

有機半導体の研究 (有機物質の電気的性質の面白さ)

水谷 寛(北大理)

指先で何かに触れたとする。触れたという感じはただちに脳髓へ伝わってゆく。このことは触覚ばかりでなく、視覚、聴覚、その他のすべての感覚についてもいえることであつて、体の種々の器官でうけた感覚は脳髓へ伝わってゆく。日常経験するこんなことを大抵の人は不思議とは思わない。むしろ生物のもつ当然の現象として片付けてしまう人が多い。しかし一たびこれを不思議なことと思いはじめると無精に不思議に思えてくる。

指先で得た感じはある刺戟となつて神経を通つて伝わってゆくのだが、神経という道筋があるのだからちつとも不思議ではない。とも考えられるが、刺戟が神経線維だけを伝わってゆく理由は何だろうか。刺戟の伝達は電流の形で行われるとされている。だから神経線維は電気の導体の役目をしていることになる。脳からは体中のいろいろな場所へ命令が出されるのだから、それに対応するだけの、数多くの神経線維が束になつて脳から出ていなければならない。丁度これは電話の交換局に似ている。そこでは多くの電線が入つて来て適当に絡がれて出てゆく。このおびただしい電線の束がそれぞれの機能をきちんと果たすためには、線の間絶縁は十分よくなくてはいけない。実際、湿気が入らないようにとか汚れないようにとか慎重な注意が払われている。これは要するに混信がこわいからだ。A氏のところへ重要な電話をかけたつもりなのにB嬢のところへ絡がつて話がつんちんかんになつたりしては電話の信用はがた落ちだから。

ところで人間の場合どうだろうか。脳が自分の手に相手の人と握手するように命令を出したとする。その命令は神経を伝わって確実に手の筋肉へゆく。途中で混線して、行先が足の筋肉の方になつてしまつて、そのために足が相手の人を蹴とばしてしまうなんてことはめつたにおこらない。人間の神経線維の絶縁はそれほどよいのだろうか。神経線維は蛋白質から出来ている。それを包

水谷 寛

髄鞘—これが絶縁物の役目をしているのだが—も似たような物質から出来ていて、生体の中で、湿気を防いでいるとか汚れない状態に保たれているとかいうような条件とはおよそ縁遠い状況におかれている。しかも生物としての営みをも果している。それなのに十分な絶縁状態—荷電担体の少い状態にあるのは何故か。

脳から末端の筋肉細胞への命令は神経線維を通つて電氣的刺戟として伝わつてゆくから、神経線維が電線の役割をしているならばその線維は途中で切れていない方がよいはずだ。なのに何故線維は途中でシナプスの形で切れているのだろうか。シナプスの所では信号は化学変化によつて伝わるのだからそれだけ時間が余計かかる。信号の伝達はそれだけおくれる。それにもかかわらず何故そんな場所を作る必要があるのか。

われわれがいま自動車走っているのを見たとする。それが自動車であるということがわかるためには目がいくつかの情報の成分をとらえて、それを脳へ送りこまねばならない。そのとき情報の成分はいくつあつたら十分なのか。もちろん情報の成分は多ければ多いほどその情報は確実になるだろうが、生物の場合はおそらく最少必要な種類と数とに近いものをとらえているにちがいない。生物はもちろんもつと多くの情報の成分を感じる能力をもっているにちがいないのに、何かが必要十分な少数に選択しているのだろう。一体何がこのような選択をしているのか。

またこんなこともある。目はたしかに自動車の走っているのを見たはずなのに少しも見たという感じが脳へ届かないことがある。そんなときの理由としては、他のことを考えていたから気が付かなかつたのだろうとか、他のものに見とれていたためだとかいつて片づけてしまうことが多い。

見るという現象—目の網膜が光をとらえ、電氣的刺戟に変える現象—は明らかに物理現象であり、その電氣的刺戟が神経線維を伝わつて脳へゆくのも物理現象であるのに、精神状態の如何によつては、ある場合は見えてある場合は見えないというのは何故か。おそらく物理現象をおこなう物質の光学的および電氣的性質—要するに物質中の電子の挙動に関係した性質—がそれをとり巻く環境の状況によつて変つていっているからなのではなからうか。

このようないくつかの問題を解くためには、物質の中の電子の挙動の問題と

か、またこれらの性質の環境による変化の問題（物質そのものが環境によつて変化したり、物質添加によつて変化する問題も含んで）が物理の問題として解けていなくてはならない。

ところで、無機物質の場合にはかなりわかっている面もあるが、有機物質の場合は分らない面が極めて多い。生体物質と関連のあるのは有機物質なのだからこれがわからなくては話にはならない。私が有機物質の電気的性質、その電気的性質の制御の問題をしらべてみようと考えはじめるようになったのはこんな理由からだつたわけである。

われわれの研究の目標は蛋白質をはじめあらゆる複雑な化合物の電気的性質を知ることとそれを制御するためにの条件を求めることであるが、着手の第一歩としては蛋白質は余りに複雑すぎるから、比較的簡単な構造をもつ高分子物質を例にとつた。ポリエチレンとポリスチレンがそれであつた。これらの物質は普通、極めて良好な絶縁物質と考えられている。少くともビニール（ビニールコードの絶縁被覆に使われている）などに比べると桁ちがいに絶縁はよい。しかしどんなに絶縁がよくても電気を全然通さないというのではない。

例えばポリエチレンを考えると、ほんのわずかではあるが確かに電流は流れる。その電流はどこを通つて流れるのだろうか。分子内の原子はホモポーラーボンドで結合されているから原子間距離は小さいが分子間の結合はファンデアワールス結合であるので隣接分子に属する原子間の距離はもつと大きい。すなわち電子の通路としてはここが隘路になつている。だから電流が流れるときは出来るだけ分子の内部を流れ、一方の電極から他の電極へ向うために止むを得ないところだけ分子間を流れることになる。このことよりポリエチレンの電気伝導性を制御するということは電流の隘路となつているこの分子間の電気伝導を制御することがもつとも効果的な手段といえる。つまりこのところの原子間の電子雲の重なりを制御することによつて目的は達せられるはずである。

ポリエチレン分子では、その骨格は炭素原子からなる鎖であるから、隣接分子の炭素原子と電子雲が重なるためには炭素と電気陰性度の等しい元素で橋渡しをしてやればよい。この条件からいえば沃素は適当なものの1つである。実際に沃素を適当な量だけポリエチレンに加えて処理すれば電気伝導度は 10^4 倍以上にも増大する。種々な有機物質の電気伝導度が沃素の添加によつて著し

水谷 寛

く変化することは大分古くから科学者によつてしらべられて来たことであるが—その意味では古い問題のようではあるが—物理的な面より眺めるときは十分新しい問題を含んでいる。

化学者は炭水化物やその沃素添加物の電気伝導度が、縮合環化合物またはポリエチレン化合物では、その分子量の増大とともに増すことより、分子量の高い化合物の合成に熱意を示している。だが物理屋が興味を感じずような、沃素添加によつて何故電気伝導度が増すかという問題を解く方面の進歩はそれほどでもない。われわれの興味をもつのはもちろんこの方面である。

得られた結果の二、三を述べよう。まずポリエチレンでは、隣接する鎖状分子のかなりの部分がびつたり密着して結晶状をなしていてその部分ではC—C軸の回りの自由回転が阻止されている。そんな部分が多いほどポリエチレンは硬くなる。沃素を添加すると分子と分子との間に入り、分子と分子との線に沿った結合を点状の結合に変えるのでC—C軸の回りの自由回転が出来るようになる。だから、沃素の添加はポリエチレンの電気伝導度を変えるばかりでなく、その軟かさを増すことになる。

ポリスチレンの場合には電子が分子の中を動き易いことはポリエチレンの場合と同じである。電子が分子間を移るときは、1つの分子の側鎖のベンゼン環より隣接分子に属するベンゼン環へ移る。この移動はトンネル効果によることが担体の易動度をしらべることによつてわかる。これに沃素を添加すると、それはこの隣接のベンゼン環の間に入りかなり強固な結合を作り、電気伝導はトンネル効果型よりホッピング型にかわる。さらにこのベンゼン環の間の結合が強くなる結果として、全体として硬く、脆い物質が得られる。

ポリエチレンは鎖状分子としてはもつとも簡単なものだが、それでもその性質はそれほど簡単なものではない。たとえば荷電担体は何か、という問題に限つてもそうだ。ゼーベックポテンシャルを調べると、低温ではマイナスであるのに高温になるにしたがつてプラスに変る。すなわち担体は低温では電子が優勢なのに高温になるにつれて正孔がその主力をなすようになる。この傾向は、いつでもそうであるかどうかということについては、非常に多数の例について調べたわけではないので必ずこうであるとはいいい切れませんが、試料を精製していつでも同一の傾向が得られるのでポリエチレンの固有の性質の性質のように

思える。とするとその理由は何だろうか。アントラセン、テトラセン、その他の分子性結晶は正孔電気伝導を示す。これはこれらの物質では電子が正孔よりもトラップされ易いと考えたと説明出来る。この性質は分子性結晶の共通の性質のようだ。分子の表面では電子はトラップされ易いことは理論的にもいえることだ。ポリエチレンの前記のゼーベックポテンシャルの変化を説明するにはポリエチレンには何かドナーになりうる性質があるとすればよい。低温では、そのドナーによる電子だけが電気伝導に関係する。電子だけしか存在しないならば、その内の何パーセントかは分子の表面にトラップされても残りの電子が電気伝導に役立ち、ゼーベックポテンシャルはマイナスになるはずである。高温ではイントリンシックな電気伝導に変る。すなわち大量の電子と正孔の対が生じ、こんどは、電子がトラップされると雑りは正孔に富んだものになりゼーベックポテンシャルはプラスになるはず。これで一応説明されたように見える。がしかし問題は雑る。低温での担体を与えるドナーの正体は何かということだ。これはまだ明確にはわかっていない。

簡単なはずのポリエチレンでさえまだまだわからない点が多い。しかし、徐々にではあるがいくつかのことが分つてきた。そして将来、複雑な分子の電気的性質が、その中の荷電担体のトランスポートの問題も含めて解けてくるだろう。さらに複雑な分子より成る物質の電気的性質を制御する問題も解けてくるだろう。そう考えてくると楽しい。

ガンは何故発生するか、という問題に対して2つの考えがある。第1はガン細胞という特殊な細胞があり、これが正常な環境の中でも異常に増殖するのだという考え方であり、第2はガン細胞というものは元来ないものであつて、実は正常細胞が異常な環境におかれることによつて異常な発育をするのだという考え方である。つまり第2の考え方では、異常な環境の下では生命を維持するためには必要な抑制作用が働かなくなり、正常細胞がどんどん異常に増殖するのだとする考え方である。

だがわれわれはガン細胞はこれだ、といつて示された経験をもつし、また第2の考え方も否定すべきではないように思える。おそらくこれらの2つの考え方をいつも念頭におくべきであろう。

発ガン物質には電気的に特殊な性質をもつものが多い。その電気的作用によ

水谷 寛

つて細胞内で行われる合成作用が変化をうけ、遂に新しい細胞が生ずる可能性もあるだろうし、または、生命を維持するために必要な抑制作用が麻痺されることだつてありそうに思える。

この意味で有機物質の電氣的性質の研究から発ガンの機構の究明への糸口が開かれるかもしれない。だが私が有機物質の電氣的性質を調べようとしているのは、決して、私自身がガンの危険から逃れて長生きをしようという気持があるのではない。ただ、余りひとのやらないこの研究課題の中に物理屋として夢を托するに足るすばらしい問題が確かにあると信じているからにほかならない。