

高周波誘導結合プラズマ質量分析計による毛髪中元素分析

猶原 順・佐近 慶之

岡山理科大学工学部生命医療工学科

(2016年10月25日受付、2016年12月5日受理)

1. 緒言

必須元素とは生物が正常な生命活動を続けていく上で必要不可欠の元素である。必須元素¹⁾とは、①あらゆる生物のすべての健全な組織中に存在すること、②異なる動物間の濃度が、かなり一定であること、③これが生体中から失われると、種のいかにかわからず、同じ生理的、構造的異常が発生すること、④これに加えることにより、この異常が予防され、あるいは回復すること、⑤欠乏により生ずる異常は、常に付随的な特定の生化学的変化を伴うこと、⑥欠乏を防止または回復するとき、これらの生化学的変化は防止されるか、または回復されることである。必須元素の中でも有機物の主構成元素であるH、C、N、O、P、Sと比較的多量に存在するCl、K、Na、Mg、Ca、Feを含めた12元素を常量元素といい、B、F、Si、V、Cr、Mo、Co、Ni、Cu、Zn、As、Se、Mo、Sn、Iの15元素を微量元素という。有害元素²⁾とは、私たちの身体において正常な代謝に必要な非必須元素の事で、仮にそれらが極少量でも体内に入ると毒性を発揮する元素である。有害元素の内、脳に取り込まれたメチル水銀は、神経細胞の細胞膜の構造を変化させたり、タンパク質の合成を阻害したり、中枢神経細胞を冒し、運動失調をはじめ、視覚や聴覚などの知覚障害、振戦といった症状を引き起こす原因である。摂取源は、魚介類、穀物類、飲料水、歯充填物（水銀アマルガム）、利尿剤、便秘薬、防カビ剤、マーキュロクロム液、電池、床ワックス、入れ墨などである。また、Cdは体内に過剰に吸収されると、まず肝臓に蓄積されやがてゆっくりと腎臓に溜まっていく。こうしてCdが腎臓に蓄積されると、タンパク質や酵素と結合して、腎機能障害を引き起こす原因となる。その影響でCa代謝にも異常が起こり、骨からCaが失われて重症の骨軟化症を招き、骨の変形や骨折しやすくなってしまい、ひどくなると全身が痛み、衰弱していく原因となる。摂取源は、穀物類（米など）、野菜、魚介類、土壌、工場排水（電気メッキなど）、タバコの煙、アルカリ乾電池、合成樹脂製品、自動車のタイヤなどである。さらにPbは脳神経に悪影響を及ぼす有害元素として問題視されている。また、骨の中にPbの蓄積量が多くなるとCaとのバランスが崩れ、骨のCaが血中に溶け出し、鉛も一緒に溶け出し、本来はCaの役割である神経の伝達機能や免疫機能、ホルモン分泌等の生理作用を妨げている。摂取源は、穀物、魚介類、肉類、鉛管による水道水、排気ガス、塗料、殺虫剤、乾電池、喫煙などである。また、Asは細胞呼吸に必要な酵素と結合して、その酵素の働きに障害を及ぼし、神経中枢を破壊するために、マヒなどの症状が現れることがある。さらに、体内に高濃度のAsが蓄積すると、頭痛、眠気、斑点、体重の減少、虚弱、甲状腺腫、知覚障害、筋肉萎縮、肝障害、心臓肥大などの慢性中毒症状が起こる危険性がある。摂取源は、魚介類、穀物類、肉類、飲料水、ビール、食卓塩、農薬、除草剤、殺虫剤、殺鼠剤、防腐剤、防カビ剤、ガラス製品、自動車の排気ガスなどである。

ヒトの体を構成している元素は、異なるルートを通じて体内に取り込まれる。空気、水、食品、薬中の元素が皮膚や気道、消化管を通して移動し、血液を介して肝臓や腎臓等の器官に輸送される。ヒトからの元素の排出は、汗、毛髪、爪、尿と糞便^{3,4)}により行われる。このように、人間の毛髪は元素の排泄システムの一つであり、元素貯蔵組織の働きをすることができる。すなわち、毛髪は長期間の体の状態を反映し、各個人の一定期間内の元素の暴露履歴を記録する^{3,5)}。毛髪は以下の点での科学的な利用が試みられている。①いろいろな病気（がん）の診断や中毒状態を示す法科学⁶⁾で、毛髪中の微量元素の調査、②栄養欠乏症状の指標³⁾、③世界的な環境モニタリング⁷⁾のための生物学的材料、環境汚染の信頼できて便利な生物学的指標^{8,9,10,11,12)}、④必須元素（Ca、Cr、Cu、K、Mg、Mn、NaとZn）と有害元素（Ag、Al、Cd、NiとPb）の栄養学的身体状態の評価、⑤環境や職業病などの長期間の有害元素の暴露の指標。また、毛髪中の元素含有量は、年齢、性、解剖学的局在¹³⁾、毛髪着色剤、民族や地理的起源、食習慣⁸⁾や環境での暴露¹¹⁾（都市化と工業化と関係している）に依存する。毛髪分析では、内因性沈着及び外因性沈着の違い¹⁴⁾や代謝状態の

いくつかの問題がある。

分析機器の発達に伴って、体内の元素の組成やその濃度を測定することは、より低濃度の測定が可能となっており、毛髪中元素分析と栄養状態の研究は古くから行われている^{1, 2, 15, 16, 17, 18, 19)}。また、頭皮直上で切断した毛髪を細片に切って濃度を測定することによってその毛髪がのびた期間における各種の栄養素の動態の変化を把握することが試みられている^{20, 21, 22, 23)}。

毛髪は身体全体の指令センターである脳という重要な組織を外からの危険な衝撃や高温・低温などから守ると同時に、身体の中に蓄積された有害な物質を体外に排泄している重要な器官である。また、毛髪には体内の血中成分を記憶しており、毛髪中に含有されている元素濃度は血液や尿の100倍以上高くなっており、有害元素や有毒性必須元素を体外に排出する機能を持っている。毛髪は検体として安定しており、血液や尿に比べて変質する心配がなく、長期にわたる栄養の摂取状況を総合的に把握できる。このため、毛髪の各種元素の蓄積、代謝、排泄を明確な数値で把握できる有効な指標物質であると考えられる。毛髪の採取においては生体を傷つけることのない「非侵襲」であることから、血液検査などでは注射器からの体内感染の恐れが考えられるが、毛髪検査では感染する恐れがないメリットがある。

毛髪を用いて実験・研究者は、微量元素と健康の関係²³⁾や毛髪の年間別測定¹⁵⁾や洗髪における毛髪の影響¹⁹⁾などを測定しているが、毛髪の性別や国籍などの比較データについては詳しく調べられていない。そこで、本実験では毛髪中元素組成や元素濃度を、性別、日本人と中国人、長さ、健常者と非健常者別に高周波誘導結合プラズマ分析計で分析した。

2. 実験方法

2・1 試料

毛髪試料は健常者(59名)よりセラミック製のはさみで切り取り試料とした。また、非健常者(入院患者:12名)からセラミック製のはさみで切り取り試料とした。非健常者とは急性呼吸窮迫症候群の人、交通事故の人、心停止から蘇生した人、薬物中毒の人、小脳梗塞の人などの入院患者のことである。また、毛髪の長さ別元素濃度の測定には、長さ約30cmの毛髪を女性から10本程度採取した。毛髪試料は5cm、10cm、15cm、20cmごとに毛根から毛先にかけて切り分けた。

2・2 前処理

毛髪は電子天びんを用いて約0.01g秤量し、テフロン製分解容器に入れ、マイクロピペットを用いて有害金属測定用硝酸(SIGMA-ALDRICH)6mlを入れ、密閉した。試料の分解は、マイクロウェーブ試料分解装置(Multiwave3000、Anton Paar)を用いて以下の条件で分解した。

分解条件

- ・最高出力:600W
- ・最高温度:150°C
- ・最高気圧:10bar
- ・昇温時間:10分
- ・分解時間:20分
- ・冷却時間:20分

分解した試料をテフロン製分解容器からビーカーに移し、あらかじめmilli-Q水で洗浄したシリンジと0.45 μ mのDISMIC(ADVANTEC)を使い、メスフラスコへろ過をしテフロン製分解容器とビーカーをmilli-Q水で2、3回洗浄した。ろ液は100mlメスフラスコでmilli-Q水を用いてメスアップした。

2・3 分析

前処理を行った試料溶液は、高周波誘導結合プラズマ質量分析計(ICP-MS:SII製)により元素分析をした。測定した元素は、Li、Be、Na、Mg、Al、K、Ca、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、As、Se、Rb、Sr、Ag、Cd、In、Cs、Ba、Hg、Tl、Pb、Bi、Th、Uの31元素である。

ICP-MSの条件

- ・プラズマガス流量:18.0L/min Ar
- ・補助流量:1.8L/min Ar
- ・ネブライザーガス流量:1.0L/min Ar
- ・サンプリング位置:6.5mm

- ・ パワー：1.4kW
- ・ ポンプ回転数：3rps
- ・ 繰り返し回数：5回

この実験で使用した、器具は全て4%の硝酸に1日以上浸漬した後、水道水、蒸留水、milli-Q水の順に洗浄し、乾燥したものをを用いた。

3. 実験結果及び考察

3・1 毛髪分析

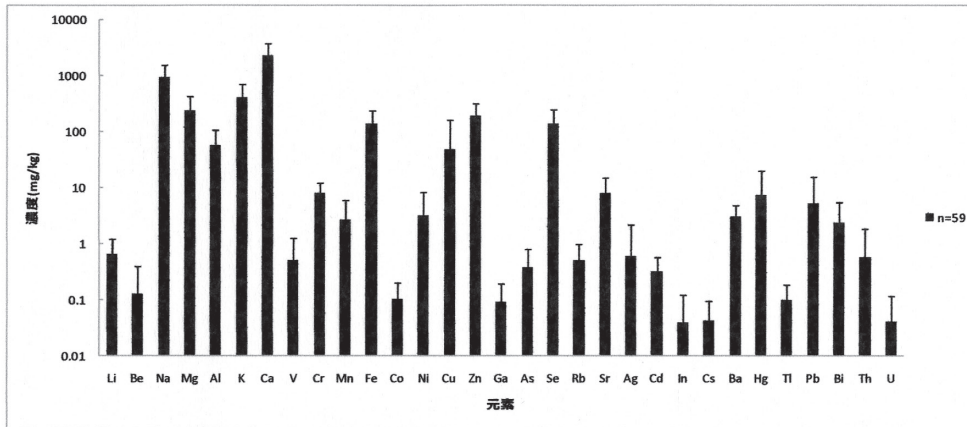


Fig.1 健常者の毛髪中の元素濃度

健常者 (n=59) の毛髪分析結果を Fig.1に示した。Ga、In、Cs、Uは0.01～0.1 mg/kgの範囲であった。Li、Be、V、Co、As、Rb、Ag、Cd、Tl、Thは0.1～1.0 mg/kgの範囲であった。Cr、Mn、Ni、Sr、Ba、Hg、Pb、Biは1.0～10 mg/kgの範囲であった。Al、Cuは10～100

Table1 毛髪分析結果(mg/kg)

	本実験値(健常者n=59)	尾立ら ¹⁸⁾	DOCTOR'S DATA, INC ¹⁹⁾	Miekeleyら ⁸⁾	Nowak ²⁵⁾	Rodushkinら ²⁶⁾	Miekeleyら ⁸⁾
Li	0.65±0.53		0.014				
Be	0.13±0.27		<0.01			0.0013±0.0009	
Na	943±608	56.5	710	18-87	242±147	147±149	87.7±2.0
Mg	235±198	161.2	68	40-110		46±38	43.9±1.0
Al	58.0±48.4		19	<12		8.2±4.8	8.3±0.9
K	417±293	77.9	96				
Ca	2248±1594	2193.2	981	350-860	826±880	750±660	802±37
V	0.50±0.78		0.14	0.35-0.80		0.027±0.024	0.07±0.02
Cr	8.07±3.90	0.6	0.45	0.87-1.0	0.60±1.13	0.167±0.118	<0.3
Mn	2.65±3.41	4.1	0.34	0.26-0.75	2.41±2.24	0.560±0.550	5±0.5
Fe	139±96	17.5	21	6.0-15	45.7±37.7	9.6±4.4	20.8±2.2
Co	0.10±0.10		0.022	0.26-0.47	0.44±0.72	0.013±0.011	0.13±0.01
Ni	3.23±5.03		0.33	<1.6	0.75±1.15	0.430±0.400	0.7±0.1
Cu	48.4±112	21.5	600	13-35	7.96±9.12	25±21	44.1±3.5
Zn	195±125	272.7	140	125-165	129±60.2	142±29	156±6
Ga	0.09±0.11						
As	0.37±0.42		0.028	<7		0.085±0.054	<0.04
Rb	0.50±0.47		0.1				
Sr	8.03±6.71		2.4	1.0-7.6		1.20±1.00	5.1±0.4
Ag	0.59±1.59		0.73	<0.7		0.23±0.298	1.19±0.04
Cd	0.31±0.26		0.46	<1.0	0.61±1.13	0.058±0.056	0.59±0.05
In	0.04±0.08						
Cs	0.04±0.05						
Ba	3.08±1.77		0.93	0.3-3.5		0.64±0.49	6.9±0.7
Hg	7.36±13.0		0.27	<1.2		0.261±0.145	0.62±0.002
Tl	0.10±0.08		0.001				
Pb	5.26±10.0		8.6	<6.0	4.99±3.90	0.960±0.850	12.5±0.7
Bi	2.38±3.11		0.018				
Th	0.57±1.26		<0.001				
U	0.04±0.07		0.015			0.057±0.065	

mg/kg の範囲であった。Na、Mg、K、Fe、Zn、Seは100~1000 mg/kgの範囲であった。Caは1000~10000 mg/kgの範囲であった。また、この分析結果と他の文献値^{8, 18, 19, 24, 25)}と比較したものをTable1に示した。

尾立ら¹⁸⁾は女学生 (n=29) の毛髪を測定、DOCTOR'S DATA, INC¹⁹⁾は10歳の男性の毛髪を測定している。本実験結果と比較すると、女学生の毛髪中の元素濃度と類似する部分はみられるが、10歳の男性の毛髪中の元素濃度とは約10倍の差がみられた。これは、年齢が関係しているのではないと思われる。女学生は20代の方で、本実験に用いた毛髪も20歳前後の方が大半である。それに対してDOCTOR'S DATA, INC¹⁹⁾は10歳という年齢である。年齢の違いが毛髪中の元素濃度に関与している可能性がある。Nowak²⁵⁾ はポーランドの非工業地帯の266人の毛髪中元素濃度を、Rodushkinら²⁴⁾ は北東スウェーデンの都市域に住む114人の毛髪中元素濃度を、Miekeleyら⁸⁾はブラジルのリオデジャネイロに住む1091人の毛髪中元素濃度を調べた。本実験結果のNa、Mg、Al、Cr、Fe、Ni、Ba、Hgは他の文献値よりも高く、10倍程度の濃度の元素も見られた。この理由は明らかではないが、Rodushkinら²⁴⁾が指摘しているように、食習慣、ライフスタイル、土壌環境、年齢性、毛髪着色剤や喫煙習慣の違いによるためであるかもしれない。

3・2 性別

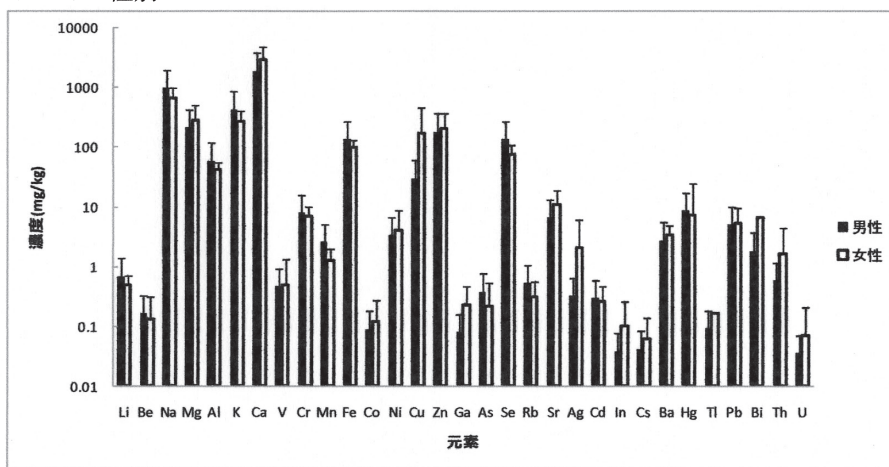


Fig.2 日本人男性と女性の毛髪中の元素濃度

Table2 日本人の毛髪中元素濃度(mg/kg)

元素	日本人男性(n=40)	日本人女性(n=8)
Na	979.8±602.8	665.9±317.2
K	430.3±241.7	273.6±128.5
Mn	2.6±2.3	1.3±0.7
Fe	136.7±76.2	101.4±27.7
Se	137.3±103.2	76.6±32.3

の方がNa、K、Mn、Fe、Seを多く蓄積していた (Table2)。

Naは、体内でNa⁺として存在し、体液や細胞の浸透圧を一定に保ったり、神経や筋肉のはたらきを調整したりするものであり、またNa⁺は細胞外液に多く見られる。男性と女性では体液量が違い、男性の方が多く水分を保持している。水分の中には細胞外液・細胞内液とがある²²⁾。つまり、細胞外液量に違いがある可能性が考えられる。この他にも日頃の食事などの影響が考えられる。Kについても同等の考察が考えられる。Feは血中のヘモグロビンに含まれている元素である。女性には生理現象として月経などがある。生理現象によって出血し、貧血などの症状を引き起こす。しかしながら男性にはその現象はない。したがって、男

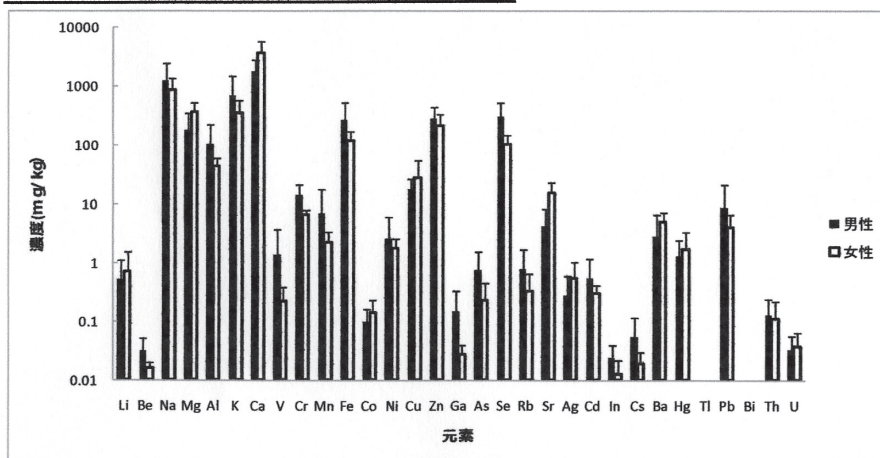


Fig.3 中国人男性と女性の毛髪中の元素濃度

毛髪を採取する際に性別、出身国のアンケートを行い男性と女性で分け比較をした。日本人男性40名、中国人男性4名、日本人女性8名、中国人女性7名で、「日本人男性と日本人女性」、「中国人男性と中国人女性」で比較し、日本人男性 (n=40) と日本人女性 (n=8) で比較したものを Fig.2 に示した。5%の有意差 (p<0.05) で、日本人女性より日本人男性

Table3 中国人の毛髪中元素濃度(mg/kg)

中国人男性(n=4)	中国人女性(n=7)	
Sr	4.2±3.9	15.1±7.6

性の方が多く毛髪に鉄が見られたと思われる。Mn は鉄の代謝に類似しており、骨の正常な成長及び発育に関与していることから鉄との関連性がみられる。よって、鉄と同等の考察が考えられる。また、Mn は黒い毛染め剤に含まれており²³⁾、その影響も考えられる。Se は抗酸化酵素の構成成分で、ビタミンA・C・E と共同して働くことで相乗効果を発揮し、有害ミネラルに対して、その毒性を抑える働きがある。男性と女性間で差が生じたものの、これに関しては差が出た理由は不明である。

中国人男性 (n=4) と中国人女性 (n=7) で比較したものを Fig.3 に示した。5%の有意差 (p<0.05) で、中国人男性より中国人女性の方が Sr を多く蓄積していた (Table3)。

Sr は Ca と類似した性質を持ち、体内に吸収されると、そのほとんどは歯や骨に沈着して長時間留まり、体内で過剰状態が続くと、Ca の吸収代謝を阻害する²⁾。女性は女性ホルモンの働きで骨を溶解する働きを防ぐ役目を持っているが、女性ホルモンが減少することにより骨量が溶解する。Sr が骨に滞在しているということは、この溶解した骨の成分の一部であり、その成分を排出するため、中国人女性の毛髪の方が多く蓄積していたと考えられる。

3・3 日本人と中国人の比較

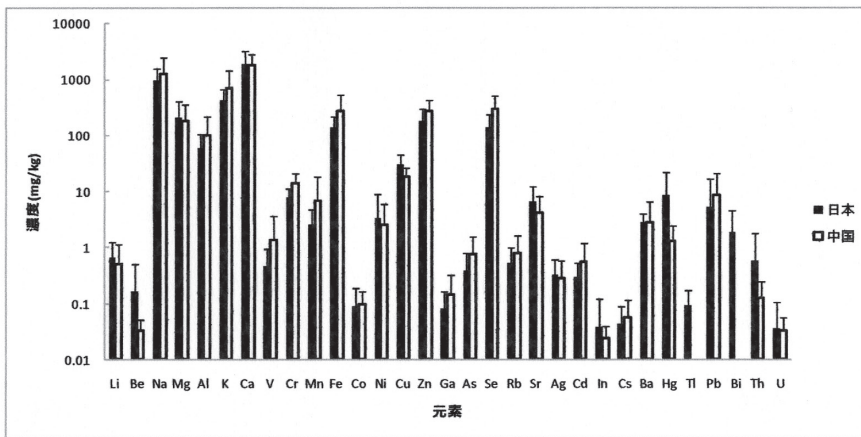


Fig.4 男性日本人と中国人の毛髪中の元素濃度

Table4 男性の毛髪中元素濃度(mg/kg)

	男性日本人(n=40)	男性中国人(n=4)
Cu	30.1±15.6	18.0±8.0
Hg	8.7±13.2	1.3±1.1
Tl	0.1±0.1	0±0

の方が Cu、Hg、Tl を多く蓄積していた (Table4)。

銅や水銀は魚介類に多く含まれている²⁾。銅は主に牡蠣やエビやカニなど、水銀は食物連鎖において生物濃縮が増すことからマグロなどに多く含まれている。魚介類は日本人が昔から現在まで食べられてきた食材の一つである。このことから、毛髪分析によって生活環境や食事の風景を表わすことができる

毛髪を採取する際に 3・2 と同様のアンケートを行い日本人と中国人で分け比較をした。「日本人男性と中国人男性」、「日本人女性と中国人男性」で比較をし、男性日本人 (n=40) と男性中国人 (n=4) で比較したものを Fig.4 に示した。5%の有意差 (p<0.05) で、男性中国人より男性日本人

可能性があることが判明した。

女性日本人 (n=8) と女性中国人 (n=7) で比較したものを Fig.5 に示した。5%の有意差で、女性日本人と女性中国人に差は見られなかった。

3・4 長さ

毛髪を長さ別に比較したものを Fig.6 に示した。必須元素 (Na、Mg、Ca、Cu、As) と

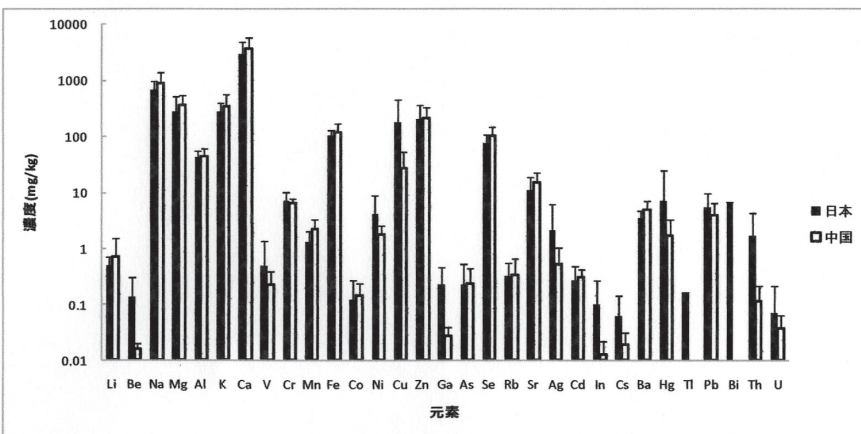


Fig.5 女性日本人と中国人の毛髪中の元素濃度

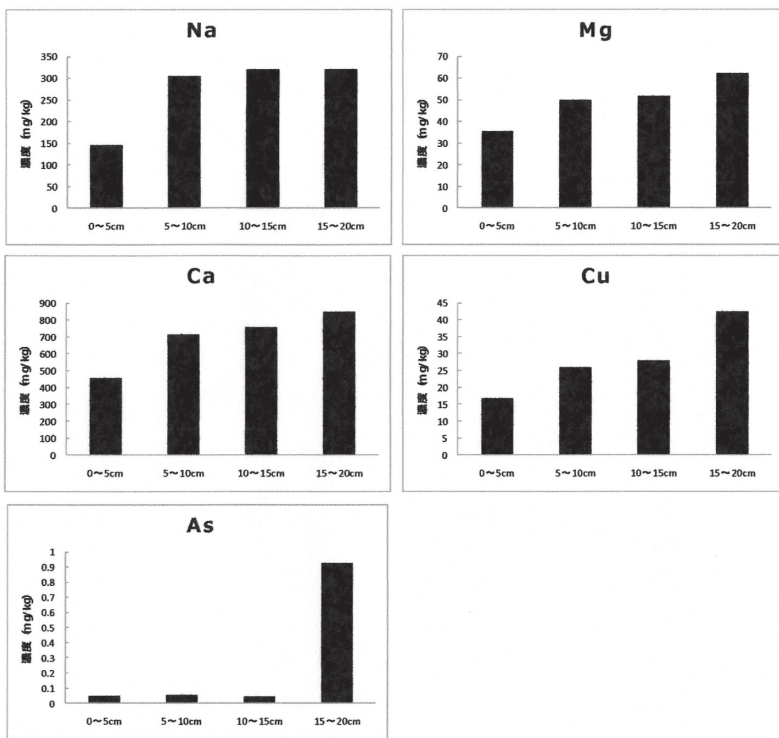


Fig.6 毛髪の頭皮からの長さ別必須元素濃度

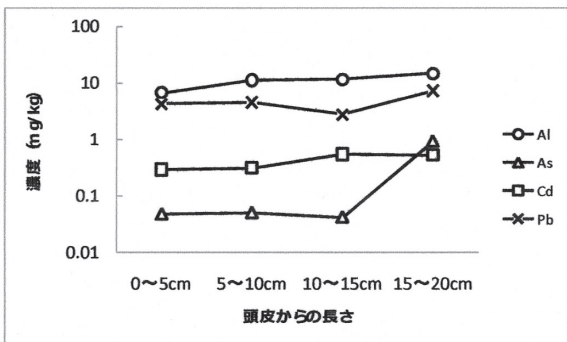


Fig.7 毛髪の頭皮からの長さ別有害元素濃度

健康者より非健康者の方が Na、K を多く蓄積していた。また、有害元素では、健康者より非健康者の方が Al、As、Cd、Pb を多く蓄積し、その中でも Al、Pb は有意に高い値を示した ($p < 0.05$)。

Na、K はナトリウムカリウムポンプの機能で

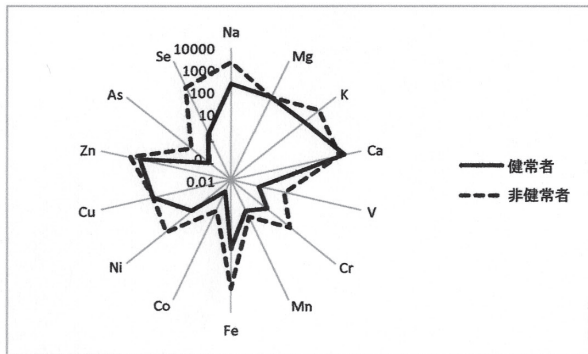


Fig.8 健康者と非健康者の必須元素プロフィール

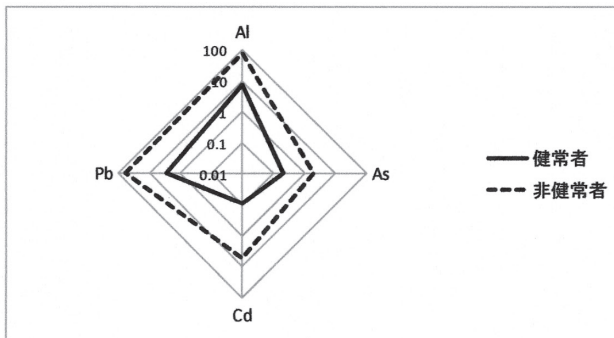


Fig.9 健康者と非健康者の有害元素プロフィール

有害元素 (Al、As、Cd、Pb) が毛根より毛先で高い値を示した。Fig.7より Na、Mg、Ca、Cu、As において毛根から毛先にかけてだんだんと元素濃度が高くなった。しかし、As においては毛先部において急に元素濃度が高くなった。これは、毛先部に外部からの影響を受けている可能性が考えられる。また、シャンプーなどの洗髪の影響を受け、濃度の高い洗髪剤が濃度の低い毛髪に影響している可能性も考えられる。

Fig.7より Al、As、Cd、Pb が毛根より毛先でだんだんと元素濃度が高くなった。これも必須元素と同様、毛先部に外部からの影響を受けている可能性が考えられる。また、シャンプーなどの洗髪の影響を受け、濃度の高い洗髪剤が濃度の低い毛髪に影響している可能性も考えられる。

毛髪は1カ月で約1.0cm~1.5cm伸びると言われている。5cmの毛髪は、約5カ月分の体内情報データを蓄積していると考えられる。毛先にで高濃度で、毛根では毛先より低濃度であることから、20カ月前では多くの必須・有害元素を排出し、また5カ月前ではあまり必須・有害元素を排出していないと考えられる。

3・5 健康者と非健康者の比較

健康者 (n=59) と非健康者 (n=12) で比較したものを Fig.8、Fig.9 に示した。5%の有意差で、必須元素では、非健康者より健康者の方が Ca を多く蓄積し、

活躍する元素である。非健常者が Na、K が多く蓄積しているということは、たくさんの Na、K が体内にあり高ナトリウム血症や高カリウム血症などが考えられる。または食事により体内にたくさんの Na、K 取り入れているということが考えられる。

本実験では非健常者に有害元素が多く蓄積されていたが、まだまだこれだけでは判断不足なので、さらなる実験が必要と思われる。

4. まとめ

高周波誘導結合プラズマ質量分析計を用い毛髪中の元素を分析し、性別、日本人と中国人、長さ、健常者と非健常者別に比較した。

性別では、5%の有意差で、日本人女性より日本人男性の方が Na、K、Mn、Fe、Se を多く蓄積していた ($p<0.05$)。また、5%の有意差で、中国人男性より中国人女性の方が Sr を多く蓄積していた ($p<0.05$)。

日本人と中国人の比較では、5%の有意差で、男性中国人より男性日本人の方が Cu、Hg、Tl を多く蓄積していた ($p<0.05$)。また、5%の有意差で、女性日本人と女性中国人に差は見られなかった ($p<0.05$)。

長さの比較では、必須元素 (Na、Mg、Ca、Cu、As) と有害元素 (Al、As、Cd、Pb) が毛根より毛先で高い値を示した。

健常者と非健常者の比較では、5%の有意差で、必須元素では、非健常者より健常者の方が Ca を多く蓄積し、健常者より非健常者の方が Na、K を多く蓄積していた。また、有害元素では、健常者より非健常者の方が Al、As、Cd、Pb を多く蓄積し、その中でも Al、Pb は有意に高い値を示した ($p<0.05$)。

参考文献

- 1) 不破敬一郎、生体と重金属、株式会社講談社、1986.
- 2) 大森隆史、「毛髪ミネラル検査」のすすめ、株式会社コスモトゥーワン、2005.
- 3) Apostoli, P., Elements in environmental and occupational medicine. *J. Chromatogr. B* **778**, 63, 2002.
- 4) Lee, W.C., Lee, M.J., Lee, S.M., Kim, J.S., Bae, C.S., Parka, T.K., An observation on the mercury contents of scalp hair in the urban residents of South Korea. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* **8**, 275, 2000.
- 5) Teresa, M., Vasconcelos, S.D., Tavares, H.M.F., Trace element concentrations in blood and hair of young apprentices of a technical-professional school. *Sci. Total Environ.* **205**, 189, 1997.
- 6) Wang, X., Zhuang, Z., Zhu, E., Yang, C., Wan, T., Yu, L., Multi element ICP-AES analysis of hair samples and a chemometrics study for cancer diagnosis. *Microchem. J.* **51**, 5., 1995.
- 7) Morton, J., Carolan, V.A., Gardiner, P.H.E., Removal of exogenously bound elements from human hair by various washing procedures and determination by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Anal. Chim. Acta*, **455**, 23., 2000.
- 8) Miekeley, N., Dias Carneiro, M.T.W., Porto da Silveira, C.L., How reliable are human hair reference intervals for trace elements? *Sci. Total Environ.* **218**, 9., 1998.
- 9) Lekouch, N., Sedki, A., Bouhouch, S., Nejmeddine, A., Pineau, A., Pihan, J.C., Trace elements in children's hair, as related exposure in wastewater spreading field of Marrakesh (Morocco). *Sci. Total Environ.* **323**, 243-244, 1999.
- 10) Bencko, V., Use of human hair as a biomarker in the assessment of exposure to pollutants in occupational and environmental settings. *Toxicology* **101**, 29, 1995.
- 11) Ashraf, W., Jaffar, M., Anwer, K., Ehsan, U., Age- and sex-based comparative distribution of selected metals in the scalp hair of an urban population from two cities in Pakistan. *Environ. Pollut.* **87**, 61, 1995.

- 12) Ashraf, W., Jaffar, M., Concentrations of selected metals in scalp hair of an occupationally exposed population segment of Pakistan. *Int. J. Environ. Stud.* **51**, 313, 1997.
- 13) Bermejo-Barrera, P., Moreda-Pineiro, A., Bermejo-Barrera, A., Bermejo-Barrera, A.M., Application of multivariate methods of scalp hair metal data to distinguish between drug-free subjects and drug abusers. *Anal. Chim. Acta* **455**, 253, 2002.
- 14) Hać, E., Czarnowski, W., Gos, T., Krechniak, J., Lead and fluoride content in human bone and hair in the Gdańsk region. *Sci. Total Environ.* **206**, 249, 1997.
- 15) 木村美恵子、微量元素と健康、生活衛生 (Seikatsu Eisei)、**43**, 1, 7-14, 1999.
- 16) 小倉ひでみ、長谷川玲子、船坂鏝三、小瀬洋喜、25年間にわたる毛髪中微量元素含量変化の一例、日本家政学会誌、**43**, 1, 53-61, 1992.
- 17) 狐塚寛、丹羽瀬鑿、磯野秀夫、角田紀子、科学警察研究所、警視庁科学検査所、毛髪の放射化分析 (第2報) 毛髪試料洗浄の微量元素含有量への影響、衛生化学 *THE JOURNAL OF HYGIENIC CHEMISTRY*, **17**, 4, 265-269, 1971.
- 18) 尾立純子、康薔薇、楠本薫、船坂邦弘、湯浅 (小島) 明子、湯浅勲、女子学生の毛髪中ミネラルの一考察、生活衛生 (Seikatsu Eisei)、**47**, 5, 269-275, 2003.
- 19) DOCTOR'S DATA, INC. HAIR ELEMENTS, 3755 Illinois Ave St. Charles IL60174, No148453, 2006.
- 20) 本郷哲郎、鈴木継美、石田裕美、鈴木久乃、若年女子成人における毛髪中亜鉛濃度の頭皮直上からの長さによる変動、日本栄養・食糧学会誌、**41**, 1, 17-22, 1988.
- 21) 黄金旺、樋口英雄、浜口博、中性子放射化分析法による毛髪中の微量元素の定量-低温灰化と水和五酸化アンチモン処理の適用、*JAPAN ANALYST*, **22**, 1586-1591, 1973.
- 22) 前田隆子、田中俊行、富永好之、船川一彦、能勢隆之、伊藤隆志、寺川直樹、ヒトの周産期における Zn, Cu, Ca および Mg の動態に関する研究-母体血中、臍帯血中および新生児頭髪中の含量の検討、島医短大紀要、**22**, 5-10, 1994.
- 23) 篠原厚子、千葉百子、微量元素の健康への影響、応用物理、**70**, 7, 823-826, 2001.
- 24) Rodushkin, I., Axelsson, M.D., Application of double focusing sector field ICP-MS for multi elemental characterization of human hair and nails. Part II. A study of the inhabitants of northern Sweden. *Sci. Total Environ.* **262**, 21, 2000.
- 25) Nowak, B., Contents and relationship of elements in human hair for a non-industrialized population in Poland. *Sci. Total Environ.* **209**, 59, 1998.

Analysis of elements in hair by inductive coupling plasma-mass spectrometry (ICP-MS)

Jun NAOHARA and Yoshiyuki SAKON

*Department of Biomedical Engineering, Faculty of Engineering,
Okayama University of Science,
1-1 Ridai-cho, Kita-ku, Okayama 700-0005, Japan*

(Received October 25, 2016; accepted December 5, 2016)

The concentration of 31 elements: Li, Be, Na, Mg, Al, K, Ca, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Rb, Sr, Ag, Cd, In, Cs, Ba, Hg, Tl, Pb, Bi, Th and U in hair were determined by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). Hair samples (n=71) were collected.

Japanese man has hair of significantly high element concentration (Na, K, Mn, Fe and Se) than Japanese woman ($p<0.05$). Chinese woman has hair of significantly high Sr concentration than Chinese man ($p<0.05$). Japanese man has hair of significantly high element concentration (Cu, Hg and Tl) than Chinese man ($p<0.05$). Essential element (Na, Mg, Ca, Cu, As) concentration and toxic element (Al, As, Cd, Pb) concentration in hairtip were higher than the root of hair. Ca (essential element) concentration in hair of healthy people was significantly higher than unhealthy people ($p<0.05$). Al and Pb (toxic element) concentrations in hair of unhealthy people were significantly higher than healthy people ($p<0.05$).

Keywords: Essential element, Toxic element, Hair, ICP-MS