

スパコンって何だろう？  
私たちの暮らしと  
どうつながっているのかな？

# 何！ スパコン



シミュレーションが  
未来をひらく

K computer



# スパコンとは？

**京** そもそもスーパーコンピュータって何？

**京** ふだんゲームやインターネットをしているコンピュータとは違うの？

**京** スーパーコンピュータは、とてつもなく速いスピードで計算を行う超高性能のコンピュータじゃ。略して「スパコン」と呼ばれておる。スパコンは、とにかくずばぬけて計算が速いことが自慢じゃ。家庭用のコンピュータと比べると数十万倍も速い。だから大量のデータを使った計算を必要とする企業や研究機関で使われているんじゃ。

**京** すごく便利そうだね。ボクにも使えるのかな？

**京** 車にたとえたら、スパコンはF1のレーシングカーじゃ。レーシングドライバーには特別な訓練が必要のように、最先端の技術を結集したスパコンを使いこなすには専門の知識や技術が必要じゃな。



## パソコン、スパコン速さ比べ

いかに速く計算するかがスパコンの使命。パソコンとスパコンの計算の速さを比較すると、家庭用パソコンを人の歩く速さとしたら、スパコンの「京」はロケットよりも速い。開発者は、より速いスパコンをつくるため、これまでの経験をいかしながらいろいろな工夫を重ね、新しい技術開発に挑戦している。

地球シミュレータ写真提供：海洋研究開発機構



## もくじ

### スパコンって何だろう？

- スパコンとは？ 2
- どれくらい速く計算できるの？ どうやるの？ 3
- シミュレーションはどう役に立つの？ 4
- 「京」で何ができるのかな？ 5

### スパコン大活躍！

- 生きた心臓を再現！ 6
- 「燃える氷」メタンハイドレート 7
- くらしを守るシミュレーション 8
- 安全で高性能な車の開発 9
- 「ダークマター」ってどんなもの？ 10

### スパコンの未来

- これからスパコンはどうなるの？ 11



# どれくらい速く計算できるの？ どうやるの？



スパコンはどれくらいの速さで計算できるの？



日本にある世界トップレベルのスパコン、理研の「京」を知っているかな？「京」は1秒間に1京回(京は1兆の1万倍)の計算ができるスパコンで、2011年に世界のスパコンのトップ500ランキングで第1位になったのじゃ。1京回の計算は、1人が1秒間に1回電卓で計算し続けても3億年かかる。3億年前はまだ恐竜もいない頃。「京」はこれを1秒で計算することができるんじゃないよ。



「京」のシステムときょう体

計算機室には864台のラックがずらりと並んでいる。



すごーい！ どうしてそんなに速く計算できるの？



そのひけつは並列計算！ かけ算1問を解くのに1秒かかるとして、100問を1人で解けば100秒かかるよね。それなら100問を100人で解けば何秒かかる？



1秒！



そう、みんなで分担すれば、すぐに終わるよね。これが並列計算のしくみなんだ。

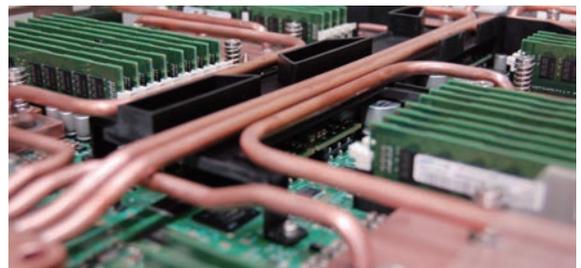
ボクは8万個以上のCPU(計算装置)を使ってこの並列計算を行っているんだよ。



その他にもいろいろな工夫があるよ。ほら。ボクの中を見せてあげるね。



この金属製のパイプみたいなものは何かしら？



水冷式ボード



スパコンの中に熱がこもらないように、水を使って冷やしているんだよ！ 冷やすことによって電子部品を故障から守り、消費電力もおさえられるんだ。

## キャラクター紹介



タイチ

図工が得意で車が好きなおとなの子。

外で遊ぶのが大好き。



博士

「京」やスパコンに関する疑問なら何でも答えられる、スパコンの生き字引。長く「京」の技術開発に携わり、「京」は自分の子どものような存在。

れいな

お天気キャスターにあこがれる理科好きな女の子。タイチと同じ小学校に通う幼なじみ。



けいたろう  
京太郎(スパコン「京」)

理化学研究所計算科学研究センター  
所属のスパコン。





# シミュレーションはどう役に立つの？



コンピュータシミュレーションという言葉聞いたことがあるかな？ コンピュータを使った模擬実験という意味で、コンピュータの中で本物をまねて実験ができるんじゃ。「京」も、そのコンピュータシミュレーションを行っているんじゃ。



わざわざスパコンを使わなくても、本物で実験すればいいんじゃない？



本物で実験するのが難しかったり、実験そのものができないときにシミュレーションが役に立つんじゃ。たとえば、次のようなときに便利なんじゃよ。

## 1. 実験するには大きすぎる、あるいは小さすぎる時

地球全体を使って雲を動かす実験は不可能。また、分子や原子を使った実験というのも、あまりに小さすぎて難しい。

## 2. 時空を超えて実験結果を見たいとき

138億年かかった宇宙の進化を数分に凝縮したり、タイムマシンのように過去の状況を見たり、未来を予測したりしたいとき。

## 3. 観察できなったり、実験するには危険すぎる時

動いている心臓の中にある分子の動きは、観察できない。また、深海で起こる現象を調べようとすると、高い水圧がかかって大きな危険を伴う。

## 4. 実験するにはばく大な費用や長い時間がかかり、難しいとき

1回で数百億円かかるロケットを何回も打ち上げるとばく大な費用がかかる。



コンピュータシミュレーションは理論、実験に次ぐ第3の科学といわれておる。コンピュータシミュレーションが登場する以前の科学は、仮説を立て、理論を築き、実験や観測によって実証する、この積み重ねによって進歩してきたんじゃ。スパコンの登場によって、コンピュータの計算による模擬実験や予測ができるようになり、新しい科学の柱が加わったんじゃな。

1

知りたい現象について、式をたてる。

気象のシミュレーションに使われるのは、主に流体を表す方程式！

物理法則から式をたてる

初期値も重要！（観測データなど）

ほかに、観るあわす方法などがある！

2

方程式を、 $+$  $-$  $\times$  $\div$ の式にする。

$$U_t(Q_t) = U_{xt}(R_t) + U_{yt}(R_t) + U_{zt}(R_t)$$

$$f_t = b_t \cdot U_t(Q_t) + u_t(Q_t) \cdot n_t$$

$$V \cdot u_t(R_t) = \frac{1}{A_t(R_t)} \sum f_t$$

$$V q_t(R_t) = \frac{1}{A_t(R_t)} \sum \frac{f_t(Q_t) \cdot (Q_{t+1} - Q_t)}{A_t(R_t)}$$

$$V q_t(R_t) = \frac{1}{A_t(R_t)} \sum \frac{f_t(Q_t) \cdot (Q_{t+1} - Q_t)}{A_t(R_t)}$$

$$V q_t(R_t) = \frac{1}{A_t(R_t)} \sum \frac{f_t(Q_t) \cdot (Q_{t+1} - Q_t)}{A_t(R_t)}$$

$$V q_t(R_t) = \frac{1}{A_t(R_t)} \sum \frac{f_t(Q_t) \cdot (Q_{t+1} - Q_t)}{A_t(R_t)}$$

$$V q_t(R_t) = \frac{1}{A_t(R_t)} \sum \frac{f_t(Q_t) \cdot (Q_{t+1} - Q_t)}{A_t(R_t)}$$

$$V q_t(R_t) = \frac{1}{A_t(R_t)} \sum \frac{f_t(Q_t) \cdot (Q_{t+1} - Q_t)}{A_t(R_t)}$$

$$V q_t(R_t) = \frac{1}{A_t(R_t)} \sum \frac{f_t(Q_t) \cdot (Q_{t+1} - Q_t)}{A_t(R_t)}$$

$$V q_t(R_t) = \frac{1}{A_t(R_t)} \sum \frac{f_t(Q_t) \cdot (Q_{t+1} - Q_t)}{A_t(R_t)}$$

$$V q_t(R_t) = \frac{1}{A_t(R_t)} \sum \frac{f_t(Q_t) \cdot (Q_{t+1} - Q_t)}{A_t(R_t)}$$

$$V q_t(R_t) = \frac{1}{A_t(R_t)} \sum \frac{f_t(Q_t) \cdot (Q_{t+1} - Q_t)}{A_t(R_t)}$$

$$V q_t(R_t) = \frac{1}{A_t(R_t)} \sum \frac{f_t(Q_t) \cdot (Q_{t+1} - Q_t)}{A_t(R_t)}$$

$$V q_t(R_t) = \frac{1}{A_t(R_t)} \sum \frac{f_t(Q_t) \cdot (Q_{t+1} - Q_t)}{A_t(R_t)}$$

$$V q_t(R_t) = \frac{1}{A_t(R_t)} \sum \frac{f_t(Q_t) \cdot (Q_{t+1} - Q_t)}{A_t(R_t)}$$

$$V q_t(R_t) = \frac{1}{A_t(R_t)} \sum \frac{f_t(Q_t) \cdot (Q_{t+1} - Q_t)}{A_t(R_t)}$$

$$V q_t(R_t) = \frac{1}{A_t(R_t)} \sum \frac{f_t(Q_t) \cdot (Q_{t+1} - Q_t)}{A_t(R_t)}$$

$$V q_t(R_t) = \frac{1}{A_t(R_t)} \sum \frac{f_t(Q_t) \cdot (Q_{t+1} - Q_t)}{A_t(R_t)}$$

$$V q_t(R_t) = \frac{1}{A_t(R_t)} \sum \frac{f_t(Q_t) \cdot (Q_{t+1} - Q_t)}{A_t(R_t)}$$

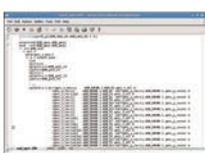
$$V q_t(R_t) = \frac{1}{A_t(R_t)} \sum \frac{f_t(Q_t) \cdot (Q_{t+1} - Q_t)}{A_t(R_t)}$$

$$V q_t(R_t) = \frac{1}{A_t(R_t)} \sum \frac{f_t(Q_t) \cdot (Q_{t+1} - Q_t)}{A_t(R_t)}$$

$$V q_t(R_t) = \frac{1}{A_t(R_t)} \sum \frac{f_t(Q_t) \cdot (Q_{t+1} - Q_t)}{A_t(R_t)}$$

3

解き方(アルゴリズム)を考え、プログラムにする。



4

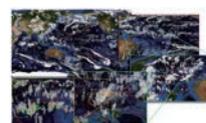
スーパーコンピュータで計算する。



5

シミュレーション結果。

データを可視化すると、多くの人にわかりやすくなるほか、新しい現象にも気づきやすい。



現象を解明するための新たなステップを考える

コンピュータシミュレーションのしくみ

# 「京」で何ができるのかな？



「京」を使ってどんなシミュレーションをしているの？



「京」は「汎用スパコン」といって、いろいろな分野に  
 広く利用できるスパコンなんじゃ。気象予測、分子  
 レベルのものづくり、薬づくり、資源の探索、防災、  
 宇宙の謎の解明など、社会に役立つさまざまな分野  
 で利用できるようにつくられているんじゃ。大学や  
 研究所の人たちだけでなく、たくさんの企業の人た  
 ちが「京」を使っているんじゃよ。



シミュレーションは社会のあちこちで私たちの暮らしを支えているのね。



「京」は、みんなのための、みんなが使えるスパコンなんだね！



そうだよ。みんながいろいろな目的でボクを使って、その成果を社会で役立ててほしいんだ。みんなが暮らしやすい社会をつくる手助けをするために、ボクこれからもがんばるよ！



# 生きた心臓を再現!

**京** しんぞう ぜんしん きそくてき けつえき おく だ  
心臓は、全身のすみずみまで規則的に血液を送り出  
す重要な臓器のひとつじゃ。

どうして心臓は規則正しく動くの?

**京** しんぞう やく びよう かい きそくただ でんきしげき みずか はつ  
心臓は、約1秒に1回、規則正しく電気刺激を自ら発  
して、その刺激が心臓の筋肉に伝わって伸びたり  
縮んだりする。それが鼓動で、そのときの電気の  
流れをグラフで表したのが心電図じゃよ。

だから心臓の病気を調べるときには心電図をとるの  
ね。

**京** しんぞうびよう ちりょう よぼう さいしん けんきゆう  
そして、心臓病の治療や予防の最新の研究では、ス  
パコンのシミュレーションが取り入れられているん  
じゃよ。

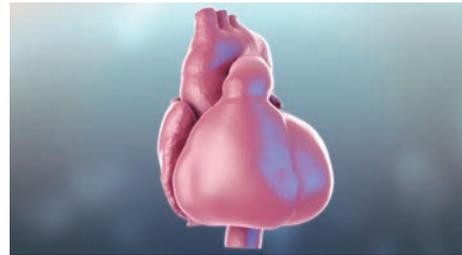
心臓の動きもスパコンでシミュレーションできるの?

もちろんできるよ! ボクの中に生きた心臓を再現し  
たんだ。

心臓を再現するってどういうことなの?

これまで心臓の細胞や筋肉についてバラバラに行っ  
ていたシミュレーションを統合する心臓シミュレ  
ータ「UT-Heart」を開発したんだ。  
この研究のすごいところは、心臓の筋肉を構成する

細胞の分子の動きから再現していること。これまで  
分子レベルのシミュレーションは、計算する量が多  
すぎて現実的には不可能だった。それがボクの登場  
で一挙に解決したのさ。

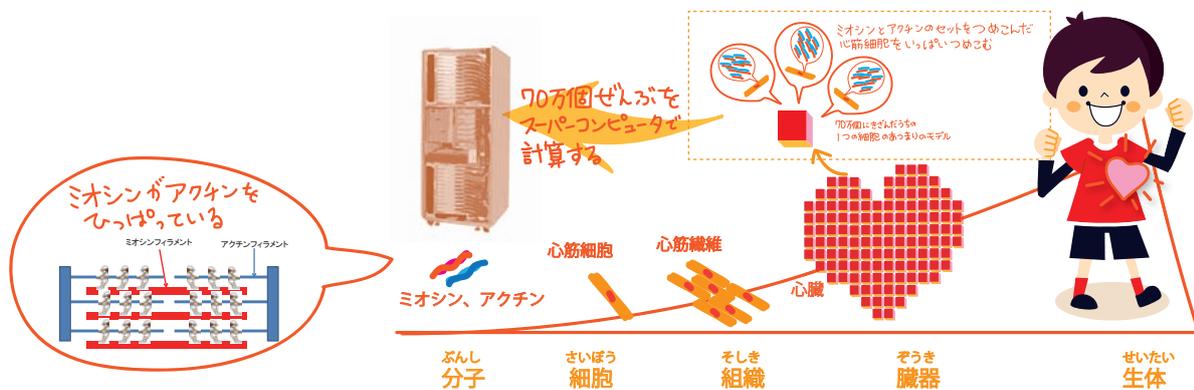


心臓のシミュレーション

**京** ほうほう けい ぜん まる にちつか しんぞう  
この方法で「京」の全システムを丸1日使って、心臓  
の鼓動1回分の動きを再現できたんじゃ。

「京」でさえ丸1日かかるなんて、私たちの心臓はそ  
れだけ複雑な動きをしているのね!

**京** けい とうじょう まえ ねん  
「京」が登場する前はそれに2年もかかっていたんじゃ  
よ。将来は患者さん1人ひとりのデータをもとに、  
その人の心臓を再現することを目指して。その  
ひとひとにとって最適な治療法を考えたり、心臓病を予防  
する研究が進められているんじゃよ。



## UT-Heart(ユーティー・ハート)

心臓シミュレータ UT-Heart では、細胞内部の分子の動きから、細胞で構成される心筋線維の方向と伸び縮み、臓器としての心臓の動き、全身に血液を送り出すしくみ、血圧や心電図まで、すべてを数値で表して再現する。世界でも前例のないシミュレーションだ。

# 「燃える氷」メタンハイドレート



あれれっ、氷が燃えているよ！



燃える氷



これはメタンハイドレートじゃな。メタンと水が結合してできた物質で、海底の土の中に氷の状態が存在しているんじゃ。「燃える氷」とも呼ばれていて、石油や天然ガスに代わる次世代のエネルギー源として期待されているんじゃよ。



すごいや！どれくらいの量があるの？



メタンハイドレートの資源量は、全世界の化石燃料の2倍以上ともいわれておる。一説によると日本の近海だけで、わが国が年間に消費している天然ガスの約100年分ともいわれているんじゃ。



100年分！それならボクたちが大人になってもエネルギーは安心だね。



たしかに魅力的な資源だが、生産するのが難しいのじゃ。分解して気体になったメタンガスだけを集める方法が研究されているが、そのためには、まずメタンハイドレートが分解するしくみを明らかにする必要がある。



いよいよボクの出番だよ！

海底でメタンハイドレートを分解するシミュレーションをして分子の状態を調べるんだ。

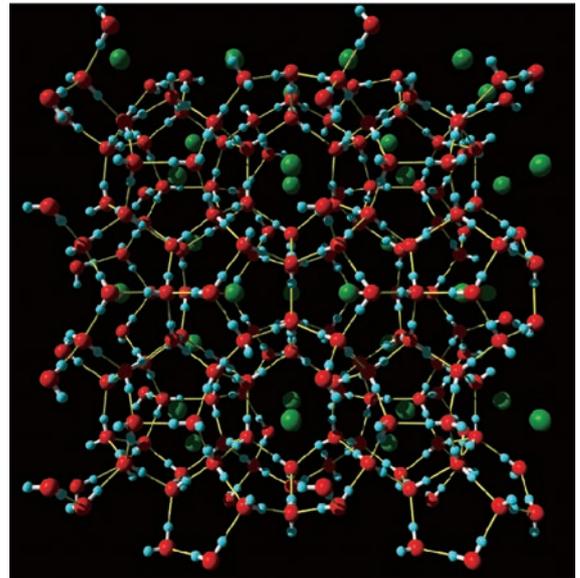
何百メートルもの海底で分子の観察をするのは大変だし、危険が伴うからね。でもシミュレーションなら、いろいろな温度や圧力の大きさをためして、メタン分子がどんな反応でできてるのかを細かく調べたり、予測したりすることができるのさ。それをもとにメタンをうまく取り出す方法を考えるんだ。



メタンハイドレートが早く使えるようになるといいね。



そうだね。ボクのシミュレーションをみんなのために役立ててほしいな。



メタンハイドレートの分子構造 (提供:岡山大学)

水分子(赤の酸素と青の水素の球)が水素結合(黄色の線)で結ばれた12面体と14面体が組み合わさって骨格をつくる。このカゴ状の多面体の中に、メタン分子(緑の球)が1個ずつ入っている。海の底にはプランクトンの死がいや植物などがたい積し、やがて発酵してメタンガスを発生させる。そのメタンの分子を包みこむ形でメタンハイドレートが形成されると考えられている。深海底のように温度が低く、圧力が大きいところでは、水の分子がメタンの分子をかこんで固まってしまう。





# くらしを守るシミュレーション



スパコンって、身近で活躍しているのかな？



スパコンがいちばん日常的に使われているのは、天気予報じゃな。



天気予報にスパコン!?



そうじゃ。まず、気象庁はたくさんの観測データをあつめておる。



知ってる！アメダスっていう無人の観測所が日本中に1300カ所もあるんだよ。



それだけではないぞ。日本だけではなく、世界中で観測された気象データが集まってくる。天気予報は、世界中の気象機関の協力によってつくられているじゃ。



その膨大なデータをすごい速さで計算するのが、ボクらスパコンの腕の見せ所。「数値天気予報」といって、仮想の地球を数値で表し、大気の変化を計算するのさ。



スパコンでどんな計算をしているの？



まず、計算のために地球の表面をたくさんの格子(マス目)に区切って、それぞれの場所に温度や気圧、風などの観測した値を入れる。マス目が細かいほど精度の高い詳しい分析ができるけれど、計算は多くなって大変になるんだ。



地球の重力、地球の自転によって生まれるチカラなども数値にして、「数値天気予報モデル」という計算式をつくって解く。こうしてコンピュータが出した結果をもとに、気象予報士が総合的に判断して予報を出しているんだよ。



だから天気予報にスパコンは欠かせないのね。



もともと天気予報は警報を出して気象災害を防ぐこと、つまり防災が基本目的だったんじゃ。



もっと詳しく、速くシミュレーションができるようになれば、早めに大きな災害を予測して被害を防いだり、2次災害を防いだり、人命救助に役立てたりできるんだ。



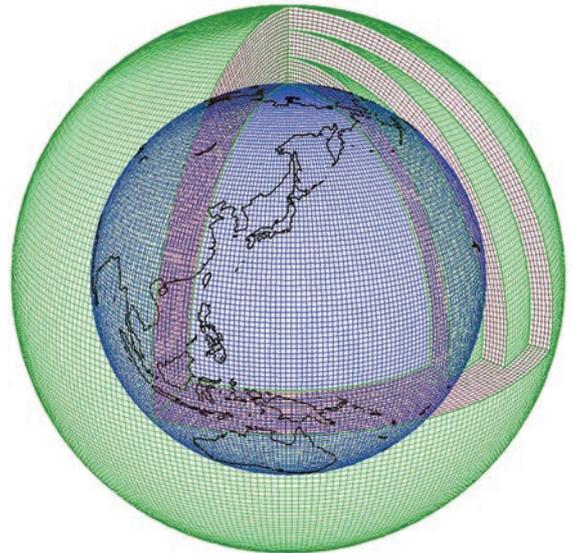
ゲリラ豪雨や竜巻なども予測できたら、被害が少なくなるんじゃないかしら。



そのとおりじゃ。



いつも当たり前のように天気予報を見ているけど、スパコンが計算でボクたちを守ってくれていたんだね！



数値天気予報に使われる格子

出典：気象庁ホームページ

(<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/whitepaper/1-3-1.html>)

# 安全で高性能な車の開発



スパコンが活躍している例をもっと知りたいな。



身近な例をあげると、車の開発じゃな。車のまわりの空気の流れは車の乗り心地や、安定した走り、燃費や騒音などに大きな影響を与える。だから空気の流れを正確に知るために、人工的に風をつくる実験施設(風洞)で試作車に風を当て、空気の流れ方や空気抵抗を分析するんじゃよ。これを風洞実験と呼ぶんじゃ。



車のまわりの空気の流れには大きいものから1mm以下のものまで、無数の渦があるんじゃ。格子を細かくすると、より正確に空気の流れを見ることができて、実験では測りきれない不規則な動きまでとらえることができたんじゃ。計算が速い「京」だからこそ可能になったシミュレーションじゃのう。



えっへん！



実際の車に風を当てるなんて、大きな施設で実験をするんだね。



そうなんじゃ。当然、実験には費用も時間もかかる。



わかった！その実験の代わりにスパコンでシミュレーションをするんだね！



そのとおり。



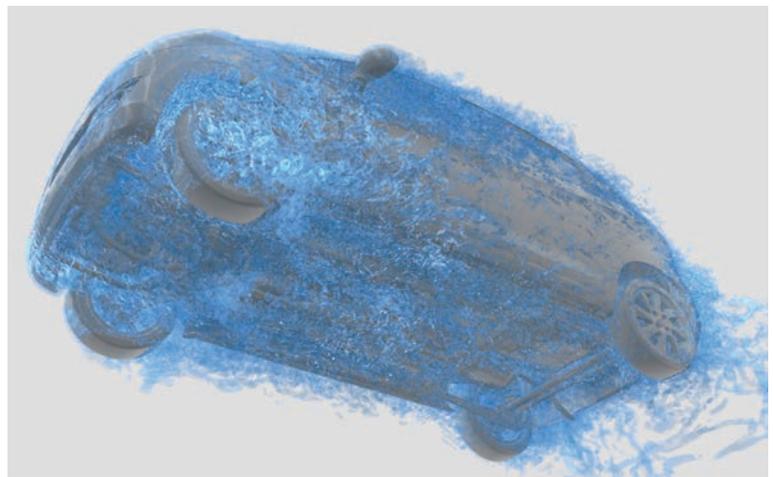
どうやって計算をするの？



それはボクの出番だよ。風洞実験で得た空気の流れを数値に置きかえて計算するんだ。まず、車体のまわりの空間をたくさんの格子(マス目)に分割する。次に、それぞれの格子を出入りする質量、運動量、エネルギーに関する式を立てる。そして数千万から数億の計算式を解いて、空気が流れる速さや空気抵抗などの値を求めるんだよ。



うひゃ〜…すごい計算をするんだね！



車のまわりの空気の流れのシミュレーション



これからは突風や大雪などなかなか実験では再現できないことや、急ハンドルのように運転する人の動作も含めたシミュレーションもするようになるよ。将来、車への影響だけでなく、車に乗っている人の体への影響まで調べられるようになれば、より安全な車を、より短期間で、より安く開発できるんだよ！



「ものづくり」への熱い思いを感じるなあ。



ボク自身が日本生まれのスパコンだから、日本ならではの「ものづくり」にどんどん貢献したいんだ！





# 「ダークマター」ってどんなもの?

 スパコンで宇宙を研究しているって本当? どんな研究をしているのか知りたいな。

 そうじゃ、宇宙の成り立ちを知り手がかりになるダークマターの研究を紹介しよう。

 ダークマター! カッコイイ名前だね! ……でもそれって何?

 宇宙は138億年前にビッグバンによって生まれたんじゃが、ダークマターがたくさんある部分に物質が集まって銀河などができ、現在のようになつたと言われておる。ダークマターは宇宙の成り立ちを知るカギなんじゃよ。

 ダークマターはどんな形をしているの?

 実は、おおざっぱに言うと「目には見えないけれど存在している物質」なんじゃ。

 それってどういうこと?

 最新の観測データによると、私たちの体や水、食べ物、地球とか太陽などといった「目に見える物質」は宇宙を構成する成分のわずか5%にも満たないんじゃよ。

 じゃあ残りは?

 宇宙のほとんどは見えないもので構成されているんじゃ。そのうちの目に見えない物質をダークマター、宇宙誕生のビッグバン以来どんどん宇宙を膨張させている未知のチカラをダークエネルギーと呼んでいるんじゃ。正体不明のものが存在する、という証拠が見つかっているんじゃな。

 宇宙のしくみをボクの中に再現して、計算上のダークマター粒子2兆個が宇宙の誕生直後から200万年後、1億年後にどう進化していくのか、シミュレーションしたんだよ。

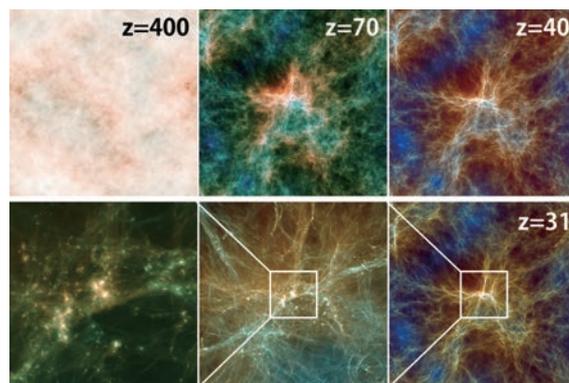
 その計算は大変なの?

 とても大変なんだ。ダークマターの粒ひとつひとつが重力によってどのように引き合い、集まっていくのかを計算するよ。それぞれの粒に自分以外の粒、 $(2兆 - 1) = 1兆9999億9999万9999$ 個のチカラが働くんだ。それを全部計算するからね。

 でも「京」は計算が速いから問題ないのよね?

 ボクの計算の速さに加えて、このダークマターのシミュレーションでは研究者チームがとても効率の良い計算方法を見つけたのでうまくいったんだ。この研究者チームは、スパコン界のノーベル賞と言われるゴードン・ベル賞を受賞したよ。スパコンをどれだけうまく使いこなせるかが評価のポイントなんだ。

 研究者の人たち、すごいね! 早く宇宙のなぞがとけて、ダークマターの正体や宇宙の進化がわかるといいな!



宇宙初期のダークマターの空間分布

(提供:筑波大学計算科学研究センター)

ダークマターの粒子が、時間とともに、だんだん集まり始める様子。白い部分はダークマターの密度が高い部分。



# これからスパコンはどうなるの？



スパコンのことがわかってきたぞ！スパコンは、ボクたちの社会にとって縁の下のチカラ持ちなんだね。ボク、将来はスパコンを使う研究者になりたいな。



スパコンの世界っておもしろいね。



タイチくんが研究者になるころには、スパコンはもっと速くなっているはずじゃ。「京」の約10倍の性能を持つスパコンがもう登場しておるし、2020年以降には、さらにその10倍の性能を持つスパコンも出てくるじゃろう。そのための研究開発が、世界中で進んでいるんじゃよ。



私たちのまわりでスパコンがこんなに活躍していたなんて、おどろいちゃった。



ということは、「京」の100倍になるの!? すごいスパコンを目指しているのね。どんなことができるの？



日本には「京」をつくり、世界一の成果をあげてきたひとと技術がある。その人たちが、最新の技術にみがきをかけながら活躍できるよう、今後も開発を進めていくことが必要じゃな。



今よりも、複雑で大規模な分析ができるようになるんじゃ。たとえば、「京」を使った研究で人間の脳全体の約1%にあたる神経細胞を解析したんじゃが、「京」の100倍くらいの性能があれば、脳全体を解析できる可能性が広がるじゃよ。将来は災害と人の動きを連動させて、どこに誘導すれば人の命を助けられるか、といった自然科学と社会の現象を関連づけたシミュレーションもできるようになるじゃろう。より安全で、よりエコに、より多くの人々が楽しく暮らせる社会づくりをスパコンは目指しているんじゃ。



5年後、10年後には、ボクと同じくらいの性能のスパコンが多くの企業や研究所に普及しているだろうね。それらのスパコンや、次世代のスパコンを使いこなすのは……！



ボクたち！



私たちね！



## おうちの方へ

この冊子では、はじめてスーパーコンピュータのことを学ぶ方にも読み進めていただけるようにやさしく解説しました。お子さんと一緒にお楽しみいただけましたら幸いです。

計算科学研究センターでは、次世代を担う子どもたちに、スーパーコンピュータ「京」やその研究にふれる機会を持っていただけるよう、イベントやセミナー、ワークショップなどを開催しております。皆様のご参加をお待ちしています。

イベントの最新情報はホームページをご覧ください。



理化学研究所  
計算科学研究センター  
RIKEN Center for Computational Science

〒650-0047 兵庫県神戸市中央区港島南町7-1-26

TEL : 078-940-5555 (大代表) FAX : 078-304-4964

E-mail : r-ccs-koho@ml.riken.jp

<http://www.r-ccs.riken.jp/>

2015年3月初版 2018年5月第3版

ホームページへの  
アクセスはこちらの  
QRコードから



RIKEN 2018-045