

PART

II

理研の研究と成果

1 それぞれの一〇〇年

理研の宇宙線研究

日本の宇宙線研究の先駆者も、仁科芳雄である。一九三一年に開設された仁科研究室の五つの研究課題の中に、宇宙線研究も入っていた。宇宙線の発見は一九一二年で、発見から日は浅かったが、加速器が誕生する前であり、いわば天然の加速器として初期の素粒子物理学の発展に大きく貢献した。陽電子、ミューオン、パイ中間子はいずれも宇宙線の中から発見されている。特にミューオンは、理研での発見が世界で最も早く、研究の質も優れていたが、論文発表の手続きの不運で名声を取り損なった。

その後、理研では、仁科電離箱などによる広域の宇宙線観測、清水トンネルでの地下深部観測などが行われた。戦後は南極観測および国際地球観測年などで重要な役割を果たし、理研は宇宙線研究者の人材供給基地ともなったのである。

宇宙線の研究は大きく三つの観点から進められてきた。第一が天然の加速器という観点で、湯川秀樹の予言したパイ中間子も一九四七年に宇宙線の中から発見された。第二は、そのような超高エネルギーの粒子が宇宙のどこで、どう加速されているかという宇宙物理学の観点で、これは現在でもまだ未解決である。第三は、宇宙線をプローブとして、それらが伝搬して来る惑星間空間の物理状態や太陽活動などを調べることで、太陽地球環境研究へとつながっている。

X線天文学からの展開

一九六〇年代からX線天文学が始まった。後に理研理事長となった小田稔の「すだれコリメータ」や一連のX線天文衛星の成功によって、日本の研究が世界を牽引する時代を迎えたのである。一九七九年には日本初のX線天文衛星「はくちよう」、一九八三年には二代目の「てんま」、一九八七年には三代目の「ぎんが」、一九九三年には四代目の「あすか」が自前のミュー型固体燃料ロケットで打ち上げられた。こうした研究を理論と観測の両面から主導したのは早川幸男であり、また実験面の主導者は小田稔、それを継いだ田中靖郎（名大から宇宙研）、スパークチェンバーの開発者である宮本重徳（宇宙研から阪大）、計算機に強い近藤一郎（東大宇宙線研）と、いずれも宇宙線研究の出身者であった。西村純は理研から宇宙研に移り、大気球の開発でこれらの活動を支援した。

地上に降り注ぐ宇宙線の中には、実に、一〇の二〇乗電子ボルトを超える高エネルギー宇宙線（UHECR）がある。一九九〇年代はじめ、ガンマ線バースト（GRB）が発見され、これがその発生源ではないかと注目された。GRBが銀河系を含む局所銀河群の中で起きている近場の現象なのか、それとも、宇宙論的な遠方で起きる現象なのかという論争が生じたが、後者であることが、理研のHEAT-E₂衛星は、星がブラックホールへ崩壊するさい、GRBが発生することを突き止めた。

MAXIの貢献

理研は二〇〇九年、国際宇宙ステーションISSに全天X線監視装置MAXIを打ち上げ設置し、X線新星などの出現を常時監視することになった。これは一九九六年に松岡勝主任研究員らが提案した装

置で、天体観測に不向きなISSの特徴を逆手に取ったアイデアの勝利といえるもの（口絵20参照）。

MAXIは九二分ごとのISSの地球周回を利用して全天に散らばるX線源の強度やスペクトルを連続監視し、それらの長期変動を調べ、また既知天体の急激な増光・減光、未知天体の出現、GRBなどの突発現象をつかまえる。得られたデータは全世界に向け即時公開されるとともに、突発現象の検出は電子メールで全世界に速やかに通知される。これまで、一八個のX線新星（うち七個がブラックホール）、一〇〇例を越すGRB、近傍の星からの多数のフレアなどを検出し、遠方の銀河中心にある巨大ブラックホールに星が飲み込まれる現象、「はくちよう座」で過去に極超新星が発生していた徴候などをとらえ、X線バルサーの挙動から中性子星の質量と半径を推定する新方法を編み出すなど、多くの成果を挙げつつある。

一方で、超高エネルギー宇宙線（UHECR）を特定して、その加速機構を突き止めるべく、日欧露によるKEEUSO計画が着々と進んでいる。これは宇宙ステーションのロシアモジュールに搭載する予定だ。

現在から未来へ

一九八〇年代半ば以降、理研の宇宙研究はX線をおもな手段として進められ、現在それはMAXIチームおよび玉川高エネルギー宇宙物理研究室に受け継がれている。それが二一世紀に入って広がりを見せ始めた。雪氷宇宙科学ユニット、長瀧重博研究室による理論研究に加え、二〇一五年度から坂井南美が准主任として、宇宙サブミリ波を用いて星・惑星の形成を探る研究室を立ち上げ、化学・天文学・

物理学の境界領域を推進し始めた。光量子制御技術開発チームを率いる和田智之は、宇宙応用を含めた高度なレーザー技術を開発しており、仁科センターでRIBEXファクトリーを用いて進められている「原子核反応のR過程」の研究も、宇宙の研究に強く関係している。

工学研究の一〇〇年

工学系研究室の流れ

工学は基礎科学と切れ目なくつながって、発展してきたというのが理研の伝統である。そのため、工学の研究だけを取り出して述べるのは難しいが、研究室や、領域に工学という名が付された研究を中心に活動の歴史をたどってみる。

理研の工学研究は、一九一八（大正七）年に設立された大河内研究室からの流れが主流をなしてきた。その研究成果や技術は理研コンツェルンを形作る企業群によつて事業化され、わが国の産業の発展に大きく貢献した。しかし、第二次世界大戦が終わつて大河内所長は辞任し、大河内研の流れを継いで一九四五年に大越諄、福井伸二、大山義年などが主任研究員となった研究室が発足する。また、その前の一九四〇年に海老原（敬吉）研究室が立ち上がっている。

それ以降の研究室の流れを辿ってみると、海老原研は機械計測、摩擦工学、表面界面工学を経て伊藤（喜浩）ナノ医工学研究室につながり、福井研は塑性加工、変形工学、素形材工学を経て大森（整）素

形材工学研につながっている。これらは機械系の研究室と言える。大山研は、化学工学の流れと、粉粒体工学、分離工学、武内（一夫）ナノ物質工学の流れとに分かれ、化学系の研究室を形作って来た。

一方、戦前の一九二三年に立ち上がった眞島（正市）研は、光弾性、光学計測、光工学、河田（聡）ナノフォトニクス研につながる光学系研究を進めてきた。もう一つの流れが、一九二六年に発足した木下（正雄）研で、半導体工学研から石橋（幸治）極微デバイス工学へとつながる半導体をテーマとしてきた研究室である。これらとは別に新しく立ち上がった分野が、一九八一年から始まったレーザー科学研究グループであり、それが今日の光量子工学研究領域の中核として継承されている。

産業界への貢献——自動車車体の薄鋼板成形技術に貢献

理研の工学研究の産業界への貢献について触れると、理研コンツェルンについては言うまでもないが、戦後は、一九六〇年代に始まった変形工学研究室の主導する「薄鋼板成形技術研究会」が特筆される。日本の全ての鉄鋼、自動車メーカーを糾合して、大きな研究組織を形成し、日本の自動車車体成形技術の発展に決定的な貢献をしたのである。ここから今日の日本の国産自動車産業の隆盛が始まったと言っても過言ではない。

自動車の車体は、デザイン・機能・軽量化・安全性を付加し、商品価値を高めるという重要な役割を担っている。それをつくる生産技術がプレス成形である。プレス成形では、金型を用いて薄板材料から形状構造物を作る。一見単純に見えるが、成形中に割れることなく所定の形状と寸法を実現するためには、克服すべき多くの課題があった。そのために、一九五七（昭和三二）年、福井伸二の研究テーマ名

を冠した「コニカルカップテスト研究会」が発足した。

発足当初の参加組織は、八幡製鉄と富士製鉄（ともに後の新日鉄住金）、日産自動車、トヨタ自動車、富士精密工業（プリンス自動車を経て、現・日産自動車）、そして当時はまだ科学研究所だった理研である。この研究会で中心的役割を担ったのが理研の吉田清太主任研究員であり、五九年に吉田が提案したプレス成形域区分という概念は、それまでの曲げと絞りという単純な成形概念を高度化し、プレス技術、材料特性、成形性試験法の相互の関連性が重要だという視点を導き出した。鉄鋼、自動車、部品、プレス機械、潤滑油といった業種の企業から、常に一〇名近い研究生が理研の塑性加工研究室・変形工学研究室に在籍して共同研究を進め、それは伝説の「吉田学校」と呼ばれたのである。

この流れからさらに、牧野内昭武の素形材工学研究室が主宰する「板成形シミュレーション研究会」が生まれ、鉄鋼、自動車だけでなく、コンピュータなど三一の大手企業を集めた組織によって、ITAS3Dが開発された。ものづくりのソフトウェア開発という大きな仕事が達成されたのである。この延長線から、理研ベンチャーの（株）先端力学シミュレーション研究所（ASTOM R&D）が生まれ、またVCA Dシステム研究会というNPO法人も活動を継続している。

理研発の技術

理研で生まれた技術は数え切れないほどある。最近では、大森整のELID研削法が様々な産業分野で実用化された。自動車エンジンのシリンダー内壁を磨く装置への応用は、昔の理研のピストンリングを思い起こさせる。ELID研削は、表面や形の超精密加工にとどまらず、表面の改質にも結びついて

おり、加工技術が新たな研究領域を切り開いている。超高エネルギー宇宙線観測を目的とするEUSO用超精密フレネルレンズや回折レンズにも、ELID研削の技術が大きく貢献している。

実用には至らなかったが、武内一夫、田代英夫らによるレーザーによる同位体分離、特に一九九四年秋にウラン二三五の高い濃縮度が実証された「分子法」の開発は記憶されるべきである。ナノテクノロジーの分野でも、DMA（微分型電気移動度測定装置）など、理研は様々な貢献を残した。

さらに、理研らしさの発露として光に関連する研究開発がある。財団時代の辻二郎による光弾性に関する研究は世界レベルであった。その流れの中から、山口一郎によるホログラフイー干渉法やスペックルによる計測技術が開拓された。特にホログラフィック回折格子は島津製作所で実用化され、現在でも回折格子の大半はこの方法で製造されている。これは、財団理研設立当初にめざしたルーリングエンジンによる回折格子の加工を別の形で実現したものであった。

光通信の研究初期に、難波進が成功した光変調実験は、もともとなった硫化亜鉛の電気光学効果の表とともに世界を駆け巡った。半導体の不純物ドーピングの学術的基礎を確立したのも難波主任研究員である。その他、半導体研究の分野でも、理研の貢献は山ほどある。

生物科学研究の一〇〇年

理研のライフサイエンス研究の源流をたどれば、有機化学の鈴木梅太郎研究室に行き着く。

鈴木は明治三四年から六年間、ノーベル賞受賞者でベルリン大学のフィッシャー博士のもとに留学し



鈴木梅太郎

ていた。博士はアミノ酸からタンパク質を作る研究を進めており、鈴木はそこで難しいトリペプチドの合成に成功するという大きな貢献を果たした。帰国して四年後、駒場の東京大学農学部で、オリザニンを米糖めい糖から純粹に取り出すことに成功した。

この頃、三大栄養素以外の必須な栄養物質としてビタミンという概念（と物質）が登場したが、日本でも海外でも、否定する意見が医学界に強かった。しかし、オリザニンが脚気の治癒に非常に効果的であることが認められ、状況は一変した。鈴木はその後、理研でオリザニンの結晶化に成功し、構造決定に関してはアメリカの研究者に先を越されたが、理研における最大規模の研究室を運営して、さまざまな研究や事業に関わった。

ビタミンAの精製と理研酒については前述しており（10ページ）、そのほかについて触れる。

スレオニンの発見 鈴木（梅）研のテーマの一つに、タンパク質の代用としてアミノ酸混合物を使うという研究があった。しかし、混合物でマウスを育てても、すぐに死んでしまっていた。そのような中、研究室の前田司朗が一九三六年、最後の必須アミノ酸であるスレオニンを発見し、これを既存のアミノ酸混合物に添加すれば、マウスが正常に育つことを示した。この発見は、のちに、アミノ酸点滴栄養にも発展し、手術後に食事のとれない患者にとって福音となった。

農業・天然物化学 貯蔵米に被害を与えるコクゾウムシの問題は、政府から鈴木（梅）研に研究が委託された。研究室の山本亮は、一九一七（大正六年）に東大から大原農業研究所に異動し、岡山県特産

の除虫菊花の殺虫成分を研究し始めた。そこで発見したピレトリンは、現在も蚊取り線香の殺虫剤などとして世界中で使われている。山本は戦後、室員の松井正直とともに住友化学に転職。合成ピレトリンであるアレスリンの合成を完成させ、工業化に成功した。

武居三吉は熱帯植物由来の駆虫剤を研究した。一九二二（大正一一）年、デリス（植物）の根や茎から活性成分ロテノンの抽出に成功した。ドイツ留学後に京大教授に就任、一九三三（昭和八）年にロテノンの構造解析に成功した。

梅太郎の死と戦後

鈴木梅太郎は一九四三（昭和一八）年に六九歳で没した。さまざまな成果を生み、産業化という面でも大きな足跡を残した巨人であった。その後、鈴木（梅）研究室は、鈴木文助研究室と藪田貞治郎研究室に二分されるが、鈴木文助主任研究員は五年後に亡くなった。藪田研究室は、植物ホルモン、農産物の利用研究、合成酒なども引継ぎ、その活動は多岐にわたって発展していった。

ペニシリンの開発 一九四八（昭和二三）年三月、株式会社科学研究所（仁科芳雄社長、藪田貞治郎製造部長）として理研は再出発した。食べて行く術の一つがペニシリンの生産であった。理研酒関連施設を活用して生産体制を確立、同年の年間生産量は全国一位となった。ところが過剰生産のためにあまり会社に貢献できず、結核薬ストレプトマイシンの工業化に向けて、生産研究を開始することになった。ライフサイエンスの時代へ 一九七一（昭和四六）年の科学技術会議による第五号答申を受けて、政

府はライフサイエンス構想を立ち上げた。別法人の設立は見送りとなったが、その代わりに、理研の中で全国の研究者を対象とした六つのプロジェクトが推進されることになった。①老化、②人工臓器、③バイオリアクター、④知能機械、⑤生物活性物質、⑥新微生物利用技術である。さらに、第八号答申を受けて、一九八四（昭和五九）年に理研のライフサイエンス筑波研究センターが誕生した。

一九八〇年代を迎え、ヒトの遺伝暗号をすべて読み解く「ヒトゲノム計画」が持ち上がった。理研は一九八〇年代より全自動シーケンサーの研究開発を進めてきており、その流れに沿って次の展開を模索した。そして、理研におけるゲノムを中心とした研究活動を担うため、一九九二年に林崎良英が理研ライフサイエンス筑波研究センター・ジーンバンク室に着任した。

一九九八年には和田昭允を所長とするゲノム科学総合研究センター（GSC）が発足し、林崎良英、横山茂之、榊佳之の三つのグループで研究をスタートさせた。そして、榊のヒトゲノム解読宣言は六カ国首脳によってなされ大ニュースになった。次に述べる横山のタンパク三〇〇〇、林崎のFANTOMとともに、いずれも輝かしい足跡と成果を残したのであった。

「タンパク三〇〇〇」プロジェクト

ゲノム科学総合研究センター（GSC）でタンパク質の基本立体構造の解析に関わったのが、横山茂之のグループである。NMRとX線により、タンパク質の構造解析に取り組んだ。このグループの特徴は、国家プロジェクトである「タンパク三〇〇〇プロジェクト」（二〇〇二～〇六年度）の中心となったことである。さらに後継の「ターゲットタンパク研究プログラム」（二〇〇七～一一年度）と「創薬

等支援技術基盤プラットフォーム事業」(二〇二二～一六年度)も担当した。

「タンパク三〇〇〇」は二〇〇七年三月に終了したが、その後の一〇年の研究によって、実は、ライフサイエンスの歴史において極めて重大な成果を上げていたことが明らかになった。二〇〇七年以降二〇一五年まで、アメリカで同様のPSIプロジェクトが継続されたが、タンパク質の新しい立体構造タイプ(フォールド・ファミリー)は発見されなかった。つまり、「タンパク三〇〇〇」の時代に、国際的な目的であった「タンパク質の全基本構造の解明」は、すでに達成されていたことが判明したのである。

ヒトゲノム、完全長cDNAが解読され、さらに、地球生命が生み出す全タンパク質の基本構造も解明された。日本はまた一つ、素晴らしい科学の金字塔を打ち立てたことになる。ところが、非常に残念なことに、その意義を理解していない専門家が特に日本に多いように見える。何よりも、タンパク質の基本構造が有限であるという科学的事実はきわめて重要である。

FANTOMプロジェクト

一九九五年、ゲノム科学研究室の林崎良英は、欧米主導のプロジェクトと競合する形を避け、RNAの配列を解読するという革新的な計画を提案した。RNAを読み解かない限り、遺伝情報がどんな形で機能を発現しているのか、知ることはできないからである。また、あえてヒトではなく、マウスゲノムエンサイクロペディアプロジェクト、すなわちマウスの完全長cDNAプロジェクトを提案した。

まず、RNA配列を読み解くために必要な技術開発を急ぎ、一連の完全長cDNA合成技術を開発し、

マウスのさまざまな組織の完全長cDNAシーケンスデータが得られるようになった。

最終的に整備されたFANTOM (Functional Annotation of Mammalian Genome) データベースというのは、マウスのゲノムとRNAに関する「百科事典」であり、研究者はそれを参照しつつ研究を進めることができる。そのためには、一つ一つの塩基配列に注釈付けを搭載した国際標準データベースを作成し、公開維持する仕組みを構築しなければならない。

FANTOMプロジェクトは「ゲノムに何が書かれているのか？」という大きなテーマを求めて進められてきた。完全長cDNAの配列はその第一歩であった。遺伝子DNAがRNAに書き写されるためには、転写の頻度を直接的に決定するプロモーター領域が存在する。全ゲノム配列は明らかになったものの、どの部分がこのプロモーターであるかは、依然として全く未知であった。

林崎らが、実際に、ヒト単芽球白血病細胞株がPMI (ホルボールミスチン酸) で単球に分化する系を題材に、細胞の転写ネットワークを解析するシステムを作ったのが、FANTOM4であった。単芽球が単球に分化するのに、二万九八五七個のプロモーターが活動していることが判明した。こうして、ヒトの細胞の分化を分子レベルで理解できる可能性が見えたのである。

転写ネットワークは、細胞の表現形質を決定論的に決めるものである。したがって、細胞種すべての転写ネットワークを明らかにし、百科事典を作ることは、ライフサイエンスの基本の基本となる。FANTOM5では、様々な細胞や組織について、プロモーターの位置やその活性を明らかにした。その結果、ヒトゲノムの中にプロモーター活性場所が一八万カ所見つかり、国際標準のプロモーターアトラスとなった。

ゲノムをめぐる研究競争

1990年代後半、世界は“ゲノムの時代”を迎えた。熾烈な競争の結果、ヒトゲノム全解読のめどが立ったのである。しかしそれが特許化されてしまうと、日本などの遺伝子研究や創薬研究は手も足も出せなくなる。国際的な危機感が広まり、世間は浮き足立った。

こうした中でも、理研は冷静で賢明な研究計画を立案することができた。それは、シーケンサーの開発など、この分野で先行し実績があったことが背景にあると考えられる。理研のゲノム研究構想は、1998年10月に横浜市鶴見区に設立されたゲノム科学総合研究センター（GSC）として具体化された。所長の和田昭允は、オミックススペースという生命分子全体を階層として把握する概念を提唱し、新進気鋭のプログラムディレクターたちを鼓舞して未知の世界を開拓していった。

ゲノム研究グループは、国際的なヒトゲノム解読に重要な貢献を果たし、2003年の完了宣言に結びつけた。遺伝子研究グループは、ゲノムが読み取られる mRNA に焦点を合わせ、マウス完全長 cDNA を網羅的に収集した。その結果、RNA 大陸を発見し、国際コンソーシアム FANTOM を大成功させた。そして iPS 細胞の樹立にも貢献した。タンパク質グループは、タンパク3000プロジェクトをリードし、すべてのタンパク質の基本構造を解明するという偉業を成し遂げた。

その後、ゲノム科学総合研究センターは多様な展開を見せ、次々と枝葉を伸ばし、植物ゲノム、バイオインフォマティクスといった新しい研究の流れも生み出していった。

FANTOMデータは、二〇一六年五月現在で、三分間ごとに一回アクセスを受ける国際標準のデータベースとなった。世界の研究コミュニティが使い続けているのである。FANTOMのように日本が過去二二年間常に、世界をリードしてきたコンソーシアムは他に例がない。

2 グリーンイノベーション

二〇一三年から始まった理研の第三期中期計画の目標は、国の科学技術基本計画を色濃く反映したも
のとなっている。その柱の一つがこのグリーンイノベーションで、地球環境問題に貢献する省エネ技術
や環境資源研究を主としている。ここでは、この分類に含まれる創発物性科学研究センター、光量子工
学研究領域、環境資源科学研究センターの三つの概略を紹介する。

創発物性科学研究センター

創発物性科学研究センター（CEMS）は、現代の世界的課題である環境調和型持続型社会の実現を
目指し、新しい物性科学を創成することでこの問題の解決に基盤的に貢献することを目的に、二〇一三
（平成二五）年に設立された。

創発物性科学研究センターが解決すべき挑戦的課題、実現すべき創発機能として挙げるのは、固体や
分子集合体の電子が示すエネルギー機能である。電気エネルギーという極めて利用しやすいエネルギー
形態と、その移送システムのインフラストラクチャーを、人類が手にしたのは高々この一二〇年の間。
蒸気機関による力学エネルギーを電磁誘導によって電気エネルギーに変換するにあたって、燃焼エネ
ルギーあるいは核エネルギーを用いたのが、それぞれ第一、第二のエネルギー革命であつたとすれば、今

は、力学エネルギーを介することなく、固体・分子内の電子の働きを利用する創発電磁気学の建設、すなわち「第三のエネルギー革命」が始まっている。半導体エレクトロニクス、太陽光発電、高温超伝導に続く、固体・分子内電子に基づく新しいイノベーションを希求した研究が、現在も加速しながら続いている。その目指すところは、従来技術・原理の改良や延長ではなく、物性科学基礎研究からのアプローチによってのみ可能な、性能指数に大きな不連続的飛躍をもたらし得る新原理・新物質の発見である。

C E M S の中心的な思想は、センター名にも冠せられている「創発性」(emergence) という概念である。創発性とは、個々の構成要素からは想像もつかないような性質・機能が、それらの間の強い相互作用を介して集団として現れることを意味している。従来の物理学の中心的な思想であった還元主義に対して、多数の自由度があつて初めて発現する現象と向き合い、その法則性を究めようとする試みであり、最新の物質科学、物性科学研究を基礎として、エネルギー問題、環境問題に寄与することを目指している。

より具体的には、①多体系の創発現象の理念と原理を提案する強相関量子系の物性物理学、②分子設計と元素戦略に基づく機能性ナノ構造体・物質系の超分子機能化学、③量子科学の成果を応用へつなげる量子情報エレクトロニクス、の三者を融合することで、組織としても「創発性」を発揮することを期している。

強相関物理部門における研究の一例として、二〇一〇年に理研のグループによって実空間観察に成功したスキルミオン研究があげられる。スキルミオンは、数十ナノメートル(1 nm は一〇億分の一 m) 程

度の大きさをもつ渦状の磁気構造で（口絵②）、その小さなサイズ、トポロジーに保護された安定性、磁壁に比べて五、六桁小さい臨界電流密度で駆動される高い易動度などの優れた性質から、例えば記録や計算の「超」省電力型の情報処理装置など、次世代の高密度メモリ素子への応用が期待されている。

一方、超分子機能化学部門では、分子一つ一つを精密に設計し、分子が集合するプロセスを制御することにより、新しい機能をもつ超分子を生み出す研究を行っており、ほとんどが水よりなる究極の環境低負荷プラスチック「アクアマテリアル」などの成果をおさめている。

量子情報エレクトロニクス部門では、量子科学、ナノ科学の応用への展開を目指し、種々の量子系を制御する研究を行っている。例として、量子ドット中の電子スピンを量子ビットとする新しい量子技術の開発、超伝導量子回路研究におけるマイクロ波単一光子の高効率検出を行った。

光量子工学研究領域

理研における光科学プロジェクトの歴史は古く、四〇年以上にわたり次世代へと脈々と受け継がれてきた。理研初の大型プロジェクト「レーザー科学研究」は、一九七五年の発足以降、二一年間にわたる輝かしい成果をあげ続けた。一九九七年より、これらの成果は「レーザー物理工学研究室」の主任研究員だった緑川克美を中心とする大型研究「コヒーレント科学研究」に受け継がれ、その長年にわたる継続的かつ活発な研究活動の中で、当時実用的光源としては疑問視されていた高次高調波を軟X線領域の超高速コヒーレント光源として確立させるなど、独創的な成果をあげた。

さらに、緑川らは、理研が独自に開発を進めてきた軟X線レーザーやアト秒パルス光源、近接場ナノ光源、テラヘルツ光源等に関するポテンシャルを活かして、光源開発をさらに推進すると同時に、物理、化学、工学、生物、医科学の各分野にわたるさまざまな光に関する応用研究を融合させ、理研の総合性を活かした新しい光科学研究を開拓することを目的として、二〇〇五年に基礎科学研究課題「エクストリームフォトニクス」を開始した。この研究では、従来技術では到達しえなかった領域の光を発生・制御し、生体分子を中心とした物質系のダイナミクスのイメージングに応用することを中心課題として、理研の融合的かつ学際的な研究環境を活かして、有機的に連携しつつ五つのサブテーマを推進した。

二〇一二年一月、理研は、最高水準の研究基盤の開発・整備・共用・利用研究を推進するとともに、光・量子ビームに関する基盤技術を集めて工学的研究の中核とする新しい先端光科学研究のセンターを発足することを決めた。理研にはぜひとも工学を体現し実施するセンターが必要である、という野依良治理事長と緑川先端光科学研究領域準備室長の強い意志を反映し、二〇一三（平成二五）年四月一日、「工学」をその名に冠する光量子工学研究領域（RAP）が設立され、領域長として緑川克美が就任することとなった。

レーザーを中心とした光科学研究は、幅広い分野にわたっている。そうした中で、RAPは四つの方向を中心に基礎研究を展開することに決めた。一つ目の方向は、レーザー光の強力な光電場で電子を加速・加熱することにより、短波長光・アト秒パルスを発生する研究である。これはまた、高強度場物理あるいは極端非線形光学とよばれる領域でもある。二つ目は、レーザー光を用いて原子・分子の動きを止める、いわゆる「レーザー冷却」の研究であり、これは超精密計測・分光の分野である。一方、古典

的な光学においては、光で物体を見るときは光の回折に基づく限界があり、光の波長の半分程度までしか識別できない、というのが常識であった。その限界を破り、可視光でナノメートルサイズの対象を識別しようとする試みが近接場光学や超解像顕微鏡等の研究であり、これがRAPの三つ目の方向である。そして第四の方向は、電波と光の間をつなぐテラヘルツ光の研究である。

これらの研究を推進するために、RAPでは、光のポテンシャルを極限まで追究する「エクストリームフォトリクス研究グループ」と、電波と光の間をつなぐ「テラヘルツ光研究グループ」に加えて、あえて「研究」という文字を名称から外した「光子技術基盤開発グループ」を新たに設置し、より工学を意識した体制を構築した。特に、光子技術基盤開発グループは、研究室で開発されたレーザー光源や測定装置等が実験室外の過酷な環境でもきちんと動作するよう、必要な条件を実現するための技術開発を主に担うこととした。

RAPでは、“Making the invisible visible”を標語に掲げ、光の可能性を極限まで追究し、今まで見えなかったものを見ようとしている。例えば、電子の動きを捉えるアト秒パルスレーザー（口絵③）、メタマテリアルによる光の操作、蛍光タンパク質を用いた環境モニタリング、超高精度な光格子時計による相対論的な測地学などである。また、トンネルや橋梁といった高度経済成長期に造られた大型コンクリート構造物のイメージング技術の開発にも取り組むなど、新しい技術を研究の世界だけのものとしてせず、実用可能な装置を作るところまで進め、社会に役立てることを強く意識している。これからもRAPは、レーザー、テラヘルツ光そして中性子ビームといったさまざまな光・量子ビーム技術を駆使した非破壊検査法を開拓し、この課題に挑戦していく。

環境資源科学研究所センター

環境資源科学研究所センター（CSRS）は、第三期中期計画の開始に合わせて、二〇一三（平成二五）年四月より一〇年間の計画で開始した。このセンターは持続的な物質生産、エネルギー生産、農業や食料生産などのグリーンイノベーションへの貢献を目標とした異分野融合型の戦略センターである。二〇〇〇年前後から誕生した理研の戦略センター群は、ライフサイエンス、生物医学が中心であり、しかも目標を明確にした分野特化型センターとして、国際的な研究成果を生み出すことが大きなミッションであった。第三期中期計画においては、その方向性が異分野融合型の学際研究へと転換された。さらに基礎科学の推進だけでなく、イノベーション創出を重視した研究が求められ、また、大学等の外部研究機関や民間企業との連携を進める研究拠点としての役割も期待されている。

このような状況を受け、CSRSでは、多様な生物機能（生物学）と化学機能（化学）の理解（基礎科学）を礎に、多様なバイオ素材や化学素材の利活用を進めて環境に優しい生産技術を開発し（イノベーション）、資源・エネルギー循環型の持続的な人類社会を推し進めることを目的として、生物学と化学の二つの分野を中心に、連携した異分野融合型戦略センターとして設置された。

このような異分野融合型であるCSRSは、理研の中の次の四つの系譜を辿って形成されてきた。

- ① 生物学（植物科学）、② 化学（ケミカルバイオロジ、触媒化学）、③ 技術基盤部門（研究支援部門）、④ バイオマス工学研究部門（および創薬・医療技術基盤プログラム）

こうした強い分野を統合し、二〇一三年から環境や食料の資源循環的な生産と利活用に関する目的基

礎研究を推進している。さらに、二〇一五年には植物バイオマス生産と利活用に関わるバイオマス工学研究プログラムを統合して、バイオを基礎にした有用物質の工業生産にも展開している。これらは人口増加、気候変動、化石資源の枯渇など人類社会の生存に関わる重要な課題へとつながり、資源循環型の物質生産、食料生産、さらに気候変動に対応した農業に貢献する社会へ、発展していくプロジェクトである。これらの実現にはいずれも時間がかかり、外部の研究機関との連携、企業との連携によって社会展開が可能になっていくものである（口絵⑦）。

CSRSは、理研内外の連携研究を推進することで、科学技術ハブの拠点としての役割を果たしている。特に大学研究者との研究ネットワーク、府省連携によるプロジェクト（SIP…戦略的イノベーションイノベーションプログラム〔内閣府〕、IMPACT…革新的研究開発推進プログラム〔内閣府〕、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立研究開発法人水産総合研究センターなど）を推進している。

企業等との連携についても、環境資源科学研究推進室や産業連携本部イノベーション推進センター事業開発室の支援を受けて積極的に進め、企業からの研究費および企業との連携が求められる外部資金の獲得を推進している。これらにより、CSRSは、理研において環境、エネルギー、農業、バイオテクノロジーおよび生物多様性などに貢献するユニークな研究分野を担い、これからの地球規模問題の解決に関わる研究を推進していく。

3 生命科学イノベーション

第三期中期計画の二つ目の柱が、ライフ（生命科学）イノベーションである。理研の生命科学系の研究センターはそれぞれ研究テーマを明確にしながら「生命の謎」に迫ってきた。

生命の複雑で巧妙な振る舞いを解明するためには、多要素が形成する複雑な系（システム）を捉え、その動態を理解することが必須である（生命システム研究センター）。受精卵から成体に至る機構を研究する多細胞システム形成研究センターでは、iPS細胞による網膜再生医療の臨床研究を実現させた。脳研究の目標は、未知なる脳のメカニズムを解明し、心の本質に迫り、未来社会の発展を支えることである（脳科学総合研究センター）。

病や医療の基礎的な解明にも取り組んでいる一塩基多型（SNP）の研究からは、心筋梗塞関連遺伝子や二型糖尿病関連遺伝子が発見された（遺伝子多型研究センター）。免疫系の研究では、アレルギー疾患や免疫疾患の解明およびワクチンや治療法の開発に向けて、努力が重ねられている（ゲノム医学研究センター）。生命現象の階層を超えたヒトの理解を達成し、一人ひとりに最適な治療や予防法を提供することを目指して、意欲的な統合医科学の研究も始まっている（統合生命医学研究センター）。

生命システム研究センター

一九五〇年代から本格的に始まった分子生物学の発展は、マクロレベルで立ち現れるさまざまな生命機能の背後に存在する、ミクロレベルのDNA、RNA、タンパク質などの要素分子群が織りなす複雑な相互作用ネットワークが、存在することを明らかにした。しかし、生命システムの複雑で巧妙な振る舞いの全容を解明するには程遠く、これらのしくみを理解し制御を可能とすることは、次世代の生命科学においても、依然として中心的な課題の一つとして引き継がれている。

この解決のためには、これまでの分子生物学で中心的な役割を果たしてきた要素還元論的な研究を超えて、多要素の形成する複雑なシステムの動態を理解することが必須である。生命動態システム科学、すなわち「生命を動的システムとして理解し操作する生命科学」においては、より精緻な定量計測と理論・計算を組み合わせ、総合的に生命の動的システムを理解して、新しいライフサイエンスを開拓していくことが世界的な潮流となっている。

生命システム研究センター(QBIC: Quantitative Biology Center)は、こうした世界的な潮流に沿ってライフサイエンスのパラダイムシフトを目指す「生命動態システム科学研究」を推進するため、二〇一一年(平成二三)年四月一日に設立された。

研究目標は、細胞をシステムとして動的に捉えて「計測」「計算」「デザイン」の最先端基盤技術を開発し、それを利用した先導的研究を実施して「細胞まるごとモデリング」を目指すことである。また、さまざまな生命の動態システムを解明しようとしている大学等とニーズや技術を共有し、研究の基盤を

提供し、連携・協力することで日本の生命動態システム科学の発展に貢献するものである。

Q B i C のこれまでに得られた成果のうちから、特に注目されるものを紹介する。

シャッター速度世界一の超解像蛍光顕微鏡開発 岡田康志チームリーダーは、オリンパス(株)と共

同で、世界最高速のシャッター速度で、生きた細胞内の微細構造の観察ができる超解像蛍光顕微鏡を開発し、従来の光学顕微鏡の分解能限界の二倍に相当する約一〇〇ナノメートルの空間分解能を実現した。この顕微鏡により、一秒間に一〇〇コマ、一／一〇〇秒のシャッター速度で、細胞内の微細構造が動く様子の撮影に成功した。

細菌の抗生物質耐性を予測する新手法 古澤力チームリーダーらの研究チームは、複数の抗生物質に対して耐性を持つ大腸菌の解析を行い、少数遺伝子の発現量データだけで、抗生物質への耐性を定量的に予測できる新手法を開発した。ここで開発した手法により、どの遺伝子がどの抗生物質への耐性獲得に寄与しているかを定量的に解析することが可能となり、耐性獲得を抑制する手法の開発や新規抗生物質の開発への貢献が期待される。

成体の脳を透明化し一細胞解像度で観察する新技術 上田泰己グループディレクターらは、脳全体の遺伝子の働きやネットワーク構造を三次元データとして取得し、サンプル間で定量的に比較するための基盤技術を開発した。これにより、成体のマウスや小型のサル(マウス脳の約一〇倍の大きさ)を透明化し、一細胞解像度で観察することに成功した(口絵⑧)。これら一連の技術(CUBIC)は、遺伝学的に組み込んだ蛍光タンパク質を検出するだけでなく、免疫組織化学的な解析にも適応でき、CUBICを用いて光を当てたマウスと当てていないマウスの脳の全脳イメージング像を取得し、光に反

応して活性化する脳領域を、全脳レベルで定量的に同定することができた。半年後には、この技術をマウス全身に適用し、マウス全身の透明化が実現した。

多細胞システム形成研究センター

生物が受精卵から発生し、成体に至る機構を研究するのが「発生生物学」である。一九八〇～九〇年代、遺伝学、分子生物学と合流して急速に発展したが、同時期、ES細胞の樹立を含む幹細胞研究分野も進展し、再生医学実現の気運が高まり始めた。生命科学におけるこの潮流をいち早く感じ取り、この分野を推進する必要があるとして、多細胞システム形成研究センター（二〇一四年、改組・改名）の前身となる発生・再生科学総合研究センターCDB (Center for Developmental Biology) が構想され、二〇〇〇（平成一二）年四月、政府のミレニアム・プロジェクトの一環として発足した。神戸医療産業都市の中核的施設の一つとしてポर्टアイランドに建設が進み、神戸での研究活動が始まった。初代センター長は竹市雅俊が務めた。

ミッションを策定するにあたり、再生医学は萌芽期にあること、そして、発生現象の多くの問題は未解明であることにかんがみ、CDBの生産性を最大に高めるには、再生医学を見据えつつ、当面は基礎研究を重視するとの基本方針を立てた。

発生・再生学の基礎分野における具体的な取組としては、細胞生物学分野、個体・器官形成分野、生殖・受精分野、脳・神経発生分野、幹細胞・エピジェネティクス・再生分野、発生と進化の関係を探る

EvoDevo（進化発生学）研究、発生研究と試験管内組織形成（神経発生学のES細胞への応用、自己組織化による脳の形成）等の研究分野において研究活動を実施してきた。

その結果、多数のトップレベルの研究成果を上げることができ、短期間に国際的に著名な研究所へと成長した。

また、iPS細胞の発見によって再生医学の進歩が加速する中、すでに開発していたES細胞分化誘導技術を、速やかに「網膜再生医療研究開発プロジェクト」に橋渡しし、世界初のiPS細胞による網膜再生医療の臨床研究を実現させた（口絵⑥）。基礎研究重視の方針が実ったわけである（口絵⑫）。この間、定量的生命科学の重要性が認識され始め、「発生現象の定量的・数理科学的研究」を目指す領域を追加するなど、発生生物学の学問的進化にも柔軟に対応した。

脳科学総合研究センター

脳科学総合研究センター（BSI）は、一九九七（平成九）年一〇月発足し、理研の創立一〇〇周年にあたる二〇一七年に設立二〇周年という記念すべき年を迎えた。

当初、「脳を知る」、「脳を守る」、「脳を創る」の三領域二二研究チームで発足したBSIは、二〇〇四年に五五チーム、二〇〇八年には五八チームの大研究センターになったが、二〇〇九年に就任した利根川進センター長の下で研究体制の大改革を行ったことと、理研の運営費交付金縮減により、二〇一六年現在には三八研究チームとなるに至っている。

脳科学の総合的かつ強力な推進に使命感を持って挑むBSIは、脳科学研究の先端技術を結集し、若手研究者の活力に満ちた、世界最大規模の研究拠点である。未知なる脳のメカニズムを解き明かし、数々の輝かしい成果を上げている精鋭集団が目指す究極的な目標は、心の本質に迫り未来社会の発展を支えることである。

BSIは、国際フロンティア研究システム(FRS)から生まれ、理研の任期制研究者からなる「セクター」体制の原型となった。その特色は、日本の基礎科学分野においての達成目標を明示し、研究者を結集して行う研究プログラムのモデルとなったところにある。それは、わが国の基礎研究重視の政策と、一九九〇年代における世界的な科学技術強化の趨勢を背景に、初めて実現したものである。

脳は、分子↓神経細胞↓神経回路↓システムという階層性を持っており、階層が一段上がるごとに、その下の階層の機能の単なる合算ではなく、新たな機能が生まれる。脳科学は、このような階層性を持つ脳という「有形」の存在が、どのようにして「無形」の存在である「心」を生み出せるのかを解き明かすための研究分野だといえる。この有形から無形への転換を可能にしているのは、分子や神経細胞の集団によって行われるさまざまな情報処理である。

したがって、脳科学では、他の分野の生命科学と同じように、対象である脳を物質的に解析することに努力を注ぐだけでなく、脳のシステムとしての情報処理のしくみを解明するための不断の努力を、理論と実験の両面から続ける必要がある(口絵II)。

疾患治療への努力の必要性 脳は、高度な規則性を持った演算器であるが、一方で脳は、生きている神経細胞から成り立っていることを忘れてはならない。精神や神経の疾患は、構成要素である神経細胞

やグリア細胞自身や、それら同士を結合するシナプスの異常によって引き起こされる。そのしくみを明らかにし、予防や修復（治療）を行うための研究には、今後とも一層努力を注ぐ必要がある。また、いわゆる自律神経失調症など、脳を起因として体全体に不調を来す疾患は、自律神経系から得られる体の内部情報のモニタリングに基づく内部モデルの作動異常に、起因する可能性がある。このような脳と体が一体となったシステムの異常によって引き起こされると考えられる疾患の原因究明にも、脳科学は努力を注ぐ必要がある。

脳科学からAIへ、機械に心を組み込む 共感や反感、すなわち相手がどう感じているのかを慮り、それに同意したり拒絶したりすることは、ヒトの心の重要な機能の一つであるが、階層的かつ並列的に連結された皮質・基底核・視床ループが、内部モデルの構築によって、この機能を遂行している可能性は高い。逆にいえば、このような神経回路の構造とその作動原理を解明し、その成果を機械（またはAI）に移転すれば、ヒトと同じような自我や、ヒトに対して共感能（思いやり）のあるAIを作ることが可能ではなくである。

BSIを含めて、世界の科学者が発展に力を注いでいる脳科学の研究による脳の神経回路に関する知見を、AIに取り込むことによって、AIはまったく新しい次元へと発展を遂げるであろう。

統合生命医科学研究センター

統合生命医科学研究センター（IMS）は、二〇一三（平成二五）年四月、ゲノム医科学研究セン

ター（CGM）と免疫・アレルギー科学総合研究センター（RC AI）を統合して設立された。第三期中期計画によって誕生した組織で、研究分野の枠にとらわれず、生命現象の階層を超えてヒトを理解し、一人ひとりに最適な治療や予防を提供する革新的な医療の実現を目指したものである。個人を対象としたゲノム研究とメカニズム研究に優れた免疫学研究を融合させる意欲的な試みである。

ゲノム医科学研究センター（CGM）は二〇〇八年に設立されたが、その前身は二〇〇〇（平成一二）年に発足した遺伝子多型研究センター（SRC）である。両者が目指したのは、SNP（一塩基多型）を日本人のゲノムから拾い出して、疾患に関連する遺伝子を特定することであった。その研究から、例えば心筋梗塞関連遺伝子や二型糖尿病関連遺伝子が発見され、今日の疾患関連遺伝子研究へと花開いている。またSRCが参加した国際HapMap計画の成果として、病気のかかりやすさ等に関係する遺伝子研究の重要な基盤が構築された。さらに、CGMはゲノムワイド関連解析の研究において、圧倒的な存在感を示すことができた。

免疫・アレルギー科学総合研究センター（RC AI）は二〇〇一年に設立された。生体防衛を司る免疫系の研究は進んできたが、生体内の高次機能系として最も多様で動的なシステムでありながら、その本態、つまり免疫システムがいかに形成・維持され、またどのような異常が疾患を誘導するかについては、なお多くの謎が残されていた。システムとしての免疫系の統御機構を解明し、生命科学の新しいパラダイムを創出するためにRC AIは生まれたのである。また、疾病を免疫制御で正常化して医療応用につなげるために、免疫学の基礎研究の成果を臨床に応用して、アレルギー疾患や免疫疾患などの克服を目指す、世界に類を見ない研究所でもあった。例えば肺がんのNK T療法、スギ花粉ワクチンの開発

など、数々の注目すべき成果を上げた。

IMSは三つの部門から構成されている。CGMの流れを汲む疾患多様性医学研究部門、そしてRCAIの流れを汲む恒常性医学研究部門は、いずれも重要な柱である。RCAIはさまざまな疾患を対象にするため、免疫ではなく「恒常性」という言葉を使った。私たちの身体が持っている恒常性を維持するメカニズムを明らかにし、恒常性の破綻によってどのように多様な疾患が引き起こされるのかを解き明かしていくことを目指す。第三の統合計測・モデリング研究部門は、上の二部門をつなぐ重要な役割を担う。ゲノム解析で発見された疾患関連遺伝子について、マウス実験で機能を調べ、結果をヒトに適用するが、マウスとヒトでは遺伝子の働きや体の仕組みが違う。したがって、マウスで得られたデータから、ヒトで起こっていることを正しく予測するには、数理解析やモデル化が不可欠である。その役割を担うのがこの部門で、新しい数理解析手法の開拓も期待されている。

統合生命医学とは、遺伝子と病気の関係、食生活などに起因する体内環境変化と病気の関係を統合的に理解し、総合的アプローチによってヒトにおける病気の発症・進展過程をモデル化して、「個別化医療・予防医療」を実現する新しい概念の生命医学である（口絵参照）。

4 研究基盤イノベーション

科学の研究を支えるためには、高度な施設、適切な試料管理、最先端の情報機器、分析装置などが必要である。理研はそのどれについても世界で最先端の研究基盤を有しており、個々の研究の成果に結び付いている。

二〇一七年現在、五つある研究基盤センターとそこに関連する組織、それに情報基盤センターがある。研究基盤センターは、バイオリソースセンター、ライフサイエンス技術基盤研究センター、計算科学研究機構、放射光科学総合研究センター、仁科加速器研究センターである。関連組織は、ゲノム科学総合研究センターおよびそこから派生したオミックス基盤研究領域と生命分子システム基盤研究領域（タンパク三〇〇〇プロジェクト）、分子イメージング科学研究センター、HPC I 計算生命科学推進プログラムである。ここでは五つの研究基盤センターについて紹介する。

バイオリソースセンター

バイオリソースは生物遺伝資源ともよばれ、発見と発明の素材であり、基礎生物学、医学、薬学、農学などの生命科学研究にとって、必要不可欠の研究材料である。科学において、最も重要な要素の一つが、結果の再現性である。あるバイオリソースを使ってある実験結果が得られた場合、科学の発展の

ために別の研究者がそのバイオリソースを用いて結果を再現したり、さらにそれを一歩先に進めたりすることが保障されていなければならない。したがって、バイオリソースを開発し論文を発表した研究者が仲間の研究者へ配布することは、研究者の責務であり、研究コミュニティ内でのマナーである。しかし、個々の研究者が自ら実行することは容易ではない。バイオリソースを維持、配布するためには、研究者自身の時間と労力、そして資金を必要とするからである。負担に耐え切れず、最悪の場合、貴重なバイオリソースが消滅してしまう恐れもある。

このような事態を回避するために、自らの研究を実施するとともに、自ら開発したバイオリソースのみならず他の研究者からの寄託も受け、提供要請に応える専門的な組織・機関が世界中に設置されてきた。バイオリソースセンター、レポジトリ、もしくはコレクションとよばれる研究の基盤を担う機関である。二〇〇一（平成一三）年に筑波研究所に設立された理化学研究所（理研）バイオリソースセンター（BRC）もそのような機関の一つである。その使命は、研究ニーズ、社会ニーズに沿って、再現性を確保した真正なバイオリソースを整備、提供することにある。筑波研究所は筑波事業所へと名称は変わったが、理研BRCは設立以来、理研筑波における中心事業として位置付けられている。

理研BRCでは、わが国の研究開発にとって重要である実験動物のマウス、実験植物のシロイヌナズナおよびミナトカモジグサ、ヒトおよび動物の細胞、微生物、そしてこれら由来の遺伝子を対象とし、さらに、これらのバイオリソースに関連する情報も含めて収集、整備、提供、発信する事業を展開している（口絵13）。

バイオリソースの収集・保存・提供にあたって、BRCは、我が国で開発されたバイオリソースを中

心としつつ、世界でオンリーワンの特徴あるセンターを目指してきた。その中には我が国の画期的な発見であるiPS細胞も含まれる(口絵14)。また、BRCはISO9001国際品質マネジメントに従った品質管理を厳格に行い、不具合を排除した真正なバイオリソースを提供することによって、第三者による研究の再現性を向上させ、研究の効率化を高めることに貢献できると考え、実施してきた。

理研BRCは、二〇〇二(平成一四)年に文部科学省が開始したナショナルバイオリソースプロジェクトの中核的拠点として選定されており、現在他の二五種類のバイオリソースを担当する機関と連携して、プロジェクトを推進している。また、研究開発に必要とされるバイオリソースの種類と量は、一国、一機関の収容能力を凌駕しているため、整備に関する国際協調が必要になっている。BRCは、バイオリソースに関する様々な国際連携活動を積極的に行っている。その一例は、Asian Network of Research Resource Centersであり、アジア地域の科学の発展および人類の繁栄に貢献し、アジアの欧米に対する相対的地位を向上するために、BRCと中国科学院微生物研究所、韓国研究素材中央センターの三機関の協力により設立された組織である。さらに、国際的な人材育成として、理研BRC/南京大学MARC/韓国国立ソウル大学国際マウスワークショップを毎年開催している。

一六年に及ぶ活動の結果、BRCは研究コミュニティよりバイオリソースに関する国際拠点として認知され、また高い信頼を得ることに成功し、一七万件を超えるバイオリソースを、国内延べ六七〇〇機関以上、海外六八カ国四八〇〇機関以上に提供してきた。提供したバイオリソースの約一〇%は利用者の論文発表に、約一%は特許取得に貢献している。

BRCは二〇〇一年の設立以来、東日本大震災等のいくつかの困難を乗り越え、常に「信頼性」「継

「先導性」をモットーに事業を展開してきた。こうした活動を積み重ね、生命科学研究の発展、ひいては国民の生活の向上、そして人類の持続的発展に貢献することを目指している。それは健康増進、食料増産、エネルギー生産など、国民生活に直結した研究開発にもつながり、研究コミュニティと国民の理解や支援とを結ぶ架け橋でもある。BRCは研究コミュニティの支持と支援を受け、視野を広げバリオソースの整備戦略を立案、実施するとともに、事業を継続的に実施できる体制を構築することにより、今後も引き続き研究基盤として、生命科学研究のハブとして機能していく。

ライフサイエンス技術基盤研究センター

生命科学は二〇世紀後半から急速に進展した。その原動力の一つは、遺伝子組換えや塩基配列決定法、生体分子の立体構造解析や可視化技術など、生命をより深く解析する技術の革新であった。新しい技術によって得られた新しい知見は、しばしば次の技術開発につながるきっかけとなり、生命科学は研究と技術が両輪となって進んできたといえる。もちろん、分析技術・観察技術の高度化には、生命科学以外の諸分野からの貢献も大きい。分子生物学の創成期に多くの物理学者が参入したことはよく知られているが、現在の生命科学も化学、物理学、工学、計算科学など幅広い分野からの参入で成り立つ融合領域である。

生命科学は学際的な側面を持つ一方、その内部では、研究の細分化が必ずしも解消されているわけではない。そもそも生命科学は、生命の階層性を前提にそれぞれの階層（原子・分子・細胞・組織・個

体)の理解に最適な方法論を採用することで発展した。知見を深める技術の先鋭化は、個々の細分化された生命科学研究を固定化してしまう諸刃の剣ともなり得る。

生命科学の究極の目的がわれわれヒトを理解し、人間の幸福の追求に資することであるとすれば、そこにはさらに大きな困難が見えてくる。生物としてのヒトを研究する手段は、動物を対象とする場合よりもはるかに限定されており、大きな技術的障壁があることだ。

こうした階層を超えた生命理解、真にヒトを理解するための生命科学の実現には、既存の生命科学の枠組みにとらわれない技術の高度化と統合が必要である。まさにその目的のために、二〇一三(平成二五)年、理研の第三期中期計画に伴ってライフサイエンス技術基盤研究センター(CLST)が誕生した(口絵16)。

第三期中期計画では、「グリーンイノベーション」と「ライフイノベーション」の推進がミッションの一つとされた。同時にこの期では、理研全体で大きな組織改変が行われることになり、ライフイノベーションを実施する新たな研究基盤として計画されたのが、構造・合成生物学、オミックス研究、分子イメージング研究を擁する基盤センターであった。これらはそれぞれ、第二期中期計画に発足した生命分子システム基盤研究領域(SSBC)、オミックス基盤研究領域(OSC)、分子イメージング科学研究センター(CMIS)が担ってきた分野であり、いずれも各分野で卓越した技術開発・研究成果を残していた。

生命分子システム基盤研究領域と分子イメージング科学研究センターは、タンパク質を中心とした生体分子を研究対象とし、前者は原子レベル、後者は個体レベルの技術開発・研究を専門とした(口絵

⑰。また、全転写産物（トランスクリプトーム）研究に取り組むオミックス基盤研究領域は、RNAの網羅的な理解から、転写制御ネットワークの解明を進めていた。

これらの実績を引き継ぎ発展させるために、三つの組織を統合し、さまざまな階層の生命現象を生体分子の機能を中心に解明するセンターの構想が理研経営陣のトップダウンで進められたのである。

計算科学研究機構

スーパーコンピュータとそれを駆使して行われる計算科学は、理論、実験と並び、現代の科学技術にとって不可欠な手段となつている。宇宙と素粒子の研究、物質の量子相の探求、生命現象の解明などの基礎科学はもちろんのこと、地球温暖化の科学的予測、地震や津波、台風や集中豪雨の予測による被害軽減、遺伝子治療の基礎となるゲノム解析、タンパク質の解析による新薬候補物質の発見、新しいデバイスや材料のデザイン、自動車の衝突シミュレーションやジェットエンジンのデザインなど、私たちの生活に直結する最先端の科学・技術に至るまで、重要な役割を果たしている。また、最近では、あらゆる種類のビッグデータを直接分析して将来や傾向を予測する技術・方法が大きな発展を遂げつつあり、ここにおいても大規模計算は欠くことのできない要素となつている。

わが国では、一九八〇（昭和五五）年代からスーパーコンピュータの開発と、それによる科学技術の推進が行われてきた。代表的なプロジェクトとして、数値風洞（航空宇宙技術研究所 一九九三年）、CP-PACS（筑波大学計算物理学研究センター 一九九六年）、地球シミュレータ（海洋研究開発機

構地球シミュレータセンター（二〇〇二年）がある。

これらのプロジェクトの成功を受けて、二〇〇六年に開始されたのが次世代スーパーコンピュータ・プロジェクトである。このプロジェクトでは、理研が開発主体となつて「次世代スーパーコンピュータ」の開発が進められ、二〇一二年六月に完成して「京」と名付けられた（口絵²¹）。

「次世代スパコンプロジェクト」では、「京」を開発・運用するだけでなく、同時に計算科学技術の世界的研究教育拠点（COE）を形成することも目標とされた。これらの目的に沿って二〇一〇年七月に設置されたのが、計算科学研究機構である。「京」の運用主体として、その能力を最大限に活用する基盤を提供するとともに、世界最先端の成果の実現を目指して、研究開発を進める任務を持っている。

成果の一例を挙げると、気候モデルNICAMは「京」に最適化されると同時に、「京」を用いて、世界で初めて1kmを切る水平分解能〇・八七km・垂直九六層の大気大循環シミュレーションを実現した。解像度一〇〇mで三〇秒ごとに新しい観測データを取り込んで更新する、空間的・時間的に桁違いの天気予報シミュレーションを実現し、実際のゲリラ豪雨の動きを詳細に再現することに成功している（口絵²²）。

空力シミュレーションは自動車設計に欠かせない道具となつている。階層構造格子を用いた複雑流体コードCUBEにより、解像度1mm以下のメッシュの高速自動生成や、高速道路でのレーン変更時の空力解析など、風洞実験を超えたシミュレーションが実現されている。

社会・経済現象のシミュレーションは着実に進展している。神戸市の実データに基づく交通流シミュレータが開発され、交通流のシミュレーションが実現しただけでなく、交通流の多変量解析によりその

Column

「京」による次世代のシミュレーション

バクテリア細胞質の複雑な構造と運動が
明らかになりつつある。

スーパーコンピュータ「京」の開発と運用は、理研のみならず日本の計算科学研究に大きなインパクトを与えた。非常に多くのCPUを同時に利用した超並列計算を実行することで、従来でできなかった超大規模なシミュレーションが可能になる。しかし、そのためには高度な計算科学技術を駆使したアプリケーションの開発と高度化が必要であり、生体高分子ダイナミクスを解析する新しい分子動力学プログラム GENESIS (ジェネシス) が理研において開発された。

「京」上で GENESIS を用いることで、バクテリア細胞質に含まれる多数のタンパク質、RNA、リボゾームなどのタンパク質核酸複合体、代謝物、イオン、水を含む原子モデルに関する分子動力学計算が実行された。この計算に含まれる総原子数は1億を超えており、従来行われてきた溶液中あるいは脂質二重膜中の単一タンパク質の分子動力学計算とは、その規模において、一線を画するものであった。これによって、生きた細胞の中で展開される生体分子反応を、きわめてリアルに再現できる道具が手に入ったのである。

様々な生体分子は、多数のタンパク質や核酸などで混雑した細胞質という場の中で、どのような動きと相互作用をしているのだろうか。シミュレーション結果の解析によって、長年の懸案だったこの課題を理解するための重要な知見が得られた。この研究をさらに先に進め、シミュレーションと先端計測を融合することにより、生物科学や創薬応用へのさらなる貢献が期待される。

特徴を明らかにする研究が進んでいる。

都市の地震被害予測に関しては、地盤や構造物の物理モデルについて公開データ等を使って自動生成し、地盤と建物の揺れから統合的に被害を予測するシステムが開発された。東京や神戸等の実都市に適用されている。

スーパーコンピュータの開発とそれによる計算科学技術は世界各国で追求されている。進歩は極めて早く、米国・欧州はもちろんのこと、中国においても、二〇二〇年代のエクサスケールコンピュータの実現を見据えて、研究開発が進められている。わが国では、「京」の完成と同時に後継機の検討が開始され、二〇一四年度からプロジェクトが開始された。理研は、「京」の後継機であるポスト「京」の開発主体に選定された。計算科学研究機構では、「フラッグシップ二〇二〇プロジェクト」を設置し、「京」で確立された技術・人材・アプリケーション等を最大限に活用し、二〇二一年ごろの運用開始を旨指して開発を進めている。

放射光科学総合研究センター

高エネルギー電子の軌道を曲げると発生する放射光は、ナノメートル（nm）以下の波長を持つ非常に明るい光である。これまで見る事ができなかったさまざまなものを分析し、未知のものを発見できる。この光は、原子レベルでの物質の観察に活用され（口絵18）、材料科学、地球科学、生命科学、環境科学、医学利用などに革新をもたらしている（口絵18）。理研は一九九七（平成九）年三月、世界最高性

能を持つ大型放射光施設 SPring-8 を旧日本原子力研究所と共に完成させ、同年一〇月から多くの研究者に開かれた共同利用施設として供用してきた。SPring-8 は、電子の加速エネルギー八 GeV（ギガ電子ボルト）、蓄積リングの周長が一四三六 m と、欧州の ESRF、アメリカの APS をしのぐ世界最大の第三代大型放射光施設で、完成後長らく X 線領域では世界最高輝度の光源だった。

その SPring-8 で培われた技術は、世界初のコンパクト X 線自由電子レーザー SACL A (Spring-8 Angstrom Compact free electron Laser) へと結実した。硬 X 線自由電子レーザーとしても、アメリカの LCLS に続く世界で二例目の装置である SACL A は、各界の支援を得て二〇〇六年に国家基幹技術として整備を開始した。建設は理研が財団法人高輝度光科学研究センター (JASRI) の助力を得て、四〇〇社を超える参画企業を統括する形で進められた。SACL A は二〇一一年三月に完成し、二〇一二年二月から共同利用施設として供用されている。LCLS の約半分の 0.63 nm という X 線自由電子レーザーとしては短波長世界記録を持ち、SPring-8 と共に、わが国のみならず世界の高エネルギーフォトンサイエンスを牽引する基盤施設となっている。

理研百周年は同時に SPring-8 供用開始二〇周年、SACL A 供用開始五周年でもある。大型基盤施設も稼働後二〇年を経過すると、そろそろ次を考え始める時期であり、SPring-8 II に向けてのさまざまな開発研究がすでに開始されている。さらに大きな時間スケールで考えれば、カオス X 線光源としての放射光は技術的に次の SPring-8 II あたりで極限近くに到達し、その後はリング型 XFEL を目指す研究開発が進むものと思われる。一方で LCLS と SACL A で始まった、線形加速器ベースのパルス X 線レーザーは、今後シーディング技術の発展などにより、時間コヒーレンスも向

上することが期待され、現状の多モードレーザーからシングルモードレーザーに変化していくであろう。このような変化は、単に加速器技術の発展のみで到達し得るものではなく、加速器技術とレーザー技術の相乗効果によって初めて達成されるものである。

播磨の放射光科学総合研究センターは、加速器ベースの高エネルギーフォトンサイエンスの世界的COEとして、今後、ハイパワーレーザーとの連携を進め、さらに進化したフォトンサイエンスの創生に向かうことになる。

仁科加速器研究センター

理研創立から間もない一九三〇年代初頭から、世界では、静電加速器（コッククロフト・ウォルトン型、ヴァンデグラーフ型）、線形加速器（リニアック）、円形加速器（サイクロトロンやシンクロトロン）など、さまざまな加速器が開発されてきた。この粒子加速器の登場により、原子核反応を人工的に引き起こすことが可能となり、原子核物理学をはじめとする研究が飛躍的に進展した。中でもサイクロトロンは、大強度の陽子や重陽子ビームを発生できるので、これによって強い多量のR I（放射性同位元素）が製造できるという特徴を備えていた。

仁科芳雄は一九三七（昭和一二）年に国内初（世界で二番目）のサイクロトロンを建造し、わが国における原子核物理、核化学、放射線生物学を総称する「加速器科学」をスタートさせた。例えば、この一号サイクロトロン（小サイクロトロン）によって製造したナトリウム二四、リン三二というR Iは、

一九四〇年に生物の代謝研究に用いられている。

一号以来、理研は継続的にサイクロトロンを建造してきた。二号（一九四三年）、三号（一九五二年）、四号（一九六六年）に続いて、五号リングサイクロトロンRRRC（一九八六年）と六号AVFサイクロトロンを建造した。この二基は重イオンリニアックRIILAC（一九八一年）と共に今日では旧施設となった多段式重イオン加速器施設を構成し、RIBIーム科学を開拓する役割を担った。

それ以降、七号サイクロトロンfRC（二〇〇四年）、八号サイクロトロンIRC（二〇〇五年）、九号サイクロトロンSRC（二〇〇六年）が建造された。これらは、旧施設の一部を組み込みながら、RIBIームファクトリー（RIBF）という世界最高性能のサイクロトロン施設に結実した（口絵④）。

二〇〇七年四月に共用運転を開始し、技術開発を重ねて、二〇一七年現在もなお世界一の座を保ち続けている。今後五、六年はその地位を維持し、世界の核科学者は当分和光詣でを続けることになる。七〇年前に仁科が描いた夢の一つが実現したのである。

RIBFの完成に先立つ形で、二〇〇六年四月には、仁科加速器研究センター（理研仁科センターRNC）が誕生した。RNCは、加速器を基盤とする研究を総合的に展開するため、素粒子・原子核の理論・実験研究グループ、加速器グループ、さらに生物や化学への応用研究を行うグループを統合して設立された。後に宇宙線関連の研究グループも加わり、二〇一七年現在、かつての仁科研究室の再来ともいえる陣容となっている。

なお、大きな成果である二ホニウム生成に至る超重元素に関する研究は、一二一ページ参照。