

[生物物理学への発展]

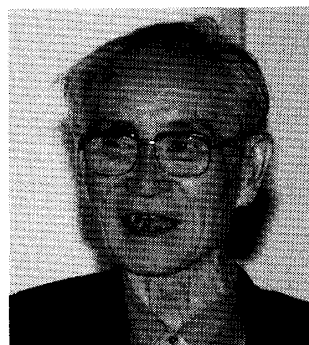
座長: 佐々 真一

生物物理学事始

大沢 文夫

半分ぐらいは昔話、思い出話です。基研と湯川さんと生物物理というところからの思い出話というか、昔話をいたしまして、途中でもう一回湯川さんが出てきます。それで今興味を持っているという話も少しさせてほしいので、私が何を問題にしたいと思っているかというのを話させていただきます。

この研究所が 1953 年にできたその次の年の、1955 年に基研研究会「生物物理」というのが最初に主催されているから、湯川さんも基研ができた時には、生物物理に相当の関心を持っておられたのですね。私は湯川さんから直接おうかがいしたことはないのですが、Schrödinger の 1944 年の『What is Life?』という本をアメリカから日本に持って帰って、岡小天さんに「これを読んだら」と言われて、岡小天さんがこれを『生命とは何か』という日本語に訳されたという話を聞いたことがあります。



1953 年が Watson-Crick の DNA double helix、二重螺旋の発見であります。私自身は名古屋大学にいました。名古屋大学の私たちのグループが生きものそのものを取り扱い始めたのです。生きたウサギを殺し始めたのが 1954 年であります。それで物理学教室中がびっくり仰天したということです。

岡さんと杉田さんが、東京の小林理研で生物物理を理論ですけれどもやっておられ、東京方面でたいへん生物物理に熱心でありました。その方々が、物理学会生体物理分科を、たしか 1954 年の秋に成立させて物理学会のなかで生物物理がいわば座席を得たということです。

湯川さんはおそらく Schrödinger の本を持って帰られた後ここで基研を作られてスタートされた頃に、京都大学のウイルス研究所には渡辺格さんという分子生物学の大家がおられました。私より 10 年ぐらい上だから、湯川さんと同じくらいの歳だったのでしょうか。湯川さんは渡辺さんを通じて、現代生物学、特に DNA 関係のことを吹き込まれたというか、面白いよということを言われてますます関心が深くなったのだろーと思います。

ところが基研研究会「生物物理」へ私たちも呼ばれて、いろいろとその当時の生体物理の話をいたしました。湯川さんもちろんそこで聞いておられたと思うのです。その時発表した側は、どうも湯川さんや渡辺さんが興味を持たれているようなことは全然話し合われなかったようです。杉田さんは熱力学、生体のなかの反応回路の制御をやっておられたのですが、その頃周りのみんなはあまり理解していなくてなんとなく聴いていました。杉田さんが一所懸命やっておられるから、その一所懸命さに惹かれて聴いているという状態でありました。何年か経ちまして、10 年位前に物性の夏の学校で杉田さんの話が、実は最近世界でといいますか、その分野で大事な話になっているということをお聴きしたのです。だから大事な話をされていたのだと思いますけれども、私たちはなんとなく、生体の回路論だと眺めていたわけです。名古屋大学のグループは、1954 年にすでに筋肉のタンパク質をまともに研究していた頃ですからそういう話をしていました。九州大学に電子論の方たちがおりました。富田さんとか大森恭輔さんとか、そういう人たちが、名大には押田さんと大鹿さんせいという方がおられまして、電子論で酵素反応とか酸化還元の問題をやっておられました。確かその 3 つが研究発表だと思われます。あとは雑談で盛り上がるという会で、雑談のほうが多かったのですが、当時、私たちは名古屋のグループというのは、反 Schrödinger というので有名でありました。みんなが Schrödinger と言うのを、なんとなく心よく思っていなかったのです。

どうして心よく思っていなかったかということ、当時を顧みますと、Schrödinger の文章の中に、最初の方に「DNA」とはまだ書いていないのですが、「遺伝情報を担う実態は huge molecule である、この中の原子の並び方が、情報である」と、非常に正確な予言を書いているのです。Delbruck のせいだという話です。そこはよかったのです。それは大当たりだったのですけれども、そのあとの文章が気に障ったわけです。「だけどその実態は、物理学では解けない。遺伝学と生理学に基づいた生化学がやる仕事である」と書いてあるのです。どうしてそのように学問を分類するのかというので腹を立てたのです。そう思うでしょう。思われませんか。どうしてわざわざ分類しないといけないのか。こ

これは物理学の仕事である、これは生化学の仕事である、これは遺伝学である、これは生理学であるとして言わないといけないのだろうと思ったのです。もう1つは、Schrödinger の本全体のなかには negative entropy とか disordered crystal とかいうしゃれた言葉が書いてあるのです。これも大事な concept だと思いますけれども、だからといって私たちにとっては何もわかった気分になれないのです。ところがほかの、渡辺さん、湯川さんはどうだったか知りませんが、湯川さんは、生物物理はこれから大事であるということを非常に直感的に考えられたらしいのであります。

基研 ... 湯川さん ... 生物物理

1944 Schrödinger "What is Life?"

1953 Watson-Crick DNA double helix

1954 名大グループ実験開始

物理学会生体物理分科

成立 (園小天)

・湯川 ... 渡辺 裕

(杉田元直)

1955 基研研究会 "生物物理"

・杉田 ・名大 ・九大

} **分子生物学 DNA → RNA → タンパク**

1960 生物物理学会発足 (小谷)

? 基研内生物物理研究室

素粒子論 ... 遺伝
物性論 ... 生理

[Slide 1]

の人がいるわけですが、それも聞きに行つて黙つて貰つてきて、論文にも何の acknowledgement も全く書いていないのです。ひどいことを言う人は、Watson-Crick が人を出し抜くという研究のスタイルを始めた人だということです。

Watson-Crick が本当に実験していたらそんなことはなかったと思うのですが、湯川さんも渡辺さんも Watson-Crick から学んできているものだから、実験の実態、実験そのもののことをほとんど身近には感じておられなくて結果だけを身近に感じられたのです。あとの DNA → RNA → タンパクという、central dogma というストーリーは、多くの方はご存じでしょうけれども、非常に見事にいったのです。見事にいったのは、もうちょっとあとの話ですが、RNA の上の、AT、AUGC の文字列がアミノ酸の配列に翻訳されますが、その翻訳の辞書を全部つくってしまったわけです。その最初の実験も、厳密に考えると言うか、本当に専門家が今になって考えると、そんなことでは成功しそうな条件で実験したのです。いろいろなことを無視してこういうことをやってみようかと、生物学者にとってはまったく非生理的な条件で、マグネシウムか何かをどかんと入れて、そんなこと

それから 1960 年までのあいだに、Watson-Crick の DNA の遺伝情報の実態と遺伝情報の複製の機構が、あれはもう『Nature』の論文一つで Double helix であるということがわかった。そのこと自体が、情報の中身もわかって、情報の複製の仕方も想像できてしまつて、構造一発で決まったのです。後はもう、何もなくていいと言うか・・・。Watson-Crick に関しては、私は名古屋にいましたほとんど何も関心はなかったのです。あれは人ごとだと思っていたのです。自分たちは、次のページで説明しますが、別のやり方で生きものそのものに興味があったからです。

悪いことに Watson-Crick というのは、自分で実験していないのです。X線のデータは誰やらさんのを覗きに行きました。化学分析の非常に大事なデータについても同じです。ATGC の系列が遺伝情報であるといったこと、A と T が、C と G が対になって、それでコピーされていくんだということもご存じだと思いますけれども、A と T の量がイコールで、C と G の量が、どの DNA も全部イコールであるということを化学分析で一瞬懸命やったシャルガフというニューヨーク

は細胞のなかでは起こっていない条件でたまたまやったら、UUU という文字列がフェニルアラニン (アミノ酸の一種) がずっとつながったポリマーになって出てきたわけです。そういう実験の実態の感覚というものをほとんど持っておられなかったというのが、基研にとってはちょっと残念な話だったのであります。ちょっと言い過ぎだったでしょうか。

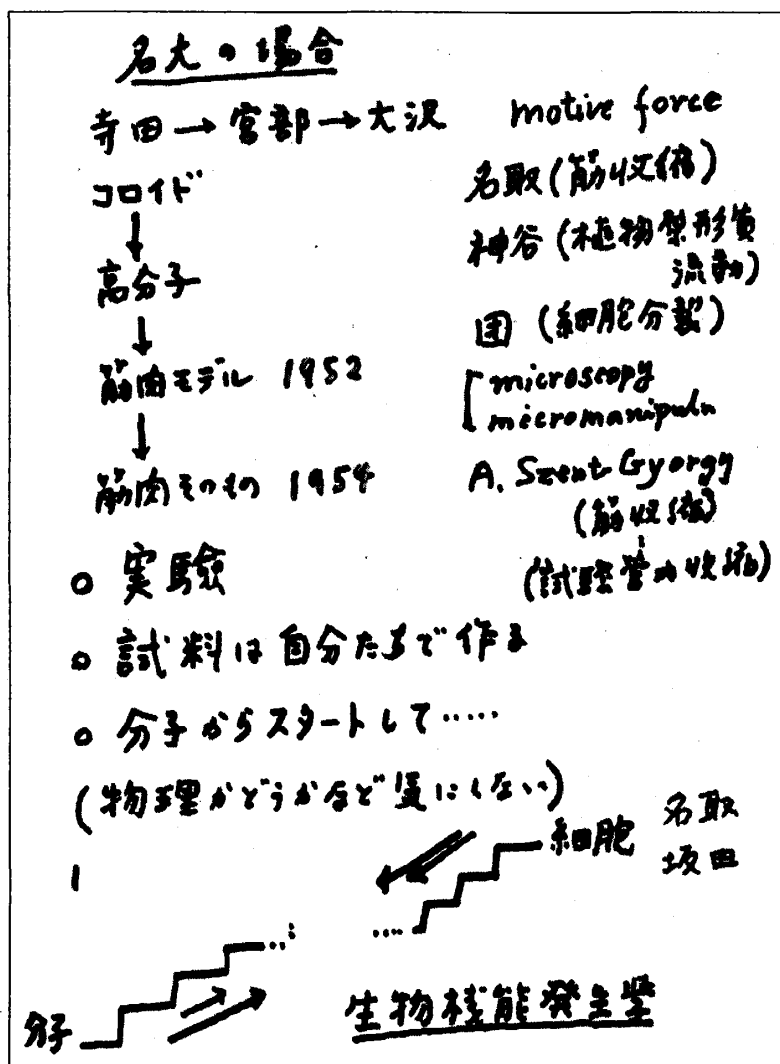
突然話が違いますが、岡さん、杉田さんがおられるのに、小谷先生が割り込んできました。小谷先生は国際物理学連合の委員をしておられたのですが、国際物理学連合が生物物理委員会というのを作ったので、慌てて日本へ帰ってきて学会をつくらないといけなと言われてたのです。1959 年です。私のところへ電話がかかってきました。私は、1944 年に小谷研で 3 年生のゼミをやりまして、それ以来まったくご無沙汰なのです。ぱっと名古屋大学に就職いたしまして、手紙の行き来もまったくない、ディスカッションもまったくないところへ突然小谷先生からハガキがきまして東京へ出て来いと言うのです。私のほうは、用事は直感的にわかったわけです。学会をつくるつもりだな。そうすると私のところへ全部雑用を渡すつもりだな。生物物理には、グループらしいグループは全国どこにもいないのですから。名古屋にはもう何人もいますから、これは雑用を預けるつもりで呼んだなというのはわかっているのですけれども、わかったからといって断れませんから、行ったわけです。

1960 年に小谷先生が学会をつくらうと言われたので、名古屋が主導をいたしまして、第 1 回生物物理学若手夏の学校を開きました。分子生物学の連中、分子遺伝学の連中と、物理の連中とが毎晩ディスカッションいたしまして、学会をつくりましょう、交流をどうしましょうということで、すごく盛り上がったのを覚えています。昼は M1 クラスの若手の研究発表をして、夜はもう少し上の連中が、学会づくりの相談をして文書とか条文を全部決めていました。

1960 年の 12 月に学会が発足いたしまして、私もいくらかはあれしなないといけなと思って、発会式の日には私の誕生日に合わせました。そのころだと思えるのですけれども、基研の中に生物物理の研究室を作られたのです。いまはもう全然お見かけしなくなったような気がしますが、福留さんという理論家の方でした。生物物理のことをかなりよく勉強されましてすごく頭がいい人でした。名古屋へ来て講義をされると、みんなうっとりとして聴くのです。大貫さんは聴きましたか。整然と講義されるのです。DNA の話から、RNA、タンパクの話は、もちろん整然とした理論的枠組みができていますから。それでみんな、本当に猛烈に感心したのです。かといって、名古屋では、素粒子論の人で、生物に転向する人はいなかったですね。なにしろ非常に話が beautiful なのです。分子遺伝学の話は、当時としてはあんなきれいな解析的学問は、ほかの science のなかにはほとんどなかったのではないかと思います。その時、ひょっと思ったのですけれども、だいたい素粒子論の人は、遺伝学のほうに興味があるのです。物性論の人は、どうも生理学のほうに興味があるのです。これは生まれつきの性格を如実に表していると思います。そう思いませんか。

基研には生物物理の研究室が作られまして、福留さんがおられましたから理論の研究室を作ったのです。私たちが 1 回の講義ではなくて何回かにわたって研究会のたびごとに、Schrödinger ではだめだ、自分で実験しなければいけないということを猛烈に言っていましたから、ひょっとしたら湯川さんも、そういうものかなと思って、実験室まで作られたらしいのです。実験をする人は、おそらくウイルス研から来られた方だと思います。基研でその頃をご存じの方はおられますか。でも実験は結局、数年で諦められたのです。どうしてだったかという、余分な話を湯川さんに失礼なのですが、渡辺さんから聞いて感心した一番のことは、分子生物学なものだから、遺伝学的な、このもとになった実験を、物理としてやろうと思われたらしいということです。しかしそれは非常に難しい時期だったのです。いまだったら、物理としてもできたと思うのです。今は single molecule, single reaction analysis の実験的方法が、確立というか発展していますが、そのころは何から何までいろいろと材料を取って、酵素まで用意しなければいけない、たくさんの材料を取って、混ぜて、その混合体で chemical reaction を追わなければいけなかったのです。どうも物理には不向きだったのです。テーマの選択を間違えたのです。それで、もうこれはおじやんになりまして、いつの間にか消え去りました。

[slide 2] 私の場合、名大の場合というのは、入り方がまったく違いました。私自身は大学の学生の時は小谷さんのところでゼミをやっておりました。小谷先生というのは、もう、何でも 100 点満点でないと気が済まないという、えらく迷惑な先生でありました。平均点で 80 点、75 点ならいいとしてくださいと言っても、気に入らないのです。1 回ごとに 100 点でないといけななのです。



[Slide 2]

正統派物理の代表を、小谷先生にするのはおかしいのですが、私は非正統、オーソドックスでない物理というのを希望いたしました。名古屋大学に就職を希望いたしました。そうしたら私を拾ってくださったのは、宮部直巳さんという地学の先生でした。寺田寅彦さんのお弟子さんでしたから、寺田、宮部、大沢ということで、大沢は寺田の孫弟子であるということです。そういう所へ入りまして、地学、コロイド学、それから地震の調査なんかもやりました。コロイド学からスタートいたしまして、高分子学にいきました。宮部さんの話もしたいのですが、省略いたします。

コロイド学、高分子学のころには、盛んに論文を物性論研究に投稿しました。まだ英語で書くということを知らない時代でありまして、宮部さんは論文を書くことに全く興味を示さない先生でありましたから、私がデータを出して、先生、こんなのですよと言って出すと引き出しにぼんとしまっていてそれっきりなのです。しょうがないから自分で理論を書いて、永宮健夫先生のところに投稿するわけです。永宮さんは親切な方だから、コロイド高分子のころには「これがいったい物理

かいな」と愚痴を言いながら我慢して通してくれたという噂が入ってきました。ちゃんとした物理だったのですよ。だからコロイドの物性論とか、高分子の物性論を投稿したのは全部ほとんど理論の論文です。

そういえばまた雑談してもいいですか。物性理論についてという講演会がありました。わりあい一般向けです。そこで日本の物性理論の第一人者の、ほとんど一番偉い先生が講演されたのです。最初に「物性理論とは」という定義を言われるのです。「物性理論とは、量子力学に基づいて、ものの性質を極める、理論的に研究する学問である」と言われたのです。そうすると途端に私は困ってしまいました。量子力学なんて、全然使っていませんから。ただああいう言い方では、いろいろな人の士気を阻害するのではないのでしょうか。生物物性論の人は、量子論を使っている人は滅多にいません。ちょっとだけはいます。光生物学の人は量子論を使われます。直接使っている人はほとんどいないから、生体物性論の人はそういうふうに言われるとかなり困ってしまいます。

高分子の研究をしております、筋肉モデルという話が出てきました。W. Kuhn(ウェルナー・クーン)というゴム弾性論を1934年に作った人がいます。久保さんもゴム弾性理論の本を出されていますけれども、Kuhnは、その10年前につくりました。Kuhnは高分子学のいろいろな予言もしました。そのほかに円偏光二色性の理論などを一人で作ったり、筋肉のモデルのほかに腎臓のモデルをつくったという、桁違いに偉い人です。その人がKatchalsky(チャタルスキー)さんと一緒に、筋肉モデルというのを、高分子でつくりました。詳しいことはやめます。それを真似いたしました。私たちもこの流れに沿っていましたから筋肉のモデルをつくりました。いまでも私は愛工大の学生に、化学の授

業をする時に自分でちゃんと作っていました。高分子を混ぜまして、ポリアクリル酸にポリビニールアルコールを混ぜましてどろどろとさせまして、学生たちに一人ずつこれをうちに持って帰って夜寝る時に冷凍庫に入れて、朝起きたら氷の部屋から出しなさい、また帰ったら氷の部屋へ入れてまた出しなさいと言います。こうやって1週間経つと、人工筋肉ができています。ちゃんとPhを変えると40パーセント程伸縮します。先生は何となく気分がいいのですけれども、学生たちは全然感心しません。いまの学生は、何をやっても感心をしません。

筋肉モデルをつくったので、伊藤竜先生という名大の医学部の先生に見せに行ったのです。非常に頭のいい、よくできる先生でした。宮部さんのおかげで、医学部も工学部も会社も、いろいろな先生との付き合いを仲介してくれまして、あちこちに意識的に回してくれたので私自身もどこへ行くのも平気でした。伊藤竜先生という生理の先生のところへモデルを持って行きまして、見せるわけです。ちゃんと感心して見てくれて、われわれのグループと本物の筋肉の人を呼んで、2人でシンポジウムを開きましようと言われたのです。それがすべてのもとの始まりでありました。伊藤竜先生というのが、私たちの一番の恩人であります。その時紹介されたのが、名取さんという慈恵医大の先生であります。名取さんが筋肉を、春の冬眠明けのガマの筋肉に限るのですけれども、その筋肉細胞1本だけを0.1ミリ、メスでこう取ってきましてクジラの油のなかへ付けまして細胞膜を手で剥くのです。顕微鏡の下で、メスで。女性のストッキングを脱がせるようにという説明をしながら、双眼顕微鏡でやっているから、片目はわれわれに見せてくれるわけです。先生は片目だけでできるのです。皮を剥いて細胞膜がなくなっても、電気刺激をやれば収縮するのです。電気刺激がなくても、蒸留水でも収縮する、塩水でも何でも収縮するという実験を見せてくれたのです。それに最高に感激したわけです。名取先生は、それを名取の階段というのを使って説明されるわけです。細胞からだんだん構造を取り去っていくと、どこで収縮機能、収縮調節機能が失われるかと、どこまで階段を下りることが出来ますかという構造の階層を一步下りたのだと言うわけです。一步の下り方がすごいのです。膜を取りましようかというのもすごいけれども、膜を取りましようかと考えた時、それを手で剥きましようかと考えたところがすごい。それはいまだに、世界中、誰もできません。私のお弟子の2、3人だけが免許皆伝になりました。名取先生のお弟子さんすらできません。世界中、今でもできないのです。膜を取って、取ってもいろいろな何かの刺激に応ずる機能は残っていますかちゃんと収縮しますかと、そういうふうに一段下りるということをやって見せて、名取の階段を書きながら説明されたのがたいへん印象に残っています。

もう1人、同時に大阪大学に神谷宣郎さんという先生がおられまして、筋肉ではなくて植物の運動、典型的な例で、植物原形質流動といって、例えば水のなかの藻のなかを細胞質が回転運動をしております、下からものを運んで、だんだん上へ持って行くのに回転運動をしています。その回転運動をしている境目の力を測るわけです。どうやって測るかという、遠心力を逆にかけましてそこに止まるための遠心力を測るわけです。ちょっとだけ密度が違いますので。細かいことは、たいへんですから。そういう実験を見て、すごく感激いたしました。それを見て以来、私とグループの連中は、毎月のように東京へ名取さんの実験を見に行くわけです。毎月のように、大阪の神谷さんの実験を見に行くわけです。それが最大の motive force だったのです。

もう1人、団さんの実験というのは細胞分裂の実験ですけれども、ウニの卵が分裂して2つになる前に、卵細胞1つのなかに分裂装置といわれる構造ができるのです。分裂装置という名前がついているくらいだから、それが分裂に必要なだと思われていたのです。ところが団さんは針を刺しまして、それを全部吸い出してしまったのです。そうしたらぺこっとしてしまうからもう1本針を刺しまして、そこから油を入れまして体積を一定にして、中の分裂装置を全部吸い出してしまってもちゃんと分裂するという証明をされたのです。それが1952年です。

全部1952年ですけれども、この3人の細胞生物学の microscopy と micro manipulation の第一流の、世界一の人たちが、生理学と植物学と動物学におられたことが最高の motive force になったのです。だから、私たちの一番のよかった、幸いだったことは、筋肉をやろうと思った時に日本のなかに世界最高の人が、しかも医学、動物学、植物学に揃っておられたというのが最高にハッピーだったと思います。例えば先ほどの分子遺伝学をやろうと思った時に、この人たちに相当する人が、実は悪いけれども日本にいなかったのです。いたらもっとよかったと思います。ちょっとそれは内緒かな。

だけど、この人たちが、最高の3人だったのです。しかも分野が3つ、きっちりあったということが運です。何か新しい分野を始めようとする時に、そこに最高の人がいるかないかは運です。しかもその人たちは、日本の中にいないとだめなのです。外国に行って習ってくるのでは、たいしたこと

になりません。日本の中にいて、毎月のように行ける、現場が見られるというのが最高の運でありました。

もう1つ、これは本です。A. Szent Gyorgy というハンガリーの人がいました。名取先生とは逆の方向で、分子からスタートして筋肉をすりつぶして、タンパク質分子をばらばらにいたします。それを組み立てていったらどこで収縮機能が生まれるかという下からの実験を A. Szent Gyorgy がやっていて、その成果が 1951 年に本になっておりました。

それは最初から最後まで全部自分の実験なのです。それをまさに一步一步、やっているのです。タンパク質分子、Actin、Myosin にして、それを集合体にして、集合体の集合体になると収縮が表れるという、今朝、杉本さんに会ったら、杉本さんがちゃんと Actin、Myosin という名前を覚えてみえたのにえらく感激しました。たいへんうれしかったです。

私たちは物理だから、こちらからくるのは生理学、こちらからくるのは物理として自然ですよ。だから下から上がろうというふうに決めました。そこでどういうことがあったかということ、人工筋肉の場合は、高分子一本一本、ゴムの分子になります。高分子ですけれども、これがゆらゆらと曲がる分子です。人工筋肉の伸び縮みは、そのゆらゆらとしているゴムの分子が電氣的斥力でぴんと張るか、電気力を消して、ぐにゃぐにゃと縮むかというので、人工筋肉の収縮機能発生のレベルは高分子1つなのです。ただ高分子をつないで、ネットワークにすれば、巨視的になったただけの話で、基本は高分子1つなのです。機能発生のレベルが、鎖状高分子です。

ところが Szent Gyorgy の本を読むと、そうでないことは明らかなのです。Szent Gyorgy は実は、ちょっと誤解してしまっていてそうだとは思っていなかったみたいなのです。あくまで Myosin 分子1つが縮むと思っていたみたいなのですが、彼のデータを先入観なしに読むと、彼の本を素直に読むと、1個1個のタンパク分子が縮むのではないということはいはれるのです。Myosin が集合体をつくり、Actin が集合体をつくり、集合体と集合体が集まって ATP を入れれば縮むということが、本を辿ると明らかにわかるわけです。

それが筋肉モデルをいくら研究してもだめですよ、筋肉そのものを研究しないと、筋肉収縮機構がわかりませんよと、機能発生の構造のレベルが全然違うのだから、いくらがんばってもだめだということをお私たちに教えてくれたわけです。

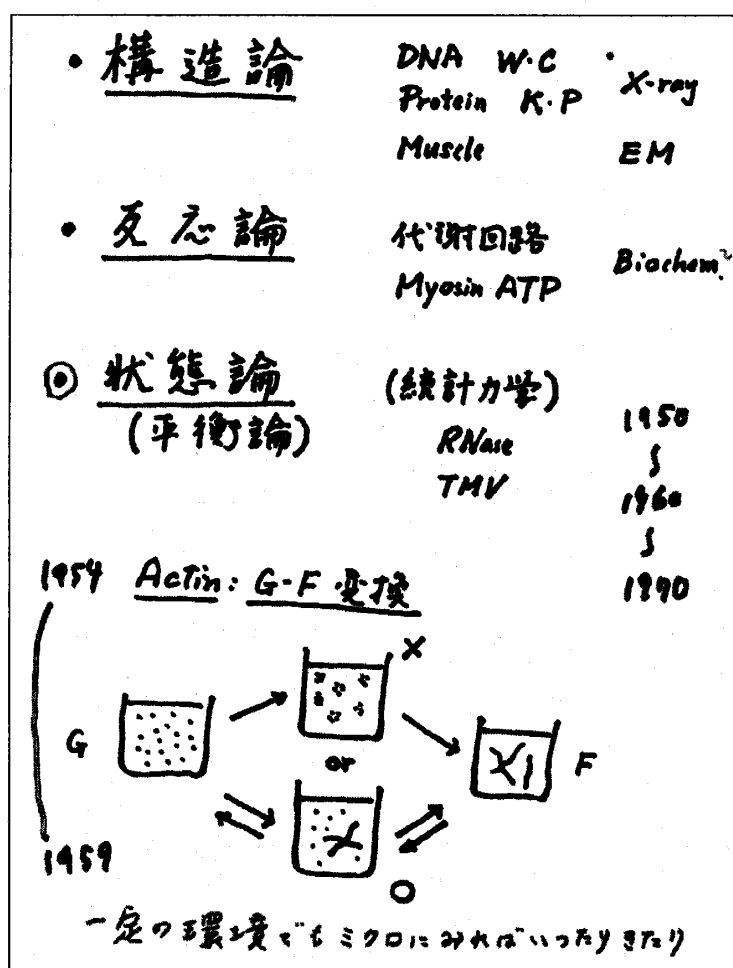
上の方の実験というものは、こんなに面白いものかということと、下の方の分子から上っていくという2つが、私たちの motive force でありました。つまり実験を現場で見たと。A. Szent Gyorgy は、あたかも現場で見るがごとく、日記のような実験データをずっと重ねていて、それがそのまま本に書いてあるのです。全部自分の実験だと。その2つが私の motive force でありました。研究室としては、5人でスタートいたしましたけれども、実験をやらなきゃだめだと、自分で手を動かさなければだめだという基本方針を決めました。スタッフは、私が一番年上で31歳の時で、ほかの連中はみんな20代ですけれども、絶対に実験をやろうということです。実験そのものに経験のあったのは、大井竜夫さんという、あとで京大の化研に来られた方が1人で、あとの3人は、私も含めて、理論的なことばかりやっていた連中です。それが全員で実験をしようということにしたのです。試料は、タンパク質分子は、筋肉から自分たちでつくる、人からもらってはいけないというのが2つ目の条件で、3つめは分子からスタートしようというものです。この3大条件というのが、ほかの研究室とわれわれの研究室とが、同じように生物物理をやろうとした時の最大の違いです。いまでもよかったですと思います。全部自分たちの手を動かしてやりましょうということです。ついでに、いまやっていることが物理かどうかなどは気にしないのです。生物学であるか、化学であるか、物理学であるか、生理学であるか、生化学であるかなどということは、一切気にしないで、この3つをやりましょうというのが、スタートであります。1954年に始めまして、最初のペーパーが出たのが1959年ですから、共同実験、いまの言葉で言うプロジェクト研究は、5年かかりました。

そういう時には、100% 共同で時間を使いましょうというのは無理です。7割か8割やって、2、3割は自分の時間というのを残しておかないと、とてもみんなと一緒にやるというのは無理なのです。もっと若い人なら「おまえがやれ」と言えばやるかもしれませんが。そこがもう1つのコツでありました。それがあったから、ある意味でクッションがあったからよかったのです。でも5年間は論文が出ないのです。自分たちの20、30%の分の論文はそれぞれ自分の仕事でときどきは出していたのです。だからいまから考えますと、5年間何も論文が出なくても周りのみなさんは平気であつたし、自分たちも平気でした。それは非常に幸いな条件でありました。

ただしなかなかたいへんでした。そのあいだ、いろいろな人とグループディスカッションをやるわ

けです。化学、生理学、生化学、動物学、植物学、いろいろな人たちとの総合研究グループがありましたから、そこで毎回、年に2、3回ずつディスカッションミーティングをするのですけれども、お互いにひどいことを言いましたから。私もけっこう、年寄りの先生に向かって、平気でいろいろなことを言いました。例えば私たちのこの研究に向かって「大沢さんの研究は物理化学ではあるでしょうけど、どこに生物学があるんですか」と言うのです。それをわざわざ年賀状に書いてくるのです。恐い先生がいました。かと思うと、逆に「あんたたちは生物物理って言っているけど、どこに物理があるんですか」って。早川さんはそっちのほうでした。どうも失礼いたしました。そんな感じがするでしょう。だからたいへんだったのです。私自身は、ワンクッションを置いて質問をしますから、切られた相手が切られたとはわからないのです。1日ぐらい経ってから、切られたってわかるのです。外国人でも賢い人は切られたとわかるのです。

1957年に国際会議がありまして、この実験を報告した国際的デビューでありました。その時、世界の酵素化学会ですけれども、世界の研究者に日本の筋肉の研究が生化学も生理学も薬理学も物理学も世界のなかで飛び抜けているということを実感させたのです。



[Slide 3]

[slide 3] 余談ばかりしてすみません。先ほど性格の話をしました、もう1つ研究者には性格、キャラクター、生まれつき好きずきがありまして、私の観測するところ、この3つのタイプがあるのです。構造が好きな人、反応が好きな人、状態が好きな人。思い当たりませんか。X線とか電子顕微鏡で一所懸命、構造を決めるということに生き甲斐を見つけている人、それは実際にDNA、Watson-Crickが構造からすべての機能を推論したのだからたしかにすごい成果であります。タンパク質分子の構造決定をKendrewが1959年にやりましたけれどもそれもすごい仕事です。筋肉では、電子顕微鏡やX線の、おもに電子顕微鏡での筋肉構造の研究がありました。これより前には、光学顕微鏡の研究がたくさん、100年ぐらい積み重なっています。それは省略いたします。

もう1つのタイプは反応論のタイプであります。だいたい分子生物学というのは歴史的に言うと、Watson-Crickで始まったように聞こえますけれども、実際の分子生物学は分子論ですから、生化学者がやっていたのですけれども、代謝回路の話が分子レベルの生物学の本当の始まりで、

それは20世紀に入って始まったわけです。Myosinで言うとATP分解反応の反応過程の研究、それは生化学の主題でありました。

私の好みは、どうも、その当時、気が付いていたのではないのですけれども、状態論が好きだったのです。統計力学が好きだったし、平衡論が好きでした。行ったり来たりが好きだったのです。反応論というのは、た一つと一方向で行きます。構造論というのは堅く頑張るというものですが、私はどうも行ったり来たりしてなんとなくバランスが取れていたり、バランスがちょっとずつ狂いながらあっちへ行ったり、こっちへ行ったりするというのが、どうも好きだったらしいのです。統計力学が好きだったのです。その結果、先ほどの5年間の成果というのは何だったかといいますと、Actin

という分子がばらばらの分子からフィラメントをつくって筋肉の中と同じ構造を作るのですけれども、この途中がどうなっているかというのを、しらみつぶしに、あらゆる環境で、あらゆる条件で調べます。簡単に言いますと、一定の環境、どういう環境でも、溶液のなかはばらばらの分子とフィラメントとが共存していて、中間の構造があるのではなくてこの2極端が共存をしていて、マクロに見るとバランスしているのですけれども、ミクロに見ると一分子一分子はフィラメントになったりばらばらになったり、行ったり来たりしているということを証明いたしました。それがこの5年間の結論的に言えば、成果なのです (slide 3 の下図の下ルート)。

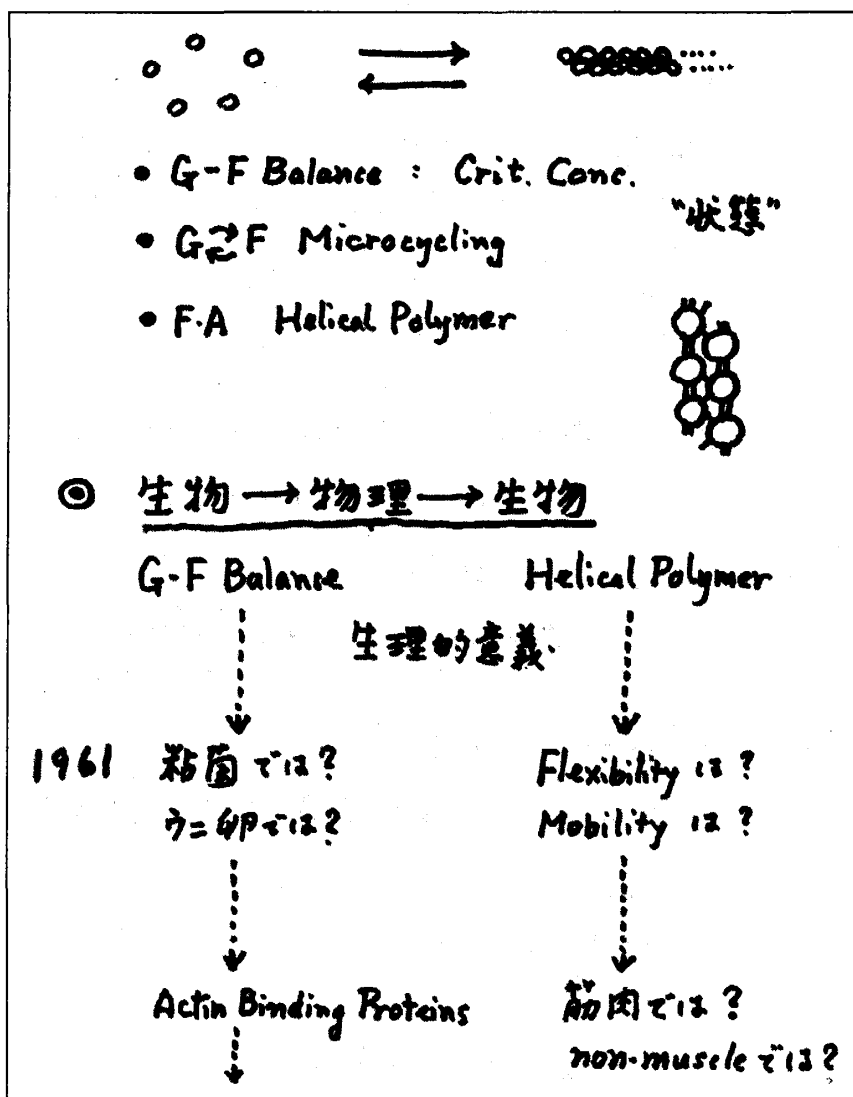
これは何でもないのでありますが、よそから見ると見方が物理的に見えるのです。化学の人、生化学の人は、こちら側 (slide 3 の下図の上ルート) を考えてしまうのです。いろいろな状態で、いろいろな構造があって、そういう構造をつくったらその状態でみんなじっとしていて、また環境を変えたらこういう構造になって、その状況でまたじっとしているというふうに割合固定的に考えるのです。私たち物理のものにとっては、一定の環境でも行ったり来たりしていますよというのは普通のことなのですけれども、これをみんなに見せたというのが最大の成果です。もっと細かいことをきっちりと言わないといけませんけれども。これとこれとの間が相転移に近くて、このばらばらが気体でこのフィラメントが液体であるという、ちょうどばらばらの分子の濃度は飽和蒸気圧に相当して、一定であるということがあるのです。しかしこれは細かいことであります。一番大事なことは、一定の環境でも、実は行ったり来たりしているということなのです。生化学反応の場合でも、ある条件でこうなった、また次の条件でこうなったではなくて、一定の環境で反応がくるくる回っている、という思想を大げさに言うとそういう思想を生み出した、見せた大事な、自分で言うのはおかしいのですけれども、おそらく最初の仕事だと思います。

こういうことを何年かかけながら報告をしているわけです。そうすると、生物系の人はどういう反応を示すかというのと、「そういう見方もありますね」と言うのです。そうするとこちらはがっくりするのです。これが真実であると言いたいのに、相手側は「そういう見方もありますね」と軽く言う。講義をやっているのもそうです。生物や化学や、いろいろな学生が来て講義をきいている、私が話していて、一応感心して帰って行って「こういう見方があることがわかった」と言う。これが事実であると見てくれないのです。だからそれを脱却しないといけけないのです。生物物理学者の最初の壁はそこです。大抵、何か生物を相手に仕事をしたら、生物、生理、生化学の人は「そういう見方もあるんですね」と言います。そこで引っ込んでではダメなので、それ以上に相手を面白いと思わせないとはいけけないのです。見方がありますねではなくて、そういうことなのか、それは面白いですねと言ってくれるか、面白がらせることができるかどうか勝負なのです。でも、大抵の場合は、反応が、さっきの「そういう見方もありますね」なのです。

基研で、5年ぐらい前でしたがやっぱり物理の人や、生物の人や、私たち生物物理の人が講演会をした時に、東大の理論生物物理の人が、数理的な研究発表をいたしました。その話のなかに、そこまですらなくてもいいのと思うのに、ガンの話まで出てきまして、ガンの数理生物学まで出てきたのです。その時、ちゃんと「あなたのその研究は、生物学の人に評価をされているのですか」という質問が出ました。それは正しい質問です。評価されているかどうかというのは、「そういう見方もありますね」ではなくて「ああ面白い」なのです。私たちは名取さんの実験をああ、面白い。神谷さんの実験も最高に面白い、団さんの実験を最高に面白いと思った程度に、名取さんや神谷さんや団さんを面白いと思わせないとはいけけないのです。向こうの偉い先生を。普通の人にはべつにいいのです。これから生物物理でもやろうかという時には、第1目標は「そういう見方もありますね」ではなくて、相手がどれだけ面白がってくれるか、面白がってくれば勝ちという、それが大事なのです。私の場合は、自分で言うのも変ですが、一応、外国人たちが面白がってくれるところまではきまして、あと、いろいろなことがありました。そのへんは全部、省略いたします。

[slide 4] もう1つ大事なことは、いまの話で、生物を物理でしたつもりなのですから、あのように行ったり来たりしていますねということを本当に細胞のなかで起こっていますか、生物を物理したあとで、その物理は生物のなかで起こっていますかということを調べないといけけないのです。それを自分でやらなければいけけないのです。他人に頼まずに。自分でそれが起こっているかと。取り上げたのは粘菌というのはアメーバの一種ですけれども、アメーバのなかで、それは起こっているか、それからウニの卵のなかで、それは起こっていますかと。

生物物理というのは、生物と物理の真ん中のある場所で固定してそこに立ってやっているのではなくて、生物と物理、物理と生物、また物理、また生物というふうに、行ったり来たりする、学問の間



[Slide 4]

を行ったり来たりするのでありまして、中間に立っているというイメージではないのです。これは私の意見です。中間に立っているのではなくて、いつも行ったり来たりしている、物理学として成立していて、生物学として成立していない、生物学として面白いと思ってくれないと、生理学として面白いと思ってくれないとだめなのです。だから生物学自身であり、生理学自身でないといけなわけです。物理学の人にも、面白いと思ってくれないといけなわけですが、それがなかなかたいへんなのです。もう1つ、言いたかったのは、これを往復してくださいという意味で、それでいろいろな仕事をしたのですが、それは省略いたします。

[slide 5] 私にとってのもう1つの湯川さんが絡んだ大事件は、1972年に岩波の『現代物理学の基礎』というシリーズのなかに『生命の物理』という本がありました。それを、私と寺本さんと、斉藤信彦さんと、西尾さんという数学者の方と4人で分担して書きました。私が第1章で、生物全体の話、構造と機能論の全体の話を書いたのです。全体の編集長というのは湯川さんでした。編集会議があったという覚えは全然ないのですけれども。その本が1972年にできまして、その年の暮れに、湯川さんが名古屋大学に非常勤講師で講義に来られました。あれは高林さんが呼ばれた時かな、湯川さんは定年になっておられました。講義をされた夜、ディナーパーティがあつて、湯川さんが私を呼び止めて「大沢さん、あの本を読みましたよ」って言うのです。その結果のひとつです。「生物は積み木細工ですね。量子力学みたいな難しいことは何もありませんね。脳もそのうち、わかってしまいますね」。これは私の印象に残ったから全文を覚えています。そのとおり、言われたのです。それは本当なのです。湯川さんは別の『古典物理学』という本のなかのどこかに「分子生物学の発展によって、古典的

"What is Life"

生物は積み木細工 (by Yukawa)
Life Building of Bricks 1972)

additive & mechanistic
加算的 機械的

分子生物学 Molecular Biology
one function - one molecule

e.g. molecular diseases
learning : modification
of molec. func.

生物はどこで 積み木細工をしている?

when
where
how

新しい物理は?
new physical view?

[Slide 5]

力学的機械的世界観が復活し強化された」という文章があるのです。その時、ここで機械論といわずに積み木細工と言うのです。機械論とただ言われるより、積み木細工と言われたのが、なかなかやっぱり、湯川さんのセンスがいいところというか、すごいところですね。単に機械論とは言われなかったのです。

DNAの上に情報がずっと、一次元に並んでおりますが、あれは全部、部品の情報なのです。部品以外の顔かたちの情報なんて何もないわけです。人間のかっこうの情報というのも何も書いてないわけで、全部部品の情報なのです。部品にすべてが入っているのです。だから積み木細工です。加算的で機械的であるという意味になります。その極致が molecular biology です。一つの機能は一つの分子が担っているということです。筋肉の場合ですと Actin と Myosin とを組み合わせ、収縮機能が成り立ったのですけれども、それにはスイッチの機能がないのです。いつでも、どういう条件でも ATP を入れれば収縮するのですが、人間の筋肉のなかには、ATP はあるけれども、収縮はしません。スイッチがカルシウムイオンであるということが、生理学としてわかっているけれども、Actin と Myosin の混合体にカルシウムイオンを入れても全然効かないのです。あるなしにかかわらず、必ず収縮するのです。そうなったときに、それは再構成過程で、階段を上がる過程で、カルシウムをスイッチとして受け取るタンパクを逃がしてしまったなど、もう1つあったんだと、第3のタンパクを逃がしてしまった、それがワンファンクション、ワンモレキュールであります。それをその通りに、

筋道を立てて考えて調節タンパクを発見されたのが、江橋節郎さんでありまして、それはたいへんな発見でありました。

それはまさに積み木細工なのです。もう1つのタンパクを重ねなさいと、積み木細工のように、でこぼこがちゃんと Actin、Myosin に合わさるように、ちゃんと設計されていますよ、何もほかの心配をしなくてもいいですよ、ただ混ぜればいいですよ、そういう意味です。例えば、いまや病気というのは部品の病気なのです。普通に自動車が故障した時に、自動車がなんとなく具合が悪いとは思わないでしょう。自動車のどれかの部品だと追求します。だから人間の工学は、生物の工学とそっくり、似ているのです。ただし、人間の工学では、家はべつに設計しておかないと建ちません。部品の設計だけでは建ちません。だからプラス α 、設計図がいるのですけれども。

最近では学習も部品の学習です。部品の経験による変化ですということは、続々と証明されているのです。分子の変化です。Kandel(カンデル)という人が、アメフラシの条件反射の学習の時に、その学習を担っているのは、ここの神経のここにある、カリウムイオンチャネルタンパク質が、化学的に少し変わったことであるという証明をしてしまっ、ノーベル賞をもらいました。だから学習でさえも、部品の学習であるのです。だから分子生物学は部品主義であるということです。

それを「生物は積み木細工である」と表されまして「脳もそのうちわかってしまいますよね。量子力学みたいな難しいことはありませんね。直感を超えることは何もありませんね」。それはなかなか、当時のわれわれの状態を非常に的確に表現されていました。私は感心しました。湯川さんはさすがにすごい。あんなのをただ読んだだけで、べつに勉強もほかにしていないのに、本質をぱっとわかってしまうのです。その代わり、おそらく湯川さんは、すでにその当時、もう生物物理学、生命の物理にあまり期待をされなくなっていたと思います。加算的だけだったら、何もおもしろいことはないですね。量子力学は面白いでしょう。わからないから。そんなことを言うてはいけないか。直感を超えているから。直感を超えていることは確かです。でも直感を超えることは、生物にはないですねと言われたとたんに、そんなに生物に情熱を持たれなくなったのだらうと思います。その後、あまり話をされませんでした。

ところが生物をやりたいという私にとっては、それは本当のことを言っておられるけれども、それは1972年ですから私の研究生活のちょうど真ん中です。ここで湯川さんに宿題をもらった気になりました。これだけではつまらない。なんとかして生物はどこで積み木細工を超えるか、いつ、どこで、どのようにして積み木細工を超えるか、その超えた時に、新しい物理的な見方は出てこないものだろうかと、それが1972年以来の私に科せられた生物物理に関する、あるいは生物学に関する、同時に生物学であり物理学であるという生物物理を目指す私に科せられた宿題だということを痛感いたしました。その後、そういうことに向かっ、と言いますか、研究をすることになりまして、いまのところ何と何に期待を抱いているかという話をしまして、そこまでで終わります。これで最後にします。安心してください。

[slide 6] いま抱えている2つの問題の1つは、molecular machine のファンクションの一番元は何かということです。これは先ほどの早川さんのお話と直接関係のあるお話で、1950年から1990年にかけてのこの数十年間に非常に大事なことがわかったのです。筋肉細胞の Behavior は、そのなかに含まれている molecular machine、一番簡単化した unit machine の behavior に直結しているということが実験で証明されました。これはたいへん大事な証明であります。この molecular machine というのは、nano のオーダーの machine で、ナノメートルの動きをして、ピコニュートンの力を出し、ミリ秒オーダーで動いて kT 程度のエネルギーを変換します。しかも、水のなかで室温であると。だから当然、ノイズが大きいわけです。ゆらぎが大きい。そういう nano-machine のメカニズム、フリーエネルギー変化のメカニズムを研究するというのは、非常に面白い対象に今なっております。

[slide 7] その方向の研究の一つの私の心の中の思いは、日本には細胞生物学の、さっき言いました非常に大事な最高の伝統があります。それは microscopy と micro-manipulation、顕微鏡と顕微操作であります。それを nano-machine の研究にだんだん移動するにつれて nano-meter、ナノメートルの空間的な動きを測らなければなりません。そしてナノメートルオーダーの分子を1つつまんで、あちらへやっ、というふうに、1つつ動かしたりつないだりして切ったりしなければいけない、そういう技術を持たなければならないのです。これは生物物理なのです。そこで物理的な方法がやっぱり大事なので、だから今の生物物理、この方面の生物物理は、日本の細胞生物学の伝統を受け継ぐものであるということです。

1980年に分子機械の動作の直接観測を目指して研究グループをスタートさせまして、当時、若かつ

1) Molecular Machines

Behaviors of Living Cells

↔ Behaviors of Molec. Machn

nano-machine

nm, pN, ms, kT
in water, at room temp.

2) Spontaneous Activity

Behaviors of Living Cells

↔ Behav. of Org. System
of Molec. Machn

active fluctuation

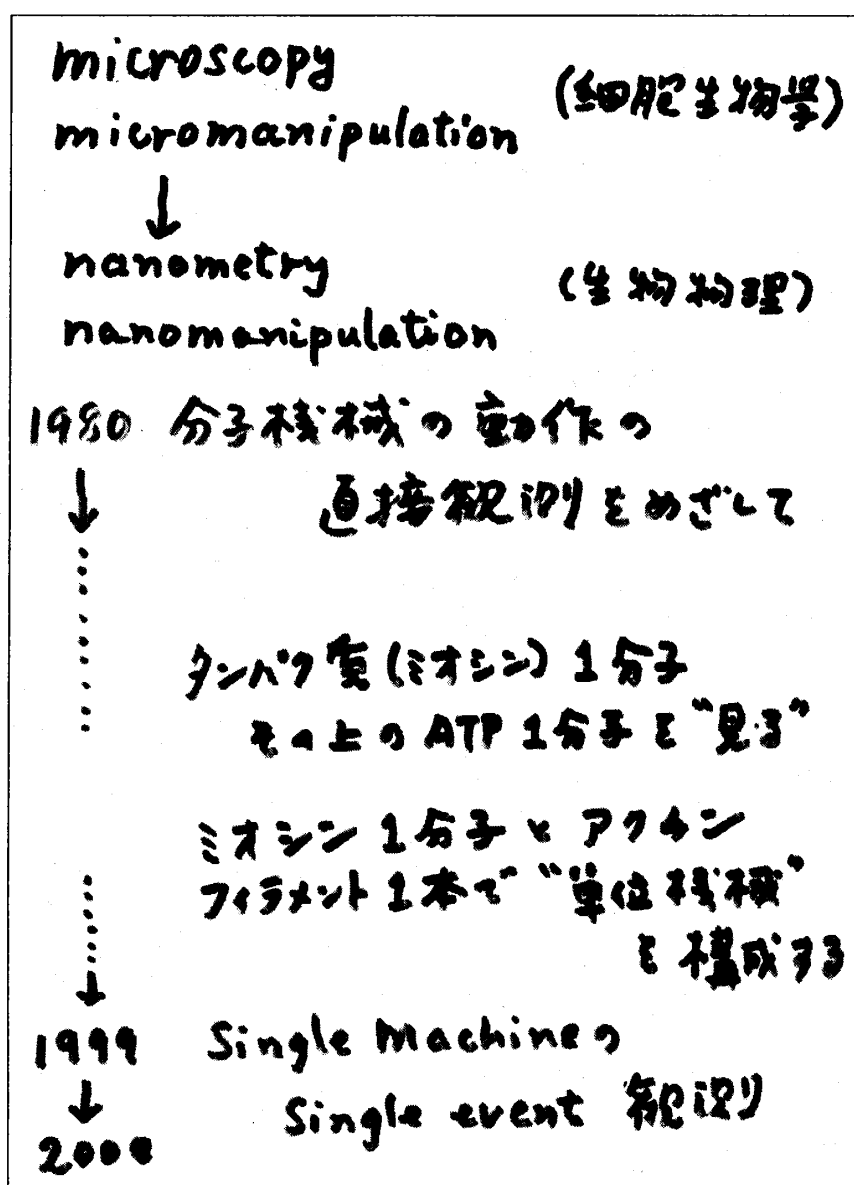
field, current, cycle.

- 13 の image E 求めるか?
- 13 E image するか?

[Slide 6]

た人たちが全部ここへ目標を集中いたしました。ずっとやってきまして、Myosin という分子 1 つが見えるようになりました。その上で ATP 1 分子が反応して分解する、それも見えるようになりました。Myosin 分子 1 つをつまんで、Actin フィラメントの上へ持ってきてひょいと乗せました。そして ATP を入れて、ATP 1 分子が分解するのを見ました。その時にどれだけ動くかというのを観測できるようにしました。

一番初めにこれを考え、目標に置いた時の私の心境は、実は、分子生物学が発展いたしました、遺伝子工学が発展いたしました、1970 年代に遺伝子工学の方法、分子生物学の方法が生物学全体の基礎的な技術になりまして、どこでもできる、たいしてお金をかけない、プログラムが決まっていますからそのとおりに実験をすればそのとおりに遺伝子をつぎはぎできる、足したり大量生産したりできるということでした。だから生物物理は、遺伝子工学を使わなければならないといって小谷先生まで言い出したので、私がいくらか腹を立てまして、あれはあくまで化学的方法ではないか、物理はいたい何を発明したのだというのが、私の motive force でありました。そうか、それならこれは物理でできそうである、nano-meter, nano-manipulation は物理でできそうであって、できた時にはおそらくお金はあまりいらぬし、誰でもできるようになるだろう。本当はたいへんなのです。腕がたいへんなのです。だからこれは、化学に対する分子生物学の遺伝子工学に対する対抗意識で生まれたものでありまして、それはたいへん私の気分としては成功いたしました、私が最初に期待していた期待を



[Slide 7]

はるかに超え、期待が正しい方向へ、イマジネーションが正しい方向へいつている時は、現実はいま
ジネーションをはるかに超えるというのを、実感いたしました。と言って、自己満足をしております。
でもこれは、たしかに世界中で、水のなかでシングルマシンのシングルイベントが測れるようになっ
たというのは、日本が最初であります。どこかの会議で、どこかの研究所の評議会でも、外国人もいつ
しよに評議委員で出ていて、隣のドイツの半導体の偉い学者さんが、ドイツではタンパク質分子が1
個見えるようになりましてねとえらく自慢するので、隣にいた私はえらく腹を立てました。

もう1つ [slide 6]、私自身が非常に興味を持っているのは、自主性の問題です。自由、自発性の問
題です。生物の自発性です。外からこういう情報がきたからレスポンスしてこうするというのではな
くて、生物は一見は外から何の情報も来ないのに、本当は来ているかもしれないのですが、何の情報
も来ないのに人は自由意志で何かをやったと言いますよね。本当に自由意志かどうかはわからないの
です。だけどそういうふうに言いますよね。その一番の元は何かというのが、私のもう1つの生物に
関する最大の興味になります。自発性の根拠は何かということです。

- 個体数が少ないと
自発性が小さい
 - 自発性には
大きな個体差がある
 - 自発性は
個体差を大きくする。
- 反射—自主—自発
- 遺伝の枠
強 弱

[Slide 8]

脳学者に聞きますと、脳のいろいろなメカニズムは、認識とか学習とかのメカニズムは、いまの機械論的回路論でほとんど解けてしまうのです。人工の回路によってそのうち再現できます。その時一番難しいのは、自由意志の問題ですね、と盛んに言うのです。脳の一番偉い先生、生理学の一番偉い先生がこのあいだ、バクテリアにも自発性があるそうですねとえらく感心しているのです。そんなことはもっと早くから昔からわかっているのです。何を言っているのかと思っていました。

私の魂胆は、自発性の研究をしたいということです。それは脳を相手にするのではなくて、下等動物、ずっと下等になって、どこから発生しているかというのを明らかにしたいというのが、私のもう1つの望みでありまして、興味を持って、相当な力を注いでいます。

最後に教育的な1枚と。本当に終わらないね。

[slide 8] これはゾウリムシの実験に基づくデータです。個体数が少ないと自発性が少ない。自発性には大きな個体差がある。これは実験データです。自発性は個体差を大きくする。反射というのは、生理学の言葉ですが、反射から自主—自発にいくにしたがって遺伝の枠が強いのがだんだん弱くなって、反射

は遺伝でほとんど決まっています。自発は、遺伝の枠があまりはまっていないのです。まったく同じDNAを持っても、自発には大きな差があります。これは下等生物の実験データです。いろいろと個体数が少ないと、自発性が小さい。ああそうか、一人っ子はだめだね。面白いでしょう。

討論

佐々：どうもありがとうございました。私も質問したい箇所が何カ所かありましたけれども、質問、コメント等を。

大沢：いつもながら時間があっという間で。

佐々：学問的な質問はしにくいかな。

大沢：何でもいいですけども、すみません。

佐々：よろしいでしょうか。1980年代からの一分子計測ののすさまじい発展に関して、私たちの世代はリアルタイムでデータを見て例えばあるモーターは、ものすごくメカニクにふるまうし、別のモーターは、やわらかめでふらふらしているわけですね。そういうバラエティーはこれからの測定でも明らかになると思うのですが、1972年に、「湯川さんに言われて、どうしようと思ったの原点まで戻ると、現在の分子計測の結果として見えているデータは、満足すべきものなのでしょうか。

大沢：私の感じは、1970年代から生物の分子機械はやわらかいという、漠然たる主張をしていたわけです。ところが日本の機械工学の先生にたちまち、機械というものは堅いものである、やわらかいものは機械とは言わないと一言のもとに言われたのです。分子機械という言葉が、私のおそらく発明かもしれませんが、言葉が悪かったのですが、いまでもやわらかいと思っていて、実際にやわらかいというのは、一定の入力に対して、一定の出力がいつも出るのではな

くて、そこは一番簡単な筋肉の例で言いますと、世界の大部分は、ATP 一分子が分解すると、化学変化に応じて決まった物理構造変化が起こって、がちゃんとくる。一歩歩くと。そういうものが、いまだに世界で劣勢なのです。阪大の柳田さんのところの実験は、そうはならなかったわけです。それは、あれで見えてしまったわけです。見えてしまったから、もうやわらかい、細かく何歩も、ゆらぎながら動いているというのは、見えてしまったのです。その機械の場合は、佐々さんの言われた柔らかい方の example です。ところが、見えてしまったにもかかわらず、世界中の 8 割は、見ていないことにしているのです。ああいうのは、見事なものです。1 歩歩いているという電子顕微鏡写真を見せるのです。ちょっと話がややこしくなりますけれども、まさに人間が歩くように、こういうふうに分子がぽっと歩いている。次の一歩はこう回して、ぽっと歩いているという写真を見せるのです。またいらないことを言いますが、電子顕微鏡写真というのは、1 サンプル 1 枚撮ったら終わりです。動いているところが見えないから。そして 1 サンプルで 1 枚ずつ、別の筋肉でまた 1 枚撮って、こういうかっこうで撮れたもの、こういうかっこうで撮れたものをつなぎまして、いま流行りのなんとかいうテクニックでくるくると回って歩いているように見せるのです。私は、西洋の機械論の頑固さに驚嘆します。ちゃんとゆらぎながらやっているのです。それは見えているのです。見えているけど、いけないのです。どうもすみません。答えになっていましたか。

佐々：半分ぐらいです。

佐々木：最後に言われた自由意志の問題というのは、いろいろな部分で、いろいろなところで問題になるのだと思うのですが、少なくとも、物理というか、自然科学として実験するとか、あるいはそれを確認する方法論として何かアイディアがおりなんでしょうか。私はそのへんが常に、いったいどうやって確認するのかというのが、まったく想像がつかないのです。

大沢：自発性の例として、ずっと、1970 年代からやっている例は、ゾウリムシの自発性といいまして、その時の自発性は、具体的に泳ぎながら勝手にあっちに行ったりこっちに行ったりするのです。そのあっちに行ったりと言うけど、曲がるのは、自発的に曲がっていると解釈するわけです。何も刺激していないし、何も環境が変わっていないのに、こうやっているからです。その原因は、細胞のなかに発生した spontaneous な電気信号であるということはわかっています。それはうちの学生がたくさん実験してわかっているのです。どうしてそれが発生するのかというのは、fluctuation の階層がありまして、一番最初は熱、単純な thermal fluctuation なのです。その次は自由エネルギーを使って、わざと fluctuation を増幅している。その増幅された fluctuation は、フィールド、場としての fluctuation になっていますので、ある空間相関があって fluctuation しています。それを受けて、いくつかの電場依存性のタンパク質分子が、見かけ上 cooperative に反応して、大きなパルスを出すのです。その大きなパルスが出ると、それで曲がるという、マクロの behavior になるのです。というのは、ストーリーとしてはいま、ほとんどわかっています。バクテリアの自発性は、あまり面白くなくて、回転モーターで、しっぽの根元にある回転モーターで泳いで、ときどき勝手にモーターの逆回転スイッチを入れるのです。まったく勝手に。そしてすぐまた元へ戻すのです。そうすると泳ぎの方向が変わるのです。それは特定の分子がモーターのスイッチに確率的にひつつく、その数のゆらぎが元になっているということになっていて、それは私にとってはあまりに面白みが少なかったです。ゾウリムシぐらいになると、面白いなと思うのですけれども。それは電気シグナルです。

佐々木：お聞きしているのは、そういう意味では自由意志ではないということですか。

大沢：そうです。その段階では、自由意志とは言いません。ところがもうひと言言ってもいいでしょうか [slide 9]。spontaneous という言葉を使うのです。私が一番最近に書いた論文の、自発信号発生のプロセス機構という論文の題に、自発の英語は「spontaneous」なのです。それは外国人の方もみんな、そう思って使っていると思うのですが、英和辞典を見ると、見事に「spontaneous」の訳には 2 つ書いてあるのです。外的な強制ではなく、自発的な任意のということ、衝動など自然に起こる、思わず知らず生じるということ、上がいわば自由意志です。自由意志だけの意味にしようと思ったら、voluntary を使うのです。でも spontaneous もよく使われていて、だから上は自由意志で、下はいまのゾウリムシ。思っているかどうか知りません。だから、私の主張は、つながっているという主張です。意志も何もないゾウリムシの自発性も、高等動物の自発性も、根っこはつながっているのではないかと、昔むかしは人といえども、そんなことはあまり問題にしていなかったのに、えらく個人個人がなんやかんや言うようになって

て、この2つをわざわざ書かなければならなくなった。もう1つ。お腹のなかの胎児が、手足を動かすのです。生まれてからも動かすのです。1日何回動かすかというのを調べたデータがあるのです。生まれてしばらくは休んでいるのです。あんまり動かしません。そしてまた、動かすようになるのです。お腹のなかで動かしている時、spontaneous なのです。出てから動かすのは voluntary になるのです。面白いでしょう。面白くないですか。幼児心理学の人が、そう言っていました。だけど、こういうことを言うと、脳学者は仰天するのです。そんなことはあるものかと。ゾウリムシとヒトの脳がつながっているなんてことはあるものかという。それはそれではないことです。調子に乗ってすみません。

Spontaneous

- (外的な強制でなく)
自発的な、任意の
- (衝動など)
自然におこる、思わず知らず生じる

Voluntary

- 自由意志から出た
自発的な
- 随意の

自発性：自ら

[Slide 9]

坂東：先ほどのお話とつながるのですけれども、少数多体系というのか、何て言うのか知りませんが、フレクチュエーションがかなり大きくなるシステムというのが面白いシステムだと。それは非平衡で解けるということなのでしょう。

大沢：先ほどの例は、化学エネルギー、ケミカルフリーエネルギーを、メカニカルワークに変えているのですけれども、その変えているのが、一化学反応で測れるようになったということです。ATP の加水分解反応、 $\text{ATP} + \text{H}_2\text{O}$ が $\text{ADP} + \text{P}$ という1分子の反応の時に、どれだけメカニカルワークをするか、片端を固定した針の先にミオシン分子をつけてアクチンフィラメントの上にのせ、それが動いたとき針がどれだけ曲がりますかということを、ちゃんと測るようにするわけです。効率20%ということが、ちゃんと測れるのです。そこで、みんなが気にしているのは、反応は1つなのです。ほかは Myosin も1分子です。水などはたくさんあります。だから原子もたくさんあって、ATP や ADP は水のなかにはいるのです。だから水のなかの濃度に依存するフリーエネルギーを持っているわけです。ところが、そういう平均的なフリーエネルギーを持っているというふうに、ケミカルポテンシャルが定義されている、それが1つだけきて1つが分解する時に、一化学反応で $\Delta\mu_P$ 、それが仕事になって、それを統計力学、熱力学でどこまで、どういうふうに扱ったらいいかと。一番みんな、あるいは私自身が困っているのはそこに濃度があるのです。ATP の濃度をどんどんゼロに近づけていって、ADP と P と、分解反応

の産物の濃度をどんどん上げていきますと、 $\Delta\mu_P$ はゼロにテンドするのです。その時に、この歩いていたやつが連続的に出発点の周りの熱振動に移行すると、なんとなく気がするでしょう。それが一番自然なのです。それが1つ、私が固い機械では困るという話の一つで、動き方が決まっていると、化学反応と tight に couple していますと、外の濃度が関係ありません。そうすると、 $\Delta\mu_P$ をどんどん減らしているのに、仕事が同じになってしまうわけです。それはどこかで困るのではないのでしょうか。

佐々：私は話したくてしょうがないのですがけれども、私が話し出すと、私は大沢さん以上におしゃべりなので、20分ぐらい話してしまいそうなので。

大沢：今度、12月に・・・

佐々：12月にもっとゆったり時間を取って、大沢先生もまた話されるし私も時間をいただきます。たぶん坂東さんの質問は、物理として何が問題で、本当に新しいパラダイムを出し得るのかどうかということだと思うのです。私なりの答えを持っていますが、まあ、いいや。質問はほかにあると思いますが、私自身が自制するので、みなさん、お腹も空いているし、午後の予定も詰まっておりますので、午前をおしまいにしたいと思います。どうもありがとうございました。

追記 [大沢]:

休憩に入ったとき、南部さんが私のそばに来て“今の生物の話はほとんどがハードの話ですね。生物のソフトはどうなっているんですか？”といわれました。まさに急所をついた質問です。コンピューターの世界でハードとソフトというときのソフトは、辞書を引くと“プログラムのこと”と書いてあります。生物学の人にプログラムは？ときくと直ちに“それは遺伝子・DNA に書いてあるよ”という答えが返ってきそうです。しかし、南部さんの云われるソフトはそれとはちょっとちがった意味だと思います。かつて、Schrödinger は、“生物は機械である。ヒトも機械である。私自身も機械である”と書いた後で、“と同時に、私は私という機械を制御する主人でもある”とひとこと付け加えました。このひとことと関連があるような気がしました。そして、南部さんの問いかけは、私の話に出てきた“生物の自主・自発のみなもとは？”という問題に重なるものと解釈したいと思いました。私としては、この問題に答えるのに、分子機械から細胞、そして生物個体に至るまでの各階層での状態論を創りたいのです。



ph09

川崎, 大沢