



「理学と工学」

第1回 物理分野と化学分野におけるその現状

Landfallでは創刊以来、研究室訪問、インタビュー、施設紹介という形で東工大における研究活動や研究室の実情を紹介してきました。今回より「特集」という記事を設け、その中で様々な題材を取り上げ、東工大という枠を越え、幅広い視野で科学全般について考えていきたいと思います。



私達は、東工大にいて、何の気なしに“理学”と“工学”という言葉を使っている。学部も、理学部と工学部に分かれている。何も考えなければ、別にどうということはないのだけれども、一度、「化学科と化学工学科はどう違うんだろう。」とか、「情報科学科と情報工学科はどうだろう。」と考えると、分らない人は多いのではないか。各学科についての違いはここでは特に取り上げないが、理学と工学の現状を歴史的なこともふまえて述べていきたいと思う。

マイケルソン・モーレーの実験と アインシュタインの相対論

対話としての理学の研究

理学という学問は、元来、自然を読みこなすものとして「自由七科」(注1)の一部という形で始められた。つまり、理学とは、自然現象の根本にある法則の探求、そして自然現象の記述を目的とする学問と言えるだろう。そして今でも、理学研究の流れは、自然法則を使って現象を記述するという流れと、ある現象の記述のために、より普遍的な自然法則を探求しようという流れがある。それは、有名な特殊相対性理論の成立における過程にも見うけられる。そもそも、地球の静止エーテル(注2)に対する絶対運動を調べようとしたマイケルソン・モーレーの実験(注3)が見事に失敗したので、失敗した原因を説明しようとしたことに相対論の発見は起因している。失敗の理由をそれまであった理論により説明しようという

試みが多々あった。けれどもそれらは全て、非理論的な発想であったり、どこかに矛盾点を含んでいた。そのように既存の理論では記述を行うことに困難になってきたところに、1905年、アインシュタインが特殊相対

注1 文法、修辞、弁証の3科と、数論、幾何、天文、音楽の4科。

注2 はじめ光の伝播を媒介する媒質として仮定され、後、一般に電磁場の媒質とされた物質。相対性理論によって否定された。

注3 地球の進行方向と、垂直な方向の光速度の差から、地球とエーテルの相対運動を検出しようとした実験。結果として相対運動は確認されず、後に特殊相対性理論のきっかけとなった。

性理論を発表し絶対速度は計れないことを説明した。このように、理学とは自然の本質を見きわめるために実験し、その結果を論理的に既存の理論で説明しようとし、そしてそれでも困難が有るのならもっと普遍的な自然法

則によって説明しようとするものであると考えられる。そのようにして自然の本質を理解していくところに理学研究者はおもしろさを感じている。

多体問題や非平衡問題に立ち向かう現在の理学

現在の理学の課題

では、理学の現状はどうなっているのか。まず現在の物性、プラズマ、物理化学などの様々な分野において、避けて通ることのできない関門として多体問題がある。多体問題とは、互いに作用しあっている3体あるいはそれ以上の物体を扱う問題である。核物理実験を専門になさっている大沼教授（物理学科）は、核物理の現状を次のように説明された。

「原子核物理学とは、伝統的には、陽子と中性子が集まった系を取り扱うものだったんです。そういう風にして取り扱うと、他の多体問題と比べて、3つの特徴があるんです。1つ目は、陽子や中性子は数個から多くても200個程度なんで、数が中途半端なんです。他の多体問題は、アボガドロ数ぐらいですからね。2つ目は奇妙な力（核力）が働いているということです。非常に強く、かつ到達距離が短いんです。3つ目は、構成粒子が微妙で、一種というべきか二種というべきか。中性子と陽子とはよく似ていて、分けていいかどうか。いろんな場所に出てくる多体問題と比べてみてもやっかいです。ところが70年代後半からいろいろ新しい現象が見つかってきて別の見方が出てきたんです。原子核は核子の多体系では説明しきれないんじゃないかと。そこで重粒子や中間子などを新たに取り入れていこうとしたのですが、そうするならいっそのことクォークで記述してしまった方が簡単だと。でも重陽子は核子で記述すると2体系だがクォークでは6体系で、6体系なんて分らないんです。ですから、これから10年ぐらいは、2つの見方が絡み合いながら発展していくと思います。」

大沼教授は、核物理の多体問題は、他の多体問題に比べると特殊で、チャレンジングなものであることを説明

して下さった。

また広瀬助教授（資源化学研究所）は、分子分光学の手法を用いて、分子の状態を研究されているが、これも多体問題であり、量子化学の基礎理論を使って現象を記述しようとしても厳密な解を求められないているのだそう

うだ。ところで、多体問題と並んで現象の記述を困難にしているものに非平衡問題がある。北原助教授（応用物理学科）は、非平衡を研究するために、平衡統計力学の拡張として非平衡をとらえようとしている。そこで平衡を非平衡にもっていくファーストステップとして、局所平衡の概念を導入している。局所平衡というのは、系全体としては平衡ではないが、系を細かく分割していき、その分割された各々の小さい系について、マックスウェルの平衡分布が大体成立するという考え方である。北原助教授は「大気やバケツの水を下から熱すると、ある温度差までは熱伝導で伝わるんだが、そこから対流が起きるんですね（一種の相転移）。そこにおける問題をベナール問題（注4）といって、ナビエーストークの方程式（注5）をちゃんと扱わないといけないんです。これは難しいですね。」とおっしゃった。

注4 不均一な温度分布をもつ水平な平板間の流体における対流を扱う問題

注5 粘性を考慮した流体の運動方程式 非線形で高階の微分係数を持つため、厳密解を求めることは困難であり、一般には数値計算やモデルを用いたり、様々な近似方程式によって解析が行われている。

こみ入った系を厳密に解析するための条件の単純化

理学研究の手法

ご存知のように自然は、とても複雑で、こみ入った系である。それらの系をあるがままに扱おうとすると、それは非常に困難である。そこでほとんどの先生が言われたのが、条件を単純化してモデルを考えていくという方

法であった。そうすれば、複雑な系のものも扱いやすくなるのだ。顕著な例として、八木教授（物理学科）の研究例が挙げられるだろう。八木教授は、パラメーターの少ない系を考えて、非常に厳密に解析できるよう実験を行っている。そのためにシリコンなど比較的限られた材

料の超高真空でのみ再現される、よく規定された表面構造について行っているのである。更には、小野教授（物理学科）は磁性体の相転移の理論の研究を統計力学を基礎に行っているのだが、実験における物質では、ある現象とそれに関係したものの相互作用パラメーターとの関係が明確ではないので、コンピューターシミュレーションによって複雑な系を調べるという手法（注6）をとつ

ている。この手法も盛んになりつつある。

このように複雑な系を単純プロセスの結合したものと捉えてモデル化する考え方は、理学の大きな特徴となっている。

注6 理論と実験の間であり、普通の実験よりも、条件を単純化してモデル化できるようにする。

万有引力の運動に対する微分積分， 素粒子論に対する群論のように

数学との連携

またひとつの方法として、新しい数学の理論を取り込んでいこうというものもある。かつて、ニュートンが万有引力の運動を解くのに微分積分学という新しい数学を必要としたように、あるいは、素粒子論の説明のために群論が使われていったようにである。本学でも、北原助教授が積極的に数学科の先生方にけしかけているようだ。

「アモルファス（非結晶質、ガラスなど）のモデル化をやっているんですが幾何概念が使えるので数学的に扱い易いんです。そういう格子の中で、量子力学状態の計算をやってます。数学の井上さん（数学科助教授）と話しをします。あと本尾さん（応用物理学科教授）や志賀さん（同助教授）（注7）とも。さらに、多粒子の中で一つの粒子が動いてさらにその粒子が次に動くときは、元のところに戻る確率が一番大きく、独立ではないんです。

相関があるんです。志賀先生に聞くと、似たような問題は、数学的にも問題になってるそうなんです。だから数学の人にけしかけてやってもらってるんですよ。」

現在理学では、多体問題や、非平衡問題など既存の理論のみでは扱うことが難しいような問題に取り組んでいる。そこで、複雑な問題を単純化されたプロセスの組合せと考えてモデル化しようとしたり、新たな数学分野と連携するなど様々な方法で、研究を進めていっている。また現存の状態に少し近づけた状態にモデル化して研究を進めていくことも行われている。

注7 井上助教授の専門は解析学。本尾教授、志賀助教授は、共に数学科出身で専門は確率論。

蒸気機関の改良はワットのふとしたひらめき

工学の歴史的な流れ

工学という学問が成立したと言えるのは18世紀後半の産業革命の時期であろう。それまでは、技術の進展は職人によって受けつがれてきた技術を、代々改善してきたことと、偶発的なひらめきによるものであった。一例として産業用蒸気機関の発明が挙げられる。蒸気機関は、セーベリやニューコメンが考え、何度も何度も改良していたものを、ワットがふとしたひらめきによって欠点を取り去り作り出したものである。そのようないわば経験則的な技術開発から理論的な研究による開発へと変わったのは、産業革命の時期であった。

そのころ社会からの技術者不足に対する不満から、各地に工科大学や大学工学系学科が作られ出した。その代表的なものとしてフランスに1794年に創設されたエコー

ル・ポリテクニックがある。これはフランス革命における科学者、技術者の役割が認められたことによって創られたものである。教授陣としてはラグランジュ、フーリエといった当時のフランスで最もすぐれた人々が集まりその卒業生にはゲーリュサック、ラプラス、コーシーなどの、科学や技術の発展にすばらしい貢献をした人々がいた。そしてこのエコール・ポリテクニックのようなしくみの中から理学研究により発見された自然法則や自然現象の記録を参考にして応用しようという工学的な姿勢が生まれてきた。先ほど例に挙げた蒸気機関の効率に関心を持ち熱と仕事の互換性を最初に考え出したカルノーもエコール・ポリテクニックの卒業生であったが、彼の研究などは典型的な工学の研究と言えよう。このような

工学の成立過程からも分るようにその研究成果は目に見えるような形で実社会で役に立つことが多い。そしてこ

のことが研究者のよろこびであり、また新たな研究への原動力となるのであろう。

理論から“何に應用できるか” “既存の技術が改善できないか”を考える

現在の工学

工学の特徴の一断面が、入野教授（金属工学科）の研究からうかがえる。入野教授は従来の物理的・化学的手法では合成できないような材料を、たとえばプラズマなどを利用して作成し、その新物質の振舞いをX線・電子線回折などを利用して原子レベルで観察し、既存の技術・理論を駆使して解析を試み、その延長線上で、経験則的にどうなるかを予想し、さらに一歩進めて新しい材料設計に應用することを考えているのである。

入野教授のされている研究は“経験則的”で“新しい材料開発への應用”を目標にしたものである。これは工学特有のものではないだろうか。

今の工学は、昔の技術の発達か、ひらめきにかかっていたのとは違って、自然法則から理論的に、應用しようという方法が普通である。槽谷助教授（エネルギー科学専攻）のプラズマ・核融合の研究などは、標的を人為的に均一に圧縮、高密度にするために、流体物理、プラズマ物理の理論を用いている。また標的にぶつけるのに、使用していたレーザーの効率が、量子力学の理論などから計算すると悪かったので、パルスイオンビームに変えるなど、より効率的な手法によって研究されている例だろう。

理学の發展は工学の發展に不可欠である。理学で作られた理論から、何に應用できるのか、信頼性や、効率性などふまえて、既存の技術の改善ができないだろうかと考えていくのである。そのために経験則を厳密理論よりも優先させることも多くなるのである。そして工学は、今まで理学から提示された量子論や相対論を技術に置換

する役割を果たしてきた。現在その作業も軌道に乗り、さらに新しいものを求めようとしているが、多体問題や非平衡という大きな課題に取り組んでいるという理学の現状のため、工学は新たな研究の分野を開拓することが困難となってきた。そこで工学は、現在行われている研究を、より突きつめていると同時に、理学への期待を高めている。



理学は自然を記述するのが第一の目的 工学は科学を人間社会に還元するのが第一

理学の研究と工学の研究の違い

「物理ではなぜそうなるのかを理論づけようとする。現象をモデル化し、それをより厳密に調べることににより一般的なことを言おうとします。パラメーターが少ないほどいいモデルと言えます。應用することはあまり考えず、究極、つまり普遍性のある法則の探求を目指しています。よりはやく、より適確にするためには、よく分つ

た状態で調べます。一方工学では究極まで行かず、むしろ信頼性の高い経験則を確立し、それを基に『こうやったらこうなる』と推論して研究を進めます。一つの簡単なモデルに行きつくケースはあまりないんです。実際に材料が用いられている時の状態で実験しますので、パラメーターが多いんですね。もちろん、数少なく選り出すために、実験精度を上げて、どれが重要なパラメーター

であるかを知る努力はしております。私自身は、時々には究極を目指すこともあります。類推が利くという確信があれば、類推による研究を取りますね。これは、応用への価値を高く考えているからです。」と入野教授は、理学と工学の研究について話して下さいました。

ようするに理学は、自然を記述するのが第一の目的であるが、そのために複雑な系も単純化・モデル化によつ

て限られた条件にして扱い易くすることで、より厳密な研究を可能にしている。そして、工学は、科学を人間社会に還元することが、第一の目的である。個々の現象を厳密に調べることで、一般的な条件のもとで、実験から得た経験則的な類推を用いて、研究を進め、その目的を達成しようとするものが工学ではないだろうか。

新しい物質を求めて手当たり次第に 反応を探求した初期の化学研究者

歴史的な流れを異にする化学

今までは主に物理における理学と工学を述べてきた。化学については、成立ちや現状が物理と異なるので、ここで、化学について述べていこうと思う。

化学分野は、最初は手当たり次第に物質に熱だの光だのを作用させて“どんなものが出るだろうか”また“どのように変化したか”を知るものだった。例えば、炭酸マグネシウムや炭酸カルシウムは、熱したり酸を加えると、燃焼や呼吸に役立たない気体が発生し、質量が減るということが、理屈よりも何よりも先にブラックによって発見されたことから分るだろう。このように多くの反応が発見され、ある程度多くの反応に当てはまる法則なり理論なりが組み立てられた。質量保存の法則や定比例の法則、倍数比例の法則などがそうである。また、

これらの法則をうまく説明しようと、原子論や分子論などが出てきた。しかし、理屈を厳密に分らなくても、反応の研究は可能だ。従って最初のうちは、原子論や分子論などを扱う側と、反応のみを扱う側（アニリン合成の発見も偶然によるところが大きい）とがそれぞれに発展した。しかし、18世紀後半から計画的な合成や反応が行われるようになって、相互が関係するようになり、化学という学問体系ができあがったのだ。

つまり、物理は本来、自然現象を調べ、記述していくものであり、その記述に基づいて応用を考えていくことが多い。ところが化学は、反応をまず見だし、その反応を中心として、また新たな反応を見つけ出す一方で、その反応を理論的に説明していくものであるようだ。

次に化学研究の現状を述べていきたいと思う。

分野によっては理学部、工学部にかかわらず 同じ研究をしているところもある

化学研究の現状

現在、化学の分野では、理学が工学かということを簡単に区別することのできない研究が多くなっている。多くの先生方を取材してきて、それぞれの研究が、様々な形で、理学的側面と工学的側面を合わせ持っていることが分った。その中でも比較的理学的特色の強いと思われる研究の例として、宮崎教授（化学科）の研究が挙げられる。宮崎教授は固体表面における反応での異なる分子生成メカニズム、化学吸着について研究されているが、化学吸着の理解のために電子分光実験を行い、また分子軌道理論と、大型コンピューターを利用して追求している。さらに複雑な表面反応を単結晶を用いて単純化しどう反応するかを調べ、法則を見つけることを目標にやっている。宮崎教授は「自分は単純化してルールを見つけるという思考、性格をしています。結果について、利用価値が有るか無いかなどは、研究中は考えませんね。」と

おっしゃった。

また、工学的と思われる例として、大塚助教授（化学工学科）の研究を挙げよう。大塚助教授はメタンを化学原料に使いたいと思い、触媒を使って、いかに低い温度でC-H結合を切るかを研究している。また、さらに効率の良い触媒の開発にも意欲的だ。大塚助教授は「工業に結びつかないとおもしろくない。」とおっしゃっている。

また、理学的な研究から工学的な研究まで密接に関連させながら幅広く手がけている例として、田附教授（資源化学研究所）が挙げられる。分子に光を当て、励起状態での相互作用（電子移動、エネルギー移動、励起錯体生成など）を蛍光法を主な手段として研究しているのは理学的な研究であろう。工学色の強い研究の例としては現在、磁気で行なわれている情報記録を、光で行なう方が記録密度の点などで有利であるので、可逆的に情報の記録と消去の出来る光反応の研究が行なわれている。

一人の人がどちらもできるというのは、化学ならではのことはではないか。

理学部、工学部にかかわらず同じ研究をなさっているところもある。八嶋助教授（化学科）と小野教授（化学工学科）がそうである。このお二人はゼオライト（注8）を研究されている。八嶋助教授はすでに発見されているゼオライトの触媒作用を調べている。ゼオライトの結晶面での反応をみて、性質の応用、特性を一層際立たせる様々な手法について研究している。小野教授は、触媒の素材と反応機構についてと、ゼオライトを合成して役立たせられないかどうかを調べている。二人とも、構造を理解して触媒反応の研究をしていることに違いは無いようだ。お二人は、一日おきぐらいに会って、理論についての交流を交わしているようだ。どう違うのかお聞きしたところ、「あまり変わらないと思います。ただ工業的に有用かどうか考えるか考えないかという意識の違いがあるかもしれませんね。」（八嶋助教授）「化学科と化学工学科

が同じでも違和感はありませんね。学会でも理学の人も工学の人も半々ですし、触媒に関しては理学部の人でも現実の応用がいやでも目に入るものなんですよ。」（小野教授）ということだった。

また、最近では、工学部でもかなり基礎研究が多く行われている。触媒の分野では、作用の応用よりも、「なぜ作用が起こるかに興味を持ち、現象の追求をしています。」（森川教授（化学工学科））という先生も多い。

このように化学分野では、扱う現象を幹として、理学と工学の技が、密接に絡み合って伸びている。そのため研究者の意志によって、理学的方向にも工学的方向にも研究を進めていくことができるのだらう。

注8 酸化ケイ素と酸化アルミニウムの結晶。触媒として用いられ、また分子の大きさやPHによって反応に選択性を持たせることができる。

反応の根本を探る量子化学や化学的追求が なされていたなかった生物化学への展開

今後の化学研究の流れ

このように理学と工学が同じ土俵の上で研究をしているかのように思われる化学分野であるが、最近、量子化学系や生物化学系に進もうとする傾向が見られる。反応のもとになっている電子の挙動を追求して、反応の根本を探ろうという量子化学への流れと、今まで化学的な追求が行われていなかった生物の分野に足を踏み入れて、生体内の反応について、化学的な解明を行おうという生物化学への流れである。例えば、量子化学の流れとして

宮崎教授が挙げられ、生物化学の流れとして大倉助教授（生物工学科）が挙げられる。大倉助教授も、触媒モデルの研究を行っているが、錯体触媒の研究をする上で、一番理想的な情報を与えてくれる生体触媒へと研究の中心が移ってきた。昔からある量子化学のみならず、生物化学の方にも研究が広がってきたというのは、今、バイオが盛んになり東工大でも生命理学科と、生物工学科ができ、それら二学科は、化学科または化学工学科からの振替講座が多いことから分るだらう。

今回の記事で述べてきたように、理学と工学は、分野によって異なった扱いを受けていて、一旦に理学と工学というように分けることができないと思われる。特殊に発展し、融合、分離してきた分野もあろうが、やはり理学は、自然との対話のために始められた、人と自然をつなぐ学問であり、工学は自然から、学んだことを利用するにはどうしたらよいかということを考える学問ではないだらうか。次号では、理学のための工学、工学のための理学という観点から、さらに、理学と工学の在り方について深く探っていきたいと思う。