

JSTnews

未来をひらく科学技術

太陽系外惑星を見つけたい！
観測装置と統計数理を融合

10

October 2021



03

特集1

太陽系外惑星を見つけたい！ 観測装置と統計数理を融合



08

特集2

高齢者を元気にする 自由に移動できる社会



12

ムーンショット特別インタビュー 2050 年を描く 第2回

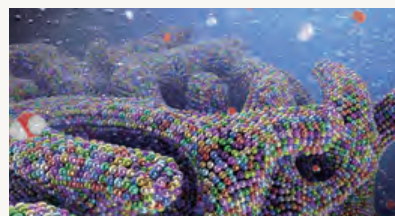
数理モデルやセンサー駆使 病気になる前に「治療」を



14

NEWS & TOPICS

14元素を均一に含む合金触媒 手法が簡便で、大量生産可能 ほか



16

さがける科学人

楽しさから生まれる唯一無二の発想

九州大学 大学院工学研究院 准教授
星野 友



特集1

太陽系外惑星を見つけたい！ 観測装置と統計数理を融合

1995年に観測によって太陽以外の恒星にも惑星があることが確認されて以来、世界中で太陽系外の新たな惑星探しが盛んになされている。2018年に打ち上げられた系外惑星探索衛星「TESS」が発見した系外惑星候補を、地上から追加観測して本物の惑星かを見分ける研究をリードしているのは、東京大学先進科学研究機構の成田憲保教授だ。望遠鏡に取り付ける多色同時撮像装置「^{マスカット}MuSCAT」シリーズの開発と、統計数理手法による高精度な解析を融合し、系外惑星探査の可能性をひらく。

なりた のりお
成田 憲保

東京大学大学院 総合文化研究科附属 先進科学研究機構 教授
2017年よりさがかけ研究者

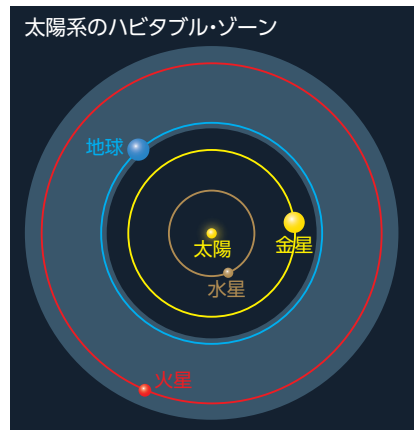
JSTは、シンクタンク機能、研究開発、産学連携、次世代人材育成、科学と社会との対話など、多岐にわたる事業を通じて、持続可能な開発目標 (SDGs) の達成に積極的に貢献していきます。



編集 長：安孫子満広
科学技術振興機構 (JST) 広報課
制 作：株式会社伝創社
印刷・製本：株式会社丸井工文社

常識をくつがえす「変な惑星」 新たな惑星形成理論の土台に

古代から人々は宇宙や星に興味を抱き、その謎に迫ろうと天体観測を行ってきた。望遠鏡が登場すると、遠く
の天体の微弱な光も捉えられるようになった。太陽以外の恒星にも惑星があることが観測によって初めて確かめられたのは、1995年のことだ。このような他の惑星系にある惑星を「太陽系外惑星」または「系外惑星」と呼ぶ。それまで太陽系のことしか知らなかった私たちに新たな世界観をもたらす発見をしたとして、最初の発見者たちに2019年にノーベル物理学賞が贈られている。



ハビタブル・ゾーン計算はKasting et al.(1993)に基づく
図1 ハビタブル・ゾーンは、恒星の周りで惑星表層に液体の水が存在し得る領域を指す。太陽系では地球もこのようにハビタブル・ゾーンの中に入っている。

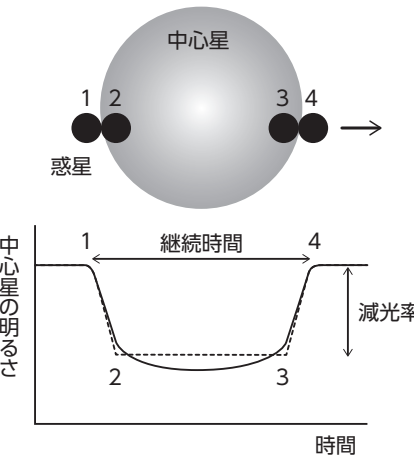


図2 太陽系でも太陽と地球の間を水星や金星が通り過ぎるように、太陽系外惑星でも主星の前を惑星が横切る現象をトランジットという。惑星が主星の前を通り過ぎる際に、惑星が主星の一部を隠すため、主星がわずかに減光して観測される。トランジット法では、この明るさの変化で、減光の深さからは主星と惑星の半径比、減光の継続時間からは惑星の軌道傾斜角と主星の密度などを求めることができる。

太陽系外の惑星が初めて発見されると、さらに新たな系外惑星を探す研究が世界中で盛んになった。系外惑星探査の最大の目的は、地球外生命の発見だ。そのために研究者たちは、地球のように生命を育めそうな惑星、つまり恒星から適度に離れていて、熱すぎず寒すぎないハビタブル・ゾーンにあり、液体の水が存在し得る環境の「ハビタブルな惑星」を探している(図1)。

しかし、系外惑星の面白さはそれだけではないと語るのは、日本の系外惑星探査研究をリードする東京大学大学院総合文化研究科附属先進科学研究機構の成田憲保教授だ。「系外惑星には、太陽系の常識からは全くかけ離れた惑星もたくさん見つかっています。それらが従来の惑星形成理論を覆し、新たな理論の土台になっています。ですから、私はむしろ『変な惑星』に注目しています」と語る。

どんなタイプの惑星がどこにあるのかは、その惑星系の歴史をたどる手掛かりになる。太陽系は内側から、地球のように岩石でできた「岩石惑星」、木星のように水素やヘリウムのガスが集まった「巨大ガス惑星」、水やメタンなどが凍った「巨大氷惑星」の順に並び、どれもほぼ同じ面上で、真円に近い楕円軌道上を公転している。

しかし、他の惑星系では、恒星に近いところを公転する「ホットジュピター」と呼ばれる巨大ガス惑星があったり、惑

星が主星の赤道面から斜めに傾いた軌道や、長く引き伸ばされた楕円形の軌道で回っていたりする。こうした惑星は最初からそういう軌道だったのではなく、その惑星系の歴史上のどこかで軌道が大きく変わった可能性があるという。

系外惑星が発見されるまでは太陽系しか例がなかったので、太陽系は最初からこの形で、他の惑星系があるとしても太陽系と似たような形をしているだろうと考えられていた。しかし、最初に発見されたペガサス座51番星bが公転周期わずか4.2日のホットジュピターであったことは、研究者たちを仰天させた。

星のわずかな減光を観測 惑星と恒星の違いを見抜く

その後も、太陽系にはないタイプの惑星が多数発見されたことで、太陽系は宇宙の標準ではないことがわかってきた。太陽系以外の惑星系のことがわかるにつれて、太陽系の成り立ちについて、他の惑星系と比較した議論ができるようになった。系外惑星に着想を得て、太陽系でも惑星は内側・外側への移動を繰り返して今の位置に落ち着いたという説など、新しい太陽系形成理論も生まれている。

成田さんはさきがけ「計測技術と高度情報処理の融合によるインテリジェ

ント計測・解析手法の開発と応用」領域の支援も得て、自ら開発した観測装置で系外惑星の観測を続けているが、太陽系の外に惑星を見つけることは簡単ではない。多くの場合、惑星は恒星に対してとても小さい。例えば、地球の直径は太陽の約100分の1、太陽系で一番大きな木星でも約10分の1だ。また、恒星は自ら光っているが、惑星は自ら光っていない。しかも太陽系から一番近い恒星でも、約4.3光年(約41兆キロメートル)も離れている。

そのため系外惑星の観測では、惑星そのものを直接観測するのは難しい。そこで間接的に系外惑星を発見する方法として、望遠鏡で恒星の明るさを観測し、恒星の前を惑星が横切る「トランジット」と呼ばれる現象を観測する「トランジット法」が、現在系外惑星探査の主流となっている。トランジットすると、惑星に光が遮られる分、恒星から届く光は一時的にわずかに暗くなる。トランジット法ではこの周期的な減光を捉えて、惑星候補を発見する(図2)。惑星の重力で主星がわずかに揺れ動くために起こる光のドップラー偏移を観測する「ドップラー法」に比べ、たくさんの恒星を同時に観測して系外惑星を探せるという利点がある。この方法の特徴として、主星に対して大きな惑星ほど減光が大きく発見しやすい。また、公転周期が短い、つまり主星に近い惑星ほどトランジットが頻繁に起こるので見つけやすい。

しかし、2つの恒星が互いに公転している連星のうち、一方がもう一方の前を横切る「食連星」でも周期的な減光が起こる(図3)。つまり時間をかけて観測、解析して惑星候補を発見しても、その中には「偽物の惑星」がかなりの割合で含まれている。これがトランジット法での系外惑星探しの困難な点である。

18年にアメリカ航空宇宙局(NASA)のエクスポローラー計画でトランジット系外惑星探索衛星「TESS」が打ち上げられた(図4)。TESSは09年に打ち上げられたケプラー宇宙望遠鏡の20倍の広視野を持ち、トランジット法で地球から全方向を網羅的に探査してい

る。成田さんはTESSで見つかった惑星候補が本当に惑星であるかを確かめる追加観測を担っている。

小口径望遠鏡を活用 スペイン、ハワイにも設置

成田さんはトランジットが本物の惑星によるものかを判別するのに、光の波長ごとの減光の深さの違いが手がかりになると考えた。つまり光を発しない惑星が恒星の光を遮った場合には、どの波長の光も同じように減光するため、減光の深さに波長依存性がない。一方、恒星が恒星をトランジットする食連星の場合、後ろの恒星は前の恒星に

隠された分の減光が起こると同時に、前を通った恒星の光が足されるため、減光の深さに波長依存性が生じると考えたのだ。そこで、トランジット法で発見された惑星候補が本物の惑星かどうかを判別するための観測装置開発に取り組んだ。

成田さんはこれまでの惑星大気観測の知見を元に、天体からの光を赤・青・近赤外の3色に分けて、3つのカメラで同時に撮影することを考えた。こうして成田さんは天体望遠鏡に取り付けられる多色同時撮像カメラ「^{マスカット}MuSCAT」を開発した(次ページ図5)。

世界では莫大な研究費を投じ、主鏡の直径が8～10メートル級の大型望

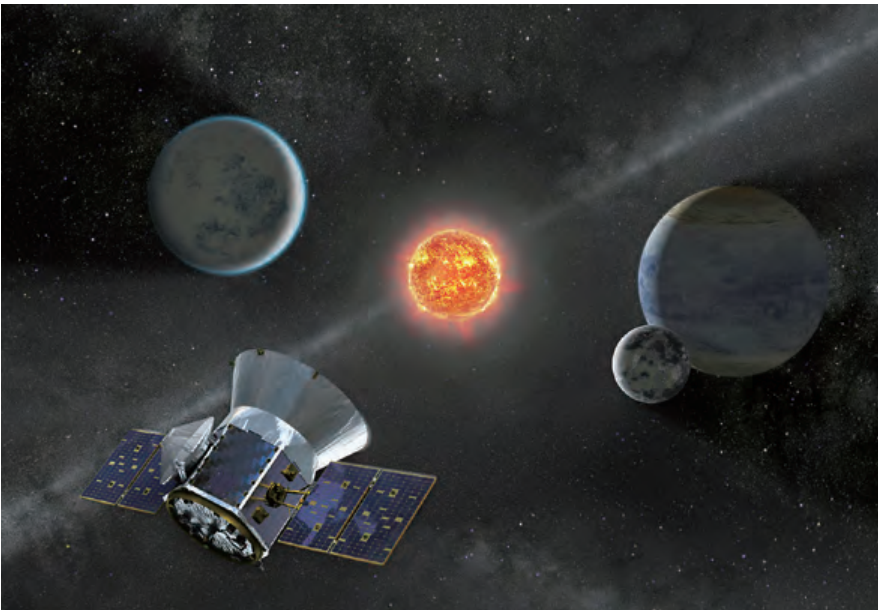
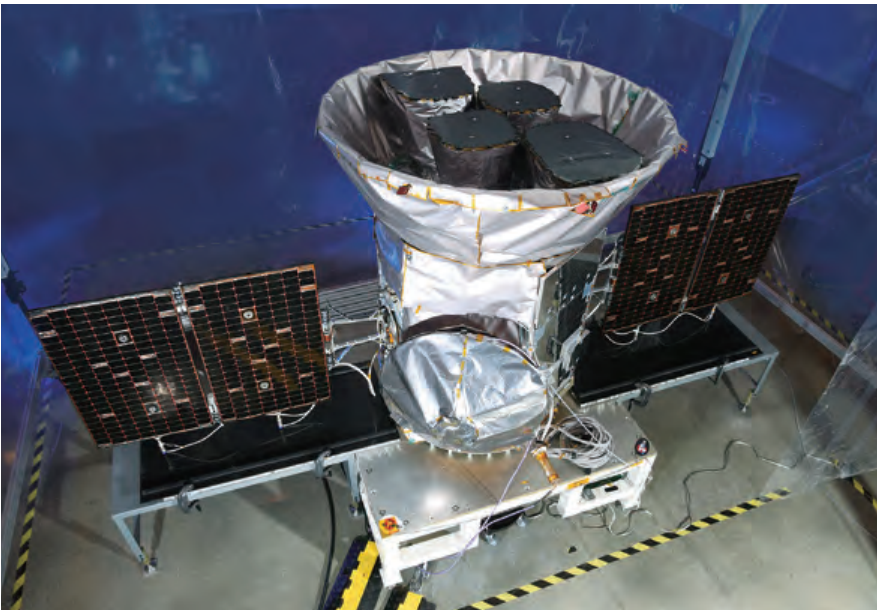


図4 系外惑星探査衛星「TESS」の外観(上、©Orbital ATK)と観測イメージ(下、©NASA)

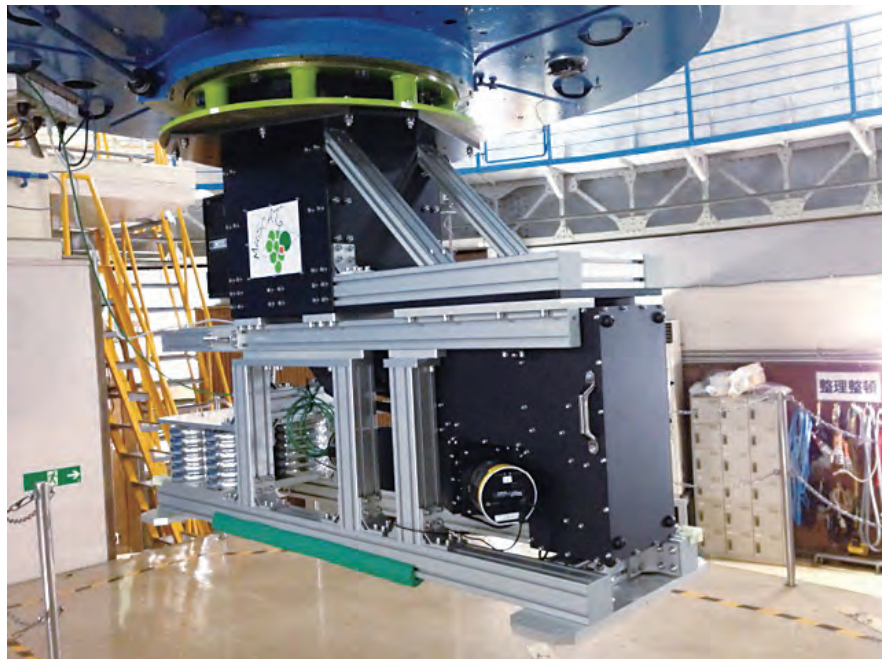


図5 成田さんの研究チームが開発した多色同時撮像カメラ「MuSCAT」

遠鏡とその観測装置を開発して観測を行うのが主流になりつつある。そんな中で、小口径の望遠鏡に取り付けられるMuSCATは、最先端の観測装置の中では異色の存在にも見える。「欧米に比べれば、日本の研究費がかなり少ないのは確かです。しかしこの限られた研究費の中で、私たちにしかできないことをやり、世界をリードしたいと常に考えていました。そこでMuSCATは、多くの観測時間を占有できる1～2メートル級の小口径望遠鏡を利用することにしました」と成田さんは戦略を語る。

成田さんはMuSCATの1号機を岡山県の旧岡山天体物理観測所にある188センチメートル望遠鏡に設置し、14年から観測を開始した。その観測結果に興味をもったヨーロッパの研究チームから「スペインにほとんど使っていない望遠鏡があるから、そこにも設置してみないか」と声がかかった。1号機で用いたのとは異なる波長の近赤外光を加え、4色での撮影が可能になったMuSCAT2を、17年にカナリア諸島テネリフェ島のティデ観測所に設置した(図6)。

トランジットの観測では、昼間の観測できない時間に惑星のトランジットが起こり、貴重な観測チャンスを逃す可

能性もある。スペインでの成果も認められた成田さんは、次にMuSCATシリーズを地球上に点在させ、観測地をリレーすることで、24時間同じ恒星を観測できる体制づくりに乗り出した。「20年にハワイ州マウイ島のハレアカラ観測所に3機目を設置しました(図7)。これで北半球では24時間観測ができるようになりました」と胸を張る。さらに南半球にもMuSCATシリーズを設置したいと考えている。

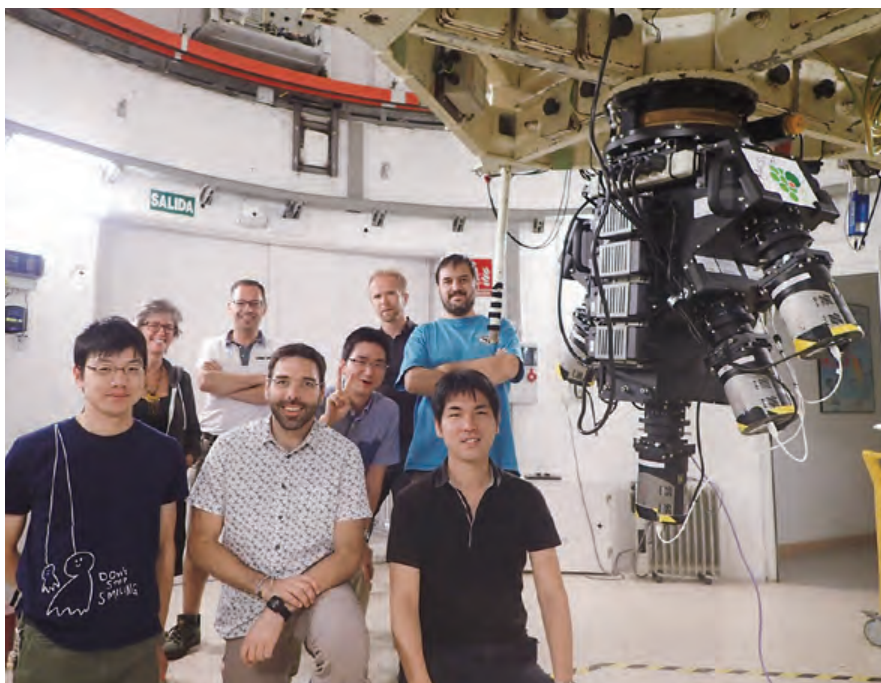


図6 「MuSCAT2」のファーストライト(初めて観測装置に天体の光を通すこと)の記念写真

ノイズを含む観測データ 「ガウス過程」でモデリング

もちろん装置を設置して終わりではない。観測データが得られたら、それを解析する必要がある。トランジットは惑星の周回運動によるため、周期的に起こり、原理上はきれいに主星の明るさに減光が現れるはずだ。しかし、観測で得られた生の時系列データには、主星自身の変光や、地球の大気の影響、感度が一様でない検出器上で星が動くことによる見かけ上の明るさの変化などの系統的な変動が、ノイズとして含まれる。そのため、きれいな減光が観測できることはあまり多くないという。

そこで統計的な手法を用いて生の時系列データからノイズを取り除く必要がある。例えば、太陽系の近くに数多く存在する「赤色矮星」を公転する地球サイズの惑星の場合、トランジットを確認するには0.1パーセント程度の減光をきちんと判別できる精度が必要になる。そのためには、観測装置の性能の向上と同時に、データ解析における統計手法の工夫が必要になる。「そこで、私たちはガウス過程と呼ばれる統計手法でノイズとなる系統的な明るさの変動をモデリングして取り除き、わずかな減光も判別できるようにしました」と成田さんは語る。

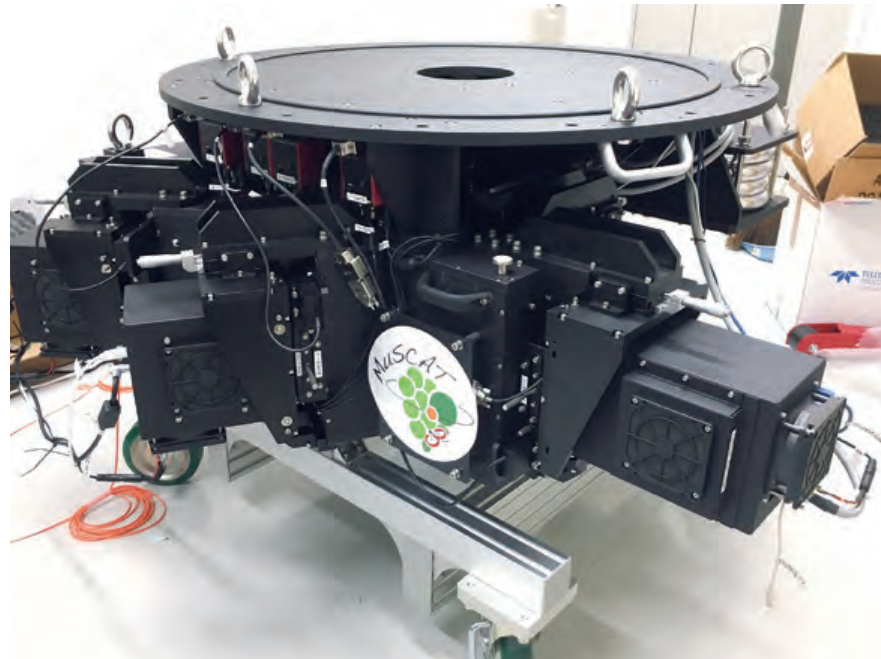


図7 東京大学の研究室で完成した「MuSCAT3」

ガウス過程では、カーネル関数と呼ばれる関数を用いて、時系列データに現れる複雑な系統的変動をモデリングしている。実際この手法を用いると、既知のトランジット惑星・WASP-12bのトランジット観測データをよくモデリングすることができた(図8)。

成田さんは世界の3台の望遠鏡に搭載したMuSCATシリーズによる高精度な計測と、ガウス過程などの統計手法を取り入れた高精度な解析の融合で、地上最高レベルの観測精度を達成し、さきがけ研究期間中にTESSで発見された200個を超える惑星候補の追加観測を遂行した。その結果、地球とほぼ同じ密度を持つ地球型の岩石惑星Gliese486bをはじめ、多数の惑星の発見を成し遂げた。

天文学でもデータの統計的な解析法が重要な研究分野の1つと捉えられるようになる中、さきがけで計測技術と高度情報処理を融合した領域に採択されたのは幸いだったと口にする。「私がやろうとしていた観測装置の開発とデータの解析の両方に取り組むことができました。また研究機関を移った時には、研究室立ち上げの支援をいただきましたし、海外研究者との連携にかかる費用なども支援いただきました」と笑顔を見せる。

新しい発見が相次ぐ分野 次世代の参入にも期待

今でこそ日本でも系外惑星研究は盛んに行われているが、成田さんがこの分野に入った頃は、初めて系外惑星が発見されてから7年しか経っておらず、系外惑星を本格的に研究していた研究室も日本にはまだ少なかった。成田さんは大学生から系外惑星の研究

を始めた最初の世代で、おのずと外国との共同研究が多くなった。学生時代のプリンストン大学やマサチューセッツ工科大学と行っていた共同研究の縁が、今のTESSなどの大型国際プロジェクトへの参加につながっている。

その後も、09年にHAT-P-7bという惑星が恒星の自転の向きと逆向きに公転していることを世界で初めて発見した他、20年には「白色矮星」の周りを公転する巨大惑星を初めて発見するなど、成田さんの研究で明らかになってきたことは多い。今後も今まで考えられていなかった惑星を数多く発見して、それらがどんな様子か、どうやってできたのかを詳しく知りたいと、さらなる謎の解明に意欲を見せる。

「高校生、大学生の皆さんが活躍する10年後、20年度には、系外の生命居住可能惑星に生命の兆候も探せるようになって、ますます面白い研究ができるようになってい我想います。ぜひ一緒に研究しましょう」と次の世代に向けてメッセージを送る。系外惑星を知ることは、太陽系を知ることもある。宇宙の謎に迫る発見やこれまでの固定観念を打ち砕く新しい概念の確立に向け、成田さんの研究はこれからも続く。

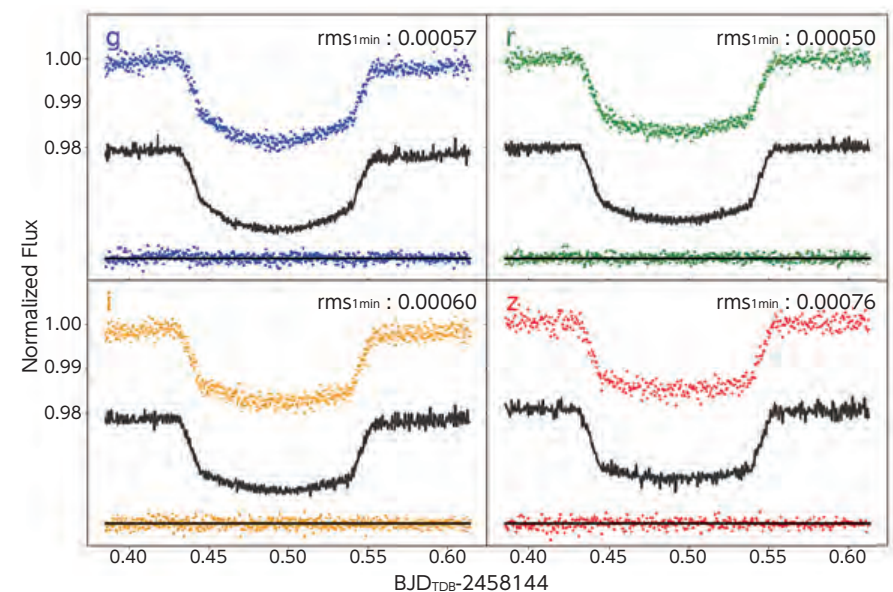


図8 既知のトランジット惑星であるWASP-12bのトランジットを「MuSCAT2」で観測したデータ。各パネルは左上(青)、右上(緑)、左下(橙)、右下(赤)の順に400～550ナノメートル(天文学の呼び方でgバンド)、550～700ナノメートル(iバンド)、700～820ナノメートル(jバンド)、820～920ナノメートル(zバンド)で観測した主星WASP-12の明るさの変化を表している。横軸は天文学で使われるユリウス日での時刻。ガウス過程を用いて観測されたデータをモデリングしたのが黒い実線。トランジットによる減光に加えて、系統的な変動もモデリングされていることがわかる。その下にあるのが観測データとガウス過程によるモデルの残差だ。各パネルの右上にある数字は1分あたりの残差の二乗平均平方根で、全ての波長で0.1パーセントを切る観測精度が達成されていることがわかる。

高齢者を元気にする 自由に移動できる社会

超高齢化が進む中、誰もが元気で充実した生活を送るためには、いつでも自らの意思で自由に移動でき、社会とつながりを持続けられることが重要だ。一方で過疎化により、公共交通インフラの維持が困難な地域も少なくない。そこで地域住民の希望に寄り添った安全な交通システムの社会実装を目指すのは、センター・オブ・イノベーション(COI)プログラム「人がつながる “移動”イノベーション拠点」だ。産学官民が一体となり、高齢者を元気にするモビリティ社会の実現に挑む。

くろやなぎ しげる
畔柳 滋

トヨタ自動車株式会社 未来創生センター
R-フロンティア部 担当部長
2016年よりCOIプロジェクトリーダー

既存の公共交通と組み合わせ コストを抑えて使いやすく

近年、地方圏では少子高齢化や過疎化に伴う通勤・通学需要の落ち込みにより、交通事業者が不採算路線から相次いで撤退している。公共交通サービスが低下し、自家用車がなければ生活が成り立たない地域も増えている。心身の衰えから自動車運転免許証の返納を迎える高齢者、あるいはそもそも自動車を運転しない高齢者にとっては深刻な問題だ。今後もこの傾向は続く予想されており、居住地によらず誰にとっても安心・安全な移動手段の確保は、重要な課題となっている。

2013年に名古屋大学を中心に立ち上げられたCOI「人がつながる “移動”イノベーション拠点」では、高齢者が元気になるモビリティ社会の構築を目指し、研究を進めてきた(図1)。プロジェクトリーダーを務めるのは、トヨタ自動車未来創生センターR-フロンティア部の畔柳滋担当部長だ。「私たちは、日々の健康、自由な移動、社会参加の3つをキーワードに、研究成果の社会実装を進めてきました」と語る(図2)。

自動車業界では「CASE」と呼ばれる新しい概念が提唱され、100年に1度のモビリティ革命が進みつつある。CASEとは、インターネットへの常時接続化を表すConnected、自動運転化を表すAutonomous、共有によるサービス化を表すShared&Services、電動化を表すElectricの頭文字をとったものだ。これまでの自動車を作る事業から、移動に関わる領域全てを事業の対象とし、ビジネスモデルを新たに構築しようとしている。

プロジェクトでもCASEを参考に、高齢者が使いやすく社会的なコストを抑えた移動手段を検討してきた。「その地域に残っている公共交通と、私たちが提供する新たな交通手段を組み合わせたい交通網を実現しようと考えました」と語るのはCOIで研究リーダーを務める名古屋大学の森川高行教授だ。拠点で開発した車両やシステムを社会実装するために、愛知県

内の2つの地区で実証実験を行うことになった。

中山間地域で相乗り試験 予約方法も講習会で習得

最初に実証実験を行ったのは、愛知県豊田市にある中山間地域の足助地区だ。

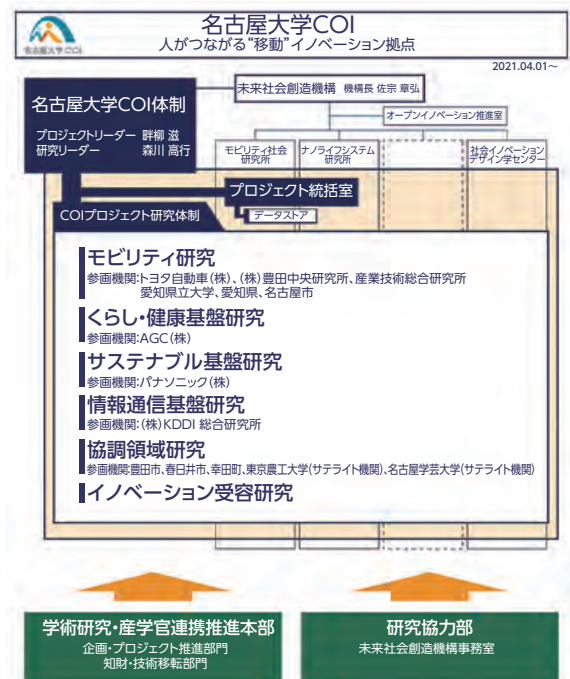


図1 「人がつながる “移動”イノベーション拠点」の研究体制図



図2 「人がつながる “移動”イノベーション拠点」の目指すべき将来の姿

公共交通は自治体が週に1回2便運行するコミュニティバスとタクシー会社1社のみで、自家用車が運転できなくなれば買い物や通院といった日常生活にも支障が出る状況だった。なんとか地区の交通の便をよくしたいと、地域医療を支える足助病院の院長から相談を受けたのがきっかけとなった。「院長は医療だけでなく地域課題の解決にも熱心で、COIが始まる前からいろいろなプロジェクトを進めていました」と森川さん。

まず高齢者の移動状況を調査したところ、高齢者の主な行き先は、足助病院とその近くにあるスーパーマーケットで、近隣住民同士が協力し高齢者の送迎を担うこともあることがわかった。そこで地域住民の自家用車やタクシーを活用した相乗りシステムの導入を検証することになった。具体的には、ドライバーのオフアワーをマッチングするシステムを大学で新規に開発した。利用者はシステム利用料を毎月支払うほか、走行距離に応じた実費を地域内のクーポンなどで都度



図3 病院で週1回開催されたタブレット講習会の様子。仲間と楽しく学べるとあって、参加者からも好評だった。

運転手に支払う形にした。

最初に協力してくれた住民は最高齢者93歳、平均年齢80歳のモニター参加者30人。スマートフォンもタブレット端末も触ったことがない人ばかりだ。当初は壊れないか不安、怖くて使えないといった声も多かった。そこで週に1回、講習会を開きタブレットに慣れてもらうところからスタートした(図3)。「写真を撮る、遠くに住むお孫さんと話す、といった日常でも使える機能も交えながら、少しずつタブレットを使う生活に慣れていただきました。その結果、3分の2の方が予約システムを操作できるようになり、無事実証実験もうまくいきました」と森川さんは振り返る。

利用者の声を基に改良を重ね、現在では一般社団法人が自律的に運営して

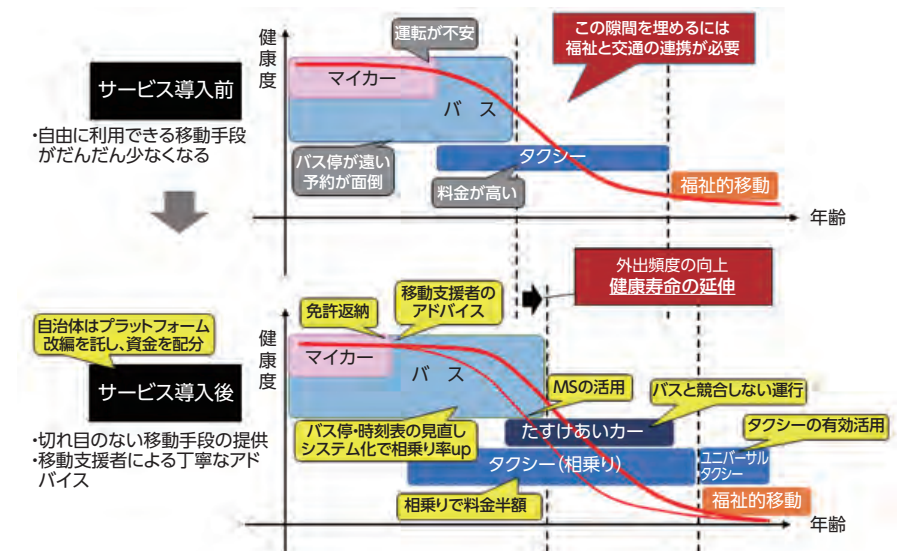


図4 足助地区の「たすけあい交通システム」は自治体の協力も得ながら、既存の公共サービスと競合しない領域でサービスを展開した。



もりかわ たかゆき
森川 高行

名古屋大学 未来社会創造機構 教授
2016年よりCOI研究リーダー

のです。そこで、『ゆっくり自動運転』を導入することにしました。大きい通りに沿って設置した停留所を時刻表通りに走る「ゆっくりミニバス」と、予約制で自由に行き先を選べる「ゆっくりカート」だ(図5)。

車両は50メートル先の障害物をセンサーで検知しながら、時速18キロメートルでゆっくり走行する。障害物がないところでは自動運転モードだが、駐車している車両の回避や、交差点での右折や左折は同乗する運転手がサポートする(図6)。「数年後には、地域のラストマイルなら完全自動運転を実現できるのではないかと考えています」と森川さんは期待を寄せる。

また予約管理や配車手配、最短ルートの算出などは、KDDIとKDDI総合研究所が開発した国内初の自動運転車向け

運行管理システムを利用している。これにより複数の利用者の予約を調整し、効率的な運行ルートを設定するといったオペレーターの負荷は、大幅に軽減された。また算出された最短ルートはすぐに自動運転車に共有され、そのルートに沿って自動走行する。ドライバーはその分、安全運行に集中できる。

地区全体を使った実証実験には、自治体の協力も欠かせない。春日井市はCOI開始5年目に市長が相談に訪れたことがきっかけで、メンバーに加わった。「高齢化しているニュータウンを、活気ある街によみがえらせたいが、交通が弱いので協力してほしい」という内容でした。春日井市のまちづくり推進部の方と二人三脚での活動がスタートしました」と森川さんは振り返る。足助地区での経験を

生かし、利用者の要望も丁寧に拾い上げている。移動が楽になった、もっと広い地域を走って欲しいと住民からの評判も上々だ。運行地域も拡張し、22年1月にも本年度第2回目の実証実験の実施が予定されている。

高齢者の特性データを蓄積 小型の人型ロボットも支援

COIでは運転を続けたい高齢者向けの運転支援も研究対象だ。人は高齢になるにつれ、運転に必要な機能や能力が低下していく。加齢に伴い目の病気が進行し、視野が狭くなったり、夜間見えにくくなったりする。筋力や反射スピード、判断能力の低下もある。また、加齢とともに頑固になったり、自己中心的になったりする。免許証の返納でも問題になっているが「自分はまだ大丈夫」という過信につながることもある。とはいえ、高齢者によって能力低下の仕方には個人差がある。

そこで名古屋大学では、高齢者特有の認知・視覚・運動といった人間特性や運転特性をデータベース化した。これまで7年間にわたり、毎年約300名の同一高齢者から2,000項目以上の情報を経時的に蓄積してきた。得られたデータを基に、例えば視覚が低下している人が実際にどのような運転傾向にあるか、ドライビングシミュレーターで検証する実験も行っている。さらに約100名の高齢者には、自家用車にドライブレコーダーを設置してもらい、どのようなシーンで交通事故が起こりやすいかなどを分析している。「事故にならないよう、どのような運転支援が効果的なのかが見えてきました。



図6 高蔵寺ニュータウンで行われた、ゆっくりカートによる実証実験の様子

また自分の癖を自覚してもらっただけでも、大きな効果があります」と畔柳さん。

小型の人型ロボット「^{ロボホン}RoBoHoN」を使った安全運転を支援する研究も進めている(図7)。高齢者運転では本人が思っている以上に心身の機能が衰え、無意識に危険な運転をしていることも多い。RoBoHoNは高齢者とともに車に乗り、運転行動を客観的に評価する。その結果を分析し、運転者が気をつけるべき場面で適切な声かけを行うという。また同乗者がいると事故率が低下する同乗者効果も生まれると期待されている。

21年8月からは公募で選ばれた50名が、全国の公道をRoBoHoNを乗せて走る実証実験も始まっている。実際にどの程度運転が改善されるか注目が集まる。「事前の検証では、家族よりもロボットからのアドバイスの方が受け入れやすいという結果も出ています。声をかけるタイミングや不快にならない言い方も重要です」と畔柳さん。どんなに良いシステムでも、使い続けてもらわなければ意味はない。利用者に寄り添って開発を進めるのが、実装への何よりの近道だ。

使っている姿をかつこよく 試行錯誤して最新モデルに

移動は外出や乗り物を利用した長距離移動だけにとどまらない。歩行も移動手段の1つであり、人にとって最も基本的かつ重要な機能だ。しかし年齢を重ねるに従って、ふらつきや転倒で日常の歩行にも不安を感じる場面も増えてくる。COIの3本柱の1つである「日々の健康」である歩行を支援するトレーニングロボットの開発にも取り組んでいる。

パナソニックと連携して開発したのが



図7 小型の人型ロボット「RoBoHoN」による支援は受容性が高く、運転を阻害しにくいとされる。

「Walk training robo」だ(図8)。利用者の歩行スピードや歩行中の左右のバランスなどを自動で計測し、歩行能力に合わせた安全なトレーニングが可能だ。病院や介護施設の協力を得ながら、改良を繰り返した。自分の歩行状態がどの程度改善したかも確認できるようにしたり、1人1人の状態や成果を一元管理できるようにしたりして、施設スタッフの負担も軽減した。

「現場の方の声は非常に重要です。機能面ではさまざまなアドバイスをいただきました。しかし社会実装の上で、デザインがこんなに重要だとは思いませんでした」と畔柳さんは語る。高齢者は自分が歩行ロボットを使っている姿が、他の人からどのように見えるかを非常に気にしていることに気がついたという。恥ずかしいと感じれば、トレーニングを避けるようになる。「使っている姿がかっこよく見えるものを作ろうと試行錯誤して、行き着いたのがオレンジのハンドルに白いボディーです」と畔柳さんは笑顔を見せる。

最新モデルは2018年度グッドデザイン賞ベスト100や国際ユニヴァーサルデザイン協議会(IAUD)の国際デザイン賞2018 金賞を受賞するなど、国内外から高い評価を受けている。21年4月からは、施設向けのサービス提供が始まった。いつまでも自分の足で元気に歩ける社会を実現したいと畔柳さんは力強く語る。

ゴールを仕様書で明確化 分野横断研究のモデルに

畔柳さんと森川さんは、21年度が最終年度となるCOIを振り返ってこう語る。「支援期間が9年間と長く、資金も大きいので、腰を据えて研究に取り組むこ



図8 パナソニックが開発した歩行トレーニングロボット「Walk training robo」

とができました。またCOIに採択されたことを機に、14年4月には名古屋大学に未来社会創造機構を設置しました。フラッグシップとなる産官学連携の拠点ができたことで、企業や自治体も安心して人材や資金を投じることができる。実際、拠点に常駐する企業研究員も多く、アンダーワンルーフで研究活動を推進している。加えてURAと呼ばれる若手職員は、研究室の垣根を越えた連携を促進し、企画立案から事務仕事まで、プロジェクトの円滑な運営を支えている。

また成果として社会実装が求められるCOIでは、プロジェクトごとの進捗を定期的に見直していった。「いつ、誰を対象に、どのような機能、価格で製品を開発するのか。類似製品とはどこが違うのかなどを記載した仕様書を作り、更新していきました。ゴールが明確になり、ぶれることなく進めました」と森川さんは効果を語る。企業では当たり前に行われている仕様書だが、大学ではなじみのない書類だ。初めは慣れず苦労したというが、社会実装を目指していく中で、非常に重要なプロセスだったと笑顔で振り返る。

18年にナノライフシステム研究所、19年にモビリティ社会研究所と相次いで分野融合の研究拠点も設立された。COIは終了するが、産学連携や分野横断のモデルとなって培ってきたノウハウは受け継がれ、社会実装に向けた取り組みはさらに加速する勢いを見せる。今後は1日も早く、高齢者がいきいきと日常を送り活躍できる未来社会を実現するとともに、未来社会創造機構を世界屈指のモビリティ研究拠点に育て上げていきたいと、2人はすでにその先を見据えている。

ゆっくりミニバス

「雇付きだから交通量が多い時でも心理的安全を確保」

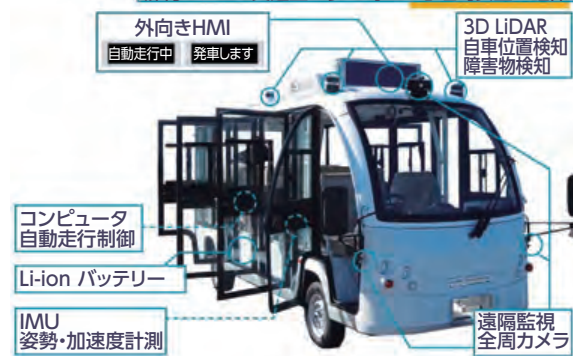


図5 ゆっくりミニバス(左)とゆっくりカート(右)

ゆっくりカート2号機



数理モデルやセンサー駆使 病気になる前に「治療」を

日本発の破壊的イノベーション創出を目指し、2020年からスタートしたムーンショット型研究開発事業を紹介する全4回のインタビュー企画。第2回は、目標2「2050年までに、超早期に疾患の予測・予防をすることができる社会を実現」を紹介する。プログラムのカギを握るのは、健康状態の不安定化を予見するための「全身ネットワークシミュレーター」だ。体内の複雑な臓器間・組織間のネットワークを解明し、数理モデルやセンサーを駆使することで、病気の予測や病気になる前の「治療」も可能になるという。プログラムディレクターの愛知医科大学の祖父江元理事長・学長に、日本科学未来館科学コミュニケーターの寺村卓朗が聞いた。



てらむら たくろう
寺村 卓朗
日本科学未来館 科学コミュニケーター

がんや糖尿病などを対象に 体内ネットワーク異常を検知

寺村 目標2では、難治性がん、糖尿病、認知症、ウイルス感染症の4つを中心に、超早期の予測・予防を掲げています。なぜこれらを選ばれたのでしょうか。

祖父江 がんは日本国民全体の死亡原因の4分の1ほどを占めています。糖尿病患者は予備群を含め約2,000万人、高齢者に多い認知症は患者数が約600万人にのびります。新型コロナウイルス感染症のような感染症は急に現れ、多くの人の健康を害する脅威です。このように早期診断、予防・治療が強く望まれており、健康寿命を延ばすために優先的に解決すべきとされる病気を選びました。

寺村 病気の早期発見の重要性はこれまでも指摘されていますね。

祖父江 病気には、症状が現れるまでに時間がかかるものもあります。例えば認知症では発症の30年近く前から、病気の進行は始まっていることがわ

かっています。しかし今までは、発症までのプロセスが明らかになっていないので、発症してから治療していました。この目標2では、病気にならないうちに発見し、元の健康な状態に戻す「治療」の確立を目指しています。

寺村 遺伝子検査などでも病気のリスクがわかるようになってきました。

祖父江 確かに遺伝子の変異が原因で生じる病気は予測しやすくなりました。しかし、遺伝子に変異があっても、すぐに発症するわけではありません。生物の体はとても複雑で、常に状態を一定に保とうとする仕組みがあります。どこかの臓器で異常が発生すると、別の機能がそれを補うように働きかけ、元の状態に戻ろうとします。

寺村 どのようにして体内の異常が他の臓器にも共有されるのでしょうか。

祖父江 臓器間にはネットワークが形成されていて、ホルモン物質や神経伝達物質など、さまざまな手段で情報を共有しています。こうしたネットワークは細胞や分子レベルでも存在します。一方、このようなネットワークがあるため、どこかに異常が生じると、他の所でも病気を発症する可能性が高くなります。だからこそ、異常を早急に検知し、

早く健康な状態に戻していくことが重要です。そのために体の中で起きている現象を網羅的に捉え、体内のネットワークを解明する必要があります。

体内を行き交う膨大な情報 日常的に計測し解析に生かす

寺村 すでに生体情報から予測できる病気もあるのでしょうか。

祖父江 動物の事例ですが、8週間ほどでメタボリック症候群を発症するモデルマウスを解析したところ、発症の2〜3週間前に、100を超える遺伝子の発現に通常の時とは異なるゆらぎが見られました。このことから、遺伝子発現のゆらぎを把握できれば、発症前の状態変化を捉えることができると考えられます。

寺村 人の場合でも同じようにわかっているのでしょうか。

祖父江 相関があることがわかってきた病気もありますが、まだ十分とはいえません。マウスであれば健康な状態から病気になるまで観察し続けられますが、人間ではそうはいきません。またデータが得られたとしても、体内でやりとりされている膨大な生体情報の中か

らどの異常が何の病気と相関があるかを丁寧に解析する必要があります。

寺村 まずは健康な時から生体情報を正確に計測するところからですね。

祖父江 日本国内にも、数万人規模で健康診断の情報などを集めたコホート研究があります。毎年同じ人のデータを提供いただき、蓄積してきた貴重なものです。

寺村 最近では、時計などのウェアラブルデバイスで血圧や体温を計れます。

祖父江 それらを使えば、より多くの生体情報が得られますね。異常を検知し、病気の超早期予測にもつながれるかもしれません。私たちは体内ネットワークと病気の関係を明らかにし、日常的に計測できる生体情報から病気の予測や予防ができる「全身ネットワークシミュレーター」を実現したいと考えています。

寺村 どのくらいの精度で予測できるようになるのでしょうか。

祖父江 昔の天気予報は、観測データが少なく予測の精度も低かったですね。しかし今では豊富なデータを基にした数理解析で、格段に精度が上がりました。私たちの目指す「全身ネットワークシミュレーター」も徐々にデータを蓄積していき、いずれは多くの病気を高い精



このプログラムの目標は何ですか？

健康寿命を延ばすことです。



度で予測できるようになるはずですよ。

寺村 研究はどのような体制で進められていくのでしょうか。

祖父江 4つの疾患ごとのチームとそれらを横断する数理解析チームに分かれます。順天堂大学の太田茂男特任教授は難治性のがん、東北大学の片桐秀樹教授は糖尿病を研究しています。また京都大学の高橋良輔教授は認知症を、大阪大学の松浦善治特任教授は感染症を研究しています。これら4つの研究を横断して、数理解析に取り組むのが東京大学の合原一幸特別教授です。

欠かせない市民の協力と理解 倫理的な課題にも取り組む

寺村 臨床データの取り扱いにはどのようなルールがあるのでしょうか。

祖父江 日本ではいくつか臨床データを集約している機関があり、利用の仕方や管理方法なども法律で非常に厳しく制限しています。しかし、これらのデータを使わないと、私たちは研究が

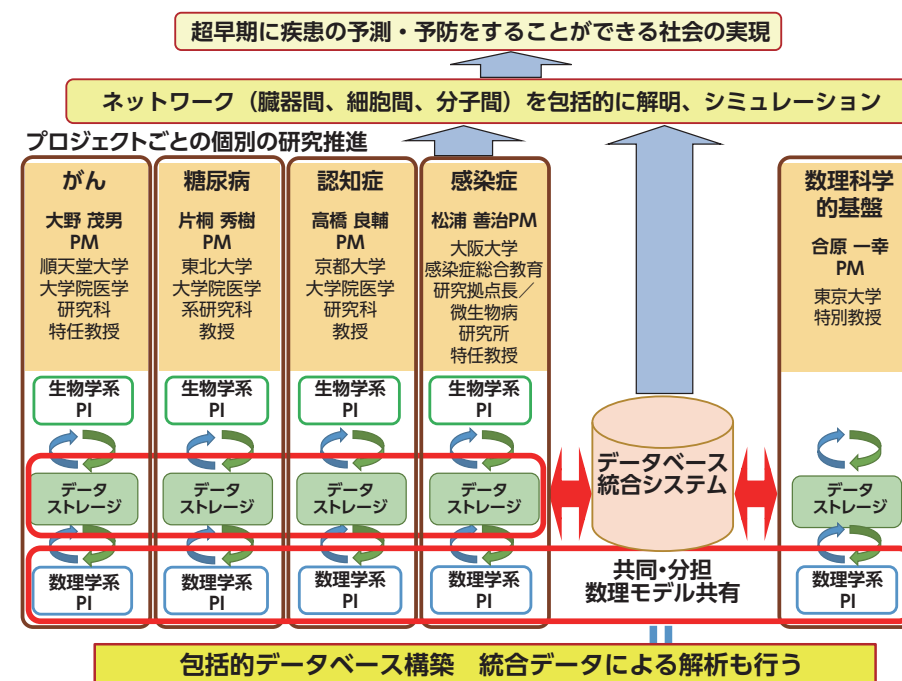
できません。そこで重要になるのが、インフォームド・コンセントです。データ提供の際に、どういう意図で、何のためにデータを活用するのかを説明し、納得した上でデータを提供いただきます。その後、私たち研究者は臨床データを扱う機関と共同し、研究を進めていくことになります。

寺村 データを提供する私たち市民の協力が欠かせないですね。一方で、研究には協力したいが、個人情報の扱いが心配という方も多いと思います。

祖父江 臨床データには、個人が特定できるデータと、特定できないデータがあります。例えば、ゲノム情報は個人を特定できるのに対し、遺伝子発現の情報は置かれている状況ごとに異なるので、特定しづらいという違いがあります。以前は特定しづらい情報でも扱うべきではないという風潮もありました。しかし、病気という脅威に立ち向かうためには、安全に生体情報を扱う仕組みを整えて、研究に活用していくことが必要です。そのため、今回のプロジェクトにも倫理的・法的・社会的課題を扱う専門家チームが入り、さまざまな課題を相談しながら進めていきます。

寺村 リスクと有用性をしっかりと把握した、実用的な仕組みづくりが重要です。最後に今後、このプロジェクトのどこに注目してほしいですか。

祖父江 今までの医療では、病気になってから克服するという考えが主でした。しかし、これからはそれぞれの病気は連動しており、発症前に予測・予防することが大切であるという認識に変わりつつあります。研究者側だけでなく、読者の皆さんの認識も研究の進展に注目していただく中で、そう変わっていただければ、少しずつ医療のあり方も変えていけると思います。そして、2050年には病気の超早期の予測・予防ができる未来を応援いただければと思います。



PM=プロジェクトマネジャー、PI=課題推進者

ムーンショット目標2の研究開発プロジェクト

戦略的創造研究推進事業CREST

研究領域「多様な天然炭素資源の活用」に資する革新的触媒と創出技術」
研究課題「高効率メタン転換へのナノ相分離触媒の創成」

研究成果

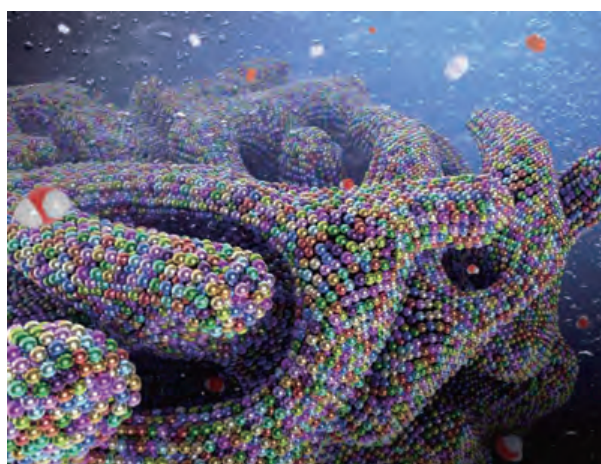
14元素を均一に含む合金触媒 手法が簡便で、大量生産可能

触媒はさまざまな化学反応を円滑に進める働きをしており、中でも複数の金属を組み合わせた合金の触媒は単一金属にはない活性を示すため、さまざまな組み合わせが検討されてきました。しかし、異なる元素間で水と油のように混ざりにくい組み合わせが存在するため、10元素以上で構成される均一な合金の作製は困難でした。

高知工科大学環境理工学群のチャイ・ゼシン助教、藤田武志教授らの研究グループは14元素を均一に含み、ナノサイズの細孔がランダムにつながったスポンジ構造を持つ「ナノポーラス超多元触媒」の開発に成功しました。この触媒は14元素を含んだアルミ合金を作製し、アルカリ溶液中でアルミを優先的に溶かす脱合金化を行い、アル

ミ以外の元素を凝集させて作ります。合金を溶かすだけなので大量生産が可能です。

研究グループは得られた超多元触媒を実際に水の電気分解用電極触媒として使用した結果、高性能な触媒の指標としても知られる白金(Pt)やイリジウム酸化物よりも優れた性能と耐久性があることを確認しました。超多元触媒は多様な元素で構成されていることから、その多能性を生かした触媒として今回行った水の電気分解以外にも幅広



ナノポーラス超多元触媒の模式図

く活用される可能性があります。本研究により超多元触媒を簡便に作製することに成功したため、オーダーメイドで元素を組み合わせ、反応ごとに最適な触媒を作ることが望まれています。

未来社会創造事業 大規模プロジェクト型

研究開発課題「高温超電導線材接合技術の超高磁場NMRと鉄道き電線への社会実装」

研究成果

原因たんぱく、患者脳内で特有の構造 アルツハイマー病の原因解明に光

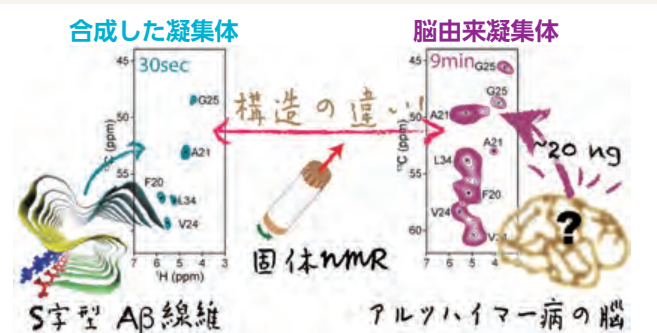
超高齢社会を迎えた日本ではアルツハイマー病の患者数が増加を続けており、発症までの機構解明が重要な課題となっています。脳内には2種類のアミロイドたんぱく質(Aβ)が存在し、このうちアミノ酸が42個つながったAβ42は凝集しやすく、アルツハイマー病の発症との関係がより深いと考えられています。これまでの研究で、試験管内で合成した繊維状Aβ42凝集体の構造は解明されていました。しかし、アルツハイマー病患者の脳内に蓄積する繊維状Aβ42凝集体は採取できる量が極めて少ないため、実際の構造がよく理解されていませんでした。

今回、東京工業大学生命理工学院生命理工学系の石井佳音教授らの国際研究グループは、現在開発を進めて

いる「高磁場固体核磁気共鳴(NMR)法」という計測法を用いて、合成した凝集体と患者の凝集体における分子構造の違いの検出を試み、わずか9分という短時間で試料のスペクトル解析に成功しました。この高磁場固体核磁気共鳴法は、現在、未来社会創造事業で開発中の高温超電導線材接合技術を使った1.3ギガヘルツ超高磁場NMR装置の先端利用技術として開発された新たな計測法です。

解析感度が大幅に向上したことで、今回の構造解析が可能になりました。

この成果によって、アルツハイマー病患者の脳に由来する繊維状Aβ42凝集体の分子構造や機能への理解がさらに深まるとともに、抗体医療への応用などが期待されます。



NMRスペクトルを分子指紋として利用することによって、脳由来の繊維状Aβ42凝集体と試験管内で人工的に作った繊維状Aβ42凝集体を区別できる。両者のスペクトルが大きく異なるため構造の違いが確認可能となった。

サイエンスアゴラ2021

開催予告

対話を重視し「総合知」で 未来を考える

サイエンスアゴラ2021のテーマは「Dialogue for Life」

「サイエンスアゴラ」は、科学と社会をつなぐ日本最大級のオープンフォーラムです。市民、研究者、専門家、メディア、産業界、政策決定者といったあらゆる立場の人たちが対話、協働し、これからの「社会とともにある科学」と「科学とともにある社会」の実現を目指しています。

サイエンスアゴラ2021のテーマは「Dialogue for Life」です。私たちをとりまくLife(生命・暮らし・人生)は、

新型コロナウイルス感染症による危機にさらされ続けており、科学技術分野におけるコミュニケーションが改めて必要とされています。人と科学技術の接点について考えを深め、各種の問題への対応策を講じるためにも、サイエンスアゴラはこれまで以上に対話を重視し、おのおのの知恵を持ち寄り「総合知」により未来を考える場を提供します。

21年は、プレアゴラとサイエンスア



ゴラを合わせて7日間の会期中に100を超える企画が行われます。新しい知識を得たり、アイデアや意見を共有したり、よりよい未来につながる対話の場をぜひ一緒に作りましょう。

サイエンスアゴラ2021 開催概要

日 時：プレアゴラ：10月10日(日)・11日(月)
サイエンスアゴラ：11月3日(水・祝)から7日(日)
開催形態：オンライン開催：ライブ配信(事前登録制)、オンデマンド配信。
(ライブ配信は実施後にオンデマンド配信に切り替わる企画があります)
特設サイト：<https://www.jst.go.jp/sis/scienceagora/2021>
参加費：聴講無料
(一部、材料など参加者にて用意いただく企画があります。通信料は聴講者のご負担となります)
主催：科学技術振興機構(JST)



サイエンスアゴラ2021注目企画

11月3日 (水・祝)	13:00-15:00	脳科学とテクノロジーの融合 夢の中で税金を支払える? (主催：ブレインテックコンソーシアム)
	15:00-17:00	海にやさしい陸上養殖サイエンスで美味しく安全なお魚を食卓へ (主催：琉球大学)
	17:00-19:00	もし「未来」という教科があったら、どんな授業?? (主催：未来研究プログラム)
11月5日 (金)	19:00-21:00	どうぶつたちの眠れない夜にスペシャル 実験動物編 (主催：どうぶつたちの眠れない夜に)
11月6日 (土)	10:00-12:00	生命の根幹を探る〜クロマチンアトラスを描く〜 (主催：ERATO 胡桃坂クロマチンアトラスプロジェクト)
	13:00-15:00	いつでも理科をあきらめない!災害時に途切れない教育セーフティネットワークとは? (主催：お茶の水女子大学 SEC)
	13:00-15:00	科学者が考えるレシピは美味しいか? (主催：川田十夢(AR三兄弟)と科学者たち(佐々木博(生物学者)、仲谷正史(触覚研究者))
11月7日 (日)	15:00-17:00	光ファイバー地震計が拓く新たな海底地震・津波観測の新展開 (主催：東京大学地震研究所)
	10:00-12:00	命のつながりと生物多様性〜陸と海の豊かさを守ろう〜 (主催：生物多様性保全協会)
	13:00-15:00	科学の工場見学〜科学はどうやって生まれる?〜 (主催：うたたね)
	15:00-17:00	THE RULE online 〜つたえる!つたわる?テレワーク編〜 (主催：ゲーム×ワークショップ THE RULE)

＜デジタルの日にちなんだ7企画を実施するプレアゴラ、日本科学未来館では科学コミュニケーターによる関連イベントを実施＞

サイエンスアゴラに先立ち、21年初めて創設された「デジタルの日」の10月10日、11日には、社会課題解決の糸口となる科学技術・デジタル技術を見つける企画や、ゲームを通じてSTEAM教育の可能性を考えるワークショップなど、デジタル要素を含む7企画を実施します。人工知能で偽物を創り出すディープフェイクに関する国際セッション(オンラインでの体験会を含む)や、リアルとバーチャルが混在するサイバー万博のトークショーを通じ、未来社会へのイメージを明確にできるでしょう。日本科学未来館では、科学コミュニケーターによるデジタル関連の企画が複数予定されています。

さがける 科学人

vol.108

Profile

神奈川県出身。2006年東京工業大学大学院生命理工学科博士課程修了。博士(工学)。日本学術振興会特別研究員、米カリフォルニア大学博士研究員、同大学プロジェクト研究員、九州大学大学院工学研究院助教を経て、13年より現職。14年よりALCA研究者。

Hoshino Yu
星野 友

九州大学 大学院工学研究院 准教授

楽しさから生れる
唯一無二の発想。

Q1.研究者を志したきっかけは?

A1. 幼少期から科学や生命に興味

家の近くに山や沢があったので、子どもの頃はいつも虫やカニを捕まえて遊んでいました。父が生命科学の研究者だったこともあり、将来は研究者になりたいと思っていました。

現在は安価な合成高分子であるプラスチックから、たんぱく質のような高性能物質を作る研究をしています。私が大学に入った頃には、遺伝子工学やバイオテクノロジーは誰でも使えるツールになり、たんぱく質を設計し、簡単に入手できるようになっていました。しかし、たんぱく質は非常に高価で、扱いにくいと感じていました。同じ機能を持つ材料を化学的に合成して安価に大量生産できれば、医療や産業がもっと発展するのではないかと。こうした思いが、研究のきっかけになっています。



ALCA で開発したガス分離膜「アミン含有ゲル粒子膜」。

Q2.日進月歩の科学について

A2.先輩方が思い描いた夢を 自分たちの世代で現実のものに

たんぱく質のような材料を合成高分子から作り出そうとする研究は、50年以上前から試みられています。しかし、当時はたんぱく質の構造に対する理解が今ほど進んでいなかったため、限られた機能しか実現できませんでした。高分子を精密に合成する技術が進んだ現在は、これまで不可能と言われてきた多くのことが実現可能になっています。

カリフォルニア大学では、抗体のように生体内で異物を認識し、無毒化する「プラスチック抗体」という合成高分子の開発に取り組みました。この技術はさまざまな疾患の治療薬を生み出す可能性があるため、今も実用化に向けた技術開発に取り組んでいます。九州大学に異動してからは、二酸化炭素(CO₂)を認識する材料の開発に力を入れています。この材料は、燃焼排ガスや空気などから低コストでCO₂を回収できるガス分離膜の開発につながっています。

このようにプラスチックは、大きな伸びしろを持った魅力的な素材です。合成化学の優れた点は、さまざまな配合や条件の中から最適なルートを見つけ出せば、それをスケールアップさせて同じものを安価に大量生産できる点にあります。

日々、試行錯誤の連続ですが、社会に大きな変化をもたらす物質を自分の手で生み出すことができる可能性に、研究者としての喜びを感じています。

Q3.研究者として成し遂げたいことは

A3.「人工光合成」の実現に関わりたい

植物が日常的に行っている光合成を人工的に行う「人工光合成」に、世界中の研究者たちが取り組んでいます。現在主流の人工光合成は太陽光を電気に変え、電気で水素を作り、CO₂を還元する多段階プロセスです。植物と同じように1つの容器の中で人工光合成を完結させることができれば素晴らしいと思います。

近年はインターネットの普及によって専門以外の知識を収集しやすくなり、分野融合的な研究を展開できるようになりました。世界中の研究者が協力し、切磋琢磨していけば、近い未来に人類は必ず人工光合成を実現できると信じています。それだけ科学の進歩は目覚ましく、また大きな可能性を秘めています。私もその研究の一端に関わることができればと思っています。



休日は家族と一緒に海や山に出かけ、魚釣りや虫とりなどを楽しんでリフレッシュ!

