

# 地球環境変化の健康への影響

## — 環境生化学より —

瀬子義幸（山梨県環境科学研究所）

### 摘 要

地球環境変化に起因する環境内での微量元素の動態の変化と、その結果起こるであろう人間に対する微量元素の曝露量変化、及びその健康影響の可能性について考察した。ここで言う微量元素とは、ヒトの体のなかの存在量が鉄以下のものを言う。酸性雨等の酸性降下物は、土壌の酸性化をもたらし、その結果アルミニウムや、水銀・カドミウム等の重金属類の溶出を増加させる可能性がある。溶出の増加によって、飲食物を通じてヒトが摂取するこれらの金属量が増加し、健康に悪影響が現れることが懸念されている。一方、酸性化によって、溶出の減少する可能性が考えられている微量元素もあるが、その中には重金属類の毒性を抑制する働きを持つものもある。土壌等の酸性化は二重の意味で、重金属類の健康影響を促進する可能性が想定される。酸性降下物以外にも、気候変動に伴う水循環の変化や環境の悪化に伴う生物相の変化は、環境内での微量元素の循環や生物による化学形変換の質と量を変化させ、その結果としてヒトの微量元素曝露量や曝露される化学形を変化させるものと思われる。このように、地球環境変化は、直接的影響のみならず、微量元素を通じて、間接的にヒトの健康に影響を与える可能性が考えられる。

キーワード：酸性降下物、微量元素、重金属毒性、必須微量元素、気候変動

### 1. はじめに

地球環境変化がヒトの健康に与える影響については、オゾン層の減少による紫外線（B波）の増加と皮膚癌増加、あるいは温暖化による温熱の影響など、直接的な健康影響に関して論じられることが多い。しかしながら、地球環境変化は、それ以外にも様々な形で、直接的あるいは間接的にヒトの健康に影響するものと考えられる。本稿では、酸性降下物の増加による土壌等の酸性化や、環境変化による生物相の変化、気候変動による局地的な乾燥や水循環の変化が、自然環境内での微量元素の動態や化学形の変化を引き起こし、間接的にヒトの健康に影響を与える可能性について考察してみたい。

### 2. 微量元素（生体微量元素）

生体内には、水素、炭素、酸素、窒素、ナトリウム、マグネシウム、リン、硫黄、塩素、カリウム、カルシウムが比較的多量に存在し、それぞれ重要な役割を担っている<sup>1)</sup>。これらの元素以外にも多種類の元素が微量ながら存在し、生体微量元素とも呼ばれる。ヒトにとっての微量元素とは、生体内の存在量が鉄以下のものをいい、それらのうち、欠乏症や生体内での生理学的・生化学的

役割が明らかになったものを必須微量元素と呼んでいる。現在、必須微量元素として広く認められているものは、クロム、マンガン、鉄、コバルト、銅、亜鉛、セレン、モリブデン、ヨウ素の9種類である。その他に、スズ、バナジウム、フッ素、ニッケル、ヒ素の5元素（この他にケイ素が必須元素であると言われているが、生体内のケイ素量は鉄より多いので微量元素とは言わない）が、これらの元素の欠乏食を与えることによって成長阻害等の悪影響が認められるとの動物実験の結果から、必須微量元素であろうと考えられている。また、アルミニウムやカドミウムも同様に必須であると考えられる報告もある。

上記の元素以外にも、水銀や鉛など環境汚染物質として知られている元素や、地殻中や海水中に存在する元素の多くが微量ながら生体中にも存在する。本稿では、必須微量元素や有害性重金属など、生体内に微量しか存在しない元素を微量元素として論じることとする。

後述するように、微量元素の多寡は、様々な病気と直接的あるいは間接的に関係すると考えられており、生体内の微量元素濃度を適切に保つことが健康維持のためには重要である。

生体内の微量元素の量は、様々な要因によって決定されている。ウィルソン病やメンケス病のように、銅の生

体内移行に関わる遺伝子の異常による蓄積量の異常を来たすものもあるが、通常は、飲食物からの摂取量と大気中の濃度、及びと其中的微量元素の化学形が生体内の量を主に決定している。

飲食物中の微量元素濃度はそれらが生産された自然環境、特に土壌や水中の微量元素濃度と化学形によって決まる。そのため、物資の流通が盛んではなかった時代や地域では、環境中の微量元素量がヒトの微量元素摂取量を決定する大きな要因であった。その結果、土壌中のある種の必須微量元素濃度が低い地域では欠乏症が、逆に高い地域では中毒症が発生しやすいという構造があった。中国の土壌中セレンウム濃度の低い地域で見られた心筋症（克山病）、逆に同じ中国でも土壌中のセレンウム濃度の高い地域で見られたセレンウム中毒と見られる健康障害、ヨウ素欠乏地域での甲状腺腫、地質由来のヒ素による地下水汚染と健康障害などが、自然環境中の微量元素の多寡による様々な健康障害として知られている<sup>2)</sup>。

また、人間活動による種々の元素の環境内の局在化は、ヒトが高濃度の微量元素に曝露される機会を増加させ、時には環境汚染を引き起こし、重篤な健康障害もたらした。工場排水中の水銀（メチル水銀）による水俣病、鉱山排水中のカドミウムが原因と考えられているイタイイ

タイ病、ペンキの中の鉛による子供の鉛中毒（米国で特に問題となっている）など、いくつもの微量元素、特に重金属による健康障害がこれまで大きな問題となってきた。

微量元素の不適切な摂取・曝露による健康障害を経験し、物流が盛んになった現在は、昔ほど重篤な欠乏症や中毒症は見られなくなってきているが、依然として世界各地では、微量元素の関与する健康障害が報告されている。また、最近ではハイテク産業の分野で、これまではあまり利用されていなかった元素が利用されるようになり、それらが環境に放出されたときに、ヒトに対してどのような曝露と健康障害が起こり得るかが研究され始めている。これに加えて、本稿の主題である地球環境変化が、微量元素を介してヒトの健康にどのような影響を与えるかについても、研究と議論が始まっている。図1は以下に述べる地球環境変化から想定される微量元素暴露量の変化と健康障害関連を示してある。

### 3. 環境変化と微量元素の動態

微量元素は土壌や地層の鉱物中に含まれるほか、土壌や底質中の有機物に結合して存在する。本稿では、土壌・底質等で起きる金属類の結合・交換反応の詳細は省

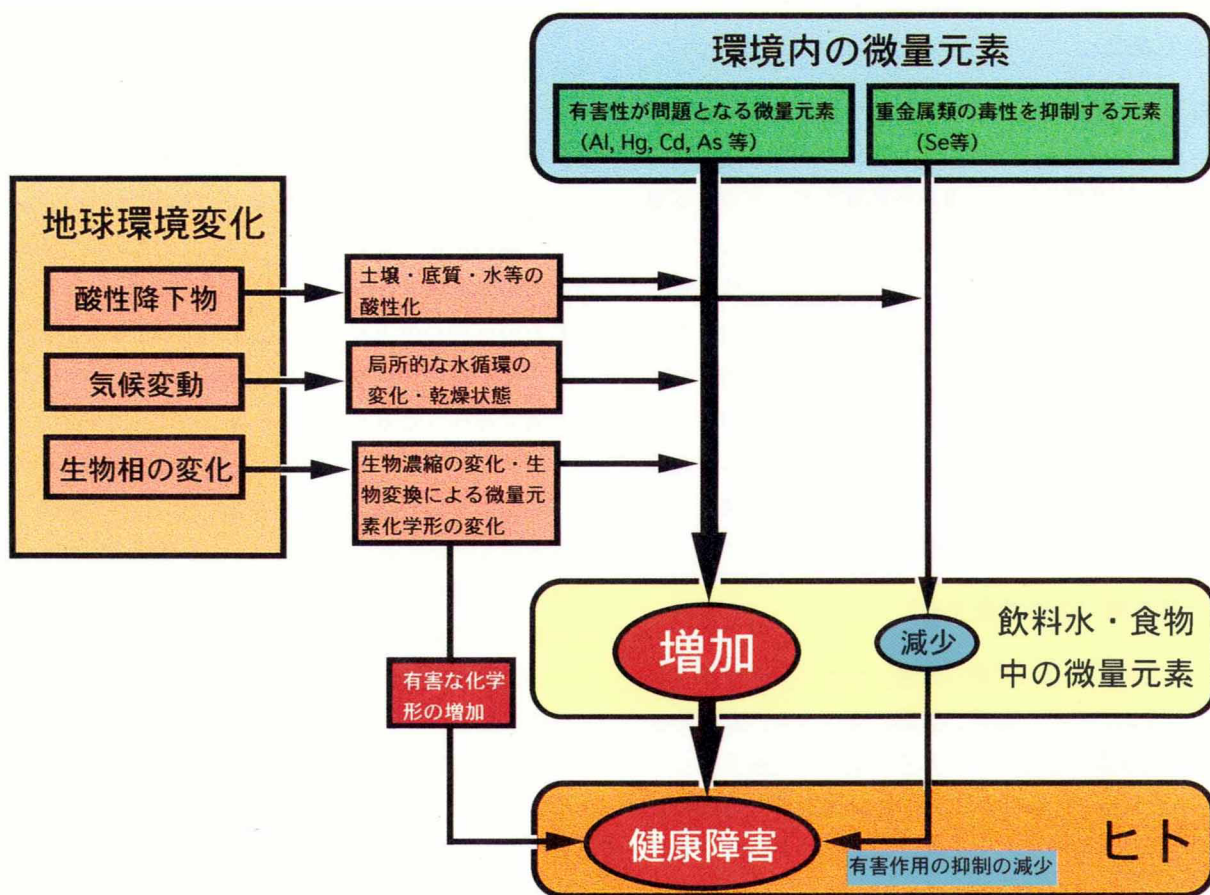


図1 地球環境変化から想定される微量元素暴露量の変化と健康障害

略するが、酸性降水物の増加による酸性化によって、鉱物や有機物からの溶出の増加が考えられている。溶出増加が懸念されている微量元素としては、アルミニウム、水銀、カドミウム等があげられる<sup>3)</sup>。また、セレンウムの場合、酸性化によって溶出が減少するものと考えられている。一方、酸性降水物の影響以外には、気候変動による局地的な乾燥に伴って水分蒸発が促進され、地表水に溶解している微量元素が濃縮される可能性が考えられる。また、地表での水分蒸発に伴って、地下水のくみ上げ量が増加すれば、地下水の流れに変化が生じ、それまでとは違う地層を通過した地下水が混入し、地質由来の微量元素濃度が変化することも考えられる。

微量元素の環境内動態や、化学形は微生物を初めとする生物化学的要因によっても影響を受けている。そのため、環境変化によって生物相が変化すれば、微量元素の環境内動態や化学形が変化し、ヒトへの曝露量と影響の様相が変化する可能性も考えられる。

土壌等から溶出された微量元素は、直接水から摂取されたり、農作物や食物連鎖を通じて濃縮された形で、食物から摂取されることによって、ヒトの体内に入ってくる。例えば、水銀でも、メチル水銀のような有機水銀の場合は、生体膜を透過しやすいため、生物体に取り込まれやすいが、無機イオン型水銀の場合は、生物体には取り込まれにくい。そのため、メチル水銀は食物連鎖による生物濃縮によって、魚類に比較的高濃度に蓄積すると考えられている<sup>4)</sup>。また、環境内の微生物の中には、無機水銀をメチル水銀に変換するものがある一方、逆にメチル水銀を無機イオン型水銀や、金属水銀に変換するものの存在も知られている。金属水銀は、揮発性が高いため、この形に変換された水銀は大気中に移行し、その後、その多くは雨とともに海水中に移行するものと考えられている<sup>5)</sup>。

#### 4. 微量元素と健康

以下に、今後の地球環境変化に伴って、ヒトへの曝露量が増加して健康に対する影響が懸念されるいくつかの微量元素の生体影響について述べる。

アルミニウム：土壌の酸性化に伴って溶出の増加することが最も懸念される元素である。農学関係の分野では、植物に対する影響が検討され、アルミニウムの増加による植物の成長阻害等が問題となっている<sup>6)</sup>。身の回りに大量のアルミニウムが使われている現在と比較して、ヒトに対するアルミニウムの曝露量が、土壌等の酸性化によってどの程度増加するかは不明であるが、その毒性に関心が集まっている元素の一つである<sup>7)</sup>。

アルミニウムの毒性として最も注目されているのは、中枢神経に対する影響である。動物実験では注射によって投与されたアルミニウムの中枢に対する毒性が明らかにされている<sup>7)8)</sup>。また、ヒトの場合でも、腎臓透析を続けている患者にかつて見られた透析痴呆は、高リン酸血症を防ぐために与えられていた医薬品中のアルミニウム及び透析液中のアルミニウムが脳に蓄積して起きた障害であると考えられている<sup>7)9)</sup>。これが明らかになった発端の一つとして、イギリスでの疫学的研究がある<sup>9)</sup>。つまり、透析痴呆の患者の発生に地域差が認められ、調べていくうちに、水道水中のアルミニウム濃度の高い地域で透析痴呆が多いことが明らかとなった。イギリスでは、家庭で透析が行われており、患者は水道水で透析液を作る。そのため、水道水中のアルミニウム濃度の高い地域では、透析液からより多くのアルミニウムが血液を介して体に入る。さらに、腎障害によってアルミニウムの排泄が低下しているため、アルミニウムが脳に蓄積する。ちなみに、ここで認められた水道水中のアルミニウムは、浄水場で水源水の中の微粒子を除くために加えるアルミニウム化合物由来であると考えられた。その後、透析に用いられる透析液の中のアルミニウムの濃度は、一定値以下に管理されるようになった。

アルミニウムは地殻中に%オーダーで存在し、私どもの身の回りでも、アルミホイルやアルミ鍋に始まって、制酸剤等の医薬品にまで広く利用されており、現代生活にはなくてはならない元素の一つである。透析痴呆の主要原因がアルミニウムであることが明らかになったが、アルミニウムは腸管からの吸収率が低く、腎機能が正常であれば尿中に排泄されるため、アルミ鍋を使って調理していたり、制酸剤としてアルミニウムを多量に含む医薬品を飲むことによって直ちに痴呆になるとは考えられていない。しかしながら、腎臓に障害があつてアルミニウムの排泄能力の低いヒトにはアルミニウム製剤を投与することはひかえられている。また、透析を受けていなくても起きる老年痴呆（アルツハイマー病）の患者の脳内には、老年痴呆ではないヒトの脳よりアルミニウムが多いとする研究報告や、水道水中のアルミニウム濃度が高い地域の方が老年痴呆が多いとの疫学的研究もあり<sup>8)</sup>、アルミニウムと老年痴呆との関係が議論されている。この両者の関係はまだ、明確にはなっていないものの、少なくとも動物実験では、アルミニウムが中枢に障害を与えること、および腸肝吸収率は低くても、アルミニウムが腸管から吸収されることは事実である。アルミニウムの吸収は、同時に飲食物中に存在するクエン酸等で促進され、逆に珪酸によって排泄が促進されること、原因は

不明であるがアルミニウムの腸管吸収率に個人差のあることもわかっている。これらのことを考えあわせると、何十年もの長期間にわたるアルミニウムの経口摂取が、一部の老年痴呆の発症に関与している可能性も否定することはできない。この点を明らかにすべく、研究が進んでいる。

水銀：水銀の毒性を考えるとときには、その化学形が重要である。水銀化合物の毒性や体内動態は無機水銀（金属水銀、無機イオン型水銀）と有機水銀（メチル水銀、フェニル水銀等）では大きく異なり<sup>4)11)</sup>、公衆衛生学的には、ヒトがメチル水銀にどの程度曝露されているかが問題となることが多い。急性毒性は無機水銀の方が高いが、腸肝吸収率や蓄積性は低く、公衆衛生学的に問題となることは少ない。それに対して、有機水銀、特にメチル水銀は、腸肝吸収率が高く蓄積性も高い。そのため、微量でも長期にわたって摂取し続けると、摂取レベルに応じて体内量が増加する。

水俣病の原因物質として有名なメチル水銀は、アセトアルデヒド製造工程で触媒として用いた無機水銀から生成し、工場廃水として水俣湾に排出された。メチル水銀は、食物連鎖による生物濃縮を経て魚に蓄積し、これを食した人々の体内に入ってきた。水俣病は局地的な人為的水銀汚染の結果生じた公害病で、多くの人々を死にいたらしめた。大勢の人々がメチル水銀中毒となった事例は、熊本県の水俣病以外に、新潟水俣病、メチル水銀で消毒された小麦から作った小麦粉を食べて起きたイランのメチル水銀中毒が知られている<sup>12)</sup>。メチル水銀に限らず、人為的水銀汚染は、これら以外にも世界各地に見られ、汚染地域の人々の健康障害が調査されている。アマゾン川流域では、砂金採取の際に使われる金属水銀で河川が汚染されているが、その下流では、金属水銀が環境内で変換を受けて生じたと考えられるメチル水銀汚染が見いだされている。今のところ、水俣やイランで見られたような重篤な症状は認められていないようである。しかし、今後、環境変化に伴って溶出する水銀量が増加したり、微生物叢の変化に伴うメチル化の増加等が起これば、汚染地域でのヒトのメチル水銀曝露量が増加し、患者が発生する可能性も考えられる。

メチル水銀の健康影響を考えると忘れてならないのは、胎児に対する影響である。水俣では、メチル水銀で汚染された魚を食べた妊婦本人には明らかな中毒症状が出ていないのに、生まれた子供に重篤な知能障害等が見られた例が多数報告されており、胎児性水俣病と呼ばれている。メチル水銀は、胎盤を容易に通過し、成長過程の胎児の脳にも蓄積することから、このような障害が起

きたものと考えられている<sup>4)12)</sup>。

我々が普段食べる魚、特に大型魚類の中にもメチル水銀は微量ながら存在し、他の食べ物と比較するその濃度は高い。ここで認められる水銀は、人為的汚染由来ではなく、自然界の微量の水銀が生物濃縮によって魚に蓄積したものと考えられている<sup>12)</sup>。市場に出回っている魚の中の水銀を心配する必要はないが、魚を多食するヒトの体内にはメチル水銀の多いことが明らかとなっている。かつて、水俣病の原因が汚染された魚の中のメチル水銀であることが明らかとなった時期に、汚染されていない魚の中でも比較的メチル水銀濃度の高いマグロを多食するすし職人や、マグロの漁船の乗組員の毛髪中にかなり高濃度の水銀が検出され、騒動となったことがある<sup>13)</sup>。しかしながら、これらの人々の中に水俣病の症状を呈するヒトは全く見つからず、間もなく騒動はおさまった。重篤な水俣病患者と比べればその濃度は低いものの、一般のヒトと比べるとかなり高濃度の水銀に暴露されていたこれらの人々に、メチル水銀中毒症状が出なかった理由は解明されていないが、マグロの中に比較的多く存在する必須微量元素セレンウムがメチル水銀の毒性を抑制していた可能性も考えられている。

カドミウム：カドミウムの腸管からの吸収率は比較的低いですが、生物学的半減期が長いため、一旦体内に入ると排泄されにくく、微量でも長期間の曝露で徐々に蓄積していく。カドミウム取り扱い作業員やカドミウム汚染地域での研究から、カドミウムは腎障害を引き起こすこととされている。鉱山排水中のカドミウムで汚染された神通川流域に発生したイタイイタイ病は、カドミウムが主要な原因であると考えられている<sup>14)</sup>。

一般人がカドミウムを生体内に取り込む主要経路は、食物（特に穀物や野菜）で、その他に飲料水や喫煙があげられる。農作物中のカドミウム濃度は、土壌中のカドミウム量に左右され、また、土壌のpHが低い方が作物のカドミウム取り込みが多い。そのため、酸性降下物の増加によって、ヒトに対するカドミウム曝露量が増加する可能性が考えられている。

鉛：鉛は、鉛蓄電池、水道管、化粧品、有鉛ガソリンをはじめとして、古くから様々な用途で使われ、環境中に放出されてきた。グリーンランドの水の中の鉛分析から、1940年以降に濃度が上昇していることも報告されている。職業性の曝露による健康障害の他、米国では、子供が壁のペンキを食べることによってペンキ中の鉛に曝露され、中毒することが以前から問題となっている。重篤な鉛中毒としては、貧血や乳幼児の鉛脳症が知られている<sup>15)</sup>。

明確な臨床症状が出ない低濃度の鉛暴露でも、暴露された子供の知能指数を低下させる可能性を示唆する疫学的研究が報告され、最近では、低濃度の鉛暴露の影響が問題提起されている<sup>3)</sup>。その後、諸外国ではこの点に関する多くの疫学的研究が行われているが、結果は必ずしも一致せず、明確な結論は出ていない。しかしながら、乳幼児は消化管の鉛吸収率が成人より高く、また、血液脳関門が完成されていないため、脳障害を起こしやすいといわれており、低濃度の鉛暴露の乳幼児あるいは小児に対する影響を明らかにする研究は重要である。鉛も他の重金属と同様、酸性条件下で土壌や鉛製品からの溶出があるため、酸性降下物の増加による暴露量増加が懸念される重金属である。ことに、次に述べる銅と同様に、水道水の配管として使われてきたため、供給される水のpHの低下は鉛摂取量の増加に直結する。

銅：銅は、スーパーオキシドディスムターゼをはじめとする種々の酵素の活性中心を構成する必須微量元素であると同時に、体内に多量に蓄積した場合には健康障害を引き起こす有害な元素でもある。銅と健康の関係については、銅の腸管吸収率が低いために銅欠乏となるメンケス病や、逆に銅が高濃度に蓄積するウィルソン病のような銅の代謝異常がよく知られている<sup>16)</sup>。

環境から多量の銅の曝露を受けて健康障害を起こした例はあまり報告されていない。しかし、1987年にドイツで、23人の乳幼児に銅蓄積を伴う健康障害が報告され、pH5.4~6.2の弱酸性の井戸水が銅製の配管で供給されたことに起因する銅中毒と見なされている<sup>3)</sup>。23例の患者の内13人は死亡し、生き残った6人には肝硬変が認められた。いずれも、高濃度の銅が組織（特に肝臓）あるいは血清から検出された。いずれの乳幼児とも母乳による保育ではなく、銅製の配管で供給された弱酸性の水を使って調整された人工栄養を与えられていた。同じ水が、亜鉛でコートされた鉄管で供給された家庭では、乳幼児の同様の健康障害は認められなかったことから、弱酸性の水によって銅管から溶け出した銅に数カ月にわたって曝露された結果起きた銅中毒と見なされている。また、過去に同様の事例があっても、他の疾患とみなされ、銅中毒が見落とされていた可能性も指摘されている。この事例では、水のpHが低かったことと酸性降下物との因果関係については不明であるが、同様の健康障害は、酸性雨の増加によって起こり得るものと考えられる。

ヒ素：ヒ素欠乏食を与えられたラットに成長阻害が認められたことから、必須微量元素であると考えられているが、必須性の機構は明らかになっていない<sup>17)</sup>。ヒ素は昔から毒物として有名であるが、毒性が強いのは無機

のヒ素化合物で、有機のヒ素化合物の毒性は低い。海洋生物の中には数10ppmものヒ素を含むものもあるが、その大部分は有機ヒ素（メチル化ヒ素）で毒性は低い。日本では1955年に、粉ミルク中に過って混入した無機のヒ素化合物で約12,000人の乳児が中毒し、130人が死亡している。

地下水中の有害物質の測定は日本全国で行われているが、基準値をオーバーする項目としてヒ素は最もその頻度が高く、日本各地で問題となっている<sup>18)</sup>。汚染の原因はほとんどが自然的要因によるもので、無機のヒ素による汚染である。最近では、福岡県南部地域の地下水のヒ素汚染が明らかとなり、詳細な調査が行われた<sup>19)</sup>。汚染の原因は、人為的なものではなく、複数ある帯水層のうち下層の帯水層のヒ素濃度が高いことによっていた。幸い、健康調査を受けた住民の中には健康異常は認められていない。地下水のヒ素汚染は、日本のみならず、世界的な問題となっている。最近でも、インド西ベンガル州の大規模なヒ素汚染<sup>20)</sup>が報道されており、患者の数は20万人ともいわれている。この地域の地質中には高濃度のヒ素が含まれているが、1970年以前は、地下水のヒ素汚染はなかったかあるいは少なかったと考えられている。今回のヒ素汚染は、水需要の増大に伴って、農業用の灌漑用水として地下水を大量にくみ上げたことが関係していると考えられている。このような事例をみると、気候変動による水循環の変化がヒ素の環境内動態に影響を与え、ヒトの健康を害する可能性も考えられる。

疫学的研究では、皮膚癌との間に量一反応関係が認められており、国際がん研究機構は、ヒ素はヒトに対する発癌物質であると結論づけている。

ヒトが曝露されるヒ素としては、地質に由来する地下水中のヒ素、化石燃料の燃焼に由来する大気中のヒ素、農薬として使われたヒ素、食物としての動植物中のヒ素、さらに医薬品として使われたヒ素などが考えられるが、その化学形も多様である。ヒ素の環境内動態に生物学的要因が関与することも明らかになっている。ヒ素の環境内動態については多くの研究があるが、土壌や地層からの溶出機構は複雑で、酸化還元電位、pH、溶存酸素、化学形等によって異なり、酸性雨等の影響を単純に予想することは出来ないようである。

地球レベルの環境変化がヒトへのヒ素曝露にどのように影響するのかを予想することは簡単ではないが、既に地質由来のヒ素の地下水汚染があり、大量のヒ素が大気や土壌中にもあることを考えると、環境変化によるヒ素の動態変化とヒトへの曝露を注意深く監視していくことが、ヒトの健康を守る観点から重要であると考えられる。

セレンウム：セレンウムは必須微量元素で、グルタチオンペルオキシダーゼの活性中心を構成し、生体内で生じた過酸化水素や過酸化脂質を消去する役割を担っている<sup>21)22)</sup>。過酸化水素や過酸化脂質は活性酸素の一種である。生体内で生じた各種の活性酸素は遺伝子の損傷、生体成分の変性や過酸化を引き起こす。その結果、ガンや心筋梗塞等様々な病気の発生、老化などに関与すると考えられている。

ヒトのセレンウム摂取量はほとんど食事由来であるため、食物中のセレンウムレベルが体内レベルを主に決定する。世界各地には、土壌中のセレンウムレベルが低いために人々のセレンウム摂取量が比較的低い地域があり、ガンや心疾患を始めとする各種疾患との関連性を示唆する疫学的研究が多数ある。セレンウム摂取量の少ない国や地域でガンや心筋梗塞による死亡率が高いとの報告もあり、セレンウムと病気の関係については多くの関心が集まっている。動物を用いた実験的研究では、セレンウムが無機水銀、メチル水銀、カドミウム、ヒ素をはじめとする重金属類の毒性を軽減することも明らかにされている<sup>23)</sup>。また、最近では、甲状腺ホルモン代謝酵素の活性中心もセレンウムであることが明らかになり、セレンウムの新しい役割や重要性が注目されている。

アルミニウムや多くの重金属類は酸性雨等によって土壌からの溶出量が増加し、ヒトへの曝露量の増加と健康障害が懸念されるのに対し、セレンウムは逆に溶出の減少が予想されている<sup>3)</sup>。セレンウム摂取量の低下は様々な疾患の増加につながる可能性を考えると、土壌中のセレンウムレベルが低い地域では、セレンウム摂取量がさらに低下し、低セレンウム摂取に起因する疾患が増加する可能性も考慮しておく必要があるかもしれない。また、重金属類の溶出も同時に起きた場合は、その毒性がより出やすくなることも考えられる。

セレンウムは、他の必須微量元素同様、有害作用も有する。土壌中のセレンウム濃度が高い地域も世界各地にあり、高濃度にセレンを含む牧草を食べた家畜のセレン中毒は古くから知られている。また、中国の恩施地方ではかつてヒトのセレン中毒が発生している。アメリカ合衆国やベネズエラの高セレン地域では、ヒトにおけるセレンウムの健康影響の可能性が指摘されている。

1983年に、カリフォルニアのKesterson地区で、水鳥に高頻度の奇形と死亡が観察された。その後の研究で、原因は餌の中の高濃度に存在するセレンウムの蓄積によるものと考えられた。この地区では、使用済みの灌漑用水が流入し、水中に比較的高濃度に含まれていたセレンウムが水分の蒸発によって濃縮され、土壌や水鳥の餌に

高濃度のセレンウムが蓄積していた<sup>24)</sup>。この事例は、気候変動等による局地的な乾燥が起きた場合には、水中の微量元素が濃縮され、土壌や食物中に微量元素が高濃度に蓄積される可能性のあることを示唆している。

## 5. おわりに

海外の研究者の間では、酸性降水物の増加による土壌等からの重金属の溶出増加の可能性と、その健康影響に関する討論が何年も前から行われている。日本でも、水銀やカドミウムを中心に重金属類の研究が数多く行われているが、少なくとも医学薬学の分野では、酸性降水物の増加に伴う重金属曝露の増加とその健康影響に関する討議は殆ど行われていないようである。

本稿では、微量元素の健康影響の極端な例を取り上げ、健康障害の可能性を誇張した感があるかもしれない。土壌の緩衝能などを考えると、多少の酸性化では、ヒトの微量元素曝露量そのものは大きくは変化しないかも知れない。しかし、自然は人間の予想に反して、人間活動からのインパクトに対してもろいところもあり、また、局地的には環境変化の影響を強く受けることは十分考えられる。今後、あらゆる可能性を考えて、地球環境変化とヒトに対する微量元素曝露量変化の関係を調査研究していくことが必要であろう。また、胎児や乳幼児では、水銀や鉛のみならず微量元素の影響が強く現れる可能性が高いため、これらの集団に対する微量かつ長期の微量元素曝露量変化の影響に関する医学的研究も重要である。

## 文 献

- 1) 千葉百子 (1996) 健康と元素. 健康と元素, 南山堂, 1-8.
- 2) 鈴木継美, 和田攻 (編) (1994) ミネラル・微量元素の栄養学. 第一出版.
- 3) Gerhardsson, L. *et. al.* (1994) Acid precipitation - effects on trace elements and human health. *Sci. Total Environ.*, 153, 237-245.
- 4) 早津彦哉 (編) (1975) 生物濃縮. 講談社サイエンティフィック.
- 5) Fitzgerald, W.F. and T.W. Clarkson (1991) Mercury and monomethylmercury: present and future concerns. *Environmental Health Perspectives*, 96, 159-166.
- 6) 佐藤一男 (1997) 森林土壌の酸性化とAlの植物毒性. *人間と環境*, 23, 16-50.
- 7) Flaten, T.P., A.C. Afrey, J.D. Birchall, J. Savory and

- R.A. Yokel (1996) Status and future concerns of clinical and environmental aluminum toxicity. *J. Toxicology and Environmental Health*, 48, 527-541.
- 8) 河原正博・黒田洋一郎 (1995) アルミニウムとアルツハイマー病. *化学総説*, 27, 107-119.
- 10) Wills, M.R. and J. Savory (1985) Water content of aluminum, dialysis dementia, and osteomalacia. *Environmental Health Perspectives*, 63, 141-147.
- 11) 井村伸正, 渡部烈 (編) 衛生薬学, 丸善株式会社.
- 12) WOH (1990) Environmental Health Criteria 101 Methylmercury. WHO
- 13) 土井陸夫 (1994) 水俣病. *Toxicology Today* 中毒学から生体防御の科学へ. 金芳堂, 93-108.
- 14) 青島恵子 (1994) イタイイタイ病—カドミウム環境汚染による慢性カドミウム中毒—. *Toxicology Today* 中毒学から生体防御の科学へ. 金芳堂, 47-62.
- 15) WOH (1995) Environmental Health Criteria 165 Inorganic lead. WHO
- 16) 鈴木和夫, 小泉利明 (1996) 銅Cu. 健康と元素, 南山堂, 54-63.
- 17) 岡田昌二, 山中健三 (1996) ヒ素As. 健康と元素, 南山堂, 68-71.
- 18) 中島宣雅 (1997) ヒ素による地下水汚染と健康影響. *水環境学会誌*, 20, 434-437.
- 19) 近藤紘之 (1997) 福岡県南地域地下水のヒ素汚染の概況. *水環境学会誌*, 20, 438-442.
- 20) 安藤正典, 眞枝泰基 (1997) インド・西ベンガル州に起きた世界最悪のヒ素汚染. *資源環境対策*, 2月号, 113-122.
- 21) WOH (1987) Environmental Health Criteria 58 Selenium. WHO
- 22) 姫野誠一郎 (1994) セレン. ミネラル・微量元素の栄養学. 第一出版, 423-448.
- 23) 永沼章 (1985) セレンと他元素の生体内相互作用. *トキシコロジーフォーラム*, 8, 528-538.
- 24) Ohlendorf, H.M. and G.M. Santolo (1994) Kesterson reservoir-Past, Present, and future: An ecological risk assessment. In: W.T. Frankenberger Jr and S. Benson (ed.), *Selenium in the Environment*, Marcel Dekker, Inc., New York, 69-117.