

熱非平衡下における 自己発展現象の科学



お茶の水女子大学理学部
森 義仁

—— まずお聞きしたいことは、小グループを提案していただいた経緯、すなわちこの分野のそのころの状況、そして何をやりたいと考えてそれを提案したかをお話していただきたいと思います。

森 1997年のあの当時を振り返ると、非平衡系のなおかつ非線形性のある現象の実験系はきわめて限られてはいたものの、一つ一つは有名であり、例えばBZ反応などは、化学の人は知らなくても物理の人、数学の人は知っているという意味で限られた実験系でした。しかし、よく考えてみるとそのように非平衡に持っていったときに非線形性が出るということは、理論の専門家から見れば当然であって、実験系のなかをより注意深く観察するとこの非線形性なるものを取り出すことができるだろうと私たちは考えました。私たちの小グループが発足したときの世話役が中田聡さん、代表が甲斐昌一さんであって、私は二人の補佐役でした。代表が世話役のどちらかが休むときは私が交代しましたが、その世話役の中田聡さんと共著で大胆にも「非線形現象」という本を書いたところ、まだ若かったということもあり「君たち、そんな若いのに本を書いたらいじめられるよ」などと言われたものです。そのとき、私たちは実験系だったからいろいろな実験系を集めてみようという主旨で小さな本ですが、この本を書いたというわけです。その際に共同研究者を集めようとしたが思ったほどは集まらないということがあり、中田さんとその本を書いたあとに「これだけしかないのであれば、私たちも化学などの自分たちの専門分野にこだわらずに、さまざまな実験系をコレクションしていこう」と考えました。この目的の一つとして、化学以外でも化学工学、物理学などのとりわけ実験系の人たちが集まる場所というべきものを作り、本人が専門としていなくても、このフィールドではこのような実験系があることを情報交換するための場所とすることを目的としてスタートすることでした。

—— 化学は私にとって必ずしも得意な分野ではないものの、化学方程式は明らかに非線形であると言えます。しかし非線形ではありますが平衡状態だけでやっていると、運動を考慮する必要がない。ただ平衡方程式を解くだけだから決まった値しか出てこない。非線形性が重要になるのは、それが時間に依存するような場合です。通常、化学系は放置しておけばすぐに平衡状態に移行してしまい、時間に依存しないので、何かを流し込んでそしてできたものを取り出すとそのような系を作れば非線形性が出てくる。物理では非線形・非平衡とは、常にペアになって現れるとして、化学反応の特徴を見ていたということは考えられます。

森 指摘の通り、化学とは一方では工業、化学工学とも呼ばれているきわめて幅広い分野です。連続的にタンクに原料を流し込んで生成して出すような分野の人たちと接触しつつ、また一方では平衡系の理論の人たちがいた中で強く支持されていたのは、平衡近傍で手堅く研究を進めていく方向

性だったと思います。例えばそのようなフロー系と言われているエネルギーを注入して排出するシステムでは何が起こるか分からないという問題があるので、よく分



かっているものを選んだわけです。エネルギーのフローができると、私たちが注目したことは、いわゆる分岐の向こうでの不安定性の結果に何らかの秩序を見出すことができるかもしれないということです。ところが化学工学では、そのような分岐の向こうは不安定だから工業的には使えないとされています。化学は、化学工業とつながっていて、化学実験などで分岐の向こうまでの実験をしたことがあったとしても、あまり大々的に発表することはなかったように思います。

—— 私はそのときには化学分野で新しい動きについてまったく知らなかったのですが、そのときにはすでにプリゴジンがノーベル賞を受賞していました。さらに物理学では、私は、京都大学基礎物理学研究所の研究会「カオスとその周辺」の世話人をしていましたが、そこではブラッセレーターも出てくるし、BZ反応、散逸系のパターンなどのさまざまな発表もあるという様相でした。そういう意味ではカオスと関係した研究で、典型的な非線形反応がたくさん現れました。だから化学ではこの分野の研究者が次に何を新しく提案するのかについて大きな期待があり、それは物理学の新しい提案と比較してどうなのか、違いは何かなど興味はつきませんでした。

森 その当時は、おそらく今の質問に答えることはできず「さまざまな実験系を見つけるべきである」という程度と考えていました。それはそれまでの報告書や提案にもそう書いてある通り「まずは集めてみる」ということだったはずです。その後、エネルギー変換や物質の変換、情報の変換などの何らかの変換に使うことができるかもしれないとの考え方になってきました。ところが最近になって、われわれが求めてきた使い道はこうではないかと考え始めたのは、非平衡系を作るためのエネルギーを別に用意しておいて、実際は外部からのきわめて小さな刺激が流れを大きく変えるというシナリオです。つまり、まさにハチの一刺しで死んでしまうような、そのような使い方ができるのではないかと考え始めたわけです。この研究会を通してさまざまな分野に接触した中に、一つは磁場を研究しているグループ、それから重力の研究グループがありました。それらのプロジェクトを見ると、どうも非平衡系の実験系とは、磁場や重力について、本来ならば分子にはきわめて小さい力しか与えずその温度揺らぎに比較すればきわめて小さいのですが、非平衡系にすると何らかの差を見出すことができるかもしれないという期待があるということが分かりました。本来、非平衡系とは何らかのエネルギーを大きく変換するものと考えていたのがそうではなく、エネルギーは別に供給しておいて、外部から来る小さな刺激を内部に取り込み、その大きな流れを変えるという使い方ができることでした。このように見てくると、われわれ生物が体を維持するエネルギーを別に食べて取得していることも理解できるわけです。

—— ATPなどですね。

森 そうです、グルコースを取っているわけです。それに加えて微小な光や接触になどに遭遇したときに大きな変化が現れるのは、もともと別に用意したエネルギーを使って変化しているという

ことです。私たちのグループはこのテーマについては多少の蓄積があって、何が新しいかを示す必要が生じた際には提言とまではいかなくても話題を提供することはできて「そんなことをやっているグループがあったのですね」と感心されました。その当時、何を目指していたかという、やはり小さな情報を大きな変化として出すという、実験として使えるものを探していたということであると、現在では答えることができると思います。

——— あのところ、私が化学の実験として持っていた知識は、大学の演習の実験程度のもので、ここではAとBをある温度とあるpHで混ぜるとCとDができる。そこで温度とpHを変えていくと反応がさまざまに変わっていき、生成されるものも変わる。環境によってできるものが変わっていくのが、単純に考える化学であるということくらいでした。ところが、そのCとかDが物質ではなく回転のエネルギーであったり電気エネルギーなどのさまざまな形態のエネルギーであったり、またそれが色などのインフォメーションであったりする。そのような現象は、化学反応とは別のインプット・アウトプットを持つ外部の機器と組み合わせると、電気回路と結合した化学反応体としてきわめて役立つこともあるのではないかと考えられ、このグループはそのようなことを目指しているのかと思っていました。

森 私たちが、理化学研究所の時空間材料を研究する原さんたちのグループと接触したときに、私たちがやろうとしていることは、かたちが自発に出てくる領域であることが分かりました。そのような領域は、材料としてはきわめて危険で使いにくいというのが、材料工学の分野の人たちがしばしば指摘することです。それでは本当に何も使い道がないかということではなく、一つには、分岐がどこでどのように起こるかが分からないから、それを調べることで自体が化学工業として使えるかもしれないという話になりました。

——— そのように非線形非定常性が入ってくるとコントロールがきわめて難しく、プロの化学者でさえコントロールができないことになる。私が化学を嫌いだった理由は、教科書に書いてあるような指示で「大体これくらいでいいだろう・・・」などと考えて、ほんの少し手順を間違うと、答がまったく違い、こうなるはずだった解答にならないわけです。化学実験で教科書に書いてあるようなものは、ほとんどできたためしがありませんでした。科学とは、繰り返してやれることが一つの条件ですが、私の化学実験はほとんど、それこそ非科学的とも言うべき結果となって、何度やっても違う答になるほど不安定なものでした。

森 そのような化学反応、例えばその日はどうも右手でピペットを使っていたとか、混ぜる順番を少しだけ右手で入れるほうが早かったなど、そういうことで結果が変わってしまうことがあるということは私たちがよく知っていることです。そのようなばらつき、あるいは本当のばらつきは「ゆらぎ」と呼ぶべきですが、それらはどうしても再現性がないとされます。ところが、このような非線形性があるときは「引き込み」を使うことができ、Aという状態とBという状態が本当は50パーセントずつで出てくるところを、外側からの刺激で、例えば片方だけを100パーセントに近い状態で作ることができるかもしれないということが、あの当時のアイデアにありました。

——— 確かにそう言われればその通りです。通常、不安定とは、物理で言うグラス状態であり、あたり一面にエネルギーのローカルミニマムであって、どの場所に落ち着くかをコントロールできないということがあります。ところが、非線形性があるようなものは、エネルギーを定常的に流すとすると、例えば雲のパターンのようにいつも準安定なパターンが出ます。雲は、放っておけばどちらの方向にちぎれ飛ぶか分からないのにもかかわらず、ある風速で流すときれいにパターンが出てきます。それらも「引き込み」と言うべきですね。

森 そうです。外部からの小さな刺激をもってして、その全体のばらつきをどこかに集めてしま

うということができるという考えで、きわめてプリミティブな実験であります但し引き込みの実験はあります。これが工業レベルまでに行くためにどうすべきかについては、まだ解答を用意できていませんが、引き込みを使うと非平衡でもたくさんの結果が出る、そのたくさんの中から一つの状態をセレクトするということができると考えています。

——— 理論的に予想する平衡状態に持っていくときのコントロールはたいへんかもしれませんが、非線形性を使って引き込み点に行かせるという方法があります。したがって引き込み点をコントロールできるようなパラメータがあれば、パラメータで調節できる範囲においてはコントロールができるということですね。それはそれとして、非線形性を持つ系にエネルギーを流し、そこで微細な刺激を与えることによって大きな結果の違いを得ることについて、どのような興味深いことが具体的にありますか。

森 例えば振動体がそうです。流体现象では塩水振動子という中田さんがやっている研究もそうですが、化学振動反応に光で刺激を加えると大きくフェーズがシフトしてしまうことが挙げられます。振動子間に位相差が生じるわけです。例えば同じ光の量でもピークで与えると何も起こらないのが、底で与えるとしばらくしてから次のピークが来るはずが、いきなりピークが来るなどです。小さなエネルギーをもって、フェーズに大きなシフトを起こさせるということです。その話は私たちがあの当時、勉強不足だったのですが、アメリカでは「時間医学」という考え方が提唱されています。話がそれてしまうかもしれませんが、アメリカでは時間帯は三つぐらいあり、それにもかかわらずインターネットや電話できわめて実際的な時間差がなくなってきていて、人々は24時間働かなければならない。そうすると、もともと人間が持っていた24時間のリズムが崩れて事故が起こるようになってきた。そこで、その人間のリズムと労働をどのようにすべきかということを経験的に研究したことがあって、そこから出てきた話です。最近、日本でもよく聞かれる、朝日を浴びるとフェーズが戻るという話があります。それはおそらく今の話と関係のある実験から来ているわけであって、夜に光を浴びてもフェーズはシフトせず、朝に浴びるからフェーズがもとの状態へシフトするという。当時、私たちがやっていた研究として、どこを叩いても同じことが起こるのではなく、ある箇所をある大きさで叩かないと何も起こらないという現象にもつながっているということがありました。小さな振動によって、全体の大きなリズムがどこかへずっ飛んでいくということが起こることを、私たちは独自の結論として提唱していました。

——— 長谷川建治さんたちのゾウリムシなどに光をあてるサーカディアンリズムの研究にも関係しているかもしれません。

森 そうです。

——— 先程の話では、これに加えて他に電磁場や重力がありましたね。

森 一つは磁場ですが、磁場の研究者と一緒にやった自己触媒反応についての研究です。分子が小さく、温度ゆらぎと比較するとそこに作用するローレンツ力はわずかなので、化学反応に磁場はあまり有効ではないと言われていたのですが、例えば触媒反応などはきわめて巨視的な量として効いてくるというデータが少しは出ているわけです。それは果たしてローレンツ力によるものなのか否かについてはよく分からないところですが、最近になって少し結果が出てきているという報告があります。非線形性を見つけることができるということを独自に考えていた神奈川工科大学の本田さんたちは、さまざまな系を開発していて磁場の中に入れてみて、本来は化学反応ではあまり効かないと言われていたのですが、非線形反応では、大きな変化が観測できると主張しています。

——— 今までの化学の立場で見ると、以前はそうでなかったことが今はそうであると見えてくることはあると思いますが、生物学からすると生物学の基本的な活動とは化学反応であり、そのなか

には磁場もあれば電場、光、音もあり、それが何らかのある影響を与えて化学反応をコントロールし、それがまたエネルギー変換で電気を作り、それが信号になって今度は情報になって脳に行く。そうすると、今まで化学について言っていたことは生命を見れば、もうすでに行われていることです。したがって化学者が生物から学ぶことがきわめて大きいと思います。私は最近、生命の起源というテーマで実験を始めて、嫌いだった化学がにわか好きになりました。化学とは実に奥が深く、いかにお目当ての反応を起こすかは、その人の腕によるかもしれないのですが、とにかくありとあらゆる事が起こるものであるということが分かってきました。その中で最も奥の深い系の一つは、アミノ酸で作る系です。生命がかくも複雑なことを起こすことができるようになったのは、さまざまな可能性をその系が持っていたと考えられます。どういうことかということ、最初はAとBを足してCとDができる普通の化学反応などは、ある有限の状態ベクトルの変化過程のようなものだったのですが、アミノ酸が生物においてどのようなことを行っているかを見ると、そのような有限のベクトル過程ではなく、ある長さになって高次構造ができてくると、この高次構造を持ったものが別の働きをし始め、新しい化学反応を誘導し始めます。そうすると、今までアミノ酸の一次元のチェーンだけで考えていたものが、二次構造、三次構造、四次構造と今まで考えてなかったような系を次々に組み立てていくわけです。そもそも化学の実験は、生物ほどは行っていないということです。

森 高次構造は高い次元の構造ということですか。

——— 一次構造とは、ただ20種類のアミノ酸がどのようにつながっているかということです。二次構造とは、一次元的なものから少し幅が広がった、アルファヘリックスやベータシートのことです。ところが、そのアルファヘリックスやベータシートなどを折り畳んだものが三次構造です。そこでこの折り畳んだ固まりのあるユニットが今度はパックしたものが、四次構造になったわけです。もちろん現実の空間は三次元だから、普通三次元構造であります。三次元構造の中にさまざまなスケールがあって、そのスケールごとに高次構造が作られます。今は何次構造までありますか。

森 四次構造ぐらいです。

——— これはたいへんなものです。現在の化学でコントロールすることはとてもできませんね。

森 そうですね。構造ということでは、次元が一つ上がり、面が入ってくると新しい非線形性が入ってくることになり、二次だけでもそれだけの新たな要素が現れ、それが三次、四次になってくると、いったい何が出てくるか分からないということになります。そこに期待はするものの、しかしそれをどう理解するかが難しい。その新たなことを受け入れることができるか、どう理解するか、あるいはどうコントロールし、どう使うかという話になります。制御しないとまともに使えないからそのように複雑なものをどう制御するかは、興味のつきない問題になると思います。

——— 例えば電気回路はスイッチを入れると電流が流れ出し、アースにつなぎ、電流を流し続ければ、メーターがさまざまに振れたり、何らかを計算したりするわけです。化学とは、今までは壺に放り込んで待っていれば、煙が出て何かが生成されて終わりという感じでした。しかし化学反応の時間発展を考えれば、生成されたものは次の反応に出ていくので電気回路のようにものを流し、巡回させるなど、化学実験自体がある種の高次構造を持つようにならなければならず、高次構造を持ったリアクターのようなものが考えられます。

森 界面を作るとは、その界面で化学反応ができるということです。それが、三次元でいうのであれば球状にすることができます。以前は細胞膜と同じ組成を持つ袋状のものを作るときには、1マイクロメートル程度のものを作るのが精一杯でした。それは顕微鏡で見ることにはできないので、見るためには何かで固定しなければならず、リアルタイムで見ることにはできません。ところが最近、ジャイアントビベジクルというどちらかという物理系の人たちが始めた方法で、それは数十マイ

クロメートルの大きさなので光学顕微鏡で見ることができます。そのサイズでは、例えば人工授精の装置を使うことができます。ピペットでこちら側から袋をトラップしておいて、小さいガラスの器具で内側にさまざまなものを入れていくか、もしくはその球1個を、トラップしておいてその袋にある種の化合物を入れるということです。あるいは、表面に化学修飾したければ、表面に反応性の薬品をかければ表面が変わるわけですね。このような実験が、ここ数年注目を浴びてきています。化学よりは物理のほうで、こういう試みがされ始めています。

——— そのボールの組成は何ですか。

森 リン脂質でできており、まさに私たちの一個一個の細胞の膜とまったく同じ組成、種類の物質でできています。それを、中が中空のまま数十マイクロメートルまで作るとは現在ではできません。そうなってくると光学顕微鏡で見えますから、例えばその中で酸素反応が起こるとき、表面にどう近づいて表面はどう変わるかが分かってきました。もう一つ、化学反応から見るとおもしろい問題は、数十マイクロメートル程度の空間はビーカーとは違い、表面の効果ということがきわめて効いてくることになります。例えばわれわれは線形と考えていましたが、そこに表面の効果が入ってくると非線形になるかもしれないということは考えます。

——— ただたんに非線形が見えるというだけではなく、そのようなボールが何らかの特殊な、きわめて特別な活性化や特別な役割を示した例はありますか。

森 そのような小さな空間について、私はまだ知見がありません。そのようなボール中で反応を起こさせる方法では、例えば酵素を入れるなど、実現したのが1997年で今から6年前であり、これからそれらが出まわり始めると考えられます。

——— フラーレンについては、その中に物質を入れ、これを集めると超伝導体になるなどの現象があります。

森 そのあたりにはたいへん興味深いことがあり、大きさが細胞と同じサイズであり、偶然かもしれない一致があります。

——— これは今までの話題に関係ないかもしれませんが、私たちが、タンパク質を高温・高圧で分解する実験をしていたとき、すべてがばらばらになる前に途中で安定な部分が残されたことがあります。それは疎水性のアミノ酸でできていて、疎水性のアミノ酸はなるべく表面積を小さくするためにパックします。したがって疎水性のアミノ酸と親水性のアミノ酸とを混ぜて高温・高圧にしておくと、予想として疎水性のアミノ酸だけでパックしてボールのようになるのではないかと考えられます。そのボールの表面が何らかの活性化機能を持っているならば、高温での反応にたいへん興味深いと考えます。

森 それは高分子の毛玉のようなものです。そのような存在は反応をするもの自体であり、なおかつ反応の場所を与えています。私たちが今まで非線形性なる現象としてよく見てきたことは、均一系であり、ひもが絡み合ったボールの中のような反応場とは違うということです。先程の袋状の中も、実は均一系であり、壁が近くにあり、境界が中の反応を制御しつつあったわけです。そうすると、ボールといえども、細胞はなぜあのような形状をしているかという問題と重なります。ボール自体も反応し、なおかつ場所を提供している存在です。反応すると場所が変わり、場所が変わると反応が変わる。そうすると場所と反応はカップルしていると言えます。ところが、われわれの化学実験とは、ビーカーの中でどんなに反応が起こってもビーカーの形は変わらず、そしてその入れ物の形はあくまで人間が与えているものであり、あまり真の化学反応と関係がないことを今までの化学はやっていたと言えます。きわめて軟らかいボールは、中で反応が起こってもものが

入ってきたりすると膨らんだりへこんだりします。さらにその中の反応がごくわずか変わると、本来の液の入れ物がまた変わるということが起きます。そのように入れ物と中身がやり取りしているということであり、このような現象を最近では「グローバルカップリング」と言います。そのような本来は環境と言うべき境界条件とやり取りする実験系について、最近になって非線形性と言われている実験系の中でやり始めています。

——— それは限りなく生物学的になってきましたね。

森 その意味において、周囲を取り囲んでいて本来入れ物だった境界と言うべきものが反応するということと、相互作用しつつ時間発展してどこへ行くのかが、最近の新しい視点であると考えられます。

——— ここで話題を戻します。これまでの化学反応は化学式が一つであれば、ほとんど分解するか成長するかということが起きます。二つあれば、規則的な振動もあり、三つになるとカオスができます。BZ反応も、基本的には三つ程度の式で書けることになると考えられます。このように考えると、より複雑なことをやりたいのであれば、より多くの式を立てることを考えます。このような化学反応系を、力学系と考えて、自由度がNの系という具合に化学反応を集めることはできましたか。

森 三次元以上ではカオスが出るので、そういう意味ではBZ反応と言われているものは出ます。

——— そうするとその次に金子さんが述べた通り、カップルドマップラティスのように結合して空間的に広がるから、各点がカオスですが結合するとパターンが出ます。BZ反応もそのように考えられます。

森 カップルドオシレーターに関しては、今から2、3年ぐらい以前に三つまでは共同研究を行いました。サイクリックにつないでみると、例えば3変数力学系では出ないモードがたくさん出てきます。四つ、五つを計算することは簡単ですが、前述の通り、やはり非線形性が強くなると、その多重安定のさまざまな状態が同時に現れてその数が増えてくるということです。

電気化学の分野だとカップルドオシレーターを作ることはきわめて簡単です。例えば金属の棒を何かを溶かした水溶液の中に入れておけば、それでオシレーターになります。もちろん、一方がプラス電極であれば反対側はマイナス電極になるので、2種類の金属を水の中につければ、その選び方にもよりますが、その二つで一つのオシレーターになります。そうすると、その組でオシレーター一つであるからたくさん差し込むのは容易で、片方の電極は共通でいいので共通なものを一つと、その電極を100本入れれば100のカップルドオシレーターになります。相互作用の仕方はきわめて簡単にすることができて、例えば隣りあう電極の間の水の中を、その電極表面にできたものが拡散するものもあれば、何らかの刺激電極をかけておくと、その刺激電極はそれぞれが、それぞれのオシレーターの状況を反映します。この系は中にいるメンバーのそれぞれの状態を介して環境で相互作用をするということです。その発想は、実は環境問題と同じであって、例えば車で走るということは、お互いにはあまり関係はしていないけれども、それが全体として環境に影響を与え、われわれを規定している環境は大きく変わり、またわれわれに影響を与えます。先程それを「グローバルカップリング」と呼びましたが、そのような相互作用もあるということです。だから、このようにたくさんのことを行うということは、電気化学ではきわめて容易ですが、さまざまなことが現れるということがあります。2個のカップルドオシレーターの先にはわれわれの脳の存在を想定されているようですが、そこに到達するのはまだまだ先のことです。われわれの脳がいかにかたくさんモードを持っているかについては驚嘆すべきものがあり、三つでも10近いモードが現れ、それが10の何乗となると、いったいいくつのモードがあるかについて考えると気が遠くなります。

—— よく分かりました。本当に何らかの共同現象や非線形現象を見たいと考えるのであれば、自由度を減らし、またきわめて低温であるなど何かある特殊な環境で実験しなければならず、容易なことではなかったということですね。

森 このように、わずか三つ程度で実験したときでも驚嘆しました。

—— 実験方法について私は昔の実験しか知らないのですが、現在は驚くほど生物的な環境での実験がありそうです。私はイメージーションとして、フラスコやピーカーがあり、コトコト温める昔の実験のイメージしかないのですが・・・。

森 特に大きく変わってはいませんが、一つは「反応拡散対流系」という装置です。今まで化学反応とはピーカーの中でよく混ぜるということであり、その後には濃度差も圧力差も生じないので、流れもない。ところが最近では高度な画像処理を使ってさまざまなことが分かるようになってきました。例えば対流とカップルさせる、あるいは拡散とカップルにさせるという実験がたいへん増えました。先程の話に戻ると、単純には対流、拡散、反応のそれぞれの成分が独立のものとして扱われますが、実際はそうではなく、その反応が動けば対流も変化し、対流が動けば反応も変化して、またその「結合状態」も現れます。そのような非線形性を全体のパターンとして見ることができます。昔であればきわめて高価な器械が必要でしたが、現在では実験系で画像処理をするために普通のパソコンでもきわめて容易にできるし、反応の速さを選べば、現在の画像処理で1秒間に30コマ程度であり、例えば振動反応では周期が30秒か1分近くあれば、このような対流や拡散をカップルした化学反応系を十分な解像度で見ることができます。現在、欧米での様子を見ると、対流や拡散がきわめて反応と対等な関係になってきており、全体として複雑なパターンを作るという実験が多くなってきて、とりわけ対流が関係する場合は、重力がない場合ではどうであるかという実験に発展しているようです。

—— それは限りなく流体力学に近いという感じです。したがって計算できるのではないですか。

森 そこで興味深いことは、化学反応がカップルしていることです。

—— そもそも化学反応は何を変えているかということ、ローカルに熱を発生したり、密度を変えたりということですね。

森 そうです。それに加えて拡散も入ってきます。

—— ところで最近、日本はノーベル化学賞を連続的に受賞しています。そのようなすばらしいトピックになり得るような、これからこういうことをやりたいというプロジェクトがあれば述べてください。

森 一つは、例えばこのような非平衡の非線形です。私たちが研究している領域からの分岐の向こうは、言葉を変えて言うと爆発です。だからそのような爆発する領域で何が使えるかは、私たちが解明していかなければならない問題であると考えます。もう一つは、その分岐の向こうには多くのモードができていて、引き込みが使えるということです。そうすると、今まではかなりさまざまなモードに状態が分散していたものが、あるモードに集まってくるということです。それを巧妙に使えるような状況を作ることができると、私たちもその化学工業などに寄与できるという期待は持っています。

—— ものを作るときには通常、ものを作る機械とそれによって作られる物質とその原料とがあって、機械は機械で、原料は原料で、それぞれが別個にコントロールします。化学反応ではそれを分離することができてなくて、機械が原料になっているところがあります。ものを放り込んでそれを

次々に流しているうちに、それらが自ら反応し、自らできたものが出てくるという方式です。だから、それはよくコントロールされないときわめて難しいことになります。化学反応がコントロールできると言うとき、理論の人たちがコントロールしているというレベルはずいぶん単純であるように見えますが、生物の化学反応を見るときわめて高等なところでコントロールしています。ああいうところのコントロールの概念、方法論は、おそらく私たちのようにローカルに化学反応を組み立てる立場の者が考えることとは違い、熱力学的な何かの原理があるように思いますが、どのように考えますか。

森 理化学研究所の原さんによれば、半導体を作る思想では生物を作ることはできないということです。生物はある程度のところに答を集めますが、厳密には一つにするということではできないものの、大きく外すということはない。半導体は、集めるときは厳密に同じものを集めますが、しかし外すときは大きく飛んでいくということです。このような性質はおそらく、私たちから見ると「多重安定」を指しているのだらうと考えます。だから不安定と言われていますが、あの多重安定をどのように使うのが重要なところと考えます。単純安定だからよしとされるのは、半導体技術の場合で、私たちがやるとするとその多重安定をどう使うかということが問題の本質です。例えば生物のように、大きく外さないがある程度のところに集めるという答です。

—— 半導体のように、明確に作る目的がどこにあるか分かっていると、それを作ることもできますが、生物では、何々を作りたいということではないですが、この状況の中で最も良いことをやりたいと思うところがあり、そうすると、半導体ではコントロールされた環境でやればいいのですが、生物のように常温で、しかもさまざまな熱雑音の中でやっていると、最も良いものではなくても、最も間違いのないものをとということになります。

森 原も同様のことを述べています。要するに、最も良いものは間違いが少ない。最も厳密な解ではなく、おおむねその程度の解をもたらすものである、と。そういう状況を形成しているものは何かというと、私たちは「多重安定性」に期待できると考えます。

今の話とはあまり関係ないですが、最近さまざまな「引き込み」のニュースがあり、サイエンス誌の記事に載っていたものの中に、オペラの会場での拍手のあの周期は、どこに合っているのかというものがありました。つまり、来場者が拍手を始めるときはまばらですが、音が大きくなるとみんな揃うことになる。それぞれが気にしていないのに、一つの大きな周期に揃ってしまう。それはいったいどこから来て、その周期はいったい何だろうということを調べるために、さまざまなオペラへ行くというなかなか気分のいい研究ですが、実験は終わったあと録音ですらしいです。それを解析してみると、国によって違い国民性が出ているらしく、やはり音が大きくなっていくとともに、周期が揃っていくというデータを出していました。他にも、例えば対談しているとき、相づちのタイミングが日本人と外国人では違うらしい。それはデータで調べた人に心理言語の研究者がいて、日本人の相づちのタイミングはアメリカ人にとって不安らしいのです。聞いてないのではないかという不安です。また、もう一つの話は音楽の先生によるもので、リズムは周期性とは違うという話をしていました。拍子あるいはビートとリズムは違って、ビートは同じ平面にくるくる回っていて、元に戻ると完全に同じで、リズムは時間のかたち、時間発展のことです。そういう時間発展の構造のことを音楽ではリズムと呼んでいるのであって、決して拍子ではない、と。そして日本の邦楽は実はリズムがないものが多いらしいのです。能も似ていますが、しかし時間の構造があってリズムがあるという。そのときに、人間は拍子なりリズムをコミュニケーションにどう使っているかという話を聞いてデータを比べてみると、意外にもBZ反応や電気回路に出てくるような現象とグラフがよく似ています。

—— 化学反応にはリズムがありますが、そのリズムとは大体アンプリチュードモジュレーション

ンです。通常、アンプリチュードあるいは密度の変化に対し、何かができることから別のことが誘導されたなどが起きているに違いないという感じがします。普通非線形というのはアンプリチュードの1乗以外、例えば2乗で出力されます。ところが、量子力学は線形だからリズムは、周波数モジュレーションです。さまざまな周期のものが混ざるからリズムができると言えます。ここに量子力学と古典力学的な違いがあると考えられます。だいたい化学反応方程式とはそういうもので、密度の2乗や3乗などに比例する項が右辺にあります。

森 われわれはそれを「濃度」と呼んでいます。

——— ところで研究には、さまざまな観点がある中で、先程挙げたものの中の一つは役に立つということでした。化学者や化学研究の話を知っていると、やはり化学とは役に立つということが基本であると考えます。というのは、素粒子の研究という分野では、とくに役に立つなどということはありません。それでは役に立つ科学ではない科学とは、いったい何かを先日佐藤哲也氏と議論した結果、それは人を元気にする科学だということになりました。化学にもそのように人を元気にする分野がないでしょうか。

森 私たちが非線形現象を、なぜ楽しく研究するかというと、一つには先程の「多重安定性」があり、予想外の現象に出会うことができる場所がおもしろく、それがあからこそやり続けることができるわけです。ただし大変なのは、どこにそういうものがあるかは分からないことであって、まさに落ち葉の中に埋まっている宝物を探そうとするに等しく、本当はないかもしれないしあるかもしれないというリスクが大きいと言えます。

——— そういう意味ではやはり鉱脈のように、容易に見つかるものではないから、やはりありそうな場所に行かなければなりません。例えば具体的なものとしてはどのような場所にありそうだと思いますか。

森 実験系を作るときは、界面との競合の一つおもしろい現象があると考えられます。界面の専門家は界面の研究だけをやっていて、境界中の反応とどうカップルするかなどはあまり見ようとしませんが、界面という現象にはおそらく真ん中に袋があり、普通は中の反応と界面の反応は独立に動き、全体としてはそれを加算します。しかし、私たちが非線形性と言うのは、そのような足し算プラスアルファであって、この反応とこの反応があるから出てくる項がどのようにつながっているかということに興味があるわけです。それでは、その界面とは細胞の、例えば代謝の化学反応のようなものが、そういう界面と真ん中の反応が全体として記述されているかということとそうでもなく、このあたりが相当に興味深いところです。各成分を足し算したところに本質があるのか、そういう各成分が同時に起こり初めて現れる非線形性が本質なのかということは、捉え方の違いです。非線形反応系を積極的に作ろうとすると、先程のように環境とカップルさせる実験系を作ることを試みたり、それから流れと化学反応を積極的にカップルさせるような系を作ることが必要になります。このようなことをしようとする私たちを、各成分に分けて研究するところに本質があると考えている人たちが見れば、ものごとを複雑にするだけであると解釈するだろうと考えられます。この点を私たちがどのように表現すべきかは、今後の課題です。

——— 工業化学とは通常、Aという安価なものやBという別の安価なものとを混ぜ合わせて、Cという価値の高いものを作るということに目的があります。ところが、今の説明では、Cというできるものだけでなく、ものができるそのでき具合、その配置などさまざまな関係を重要視し始めると、やはり見方がまったく変わってきます。

森 それは例えて言うと、湯川さんが私のいないところで何かあるテーマ、例えば私の出したテーマについてしゃべることがあり、あるいは湯川さんがいないときに私が勝手にしゃべることがあり

ます。それと比較して、対談したという経緯で生まれてくる内容には、実は対談しないと決して生まれないものがあります。問題はその点を本質と思うかどうかです。そして、そこを私たちがどのように巧妙に伝えるかにかかっています。

—— それは本当に素晴らしい考え方です。このインタビューに際して考えたのもそういうことです。私は以前、総研大の基盤研究所をくまなく回り、大学をどのようにすべきかをヒアリングしました。いや、もっと正確に言うとヒアリングではなく、一対多数の討論とも言えるものでした。そうするとどのようなところに驚きがあったかという、いわゆるアンケートなどのように先方に送付して回答を書いてもらう方式であれば、「私たちはこうしたい」と書いてはあるものの、いつも類型的な回答しか記入されず、しかも実際はその記載内容を見ても、こうだったらどう考えるかなど、意見がどの程度の柔軟性があるか、あるいはそれ以外に言いたいことがないのかがまるで分からず、ただ書いてあることしか分からないということになります。しかし実際に会って議論すると、やり方によっては次々に新しい意見が出され、外面的にはまったく違うように見えていた意見が、ある考えに収束して意見の内容がオーバーラップしてくるようなことが起きます。今回、私はこの対談のあとに具体的な研究の内容を書いてもらって、それを読むことによって研究を理解することができ、それはそれで大いに役に立つであろうと思います。でも、このように対談をして私の専門とは違う分野の専門家と話していると、今まではまったく考えていなかったような新しい考えに出会うことができ、間違っているかもしれないけれども、異質な人と異質な考えで議論をすれば、それについての答え方が、日常ではあり得ない展開となります。例えば相手が偉大な野依良治先生であれば、森さんに聞くのとはまったく違って、言葉を周到に選んで質問しなければならないのでしょうか、私と森さんであれば「いや、そうではないです」とか「本当はここがおもしろいのです」とかいろいろ言うことができます。自画自賛ではないのですが、そういう点では新分野の開拓でさまざまな人を集め、専門家でない者が専門家にいろいろと聞きだし「それは違うのではないか」などと言ったりする機会を設けることは、これ自身が作り出すとは言わないまでも、新しいことを作り出す基礎になる可能性はあります。

あるいは湯川先生はすでに何回かの対談において、例えば観察や測定によりその系が変わってしまうということを言及されていますが、今回の展開はその延長にあるものですか。

—— 今、言っているのはそういうことではありません。観測器で測定されるものと測定するものが相互作用をするということは、測定の一つの原理です。ところが測定とは、その強さをいくらでも小さくコントロールができるということを仮定します。ところが、このように人と人が相対して観測しようとしても、さまざまな話をしていると引き込みや、あるいは相手のほうが正しいと思ったら、そこに引き込まれてしまうということなど、ミイラ取りがミイラになることもあり、もうそうなるどちらが観測しているのか、どちらが観測されているのか分からなくなってしまいます。

森　私たちが大学院を出てこの分野の研究を始めたころ、非線形を勉強をしようすると日本語の教科書がほとんどなく、一つは戸田盛和先生による非線形振動論の本、それから工学部の先生が書いた非線形問題ぐらいでした。1994年ごろから複雑系とともに非線形をテーマにした本は次々に出版されましたが、それでも学科はまだできていませんでした。きわめて不合理であることには、化学は化学の、物理は物理の、生物は生物の中の非線形の問題をそれぞれやっていたという状況でした。先程も言った通り、非線形はどこがおもしろいかというと、本来、化学と生物とを分けているもの、それぞれの人たちが持っていることとは少々違うところにあり、化学、生物の非線形をおもしろいと考えている人をそれぞれ集め、それを一つのグループにしてみると、実は非線形とは、今まで各分野で考えられていたこととは少しずれていることが分かってきました。つまり、本来の化学につながっていたのではなく、それとは別に、物理や生物の人たちがおもしろいと考えていたところに、より近いことが解明されました。

——— このようなことを見ると、分野を化学、生物、物理などに分けていることがいかに間違っているかということが分かります。非線形現象とは、その分野にとらわれずに、どこにでもある現象であってそこには多くの共通性がありますが、ただその現れる方法や作り方が分野ごとにきわめて特殊な技術を要するので、非線形現象を見ていると、やはり分野という壁は足かせになっているということが当たっていると思います。これも非線形現象の研究をやっていて、まさに非線形現象の一つであると見つけた結果の一つといえます。

森　　そうです。私たち化学は比較的人口が多く、実験系の人々が同じ方法論で長い期間やっていることが多いのは、化学が幅広いからですが、ある側面では生物学と接していたり、またある側面では物理学や工学の諸分野と接していたりします。そうすると、その分野から非線形の話が出てきて、化学の中ではそれが取り込めそうにはなく、多くのものがそのまま蓄積されています。そこで化学の視点で見ると、その生物の分野の非線形性などが化学者として別の視点で見えてくるということがあり「ああ、まだまだネタは尽きていないな」と実感します。

——— 私はなぜ日本がノーベル賞を化学で続けてもらっているかという理由は、そんなところにあるという気がします。私は理論物理が専門なので特にそう感じるのですが、問題となっているところはすでに皆にとって問題であって、だれにでも問題だと分かっているようなところがあるわけです。だから多数の研究者が、例えばスーパースtringなどの研究に集中してしまい、一つの問題の方へ行ってしまうところがありますが、化学の場合はセレンディピティーというべき目をみはる、驚くようなことが現れたときには、もうそれがノーベル賞のテーマになっているという気がします。そもそも化学とは、いわば手品のようなものという感じがします。

森　　特徴がないことが化学だと言う人もいます。さまざまなことがそろっていますから・・・。

——— やはり化学はおもしろいと言えます。どこがおもしろのかというと、やはり入ってみないとどこがおもしろいかが分からなくて、他人に「これがおもしろいですよ」と言われ「これがこうしてこうなった。そして、これがこうなるのでおもしろい」と説明されたときは、もうそれは化学としてのおもしろさがなくなっているのです。実験をやっていて、あっと驚くようなことが出てくるからおもしろいのです。

森　　化学では、例えば温度を上げていくと、2倍になればこの程度になり、その次にはこの程度になるかなと考えていたら、どこかへデータが大きく飛んでいるということはよくあり「これはプロットに乗らないから発表しないでおこう」ということを聞きます。ここまでのきれいに書かれてこのように変わって行く、その部分だけは発表されますが「この点で、向こうへ大きく飛びます」あるいは「こちらから向こうへ行くと割れてしまいます」や「爆発します」という話は表に出てきません。実はそういうところを、私たちがつまみ食いしているというところがあります。そしてこれが耳に入ると、とたんに「それはいいですね。それでは条件を教えてください」と言い始めるのです。

——— 化学の実験で驚いたことがあります。私はある化学の簡単な実験をして、そのときに、アーレニウス則に乗せてみました。すると、その前の係数やベキ指数などの係数が10の10乗、20乗までになり、おそろしい数値になってしまいました。物理でこのようなおそろしい数値が出てくれば、絶対に間違いだと考えがちですが、実は私たちだけがそのような数値を出しているのではなく、教科書を見ると、10の10乗や20乗などはいくらでも出てくるのだということが分かりました。

森　　つまり化学実験とは、非平衡で行われることが多いのです。だから、おのずとそこに本来、それは失敗ではないいくつかのモードがあって、きわめて確率が低かったですが出てしまったことを見るがあります。それを失敗と呼ぶか呼ばないかというところで、化学を研究する人が幸せになるか不幸になるかが分かれていくと思われまます。私たちは平均値から外れた数値が出たときには、

喜ぶわけです。プロットしたとき、何らかの与条件を考えて結果がこうだと予想してプロットしていくと、この辺りに集まってきていて、そこで非線形の立場から見てある箇所で大きく変わっているところを探そうとするはずですが、したがってそのような実験はさまざまな人々が見たはずなのに、それをおそらくは切り捨てるか何らかの統計的な処理を加えているはずですが。線形という直線に乗ることから考えると、この点ではあまりにもあり得ないことが起こっているというわけです。可能性がゼロではなくて、あり得ないことが、きわめて可能性が低いことが起こっているから、本来のこの直線の関係から破棄しようという処理方法があります。そこで、これをどう見るか。おそらく、そのときにはモードという見方をすればある一つのモードが優勢であって、あとのモードはマイナーであり、この優勢なモードだけでシナリオを作っていこうとするわけです。

——— 私は物理をやっている化学をかじり始めた経緯があり、実験をしていると多くのデータが出てきますが、何を実験しているのかを自分で明確に把握しなければならないと考えるので、重要な化学式は書いてみて、それをシミュレーションします。パラメータを適当に与えるとフィットします。「あっ、このパラメータで大体フィットできている限りは、こういうことが起こっているな」と。ところが、実験においてシミュレーションの点をはるかに外れた現象が起きたとき、何が狂ったのか、間違ったのか、それとも新しい何かが起こったのかということを見るためには、本当はここでさまざまな実験をやり、またやり方やコンディション変えて実験し、チェックしなければならない。だから化学をやっている新しいことを見つけるというのは、たいへんなことだと感じています。

森　　とにかく、実験回数を多くやらないとたいへんです。

不審なデータが出たら、それは外してしまうという表現をされましたが、その外したときに重要なもの、新発見かもしれないものを振り落とすこともあり得るわけですね。

森　　そのような結果が出ると、コンディションを変えて続けていきます。それまではデータが直線に乗っているようであり、もしこの関係が直線であるとする、今回外れた点というのは確率的にはきわめてあり得えないので破棄するということがあります。だから間違いではなくて、可能性が低いという理由で外すことを選びます。しかし可能性が低いことが現れたことを、重要と考えるかどうかは大きな分岐点だと思います。

——— このような極端な結果が現れることについて高エネルギー物理では、一つ一つ粒子をぶつけて何が起こるかの事象を多数集めて、例えば10の8乗個ぐらいあればじゅうぶんですが、化学は10の23乗個の入れ物の中でやっているから、そのような統計誤差は物理に比べるとはるかに少ないはずですが。

森　　したがって起こり得ないことは、それこそ、あまり起こり得ないことになります。

——— そのようなことが起きれば、まずはプロセスが間違っていたかもしれないと疑うべきですから、再度やってみます。そしてまた同じ結果が出れば「もしかしたら、これは・・・」ということで、さらに三度目をもう一度やって、それでもまだこの値であったらどうすべきか。しかし、よく考えるとそのようなときには、とり得る値は散らばるものです。私が実験をやっているとき考えることは、そのようなときには自分で化学方程式を立て、この結果はどのような効果が効いたからこうなったのか、また、こういう効果をより明瞭に見たいならば、どのようなことをすれば見ることができるかを考えます。私は理論が専門だから、現象の奥にどのようなことが起こっているのかをイメージしながら実験を見ようとすれば、実際に実験が見えてくるような気がします。それをせずに、ただ実験でデータだけを見ていれば、何であってもしっかりと見えます。私が化学を楽しんだのは、化学では私は理論だけでなく、実験と理論を同時並行に行うことができ、その

点がおもしろいということです。

森 日本化学会に「非線形反応と協同現象研究会」があり、実際に来ているメンバーは化学だけではなく、生物、物理、数学、生物の研究者たちがこの非線形現象の研究会を年に一度行います。その研究会に参加する人たちは、年に一度会って、この現象について、あるフィールドではこんなことが最近の話題であるとか、あるいは自分の研究状況について交流する場所としています。

—— 私もかつて一度、呼ばれたことがあり「量子カオス、量子力学は非線形ではなく線形だからここで話題とすべきか疑問」と述べたことがあります。

森 あの活動は、日本化学会の年会において化学で言われているリズム反応などは特殊なことではなく、実は生物にも物理にもあることで、数学でもその研究者たちがいることは、ある程度は化学の分野にも知れわたっていることであり、化学の実験をどれだけ数学や物理の分野の人たちに知ってもらおうかということで「化学振動現象」というセクションを作り、そこが出発点になっています。化学の分野の人々だけが参加しているので決して数多くはないですが、定常的なセクションとしてこの小グループが同時期に設置されたということは喜ばしいことでした。だから、私たちが現在、呼びかけていることは「化学の実験で異常なデータがあれば、このセクションに参加してください」ということです。

—— しかし、異常なデータばかりが集められると「危うい化学」と評されて、危ない化学でサイエンスをやることになりますね。

森 本来的には何か化学実験があってプロットし、急に異常であるようになると「このようなケースは、見つけたらこのセクションにどうぞ」というわけです。

—— そこに常温核融合の研究者たちは来なかったですか。

森 来ませんね。

—— 常温核融合の研究者たちは、このようなセクションがあればすっかり勢いづくことはまちがいありません。

森 セクションは「振動」という語が付いていますが、それは実験結果のプロットが「この先で点」ではなく「振動している」ということであり「この点が、飛躍してここへ行った」あるいは「この点が、次の箇所まで極端に下がってしまった」あるいは「そういうデータでよく分からないような話題があれば、このセクションへどうぞ」というアナウンスでいつも毎年、運営しています。

—— そのような化学とは、あまり役に立たないもののように見えます。

森 それは確かにその通りです。

—— 科研費（科学研究費）などは付きますか。

森 化学の中では付き難いです。化学の中ではなく一度だけ、時限で非線形科学があるだけで、まだ予算が付かないところは危ないと言えるかもしれません。その境界が分かるということは必要なことで、その境界を越えるということは好ましいことではないものの、境界を越えて向こう側をどう使うかということは難しいことです。

—— 物理でも、生物でも難しいことです。私は化学の分野で、元気の出る化学というものがあるべきだと考えますが、最近、授賞されているノーベル化学賞をよく見ると、すべて役に立つ化学であると言えます。この意味では、基本的に化学とは役に立つかどうかで、その価値を判断されて

いる学問であるという気がします。ニュートリノ研究の小柴昌俊氏は、まったく役に立たない研究でノーベル賞を受賞しましたが、田中耕一氏の業績はさかんに使われているではありませんか。しかし化学は役に立たなくて、できるならば生物とより接近して、生物で行われているような化学の実験を化学の研究者ができるようになり、つまり、生物と同じものを使うのではなく、化学の実験の材料を使って生物の実験をできるようにすれば、これは素晴らしいと私は考えますが、将来の夢という意味ではどうですか。

森 一つは、夢なのかどうか分からないですが、役に立つという観点からすると、安全性やリスクの問題がさまざまところで現れます。あのリスクや安全性は、線形だとして予想を立てますが、現実には非線形なので曲線を描く、つまり曲がるので予想は当たらず、化学物質を取り扱う際の安全性の問題が出てくるときに、曲がる場所は重要であるということを、そのときに気付くだろうと考えます。科学において安全性やリスクという話は、私はそれをてっきりビジネス用語であると考えていましたが、化学の中にもキーワードとして入ってきたり、科学研究費の中にもキーワードとして入ってきたりする。けれども、そこで使われているのは線形の話に限られているので、本当に危ないのは曲がる場所なんていうところまでくれば、そういうところで少し役に立つ日も来るのではないかなと考えています。

——— 本当にどこで曲がるかを言うことは、経済においてバブルがいつ起こるかを予想することと同じ程度に難しいのではありませんか。

森 そこはおそらく、佐藤哲也氏によると、危なくなる直前の兆しです。佐藤氏はこのテーマの周辺、とくに分岐点直前のゆらぎの問題を研究していますが、長谷川博氏もそうです。

——— いろいろと他のグループのお役に立つことができそうですね。

森 そうです。小グループ各派との交流があります。長谷川氏とも今でも、年に2、3回行き来しています。また、あのインターアクションはきわめて良かったと思います。

——— そうすることで、大体時間も来たようですけど、いいですか。何か。

白川英樹先生のお話によると、実験をこのようにやるようにと指示していたのにもかかわらず、間違っ、結果的には千倍を入れたということです。それで、起こったことがまったく分からなく、しばらく混乱していたということでした。それから、これはあるいは非線形の最たるものかもしれませんが、金属らしき皮膜のようなものができたからそれをすくい取って、思わずその辺に転がっているテスターを当てた、と。

——— それでは電流が流れない。

電流が流れている形跡がまったくなく、そのときの振る舞いは科学者として恥ずかしいとコメントされていましたが、思わずテスターを当てるということは素人くさいわけです。点接触であるし、テスターの精度を考えるとまったく不用意ですから。後にきわめて高価な器械で、精密な測定器でやるとものすごいカーブとなって測定され、そのたいへんに高価な測定器が壊れてしまった、と。

森 私たちはそのような現象を分岐と言いますが、性質はそこで一度切れて、違うところへ行ってしまう。そのような飛躍というものは、通常はその前後でしか見ることができなくて、この間どのように飛んでいくかというところは、あまり化学などではやらないのです。実験するとき、その部分はずして向こう側を先に見ていると、とんでもない現象になっているということです。だから先程言及したように、ときにはこちら側とはまったく違う特殊な、質的にも飛んでいることが起きるので、こちら側からの延長についての研究がもう少し、化学のテーマとして定着すればよいのではないかと考えます。

—— その現象は、一次相転位のようなものですね。

森 飛んでいますから、予想できないわけです。だから、そういう何らかの「ケミステリー」というべきものが、もう少し普及してくるとおもしろいと考えます。

—— ケミステリーはきわめておもしろいのですが、さまざまな手練手管があって、私は素人としてやり出したから、本当にうまくいかない典型です。白川英樹先生の千倍ほどではないですが、十倍程度の間違いはよくしています。

森 それはおそらく化学反応において、入れる順番を変えると結果が違うときがあるということです。それを私たちはあまり表に出したりはしませんが、履歴現象と言われているものです。だから、これは冗談かもしれませんが、料理では、砂糖、塩、酢、次が醤油と言われています。あの順序を変えると味が違うのか。もちろん長時間たてば同じでしょうが、要するに私たちの生活の1、2、3時間の間はあの順序で味が違うのです。あれは、そのように入れる順が違くと結果がしばらく平衡ではないからです。われわれの生活リズムの中でどう違うかということは、化学のポイントであると考えます。化学とはどちらかということ、われわれの生活に密着した側面を多分に持っていて、そういうところは無限の時間が経過すればどうかは問題なのではなく、私たちが生きている、こういうスケールの中でどうなのかを説明できるかということが重要なのです。そうすると、長時間が経って平衡になるということが問題ではなく、まだ非平衡のときにどうかということはどう説明するかということが、きわめて重要な問題であると考えます。

—— そうでしょう。もう一つ、タンパクのキラリティーの対称性の破れがどうしてできるのかということ、今やっていますが、それでもやはり非平衡でないといけないことです。あれは化学あるいは生物に関係してくると、必ず非平衡でないといけないといふことはいくらかもあるから、やるべきことはたくさんあります。

森 その周辺に研究者がいます。昨日、広島大の物理の太田さん、数学の三村さんと平衡について「それは本当に平衡か？」ということについて話しましたが、それに答えることは難しいとのことでした。本当に平衡になっているかどうかを見きわめることは、きわめて難しいことです。逆に、「混ぜた瞬間の」状況を作るほうが簡単です。ところが、混ぜた瞬間は、今言っていた非線形性が出やすいからなかなか難しい。シンプルな美しいかたちになるのは、本当にずっと時間が経過した平衡であります。これはこれで本当に平衡になっているかどうかは確認しようがありません。そういう意味で、非平衡のほうが実はわれわれが本当に生活を説明していく上では、フィットしているかもしれないという話題が出ていました。

—— 普段の現象とは、非平衡定常系、あるいは準定常系と言うべきか、すべて非平衡な状況であるということですね。

森 だからそこに遅れが発生したり、順番が問題になったりします。しばらくの間、われわれが生きている時間スケールでは結果が違って見えているということです。最近よく、身の回りの科学の本が出始めていますが、中学生や子供たちに「こんな実験をやればおもしろい」あるいは「こういうことが出てくる」という話の多くは、実は平衡ではなくて、非平衡の話であって、われわれが感じている時間というスケールでは平衡にならない話です。

—— 実は、秋の空と春の空で、雲を見ると、大体同じような状況だと考えられますが、実際は違います。それは湿度とか水分の差などのさまざまな環境条件の違いであつたり、暑いところから冷たくなるということや、冷たいところから暑くなるよきの違いであつたりします。

森 その意味では、この小グループのテーマの「時間発展」はきわめて重要なエリアであると考え

えます。私と中田さんは化学で活動する場所を持っているものの、今回の話題に出てきたもっと身の回りのことを考えると、せつかくこのグループに名前が付いていることもあるし、化学の中においてこの「時間発展」という概念がむしろ化学の本質という言い過ぎかもしれませんが、しかしより注目することが重要だということはプロポーズしていきたいポイントであると考えています。