

# 時間と コンピュータ

## 編集にあたって

塚本 昌彦 神戸大学大学院

6月10日は時の記念日です。この記念日が制定されたのは1920年で、時間厳守の習慣を日本社会に定着させようとするものだったとのこと。制定以前の日本人は欧米人が驚くほど時間にルーズだったらしく、彼らが日本人を訪ねて会いに行っても次の日まで待たされることがあるなど、多くの日本人が何をすることもゆったりのんびりとしていたようです。記念日制定以降、小中学校をはじめ、国を挙げての時間励行のキャンペーンが繰り返し行われた結果、日本は世界トップレベルの時間に正確な国、みな分刻みで行動するあわただしい国となりました。わずか100年ばかりの間に、日本人の時間感覚が非常に大きく変化したことを実感します。

本特集は「時の記念日」にちなんで企画したものです。しかし、記念日の本来の主旨であった時間励行、時間の大切さを説くのではなく、むしろ現代社会における「時間」を改めて広く考え直してみたいと思っています。「時間」は哲学、物理学、社会学、生物学、生活学、心理学、その他多くの学問領域に関連していますし、ビジネス、生活、さらには芸術においても最も重要な要素の1つといえます。近年の産業進展、日本社会の欧米化、あるいはもっと最近の、コンピュータ、インターネット、携帯電話などの生活への浸透によって、人々にとっての時間がまた大きく変わってきています。実際、多くの人がスケジュールを使ってより厳密に時間通りに行動し、ライフログを使ってそれを精密に記録します。一方、ネット上では、TwitterやFacebookなどで、実世界とは独立にいくつもの時間がパラレ



ルに進み、互いに前後関係をインタリーブしながら、人々の生活の中に複雑に入り込んでいます。これらの新しいツールを使いこなす人たちを中心に、最近の日本人の時間感覚は、バーチャルとリアルの入り組んだ非常に不思議な新たなものとなってきているのかもしれない。

このような状況において、改めて時間とは何か、その意義や価値は何かなどといった根源的な問題から、その使い方やコントロール術、時間感覚に至るまで、幅広く考えることに非常に意義があるのではないかと思います。本エッセイ特集「時間とコンピュータ」では、本誌編集委員会の総力を挙げて、幅広く諸分野で活躍されている著名な方々や業界のキーマンに執筆をお願いしました。情報処理分野はもともと幅広い分野を包括していますが、それにも増して広い分野をカバーした特集になったのではないかと思います。内容に関しては執筆者にお任せしましたので、「時間とコンピュータ」という主題以外にはそれほど統一されたものではありません。順序はできるだけ関連性のあるものを近くなるように配置を試みましたが、読者の皆様は興味のあるものから順に読んでいただければよいのではないかと思います。もしかしたら全体を見渡すと昨今の「時間」についての大きな絵が浮かび上がってくるかもしれません。いずれにせよ皆様に「時間」について考える「時間」を存分に楽しんでいただければ幸いです。

(平成 23 年 4 月 12 日)



## ロボットと時間

瀬名 秀明 作家

1968年生まれ、作家。『パラサイト・イヴ』『デカルトの密室』『インフルエンザ 21世紀』『小説版ドラえもん のび太と鉄人兵団』（原作＝藤子・F・不二雄）など人間社会と科学を描いた小説・ノンフィクション作品多数。  
\*本原稿の著作権は著者に帰属します。

時間というテーマをいただいて思い出したのが購入したまま読めずにいた渡辺慧と吉田健一の書物でどちらも題名は時間である。この2冊を読んで書こうと思っていた矢先に東北地方太平洋沖地震が起こり渡辺の本は書庫から掘り起こせなくなってしまった。

地震発生から6日が過ぎ、ようやく水道が復旧して嬉しさがこみ上げた午後、自宅で窓越しの太陽光を浴びながら吉田の本を読んだ。前夜から仙台は冷え込み、朝には雪が舞っていた。昼過ぎからあたたかな光が戻ったものときおり空は急変し、粉雪が激しく散ることもあった。被災するとふだん忘れていた時間が身体に戻る。吉田の書物を黙々と読みながら、それが同時に人間や世界の問題であることにも気づいたのだった。

吉田の文章は特徴的で、極端に読点の少ない長文の連なりを追うことは、原稿用紙に向かう吉田のペン一筆一筆の先を見つめ、彼の呼吸を能動的に探りつつ、彼と同じ時間で文脈を心中で綴ってゆく行為となる。それは言葉もまた時間から切り離せないと論ずる吉田の精神と呼吸を合わせることで起ち現れる、私自身の時間である。

ふだん私たちが読む書物は著者が多くの時間をかけて綴った文字の連なりだが、私たちはその時間を意識せず何十倍もの速さで読み進めるわけで、そうした読みの行為に押れてしまった私たちにとって吉田の文章は朗読のようだ。朗読は語り手と聞き手が同じ時間を共有する。息もつかせぬと形容されるほど電撃的に読まれる物語であってもひとたび朗読されれば時間の共有と同調が起こり、物語に時間は取り戻される。むしろそれは逆の話で、もともと文字は端から消えてゆく発話を留める役目を担い一種の音符に近い働きをなしたのだから、時間を主題とす

る文章を吉田の文体で読み進めることは現代の私たちにとって二重三重に大きな意味がある。

時間は私たちの精神の活動と切り離せない。それが吉田の大前提である。「世界がある所に時間もあって時間の進展がその世界の開拓でもあった。（中略）人間の世界がその形をなして行ったのが時間の推移であり、それ故に人間の世界と時間はその拡りが同じ」だという認識である。「世界というの（は）人間の精神を中心にその人間の精神にとって親密な姿をして拡るものなのだということである」。つまり時間は精神と一体をなすが、吉田の論がロボットというテーマに即して興味深いのは、時間が同時に物質の世界も支配していると捉えるためだ。

私たち人間は精神でもあり物質でもある。私たちは生きているから息をする。私たちは呼吸によって時間の流れを感じ、そのような基本的な営みをおこなう自分を意識することで世界に戻る道が開ける。仕事でせわしい時間を過ごすとはよく使われる表現だが、このとき実際のところ私たちは時間を失っている。吉田は一貫して、私たちが世界とヴィヴィッドにつながる瞬間の推移こそが時間であると捉える。呼吸によって言葉も発するから言葉も時間とは切り離せない。私たちは生きて呼吸をして動く物質かつ精神であるから刻々の推移がわかる。だからたとえば鮮やかな月を仰いだとき時間が止まっているようにも見えるがそうではなくて、刻々の推移がわかるからこそ世界が鮮明に見える。世界があるところに時間がある。

ではロボットは精神であり物質であるか。もしこれを認めるならロボットにも私たちと同じような世界観があり、ロボットの呼吸にも時間と空間があるといえる。とりあえずロボットは物質であるとしてみると、私たち人間にとってロボットは世界観の一

部となる。しかしロボットはただの物体ではなくて自律的な動きを持ちうる物体であり、これがロボットの時間を特異なものにしているのだろう。もちろん一般的にロボットの動きはマクロな動きであり、私たち人間のように細胞ひとつひとつにも複雑な動きを持つ生きものとは同列に語れない。マーク・ホウの『ミドルワールド』の区分に従えば、私たちの精神の時間は原子・分子レベルのマイクロワールドや個体レベルのマクロワールドだけでなく細胞単位のミドルワールドの運動にその秘密が隠されていそう。いまのところロボットはミドルワールドに相当する時間を持ちにくい。そのとき彼らにどのような時間が立ち上がるのか。新陳代謝せず精神を持たないマクロな運動物体はどのような時間で世界を観るのか。

ひとつには彼らのセンシング機能によって誰かの時間となる未来が想像できる。東北地方太平洋沖地震では津波の襲ってくる刻々の推移をビデオカメラに収めた人がおり、それらの映像はウェブを介して多く共有された。このときビデオカメラの所有者は他者にとって動きを持つ視覚ロボットの役目を果たしたのである。地震を察知して街から一斉にセンシングロボットが空中に飛び、それぞれの身体性によって被災の刻々の推移を記録する。ビルに設置された無数の震度計が“動かされる”という身体性によって時間を私たちに伝える。阪神淡路大震災で小松左京は神戸の旧市庁舎の6階フロアがぺしゃんと潰れてしまった光景に衝撃を受け、なぜこのような中途階挫屈が起こるのか、その疑問にずっとこだわり続け、震災後1年にわたってルポを連載した。そして小松は中途階挫屈が地震の上下動に起因すると論ずる研究結果と出会い、多くの震度計がせいぜい二次元方向の動きしか記録できなかったこと、高層ビルの免震構造でも上下動にはほとんど効果がないことを突き止め、上下動に震災の象徴を見て取ってゆく。『小松左京の大震災'95』としてまとめられたスリリングな記録だ。時間と空間が切り離せず、世界の「至る所に時間が脈打っている」のなら、将来のロボットがセンシングする“世界”はまさに鮮明な世界でなければならない。

ただしそうした記録がロボットの身体と分かたれ

て情報となったとき、再び私たちの身体で時間となるためには注意が必要だ。震災で東北地方は物理的な被害を被り、多くの人々が電気やインターネット環境を失いラジオの声に耳を傾けた。人々は粛々とガソリンスタンドやスーパーに並んだ。しかし直接の被災地でない地域では情報インフラが当初から確保されたゆえに情報災害を受け、Twitterのデマにも翻弄されただろう。情報にアクセスできるからこそその心労は、物理的な災害を受けた者たちと同様に、もしくはそれ以上に大きなものだったはずだ。その意味で今回の震災は日本全国みなが被災者であった。仙台の地でようやくインターネット環境が復旧した日、私はウェブ検索でTwitterの状況に初めて接し、まるで人々が精神だけ「情報」に我も我もと行列をつくっているような印象を受けた。被災地にある時間がそこでは喪失していた。身体でもって世界を観るロボットの時間を、これから私たちは大切に利用しなければならないのだろう。

ただそうした社会の経験を経て、いずれロボットは私たちに精神活動のない“時間”という新しい概念を与えるようになるのかもしれない。それは吉田が書き得なかった時間であり吉田の文章を追うこととは異なる時間である。すなわちそれは新しい世界観が私たちの世界と重なり合ったまま生きて立ち現れることを意味する。私たちは時間そのものを鮮明に感じ取ることができないがそうした未来になって初めて私たちはロボットの“時間”を外部から刻々と鮮明に感じるのだろう。世界があるところに時間があるのなら“時間”があるところに“世界”が広がる。ロボットが時間を持つとき私たちは有史以来、すなわちヒトが意識を持ち始めて以来、初めてもうひとつの世界を観ることになるのだろう。

#### 参考文献

- 1) 吉田健一：時間，講談社文芸文庫（1998）。
- 2) マーク・ホウ：ミドルワールド 動き続ける物質と生命の起源，紀伊國屋書店（2009）。
- 3) 小松左京：小松左京の大震災'95，毎日新聞社（1996）。（平成23年3月28日受付）



## ジェミノイドの時間

石黒 浩 (正会員) 大阪大学大学院基礎工学研究科システム創成専攻/  
ATR 石黒浩特別研究室

平成3年大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程修了。工学博士。その後、山梨大学、大阪大学、京都大学、カリフォルニア大学、京都大学、和歌山大学、大阪大学工学研究科を経て、平成21年より現職。平成23年よりATR石黒浩特別研究室室長。

私をはじめとする実在する人間の姿形を模倣した、遠隔操作型アンドロイドをジェミノイドという。ジェミノイドでは、操作者はジェミノイドやジェミノイドと相対する訪問者を写し出すモニタを見ながら、訪問者と対話する。このとき、ジェミノイドの目の動きや、呼吸に伴う肩や胸の動きは自動的に再現されるが、頭や唇の動きは操作者の頭の動きや声に応じて再現される。具体的には、頭の動きは、顔認識プログラムによって追跡される。また、唇の動きは音声認識プログラムによって、音声から生成される。このシステムを使ってしばらく対話すると、操作者も訪問者もジェミノイドに適応することができる。すなわち、訪問者は操作者の存在を忘れ、ジェミノイドと自然に対話することができ、一方、操作者は、ジェミノイドの体が自らの体であるかのような錯覚を感じる。すなわち、操作者はジェミノイドの体を通して、遠隔地に存在することができるのである。



一方で、情報メディアとは、時間の制約を克服するためのものでもある。たとえば、電話は、遠隔地の人と話をするができるが、移動するための時間を克服するものである。また電子メールも、いつでも送り、いつでも読むことができる手紙であり、電話同様に時間的制約を克服している。ジェミノイ

ドも操作者の存在を遠隔地に送る新しい情報メディアであるが、他の情報メディアと同じく、ジェミノイドも人の時間に影響を与える情報メディアである。

このジェミノイドには3つの特徴的な時間がある。

まずは、0.5秒以下の短い時間である。ジェミノイドでは、インターネットを介して遠隔操作するが、最大0.5秒程度の時間遅れが生じる。問題は、操作者が、ジェミノイド側に取り付けられたマイクで集音された、ジェミノイドから発せられる自らの声を聞くと、自らの声が遅れて聞こえてくるために、スムーズにしゃべることができなくなる。かといって、ジェミノイド側のマイクを遮断すれば、訪問者の声も聞こえなくなる。この問題を解決するために、操作者のヘッドフォンからは、操作者がしゃべった声と、ジェミノイドを介して遅れて聞こえる声の両方が聞こえるようにしてある。遅れない声と遅れる声の両方を聞いた場合、操作者は自然と遅れない声を聞いて、スムーズにしゃべることができるのである。

2つ目の時間は、24時間以内の比較的長い時間である。たとえば、ジェミノイドをヨーロッパの会議場に設置し、そのジェミノイドを日本から遠隔操作すれば、操作者は、長時間飛行機に乗ることなく、瞬時にヨーロッパに存在し、そこで講演を行うことができる。無論アンドロイドであるから、人間とは異なるのであるが、姿形、動き、声など表面的な特徴はすべて人間らしく造られているジェミノイドは、いったん相手と対話を始めれば、人間として受け入れられるようになる。

3つ目の時間は、10年や20年といった人の人生にかかわる長さの時間である。ジェミノイドは実在する人間のアンドロイドであり、その人間のある年齢における姿形をもとに造られる。そのシリコンで

造られた皮膚は、年と共に多少劣化はするが、人間はそれ以上の速さで年老いていく。すなわち、ジェミノイドは年をとらないのである。ジェミノイドのモデルとなった操作者が、自らは自宅にこもり、社会においては常にジェミノイドを使い続けるならば、操作者は年老いることはない。

情報メディアを間接的にも時間を克服する役割を果たすものと考えたとき、このように、いくつもの時間間隔において、時間を克服できるジェミノイド

は、情報メディアとして重要な性質を有しているとも考えられる。

#### 参考文献

- 1) 石黒 浩：ロボットとは何か一人の心を映す鏡一，講談社現代新書(2009)。
- 2) 石黒 浩：アンドロイドの存在感，日本バーチャルリアリティ学会学会誌，Vol.14, No.1 (2009)。
- 3) 西尾修一，石黒 浩：人として人とつながるロボット研究，電子情報通信学会学会誌，Vol.91, No.5, pp.411-416 (2008)。
- 4) Ishiguro, H. : Interactive Humanoids and Andoroids : Promise and Reality, Proceedings of the IEEE, Vol.95, No.4, p.699 (2007)。

(平成 23 年 2 月 24 日受付)



## 将棋と時間

羽生 善治 日本将棋連盟／プロ棋士

1970年埼玉県所沢市出身。6歳で将棋を覚える。1982年二上達也九段に入門。1985年プロとなる。著書に『羽生の頭脳 1～10』、『大局観』等がある。

将棋のプロの公式戦には必ず持ち時間があります。現在の最長は名人戦の2日制，9時間で朝の9時に始まって終わるのが翌日の午後9時くらいのもあれば，テレビ棋戦のように2時間弱で一局が終わるものもあります。内容的には大きく変わるわけではありませんが，持ち時間が長くなると内容のムラは少なくなると思っています。

歴史を振り返ってみると今までの最長の持ち時間は昭和13年に行われた阪田三吉 VS 木村義雄の京都，南禅寺の対局と阪田三吉 VS 花田長太郎の京都，天龍寺の30時間の2つの対局です。お互いに30時間ですから，双方，指しかけの封じ手を繰り返して一局に1週間以上の時間を費やしたことになります。時代と言ってしまうとそれまでの話ですが，実にゆっくりと時間が流れていたような気がします。

どちらの将棋も大熱戦になりましたが，仮に持ち時間が10時間だとしても中身は大きく変わらなかった気がします。実験として行ったことはないので明確なことは言えませんが，ある持ち時間からはどんなに増やしても変わらないと思っています。以前は持ち時間が10時間以上が当然だったので長考派の棋士が多かったです。棋士番号1番，金二郎九段もその一人で，長考派として知られています。

ある対局で長考を重ねて中盤の段階で記録係から「金先生，残り2時間です」と告げられたところ，「この将棋を2時間で指せるか」と怒って投了をしてしまったエピソードも残っています。現代の持ち時間を知ったら金先生は何と言うか興味があります。

囲碁の世界では国際棋戦は持ち時間3時間が一般的なようです。ですから，序盤の布石は飛ばせるだけ飛ばして持ち時間を後半に温存をしている棋士が多いという話も聞きました。

将棋の場合でも持ち時間3時間だどこかは省略を必要とする感覚があります。現在は1日制のタイトル戦の場合は4時間，2日制の場合は8時間が主流となっています。全体の流れとしては短縮傾向にあり，最近の1日の対局では深夜になることは少なくなりました。また，チェスの場合はクラシックの場合は40手(将棋でいう80手)2時間+1時間というような設定もあります。このルールだと30手～40手目が最も時間が切迫することになります。

将棋や囲碁の場合は持ち時間を使い切ると後は一手1分未満で終局まで指し続けることとなります。難解な局面においては1分というのはとても短い時間で大きな決断を迫られているような気がします。最近のチェスの大会では持ち時間90分+一手

ごとに30秒ずつ加算というルールも行われているようです。一手30秒の秒読みと似ているようですが、解かりやすいところで早く指せば時間を加算することができるので、秒読みよりは厳しくはない印象を持っています。実際問題としては30秒という時間の中で2つの選択を比較して検討をして決断をするのはかなり大変な作業です。ほとんどの場合はプロセスの途中で決断をしている気もします。個

人的にはあまり短くしてしまうと一局が味気ないものになってしまうと思っています。しかし、一方で時間を短くして今よりもたくさんの対局を行うのも1つの道ではないかとも思っています。

制度が変わればそれに応じて考え方や方針も変えていくのがプロの姿でしょうし、そこには時間に対する柔軟な考え方が不可欠であるとも考えています。

(平成23年1月22日受付)



## コンピュータ将棋と時間

松原 仁 (正会員) 公立はこだて未来大学

1981年東京大学理学部情報科学科卒業。1986年同大学院工学系研究科情報工学専攻博士課程修了。同年通産省工科院電子技術総合研究所(現産業技術総合研究所)入所。2000年公立はこだて未来大学教授。ゲーム情報学などに興味を持つ。NPO 観光情報学会会長、NPO ロボカップ日本委員会会長、NPO スマートシティはこだて理事長。

コンピュータが将棋などのゲームをプレイするときには一般にミニマックス法(アルファベータ法)で次の手を探索する。長い時間かければかけるほど深く探索できるので一般にはいい手が指せる(一般にはと断ったのは、理論的には必ずしも深く読んだ方が強くなる保証はないためである)。したがって長考するにこしたことはないのだが、将棋の対局ではふつう持ち時間が定められていて、その時間内に指さなければいけない。持ち時間を使い切ったときには、一手を30秒ないし1分で指し続ける場合と時間切れで負けになる場合がある。

コンピュータは次の手を読むと同時に、いまだれくらいの時間を使うかを決めなければいけない。探索が推論に相当し、その推論をどこまで続けるか(どこで打ち切るか)という「推論方法に対する推論」をメタ推論と人工知能では呼ぶ。コンピュータ将棋ではこのメタ推論(残り時間の管理)がとても重要である。人間がそうであるように、簡単に次の一手が決まる局面ではあまり時間をかけずに手を決め、勝負を決めるむずかしい局面では十分に時間をかけた。しかしいまの局面がむずかしいか否かを判断することがコンピュータにとってはむずかしいのである。チェスと将棋では持ち時間の制度が異なる。チェスは手数が延びるとそれに従って使える時間も延

びるのが普通なのに対して、将棋は手数によらず使える時間が一定なのである。コンピュータ将棋はコンピュータチェスを参考にしている部分が多いが、時間管理の方法はそのままでは使えないことになる。

探索の時間を管理するのによく用いられるのは反復深化(iterative deepening)という方法である。 $n$ 手先まで読む場合に、一気に $n$ 手先まで読むのではなく、まず一手先、次に二手先と一手ずつ反復して読みを深くしていく。この反復深化はアルファベータ法の効率を向上させるという効果もあるが、時間管理もやりやすい。一気に $n$ 手先まで読むとそれが完了するまで候補手を求めることができないが、反復深化であれば一手先まで読んだときの候補手、二手先まで読んだときの候補手というように途中のいつでもそのときまで得た候補手をあげることができる。制限時間を設定して反復深化による探索を行い、その制限時間になったら探索を止めてそのときの候補手を次の一手として指せばよい。制限時間は序盤、中盤、終盤かによって、さらには残り時間の量によって変化させる。

人間はむずかしい局面では時間をかけて普段より深く読むが、それを真似したアルゴリズムが存在する。反復深化で $m$ 手先まで読んだときの候補手がAでその評価値が $E_m$ でプラスの値だったとする(こ

ちらが有利ということになる)。 $m+1$ 手先まで読んだときの候補手も A で評価値が  $E_{m+1}$  (プラスの値) で、 $m+2$ 手先まで読んだときの候補手も A で評価値が  $E_{m+2}$  (プラスの値) であったとする。評価値はどれもプラスであるが  $E_m > E_{m+1} > E_{m+2} > 0$  が成り立っていたとする。深く読んでも候補手は A のままでしかも評価値がプラスの値なので A と指せばいいような気がするが、評価値の変化を観察すると一貫してプラスであるものの読みを深くするたびにその値が小さくなっている。これは人間でいうところの「いやな予感がする」に相当し、もっと深く読むと A の評価値がマイナスになる (A と指すと不利になる) 可能性があることを意味する。そこでこういう場合は  $m+3, m+4, \dots$  と通常より深く読むことにする。心配は杞憂に終わって再び A の評価値が上がってトップであれば A と指し、A と異なる B の手の評価値がトップになれば B と指す。コンピュータチェスの Deep Blue は世界チャンピオンの Kasparov と 1997 年に対戦したときにこのアルゴリズムを用いて重要な対局に勝利することができた。

人間は物理的に駒を持って動かすので一手指すのに数秒かかるが、コンピュータは手の良し悪しを問わなければ一瞬のうちに次の手を決めることができる。人間の対局では 1 秒未満の考慮時間は切り捨てるのがふつうだが、コンピュータの対局でそう決めると残り 1 秒でも延々と指し続けられることになってしまう。それでは対局が終わらないことが心配されるので、コンピュータの対局では 1 秒未満の

考慮時間を切り上げる規則になっている。25 分の持ち時間でそれが切れたら負けだとすれば最長でも  $25 \times 60 = 1500$  手指せば対局は終了する。

いろいろコンピュータは工夫しているもののメタ推論をうまく行うのは大変で、人間に比べると柔軟な時間管理はまだできていない。コンピュータ将棋の大会ではそういうコンピュータの欠点をついたプログラムが出場することがある。勝ちを目指さずに一手 1 秒以内でひたすら指し続けて相手の時間切れ負けを狙うという作戦である。2010 年の世界コンピュータ将棋選手権に出場した稲庭将棋はこの作戦で一次予選を突破し、二次予選で敗退したものの 2 位になったプログラムに勝つという金星をあげている。稲庭将棋は歩をつくことなく 1 段目と 2 段目で駒を延々と繰り替え続ける。とても強いプログラムあるいは人間ならその作戦を読みきって攻めつぶすことができるのだが、かなり強いプログラムでも作戦にはまってしまっている。興味のある方はコンピュータ将棋協会の Web ページから棋譜を鑑賞していただきたい。芸術的ですからある。コンピュータにとっての時間は人間にとっての時間と異なっているのである。

近い将来に将棋を物理的に指すことのできるロボットを開発できれば、そのロボットにとっての時間は人間にとっての時間と同じものになり、いまよりも公平になると期待される。名人に挑戦するときは「あから」もロボットになっているであろうか。

(平成 23 年 4 月 4 日受付)



## デジタルゲーム AI の時間

— 時間の流れを認識する AI —

三宅陽一郎 (株) スクウェア・エニックス テクノロジー推進部

1999 年京都大学総合人間学部基礎科学科卒業。2001 年大阪大学理学研究科修士課程物理学専攻修了。2004 年東京大学工学系研究科博士課程 (単位取得満期退学)。同年、(株) フロム・ソフトウェア入社。2011 年 4 月より現職。人工知能学会会員。日本デジタルゲーム学会研究委員。IGDA 日本ゲーム AI 専門部会設立者・世話人。共著『デジタルゲームの教科書』(ソフトバンククリエイティブ, 2010 年)。

デジタルゲームにおけるキャラクター AI とは、デジタルゲームの仮想世界の中で、自律的に判断し

行動する身体を持つ知性のことである (以下、単に (AI と呼ぶ)。かつて、デジタルゲームの AI は、操

り人形のように、ゲームを俯瞰的に見て必要な行動ロジックを開発者が組み込んでおくのが常であった(2Dゲームなどを思い浮かべていただきたい)<sup>1)</sup>。これは、状況に固定された「お化け屋敷のお化け」型AIであり、舞台装置の一部としてAIが存在する。一方、3Dゲームでは、デジタルゲームの3D世界の中でAIが主観的に認識を形成し、行動を決定する自律型AIの方向へ移行している。たとえば、一人称視点で銃を使って敵と戦うゲーム分野FPS(ファースト・パーソン・シューター)では、ほとんどこの主観的認識の立場からAIが構築されており、2000年代初頭よりMITメディアラボを中心とする研究グループから技術的潮流が形成された歴史を持つ<sup>1), 2)</sup>。こういった自律型AIは、事象を連続的に記憶する記憶領野と高い思考力を持ち、過去の記憶から未来を予測し、自らの行動プランを立てる能力を持つ。ここでは、ゲーム内の仮想3D空間におけるキャラクターAIが持つ時間について見ていこう。

デジタルゲームにおける時間を捉える場合、「世界時間」「AIの時間」「情報の時間」の3つの時間から眺めると見やすい。この三者は相互に関連しながらも独立して進行する。

第一にゲームの「世界時間」はゲーム世界全体を駆動する時間である。ゲームシナリオの進行、物理運動、キャラクター・アクション、AI、そして描画などは、この世界時間の中で進行しトリガーがオン/オフされながら動作する。

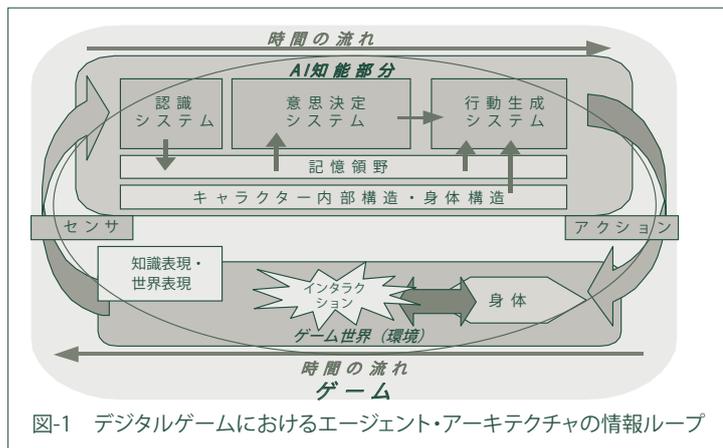
第二に「AIの時間」をAIとゲーム世界の関連を定義するキャラクターAIの構築フレーム「エージェント・アーキテクチャ」を解説しながら見てみよ

う(図-1)。AIは認識と意思決定の中で過去と現在と未来を認識の中に持つ。AIは、タイムスタンプを付けられて積み重ねられた情報(知識表現されたデータの蓄積=過去)として、そこから現在の状況を抽出し、かつ未来の予測を行う。たとえば、記憶情報の中から敵の位置を時刻に従ってトレースすることで、敵の出現位置と時刻を予測する。また、FPSゲーム『F.E.A.R.』(Monolith Productions, 2004年)で採用されたゴール指向型アクションプランニング(Goal-Oriented Action Planning, GOAP)以来、ゲームAI業界では、ゴール指向と行動プランニング技術を用いようとする動きがある<sup>1), 3), 4)</sup>。ゴール指向プランニングとは現在の状況からまず未来におけるゴールを決定し、現在の状態からゴールを達成するまで行動プランをリアルタイムに生成するアルゴリズムである。このアルゴリズムは、従来の現在の状態にのみ対応する反射型AIから、未来に対して行動プランを生成して行動するAIへとキャラクターAIを進化させる転機となった。プランニングと予測によってAIは自らの中に初めて未来という観念を持ったと言える。

最後に、AIとも世界とも独立した「情報の時間」を紹介しよう。AIが取得した情報には寿命がある。たとえば、ある時刻に観測された敵の情報は、敵が見えなくなってから1分後には、情報の信頼度が低下する。そこで、そういった動的な情報には「信頼度」という数値を付与する。信頼度はその情報が現在、どの程度信憑性があるかを数値化した指標である。信頼度は、たとえ観測した時点では100%でも、時間と共に自動的に減衰される。

また複数のAIを連携させるマルチエージェント・システムが組み込まれたゲーム(最近では珍しい)では、AI間で情報をやりとりする際に、同じ情報(たとえば敵Aに対する位置情報)については、その中で最も信頼度の高い情報がAI間で受け渡され、信頼度のより低い情報は上書きされることになる。

キャラクターAIの究極の目標とは「時間と空間」を支配することである。空間に対しては張り巡らせた知識表現を通してゲーム世界の情報を随時アップ



データし取得することによって動的に認識する。一方、時間に関しては記憶とプランニングによって過去から未来への事象の流れを認識し、流れ行く事象全体を支配しようとする思考を形成させる。このような時間と空間に対するゲーム AI を構築する基本が、この 10 年のゲーム AI の開発と研究の中で確立されてきた。今後は、この基礎の上に具体的なゲームタイトル・コンテンツを構築しながら、各技術を研究・発展・洗練し、同時に全体のアーキテクチャを発展させていく両面の促進が、ゲーム AI 分野

の発展に必要とされている。日本では、まだ研究者の少ない分野であるが、研究課題は多く、開発ごとに新しい課題が創出され続けている。世界的に見て産業からも学術研究に対する期待は大きい。

#### 参考文献

- 1) 三宅陽一郎：デジタルゲームの教科書，ソフトバンク クリエイティブ，pp.431- 482 (2010).
- 2) Isla, D., Burke, R., Downie, M. and Blumberg, B. : A Layered Brain Architecture for Synthetic Creatures, Proceedings of IJCAI (2001).
- 3) Orkin, J. : 3 States & a Plan : The AI of F.E.A.R., Game Developer's Conference Proceedings (2006).
- 4) Orkin, J. : Agent Architecture Considerations for Real-Time Planning in Games, AIIDE 2005 (2005).

(平成 23 年 2 月 16 日受付)



## 時刻表現の状況依存性

中島 秀之 (正会員) 公立はこだて未来大学

1983 年東大情報工学専門課程修了 (工学博士)。電総研、産総研を経て未来大学長。人工知能を状況依存性の観点から研究。主要編著書『知能の謎』(講談社ブルーバックス)、『AI 辞典第 2 版』(共立出版) 他。

私の専門分野は人工知能である。人間の持つ知能の柔軟さをコンピュータ上に再現したくて苦労してきた。人間のさまざまな知的能力のうち私が最も驚愕しているのは、新しい状況への対応能力である。プログラムを含む機械システムは想定された状況ではうまく機能する(ことが期待されている)が、想定状況を少しでもはずれるともう機能しない。単に機能しなくなるだけなら良いのだが、何をするのか予測不能だからよけいに怖い。これに対し、人間は想定から少しはずれた状況でも、あるいは場合によってはまったく新規の状況でも適当に合わせる能力を持っている。この能力の全体像はまだよく見えていないのだが、今回のテーマである「時間」に関して少し考えてみたい。

まずは時刻の表現について見てみよう。

親が子供に「もう 10 時だから寝なさい」と言うとき、日付も午前・午後の区別すら言わない。一方、友だちと電話で待ち合わせ時間の打ち合わせをするときは「明日 10 時に待ち合わせましょう」とか、もっと先のことなら「何月何日の朝 10 時」と日付を言うことだろう。国際電話となるともっと大変で「今

日本時間で 14 日の午後 10 時。これから午前零時 5 分発の飛行機に乗るから、カリフォルニア時間で明日の午後 5 時 10 分に着くので、迎えに来てくださいな」など、それぞれの時間帯まで言及する必要がある(それでも混乱するかもしれない)。

これらの表現の違いは何に起因しているのか？

話者と聞き手を包含する時空間の広さの違いである。親子の例では時間も場所も共有している。時刻すら言わずに「もう寝なさい」だけでも良いかもしれない。友だちは離れた場所にいる。また打ち合わせている内容は現在ではなく未来である。しかし、日本という空間は共有されている。国際電話では、場所どころか時間帯すらも共有していない。

私は小型機のライセンスを持っている。日本で飛行機を運航する(つまり飛ばす)場合には、飛行計画書(フライト・プラン)を事前に国土交通大臣に提出することになっている。そこには飛行開始時間と飛行時間(共に予定)を記入する欄があるが、これには日本国内でもグリニッジ標準時を使う(旅客機は時間帯を超えて飛ぶものだから)。世界中が同じ時間帯なら国際電話での打ち合わせも楽になるという

理屈だ。グリニッジ標準時は日本時間とは9時間の時差があるので計算（あるいはグリニッジ標準時を表示する時計）が必要である。そして、無事到着したときにはフライト・プランのクローズとあって、到着を連絡する必要がある。大きな空港では管制官が自動的にプランをクローズしてくれるので良いのだが、管制塔のない小さな空港（たとえば茨城県の阿見飛行場や北海道の鹿部飛行場など）では自分で電話をしなければならない。うっかりこれを忘れてしまい、到着予定時刻を30分過ぎると、どこかで落ちたのではないかということで大騒ぎ（まずは到着空港に確認の電話が入り、報告忘れが判明すると大目玉をくらう）が始まる。そう、飛行計画書の目的はこれで、墜落した場合にどこを探せば良いかの手掛かりとなるわけである。ちなみにアメリカでは民間の小型機が有視界で飛ぶ場合にはフライト・プランの提出は任意である。落ちたときに探して欲しければ提出しておきなさいといったスタンスなのだ。

さて、このプランのクローズのときにもグリニッジ標準時を使って、電話で「JA3800は03時18分に着陸しました」（03時は日本時間では正午）とか言うのだが、別の簡便な手段として「この時間の18分に着陸です」というような言い方が使われている。これだといちいち換算する手間が省けるし、1時間間違ってしまうというようなミスも避けられる。

そう、ミスが減るのだ。単に表現が短くてよいのではなく、余分なことを言わないことによってコミュニケーションミスが減るのである。コミュニケーションはできるだけ多くの情報を伝えれば良いのではなく、必要最小限のことだけ言うのが良いのだ。

ところが、である。コンピュータで時刻を表現しようと思うと常に2011/01/12 10:38 JSTみたいな表現になってしまう。これでは会話の内容を表現したりするとき不便だ。たとえばホテルの音声予約システムなどが、お客に毎回歴年から言わせていたら、あるいはシステムが毎回歴年から発話していたら、ちょっと（いや、かなり）鬱陶しい。入力を受ける場合はデフォルト値を持っていてそれで補完する方法が使えるが、出力の場合にはそうはいかない。何を言い、何を言わなくてよいかは、かの有名な「フ

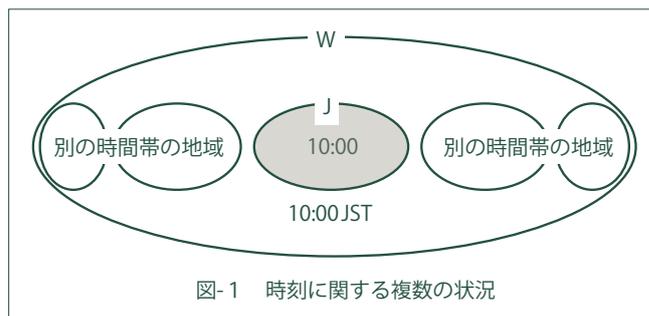


図-1 時刻に関する複数の状況

レーム問題」というやつで、自明ではないのである。

最近では忘れ去られているようだが、昔々（1980年代）状況理論というのがスタンフォード大学を中心に研究されていた。私もしばらくそれに参加していた。状況理論では時空間のような場を状況として、情報内容とは別に記述して扱うことを提唱している。

$$s \models \sigma$$

と書いて、状況  $s$  は情報子  $\sigma$  を支持している、つまり状況  $s$  では  $\sigma$  が成立していると読む。普通の論理式は  $\sigma$  の方しか存在しない。

そのとき私が思いついたのが、 $\models$  を超えた情報の移項である。 $y=x+a$  という方程式の  $a$  を右辺から左辺に移項して  $y-a=x$  とするのと同じだ。ただし、 $\models$  を超えても符号は変わらない。

$$W \models 10:00 + JST \quad \text{と} \quad W + JST \models 10:00$$

は等価であると考え。ここで  $W + JST = J$  とおくと、 $W$  は世界、 $J$  は日本の状況に対応すると考えて良い(図-1)。

この状況依存表現を使うと、対話で何を言うべきかはある程度計算可能になる。話し手と聞き手を含む最も小さな状況を基準とすればよい。親子は時間も場所も、それ以外のさまざまな状況も共有している。だから表現は小さくてよい。長年連れ添った夫婦の「阿吽の呼吸」というのはその最たる例である。これに対し国際電話では共有している状況が小さいので、たくさん表現しないとイケない。

ただし、これは解決の糸口であって終点ではない。どのような状況を共有しているのかを間違えると、とんでもない誤解の原因となってしまう。時刻の表現1つをとっても、日ごろ何気なくこなしてしまう人間ってやはり凄いのである。

(平成23年2月24日受付)



## 時間分岐／人生の棋譜化

青山 拓央 山口大学時間学研究所

1975年生まれ。現在、山口大学時間学研究所准教授。哲学の観点から、特に時間、言語、自由を考察。主な著書に『新版 タイムトラベルの哲学』（ちくま文庫）、『（私）の哲学を哲学する』（講談社、共著）など。

### 時間分岐

将棋や囲碁やチェスの棋譜には、選択枝の時間分岐点が含まれていない。これがどういう意味かについて、紙面の許す限り、考えてみよう。

我々は日々の選択を、時間の分岐図としてしばしば描写する。たとえば、外に食事に出る可能性と食事に出ない可能性の両方があるなら、時間軸上のある時点でこの2つの可能的な歴史が分岐すると考えるわけだ。そして、この分岐点上には「決断」や「自由意志」といったものが置かれる。

しかし、この描像には欠陥がある。分岐点上に何らかの決断 X があるとして、食事に出た歴史と出なかった歴史を、それぞれ歴史 A / 歴史 B と呼ぶことにしよう。すると、決断 X は歴史 A にも歴史 B にも、同一のものとして含まれていることが分かる。分岐点はどちらの歴史にも共有されているからだ。だとすれば、決断 X によって食事に出た（決断 X がなければ食事に出なかった）、という言い方はもうできない。

では決断 X は、分岐図上の別の場所にあるのか？

分岐図上のどこにそれを置いても、結局はうまくいかない。分岐点より前に決断 X があるなら、それは分岐点上にある場合と同じく、選択に影響を与えることができない（どちらの歴史にも含まれているので）。だが、分岐点より後に決断 X があるなら、今度は次の問題が生じる。決断 X を含む歴史が現実になり、それを含まない歴史が現実にならなかったとすれば、なぜか？ つまり分岐点上で、歴史 B ではなく歴史 A が選ばれたのはなぜか？

もちろん、この問いに対して、「決断をしたからだ」と答えることはできない。それでは、また分岐点上に何らかの決断を置くことになる。整合性のある答えは2つしかない。1つは、時間の分岐など本

当はなく、だから可能性の選択などない、という答え。もう1つは、分岐点上での可能性の選択はまったくの偶然であるという答え。

ここで「確率」という言葉を持ち出しても、現在の問題への答えにはならない。明日雨が降る確率が0.1パーセントしかなかったとしても、実際に雨が降るときには降る。では、どうして、この低確率の現象が実現したのか。その答えはやはり、偶然である。確率概念は、偶然的な諸現象の統計的な偏りを説明してくれるが、ある特定の1つの選択がどのようになされるのかは説明しない。

2つの答えのどちらを見ても、決断による選択という常識はきわめて維持困難なものになる。人間は、本当は選択などしていない（歴史には一通りの可能性しかない）か、あるいは、選択はすべて偶然にすぎないかの、どちらかになってしまうからだ。

### 人生の棋譜化

コンピュータは将棋を指すことができるが、そこに以上の問題は生じない。なぜならコンピュータは決定論的なシステムで動いており、特定の状況（局面だけでなくコンピュータ内のすべての状況を含む）では必ず同じ手を指すので、可能性の選択をしてはいないからだ。疑似乱数を使用した場合も、根本的な問題は変わらない。

では、人間が将棋を指す場合はどうか。そこでは、日々の選択と同じく、何らかの決断がなされているように見える。だが先述した通り、その決断を時間分岐図上に置くことはできない。ならば、実は人間も決定論的に将棋を指している——自然法則の完全な決定下において——ののだろうか。それとも、偶然の支配のもとで将棋を指しているのだろうか。いずれにしてもこれでは、「指している」というより「指

させられている」と言いたくなる。

分岐図上に決断は存在するのか。きわめて厄介なこの問いは、しかし、棋譜上ではすべて消されている。なぜなら棋譜とは、可能性についての時間分岐点を(つまり分岐図そのものを)けっして記述しないものだからだ。

将棋の初期局面で、先手は30種類の手を指すことができる。そのすべての手に対し、後手は30種類の手を指すことができる。つまり、対局開始からたった二手の間に900通りもの可能性の分岐が生じ、そのうちただ1つだけが選ばれることになる。棋譜ではこの一連の過程が、たとえば「▲7六歩 △8四歩」のように記される。ここには、たった2つの情報(▲7六歩と△8四歩)しか書かれていないが、実際には、ほかにどんな手が可能だったかについての、すべての情報が含まれている。棋譜は、そこに書かれた現実だけでなく、書かれていない他の可能性にも言及したものとしてみなされてはならない。

とはいえ、▲7六歩から△8四歩へ何が生じたのかは、この棋譜に何も記されていない。考慮時間が記されていたとしても、▲7六歩からなぜ△8四歩への歴史が選ばれ、ほかの歴史が選ばれなかったのかについて、棋譜は完全に沈黙している。次の一手の考慮中に、人間の脳裏にはさまざまな思考が浮かぶが、そのどれか1つを真の決断(分岐した可能性を選択するもの)と見なせないことはすでに述べた。たとえ棋譜に考慮中の思考を次々と書きこんだとしても、どの思考が決定的要因だったのかについて、棋譜はやはり教えてはくれない。

言語の本質の1つがここにある。言語は事物を切り分けることをその機能としており、そのため言語は、連続的な時間を細切れにする。▲7六歩から△8四歩へと至る流れを完全に言語化することはできず、可能性の分岐点は—仮にそれが存在するとして—、言語情報から必ず逸脱するものとしてのみ

想定される。分岐点はたまたま記述されないのではなく、分岐点を記述しない／記述できないという点にこそ、言語の本質が現れているのだ。

その意味で、行為を言語で記述することは、人生を棋譜化することだ。それが棋譜化である以上、ある行為をなぜしたのかについての究極的な答えはけっして述べられない。分岐点がどこにあるのかは行為の最大の謎であり、棋譜化とはまさにこの謎を公共的に覆い隠す作業である。

人間社会は、棋譜化によるこの隠ぺいによって、今日のように成り立っていると見てよい。もしこの隠ぺいが白日のもとにさらされ、人間は実はだれ一人自分で選択などしていない(すべては決定済みか、あるいは偶然の結果)という「事実」が公共化し

たなら、倫理や価値判断の意味は根底から変化することになる。

私が外に食事に出たとき、それが私の選択だと見なされ、行為の責任をも背負わされるのは、我々が公共的な棋譜化を行っているからだ。「食事に出た」という指し手が棋譜化されるとき、この棋譜は、「食事に出ない」という指し手もまた可能であったことを書いたものとして読まれなくてはならない(あの「△8四歩」の棋譜と同じように)。

このとき、どうしてそのように読まなくてはならないのか—他の可能性があったことなど物理的には検証不可能なのに—と問い続ける人物は、人間社会から追放される。棋譜を棋譜として読める人物だけが、人間社会という対局の場に参加することが許されるからだ。

(平成23年2月21日受付)





## 現在＝潜在性の共鳴：群れをモデルとする時間

郡司ペギオ幸夫 神戸大学

1959年生。東北大学理学部地学科卒（1981）、同大学院にて理学博士（1986）、神戸大学助手、助教授を経て2000年より神戸大学理学部教授。著書に『時間の正体』（2008、講談社）、『生命壺号』（2010、青土社）。

時間についての議論、もしくは時間が直接関与する運動についての議論は、多くの場合、不可能性に達する。哲学者マクタガートによる、時間の非実在性という表題の論文や、飛んでいる矢は止まっていると結論し、アキレスは決して亀に追いつけないとするゼノンのパラドクスなど、すぐにもいくつかの頭が浮かぶ。

これら不可能性に達する議論は、ほぼ共通の構造を持っている。予定されるもの（可能性）と実現されたもの（必然性）の対によって、進行中の現在や運動の構成を試み、矛盾を帰結するという構造だ。アキレスと亀では、先行する亀が或る距離を進み、アキレスはそこに至るために（亀に追いつくために）、亀までの中間点を通過しなければならない。無限個の中間点の通過は、極限をとれば収束し一瞬で片付くが、プロセスと考えると無限の時間を要し終わらない。ここにおいて、先行する亀は、そこに至るまでのさまざまな距離、つまり、アキレスの未来の可能性を意味し、中間点に辿り着いたアキレスは、実現された過去、1個の必然的結果、つまり、必然性を意味する。プロセスとして構想される運動は、可能性としての未来と、必然性としての過去の接続によってその構成を試みられ、破綻する。これがアキレスと亀の構造だ。

マクタガートの時間に関する議論は以下のようなものだ。時間は、現在・過去・未来という時間の枠組み（A系列）と、年表のような出来事の点列（B系列）との相対運動として理解するしかないとされる。つまり点列の上を、現在（および過去、未来）という

時間様相が移動していく。しかし、A系列とB系列は整合せず、この試みは破綻する。A系列で指定される現在は、広がりをもった可能性としての現在である。対してB系列では、この点が現在であると指定される形で現在を存立させる。つまりB系列では、現在はただ1個の必然者として指し示される。こうして、現在は、可能性と必然性の中で引き裂かれてしまう。それがマクタガートのいう、時間の非実在性だ。

可能性と必然性の対として現在を構想するという発想は、ありふれたものだ。サイコロを振る以前、可能性は6個あり、振った後、可能性は唯1個の必然性に縮退する。可能性としての未来と、必然性としての過去があり、サイの一振りとして進行する現在は、その間にある。だから、可能性と必然性の接合は、6個とその中の1個に折り合いを付けられるか、という問題を生む。それは不可能だ。こうして現在は、接続できない可能性と必然性との空虚な点となり、時間の非実在性が帰結される。それでいいのだろうか。

時間を可能性と必然性の間として理解しようとする枠組みは、必然へと縮退する1点、1個の観測者を意味する単線的なものだ。この枠組みにあって、未来は観測者の知識では決定できない、他でもあり得る可能性として書きくだされ、観測者は、そこから1つの結果を享受することになる。しかし可能性が、その範囲を明確に書き下されるには、観測者が、世界とは独立の抽象的な存在でなければならない。観測者が世界内の具体的存在なら、世界と相互



作用することは避けられないし、自らの存在と独立に可能性を措定することは不可能だから。もちろん、観測者は抽象的存在ではない。観測者にとっての括弧付きの可能性は、観測者が世界を観測するという相互作用の結果、もたらされることになる。観測者が世界を観測するとき、観測者も世界の外部から観測され、その結果、括弧付きの可能性という個物が生成される。(括弧付きの)可能性もまた、観測の結果、世界から縮退するものだ。可能性・必然性の対置的枠組みでは、ただ必然性の属性であった縮退が、可能性においても見出されることになる。可能性と必然性の間に、もはや徹底した差異はない。

観測者が、世界内において自らを観測者とすることは、すでに生成であり、相互作用であり、世界との相互観測を意味する。ここに、複線的な描像、相互観測という世界像が得られる。ただし、相互観測の全体を見渡してしまつては、世界の複線性は失われることになる。1個の観測者に定位しながら、可能性と必然性の差異を無効にするような立ち位置が構想され、そこに現在が開設されることとなる。

図-1に複線的な時間のモデルを与えよう。右のボックスには2つの可能性、左のボックスには実現された1つの必然性が、矢印として描かれている。両者の間に時間を構想するとき、不可能性が得られる。ここでは、そのような可能性、必然性は、現在を単線的に仮構した上で得られる極限的描像に過ぎないと思ふ。中央のボックスは、複線的な、互いに観測し合う世界として構想される現在を示している。矢印の束であるところの可能性や必然性は、その都度区別されながら、厳密には不可分な観測のネットワークにおいて、生成される。このネットワークをここでは、潜在性の空間と呼ぶこととする。潜在性の空間は、観測者の群れといつてもいい。群れでの結果の縮退は、他の観測との相互作用の結果であり、他の観測との邂逅である。中央のボックスで各々2つの矢の始点となる2つの点が、2人の観測者を意味している。ただし、ここで定位している観測者は上に位置する観測者だ。2人の観測者は、互いに終点を一致させた矢を有している。これは2人の相互作用において、ある結果が実現しやすいこ

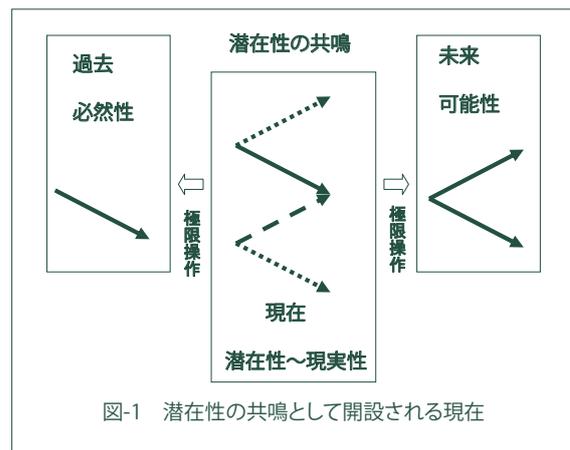


図-1 潜在性の共鳴として開設される現在

とを意味する。これを私は、潜在性の共鳴と呼ぼう。潜在性の空間において、観測者各々が有する2つの可能性はもはや等価ではない。定位した観測者にとって、実現されるだろう結果(実線矢)は、他者の可能性(破線矢)の予期を通して予期される。このような潜在性の空間が、生成・維持され続ける。

現在とは潜在性の共鳴である。観測者は互いの振る舞いを予期し、運動する。潜在性の空間に、純粋な可能性は存在しない。経済空間を潜在性の空間と考えることは容易いだろう。通常、経済活動を駆動する<私の>欲望は、未来に投射された可能性と理解される。しかし経済活動は、他者とのかわり、相互観測によって実現され、<私の>欲望は<他者の>欲望でも有り得る。こうして欲望は、社会に投射され潜在性と理解され、経済活動は、複線的な時間を紡ぎだす。予期が顕著である世界は、馴れ合いの、半ば八百長的な社会と認められるだろう。しかし、ことは社会に留まらない。相互作用が観測である以上、世界は潜在性の共鳴として成立する時間を紡ぎだす。社会と世界の間にあるのは、単に、程度の差異に過ぎない。この限りで現在は、不可能な点ではない。

(平成 23 年 3 月 9 日受付)



## 宇宙開闢とプランクタイム

福江 純 大阪教育大学／天文学者

1956年山口県宇部市生まれ。1978年京都大学理学部卒業。1983年同大学院修了。大阪教育大学助手、助教授を経て、2004年より大阪教育大学天文学研究室教授。理学博士。専門は理論宇宙物理学。

10のマイナス44乗秒と10のマイナス33乗cm。これら極微な時間と長さは、時空という織物の編み目のサイズである。あるいは別な言い方をすれば、これらは、離散化された時空と呼ばれる自然コンピュータの最小グリッドである。前者をプランク時間 (Planck time)、後者をプランク長さ (Planck length) と呼んでいる。

どっからこんなとんでもない数値が出てきたんだろう。実は難しい物理は必要なくて、次元解析を使えば高校生でも計算できる。

ぼくたちの住んでいる世界を表すいくつかの自然定数がある。その1つは、時空の関係に直結した光速  $c$  だ。質量を持った粒子は光速を超えることはできないが、質量のない粒子 (光子と重力子) のみが真空中を光速で伝わる。そしてどんな観測者からみても光速は不変である。しかし、その理由は誰も知らない。だから、光速不変の“原理”である。ただ、そう考えて構築された特殊相対論は、ぼくたちの世界をまことによく説明してくれる。

2つ目は、物質の質量、重力の強さを規定する万有引力定数  $G$  だ。これもぼくたちの世界に普遍的に備わった定数で、宇宙のどこでも、いつの時代でも変わらないと仮定されている (証明はされていないけど)。これもまことに微妙な値に設定されていて、もし万有引力定数が少し大きければ星はみな重力崩壊してしまっただろうし、少し小さければ星として形成できなかっただろう。質量の原因も万有引力定数の設定値も、その理由は誰も知らない。しかし生命の発生にとっては、とても都合よく設定された自然定数だ。

さらに3つ目は、ミクロな世界を記述するときには欠かせないプランク定数  $h$  である。このプランク定数が小さいとはいえず有限の値を持つが故に、ミ

クロな世界では0 (ゼロ) という概念が許されなくなってしまう。必ず小さな (量子) ゆらぎが存在するし、ものごとは連続的ではなく離散的になり、確定的ではなく確率的になってしまう。そして0時間も0距離も存在しない。この理由も誰も知らない。しかし、ぼくたちの世界は何故かそうなっているし、プランク定数がなければ、エレクトロニクス文明もコンピュータも存在できなかった。

プランクタイムはどこに行ったのって感じだけど、この3つの自然定数は、それぞれに長さ (L) ・時間 (T) ・質量 (M) に関する次元を持っている。たとえば、光速  $c$  は、 $c=3 \times 10^{10}$  cm/s という値だが、次元としては、 $LT^{-1}$  という次元をもつ。そこで、3つの自然定数を組み合わせて、時間の次元をもつ量を作ってみると、唯一可能なものが、

$$t_P = \sqrt{Gh/c^5}$$

という組合せで、これがプランク時間なのだ。具体的に計算してみると10のマイナス44乗秒になる。同様に、

$$l_P = \sqrt{Gh/c^3}$$

がプランク長さである。

これらのプランクスケールは、ぼくたちの世界を記述する自然定数から転がり出た数値なので、何か特別な値であることは間違いない。

ちなみに、地球の大きさや運行をもとに人間が勝手に作った尺度 (SI単位や cgs単位) で表すと、とんでもなく小さな数値になる。しかし、光速  $c$  と万有引力定数  $G$  とプランク定数  $h$  自体を単位とする自然単位なら、プランク時間もプランク長さも1になる。自然単位ではこれらは基本数値なのだ。

さて、プランクタイムは最小の時間単位であり、最小の時間単位であることは同時に、最初の時間でもある。いまから137億年前に宇宙は無から誕生

したと考えられているが、それ以前には時間と空間もなかったわけで、そもそも“それ以前”というモノもなかった。その宇宙開闢のとき、時間は0からスタートしたのではなく、有限のプランク時間から時間は刻み始めたのだ。

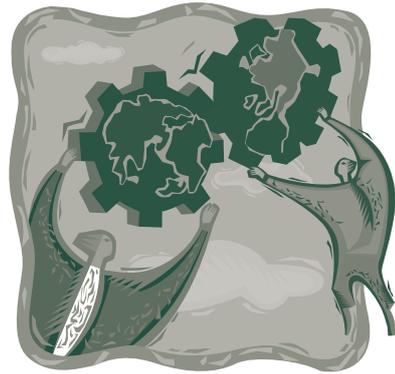
プランク時間は宇宙開闢の時間であると共に、その後の宇宙の時刻を刻むタイムステップでもある。同様に、プランク長さは開闢時の宇宙のサイズであるとともに、膨張していく宇宙空間の空間ステップでもある。

したがって、現在の宇宙でも、その時空をプランクスケールぐらゐまで拡大してみることができれば、最初に書いたように、時空の編み目はプランク時間とプランク長さで格子状になっているだろう。またそのスケールでは時空はつねにゆらいでおり、粒子・反粒子対が仮初めに生まれては消え、ブラックホールが一瞬存在したり、ワームホール対が束の間現れたり、さまざまな事象で時空(真空)は泡立っていると考えられている。そしてプランクスケールではエネルギー保存則も因果律も消し飛んでいることだろう。

もし時空のグリッドが離散的なら、映画のフィルムのように、あるいは、多くの引き出しのように、各時間フレームに因果関係がある必然性はないかもしれない。

たとえば、フレッド・ホイルの古典SF『10月1日では遅すぎる』やアーサー・C・クラークとステイブン・バクスターの『時の眼』では、つぎはぎの時間が出てくる。谷川流『涼宮ハルヒの憂鬱』でも“時間平面理論”が出てくる。いままでみてきたように、これらの考えは、あながち的はずれなものではない。もっとも時間が離散的とはいっても、空間も離散的だから、すべての空間に共通する時間平面があるわけではなからう。時空全体がプランク時間とプランク長さでデジタル化されているのだ。これはいわば、大昔に湯川秀樹が唱えたマルへの回帰である。以前に、量子化された時間量子をクロノンと呼んだことがあったが、時空量子はプランキオンとマルとどっちがいいだろう。

しかしもっと先へ想像してみよう。



もし時空の織物がデジタル化されていれば、キルトデザインのように、あっちこっちにパッチワークがあっても、他の時空領域からはわからないだろう。もしかしたら、情報を伝え時空の因果関係を結ぶのは、物質粒子や光子ではなく、量子結合なのかもしれない。

現在では、時間と空間は時空という実体の一部で、エネルギーと物質は等価で、さらに時空とエネルギー・物質は不可分のものだと考えられている。時空の織物と物質という中身は、実はもともとは同じ実体だったに違いない。宇宙の最初には、おそらくすべてが光と等価だったのだろう。やがて、ヒッグス粒子と呼ばれる存在によって、一部の光が質量をもち、時空と分離したようにみえているだけなのだ。プランクスケールまでいけば、時空・物質・エネルギーの本来の姿に戻るだけかもしれない。

ところで、極微な時空のグリッドに対して、プランク時間と同じ方法で求めた質量—プランク質量—は、約1万分の1グラムほどになる。これは、プランク時間やプランク長さに比べ、あまりにも大きい。プランク質量がこのように大きな値になっているのは、いまでも大いなる謎である。

(平成23年2月5日受付)



## 量子コンピューティングとタイムマシン

萩谷 昌己 (正会員) 東京大学

東京大学情報理工学研究所所属。DNA コンピューティングの研究もやっているが、量子コンピューティングの研究はしていない。

えらいものを引き受けてしまった。いくらエッセイといえども、これは大変だ。大変すぎる。「量子コンピューティングとタイムマシン」というお題である。

さいわい、うちの研究室の角谷良彦大先生（助教が大先生のように見える）は、最近では量子情報の研究もされていらっしゃるの（敬語に敬語をエンタングルさせてみる）、とりあえず、彼に解説を頼むことにした。ということで、大先生のお陰で分かったような気分になっているのだが、当然ながら、本当のところは何も分かっていない。ようするに、この話、量子コンピューティングよりもはるかに奥が深く、「場の量子論」というものが分かってないと、全然分からないからである（これでは読者にあまりにも申し訳ないので、とりあえず、場の量子論の教科書 2,900 円を買った。これで勘弁して欲しい）。それにひきかえ、量子コンピューティングの方は、キュービットとか、エンタングルメントとか、ユニタリー変換とか、最近ではいろいろな教科書もあって、線形代数くらいの知識で、入門の入門くらいのことは分かるようになってきているのだが、場の量子論ともなると、これはどうしようもないということである。したがって、この文章は、ずぶの素人がいかにして分かった気になっているかについての言い訳を書くという文章になってしまっていることをご了承いただきたい。

もとねたは、

<http://wiredvision.jp/news/201101/2011012422.html>

というところにある。ここから、さらに、

S. Jay Olson and Timothy C. Ralph : Extraction of Timelike Entanglement from the Quantum Vacuum, <http://arxiv.org/abs/1101.2565>

という論文が参照されている。arXiv は査読前のアーカイブだから、まだこの論文自体がオーソライズされているわけではないので（つまり怪しい論文かもしれないので）、それに関して解説すること自体、はたして、よいのであろうか。しかも、ずぶの素人が…。

さて、エンタングルメントとは、最近では、耳にタコができるくらいに聞かされているので、一応、説明できる。2つの粒子の量子状態が相関していることで、片方の粒子の量子状態が観測によって確定すると、もう片方の粒子の量子状態も（ある程度）確定してしまう。もう少し具体的にいうと、0か1の状態をとる粒子（いわゆるキュービット）が2つあったとき、全体の量子状態（正確には純粋状態）は、4通りの場合  $|00\rangle$ ,  $|01\rangle$ ,  $|10\rangle$ ,  $|11\rangle$  を基底とするノルム 1 の複素ベクトルとなるが、たとえば、

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$$

というベクトルは典型的なエンタングル状態で、片方の粒子を観測して 0 になると、もう片方も 0、片方が 1 ならば、もう片方も 1 になる、という状態である。いうまでもなく、 $|00\rangle$  というのは、両方が 0 である状態を表している。

さて、くだんの論文であるが、アブストラクトの最初からして、まったく分からない。massless quantum vacuum とは何なんだ。最初の massless という点であるが、この話、とりあえず、粒子には質量がないことを仮定しているらしい。また、quantum vacuum とは、量子論における真空、ということらしい。Wikipedia 先生によれば、quantum vacuum とは、エネルギーが最小の状態として定義され、必ずしも何も無い状態ではないらしい。実際に、何も無いわけではない。

そして、さらに重要なことは、相対論のもとでは

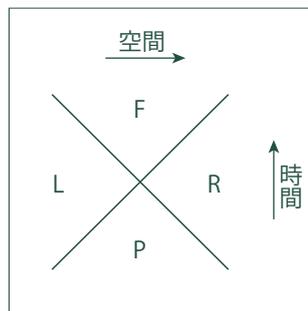
(このへんのところはまったく分かっていないのだが), quantum vacuum はそもそもエンタングルしているということである。つまり, 真空そのものがエンタングルしているのである。したがって, 真空に置いた2つの観測装置のそれぞれが, 独立に局所的に場(ようするに回りの真空)とインタラクトすると, その結果, 2つの観測装置がエンタングルしてしまうということらしい。このことは, 上の論文から参照されている,

Benni Reznik, Alex Retzker, and Jonathan Silman : Violating Bell's inequalities in vacuum, Physical Review A 71, 042104 s2005d

という論文に書かれている。

真空自体がエンタングルしているので, さまざまな(とんでもないような)現象が生じる。その1つが, ウンルー効果 (Unruh をウンルーと呼んでよいのかどうか分からない) と言われている現象で, 加速する観測者は, 慣性観測者とは違って, 真空中に黒体放射を観測するのだそう。ようするに, 真空なのに熱いのである。ただし, ウンルー効果は実際に観測されたことがない, ということである。

このウンルー効果を導き出すために, ミンコフスキー空間という相対論の道具が出てくる。ミンコフスキー空間とは, 簡単には, 空間の3軸に時間軸を加えた4次元の空間のことである。下図は, 空間のz軸を左から右に, 時間軸の過去から未来を下から上に, 描いた図である。



斜めの線は, 光速を表している。したがって, Lと書かれた領域にある時空間点と, Rと書かれた領域にある時空間点は, 光の速さでも通信できないはずである。しかし, 何を隠そう, これらに置かれた観測装置が, 上で述べたように, エンタングルしてしまうのである。

LとRのエンタングルメントを導くために, ある種の座標変換を行うのだが, 何と, その座標変換を少しだけ手直ししてやると, FとPのエンタングルメントが得られてしまうのである。ここが, OlsonとRalphの論文の胆である。つまり, 過去と未来がエンタングルする, ということである。OlsonとRalphの論文では, 上のReznikたちの論文の観測装置を真似して, 過去と未来をエンタングルさせる観測装置を構成している。

と, ここで, 力尽きてしまったので, 後は原論文に譲りたい。つまり, OlsonとRalphは, 論文の最後の最後で, Pに置かれた観測装置とFに置かれた装置による量子テレポーテーション・プロトコルについて言及している。P観測装置とF観測装置の間にエンタングルメントの源がある。

「P観測装置のすべての操作とテレポートされるキュービットの生成は, 時刻 $t=0$ で行われる。そして, 古典的な情報のみが未来Fへと送られる。未来では, F観測装置が場とインタラクトする。すると, エンタングルメントの源の半分がそこで形成される。そして, Pから来た古典的な情報を使って, F観測装置から, テレポートされたキュービットを復元する。このようなプロトコルは, 時間テレポーテーションと呼ぶべきである。なぜならば, 未来におけるインタラクションより以前では, テレポートされたキュービットを復元することは不可能だからである。」

なるほど。過去から送られた情報を観測するまで, その情報は絶対にどこにも漏れないのである。

タイムマシンというよりは, タイムカプセルというべきかもしれない。場の量子論を駆使して得たにしては, 少し物足りないような気がする。しかし, ややこしい数式をいじり倒して, おそらく宇宙規模でしか使えないような情報処理の仕組みを考えることは, とても素敵なことである, と思った。暇と気力があれば, ぜひもう少し勉強したいものだ。願わくば, ▲▲プログラマにでも分かる, 場の量子論の教科書が欲しいなあ。

(平成23年3月1日受付)



## 生物学の中の時間

衆 和彦 熊本大学

1987年東京大学医学部卒、初期研修後、大阪大学大学院、東京大学医学部助手、ハーバード大学、タフツ大学客員研究員を経て、2002年より熊本大学発生医学研究所准教授分子生物学者・医師（睡眠医療認定医）。

私の本業は分子生物学研究者で医師であるが、コンピュータのプログラマでもあり、今も研究用ソフトは自分でプログラミングし、Twitter、Facebookなどネットの新しいものも大好きである。その端緒は、医療情報分野の立ち上げに尽力された開原成允先生が顧問をされ、医療情報分野で現在もご活躍中の大江和彦先生が作った東大医学部の学生クラブであるコンピュータ医療研究会に入ったことだ。実は、この文の執筆を京大の奥乃博先生に依頼されたのが本年1月で、その翌々日の1月12日に奥乃先生から思いもかけず開原先生の訃報を受け取ることになってしまった。開原先生は、学生時代に私が直接面倒を見ていただいた数少ない先生の一人で、穏やかで気さくで、統計ソフト開発、初めての本の執筆機会なども与えていただき、とても可愛がっていただいた。私がこの文を書かせていただけるのも、プログラミングを研究に活用できているのも、開原先生のおかげが大きい。さらに東大退官後は患者中心の医療の実現のために尽力され、その活動の方でも再会することがあり、心から尊敬していた。副学長をされていた国際医療福祉大学の教授会の司会中に倒れられたとのことで、まだまだ今後も活躍していただきたかったもので、本当に残念でしかたがない。そのような事情で、個人的な話から書き始めたことをお許しいただきたい。

さて、生物の時間には、秒、分から年の単位まで長さそのものに意味のある時間、1日の時刻や1年の季節のように位相に意味のある時間、発生などの順番を守るため使われる時間、さらに神経細胞などでは同時性判定のための時間など、種々の意味を持つ時間がある。生物の時間はフレキシブルで、たとえばカエルの卵がオタマジャクシになる時間は、水温が違えば長さが異なるし、温度が異なれば寿命の

長さも異なる。つまり物理的な時間とは異なる。また、本川達雄先生の名著『ゾウの時間 ネズミの時間』にあるように、体の大きさと心拍数も寿命も異なり、動物種により違う時間スケールを生きているように見える。一方、私の専門は、概日周期という1日のリズムを刻む生物時計で、当然ながら自転周期は温度・季節によらず24時間なので、24時間という絶対的な時間に意味がある。そこで、概日周期は、温度が変わっても周期が大きく変化しない温度補償性という、生物学的に面白い性質を示す。地球は昼と夜の環境変化が大きく、おそらく、その変化を予測できる方が進化上は適応的だったため、概日周期は植物・動物・一部の細菌まで、ほとんどの生物に存在する。

私と概日周期との出会いは学生時代で、冒頭に書いたコンピュータ以外に学んだものに、まだ若い分野だった分子生物学がある。当時の最先端の教科書がDNAの構造発見でノーベル賞を受賞したJ. WatsonらのMolecular Biology of The Geneで、1981年頃に駒場の自然科学研究会で原書を読んだ。その中で印象に残ったのがピリオド変異で、24時間周期が異常になったショウジョウバエである。変異とは何らかの遺伝子異常が原因で起きる現象で遺伝病のようなものだが、ピリオド変異が発見されたのは1971年、その遺伝子の発見が1984年、さらに人間でも同じ遺伝子が発見されたのが1997年である。そのため、私が勉強した頃は、ピリオド遺伝子の正体も、時計が壊れる理由も不明だった。しかしピリオド変異のハエは、交尾する前に歌うラブソングのテンポが乱れることもわかっていた。24時間の時計が狂う遺伝子異常で、ミリ秒オーダの歌にも狂いが出現するわけだ。私たちが考える時計は、古くは振り子、今ならクォーツやセシウム原子など、

一定の周期を発振する素子を基盤に、秒、分、時間を計る道具である。生物も短い周波数の発振装置を持っていて、それが壊れると音痴になり、時計も狂うのだと、当時は考えていた。

それから15年、私は時計と離れたテーマの研究をしてきたが、人間のピリオド遺伝子の発見がNatureに発表されたのを読み、この分野の研究を始めた。その後の研究で、概日周期は、短い周期の倍数ではなく、ピリオドなどの時計遺伝子の量が24時間周期で増減することで作られることが解明された。詳細は著書(『時間の分子生物学～時計と睡眠の遺伝子』講談社現代新書)などを参考にさせていただきたいが、ホースの上に置いたバケツのモデルで比喩的に説明してみる。蛇口をひねると長いホースを通して水が出てバケツに貯まる。このバケツはホースの上に置いてあり、水がたくさん貯まるとホースがつぶれて水が出なくなる。しかしバケツには小さい穴があり水が漏れて次第に減り、そのうち再び水が流れ出す。ただし途中のホースが長いので、水流が再開しても、すぐに水は貯まり始めず一定の時間がかかる。このような仕組みで水量を周期的に増減させることができる。

遺伝子はDNAがmRNAに「転写」され、それが蛋白質に「翻訳」されて機能するが、この蛋白質が水流の例のように自分自身の量を減らす機能、つまり自分自身の「転写」を阻害する機能を持ち、転写・翻訳の部分にタイムラグがあると、mRNA量・蛋白質量は周期的に増減する。このネガティブ・フィードバックこそが、24時間周期を作り出す分子レベルの仕組みの基本と考えられた。ところが、その後、シアノバクテリアという単細胞生物では、転写・翻訳を完全に止めても24時間リズムが継続することが発見された。この生物の場合、蛋白質がリン酸化と脱リン酸化という2つの状態を、2つの反応のバランスの違いで、24時間かけて行き来することで周期が作られる。さらに最近、人間の場合も、核を持たず転写が起きない赤血球に24時間リズムが存在することが示され、同様の機構が存在する可能性



が示された。このように、24時間という普遍的に重要な時間を刻む機構は、転写・翻訳機構や、蛋白質の機能として遺伝子に刻まれていて、解明が進んでいる。

もう1つの大切な時間は寿命である。私たち哺乳類の細胞は、身体から取り出して培養すると分裂して増殖するが、ある一定の回数(通常30~60回)の分裂を繰り返すと急に「老化状態」になり、それ以上、分裂できなくなる。この場合、長さではなく回数が重要だが、これを数える仕組みも非常に単純だ。細胞には核の中に染色体が1組存在し、分裂する時は、これを2倍に複製する必要がある。染色体は線上の長いDNAだが、一番端っこの部分(テロメア)だけは、特別な酵素(テロメラゼ)がないとコピー

できず、一度分裂すると、端っこが一定の長さずつ短くなる。この部分は数十回分の繰り返し構造を持つため、その回数を使い切ると限界に達する。この仕組みで分裂回数を細胞は数えて寿命を決めているため、もともとテロメアが長ければ寿命は長くなるが、でも限界はある。その例外が卵子や精子を作る生殖細胞で、テロメラゼを持つため細胞分裂をしてもテロメアが短くならない。そのため、個体には寿命が存在するが、生物種としての世代には限界がなく、人類は何万年も続いてきた。ちなみに大腸菌のDNAは環状なので端っこが存在せず、何回複製しても長さは変わらず、分裂しても老化しない。

最後に、私は今は概日周期に制御される睡眠の仕組みを研究している。睡眠は意識がなくなる状態だが、時計を見なくても、私たちは睡眠中どの程度の時間が進んだかを知る能力を持っている。この時間感覚の問題は、意識の科学の問題とも関連して、非常に面白く、いつかチャレンジしたい問題である。

(平成23年2月28日受付)



## 聴覚と時間

柏野 牧夫 NTT コミュニケーション基礎科学研究所

日本電信電話（株）コミュニケーション科学基礎研究所人間情報研究部長・上席特別研究員、東京工業大学総合理工学研究所連携教授、JST CREST 研究代表者。1989年東京大学大学院修士課程修了。博士（心理学）。専門は聴覚やコミュニケーションを中心とした心理物理学、認知神経科学。http://www.brl.ntt.co.jp/people/kashino/

聴覚にとって時間は本質的である。そもそも音の物理的実体は媒質の圧力変動の波動であるし、それを生み出すのは、太鼓が叩かれたとか、車が衝突したといった、なにがしかの出来事、つまりは外界の変化である。音が聞こえるということは、裏を返せば、聴取者がその出来事の間に生きているということでもある。だから音は、時として生々しい実在感をもって迫ってくる。爆発音を聞けば身がすくむし、哀切な旋律を聴けば涙が流れる。目を閉じても周囲の世界が消えることはない。聴覚が「今、ここにいる」という実感を支えている。

かくも密接な聴覚と時間であるが、知覚的な時間と物理的な時間の対応関係はきわめて複雑だ。パラドキシカルな現象も数々ある。

まずは、時間的な精度についてみてみよう。聴覚は基本的に、時間精度（分解能）のきわめて高い感覚である。たとえば、白色雑音を鳴らしておいて、途中で一瞬だけ無音にすると、無音区間の長さが2、3ミリ秒もあれば検知することができる。これは視覚の時間精度に比べると圧倒的に高い。だから、1発フラッシュを光らせる間にクリック音を2発鳴らせば、フラッシュが2発に見えるという錯覚が生じる<sup>1)</sup>。視聴覚の情報が食い違っていると、時間精度に勝る聴覚が見え方を規定するわけだ。言語音や音楽では、複雑に変化する音のパターンが意味を持っているので、ちゃんと聴き取れるのは聴覚の時間精度の高さの賜である。

ところが、それほど時間精度が高いはずの聴覚なのに、100ミリ秒オーダーの時間的判断ができない場合がある。たとえば、ある文章を読み上げている最中に、別の人か咳をしたとする。この咳が、文章の中のどの音節のタイミングであったかを当てるのはかなり難しい。数音節分、時間にして200～300ミ

リ秒くらい外れてしまうことも珍しくない。文章中の音節の順番が入れ替わって聞こえることなど決してないにもかかわらず、である。

このように、聴覚のタイミング判断は、一連の音のまとまりの中では精度が高いが、別々のまとまりの間では桁違いに精度が低い。一見奇妙だが、実はこれでほとんど困ることはない。日常生活で、ある人の発声の特定の音節と、無関係な人の咳とのタイミングが問題になることなどまずないからだ。10ミリ秒が測れるストップウォッチであれば1秒が測れないはずはないが、聴覚は単純なストップウォッチではない。大事なところには細かいが、そうでないところにはまったくもって大雑把なのだ。

時間知覚にまつわるパラドックスをもうひとつ紹介しよう。まず前提として、聴覚には、音の一部が欠落していても、前後の情報から補完する機能がある。たとえば、周波数が滑らかに上昇する音の途中を100ミリ秒間削除する（無音にする）と明らかに途切れて聞こえるが、その部分に強い雑音を挿入すると、雑音と同時に周波数変化音があたかも鳴り続けているかのように聞こえる。脳が雑音の背後にあるべき音を作り出したのである。ここで、雑音の後の部分を、周波数が滑らかに下降する音に変更すると雑音の部分では、周波数変化方向が上昇から下降へと滑らかに変化するように聞こえる。これは奇妙だ。なぜかと言うと、雑音の終了時点までは、周波数変化音がその後どちらの方向に変化するかわかるよしもないからである。一見、未来（雑音の後）の情報が過去（雑音中）の知覚に影響しているように見える。

この現象を合理的に説明するには、雑音の後の情報を得たのちに雑音部分の補完が生じたと考えるほかない。聴取者の意識の上では知覚はリアルタイム

であるように感じられているが、実は物理的な出来事からはかなり遅れているということになる。遅れの量は、200～300ミリ秒程度はあるはずだ。これには相前後する情報を統合するためのバッファサイズに加え、耳から脳への情報の伝送や処理に要する時間も含まれる。

200～300ミリ秒というかなりの時間である。早口なら「こんにちは」くらいは言えるかもしれない。毎秒120拍の音楽なら半拍分だ。だとすると、カラオケで伴奏を聞いてから歌っていたら絶対に遅れるはずである。しかしそうはならない（人にもよるが）。知覚は後付けだが、歌うという運動には先読みが含まれているということになる。しかしそんなややこしいことをしているということに、歌手本人はまったく気づいていない。あくまでも自動的に「うまく起きてしまう」ことなのだ。

感覚システム内部の処理伝送時間に関して、もうひとつややこしい問題がある。それは、視覚と聴覚など異なった感覚間では、処理や伝送に要する時間が異なるということだ。視聴覚を比べれば聴覚の方が速く、その差は数十ミリ秒にもなりうる。しかも対象の距離によって、対象から目と耳への伝播時間も異なる。このような変動のある非同期にもかかわらず、どうやって光と音が同時だ、あるいはどちらが早い、などと判断できるのだろうか。私たちの実験によれば、脳は視聴覚のタイミングに関して固定的な基準を持っているわけではなく、その都度感覚情報の対応から同時という基準を校正し続けているらしい<sup>2)</sup>。知覚されるタイミングを決めているのは、目と耳に到達する信号の物理的なタイミングではなく、さらには大脳皮質の視覚野、聴覚野での神経活動のタイミングでもない。情報の中身(感覚情報間の対応関係)の解釈が不可欠なのだ。

こうしてみると、日常何の気なしに行っている聴覚あるいは他の感覚の時間的判断も、思いの外複雑なものであることがわかる。音を生み出した出来事を正確に把握するためには、細かい時間スケールの

特徴を捉えつつも、ある程度広い時間範囲の情報を統合しなければならない。さらに、ハードウェアの制約による遅延や非同期にもかかわらず、外界の変化にほぼリアルタイムで対応しなければならない。脳は、このような、ほとんど相矛盾するような要請に可能な限り折り合いをつけて、一貫した世界像をつくり出している。その世界像の中での時間軸は、物理的な時間軸と対応させてみれば、分解能が部分部分でまちまちだったり、明確な順序関係が示されていないか、ときには前後が逆転したりと、おそろしく歪んだものになっているわけだ。しかし、これは単に人間が不正確であるということの意味しない。むしろ、脳の巧妙な情報処理戦略の表れと言えよう。

今、時間知覚の問題は、認知神経科学のホットトピックスのひとつとして、世界各地で活発に研究が行われている。その知見を活かせば、遅延と非同期が不可避な遠隔通信システムの設計にも、単なる物理的特性の向上とは別の解が見えてくるかもしれない。また、人間の知覚特性を利用した、もしくはあぶり出すような新たな音楽の創作も楽しみだ。

なお、本稿の内容に関連したさらに詳しい解説は、拙著<sup>3)</sup>を参照されたい。いくつかのデモンストレーションは、Webサイト『イリュージョンフォーラム』(<http://www.brl.ntt.co.jp/IllusionForum/>)で体験できる。

#### 参考文献

- 1) Shams, L., Kamitani, Y. and Shimojo, S. : What You See is What You Hear, *Nature*, Vol.408, No.6814, p.788 (2000).
- 2) Fujisaki, W., Shimojo, S., Kashino, M. and Nishida, S. : Recalibration of Audio-visual Simultaneity, *Nature Neuroscience*, Vol.7, No.7, pp.773-778 (2004).
- 3) 柏野牧夫: 音のイリュージョン 知覚を生み出す脳の戦略, 岩波科学ライブラリー 168, 岩波書店 (2010).

(平成 23 年 3 月 11 日受付)





## ネット・ケータイ時代の時間社会学

辻 正二 山口大学人文学部／山口大学時間学研究所

1948年生まれ。九州大学大学院文学研究科博士課程単位取得退学。博士（文学）。宮崎大学、山口大学助教授、教授を経て2006年より山口大学時間学研究・所長。現在、日本時間学会会長、西日本社会学会会長。

### はじめに

ネット・ケータイ時代とは、パソコンや携帯電話に代表される電子機器とインターネットが高度に普及した時代である。今年2月にイスラム圏で生じた国家の崩壊劇は、Facebookなどのネットサービスが「予期せざる結果」を引き起こした事件であった。現代社会はネットやケータイが氾濫し、それなしに生活できない社会になった。しかし、このネット・ケータイは、自由で迅速なコミュニケーションや人類社会の進歩を増進する可能性を秘めている。一方で、子どもや若者などにみられるように仮想現実への耽溺を引き起こす危険性も指摘されている。ネット・ケータイが人類の社会にどのような影響をもたらすか時間社会学的に考えてみよう。

### ネット・ケータイの世界

パソコン、携帯電話は1990年中葉から飛躍的に発展した。パソコンは、ハードとソフトの技術革新に支えられ、インターネットの登場により一挙に普及した。携帯電話の方も、ポケベルからPHSを経て、パソコンの機能を持つツールとして急速に発展し、ケータイと呼ばれるほどの機器に成長した。ケータイは、映像記録、記録媒体、計時・スケジュール管理、位置確認、他メディアの受信と音声の再生、家電遠隔装置などの機能を持ち、テレビなどの家電の機能をも融合し、いまや小型のコンピュータ以上の役割を果たすものとなっている。おそらく今後も大容量化と高速化が進み、自動翻訳や機器の統合化などが図られ言語や国家の障壁を越えていくことはまちがいない。

パソコンやケータイは、単なるコミュニケーション・ツールではなく、生活の一部と考える人々を多数生み出した。若い人たちには、ケータイを使って

通話やメールをし、余暇時間にはゲームやツールを使ったり、動画サイトを視聴したり、ダウンロードした音楽を聞いて楽しむ人が多い。肌身離さず持ち歩き、ケータイへの依存度がきわめて高い人が現れている。当然、仕事にも欠かせない機器になっている。その上、ネット・ケータイは、新しい思想を生み出している。それは、オープンソースの思想に代表される開放性と自由な意志の共有というものである。それは、ウィキペディアのようにみんなで参加し作成する辞書に見られるもののようにまったく新しい世界の可能性を秘めている。そして、ヤフー、アマゾン、グーグルなど世界を席卷する新興巨大企業さえ生んでいる。けれども、そうした企業が競争社会を前提にしている限り、どこまで自由や開放性の理念が維持できるかは不明である。

### 社会的時間としての同期現象

ところで、われわれの社会では大きく分けると、3種類の時間が動いている。1つ目は、天体现象からその運行を測定して考案された機械時計の時間、2つ目は、生物が自然界で生命を維持するために動かしている生命時間、そして3つ目は、私たちが社会生活を送る中で動かしている社会的時間である。現代のほとんどの国家ではグレゴリウス暦の下、世界標準時を単位とする時計時間を使い、そして生活している人間は概リズムなどに基づいて体内時計を同時に動かしている。これに対して社会的時間はどうかというと、あまり気づかれていない。社会には、普段仕事をしている日々の生活以外に祭日、祝日とかいわれるような、特別の日がある。伝統的な社会でみると、こうした祭日は神への祈願や感謝の念からなされたもので、まさに聖なる日、ハレの日であった。人びとは非日常のこの日を特別な日とし

て迎え、祭りを行ったのである。このハレの日は、老いも若きも集い、楽しい意味のある出来事として過ごした。これが社会的時間の原型であった。

しかし、近代社会は、こうしたハレの日を喪失させてきた。教会の時計が個人の腕時計に推移したように、現代社会は、時間そのものを個人の時間管理の下に委ね、結果的に公共的な時間感覚を喪失させてきた。テレビの時報も、遠隔地のテレビ局から放たれた時報であるために、昔の共同体での視聴と違い(?), 共に「生きている」という感覚を喚起するものではほとんどない。2005年にわたしの住んでいる山口市の農村地区で、一度は騒音が原因で廃止された昼のサイレンが、「農業に欠かせない」という理由で復活した出来事があった。要望を出した農家の人々に時刻がわからないという不自由があったわけではない。農家の人たちにとって時刻を告げるサイレンが必要だったのは、共に農業を通じて「生きている」という意味ある時間感覚を共有したかったからなのである。



### 時間圧縮の道具としてのネット・ケータイ

ところで、近代の社会は、人類が厳しい労働から解放されるために機械を発明する歴史であった。移動のための汽車、自動車、飛行機もそうだし、紡績機や無線通信機などもそうであった。考えてみると、それらは時間を短縮する機械であった。それからするとネット・ケータイとは、そうした速さと便利さを高度に発展させた電気通信のツールといえる。そして、ネット・ケータイのツールの延長は、おそらく完全自動化した社会を約束するものとみてよい。

しかし、ネット・ケータイの持つこうした長所は、同時に短所も伴っている。ネット・ケータイは、グーグルがしているように過去の記録のすべてをアーカイブして、人びとに開放しようとする。しかも、その記録は圧縮されたデジタル・データに置き換える。グーグルがしているのは、現在のために過去の情報を征服しようとする試みである。しかし、ネット・ケータイが過度に多用される時、1つの大

きな危険性が生まれる。ネット・ケータイの世界は、先に触れた昼のサイレンの復活劇のように出来事を同期化することができるであろうか。確かに若者たちがネットやケータイを使って一体化意識を喚起しているかのごとき瞬間がある。この瞬間は、本当の意味の社会的時間の同期現象なのであろうか。単なる疑似同期でしかないのではなかろうか。

そもそも生物は、周りの環境と同期(同調、共振)しながら生命活動をしている。この同期がうまくいかない時、生命は確実に活動を止めることになる。人間の社会もこの同期が必要ということなのである。サイレンの話では、農業をする者同士、生きている者同士が一体性を感じることができる。ここには同期のメカニズムが働いている。なぜなら、彼らの間の相互交流には現実が存在しているからである。それに対して、ネット上の相互交流は、ネット上だけの仮想の現実になりがちであり、共に「生きている」という現実性に根ざした時間意識を喚起することは少ない。実際のハレとケの時間のなかでは、日

常のケの生活で得た労苦や疲れはこうした祭り＝ハレ＝同期の中で解消することができるが、ネット上の祭り＝交流は疑似環境でしかない。それは、本当の意味での同期とは言えないのではないかと思う。

ネット・ケータイ社会の中で生じる相互交流は、同時性、高速性、無時間感覚を特徴として持ち、それらは機械文明のさらなる発展を可能とする。しかし、ネット・ケータイの時間は、生命的時間と社会的時間とは本質的に違う時間の内容を持つ。たとえネット・ケータイによって生まれる活動に出来事や意味づけを見いだしたとしても、それを過度に信頼することは危険である。なぜなら人間や社会が本来持つべき時間の理想からはかけ離れたものだからである。

(平成 23 年 3 月 17 日受付)



## ワーク・ライフバランス実現のために —時間×ITツール—

小室 淑恵 (株) ワーク・ライフバランス

(株) ワーク・ライフバランス代表取締役社長。800社を超える企業にコンサルティングを行う。朝メール・夜メールを実践できるモバイルサイト「働き方チェンジナビ」を開発。著書に「3人で5人分」の仕事が無理なくまわす!」など。  
\*本原稿の著作権は著者に帰属します。



### ITツール活用による時間の効果的な使い方 (働き方を見直そう): 限られた24時間を効果的に活用したい私たち

「時間」について考えてみると、多くの人たちが「やりたいことはたくさんあるのに、24時間では足りない」「もっと効率的に時間を過ごすことができればいいのに」といったお悩みをお持ちです。私たちの日常には、仕事上の書類などの「期日」やお客様や友人との「約束時刻」など、さまざまな時間によって行動の始まりと終わりが決まっていることが多くあります。予定どおりに進めることができ充実感や満足感を得られることもあれば、予想以上に時間がかかってしまうなどして焦ったり、ストレスを抱えてしまったりすることもあります。

このように私たちは、実は日常生活の中で常に時間を意識しており、限られた24時間を効果的に活用していきたいと考えているのです。そこで特に仕事上で時間を効果的に活用するための手法のうち、もっとも身近な「メール」を使った活用方法をご紹介します。

### ワーク・ライフバランスという考え方

みなさんは「ワーク・ライフバランス」という考え方をご存じでしょうか。ワーク・ライフバランスというと、仕事の手を抜いて無理のない範囲で働くといった穏やかなイメージでとらえる方もいらっしゃいます。しかし実際には仕事もプライベートも時間の使い方を工夫し、ライフで得ることのできた知識や経験、人脈など質の高い情報をワークに積極的に活かし、仕事でのアウトプットを今まで以上に大きなものにしていくというワークとライフの相乗効果のことをワーク・ライフバランスというのです。限

られた時間を効果的に過ごすことが求められる、実は非常にシビアな働き方なのです。

弊社はこれまでに800社以上の企業・組織に対してワーク・ライフバランスを実現するためのコンサルティング(働き方の見直し等)を提供してまいりました。そのコンサルティングの中でも、今回ご紹介する「朝メール・夜メール」を基本的なツールとして活用しています。皆様のタイムマネジメントスキルを磨くためにもたいへん有効なものですので、ぜひチャレンジしていただきたいと思います。

### 朝メール・夜メールとは何か

仕事上で時間の効果的な使い方を個人と組織が実践することは、生産性の向上に直結していますが、そのためにはさまざまな手法と施策が考えられます。

しかし、何よりもまず自分自身の時間の使い方をしっかりと把握し、課題を見つけ出す必要があります。この現状把握と課題発見のために、ツールとして大変有効なのがITツールなのです。そして今回はそのITツールの中でも最も基本となる「メール」を使った「朝メール・夜メール」をご紹介します。

「朝メール」とはその日の業務予定を、所要時間と優先順位を考えながら、時間単位で書きだして作成するもので、「夜メール」とは一日の業務の最後に朝メールに対する実績を記入するものです。「メール」とあるように、これを部や課などの業務上のチームメンバーにメールで共有することもポイントとなります。その際、業務内容だけではなくどんな優先順位で仕事をしようと考えているのかなどについても記入していきます。

この朝メール・夜メールには非常に多くの効果がありますが、その代表的なものは以下の3つです。

⇒『朝メール』でスケジュールと優先度を上司に確認してから業務を始め、『報告メール』で検証

**出社時**

**朝メールサンプル**

宛先: 第3営業部ML  
 CC :  
 件名: 【本日の予定】WLB太郎\_20110222  
 本文: 第3営業部各位  
 <本日の予定>  
 8:30-9:00 業務チェック、メール  
 9:00-10:00 部内会議  
 10:00-10:30 移動  
 10:30-11:30 A社@渋谷(定期フォロー訪問)  
 11:30-12:15 移動(渋谷→初台)  
 12:15-13:00 昼食  
 13:00-13:20 D社向け資料下案作成  
 13:30-15:15 B社@初台(定期フォロー訪問)  
 15:15-15:30 移動(初台→新宿)  
 15:30-16:30 C社@新宿(新規営業)w/課長  
 16:30-17:00 移動(新宿→オフィス)  
 17:00-17:30 D社向け提案資料作成  
 17:30-18:00 メールチェック

<本日の優先順位>  
 1) B社への定期フォローは先方の部長へ提案プレゼン。資料は既に準備し事前準備は万端ですが、緊張します。気合入れて頑張ります!  
 2) D社向け資料は競合のM社とのコンペ資料です。コンペは来週の木曜日ですが、課長から早めに資料を確認したいと言われているので明日叩き台を提案してご意見を伺いたいと思います。

**退社時**

**夜メールサンプル**

宛先: 第3営業部ML  
 CC :  
 件名: 【本日の報告】WLB太郎\_200110222  
 本文: 第3営業部各位  
 <本日の報告> 予定通り終了したもの⇒\*  
 8:30-9:00 業務チェック、メール\*  
 9:00-10:00 部内会議\*  
 :  
 14:00-15:15 B社@初台(定期フォロー訪問)\*  
 15:30-16:30 C社@新宿(新規営業)w/課長\*  
 16:30-17:00 移動(新宿→オフィス)\*  
 17:00-18:00 D社向け提案資料作成→15分延長  
 18:00-18:30 メールチェック→15分延長  
 <報告>  
 B社への提案ですが、先方がとても喜んでくれました!新プロジェクトいよいよ始動します。C社の訪問時は課長の発言に先方が感激していました。同行させて頂いてとても勉強になりました。17時辺りから集中力が途切れ、予定がずれ込みました。メンターになっている鈴木君からクライアントへの資料作成方法の相談を受けました。プレゼン資料の作り方のアドバイスを明日行います。  
 <明日のタスク>  
 1) アポイント2件  
 2) D社向け資料課長に確認→修正案作成  
 3) E社向け資料作成→仮完成  
 4) 後輩の鈴木君指導

部内でメーリングリストや共通メールアドレスを持つと情報共有に便利

業務とかける時間はセットで考える

スケジュールは15分刻みで考える

スケジュールを組んでみると時間が足りないことが発覚。移動時間や空き時間を効果的に利用して事前に準備をしておこう

見込み時間と実際にかかった時間の差を知ることで正確な時間の感覚を身に付けられる

報告は反省点だけでなく良いことも報告しよう。教えてくれた人へのフィードバックも大切!

優先順位が上司の考えと違うということもしばしば。事前に確認しておけば、急な残業を減らすことができる

- ①時間を意識した働き方を実現することができる
- ②個人の働き方の癖や課題を発見することができる
- ③チーム全体で効率的な働き方を見つけることができる

まず、多くの方は残業することを前提に仕事にとりかかり「定時までにはできなければ残業使用」と効率や時間をあまり意識せずに働かれています。また、出社をして仕事を始める前に「やることリスト」のようなものを用意される方もいらっしゃるかもしれませんが、それぞれのタスクにどれだけの時間がかかるのかを考え、どのような順番で取り組むべきかを計画するという方は少ないかと思えます。つまりこの朝メール・夜メールを作成することによって、日々の業務と時間が密接に結びつくようになります。

次に多くの場合、朝メール通りに業務を進めることができません。つまり朝メールと夜メールにズレが発生するのです。このズレこそがあなたの働き方の課題となる部分で、時間を効率的に過ごすためのヒントはそこに隠れているのです。たとえば【A 提案書作成】という業務には1時間と見込んでいたの

に、実際には2時間かかってしまった場合、そのズレの原因はPCスキルの不足、事前のお客様へのヒアリング不足、上司が外出することを忘れていたためのチェック遅れ…などが考えられるでしょう。

次にこういった朝メール・夜メールをチームでしばらく行ってから個々人の課題を持ち寄ってみると、チーム全体での課題も見つかってきます。前述の提案書作成について考えると、たとえば「メンバそれぞれが独自の提案書を作成していたため、統一のフォーマットを作成してアレンジを加えるだけで、個別の提案書が作成できる」と分かったり、「全員のPCスキル不足が原因で、Bさんに教えてもらう必要がある」と気づいたりします。

もちろんこの朝メール・夜メールでは、ただ業務の予定と実績を記入して毎日振り返ればよいということではありません。お互いの朝メール・夜メールに対してコメント(アドバイス)をし合うことがこの朝メール・夜メールを継続していくためには欠かせません。なかなか返信をしづらい風土のチームでは、最初はリーダーが主体となって、ご自身のライフでの出来事や気付きなどを朝メール夜メールの中で積

極的に発信していくことがお勧めです。自由な発想でメッセージを発信してもよい、気付いたことには返信してよいのだという雰囲気作りをしていくためです。メールというITツールは、距離や時間を超えてつながることができるという特長も持ち合わせています。出張が多くメンバが顔を合わせる機会が少ないというチームほど、この朝メール・夜メールを活用してみてください。

このように「メール」というきわめて基本的なITツールでも、個人だけではなく組織全体の時間の使

い方を効率的なものに変革させることができるのです。個人だけではなくチーム全体で時間の使い方を見直すことのできる背景には、メールが“誰にでも使いこなすことができる最も一般的なITツールである”という特長を持っているからなのでしょう。みなさまも身近な「メール」を活用するという一歩をまず踏み出すことで、ご自身にぴったりの新しいツールとの出会いがあるかもしれません。ぜひ一緒にワーク・ライフバランスを実現していきましょう。

(平成23年2月28日受付)



## ユーザインタフェースと時間感覚

増井俊之 (正会員) 慶應義塾大学

慶應義塾大学教授。Webや実世界におけるさまざまな実用的なユーザインタフェースシステムの研究開発を行っている。目標は「打倒 Google」。

コンピュータの反応時間は速いほど良いと考えられています。ユーザの操作に対して即座に反応するシステムは「サクサク」動くと言って喜ばれますが、反応が鈍いシステムは「もっさり」と言って嫌われます。自分のパソコンがもっさりしていると気分が悪いので、少しでも速くするために高い金を出して改造する人も多いようです。Webページの反応時間が0.1秒以内であればストレスがなく、5秒反応しないページには誰も戻ってこないと言われているので、Webサービスの反応時間を良くするためにサービス提供者は苦心しています。

コンピュータがサクサク動く場合でも、操作方法が難しいと気持ちよく使うことができません。コンピュータを操作するとき人間がどれだけ疲れるか定量的に計測するのは大変ですが、どれだけ時間がかかるか調べるのは簡単ですから、システムの使い勝手を調べたいときは操作時間が短いほど良いシステムであると判断するのが普通になっています。

大規模な計算をするのに1分かろうが10分かろうが待つことに変わりはないので気分的に大きな違いはありませんが、操作に対して0.1秒で反応するシステムと1秒かかるシステムは全然違いま

す。一方、0.001秒で反応するシステムと0.01秒で反応するシステムの違いは分かりませんから、コンピュータの使い勝手は多分に人間の気分に影響されるといえるでしょう。

### 体感時間

システムがもっさりしていても体感時間が短ければ遅さは気にならないものです。工夫によって体感時間を減らすことができれば遅さに起因するイライラを減らすことができるでしょう。逆に、体感時間を長くすることができれば楽しい時間を長引かせることができるかもしれません。目の錯覚は「錯視」と呼ばれ、問題になることも少なくありませんが、時間を錯覚する「錯時」はうまく使えば有用そうに思われます。

一般に、注視している対象は動きが遅いように感じられ、注意を払っていないものは速く動くように感じられるものです。湯を入れたカップラーメンをじっと見てもなかなか時間が経ちませんが、ちょっと目を離れた鍋はすぐにコゲてしまいます。デジタルフォトフレームをじっと見ているとなかなか画面が切り替わりませんが、仕事機の脇に置いて

おけばどんどん表示が変化するように感じられます。自分の家族の成長はゆっくりしていますが、他人の子供は一瞬で大きくなっていて驚くことがあります。こういったことは誰もが日々経験していることですが、このような時間の錯覚をうまく応用すれば、さまざまなシステムを気持ちよく使えるようになるでしょう。以下にその例を考えてみます。

## 遅いシステムをごまかす

エレベータをじっと待っているとイライラするものですが、エレベータホールに鏡を置くだけでイライラが減るという話がありますし、デジタルサイネージなどを置けば宣伝効果とイライラ減少効果の両方が期待できそうです。起動が遅いソフトウェアはイライラするものですが、起動中であることを示すアニメーションを表示したり関連情報を表示したりすることによってイライラを減らすテクニックは広く使われています。待ち時間をきちんと提示し、かつユーザの注意をうまくそらすことによってシステムの遅さをかなりごまかすことができるでしょう。



## 時間を長く使う

歳をとると時間が速く経つように感じられるものです。時間が経つ速度が年齢に比例するという「ジャンネの法則」が19世紀から知られていましたし、時間感覚と年齢に相関があることは確かなようです。感覚が変わるのは、老化によって体に変化しているからだという説もありますが、新しい刺激が少なくなるためだという説が有力です。ジャンネの法則は、新しい経験の量に体感時間が比例することを示唆していますが、いつも同じことをしていると、新しいことを考えなくなってしまうので時間が速く経過してしまいます。引越しや転職などは面倒なものです。新しい経験をするのが多いので、その直後は時間が長く感じられるものです。有意義な時間を使った気分を味わうためには、面倒がらずに新しい経験を重ねるのが良さそうです。

## スキマ時間をうまく使う

時間はいつも足りないものです。ぼーっとしていると時間があっという間に経ってしまいますが、わずかな空き時間も無駄にしない工夫をすると時間を有効に利用できます。電車が来るのを待つ時間や料理が来るのを待つ時間など、生活の中には短い「スキマ時間」がたくさんありますが、スキマ時間も蓄積すればかなりの量になるので、時間を有効利用するにはスキマ時間を活用するためのシステムが必須です。

昔は電車の中で新聞や本を読む人がたくさんいましたが、最近はケータイを使っている人が圧倒的に多いようです。ケータイの小型さと手軽さがスキマ時間の活用にも有効だということでしょう。まとまった時間をとりにくい人でも電車の中などのスキマ時間を利用すれば長い映画を観ることができずし、体感時間が短くなるので通勤の辛さが軽減され

ます。インタフェースを進化させれば、スキマ時間をもっと色々なことに活用できるようになるでしょう。

私は牛井が出てくるのを待つ間にiPadで映画を見たり、電車で立っているときにノートパソコンでプログラムを書いたり、スキマ

時間を活用する工夫をしていますが、現状ではこれらはあまり自然な行動に見えないかもしれません。どのような環境でも自然な形でスキマ時間を利用して楽器を演奏したりプログラムをデバッグしたりできるようなコンピュータやインタフェースを開発し、人生の時間を有効に利用できるようにしていきたいと思っています。

(平成23年3月22日受付)



## デジタル文具の時間

高畑 正幸 サンスター文具（株）営業本部マーケティング部／文具王

1974年生まれ。図画工作と理科が得意な小学生を30年続け、今に至る。テレビ東京の番組「TVチャンピオン全国文房具通選手権」に3度優勝し「文具王」と呼ばれる。サンスター文具にて商品企画を経て、マーケティング部に所属。

スマートフォンや電子書籍リーダーをはじめ、昨今の電子的なデバイスを使った情報系ツールの進化はめざましいものがある。これら電子的デバイスを使った情報系ツールは、従来の紙と筆記具を主体とする文房具と対比して、「デジタル文具」などと呼ばれることがある。

文房具という言葉は、墨・硯・紙・筆を表す「文房四宝」という中国の言葉に由来すると言われていたが、その本質は、当時の書斎(文房)で使う必須アイテムを意味していて、それは、情報を記録・整理・保管・伝達するためのツールのことだから、現代における役割を考えれば、PCなどの電子機器も当時の概念からすれば文房具であり、従来のアナログな文房具と分けて考える意味はない。むしろ、今ならPCやスマートフォンなどのほうが文房具の本質に近いかもしれないと思うくらいだ。

特に昨今のデジタルツールの充実、スマートフォンや電子書籍リーダー、ドキュメントスキャナ等の高性能低価格化、そして、無形ではあるがクラウドサービスなどの充実で、ついには本格的に紙を主体とする従来の文房具の役割に干渉する部分も多くなり、デジタル文具と、従来の文房具が比較される機会が多くなったと思う。

従来の文房具とデジタル文具が比較される時は、携帯性や、入出力の速さ、情報量、検索性、閲覧性などといった特徴から、どちらがより便利か、という視点で論じられることが多いが、デジタルツールの性能的な特性に起因する不便については、今後改善されていくことは容易に想像される。しかしデジタル文具が扱う情報と、従来の文房具によって扱われる情報には、情報そのものが依り代となる物質的な存在を必要とするかしないか、という大きな違いがある。

従来の文房具は、情報が物質的な存在と不可分であるが故に空間を占有し、その物質的な存在が環境から物理的・化学的に受ける作用によって変質してしまう。このため、従来の文房具は、空間的にも時間的にも、デジタル文具に比べ、不自由であると言える。単に記録された情報を扱うのであれば、入出力デバイスの高性能化が十分に進めば、デジタル文具が有利になるのは当然である。

空間性については、利便性に大きく影響するのでさまざまに論じられているが、ここでは、時間との関係についてもう少し考察したい。

紙のノートは、時間経過とともに変色し、しなやかさを失い、判読が難しくなってくる。手帳は、今日のページのところまでが手垢で黒ずみ、写真は、ゆっくりと色が褪せていく。この変化は情報の劣化ともいえるが、我々は、変色したノートや褪色した写真など、その媒体の経時的変質を、経過時間情報として読み取ることができる。色あせた写真にノスタルジーを感じるのは、単に映っている内容が過去の出来事であるだけでなく、その劣化した写真から経過した時間をも読み取っているからではないか。映画などでは、経過時間の表現として、色あせ、破れかけている写真やぼろぼろになった日記や手紙などが登場することがあるが、これは、その経時劣化が周知の感覚として共有されているから可能な表現である。実際には、アナログ媒体の経時変化は、変色等の視覚情報だけではなく、手ざわりや匂い等の変化、そして、紙の折れや、シワ、汚れの付着も起こる。我々はその変化を複数の感覚器官を使い読み取ることで、本来意図して記録した情報とは別に、多くの情報を得ている。場合によっては、水没や火災など、時間経過の途上で起こった出来事をも読み取ることが可能な場合がある。

従来の文房具が扱うアナログ情報は必ず何らかの経時劣化をするが、情報がある程度緩やかに劣化する場合、それは、情報の劣化ではなく、情報付加と捉えることが可能だ。アナログ情報は、利便性においてはデジタル情報に譲るが、個々の情報に関しては、デジタルに比べると相当リッチな情報であることが多い。しかも、その情報は、記録時点での情報のみならず、記録後も時間とともに自動的に情報を蓄積し続けていくのだ。

もちろん、変化することによって、記録時点の正確な状態を特定できなくなる場合もあり、その意味では変化が必ずしもメリットとは限らないが、我々がその経時的付加情報を読み取り、少なからずそこから何らかの影響を受けていることは間違いない。

デジタル化は、良くも悪くも、その経時変化を止める働きがある。最近では、安価で高性能なスキャナ等により、紙情報のデジタル化が加速しているが、スキャンするなどしてデジタル化した時点で、情報はそこから経時変化をしなくなる。また、そもそも最初からデジタル記録される情報については、データが消失しない限り、どんなに時間が経とうが、記録時点の状態のままだ。

もうすでに、紙ではなく、デジタル文具を手帳として使用し、日記もテキストデータとして記録している人は多数存在するし、最近数年以内に誕生し

た子供たちにとって、カメラ・ビデオといえば、どちらもデジタル記録である。撮影時から、何年経っても、基本的に画像は劣化しない。はたして、彼らがまったく色あせない昔の写真や、10年前でも昨日でもまったく同列に検索表示できる日記帳から受ける印象は、従来の劣化する記録から受ける印象とは異なるのだろうか？ そうした経験しか持たずに過ごした場合、色あせた写真にノスタルジーを感じることはあるのだろうか？

これまで、紙や写真印画紙などを始めとするほとんどのアナログな記録媒体は、極力劣化しないことを求めて改良されてきたはずだが、情報がデジタル化され、鮮明なまままったく変化しなくなったとき、鮮明に残り続ける記録は我々の過去に対するイメージはもっと鮮明になるのだろうか、それとも物足りなくなるのか？あるいは別のなにかを使って、その時間経過をも感じ取ることができるような方法が生まれるのだろうか？（単に、時間経過に合わせて画像にフィルタをかけて変色させるといった方法が正解だとは思えないが）、こういった本来の記録内容には含まれない直感的でリッチな情報をデジタルデータに付加することが、今後可能になるとすれば、それはどういった方法なのか、今後のデジタル文具の「新しい古び方」が気になるのである。

（平成 23 年 3 月 16 日受付）



## 時の可視化手段としてのライフログ

大橋 正良 (正会員) (株) KDDI 研究所

昭和 58 年京大工修了。同年国際電信電話(株)入社。KDDI 研究所を経て、平成 20 年 ATR メディア情報科学研究所所長。平成 23 年より現職。この間、移動体衛星通信、IMT-2000、ユビキタスネットワーク研究開発に従事。工博。

### ライフログの主役は自身

ライフログという言葉はすっかり日常用語になってきたようだ。相澤先生も 2009 年の本誌特集の中で、“ライフログ”という言葉が市民権を得てきたようだ、と言及されている<sup>1)</sup>。Web 上で広く普及した Blog や Twitter などの SNS では、ユーザが自身で体験した出来事を長く書き綴っているケースも

多く、これらはライフログそのものだ。

一方、実空間における人々の活動をトレースしてサービスにつなげるビジネスの取り組みも盛んだ。携帯やセンサ、スマートカードを介してユーザの位置や行動情報、購買履歴などを取得し、そこからユーザへの商品レコメンドを行う行動ターゲティングの提供が始まってきている<sup>2)</sup>。ここには大きなビジ

ネスチャンスが期待されている一方、絶えず個人情報に関するプライバシーの懸念が表明され、回避のための技術的手段および法的整備の必要性が言及されている。総務省でも研究会が開催され、昨年ユーザを保護する観点からの提言が発せられた<sup>3)</sup>。

ライフログは一体誰のものだろう？ 上記のようなサービス提供者が取得するユーザの情報履歴は、普通ユーザからは陽に見えない。個別のデータをユーザが意図して提供したりすることは少なく、多くはユーザの同意を得た後、ユーザの行動情報をユーザが意識することなくサービス提供者が取得して活用するケースが多いだろう。これは本来のライフログの意義からは少し乖離してきていると思われる。本来ライフログは、ユーザ自身が自分の履歴をデジタルメディア上でアーカイビングして、そこから価値を自ら見出してゆくものであろう。MyLifeBitsを主宰してきた Gordon Bell は、トータルリコールを実現する自分の情報こそがライフログであり、第三者にやすやすと情報を提供するものではないと主張している<sup>4)</sup>。

筆者らも、これまでケータイを活用したライフログサービスを試作し実証実験を行ってきた<sup>1)</sup>。もちろんこれをベースに行動ターゲティングもソーシャルな連携も十分可能ではあるが、ケータイが本来持つ、ユーザに最も身近に随伴する通信・センシング機能をユーザ自身が活用できることを原義として開発を行ってきた。

### 活用よりも先に蓄積が重要だ

マネタイズの重要な原資であるし、行動ターゲティングをことさら批判するつもりはまったくないが、私は、ライフログは、まず個人主体の情報収集と蓄積が重要だと思う。加えて、その情報の可視化を広く進めることで、さまざまな活用が開けると考えている。ちょうど人の生活を豊かにするためには、フローも必要だが何よりベースとなるストックを持つことが大切だ、という感じだ。

その主要なコンテンツは、必ずユーザにとって身近でフレンドリーでないといけない。たとえば、必要なタグ付けが行われ、いろんなキーワードで検索

可能となった写真アルバムは一例だろう。ビデオ動画や音楽も同様だ。歴史を経てフォーマットや記録媒体が変遷してきた動画など、障壁をクリアして統合されてPC上に載せることができるとほっとする。こうしてようやく自分や家族のライフログが作られてゆく。もっともデジタルネイティブな世代だとこんな変換は非常に少なくて済むかもしれないが。

一方で、もちろんセンサや携帯を活用した個人の行動データ記録蓄積も重要だ。私自身は健康管理医から進められ、万歩計を持たされているが、この歩行記録をPCに蓄積する。さらにケータイで日常のジョギング距離をRun & Walkアプリで計測 & 蓄積する。現在いる位置情報も、サーバ上に書いたスクリプトを日に3回自動起動してGPSの位置を測定・記録する。自分の記録・書類を、いわゆる「自炊」して、PCにアーカイブする。クレジット取引等のトランザクション記録もオンライン化してPC上で管理する。そして今取得データのかなりの部分をクラウド上に蓄積しはじめている。

### 可視化そして共有

こうして集められたデータが可視化されると、自分の思い込みとは独立に自分の姿が客観的に映し出される。自己節制している、と思いつつも堅実に増えてゆく体重、運動を定期的に行っている、と思いつつも実はこの程度だと示す冷徹な万歩計、あまり東京方面には行ってない、と思いつつも案外数多い訪問を示すGPS位置の年間統計、など実に自分の行動や成果を時系列で容赦なく見せてくれる。

ただ自分が所持する情報だけでは足りないだろう。ある時、ある場所のさまざまな情報、あるいは人々とコラボしてきたログの全部または一部を、自分も提供するとともに人とも共有したい思いを持つ人はいるだろう。ネット上でこれらの指標をベースにプライバシーを守りつつ情報群をオープンに相互参照する仕組みができれば、共有によって自身のログを豊かにしてゆけるに違いない。このような時間も主要軸となったアクセスしやすい相互参照メカニズムが広くオープンな形で展開・普及されてゆくことを期待している。

## ライフログの価値

ライフログは、時間を止めて自分を見せる、スクリーンショットを切り出すきわめて有効な手段だ。私たちは普段仕事などで多忙な状況に流され、しばしば気がつくはずいぶん時が流れてしまったと嘆くが、ライフログを活用すると、時に適切に昔をリコールしてくれる。記憶をうまく補ってくれていると感じる。休日の夜にしばし時間と場所をスライドさせることができる。暦本<sup>5)</sup>による Time-machine computing は先駆のプロトタイピングだ。今は当時より端末も帯域もストレージも GIS もクラウドも、道具立てがずっと整った。あとはプラクティスの段階だと思う。

こうしてできるライフログの価値をどう見よう？ 進化のために人間は“残す”ことを覚えた。文化は、

人間が積み重ねた経験を知識とし、これを口述伝承や文字の手段で代を経て継承し、長い年月にわたって熟成して生まれ、発展してきた。ライフログはこの根源的な活動を支える重要な手段であると思う。そしてライフログで示された多くの人の経験・体験が今で言う集合知・経験知を生み出す源泉に育って欲しいと願う。

### 参考文献

- 1) 特集「ライフログ」, 情報処理, Vol.50, No.7, pp.589-640 (July 2009).
- 2) 日経コミュニケーション編: ライフログ活用のすすめ, 日経BP社 (June 2010).
- 3) 総務省: 利用者視点を踏まえた ICT サービスに係る諸問題に関する研究会 第二次提言 (案), [http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000067551.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000067551.pdf)
- 4) ゴードン・バル & ジム・ゲメル: ライフログのすすめ, ハヤカワ新書 (Jan. 2010).
- 5) Rekimoto, J.: Time-Machine Computing: A Time-centric Approach for the Information Environment, ACM UIST'99 (1999).

(平成 23 年 3 月 15 日受付)



## ソフトウェアの時間

柴山 悦哉 (正会員) 東京大学

1983 年京都大学理学研究科数理解析専攻修士課程修了。東京工業大学助手、龍谷大学講師、東京工業大学助教授、同教授を経て 2008 年より現職。理学博士。本会元理事、日本ソフトウェア科学会理事長。

時間について考えると昔のことを思い出す。そんな昔話も交えつつ、短いものから長いものまで、ソフトウェアの時間について語りたい。

### 時を欺く

僕が院生や助手として過ごした 1980 年代は、まだコンプライアンスに甘い時代だった。たとえば、書類の日付欄を空けるよう指導されたものだ。そうしておけば、後から辻褄合わせができる。ひどい例をあげると、請求書をもらってから何カ月間も放置し、支払いを済ませた後で請求書の日付を埋めるとか…。もちろん、こんなこと真似てはいけない。でも、善悪を棚上げすると、書類上の時間を本当の時間から切り離し、後から整合性をとる発想は面白い。

当時、僕は並列計算に興味があり、計算順序について考察することが多かった。簡単な例として  $x_1+x_2+x_3+x_4$  の計算を考えよう。これを

$((x_1+x_2)+x_3)+x_4$  と見れば、左から 1 つずつ順番に足していくのが自然で、 $(x_1+x_2)+(x_3+x_4)$  なら、 $x_1+x_2$  と  $x_3+x_4$  を並列に求める可能性が見えてくる。この例に限らず、計算結果が変わらない (あるいは悪影響がない) 範囲で計算順序を変える技法が、ソフトウェアの実行性能向上のためによく使われる。たとえば、コンパイラや CPU の命令スケジューリング、データベースのトランザクションなどがそうだ。これらは、プログラムに記された時間順で計算すると見せかけて、実際は違うタイミングで計算を行う。冒頭の昔話との類似性、おわかりいただけるだろうか？ 時間を欺くことで時間を稼ぐ、これが随所で行われている。

### 時を作る

遡って 1970 年代、特殊相対性理論に興味を持つ時期が僕にもあった。観測する系によって時間の進

み方が違うなんて、不思議な気分だった。当時は知らなかったけど、時の刻み方がバラバラでも因果律は破れない点が、その後の僕の興味と重なっていた。

再び1980年代、僕は分散ソフトウェアを扱うようになり、不思議なことが日常になった。たとえば、電子メールは送った順に届くとは限らない。あるメールへの応答メールを、元のメールより先に受け取ることもある。この場合、因果律さえ怪しくなる。分散ソフトウェアの時間の進み方はかなり混沌としている。

情報の伝達遅延が大きいと、離れた場所での時計合わせが難しくなり、時間の進み方が場所によって違ってくる。だから、分散ソフトウェアの実行中は、コンピュータごとに異なる時間の流れがいくつも共存する。この状況を人間の頭で把握するのは容易でない。

そこでL. Lamportの論理時計<sup>1)</sup>の登場となる。標準時間がないなら作ればよい。論理時計は、分散ソフトウェアの実行が進むと、それと合わせて大域時間を進める。構成法は省略するが、因果関係で過去と未来を定める点は物理学に似ている。たとえば、メッセージの送信は受信より常に過去となる。この考え方は、分散ソフトウェアの正しさを議論する理論的基礎としてよく使われ、僕もお世話になったことがある。

普通なら「時間が進むとソフトウェアの実行も進む」と考えるが、論理時計では「ソフトウェアの実行が進むと時間も進む」と考える。この主客転倒が面白い。そして、時間さえソフトウェアで作ってしまう点も面白い。

## 時を見る

人の目に映るのは、今この瞬間の光景だけだ。だから、時を見るためには工夫がいる。たとえば、アルゴリズムアニメーションのような分野もある。でも、地層や年輪のように、始まりから終わりまでを詰め込んだ1枚の絵の方が、僕は好きだ。一覧性は大事だし、どこかを注視するには静止画の方が好ましい。

1990年代中頃、僕は、デバッグ等を目的とした

実行の可視化に興味を持つようになった。問題は2つあった。まず、ソフトウェアの実行履歴は量が多く、1画面での表示は絶対無理だ。これは、ズームインタフェースで見たいところを拡大し、他は縮小することで切り抜けた。もう1つの問題は、単調性と関係する。地層や年輪は時間とともに単調に増えるので、現在の姿が過去の姿を包含する。一方、多くのソフトウェアでは現在の状態を見ても過去のことまではわからない。そこで、論理型言語を対象とすることにした。詳細は省くが、変数の初期化はできても更新はできない言語なので、単調性を望みやすい。

近頃の開発環境では、ソフトウェアの静的構造を見せる機能はかなり向上している。でも、時間を見せる技術には、まだまだ改善の余地があるように思う。やはり、時間をうまく見せるのは難しい。

## 時と競う

ソフトウェアの開発過程ではコンピュータより人の働きが大事であり、流れているのは人の時間になる。「遅れているプロジェクトに人員を追加するとさらに遅れる」という有名なブルックスの法則<sup>2)</sup>は、人間らしさが悪い結果をもたらす一例だろう。これでは時間に勝てない。

話は変わって、1998年から僕は、ACM国際大学対抗プログラミングコンテストの審判を務めている。1チーム3人で使えるPCは1台のみ。かなり厳しい時間との競争になり、チームワークも試される。昨年アジア地区予選東京大会では、制限時間5時間で10問が出題された。

このとき1位のチームだけが全問正解で、最後の問題を解き終えたのは開始から4時間58分後、つまり終了2分前だった。10年以上参加していて思うのは、締切が近づくと能力値のあがる人がいるということだ。諦めない根性がギリギリのところまで爆発的な力を発揮するのだろう。ときには、人間らしさが武器になることもある。

## そして、時を超える

2000年代に入り、僕はソフトウェアのセキュリ

ティに興味を持つようになった。セキュリティと時間に関しては「ミルクかワインか?」という問いがある。つまり、ソフトウェアは時間経過とともに腐っていくのか、それとも熟成していくのか? これを測る研究も近頃では行われている<sup>3)</sup>。

ソフトウェアは情報であり経年劣化はない。しかし、取り巻く環境の変化がソフトウェアを陳腐化させることはある。近年、新しい脆弱性の発見による実質的な劣化が問題になっている。実際、開発の止まったソフトウェアを使い続けると、脆弱性が直らないので危険なこともある。やはり放置するとミルクになるし、ワインにするには労力がかかる。

ソフトウェアの歴史はまだ数十年間にすぎない。

「100年プリント」とか「200年住宅」という言葉は聞くが、「100年ソフト」を僕はまだ想像できない。でも、いつかできると思う。安定して動く堅実さと変化に耐える柔軟さ、これらを高いレベルで両立できたら、時を超えられるような気がする。次の10年間はそんなことも考えてみようかな。

#### 参考文献

- 1) Lamport, L. : Time, Clocks, and the Ordering of Events in a Distributed System, CACM 21(7) : pp.558-565 (1978).
- 2) フレデリック・P・ブルックス Jr. : 人月の神話—狼人間を撃つ銀の弾はない, アジソンウェスレイパブリッシャーズジャパン (1996).
- 3) Ozment, A. and Schechter, S. E. : Milk or Wine : Does Software Security Improve with Age?, Proc. of USENIX Security Symposium, pp.93-104 (2006).

(平成 23 年 4 月 4 日 受付)



## ソフトウェア開発と時間

阪井 誠 (正会員) (株) SRA

1984年大阪電気通信大・工・電子機械工学卒。同年SRAに入社。2002年奈良先端科学技術大学院大学博士後期課程了。博士(工学)。現在(株)SRA主幹。IEEE, ソフトウェア技術者協会各会員。

ソフトウェア開発は時間との闘いである。最大の敵はリリースの時である納期である。古くから、ソフトウェア開発においてQCD(品質, コスト, 納期)は、重要であると言われていた。近年は、ソフトウェアがビジネスと強く結びつくようになり、より納期が重視されるようになってきているほか、リリース時に最新の状況に合わせたソフトウェアであることが求められている。本稿では、このような中で再び注目され本格的な導入が進みつつあるアジャイル開発と、BTS(障害管理ツール)によるタスクマネジメント技術であるチケット駆動開発に触れながら、ソフトウェア開発の現場でどのように「時間」が重視されているかを述べる。

ソフトウェア開発には時間によって変動する以下の要素がある。

- ソフトウェアによって得られる価値
- ソフトウェアに必要とされる機能
- 実行環境

従来、ソフトウェアは既存の業務を置き換えるも

のが多く、納期はそれほど厳しいものではなかった。リリースが遅れることよりも、必要な機能が不足していることや、ソフトウェアの欠陥(いわゆるバグ)によって正常に動作しないことが問題視されていたからである。また、リリース後に従来の処理と並行で運用される期間がとられることが多く、若干の遅れは許容されることもあった。

近年のビジネスはソフトウェアによって実現されており、ソフトウェア開発の遅れが、ビジネスチャンスを失わせることになる。同業他社にマーケットを奪われてからソフトウェアが動作しても価値がなくなってしまうのである。そこで、ソフトウェアによって得られる価値を守る目的で、機能の取捨選択、いわゆるスコープの変更が行われる<sup>1)</sup>。

このような開発対象となる機能の取捨選択、すなわちスコープの変更は開発開始時に一度だけ行われていた。しかし、近年は以下のような理由から、スコープの変更が必要になる場合が多くなっている。

- 競合他社や社会の変化など、ビジネス環境の変化

- UX (ユーザエクスペリエンス)の向上

ソフトウェア開発の早い時点ですべてを決めてしまうと、ユーザの要望を満たすことができず、ソフトウェアの価値を下げてしまうのである。そこで、できるだけ短期間で<sup>2)</sup>、複数回リリースしてその都度スコープを変更する必要がある。

一方、ソフトウェアの実行環境も時間とともに変化する。使い込まれたソフトウェアは信頼性が高いというメリットがある。しかし、新しいソフトウェアほど一般に多機能であり、同じソフトウェアでも新しいバージョンであるほどセキュリティホールがふさがれている、サポート期間が長い、というメリットがある。このように、ソフトウェアはなるべく新しいものが好ましいが、実績の少ないソフトウェアの場合は、信頼性を確保する必要がある。そこでソフトウェアの実行環境などは、できるだけ決定を遅らせた方がよいが、信頼性を確保する期間が残せるようなとき(最終決定時点と呼ばれる<sup>2)</sup>)を守る必要がある。

このようにソフトウェア開発と時間を考えると、ソフトウェア開発の計画は容易ではないことが分かっていただけるだろう。ソフトウェアを開発するには、上述の時間による変動要素だけでなく、

- 開発の順序性
- 開発者の習熟

をさらに考慮する必要がある。ソフトウェアをどのように実装して結合していくか、テストの戦略を含めて計画を立てる必要がある。また、近年の技術は変化が激しいので、経験者であっても、ある程度の技術習得期間が必要になることが多く、どのように技術者を習熟させるかということも考慮する必要がある。

ここまで述べたように、時間と関係するこれらの条件を踏まえた上でソフトウェアを開発しなければならない。しかし、近年のソフトウェア開発では、時間による変動要素の影響によって、従来の段階的に詳細化して最後に一度だけリリースするという、いわゆるウォーターフォール型の開発は困難になってきている(もちろん、その度合いは開発するソフトウェアによって大きく異なる)。

そこで、スコープを変更しながら段階的に開発するという「アジャイル開発」が注目されている。アジャイル開発は、あらかじめすべてを決めておくのではなく、段階的にリリースし、どこまで実現するかを順次決定することで、変化に対応するからである。

ソフトウェア開発とビジネスの関係で考えると、アジャイル開発では部分的ではあるものの、常にソフトウェアが実現されているので、ビジネスチャンスを失うことなく、スコープの調整によって最適な時期にソフトウェアをリリースすることができる。従来は最終リリースまではビジネス上の価値を得ることはできなかったが、アジャイル開発では価値の得られない期間を短くし、メリットが得られる期間を延ばすことができるのである。

技術的に見ても、一度にすべてを作って失敗するのではなく、早めに小さく失敗することで、失敗を取り戻しやすくすることができる。小さく始めて、後になるほど完成度を高めていくことができるのである。

アジャイル開発は少人数での開発が基本であり、コミュニケーションが向上し、効率的な開発が可能である。近年は、その効果が認識されるようになり、より大規模な開発にも適用されるようになっている<sup>3)</sup>。

さらに近年は、従来開発やアジャイル開発法を効率化するものとして、障害管理ツールをタスク管理に用いる「チケット駆動開発」が注目されている。

チケット駆動開発は、従来法の開発の中で生まれた。近年の小規模かつ多機能なソフトウェア開発では、細かな作業が多くあり、その効率化の目的で障害管理ツールのチケット(障害票)をタスクマネジメントに用いたのである<sup>4)</sup>。

チケット駆動開発には、以下のような特徴がある。

- 構成管理ツールと連携してトレーサビリティを確保する
- リアルタイムに見える化してコミュニケーションを向上する
- 作業のワークフローを管理する

さらに、チケット駆動開発では、チケットの一覧から優先順位の高いものを選ぶことで、スコープを

変更することが可能である。そこで、従来法による開発の柔軟性を高める目的に用いられるほか、アジャイル開発においても、タスク管理をデジタル化して効率化する目的にも用いられている。

このようにチケット駆動開発は、従来開発やアジャイル開発法をさらに効率化し、リアルタイム性を高める技法として、注目されているのである<sup>5)</sup>。

本稿で述べたように、時間を重視したソフトウェア開発にはさまざまな開発法が必要である。

ビジネスの多様化に伴い、すでにソフトウェアは欠かせないものであり、その重要性は高まっている。ソフトウェアに対する多様な要望に応えるべく、1990年代後半から開発技術や開発環境は急速に発展し、少人数でも多機能なソフトウェア開発が可能になってきた<sup>6)</sup>。その反面、さまざまな変化への対応が必要になり、時間を重視したソフトウェア開発

が求められている。

多様なソフトウェアが求められているように、その開発方法にも従来の開発法だけでなく、アジャイル開発やチケット駆動開発といった、さまざまな開発法が必要とされているのである。

#### 参考文献

- 1) Davis, A. M. : Just Enough Requirements Management, Dorset House (2005).
- 2) Poppendieck, M. and Poppendieck, T. : Lean Software Development, Addison-esley (2003).
- 3) Leffingwell, D. : Scalling Software Agility : Best Practices for Large Enterprises, Pearson Education (2007).
- 4) まちゅ：チケット駆動開発 … ITpro Challenge のライトニングトーク (4), まちゅダイアリー, <http://www.machu.jp/diary/20070907.html#p01> (2007).
- 5) 小川, 阪井 : Redmine によるタスクマネジメント実践技法, 翔泳社 (2010).
- 6) Sakai, M., Matsumoto, K. and Torii, K. : A New Framework for Improving Software Development Process on Small Computer Systems, International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering, Vol.7, No.2, pp.171-184 (1997).

(平成 23 年 2 月 28 日受付)



## 2000 年問題から 2036 年問題、 2038 年問題へ

浦川 伸一 日本アイ・ビー・エム (株)

1984 年日本アイ・ビー・エム (株) 入社。金融機関向けシステム構築の SE を 13 年、その後プロジェクトマネージャとして主に大規模プロジェクトの統括を歴任。現在は金融機関様担当シニア・エグゼクティブ・プロジェクトマネージャ、理事。

2000 年問題 (以降 Y2K 問題と記述) がきわめて無難に経過してから、早くも 11 年を過ぎようとしている。Y2K 問題はグレゴリオ暦 2000 年になるとコンピュータが誤作動する可能性があると言われた“時間”がトリガとなる問題である。本稿では、現役プロジェクトマネージャである筆者の目線で当時を分析、政府主導による周到なプロジェクトマネジメントの実践を今一度振り返ってみたい。

Y2K 問題とは、年数の表現をグレゴリオ暦の下二桁のみで行っている場合、2000 年を 1900 年と見なしてしまう問題。たとえば複数の日付の比較を行うなどの処理を行うと、正しい結果が得られず、誤作動につながる可能性があると言われた。60 年代から 80 年代に開発されたさまざまなプログラムでは、たったこの 2 バイトを節約したがために、後世に大

きな負の財産を残すこととなった。

また、閏年の取り扱いというもの、実は盲点の 1 つで、2000 年は閏年でもあったため、1 月 1 日のみならず、2 月 29 日を無難に越すことができるか、という立て続けに“時”が主役となる一大イベントが繰り上げられた。

閏年は、現行の太陽暦であるグレゴリオ暦で以下のような 3 つの基本的なルールで定義されている<sup>3)</sup>。

- (1) 年が 4 で割り切れる年は閏年とする
- (2) (1) のうち、年が 100 で割り切れる年は閏年としない
- (3) (2) のうち、年が 400 で割り切れる年はこれを適用しない (つまり閏年とする)

このため、Y2K 問題では閏年の処理ロジックについて、上記の (1) と (2) のみを適用し、閏年とし

なかったプログラムも存在したため、この対応も併せて必要とされたわけだ。

また、Y2K問題は、実は日本が世界的に最も注目を集めていた。それは、時差の関係から先進国で真っ先にY2K問題に直面するのが日本だったからである。当時の政府関係者は非常に緊張した気持ちで2000年を迎えたことであろう。

ところが2000年1月1日を過ぎ、Y2K問題により発生したシステム障害は、政府発表<sup>2)</sup>によれば1月5日現在でたったの27件であった。内訳は金融機関11件、政府と地方公共団体6件、電力3件、電気通信3件、鉄道1件、航空1件、放送1件、核燃料施設等1件と報告されている。

主な事例としては、金融機関の現金計数機の不具合、原子力発電所の制御棒位置表示の不具合、電気通信会社における監視系日付処理の不具合、鉄道会社のオレンジカード専用券売機の不具合、医療機器で骨密度測定装置の日付機能についての不具合、郵便局のATMの不具合、「アメダス」データの一部の不具合、市役所の外国人登録済み証明書発行システムの日付処理の不具合、核燃料施設の運転制御・監視システムの一部表示不良、といった内訳で、どれも人命や企業経営に大きな影響を与えるようなレベルのものではなかった。ではこれだけ騒がれた問題が、なぜこのようにほぼ無傷で済んだのか。

技術的な観点での論評は枚挙にいとまがないため、プロジェクトマネジメント、特にリスクマネジメントの考え方に立脚し、このY2K問題への対処が妥当だったのか検証してみたい。

IT業界の視線は、どうしてもプログラム修正や機器の更改という点に集中してしまうため、政府を中心とした“Y2Kプロジェクト”としての全体像はあまり語られたことがないと思う。政府は、社会的な影響の大きさに鑑み、特定省庁、特定業界、特定企業という単位ではなく、あらゆる関係省庁、民間企業を巻き込んで、政府自らが当プロジェクトをリードしていた。

このY2Kプロジェクトは、年号および閏年の取り扱い個所の特定と修正という、トリガ自体はきわめて限定的なものであった。通常、プロジェクトで

リスク管理する場合、リスク識別に始まり、影響度や発生確率を整理し、リスクを回避または軽減するための対応策を立案して、定期的にトラッキングを行うということを行っている。Y2K問題を1つのプロジェクトと見立てて体系的に記載した文献はあまり見当たらないが、関連する文献を見渡すと、おおよそ次のような流れでリスクを識別し対応がとられていったのではないかと推察される。

#### 1. 対象の特定

社会活動を支えているあらゆるプログラムの所在を特定し、修正対象とすべき領域を特定する。

#### 2. リスクの識別

特定した対象プログラムについて、「時間」、特に年号を2桁で処理している個所の特定と、閏年の処理ロジックの個所の特定を行い、発生し得るあらゆるリスク事象を識別する。

#### 3. リスクが顕在化した場合の影響度確認

当該プログラムが誤作動した場合の影響度などを想定し、作業の優先順位や管理方法を検討する。

#### 4. 対処方法の検討

プログラムの修正、あるいは機器の更改など、具体的な対応策を対象領域ごとに定義する。

#### 5. プロジェクトの計画化と立ち上げ

対応方法を整理し、実行可能なプロジェクト単位で計画化し、体制を構築する。

#### 6. プロジェクトの遂行とトラッキング

立案した計画に従い、プロジェクトを遂行し、状況をトラッキングする。

#### 7. プロジェクトの終結

必要とされたすべての対応策が実施完了したことを確認する。

政府の最終報告書<sup>1)</sup>は、2000年3月31日に刊行されているが、当時の状況や推移が実によく整理されている。政府によるY2Kプロジェクトはこの日で完結したと判断してもいいであろう。

また副次的な効果かもしれないが、Y2K問題により実社会に存在するプログラムの大半が棚卸され、コードレベルで点検されたため、多くの企業や組織でソフトウェア資産として管理対象とすべき対象が

特定されたようである。これは後世にいい結果を残したのではないだろうか。

コンピュータの世界は日進月歩を繰り返しているが、IT化の実態は実社会をさまざまな表記法で抽象化したり、類型化したり、何らかのモデル表現を行い、コンピュータ技術という実装方式で表現しているにすぎない。“時間”についてもその表現方法は当時考え得る技術によって実現した方式の1つでしかないわけで、人間が編み出した実現方式であれば、その想定には常に一定の前提や限度がある。想定を越えて当該規格が長期に渡って使用され続けた結果がY2K問題だったのではないだろうか。

まだかなり時間的な余裕があるが、ネットワーク・タイム・プロトコルの2036年問題、UNIXの2038年問題など、“時間”に関するイベントが実はまだまだ控えている。

2038年問題をご承知の通り、UNIX時間が1970年を起点としてC言語time\_t型のAPIが作られているため、2038年に値がオーバーフローし、以降はマイナスとして扱われる問題である。APIとOS

が特定されているので、対処はY2K問題に比較すれば限定的ではないかと推察される。

2036年問題についてはさらに限定的で、ネットワーク・タイム・プロトコル、略称NTPのみが対象となる事象である。NTPはネットワークに接続される機器において、機器が持つ時計を正しい時刻へ同期するための通信プロトコルであるが、NTPサーバが1900年を起点に積算秒数を使用しているが32ビット符号なしで使用されているため、同様に2036年に桁あふれを起こすというものである。いずれもアプリケーションレイヤには影響がないと考えられるため、Y2K問題の教訓を生かし、20年後の精鋭の技術者およびプロジェクトマネージャによって無難に対処されるものと願っている。

#### 参考文献

- 1) コンピュータ西暦2000年問題に関する報告書、内閣コンピュータ西暦二千年問題対策室(2000).  
<http://www.kantei.go.jp/jp/pc2000/houkokusyo/honbun.html>
- 2) Y2Kによる我が国への影響について、内閣コンピュータ西暦二千年問題対策室(2000).  
<http://www.kantei.go.jp/jp/pc2000/0105pdf/0511teiji.pdf>
- 3) 2000年問題, Wikipedia (2011).  
<http://ja.wikipedia.org/wiki/2000%E5%B9%B4%E5%95%8F%E9%A1%8C>

(平成23年2月28日受付)



## アルゴの国の時間の夢

伊藤 大雄 (正会員) 京都大学大学院情報学研究所

1985年京大数理工卒・87年修了。95年京都大学博士。NTT研究所・豊橋技科大を経て2001年より京大助教授～准教授。離散アルゴリズムの研究に従事。著書『パズル・ゲームで楽しむ数学』、森北出版、『ネットワーク設計理論』(共著)岩波書店等。

アルゴリズムにとっても、時間は大切です。しかしアルゴリズムの理論研究の世界における時間の単位は、分とか秒とかではなく「ステップ数」です<sup>☆1</sup>。足し算とか掛け算とか大小比較とか、2つの数の間で行われる操作1つをそれぞれ1ステップと数え、これがいくつ必要なかでステップ数、すなわちアルゴリズムの必要とする時間が定まります。

ここでコンピュータのことをちょっと知っている人ならば、「足し算と掛け算とが、どちらも同じ

1ステップと言うけど、かかる時間がずいぶん違うんじゃないの？」という疑問が浮かぶかもしれません。たしかにその疑問は正しい。ただし、「違う」といっても、せいぜい百倍以下なので、**そんな小さなことは気にしない**。「百倍違えば大違いだろう」というのは実用化の立場の考え方で、アルゴリズムの理論研究においては、コンピュータの性能の違いに吸収される程度の(実はもっと緩く、定数倍程度<sup>☆2</sup>)の違いは問題にしないのです。

<sup>☆1</sup> ただし語り手の立場によって変わります。アルゴリズムにも基礎研究から実用化まで幅広くありますが、ここでは私の研究分野である、理論計算機科学の立場から語ります。

<sup>☆2</sup> この定数は100でも一億でも、 $10^{1000}$ でも、とにかく定数でありさえすればよいのです。「そんな大ざっぱな」と思われるかもしれませんが、合理的な上限を設ける理由がないので、こうするのがよいのです。

時間がステップ数ならば、速さはどう測るのでしょうか？ 具体例を使って、もう少し詳しく見ていきましょう。「整数の列を小さい順（昇順）に並び替える」問題を考えましょう。これを「整列問題」と呼びます。たとえば、「5, 23, 3, 99, 30, 1, 47, 8, 12, 75」という10個の数字が与えられたとき、これを並び替えて「1, 3, 5, 8, 12, 23, 30, 47, 75, 99」という列を出力する、という問題です。与えられる整数の個数を  $n$  とします（この例では  $n=10$  です）。

整列問題のアルゴリズムで最も単純なものは、まずすべてのデータを見て、一番小さい数字を取り出し（列から除き）、次に残っているデータをすべて見て、その中で一番小さい数字を取り出し（列から除き）、という操作を最後まで繰り返すものでしょう。数字を取り出した順に並べれば、昇順に並べることができます。

この操作の手数（時間）を見積もると、すべてのデータを1回眺めるのに  $n$  に比例する時間がかかり、それを  $n$  回繰り返すのですから、 $n^2$  に比例する計算時間がかかります<sup>☆3</sup>。これを我々は  $O(n^2)$  と表現します<sup>☆4</sup>。これがアルゴリズムの速さです。「データ量が  $n$  のものを計算するのに  $O(n^2)$  時間（= ステップ）かかる」というように、速さを関数で表現するのです。

整列アルゴリズムの中で最速と言われているのが、その名も「クイックソート」で、計算時間の期待値は  $O(n \log n)$  になります<sup>☆5</sup>。なお、蛇足かもしれませんが、「 $O(n^2)$  と  $O(n \log n)$  とを比べると、 $O(n \log n)$  の方が速い（= 小さい）」と判断することの理由を述べておきます。この場合の関数の大小は、 $n$  に十分大きな数字を入れてみて判定するのです。だってデータ量が多い（つまり  $n$  が大きい）場合にコンピュータがお手上げになってしまうかどうかの問題なのですから。

☆3 繰り返すごとにデータはだんだん減っていくのだから、 $n$  を  $n$  回繰り返さなくてもよいのではないかと、思う方もおありでしょう。確かにそうなのですが、その違いは定数倍に収まるので、先ほど述べたように気にしないのです。

☆4 この  $O(\cdot)$  という記号は、「定数倍程度の違いは気にしませんよ」ということの数学的表現です。

☆5 よほど運が悪いと  $O(n^2)$  かかってしまう場合もあるにはあるのですが、 $n$  がある程度大きい場合には、そんなことが起きることは確率的にほとんどゼロで、気にする必要はありません。

それでは  $O(n \log n)$  よりさらに速いアルゴリズムはありえないのか？ という、実は無いことが簡単な解析で証明できます。つまり、クイックソートは（期待値という意味では）理論上でも最速ということになるのです。

ところが、ここで「登場するデータの種類の数が定数個（ $M$  個とします）しか無い」という場合を考えてみましょう。この場合、上手い方法があります。

たとえば、1 から  $M \geq 1$  までの整数だけしか現れないとしましょう。あらかじめ  $M$  個の入力物（「バケツ」と呼ぶ） $B_1, B_2, \dots, B_M$  をコンピュータ上に用意しておき、「バケツ  $B_i$  には整数  $i$  を入れる」ということにしておくのです。そして与えられた整数を1つずつ、入るべきバケツに入れていきます。最後にバケツの中身を  $B_1$  から順に  $B_M$  まで繋げれば、整列ができあがります。

この場合、最後にバケツを繋げる手間を除けば<sup>☆6</sup> 計算時間は  $O(n)$  となり、さらに速くなります（「ん...？ さっき『 $O(n \log n)$  より速いアルゴリズムは無い』とか書いてあったけど、ありゃあ嘘？」とか思っているあなた。「データの種類の数が  $M$  個」とか「バケツを繋げる手間を無視する」とか色々都合の良い仮定を入れていることを忘れないでください）。

この方法は、 $M$  があまり大きくなるとメモリを食い過ぎて使えません。しかし逆に見れば、

### メモリをジャブジャブつかえるならば、 計算時間を速くする方法もある。

ということもできます。

この考え方を追求すると、もっと極端なことが言えます。与えられる整数の個数  $n$  の上限をある定数  $N$  と仮定します。実際、計算機で扱える個数には上限があるはずですから、これは自然な仮定です。これを先ほど導入した「データの種類の数が  $M$  個」という仮定と合わせると、可能な入力（すなわち、長さ  $N$  以下の数字列）の種類は高々  $(M+1)^N$  個になります。ですから、各入力を  $N$  桁の  $M+1$  進数と考えれば、各入力に1から  $(M+1)^N$  までの数字を対応させることができます。そしてそれぞれの答の数列をあ

☆6 ハードウェア的に高速でできるので無視できる、ということにしてしまうのです。

らかじめ表に用意しておけば、答は、その表の、その入力の表す数字のところを読めば書いてありますので、なんと**入力を読んだ瞬間に答えが分かる**ことになります。この考え方は整列問題に限らず、計算機で扱うすべての問題に使えます。

「これはいくらなんでも反則だろう」という声が聞こえてきそうですね。私もそう思います(笑)。 $(M+1)^N$ なんて数字、 $M$ や $N$ が少し大きくなっただけで、あり得ないほど大きくなり<sup>☆7</sup>、そんな大きなメモリが存在するはずがないからです。

ではこれはただの駄弁か、というと、そうとは言い切れないと私は考えています。たとえば、量子コンピュータというのを聞いたことがあるかもしれませんが、これは现阶段では理論上のものでしかありませんが、この計算機は、1ビットのメモリに指数個の情報を同時に記憶させることができます。ただし、

☆7 たとえば、 $M=N=100$  とすると、全宇宙の分子数を遙かに超えてしまいます。

そのうち1つだけしか読み出せないし、一度読み出したらそのデータは壊れてしまうなどといった弱点はありますが、「指数個の情報を1つのメモリに押し込む」ことが理論上可能なのです。こんなことができる可能性があるなんて、量子コンピュータの概念が現れるまでは、誰も考えていませんでした。

もちろん量子コンピュータが仮に実現したとしても、さきほどのアルゴリズムを実用化するには、さらに(たぶんもっと大変な)ハードルがいくつもあるでしょう。しかし科学の歴史は、たまに現れる天才がブレークスルーを与え、それを我々凡人が推し進める、ということの連続で進んできました。この問題についても、また別の天才が現れて、そのハードルをあっさり超えてしまうかもしれません。自分でできることは限られていますが、せめてそういった驚くべきブレークスルーをなるべくたくさん見たいと思っています。

(平成23年2月28日受付)



## 社会と共に成長する情報システムへの思い

山田 敬嗣 (正会員) NEC C&C イノベーション研究所

1987年京都大学大学院工学研究科情報工学専攻博士後期課程了(京都大学工学博士)。同年日本電気(株)入社。現在、C&Cイノベーション研究所研究部長。専門分野は、ユビキタスシステム、ヒューマンコミュニケーション、パターン情報処理。

### 社会情報システムとしての平城京システムとサイクルタイム

筆者が所属する研究所は、通称「けいはんな(京阪奈)学研都市」内に所在する。2010年には、同学研都市内でも、平城京遷都1300年祭が行われた。また、奈良時代の建築物や天平文化の芸術、技術に触れる機会も多く、1000年以上前の都市や生活、治世について興味を持ち、情報システムとの対比として考えてみた。

当時の特徴的な制度や文物を、情報システムに準えて、ハードウェア、OS、アプリケーション/コンテンツと分類してみることで、情報システムとしての観点から観察できるのではないかと考えた。ハードウェアとしては、CPUとしての平城京と日本

全国の五畿七道をつなぐ街道や港湾の建設によるネットワークが構築された。OSとしては、律令制が整備され、通貨や度量衡による量的プロトコルが定められ、駅伝制による情報通信が整備された。その上で、仏教、建築技術、造船技術、薬学などの情報の伝播や、工芸、芸術などのコンテンツが次々と創作、伝達され、絢爛たる天平文化として開花したのである。

駅伝制という情報ネットワークのノードとして、400もの駅が約16キロ間隔で全国に整備されたそうだ。1日で10駅を馬が走ったというから、1日の情報伝達速度は160キロメートル。日本の端までの情報伝達速度は、数日となる。もう1つのネットワークとしての物流は、租庸調という租税の運搬

と労働力として1年単位での流通があった。人の移動に合わせて、技術や他の地域の情報が伝播されたらしい。

つまり、1300年前の情報伝播や情報処理の単位時間であるサイクルタイムは数日から1年であり、当時の社会システムは、そのレベルの周期を基準として設計されていたと見なせるだろう。

## 平城京の破綻から見た現在の社会システムの脆弱性

その繁栄が70年余りで終焉を迎えたのは、疫病や過大な租税による人民の不満が理由といわれる。しかしながら、平城京を情報システムとして捉えたときに、サイクルタイムのオーダーでの社会変化への追従とシステム制御は可能であったが、サイクルタイムとは桁違いのオーダー、たとえば10年とか30年のスパンで社会が成長するという設計コンセプトが欠落していたからではないかと考えている。

時と共に社会は変化し成長するものであるが、構築時点、つまり固定的な状況を前提にシステムが設計されたため、時間と共に、設計モデルと現実が乖離していった。たとえば、班田収受制は、土地資源一定のもとでの管理システムであり、開墾し土地を増やして成長をもたらすには不向きであった。また、流通システムとしての市場も、政府による管理市場であり、経済成長のエンジンとはなり得ず、むしろ管理市場以外での流通が主流になり、統制が効かなくなっていくらしい。

さて、現在の社会システムにおいては、情報システムは切り離せない。交通やエネルギー供給、銀行オンライン、電子商取引、電子納税、電子政府などさまざまな社会システムのパーツに情報システムが利用されている。少なくとも平城京において整備された社会システムのすべてが情報システム化されたと言える。単なる喩えではなく、情報システムが社会システムそのものになっているようにも見える。

然るに、従来の情報システムは、実際の社会の一部を固定的でクローズなシステムとして実現したものとなっている。つまり、部分的な社会システムの境界、情報処理の範囲を規定し、内部構造や要素数

にほとんど変化がないことを仮定して構成している。さらには、外部との相互作用を限定し、入出力を制限して、部分社会システムを要素還元的にモデル化することによって、実現可能になっている。

これは、平城京システムを破綻に導いた「成長モデルの欠落」が重なって見える。成長する社会においては、時間と共に現実とモデルとの乖離が進み、社会システムに脆弱性を招くことになる。たとえば、複数交通網の統合では、一地点での故障が、網全体の麻痺につながる可能性を生む。また、企業統合においては実際にトラブルも起きている。

平城京の時代には、情報伝播は数日から1年という速度であったが、現在は世界中に伝わるのにすら1秒もかからない。それゆえ、社会変化のスピードも非常に速い。情報通信網のみならず、交通網、エネルギー網、流通網など複雑に多様なネットワークが絡み合う故に、単なる規模の成長だけでなく、構造変化も起こしながら社会が成長している。

社会システムのサイクルタイムはますます短時間になる一方で、長期的な社会変化は急激になっている。しかも、100年単位での地球環境や自然環境の維持も考えねばならない。考えなければならない時間レンジが、ミリ秒から100年ときわめて広い。このような状況で、システムの設計コンセプトに社会成長や変化という概念を入れられていないということは、現実社会と社会の固定システムモデルとの乖離が激しくなり、現実社会が潜在的な脆弱性を抱えていることになる。社会の一部で問題が顕在化すると、その情報伝播の高速性とネットワークの網羅性・複雑性の故に、社会全体が不安定になることが予想される。

## 時々刻々変化する柔らかい社会の基盤を考える

人は、活動し、学習し、時間と共に成長する。組織は、発生と淘汰を繰り返し、内部変革を起こしながら成長していく。自然環境も、一刻も同じ姿ではなく、常に変化を繰り返している。これらを含む社会も、時々刻々と構造や活動を変化させながら成長している。

今や企業も単独では競争力を維持できず、複数企

業群の生態系の中で、バリューネットワークやサプライチェーン、アライアンスなど、外部との相互作用を最大限に活用するオープン・イノベーションは、成長には不可欠とも見なされている。

このような社会の成長や変化のモデルとしては、次のようなものが考えられる。

- (1) 外部要素との統合や置換、
- (2) 削除・追加などの内部要素の変化、
- (3) 要素間のリンクの追加・削除、
- (4) 構造変化、情報伝達系統の変化、
- (5) 外部との相互作用の増大や新たな相互作用の創発

従来の階層的、もしくは固定的なモジュール構造を廃し、実社会に適応しながら、モデル内の要素集合やそのリンクを変更しながら、自律的に構造を変化させることが必要になろう。また、実社会の人や

組織は、意思を持ち、自律的に行動するものであるから、外部からの厳密な制御による全体最適化は意味をなさない。むしろ、緩やかな制御と確率的な反応による局所適応化とからなる柔軟な全体調整が中心となるであろう。つまり、厳密なスケジュールリングよりも、実社会の状態や中心にいる人々の特性や価値観を加味した譲り合いの促進やおもてなしのシステム化である。

これらの技術は、未だ確立されたものはないが、激変する21世紀を人々にとってより暮らしやすい時代にするためにも、時間の流れの中で社会の状態変化に合わせて、しなやかに構造を変え、社会の主役たる人々が自分らしく生き活きと暮らすことを支援する情報システムを実現していきたいものである。

(平成23年3月3日受付)



## 時の栖—時間と通信—

白鳥 則郎 (正会員) 東北大学／公立ほこだて未来大学

1977年東北大学博士課程修了。1990年同大工学部教授を経て1993年同電気通信研究所教授。2010年東北大学名誉教授、同大電気通信研究所客員教授。公立ほこだて未来大学理事。人と情報環境の共生などの研究に従事。文部科学大臣表彰「研究部門」、IEEEフェロー、本会功績賞など受賞、2009年より本会会長。

### 通信の始まりと時間

古代から「のろし」や「たいこ」のリズム、強弱が相手に意図を伝えるために用いられたように、信号を伝達する通信は、時間と密接な関係をもっていた。のろしやたいこによる通信では、煙や音の断続による「時間間隔」に込められた情報を遠くの相手に送る。情報通信の始まりである。その後、この時間間隔は、約170年前に登場したモールス信号に導入され、通信の近代化の幕開けとなった。さらに時間を区切って複数の用途に割り当てる「時分割」の概念が考案され、通信の利便性が飛躍的に向上した。この概念は情報処理にも利用され1960年代後半に一世を風靡したTSS (Time Sharing System) としてコンピュータの制御にも応用された。

### 短い時間と長い時間

このように時間の効果的な活用によって情報通信

技術は大きく進展し、今日の情報社会を支える基盤となっている。半世紀以上も前、私の子供の頃、一般家庭では電話もテレビも少なく、通信と言えばラジオ、新聞、雑誌が中心であり、個人が使える通信手段は手紙やハガキであった。ワープロもインターネットもない時代である。手紙を書くにしても、ワープロのように簡単に修正や編集ができないので、まず下書きする。時間をかけて清書し投函する。そして返信を待つ。熱中して書いている時間は苦にならないが、この待つ時間は長い、と感じる。同じ時間なのに「書く」と「待つ」では、大きく違うようだ。そう言えば、子供の頃、暗くなるまでたっぷり遊んで一日を長いと思った記憶がある。ところが今はどうだろう。一日どころか、一週間もあっという間である。

ブラックホールの発見者ホーキング博士によると、「文明が進みすぎた惑星の運命は皆同じで、宇宙時



間からすればほとんど瞬時的，地球時間からすれば100年足らずで生命は消滅するだろう」とのことだ。一方，私の視点からすれば生まれてから60数年，長い気もするし，あっという間という感じもする。そもそも時間とは，苦しい時や待つ時は長いし，楽しい時や熱中する時は短い。それでは，楽しく熱中すればよいだろうか。いや，楽しくパソコンゲームに熱中しても充実感は得られまい。

### 利便性と喪失

現在ネットの検索エンジンなど情報通信技術の発達により，多種多様な情報を居ながらにしていても簡単に手に入れることが可能だ。学生のレポートももっともらしい言説が組み合わされて出てくる。学生だけでなく新聞，テレビ，雑誌の記者も現場へ行かずに記事とすることはないだろうか。

今や時間をかけずに必要な情報を手に入れたり，いたる所へ発信できるようになった。このように手間ひまをかけずに，汗を流さずに事を成し果実が手に入る。しかし，「身体性」を伴わない果実は，その人の血となり肉とはなり得まい。

翻って30数年前，仙台から北海道へ旅をした。学生時代のことである。鈍行列車と今はなき青函連絡船に乗り，函館から再度鈍行を乗り継いでの一昼夜の旅。北海道ならではの牧歌的田園風景を車窓から眺めながら，札幌駅に降り立った時は少しオーバーな表現をすると，遠くへやって来た，遠い国にやっと辿り着いたと思った。雑事にかまけて忘れていたものが，ふと蘇り軽い興奮をおぼえた。小さな感動である。それから数年後，札幌での学会に出席するため，仙台から飛行機に乗った。青函連絡船では，青森から函館まで5時間。飛行機では，この

距離をあっという間にひとまたぎである。別の感動，いや驚きであった。もはや小さな感動さえ覚える暇はない。私は，ここに飛行機による時間短縮と裏腹に「喪失」を感じた。利便性の代償として，われわれは確かに大切なものを失っている。

### 時の栖

これまで効率を中心とした欧米流の合理性を評価基準に，われわれはモノ作りに邁進し物質的な富の獲得には，確かに成功してきた。同時に今，高齢化や社会モデルの変化と地球環境の変化を目の当たりにしている。効率重視の合理性が悪いわけではない。持続可能な社会モデルの創生と地球環境の回復には，合理性に加えてもうひとつの基軸となる評価基準が必要となろう。たとえば，このような基軸として，人の暮らしと自然が調和することに価値を置く，すなわち「共生」の考え方が挙げられよう。具体的には，人の活動の活性化とエネルギー消費の折り合いをいかにつけるかが問題なのだ。この新たな評価基準については文献1)～4)を参照されたい。

いずれにしても，1960年代以降の高度成長期で獲得してきた利便性の代償として失ってきたものを取り戻し，精神的な豊かさを手に入れるには，「自分の時間」といかに向き合うかにかかっている，と私は思う。

#### ・ITの豊かさわれら楽しめどもっと大きい

なくした時間

#### ・文明に囲まれて暮らすわが日々を寒風に舞う

山鳩に問う

どうやら，豊かな時というものは，心の中を栖としているようだ。

#### 参考文献

- 1) 白鳥則郎：ポストモダン分散システム（基調講演），2010年マルチメディア通信と高速・知能・分散・協調コンピューティングシンポジウム論文集（情報処理学会），pp.1-7（1994）。
- 2) 白鳥則郎，菅原研次，菅沼拓夫，藤田 茂，小出和秀：Symbiotic Computing—ポストユビキタス情報環境へ向けて—，情報処理，Vol.47，No.2，pp.811-816（Feb. 2006）。
- 3) 白鳥則郎：情報処理技術と学会の未来，情報処理，Vol.51，No.5，pp.478-480（2010）。
- 4) 白鳥則郎：東日本大震災と学会のこれから—会長メッセージ—，情報処理，Vol.52，No.4（2011）。

（平成23年2月28日受付）