

題名	私の化学研究の旅路—一人から学び、物に学ぶ—
Title	My Journey in Chemical Research—Learning from People and Things
著者名	井口 洋夫
Author(s)	Hiroo Inokuchi
言語 Language	日本語・英語 Japanese, English
書名	稲盛財団：京都賞と助成金
Book title	Inamori Foundation: Kyoto Prize & Inamori Grants
受賞回	23
受賞年度	2007
出版者	財団法人 稲盛財団
Publisher	Inamori Foundation
発行日 Issue Date	7/1/2008
開始ページ Start page	108
終了ページ End page	141
ISBN	978-4-900663-23-9

私の化学研究の旅路—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、楽しみは一家団欒での会話であり、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、団欒以外の時間はいつも座り机で何か書いて

My Journey in Chemical Research —Learning from People and Things Hiroo Inokuchi

1. Introduction

Good afternoon, my name is Hiroo Inokuchi. I feel deeply honored to have been presented with the 23rd Kyoto Prize yesterday. I specialize in the field of chemistry.

I first began my study of chemistry in April 1945, upon enrolling in the Department of Chemistry in the Faculty of Science at The University of Tokyo. For some sixty years, I have devoted all my energies to the basic science of chemistry. Now I am astonished to find myself in the unexpected position of receiving the Kyoto Prize in Advanced Technology. I am also extremely moved by this award.

For the past sixty years, as I have just said, I have been accumulating and analyzing the results of experiments conducted in collaboration with numerous other researchers of exceptional talent. Such an accumulation takes time and involves repetition: it is an entirely unglamorous task. However, our painstaking experiments eventually elucidated the electronic properties of organic semiconductors. I think that my prize recognizes the contribution this work has made in building the foundations for the “advanced technology” of organic molecular electronics.

This prize is recognition for someone who has humbly traveled the great road of scholarship—a road which does not make distinctions between chemistry, physics or any other field of endeavor—and I am sure it will provide great encouragement to all researchers committed to the basic sciences.

2. From childhood to high school

As I have already mentioned, I chose the path of chemical research only after entering university. Home life may have offered an environment conducive to studying science, but as a child I was by no means a science fanatic.

My recollection of childhood is full of memories of playing outdoors. It is more than seventy years ago now that I lived as a child in Hiroshima City, in a newly developed area where some swamps and ponds still remained after the subdivisions were finished. My neighborhood was called Danbara, a name that suggests that it was once home to terraced fields. When the weather was fine, I would play on the vacant lots from morning till night; in summer, I would walk one or two hours to nearby farming districts and spend my days hunting for dragonflies in the rice paddies and lotus ponds. In those days, we had no television or video games: we entertained ourselves with the company of our

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。川の多い広島で、鮎や沙魚を捕ってきても、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、まして鳥もちは使用しない。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^{いのち}の生命に永久^{とこわ}の 息吹を込めて 行けや益荒男」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

families or at play with friends.

There are two things that those childhood days taught me. The first was learned from my parents and grandparents. What I gained from my parents did not come in the form of overt directions: rather, I learned by watching them live. My father, who worked as a teacher in Hiroshima, spent all his time sitting at his desk writing, except when he would join in our family conversations. My mother was a typical Meiji-era type, always sacrificing her own needs as she worked to bring up my two brothers and myself. One phrase that she sometimes used as a kind of admonition was: “Never give anyone cause to talk about you behind your back.”

In those days, children made their own fun with pastimes such as catching fish and dragonflies. Looking back now, I see that one other thing I learned was the value of life itself. One influence was our family's zealous observance of the tenets of the True Pure Land sect of Buddhism, which taught that no living thing should be killed on any account. Although we would catch roach and goby fish in the many streams around Hiroshima, we would always release them later or keep them in ponds. My favorite pastime was catching dragonflies: I recall the infinite pleasure it gave me, upon returning home in the evening, to release my day's catch and watch the creatures soar high into the air, heading home towards Hijiya.

Ensuring that the dragonflies came to no physical harm was an unwritten rule observed within our group of friends. In order to protect the creatures' wings, we would avoid touching them with greasy hands, and would certainly not use sticky birdlime. When we attached them to a line in order to catch more dragonflies, we would wind the thread around their bodies between their two front legs and their four back legs, gently securing it in a cross over their backs. This was to make sure they didn't suffer any injury and would still be able to fly back home when we set them free in the evening. It is not something I learned specifically, but the principle that “life is important, and it should never be destroyed” seems to have become ingrained of its own accord. I believe that this principle has continued to govern my life ever since.

These childhood pastimes strengthened me physically—a valuable legacy for someone with a weak constitution like mine. One other thing that I learned from my father is that it's important never to stop learning, no matter how old you are.



Fig. 1



Fig. 2



Fig. 3



Fig. 4



Fig. 5

3. The way to chemistry

When I was in the fifth year of elementary school, I moved with my family to Tokyo. The following period of eight years (from 1937 to 1945) was a turning point in my life, as I progressed from junior to senior high school and chose to study the science of chemistry at university. More significant, however, was my experience of the tribulations of war during this period.

In 1944, when I was in the second year of the First High School (Daiichi Kōtō Gakkō, Fig. 1), the principal, Yoshishige Abe (Fig. 2), wrote a poem of encouragement to humanities students who were being sent to the battlefield. It went: "Go forth, brave men, and bring an eternal spirit to this life which knows not of tomorrow." This was a perfect expression of the attitude that prevailed in those days towards the end of the war. Japan was a battlefield, with air raids day in and day out. As one who survived that time, I just accepted our miserable circumstances as something natural. After the war, the same experience came to fuel my passion for the rebuilding effort.

This was an era of spiritual uplift for me, as it was for so many other young men and women of the time. It was also the time when I entered university and started pursuing the study of chemistry. Luckily, The University of Tokyo's Department of Chemistry (Fig. 3) was spared the ravages of war. Somehow or other, classes began from September 1945, a month after the war ended. "This is it. Here I go," I resolved, and plunged into my task of absorbing knowledge like the parched earth welcomes the rain. One thing I learned from that period was that even if physical needs are left wanting—we had no reliable supply even of basic essentials like gas, water and electricity—one can still find the resolve to go on living, provided there is a clear goal ahead. This lesson is something for which I have been very grateful throughout my life.

I am indescribably indebted to my parents' efforts and the support of my friends in creating the conditions for me to go on with my life in the face of such utterly wretched conditions. They demonstrated the kind of human love that touches you more deeply the direr your situation is. I believe that we should really hold on to the mood of that era and use it to prepare ourselves for unforeseen events that might confront humanity in the future.

It was April 1947 that I was taken in by Professor Jitsusaburo Sameshima, who was in charge of the No. 1 Physical Chemistry Laboratory in the Department

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、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つたと思います。

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つ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年冬の停電の夜だつたと思います。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

of Chemistry, the Faculty of Science at The University of Tokyo. That makes it exactly sixty years since I began my long journey in the field of chemical research. The laboratory (Fig. 4) was actually well staffed in comparison with universities today, with one professor, two associate professors and two assistants. My senior colleagues at associate professor level had recently returned from the battlefields, and were throwing themselves into the task of rebuilding their careers after the grueling war effort. I call that period the golden age of the lab in terms of human resources. I gained first-hand experience of the immeasurable influence exerted not only by my professor, but all others senior to me. Still rough-hewn and uncouth, I was nurtured both as a researcher and as a human being by so many of my senior colleagues. I am convinced that this experience made me what I am today. I truly learned from people.

My seniors taught me so much that it is difficult to select specific examples. Here, I will relate just one of a myriad of experiences. It was during a power failure on a winter's night at the end of 1947. I was in a dim room listening to a lecture on chemistry given by Tsurutaro Nakagawa (Fig. 5), a chemist who was later to become a professor in the Department of Polymer Science, the Faculty of Science at Hokkaido University. At the time, Nakagawa had the title of junior assistant in the Faculty of Science at The University of Tokyo, and was dressed in clothing that had been modified from the uniform he had worn as a commissioned technical officer in the former Japanese navy. To those of us attending the lecture, he was a philosopher ten years our senior. The lecture he was giving was on molecules, a specialized topic in the field of chemistry. A molecule forms as a combination of atoms, which are the most fundamental building blocks of a substance. I will talk about them in more detail later.

Nakagawa's lecture went something like this: "Look at this single thread of silk, Mr. Inokuchi. The thread is actually a bundle of many molecules. Say we could pull one of these molecules, the essential units in the silk's structure, out of the bundle. If we stretched the molecule between our fingers it would appear as a row of carbon and nitrogen atoms bonded together (Fig. 6). What would happen if we pulled it? The force would be dispersed throughout the row and finally the bonds would break in unison, and the molecule would split into individual atoms, wouldn't it?" This vivid description, delivered by the philosopher-like personage of Nakagawa, left me feeling that I had encountered one of the great mysteries of substances. "I see, all substances are made up of different combinations," I thought.

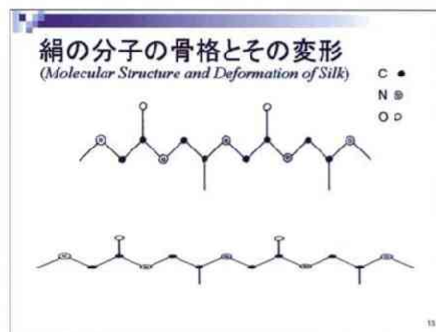


Fig. 6

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・窒素原子が一列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ね」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



Fig. 7

Of course no such ideal molecule exists. So, the weakest portion of the molecule would break in reality. Discussions like this gradually fuelled my interest in the idea of bonding, and led me to pursue a long career in the field of chemical research founded on the guiding principle that “the essence of chemistry is bonding.”

I would like to discuss this principle more later on. Why I chose it as the guiding principle for my research is because chemistry is a discipline concerned with materials. There are 100 million different substances, so many people say that the field of chemistry is all about memory. All these substances, however, are made using only four types of bonds (Fig. 7). Thus, if we approach the study of substances from the perspective of bonding, classification becomes simple and we can gain a better overall picture of the nature of substances. This line of thinking has led me to other ideas, for example, “the essence of physics is statistics,” and “the essence of biology is time.” (Regarding the latter, it would perhaps be more accurate to say, “The essence of life is evolution.”) I now tackle many phenomena through simplifications of this kind.

Allow me to say some more about what I have learned from people. Don't you agree that since we have entered the electronic age and begun to use computers, the time granted to direct communication between humans has diminished? This may sound like sour grapes coming from me, one who cannot keep up with the computer age himself, but I wish people would use computers more effectively to create more time to enjoy interacting with other human beings. In such interaction, there is human wisdom that can never be generated by a machine.

Once in a while I call to mind the words of Ken Sakamura: “Computers can do things that are impossible for humans-like working continuously for days on end without sleep. But no matter how hard they try, they are no match for the human intellect.” I take this as an expression of the nature of intelligence in human beings.

Saburo Nagakura provided one other rule about computers that I cannot forget: “Scientists should make (good) use of computers. But they should not allow themselves to be used by them.” The statement is simply expressed, but it's a weighty piece of advice.

I am sure that people of my generation will not be able to contemplate the speed and complexity with which electronic devices will evolve in the next ten or twenty years. I also believe, however, that whatever developments take place, we

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う、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。

must never lose sight of human intelligence.

4. Learning from things

To this point, I have talked chiefly on the theme of “learning from people” through chemical research, rather than addressing the substance of that research itself. I have only used one piece of chemical terminology so far: “molecules.” Molecules are the key subjects of chemical research. To put it plainly, molecules are, in fact, just the things we see around us.

The discipline of chemistry concerns itself with the structure, properties, synthesis and analysis of substances. What are these substances? I would like to address this question because its answer leads directly to an understanding of chemistry itself. Please join me for a few minutes as we travel along the path to chemistry.

5. What are substances?

Once again I stress that chemistry is the field of academic endeavor concerned with substances. Thus it is important to understand what substances are. This is where the roots of my own research lie. All parts of the podium at which I now stand are made up of materials or substances. The lamp is a combination of substances, as is the desk, and the floor, and, of course, I myself. The units that make up these things are molecules. The properties of a substance depend on the properties of the molecules that make up the substance. Therefore, the type of substance corresponds to the kinds of molecules in it.

Let's be a little more specific about molecules. Our education system does not divide us into different specialist fields at elementary and high school level. It is when we enter university that we split into the two fields of humanities and sciences. This is when humanities people become averse to hexagonal benzene ring structures, while those in the sciences start to dislike language. Among my contemporaries in junior high school, several who chose to study the humanities expressed a dislike for benzene rings. For those of us who study chemistry, however, the sight of a benzene ring diagram makes us feel right at home. Maybe this is what is meant by specialization.

I do hope, however, that you will bear with my benzene rings today as I attempt

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ったりします。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、亀の甲の図面を見ると、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のように原子の持つ電子の雲が重なって分子ができているのです。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した。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

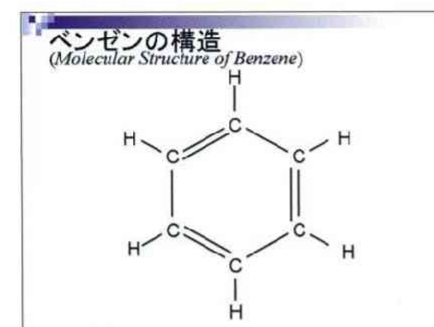


Fig. 8

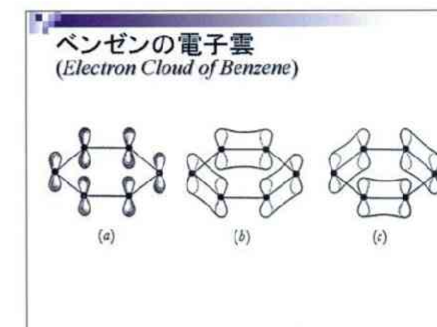


Fig. 9

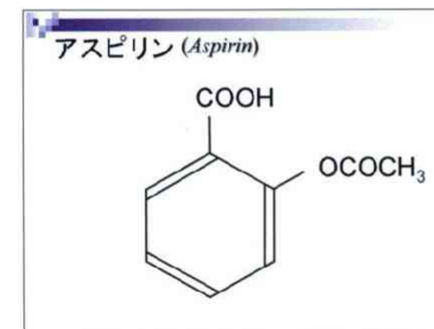


Fig. 10

to explain the nature of chemistry. The benzene ring is a molecule made up of six carbon atoms linked in a uniform configuration. The lines between carbon atoms represent carbon-carbon bonds (Fig. 8). As shown in Figure 9, it is closer to the truth to say that electron clouds of the carbon atoms are overlapped to make up the molecule. With six hydrogen atoms around the perimeter to stabilize it, this molecule becomes the substance known as benzene. The diagrams (Fig. 10) used by pharmacists in advertising are simplifications of the actual molecular structure. Most molecules are made up principally of carbon, hydrogen, oxygen and nitrogen.

Thus, a molecule is made up of atoms that bond with each other. There are vastly more different molecules than there are different atoms. The number of different elements (equivalent to atoms) on the face of the earth, and in the entire

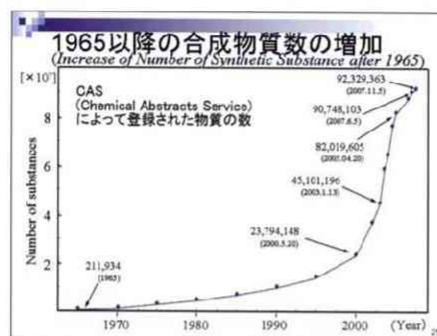


Fig. 11

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、まさに縁の下の力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っています。

さて、この分子の数が多いと思われるか、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

universe for that matter, is 92. These come together in different combinations to create molecules. The combinations that form molecules remind me of the way in which the 48 characters of the Japanese phonetic alphabet are combined to compose a *tanka* poem. From long ago in the Manyo era (8th century), countless *tankas* have been produced by combining different characters. Just as the composition of *tanka* presents infinite possibilities, the variety of molecules that can be formed by combining the 92 kinds of atoms is also inestimable. This variety is made even greater by the fact that there is no limit to the number of identical atoms that can be present in a single molecule.

There is one remarkable project group that is engaged in counting all of the types of molecules made by humans. They comb through all sorts of literature on chemistry, and report up-to-the-moment figures on the number of molecules. The results of this work are illustrated in this table (Fig. 11). As you can see, there are researchers working day in and day out to survey and register the number of molecules—that is, the number of different types of substances. Let's look a little more closely at the actual work involved. There are around 8,000 different journals published worldwide that deal with chemical substances. There are also papers on patent applications for new synthetic substances. The project group goes through all these documents, taking care to avoid any duplication, and publishes reports on new synthetic substances. Today, on November 11, 2007, the total number reported is 92,329,363 (as of November 5).

There are two things I am trying to convey to you here: the importance of gaining an accurate grasp of the number of kinds of molecules here on earth, and the fact that there are many people working to support academic endeavor behind the scenes. Furthermore, the kind of work I have just described involves the exercise of individual human judgment. It requires the utmost vigilance, and puts considerable strain on the nerves. I think it is the same in all fields of endeavor. We cannot reach the peak without that kind of support. A volleyball match is a good example. Only a few players actually lay hands on the ball. A wider team provides support, and maintains the court by mopping it to ensure the players don't slip. It is this kind of backup that makes a strong team. For me, there is no higher honor than to reach a position where I can engage in the "on-court" action. I always remind myself that I must repay the support of all those other individuals who have helped me reach this position.

To return to our discussion on the variety of molecules on the earth: I am

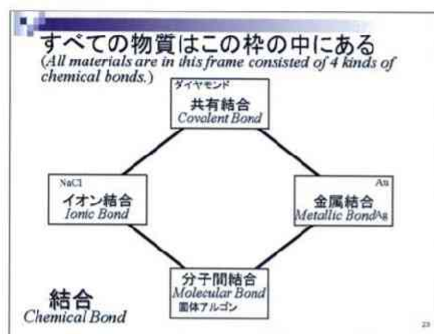


Fig. 12

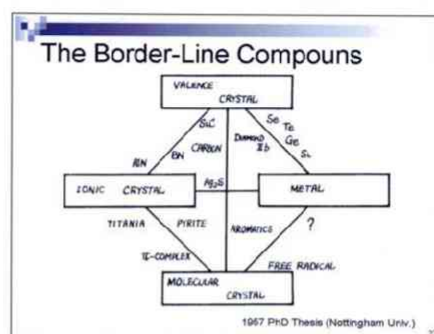


Fig. 13

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て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

す。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います。

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。

not sure whether you think the number to be larger or smaller than anticipated, but the fact is that it is now approaching 100 million. From among those hundred million different types of molecules—that is, types of matter, those of us who specialize in chemistry select whichever ones we find interesting and study them. We all need some kind of policy to guide the selection process. My proposal is to apply the concept of “bonding” that I mentioned earlier. We are very fortunate that there are only four different types of bond that determine the nature of all substances. Categorization is therefore possible, regardless of whether there are 100 or 200 million different types of materials or substances. The difficult part is that these four types of chemical bonds can display many different characteristics when two or more of them are amalgamated together. Here is what this looks like in a single diagram (Fig. 12). This is derived from one that was included in the thesis I wrote while in the United Kingdom (Fig. 13). I reworked it into this diamond shape so that it should be possible to display all forms of substances at some point on the diagram.

This is a starting point for research: It provides a way to identify principles to guide researchers in selecting forms of matter that are of interest to them, out of the myriad choices available. In reality, choosing just one type or one group of substances out of 100 million is akin to finding a beautiful stone among the sand on a beach: an almost impossible task. Nevertheless, humans have managed to use this straightforward approach, in conjunction with another method that I am about to describe, to identify many useful substances. Human experience and lessons from nature learned over the long course of history have enabled us to sift through a near-infinite variety of materials or “things” and discover those forms that are of use in our lives. I will provide one concrete example of this. I hope it will show you how we have learned from the “things” available in nature.

6. Learning from materials (things) in nature—the story of dyes

We have learned much from nature to enrich our lives. Let me discuss this using the topic of clothing as an illustration.

Forty years ago, I visited an exhibition of the Shōsōin repository in Nara. Among the artifacts on display, I remember seeing a beautifully dyed cotton jacket called a *kyoukechi fuhou*—an over-garment dyed using the *itajime* dye-blocking technique (Fig. 14). The cotton cloth used in this garment had been dyed using

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、衣服についた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ます。まさに人間が自然に学んだのです。そして、近年になってこのように自然の染料の分子構造を模して染料を合成し多量に利用しているのです。

さらに話題を繊維に上げたいと思います。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。この構造が分かったと、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



Fig. 14

染料の構造 (Molecular Structures of Dyestuffs)		
くちなし <i>Gardenia jasmoides</i>	橙・黄 Orange / Yellow	
紅花 <i>Carthamus tinctorius</i>	黄-紅 Yellow → crimson.	
あい Ai	青 Blue	
貝紫 <i>Kaimurazaki</i>	紫 Purple	

Fig. 15

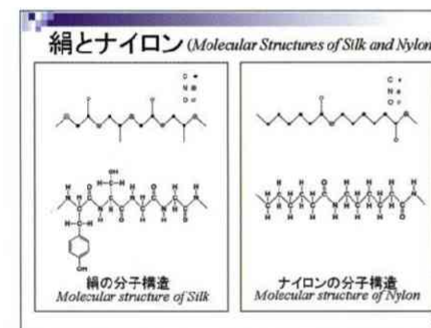


Fig. 16

natural extracts of commonly known flowers such as saffron and safflower. Why I mention this here is that when the dyes in liquid extracted from these flowers were examined using modern chemical techniques, they were found, in terms of chemical theory, to possess a molecular structure that is ideally suited for use in dyeing cotton (Fig. 15). It is my guess that the dyes were discovered by people in former times who, in the course of traversing the natural world, had found that liquid extracts from certain types of flower petals stained cotton cloth particularly well. This is a true case of humans learning from nature. In modern times, we are able to replicate the molecular structures of these natural dyes to produce synthetic dyes that are now used in great quantities.



Fig. 17

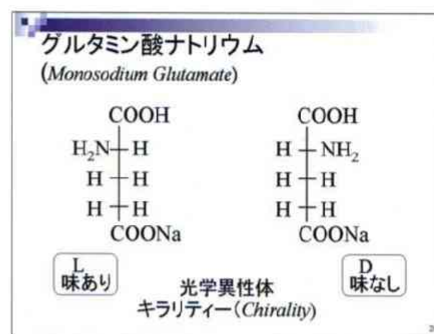


Fig. 18

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。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つのことを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った事例でもあります。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と思われるかもしれません。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

Extending this line of inquiry to fibers, we find that cotton was used in the Nara period (8th century) along with silk—a premium item that had reached Japan via the Silk Road. Silk provides the subject for my next example. The molecular structure of silk that forms the core of silk fiber is illustrated in Figure 16. Once this structure became known, organic synthetic chemists, who specialize in creating new substances, took up the challenge of synthesizing the silk molecule. The unrelenting efforts of the American chemist Wallace Carothers finally yielded success in producing synthetic silk in 1935, some seventy years ago. The name given to the new synthetic fiber was nylon, which is now the king of textiles. Of course, the fiber produced by silkworms is encased in proteins and other compounds that give natural silk its distinctive character. Synthetic silk-nylon is considerably more durable than its natural equivalent, and as you well know, has now become indispensable to the daily lives of us all. This is another good example of how humans have learned from naturally occurring things.

7. Learning from things—the discovery of a chemical seasoning

I will give one further example. This relates to the chemical seasoning compound Ajinomoto, a discovery that Japan can be proud of. I mention this discovery particularly because it was made in 1907 (exactly 100 years ago) at the No.1 Physical Chemistry Laboratory in the Department of Chemistry, the Faculty of Science at The University of Tokyo—the very place where I studied. As is well known, the person responsible for the discovery was Dr. Kikunae Ikeda. Of course I have no direct knowledge of the era in which the discovery took place, but I still cannot forget the emotion I felt upon seeing with my own eyes the very first Ajinomoto compound ever produced. I always find it really inspiring to see a genuine item first-hand.

This was back in June 1951. As I have already said I was attached to the laboratory of Professor Jitsusaburo Sameshima, who was Dr. Ikeda's successor. Professor Sameshima retired in 1951, and in April of that year Dr. Hideo Akamatu, one of my teachers, succeeded to the professorial post. I helped out with the moving process together with my fellow student, the late Hiroshi Takahashi. In the professor's office there was a sample cabinet, much larger than anything you would see today, with wooden doors. In the middle of this cabinet there was an ill-proportioned jar, like the one you see in Figure 17. At the bottom of the jar was

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。

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かでもある“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、

a brownish amber-colored sample. This was the first Ajinomoto ever produced.

The discovery of Ajinomoto resembles the other examples I have given, in that it is a case of “learning from natural substances (things).” It differs, however, in terms of what was learnt. Ajinomoto is a case of the scientific application of human wisdom, using *kombu*, seaweed that has been used as a flavor source in Japan since ancient times. In a search for the origins of that flavor, Dr. Ikeda extracted the active ingredient in *kombu* by boiling it with water. His report states that 30 grams of the active ingredient was extracted from 38 kilograms of *kombu* harvested offshore from the Miura Peninsula in Kanagawa Prefecture. The extraction process took just one month. The ingredient was glutamic acid, the amino acid that is used in the monosodium glutamate compound to make Ajinomoto today (Fig. 18).

There are two things I wish to point out about the story of Ajinomoto. The first is that although it is known as the “discovery of chemical seasoning,” it was in fact much more than that. In identifying *umami* (“savoriness”) as part of the human sense of taste, Ikeda had discovered a physiological activity for a chemical substance—a great achievement that comes close to the true essence of science. Secondly, Ajinomoto provides an example of how basic science can be instrumental in developing practical applications. It would not have been surprising if Japanese people, who had long used *kombu* to make stock, immediately caught on to the idea of adding *umami* to food. In reality, however, it was over ten years after the discovery of the *umami* molecule that Ajinomoto finally became available for widespread practical use. This example reminds us that the process of developing basic research into applied research for real-life uses is one that requires effort and patience beyond imagination.

8. The discovery of penicillin: another case of learning from nature

Medicine is one field that provides many examples of how humans have discovered substances by learning from nature. The classic example is penicillin. There is no telling how many human lives have been saved by penicillin, a medicine discovered by British bacteriologist Alexander Fleming.

The discovery occurred while Fleming was studying staphylococcus, the bacteria causing conditions such as pneumonia, at a London hospital. He noticed that blue mold showed bacteriolysis against staphylococcus, inhibiting the

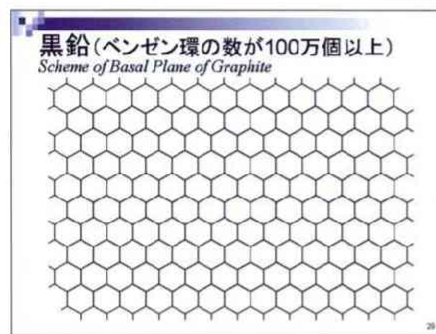


Fig. 19

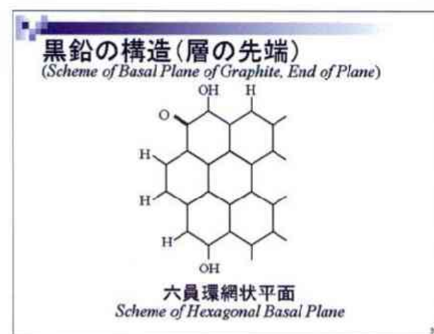


Fig. 20

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、亀の甲の王様のようなものです。

我々が会お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、字や画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

bacteria's activity. Seeking to identify the cause of this effect, Fleming isolated the active ingredient in the mold and named it penicillin. This was eighty years ago, in 1929. Penicillin, which was born out of basic research activity, underwent successive improvements before coming into use in 1941 as an antibiotic. It proved to be an exceptionally effective treatment for ailments caused by staphylococcus. It was a revolutionary discovery, made possible by careful microscopic observation of the natural interaction between staphylococcus and blue mold. As I have described, scientists and pharmacists who learned of the potency of penicillin went on to complete the great work of determining the structure of its biologically active molecule, bringing great relief from suffering to the human race through the agency of antibiotics.

Allow me to relate a small anecdote from the days after the Second World War. I heard this from the great pharmacist Dr. Shoji Shibata. Upon learning the news from the West that blue mold contained a substance that was effective against staphylococcus, Dr. Shibata tried administering a liquid extract of blue mold from a mandarin orange as treatment for his grandmother's erysipelas affliction. The grandmother enjoyed an immediate and complete recovery. Similarly, in 1946, my own grandfather suffered a suppurating wound due to a puncture with an old nail, and it progressed rapidly with catastrophic effects. A friend of mine from the United States brought a thousand units of penicillin with him. Just a few days after my grandfather was injected with the penicillin by my uncle, who was a medical practitioner, he recovered completely. I still cannot forget the marvelous effectiveness of that treatment.

9. I, too, learn from things: the quest for substances that are old but also new

I turn now to my own experience. It is one of learning from a substance that is all around us in limitless quantities: carbon.

I have already explained how I entered university in 1945—the year the war ended—and, in accordance with the system operating at universities in those days, chose my own field of specialization when I was a third-year student (or latter-stage student, as we were then known). Together with three colleagues, I was admitted to Professor Jitsusaburo Sameshima's laboratory in the No.1 Physical Chemistry Course. As I have said, the course provided me with a way of understanding the study of chemistry—that is, an outlook on the concept of matter. My research



Fig. 21

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すから。

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

ベンゼン環の数 (Number of benzene ring)	名称 (Name)	用途 (Application)
100万個以上 ($\geq 10^6$)	黒鉛 (Graphite)	電極、鉛筆の芯 (Electrode, Core of Pencil)
100個以上 (≥ 100)	アセチレンブラック (Acetylene Black)	乾電池の電極 (Electrode of dry battery)
~数十個 ($\sim 10^2$)	カーボンブラック (Carbon Black)	タイヤのフィラー (まぜ物) (Filler)
~数個 (A few numbers)	煤 (Soot)	墨 (Chinese Ink)

Fig. 22

topic at the time was “The measurement of the electrical resistance of carbons.”

In those days, students who entered the laboratory were treated as full-fledged researchers, with each one using the knowledge they had accumulated up to that point to solve problems and pursue their own work. Therefore, I myself had no idea what carbon was or how to measure electrical resistance. I had to learn everything myself, calling on my senior colleagues to explain any areas that were unclear.

I am very fortunate that this experience revealed to me what a wonderful natural product carbon is. It is like the king of hexagonal ring structures: a collection of millions of hexagonal rings.

The greatest benzene ring structure we come across is graphite (Figs. 19 & 20). One close-to-home example of how graphite is used can be found in pencils. A pencil lead is actually made by mixing graphite and clay together well, then molding and firing it at high temperature before placing it in a wooden casing. (These days, some pencil leads are also made of carbonized polymers.) When you write on paper, the small scaly benzene ring particles in the graphite rub off on the paper and appear as black marks to form letters and images.

Allow me to sidetrack just a little to talk about human wisdom. The first person to use a pencil in Japan 400 years ago was none other than Ieyasu Tokugawa. The actual item he used is held in the Treasure Museum of the Kunouzan Toshogu Shrine in Shizuoka (Fig. 21). When I was working at the Institute for Molecular Science in Okazaki 30 years ago, I heard about this from a senior colleague at Nagoya University, and managed to get hold of a photograph of the item. Research to date suggests that the pencil consisted of a wooden casing around natural graphite from Mexico, then a Spanish colony. This was 400 years ago. It gives us a sense of the magnitude of human wisdom.

Carbon is a fascinating molecule. Its properties allow it to be used for many different purposes (Fig. 22). The reason that it has such interesting properties is because its characteristics vary depending on how many benzene rings there are. Carbon molecules with several million benzene rings make graphite, which is extremely stable in chemical terms and is therefore used in electrodes. Molecules with several hundred benzene rings make acetylene black, used for electrodes in the batteries we use every day. Molecules with tens of benzene rings make what is known as carbon black. This is used in great quantities, mixed with rubber to make tires for bicycles and automobiles. The black ink that is used so widely in

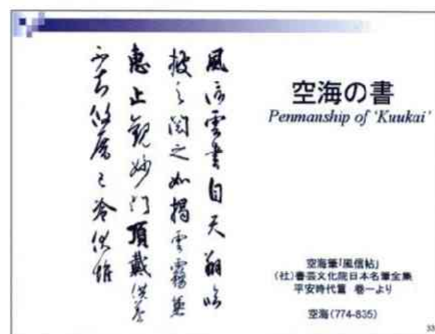


Fig. 23

CO₂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CO₂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CO₂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は空海の手紙ですが、1000年前の美しい“墨筆の手紙”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。私が実験を始めた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

Japan consists of carbon (soot) with up to a dozen or so benzene rings, hardened with glue. Dispersed in water, the carbon particles are picked up by the writer's brush and used to write. My first experiment was to establish a relationship between the number of benzene rings and the magnitude of electrical current that could be passed through the various forms of carbon.

Carbon has one other very interesting property. When it combines with oxygen to form an oxide, it becomes a gas. I am getting into a specialized area of chemistry here and it may be difficult to follow, but please bear with me for a moment. Many of the compounds most familiar to us are actually carbon oxides.

The carbon atom is written with the symbol C. When combined with oxygen (O), it becomes CO or CO₂. The carbon-oxygen compound CO₂ is what causes the global warming that is often talked about in the news media these days. It is a very odd fact that both CO and CO₂ are gaseous substances. This fact is an extremely important part of my research. Even if carbon is oxidized, the oxidation does not progress to the inside of the carbon material, but instead is confined to the surface area of the molecules. This is a point of difference from oxidation in most other elements: In iron, copper and almost all other metals, oxides develop rapidly right to the metal's core.

Figure 23 shows the calligraphy of the Buddhist monk Kūkai, done 1,000 years ago. This example of black-ink brushwork has retained its beauty for this long because oxidation of the carbon in which the letters were written has been confined to the surface area, and any oxides that may have been produced as a result have been discharged in gaseous form (or, to put it another way, burned off). Thus the surface is always fresh, and the core of the work does not deteriorate.

This interesting property of carbon actually forms this basis of my work on organic semiconductors. Two of the issues examined in my research are: the possibility of some electrical charge flowing through carbon with few benzene rings, despite the fact that flow becomes more difficult the fewer rings there are; and the question of why electricity flows between particles of carbon. The natural phenomenon of carbon oxidation contains an explanation for both these issues. Sixty years ago when I began my experiments, many things were still not known about carbon. When I tried packing powdered carbon (known as carbon blacks) into a tube and testing it for electrical resistance, I found that electricity could be passed through it. At first I just thought casually, “So it does conduct electricity,” in the next instant, however, I realized, “Come to think of it, that's quite a mystery.”

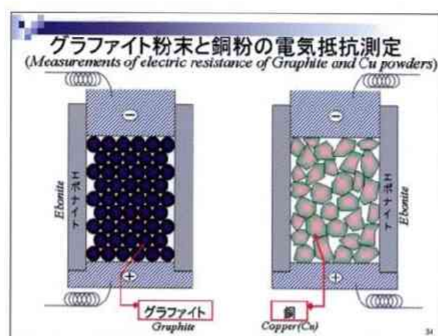


Fig. 24

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 π 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

Why were electrons jumping from one carbon particle to the next?

By chance, I found some copper powder in the lab cabinet. Shiny and attractive, copper powder was used in many experiments as a reducing agent. As I had done for carbon, I put the copper in a tube and tested it (Fig. 24). I had expected it to conduct electric current well, but instead there was no current at all. When I thought it over, however, I realized that although they looked like pure metal, the powdered copper particles were actually covered in a fairly thick coating of oxide. With this oxide built up in tens and hundreds of thousands of layers, there was no way an electrical current could pass through. It was at this point that it occurred to me that in the case of carbon, the oxide layer would not become so thick—it would be released as a gas before it could build up. I was captivated by this marvelous natural property of carbon. It gave me the idea that in organic compounds with a small number of benzene rings—we call these polycyclic aromatic compounds—electricity should be able to pass from molecule to molecule too, because there is only one layer of displaced atoms around each ring structure.

Fortunately, quantum chemistry, which applied the principles of quantum physics to the field of chemistry, was rising to prominence just around that time. It had recently been announced that the behavior of electrons in solid carbon (graphite) could be explained in theoretical terms. Taking heart from this, I developed the following proposition: “Organic compounds, which are normally stabilized because of paired electrons, are a classic example of a nonconductor. However, electrical conduction should be possible in organic compounds that contain π -electrons like those in a benzene ring structure.” I went on to explore this in hundreds of experiments. Through repeated processes of purification, at which chemistry excels, I finally discovered organic semiconductors. My 60-year partnership with these semiconductors has been a long journey, but one that has brought me here today.

10. The future of chemistry

Through the long course of human history, chemistry has been used in many different ways. This is because chemistry supplies us with the materials and substances essential for all our basic needs, whether they are in the area of food, clothing or shelter. However, it is vital that we use substances efficiently if we are to ensure that all living creatures can continue to co-exist in a world of limited resources. To produce only the types of substances needed in the quantities

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す。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。

required—a no-waste approach—is surely something all of us who study chemistry aspire to. I believe that some day we will be able to ascertain the functions and properties of substances simply by referring to their structures (what chemists call the molecular structures). Although it may take many years, the time will also come when we can engage in molecular design, identifying a substance with a specific molecular structure that can cure a specific disease. I believe this is the ultimate goal for chemists and an important objective if we are to create a world without waste.

11. Establishing a materials cycle

A natural equilibrium is maintained on our planet through the cycling of matter in nature. In their desire for an ever-higher standard of living and greater instrumentality, humans generate superfluous substances and materials. A typical example is recycling. Although known as recycling, at the end of the day we are actually producing waste matter. This is where wastage occurs. Avoiding it will require us to learn from nature and establish an approach wherein these materials become part of a cycling process. This will be extremely difficult, but I believe that we researchers should work towards making it a reality.

稲盛財団 2007——第23回京都賞と助成金

発 行 2008年7月1日

制 作 財団法人 稲盛財団

〒600-8411 京都市下京区烏丸通四条下ル水銀屋町620番地

Phone: 075-353-7272 Fax: 075-353-7270

E-mail admin@inamori-f.or.jp URL <http://www.inamori-f.or.jp/>

ISBN4-900663-23-9 C0000