

過去 20 年間にわたり健常者より採取された毛髪試料の分析結果 - 2.加齢に伴う変化と性差及び生活環境の違い -

世良耕一郎¹、後藤祥子²、細川貴子²、高橋千衣子²、伊藤じゅん²、齋藤義弘²
二ツ川章二³

¹ 岩手医科大学サイクロロンセンター
020-0603 岩手県滝沢市留が森 348-58

² 日本アイソトープ協会仁科記念サイクロロンセンター
020-0603 岩手県滝沢市留が森 348-58

³ 日本アイソトープ協会
113-8941 東京都文京区本駒込 2-28-45

1 はじめに

生物試料に対する無標準法¹は、1 μg ~1 mg の極微量試料^{2,3,4}、全く手を加えない試料⁵の定量分析を可能とした。中でも特に毛髪試料に対する無標準法^{5,6}は、多分野にわたる研究において応用されている。従来の方で分析する場合毛髪試料を溶かす必要があり、そのため揮発性元素などが試料から漏出する危険性があった。しかしそのまま手を加えない状態では、毛髪中元素は蛋白に強く束縛され極めて安定であるため、調製・測定に関わる元素の漏出を防ぐことができる。また、複雑な試料調製の過程における、コンタミなどの不確定要因を防ぐことができる。そのため、精度の高い分析が可能となる^{5,6}。

本法は環境科学、医学分野における多くの研究に応用され、何万という試料分析が行われてきた。これら学術研究には control 値が必要になるが、今までの毛髪分析の経験により、毛髪中元素濃度には大きな性差がありかつ加齢に伴う変化が見られることが確認されている。また、食生活など生活環境の違いにも大きな影響を受ける。性差に関しては特に、Ca 濃度において女性が男性を大きく上回り、しかも成長・加齢に応じて大きく変動することが、前報の報告により明らかになった⁷。それは、女性ホルモン：エストロゲンの分泌・効果によるところが大きい。また他にも、Mg や Zn など、明らかに性差があるもの、Hg など明確な加齢に伴う変化があるものも認められている。そのため control 値としては性別、年齢別の詳細なデータ取得が求められることになる。我々は、施設公開や見学時に希望者から採取された多くの健常者データを取得しているが、今回それらを整理・検討し、先ず 20 年間にわたる長期的変動傾向が調べられ、本報文集において報告を行った⁷。

本稿においては、加齢に伴う元素濃度変化が詳細に調べられ、その男女間の違いについても詳細な検討が行われる。

2 実験方法

2.1 試料採取

試料採取に関しては、前報 7 に記されている通りである。本研究における年齢別の変化を調べる目的のため、施設公開時の試料採取に際しては広い年齢層からの採取を意識し、特に 1 歳未満の乳幼児に関しては、母乳を提供する母親の毛髪とペアで試料採取を行うようにした。対象試料は前報同様 1996 年から 2015 年までの性別・年齢の明確な 1256 試料（女性：861、男性 395）である。年度別、年齢別の詳細は前報 7 の表 1 に示されている。それに加え、生活環境の依存性を調べるため、高校生・大学生の毛髪 193 試料（女性：69、男性：124）についても分析が行われ、結果の解析・検討が行われた。

2.2 試料調製・測定

調製・測定に関しても前報 7 と同様だが、特に 1 歳未満の乳幼児などの短く細い毛髪の調製には、支持テープにビームが当たらないよう、細心の注意を施した。テープに少しでもビームの痕跡が見られるものに関しては、先ずホルダー孔の試料がない部分にビームを通し、徐々に試料を下していき、シグナルが出始める位置で固定し再測定が行われた。

3 結果

3.1 成長・加齢に伴う変化

Fig.1 に、毛髪中 26 元素濃度平均値の比較を、女性、男性に対して示す。図には、女性：861、男性 395 試料に対する平均値と、それらに対する標準偏差が示されている。この図から、多くの元素において女性が男性よりも高濃度値を示すことが分かる。Mg、Si、Ca、Ti、V、Mn、Cu、Zn、Br、Sr の各元素濃度が、男性のそれらと比べて明確に高値を示している。それに対し、Cl、Cr、As、Hg に関しては男性の方が高い値を示している。

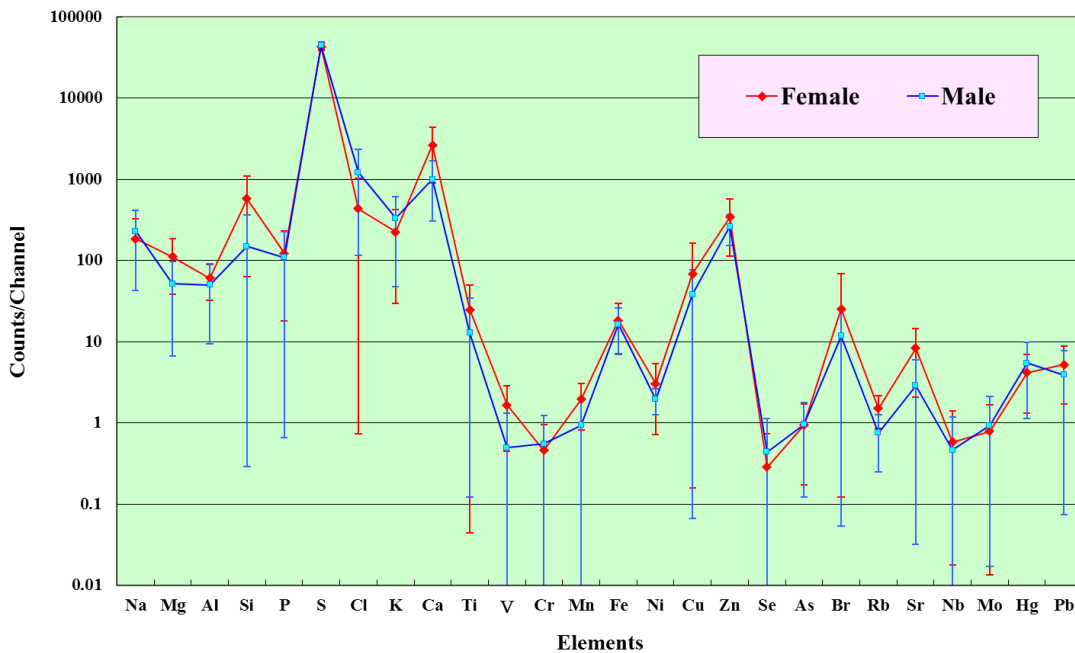


Fig.1 Comparisons of average elemental concentrations in the hair samples taken from healthy people from 1996 to 2015 between female and male. Error bars indicate standard deviations for 861 samples for female and 395 samples for male.

Fig.2 には、Ca 濃度の年齢別変動を男女に分けて示す。図に明確に示されるように、Ca 濃度の平均値には大きな男女差があり、女性に対し 2620 ± 1740 、男性に対し 990 ± 690 であった。女性の Ca 濃度は 10 代から増加をはじめ、20 代から 40 代まで高値を保つ。その後は若干減少傾向にあるが、70 代ま

では大きな落ち込みはない。男性の方も傾向としては同様だが。女性と比べると加齢に伴う変化が小さいように見受けられる。

Fig.3 には、同様の比較を Mg に対して示す。Mg 濃度も全年齢層にわたり女性が高く、平均値と標準偏差は、女性：111.4±72、男性 51.4±44 であった。女性の Mg 濃度は 10 代から上昇し、ほぼ一定値を 80 代まで保っている。男女とも 80 代は n が小さく（女性：3、男性：2）その平均値が決定的な意味を持たない事実を考慮すれば、10 代以降は殆ど変化がないことが分かる。

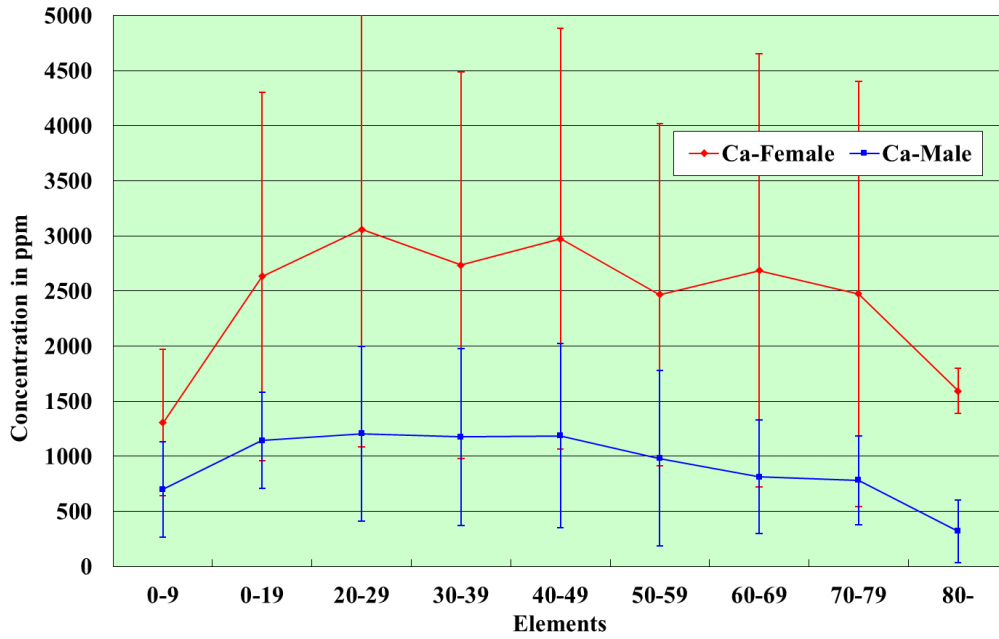


Fig.2 Changes in calcium concentration in hairs with age. Closed rhombus and open squares indicate female and male, respectively.

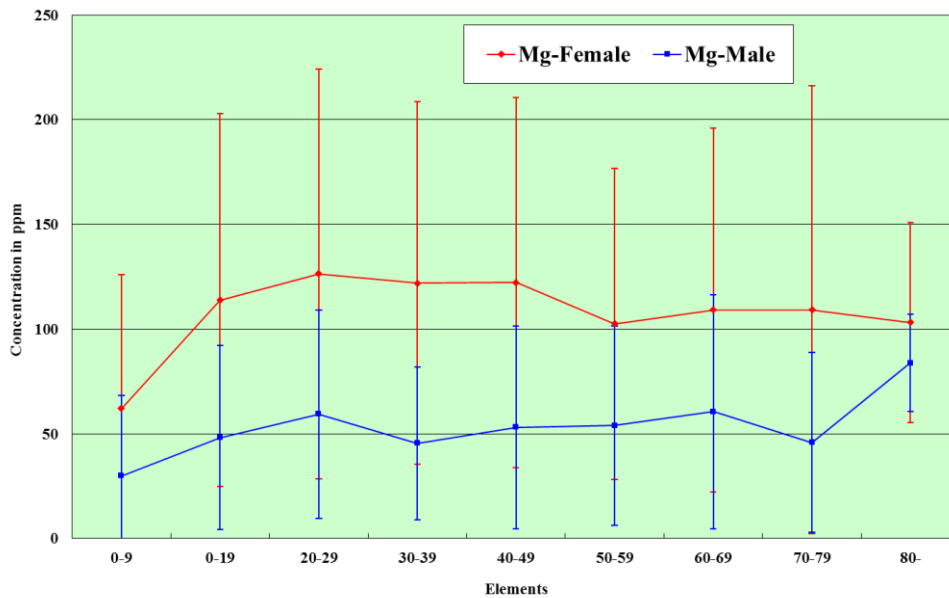


Fig.3 Same as Fig.2 but for magnesium.

Fig.4-a には、同様の比較を Fe に対して示す。Fe も女性が男性よりも高い値を示し、(女性 : 18.3 ± 11 、男性 14.3 ± 6.4) かつ大きな年齢依存変動を示している。20 代から 30 代までの出産期にかけて Fe 濃度が減少し、40 代以降、増加に転じている。それに対し男性の方は 0 歳から 70 代まで、明確な変化は観測されない。出産期に女性の鉄濃度が減少するという現象は、胎児の成長のため、また乳幼児への授乳により母体の鉄分が取られていることが原因である可能性が高い。そのため、10 歳未満を、授乳期の 1 歳未満とそれ以外に分けて図示したものが Fig.4-b に示されている。(1 歳未満の試料数は女子・男子それぞれ $n = 4$ である。) 男女ともに乳幼児の Fe 濃度は高く、上記の考えを裏付ける結果となっている。

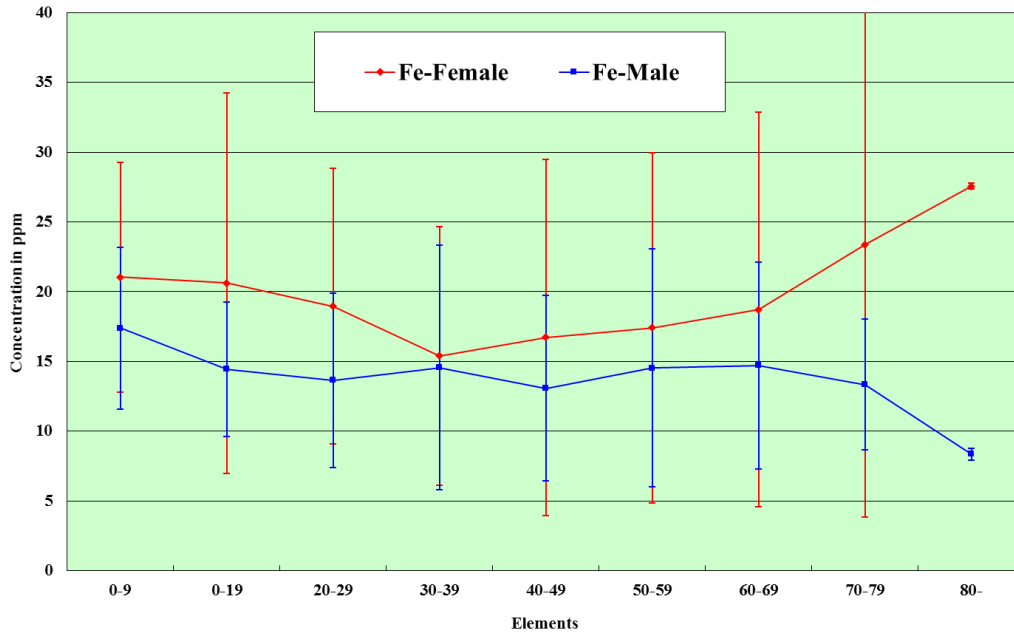


Fig.4-a Same as Fig.2 but for iron.

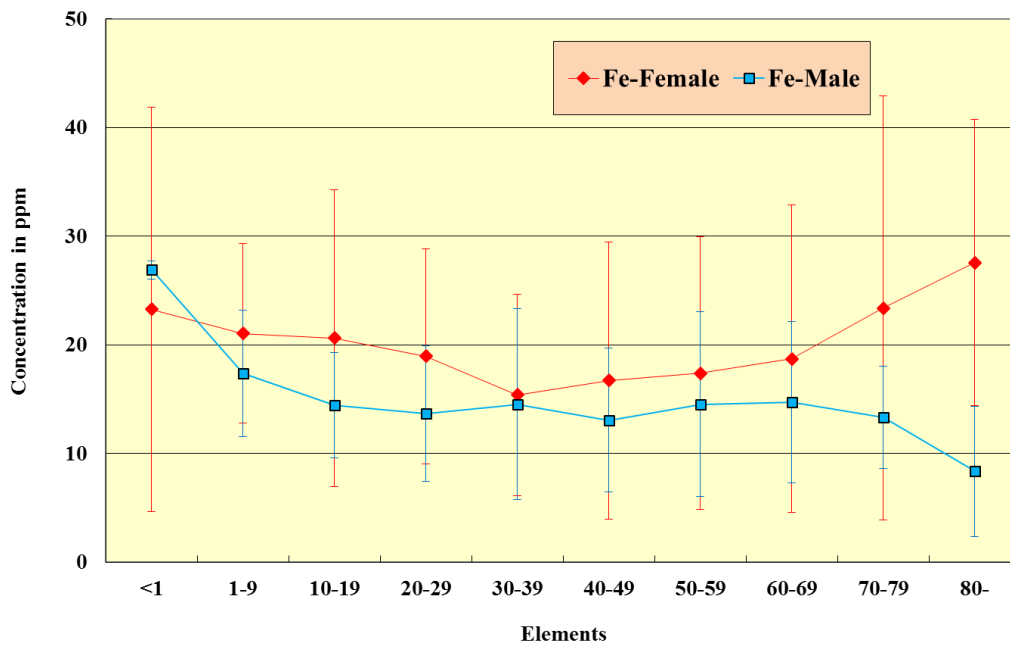


Fig.4-b Same as Fig.4-a but the average iron concentration for babies younger than 1 year old is shown.

Fig.5 には同様の比較を Cu に対して示す。やはり平均値は女性が高く、女性：68.3±110、男性：37.5±34 であった。標準偏差の大きさを考えると、加齢に伴う変化は明確ではない。Fig.6 には Zn に対する比較を示す。(女性：343±269、男性：267±106) 女性の年齢別変動は、曲線としては Ca のそれに傾向が似ており、性ホルモンの影響が反映されている可能性がある。10代から上昇しゆっくりと下降しており、男性も同様の傾向であるが、女性ほどの変化はない。

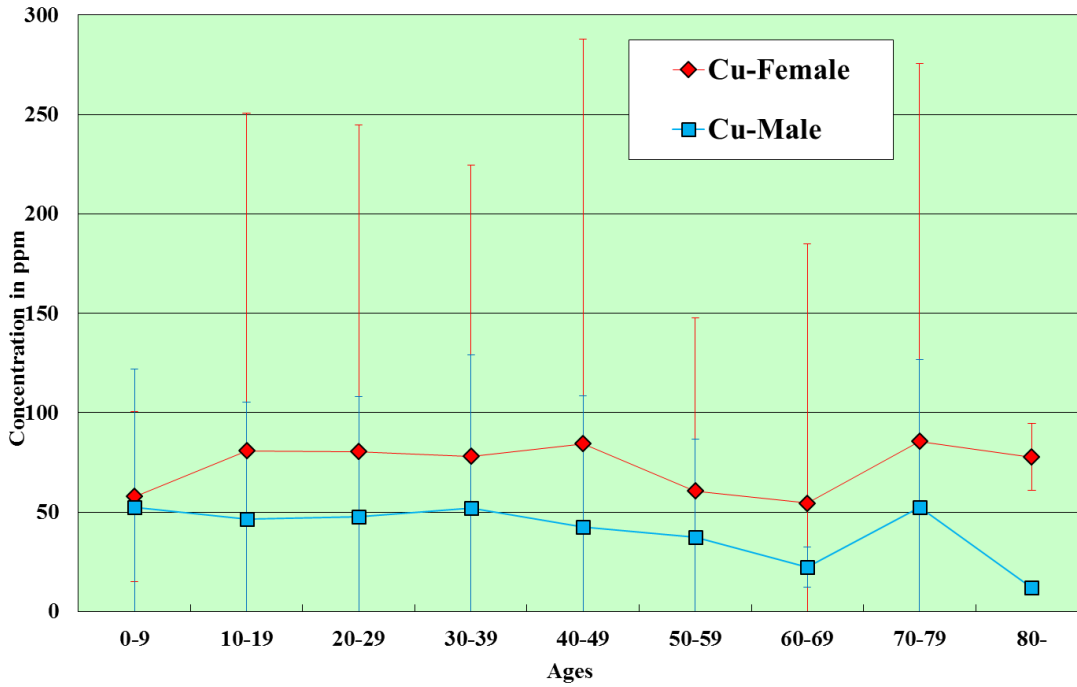


Fig.5 Same as Fig.2 but for copper.

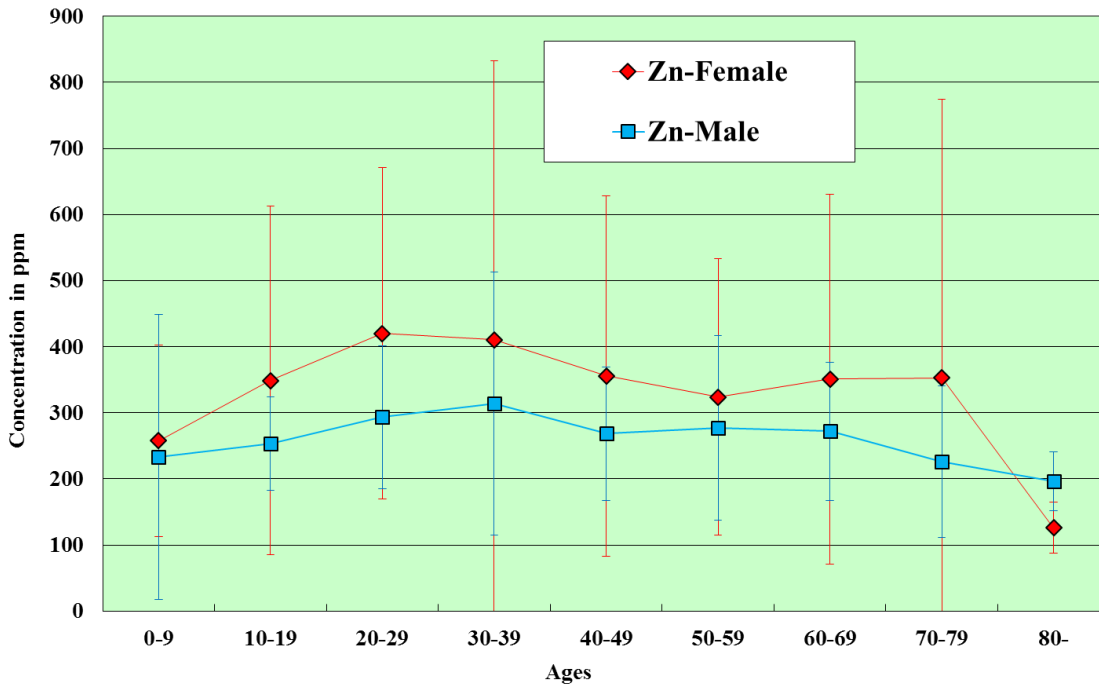


Fig.6 Same as Fig.2 but for zinc.

Fig.7にはSeの結果を示す。必須元素として注目されるSeは体内濃度が低く標準偏差が大きい。(女性： 0.32 ± 0.54 、男性： 0.45 ± 0.65) n=3の80代を除くと、標準偏差の大きさを考慮すれば成長・加齢に伴う明確な変化は認められない。

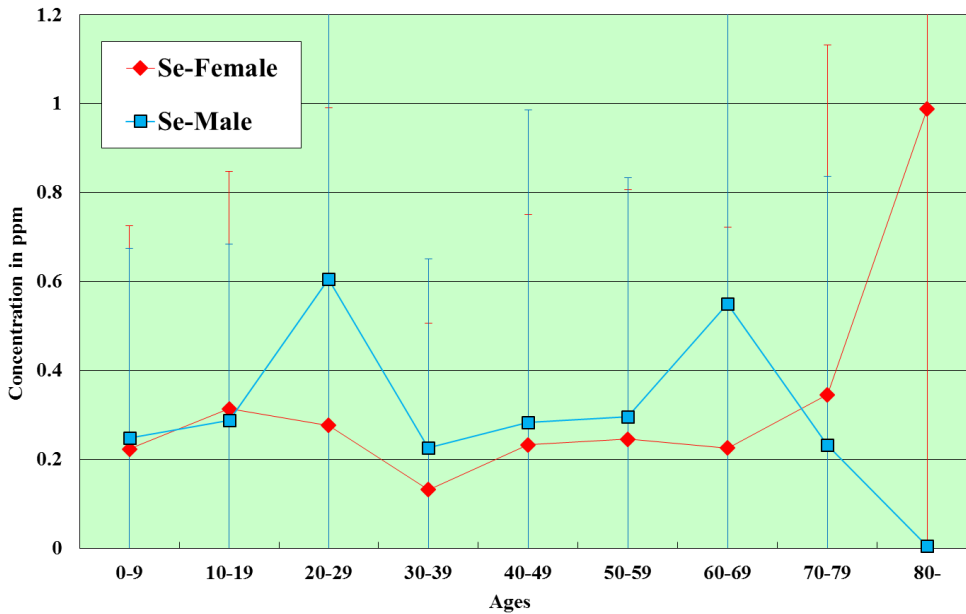


Fig.7 Same as Fig.2 but for selenium.

Fig.8にBrの結果を示す。前報7で報告を行ったように、女性の毛髪中Br濃度は明確な季節変動、また年度変動を示し、それは大陸からのPM2.5粒子の吸引に呼応したものであることが示唆されたが、男性の方は明確な長期・短期変動を示さないことが確認されている。図に見られるようにBr濃度は女性が高値であり(女性： 25.3 ± 32 、男性： 11.3 ± 11.4)、女性に加齢とともに増加する傾向にあるのに対し、男性は殆ど年齢に依存した変化を示していない。

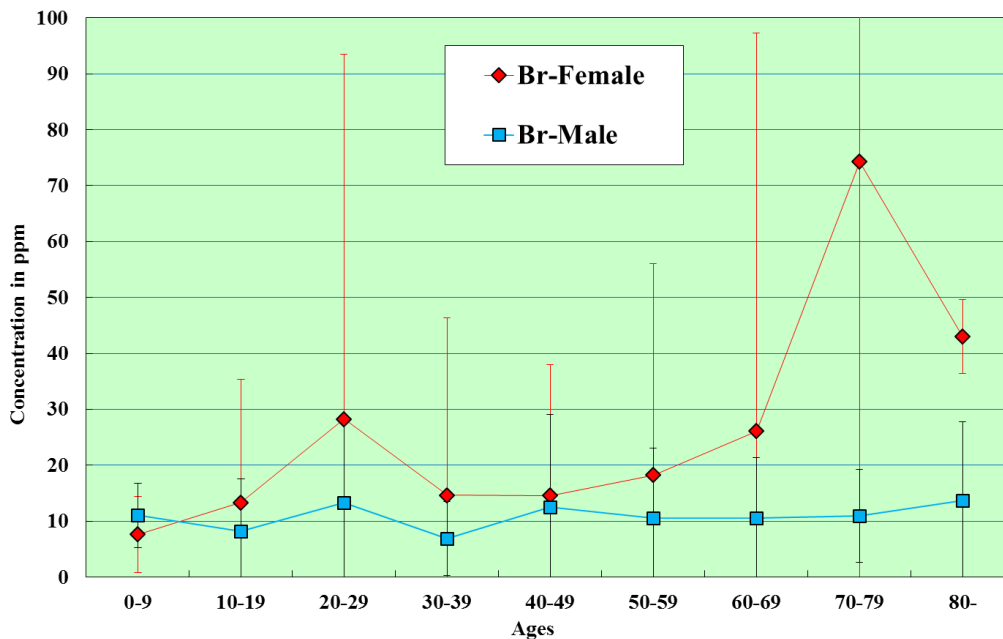


Fig.8 Same as Fig.2 but for bromine.

次に有害元素に注目しよう。我々はアジアの有害元素汚染地域の住民から2万以上の毛髪試料を採取し、人体曝露や汚染拡大状況の調査研究に役立てている。今回対象とした健常日本人の結果は、いずれの有害元素もこれらの汚染地域住民の濃度を大きく下回っている。Fig.9にはCr濃度の変化を示す。有害元素濃度は男性が高値のものが多く、標準偏差が大きいため断定はできないが、Crもその傾向にある。(女性： 0.46 ± 0.51 、男性： 0.55 ± 0.60) 前報の結果から、Cr濃度は、この20年間確実に増加傾向にあり、環境汚染の影響が示唆されていた⁷。しかしこの図から、男女ともにCr濃度の年齢に依存した変化は認められず、生涯ほぼ一定値を保つことが分かる。

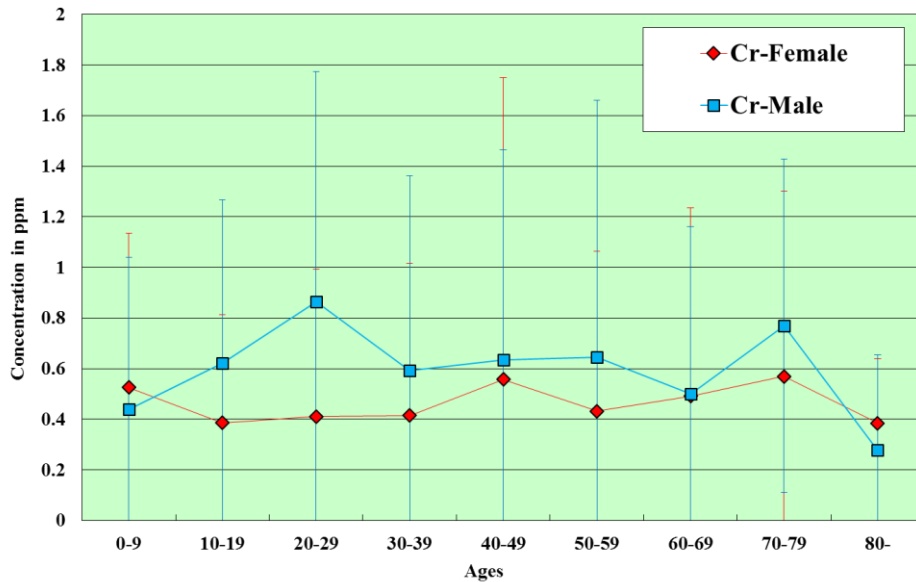


Fig.9 Same as Fig.2 but for chromium.

Fig.10にはAsの結果を示す。図から、As濃度には男女差が殆どないことが分かる。(女性： 0.94 ± 0.72 、男性： 0.98 ± 0.83) 前報の結果から、AsもCr同様、体内濃度は環境の変化を反映し過去20年間にわたり増加傾向を示している⁷。しかしこの図で見える限り、成長・加齢に伴う変化はほとんど見られない。

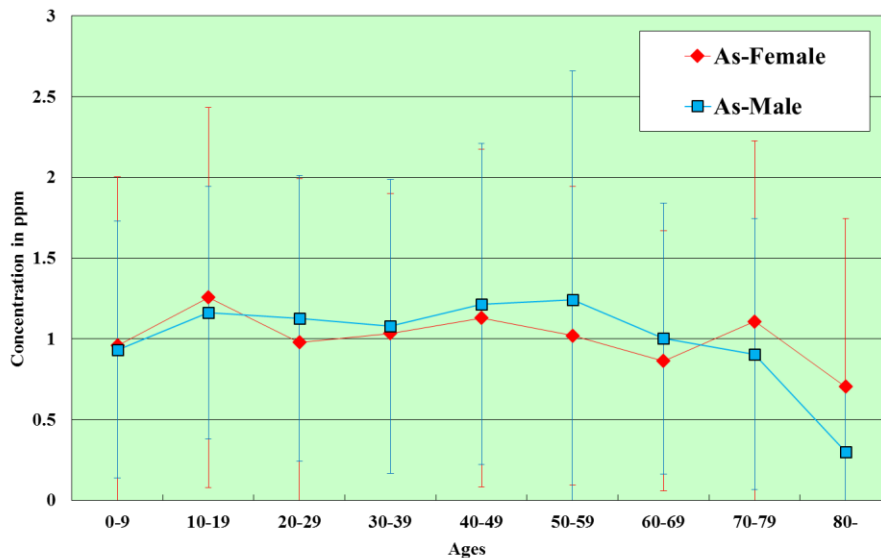


Fig.10 Same as Fig.2 but for arsenic.

Fig.11 には Hg の結果を示す。図に観られるように、やはり男性の方が高濃度であり（女性：4.15±2.6、男性：5.51±4.4）、加齢に伴い増加傾向にあることが分かる。

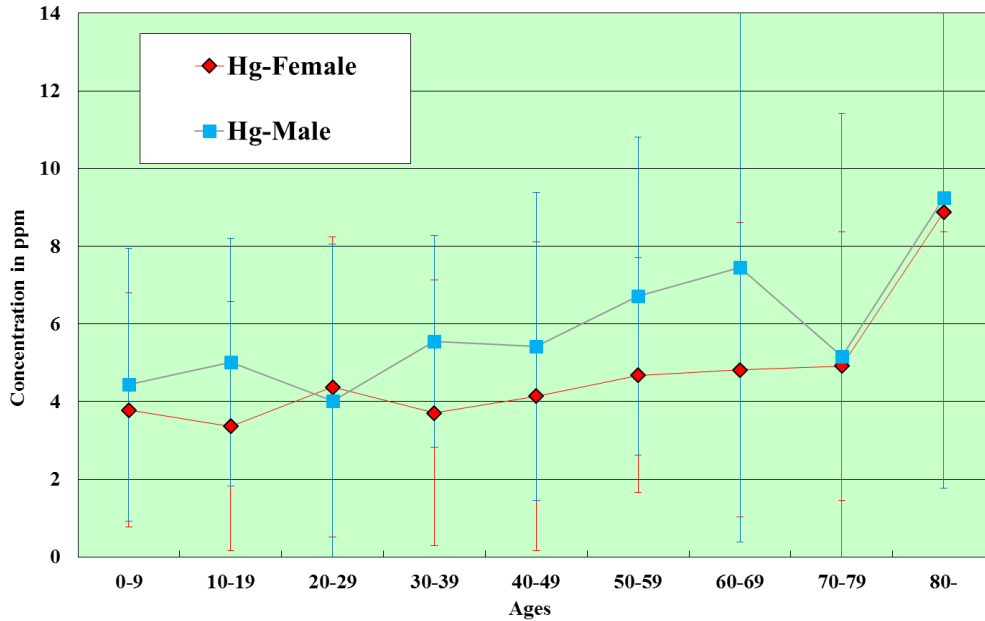


Fig.11 Same as Fig.2 but for mercury.

Fig.12 には鉛の年齢別変化を示す。有害元素の中では唯一鉛のみが女性が高い傾向にあり（女性：5.25±7.1、男性 3.86±3.7）、女性は若干の年齢依存変動を見せているが、男性は全年代にわたりほぼ一定値を保っている。

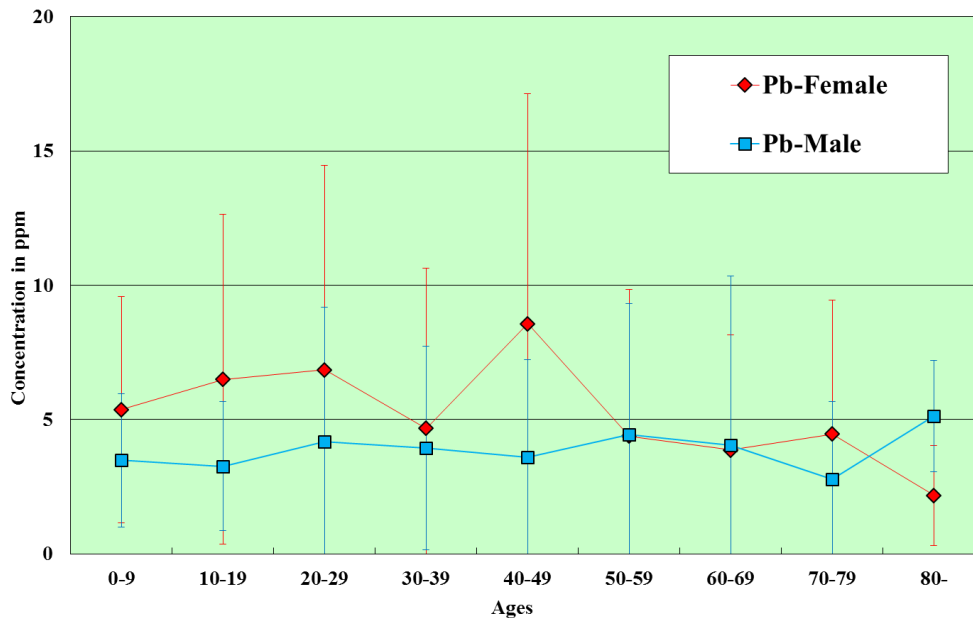


Fig.12 Same as Fig.2 but for lead.

3.2 生活環境による差異

我々はこの10年間にわたり施設見学を訪れた高校生・大学生からも毛髪を採取し分析を行っている。その内訳は岩手医科大学医学部第3学年学生132人(女性:44名、男性:88名)、同歯学部第3学年学生33名(女性:18名、男性:15名)、県内の高校生28名(女性:7名、男性:21名)である。この中で高校生はほぼ全員が地元の高校に通い、親と生活を共にしている。それに対し大学生は大半が遠隔地から当地に来て一人暮らしをしており、食生活もやや不規則であると思われる。医学部・歯学部の比較では、医学部の学生の方が、出身地が全国の広い地域にわたる傾向がある。以下に、①一般健常者、②医学部学生、③歯学部学生、④高校生、に分けて比較検討を行う。

Fig.13、14に上記4グループの元素濃度平均値を比較して示す。Fig.13が女性、Fig.14が男性である。これらの図を比較すると、生活環境による元素濃度の違いは女性に大きく、男性に小さいことが分かる。Fig.13を見るとV、Mn、Brは年齢の上昇とともに高濃度になる傾向がある。(高校生の平均年齢は10代後半、大学生は20代前半、一般健常者の平均年齢はおよそ45歳)多くの元素濃度が高校生の場合最も低く、これは食生活の影響ばかりではなく若年のためでもあると思われる。何故なら高校生の多くは自宅で生活し、その食生活は健常日本人のものと大差がないと思われるからである。それに対し、医学部学生が必須元素・有害元素を含め多くの元素(Na、Mg、Si、Ca、Ti、Fe、Ni、Cu、Zn、As、Sr、Nb、Mo、Hg、Pb)で最高値を占めているのに対し、歯学部学生は同年代であるにもかかわらずそのような傾向はみられない。

一方男性の方は、高校生が最小値を占める元素が多く、それらはNa、K、Ti、V、Cr、Mn、Zn、Se、As、Rb、Hgである。それに対し、Mg、Al、Si、P、Brは高校生が最高値を示している。女性の場合多くの元素で最高値を示した医学部学生であったが、男性に関してはそのような傾向は観られない。

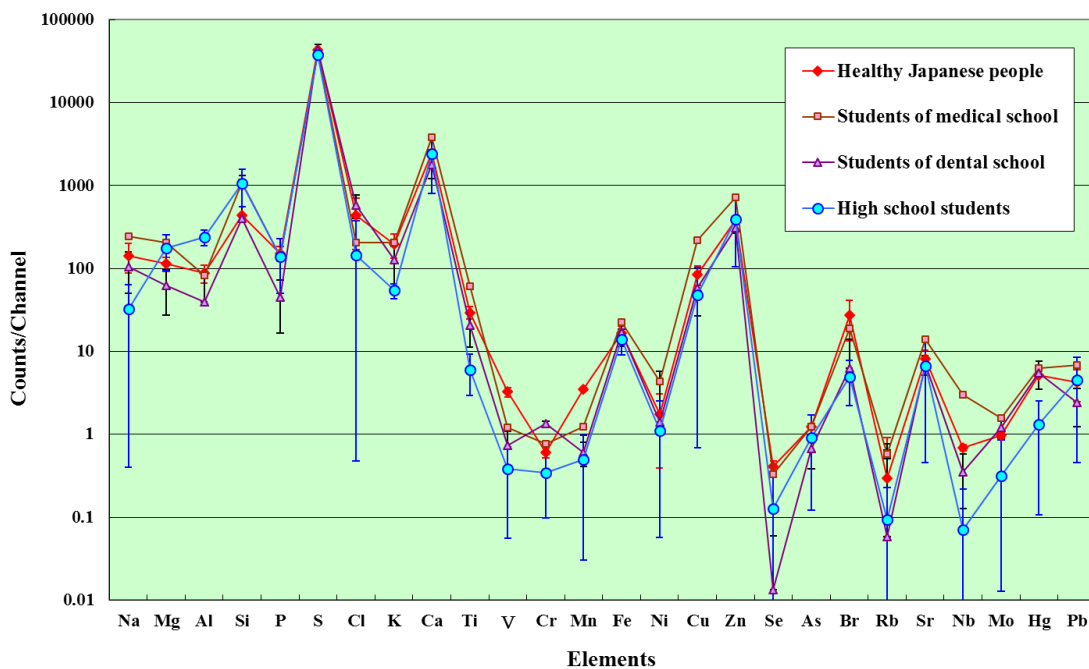


Fig.13 Comparisons of elemental concentration in hair for female living in different circumstances.

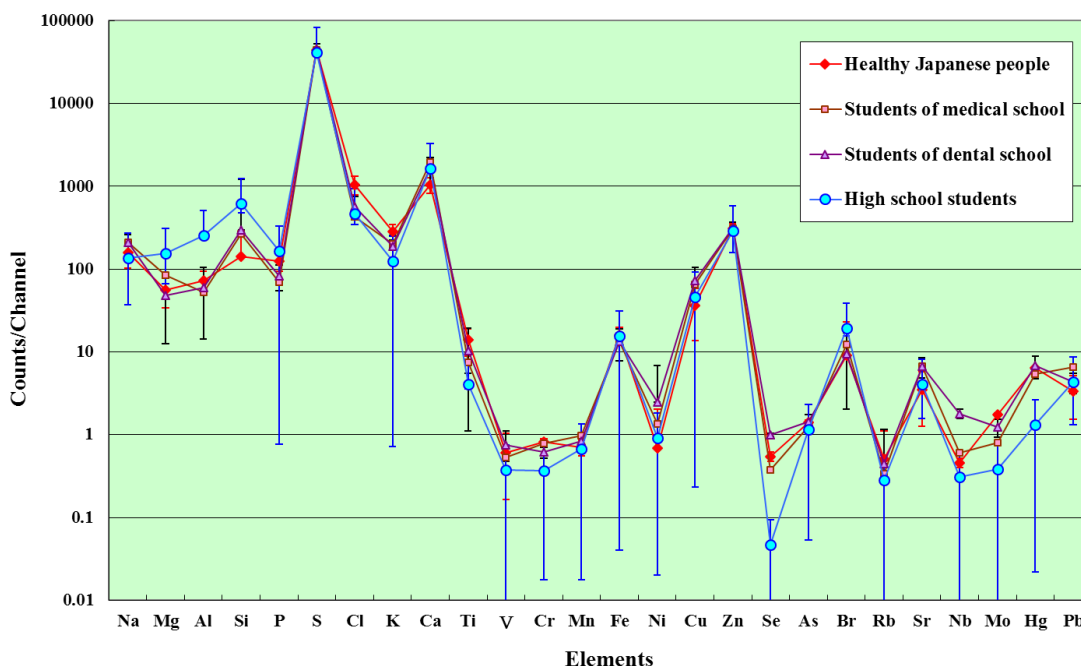


Fig.14 Same comparisons as in Fig.13 but for male.

4 議論

Fig.1 に観られるように、多くの元素が明確な性差を示している。日本では多くの年配の女性、特に対象となった岩手県内陸の女性は家の周辺で働くことが多い。それに対し多くの男性が外で働き、昼食や一部夕食までも外食として摂る機会が多い傾向にある。その結果女性の食生活は安定化・標準化し、男性の食生活は多様化する傾向がある。Fig.1 に示されるように多くの必須元素濃度が女性の方が高く、Pb を除く殆どの有害元素濃度は男性が高い傾向にあるのは、食生活の違いが一因であるものと思われる。また Fig.2 に観られるように、女性の毛髪中 Ca 濃度は男性の 2.6 倍以上であるなど、複数の元素が大きな性差を示し、性ホルモンの影響も受けているものと思われる。

一方では骨内の Ca 不足が原因である骨粗鬆症はほぼ女性に特化されたものであり、発症率は女性が男性の 6~8 倍であると言われている⁸。女性は 10 代半ばから、出産に備え骨に Ca を蓄え始める。それは女性ホルモン：エストロゲンの働きによるものである。しかし更年期になるとエストロゲンの分泌が止まり、女性は骨から血液に Ca を放出し始める。そのため、Fig.2 に観られるように毛髪中 Ca 濃度は 80 代まで高値を保つが、骨中 Ca 濃度は減少し、それが骨粗鬆症の原因となっている。一方、血清中 Ca 濃度には大きな性差がないことが確認されており^{9,10}、毛髪中濃度の大きな違いを説明できない。これらの事実は、血中から毛髪への Ca の集積機構に何らかの男女間の違いがあることを物語っている。また Fig.3、Fig.6 に観られるように、Mg と Zn にも Ca と類似した年齢変動と女性の濃度が高い傾向が確認され、これらの元素の毛髪への集積機構にも性ホルモンが関与している可能性が示唆される。

Fe 濃度に関しては、女性の場合 Fig.4-a に観られるように 30 代に向けて濃度が減少する傾向にある。その時期は妊娠～授乳期と一致しており、胎児の成長や乳幼児への授乳のために母体中の鉄分が減少することに対応している。Fig.4-b に示されるように、1 歳未満の乳幼児毛髪中 Fe 濃度が高い値を示し、それが母体中の鉄分不足に対応していることを示唆している。妊娠から授乳期にかけての鉄分の摂取が女性にとって重要であることが分かる。また Fig.4-b に示されるように、離乳期に入ると年少者の Fe 濃度が低下する事実から、ベビーフード等からの経口食物摂取に切り替わった時点では十分な鉄分が摂られていない可能性がある。一方必須元素である Cu に関しては、男女とも年齢変動は見られずほぼ一

定値が保たれている。

Se は近年注目を集めている必須元素であり、グルタチオンペルオキシダーゼの主成分・活性中心であることが知られている。その酵素活動の活性化を通し、急性心筋梗塞のリスクを低下させ⁹、また悪性リンパ腫の発症を抑える効果があることも確認されている¹¹。さらにその十分な摂取により、泌尿器系癌の発症を抑える効果も報告されている¹²。このように、セレンは健康維持のために本質的な元素であるが、適量範囲が狭く過剰摂取により毒性を発揮する危険性も指摘される。体内濃度が低い個人差が大きい、Fig.7を見る限り大きな性差と年齢変動はないように見受けられる。

Br に関しては、前報⁷により女性が男性より高濃度であり、また女性に対しては長期的・短期的変動も激しいこと、それに対し男性の Br 濃度はほぼ一定していることが確認されている。また以前の研究により、女性の毛髪中 Br 濃度は大きな季節変動を見せ¹³、それは大陸からの PM2.5 粒子中 Br 濃度の季節変動¹⁴に対応していることも確認されている。Fig.8 から、長期・短期の変動をほとんど示さない男性については、年齢による変動も小さく、それに対し女性は大きな年齢変動を示している。これらことから、臭素の呼気による接種後の肺胞から血液への取り込み、血液から毛髪への移行などの機構に性差があり、性ホルモンが関与している可能性が示唆される。

有害元素に関しては、前報⁷の結果から Cr、As、Pb の過去 20 年間にわたる変動が大きく、いずれも増加傾向にあることが指摘されていた。しかし、Fig.9、10、12 に観られるように、年齢変動は殆どないことが分かる。平均値の比較においては、Cr、As、Hg 濃度は、男性の方が高い傾向にある。上で考察したように、我が国の男性の食生活は女性と比べ多様化しており、外食により貝類や他の海産物など重金属濃度が高い食品の摂取機会が多いことにも対応している可能性がある。As による中毒患者は、バングラデッシュ・インドで 3000 万、中国で数百万と言われており、我々もこれら各国の調査研究に参加している¹⁵⁻¹⁸。原因は、井戸水の汚染である場合が多いが、small-scale mining などの鉱山^{19,20}、あるいは鉱山廃坑からの水系への汚染拡散も深刻であり、またわが国でも玉川温泉などの温泉水による広域的水系汚染^{21,22}、飲泉による体内曝露²³ もしばしば問題になっている。しかし腎機能で短期間に排泄できるため、Fig.10 に観られるように加齢による変化は小さい。水銀に関しては、Fig.12 に観られるように特に男性は加齢とともに増加傾向にある。As など腎機能で短期間に排泄できる元素とは異なり、水銀の場合は生物学的半減期が長く、長期間体内に留まり、その結果加齢とともに増加することになる。近年、海外、特にフィリピン、インドネシアなどの東南アジア諸国、またモンゴルなどのアジア諸国において水銀汚染が問題となっている。その理由は small-scale mining において金の精錬を行う際に水銀を用いたアマルガム法が採用され、大量の水銀が環境に撒き散らされている現状による^{19,20}。またわが国においては、寿司などの食文化から、マグロなど大型魚類からの摂取がしばしば問題になる²⁴。

体内元素濃度を反映する毛髪中元素濃度は、このように性別、年齢に依存し大きく変化する。だがもちろん生活環境、特に食生活環境の影響は非常に大きく、前報で触れたように、長期にわたる環境変化を反映する指標にもなりうる。そのため異なる生活環境がどのように反映するか、「3.2 生活環境による差異」において検討を行った。その結果、多くの元素が生活環境の違いを反映する結果となった。一般的に大学生は一人で下宿し、生活も不規則であるため食生活は不安定なものとなる。それに対して高校生は親元から通学し、親の提供する食事を摂っているため食生活は安定している。しかし結果は、高校生は多くの必須元素が不足しているのに対し、大学生の方が十分な濃度値を示した。高校生の年齢が若く成長途上であるという要因もあるだろうが、現在の高校生は親と一緒に生活しているにもかかわらず、バランスの良い栄養摂取がなされていないように思われる。若年層ほど好き嫌いが激しく、自分の好きなもののみを摂取する傾向にあることが反映されている可能性がある。また、有害元素に関しては高校生が最も低い値を示したが、大学生は一般健常者よりも高値を示す元素が多かった。これらの大学生は必須元素も一般健常者よりも高値を示す傾向にあった。一般の学生は経済的にも困窮し生活も不規則である傾向があるが、医大の学生の多くは親が高収入であり仕送りも多く、そのためバランスの良い食事を摂れている可能性がある。また Hg などの有害元素濃度は高級食材に多く、経済的に余裕のあること

が高い有害元素濃度につながっている可能性もある。

Ca、Br の男女差の例でも、毛髪中元素濃度が血中濃度と対応しない場合があることが示唆された。元素の血液からの移行に関しても何らかの性差があり、性ホルモンが関与している可能性が高い。今後、同一人物から同時に採取された血清と毛髪の元素濃度の相関を男女別に調べ、毛髪への元素移行機構の違いについても明確にしたいと考えている。

謝辞

毛髪試料を提供された一般の方々に感謝いたします。共同利用の運営に携わる他の岩手医科大学サイクロトロンセンター、日本アイソトープ協会仁科記念サイクロトロンセンターのスタッフの方々に謝意を表します。

参考文献

1. K. Sera, S. Futatsugawa, K. Matsuda and Y. Miura, "Standard-free method of quantitative analysis for bio-samples", *Int'l Journal of PIXE*, Vol.6-3,4, 467-481, (1996)
2. K. Sera, S. Futatsugawa, S. Hatakeyama, Y. Saitoh and K. Matsuda, "Quantitative Analysis of Bio-medical Samples of Very Small Quantities by the Standard-free Method.", *Int'l Journal of PIXE*, Vol. 7-3,4, 157-169, (1997)
3. K. Sera, J. Itoh, S. Goto, Y. Saitoh, A. Fujimura, Y. Nosaka, Y. Noda, S. Nishizuka, and G. Wakabayashi, "Quantitative Analysis of Very Small Quantity of Organs Taken from Patients and Experimental Animals; Standard-free Method for Organ Samples.", *Int'l Journal of PIXE*, Vol.18 -3, 4, 111-122, (2008)
4. K. Sera, S. Goto, C. Takahashi, Y. Saitoh, K. Kinoshita, and M. Matsumasa, "Quantitative Analysis of Small Bio-Samples of nearly 1 μg .", *Int'l Journal of PIXE*, Vol. 24, No. 1, 2, 161-175, (2014)
5. K. Sera, S. Futatsugawa and K. Matsuda, "Quantitative Analysis of Untreated Bio-samples.", *Nucl. Instr. Meth.*, B150, 226-233, (1999)
6. K. Sera, S. Futatsugawa and S. Murao, "Quantitative Analysis of Untreated Hair Samples for Monitoring Human Exposure to Heavy Metals.", *Nucl. Instr. Meth.*, B189, 174-179, (2002)
7. 世良耕一郎、後藤祥子、細川貴子、高橋千衣子、伊藤じゅん、齋藤義弘、二ッ川章二, "過去 20 年間にわたり健常者より採取された毛髪試料の分析結果 - 1. 元素濃度の長期的変動 -", NMCC 共同利用研究成果報文集, 第 22 巻, (2015) (本報文集)
8. B. L. Riggs, "Pathogenesis of Osteoporosis.", *Am. J. Obstet Gynecol*, 156, 1342-1346, (1987)
9. Y. Miura, C. Itoh, T. Miyakawa, K. Nakai, et al., "Simultaneous Determinations of Trace Elements in Sera of Patients with Acute Myocardial Infarction by PIXE.", *Int'l Journal of PIXE*, Vol. 3-4, 295-300, (1993)
10. Y. Miura, K. Nakai, C. Itoh, M. Satoh, et al., "Trace Elements in Sera from Patients with Renal Disease.", *Nucl. Instr. Meth.*, B 150, 218-221, (1999)
11. 梶山 巖、伊藤伸彦、江尻 剛、社領 聡、古川義宣、二ッ川章二、世良耕一郎, "リンパ腫と食餌中 Se 含量に関する研究 (第一報)", NMCC 共同利用研究成果報文集, 第二巻, 175-178, (1994)
12. Y. Miura, K. Nakai, A. Suwabe, T. Fujioka, K. Matsuda, and K. Sera, "Selenium Concentrations in Renal Cell Carcinoma.", *Int'l Journal of PIXE*, Vol.12-3,4, 145-150, (2002)
13. K. Sera, K. Terasaki, T. Sasaki, S. Goto, Y. Saitoh, and J. Itoh, "Studies on Changes of Elemental Concentration in a Human Body by Means of Analyses of Long Hairs on the Basis of the Standard-Free Method", *Int'l Journal of PIXE*, Vol.19 -1, 2 17-27, (2009)

14. 松本洋平、本間 信、田浦慎太郎、世良耕一郎、高辻俊宏, “大気中浮遊物質に含まれる放射性同位元素と金属元素の関係”, NMCC共同利用研究成果報文集, 第16巻, 138-151, (2010)
15. S. Murao, K. Sera, B. Tumenbayar, N. Sajiaa, and J. Uramгаа, “High Level of Arsenic Reaffirmed for Human Hairs in Mongolia.”, *Int'l Journal of PIXE*, Vol.21-3, 4, 119-124, (2011)
16. Md. Shafiqul Islam, K. Sera, T. Takatsuji, Md. Anwar Hossain, T. Nakamura, “Estimation of Hair Arsenic and Statistical Nature of Arsenicosis in Highly Arsenic Exposed Bangladeshi Village in Comilla District of Bangladesh.”, *Int'l Journal of PIXE*, Vol.21-3, 4, 101-118, (2011)
17. J. Noda, R. Hakamada, K. Suzuki, T. Miura and K. Sera, “Environmental Contamination by Arsenic And Lead in Some Rural Villages In India.”, *Int'l Journal of PIXE*, Vol.25-1, 2, 29-37, (2015)
18. S. Murao, B. Tumenbayar, K. Sera, S. Futatsugawa, and T. Waza, “Finding of High Level Arsenic for Mongolian Villagers' Hair.”, *Int'l Journal of PIXE*, Vol.14-3,4, 125-132, (2004)
19. E. Clemente, K. Sera, S. Futatsugawa and S. Murao, “PIXE Analysis of Hair Samples from Artisanal Mining Communities in the Acupan Region, Benguet, Philippines.”, *Nucl. Instr. Meth., B*219-220, 161-165, (2004)
20. S. Murao, E. Daisa, K. Sera, V. Maglambayan and S. Futatsugawa, “PIXE Measurement of Human Hairs from a Small-scale Mining Site of the Philippines”, *Nucl. Instr. Meth.*, B189, 168-173 (2002)
21. H. Satoh, D. Ishiyama, T. Mizuta and K. Sera. “Characteristics of Thermal Water and Chemical Sediments around Ohbuki Spring and Yukawa Stream from Tamagawa Hot Spring, Akita Prefecture”, NMCC 共同利用研究成果報文集, 第 12 巻, 212-216, (2005)
22. H. Satoh, D. Ishiyama, T. Mizuta, O. Nishikawa, K. Sera and Y. Enda. “Chemistry of Thermal Water and River Water in the Western Area of the Hachimantai, Akita Prefecture, Japan”, NMCC 共同利用研究成果報文集, 第 13 巻, 128-134, (2006)
23. 千葉啓子、岩根敦子、立身政信、佐藤 洋、山内 博、世良耕一郎, “PIXE による温泉水成分および毛髪中元素濃度の分析”, NMCC 共同利用研究成果報文集, 第 8 巻, 162-165, (2001)
24. J. Burger, H. Gochfeld, C. Jeiyner, M. Donio and T. Pittfield, “Sushi Consumption Rates and Mercury Levels in Sushi: Ethnic and Demographic Differences in Exposure”, *Journal of Risk Research*, Vol.17, 981-997, (2013)

Elemental concentration in the hair taken from healthy people
for the past 20 years
-2. Sex-specific differences and changes with age -

K. Sera¹,
S. Goto², T. Hosokawa², C. Takahashi², J. Itoh², Y. Saitoh² and S. Futatsugawa³

¹Cyclotron Research Center, Iwate Medical University
Tomegamori, Takizawa, Iwate 020-0603, Japan

²Nishina Memorial Cyclotron Center, Japan Radioisotope Association
348-58 Tomegamori, Takizawa, Iwate 020-0603, Japan

³Japan Radioisotope Association
2-28-45 Honkomagome, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8941, Japan

Abstract

A standard-free method for untreated hairs has been applied to quantitative analysis of the hairs taken from 1256 healthy people living in the Iwate prefecture, Japan. It was found that there are clear sex-specific differences in the concentration of some elements. Concentrations of many essential elements, such as calcium, magnesium, iron, copper, zinc and bromine, are clearly higher for female. In particular, calcium concentration is 2.6 times higher for female in comparison with that for male. Contrarily, concentrations of some toxic elements such as chromium, arsenic and mercury are higher for male. On the other hand, concentrations of many elements vary with age. Those of calcium, magnesium and zinc start to increase in the middle of teens and reach maximum in the middle of twenties for female. Mercury concentration increases as the ages advance, while those of chromium, arsenic and lead show no clear changes with age. Moreover, hairs taken from university and high school students were analyzed and the results were compared with those for general healthy people in order to clarify differences depending on living environments. As a result, high school students show the lowest values for many essential and toxic elements.