

第19回 自然科学研究機構シンポジウム

公開シンポジウム

# 宇宙から脳まで 自然科学研究の“ビッグバン”

—コンピューターが切り開く自然科学の未来—

(主催)

**NINS**  
National Institutes of Natural Sciences

大学共同利用機関法人 自然科学研究機構  
<http://www.nins.jp/>

2015年  
**9月20日** 

13:00～18:00 (開場12:30)

〈参加無料〉

〔会場〕名古屋大学豊田講堂

共 催: 名古屋大学、中日新聞社

後 援: 愛知県教育委員会

## [プログラム]

### 開 会

13:00~13:10

13:00~13:10 開会挨拶

佐藤 勝彦 (自然科学研究機構 機構長)

### 講 演

13:10~17:50

13:10~13:50 地球の誕生を観る

小久保英一郎 (自然科学研究機構国立天文台 教授)

13:50~14:30 宇宙の夜明け・ファーストスター形成と巨大ブラックホールの起源

吉田 直紀 (東京大学 教授)

14:30~14:50 休 憩 (パネル展示)

14:50~15:30 超大規模シミュレーションが拓く気象学の最先端

坪木 和久 (名古屋大学 教授)

15:30~16:10 ビッグデータと数理モデル：経済物理学の先端で

高安美佐子 (東京工業大学 准教授)

16:10~16:30 休 憩 (パネル展示)

16:30~17:10 核融合：プラズマカレイドスコープ

伊藤 篤史 (自然科学研究機構核融合科学研究所 准教授)

17:10~17:50 脳の実スケール回路モデル ～行動制御の仕組みを探る

銅谷 賢治 (沖縄科学技術大学院大学 教授)

### 閉 会

17:50~18:00

17:50~18:00 閉会挨拶

林 正彦 (国立天文台 台長)



さとう かつひこ  
**佐藤 勝彦**

自然科学研究機構 機構長

1968年京都大学理学部物理学科卒業。1974年京都大学大学院理学研究科博士課程修了(理学博士)。1982年東京大学理学部助教授。1990年同大学院理学系研究科教授。1999年同研究科付属ビッグバン宇宙国際センター長。2001年同研究科長・理学部長。2009年定年退官。

同年、同大学名誉教授。2013年日本学士院会員。2014年度文化功労者。同年度香川県文化功労者。2015年現在、大学共同利用機関法人自然科学研究機構長。第5回井上學術賞、第36回仁科記念賞、紫綬褒章、日本学士院賞など受賞。



はやし まさひこ  
**林 正彦**

自然科学研究機構 理事／国立天文台 台長

1986年東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。同年日本学術振興会特別研究員、87年東京大学理学部助手、94年国立天文台大型光学赤外線望遠鏡計画推進部助教授、98年国立天文台ハワイ観測所教授、06年自然科学研究機構国立天文台ハワイ観測所長、10年東京大学大学院理学系研究科教授、12年自然科学研究機構副機構長・国立天文台長を経て、2015年より現職。

専門は電波天文学。

# 地球の誕生を観る

## 小久保 英一郎 (自然科学研究機構国立天文台 教授)

生命を宿す惑星、地球。私たちの住む地球はどのようにして誕生したのでしょうか。現在考えられている地球形成の標準的なシナリオは次のようなものです。地球をはじめとする太陽系の惑星は、約46億年前に原始太陽系円盤とよばれる太陽周りの円盤から誕生しました。この円盤は太陽の前世代の恒星の星くずであるガスとダスト(固体微粒子)からできています。このダストが地球のもとになります。まずダストが集まり、微惑星とよばれる1 kmほどの小さな天体が生まれます。その数は太陽系全体で約1000億個と見積もられます。微惑星は太陽の周りを回りながら衝突合体を繰り返して大きくなり、原始惑星へと成長していきます。原始惑星とは惑星の一段階前の天体で、地球の軌道付近には地球質量の1/10ほどの原始惑星が約10個できます。円盤のガスが散逸すると、原始惑星が衝突を始め、最終的に地球が誕生します。ここまで約1億年かかります。そして、太陽からちょうどいい距離に、ちょうどいい質量と組成で誕生した地球は、海をもつ惑星となったのです。現在、これらの形成過程はコンピュータシミュレーションを用いて詳細に研究されています。私たちの研究グループでは自らシミュレーションのための専用コンピュータと計算方法を開発し、惑星系形成の研究を行ってきました。講演では私たちの研究グループのシミュレーション結果を紹介しながら、地球の誕生物語を解説します。また、国立天文台4次元デジタル宇宙プロジェクトでシミュレーション結果からCGを用いて製作された映画「地球型惑星の形成」も上映します。



### PROFILE

自然科学研究機構国立天文台理論研究部 教授。博士(学術)。

1997年東京大学大学院博士課程修了。2000年国立天文台理論研究部助手、2006年同助教授を経て、2012年より現職。専門は惑星系形成論。理論とシミュレーションを駆使して惑星系形成の素過程を明らかにすることを目指す。著書に「一億個の地球」(岩波書店、1999年)、「宇宙の地図」(朝日新聞出版、2011年)、「宇宙と生命の起源2」(岩波書店、2014年)などがある。

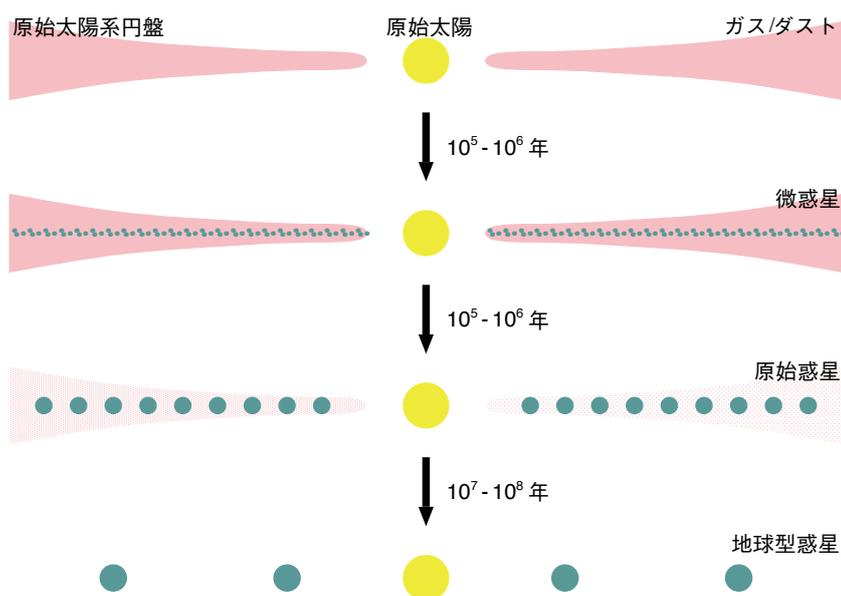


図1 地球型惑星形成の標準シナリオ



図2 原始惑星系

## KEYWORDS

**原始太陽系円盤**：太陽系の母体となった太陽周りのガスとダストからなる回転している円盤。太陽形成の副産物として形成される。

**微惑星**：惑星系形成においてダストから形成される小天体。固体惑星の材料となる。

**原始惑星**：微惑星の衝突合体によって形成される天体。微惑星と惑星の中間の天体。

# 宇宙の夜明け

## -ファーストスター形成と巨大ブラックホールの起源-

**吉田 直紀** (東京大学 教授)



最近の宇宙の観測から、宇宙の構成要素や進化史について多くの事が分かってきました。私たちの宇宙はおよそ 138 億年前に量子的なゆらぎから生まれ、ビッグバンとよばれる火の玉状態を経て宇宙全体は猛烈に膨張します。その後宇宙全体は一旦闇に閉ざされ、暗黒の時代をむかえます。宇宙初期の密度揺らぎを種として星や銀河などの光輝く天体が誕生し、創生から数億年という早期に宇宙は再び光に満たされるようになりました。宇宙で最初に生まれた天体は何か。巨大なブラックホールはいつから存在するのか。様々な観測装置を用いた現代宇宙論の最前線はこれら早期宇宙の進化の謎に迫りつつあります。

すばる望遠鏡やハッブル宇宙望遠鏡を用いることで、宇宙が生まれてから 7 億年ほど経った時期に存在した銀河からの光を観測し、当時の宇宙の様子をうかがい知ることができます。しかしそれよりも昔の宇宙、つまりもっと遠くの宇宙にある天体は、未だどのような電磁波帯でも観測されておらず、天文学のフロンティアとなっています。この、ビッグバンから数億年ほど経った時期を「宇宙の暗黒時代」と呼びます。早期の宇宙で星や銀河が誕生する際には、ダークマター（暗黒物質）とよばれる未知の物質が重要なはたらきをしたと考えられています。ダークマターの正体や性質についてはほとんど分かっておらず、物理学の大きな謎の一つとして残っています。興味深いことに、遠くの宇宙を観測することでダークマターの正体に迫ることもできると期待されています。

講演では、最近の深宇宙観測の結果をもとに得られた宇宙像を紹介し、スーパーコンピュータを用いた大規模シミュレーションで明らかになった宇宙最初の天体が誕生する様子を解説します。

### PROFILE

東京大学大学院理学系研究科 教授。博士(理学)。

1996年、東京大学工学部卒業。ミュンヘン大学大学院修了。ハーバード大学、名古屋大学などを経て、2012年より現職。2008年国際純粋応用物理連合若手科学者賞受賞。

専門は宇宙物理学、宇宙論。スーパーコンピューターシミュレーションを用いて星やブラックホール誕生の謎に挑む。著書に「宇宙で最初の星はどうやって生まれたのか」(宝島社 2011年)、「ムラムラする宇宙」(学研教育出版 2014年)など。

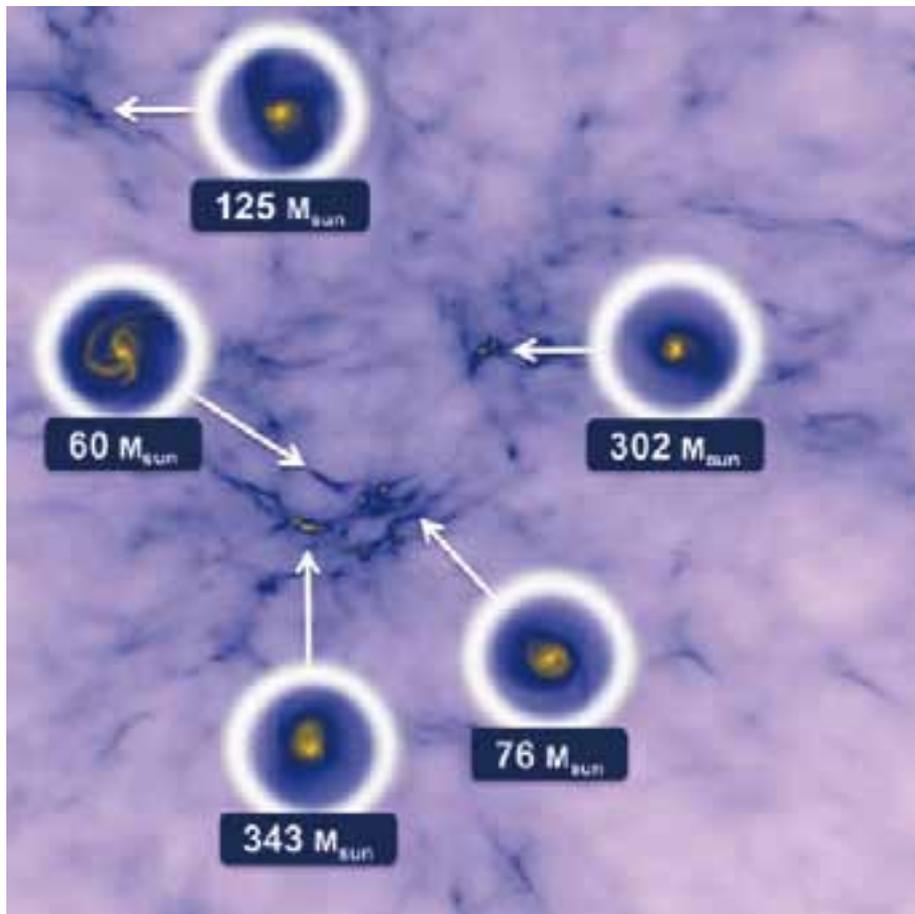


図 ファーストスター形成のスーパーコンピューターシミュレーション。1辺が10万光年の大きな領域の中で、色の濃淡はガスを表し、白枠には誕生した星々の周辺の様子を拡大して表している。数字は誕生した星の質量を、太陽質量を基準として表している。

## KEYWORDS

- ダークマター**： 私たちの宇宙にある物質の8割を占めると考えられている、未知の物質。銀河の回転や衝突する銀河団の観測などからその存在が明らかになった。未知の素粒子で構成されているのではないかと考えられている。
- ファーストスター**： 宇宙初期に誕生した第一世代の星。水素とヘリウムを含み、種族 III の星とも呼ばれる。これまでに直接観測では発見されていないが、遠方の宇宙や近傍の古い星など、様々な観測からその正体に迫ることができると期待される。
- 超巨大ブラックホール**： 現在の宇宙にはたくさんの銀河があり、そのほとんどの中心に太陽の100万倍から10億倍という巨大なブラックホールが存在すると考えられている。遠方宇宙にも存在し、その起源や成長過程に多くの謎がある。

# 超大規模シミュレーションが 拓く気象学の最先端

坪木 和久 (名古屋大学 教授)



天文学では望遠鏡が、細菌学では顕微鏡が新しい世界を拓いてきたように、気象学ではスーパーコンピュータが研究の最先端を切り拓いてきました。望遠鏡も顕微鏡も人の目では見えないものを観るためのものですが、気象学ではコンピュータも同様に見えないものを観るための科学技術と言えます。2002年に「地球シミュレータ」というスーパーコンピュータが登場したことで、気象学を含む地球科学が飛躍的に発展しました。このロマンチックな名前を持つコンピュータは、多様で、複雑で、極めて繊細な地球をコンピュータの中に持ち込み、そこにある無数の謎と問題を解き明かすために登場したのです。

私たちも地球シミュレータで計算する“雲解像モデル”を開発し、気象学の謎、特に台風謎の解明に取り組んでいます。1959年9月、伊勢湾台風が日本に襲来し未曾有の大災害をもたらしました。当時、気象衛星も気象レーダもなく、その全容を知るすべはありませんでした。そのような歴史的台風を地球シミュレータで再現することができるようになってきました。図1は上陸直前の伊勢湾台風を再現したものです。大規模な計算で台風の雲一つひとつを再現することにより、台風そのものを非常にリアルに描けるようになりました。伊勢湾台風を再現することは、単にその実態を知るという科学的興味だけではなく、将来日本に襲来する台風の最悪シナリオとして、これからの防災対策に役立てることができそうです。

さらにシミュレーションでは、もっと直接的に未来の台風を予測することも可能です。現在進行している地球温暖化が今世紀末ごろの台風をどのくらい強いものにするのかは大きな問題です。未来の台風を観測から知ることはできませんので、この問題にはシミュレーションしか答えることができません。図2は今世紀後半の温暖化した気候で発生したスーパー台風が、日本に上陸することを予測したものです。このようにシミュレーションでは、未来の最強台風の特性を知るとともに、防災対策に重要な情報を提供することができます。最近では超大規模計算により台風全体をシミュレーションしつつ、そのなかに発生する竜巻までも再現できるようになってきました(図3)。講演ではそのような最先端の気象のシミュレーションを紹介しつつ、超大規模シミュレーションが拓いてきた気象学の最先端をお話したいと思います。

## PROFILE

名古屋大学地球水循環研究センター 教授。博士(理学)。

1985年 北海道大学理学部地球物理学科卒。1990年 同大学院理学研究科博士課程退学、同年理学博士。1990年 東京大学海洋研究所助手、1997年 名古屋大学大気水圏科学研究所助教授、2001年 地球水循環研究センター助教授/准教授の後、2012年より現職。1998年より名古屋大学で雲解像モデルを開発し、台風や豪雨、竜巻などを中心に雲・降水の大規模シミュレーションを行っている。専門は気象学。

著書：計算科学講座 10 超多自由度系の新しい科学，金田行雄・笹井理生監修（共立出版株式会社）（共著）

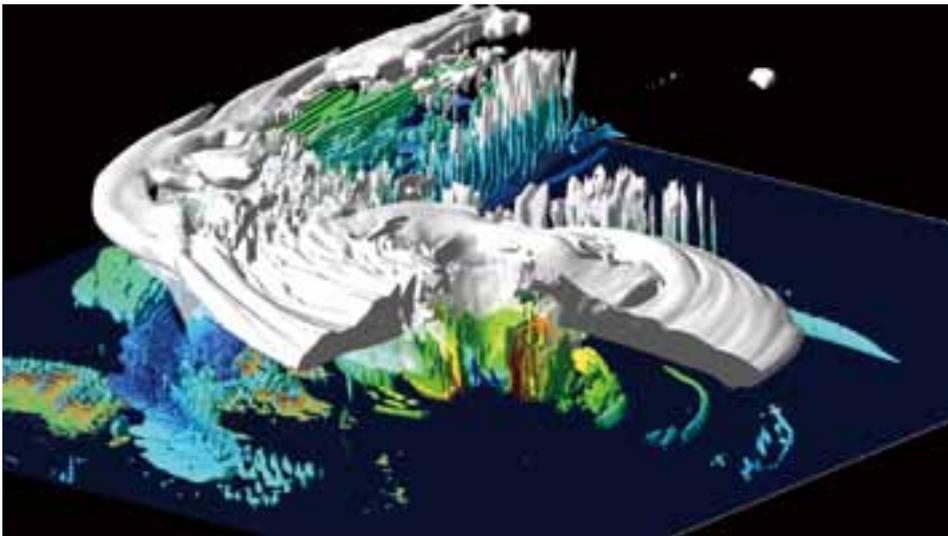


図 1 雲解像モデルが再現した伊勢湾台風の立体的表示。雲（グレー色）と降水を立体的に表示し、眼の壁雲周辺の風速分布が分かるように降水には赤色系（強風）から青色系（弱風）にグラデーションする色を付けた。また台風の眼とその周辺の鉛直構造が分かるように台風の南西部分を切り取ってある。（名古屋大学情報基盤センター高橋一郎氏作成）



図 2 文部科学省 21 世紀気候変動予測革新プログラムで実施した未来（2076 年 9 月）のスーパー台風のシミュレーション実験の結果。白の濃淡により雲を立体的に表現してある。同プログラムで気象研究所が作成した未来の全球気象データを与え、高解像度のシミュレーションを、雲解像モデルを用いて行った。

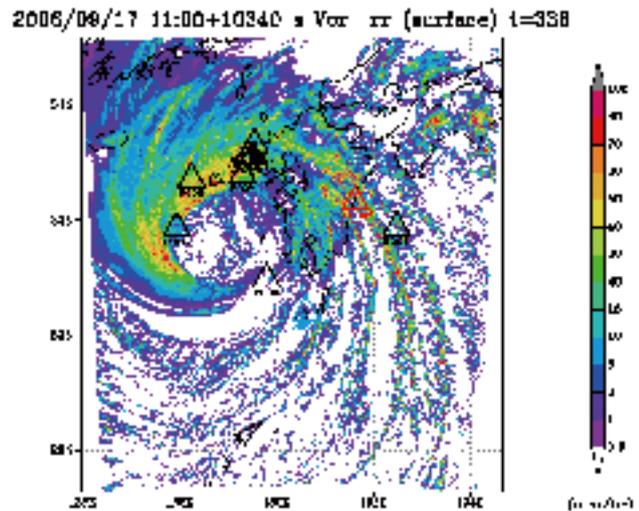


図 3 水平解像度 75m で行った台風のシミュレーションの結果。初期値から 10340 秒後の降水強度をカラースケールで示してある。△は台風に伴い発生した竜巻の位置。赤い△は特に強い竜巻を示す。

## KEYWORDS

- 地球シミュレータ：** 国立研究開発法人海洋研究開発機構が運営する世界最大規模のスーパーコンピュータ。地球温暖化などの人類の直面する問題の解決に大きく寄与している。
- 雲解像モデル：** 雲のなかの物理過程を詳細に計算し、積乱雲などの雲一つひとつを正確に計算する気象シミュレーションのためのコンピュータコード。
- 台風：** 西部北太平洋と南シナ海で発生する  $17\text{ms}^{-1}$  以上の地上風速を持つ熱帯低気圧。地球温暖化に伴う将来変化が大きな問題となっている。

# ビッグデータと数理モデル

## : 経済物理学の先端で

**高安 美佐子** (東京工業大学 准教授)



21世紀になり、社会や経済に関連したビッグデータが新しい科学の源泉になっています。インターネットや携帯を通して蓄積される様々なデータは、人間の社会的な行動の履歴を観測する望遠鏡や顕微鏡のような役割を演じます。金融市場や様々な経済活動、さらには、ブログなどの人間が書き込んだ記事データを、あたかも宇宙から飛んでくる電波などと同じように科学者が解析し、新しい経験則の発見や現象の本質を説明する数理モデルが学術誌に掲載されるようになったのです。

例えば、外国為替市場に関しては、千分の1秒刻みのタイムスタンプのついた売買注文情報が市場のデータとして蓄積されており、このデータを丁寧に解析することで、市場価格の変動の仕組みが明らかになりつつあります。また、日本国内で活動している約100万社の企業の取引関係のネットワーク構造を分析することで、直接は観測ができないような企業間の関係性を記述することができつつあります。既に経済物理の成果が内閣府の地域経済分析システム (RESAS) に実装され、地域経済を活性化するための政策決定に使われはじめています。ビッグデータに関する研究は、20世紀にはなかった新しい科学を産み、また、様々な形で21世紀の社会を変えていく原動力になると期待されます。

### PROFILE

東京工業大学大学院総合理工学研究科知能システム科学専攻 准教授。博士(理学)。

1987年名古屋大学理学部物理学科卒業。1993年神戸大学大学院自然科学研究科博士課程修了。慶應義塾大学工学部助手、公立ほこだて未来大学助教授を経て、2004年より現職。専門は統計物理学・経済物理学。著書に『学生・技術者のためのビッグデータ解析入門』(日本評論社、2014年)などがある。

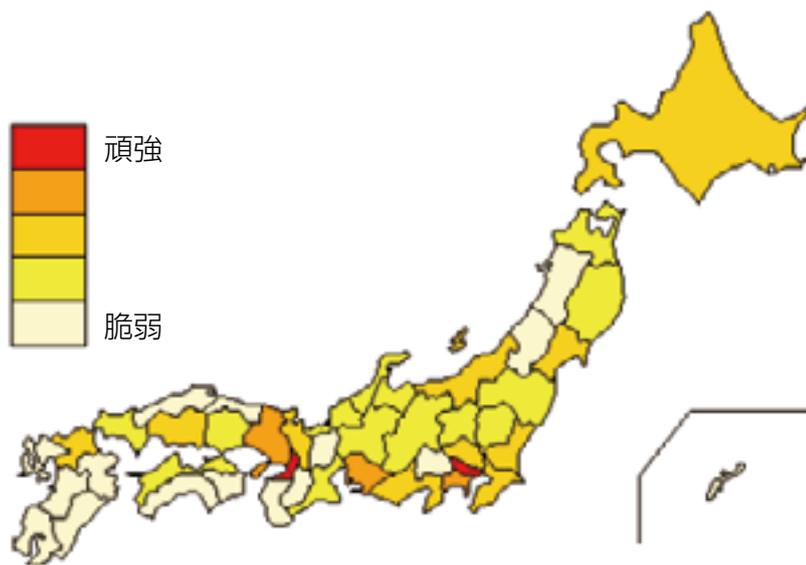


図1 地域別企業ネットワークの頑強性

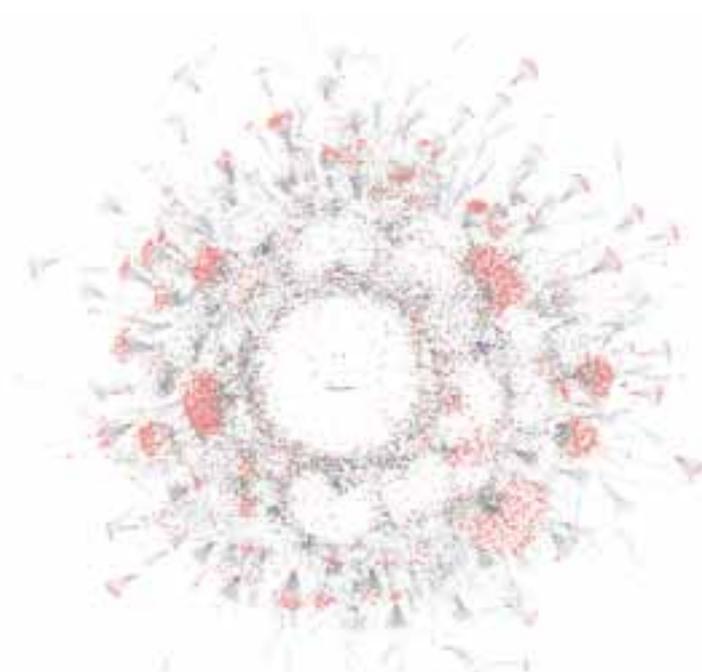


図2 Twitterのネットワーク上で情報が拡散していく例

## KEYWORDS

**為替市場**：一日に400兆円もの取引が行われている世界最大の通貨の交換をする市場。ここで取引されたドルの価格がドル円レートを決める。

**企業ネットワーク**：企業をノード、取引関係をリンクとすると、日本中の企業は平均的には5リンク程度でつながっており、極めて複雑なネットワーク構造を持つ。

**ブログ**：ユーザーが自由に自分のホームページに書き込む日記のような記事。日本中のブログのデータを集約すると、人々が関心を持っている言葉を抽出することができる。

# 核融合 :プラズマカレイドスコープ

**伊藤 篤史** (自然科学研究機構核融合科学研究所 准教授)

核融合、それは太陽が光り輝くためのエネルギーです。太陽の中心は、1500 万度に及び超高温の状態であり、水素原子が高速に飛び交っています。そこで原子同士が衝突すると、原子核が融合し、別の元素へと姿を変えます。宇宙の全ての元素は、水素原子から始まった核融合によって作られたと考えられています。原子核が融合し質量が減ると、それに応じたエネルギーが発生します。これはアインシュタインの一般相対性理論によるものです。この核融合エネルギーにより太陽は何十億年も光り続けていられるのです。我々の研究の目的は、核融合エネルギーをつかった発電システムの実現です。

もちろん、地上での核融合は簡単ではありません。太陽は自らの重力によって、超高温で高速に飛び交う粒子を閉じ込めています。地上ではその様なことはできません。しかし、我々人類は磁石の力を使うことで、超高温の粒子を閉じ込める方法を見つけました。超高温の環境では、原子を構成する電子と原子核（イオン）が離れて飛び交うプラズマ状態になります。電子とイオンは電気を帯びた状態にあり、磁力線の籠を作ってやることで地上でもプラズマを閉じ込めることができるのです。核融合研究では古くから、スーパーコンピュータを使ったプラズマ挙動の解明に力を入れてきました。液体や気体を拡張した電気を帯びた流体としてプラズマを計算する電磁流体シミュレーション、構成要素のイオン・電子一つ一つを計算する粒子シミュレーション、そして、プラズマ特有の5次元空間で運動を考えるブラソフシミュレーションなど、様々な方法を駆使することで、理想的な核融合条件を探しています。それにとどまらず、プラズマ-物質相互作用にも耐えられる理想的な核融合炉材料の探索も行っています。普段は目に見えないプラズマをコンピュータで仮想的に描くと、それは磁力線の籠に閉じ込められた光り輝く万華鏡（カレイドスコープ）の様です。



## PROFILE

自然科学研究機構核融合科学研究所 准教授。博士(理学)。

2004年名古屋大学理学部物理学科卒業。2009年名古屋大学大学院理学研究科博士課程修了。2009年学振特別研究員、2010年核融合科学研究所助教を経て、2015年より現職。

専門はプラズマ核融合学および物性物理学。特にプラズマ-物質相互作用。現在は固体の密度を持ったプラズマ状態の理論的記述に興味を持つ。

2014年自然科学研究機構若手研究者賞受賞。

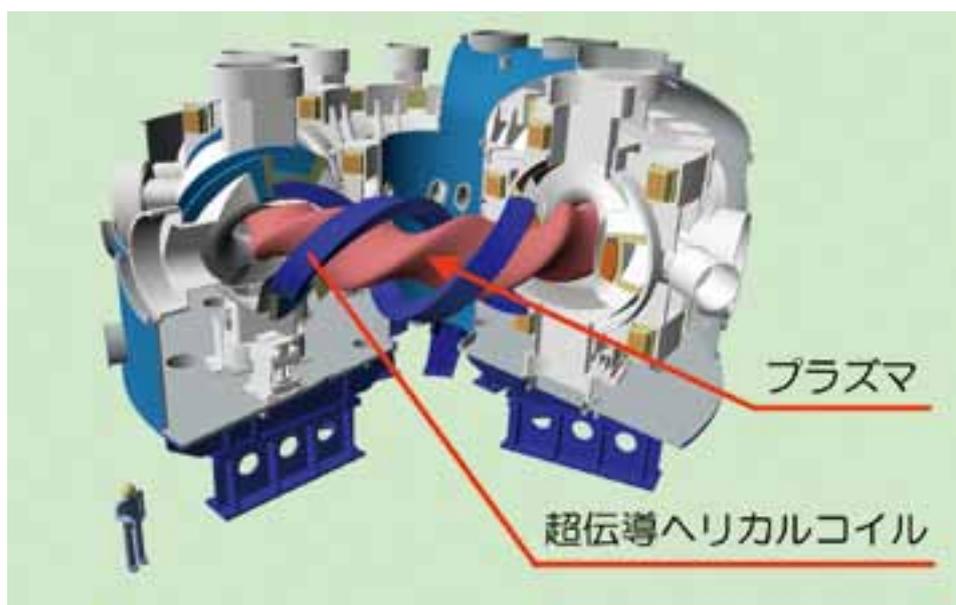


図 1 核融合科学研究所で使われている世界最大の超伝導ヘリカル型プラズマ閉じ込め実験装置 (LHD)。らせん状に巻いた超伝導ヘリカルコイルによって磁力線の籠を作りプラズマを閉じ込めています。



図 2 核融合科学研究所のスーパーコンピュータ (プラズマシミュレーター) によって計算した LHD 内部のプラズマの様子。コンピュータを使えば、現実の実験では見られない内側から見た様子もこの様に見ることができます。



図 3 プラズマと接することで炉材料の表面が荒れていく様子をコンピュータで再現した様子。電子顕微鏡でも見ることでできない原子一つ一つの動きも、この様にコンピュータでシミュレーション可能です。炉材料であるタングステン (紫) にプラズマ状態のヘリウム (青) が侵入することで、固体の中にナノスケールの気泡ができるという不思議な現象が起こります。

## KEYWORDS

**プラズマシミュレーション:** 位置座標と運動量座標 (もしくは速度座標) で記述した 6 次元空間において分布関数の時間変化を計算するシミュレーション技法です。核融合プラズマでは磁力線による閉じ込めを利用して近似的に 1 次元を落とした 5 次元空間を扱うことで計算負荷を下げる工夫がされています。

**プラズマ-物質相互作用:** プラズマと固体材料物質が直接接することで、材料表面に自然界では発生しない様々な非平衡現象が起こります。物質が単に破壊されるというだけでなく、コンピュータチップやナノスケール物質の製作技術としても応用されています。

# 脳の実スケール回路モデル

## ～行動制御の仕組みを探る

**銅谷 賢治** (沖縄科学技術大学院大学 教授)



脳が働く仕組みを理解するためには、それを構成する神経細胞の回路の構造や活動や、それらを操作した時の影響を調べる実験を行うことが必要です。しかし個々の実験でできるのは脳のある一部、またはある一側面を調べることなので、脳の働きを解明するには様々な実験の結果を統合して理解する必要があります。ある程度単純な回路であれば、それらを人の直感や思考実験で統合して理解することが可能ですが、脳のような複雑なシステムの働きを理解するには、脳の構造や活動に関するデータや知識をコンピュータ上で統合し、シミュレーションと解析を行うことが欠かせません。

私たちは脳の働き、特に自発的に行動を行い、その結果の良し悪しをもとにより良い行動を学習する「強化学習」の仕組みを理解するために、様々な実験とそのデータ解析、モデル化とコンピュータシミュレーションを行っています。脳のモデルには、個々の神経細胞の活動やその中の分子のネットワークのモデル、大脳皮質や大脳基底核など脳の特定の部位の神経回路の動作や学習のモデル、さらに脳全体が適応的な行動を実現する機構のモデルなど様々なレベルのものが 있습니다。それぞれのレベルのモデルのシミュレーションでも様々な発見がありますが、それらをつなぐ多階層モデルのシミュレーションと解析が必要であり、それには大規模なコンピュータとともに、新たなアルゴリズムとツールの開発が不可欠です。この講演では、その世界的な研究の進展と、私たち自身の取組について紹介します。

### PROFILE

沖縄科学技術大学院大学 神経計算ユニット 教授。博士(工学)。

1984年東京大学工学部計数工学科卒業。1986年東京大学大学院修士課程修了。1991年東京大学工学部助手のかたわら博士号を取るやいなやアメリカ、サンディエゴに移りソーク研究所などで脳科学を学ぶ。1994年から京都のATR研究所にて自ら行動を学習するロボットの開発と、脳の学習のしくみの研究を行う。2004年より沖縄科学技術大学院大学先行研究代表研究者、沖縄計算神経科学コースオーガナイザー。2011年沖縄科学技術大学院大学神経計算ユニット教授、副プロボースト。2007年日本学術振興会賞、塚原仲晃記念賞。2012年文部科学大臣表彰科学技術賞受賞。2014年全日本トライアスロン宮古島大会年代別3位入賞。

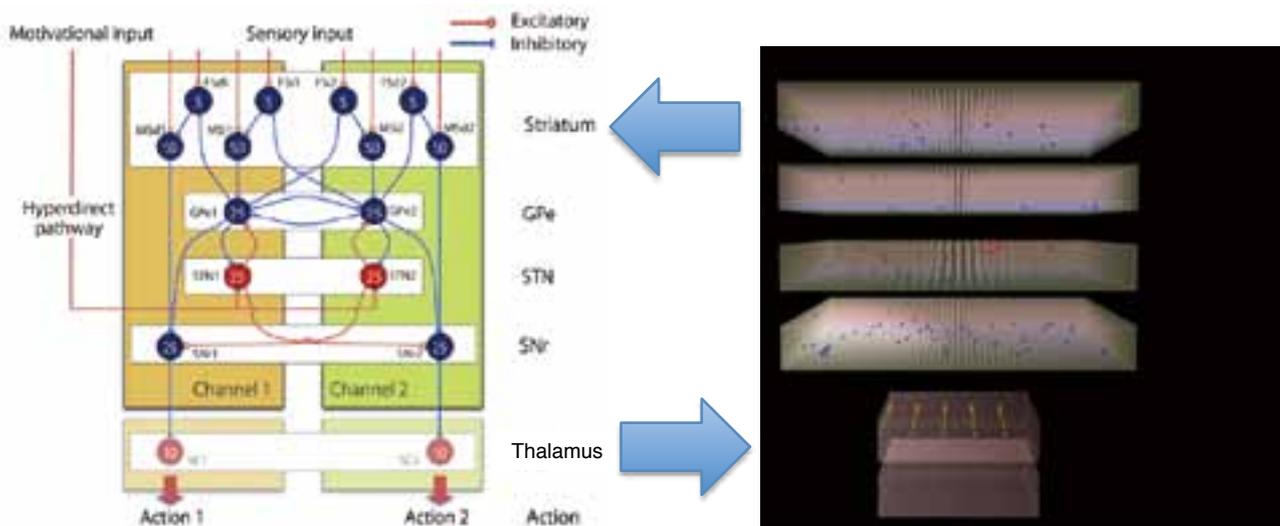


図1 大脳基底核と視床・大脳皮質の統合モデル

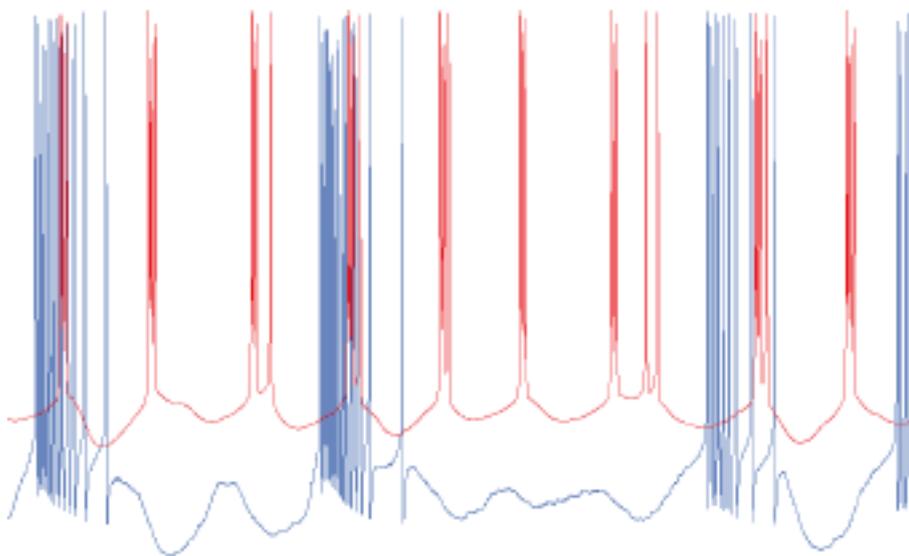


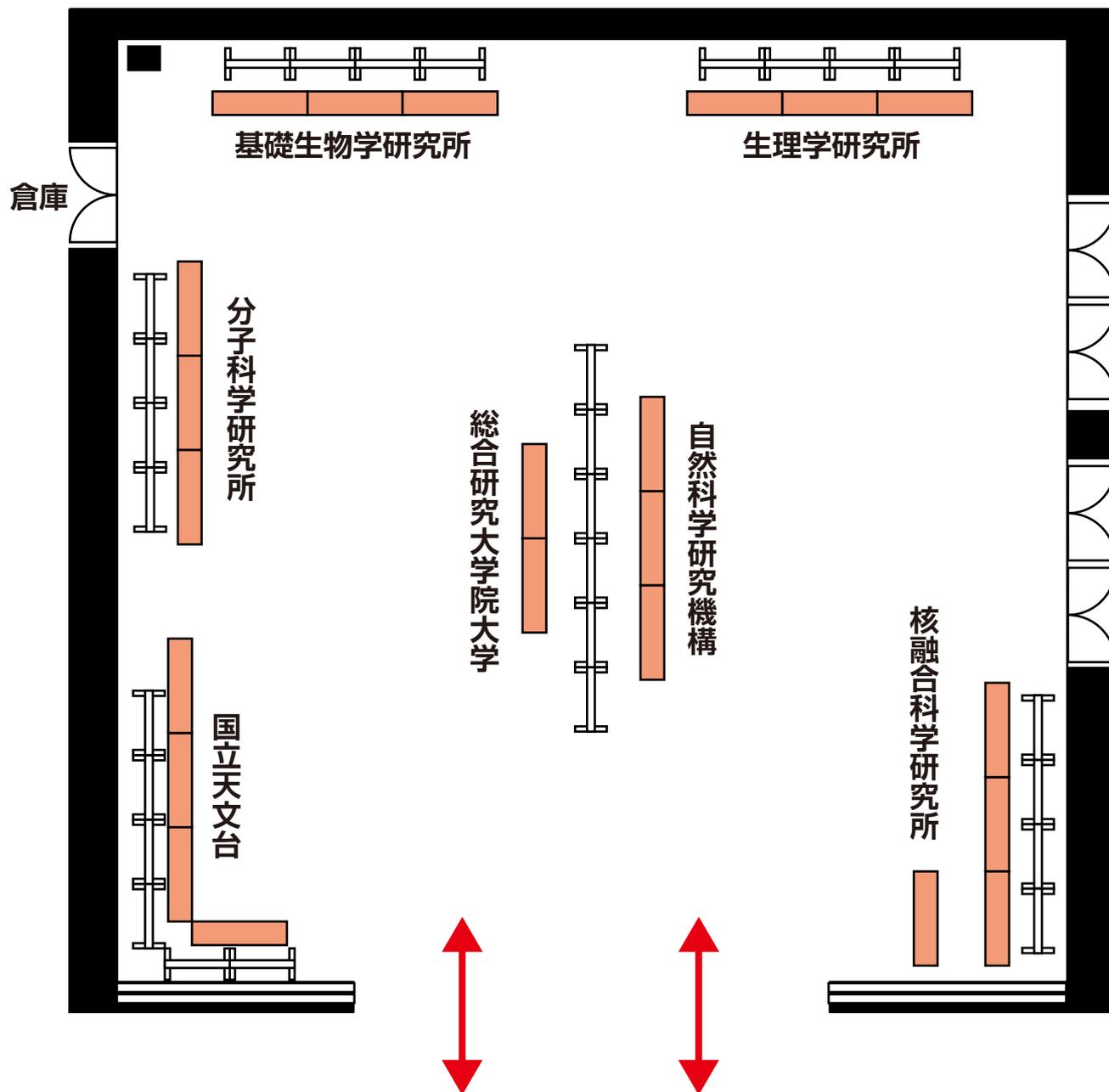
図2 視床ニューロンのバースト発火シミュレーション

## KEYWORDS

**強化学習:** 個体が様々な行動を探索し、その結果の良し悪しを示す報酬信号をもとに状況に適した行動を学習する仕組み。ロボットの行動学習、脳の学習機構、人の経済活動の理解まで幅広い分野で応用されている。

**大脳基底核:** 大脳皮質の内側に位置し、大脳皮質からの感覚運動情報とドーパミンにより伝達される報酬情報を統合し、脳の強化学習に主要な役割を果たすと考えられている。

# 展示会場案内図



## ● 会場

名古屋大学豊田講堂

愛知県名古屋市千種区不老町

## ● ライブ配信

Ustream・ニコニコ生放送にてライブ配信をします。視聴については以下URLをご覧ください。

<http://www.nins.jp/sympo19.php>



自然科学研究機構シンポジウム・メールマガジン

.....▶ <http://www.mag2.com/m/0001498331.html>

## 写真等の撮影について

当イベントで撮影した写真・映像・音声等は当機構のホームページ上又はプレス発表、広報誌等に公表する場合がありますので、予めご了承ください。