

令和 2 年 1 月 16 日

## ラングミュア・プロジェクト膜に球晶構造を実現 ～有機分子・バイオエレクトロニクスへの応用に期待～

### <概要>

浜松医科大学・医学部 総合人間科学講座（物理学）の三浦教授らのグループは、国立東京工業高等専門学校の高橋三男教授・城石英伸准教授らのグループ、理化学研究所・開拓研究本部の青山哲也研究員と共同で、ラングミュア・プロジェクト法で作製した分子薄膜に球晶（spherulite）（図1：球晶形成のメカニズムの模式図、図2：光学顕微鏡像）と呼ばれる秩序構造を実現しました。この研究成果は、米国化学会「Langmuir」誌のOnline版に2020年1月1日に公開されました。

### <研究の背景>

有機分子の膜を用いて、トランジスター、発光ダイオード、太陽電池、バイオセンサーといった能動素子を作製できることが確認されており、生体分子を含む有機分子の機能を活かして次世代のエレクトロニクスを構成する、有機分子・バイオエレクトロニクスの研究分野が注目されています。これに加えて、有機分子素材に、絶縁性、半導体性、金属性、超伝導性、というすべての電気伝導特性が実現しているため、原理的には、有機分子のみを用いて、環境負荷が小さく、軽量・フレキシブルなエレクトロニクスの構築が可能となっています。さらに、これらの能動素子を構成する有機分子は、タンパク質や酵素といった生体分子と複合化も容易であるため、様々な生化学反応を電気信号に変換するバイオセンサーの作製も期待され、研究が進んでいます。

三浦教授らのグループは、既に、ラングミュア・プロジェクト法（LB法）を用いて、細胞膜を構成するリン脂質を模倣して合成した人工分子（ $2C_{14}N^+Me_2-Au(dmit)_2$  塩）に基づく薄膜（ラングミュア・プロジェクト膜、LB膜）を開発し、40—80 S/cm（室温）というLB膜として世界で最も高い電気伝導度を実現していました。しかしながら、この膜の構造は「乱れ」を含み、この「乱れ」がさらなる電気伝導度の向上を妨げ、エレクトロニクスやバイオセンサーの部材として用いる際の不安定さにも繋がっていました。

### <研究の成果>

今回、 $2C_{14}N^+Me_2-Au(dmit)_2$  塩のLB膜を、分子が熱分解しない比較的低い温度（80℃）で熱処理すると、球晶（spherulite）と呼ばれる秩序構造が形成することを見出しました（図1、図2）。これまで、球晶は高分子（ひも状の長い分子）が規則的に折りたたまれて層構造（ラメラ構造）を形成し、この層構造が樹状に成長して球状となる構造が代表的で、LB膜については高分子に基づく膜にしか報告例がありませんでした。

### <今後の展開>

現在、有機分子・バイオエレクトロニクスの分野では、手法が簡便で大量生産に適した塗布法・インクジェット法などのウェットプロセスが注目されていますが、分子薄膜内の分子の配列秩序の向上が重要な課題と考えられています。本研究は、高分子素材を用いなくても、低分子素材に対して、細胞膜を構成するリン脂質と同様な2本の炭化水素鎖を導入すれば、分子の配列秩序の向上が期待できることを示すものです。今後、 $2C_{14}N^+Me_2-Au(dmit)_2$  塩のLB膜の電気伝導度のさらなる向上が期待できます。

さらに、本研究の成果が、広く塗布法、インクジェット法などのウェットプロセスで作製する機能性分子薄膜の秩序向上に応用され、軽量で柔軟性が高い有機分子膜の特徴を活かした有機分子エレクトロニクス素材やウェアラブルデバイス等の開発が一気に加速すると考えられます。

#### <発表雑誌>

Langmuir:

Langmuir 誌は、1932 年にノーベル化学賞を受賞した Irving Langmuir の名を冠した米国化学会 (American Chemical Society) が出版する査読付き学術雑誌です。同誌は表面化学、および、コロイド化学の広範な領域をカバーする代表的な学術雑誌で、近年は、医学・生命科学の分野で注目される生体界面に関する研究成果も多く掲載されてきています。

#### <論文タイトル>

Spherulitic Crystallization in Langmuir-Blodgett Films of the  
Ditetradecyldimethylammonium-Au(dmit)<sub>2</sub> Salt  
<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.langmuir.9b03677>

#### <著者> (\*研究責任者)

Yasuhiro F. Miura\*, Hironari Akiyama, Naoki Sugimoto, Yoshiya Akagi, Tetsuya Aoyama, Hidenobu Shiroishi, Mitsuo Takahashi

(三浦康弘\*, 秋山弘成, 杉本直樹, 赤城嘉也, 青山哲也, 城石英伸, 高橋三男)

#### <研究グループ>

本研究は浜松医科大学 医学部総合人間科学講座 (物理学), 桐蔭横浜大学医用工学部, 国立東京工業高等専門学校, 理化学研究所 CPR (開拓研究本部) の共同研究で、日本学術振興会からの研究費を受けて進めた研究の成果です。

#### <本件に関するお問い合わせ先>

国立大学法人浜松医科大学・医学部・総合人間科学講座 (物理学)

〒431-3192 浜松市東区半田山 1 - 2 0 - 1

教授 三浦康弘

電話 : 053-435-2315

E-mail: yfmiura@hama-med.ac.jp

<参考図>

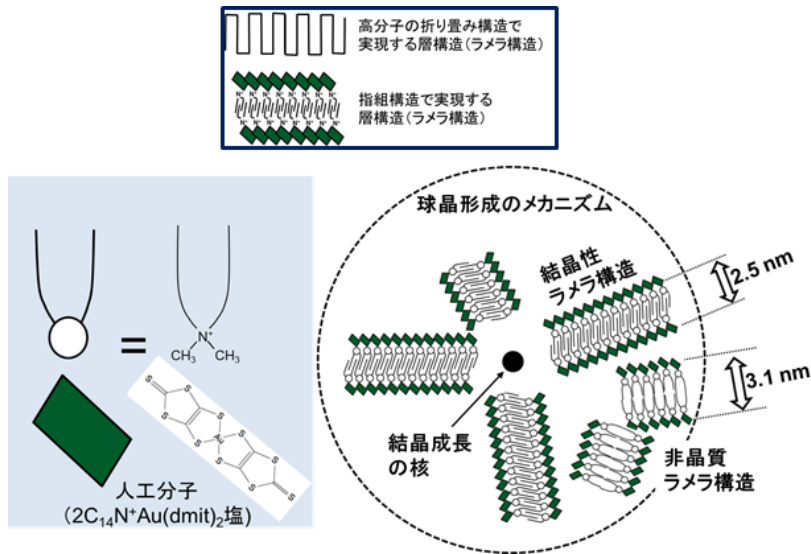
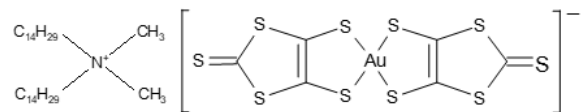
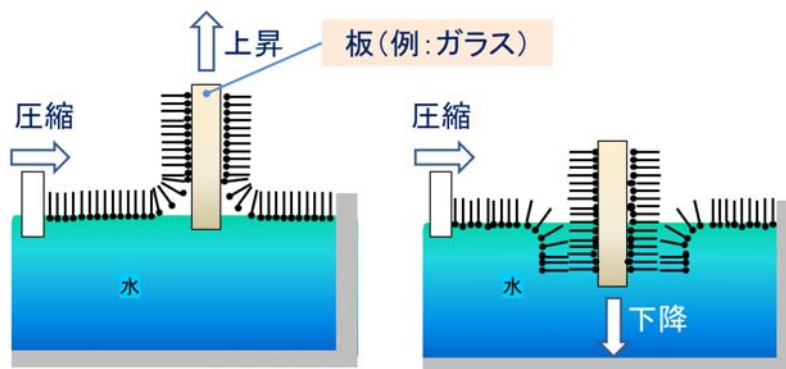


図1 ラングミュア・プロジェクト法で作製した分子薄膜（LB膜）に球晶ができるメカニズム。高分子鎖の折り畳み構造の代わりに炭化水素鎖の「指組構造」が球晶を実現すると考えられます。



2C<sub>14</sub>N<sup>+</sup>Me<sub>2</sub>-Au(dmit)<sub>2</sub>塩の分子構造

図2 LB膜の顕微鏡像に見られる球晶構造



ラングミュア・プロジェクト法（LB法）の模式図：水面上の単分子膜（分子超薄膜）に対して、固体基板を膜面に垂直に動かし、水面をよぎる際に単分子膜を一枚一枚移し採ることができる。この他にも、膜面に対して基板面を平行に降ろして移し採る方法もある。