

SCIENCE IMAGING SYSTEMS

Application Note No.16

応用編：家禽の成長に伴う肢骨の化骨化と骨髓骨の発現

μFX-1000

はじめに

富士写真フイルム株式会社より平成10年2月に販売されたμFX-1000は従来のX線撮影装置では得られなかった鮮明な拡大画像が好評で各分野の方々にご愛用いただいております。

この度ご紹介するのはウズラを用いた研究例です。従来のX線撮影装置では得られなかった新しい知見を中心にμFX-1000の応用例をご紹介します。この分野の研究は世界的な食糧問題の解決にもつながる重要な内容ですが分野外の方にもご理解いただけるようにわかりやすくご説明させていただきます。

Contents

1. Introduction
2. 成長に伴う肢骨の化骨化
3. 骨髓骨の形成
4. 従来法との比較
5. 参考文献

Summary

- 雌ニホンウズラ脛骨の化骨化は骨端部および骨幹部とも、孵化後20日齢前後が非常に活発である。
- 骨端部の両端にある成長板が閉鎖前後に化骨化は停止する。
- 脛骨の縦方向および周囲への成長がほぼ完了した後に、骨髓骨が形成される。
- 雌ニホンウズラの脛骨に骨髓骨が形成された後、骨幹部の骨塩濃度は増加する。

1 Introduction

ヒトの健全な成長のために骨格の正常な成長が重要であると同様に、家畜・家禽に安全で健康的な畜産物を生産させるため、これらを適切に飼養管理して、骨格を十分に発達させることが必須である。これまでも、家畜・家禽の骨格組織の発達が、外部形態の測定や軟X線透過装置による内部構造の調査等形態学的な手法¹⁾で調査研究され、その成果は家畜・家禽の品種改良やその飼育方法の改善に活用されてきた。今でも、肢骨の伸長の把握は、家畜・家禽の成長評価をするための重要な観察・調査事項となっている。

現在、我が国や欧米諸国で高齢化が進行し、老人の骨粗鬆症は大きな社会問題となっている。このため、同症の診察用や研究用に開発された測定機器^{2,3)}でヒトや実験動物の骨密度の変化を精査されるようになった。畜産部門では新たに開発された手法で、骨密度の変化の観点から、家畜・家禽の肢骨等の発達を再度把握しようとする動きがある。

ニホンウズラは世界でも最小家禽の部類にはいり、現在もその卵や肉が利用されている。雌鳥は孵化後40日頃から産卵を開始し、1個約10gの卵を年間に200個前後生む。成鳥(家禽系)の体重は雄が110~120g、雌が130~140gである。性成熟が早く、高い産卵能力を持つ。この品種特性を生かして、ニホンウズラは実験用動物として広く用いられている。畜産分野の研究でも、ニホンウズラは産卵鶏やブロイラーに代わる実験用動物として利用されている。

著者は、孵化時から50日齢までの雌ニホンウズラ脛骨の骨化および脛骨における骨髓骨の形成をマイクロフォーカスX線拡大撮像システム μ FX-1000を用いて調査した。その結果をここに紹介する。

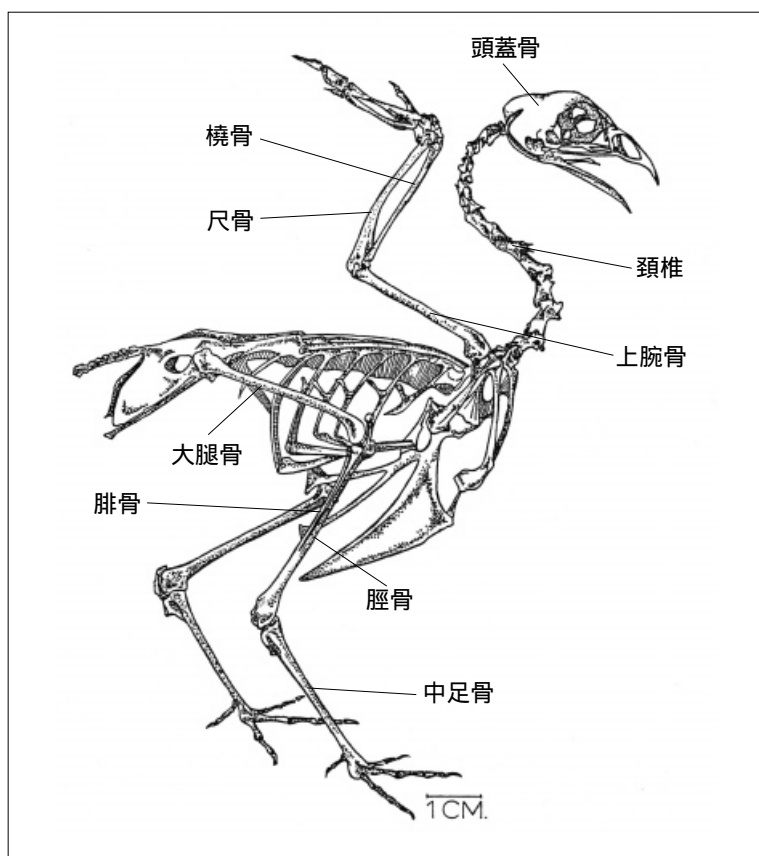


Fig.1-1

骨粗鬆症

閉経に伴うエストロゲンの欠乏や、加齢に伴う変化により、骨量の持続的な低下をきたし、骨強度が低下する症状。

骨密度

bone mineral densityのこと。骨は骨基質とミネラルから構成される。骨のミネラル密度で骨の量を推定する。

Fig.1-1 ニホンウズラの骨格図
この図は文献4)より引用いたしました。

2 成長に伴う肢骨の化骨化

■ ニホンウズラの増体パターン

ニホンウズラ(家禽系)の雌鳥を孵化時(0日齢)から50日齢まで、5日間隔でそれぞれ6羽ずつと殺し、これらから脛骨を採取した。雌ニホンウズラの増体パターンは、Fig.2-1のとおりであり、孵化時に6.9gあったものが、25日齢まで急激に増加して84.8gとなった。その後50日齢(127.8g)まで緩やかに増加を続けた。

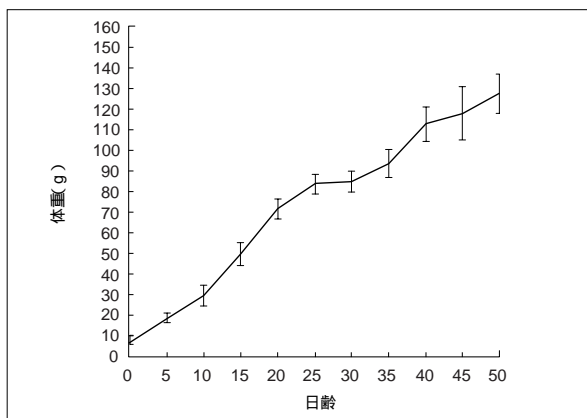


Fig.2-1

Fig.2-1 雌ニホンウズラの増体パターン

平均値±標準偏差

■ 脛骨重量と外部形態

大腿骨や脛骨の長さの成長は両骨端にある成長板で行われている。その成長は成長板にある軟骨細胞の増殖、変性、吸収、軟骨性骨梁の形成および海綿骨の形成の過程で長軸方向に伸びる。成長が停止すると、軟骨細胞の分裂・増殖は止み、軟骨基質は骨組織に置き換えられて、成長板は消失する。家畜・家禽の肢骨骨端部の成長板が石灰化および変性し、同じく骨幹部骨膜の形成層が膜性骨化し、海綿骨が改築されて、リン酸カルシウムの沈着によって肢骨の石灰化が進む^{5,6)}。

雌ニホンウズラの脛骨重量と外部形態はTable2-1のとおりであった。

重量は孵化時から25日齢まで、長さは同じく35日齢まで、厚さは25日齢まで、そして幅は20日齢までそれぞれ増加し、それ以降増加が停滞する傾向にあった。

膜性骨化

軟骨の形成を経ずに骨組織が形成されること。

Table2-1

日齢	重量(g)	長さ(mm)	厚さ(mm)	幅(mm)
0	0.06±0.01	18.28±0.63	0.84±0.05	0.18±0.09
5	0.14±0.01	24.69±0.58	1.27±0.09	1.31±0.07
10	0.21±0.03	28.35±1.68	1.49±0.13	1.62±0.10
15	0.33±0.05	34.33±2.00	1.75±0.07	1.85±0.10
20	0.46±0.03	40.14±1.70	1.99±0.12	2.12±0.12
25	0.54±0.03	42.86±1.66	2.11±0.15	2.27±0.20
30	0.50±0.05	42.66±0.95	2.21±0.06	2.36±0.10
35	0.52±0.04	43.75±1.35	2.17±0.06	2.45±0.14
40	0.57±0.03	44.02±0.56	2.25±0.07	2.54±0.18
45	0.53±0.03	44.03±0.84	2.30±0.21	2.64±0.19
50	0.54±0.04	43.99±0.72	2.29±0.13	2.50±0.24

Table2-1 雌ウズラ脛骨の重量および外部形態

平均値±標準偏差

■ 脛骨の内部構造

孵化時から50日齢までの脛骨の内部構造をFig.2-2に示した。

両骨端にある成長板は、遠位端が30日齢で、近位端が35日齢でそれぞれ消失した。そして、この部分のX線透過画像の密度は濃くなった。一方、孵化後、20～25日齢まで、脛骨の緻密骨は厚くなり、この部分のX線透過画像の密度も濃くなった。また、骨髓腔の幅は増大した。

遠位端

四肢や器官の末端や体の中心から遠い部位のこと。

近位端

体幹または起始点の近くの部位のこと。

緻密骨

骨の緻密で海綿体でない部分。

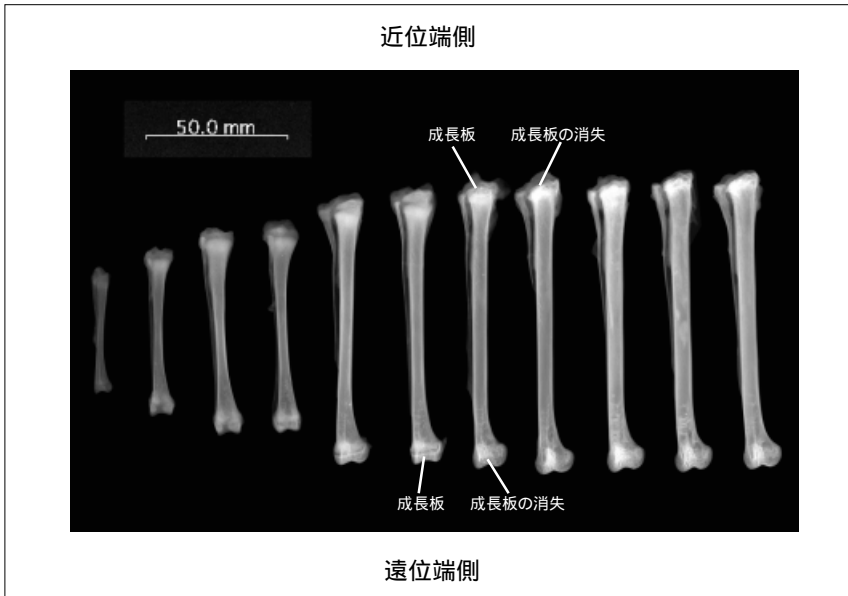


Fig.2-2 脛骨の内部構造

左端から右端へ孵化時(0)、5、10、15、20、25、30、35、40、45ならびに50日齢の脛骨を並べた。
μFX-1000の撮影条件は、管電圧40kV、管電流100μA、照射時間10秒とした。(拡大率2倍)
読み取りはBAS-5000で行った。

Fig.2-2

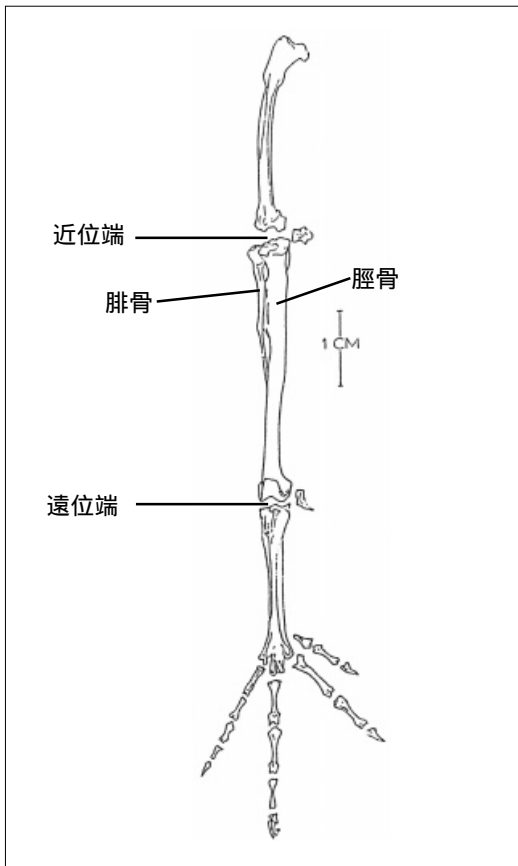


Fig.2-3 ニホンウズラの後肢骨

この図は文献4より引用いたしました。

Fig.2-3

骨塩濃度計(京都科学社UHA型・ヒドロキシアパタイトを含む階調器)を標準として用いて測定した骨端部(近位端)の骨密度の推移はFig.2-4のとおりである。

骨密度は、孵化時から30日齢まで増加し、その後は停滞した。

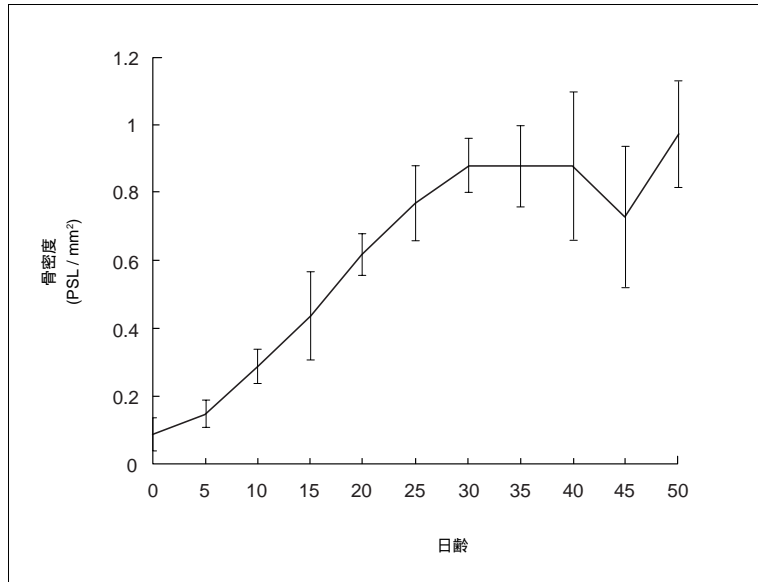


Fig.2-4

Fig.2-4 脛骨の骨端部近位端の骨密度
平均値±標準偏差

脛骨の長さ(外部形態)の測定値とマイクロフォーカスX線拡大撮像システムμFX-1000による拡大透過画像の観察結果から、脛骨の縦方向の伸長は35日齢までに停止したものと推察される。脛骨の周辺への成長は、縦方向の成長より10~15日間早く停止していたものと思われる。両骨端部のX線透過画像の濃さのあるいは、近位端の骨密度の増大は、ニホンウズラの体重増加による負荷を支持するため、骨端部分が石灰化されて物理的に強化されたものである。

3 骨髄骨の形成

産卵中の鳥類の骨形成においては、他の動物に見られない現象がある。それは、骨髄の中に骨が形成されることである。これを骨髄骨 (Medullary bone) という。骨髄骨は、雌鳥の産卵開始時にその肢骨の骨内膜から骨髄腔に向かって現れる主に、脛骨や大腿骨で観察される。また、これは卵殻へカルシウムを供給する調節機構に重要な役割を果たす。卵殻形成時に多量な飼料由来のカルシウムが動員され、血清中のカルシウムはタンパク結合型のカルシウムが著しく増加する。骨髄骨はこのカルシウムをヒドロキシアパタイトとして一時貯留する機能を持つ^{5,7)}。

Fig.2-2の脛骨の内部構造から、明らかに観察されるように、40日齢から脛骨に骨髄骨が形成され、緻密骨内側の沿線が不明瞭となった。

骨幹部における骨密度の推移はFig.3-1のとおりである。

骨密度は、孵化後一時低下したが、その後25日齢まで増加した。30日齢以降は値が変動した。しかし、骨髄骨の形成された40日齢以降は、値が高く推移した。

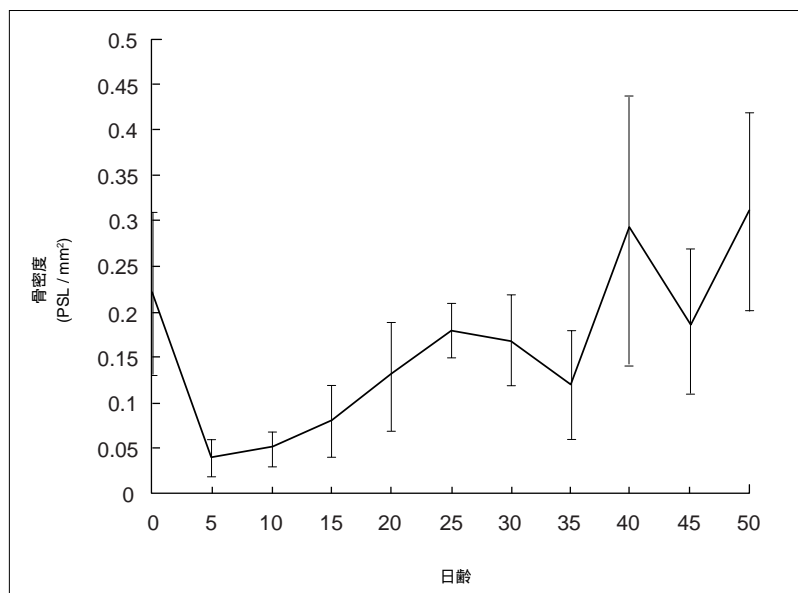


Fig.3-1

Fig.3-1 脛骨の骨幹部の骨密度

平均値±標準偏差

生理的な機能として、骨髄骨は卵が卵管下部にある時、卵殻を形成する材料のカルシウムを供給するので、大腿骨や脛骨における消長は早いと言われ⁷⁾、このことが、40日齢以降の骨幹部の骨密度を高め、しかもその値を大きく変動させたものと思われる。

4 従来法との比較

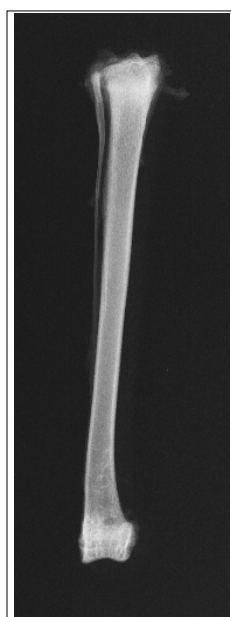
軟X線を用いた従来法ではニホンウズラを含む実験小動物肢骨の微細な内部構造の観察に必要な、拡大された画像を得ることが困難であった。従来法でも拡大画像を得る試み¹⁾はあったが、目的に添う微細な焦点を結ぶX線管が実用化されていなかった。このため、より微細なハロゲン化銀粒子を含む軟X線用フィルムで透過像を求め、これを光学的に拡大して観察していた。しかし、微細な焦点を結ぶX線管が実用化され³⁾、鮮明で拡大された画像を容易に得られるようになった。

Fig.4-1は30日齢のニホンウズラの脛骨を、軟X線による従来法で得た像 (Fig.4-1-a) と μ FX-1000を用いて得た像 (Fig.4-1-b) を比較したものである。Fig.4-1-bでは、骨端の成長板の状態を、より鮮明に、拡大した像として観察できる。



従来法
等倍

Fig.4-1-a



μ FX-1000
2倍

Fig.4-1-b

**Fig.4-1 従来法と μ FX-1000
の画像比較**

α (左図) 従来法
露出時間 : 10秒
X線フィルム : IX100

β (右図) μ FX-1000
露出時間: 10秒
IP : BAS-SR2025
読み取り : BAS-5000
(画素サイズ:25 μ m)

5 参考文献

- 1) 小泉菊太, X線とソフテックス写真; 共立出版 (1979)
- 2) 古田嘉壮, 福田邦昭, バイオサイエンスのためのアイソトープ測定機器: 第三シリーズ ラジオルミノグラフィ(RLG), 放射線測定ルミネッセンス輝尽性発光技術 Ⅱ. デジタルマイクロラジオグラフィシステムによる骨形態観察 - 医薬品開発分野への応用 - ; RADIOISOTOPES; 48, 547-553 (1999)
- 3) 三浦研二, 江藤雅弘, 長島眞喜子, 大岡留里子, Application note No. 12 基礎編: μ FX-1000の基本的知識; 富士写真フィルム株式会社 (1998)
- 4) Theodore C. Fitzgerald, The Coturnix Quail *Anatomy and Histology*, The Iowa State University Press (1996)
- 5) 須田立雄, 小澤英浩, 高橋栄明, 骨の科学; 医歯薬出版 (1985)
- 6) 楠原征治, 第5章 支持組織, 獣医組織学; 学窓社, 81-98 (1999)
- 7) 楠原征治, 杉山稔恵, 鳥類の産卵とカルシウム代謝; THE BONE, 8, 35-42 (1994)

著者

西村 宏一

(農林水産省 畜産試験場)

編集

三浦 研二

鮎川 英司

長島 眞喜子

大岡 留里子

(富士写真フィルム)

2000年 1月発行



富士写真フィルム株式会社

●本書についてのお問い合わせは

東京本社 ■ 機器事業部 サイエンス・システム

〒106-8620 東京都港区西麻布2-26-30 TEL (03)3406-2201

FAX (03)3406-2158

E-mail : sginfo@tokyo.fujifilm.co.jp

ホームページ : <http://www.fujifilm.co.jp/bio/>