

我々の身の回りのものは殆んどが固体である。固体の中には原子や分子が行儀よく並んでいるが、その構成原子や分子の種類とそれらの並び方に応じて、固体は全体として特有の性質を示すようになる。金属などは特にその物理的な性質がよく理解されている。例えば銅は電流をよく通し、鉄は磁石片を吸い寄せる。我々が日常用いる道具は固体の種類に応じた特性を利用して組み立てられ、目的の機能を持つようになる。今使っているボールペンはボールの部分ですり減らぬように硬い金属で作られており、握りの部分は人間が持ちやすいように柔らかいゴムでできている。そして全体はコストとデザインを考えて白いプラスチックでできている。さてこのボールペンで紙に字を書くとき、ボールペンは紙にインクをこすりつけ、インクが紙の表面に付着して文字を記録できるようになる。紙も固体なのだが、紙のもっとも重要な部分はその表面である。

紙に限らず、固体には必ず表面部分が存在する。日常生活において固体は、その表

面のみが観察されるものであるから、その存在の不思議は見過ごされがちであるが、これは固体の側からするとずいぶん変な場所なのである。固体中では原子は数オングストローム程度の距離で並べられていて、ひとつの固体の中には、小さくとも億の単位くらい

の原子が並んでいる。表面では突如としてその秩序が破れ、端の原子は手をつなぐべき原子を見つけないので、固体の内側深いところとは異なった状態で表面付近に存在することになる。このため、固体の表面ではさまざまな物理現象や化学現象が表れることになる。

固体の表面

和田 元

(大学工学部教授)

体表面の原子の集団を眺めるため、原子と同じ大きさになって固体の表面に降り立ってみよう。すると皆さんの頭の上からは巨大な空気の分子が降りそいでくる。現実これが起こったとするととても危ない話で、一秒間にざっと一億回くらい皆さんの頭に、皆さんと同じくらい大きさの分子が降ってくる。この分子は皆さんと同程度の大きさだから本来なら危険の上ないはずなのだが、この霰が皆さんに危害を加えないものとして話を続けましょう。こんなにたくさん降ってくるのだから固体の表面には分子が降り積もっているだろうとお考えの方は大正解。空気中の固体表面には酸素、窒素、一酸化炭素などがくっついていて、それらの中には固体原子と化学結合しているものも少なくない。我々は周囲の気体が吸着している状態でしか表面を見ていなかったのだから。そこでポンプを使って容器の中を真空にし、その中に固体を入れ、表面を洗浄し、はじめて純粋な固体表面の観察が可能となる。

私をはじめて固体表面の実験に挑戦しよ

うと思い立ったとき、どのくらいの性能のポンプが必要なのか計算をして飛び上がった。なんと私が当時所属していた研究所の中にあるもつとも高性能のポンプを使っても、数時間程度で固体表面に気体の原子・分子が吸着してしまうため、この時間内に実験を終わらなければならないのである。ところがそんな短時間に実験を終えることは不可能。若いころの私は理想的な状態で実験をしないと気が済まないところがあったのだが、できないものはしょうがないということと逆の発想で問題を克服することにした。まず表面をきれいにし、間髪入れずにあらかじめ素性の知れたガスを表面に吸着させ、それ以外の気体が混じり込まないよう、ガスは常に表面に供給しながら一方で常に真空容器を大きなポンプで排気した。この方法は思いの外うまくいった。少なくとも私が表面を十分に観察できる間、表面の状態は一定であるように見えた。もちろんこの実験で重要だったのは吸着させるガスの種類であり、実験室にある様々な高純度ガスを試して遊んでいた。

この実験ではきれいな表面を実現するために、もう一つの物理現象を応用した。それは表面に入射する分子の速度を大きくし、表面に吸着している物質を削り取ってしまうという方法である。この方法は実際に半導体の微細構造を実現するために用いられており、ともすると表面が削られすぎてしまうので表面に飛び込んでくる分子の速度をうまく調節してやらないと行けない。調節がうまく行けば、不純物は絶えず削られ、削られたあとのきれいな表面には直ちに注入した気体が吸着して目的とする表面の構造が実現できるとであろうと考えたのである。実際にその通りになり、表面の状態は入射分子の速度によってほぼ決定できるようにになった。

このようにして実現した表面状態は様々な性質を示す。特に私が個人的に興味を持っているのは表面から分子がどのような状態で出てくるかという問題である。例えば2原子分子として入射したものは表面を去るときには単原子分子になっているのか、もとの2原子分子のままなのか、それとも

他の形になっているのか、などである。簡単な問題の方が理解しやすいのでそれだけおもしろいと思うのだが、表面の研究は工学的な応用を見据えて、比較的複雑な系を対象にして進められているように思える。私の研究室にいるある学生さんは高温の水素ガス雰囲気中の炭素表面の損耗を実験的に調べている。これは将来の核融合発電に利用される水素のプラズマを保持する容器の壁として炭素を使用する場合、炭素表面がどの程度の速度で削られて行くのかという工学的情報を与える重要なテーマである。

残念ながら様々な理由で現在は表面付近の原子・分子に関連する研究を私個人ができない状態にある。しかし初歩的な量子力学の知識で複雑な実験結果が解釈できるこの問題をもう少し突っ込んで研究してみたいと思っている。