

乳牛の血中βカロテンと卵巣機能の関係

帯広畜産大学 畜産フィールド科学センター 川島 千帆

1. はじめに

ビタミンAの前駆物質であるβカロテンは、ビタミンAの働きと同様に、免疫機能を向上させることや乳房炎および胎盤停滞などの疾病発生を防ぐ役割がありますが、さらにβカロテン単独で卵巣機能へ作用することも明らかにされています。

分娩間近の乳牛の血中βカロテン濃度は、摂取量の低下や初乳へ移行するために低下し、分娩後1~2週目に最低値になります。これは分娩後の負のエネルギーバランス（乳生産で消費するエネルギーに対して、エサからの摂取エネルギーが不足している状態）の動態にとっても似ています。これまでの研究で、こ

の分娩後の負のエネルギーバランスの程度が大きい乳牛では、分娩後の卵巣機能回復が遅いことがわかっています。しかし、エネルギーを補給するだけでは、分娩後の卵巣機能回復を早めることが出来ないことも検証されています。

以上のことから、乳牛、特に乳量が多い高泌乳牛においては、分娩前後の血中βカロテン濃度と分娩後の卵巣機能回復には関連性があるのではないかと考えられます。そこで、今回は、分娩後の卵巣機能回復について整理し、周産期の血中βカロテン濃度との関連性についての研究結果を報告します。

2. 分娩後の卵巣機能回復

分娩直後の卵巣には退行した妊娠黄体だけが存在し、卵巣機能がリセットされたような状態です。リセットされた卵巣では、まず最初に卵胞刺激ホルモン(FSH)の作用により、分娩後約5日目にいくつかの卵胞が現れます。FSH分泌はエネルギー状態にあまり左右されないため、分娩後の低エネルギー状態においても、ほとんどの牛で通常通り分泌されます。その後、多くの乳牛では、分娩後約10日目に主席卵胞が選抜されます。この主席卵胞は排卵するかしないかに関わらず、血管が発達します。2mm/秒以上の血流を確認できる、カラードップラー超音波画像診断装置で卵巣を観察すると、図1のように見ることができます。しかし、排卵に至るのは、この約半数で(図1上段)、残りの半数は閉鎖するか、そのまま囊腫化してしまいます(図1下段)。そ

のため、排卵するかどうかを形態的に判断することはできません。

一方、卵胞でのステロイドホルモン産生や排卵に作用する黄体形成ホルモン(LH)は、分娩後のエネルギー状態に大きく影響を受けるといわれています。私たちが調査した結果、分娩後最初の主席卵胞が排卵した牛は、排卵前に血中エストラジオール(E2)濃度が増加し、その後LHサージ起きて排卵しましたが、排卵しない牛では、十分な大きさの卵胞を持っているにも関わらず、E2濃度の増加やLHサージがみられず、排卵しませんでした(図2)。

では、分娩後最初の主席卵胞が排卵する牛は、どのような栄養代謝状態にあるのでしょうか？

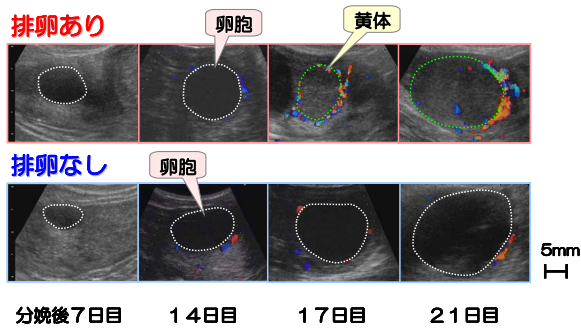


図1. 分娩後最初の主席卵胞の発育の変化
 上段：排卵した牛（15日に排卵）、下段：排卵しなかった牛
 ※白点線は卵胞、緑点線は黄体、卵胞や黄体の周りのカラーは2mm/秒以上の血流を示しています

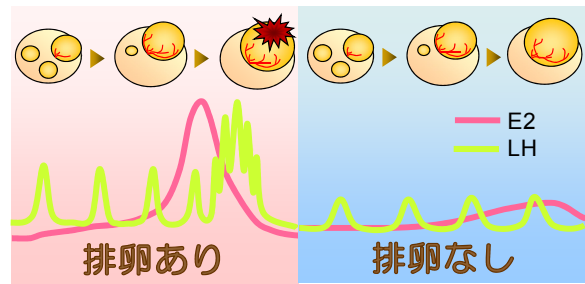


図2. 分娩後最初の主席卵胞の発育時のE2とLH動態の模式図
 (左図：排卵した牛、右図：排卵しなかった牛)
 排卵した牛は明確な血中E2濃度の上昇、LHサージがみられますが、排卵しなかった牛ではこのような現象はみられません

3. 分娩前後の栄養代謝ホルモン動態と分娩後最初の主席卵胞の排卵との関係

妊娠末期の乳牛の栄養代謝状態は、分娩が近づくにつれて、エネルギーを体に貯め込もうとする「同化」から、体の貯えをエネルギーに変えて消費する「異化」に変化していきます。なぜなら、採食量が落ちる一方で、急成長する胎子へのエネルギー供給や次の泌乳のために乳腺細胞の更新が必要であり、分娩後は摂取エネルギーに見合わない乳生産が始まるからです。この栄養代謝状態の変化には、栄養代謝ホルモンが大きく関わっています。エネルギー状態が安定している「同化」の状態の乳牛では、体脂肪動員を促進する役割を持つ成長ホルモン（GH）分泌は低く、逆にエネルギー摂取の指標となるインスリンとインスリン様成長因子 - I（IGF-1）分泌は高くなっています。しかし、妊娠末期の「異化」の状態では、GH 分泌が増加し、さらに体に糖を取り込む作用があるインスリンに対する感受性が低くなり、体に蓄えたエネルギーの利用が増えます。また、肝臓での GH 受容体の減少などにより IGF-1 産生が抑制されます。つまり、妊娠末期から泌乳最盛期にかけての乳牛は、GH 分泌が高く、インスリンと IGF-1 分泌が低いという状態になります。では、分娩後最初の主席卵胞が排卵する牛としない牛の分娩前後の栄養代謝状態はどのようになっているのでしょうか？

図3に分娩前後の血中栄養代謝ホルモン濃度を示しています。分娩後最初の主席卵胞が

排卵した牛は排卵しなかった牛に比べて、インスリン濃度に違いはありませんでしたが、GH 濃度は低く、IGF-1 濃度は高くなっていました。つまり、分娩後最初の主席卵胞が排卵した牛の方が排卵しなかった牛より、分娩前後のエネルギー状態が良好であったといえます。

また、分娩後最初の主席卵胞の発育・成熟期間の栄養代謝ホルモンの動態を詳細に調査した結果を図4に示しています。分娩後最初の主席卵胞が排卵した牛の E2 濃度のピークは、分娩後約16日目に確認されました。分娩後最初の主席卵胞が排卵した牛は、分娩時に起こる IGF-1 濃度の低下が遅く、分娩後最初の主席卵胞の発育時期にみられました。一方、排卵しなかった牛は、この時すでに低くなっていました。IGF-1 には、卵胞の細胞増殖やステロイドホルモン産生、LH 受容体の感受性を促進させる役割があるため、この時期に高い濃度の IGF-1 に卵胞が暴露されたことで、卵胞での E2 産生が高まったことが考えられます。そして、E2 上昇と同時にインスリン分泌の増加も確認されました。インスリンには、IGF-1 と同様に、卵胞でのステロイドホルモン産生を促進させる役割などがある一方、自身の分泌が E2 により促進されます。そのため、E2 とインスリンの相乗効果で、LH サージを引き起こし、排卵に至ったことが考えられます。

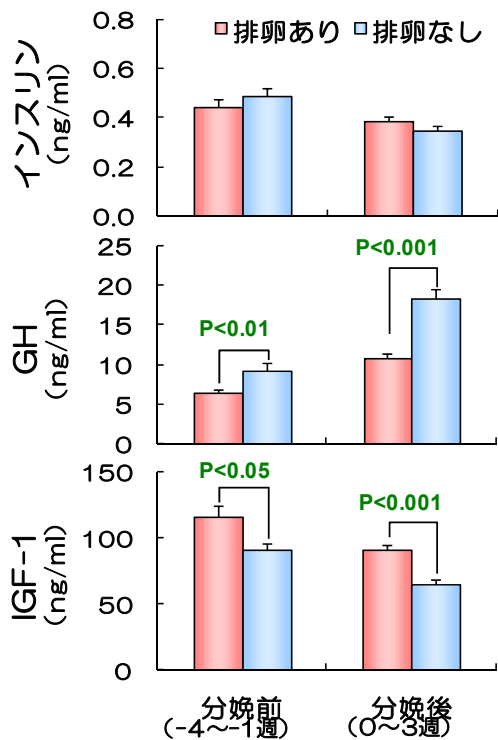


図3. 分娩前後の血中栄養代謝ホルモン濃度
 排卵した牛の方がIGF-1が高く、GHが低かったことから、エネルギー状態が良好であったと考えられます。

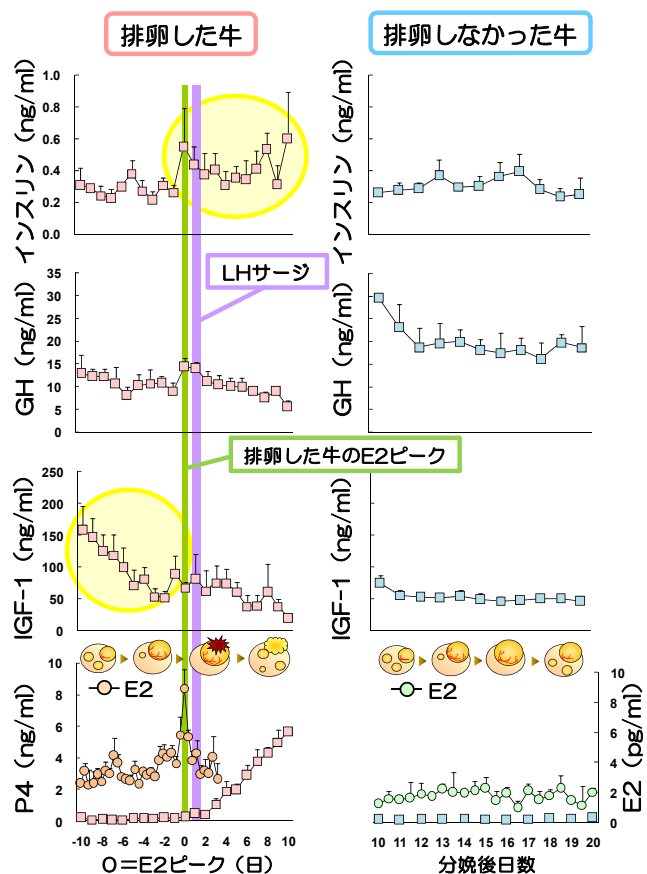


図4. 分娩後最初の主席卵胞発育時の栄養代謝ホルモン動態
 ※緑線がE2ピーク(分娩後約16日)
 紫線がLHサージ(E2ピークの約1日後)
 排卵した牛では卵胞発育時にIGF-1が高く、その後E2の上昇とともにインスリン増加が確認されました。

4. 分娩後早期の卵巢機能回復とその後の繁殖性

一般的に、分娩後早期に黄体形成されると、子宮の回復が遅れるといわれていますが、私たちがこれまで調査してきた中で、分娩後最初の主席卵胞が排卵する牛には、子宮の回復に遅れは見られませんでした。むしろ、分娩後最初の主席卵胞が排卵した牛は、排卵しなかった牛に比べて、その後に正常な卵巢周期が続き、初回授精日が早く、その結果、空胎日数が短くなりました(表1)。このような結果は、私たちだけでなく、他の研究グループからも数多く報告されています。つまり、正常な卵巢周期が早く始まることで、授精適期までの間に、発情行動を見つけるチャンスが増え、早期に受胎しやすくなるというわけです。

まとめると、エネルギー状態が良い牛は、子宮の回復が早く、分娩後最初の主席卵胞も排卵すると考えられます。このことから、分娩後最初の主席卵胞の排卵は、その後の繁殖性の指標の一つであるといえます。

表1. 分娩後最初の主席卵胞の排卵の有無におけるその後の繁殖成績

	排卵あり	排卵なし	有意差(P値)
正常な卵巢周期開始日	31日目	56日目	0.01
初回AIB	68日目	95日目	0.05
分娩後100日以内の受胎率	50%	17%	0.09
空体日数	110日	150日	0.05

排卵した牛はその後の繁殖性が良い!

5. 分娩後最初の主席卵胞の排卵と分娩前後の血中βカロテン濃度の動態との関係

分娩後最初の主席卵胞の排卵に、分娩前後のエネルギー状態が強く関与していることは明らかになりました。しかし、冒頭に記述したように、エネルギー状態だけを考慮しても、排卵させることが出来ないのが現状です。そこで、他に考えられる要因の一つとして、βカロテンが挙げられます。その理由として、分娩後のエネルギーバランスと同様に変動するということがありますが、これだけではありません。

βカロテンは当然ながら、牛自身が作ることが出来ず、摂取量はエサに依存します。もともと、生草に多く含まれており、貯蔵状態が良い牧草サイレージにもある程度含まれていますが、乾草やコーンサイレージには、ほ

んど含まれていません。近年の高泌乳化に伴い、給与するエサの種類が確実に変化し、エネルギー価の高い、コーンサイレージや濃厚飼料に頼っているのが現状です。近年の穀物価格高騰により、粗飼料の利用率は高まっていますが、その粗飼料とは牧草サイレージではなく、コーンサイレージです。さらにβカロテンは脂溶性であるため、乳中へも移行します。乳量が多いと乳への移行量も増加します。これらの現状を考えると、高泌乳牛ではβカロテン摂取が不足しているのではないかという疑問が浮かんできます。

そこで、分娩後最初の主席卵胞が排卵する牛、しない牛での分娩前後の血中βカロテン濃度の動態を調査しました。

① 放牧していない冬期間の分娩前後のβカロテン濃度の推移

【方法】

供試家畜…ホルスタイン種経産牛 22 頭
 飼養管理…乾乳期→パドック
 泌乳期→フリーストール
 給与飼料…牧草サイレージとコーンサイレージ主体の TMR
 試料採取…血液を分娩予定 3 週間前から分娩後 3 週目まで週 1 回
 排卵の確認…超音波画像診断装置と
 血中プロジェステロン濃度

【結果】

22 頭のうち、排卵した牛は 13 頭（平均産次；3.4 産）、排卵しなかった牛は 9 頭（2.6 産）でした。分娩後最初の主席卵胞が排卵した牛は、排卵しなかった牛に比べて、分娩前のβカロテン濃度が高く、分娩 3 週間前の濃度は排卵した牛で 3.0mg/L、排卵しなかった牛ではその半分の 1.5mg/L でした（図 5）。その後、排卵した牛では分娩が近づくにつれて低下していきましたが、排卵しなかった牛では分娩 3 週間前からβカロテン濃度が低いまま推移していました。しかし、分娩後には両

群に差がなく、全ての牛で増加しました。では、両群間の乾乳期の血中βカロテン濃度の違いの原因は何でしょうか？βカロテンは乳房炎などが起きた時に免疫機能を高めるために消費されます。また、泌乳期と乾乳期ではエサの組成が大きく異なるため、乾乳期間の長さが影響したのかもしれませんが、これらのデータは両群間で違いはなく、分娩前のβカロテン濃度が異なる理由は、特定出来ませんでした。

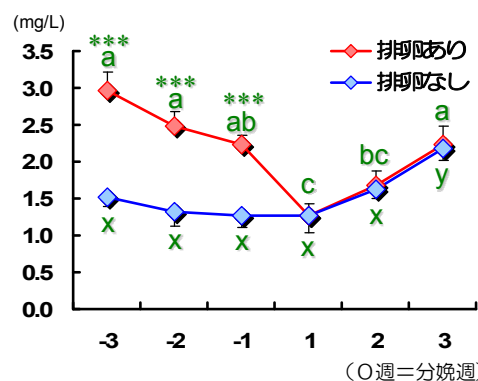


図5. 冬期間（放牧なし、牧草・コーンサイレージ主体TMR給与）の分娩前後の血中βカロテン濃度の変動
 *** ; P<0.001（排卵あり vs. 排卵なし）
 a,b,c ; P<0.05（排卵あり）、x,y ; P<0.05（排卵なし）
 分娩後最初の主席卵胞が排卵した牛では、排卵しなかった牛に比べて、分娩前の血中βカロテン濃度が高いことが確認されました。

② 乾乳前期に昼夜放牧している夏期間の分娩前後のβカロテン濃度の推移

【方法】

供試家畜…ホルスタイン種経産牛 6 頭
 飼養管理…乾乳開始～分娩予定 3 週間前
 →昼夜放牧
 分娩予定 3 週間前～分娩
 →パドック
 泌乳期
 →フリーストール+昼のみ放牧
 給与飼料…舎飼い時は冬期間と同様の
 TMR を給与
 試料採取…血液を乾乳開始から分娩後 3 週
 目まで週 1 回
 排卵の確認…血中プロジェステロン濃度

【結果】

6 頭のうち、排卵した牛は 3 頭（平均産次；
 2.7 産）、排卵しなかった牛は 3 頭（2.0 産）
 でした。

図 6 に分娩前後の血中βカロテン濃度を示
 しています。図の黄緑の部分には昼夜放牧期を
 示しており、この時期は全ての牛で、血中β
 カロテン濃度が高くなっていました。昼夜放
 牧からパドックに移動してからは、両群とも
 に急激なβカロテン濃度の低下がみられまし
 た。これは、放牧草の摂取がなくなったこと
 と、分娩が近づいたことによる採食量低下や
 初乳へのβカロテン移行が原因であると考え

られます。冬期間と異なり、夏期では分娩前
 の血中βカロテン濃度は、両群間に違いがあ
 りませんでした。しかし、この時期の血中濃
 度の低下の早さには違いがあり、分娩後最初
 の主席卵胞が排卵した牛では分娩 1 週間前に
 低い値に達したことに對し、排卵しなかった
 牛ではそれより 1 週間早い分娩 2 週間前に低
 い値に到達しました。しかし、分娩後は冬期
 間と同じく、両群に違いはありませんでした。
 また、乾乳期間や乳房炎発症頭数も冬期と同
 じく、両群間で差はありませんでした。

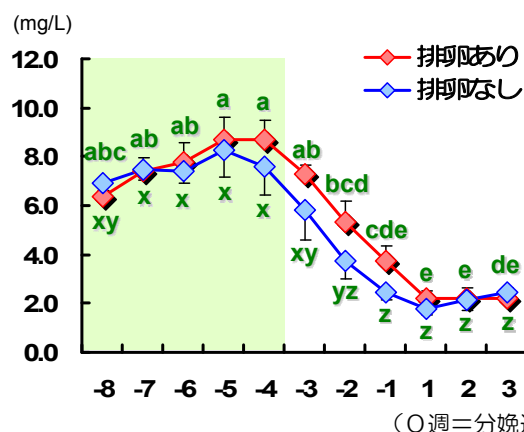


図 6. 夏期間（乾乳前期昼夜放牧、舎飼い時は牧草・
 コーンサイレーズ主体TMR給与）の分娩前後の血中β
 カロテン濃度の変動

※黄緑は昼夜放牧期
 a,b,c,d,e ; P<0.05 (排卵あり)、x,y,z ; P<0.05 (排卵なし)
 昼夜放牧時には血中βカロテン濃度が高く、試験期間中には
 両群間に濃度差はみられませんでした。しかし、昼夜放牧から
 パドック飼養に変わってからの濃度の低下は両群で異なり、排
 卵した牛では分娩1週間前に、排卵しなかった分娩2週間前に
 最も低い値まで減少しました。つまり分娩後最初の主席卵胞が
 排卵しなかった牛では1週間早く低い値になったといえます。

6. 分娩前のβカロテン投与が分娩後最初の主席卵胞の排卵に及ぼす影響

これまで示したように、理由はまだわかり
 ませんが、同じ飼養条件下でも分娩前の血中
 βカロテン濃度が異なる場合があります、分娩前
 の高い血中βカロテン濃度が、分娩後最初の
 主席卵胞の排卵に関係している可能性が十分
 考えられます。

そこで、血中βカロテン濃度が低下してい
 る分娩 3 週間前から分娩までβカロテン給与
 を行い、血中濃度や分娩後最初の主席卵胞の
 排卵に及ぼす影響を調査しました。

【方法】

供試家畜…ホルスタイン種経産牛 11 頭
 飼養管理…図 7 の通り
 給与飼料…舎飼い時は冬期間と同様の
 TMR を給与
 試験処理…分娩予定 30 日前と 21 日前のβ
 カロテン濃度の変動に差がない
 ように 2 群に分け、6 頭に分娩 3
 週間前から毎日、乳牛のβカ
 ロテン推奨量を経口投与

試料採取…血液を分娩予定 30・21・7 日前、
分娩後 7・14・21 日目の 6 回
排卵の確認…血中プロジェステロン濃度

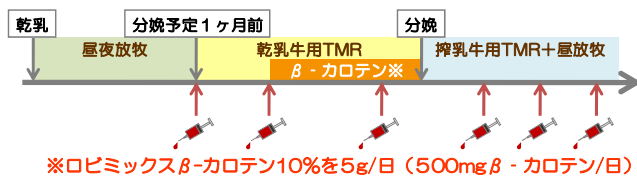


図7. Bカロテン投与試験のタイムスケジュール

【結果】

投与群 6 頭のうち、1 頭がケトosisにな
ったため、データから除外しました。分娩後
最初の主席卵胞が排卵した牛は投与群で 4/5
頭 (80%)、非投与群で 1/5 頭 (20%) でした。

図 8 に分娩前後の血中βカロテンとビタミ
ンA濃度を示しています。両群間に明確な濃
度差はありませんでしたが、非投与群ではこ
れまでの調査と同じく、分娩 3 週間前から 1
週間前にかけてβカロテン濃度の低下みられ
たことに対し、投与群ではこの期間の変動は

ありませんでした。一方、ビタミンA濃度は
両群間で同じように変動しました。また、排
卵する牛は排卵しない牛に比べてエネルギー
状態が高いことが明らかにされていますが、
今回の投与群と非投与群ではエネルギー状態
に差はなく、投与群の方がもともと排卵しや
すい牛だったということは考えられませんで
した。

以上のように、分娩前のβカロテン投与は
分娩後の卵巣機能回復に効果的かもしれませ
ん。しかし、血中βカロテンやビタミンA濃
度は、予想していたような変化はありません
でした。

今回は乳牛の推奨量を投与しましたが、実
はこの量は放牧時の約 1/4 程度でしかありま
せん。放牧時に相当する量を給与すると、も
っと明確な効果が期待できるかもしれないと
考え、現在、今回の 4 倍量のβカロテン投与
試験を行っているところです。これらの結果
が出次第、またご紹介させていただきます。

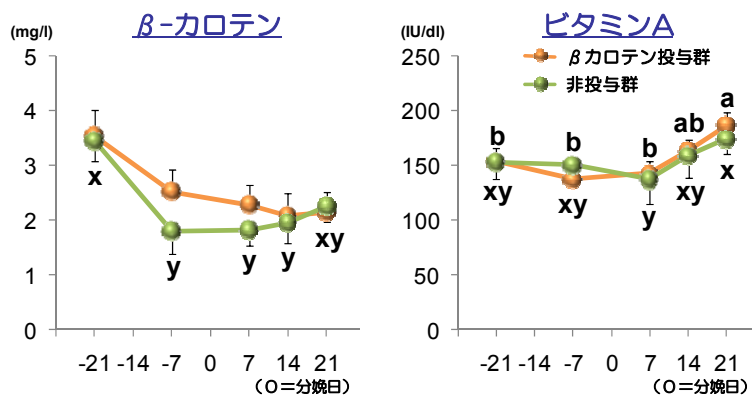


図8. βカロテン投与および非投与
牛での分娩前後の血中βカロテンと
ビタミンA濃度

a,b ; P<0.05 (投与群)、
x,y ; P<0.05 (非投与群)

非投与群は分娩前にこれまでの調査
結果と同様、βカロテン濃度の低下が
確認されましたが、投与群では、試験
期間中に統計的な変化はありませんで
した (左図)。

一方、ビタミンA濃度はβカロテン
の投与、非投与に関わらず、全ての牛
で同じように変化しました (右図)。

7. 最後に

高泌乳牛の繁殖性低下の打開策として、エ
ネルギー供給が大きく注目されており、その
他の微量栄養素には、あまり目を向けられて
いませんでした。しかし、今回のβカロテン
に関する研究結果は、βカロテンと分娩後の
卵巣機能回復との関係を強く結び付けるもの
であり、このことは、今後の高泌乳牛のエサ
を見直す必要があることを示しています。

本来、乳牛は私たちが消化できない植物を
食べ、私たちの食料となる乳や肉を提供して

くれる生き物です。このような乳牛の特性を
活かすには、栄養価の高い粗飼料作り、その
ための土作りが見直されるべきであると思
います。そしてそれが、乳牛の繁殖性改善、さ
らに食の安全につながると確信しています。

穀物価格高騰が続いている現状は畜産業界
にとって、とても深刻な問題ですが、もう一
度、乳牛における粗飼料の重要性を見直す良
いきっかけなのかも知れません。