



# COMPUTATIONAL SCIENCES AND SUPER COMPUTERS

# COMPUTATIONAL SCIENCES AND



計算科学と  
スーパーコンピュータ

# SUPER COMPUTERS

筑波大学  
計算科学研究センター  
Center for Computational Sciences

〒305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1  
TEL 029-853-6487 (センター事務室)

<https://www.ccs.tsukuba.ac.jp/>



筑波大学計算科学研究センター  
YouTubeチャンネルはこちら！

筑波大学  
計算科学研究センター  
Center for Computational Sciences

# 筑波大学のスーパーコンピュータは何がすごいですか？



センター長  
朴 泰祐 教授

コンピュータの活用で科学を探索する「計算科学」は、「理論」「実験・観測」に次ぐ第三の手法として、現在の科学研究には欠かせない存在です。膨大なデータや大規模シミュレーションなど人間の手だけでは処理しきれない諸問題も、計算科学によって計算・解析が可能になります。筑波大学計算科学研究センター（CCS）では、独自のスーパーコンピュータを核として、計算科学を推進しています。

## Pegasus

2022年12月に稼働を開始したPegasus（ペガサス）。巨大なメモリを搭載していることが最大の特徴。単位電力あたりの性能が高く、環境にも優しい。大規模なデータを扱うAI分野などでの活用が期待されている。

## 「コ・デザイン」の力で優れたマシンを開発

CCSのスーパーコンピュータを利用している各分野の科学者は、単なる「ユーザー」ではありません。システムの研究者と共に、スーパーコンピュータ自体の開発にも関わっています。「こんな研究のためには、こういう機能が欲しい」「ここを活かすにはこうプログラミングして」——このように、システム側と常に情報や意見を交換し合っています。システムの研究者とさまざまな応用分野の研究者が協働で取り組む「コ・デザイン（協調設計）」はCCSの大きな特徴であり、これによってそれぞれの研究にとって最適な、優れたスーパーコンピュータの開発が可能になるのです。

## 「コ・デザイン」で開発されたスーパーコンピュータ



CP-PACS

素粒子物理学における格子量子色力学の研究のために開発されたスーパーコンピュータです。1996年に性能ランキングで世界一位に。

宇宙シミュレータ FIRST



宇宙第一世代天体の誕生を直接計算することを目的とし、2007年に完成したスーパーコンピュータです。



## スーパーコンピュータの速さの秘密

スーパーコンピュータは、性能や規模、扱える問題のサイズなどが一般的なパソコンに比べて格段に優れているコンピュータです。プロセッサ、メモリ、ネットワークを高密度に搭載した「計算ノード」を大量につなぐ超並列型の構成により、一般的なパソコンの最大100万倍の性能を発揮できます。並列性の高い科学計算に特に強みがあり、大規模な問題も細かく分割して処理するためスピーディに解くことができます。2024年現在、CCSではCygnusとPegasusの2台のスーパーコンピュータを運用中です。

CygnusとPegasusは、夜空ではほぼ隣り合う星座。名前には「兄弟機」の意味も込められています。

## Cygnus

2019年4月から稼働を開始したCygnus（シグナス）。GPUとFPGAという性質の異なる2種類の演算加速装置を組み合わせた、世界でも類を見ないスーパーコンピュータ。宇宙分野との相性がぴったり！

10年前の1000倍の速さに！

×120個  
Pegasusの計算ノード数

## スーパーコンピュータの構造

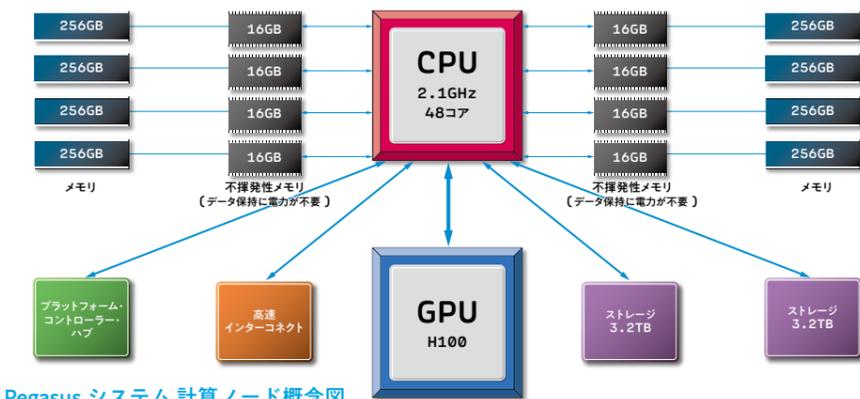
マシンごとに計算ノード内の構造は異なりますが、Pegasusの場合は、1つの「計算ノード」にCPU、GPU、メモリ、不揮発性メモリ、SSDを搭載しています。全体のノード数は120です。大容量の不揮発性メモリを搭載していて、他に比べて消費電力を抑えることができます。

## 性能を発揮するためには「最適化」も重要！

現在、世の中のスーパーコンピュータは、GPUに代表される演算加速装置によって、より高速な計算を実現しています。また、最新の演算加速装置が性能を発揮するためには、応用分野側のプログラム開発やプログラミング言語の検討も重要です。さらに、ネットワーク通信の最適化やデータ量を削減するための圧縮・復元、ファイルシステムへの書き込み速度など、スーパーコンピュータを使いこなすために、システム側と応用側がそれぞれ工夫を重ねています。

## CCSのスーパーコンピュータはこれからどこに向かうのか？

演算加速装置の高速化やアプリケーションの高性能化を究めることで、より高速なスーパーコンピュータを開発することは可能です。しかし、CCSが目指しているのは、ただ速さを追求してCPUやGPUを詰め込んだだけのマシンではありません。CygnusやPegasusのように、他とは異なる独自の技術や発想を盛り込んだオンリーワンのスーパーコンピュータです。これからも、多くの科学者と協働でCCSならではのスーパーコンピュータを開発・製作していきます。



Pegasus システム 計算ノード概念図

# 「学際計算科学」で、どんなことができるんですか？



副センター長  
矢花一浩 教授

計算科学研究センターには5つの学類が関わっていて、それぞれから学生が集まり研究者と共に研究を行っています。そして、何より大きな特徴が、「学際計算科学」の取り組みです。そもそも「学際」とは、複数の異なる研究分野が協働することを指します。「学際計算科学」では、物理、情報科学、工学システムなど科学のさまざまな分野の研究者が連携・協力し合い、最先端のスーパーコンピュータなどを使用した高度な計算科学によって、単一の研究分野だけでは解き明かせない多種多様なテーマを研究しています。

量子・ナノ

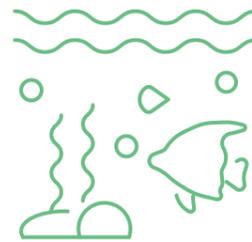
たとえば…

初期宇宙における銀河形成を、シミュレーションによって再現。Cygnusの性能を生かして、宇宙論的輻射流体計算に取り組んでいます。

街づくり

## 生物学類

Biological Science



たとえば…

真核生物の遺伝子塩基配列データやタンパク質アミノ酸配列データを取得し、コンピュータで解析。生物の進化的な特徴を明らかにします。

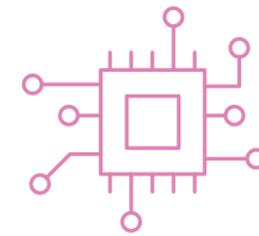
進化

AR/VR

スポーツ

## 工学システム学類

Engineering Systems

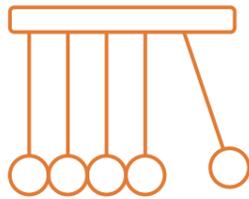


たとえば…

スポーツ選手の動きを撮影したデータを解析し、AR（拡張現実）やVR（バーチャルリアリティ）など人にわかりやすい形で提示します。

## 物理学類

Physics



原子核

エネルギー

AI

たとえば…

「東京の暑さ」の原因究明のため、気温、湿度、気圧などの気象ビッグデータを取得。解析にはスーパーコンピュータが欠かせません。

宇宙

医学

気象

素粒子

## 地球学類

Geoscience



創薬

## 情報科学類

Information Science



たとえば…

睡眠時の脳波の波形データを取得し、コンピュータで解析。機械学習の手法とAI技術を用いることで、睡眠ステージを自動判定します。

ビッグデータ

### 分野の超越による新たな可能性

実は、昔の科学者は分野の壁を超えて研究することがよくありました。たとえば、17世紀のニュートンは数学者であると同時に、物理学者、天文学者であり、19世紀のダーウィンも生物学のほかに博物学や地質学も研究していました。こうした傾向は20世紀前半まで続きましたが、20世紀後半になり科学が目覚ましい発展を遂げるにつれて、研究分野の細分化が進みました。各研究の専門性が高まる一方で、異なる分野同士の交流は少なくなり、分野を超えた複合的な問題には取り組みにくいといった弊害も生まれました。そうした問題の解消につながるのが「学際計算科学」です。隣り合う研究分野同士だけでなく、「宇宙」と「医学」のように一見無関係な研究分野が結びつくことで、斬新な発想や技術が生まれ、新たな可能性の扉を日々開いているのです。





## 模擬宇宙で銀河を観測

初期の宇宙で、銀河はどのように作られたのか——。矢島准教授は、シミュレーションによって再現した138億年前の模擬宇宙で、銀河誕生の様子を観測。まだ解明されていない宇宙の歴史を紐解いています。

138億年ともいわれる宇宙の歴史。そのうち最初の10億年ないし20億年は、初期宇宙と呼ばれています。矢島准教授は、初期宇宙での銀河やブラックホール、星団などの形成について研究しています。実は、130億年前までの宇宙の様子は実際に観測することが可能です。宇宙望遠鏡の性能が向上して、130億年前に放たれた速くの光を見ることができるようになったからです。しかし、見られるのは切り取られた一瞬で、時間の経過で起きる変化までは観察できません。そこで、宇宙空間を賽の目に区切って、そのすべての質量や密度などを計測。スーパーコンピュータCygnusで膨大なデータを解析して、シミュレーションによって初期宇宙を模擬的に再現しています。模擬宇宙を観測することで、時間経過に伴ってどのよう

宇宙物理学研究部門  
矢島秀伸准教授

さらに詳しい解説はコチラ→

に銀河が形成されていったのかを推測することが可能になります。

また、Cygnusの性能を十分に生かして大規模並列計算を効率よく行えるように、自分たちでプログラムコードの検討や改善などにも取り組んでいます。

## COLUMN

### 宇宙物理の技術を医療に応用

銀河形成についての調査で使用する近赤外線、を医療診断に応用しようという研究が進んでいます。現在、近赤外線が体の中でどう伝播するのかを医師らと共同研究中です。近赤外線は非侵襲で被爆もないため、新生児から利用できるのがメリットです。



## VR映像で選手を指導

コーチの位置からでは見えない選手の動きも、複数のカメラで撮影して生成したVR映像ならわかる！北原教授は、スポーツ関連の映像解析とVRによって選手の強化・指導に役立つ研究に取り組んでいます。

人に役立つ技術を研究する工学システム学類に所属している北原教授。現在、バドミントンなどの競技の映像を指導に役立てるための技術開発を進めています。まず、選手のプレイを複数台のカメラで撮影して、その膨大な映像データを深層学習（ディープラーニング）なども加えた上で、スーパーコンピュータで解析。結果をVR（バーチャルリアリティ）などの形でコーチや選手に提供して、たとえば「この動きがあると、その後のショットは崩れやすい」といったアドバイスにつなげることを目指しています。また、目に見える情報だけでなく、選手の心拍数や脳波といった情報も取得して、体の動きとの相関性も深層学習させています。公式大会などでは、選手にセンサーを付けてデータを取ることはできませんが、あら

計算情報学研究部門  
計算メディア分野  
北原格教授

さらに詳しい解説はコチラ→

かじめ学習させておけば、試合中の体の動きを見るだけで疲労度などをコーチが確認して、適切な指示を出すことができます。2028年のロサンゼルスオリンピックで何らかの成果を残すことを、一つの目標に掲げています。

## COLUMN

### 360度、どこからでも観戦！

複数のカメラで多方向から撮影した映像をコンピュータ処理でリアルタイムに三次元化し、好きな位置から見られるという自由視点映像の研究も行っています。いずれは、VRで試合中の選手の真横に立ってプレイを見ることもできるかもしれませんね。



## 睡眠ステージを自動判定

私たちの生活の質に大きく関わると言われる「睡眠」。天笠教授は、睡眠時のビッグデータから機械学習によって睡眠ステージを自動判定する研究を進めています。

もともとビッグデータに関わる研究をしている天笠教授。睡眠医学の研究者と連携して、ビッグデータ解析を睡眠ステージの診断に生かす研究にも携わっています。レム睡眠・ノンレム睡眠などの睡眠ステージを正確に診断するには、一晩中頭に電極を付けて脳波などを測定し、専門の医師が波形を個別に確認する必要があります。

す。しかし、この方法は手間もコストもかかります。そこで、機械学習やAI技術を使って睡眠ビッグデータから睡眠ステージを自動解析・判定しようと試みています。研究が進めば、簡易的な脳波測定だけで自分の正確な睡眠ステージを知り、睡眠の質の改善につなげることができるようになりそうです。

計算情報学研究部門  
データ基盤分野  
天笠俊之教授

さらに詳しい解説はコチラ→

生命科学研究部門  
分子進化分野  
稲垣祐司教授

さらに詳しい解説はコチラ→



## 進化の道筋を探る

生物のうち、真核生物はどのように進化してきたのか？稲垣教授は、多様な真核生物の遺伝子配列データを解析して、それぞれの真核生物の系統関係や進化の過程を研究しています。

高校の生物の授業では、細菌、古細菌、真核生物の「三ドメイン説」を学んだはずですが。稲垣教授は、この中の真核生物が、どのように成立してきたのかを研究しています。進化の過程を探るためには、真核生物同士の類似度つまり「親戚関係」を明らかにする必要があります。かつては、顕微鏡で見た形などからグループ分けしてい

ましたが、現在は遺伝子塩基配列データやタンパク質アミノ酸配列データなどを解析して、系統関係を推測しています。また、まだ見ぬ真核生物の調査・採取も行っています。さらに、より精度の高い推測ができるように、系統解析の方法の見直しやプログラムの改良についても研究を重ねています。



## 都市の気象をシミュレーション

都市のヒートアイランド現象が問題になっています。日下教授は、開発した都市街区気象モデルを使って効果的な暑さ対策や、暑さの原因究明に取り組んでいます。

都市のヒートアイランド現象や富士山にかかる笠雲や吊るし雲など、都市と山岳の気象を研究している日下教授。都市気象を研究するためのツールとして、計算科学研究センター内の高性能計算システム研究部門と共同で、都市街区気象モデル（City-LES）を開発しています。都市空間を1~2メートルレベルの格子に区切り、このモ

デルに当てはめてシミュレーションすることで、刻一刻と変化する気温や湿度、気圧、日照などを詳細に予測・再現できます。実際にビルを動かしたり壊したりして実験することは不可能ですが、このモデルを使えばビルや樹木が都市の暑さに与える影響を高い精度で検証することが可能になります。

地球環境研究部門  
日下博幸教授

さらに詳しい解説はコチラ→

