

構造から見たシステム連携の課題

喜 多 一 *

* 京都大学 国際高等教育院 京都府京都市左京区吉田二本松町
* Institute for Liberal Arts and Sciences, Kyoto University, Yoshida-Nihmatsu-cho, Sakyo-ku, Kyoto, Japan
* E-mail: kita@media.kyoto-u.ac.jp

キーワード：システム連携 (system cooperation), プラットフォーム (platform), システムインテグレーション (system integration), 自律分散システム (decentralized autonomous system).

JL 0012/20/5912-0902 © 2020 SICE

1. はじめに

2020年にパンデミックとなり世界を襲った新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) は、効果的なワクチンや治療薬がない中で、社会的活動の低減が限られた対策の主要部分となり、経済に甚大な影響をもたらしている。パンデミック対策に加え、地球規模の環境問題、巨大災害、人口減少と高齢化、格差拡大などわが国はさまざまな困難に同時に対応しなければならない。

他方、情報通信技術は急速な進歩を遂げており、さまざまな機器がネットワークで結合される「もののインターネット (Internet of Things, IoT)」や深層学習に代表される人工知能技術の活用も期待されている。COVID-19対策として実施を余儀なくされたテレワークやオンライン授業は奇しくも、それまで喧伝されていたデジタルトランスフォーメーション (DX) を多くの人々が体験的に考える契機となっている。

情報通信技術の利活用を前提に、物質的な過程として存在する実世界と、情報的な過程として存在する仮想世界をより緊密に結合した Cyber-Physical-System, CPS の構成や個別に構成されてきたシステムを連携し、より高度な機能を実現する System of Systems (SoS) が冒頭に述べた社会的課題の解決策としても期待されており、そのためのシステムの科学と技術が求められている。

本稿では、SoSを考える視点としてシステムの連携について、その構造の視点から考察する。社会的なシステムの連携ではその経済性や個別システムの運営主体の意図なども含めて考える必要がある。本稿では、まずシステムの経済性や価値創出について論点を簡単に整理した上で、いくつかの典型的なシステム連携の構造に着目し、その課題を検討する。

2. システムの価値と経済性

2.1 システムサイズと経済性

社会レベルでのシステムやシステム連携を考える際にはシステムの構造とそれに付随する経済性を考えることが重要である。ここでは社会的なシステムを大きくしたり、小さくしたりすることで、費用や便益がどのように変化するか注目する。とりわけ、計算機のソフトウェアを多用する現代の複雑なシステムでは、固定費として

発生する開発費用に対して利用の1単位の増加に伴う費用の増分 (経済学用語で限界費用という) はきわめて低い^(注1)。このため、固定費を按分した平均費用は利用拡大とともに急速に低下する。

システムの利用拡大に注目した経済性の代表的なものとして以下がある。このうち前2者が供給側の費用に起因するものであるのに対し、ネットワーク外部性は需要側の便益に関するものである。

規模の経済：利用規模の拡大に伴う、平均費用の低下をいう。

範囲の経済：利用用途の拡大に伴う、平均費用の低下をいう。

ネットワーク外部性：利用規模の拡大に伴い利用者側での便益が拡大することをいう⁽¹⁾。

2.2 マンマシン共生系と価値創造

人工的なシステムを構成することの価値は常にそれを利用する人の側で発生する。このため人を明示的に考えない場合、価値については、外生的に与える目標の達成であったり、あるいはそれを実現するためのシステムコストの低減という形でしか捉えられない。

価値創造を考えるにあたっては、価値はさまざまな意味で生じること、生じる価値間のトレードオフが存在することやステークホルダー間の利害衝突があり得ることも考えなければならない。

システムの特徴の視点でのさまざまな意味での価値に関連して、たとえば文献2)では、エンジニアリングシステムのライフサイクル特性を「イリティ」と呼んでいる。これは「-ility」という接尾辞で表現される特性が多いことを表わしたものであるが、同文献ではライフサイクル特性を表わす以下の用語について科学雑誌やインターネット検索での出現頻度を示して興味深い。

quality, reliability, safety, flexibility, robustness, durability, scalability, adaptability, usability, interoperability, sustainability, maintainability, testability, modularity, resilience, extensibility, agility, manu-

(注1) 自動車を1台を追加的に生産することは多大なコストを要するが、オペレーティングシステムやオフィスソフトを追加的に生産することは単にファイルをコピーするだけの費用しかかからないことから理解できる。

facturability, repairability, evolobability

マンマシン共生系としてシステムを捉えることは、システムが創出する価値を発見する視点として重要である。人がシステムを利用する場面を見ることでシステム境界の拡大、縮小やシステム連携により価値を創出する機会を見出すことができる。これについては川上³⁾や下原⁴⁾の論考が参考になる。また、自動車の自動運転などが注目されているが、複雑な環境の中で動作する自動化システムにおけるシステムと利用者の協調の失敗や責任の所在などの問題にも取り組まなければならない。

3. システム連携の構造

複数のシステムが連携する構造にはさまざまなものがあるが、ここでは社会的なシステムの連携という視点から、図1に示す6とおりの類型⁵⁾について考えてみたい。

3.1 プラットフォーム

近年「プラットフォーム」あるいは、それを担う「プラットフォームer」と呼ばれる企業が、GAFAに代表される巨大企業の実現もあり注目を集めている。類型(a)、(b)は根来らの研究^{6), 7)}に基づき、プラットフォームを「基盤型」と「媒介型」の2つの形態として前著⁸⁾で紹介したものである。プラットフォームを特徴づける議論としてネットワーク外部性¹⁾や媒介型での両面性市場がある。より多くのユーザを抱えることがさらなるユーザを引き付ける一人勝ちに発展する構造をもつ。

3.2 レイヤー構造

プラットフォームが垂直に積層する構造が図1(c)に示すレイヤー構造である。インターネットなどの通信プロトコルがその典型であり、パケット単位のグローバルな配送を担うIPレイヤーの上に両端間での接続型通信を担うTCPレイヤーがあり、その上にさまざまな具体的なサービスを担うプロトコルが重なる。レイヤー構造はそれぞれがプラットフォームを形成するが、

他方で下位レイヤーの差異を隠ぺいする効果もある。たとえばTCP/IPはその下位の有線LAN、無線LANなどの物理レイヤーを隠蔽している。

3.3 直列構造

先のレイヤー構造の縦と横を変えたにすぎないともいえるがシステムが直列に接続するような構造(図1(d))もしばしば見られる。レイヤー構造では上位レイヤーが下位レイヤーを同時的に利用するが直列構造では時間とともに利用が後方に移る。素材、部品の供給から最終製品に至るサプライチェーンはこの典型であるが、下流の需給変動が上流で拡大されるBullwhip効果⁹⁾という問題が知られている。

幼児教育から初等、中等教育を経て大学、大学院などの高等教育に至る学校教育制度も直列接続されたシステムである¹⁰⁾。わが国の学校教育では教育への社会的要請が審議会答申や学習指導要領などの形で示され、各段階に展開され実施されるが、学校側ではこれとは別に入学する生徒・学生の確保や卒業する生徒・学生の進路など前後の関係が関心事であり、社会的要請への対応は先の政策をむしろ拘束条件として捉えてしまう面がある。

3.4 自律分散システム

一定の自律性をもつ類似のシステムが連携しながら全体として動くシステム連携としての捉え方である。人類が抱える諸問題に対して持続可能な開発目標(SDGs)¹¹⁾が注目されており、地域資源を有効利用しようとする動きが少子高齢化の問題が深刻な地方の在り方とも相まって起きつつある^{12), 13)}。これを自律的なシステムと捉えつつ、広域に連携する自律分散システムとして捉えることが求められる。これについては、次章で「近いシステム・遠いシステム」としての論考を述べる。

3.5 システムインテグレーション

サービスなどの利用者(個人、組織)の側に立てばさまざまなプラットフォームを統合する形で利用者に包括的な価値を提供するシステムインテグレーション(図1(f))の視点も重要である。これについても教育の情報化につ

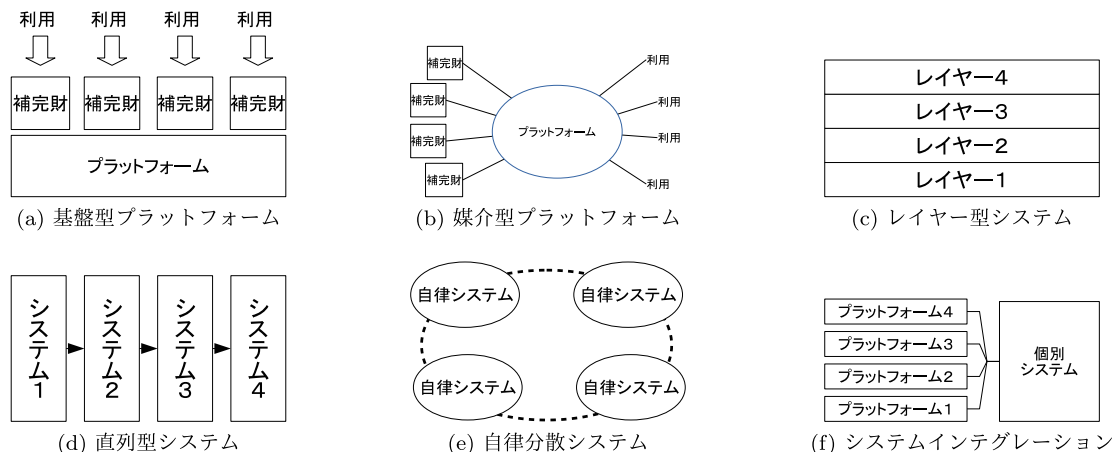


図1 システム連携の構造 ((a), (b) は文献 8) から引用)

表1 近いシステムと遠いシステムの対比

観点	近いシステム	遠いシステム
合理性の規範	域内循環による持続可能性	分業と規模の経済性
統治メカニズム	共感、互酬、自律的規範形成	法令と市場
富の分配	平均化	集中化
能力構築と改善	ボトムアップ、限られた人員での知恵不足	中央集権的、研究開発への大きな投資
参加	包摂的・需給非分離	排他的・需給分離
利便性	低い	高い
品質	理解された不安定	無理解な安定
利用者の捉え方	自分事	他人事
拡大志向	持続性・充足性重視	利潤追求のための成長
リスク	遠いシステムへの移行、外圧への脆弱性（法や市場）、フリーライダー、参加者減少による衰退、近隣との紛争	公害の発生、大規模障害、過剰投資、調達での市場、国際リスク

いての動向を手掛かりに後の章で考察する。

4. 近いシステム・遠いシステム

4.1 システムの近さ・遠さ

前滋賀県知事の嘉田由紀子氏は「近い水・遠い水」ということを語っている¹⁴⁾。前者は近代化以前からある域内での水循環システムを、後者は近代化により整備された広域の上下水道システムを指す。同氏は、都市などで後者が不可欠なことを認めた上で、近代化の歴史の中で、後者は利便性で前者を凌駕したことだけでなく、前者が非近代的なものとして否定されてきたことも述べている。

嘉田氏の「近い～」「遠い～」について、喜多は¹⁵⁾は社会システムを考える上で、さまざまなシステムでも成り立つシステムの捉え方の視点を与えた。たとえば「近いたべもの」、「遠いたべもの」、「近いエネルギー」、「遠いエネルギー」、「近い工場」、「遠い工場」、「近い行政」、「遠い行政」、「近い教育」、「遠い教育」などである^(注2)。

現代社会は一方でグローバル化が叫ばれ、他方で地域の衰退が問題視される。ここでは、嘉田氏の「近い～」「遠い～」を社会システムに一般化して捉え、まず、その対比を行った上で、これを単に二項対立させて捉えるのではなく、現代の文脈において新しい社会システムの在り方を考えたい。喜多¹⁵⁾は近いシステムと遠いシステムを表1のように整理した。両者が二項対立的に捉えられるのはこの表に示したように価値規範や評価基準が異なるからである。

4.2 人材・知識・学習の重要性

インターネットや再生可能エネルギーのインパクトを論じたものとして、リプキンの「限界費用ゼロ社会」¹⁶⁾がある。さまざまなプラットフォーム型のサービスを活用して、「近いシステム」の小規模で多様な活動を支えることが可能になっており、自律的で分散したシステムがプラットフォームを介して連携するという姿が見えてくる。

(注2) 観光のように、遠隔の需要と供給を結び付けることが本質であったりするシステムも考えなければならないが、これについても観光地側が観光を提案する「着地型」観光という考え方があり、観光客を受け入れる地域の側にとっての「近い観光」といもいえる。

地方での自律的な活動がさまざまに展開されているが、そこでの重要性として知識や人の存在がある¹²⁾。新しい組織の在り方として注目されているティール組織¹⁷⁾では学習などを通じて組織が進化することの重要性を示している。COVID-19 対応で本格化した教育のオンライン化は学習者の学びと物理的な場であるキャンパスの結びつきを緩和できることを示した。教育のオンライン化は地域の自律分散的な活動に、人材・知識・学習機会を供給する可能性をうかがわせる。

われわれはこのような状況を理解した上で「近いシステム」と「遠いシステム」を二項対立としてのみ捉えるのではなく、新たな手段のもとで、「近いシステム」と「遠いシステム」の得失を踏まえて止揚し、自律分散システムとして「どのような社会を構想できるか」を考えることが求められている。

5. 利用者中心のシステム構築

5.1 価値創出の現場としての利用者

先述のように近年プラットフォームが注目されているが利用者の視点に立てばプラットフォームが提供するサービスをさまざまに組み合わせて利用者に提供するシステムインテグレーション（以下、「SI」と略す）の視点が重要になる。企業活動では認証やネットワーク、サーバなどの情報基盤の上に、財務会計や人事給与、生産管理といった基幹業務系と企業内のコミュニケーションを支える情報系などのSIが行われる。一定規模の企業などでは情報システム部門がこれを担うが、わが国では利用企業側に情報系のエンジニアが少なく¹⁸⁾、SIer（エスアイヤー）と呼ばれる企業に外注される構造があり、SIが個々の企業の需要にどのように応えられているのかという点で疑問が残る。

5.2 HSI の提唱

SIが利用者にとっての価値創出に直接関係するという視点からはSIのダウンサイジングが挑戦すべき課題である。ここでは、その究極として家庭でのSI、すなわちHSI (Home System Integration) を提唱したい。核家族化や単身世帯の増加などで意識しなくなっているが、HSI

とは昔、「家政婦」が担っていた機能のシステム化であり何もサービスとして目新しいことではない。

しかしながら、現代の生活は相当複雑である。各種ライフライン、行政、学校、医療や介護、郵便や宅配、住居や設備の保守、貯蓄やローン、保険、納税などの財務が関係し、育児、教育、健康管理、介護などは家庭が果たす役割も大きい。転居や災害での避難、構成員の死亡なども視野に入れる必要があり、サブスクリプション型のサービスやシェアリングエコノミーなどの動向もある。

現在は、これらのサービスが高度化、複雑化しつつ、個別に家庭に取付いているのが実情であり、これらをインテグレーションするのが HSI である。この意味で HSI はエネルギーに関する HEMS や家電品の連携などとは全く異なる視点で考える必要がある。むしろ、個人に関するデータの社会的利用を考えるためにデータの管理を個人の側に置くなどのパーソナルデータの議論¹⁹⁾とはデータを介して利用する企業等の側と HSI を考える個人の側の 2 つの視点がある点で関連がある。

5.3 SI と標準化、教育システムの事例

SI のダウンサイジングのヒントとなる事例として、次世代のデジタル学習環境 (Next Generation Digital Learning Environment, NGDLE) の議論がある²⁰⁾。多くの大学では ICT を活用した授業運営のために学習管理システム (Learning Management System, LMS) を運営している。個々の授業に必要な機能は多様であるが、従来は All-in-One 型の LMS が指向されていた。

NGDLE の中核となる考え方の 1 つに、LMS を大学での教育サービスのインテグレーションのハブと位置づけ、サービスとの連携標準である Learning Tools Interoperability (LTI)²¹⁾を通じてさまざまな教育・学習用のサービスを必要に応じて利用するというものがある。利用者側は LMS にサービスを集約することで容易に SI が行える。他方、個々のサービス提供者は、多くの大学にサービスすることで、個別領域での利用を集約し高品質なサービスを安価に提供できるプラットフォームとなる。

6. おわりに

本稿では System of Systems (SoS) を考える視点として社会的なシステム連携をその構造から考察した。6 つのシステム連携の類型を示し、先に報告したプラットフォーム⁸⁾に加え、自律分散システムやシステムインテグレーションについて、近年の動向や今後のシステムの在り方をふまえて検討すべき事項を掲げている。社会が直面する諸問題について、引き続き新たなシステムズアプローチを考えていきたい。

(2020 年 8 月 11 日受付)

参考文献

- 1) M. L. Kats and C. Shapiro: Network Externalities, Competition, and Compatibility, *The American Economic Review*, **75**-3, 424/440 (1985)
- 2) オロヴィエ・L・デ・ヴェック, ほか (著), 春山 (監訳): エンジニアリング システムズ, 慶應大学出版会 (2014)
- 3) 川上浩司: さらにスマートな社会における育つシステム, 計測と制御, **55**-8, 671/674 (2016)
- 4) 下原勝憲: 人間活動が媒介するシステム境界の相互浸透—ツリーをリゾームで編む—, 計測と制御, **55**-8, 680/685 (2016)
- 5) 喜多 一: 超スマート社会へのシステムズアプローチについての考察, 計測自動制御学会, SSI2017 (2017)
- 6) 根来, 足代: 経営学におけるプラットフォーム論の系譜と今後の展望, 早稲田大学 IT 戦略研究所ワーキングペーパーシリーズ, No. 39 (2011)
- 7) 根来龍之: プラットフォームビジネスとは, 進化するプラットフォーム, 角川インターネット講座 11 (出井伸之 監修), 角川学術出版 (2015)
- 8) 喜多 一: 情報とシステム, 新しいシステムズアプローチへの視点, 計測と制御, **55**-8, 675/679 (2016)
- 9) H. L. Lee, et al.: The Bullwhip Effect in Supply Chains, *Sloan Management Review*, **38**-3, 93/102 (1997)
- 10) 喜多 一: 我が国の情報教育, システム/制御/情報, **62**-7, 242/247 (2018)
- 11) 国連開発計画 (UNDP): 持続可能な開発目標, <https://www.jp.undp.org/content/tokyo/ja/home/sustainable-development-goals.html> (2020/7/27 アクセス)
- 12) 藻谷浩介: 進化する里山資本主義, ジャパンタイムズ出版 (2020)
- 13) 広井良典: 人口減少社会のデザイン, 東洋経済 (2019)
- 14) 嘉田由紀子: 滋賀県における文理連携の地域研究とその応用的政策について—研究者 40 年, 知事 8 年の経験から, 計測自動制御学会, システム・情報部門 学術講演会 2016 (2016)
- 15) 喜多 一: 近いシステム・遠いシステム, デザイン学論考, **9**, 19/21 (2017)
- 16) ジェルミー・リフキン (著), 柴田 (訳): 限界費用ゼロ社会, NHK 出版 (2015)
- 17) フレデリック・ラルー (著), 鈴木 (訳): ティール組織, 英治出版 (2018)
- 18) (独) 情報推進機構 IT 人材育成本部 (編): IT 人材白書 2017 (2017)
- 19) 集めないビッグデータコンソーシアム: 集めないビッグデータコンソーシアム 成果報告書—パーソナルデータエコシステムの実現—(2015)
- 20) M. Brown: The NGDLE: We Are the Architects, *Educause Review*, **52**-4 (2017)
- 21) IMS Global: Learning Tools Interoperability, <http://www.imsglobal.org/activity/learning-tools-interoperability> (2020/7/27 アクセス)

[著者紹介]

喜 多 一 君 (正会員)



1959 年生。87 年京都大学大学院工学研究科研究指導認定退学。同年、京都大学工学部助手、東京工業大学大学院総合理工学研究科助教授、大学評価・学位授与機構教授、京都大学学術情報メディアセンター教授を経て 2013 年より京都大学国際高等教育院教授。工学博士、社会システム、進化計算、情報教育などの研究に従事。情報処理学会、電気学会、システム制御情報学会などの会員。