

学 術

# 飼料原料の変化と潜在成分の変化

祐 森 誠 司

東京農業大学農学部

## 1. はじめに

このようなタイトルをご覧になると、栄養素の供給こそが飼料の役割であるから、その原料が変化すれば、供給成分（栄養素を含む）も変化するのが当たり前で、今更何事かとお考えになるのではないだろうか。我々人間は、毎日毎食、食べる物が変わるため、食事内容の変化によって生じる摂取栄養素の変化に対して鈍感になっているかもしれない。ヒトでの食事内容の変化は、摂取栄養素の偏りを無くし、バランス良く栄養素を摂取することに大きく貢献しているため、食生活において偏食を予防するように指導されている。動物においても放牧されるウシなどは、体調と給与飼料組成に応じて放牧地内の野草を自由に選択採食していることが明らかにされており、アニマルウェルフェアの観点では今後この選択の自由度についてテーマとなり得る事が報告されている<sup>1)</sup>。しかしながら、高い生産効率を求められる経済動物である家畜や家禽では、各成長段階で要求される栄養素量の充足が追究され、飼養標準としてとりまとめられた。くどい表現になるが、その栄養素量の提供を採食可能な量の中で約束する所定の飼料を、毎回食べ、乳、肉、卵の生産を効率的に行っている。飽きる、飽きないに関係なく、同じ組成の飼料を摂取しているのである（図1）。

野生動物を家畜化することに伴って、飼育する動物に与える飼料内容も検討され、食用不適物や食べ残しから化学的、経済的に効率の良いものを利用した飼料組成が確立され、流通しているのが現在の配合飼料である。しかし、BSE（Bovine Spongiform

Encephalopathy：牛海綿状脳症）の国内発生によって反芻動物への肉骨粉、魚粉などの動物質飼料原料の使用が禁止された（図2）。近年では、米国が石油に代わるエネルギー源として盛んに生産するバイオ燃料製造粕の利用や国内の食生活が多様化することで発生するフードロスが問題視され、廃棄される食品の利用として飼料化が強く謳われている。したがって様々な残さ、残滓が有用資源であるとの評価を受けて飼料原料に組み込まれてきている。このようにこれまで配合飼料が確立される過程で利用されてきた代表的な飼料原料が利用されない、あるいは



図1 バランスの良い食事（ヒト）と栄養素を充足した飼料（家畜）

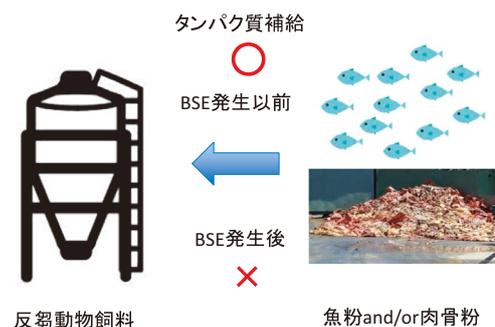


図2 BSEの発生による供試原料の大幅な変更

利用しにくくなり、さらには新たな原料利用が提唱され、時代に沿った配合飼料組成の変化があることは否めない。そして、この飼料原料の変化が、飼料に含まれる微量成分に影響することの検証はあまり注目されていないように感じる。本稿はこの点について話題を提供したい。

## 2. 無意識で忘れられる栄養素

新たな飼料資源と考えられる「物」については、資源として利用することを前提としているため、有用性（機能性）のみが強くアピールされ、対局の有害成分以外の組成については失念されがちである。

しかし、飼料原料の変化は、必須栄養素として飼養標準に示される栄養素だけでなく、安定して供給されていたために注目されることのなかった栄養素の供給量を激減させている現実がある。このような盲点の話題の一つに、少し視点はずれるが動物園でライオンなどの肉食獣を飼育し始めたとき、餌として馬肉などの筋肉を給与していたが、やがてビタミンの欠乏症状を呈し始め、死亡例も認められたそうである。これは極端な事例であるが、肉食獣は肉を食べていけばよいという観念から、派生した供給栄養バランスの崩れであり、本来内臓などの摂食でそれに含まれるビタミンは元より、草食獣により消化半ばの食下物も野生下では摂食しており、ビタミン類を確保していたのである（図3）。今回話題に掲げる栄養素は、動物種によっては体内合成が可能な非必須栄養素であるため、飼料に含ませる必要がないとして、要求量は追究されてこなかったものであ

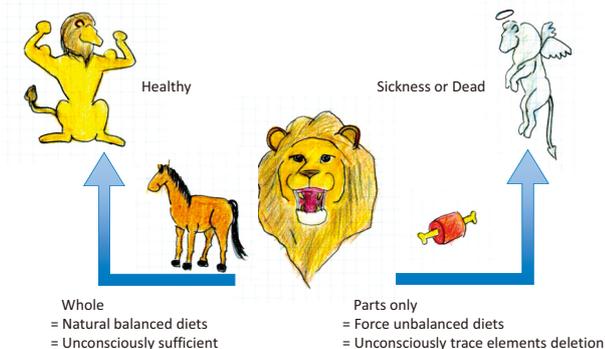


図3 思い込みによる不慮の事故が隠れた栄養素の必要性を示唆

る。よって、過不足の状況が明らかになっていない。しかし、無から有は生み出せないため、動物は体内でこれら栄養素を合成し、その基質となる物質を必ず獲得する必要がある。これは逆に考えると、非必須の栄養素であっても、飼料由来でそれを摂取すれば原料となる物質（必須栄養素）の節約や体内合成としての代謝に必要なエネルギー消費を節約できることとなる。

## 3. 動物質飼料原料の利用減少に伴う変化

動物質飼料原料は前述のようにBSE発生以降、反芻動物の飼料に利用することが禁止された。それと同時に単胃動物の飼料に利用することで反芻動物飼料がコンタミを起こしてはいけないため、単胃動物飼料でも利用割合が低下している。そもそも、高タンパク質であり、そのアミノ酸組成が摂取動物にとって有用であることから、飼料への配合が取り組まれてきたものである。肉骨粉の利用に対して、草食動物の飼料に肉系の原料を利用していたことが世論で強く非難されたが、栄養学的な観点での正当性はもとより、環境保全的にも現在主張される資源の有効活用を推進してきた内容である。疾病の予防上、反芻動物への給与を禁止した措置はやむを得ないのであるが、これに伴い飼料原料として動物質原料自体が蔑視された。さらには低タンパク質飼料による環境保全策が提案されるなどでその利用が低下し、不足するアミノ酸の補充が工業的に合成される結晶アミノ酸で補充されるようになった<sup>2)</sup>。このような状況下で、養豚用の配合飼料における魚粉等の動物質飼料原料の利用割合の変化をBSE発生前と現在で比較したところ、その利用割合が激減していることを報告した<sup>3)</sup>。魚粉については、多給すると魚臭や色素が豚脂に移行することなどで利用割合に制限があり、また原料となる魚の漁獲量が減少して価格が以前に比べて高まっていることも影響し、その含量は極めて低くなっている。動物質のタンパク質資源は、タンパク質を構成するアミノ酸の供給はもとより、同時にその他の窒素化合物が提供されることに大きな意義があると考えられる。魚粉の利用割合が減少することに伴う、非タンパク質態窒素化合物、

特に動物質資源が主たる供給源であるL-カルニチン供給の減少を危惧し、既知の含有量を利用して供給量を推定した。その結果では、当然のごとく、動物質試料原料の利用減少はL-カルニチンの供給量を大きく削減していることを示した(図4)<sup>3)</sup>。L-カルニチンは長鎖脂肪酸と結合してミトコンドリア内に運び込み、長鎖脂肪酸のエネルギー合成を促進するとともにこの反応残さを運び出すことが知られており、L-カルニチン量と長鎖脂肪酸分解反応との関係からエネルギー合成の律速因子とされる遊離アミノ酸である<sup>4~5)</sup>。リジン(Lys)やメチオニン(Met)を基質として体内で合成されるため、必須アミノ酸のように必要量が明らかにはされておらず、さらには飼料として魚粉等を利用していれば供給量も十分であったと考えられ、量的な必要性が注目されてこなかった。L-カルニチンの合成にはタンパク質を構成するこれらLysやMetが必要となるため、これに伴いタンパク質の分解が生じる。すなわち、L-カルニチンの必要量を充足するためにオートファジー機能が作動することになるが、従来タンパク質合成を促進する役割として考えられていたLysやMetといった必須アミノ酸の摂取は、このオートファジーを顕著に抑制する作用があることが報告<sup>6)</sup>されている。高齢者の食事で低脂肪の赤肉、摂取が提唱されているが、これはLysやMetといった必須アミノ酸に加えてL-カルニチンなどの積極的な摂取により、体タンパク質の分解、ひいては筋肉の分解を抑制することと効率的なエネルギー合成のために有効となる。また、L-カルニチンの合成にはアスコルビン酸(ビタミンC)が必須因子である<sup>7)</sup>。アスコルビン酸はヒトやサルを除くほとんどの動物でグルコースを基質として体内合成されるが、暑熱期にはこの合成反応が鈍り、アスコルビン酸の供給が提唱されている。このアスコルビン酸の補給はL-カルニチン合成を促す面でも有用と考えられる。また、L-カルニチンについてはその合成能力が遺伝的な要因として制限される可能性<sup>8)</sup>もあり、他の栄養素の充足状況にも影響を受けるため、L-カルニチンの正確な必要量は、定かではない。暑熱に対する抵抗力の高い系統の存在は、遺伝的な資質との関係性があるのではないかと推察している。今日、暑

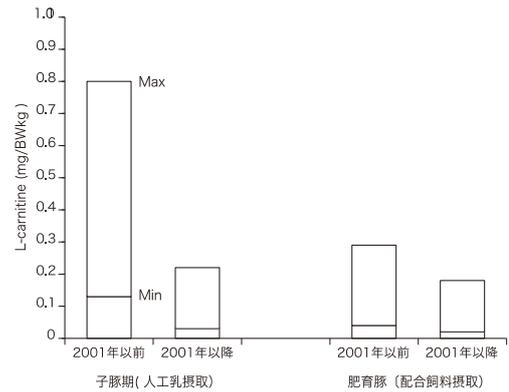


図4 人工乳および配合飼料の利用原料が変化することで推定されたL-カルニチンの供給量の変化(供試材料の割合変化によりMAXとMINを算出表示) 文献:3) 参照。

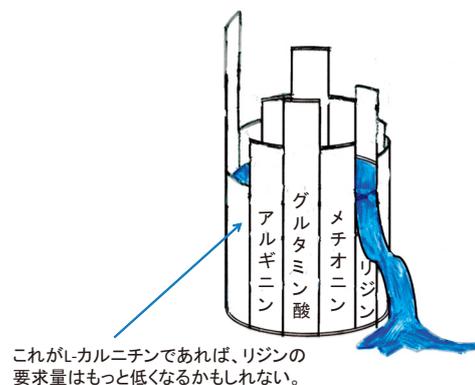


図5 リービッチの桶によるアミノ酸供給バランス

熱対策としてアミノ酸要求量が検討されている<sup>9)</sup>が、供給バランスを簡潔に説明するリービッチの桶の理論にL-カルニチンを挿入すれば、無意識に経口摂取するL-カルニチンによって、その最低限量が充足され、他の栄養素の必要量が低下して、それらの充足率は高まる可能性がある(図5)。

ただし、暑熱による影響は魚粉の配合割合が高い時期にも認められており、単純に魚粉の配合割合を高めて、有用なアミノ酸を多く与えれば、暑熱対策となるというものではない。これは、家畜の資質向上に伴う養分要求量の変化が強く影響するものであり、飼料成分はこの要求量の変化にも対応して検討されているが、必ずしも全栄養素の対応となっているわけではない。

WHO(世界保健機構)が生後6ヵ月齢まで推奨する母乳のみでの乳児保育ではビタミンB<sub>12</sub>の供給量が4ヵ月齢で不足する可能性が解説<sup>10)</sup>されている。

理由の如何はともかく、これは完全栄養食と考えられているものでも微量成分を追究すると問題が発生する事例のひとつである。

#### 4. フードロス対策

近年「飽食の時代」という言葉を聞かなくなってきたが、食生活に不自由を感じないままに過ごしている現在、フードロスという問題が生じている。言葉の意味は、食品の不足ではなく、廃棄される食品が年間約800万tと多く、この量は国産主食用米の生産量約813万tに匹敵することである。さらにフードロスとは別に食品廃棄量として残さや残滓を含めるとその量は年間1,700万tとなり、国産、輸入の枠に関係なく、わが国が年間で利用する食用生産物約8,400万tの約2割に相当する<sup>1)</sup>。

家畜に給与する飼料に関しては、ヒトが食べても利用できない、あるいは食べるに値しない物を活用することから始まり、油実粕や製造粕の飼料区分に含まれるものが主体である。すなわち、フードロスの解決策として単に廃棄するのではなく、家畜に給与して、動物質食料へと還元し、さらには排せつ物を肥料化して作物に還元し、持続的な物質循環を目指すことは、目新しい内容ではなく、畜産業の発展を支える基本的な考えである。前述の様に、元来飼料は我々が利用できないものを活用する手段であった。しかし、今日の食品利用に関しては単純にこれまでの循環の図を描くことはできない。そもそも、食材の多くを輸入している段階で、資源は国外に依存しており、それが国内で加工されて糟糠類などの残滓が出て、その残滓も国産ではない。具体的な事例では、米食からパン食や麺食の割合が高まり、小麦の消費が高まって、その輸入量が増えている。小麦粉を作るための精麦で、フスマがたくさん産出される。自給率向上の一環で国産扱いしているが、本来フスマは国産ではなく、輸入小麦の一部である。フスマは家畜において嗜好性も良く、これまでも飼料として有効活用されてきた。フードロスでは、フスマだけでなくパンも飼料化されることとなり、食用輸入された小麦全体が飼料となってしまう、米離れの食生活でその量が一気に増加している。小麦が

経費を掛け、遠廻りをして飼料利用される訳で、この経費は消費者への小売価格に影響する(図6)。さらに、このフスマを摂取した家畜の排せつ物を堆肥化して、耕作地に利用する場合、フスマ由来の堆肥成分は、国外からの持ち込みである。国土の狭い日本では土地が受け入れられる肥料成分以上の量となる食材を輸入しており、それに伴って酸性雨の問題や温暖化の問題が派生していることが唱えられてきた。フードロスの解決として、安易に飼料利用が提案されているが、この策では根本的な解決には通じず、労多くして効少なしの結果になりかねない。

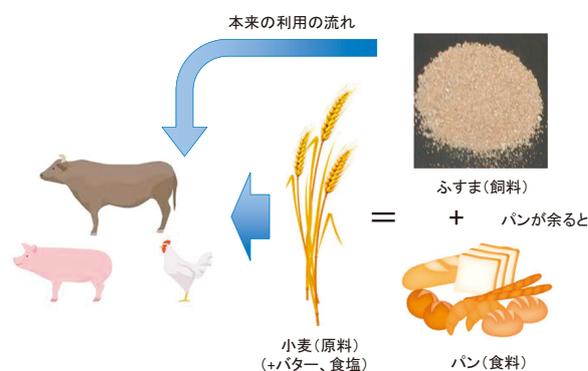


図6 飼料と食料の同時給与は原料の給与  
—お金と手間、暇かけて—

さらに一方で賞味期限や消費期限の記載方法や期限延長による廃棄を抑制する方策も検討されている。単純な対応として記載の基準を法律的に変更するだけでなく、保存性を高めることも当然検討されており、酸化防止等の目的で食品添加物として認可される物の利用が高まることになる。また、食品添加物でなくとも食材として利用することが認められている物に何らかの有効性があれば、当然食品として支障のない範囲で利用される。加工食品ではアレルギー事故の予防もあり、利用原料の明細を記載することが義務付けられており、意識の高い消費者はその内容を確認して、購入の是非を判断している。食品添加物と飼料添加物とは認可基準が異なり、両者には認可されている種に大きな違いがある。本稿の初めに述べたが、我々は食べる物が偏らないので、意外と一日摂取許容量(ADI: Acceptable Daily Intake)が高い。一方で飼料組成の変化が乏しい家畜では、摂取飼料に何らかの添加物が含まれること

で、食肉や卵、乳へ移行し、さらに生物濃縮があった場合でも、ヒトにとってのADI値よりも低くなる必要があるため、飼料に含まれる量は極めて低く設定される。すなわち、安全性の保証を担保するために、本来の機能が発揮される給与量が実質的に安全である事の証明がなされるまで認可されないため、食品添加物であっても飼料添加物にならないのである。ただし、このような違いが明らかになるのは、物質を限定しているものであって、食材利用が認可される不特定の物質においてその多給が及ぼす影響については、必ずしも飼料添加物に求められるような基準での検討はされていない。

フードロスで加工食品が飼料原料として利用されるようになると、原料の加工食品に含まれる物質のなかで、天然の食品原料に由来しない物質が飼料に入り込むようになり、対象が家畜であるため、その濃度の飼料が常時給与されることになる。農薬などについては、食品を対象として利用される上で、ADIが設定されており、食品としての残存濃度が確認されている。厚生労働省が、報告している食品中の残留農薬濃度と一日摂取量の調査結果<sup>12)</sup>に基づいて、この食品が飼料に利用された場合の畜肉への残留濃度を試算した結果、ADIを上回る値は得られなかった（未発表）。しかし、残留濃度の測定が可食部を対象として、不可食の外皮について確認されていないければ、その安全性は保証されていない。砂糖や食塩にもLD50値（Lethal dose, 50%：半数致死量）があるように、「我々が食べることが可能＝安全性の保証」ではないことから、有機性廃棄物を右から左に飼料化することが必ずしも好ましい物ではないと考える。ヒトが食べている段階で、危険性は感じられないが、食生活を共にする家族の一員としての伴侶動物がいる家庭では、アリプロピルジスフィドを含むタマネギ類やネギ類を調理した煮汁（抽出液）<sup>13)</sup>、テオブロミンを含むチョコレート<sup>14)</sup>、キシリトールを含むガム<sup>15)</sup>などによって、伴侶動物の健康被害を招きかねないため、これらを与えないように最大限の配慮を怠らない（図7）。一方、家畜たちにおいては、古くから飼料利用が検討されてきた、非食品の植物<sup>16~18)</sup>については、中毒成分などが明らかにされている。今後、食用で利用される物

を残滓や残さとしてウシ、ブタ、ニワトリなどに給与する際に適切な配慮を怠ると、その反動が我々の食生活に帰ってくるのは遠くないかも知れない。



図7 ペットの食餌はペットの健康にのみ影響

## 5. 謝 辞

日々頭の中でもやもやする考えに関して執筆の機会を頂きました秋田県立大学名誉教授の稲元民夫先生に感謝申し上げます。また、本文を推敲する段階でご助言頂きました佐藤光夫畜産学博士に感謝申し上げます。

## 6. 参考文献

- 1) 深澤充 (2018) アニマルウェルフェアと栄養生理学の関わり、栄養生理研究会報、62、27-32.
- 2) 祐森誠司他 (2004) アミノ酸添加低可消化粗タンパク質飼料による肥育豚の窒素排せつ量および糞尿由来アンモニアガス濃度の低減効果、日豚会誌、41、1-10.
- 3) 祐森誠司、王堂哲 (2016) 養豚飼料の変遷とL-カルニチンの供給量推定、日豚会誌、53、111-117.
- 4) 祐森誠司 (2013) 可欠栄養素と必須栄養素の識別－生産に対する影響カー、科学飼料、58、33-38.
- 5) 祐森誠司 (2012) 臨床以外でのL-カルニチンの応用－動物栄養における展開－、生物試料分析、35、293-298.
- 6) 長澤孝志 (2018) アミノ酸による骨格筋タンパク質分解調節機構に関する研究、栄食会誌、71、3-10.
- 7) 堀内正久、佐伯武頼 (2010) 8.カルニチン 8.2生化学的特性、ビタミン総合事典（日本ビタミン学会編集）、朝倉書店（東京）、547-549.
- 8) Sukemori S., Odo S., Sato M. (2017) relationships between plasma L-carnitine levels and genetic characteristics of Japanese Black steers, Dairy and Vet Sci J, 1019080/JDVS201704555639.
- 9) 井上寛暁他 (2017) 暑熱環境下の肥育後期豚へのアミノ酸強化飼料の給与が飼養成績に及ぼす影響、日豚会誌、

54. 67.
- 10) 山田正二、山田恵子 (2018) 新しいタイプの“infant formula”はビタミンB12供給源として安心か？、ビタミン、92. 128-131.
  - 11) 平成26年版消費者白書、食品ロス、消費者庁、www.caa.go.jp
  - 12) 平成26年度食品中の残留農薬等の一日摂取量調査結果、厚生労働省、www.mhlw.go.jp/file/06...11130500.../0000168951.pdf
  - 13) 大島誠之助、左向敏紀 (2011) 禁忌食 (その1) タマネギなどのネギ属とイヌ・ネコの健康、ペット栄養学会誌、14. 103-104.
  - 14) 大島誠之助、左向敏紀 (2012) 禁忌食 (その2) チョコレートとイヌ・ネコの健康、ペット栄養学会誌、15. 36-38.
  - 15) 左向敏紀、大島誠之助 (2013) 禁忌食 (その3) イヌのキシリトール中毒、ペット栄養学会誌、16. 30-32.
  - 16) 山中典子、祐森誠司、石橋晃 (2017) 飼料学 (150) - 飼料中の有害物質 有毒植物(1)-、畜産の研究、71. 889-894.
  - 17) 山中典子、祐森誠司、石橋晃 (2017) 飼料学 (151) - 飼料中の有害物質 有毒植物(2)-、畜産の研究、71. 961-968.
  - 18) 佐藤光夫他 (2017) 飼料学 (152) - 飼料中の有害物質 有毒植物(3)-、畜産の研究、71. 1035-1043.

## プロフィール

1959年生まれ

1982年3月 東京農業大学農学部畜産学科卒業

1987年3月 東京農業大学大学院農学研究科  
博士後期課程修了 (農学博士)

1987年4月～1988年3月 鹿友ビル(株)研究員

1988年4月～1992年9月 (株)鹿光生物科学研究  
所研究員

1992年10月～1995年3月 秋田県立農業短期  
大学畜産学科講師

1995年4月 東京農業大学農学部畜産学科勤務

2006年4月 東京農業大学大学院指導教授

2018年3月 日本養豚学会会長 (現在に至る)

研究テーマ：動物の要求する微量栄養素とそ  
の役割について