

# 海洋性多糖高分子フコイダンの円偏光農業・漁業用フィルムへの応用

中野 環 [北海道大学 触媒科学研究所/教授]  
布村 重樹 [北海道マリンイノベーション株式会社/社長]  
坂東 正佳 [北海道大学 触媒科学研究所/助教]

## 背景・目的

多糖高分子フコイダンは北海道南東部の海中に自生するガゴメ(昆布科海藻)に粘り成分として大量に含有され、制癌作用、抗ピロリ菌作用、抗炎症作用などが期待され機能性食品・医薬品として注目されている。ガゴメ由来のF-フコイダンは、キラル(非対称、不斉)な糖単位であるL-フコースのみからなり、この単位が $\alpha$ 1-3結合した主鎖から同じ単位が $\alpha$ 1-2型に分岐した骨格構造を特徴とする。本研究では、F-フコイダンの非対称な構造を生かして光学機能性材料の原料として開発することを目的とする。

## 内容・方法

本研究に先立ち、研究代表者らは2023年度のイノベーション創出研究支援事業(産学連携創出補助金)のご支援を頂き、F-フコイダンのアキラルな発光性色素分子の宿主高分子として有効であり、いくつかの色素とF-フコイダンの複合体が高効率な円偏光発光を示すことを見出していた。しかし、開発したF-フコイダン複合体の発光は緑色(波長500nm付近)および黄色(波長570nm付近)領域に限定されていた。これに対して、農業生産される野菜等の植物および漁業生産物である昆布や海苔は、吸光体としてクロロフィルを有し、主に、450nm付近(青色)と650nm付近(赤)の範囲の光を吸収して成長する。そこで、本研究ではこれらに対応する波長帯で円偏光発光する材料を目指した開発を行った。加えて、実用化に向けた研究推進のためF-フコイダン-色素複合体と農業用フィルム原料として用いられるポリ塩化ビニルを混合した材料の特性を検討した。

## 結果・成果

非対称構造を有する宿主高分子材料としてのF-フコイダンはガゴメから抽出し化学処理により脱色精製したものをを用いた。発光色素としての低分子化合物とF-フコイダンを研究代表者らが開発した手法により複合化して発光材料を調製した。複合体の円偏光発光特性は、複合体を光励起することにより発出する光を光弾性変調器、分光器、およびフォトンカウンターから構成されるデジタル分光計を用いて評価した。発光の強度、波長、円偏光度は色素構造および複合体の調製方法に強く依存し、これらの重要性が示唆された。研究を通じて、色素と複合体調製の方法を選択することにより、必要な波長を含む領域で、高い非対称性因子( $g_{lum}=2(I_L-I_R)/(I_L+I_R)$ : $I_L$ および $I_R$ はそれぞれ発光を構成する左円偏光および右円偏光の強度)を有する円偏光を得ること

ができた。円偏光の非対称性は色素濃度に依存する場合が多く、 $[F\text{-フコイダン}]/[\text{色素}]$ 比率を適切に調整することが必要であることが明らかになった。円偏光発光はマトリックスとしてのF-フコイダンの存在下で色素分子が配列し、配列構造が非対称に制御されることに基づいて起きるものと考えられる。色素分子自体は非対称性を持たないが、F-フコイダンの存在下では分子間構造としての非対称性を構築する可能性が高い。

さらに、F-フコイダン-色素複合体の発光材料としての実用化に向けた研究推進のため、複合体を農業用フィルム原料として用いられるポリ塩化ビニルの添加剤として用いて調製した材料の特性を検討した。大変興味深いことに、複合体単品としての光学特性とポリ塩化ビニル-複合体混合物の特性が大きく異なるケースがあり、ポリ塩化ビニルは単なる宿主材料として複合体を内部に保持するだけではなく、光学材料の一部として励起状態の構造・電子構造に強く寄与することが示唆された。F-フコイダン-色素複合体およびポリ塩化ビニル-複合体混合物はアモルファス固体材料であり、これらの構造を実験的に明らかにし特性との相関を理解することは容易でないため、分子動力学シミュレーションにより知見を得た。これらの研究を通じて、最終目標である円偏光の農業・漁業フィルムとして実用化するためには、発光波長とF-フコイダン、発光色素、および、フィルム基材としての宿主材料の三者の組み合わせ、および、材料調製の条件を最適化する必要があることが明らかになった。

## 今後の展望

植物成長制御に適した波長で効率の高い円偏光発光をF-フコイダンと低分子色素により実現し、さらに、農業・漁業用フィルム等と基材高分子と混合した材料にもついても高効率円偏光発光を達成した。今後、円偏光発光の波長と効率を狙い通りのものとするため、F-フコイダン、発光色素、フィルム基材の三者の構造の組み合わせと材料調製条件を最適化する。特に、フィルム基材としてポリオレフィン系等を含めより広く材料を探索する。また、円偏光が植物成長に影響を及ぼすことを実証する目的で、陸上、海中植物に対して左右の円偏光照射下での成長挙動を調査する。