S2H01

SPring-8 で生物と物理に橋を架ける

○八木 直人（高輝度光科学研究センター）

SPring-8は世界最大の放射光施設である。和歌山の砒素カレー事件でお茶の間でも有名になったが、生物物理の研究者にはSPring-8がなぜカレーの分析に使えるのか不思議に思った人もいるだろう。生物物理の分野ではもっぱらタンパク質結晶の構造解析に使うSPring-8は、物理や化学をはじめとして、医学から考古学まで、さまざまな分野で使われる汎用計測装置である。生物物理の「物理」の半分は「実験手法」である（残り半分は「理論」であるが私には難しすぎる）。生物物理の分野で放射光を使った実験のほとんどはX線の回折・散乱実験だが、これに使う装置（「ビームライン」）の設計に生物物理学者は深く関与しており、決して物理の専門家が作ったものを「使わせて頂いている」だけではない。放射光の分野で活躍する生物の研究者は、実験装置を自ら作る生物学者であり、典型的な生物物理学者である。最近はいわゆる「ポストゲノム」研究に大量の研究資金が投入されており、海外でもタンパク質結晶構造解析専用に放射光施設を作る動きがある。物理の実験手法で生物の謎に迫るのが生物物理だとすると、これはまさに生物物理の究極と言えそうだが、実はそこまで放射光が一般的な計測手段となってしまうと、もう生物物理ではなく単なる生物学（医学と言ってもよい）の道具になってしまう。生物物理学者は医者のために構造情報を提供する技術者になる危険性がある。これまで新しい実験手法を生み出していくことによって生物物理は発展してきた。新技術の開拓という点では生物物理は生物学の中では常に最先端にいる。放射光を使った生物物理の研究では、これからさらに新しい実験手法を求めていくことが必要になるだろう。

N. Yagi : Biophysics using SPring-8

S2H03

1分子の世界から細胞の世界へ

○佐甲 靖志^{1,2}（¹阪大院医・情報生理、²PRESTO・JST）

生命活動は分子反応の積み重ねである。ゲノムプロジェクトに代表される現代の生物学はすべての生体分子を同定し性質を明らかにしてきた。しかし分子に名前が付いても働く仕組みはわからない。

分子反応の仕組みの研究は新しい段階を迎えている。これまでは100億個以上の分子反応の平均を見ていたのが、1分子を観察し操作できるようになったのである。ひとつひとつのタンパク質分子の形や反応の変化は複雑で、そのことを利用して、タンパク質は状況に応じて反応を調節しているかもしれない。分子ひとつにも高度な情報処理機能がありそうだ。

ところで、生命の基本単位は細胞である。外界の情報に応答した分化・増殖、運動など、細胞の多様な振る舞いの仕組みを理解したい。細胞内ではさまざまな分子がシステムを作って物質や情報やエネルギーを動かしている。それらのシステムが統合されて細胞をつくる。分子システムの研究は始まったばかりである。

細胞の分子システムは複雑でダイナミックである。細胞内の分子は絶えず移動し、相互作用の相手は、数、種類ともに複数ある。細胞の構造や環境は不均一で、場所による反応の違いが重要である。多くの反応が多数の、しかし平均を許さない程度に少ない分子数でおこる。

このようなシステムの反応を捕らえるにはイメージング技術が最も適している。最近、生きている細胞中で1分子反応が計測できるようになった。本講演では、この方法の細胞内情報伝達システム研究への応用例を紹介する。情報処理分子の振る舞いは、細胞内での場所や、分子の集合状態の違いによって変化している。

我々はまだ分子システム研究の入り口に立っているにすぎない。分子システムの反応は個々の分子の反応とは違う階層のできごとである。1分子の計測を細胞の行動の理解につなぐことができるだろうか？

Y. Sako : From Single Molecules to Intracellular Systems

S2H02

創ってわかる生命複雑系

○四方 哲也^{1,2}（¹阪大応用生物工学科、²科技団、さががけ）

生命と機械はどこが違うのだろうか？生命も機械もたくさんの部品からできている。そして、全体の振る舞いは部品の性質に依存している。しかし、生物はそれだけでなく、逆に部品の性質も全体に依存しているのである。たとえば、脳が何を考えるかは神経細胞の発火率に依存している。と同時に、それぞれの神経細胞の発火率は脳が何を考えていたかにも依存する。この要素と全体の相互依存性は生命複雑系の特徴だといえよう。要素間の相互作用によって、要素そのものの性質が変化していると言ってもよい。こうした全体と部分の関係が、生物に柔軟性を与え、思いもよらぬ振る舞いを生んでいると考えられる。このような生命複雑系を理解するために、生命現象を人工的に再構築した。そこでは、より簡単な材料や環境条件を用いる一方で、要素間相互作用は取り除かないようにした。この実験の目的は、再構築の過程で対象とする生命現象の裏にあるルールを明らかにすることである。具体例として、大腸菌集団を用いた実験室内進化を紹介しよう。グルタミン合成酵素遺伝子にランダムな変異をかけながら、この変異体集団を一定環境で生存競争をさせた。ちょっと考えると、単一種類の最も適応した大腸菌だけになりそうである。ところが結果は、様々な活性のグルタミン合成酵素もった大腸菌が安定に共存していることがわかった。この現象は、集団の要素である変異型大腸菌が相互に影響し合うことで、それぞれ増殖速度が変化することで起きている。以上の結果は、酵素分子の分子進化が変異と選択による機能の単調増加だけでなく、個体間の相互作用によって多様化を伴って進むことを示している。その他にも、生命複雑系への構成的アプローチとして、二種の生物の人工共生系、人工細胞なども紹介する予定である。

T.Yomo : constructive approach to bio-complex systems

S2H04

コンピュータは脳に進化できるのか？

○市川 道教（理研・脳センター）

脳は生物の情報機能が進化を極めた形態である。進化をめぐる理論は多々あると思うが、「生物の進化は、環境（物理世界）への適応を評価して、世代をまたぐ僅かな改良を同時並行的に実行してきた」という考えは悪くないように思う。同じことをコンピュータのプログラムに仕込めば、やがて人間のような脳が誕生するという発想もいいのであるが、脳はそれ以上に急激な進歩（進化とは区別したい）をしているように思う。生物は脳を創るまでの進化に何億年もの歳月を費やしたが、人が文字を使うようになったのは僅か数万年前のことである。急激な進歩の理由は、「脳は物理的な束縛を受けない情報世界を内在できるから」に他ならない。人間が創造したコンピュータは脳以上に純粋な情報世界を内在している。ところが、実現できている脳は虫にも劣るものに過ぎない。かつては容量、速度などの量的な差が歴然であったが、今では理由にならない。脳とコンピュータの決定的な違いの1つは、内在する情報世界の組み立てそのものの違いである。脳の中の情報世界は、自分自身が物理世界とインタラクションすることによって取り込んだ物理世界の断片のコピーから構成されているが、コンピュータの情報には物理的な根拠がないのである。コンピュータが脳に進化するために必要なことの1つは、如何に物理世界とある種の互換性を持たせた情報世界を内在させるかということだろう。この問題の解法は生物学的実験と物理的理論、そして、工学的再構成の3つが揃って初めて得られるに違いない。つまり、生物物理学の領域の問題なのである。

M.Ichikawa : Can the computer become a brain?