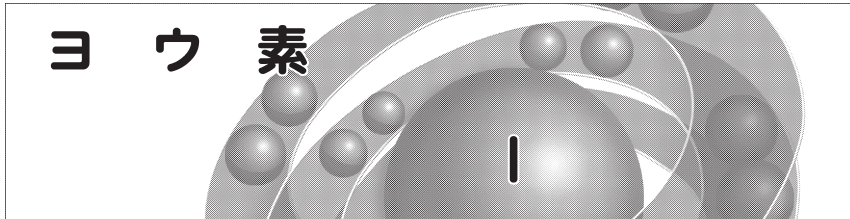


類が著しく還元的な環境のもとで生成したことを物語っている。この著しく高濃度のユウロピウムの存在は、地球と月が共通の宇宙物質から生じたのではないことを示唆するものである。だが現在のところ月がどのようにして誕生したかについての定説はまだない*。



この元素名はギリシャ語の *iodos* (ἰοδός, スミレ色) に由来する。

英語：iodine, フランス語：iode, ドイツ語：Jod, イタリア語：iodio, スペイン語：yodo, ポルトガル語：iodo, 中国語：碘

日本では以前“沃素”という字を使っていたが、漢字制限の結果仮名書きになった。なお、日本分析化学会制定の用語では“よう素”と平仮名になっている(試薬のラベルなど、こちらが採用されている場合も少なくない)。

“ヨウ素”(iodine) は元素名であり、単体ヨウ素は二原子分子の I_2 である。黒色の結晶で、気化すると紫色の蒸気となる。水にはわずかししか溶けなが、淡黄色の溶液となる。“ヨウ化物”は英語では一字違いの iodide であるが、ヨウ素原子に電子が一個附加した形で、 I^- で表現される。医学や栄養学、環境方面では“ヨウ素”という包括的な名称を用いているが、実質はほとんどが“ヨウ化物”であり、単体ヨウ素の意味で用いられることはあまりない。

人体中のヨウ素

人体に含まれるヨウ素	
血液	0.06 ppm
骨	0.3 ppm
体組織	0.05~0.7 ppm と広い範囲で変動する
人体中の全量	10~20 mg (大部分は甲状腺中にある)

* 現在のところもっとも有力な月の成因としてはるか昔、著しく巨大な物体が地球に衝突して多量の物質を宇宙空間に巻き上げ、それが互いに引き寄せ合って月を形成したあと、さらに重力の効果で軌道上を漂っている塵や微粒子を引き寄せて今日のような形となったと考えられている。

ヨウ素

ヨウ素はヒトも含めてほとんどの動物にとっては必須の元素であるが、植物にとっては必須ではない。それでもヨウ化物を含んでいる土壌から根を通じて吸収したり、大気中のものを葉から吸収したりして植物体内に集める作用をもっている。野菜類の中でヨウ素を多く含むものの筆頭はキャベツや玉ネギ、キノコ（マッシュルーム）などであるが、乾燥重量比で10 ppmほどである。

ヨウ素の蒸気は眼や肺を刺激する。工場における最大許容濃度は1 mg / m³とされている。単体ヨウ素自体は有毒(劇物にも指定されている)でヒトに対しての致死量は2gほどである。ヨウ化物のほうは安全であるが、それでも過剰に摂取すると好ましくない副作用を示す。

体内に存在するヨウ素のほとんどは甲状腺に集まっている。これ以外にヨウ素濃度の高い器官には、唾液腺、胃、脳下垂体、卵巣などがある。甲状腺中ではヨウ素は二種類のホルモン、すなわちチロキシンとトリヨードチロニンに含まれていて、体内のいろいろな代謝機能を制御する。中でも重要なのは体温の制御である。ヨウ素は正常な発育、成長、生命維持のために不可欠である。ヨウ素分が不足するとさまざまな欠乏症状が現れる。このうちもっともよく知られているのは甲状腺腫であり、大きく腫れた甲状腺のために頸部が膨張し、外見からもすぐわかる。ハイポヨーディズム(ヨウ素欠乏症)である。ヨウ素欠乏症の患者は、無気力、不活発となり、寒気を訴えるようになる。逆にヨウ素摂取が過剰となると、甲状腺機能亢進症となり、落着きを失い、活動亢進を伴う。通常の場合、身体は大部分のヨウ素を再利用しているが、幾分かは尿中に排泄されて失われる。過剰のヨウ化物もやはり有害であり、ラットにおける実験では雌の妊娠を妨げるという結果が得られている(漢字の“嬰”という文字は、もともと甲状腺腫をもつ女性を象形したものと考えられている。文字の上にある二つの“貝”は巨大な頸部の膨らみを意味している)。

食品中のヨウ素

先進国の住民は、日々必要となる少量のヨウ素を食物から摂取している。通常のお食物のうちでは、牛乳がヨウ素の供給源となっている。最近では乳牛の飼料にヨウ素分を添加するようになったし、搾乳前に乳房を消毒する際にヨウ素を含む殺菌剤を用いるようになったこともあって、以前に比べると牛乳に含まれるヨウ

素の濃度は2倍近くに増加している。ヨウ素を大量に含む食物としては、タラ(鱈)、カキ(牡蠣)、ハドック(北大西洋産のタラの一種)、小エビ、ニシン(鯨)、ロブスター、ヒマワリの種、海藻、キノコなどがある。ある種の食品には、ヨウ素分の吸収を妨げる作用がある。たとえばキャッサヴァ、トウモロコシ、タケノコ(筍)、サツマイモ(甘藷)などであるが、これらが問題となるのは、もともとヨウ素分の摂取量がきわめて少ない地域においてのみである。

ヨウ素は妊娠初期三箇月において、胎児の神経系の発育に不可欠となっている。もし妊婦がヨウ素欠乏症だったとすると、新生児がクレチン症になる危険性が増大する。

甲状腺腫を防ぐために必要なヨウ素の最低摂取量は一日あたり70 μg である。イギリスでは安全のためにこの二倍量を標準摂取量と定めている。安全な摂取限界は一日あたり1 mg ほどで、これを超えると甲状腺などに副作用が現れる。

1990年現在で、食事中のヨウ素欠乏症(IDD)に悩む人口は、開発途上国でおよそ七億五千万人と推定されている。そのうち一千万人ほどがクレチン症にかかっている。この危険に曝さらされている国には中国とインドが含まれている。この両国では長年に亘る耕作の結果、土壌や飲料水中のヨウ素分が著しく低くなっているためである。世界保健機構(WHO)やユニセフ(UNICEF)などが、2000年までにすべての食塩にヨウ化物を添加させようという組織的活動を行って、これらのヨウ素欠乏症に悩む国々の大部分においてはヨウ化物添加を法制化させることに成功した。食塩に添加するヨウ化物の量はおよそ15 ppmで、毎日の使用量が5 g ほどなら、一日70 μg の必要量は十分に賄える。

医療におけるヨウ素

1820年に、フランスの医師ジャン・フランソワ・コワンデ(1774~1834)が、初めてヨウ素を医療に用いた。彼はヨウ化カリウムとヨウ素のアルコール溶液(ヨードチンキ)をつくり、甲状腺腫の治療に卓効を発揮すると述べた。これ以前には海藻を焼いた灰がこの病気の治療に用いられていたのだが、海藻灰はヨウ素を大量に含むので、この元素こそが有効成分であるのだろうと考えたのである。彼の考えは正しかったが、ヨードチンキを服用させられた患者は、粘膜に対する刺激作用のため激しい胃痛に苦しみ、この治療法は広まるには至らなかった(後

ヨウ素

にこの目的にはルゴール液(フランスの医師ジャン・ギョーム・ルゴール(1786~1851)の考案になるヨウ素ヨウ化カリウム水溶液)が処方された。水溶液ならば刺激が少ないためである)。

このヨードチンキは甲状腺腫に対する薬剤としては落第だったが、外傷の処置用にはたちまちに普及した。当時はこの有効性が殺菌作用によるものだという事はまだ認識されていなかった。ヨウ素そのものや、有機ヨウ素化合物は殺菌・消毒薬としてかなり流行したのだが、しだいにもっと苦痛を伴わない薬剤に置き換えられてきている。

1830年に、甲状腺腫とヨウ化物との関係が報告された。甲状腺腫が広く認められる地域の飲料水のヨウ化物含量が著しく低いのである。だがこの観察結果は医学界の認めるところとはならなかった。十九世紀半ば頃の甲状腺腫のヨウ化物による治療は、患者が過剰のヨウ化物摂取のために著しい副作用に苦しむためにほとんど行われなくなってしまった。

甲状腺とヨウ素との関連が再発見されたのはさらに下って1895年のことである。バウマンという医師が、甲状腺の検体上にうっかりして濃硝酸をこぼしたところ、組織が分解して鮮やかな紫色の煙が立ち昇るのを認めたという。だが、ようやく1916年になって、米国のオハイオの生物学者デーヴィッド・マリーンが、甲状腺腫は日々の食餌にサプリメントとしてヨウ化物を加えることで治療・予防が可能であることを示すまでは、世人の認めるところとはならなかった。1930年に米国ではヨウ化物添加食塩が市場に出現し、以後20年のうちに甲状腺腫の患者は一掃されてしまった。

放射性のヨウ素の同位体、ヨウ素-131(^{131}I)は診断用、とくに甲状腺機能の検査のために用いられている。以前は^{がん}癌治療に使えるのではないかと考えられたが、時としては逆に多くの癌を誘発することもわかった。 ^{131}I は治療用薬剤の形で用いられるようになった最初の放射性核種であるが、入手可能となったのは第二次世界大戦以後のことである。もう一つの放射性同位体である ^{125}I は γ 線放射体で、放射線治療用に用いられている。

戦争とヨウ素

ヨウ素はもともと、十九世紀初頭のナポレオン戦争の時代に、イギリスの海軍

がフランス沿岸を封鎖して、火薬に必要な硝石(硝酸カリウム)の輸入をストップさせたため、その間接的な結果として発見されたのである。当時の硝石は近東地域からの輸入品であった。便所や肥溜めで、人間の排泄物中の窒素分を細菌が酸化した結果析出する結晶を集めたものだったのである。

フランス国内ではたちまちにして小屋がけ規模の硝石工業が林立した。堆肥や家畜の排泄物を腐植土や草木灰と混ぜて、硝石を生産しようというのである。草木灰はカリウム源であった。

パリの郊外で硝石製造業を営んでいたベルナール・クルトワは、カリウム源として海藻灰を使っていた。彼は海藻を熱水で処理し、分別結晶法で塩化カリウムをつくっていたのである。1811年のある日のこと結晶を分離した母液に濃硫酸を加えたところ、驚いたことに美しい紫色の蒸気が発生したのである。彼はこの反応をレトルトを用いて繰り返し、蒸気を凝縮させて金属光沢をもつ美しい結晶を得た。クルトワはこの新発見に魅せられ、新元素を発見したと確信したのである。この新元素についていくつかの実験も行っている。たとえばヨウ素をアンモニア水に加えると、爆発性をもつ三ヨウ化窒素が生じるなどである*。

歴史

クルトワは自分のつくった新しい物質を、親友であった二人の化学者に提供した。この二人は、シャルル・ベルナール・デゾルムとニコラ・クレマンである。彼らはもっと系統的な研究を行って、1813年の11月29日に、フランス帝国研究所(Institut Imperial de France)で発表が行われた。これが新元素であることは、まもなくフランスのジョセフ・ゲイ=リュサックと、イギリスのハンフリー・デーヴィーによって証明された。デーヴィーは、当時英仏両国が戦闘状態にあったのにも拘わらず、パリへの訪問を許可されていた。デーヴィーはヨウ素の試料をもらって、ホテルの自分の部屋で、旅行中も携えていた実験器具を活用してさまざまな実験を試みた。彼はその結果を翌月の12月13日に帝国研究所で

* クルトワの企業は、1815年にナポレオンがワーテルローの会戦で大敗した後、海上封鎖が解かれるとたちまちにして破産してしまった。近東地域からの安価な硝石の供給が増加し、一方では戦争の終結のために火薬の需要が激減したからである。ヨウ素の市場は拡大し、10gについては6フランもしたのだが、クルトワはごくわずかしか生産できなかったため、ほとんど儲けにはならなかった。1838年に赤貧のうちにクルトワは亡くなった。

の会で報告し、イギリスに戻った後、1814年の1月20日に王立研究所の会合で自ら報告を行った。

イギリス人はゲイ=リュサックの行った研究結果を知らなかったので、デーヴィーこそが、ヨウ素を新元素であると確定した人物であると長いこと考えていた。このプライオリティについては次の世紀に至るまで議論の種となったのだが、1913年にフランスで“ヨウ素発見百年記念”を祝う式典が挙行されるまで終結しなかった。この式典の際に、クールトワが調製したヨウ素そのものの試料が展示され、彼の新元素発見が改めて確実なものとされたのである。とにかく、ゲイ=リュサックがこのヨウ素を本当に元素であることを証明し、ギリシャ語の *ιωδες*、すなわち“スマイレ色”にちなんで *iode* という名称を与えた人物なのである。

経済・産業界におけるヨウ素

ヨウ素を含む鉱物はいくつか知られている。たとえばチリに産出するラウテル石(lauterite, $\text{Ca}(\text{IO}_3)_2$)とか、ヨード角銀鉱(AgI)などである。ヨード角銀鉱はコロラドやネヴァダ、ニューメキシコなどに産出する。

全世界におけるヨウ素の年産量はおよそ一万三千トンであり、おもにチリ(40%)、日本(30%)からのもので、これ以外にはずっと落ちるがロシアと米国ぐらいである。チリでは、チリ硝石鉱床中に5%ほど含まれているヨウ素酸ナトリウム(NaIO_3)を原料としているが、日本の場合には天然ガス井から汲み出される鹹水(ブライン)が原料である、その他の国では油田鹹水から同様に抽出している。埋蔵資源量は200万トンほどと推定されている。

ヨウ素の抽出には、鹹水に酸を添加して、塩素ガスを吹き込む。ヨウ化物イオンの形で溶けているヨウ素は単体の形となって分離してくる。これを一旦ヨウ化水素(HI)の形とし、再び単体ヨウ素とすることで、純度99.5%のものが得られる。硝石鉱床中のヨウ素酸塩の場合は、二酸化硫黄によってヨウ素に還元し、これを微粒子状の“プリル”と呼ばれるものに成形する。このプリルはダストフリーで溶解しやすく、安全に取り扱える。海藻からのヨウ素の抽出は、長い歴史があり、1820年代から1950年代までのヨウ素の資源はもっぱらケルプ(昆布近縁の巨大な褐藻類)の灰であった。このケルプには乾燥重量比で0.45%ものヨ

ウ素分を含み、灰にすると1.5%となる。つまり1トンの灰を処理して15kgのヨウ素が得られる計算となる。だが現在ではこの原料はもはや過去のものとなってしまった。

ヨウ素の用途はいろいろあるが、まず第一には薬用である。この中にはヨウ素を含む消毒剤も含まれるが、全体の25%になる。家畜の飼料添加に15%、印刷インキや染料などに15%、工業用触媒に15%、写真乳剤に10%、このほか種々の用途を総計すると残りの20%となる。多くの場合には単体ヨウ素よりもヨウ化物の形で利用される。触媒としての四ヨウ化チタンや、写真乳剤のヨウ化銀、純金属製造用の四ヨウ化ジルコニウム、飼料添加用のヨウ化カリウムなどすべてこの形である。有機ヨウ素化合物も薬剤や染料のほか、ナイロンの安定剤に利用されている。ヨウ素の最初の実用的な用途は写真であった(囲み参照)。

環境中のヨウ素

環境に含まれるヨウ素	
地 殻	0.14 ppm ヨウ素は地殻中で多いほうから64番目の元素である
土 壌	約3 ppm, 0.1~30 ppmの範囲での変動が認められる
海 水	0.06 ppm
大 気	0.2~60 ppb, 雨水中には1Lあたりで0.7 μgの要素が含まれる

最初の写真

1839年、フランスのルイ・ダゲールが彼の写真撮影法を公刊した。これがいわゆるダゲレオタイプである。磨いた銀板をヨウ素の蒸気に曝し、表面に感光性のヨウ化銀を生成させ、この上に像をつくらせる。光が強ければ、ヨウ化銀が還元されて金属銀となる割合は多くなる。この反応で生成したヨウ素を洗い流すと、あとに陽画(ポジ)の形で像が残る。1851年にはガラス上のフィルムにヨウ化銀を含ませた湿板が登場した。

自然界におけるヨウ素の循環(ヨウ素サイクル)

海洋から毎年およそ四十万トンものヨウ素分が大気中に逸散している。その化学形は単体ヨウ素のほか、ヨウ化水素やヨウ化メチルで、海棲生物が生産するものである。これらの大部分は陸地に沈積し、生物循環系の一部となっている。土壌中の微生物もヨウ素の循環には大きな影響を及ぼしているし、菌類の中にはヨウ素を環境から濃縮する性質をもつものもある。もちろん降水中のヨウ素の大部分は河川によって再び海へと運ばれる。比較的最近になって判明したことであるが、イネ(稲)はヨウ化メチルを大気中に送り出す機能があり、これだけで大気中のヨウ素の約4%ほどが供給されている。

ロシアのバラバステップなどの地域では、土壌中のヨウ素が異常に高く、300 ppm ほどにもなる。日本やウェールズの海岸近くの土壌でも150 ppm ほどのヨウ素濃度が観測されている。だが、氷河浸食や降水による流亡などの影響を受けるところでは土壌中のヨウ素分は著しく低くなり、このような地域では甲状腺腫が多発する傾向が認められる。

放射性の ^{131}I は、原子炉事故などで大量に大気中に放出される。1986年のチェルノブイリの大事故でもそうであった。この同位体は半減期が8日ほどであるが、草食動物が食べる草から体内に取り込まれ、ただちにミルクや上水などによってヒトの食物連鎖に入ってくる。この有害な影響を避けるために、被害を受けた地域の住民、とくに子供たちに対してヨウ化カリウム錠剤が配布された。だが、この処置はいささか遅きに失したようで、チェルノブイリの周辺地域では甲状腺癌の発生率が著しく高くなっている。もし大過剰のヨウ化カリウムが処方されていれば、 ^{131}I は希釈されて吸収量は激減し、身体に有害な結果とはならなかっただろうと考えられている。

化学的性質

データファイル	
元素記号	I
原子番号	53
原子量	126.90447
融点	114 °C
沸点	184 °C(加圧下)
密度	4.9 kg / L (4.9 g / cm ³)
酸化物	I ₂ O ₅
	このほかに I ₂ O ₄ や I ₄ O ₉ があるが安定性は劣る

ヨウ素は黒色で輝きのある非金属固体であり、周期表では17族、すなわちハロゲン元素の一員である。加熱すると容易に昇華し、紫色の蒸気となる。

天然に存在する同位体は¹²⁷Iのみである。これは安定同位体で放射能をもたない。だが、地球表面にはこのほかのヨウ素の放射性同位体がいくつか存在する。これらはウラン-235(²³⁵U)やプルトニウム-239(²³⁹Pu)の核分裂によって生じたものである。

ヨウ素は、四塩化炭素などの無極性溶媒といわれるものには比較的良好に溶解し、美しい紫色を呈する。アルコールやエーテル、水などに溶かした溶液はこれとは違って褐色となる。水にはもともとわずかししか溶けないが、ヨウ化カリウムが共存すると、三ヨウ化物イオン(I₃⁻)が生じるために溶解度が著しく増加する。この三ヨウ化物イオンとデンプンとの複合錯体は、濃い青色を呈するので、化学分析においてはきわめて重要な役割を果たしている。

ヨウ素は電子を獲得してヨウ化物イオン(I⁻)になるのだが、同じように電子を失ってI⁺イオンを生じることも可能である。この形は甲状腺の中でチロキシンが生成する過程に関与していると考えられる。

意外なエピソード

ヨウ化銀は雲の中に散布すると降雨をもたらす種となる。ヨウ化銀が1gあると、これだけで種結晶10億個をつくるのが可能なので、この周りに水蒸気が凝縮して水滴となり、大きく成長すると雨の形で地表に降り注ぐ。雨雲の中をこのヨウ化銀の微結晶を振りまくような飛行機が飛ぶと、著しい降雨をもたらすこ

ヨウ素

とが可能となる。

1952年の八月のことであるが、英国防衛省が秘密の人工降雨試験を西イングランドで行った。その結果海浜リゾートであるラインマスが集中豪雨に見舞われ、住宅は根こそぎ流されて住民の中から31名もの死者が出た(この人工降雨試験は、戦車や上陸軍を洪水で押し流し、内陸部への侵入を阻止することが可能かどうかをテストするために行われたのである)。