

系統交雑豚のエネルギー要求量と体組成

北海道立滝川畜産試験場 秦 寛

1. はじめに

近年の肉豚生産では雑種強勢を利用した方法が最も効率的な生産体系として確立されている¹⁾。雑種強勢は特に繁殖能力や飼料要求率などについて両親の持つ平均能力を上回る能力をその子供に期待できる他に、枝肉形質や肉質などについては品種または系統が持つ欠点を補い、優れた能力を併せ持たせる補完効果がある。

わが国では昭和40年代から交雑肉豚の生産が急速に広まり²⁾、近年の豚肉のほとんどは交雑豚によって生産されている。しかし、単に品種間で交雑するだけでは品種内での遺伝的変異が大きく、斉一な結果は期待できない。そこで、昭和45年より国内の公的機関を中心に豚系統造成事業がスタートした。これは、ランドレース、大ヨークシャー、デュロック、ハンブシャーなど主要な品種内で系統を造成し、その組み合わせにより三元や四元交雑種を作って肉豚を生産することを目的としたものである。これまでに国や都道県、農業団体により40の系統が完成し、さらに20系統が造成中であり³⁾、これらの系統交雑豚を利用した豚肉生産が農家段階で本格的に普及する時期を迎えている。

一方、食肉に対する消費者ニーズが多様化・高級化する中で、ここ数年来、銘柄豚といわれるものが全国各地で生産・販売されるようになってきた。平成3年の時点で32都道府県において110の銘柄があり、その約3割にあたる34銘柄(23都道府県)で系統豚が利用されている⁴⁾。遺伝的バラツキの少ない系統交雑豚は、質の揃

った豚肉を計画的に供給することが強く要求される銘柄豚生産に極めて適しているといえる。系統豚を利用した銘柄豚の生産頭数は平成3年で53万頭と全豚肉の3%に過ぎないが、平成12年には237万頭(全肉豚比12%)になると推測⁴⁾されている。銘柄豚も含め系統交雑豚の生産頭数は、平成12年までに600万頭と全肉豚の30%に達するとみられる。さらに、外国の育種会社が生産するハイブリッド種豚の輸入が昭和50年代後半から急激に増加しており⁵⁾、ハイブリッド豚も含めて遺伝的資質の高い交雑豚が養豚生産の主流になっていくものと思われる。

こうした交雑豚の産肉能力は従来の肉豚とは異なるため、その本格的な利用に際して遺伝的能力を十分に発揮させる飼養管理技術が強く求められている。そのため、北海道・東北の5つの試験場(滝川畜試・岩手畜試・秋田畜試・宮城畜試・山形豚試)では、系統交雑豚の飼料給与方式について全屠体分析の方法も取り入れたプロジェクト研究に取り組み、延べ1000頭を越えるデータに基づいて系統交雑豚の養分要求量を検討してきた。

その研究成果を中心に、ここでは遺伝的に高い資質を持つ交雑豚の体成分蓄積を考慮に入れたエネルギー要求量とエネルギーの体内配分に関連した体組成の変化について紹介・解説する。

1. 系統交雑豚の成長と自由採食量

系統交雑豚の特徴の1つは、その優れた成長速度である。NRC標準⁶⁾あるいは日本飼養標準⁷⁾では肥育期の最大成長速度を820~850gに見込

み、出荷（体重110kg）までに生後約6ヶ月を要するとしている。これに対し、最近北海道・東北の各試験場で造成された系統を用いた交雑豚では肥育期を通じて900～1100gの日増体量が報告⁷⁾されている。

系統交雑豚の成長曲線を従来の肉豚の標準成長^{5),6)}と比較すると、離乳後（1ヶ月齢）からの成長が極めて早く、出荷体重に3週間早く達する（図1）。滝川畜試で造成されたハマナスW1を用いた三元交雑豚（WL・D）の例で示すと、不断給餌条件における子豚・肥育期の成長曲線は次のようになる⁸⁾。

$$W = 0.249D + 0.00295D^2 - 1.7 \quad (1)$$

ここで、Wは体重（kg）、Dは日齢である。この微分式から、日齢別の成長速度（DG, kg/日）は以下のように求められる。

$$DG = 0.00589D + 0.249 \quad (2)$$

不断給餌条件で飼育する場合の期待増体量は、(1)・(2)式より体重15, 30, 50, 70および90kgでそれぞれ510, 660, 820, 950および1070g/日と推定される。これは去勢・雌を込みにした平均値であるが、性別にみると去勢豚は雌豚に比べ成長が速い。

成長の速さに関連して、採食能力が高いこと

も系統交雑豚の特徴の1つである。図2に示すように、系統交雑豚の体重別の自由採食量は従来の豚に比べ2～3割程度高い⁹⁾。これは不断給餌条件で成長速度を重視した豚の選抜が、間接的に系統豚の遺伝的な採食能力を高める結果になったものと推察される。

豚の自由採食量に性差が認められ^{9),10)}、去勢豚は雌豚より多く食べることが知られている。ハマナス系交雑豚（WL・D）の肥育期（30～110kg）における性別の自由採食量（VFI, kg/日）は、体重（W, kg）から以下のように推定される。

$$\text{去勢 } VFI = 1.687 \ln(W) - 3.842$$

$$\text{雌 } VFI = 1.276 \ln(W) - 2.398$$

系統交雑豚の自由採食量における性差は体重50kg付近から顕著になり、この体重は成長速度に性差が現われる時期^{9),9)}と一致している。

豚の飼料摂取量は、飼料のエネルギー含量によっても変化する。豚は、飼料のエネルギー含量が変化しても、1日当たりのエネルギー摂取量が一定になるように採食量を調節することが知られている^{10),11)}。系統交雑豚においても、図3に示すように飼料TDN含量が73%以上の範囲では1日当たりのDE摂取量がほぼ一定とな

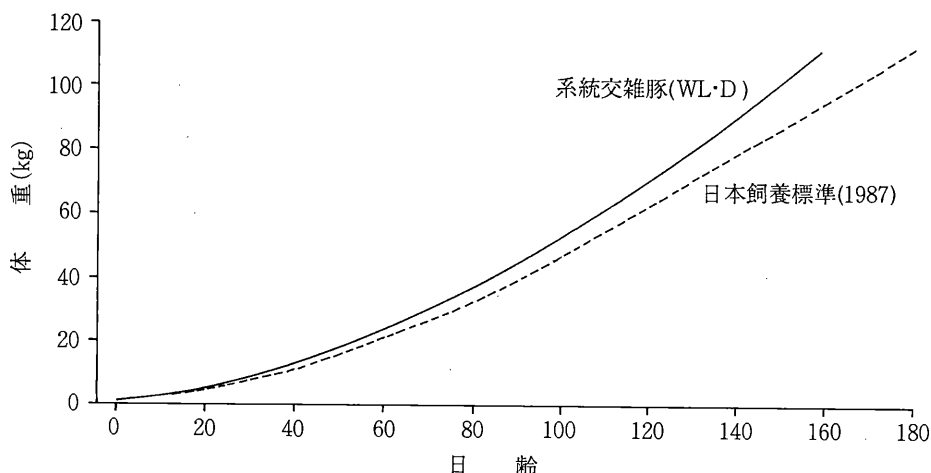


図1 系統交雑豚の成長曲線（滝川畜試⁸⁾）

り、エネルギー含量の増加に伴って飼料摂取量は低下する。しかし、TDN含量の低い範囲では、TDN含量が低下するにつれて飼料摂取量は増加するものの、DE摂取量の減少が認められる。これは、エネルギー含量の低い飼料ほど単位重量あたりの容積が大きく、豚の自由採食量が物理的な要因によって制約を受けるためである。TDN含量73%より低い飼料ではTDN含量1%の低下につきDE摂取量は肥育後期で0.4Mcal/日減少するとみられる⁷⁾。

2. 系統交雑豚の体成分蓄積

系統交雑豚のもう1つの特徴は、蛋白質（赤肉）の蓄積能力である。未改良の交雑豚での蛋白質の最大蓄積量は雄で130g/日、雌で120g/日、去勢雄で105g/日であることが報告¹²⁾されており、日本飼養標準⁶⁾でも蛋白質蓄積の1日当たりの上限を110gとしている。ところが最近の国外で育種された豚では200g/日に近い値¹³⁻¹⁵⁾が報じられており、わが国の系統交雑豚

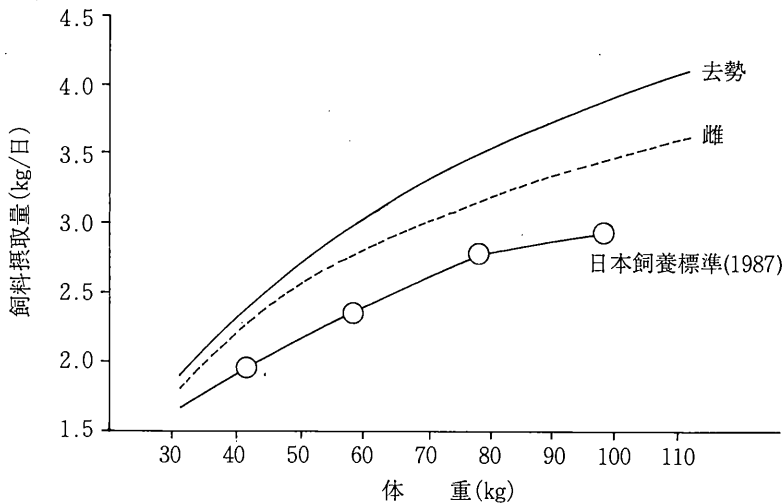


図2 系統交雑豚の自由採食量(滝川畜試⁸⁾)

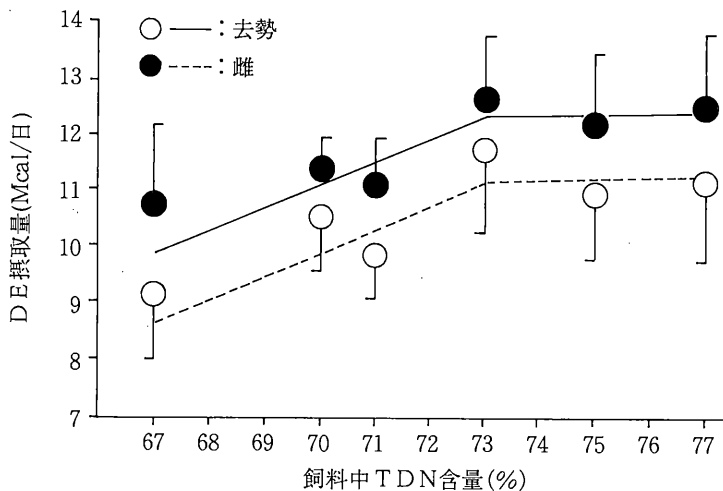


図3 飼料のエネルギー含量と自由摂取量の関係(滝川畜試⁸⁾)

でも130~160g/日の蛋白質の蓄積が認められている^{7, 9)}。

遺伝的改良が進んだ豚の成長に伴う体成分量の変化について、図4で示した。生時から体重145kgまでの範囲で屠殺した計247頭の成績^{7, 9, 16, 17)}から、不断給餌条件における体重(W, kg)と全屠体中の蛋白質、脂肪、灰分および水分量(P, F, A およびM, kg)の関係は以下のように推定される。

$$P = 0.1515W^{0.9846} \quad (5)$$

$$F = 0.0198W^{1.5589} \quad (6)$$

$$A = 0.0355W^{0.9569} \quad (7)$$

$$M = 0.9739W^{0.8470} \quad (8)$$

上記のアロメトリー式 ($Y = aX^b$) の相対成長係数(b)は、豚体の蛋白質は体重の増加に伴ってほぼ直線的に増加するのに対し、脂肪量は体重が大きくなるにしたがって急速に増加し、逆に水分と灰分の増加量は体重が大きくなるにつれて小さくなることを示している。これらの豚の体重別の脂肪量は日本飼養標準⁹⁾で示された関係とほぼ一致しているが、蛋白質量は全てのステージにわたってかなり高いものとなっている。

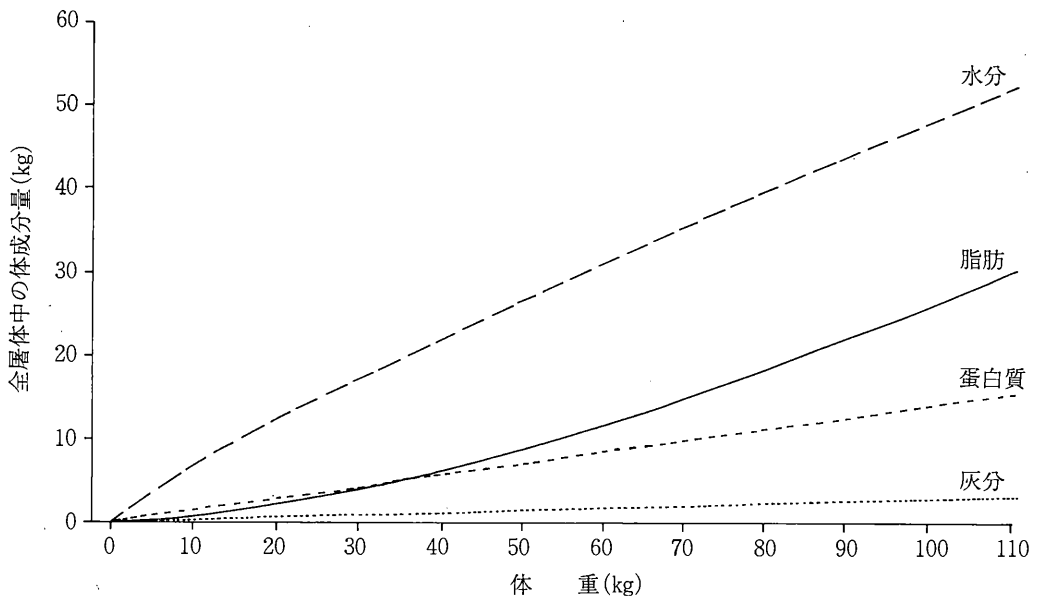


図4 成長に伴う系統交雑豚の体成分量の変化(文献7・9・16・17より作図)

豚の体成分の蓄積量は体重と成長速度の要因によって変化するが、遺伝的改良が進んだ豚の蛋白質、脂肪、灰分及び水分の蓄積量 (ΔP , ΔF , ΔA および ΔM , kg日) は(5)~(8)式の微分式を用いて体重(W, kg)と日増体量(DG, kg/日)から次のように求められる¹⁸⁾。

$$\Delta P = 0.1492W^{-0.0154} \times DG \quad (9)$$

$$\Delta F = 0.0309W^{0.5589} \times DG \quad (10)$$

$$\Delta A = 0.0340W^{-0.0431} \times DG \quad (11)$$

$$\Delta M = 0.8249W^{-0.1530} \times DG \quad (12)$$

豚の増体に占める体成分の割合は成長に伴って変化するが、その関係は(9)~(12)式から図5のように示される。消化管内容物を除いた豚の体重増加(EBWG)に占める蛋白質と灰分の割合は体重に関係なく14%および3%とほぼ一定しているが、脂肪割合は体重5kgの8%から体重110kg時の43%に増加し、逆に水分割合は64%から40%まで低下する。すなわち、豚の成長に伴って体組成の上では脂肪と水分の置き換えが起こる。

改良が進んだ豚では1kg以上の日増体量を期待することも可能である⁷⁾が、(9)式よりいずれ

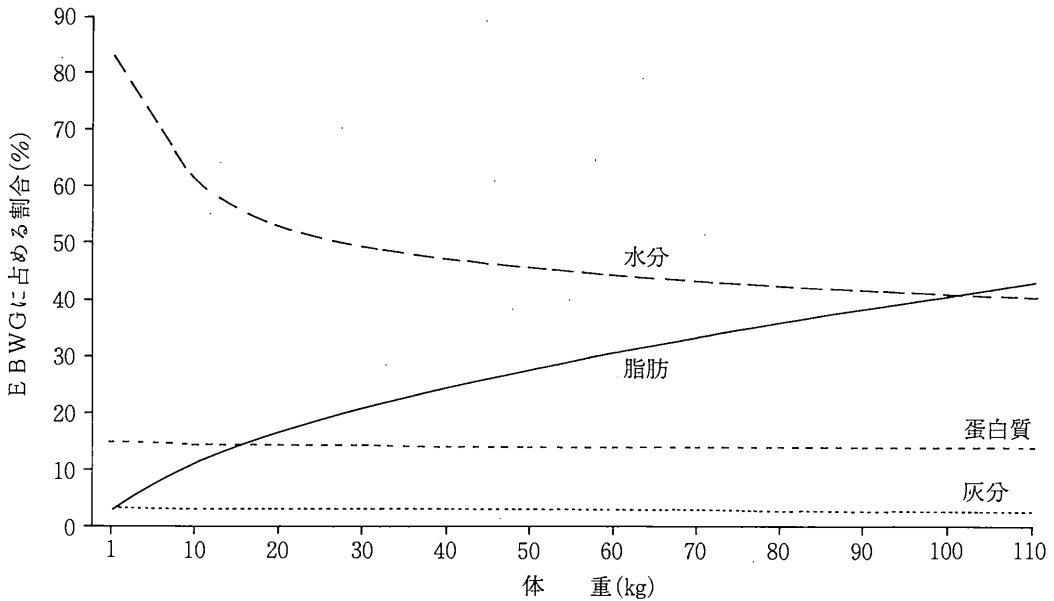


図5 消化管内容物を除いた体重増加(EBWG)に占める体成分割合の成長に伴う変化 (文献18より作図)

の体重においても日増体重が800g以上になると、蛋白質の蓄積量は日本飼養標準⁶⁾で上限とされている110g/日を上回ることが推定される。

3. 系統交雑豚のエネルギー要求量

肉豚のエネルギー要求量を求める方法として、2つのものが知られている¹⁹⁾。1つは、飼料摂取に対する成長反応の測定からエネルギー要求量を直接求める実験的手法である。もう1つは要因法と呼ばれるもので、エネルギー要求量に関する主要な過程の1つ1つに検討を加え、それらを積み上げることより要求量を求める理論的手法である。前者のエネルギー要求量は飼養試験などの結果から直接得られるので信頼性は高いが、飼養条件などが異なる場合にはそのまま適用することはむずかしい。そのため、最近の主要な豚の飼養標準^{5, 6, 19)}では、汎用性のある要因法によるエネルギー要求量の算定が試みられている。

この2つの方法により推定された系統交雑豚

のエネルギー要求量について紹介する。

1) 実測値に基づく推定

離乳期(5~25kg)、肥育前期(30~70kg)および肥育後期(70~105kg)に区分し、適温条件下で実施した飼養試験での計893頭の成績^{7, 20)}を用いて、成長段階別にDE摂取量(DE, Mcal/日)と日増体量(DG, g/日)の関係を示すと以下のものである。

$$\text{離乳期 } DG = 321.72 \ln(DE) + 168 \quad (13)$$

$$\text{肥育前期 } DG = 648.32 \ln(DE) - 458 \quad (14)$$

$$\text{肥育後期 } DG = 753.97 \ln(DE) - 881 \quad (15)$$

これらの関係から、任意の期待増体量を得るためのDE要求量は次ぎのように求められる。

$$\text{離乳期 } DE = e^{0.00311 \cdot DG - 0.5228} \quad (16)$$

$$\text{肥育前期 } DE = e^{0.00154 \cdot DG + 0.7063} \quad (17)$$

$$\text{肥育後期 } DE = e^{0.00133 \cdot DG + 1.1682} \quad (18)$$

さらに、全屠体分析により体成分蓄積量を測定した計214頭の成績^{7, 16)}から、DE摂取量(DE, Mcal/日)とタンパク質、脂肪、灰分および水分の蓄積量(ΔP , ΔF , ΔA および ΔM , g

/日) の関係を求めると、以下のようになる。

〈離乳期〉

$$\Delta P = 48.80 \ln(D E) + 31.1 \quad (19)$$

$$\Delta F = 58.89 \ln(D E) - 3.5 \quad (20)$$

$$\Delta A = 8.49 \ln(D E) + 6.7 \quad (21)$$

$$\Delta M = 178.11 \ln(D E) + 129.7 \quad (22)$$

〈肥育前期〉

$$\Delta P = 102.93 \ln(D E) - 76.3 \quad (23)$$

$$\Delta F = 331.79 \ln(D E) - 429.3 \quad (24)$$

$$\Delta A = 24.78 \ln(D E) - 25.0 \quad (25)$$

$$\Delta M = 330.49 \ln(D E) - 229.4 \quad (26)$$

〈肥育後期〉

$$\Delta P = 108.90 \ln(D E) - 123.1 \quad (27)$$

$$\Delta F = 458.20 \ln(D E) - 704.8 \quad (28)$$

$$\Delta A = 15.6 \pm 7.5 \quad (29)$$

$$\Delta M = 308.87 \ln(D E) - 330.2 \quad (30)$$

図6は、DE摂取量と日増体量および体成分蓄積量の関係を離乳期の例で示したものである。任意の期待増体量を得るためのDE要求量は(16)~(18)式で求められ、その場合の体成分の蓄積量は(19)~(30)式により算定することができる。

この方法で推定されたエネルギー要求量は、(16)~(18)式で決定係数 (R^2) が0.58~0.95と高いことで判断されるようにかなりの精度を有しているが、特定のステージにおける要求量であるため体重範囲などが異なる場合にはそのまま適用できないのが難点である。

2) 要因法による推定

要因法の考え方は豚では英国の1981年版ARC標準¹⁹⁾で提唱され、その後1987版日本飼養標準⁶⁾、米国の1988年版NRC標準⁵⁾でもこの方向に沿ったエネルギー要求量の検討がなされている。この方法は肉豚のエネルギー要求量を維持と成長に要する部分に分け、さらに成長に要するエネルギーを蛋白質と脂肪の生産に必要とされるエネルギーに分けて求め、これの総和として次ぎのモデル式により算定するものである。

$$ME = ME_m + (1/k_p) PR + (1/k_f) FR \quad (31)$$

この式で、 ME_m は維持に要する代謝エネルギー量を、 PR と FP は蛋白質および脂肪として体内に蓄積されるエネルギー量を示し、 k_p と k_f は豚が摂取した代謝エネルギー (ME) を蛋白

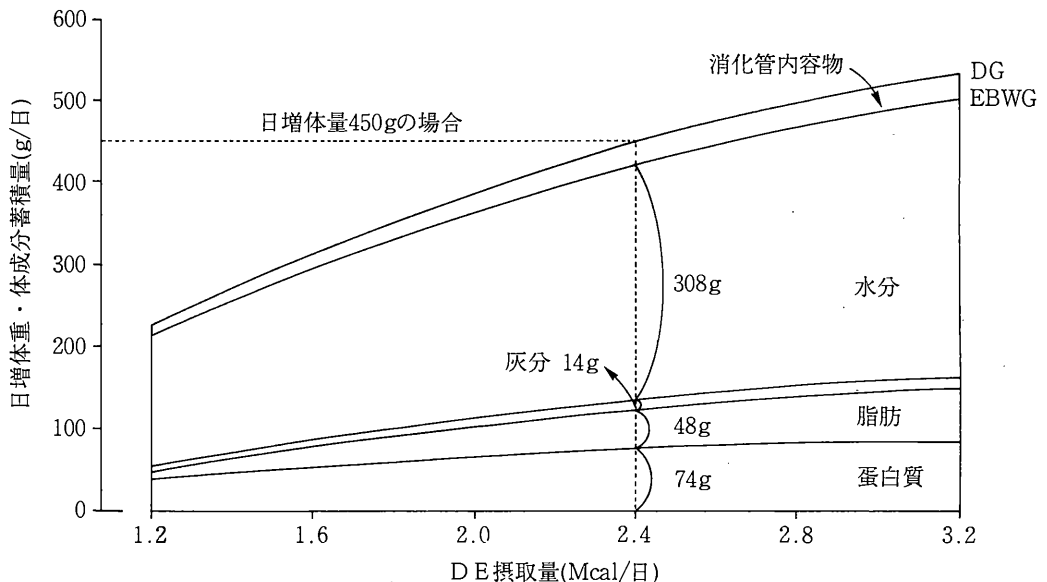


図6 離乳期におけるDE摂取量と日増体重および体成分蓄積量の関係(文献16・20より作成)

質または脂肪として蓄積する際の利用効率である。

$$ME = 110W^{0.75} + (1/0.56)PR + (1/0.74)FR \quad (32)$$

上の式は、ARC¹⁹⁾が具体的に提案しているものである。維持要求量は体重(W)から求められ、エネルギーの利用効率 k_p と k_f は0.56, 0.74の係数として与えられているが、蛋白質および脂肪の蓄積量(PR, FR)が与えられないと、実際にはエネルギー要求量を求めることはできない。

蛋白質および脂肪の蓄積量は豚の体重と成長速度の要因によって変化するが、それらの情報が不足しているためにARCとNRCでは要因法の考え方は示したものの、この方法で実際のエネルギー要求量を求めるには至っていない。1987年版日本飼養標準⁶⁾では、世界に先駆けて要因法に基づく肉豚のエネルギー要求量の表示を試みているが、蛋白質と脂肪の蓄積量については枝肉中の赤肉：脂肪比から推定²¹⁾しており、全屠体の分析値を用いていないため赤肉・脂肪以外の要素(内臓, 骨, 血液など)が体重増加の内容に考慮されていないなどの問題がみられる。

しかし、この数年間に系統交雑豚の体成分の蓄積量について全屠体分析に基づいた多くの測定値が得られ、蛋白質と脂肪の蓄積量を(9)・(10)式に示した関係を用いることにより体重と成長速度から求めることが可能になっている¹⁸⁾。

系統交雑豚の維持要求量とエネルギーの利用効率についても、適温条件で測定された146頭

の成績に基づいて維持のME要求量は130kcal/kg^{0.75}/日、MEの利用効率 k_p と k_f は0.46および0.68の推定値²²⁾が提出されている。この維持要求量はARC標準¹⁹⁾より2割ほど高く、ARCの要求量に豚の運動に要する部分を見込んでいる日本飼養標準の維持要求量⁶⁾とはほぼ一致している。赤肉産生能力に優れる系統交雑豚では蛋白質蓄積の効率が遺伝的に高い可能性も考えられるが、この k_p 値はARCの推定値¹⁹⁾よりやや低く、必ずしもその効率が高くなっているとはいえないようである。系統交雑豚の高い蛋白質蓄積能力は、むしろ蛋白質蓄積に配分される飼料エネルギーの絶対量が多いことに起因するものと考えられる。

要因法による系統交雑豚のエネルギー要求量は、次式の ΔP と ΔF を(9)・(10)の関係から求めることにより、任意の体重の期待増体重から算出することができる。

$$ME = 0.130W^{0.75} + (1/0.46) \Delta P \times 5.7 + (1/0.68) \Delta F \times 9.5 \quad (33)$$

$$DE = ME / 0.965 \quad (34)$$

ここで、5.7と9.5は蛋白質および脂肪中のエネルギー含量(kcal/g)、0.965は可消化エネルギー(DE)の代謝率である¹⁹⁾。これらの算定式により得られたエネルギー要求量(表1)を1987年版日本飼養標準⁶⁾と比較すると、肥育前期ではほぼ同じであるが、子豚期で1~2割低く、肥育後期では1割程度高いものになっている。

表1 系統交雑豚のエネルギー要求量 (DE, Mcal/日)

体 重 (kg)	1 - 5		5 - 30		30 - 70		70 - 110	
	200	450	750	950	850	900		
期待増体重 (g/日)	200	450	750	950	850	900		
実測値からの推定値 ^{a)}	—	2.40*	6.44	8.77	9.99 [#]	10.61 [#]		
要因法による推定値 ^{b)}	0.85	2.97	6.87	8.03	10.16	10.52		
日本飼養標準 (1987)	1.06	3.35	6.85	—	9.36	—		

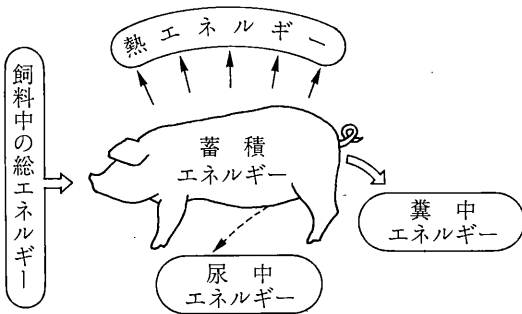
^{a)}(16)~(18)式より算出, ^{b)}(9)・(10)・(33)・(34)式より算出

* 体重5-25kg間の推定値, [#] 体重70-105kg間の推定値

なお、1993年版日本飼養標準では、ここで示した(9)・(10)・(33)・(34式)に基づいて、子豚・肉豚期のエネルギー要求量が改訂される予定である。

4. エネルギーの体内配分と体組成

豚の体内における飼料エネルギーの利用過程を図7に示した。飼料の総エネルギー (GE) から糞中と尿中に排泄されるエネルギーを差し引いたものが代謝エネルギー (ME) であり、豚が生命維持や生産のために利用できるのはこの部分である。生命維持に使われるMEと生産に使われるMEの一部は最終的に熱として体外へ損失されるので、それ以外の部分が体内に蛋白質および脂肪の形態で蓄積されることになる。



離乳子豚での測定値 Kcal/MBS/日 (%)		
総エネルギー (GE)	423	(100)
↓	糞中エネルギー	38 (9)
消化エネルギー (DE)	385	(91)
↓	尿中エネルギー	13 (3)
代謝エネルギー (ME)	372	(88)
↓	熱エネルギー	233 (55)
蓄積エネルギー (RE)	139	(33)
蛋白質	61	(15)
脂肪	78	(18)

図7 豚の体内における飼料エネルギーの利用過程(文献16より作成)

離乳子豚の例でみると、飼料エネルギーの12%が糞と尿中に排泄され、55%が熱として損失し、体内に蓄積される部分は30%程度である¹⁶⁾。

通常の配合飼料を給与した場合、糞と尿に損失されるエネルギーの割合の変動はあまり大きくない。しかし、摂取されたMEが体内で熱、蛋白質および脂肪に配分される割合は種々の要因によって変化し、そのことが肉豚の体組成に影響を与える。

1) エネルギー摂取量

MEの体内配分に及ぼすエネルギー摂取量の影響⁷⁾について、表2に示した。肉豚のエネルギー摂取量を制限した場合に、熱産生量、蛋白質および脂肪の蓄積量はすべて減少するが、MEの配分割合では熱に配分される割合が高まり、体蓄積とくに脂肪に配分される割合が低下する。これは維持に必要なME量はエネルギー摂取量に関係なく一定であり、エネルギー摂取量の制限に伴って維持に配分されるMEの割合が相対的に高まるためである。その結果、成長速度の低下と同時に豚体の脂肪割合に低下が起る。

とくに肥育後期の豚でも厚脂による上物率の低下を防止するために、飼料の給与量やエネルギー含量を低く押さえることが重要である。系統交雑豚では、肥育後期におけるDE摂取量1 Mcal/日の減少に伴って背脂肪厚が0.6mm薄くなると推定されている⁷⁾。

2) 飼料中蛋白質含量

MEの体内配分に及ぼす飼料中CP含量の影響¹⁵⁾について、表3に示した。飼料のCP含量の増加に伴って、MEの蛋白質への配分割合が高まり、脂肪への配分割合が低下し、体組成の上では脂肪割合の低下が認められる。また、蛋白質に配分されるMEが高まるにつれて熱として損失するME割合に増加がみられるが、これは蛋白質蓄積に対するMEの利用効率 (kp) が

脂肪蓄積に対する効率 (kf) より低いためである。系統交雑豚のMEの利用効率²²⁾から、蛋白質および脂肪 1 Mcalの合成に伴って1.2および0.5Mcalの熱が損失すると推定される。

一方、エネルギー蓄積の場合とは逆に、増体に対する蛋白質蓄積の効果は脂肪蓄積の効果より大きく、蛋白質へ配分されるMEの増加は日

増体量を高めることになる。各 1 g/日の蛋白質および脂肪蓄積の増加は、日増体量 5 および 1 g の増加を引き起こすことが示されている^{20, 23)}。

飼料中のCP含量の増加は豚の成長速度を高めると同時に豚体の脂肪割合を低下させるが、このような効果は筋肉の成長が旺盛な子豚期²⁴⁾

表 2 肉豚(30~70kg)のMEの配分と体組成に及ぼすエネルギー摂取量の影響(文献7より作成)

エネルギー給与水準	不断給餌	90%	80%	70%
ME摂取量 (Mcal/日)	7.3	5.7	5.1	4.7
日増体量 (g/日)	963	682	560	494
MEの配分割合				
熱産生 (%)	57.6	65.0	68.8	75.6
蛋白質 (%)	12.5	11.7	10.2	10.2
脂肪 (%)	29.9	23.3	20.9	14.3
豚体の化学組成*				
蛋白質 (%)	17.4	18.4	17.7	18.5
脂肪 (%)	24.4	21.1	22.6	15.8
灰分 (%)	2.4	2.7	2.4	2.6
水分 (%)	55.8	57.8	57.3	63.1

* エネルギー摂取量を不断給餌から日本飼養標準の70%の範囲で制限した場合の体重70kgにおける体組成

表 3 肉豚(33~88kg)のMEの配分と体組成に及ぼす飼料中蛋白質含量の影響(文献15より作成)

乾物中	前半	17%	21%	25%	29%
CP含量	後半	15%	18%	21%	25%
ME摂取量 (Mcal/日)	7.3	7.1	7.0	7.1	7.1
日増体量 (g/日)	936	990	1005	1038	1038
MEの配分割合					
熱産生 (%)	61.2	61.7	63.5	64.2	64.2
蛋白質 (%)	12.8	13.9	14.0	14.5	14.5
脂肪 (%)	26.0	24.4	22.5	21.3	21.3
豚体の化学組成*					
蛋白質 (%)	17.1	17.2	17.4	17.4	17.4
脂肪 (%)	17.2	15.6	14.6	13.5	13.5
灰分 (%)	3.3	3.5	3.3	3.1	3.1
水分 (%)	62.4	63.7	64.7	66.0	66.0

* ME摂取量を一定にして、飼料中CP含量を体重55kgまで17~29%、体重55kg以降15~25%の範囲で変化された場合の体重88kgにおける体組成

から肥育前期^{25,26)}にかけてとくに顕著になるようである。

3) 環境温度

寒冷の影響²⁷⁾について表4に示した。寒冷下では豚の体温維持のために余分な熱が必要となるため、MEの熱への配分が高まり、蛋白質および脂肪への配分が低下する。寒冷環境では成長速度が低下すると同時に、体蓄積されるMEの中でも特に脂肪への配分が大きく低下するため体組成の上では脂肪割合に低下がみられる。

肥育期の豚では、環境温度1℃の低下に伴って11~22gの日増体重の低下²⁸⁻³⁰⁾が起こり、背脂肪厚が0.5~0.7mm薄くなると推定⁷⁾されている。

表4 離乳期のMEの配分と体組成に及ぼす寒冷の影響(文献27より作成)

環境温度	25℃	5℃
ME摂取量 (Mcal/日)	2.4	2.2
日増体重 (g/日)	443	304
MEの配分割合		
熱産生 (%)	63.0	74.2
蛋白質 (%)	17.0	12.9
脂肪 (%)	21.0	12.9
豚体の化学組成*		
蛋白質 (%)	16.0	16.0
脂肪 (%)	12.0	10.2
灰分 (%)	3.4	3.4
水分 (%)	68.6	70.4

* ME摂取量を一定にして5週齢から飼育した場合の9週齢における体組成

寒冷下で豚は飼料を多く摂取するようになり、寒冷の程度があまり大きくない場合には、飼料の増給や飼料のエネルギー含量を高めることで成長の低下を防ぐことができる^{31,32)}。ARC¹⁹⁾では、下臨界温度より下の温域で肉豚のエネルギー蓄積量の低下を防ぐために必要となるMEの増給量(△ME, kcal/日)を次式により算定している。

$$\Delta H = (0.313W + 22.7) (T_c - T) \quad (35)$$

$$\Delta ME = (1/0.80) \Delta H \quad (36)$$

ここで、△Hは体温維持のために増加する熱産生量(kcal/日)、Wは体重(kg)、T_cとTは下臨界温度および環境温度、0.80はエネルギー蓄積のためのME利用効率である。これらの式から、体重50kgの肉豚では環境温度1℃の低下につき48kcal/日のMEの増給が必要になると計算される。

ところが、系統交雑豚を用いた飼養試験⁷⁾では日増体重の低下を防ぐために必要なMEの増給量は平均体重50kgの豚で111kcal/日/℃と推定されており、ARCの算定値と大きな違いがみられる。

寒冷下で必要な飼料エネルギーの増給量にこのような違いが生じる原因として、前者ではエネルギー蓄積量を指標にしてMEの増給量を算定しているのに対し、後者では日増体重を指標にしていることが挙げられる。離乳子豚を用いた研究³³⁾で、環境温度20℃の低下に伴うエネルギー蓄積量と日増体重の低下を防ぐために必要なMEの増給量はそれぞれ645および935kcal/日であり、日増体重の低下を防止するにはエネルギー蓄積量の低下を防ぐための増給量では不足することが明らかにされている。

寒冷下での成長速度の低下を飼料エネルギーの増給によって補った場合は、豚体の脂肪割合に増加が起こる³³⁾。これは、寒冷とエネルギー摂取量の2つの要因によって引き起こされる体成分蓄積の反応が異なるためである。

4) 性

去勢豚は雌豚より成長が速く、屠体の脂肪が厚くなり易い。その主要な原因は去勢豚の自由採食量が高いことにあると考えられているが、エネルギー摂取量が同じ場合でも表5に示すように豚体の脂肪割合に増加がみられる。去勢豚のMEの体内配分を雌豚と比較すると、蛋白質

に配分されるMEの割合に差がなく、脂肪への配分割合が高くその分だけ熱への配分が低くなっている。

これは、去勢豚では体内での脂肪沈着が雌豚よりも早く始まることに関連した変化と考えられる。系統交雑豚の成長に伴う枝肉横断面の脂肪割合の推移を調べた研究³⁴⁾で、体重45kgから脂肪蓄積に性差が出始めることが明らかにされている。脂肪蓄積における性差は体重45kgでは中軀に認められ、その後は肩部・腰部でもみられるようになり、体重90kg以降は全部位に拡がるとし、脂肪蓄積の起こる部位は成長段階によって異なることが示されている。

表5 肉豚(70~105kg)のMEの配分と体組成に及ぼす性の影響(文献7より作成)

性	雌	去勢
ME摂取量 (kcal/日)	9.1	9.2
日増体量	845	798
MEの配分割合		
熱産生 (%)	63.9	59.4
蛋白質 (%)	7.8	7.3
脂肪 (%)	28.2	33.3
豚体の化学組成*		
蛋白質 (%)	15.5	14.9
脂肪 (%)	26.9	30.3
灰分 (%)	2.5	2.2
水分 (%)	55.1	52.6

* ME摂取量を一定にした場合の体重105kgにおける体組成

5) 遺伝的資質

遺伝的改良がMEの体内配分に及ぼす影響³⁵⁾について、表6に示した。改良の進んだ系統Bでは、対照系統Aに比べMEの蛋白質と熱への配分が高く、脂肪への配分が低くなっている。この場合、飼料中CP含量の効果と同様に成長速度が高まり豚体の脂肪割合が低下する。

このようなMEの体内配分の変化は、豚の遺

伝的改良が晩熟・大型化の方向へ進められた結果と考えられる。成長速度と体脂肪の薄さを主眼とした豚の改良は、成熟時体重が大きく成熟日齢が遅くなる方向へ成長曲線を変化させる。豚の晩熟化は蛋白質や脂肪の蓄積がピークとなる日齢を遅らせ、豚の大型化に伴う肥育期の速い成長は一定の屠殺体重に達する日齢を早めることにつながる。改良が進んだ豚は屠殺体重が同じでも相対的に若齢なステージで屠殺されるので、脂肪の少ない屠体構成になるものと推察される。

表6 肉豚(45~90kg)のMEの配分と体組成に及ぼす遺伝的資質の影響(文献35より作成)

	対照系統	改良系統
	A	B
ME摂取量 (kcal/日)	35.5	35.5
日増体量 (g/日)	866	1110
MEの配分割合		
熱産生 (%)	53.2	55.2
蛋白質 (%)	8.7	11.3
脂肪 (%)	38.0	33.5
豚体の化学組成*		
蛋白質 (%)	16.5	16.8
脂肪 (%)	32.0	25.8
灰分 (%)	2.3	2.5
水分 (%)	49.0	55.6

* ME摂取量を一定にした場合の体重90kgにおける体組成

この他に、成長ホルモン³⁶⁾、 β -adrenergic agonist^{37,38)}、リジン³⁹⁾、中鎖脂肪酸⁴⁰⁾などの生理活性物質も、MEの体内配分に影響を与え、豚の体組成を変化させることが知られている。

以上のように、エネルギー摂取量や寒冷の要因は熱に配分されるMEと体蓄積されるMEの割合を大きく変化される。これに対し、飼料中CP含量、性、遺伝的資質、生理活性物質の要因は主として体蓄積されるエネルギーの蛋白質

と脂肪への配分に影響を与える。いずれの場合も、体組成への影響は脂肪と水分に大きく現れる。蛋白質と灰分の含量は若いステージでは影響を受けるが、肥育後期ではあまり変化しないようである。

6. おわりに

肉豚の体組成は成長段階によって劇的に変化するが、体重別の体組成は品種・系統・性などの遺伝的要素によって基本的には決まっており、それが栄養・環境条件によって修飾されるものと考えられる。そのような体組成の変化は、肉豚が飼料として摂取したエネルギーを体内で配分するしくみと密接に関係している。

しかし、これまで肉豚のエネルギー要求量は日増体量を指標にして求められており、屠体の組成や枝肉形質を指標にした要求量はいずれの飼養標準でも示されていない。また、豚の遺伝的資質や性の要因を考慮に入れた要求量についても、オーストラリアのSCA標準⁴⁾で表示が試みられているにすぎない。

斉一で高い遺伝的能力をもった交雑豚が豚肉生産の主流になる中で、成長速度だけでなく生産物としての屠体や枝肉の質を重視したきめ細かな養分要求量の表示が、今後さらに重要になっていくものと思われる。

参考資料および文献

- 1) 水間豊, 畜産の近未来, 76-80. 1991.
- 2) 阿部猛夫, 日畜会報, 58: 545-562. 1987.
- 3) 日本種豚登録協会, 系統とは一系統豚造成とその利用一, 1991.
- 4) 日本種豚登録協会, 系統豚を利用した銘柄豚の生産, 1992.
- 5) National Research Council, Nutrient Requirements of Swine, National Academy Press, 1988.
- 6) 農林水産省農林水産技術会議事務局, 日本飼養標準・豚, 中央畜産会, 1987.
- 7) 北海道立滝川畜産試験場・岩手県畜産試験場・宮城県畜産試験場・秋田県畜産試験場・山形県養豚試験場, 寒地・寒冷地における系統交雑豚の季節対応型飼料給与方式の確立, 北海道地域重要新技術研究成果集No. 1, 1992.
- 8) 北海道立滝川畜産試験場, 系統交雑豚に対する性別・季節別飼料給与方式, 平成4年度北海道農業試験会議資料, 1993.
- 9) 鈴木啓一・西清志, 日豚会報, 29: 63-69. 1992.
- 10) FORBES, J. M., The Voluntary Food Intake of Farm Animals, 86-113. Butterworths, 1986.
- 11) Nation Reserch Council, Predicting Feed Intake of Food-Producing Animals, National Academy Press, 1987.
- 12) WHITEMORE, C. T., J. B. TULLIS and G. C. EMMANS, Anim. Prod., 46: 437-445. 1988.
- 13) RAO, D. S. and K. J. MCCRACKEN, Anim. Prod., 51: 178-187. 1990.
- 14) RAO, D. S. and K. J. MCCRACKEN, Anim. Prod., 51: 389-397. 1990.
- 15) CAMPBELL, R. G., N. C. STEELE, T. J. CAPERNA, J. P. MCMURTRY, M. B. SOLOMON and A. D. MITCHELL, J. Anim. Sci., 67: 177-186. 1989.
- 16) 秦寛, 北海道立農業試験場報告, 70: 1-57. 1989.
- 17) SHIELDS, R. G., D. C. MAHAN and P. L. GRAHAM, J. Anim. Sci., 57: 43-54. 1983.
- 18) 秦寛・小泉徹・鈴木啓一・西清志・西田茂・阿部博行・吉田力・佐藤直人・富樫祐悦・小林俊博・今田哲雄・日豚会報, 29: 104. 1992.

- 19) Agricultural Research Council, The Nutrient Requirement of Pigs, Commonwealth Agricultural Bureaux, 1981.
- 20) 秦寛・小泉徹・山崎昶, 日畜会報 (投稿中). 1993.
- 21) 斉藤守・農林水産省畜試研報告, 47: 51-57. 1988.
- 22) 秦寛・小泉徹, 日畜会報 (投稿中). 1993.
- 23) LE DIVIDICH, J. and J. NOBLET, *Livest. Prod. Sci.*, 9: 731-742, 1982.
- 24) CAMPBELL, R. G. and A. C. DUNKIN, *Anim. Prod.* 36: 185-192, 1983.
- 25) CAMPBELL, R. G. and A. C. DUNKIN, *Anim. Prod.* 36: 415-423. 1983.
- 26) CAMPBELL, R. G., M. R. TAVERNER and D. M. CURIC, *Anim. Prod.* 40: 489-896. 1985.
- 27) 秦寛・小泉徹・蒔田秀夫・岡本 全弘, 日畜会報, 59: 936-943. 1988.
- 28) FULLER, M. F. and A. V. BOYNE, *Br. J. Nutr.* 25: 259-272. 1971.
- 29) HOLMES, C. W. and W. E. COEY, In *Nutrition and The Climatic Environment* (HAREISING, W., H. SWAN and D. LEWIS, eds.), p51-73 Butterworths, 1977.
- 30) VERSTEGEN, M. W. A., G. MATEMAE, H. A. BRADSMA and P. I. HAARTSEN, *Livest. Prod. Sci.*, 6: 51-60. 1979.
- 31) SUGAHARA, M., D. H. JENSEN, *J. Anim. Sci.*, 311: 59-62. 1970.
- 32) 所和暢, 北海道立農業試験場報告, 41: 1-66. 1984.
- 33) 秦寛・小泉徹・岡本全弘, 日畜会報, 61: 9-15. 1990.
- 34) 西清志・鈴木啓一, 日畜会報, 29: 70-76. 1992.
- 35) CANPBELL, R. G. and M. R. TAVERNER, *J. Anim. Sci.*, 66: 676-686. 1988.
- 36) CAPERNA, T. J, D. R. KOMAREK, D. GAVELEK and N. C. STEELE, *J. Anim. Sci.*, 69: 4019-4029. 1991.
- 37) BRACHER-JAKOB, A. and J. W. BLUM, *Anim. Prod.*, 51: 601-611. 1990..
- 38) REEDS, P. J. and H. J. MERSMANN, *J. Anim. Sci.*, 69: 1532-1550. 1991.
- 39) FULLER, M. F., A. CADENHEAD, G. MOLLISON and B. SEVE, *Br. J. Nutr.* 58: 277-285. 1987.
- 40) 高田良三・田島清・森淳, 第86回日本畜産学会大会講演要旨, p106. 1992.
- 41) Standing Committe on Agriculture, *Feeding Standards for Australian Livedtock Pigs*, CSIRO Publications, 1987.

