毛髪放射化分析(第8報¹⁾)
毛髪中微量元素含有量に影響する各種要因

狐塚 寛
科学警察研究所²⁾

Activation Analysis of Human Head Hair. VIII.¹⁾
Factors having Influence on the Trace Elements Contents in Hair

HIROSHI KOZUKA
National Research Institute of Police Science²⁾

(Received August 2, 1971)

Concentration distribution histograms for each of trace elements, except Zn and Hg, were constructed by converting their concentration scales to $2^m \times 10^n$, and detailed discussion was made on how the factors such as sex, age, hair length, hair treatment, occupations, locality of donors, and others influence the amount of the main trace elements in hair. The amount of elements Al, Cl, Na, and Hg, was higher in male population and conversely the elements Br, Mn, Cu, Au, and Zn, were higher in female population.

Age dependency was generally not marked but some characteristics, which could be considered due to the short hair and low contamination, were observed in hair from male infant donors.

The sex-dependent non-negligible difference could not be sufficiently explained by the effect of hair length since it was relatively low compared with the sex difference, although the effect was considerably high in some elements.

Hair treated with permanent waving or dying exhibited higher amount of Br, Zr, and Mn, than the normal hair. The effect of permanent waving was observed clearly for 2 months after the hair treatment.

Hair from farmers and fishermen had in general the highest amount of trace elements and hair from office workers had the lowest amount. Hair from technical workers showed intermediate trends between farmers and fishermen and office workers.

From the point of local characteristics, Japanese population were divided into two groups; one of them was north-eastern group which had higher amount of Al, Cl, Na, Br, and Mn, and the other was south-western group which showed conversely higher amount of heavy metals such as Cu, Au, Zn, and Hg. Hair from Tokyo-Kanagawa district had generally lower amount of trace elements, except for higher amount of Zn and Cu.

緒 言

毛髪中微量元素の含有量が、人種や地域、生活環境などにより大きく影響されると考えられるので、わが国における衛生化学的あるいは裁判化学的な問題の考察にあたっては、日本人についての人種的、国家的規模での広範な基礎的調査研究が不可欠であると判断し、前報にお

いて大規模な調査研究を行ない、主要9元素の含有濃度-出現度数ヒストグラムを作成し、各元素の相関性を検討し、さらに諸報告にみられる外国人のデータとの比較を行ない、これらの結果に基づいて2, 3の考察を試みた。この解析により日本人毛髪中微量元素の特質をおおむね知ることができたが、本報においては微量元素含有量に

- 1) 本報の一部は日本薬学会第91年会、福岡(1971)で発表した。第7報: 狐塚 寛, 磯野秀夫, 角田紀子, 丹羽瀬堅, 衛生化学 18, 1 (1972)。
- 2) Location: Sanban-Chō, Chiyoda-ku, Tokyo (東京都千代田区三番町6)。

影響すると考えられる各種の要因について詳細な解析を加え、前報の補足に資するとともに、なお不明な点の多い微量元素の成因の考察に役立てることとした。

実験方法

1. データの変換 前報に述べたごとく、Zn, Hgを除いた各元素の分布ヒストグラムは log-normal 型であったので、ヒストグラムの視覚上の便宜と統計処理の有意性を考慮して、濃度を $2^m \times 10^n$ ppm の形に変換し、ヒストグラムを作成した。したがって m は分布の階級を示し、 n は元素によって一定な値となる。

2. データの解析 このようにして得られたデータ乃至ヒストグラムを基にして、男女差、年齢差、毛髪

域差、その他の要因が毛髪中微量元素含有量に対していかに影響を及ぼすかを考察した。

実験結果および考察

1. 男女性別による差異

さきの予備実験³⁾においても男女差が認められており、また Coleman ら⁴⁾も男女差について報告しているので、ヒストグラムを男女に分けて考察した。

主要元素のうち男に高濃度を示したのは、Al, Cl, Na, Hg であり、Fig. 1, i にヒストグラムを示す。女に高濃度を示したのは、Br, Mn, Cu, Au, Zn であり、Fig. 1, ii に一括して示す。

Fig. 1-i. Sexual Difference in Trace Element Concentration Elements having higher amounts in hair from male donors

Fig. 1-ii. Sexual Difference in Trace Element Concentration Elements having higher amounts in hair from female donors

3) 狐塚 寛, 丹羽瀬賢, 磯野秀夫, 衛生化学, **12**, 187 (1966).

4) R. F. Coleman, F. H. Cripps, A. Stimson, H. D. Scott, Atomic Weapons Research Establishment Report No. 0-86 (1966).

個体差に比べれば小さいが、男女間の差異はかなり顕著であり、微量元素の定量値から男女の性別をある程度推定できるものと考えられる。このような男女差の成因の一部は本質的な生物学的性差によると思われるが、他に作業環境、整髪習慣などの生活環境も影響しているであろう。男女間の差異については形態、整髪などの項でさらに考察を加える。

2. 年 令 差

この調査研究において収集した毛髪試料は、0歳の乳児から84歳の老人までの年齢にわたっており、ほぼ日本人の人口分布に比例した年齢構成であったので、年齢別の要因についても解析を行なった。

成人の年齢特性については、顕著な特徴は見られなかったが、0-14歳の男小児には共通の特徴点がみいだされた。特徴の第一はCl含有量が高いことで、Naの場合にも同様な傾向があった。逆にZn, Hg, Cu, Mn, などの金属元素類に高含量を示す提供者が少かったのも共通した特徴であった。最も特徴的なCl, Hg, Znの3元素のヒストグラムをFig. 2に示す。

これらの原因は、男小児に短髪が多く、整髪料などからの汚染が少ないためと考えられ、男女差における男性

Fig. 2. Characteristic Distributions of Trace Elements in Hair from Male Infants under 15 Years

的特徴が、男小児に象徴的に現われたものである。またCl, Naなどは毛根部に高含量であることを示唆している。女小児の場合にはこのようなはっきりした特徴は見られなかった。

3. 毛髪形態による差異

男女差、年齢差を生ずる原因として、毛髪形態とくに毛髪の長短の影響が考えられたので、形態による差異について考察した。

毛髪の形態的要素としては、太さ、長さ、硬さ、パーマメント処理さらには脱色、染毛などが挙げられるが、毛髪の太さによる分類からは微量元素含有量へのはっきりした影響がみられず、また硬さの判定は主観的要素が強いので考察を省略した。

パーマメント処理などについては次の整髪項で触れることとし、毛髪長による差異について考察を加えた。

解析の便宜上、男毛髪を8cm未満と以上に分け、前者を短髪、後者を長髪とした。また女毛髪を12cm未満12cm以上20cm未満、20cm以上の3群に分類し、それ

Fig. 3. Distributions Grouped with Hair Length and Sex

ぞれ短, 中, 長髪とした. これら5群について, 男女差が比較的顕著な Al, Cl, Na, Mn, Br, Zn 各元素の解析を行なった.

長短差が顕著に認められたのは Cl で, 男短髪で 1000—2000ppm の値が多いのに反し, 女子長髪では 500ppm 以下が多かった.

Zn においてはわずかではあるが長髪に多い傾向がある. しかし高含量の提供者は長短を問わず女に多く, 整髪の影響を示唆する.

Mn では通常値の分布は長短ほぼ等しいが, 10ppm 以上の高濃度は女中長髪に多く, 分布が2山となる. 女子中髪が長髪よりも高い値を示したのは, おそらく整髪の影響であろう. (Fig. 3)

Na 含有量の長短による差異は小さく, 男子ではむしろ長髪に高く, 女子では中髪の場合が極度に少いのが特徴的である.

Al では長短の影響はほとんどなく, Br では女子長髪に短髪より低濃度の率が高かった.

以上各元素の毛髪長による差異を総合すると, Cl に典型的な水溶性元素では, 毛根を通じての体内との交換があり, 短髪に多く含まれる結果を生じるが, Na では外部汚染もあり, 長短差が単純には現われないのであろう. 毛髪先端の金属元素含有量が高くなるという傾向はそう大きなものではなく, 極端に高い含有量を示す場合は整髪など他の要因が作用していると考えられる.

4. 整髪などの影響

整髪のうち関連性のみられたのは, パーマネントウェーブと染毛であった.

さきの経時変動の実験⁹⁾にみられたようなパーマネント処理による Br 量の増加が, 多数試料の調査からも裏付けられた. Br 量はパーマネントをかけた直後に最も高く, 500ppm を越えるものもあり, 時日の経過とともに減量し, 2カ月を越えた試料では一般の毛髪試料との差異は明らかでない. したがって2カ月を一応の基準として, 他の元素の場合にも, パーマネントの影響をみることにした.

Br 含有濃度100ppmを越える毛髪12例のうち, パーマネント処理8例, 非処理4例であり, パーマネントによる影響は顕著であった. しかしパーマネント群でも 100ppm 以下のものが多数あり, かけ方の強弱が影響していると考えられた.

300ppm 以上の高 Zn 含量を示すもの 17 例のうち, パーマネントウェーブをかけているもの 9 例, うち毛染 4

例であった. 非パーマ群 8 例は Br に比べて多いが, この中には長髪のもが多く, 毛髪成長過程においてとりこまれた Zn の沈着蓄積が原因と解釈される.

Mn 含量 6ppm 以上の高濃度27例のうち11例がパーマネント群であり, より長期経過のものを含めると18例に達する. パーマネントをかけていないものでは, 農業系職業の長髪者が多かった.

パーマネント, 毛染の影響が顕著であったのはこれら3元素で, Br に比較すると, Mn, Zn では関連性はやや薄いと思われる. Br はパーマネント処理液中にブロム酸塩として高濃度に含有され, これが毛髪内にとりこまれることに帰因し, Mn や Zn はパーマネントや毛染液に存在しても不純物程度であり, むしろこれらの処理により受ける毛髪の形態的損傷, あるいは化学変化に関連して蓄積量が高められるという副次的変化によることから考えれば当然の結果といえよう. Cu, Au などでも影響が疑われたが, 明らかではなかった. 顕著な影響のみられた3元素について, パーマネントまたは毛染の有無と高低濃度群の相関関係を Table I に示す.

TABLE I. Increase of Trace Elements by Waving or Dying Hair

	Zn		Mn		Br	
range (ppm)	<300	≥300	<6	≥6	<100	≥100
normal hair	181	8	149	16	184	4
waved or dyed	32	9	30	11	33	8

Figures in the table mean the frequencies belonging to the concentration ranges.

5. 職業による差異

職業の分類は大別して事務職, 技術・技能職, 農漁業職とした. 3者の人口比は事務職が若干少数であったが概略1/3ずつの構成であった. 家族や女子作業者を含めると職業特性が不明瞭になるので, 直接作業に従事する成人男子のみを対象として特性をしらべた. 結果を Fig. 4 に示す.

全般的に農漁業系作業者と事務系作業者は対照的であり, 技術系作業者は両者の中間に位する場合が多かった.

個々の元素については, Cl, Na, Al, Mn の4元素で農漁業系が最高を示し, 事務系と比べて, 平均値で2—4倍の高含有量になる. 技術系はほぼ両者の中間の分布を示すが, Mn ではむしろ事務系より低濃度のものが多かった. Br では職業差はほとんどみられず, Cu, Au, は例数が少いために分布を省略したが, 顕著な職業差は

Fig. 4. Occupational Characters of Trace Element Concentration in Hair

認められなかった。Hg, Zn では職業差は大きくはないが、農漁業系の値がやや高目であり、技術系も事務系より高く、むしろ農漁業系に匹敵している。

以上の職業特性の成因は、家族を含めた場合には特徴が不明瞭になったことから考えて、おそらく主として作業環境によるものと思われる。この推論は、特定の職業人毛髪中に金属元素の含有量が高いという現象、たとえば Hg 研究者、Se 工場作業者、メッキ工にそれぞれ Hg, Se, Cr が多いとの報告^{6,7)}からも裏付けされる。

6. 地域差

各地方別にして20—30程度の標本が含まれたので、地方単位にして地域性を考察した。なお東京・神奈川地区は例数も多く特殊性がみられたので独立単位とし、他の関東諸県と分けて解析した。

Al では北海道が最高で、四国、九州、東北、関東がこれに次ぐ。東京地区から近畿、中国までは大差がなかった。農業系に高 Al 量を示す傾向に類似しているが、一致しない点もあり、若干の地域性があると考えられる。

Cl 量は北海道、東北、北陸方面に高く、関東、中部地区を境にして西へ向うほど低い。四国が最低値であり中国、九州がこれに次ぐ。典型的な北高南低型である。

Na 量は地域性が明瞭でなく、中部、東北が最高、北海道、関東と続き、中国、四国が低く、九州がわずかに高い。東京地区が低い値を示したのが特徴的であった。

Br 量は北海道、東北、関東が高く、北高南低型であったが、中国地方は特異的に高く、北海道、東北に次ぐ値を示した。

Mn 量の地域特性はかなり特殊であり、東北が最高、四国が最低であったが、東北、関東、中部、近畿、九州が高いグループ、北海道、東京、中国、四国が低いグループと2群に分けられた。

Cu は東京、中部、近畿、中国などに高く、北海道、東北、四国では少なかったが、検出例が少数の地区もあり、詳しいことは論じられない。Au では、中部、近畿から九州と日本西部に多いが、Cu と同様例数が乏しいので断定できない。

Zn では差異は小さいが傾向は顕著であり、北海道が最低で九州が最高値を示す。ほぼ北から西へと高くなるが、東京地区はかなり高く、四国では地域順より低い値である。

Hg 量では、北海道が最低で九州が最高を示すが、差は大きくない。本州各地は平均しているが、関東、北陸、中部、近畿がやや高く、東北、東京、中国地区が低目である。

その他各県ごとなど小地域での地域性もあるかもしれないが、たとえば新潟県では含有元素量が比較的高く、高知県は低いといった特殊性も一部にみられたが、標本数が少いので詳述は避ける。

以上の傾向を総合的に考察すると、Al, Cl, Na, Br, Mn などの含有量の高い関東以北の東北型と、逆に Cu, Au, Zn, Hg などが高い中部以西の南西型に大別できる。東京地区では Zn, Cu が高く、他の元素は低い値を示したので、これを一群として分類した。これら3群の元素含有量の傾向を Fig. 5 に図示した。縦軸は全国平均を1としたときの相対比で表わした。

Coleman ら⁴⁾はイギリスにおける調査の結果、地域性は大きくないと報告しているが、日本は東北から西南に細くて長い国土を有し、生活様式や生活環境の差異もあり、社会開発の程度も影響して若干の地域差を生じたと解釈される。

地域差を生じた大きな要因は、おそらく食物と水質によるものであって、世界各地のデータにかなりの差異が

6) 星野乙松, 丹沢瑛子, 長谷川嘉成, 浮田忠之進, 衛生化学, **12**, 90 (1966).

7) A. K. Perkons, R. E. Jervis, Paper ICAA-II/54.

Fig. 5. Local Characters of Trace Element Concentration in Hair

The "Ratio" means relative value of each district to the average of total Japan which is therefore equal to 1.0.

North-eastern district
South-western district
Tokyo-kanagawa district

認められること,¹⁾ 同一家族の値に類似性が高く,²⁾ 生活の場が異なるときは差異が大きいこと,³⁾ 留学生毛髪中の Hg 含有量の変動調査,⁴⁾ イギリス人に Ca 量の高いことおよび Ca 量の地域性の示唆⁴⁾ などは、いずれもこの推論を裏付けるものである。

この研究においては、もっぱら巨視的な立場からの地域性を考察したが、より微視的な検討を加えればさらに特殊な地域性がみいだされることは十分予想される。したがって衛生化学的な目的の調査などに際しては、地域性を十分考慮に入れた背景資料を用意する必要がある。

つぎにこの解析資料を根拠にして、特定人の毛髪分析から個体の居住地が推定できるかについては、ある程度の推論の材料にはなると思われるが、個体差や他の因子が複雑に関与しているため、信頼性の高い推定はむずかしいであろう。

7. その他の要因

毛髪中微量元素の本質的要因として、食物が主要な役割を果たすことは容易に予想されたので、本研究の調査資料に基づき、米食、パン食の別、副食の嗜好性、飲酒の有無、量、喫煙の有無、本数などについて微量元素含有量への影響を考察したが、格別の差異はみられなかった。この結果は決して食物による内的要因を否定するもの

ではなく、調査資料が不満足なものであったためと、食物に由来する因子が複雑なために、単純な結果を示さなかったと解釈するのが妥当であろう。

水質も内的外的両方の因子として大きな影響があると考えられたが、本調査資料の解析からは特別の示唆は得られなかった。この結果も食物の場合と同様因果関係を否定するものではない。その他薬物の影響と考えられる結果も 2—3 認められたが、薬剤使用例が少数であったので詳細を論ずることはできなかった。

総 括

1. 前報で報告した日本人毛髪中微量元素含有量のデータを基にして、Zn, Hg を除く他の元素の含有濃度を $2^m \times 10^n$ の形に変換したのち、ヒストグラムを作成し、男女差、年齢差、毛髪の形態による差異、整髪などの影響、職業による差異、地域差、その他の要因が、毛髪中微量元素含有量にいかに関与を及ぼすかを考察した。

2. Al, Cl, Na, Hg は男に高濃度であり、Br, Mn, Cu, Au, Zn は逆に女の方に高い。

年齢特性は顕著でないが、男小児に短髪と低汚染などに由来すると考えられる特徴がみられた。

毛髪長による差異は一部元素に顕著であったが、男女間の差異に比べて小さく、そのすべてを説明できるほど大きくはなかった。

パーマメントまたは毛染使用群では、Br, Zn, Mn などの高濃度のものが多かった。パーマメント整髪の影響ははっきり認められたのは約 2 カ月までであった。

職業特性では、全般的に農漁業系の元素含有量が高く事務系が最低、技術系は両者の中間に位する場合が多かった。

地域差としては、Al, Cl, Na, Br, Mn などの含有量の高い東北型と、逆に Cu, Au, Zn, Hg などが高い南西型に大別できる。東京・神奈川地区は Zn, Cu が高く他の元素は全般的に低目の特殊型であった。

謝辞 一連の本研究に当り、種々御激励、御助言をいただいた東京大学薬学部、浮田忠之進教授に深く感謝致します。

なお本研究に際し終始御激励下さった科学警察研究所長、古畑種基博士、実験に御協力、御示唆をいただいた丹羽瀬賢博士、池本卯典博士ならびに磯野秀夫氏、角田紀子嬢に厚く謝意を捧げるとともに、実験施設の便宜を供された東京原子力産業株式会社、毛髪試料提供者の方々、試料収集に協力された各都道府県警の諸氏に感謝致します。

8) 星野乙松, 丹沢圭子, 寺尾允男, 浮田忠之進, 大内淳弘, 衛生化学, 12, 94 (1966).