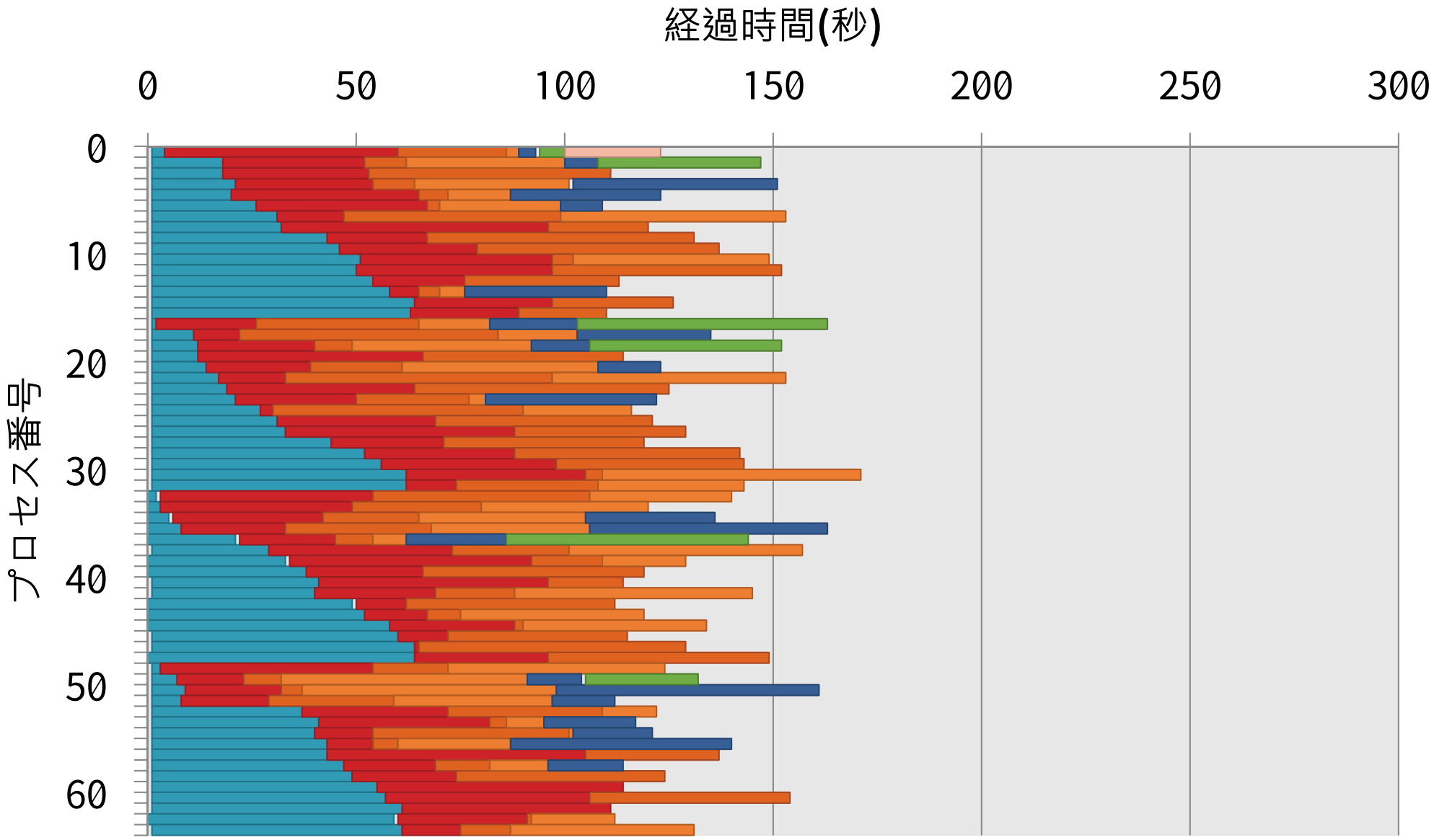
負荷分散を行わない場合



負荷分散を行った場合



負荷分散あり・シャッフルあり



まとめ

- ファイルシステムやジョブ管理システム
  - Oakleaf-FXに固有の情報を活用することで、より効率的なシステムの利用が可能
- MPI-IO
  - 入出力の負荷が高いプログラムを高速化
- make, Makefile
  - make, Makefileを利用することで、変更箇所だけを再作成する分割コンパイルが可能
- 並列ワークフロー処理
  - make -jで並列にmake処理を実行可能
  - makeを拡張したGXP makeを利用することで、大規模な並列処理を実行可能

Appendix

少し高度なシェルの知識

- ジョブを実行する際に使用するスクリプトはシェルスクリプトを用いて記述する
- 本来シェルスクリプトの備えている様々な機能・高度な機能を活用することができる
  - 単にプログラムを実行するだけである必要はない
- 利用の手引などでは/bin/shが用いられているが、Oakleaf-FX上に存在していれば他のシェルを使っても良い
  - bash, tcsh, zshがインストールされている
  - /bin/shは/bin/bashへのリンク、/bin/cshは/bin/tcshへのリンク

演習（env）

- 実行されたジョブのノード数を NODES 環境変数に、総プロセス数を PROCS 環境変数に設定するにはどうすればよいか?
  - ヒント
    - MPIプログラムを実行すれば上記の情報はわかる
    - eval `echo x=1` を実行するとシェル変数 x に 1 が設定される

解説と補足

- 環境変数の説明
  - FLIB_NUM_PROCESS_ON_NODE
    - ノードあたりのMPIプロセス数(の最大値)
  - OMPI_UNIVERSE_SIZE
    - 上記の値とノード数の積
  - OMPI_MCA_orte_ess_num_procs
    - MPIプロセス数
- バッチジョブ内とインタラクティブジョブ内では、mpiexec実行時のリダイレクトやバッククォートの動作が異なるので注意すること

Makefile内におけるwildcard関数の活用について：演習（wildcard）

- wildcard関数を使用して以下の処理を行うMakefileを記述せよ
  - 入力データの中から2009年8月と9月のデータだけを処理する

- 入出力データの仕様
  - 入力ファイル名に日付が含まれている(YYYYMMDD.in)
  - 出力データは拡張子を.inから.outに変え、内容をコピーする

解説と補足

- test: *.outから、%.out: %.inというルールが適用される
- *.out: *.in のアクションとして、cp *.in が実行される
  - sh(bash)の場合、*.inは存在する複数のファイルに展開され、*.outは存在しないため、展開はされず、*.outのままとなる
  - 結果として、複数のファイルを ‘*.out’というディレクトリにコピーするコマンドとなり、失敗する
- Wildcard関数を使用した例(test3)では、正しいOUTFILELISTが生成されるため、入力ファイルの数と同数のcpコマンドが実行され、正しい結果が得られる

パラメタ並列処理(1/2)

- 容易にパラメタ並列処理を記述可能
  - GXPが提供する、パラメタ並列用のMakefileをincludeする
- 使用方法
  - parameters, target, output, cmd 変数を定義する
  - output, cmdは、:=ではなく=で値を定義する
    - これをテンプレートとして何度も展開される
  - $(GXP_MAKE_PP)をinclude文で読み込む
    - (GXPインストール先)/gxpmake/gxp_make_pp_inc.mk

パラメタ並列処理(2/2)

- 例1: (2 * 3 * 4=24個のタスクを並列実行)
  - 以下のMakefileを書いて、gxpc make -j baz を実行する

```
parameters:=a b c
a:=1 2
b:=3 4 5
c:=6 7 8 9
target:=baz
output=hoge.$(a).$(b).$(c)
cmd=expr $(a) + $(b) + $(c) > hoge.$(a).$(b).$(c)
include $(GXP_MAKE_PP)
```

- 例2: (課題8の処理)
  - 複数のパラメタ並列処理の組み合わせも可能

MapReduce

- MapReduceモデル
  - Googleが提案する、大規模データの並列処理に特化したプログラミングモデル
  - 1レコードに対する処理を書くと、処理系が大規模データに並列適用
  - 入力データは、レコードの集合
  - プログラムは、以下の2つの処理を定義
    - Map: レコード→(key, value)の集合
    - Reduce: (key, value)の集合→出力
    - 異なるレコードに対するmap処理と、異なるkeyに対するreduce処理が並列実行可能

GXPのMapReduce機能

- GXP make上に構築されたMapReduce処理系
  - パラメタ並列と同様に、GXP が提供する Makefile を include するだけで利用可能
  - GXP が動く環境ならどこでも動く
- カスタマイズが容易
  - Makefile と、mapper, reducer などのいくつかの小さなスクリプトを書くだけ

GXP MapReduceを制御する変数

- include $(GXP_MAKE_MAPRED)の前に、以下の変数を設定する
  - input=入力ファイル名
  - output=出力ファイル名
  - mapper=mapperコマンド(ex_word_count_mapper)
  - reducer=reducerコマンド(ex_count_reducer)
  - n_mappers=map ワーカ数(3)
  - n_reducers=reduce ワーカ数(2)
  - int_dir=中間ファイル用ディレクトリ名
    - 省略時は$(output)_int_dir
  - keep_intermediates=yの時、中間ファイルを消さない
  - small_step=yの時、細かいステップでの実行

GXP MapReduceの使用例

- 例(word count)
  - Mapper: レコード→(単語1, 1),(単語2, 1),…
  - Reducer: それぞれのkeyについてvalueの和を出力
  - 以下のMakefileを書いて、gxpc make -j bar を実行する

```
input:=foo
output:=bar
mapper:=ex_word_count_mapper
reducer:=ex_count_reducer
n_mappers:=5
n_reducers:=3
include $(GXP_MAKE_MAPRED)
```

- 複数のMapReduceやパラメタ並列処理を組み合わせることも可能