The Japan Society of Cookery Science

日本調理科学会誌 Vol. 38, No. 2, 155～162 (2005)〔ノート〕

ダチョウ卵の卵殻，全熟卵の卵白および卵黄の組織構造―白色レグホーン種鶏卵との比較

Microstructure of the Shell, Hard-boiled Albumen, and Yolk of an Ostrich Egg (*Struthio camelus domesticus*) in comparison with a White Leghorn Hen Egg

峯木眞知子* 渡邊康一**
Machiko Mineki Kouichi Watanabe

Ostrich and hen eggs were subjected to a microstructural comparison of the shell and shell membrane in the raw condition and of the albumen and yolk in the hard-boiled condition. The observation methods used were optical microscopy, scanning electron microscopy and low-vacuum scanning electron microscopy. The ostrich eggshell had a finely crackled surface. The structural components of the transverse section of the ostrich eggshell were similar to those of the hen eggshell. The shell and its vertical crystal layer of the ostrich egg were approximately five times thicker than those of the hen egg, and the spongy matrix region occupied three-quarters of the thickness of the ostrich eggshell. The results suggest that these factors were involved in the hardness of the ostrich eggshell. The ostrich eggshell membrane was two-to three-fold the thickness of the hen eggshell membrane, being composed of thick twisted fibers. The intermediate layer of the ostrich albumen showed a fine-layered structure, which seemed to be composed of thick albumen. The inner layer of the ostrich albumen comprised about 40% of the whole thickness, although its structure was indeterminate. The intensity of staining of the inner and outer layers of the ostrich albumen by the PAS reaction was stronger than that for the hen egg albumen. The ostrich yolk was packed with polyhedral yolk spheres, these yolk spheres having a similar shape and size to those of the hen yolk.

キーワード：観察 obvervation；ダチョウ卵 ostrich egg；鶏卵 hen egg；卵殻 eggshell；卵白 albumen

ダチョウは現存する鳥類の中で最も大きく，その肉や卵を食料として利用できるだけでなく，皮や羽根，卵の殻も利用できる付加価値の高い生物で，しかも飼養管理が比較的容易である。今では，世界各国において，ダチョウ産業が広まり，日本でも，沖縄から北海道まで全国的に飼育が進んでいる（唐沢，1997 a，b)。現時点で，ダチョウは繁殖用が主で，食用としての供給量はわずかであるが，鳥類最大の肉量と卵は，今後の食料資源として期待される。既に国内でも冷凍輸入肉が市販され，外食産業のメニューにも登場している。このように食料資源として期待されるダチョウであるが，食料的な価値についての報告は少なく，肉ではその栄養価（Harris *et al.*, 1994）や成分分析（Sales and Hayes, 1996）などがあるが，卵では，卵の重量および孵化率などの繁殖に関する研究（Deeming, 1996）や卵白のリゾチーム（Schoentgen *et al.*, 1982）などの研究があるものの，食料的な価値についてはほとんどない。

著者らは，ダチョウ卵に着目し，その食料利用上の価値について，卵構成，成分分析，テクスチャー等を報告した。ダチョウ卵は丸く大きな形状で，鶏卵の約20倍の重量があり，卵殻が厚く重いのが特徴である。卵白が多く，卵黄に対する卵白の割合がニワトリ卵より大きく，一般成分は鶏卵と大差はないが，SDS-PAGEでは鶏卵と異なるバンドパターンを示し，テクスチャーでは卵白の付着性が鶏卵より大きいことを報告した（峯木ら，2003)。

本研究では，前報でダチョウ卵の各部位における組織構造が未明であるので，光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡を用いて鶏卵と比較した。卵殻はそのままの状態のものを用い，卵白および卵黄は，加熱した試料を用いて観察することから，ダチョウ卵の食品組織学的特徴を明らかにすることを目的とした。

実験材料と方法

1. 実験材料

ダチョウ卵は，茨城県下で飼育した42ヶ月齢のダチョウ（アフリカンブラック種，*Struthio Camelus domesicus*）が，2001年4月から5月に産卵した無精卵（以下ダチョウ卵）2個から4個（1,250 g±75 g）を用いた。ダチョウは一般に夕方から夜に産卵するので，翌日の朝に集卵され，産卵された巣穴を記録後，卵重量を計測して冷蔵庫で保管されている。本研究の卵は，集卵された卵をただちに冷蔵輸送し，室温で2時間静置後実験に供した。対照には一般的な白色レグホーン種鶏卵で群馬県産，産卵3日以

* 青葉学園短期大学
(Aobagakuen Junior College)
** 東北大学大学院農学研究科
(Graduate School of Agriculture Science, Tohoku University)
§ 連絡先 青葉学園短期大学 食物栄養学科 〒154-0017 東京都世田谷区世田谷 3-12-19
TEL 03(3429)8101 FAX 03(3706)0509

NII-Electronic Library Service

The Japan Society of Cookery Science

内の市販品（60 g±3 g，以下ニワトリ卵）を用いた。

2.　卵の加熱方法

卵の中央部上部に，3 mm 程度の穴を開け，バイメタル式測定センサー（安立計器，シース 0-E-JI-MI）を差込み，卵黄の温度を計測しながら，ダチョウ卵は蒸篭による蒸し加熱を，ニワトリ卵は電気ゆで卵器（東芝 BC-349）による加熱を行った。いずれも，卵黄中央の温度が 85℃ に達した時点で加熱を終了し，全熟卵とした。85℃ に達するまでの時間はダチョウ卵では 75±5 分，ニワトリ卵では，15 分（峯木, 1997）であった。いずれの卵も加熱後急冷し，試料に供した。組織用試料には 2 個を用いた。

3.　試料の採取方法と調製方法

1)　組織学的観察

①光学顕微鏡による観察

ダチョウおよびニワトリの全熟卵の赤道部より，卵白の外層部から卵黄の中心部までの半径を 10 mm 幅に切り出し，Baker のホルマリン・カルシウム固定液（10% ホルマリン・1% 塩化カルシウム水溶液）で 3 日間固定した（James and Tas, 1984）。常法によりパラフィン包埋後，厚さ 3 μm の切片を作製した。パラフィン切片には一般染色としてヘマトキシレン・エオジン染色（ＨＥ），アザン染色および多糖類の検出として，過ヨウ素酸シッフ（PAS）反応による染色を行ない，光学顕微鏡で観察した。

②低真空走査型電子顕微鏡観察

卵殻試料は未加熱のダチョウおよびニワトリ卵の赤道部分から採取し，無蒸着状態のまま低真空走査型電子顕微鏡（日立Ｓ 3000 Ｎ型）を用いて，加速電圧 15 kV で観察した。卵殻に密着していた卵殻膜もそのままの状態で同時に観察した。

③走査型電子顕微鏡観察

未加熱のダチョウおよびニワトリ卵の卵殻膜 5 mm 角に切り出したものを用いた。全熟卵の卵白および卵黄では，光学顕微鏡用試料と同様に，卵白外層から，卵黄中心部までの半径を切り出し，卵白，卵黄部分を 3 等分した中層部を試料とした。ダチョウ卵は大きいので，中層部の中央部分を用いた。試料は 2.5% グルタルアルデヒド溶液（0.1 Mカコジル酸緩衝液，pH 7.4）で，5℃，2 時間の前固定後洗浄し，1% 酸化オスミウム溶液（0.1 Mカコジル酸緩衝液，pH 7.4）で 5℃，2 時間の後固定を行った。その後，エタノール系列（50-100%）による脱水を行ない（Mineki and Kobayashi, 1998; 水平, 1992），臨界点乾燥させ，蒸着後，走査型電子顕微鏡（日立Ｓ 4000 型）により，加速電圧 10 kV で観察した。

4)　全熟卵のテクスチャー測定

各々の全熟卵から，卵白および卵黄を分けた。ダチョウ卵では，卵白の外層部から卵黄の中心部までの半径を切り出し，さらに卵白及び卵黄を三等分した中層部分より，1 cm 角に切り出した試料を用いた。ダチョウ卵 1 個から，4 試料を切り出し，卵 3 個について測定した。ニワトリ卵は，3 個を同時に加熱し，4 回の実験（計 12 個）を行い，卵の鈍角部分の卵白より，卵黄では中央のラテブラを削除した部分より，1 cm 角に試料を切り出した。いずれの卵も加熱終了後 2 時間経た時点で，レオナー（山電㈱，RE 3305）により，テクスチャー測定を行った。測定条件は，円柱形プランジャー 8 mm を用い，ロードセル 2 kg，格納ピッチ 0.18 秒，ひずみ率 50.0%，測定速度 0.5 mm/sec とした。

実験結果および考察

1.　卵殻の構造

ダチョウ卵の卵殻は，1.65 mm と 1.8 mm の厚さで，ニワトリ卵と同様に海綿状層，乳頭状層の二つの部分に分けられ（峯木，1998；小川，1999），乳頭状層の乳頭突起は外卵殻膜に結びついていた（Fig. 1 A，1 B）。ダチョウ卵の卵殻の断面は，ニワトリ卵の厚さ（0.30 mm，0.35 mm）の 5 倍の厚さであったが，ニワトリ卵の卵殻の断面の構造と類似していた。卵殻の一番外側に位置する vertical crystal layer は，ダチョウ卵では厚さ約 60 μm であり，ニワトリ卵では約 5 μm であった。ニワトリ卵の厚さは，Okubo ら（1997）の報告と同様であった。ダチョウ卵の vertical crystal layer の厚さはニワトリ卵の 10 倍以上を示した（Fig. 1 A）。ダチョウ卵の海綿状層は，乳頭層部分との境が明瞭ではなかったが，いずれの卵でも卵殻厚の約 4 分の 3（1,200～1,500 μm）を占めていた（Fig. 1 A）。これに対し，ニワトリ卵では卵殻厚の約半分（約 170 μm）が海綿状層部分で，乳頭層部分との境は比較的明瞭であった（Fig. 1 C）。水口（1996）はニワトリ卵殻を観察し，海綿状層の厚さは約 150 μm で，卵殻の半分を占めると報告している。ダチョウ卵では海綿状層が約 75-83%，乳頭状層は 17-25% で，ニワトリ卵に比べ，海綿状層は厚いことが特長といえよう（Table 1）。

ニワトリ卵の卵殻における海綿状層のスポンジ基質について，Powrie（1987）は細い線維（0.04 μm）が卵殻の表面と平行に走り，その内部に多数の空胞（径 0.4 μm）を形成していると報告している。本研究でも，ニワトリ卵の卵殻断面に細い線維と多数の空胞が観察される（Fig. 1 C，矢印）。これに対して，ダチョウ卵のスポンジ基質にみられる細い線維はニワトリ卵より明瞭でなく，空胞（Fig. 1 A，矢印）の数が少なかった。

このことより，ダチョウ卵では，一番外側の vertical crystal layer と卵殻の海綿状層部分が厚く，また海綿状層部分が密な構造を示したので，硬い構造であると考えた。また，スポンジ基質に見られる成長線は，ダチョウ卵では約 130 μm 間隔であり，ニワトリ卵（約 25 μm）の約 5 倍の幅であった（Fig. 1 A）。

ダチョウ卵の乳頭突起は，一本の高さ 90～160 μm，太

NII-Electronic Library Service

The Japan Society of Cookery Science

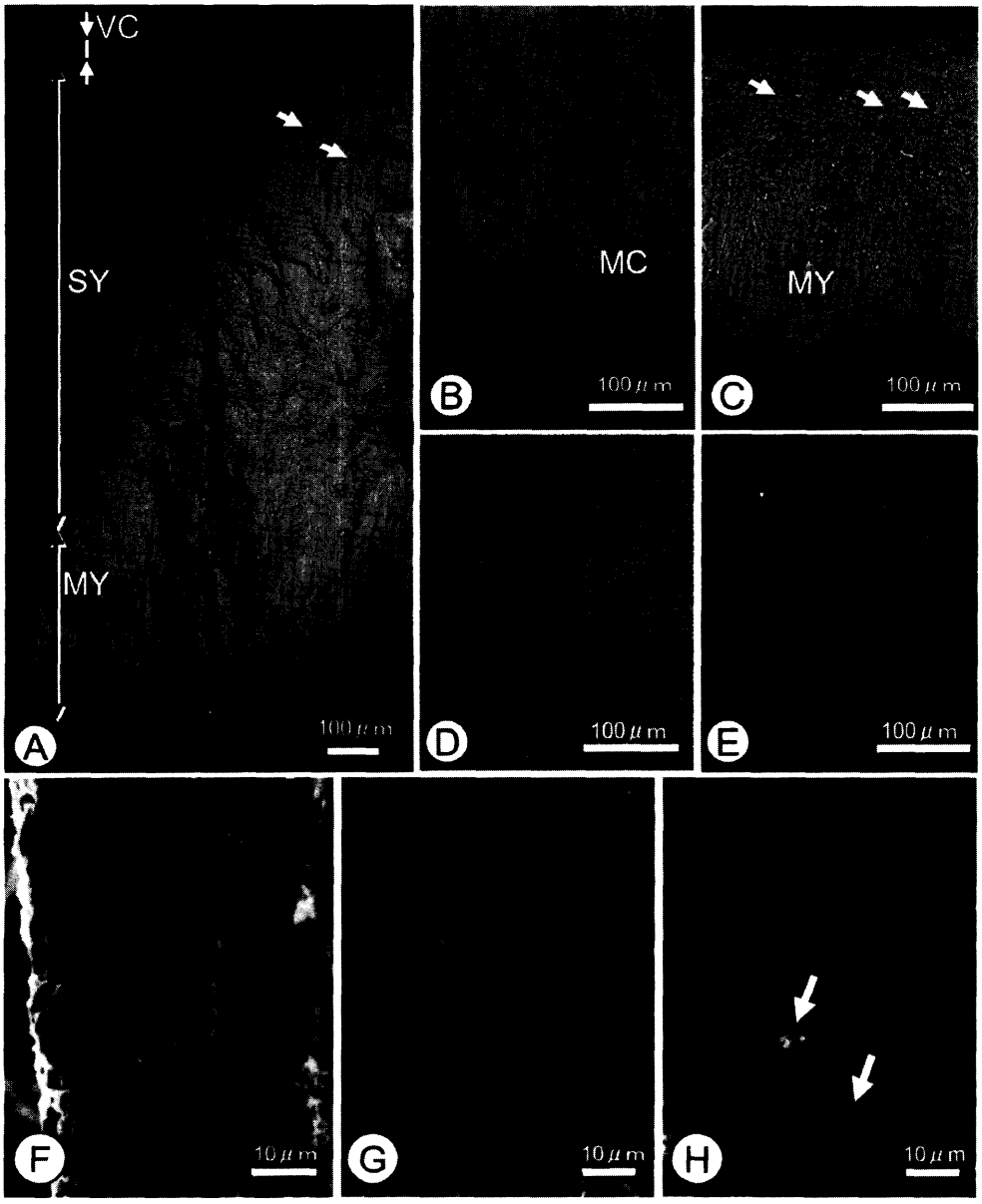

Fig. 1 Microstructure of eggshell and eggshell membrane of ostrich and hen eggs.

A : A transverse section of eggshell of ostrich egg. Arrows showed pores of spongy layer. B : Mammillary knobs of eggshell of ostrich egg. C : A transverse section of eggshell of hen egg. Arrows showed pores of spongy layer. D : An eggshell surface of ostrich egg. E : An eggshell surface of hen egg. F : A transverse section of eggshell membrane of ostrich egg. The sample was observed by scanning electron microscope after double fixation and critical point dryness. The left parts showed outer yolk membrane and right parts showed inner yolk membrane. G : An inner surface of eggshell membrane of ostrich egg. H : An inside surface of eggshell membrane of hen egg. Arrows showed mammillary core.

Unfixed and uncoated samples were observed by low vacuum scanning electron microscope.

VC : vertical crystal layer, SY : Spongy layer, MY : Mammillary layer, MC : Mammillary core.

さ約80 μmで（Fig. 1 A，1 B），その割面は鋭角な結晶軸を示していた（Fig. 1 B）。それに対して，ニワトリ卵の乳頭突起は，一本の高さ約90 μm，太さ30 μmで，その形状は丸みのある，しかも均一な形状（Fig. 1 C）であった。ダチョウ卵の乳頭突起は，その卵殻全体の大きさに比較すると，小さく，しかも割れている形状も観察されることから，この部分は比較的もろい構造と考える。従って，ダチョウ卵の卵殻では，外側からの衝撃には非常に硬くて強いが，内側からは割れやすいと考えた。

卵殻の一番外層（表層）に観察されるクチクラ部分はダチョウ卵，ニワトリ卵でも，明瞭でなかった。実験に供したニワトリ卵は市販品であるので，洗卵処理などによりク

NII-Electronic Library Service

The Japan Society of Cookery Science

Table 1. Microstructure of eggshells in ostrich and hen eggs.

Samples	Eggshell		Thickness of spongy matrix (μm)			Thickness of mammillary layer (μm)	
	Surface	Thickness (mm)	Spongy layer	Vertical crystal layer	Intervals of growth lines	Mammillary layer	Mammillary knob
Ostrich egg#	smooth and crackled	1.8	1,500 (83%)	60	130	300 (17%)	80
Hen egg*	rough with various crannies	0.3	170 (57%)	5	25	130 (43%)	30

(%) : each thickness/eggshell thickness×100 # : the value is an ostrich egg * : the value is a hen egg

チクラ部分の脱落が考えられ，ダチョウ卵では，洗卵処理はされていないが，滑らかな表面でクチクラが脱落しやすいのか，輸送操作による摩擦の影響で脱落したと考えた。

ダチョウ卵の卵殻表面は凹凸が少なく滑らかであったが，表面には大きさが比較的一定な石垣様の亀裂が観察された（Fig. 1 D)。ニワトリ卵では，表面の凹凸が比較的大きく，亀裂も大小の様々な大きさであり（Fig. 1 E)，ダチョウ卵の卵殻の表面はニワトリ卵と全く異なる構造をしていた。

これらの卵殻の特徴，各部位の大きさを Table 1 に示した。

卵は，卵殻，卵殻膜，卵白，卵黄膜，卵黄から構成され，物理的構造を保持する役割は，卵殻，卵殻膜，卵黄膜が担っている。卵殻膜と卵黄膜は柔軟性を持った膜であるので，卵重を支えているのは卵殻であると考えられる。多くの鳥の卵は抱卵の際に遠くに転がらないように楕円体に類似した形をしている。ダチョウ卵とニワトリ卵について，楕円体の近似形として，峯木ら（2003）のデータから計算すると，ダチョウ卵の体積は 1,008±92 cm^3 でニワトリ卵の 17.6 倍であり，重量比ではダチョウ卵（1,208±116 g）はニワトリ卵の 19.9 倍である。ダチョウ卵の表面積は 489±30 cm^2 でニワトリ卵の 6.7 倍となるため，単位表面積あたりの加重は 3.1 倍となる。実際の卵殻の厚さの比は，全体で 6 倍，海綿状層で 6.7 倍，乳頭状層で 5 倍であり，推計上の 3.1 倍の約 2 倍の厚さとなっている。実際には卵は胚発生上の極を持つため，卵先と卵底では曲率が異なり短軸が長軸の中央にない。この短軸と長軸の比を卵の形状係数として表すと，ダチョウ卵は 0.82±0.05，ニワトリ卵は 0.76±0.03（峯木ら，2003）で，ニワトリ卵の方がより細長い。構造上は球体が最も強く，長形になるほど短軸方向の力に対し脆弱となる。従って，ダチョウ卵はニワトリ卵に比べて球体に近く，強靭な卵殻を有していると言える。

2. 卵殻膜の構造

卵殻膜の低真空走査型電子顕微鏡による観察ではダチョウ卵で 50～60 μm，ニワトリ卵で 20～25 μm の厚さであった（Fig. 1 G, H)。また，卵殻膜を二重固定して観察した卵殻膜の断面は，ダチョウ卵では外層約 30 μm，内層約 20 μm の厚さであった（Fig. 1 F)。これらの卵殻膜を構成する線維は卵殻膜外層で太さ 2 μm の線維が集合した太い束が疎な網目構造を示し，内層は同じ太さ 2 μm の線維が密に分布した構造であった。卵殻膜を内層から見ると，径 1～5 μm の太い線維が密に交差して重層し，しかもそれらが融合状態で観察され（Fig. 1 G)，胚発生時に外部からの衝撃に対し防御できる構造を持つと考えられる。また，卵殻膜内層からの観察では卵殻膜に絡んでいる乳頭突起は卵殻膜が厚いために観察できなかった。それに対して，ニワトリ卵では卵殻膜の厚さは 20～25 μm で，1～3 μm の太さの線維が網状となっており，ダチョウ卵より疎な構造であり，そのために乳頭突起の先端部分が卵殻膜内層まで絡みこんでいた（Fig. 1 H)。ニワトリ卵では，外層が約 48 μm，内層が約 22 μm の厚さ（佐藤ら，1980；Powrie, 1987）と報告されているが，本研究では，これらの結果より卵殻膜の厚さが薄く，水口（1996）の報告した卵殻膜の厚さ 25 μm と一致した。

ニワトリ卵の卵殻膜の構造は，既に光学顕微鏡による報告（松本，1973 a, b；星野，1995）と同様の形状であった。

卵殻膜は，浸透膜としての機能のほか，発生過程から形態保持機能があると考えられる。卵殻と同様に耐圧性を比較すると，ダチョウ卵では約 2.7 倍の加重耐性が必要となる。実際の卵殻膜の厚さの比は 2-3 倍であることから，強度が厚さに単純比例すると想定すると，ニワトリ卵に比べてダチョウ卵の卵殻膜の卵重保持機能はやや弱いと推定される。従って，卵殻膜の密な繊維状構造がその保持機能を補佐しているとも考える。

3. 全熟卵の卵白の構造

加熱したダチョウ卵の卵白層は赤道部分が最も薄く，厚さが約 5 cm であった。その部分の PAS 反応による光学顕微鏡観察では，卵白は外層部（約 400 μm)，中層部（約 30 mm)，内層部（約 20 mm）に分けられた（Fig. 2)。卵殻膜に一番近い外層部の卵白は，約 20 μm の強く濃染した部分とそれに続く粒子の無構造部分が見られ，約 400 μm に渡って観察された（Fig. 2 A)。それに続く卵白の半分以上を占める中層部では，PAS 反応で濃染した層状構造が観察された（Fig. 2 B, C)。横走する線維様構造が多数見られ（Fig. 2 B)，さらに内側では交互に繊維様構造と微細な網様構造が重層する部分が続いていた（Fig.

NII-Electronic Library Service

The Japan Society of Cookery Science

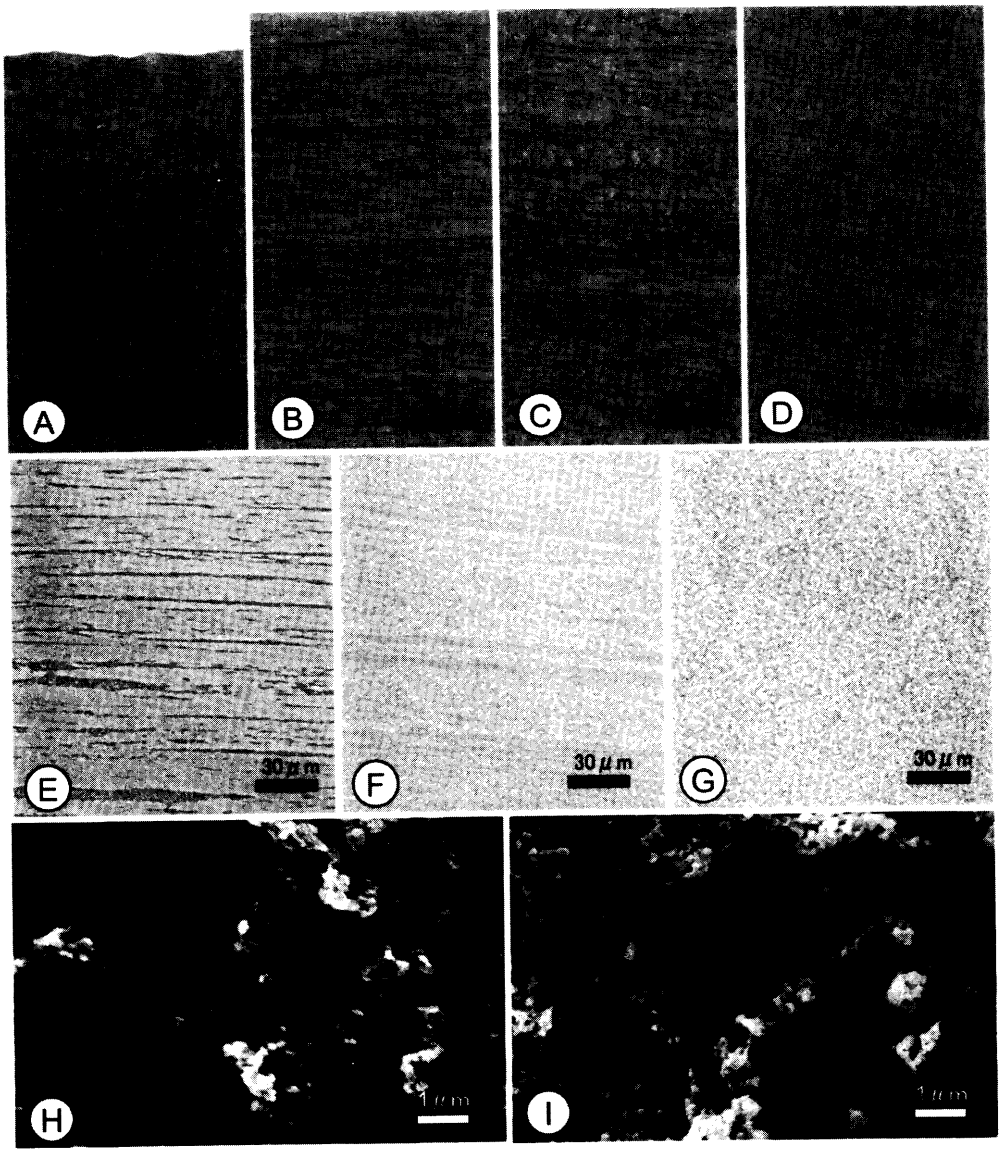

Fig. 2 Microstructure of albumen of hard-boiled ostrich egg and hen egg.
A : The most outer layer, B : an outer parts of middle layer, C : a middle layer, D : an inner layer of albumen of ostrich egg. E : an outer parts of middle layer, F : a middle layer, G:an outer layer of albumen of hen egg. A–bG : PAS stained reaction. H : a middle layer of of albumen of ostrich egg. I : a middle layer of albumen of hen egg. H and I : scanning electron microscopy.

2C)。中層部の内側に入るほど，横走する線維様構造は少ない傾向を示した。ニワトリ卵の中層部では，ダチョウ卵より染色性が薄いが，横走する線維（Fig. 2E）と横走する線維と粒子状の均質部が交互に重層した部分が観察された（Fig. 2F)。この重層構造は，濃厚卵白部分にあたり（小川ら，2000)，約10層の層状構造がみられるとしている（星野，1995)。ダチョウ卵の層状構造は，線維状構造物からなる層状の幅がニワトリ卵に比較して狭く，その間隙をうめる粒子が不明瞭で，しかも密なために網様構造にみえ，重層の数も多数すぎて，数の確認はできなかった。

ダチョウ卵の卵白の卵黄に近い内層部はPAS反応に淡染する小粒子からなる無構造部分を示した（Fig. 2D)。同様にニワトリ卵の卵白の内層部にも，淡染した無構造部分が観察された（Fig. 2G）が，ダチョウ卵に比較すると，小粒子は明瞭で疎な状態であった。これらの無構造部分は，ニワトリ卵では内水様卵白部分（星野，1995）であると報告されている。ダチョウ卵でもニワトリ卵と同様に内水様卵白に当たると考えられ，その部分は卵白全体の40%を占めていた。

このことから，ダチョウ卵の卵白は，ニワトリ卵と構成部分は類似し，狭い外水様卵白部分（卵白外層部の無構造部分）と卵黄周辺の広い内水様卵白部分が存在し，これらに挟まれた中央部分に濃厚卵白（重層構造）が存在した。

走査型電子顕微鏡による卵白の中層部（図2Cに該当す

NII-Electronic Library Service

The Japan Society of Cookery Science

る濃厚卵白部分）では，線維状構造を構成する小顆粒（径0.1 μm 程度）が団塊して，その輪郭は不明瞭で，比較的密な繊維状構造を示した（Fig. 2 H)。これに対し，ニワトリ卵（Fig. 2 F に該当する濃厚卵白部分）では，小顆粒の形状が明瞭で，よく発達した疎な状態の繊維状構造であった（Fig. 2 I)。ダチョウ卵の卵白は，これらの構造の違いから，ニワトリ卵と異なる性質を示す卵白であると考えた。

4.　全熟卵の卵黄の構造

ダチョウ卵の卵黄では卵黄膜直下最外層部に小さな卵黄球の存在する cortical layer が約 500 μm に渡って存在した（Fig. 3 A)。ニワトリ卵の卵黄の最外層には同じく cortical layer が観察された（Mineki and Kobayashi, 1997)。

ダチョウ卵の卵黄外層部には直径 40～80 μm の多面形の卵黄球が観察され（Fig. 3 B)，卵黄内層には直径約 50～100 μm 多面形の外層より大きな卵黄球が密に充填されていた（Fig. 3 C)。卵黄球中心に存在するラテブラ部は，丸みをおびた卵黄球がまばらに観察され，融合した不定形の基質を示した（Fig. 3 D)。ニワトリ卵では卵黄膜によっ

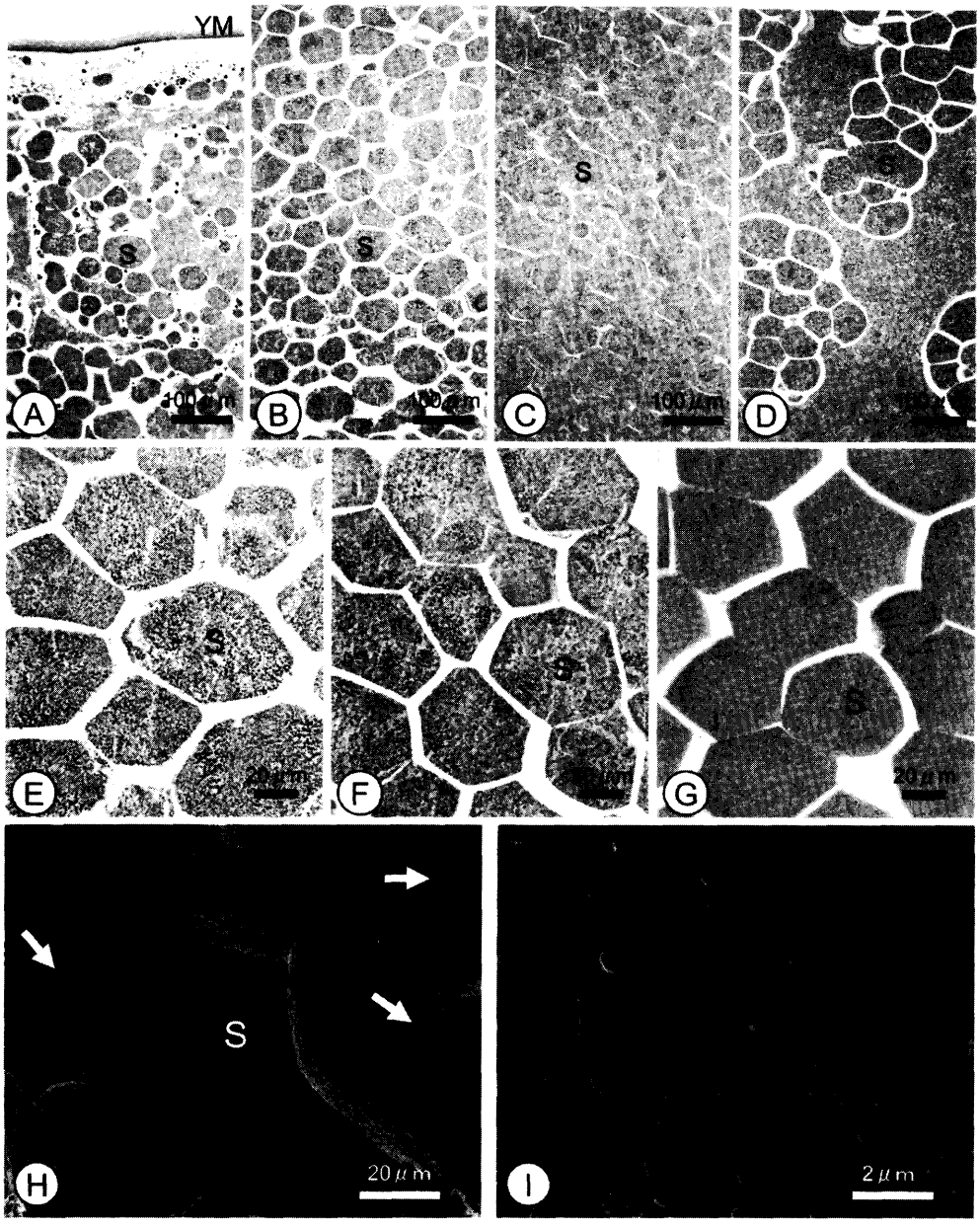

Fig. 3　Microstructure of yolk of hard-boiled ostrich egg and hen egg.
A : An outer layer, B : a middle layer, C : an inner layer, and D : a latebra region of ostrich yolk. E, F : Yolk spheres in the middle layer of ostrich yolk. G : Yolk spheres in the middle layer of hen yolk. A-E : HE staining. F and G : PAS reaction. H : Yolk spheres of the middle layer of ostrich yolk, I : surface of ostrich yolk spheres. Arrows : fat-like globules. H and I : Scanning electron microscopy.
S : Yolk sphere. YM : Yolk membrane.

NII-Electronic Library Service

The Japan Society of Cookery Science

て包み込まれた卵黄の卵黄球は多面形を示し（Perry and Gilbert, 1985；Wood and Cotterill, 1987；日比, 1979；峯木, 1997；西楽と田村, 1998），卵黄の部位によって，外側の卵黄球は小さく，内側の卵黄球は大きいことが観察されている（星野ら, 1995；Mineki and Kobayashi, 1997；2000）。ダチョウ卵の卵黄球はニワトリ卵と同様の多面形であり，その大きさは，ニワトリ卵（Powrie, 1987；Mineki and Kobayashi, 1997；2000；西楽と田村, 1998；峯木, 1999）と同程度の大きさであった。その形状は外側で小さく，内側で大きかったので卵の部位による卵黄球の大きさは，ニワトリ卵と同様の傾向であった。

ダチョウ卵の卵黄球を拡大したもの（Fig. 3 E, 3 F）では，卵黄球基質に，HE 染色（Fig. 3 E），PAS 反応（Fig. 3 F）およびアゾカルミン G で濃染された小顆粒が比較的均一に分布していた。この小顆粒は，その染色性からニワトリ卵と同様に，たんぱく質及び多糖類を含む顆粒と考えられ，ニワトリ卵より（Fig. 3 G），大きな顆粒でみえた。大きさについては，透過型電子顕微鏡を用いるなど，さらに検討が必要である。また，ダチョウ卵の部位による卵黄球の基質は，外層部で染色性が強く，内層部で弱かった。星野ら（1995）はニワトリ卵卵黄の各部位における染色が外層部に比べて内層部で淡色であると報告しており，ダチョウ卵の結果はこれと同様のものであった。ゆで卵は，卵黄の外側から熱が伝わるので，卵黄の外側は内側より，内部温度が高いことより（峯木, 1998），これらの染色性には加熱温度および卵黄の凝固温度が影響する可能性を考えた。

卵黄球の走査型電子顕微鏡による観察では，卵黄球間に脂肪球と考えられる構造（Fig. 3 H, 矢印）が観察された。また，卵黄外層部の卵黄球の表面には 0.2 μm 程度の孔が観察された（Fig. 3 I）。これは加熱したニワトリ卵の卵黄球と非常に類似していた（峯木, 1997）。

ダチョウ卵の卵黄の構造は，本研究及び今まで報告されたニワトリ卵の構造と傾向が類似しており，調理上の扱いに大差がないと考える。

5. 全熟卵の卵白・卵黄のテクスチャー

ダチョウ卵の卵白は，ニワトリ卵に比べて，軟らかい傾向で，凝集性は低い傾向を示した（Table 2）。付着性も高い傾向を示したが，有意の差はみられなかった。ダチョウ卵の卵黄は，ニワトリ卵に比べて，硬い傾向を示し，凝集性は有意に高かった。この結果から，ダチョウ卵の卵白は，ニワトリ卵に比べて，弾力性のない軟らかいことが示され，ダチョウ卵の卵白の構造からの推測と一致した。また，ダチョウ卵の方が卵白の PAS 反応が強かったことから，卵白における多糖類あるいは糖タンパク質の分布様式の違いがテクスチャーに関連する可能性がある。卵白の水分含有率には違いがないことから，ダチョウ卵の凝固温度（熱凝固性）の検討も必要であると考えた。

Table 2. Texture of hard-boiled albumen and yolk of ostrich egg and hen egg

Sample		Hardness ($\times 10^4$ Pa)	Cohesiveness (L.U.)	Adhesiveness ($\times 10^2$ Pa)
Albumen	Ostrich egg	4.10 ± 0.80*	0.45 ± 0.26	3.94 ± 3.87
	Hen egg	5.44 ± 0.79	0.70 ± 0.02	1.19 ± 0.81
Yolk	Ostrich egg	3.75 ± 0.90	0.32 ± 0.03[a]	6.49 ± 6.11
	Hen egg	2.80 ± 0.51	0.17 ± 0.07[b]	6.89 ± 1.92

* Mean ± S.D. Different letters (a and b) within the same column are significanty different ($p<0.05$).

要　約

ダチョウ卵の各部位を，光学顕微鏡，低真空走査型電子顕微鏡および走査型電子顕微鏡を用いて観察し，ニワトリ卵との比較を行った。卵殻および卵殻膜は未固定試料を，卵白および卵黄は全熟卵試料を用いた。

1) ダチョウ卵の卵殻の表面は滑らかな石垣状の構造を持ち，ニワトリ卵と全く異なっていたが，卵殻断面は類似した点が多かった。卵殻と vertical crystal layer の厚さおよび成長線間隔は，ニワトリ卵の約 5 倍であった。海綿状層は卵殻の 4 分の 3 を占め，卵殻の強度に影響していると考えられる。
2) ダチョウ卵の卵殻膜はニワトリ卵の 2〜3 倍の厚さであり，太い線維が融合して密な構造を示した。
3) ダチョウ卵の卵白は，卵白中層部に濃厚卵白と考えられる線維状構造の重層した部分を有していた。卵白内層にはニワトリ卵より染色度合いの濃い，しかも不明瞭な粒子の密な無構造部分が卵白の内層部に観察された。
4) ダチョウ卵の卵黄は，最外層に約 500 μm にわたって，未分化あるいは不定形の卵黄球が存在する cortical layer を持ち，卵黄には，ニワトリ卵に類似した多面形の卵黄球が充填されていた。卵黄球の大きさはニワトリ卵と同程度であった。
5) ダチョウ卵の全熟卵のテクスチャーは，ニワトリ卵と比較して，卵黄では凝集性が高かった。卵白では硬さ・凝集性が低い傾向を示した。

また，ダチョウ卵の方が卵白の PAS 反応が強かったことから，卵白における多糖類あるいは糖タンパク質の分布様式の違いがテクスチャーに関連する可能性がある。

本研究の一部は平成 14 年〜16 年度文部科学省科学研究費基盤研究（C）（2）研究課題番号第 14580157 号，研究課題名「新食料資源としてのダチョウ肉および卵の食品組織学的解析と応用」の助成金によって行われたものである。

文　献

D. C. Deeming (1996), Production, fertility and hatchability of

NII-Electronic Library Service

The Japan Society of Cookery Science

ostrich (*Struthio camelus*) eggs on a farm in the United Kingdom, *Brit. Soc. Anim. Sci.*, **63**, 329–336

S. D. Harris, R. K. Miller, D. S. Hales, C. A. Morris, J. T. Keeton, and J. W. Savell (1994), Nutritional analyses of cooked ostrich meat, *J. Poult. Sci.*, **73**, 138–143.

日比喜子 (1979), 加熱卵黄の性状と組織, 家政誌, **30**, 307–311.

星野忠彦 (1995), 食品組織学, 光生館, 東京, pp. 143–146.

J. James and J. Tas (1984), Histochemical protein staining methods. Royal Microscopical Society, Oxford Univ. Press, New York, pp. 11–13.

唐澤豊 (1997 a), 産業としてダチョウ飼育 (3), 畜産の研究, **51**, 886–892.

唐澤豊 (1997 b), 産業としてダチョウ飼育 (4), 畜産の研究, **51**, 989–994.

松本ヱミ子 (1973), 卵の調理に関する食品組織学的研究 (第1報), 調理科学, **6**, 53–56.

松本ヱミ子 (1973), 卵の調理に関する食品組織学的研究 (第2報), 調理科学, **6**, 57–60.

峯木眞知子 (1997), 加熱鶏卵卵黄の微細構造, 日本調理科学会, **30**, 335–341.

峯木眞知子 (1998) 動物資源利用学, 文永堂, 東京, 250–254 頁.

峯木眞知子 (1999). 食品·調理·加工の組織学 (田村咲江監修), 第9章卵, 学窓社, 東京, pp. 143–148.

M. Mineki and M. Kobayashi. (1997), Microstructure of yolk from fresh eggs by improved method, *Journal of Food Science*, **62**, 757–761.

M. Mineki and M, Kobayashi. (1998), Microstructural change of stored hen egg yolk, *Journal of Japanese Poultry Science*, **35**, 285–294.

M. Mineki and M. Kobayashi (2000), Morphometric Analysis of the Size and Number of Yolk Spheres in Hen Eggs, 調科誌, **33**, 53–57.

峯木眞知子, 棚橋伸子, 設楽弘之 (2003), ダチョウ卵の理化学的特性, 日食科工誌, **50**, 266–271.

水口 茂 (1996). 走査型電子顕微鏡による卵殻の観察. 畜産の研究, **50**, 1257–1260.

水平 敏知 (1992), 医学·生物学領域の電子顕微鏡操作マニュアル, 講談社. 東京. pp. 23.

小川宣子 (1999), 食品·調理·加工の組織学 (田村咲江監修). 第9章卵. 学窓社, 東京, pp. 141–143.

小川宣子·峯木真知子·山中なつみ (2000), 異なる飼料を給与した鶏が産卵した卵の調理特性. 調科誌, **33**, 185–191.

T. Okubo, S. Akachi and H, Hatta (1997), Hen Eggs, (ed. Yamamoto T) Ch. 1. CRC Press, Inc. USA. pp. 1–6.

M. M. Perry and A.B. Gilbert. (1985), The structure of yellow in the domestic fowl. *Journal of Ultrastructure Reserch*, **90**, 313–322.

W. D. Powrie (1987), 卵の科学と技術 (W. J. Stadelman and O J. Cotterill. ed., 森田重広訳). 6章, 学窓社. 東京. 47–50, 56頁.

西楽慈子·田村咲江 (1998), 卵黄の加熱によるテクスチャーと微細構造の変化. 家政誌. **49**, 353–362.

J. Sales and J. P. Hayes (1996), Proximate, amino acid and mineral composition on ostrich meat, *J. Food Chem.*, **56**, 167–170.

佐藤泰, 渡辺乾二, 中村良, 吉田昭 (1980), 食卵の科学と利用 (佐藤泰編著), 第三章鶏卵の科学, 地球社. 東京. pp. 43–49, 70–73.

F. Schoentgen, J. Jacqueline and P. Jolles (1982), Complete amino acid sequence of ostrich (struthio camelus) Egg-white Lysozyme, a goose-type Lysozyme, *Eur. J. Biochem.* **123**, 489–497.

(平成16年8月26日受付, 平成16年12月9日受理)

NII-Electronic Library Service