

## ナノ・バイオ時代を狙う「分子通信」(前編)

須田 達也, 中野 賢, 榎本 章宏, 江頭 良太, Michael Moore  
米カリフォルニア大学アーバイン校

電気や光では伝えられる情報に限界  
分子および生化学反応を通信に使う  
ナノマシン間通信などを想定

「通信とは情報(意思)を相手に伝えること。送り手が情報を符号化し、光や電気信号に変調して送信する。受け手は受け取った信号を復調し、情報を復号化する」—。これは1948年にシャノンとウィーバーによって提唱された通信モデルだ。60年経った今もこのモデルに基づいて通信は発展している。技術の発展により高速で大容量の通信が可能になったが、今ある方法で情報(意思)を相手に伝えることは本当にできているのだろうか。そうとは一概に言えない気がする。何か根本的に新しい通信が必要ではないだろうか。

そうした思いから、我々は分子を使って通信する「分子通信」と呼ぶ新しい仕組みを研究している(図1)。分子通信は①電気や光ではなく、生化学反応などの情報を乗せた情報分子を通信のキャリアに使う、②通信を行う送信機・受信機が非常に小さい(ナノ/分子サイズ)、③消費エネルギーが小さくエネルギー効率が良い、④状態の再現といった従来の通信システムでは扱えなかったことを可能にする——など、これまでの通信とは異なる多くの特徴を持つ。今回と次回の2回に分けてその概要を紹介したい。

### テレパシとテレポテーション

新しい通信に対する我々の考えを知ってもらうために、まず、SFの世界の通信を例にとり、思考実験を試みよう。

昔、SFの世界でテレパシという能力がよく描かれていた。相手の思ったことがそのまま自分に伝わる通信能力のことだ。テレパシではいったい何を伝えているのだろうか。まず考えられるのが言語レベルの表現(つまり「一字一句」)をそのまま伝えることだ。

しかし、自分の考えを言葉に表すのは、自分自身でも難しいことがあり、言語

レベルで何かを伝えているとは思えない。おそらく、テレパシとは相手の考えすべてを言葉の表現を借りずに理解することではないだろうか。

では、どのようにしたら相手の考えていることが分かるのだろうか。考えや気分などは脳や体内の化学的・電氣的状態に依存していると思うから、相手の脳や体内の化学的・電氣的状態を自分の脳や体内で再現できれば、相手の考えが（ある程度は）分かるのではないだろうか\*1。

どうしたら相手の状態を再現できるだろうか。送り手の状態はこうであるという情報（例えば、脳内の化学物質の組成や分布に関する情報）を何らかの方法で抽出し、それを電気信号や光信号に変調して受け手に送る。受け手は、その情報に基づいて、送り手の状態を再現する。このような方法が思いつく。だが、この方法にはいろいろと問題がありそうだ。例えば、脳や体内に、情報を電気信号や光信号に変換するインタフェースが必要になるし、その情報を読み取る必要もある。情報を読み取った後、どのようにして相手の状態を再現するかも考えねばならない。

それなら、送り手の状態はこうだという情報を電気信号や光信号に変調して送るよりも、何らかの化学物質を直接受け手に送り、その物質が受け手と生化学反応を起こすことで、送り手の状態を再現する方が簡単ではないか。ただしこれは、分子のように小さいとは言ってもある程度の分子量を持った物質を送ることになるので、分子そのものを放出するといった単純な方法では、電気や光の波のようには遠くまでは送れないかもしれない。また、実際にある程度の分子量の物質を送るので、スピードも電気・光の波と比べて、かなり遅そうだ。でも思考実験レベルでは「テレパシっぽいシステム」はできるような気がする。

テレポテーションはどうだろう。テレビ番組「スタートレック」でカーク船長が、「ビーム・ミー・アップ」と言って宇宙船エンタープライズ号にテレポテーションしていた。これも、ある意味では通信である。テレポテーションに近いことは、案外簡単にできるかもしれない。カーク船長の DNA を、エンタープライズ号に送り、その DNA とエンタープライズ号に積んである生体物質とを反応させて、カーク船長を再生すればいいだろう\*2。

DNA の伝送やカーク船長の再生には時間がかかるかもしれない。しかし、技術の進歩の速度を考えれば、遠い未来にはスピードアップできているだろう。ただし、再生されたカーク船長の遺伝的性質はオリジナルのカーク船長と同じであ

ったとしても、顔つきや性格が少し違っているかもしれない。

カーク船長の生体情報が入った DNA を相手に送り、受け取った先で生体物質と反応させて、カーク船長をテレポテーションさせる。しかし、これはテレパシのシステムと同様に、小さいとは言ってもある程度の分子量を持った物質 (DNA) を送るので、DNA そのものを放出するといった単純な方法では、光や電気と違い、あまり遠くまではテレポテーションできないかもしれない。スピードも電気や光と比べてかなり遅いだろう。でも、思考実験レベルでは「テレポテーションっぽいシステム」はできそうだ。

### 物を送って通信するシステム

我々は、本気でテレパシやテレポテーションを実現させようと思っているわけでは決してない。しかし、テレパシやテレポテーションについて考えるのは、ちょっと面白い思考実験だったのではないだろうか。ここで今考えたテレパシとテレポテーションのシステムの共通点を考えてみよう。

まず気が付くのは、分子や DNA などの情報を持っている物を直接相手に送っているということ。そして、物を受け取った側でさまざまな生化学反応が起きている。送り手側の状態を再現するとか、送り手側にあった物を再構築するとか、今までの通信のシステムでは扱えなかったものを送っているということにも気が付く。また、送っている物が分子や DNA などの小さいサイズなので、マイクロとかナノの世界の超近距離間にも使えそうだ。ただし、実際に物を送るので、通信には少し時間がかかるかもしれない。

上で述べたような通信は、いろいろな点で、「送り手が、情報を 0101 というように符号化し、それを電気信号や光信号に変調して送り出す。受け手は、受け取った電気・光信号を復調して、符号化された情報を読み取り、それを解釈する」と言う今までの通信の概念とは、根本的に違う。

### 自然界にある通信システムから学ぶ

物を使った通信のシステムは、どのようにして作ることができるのだろうか。一番簡単なのは、類似のシステムに似せて作ること。しかし、物を使った通信システムって人間は今までに作ったことがない。日常生活やビジネスに欠かせなくなったインターネットも、電気や光の信号を使っている。

では、自然界ではどうだろう。自然界では物質の運搬による通信は当たり前のよう  
に存在する。例えば細胞の内部では、細胞内物質輸送と呼ばれる分子を使った通信  
が行われている（前ページの図 2）。細胞内ではレール分子とよばれるタンパク質  
でできた線路が無数に敷かれており、その上を分子モーターとよばれるタンパク質  
がいろいろな生化学物質が入った小胞を積んで走る\*3。なかにはレールから落ちて  
しまうモーターもあるが、細胞内の核やさまざまな器官はこの分子モーターを使っ  
て通信を行っている。

生体内の細胞と細胞の間の通信にも分子が使われている。これにはいくつかの形  
態がある。順番に見ていこう。

## 翻訳例の終わり