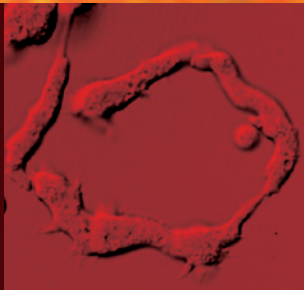
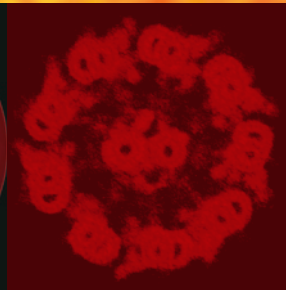
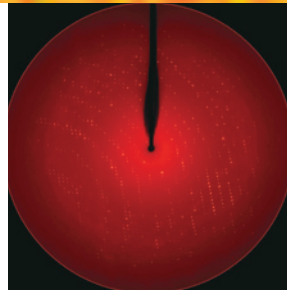
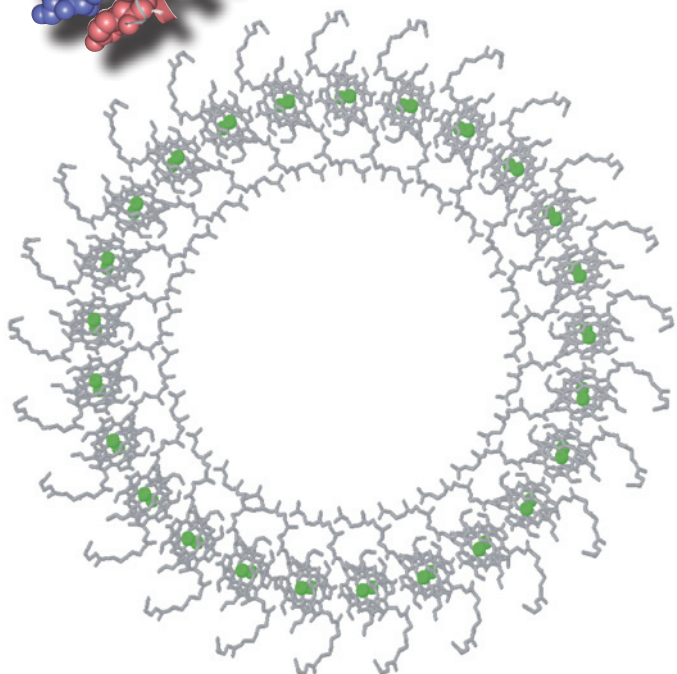
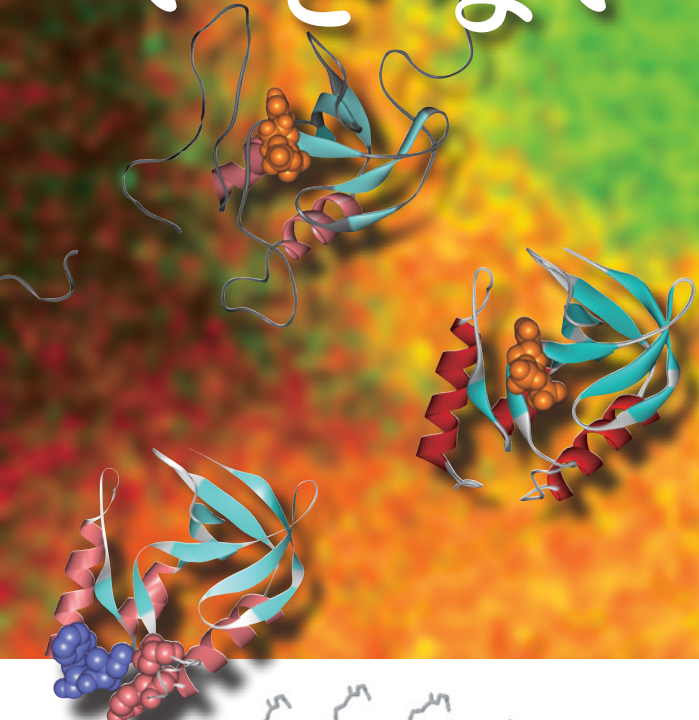


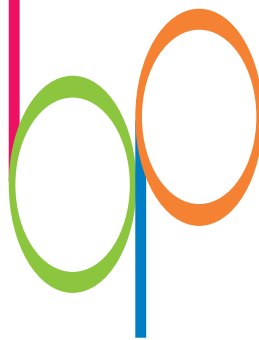
# Invitation to Biophysics

## 生物物理学への

いざない キャリア形成の参考のために



THE BIOPHYSICAL SOCIETY OF JAPAN



日本生物物理学会  
<http://www.biophys.jp/>



# 生物物理学とは何か

生物物理学は、生命の根元を理解しようとする学問です。

生命は物質に担われています。

物質科学の原理から、どのように生命現象が引き起こされるのでしょうか。

また、生命には特徴的な階層構造が見られます。

生命らしさが現れる最も小さい単位は、生体高分子です。

生体高分子が自己組織化して超分子集合体が、さらにその有機的な集まりにより細胞が、そして細胞の組織化により器官や個体が、出来上がります。

さらに、生態系が生命の階層構造の最上位に位置しています。

生物物理学の目的は、これらの各階層における生命現象の物質科学的基礎を理解し、その階層をつなぐ原理原則を見いだすことによって生命現象を解き明かすことです。

そのためには、革新的なアイデアや創意工夫が求められます。

研究者の叡智が最大限に発揮できる学問です。

生物物理学は、真理の探究を通して人類社会の発展に貢献します。

これからの高度高齢化社会におけるQOL（Quality of Life）の向上や医療技術の進歩に、生物物理学の成果は大いに貢献するでしょう。

また、高度情報化社会におけるマン-マシン・インターフェースの技術的な諸課題、情報化に伴う心の問題の解決にも、

生物物理学の成果は役立ちます。

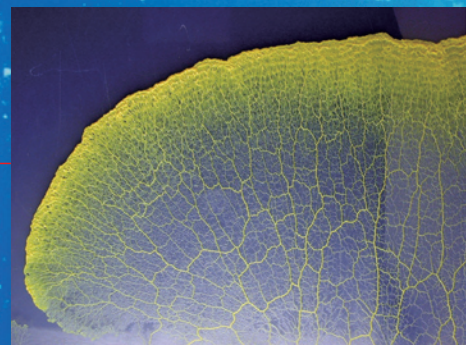
持続可能な地球環境を実現するためにも、生命の物質的基礎の理解とその応用は重要なものとなるでしょう。

生物物理学は、未来に向かって大きく羽ばたこうとしています。

あなたも生物物理学の未知の世界へ

探検にでかけませんか。

細胞



超分子集合体



生体高分子





組織・個体



生態系



## 生物物理学の課題

生物物理学は、幅広い領域での生命現象を対象としています。空間スケールでは、ナノメートルの分子からマイクロメートルの細胞、ミリメートル～メートルの個体から地球規模の生態系まで。時間スケールでは、フェムト秒の光吸収からミリ秒の生化学反応、秒～時の細胞運動や個体の成長、さらには何億年にもなる進化まで。生物物理学は生物を研究対象としますが、その研究は、物理学や工学としても高く評価されています。

生物物理学は、例えばこんな問いに答えようとしています。

1. 遺伝情報はどのように伝えられ、どのように使われるのか。
2. 遺伝情報に従って生合成されたポリペプチドはどのように折り畳まれて機能を持つタンパク質になるのか。
3. 酵素はどのようにしてその触媒活性を生み出しているのか。
4. 生物はどのように化学エネルギーと力学的エネルギーを相互変換して、動きや情報を生み出すのか。
5. 生物はどのようにして光エネルギーを化学エネルギーや情報に変えるのか。
6. 生体高分子の反応はどのように統合されて細胞活動を生み出しているのか。
7. 脳ではどのように情報処理が行われているのか。
8. 免疫や発生のような高次機能の仕組みはどうなっているのか。
9. 生態系の活動や進化を解き明かす数理モデルはどのようなものか。

それぞれのレベルでの対象を研究するための方法論や測定技術の開発も、生物物理学の重要な課題です。

国を挙げて開発している大型の研究装置（放射光、中性子、次世代コンピュータなど）の重要な利用分野は生物物理学であり、これらの科学技術政策の策定や評価にも多くの生物物理学者が貢献しています。

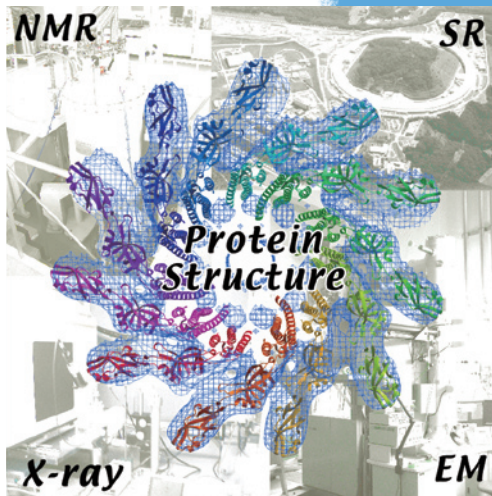
生物物理学の成果は、バイオテクノロジーや創薬、医療の現場でも役に立っています。



# 生物物理学ではこんな研究をしています。

## タンパク質の立体構造から

### 生命機能の根源に迫ります。



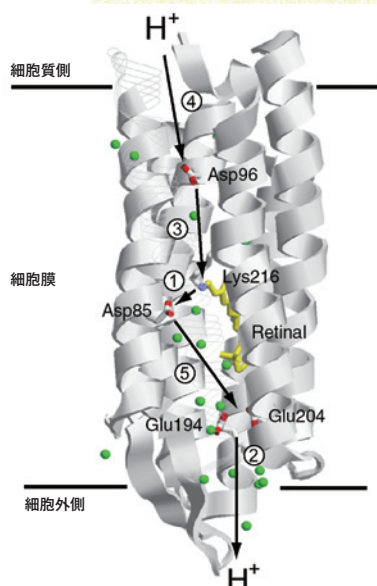
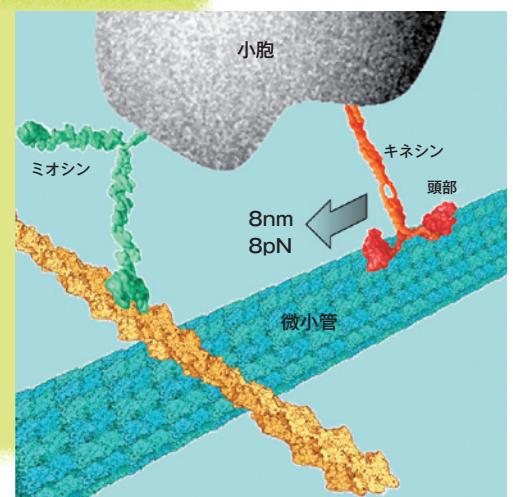
SR写真提供：JASRI

体内での化学反応・物質輸送・信号伝達など、生命機能の素過程を担っているのは、タンパク質です。タンパク質分子は、自発的に折り畳まれて特定の立体構造を形成し、ナノサイズの分子機械といえる機能を発揮します。生物の生物らしいふるまいの根源は、タンパク質分子機械の作動原理が人工機械と根本的に異なることにあります。タンパク質を構成する原子の立体配置は0.01nmの精度で決められ、相互作用の相手を高精度で認識する一方で、熱振動で構造は大きくゆらぎ、相手に合わせて形を変える柔軟性も併せ持ちます。このような分子機械を理解する上で、立体構造情報は欠かせません。そこで、X線回折、電子顕微鏡、NMRなどさまざまな物理的手法を駆使して立体構造を明らかにし、生命機能を生み出す仕組みを探ります。より複雑な機能複合体や作動中の構造を高分解能で解析することを目指した、新しい測定法の開発も大きなテーマです。

## 1分子生物学を駆使して、個体の機能を解明します。

タンパク質やDNAなどの複雑な機能を精確に知るには、1分子の機能や運動を直接調べることが不可欠ですが、1分子を測定して生命現象の機能を解明する学問を「1分子生物学」と呼びます。例えば、生物のエネルギー源であるATPを合成する $F_1F_0$ 酵素は、軸を回転してATPの合成や分解をする回転モーターであることが、1分子生物学によって明らかになりました。ATPに蛍光を付けて観察することで、 $F_1F_0$ 酵素が1分子のATPを分解する化学反応過程を測定することもできました。また、1分子生物学に極微技術のナノテクノロジーを融合することで、物質輸送を行うキネシンやダイニン1分子は、8nmの歩幅で、最大8pN（ピコニュートン）の力を出して進むことが明らかになりました。最近では、細胞の中やマウスの体内の1分子挙動を観察することも可能になり、個体の機能を1分子レベルで解明する道も開けています。

細胞内のキネシン分子は小胞を背負い、頭部を交互に動かして8nmの歩幅で最大8pNの力を出し、微小管を進む。



細胞膜にある光受容タンパク質は光のエネルギーを取り込んで構造変化し、プロトンを一方向に輸送する。

## 光を利用する生物

### その巧妙なメカニズムを探り、応用します。

太陽からの光がなければ、地球上に生物は存在しませんでした。今も生物は、光を有効に活用しています。植物の光合成や動物の視覚を担うタンパク質の中で、光はエネルギーや情報へと変換されます。それらの光受容タンパク質の内部には「クロモフォア」と呼ばれる分子が存在し、吸収する光の波長を制御するとともに、電子移動や異性化などfs（フェムト秒）領域の初期反応によって光エネルギーをタンパク質内部に取り込みます。その後、タンパク質の構造変化と連動して、プロトンの一方向への輸送やGタンパク質の活性化などが起こります。光受容タンパク質は光で容易に反応を制御できるので、ほかのタンパク質より動作機構の理解が進んでいます。また、生物の光受容反応は、新たな解析手法に応用されています。GFPなどの蛍光性タンパク質による細胞内標識、一般のタンパク質表面にクロモフォアを導入して蛍光エネルギー移動から構造や構造変化を解析する手法、光駆動性チャネルの発現による神経回路ネットワークの解析などがあります。



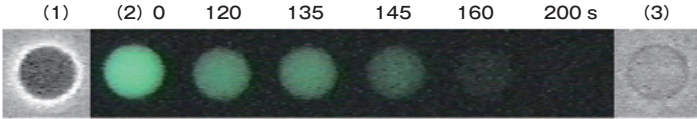
## ダイナミックに変化する生体膜 その形成メカニズムや挙動を調べています。

すべての生物は、細胞や細胞内小器官の境界に共通の膜構造（生体膜）を持ちます。生体膜は、さまざまな脂質や膜タンパク質（イオンチャネルや受容体など）と線維状の細胞骨格が弱い相互作用により自己組織化した、柔らかな超分子集合体です。膜の分子は横方向に

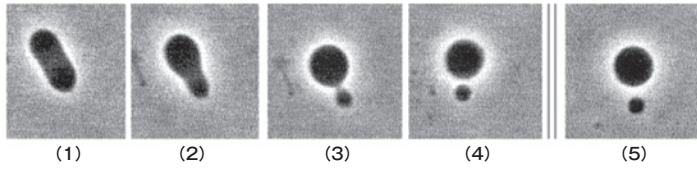
拡散運動し、微小領域構造やタンパク質複合体をダイナミックに形成することが分かりました。一方、生体膜は連続体としてはシート状であり、膜融合や膜分裂などのトポロジー変化も頻繁に起こっています。生体膜の生物物理学は、二つに大別できます。一つ目は精製した脂質や膜タンパク質などで構築した人工生体膜を用いた研究で、1個の巨大リボソーム（直径10 $\mu\text{m}$ 以上の閉じた人工生体膜の袋）を用いた解析が脚光を浴びつつあります。二つ目は細胞そのものを用いた研究で、1分子の膜タンパク質の挙動を調べる方法が新天地を開きつつあります。二つの研究は補い合って、生体膜での分子集団の空間的・時間的な自己秩序形成機構の解明や、人工細胞の構築を目指しています。

単一巨大リボソーム (GUV) 法による  
生体膜ダイナミクスの可視化

A: 抗菌性ペプチドが誘起する蛍光物質のGUVからの漏れ

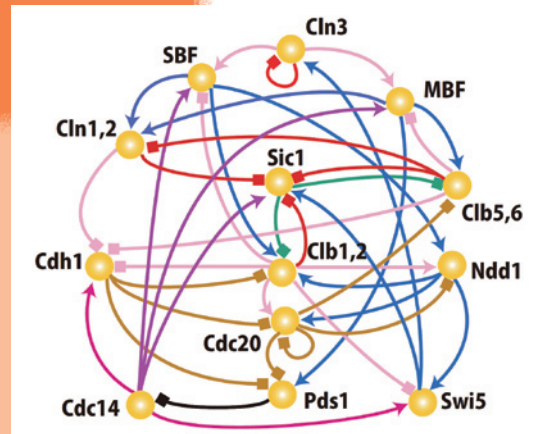


B: 1個のGUVから2個への膜分裂



## 理論と実験、計算が協力して 複雑な生命システムの原理を解明します。

生体分子は、ダイナミックな相互作用を通じて互いに協調して働きます。生命とは、個性を持った生体分子がつくるネットワークシステムに生まれる現象です。計算機シミュレーションは複雑なシステムを表現する“言葉”として重要ですが、より良い言葉をつくるには、物理学、数理科学、バイオインフォマティクスの協力が重要です。さまざまな学科の出身者が集まる生物物理学の研究スタイルが重要になっています。人間がつくる通常の工学システムとは異なり、生命システムは強い確率的ゆらぎを伴って動作していますが、このゆらぎの中で遺伝子はどのようにオン・オフするのでしょうか。細胞分裂や発生分化はどうしてうまく制御されているのでしょうか。ゆらぎと生物の行動はどのように結び付いているのでしょうか。予想を超えた新しい原理の発見が期待されます。大胆な仮説とその検証を軸にして、理論と実験、計算が協力して生命システムに挑戦を始めています。



出芽酵母の細胞分裂・増殖サイクルを制御する生体分子ネットワーク。矢印は機能の活性化、四角は機能の抑制、線の色の違いは制御機構の違いを表す。

ミツバチの脳のポテニアン染色像。写真はおよそ650 $\mu\text{m}$ ×650 $\mu\text{m}$ 。矢印で示されている大きな領域は、コミュニケーションや学習などに関与する昆虫の最高次中枢であるキノコ体。

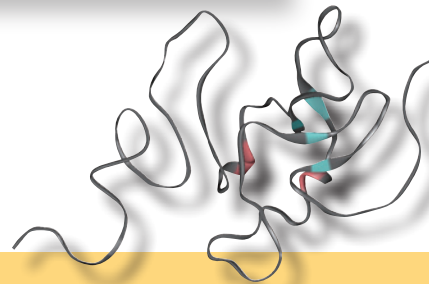
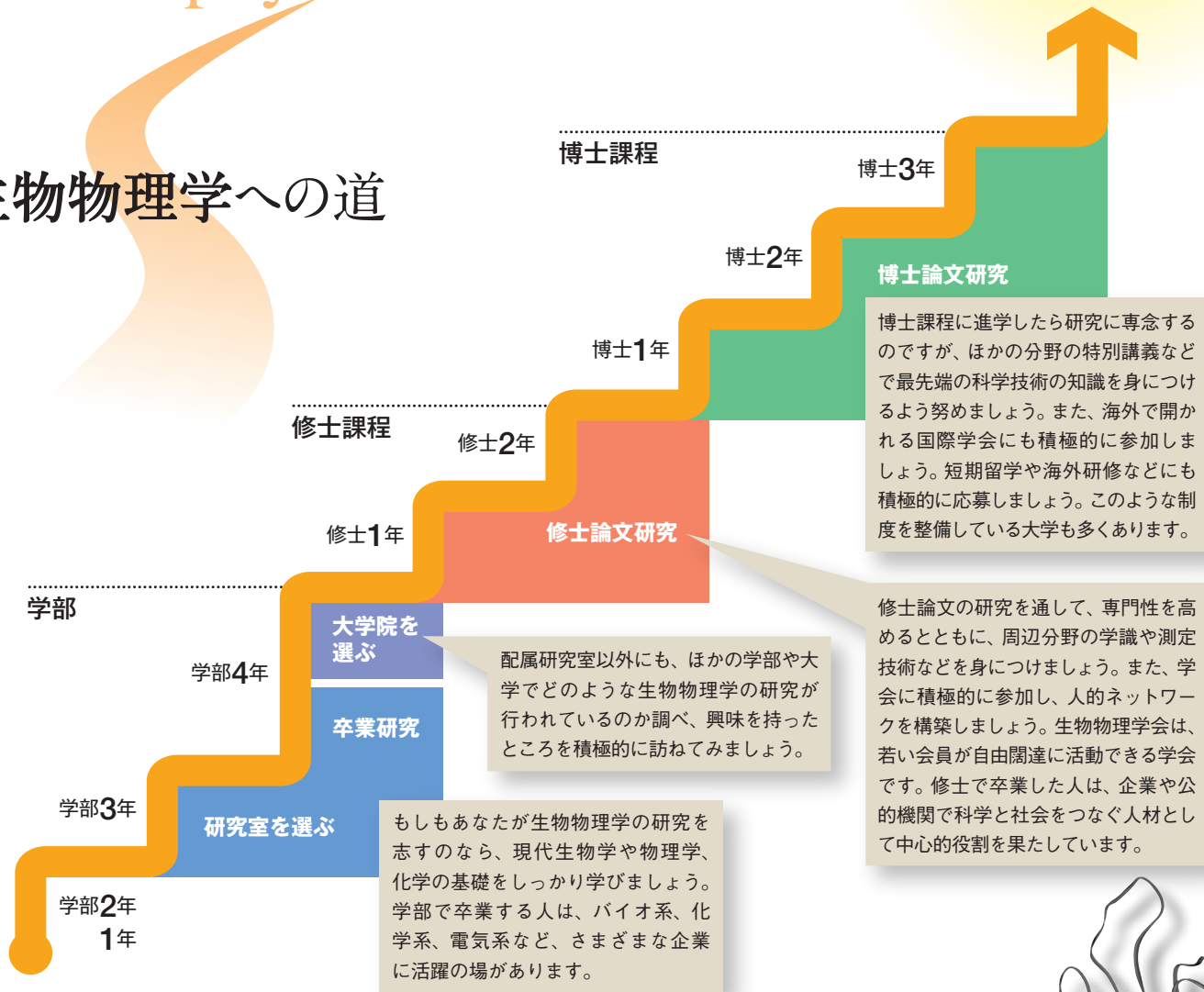


## 生物学と工学の垣根を超え、脳からロボティクスへ

高度な社会を構成するには、言葉などを介した個体間のコミュニケーションが必要不可欠です。私たちはコミュニケーションによって、個人個人が持つ有益な情報を他人に伝達し、共有し、個人あるいは社会として次になすべきことを決断します。コミュニケーションは人間だけのものではなく、例えばミツバチなど下等だと思われる昆虫でも使われています。生物物理学はヒトやモデル動物の脳の仕組み、個体間のコミュニケーションそして社会維持のメカニズムの解明を目指しています。特に、集団維持という観点に着目すると、例えば散在する鉱物資源の採取や災害時の瓦礫の撤去など、多エージェント（主体性を持ち自律的に行動する構成要素）に適用可能なアルゴリズムを創出し、ロボティクスへ応用することが望めます。生物物理学のさらなる研究により、神経科学、情報科学、社会科学といった領域の垣根を超えて、脳から得た知見をもとにしたロボティクスの設計原理を提案できることでしょう。

# Biophysicist

## 生物物理学への道



## 生物物理学を活かす

生物物理学を学んだ人の活躍の場は、大学や公的研究所、企業の開発研究、科学技術政策に携わる公務員、教員などさまざまです。これからの社会に求められているのは、広い視野を持ち、新たな領域を開拓していくことのできる人材です。生物学としても重要であり、物理学や化学あるいは工学としても評価される研究を行っている生物物理学を専攻する学生は、これからの社会になくてはならない人材です。

生物物理学について、もっと知りたいと思われた方は、学会のホームページ (<http://www.biophys.jp/>) を訪ねてください。日本の生物物理学の研究室と連絡先も知ることができます。

また、生物物理若手の会 (<http://bpwakate.net/>) では、多くの学部生や大学院生が活躍しています。



THE BIOPHYSICAL SOCIETY OF JAPAN

〒565-0871大阪府吹田市山田丘1-3  
大阪大学大学院生命機能研究科内  
**日本生物物理学会**

会長 難波啓一

[bpsjp@biophys.jp](mailto:bpsjp@biophys.jp)

<http://www.biophys.jp/>