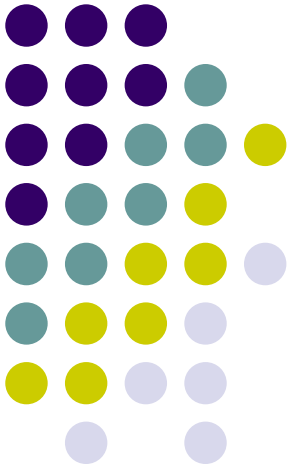
2015年度
実践的並列コンピューティング
第3回

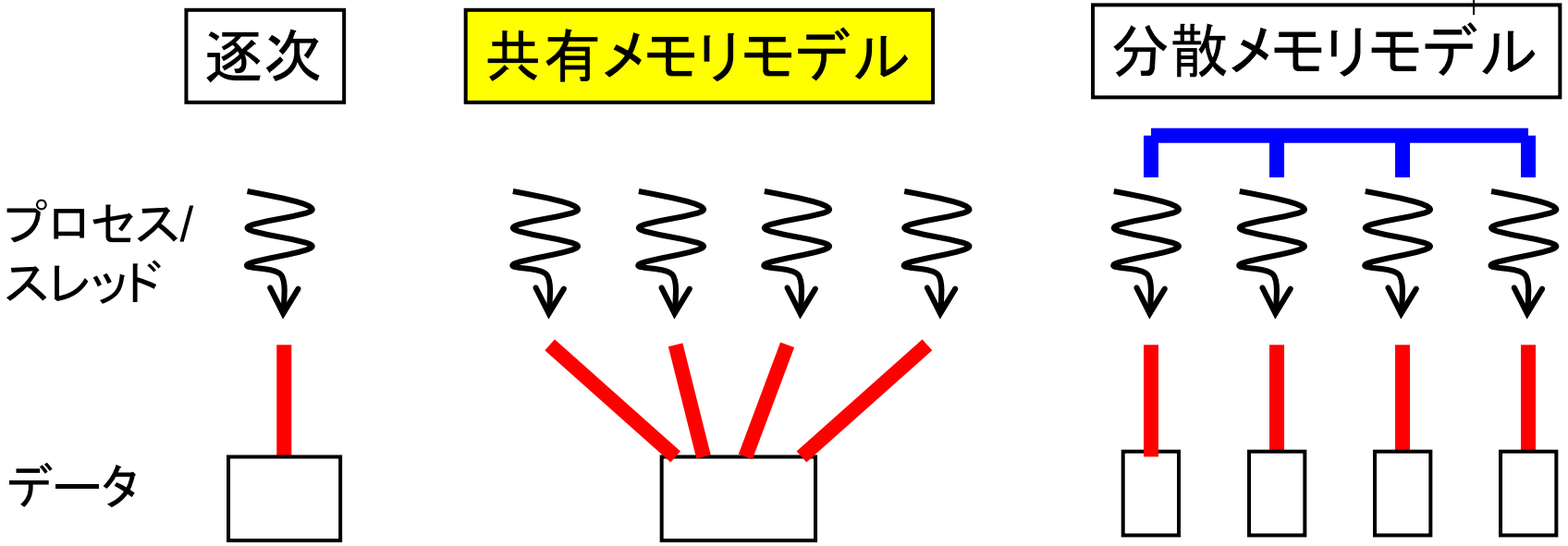
OpenMPによる
共有メモリプログラミング(1)

遠藤 敏夫

endo@is.titech.ac.jp



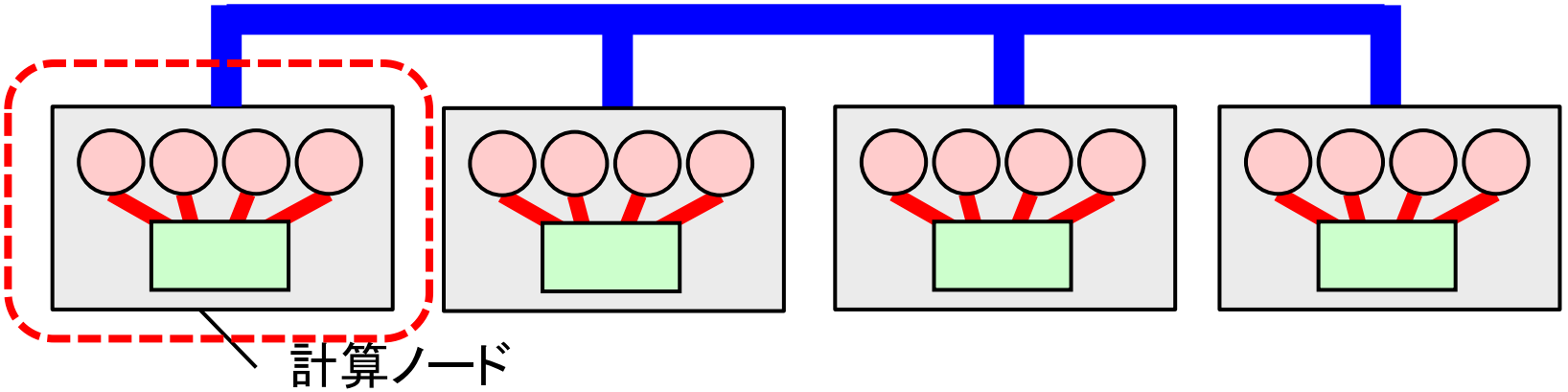
並列プログラミングモデルのメモリモデルによる分類



スレッド達が共通のデータにアクセス可能
- OpenMP(言語拡張)
- pthread(ライブラリ)

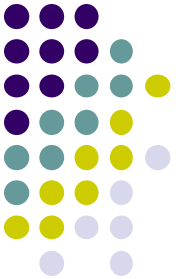
プロセス間では通信が必要
- MPI (ライブラリ)
- socket (ライブラリ)

OpenMPの利用可能な計算資源



- 一つのOpenMPプログラムが使えるのは一計算ノード中のCPUコアたち
  - TSUBAMEの場合は12コア
- 複数計算ノードを(一プログラムから)用いたい場合は、MPIなどが必要
  - ただしMPIよりOpenMPのほうがとっつきやすい

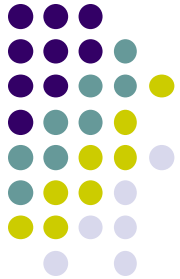
OpenMPとは



- 共有メモリモデルによる並列プログラミングAPI
- C言語，C++, Fortranに対応
- 並列化のための指示文や，ライブラリ関数
  - 指示文：#pragma omp ~~
- 基本はFork-Joinモデル
- 変数は基本的にスレッド間で共有

  ⇒以下を明示的に記述
  - タスク分割
  - スレッド間同期
  - 変数の共有・プライベートの区別

サンプルプログラムについて



TSUBAME2の~endo-t-ac/ppcomp/15/ ディレクトリ以下

(1) ここから、下記青字のサブディレクトリを、各自のホームディレクトリのどこかにコピーしてください

- 円周率 (pi, pi-omp)
- 行列積 (mm, mm-omp)
- 熱拡散計算 (diffusion)
- ・・・今後増える予定

(2) 各サブディレクトリの中で“make”コマンドで、コンパイルできるようになっている

→ pi, mmなどの実行コマンドができる

サンプルプログラムについて

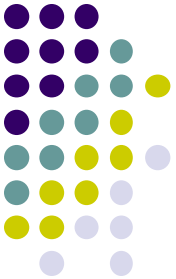
(3-1) 通常版の実行:

- 円周率 (pi)
  - 実行例: ./pi 1000000
- 行列積 (mm)
  - 実行例: ./mm 500 500 500
- 熱拡散計算 (diffusion)
  - 実行例: ./diffusion

(3-2) OpenMP版の実行 (pi-omp, mm-omp)

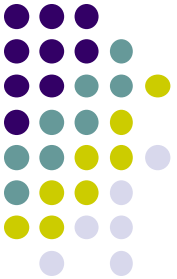
- export OMP_NUM_THREADS=4 などとしてから上記を実行

OpenMPプログラムのコンパイル



OpenMP対応コンパイラは近年増加

- PGIコンパイラ (pgcc)
  - コンパイル時・リンク時に-mpオプション
- Intelコンパイラ (icc)
  - コンパイル時・リンク時に-openmpオプション
- GCC 4.2以降 (gcc)
  - コンパイル時・リンク時に-fopenmpオプション



OpenMP規格のバージョン

- OpenMP規格も年々バージョンアップ → 機能追加
- コンパイラ種類・そのバージョンによって、対応するOpenMPのバージョンが異なる
  - OpenMP 3.0からはタスク並列が追加
  - → 再帰関数などの並列化も可能に
  - OpenMP 4.0からはアクセラレータ対応

printf(″%d¥n″, _OPENMP);

→ 200505 が表示 → OpenMP 2.5 （gcc 4.3.4など）

→ 200805 が表示 → OpenMP 3.0 （pgcc 15.4など）

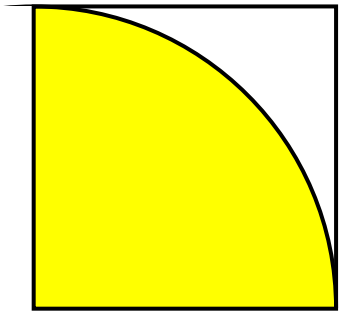
→ 201307 が表示 → OpenMP 4.0 （icc 15.0など）

サンプルプログラム：pi

モンテカルロ法による擬似(いい加減な)円周率計算

- 正方形にランダムにn回矢を射って，四半円に入る確率×4≒円周率
- 実行オプション：./pi [n]
- 計算量： O(n)

- pi-ompディレクトリにOpenMP版あり

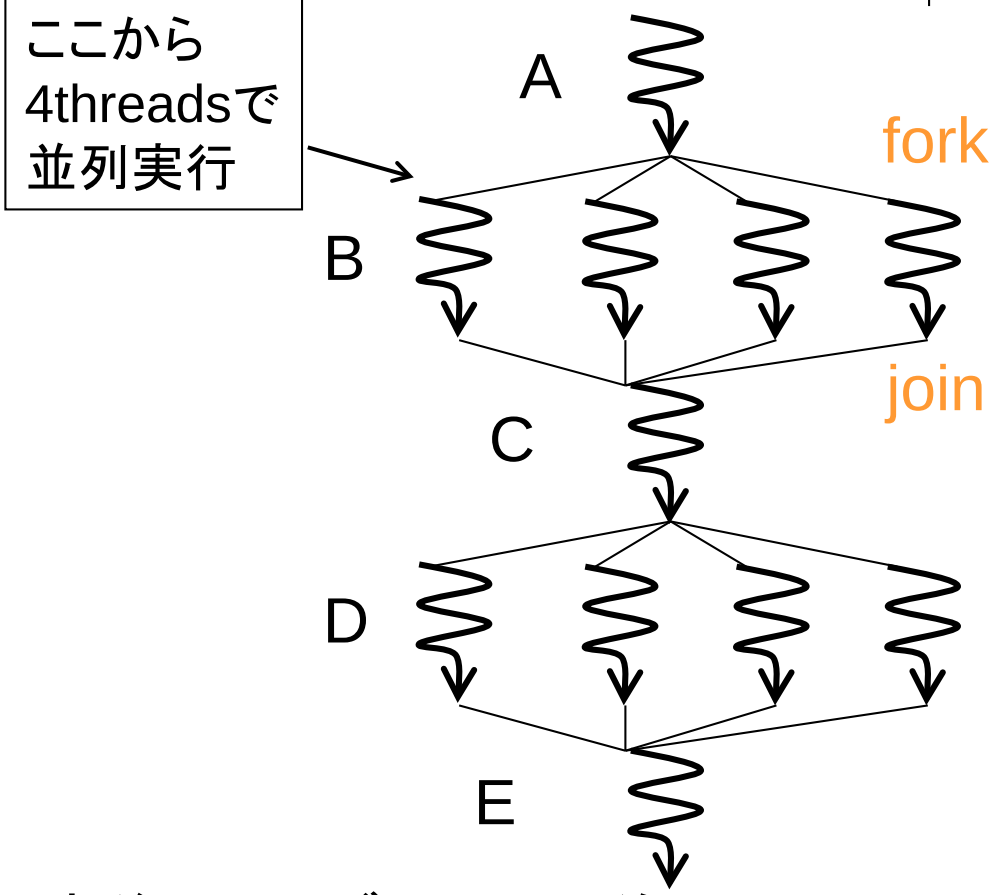


OpenMP並列実行の基本：並列Region

```
#include <omp.h>

int main()
{
    A;
#pragma omp parallel
    {
        B;
    }
    C;
#pragma omp parallel
    D;
    E;
}
```

ここから4threadsで並列実行



#pragma omp parallelの直後の文・ブロックは並列Regionとなる

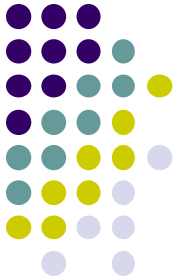
並列Regionから呼ばれる関数も並列実行

スレッド数の指定

(1) プログラム外で，OMP_NUM_THREADS環境変数
- インタラクティブノードなら コマンドラインで
  export OMP_NUM_THREADS=12など
- t2subを使う場合には「TSUBAME利用の手引き」など参照

(2) プログラム内で
- omp_set_num_threads(n)関数
- #pragma omp parallel num_threads(n)

スレッド数の取得



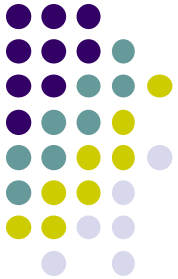
- 全スレッド数の取得
  - omp_get_num_threads()関数

「全体で何人いるか？」

- 自スレッドの番号の取得
  - omp_get_thread_num()関数
    - 0以上、「全スレッド数」未満

⇒番号によって違う処理をさせることができる

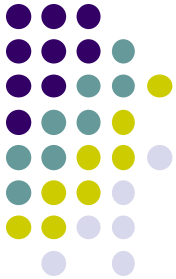
OpenMPの指示文



以下は並列region内で使われる

- #pragma omp critical
  - 次のブロック・文が「critical section」となる
  - 同時にcritical sectionを実行できるのみは1スレッドのみ、となる
- #pragma omp barrier
  - スレッド間でバリア同期をとる：全スレッドの進行がそろうまで待つ
  - ただし並列regionの終わりでは，自動的に全スレッドを待つ(暗黙のbarrier)
- #pragma omp single
  - 次のブロック・文を1スレッドのみで実行する
- #pragma omp for (後述)

変数のデータ共有属性(1)



OpenMPでは、変数はスレッドによって共有されるか否か、注意
「基本的には」

- 並列Region外で宣言された変数　⇒　共有変数
- 並列Region内で宣言された変数　⇒　プライベート変数

明示的に指定もできる

```
{
    int s = 1000;
#pragma omp parallel
    {
        int i;
        i = func(s, omp_get_thread_num());
        printf( “%d¥n” , i);
    }
}
```

shared

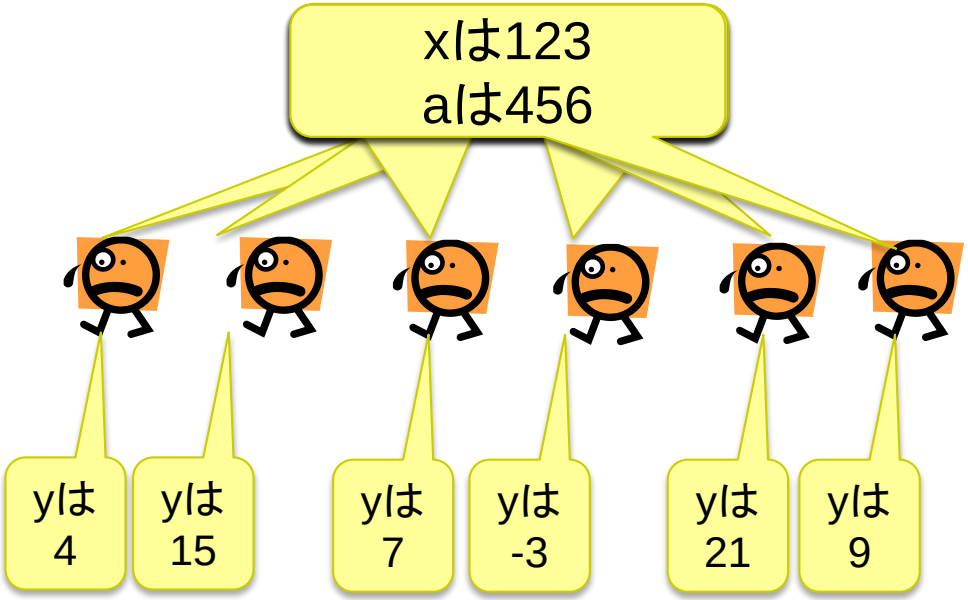
private

```
int func(int a, int b)
{
    int rc = a+b;
    return rc;
}
```

private

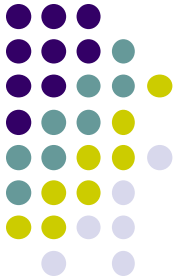
変数のデータ共有属性(2)

- 変数xとaが共有
- 変数yがプライベートのとき



- 共有変数を誰かが書き換えると、ほかのスレッドにも伝わる

共有/プライベートの落とし穴



- 二重以上のループがあり、並列性を持つプログラム
- 外側ループを並列化することにした
- 以下の「いかにもokそうなプログラム」はバグあり
  - コンパイルは通るのに、期待通りに動かないやっかいなケース

```
  int i, j;
#pragma parallel for
  for (i = 0; i < m; i++) {
    for (j = 0; j < n; j++) {
       …
    } }
```

i,jの宣言がparallelの外側にあるので共有変数。jがまずい

共有/プライベートの落とし穴(2)

- 修正方法

```
  int i;
#pragma parallel for
  for (i = 0; i < m; i++) {
    int j;   // j はプライベート
    for (j = 0; j < n; j++) {
       …
    } }
```

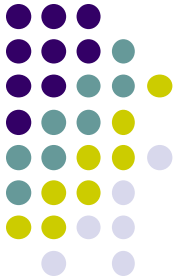
```
  int i, j;
#pragma parallel for private(j)
   // jは外側で宣言されているがプライベートに
  for (i = 0; i < m; i++) {
    for (j = 0; j < n; j++) {
       …
    } }
```

時間計測の手法

- gettimeofday関数
  - 実時間(CPU時間でなく)が計れ，かつ精度がマイクロ秒
  - clock関数は精度が低い

```
#include <stdio.h>
#include <sys/time.h>
        :
{
    struct timeval st, et;
    long us;
    gettimeofday(&st, NULL); /* 開始時刻を記録 */
    ・・・計測したい部分・・・
    gettimeofday(&et, NULL); /* 終了時刻を記録 */
    us = (et.tv_sec-st.tv_sec)*1000000+
         (et.tv_usec-st.tv_usec);  /* 時刻の差分 */
}
```

OpenMPのワークシェアリング構文: for



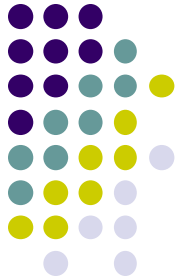
単なる”omp parallel”よりも、気軽に並列化の記述可能！

```
{
   int s = 0;
#pragma omp parallel
   {
     int i;
#pragma omp for
     for (i = 0; i < 100; i++) {
        a[i] = b[i]+c[i];
     }
   }
}
```

- “omp for”の直後のfor文は，複数スレッドにより並列実行される
- 左のプログラムが、もし4スレッドで実行されるならスレッドあたり25ずつ仕事
  - ループ回数÷スレッド数が割り切れなくてもok

- omp parallelとomp forをまとめてomp parallel forとも書ける
- 残念ながら、どんなforでも対応できるわけではない。詳細は次回以降

For指示文のオプション: reduction



- For文にありがちなこと:各反復の結果を一変数に集計する (例:piプログラムのカウンタ)
- Criticalセクションで更新することもできるが非効率　⇒ reductionオプションが用意されている

```
{
   int count = 0;
#pragma omp parallel
   {
#pragma omp for reduction (+:count)
      for (i = 0; i < 100; i++) {
         count += f(i);
      }
   }
}
```

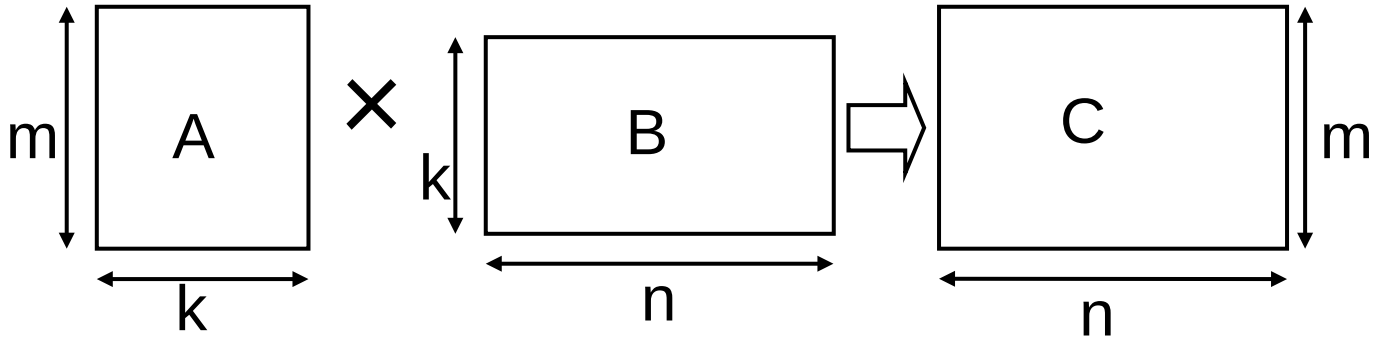
演算子:
+, -, *, &&, || など

- Max, minは無し
- Fortran版には有り

サンプルプログラム：mm

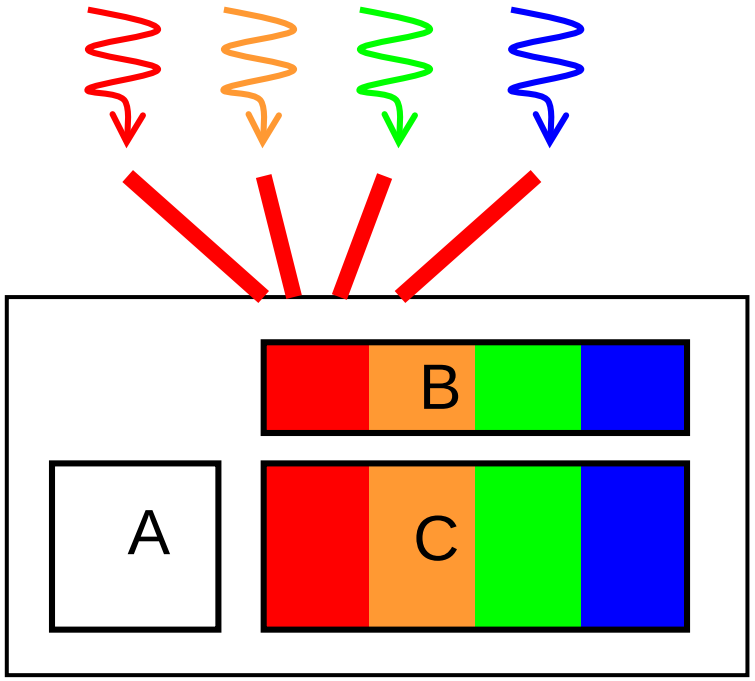
(m×k)行列と(k×n)行列の積

- 三重のforループで記述
- 動的な長さの配列．二次元を一次元で表現
  - Column major format
- 実行オプション: ./mm [m] [n] [k]
- 計算量：O(mnk)



MmのOpenMPによる並列化

- 三重ループの最外ループを並列化
  - #pragma omp parallel for
  - nをスレッド間で分割することになる

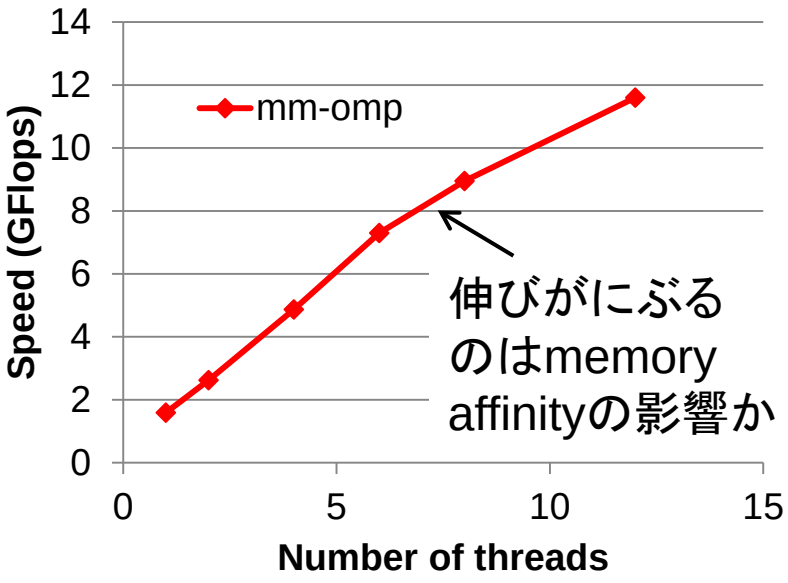


行列Aは全スレッドによってアクセスされる

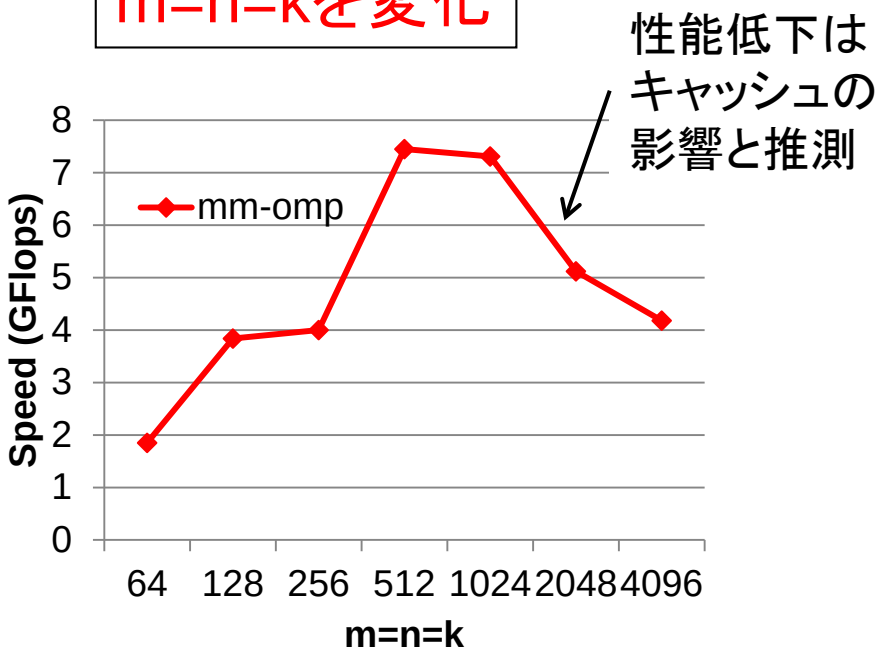
Mm-ompの性能

- TSUBAME2ノード上(Xeon X5670 2.93GHz 12core)
- OMP_NUM_THREADS環境変数によりスレッド数指定
- (2mnk/経過時間)にてFlops単位の速度を取得

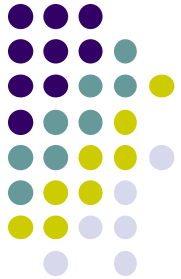
m=n=k=2000固定、
スレッド数を変化



4スレッド、
m=n=kを変化



本授業のレポートについて

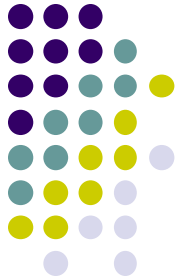


- 各パートで課題を出す。2つ以上のパートのレポート提出を必須とする

  予定パート:

  - OpenMPパート
  - MPIパート
  - GPUパート

OpenMPパート課題説明 (1)



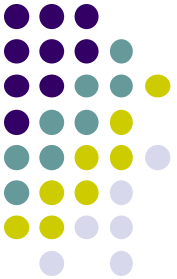
以下の[O1]—[O3]のどれか一つについてレポートを提出してください

[O1] diffusionサンプルプログラム(次回に説明)を、OpenMPで並列化してください.

オプション:

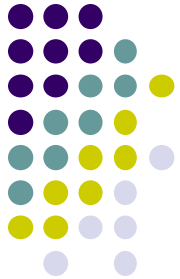
- 配列サイズや時間ステップ数を可変パラメータにしてみる。引数で受け取って、配列をmallocで確保するようにする、など。
- より良いアルゴリズムにしてみる。ブロック化・計算順序変更でキャッシュミスを減らせないか？

OpenMPパート課題説明 (2)



[O2] 準備中 (タスク並列を用いる予定)

OpenMPパート課題説明 (3)



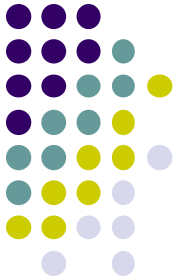
[O3] 自由課題：任意のプログラムを，OpenMPを用いて並列化してください．

- 単純な並列化で済む問題ではないことが望ましい
  - スレッド・プロセス間に依存関係がある
  - 均等分割ではうまくいかない、など
- たとえば，過去のSuperConの本選問題
  http://www.gsic.titech.ac.jp/supercon/
  たんぱく質類似度(2003)，N体問題(2001)・・・
  入力データは自分で作る必要あり
- たとえば，自分が研究している問題

課題の注意

- いずれの課題の場合も，レポートに以下を含むこと
  - 計算・データの割り当て手法の説明
  - TSUBAME2などで実行したときの性能
    - プロセッサ(コア)数を様々に変化させたとき
    - 問題サイズを様々に変化させたとき(可能な問題なら)
    - 「XXコア以上で」「問題サイズXXX以上で」発生する問題に触れているとなお良い
  - 高性能化・機能追加などのための工夫が含まれているとなお良い
    - 「XXXのためにXXXをしてみたが高速にならなかった」のような失敗でもgood
  - 作成したプログラムについても、zipなどで圧縮して提出
    - 困難な場合，TSUBAME2の自分のホームディレクトリに置き，置き場所を連絡

課題の提出について



- OpenMPパート提出期限
  - 6/1 (月) (予定)
- OCW-i ウェブページから下記ファイルを提出のこと
- レポート形式
  - レポート本文：PDF, Word, テキストファイルのいずれか
  - プログラム：zip形式に圧縮するのがのぞましい

- OCW-iからの提出が困難な場合、メールでもok
  - 送り先： ppcomp@el.gsic.titech.ac.jp
  - メール題名： ppcomp report

次回:

- OpenMP(2)
  - Diffusion：ステンシル計算のサンプルプログラム
  - 排他制御