

1. 巻 頭 言

水素随想：プロトニクス

赤 松 秀 雄

太陽エネルギーを化学エネルギーに変換する最も有効な手段は“みどりの世界”にみられる水の光分解である。即ち、水を分解して生ずる酸素と水素の化学エネルギーとして貯える。このうち酸素は大気中に放出されるが、水素は表面に顔を出さない。プロトンとして細胞中に潜在し、いろいろの過程を経たのち大気中の炭酸ガスと化合して炭水化物となって現われるので、この過程は光合成とよばれるのであるが、実はまさに自然界における水素エネルギーシステムにほかならない。地上のあらゆる生命はこの水素エネルギーシステムに依存している。

水素原子は最も小さい原子であって、物質の階層構造のうえで素粒子と原子の境にある。化学者にとって、水素イオンは水溶液中ですっぱい味のする極めて親しみ深い化学種であるが、物理学者には核子の一種としてのプロトンがまず心に浮ぶことであろう。

化学の歴史をみると、今日では電子論の立場で説明される多くのことが水素によって抽象されていた。たとえば還元というのは水素が酸化化合物から酸素を奪う変化を意味するばかりでなく、水素を他物質に添加する場合にも用いられる。従って酸化とは単に酸素と化合する変化のみでなく、化合物の成分から水素を奪う場合をも意味した。今日では水素の代りに電子でおきかえられ、酸化とは電子を失う変化であり還元とは電子が附加される変化を意味する。酸および塩基についても、古くは水素原子をもち水溶液中で H^+ を生ずるモノが酸であり、 OH^- を生ずるモノが塩基とよばれた。ブレンステスは、これを一般化して酸とはプロトン供与体を意味し、塩基とはプロトン受容体を意味するものと定義したが、リュースはさらに広い立場から酸とは電子受容体、塩基とは電子供与体として定義した。

酸化、還元、酸、塩基というような化学の最も基本となる概念が、いずれも最初是水素の作用に基づいて生まれたのであるが、電子の存在が認知され電子論が導入されてからは、電子によって抽象され、その反面として水素は捨象されるに至ったものとみられる。これらはプロトンと電子が互いに表裏の関係にあることを示す例である。

水のような小さい分子にもかかわらず沸点が高く蒸発熱も大きいのは分子間の水素結合に基づく。酸素や窒素のような陰性の原子に結合している水素はプロトンとみなされ、これを仲立として分子間に働く作用を水素結合とよぶが、外観上原子間の化学結合が電子の共有結合によるのと似たところがある。水素結合は分子間に働く力として特に有機塩基を要員とする生体組織では、多くの現象に重要な役割を演じているであろう。

これらの例は、いずれも水素が諸物質間で電子の仲介者の役をしているとみれば理解されるで

あろう。これは水素の電気陰性度（原子が化学結合をつくるときに電子を引きつける能力の度合をいう）が諸元素の恰度中間にあることに基く。このことはまた水素と他の元素との化合物にその特徴がみられる。

水素は希ガスを除き、ほとんどすべての元素と化合して2元化合物（2種類の元素のみより成る化合物）をつくる。非金属元素とは共有結合性の分子をつくり常温で気体である。水が液体であるのは水素結合に基く。金属とは直接化合して金属水素化物をつくる。アルカリ金属、アルカリ土類金属は水素と直接化合して、その金属性を失い多くは無色の結晶に変化する。その熔融したものを電気分解すると陽極に水素が発生し、水素は陰イオン H^- として存在するものと信じられる。塩型水素化物とよばれる。 AlH_3 , SnH_4 など共有結合性の化合物をつくる例も知られているが、一般に遷移金属、希土類金属ではいづれも金属のまゝで水素を吸蔵する。パラジウムが自己の体積の数百倍の水素を吸蔵することは古くから知られている。これらの場合、水素分子は解離して原子状水素のまゝで金属の格子のすき間に侵入したもので一般的には固溶体とみなされるが、金属格子がつくる空間内で水素原子は自由に流動し気体とも液体ともみなされる。さらに濃度が増すと金属原子と化学結合をつくり、いろいろの組成（多くは不定比化合物）の金属水素化物をつくり、濃度、圧、温度に応じてそれらの間で多相平衡が成立する。水素という典型的気体が金属格子のつくる固体空間内において、それぞれの金属の種類によって演出する挙動はまことに興味深いものがある。

それでは2種の金属を組合せ水素を含む3元化合物、さらには4元化合物ではどうなるか。多種多様な機能を発現することが期待される。合金による水素吸蔵はその例であるが、水素エネルギーシステムの開発にあたって単に水素の貯蔵材としてのみでなく蓄熱材、エネルギー変換材としての応用が拓けている。それは水素テクノロジーとよぶに相応しいものである。

化学では金属の複水素化物とよばれるものが多数知られている。水素化アルミニウム・リチウムや水素化ホウ素・ナトリウムはその代表例で、有機合成化学の分野で還元剤として用いられる。両者ともイオン結合性の水素化物と共有結合性の水素化物の組合せとみなされるが、プロトンが仲立となってそれぞれ $L_1^+ [AlH_4]^-$, $N_a^+ [BH_4]^-$ と表わされ、それぞれ還元力が調整されている。この系列に属するものとして $K^+ [RuH_5(PPh_3)_2]^-$ (PPh_3 はトリフェニルフォスフィン) は単に還元剤としてではなく水素ガスによって還元反応を行う触媒として作用する。話は多少異なるが $[SrCo_{0.95}Yb_{0.05}O_3]$ の組成をもつ結晶では自身Hをもっていないが、水素ガス中で電気伝導性を生ずる。また $[H_2O_2PO_4 \cdot 4H_2O]$ ではプロトン伝導がみられる（高橋武彦氏による）。

水素と金属とのかゝわりは電気化学における電極反応や合成化学における触媒の作用などいづれもなじみ深く、古くて、いつまでも新しい研究課題である。これらのなかには水素テクノロジーとして利用できるものがあるであろう。水の光分解によって水素を生成する手段として半導

体や金属を用いる光電極反応や触媒反応はその例とみなされる。

水素エネルギーシステムが発展するためには水素の製法、水素の利用に関して、いろいろの立場からの水素テクノロジーの開発を伴わなければならない。さきに述べたようにプロトンと電子とは表裏一体の関係にある。水素テクノロジーが発達すると、やがてエレクトロニクスと並んでプロトニクスとよばれる分野も拓けるであろう。エレクトロニクスからバイオニクス（バイオテクノロジー）にわたる中間にプロトニクスが位置してもおかしくない。 （59年10月）