



国立米子工業高等専門学校（鳥取県）

安部希綱, 重永皐月, 香川奈緒子, 谷輪弥音（顧問：谷藤尚貴）

卵の内皮がもつ機能の解明と新しいリサイクル材料としての活用法開発

本研究は、平成23年度日本農芸化学会大会（開催地 京都）での「ジュニア農芸化学会」において発表予定であった。大会は東日本大震災によって中止になったが、日本農芸化学会和文誌編集委員会によって発表予定の中から選定し、本研究を掲載することになった。本研究グループは昨年度に続いている掲載である。卵殻のリサイクルは重要な課題であり種々行なわれているが、本研究は従来にない再利用法として見いだした卵の内皮（卵殻膜）の色素吸着特性の解析や色素増感太陽電池への応用について報告する。



本研究の目的、方法および結果

【目的】 日本における1人当たりの卵の消費量は世界1位で、大量の廃棄物が生じ、卵の非可食部のリサイクルは重要な課題となっている。これまで進められてきた肥料やチョコレートなどへの材料化に加えて、内皮を健康補助食品や化粧品へ活用するなどの用途が広まっているが、これまでのリサイクル手法は構成成分の炭酸カルシウムやアミノ酸の化学的特性を利用したものがほとんどで、卵殻の構造に着目した研究例は少ない。本研究グループは、以前の研究（本誌49巻2月号p.143参照）で卵殻膜が水溶性色素などを吸着する特性をもつことを見いだし、この特性を生かし、光機能性色素を用いた材料研究を行ってきた。本研究では、機器分析を用いてこれらの現象を検討するとともに、これらの性質を色素増感太陽電池に応用することを試みた。

【方法】 卵殻膜（ニワトリなど）は、卵殻を次亜塩素酸ナトリウムに浸し、付着した卵白部分を変性除去した後、手作業で殻から剥がし、さらに、水とエタノールで洗浄した。卵殻膜の吸着能評価には食用色素を、光反応性評価には光機能性分子としてスピロピランなどを用いて

以下の3つの実験を行ない、機器分析で評価した。

1. 卵殻膜の水溶液中の色素吸着能評価試験： 食用色素（赤、青、緑、黄）の希薄水溶液を調製し、卵殻膜を入れ、紫外可視分光光度計で経時的に水溶液および卵殻膜の吸収スペクトルを測定した。
2. 光機能性色素を塗布した卵殻膜の光反応性評価： スピロピランなどの溶液を滴下し乾燥させた卵殻膜およびろ紙に紫外線を照射し、紫外可視分光光度計で経時的に吸収スペクトルを測定した。
3. 色素増感太陽電池への応用の検討： チタン水溶液に浸して食用色素を吸着させた卵殻膜を市販の透明ガラス電極に載せて乾燥させた電極を陰極とし、電解質を入れて電極を挟み込んでエポキシドで封じた電池を作製した。オーバーヘッドプロジェクタのライトを照射して電流-電圧 (I - V) 特性を測定し、市販のキットで作製したものと比較した。

【結果と考察】 色素吸着能評価試験では、まず食用色素を含む水溶液に卵殻膜を浸した後の水溶液の吸収スペクトルを調べた。その結果、吸収スペクトルの波形は変わらないまま低下し、1日程度で可視光の吸収は完全になくなった。逆に、色素で染まった卵殻膜の吸収スペクトルを拡散反射法で測定した結果、水溶液と同様の吸収バンドが経時的に増加した（図1）。このことから、色素は分解されることなく卵殻膜に物理的に吸着されることがわかった。次に、光照射で着色する機能性分子を塗布した卵殻膜およびろ紙に光照射を行ない、着色の経時変化を調べた。その結果、ろ紙に比べて卵殻膜の吸収スペクトルの変化が明らかに大きく、卵殻膜の光応答性が機器分析で確認できた（データ省略）。図2の電子顕微鏡写真で示されるように、これは卵殻膜がろ紙に比べて

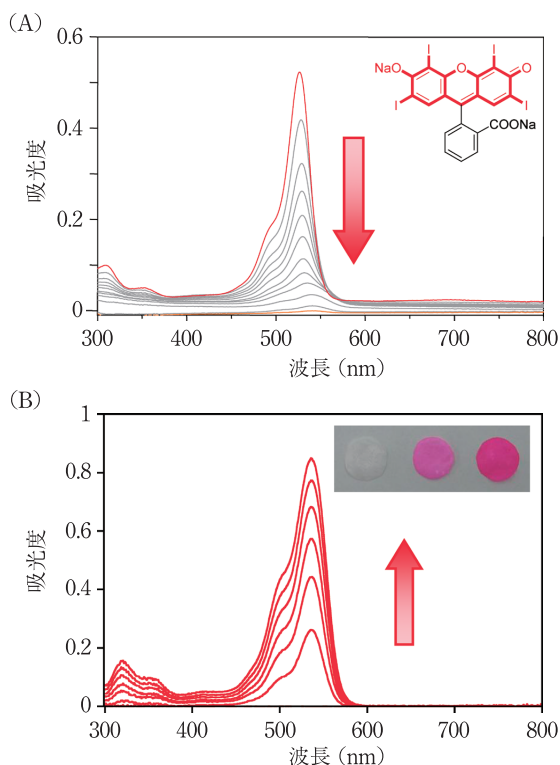


図1 ■ 卵殻膜の色素吸着能評価試験

食用色素（例として赤色3号）の水溶液に卵殻膜を入れ、水溶液 (A) および卵殻膜 (B) の紫外可視吸収スペクトルを経時的に測定した。

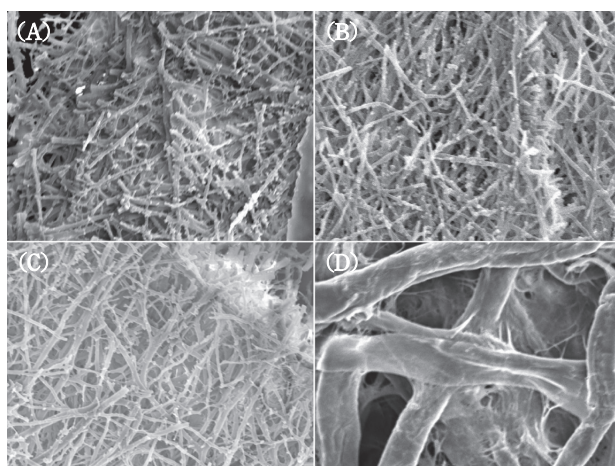


図2 ■ 卵殻膜の走査型電子顕微鏡像

(A) ニワトリ, (B) ダチョウ, (C) エミュー, および, (D) ろ紙の像の比較 (1,000倍)

細かい繊維でできており、構造的に表面積が大きいいため、より多くの色素を吸着したものと考えた。

さらに、上述の卵殻膜の機能を色素増感太陽電池に応用することを試みた。発電の原理を図3-Aに示した。すなわち、光の当たった色素から放出された電子が酸化チ

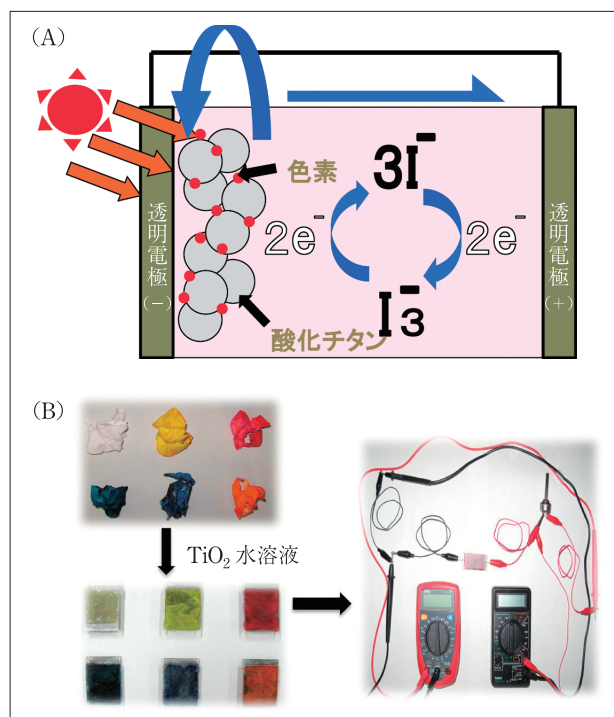


図3 ■ 卵殻膜を利用した色素増感太陽電池の試作

(A) 色素増感太陽電池の原理. (B) 色素を吸着した卵殻膜 (左上) とそれを用いた色素増感太陽電池 (左下), および, 発電力の測定 (右, 中央に電池を置く)

タンを経由して陰極に移動する。電解液中の I_3^- が陽極から電子を得て $3I^-$ となり、 $3I^-$ が I_3^- となって放出した電子を色素が得て元に戻る。色素増感太陽電池の問題点は、発電効率だけでなく色素の光耐久性などがある。本研究では食用色素を吸着させた卵殻膜を陰極部分に載せて電池を試作した (図3-B)。最大発電量は $9.14 \mu W$ と発電力は弱いものの、光耐久性が向上する効果があった。

本研究の意義と展望

本研究ではまず、発表者らのグループが以前の研究で見いだした卵殻膜がもつ水溶性色素などを吸着する特性について、機器分析を用いて検討した。見いだした性質について分析機器を用いていわば定量的に示すことは、これから研究の道に踏み込む高校生にとって、実験結果を科学的に取り扱うという点できわめて重要である。本研究では、色素の物理的吸着現象を単なる吸着量の増減で示すのではなく、スペクトル分析することで、化学変化が起こっていないことを確認しており、この点は評価できる。卵殻膜の色素吸着特性は、そのまま活性炭に代替する新たな水質浄化剤として使えるが、本研究グループは、単なる食品廃棄物の再利用という考えに留まら

ず、リサイクルできる系に応用することで、より有効活用できる材料にすることを目指した。卵殻膜と光機能性色素の組み合わせは、こうした姿勢から生まれたものであろう。光機能性色素を塗布した卵殻膜の光応答性がろ紙に比べて高いことをスペクトル分析で確認した点も科学的である。さらに、色素増感太陽電池に応用するアイデアは、高校生のレベルをはるかに超えている。色素増感太陽電池は、廉価性、製造方法が容易、相対的に高い変換効率性から、次世代のエネルギーとして熾烈な開発

競争が展開されている。本研究では、食用色素を用いた予備的な研究結果であるが、色素の光耐久性の向上という興味深い結果を得ている。今後、卵殻膜の絶縁性を考慮して微粉末にすることや、太陽電池に適した色素を用いるなどすれば、発電力の向上も期待できると考察している。実用化も決して夢ではない研究の進展に期待したい。

(文責「化学と生物」編集委員)