



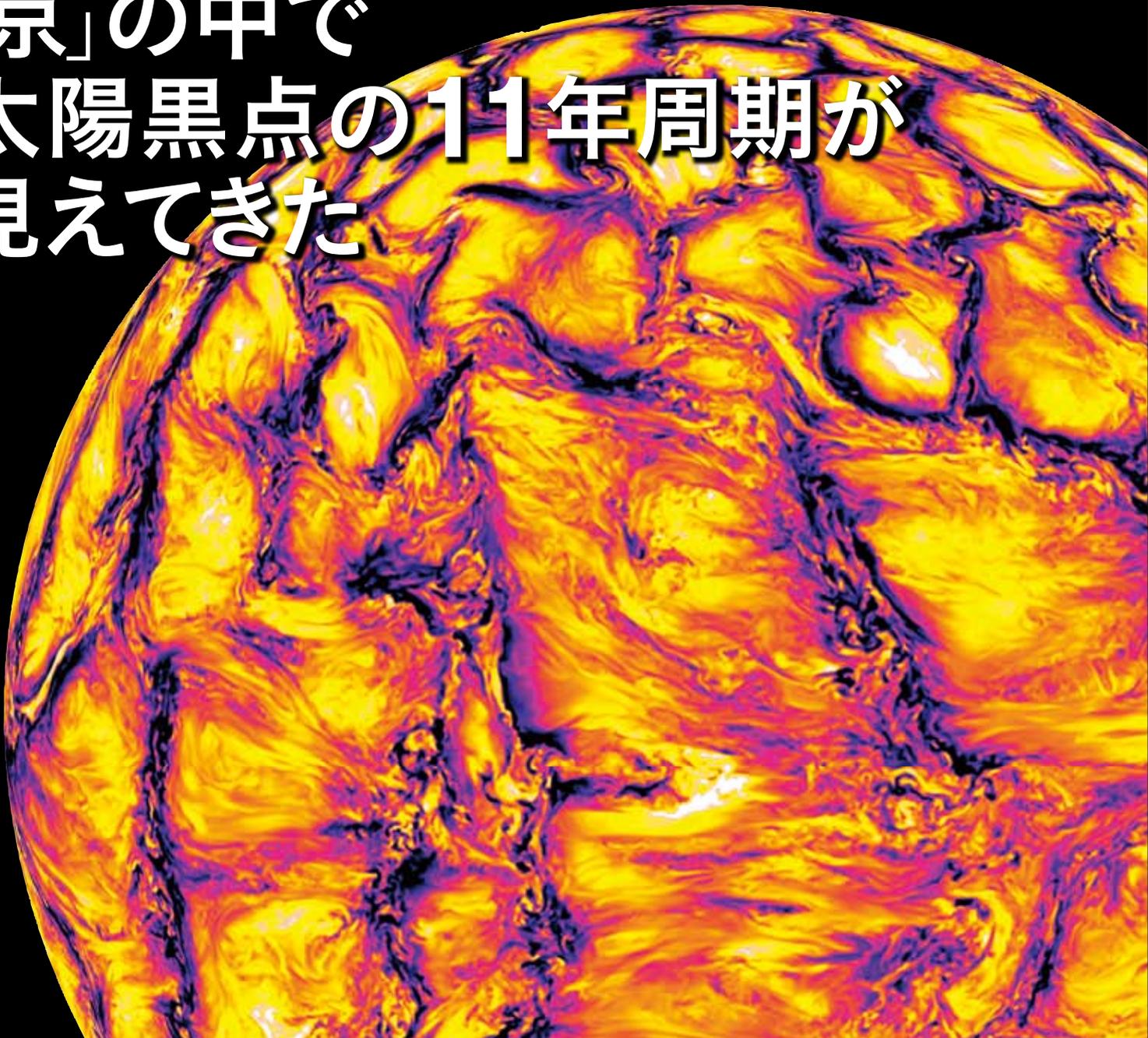
シミュレーションが
未来をひらく

計算科学 の世界

K computer Newsletter
March 2017

NO. 14

「京」の中で
太陽黒点の11年周期が
見えてきた



「京」の中で 太陽黒点の11年周期が見えてきた

堀田英之 Hideyuki Hotta
千葉大学大学院理学研究科 特任助教

図1A 「京」により高解像度で再現した太陽表面付近のプラズマの対流

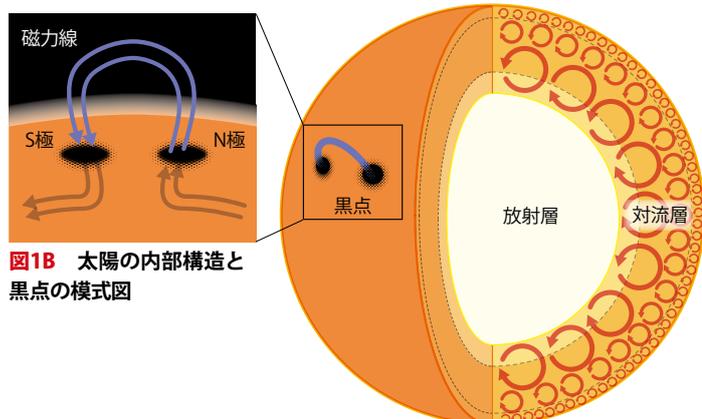
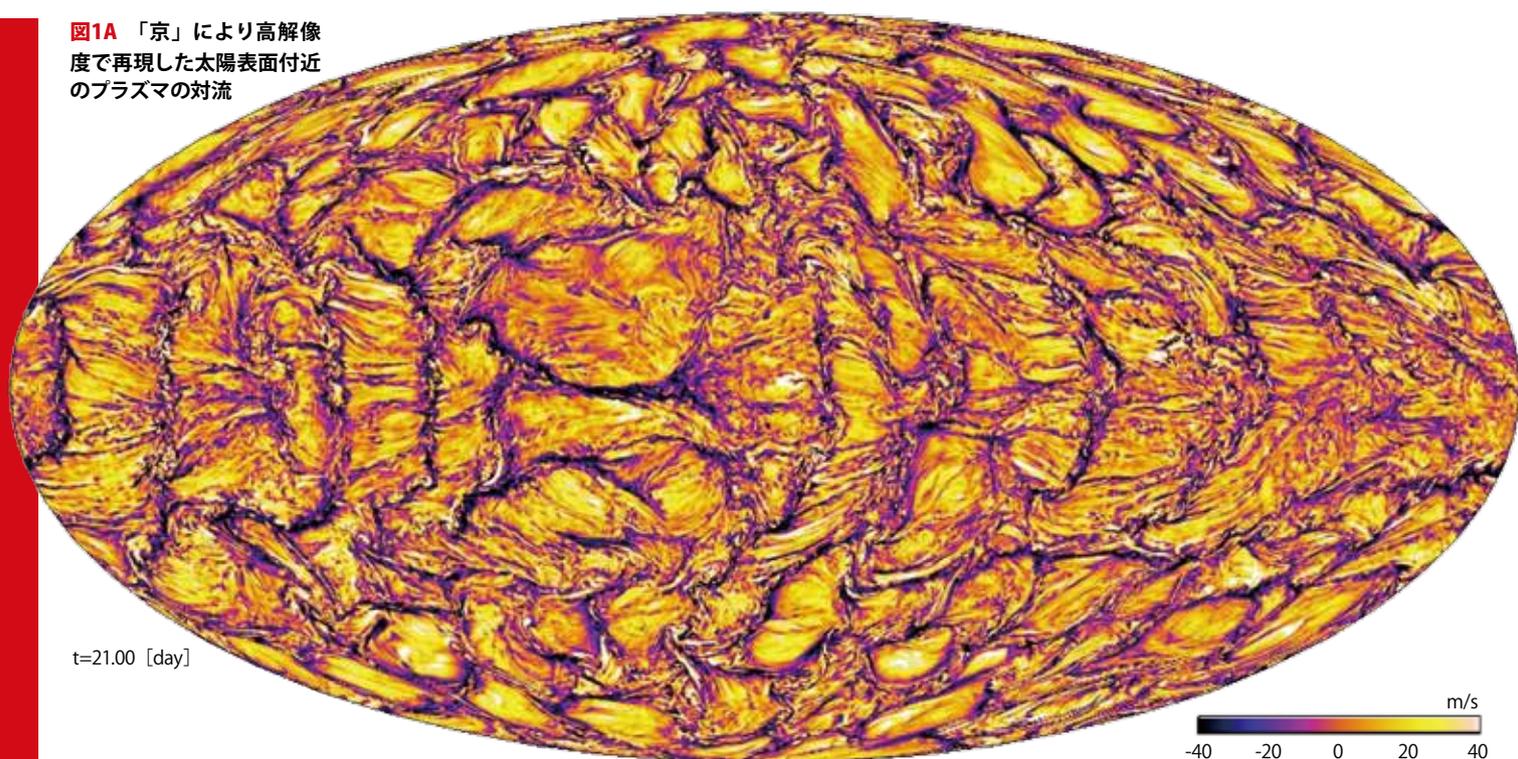


図1B 太陽の内部構造と黒点の模式図

「太陽には大きな謎があります。

太陽の表面には周囲よりも温度が低い黒く見える黒点があり、その数は11年周期で増減することが知られています。

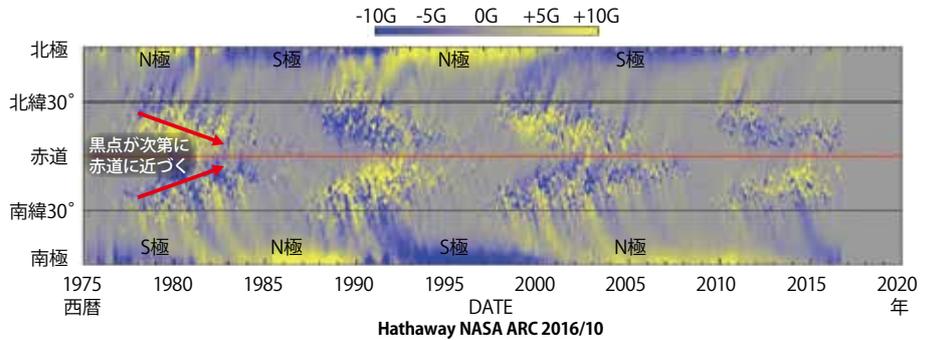
しかし、なぜ11年なのか、そもそもなぜ周期があるのか分かっていないのです」

そう語る堀田さんは、独自の手法を開発して「京」の中に高解像度の太陽を再現し、11年周期の謎に迫ろうとしています (図1A)。

黒点の画像に魅了される

「中学生のときから物理だけは好きで、しっかり勉強していました」と振り返る堀田さんは、東京大学理学部の地球惑星物理学科に進学しました。「地球の大気や海のシミュレーションをやりたいと思いました。地球で起きる現象ならば、計算結果が正しいかどうか観測データで確認できるからです」

学部4年生で入った研究室で、その後の研究者人生を決定付ける画像に出会いました。「指導教官から、磁場があると面白い現象が起きると紹介されたのが、アメリカ大気研究センターのM. Rempel博士による太陽黒点のシミュレーション画像です



NASAのサイト <http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/magbfly.jpg> より

図3 実際の太陽表面で観測された磁場の周期

黒点を生み出す太陽表面の磁場を同じ経度で平均化して緯度ごとに表示したもの。黄色がN極、青がS極に対応する。11年周期で南北の中緯度に現れた黒点が赤道付近へ移動していき、南極と北極の磁場が逆転する。移動する黒点の分布が特徴的なチョウ形を描く。

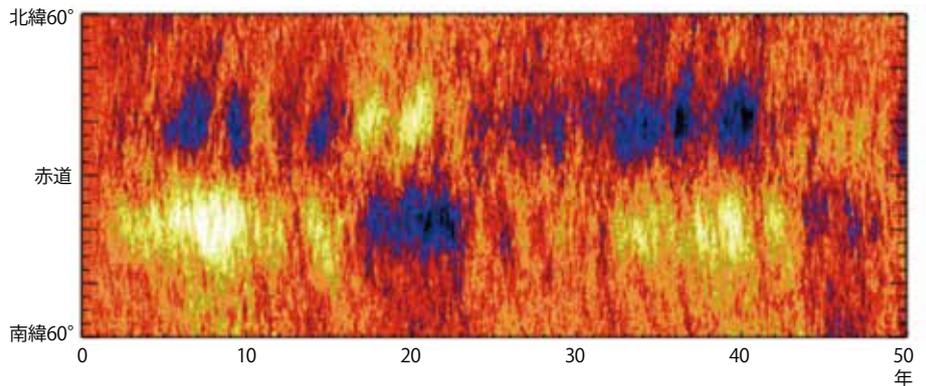


図4 「京」で再現した太陽内部の磁場の周期

黒点を生み出す太陽内部の磁場を同じ経度で平均化して緯度ごとに表示したもの。図3のような観測データと似た磁場の周期を「京」で再現することに成功した。ただし、周期はきれいな11年ではなく、観測データに見られるチョウ形も再現されていない。

(図2)。観測画像とそっくりで、すっかり魅了されました」

黒点は、太陽内部の磁力線が表面に浮上してきた出口(N極)と入り口(S極)に相当します(図1B)。

「黒点の記録が初めて登場したのは紀元前167年の中国の書物だといわれています。1600年ごろにガリレオ・ガリレイたちが太陽の観測を始めて以来、400年以上にわたり黒点の観測が続けられ、その数は11年周期で増減することが知られています。でも、なぜ11年周期なのかは分かっていません。それは太陽研究における最古にして最大の謎といわれています。私はその謎に挑みたいと思いました」(図3)

太陽活動は停滞期に入り、地球は寒冷化する!?

黒点の11年周期は、最近、特に注目を集めています。黒点が少ない極小期は、太陽活動が不活発で磁場も弱くなります。1645~1715年の70年間にわたり、黒点がほとんど観測されない「マウンダー極小期」と呼ばれる時期がありました。そのとき、ロンド

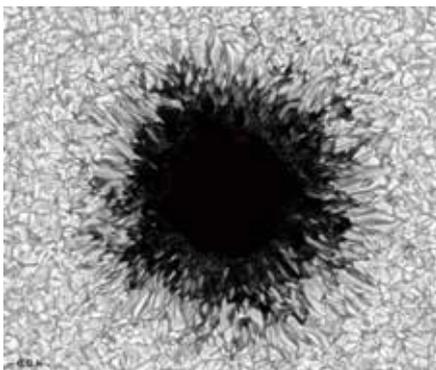


図2 M. Rempel博士による太陽の黒点のシミュレーション画像

ンのテムズ川が凍り付くなど、気候の寒冷化を示唆する記録が残されています。ただし、黒点が多い極大期と少ない極小期で、光の放射量は0.1%しか変動しないことが確かめられています。マウンダー極小期と寒冷化の因果関係はよく分かっていません。

「マウンダー極小期のとき、黒点はほとんど観測されていませんが、黒点周期に対応する太陽の磁場周期は約14年だったと推定されています。最近の黒点の周期も約13年と長くなっているなど当時と状況が似ており、太陽活動は停滞期に入るかもしれないと指摘されています。しかし、11年周期の謎が解けなければ、周期が長くなっていることの意味や、これから停滞期に入るかどうかは分かりません」

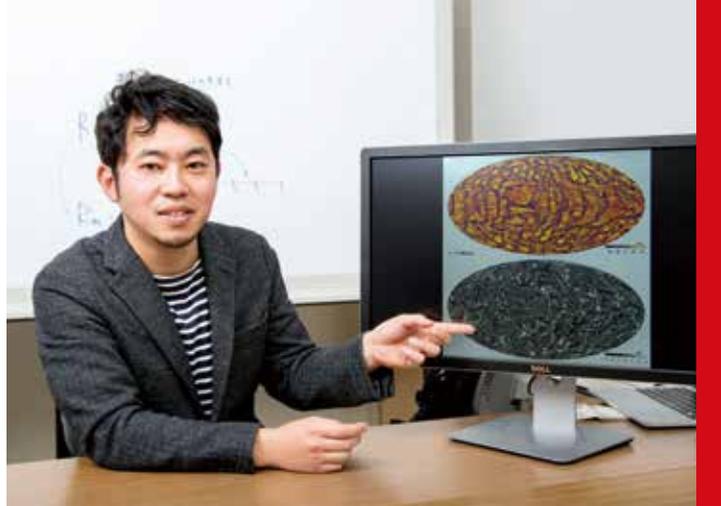
新手法で高解像度の太陽を再現

太陽は直径約140万kmと、地球の109倍ほどの直径を持つ巨大な天体です。主成分は水素で、中心部では水素の核融合が起きてヘリウムができています。核融合で発生

したエネルギーは、中心部から半径の70%まで(放射層)は光のエネルギーで伝わります。半径の残り30%に当たる表層(対流層)では、水素とヘリウムのプラズマの対流運動でエネルギーが運ばれます(図1B)。プラズマとは、原子をつくるマイナス電荷の電子とプラス電荷の陽子がばらばらになった状態です。電荷を帯びたプラズマが運動することで磁場が生まれ、プラズマと磁場は一緒に運動します。

「黒点の11年周期の仕組みを解くには、対流層のプラズマ運動や磁場を知る必要があります。しかし太陽内部はどんな波長の光でも観測することができません。そこで、計算科学を用いてコンピュータの中に太陽を再現して理解する必要があります」

太陽を記述する方程式はすでにあります。1970年にノーベル物理学賞を受賞したH. Alfvén博士が見つけた磁気流体力学の方程式です。「地震による破壊のように、記述する方程式をつくるのが難しい現象も多いのですが、太陽の場合は磁気流体力学



堀田英之 千葉大学大学院理学研究科 特任助教

撮影：STUDIO CAC

の方程式を完全に解くことができれば、太陽の謎は全て解明できると考えられています。しかし、その計算はとて大変です

流体のさらさら度を表す指標にレイノルズ数があります。その数が大きいほど、計算量が増えてしまいます。「太陽のレイノルズ数はおよそ100億。一方、現在計算されている最大のレイノルズ数は数万です。太陽を再現するには、膨大な量の計算が必要です」

膨大な量の計算をするとき、部分ごとに計算を分割して、たくさんのCPU（中央演算処理装置）に分担させます。従来、太陽を再現する計算では、計算を簡単にするため、太陽の中を音波は無限大の速さで伝わると設定して、音波が伝わる式を省略していました。しかし、音波が無限大の速さで伝わる場合、時間ステップごとに毎回、1個のCPUの情報をほかの全てのCPUに伝える必要があります。

「音波を無限大と設定する手法では、CPUが3,000個以上になると通信量が多くなり過ぎて計算速度が落ちてしまいます。そのため太陽の計算は多くのCPUを持つスーパーコンピュータには不向きで、低解像度の太陽しか再現できませんでした。私が大学院博士課程1年生だった2012年、約8万3000個のCPUを持つ『京』の共用が開始されました。私は新しい手法を開発して『京』の中に高解像度の太陽を再現してみたいと思いました」

堀田さんはRempel博士たちと共同研究を行い、音速を遅く設定した方程式をいろいろと試し、うまくいく手法を見つけ出しました。その「音速抑制法」を使えば、隣のCPUとだけ情報をやりとりすれば

済み、通信量を大幅に減らすことができます。堀田さんたちはその手法を用いて、「京」の中に高解像度の太陽を再現しました（図1A）。

高解像度で構造や周期が復活！

「しかし、太陽の計算では解像度を高くしてはいけない、と言われてきました。解像度を高くすると乱流のような不規則で細かいプラズマの流れがたくさんできて、黒点のような大きな磁場構造や11年周期は再現できないと考えられたからです。実際に私たちが従来よりも少し高い解像度で計算すると、プラズマの小さな乱流がたくさんできて大きな構造や周期は消えてしまいました。ところがさらに解像度を高くすると、プラズマの小さな乱流は消えて、大きな磁場構造や周期が復活したのです。最初、その計算結果が信じられませんでした」

なぜ、大きな磁場構造や周期は復活したのでしょうか。「実は、従来の低解像度で小さなレイノルズ数の計算では、再現される磁場はとて弱くなります。解像度を高くレイノルズ数を大きくすることで磁場は強くなり、現実の強さに近づいていきます。その強い磁場によってプラズマの小さな乱流は消されて、大きな磁場構造や周期が復活することが分かりました」

ポスト「京」で11年周期の謎を解く

「私は、太陽を再現する計算を行うと必ず動画をつくります。その太陽の動画をベッドに寝転んで眺めるのが好きです。そのまま寝てしまい、夢の中で動画に隠された重要なことに気付くこともあります」

今回、堀田さんたちは、太陽中心部から半径の96%までの50年間分の計算を高解像度で行い、黒点を生み出す太陽内部の磁場の周期を再現することに成功しました（図4）。

「ただし、計算量が膨大になるため、太陽表面まで50年間分計算して黒点を再現することはできていません。磁場周期もきれいな11年ではなく、6～15年とふらつきがあります」

堀田さんは、ポスト「京」で太陽表面までの50年間分の計算を行い、黒点の11年周期をきれいに再現するつもりです。「その計算結果の中に、11年周期の謎の答えがあるはずですが、ただし、その計算結果は膨大なデータになります。ポスト『京』で、その膨大なデータを解析して答えを探し出したいと思います」

太陽活動はこれから、約400年前のマウンダー極小期のような停滞期に入のでしょうか。また最近、太陽に似た恒星の表面で「スーパーフレア」と呼ばれる超巨大な爆発現象が起きることが分かり、私たちの太陽でも数千年に1回といった頻度でスーパーフレアが起きて、大量の高エネルギー粒子が地球を襲う可能性が議論されています。

「マウンダー極小期やスーパーフレアのような、まれに起きる現象を調べるには、高解像度の太陽を何百年～数千年間分、再現する必要があります。それにはポスト「京」のさらに次のスーパーコンピュータが必要になるでしょう。私は今、31歳。研究者人生を終えるまでに、太陽の謎を全て解明したいですね」

(取材・執筆：立山 晃／フォトクリエイター)

ポスト「京」が目指すこと 第4回

「京」の計算速度を大きく超えるポスト「京」の開発が進められています。ポスト「京」ではいったいどんなシミュレーションが行われるのでしょうか。9つの重点課題からピックアップして紹介します。

近未来型ものづくりを先導する革新的設計・製造プロセスの開発 (課題8)

社会のニーズに応える付加価値の高い新商品・技術を生み出すために、設計と製造のプロセスに革新をもたらすシミュレーションをポスト「京」で実現します。具体的には、送風機やポンプなどのターボ機械、自動車、航空機などを対象にした設計と、それらの設計を具体化する溶接と炭素繊維強化プラスチック (CFRP) 成形のシミュ

レータを開発します。例えば、自動車の車体の周りやエンジンルーム内の空気の流れ、ハンドル操作と車の運動、車内の騒音などを連携してシミュレーションできる統合設計システムをつくり、設計を少し変えたときに燃費や安全性、快適性などがどう変わるかを何度も高速にシミュレーションして最適設計を実現することが目標です。

衝突安全

空力・熱害

振動・騒音

多目的最適化による全体俯瞰設計

構造・強度

操縦安定性

溶接シミュレータ

CFRP成形シミュレータ

温度分布

ひずみ分布

設計プロセスの革新

製造プロセスの革新

自動車の統合設計システム
ターボ機械の設計・評価システム
航空機の設計・運用革新
多目的設計探索・高速計算技術

宇宙の基本法則と進化の解明 (課題9)

宇宙は約138億年前に超高温・超高密度状態のビッグバンから始まりました。宇宙の膨張により温度が下がるにつれて、素粒子のクォークから陽子や中性子がつくられ、陽子と中性子から水素やヘリウムといった軽い元素の原子核ができました。一方、宇宙には正体不明のダークマターが存在し、陽子や原子核など普通の物質の数倍あることが分かってきました。まずダークマターが重力によって集まり、そ

に普通の物質が引き寄せられて星や銀河が誕生しました。このような素粒子から宇宙までスケールをまたがる現象の精密な計算を、ポスト「京」で実現します。さらに、その精密計算と大型実験・観測のデータを組み合わせて宇宙の基本法則の手掛かりを見つけ、ダークマターの正体や金などの重い元素がどこでどのように合成されたのかなど、多くの謎が残されている宇宙誕生と進化の解明を目指します。

宇宙の基本法則と宇宙誕生の解明

重元素合成の謎の解明

宇宙進化の解明

宇宙誕生 (ビッグバン)

クォーク3個から陽子や中性子ができる

陽子

中性子

水素やヘリウムの原子核ができる

原子核

電子

原子核

ヘリウム

水素

星や銀河ができる

現在 (宇宙誕生から約138億年)

聞いてみよう！ 研究者に

「京」のソフトウェア開発に携わるメカニカルドクター
—寺井さんは現在、計算科学研究機構の運用技術部門で「京」のソフトウェア(アプリケーションおよびツール)の開発研究を担当しています。大学院時代に並列計算機と計算科学に出会い、現在は、ポスト「京」と呼ばれる「京」の後継機の開発にも携わっている計算科学のスペシャリストです。また、技術開発の成果を研究論文として投稿し、専門家が集まる会議で発表しています。そんな忙しい、縁の下の力持ちでもある寺井さんにお話を伺いました。



運用技術部門
ソフトウェア技術チーム
フラッグシップ2020プロジェクト
アプリケーション開発チーム
開発研究員
寺井 優晃

エンジニア。金沢高専卒業。岡山大学理学部卒業後、JAISTで学位(情報科学)取得。2006年から理化学研究所勤務。鷹揚な生き方に憧れながらも、待てど海路の日和なし。趣味は温泉巡り。

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat/Sun
AM	「京」の運用関係の仕事 「京」を使っている研究者たちをサポートする仕事です	「京」の運用関係の仕事	「京」の運用関係の仕事	「京」の運用関係の仕事	「京」の運用関係の仕事	基本的に お休み
PM	雑務 書類を作ったり いろいろします	ツール開発 アプリケーション開発を効率的に行うための「ツール」を開発する仕事です	雑務	アプリケーション開発	ポスト「京」開発プロジェクトに関係する仕事	

【開発研究員のとある1週間(9:30~19:00)】
勤務時間は基本的に、9時半から19時くらいまで。論文執筆などは勤務時間外に集中して行うと効率が良いことが多いです。夜遅くまで仕事をすることもありますが、一旦帰宅して夕飯をとってから自宅で仕事をするなど、規則正しい健康生活になるよう心がけています。



interview

明石北高等学校2年生有志

Q 研究員になったきっかけはなんですか？

A 大学で「計算科学」と呼ばれる、計算機科学と自然科学が融合した分野があることを知り、大学院では計算科学の一分野である数値流体力学を学びました。その後、大学・大学院で学んだことを活かせるような仕事に就きたいと思ったことがきっかけですね。

Q 研究員という仕事のおすすめポイントはどこですか？

A 普通の会社は契約で労働時間を定めていることが多いです。でも、研究員の仕事はそれぞれの担当や能力に依るところが大きく、一括りに労働時間を定めることは難しいので、理研では裁量労働制、つまり研究員が自分の裁量で仕事の時間配分をしてもよいことになっています。おそらく、自己管理ができて、成果を出し続ける自信がある人にとっては研究所の職場環境はよいと思います。



Q 学会発表の場での勝負服はありますか？

A 勝負服は特にはないですが、経験的には、工学系の方だとスーツが多く、理学系ではゆるい感じがあります。ある学会でアロハシャツの人を見かけたこともあります。でも、悩むぐらいならスーツが無難だと思います(笑)。

Q もしも研究者じゃなかったら？

A 実は全く覚えていないのですが、幼稚園の卒業アルバムの将来の夢に「先生」と書かれていたので、もしかするとそういう道もあったかも…なんの先生かわからないですけどね(笑)。

ただ、常々、社会における問題を発見し、微力ながら問題の解決に貢献したいと考えていたので、今のエンジニアの仕事はある程度理想に沿っていると思います。

Q 高校生へのメッセージをよろしくお願いします！

A 自分のすべきこととやりたいことを常に考えて、それらにどれだけ挑戦できるかが大事だと思います。そのためには目的を明確にし、日々の努力が必要だと思います。皆さんの年頃は人生で一番貴重な時間ですので、いろいろ挑戦してみてください。おそらく何十年か後にその投資が返ってくると思います。余談なんですけど、私は若いときあまり勉強をしなかったので、今頃になって英語や英会話で苦労することが多いです(笑)。ぜひ今のうちに単語力ぐらいはつけておくと、将来違った世界が見えてくると思います。

インタビューを終えて

今回、普段関わることのない研究者とのインタビューを通して、貴重なお話を伺うことができ、新たな発見をすることができました。お話しの中で、寺井さんの仕事へのまっすぐな姿勢を感じました。「華を支える地味な人がいるのが仕事で、華しくないものはキャンセルだ」という話がありました。この話を聞き、地味なことにとっかりと取り組むことが大切であり、その苦勞をすることで華を咲かせることができるとわかりました。ついつい華に目が行ってしましますが、その裏にある努力に目を向けることが大切だと思いました。最後に、今回忙しい中、私たちのインタビューに時間を割いていただきありがとうございました。取材に携わってくださったすべての方々に感謝します。

(取材・執筆:高橋うらら、鳥本あかり、森美賢、山本謙次、鎌谷海斗、山本達也)



計算科学 の世界

K Computer Newsletter
March 2017 NO. 14

発行日 平成29年3月24日
編集発行 理化学研究所 計算科学研究推進室
〒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 : aics-koho@riken.jp

制作協力 有限会社フォントクリエイト
デザイン 株式会社デザインコンピビア
ヒラタ印刷株式会社

「京」のもっと詳しい情報はこちら！
<http://www.aics.riken.jp>

ホームページ版
「計算科学の世界」はこちら
<http://www.aics.riken.jp/newsletter/>



RIKEN 0000-000