

廣田榮治氏の講演

【廣 田】 分子分光学は人類に何をもたらすか。これを、私の分野の人に見せたら、みんなぷっと吹き出してしまうと思いますが、こういう標題を掲げさせていただきました。

総研大は葉山へ1995年の2月末に移ってきたわけですが、その2～3年前だったと思うんですが、まだ長津田に間借りしているころの話ですが、ある日突然宮内庁から連絡がありまして、天皇・皇后両陛下から長倉先生と私に晩御飯を一緒にしないかというお誘いを受けまして、赤坂御所にまだいらしたころのことですが、行ったことがございます。天皇陛下の御一家というのは、この葉山が大変気に入っておられまして、御用邸の中でも一番利用しておられるんじゃないかと思うんですが。実際、町にいろいろ知己もたくさんおありで、亡くなられましたが、團伊玖磨さんとかですね、そういうお知り合いがたくさん町におられて、御用邸にいらっしゃるときにはいろいろそういうことで交流しておられますね。それから、そのときにちょっと美智子様が言われたのは、ここから南の方に小安の里という昔ながらの農業をやっている小さな部落がありますが、そこの方と大変仲良くしておられたんですね。総研大が葉山に移るということを知っておられて、あそこの山の上では大規模な宅地開発をやっているというので、何となく私のこれは邪推かもしれませんが、美智子皇后様がちょっと心配しておられたんじゃないかと思うんです。だから、葉山にいらっしゃるそうだけれども、あそこへ行ったら小安の里の人と仲よくしてくださいねなんて言われたんですが。そのときに、本当にざっくばらんいろいろとお話ししてくださいましたけれども、皇后陛下が、おじのお仕事はどのようなものでございましたかとお聞きになったんです。「おじ」というのは皆さん御存じでしょうけれども、先ほど長倉先生のお話にも出てきましたが、水島三一郎先生で、長倉先生の指導教官だった先生ですが、美智子様は、4人でテーブルを囲んで、向こう側に長倉先生と皇后陛下と、私の隣に天皇陛下、そんな感じで、私の真正面から言われたんですけれども、長倉先生がお答えいただけるとして私は安心しておったんですが、長倉先生が「水島先生のお仕事は廣田君の方が近いね。」と言われて、嫌でも何か言わざるを得なくなりまして、それで普通の人でも、普通の一般社会の人でも分子分光学の説明を、ちょっと簡単に、非常に手短に、数分でするなんていうのは絶望的なんですけれども、皇后陛下から直接聞かれて、大変しどろもどろになって、ろくな説明をできなくて、大変恐縮したのを覚えています。そんなこともございまして、きょうは幾分、それ以後の反省もありまして、あまり進歩してないのですが、ちょっとお聞きになっていただき

たいと思います。

水島先生と、それから森野米三先生ですね、こちらの森野先生は私の指導教官なんですけれども、1930年代のはじめに水島先生がヨーロッパの留学から帰ってこられて、当時、非常に新進気鋭の助教授の先生です。それから、まだ学生であった森野先生、森野先生は31年の卒業ですから、本当に駆け出しの学生。その辺でチームをつくられて、分子構造の研究を開始されました。それでいろいろな方法が使われたのですが、ここにちょっと色を変えて、ラマン分光というのを書いてございますが、ラマンという人が新しいラマン効果の現象を発見して報告したのは1928年ですね。それをいち早く1930年代の初めに、これは分子構造に役に立つとって取り入れて、それを非常に有力な手段の一つに成長させて、1934年に彼らはラマン分光の論文を出しているんですね。世の中に全く新しくオリジナルのペーパー、原著論文が出て、それから6年の間にそういう分子構造の研究に使ったというので、私はこの先生方というのは本当にすごいポテンシャルがあったんだなと思って、今さらのように、またこのことを思い出すたびに感心しております。

先生方の業績は、この後説明しますけれども、回転異性がお仕事の非常に大きな中心であると思います。化学結合というのは御存じのように、一对の電子でできているわけですね。一对の電子からできているときは、ほとんど結合の周りの電子分布が軸対称となりまして、ですから一重結合の周りには比較的自由に回転できるんですけども、電子対が2つになりますと二重結合になって、通常我々こういう二重線で書きますけれども、こういうふうになりますと、この周りはなかなか簡単に回れない。これは、水素が4つと炭素2つから成るエチレン分子です。これは平面分子で、比較的かたい、しっかりした構造を持っておりまして、こういう結合はじっとしてなくて、もちろん振動してはおりますけれども、非常にいわばかたい、しっかりした構造を持っています。実際、この水素をXあるいはYという別のものに置き換えたもので、Yがこちらにある場合をトランス、こちらにある場合をシスといいます。こういう2種類のを別々に取り出すことができるわけで、昔から化学者は、この二重結合の周りは、そう簡単に回転できないということをちゃんと知っておったわけなんですけれども、一重結合の方はほとんど自由に回転すると思っていたんです。

これは、一重結合で結合した2つの炭素からなっている分子で、こちらの炭素には塩素が1つ、それから水素が2つ結合していて、こちらの炭素も同様ですが。そういう炭素2個が一重結合で結びついた分子で、1,2-ジクロロエタンという名前がついていますが、水島・森野グループで最も重要な役割を果たした分子の一つなんです。こういう分子をCC結合に

垂直な面に投影したところを模式的に書きますと、こんなふうになります。手前の方の炭素がここにありまして、2つの水素、水素は書いてありませんけれども、それから塩素と、こういうふうな結合をしているわけですが。向こう側も同じで、ちょうど反対に向き合っておりますけれども。この炭素・炭素の間の一重結合といえども、水島先生たちが研究を開始されたころには、人々はようやくこのような一重結合の周りの回転も完全に自由ではないということ薄々気づいてきておりました。一番安定なのは、恐らく二重結合のときと同じように、こちら側の塩素と向こう側の塩素が一番遠くに離れたトランスというところであろうということは、大方の人が認めておったわけです。しかし、安定なところが1カ所ではなくて、もう1カ所あるらしいということがだんだんわかってきておりました、この分子の場合に、それが塩素がここから120度右回りに回る、あるいは左まわりに120度回った、こういう形のところがトランスに続いて安定な形のものだということ、生まれたてのほやほやのラマン分光その他を駆使して、非常に明確に結論されたのが水島・森野グループの大きな業績の一つです。

水島先生は語学に非常に堪能でございまして、ドイツ語で詩を書くような方でしたけれども、このコンフォメーションに一つ新しい名前をつけようというので、フランス語の「ゴーシュ」という言葉を持ってきて、こういうコンフォメーション、配座と呼んでおりますが、新しいコンフォメーションの名前としてゴーシュというのを提案されております。これはその後、世界中に広まりまして、もちろん今では完全に世界的に承認されている名前になっております。我々は非常に誇りに思っているものでございます。私も1960年から62年にハーバード大学に留学する機会を得ましたけれども、向こうへ行って与えられたのは、日本から来たからというわけでもないと思っておりますけれども、こういう分子のコンフォメーションを、マイクロ波分光で、この方法というのは戦後、1946～7年ごろから出てきたものですけれども、その新しい方法を使って、トランスとゴーシュから成り立っているということ、これを明確に示すことができました。

分子の中の結合は決して静止しているものではなくて、数%しょっちゅう伸び縮みしてまいりますし、結合と結合の間の角：結合角もそういう微小振動しております。このコンフォメーションの場合、さっき申し上げましたトランスとかゴーシュの配座の周りには、非常に大きな振幅で運動していきまして、化学者が長年想像してきたように、トランスからゴーシュへも比較的自由に移る確率があるわけです。そういう大振幅の振動、あるいは分子内回転と呼んでおりますが、分子の中では非常にユニークな、特殊な運動でありまして、重要な役割を果

たしております。これは簡単な、エタノール、エチルアルコールの例ですけれども、これもここにC-Cの一重結合、それからC-Oの一重結合がありますから、こういうメチル基はC-H₂というグループに対して内部回転しておりますし、こちらのO-Hというグループも同様であります。

こういうコンフォメーションは、大きな分子、高分子、私どもの洋服をつくっている繊維とか、そういう高分子の形を決めるのに非常に重要な役割を果たしていますし、もっと広げて言えば、生体をつくっているDNAとか、最近ではタンパク質とか、こういうものの形を決めるのにも非常に基礎的な重要なデータになっているわけです。構造生物学では、今このプロテイン（蛋白質）が折りたたむメカニズムが焦点になっておりますけれども、やっぱりこういうコンフォメーションのデータなしには、本当は理解できない。さっきケミストリー・オブ・ライフと出ていましたけれども、ケミストリー・オブ・プロテインなんていうふうに置き換えてよろしいかと思いますが。

私は分子科学研究所から1990年に転出しまして、総研大に入れていただいたわけですが、総研大に来てからは、残念ながら実験室がございませんので、神奈川工科大学とか金沢大学、アメリカのナショナル・イースティテュート・オブ・スタンダーズ・アンド・テクノロジー、昔ワシントンにあったのが今はメリーランドに移っておりますが、こういう研究機関の人たちと一緒に、少しコンフォメーションの関係する問題として、ペプチド分子というものの構造を研究してまいりました。研究したといっても、私はただ机の上でできることをやっただけなんですけれども。ペプチド分子というのは、中心の骨格の化学結合は、一端は窒素になっております。こういう分子で、ここに酸素があり、ここに水素があって、こういうのが根本のスケルトンで、ここに何か別なグループがついている。こういうのをペプチド結合、ペプタイドリンケージという名前で総称していますが、こういうものは生体の中でしょっちゅう出てくる構造単位であるわけです。ですから、こういうものをもう少し詳細に調べてみようといって取り上げたわけですが、化学式を書きますと、C=Oは二重結合になっていまして、こういう格好をしています。したがってXCOはエチレンの場合と同じように、炭素の片方が二重結合になっていますから、非常にしっかりした平面構造で、それはいいんですが、もう一方の端にあります窒素は幾分律儀でないところがありまして、3本の手（結合）を持つのが大体普通なんですけれども、必ずしも平面になるとは限らないんですが、そういう状況で、酸素というのは非常に電気を引っ張る性質がありまして、電子が1つ、窒素から酸素に移る。そうしますと、C-Oが一重結合になって、C=Nに二重結

合が移ってしまうんですね。実際のペプチドの分子というのは、まともに書けば、簡単に書けばXCONHYと書くんですけども、こういう要素が多くなると、言葉をかえて言いますと、この中心のC-N結合は元来は一重結合ですけども、エチレンの二重結合と同じような性格を帯びてきて、非常にかたくなり、なかなかこの周りが回らない。そういう性質を持つことが容易に想像できます。実際、1970年代に、核磁気共鳴吸収という方法がありまして、それでさんざんこの種の関連の分子が研究されまして、実際このC-N結合の周りは非常にエネルギーをたくさん与えないと回らないということが確立されております。私も、このC-X結合とこのN-Y結合に注目したんですね。これを調べてみますと、中心のC-Nと反対に、ものすごく簡単に回っちゃうんですね。ですから、こういうペプチド結合を持つ巨大分子を考えると、ここは非常に簡単に回る。何か特別な事情がない限り、本当に化学者の従来の常識に近く、ほとんどフリー回転に近い。そういう結論になりまして、アメリカ化学会の代表的なレビュー雑誌の一つにAccounts of Chemical Researchという雑誌がありますが、そこから執筆依頼を受けまして、今年発表したところです。

ここまで分子分光学というのを何も説明しないで使ってきたんですけども、少々説明させていただきます。分子の持っているエネルギーというのは階層構造が比較的きちっと成り立ってまして、分子の中の電子の運動、これが一番エネルギーが大きくて、光の分光学で調べるときは、波長の短い可視光・紫外光を使います。それから、原子核の運動、振動運動ですが、これは中心が赤外分光で、水島・森野両先生のようにラマン効果も使います。それから、一番エネルギーが小さなのは分子全体の回転で、これは光の領域からはみ出して、電波の領域に入ります。極超短波、マイクロ波で調べます。それで、先ほどの内部回転運動は、振動と回転のちょうど中間にありまして、光で言うと遠赤外線に対応します。こういう光あるいは電波で分子がどういう波長の光を吸うか、電波を吸うか、あるいは出すかというようなことを調べますと、その分子を検出できる。同定ができる。それから、さらにどういう運動をしているかという、先ほどの内部回転運動みたいなものですね、どういう運動をしているかということがわかります。さらに最近はレーザー等の技術が進んできていますので、非常に強い、単色性の高い光なども容易に得られるようになりましたので、そういうもの、あるいは強力な電波を使いますと、ある量子状態だけにいる分子をつくり出すとか、そういった操作もできるようになりまして、分光学がそういう点で分子のマニピュレーションと申しますか、アイデンティフィケーションとか、そういうのに非常に役に立っております。

今日は自分の仕事の宣伝も兼ねまして、短寿命分子について、どんなに分子分光学が役に

立ったかということをお説明します。短寿命分子というのは、これはいいかげんな定義でありまして、化学的に非常に活性な分子ということです。化学という学問は、物質が変わっていくことを調べる学問ですから、化学反応の研究、これが中心であります、化学反応というのは考えてみますといろいろなタイプのものがあります。出発物質を構成している、先ほど御説明した化学結合、これがちょん切れて、一方反応の相手の化学結合もちょん切れて、そうしてできたフラグメント分子の間に新しい結合ができて、新しい生成物になるのが一般的です。したがって、化学反応の過程の中では、結合がちょん切れて、まだ新しい結合ができてない過程では、フラグメント分子：中間体と呼んでいますが、そういうものが短い時間かもしれないけれども存在しているのではないかと。そういう分子をフリーラジカルという名前と呼んでおります。フリーラジカルの特徴は何かというと、結合をつくっていた、対をなしていた電子がちょん切れていますから、対をなしていない電子があるということです。これがフリーラジカルが一番基本的な特徴であります。対をしていない電子は、必ず別の対をなしていない電子を探して、対をつくって安定化しようとするから、そういう意味で非常に化学的に活性化である、反応性に富むということです。

単独の電子は元来非常に大きな磁気モーメントを持っているわけですが、対をなしているときはそれがちょうど打ち消し合っているんですね。だから通常の分子は大部分が半磁性、あまり磁性を持ってないんですが、不対電子になりますと裸になっちゃうものだから、ものすごく大きな磁性がでてきます。したがってフリーラジカルの大部分は常磁性です。分子構造的にも非常に独特なものでありますし、化学的・物理的な動的な挙動は非常に独特で、大変おもしろいものがあります。しかしながら、化学反応性が大きいために、これらを調べるのはそう簡単な話ではありません。これを分光学的に、系統的に非常に盛んに研究したのは、10年ばかり前に残念ながら亡くなりましたが、Herzbergさんと、その共同研究者で、カナダ、オタワにありますナショナル・リサーチ・カウンシルというところで研究を展開されました。第2次世界大戦が終わったころですね、1946～7年ぐらいから研究チームを立ち上げて、フリーラジカルの研究をされました。彼らの使った方法は、閃光光分解、閃光という非常に強い光、これを適当な分子に当てますと、強い光のために結合が切れます。その切れて出てきたフリーラジカルを、発光の場合が多いですけれども、吸収も時々ありますが、そのスペクトルを大型回折格子分光器を用いて記録する。そういうことをやられたわけです。非常に赫赫たる成果を上げて、我々は賛嘆の対象にしておったのです。これらの研究では、電子のスペクトルを調べるわけで、光の分光学ですけれども、私はもっと波

長の長いマイクロ波分光を使っていたものですから、なかなかそう簡単に彼らの後を追うわけにはいかなかったんですけれども、一旦スペクトルが捕まったら、我々のマイクロ波分光の方がはるかに細かいというか、精緻な情報が得られるものですから、何とかして一泡吹かせてやりたいと考えました。これは私のまだ駆け出しの頃の話ですが、これをぜひやりたいと思っておったわけです。

それで、先ほど申しましたように、62年までアメリカに滞在したものですから、2年間の滞在期間中にあちこちでマイクロ波分光の世界でどれだけこういうフリーラジカルの研究を試みているかということをお機会あるごとに調べて歩いたりしたんです。やりたいという人はいたんですが、うまくいってなかった。帰国しまして、早速東京大学で研究を始め、九州大学に移った後も、10年ぐらい大変苦労いたしました。あまりうまく進まなくて、成功した例は少なかったんですけれども、大変幸いだったのは、岡崎に1975年に分子科学研究所ができて、そこで非常に有能な共同研究者にたくさん恵まれて、それからもう身のほど知らずなほど研究費をたくさん使わせていただきました。幸い、ちょうど右肩上がりの時期で、研究所も立ち上げの時期だったものですから、文部省も非常に力を入れてくれました。長倉先生も所長で来ていただきましたけど、大変幸せな研究生活を送りまして、相当活発に研究を展開することができました。

これ、一例でございますが、ヨウ化メチルという分子で、これはメタンという分子の4個の水素の一つが1個ヨウ素に代わったものですけど、これに紫外線を当てますと、エタンとヨウ素分子ができます。こういう光解離反応がございますが、一足飛びにこうはいかなくて、まずこのヨウ化メチルのC-I結合が光で切れて、メチルラジカルとヨウ素原子に分かれ、このメチルラジカルが2個集まってエタンという分子ができ、こちらは2個のヨウ素原子がヨウ素分子になるこういう反応ですが、これを調べることにいたしました。赤外レーザー分光法というのを新しく開発しまして、メチルラジカルのスペクトルを観測しました。振動スペクトルが、分解度が高いものですから、回転構造というのがたくさん、きれいに分かれて観測されています。一旦こういうスペクトルがきちんと捕まりますと、これを使っていろいろなシステムの解析ができます。これは先ほど申しました光解離の過程を調べたもので、解離直後に出てきたメチルラジカルの信号2本の線、非常に幅が広く観測されていますが、時間がたつとこういうふうになくなっていく。こういうようなことも、きちんと説明できます。それで、結果の一例ですけれども、出てきたメチルラジカルがどういう振動状態に生成するかということを調べました。我々の実験の前にも何人かこの反応を研究しておったのですが。

彼らはメチルラジカルを直接モニターできませんでしたので、ヨウ素原子を使って診断したのですけれども、その解析は大変不完全でありまして、そのため彼らはメチルラジカルが3番目の振動状態にもっとも多く生成するという結果を発表しました。これは大変偉い先生の研究室から報告されたものですから、世の中の化学反応論者は、みんなこれを正しいと信じておったんですけれども、我々がやってみますと、これはもうとんでもないさっぱりだったことがわかりました。一番下の状態が一番たくさん生成し、あとはこいうふうに単調に減少という結果が、すぐ出てまいりまして、それで我々は反応の分野では全くの駆け出しだったんですけれども、大いに古い権威の鼻をあかすことになりました。

フリーラジカル分子のことが実験室でわかりますと、地球大気の問題などに応用できます。先ほど藤井先生のお話の中にも盛んに出てきましたが、大気の中にもたくさんいろいろな分子がありまして、二酸化炭素の問題も出ておりましたけれども、そういうものをモニターするのに分子分光学は基礎となるデータを提供します。藤井先生のお話にもありましたが、こういう環境問題は大変重要であります。天文学にも応用されています。第2次世界大戦前、可視部の分光を使って検出された星間分子は2つぐらい、たしか2原子分子が同定された程度だったんですが、1960年代になりまして、電波分光学というのが急速に立ち上がった。それで、それからずっと星間分子の数がふえてきて、最近では赤外分光も使われるようになりました。今では120を超えていますですね。私どもも天文台と非常にいい協力をさせていただきました。

私どものメチルですが、1998年に土星の大気でメチルラジカルがあるということが、我々の実験室のデータをもとにして報告されまして、それから翌年には海王星で見つかりしております。なかなかきれいなスペクトルが観測されまして、赤外天文学が大分浸透してきております。こういうデータの基礎として、先ほどちらっとお見せした我々のデータが役に立っております。それから翌年2000年には射手座ですね、サジタリウスというところでも、検出されたということです。

こういう天文学的な応用だけではなくて、最近はいろいろな材質を改善するという研究がたくさん行われていまして、ここに持ってきたのはダイヤモンド。ダイヤモンドの非常に薄い膜を、何か適当な材料の上にかぶせるのですね、材料自体はいいんですけれども、その表面が非常に化学的にやられやすいというときに、そういうダイヤモンドの薄い膜でコートしてやって材質改善するというようなことが、かなりやられております。それで、ダイヤモンドフィルムだけでなく、チタンでもいろいろなことがやられていますが。そのときに、どう

いうふうな条件でやるとどういふ質の膜が得られるか。できた膜の性質を調べるのはもちろん一番ダイレクトな診断で、それはそれでよろしいのですけれども、やはり適当な気体分子に注目して、例えば放電によって生成するフラグメントの診断を通してそういう膜をつくるというようなことが盛んにやられております。これはダイヤモンドフィルムなんです、ここでもメチルラジカルが中間体として非常に重要だということが認識されてきています。これは、英国ロイヤル・ソサエティ・シンポジウムに提出された論文の一部ですが、ここにあるバトラーという人は、岡崎の私の研究室に加入しまして赤外分光を習っていったんです。彼はアメリカに帰ってから、赤外分光をこの種の問題に適用して、大分名をなしまして、日本で開かれた国際会議でも数回招かれて来ております。日本で講演したときに、講演の後で日本人の研究者がやってきて、バトラーさん、あなたはどこでこのような赤外分光法を習ったのかと聞きに来た。岡崎の廣田研で習ったというと、日本にそんなところがあったんですかって、その研究者は言ったそうです。日本はなかなか情報流通がよくないのですが、分子分光法はこういうところでも役に立ちます。

周期表の炭素の下はケイ素ですけれども、メチルラジカルに対応してシリルラジカルというのがございます。メチルラジカルは平面正三角形なんです、シリルはアンモニアみたいに三角錐構造をとってまして、反転運動をします。そういう点で、分光学的に大変おもしろいんですが、これもシラン放電生成物診断に応用することができまして、アモルファスシリコン作成の業界では非常に評価されました。ご存知のように、アモルファスシリコンも、今そろそろ限界に達してきて、いろいろなほかのデバイスも出てきていますが、80年代、シランの放電で作成するのが主流でした。そのときに、 SiH_4 のシランからアモルファスシリコンにいく過程で、水素が1個とれたシリルラジカルが重要か、2個とれたシリレンが重要かと、全く2つに割れて大論争をやっていたのですけれども、シリレンはレーザー分光でモニターできたんですが、シリルを調べる手段がなかったものですから、論争は水かけ論に終わっていたのです。私どもがシリルの赤外スペクトルを同定して、これを追跡する手段を提供いたしまして、それで一挙に問題が解決した。うれしいことに、シリルがたくさんできる条件での放電分解が大変いい太陽電池作成につながるということがわかりました。名古屋大学工学部の電子電気教室の後藤先生と一緒にやった仕事ですが、たいへん役に立ちました。

それから、もう一つの自慢は、 ClO （一酸化塩素）というラジカルです。これは私どもが研究を始めて間もないころで、1968年にマイクロ波スペクトルの検出に成功しました。

それから20年近くたって、先ほど藤井先生からご紹介がありましたようにオゾンホールが検出され、その原因が成層圏まで上昇したフロンがそこで分解して出す塩素原子だと、すなわちクロックスサイクルといいますが、まずC1（塩素原子）がオゾンと反応してC1OとO₂（酸素分子）になる。そのC1Oが、酸素原子がたくさんありますから、これと反応してC1と酸素分子になる。このC1は元に戻ってオゾンと反応するというサイクルで、結果的には酸素原子1個とオゾン分子1個が反応して2個の酸素分子になる。塩素は繰り返し使われるわけで、一種の触媒になっているわけですね。ですから、一旦こういう塩素原子が成層圏に出てきちゃうと、先ほど藤井先生が見せられたように、すごく大きなオゾンの穴があいてしまう。今でもC1Oを成層圏でモニターするのに、マイクロ波スペクトルが使われておりまして、そのスペクトルは私どものデータが基礎になっております。我々が研究していたときは、我々だけでなく、世界中がオゾンホールの「オ」の字も知らないときだったので、それが図らずもこんなところで役に立っているわけです。

そういうことで、私どもは分子分光学という非常に地味な分野で活躍してまいりましたけれども、基礎研究というのはいろいろなところに通じていまして、天文学、大気科学、プラズマサイエンスなど、化学反応が基礎になりますけれども、そういうところと連携させていただいて、それが人類のためにどれだけ役に立ったかとなると、甚だ心もとないんですが。分子研ではたくさんの税金をありがたく使わせていただきました。そのうちの幾分かはお役にたち還元できたかと思っております。恐らく分光学というのは非常に歴史が長くて、天文学と同じぐらい長い歴史を持っていますが、今後も何かいろいろところで発展していくというか、協力していくのではないかと思っております。

最後にちょっとつけ足しですが、私ども大学あるいは研究所にいる者は知的財産をつくる。それを子孫に受け渡していくというのが重要な役目ですが、いろいろな物理定数、いろいろな物質についての物理定数をまとめて本に出しているものがございまして、自然科学の方はよく御存じだと思うんですが、スプリングラーというドイツの本屋さんからランドルト・ベルンシュタイン・テーブルがずっと出ております。最近の国立大学は大変情けなくて、このランドルト・ベルンシュタイン・テーブルが結構高いものですから、購入できないような情けない状況になっていまして、私は日本の政府はいったい何をしているんだって怒鳴りたいところなんですけれども、日本の図書館は本当にお粗末です。このテーブルの中に私どもの分子構造データがあります。2原子分子についてのデータはスプリングラーの方針で別になっていますが、3原子以上からなる分子の分子構造だけです。最初、76年にイギリス人で

Callomon さんというのが共著者なのですが、それに日本から2名、この2人はアメリカ人ですね、この方もイギリス人で、こういう国際チームでつくりました。結構研究が活発なものですから、10年でサプリメントをつくるということになりまして、87年。またどんどんふえるものですから、今度は5年でまたサプリメントをつくる。さらに3年でつくる。とうとうここまできて、76年からの古いデータを一気に見直して、古いものであまり信頼度の低いのは落としていって、98年から2003年にかけては、全部つくり直しました。非常にボリュームが大きくなったものですから、分冊にしました。無機分子、炭素を1個と2個含むもの、3個と4個、それに5個以上と、4分冊になりましたけれども、一応こういう形で出しました。その後早速サプリメントが必要だということになりまして、今年2冊、またCとDは原稿はすべて上がっているんですけども、今年か来年の初めぐらいに出ると思います。この後すでにサプリメントの話が出てきておりまして、どういうふうにやろうかという相談が進んでいるところです。これはランドルト・ベルンシュタインの表の一例であります、水島・森野グループで活躍した1,2-ジクロロエタンの分子構造データです。ここにマイクロ波でやったということが書いてありますが、日本の研究者のデータです。

それから、もう一つ最後に、ちょっと言うのは恥ずかしいんですけども、私、学生のころから論文を読むたびにそのメモをルーズリーフにとって、ずっと集積してきたんですけども、マニアみたいなものですが、今までに2万ぐらいの論文が収録されています。ここの学長室にそれをファイルしておいたら、及川さんがやって来て、これは一体何だという、これはこういうものだと言ったら、それは絶対データベース化すべきだと。私はあまり関心がなかったんですけども、最後のころになってちょっと魔が差して(笑)、データベースとは何ぞやというのをちょっと経験したくなりまして、それで及川さんに協力していただいというか、すっかりやっていただいて、東工大の金森さん、オーストラリアに今おられます山本さんと、それから産総研の長嶋君というのが予算的な裏づけをしてくれまして、それでデータベース化というのをやっています。現在も大体500から700ぐらい、毎年ふえてきております。だんだんジャーナルをレビューするのがきつくなっているんですけども、今、二十数種類、ジャーナルを見ております。ちょっと汚くて恥ずかしいんですけども、一例をお目かけます。ここに構造式、それから通し番号、それから論文のタイトル、著者、雑誌の巻数、ページ、刊行年などが入っておりますが、それで雑誌の名前などこの部分をコンピューターに入力しておりまして、ここから下は、この例では字ばかりですからコンピューター化できなくはないんですけども、この部分には装置の図あり、エネルギー準位図あり

で、全体を、こども含めて画像処理して記録しています。今、2つURLを開設してまして、総研大に1つ、同じものですが、産総研に一つ。私は自分自身もこのごろオリジナルをここ総研大に置きっ放しにしているものですから、それを見るより、データベースを使っの方が早く見られるので、利用していますが、長嶋氏によると、少し宣伝もあると思うんですけども、大分たくさんのアクセスがあるようで、幾分そういう財産の受け渡しに役に立っております。

どうもあまりこのフォーラムの趣旨に合わないようなお話なんですけれども、一分子分光学者がいかにか人類との橋渡しをするのに苦勞しているかということをおわかりいただければ幸いです。やはりサイエンスをしていても、人間と一体どういう関係を持っているのかなというのは、これは化学、物理学をやった方は、ある程度共通の悩みではないかと思うんですけども、やはり人間の重要な活動になっていきますので、いろいろなところで関連しているというのは、私の非常に限られたキャリアをごらんになってもおわかりいただけたかと思えます。どうもありがとうございました。(拍手)

廣田榮治氏の講演についての討議

【高 畑】 御質問をお受けします。

【颯 田】 ペプチド結合のお話があったと思うんですけども、XとYと、それぞれこうやってみると、ここはすごく容易に回転するというお話でしたよね。そこが容易に回転することは、タンパク質もこちらの結合でできていますよね。そうすると、その回転するということが何か生物の、例えば細胞の中の反応とか、そういうことにやっぱり重要な意味を持つんですか。

【廣 田】 つながっていくだろうと我々は想像してやっているんです。ですから、そこから先は生物の方のお仕事で。(笑) 簡単な話で、ダイペプチドも気相での分光が行われましたですね。分子内の水素結合によるもの以外、問題の結合の周りの回転は全く自由に近いと考えていいような構造になっています。

【颯 田】 ありがとうございました。

【長 倉】 実は水島先生の興味はその辺にあって、晩年先生が一番興味をもたれたのは、そういうペプチドの構造の問題ということであったと思うんですね。

【廣 田】 水島・島内両先生の方がはるかに、もっと踏み込んでおられて、私はちょっと自

分のできる範囲内で、ただしもう少しより精密に、水島・島内両先生の時代にはおできにならなかったような、そういうデータを提供しています。

【長 倉】 極めて精密な結果を出された。そういう特色がございますね。水島先生には夢があったというか、良い意味でのヤマッ気があったというか、それだけに独創性を非常に尊重されたですね。

【廣 田】 日本からもすばらしい仕事が出ていまして、NH関係の振動ですね、それについては宮沢さんという、かなり前に亡くなられてしまったんですけども、非常によくできた方がおられて、彼が名前をつけたんですね。ヘリックスになっているか、ランダムコイルになっているか、そういうのが振動スペクトルからすぐわかる。そういうような、もっとグローバルにちゃんと見られたお仕事をしておられます。私のは何か顕微鏡でのぞくみたいな感じのものです。

【長 倉】 水島先生がノーベル賞を逸したことを残念に思っています。ハッセルとバートンが、今の立体配座の研究でノーベル賞を1964年かな、受賞したんですね。そのときは、水島・ハッセル・バートンであるべきだったという議論がありました。水島先生が洩れたのは、おまえたちがぼやぼやしていたからだとか欧米の友人から言われまして、多少動いてみましたが、時すでに遅しで残念でした。

【廣 田】 やっぱり損していると思いますね、日本は。何にせよ。

【海 部】 オゾンの話で。私、先生のオゾンの話、よく知りませんでした。

【廣 田】 私どもは直接オゾンのことをやったんじゃないくて、私どものデータが使われている。大変うれしいことですけども。

【海 部】 つまり、そのことなんですけど、オゾンというのはたいへん安定でありまして、多くのことに使われた。それで、フロンのオゾン層を破壊しそうだという話は、私の記憶ではカリフォルニア大学の先生（Molina, Rowland）がおやりになった仕事で、フロンは絶対飲んでも大丈夫、壊れない、それで、いろいろ考えてみたら、結局どこでも壊れなくて、ずっと空の上までいって、それで太陽光で壊れると。そうすると塩素が出てという話で、それでつながったという、私は大分前に読んだことがありましてね、そのころは非常に感心したんです。つまり、なぜそんな話をしたかということ、鴨下先生がこういうふうになってきた人類の文明のいろいろな問題は科学がやったのだから、科学と技術がやったので、科学と技術ではそれは対応できないだろうとおっしゃいましたが、私はそうは実は思っていないものですから。このフロンの話は、非常にいい一つの例として、科学研究者、廣田先生の研究も別にオ

ゾンを無視したわけではないと。それで、このカリフォルニア大の先生も、別に何か重要なことをやろうと思ったのではなくて、不思議に思っただけなんですね。一体どうなるんだろうと。その発想こそ本当に大事で、その結果が結びついていくわけですが、科学は確かにいろいろ科学の恩恵がもたらしたものが社会にいろいろな影響を与えておりますけれども、例えばカーソンの絵本なんぞを読んで、結局、そういう被害の実態を明らかにして、その背後にある生態系のネットワークを明らかにしていくのは、やっぱり科学的研究です。それがなければ皆さんに説得力を持って、こういうことをしてはいけないよと。だからこうしようということとは言えないんですね。私はやはりね、ここでは僕は科学技術という言葉は使っただけじゃなくて、サイエンスという、やっぱりどうなっているのかということを知りたいという、その営みがなければ、我々がここまできたものに対応することもできませんし、本当はそこが一番、我々は、私は科学者ですからいつもそう考えていますが、科学というものの果たす役割、ものすごく本質的だと思っているんですね。だから科学者が対応できないでしょうとおっしゃられたので、僕はそのことは大変気になったので。

【廣 田】 今のことにちょっと、何か問題が出てきたときに、やはり科学者が活躍しなければいけないんですけれども、自分たちの研究テーマを探すときは実に悩ましいんですよ。私なんか本当にベースのベースをやっているものですから、例えば一体どうやって研究対象の分子を選ぶのかということ聞かれますと、返答に窮するんですね。私は、一つは非常に格好のいい、対称性のよいものを選ぶのを一つの指針にしていますけれども、そんなことをやって人間に一体どうなるのと言われると、ちょっとなかなかつながらないんですけど、ケミストリーでもやはりベーシックな分子というのはあるんですよ。そういうものについて、何か突っ込んだことをやっている、いつか必ずそこから何か芽が出てくるという、そういうふうには思っていますけれども、やっぱり人生50年ぐらいしか研究できませんから、その間に表に出てこないこともあって、そうするとそういうデータは死んじゃうわけですけど。その辺があれば、C10なんてやったときも、2原子分子くらいじゃないと、当時の我々の技術ではとても検出できそうもないというので。あれは当時は実に大変な実験でしてね、塩素ガスと酸素と混ぜて、放電してつくるんですけど、塩素はトラップしないと、ポンプに入ると、油回転のポンプはたちどころに詰まっちゃうんですね。トラップすると、今度はそのトラップした塩素の処理に大変困るので、あるときつい流してしまって、私どもは地下で実験していたんですけれども、工作室がありましてね、工作室の親父からさんざん怒鳴られました。おまえらが流したために工作機械がさびっちゃったじゃないかと言われて恐縮しまし

た。当時は処理の仕方も下手で。

【高 畑】 化学者はたくさんの化学物質をつくってきましたが、その弊害、安全性については、十分検討してこなかったのではないかと。もちろん100%の安全性はあり得ないけれども、やはり責任がある。化学者によってつくられたものを処理するのはだれかという、化学者しかいないという意味で。先ほど、鴨下先生がおっしゃったことの繰り返しでいえば、科学技術によって生じた矛盾は、科学技術によってしか解決できないのではないかと思います。

【鴨 下】 すべてではなくてですね、もっと人間の何というんでしょう、モラルにかかわるような問題というのは、非常に大きいと思うのです。私、学術会議におきまして、特に生命倫理のことを特別委員会で検討いたしました。中を突き詰めていきますと、医者だけでは絶対に解決できなくて、ほかの特に人文社会系の方々の考えをお借りしないと解決できないとか、結論が出ないということが結構あったものですから。

【廣 田】 社会的情報という。

【鴨 下】 そういう意味で申し上げたので、もちろんサイエンスを否定するなんていう、そういうことではございません。

【小 平】 ただ、起こった事柄の本質を見きわめて解決していくのに科学というのは役立つという側面があるけれど、知りたいという人間が持っている業みみたいなものでドライブされているウィッセンシャフトが、ただ知って、そこで止まっていればいいわけですけど、今みたいな国家としての軍事、経済、医療で競争している世の中で、すぐに技術に転化される。アーサーコンバークがああ長倉先生が引用された文面の中で、昔は「必要は発明の母」と言ったと。これからは「発明が必要の母だ」ということを言っているんですよね。それは科学者が新しい研究をして、新しい知が広がったら、そこから新しい技術が展開して商品化されて社会がかかわっていくという、そういう発想なんですね。そこがやはりしっかりしないと、人間の欲望に負けてしまうわけで、産業というのが本当に世の中のためという産業ではなくて、もうけ産業にどんどんいって競争するという今の状況になってくる。そこは科学の問題の領域を超えた部分がやはりあるということは僕らは認めなくちゃいけないと思うんです。

【海 部】 先生、それはもちろんそうなんです。

【小 平】 だから科学はだめとは言っていない。

【海 部】 そういう話になっているんじゃないと思うんですよね。鴨下先生が言われたことと思うことは、やはりこれからの科学者というのは、やはり非常にいろいろな意味での責任

が重いということですね。これは前から言われていることですけどね。私はこれからの若い科学者はやはり非常に大変だろうと思うんですね。つまり、自分の研究がどう使われるかというのは非常に難しい問題ですけども、自分の研究テーマを選ぶのは、もちろん自分の論理でやるわけですね。それは科学の大原則ですから。しかしながら、その一方で社会とのつながりであるとか、それが直接どうということではないにせよ、非常に広い視野を持って、社会や人間とのつながりということを常に考えていくような態度でいかないと、これからの科学というのはますます危なくなるというのは、僕は全くおっしゃるとおり。そういう意味で言うと、やはり僕なんか非常に重要なのは、若い人の教育ですね。日本ではそういう意味の環境というのは一切やられておりません。今、少し大学で、その種のことに手がつけ始めているところがあって。

【小 平】 総研大でやろうと。(笑)

【海 部】 そうですね。いや、そのことはこれから必須になると思うんですね。やっぱり僕は日本はそういう点は非常に弱かったのは事実で、残念ながら日本の場合、横のつながりが非常に弱いんですから。それもあるし、世界観というものを非常に持ちにくかった社会で、その中で、どこかで何か言われるとあわてて対応してはいたけど、やはり古来、日本で何かやろうと思うと、日本での若い人の教育ということは、何かものすごく難しくくてできないかなと思うんですね。

【小 平】 もう一つ、知の生産活動の様式として、今、海部先生が言われるように、我々の学術研究というのは、基本的には個人の独創性というか、発想に基づくものですけども、その結果というのは社会全体に及ぶという部分があるわけで、大体何か19世紀にはほとんど個人ですね。何か発明したとか発見したとか。キュリー夫人のスタイルでやったぐらい。20世紀に入ってくると、今日も出ていた、ニールス・ボアのあのボア研究所で量子力学の初期に世界のいろいろな人が集まってやって、量子論を生み出していった、あの過程というのは、まさに共同研究的要素がある。20世紀は少しした、ちょっとした発見というと、アインシュタイン以降は大体集団がバックにあって生まれてくるんですよ。ノーベル賞をもらうのは1人か2人か知らないけれども。共同で研究するというのが20世紀の一つのパターンになってきて、文系でも多少そういうことがあるかと思うんです。それで、その有効性を見て、トップダウンで共同で知を生産するというスタイルを定着させて、マンハッタン計画みたいなことになっちゃったわけですけど、21世紀は僕はボトムアップで共同で知を生産するというスタイルが定着してくれる。共同利用研究所、機関というのは、まさにそう

いうことをやって、すごく大型装置を持っているからとかいうんじゃなくて、複数の研究者の頭脳がお互いに響き合いながら知をつくり出していくと、そういうパターンの活動をもっと盛んにしていくということが一つのそういう社会的責任だとか、自分の知の活動というのがどういう位置づけにあるか、相対化して見ていくメカニズムになり得るんじゃないかと思って、今、共同利用機関と総研大を宣伝しているところなんですけどね。

【廣 田】 分野とかテーマは結構認知されていますね。

【小 平】 ただ、個人にかかわっている限りは、人間もやはり生物ですから、名誉心とか、欲望とか、それからきょう議論があったような社会のメディアに左右されて成功するとか、そういうことがどうしても逃げられない部分があると。

【海 部】 そういうことはもちろんですけど、やはり

【長 倉】 ただ、それからできるだけ逃れるようにしないといけないことも事実なんです。一方において、社会の研究者に対する要請という問題について、もっともっと我々気をつけなくちゃいけない、何か研究者が社会の要請に振り回されているという面が研究者の一部に強すぎると思うんですね。これ、やはり十分注意しないといけない問題であって、研究者が自信を持って研究に対し主体性を発揮するんだという、そういう面がもっと強くなるべきなので、今、日本の一部の研究者の状態は、どうもだらしがない…いや、だらしがないと言っちゃ大変失礼だけれども、そういう感じがするんですね。そこはやはりもっとしっかりした方がいいんじゃないかという気持は、一方においてありますね。社会のサイエンスに対するリテラシーが日本はまだおけているという点も問題ですね。OECDで調査した結果は、13カ国で12番目ですね。日本の下にあるのはポルトガルだけだったです、たしか3年前の調査ですが。ですから、そういう点では、イギリスはかなりしっかりした面を持っているんですね。私の友達でも、イギリスでは人文社会科学と自然科学の両方で能力を発揮した人が何人かいるわけですね。そういう雰囲気というものは、日本の社会にもこれからつくっていかなくちゃいけない。そういう問題があるんですけども。どうも研究者個人だけでなく、大学も自信をなくしているような感じがするので、ぜひ総研大は、前向きに力を発揮していただきたいです。

【小 平】 イギリスはやはり伝統を大切にしてきましたから。日本はそれを途中でかなぐり捨てたようなところがあって。

【長 倉】 去年が1905年のいわゆるアインシュタインの3つの大きな発見が生まれた年から100年ということなんです。それで、アインシュタインはどのようにして独創性を発揮し

たかということが、いろいろなところで議論されているんですね。僕はね、結局彼はねばり強かったと思うんですね。好奇心旺盛であって、好奇心を持ったものに対して、あくまでもねばって、自分で考え抜いたというところが、どうも結論じゃないかというふうに思っています。ですから、大いに自信を持って、個人でも集団でもいいけれども、まさに考え抜くこと。それが一つ非常に大事なことだろうというふうに思うんですね。アインシュタインが何か強い好奇心を持つようになったのは、5歳のときかな、おじさんから磁石をもらって、磁石がどこへ持って行っても同じ方向を指していることに非常に好奇心を持って考え抜いたと。そういうくせがずっと続いて、彼を天才に導いたというストーリーを読んだことがあります。

【小 平】 ただ、何か彼はねばり抜いて考えているけど、新しいアイデアに行き着かないときには、何か税務局じゃない、どこか仕事しているときに秘書を相手に、秘書だか何か官僚のあまり話のわからないのを相手に、いろいろ自分のことを話したというんですね。そうすると、相手がとんちんかんなことしか受け答えしないんだけど、その中でいろいろな大きいアイデアが出たというんですね。だから、やっぱり脳の働きという、一人でずっと考えているときと、いろいろな人と交流しているときとで多分違う。

【長 倉】 刺激を受けるということは確かにあるんですね。ただ自分が問題意識を持ってなければ、刺激を受けにくいということは事実だと思うんですね。アインシュタインの親友の妹さんが、その親友が亡くなってからアインシュタインに会って、私の兄は大変能力があったと思うんだけど、科学者としてはあなたのように成功しなかった。それはどうしてですかという質問をした。それに対するアインシュタインの答えは、あなたの兄さんは確かに偉かった。しかし蝶のように舞ってしまった。花から花へ。だから、その反面において彼は極めてねばり強く物事を考え抜いたということは、どうもいろいろなことからいって事実のようですね。

【小 平】 廣田先生、分子研におられて、あそこ大学共同利用機関になったわけですけど、もちろんあのときは大きい装置もつくるということがあって、共同利用研に...

【廣 田】 分子研では大きいものはないんですよ。SOR・RINGがあります。

【小 平】 頭脳の共同利用研ですよ、分子研。

【廣 田】 いや、もうちょっと…（笑）分子研の設立が企画された当時は大学は研究費、インフラともにたいへん不足していた。しかし、全国のこの分野の研究者の合意の下で、分子研に人材、資金を集中して研究を振興し、画期的な成果を挙げるように試みたわけです。幸いなことに、分子研で予想以上に成果があがった。それを見て大学の方は、分子研でできる

ならば、大学でもあそこまではいけるという機運が高まり、研究活動が全国的に活発になりましたね。あれはとてもよかったです、非常に。

【長 倉】 今、地方の大学へ行くと、分子研でお世話になりましたという人がふえてきましたね。随分いるんですね。やっぱりそういう点では…。

【廣 田】 分子研で、助手、助教授の昇任を認めないようにしたのが、苦しかったけれども、素晴らしい結果を生みました。

【長 倉】 高エネ研のような大型加速器を中心に共同研究を進めるという考え方は分子研にはなくて、むしろ分子分光学のための新しいいろいろな光源をいかに整備するかが大きな問題でした。分子研を始めるときに、シンクロトン軌道放射光（SOR）や X 線レーザーを含めて、多面的に議論したんですけど、レーザーが分子研をつくる段階で非常に発達したということが一つの大きな力になりましたね。

【廣 田】 そうです。おっしゃるとおりです。

【高 畑】 議論がまだ続くと思いますけれども、懇親会を 5 時半から用意していますので、また続きはそちらの方でお願いすることにして。きょう私、20 分閉会の辞をいただきましたが（笑）、そうもできなくてどうしようと思っていたんですけども、意図せず時間がなくなりました。ただ、今日いろいろな話を先生方から伺いまして、割と共通した認識ができたのではないかと考えておりますことは、我々が抱えている問題は確かに多種多様でありますけれども、一言で言えばやはり現代文明のあり方、これからの行く末について大きな課題を抱えているということだと思います。それに付随して、もう一つやはり大事なものは心の問題でありまして、これは宗教とも関係するんだと思いますけれども、石毛先生、それから長倉先生の方からお話いただきましたように、物の見方といいますか、そういうものに対する新しい哲学というか、そういうものがやはり現代文明とともに必須な状況になってきているのではないかというふうに思いました。

それで、最近、長倉先生からお話を伺って、ずっと気になっていて、こういうことに興味を持ち出したんです。10 年以上前ですけども、21 世紀の大きな問題として、心のない個人主義の跋扈ということ、マックス・ウェーバーの言葉をお借りになって私どもにおっしゃってくださいました。それが契機になって、私、社会との関係ということを非常に意識するようになりました。このフォーラムは、4 年前、廣田先生がオーガナイズしてくださって、梅原先生に来ていただいたんですが、そのときに新しい現代文明における精神的原理は一体何だということを考えざるを得ないということもおっしゃっていて、新しい哲学の必要

性ということを言われたんです。そのときは共生と循環というキーワードを言われただけで、哲学として我々はどう物を見、考えたらいいかというようなところまで、具体的にはおっしゃらなかった。ただ、その後、中学生に向かって授業をされて、「仏教」という本が出ておりますけれども、その中で、新しい哲学をつくるのはなかなか難しいので、もう一度仏教に戻って物の見方をとらえ直したらどうかというようなことを言っておられる。きょう多分、石毛先生がおっしゃったこともそういうことではないかと思うんですけども、いずれにしても私たちが21世紀に生き残っていく上で必須なのは、一つはやはり物の見方、それから特に命というものに対して私たちがどう見て取り組んでいくのかという点について、やはりきちんとした考え方を持たないといけないのではないかというふうに思いました。現代文明、科学技術、それから精神的な原理、これは複眼的視点からはやはり考えざるを得ない大きな問題だと思いますけれども、きょうのフォーラムを通じまして、そのことが一つの大きなテーマとして、あるいはこれからの課題としてクローズアップされたのではないかというふうに思っております。大変有意義なお話を伺いまして、まことにありがとうございました。

それと同時に、総研大というきょうは組織の代表者の方に来ていただきまして、お話を伺ったということが大きな特徴だと思います。やはりこの大学をつくっている基盤の持っている底力みたいなものがあって、そのレベルが今このフォーラムで問題としている人類が抱えている最大の課題に対して、非常に大きな貢献ができるのではないかという期待も一方では抱かせてくれました。大学としてはそういった基盤を活用して、さらにこういった活動あるいは全学的な教育研究活動を展開して、よりよい大学にしていきたいというふうに思っています。きょうはどうもありがとうございました。(拍手)