



世界に広がる自律分散システム

森研究室 ~ 計算工学専攻



森 欣司 教授

1970年代はコンピュータが企業、研究機関、様々なところに浸透していった時代である。しかし、それと同時にコンピュータの稼働中の異常が問題となり、限界が見え始めた時代でもあった。

そこで森先生は、生物からヒントを得て「自律分散システム」を提案した。異常があることを前提とする。この概念の上に創られた自律分散システムは、これまでの限界を打ち破った。そして、自律分散システムは現代社会に広く応用され、来たるべき次の社会に多大なる期待が寄せられているのだ。



集中型システムの限界

1977年、コンピュータが広く普及し始めた頃、森先生は今までにない発想でコンピュータシステムを考案した。その名は「自律分散システム」。世界で初めての提唱であった。

その頃のコンピュータシステムの構造は、大型のコンピュータ1つがシステム全体の処理を一手に引き受けるという集中型システムであった。この方式が使われていたのには理由がある。当時はCPUなどの部品に2倍、3倍とコストをかけていくと性能は4倍、9倍となるように、コストの2乗に比例して性能が良くなるというグロッシュの法則と呼ばれる経験則があった（コンピュータ関連機器の発展によりこの法則は現在では重要な法則ではなくなっている）。この法則に従えば、小さなコンピュータを複数作るより集約した大きなコンピュータを1つ作る方が効率が良い。また当時のコンピュータを構成する様々な部品はかなり高価だったこともあり、そうせざるを得ないという事情もあった。

しかし、集中型システムは様々な問題を抱えていた。まず中央コンピュータが停止するとシステムが完全にダウンしてしまう。さらに、システム

の細かい端末などを含めて1つの完全な成立したシステムとみなしているため、端末のシステムを増築、保守をする際に一度システム全体を止める必要がある。現在ほどではないが、その当時のコンピュータに対する依存度は非常に高まっており、システム全体の停止による経済的な影響や社会生活上の問題は軽視できなかった。それ故、使われていない夜間にシステムを止める必要が生じ、人間は夜間にも関わらず仕事に駆り出されなければならなかった。そもそも人間の生活を豊かな

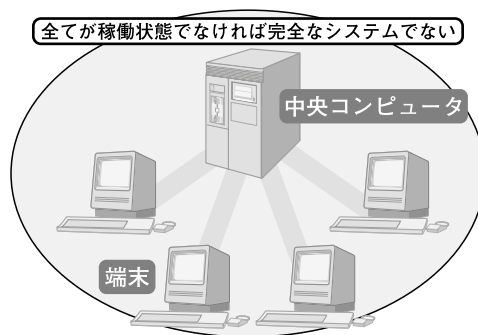


図1 集中型システム

ものにするためのコンピュータであったが、その資源を最大限に利用しようとするあまり、人間に過剰な負担を強いるという皮肉な結果になってしまったのだ。そのような背景もあり、集中型の諸

問題を解決するシステムを創る必要性があった。そこで森先生が考案したのが、自律分散システムだった。



分子生物学との出会い

70年代はインターネットの話題でよく耳にする光ファイバーや、非常に簡素なコンピュータであるマイコンが登場した時期でもあった。通信速度の速い光ファイバーだが、当時はその速さを利用してまで送るデータは少なかったので普及しないであろうと言われていた。またマイコンにしても、値段の割に性能が低いので大した使い道はないと思われていた。しかし、森先生はこれらの技術に目をつけ、将来広く用いられる時代が来ると予想した。そしてマイコンや光ファイバーを利用して集中型での問題を解決する、根本的に新しいシステム concepts を創り出せるのではないかと考えた。

こうして次のシステムの概念を模索し研究を始めたわけであったが、集中型に代わる概念を創造するのは簡単ではなかった。そんな時コンピュータとは一見関係なさそうなところに思いがけない出会いがあった。分子生物学との出会いである。70年代分子生物学は第2期とも呼ばれる新たな発展期を迎えており、世間で注目されていた。それに興味をもった森先生は非常に奇抜ではあるが、分子生物学によって研究の視野を広げようとする勉強を始めた。

そこには集中型システムの諸問題を解決するヒントが多数あった。生物は次の3つの特徴を持っている。1つ目は生物は日々成長していることで

ある。そして、2つ目が新陳代謝だ。怪我などを受けて自己の一部が破壊されても新陳代謝を行うことで修復している。3つ目は免疫機構である。体内に細菌が入り込むと免疫機構が働き異常な状態を防いでくれる。以上3つのことを生物は日常的に行っている。森先生はこれらが、集中型における稼働中の種々の問題の解決に対応することに気づいたのだ。

なぜこのような集中型システムでは不可能なことを生物では可能にしているのだろうか。皆さんは生物がどのように動いているかを想像した時に、脳、脊髄などが体を制御していると考えることが多いだろう。もちろん、マクロな視点で生物を捉えたとそれは間違っていない。しかし、新陳代謝など生物のミクロな部分に着目したとき、人間ならば約60兆個の細胞全てを脳が一手に管理していると考えるのは非常に不自然である。そこで分子生物学という学問が確立した。分子生物学では「細胞」を1つの単位として捉えており、その細胞間には主従関係は存在しない。あくまで、細胞はお互いに対等な関係で協調し合って体全体をつくっている。先ほどの怪我の例でいうと、怪我をして、ある細胞が破壊されたならば、その周りの細胞が細胞分裂して、破壊された細胞の埋め合わせをしようと協調的に働くのだ。決して脳が体の個々の器官に全て指示を出しているというわけではない。

そして分子生物学における様々な特徴を模倣した、新たなシステムが自律分散システムである(図2)。自律分散システムの特徴を一言で表すのが「異常が正常である」だ。ここでいう異常というのは、部分的な故障、システムの増築などである。つまり、ある程度大きなシステムは生物と同様に、部分故障、増築は日常茶飯事であり、システムの前提として異常があると考える必要がある。それが自律分散システムなのだ。

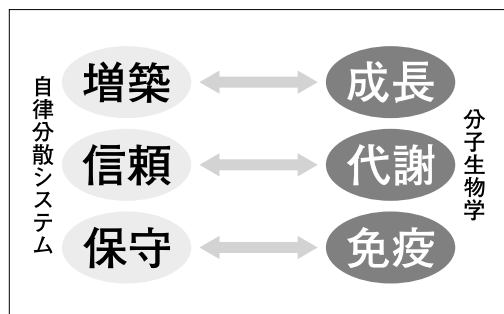


図2 分子生物学と自律分散システムとの対応



生物からコンピュータへの適応

自律分散システムは生物のメカニズムを基に考え出されたものであり、森先生は生物の細胞にあたるものとして「サブシステム」を定義した。このサブシステムは、集中型における端末とは全く異なる。先に述べたように、集中型では中央コンピュータと端末を全て正常であることを前提としてシステムが成立している。しかし、森先生は自律分散システムにおいて、サブシステム1つ1つが固有の仕事を持つ独立したシステムであるとした。そして、サブシステムが2つならばこの2つで可能な仕事をする複合システムを形成する。大きなシステムというのは、そのサブシステムが多数組み合わせさり協調したものに過ぎない。

このようにサブシステムを特徴づけたわけだが、それらを連携させるにはお互いが情報を交換する必要がある。そのための場として森先生は「データフィールド」を提案したのだった。

このデータフィールドに流れるデータは集中型で中央コンピュータから端末へと下る「命令」とは根本的に異なる。集中型での命令は強制的なものである。しかし自律分散システムでは、サブシステムが他のサブシステムとの協調を必要とする際、データフィールド上に「～がしたい」という情報を流すだけであり、他のサブシステムに強制はしない。そしてその「～がしたい」という目的を認識した他のサブシステムが、自分の仕事であると判断すればそれを引き受ける。このようにサブシステム間の連携が成立する。

この連携によって、サブシステムがお互いをカ

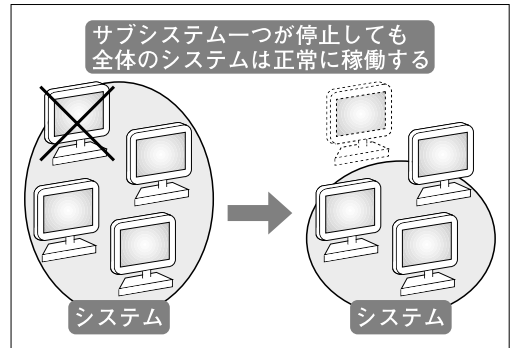


図3 自律分散システム

バーすることができる。その結果、図3のようにサブシステム1つが停止しても全体のシステムは正常に稼働するのだ。こうして、自律分散システムは生物の特徴を真似ることができたのだ。

また、データフィールドとサブシステム間を繋ぐ重要な鍵を握るのがACPと呼ばれる機関である。ACPは全てのサブシステムが1つずつ持っているものだ。そして、図4のようにACPはデータフィールド上に流れている情報が自分に必要かどうかを判断し取り込むという、情報の関所のような役割を持つ。またACPはサブシステム自身の仕事を正常に行うための管理も行っている。このACPによってサブシステムは自分の仕事をこなしながら他との連携をとることができるので、「自律的に」振る舞うことができるのだ。

このことを回転寿司を例にして考えてみよう。回転寿司では寿司職人は寿司を握り回転台に乗

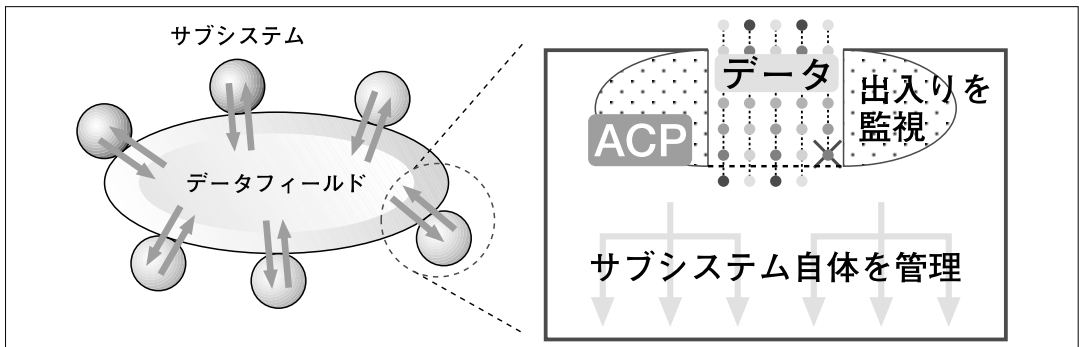


図4 データフィールド

せ、客は自分の好みの寿司を選んで食べる。寿司職人は個々の客から注文を受けるのでもないし、客も注文をするわけではない。回転台の上を見て、それぞれの判断で寿司を作ったり、食べたりしている。回転台（データフィールド）という情報を共有する場があるから客と寿司職人（サブシステム）が協調し合い、処理を行うことが可能になるのだ。

森先生の考案した「自律分散システム」には異常状態に強いという利点だけでなく、その他にも別の利点が現れた。それはシステムにピークがなくなったということだ。従来の集中型システムは例えるなら、回転寿司でない座敷に通されるような寿司屋である。ここでは客からの注文が入ってはじめて寿司職人は寿司を作り始める。つまり客は寿司職人に強制的に仕事をさせるのだ。この方法だと一度に多量の注文が入ったときは作べき寿司が寿司職人の作れる限界を越え、処理が滞ってしまう。しかし、回転寿司の場合には、寿司職人が自分の意志で寿司を作ったりしているので、ピークが存在することなく寿司を作り続けることができる。

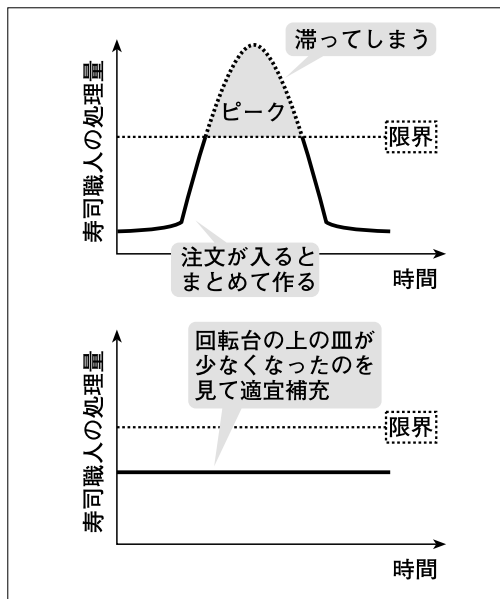


図5 座敷に通す寿司屋（上）と回転寿司（下）

つまり自律分散システムでは、情報過多の際にシステムがダウンする可能性を低く抑えることが出来るのだ。



世界に広がる自律分散システム

ここまで、森先生が自律分散システム概念を開発する過程を見てきた。これは単なる技術の改良とは異なり、従来の概念を完全に覆した。その結果森先生は様々な技術を生み出し世界に約350もの特許をもっている。

このように広く社会に浸透した自律分散システムは社会において不可欠なものとなっている。1つの例として鉄道の運行管理を見ていこう。

最近都内を中心としたJRの各駅において、発車時刻案内板に変革が起きたのはご存知だろうか。今まで悪天候や事故で運行ダイヤが乱れたときには案内板に「調整中」と表示されていた。しかし、現在では電車がダイヤ通り運行されていない時も、乱れたダイヤが案内板に表示されている。つまり5時発車の予定の電車であっても、30分遅れていたなら5時半発と案内板には表示されるようになったのだ。これは自律分散システムを利用したATOSという鉄道運行管理システムを導入したことによる。ATOSを導入する以前の鉄道の

運行管理はセンターのコンピュータで全てのダイヤを把握し、各電車に指示を出す集中型方式だった。だがATOSにおいては1つ1つの駅をサブシステムとおき、各駅が信号機などの制御を行うことにより電車の管理を行う。そしてそれぞれの駅が連携し全ての駅の統合として路線全体が成立していると捉える。集中的に中央コンピュータで処

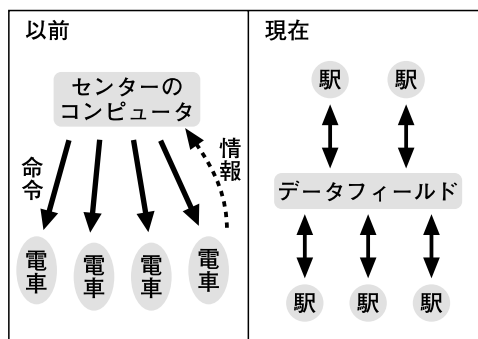


図6 鉄道システムの変化

理をせず、各駅で処理をするため、異常事態などに対し応答速度が速くなる。つまりATOSは異常事態などに迅速な処理を実現できるのだ。

ATOSの導入は鉄道の運行管理に自律分散システムの特徴である高い柔軟性を与えることに成功した。ATOSによる鉄道運行の柔軟性はダイヤの乱れに対する迅速な処理だけでなく、「湘南新宿ライン」や「成田エクスプレス」などの乗り入れ電車の運行も可能にしたのだ。自律分散システムが生んだATOSはまさに不可能を可能にした画期的なシステムなのである。森先生はATOSの開発の過程では基本計画や基本設計を行い、現在ではアドバイザーとしてATOSに携わっている。上記のような例を初めとして、鉄鋼の製造や情報サービスなどの様々な分野で用いられている自律分散システムであるが、森先生は更なる飛躍を目指して自律分散システムを発展させようとしている。

その新たな自律分散システムの従来と異なる点は、サブシステム同士の位置づけである。今まで見てきたサブシステムは全て同じレベルなものだ。鉄道で例えを挙げるなら、サブシステムは「駅」という同じ枠組みに属するものであった。新しい自律分散システムの方向性として、サブシステムが同質のものでなく異質なものでシステムが成立するような研究が進められている。

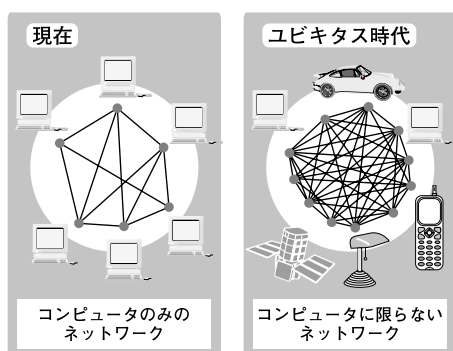


図7 ネットワークの変化

コンピュータは人々に快適さ、夢を与えるものであって欲しい。こんな願いを持ちながら森先生はコンピュータシステムを開発なさっていることを付け加えておこう。

最後になりましたが、この原稿を書き上げるに

このことが応用を期待されているものの1つに「ユビキタスネットワーク社会」という社会がある。ユビキタスというのはギリシャ語で「いつでもどこにでも存在する」という意味だ。つまり、いつでもどこでもネットワークに接続できる社会のことを指す。これは総務省が国家プロジェクトとして、実現に向け取り組んでいる。

このユビキタスネットワーク網を構築する上で、新しい自律分散システムが使われようとしている。現在でもインターネットという世界中に広がるネットワーク網は存在している。だが、インターネットは画像の送信などのデータのやりとりという限られた場面にしか使われていない。これらはデータ量は多いが、多少のデータの欠損は問題はなく、またリアルタイムである必要もない。一方ユビキタスネットワーク社会では、データ量は少ないが確実に、かつリアルタイム性をも求められるデータも画像データの送信と同一のネットワーク上に流れる。例えばユビキタスネットワーク社会では、自宅にあるビデオデッキと勤務先のオフィスのパソコンはネットワークで繋がっている。その時オフィスのパソコンからビデオの録画を開始しなさい、という命令を送る。その命令のデータ量は少し大した量ではないが、確実さとリアルタイム性を求められる。このように、従来はインターネット上を流れていた画像データと、録画の命令などといった、性質の異なるものを今後いかに1つの場に共存させるかということがこれからの課題である。

こうして自律分散システムは更なる発展を遂げ、我々の日常で益々活躍しようとしている。森先生は自らが考案したシステムのことを「自然なシステム」とであると語る。もちろん生物を模倣していることから、それをうかがい知る事ができるであろう。自律分散システムは自然で、無理のない概念に基づいているからこそ、様々な場で活躍し発展を続けるのではないだろうか。

あたって、様々な資料を提供して下さった上、出張やゼミなどの合間をぬって取材に応じて下さった森先生にこの場を借りて感謝の意を表したいと思います。どうもありがとうございました。

(山本 雅士)