

# 先進ネットワークアーキテクチャに関する研究開発



研究室紹介

村田 正幸\*

Researches on Advanced Network Architecture

Key Words : Computer network, Network architecture, Biologically-inspired network

## 1. はじめに

インターネットは急速な発展を遂げ、もはや社会基盤になっているのはご存知のとおりです。しかし、さまざまな技術的問題が指摘されており、それが社会的問題に直結する例も珍しくありません。例えば、セキュリティやアタックなどの問題はマスコミにもよく登場しますが、最近、ネットワーク障害が発生して復旧までに何日も費やされるという「事件」も引き続いてありました。歴史的に見ると、インターネットは、管理主体が異なるネットワーク同士を相互接続するための技術として発展してきました。しかし、商用化され、また、社会基盤になるにつれ、きちんと管理できることが前提になって、電気や水道などのように、問題が発生するとただちに社会問題化します。ところが、ネットワーク技術はまだまだ発展途上にあって、新しい技術を取り入れることによって成長している段階にある、といったほうが正確だと思います。

それを前提に考えるとどうなるでしょうか。インターネットはこれまでも新しい技術が生まれるごとに部分的に変更を加えてきて、今やつぎはぎだらけのものになりつつあります。例えば、ファイヤウォールなどのように、インターネットの初期設計においては想定していなかったような機能が導入され、

それが新たな技術的課題を生んでいます。そこで、インターネットに変わる新しいネットワークアーキテクチャを確立していこうという機運が、ここ2～3年の間に国の内外を問わず、生まれつつあります。

アーキテクチャという言葉はさまざまなところで使われますが、情報ネットワークにおけるアーキテクチャとは、現状、および、将来にわたる要素技術を俯瞰しつつ、今後の情報社会のあり方を前提に、いくつかの重要な指針に基づいて設計されたネットワーク構造を指します。インターネットアーキテクチャはそれが設計された時から数十年が経過し、そろそろ新しいものを考えていく必要がある段階にきていると言えます。当研究室は、1999年から、先進ネットワークアーキテクチャを研究する講座として、その教育研究活動を行ってきています。

## 2. 生物に学ぶ情報ネットワークアーキテクチャ

特に近年は、「生物に学ぶ情報ネットワーク技術」に関する研究に精力的に取り組んでいます。これがどのような研究テーマか、身近な例で説明すると以下ようになります。

アリがどのようにして近道を見つけるかという実験があります。えさ場と巣をつなぐ道をいくつか作っておいて、アリを放します。アリは、最初は行き当たりばったり動きますが、最終的にはいちばん近い道を選ぶようになります。アリは、移動するときにフェロモンを分泌しますが、フェロモンは時間とともに消えていきます。近い道ほどフェロモンは残っていますので、フェロモンが多く残っている道をたどれば、自然と近道を選ぶようになります。このように、集団で行動する社会性昆虫では、個体だけを見ると単純な動作しかしませんが、全体で見ると特定の機能（近道を見つける）が実現されているよ



\* Masayuki MURATA

1959年7月生  
大阪大学大学院基礎工学研究科課程修了  
(1984年)  
現在、大阪大学、大学院情報科学研究科  
情報ネットワーク学専攻、教授、工学博士、  
情報ネットワーク学  
TEL: 06-6879-4540  
FAX: 06-6879-4544  
E-mail: murata@ist.osaka-u.ac.jp

うな例が数多く見られます。アリの場合を情報ネットワークで考えると、すぐさま経路制御、つまり、情報をコンピュータからコンピュータまですばやく運ぶためのアルゴリズムとその実現技術に応用できます。

当研究室が最初に取り組んだのは、蛍の発光同期の機構をセンサーネットワークの情報伝達に応用しようとするものでした。パプアニューギニアなどに生息するある種の蛍は、発光を同期させるそうです。はじめはバラバラに光っていた無数の蛍が時間とともに一斉に明滅するようになります。センサーネットワークでは、たとえば、定期的にセンスした情報を無線ノードが受け渡していった基地局に収集する必要があります。無線ノードは、多くは電池で駆動されるため、長寿命化のために必要な時にだけ動作し、それ以外のときは停止状態にしておく必要があります。つまり、無線ノードに蛍の発光同期機構を組み込んでやれば、定期的に一斉に無線ノードを動作させ、情報収集を行って、また停止(スリープ)状態にするという通信技術が実現できます。この機構については、実際に無線センサーノードに実装して実験まで行い、うまく動作することが確認できました。

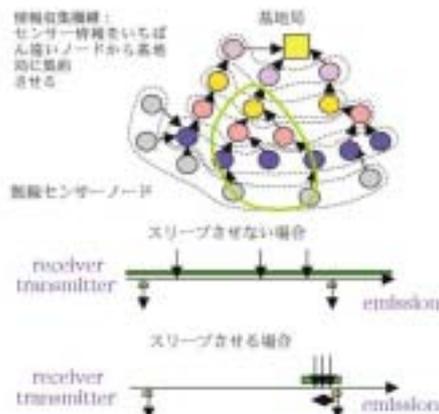


図1 蛍の発光同期に基づく情報収集

### 3. なぜ生物に学ぶのか

情報ネットワーク技術の観点から見ると、上述のアプローチで重要なことは3点あります。

(1) 蛍の発光同期機構では、指令役がいるわけではなく、周辺の蛍の発光に合わせているだけです。これは、情報ネットワークでは集中型管理をする必

要がないことを意味し、故障に強いネットワークが構築できます。

(2) 周辺の蛍の発光に合わせてよいということは、同期のための制御情報の交換を局所的に行うだけでよいことを意味します。つまり、ネットワーク上のすべてのコンピュータで情報を交換する必要はまったくありません。ネットワーク規模に依存せず、一定の機能を実現できる特性(スケーラビリティ)が実現できます。

(3) 制御情報の交換を局所的に行うだけでよいということは、ノードの故障や移動にも柔軟に対応できることを意味します。これまで情報ネットワーク設計というと、さまざまな物理的な制約に応じて人が構成することを指し、それが情報ネットワーク学における研究分野のひとつになっていましたが、人手を介さないことによって故障を回避できるようになる可能性があります。われわれはこれを、環境適応可能な情報ネットワークと呼んでいます。

以上のように、蛍の発光同期機構に学ぶことによって、これまでは実現できていなかった、障害に強い、さまざまな通信環境、かつ、それら変動するような環境に適応できる情報ネットワークアーキテクチャが実現できる可能性が大きいことがわかりました。現在は、蛍の発光同期機構だけでなく、さまざまな生物の形態に学ぶ情報ネットワーク技術に関する研究を行っており、それをインターネットに変わる新しい時代のネットワークアーキテクチャの基本設計原理として提案しているところです。

もちろん、なんでもかんでも生物に学ばばいいということではありません。生物に学んで人工物を設計する例は、これまでも数多くありました。だいたいなことは、生物の何に学ぶか、です。蛍の発光同期の場合、制御を徹底的に分散化できること、それによって障害に強い性質を実現できること、さまざまな物理的環境に適応できること、これらがネットワークアーキテクチャに今必要とされている諸特性である点が重要です。また、単に模倣するだけでは「生物はうまくいっているので、たぶんうまくいくだろう」とはなはだ情緒的な説明しかできません。あとで調べているうちにわかったことですが、発光同期については生物学だけでなく、物理学においてもさかんに研究が行われており、パルス結合振動子モデルと呼ばれる数理モデルが確立されています。

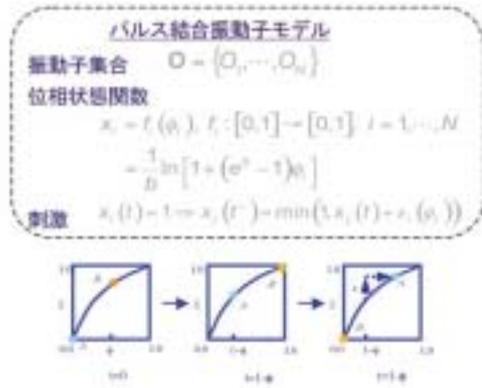


図2 パルス結合振動子モデル

数理モデルがあると、数式を扱うことに安定性などの議論ができることになり、パラメータチューニングもきちんとできることになります。技術としてその確立を目指すには、当然、このような理論的な取り扱いが重要であることは言うまでもありません。

#### 4. 今後の予定

以上の研究は、大学院情報科学研究科における21世紀COEプログラム<sup>(1)</sup>の一環としても行ってきたものですが、そこでは生物学者に教を請いながら、研究を進めてきました。また、2006年度に開始された大阪大学の「揺らぎプロジェクト」<sup>(2)</sup>では物理学者らとも議論しながら研究を進めています。一連の共同研究を通じて改めて感じたことは、自分の専

門分野に閉じこもってはいは、とうてい、これらの成果は得られなかったであろうという点です。研究者がひとりではできることは高々知れています。特に、最近では、専門分野の深化（イコール狭隘化）とそれによる閉塞感が認識され、それを打破するために先端科学技術の融合が強く叫ばれていますが、それを私自身体験できてこられたことは幸運だと強く感じています。先に述べたインターネットに変わる新しい時代のためのネットワークアーキテクチャは2015年の実現を目指して行っているものですが、これまでの研究成果をネットワークアーキテクチャとして完成させていきたいと考えています。

紙面の制限上、本稿では導入部しか述べられませんでした。詳細は(3)をご覧ください。

#### 【参考情報】

- (1) 文部科学省21世紀COEプログラム「ネットワーク共生環境を築く情報技術の創出」  
<http://www-nishio.ist.osaka-u.ac.jp/COE/>
- (2) 文部科学省科学技術振興調整費 先端融合領域イノベーション創出拠点の形成「生体ゆらぎに学ぶ知的人工物と情報システム」  
<http://www.yuragi.osaka-u.ac.jp/>
- (3) 大阪大学大学院情報科学研究科村田研究室  
<http://www.anarg.jp/>