

はじめに 不可解で謎めいた性質 006

第1章 爆発：現代の魔法のランプに乗って 015

ケロシンの発見／進歩するオイルランプ／魔人が出てきた／  
ガソリンとディーゼル油のあいだに／途方もないパワーでも爆発しない燃料

第2章 陶酔：アルコールの風味と毒に魅せられる 039

エタノールと極性分子／メタノールの悲劇／  
ワインの味わいとマランゴニ効果／風味が視覚に左右されるわけ

第3章

深遠…水の振動と波の凄いエネルギー

056

エウレカ！／水の高い熱容量／死の冷たい手／  
サーフィンの科学／津波の力

第4章

粘着…モノをくっつけて文明は進化した

078

石器時代の接着剤／イカロスの墜落／20世紀の文化を変える／  
飛行機も家具も美しい合板で／炭素繊維複合材料の時代へ

第5章

幻想…オスカー・ワイルドの夢をかなえた液晶

102

動く肖像画／液晶と偏光／  
デジタル腕時計からディスプレイへ／機内で観る映画はなぜ泣ける？

第6章

本能…健康に欠かせない体液が嫌がられるわけ

119

唾液腺のありがたさ／どろりとした液体／  
セックスと嫌悪感／情緒性の涙に含まれるホルモン

第7章

一服…最高においしいコーヒー・紅茶を味わう

135

紅茶はどんな味であるべきか／味を決める4つの要因／  
ミルクはいつカップに加える？／コーヒーの大問題／ジレンマを回避する

第8章

洗淨…液体石けんはアイデアの宝庫だ

159

奇跡の物質／臭くて汚かったヨーロッパ／新タイプの界面活性剤／  
シャンプーの成分表示に注目！／液体石けんと絶滅危惧種

第9章 冷却……冷蔵庫から人工血液まで 182

アイシシユタインも挑んだ冷蔵庫革命／安全な冷却を実現？／  
液体冷媒と乱流／液体呼吸

第10章 不滅……ボールペンを生んだ液体工学の天才 202

古代エジプトのペン／インクの流れをいかに制御するか／  
多重最適化問題と非ニュートン流動／社会への大きな影響

第11章 曇天……上唇の水分子から放電する稲妻へ 220

機内で落雷に遭うことは？／雲の種をまく／水は管理が難しい／  
積乱雲はいかに電荷を蓄えるか／霧のサンフランシスコ

第12章 溶融……流動する液体の星の上に暮らして 239

固体なのに液体のような「クリープ」／北と南、どちらの水が先に溶ける？／  
あやうく命を落としかけた場所／地球の山々が盛り上がりながらなかった理由

第13章 持続……都市を自己修復するテクノロジー 253

道路の寿命を延ばすには？／アスファルトの3Dプリンティング／  
ウオーターフットプリントを減らすために／持続可能なプラスチック液化

おわりに 人類の未来と液体の力 268

謝辞 276 参考文献・図版クレジット (101) 解説 282

\*文中、「」は訳者の注記です

## はじめに 不可解で謎めいた性質

私はピーナッツバター、はちみつ、バジルソース、菌みがき粉、そして何より痛いことにシングルモルトのウイスキーを、空港の保安検査場で残らず没収された。こんな状況に陥ると、どうも愚かな行動に出てしまう。「上司を出せ」と言いだしたり、「ピーナッツバターは液体じゃない」と口走ったり。実は液体だと知っているのだが。ピーナッツバターは流動し、器の形に落ち着く。液体とはそういうものであり、ゆえにピーナッツバターは液体だ。わかつてはいるのだが、何とも腹立たしい。「スマート」テクノロジーあふれる世の中にあつて、空港の保安検査場では液体のスプレッド(塗り物)と液体の爆薬とをいまだに区別できないのだから。

100ミリリットルを超える液体を保安検査場の向こう側へ持っていけなくなつたのが2006年。検出テクノロジーはあれからたいして進歩していない。X線検査装置は、荷物の中を見通して物体を検知できる。特に、怪しい形状があると警告を発する——拳銃をヘアドライヤーと、ナイフをペンと区別して。しかし、液体には形がない。それを取めた入れ物がどのような形をしていても、とにかくその形になる。空港に導入されているスキャンテクノロジーでは、

密度や各種元素も判定できる。それでも、やはり問題がある。たとえば、爆薬であるニトログリセリンの分子組成はピーナッツバターの組成と似ている。どちらも炭素、水素、窒素、酸素でできているのだが、片や液体の爆薬、そしてもう一方はまあ、その、おいしい。危険な毒素、毒物、漂白剤、病原体は多々あり、それらを人畜無害の液体と素早く確実に区別することはきわめて難しい。という、これまで大勢の検査官(とその上司)から聞かされてきた理屈によつて、私のピーナッツバターは、あるいは手荷物からいつも出し忘れている気がするほかの液体も、重大なりスクとみなされ、私はたいいてい——仕方なく——引き下がる。

頼りがいのある固体に対し、液体はその別人格だ。固体の材料は人類の忠実な友で、衣服、靴、スマホ、自動車、そしてもちろん空港の形を永らく保つ。それに対し、液体は流れる。どのような形にもなるが、それは容器に収められていればこそで、そうでなければ絶えず移ろう。しみ出し、腐らせ、したり、私たちの手に負えなくなる。固体物は、どこかに据えればそこに留まって力づくの排除を拒み、建物を支えたり、各地に電気を送つたりと、えてしてとても有用な仕事をする。一方、液体は無法者で、何かとものを壊したがる。たとえば浴室では、水が亀裂から染み出して床下に水がたまることがないよう、絶えず目を光らせていなければならぬ。床下に達するところくなことをせず、梁などの木材を腐らせてためにするからだ。タイル張りの滑らかな床の上では、人を滑らせて転ばすのうつつつけの危険物と化して、大勢にけがをさせる。浴室の隅に集まれば、そこにぬめりとした黒いカビやばい菌が発生し、人体に侵入して具合を悪く

させる脅威となる。だが、これだけの背信行為がありながら、私たちはこの物質が大好きで、お湯につかったり、シャワーを浴びたりと、全身びしょぬれになることをいとわない。それに、ボトル入りの石けんやシャンプーやリンス、瓶入りのクリーム、チューブ入りの歯みがき粉といったあれやこれやのない浴室や洗面所など考えられない。奇跡のようなこうした液体を喜んで使っているながら、私たちは心配もする。体に悪い？ がんを引き起こす？ 環境を損なう？ 液体の話では、満足と疑念が表裏一体だ。液体にはそもそも二面性がある。液体とは気体でも固体でもなくそのあいだを行くもの、不可解で謎めいたものだ。

たとえば水銀。水銀は何千年と人類を喜ばせも毒しもしてきた。子供の頃、私はよく水銀で遊んだ。テーブルの上に置いて指ではじいては、この世のものとも思えぬ様子に見とれたものだが、その毒性を聞かされてやめた。だが古代には数々の文化で、水銀は寿命を延ばす、骨折を治す、健康を保つと考えられていた。なぜそうもありがたがられていたのか、理由ははっきりしていない。もしかすると、常温で液体である唯一の純金属であることが特別だからかもしれない。中国を初めて統一した秦の始皇帝が、健康のためにと水銀の丸薬を飲んでいたが、おそらくそのせいで49歳で死んだ。にもかかわらず、彼は水銀の川が張り巡らされた墓に埋葬されたという。古代ギリシャ人は、水銀を軟膏にして用いていた。錬金術師は、あらゆる金属は水銀と、やはり元素の単体である硫黄との組み合わせでできており、水銀と硫黄が完璧に釣り合うと金ができると信じていた。ここから、異なる金属を適切な比率で混ぜ合わせれば金に変えられる、とい

う誤った考え方が生まれた。これが伝説にすぎないことは実証済みだが、それはそれとして、金は何んと水銀に溶ける。そして、金の溶け込んだその液体を熱すれば、液体が蒸発してあとには金の塊が残される。たいていの古代人にとって、この変化は魔法としか思えなかった。

別の物質を飲み込んで含んでいられる液体は水銀だけではない。塩を水に加えれば、すぐその姿を消す。塩はどこかにはあるはずだがどこへ行ったのか？ ところが、同じことを油でやっても塩はそのままで。なぜだろう？ 液体の水銀は、固体の金を溶かせるが、水は拒む。なぜか？

水は酸素などの気体を吸収する。そうでなかったら、私たちの暮らす世界はまったく違っていただろう。魚が呼吸できるのは、酸素が水に溶けているからだ。また、水は酸素を人間が呼吸できるとは含んでいられないが、それができる液体もある。油の一種である液体パーフルオロカーボン（PFC）は、化学的にも電気的にも反応性がきわめて低く、ピーカーといったばいの液体PFCにスマホを突っ込んでも普通に動作を続ける。また、酸素を人間が呼吸できるほど大量に吸収できる。空気の代わりに液体を吸うという液体呼吸には使い道がいろいろあり、なかでも呼吸切迫症候群の未熟児の治療が最も重要な用途と言える。

それはそうと、命を支える究極の性質を持つているのは液体の水だ。何しろ、酸素のほかに、炭素ベースの分子をはじめ、さまざまな化学物質を溶かせるので、生命の発現に、新たな生き物の自然発生に欠かせない水環境をつくりだす。というか、少なくともそれが定説だ。ゆえに、ほかの惑星に生命を探す科学者は、液体の水を探す。ところが、液体の水は宇宙ではめったにお目

にかかれない。木星の惑星エウロパには水の外殻の下に液体の水の海が存在する可能性があるし、土星の惑星エンケラドスにも液体の水があるかもしれない。だが、太陽系で大量の水がいつでも表面にある天体は地球だけである。

地球の表面は、特有の諸条件によって、液体の水を保持できる温度や圧力になっている。それに、地球の中心部には融けた金属でできた液体があつて、磁場をつくつて私たちを太陽風から守つており、この磁場がなかったら水は何十億年も前にすっかり失われていたに違いない。簡単に言えば、私たちの惑星では液体が液体を生み、それが生命につながつた。

だが、液体は破壊的でもある。発泡材料が柔らかいのは、簡単に圧縮されるからだ。フォームでできたマットレスに飛び乗ると、体の下でつぶれるのを感じるだろう。液体はそうはならない。その代わり、流れる。具体的には、どこかの分子が別の分子のいなくなつた場所へ動く。川を見ると、蛇口をひねると、スプーンでコーヒーをかきまぜると、目にするとおりである。あなたが飛び板を踏み切つて水面に落ちてきたら、水は流れてあなたから逃げなければならぬ。だが、流れるにはそれなりの時間がかかり、当たつたスピードが速すぎると、水は逃げられるほど速くは流れられずに、あなたを押し返す。プールに飛び込んで腹打ちしたときに肌を刺し、高い所から水に落ちるとコンクリートの上に飛び降りたも同然にしているのがこの力だ。圧縮されないうちこの性質によって、波はときに命を脅かすような力を発揮し、津波ともなると建物や都市を破壊したり、車を流木のようにもたせたりする。たとえば、2004年のスマトラ島

沖地震では、一連の津波によって14カ国で23万人の命が奪われた。これは記録に残るなかで8番めにひどい自然災害だつた。

爆発することも液体の危険な性質のひとつだ。私がオックスフォード大学で博士課程をスタートさせた頃、電子顕微鏡用に小さな試料を調製する必要があつた。その過程で電解研磨液を20℃まで冷やすのだが、この液はブトキシエタノールと酢酸と過塩素酸の混合液だつた。所属していた研究室にはもう1人、アンディ・ゴッドフリーという博士課程の院生がいて、彼がやり方を見せてくれたので、それで扱い方を心得たつもりになつていた。ところが数カ月後、私が電解研磨中によくこの溶液の温度を上げるにまかせていることにアンディが気づいた。ある日、背後から様子をのぞいた彼が驚いて目を見張り、「おれだつたらそれは避けるぞ」と言つた。理由を尋ねると、彼は化学薬品の危険性が書かれた実験の手引きを指さした。それにはこうあつた。

過塩素酸は腐食性の酸であり、人体の組織を破壊する。吸い込んだり、飲み込んだり、皮膚や目にかかると、健康を害するだろう。室温以上に熱せられたり、(温度によらず)濃度72%以上で使用されたりすると、強い酸化性酸となる。有機物が過塩素酸と混ざつたり触れたりすると、とりわけ自発点火しやすくなる。過塩素酸の蒸気は換気系の配管内において、衝撃に敏感な過塩素酸塩を形成することがある。

要は、爆発してもおかしくないということだ。

実験室を見回すと、似たような無色透明の液体がいくつもあり、そのほとんどが互いに見分けがつかなかった。たとえば、研究室ではフッ化水素酸が使われていたが、これはコンクリートや金属や肉を腐食していく酸であるうえ、神経を麻痺させる接毒でもある。その作用は知らぬ間に進行し、この酸にやられていてもそれが感じられない。誤って触れたことにまったく気づかぬまま、この酸が皮膚を蝕み続ける。そんな事態がいつも簡単に起こりうる。

アルコールも毒物のうちに入る。毒になるのは摂取しすぎの場合だけかもしれないが、人命を過塩素酸よりもよほど多く奪ってきた。それでも、世界中の社会や文化で大きな役割を果たしており、いにしえから長らく消毒剤、鎮咳剤、解毒剤、精神安定剤、燃料として用いられてきた。アルコールの最たる魅力は神経系の興奮を静めること、一種の向精神薬であることだ。日々ワイングラスを傾けないことには務めを果たせない人は多く、たいいていの社会機能はアルコールが出される場所を中心に回っている。私たちはこの液体を（いみじくも）信頼していないかもしれないが、とにかく大好きだ。

アルコールの生理学的な作用は、アルコールが血流に吸収されると感じられる。心臓の鼓動は、人体における血液の役割を、そして血液が循環し続けていることの必要性を絶えず訴えかけている。私たちが生きていられるのは体内にポンプがあるおかげであり、このポンプが止まれば私たちは死ぬ。世に液体が数あるなかで、血液は間違いなく生命維持に最も欠かせない部類に入

る。幸い、心臓は今では置き換えたり、バイパスしたり、体外に置いて体内とつないだりできる。血液にしても、追加、除去、保存、共有、冷凍、回復ができる。さらに言えば、血液銀行がなかったら、手術中の患者、交戦地での負傷者、交通事故の被害者が毎年大勢命を落とすだろう。だが、血液はHIVや肝炎ウイルスなどの病原体で汚染されることがある。治療に役立つこともあれば、害をなすこともあるのだ。そのため、血液についても、あらゆる液体と同様、こうした二面性を考慮する必要がある。特定の液体について問うべき大きなことは、信頼できるかどうか、善か悪か、健康に良いか悪いか、おいしいかまずいかではなく、その液体を利用できるほど理解しているかどうかだ。

液体を手なずけることで得られる威力や満足感は、旅客機での飛行に関わってくる液体に目を向けると何よりわかりやすい。というわけで、本書では大西洋航路のフライトと、それに関わる奇妙にして素晴らしい液体をいろいろと取り上げる。私がこのフライトに乗ったのは、博士課程のあいだに自分を吹き飛ばさずに済み、材料科学の研究を続けて、のちにロンドン大学ユニバーシティ・カレッジのインスティテュート・オブ・メイキングの所長になったからだ。私たちの研究テーマのひとつに、液体が固体に成り済ます仕組みの解明がある。たとえば、道路の舗装に用いられているアスファルトはピーナッツバターと同じく液体なのだが、固体という印象を与える。この研究のおかげで世界中から会議にご招待いただいております、本書はある出張でロンドンからサンフランシスコまで飛んだときの旅物語である。

このフライトを語るのに、分子の言葉、鼓動の言葉、海の波の言葉を用いる。その狙いは、液体の謎めいた性質と、私たちが液体に頼るに至った経緯を明らかにすることだ。このフライトでは、アイスランドの火山、グリーンランドの広大な氷原、ハドソン湾を囲むように点在する湖の上空を飛んだのち、太平洋沿岸を南下する。これだけ大きなキャンパスがあれば、液体について海から雲の水滴までというスケールで議論できるし、機内エンターテイメントシステムに使われている不思議な液晶、客室乗務員が運んでくる飲み物、そしてもちろん、機体を成層圏内で飛ばし続けている航空燃料についても見ていける。

各章ではフライトのさまざまな局面と、それを実現している液体の性質、たとえば燃焼、溶解、醸造の力を取り上げる。また、毛細管現象、液滴の形成、粘性、可溶性、圧力、表面張力など、液体の奇妙な性質の数々のおかげで私たちが世界中へ飛んでいけることを示していく。その過程で、液体はなぜ木を上り、山を下るのか、油はなぜ粘つくのか、波はどうやってあれほど遠くまで伝わるのか、ものはどのようにして乾くのか、液体が結晶でいられるとはどういうことなのか、自家製密造酒で自分を毒殺しないようにするにはどうしたらいいのか、そして何より大事なかもしれない、完璧な紅茶はどうしたら淹れられるのかを明らかにする。というわけで、空の旅をご一緒に。一風変わった驚くべき旅になることをお約束しよう。



すぐそこにある日常の中にこそ驚異がひそんでいる。材料科学という魔法の杖で著者が触れると、なじみ深い液体も、なんと魅惑的で不思議な姿を現すことだろう。固体と気体のあいだにある「液体」という状態は、なるほど謎めいている。たとえば、スマホやテレビのディスプレイなどに使われる液晶。その名のようには、液体と結晶（固体）の性質を併せ持つ。この奇妙さと電圧をかければ分子の群れの向きを変えられるという性質こそが、液晶の技術的成功の鍵なのだ。奇妙と言えば、PFC（パーフルオロカーボン）液体は、その中にマウスを浸からせても魚のように呼吸できるというまさに魔法のような特性で、人工血液として脚光を浴びている。

固体や気体へと変身する液体材料は、人類の大きいなる進歩を支えてきた。液体から固体へと変わる粘つく接着剤がなければ、私たちは数々の道具もつくりだせなかった。現代の軽量化した飛行機には炭素繊維複合材料が使われているが、それを可能にしたのも先進の接着剤テクノロジーにほかならない。輝かしい名作絵画を時を超えてあらしめているのも、色付き接着剤たる絵の具のおかげだ。

流動的で圧縮しにくい液体は制御が難しい。ときにそれは洪水や津波となつて襲い来る。ことは自然界だけではない。筆記具であるペンのインクも、その流れをいかに制御するかなど多くの難題を抱えていた。この問題を解消したのが、すらすら流れるように文字を書けるボールペンだ。液体インクの非ニュートン流動という性質と、回転する小さなボールとを組み合わせた天才的な発明だった。

人類と液体との関わりで忘れてはならないのが、アルコール（酒）やコーヒール・紅茶などの飲

み物だ。これには著者もかなりのこだわりがあり、ワインの風味の蘊蓄や、最高においしいコーヒール・紅茶の淹れ方など、科学の目線で教えてくれる。

液体をミクروسケールで眺めると、興味深いつながりが見えてくる。たとえば、お酒のアルコール（エタノール）の分子特性は水と似ている。だからエタノールは水に溶け、アルコール度数の調整もできる。一方でエタノール分子は、体内の細胞を覆う脂質分子の膜（細胞膜）とも似ており、その防御をかわして血流に入り込める。こうしてアルコールは私たちを酔わせ、疾患をもたらしたりもする。

固くらしい弾性と液体らしい粘性を兼ねた性質は「粘弾性」と呼ばれる。ゴムやジェル、バターなどが分かりやすい例だが、これが体液となるとひどく嫌われる。どろりと垂れたよだれや鼻水など、もうじつに気持ち悪い。健康に役立つ唾液が、なぜ体外で目に付くと嫌悪感をもよおすのか？ 一方、舗装に使われるアスファルトはこの性質で、道路の亀裂を自己修復している。

液体の海がなければ生命も誕生しなかつたろう。地球の真ん中にある核の芯は、液体が固体化した巨大な金属結晶で、その周囲を液体金属が流れている。その上に載っているマントルは、岩石の層なのに、液体のようにゆっくりと流れている。そして、地球温暖化により北と南の氷のどちらが先に溶けるかで、人類の運命は分かれるだろう。

石器時代の道具から最先端のラボオンチップ医療革命まで——本書は材料を生みだし、材料に生かされてきた人類のイノベーションの物語でもある。ビル・ゲイツ氏の評するように、まさに「軽妙にして明晰」。愉快なエピソードとともに、液体材料の科学と歴史・未来について学べる好著となつている。

本書出版プロデューサー 真柴隆弘