

# 乳牛の被毛 P I X E 分析値の生理的変動

青木康浩，安藤 貞\*

農業技術研究機構・畜産草地研究所  
329 - 2793 栃木県那須郡西那須野町千本松 768

\*農業技術研究機構・近畿中国四国農業研究センター  
694 - 0013 島根県大田市川合町吉永 60

## 1 はじめに

乳牛の飼養管理を合理的に行う上で，その栄養生理状態を的確に把握することは不可欠である。乳牛の栄養生理状態を把握する手法に関してはこれまで多くの検討がなされており，例えば血液中の各種物質濃度に基づく代謝プロファイルテストのように実用されているものも多い。これらに加えて被毛中の各種元素含量が，牛の健康状態や栄養状態と関連して変動する<sup>1-10)</sup>こと，および被毛の採取は採血に比べて家畜への侵襲が少ないという利点があることなどから，今後，牛の栄養生理状態を把握するための有用な指標となる可能性がある。

このような観点から，著者らは牛被毛中の各種元素含量について，畜産学，草地学分野での応用例がこれまでほとんどなかった P I X E (Particle Induced X-ray Emission) による分析を試み，牛の栄養生理状態が著しく変化すると被毛中の各種微量元素あるいは一部の主要元素含量も変動することを報告<sup>11)</sup>した。しかしながら，元素によっては牛の栄養生理状態が類似しても個体間で顕著に異なる場合があり<sup>11)</sup>，その原因については不明なままとなっている。とくに被毛中の各種元素含量は，牛の栄養状態や健康状態が同一な牛の間でどのような生理的変動を示すのかについては確認されていない。

そこで被毛中各種元素含量の P I X E 分析値が，栄養状態，健康状態の良好な乳牛において通常の生理状態

の範囲でどの程度変動するのか調べた。またその変動に対して，搾乳牛の産次数，分娩後の経過日数，乳生産水準および体重といった個体の条件，分娩，および視覚により判定される被毛のつや，がどのように関与するか検討した。

表 1. 供試牛の概要

搾乳牛 n=12	産次数	分娩後 日数	体重(kg)	脂肪補正 乳量(kg)*
平均	2.1	132.8	615.7	33.7
標準偏差	1.1	80.7	58.4	9.4
最大値	4	242	703	58
最小値	1	7	543	22

\*: 乳量(kg) × (15 × 乳脂肪率(%) ÷ 100 + 0.4)

乾乳牛 n=4	産次数	分娩前 日数	体重(kg)
平均	1.5	18.8	742.5
標準偏差	0.6	16.2	37.3
最大値	2	10	779
最小値	1	43	697

## 2 材料および方法

### 2. 1 供試牛

畜産草地研究所（栃木県西那須野町）で飼養する乳牛のうち，搾乳牛 12 頭および乾乳牛 4 頭を用いた。これらの産次数，分娩後(前)日数，体重および脂肪補正乳 ( F C M ) 量について，表 1 に示した。ここで F C M 量とは，生乳の

有するエネルギー価を脂肪率4%の生乳を基準として補正した乳量であり、脂肪率の異なる牛乳間で生産水準を比較するために一般に用いられているものである。

供試牛の管理は、畜産草地研究所動物実験指針にのっとり行った。給飼は、牛群が必要とする可消化養分総量の110%を与えるように行った。給水は給水槽から自由飲水させて行った。

## 2. 2 試料採取方法

いずれの個体からも、背の体幹部付近から被毛を採取した。おおむね5cm×5cmにわたり鋏またはバリカンによって皮膚近くから採取するようにした。

採取時に、被毛のつやを官能的に不良、やや良好、良好の3段階で評価した。

## 2. 3 P I X E試料の準備

分析は無標準無調製法によって以下のように行った。被毛を5分間強く攪拌して水洗し、ろ紙上で十分に乾燥させた。長さおよび太さが平均的なものを3ないし5本選び出し、アセトンで清拭した後、なるべく隙間のないように束ねた状態でP I X E分析用ホルダーのウェル中央部を横断するように接着テープで保定し、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においてP I X E分析を施した。

## 2. 4 結果の解析

測定された元素のうち、全16試料で分析値が得られ、その測定時の標準誤差が分析値に対しておおむね50%未満のものを、以下の解析の対象とすることとした。

搾乳牛の個体に関する要因の影響については、産次、分娩後日数、F C M量および体重を独立変数とする変数増減法による重回帰分析によって定量的に解析した。

分娩の影響については、4頭について分娩前20日および分娩後28日に採取した試料の分析結果に対して、t - 検定により差の有意性を検討した。

つやの評点(不良、やや良好、良好)による相違については、一元配置分散分析と最小有意差法によって検討した。

## 3 結果および考察

### 3. 1 分析された元素の種類および変動幅

被毛試料のP I X E分析によって28種類の元素がいずれかの試料から分析された。そのうちすべての試料について測定された元素はK, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Se, Pb, Sr, Rb, Na, Mg, Al, P, SおよびClの16種類であった。いずれも測定値に対する標準誤差の比率が50%を下回ったので、以下の解析はこの16種類の元素に対して施すこととした。

これらの元素について、全試料分析値の平均値、最小値および最大値を表2に示した。平均値がもっとも高かったのはSで、次いでK, Cl, Caといった元素において高い値が得られた。元素によって最大値と最小値の変動幅は異なった。すなわちSやCaのように最大値が最小値の2倍程度未満というように比較的安定しているものから、最大値が最小値の44.4倍(最大値6.72, 最小値0.15)となるPbや44.1倍(最大値15.17, 最小値0.34)となるMnのように著しく大きいものまでさ

表2. 乳牛被毛16試料におけるP I X E分析値の平均値, 最大値および最小値.

	平均	最大値	最小値		平均	最大値	最小値
K	3271.07	6183.43	923.65	Sr	1.63	3.82	0.33
Ca	2027.80	3050.26	1442.10	Rb	1.61	4.72	0.25
Mn	2.89	15.17	0.34	Na	262.94	724.14	52.12
Fe	12.53	24.32	8.13	Mg	145.05	319.34	68.45
Cu	7.45	10.88	3.87	Al	41.00	77.26	6.14
Zn	177.29	299.80	125.55	P	223.26	495.95	33.45
Se	1.25	2.79	0.29	S	28287.19	32403.84	23209.93
Pb	2.59	6.72	0.15	Cl	3042.94	5524.24	696.73

まざまであった。

分析された元素の中には Sr, Rb, Al などのように生体にとって必須とされていないもので、生体にとっての意義や中毒の発生限界などについてこれまでほとんど知見の得られてない元素も含まれたが、そのほかの元素について得られた平均値は、牛の状態が異なるので直接的な比較は困難であるものの、これまで原子吸光法などによる牛被毛中含量に関する報告<sup>2・11)</sup>と類似する範囲にあった。

本報における供試牛は、栄養が十分に充足しており、また少なくとも臨床的には健康とみなされる牛であった。そのため、ここでの結果はいわゆる生理的変動の範囲とみなしてよいと考えられ、被毛中各種元素含量は生理的な範囲でも相当な変動を示すものが多いと考えられた。

### 3. 2 搾乳牛における各種要因の影響

変数増減法による重回帰分析の結果、Cu および Sr についてのみ、以下に示す有意な関係が認められた。

$$\text{Cu}(\mu\text{g/g}) = 8.684 - 0.678 \text{産次} + 0.013 \text{分娩後日数} + 0.077 \text{FCM 量(kg)} - 0.008 \text{体重(kg)}, R^2=0.857$$

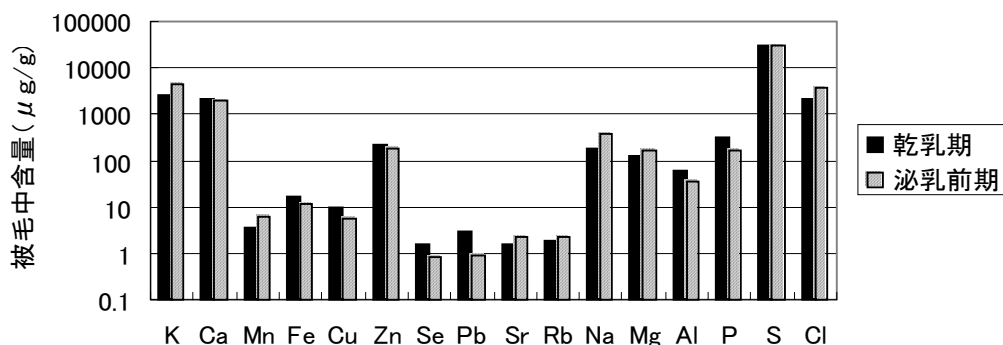
$$\text{Sr}(\mu\text{g/g}) = 9.613 - 0.246 \text{産次} - 0.008 \text{分娩後日数} - 0.008 \text{FCM 量(kg)} - 0.010 \text{体重(kg)}, R^2=0.763$$

すなわち被毛中 Cu 含量は産次の進行および体重の増加にともない減少し、分娩後日数の経過および FCM 量の増加にともない増加すること、また Sr 含量はいずれの項目も増加するにしがって減少することが示された。

被毛中 Cu 含量は摂取飼料中の含量に影響を受けて変動することは一般に知られている<sup>13,14)</sup>が、本報で検討した個体の条件による変動についてはこれまでのところほとんど知見がない。ここで得られた結果の生理的意義については、生体にとっての意義についての知見がほとんどない Sr についてと同様に今後さらに検討する必要があると思われる。

ここで採り上げた要因は乳牛の生理的状态を示すものとして広く用いられる要因であるにも関わらず、ほとんどの元素においては、これらの要因で変動を説明することができなかった。S は被毛を形成する基本的な含硫アミノ酸に由来するものであり、個体の状態が生理的に変動してもほとんど変化しないと考えられた。また Ca のような元素は体内含量の恒常性が強く維持されており、そのため生理的な変動幅が小さく、各要因の影響が明瞭でなかったと推察された。これら以外の元素の被毛中含量は、おもに飼料中含量によって影響を受ける可能性があり、ここでの供試牛はほとんど類似する飼料を摂取していたため、個体の条件が異なっても被毛中含量への一定の影響は認められなかった可能性があると考えられる。ただし元素によっては分析値の個体差がきわめて大きかったにも関わらず、その変動を個体に関わる各種要因では説明できなかったため、その原因についてはさらに検討を要すると考えられた。例えば、元素によっては摂取してから被毛中含量が変化するまでに長い時間を要する可能性があり、そのため、より以前の摂取飼料の影響も考慮する必要があると思われた。

### 3. 3 分娩の影響



分娩前 20 日と分娩後 28 日とで被毛中元素含量を比較したところ(図 1)、K, Mn, Sr, Rb, Na, Mg, Cl のように分娩後に増加する元素、Fe, Cu, Se, Pb, Al, P

図 1 . 分娩前(乾乳期)と分娩後の泌乳前期における被毛中各種元素含量 .

のように減少する元素，Ca やSのようにほとんど変化しない元素とがあったが，いずれの元素についても有意な差は認められなかった。

S や Ca は上述した理由でほとんど変化しなかったものと推測された。その他の元素については，個体によって変動の様相に差があるため有意な変化が認められなかったと考えられた。

著者ら<sup>11)</sup>は栄養状態の劣る条件で分娩，泌乳を開始した牛では，いくつかの微量元素に加えて，一部の主要元素の被毛中含量も影響を受けて変動することを報告した。今回は分娩単独の影響をみたものであり，分娩だけでは被毛中含量に対して明瞭な影響を及ぼさないことが示されたといえる。

分娩にともなう被毛中各種元素含量の増加あるいは減少についてはこれまで知見が少なく，本報でも必ずしも十分な例数を対象にしていけないので，さらに検討する必要があると思われた。

### 3. 4 つやによる相違

つやに関しては乾乳牛と搾乳牛をあわせた 16 頭を込みにして評点をつけ，つやが不良，やや良好および良好に分類された牛の頭数はそれぞれ 4，6 および 6 頭であった。

つやによる被毛中含量の相違を図 2 に示した。つやが異なっても Ca，S，Rb ではほとんど差がないが，Cu，Zn，Se，Pb，Sr，P はつやが良好なものほど増加し，逆に K，Na，Mg はつやが良好になるほど減少

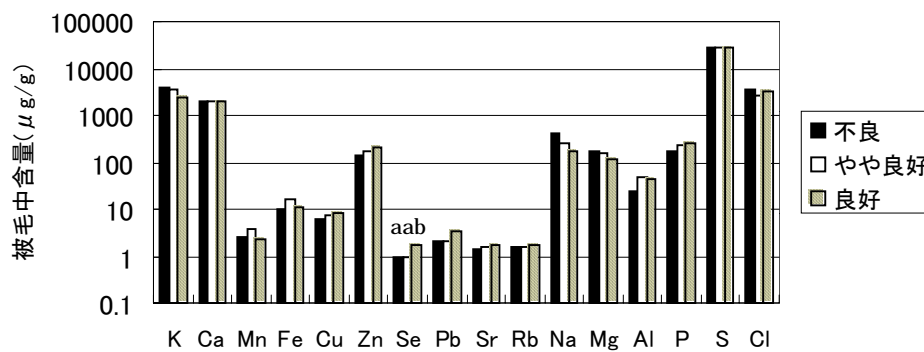


図 2 . 被毛のつやと被毛中各種元素含量の P I X E 分析値との関係 .

つやは官能的に「不良」5 頭，「やや良好」5 頭，および「良好」6 頭に分類した。

図中のアルファベットは異文字間に有意差があることを示す (p<0.05)。

く知られているが，今回官能的に分類した限り，栄養状態は良好で少なくとも臨床的に健康とみなされる牛の間でも，被毛のつやは一様ではなかった。被毛のつやを科学的に定量して調べた研究はほとんどなく，つやの良否が示す生理的意義については不明な点が多い。今回さまざまな元素でつやの良否にともなう変動がみられ，Se については有意な影響が認められたことから，栄養状態や健康状態が正常な範囲でみられるつやの変化であっても，一定の生理的意義があるものと推察された。

### 3. 5 まとめ

栄養状態や臨床的な健康状態が正常な乳牛において，P I X E によって分析された被毛中各種元素含量は，栄養状態に相違がある場合<sup>11)</sup>に比較すると明瞭ではないものの，生理的な変動を示すことが明らかにされた。

搾乳牛においては，Cu と Sr において，産次，分娩後日数，FCM量および体重といった要因で生理的に変動することが明らかにされた。分娩にともなう変化については，栄養状態が良好であれば明瞭でないことが示された。つやによる相違については，Se の被毛中含量がつやの良好なもので有意に多いことが明らかにされ，他にも有意ではないもののつやの良否によって一定の変動を示す元素がみられた。

これらの生理的変動の意義については，さらに詳細な検討を進めるべきと考えられた。

した。一方，Mn，Fe，Al，Cl は一定の変動を示さなかった。しかしながら，つやによる相違が有意に認められたのは Se においてのみであり，つやが良好な牛において，つやが不良あるいはやや良好な牛に比べて被毛中含量が有意 (p<0.05) に多かった。

被毛のつやはそれが良好なほど牛の健康状態がよいと経験的に広

#### 4 引用文献

- 1) Miltimore, J. E., J. L. Mason, J. M. McArthur, C. C. Strachan and J. B. Clapp (1973) Response from copper and selenium with vitamin E injections to cattle pastured on mineral and organic groundwater soils. *Can. J. Anim. Sci.*, 53: 237 - 244.
- 2) Hidiroglou, M. and D. T. Spurr (1975) Influence of cold exposure and diet change on the trace element composition of hair from Shorthorn cattle. *Can. J. Anim. Sci.*, 55: 31 - 38.
- 3) 小倉幸子, 牛見忠蔵(1981) 牛の血液および被毛のセレンウム含量. *家衛試研報*. 82 : 41 - 45 .
- 4) Ritter, M., H. Hardebeck, D. Kowertz and H. Sommer (1981) Mineral elements in hair of cattle and their importance for disease and management investigations in dairy herds. *Tierärztliche Umschau*, 36: 549 - 552.
- 5) Chen, W.F., W. N. Ji, Z. Z. Si and X. T. Gu (1982) Trace elements and bovine leucosis. *Chinese J. Vet. Med.*, 8: 31 - 32.
- 6) Fisher, D. D., L. L. Wilson, R. M. Leach and R. W. Scholz (1985) Switch hair as indicator of magnesium and copper status of beef cows. *Am. J. Vet. Res.* 46: 2235 - 2240.
- 7) Boyles, S. L. and J. G. Riley (1991) Feedlot performance of Brahman x Angus versus Angus steers during cold weather. *J. Anim. Sci.*, 69: 2677 - 2684.
- 8) van Ryssen, J.B.J., P. D. Whanger, H. A. Turner and I. J. Tinsley (1994) Mineral and vitamin interactions of steers in a Mediterranean climate. *Livest. Prod. Sci.*, 38: 107 - 115.
- 9) Szabo, F., E. Zele, J. P. Polgar and Zs. Wagenhoffer (1999) Study on peat bog soil pastures for sustainable development beef cattle farming. *Livest. Prod. Sci.*, 61: 253 - 260.
- 10) Hintze, K. J., G. P. Lardy, M. J. Marchello and J. W. Finley (2001) Areas with high concentrations of selenium in the soil and forage produce beef with enhanced concentrations of selenium. *J. Agric. Food Chem.*, 49: 1062 - 1067.
- 11) 青木康浩, 安藤貞 (2001) 乳用牛の栄養条件と体毛 PIXE 分析値との関係. *NMCC 共同利用研究成果報文集*. 9 : 126 - 131 .
- 12) 津田恒之 (1985) 家畜生理学. 207 - 209. 養賢堂. 東京.
- 13) 志賀瓏郎 (1998) 第3章・代謝の生理と内分泌制御. 第4節・無機物代謝. 反芻動物の栄養生理学 (佐々木康之監修). 232 - 241. 農山漁村文化協会発行. 東京.