

第 2 章

身の回りにある水銀

1 便利な計測器は水銀のおかげ

「水銀はとても有用な物質だ」と言ったら、大きな批判を受けるかもしれない。水銀の毒性は一般にも広く認識されているが、一方でその物理化学的な特性から、様々な「測る」場面で活躍し、その利便性を我々に提供してきたという側面、歴史がある。

○液体として存在する金属

水銀が常温（20℃）で液体である唯一の金属元素ということはよく知られている。実際は、低融点の金属元素は少なくないのだが（合金であればたくさんある）、地球の平均気温が15℃程度だったため、融点がマイナス39℃の水銀の特徴は際立って見える。また、沸点は357℃であり液体としての温度幅が広いいため、体温計をはじめとした温度を測るのに好都合であった。水銀は、金属なので熱

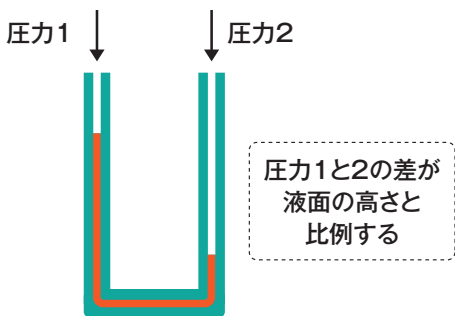


水銀体温計

伝導が良く、そのため応答も早い。そして膨張率が大きく、かつそれが広い温度範囲で一定であるといった特性により、冷凍庫の庫温から天ぶら油の油温まで我々が日常生活で取り扱うほとんどの温度を、水銀で計測することができる。水銀は、18世紀にドイツの物理学者ファールンハイトが、水やアルコールを使用していた当時の温度計の欠点を改良する目的で採用したもので、温度の精密計測を可能にした。

○「重い液体」としての活用

温度だけでなく圧力を測る場面にも、水銀が使われている。水銀は重金属なので比重は「13.6」、つまり水の13.6倍の重さがある。「重い液体」というその特徴から、水銀は様々な圧力計測に利用されているが、それには圧力計の原理（イラスト参照）が関係している。一般に圧力は、2つの圧力状態の差として計測され、液面の高さの差はその液体の比重に反比例する。水を入れた管で一方の圧力を1気圧分高めると、液面の差は約10mとなり、その高さを測るのは大変であるが、中に入れる液体を水銀にすると、液面の差が約76cmと



圧力計の原理

小さくなり、高さの計測が容易になる。「フォルトン型水銀気圧計」は、この原理を応用させた構造で、気圧を精密に測定できたため、気象台や測候所での観測に広く用いられた。また、血圧もこの原理で測定されており、その値は、日本の計量単位令に基づき、水銀柱ミリメートル (mmHg) と「非SI単位を用いることが定められている」。

圧力測定以外に、重い液体として水銀が利用された例として、地震計が挙げられる。19世紀に開発された「パルミエリの地震計」は、水銀が入ったU字管に鉄球のウキが浮べられており、地震が起きると発生時刻とウキの動きが記録できた。この地震計は、明治初期に日本に輸入され、東京気象台（現気象庁）での最初の地震観測に用いられた。

○「導電性」や「表面張力」も活用する

水銀の用途は他にもある。水銀が金属としての導電性を持つことを利用して、加速度センサーや傾斜センサーとして電気回路に組み込まれたスイッチなどに応用されている。また、水銀の大きな表面張力を利用して、物体表面の細かな孔の量を計測する水銀圧入法という手法が、研究的に用いられている。このように、水銀が持つ物性・特性は様々な計測器で利用されている。

○そして新しい時代へ

こうして有用とされてきた水銀計測器であるが、「水銀に関する水俣条約」では、温度計、気圧計、湿度計、圧力計、血圧計の5種類について、2020年で製造・輸出入が禁止されることとされた。法律上、販売・使用・所持が禁止されるわけではなく、また必須用途については免除されることもあるが、いずれにしても、できるだけ水銀を使わない社会に向けて、すみやかに代替製品への切り替えを進めていくことが我々に求められる時代になってきた。

2 紫外線の光源となる水銀

金属をガスバーナーであぶると、種類によって異なる色彩の炎が出る。炎色反応という現象だ。金属の同定（その金属が何であるかを決定すること）や、濃度の把握などに利用できる。ストロンチウム（赤）、ナトリウム（黄）、バリウム（黄緑）、銅（青緑）など、特有の炎色反応がある金属元素は、花火の炎色剤としても用いられる。では水銀はどうだろう。水銀にはあまりはっきりした炎色が出ない。いや出ないというのは少し不正確で、可視域の光成分が少なくと言った方が適當だろう。水銀の最も強い炎色は、紫外域にある。だから、ヒトの目には見えない。

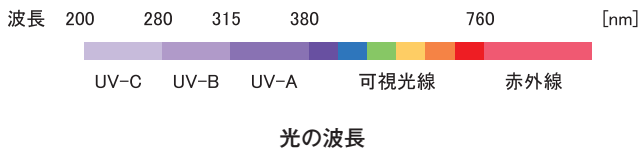
プリズムで光を分光した時、紫色より先にあつて目に見えない紫外線。可視光線より波長が短く、X線より波長が長い電磁波で、その中でも波長200～380nm（ナノメートル）の近紫外線と呼ばれる部分は、ヒトの生活により深くかかわっている。日焼け止めの目薬にも使われるUV-A・UV-Cは、この近紫外線の波長をさらに細かく分類したもので、ビタミンDの生成に役立ったたり皮膚がんの原因となったりと、良くも悪くも紫外線はヒト健康の面で注目されている。

○水銀が出す「光」とその殺菌力

水銀の炎色は、近紫外線である354nmに最大の光成分を持っており、これはUV-C（200～280nm）に分類される（イラスト参照）。UV-Cは、DNAに損傷を与えるため、強い殺菌力があるとともに人体には有害な光であるが、オゾン層で守られている地表には通常到達しない。水道施設における「水銀ランプ」は、このUV-Cの殺菌作用を利用したもので、微生物汚染対策として広く用いられている。

○照明器具として働く水銀

水銀ランプの紫外線は、蛍光剤を用いて可視光線に変換することができる。蛍光とは、紫外線等の電磁波の照射により物質（原子）がエネルギーを吸収し、原子の中で電子が励起（エネルギーの高い状態へと移ること）され、それが基底状態（エネルギーが最も低い状態）に戻る際に可視光線等が放射される現象である。この、紫外線を蛍光剤に吸収させると可視光



線になる性質を利用したものが、「蛍光灯」である。内面に蛍光剤を塗布した形式の蛍光灯は、昭和初期に開発され、戦後照明器具として定着、普及した。

○ブラックライトにも水銀のチカラ

蛍光剤の種類を変えて、可視光線より少しだけ波長の短い紫外線（UVA）を放出するように調整したものが、いわゆる「ブラックライト」である。ブラックライトの光は、そのままではほとんど見えないが、その光を当てることにより特定の物体が発光するため、証明書類の偽造防止や真贋鑑定、屋内におけるビジュアルエフェクトなどに利用されている。用途として、蛍光塗料を塗布して効果を得る場合と、もともと蛍光作用を持つ物質の検知に使う場合がある。



蛍光灯

○水銀ランプからLEDへ

紫外線の利用にあたっては、長く水銀ランプが用いられてきたが、水銀の安全性への懸念から他の光源（とりわけLED）の開発が進められている。LEDは長波長（赤色）が先に製品化され、次第に短波長LEDも開発されてきている。LEDを照明用として使う限り、紫外線は不要であり、余分なエネルギーが消費される短波長成分は、無いに越したことはない。しかし、殺菌などでの使用を考えると、紫外線成分を多く含むLEDは、今後の水銀使用製品の代替につながる重要な技術であり、その開発は待ち望まれているところでもある。

3 電池に用いられる水銀

電気を電気として貯めるコンデンサという電気部品があるが、この場合、蓄えられるエネルギーは、数秒で使い切ってしまう程度でしかない。このことから「電気は貯めることができない。」と教わった人も多いだろう。しかし、蓄電池は、装置に蓄えておいた化学エネルギーを電気として取り出して使用するため、長時間の使用に耐えるほどのエネルギーを供給することが可能だ。この蓄電池、とりわけ化学電池には、金属／金属化合物を用いたものが多く、その中には水銀を使った電池も含まれている。

○水銀電池のしくみ

酸化第二水銀をカソード（正極）として用いる「水銀電池」は、放電に伴い還元された金属水銀が液体となって電極から遊離するため、放電中に電極面の劣化がほとんどなく、放電特性に優れていた。こうしたことから、起電力（回路に電流を流す原動力）の標準となる「ウエストン

標準電池」のカソードにも、水銀化合物（硫酸第一水銀）が用いられている。蓄電容量にも優れる水銀電池は、早くからボタン型電池として小型機器の電源に利用されていたが、水銀の有害性の観点から、次第に代替が進められていった。途上国には現在でも水銀電池を製造しているところがあるが、国内での製造は1990年代に終了している。

○それでも水銀が電池に添加される理由

他方、水銀は、水銀電池以外にも使われているため、電池の名称になっ
ていないだけで安心してはいけない。電池のアノード（負極）には亜鉛が
用いられることが多く、電流が流れると電極の亜鉛は酸化されて酸化亜鉛
を生成することになっている。しかし、時に亜鉛が電解液によって腐食し
て溶け出すとともに、水素ガスを発生させることがあり、これが電池の破
裂や液漏れの原因となっていた。水素ガスの発生、すなわち水の還元反応
を促す触媒能力は「水素過電圧」と呼ばれ、金属によって異なっている。
白金はこの水素過電圧が最も小さく（還元反応を妨げる抵抗が低く）、逆
にこの値が最も大きいのが水銀である。この性質を利用して、電池の水素

アノード側反応



ガス発生を抑制する目的で水銀が添加されるケースがある。

この場合、水銀は、電池の放電反応には関与しないので、水銀を添加するかしないかは、メーカーの技術開発や品質管理の話になってしまう。「マンガン乾電池」や「アルカリ乾電池」などは、世界的にもほぼ無水銀化が達成されており、日本で現在販売されている製品に水銀が含まれていることはほとんどない。だが、ボタン電池では、「アルカリボタン電池」「酸化銀電池」「空気亜鉛電池」に水銀含有製品が残っている。これら製品の無水銀化にあたっては、メーカーそれぞれが、様々なガスの発生抑制や発生したガスを吸収する技術を取り入れて、無水銀製品の開発を進めている。

○電池の無水銀化に向かって

「アルカリボタン電池」は、比較的安価なおもちゃや小型の電子機器に広く使われており、無水銀化もある程度進んでいる。しかし、「酸化銀電池」は腕時計に、「空気亜鉛電池」は補聴器に主に使われているが、高級腕時計の中で電池が液漏れしたり、補聴器の使用中に電池が破裂したりすることは、その影響が大きいため、安全性にはことさら注意を払うべきである。「水銀に関する水俣条約」では、2020年までの電池の無水銀化を求めているものの、ボタン型の「酸化銀電池」と「空気亜鉛電池」については除外規定を設けており、引き続き製造・輸出入が可能

となっている。無水銀化への推移を注意深く見守る必要があるだろう。

○一人ひとりが無水銀化に責任

水俣条約における電池の管理規定は、製品に組み込まれた電池にも適用される。しかし、電池が最初から組み込まれている製品の中身が、無水銀電池であるかを確認することは非常に困難である。ネットショップで簡単に海外から商品を取り寄せることができる時代、自身の輸入品の中に条約違反の電池が組み込まれているかもしれないというリスクは、いったい誰が負うのだろうか。我々一人ひとりが向き合うべき問題である。



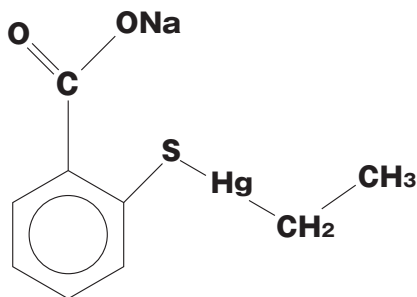
4 医療・治療に用いられる水銀

医療、治療のために水銀が使用された事例は古く、ギリシャ、インド、ペルシャなどで医薬品に用いられていた記録は紀元前まで遡る。また、皮膚疾患や梅毒の治療に使われたとの記録も残っており、漢方にも水銀を用いた伝統薬がある。かつて日本のどこの家にも置いてあるほど普及していた「マーキュロクロム液」（俗に言う赤チン）は、水銀化合物の消毒・殺菌効果を利用した傷口消毒剤であるが、この薬も、2020年で製造や輸出入が禁止されるため、早晚使われなくなる運命にある。

他にも、利尿剤として「甘汞」（かんこう…塩化第一水銀、汞は中国語で水銀のこと）やいくつかの有機水銀化合物が用いられていた。いずれの場合も、水銀が細胞内のチオール基（SH）と親和性があることにより、その効能を発揮するしくみを利用している。さらに、厳密に医療行為と云えるかどうか分らないが、明治から昭和期の鍼灸治療において、鍼の滑りを良くするために水銀を塗布してから刺入するという施術が行われていた記録もある。

○保存剤としての水銀とそのメリットとリスク

治療の有効成分としてではないが、保存剤として「チメロサル」（エチル水銀チオサリチル酸ナトリウム）という水銀化合物が添加されたワクチンがある。チメロサルは有機水銀化合物の一種（イラスト参照）で、生体内で分解してエチル水銀を遊離（化合物中の結合が切れて、その一部が分離すること）する。メチル水銀よりも簡単に分解されるため、エチル水銀の毒性はそれほど高くないとされている。チメロサルを添加したワクチンは、冷蔵庫に入れることなく常温での保管が可能なため、電気の安定的な供給が見込めない途上国の遠隔地においても使用できる。これが「チメロサル」という水銀化合物を添加する最大の理由である。この場合、乳幼児の予防接種を行うことのメリットと、その際に水銀にばく露（危険因子にさらされること）することのリスク



チメロサル

を比較し、リスクよりメリットが大きいとの判断から、現在までチメロサル入りワクチンは水銀規制の対象とはなっていない。

○水銀体温計と血圧計は早めに処分を

検査器具としては、広く普及している水銀体温計と血圧計がよく知られた存在だ。これらの器具も2020年で製造自体は禁止されるが、消耗品ではないため、引き続き使い続けることが許されている。さらに困ったことは、大量に流通しているために、その廃棄が長期間にわたると想定されている点である。水銀廃棄物は、特殊な処理が必要で費用がかかるため、少量を個別に処理業者に持ち込むより、取りまとめて回収処分を行う方がより迅速に低コストで廃棄できる。「まだ使えるから」「水銀が漏れるわけではないから」と使い続けるのではなく、早めに処分したほうが安全面でも費用面でも好ましい。

○ヒトの健康を守るための医療行為が…

日本ではほとんど使われなくなったが、歯科治療に使われるアマルガムの充填剤は、世界的にはまだ広く使用されている。アマルガムとは、水銀と他の金属との混合物（合金）で、歯科用充填剤には主に銀との合金が用いられている。水銀と混ぜることにより固まるアマルガム充填剤は、途上国など歯科医療の施設が充実していない地域においても取り扱いが容易で、他の充填剤で代替できないケースもある。口の中に水銀があり、少しずつ蒸発していることに対する不安はもちろんだが、実はこの歯科用アマルガムが全く別の問題を途上国で引き起こしていることを想像できるだろうか。

歯科用アマルガムの供給・販売ネットワークは、途上国の遠隔地まで届けるようになっていたため、それが別の用途に流用されてしまうことが起こっているのである。別の用途とは、水銀を使用した零細・小規模な金の採掘で、これが現在、世界最大の水銀使用用途と言われている。法の目の届かない途上国の遠隔地で行われているため、効果的な水銀対策を進めていくためには、水銀の直接的な供給ルートだけに目を奪われることなく、様々な視点からの検討が求められる。ヒトの健康を守るための医療行為が逆の結果につながらないよう、注視していくことが必要である。

5 美容のために水銀を…

現在では水俣病の経験もあり、有害化学物質としての認識が確立している水銀だが、世界的には今でも美容のため、積極的に利用する習慣がある。化粧の基本は赤白黒と言われている。赤は口紅や頬紅（ほおべに）など、白は白粉（おしろい）、黒は眉墨（と）、日本では何故かお歯黒）が古くから用いられていた。これらはいずれも何らかの化学物質であるので、中にはヒトの健康に影響を与えるものもあった。

○水銀が伊勢の特産物！

クレオパトラも使っていたとされるアイシャドウは、輝安鉱（三硫化二アンチモン）の黒い粉末であるが、アンチモンの毒性に対する懸念から現在では使われていない。白系の化粧品の代表である白粉には、鉛白（塩基性炭酸鉛）や水銀系の甘汞（かんこう…塩化第一水銀、汞は中国語で水銀のこと）が古くから用いられていた。日本での甘汞は「伊勢白粉」と呼ばれ、三重

県の丹生（にう）鉱山という水銀鉱山から産出された水銀を用いて、松阪市周辺で作られている。なお、丹生の「丹」の文字は辰砂（しんしゃ…硫化水銀鉱）のことであり、全国にある丹の付いた地名は水銀に縁があることが多い。ちなみに、辰砂は伊勢の特産物であり、三重県の鉱物にもなっている。江戸時代になると、伊勢白粉より安価で伸びも良い京白粉（鉛白）が用いられるようになり、歌舞伎役者など職業的に白粉を多用する人たちに鉛中毒が多発したと言われている。一難去ってまた一難である。

○漂白という美白

白粉ではなく実際に肌の色を白くする美白処理も、美容には欠かせない分野といえるだろう。世の中に美白用のクリームやせっけんは数多く、様々な物質の美白作用が研究され、また実用化されている。美白化粧品には、皮膚にあるメラニンを作る細胞（メラノサイト）の活性を阻害して色素の分泌や沈着を抑えることで肌の色を変化させるものと、メラニン自体を脱色することによって肌を白くするアプローチがある。白降汞（はくごうこう…アミノ塩化第二水銀）は、後者に当たり、細胞内のメラニン色素を漂白するため効果がすぐに現れるが、



漂白による肌のダメージも大きいものがあり、注意が必要だ。いまだ途上国で流通している美白効果を活用したクリームやせっけんは、しかし「水銀に関する水俣条約」の対象になっており、1mg/kg以上含有する製品の製造および輸出入が2020年以降禁止となった。

○化粧品への水銀の使用は直接的なばく露である

化粧品の効能ではない目的で、水銀が添加されている製品もある。マスカラや目元のクレンジング剤など、目の周りで用いるための化粧品類には、緑膿菌の繁殖を抑えるため、保存剤として「チメロサル」(エチル水銀チオサリチル酸ナトリウム)やフェニル水銀類などの有機水銀化合物を使用することが認められている。緑膿菌は、環境中に広く分布していて、病原性は低いものの薬剤抵抗性が非常に高い。水銀は、その緑膿菌に効果を発揮する数少ない物質の一つである。ただし、化粧品への水銀の使用は、直接的なばく露(危険因子にさらされること)となるため、その必要性とヒト健康に対する影響を注意深く検討しなければならない。よくよく気をつけないと取り返しがつかないことになりかねないのは、美容の怖さでもある。

6 水銀ランプはクルマの未来を照らすか？

管内にガスや蒸気を封入し、電極間に放電を起こさせる装置を「放電管」と言い、光源や整流などの用途に用いられる。最初に放電管を製作したのは、ドイツの理化学機器工ガイスラーで、実験に用いるために作られたこの装置は「ガイスラー管」と呼ばれた。このガイスラー管の原理は、現在の照明装置に応用されている。

○レトロなネオンサインが放電管照明の嚆矢

ネオンサインというレトロな看板は、内部に低圧のガスを充てんした「ネオン管」と呼ばれる放電管を、文字などの形に加工したものだ。1910年にフランスで開発され、封入ガスとしてネオンをはじめとする不活性ガスや水銀蒸気を用いることによって、様々な色光が得られたため、店頭照明や広告用に広く用いられた。

表示用としては効果的なネオン管だったが、作動に高い電圧が必要なため、屋内照明用に導入することは難しかった。低い電圧でも放電し、一般照明にも適した特性を持つのが、よく知られた蛍光ランプである。蛍光ランプは、陰極を加熱して積極的に電子を放出させる「熱陰極管」というタイプの放電管だ。蛍光ランプには低圧のアルゴンガスと水銀蒸気が封入されており、水銀が発する紫外線を、ランプ内面に塗布した蛍光剤で可視光線に変換することによって、明るく光るのが特長である。1930年代にアメリカで試作が始まり、日本では、1940年に潜水艦などの軍事用品として製造に成功した。

○蛍光ランプの民生化は法隆寺から！

軍事用に独占されていた蛍光ランプを、一般照明として最初に使用したのが、奈良法隆寺の金堂である。それには、当時進められていた、金堂内の壁画を模写するプロジェクトが関係している。プロジェクト遂行にあたって、白熱球より色温度が高く、演色性の良い光源が求められたが、蛍光ランプはまさに最適な存在だったのである。この金堂壁画は、1949年に失火により焼失してしまい、1968年に復元されているが、その際、蛍光ランプによって鮮明に撮影された写真や模写が参考となったと言われている。

水銀ランプは、この蛍光ランプより古く、1930年代に実用化されている放電管だ。水銀ランプを代表とする高圧放電ランプ（HIDランプ）には、大気圧より高いガスが封入されてお

り、効率は蛍光灯にやや劣るものの、高輝度・長寿命で経済性に優れることから、街路灯や大規模空間の照明に用いられている。照明用途にとどまらず、舞台演出やプロジェクター用にも使われるHIDランプだが、1960年代に入ると、水銀の他に金属ハロゲン化物を発光物質として封入したメタルハライドランプや、ナトリウムを封入した高圧ナトリウムランプなども開発されていった。

○高圧放電管の特性を活かした自動車用ディスチャージランプ

近年の放電管事情を見ると、蛍光灯については、発光効率の良いLED照明器具の登場もあり、エネルギー基本計画の中で切替の対象とされている。また、水銀ランプは、「水銀に関する水俣条約」の規定に基づき、2020年で製造、輸出入が禁止された。このように、放電管は使われない方向へと向かっているが、反対に最近導入されたのが、自動車用のディスチャージ（HID）ヘッドランプ（前照灯）である。古くは白熱ランプ、現在は主にハロゲンランプが使われているヘッドランプであるが、ハロゲンランプより明るくフィラメント切れの無いHIDが登場し、1992年にドイツで実用化された。

自動車のヘッドランプは、単なる表示灯ではなく運転者の視界を確保する照明装置である。そのため、車検整備の対象項目に含まれている。HIDヘッドランプは、その機構上瞬間点灯に向いておらず、ロービームのみをHIDとすることも多い。また、ハロゲンランプより光量が多いので、同じ光軸に調整しても対向車への眩惑が大きくなることもある。さらに、始動時から安定時にかけて色に変化するため、白色光の規定を外れてしまう場合もある。このように、現在の車検のルールには、HIDヘッドランプがクリアすべき課題もいろいろと存在する。だが、高効率で高寿命という特長を活かしてその適用範囲を増やし、水銀フリーの製品も開発されてきているHIDヘッドランプは、今も進化を続けている。将来どのようなヘッドライトを搭載した車が走るのか興味は尽きない。



車のディスチャージヘッドランプ

写真: iStock.com/teddyleung

7 伝統の中の水銀

古くから赤は、神聖な色として、土器や埋葬品の着色に用いられてきた。赤色の顔料には、主にベンガラ（酸化第二鉄）と水銀朱（硫化第二水銀）が使われ、後に鉛丹（四酸化三鉛）も用いられるようになった。重金属の毒性など科学的知識が無かったはずの時代でも、経験的にそれらの使用が生活に支障が無いと認識されていたため、使われ続けていたものと思われる。

○水銀の朱が彩る世界

水銀朱の原料は、「辰砂（しんしゃ）」と呼ばれる天然に産出する硫化水銀化合物を含んだ赤い鉱石で、古く縄文時代から採掘が行われていたようで、三重県や徳島県の遺跡からは、辰砂のすりつぶし用とされる石臼や石杵も出土している。辰砂



は、ベンガラや材料となる「鉄鉱石」より鉱出が限られていたため、水銀朱は高級とされ、神社や寺院の装飾の他には漆器や、練り朱肉など高級な用途に用いられている。

○金色の大仏像にも水銀

辰砂を製錬することにより、光り輝く液体の「金属水銀」を取り出すことができる。金属水銀は、他の金属とアマルガムという混合物（合金）を作りやすいという性質を持っている。このアマルガムの使用例として特筆に値するのが、8世紀に建立された奈良東大寺の大仏への鍍金（金めっき）である。高さが15メートルにも及ぶ巨像の表面を金めっきするためには大量の金アマルガムが塗布され、そこから水銀を蒸発させるために周囲で火が焚かれたと言われている。大仏殿も同時に建設されていたため、この作業は屋内で行われたことになり、高濃度の「水銀蒸気」が充満した大仏殿内は、非常に危険な状態であったであろうと想像される。なお、現在の大仏は、2度の焼損のち再興されたもので、創建当時の鍍金は蓮花座の一部にわずかに残るのみである。

○環境か伝統か

京都や日光にある神社仏閣では、今も日本の伝統的な手法に則っての修復が行われている。水銀朱を用いた塗装やアマルガムを利用した建築装飾品への金めっきなども、その手法のひとつである。もちろん作業員の安全面への対策は十分にとられているだろうが、水銀の毒性がよく知られた現代においては、環境面で水銀を使い続けるのは良いのか、そもそも文化と環境を天秤にかけて議論することが相応しいのか、など難しい問題を抱えているのも事実である。漆器などの工芸品では、「色味」や「風合い」といった、代用品を以って代えることのできない価値を水銀朱は持つっており、それを「環境に悪いから」という理由で捨ててしまつてよいのかという疑問も投げかけられている。



様々な色合いの水銀朱

○何を残して何を変えるべきか

「水銀に関する水俣条約」の規定では、伝統的・宗教的な用途に用いられる水銀使用製品の製造と輸出入は、禁止品目から除外すると明記されており、こういった問題に対しては一定の配慮がなされている。そのため、現時点で水銀朱は廃止の対象とはされていない。一方、アマルガムを用いた金めっきは、それ自身が水銀使用製品ではないため、取り扱いが明確には定められていない。仏像への鍍金は、現在でもネパールなどで行われており、作業員の水銀中毒が懸念されているため、これに新たな規制措置を加えるべきとの意見もある。伝統が全て善とは限らず、また、文化だからと議論を封印するのではなく、我々は将来に何を残して何を変えていくべきなのか——フラットな気持ちで考えることが求められている。

8 家庭でできる水銀対策

普段はあまり気づかないが、水銀はとても身近な存在だ。そして、どの家庭でも多かれ少なかれ、水銀を使用した製品を保有しているはずである。この水銀に対する国際的な取り決めとして、「水銀に関する水俣条約」は存在する。水俣条約は、水銀及び水銀化合物の人為的排出からヒト健康と環境を保護するために、水銀の生産、使用から排出、廃棄に至るまで、言うなれば「ゆりかごから墓場まで」の管理を求めるものとなっている。その中では、市民一人ひとりも、家庭内で適切に水銀対策を進める必要がある。

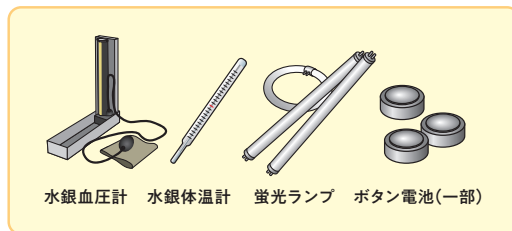
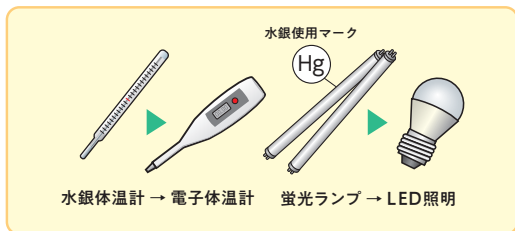
○水銀が使われた製品を知り正しく利用

水銀を使用する製品は、世の中に数多く出回っている。「こんな

ものにまで水銀が使われているのか」と、驚くばかりである。水銀対策の第一歩は、身の回りにどういった水銀使用製品があるのか、「先ずは敵を知る」ことから始まる。家庭で一般的に使われるものとして、蛍光ランプとボタン電池、加えて水銀体温計・血圧計などがある。さすがに水銀体温計や血圧計を使っている家庭は少ないだろうが、どこかに眠っているかもしれないので、一度確認することをお勧めする。なお、これらの製品は、決められた用途を守って正しく使う限り、水銀が漏れ出すことはない。

○水銀が使われていない製品への切り替えを検討

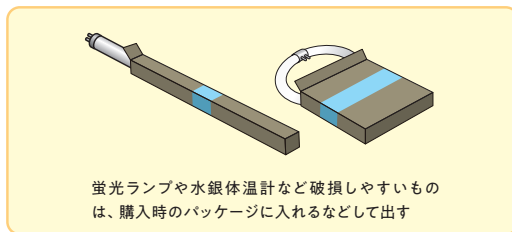
水銀使用製品と同じ目的を達成できて、しかも水銀を使用していない製品も、今では入手しやすくなってきている。寿命が来るなどして買い替える必要が出てきたときは、蛍光ランプからLEDランプへの変更のように、交換することによって電気代の節約などにつながることもあるので、水銀が使われていない製品への切り替えを検討してほしい。日本では、水銀使用製品について、「水銀を使用



していることが分かるように表示すること」と法律で義務付けられている。製品を購入する前には、水銀使用の有無を確認してみると良いだろう。

○水銀が使われている製品はルールに従って廃棄

使わなくなったり寿命が来たりした水銀使用製品を廃棄するときには、水銀が漏れ出さないように正しく廃棄、収集される必要がある。水銀は揮発しやすいので、例えば水銀を使った体温計や血圧計の場合、収集運搬中に割れてしまうと大気中に水銀が発散されるし、燃えるゴミに入れば焼却施設からガスとして排出されてしまう。水銀は化学元素であり分解して消滅することがないため、廃棄過程で水銀が漏れ出すと、それが環境中を循環してまた、我々のところに戻ってくる可能性がある。水銀使用製品の廃棄については、市区町村で定められたルールを守り、正しく処分する必要があることを理解してほしい。



○魚介類は賢く選んでそのメリットを享受

水銀使用製品以外では、魚介類に含まれる水銀について話題に上がることがある。大気中に排出された水銀は、やがて海に溶け込み、海洋生態系の中で次第に濃縮されていく。日本人の場合、水銀摂取の大部分が魚介類由来とも言われている。我々が捨てた水銀は、巡りめぐって食卓に戻ってくるのだ。ただ、魚介類は、良質なたんぱく質や健康に良いとされる不飽和脂肪酸（EPAやDHA）を豊富に含んでおり、健康的な食生活に欠かすことができない食材でもある。魚介類を遠ざけるのではなく、賢く選んで、魚食のメリットを活かしつつ水銀の影響を避けることを考えてほしい。

水銀に汚染された魚を食べるのでもない限り、魚介類の摂取に特段の制限を設ける必要性はないと考えられている。ただし、妊娠中の女性は、胎児発達への影響も考慮する必要があるため、厚生労働省が公表している『魚種に応じた摂取量についての注意事項』を参考にすると良いだろう。また、一般に大型の魚の方が水銀濃度は高いので、妊娠中は小さな魚を食べることをお勧めする。敵ばかりでなく己についてよく知ること、**「百戦危うからず」**となる。

9 エシカルジュエリーを選ぶ意味

宝飾店のウインドウを眺めながら、「このジュエリーはどのようにしてここまで来たのか」と考える人はほとんどいないだろう。実際、宝石や貴金属の素性について、我々はほとんど知識を持ち合わせていない。例えば、鉱山で労働者が低賃金で強制的に働かされていたり、原石が密売ルートで流通されていたり、仲介業者が法外なマージンを上乘せしていたり……いろいろな歴史をたどってその石が手元に届いていたとしても、我々はそのような話を知ることにはできないし、たとえ鑑定士であっても分からないだろう。さらに、宝石や貴金属の取引による利益が武装勢力の資金源になっているという実態もある。(紛争ダイヤモンドについては、2006年に「ブラッドダイヤモンド」という映画になったので、ご存じの方もいるかもしれない。)

○金の中の見えない水銀汚染

金については、こうした労働搾取や密貿易などに加えて、製錬で使われる水銀のヒト健康およ

び環境への影響も指摘されている。水銀が他の金属とアマルガムという混合物(合金)を作る性質は、現象的には水銀という液体に、金属が溶けていくと見ることができ。金鉱石に水銀を混ぜると、鉱石の中の金が溶け出し水銀とアマルガムを作り、その金アマルガムを火であぶって水銀を蒸発させることにより金を精製する。現在、世界最大の水銀用途は、こうした小規模な金の採掘・製錬における使用であり、この方法によって、大量の水銀蒸気が放出されることになる。

○エシカルな金へ業界が動いた

このような状況を踏まえ、宝飾業界や鉱山会社などは、フェアトレードに関する自主的取り組みとして「ARRM」(Alliance for Responsible Mining)とこの団体を結成し、貴金属の小規模採掘に対する支援に乗り出した。ARRMは、小規模な採掘事業者の社会開発や環境配慮の取り組みを審査する「Fairmined基準」を設定して、採掘事業者の認証を行っている。認証を受けた金は、それがフェアトレードの基準に合致したものであることを保証する刻印などが印され、カンヌ映画祭のパルムドールやノーベル賞の金メダルなどに使用されている。



Fairmined認証を受けた金を宝飾品に使う場合は、その分のプレミアムが上乘せされるため、当然割高になっている。金の価格は、宝飾品の製造原価の大きな割合を占めているため、このプレミアム分は宝飾品の販売価格にも上乘せされる。これがいわゆる「エシカルジュエリー」と呼ばれるもので、この価格差は、その宝飾品が持つ物語（どのようにしてここまで来たのか）に対するプレミアムである。このビジネスモデルは、消費者がこうしたしくみを認識することによってはじめて成立する。つまり、エシカルジュエリーについて知り理解することによって、プレミアムを支払ってもかまわないという価値を見出し、あえて割高な価格で購入を決める。そして、このときのプレミアム分が、やがて小規模採掘現場での水銀対策の原資となる。

Fairmined認証の金の流通量はわずかだが、消費者側でもエシカルな金を求める動きが進んでいる。世界の現物地金取引において中心的なロンドンの市場、そこに参加する専門業者の組合である「ロンドン貴金属市場協会」は、金のサプライチェーンに関するガイダンスを策定し、金の取引において「水銀が適切に管理されているか」を考慮するよう求めている。日本で流通する金の大部分はこの協会の認証を受けた会社が製造販売したもので、ガイダンスに遵守した定期的な監査を受けている。

○エシカルは自分自身への表彰

パルムドールやノーベル賞は望んでも簡単に手に入れられるものではないが、エシカルジュエリーであれば、自分たちのより身近な機会、例えば婚約指輪にエシカルな金を、という形で求めることができる。自らの健康と地球環境を守る一つの選択肢として、エシカルジュエリーは存在する。

10 コンピュータ時代の夜明けを記憶する水銀

2020年、日本の新しいスーパーコンピュータ「富岳」が、ベンチマークランキングにおいて「京」以来となる世界一を獲得した。実に9年ぶりのことである。富岳は、早速新型コロナウイルスの飛沫拡散シミュレーションにおいて成果を挙げているが、新たな研究方法としての「*in silico*」（イン・シリコ）実験の進展には、目覚ましいものがある（*in silico*はラテン語で「シリコの中」のことで、転じて「コンピュータを用いて」の意味で用いられる）。

○電気を遅らせて記憶するメインメモリ

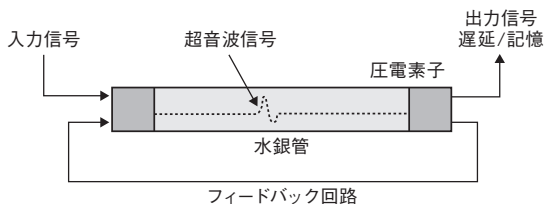
電子計算機（昔、コンピュータはこう呼ばれていた）の優劣は、プロセッサ（演算装置）とメインメモリ（主記憶装置）によるところが大きく、その処理速度がそのままコンピュータの性能とみなされることも多い。電気信号は非常に速く伝搬するものだが、時にそれを意図的に遅らせる必要性が生じることがある。初期の「電子計算機」用メモリの開発がその例であり、このと

きのメモリ開発に、遅延回路を使って電気信号を保持させる「水銀遅延線」が用いられた。

水銀遅延線は、水銀中の超音波（振動）が、電気信号より十分に「遅く」信号を伝達する性質を利用している。具体的には、水銀を入れた管の両端に圧電素子（電気信号と圧力を相互に変換する素子）を取り付け、一端に電気信号を入れて、他端から取り出すというものだ。出力信号を増幅後に再び入力信号とすることにより、内部に信号を維持し続けることができる。このような装置に使用する物質には、所要の遅延時間が得られるだけでなく、信号のひずみが少なく、反射ノイズが発生しにくいといった諸条件が必要になる。水銀の特性は、こうした超音波式の遅延線に適しており、そのため水銀遅延線は早くから実用化されていた。

○遅延回路はレーダー技術の応用

「電気信号を遅延させて循環させることにより情報を記憶させる」というアイディアの元となった遅延回路は、レーダーの移動目標指示装置として使われていたものだ。レーダーは、飛



水銀遅延線の動作原理

行機や船舶といった移動する物体を見つげるための装置であるが、電波はそうした移動体以外にも、地面や雨滴等からも反射されて戻ってくる。これらの固定反射信号は、レーダー本来の目的としてはノイズに当たる。そのため、送出した電波を一定時間保持しておき、戻ってきた電波から引き算することによって、その固定反射信号をキャンセル、ノイズをクリアしていた。

○電子計算機のメモリ開発

この時代、遅延回路を使わないメモリ開発も併せて進められていた。例えば、磁気コアメモリである。電気信号が無くなっても記憶が維持される（これを不揮発性という）素子を用いた磁気コアメモリは、小さなドーナツ状のフェライト製磁性体に磁氣的に情報を記憶させるもので、1960年代に多用された。その他、ブラウン管の表示画面に生じる静電気を利用したもので、黎明期に開発されたメモリにはユニークなものが多い。

世界初の電子計算機とされる「ENIAC」（1946年、アメリカ）は、多数の電線でスイッチ等を繋ぎ直すことで様々なプログラムを実行する構造になっており、現在のような「記憶装置（メモリ）に置かれたプログラムを実行する」方式（プログラム内蔵方式という）ではなかった。プログラム内蔵方式の設計思想に基づいて、初めて水銀遅延線によるメモリを実装したのが、1949年に運用を開始した「EDSAC」（イギリス）で、長さ約15mの水銀遅延線32

本が使われ、1本あたり10000ビットの記憶容量があった。日本では、1956年に完成した国内初の電子計算機「FUJIC」に、水銀遅延線が搭載されている。ENIACがアメリカ陸軍の砲撃の弾道計算を目的として設計されたのに対し、FUJICは、レンズの光学設計のために開発された。電子計算機でも、軍事技術がやがて民間に転用される、という側面を垣間見ることができる。

その黎明期においてコンピュータは、世界で、また日本でも、水銀遅延線がメインメモリとして使用されていた。水銀の中の記憶は数ミリ秒しか残らなかったが、その活躍はコンピュータ開発史の中で長く残るに違いない。

11 健康を数値化する ～ 血圧測定の意義

血圧を気にする人は多い。それはとても良いことだ。健康について自ら考えることで、病気の予防にもつながる。病気と、その裏返しとしての健康について、計測し定量化されるようになってのは、長い医療の歴史の中でもここ200年ほどの話である。血圧測定は、医療をして魔術から技術への変革を象徴する出来事であった。

○病気の診断には脈が大事

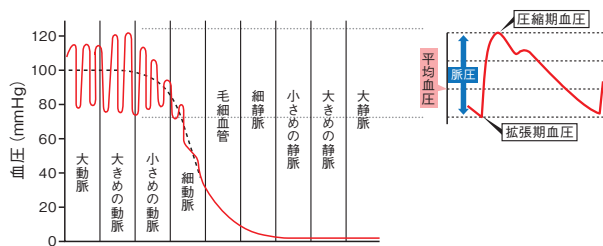
脈拍の速さや質といった「脈」の診断は、古代からヒトの健康状態を推し量るために重要とされてきた。また、脈動は血圧の変動として現れることから、19世紀以降になると、その数値化・グラフ化が進められていった。身体の部位によって異なり、また脈動している血圧は、動脈が高い値を示す。そこで、実験動物の動脈に「カテーテル」という細い管を挿入して、血圧を数的・グラフ的に計測する試みが行われ、これが生理学研究の扉を開いた。しかしこの方法は、実験動

物では実施可能だが、実践的な臨床医学には応用できない方法であった。

○いかにして動脈の血圧を測るのか

その後、腕の動脈を拍動が振れなくなるまで圧迫したときの圧力が、血圧（正確には最高血圧⇨収縮期血圧）と一致することが明らかにになり、血管を切開しなくても血圧測定が可能となった。イタリアの医師リバロッチは、腕の周囲に「カフ」と呼ばれる膨張させたゴム製の筒を巻き付けて、そこに手動のゴム球で加圧する、いわゆる「水銀血圧計」を発明（1896年）した。彼は、カフの下流の動脈を触診しながら水銀柱の圧力を下げていき、脈が感じられるようになる時の圧力を患者の血圧とした。この方法（「触診法」と呼ばれる）は、今日行われている血圧測定の原型を成すものである。

しかし、触診法では、最低血圧（⇨弛緩期血圧）を測ることができなかつた。その問題を解決したのが、ロシアの外科医



からだの各部位における血圧の変化

コロトコフである。彼は、リバロッチの方法に従いながらも、脈を触診する代わりに脈の音を聴診したところ、ある圧力範囲に限って不思議な低い音が聞こえることに気づいた。そして、その音（コロトコフ音と呼ばれている）の出始める点がリバロッチの血圧（最高血圧）と一致し、消える点が最低血圧であることを明らかにした（1905年）。これが今も全世界で使用され続けている「聴診法」である。難を言えば、このコロトコフ音は低く小さいため、ある程度の熟練がないとなかなか聞き取れないものらしい。血圧測定も意外と職人技なのだ。

○血圧測定が医学の近代化を推し進めた

血圧測定ができたとして、その結果を活用するには、「正常」と「異常」の数値を示す必要がある。それまでの医学は、記述的な言い回しを用いた定性的な説明が主であったが、血圧計をはじめとする生理学的器具が誕生して臨床用に応用されると、身体の状態を定量的に描写することが可能となった。客観的かつ数量的な指標で健康状態を表現することは、医療の透明性を高めることにもつながる。こうした新しいやり方は、医師たちが相互に情報伝達する際にも活用され、医療教育の場面でも、計測・再現できる知識が強調される形へと変わっていった。

患者、あるいは一般の人々にとっても、それまでの受け身の医療から、自ら知り、考え、行動する健康管理へと意識が変化する契機となった血圧測定。血圧計とそれにより計測された値が、

医師と患者のコミュニケーションにおいて共通語として使われるなど、血圧測定は、医学の近代化を推し進めたとも言えるだろう。

水銀血圧計は、カフとゴム球、水銀柱で構成されるところもシンプルな機器である。最近では電子血圧計に切り替えられてきている水銀血圧計だが、途上国や紛争地などの屋外診療が必要となる医療現場では、その利便性に加えて、軽量かつ電源を必要としないしくみのため、まだ活躍の場が残されている。



水銀血圧計