

卵殻蛍光を利用した鶏卵鮮度測定の見直し

柴田充教

Changes in Eggshell Fluorescence and Egg Freshness by Heating and Light Irradiation

Mitsunori Shibata

Eggshells emit red fluorescence under ultraviolet radiation, and the fluorescence is known to change during storage of the egg. In this study, changes in eggshell fluorescence from white hen eggs induced by various treatments were examined. The possibility of developing a method of nondestructive evaluation of egg freshness by analyzing the changes in eggshell fluorescence was also explored. Specific gravity and the Haugh unit score of eggs kept in a dark place decreased by heating, whereas there was little change in the red fluorescence of the eggs. Red fluorescence decreased rapidly by light irradiation of the egg. These results indicate that it is difficult to measure the freshness of various eggs by analyzing their eggshell fluorescence.

(Accepted Mar. 2, 2005)

近年、サルモネラによる食中毒が世界的に増加する傾向にあり、原因食材として鶏卵及びその加工品などが指摘されている。鶏卵は保存により鮮度が低下するとともにサルモネラの菌数が増加する可能性も高まることから、鶏卵の鮮度は消費者にとって最も関心の高いところである。また、流通産業の立場からも、鶏卵鮮度は商品価値と密接な関わりがある。

現在、鶏卵の鮮度判定は抜き取り検査で行っており、割卵することにより鮮度を判別しているため、全ての卵を検査することは不可能である。このため、非破壊で鮮度を測定する技術の開発が望まれている。安藤らは、鶏卵殻が紫外線照射によって自ら放つ蛍光を観察することでその卵の鮮度を予想し、このような自家蛍光を写真に撮影することで鶏卵の時間的経過の推定に役立つことを報告している¹⁾。さらに、同一産卵鶏の卵は、保存日数が経過するに従って蛍光強度が減衰する傾向がみられ、卵殻表面の蛍光強度および自家蛍光の色調変化と保存日数が相関していたと報告している²⁾。そこで本研究では、鶏卵殻に紫外線を照射した際に生じる蛍光が産卵日からの日数経過に応じて変化する性

質を解析し、鶏卵鮮度の非破壊測定の可能性を検討した。

実験方法

1. 鶏卵

卵殻蛍光の強度が飼育条件の違いにより異なることも考えられたので、同一条件で飼育している養鶏場を選び、産卵直後の汚れの少ない未洗浄の白色卵（ジュリアローラー種）を採取して供試した。また、一部の試験には、プラスチック製卵ケース入りの産卵日が記載された市販の鶏卵を購入して用いた。

2. 卵殻蛍光の測定

卵殻蛍光は、分光蛍光光度計で測定した場合に精度の高いデータが得られるが、卵コンベアでの自動選別を考慮して、デジタルカメラで撮影した画像により検討することとした。暗室内に設置した暗箱中の固定台に卵を置き、UV ランプ（UVP, UVL-28, 365nm）2本を用いて紫外線を照射した際に発生する卵殻蛍光を、卵の真上からフィルター（ケンコー, L41）を装着したデジタルカメラ（ニコン, COOLPIX5000）を用いて、

シャッタースピード 1/2 秒，絞り値 5.4，感度 ISO200 の条件で撮影した。また，紫外線強度計（UVP，UVX Radiometer）で撮影前後と撮影中に紫外線強度を測定して， $620\sim 660\ \mu\text{w}/\text{cm}^2$ 間に安定していることを確認した。撮影画像は編集ソフト（Adobe，Adobe Photoshop7.0）を用いて輝度を調べるとともに，光の3原色である赤（R），緑（G），青（B）の各成分に分解し，それぞれの強度を求めた。同一卵の異なる位置の卵殻蛍光については，一つの卵について120度ずつ回転させた3ヵ所を5日間にわたり撮影し，解析することにより検討した。

3. 卵殻蛍光に影響する要因の検討

(1) 洗卵

鶏卵は，市場に出荷される際には次亜塩素酸ナトリウム溶液などで洗卵されることから，洗卵による卵殻蛍光への影響について検討した。有効塩素濃度150mg/l，液温40℃の次亜塩素酸ナトリウム溶液に20秒間浸漬，または20秒間浸漬しつつブラッシングを行い，その前後の卵殻蛍光を測定し比較することにした。

(2) 保存温度

鶏卵の鮮度に最も影響を与える要因は保存温度と言われている。そこで，保存温度と卵殻蛍光との関係を試験した。鶏卵を4℃，10℃，25℃の恒温器に遮光保存し，5，9，15日経過後に卵殻蛍光を撮影した。また，鮮度に対する保存温度の影響を検討するために，卵の鮮度指標として用いられているハウ・ユニット（H.U.と略す，写真1は測定器）と比重を測定した。比重は，同一卵を用いて，体積を20℃の水を入れたメスシリンダーで求め，重量をはかりで測定することにより算出し，日数経過による変化を調べた。

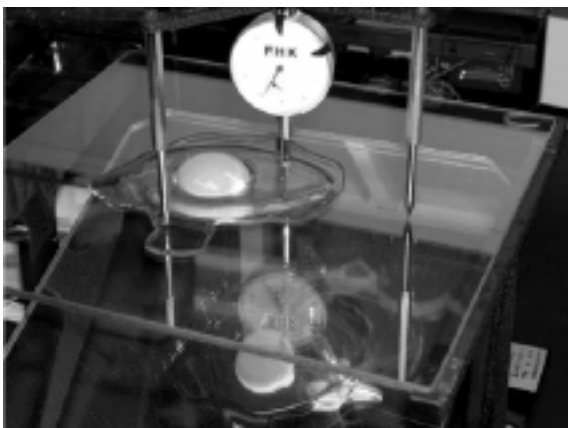


写真1 濃厚卵白の高さ測定（ハウ・ユニットの測定）

(3) 光照射

光照射の影響については，鶏卵に太陽光を直接照射し15分ごとに卵殻蛍光を撮影，あるいは10℃に保った人工気象器内で約2800Lxの光（蛍光灯）を照射し5時間ごとに卵殻蛍光を撮影することにより検討した。対照として，10℃で遮光保存した卵を用いた。鶏卵殻の赤色蛍光を発する物質は，卵殻の形成に合わせて沈着するポルフィリン色素と言われているが，鶏卵のポルフィリン色素の標品を入手できないため，その主成分とされるプロトポルフィリンIX（和光純薬）について光の影響を検討した。10℃に保った人工気象器内で，プロトポルフィリンIXの3M塩酸溶液（最終濃度2.5mg/l）に約9700Lxの光（蛍光灯）を照射し，30分，1時間，2時間経過後の蛍光強度を，分光蛍光光度計（島津，RF-5000，励起波長407nm）により測定した。

実験結果及び考察

1. 卵殻蛍光のRGB分解による解析

産卵後の卵殻蛍光は鮮やかな赤色であったが，保存が長期化するに従い赤色が減衰して暗色化することが肉眼で観察された。そこで，撮影時以外は10℃の恒温器中に遮光保存した卵を，経時的に取り出して卵殻蛍光を撮影し，蛍光の輝度の変化を測定した（図1）。30日間の保存により卵殻蛍光の輝度はやや増加したものの，その変化量は小さく，産卵後の経過日数の判定に利用するのは適切でないと判断した。また肉眼の観察では，保存が長期化すると赤色蛍光が減衰しているにもかかわらず，撮影画像では輝度の増加が認められたことから，卵殻蛍光を光の3原色である赤（R），緑（G），青（B）に分解して検討した（図2）。Rは減少したが，GとBは増加したことが認められ，この変化が輝度増加の要因と考えられた。

本試験には3個の供試卵を使用した，測定値に個体差が認められたため，それを緩和するために，赤，緑，青の合計（R+G+B）に対する赤（R），緑（G），青（B）それぞれの割合（r，g，b）を求めてみた（図3）。その結果，図2に示したR，G，B各成分値と比較して個体差が減少した。更に，日数経過による蛍光の変化をより顕著に示す値としてr-gを算出した（図3）。以後，このr-g値を用いて鮮度判定が可能かを検討することにした。

2. 同一卵の異なる位置の卵殻蛍光

同一卵において異なる位置の卵殻蛍光にどの程度の差があるかを検討した。同一卵において，卵殻の

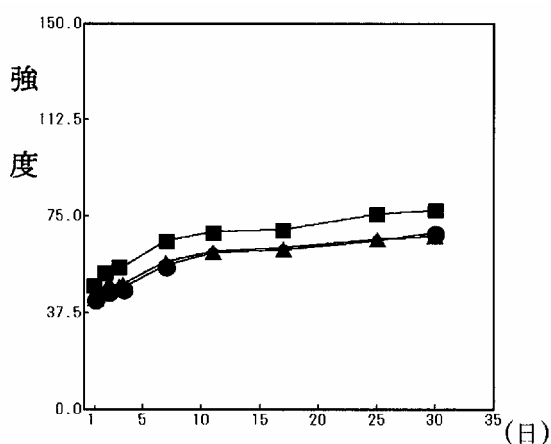


図1 卵殻蛍光の輝度の日数経過による変化 (n=3)

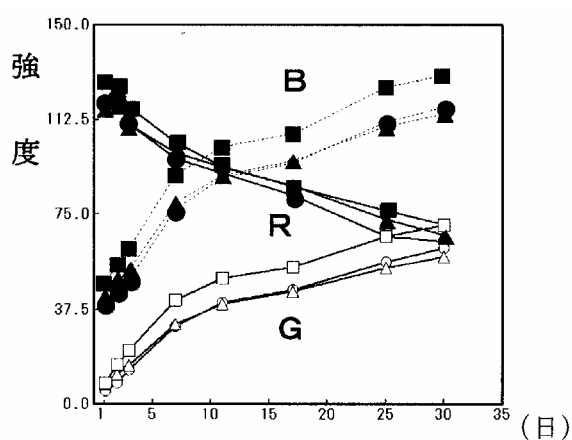


図2 卵殻蛍光のR, G, B値の日数経過による変化 (n=3)

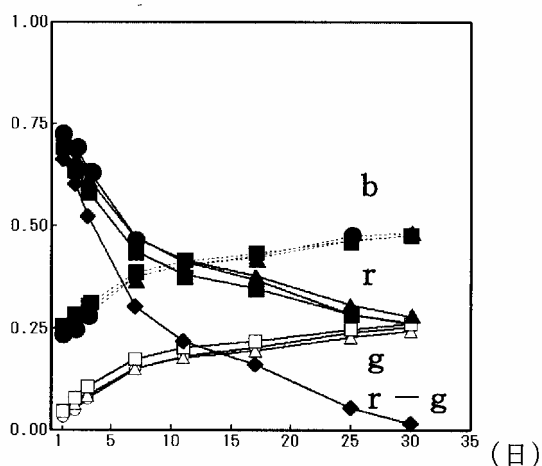


図3 r, g, b値 (n=3) と r-g 値 (平均値) の日数経過による変化 (n=3)

位置の違いによる蛍光のバラツキは少なく、保存日数の経過に伴う変化も近似しており、卵殻上の測定位置が異なっても卵殻蛍光に大きな差がないことを認めた (図4)。

3. 洗卵による卵殻蛍光の変化

洗卵による卵殻蛍光の変化について検討した。4個の供試卵について次亜塩素酸ナトリウム溶液に浸漬することによる洗卵では、r-g値の変化は2個についてはやや増加し、他の2個はやや減少した (図5)。また、新たに別の4個の供試卵を次亜塩素酸ナトリウム溶液に浸漬しブラッシングを加えた際には、すべての卵でr-g値はわずかに減少した。これらの結果より、通常実施されている洗浄方法では卵殻蛍光は大きく変化しないと考えられた。

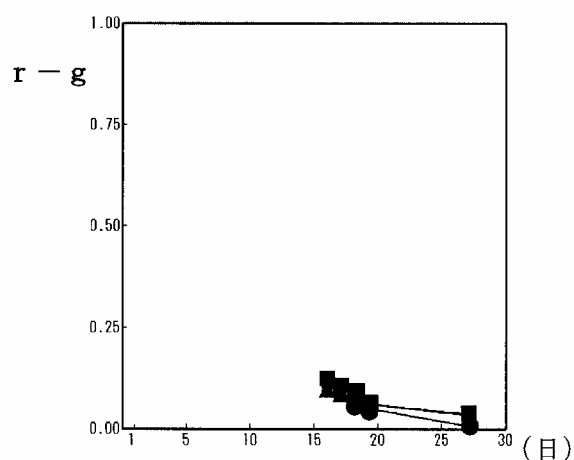
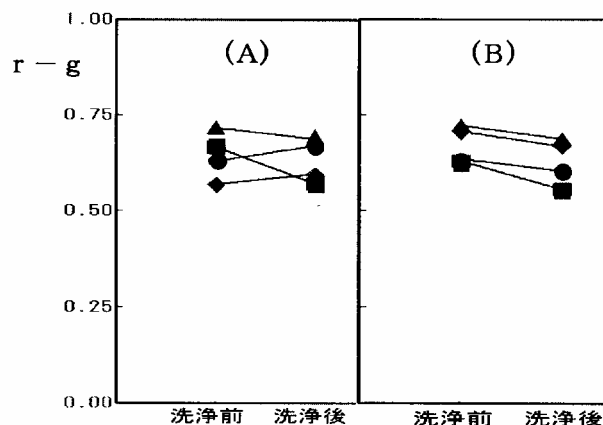


図4 同一卵の異なる位置3点における蛍光 (r-g 値) の日数経過による変化

図5 洗卵による卵殻蛍光 (r-g 値) の変化
(A) 次亜塩素酸ナトリウム溶液に浸漬のみ、
(B) 同溶液に浸漬してブラッシング

4. 卵殻蛍光と卵鮮度の変化に対する保存温度の影響

産卵後の経過日数の指標とした r-g 値と鮮度の相関を検討するために、卵を 4℃、10℃、25℃で遮光保

存して5日, 9日, 15日経過後の卵殻蛍光を測定し, $r-g$ 値を算出するとともに, H.U.と比重を測定した. 保存温度の違いによる $r-g$ 値の経時的変化を図6に示す. 保存が長期化するに従い, $r-g$ 値は, 徐々に減少したが保存温度の違いによる差はほとんど認められなかった. 一方, 同じ条件で保存した卵の H.U. は経時的に変化し, 保存温度の違いにより変化の速度に差が認められた(図7). H.U.は, 濃厚卵白の高さと卵重から求める鮮度指標であるが, 割卵しなければ測定できない. 冷蔵庫で $4\sim 6^{\circ}\text{C}$ に保存すると約3ヶ月間食用可能の値が保持されるが, 変化は緩慢で経過日数を詳細に知ることは困難である. 米国農務省の規格では, H.U.72以上をAA(食用), H.U.60以上72未満をA(食用) H.U.31以上60未満をB(加工用)としている. 4°C と 10°C の15日保存群では, H.U.は産卵日の90から73に緩やかに低下したが, 25°C 保存群では急激に低下しており, 5日の保存で既にH.U.が食用の目安とされている60以下に下がって

いた. また, 比重を測定した結果は, 25°C 保存群で4日を経過した時点で6個中1個に正常値(1.075~1.095)より軽いものが生じ, 15日経過すると6個中5個が正常値より軽くなった. これらの結果から, 卵殻蛍光に対する保存温度の影響は小さいが, 鶏卵の品質に及ぼす保存温度の影響は大きく, 蛍光と鮮度の変化が相関しない場合があるため, 可能性が示唆されていた卵殻蛍光による鶏卵鮮度判定は困難であると判断した.

5. 光照射による卵殻蛍光の変化

保存温度を変化させた試験(図6)における $r-g$ 値の変化幅が, 図3に示した $r-g$ 値のそれより少ない原因は, 試験中に光にさらされた時間が短いためと考え, 光照射による卵殻蛍光の変化について検討した. 供試卵を20000~85000Lxの太陽光(温度 $8.5\sim 13^{\circ}\text{C}$)の下に置くことにより, $r-g$ 値は0.83から1時間後に0.35, 2時間後に0.15, 2時間30分後に0.07と急激に低下した(図8). また, 約2800Lxの光

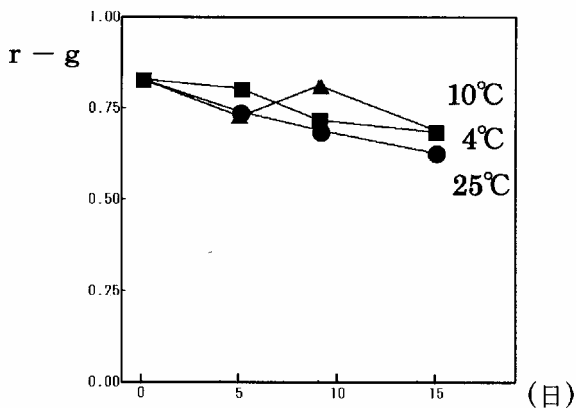


図6 遮光下, 異なる温度で保存した卵(各 $n=3$)における $r-g$ 値の日数経過による変化

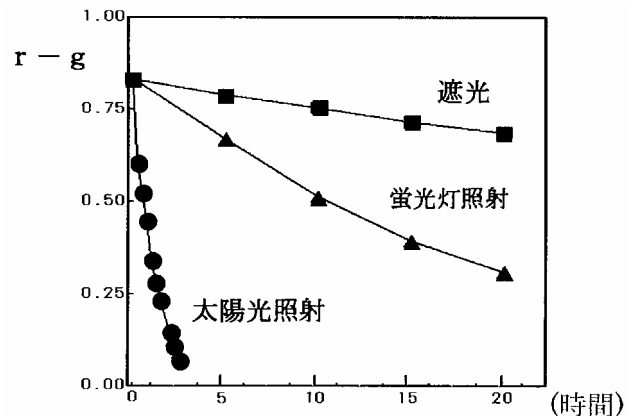


図8 太陽光ならびに蛍光灯照射による卵殻蛍光($r-g$ 値)の変化 ($n=2\sim 3$)

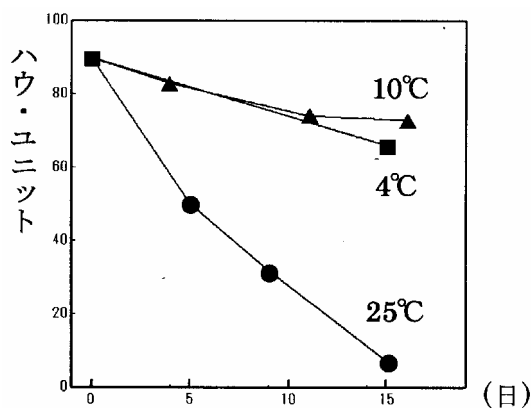


図7 遮光下, 異なる温度で保存した卵におけるハウ・ユニットの日数経過による変化

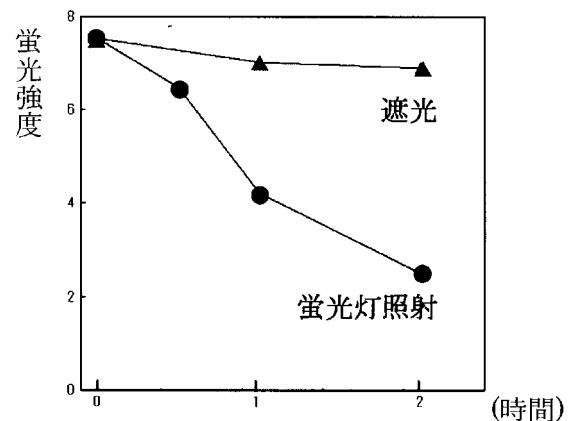


図9 蛍光灯照射によるプロトポルフィリンIXの蛍光強度変化

(蛍光灯)を20時間照射すると、 $r-g$ 値が0.83から0.31に低下した(図8)。産卵後5日間遮光保存した卵は0.83から0.73までしか低下しなかったことから、卵殻蛍光強度は光の影響を大きく受けることが判明した。次に、卵殻蛍光物質の主成分であるプロトポルフィリンIXについて、光照射による蛍光の変化を調べた。プロトポルフィリンIXの蛍光強度(605 nm)は、30分後に81%、1時間後に68%、2時間後には35%に低下した(図9)。また、分解に寄与している光の波長をプロトポルフィリンIXの2.5 mg/l塩酸溶液を用いて調べたところ、250~465nmと540~610nmの波長の光によって主に分解していることが判明した。これらの結果から、紫外線照射時に鶏卵殻が発する赤色蛍光と、その蛍光物質であるプロトポルフィリンIXが発する蛍光の強度は、光照射により急激に低下することが確認された。

以上の結果から、産卵日からの経過日数が同一でも、遮光保存された卵と光が照射された卵とでは、卵殻蛍光の強度に大きな差が生じ、そのために蛍光強度と鮮度は必ずしも対応して変化しないことが判明した。

要 約

鶏卵殻に紫外線を照射した際に発せられる赤色蛍光の、日数経過による変化を解析し、鶏卵鮮度非破壊測定の可能性を検討した。

(1) 産卵直後の鮮やかな赤色の卵殻蛍光の強度は、太

陽や蛍光灯の光照射によって大きく低下した。卵殻蛍光を光の3原色である赤、緑、青に分解して強度を調べると、赤の強度は低下したが緑と青の強度は反対に上昇した。卵殻蛍光物質の主成分であるプロトポルフィリンIXの蛍光強度も光照射により低下した。

(2) 同一卵の異なる位置における卵殻蛍光強度の差は小さく、また、洗卵による卵殻蛍光強度の変化も少なかった。

(3) 鶏卵鮮度の指標となるハウ・ユニットと比重は、保存温度の影響を大きく受けて変化したが、卵殻蛍光強度は保存温度の影響をほとんど受けなかった。

以上の結果から、卵殻蛍光を用いる鶏卵の非破壊鮮度測定法の開発は困難と判断した。

本研究の実験・解析全般にわたり、協力して下さった加藤陽一氏に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 安藤義路, 末吉益雄, 藤沢敏夫; 自家蛍光写真を用いた鶏卵の鮮度識別の可能性について, 日本医学写真学会誌 **29**, 18-22 (1990)
- 2) 安藤義路, 藤沢敏夫, 末吉益雄, 谷口稔明; 紫外線照射による鶏卵の卵殻形成時期および保存後の自家蛍光の推移, 鶏病研究会報 **30**, 199-208 (1994)

(平成17年3月2日受理)