

表面と界面の物語



随 筆

原 茂 太*

Story on Surface and Interface

Key Words : Surface, Interface, Foam, Adhesion

1. はじめに

机に置かれたリンゴを観察してみましょう。リンゴは机と接して界面をつくり、取り巻く空気とも界面を作っています。このように、現実世界にあるすべての物体は、必ず他の実体と接して界面を作っています。人間社会でも多くの界面が存在します。国と国との界面(国境)、人間と機械、人とそれを取り巻く社会、音楽、絵画、味覚などとそれを取り込む五官などなどです。その界面に齟齬をきたすと争いごとや不快感、不信が生じます。このような界面の問題を認識し、ストレス無く界面を構成することが、現代社会の重要なテーマであることは言うまでもありません。筆者の関わってきた材料世界で見られる界面や界面に関わる現象を詳細に観察すると、人間社会の界面で起こる社会現象に様々なヒントが得られるのではないかと感じています。

2. 表面を作る

表面・界面を作り出す方法を考えて見ましょう。リンゴをナイフで切ると、2つの切断面が現れます。このように表面・界面は、物を切断することで生じます。切断面にある原子、分子、イオンなどの微小な粒子は、切断の前にはそれを取り囲む微小粒子と結び付けられていました。だが、表面に出た粒子はその外側に結合する相手を持ちません。そこで、表

面粒子には、内部において粒子間の結合に使われていたエネルギーの一部が、過剰の表面エネルギーとして残ります。過剰表面エネルギーを持つ物質の表面に、外部から仕事を加え拡張させると、過剰表面エネルギーの総和を減らそうと、表面に沿った方向性を持つ力が出現します。この単位長当りに働く力が表面張力です。水滴が丸くなるのは、表面の過剰なエネルギーの総和を減らすため、一定体積当りの表面積が、最も小さい球形を取るからです。

実在の表面では、表面の過剰エネルギーを減らすため、表面の構造を内部と変化させたり(表面緩和)、外気分子を引き付けたり(吸着)、外界と化学反応をするなど、外部の影響を取り込んで新たな表面・界面構造を作ります。

一表面は、厳密には真空下の物体表面を指しますが、慣例的に気体と接する界面にも使われています。ここでは、気体と接する固体や液体の面を表面、液体と液体、液体と固体、固体と固体の接する面を界面と記述します。

雨後の水溜りにはアメンボがすいすいと泳いでいます。近づいて観察すると、その足の下が凹んでいて、ぴんと張ったゴム膜の上に乗っているようです。アメンボは、水中に浮かんで泳いでいるわけではないのです。これには、表面張力と濡れという界面現象が関わっています。



* Shigeta HARA

1940年12月生
大阪大学大学院工学部冶金学科卒業
(1963年)
現在、博士(工学) 鉄冶金学、界面制御工学
TEL : 072-695-4172
FAX : 072-695-4172
E-mail : akbnp905@tcn.zaq.ne.jp

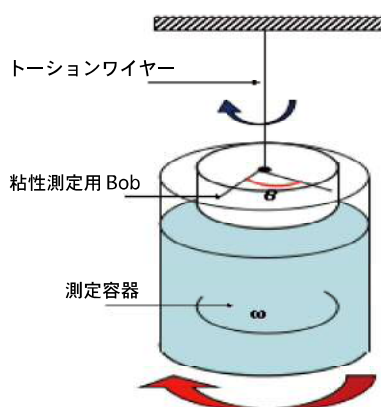
3. シャボン玉と泡

日常で観察される界面現象に、シャボン玉があります。シャボン玉は、水単独では出来ないのに、洗剤を少量加えるだけで安定したシャボン玉が作れます。

シャボン玉は、その放つ虹色の輝き、薄くて一瞬で消え去るはかなさなどから、多くの人々を魅了してきました。また、表面積の大きい水膜がなぜ安定に存在出来るのかが、人々の興味を掻き立ててきました。気体法則で知られるボイル、フック、ニュートン、レイリー、ギブスやラングミュアーなど近代科学の巨人達にとっても、シャボン玉はその研究対象の一つとなりました⁽¹⁾ (立花太郎著：シャボン玉、中央公論社、1975)。

近年でも、1991年のノーベル物理学賞受賞者ドゥジェンヌ博士 (Dr. Pierre-Gilles de Gennes, 1932-2007) も関心を持ち、「表面張力の物理学—しずく、あわ、みずたま、さざなみの世界—」(奥村剛訳、吉村書店、2003) という書物を出版されています⁽²⁾。

シャボン玉の安定には液体表面に吸着した洗剤分子が関わっていることが知られていますが、表面吸着層の厚さは非常に薄いため、その性質を単独で調べることには、困難が伴います。そこで、筆者は、液体表面の粘性を測定する装置を作りました。



この装置では、液体を入れた試料容器を一定角速度で回転させ、上部の測定用ボブを液面に接して捩れトルクを測定します。残念ながら、この装置では、洗剤分子の吸着表面層が10～100nmと余りにも薄いことから、表面層の粘性に関する情報は検出できません。その検出のためには、液体内部に吸着層を

多量に含む試料を作る必要があります。これは液体中に空気を送り込んで液体を泡立てて、気液界面を多量に作ることで達成されます。例えば、泡立ち前の均一液体の粘性が、11cP (センチポアズ：粘性の単位) の洗剤を含むグリセリン水溶液に空気を練りこんで非常に微細な泡沫相を作ると、その粘性は650万cPと飛躍的に増大します。また、気泡が細くなる程、泡沫相の粘性は高く、泡は壊れなくなります。

一定サイズの気泡で液体中を満たすと、気泡サイズに関わらず、気体の空間占有率は最大で74%に達することが良く知られています。気液界面に吸着層が存在するとき、その吸着層の空間を占める割合は、気泡半径が吸着層厚みの10倍では2割、また3倍と小さくなると約5割にまで到達します。このように微細気泡を液体中に多量に取り込むと、液体表面にある非常に薄い吸着層の性質が明確に現れるのです。

選挙では、泡沫候補と言われますが、単独では泡沫でも、多量に存在すると安定感を増します。これは、毛利元就の3本の矢の故事を思い起こさせます。液体中に空気を多量に巻き込み微細気泡集合系をつくり、その表面にある吸着層の性質を利用している例は、マヨネーズやソフトクリームの製造に見られます。

4. 接着

接着は、日常生活で見られる代表的な界面現象です。接着技術は、太古のエジプト文明の時代から存在し、現代社会においても、物作りの現場で広く使われています。接着技術ぬきには、近代文明は成り立たないとも言えましょう。接着の泣き所は、接着強度がばらつくことで、接着の良否には、接着される材料の表面状態、特に表面汚染のないクリーンな表面での接着が重要となります。

切手を封筒に貼る手順を詳細に見てみましょう。切手の糊面を水で濡らし、その面を封筒上に置いて、手で押さえつけて完成です。このように、接着剤は、液体であることが必須条件で、接着後には固化することも大切です。接着力の源は、接着されるものの表面微粒子間に働く力ですから、強固な結合を得るためには接着粒子を分子レベルで近づけることが必要だからです。

接着力の尺度として、ヤング・デュプレの式 ($Wad. = \sigma (1 + \cos \theta)$) を使って求められる付着の仕事 $Wad.$ の大小が、しばしば利用されます。 σ は接着液の表面張力、 θ は接着液と接着面とのなす角度 (接触角) です。そこで、高い接着力を確保するためには、接着液が接着面を良く濡らす ($\theta \rightarrow 0$) ことが要求されます。高分子系接着剤でプラスチック板を接着する場合は、大気圧プラズマ処理などによる接着面の清浄化で、接着強度が飛躍的に増し、接着強度のばらつきが大きく減少します。

このような幸せな関係は、接着剤と接着物とが同種の場合には成り立ちますが、異種材料間の接着では必ずしもそうではありません。例えば、高分子系接着剤と金属またセラミックと金属の接着・接合の場合です。金属を高分子系接着剤で接着する場合、金属表面の清浄化によって、濡れ性を増すことで接着強度は増加しますが、それだけでは不十分です。接着面に加熱や冷却など外部から熱サイクルが加わったとき、熱物性の相違から界面近傍に大きな歪が生じ、破壊に至ることがあります。金属面に塗布した珪藻剤を加熱融着する珪藻加工のような場合では、冷却の際に熱膨張率の違いによる熱歪の緩和層を界面近傍につくることが不可欠となります。金属とセラミックスの直接接合の困難は、この歪緩和層の設計にあります。強く結ばれた若い二人が家庭を作っても、生活習慣の異なる両親の家族が背後から過度に干渉すると、歪から結合が崩壊するという悲劇に

何処か似ています。

5. おわりに

古墳時代の古くから、他国と海で隔てられた日本社会は、大陸よりの渡来人を受け入れ、界面を作らず日本人化を進めて単一民族・単一言語・単一文化の国家を作ってきました。このような日本社会は、明治維新から先の大戦の間「大東亜共栄圏」をスローガンとして、台湾、朝鮮半島、満州など日本の影響圏において、住民の教育・文化・風俗など多くの点での日本化を積極的に推し進めてきましたが、敗戦によってその政策は破たんしました。「世界は一家・人類はみな兄弟」との理想に共鳴する日本人も多いことも事実ですが、時として、他の価値観を認めないという独善に陥る恐れは免れません。

現在社会では、他国、他民族の伝統、文化、価値観を認め、異文化を持つ民族・国家間において、その界面構造を如何に設計して友好関係を保ち続けるかは重要なテーマです。それには、異種材料の接合・接着でお話ししましたように、界面の接着強度を高めるだけでは不十分です。世界情勢の変化から生じる様々なストレスに耐えられる界面、そして界面近傍の柔軟な構造の構築が不可欠となるでしょう。また、微細気泡集合系で述べましたように、空間に多くの界面を導入し、界面密度を高めることが系の安定化に繋がることは、今後の多民族社会の安定化方策に向けてのヒントとなりましょう。

