

スーパーコンピュータを創るには？

ーソフトウェアがなければただの箱ー

国立情報学研究所
アーキテクチャ科学研究系
教授 石川 裕

略歴:

1987年4月 通産省電子技術総合研究所(現産業総合研究所)入所。
2002年1月 東京大学理学部情報科学科助教授、2006年同大学 教授。
2014年10月 理化学研究所計算科学研究機構(現計算科学センター)
FS2020プロジェクトリーダー (スーパーコンピュータ「富岳」の
開発)。
2021年4月 国立情報学研究所 教授。

「富岳」開発の歴史は以下のURLから
<https://www.r-ccs.riken.jp/fugaku/his>



スーパーコンピュータを創るには？

ーソフトウェアがなければただの箱ー

国立情報学研究所
アーキテクチャ科学研究系
教授 石川 裕

略歴:

1987年4月 通産省電子技術総合研究所(現産業総合研究所)入所。
2002年1月 東京大学理学部情報科学科助教授、2006年同大学 教授。
2014年10月 理化学研究所計算科学研究機構(現計算科学センター)
FS2020プロジェクトリーダー (スーパーコンピュータ「富岳」の
開発)。
2021年4月 国立情報学研究所 教授。

- ✓ コンピュータの持つ潜在能力を引き出すのはソフトウェア
- ✓ スーパーコンピュータ「富岳」でどういう基本ソフトウェアが動いているか
- ✓ 新しいコンピュータを創るために必要となる基本ソフトウェア

「富岳」開発の歴史は以下のURLから
<https://www.r-ccs.riken.jp/fugaku/his>



話の流れ

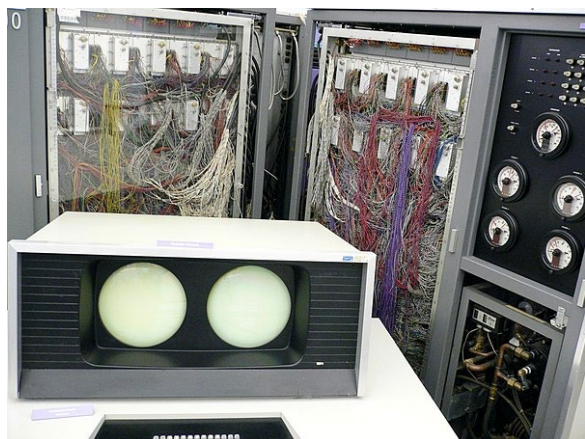
- 計算機科学と計算科学
- スーパーコンピュータとは？
- スーパーコンピュータでどういう計算をする？
- スーパーコンピュータ「富岳」を構成しているソフトウェア達
- ソフトウェアは新しい価値を創り出す

- **Computer Science** 計算機科学(情報科学、情報工学)
 - 情報と計算の理論、計算機システムの実現と応用に関する研究分野
 - 計算機アーキテクチャ、スーパーコンピュータ、コンピュータグラフィックス、人工知能、プログラミング言語、アルゴリズム、データ構造、、、
- **Computational Science** 計算科学
 - 計算機(コンピュータ)を使って自然現象や社会現象を解明する
 - 高校の情報Iで学ぶ「モデル化とシミュレーション」、大量の観測・実験データを取り扱う計算科学分野
 - 気象、天文、物理、材料、遺伝子解析、創薬、、、、

スーパーコンピュータとは？

- その時代で高速な科学技術計算をするコンピュータ。
略称スパコン

最初のスーパーコンピュータと言われているCDC 6600 (1964)



出典: Wikipedia
https://ja.wikipedia.org/wiki/CDC_6600



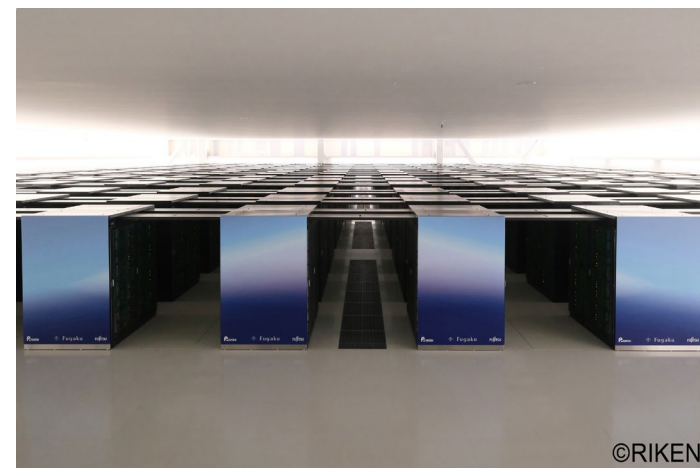
スーパーコンピュータという名前を広めたCray-1(1976)



出典: Wikipedia
<https://ja.wikipedia.org/wiki/Cray-1>



スーパーコンピュータ「富岳」
(2020年6月～2021年11月 世界1位 (TOP500))



理化学研究所と富士通によって開発された

スーパーコンピュータとは？

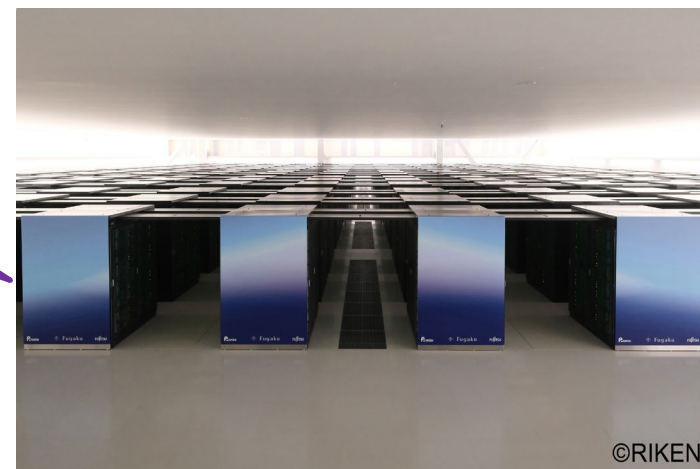
- その時代で高速な科学技術計算をするコンピュータ。
略称スパコン

ピーク性能: 488 PFLOPS (ペタフロップス)
メモリ容量: 4.85 PiB (ペビバイト)
出典: <https://www.r-ccs.riken.jp/fugaku/system/>

FLOPS floating-point operation per second,
1秒間に計算できる浮動小数点演算回数
(浮動小数点は計算機内における実数表現の一つ)

例えば、
 $1*2 + 3*4 + 5*4$
は掛け算3回に足し算2回の合計5回の演算をしている。
これが1秒間で解けると
5 FLOPS (フロップス)

スーパーコンピュータ「富岳」
(2020年6月～2021年11月 世界1位 (TOP500))



- FLOPS、1回/秒
- KFLOPS (キロフロップス、 10^3 flops)、千回/秒
- MFLOPS (メガフロップス、 10^6 flops)、100万回/秒
- GFLOPS (ギガフロップス、 10^9 flops)、10億回/秒
- TFLOPS (テラフロップス、 10^{12} flops)、1兆回/秒
- PFLOPS (ペタフロップス、 10^{15} flops)、1000兆回/秒
- EFLOPS (エクサフロップス、 10^{18} flops)、100京回/秒

スーパーコンピュータとは？

- その時代で高速な科学技術計算をするコンピュータ。
略称スパコン

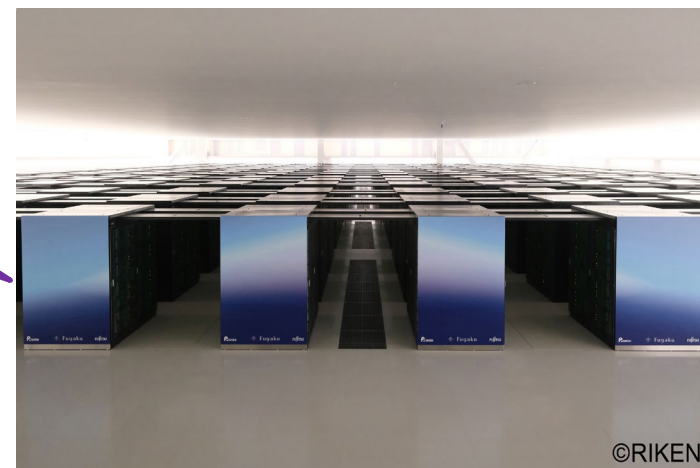
ピーク性能: 488 PFLOPS (ペタフロップス)
メモリ容量: 4.85 PiB (ペビバイト)
出典: <https://www.r-ccs.riken.jp/fugaku/system/>

FLOPS floating-point operation per second,
1秒間に計算できる浮動小数点演算回数
(浮動小数点は計算機内における実数表現の一つ)

例えば、
 $1*2 + 3*4 + 5*4$
は掛け算3回に足し算2回の合計5回の演算をしている。
これが1秒間で解けると
5 FLOPS (フロップス)

PFLOPSは、Peta FLOPS
Petaは、単位につける接頭語(キロ、メガなど)で
 10^{15} (1000兆)
488 PFLOPSは
1秒間に48.8京回の演算ができる

スーパーコンピュータ「富岳」
(2020年6月～2021年11月 世界1位 (TOP500))



- FLOPS、1回/秒
- KFLOPS (キロフロップス、 10^3 flops)、千回/秒
- MFLOPS (メガフロップス、 10^6 flops)、100万回/秒
- GFLOPS (ギガフロップス、 10^9 flops)、10億回/秒
- TFLOPS (テラフロップス、 10^{12} flops)、1兆回/秒
- PFLOPS (ペタフロップス、 10^{15} flops)、1000兆回/秒
- EFLOPS (エクサフロップス、 10^{18} flops)、100京回/秒

スーパーコンピュータとは？

• スパコン性能世界一はどうやって決めているのか？

TOP500 (www.top500.org)

Linpackベンチマークプログラム(性能評価の目的で開発されたプログラム)の結果で比較

Linpackベンチマークプログラム:

連立一次方程式を解いた時に1秒間に何回浮動小数点演算できたかを評価。

連立一次方程式の例:

$$2x_1 + x_2 + x_3 = 7$$

$$x_1 + 2x_2 - x_3 = 2$$

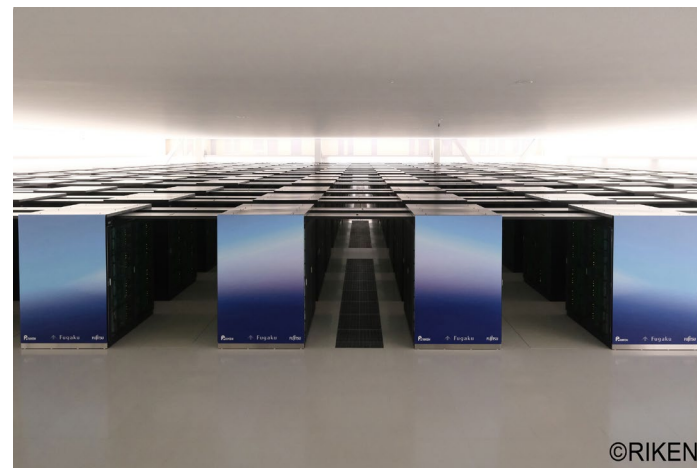
$$x_1 + x_2 + 4x_3 = 15$$

「富岳」は1秒間に442 ペタ回 (44.2京回) の浮動小数点演算を実行できた。

2022年製ノートPCの200万倍以上の性能。

2022年製ノートPCは202 ギガ回の浮動小数点演算。

スーパーコンピュータ「富岳」
(2020年6月～2021年11月 世界1位 (TOP500))



- FLOPS、1回/秒
- KFLOPS (キロフロップス、 10^3 flops)、千回/秒
- MFLOPS (メガフロップス、 10^6 flops)、100万回/秒
- GFLOPS (ギガフロップス、 10^9 flops)、10億回/秒
- TFLOPS (テラフロップス、 10^{12} flops)、1兆回/秒
- PFLOPS (ペタフロップス、 10^{15} flops)、1000兆回/秒
- EFLOPS (エクサフロップス、 10^{18} flops)、100京回/秒

スーパーコンピュータとは？

• スパコン性能世界一はどうやって決めているのか？

TOP500 (www.top500.org)

Linpackベンチマークプログラム(性能評価の目的で開発されたプログラム)の結果で比較

Linpackベンチマークプログラム:

連立一次方程式を解いた時に1秒間に何回浮動小数点演算できたかを評価。

連立一次方程式の例:

$$2x_1 + x_2 + x_3 = 7$$

$$x_1 + 2x_2 - x_3 = 2$$

$$x_1 + x_2 + 4x_3 = 15$$

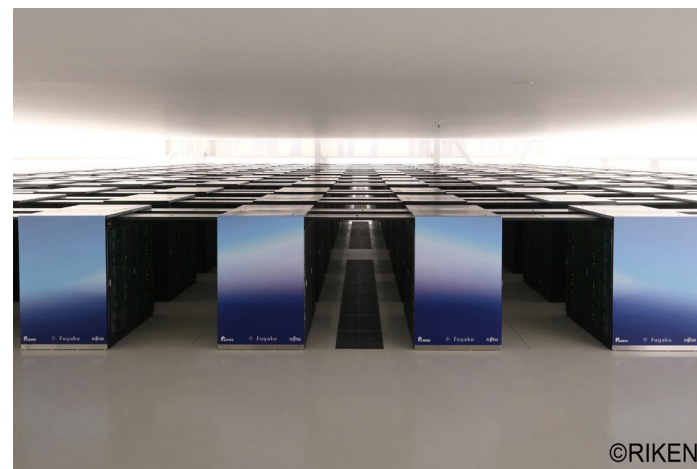
「富岳」は1秒間に442 ペタ回 (44.2京回) の浮動小数点演算を実行できた。

2022年製ノートPCの200万倍以上の性能。

2022年製ノートPCは202 ギガ回の浮動小数点演算。

性能評価指標は他にもあり、HPCG, Graph500では現在でも世界1位

スーパーコンピュータ「富岳」
(2020年6月～2021年11月 世界1位 (TOP500))



- FLOPS、1回/秒
- KFLOPS (キロフロップス、 10^3 flops)、千回/秒
- MFLOPS (メガフロップス、 10^6 flops)、100万回/秒
- GFLOPS (ギガフロップス、 10^9 flops)、10億回/秒
- TFLOPS (テラフロップス、 10^{12} flops)、1兆回/秒
- PFLOPS (ペタフロップス、 10^{15} flops)、1000兆回/秒
- EFLOPS (エクサフロップス、 10^{18} flops)、100京回/秒

気象 数値予報シミュレーション

リチャードソンの夢

出典：気象庁

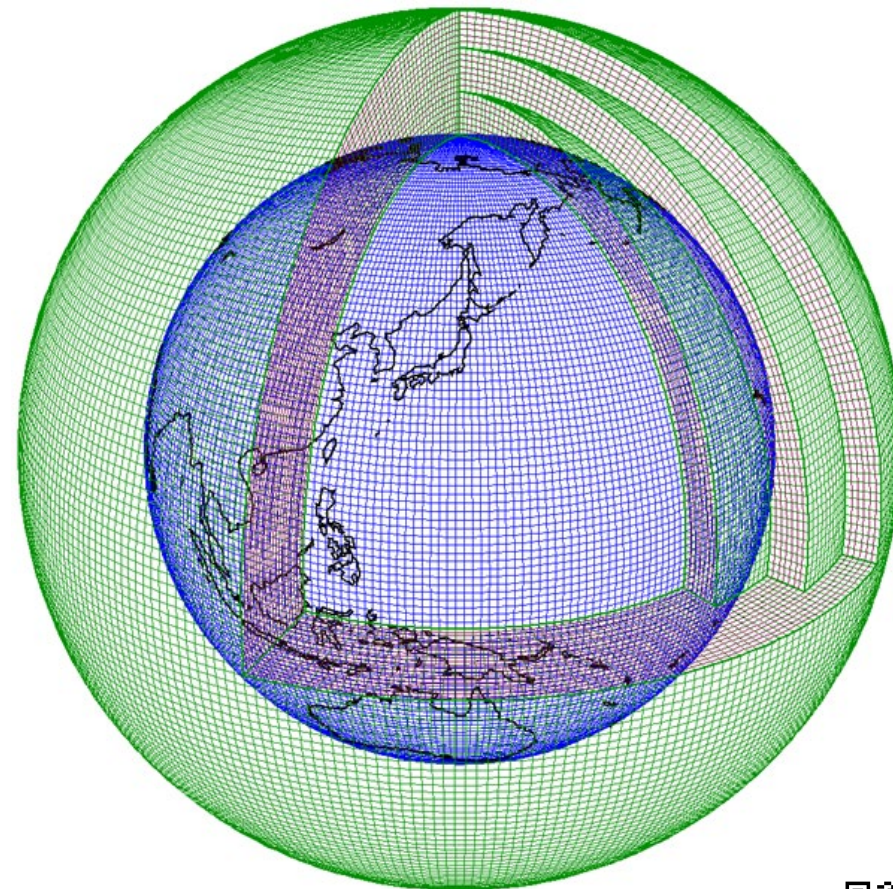
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-2.html>



最初に数値シミュレーションによる予報実験を試みたのはイギリスのリチャードソンです。コンピュータの実用化以前の1920年頃、**およそ水平200km間隔で鉛直5層の格子を用い、6時間予報を1か月以上かけて手計算で行いました。**残念ながら、用いた数値計算に難点があり、非現実的な気圧変化を予測してしまい、野心的な試みは失敗に終わりました。しかし、リチャードソンはその著書の中で、「6万4千人が大きなホールに集まり一人の指揮者の元で整然と計算を行えば、実際の時間の進行と同程度の速さで予測計算を実行できる」と提案しました。数値予報の将来を信じたこの言葉は、「リチャードソンの夢」として有名です。



各格子点に温度や湿度、風速、気圧などのデータを保存し計算する



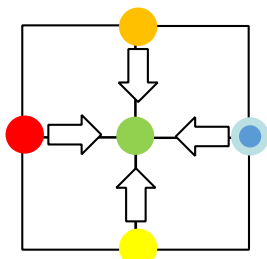
画像出典：気象庁

<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-1.html>

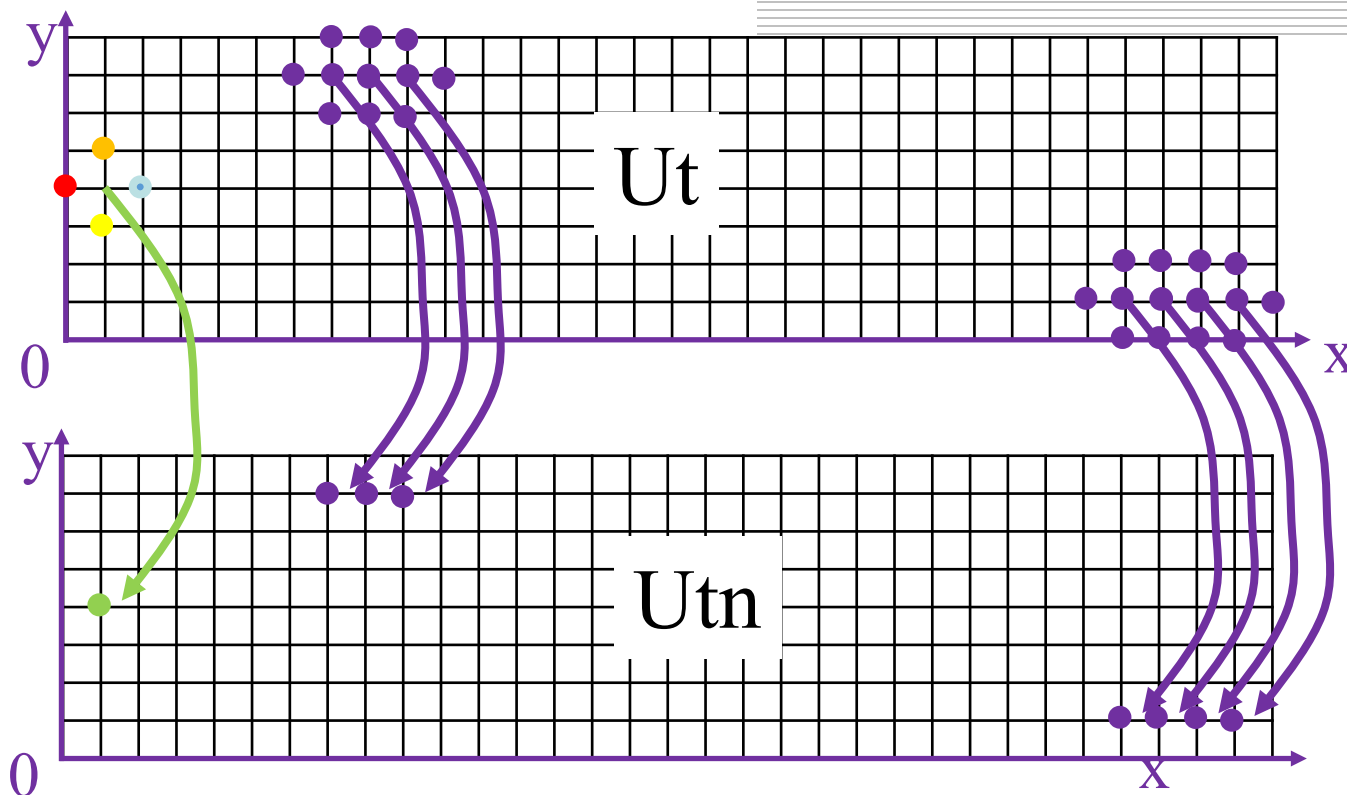


数値計算例

気象数値予報シミュレーションでは球面を格子化しますが、ここでは数値計算例として2次元平面を考えます。



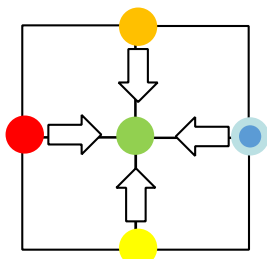
● の次の時刻の値は
● と ● と ● と ● と ●
の5点の値から計算する



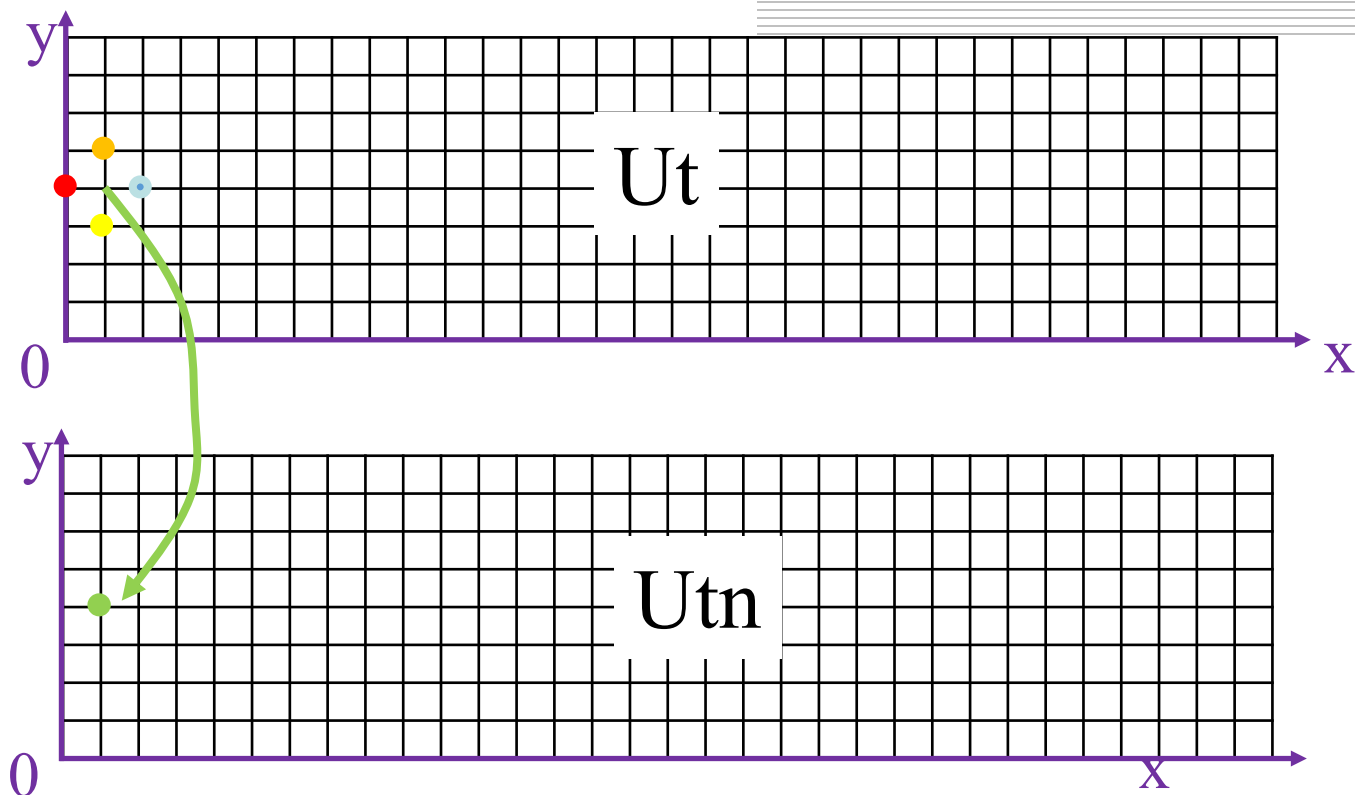
$$U_{tn}[x, y] = \text{Calc} (U_t[x, y], U_t[x - 1, y] + U_t[x + 1, y] + U_t[x, y - 1] + U_t[x, y + 1])$$

数値計算例

気象数値予報シミュレーションでは球面を格子化しますが、ここでは数値計算例として2次元平面を考えます。



● 次の時刻の値は
● と ● と ● と ● と ●
の5点の値から計算する



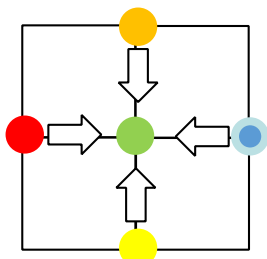
$$U_{tn}[x, y] = \text{Calc} (U_t[x, y], U_t[x - 1, y] + U_t[x + 1, y] + U_t[x, y - 1] + U_t[x, y + 1])$$

UtからUtnを計算したら、

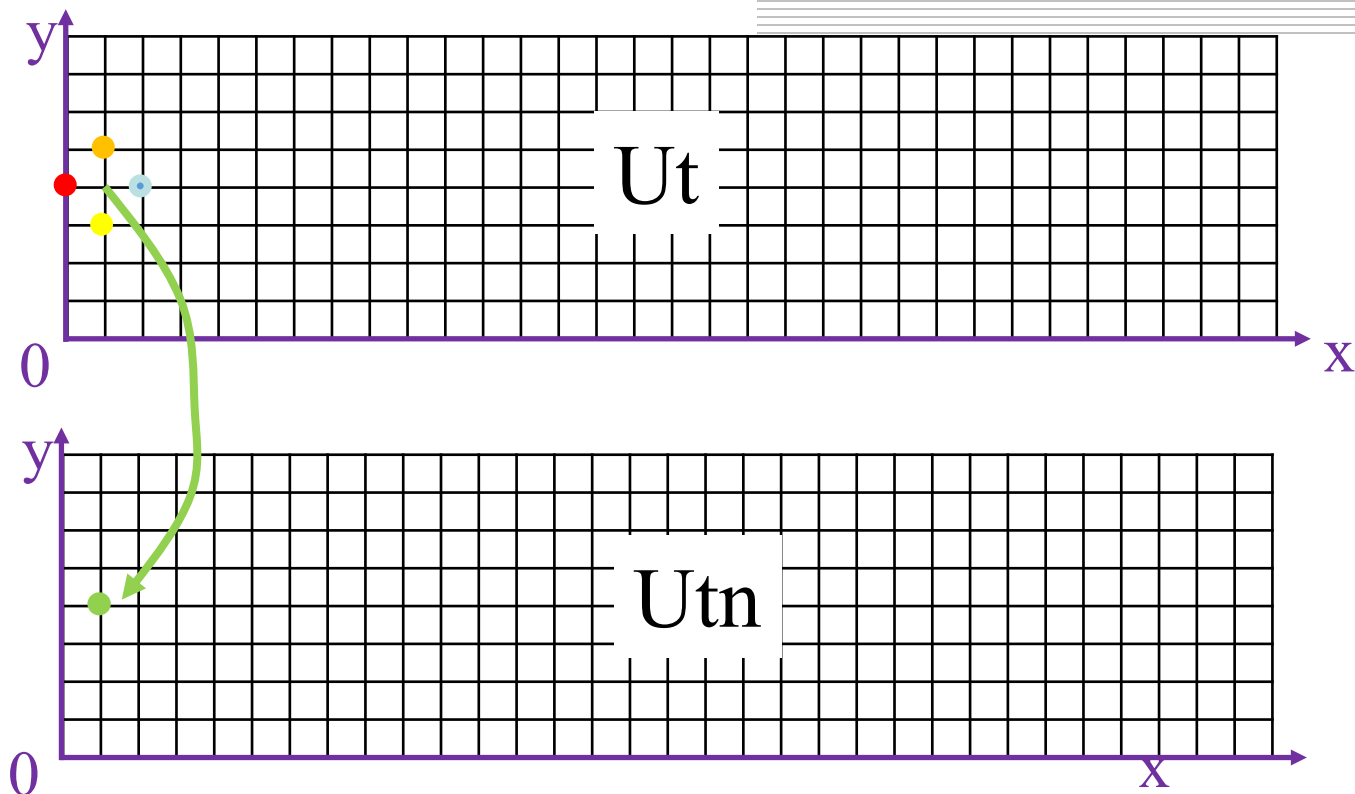
- 次の時刻の計算は、
 - Utnの結果を使って次の時刻のUtnを計算する
- これを繰り返す

数値計算例

気象数値予報シミュレーションでは球面を格子化しますが、ここでは数値計算例として2次元平面を考えます。



● 次の時刻の値は
● と ● と ● と ● と ●
の5点の値から計算する



$$U_{tn}[x, y] = \text{Calc} (U_t[x, y], U_t[x - 1, y] + U_t[x + 1, y] + U_t[x, y - 1] + U_t[x, y + 1])$$

UtからUtnを計算したら、

- 次の時刻の計算は、
 - Utnの結果を使って次の時刻のUtnを計算する
- これを繰り返す

それぞれの格子点の計算は独立して計算できる

最近のCPUと並列計算

スマホ

Apple製iphone14のCPU



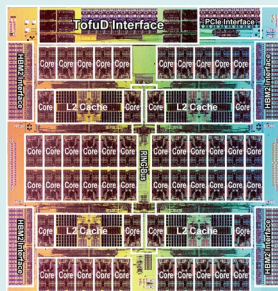
CPUコア (2+4) + GPU (5) + Neural Engine (16)

出典: Wikipedia

https://ja.wikipedia.org/wiki/Apple_A15

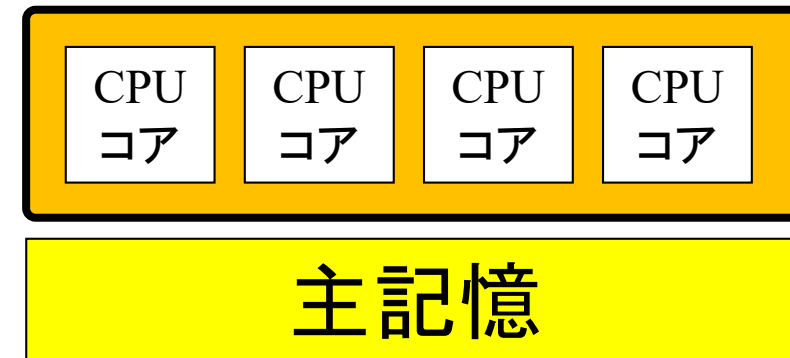
スパコン

スパコン「富岳」のCPU



計算用CPUコア x 48

画像提供: 富士通



CPUコア: 計算処理をする中核部。
コアと呼ばれている

最近のCPUと並列計算

スマホ

Apple製iphone14のCPU



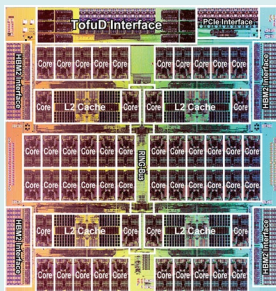
CPUコア (2+4) + GPU (5) + Neural Engine (16)

出典: Wikipedia

https://ja.wikipedia.org/wiki/Apple_A15

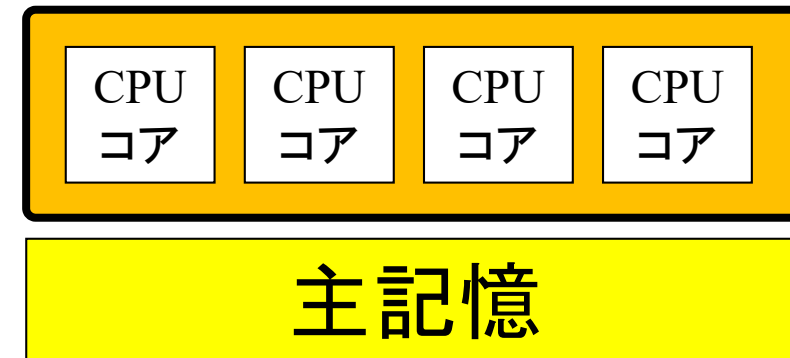
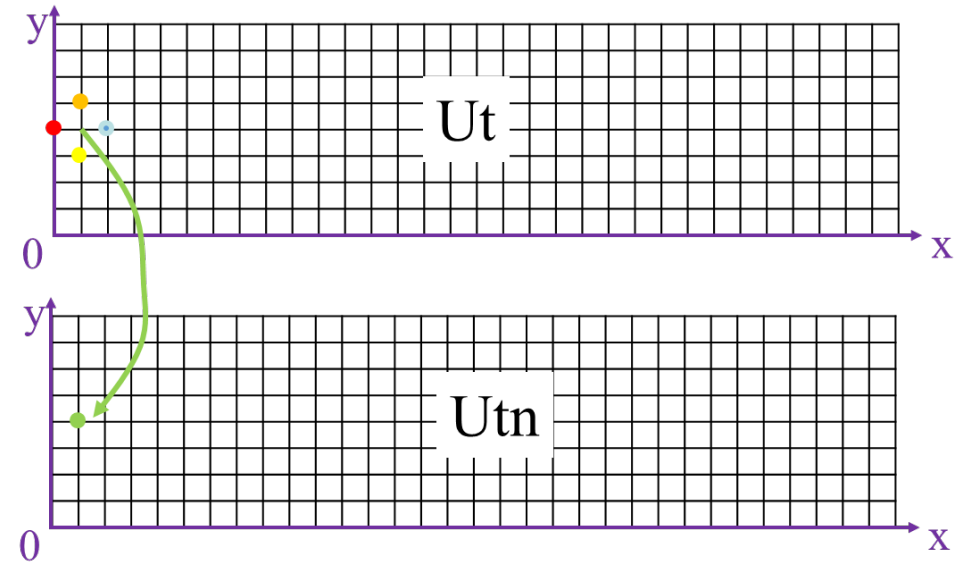
スパコン

スパコン「富岳」のCPU



計算用CPUコア x 48

画像提供: 富士通



CPUコア: 計算処理をする中核部。
コアと呼ばれている

最近のCPUと並列計算

スマホ

Apple製iphone14のCPU



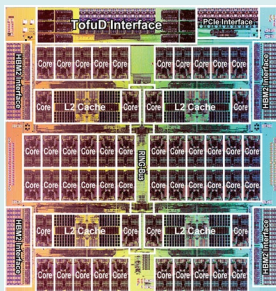
CPUコア (2+4) + GPU (5) + Neural Engine (16)

出典: Wikipedia

https://ja.wikipedia.org/wiki/Apple_A15

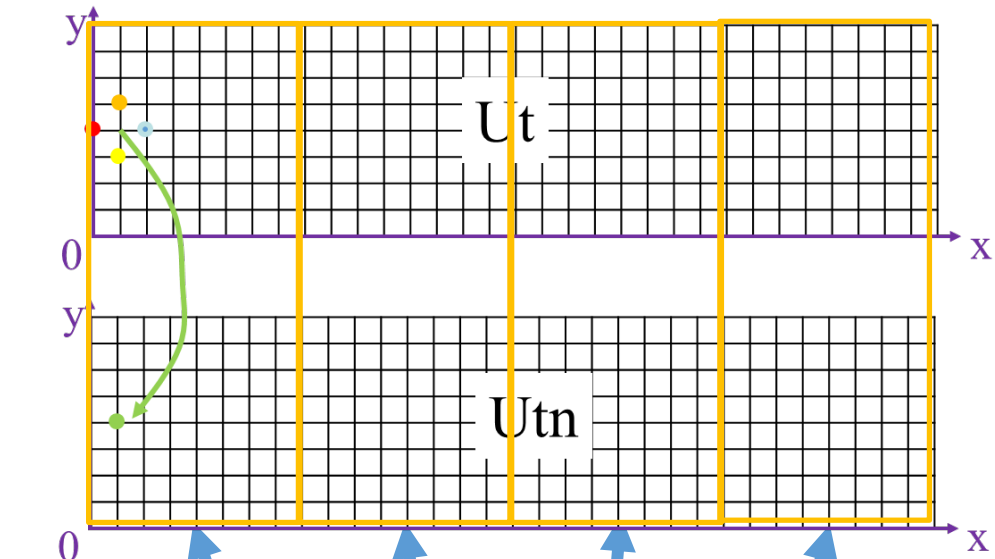
スパコン

スパコン「富岳」のCPU

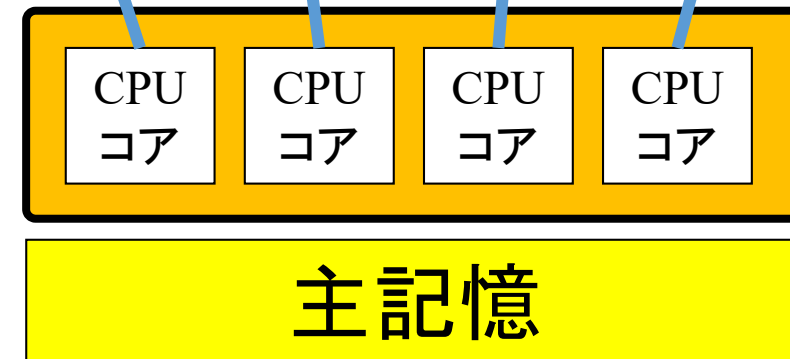


計算用CPUコア x 48

画像提供: 富士通



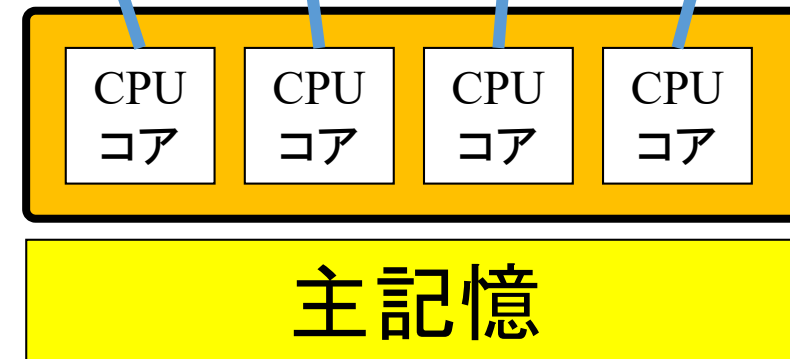
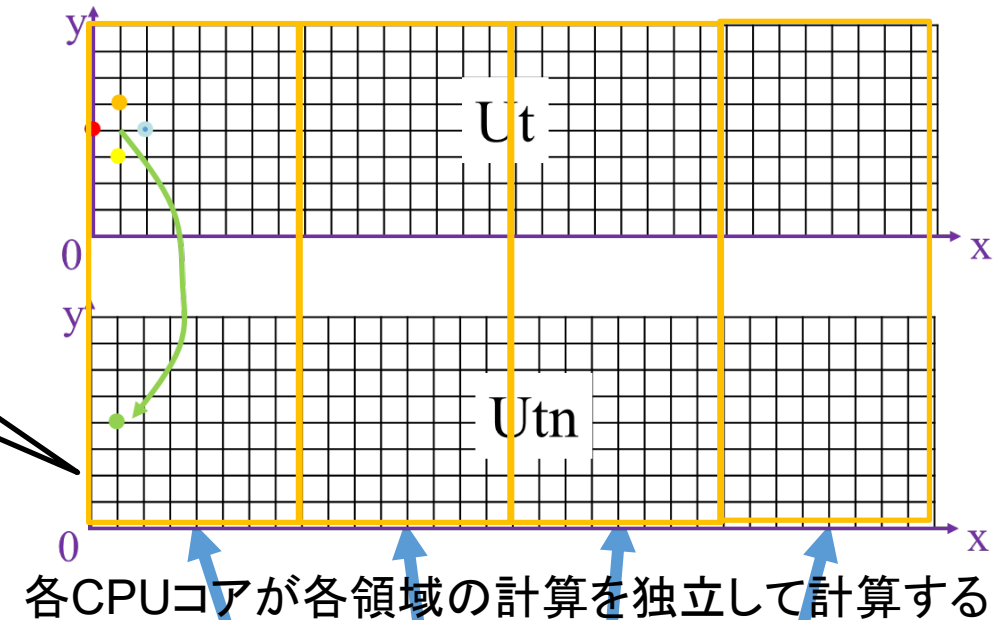
各CPUコアが各領域の計算を独立して計算する



CPUコア: 計算処理をする中核部。
コアと呼ばれている

最近のCPUと並列計算

4つのCPUコアで計算すると1つのCPUコアを使うのに比べて最大1/4の実行時間で計算が終了する。

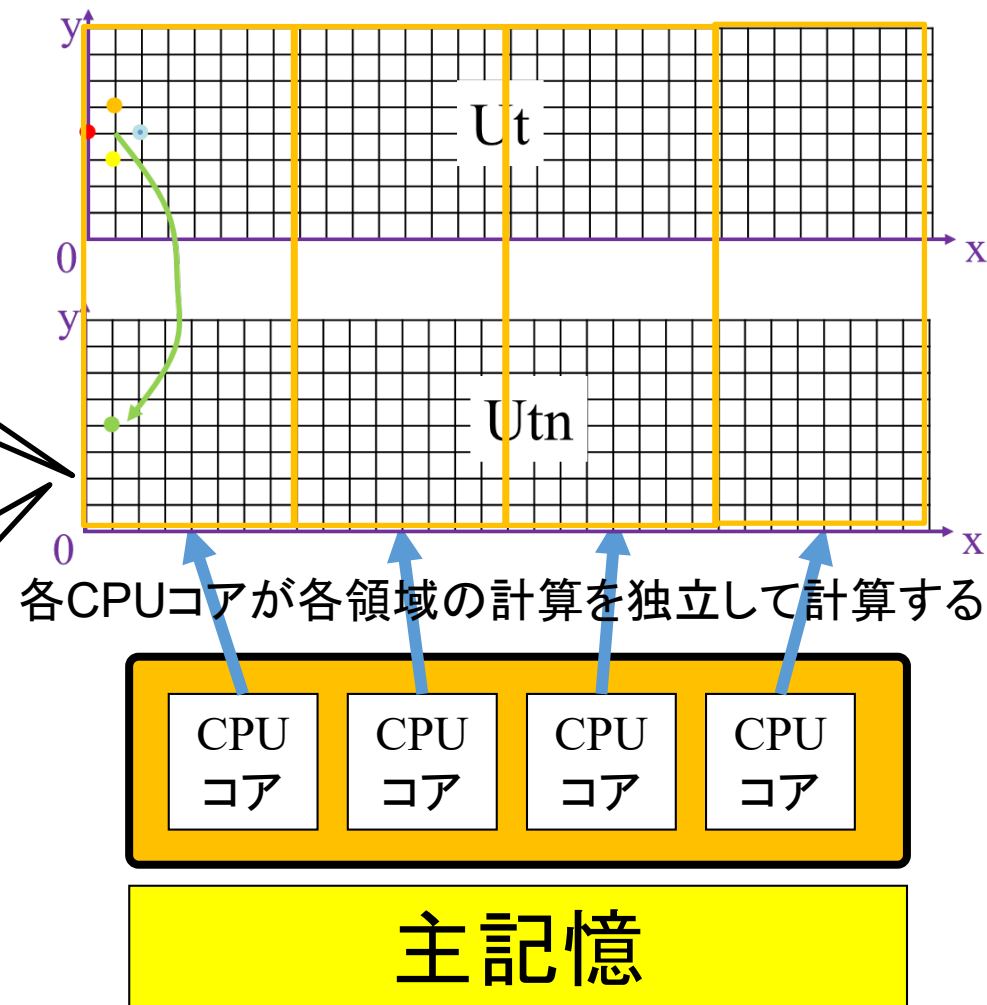


CPUコア: 計算処理をする中核部。
コアと呼ばれている

最近のCPUと並列計算

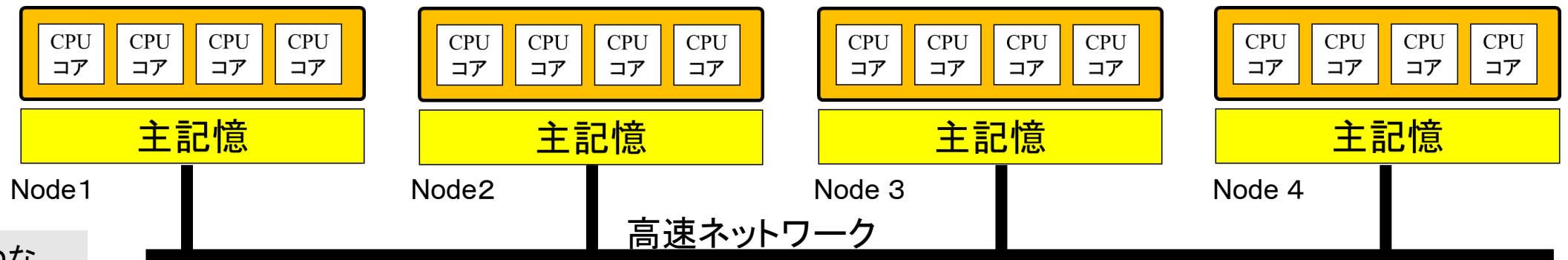
4つのCPUコアで計算すると1つのCPUコアを使うのに比べて最大1/4の実行時間で計算が終了する。

4つの計算処理が同時に進んでいます。これを
並列計算
と言います。このようにプログラムを並列に処理するように修正することを
並列化
と言います



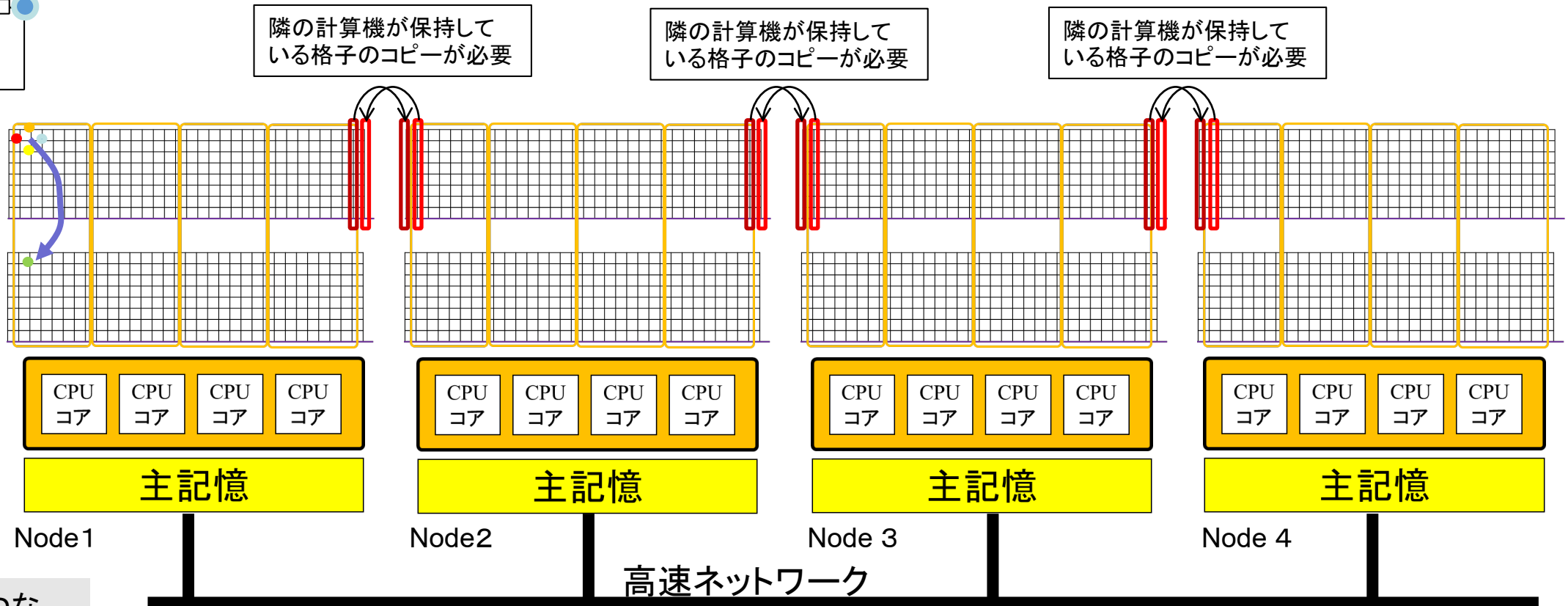
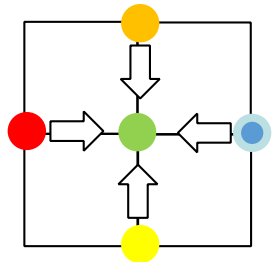
CPUコア: 計算処理をする中核部。
コアと呼ばれている

沢山の計算機をつなげてさらに高速化



ネットワークにつながって計算するための計算機を計算ノードと呼びます

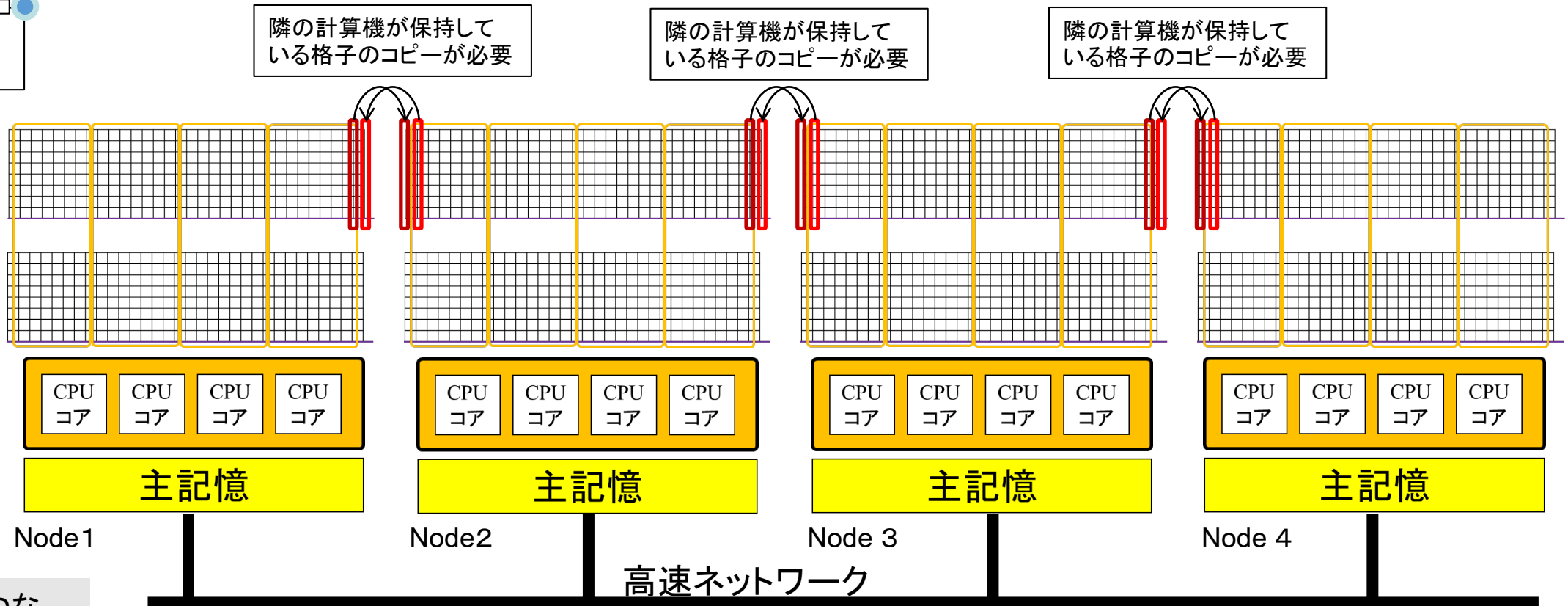
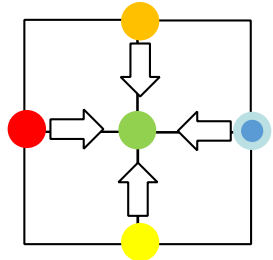
さらに沢山の計算機をつなげて高速化



ネットワークにつながって計算するための計算機を計算ノードと呼びます

- 各計算ノードで計算
- 計算結果を他の計算機に渡す必要がある
 - 高速ネットワークを使って通信するためのソフトウェアが必要

さらに沢山の計算機をつなげて高速化



ネットワークにつながって計算するための計算機を計算ノードと呼びます

- 各計算ノードで計算
- 計算結果を他の計算機に渡す必要がある
 - 高速ネットワークを使って通信するためのソフトウェアが必要

富岳を構成するソフトウェア群の一部

アプリケーションを記述するためのソフトウェア

プログラミング言語	Fortran, C, C++, Java
	Python, Ruby
並列化のためのAPI・ プログラミング言語 (API: Application Programming Interface)	OpenMP
	XcalableMP (理化学研究所)
	FDPS (理化学研究所)
通信ライブラリ (通信処理ソフトウェア)	MPI
科学技術計算 ライブラリ	BLAS, LAPACK, ScaLAPACK
	SSL II (富士通)
	EigenExa, Batched BLAS, 2.5D-PDGEMM (理化学研究所)

アプリケーションを実行するためのソフトウェア

OS	Linux (Red Hat Enterprise Linux 8) McKernel
ファイルシステム	FEFS (Lustre-based File System)
ジョブ管理システム	富士通Technical Computing Suite

以下URLから抜粋

<https://www.r-ccs.riken.jp/fugaku/system/>



富岳を構成するソフトウェア群の一部

アプリケーションを記述するためのソフトウェア

プログラミング言語	Fortran, C, C++, Java
	Python, Ruby
並列化のためのAPI・ プログラミング言語 (API: Application Programming Interface)	OpenMP
	XcalableMP (理化学研究所)
	FDPS (理化学研究所)
通信ライブラリ (通信処理ソフトウェア)	MPI
科学技術計算 ライブラリ	BLAS, LAPACK, ScaLAPACK
	SSL II (富士通)
	EigenExa, Batched BLAS, 2.5D-PDGEMM (理化学研究所)

アプリケーションを実行するためのソフトウェア

OS	Linux (Red Hat Enterprise Linux 8) McKernel
ファイルシステム	FEFS (Lustre-based File System)
ジョブ管理システム	富士通Technical Computing Suite

以下URLから抜粋

<https://www.r-ccs.riken.jp/fugaku/system/>

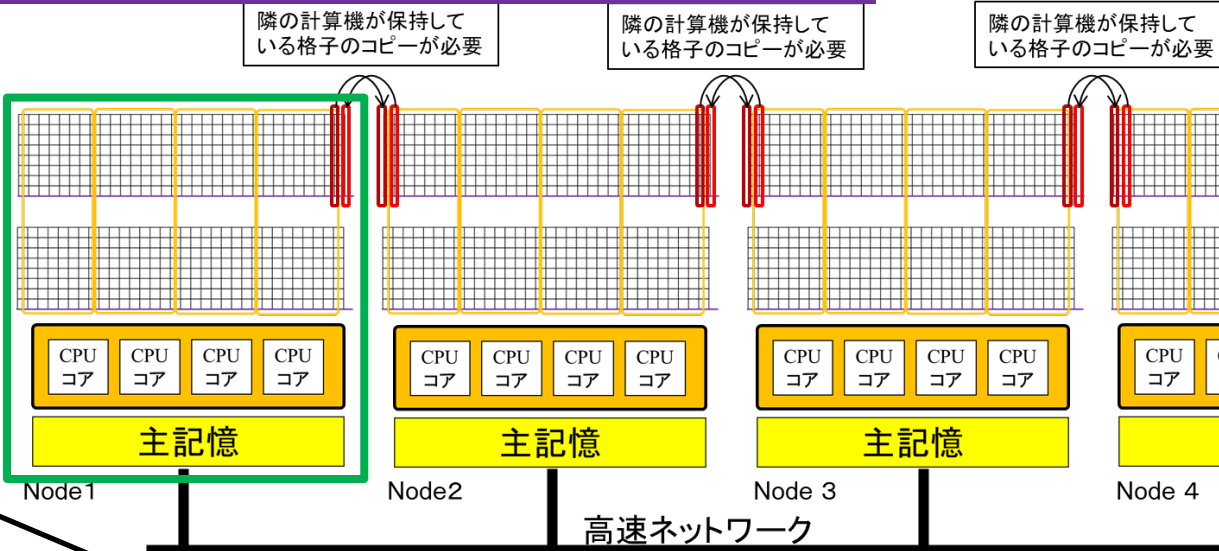


富岳を構成するソフトウェア群の一部

計算ノード上でアプリケーションの並列化を支援するソフトウェア

アプリケーションを記述するためのソフトウェア

プログラミング言語	Fortran, C, C++, Java
	Python, Ruby
並列化のためのAPI・プログラミング言語 (API: Application Programming Interface)	OpenMP
	XcalableMP (理化学研究所)
	FDPS (理化学研究所)
通信ライブラリ (通信処理ソフトウェア)	MPI
科学技術計算 ライブラリ	BLAS, LAPACK, ScaLAPACK
	SSL II (富士通)
	EigenExa, Batched BLAS, 2.5D-PDGEMM (理化学研究所)



OpenMP
計算機のCPUコアを使って並列計算を容易に書くためのAPI

API: Application Programing Interface
プログラムを書く時のインターフェイス

以下URLから抜粋
<https://www.r-ccs.riken.jp/fugaku/system/>



富岳を構成するソフトウェア群の一部

アプリケーションを記述するためのソフトウェア

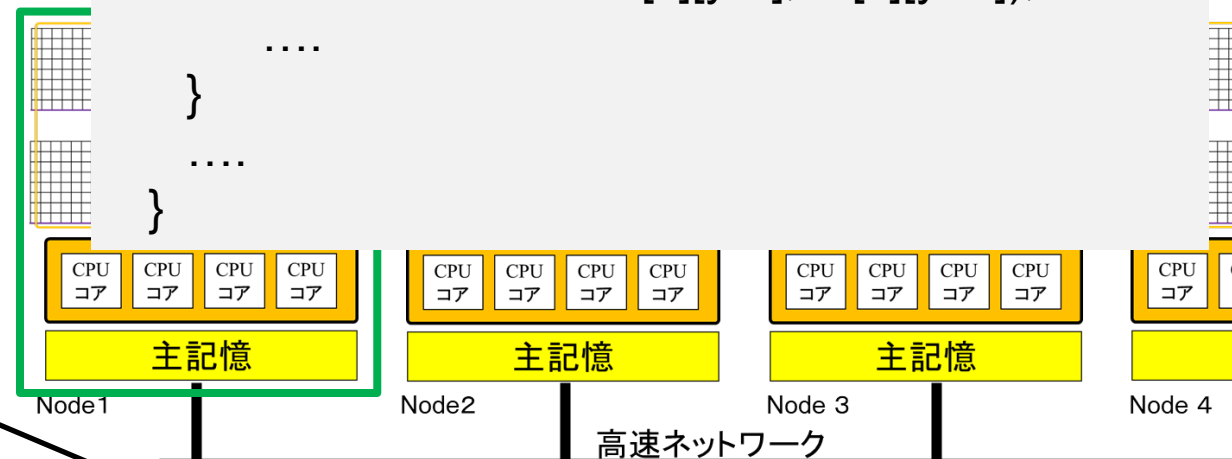
プログラミング言語	Fortran, C, C++, Java
	Python, Ruby
並列化のためのAPI・ プログラミング言語 (API: Application Programming Interface)	OpenMP
	XcalableMP (理化学研究所)
	FDPS (理化学研究所)
通信ライブラリ (通信処理ソフトウェア)	MPI
科学技術計算 ライブラリ	BLAS, LAPACK, ScaLAPACK
	SSL II (富士通)
	EigenExa, Batched BLAS, 2.5D-PDGEMM (理化学研究所)

以下URLから抜粋

<https://www.r-ccs.riken.jp/fugaku/system/>



```
for (x = 1; x < MAX_X; x++) {  
  for (y = 1; y < MAX_Y; y++) {  
    utn[x][y] = Calc(ut[x][y], ut[x-1][y], ut[x+1][y],  
                     ut[x][y-1], ut[x][y+1]);  
  }  
  ....  
}
```



OpenMP
計算機のCPUコアを使って並列計
算を容易に書くためのAPI

API: Application Programing Interface
プログラムを書く時のインターフェイス

富岳を構成するソフトウェア群の一部

アプリケーションを記述するためのソフトウェア

プログラミング言語	Fortran, C, C++, Java
	Python, Ruby
並列化のためのAPI・ プログラミング言語 (API: Application Programming Interface)	OpenMP
	XcalableMP (理化学研究所)
	FDPS (理化学研究所)
通信ライブラリ (通信処理ソフトウェア)	MPI
科学技術計算 ライブラリ	BLAS, LAPACK, ScaLAPACK
	SSL II (富士通)
	EigenExa, Batched BLAS, 2.5D-PDGEMM (理化学研究所)

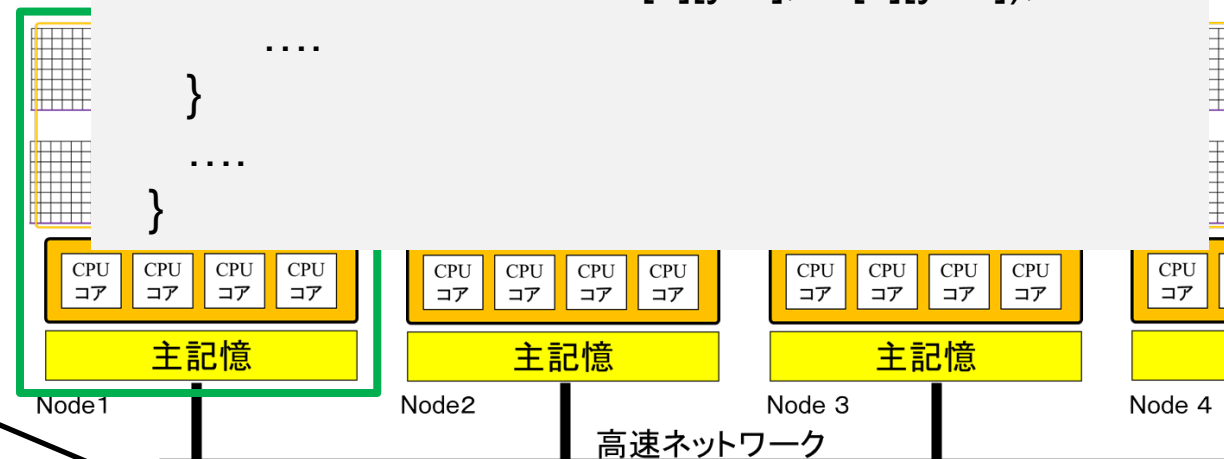
以下URLから抜粋

<https://www.r-ccs.riken.jp/fugaku/system/>



```
#pragma omp parallel for private(x, y)
```

```
for (x = 1; x < MAX_X; x++) {  
    for (y = 1; y < MAX_Y; y++) {  
        utn[x][y] = Calc(ut[x][y], ut[x-1][y], ut[x+1][y],  
                        ut[x][y-1], ut[x][y+1]);  
    }  
}
```



OpenMP
計算機のCPUコアを使って並列計算を容易に書くためのAPI

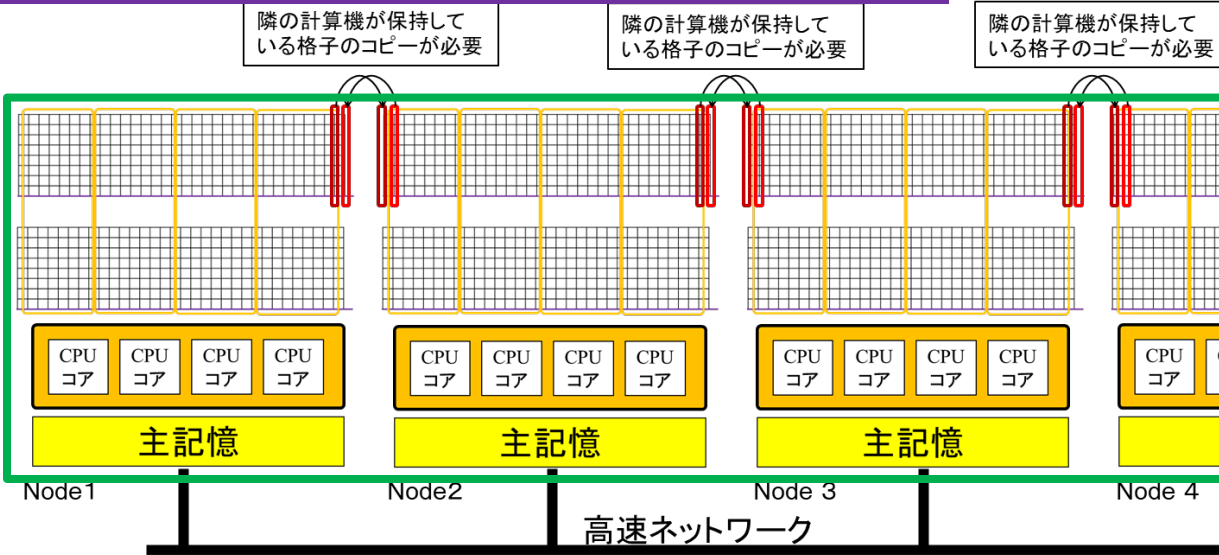
API: Application Programming Interface
プログラムを書く時のインターフェイス

富岳を構成するソフトウェア群の一部

計算ノード間で高速にデータを転送するためのソフトウェア

アプリケーションを記述するためのソフトウェア

プログラミング言語	Fortran, C, C++, Java
	Python, Ruby
並列化のためのAPI・プログラミング言語 (API: Application Programming Interface)	OpenMP
	XcalableMP (理化学研究所)
	FDPS (理化学研究所)
通信ライブラリ (通信処理ソフトウェア)	MPI
科学技術計算ライブラリ	BLAS, LAPACK, ScaLAPACK
	SSL II (富士通)
	EigenExa, Batched BLAS, 2.5D-PDGEMM (理化学研究所)



以下URLから抜粋

<https://www.r-ccs.riken.jp/fugaku/system/>

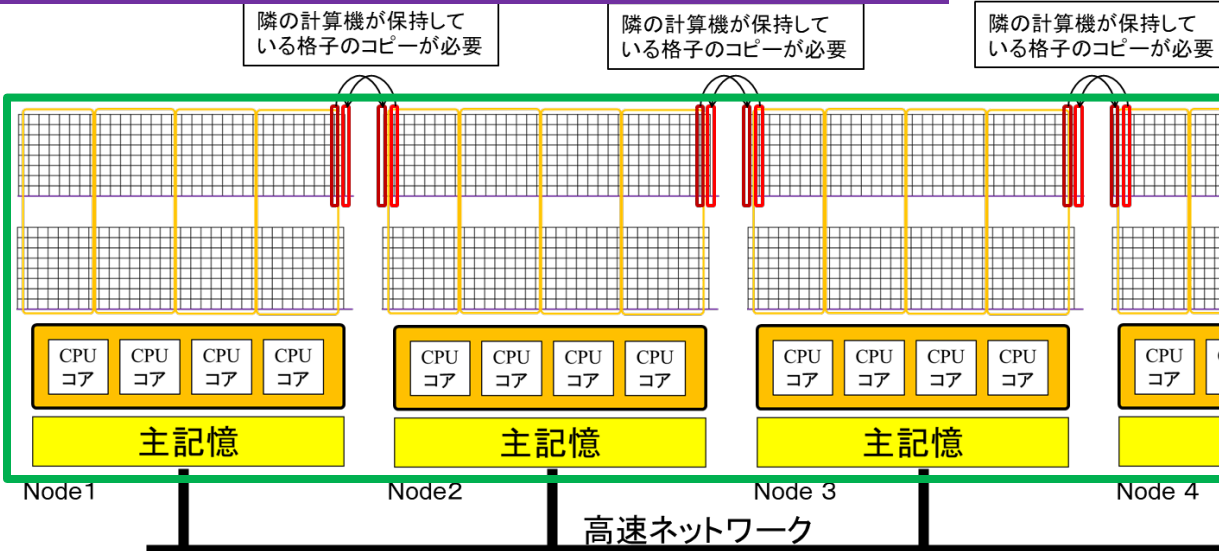


富岳を構成するソフトウェア群の一部

計算ノード間で高速にデータを転送するためのソフトウェア

アプリケーションを記述するためのソフトウェア

プログラミング言語	Fortran, C, C++, Java
	Python, Ruby
並列化のためのAPI・プログラミング言語 (API: Application Programming Interface)	OpenMP
	XcalableMP (理化学研究所)
	FDPS (理化学研究所)
通信ライブラリ (通信処理ソフトウェア)	MPI
科学技術計算ライブラリ	BLAS, LAPACK, ScaLAPACK
	SSL II (富士通)
	EigenExa, Batched BLAS, 2.5D-PDGEMM (理化学研究所)



MPI
高速ネットワークを使ってデータ交換する通信ソフトウェア

以下URLから抜粋
<https://www.r-ccs.riken.jp/fugaku/system/>



富岳を構成するソフトウェア群の一部

アプリケーションを記述するためのソフトウェア

プログラミング言語	Fortran, C, C++, Java
	Python, Ruby
並列化のためのAPI・ プログラミング言語 (API: Application Programming Interface)	OpenMP
	XcalableMP (理化学研究所)
	FDPS (理化学研究所)
通信ライブラリ (通信処理ソフトウェア)	MPI
科学技術計算 ライブラリ	BLAS, LAPACK, ScaLAPACK
	SSL II (富士通)
	EigenExa, Batched BLAS, 2.5D-PDGEMM (理化学研究所)

並列化は難しい。簡単にアプリケーションが書けるようにしたい

以下URLから抜粋

<https://www.r-ccs.riken.jp/fugaku/system/>



富岳を構成するソフトウェア群の一部

アプリケーションを記述するためのソフトウェア

プログラミング言語	Fortran, C, C++, Java
	Python, Ruby
並列化のためのAPI・ プログラミング言語 (API: Application Programming Interface)	OpenMP
	XcalableMP (理化学研究所)
	FDPS (理化学研究所)
通信ライブラリ (通信処理ソフトウェア)	MPI
科学技術計算 ライブラリ	BLAS, LAPACK, ScaLAPACK
	SSL II (富士通)
	EigenExa, Batched BLAS, 2.5D-PDGEMM (理化学研究所)

並列化は大変。簡単にアプリケーションが書けるようにしたい

XcalableMP, FDPS
並列化のための手法を知らなくても
アプリケーションプログラムが記述で
きるプログラミング言語・API

以下URLから抜粋

<https://www.r-ccs.riken.jp/fugaku/system/>



富岳を構成するソフトウェア群の一部

アプリケーションを記述するためのソフトウェア

プログラミング言語	Fortran, C, C++, Java
	Python, Ruby
並列化のためのAPI・ プログラミング言語 (API: Application Programming Interface)	OpenMP
	XcalableMP (理化学研究所)
	FDPS (理化学研究所)
通信ライブラリ (通信処理ソフトウェア)	MPI
科学技術計算 ライブラリ	BLAS, LAPACK, ScaLAPACK
	SSL II (富士通)
	EigenExa, Batched BLAS,
	2.5D-PDGEMM (理化学研究所)

ベクトル・行列計算など科学技術計算
で使われる計算は、専門家が作った
計算プログラムを使いたい

以下URLから抜粋

<https://www.r-ccs.riken.jp/fugaku/system/>



富岳を構成するソフトウェア群の一部

アプリケーションを記述するためのソフトウェア

プログラミング言語	Fortran, C, C++, Java
	Python, Ruby
並列化のためのAPI・ プログラミング言語 (API: Application Programming Interface)	OpenMP
	XcalableMP (理化学研究所)
	FDPS (理化学研究所)
通信ライブラリ (通信処理ソフトウェア)	MPI
科学技術計算 ライブラリ	BLAS, LAPACK, ScaLAPACK
	SSL II (富士通)
	EigenExa, Batched BLAS,
	2.5D-PDGEMM (理化学研究所)

ベクトル・行列計算など科学技術計算
で使われる計算は、専門家が作った
計算プログラムを使いたい

科学技術計算ライブラリ
科学技術計算で使われるアルゴリズム
を実現したソフトウェア

以下URLから抜粋

<https://www.r-ccs.riken.jp/fugaku/system/>

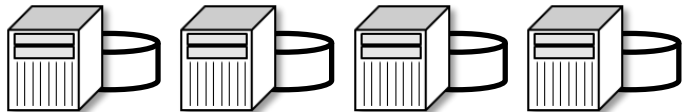
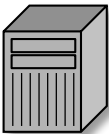
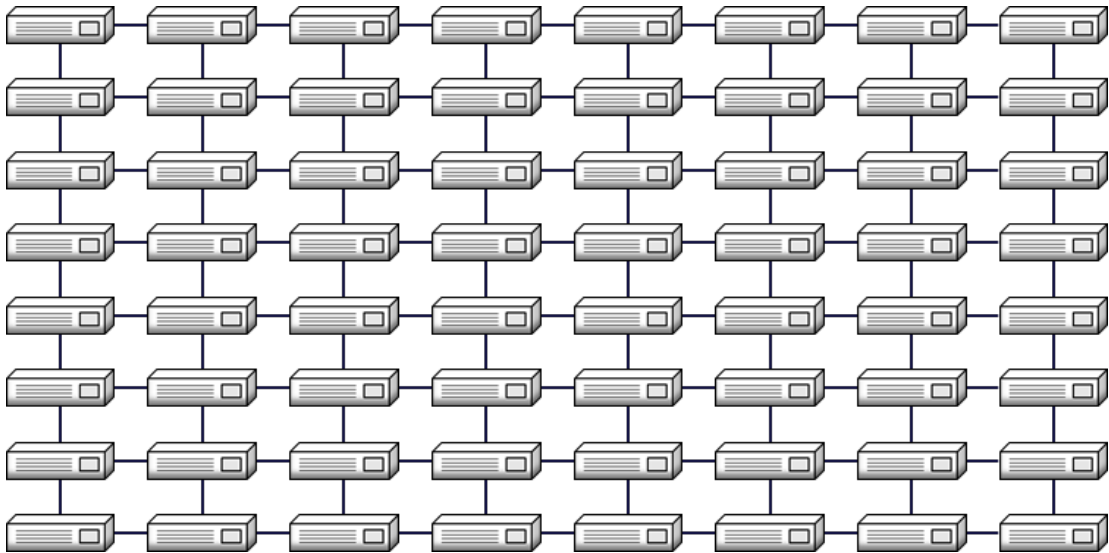


富岳を構成するソフトウェア群の一部

アプリケーションを実行するためのソフトウェア

OS	Linux (Red Hat Enterprise Linux 8) McKernel
ファイルシステム	FEFS (Lustre-based File System)
ジョブ管理システム	富士通Technical Computing Suite

「富岳」の計算ノード数:
158,976台



以下URLから抜粋
<https://www.r-ccs.riken.jp/fugaku/system/>



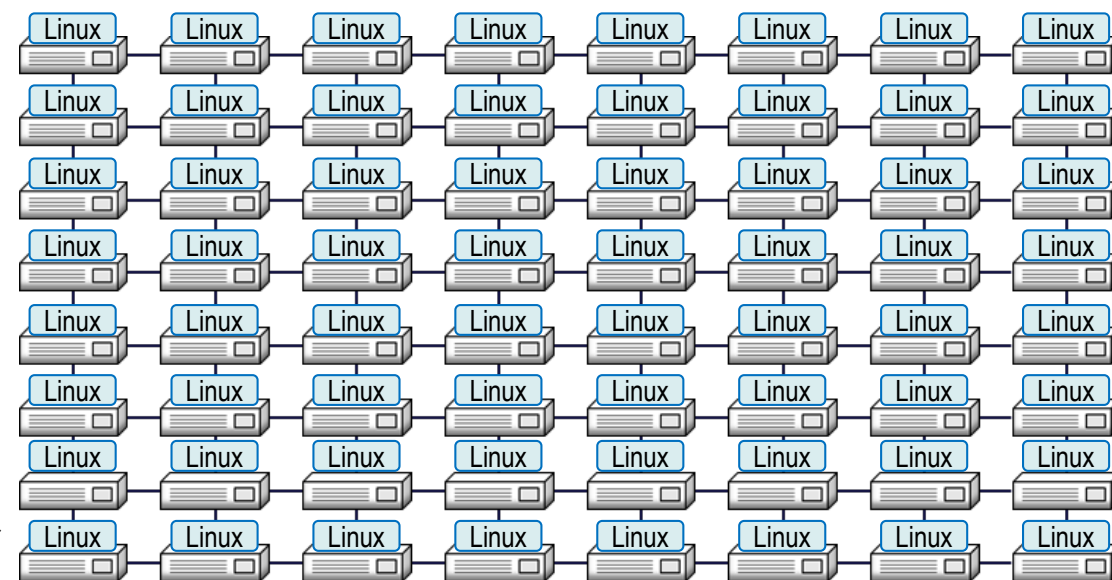
富岳を構成するソフトウェア群の一部

OS (オペレーティングシステム)
各計算ノード上でLinux OSが動作している。

アプリケーションを実行するためのソフトウェア

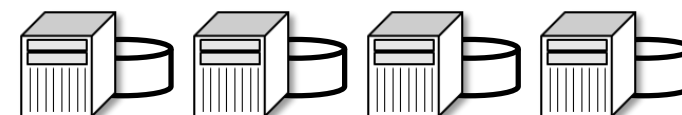
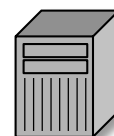
OS	Linux (Red Hat Enterprise Linux 8) McKernel
ファイルシステム	FEFS (Lustre-based File System)
ジョブ管理システム	富士通Technical Computing Suite

「富岳」の計算ノード数:
158,976台



以下URLから抜粋

<https://www.r-ccs.riken.jp/fugaku/system/>



富岳を構成するソフトウェア群の一部

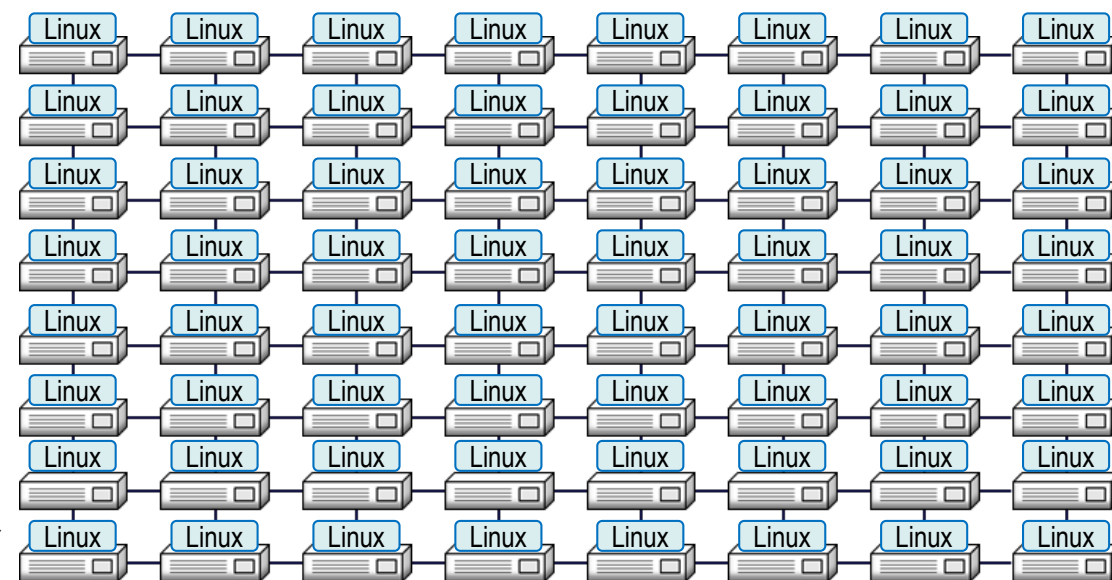
OS (オペレーティングシステム)
各計算ノード上でLinux OSが動作している。

アプリケーションやデータを保存する
ソフトウェア

アプリケーションを実行するためのソフトウェア

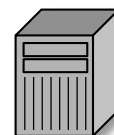
OS	Linux (Red Hat Enterprise Linux 8) McKernel
ファイルシステム	FEFS (Lustre-based File System)
ジョブ管理システム	富士通Technical Computing Suite

「富岳」の計算ノード数:
158,976台



以下URLから抜粋

<https://www.r-ccs.riken.jp/fugaku/system/>



富岳を構成するソフトウェア群の一部

OS (オペレーティングシステム)
各計算ノード上でLinux OSが動作している。

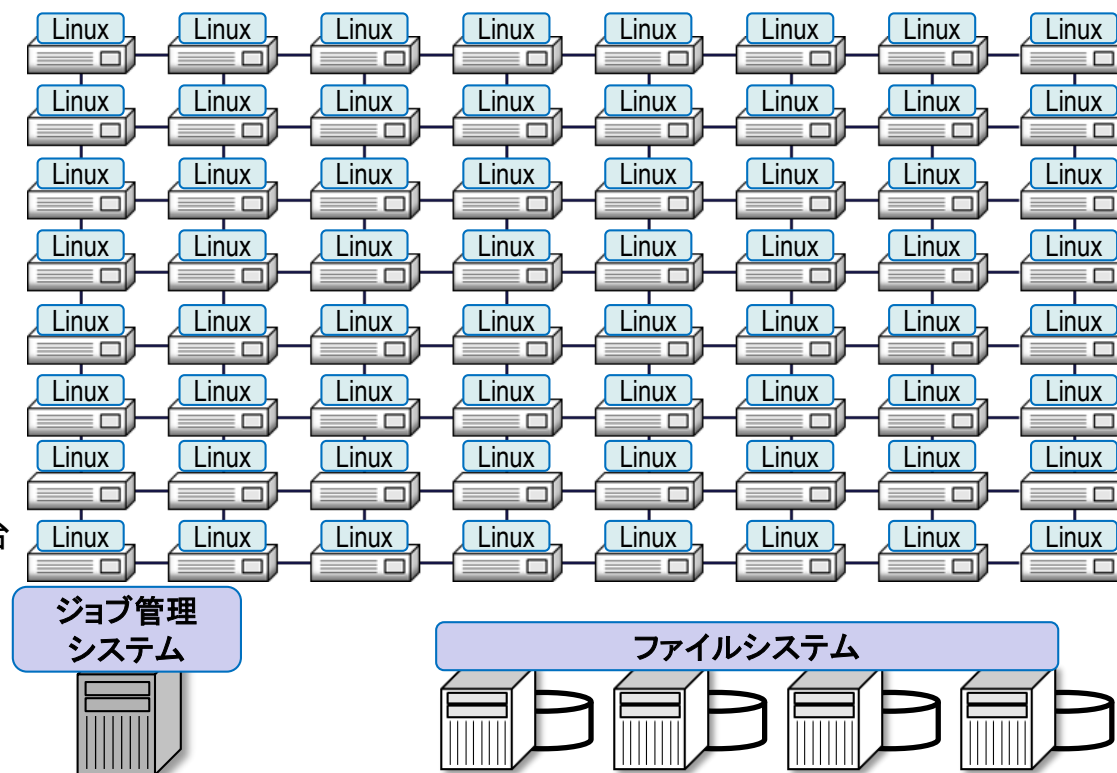
アプリケーションやデータを保存する
ソフトウェア

ジョブ管理システム
ユーザの要求する計算資源を割り
当てて実行するシステム

「富岳」の計算ノード数:
158,976台

アプリケーションを実行するためのソフトウェア

OS	Linux (Red Hat Enterprise Linux 8) McKernel
ファイルシステム	FEFS (Lustre-based File System)
ジョブ管理システム	富士通Technical Computing Suite



以下URLから抜粋

<https://www.r-ccs.riken.jp/fugaku/system/>



富岳を構成するソフトウェア群の一部

アプリケーションを記述するためのソフトウェア

プログラミング言語	Fortran, C, C++, Java
	Python, Ruby
並列化のためのAPI・ プログラミング言語 (API: Application Programming Interface)	OpenMP
	XcalableMP (理化学研究所)
	FDPS (理化学研究所)
通信ライブラリ (通信処理ソフトウェア)	MPI
科学技術計算 ライブラリ	BLAS, LAPACK, ScaLAPACK
	SSL II (富士通)
	EigenExa, Batched BLAS, 2.5D-PDGEMM (理化学研究所)

アプリケーションを実行するためのソフトウェア

OS	Linux (Red Hat Enterprise Linux 8) McKernel
ファイルシステム	FEFS (Lustre-based File System)
ジョブ管理システム	富士通Technical Computing Suite

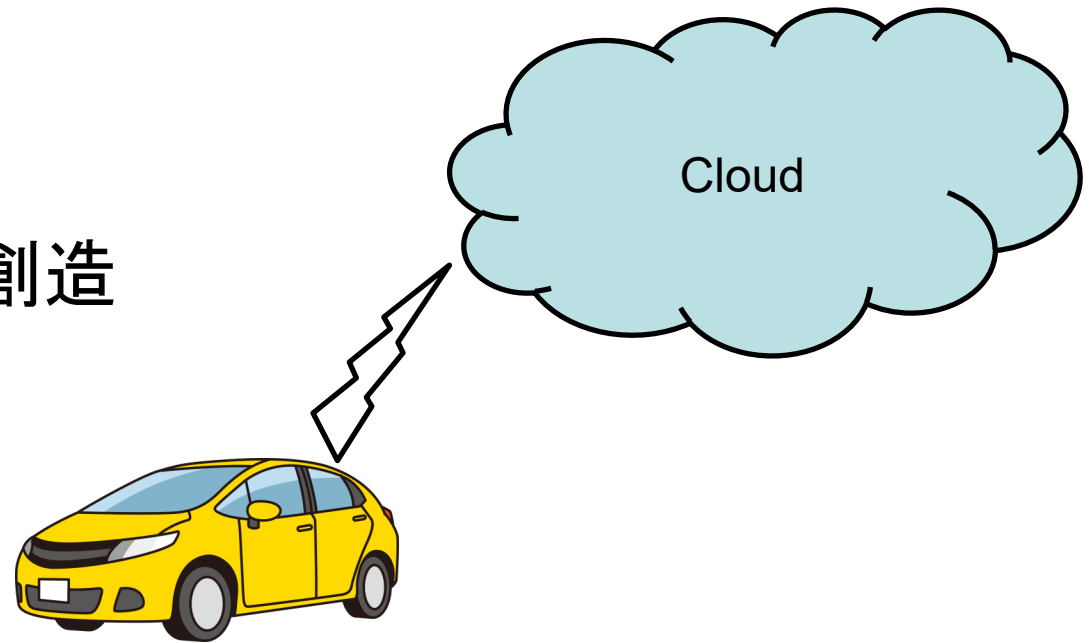
スパコンソフトウェアの研究

- プログラミングを容易にする
- 計算ノードの持つ能力を引き出す
- 計算ノード数に見合う性能を引き出す
- 高速なファイルの読み書きを実現する

以下URLから抜粋

<https://www.r-ccs.riken.jp/fugaku/system/>

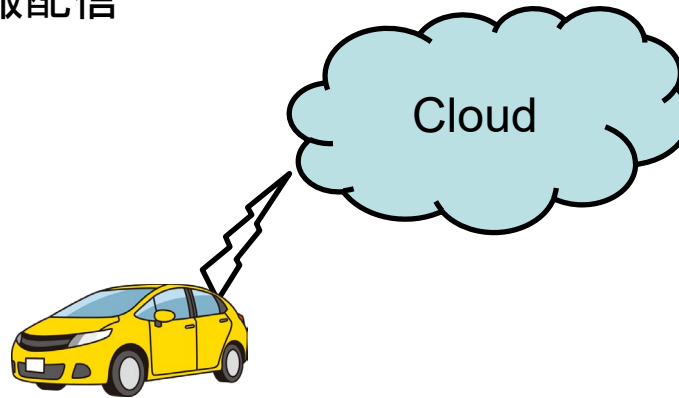
ソフトウェアによる新たな価値の創造



ソフトウェアによる新たな価値の創造

- ネットワーク接続 (Connected)

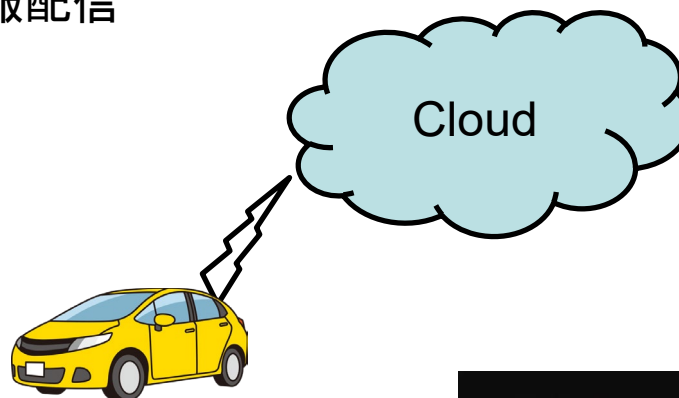
- ナビゲーション、施設・イベント情報配信
- 事故・トラブル対応
- 車両走行データ活用
- . . .



ソフトウェアによる新たな価値の創造

- ネットワーク接続 (Connected)

- ナビゲーション、施設・イベント情報配信
- 事故・トラブル対応
- 車両走行データ活用
- ……

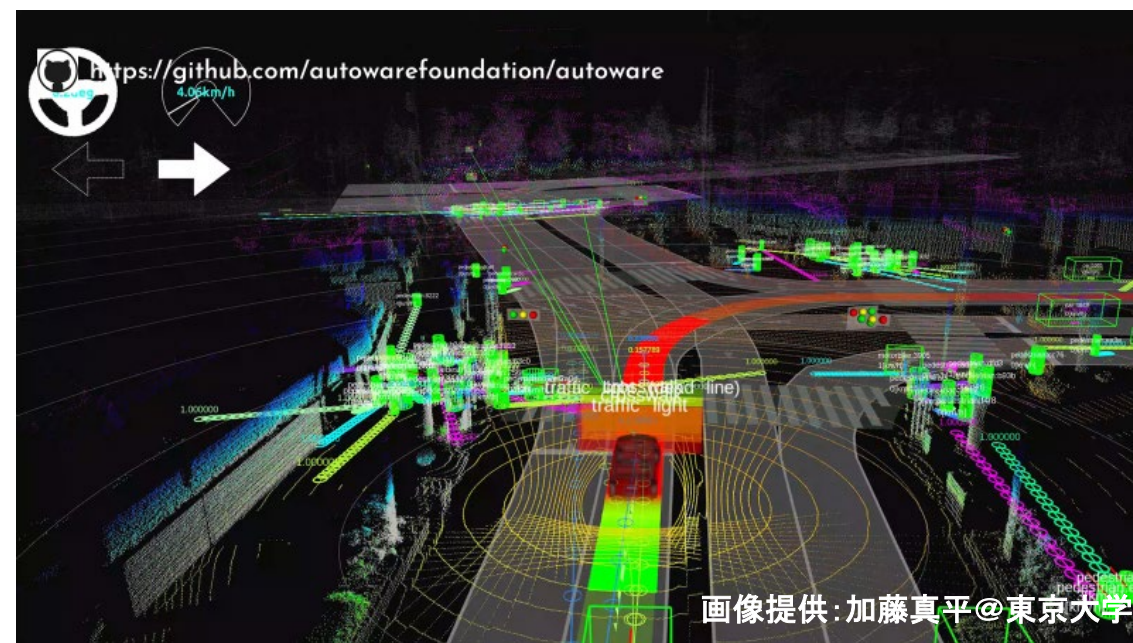


- 自動運転システム

- コンピュータ(ソフトウェア)がドライバーの代わりに車両を運転するシステム

- 自動運転を支えるのはスパコン技術

- スパコン並みの計算機を搭載
 - 800 TOPS (1秒間に800テラ回の演算)
- 運転技術を学習するのにスパコンを使用



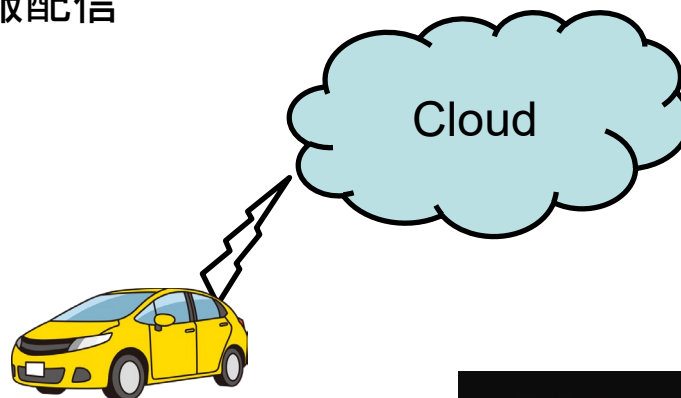
ソフトウェアによる新たな価値の創造

Software-defined vehicle

ソフトウェアによって自動車の機能が実現される
乗り物

- ネットワーク接続 (Connected)

- ナビゲーション、施設・イベント情報配信
- 事故・トラブル対応
- 車両走行データ活用
- ……

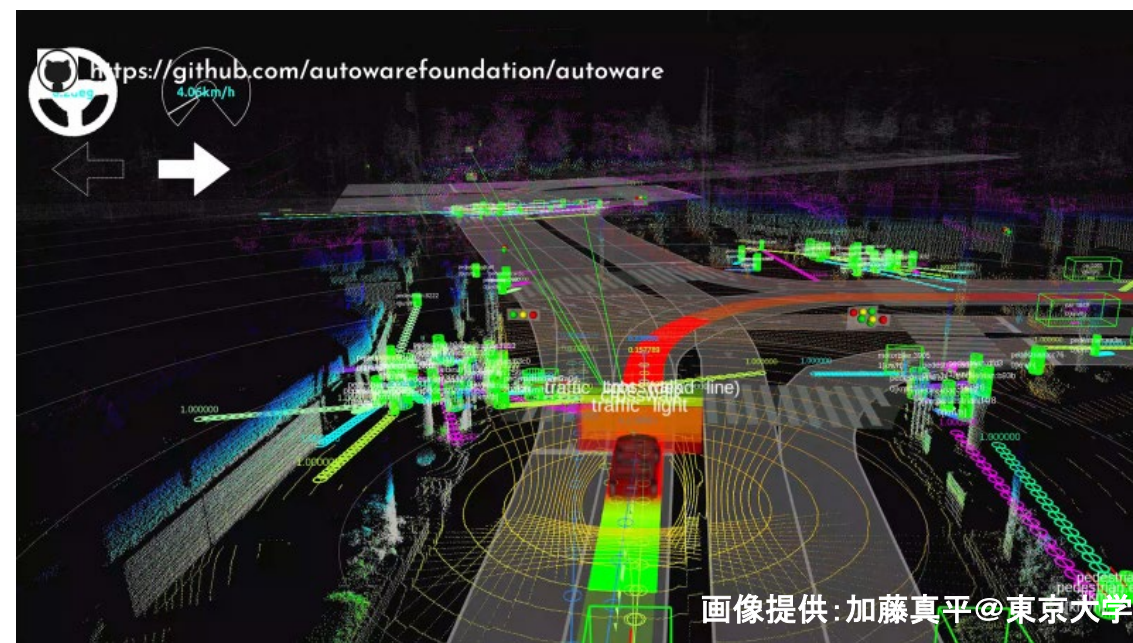


- 自動運転システム

- コンピュータ(ソフトウェア)がドライバーの代わりに車両を運転するシステム

- 自動運転を支えるのはスパコン技術

- スパコン並みの計算機を搭載
 - 800 TOPS (1秒間に800テラ回の演算)
- 運転技術を学習するのにスパコンを使用



画像提供: 加藤真平@東京大学

おわりに

- パソコンで並列処理できます
 - 検索:「Ubuntu openmp MPI」
- 専門家向けですが以下の資料が公開されています
 - 理化学研究所から公開されている「富岳」研究開発に関する報告書
 - <https://www.r-ccs.riken.jp/fugaku/history/codesign-report/>
 - 富士通から公開されている「富岳」に関する技術解説
 - <https://www.fujitsu.com/jp/about/resources/publications/technicalreview/2020-03/>



おわりに

- パソコンで並列処理できます
 - 検索:「Ubuntu openmp MPI」

ソフトウェアを開発して
新しい価値を創り出して
みませんか

- 専門家向けですが以下の資料が公開されています
 - 理化学研究所から公開されている「富岳」研究開発に関する報告書

- <https://www.r-ccs.riken.jp/fugaku/history/codesign-report/>



- 富士通から公開されている「富岳」に関する技術解説

- <https://www.fujitsu.com/jp/about/resources/publications/technicalreview/2020-03/>

