

我が国における乳牛の血液代謝プロファイルの変遷
～この 30 年間に日本の牛はどう変わったのか～

木田 克弥
KATSUYA KIDA

国立大学法人帯広畜産大学 畜産フィールド科学センター センター長
〒080-8555 北海道帯広市稲田町西 2 線 11 番地

【1987 年～2004 年における乳牛の変化】

乳牛の血液成分はこの 20 年、30 年の間で少しずつ変化している。演者は、北海道 NOSAI に勤務していた 1987 年から 2004 年の間に毎年約 100～200 戸の農家を訪問し、毎年約 4000 頭、合計 74,000 頭にのぼる乳牛の血液成分をみてきた。

乳量は毎年増えてきており、約 10 年で 1,000kg のペースである。また、乳量が増えるのに伴い分娩間隔が延長し、加えて家畜共済の病傷事故頭数被害率も少しずつ増えている。2004 年度から大きく減少したが、これは子牛共済が始まったためであり、分母が大きくなった結果被害率が減少しただけで、牛の病気は減っていない。このように、乳量は増加したが、繁殖成績が悪く病気も増えているという現象は否めない。

この間の、酪農産業の背景を振り返ってみたい。1989 年以降、後代検定済種雄牛の精液が供給され、酪農家は精液を種牛の情報に基づき選定できる時代に入っていった。この間、乳量の増加に貢献している遺伝的な改良は大きく進み、飼養管理、環境の改善も乳量増加に関連してきた。1980 年代終

わりごろに全国で乳牛が 200 万頭を超え、その後の頭数は減っている。一方、北海道では経産牛の総頭数は維持している。後代検定が始まるまで北海道全体の生乳生産量は、牛の頭数増に支えられ、頭数に比例して増えてきた。ところが後代検定が普及し、遺伝的改良の速度が劇的に早まった 1990 年代以降、牛の頭数はあまり増えていないが乳量は増え続けてきた。

今回、このような背景の下で 1987 年～2004 年に実施した代謝プロファイルテストの成績を検討した。日本の牛の遺伝的な能力が大きく切り替わる状況をまさに観察することが出来た。そこで、主成分分析を用いてこの 20 年間に日本の乳牛の代謝プロファイルがどう変わったのかを評価した。

【主成分分析】

1. 主成分分析とは

主成分分析は Principle Component Analysis (PCA) といい、多くの変数（現象）の特徴を整理して、新しい少数の変数にまとめ、現象を要約する方法である。簡単な例でいうと、身長というパラメータと

体重というパラメータを散布図で描き、その中に最小二乗法で回帰式（線）を引く。このラインは体格という一つの新しいパラメータになる。身長と体重 2 つの変数を 1 つの変数にまとめた新しい目安、すなわち変数を作ることができるのである。

今回、分析を行ったのは 12 項目の血液成分だが、まず、12 次元という場所に、もっとも全体の特徴が表れる 1 本の線をえがく。これが第一主成分である。これを最も特徴が表れる角度に変換して第二主成分を求める。このようにして新しい変数を第一主成分、第二主成分と作っていく。そして元の変数（例：BUN や T-Cho、NEFA 等）にそれぞれ係数をつける。測定値そのものは標準化してしまうため、この係数の大小は単純に因子負荷量という係数の大小、あるいは正か負かといった視点で評価することにより、その主成分が何を意味しているのか、意味や特性を探ることができるのである。

2. 解析方法

期間は 1987 年～2004 年で、約 2700 戸、49,569 頭の牛を解析に使用した。全体で主成分分析を行い、さらに乳期別として、乾乳期、泌乳初期（1～49 日）、泌乳最盛期（50～109 日）の 3 つの乳期に分けて解析した。

3. PCA を行った MPT 項目

検討した項目はスライドのとおりである。

4. 泌乳最盛期の乳量に基づく評価期間の 3 区分

まず、1987 年～2004 年までの乳量を見るため、初産 1894 頭、2 産 2,036 頭、3 産以上 4,007 頭の 3 つの区に分けた。これは泌乳最盛期のみでのデータを出しているが、後代検定が始まる前までは少し増えている時期、その後あまり変わらずまた増えてい

くという独特の動きがある。この期間は 18 年間あり、検討しやすくするために 3 つの期間に分けている。各期間を I 期、II 期、III 期とするが、I 期は後代検定が始まる前の 1987～1992 年、II 期は後代検定が行われ従来の体格に基づく遺伝的改良から生産・泌乳能力を重視した後代検定に代わっていった時期で、日本の牛が大きく入れ替わった 1993～1998 年、そして、その後 1999～2004 年の III 期の 3 つの期間に分けている。1997 年～2003 年の中で乳量が高い年が出ているが、これは欠測値が多く特定の牛のデータしか取れなかったためにデータに偏りがあり、値が大きくなっているのであって、全体の傾向としては大きな違いはない。

5. 血中代謝物濃度の変化

この表(スライド)は分析内容を具体的な数値で表したものであり、合計 19,663 頭の牛について調べた。そして、それが遺伝的改良による変化、それに起因する物が関連しているのか。あるいは、飼養管理の違いによって生じたものか、または、環境やそれ以外の要因があるのかを見ていった。主成分分析に入る前に、まずは血液成分の各検査項目がこの期間中にどう変わったのかを確認をしていく。

【血液成分の変化】

1. ヘマトクリット (Ht)

MPT における Ht の解釈は高値であれば血液濃縮であり、要因は飲水不足、穀類過多による消化障害や、アシドーシスが起きている可能性が考えられる。低値であれば貧血、栄養不足を反映している可能性も考えられる。全体の傾向として、わずかであるが最盛期には Ht はやや低下し、乾乳期に

やや増加している。実際の数値では取るに足らない変化であるが、このデータは母集団に近い例数 (N) を扱っており、Ht で 1 ポイント動くということは大きな変化を意味する。N がとても多いため統計学的な研究をすれば必ず有意差が出てくる。重要なことは傾向を知ることである。そのため、そのまま解釈すれば高泌乳期には若干栄養不足が進行していると捉えることができる。

2. 血液尿素窒素 (BUN)

BUN は、泌乳期は顕著に低下しているが、乾乳期は変化がない。これは、低値の時には蛋白の不足や、でんぷんが多くなっている可能性が考えられる。あるいは栄養管理が上手になり、第一胃内の窒素利用が向上し無駄な窒素の損失がなくなったことも考えられる。しかし、CP や蛋白不足が進行している可能性も考えられる。

3. アルブミン (Alb)

次に Alb は、泌乳期はわずかながら上昇している。乳牛でアルブミンが高くなるのは血液濃縮の脱水である。基本的には水不足や穀物過剰 (濃厚飼料過剰) による消化障害が進んでいると解釈をする。

4. グルコース (Glc)

Glc は、高値の場合には一般的にはストレスを反映している可能性が高く、エネルギーの過剰ということも考えられる。重要なのは低い場合であり、重度のエネルギー不足である。I 期から II 期の後代検定が進行していった時期に低くなっており、II 期はエネルギー不足が進行し、III 期になれば解消している。そのため、一気に乳量が伸び、牛が入れ替わっていた時期に、一緒に牛の遺伝的な能力が変わり酪農家がうまく対応が出来なかった。しかし、それが数年経つ

て酪農家が高泌乳牛の管理に対応ができるようになり、また戻っていったと考えることができる。

5. 総コレステロール (T-Chol)

乳牛の場合、T-Chol が高いと基本的に良い兆しと評価してよい。一方、低い場合は肝臓からのコレステロールの合成や排泄が上手くいっていない、あるいはエネルギー不足であると解釈をする。全体としては、わずかながら I 期から II 期にかけて増加している。これは乳量の増加を反映していると考えられる。今回の MPT データを見る限りでは、I 期で大きく増え、II 期はそのまま安定しており、乳量の増加を反映している。

6. 遊離脂肪酸 (NEFA)

NEFA の高値は体脂肪動員を示す。理由はエネルギー不足であり、その背景に高泌乳ということが関係している可能性がある。II 期から III 期で顕著に上昇しており、乳量増加による活発なエネルギー代謝を反映していると解釈をしているが、エネルギー不足が深刻さを増しているということを感じなければならぬ。

7. 総グロブリン (T-Glob)

T-Glob は TP から Alb を引き算して求めた数値であり、全ての乳期において上昇している。高いということは病気が増えているということである。何らかの炎症があるという見方をすれば故障牛が増えてきており、病的な牛が増えているという解釈になる。

8. AST

肝機能障害の指標である AST は、顕著に上昇をしている。急性期の肝機能障害であり、ケトosis等を含めた病牛が確実に増

えていることを意味する。乾乳期も同様の変化を示しているというのが気にかかる。グロブリンの増加に相まって病的な牛が増えているという様に捉えている。

9. γ GT (GGT)

GGTは、測定値としてはわずかだが、Ⅱ期からⅢ期にかけて若干増加している。これもASTと同様の解釈になる。

10. カルシウム (Ca)

ミネラルも、顕著に増加をしている。高くなる理由として栄養管理に関する変化では、血液濃縮に随伴してくるということが一般的である。Albが上がってくることがあれば一緒にCaも動いてくる。また若牛では高いことが多く、牛群構成が初産牛の割合が多くなれば、このような変化も起きてくる。今回のMPTの対象牛においては、初産に偏っているということはない。そのため、血液濃縮に随伴している変化と考えられる。

11. 無機リン (iP)

iPは解釈があまり分からないが、三期間で低くなっている。

12. マグネシウム (Mg)

Mgも低下してきている。低くなるということはマグネシウム不足であり、その背景には採食量の不足がある。このように各々の血液成分の変化を見ていけば、こういう可能性があるという解釈ができる。

【主成分スコアの変遷】

1. 主成分スコアの変遷から見えるもの

各検査項目をまとめて見ていった時に何が言えるのか、それが、主成分分析である。主成分スコアは時代とともに変化をしてきており、変化をさせている項目には先ほど

述べたいいくつかの測定値が変化している項目が該当してくると考えられる。そこで、それらの項目はなぜ変化してきたのか、飼養管理上の意義について検討した。

2. 主成分スコアの平均値の推移

個のスライドは主成分スコアの平均値の推移として、縦方向に泌乳初期、最盛期、乾乳期に分けて示している。左が第一主成分(PC1)、左から2番目が第二主成分(PC2)、左から3番目が第三主成分(PC3)、一番右側が第四主成分(PC4)である。十二項目あれば第十二主成分まで求めることができるが、寄与率が50%を超えればこれ以上主成分を探しても意味がないと言われている。寄与率とはこの現象全体に対してどのくらいの割合を説明できるのかという意味である。ここでは第四主成分まで書いているが、第三主成分までを検討していく。そしてこの図の青軸が主成分スコアである。±0.3の赤い線は絶対値で主成分であり、この場合は絶対値で0.3を超えてくると大きな意味がある。それよりも小さければ変化という観点ではあまり意味はない。第二主成分が初期、最盛期、乾乳期の全てにおいて大きく動いている。乾乳期において第三主成分も大きく低下している。それぞれの主成分が何を意味しているか、0.3が示している意味はこれだけでは伝わらない。そのため、それぞれの項目について、因子負荷量をみることで、それぞれが何を意味しているのかが見えてくる。

3. 主成分スコアの遷移と因子負荷量 (泌乳初期)

泌乳初期の因子負荷量という各項目の係数では、第一主成分はほとんど変化がない。しかし、負の値から正の値に若干増加をし

ている。そして、主成分の因子負荷量には、0.3 を超えている大きな値を示している項目がある。BUN、Alb、T-cho、Mg においてはマイナスの係数が付いている。これで全体を表しているが、これは 18 年間全体の計算結果である。それを期間ごとに行うと増えてきている。負の係数が大きくなると、主成分スコアの値は小さくなる。負の係数がついているので、その項目の値が小さくなることで、マイナスからプラスへ主成分スコアが増えていくことになる。この 18 年間、第 I 期から III 期の中で BUN、Alb、T-Cho、Mg の値は小さくなっている。これらが低下するのは、簡単にいうと採食不良と肝機能低下を表している。そのため泌乳初期の牛の特性を第一主成分でみると、採食不良と肝機能低下を表す。そういう特性があるのが第一主成分である。次に第二主成分、第三主成分は大きく低下をしている。低下するという事は、負のマイナスの係数がついている項目の値が大きくなっているということである。下向きの値が大きくなり、上向きの正の係数が付いている項目の値は小さくなっている。そのため、第二主成分は全体のスコアは低下しており、Ht、Alb、NEFA、AST が増加している。Ht、Alb が増えるということは脱水である。そして、Glc が低下し NEFA が大きくなるのはエネルギー不足であり、AST が大きくなるのは肝機能障害が進んでいる。簡単にいうとケトーシスが進行している可能性がある。そして第三主成分も大きく低下しており、負の方向に動いてきているため下向きの Glc、Glob、GGT、Ca の値が大きくなっている。Glob と GGT が大きくなっているということは肝機能障害であり、Glc が大

きくなっているのはエネルギーが足りているというよりは、ストレス、すなわち Glob や GGT が増えるような病的な変化に伴って Glc が増加していると考えられる。第三主成分は肝機能障害とカルシウムが増えてリンが低下するミネラル不均衡という特徴を表している。まとめると、泌乳初期は牛にとって非常に採食が不足しており、エネルギー不足や肝機能障害があるということを示している。まさに今日の泌乳初期の牛が抱えている問題が進行してきている。この 90 年代を中心とした時期にこのようなことが起きてきたことが確認できる。

4. 主成分スコアの遷移と因子負荷量（最盛期）

次に泌乳最盛期の第一ステージは寄与率 17.5% と非常に大きな値だが、変化していない。先ほど変化することに意味があると述べたが、変化しないということも意味がある。この泌乳初期の第 I ステージは、Ht、Alb、T-Cho、Ca、Mg の値が高く、Glob も負の方向に高い。約 30 年前から 10 年前まで変化をしていないことから、昔も今も高泌乳牛に関してはしっかりと採食させた良い管理が出来ていることが確認できる。Glob はやや高めではあるが、基本的には採食良好である。乳をよく出す牛の管理は昔も今もしっかり出来ているということが第一主成分の泌乳最盛期に関しては解釈できる。第二主成分は大きく低下しており、これは下向きの項目の値が大きくなっており、上向きが小さくなっている。そのため、NEFA、Glob、AST、GGT が大きくなり、リンは小さくなっている。これは肝機能障害とエネルギー不足である。残念ながら第二主成分でははっきりと泌乳最盛期の牛の

特性～病気が多いということがみえている。そして第三主成分は基本的には変化はない。これも Ht、Glc、AST が大きく、栄養不足、又は肝機能障害があるということも分かる。重要なのは第一主成分と第二主成分である。

5. 主成分スコアの遷移と因子負荷量 (乾乳期)

この様な乳牛の遺伝的改良の背景を踏まえ、乾乳牛を見てみると、乾乳期も第一主成分がわずかに低下し、第二、第三主成分は大きく低下しており主成分スコアは小さくなっている。第一主成分をみると負の方向に変化している項目は Ht、Alb、T-Cho、Ca、Mg で、わずかだが値が大きくなっている。大きくなっているということは、泌乳最盛期と同様に乾乳期の基本的な管理は上手に出来ていると解釈できる。そのため、昔も今も乾乳期の管理はできていることが見えてくる。ところが、第二主成分は負の方向に変化しているため、T-Cho、Glob、AST、GGT が大きくなっており、Mg が小さくなっている。残念ながらこれも肝機能障害を表している。第三主成分も特に第Ⅲ期において、大きく低下している。第Ⅲ期に大きく低下している中身を見ると、NEFA が大きくなっており、BUN と Mg が小さくなっている。まさにこれは採食低下であり、負のエネルギーバランスを反映している。

【主成分の意味するもの】

これらの現象をまとめてみる。

赤文字で書いている事は乳牛にとってあまりよくない情報である。青文字で書いているのはどちらかといえば良い情報になる。それが、飼養管理の影響と捉え、どの様に

変わったかを見ると、特筆すべきは高泌乳牛の管理技術は今も昔もしっかりと行われていることが第一主成分で見て取れる。そして、乾乳期の飼養管理もおおむね問題はない。この時期は乳を出していないため、牛にとっては負荷のかかるステージではないため、おおむね良好という風に見てよいと考える。ところが乳牛の病気の大半が集中する泌乳初期に関しては残念ながら、第一、第二、第三主成分の全てが産後の牛の体調不良の深刻度が増していることが確認出来た。それは泌乳最盛期にも通じており、さらにはお産前の乾乳期の管理の悪さ、悪化ということも関係していることが考えられる。

【おわりに】

高泌乳牛の病気を減らして繁殖成績を良くすることは、酪農家にとって永遠のテーマであろう。日本の牛が変化してきた歴史的背景を理解し、これからの日本の酪農のあり方を考えるひとつの材料として、本講演が参考になれば幸甚である。