

私の化学研究の旅路—一人から学び、物に学ぶ—

井口 洋夫

## 1. 緒論(はじめに)

私は、昨日の授賞式で第23回京都賞受賞の栄誉を受けました井口洋夫です。専攻分野は化学です。

私が化学分野の勉強を始めたのは、昭和20年(1945年)4月に東京大学理学部化学科に入学した時からで、60年間基礎科学としての化学に全力を投入してまいりました。それが今回、図らずも先端技術分野で評価を受けて京都賞を受けましたことに、とても驚きました。そしてひどく感激しました。

今申し上げましたように、60年の間、優れた能力を持った多くの共同研究者とともに、一步一步実験を積み上げてまいりました。一步一步の積み上げは、時間もかかるし、繰り返しも必要で、そこには派手さは全くありませんでした。しかし、有機半導体の電子物性を実験によって丁寧に積み上げ、それが、有機分子エレクトロニクスという先端技術の根幹づくりに貢献したことが評価されたと思います。

これは、学術の大道—それは化学でも物理でも、分野を問うことなく—を地味に歩んだ者を評価していただいたことになり、基礎科学に没頭している研究者に、強力な激励になると思います。

## 2. 我が少年時代から高校時代へ

前章で申し上げましたように、化学の道を選んだのは、大学に入ってからです。家での生活は理科に進む環境にあったかも知れませんが、決して理科少年ではありませんでした。

記憶の中にある少年時代の自分には、よく遊んだ思い出がいっぱいです。70年以上も前の少年時代に住んでいた広島市は、沼や池が残っていた新開地でした。そこは段々畑でもあったのか、段原(だんばら)町と呼ばれ、天気が良ければ、朝から晩まで広場で遊び、また夏場は1時間も2時間も歩いて、たんぼや蓮池に行って、とんぼ捕りに余念がない生活を送りました。その時代、テレビもゲームもなく、楽しみは一家団

薬での会話であり、友だちとの遊びでした。

その頃に学んだことは2つあったように思います。一つは、両親や祖父母からの教えです。両親からは、命じられての教えではなく、その背中を見て育ったことです。父は広島で教師をしておりましたので、団薬以外の時間はいつも座り机で何か書いていました。母は明治の女性で、いつも自分を抑えての生活で、私たち3人の兄弟を育ててくれました。時折説教じみた言葉として言われたことは、「人に後ろ指を指されなさんなよ」でした。

もう一つ、当時の子どもの遊びは、魚捕りや、とんぼ捕りでした。今思い返して見ると、そこから「生きる」ことの大切さを教わったように思います。家が熱心な浄土真宗の家庭で、生き物を決して殺してはいけないということが体に染みついたことです。川の多い広島の町で、鮒や沙魚(はぜ)を捕ってきても、後で川に返したり、池に入れたりしました。一番好きだったとんぼ捕りでは、夕方家に帰ってきて放してやると、空高く舞い上がって、比治山の方に帰って行くのを見るのが無性に楽しかったことを思い出しています。

さらに友だち同士の不文律で、とんぼの体を傷めないということが守られていました。羽を大事にしてやるために、手の油をつけない、まして鳥もちを使用しない。とんぼ釣りをするために糸に繋ぐ時は、6本の足の前2本と後4本の間に糸を入れてタスキ掛けにして背中で軽く結ぶ。こうすれば体を傷めず、夕方空に放つ時によく飛んで帰れるといったことです。特に教わったことではなくて、とにかくも生活の中で自然と、“生きることは大切、殺生は絶対にしてはいけない”というのが体の中に染みつき、今までの私の人生を支配したように思います。

このように子ども時代に、遊びによって体を鍛えたことは、余り丈夫でなかった自分の財産になりました。そしてもう一つ、どんなに年をとっても、休むことなく学ぶことが大切だということを、私は父から学んだように思っています。

### 3. 化学の道に進む

小学校5年生になった時、一家を挙げて東京に転居しました。それから8年の間(1937年～1945年)は、中学から高校(Fig. 1)に進み、大学を理系の化学に選んだ人生の岐路の時代でした。しかし、それ以上に、戦争という異常事態を体験しました。

昭和19年、私が高等学校2年生の折、時の第一高等学校長の安倍能成先生(Fig. 2)が、文科系の学生を戦場に送り出す席で、「明日知らぬ 今日生命(いのち)に永

久(とことわ)の 息吹を込めて 行けや益荒男(ますらを)」と詠まれました。戦争末期のこの時代は、まさにこの歌の通りでした。日本の国土も連日の空襲で戦場でした。その中を生き抜いてきた者として、悲惨な環境は当然のこととして受け入れました。そして戦後は、逆にそれをバネにして復興の精神に燃えていました。

若者の一人であった私にとりましても、当時の多くの若人と同じように精神の高揚した時代でした。その時期に、私は大学に入学し、化学の道を突き進むことになりました。幸いにも、東京大学理学部化学教室(Fig. 3)は、戦災を受けませんでした。そして終戦一ヶ月後、曲りなりにも昭和20年9月からは大学の授業が開始され、「よしやるぞ」と勢い込んで、渴いた土に雨が降るごとく、知識を吸収して行きました。その時に得た教訓として、物理的な欠落-生活の基盤であるガスも水も電気もままならない状況の中でも、人間は、目的がはっきりしていれば、力強く生きて行くことができるのだという気概が生まれたことは、私の一生にとって非常にありがたいことであったと思います。

すべてが劣悪な状態の中で、生きて行ける環境をつくってくれた両親の努力や友人の支えには感謝しきれません。このような人間愛というものは、悲惨な状態であればあるほど、そのありがたさが身にしみるもので、この時代の雰囲気は、ぜひとも語り継いで、我々人間が遭遇するかも知れない将来の不測の事態に備える必要があるように思います。

私は、昭和22年(1947年)4月、東大理学部化学科物理化学第一講座担当の鮫島実三郎教授の門をたたきました。ちょうど60年前のことで、私の化学研究の長い旅路が開始されました。研究室(Fig. 4)は、現在の大学の規模と比べると、逆に職員の方々が充実(教授1名、助教授2名、助手2名)していて、さらに助教授級の先輩が戦場から帰り、皆一様に、厳しい戦いを終えて再び本来の道に復帰するため、日々切磋琢磨しておられた時代でした。私は、その時代の研究室を、人材の黄金時代と呼んでいます。その中で、恩師はもちろん先輩から受けた影響は数え切れないものがあったことを身をもって体験しました。荒削りで粗野だった私を、多くの先輩方が、人間として、研究者として育成して下さいました結果、今の自分があると信じています。まさに人から学びました。

諸先輩から余りにも多くのことを学んだものですから、数限りない具体例を挙げるのは難しいので、ただ一つだけ述べさせていただきます。それは、1947年冬の停電の夜だったと思います。薄暗い室の中で、当時は東京大学の理学部副手という肩書きで、海軍技術将校時代の軍服を改修して着ておられた中川鶴太郎先生(Fig. 5)の化学談義のことです。先生は、後に北海道大学の高分子学科の教授を務められた化学者

です。また、後輩の私たちにとっては、10歳年上の哲学者の先輩でした。その時の話題は、化学の専門の話で、分子のことでした。分子とは物質を作っている最も基本となる最小単位の原子が結合してできている物(もの)です。本講演の後段で詳しく話します。

中川先生の話は次のようなものでした。「井口君、ここに一本の絹糸がある。目に見える絹糸も、分子が多数束になってできている。そこで、その究極の単位である一本の分子を束の糸から引き出して両手に持って引っばるとしよう。一本の絹の分子は、炭素原子・窒素原子が一行に並んで結合したものだよ(Fig. 6)。これを引っばるとどうなると思う？力がすべての結合に分散してかかり、ついに一斉に結合が切れて分子がバラバラの原子になるんだよなあ」と話されました。あの哲学者の風貌を持つ中川さんの真に迫る話から、物質の神秘を知らされた感に打たれました。「そうか、物質(もの)は皆、結合してできているんだ」と思いました。もちろん実際には、こんな理想的な分子は存在しないので、弱い箇所が切れるのですが。私は、このような会話から次第に結合ということに興味を抱き、「化学は結合だ」を指導原理として、長く化学の研究を進めてまいることになりました。

後で、この「化学は結合」という問題に触れようと思いますが、なぜ「化学は結合」を化学研究の指導原理としたのかと申しますと、化学は物質を取り扱う学問です。ただ、物質は一億種もあるので、「化学は記憶の学問だ」という人が少なくありません。しかし、物質の組み立てに使われる結合はたった4種類です(Fig. 7)。したがって、結合の立場から物質を取り扱うと、分類が簡単になり、物質の全体像がよく見通せるのです。このような考えから、私は、「物理学は統計だ」と考えています。そして、「生物学は時間だ」(もっと具体的には、「生物は進化だ」と言った方が正しいかも知れません)と単純化して様々な現象に取り組んでいます。

人から学んだことについて、もう少し話題を進めてみましょう。皆さん、時代は電子を利用するコンピュータ時代に入り、人間同士が話し合う時間が減っているのではないのでしょうか？自分自身がコンピュータ時代についていけないから、負け惜しみに聞こえるかと思いますが、コンピュータを上手に使って、自分の時間を生み出し、人間同士の会話を楽しんで下さい。そこには、機械からは生み出せない人間の叡智があります。時折、坂村健先生の話思い出しています。先生は、「コンピュータは何日も眠らないで仕事を続けるなど、人間のできないことをやってくれる。しかし、コンピュータがどんなに頑張っても、人間の知能には追いつけない」と言われました。私は、それが人間のインテリジェンス(叡智)だと思っています。

コンピュータについては、もう一つ忘れられない長倉三郎先生の言葉があります。「科学者はコンピュータを(上手く)使いなさい。しかし、コンピュータに使われてはいけないよ」。言葉は簡単ですが、その意味する処は深遠です。

これから10年、そして20年、電子機器の発達は、私のような年齢の人間には予想がつかないほど速く、かつ複雑になって行くと思います。しかし、私は、どんなことがあっても人間は叡智を失うことがあってはいけないと思っています。

#### 4. 物(もの)に学ぶ

私は今まで、化学研究の具体的な内容には触れず、その出会いの中での“人から学ぶ”ことを中心に述べました。その中で、化学用語でただ一語、“分子”について述べました。分子こそが化学研究の対象です。乱暴な言い方ですが、分子がすなわち物質です。

さて、化学とは、物質の構造・物性・合成・分析をする学問です。そこで、「物質(もの)とは何か」について述べたいと思います。それを理解することは、化学を理解することに直結するからです。しばらくの間、化学への道に付き合ってくださいと思います。

#### 5. 物質(もの)とは何か？

繰り返し申し上げるように、化学は物質を対象とした学問分野です。したがって、「物質とは何か」を知っておくことが大切です。私の研究の根源もここにあるからです。私の立っているこの講演壇上にあるものも、すべて物質です。ランプも、机も、床も、もちろん私自身も物質です。これらを構成している単位は分子です。すなわち、分子の持っている性質が物質の性質です。したがって、分子の種類が物質の種類となります。

分子について、もう少し専門の話をしていきます。私たちは、小・中・高校の教育では、専門に分かれていません。大学に入る時に、文系と理系とに分かれて、文系の人には亀の甲が嫌いになり、理系の人には国語が嫌いになります。私の中学の同級生で文系に進んだ人の中には、「亀の甲はいやだ」と言う人が何人もいます。一方、私たち化学を学ぶ者は、亀の甲の凶面を見ると、我が家に帰ったようにほっとします。これが専門ということでしょうか。

今日は、化学を知っていただくために、しばらくの間亀の甲にも付き合ってください。亀の甲は、炭素原子6個が均等に結合してできた分子で、Fig. 8では、炭素の原子

が結合している様子を示しています。事実近づけると、Fig. 9のように原子のもつ電子の雲が重なって分子ができています。分子が安定するように、6個の水素が周りについているのがベンゼンです。薬屋さんの広告に書いてあるのは分子構造を単純化した分子の図(Fig. 10)で、大抵の分子は炭素と水素と酸素と窒素を主体としてできています。

このように、分子は原子が結合してできていて、その原子の種類は分子の数に比べるとごくわずかです。地球(宇宙全体でも変わりありませんが)が持っている元素の種類(元素は原子と同一)は92種です。これが結合して分子ができるのです。私は分子ができる組み合わせを考えるのに、いろは48文字からできる日本の短歌のことを思い出します。万葉の昔から、無限に近い短歌が仮名の組み合わせで作られています。日本の短歌が無限にあるのと同じように、92種の原子から作り出される分子の数は無限です。分子の場合には同じ原子が何個も結合できるので、その種類はもっと膨大です。

世界にはすごい作業グループがあって、人間が作り出す分子を一つひとつ数えているのです。いろいろな化学の文献を全部整理して、時々刻々作り出される分子の数を報告しています。その結果をグラフにしたのが、Fig. 11です。このように、分子の数、すなわち物質の種類を来る日も来る日も調査して、登録している研究者がいるのです。もう少し詳しくその仕事に触れておきましょう。世界には化学の物質を取り扱う雑誌が約8千種あり、さらに世界中に、新しい物質を合成し、特許として申請している論文があります。それらを重複を避けるべく丁寧に調査しているグループがいて、それを新物質として報告しています。その数は、2007年11月11日現在、92,329,363(11月5日現在の数)です。

ここで私が触れたのは、地球上に存在する正確な分子の数の大切さを知るとともに、まさに縁の下の方持ちとなって学術を支えて下さっている方がたくさんおられることを知っていただきたいからです。個人の評価の判断が入るこの種の作業には、ちょっとした気のゆるみも許されず、とても神経をすり減らします。これはすべての社会で同じだと思います。このような支えがないと、頂点はできません。バレーボールの試合が良い事例です。球を打ち込むのは、ほんの数人。それをチームで支え、滑らないようにコートにモップをかけて整備し、初めて強いチームができます。私は、本当に多くの人のおかげでボールを打ち込む立場になったことをこの上ない栄光であると思うとともに、その恩に報いなければいけないと思いつけています。

さて、この分子の数が多と思われるか、あるいは案外少ないと思われるかは、私に

はわかりませんが、1億種になろうとしています。私たち化学を専攻する者は、この1億種もある分子すなわち物質の中から、興味のあるもの(物質)を選んで研究するのです。そのためには、何らかの選択の指針が必要です。私は、それには結合の概念の導入を提案しております。非常に幸いなことに、物質を支配している結合の種類は既に述べたようにわずか4種類しかないのです。したがって、1億種あろうと2億種あろうと分類できます。しかし、やっかいなのは、それら4種の結合が二種類以上組み合っ様々な特性を示すことです。それを一枚の図に記述するとこのようになります(Fig. 12)。この図の原型は、在英中に学位論文に収録した図(Fig. 13)で、すべての物質はこの中の一点で表示できるはずで

これは研究の取り掛かりですが、このような方法で、多くの物質の中から興味ある物質を選択する原理を見出して行くことが可能となってくるのです。実際には、一億種の中から一種の、そして一群の物質を選ぶことは、まさに海岸の真砂の中から美しい石を見つけることに匹敵し、至難の術(わざ)です。しかし、この正攻法と、これから述べる方法を交えながら、我々人間は有用な物質を見出してきたのです。人間は長い歴史の中で、経験を通し、また自然にある物質(もの)から学んで無限に近い物質の中から、人間の生活に役立つものを発見してきたのです。その具体的な例を示します。それによって自然にある物質(もの)からどのようにして学んだかを知っていただこうと思

## 6. 自然にある物質(もの)から学ぶ—染料の物語—

人間は生活を豊かにするため、自然から多くのことを学んできたのです。衣服を例にとって話題を進めて行きましょう。

40年前、奈良の正倉院の御物展に行った時のことでした。その展示の御物の中に美しく染めた木綿の上着「夾纈布袍」(板締め染めの上着、Fig. 14)があったのを思い出しております。それは、木綿をサフランや紅花といったよく知られた天然の花汁を用いて染めたものでした。なぜここで取り上げるかと申しますと、それらの花の抽出液に含まれる染料が、現代の化学の力でその分子の構造を調べた結果、化学理論の立場からも、木綿を染めるのに最適の構造であることが分かったからです(Fig. 15)。私の想像ですが、きっと先人たちが野山を駆け巡って、衣服について花卉の汁が木綿をよく染めることを見つけた結果だと思

いるのです。

さらに話題を繊維に広げたいと思います。奈良時代に用いられた繊維は木綿であり、また、シルクロードを通して日本に伝えられた高価な絹でした。次の例として絹を取り上げてみましょう。絹の繊維の中核となる絹分子の構造は、Fig. 16の通りです。この構造が分かると、化学者の中でも合成を得意とする有機合成化学者は、この分子の合成に挑戦します。絹の場合は、アメリカの化学者カローザスが努力を重ねて、70年前の1935年に合成に成功し、ナイロンと名づけました。いまや繊維の王様です。もちろん蚕からできる絹は、この分子の周りを蛋白質などが囲んでいて、独特の風合いを出しているのです。合成の絹、すなわちナイロンは絹よりはるかに丈夫で、現在では人間生活には不可欠な材料になっていることはよく知られている通りです。これもまた、人間が天然物に学んだ好例です。

## 7. 物(もの)に学ぶ—化学調味料の発見—

もう一つの事例を述べておきたいと思います。日本が誇る化学調味料“味の素”の発見です。その発見は、私が学んだ東京大学理学部化学教室の物理化学第一講座で、1907年(ちょうど100年前)になされました。よく知られているように、発見者は池田菊苗先生です。もちろん、私はその時代を知る由もないのですが、幸運にも第一号の味の素をこの眼で確かめた感激は今でも忘れられません。何事に限らず本物を見るというのはすごく刺激があるものです。

それは、昭和26年(1951年)6月のことでした。私が池田菊苗先生の後任の鮫島實三郎先生の研究室に所属したことは既に申し上げました。鮫島先生は1951年に定年を迎えられ、1951年4月から恩師の一人赤松秀雄先生が教授職に就かれました。そこで鮫島先生の室を掃除して、赤松先生が入られることになりました。その時の引っ越しを、同僚の故高橋宏さんと手伝いました。教授室には、今では考えられないような大型で木の扉のついた薬品棚の中央に、Fig. 17で示すような不恰好な広口瓶があり、飴色の試料が底に付いていました。実は、これこそ味の素の第一号でした。

味の素の場合も“天然の物質(もの)から学ぶ”という意味では同じですが、学ぶ内容は異なっています。それは、日本人が古い昔から味出しとして昆布を利用していたという、“人間の智慧”の科学的利用でした。池田先生は、昆布のどの部分にその味の根源があるかを知るため、煮湯で昆布の中から有効成分を抽出したのです。先生の報告によると、三浦半島で採れた昆布38kg の中から有効成分30gを得たとされています。



す。その間わずか1カ月でした。その有効成分がアミノ酸の一種グルタミン酸であり、そのナトリウム塩を味の素として利用しているのです (Fig. 18)。

ここで、味の素について2つのこととお話しておきたいと思います。一つは、「化学調味料の発見」とされていますが、それは単に調味料を発見したに止まらず、人間の味覚に旨味を加えたことであり、化学物質の生理活性の発見という科学の本質に迫る偉大な業績である点です。もう一つは、基礎科学が実用化に役立つ事例でもありません。添加によって食物に旨味を与えることは、昆布を“出し汁”として昔から利用していた日本人には、すぐに受け入れられてもよいかと思われれます。しかし実際には、この旨味を持つ分子の発見からそれが広く実用に供されるに至るまでには10年余の年月が経過しています。このように、基礎研究が実際に役立つ実用研究に発展するには、想像を絶する努力と忍耐力が必要であることを教えてくれています。

## 8. ペニシリンの発見もまた自然から学んだ一例である

我々人間が自然から学んで発見した物質に、医薬品の例が幾つもあります。その代表がペニシリンです。ペニシリンは、イギリスの細菌学者アレキサンダー・フレミングによって発見され、どれほどたくさんの人間がこの薬によって命を救われたか計り知れませんが、

フレミングがロンドンの病院で、ブドウ球菌 (例えば肺炎などを起こす細菌) を研究している時の出来事でした。アオカビが、この菌に対して溶菌作用を示し、ブドウ球菌の活性を抑える作用があることを知ったのです。何がこのような効果を示したのかと、アオカビの中からその有効成分を抽出して、それをペニシリンと名づけました。今から80年も前の、1929年のことでした。この基礎研究に源を持つペニシリンは改良に改良を加えられ、1941年に抗生物質と名づけられて、ブドウ球菌によって起こる病気に極めて有効な薬として利用が開始されました。これも、顕微鏡下でのブドウ球菌とアオカビとの自然現象の注意深い観察から生まれた画期的な発見でした。ペニシリンの威力を知った科学者・薬学者が、その生理活性を持つ分子の構造を決め、抗生物質という名称の下に、人間を幸福へ呼び込んだ大事業になっています。

戦後に経験したこぼれ話をしておきましょう。一つは、著名な薬学者、柴田承二先生から聞いた話です。英・米国では青カビにブドウ球菌に効く物質があると聞いて、みかんについた青カビの抽出液を先生のお祖母さんの丹毒に投与したら、直ちに全快したと話されました。また、私の祖父の古釘を刺した痕が化膿して、病状がどんどん進

行し、手の打ちようがなかった昭和21年、米国の友人が千単位のペニシリンを持って来てくれました。そして医者だった叔父が注射して、数日を経ずして全快しました。その驚異的効果は今でも忘れられません。

## 9. 私も物(もの)から学ぶ、古くて新しい物質探索

翻って、私の場合はどうだったのか、触れておきましょう。私もまた、我々の身の回りにいくらでもある“炭素”から学びました。

既に述べましたように、私は、終戦の年の1945年(昭和20年)に大学に入学し、当時の大学のやり方として、3年生(私たちは3年生を後期学生と呼びました)になって、学生としての自らの判断で専門分野を選択しました。私は物理化学第一講座の鮫島実三郎先生の研究室に同僚3人とともに入れてもらいました。そこで、化学に対する考え方、すなわち“物質観”を得たことは申し上げた通りですが、研究課題は「炭素類の電気抵抗値の測定」でした。

当時の研究室では、研究室に入った学生は一人前の研究者として遇されました。各人が今までに積み上げた知識で、課題を解き、仕事を進めて行くというやり方でした。したがって、炭素類がどのようなもので、電気抵抗測定がどのようなことなのかは、全く知りませんでした。すべて自分で学び、不明については先輩に教を乞いました。その中で、炭素というものがどれほどすばらしい天然物であるかを知ったのは、とても幸いでした。それは、亀の甲が何百万個と集まってできた、亀の甲の玉様のようなものです。

我々が出会う亀の甲が最大の物質は、黒鉛です(Fig. 19、20)。そして、その身近な利用例は鉛筆です。鉛筆の芯は、黒鉛と粘土をよく混ぜて、高温で焼成成型して木枠の芯に入れて利用されています(もっとも、最近は焼成炭化した高分子材料を芯に使っている鉛筆もあります)。鉛筆を使って紙に字を書くというのは、黒鉛の小さな鱗片状の亀の甲の粒子が紙に擦りつけられて、黒色を示し、字や面を作り上げることです。ここで少し脱線して、人間の智慧について触れておきます。実は、日本で最初に鉛筆を使ったのは、400年も前の徳川家康なのです。静岡の久能山東照宮博物館に実物があります(Fig. 21)。30年前、岡崎の研究所に勤務していた折、名大の先輩から聞いてその写真を入手しました。今までの研究結果では、当時スペイン領だったメキシコ産の天然の黒鉛を木の枠の中に入れて使用したと考えられています。400年前の話です。人間の智慧の偉大さを感じさせられます。

炭素は実に面白い分子です。その性質がたくさんの目的に利用されています (Fig. 22)。面白い理由は、その亀の甲の数によって性質が様々に異なるからです。亀の甲が数百万の炭素分子は黒鉛で、化学的に非常に安定していて、電極として利用されています。亀の甲が数百の分子はアセチレンブラックといって、日常使用している電池の電極に使われています。さらに小さくなって、数十の亀の甲からなる炭素はカーボンブラックで、自転車や自動車のタイヤのゴムに混ぜて多量に利用されています。私たち日本人の多くが利用している墨は、亀の甲が数個か十数個の炭素(煤)を膠(にかわ)で固めたものです。それを水で磨り、分散させた炭素の粒子を筆に付けて字を書くのです。私の最初の実験は、亀の甲の数の多寡を、電気の流れ方の大小と関係づけることでした。

もう一つ、非常に面白い性質があります。炭素が酸素と結合して酸化物になると、それが気体であるということです。化学の専門に関連しているので、難しい話ですが、少し付き合ってください。炭素の酸化物は、今や非常に身近な化合物なのでから。

炭素原子は記号で C と書きます。これが酸素 (O) と結合したものが、CO あるいは  $\text{CO}_2$  です。今新聞やテレビで、温暖化の関係で取り上げられているのは  $\text{CO}_2$  で、この炭素と酸素が結合したものです。非常に不思議なことに、CO も  $\text{CO}_2$  も気体なのです。このことは、私の研究にとって非常に大切な現象です。炭素は酸化しても、それが、炭素材料の中までは進行せず、分子の表面に止まっているのです。酸化物が作る多くの原子—鉄や銅などほとんどの金属は、酸化物が金属の中までどんどん進行します—と異なっている点です。

Fig. 23は空海の手書ですが、1000年前の美しい“墨筆の手書”がほとんど変わらないのは、書かれた字の炭素の酸化が表面上に止まり、仮に進行したとしても酸化物が気体となって放出する(言葉を換えれば、燃えていく)ためです。

実は、このような炭素の面白い物性が、私の有機半導体の根幹になっています。それは、亀の甲の数が少なくなるに従い電気は流れにくくなるものの、少しは流れる可能性があることと、なぜ炭素類の粒子から粒子に電気が流れるのか、という2つの解釈が、この自然現象の中に盛り込まれていたからです。私の実験を始めた60年前はまだいろいろなことが不明の時代で、炭素の粉末(カーボンブラックと呼んでいます)を筒に詰めて電気抵抗を測り、電気が流れることを知りました。測った時は何となく「測れるなあ」と思ったのですが、次の瞬間、「よく考えると不思議だな」と思うようになりました。電子はなぜ、炭素の粒子から粒子へ飛び移ることができるのか。

偶然、実験室の薬品棚に銅粉がありました。美しく光る粉末で、実験では還元剤とし

て誰もが利用する試料でした。それを炭素と同じように筒に詰めて測ってみました (Fig. 24)。きっとよく電気が流れるであろうと思ってやったことですが、全く電気が流れません。よくよく考えると、見た目は金属でも、銅粉の表面はかなり厚い酸化膜で覆われており、それが何万何十万と重なれば、到底電気は流れないことになるかと納得しました。そこで炭素の場合には、酸化膜が厚くならない—厚くなる前に気体として抜けてしまう—ということに気づきました。炭素のすばらしい自然の性質に魅せられ、それならば、亀の甲の小さい有機物—この一連の化合物を多環芳香族化合物と言います—では、置換された原子が亀の甲の周りに一層しかないので、やはり電気が分子から分子へ流れてよいのではないかと思ったわけです。

幸い、その頃はちょうど、量子物理学が普及して化学にも用いられるという量子化学の勃興期に当たり、炭素固体(黒鉛)の中の電子の挙動は理論で説明がつくと発表された時期でした。それに勢いづいて、「本来電子が対をなして安定化している有機化合物は、電気絶縁体の代表である。しかし、亀の甲のような構造を持つ $\pi$ 電子を含む有機化合物は電気を流してもよいのではないか」という方針を立てて、何十回、何百回と実験を繰り返しました。また、化学が特異とする物をきれいにする手段を繰り返して有機半導体発見へとつなげ、その有機半導体と組んで60年、長い道程ではありましたが今日に至りました。

## 10. これからの化学

長い歴史の中で、人間は様々な方法で化学を利用してきました。なぜなら、衣・食・住のいずれをとっても不可欠の“物質”を供給してくれるからです。しかし、有限の資源の中で、あらゆる生物が共存して生きて行くためには、物質の効率的活用がどうしても必要です。必要とする物質を必要なだけ作るという、無駄を出さない方法は、我々化学を学ぶ者の一つの目標でしょう。物質の構造(私たちはそれを分子構造と呼んでいます)からその機能・物性を知る時代が、いずれ来ると思います。まだかなりの年月を要しますが、「こんな分子構造を持った物質(分子)は、これこれの病気を治す性質を持つ」という、分子設計ができる時代が来るはずで、それが化学者の最終目標だと思っています。無駄のない社会形成には必要な目標です。

## 11. 物質循環の方法の確立

地球全体では、自然は、物質循環によって安定が保たれています。しかし、人間社会はより高度な生活を望むために、役立つものを得たいがために、不要な物質を生み出しています。その典型的な例がリサイクルです。世にリサイクルといっても、最後は廃棄物を作り出してしまいます。それでは無駄が出ます。無駄を出さない方法として、自然に習って物質循環の原理を確立することが求められています。非常に困難ですが、その実現に努力することが、我々研究者に求められていると思っています。



Fig. 1

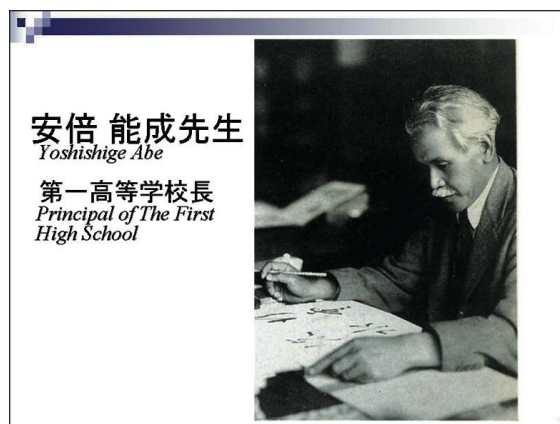


Fig. 2



Fig. 3



Fig. 4



Fig. 5

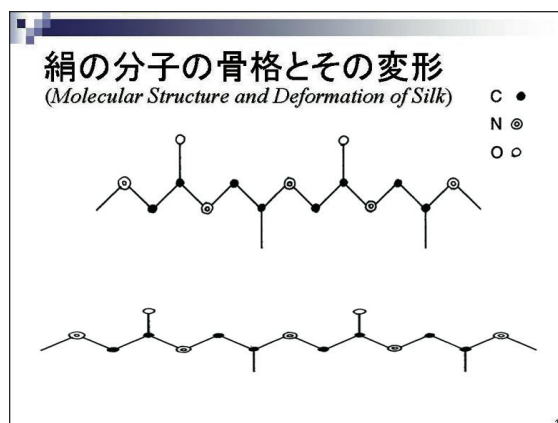


Fig. 6



Fig. 7

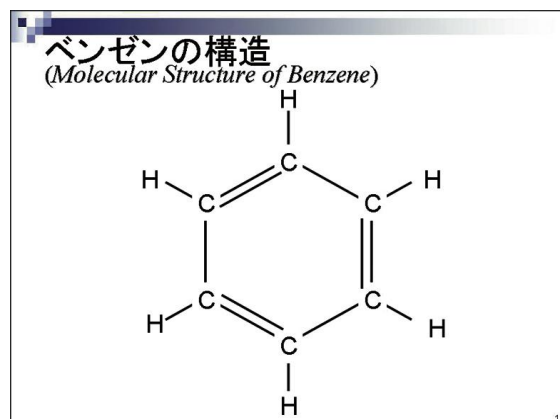


Fig. 8

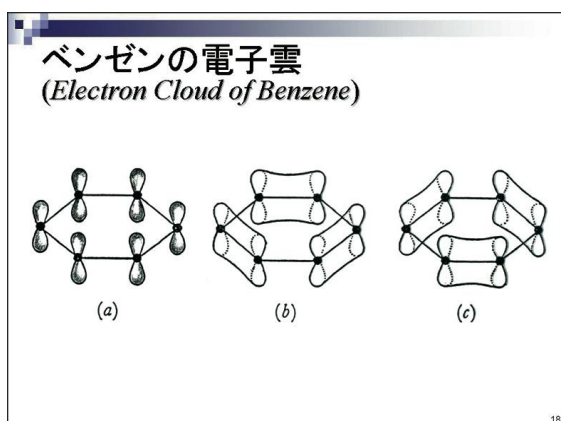


Fig. 9

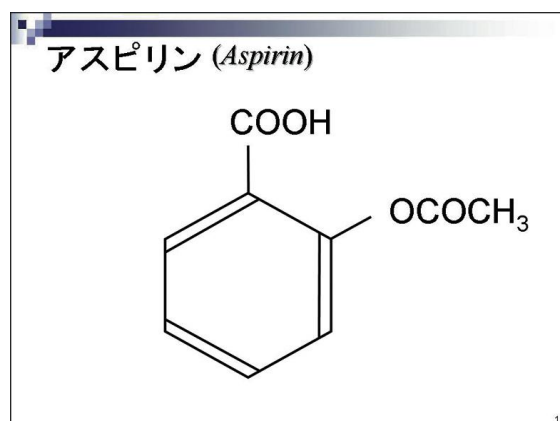


Fig. 10

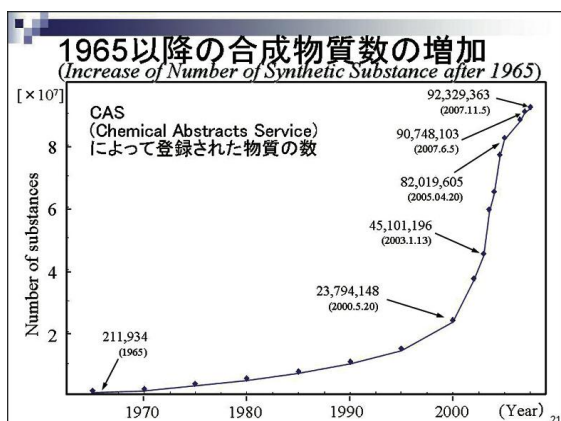


Fig. 11

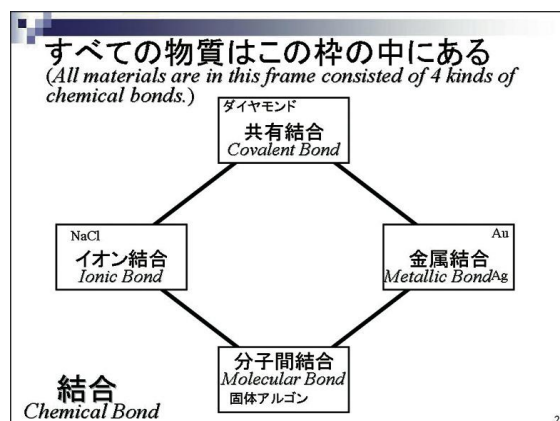


Fig. 12





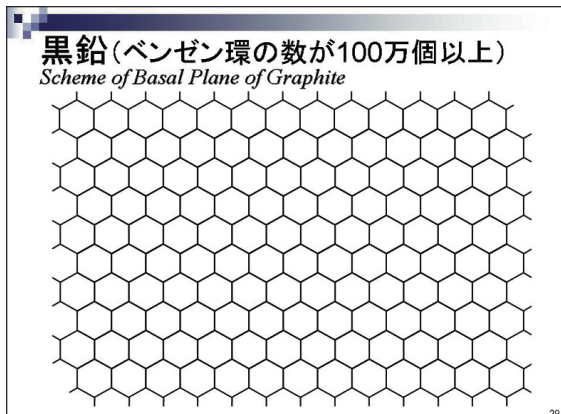


Fig. 19

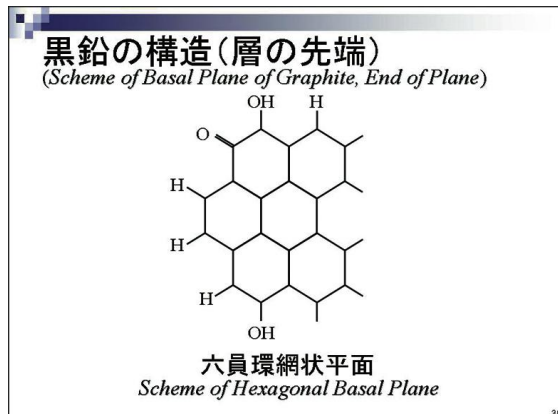


Fig. 20

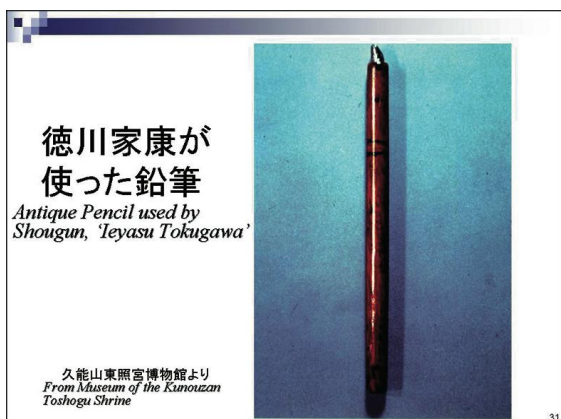


Fig. 21

**炭素の利用 (Application of Carbon)**

| ベンゼン環の数<br><i>Number of Benzene ring</i> | 名称<br><i>Name</i>                   | 用途<br><i>Application</i>                    |
|--|-------------------------------------|---|
| 100万個以上<br>( $\geq 10^6$ )               | 黒鉛<br><i>Graphite</i>               | 電極、鉛筆の芯<br><i>Electrode, Core of Pencil</i> |
| 100個以上<br>( $\geq 100$ )                 | アセチレンブラック<br><i>Acetylene Black</i> | 乾電池の電極<br><i>Electrode of dry battery</i>   |
| ~数十個<br>( $\leq 100$ )                   | カーボンブラック<br><i>Carbon Black</i>     | タイヤのフィラー<br>(まぜ物)<br><i>Filler</i>          |
| ~数個<br>(A few number)                    | 煤<br><i>Soot</i>                    | 墨<br><i>Chinese Ink</i>                     |

32

Fig. 22

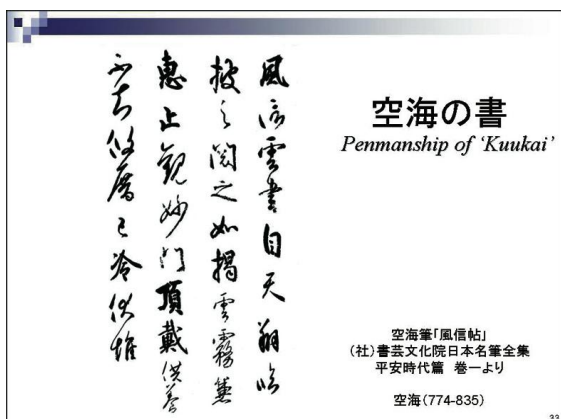


Fig. 23

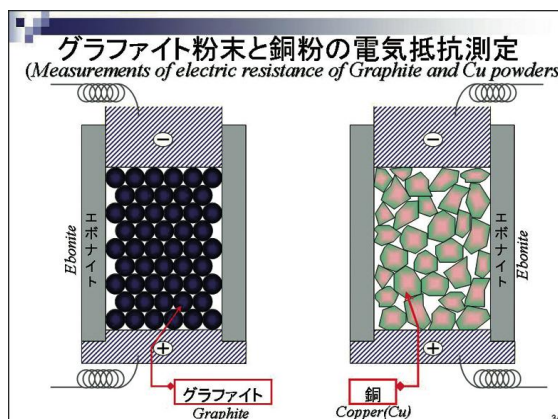


Fig. 24