



Aviagen®



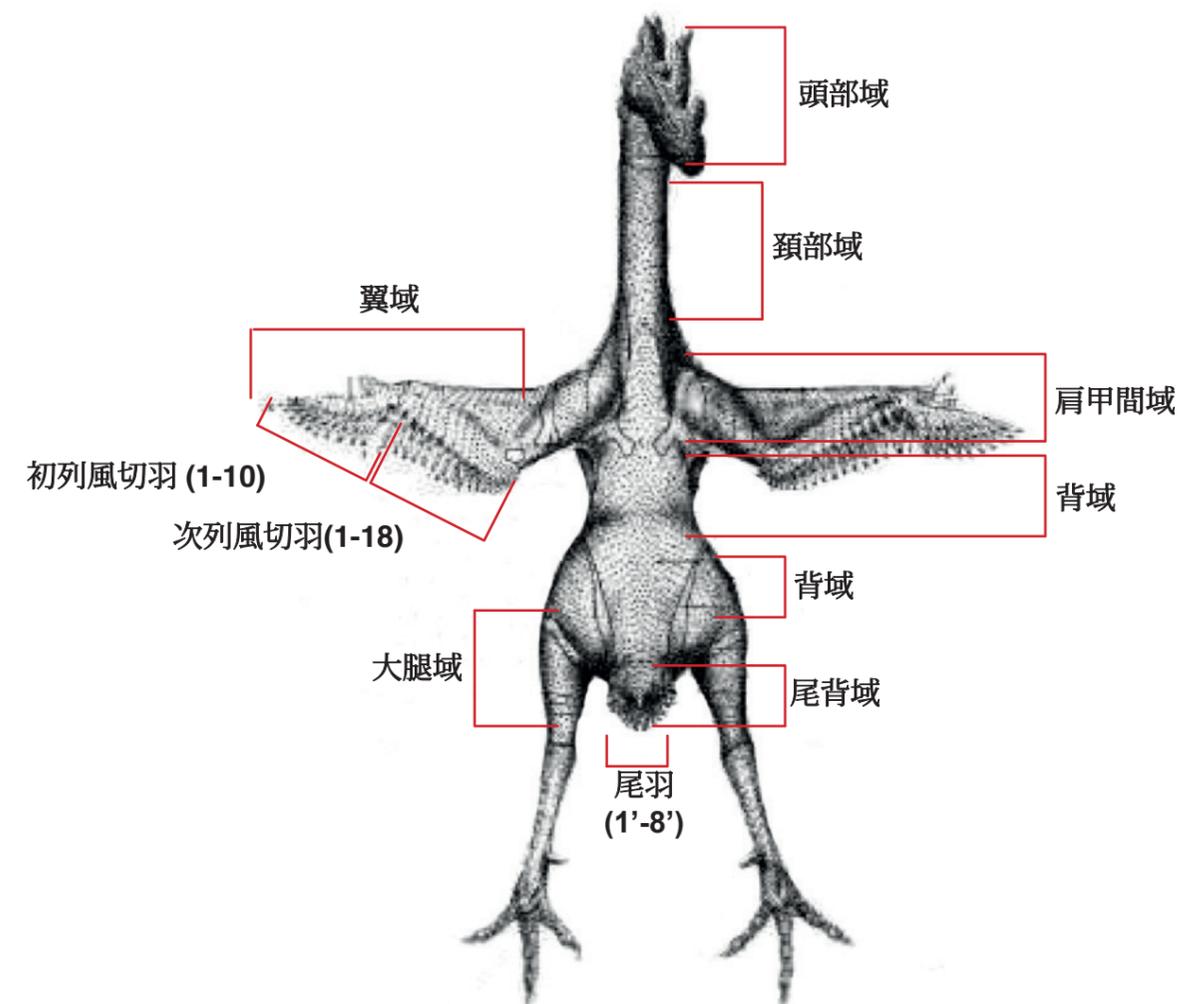
ブロイラー種鶏メスの羽毛

Dr. Colin Fisher, Nutrition Consultant, Aviagen Ltd
Copyright 2016, Aviagen, all rights reserved.

要旨

ブロイラー種鶏メスの羽装を維持することは、経済的な生産とアニマルウェルフェアのために重要です。羽装、特に背部の羽装は、メスの交尾意欲のために重要です。羽毛が少なくなれば、普通は生産周期の後半の受精とヒナ羽数が悪化します。羽毛は重要な体の構成要素で、その機能は物理的な防御から断熱と体温調節、性的誇示、そして飛翔まで多岐にわたります。にもかかわらず、家禽の研究において羽毛の研究は限定的で、ブロイラー種鶏の羽毛に関する多くの側面がまだよく理解されていません。この冊子は、科学的な視点から、我々の現在のブロイラー種鶏メスの羽毛に関する知識をお示しするものです。現場で使える情報については、『ブロイラー種鶏メスの羽装管理のための実践的ガイド』（2014年12月）をご参照ください。

図1. 背中（背部）から見た羽毛の分布



序論

脊椎動物の皮膚を覆うものはいろいろありますが、鳥類の羽毛は最も複雑に進化したものと表現されてきました。羽毛は物理的な防御、断熱と温度調節、性的誇示、そして飛翔などの役割を持つ重要な器官です。しかし家禽の羽毛は研究において明らかに無視されており、羽毛がまばらになったり、なくなったり、ダメージを受けたときにだけ注目されます。

家禽の全ての種類と同様に、ブロイラー種鶏においても、羽装の発達と維持は重要です。メスの背中の羽毛の喪失が交尾行動に与える影響は特に重要です。交尾によって皮膚への衝撃が生じることは、メスの交尾を減らし、受精と種鶏成績を悪化させます。このブロイラー種鶏メスの羽装減少の考えられる原因を診断することは困難です。羽毛の喪失は熱の喪失を増やし、トリの代謝エネルギー要求量を増やします。気温が低いときにこれを飼料増量で是正すれば、経済的影響につながりますし、是正しなければ、種卵の収量が減ることでやはり経済的影響が表れるでしょう。多くの要因が関わっているでしょうし、生産周期の後期に生じる羽毛の異常は、もっと早い段階で起きたがそのときに対処されなかった出来事の結果でしょう。

羽毛の発達の生物学

羽毛の構造

およそ6,000から9,000の羽毛が、羽生領域あるいは羽域として知られる20から30の区別された成長領域に配列されています。これらは体表の約75%を覆っています。皮膚の羽毛がない領域、あるいは裸域は、とりわけ翼の下と竜骨の上、胸の中央部に生じます。翼の雨覆羽と尾羽は羽衣を完成させます。図1は背中側の主な羽域を示しています。主背（骨盤背側）域と2つの下腿（大腿）域は、交尾の際にオスの蹴爪とメスの間のバリアを形成するであろう羽域です。

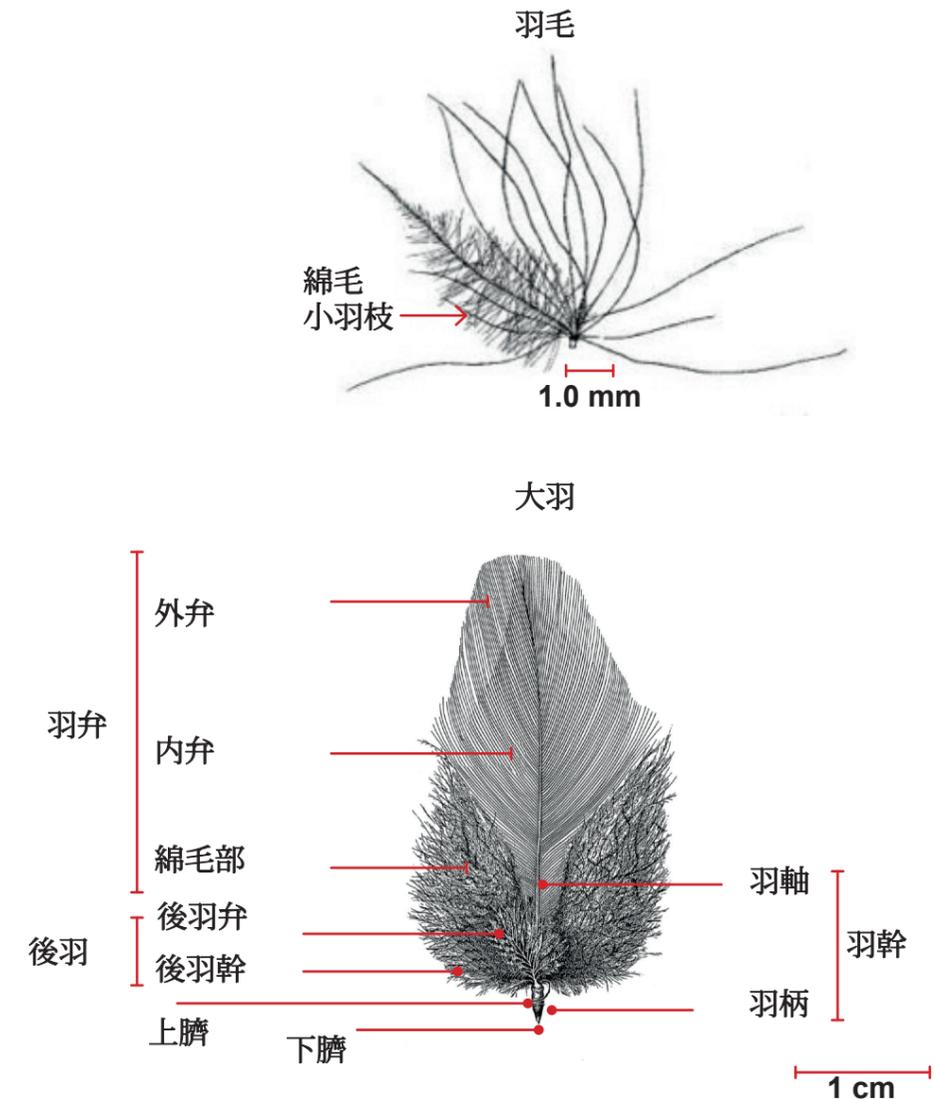
多様な羽毛の型は、便宜的に以下の5つの分類に分けられます；

- 翼（風切羽）と尾（尾羽）の大きく固い羽毛
- 大羽
- 綿毛あるいは綿羽
- 毛に似た毛状羽
- 顔の小さな剛毛（半綿毛と呼ばれる分類は、大羽と綿毛の中間に含まれます）

風切羽と尾羽は、大きく固い羽毛で、ほとんど大羽のような左右非対称な羽根を特徴とします（図2参照）。大羽は、体全体を覆う外部保護コーティングの主たる部分を形成します。典型的な大羽の主な部分を、図2に示します。綿毛は孵化のときからあるもの（出生時綿毛）と、家禽の裸域に認められるもの（限定的綿毛）があります。綿羽は全体が綿毛で、成鶏では断熱の役割を果たすためにあるようです。毛状羽は毛のような羽毛で、孵化後数日で皮膚の上に現れはじめます。大きな羽毛の配置を制御するための感覚入力を提供する機構の一部です。

大羽（図2）の主な構造は、羽弁を形成する2組の平行な羽枝を伴う軸、羽軸からなります。皮膚に近い（近位）羽弁は、柔らかくふわふわした質感（綿毛あるいは綿毛のような）で、外側（遠位）羽弁は、硬くぎっしりしています（大羽のような）。小羽枝はそれぞれの羽枝に付着しており、隣接した小羽枝どうしがかみあって大羽のような羽弁を強く硬くしています。他の羽毛のタイプも似たような構造ですが、細部は変化に富んでいます。

図2. 初生時の羽毛（上）と典型的な大羽（下）の構成要素。
上図では、小羽枝を伴う1つの羽枝のみを図示。（LucasとStettenheim、1972）



羽囊

羽囊の発達は、5日齢の胚で最初に見られ、十分に分化した毛包は16日までに現れます。孵化時には、全ての毛包が存在します。羽囊(図3)は、円筒状の陥入、あるいはきわめて薄い内張りを伴う皮膚の上皮にあるくぼみです。これは発芽能力のある上皮の層に囲まれており、皮膚と結合しています。立羽毛筋は毛包の外側の層に付着しています。くぼみの中には、まず鞘を作り、羽軸と羽枝、そして羽柄を形成する3つの発芽層があります。新しい細胞は、毛包の基底部の真皮乳頭のすぐ上にある、環状の増殖組織である上皮環の中で作られます。真皮乳頭自体は、発達中の円筒の中心にある羽髓を作ります。羽髓には血管と神経の両方が分布します。羽毛の構成要素の分化スキームは、次頁の図4にまとめられています。

ケラチンは、羽毛に含まれる主な構造タンパク質です。これは実質的にはタンパク質分解酵素による劣化を防ぐ硬化タンパク質です。ケラチン小線維は螺旋タンパク質の水素結合で束ねられており、羽毛の物理的な構造と強さを与えています。シスチンジスフィルド結合は、特にタンパク質構造の強度を安定させます。

胚の羽毛の角質化は、およそ孵卵13日目に開始し、19日までに完了します。この過程は各細胞の細胞質で行われ、一般的に細胞増殖と同時に起こります。羽の色素も同時に蓄えられます。

図3. 細胞増殖の主な場所を示した羽囊

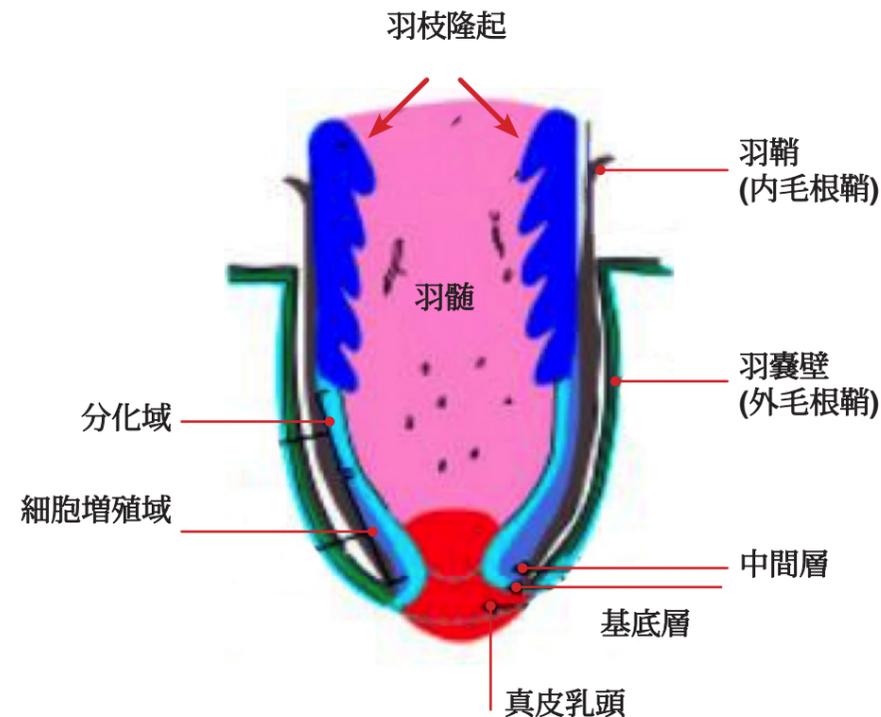
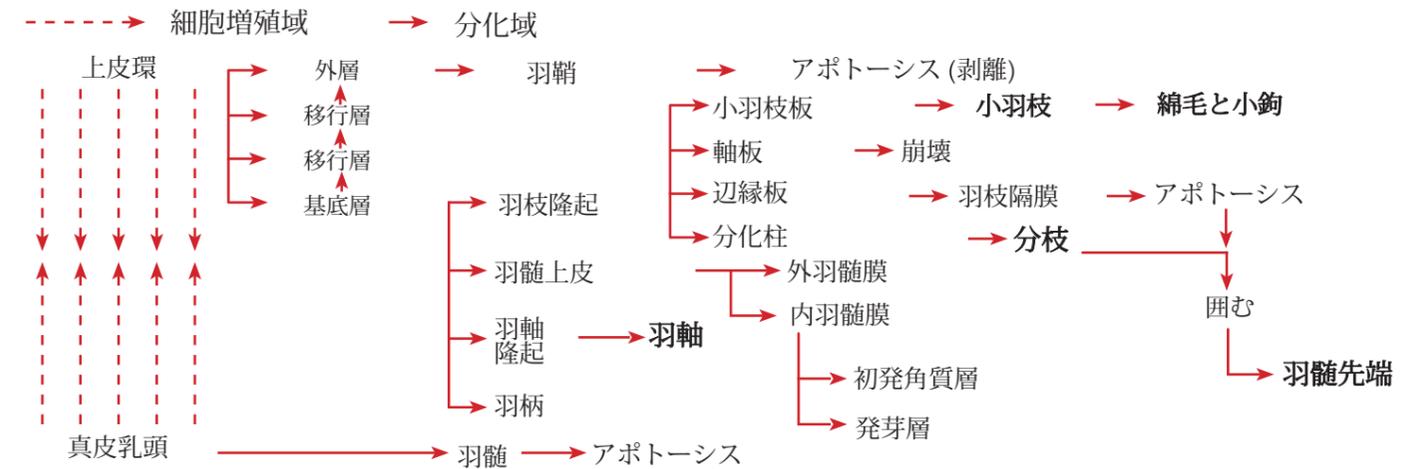


図4. 異なる羽毛の細胞タイプと構造の系統図 (Yuら(2004)および LucasとStettenheim(1972))



羽毛の成長と発達

孵化までに出生時羽毛の成長は完了しており、羽毛の生え変わりの第一段階が既に始まっています(図5)。孵化後間もなく、各羽毛の羽鞘は乾いて剥がれ落ちます。羽枝が広がり、小羽枝が羽枝から解放されて出生時羽毛はふわふわになります(5頁図2)。孵化時と発育初期の羽毛の出現は、単一の性関連遺伝子K(遅羽)とk(速羽)の分離に強く影響されます。

図5. 初生ひなの出生時羽毛と第一段階羽毛の最初の出現。
左のひな(A)は速羽遺伝子(k)を、右のひな(B)は遅羽遺伝子(K)を持っている。



初生の綿毛から始まり、ヒナ、若鶏、そして成鶏と、前の世代の綿毛と置き換わる羽毛の生え変わりは3回あります。それぞれの羽域の羽毛の生え変わりのパターンは秩序だっていますが、各羽域で換羽が開始する時期と完了する時期はトリによって、また羽域によって違います。そういうわけで、いかなる週齢であっても、ひとつの羽域に複数の世代が存在し、鶏群間の差はとても複雑です。要するに、鶏は成熟まで、その体のどこかで常に羽毛を失い、同時に羽毛が育っているのです。

羽毛の成長を計測することは難しく、またその結果は、実験手順の多くの多様性の影響を受けます。結果として手に入るデータは非常に変化しやすく、数が少なく、そして比較するのが困難です。図6は、さまざまな実験施設において実験用鶏舎で飼われたブロイラーの、体重に対する総羽毛重量をプロットしたものです。これらのデータには非常に大きな差がありますが、その原因は分かりません。これらの実験の中で、オスメス両方を使っている場合、一定の体重に対する羽毛の重量は、オスに比べてメスで高くなりました。異なる系統の商業ブロイラーを使ったこれらの研究結果は、系統は比較的小さな変動要因であることを示唆しています。

ブロイラーでは、総羽毛重量の経時的増加は、体重自体と同様に、シグモイド成長曲線で最もよく表すことができます。図7は1999年に行われた実験で得られたもので、2つの商業ブロイラー系統の、オスとメスのブロイラーの曲線を示しています。上述の通り、2つの系統はよく似ており、いずれもオスで約300g、メスで約220gの計画成熟羽毛重量になっています。羽毛の最大成長速度は、40から45日齢で一日あたりオス、メスそれぞれ約4.5gと約3.5gです。これらの記述は、と殺時に残っている羽毛の重量を基にしており、成長して抜け落ちた羽毛は考慮していません。

図6. ブロイラーの体重に対する羽毛総重量を示すグラフ。データはEdwardsら(1973)、Fisherら(1981)、Gousら(1999)、Hananssonら(1978)、Ozkanら(2002)、Sakomuraら(2006a, 2006b)、Stilbornら(2004)から引用。

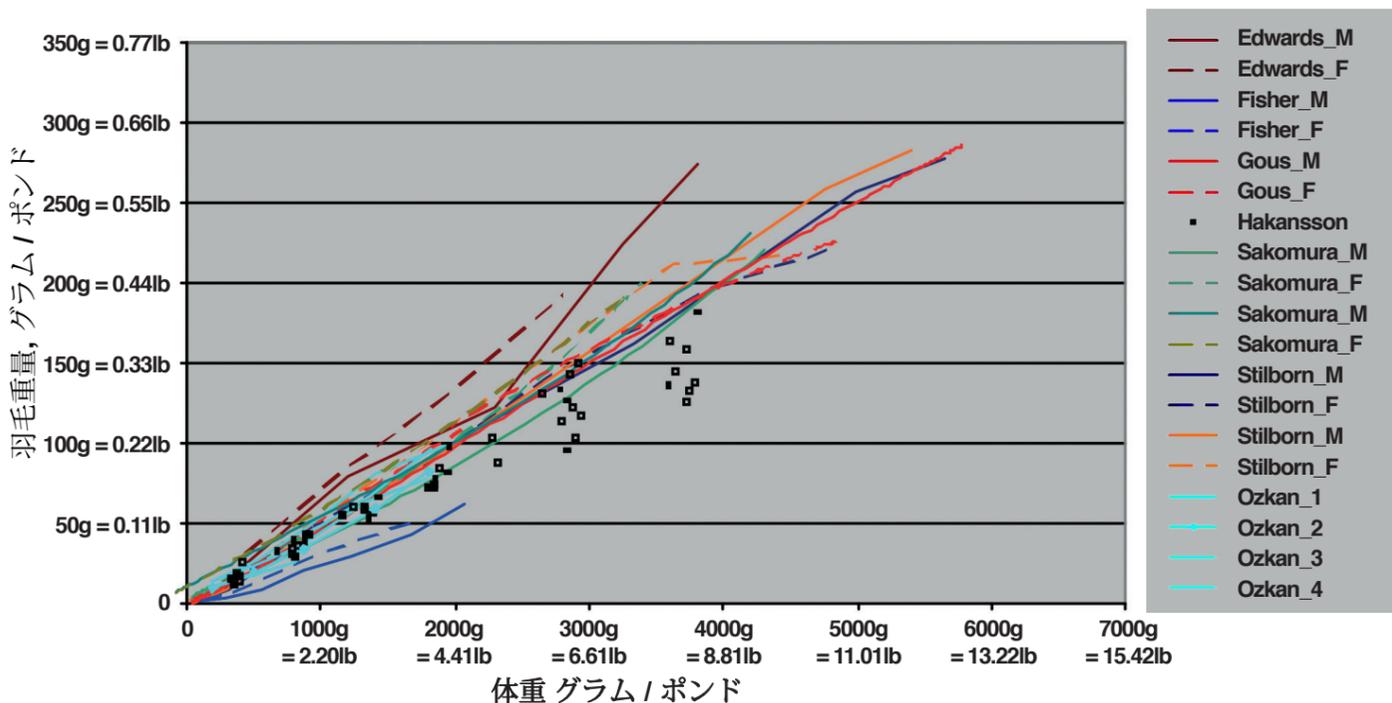
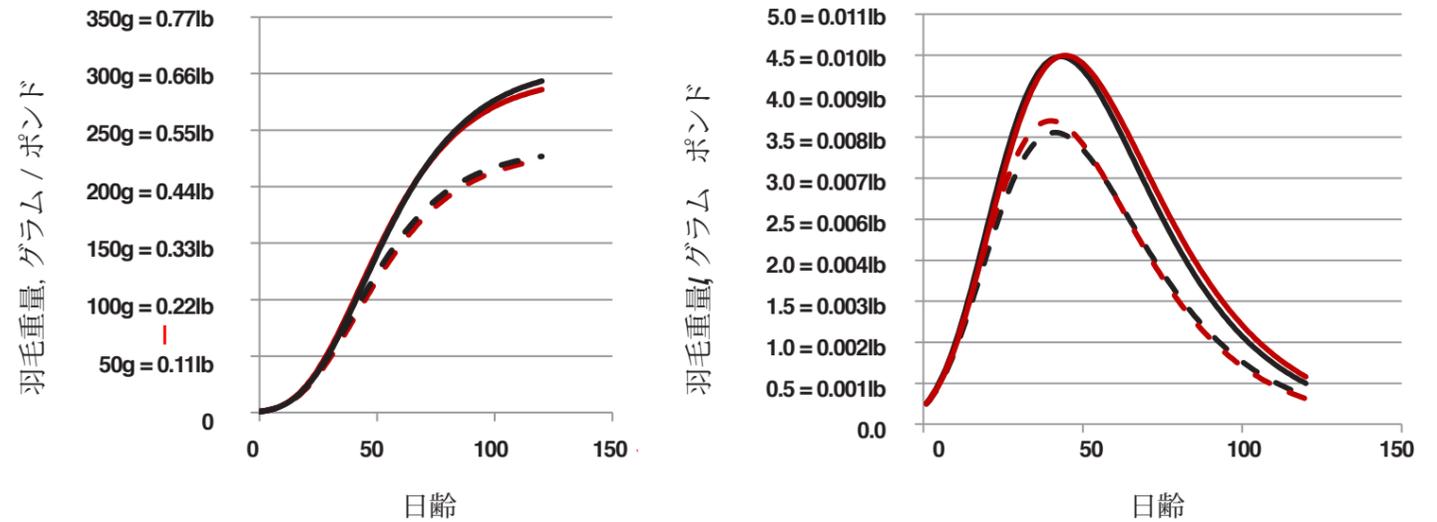


図7. ブロイラーにおける羽毛の成長速度 (Gousら, 1999)

左図; 2系統のブロイラーオス(実線)とメス(破線)の総羽毛重量のゴンペルツ成長曲線
 右手の図; (左図から)導かれた羽毛成長速度曲線

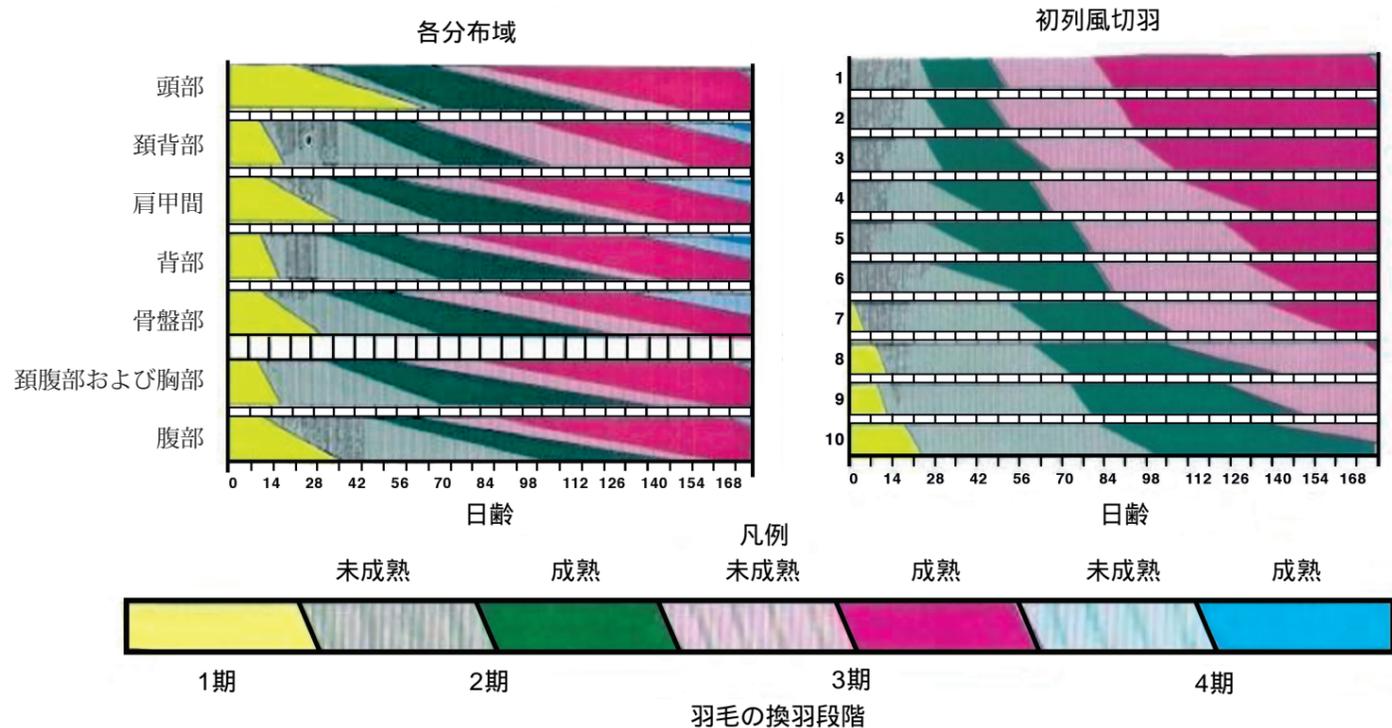


換羽

全ての羽毛の定期的な置換は、換羽として知られます。換羽は、発育の過程で初生の綿毛から成熟する際、あるいは季節的にも起こります。真の換羽では、羽嚢は発育期と呼ばれる成長期間に入り、新しく育ってきた羽毛が先にある羽毛を“押し出し”ます。ずれの換羽も、次の羽毛から名前を付けられ、生えかわった羽毛は休息あるいは休眠期に入ります。鳥類の世界では、全体として、換羽のパターンと時期は様々であり、生体の生理的なコンディションとよく一致します。地域と生体レベルで調整され、換羽は環境によって調節されます。例えば、飛ぶ鳥の主翼羽は左右交互に換羽し、バランスを保ちます。農場で、1サイクルで飼われているブロイラー種鶏メスの場合、多くのトリは1サイクルの換羽に従います。

給餌制限下でのブロイラー種鶏メスの連続換羽については、詳細に述べられてきませんでした。図8は単冠白色レグホーンの体の部位と初列風切羽のいくつかのデータ(LucasとStettenheim, 1972)を示したものです。これによると、背部では、羽毛の最初の世代(初生の綿毛)はおおよそ10日齢で生えかわり始め、18日までに全てのトリで見られなくなります。連続する段階は同じようなサイクルを通りますが、一部のトリの一部の部位で見られ始めた4つめの成熟段階は、実験期間の175日齢までには完了しませんでした。

図8. 連続した自然換羽中の各分布域（左のグラフ）および初列風切羽（右のグラフ）における羽毛の変遷。未熟/成熟の4つの連続する換羽段階を以下に示す。単冠白色レグホーンの詳細はLucasとStettenheim, (1972)より。



羽毛原基は、羽毛が抜け落ちることでも発育期に入りますが、折れた羽毛が生えかわることはありません。例えば、抱卵斑に備えるような特殊な適応のためなど、羽毛の喪失が置換を伴わずに起こることもあります。成鶏では、不十分な飼料や水、高レベルの亜鉛あるいはヨウ素、低レベルのカルシウムあるいはナトリウム、または多くの薬品の投与によって、週齢によらない羽装の変化が起こります。管理が悪い状況での羽毛の喪失は明確に定義されてきませんでした。ブロイラー種鶏では全体的な給餌ミスや体重コントロール不良が、ピーク後の部分的あるいは継続的な羽毛の喪失につながるという野外実績があります。これについては、19ページの内部研究2で論じています。

羽毛の組成

羽毛の化学的な組成に関する情報は、栄養要求量の計算に役立ちます。もし通常と異なる組成が検出された場合は、羽毛の問題を診断するのに役立ちます。

乾燥した羽毛の組成は安定してよく理解されていますが、水分含量に関する情報は明らかに欠けており、変化が大きいです。この状況は、主に実験期間中に新鮮な羽毛を大量に入手することが実際的に困難なことによります。

多くの実験において、羽毛は湿って乾物含量に関する情報は失われてしまい、結果は乾物ベースで報告されることとなります。羽毛サンプルをただ分析しても、その組成は様々で、典型的ではないでしょう。Sakomuraら(2003)は、3から20週齢の種鶏メスから得た羽毛の平均水分含量は9.03%であったと報告しました。しかし、他のデータによると、その数字はもっとずっと低いだろうということです。

羽毛の水分含量を決める2つの主要な要素は、羽髓（高く80-85%で、水分を極めて多く含む）と残りの羽毛（水分含量が10%未満になる成熟後期までは45-50%）の割合です。それぞれの羽囊では、羽毛が換羽と更新の連続的なサイクルを通れば、これらの変化は追跡して定量することができますが、現在のところこういったデータはありません。羽毛の総重量に対して羽髓が占める割合は、若い羽毛での約50%から、成熟羽毛の0%まで減少します(図9)。羽毛の重量が最大になったとき、水分含量はおおよそ50%です(SmithとBath, 1995)。

羽毛の水分含量に関する唯一の大掛かりな研究があります(図10)。これらの結果は、羽毛の水分含量は若いヒナの65%から成鶏での25%まで減少すると示しました。ブロイラー種鶏に具体的に反映できるよりよいデータが必要ではありますが、これらのデータはアミノ酸要求量の計算に使うことができます。

ブロイラー種鶏メスの羽毛の成長

図9. データは羽毛中の羽髓部分と再生時間との関係を示す。丸や四角で描かれた4本の線は脱羽によって羽毛の再生を刺激したトリのそれぞれの個体から採取した羽毛のデータを示す(Lillie,1940)。四角が示すデータは2羽の褐色レグホンの去勢オスから採取した腰部の羽毛、丸が示すデータは2羽の白色レグホンの若オスから採取した胸部の羽毛である。破線は成長期のブロイラーの各個体から採取した翼部の初列の羽毛のデータを示している(W.K.SmithとH.M.Bath, 非公開情報)。この例における羽毛の成長開始は、引き抜いた新鮮な羽毛の重量データを基にゼロまでを外挿することで推定した。

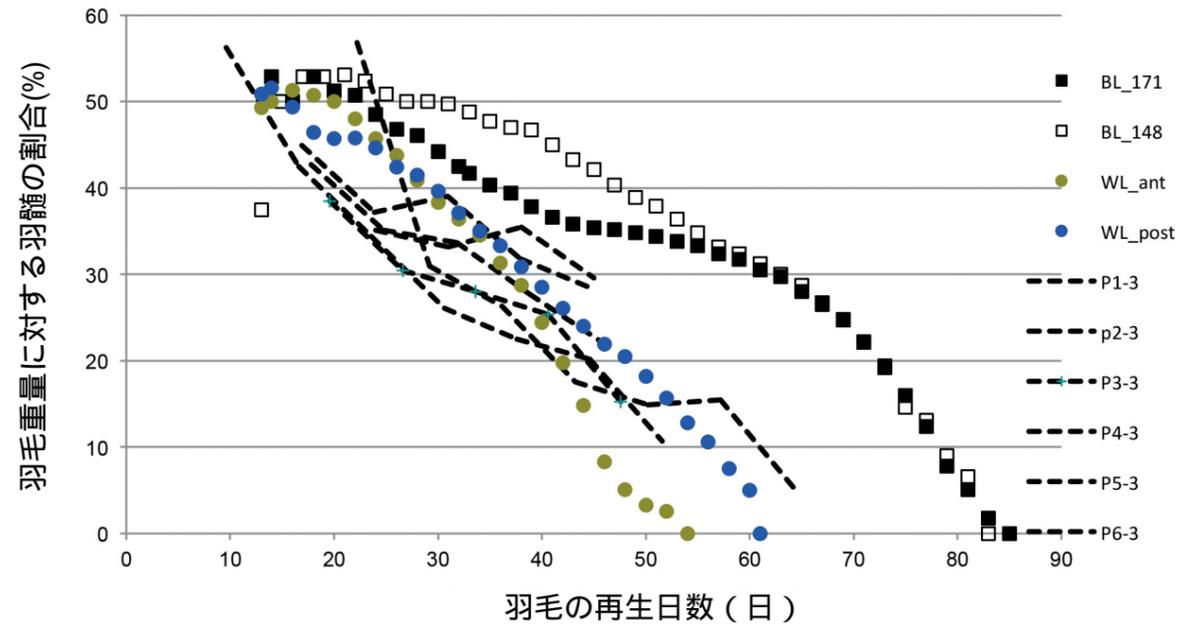
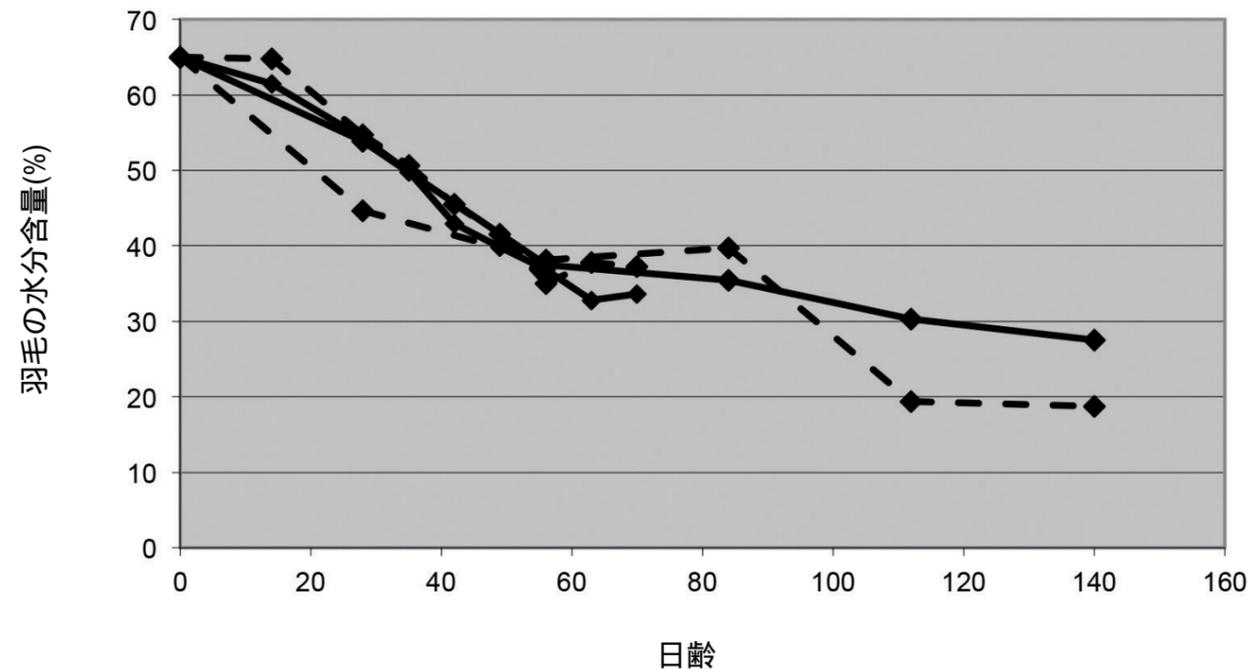


図10. 成長期のブロイラーにおける羽毛の水分含量。2つの実験のデータをオス（実線）とメス（破線）で示す。Edwardsら(1973)から。



ブロイラー種鶏に関する入手可能なデータを図6に加える(図11上参照)と、制限給餌プログラムに従うブロイラー種鶏と無制限給餌のブロイラーの間に一般的な違いは見えません。日齢に対する羽毛の重量をプロットする(図11下参照)と、全体に明確なパターンは見られません。Nonis(2007)が示したデータは、羽毛重量が20週齢から産卵ピークの30週齢まで急速に増加し、残りの生産期間に羽毛の大規模な喪失が起きるといった興味深いパターンを示しました。

図11(上). ブロイラー種鶏メスの羽毛の総重量と体重。比較のため、図6で示したブロイラーのデータを灰色で示す。Nonis(2017)のデータを緑と赤、Rabelloら(2006)のデータを青、Sakomuraら(2003)のデータを黒の線で示す。

図11(下). ブロイラー種鶏若メスの羽毛の総重量と体重。データは上図より。

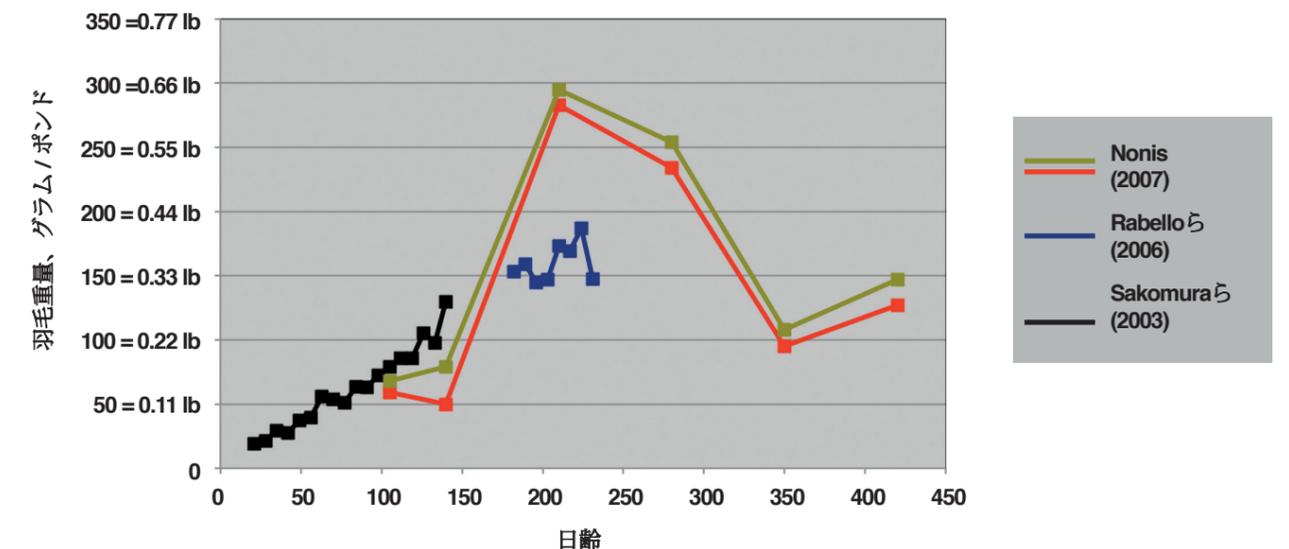
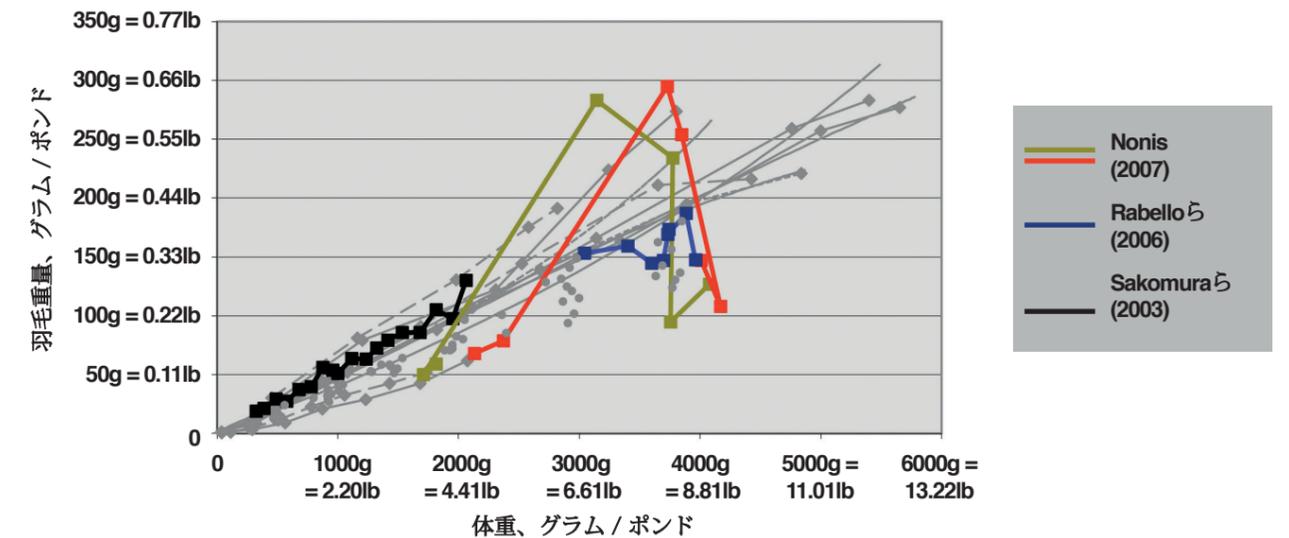


図11に示したデータにもかかわらず、制限給餌プログラムと無制限給餌のトリを直接比較した実験は、飼料給与量が減ると羽毛の成長とその他の組織の成長に影響があることを示唆しています。Smithら(1994)とKampeni(1993)のデータからは、無制限給餌のトリに比べ、制限給餌のプロイラー種鶏メスの羽毛は以下に示すように変化しました。

- i. 体重と羽毛重量は飼料の制限によって減少するが、比率的に羽毛重量の減少は体全体の重量の減少より小さい。であるから、体重100 gあたりの乾燥羽毛重量 (g/100 g) は1-2%増加する(表1)。
- ii. 羽毛の長さは、飼料の制限によってわずかに減少するだけである。15ページの図12は、速羽と遅羽の遺伝型の初列風切羽の羽毛の長さを示す。最初の換羽以前には、飼料の制限は羽毛の長さに影響しない。換羽のあとに生えてくる新しい羽毛は、制限給餌のトリでわずかに短い傾向があるが、110日以内にただちに追いつくので、制限の有無でこれらの羽毛の長さに有意な差は生じない。全体のパターンは他の部分でも同じで、相対的羽毛長(羽毛の長さ/体重、mm/kg)は、常に給餌制限したトリのほうが大きい(Kampeni, 1993)。結果として、羽装は見た目には制限給餌によって改善する。この差は竜骨部分で顕著である(図12、13ページ)。
- iii. しかし、個々の羽毛の重量は軽くなり、全羽毛の容積は小さくなる。表1のデータはこのことを初列風切羽に関して説明している。AAA

表1. 給餌プログラムと羽の長さ

| 遺伝型と給餌レベル | 速羽 無制限給餌 | 速羽 制限給餌 | 遅羽 無制限給餌 | 遅羽 制限給餌 | 有意差* |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------|
| 体重 g (lb) | 4162 (9.17) | 1531 (3.37) | 5259 (11.58) | 1475 (3.25) | |
| 乾燥羽毛重量 g (lb)/bird | 154 (0.34) | 75 (0.17) | 142 (0.31) | 59 (0.13) | ††† |
| g (lb) /100g (0.22lb) 体重 | 3.7 (0.008) | 4.9 (0.011) | 2.7 (0.006) | 4.0 (0.009) | ††† |
| 初列風切羽: 長さ mm (in) | 191 (7.52) | 182 (7.17) | 191 (7.52) | 176 (6.93) | ns |
| 重さ mg (oz) | 473 (0.017) | 314 (0.011) | 478 (0.017) | 371 (0.013) | ††† |
| 羽弁の幅 mm (in) | 52 (2.05) | 47 (1.85) | 55 (2.17) | 50 (1.97) | † |
| 羽柄 mm (in)** | 3.84 (0.15) | 3.15 (0.12) | 3.81 (0.15) | 3.16 (0.12) | ††† |
| 羽枝 mm (in)** | 0.12 (0.005) | 0.10 (0.004) | 0.17 (0.007) | 0.09 (0.004) | ††† |

110日齢で観察
 *給餌による有意差は、† (P<0.05), ††† (P<0.001)。nsは有意差なし。
 **羽柄および羽枝の厚さ
 遺伝型：速羽(k)と遅羽(K)の羽装を持つ市販の原種系ライン
 給餌：無制限給餌と制限給餌は種鶏の要求量に従った
 実験期間中は市販のプロイラー飼料を使用
 Smithら, 1994

給餌の制限が羽毛の重量、大きさおよび長さを与える影響についてのデータに加えて、制限給餌は成長期における換羽開始を遅らせることも報告されています。図14は初列風切羽および背部の羽毛における2~3期の換羽のタイミングを示しています(Kampeni, 1993)。これらのデータは図8で示した短冠白色レグホーンにおける同様のデータと比較されます。

無制限給餌と比較して、制限給餌による影響は常に換羽を遅らせます。遅れの程度にはいくらかの違いがありますが、一般的には1週間程度です。早く換羽する羽毛に比べて、遅く換羽する翼の羽毛(4と7)の方が遅れが大きいことが報告されています。背部の羽毛における換羽の遅れは翼の羽毛と比べて少ないですが、それでも実際に遅れます。

給餌体系に関して、プロイラー種鶏における換羽の時期についての情報は図8で示した単冠白色レグホーンのデータとよく似ています。背部の羽毛については2つのデータは異なり、背部の換羽はプロイラー種鶏メスの方がかなり速いことが示唆されています。

図12. 連続した伸長と短縮で示した若齢(2~3期)の換羽過程(Kampeni, 1993)

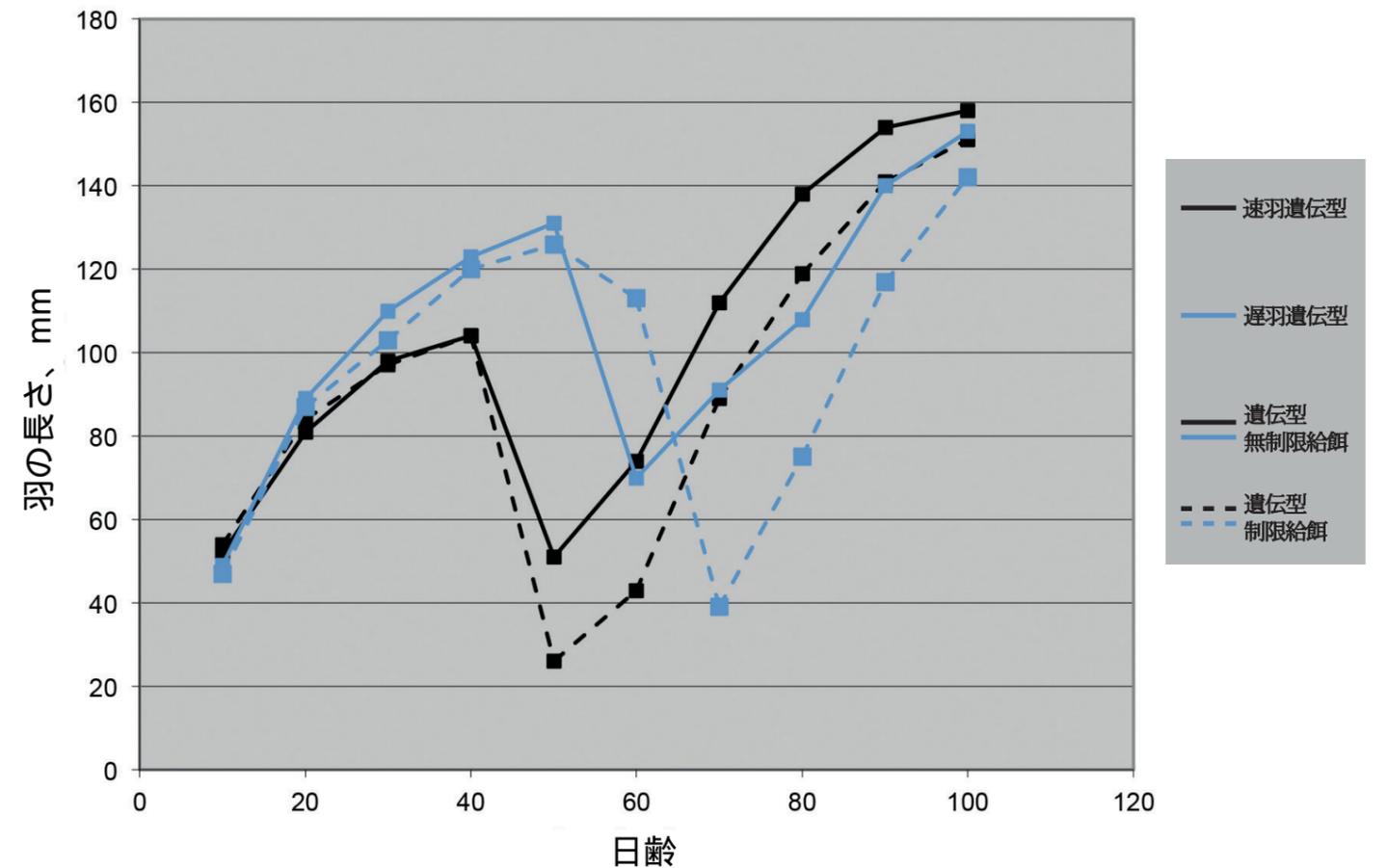
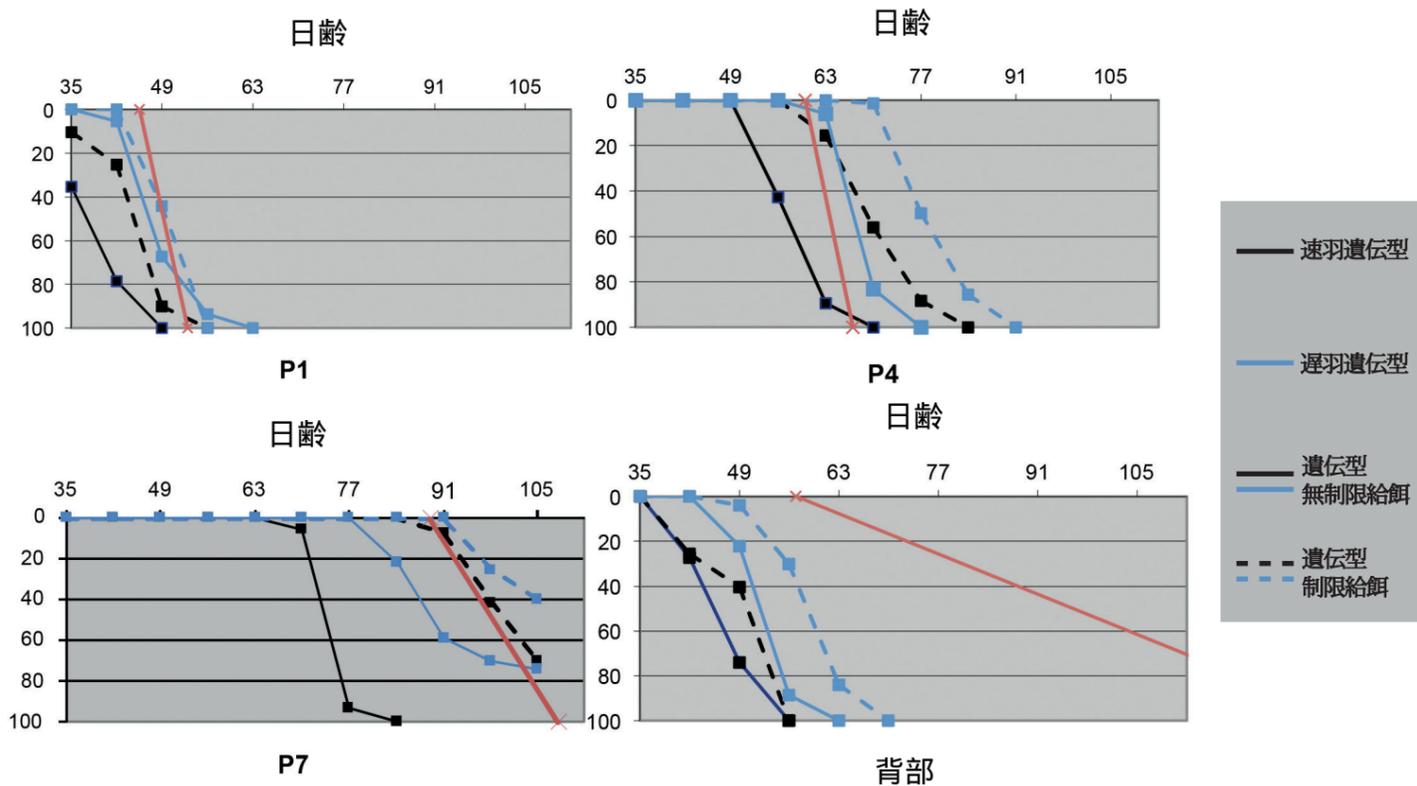


図13. 制限給餌（左）および無制限給餌（右）のブロイラー種鶏メス42日齢の羽装。
Kampeni(1993)より。



図14. 3つの風切羽(P1, P4, P7)および背部の羽毛におけるヒナー若齢（2～3期）換羽時の羽毛の変遷。
データはブロイラー種鶏メスの各日齢における換羽済のトリの割合を示しており、黒い線は速羽、
青い線は遅羽の遺伝型を、実線は無制限給餌、破線は制限給餌を示している(Kampeni, 1993)。
赤い線のデータは図8から。



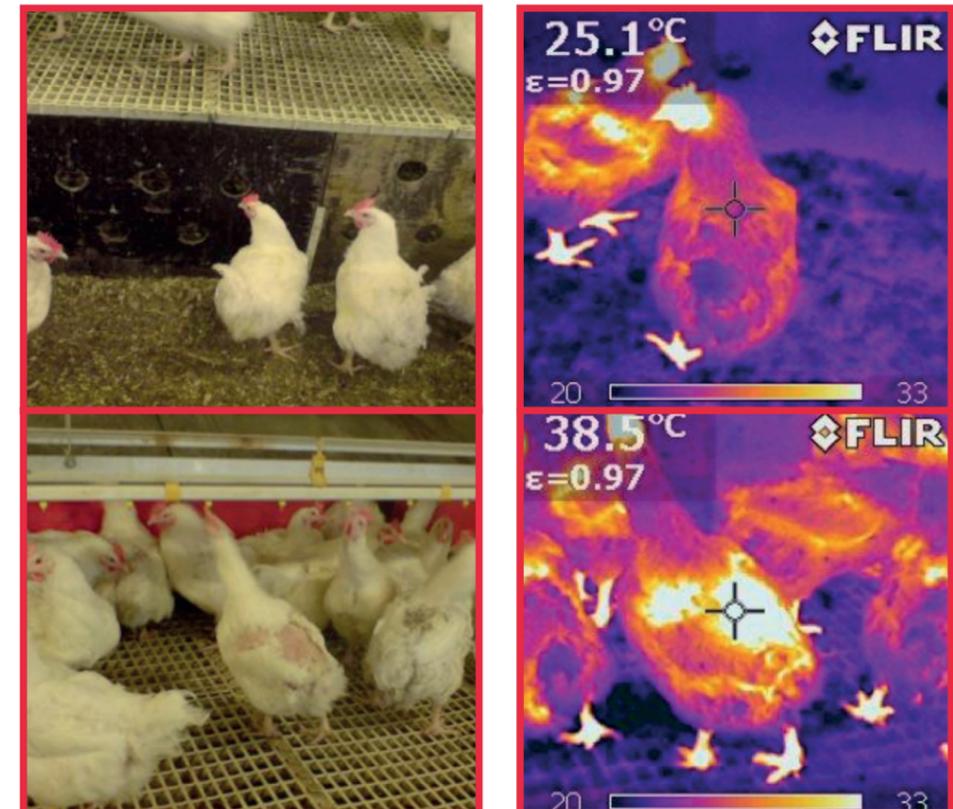
羽毛の成長と栄養素

給餌プログラムを羽毛の喪失にあわせて調節する

羽装のエネルギーの喪失と効率に対する効果は、家禽研究の中で広く注目を集めてきた分野です。裸頭 (Na) や無羽、無鱗 (sc) など、いくつかの単一遺伝子が羽装に影響し、これらは暑い気候での実用を考えられています。トリの羽装は、温度調節を主な役割とします。それぞれの羽囊の基底にある筋肉は、羽毛の方向を調節し、抱きこむ空気の色を変えることができるので、ひとつの適応機構です。羽毛が失われたり傷んだりすれば、熱の喪失は明らかに増加します (図14)。

この熱喪失の増加は、気温が高い場合には利点にもなり、気温が低い場合は欠点にもなります。約15-25℃の温度域では、羽装の違いは飼料摂取量とエネルギー使用に大きな影響を持ちます。もしブロイラー種鶏の飼料摂取量が体重目標に合うよう慎重にコントロールされていれば、羽装は給餌量に影響する多くの要因のひとつとなります。もし固定の給餌プログラムを使っていれば、環境温度と羽毛の品質は考慮すべき要因のうち二つです。

図14. 羽装が良好なメスとそうでないメスの写真とサーモグラフ。サーモグラフ中の明るい色の部分は表面温度が高い、羽毛のない部分を示している。これは熱損失の増加に繋がる。



アミノ酸と羽毛の成長

羽毛タンパク質のアミノ酸組成は、脱羽と体のそれとは大きく異なります。主に違うのは、リジンとヒスチジン（羽毛タンパク質中に少ない）と、含硫アミノ酸であるシスチン（と体中に少ない）です。リジン含量に大きな差があるため、リジンに対する比率で表されるアミノ酸バランスはこの2つの組織で大きく違います。全体の必須アミノ酸と非必須アミノ酸の量はよく似ています。

栄養要求量の計算において羽毛の成長を考慮するとき、考慮する期間に成長したものの抜け落ちてしまう羽毛の分を余分に考えなければなりません。これは「羽毛維持」として考慮され、栄養面で無視できない割合の追加出力を占めます。羽毛喪失の程度は定量化するのが難しく、報告されたデータは49日齢までのオスとメスのブロイラーを調査したFisherら（1981）のものだけです。これらのデータ（表2）からの計算は、連続した7日間の平均羽毛重量の割合として表したときに、羽毛喪失がどのように起こるのかを示しています。羽毛の喪失はブロイラーのこの期間に加齢とともに増加し、かつオスよりメスで多いように見えます。

羽毛の組成の決定は、羽髓の量が羽枝や小羽枝の成熟に反比例して減少するため複雑です。羽装は様々な、移り変わる成熟段階の羽毛が混ざったものです。この混合物の乾物含量は、特に週齢とタンパク質含量が少なくなっていく発達段階によって変化するでしょう。現存するデータではこれらの違いを十分に説明できません。Smith（1994）は、羽毛の平均重量と組成から栄養要求を計算する際、羽髓の寄与は大いに過小評価されていると主張しました。

表2. オスとメスのブロイラーの7日間ごとの平均羽毛重量(g (lb)/羽) および1日あたりの羽毛喪失(羽毛重量に対する%)。Fisherら(1981)より。

| 日齢 | オス | | メス | |
|-------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | 平均羽毛重量 g (lb) | 1日あたりの喪失 (%) | 平均羽毛重量 g (lb) | 1日あたりの喪失 (%) |
| 28-35 | 24.8 (0.05) | 0.05 | 13.8 (0.03) | 0.34 |
| 35-42 | 35.8 (0.08) | 0.12 | 37.6 (0.08) | 0.48 |
| 42-49 | 52.3 (0.12) | 0.32 | 47.1 (0.10) | 1.51 |

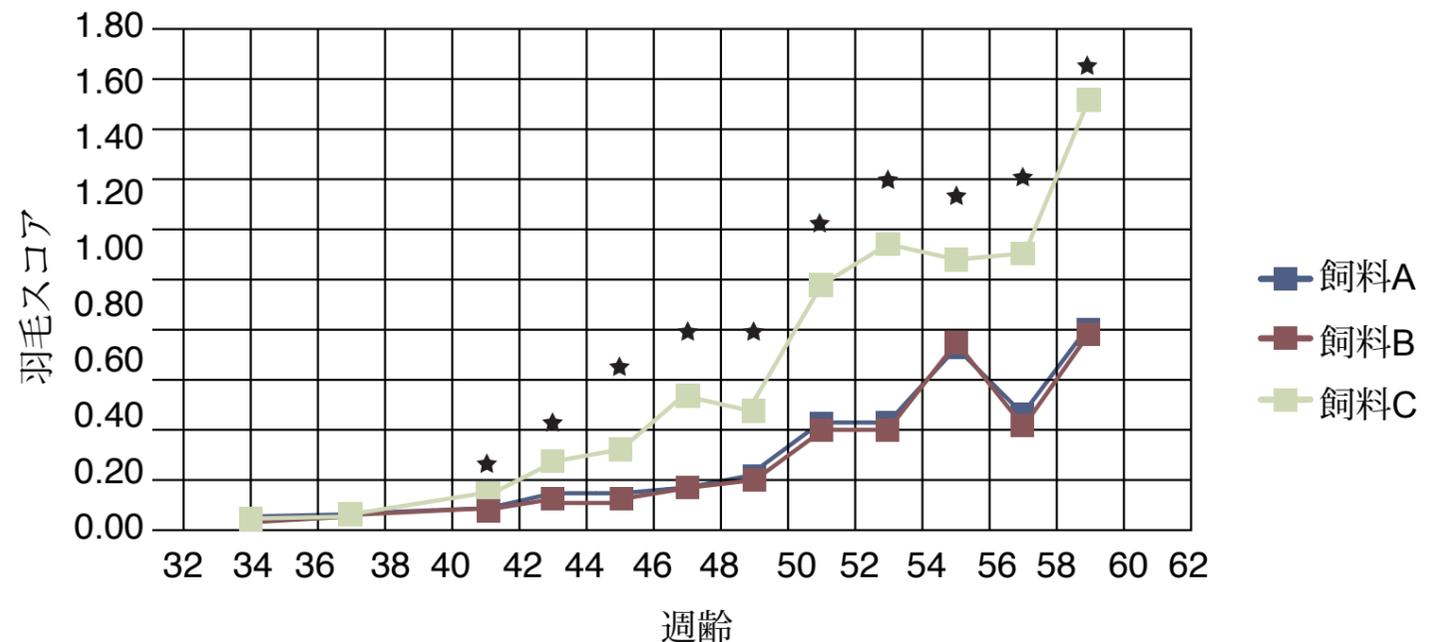
内部研究

内部研究 1：種鶏のアミノ酸レベルの評価試験

25週から60週まで異なるアミノ酸レベルを給与したRoss708種鶏メスの背中の（背部）羽域の羽毛をスコアリングしました。その結果、アミノ酸の給与はこの期間の羽装にとって重要であること、そして羽毛の成長が起こっているときに役立つことを示唆しました。ブリーダー1 とブリーダー2のステージで、大粒クランブルの形状で3種類の飼料を与えました。飼料AはRoss種鶏栄養推奨と同じアミノ酸レベルでした。飼料Bは10%多くアミノ酸を加えました。飼料Cは計算モデルに基づいて設計されましたが、実際には飼料Aよりも少ない（アミノ酸によって異なるが、メチオニンとシスチンを除けば7から12%の幅）アミノ酸を含んでいました。その他の栄養素は全3種類の飼料で同様に、一般的な給餌プログラムに従いました。

羽毛のスコアリングは、まだ全てのトリがスコア0（スコア0=羽毛喪失なし～スコア5=明らかな羽毛喪失）であった34週齢に開始しました。41週齢までに、飼料Cのスコアは悪化し、59週齢まで全ての群で悪化し続けました（図15）が、その時点で飼料Cで飼料AとBより悪かったです。59週齢での平均羽毛スコアは、飼料A、BおよびCでそれぞれ0.75、0.66および0.49でした。大きな違いは、とても悪い羽装（スコア4と5）のトリの数が合わせて飼料A、BおよびCでそれぞれ5、4および21%であったことです。飼料Cのメチオニンとシスチンは飼料Aと同量であったことから、飼料Cの羽装への影響は、メチオニンとシスチンによるものではありません。

図15. アミノ酸レベルの異なる3種の飼料を与えたときの羽毛スコア。星印のついた日齢においては有意差が見られた。



継続的な羽毛の喪失は28-30週齢以降にいくつかの鶏群で観察され（羽毛スコア1から2）、後のステージではより深刻な喪失に進行しました。原因となる要因を特定して是正しない限り、明らかな羽毛の再成長は見られませんでした。早期の羽毛喪失をオスの攻撃性の結果と考える管理者もいました。しかしながら、羽毛喪失は必ずしも交尾活性のよい指標ではありません。多くの場合、メスは以下に示すうちのひとつかそれ以上の特徴を呈しました。

- スタンダードより大きい増体
- 少ない脂肪蓄積
- ピーク産卵への急速な増加
- 70%産卵より遅い（遅すぎる）ピーク給餌
- 不十分な1日あたりエネルギー給与量
- ピーク後の急速な飼料減量
- 寒い環境

羽毛の喪失に加え、このような鶏群では揃いがよく、ピーク産卵がよかった場合でも産卵の持続が悪い傾向がありました。

早期に羽装が悪化した鶏群のひとつから得たデータを図16と図17に示しました。背中中の羽毛スコア（図16）を見ると、28週齢の時点でも完全な羽装を持つ（スコア0の）トリは20%しかいなかったことがわかります。25%は背中に逆立った羽毛があり（スコア1）、鶏群の50%以上には明らかな羽毛喪失の証拠が見られました（スコア2-4）。それから羽装は鶏群の週齢が進むに従って進行的に悪化し、53週までに30%のトリが最も深刻な羽毛喪失（スコア5）を示しました。平均羽毛スコアは、28、35、40、47そして53週齢でそれぞれ1.36、2.33、2.41、2.43そして4.04でした。

図16. 種鶏群の異なる週齢におけるメスの背部の羽毛スコア

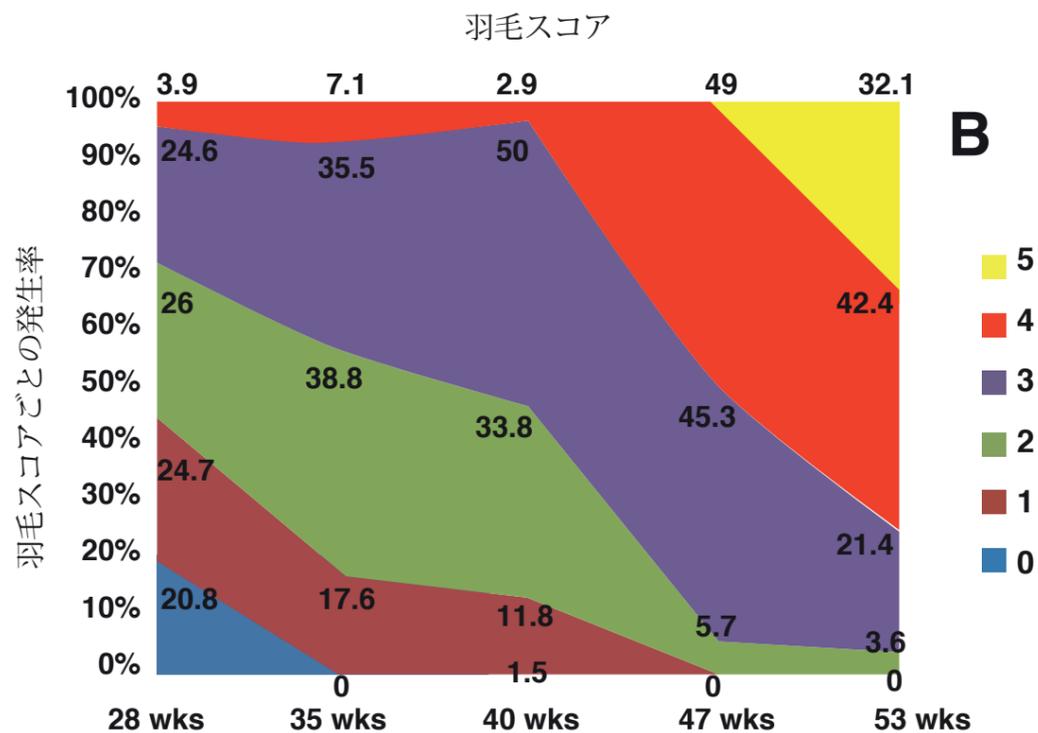
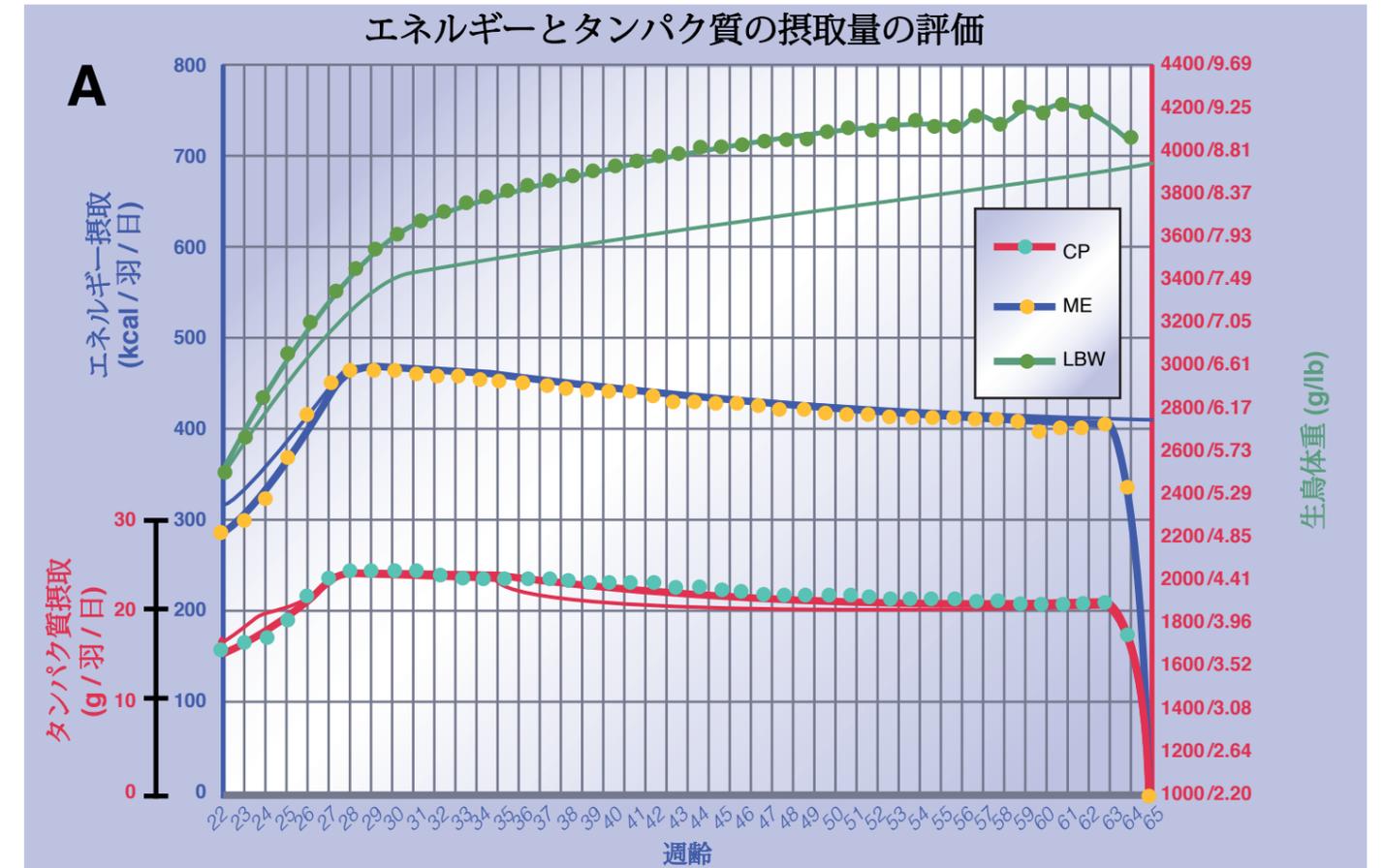


図17はこれらのトリへのエネルギーとタンパク質の摂取量および体重を示しています。24週齢以降に給餌プログラムの調節を間違えると、体重がだんだん増加しスタンダードを上回るでしょう。

図17. 羽毛喪失の種鶏メスの体重およびエネルギーとタンパク質の摂取量(2013)



エネルギー供給はスタンダードにごく近く、ただしほんの少し低く保ちました。CP摂取量はスタンダードよりほんの少し多くしました。この鶏群のその他の詳細はわかりませんが、高い維持エネルギー要求と少ないエネルギー供給、過剰なタンパク質（恐らく上述したその他のストレス要因も）がエネルギー不足と、結果的に羽毛の喪失を招いたのだと思われます。エネルギー供給量を多くした他の鶏群では、羽装の劣化が減少するか、あるいは羽毛の再成長が見られました。

なぜ給餌の失敗によって羽毛喪失が起きるのかに関する十分に検証された仮説はまだありません。しかしながら、これらの観察結果の頻度と、上述した指標を避けたり是正したりすることで、羽毛喪失の予防あるいは回復ができたことは、この仮説を強力に支持します。栄養的なバランス悪化は、ホルモン放出のパターンを変える神経内分泌作用のカスケードを引き起こし、卵黄前駆体を維持するための脂肪蓄積と筋肉組織、生殖管の退縮、そして羽毛の脱落という結果を生じます。

結論

ブロイラー種鶏に関する多くの条件と同様に、羽毛をもっと完全に理解するには、かなり多くのことを解明する必要があります。栄養要求量、適正体重にするためのトリの管理、行動観察、そして羽毛の発達の生物学への理解が、羽装の発達と維持に重要な役割を果たします。鶏群の羽装の状態を見抜く力を身につけることで、管理者は羽毛の喪失をモニターし、受精率やヒナ羽数への影響を見極めることができます。

参考文献

Edwards, H.M.Jr., Denman, F., Abou-Ashour, A. and Nugara, D. 1973. Carcass composition studies. 1. Influence of age, sex and type of dietary fat supplementation on total carcass and fatty acid composition. *Poultry Science*, 52: 934-948.

Fisher, M.L., Leeson, S., Morrison, W.D. and Summers, J.D. 1981. Feather growth and feather composition of broiler chickens. *Canadian Journal of Animal Science* 61, 769-773.

Gous, R.M., Moran, E.T., Stilborn, H.R., Bradford, G.D. and Emmans, G.C. 1999. Evaluation of the parameters needed to describe the overall growth, the chemical growth, and the growth of feathers and breast muscles of broilers. *Poultry Science* 78, 812-821.

Hakansson, J., Eriksson, S. and Svensson, S.A. 1978. Influence of feed energy level on feed consumption, growth and development of different organs of chickens. Report No. 57, Swedish University of Agricultural Science, department of Animal Husbandry. Sveriges Lantbruksuniversitet. Uppsala, Sweden.

Kampeni, F.L. 1993. Feather growth and moulting pattern of early and late feathering female broilers given ad libitum and restricted feeding. MSc thesis, University of Glasgow, UK.

Lillie, F.R. 1940. Physiology of development of the feather III. Growth of mesodermal constituents and blood circulation in the pulp. *Physiological Zoology*, 13:143-175.

Lucas, A.M. and Stettenheim, P.R. 1972. Avian Anatomy. Integument. Parts I and II, Agricultural Handbook 362. Washington: Agricultural Research Services, United States Department of Agriculture.

Nonis, M.K. 2007. Modelling nutrient response and performance of broiler breeders after sexual maturity. PhD thesis, University of KwaZulu-Natal, South Africa

Ozkan, S., Smith, W.K. and Bath, H.M. 2002. The development of thermal resistance of the feather coat in broilers with different feathering genotypes and feeding regimes. *British Poultry Science*, 43:472-481.

Rabello, C.B.V., Sakomura, N.K., Longo, F.A., Couto, H.P., Pacheco, C.R. and Fernandes, J.B.K. 2006a. Modelling energy utilisation in broiler breeder hens. *Poultry Science*, 47: 622-631.

Sakomura, N.K., Silva, R., Couto, H.P., Coon, C. and Pacheco, C.R. 2003. Modelling metabolizable energy utilization in broiler breeder pullets. *Poultry Science*, 82:419-427.

Sakomura, N.K., Marcato, S.M., Munarim D.P., Freitas, E.C. and Fernandes, J.B.K. 2006a. Growth curves and body nutrients deposition on two broiler chickens strains. In: Proceeding of the XII European Poultry Conference. Verona: WPSA Italy Branch.

Sakomura, N.K., Marcato, S.M., Munarim D.P., Freitas, E.C. and Fernandes, J.B.K. 2006b. Feather growth and nutrients deposition on feathers of two broiler strains. In: Proceeding of the XII European Poultry Conference. Verona: WPSA Italy Branch.

Smith, W.K., Bath, H.M. and Kampeni, F.L. 1994. Feather growth and moulting pattern of early and late feathering female broilers given ad libitum and restricted feeding. In: Proceedings of the 9th European Poultry Conference, Volume I, pp. 272-273: Glasgow, WPSA (UK Branch).

Smith, W.K. 1994. The physiology and metabolism of feathering. In: Proceedings of the 9th European Poultry Conference, Volume II, pp. 272-273: Glasgow, WPSA (UK Branch).

Smith, W.K. and Bath, H.M. 1995. Growth and composition of feathers in male broilers. *British Poultry Science* 36,(5): 875 (abstract).

Stilborn, H.L., Moran, E.T., Gous, R.M. and Harrison, M.D. 1994. Experimental data for evaluating broiler models. *Journal of Applied Poultry Research*, 3:379-390.

Yu, M., Yue, Z., Wu, P., Wu, D-Y., Mayer, J-A., Medina, M., Widelitz, R.B., Jiang, T-X. and Chuong, C-M, 2004, The developmental biology of feather follicles. *International Journal of Developmental Biology*, 48:181-191.



ここに示した情報の正確性と妥当性については万全の注意を払っております。
しかしながら、エビアジェン社及び日本チャンキーはこの情報をお使いいただいた
結果にまで責任を負うものではありません。

www.aviagen.com

(株)日本チャンキー

〒700-0984
岡山市北区桑田町1番30号 岡山県農業共済会館5F
Tel : 086-803-3660 (代)
Fax : 086-803-3665
www.chunky.co.jp/

Aviagen®, the Aviagen logo, Ross
and the Ross logo are registered
trademarks of Aviagen in the US and
other countries.

All other trademarks or brands are
registered by their respective owners.

© 2016 Aviagen.