

# スパコンの概要と CMCのスパコンの紹介

大阪大学サイバーメディアセンター 講師

木戸 善之

2020/6/26

# 目次

1. スパコンの略歴
2. 計算機の概要
3. 並列計算
4. CMCのスパコン

# 計算機ってなんだ？

- 計算機

- 計算に用いる機械（デジタル大辞泉）
- 計算のための機械、器具のこと。コンピュータや電卓を指すことが多い（Wikipedia）
- 人が不得意な、正確な演算やルーチンワークを肩代わりするための道具



# 計算機にも様々な種類が

- パーソナルコンピュータ
  - 主に個人で使用するために作られたコンピュータ。パソコン、PC
- 汎用機(メインフレーム)
  - 企業の基幹業務に利用される大規模なコンピュータ
- スーパーコンピュータ
  - 高度な数値計算(量子物理、流体解析、ケモ・バイオインフォマティクス、天文地学...etc)のためのコンピュータ
- 数値だけでなく画像、文書など様々な**入力**に対し処理を行い**出力**する装置



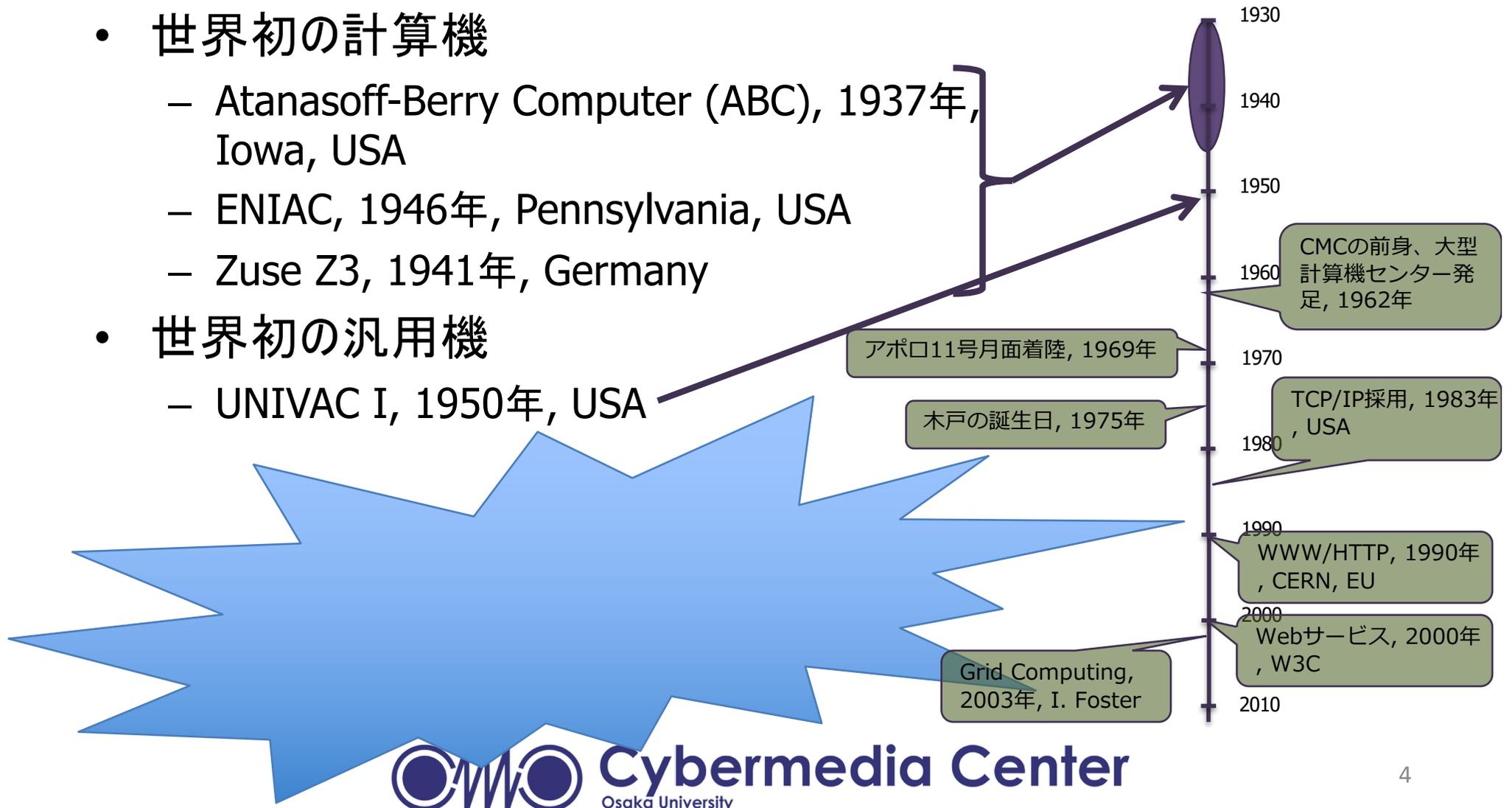
# 計算機は気安く触れられるものではなかった

- 世界初の計算機

- Atanasoff-Berry Computer (ABC), 1937年, Iowa, USA
- ENIAC, 1946年, Pennsylvania, USA
- Zuse Z3, 1941年, Germany

- 世界初の汎用機

- UNIVAC I, 1950年, USA



# 弾道計算のシミュレーション

## 真空中の放物運動

- ただの放物運動

– 初期角度:  $\theta_0$  初期速度:  $v_0$  重力加速度:  $g$   
時間:  $t$

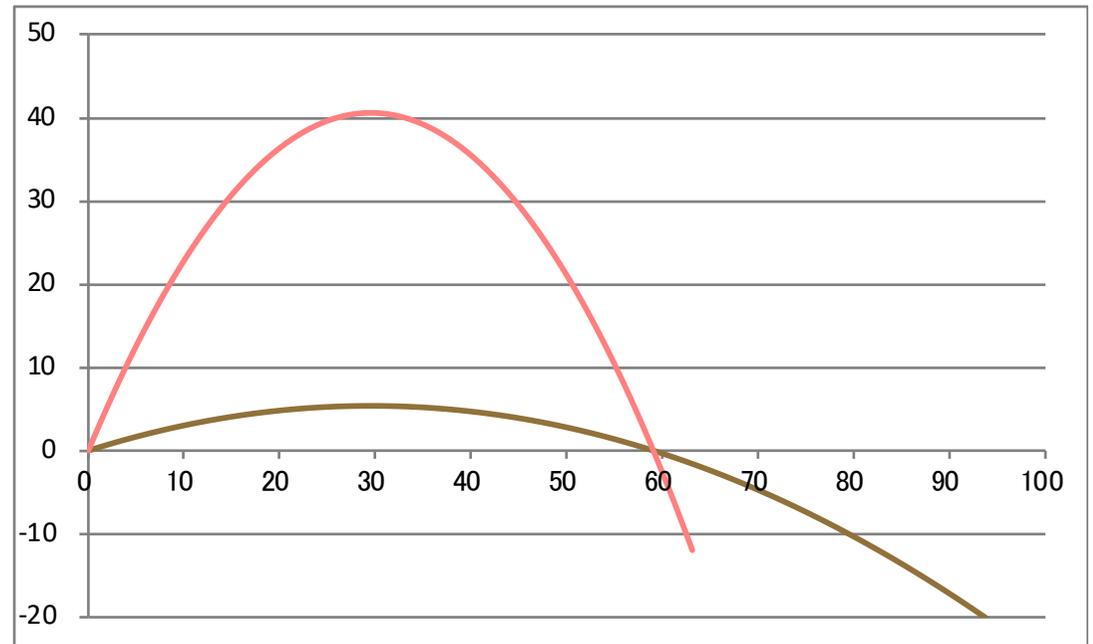
$t$ 秒後の速度

$$v_x = v_0 \cos \theta_0$$
$$v_y = v_0 \sin \theta_0 - gt$$



$t$ 秒後の座標

$$x = v_0 \cos \theta_0 t$$
$$y = v_0 \sin \theta_0 t - \frac{1}{2} gt^2$$



# 弾道計算のシミュレーション 空気抵抗を入れてみよう

- 速度に比例する空気抵抗を持つ放物運動
  - 初期角度:  $\theta_0$  初期速度:  $v_0$  重力加速度:  $g$  時間:  $t$
  - 空気抵抗:  $k$  物体の質量:  $m$

$t$ 秒後の速度

$$v_x = v_0 e^{-\frac{k}{m}t} \cos \theta_0$$

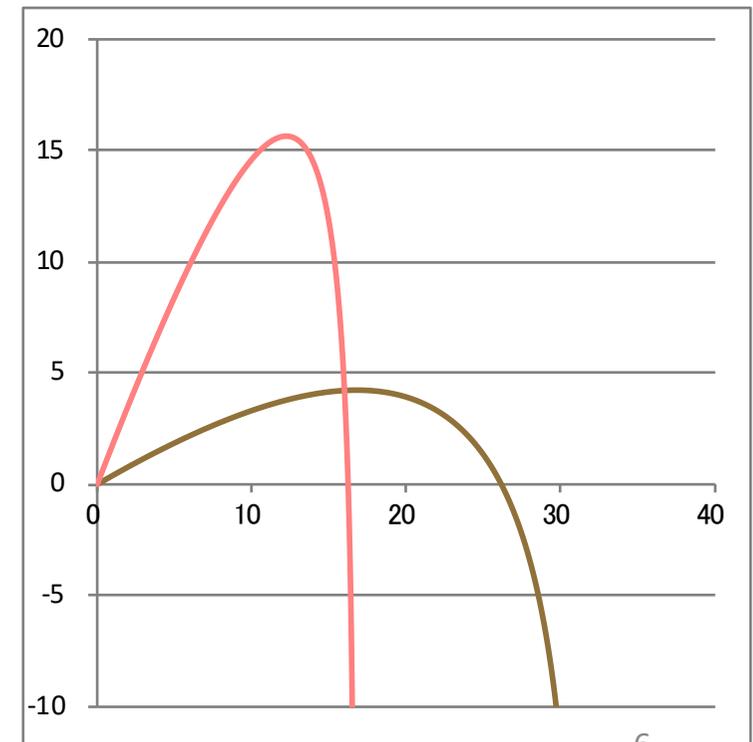
$$v_y = \left( v_0 \sin \theta_0 + \frac{m}{k} g \right) e^{-\frac{k}{m}t} - \frac{m}{k} g$$



$$x = \frac{m v_0}{k} \cos \theta_0 \left( 1 - e^{-\frac{k}{m}t} \right)$$

$t$ 秒後の座標

$$y = \frac{m}{k} \left\{ \left( v_0 \sin \theta_0 - \frac{m}{k} g \right) \left( 1 - e^{-\frac{k}{m}t} \right) - g t \right\}$$



# 弾道計算シミュレーション 様々な要因と応用

- 発射された物体を正確に標的に当てるため
- 最初は軍事目的



- ゴルフ、野球などスポーツ科学
- 人工衛星、スペースシャトルの打ち上げ
- フライトシミュレータ
- 3Dゲームなどのレンダリング物理演算
- 分子動力学によるポリマー合成、ドラッグデザイン
- 天気予報

## ■ 要素

- 初速
- 仰角
- 空気抵抗（湿度、気温、気圧により密度が変わり空気抵抗が変化）
- 弾丸の前面投影面積、表面の摩擦係数、質量
- 風力、風向き
- コリオリの力、重力加速度
- 物体の自転（スピン）による揚力

シミュレーション  
現実世界での現象を単純化、簡略化した数理モデル（又は模型）を用いて検証を行う模擬実験

# 世界初の○○計算機

- 世界初の計算機
  - ENIAC, 1946年, Pennsylvania, USA

- 世界初の汎用機
  - UNIVAC I, 1950年, USA

商業・業務利用に特化  
可用性を追求

科学技術計算に特化  
計算性能を追求

- 世界初の電卓
  - Anita Mark8, 1963年, UK

- 世界初? のスーパーコンピュータ
  - CDC 6600, 1964年, Lawrence Livermore National Lab., USA.

- 世界初のパーソナルコンピュータ
  - Altair 8800, 1975年, USA

3 MFLOPS

FLOP = Floating point number Operations Per Second

# 計算機の速さって？

- FLOPS (Floating-point Operations Per Second)
  - 一秒間に浮動小数点演算を何回できるか？
  - 富岳 : 400Peta FLOPS over ( $4 \times 10^{17}$ 回)

Y : ヨタ

Z : ゼタ

E : エクサ

P : ペタ

T : テラ

G : ギガ

M : メガ

k : キロ

400,000,000,000,000,000

世界初のスパコン  
CDC 6600

3,000,000



# 日本のスパコン

名称・愛称	設置者	メーカー	性能	Top 500ランク
富岳	理研	Fujitsu	415.5 PFlops	1 <span style="background-color: red; color: white; border-radius: 50%; padding: 2px;">New</span>
AI Bridging Cloud Infrastructure (ABCI)	産総研	Fujitsu	19.9 PFlops	12
Oakforest-PACS	東大・筑波大	Fujitsu	13.6 PFlops	19
TSUBAME3.0	東工大	HPE	8.1 PFlops	28
-	気象庁	Cray	5.7 PFlops	42, 43

## 参考性能

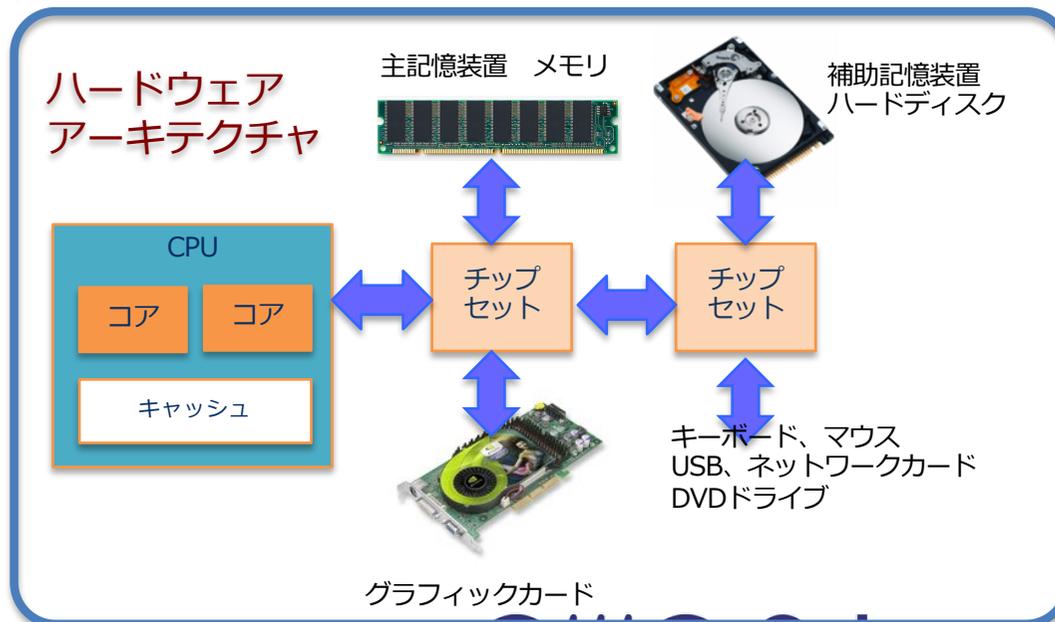
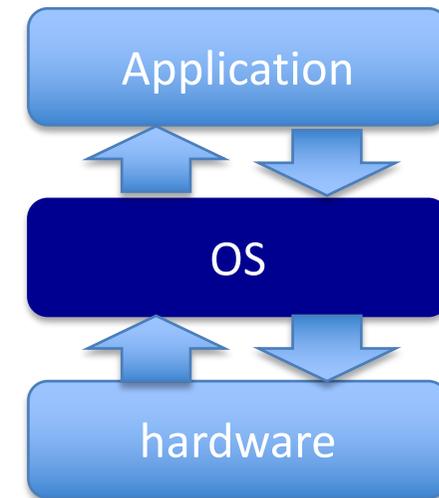
OCTOPUS	阪大	NEC	理論性能 1.4 Pflops	だいたい500位と 同じくらいの性能
---------	----	-----	--------------------	-----------------------

# 目次

1. スパコンの略歴
2. 計算機の概要
3. 並列計算
4. CMCのスパコン

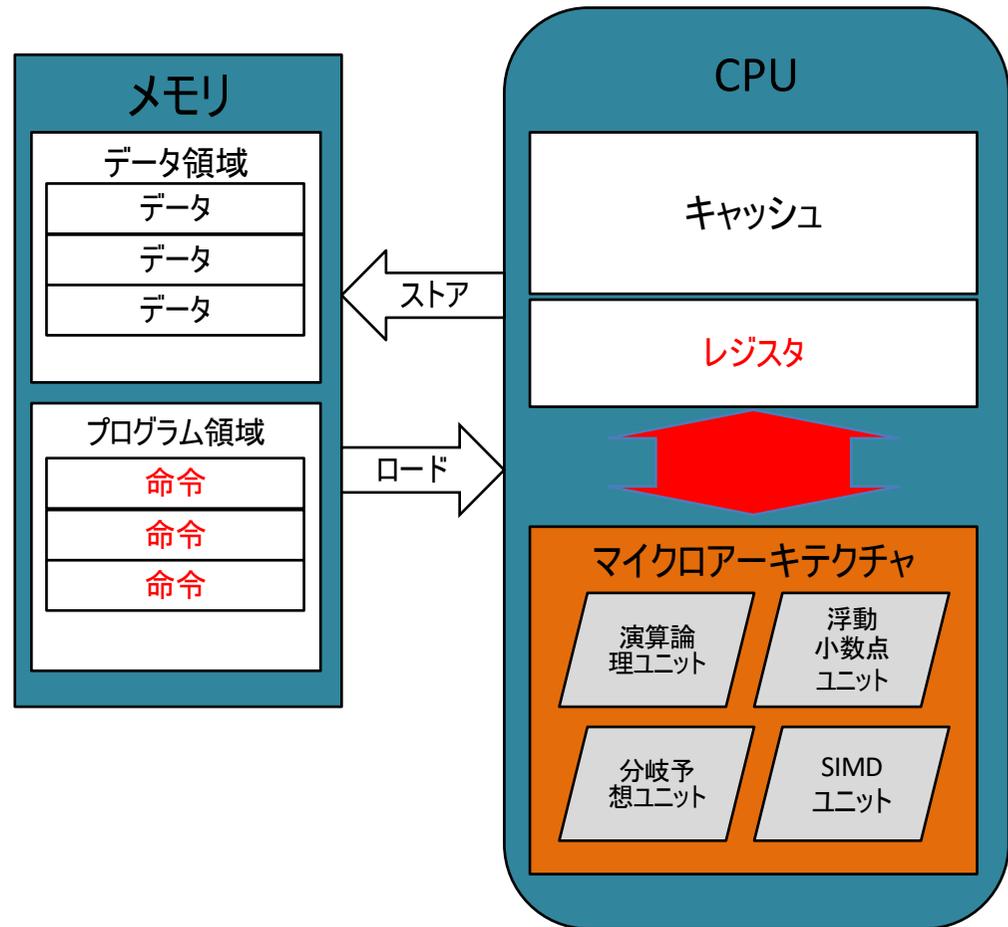
# 計算機のアーキテクチャ

- 中央処理演算装置: CPU (プロセッサ)
  - 計算を行う頭脳
  - 命令により演算を行う
  - ベクタ部 (SIMD) とスカラ部を持つ
- 主記憶装置: メモリ
  - 揮発性が高く電源を落とすと内容は破棄
- 補助記憶装置: ハードディスク
  - 不揮発性で電源を落としても内容を保持
- グラフィックカード
  - 出力装置につなぐデバイス
  - GPGPU: 画像処理専用の補助演算装置
- 入力装置: キーボード、マウス



# CPUのアーキテクチャ

- 命令アーキテクチャ
  - プロセッサへの命令の集合と構造
- マイクロアーキテクチャ(コア)
  - 回路と動作タイミングを実装
  - 複数のユニットで命令を処理
- 命令アーキテクチャの例
  - x86
  - SPARC
  - ARM
  - PowerPC
  - MIPS
- マイクロアーキテクチャの例
  - NetBurst (Intel)
  - Zen (AMD)



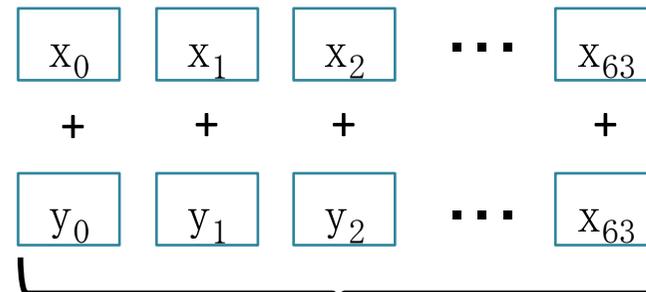
# ベクタとスカラ

## スパコン／プロセッサの種類

- スカラ

- 計算機の命令を1つずつ実行
- 逐次的に命令を実行
- 高速化: パイプライン処理, スーパースカラ
- 代表システム: 京、Tsubame、etc.
- 得意な計算: 遺伝子相同性検索

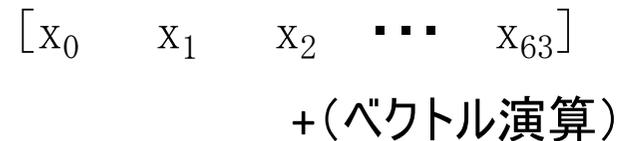
### 行列和の計算



64 スカラ命令

- ベクタ (SIMD)

- 複数の命令を一つにまとめて実行
- 同じ命令 (演算) に対し異なるデータ (項) で実行する場合、1つにまとめて実行することができる
- 代表システム: 阪大SX-ACE、地球シミュレータ
- 得意な計算: 気候シミュレーション、流体解析



1 ベクトル命令

# 計算機におけるOS

- ARPANETからいろいろなネットワークが接続されて超巨大なネットワーク → インターネットに変貌. The Internet

- ネットワークのモチベーション

- データの共有
- 大型計算機を複数のユーザで共有

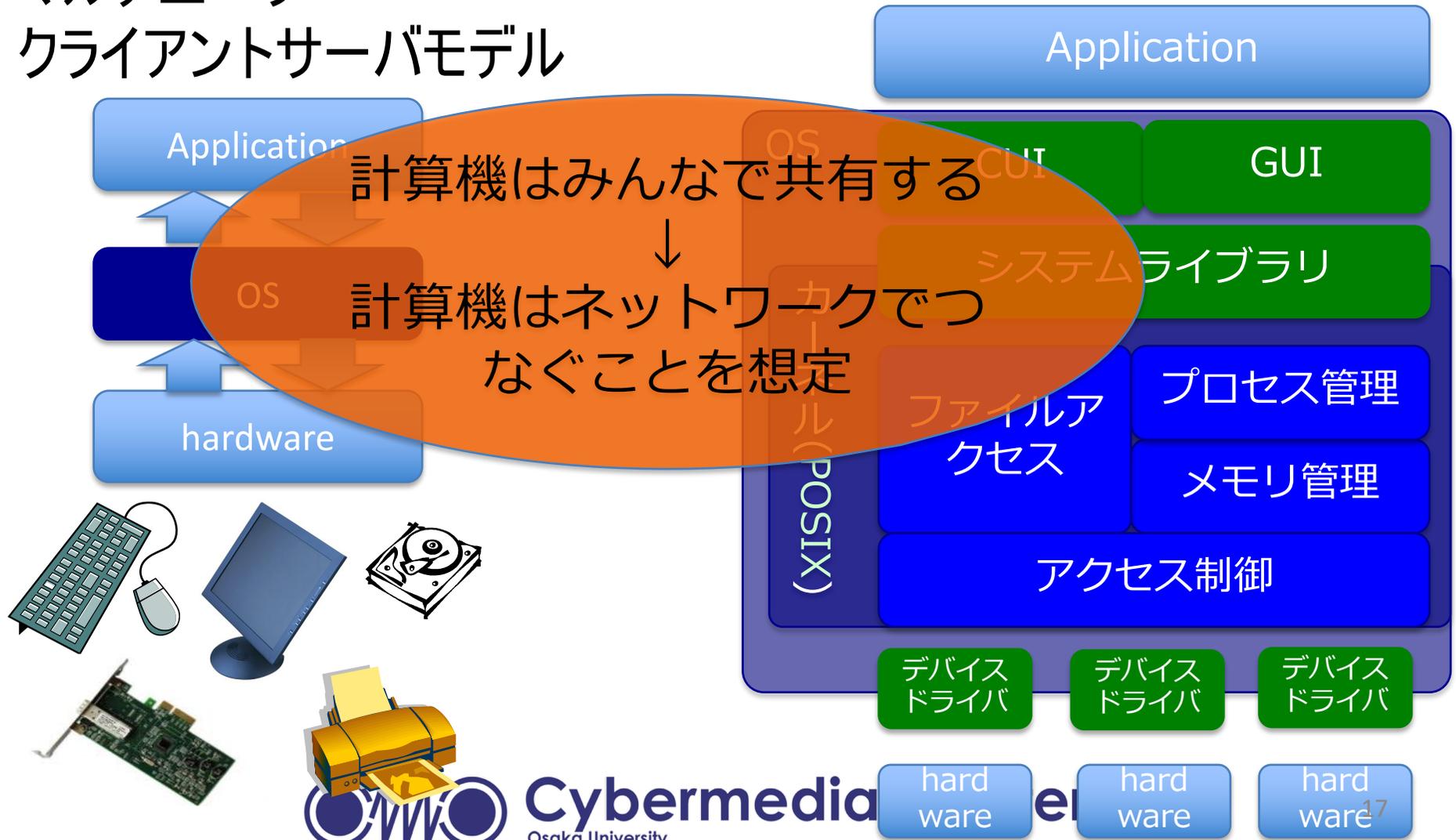


UNIXの登場

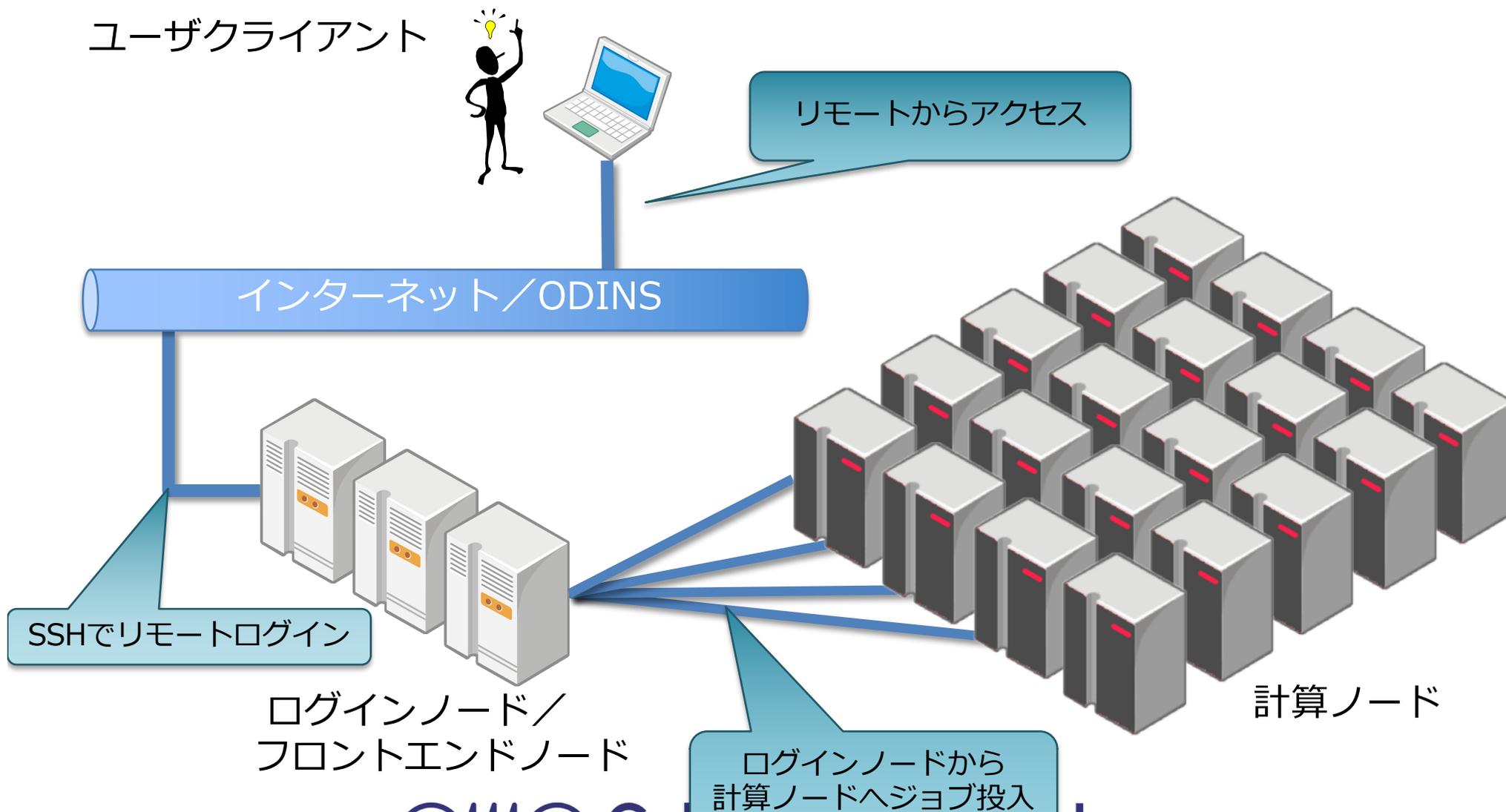
- Unics, 1969年 AT&T, USA
- Version 7 Unix, 1979年, AT&T, USA
- Linux, 1991年, GNU, USA
- Windows 3.1 1992年, Microsoft, USA
- Windows NT 3.5 1994年, Microsoft, USA
- Windows 95, 1995年, Microsoft, USA
- Mac OS X, 2001年, Apple, USA
- Windows XP, 2001年, Microsoft, USA
- Android, 2007年, Google, USA
- iOS, 2008年, Apple, USA

# OS: UNIXのアーキテクチャ

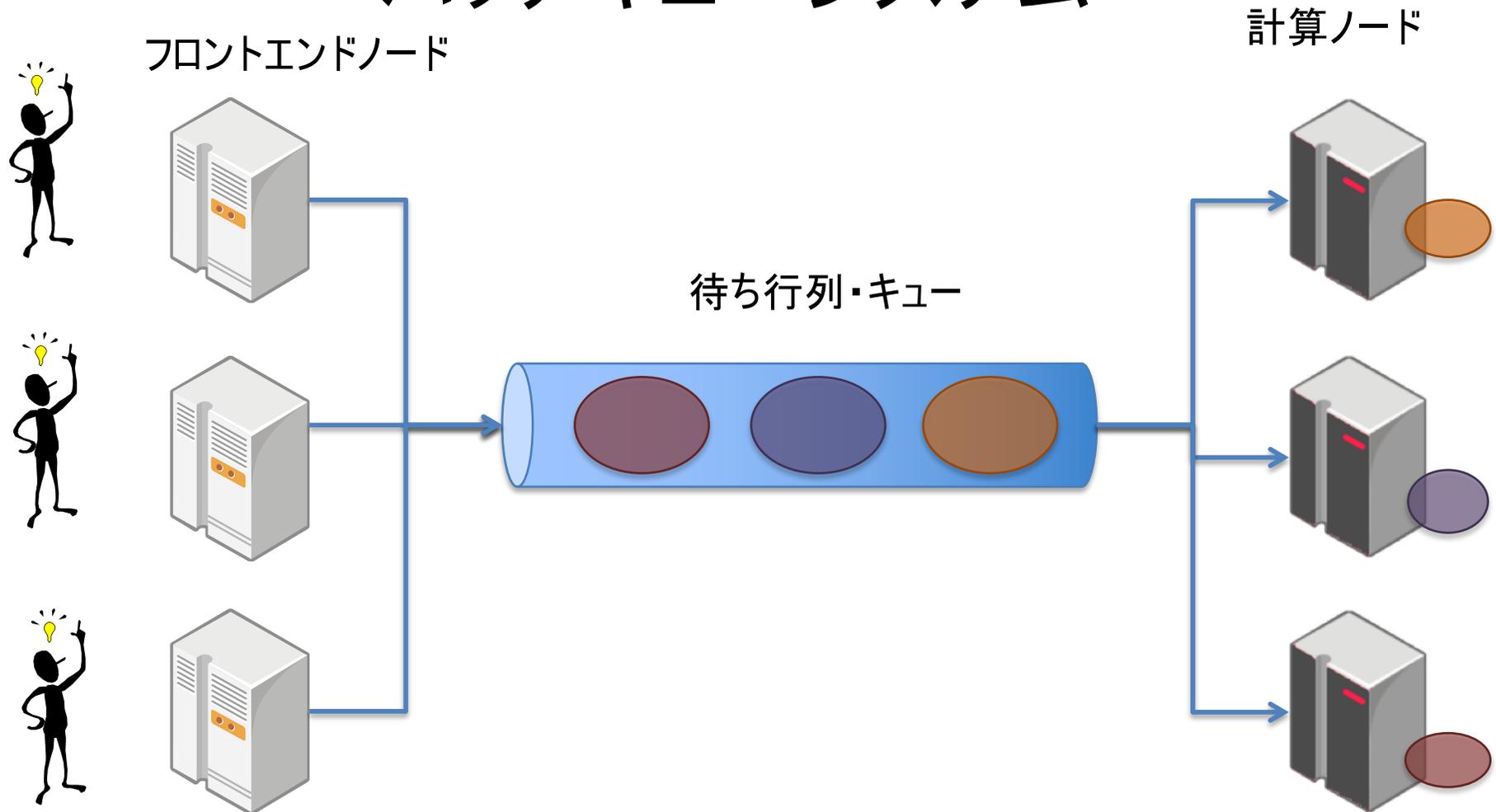
- マルチタスク(マルチプロセス)
- マルチユーザ
- クライアントサーバモデル



# コンピュータ・クラスタ



# ジョブ投入 バッチキューシステム



# qsubでジョブ投入

計算機環境の指定

```
#!/bin/csh
#PBS -q ACE
#PBS -l elapstim_req=1:00:00,memsz_job=60GB
#PBS -v F_RSVTASK=4
setenv F_PROGINF DETAIL
cd $PBS_O_WORKDIR
./a.out
```

ジョブキューに登録

```
$ qsub a_batch.sh
Request 88156.cmc submitted to queue: ACE.
$
```

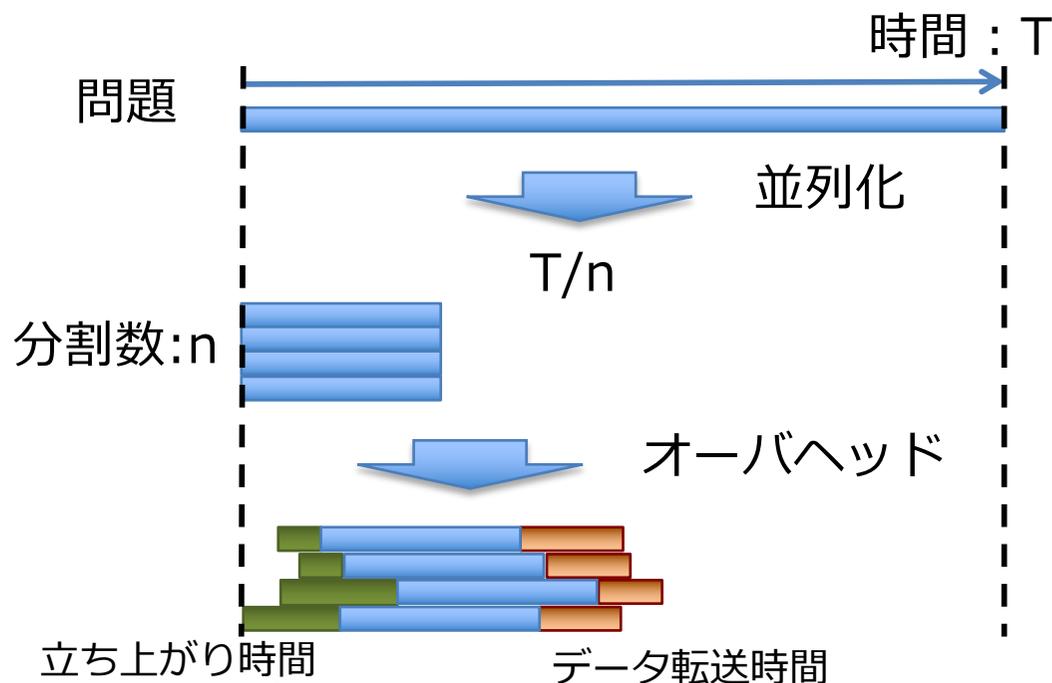
# 目次

1. スパコンの略歴
2. 計算機の概要
- 3. 並列計算**
4. CMCのスパコン

# 並列プログラミングとは

- 逐次処理の問題、プログラム(実行時間:  $T$ )を  $n$  に分割し、 $n$  台のプロセッサ(or 計算機)で  $T/n$  時間にする
- プロセッサに割り当てられるタスクは独立
- 並列化できる問題はデータに依存性のない問題のみに限られる

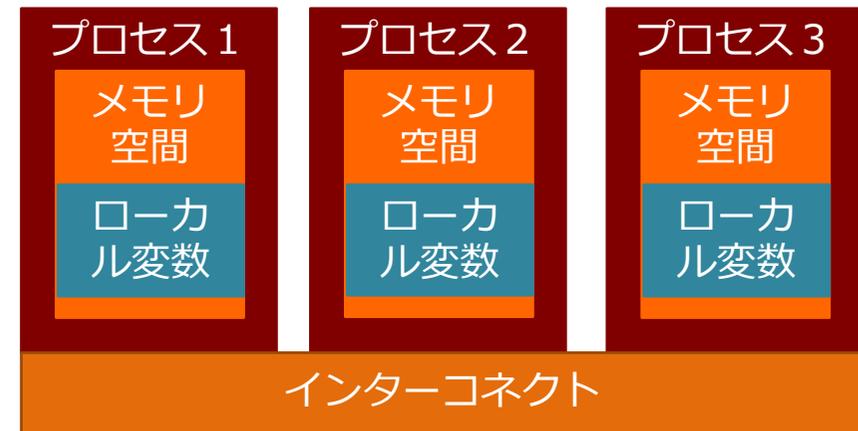
- 通信によるオーバーヘッド
  - 立ち上がり時間
  - データ転送時間



# プロセス並列とスレッド並列

- プロセス並列
  - メモリ空間は独立
  - 並列タスク間でのデータ通信は必要に応じて
  - 例: Message Passing Interface (MPI)
- スレッド並列
  - メモリ空間を共有
  - データ通信の必要性なし
  - 例: OpenMP

プロセス並列



スレッド並列



# Message Passing Interface (MPI)

- メッセージパッシング／プロセス間通信の規格
- 分散メモリ型並列計算機での並列実行に向く
- 大規模計算が可能に
- スケーラビリティ、性能は高
  
- 主要な実装例
  - MPICH
  - LAM
  - OpenMPI(C言語, C++, Fortran)
  
- 略語
  - Processor Element: プロセスの単位. MPIプロセスを指す.
  - Rank: PEの識別番号のこと. MPI\_Comm\_rank関数で設定されるランクID

# MPIでHello, World.

```
#include <mpi.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>

int main(int argc, char **argv) {
    char msg[20];
    int myrank, num, i;
    MPI_Status status;
    MPI_Init(&argc, &argv);
    MPI_Comm_rank( MPI_COMM_WORLD, &myrank);
    MPI_Comm_size( MPI_COMM_WORLD, &num);
    if ( myrank == 0 ) {
        strcpy(msg, "Hello, World.");
        for (i = 1; i < num; i++) {
            MPI_Send(msg, strlen(msg) + 1, MPI_CHAR, i, 99, MPI_COMM_WORLD);
        }
        printf("rank %d send: %s\n", myrank, msg);
    } else {
        MPI_Recv(msg, 20, MPI_CHAR, 0, 99, MPI_COMM_WORLD, &status);
        printf("rank %d receive: %s\n", myrank, msg);
    }
    MPI_Barrier( MPI_COMM_WORLD);
    MPI_Finalize();
    return 0;
}
```

Rank 0 は送信側

その他のRankは受信側

```
$ mpicc hello_mpi.c -o m.out
$ mpirun -n 4 ./m.out
rank 0 send: Hello, World.
rank 1 receive: Hello, World.
rank 2 receive: Hello, World.
rank 3 receive: Hello, World.
```

# OpenMPによるスレッド並列

- MPI
  - プログラマが並列化を意識してコードを書く必要がある
- OpenMP
  - 1ノードの中で閉じた並列処理
  - コンパイラが自動的に並列化（並列化効率はコンパイラに依存）
  - ソースコード中にOpenMPディレクティブを挿入し、OpenMP環境下では有効になり、それ以外では無効になる
  - 並列化と非並列では同じソースコードとなる

```
#ifdef _OPENMP
    //OpenMPを使う
#else
    //OpenMPを使わない
#endif
```

```
#pragma omp parallel for
    for (i = 0; i < 1000; i++ ) {
        // 並列処理させたいコード
    }
```

# OpenMPでHello, World.

```
#include <omp.h>
#include <stdio.h>

int main(int argc, char **argv) {
    #pragma omp parallel num_threads(4)
    {
        printf("Thread %d, Hello, world\n", omp_get_thread_num());
    }
    return 0;
}
```

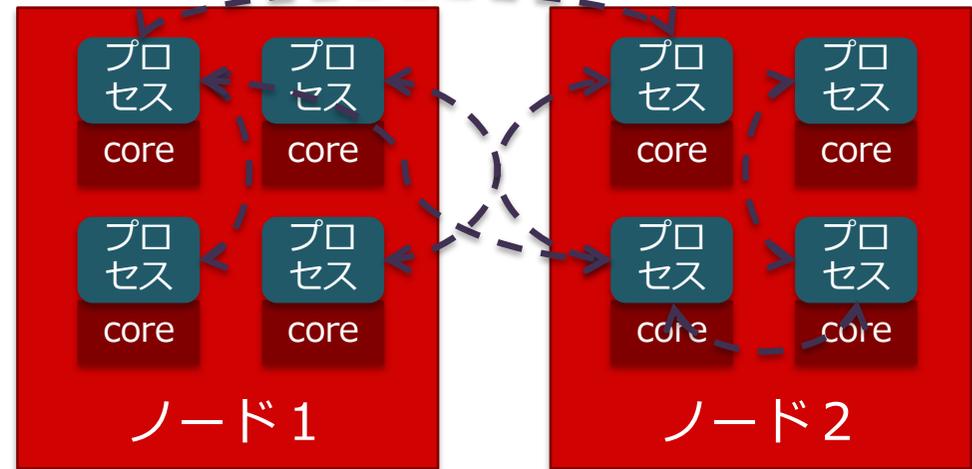
4つのスレッド並列

```
$ gcc -fopenmp hello_omp.c -o o.out
$ ./o.out
Thread 3, Hello, world
Thread 0, Hello, world
Thread 1, Hello, world
Thread 2, Hello, world
```

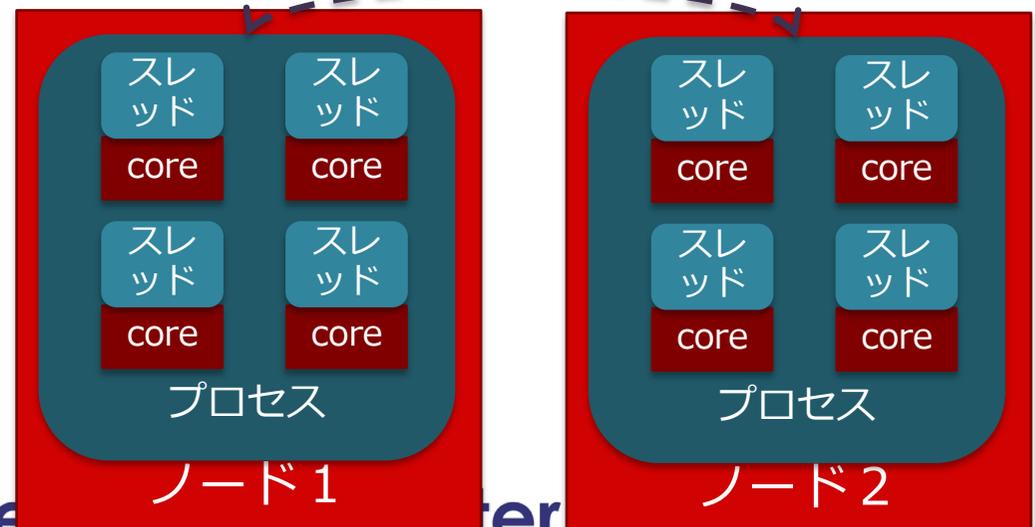
# ハイブリッド並列

- フラット並列モデル
  - プロセス並列のみ
  - コアごとにプロセス
  - 通信がプロセス間ごとに発生
- ハイブリッド並列モデル
  - プロセス並列(ノード間) + スレッド並列(ノード内)
  - コア数が増えてもプロセス数は増加せず
  - 通信が混雑しない

フラット並列



ハイブリッド並列



# CMC大規模計算機システムサービス

## スカラープロセッサ

汎用計算機システム  
“OCTOPUS”



大規模可視化対応PCクラスタ  
(VCC)



供用停止



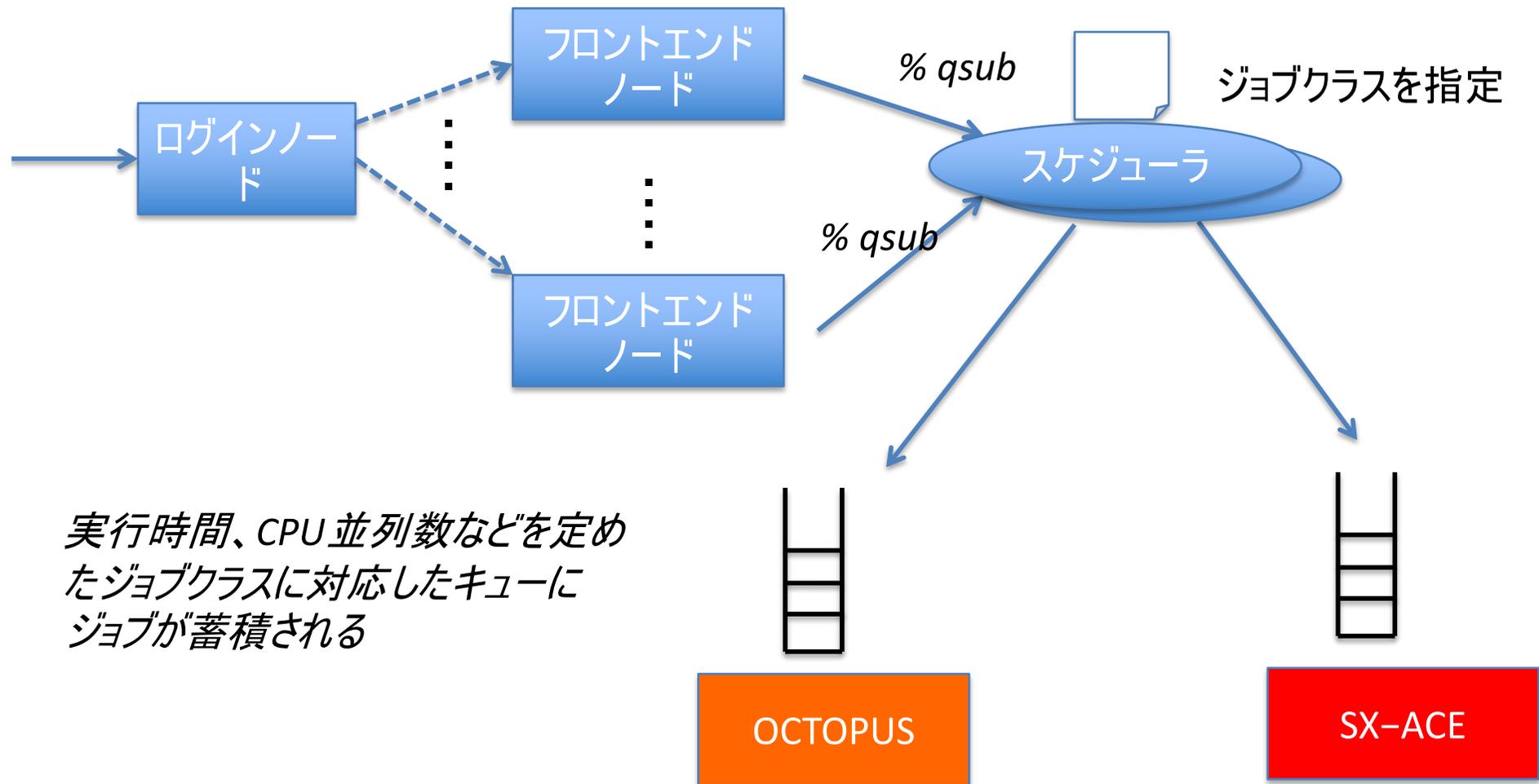
## ベクタープロセッサ

スーパーコンピュータ  
“SX-ACE”



2021年  
リプレース予定！

# CMC大規模計算機システムの利用方法



# 講習会の予定

- 6/26 スーパーコンピュータ概要とスーパーコンピュータ利用入門
- 6/29 SX-ACE高速化技法の基礎
- 6/30 並列コンピュータ 高速化技法の基礎
- 7/3 並列プログラミング入門(MPI)
- [http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/lecture\\_event/lecture/](http://www.hpc.cmc.osaka-u.ac.jp/lecture_event/lecture/)