

不純物から過去を読む

東京理科大学理学部応用化学科
中井 泉

筆者は放射光などのX線を使った分析法の開発と応用を行っているが、その目標のひとつとしてどこまで極微量なものが測れるかということを考えることが多い。元素分析における微量の極限は原子1個の検出ということになるだろうが、もし実現しても実際の分析のニーズはあまりなさそうである。実用的な分析法としてははるかに重要なのは、高濃度マトリックス中の微量成分の検出限界を下げることである。では我々はなぜ微量にしか存在しないものをはからねばならないのだろうか。

微量分析の対象として、我々の体の中の微量元素があげられる。Fe, Zn, Cu, Se, Co, Cr, Asなどの微量元素は、総量でも体重の0.02%程度しかないが、酵素の中心金属などとして生体内反応の触媒の作用を示し、生体にとって大変重要な役割を担っている。現在までにヒトにとって必須性が知られている元素は20種程度で、分析法の感度があがると、まだまだ増える可能性がある。また無機物でも、半導体や宝石など微量元素によって電子物性や光物性が支配されて、微量元素が重要な役割を担っているケースも少なくない。味覚の世界でも水やワインに含まれる微量成分がおいしさの決め手となっている。ところが、一般には微量元素は、不純物としてネガティブな意味を持ってとらえられることが多い。ただ、世の中の物質はすべて不純物を含んでおり、純粋なものはない。この世にNaとClだけからできている塩化ナトリウムは実在せず、化学式で塩をNaClと書くのは理想化された表現にすぎない。日本でもアメリカでも塩の主成分はNaClであるが、一方、その微量成分は製造場所、製法などによって千差万別である。そこで、物質に必ず含まれる不純物を積極的に利用することを考えてみよう。

人間を含めて、あらゆる物質は過去のある時点で生まれ、現在まで存続している。この物質世界の始まりは、今から150億年程前のビッグバンと考えられており、はじめはエネルギーが凝縮した超高温の世界で物質はなかった。宇宙が膨張して温度が下がると $E=mc^2$ の式にしたがってエネルギーから素粒子ができ、素粒子が集まって水素やヘリウムができ、その後核融合等で様々な元素が生成した。それらは宇宙空間にひろがり、集まって星ができる。今の地球はこうにして約45億年前にでき、この時点で地球の全体組成が決まった。現在の地球の元素の偏在は地球誕生時から現在にいたるまでの地球化学プロセスの産物である。その結果、各地域に特有の元素分布がうまれた。南アフリカで白金が豊富に産出するのに、日本で産出しないのはこのような物質の進化の因果関係によってできた必然である。地球の表層では、化学反応が進行し、だんだん高度に組織化された複雑な物質ができるようになる。このような一連の過程を物質の進化とよび、もっとも進化した物質が生命である。たとえばヒトの歯がリン酸カルシウムでできていて、ヒザラ貝の歯が磁鉄鉱であるのは生物進化、広い意味で

の物質の進化の結果である。生まれてから何を食べたかによっても生体の組成は変化する。植物はその土地の土から根を通して微量元素を吸収しながら生育するので、その組成には地域性がある。食物連鎖により動物は植物を食べ、ヒトは動植物を食料とする。その土の組成は地球誕生以来の地球化学プロセスでできまり、結局はピクバン以来の物質の進化による因果関係で、われわれの現在の体の微量元素組成がきまっていることになる。

このような背景から、焼き物の土を分析すれば、土は産地に固有の組成をもつことから、焼き物の産地推定ができる。考古学で土器を分析して、その組成の特徴から産地を推定することがしばしば行われているのも同様の原理である。すなわち不純物がその原料の産地を語ることになる。筆者が行った和歌山の毒カレー事件の鑑定では、犯罪に関係したとされる一連の証拠資料の亜ヒ酸にppmレベルで含まれるスズ、アンチモン、ビスマス、モリブデンを分析し、その存在パターンを使って犯罪に関係する試料が同一の起源をもつことを実証した。工業製品の亜ヒ酸は、どこの鉱山でいつ原料を採取し、どのような方法で製造したかによって最終製品の微量元素組成がきまる。鑑識科学では、このような微量元素の組成から異同識別が行われ犯罪という過去におこった事実について、犯行現場に残された証拠物質の履歴情報をもとに犯罪を合理的に再現し立証する。このように、物質の中にはその物質の起源と現在にいたるまでの履歴の情報が蓄積されている。すべての物質は歴史をもっていて、筆者はこれを「物質史」とよんでいる。物質の微量元素や、結晶構造、同位体組成などを調べることで、その物質の物質史を明らかにすることができる。鑑識科学や考古化学は物質の物質史の情報から過去に起こった出来事を明らかにするサイエンスといえる。地球科学は、岩石や隕石の物質史の情報から太陽系や岩石の起源や成因を探る。ヒトが摂取した物質は、毛髪に一部蓄積されるので、1ヶ月に1cm程度のびる毛髪には、その長さだけその人の過去の生活情報が蓄積されている。爪なども同様である。微量元素から健康診断ができるようになれば、医学においても物質史情報を活用できるであろう。年輪、うろこ、耳石、などを試料として過去の環境や動植物の生態を知ることもできる。工業製品の物質史情報から、その製品がどこの工場でのどのような技術でつくられたかも推定でき、物質史の考え方はさまざまな分野で活用できる。

不純物組成などの物質史の情報は物質の中に潜在し、その量は痕跡量であるので、それを読み出すには高感度な分析技術が必要である。名古屋大学の原口紘丞先生は人間を含む地球上の物質には周期表中のすべての元素が含まれているという拡張元素普存説を提唱しておられるが、分析法の感度が向上すれば実証できるであろう。さらに微量なものが測れば活用できる物質史の情報量は増大し、過去をもっと詳しく読むことができるようになるだろう。分析技術のさらなる進歩に期待したい。



筆者略歴

1975年 東京教育大学理学部化学科卒業
1978 - 79年 米国スミソニアン博物館鉱物科学部門留学
1980年 筑波大学化学研究科博士課程修了, 理博
1980年 筑波大学研究協力部文部技官
1982年 筑波大学化学系助手
1984年 同 講師
1994年 東京理科大学理学部応用化学科助教授
1998年 同 教授

主な要職、授賞歴

1992 - 1995年 日本分析化学会 21世紀委員会委員長
1994 - 1996年 日本結晶学会誌編集委員長
1995 - 2004年 日本鉱物学会評議員
1995 - 2004年 日本結晶学会評議員 (現: 行事幹事)
1998 - 1999年 日本分析化学会理事
2000 - 2002年 日本放射光学会評議員
1978年度 Smithsonian Institution, Predoctoral Fellowship Award
1988年度 日本鉱物学会奨励賞
1988年度 桜井賞、桜井記念会
2002年度 日本鉱物学会学会賞
2003年度 (社)電気化学会論文賞