

第4章

理論科学の新しい地平に向けて

《数理創造プログラムiTHEMS》

2016（平成28）年11月1日、理化学研究所に新しい研究プログラムiTHEMS（数理創造プログラム）が発足した。これは物理、化学、生物学、数学、計算科学など、理論科学に取り組む研究者による分野横断型の連携を通して、新しい自然科学の地平を拓こうという未来に向けた研究の枠組みである。かつて「科学者の自由な楽園」とよばれた理研は、こうしたプログラムの育成や経験を通して、100年先の自らの存在価値を探し続けていく（図1）。

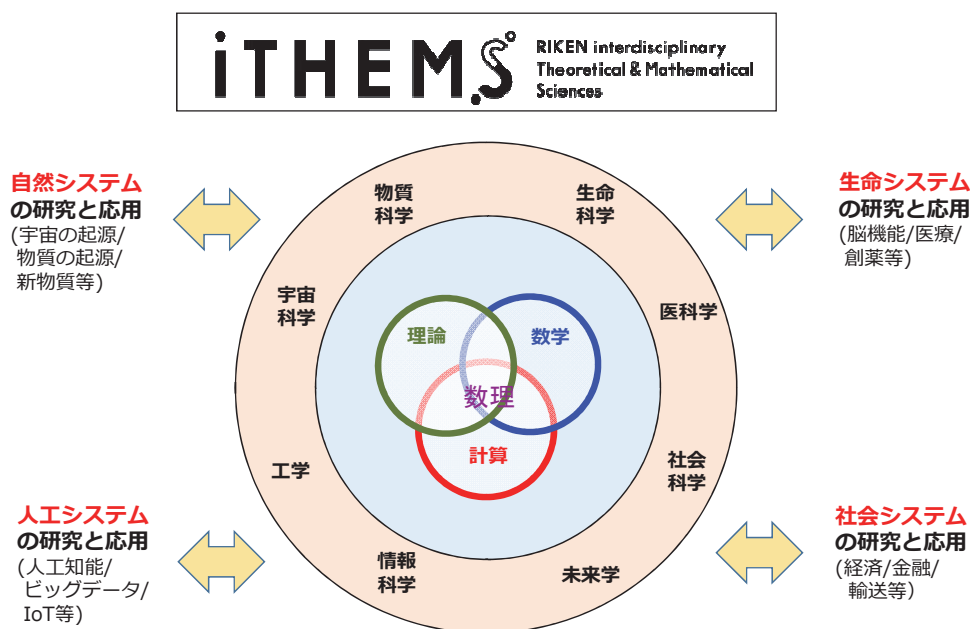


図1 iTHEMSとは何か

第1節 iTHEMSとは何か

分野の垣根を越えて

iTHEMSという取り組みは、現在プログラムディレクターを務める初田哲男主任研究員の思いから生まれた。2011（平成23）年、初田は東京大学理学研究科教授から理研仁科加速器研究センター主任研究員となった（2012年から理研が本務、東大は兼務）。専門は理論物理学（ハドロン物理学）だが、それまで外から見ていた初田は、理研はさまざまな分野の理論家が互いに交流し合う風通しの良い環境だと感じていた。

大学の場合、理論家がいろいろな学科においても学生への教育義務があり、専門の異なる理論家同士が互いに密に議論し合う機会は多くない。しかし理研の場合、

教育から解放されている分、他分野の研究者と議論する時間的、精神的余裕が生まれる。実際に理研に加わって、化学や生物の理論研究者と話したり議論したりすることで、初田はそのことをより深く実感することになった。

相手は、化学の杉田有治、生物の望月敦史、量子物性の古崎昭、量子情報のフランコ・ノリ、計算宇宙科学の長瀧重博、素粒子論の橋本幸士といった第一線の研究者である。

理論家は、分野は違っても数学・数理モデル・計算機などを駆使して自然の謎に挑む点では共通である。したがって、共通ないしはよく似た手法やモデルを使っているケースがある。一方で、独自の手法やモデルを開発しているケースもあり、そのような場合、他分野に応用できる可能性がある。したがって、共同研究から新しい芽が生まれることが十分に考えられる。

iTHESの成果

2013年、それまでの理研の科学者会議が、新しい組織に改組された。その新科学者会議が選考する第1回の独創的研究提案制度「新領域開拓課題」が、所内公募されていた。初田はほかの理論家と議論して企画を練り上げ、「多階層問題に対する数理・計算科学」を提案した。13件の応募があったが、分野横断型で面白いという声上がり、初田の提案だけが選ばれたのである。

これが2013年から2017年まで5年間継続された理論科学連携研究推進グループiTHES（アイテス）である。目指すのは学際研究なので、関連する研究分野は、ほぼ全領域をカバーするものとなった。ただ、理研には純然たる数学者はいなかったため、iTHES（Interdisciplinary Theoretical Science Research Group）となって、数学なしの理論科学グループという名称になった。

幾つかの主任研究員研究室が集まって、それらを横につなぐ形となったが、この段階ではまだ個々の研究室の研究課題があったので、グループ全体として若いポストドク研究者を雇用し、彼らにiTHESの参加研究室を相互に結び付ける役割を果たしてもらうことになった。年間予算は徐々に減らされていったが、最初は1億4000万円ほどあったので、年間十数人、ポストドクを雇用することができた。理論研究なので、経費の多くを人件費に使うことができた。延べ人数は25人である。

ところで、分野融合と言葉は簡単だが、実現させるのはそう簡単ではない。事実、発足前の審査段階で、「人をたくさん集めても、結局は、物理とか生物とか、自分の専門に引き込む研究者を増やすだけにならないか」という懸念の声も上がった。しかし、おそらくは理研という環境が大きいと思われるが、興味深い分野融合の研究成果が次々と上がってきたのである。

実際、理論物理の若手研究者が生物物理の研究者と共同して、染色体分離のメカニズムを解明、物理学の論文誌*Physical Review E*に発表した。この研究者は、実績を評価されてすでに東大医学部の助教へと巣立っている。初田自身も、物理学から生物学へと関心を広げ、魚の眼の網膜上で、色を感知する錐体細胞が作り出すモザイク模様の形成過程を、数理物理学者や数理生物学者と一緒にモデル化

することに成功した（図2）。例えばゼブラフィッシュでは、二つのパターン（放射状パターンと同心円状パターン）が同じエネルギーを取り得るにもかかわらず、実際には放射状のパターンしか見られない。物理学の「揺らぎ」に対する安定性を考えることで、放射状パターンへの移行を数式と数値計算の両方で示すことができた。この仕事も *Physical Review E* の論文となった。

iTHEMSの研究活動

このように実際の論文に結び付く分野融合研究は、初田を勇気づけた。そして数学を加えたiTHEMS (Interdisciplinary Theoretical and Mathematical

Sciences: アイテムズ) の提案へと背中を押したのである。しかし、本格的な数学、数学者をいかに取り込むかは、実は大きな課題であった。現実に大きな垣根があったのである。これまで自然科学の理論研究所が使ってきた数学は、ほとんどの場合19世紀から20世紀前半の数学だった。iTHEMSでは20世紀後半から21世紀の数学を取り込みたい。いろいろと検討を重ね、そのために、東大数理科学研究科の坪井俊教授を副プログラムディレクターとして招聘したのであった。

iTHEMSは2016年からスタートした。2017年に終了するiTHESと重なる期間があるため、iTHES/iTHEMSと表記することもある。2017年度末でiTHESは終了し、そこでの任期制研究員は期限が切れる。iTHEMSに移動する人もいれば、別の大学や研究機関に移っていく人もいる。もっとも、理論科学の若手研

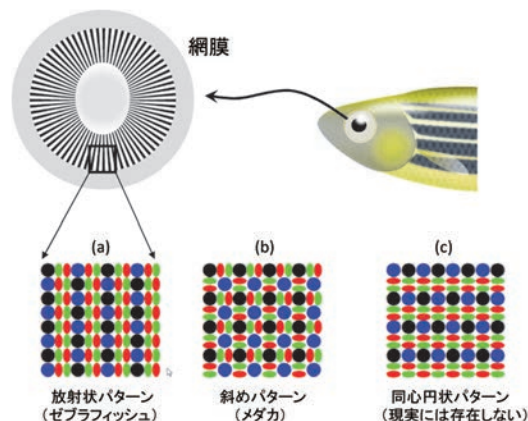


図2 魚の網膜にある4種類の色（赤、緑、青、紫外線）を感知する錐体細胞が作るパターン

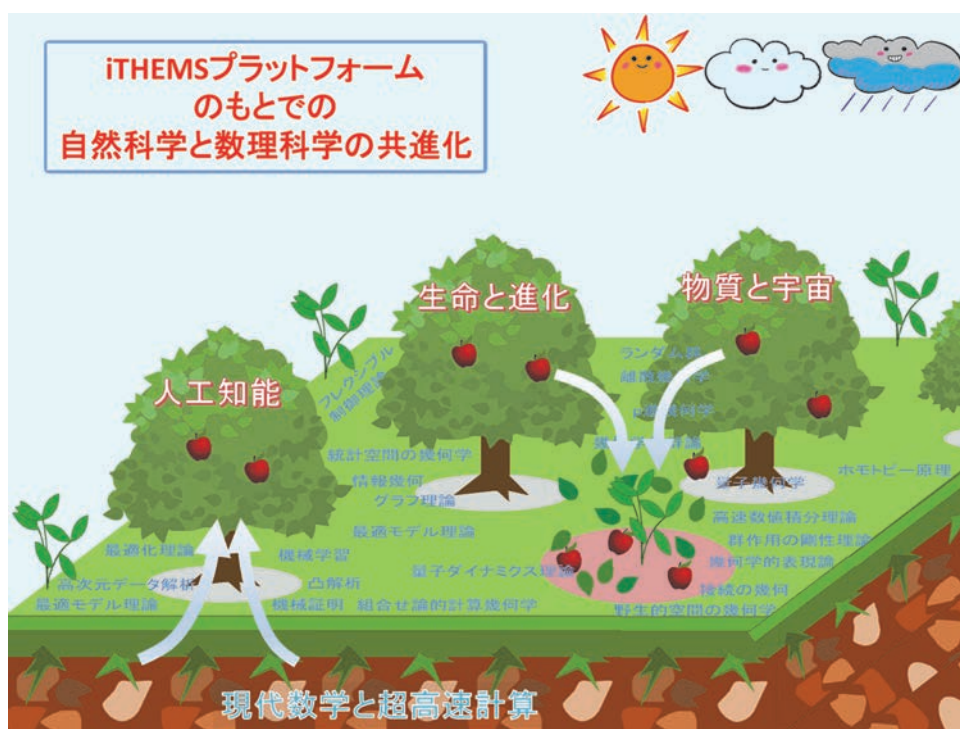


図3

研究者は、次々と研究の場を移していく人が多く、移動が当たり前のようになっている。

iTHES発足から5年近くたち、ようやく、理研の理論グループが日常的に集まれるセミナー室が、研究本館2階の一室（旧橋本研究室）に整備された。それ

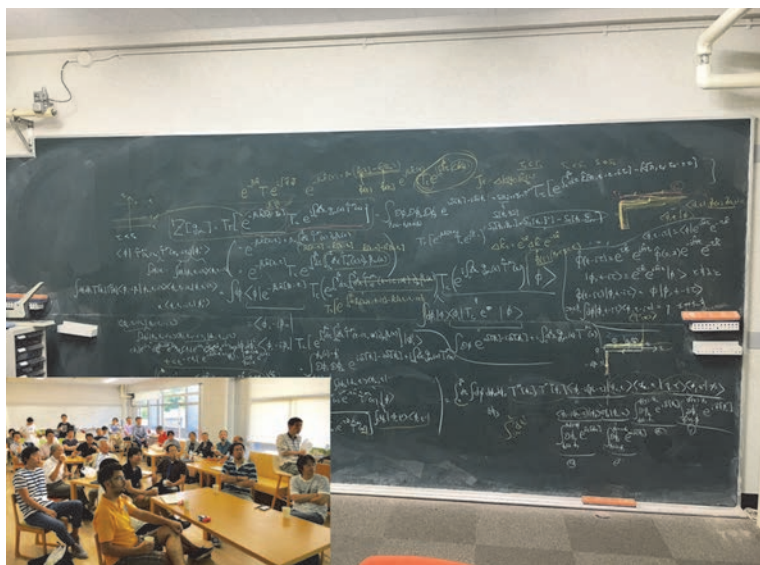


図4 ミーティング風景

まで若手研究者は、物理、生物、化学と、iTHES/iTHEMSを構成するそれぞれの分野の研究室に居室があったが、いよいよ本格的な分野融合へと一歩踏み出したといえる（図3）。理論研究者にとって、互いに議論を戦わせることは非常に重要な研究行為であり、それは湯川秀樹、朝永振一郎の時代から変わらない。

毎週金曜日のコーヒーミーティングは、iTHES/iTHEMSメンバー全員が集まることになっている（図4）。場所は統合支援施設2階の会議室など、場所を探してやりくりしていたが、この問題がセミナー室の

整備で解決した。理論グループの活動は活発化しており、毎週、電子版のニュースレターを発行し（2017年11月現在で200号に近い）、情報発信も欠かさないようにしている。

多彩なテーマのセミナーも頻繁に開催している。2017年4-5月のタイトルを見てみよう。「単純ランダムウォークと二次元ガウス自由場の局所時間」「凝縮系物理学における幾何学」「精密医学における高性能計算」「一般相対性理論と重力波」「カオス、クォーク、ブラックホール」「物理学と天文学のためのディープラーニング入門」「離散群のかたち」「かたい高分子材料を開発するための指導原理：厳密に解けるモデル」「結び目の理論の講義」「少数多体系の大部分の観測可能量の非典型性」。その多彩な内容の一端が垣間見えるのではないかと。8月には「『日本書紀』区分論：例外を直視すれば深層が見える」という言語学の特別講演会も開催した（図5）。



図5 「日本書紀」区分論ポスター

第2節 頭脳と頭脳のぶつかり合い

ゆるい連携

iTHEMSの運営は、初田と3人の副ディレクター（望月、長瀧、坪井）と連携促進コーディネーターの多田司の5人が全体を見渡して運営している。「ゆるい連携」が趣旨なので、それぞれがグループを作るのではない。iTHEMSのメンバー全員が一つの箱の中にながら交流する、お互いに議論して興味のあるテーマを育てていく、そういうイメージである。

それでも、漠然とした環境だけでは、何も生まれない危険性はある。そこで、「ゆるいグループ」がしやすいように、四つのテーマを用意した。それが「極限宇宙」「生命進化」「数理と人工知能」「新しい幾何学」で、それぞれを「セル」とよんでいる。

ゆるいグループと極限宇宙のような特化したテーマをいかに整合させるのか。これは、宇宙の観測データを人工知能で解析する、宇宙誕生の解析にこれまで応用されたことのない最新の数学を使うなど、うまい関連を見つけて、異なる専門分野の研究者が協働しやすくするのである。

科学と数学が近づいている

初田が意識する現代科学の流れがある。20世紀の初頭、アインシュタイン (Albert Einstein) の相対性理論が生まれ、ボーア (Niels H. D. Bohr)、シュレディンガー (Erwin R. J. A. Schrödinger)、ハイゼンベルク (Werner K. Heisenberg) らによる量子力学が誕生した。それらの基礎になったのは、リーマン幾何学、ヒルベルト空間論、微分方程式論といった当時の新しい数学で、そこには、ヒルベルト (David Hilbert) やフォン・ノイマン (John von Neumann) といったきら星のような数学者も並んでいた。あの時代、理論物理学者と数学者は近いところにいた。しかしその後、数学者はどんどん抽象化された形の数学を追い求め、理論物理学者も独自に進化を遂げていき、互いに離れてしまった。

それでも、数学と物理は時々、接近する。20世紀後半、群論は力の統一理論の基礎となった。位相幾何学 (トポロジー) は21世紀に入って物性論と強く結び付き、トポロジカル相転移は2016 (平成28) 年のノーベル物理学賞の受賞テーマとなった。物理学者が「使っている数学が古すぎる」と感じる一方で、数学者は「自分の構築した数学を使ってほしい」と思っている。少なくとも、そうした「近づきつつある傾向」を初田は感じている。

20世紀後半の数学は、圏論とか代数幾何とか、いわば抽象化の極限のようなところまで行きついたように見える。一般には、抽象性が高ければ高いほど一般性があって利用範囲も広い。しかし、抽象性が高いと、特に異分野の人には理解してもらいにくい機会が減る。しかし、そうした傾向が変わりつつあるというのだ。例えばフィールズ賞では、21世紀に入って以降、新しい数学を具体的な問題に展開したり、一般化したりするような人にも受賞者を出している。純粋な数学者の

ほかに、物理学者に近いような人も選んでいるということである。

抽象性が高すぎて利用しにくかった現代数学が具象に近づき、具体的科学が抽象化との関係を求めている。そうした意味で、両者が再び近づいて、量子論や相対論が開いた20世紀初頭のような科学の輝く時代が、あるいは再び登場するかもしれない。初田はそんな夢を抱く。少なくとも、両者が話のできる様相を呈してきている。しかも、無理やりくっつけているのではなく、自然にそんな雰囲気醸成されている。初田はそう感じる。

分野の接近は物理と数学だけではない。生命科学分野でも、ゲノム解析やバイオインフォマティクスなど、数理科学や計算科学の成果をどんどん取り込んでいる。初田自身、生命進化、生命多様性が、この地球上で広がってきたことを記述できるような新しい数学ができればよいと思っている。そのためにも、逆に、現代数学を刺激するような物理や生物学のテーマを出してみたいと願っている。

iTHEMSはもっと広い分野も視野に入れている。例えばスポーツ工学で、物理の若い研究者が趣味のウエイトリフティングを生かし、どういうタイミングで力を加えれば好成績が得られるか、人工知能を使って最適条件を探し出そうとしている。

もう一つ、日本人が唯一ノーベル賞受賞者を出していない経済学分野で、新しいアプローチができないか検討中だ。ゲーム理論を経済学に導入したケースは有名だが、素粒子論から経済物理学という学問に入った専門家もセミナーに招聘している。

科学者の自由な楽園を

約100年前、アインシュタインやボーアが来日し、当時の理研の物理学者とも議論した。個々の議論の内容は一部が伝わっているが、おそらく最も大きなことは、頭脳と頭脳のぶつかり合いであろう。目には見えなくとも、それが一つのきっかけとなって、さまざまな成果へと結び付いていった。

iTHEMSの研究者

(2017年11月現在)

初田 哲男	プログラムディレクター	理論物理学
坪井 俊	副プログラムディレクター (東大 本務)	数学 (トポロジー)
望月 敦史	副プログラムディレクター (ILs 本務)	理論生物学
長瀧 重博	副プログラムディレクター (ILs 本務)	計算宇宙科学
巖佐 庸	特別顧問 (九大 本務)	数理生物学
小林 誠	特別顧問 (KEK 本務)	素粒子論
森 重文	特別顧問 (京大 本務)	数学 (代数幾何学)
多田 司	連携促進コーディネーター (RNC 本務)	素粒子論
瀧 雅人	上級研究員	数理物理学、機械学習
井上 芳幸	上級研究員	宇宙科学
窪田 陽介	研究員	数学 (非可換幾何学)
土井 琢身	専任研究員 (RNC 本務)	計算物理学
日高 義将	専任研究員 (RNC 本務)	理論物理学
黒澤 元	研究員 (ILs 本務)	理論生物学
立川 正志	研究員 (ILs 本務)	理論生物学
田中 章詞	特別研究員 (AIP 本務)	機械学習、数理物理学
桑原 知剛	研究員 (AIP 本務)	情報理論、統計力学基礎論

合原 一幸	客員主管研究員 (東大 本務)	応用数学、カオス理論
Catherine A. A. Beauchemin	客員主管研究員 (ライオン大 本務)	理論生物学
竹井 義次	客員研究員 (同志社大 本務)	数学 (解析学)
三角 樹弘	客員研究員 (秋田大 本務)	数理論理学
田谷 英俊	訪問研究員 (学振)	理論物理学

もちろん現代にも、彼らに匹敵する天才はいる。少し前なら超弦理論のウィッテン (Edward Witten)、計算科学のウルフラム (Stephen Wolfram) が有名だが、今はUCLA教授のタオ (Terence Tao) やプリンストン高等研究所教授のマルダセナ (Juan Martin Maldacena) であろう。前者はオーストラリア出身の中国系数学者、後者はアルゼンチン出身の素粒子論研究者だ。理研のiTHEMSで育った日本の若き理論家が、タオやマルダセナと丁々発止と議論する日が待ち遠しい。

目的や目標を明確に立てて、期限付きで資金を集中させるプロジェクト研究も大事だが、科学の基本となるのは、研究者個人の自発を待つ形の研究環境を作るという伝統的方法である。かつて「科学者の自由な楽園」とよばれた理研とは、後者の姿を指していた。iTHEMSのような研究プログラムを豊かな形で維持・継続することは、多くの人々に「理研=科学者の自由な楽園」というイメージを持ってもらう必要条件となる。

そのためにもiTHEMSの若手研究員の規模をせめて30人ぐらいに拡大したいが、具体的なミッションなしに人員を倍にする予算を下さい、という論理は霞ヶ関には通らない。海外の理論研究所と比べて一桁違う予算を見ながら、企業や助成財団に足を運ぶのも初田グループディレクターの仕事となっている。



iTHES、CEMS、RNC、RBRCの共催で2016年12月に行った分野横断型国際ワークショップ「カイラルマター2016」

