



Title	ひと毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度：ひと毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度の性状、とくに放射線照射効果の個体特異性について
Author(s)	浅井, 卓夫; 庄野, 吉彦
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1971, 31(9), p. 1034-1047
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/17405
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

ひと毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度

(ひと毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度の性状、とくに
放射線照射効果の個体特異性について)

大阪府立放射線中央研究所

浅井 卓夫 庄野 吉彦

(昭和46年10月10日受付)

Electron spin resonance spectra intensity of the human hair—Studies on the characteristics of E.S.R. spectra intensity of the human hair, especially the individualities of radiation effects.

By

Takuo Asai and Yoshihiko Shono
Radiation Center of Osaka Prefecture

Research Code No.: 400

Key Words: Hair Melanin, E.S.R., Radiation Effect

Some authors (Commoner, Blois, etc.) reported that the origin of paramagnetism in melanin arises from free radicals trapped in the polymer and stabilized. In other expression, the E.S.R. spectra of melanin reflects the molecular structure of melanin, on the whole. This conception was the start of this study.

Establishing any suitable grades and classify the E.S.R. spectra of melanin, the differences of molecular structure also may be distinguished into corresponding numbers of grades established. And success or failure of above mentioned presumption may only be verified by the demonstration of systematic arrangement among the distinguished results.

E.S.R. spectra intensity of hair was measured for each individual because there are no obstacles in the hair to take out the spectra of melanin itself. And if the presumption above were right, each of numbers of E.S.R. spectra would mean, at the same time, the specified structure differences of melanin molecule.

Consequently, the characteristics of E.S.R. spectra intensity of the human hair were demonstrated as follows:

- 1) individually specific to some extent,
- 2) unchangeable through life,
- 3) hereditary determined, and
- 4) constitute a characteristic feature for each different populations.

Together with the values of these findings, more valuable fact is that, the systematic arrangement

in the E.S.R. spectra intensities of the hair proves the rightness of the beginning presumption.

Further, by irradiation of $^{60}\text{Co}\gamma$ ray—(A): not irradiated, (B): $2 \times 10^4\text{R}$, (C): $2 \times 10^5\text{R}$, (D): $2 \times 10^6\text{R}$, (E): $2 \times 10^7\text{R}$ —dose-effect relationship curve was made and named as “Electron spin resonance spectra intensity curve”. Comparing these curves of each individuals, the structural difference of the hair melanin was so clearly defined at every subject that it may be mentioned as almost individually characteristic feature. From the view point of radiation effects, it may be said that the radiation effects depend upon the differences of molecular structure of melanin.

メラニンの化学構造については、天然メラニンはもとより合成メラニンについても、いまだ定説はない。メラニンの構造とその生成機序について広汎な研究を行なつた Nicolaus ら⁶⁾は、動物メラニンを分解して2種のインドール・キノンと5種のインドール・カルボン酸をえて、天然動物メラニンはこのようなものから成つた“highly irregular co-polymer”であろうとしている。要は従来いくつかの合成メラニンを通じて考えられてきたような比較的簡単なモノポリマー構造ではなく、天然メラニンは非常に複雑な高分子物質であろう。

各種天然メラニンの電子常磁性共鳴吸収の観測は Commoner ら⁵⁾にはじまつたが、この常磁性の起原については諸説がおこなわれ Blois ら⁴⁾は、合成メラニンと、ひと毛髪をも含めたいろいろの天然メラニンの電子常磁性共鳴吸収に関して深く検討した結果、その常磁性の起原については Commoner らの当初の考え方を支持して、ポリマー内に捕捉されて安定となつた free radical にもとづくものとした。すなわち分子構造全体に係る現象と考えられたわけである。物理・化学的研究にはかく若干の進展をみているが、天然メラニンについての生物学的側面、とくに電子常磁性共鳴吸収という現象を介しての接近には見るべきものがない。

毛髪は人体試料のうち最も採取しやすいもの一つであり、またこれにはメラニンの他に常磁性物質は共存しないので、常磁性の測定については混在する物質に対する顧慮を要せずにメラニンの本質に迫り得る利点がある。また抽出など一切の破壊的手段を経ずしてメラニンという生体高分子の“なま”のままの応答を期待し得るのは、電子

常磁性共鳴吸収による毛髪メラニン研究の特徴といつてよいであろう。

さて、毛髪の電子常磁性共鳴吸収がメラニンの分子構造そのものの反映であるならば、その応答をいくつかに段階わけすれば、逆にすくなくともその段階の数だけメラニンの分子構造を分別することができることになる。このように考えて、この段階わけの手段として電子常磁性吸収強度を取りあげたのである。個体ごとに測定した、ひと毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度について、その生物学的意義を追究した結果を、以下の前半においてはその性状について、後半においては放射線照射効果について述べる。

1. ひと毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度の性状について

1—(1) 材料および方法

ひとの黒色毛髪を用いた。被検毛髪としては、なるべく頭皮に近い頭髪—この理由については 2—(1)—b を参照—を 50ないし 70mg ていど採取し、白髪を混じているならば完全に除去する。約24時間石けん水に浸漬したのち充分に水洗し、室温で 2, 3 日乾燥する。つぎに鋏にて細切り乳鉢中にて粉碎し、その 25mg 前後をとつて外径 4 mm 弱の石英ガラス製測定管に入れて測定に供する。採取より測定までの期間はあまり長期にわたることは好ましくない—この理由については 1—(2)—b, 2—(1)—aなどを参照されたい。

電子常磁性共鳴吸収の測定は日本電子株式会社製 JES-3BX 型電子常磁性共鳴吸収測定装置を用い、常温、常圧にて実施した。

同一条件で測定した被検試料のスペクトラム (Fig. 1) は、すべてほぼ同じ形であるので、各

Fig. 1. Typical ESR spectra of the black hair.



Tab. 1 ESR spectra intensities as the subject grow older. (Unchangeable in spite of advance in year.)

Case	Sex	Age	Lapse of Time (Year)	($\times 10^{13}$ spins/mg) Intensities of ESR Spectra
1.	Male	26—30	4	11.8—12.8
2.	Male	32—36	4	10.7—14.0
3.	Male	49—51	2	18.0—20.0
4.	Female	2—3	1	4.7—5.0
5.	Female	3—7	4	4.5—8.6
6.	Female	4—8	4	13.0—10.3
7.	Female	4—8	4	16.7—19.0
8.	Female	4—8	4	19.1—19.0
9.	Female	25—29	4	5.3—5.0
10.	Female	27—31	4	14.0—14.7
11.	Female	31—33	2	19.5—18.0
12.	Female	32—36	4	10.7—14.0

試料が示すスペクトラムの相対的強度を以て強度表示とした。DPPHで較正した結果では各値に 10^{13} を乗じた値がほぼその試料のスピニ数となる。

測定にあたつては、一試料について連続して5回くりかえして測定し、終つてのち試料をとり出して秤量し、1mgあたりの数を算出する。この5回の値を算術平均したものを該試料の強度として以下の考察に供した。したがつて単位としては 10^{13} スピニ数/mgと考えてよい。細部は、附記1を参照されたい。

1—(2) 結果

初めに検討したところからは、ある個体の毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度がその個体の加令に伴つて変化するものか否か、毛髪を採取してのち測定するまでの期間・保存状態によつて差を生ずるか、毛髪の色度と電子常磁性共鳴吸収強度とは関連性があるか、といつた諸点である。

1—(2)—a. 個体の加令に伴う毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度の変化の有無

Tab. 1 に、12の個体について、それぞれ或る程度の期間をへだてて2回毛髪を採取し、個体ごと

にその2回のあいだに差があるかどうかを検討した結果を示している。採取の間隔は1ないし4年であつて、必ずしも充分に永いとはいえないが、幼年期の数例にとつては、毛髪をも含めて外見上の差異は大きい時期でもあり、一応は充分とみてよい間隔であろう。12例すべてについて、前後2回の値の間には技術的誤差以上に大きいひらきは見られない。

1—(2)—b. 毛髪の保存期間、保存状態による電子常磁性共鳴吸収強度の変化

毛髪を採取し、空気中・室温において保存した場合の電子常磁性共鳴吸収強度の推移を14例についてみた。結果はFig. 2のごとくで、保存期間は1年半ないし5年と区々ではあるが例外なく減少を示している。減少の割合は個体ごとに若干のちがいがあるようみえる。またFig. 3には、4年にわたり室温の静止水中に浸漬して保存した2例について、それぞれ空気中・室温に保存した場合と対比して図示した。すなわち、水中保存では空気中に保存した場合より減少の度が大きい。

1—(2)—c. 個体の加令につれて、異つた年令ごとに採取し保存しておいた毛髪試料を、一時期にまとめて測定した場合の電子常磁性共鳴吸収強度。

Fig. 2. Decrease of ESR spectra intensity after storage in the air.

*: Lapse of time (Year). **: Age. ●: Male.
○: Female.

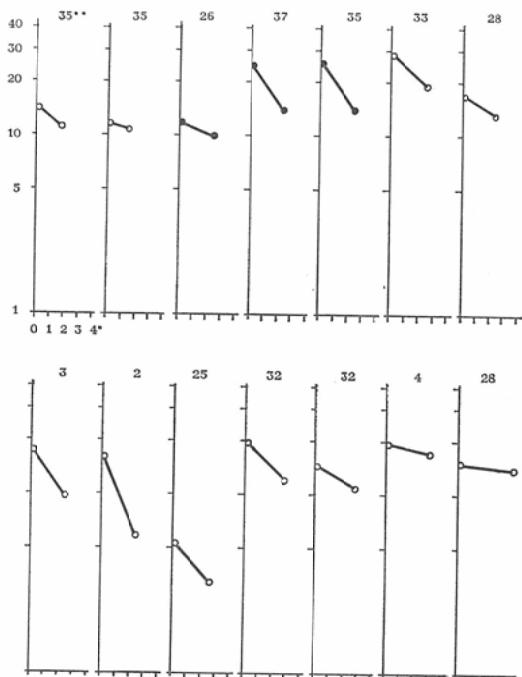
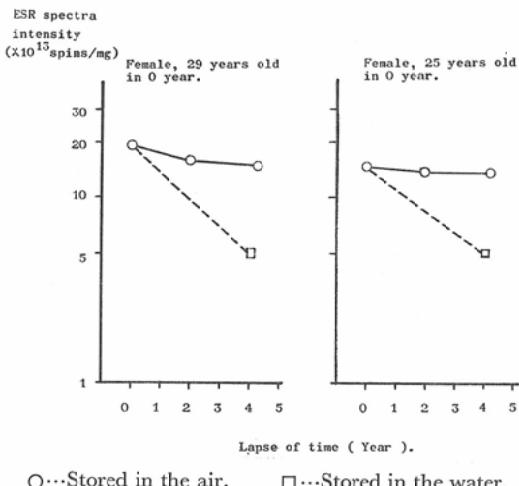


Fig. 3. Influence of storage conditions on the ESR spectra intensity.

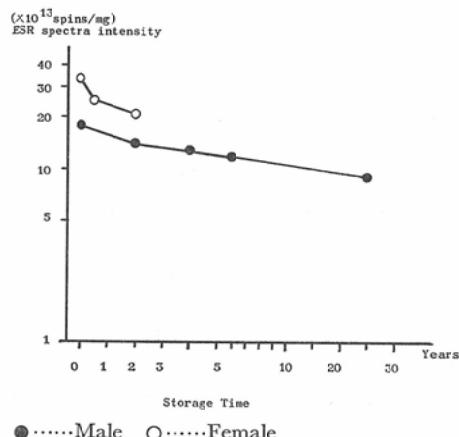


ある個体が次第に年をとつてゆくにつれて、異

つた年令期ごとに次々と毛髪を採取しておき、空気中・室温で保存し、一定の時期にまとめて測定したものである。前述の2項の場合とちがつて測定はある時期に連続して行なうことができるので測定誤差も小さくなる。

25年にわたり5試料を採取した例、2年間に3試料をとつた例の二つをFig. 4に示している。保存期間が長くなるにつれて減少の度は大きくなつてゆくが、また減少の程度は初めに大きく、のち次第に小さくなつてゆくようにみえる。

Fig. 4. Changes of the ESR spectra intensity of the hair, which were taken at the different age of each subjects and stored in the air. Measured in 0 year.

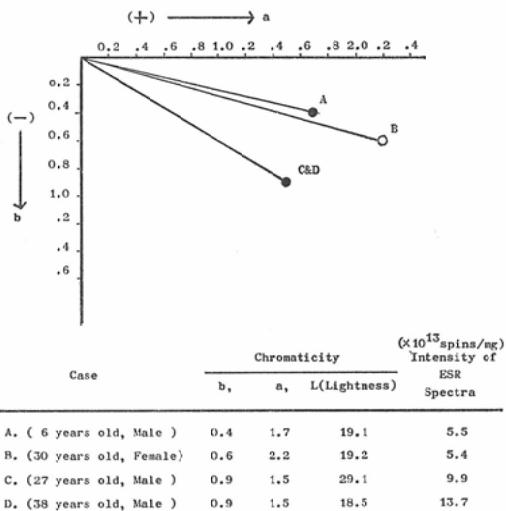


1—(2)—d. 毛髪の色度と電子常磁性共鳴吸収強度との関係

黒色毛髪の視認上の黒さの程度と、その電子常磁性共鳴吸収強度とは一般的傾向としては関連性があり、黒さが黒いほど強度も大きいと言える。しかしこれは一般的傾向としていえるのみであつて、個々の例にはそのまま妥当するものではない。

Fig. 5は被検例A・B・C・Dの四名について、それぞれの毛髪試料の彩度を色度図に示したものである。a, b両軸の交点は無彩色を、交点よりa軸方向に遠ざかるにつれて赤色調の増加を、b軸方向に遠ざかるに従つて青色調の増すことを

Fig. 5. Chromaticity diagram of the hair samples (above). Chromaticity values and ESR spectra intensities are shown in the table below.



示し、また交点に於て紙面に垂直に明度軸がありその値（L）が大となるほど黒色に近づくこととなる。

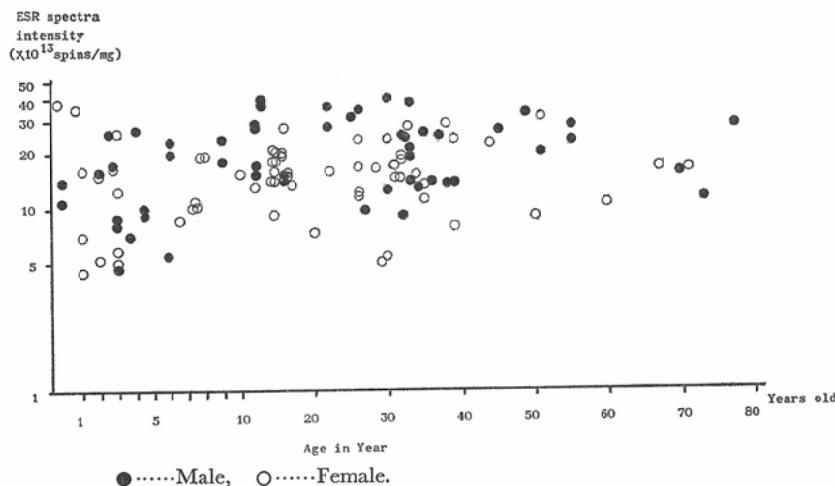
カラーマシン株式会社製の色差計を用いて測定した測色諸元と、各例の電子常磁性共鳴吸収強度とを図の下に表示しているが、AとBとを比較すると明度は両者とも殆んど同じで赤色調はBがま

さり、BはAにくらべて黒色度は劣るにかかわらず電子常磁性共鳴吸収強度にはほとんど差がない。一方、CとDとをくらべると、明度はCの方が著しく大きく、他は両者同一であつて視覚上の黒さはCがまさつているにかかわらず電子常磁性共鳴吸収強度は逆にDの方がずっと大きい。このように個々の例についてみると毛髪の黒色度と電子常磁性共鳴吸収強度とは必ずしも関連しないことが判る。

さらにFig. 4にもどつて、そこに示している25年間に5試料を採取した例について述べると、これは25才より50才に至る間のものであつて、容易に考えられるように初期の試料は漆黒であるのに對し終りころのものは灰色に近い。しかしこれら毛髪試料の電子常磁性共鳴吸収強度をみると、これらの色彩の変化に伴つた影響は全くなく、單に保存期間の長短による漸移的な推移がみとめられるのみである。この事実も毛髪色度と電子常磁性共鳴吸収強度との間に直接的な関連性のないことを見している。

次に、ある個体の毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度と他の個体のそれとのかかわりあい、いはば多少とも集団としての事象にふれたい。すなわち、性別・年令別の分布、遺伝、民族、地域による差

Fig. 6. ESR spectra intensity of the black hair. (114 Japanese).



異の有無といった事がらについてである。

1—(2)—e. 日本人毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度の性別・年令別分布。

生後1カ月から77才までの日本人男女114例(男:52, 女:62)についての、性別・年令別にみた毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度の分布をFig. 6にかかげている。これについては一部はすでに発表²⁾したが、さらに被検例を追加したものである。血縁関係・居住地域は顧慮されていない。全体を通覧するところ、年令差はなく、性別については男性の値は女性のそれより高い傾向があるがわかる。

1—(2)—f. 毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度の遺伝

さきに一部報告²⁾したが、さらに被検例を増した結果を次に要約する。

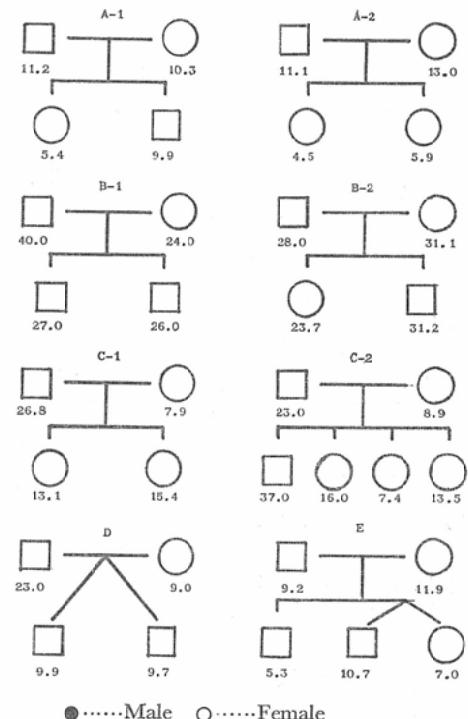
親と子：親と子の値には次のような関係がある。Fig. 7にはその若干例を示している。

i) 相互に近い値を持つ両親の間に生れた子は両親に近い値を示す(A-1, A-2)。

ii) 両親の値がはなれている場合には子の値は両親の値の中間、あるいは両親のいづれが一方の値に近い値を示す(B-1, B-2, C-1, C-2)。

(上記の原則は、一卵性双生児を有する家族—

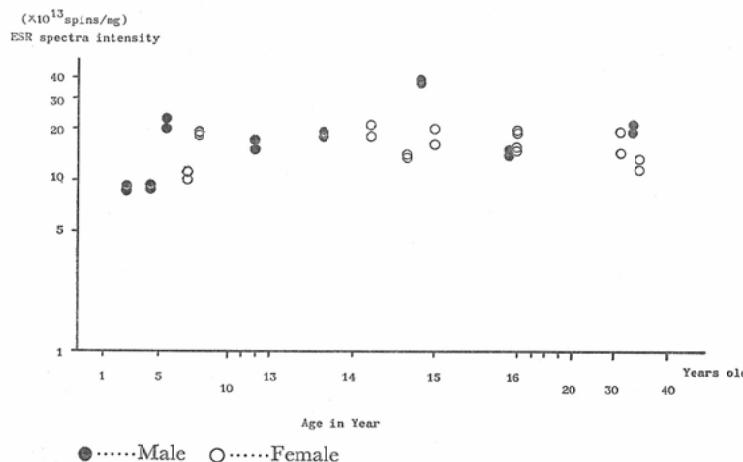
Fig. 7. Parent-Child corrélation in ESR spectra intensity of the hair. (Numbers under sex-symbols indicate ESR spectra intensity.)



●.....Male ○.....Female

D-1, 二卵性双生児を有する家族—E-1のいづれにもあてはまる。)

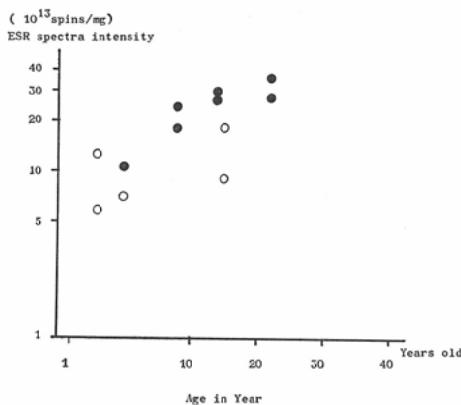
Fig. 8. ESR spectra intensity of the hair in 16 pairs of identical twins.



一卵性双生児：一卵性双生児の示す値は、常に相互に著しく近似している。16組の一卵性双生児例についてFig. 8に図示した。

二卵性双生児：二卵性双生児を有する家族の例はFig. 7 (E) に示しているが、この例にも見られるように二卵性双生児相互の値は必ずしも常に近似してはおらず、通常の兄弟姉妹の間のそれと変わらない。二卵性双生児6組についてはFig. 9に示しているが、このうち同性の一組（男）のみは非常に近似した値である。このようなことは両親の値が近いときには当然におこり得るわけであり、他の因子が明らかにないを現わしていないならば、この組が二卵性双生児であるか一卵性であるかを判別することは、このままでは困難である。このような場合に電子常磁性共鳴吸収強度の測定のみによって判別する方法については2—(4) を参照されたい。

Fig. 9 ESR spectra intensity of the hair in 6 pairs of fraternal twins.



本項をまとめると、親と子との毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度の間には規則性があり、一卵性双生児相互の値は常に著しく近似しているが、二卵性双生児においては近似性は通常の兄弟姉妹のそれと異なる。要するに毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度には遺伝関係が認められる。

1—(2)—g. 毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度の民族・地域差³⁾。

遺伝の認められる形質が民族・地域により発現

頻度をことにする例は多く、人類学の有力な研究手段の一つとなつてゐることは周知のことである。次に、日本人・台湾住民およびボルネオ原住民について、それぞれの毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度を比較した結果を略記する。

被検者は次のとくである。

日本人については二つの地域を対象とした。一つは大阪を中心とする日本のほぼ中央部の出身者、他の鹿児島県出身者で同県川辺郡笠沙町の住民を主体としている。この両地域の被検者は相互に血縁関係のみとめられない者のみとした。

台湾住民としては、中国由来の二群すなわち、古来中国南部より台湾に移住していた人々と、第二次大戦後に中国大陆から移った人々との二つ、および台湾原住民で、前二者は台北市ならびにその近郊の居住者であり、台湾原住民は屏東県三地門のパイワン族である。

ボルネオ原住民としては、サラワクのクチンに近いシムンジャン地区ムンガアイ区に住むイバン族を以てした。

上のような各民族・地域別の、毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度を男女別に表示すると、Tab. 2のようである。すなわち、長期にわたつて生活環境を異にしても出自を同じくする中国由来の二群の値はきわめて近く、起原を同じくするといわれるボルネオ・イバン族と台湾パイワン族のそれも可成り近い。日本人は日本中央部住民・鹿児島出身者との間に有意の差はない。すなわち、毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度は、遺伝形質の例にもれず民族ごとの特異的な分布を示している。

1—(3) 小括

ひとの毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度を多数の人々について測定すると、その値は年令に関係なくかなり区々な分布となるが、一般的の傾向としては男性の値は女性のそれよりやや大きい。

親と子、一卵性双生児および二卵性双生児の間の関係から、毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度は遺伝するものであることが判明し、民族や地域ごとの偏りのある事実も見出された。

また、この値は同一個体については年令に伴つ

Tab. 2 ESR Spectra intensity of the hair for different populations.

Pupulation	Sex	Numbers examined	Average value of ESR spectra intensity ($\times 10^{13}$ spins/mg))
Japanese who came from the middle part of Japan, centering around Osaka.	Male	(13)	20.9 \pm 8.8
	Female	(13)	15.3 \pm 7.1
Japanese came from Kagoshima Prefecture, the south western end of Japan.	Male	(11)	24.9 \pm 9.5
	Female	(10)	19.1 \pm 6.5
Inhabitants in Taiwan from old days. (Offsprings of emigrants from continental China.)	Male	(14)	19.7 \pm 4.7
	Female	(13)	14.1 \pm 5.8
Inhabitants in Taiwan who removed from Mainland China after the World War II to Taiwan.	Male	(19)	16.4 \pm 5.3
	Female	(16)	13.9 \pm 4.2
Taiwan native people living in San Tei Men, near from Pinton.	Male	(4)	33.0 \pm 5.9
	Female	(6)	24.5 \pm 4.2
Bornean native people (Iban Tribe) living in Kampong Munga-Ai, Simunjan District, Sarawak.	Male	(20)	36.5 \pm 9.5
	Female	(11)	24.5 \pm 5.3

て変化することなく、また、毛髪の色度とも直接の関連性はない。採取した毛髪を長期間にわたって保存してから測定すると、保存状態が同じであれば、電子常磁性共鳴吸収強度は保存期間に応じて減少する。

如上の諸事実から、毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度は秩序を持つた値であつて、ある程度まで個体特異的かつ不変の性質を持つものと考えられる。

2. 毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度に及ぼす放射線照射の影響

1—(3)に述べたように、毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度は、ある程度まで個体特異的と考えられるが、1—(2)—eにみたように日本人についてのその値の上・下限は大体のところ5ないし50であり、技術的な制約から個体差として識別される段階の数は多くみても30ないし40にとどまるとすれば、ある程度まで個体特異的とはいっても、その精度はごく低いとはいわざるを得ない。このように毛髪になんらの処理をも加えないで測定する、いわば静的な測定のみからでは識別能に限界がある。そこで次には、動的な測定とでも言うべき方法—放射線をいろいろな線量にて照射し、線量と電子常磁性共鳴吸収強度を以てする線

量効果曲線（以下、毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度曲線という）で示すこと一をとりいた。毛髪試料に放射線照射を加えると、線量が充分に大きくてメラニンを全く分解してその常磁性を失わせるほどでない限りは、その常磁性は維持されており、メラニン以外の物質に放射線照射によって生じた不安定な遊離基は、常温の大気中にある程度以上の時間放置したおけば容易に消失するので、照射された毛髪試料の電子常磁性共鳴吸収は、照射によって変化したメラニンの分子構造をのみ反映している理である。

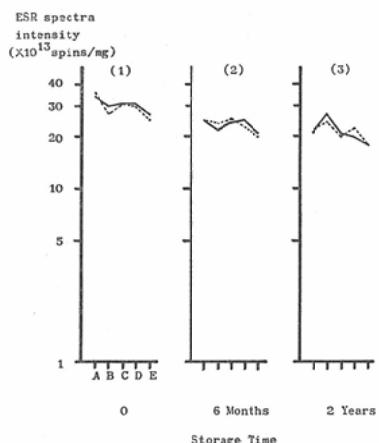
2—(1) 方法の補足

放射線照射は ^{60}Co γ 線により、試料は紙包みとして常温・常圧の大気中にて行なつた。照射線量は、 $2 \times 10^4 \text{ R}$, $2 \times 10^5 \text{ R}$, $2 \times 10^6 \text{ R}$, $2 \times 10^7 \text{ R}$ の4段階とし、電子常磁性共鳴吸収強度曲線は縦軸には電子常磁性共鳴吸収強度の値を、横軸には縦軸に近い方から非照射 (A), $2 \times 10^4 \text{ R}$ (B), $2 \times 10^5 \text{ R}$ (C), $2 \times 10^6 \text{ R}$ (D) および $2 \times 10^7 \text{ R}$ (E) の各線量をとつて表示した。

2—(1)—a. 毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度曲線の再現性

さきに、1—(2)—b, 1—(2)—cにそ

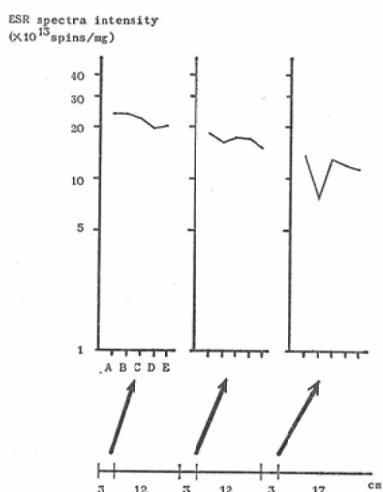
Fig. 10. Reproducibility of ESR spectra intensity curve.



A: Not irradiated, B: 2×10^4 R, C: 2×10^5 R,
D: 2×10^6 R, E: 2×10^7 R.

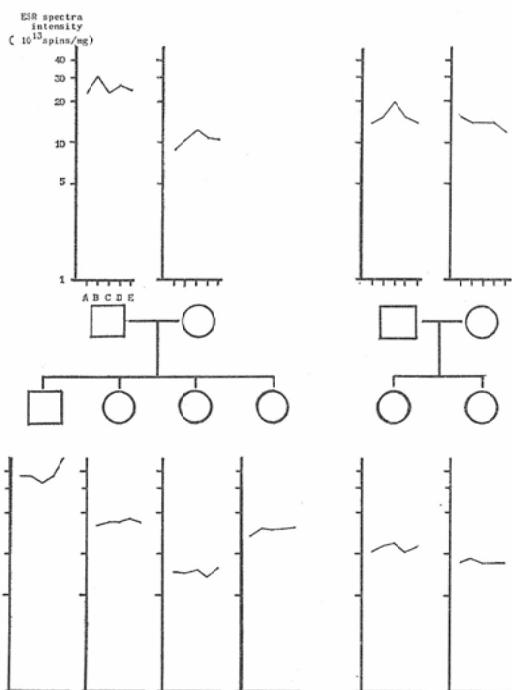
それぞれ述べたように、同一個体の毛髪を長期間保存し、あるいは異った年令ごとに採取して保存しておき一定時期にその電子常磁性共鳴吸収強度を測定すると、その値は保存時間が永くなるほど減少する。すなわち保存につれてメラニンの分子構

Fig. 11. Differences of ESR spectra intensity curve following the parts of the hair (above). The figure below shows the sketch of the hair investigated.



A: Not irradiated, B: 2×10^4 R, C: 2×10^5 R, D:
 2×10^6 R, E: 2×10^7 R.

Fig. 12. Parent-child correlation in ESR spectra intensity curve of the hair.



A: Not irradiated, B: 2×10^4 R, C: 2×10^5 R, D:
 2×10^6 R, E: 2×10^7 R.

造に変化のおこつていることが考えられ、採取後の保存時間がことなれば、分子構造のちがうメラニンになつているとも言える。

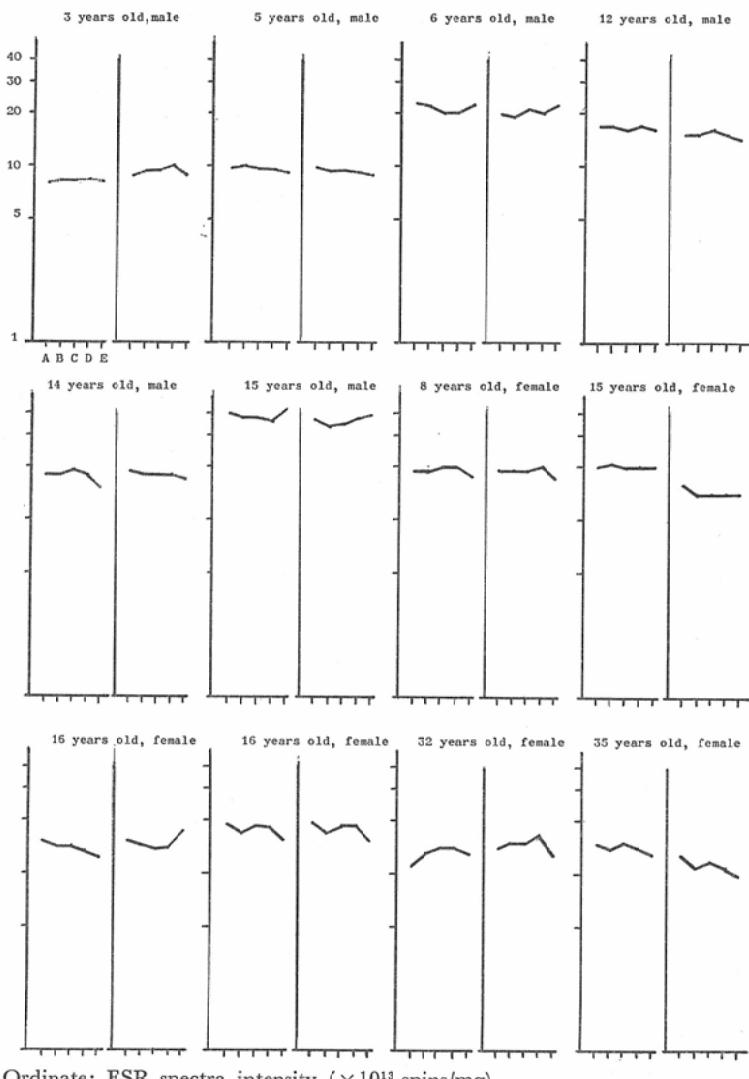
Fig. 10は、ある個体について、最近(1)半年前(2)および2年前(3)にそれぞれ採取した毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度曲線を、同じ試料を2組ずつ準備して再現性を検討した結果である。非照射分の値はすでに述べたように保存期間につれて減じているのは当然であるが、曲線の型も保存期間別に異なり、同試料ごとの2組の曲線は全く一致するとはいえないが傾向はごく近い。

2 (1) - b. 毛髪の部位による電子常磁性共鳴吸収強度曲線の差異

さきに、毛髪試料はなるべく頭皮に近い部分に一定する必要を述べた。

前回の断髪時期の明らかな1女性例について、

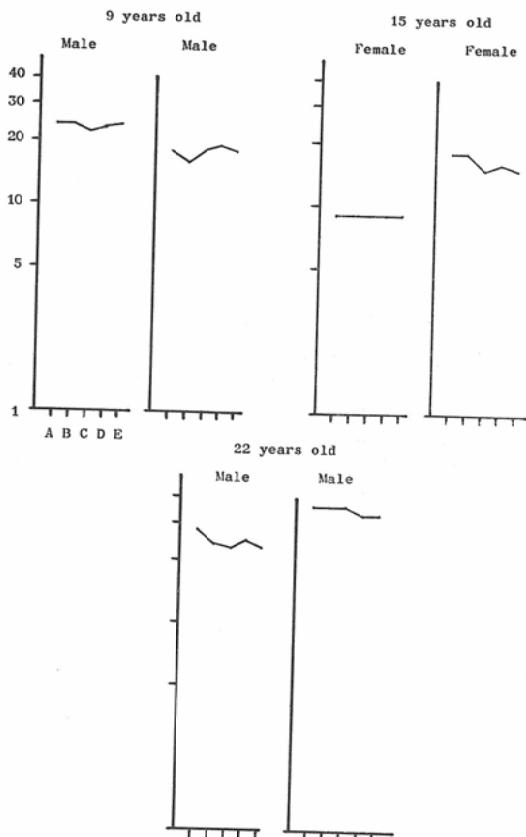
Fig. 13. ESR spectra intensity curve in 12 pairs of identical twins.

Ordinate: ESR spectra intensity ($\times 10^{13}$ spins/mg).A: Not irradiated, B: 2×10^4 R, C: 2×10^5 R, D: 2×10^6 R, E: 2×10^7 R.

採取部位による差異を検討した結果を Fig.11に示す。本例の毛髪は全長が約50cmであつて、おおむね3年半の間に伸長したものである。図の下部に示したのは毛髪の全長のうち試料とした部分を略図としてあらわしたもので、頭皮に近い3cm分、次に先端に向つて12cmをへだてて3cm分、さらに12cmをおいて3cm分を用いたものである。これらは頭皮に近いほうからそれぞれ、最近・約1

年前・約2年前に生じたものとして大きい誤りはないであろう。この三つの試料についての電子常磁性共鳴吸収強度曲線をみると、毛髪の先端に向うにつれて非照射分の値は減少し、かつ三つの曲線の形はすべて異なっている。すなわち、メラニンは毛髪内で固定されており、伸長に伴つてそのままの位置にあつて、一面には時日の経過につれて漸次に変化して、分子構造のちがつたものにな

Fig. 14. ESR spectra intensity curve of the hair in fraternal twins.



Ordinate: ESR spectra intensity ($\times 10^{13}$ spins/mg)
 A: Not irradiated, B: 2×10^4 R, C: 2×10^5 R, D: 2×10^6 R, E: 2×10^7 R.

つてゆくことを示している。

2—(2) 親と子の毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度曲線

例として、四児を有する夫婦、2児を有する夫婦の2組をFig.12に示した。それぞれの非照射分の値をみると、4児を有する夫婦の値はへだたつてるので子の値も大小区々であり、2児を有する夫婦では互に近似した値であるので子の値も両親に近い値に揃っている。これらのこととは1—(2)—fにのべたとおりである。ところが毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度曲線としてくらべると、この両家族ともに、親と子・兄弟姉妹の曲線

の間にそれらの型の近似性は全く見出されない。

充分に多数の家族について統計的に検討すればなんらかの相関がある可能性はあるが、個々の家族についてみる限りは、毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度曲線には親と子・兄弟姉妹の間の相似性は見出されない。

2—(3) 一卵性双生児の毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度曲線

一卵性双生児12組について、その毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度曲線をFig.13に示した。各組の曲線の型にはすべて近似性が大きく、その幾組かにおいては全くの同形を示している。このことは毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度曲線によつてかなり細かくまで、すなわちかなり厳密に個体特異的と言いうるに近い程度にメラニンの分子構造を分別し得ているといつてよいであろう。おそらく、一卵性双生児においては、メラニンの分子構造も同一もしくは同一に近いものであり、その結果がこのように現われているものであろう。

2—(4) 二卵性双生児の毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度曲線

二卵性双生児の毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度曲線を、その3組を例としてFig.14にかかげた。これにみると二卵性双生児においては、一卵性双生児の場合とことなつて、相互の曲線の型は全く近似しない。このようにすれば非照射分の値だけは近似していて一卵性との区別のむつかしい場合においても、二卵性たることを容易に判別することができる。

2—(5) 小括

毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度によつてある程度まで分別し得た個体差を、さらに厳密に分別するために、いろいろな線量の放射線照射を加えて毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度曲線を作り、これを比較することによつて所期の目的を達することができた。

親子・兄弟姉妹・二卵性双生児のあいだにはいずれも毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度曲線の近似は認めがたいのに対し、一卵性双生児の間の近似性は大きく、若干の組においては全く同じ傾向をも認める事実は、この方法によつて個体差をかな

り詳しく分別できること、さらにはメラニン分子の構造をかなり厳密に個体特異的と言いうるに近い程度にまで分別し得ていることを示している。

一方、これを放射線照射効果の面からみると、同一構造のメラニン分子は放射線照射により同一の効果を、異った構造のメラニン分子は異った照射効果を呈するものと考えることができて、放射線照射効果の個体差を分子のレベルに於ても認め得ることを示しているとしてよいであろう。

3. 考 察

黒色毛髪にはそれに含まれているメラニンに起因する常磁性のあることが知られている。メラニンの常磁性が分子内に捕捉されて安定となつた free radical によるものとすれば、その電子常磁性共鳴吸収はメラニン分子の構造によつて規定されるものであるから、逆になんらかの基準を以て電子常磁性共鳴吸収のあらわれ方もしくは程度を段階分けすれば、その段階の数だけメラニン分子の構造の種類をも分別しうるはずである。この段階分けの手段として電子常磁性共鳴吸収強度をとりあげたわけである。ただ電子常磁性共鳴吸収強度がこれに適した手段であるか否かは、結果から、すなわちこれによつてなんらかの秩序性のある応答が得られるか否かから判断するほかはない。これまで述べたところの、また以下にまとめて再説するところの諸事象は、その事が自体としての意義を有するとともに、毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度が秩序性を有すること一さらにはそれが毛髪メラニンの分子構造の適当な応答たることを確認せしめていることによつてさらに大きい意味を持つている。

われわれはまづ、ひとの毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度について、個体ごとにその性状を検討した。その結果この値は、加令につれて変化することなく、一方採取した毛髪を長く保存しておくと、期間の永くなるにつれて減少することが判つた。また毛髪の色度との直接の関連性はないことも判明した。

つぎに、日本人の 114例についての測定から、毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度は、性・年令にか

かわらずかなり区々な分布を示すこと、ただし一般的の傾向としては男性の値は女性の値より大きい傾向にあることが知られた。遺伝関係の有無をみると、親と子の値の間には一定の関係が見出され、一卵性双生児相互の値は常に著しく近いことから遺伝性がみとめられ、さらに民族や地域ごとの偏りのあることも立証されて遺伝性をうらづける一助となつた。

毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度が、ある程度まで個体ごとに特有かつ不变であり遺伝するということは、メラニンの分子構造がおそらくは個体に特異的であろうということを暗示している。メラニンにおいてこのような結果を得られたのは、その常磁性のゆえに、全く健全な状態のままに、混在する他の物質を意に介せずに検査の場に持ちきたすことができるという利点に負うているのであろう。

しかし、かくは言うものの、毛髪になんらの処理も加えないままで測定するだけでは、文字どおり個々の個体を識別するなどという程度からはほど遠い精度にすぎない。この欠を補う意味から、一個体ごとの毛髪試料を 5 分し、非照射分とおののおのことなつた線量 4 段階を照射した分との合計五つの測定値を以て一種の線量効果曲線を作り、毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度曲線と名づけて、この曲線を以て該個体の毛髪メラニンの性状を表示し比較することとした。いろいろの線量の放射線を照射した場合、毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度は線量の多少に従つて増加を示すものではなく、同一線量の照射をうけても個体ごとに増減区々であり、したがつて電子常磁性共鳴吸収強度曲線も個体ごとにさまざまの形を呈する。またこの曲線は技術的誤差の範囲内においてではあるが一応満足できる程度の再現性がある。

毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度曲線によると、親子・兄弟姉妹・二卵性双生児の間には近似性は見出しえないのでかわらず、一卵性双生児の間の近似性は常に著明で、若干の組においては全く同一の傾向をも示している。このことは毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度曲線が、かなり厳密に個体

特異的と言いうるに近いものであり、個体のメラニン分子の構造をかなりの程度まで特異的に分別していることを示している。放射線照射効果という面からすると、メラニン分子の構造のことなるにつれて、照射効果も個体ごとに異つてゐると言ひ得る。

4. 要 約

メラニンの常磁性が、その分子内に捕捉せられた安定となつた free radical に由来するものであり、ひとのメラニン分子の構造が多様であるとするならば、メラニンの電子常磁性共鳴吸収のあり方あるいは程度を、なにかを基準として多段階に区分することによつて、逆にメラニン分子の構造の種類を、設定した段階の数次第で少とも分別することが可能なわけである。このような想定のもとに、毛髪メラニンを対象とし、ひとの毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度を個体ごとに測定した。この電子常磁性共鳴吸収強度を以て段階区分の基準としたわけになる。

その結果、ひとの毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度は、ある程度まで個体特異的かつ不变で、遺伝および民族・地域により偏りを示すことが見出された。これらの事実は、そのこと自体の価値もさることながら、このように秩序性のある値が得られるということにも意義がある。そのことが前述の想定の正しさを示している故である。

次に、上記のように無処理のままで毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度を測定して、一点の値を求めるのみでは不十分であるため、1個体についての毛髪試料を5分し、非照射分のはかに⁶⁰Co γ線の $2 \times 10^4 R$, $2 \times 10^5 R$, $2 \times 10^6 R$ および $2 \times 10^7 R$ という4段階の線量の照射を行ない、電子常磁性共鳴吸収強度をそれぞれについて測定し、合計5点の値を求めて線量効果曲線を作り、その形状を以て分別することをも行なつた。この曲線を毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度曲線と名づけた。その結果、ひと毛髪メラニン分子の構造をさらに詳しく、個体特異的と言いうるに近い程度にまで分別することができるようになった。

また、その際の放射線照射効果から、メラニン分子構造がほぼ同一と考えられる場合には同じあ

るいは近似した照射効果を、またメラニン分子の構造がことなる場合には異なる照射効果を呈するものであることが判つた。

本研究において得られた諸知見は、個体識別上、あるいはまた人類遺伝学、人類学などに新しい研究手段を提供するとともに、放射線照射効果の個体差を考えるうえにもなんらかの示唆を与えるものと信ずる。

(附記1)：本研究における毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度測定方法の補足

記録紙上に得られるスペクトラムは吸収の二次微分である。従つてこの曲線を二重積分して得られる値と既知スピニ数の試料に対して得られる値とを比較することにより被検試料のスピニ数を求めることができる。本測定では被検試験料の一つをとり、これと既知スピニ数のDPPHを同一条件下で測定し、それぞれのスペクトラムから求めた二重積分の値を比較しその試料のスピニ数を算出した。

同一条件下で測定した被検試料のスペクトラムはすべてほぼ同じ形をしていたので、このようにしてスピニ数のわかつた試料に対する相対的強度を知れば、直ちに被検試料のスピニ数を知ることが出来る。

(附記2)：天然メラニンの生成機序にはついての一つの推論

現在のところ天然メラニンの生成機序には定説はないが、合成メラニンの生成から類推して、天然メラニンにおいても終未段階は酵素の関与なしに自動酸化によるとする論者が多い。本研究の結果からみると、最終産物にいたるまで酵素的に調節されると考えざるをえない。勿論その酵素がチロデナーゼであるか、あるいは全く別の酵素または酵素群が関与するかは不明である。

参考文献

- 1) 深井卓夫、庄野吉彦：毛髪の電子常磁性共鳴吸収、日本医学放射線学会雑誌25 (1966), 1380—1384.
- 2) 深井卓夫、庄野吉彦：人の毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度の遺伝について、人類遺伝学雑誌11 (1966), 24—30.
- 3) 深井卓夫、庄野吉彦：人毛髪の電子常磁性共鳴吸収強度の民族、地域差、人類遺伝学雑誌 13 (1968), 112—116.
- 4) Blois, M.S., Zahlan, A.B. and Maling, J.E.: Electron spin resonance studies on melanin.

- Biophysical Journal 4 (1964), 471—490
- 5) Commoner, B., Townsent, B. and Pake, G.E.:
Free radicals in biological materials. Nature
No. 4432 (1954), 689—691
-
- 6) Nicolaus, R.A., Piattelli, M. and Fattorusso,
E.: The structure of melanins and melano-
genesis-IV. On some natural melanins. Tetra-
hedron 20 (1964), 1163—1172