

## 特集

新たな臨床・研究発展に向けて—異分野との連携を探る—

移動知における社会適応メカニズムの  
解明と人工環境設計論への展望\*

● 浅間 一\*\*

**Key Words :** mobiligence, social adaptiveness, artificial environment, service evaluation, human sustainability

## はじめに

温暖化をはじめとする環境問題, 少子高齢化, 食料, 安全など, われわれはさまざまな社会的な問題に直面している。吉川は, これらの問題の多くは, われわれの技術によってもたらされたものであると指摘し, それを「現代の邪悪なるもの」と呼んでいる<sup>1)</sup>。技術によってもたらされた社会環境の変化は, 人々の健康面にも大きな影響を及ぼしている可能性がある。気分障害などの精神的疾患による社会的適応機能不全もその一つと考えられる。

このような問題を解決するには, まずどのような社会的な問題が生じているかを把握するとともに, それがどのようなメカニズムで発生したのかを解明し, それに対する解決手段を構築, 講じる必要がある。ここでは, 生体としての人間, その個人, あるいは集団としての活動と, さまざまな物理的現象が複雑に絡み合っており, その因果関係のメカニズムの解明だけでも, 非常に困難な課題である。その解明において, 科学技術の果たすべき役割はきわめて大きい。

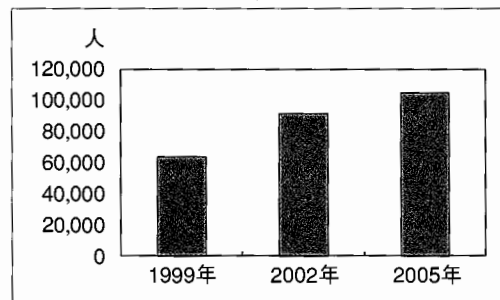


図1 気分障害患者数の推移

## 人工環境の変化がもたらす影響

2009年に国立社会保障・人口問題研究所が発表した調査では, 自殺・うつによる経済的推計額は2.7兆円に上るとの指摘がある<sup>2)</sup>。一方, 図1は厚生労働省による近年の気分障害の患者数の推移であり, それは年々増加する傾向にあることがわかる<sup>3)</sup>。ただし, これは入院や外来の患者数のデータであり, 実際のうつや社会適応障害の患者数はこれをはるかに上回っていると考えられる。特に若年層の状況に関しては, 2006年に日本学校保険会<sup>4)</sup>がまとめた保健室の利用状況調査では, 心の健康問題を理由に保健室を利用した子どもの数は, 小学校で1,000人あたり6.7人, 中学校で26.2人となっており, いずれも5年前の調査より増加している。発達過程の重要な時期に心の健康を損うことはきわめて大きな問題

\* Understanding the mechanism of social adaptiveness in mobiligence and perspective toward design of artificial environment.

\*\* Hajime ASAMA, Dr., Eng.: 東京大学大学院工学系研究科(〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1); School of Engineering, the University of Tokyo, Tokyo 113-8656, Japan.

であり、その解決が急務であると考えられる。

その原因を解明することは容易ではないが、これらの数字が急速に増加していることを考えると、近年の社会環境の変化がなんらかの影響を与えていると考えるのが妥当であろう。特に、技術によってもたらされた人工環境の変化が、社会環境の変化にも影響を与えていることが懸念される。Sasakiらは、睡眠時間などの生活習慣とうつとの関係を示すとともに、特に若年層において、携帯電話やPC、インターネットの使用による不規則な生活がうつの一因となっている可能性を指摘している<sup>5)</sup>。また佐藤は<sup>6)</sup>、携帯電話が一つの原因として考えられると指摘しており、文部科学省も、インターネットの有用性と危険性について指摘している<sup>7)</sup>。東京大学では、発達に伴う心理的ストレスと精神疾患の発症のメカニズムを生工連携によって明らかにし、定量的に解析可能にすべく、発達知と呼ばれる研究の取り組みも始められている<sup>8)</sup>。

### サービス工学におけるサービスの評価

一方、近年サービス工学という学問が注目されている<sup>9)~11)</sup>。従来の工学はいわば「もの」を創造するための設計論であるのに対し、サービス工学は「サービス」を創造するための設計論である。製品の普及が進むにつれ、製品の需要は飽和しつつある。現在わが国では第三次産業がGDPの70%以上を占め、その比率はさらに増大する傾向があることから、サービス産業の生産性の向上、サービスにおける新たな価値創造、サービス製造業のサービス化などが論じられるようになってきた。

従来の工学で論じてきた「もの」、すなわち「製品」の価値は、性能などによって評価されてきた。それに対し「サービス」の価値は、一般的に、顧客、すなわちサービス受容者の満足度によって評価される。たしかに、われわれは技術によってさまざまな人工物や人工環境を開発し、それによって多くのサービスを生み出し、快適で豊かな社会を構築してきた。しかし、果たして本当に「サービス」の良し悪しは「満足度」だけで評価できるのであろうか。

そもそも、これまでのサービスの「満足度」の

評価は、アンケートなどの調査に基づくことが多い。しかるにアンケートは、主観的であるばかりでなく、質問方法によって結果が大きく異なったり、回答が誘導されるなど、信頼性に欠けるという問題がある。この問題に対して、認知主体の生理状態や行動を計測することによって、満足度を客観的かつ定量的に評価する試みも行われるようになりつつある。このようなサービスの評価を生理学的な知見に基づき客観的に行うような学問をサービス生理学と呼ぶ。

サービス工学において、これから開発が必要となる技術として、「適応」、「誘導」、「実感」があげられる<sup>11)</sup>。特に本稿では、「実感」に注目したい。サービスシステムを設計する際、サービスシステムがもたらしうる負の側面をいかに低減させるか、好ましくない状況の発生をいかに防止するかも重要な課題であるからである。

これまで、操作を楽にするために開発されたはずのヒューマン・インタフェースが、間違った判断やヒューマンエラーをひき起こす一因となり、そのあり方が問われたケースもあった。自他帰属性や意志作用感の研究において提案されているcomparator modelと呼ばれるモデル<sup>12)</sup>に基づき考えると、認知主体の能動性が行為の結果に基づく予測回路を脳内で起動させる。システムの自律性・自動化によって、利用者を安易に快適にさせたり楽にさせるというだけのヒューマン・インタフェースの設計方針は、利用者を受動的にさせ、予測機能を減衰させ、いざというときの認知機能については必ずしも好ましくないという報告がある<sup>13)</sup>。

現代では、特に情報システムなどの人工システムの功罪が問われている。前述のように、インターネットや携帯電話などが、子どもにさまざまな悪影響を与えているという指摘もあるが、それに加えて、仮想環境を利用したコミュニケーションでは意思疎通が難しい、意図が誤解される、ブログなどの書き込みによって個人が心理的に攻撃対象になったり心理的な負荷を課している、若者のコミュニケーション能力の低下をもたらす、などの影響が生じることも想定される。情報システムの進歩によって対人関係そのものが変容しており、そのような社会環境の変

## 特集 新たな臨床・研究発展に向けて—異分野との連携を探る—

# 移動知における社会適応メカニズムの 解明と人工環境設計論への展望\*

● 浅間 一\*\*

**Key Words** : mobiligence, social adaptiveness, artificial environment, service evaluation, human sustainability

### はじめに

温暖化をはじめとする環境問題, 少子高齢化, 食料, 安全など, われわれはさまざまな社会的な問題に直面している。吉川は, これらの問題の多くは, われわれの技術によってもたらされたものであると指摘し, それを「現代の邪悪なるもの」と呼んでいる<sup>1)</sup>。技術によってもたらされた社会環境の変化は, 人々の健康面にも大きな影響を及ぼしている可能性がある。気分障害などの精神的疾患による社会的適応機能不全もその一つと考えられる。

このような問題を解決するには, まずどのような社会的な問題が生じているかを把握するとともに, それがどのようなメカニズムで発生したのかを解明し, それに対する解決手段を構築, 講じる必要がある。ここでは, 生体としての人間, その個人, あるいは集団としての活動と, さまざまな物理的現象が複雑に絡み合っており, その因果関係のメカニズムの解明だけでも, 非常に困難な課題である。その解明において, 科学技術の果たすべき役割はきわめて大きい。

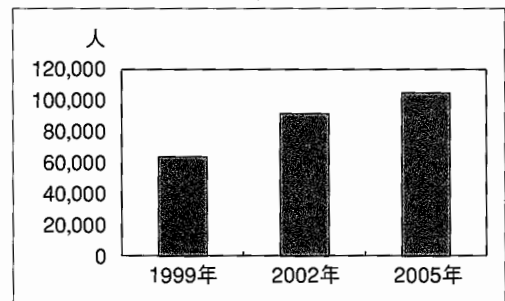


図1 気分障害患者数の推移

### 人工環境の変化がもたらす影響

2009年に国立社会保障・人口問題研究所が発表した調査では, 自殺・うつによる経済的推計額は2.7兆円に上るとの指摘がある<sup>2)</sup>。一方, 図1は厚生労働省による近年の気分障害の患者数の推移であり, それは年々増加する傾向にあることがわかる<sup>3)</sup>。ただし, これは入院や外来の患者数のデータであり, 実際のうつや社会適応障害の患者数はこれをはるかに上回っていると考えられる。特に若年層の状況に関しては, 2006年に日本学校保険会<sup>4)</sup>がまとめた保健室の利用状況調査では, 心の健康問題を理由に保健室を利用した子どもの数は, 小学校で1,000人あたり6.7人, 中学校で26.2人となっており, いずれも5年前の調査より増加している。発達過程の重要な時期に心の健康を損うことはきわめて大きな問題

\* Understanding the mechanism of social adaptiveness in mobiligence and perspective toward design of artificial environment.

\*\* Hajime ASAMA, Dr., Eng.: 東京大学大学院工学系研究科(〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1); School of Engineering, the University of Tokyo, Tokyo 113-8656, Japan.

化がヒトにストレスを与え、健全な生活を営むことを困難にしている可能性があることを考慮する必要がある。

われわれが実際に会ってコミュニケーションを行う際には、文字で表現できない多くの重要な情報を知覚しており、実時間の双方向の相互作用から互いに意図を推定しながら理解し合っていると考えられる。ネットワークを介したコミュニケーションはこの「実感」を欠落させ、脳への感覚フィードバックを著しく減少させている可能性がある。実感を伴わないヒューマン・インタフェースが間違った判断やヒューマンエラーをひき起こすことから、サービスシステムに実感を具備させることが今後の重要な課題の一つではないかと考えられる。

### 移動知研究における社会適応

2005年から5年間のプログラムとして、文部科学省科学技術研究補助金特定領域研究「身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現—移動知の構成論的理解—」(略称: 移動知)<sup>14)~16)</sup>が実施された。人間、動物、昆虫などは、さまざまな環境において適応的に行動する能力を有している。この能力は、これらの生物が生存する上で最も基本的で必須な知的機能であるが、脳や身体の損傷によって損われることが知られている。パーキンソン病は典型的な適応的運動機能障害の例であるし、自閉症やうつ病、統合失調症なども社会的な適応機能障害であると考えられる。しかしながら、このような適応行動がどのようなメカニズムで発現するかはほとんど明らかになっていない。移動知研究は、まさにこのような生物の適応的行動がどのようなメカニズムで発現するのかを解明することを目的としている。

移動知研究では、生物が動くことで生じる、「脳」と「身体」と「環境」の動的な相互作用によって適応的に行動する知が発現するという作業仮説に基づいており、この考え方を「移動知」(mobiligence)と呼んでいる。従来の生物学の分析的アプローチでは、運動中の状態を把握することは難しい。そこで移動知研究では、神経生理学、生態学などの生物学の方法論と、システム工学、ロボティクスなどの工学の方法論を融

合させ、動的な生体システムモデルを構成するという、構成論的・システム論的アプローチが取られている。

移動知研究の中の一つの柱が、「社会適応」である<sup>17)</sup>。ここでは、認知個体が、他者ならびにその集合体としての社会に適応させるメカニズムを明らかにするための研究が行われている。社会適応は、移動知研究の中でも最もそのスコープが広く、対象としている生物も、昆虫(コオロギ、カイコガ、ミツバチ、アリ、シロアリなど)、魚、鳥、猿、ヒトなど、無脊椎動物から脊椎動物まで非常に幅広い。

ここで注目すべき一つの研究は、雄コオロギの喧嘩行動に関する研究である。2匹の雄コオロギが遭遇すると喧嘩が行われるが、正常な個体どうしの喧嘩では勝敗は短時間で終了し、勝者は勝者の歌を歌い、過渡な攻撃は行わない。また敗者も、勝敗決着後しばらく時間が経過するまで喧嘩を行わず、逃避行動をとる。しかるにAonumaらは、雄コオロギの脳内のNO(一酸化窒素)を除去すると、負け個体でも、闘争行動後も逃避をせずに高い闘争性を維持する個体が多いことを示した<sup>18)</sup>。また長尾は、雄コオロギを物理的に接触しないような環境で成長させると、きわめて闘争性が高い個体が生じることを示し、そこではセロトニンのレベルが低下していることを示した<sup>19)</sup>。これらの研究では、雄コオロギにおいても、薬理的な処置や発達条件の制御によりNOやセロトニンの異常を生じさせることで、社会適応機能が阻害されることを示している。

移動知研究では、synthetic neuroethologyと呼ばれる生工融合の方法論(断片的に得られている生理学的知見から、それらを連結・統合するマルチレベルのシステムモデルを構築し、その挙動を解析し、行動学的にその妥当性を検証する)により、社会的行動が選択されている脳内のメカニズムのモデル化が試みられている。雄コオロギの研究では、脳内の神経修飾物質をはじめとする物質生成は反応拡散方程式でモデル化され、個体間の相互作用は有限オートマトンでモデル化されている<sup>20)</sup>。その結果、個体密度によって社会構造の変化や社会的順位形成が生じるといった新たな仮説がシミュレーションによって導

出され、実コオロギでも同様の現象が生じることが検証された<sup>21)</sup>。

これらの研究では、雄コオロギの脳の中で、社会適応行動がどのように選択されているかのメカニズムの解明を目的としているものの、その知見の一般性にも注目すべきである。動物種によって、神経細胞数や脳の構造や機能などに差異があるのは当然ではある。しかし、脳を構成する要素としての神経細胞や、NOやアセチルコリン系、モノアミン系などの神経伝達物質や神経修飾物質などの脳内物質などには、種を超えた類似性があり、また、社会が個体群から構成され、攻撃性などの個体間の関係にも、種を超えた共通性があることを考えると、ある動物種の社会適応メカニズムが解明されれば、それは種を超えて、同様なメカニズムが一般的に存在する可能性も示唆している。

セロトニン神経の自己抑制など、セロトニン神経系のダイナミクスの数理モデルの構築によって、雄コオロギの不適切な発達による社会適応異常のメカニズムを解明しようとする試みも行われており、その解析によって、うつ病の寛解過程の状態繊維を説明できる可能性も示唆されている<sup>22)</sup>。今後、移動知研究のような構成論的アプローチによる研究によって、臨床的、医学的な研究では得がたいような、うつ病の発症や寛解のメカニズムの新たな仮説の生成や解明が進むことが期待される。

### ヒューマン・サステナビリティの実現に向けて

人類は科学技術によって、生活を豊かにし便利で快適な社会を構築してきた。人類が創造したのは人工物というより、まさにわれわれが生活する人工環境そのものであるといってもよい。われわれは、まさにわれわれの科学技術によって構築した人工環境の中で生活をしている。しかし、科学技術は必ずしもわれわれにプラスばかりを与えてきたわけではない。これまでの歴史を振り返っても、科学技術によって生み出されたものが、発明者の意図とは無関係に人に危害を加えるものとして使用されたり、犯罪に利用されることがある。前述のように、現代にお

いては、サービスや業務の効率化のために開発・導入されたさまざまな情報システムが、思わぬ負の側面を人や社会に与えている可能性も多く指摘されている。

持続的発展を可能にする社会を構築するには、単なる地球環境を考えた「物質的な持続性」のみならず、社会を構成する「人間の持続性」についても考える必要がある。少子高齢化社会において、現代の情報化技術に依存した環境で、どのように心身を健康に保ち、生きがいを持って生活を営み、健全な次世代社会を維持していくかを考える必要がある。ここでは、それをヒューマン・サステナビリティと呼ぶ。ヒューマン・サステナビリティは、高齢者の健康や安全・安心な生活を実現するのみならず、人間が誕生してから生をまっとうするまで、発達を含むヒトの生涯と世代を超えた人類の生存に関する持続性である。

急速に進化する科学技術の導入によって社会環境が大きく変化したことを考えると、ヒューマン・サステナビリティの実現において、単に人文的な要素だけでなく、技術と社会との関係について注目する必要がある。すなわち、技術が人間や社会にもたらした負の影響を分析し、それが生じるメカニズムを明らかにするとともに、それを低減させる、あるいは好ましくない状況が発生することを防止する方策や方法論、技術と社会を調和させるための新たな人工環境の設計論を導出することが今後きわめて重要な課題となる。

### 文 献

- 1) 吉川弘之. 人工物工学の提唱. ILLUME 1992 ; 4 : 41-56.
- 2) 厚生労働省. 自殺・うつ対策の経済的便益(自殺やうつによる社会的損失). Available from : URL : <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r985200000qvsy.html>.
- 3) 厚生労働省. 統計調査結果平成17年患者調査報告(傷病分類編). 東京:厚生労働省;2005.
- 4) 日本学校保健会公式ホームページ. Available from : URL : <http://www.hokenkai.or.jp/>.
- 5) Oshima N, Nishida A, Fukushima M, et al. Psy-

- chotic-like experiences (PLEs) and mental health status in twin and singleton Japanese high school students. *Early Interv Psychiatry* 2010 ; 3 : 206-13.
- 6) 佐藤 武. 最近の動向とトピック. *精神科* 2010 ; 17 : 325-9.
  - 7) 文部科学省. 第2章 インターネットの有用性と危険性. Available from : URL : [http://www.mext.go.jp/a\\_menu/sports/ikusei/030301b.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/sports/ikusei/030301b.htm).
  - 8) 東京大学. 学内研究連携ユニット「発達知」. Available from : URL : <http://www.p.u-tokyo.ac.jp/ahdst/index.html>.
  - 9) 富山哲男. サービス工学の展開. 第6回人工物工学国内シンポジウム論文集. 東京: 東京大学人工物工学研究センター ; 2002. p. 45-58.
  - 10) 浅間 一. サービス工学とシステム・インテグレーション, 計測と制御. *計測自動制御学会* 2005 ; 44 : 278-83.
  - 11) 浅間 一. サービス工学. *精密工学会誌* 2009 ; 75 : 146-7.
  - 12) Blakemore SJ, Oakley DA, Frith CD. Delusions of alien control in the normal brain. *Neuropsychologia* 2003 ; 41 : 1058-67.
  - 13) 柄川麻美, 村林正堂, 矢野史朗, ほか. サーチャライト課題において操作者の能動性と受動性が与える影響. 第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集. 宮城: 計測自動制御学会 ; 2010. p. 410-3.
  - 14) 浅間 一, 矢野雅文, 石黒章夫, 大須賀公一・編著. 移動知—適応行動生成のメカニズム (移動知シリーズ第1巻). 東京: オーム社 ; 2010.
  - 15) 高草木 薫, 浅間 一. 移動知: 行動からの知能理解—構成論的観点と生物学的観点から. *計測と制御* 2005 ; 44 : 580-9.
  - 16) 浅間 一. 生工融合研究としての移動知. *計測と制御* 2010 ; 49 : 833-6.
  - 17) 浅間 一, 青沼仁志, 太田 順, 千葉龍介. 移動知と社会適応. *計測自動制御学会* 2007 ; 46 : 885-6.
  - 18) Aonuma H, Iwasaki M. NO/cGMP signaling regulates short-term memory in the cricket, nitric oxide. *Biol Chem* 2004 ; 11 : 107.
  - 19) 長尾隆司. 昆虫行動の発現と発達の調節. 下澤橋夫, 針山孝彦・監. *昆虫ミメティックス—昆虫の設計に学ぶ—* 第4章 ; 第8節). 東京: エヌ・ティー・エス ; 2008. p. 912-20.
  - 20) Kawabata K, Fujiki T, Ikemoto Y, et al. A neuro-modulation model for adaptive behavior selection by the cricket—nitric oxide (NO)/cyclic guanosine monophosphate (cGMP) cascade model—. *J Rob Mech* 2007 ; 19 : 388-94.
  - 21) 足利昌俊, 佐倉 緑, 菊地美香, ほか. コオロギ群における社会的順位形成過程のモデル化. 第21回自律分散システムシンポジウム. 鳥取: 計測自動制御学会 ; 2009. p. 237-42.
  - 22) 矢野史朗, 渡邊崇之, 佐倉 緑, ほか. セロトニン仮説に基づく行動修飾機構を持つ競争的エージェントの社会相互作用. 第23回自律分散システムシンポジウム. 北海道: 計測自動制御学会 ; 2011. p. 189-92.

\* \* \*