

JST news

未来をひらく科学技術

Feature

生命が刻む時間

3

March
2018

国立研究開発法人
科学技術振興機構
Japan Science and Technology Agency

3 Feature 生命が刻む時間

4 生物が刻む時間の謎に迫る

8 概日時計から見えてきた植物が生き抜く知恵

10 植物が刻むリズムを植物工場に生かす



12 はかる 第10回 観測値と予測値の相乗効果で次世代天気予報をめざす

14 NEWS & TOPICS 想定外の故障に「即座に」適応可能なクモヒトデ型の移動ロボットを開発 新しいダイヤモンド量子発光体の作製に成功 生き物たちの気持ちになって考えてみよう ほか

16 さきがける科学人 Vol.71 細胞の繊維で新たな社会を紡ぐ 安達 亜希 セルフファイバ社 代表取締役 最高経営責任者 (CEO)

編集長：上野茂幸／企画・編集：今津杉子・菅野智さと・佐藤勝昭・月岡愛実・鳥井弘之・村上美江
制作：株式会社ミュール／印刷・製本：北越印刷株式会社



表紙写真

体内時計を制御する時計遺伝子を人間とマウスで初めて発見し、脳の時計が中枢となって全身でリズムを起こす仕組みを解明した京都大学大学院薬学研究科の岡村均教授。時計遺伝子は睡眠障害や時差ぼけだけでなく、生活習慣病の予防や治療にも役立つ可能性を秘めている。



生命が刻む時間

動物でも植物でも、ほとんどの生物は約24時間の周期的なリズムを刻んで生活している。太陽光など外からの影響を受けなくても自発的に刻まれるこのリズムは、「体内時計」とも呼ばれる。生命は長い時間をかけて地球の自転が生み出す昼夜のリズムに適応し、この時計を獲得してきた。

周期的なリズムを生み出しているのは、「時計遺伝子」と呼ばれる一群の遺伝子だ。ショウジョウバエで最初の時計遺伝子を発見し、体内時計の基本原則を明らかにした米国のジェフリー・ホール名誉教授、マイケル・ロスバシュ教授、マイケル・ヤング教授には、昨年のノーベル医学・生理学賞が贈られている。

ホール名誉教授らの発見以降、次々に見つかった時計遺伝子群は、互いに発現を促進したり、抑制したりといった複雑なフィードバックループを形成することでリズムを生み出す。この基本的な仕組みはシアノバクテリアを除く多くの生物で共通している(図1)。一方、関与する時計遺伝子は哺乳類、鳥類、昆虫では概ね共通しており、同一の起源を持つと考えられるが、植物やカビとは共通性が見られない。虫と鳥の羽が、異なる起源を持ちながらも、「飛ぶ」という共通の機能を得たように、哺乳類と植物の「時間を刻む」機能も、独立に獲得され、進化してきたと考えられているのだ。

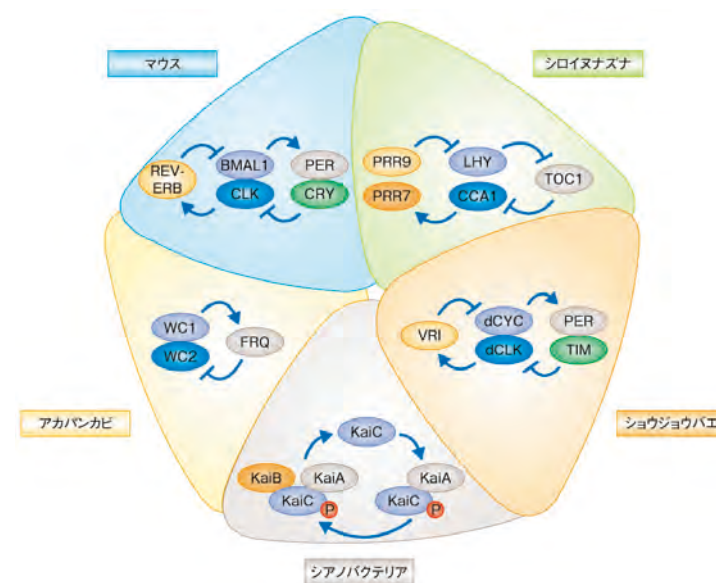


図1 さまざまな生物種の体内時計。アルファベットで示されているのは、時計遺伝子の発現により作り出されたたんぱく質の名称である。矢印が遺伝子発現の促進を、T字が抑制を示すが、シアノバクテリアでは矢印は時間の流れ、Pはリン酸化を示す。関与する遺伝子はそれぞれ異なっているが、時計遺伝子が互いに発現を促進したり、抑制したりといった基本的な仕組みはシアノバクテリア以外の生物では共通している。

哺乳類と植物では、全身の時計を調整する仕組みも異なることもわかってきている。中枢である脳と全身に張り巡らされた神経系を持つ哺乳類では、脳にある時計を頂点として組織や器官の時計を調整する(図2上)。一方で、植物では組織や器官の時計に明確な階層性がなく、互いに影響し合うことで、変化する環境に適応していると考えられている(図2下)。このような個体レベルでの「時間を刻む仕組み」の解明は、さらに進んでいこう。

体内時計の研究は、それぞれの生物が歩んできた道のり、そして生命の本質に迫るだけではなく、疾患の理解や治療、農業へと応用を広げている。3月号のFeatureでは、近年、注目が集まる体内時計の研究と応用の可能性を紹介する。

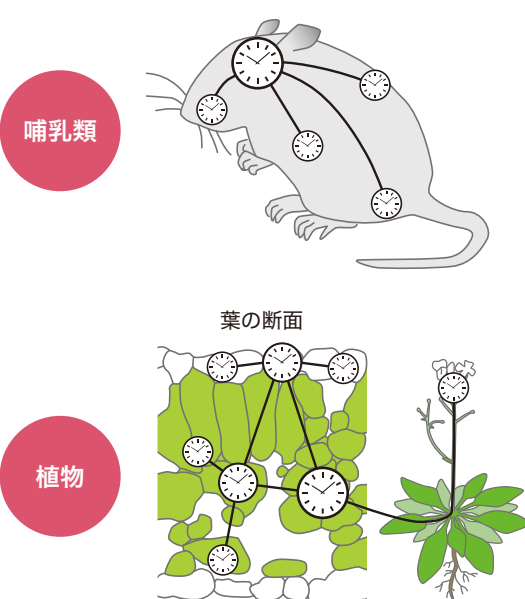


図2 体内時計の制御のイメージ図。哺乳類では脳にある中枢の時計(図中の大きな時計)が全身の組織・器官の時計を調整する。一方、植物では組織ごとに半独立的に機能する時計が分散しており、互いに影響し合っている。

生物が刻む時間の謎に迫る

地球上に生息するほぼ全ての生物は、約24時間周期で時を刻む体内時計を持ち、睡眠やホルモンの分泌など生理現象を変化させている。京都大学大学院薬学研究科の岡村均教授は、体内時計を制御する時計遺伝子を人間とマウスで初めて発見し、脳の時計が中枢となって全身でリズムを起こす仕組みを解明してきた。時計遺伝子は睡眠障害や時差ぼけだけでなく、生活習慣病の予防や治療にも役立つ可能性を秘めている。



おかむらひとし
岡村 均 京都大学 大学院薬学研究科 教授

1979年 京都府立医科大学医学部卒業。医学博士。国立岡山病院小児医療センター、京都府立医科大学助手、同講師を経て、フランス国立医学研究所、同科学研究所に留学。90年 京都府立医科大学助教授、95年 神戸大学医学部教授を歴任し、2007年より現職。14年よりCREST研究代表者。

リズムを刻んで生きる

朝になると目が覚めて、血圧や体温、心拍数は日中の活動に備えて上がり始める。夜になるとメラトニンが分泌され、睡眠によって体を休める。血圧や体温、代謝、ホルモン分泌など、動物の生理現象は、地球の自転による昼夜のリズムに合わせて、約24時間周期で変動する(図1)。

「生理現象や病気は体内時計と非常に縁が深く、分娩が多いのは夜半から早朝、心臓発作や心筋梗塞が起こりやすいのは午前中ともいわれています」と、京都大学大学院薬学研究科の岡村均教授は話す。

約24時間周期の概日リズムを作り出す体内時計を制御するのが「時計遺伝子」で、さまざまな動植物に存在している。ショウジョウバエで時計遺伝子を発見した米国のジェフリー・ホール名誉教授、マイケル・ロスバシュ教授、マイケル・ヤング教授の3人には、昨年のノーベル医学・生理学賞が贈られた。岡村さんは時計遺伝子を人間とマウスで初めて発見し、脳の時計遺伝子が全身のリズムを調律する分子メカニズムを解明してきた。

「人類の祖先は地球で生き延びるために概日リズムを獲得し、朝起きて、日中働いて、夜眠るという、周期的な活動を繰り返してきました。食事や睡眠などの定期的な行動はリズムの上に築かれ、安全な社会生活や健康な生活の基盤となっています」と、岡村さんはリズムを刻んで生きることの大切さを語る。

初めての時計遺伝子を発見

体内時計の存在は古くから知られていたが、極めて安定な約24時間周期の概日リズムを刻む仕組みは謎に包まれていた。

時計遺伝子の研究の歴史は1971年に始まる。米国のシーモア・ベンザー教授は、ショウジョウバエの遺伝子に変異を起

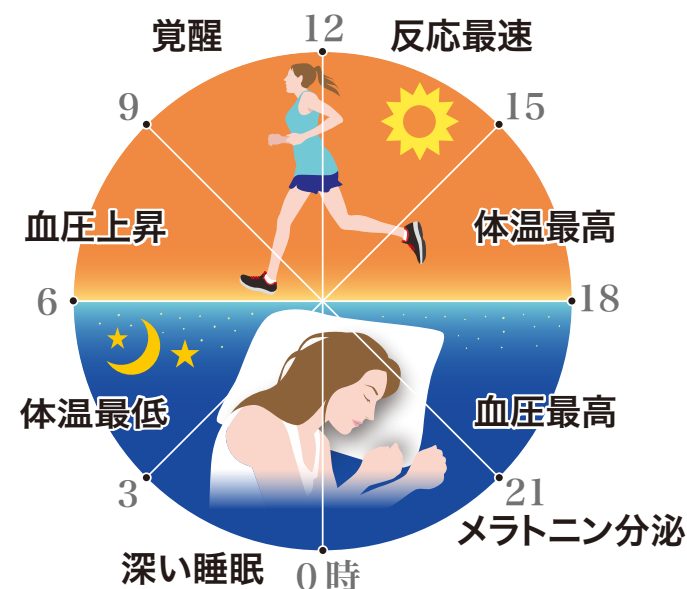


図1 体内時計と人間の体の変化
(ノーベル財団の資料に基づいて作成)

こすと、概日リズムが消える個体や、長くなったり短くなったりする個体が生じることを報告した。1984年、ホール名誉教授とロスバシュ教授の研究グループと、ヤング教授の研究グループが、最初の時計遺伝子「ピリオド」の特定にそれぞれ成功した。ピリオド遺伝子によって作られるたんぱく質は夜に増え、昼に分解されて減る。このたんぱく質の転写サイクルが約24時間周期のリズムを刻むことを突き止めた。

哺乳類では体内時計は発達した脳に存在するといわれていた。岡村さんはマウスの脳の視交叉上核(図2)で生じる不思議な現象に目を奪われた。視交叉上核は視床下部にある小さな神経核である。この視交叉上核だけで、神経伝達物質の量が昼と夜で変動することを発見した。

「薬物投与やストレス以外の要因で脳内物質が変動することは、当時は考えられなかったもので、大変驚きました。時計遺伝子は視交叉上核にあると確信しました」。

視交叉上核は、マウスでは直径0.5ミリメートル、人間では2ミリメートルにも満たない小ささで、物質の変動の定量的解析は難しかったが、顕微鏡で観察した形態から定量する方法を開発した。視交叉上核の組織を培養し、スライドガラス上で概日リズムを確認することにも成功した。

1997年、岡村さんは、当時ヒトゲノム研究を進めていた東京大学の程肇博士、

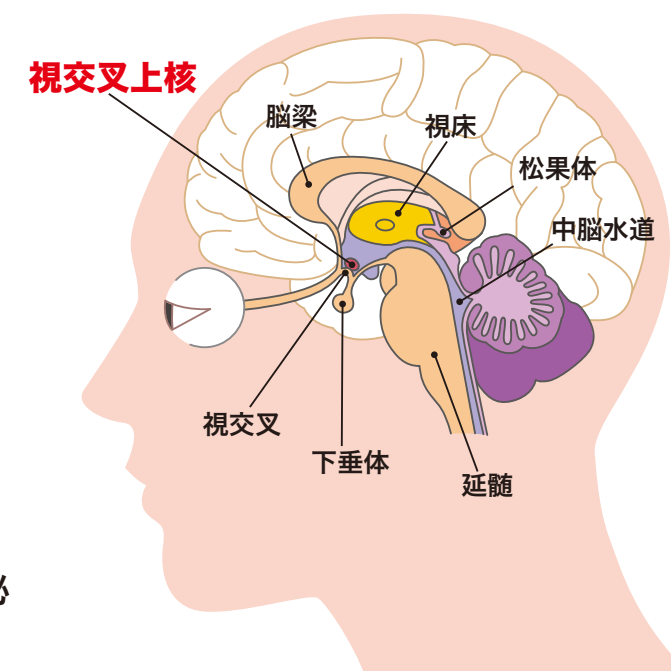


図2 視床下部は間脳にある自律神経や内分泌の中枢で、視交叉上核はその中の非常に小さな領域だ。左右の視神経が脳内で交差する部分の真上にあり、人間では直径2ミリメートル程度のラグビーボールのような形をしている。

榊佳之教授らとともに、人間とマウスでピリオド遺伝子を世界で初めて発見し、続いて哺乳類では3種類のピリオド関連遺伝子が存在することも明らかにした。

視交叉上核は体内時計の「指揮者」

時計遺伝子は見つかったが、どのように約24時間刻みで体内時計を動かすのか、という謎がまだ残っていた。体内時計の研究は世界に広がり、競争は激化していた。「オリジナルの技術で、オリジナルの現象を見つけないと生き残れない」と、岡村さんは考えた。生物学者が中心に取り組んできた謎解きに、岡村さんは解剖学を専門とする医師であることを武器に挑み、生体現象や細胞の変化に注目して研究を進めた。

2000年には、時計遺伝子の活動を生きたままリアルタイムに記録することに成功した。ホタルの遺伝子を組み込んで、時計遺伝子が働くと発光するマウスを作製した。その脳に光ファイバーを挿入し、視交叉上核にある時計遺伝子の時系列の変化を観測したところ、昼夜の12時間ごとに強弱の発光を繰り返していた。時計遺伝子が約24時間周期で活動していることがあらためて確認された。

時計遺伝子は脳内だけでなく、皮膚や臓器を形作る末梢細胞にも存在し、約24

時間周期で発現を繰り返すことも突き止めた。末梢細胞は体外に取り出すと次第にリズムが衰えていくが、視交叉上核の細胞はリズムを刻み続けた。

光刺激が目から入ると、視交叉上核の時計遺伝子がリセットされることも明らかにした。これにより、体内時計と地球の自転との誤差の修正や、季節や場所によって変化する環境の時計との「時間合わせ」が可能になる。脳が時間の情報を内分泌臓器である副腎に伝えたと、時間の情報が神経情報から内分泌情報(副腎皮質ステロイドホルモン)に変換され、正確な時刻が全身の細胞に伝えられる。末梢細胞には外界の明暗周期に合わせて調節する機能がなく、外界のリズムに同調する能力を持つのは脳の時計遺伝子のみである。

オーケストラに例えるなら、視交叉上核は「指揮者」で、末梢細胞は「演奏者」だ。しかも急なリズム変更にも対応できる優れた指揮者だ。視交叉上核が60兆個もの末梢細胞を指揮し、全体で強いリズムを作り上げていくことで、体内時計が機能する。

リズムの異常が病気を引き起こす

人間の体内時計は全生物の中でも最も強く、全細胞の基本代謝がリズムに支配されているという。これが乱れたらどうなるか。その身近な例が海外旅行での時差

ばけで、睡眠不足や食欲不振などの体調不良が起きる。

昼夜活動する現代社会では、古来より人類が守ってきた概日リズムを守ることは難しい。「夜にコンビニエンスストアに入ると、元気になるのはなぜだと思いますか」と岡村さんは問いかける。時計遺伝子は夜にはほとんど発現しないが、コンビニエンスストアの店内照明のように家庭の3倍以上もの光を浴びると、昼の時間帯と同じぐらいの量が発現し、時間の針が2時間も戻るといふ(図3)。

深夜を含む交代制勤務や長時間勤務によって夜は目がさえて朝に眠くなるのは、時差ぼけが生じている状態だ。リズムの異常は不眠症やうつ病だけでなく、高血圧、メタボリックシンドローム、がん、骨粗しょう症など生活習慣病の発症への関与も指摘されている。

時差ぼけが生じるのは、実際の環境の時計と体内時計の刻む時間とがずれるからだ。特に日本から東向きに移動するような、日本より早く朝や夜が来る時差では、新しいリズムに順応するのに1週間から10日かかる。急な明暗の変化で脳の時計細胞のリズムが一時的にばらばらになり、視交叉上核の時計遺伝子のリズムが止まってしまう。

脳の時計細胞のリズムがばらばらになることを防げば、時差ぼけから早く回復できるのではないかと、岡村さんは考えた。2011年に開始したCRESTの「生命動態の理解と制御のための基盤技術の創出」研究領域では、生命体の動的システムを数理科学に基づくモデリングやシミュレーションを活用して理解しようと、研究者が切磋琢磨している。同じ研究領域のメンバーで、数理計算科学を専門とするお茶の水女子大学の郡宏准教授と一緒に、時差ぼけの現象を解明することにした。複雑な時計細胞の動きをコンピューターでシミュレーションしたところ、東向きの長距離旅行時には出発当日に早起きすると時差ぼけが軽減することが予想され、マウスの実験でも確認できた。時差ぼけの症状だけでなく、交代制勤務者の負担を軽減するスケジュール作成への応用が期待される。

時計が次世代の生命科学をひらく

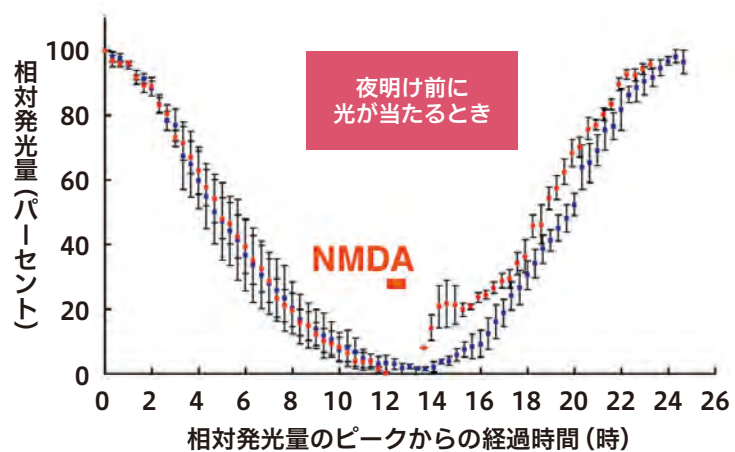
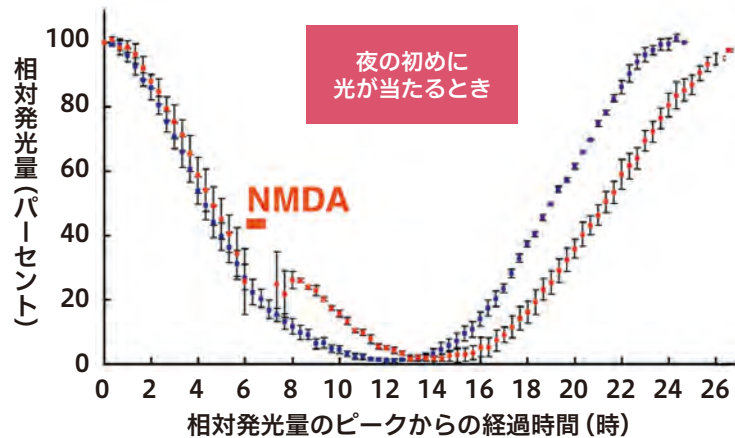
昼夜のリズムと関係ない副腎皮質や皮膚、消化管などでも概日リズムは発現している。「面白いことに、血圧調整に極めて重要な副腎で分泌されるステロイドホルモンが概日リズムの制御を受けていました」と岡村さん。昼夜逆転などの不規則な生活で、このステロイドホルモンのリズムが乱れると高血圧になりやすくなる。「時計遺伝子が糖や脂肪などの基本代謝を管理していることがわかってきました。高血圧や糖尿病など生活習慣病の新たな誘因としても注目されています」。

「私たちは、昨日の私たちではありません」と岡村さん。「驚かれるかもしれませんが、

私たちの体では、日々に古い細胞を捨て、常にみずみずしい細胞が生まれ、数年もすればほとんど入れ替わってしまいます。この細胞分裂や増殖にも時計遺伝子が不可欠であることがわかりました」と続ける。

全身のさまざまな代謝の中核となる肝臓は、損傷を受けても再生する臓器だ。体内のほとんどの細胞は染色体の数が2倍だが、肝臓では多くの細胞が4倍や8倍と多倍化することが知られている。岡村さんは肝臓の多くの酵素が概日リズムを刻むことに着目した。時計遺伝子の働きを止めたマウスを作製し、その肝細胞を調べたところ、増殖シグナルが低下して細胞分裂が進まず、染色体の数が通常の4倍や8倍のみならず、16倍や32倍など著しく多倍化して巨大になった細胞が増えていた(図4)。

図3 光刺激は網膜でグルタミン酸情報に変換されて脳に伝わる。時計遺伝子ペリオドが活性化すると光るマウスを作製した。このマウスの視交叉上核だけを取り出し、スライドガラス上で光刺激の代替品としてグルタミン酸作動薬NMDAをかけた場合(赤線)と、NMDAをかけていない場合(青線)とを比較した。ペリオドの相対発光量のピーク(100)から6時間後にNMDAを与えると、時計は2時間遅れ、夕方に巻き戻る(上)。ピークから12時間後にNMDAを与えると、時計は1時間早まった(下)。相対発光量がピークに達した時点を昼と見なすと、ピークから6時間後は夜の初め(22時頃)、12時間後は夜明け前(4時頃)に相当する。毎朝光を浴びることによって、25時間の体内時計を地球の自転に合わせて24時間にリセットしている。



時計遺伝子はリズムを作り出すだけでなく、細胞分裂に必要な増殖シグナルを制御する機能を持つことが明らかになった(図5)。肝炎や肝硬変の患者では、肝臓に多倍化した巨大な細胞が増えることがある。肝細胞の多倍化メカニズムが解明されれば、肝臓病の予防や治療につながると期待される。

長年、概日リズムは時計遺伝子の転写リズムに支配されていると考えられてきたが、核がなく転写を行わない赤血球も概日リズムを刻むなど、時計遺伝子に依存しない代謝リズムも見つかっている。岡村さんはメッセンジャーRNAのメチル化修飾によっても体内時計の周期が変わることを発見し、時計遺伝子とRNAレベルの代謝リズムが連動するメカニズムの解明に力を注いでいる。

未来も健やかにリズムを刻むために

岡村さんはもともと小児科医で、年間2千人以上の診療に当たっていた。「原因を解明して、難病を治したい」という気持ちを抱きながら、体内時計の研究を続けてきた。時計遺伝子がさまざまな生物で特定された1980～90年代当時は、「分子生物学や生化学が最先端で、構造と機能を結びつける解剖学ははるかに古い分野でした」と振り返る。しかし解剖学は医師になるには必須で、病気の診断に欠かせない学問だ。「数カ月で追いかける成果では意味がない。追いかけてよしたら

野生型マウスの肝臓

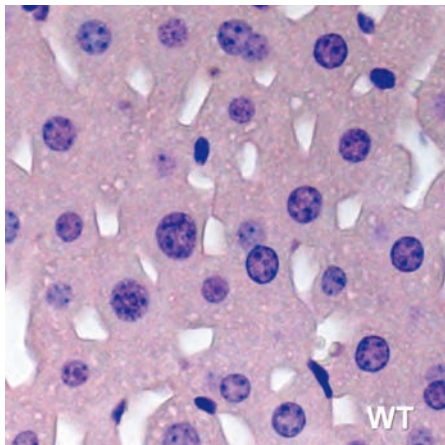
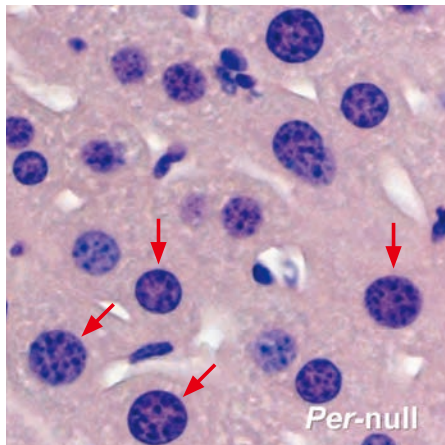


図4

時計遺伝子ペリオドの働きを止めたマウスでの肝細胞の多倍体化の様子。正常(野生型)マウスの肝臓には、丸い細胞核を持った肝細胞が柵状に並んでいる(左)。ところが、ペリオド遺伝子を欠損したマウスでは、肝細胞の細胞核が巨大化し(矢印)、細胞も大きくなる(右)。

時計遺伝子ペリオドを欠損したマウスの肝臓



数年はかかるようなものでなければ」と十分なデータを蓄積した上で、世界をリードする成果を挙げてきた。

「視交叉上核にはまだ知られていない分子メカニズムがあるはず」と見込む。着目しているのは、医薬品の標的として有効といわれるGたんぱく質共役型受容体(GPCR)だ。視交叉上核にしかないGPCRとその機能を解明すれば、脳の中核時計だけに作用して時差やリズムの乱れに効く薬を開発できる。健康な状態のリズムを取り戻せば、不規則な生活習慣によって生じる不眠症や高血圧症を根本から治療できるのではないか、という考えだ。

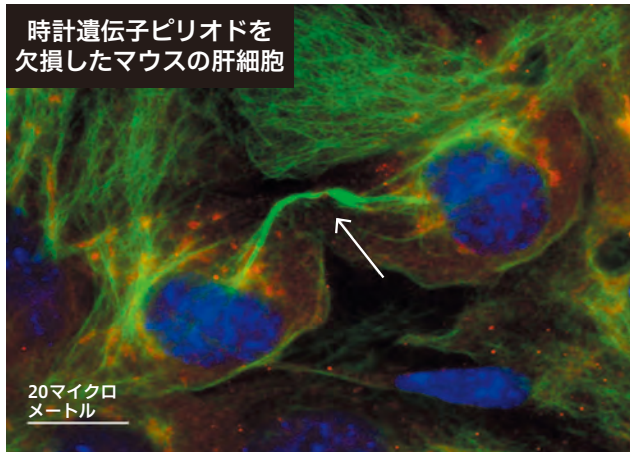
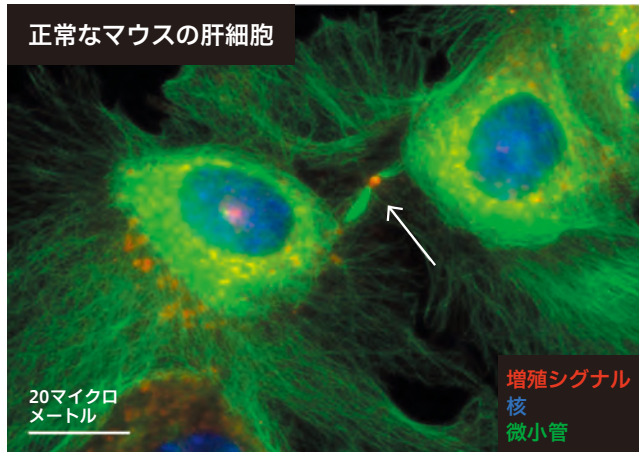
マーモセット(小型のサル)を使った生体リズムの観察も始めた。これまでのリズム研究は、夜行性のマウスで行われてきたが、マーモセットは昼行性霊長類で、睡眠時間も長く、同居相手の概日リズムと強く同期するなどの社会性を持ち、より人間に近

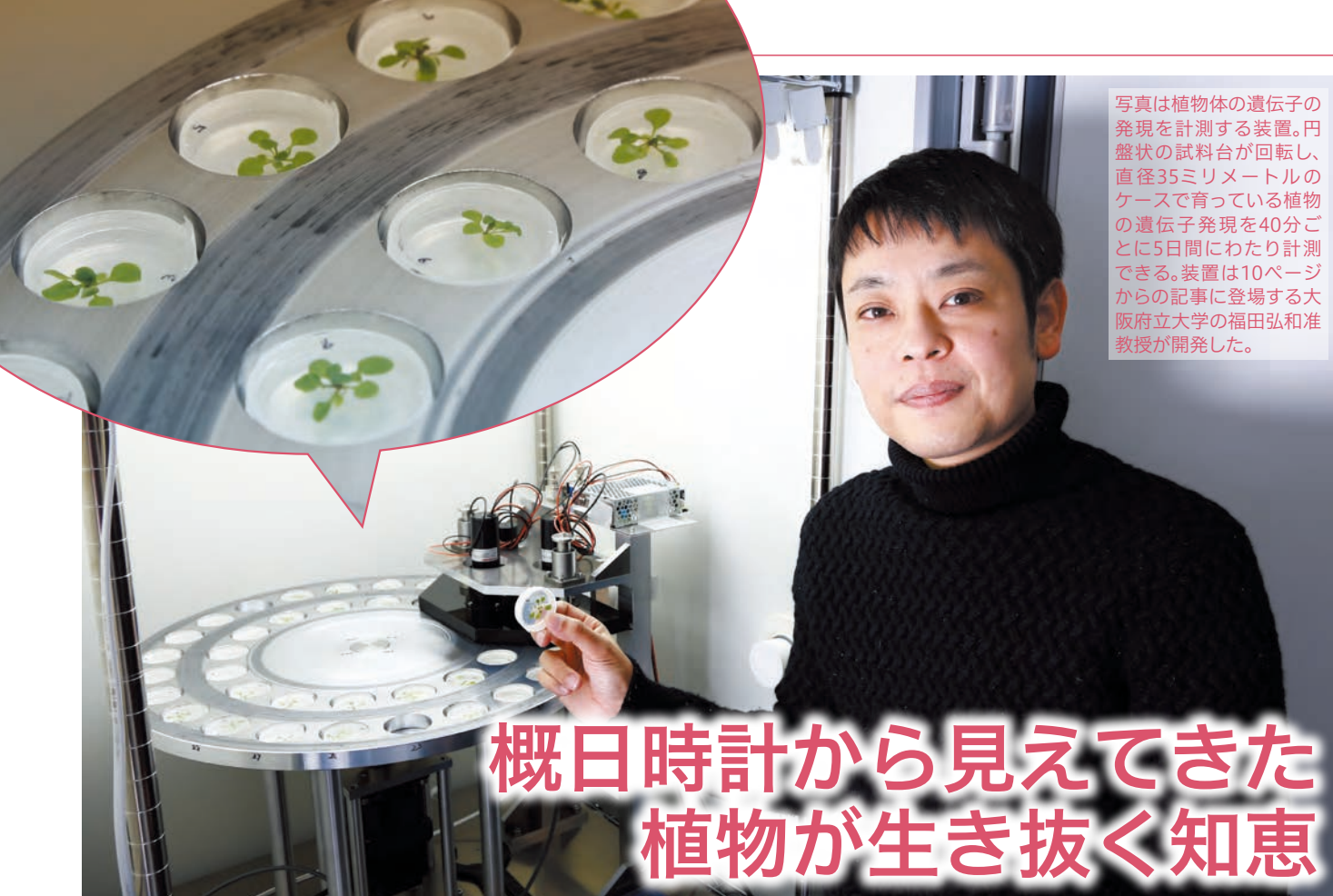
い。霊長類モデルで概日リズムのメカニズムの解明や疾患などとの関わりを解明することをめざす。

「未来はますます人工環境が加速されるでしょう。スマートフォンやパソコン、LED照明などに使われているブルーライトの氾濫もその1つです。これらの現代のアイテムは、地球と、そこに暮らす人間が持っている本来のリズムに影響を及ぼすと懸念されます。そこで現在、リズムを同調させる重要な因子としての光に、さらに照明という視点も加えながら、企業と共同研究もしています。健康で豊かな生活を送るために、これからも時間の研究を深めていきます」と岡村さん。時計遺伝子の研究の歴史は数十年と浅く、まだ多くの謎が残されている。数百万年前に誕生した人類が獲得したリズムを解明し、多くの人の健康に役立てようと、岡村さんの挑戦は続く。

図5

正常なマウスの肝細胞(左)では、細胞分裂の最終期の細胞質分裂で活性化した増殖シグナルが中央体に発現する(矢印)。この増殖シグナルが最終的な膜の分離反応を誘導し、細胞分裂を完成させる。青は核、緑色は微小管。時計遺伝子ペリオドの働きを止めたマウス(右)では、中央体での増殖シグナルは消失し(矢印)、細胞質分裂は失敗する。





写真は植物体の遺伝子の発現を計測する装置。円盤状の試料台が回転し、直径35ミリメートルのケースで育てている植物の遺伝子発現を40分ごとに5日間にわたり計測できる。装置は10ページからの記事に登場する大阪府立大学の福田弘和准教授が開発した。

概日時計から見えてきた植物が生き抜く知恵

植物の概日時計にも、動物と同じような役割分担や時計同士の序列はあるのか。未解明だったこの問いに挑んだのが、京都大学大学院生命科学研究科の遠藤求准教授だ。植物の概日時計の本質に迫るべく、独自の解析法を駆使し、研究を重ねている。

えんどうもとむ
遠藤 求

京都大学 大学院生命科学研究科 准教授

2007年 京都大学大学院理学研究科博士課程修了。博士(理学)。京都大学大学院理学研究科特別研究員、米カリフォルニア州立大学サンディエゴ校博士研究員、京都大学生命研究科助教などを経て、15年より現職。

動物とは異なる植物の体内時計

多くの生物は時間を計る仕組みを持つ。体内時計と呼ばれるこの仕組みのうち、1日、つまり約24時間周期のリズムを刻むのが概日時計だ。

「成長や花の形成といった植物の生理機能は、ほぼ全て概日時計の影響を受けます。例外は虫に食べられたので防御物質を出すといった緊急避難的な反応です。1日1回の反応では間に合わないで、概日

時計を介さずに行われるのでしょう」。

概日リズムを生み出すのは、「時計遺伝子」と呼ばれる一群の遺伝子が互いに発現を促進、あるいは抑制する複雑な回路を形成し、約24時間に1回、遺伝子が転写されるようリズムを刻む仕組みだ。関与する時計遺伝子は動物と植物で異なるものの、仕組み自体に大きな違いはない。

一方、体内の時計を統合する仕組みは、動物と植物で異なる。哺乳類では肝臓など末梢器官の時計はそれぞれ役割が異なるが、脳の視交叉上核が基準となる中枢

の時計として働き、全身の時計を同期させる。植物にはこのような仕組みはなく、個々の細胞が同一のリズムを刻み、全身の時計が同期すると考えられてきた。

独自の手法で見えた組織ごとの時計の違い

1984年に時計遺伝子の1つであるピリオドがショウジョウバエで発見されて以降、植物でも時計遺伝子が次々と発見された。しかし、組織や器官の時計の間での役割分担や支配関係の有無は調べられてこなかった。遠藤さんは、そこに切り込んだ。「光を感知する受容体は全身で発現していますが、葉と根では役割が違います。時計遺伝子も全身で発現していますが、何らかの役割分担があり、発現のリズムは異なるのではないかと考えました。そこで、組織ごとのリズムを調べ、それぞれの時計の性質を知ることから始めました」。開発したのは、特定の組織での遺伝子発現リズムのみを非侵襲で取り出す方法

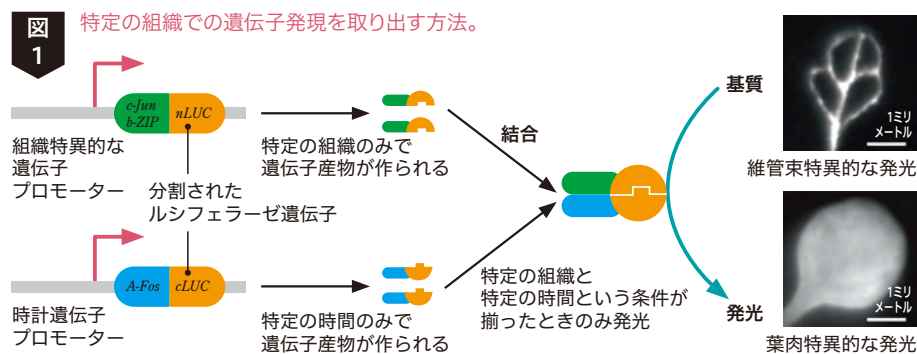


図2

組織特異的に時計機能を阻害した系統

野生型



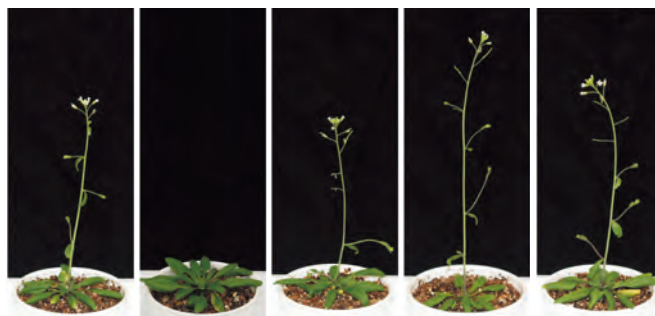
葉肉

維管束 (篩部伴細胞)

維管束 (木部)

表皮

茎・根



野生型以外は、各画像の上に記載した組織の時計機能を特異的に阻害して栽培している。維管束の篩部伴細胞の時計機能を壊したものは、野生型が花をつける時期になっても花が咲かない。

だ。ホタルなどが持つルシフェラーゼという酵素は、基質と反応し発光する。このルシフェラーゼの遺伝子を2つに分割し(*nLUC*、*cLUC*)、1つは組織特異的な遺伝子の発現を調節する領域(プロモーター)、もう一方は時計遺伝子のプロモーターに連結し、特定の組織、特定の時計遺伝子という条件が揃った時にだけ、分割されたルシフェラーゼの両方が作られるようにした。分割されたルシフェラーゼは、それぞれに融合したc-Jun bZIPとA-Fosというたんぱく質の働きにより結合し、本来の酵素活性を持つようになる(図1)。ルシフェラーゼの発光を測定することで、特定の組織での時計遺伝子の発現リズムを取り出すことができるのだ。組織を単離する必要がないため、より自然な状態で遺伝子の発現リズムを調べられる点が特長だ。

遠藤さんはモデル植物のシロイヌナズナで、葉の中で主に光合成を行う「葉肉」と水や栄養分の通り道である「維管束」の時計遺伝子「*TOC1*」の発現を測定した。その結果、同じ遺伝子であるにも関わらず、葉肉と維管束では発現量や発現リズムが異なっていた。植物の時計にも、動物の時計のような組織ごとの違いが存在したのだ。

他の時計を調律する優位な時計はあるのか

では、植物にも脳のように他の時計を調律する時計が存在するのだろうか。この問いに答えるため、遠藤さんは組織間での時計の関係を調べることにした。

通常は周期的に発現する時計遺伝子を常時、強制的に発現させて、その組織のリズムを消失させるという方法で、維管束

の時計を失った個体と、葉肉の時計を失った個体を用意し、それぞれで葉肉と維管束の概日リズムを計測したのだ。

「葉肉の時計を失った個体では維管束の概日リズムは正常でしたが、維管束の時計を失った個体では維管束だけでなく葉肉の概日リズムも失われました。維管束の時計が葉肉の時計に影響するという階層性が見られたのです」。

さらに、光合成産物の輸送に関わる維管束篩部の時計を壊した個体では、葉肉や表皮、茎といった組織の時計を壊した時には見られない変化が確認できた。

「維管束篩部の時計を壊した時だけ、開花が遅れたのです。根が吸い上げた水や栄養を運ぶ維管束木部の時計を壊しても、開花は遅れません。開花は日が長くなると誘導されますから、維管束篩部の時計は日の長さに応じて開花を制御していると考えられます。この時計が壊れると日の長さを測れず、適切な開花の時期がわからなくなってしまうのです」(図2)。

これらの結果からは、シロイヌナズナでは維管束の概日時計が他の組織の時計より優位に見える。しかし、各組織の概日時計と細胞伸長との関係を調べると、表皮の時計を壊した個体では野生型と比べ顕著な細胞伸長が見られた一方、維管束の時計を壊した個体では変化が見られなかった(図3)。また、細胞の伸長が見られるのは、この植物にとって常温にあたる16～27度の時であることも確かめられた。

「維管束と表皮では、概日時計の役割が異なることが示されました。維管束の時計は日の長さを感知して花芽の形成を制御し、表皮の時計は温度を感知して細胞伸長を制御しているのです」。

図3

組織特異的に時計機能を阻害した系統

野生型

維管束 (篩部伴細胞)

表皮

茎・根



野生型以外は、各画像の下に記載した組織の時計機能を特異的に阻害して栽培している。表皮を含む組織の時計機能を阻害した系統は、胚軸(茎)が顕著に伸びており、維管束の時計機能は影響を与えていない。

移動の自由がない植物の知恵

維管束と葉肉の関係だけに注目すると、維管束の時計が葉肉の時計を支配しているように見える。しかし、報告されている同様の関係をまとめると、見えてくるのは単純な階層性ではなく、複雑な関係だ。

「脳のように特定の組織が完全に上位にあるわけではないのです。植物では各組織の概日時計は半独立的に時を刻んでいますが、何らかの仕組みによって互いに影響し合い、全体として統合されていると考えられます」。脳という中枢で集中的に制御されている哺乳類に対し、植物は時計の中枢を各組織に分散させているのだ。

「植物は環境が変化しても逃げられないので、適応するために鋭敏に応答します。しかし、冬なのに暖かな日もあれば、昼間なのに曇って薄暗い日もあります。そんな時、1つの時計に機能を集約していると判断を誤りやすい。そこで組織ごとに半独立的に時計を分散させ、失敗の少ない中庸的な応答をしているのではないのでしょうか」。

遠藤さんの目標は、環境の変化を植物全体で統合し、応答する仕組みの解明だ。環境への応答と時計遺伝子の関係を解明できれば、農業への応用も期待できる。例えば、温度への応答を司る組織で時計遺伝子を制御することで、冷涼な気候が必要な作物を夏場でも収穫できるかもしれないのだ。特定の組織だけに働きかけるので、副作用も減らすことができる。

生物が意識することなく刻み続けている時間。その本質に迫ろうとする遠藤さんの視線は、その先にある産業応用にも注がれている。



植物工場にて。手にしているのは同工場から出荷される2種のレタス。地元メディアでしばしば取り上げられる人気商品だ。円内は同工場内の育苗棚の様子。

植物が刻むリズムを植物工場に生かす

大阪府立大学中百舌鳥キャンパスの一面に位置する植物工場研究センターには、葉菜類を量産し、実用化に向けた技術を検証する工場がある。ここで植物の概日時計の研究を進めているのが、同大学大学院工学研究科の福田弘和准教授だ。植物の概日時計への理解を深め、生体リズムを整えることで植物の成長をデザインすることをめざしている。

植物の寝起きのリズムが生育の鍵

薬味として用いられる大葉（青じそ）。その成長を何日も連続撮影し、数十秒に縮めた動画を見ると、大葉は鳥が羽ばたくように、広げた葉を持ち上げたり下ろしたりする（写真1）。「夜になると葉を垂らして眠り、朝になると起きて葉をピンと伸ばします。ただ、植物は私たちと比べてゆっくり動くので、人はその動きを認識できていないのです」と福田さんは解説する。「この植物工場で栽培している2品種のレタスも、大葉と同じように寝たり起きたりしています。レタスが寝ようとしている時

に照明を明るくすると、睡眠の妨害になります。概日時計が乱されると生育にも影響しますから、リズムを整える必要があるのです」。

従来の植物工場では蛍光灯やLED（発光ダイオード）光によって昼夜24時間の明暗周期が利用されてきた。福田さんはレタスの遺伝子発現リズムが22時間周期になっていることを発見し、この周期に合わせて明暗を調節して育てると水耕栽培のレタスの生育が早くなることを確認した。さらに、レタスの概日時計の周期そのものを光の波長分布によって調整できることも明らかにしている。大阪府立大学の植物工場ではこれらの成果を生かし、概日リズム

と一致した明暗周期を与えることで、レタスを効率的に生産するための技術を開発している。

現在、この植物工場では毎日、5,000株のレタスが収穫され、府内のスーパーなどで販売されている。人工光利用型としては国内有数の大規模施設だ（写真2）。

植物工場は、安全・安定な食料供給の実現につながることから期待が高まっているが、「成長予測」、「生産安定化」、「環境最適化」という3つの大きな課題があるという。福田さんは概日時計を切り口に知見を積み重ね、これらの課題を解決しようとしている。「どの苗がどのくらい大きくなるか、正確に予測することは至難の業です。同じような苗を同じ環境で育てても生育が違う。その要因はどこにあるのか、真面目な科学的探求が必要です」。

概日リズムから苗を診断・選別

レタスは同じ日に種をまき、同じ環境で

育てても発芽後の生育にばらつきがある。このことが植物工場での歩留まりの低下や生産の不安定さの要因の1つとなっている。生育初期に大きく育ちそうな苗だけを定植するのが望ましいが、その後の生育がどうなるのかを予測することは困難だった。そこで福田さんが開発し、植物工場に導入したのが概日時計を利用した苗選別システムだ。

植物は、葉緑体に光が当たったとき、光合成に使われなかった光のエネルギーをクロロフィル蛍光に変えて外に出す。光合成が活発だとクロロフィル蛍光は少なく、光合成が活発ではないときは多くなるため、蛍光の強度から光合成活性を知ることができる。苗選別システムでは苗を高感度カメラで4時間おきに撮影し、測定した蛍光の強度の変化から個々の苗の概日リズムを把握している（図1）。概日時計の乱れが少ないほど、苗の生育は良い。

「苗の1本1本について、蓄積してきた過去のデータと結果を比べます。さまざまな生育指標と後の生育の関連を示すデータがあるので、大きく育つ苗かどうか判断できます。この苗選別システムでは、1日に7,200個体を分析し、リズムが乱れている2割を良い育ちが見込めない苗と判定し、残りの8割を自動で定植します」。選別後も、どの苗がどのように成長していくか個体ごとに追跡され、そのデータも保存・利用される。

「農業では『苗半作』といって、苗の出来が作物の出来を半分決めるという言葉があるほど、苗の質が重視されます。苗の生産は植物工場などの人工環境下で行われることが多くなっているため、苗選別システムは実際の農業現場にも役立つと考

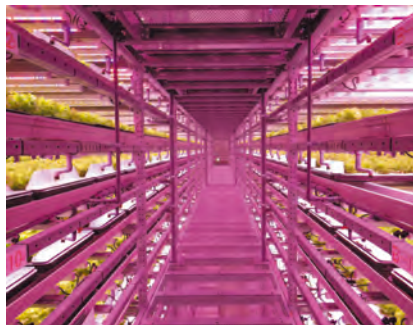
えています」。

概日時計の挙動を数理モデルで説明

植物の概日時計を研究する福田さんだが、大学院では結合振動子系というシステムを研究していた。振動する素子がたくさん集まり、互いに影響しあう同期現象などを研究する非線形物理学の領域だ。学生時代に生物の挙動も数式で記述できることを知り、生物システムに興味を持ったという。「植物は環境のリズムに対して自分自身のリズムをどのように合わせていくのか、特に1つ1つの細胞がみな時計を持っていて、それが全体としてどのように同調しているのか、その数理的な部分は結合振動子系と同じように記述できるはずでした。現象を数式で理解できれば、将来の予測も人為的な制御も可能である点に、とても興味を持ちました」。

この考えに基づいた研究で、福田さんは植物の概日時計の環境適応能力が柔軟であることを、シロイヌナズナを用いて解き明かした。細胞集団の中でリズムが揃っているときは、外部からの光刺激に対して鈍感だが、リズムがバラバラなときは、外部からの光刺激に対して鋭敏になる。自然環境に即していうと、天候が安定しているときには概日リズムが揃って外部の光刺激にほとんど応答しないが、天候が極めて不順なときにはリズムがばらばらになり、弱い光刺激にも応答して概日時計を調整できるというように、環境に応じて柔軟に

写真2



適応できることがわかったのだ。

さらに、この同期状態の変化による応答の変化を数理モデルで明確に説明することにも成功した。植物工場での光の当て方をさまざまに変えた時の概日時計の挙動を詳細にシミュレーションできるように、植物工場の環境をよりきめ細かに設計できるようになるという。

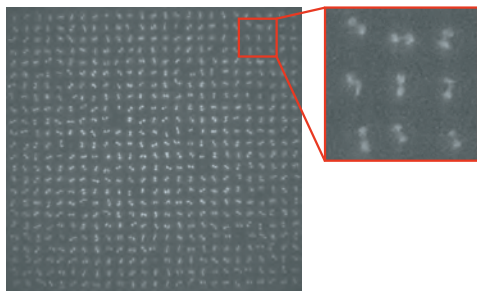
農家を助ける技術で世界の農業に貢献

生命現象をよく表す数理モデルを作り、シミュレーションを行うためには、できる限り多くのデータを得る必要がある。そこで福田さんが力を入れている研究アプローチが「オミクス解析」だ。遺伝子・たんぱく質・代謝物などの生体分子を網羅的に解析し、生命現象を明らかにする手法である。

「例えば、光合成の活性は今どうなっているか、糖がどう輸送されているか、といった現象は、物理の議論の範囲に入ってきません。物理的な議論だけでは肉付けができないのです。全ての遺伝子、場合によっては生体内の全ての化合物を網羅的に捉えてこそ、本当に役立つ技術になると考えています」。1本1本の苗の成長を調べる際に、概日リズムに関わる生体情報を網羅的に解析し、最適な栽培環境を設定することで、より高品質なレタスの生産につながる技術をめざしている。

福田さんは農家の出身で、農業の現状はよく知っている。「農業は人間の生活を支える崇高な産業ですが、現在は経済性との両立が難しくなっています。農家に役立つ技術を開発し、世界の農業に貢献したいと考えています」。

数理科学、農学、植物科学と分野の垣根を越えて研究を進める福田さん。新しい知識を得るため、異分野の研究者とも積極的に意見を交わす。その意欲的な姿勢は、作物生産を支える技術を生み出していくだろう。



600株のクロロフィル蛍光画像

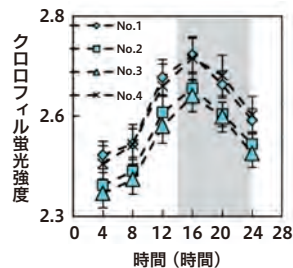


図1

左は種をまいてから6日目の苗。クロロフィル蛍光画像を600株ずつ、1日6回、4時間ごとに撮影し、右のグラフのようなクロロフィル発光強度の日内変化を捉える。グラフの縦軸は発光強度の比を表すための相対値。発光強度のリズムに乱れが見られる2割の苗は定植しない。

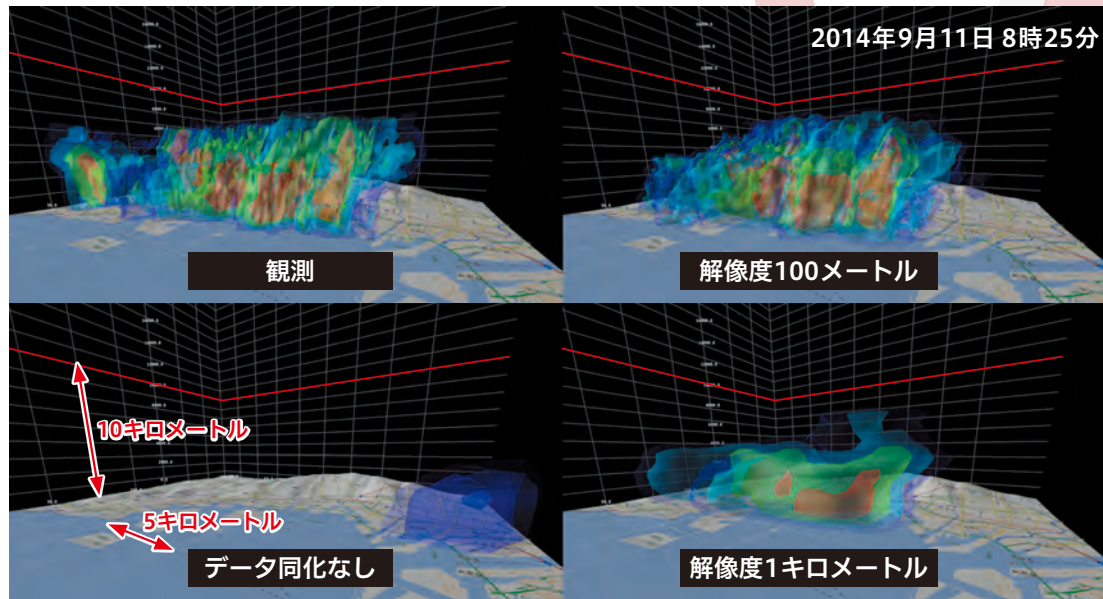
はかる

第10回

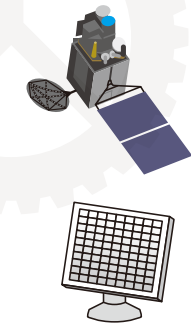
みよし たけまさ
三好 建正

理化学研究所 計算科学研究機構
データ同化研究チーム チームリーダー

2000年 京都大学理学部卒業。同年気象庁入庁。03年 人事院行政官長期在外研究員(米国メリーランド大学)。05年 博士(気象学)。気象庁予報部数値予報課技術専門官、メリーランド大学助教授を経て、13年より現職。気象予報士。



▲ 図1
「ビッグデータ同化」によるゲリラ豪雨のシミュレーション再現例。フェーズドアレイ気象レーダーにより100メートルの分解能で30秒ごとに観測される3次元降水分布と、解像度100メートルの高精細シミュレーションを組み合わせて、積乱雲内部の状態を詳細に再現できた。赤色は雨が最も強い部分。地図データは国土地理院提供。



現状

目標

データ転送	データ同化	アンサンブル予測
30秒	30秒	30秒

5秒	10秒	10秒
----	-----	-----

▲ 図2「京」を使った数値予報にかかる時間(現状と目標)
現状ではデータ転送、データ同化、アンサンブル予測にそれぞれ約30秒かかっている。精度と速さのバランスを取りながら30秒以内での安定動作をめざす。

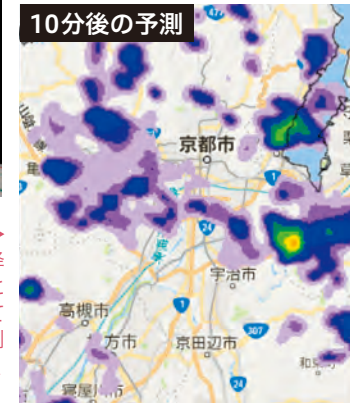


図3 ▶
3D降水ナウキャストによる10分後の降水分布予報の例。10分後の予測(左)と実際の観測値(右)を比べると、よく似ていることがわかる。リアルタイムの観測値と予報は、右のQRコードを読み取るか、「理研天気予報研究」で検索してほしい。

観測値と予測値の相乗効果で次世代天気予報をめざす

理化学研究所の三好建正チームリーダーは、スーパーコンピューター「京」によるシミュレーションと、高精細気象レーダーや気象衛星「ひまわり8号」の観測値を融合させる「データ同化」を用いて、気象の変化を高精度に高速で予測する手法を開発している。予測困難な突発的豪雨や洪水などの把握が期待でき、次世代気象予報として注目される技術だ。

ンでは、予測不可能だった気象の変化だ。

その後、「京」で数値予報やデータ同化の効率化を徹底的に進め、約98秒で30分後の天気予報を計算できるまで処理速度が向上した。しかし、当初の目標通り30秒で30分後の天気を予報するには、現状の3倍以上の高速化が必要になる(図2)。

「現状でも『京』の計算資源をほぼ全て利用しています。多くの研究者が共同利用する施設を独占的に使い続けることはできませんから、計算の高速化とは違う工夫をしなければ、30秒で30分後の予報は実現できないと判断しました。」

そこで、数値予報やデータ同化の精度と確度のバランスを考え始めた。例えば、100メートルの格子を200メートルに広げても予報の精度がさほど変わらないなら、データ量を減らし処理速度を上げることができる。予報精度を下げずに速度を上げる最適なバランスを見つけ、短時間で精密な天気予報ができる方法を探っている。

社会での実用化に向けた試み

三好さんらは、実用化に向けた試みとして、PAWRを生かした「3D降水ナウキャスト」という手法を開発し、30秒ごとに更新される10分後までのリアルタイム降水予報を、昨年7月から公開している(図3)。

リアルタイム予測のほか、気象衛星「ひまわり8号」との連携にも取り組む。8号は7号に比べて観測性能が大幅に向上した。地球全体を撮影する頻度が従来の1時間に1回から10分に1回に増えたほか、センサーの性能も向上し、データ量は従来の約50倍に増えている。三好さんらは、このビッグデータを「京」で処理することで、これまで困難だった急速に発達する台風や、集中豪雨を高い精度で予測する手法を開発した。

2015年9月の「関東・東北豪雨」を例にシミュレーションした結果、従来の手法では12時間先の雨の範囲が実際より西に

約100キロメートルずれて予測されたが、新たな手法では実際に雨が降った地域とほぼ同じ範囲で大雨が予測された。従来は6時間に1度しか更新できなかった鬼怒川の流量の予測も、更新頻度を上げれば洪水の危険をより早く察知できる。

CRESTでの研究は、あと1年ほどで区切りを迎える。2年後の東京オリンピック・パラリンピック競技大会で予報システムを活用するという研究当初からの目標は今も変わらないが、三好さんはすでにその先を見据えている。

「リアルタイムでの天気予報を可能にする数値予報の手順やソフトウェアを、この夏までに作り上げます。オリンピックに間に合わせる計画ですが、そこがゴールではありません。実際に利用して見てきた課題を解決し、世界標準となる技術をめざします。」

「データ同化」のさらなる可能性

観測値とシミュレーションを融合していくデータ同化は、気象分野以外にもさまざまな分野で応用できそう。三好さんはその可能性を探っている。

例えば、衛星データを使った森林の増減シミュレーションだ。まず、人工衛星が撮影した画像を使って緑の濃さから葉の面積を割り出す。これを観測値として木々の予測値に融合させることで、気象変化に伴う森林の増減を高精度で予測できるようになると考えている。マグロの行動や赤潮の予測など、水産分野での活用も期待できる。

「従来はフィールドでの観測値から推論するしかなかった分野でも、シミュレーションを生かして議論できるようになります。実測値と予測値の両方を生かして情報を最大限に引き出すというデータ同化のコンセプトも、大量のデータを高速で処理する技術も、いろいろな分野で役立てられると考えています。」

関連記事: 「JSTnews」2014年6月号p3-7「ゲリラ豪雨を30分前に予測せよ！」

増えるゲリラ豪雨を予測する

天気予報を大きく進歩させているのは、気象衛星や高精細気象レーダーなどによる観測とスーパーコンピューターによるシミュレーション予測(数値予報)である。気象モデルによるシミュレーション結果を、一定時間ごとに実際の観測値と突き合わせて軌道修正する。この「データ同化」と呼ばれる技術が、三好さんの専門である。

竜巻や「ゲリラ豪雨」と呼ばれる局所的な大雨などの気象変化は、狭い範囲で急激に発生する。ゲリラ豪雨を引き起こす積乱雲は、数キロメートル程度と小さく、1駅違っただけで天気がまったく違うことも珍しくない。変化が急激で局所的なことから、1キロメートルより粗い従来の気象モデルの解像度では、予測が難しかった。

三好さんが開発しているのは、このような局所的な現象を30分前に予測する気象モデルだ。100メートルの解像度で30秒ごとの予報更新をめざしている。これは、従来とは比べものにならないほど緻密で高速な数値予報である。

三好さんは、スーパーコンピューター「京」とフェーズドアレイ気象レーダー(PAWR)を活用してこの問題に挑んできた。

PAWRは1枚の板の上に多数のアンテナを並べたレーダーである。2012年に大阪大学吹田キャンパスに国内で初めて設置され、三好さんらもその観測値を利用している。京阪神の中心部を覆う半径60キロメートル、高度14キロメートルの範囲を100メートルの格子状に区切った観測値が30秒ごとに送られてくるため、雨の様子を詳細に観測できる。

1時間の計算を98秒まで短縮

「最初は雲をまともに作ることもできませんでした」と振り返る。まず「京」でPAWRから送られてくる大量の観測値を処理して数値予報ができるようにシステムを改良する必要があった。数値予報の確度を上げるため、観測値の誤差などを加味して同時に100通りの計算を行い、最も現実起こりうる予測の組み合わせをはじき出す「アンサンブルデータ同化」も取り入れた。

2016年8月には、実際の観測値からゲリラ豪雨の様子を再現することに成功した。この時は計算処理に1時間を要したが、世界でもまれに見るほどの大規模で高頻度のビッグデータ同化により、実際に起きたのと同じようなゲリラ豪雨を「京」の中に再現した(図1)。データ同化を行わない従来のシミュレーショ

戦略的創造研究推進事業CREST

研究領域「現代の数理論科学と連携するモデリング手法の構築」

研究課題「環境を友とする制御法の創成」

想定外の故障に「即座に」適応可能なクモヒトデ型の移動ロボットを開発

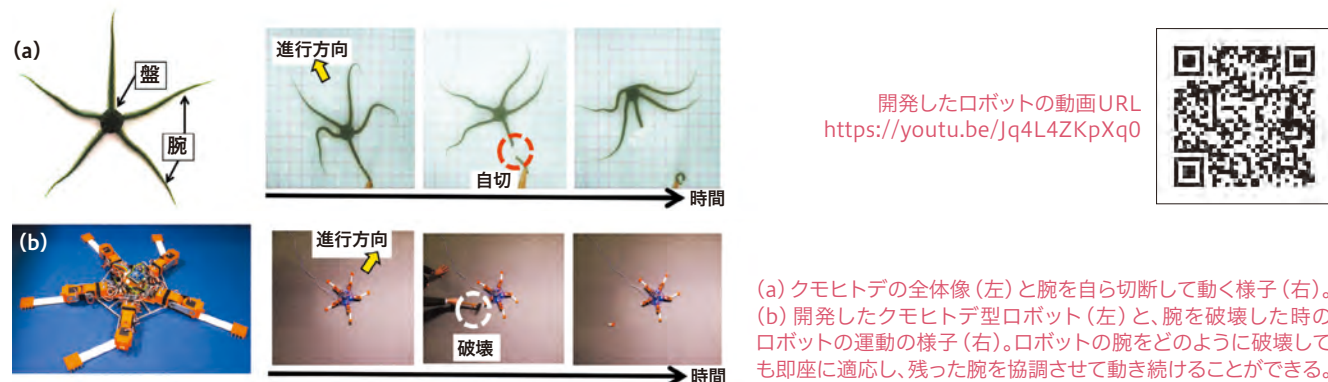
移動ロボットは、災害現場や宇宙環境などの人間が作業できないような過酷な環境下でも適切に機能することが必要です。しかし、多くのロボットは少しでも故障するとロボット全体に影響し、たちまち機能が失われてしまいます。この問題を解決するためにいくつかの方法が提案されてきましたが、想定外の故障に対して「即座に」適応可能な移動ロボットは実現していませんでした。

東北大学電気通信研究所の石黒章夫教授らは、クモヒトデという5本の腕を持つ棘皮動物に着目して、想定外の故障に対して即座に適応できる移動ロボットの開発に成功しました。

クモヒトデには脳がありませんが、腕を失うと、残った腕が何本であろうとそれらを即座に協調させて動き回ります。局所的な感覚情報を基に体の各所において自律的に動作を決定しているためと

考えられます。クモヒトデの行動観察の結果から各腕が自律的に制御されるようなソフトウェアを構築して、開発したクモヒトデ型ロボットに組み込みました。その結果、実際のクモヒトデの動きと同じように、腕を破壊されて1〜3本になっても動き続けることができました。

災害現場などの過酷な環境下でも機能できる移動ロボットの開発につながるかと期待されます。



戦略的創造研究推進事業さきがけ／CREST

研究領域「光の極限制御・積極利用と新分野開拓」／「素材・デバイス・システム融合による革新的ナノエレクトロニクスの創成」

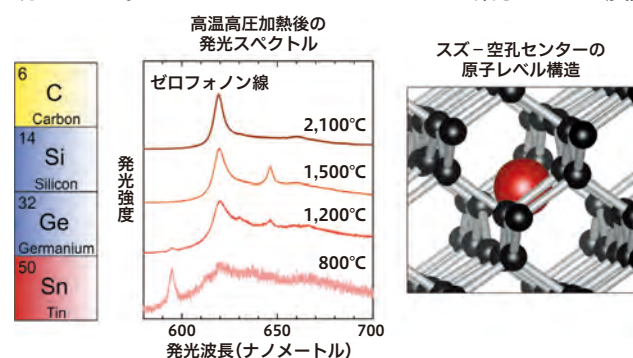
研究課題「IV族元素を用いた固体量子光源エンジニアリング」／「炭素系ナノエレクトロニクスに基づく革新的な生体磁気計測システムの創出」

新しいダイヤモンド量子発光体の作製に成功

量子力学の原理を応用した量子情報ネットワークは、次世代の情報通信技術の鍵となる技術です。安定な単一光子源として機能するダイヤモンド中の発光源のように、固体物質中に形成される量子発光体は、量子メモリーなど量子情報ネットワークへの応用研究が進められています。しかし、これまで報告されてきた半導体量子ドットやダイヤモンド中の窒素-空孔センターには、スピンの保存された量子情報が失われてしまう時間(スピンコヒーレンス時間)がマイクロ秒程度と短く制限されていたり、全発光強度のうち量子光源として利用可能なゼロフォノン線からの発光が数パーセントと小さかったりといった問題がありました。また、他の発光源でも、希釈冷凍機という特殊な装置でミリケ

ルビンという極低温にする必要がありました。

東京工業大学工学院的岩崎孝之助教授と波多野睦子教授らは、スズ(Sn)を導入したダイヤモンドを7.7ギガパスカル、2,100度の高温高压下で加熱処理し、スズと空孔(V)からなる新しい発光源のスズ-空孔(SnV)センターの形成に成功しました。



理論計算や低温計測により、スズ-空孔センターは2ケルビン以上で長スピンコヒーレンス時間を示すことが期待されます。これにより、従来の量子光源の課題がすべて解決される可能性があり、長距離量子ネットワーク構築のための量子メモリーとしての応用だけでなく、量子センサーなどさまざまな量子光学素子としての展開も期待されます。

日本科学未来館

生き物たちの気持ちになって考えてみよう

日本科学未来館では昨年11月29日から、企画展「MOVE 生きものになれる展」を開催しています。この企画展は、映像DVDと連動し従来の図鑑のイメージを覆した「動く図鑑MOVE」(発行：講談社)のコンテンツや世界観をベースに、環境に適応して生き抜いてきた生き物たちの知恵や技術、生物多様性などを

学びます。

会場は4つのテーマゾーンで構成され、ダンゴムシが息する足元の小さな世界や、熱帯雨林、サバンナ、海などさまざまな環境で暮らす生き物たちの生態をパネルや体験型の展示で紹介しています。

子どもたちに人気の「スモール・ガーデン」では、特製の「ダンゴムシ・スーツ」

を身につけ、天敵であるアリ役のスタッフからの攻撃を、ダンゴムシになりきって丸まってかわします。体験した子どもたちからは、「スーツがとても良くてきていて本当にダンゴムシになったようだった」、「ほかの生き物にもなりたい」などの声が聞かれ、保護者からも「ゲーム感覚で体験できるように工夫されているので、体験後に自然と理解できていた」、「見慣れたダンゴムシの生態について、初めて知ることがパネルにたくさん書いてあり、改めて生きものに興味が湧いた」などの感想が寄せられました。

解説や展示を読んだり見たりするだけではなく、実際に別の生き物に「なってみて」、違う視点で世界を観察することで、生き物たちがなぜユニークな生き方を選んできたかを直感的に理解できます。そして、生き物への興味や自然界への敬意を引き出し、持続可能な生物多様性への関心を促します。企画展は今年4月8日まで開催しています。



企画展ポスター。



ダンゴムシ体験の様子。

戦略研究推進部 ICTグループ

「数学パワーが世界を変える2018」CREST・さきがけ数学関連領域合同シンポジウム開催

数学は、天文学や物理学とともに発展してきた歴史を持ち、現代では情報通信や医療・生命科学、材料科学など幅広い分野で重要な役割を担っています。戦略的創造研究推進事業でもCREST「現代の数理論科学と連携するモデリング手法の構築」、さきがけ「社会的課題の解決に向けた数学と諸分野の協働」などの研究領域では、数学者がさまざまな分野の研究者と連携しながら社会における支配原理や法則が明確でない諸現象を数学的に記述し、解明する研究に取り組んでいます。このような活動の成果を発信し、広く一般の方にも数学の魅力や可能性を知ってもらうため「数学パワーが世界を変える2018」を1月21日に東京秋葉原で開催しました。

当日は、仮想通貨にとどまらず、さまざまな分野への応用が期待されているブロックチェーンについて、日本応用数理学会の佐古和恵会長(NEC)が招待講演を行ったほか、暗号・情報セキュリティ、金融ビッグデータ解析、コンピュータによる数値解析の精度保証、さまざまな環境の中でしなやかに動き回ることでできるロボットの制御の4つのセッションでCREST、さきがけの研

究者が社会と数学との関係について発表しました。また、ポスター発表では、研究者同士の活発な議論も交わされました。

シンポジウムには、約200名が参加し、その4分の1は民間企業からの参加者で、産業界からの数学に対する関心や期待の大きさが感じられました。今後も、数学とさまざまな分野との協働に関する情報発信を積極的に続けていきます。



会場の様子。



ポスター発表の様子。

安達 亜希

セルファイバ社 代表取締役 最高経営責任者 (CEO)

東京都生まれ。2010年 東京大学大学院総合文化研究科修了。修士(学術)。IT企業、バイオ系ベンチャー企業にて販売促進・営業、新規事業立ち上げなどに関わる。14年 ERATO竹内バイオ融合プロジェクト研究推進主任。15年より現職。左の写真は竹内研究室で撮影した。小瓶に細胞ファイバーが入っている。「趣味で小さな熱帯魚を飼っています。会社にも熱帯魚とエビの『社員』がいて、餌数個という報酬で他の社員を癒すという重要な役割を担ってくれています」。

細胞の繊維で新たな社会を紡ぐ

研究成果を事業につなぐ

細胞(セル)を細長い繊維(ファイバー)状の3次元組織にした細胞ファイバーの研究開発や製造をする、「セルファイバ」という会社の最高経営責任者(CEO)をしています。

細胞ファイバーは丈夫で、髪の毛ほどの細さ(直径100~500マイクロメートル)であり、ゲルの管に細胞組織が詰まった形状をしています。細長い繊維状なので内部にまで栄養や酸素が浸透し、生体組織に近い構造と機能を維持できます。また、ゲルに包まれているので、弱い細胞も簡単に扱えます。

例えば再生医療分野では、インスリンを作る細胞をファイバー化し、糖尿病の患者さんに移植してインスリンを産生させる使い方が考えられます。さらに、薬や化粧品の開発で実験動物の代わりに用いて効能を評価したり、微生物を閉じ込めて腸まで届くような健康食品を開発したり、基礎研究で3次元組織を長期間、観察することができます。こういう特性から、織る、編む、束ねるなどの加工が簡単にでき、新しい繊維素材としていろいろな応用が期待できます。

セルファイバ社は、東京大学生産技術研究所の竹内昌治教授が率いた「ERATO竹内バイオ融合プロジェクト」の研究成果を事業化するベンチャー企業です。プロジェクトでは、MEMS(微小電気機械システム)技術やマイクロ流体デバイス技術を駆使して細胞を部品のように加工し、厚みを持った3次元組織を構築していました。球状やシート状の素材も開発していましたが、最も応用に近いと思われた、ひも状の素材である細胞ファイバーを事業化したのです。

無駄な経験はないと実感

ERATOには、研究推進主任という立場で関わってしま

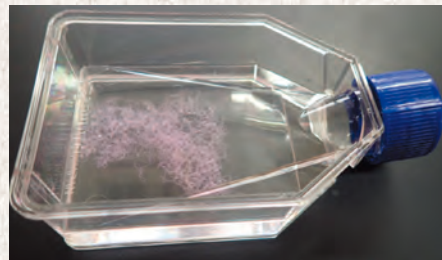
た。竹内先生の研究室で修士課程を終えた後、ベンチャー企業で営業などの仕事をしていました。ちょうど仕事に迷いが出ている時に研究推進主任の誘いを受け、大学に戻ることを決意しました。

研究推進主任は研究や実験はせず、予算の管理や、申請書や報告書の作成といった縁の下のような仕事をします。申請書などの締め切り間際はとても忙しく気も遣いましたが、プロジェクトを支える重要な仕事で、やり甲斐を感じていました。会社の立ち上げ当初は研究推進主任とCEOを兼任していました。日中はプロジェクト、夕方以降は会社の仕事と時間で切り分けようとしていたのですが、なかなか難しく、思い切って会社に専念することにしました。

今は研究や実験から営業、顧客への対応、展示会への出展、総務的な仕事など何でもこなしています。会社勤めをしていた時は、営業の仕事に向いていない気がして何のために働いているのかと悩んだりしていました。でも、自分の会社の製品や事業について営業したり、発表をしたりするときに、当時の経験が本当に役に立っています。また、ERATOでの経験も会社経営には欠かせないものです。無駄な経験などないのだな、と実感しています。

夢中で働いてきましたが、契約成立などの形で事業の成果が徐々に見え、昨年は研究員を雇用することもできました。皆の生活が会社にかかっているの、雇われていた時とは違う大きな責任も感じます。私たちの技術はいろいろな応用につながる可能性を秘めています。製品が社会で広く役立っているところを想像するとわくわくします。将来は上場したいと、大きな夢を抱いて頑張っています。

編集協力：研究プロジェクト推進部
(TEXT：寺田千恵/PHOTO：浅賀俊一(上))



青いキャップの瓶に入ったひも状の細胞ファイバー。

戦略的創造研究推進事業ERATO

研究領域 竹内バイオ融合プロジェクト

バイオテクノロジーと工学の融合によって実現する、生体を模倣した形態や機能を持つ細胞組織構造は、再生医療における安全な移植材料としての利用や、動物実験に依存しない薬剤評価システム、選択性の高い環境センサーなどに役立つことが期待されています。細胞を利用したものづくりという新たな産業分野の創出につながることをめざして研究を進めました。

