

日常生活における アルミニウムの 摂取と排泄

飯塚 舜介氏

鳥取大学医学部医学科
医療システム学講座助教授



私は現在、医療システム学講座におりますが、20年間、医学部の公衆衛生学教室で環境衛生を専門とし、そこで金属と生体との関わりを研究しました。そういう関係できょうの「日常生活におけるアルミニウムの摂取と排泄」という演題をいただいたかと思えます。

高齢化社会になり、65歳以上人口は20%に近づいています。私の住んでいる地方では、35%を超えた町村もたくさんあります。平均寿命がどんどん延び、男性80歳、女性90歳は普通という時代になってきました。そして健康に関係する事柄、とくに食環境について非常に関心が高まってきています。昨年「買ってはいけない」という本がたいへんよく売れ、「買ってはいけない、は買ってはいけない」という本がまた爆発的に売れ、それに類する本も出てきました。無農薬の野菜や有機野菜、あるいは遺伝子操作をしていない食品など、非常に関心を持たれていますし、環境ホルモンやごく微量の化学物質についても関心が高くなっています。そこで、これまで金属と生体の関わりを研究してきた私たちも、アルミニウムが安全かどうかをもう一度検討して、社会的要請に対して応えなければならぬと思っています。きょうの話は生活に密着した話で、当初は、エドワードソン先生のアルミニウムとアルツハイマー病についてのレビューの後で私が話す予定でしたが、最初から壇上に上がることになり、一般的なスライドを用意していませんので、武田先生のレビューをもとにお聞きいただきたいと思えます。

よくご存じのクラーク数では、アルミニウムは地殻中で3番目に多い元素で、このたくさんのアルミニウムに取り囲まれてわれわれはここまで進化してきましたが、これが健康にどんな影響があるかということは、それほど詳しく調べられていませんでした。しかしここ30年ぐらいの間に非常にインテンシブに研究がされてきました。

まず、食品中のアルミニウムの濃度、含有量を調べてみました。穀類、いも・でん粉、菓子類、果実類、魚介類などいろいろあります。含有量の高いものに、海草、嗜好飲料、お茶があります。いろいろな食品、お菓子や果実の類、魚介類にもたくさん入っており、野菜にもあります。これから言えることは、何を食べてもアルミニウムを摂取

して、私たちはずっとこういうものを食べてきたということです。

つぎに、各地の飲料水のアルミニウム濃度を調べてみます。アルミニウム処理をしているところと処理をしていないところがあり、私が住んでいるような地方の都市ではアルミニウム処理なしで、伏流水をそのまま滅菌して配っています。蛇口で測ってみるとほとんど変わらないようなアルミニウム濃度です。10数年前に名水百選というものが選ばれ、その中にもたくさんのアルミニウムが含まれています。地下水の中にも、一部ですが高いものもありました。今年の正月には2000年問題で小淵総理大臣がテレビで飲み水、食べ物、日用品を蓄えるよう何度も語りかけ、スーパーでは水が山のように積まれ、それがよく売れました。また、名水が出ているところではタンクを積んだ車が列をなしていました。この水などは何か月置いても腐らないということでお有名で、おいしい水とされていますが、アルミニウムがこれだけ含まれていると、独立栄養のバクテリアは生えませんが、従属栄養のバクテリアも生えない、名水なので栄養塩もなく、何か月置いても腐らない。一方、アルミニウム濃度の低い地下水もあります。こういういろいろな水と私たちは日常接しているのです。

先ほど食品の中で多いと言いましたお茶については、3種類のお茶、緑茶、ウーロン茶、紅茶があります。いろいろな浸出方式がありますが、最もおいしいと言われるようなコンディションで出したものです。煎目、2煎目、3煎目と、それぞれのお茶の中に含まれているアルミニウム濃度を測ってみると、いずれのお茶も、3から4μg/ml、いわゆるppm、非常に高濃度のアルミニウムが含まれています。これはよく知られてきたことですが、そのお茶を毎日数杯たいはいの人は飲んでます。そしてそのことがどうなるかを実際に飲んで調べてみました。3日4日でボランティアの学生に頼んで、研修所で寝起きを一緒にし、食べ物や運動などの生活スタイルをすべて同じにし、お茶を朝起きてから1.5リットル飲みました。朝の第1尿は捨てて、2番目の尿からためます。この間にできるだけ早い時間にお茶を飲み、尿をずっと1日ためて寝、起きて

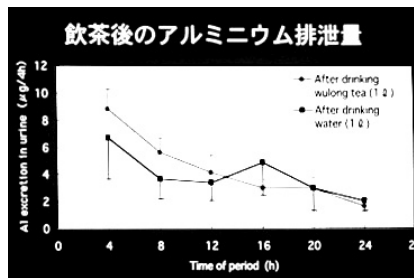


図1 飲茶後のアルミニウム排泄量

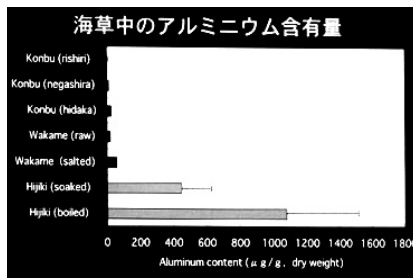


図2 海藻中のアルミニウム含有量

第1尿まで、これを1日尿とします。この結果を、お茶を飲まない日と比べてみました。お茶を飲まなかった日に比べ、お茶を1.5リットル飲んだ日は、大量にアルミニウムが入っているのが有意差が出ました。やはりアルミニウムを吸収するのだろうか、お茶は健康食品だと言われているがと思うところですが、このように、お茶を1.5リットル、私もやりましたが、運動もしながら1リットルぐらいまでは簡単に飲めますが、あと300ccぐらいのところではなかなか昼までに飲むのは辛かった。そこで、コントロールの方も同じぐらいの水分をとって見ないと比較できないのではないだろうかと考え、実験を計画しました。

まず、アルミニウムの非常に少ないミネラルウォーターを買ってきて飲みました。私を買ってくると何か入っていると思われるので、学生に好きな銘柄を指定してもらい、スーパーで買って飲んでもらいました。この場合も、第1尿は捨て2番目の朝の尿からためました。今度は毎回の尿を別々に分けて蓄尿しました。たくさんの試料の測定でしたが、これ(図1)は、横軸が時間で、縦軸は4時間ごとのアルミニウムの排泄を示したものです。ウーロン茶を1リットル飲んだ群と水を1リットル飲んだ群があります。今までの実験で身体に入ったアルミニウムはほとんど尿になって出てくるということはわかっています。お茶が少し最初のところで高いようですが、有意差はありません。1日分まとめてみますと有意差はありませんでした。つまりお茶だけを飲んだ実験では、飲まない群と飲んだ群で差がありました。同じ量の水分をとって比べてみると、お茶のアルミニウムはほとんど吸収しないということがわかりました。

もう一つアルミニウム含有量が非常に高いのが海藻でした(図2)。コンブ、リシリ、ネガシラ、ヒダカというプランクトンです。そしてワカメ、ヒジキです。ヒジキはボイルして乾燥して売っています。私たちもよく食べますが、非常に高いアルミニウム含有量で、最も高いと言ってもいいかもしれません。これを食べて、アルミニウムがどうなるかを調べてみました。ヒジキは乾燥して売っていますが、それを戻して使います。戻す過程でどうなるかということ

を調べました。普通は水に浸けて2から3時間あるいは1晩、蒸留水とクエン酸、酢酸、重曹など、普通は使いませんが、実験ですので使用しました。横軸は時間で、アルミニウムがかなり溶け出てきます。プラトーになったところで液を換えると、また出てきます。終わったと思い、また換え、今度は温度をこれまででは常温でしたが80度に加熱するとまたグイグイ出てきます。非常にたくさんのアルミニウムが入っていて、これがもどし液に出てきます。私たちは、こういうヒジキを2から3時間あるいは数時間水に浸け、調理して食べているのです。

つぎに、短大のボー1部の合宿時に協力を依頼しました。生活パターンは同じです。合宿の食事に、朝小鉢1杯のヒジキを献立に加えてもらって、こちらが買っていくと何か入っていると思われるので、いつも食べているヒジキを買ってきてもらい、自分たちで調理して食べてもらいました。そのヒジキと同じものを分析すると、10mgアルミニウムが入っていました。けっこうな量が入っています。これを朝食に食べてもらい、先ほどと同じように1日蓄尿してもらいました。この尿を分析した結果、これ(図3)は、ヒジキを食べなかった日とヒジキを食べた日で、この二つの日は十分間隔をあけていますが、差はまったくありませんでした。つまりヒジキはたくさんアルミニウムを含んでいるが、まったく吸収しないということがわかりました。もう一つ、標準偏差ですが、ヒジキを食べると非常に小さい。そこから食物の中にアルミニウムがたくさん入っている場合、何かそれとヒジキが相互作用をしてこういうことが起きてくるのではないかと考えました。それをつぎに調べてみます。

水溶液中のアルミニウムイオンを核磁気共鳴スペクトルでみると、アルミニウムは27というのが天然100%で、こういう金属としては非常に感度よく測定できます。0.1Nの硝酸中では、標準物質として使う3価のアルミニウムイオンですが、これのpHを上げていきます。そうすると、5ぐらいのところではシャープなシグナルが見えます。文献によると、アルミニウム13というスピーシスです。この構造はわかっていませんが、シャープなシグナルですので、

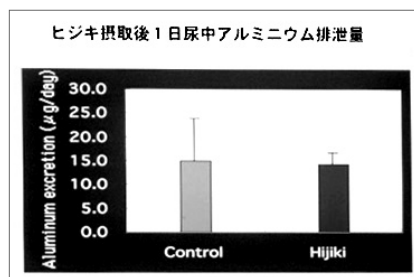


図3 ヒジキ摂取後1日尿中アルミニウム排泄量

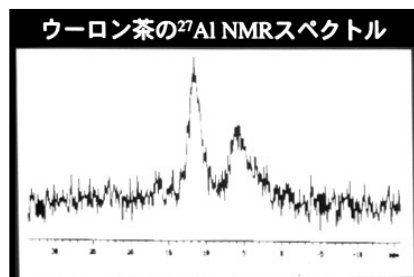


図4 ウーロン茶の²⁷Al NMRスペクトル

アルミニウムが非常に速く動き回っているようなものだと思います。このようにアルミニウムのNMRというのは非常に幅の広い観測範囲を持ち、化学構造をよく反映するという分析法です。そこでヒジキ抽出物のアルミニウムのNMRを測ってみると、pH2.9ではごくわずかなプロトナなものが見えてきますが、pHを下げ、1.2にすると、非常にシャープなシグナルになります。ちょうどこれは前の標準物質に使った3価のアルミニウムイオンのところに出てきます。この変化は可逆的で何回でもできます。ということは、ヒジキに含まれているアルミニウムは特別な化合物ではなく、アルミニウムイオンが食物繊維にくっついてあるということです。そのようなものなら吸収されてもいいのですが、ヒジキの繊維に固くくっついてなかなか吸収されないということがわかりました。pH1.2といいますが胃酸ぐらいの濃度で、食べ物を食べると胃の中で酸性になっていきます。そこでいろいろな食物とまざり合い、腸に行きましたアルカリ性になります。ヒジキの食物繊維がよくアルミニウムをくっつけるならば、そこで吸収されるわけですが、先ほどのスライドでお見せしたように標準偏差が小さくなっていくということが説明できるのではないかと考えます。

これ(図4)は、ウーロン茶のNMRスペクトルです。二つピークがあります。このアルミニウムがどういう構造か調べようと思いますが、すぐに外れてしまいます。お茶のポリフェノールにくっつけているだろうと想像しています。どういう格好かというのはなかなかわかりませんが、非常に感度よくNMRで追いかけていくことができます。

さて、またいろいろな食べ物について調べたいと思います。オレンジジュースのいろいろな容器に入ったものを調べました。ハイパーパックというのは、背の高いアルミニウムとプラスチック材料でつくった市販ジュースの入れ物です。それからテトラブリック・アセプチックというのは、紙とアルミニウムとプラスチックできていてロングライフの商品の容器に使われているものです。それからガラスの瓶、スチール缶。この場合はスチール缶のアルミニウ

ム濃度が高いです。店でオレンジを買ってきて自分で絞って測ってみると、ほとんどアルミニウムなどは入っていませんが、製品としてはアルミニウムがたくさん入っている。いろいろな会社のものを測っても、どこでも同じくらい入っています。それからグレープジュースの場合、スチール缶のアルミニウム濃度は高くありませんでした。ハイパーパック、テトラブリック、ガラスボトルも同じようでした。自分でブドウを絞ってみるとピークが出てきませんが、添加されているのか製造過程で入ったのか、かなりの量が入っています。こういうものを私たちはしょっちゅう飲んでます。今のテトラブリックとハイパーパックの容器を開封して2週間、常温に置くと腐ってしまうので冷蔵庫に入れて濃度変化を見てみると、ほとんど溶出というようなことはありません。アルミニウムが容器から出たものではないということがこれからわかります。

ところで、アルミニウムはいろいろなところで使われていますが、医薬としてもたくさん使われています。とくに胃薬、制酸剤としてたくさん使われてきました。制酸剤は、医者が処方するものと、だれでも買えるものがありますが、医者が処方する1日の量としては大きな幅があり、そしていろいろな種類のアルミニウム化合物が使われています。こういうアルミニウム化合物をわれわれは胃の具合が悪いと服用しています。つぎにそれを実際に飲んで調べてみました。

先ほどと同じように学生と3泊4日の合宿をして、普通の1回分の処方量、アルミニウムで300mgを食後30分に飲み、毎回の尿を1日蓄尿しました。この場合も生活のパターンを同じにして、食べ物も同じにして測定をしました。制酸剤服用後のアルミニウムの排泄量は、制酸剤を飲んだ群が、飲まない群と比べて有意にアルミニウムの排泄量が高くなっていました。ごくわずかな違いですが有意差が出ました。服用した量は300mgですから、吸収率としては全部尿に出てきたとして1万分の1ぐらいの量です。ごくわずかしか吸収しないということが言えます。

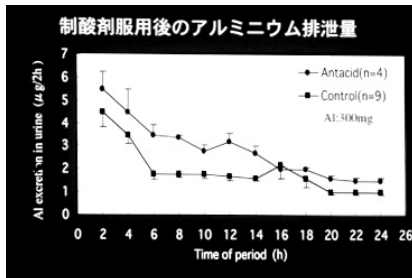


図5 制酸剤服用後のアルミニウム排泄量

これ(図5)は、時間的な変化を見たもので、制酸剤を服用した群と、そうでない群。10時間ぐらいの間、制酸剤群が有意に高い排泄を示しました。縦軸に4時間ごとの排泄量を時間で割った排泄速度、横軸に時間を取り、この直線の傾きから生物学的な半減期、身体に入ったものがどれぐらいの時間で半分になるかということとを推定することができます。プロットがばらついていますが、この傾きから8時間ぐらいのハーフタイムだということが推定されました。比較的早く排出されるというこれまでの知見と合っていました。尿の生成速度を横軸にとり、縦軸に尿中のアルミニウム濃度をとってみると、プロットが散らばっていますが、何か双曲線状の曲線にあてはまるようにも見えます。この解釈については、ここでは触れません。

もう一つ、アルミニウムを含んでいて医薬でよく使われているものに解熱鎮痛剤があります。そこで、生理のときに生理痛で薬を飲んでいる女子学生に、ボランティアを頼みました。鎮痛剤を飲んでから24時間、これはいつ飲むかわからないので、先ほどの食事の後と決めず、それぞれ違った時刻から時刻、24時間という時間を合わせ蓄尿をしてもらいました。尿の瓶を持って歩くのは若い女性には無理な話ですので、寮に入っている人に尿のときには寮に帰りためてもらいました。そして、その尿を分析しました。鎮痛剤は商品としてたくさんありますが、アルミニウムを含んでいる鎮痛剤と含んでいない薬の大きく2群に分けられます。そのアルミニウムを含まない群とアルミニウムを含んだ群の間に差が出ました。コントロールというのは生理が終わって1週間以上たって、普通のとときのアルミニウム排泄量です。1日排泄量を比べてみると、これは有意水準0.1%で、有意に高くなっているという結果が出てきました。鎮痛剤のアルミニウムは吸収されているということがわかりました。この場合も、吸収率としては1万分の1から千分の1のオーダーです。個々のデータをみても、アルミニウムを含んだ鎮痛剤を飲んだ人は普通のとときの1日尿中排泄量と比べて有意に上昇しています。アルミニウムを含まない鎮痛剤を飲んだときと普通のときを比較したものは、上がったり下がっ

たりして、有意差はありません。症状が重くて倍量の鎮痛剤を飲んでいる人は、たいへんたくさんのアルミニウムを排泄しています。量的な関係もありそうです。ここで注目したいのはコントロールです。平常時のアルミニウム排泄量が、アルミニウムの鎮痛剤を毎月飲んでいる人に高い人がいます。普通は20μg前後ですから3倍以上、平常時にアルミニウムを排泄した人がいるということです。先ほどお話しした制酸剤の場合は、非常に早く身体に入ったアルミニウムは排出してしまうが、ある程度以上とると、ゆっくり排泄するアルミニウムがある、そういう二相性があるということがこの実験からわかりました。

つぎに、アルミニウムと生き物とのかわりを少し考えてみたいと思います。地球環境問題の一つにアシッド・レイン、酸性雨というのがあります。酸性雨は土壌からアルミニウムの溶出をさせて、樹木を立ち枯らすと言われています。私の住んでいる地域は赤松の南限の地域で、たくさん赤松の林がありました。ここ10年ぐらい前からどんどん枯れてきて、今はほとんど自生の赤松の美しい林はなくなってしまいました。松食い虫が原因ということになっていますが、松食い虫というのは昔からいて、ポツポツは枯れていました。これだけ短期間に樹齢200年、300年という美しい松林が一遍に枯れてしまったというのは、酸性雨によって土壌から溶出したアルミニウムが影響して樹木の元気がなくなり、松食い虫が猛威を振るったというようにも説明されます。

さらに、いろいろな生き物とアルミニウムの関係を考えてみます。最近環境庁から送られてきたセンター報によると、酸性雨でpHが低下すると、サケの類が川に帰ってこなくなる、避けるようになるということです。pHが5.5ぐらいになると、アルミニウムが土壌から溶け出し、それによって再生産がしにくくなる、卵がうまく育たなくなるということになり、サケがだんだん減ってくるそうです。pH5以下では魚は住めないようで、エラの関係でとくに淡水魚はだめなそうです。ドジョウだけはなぜか知りませんが、酸性にすごく強いのでこの小川でも昔はいました。しかし今は酸性ではない別な原因でドジョウがいなくなっ

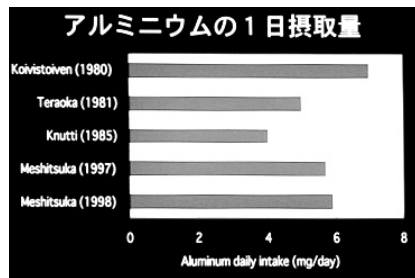


図6 アルミニウムの1日摂取量

たということです。このように魚にもアルミニウムが影響して生態系を変えてきつつあるということです。

さて、私たち脊椎動物は鉄を使って酸素を運びますが、皆さんご存じのように、ヘモグロビンという分子を使っています。軟体動物や甲殻類というのは銅を使っています。ヘモシアニンという分子を使って酸素を運び、ホヤはバナジウムを使います。酸素との親和性を調べてみますと、鉄も銅もバナジウムもそうたいして違いませんが、この順番で効率が悪くなります。そのごくわずかな効率の差が、長い進化の過程で大きな影響を表し、私たちは地球をわがもの顔で占領し、タコやイカ、軟体動物やエビやカニ等は進化が遅れ、ホヤに至ってはホヤ綱ホヤ目ホヤと、進化の枝分かれをまったくしませんでした。われわれが使っている鉄は、アルミニウムと非常によく似た大きさをしていて、電荷も3価なので、長い進化の歴史の中で、アルミニウムとの闘いというのが続けられてきました。アルミニウムをいかに身体に入れないかということで闘ってきたというようにも考えられます。それを一番うまくやっけたのが、人類と考えられ、先ほどからお話ししてきたように、たくさんの量のアルミニウムを摂取していますが、それをうまく処理しているのです。

2名の患者のデータがあります。亡くなった後で分析を依頼されたのですが、脳の組織を測ってみるとたいへん高いアルミニウム濃度があり、正常の10倍ぐらいでした。ほかの金属、鉄や銅もたくさんたまっていました。この患者の尿が残っていましたが、尿は正常で普通と同じぐらいでした。この尿は、組織はもらえませんでした。血清や資料が残っていて、分析すると、血清が非常に高い。普通はもっと低いです。そして髄液にも、普通は低いのですが高い値が出ました。尿は普通と同じでした。出産は正常なお子さんでした。腎機能は正常でしたが、アルミニウムはあまり出ませんでした。その結果、血清のアルミニウムが上昇して、アルミニウムの特徴である小球性の低色素性の貧血が見られ、脳の石灰化がありました。骨の異常、骨軟化症もありました。いろいろな障害が出てきて亡くなったという非常に特殊な例で、他にも原因はあるかもしれませんが、アルミニウムの排泄がうまくできな

いとたいへんなことになるという例です。

さて、われわれはアルミニウムを1日どれぐらいとっているかということ、陰膳方式と言って食物の研究をなさっている方はご存じでしょうが、同じ食事をもう一人分つけてもらい、その食事を全部食べ、朝昼晩の食事内容の可食部分を集め、そこに入っているアルミニウムの含有量を測りました(図6)。それによってアルミニウムの1日摂取量を求めると、だいたい4から6mgぐらいアルミニウムを摂取しています。外国の報告とほぼ同じぐらいのオーダーです。食べ物、調理法はずいぶん違いますが、日本食、普通食べている食事でこれぐらいのアルミニウムを毎日食べてきて、私たちはずっと暮らしてきました。その尿を用いて、吸収されたアルミニウムはすべて尿に出るとして、アルミニウムの吸収量を測ってみると、だいたい10から20μg/dayの範囲でした。尿ですからかなり幅のあるデータですが、外国の報告とほぼ同じぐらいの値です。先ほどの摂取量の平均を用いて計算すると、普通の生活をしている人は、オーバーオール平均的な摂取量の0.3%ぐらいのアルミニウムを吸収している。言い換えればほとんどのアルミニウムを摂取しても便として排泄しているのです。そして吸収されたアルミニウムは尿中に排泄して暮らしているということがこれから言えます。そういうのが平均的な生活です。

それからいろいろな金属、具体的にはカルシウム、マグネシウム、亜鉛、銅、鉄、クロムという金属イオンを、一人の人を2か月近く追いかけてみました。縦軸はログスケールのため幅があり、個々の人で多少違いますが、一人の人で見ればあるレベルがあって、普通の生活をしていると、ほぼ一定の金属イオンの排泄をして、食べ物を食べてそれを排泄してホメオステシス、恒常性を保っているということがわかります。アルミニウムは同じ試料で測れませんが、だいたい10μgぐらいの量をわれわれは毎日排泄して、健康な生活をしているということです。

きょうの話の全体をまとめてみます(図7)。だいたい1日4から6mgのアルミニウムを食べ物から日本人は摂取しています。そして尿中排泄は10から20μgという量でした。この二つの数字から概算すると、約0.3%の見かけの吸

- まとめ(1)
- 1日4.2~5.9mgのアルミニウムを食物より摂取していた。
 - 1日尿中アルミニウム排泄量は11~24 μgであった。
 - 食物中のアルミニウムの見かけの吸収率は約0.3%であった。
 - 高濃度にアルミニウムを含有するヒジキ、茶飲料中のアルミニウムは吸収されない。
 - アルミニウムの吸収量はアルミニウムの総摂取量とあまり関係がない。
 - 自然水にはアルミニウム濃度が高いものがある。

図7まとめ(1)

- まとめ(2)
- 医薬品中のアルミニウム化合物は、吸収率は非常に低い吸収され尿中に排泄される。
 - アルミニウムの吸収率は化学形態と共存する摂取物が関係していると推察される。
 - 速かに排泄されるアルミニウム(生物学的半減期約8時間)と緩やかに排泄されるアルミニウムがある。
 - ある条件下ではアルミニウムの尿中排泄速度はほぼ一定であった。
 - アルミニウムの代謝排泄は生体にとって必須機能である。

図8まとめ(2)

収になると言いましたのは、尿だけで見ている場合ですが、それぐらいの吸収をしていることになります。つぎに、高濃度にアルミニウムを含有するヒジキ、お茶が吸収されないということです。この中に含まれるアルミニウムの吸収量は、食べても吸収しなければ関係ありません。そのためアルミニウムの総摂取量や、あるいは食品の濃度から計算した摂取量というのはあまり意味がなく、どうやって吸収量を出すかということが問題になってきました。もう一つ、自然水の中にはアルミニウム濃度が高いものがあります。その高いものを毎日飲んだからといって、それほど高い摂取量になるわけではありません。

それから、現在、医薬品にはアルミニウムがたくさん使われていますが、吸収率は非常に低い(図8)。低いですが、吸収されていました。アルミニウムの吸収率は、先ほどの制酸剤は水酸化アルミニウムで、鎮痛剤はまた別な化合物で、吸収率がずいぶん違います。1オーダー、2オーダー違います。化学形によって、ずいぶん吸収率が違うということがわかりました。これからも、総摂取量だけでアルミニウムの吸収量を推定することは意味がないことになります。それから、アルミニウムの中には速やかに排泄されるアルミニウムと穏やかに排出されるアルミニウムがあり、アルミニウムの暴露、比較的たくさんアルミニウムを摂取すると、穏やかに排出されるアルミニウムが増えてくるようです。ある条件下ではありますが、アルミニウムの尿中排泄速度はほぼ一定です。それから、アルミニウムの先ほどの例から言いますと、代謝排泄というのが生体にとって必須な機能であり、アルミニウムはたくさんとって、その中でわずかですが吸収はしています。吸収をしているけれども、きちっと排泄している。それでわれわれは健康な生活ができています。

最後に、私の研究を助けてくださった方、とくにたくさんボランティアの方々にこの場をかりてお礼を申し上げます。

ご清聴ありがとうございました。

(司会) ありがとうございます。飯塚先生のお話は、最後に先生ご自身でまとめていただいたように、アルミニウムを含む食品というものが、たとえばお茶や海草、とくにヒジキなど、高いアルミニウム濃度を含む食品があるということと、それから自然水の中にもアルミニウム濃度が高い場合があるということもお話になりました。そういう日常的にアルミニウムを含む食物の中でも、極端にアルミニウムの濃度が高いのは医薬品であり、よく使われている制酸剤や鎮痛剤の中にはアルミニウムの化合物を含んでいる薬品があることは事実です。

先生がお調べになっているきょうのデータの眼目は、たぶんそのアルミニウムを排泄する機能がヒトには備わっていて、大量のアルミニウムを、これは日常生活に接する場面の大量という意味ですが、そういうものを飲んでもアルミニウムの排泄機構がきちんと機能していればダイレクトにそのまま吸収されることはないだろう。排泄機構が破綻すると、先生が一例子どもの例で示されましたが、いろいろな症状が出てくる場合もある。そのようなお話をいただきました。アルミニウムというこの世界上に第3番目に多い元素を、先生は進化的な立場から、脊椎動物が鉄を使って酸素のキャリアとしてしていることと、軟体動物が銅を含むヘモシアニンを酸素のキャリアとしていたことを対比させながら、ヒトを含めて脊椎動物には、アルミニウムを体内にむやみやたらに入らないとするメカニズムが備わっていて、そういう排除機構というのが生体の機能に非常に重要であろうということもお話になりました。