大阪大学 THE UNIVERSITY OF OSAKA　UTokyo

Press Release

研究成果

2026 年 11 月 9 日

分野：自然科学系

キーワード： コアセルベート、ベシクル、中性子スピンエコー、膜、エントロピー

# 液体でできた膜は細胞膜の 100 倍以上やわらかい

## ―中性子で膜のゆらぎを測定、やわらかさの起源を解明―

**【研究成果のポイント】**

- 液体でできた膜が、細胞を包む脂質膜に比べて 100 倍以上曲がりやすいことを発見
- 液体の表面と膜は異なる法則でゆらぐが、液体そのものが膜の形をとった場合の動きはこれまで測定されていなかった。中性子を使って、ナノメートル・ナノ秒の動きを捉えることで可能に
- 生命誕生以前の「原始的な細胞」が、硬い膜なしにどのように形づくられたのかを理解する手がかりとして期待

### ❖ 概要

大阪大学大学院理学研究科の高橋倫太郎准教授、寺尾憲教授らの研究グループは、東京大学物性研究所の小田達郎助教、眞弓皓一准教授、兵庫県立大学大学院工学研究科の遊佐真一准教授と共同で、液体でできた膜が、細胞を包む脂質膜よりも 100 倍以上曲がりやすいことを初めて明らかにしました。

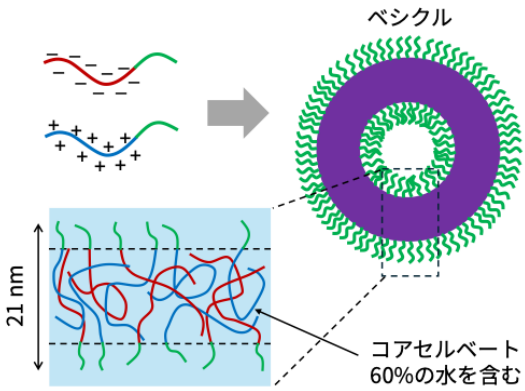



**図 1** コアセルベートの膜から成るベシクル

プラスとマイナスの電気を帯びた高分子※1 を水の中で混ぜると、水を多く含んだ液滴ができます。これをコアセルベート※2 と呼びます。高分子の種類を工夫すると、この液体が薄い膜になり、中が空洞の小さな球（ベシクル※3）をつくります（図1）。これまで、液体の表面の動きは表面張力で決まり、膜の動きは膜の曲げにくさで決まると考えられてきましたが、液体そのものが膜になったときにどちらの法則に従うのかは解明されていませんでした。

今回、研究グループは、中性子スピンエコー法※4 で膜のゆらぎを測定することにより、この液体の膜が「膜」としてゆらぐこと、しかしその曲げにくさは脂質膜の 100 分の 1 以下であることを解明しました。さらに、このわずかな曲げにくさが、分子どうしが引き合う力ではなく、エントロピー※5 から生じていることも突き止めました。これにより、原始的な細胞のなりたちの理解が進むことが期待されます。

本研究成果は、2026 年 11 月 2 日（月）に米国科学誌「Physical Review Letters」に公開されました。

**【高橋准教授のコメント】**

液体なのに膜の形を保っているという不思議な構造が、実際にどのように動いているのかを知りたいと思い、この研究を始めました。信号がとても弱く測定には苦労しましたが、厚い膜なのに驚くほどやわらかいという予想外の結果が得られました。生命の始まりを考えるうえでも面白い結果だと考えています。

## ❖ 研究の背景

これまで、水と油の境目のような液体の表面は、表面張力によって動きが決まることが知られていました。一方、細胞膜のような膜は、曲げ剛性（曲げにくさ）によって動きが決まります。この二つは、物理学ではまったく異なるものとして扱われてきました。

コアセルベートは、生命誕生以前の原始的な細胞のモデルや、細胞の中にある膜のない小器官のモデルとして注目されている液体です。この液体が膜の形をとったとき、液体として動くのか、膜として動くのかは、わかっていませんでした。また、高分子でできた厚い膜は一般に硬く、動きが小さいため、測定そのものが困難でした。

## ❖ 研究の内容

研究グループでは、プラスの電気を帯びた高分子とマイナスの電気を帯びた高分子を水の中で混ぜ、コアセルベートの膜でできたベシクルをつくりました。膜の厚さは約 21 ナノメートルで、脂質膜の約 4 倍です。

この膜の動きを、研究用原子炉 JRR-3 に設置された中性子スピンエコー装置 iNSE により測定しました。この手法では、ナノメートル（10 億分の 1 メートル）の大きさの動きを、ナノ秒（10 億分の 1 秒）の速さで捉えることができます。

その結果、この膜は液体の表面としてではなく、膜として波打つようにゆらいでいることがわかりました。しかし、そのゆらぎは脂質膜よりも 10 倍以上速く、曲げ剛性に直すと 100 分の 1 以下でした。

さらに、温度（25℃と 70℃）や塩の濃度を変えて測定したところ、水の粘性と熱の影響を取り除いたゆらぎの速さは変わりませんでした。これは、膜の曲げ剛性が、分子どうしが引き合う力ではなく、エントロピーから生じていることを示しています。膜を曲げると、中の高分子やイオンが自由に動ける範囲が狭くなり、それを元に戻そうとする力がはたらきます。脂質膜では分子が密に並ぶことで硬さが生まれるのに対し、今回の膜は液体の性質を保ったまま膜になっているといえます。

## ❖ 本研究成果が社会に与える影響（本研究成果の意義）

本研究成果により、液体の表面と膜という、これまで別々に扱われてきた二つの間に、新しい領域があることが示されました。コアセルベートの液滴は、原始的な細胞のモデルとして研究されています。今回の結果は、硬い膜がなくても、細胞のように内と外を区切る構造ができることを示しており、液滴から膜に包まれた細胞へと進む過程を理解する手がかりになると期待されます。

## ❖ 特記事項

本研究成果は 2026 年 11 月 2 日（月）に米国科学誌「Physical Review Letters」（オンライン）に掲載されました。

タイトル：“When Liquids Form Membranes: Entropy-Dominated Bending Dynamics in Coacervate Vesicles”

著者名：Rintaro Takahashi, Tatsuro Oda, Koichi Mayumi, Shin-ichi Yusa and Ken Terao

DOI：https://doi.org/10.1103/vl6b-y5gz

❖ **用語説明**

※1 高分子

小さな分子がたくさんつながってできた、ひものように長い分子。プラスチックやタンパク質も高分子の一種。

※2 コアセルベート

プラスの電気を帯びた高分子とマイナスの電気を帯びた高分子が水の中で引き合って集まり、まわりの水から分かれてできる液体。水を多く含む。

※3 ベシクル

薄い膜でできた、中が空洞の小さな球。細胞膜と同じ脂質でできたものがよく知られている。

※4 中性子スピンエコー法

原子をつくる粒子の一つである中性子を試料に当て、はね返る際のわずかな速さの変化から、分子の動きを調べる手法。

※5 エントロピー

分子がとることのできる並び方や動き方の多さを表す量。分子が自由に動けるほど大きくなる。

❖ **参考 URL**

高橋倫太郎准教授

研究者総覧 URL https://rd.iai.osaka-u.ac.jp/ja/4cb6193b782cae63.html

寺尾憲教授

研究者総覧 URL https://rd.iai.osaka-u.ac.jp/ja/9192fd5acf2f3a8e.html

❖ **本件に関する問い合わせ先**

＜研究に関するお問い合わせ＞

大阪大学 大学院理学研究科 准教授 高橋倫太郎(たかはしりんたろう)

TEL: 06-6850-5459

E-mail: takahashi@chem.sci.osaka-u.ac.jp

＜広報に関するお問い合わせ＞

大阪大学 理学研究科 庶務係

TEL: 06-6850-5280 FAX: 06-6850-5288

E-mail: ri-syomu@office.osaka-u.ac.jp

プレスリリース時には、関連する機関の問い合わせ先も記載しておりますが、ホームページ掲載時には、本学理学研究科関係者のみ掲載としております。