

座談会：生物の社会適応機能の解明とその工学的応用

参加者： 浅間 一 (東京大学)・神崎 亮平 (東京大学)
 青沼 仁志 (北海道大学)・三浦 徹 (北海道大学)
 倉林 大輔 (東京工業大学)
 司会： 太田 順 (東京大学)

JL0012/07/4612-0951 © 2007 SICE

1. 生物学の工学的応用と移動知

太田：本日はお忙しい中お集まりいただき大変ありがとうございます。まずこの座談会の趣旨についてお話ししたいと思います。今回の特集号の題目は、「生物の社会適応機能の解明とその工学的応用」ということで、10数人の先生方にご執筆いただいているのですが、そこでは、昆虫から魚、鳥、ヒトに至るまで多様な生物の社会適応に関することが書かれています。これらの記事は文部科学省科研費特定領域研究「移動知」の社会適応班に属する先生方が執筆しております。それらの間には、ある種の一貫したコンセプトとか思想とかが流れていると思うのですが、それをこの座談会で議論することで、本特集号の読者の理解を助けるものになれば良い、と考えております。そのような観点から、この座談会では、その班の中心メンバーとして、生物学分野から、青沼先生、神崎先生、三浦先生、工学分野から、浅間先生、倉林先生、太田と3名ずつが出席して、多様な立場から議論したいと考えております^(注)。

最初の質問ですが、この題名の最後に「工学的応用」とついておりますように、移動知的手法による社会適応の解明が工学的になぜ重要かというのが1つの論点になると思います。また工学適用を考えた場合には、「個々の生物における知見をどの程度まで共通原理として展開できるか」という議論があると思いますが、そういう観点から移動知社会適応研究のコントリビューションはどこにあるのかということ、各人手短に自己紹介を兼ねて述べてください。

浅間：移動知の特定領域研究の領域代表を務めております。今回、生物の社会適応機能の解明とその工学的応用ということなのですが、その適応機能を解明し、その原理を工学的に応用するというのは、たぶん1つの究極的な目標であるわけですね。ただ、実際にそれがどこまでプロジェクトで達成できるかどうかというのは、まだはっきりしていない。その原理を解明した上で工学的応用につながらなくても、その一部の生物学的な原理というものがかかってく

れば、それは工学的な応用ということにも十分その意味があると思っています。それはなぜかという、たとえば工学というのは物づくりの学問ですけれども、物をつくるためには、そのメカニズムを設計する必要があるわけですね。その設計原理を明らかにするために、われわれは非常に限られた知識と経験しか持っていない。そうしたときに、生物の機能を明らかにすることによって、生物がどのようにその適応機能を実現しているかがわかれば、適応的に行動できる人工物の設計原理として非常に有用であると考えています。

青沼：私は、バックグラウンドとしては、神経生物学をやっています。今回工学と生物の融合ということで、工学に応用できる生物の神経系から、神経系以外にもいろいろな設計原理を工学的に応用してというお話なのですが、実は生物というのは、わかっていない部分がかかなりあると。むしろ、工学の方法論を生物学に取り入れることで、より生物学を理解し、それからやっとなんか工学に応用できるのではないかと考えています。よく生物学は基礎科学だと言うので

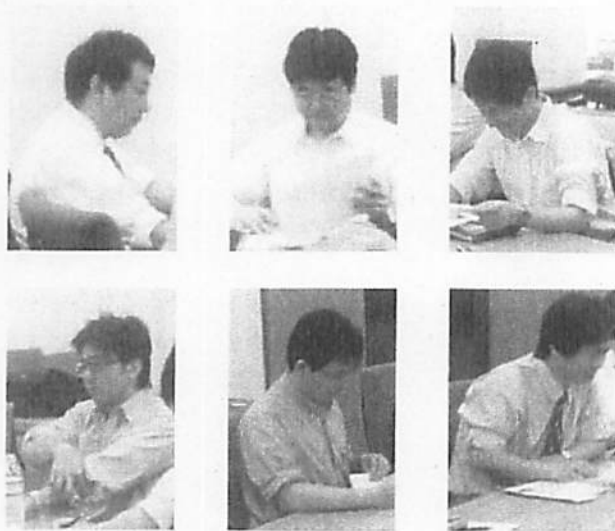


写真1 座談会参加メンバー

上段左から浅間、神崎、青沼、下段左から三浦、倉林、太田。

^(注) 開催日：2007年5月24日

場 所：東京大学本郷キャンパス工学部14号館会議室

すが、実はいろいろな研究分野が発達して、やっとなつぎに発達する研究分野として生物学が位置づけられるという意味では、むしろ生物学というのは応用科学に分類できるのではないのでしょうか。そう考えると、実は生物学と工学というのは、遠いようで実はすごく近い研究分野ではないのかなと最近考えています。個々の生物が他者との相互関係によってどう適応的な行動をとるのか、神経レベル、あるいは行動レベルの研究からいろいろな設計原理がわかっていくことで、それを工学的な自律分散システムとか群ロボットのようなものに应用できたらなと考えています。

倉林：ネットワーク理論ですとか振動子の同期理論を使って、生物の適応的な機能を、生物学的な観察とあわせて学んでいきたいと研究を進めています。移動知における適応能に対する1つの問題意識として、社会性生物の超個体のように、機能を維持し続けるシステムの要素としては何があるのかというようなことが、工学的な側面から、移動知に期待されるものではないかと考えています。従来、人工機械システムを長持ちさせようと思うと、たとえば部品単体の摩耗強度を上げようとか、そのようなことをしてきたわけですが。一方で、たとえばインターネットのサーバー等のホットスワップ機能などを考えますと、もはや人工システムにおいても、機能を維持しながらいかに自身を構成する部品を入れかえていくかということに焦点が移っていくのではないかと思います。言ってみれば新陳代謝することで自分の機能を保ち続けられる機械システムというのが、将来の工学においては重要になると思っています。たとえば生物が持っている、自身の身体状況を柔軟に認識するような機能とか、他者と集まって超個体として非常に高度な機能を発揮するものを機械システムにも取り入れていきたいと考えております。さらには、生物がそのような機能を獲得するに至った過程を工学的な方法論により理解できると、生物の適応能の源に関する知見を得ることができると期待しています。

神崎：生物というのは、まさに30億年の系統進化をとおりして、環境変化に対して、非常にうまくいろいろな問題を解決する手法を獲得してきたわけで、実環境下で機能する非常に良い問題解決法が隠されていると考えられるわけです。生物科学というのはそういった機能が一体どういうふうな構造と機構により生成されるのかということ調べるわけですね。そのノウハウがわかれば、それを工学的に利用することも可能で、非常に大きな意味があると思います。ところが、青沼先生がおっしゃったとおりに、このしくみはまだよくわからないところが非常に多い。生物は移動することで常に時々刻々と新たな「環境」情報を得る。その情報は「脳」で処理され、「身体」が行動として発現する。私はこのような「環境」・「脳」・「身体」の循環を介して脳がいかにダイナミックに変容し、環境に適応できる「適応能（移動知）」を獲得するか、その機構を昆虫の脳を通して知

りたいと考えています。私の専門分野は「神経行動学」といって、神経、つまり脳の構成素子であるニューロンのレベルから、動物の行動発現の仕組みを分析し、それを統合して理解していこうという分野です。適応能のような複雑な問題をスタンダードな生物学的な方法でやっといこうとすると無理がある。分析が中心となり、どうしてもシステムという考え方が導入されにくいからです。その点、神経行動学というのは、生物をシステムとしてとらえるというのが基本的な考え方で、移動知の獲得のしくみを理解する上では非常に相性のいい分野なのです。私は、この神経行動学の立場から生物的分析論と工学的統合論を合わせることで、「適応能」を理解できるものと期待しています。そういう意味では、生物学と工学の学際融合を図るこの移動知研究グループは、非常に大きな意味を持つてくると、思っています。

三浦：私自身は、もともとまったく工学とは無縁の生物屋でして、社会性昆虫というのを研究しています。この社会適応研究がどう応用可能かということをいろいろ考えてみると、青沼先生や神崎先生がおっしゃったように、生物学の課題にはわからないことがまだまだ多いということが問題のような気がします。それと、工学への応用のために生物から抽出しようとしているものというのは、われわれが知りたいことと実は同じなのではないかなと最近感じています。要するに僕ら生物学者と、この移動知の工学の研究をされている先生方というのは、実は目的は同じ方向に向かっているのではないかというふうに、非常に強く思うわけです。たとえば、私自身は、社会性昆虫はどうやって協調して作業を分業して、超個体と言われているコロニーを統率するかが大きな課題であるのですが、その問題はまったくそのまま、自律分散システムだとか、群ロボットシステムだとかに应用することが可能であろうと思うわけです。人工物に対してそれらの知見を適用する上では、エッセンスを抽出しなくてはいけないというところがあるでしょうが、その辺は生物学でも同じです。つまり生物においても、分子から生態系までさまざまなレベルをすべて理解したいのですが、限界があるので、やはり何かエッセンスを抽出しなくてはいけない。そして、そこにはどのようなシステムあるいは原理が働いているのかということを理解したいというのがわれわれ生物学者の究極の目的であるわけです。実際にどう応用していくのかというようなところはまだまだこれからの課題だと思うのですが、やはり重要なのは、工学者と生物学者とのインタラクションの中でさまざまなアイデアが生まれて、今述べたようなことが少しでも達成できればよいなと考えています。

太田：先生方のお話は、生物学と工学の目的はそれほど変わらないが、ただ、工学的応用をダイレクトに、非常に明示的に示すというスタンスはとらないで、まずは、解析的なアプローチに軸足を置いて生物学をやりましょう、と

ということだと理解しました。ただ、そのときに、構成論的アプローチという言い方をしますけれど、そういう工学的手法を適用することで、生物をシステムとして考えましようというのが、ポイントかと思いました。この他に何かありますか。

浅間：重要なポイントは、生工連携だと思います。今工学的応用と言ってしまうと、あたかも生物学での知見を工学に応用するというような1つの方向性しか言っていないように思うのですが、そうではないのです。すなわち、工学の手法を生物学に応用するという事です。生物学の知見を工学に応用するだけでなく、工学の手法を生物学に応用するという反対側の矢印があって、これによって実は生物学と工学の間にループができるのですよね。工学の手法によって生物学がより進む、より生物のいろいろなことがわかってくる。生物学のことがわかってくれば、それがまた工学に返ってきて、また新しいものづくりの手法、設計原理というのが得られる。循環というのが非常にやはり重要だと思っているわけです。

神崎：私も先生のおっしゃるとおりだと思います。初めにスペックを決めて、これを作りましようなんていうことでやってしまうと、従来の研究プロジェクトとほとんど変わらなくなるわけです。移動知の良いところは、浅間先生もおっしゃったように、生物学と工学それぞれフィードバックしながらスパイラルのような形で展開していく点にあると思います。工学と生物学の融合により、ある1つの極致としての真理（たとえば生命とは何か、適応とは何かとか）を目指していけば良いのだと思います。工学者と生物学者が相互に議論をしながら、最終目標を目指していくことが重要だと思います。そのようにスパイラルに研究が進むなかで出てきた派生物としてのアウトプットを工学的に非常に新しい知見として利用できることを期待しています。

青沼：生物学研究においては、最近は何とどの生物学者が、割と細かいところばかりを見る人が多いと思います。たとえば、この神経細胞の中のこの遺伝子がどう発現していくかだとか、工学と生物学の一番大きな違いというのは、ミッションの設定の仕方というのでしょうか、目的の設定の仕方、おそらく生物学者が設定する目的のタイムスパンというのは随分長いと思うのですよね。そこが、もしかしたら生物学のいいところでもあるのですが、悪いところでもあって、実は個々の要素しか見ていない。そういうところに工学的な方法論を取り入れて、もうちょっとシステムの的に生物を理解するようにこれから生物学のほうが進んでいけば、実は今まで以上の生物学の成果というものが期待できるわけです。そして、それが、生工連携、生工融合につながっていくのではないのかなと、実は期待しています。

三浦：まったく今の意見に賛成なのですが、最近の生物学はどんどんミクロな方向へ突き進んでいる傾向がありま

す。それはそれで大きな成果を上げているのですが、分子生物学者たちの悩みの1つに、それをやったからといって生物全体の何がわかったのだろうかということもあるようです。もしそうでなければ、いくつかの分子を集めるだけで、それが生き物になるはずなのですが、実際はまったくそうではないわけです。そういう意味で、今までの生物学の限界を超える何かが必要であるというふうに思いますし、移動知研究がなんらかのブレークスルーを与えてくれることを期待しています。

神崎：もう1つ僕がぜひ付け加えたいのは、生物をやっている人というのは、応用をあまり考えてこなかった、考える必要がないと思ってきたということです。僕はそういうのでは不十分だと思います。そういう考え方を改めて、得られた知見の応用可能性も見据えて、そのためには、研究をどう進めれば良いのかということはある程度考えながら基礎研究を進めるべきだと思うわけです。応用は基礎研究の新たな切り口だと思います。切り口を増やすことで、停滞することなく進められると思うからです。移動知研究は生物学者の意識を変える、という意味からも重要だと思います。

浅間：逆に工学の方からは、僕はまったくカウンターパートとして、むしろサイエンスという、今まで理解できていないことを明らかにすることに対して、工学が貢献するという価値観が今生まれているのではないかと、それは直接的に社会の役に立たなくても、物づくりに反映できなくても、サイエンスをプロモートすることによって、工学というのは非常に重要な貢献を果たしている、と私は考えています。移動知プロジェクトに加わっている工学研究者の意識も、今そのような方向に変わりつつあると思います。

2. 生工連携の楽しさ・難しさ

太田：今までの生工連携というのが、生物学者がある機能を持つ装置を作ってくださいと言って、工学でそういう装置を作る、という完全な分業システムが主であったと理解しております。それに対して、移動知プロジェクトでは、同じ目標に対して、生物学者と工学者が異なる視点からいろいろ議論するということが特徴的な所だと思います。今、生工融合の話になったので、話題をそちらに向けましょう。生工融合というのは移動知の誤い文句であり、われわれメンバーはプロジェクト開始当初から精力的にやったのですが、初めの頃はいろいろ難しいことがありましたよね。当初こういうことを期待していたのにもかかわらず実際はうまくいかないというのもあったし、逆に全然期待していなかったけれど予想以上にうまくいったということもあったと思うのですが、それについていかがでしょうか？

倉林：僕も工学系の人間なので、生物系の先生方と一緒にさせていただいて、一番感じるのは、まだ見ぬ真理に対して、合っているか合っていないかとかいう観点からアブ

ローチしていくというやり方が、意外にも自分の中で今までなかったことを理解したことだと思います。難しさというか、それは多分工学系の人間にとっての難しさかもしれないですね。たとえばこの『計測と制御』を読んでいる人たちというのは、いわゆる制御系の人たちが多いと思うのですが、ほとんどの人たちというのは、多分目標の動作、目標軌道みたいなものがあって、それに対していかに誤差を小さくするような制御入力を生成するかというのがおもな関心であると思います。ところが移動知で扱っている問題はある意味もう少し難しい問題だと感じています。青沼先生がおっしゃったように、僕らは、最初は生物を手本にただ解析・理解すればいいのかなと思っていただけなのですが、論文に記される帰結には膨大な実験・観察データがあって、それを安易に拡大解釈すると痛い目に合ってしまう。生物学者と工学者が共に未知の真理を追求していこうとしているわけですが、一体何に向かって動いていくのが一番いいのかということから考えなければならない、というのが特徴的だと思います。このような考え方は、たとえば制御のような分野に対して、パラダイムシフトを与える可能性もあると思います。

青沼：私が難しいなど考えたのは、やっぱり一番は言葉だと思うのですよね。生物学の人たちが使う言葉と、工学の人たちが使う言葉が、同じ言葉を使っているのだけれども、意味が違うというのが非常にたくさんあったと思います。それが、この移動知を通して一緒に研究していく中で、だんだん1つの概念にまとまりつつある。やっぱり異分野が融合するというのは、まずそこからスタートしないと、ということをおそらく感じますね。最近、工学の先生方がすごく生物を勉強してくれているというのが、とてもうれしく思うし、最初の期待以上だという気はします。

三浦：先ほど神崎先生がおっしゃった、生物をやっている人は応用を考えていないという点、まあ、それはそうだと思いますが、応用という点、じゃあ何かすぐに人の役に立つ機械をつくることかということ、そうでもない気がするわけですね。僕がこの移動知に入って最初に思ったのは、やっぱり工学的なマインドというか、構成論的アプローチということ、そもそもあまり生物学者は持っていなかった、ということです。生物を分析して、ばらして、どういう要素が何をしているかということは考えるのですが、それを構成したら、元の通りにつくれるかというようなことをあまり考えていない。そこが大きな開きだと思いましたし、そういうマインドを取り込むことで新たな知見が得られるのではないかなという気もしました。しかし構成論的アプローチを実際に行う際の問題点としては、あまりにもわかっていないことが多すぎるということです。その意味で、構成を行って、生物個体なり社会システムなりをつくらうとしたときに、どこまで生物学として分析をしていかなければいけないのかを見極めることが、今後の課題なのかなとい

う気がします。

浅間：そもそもやはり生物学と工学というのはまったく違う分野であるし、そこはやはりシンセシスとアナリシスの違いということもあって、その2つの分野で連携をとるといっては、やはり必ずしも簡単なことではない。もちろん、先ほど青沼先生がおっしゃったように、ターミノロジーの違いというのも当然あるし、やはり方法論の違いもある。価値観もやはり随分違うなということを感じました。たとえば猿の実験をやられている方の話なんかを聞くと、われわれはもっとこういうふうの実験をやれば良いではないか、というようなことを思うのですが、実際のところ、猿がこちらの思うように動いてくれるようになるまでに3年とか5年とかかかるという話を聞き、唖然とするわけです。つまり、それだけの苦勞というのがその裏にはあるし、そういうプロセスというのは、それまでは工学の人間にはまったく知らなかったわけですね。実際やれる実験というのがものすごく限られている、あるいはものすごく時間がかかる、そういうことをやっぱり理解した上で、われわれは、どういうふうに分かちあいていくかということに対して一緒に考えていくというプロセスがやっぱり必要なだろうと。だから、まったく違う分野が連携することによって、われわれがいろいろなことを、知識だけじゃなくて考え方や価値観とかを共有できるようになったわけで、そこにはやはり困難がものすごく伴うのですが、そこがやっぱり非常に価値があると思うわけですね。

太田：僕が一番感じたことは、ある意味でショッキングだったのですが、よく工学者の人は、「結局それは本質的には何なのですか」とか、「機能は何ですか」と尋ねるわけです。つまり、ある現象を見たときに、本質からずれた余分な枝葉を取ったら何が残りますか、といった類のことをある意味安易に尋ねてしまうわけです。ところが、生物学者にとってはすべてが本質なのでそのような言い方には抵抗を感じる、という話を聞いたことがあります。生物学者の先生方は、工学者の発言からそのようなニュアンスを感じたことはないですか？

神崎：それはありますね。これは三浦さんに聞かないといけないのだけど、進化の過程の中で、まさに何億年も前、前口動物と後口動物に分かれる前から神経系が存在していたわけです。それがヒトの脳のように非常に大きな脳として進化していく方向と、昆虫のように非常に小さくコンパクトな形で進化していく方向の2つに分かれたわけです。そうした中で、生物同士どこまでが共通でどこが異なるのかということ調べる比較生物学という研究分野があります。生物学者にとって、すべての生物を対象として一挙に研究するのが困難であるため、研究対象にしやすい生物があれば、それを使って中身を詳しく調べましようという観点から昆虫を対象とする研究者が居るわけです。が、昆虫をいくら調べてもヒトと違うじゃないのと言う意見もあ

るかもしれませんが、でも、それはそんなことはなくて、もちろん昆虫とヒトの間にも共通性というはあるわけなので、そういう点を見ていきたいと考えているわけです。生物学におけるこのような観点というのはぜひ工学者の方にもわかってほしいですね。

三浦：たとえば虫であることがわかったからといって、脊椎動物でそうであるとは限らない。でも、そのように考えることによって、脊椎動物に特有の何かが見えてきたりするので、やはりそういう考え方は大事だと思います。また、ある2つの生物を見たときに、共通点と相違点があるわけですね。ここでいう相違点は、ただの違いという訳ではなく、生物の進化で多様性を生み出した共通原理というようなものが存在すると思います。そのような考え方に沿えば、異なる生き物を見たときにでも、同じような原理が働いているかもしれないと思えるわけだし、それが違っていたときに、それに変わる何かはその進化の過程で生まれてきたに違いない、というふうを考えるわけです。このような考え方はおそらく間違っていないだろうと思います。

3. これまでで得たもの

太田：ということで、われわれは社会適応の研究の移動知プロジェクトが始まってから3年目になっております。公募班の先生方は2年目です。その2年なり3年なり経った結果、現状では何が得られたのでしょうか。

浅間：領域代表という立場で言うと、もちろん、個々の研究での成果というのはいろいろあると思うのですが、私が実感しているのは、人のネットワークですね。やはりこれが一番大きいと思います。要するに工学と生物学の方の人のネットワークができることによって、多くの人の研究テーマが随分変わっている。やはりそれは、そういうヒューマンネットワークができたから初めて可能になったさまざまな研究テーマであったりするわけですね。今までまったく独立した2つの異なる研究分野だったのがくっつくことによって、参加している研究者の次元が著しく広がったというのが、一番大きい成果だと思っています。もう1つは、われわれメンバー全員が実感していることだと思のですが、生物学でもなければ工学でもない、新しい移動知という学問分野が今できつつあるということですね。人のネットワークと、新しい学問領域ができつつあるということが、やはり一番大きな研究成果じゃないかと僕は思っています。

太田：社会適応についてはどうなのでしょう？

浅間：移動知の中で最も大きいテーマですね。単独で存在している生物というのは居ないわけです。すべて複数の個体でシステム、社会というのを構成されているわけで、そういう意味ではすべての生物を包含しているテーマということになるわけです。1つの議論の取っ掛かりとして、群ロボットの言葉を使うと、個体間の競争と協調という2つ

のキーワードに代表されるものだと思います。生物が持つ戦略という視点から考えると、一体その2つは生物内でどのように実現されているのか。協調的な観点からは、個体間で知識はどういうふうに共有されているのか、役割分担というのがどういうふうに形成されていくのかとか、あるいは競争という形で相互作用がなされるのか、そういうものが見えてき始めているのではないかと思います。

青沼：社会適応の中のキーワードとして、今われわれの中で最も多く使われている言葉が、他者理解、カースト、順位形成という言葉だと思います。それは、生物学だけではなく、おそらくこれまでは心理学等の他の分野でも行われてきたわけです。移動知的な観点からしますと、こういった他者理解をするメカニズムそのものも大切なのですが、他者理解をすることによってどんな行動が新しく発現するのか、どう行動が切りかわってその状況に適応するかというところ、あるいは順位が形成されて、順位の上の個体がどう振る舞い始めるのか、下のものがどう振る舞い始めるのか、そこを理解することで、その社会適応の設計原理みたいなものが見えてくるのではないかと思います。

太田：ロボティクスにおいては、ある特定のタスクに対して、タスクスペシフィックに何かを設計しようというのは、完全ではないにせよある程度できていると思います。ところが、生物というのは、今も先生がおっしゃったように、いくつかのことを同時並行的に遂行するわけで、本来はロボットが持つべきマルチタスク性みたいなものが生物には根本に備わっているのです。ところが、その部分についてはロボットでは今のところちょっとどうしようもないという感じが私はしています。もう1つ、私が非常に印象的なのは、生物においては、つくり込みの部分と、活動的な部分というのはいくちまき分けられているという点なのです。生物の場合には、コオロギの場合なんか非常に顕著ですが、基本的なビヘービアは大体埋め込まれていて、ある種安定的な動きをするのだけど、ただ、お互いにそう変なことにならないように、ちゃんと経験が蓄積されて、全体としては調和的に落ち着いている。経験学習によって変動する部分と、そもそも生得的に持っている部分とのバランスの話というのはすごく興味深いので、そこら辺が何か解明できれば良いというのが、私の考えです。

倉林：現在の人工システムにおいて、社会的ななんらかを形づくっているものがあるかなというのを今必死に考えていたのですが、あまり思いつきません。あえて言えばロボットサッカーにおけるエネルギー維持と作業パフォーマンス、それにより発現する分業システムの議論がそれに近いかもしれませんが、まったく十分なものではないです。おそらく生物の社会性機構が解明されたときに初めて人工物の社会性についてなんらかの設計指針が得られるのかもしれないと思います。

浅間：あるロボットが、他のロボットと通信したいとき

には無線で情報を知らせる、ブロードキャストする、あるいは1対1でやるとか、いくつか考えられます。ところで、いちいちロボットが全部無線で情報を発信するというのはかなりの手間です。また、あるロボットと別のロボットが同時に情報発信したい場合に、そのコンフリクトはどのように解消するのかという問題が生じます。このとき、チャンネルが1個では無理なので何百チャンネルからなる無線システムを作らないと実現できないという話にどんどん途方に暮れてしまうわけです。このようにして、破綻するわけですね。ところが、では生物はどうやっているのというと、フェロモンを使っているわけです。このフェロモンというのは、非常にいいかげんなシステムで、すべての個体に対してきちんと情報を伝えるといった手段ではないのですよね。それでもそこには十分な効果があるわけです。それで相手や食べ物のあるかを認識することが可能です。また、情報のある場所に置いたり、直接触れた者だけが情報交換をするという、非常に限られた、あるいはいいかげんなシステムだけで、実は非常に効率的なシステムというのがやはりそこにはあるわけですね。生物はそういうものを持っている。実際われわれ群ロボットでそういうフェロモンライクな、そういうデバイスを環境に置いたり、その情報をピックアップすることによって情報共有するシステムを開発したのだけれども、あれがまさに生物の社会的な行動の極意というものを参考にしてつくったシステムですね。

三浦：やはり生物においては、1足す1は2以上になるわけですね。では、たとえば社会性の昆虫と単独性の昆虫を比較したときに、高度な社会性を持っているか否かにより区別できるかということ、そうでもないわけです。単独性の生物であっても繁殖行動はするし、敵から逃げるとかいろいろな社会的振る舞いをします。社会性昆虫ほど優れてはいませんが、そのような社会適応機能は備わっているわけです。極端な話、バクテリアでもそのような機能は持っているわけですね。バクテリアって、個々に培養していると、普通に浮遊しているようなものですが、ある表面一面に生やすと、最近流行っているバイオフィームという、個々に浮遊している状況とは異なる行動・形態を発現するわけです。集団になると挙動を変えるということは、生物の中で生得的に備わっている機構なのかもしれません。そして、協調するとき、どのような要素が必要なのかが重要なのだと思いますが、その1つがたとえばフェロモンのような物質だと思います。ただしそのような化学物質があればいいかということ、それだけでは駄目で、その情報を受容して応答するまでの一連の流れがなくてははいけません。その説明はまた、容易ではないでしょうけれど。

4. 将来に向けて

太田：そういった意味でも、フェロモンに代表される社会適応のためのエッセンスみたいなものが、何かの形で展開

できるようになると良いという気がします。それでは、最後に、今後どういった展開が期待できるかと、夢を語っていただいて、それでこの座談会を終えたいと思います。

浅間：領域代表として今後の展開を予測すると、一言で言えば、この分野はこれからさらにがんが盛り上がっていくと思いますね。それは、最初の公募のときに、非常に多くの方に募集していただいたのですが、それからさらに2年たって、この移動知の意義というものがより多くの方に理解していただき、さらに大きなネットワークが作られ、研究はさらに活発化していくと思います。あと、ぜひさらなる国際化を目指したいと思います。すでに、移動知の国際シンポジウムや、近い概念でやられている海外のプロジェクトとの連携を行っておりますが、そういうのを通じて海外とのネットワークというものも広げていきたいと思っています。それから、若い方々が、こういう分野に非常に興味を持っています。われわれもぜひ、チュートリアルであるとか、若手を育成するためのプログラムを推進していきたいと思っていますし、生物と工学の両方の知識を有した専門家育成をプロモートしていきたいと思っています。最後に、やっぱり応用ですね。先ほどの議論にありましたが、全体の共通原理がわかった上で、それを設計原理として工学に適用していくという話だけではないと思うわけです。いろいろな個別のところ、新しいメカニズムがわかると同時に、それをなんらかの形で工学的に適用していくということとをどんどん進めるべきだと思います。移動知の後半、あるいは移動知が終わってから、個々のいろいろな研究成果に対して、それらを応用するという、そういう動きは必ず出てくると思っています。特に重要なのは、医療応用ですね。そういう意味で、今後の展開は、そういう出てきた1つ1つの成果をどんどん応用につなげていくことだと思います。

神崎：これまで工学系の人たちの中で、生物系の人たちが学会等で発表するというチャンスを与えていただいたわけだけれども、今度は逆に、生物系の学会へ工学者を招いたシンポジウム、これをわれわれの努力でやっていかないとはいけませんよね。おそらく工学の中には、「移動知」、「生物」という観点がかなり浸透したと思いますね。また生物系の学会の中でも生工融合分野をやっている研究者が出てきているのだけれども、さらにもっとプロモートしていく必要があると思います。生物系で協力し合って、さまざまな学会で、生工融合のシンポジウムを開催したいと考えています。

冨田：今まで生物学をベースに社会適応についてモデルを組んで、大分いいものができてきていると思います。つぎの段階としては、そのモデルとか、シミュレーションの中から出てきた新しい仮説を生物学的に検証していくことが考えられます。ここまで移っていくと、これから先もいろいろなことがわかってきて、それが工学応用、医療応用、新しい研究分野への展開というものにつながっていくのではないかと思います。そういった意味で、まだまだ

始まったばかりの分野なのだけれども、これから得るものはまだまだたくさんあると思うので、とてもワクワクしながらやっています。

倉林：生物と同じように、観察しているとおもしろいというロボットが作れたらいいですね。人間が事前に設計した目標をトレースするのではなく、自ら目標を設定していく、そんな特徴を有する工学システムが登場してくれることを期待しています。移動知の研究が進むと、たとえばセンシングに関して、人工的に整備された環境の中で特定のことをやるためにノイズを除去する、という見方だけではなく、雑多な入力が入ってきたときに、うまくそれらから有用なものを選びとる現象としてとらえるという考え方が広まってくると思います。これが発展すれば、たとえば制御系設計なども、新たな体系が現れるのではないかと思いますね。

浅間：今後は、工学の人間がもうちょっと生物学に対して協力的にならないといけないのかなという気がするのですね。今はどちらかという、さきほど神崎先生がおっしゃったように、工学の連携がものすごくアグレッシブで、どんどん生物学の知識を得ようとして、生物学のほうへ乗り込んでいって、いろいろなことを聞いているわけですね。それに対して生物学の人は、非常に熱意を持っていろいろ教えてくれているわけなのですが、工学の人間が、工学の方法論というのをきちんと生物学の人にわかるように話しているかという、まだうまくできていないと思うのですね。倉林先生とか、非常にわかりにくくお話しされるわけですが（笑）、今後はぜひ、生物の人にもわかるように、わかりやすい言葉で説明するという努力が工学の側にも必要ではないかなと思いますね。

太田：先ほど医療用という話をされていましたが、やはり社会適応構造なり何なりの本質を神経レベルにまで落として議論できるという枠組みができつつあるというのが、私にとっては非常に興味深いです。今まではある種、対症的に問題解決していたのが、もう少し細かいレベルまで議論できるようになるため、社会適応機能障害のような話が、移動知的な新しいアプローチでより一層解明できるならうれしいというのが、私の期待です。もう一つは、この分野の研究者をもっと増やしたいですね。私は移動知の研究分野に入ってきて、やりたいことを沢山見つけました。これもおもしろそうだし、あれもおもしろそう、という感じ。この移動知という場の中でいくつかのオープンプロブレムを提示して、外から若い研究者が入ってくるような仕組みというのができるといいのではないかと思います。1つの研究分野をつくるという意味でも、研究者の人数を広げられればいいかと、私自身は思っているのですけれども。

三浦：生物学のほうからの移動知への期待あるいは夢というのは、それはやっぱり究極的には、このような生工連

携のアプローチをとることで生命が理解できればいいなということです。生物学研究者が今まで得意としてきた解析的なところだけではわからなかった生命あるいは生物進化の原理がわかることが、研究者としての最大の期待であります。最後に、生工連携と言っている間は、まだ2つのものを1つに融合しようというフェーズだと思うのです。そういった時代を過ぎて、最初から移動知で育った若者たちが一人前の研究者になるころには、もう、それは2つの学問の融合ではなくて、最初から生物も工学もない「移動知」という1つの学問体系が存在する。そうなれば、生物学と工学の狭間がまったくない状態でフリーに研究ができることも1つの目標かなという気はしますよね。

神崎：もう一つ、浅間先生をはじめ移動知グループに属している多くの工学研究者の方は、生物研究者と共同研究をしていますよね。移動知プロジェクトの中では多くの共同研究が存在しているわけですが、今後これがどれぐらい展開できるのか、これはやはり移動知の1つの評価にもなるのかなと思っています。これまで生物学という分野で準備されてきた土俵の上において、工学と生物が共同でどれぐらいできるのかなという意味では、僕はすごくおもしろいテストケースになるのではないかなと思っています。だから、すごく注目しているのです。

太田：ぜひ期待を裏切らないようにやりたいと思います。この座談会の内容が、本特集号の読者の方々の理解の助けになれば幸いです。本日は大変ありがとうございました。

(2007年8月30日受付)

[著者紹介]

浅間 一 君 (正会員)
(本号 p.886 参照)

神崎 亮 平 君
(本号 p.939 参照)

菅 沼 仁 志 君
(本号 p.886 参照)

三 浦 徹 君
(本号 p.915 参照)

倉 林 大 輔 君 (正会員)
(本号 p.939 参照)

太 田 順 君 (正会員)
(本号 p.886 参照)