

トポロジカルなシステム論の試み -人とモノを貫くデザインの方法論にむけて- Toward a Topological System Theory

- For Designing Methodology through Human and Artificial Systems -

下川 信祐†
Shinsuke SHIMOGAWA

新上 和正‡
Kazumasa SHINJO

1. まえがき

情報通信のシステムやサービスのデザインでは、市場の将来性、ユーザーの受容性など、ユーザーを考慮することがますます重要になってきています。人とモノの結びつきが問われるこの局面においては、人(心)とモノのデカルト的分離を越えて、方法論自体が両者の結びつきを備える必要があります。モノには形式を対応させることができますが、これと人を結びつけるには、少なくとも形式の認知構造(人間の知覚経験・感覚との関係)を踏まえて、モノの人への基本的な作用を知る必要があります。そこで、我々は、連続・不連続の感覚が心的世界と形式的世界の両者で基礎的なものであることに着目してシステム論の構築を試みます。本発表では、これまで構築してきた、人間の行動モデル[1]をベースに、マクロ理論を展開します。即ち、全体的なマクロシステムを論じ、インターネットのフラクタル性(スケールフリーネットワーク)、携帯電話のランダム性、通信帯域の利用への影響、トラヒックのエントロピー、市場の性格などを開放系熱力学的観点から説明します。これから、利用/トラヒック生成の原理を導き、広帯域の携帯電話や有線系の果たすべき役割を論じます。

2. トポロジカルな枠組み

モノと心の分断を乗り越えるのに、知覚や感覚をベースとすることが試みられてきました。私たちは、連続・不連続の感覚をベースにします。それは、かつてK.レヴィン[2]が指摘したように、連続・不連続や近い・遠い、といったトポロジカルな感覚が、日常生活において基礎的なものだからです。そのため、トポロジカルな感覚は、捨象されて位相数学(トポロジー)として幾何学や解析学の基礎となる形式に至っているだけでなく、論理的・代数的な形式を生み出すものともなっていると見られます。なぜなら、このような離散的な形式は、モノの認識に起因すると見られますが、現象学的存在論的な視座[3]において感覚のトポロジカルな面を吟味すると、モノの認識には連続的な感覚の境界面としての不連続性の出現が伴っているからです。従って、レヴィンとは異なり、位相数学が心的世界の記述の基礎となるのではなく、これに捨象される以前のトポロジカルな感覚が、数学を含む形式、モノ、そして日常生活を含む心的世界に通底すると考えられます。このとき、記述と、身体、運動、感覚、隠蔽などとの関係を捉えておく必要がありますが、これは、次に述べるモデルのプリミティブな内容です。

3. 行動モデル

情報通信は人間にとって重要なシステムであるだけでなく、マクロからマイクロに人間に向かうことのできる分析装置にもなっています。この方針にそって、様々なマクロ現象を説明する人間の相互作用モデルを、アンケート調査分析を経て構築しています。それは、個人と環境(マイクロ)の短時間の相互作用、個人と環境の長時間の相互作用、多人数(マクロ)と環境の長時間の相

互作用と3つのレベルからなります。短時間マイクロモデルはシンプルで、人間の行為を、環境に向かうものと環境を引きよせるものという対照的な対で捉えるものです(図1)。その視座は、現象学の可逆的關係[3]のものに一致し、これにトポロジカルな吟味をして特徴を取り出したものになっています。環境に向かう方は低次元で密着し環境側に依存する閉じた相互作用であるのに対し(閉型)、引きよせる方は高次元で軽く人間側に依存する開いた相互作用です(開型)。前者は自己の身体を隠蔽する一方で、後者は環境の要素に一度期には、あまり深く関わりません。マイクロ長時間モデル、マクロ長時間モデルは、それぞれの状況を反復してトポロジカルな性質から連続的に延長し、配置したモデルです。マイクロ長時間モデルに対応する数学的モデルとして、閉型ではカオスの遍歴[4]、開型では非対称運動[5]が挙げられます。

このマクロモデルは、現代情報通信の諸相によくマッチしています[1]。特に、利用の長期的傾向と性差は重要です。閉型は激しい変動やバブルを起こしてデバイドを伴いますが、開型はゆっくりとしかし着実な拡大に対応しデバイドフリーです。また、閉型は男性のジェンダータイプに、開型は女性のジェンダータイプにそれぞれ、マッチします(このモデルで性差は社会的なものと生得なものとの協働になっています)。

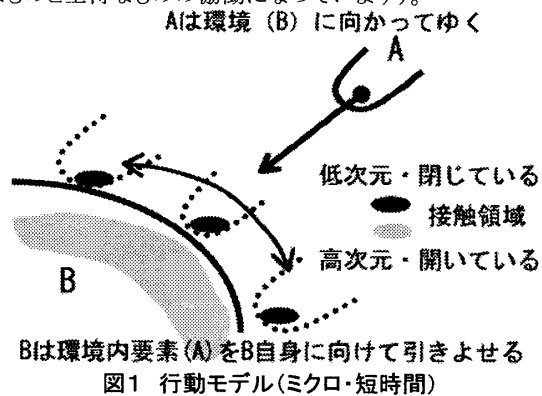


図1 行動モデル(マイクロ・短時間)

4. マクロモデルとエントロピー

行動モデルによって、システム(モノ)だけでなく人間を含めることができ、これによってマクロモデルの境界条件が単純になって、統一的な系として分析できるようになります。系のトポロジカルなマクロ構造を考察する指標として、エントロピーを用います。エントロピーの生成レートはダイナミクスによる混ざり具合を表す量で、トポロジカルな構造を反映します。マクロな系は、様々な相互作用の開放系が相互に繋がったもので、各系でエントロピーが考えられ、「場所」に依存した関数と考えられます。全体的なマクロモデルでは、外部から流入する環境のエントロピー生成は小さく、エントロピー関数は周辺から内部に向かって大きくなると考えられます。マイクロな長時間モデルで、閉型ではエントロピーが小さく、開型ではエントロピーが高いので、3のマクロモデルは、この要請にあったものとなっています(図2)。

3のモデルを前提とすると、相互作用のエントロピー、全体での位置、開や閉のタイプについてどれかが解ると、他が推定で

†ATR 適応コミュニケーション研究所 ATR Adaptive Comm. Res. Labs.

‡ヴィジイ Viziv Co. Ltd.

きることになります。インターネットやイーサネットのトラフィックがフラクタル的[4]というのは、エントロピーの低さを意味しますが、これは、閉型、または、外部環境に近いことから説明されます。また、メールや電話の通信関係を表すネットワークの関係グラフでは、次数 k のノード数 $n(k)$ の減衰 $k^{-\gamma}$ の指数 γ が小さいほど相互作用の偏りが強く、低いエントロピーを意味しますが、大学メールサーバ[7]、電話[8]、携帯メール[9]で、それぞれ、 $\gamma = 1.81, 2.1, 2.22$ と報告され、この順にそって、外部から内部に近づいていると見られます。回線網では、インターネットルータ網はスケールフリーですが、電話交換網は裾が無く、後者に比べ前者は低いエントロピーを示唆します。ただし、回線網と人間網などノードの構成要素の異なるレベルで、この比較はできません。一方、言語使用においては、文章で近接して出現する共起関係の少ない英単語が共起関係の多い英単語と大きく異なる指数を持つ($\gamma=1.5$ に対し $\gamma=2.7$)と報告され[10]、前者は後者より小さい相互作用エントロピーを示唆しています。これは、それぞれ閉型と開型の相互作用との対応が示唆されます。

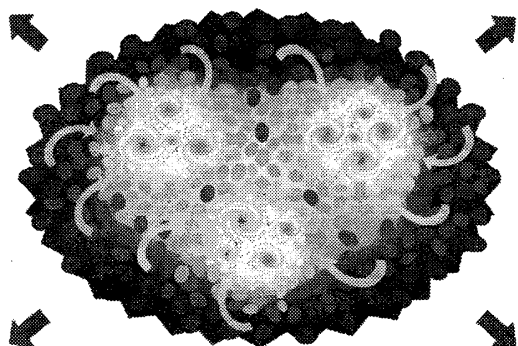


図2 行動モデル(マクロ・長時間)

5. 利用/トラフィックの生成原理

マクロモデルを、人間行動の鳥瞰図と見ることによって通信ニーズやトラフィックが生成される様相が見えてきます。外部の環境に向かって新しい相互作用を産みだし、それを交換していく閉型の領域(I型)、閉型領域から開型領域に異なる視線から入り込む境界面(II型)、開型同士の相互作用の領域(III型)と主に3つです。一つ目は昔では電話の県外トラフィック、今はPCインターネット、2つめは、携帯からのネット利用、3つめは携帯同士が典型的な例と考えられます。新しい通信サービスもこのどこかの領域を拡大してゆくものと予想されます。このとき、I型は企業活動にマッチしますが、ホームユースでは新しい要素に継続的に挑戦してゆく使い方には限界があり、安定したニーズ・トラフィックになりにくい性質があります(デバイド)。デバイドフリーとなるには、IIまたはIII型である必要があります。そこで、開型の相互作用の生まれ方がトラフィック生成の原理として重要になってきます。

第一はユーザーの心理的状況を開型にすることですが、これは親しんできたモノや人をユーザーと適切な距離に配置する、または、そのような場をイメージさせることです。携帯電話は後者を随時可能とします。特にメールのやりとりは、音声通話と違って、継続的にIII型の相互作用の状況を作り出し、ユーザーの場の意味を大きく変えていきます。第二は距離感と頻度の関係です。人は環境(人やモノ)との距離感が小さくなると、相互作用の頻度を急激に増大させます。従って、例えばII型では、知らない場所、遠くでのイベント情報より、身近な地域、場所の情報が高頻度利用になります。第三はコストです。距離感が小さい対象では、一つ一つの相互作用にかけられるコストはごく僅かになります。第四は通信帯域との関係です。広い通信帯域は一般には相互作用への環境の影響を大きくし、環境から

流入する低いエントロピーの影響を強くして、相互作用のエントロピーを下げる傾向にあるとみられます(“情報量は負のエントロピー”)。相互作用のエントロピーが下がることは開型のアクティビティを下げると思われれます。これを引き起こさないようにするには、親しい人に身の回りの日常的な少し目新しい内容をデジカメで送るように、広帯域の情報内容の殆どが馴染みやすく、実質的には“負”のエントロピーの流入が少ない内容であることが必要です。

一方、4で述べたエントロピーの評価は、定性的な開型・閉型の吟味、従って一般消費者に普及する利用行動か否かを吟味するための手がかりを与えるとみられます。

6. 情報通信の現在・過去・未来と課題

マクロモデルは現代の情報通信に見られる現象や指標とマッチしかつ、非平衡開放系として熱力学的要請も満たす自然なモデルになっています。しかし、現実のネットワークは必ずしもこのモデルに沿っているわけではなく、むしろモデルを通して歪みがみえてきます。モデルから見ると通信の歴史で普及の上で大きなインパクトを与えたのは自動交換と携帯電話です。この何れもがユーザーがシステムに向かってゆく閉型の行動を大幅に低減させ、開型の行動にマッチさせるものです。携帯電話は、やはり電話を拡張させたものです。一方、既存の固定電話アクセス網は、ブロードバンドインターネットへのアクセス網という異質なものをへ転換してきました。これは、デバイドフリーな開型領域のために長年かかって形成されてきたインフラをデバイドを伴う閉型領域のために使い、デバイドフリーな利用行動のためアクセスインフラを別に築いたこととなります。これは、設備コストが重要な役割をする通信事業に歪みをもたらしつつあると見られます。実際、インフラ整備の歴史と技術の恩恵により、各家庭には十分低価格なブロードバンドインターネットアクセスが可能ですが、デバイドフリーの要である携帯電話との連携がビジネスモデル等と対立してしまい、発達していません。このため、携帯電話は、かなり家庭内で使われつつ屋外と同様の料金支払いが生じます。また、広帯域携帯電話のデバイドフリー利用に必要な十分な料金低下にはまだ時間を要します。このため、当分インターネットのデバイド解消は望めません。これは身近な地域のコンテンツ発達を遅らせ、地域振興や生活基盤の発達に影響を与える懸念があります。マクロモデルは、何れ、この歪みの解消に向けた変化が必然的に生じてゆく事を示唆します。

謝辞:この研究はNICTの研究委託により実施したものです。

文献

- [1]下川他, IPSJ SIG Tech. Rep. 2003-IS-86, 2003.
- [2]Lewin, K. *Principles of topological psychology*, McGraw-Hill, New York 1936.
- [3]Merleau-Ponty, M. *The Visible and the Invisible: Followed by Working Notes*, Northwestern University Press 1968.
- [4]Kaneko, K. et al., *Complex Systems: Chaos and Beyond, A Constructive Approach with Applications in Life Sciences*, Springer, New York, 2001.
- [5]Shinjo, K. et al., *Physical Review E*, (54:5), 1996, pp. 1-16.
- [6]Leland, W. E., et al., *Computer Communications Review* (23), 1993, pp. 183-193.
- [7]Ebel, H. et al., *Phys. Rev. E*, (E66), 035103(R), 2002.
- [8]Abello, J. et al., *DIMACS Series in Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science*, (50), 119.
- [9]Aida, M. et al., *IEICE Transactions on Information and Systems*, (87-D), no. 6, pp. 1454-1460, June 2004.
- [10]Ferrer i Cancho, R., R. V., 2001, Santa Fe working paper, 01-03-016.