慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	システムの研究に魅せられて : 原点に立ち返り、さらなる先へ
Sub Title	Fascinated by systems' research : back to the origin and go further
Author	徳田, 英幸(Tokuda, Hideyuki)
Publisher	慶應義塾大学湘南藤沢学会
Publication year	2018
Jtitle	Keio SFC journal Vol.18, No.1 (2018.) ,p.202- 233
JaLC DOI	10.14991/003.00180001-0202
Abstract	本稿は、筆者の最終講義の内容をベースに、本特集号の趣旨を踏まえてICT進化の流れを概説したものである。特に、システムの研究開発を3つの時代、すなわち、学生時代 (1964-1982)、CMU時代 (1983-1993)、KEIO-SFC時代 (1990-2017) に分けて振り返るとともに、その時代で研究開発に関わったシステム基盤技術、それらを通じで学んだこと、大切なことを述べる。さらに、最後のセクションでは、これからの研究教育に関して、SFCにおける研究教育のあるべき姿について議論した。
Notes	特集 平成が生んだもの、残したもの 特別寄稿論文
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=0402-1801-0202

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

［特別寄稿論文］

システムの研究に魅せられて
原点に立ち返り、さらなる先へ

Fascinated by Systems' Research
Back to the Origin and Go Further

徳田 英幸
国立研究開発法人情報通信研究機構 理事長 / 慶應義塾大学名誉教授

Hideyuki Tokuda
President, National Institute of Information and Communications Technology /
Professor Emeritus, Keio University

Abstract:　本稿は、筆者の最終講義の内容をベースに、本特集号の趣旨を踏まえて ICT 進化の流れを概説したものである。特に、システムの研究開発を 3 つの時代、すなわち、学生時代（1964-1982）、CMU 時代（1983-1993）、KEIO-SFC 時代（1990-2017）に分けて振り返るとともに、その時代で研究開発に関わったシステム基盤技術、それらを通じで学んだこと、大切なことを述べる。さらに、最後のセクションでは、これからの研究教育に関して、SFC における研究教育のあるべき姿について議論した。

This paper describes the evolution of ICT based on my final lecture following the main topic of this Special Issue. In particular, we first divided the research and development of our systems into 3 eras : the student era (1964 - 1982), CMU era (1983 - 1993), and KEO-SFC era (1990 - 2017) and the system technologies that were involved in R & D and what we have learned are discussed. In addition, in the last section, we discussed the best way to proceed research and education in SFC.

Keywords: 分散オペレーティングシステム、リアルタイムシステム、ユビキタスコンピューティングシステム、サイバーフィジカルシステム、KEIO-SFC
distributed operating systems, real-time systems, ubiquitous computing systems, cyber-physical systems, KEIO-SFC

1　はじめに

本稿は、2018 年 3 月 10 日（土）に慶應義塾湘南藤沢キャンパス（SFC）で行われた筆者の最終講義の内容をもとに、講義の中では、語られなかったトピックなども含めて、本特集号の趣旨に沿うように編集したものである。

最終講義では、「システムの研究に魅せられて〜 原点に立ち返り、さらなる

先へ ～」と称し、筆者がプログラミングを習い始めた 12 歳から現在までの 53 年間にわたって関わってきたシステムの研究開発を 3 つの時代、すなわち、学生時代(1964-1982)、CMU 時代(1983-1993)、KEIO-SFC 時代(1990-2017)に分けて振り返るとともに、その時代で研究開発に関わったシステム基盤技術、それらを通じで学んだこと、大切なことを講演した。さらに、最後のセクションでは、これからの研究教育に関して、SFC における研究教育のあるべき姿について議論した。

本特集号の趣旨の平成時代をより忠実に反映すると、KEIO-SFC 時代だけを記述すべきかもしれないが、コンピュータが電子計算機と呼ばれた黎明期の時代からミニコンピュータ、ワークステーション、パーソナルコンピュータ(PC)、タブレット、スマートフォンといった IT 機器の進化とともに、集中型システムから分散型システムへのパラダイムシフトについて、その転換期を理解していただく上においても平成以前の話題も含ませて頂いた。

2　ICT 進化の流れ

筆者が最初に電子計算機に触れる機会を持った 1964 年から現在までのコンピュータとネットワークの進化の流れを俯瞰してみると、それぞれ図 1、図 2 のように整理できる。

1 つのコンピュータの進化の流れは、メインフレーム時代、ミニコンピュータ時代、ネットワークに接続されたワークステーション時代、一人一人が利用できるパーソナルコンピュータ（PC）時代、そして、いつでもどこでもインターネットを利用できるスマートフォン時代へと続いてきている。さらに計算機処理方式としては、大きなメインフレーム 1 台がすべてのタスクを処理するといった集中処理方式から、物理的には分散した複数のコンピュータがネットワークで接続され、1 つのシステムを構成し、個々のノードが協調しながらタスクを処理するといった分散処理方式へとパラダイムがシフトした。

ネットワークの研究開発の視点でみると、現在、社会インフラとして重要な位置にあるインターネットは、そもそも 1964 年の時点では、存在していなかった。1969 年 10 月に UCLA と SRI の間で 50kbps 回線を介して最初のパケット通信の実験が行われた (ARPA, 69)。我々の身の回りにある LAN 環

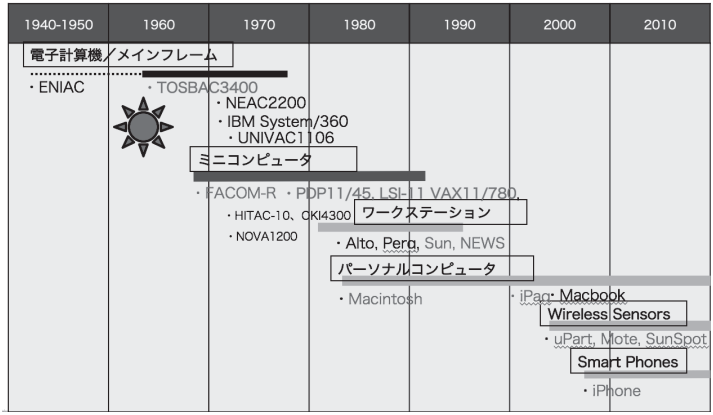

図１　1960 年代から 2010 年代までのコンピュータの進化

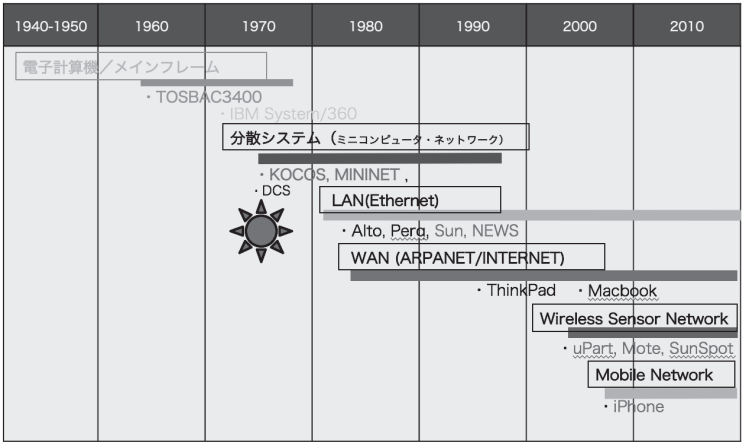

図２　1960 年代から 2010 年代までのコンピュータネットワークの進化

境は、1970 年代の前半から米国 Xerox Palo Alto 研究所の Ethernet 、英国 Cambridge 大の Cambridge Ring そして、米国 University of California、Irvine 校の Prof. Dave Farber らが開発した Distributed Computing System (FARBER, 73)、カナダ Waterloo 大の Prof. Eric G. Manning らの Mininet などが研究開発された。筆者がプロジェクトメンバーであった慶應義塾大学相磯研究室のチームは、1975 年に異種ミニコンピュータをバス型結合した KOCOS (Keio Oki's

Minicomputer Complex System) (AISO, 75) を開発した。同一機種のミニコンピュータやミディコンピュータを接続した DCS や Mininet と異なり国内外の異種ミニコンピュータを接続することを目的としたため、ネイティブコードを任意のマシン上で実行することはできず、Unicorn というタイプレス言語を設計し、中間言語に変換し、そのインタプリタを各ノード上で実装することで、どのノードでも同じコードを実行可能とする方式を採用した。また、現在のようなネットワークインタフェースカードは存在せず、ネットワークに接続するための BIU (Bus Interface Unit) をインテル社製のマイクロプロセッサを使って実装した点が特徴的であった。

1990 年代になると ARPANET の商業利用が認められ、新しい社会インフラを担う The Internet が定着した。もっとも、複数のネットワークを相互接続してネットワークのネットワークを構築するインターネットワーキングのためのプロトコルであるインターネットプロトコルスイート (TCP/IP) は、1982 年に標準化された。それから 10 年以上を経て、BSD UNIX を始め、様々な商用 OS 上で TCP/IP が実装され、各大学や企業で運用され、大学や企業のネットワークがインターネットに接続されていった。この時点で、米国内においては世界初のデジタルデバイドが起き、“つながっている組織 (大学／研究所)”と“つながってない組織”の格差が広がり、後の全米のほとんどの大学やカレッジを接続した CSNET や NSF が構築した NSFNET へと進展していき、90 年代におきた ARPANET の商用利用の解禁、すなわち The Internet の利用へと進化した。同様に、CERN の Tim Berners-Lee 氏による World Wide Web の仕様も公開されたとともに、Illinois 大学の NCSA が開発した Web ブラウザーソフトウェアである Mosaic が公開され、インターネット空間上での情報共有が容易にできる画期的なツールとなった。

2000 年代に入ると国内では、総務省を中心にユビキタスネットワークの国プロジェクトがスタートし、u-Japan 政策のもと、*「いつでも、どこでも、何でも、誰でも」ネットワークに簡単に接続でき、それらが統合された新たな ICT 環境の整備によって、医療福祉や交通物流、環境・エネルギーといった国の課題が解決される社会の実現*をめざした。様々な小型ワイヤレスセンサノードやインターネットと接続可能な PDA (Personal Digital Assistant) を利用したユビキ

タスサービスの実験が行われた。また、2000 年代後半にはインターネットと常時接続可能な iPhone や Android 系のスマートフォンが登場し、モバイルネットワークを使って ICT 環境が日常のものとなり、文字どおり、いつでも、どこでも、誰でもインターネットを利用できる環境が整備された。

2010 年代には、ユビキタスコンピューティングを源流にもつ「あらゆるモノがインターネットに接続し、情報を交換し、相互に利活用される環境」である IoT（Internet of Things）技術の普及により、これまでのデジタル化が遅れていた農業、水産業、林業などで新しいセンサデバイス、ドローン、自動運転技術などと融合した ICT 利活用が進化した。さらに、従来のセンシング技術より、より安価に物理空間（フィジカル空間）からさまざまなデータをセンシングし、収集できる基盤技術とセンシングインフラが整備され、ビッグデータ解析技術や Deep Learning などの機械学習の進化による AI 技術との融合が加速している。

このように、集中システムから分散システムへのパラダイムシフトから始まり、コンピュータセントリックからネットワークセントリック、そしてヒューマンセントリックへとパラダイムシフトしてきたコンピューティングの流れは、AI 技術と融合し、機械と人の共創パラダイムへと進化してきている。

3　学生時代（1964-1982）

筆者が、最初に電子計算機と出会ったのは、当時、武蔵小金井にあった工学部にて中学生を対象としたコンピュータキャンプが開催され、参加させて頂いた時である。計算センターには、東芝の TOSBAC 3400 が設置され、ガリ版刷りのアセンブリ言語の教科書でプログラミングの演習をした。パンチカードに一枚ずつ命令をパンチし、カードリーダ装置に読み取らせ、実行結果をラインプリンタに出力するといった典型的なバッチ方式の計算機システムであった。まだ、OS（オペレーティングシステム）は無く、オペレータが手入力でイニシャルプログラムローダを設定し、プログラムをスタートさせていた。

慶應義塾高等学校に進学すると、数学研究会に所属し、数学とプログラミングについてさらに面白いことを多くの大学の先輩たちから、教えて頂いた。特に、コンパイラや OS に関しては、まともな専門書もなく、当時情報科学研究所に所属されていた土居範久先生や原田賢一先生から手ほどきをして頂いた。数

研時代に最初に時間をかけて書いたプログラムの 1 つが、「4 個の 4 問題」を解決するプログラムで、4 つの 4 の間に +-*/ と括弧を入れて 10 を作ることができない事を証明するものであった。全ての場合の数式を文字列として生成し、その式をリバースポーリッシュ形式に変換し評価して、計算結果を式とともに印刷するプログラムを実装した。もう一つは、原田先生が米国留学から戻られた際に、Dartmouth 大学で開発された BASIC 言語の仕様書を持ってこられ、その仕様をもとに当時の富士通のミニコン FACOM-R 上にベタ詰め方式でインタープリタを作成した。当時のミニコンは、紙テープにプログラムを穿孔し、それをリーダから読ませて、プログラムを入力していたのが一般的であったので、テレタイプから直接プログラムをキー入力でき、実行結果が 直接テレタイプに出力された時の感動は今でも良く覚えている。

学部 4 年生の時に、相磯秀夫先生の発案で始まった異種ミニコンピュータをバス接続したミニコンピュータ複合体 KOCOS (Keio Oki Complex System) (AISO, 75) を研究開発するプロジェクトに開発メンバーとして参加した。筆者の本籍は管理工学科だったが、浦昭二先生からも快く参加を認めて頂けた。当時、計算機システムを開発していた企業のプロの方々は、ランダムロジックでハードを設計し、我々が採用しようとしていたマイクロコンピュータ Intel R3000 を使って BIU (Bus Interface Unit)、今でいう Network Interface Card を実装するなどは、性能的に無理であると一蹴され、「素人は、困ったものだ！」と言われた。しかし、相磯先生の「これからは、マイクロプロセッサの時代である！」というひと言で採用になり、まさに、システム分野で 70 年代中頃に起きた「マイクロプロセッサや分散システムへのパラダイムシフト」といった貴重な体験をした。当時のプロジェクトメンバーは、研究室の垣根を越えて招集され、上林憲行君、竹山明君と筆者でシステムの設計／実装／デバックなどをした。2 ビットスライスの Intel R3000 を 8 個使い、16bit コンピュータを設計し、上林君がインストラクションセットと BIU を設計し、竹山君がバス制御装置を設計し、筆者がそれらの上で動く分散 OS を、Unicorn というシステム記述言語を作成し、その言語で設計／実装／デバックを担当した。当時は、分散システムのためのパケット通信技術やプロトコル設計手法などに関する情報がなかった。実は、1973 年頃にロッキード社製ミニコンピュータ SUE をリング状

に接続した Distributed Computer System を UC Irvine 校の Prof. Dave Farber が開発していた。丁度、相磯先生が Prof. Farber の研究室を訪問されていたので、システムに関する情報が多少あったが、まったくの手探り状態でネーミングやアドレシング体系を決め、ネットワーク上のパケットフォーマットなどを設計した。特に、KOCOS は、HITAC10、OKITAC4300、NOVA1200 といった異種ミニコンピュータを接続するということを目標にしていたので、Unicorn で記述したアプリケーションコードを中間言語に変換し、そのインタプリタを使うことで、どのノードでも同じコードを実行可能とした。当時、沖電気の工場で BIU のデバックをしていたが、メモリが熱暴走するなどといった機会にも遭遇し、「システムソフトは、ハードのエラーにどう対処すべきか？」などの技術的な課題も考えさせられた。また、まさに、『学問のススメ』15 編に書かれている「*信の世界に偽詐（ぎさ）多く、疑の世界に真理多し*」を実践的に学ぶ機会となった。

1977 年に大学院工学研究科の修士課程を無事に修了し、慶應義塾大学に助手で採用されるチャンスを与えられたが、実は、勤める前に当時の私学助成金カットということが起こり、失職してしまった。その頃の工学研究科には、現在のような情報工学科や計算機科学科が開設されていなかったこともあり、博士課程は、カナダ Waterloo 大学数計算機科学科に進学することになり、海外生活を始めた。運よく、博士課程が始まる 2 ヶ月前に、Mininet プロジェクトを進めていた Computer Communications and Network Group（CCNG）の所長で、筆者のスーパーバイザーであった Prof. Eric Manning に研究員として採用して頂き、1977 年 7 月から分散システムの研究開発チームの一員として働き出した。CCNG では、Mininet の後継プロジェクトとして、また筆者の研究テーマも兼ねて、Shoshin（初心）と呼ぶ分散システムテストベッド（後の workstation 時代に COW（Cluster of Workstations）や NOW（Network of Workstations）と呼ばれる分散システムの前身）の研究開発を始めた。当時、DEC 社が PDP-11 の廉価版として LSI-11/23 を発表した頃で、2 台の PDP-11/45 と 10 台の LSI-11/23 をスクールバスというバス装置でつないだ分散システムテストベッドを開発した。「フラットで、リベラルなカルチャー」は、大変素晴らしいが、テストベッドの設計時には、意見の異なるハードウェアチームの人たちを説得する際

図３　Shoshin システムの概観と PDP-11/45 と LSI-11 のプロセッサハンドブック

に、ロジックの組み立ての違いに戸惑った。これも、「より明示的に、かつ粘り強く説明することを心がける」といった習慣をつけてもらったと感謝している。

当時 UNIX ver.7 で考えられていたリソースは、すべてローカルなノードに閉じていた。プロセスの fork も任意のノードに対する remote fork もできず、ファイルシステムの名前空間も１台に閉じていた。当然、動的なプロセスマイグレーションによる負荷分散や、リモートブートやリモートデバックのような開発ツールもなかった。これらのシステムリソースをネットワーク上のいかなるノードのリソースに対しても自由に制御できるようにするために、OS の基本操作をメッセージ通信で実現することを決め、KOCOS や Mininet などの経験をもとに、直接型の Interprocess Communication Model（TOKUDA, 83）を開発し、実証評価した。

４　CMU 時代（1983-1993）

プロの研究者としての最初の就職先は、当時、分散システム研究のメッカの１つであった Pittsburgh にある Carnegie Mellon 大学の計算機科学科（CMU-CSD）から始まった。実際、Ph.D. が終わりそうな時期に先輩が働いていた Georgia Tech、IBM Research-San Jose（現 Almaden）、Xerox Palo Alto 研究所などでジョブインタビューを受ける機会があったが、結局、分散システム分野の研究のメッカであり、慶應時代にも面識があった Prof. Nico Habermann が学科長をされていた CMU-CSD を選択した。

4.1　ARTS 分散リアルタイムシステム

当時、Real-Time Systems の研究コミュニティは、スケジューリング理論に関する研究が中心的なテーマであったが、ONR (Office of Naval Research) の Real-Time System Initiative プログラムを通じて、将来の分散リアルタイムシステムやよりダイナミックなシステム構築に向けての課題が整理され、システムの挙動を予測／解析可能とする研究が加速されていった (STANKOVIC, 88)。

ART グループでは、“Priority Inversion (優先度逆転問題)” を解決するための Priority Inheritance Protocol (プライオリティ継承プロトコル) (SHA, 90) をはじめ、Value-function based scheduler、Rate Monotonic スケジューリング下でイベント駆動型の非周期タスクのスケジュールを解析可能とする Aperiodic Server や、リアルタイム同期のための Restartable Critical Section、Real-Time Database のための Compensatable Atomic Action など新しい機構を提案し、実際の ARTS 分散リアルタイム OS (TOKUDA, 89) 上で、実装、実験、評価 (TOKUDA, 92) を行った。

4.2　Microkernel と Real-Time Mach 3.0

1985 年頃 DARPA は、これからのマルチプロッサに対処すべく、研究開発コミュニティのための POST 4.4BSD UNIX を開発することの重要性を認識し、CMU で Distributed Common Kernel Workshop を開いた。 CMU からは、Prof. Rick Rashid らが Mach Microkernel (ACCETTA, 86) を提唱し、最終的に DARPA が Mach を採択し、Mach3.0 開発に向けて多くのリソースが投入されることとなり、筆者らも、ARTS で開発したさまざまなリアルタイム機構を Real-Time Mach3.0 (TOKUDA, 90) 開発に向けて協力することになった。

Mach3.0 は、IPC 部分でもコード量が大きく組み込み系のシステムとしては大型トラックのようなもので、もっと小回りが利く軽トラックに改良する必要があった。OS のリソースに対する抽象化は、シンプルであったが、リソース管理が、Lazy Evaluation で設計されており、リアルタイムシステムで多く用いられてきた Eager Evaluation の考え方と対照的であった。また、Real-Time Mach では、あらゆるものをユーザランドで実現しようと試みており、UNIX 自体も UNIX server としてユーザランドに実装された。筆者らのチームは、図 4

に示すように Microkernel 上で最小限の実行環境を提供する RTS（Real-Time Server）、分散環境を支援する NPS（Network Protocol Server）、そして UX（Unix Server）などの OS パーソナリティモジュールの 3 レベルを提供できるようなシステムモジュールを提供した。また、リアルタイムスケジューラ自体も、「ポリシーとメカニズムの分離」を実現し、システムの実行中にオンディマンドでスケジューリングポリシーの変更ができるような拡張を加えた。

4.3　日米間の接点として

1983 年に CMU-CSD に着任して行ったことの 1 つは、国内における電子メール普及の呼びかけ記事（徳田 , 84）を当時東工大から CMU へ海外派遣プログラムで来ていた実兄の徳田雄洋と投稿したことだった。当時、米国におい

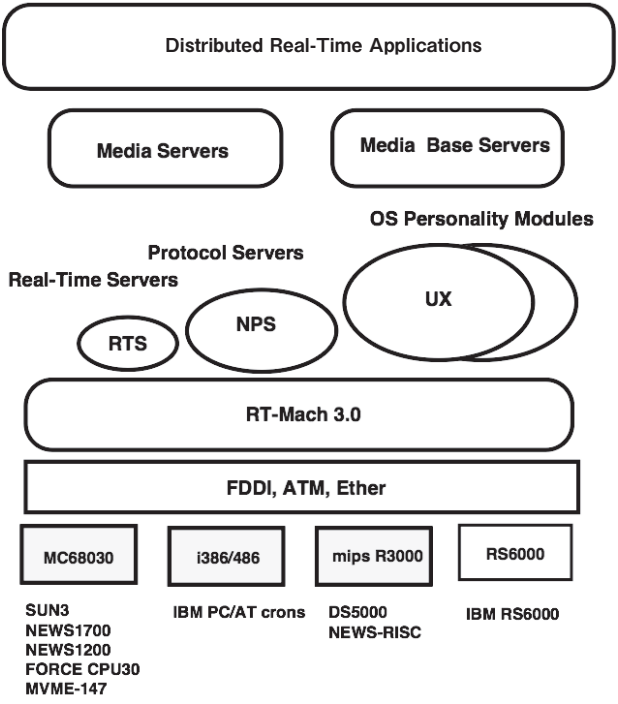

図 4　Real-Time Mach における RTS, NPS と UX

て ARPANET に接続されていない多くの大学は、CSNet か USENET に接続されていた。CSNet は、NSF がスポンサーであったこともあり大学を中心に約 100 ノードぐらいが接続されていたが、USENET は既に約 4,000 ノードが UNIX と電話回線を利用して接続されていた。一方、国内の大学では、後輩の村井純君が東工大に移籍し、慶應 - 東工大を接続した JUNET が丁度始動したところだった。そこで、筆者が Telebit 社製の TrailBlazer モデムを２台購入し、村井君の東工大のマシンと筆者のオフィスに設置した Sun ワークステーションをこの 1200bps のモデム経由で接続し、日米間のメール交換を実現した。

さらに、1985 年 10 月に韓国が主催したコンピュータネットワークの国際会議 Pacific Computer Communication Symposium の際に、米国側から出席した Prof. Dave Farber や Prof. Larry Landweber ら（図 5）によって提供された CSNET の TCP/IP のオフィシャルテープが当時東大の石田晴久先生と村井君に手渡された。後日、そのテープを村井君がインストールした際も、最初の TCP/IP の動作テストをこの２台の間で行った。実は、1986 年 1 月 28 日に起きたスペースシャトルチャレンジャー号が打ち上げから 73 秒後に爆発した事

図５　日米間での TCP/IP リンクの起源

写真後列左から Dr. Mark Horton、Prof. Larry Landweber、Prof. Dave Farber、斎藤信夫氏、岸田孝一氏、前列左から筆者、村井純氏。

故の様子は、このリンクを使ってリアルタイムに日本にも伝えられていた。

5　KEIO-SFC 時代（1990-2017）

CMU で作成した Real-Time Mach3.0 が順調に稼働していた頃、1988 年に母校の湘南藤沢キャンパス（SFC）立ち上げ準備室のお手伝いを仰せつかり、1990 年のキャンパス開設から CMU と慶應の両方を兼担することが始まった。SFC は、学際・複合型のキャンパスで、総合政策学部と環境情報学部の２つが双子学部としてスタートした。初代の総合政策学部長が加藤寛先生で、環境情報学部長が相磯秀夫先生で、問題発見解決ができる 21 世紀のプロフェッショナルを育成することをめざし、革新的な文理融合のカリキュラムで、「人間と環境の重視」「情報と情報処理の重視」「総合的視点と判断の重視」「グローバルな発想と視野の重視」「創造性の重視」といった５つの理念に基づき、新しいキャンパスの実現をめざした。

5.1　米国大学・企業の調査

SFC での新しい学部／大学を創り出す経験は、筆者の「研究者としてのテイスト」を高める上で、画期的な転換点となった。コンピュータサイエンスやエンジニアリングの視点だけでなく、メディアの視点、デザインの視点、環境の視点、組織の視点、政策の視点、ガバナンスの視点などいろいろなことをいろいろな角度から考える作法を学ぶこととなった。特に恵まれていたのは、教員全員が新任で、学生は新１年生しかいないという環境で、グラウンドゼロからキャンパスを作る経験を学生とともに得ることができた点であった。

実は、キャンパスをスタートする 2 年前に、SFC 開設準備室の仕事で MIT、Brown、Cornell、CMU、Michigan、Stanford、Berkeley といった主要大学と西海岸の XEROX PARC、Sun Micro といった IT 企業群を訪問し、キャンパスや企業の情報環境を調査し、理想のキャンパスネットワーク環境をデザインするといったミッションがあった。相磯先生を団長に、同僚となる予定の斎藤信男先生、村井純先生、萩野達也先生、服部隆志先生や IT 関連企業の参加者を含めて総勢 30 名程度で、2 週間で数多くの大学や企業を訪問し、意見交換をした。筆者は、ボストンから合流して、CMU と U. of Michigan のホストを担当

したが、このようなキャンパス訪問は、当時のネットワーク環境やワークステーションクラスタに関する技術的やコスト的な課題、大学のカリキュラムや研究所の組織だけでなく、どのように新入生が大学とのボンディングを高めていくか、卒業生との連携方法など多くの違いを認識でき、SFC キャンパスをデザインする上で大変参考になった調査旅行であった。

5.2　MKng プロジェクト : 次世代マイクロカーネル

研究の面では、キャンパス開設当初の 1990 年からの数年間は、大学院生など一人もいない状況だったが、斎藤先生や萩野先生と NTT 情報通信研究所、IBM 基礎研、Fuji XEROX、横河電機、リコーの研究員の方々とともに次世代マイクロカーネルプロジェクトをスタートさせた。筆者らが CMU で開発してきたマイクロカーネルの技術を更に進化させ、OS の動的構成法や再構成法を確立するとともに、システムの応用分野である、マルチメディア環境やモバイル環境の実現をめざした。

技術的には、図 6 に示す、マイクロカーネル自体をマイクロカーネルトレイとローダブルカーネルモジュール (LKM) とに分割して、構成することにより、動的再構成が可能となった。また、マルチメディア処理などにおける動的 QoS (Quality of Service) 制御技術 (TOKUDA, 93) なども周期スレッドのリアルタイムスケジューリング機能を利用して、容易に実現できることを実証したと共に、開発したソフトウェア群をオープンソースとして公開した (図 7)。

5.3　ユビキタスコンピューティングシステム

2000 年代に入ると我が国においても日本版 IT 社会の実現を目指す構想として e-Japan 構想が掲げられ IT による産業、社会構造の変革 (いわゆる IT 革命) が本格的に始動した。我々の研究プロジェクトも、基盤ソフトウェアのレイヤから、社会的課題の解決をめざした基盤から応用までの領域を対象とする研究開発へと幅を広げていった。特に、2004 年には、内閣官房が主導した e-Japan 戦略の後継戦略として総務省からユビキタスネット社会実現に向けた政策として u- Japan 戦略が発表された。

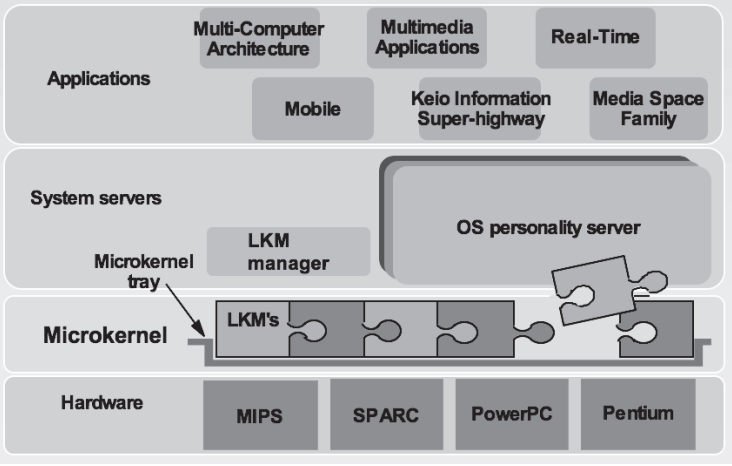

図６　マイクロカーネルトレイとローダブルカーネルモジュール（LKM）の構成

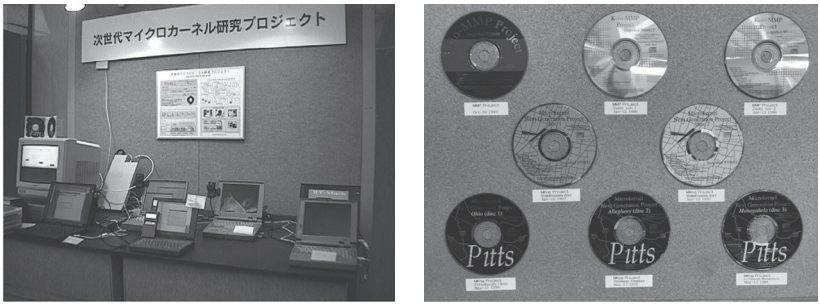

図７　研究成果のデモンストレーションの展示と配布されたソフトウェア

その後、図８に示すユビキタスネットワークプロジェクト、RFID プロジェクト、ネットワークロボットプロジェクト、センサネットワークプロジェクトなど一連の国プロジェクトが開始し、参加する機会を得た。

その頃、Palo Alto のベンチャであった iREADY 社 CEO の Ryo Koyama 氏にコンサルティング業務を依頼され、XEROX PARC の Mark Weiser 氏とともにアドバイザーに着任したこともあり、あらゆるモノがネットワークに接続された知的情報環境の構築をめざして、ユビキタスコンピューティング分野

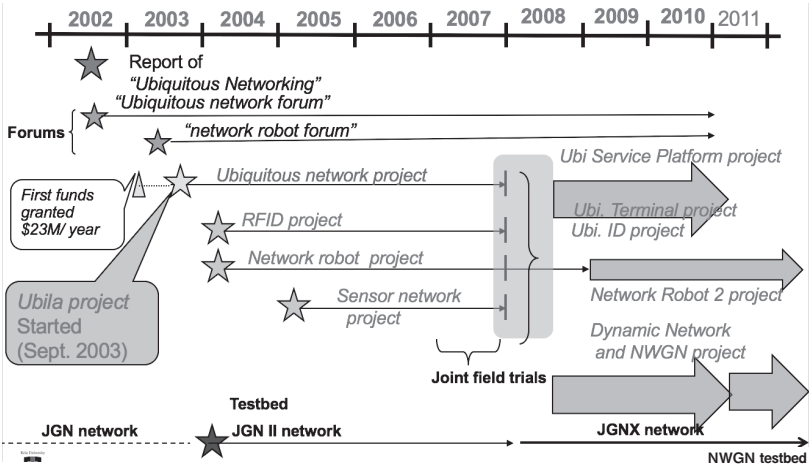

図８　2000 年代の総務省によるユビキタスネット社会実現をめざした研究開発プロジェクト

(WEISER, 91) における研究プロジェクトに大きくシフトしていった。

我々は、総務省のユビキタスネットワーク計画の一環として、当時東大の青山友紀先生、森川博之先生、川原先生、当時KDDI研の大橋正良先生(現福岡大)、村上先生 (現成蹊大)、九工大の尾家先生、富士通、NEC とチームを編成した Ubila プロジェクトを実施し、有楽町にショールーム uPlatea を構築し、家庭内から屋外までユビキタスネットワーク環境を実現する基盤ソフトウェアの実証実験を行った。我々慶應チームは、"last one mile" を解決する従来のネットワーク技術ではなく、"first one touch" を容易に実現できるユビキタスネットワーク技術の研究開発を行った。特に、いつでも、どこでも、何でもネットワークに接続できるスマートスペース実験設備(図 9)を構築し、常時デモンストレーションをできる環境で研究開発を実践した。

超小型センサノードで都市空間の環境モニタリングを行える Airynote、持ち運び可能な RFID センサデバイス@ Reader による商品情報の取得、Smart-Furoshiki による安価な卓上での日用品の検出システム、日用品に取り付け可能な DIY Smart Object センサによるサービス構築、そして、近未来の IT 家具モジュール u-Texture (KOHTAKE, 2005) や u-Photo (SUZUKI, 2005) など現

図９　３つのスマートスペース実験設備

在の IoT（Internet of Things）技術の源流となるユビキタスサービスやデバイス群（図 10）を研究開発し、その有効性を検証した。

学会活動においても、米国 ACM がユビキタスコンピューティング研究会（SIG Ubicomp（仮称））を立ち上げる動きがあったが、その動きよりも一足先に、当時筆者が主催していた「情報家電コンピューティング研究グループ」と、はこだて未来大の中島秀之先生が主催していた「知的都市基盤研究グループ」が母体となって、2001 年情報処理学会ユビキタスコンピューティングシステム研究会（SIGUBI）を立ち上げ、初代主査を仰せつかった。2005 年には、IPSJ SIGUBI メンバーや Ubila プロジェクト関係者らの支援を受け、アジアで初開催となった国際会議 Ubicomp2005 を誘致することができ、625 名もの参加が

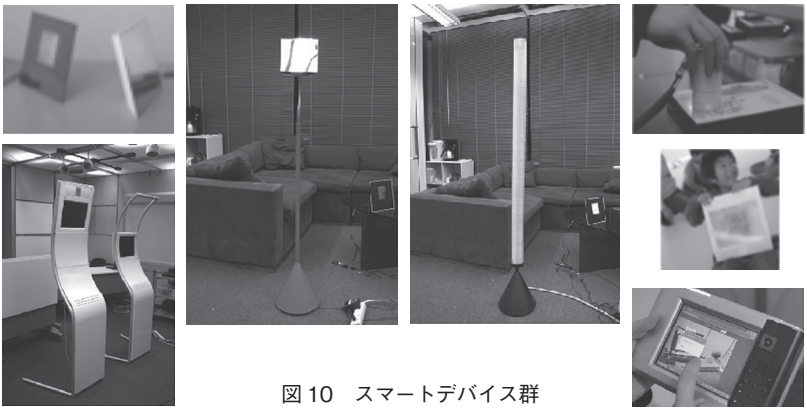

図 10　スマートデバイス群

あり、本格的な SIGUBI の研究者コミュニティが立ち上がった。

5.4　Smart City プロジェクト

2010 年代初めには、ユビキタスコンピューティングを源流とする IoT 技術とクラウドコンピューティングの融合（TOKUDA, 2011）を進めた。2012 年 7 月にベルリンにて日欧共同プロジェクトコール準備会議が開催され、共同プロジェクトの公募案件のテーマが議論され、IoT とクラウドの融合に関するコールが設定され、2012 年 10 月に実際の公募が開始された。筆者らがフランス LETI（電子情報技術研究所）を幹事とする欧州チームと合同で提案した IoT とクラウドの融合による持続可能なスマートシティの実現をめざした ClouT（Cloud of Things）スマートシティプロジェクトが日欧共同プロジェクトとして正式に採択された。2013 年 5 月に最初のキックオフミーティングを三田キャンパスで開催し、日本側 5 機関 + 2 都市、欧州側 4 機関 +2 都市からなる合同チームで研究開発が開始した。

ClouT プロジェクトの背景には、ヨーロッパにおける人口の多くが都市に集中して居住するようになり、市民たちがより効率よく都市リソースを利活用できないと持続可能なスマートな都市を実現することが難しくなっている課題があった。一方、国内でも都市への集中に加えて、地方都市の再生や活性化に ICT を利活用できないかといった課題解決への大きな期待が高まっていた。ClouT では、従来から検討されていたエネルギー問題の課題だけではなく、人びとの生活と密着した交通、観光、防災、介護などのサービスを研究開発し、人びとの QoL 向上を検証すべく藤沢市、三鷹市、スペインのサンタンデール市、イタリアのジェノバ市で実証実験（SEGHROUCHNI, 2016 ; 大越 , 2016 ; 中澤 , 2017）を行った（図 11）。

2012 年になると国内でも 2011 年の東日本大震災からの復旧、復興の教訓も相まって、オープンデータの利活用に関する機運が高まり、総務省のもとオープンデータ流通推進コンソーシアムが設立された。2014 年には、文部科学省の「実社会ビッグデータ利活用のためのデータ統合・解析技術の研究開発」プロジェクトを筑波大北川博之先生、東北大徳山豪先生、東大喜連川優先生らのチームと合同で開始した。また、同時期には、NICT の SODA プロジェクトお

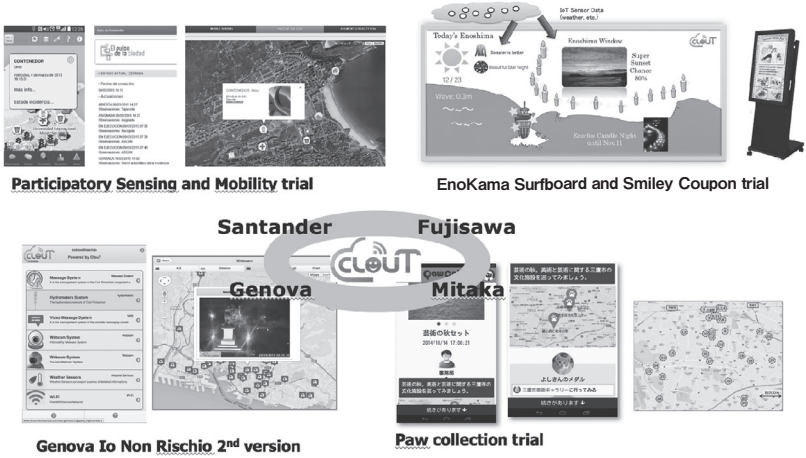

図 11　4つの都市における実証実験の概要

よび 2016 年には ClouT の後継となる BigClouT プロジェクトを開始し、IoT、BigData、AI 技術の融合を図りつつ、都市におけるソーシャルなオープンデータの収集、流通、解析、利活用といった基盤技術開発を加速している。スマートシティにおけるデータの流れに着目するとデータに対する処理の階層化モデルで図 12 のように整理できる。まず、最下位には、様々なセンシングモジュール群から集められたデータを集める収集レイヤがある。そして、データをシステム内に流通される流通レイヤがあり、それら流通しているデータに対して、解析モジュールを提供する解析レイヤがある。そして、最上位に、これら解析モジュールを利用した応用プログラムが位置する利活用レイヤがある。このように物理空間から収集できるデータは、多岐にわたる異種データからなっているとともに、収集、流通させるプロトコルも多数存在し、異種システム間のデータを流通する上での課題となっている。

5.5　共進化 CPS プロジェクト

2015 年になると、文部科学省の平成 26 年度「スーパーグローバル大学創成支援」事業が採択されたことをうけて、塾内で 3 つの文理融合クラスター、長

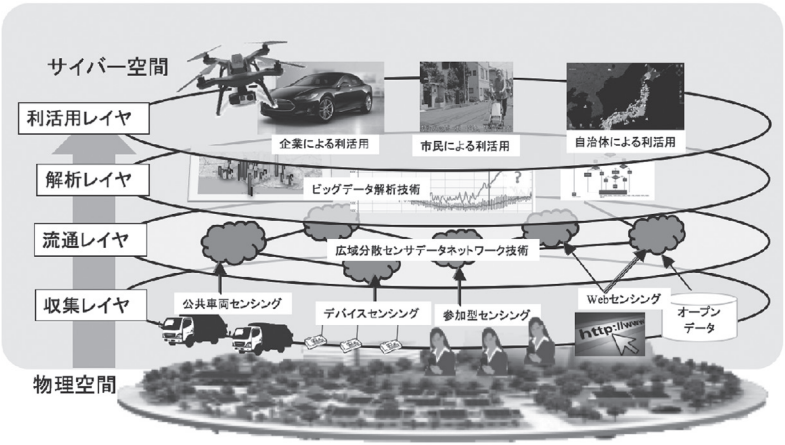

図 12　スマートシティの階層化モデル

寿、安全、創造分野の研究クラスターが開始された。我々のチームは、CMU の Prof. Raj Rajkumar、Tech. Univ. of Munich の Prof. Gordon Chen、Harvard 大の Prof. Mark Mulligan、Tampere Univ. of Tech. の Prof. Hannu Jaakkola らとともに、「共進化するサイバーフィジカル環境の基盤技術と実証実験」に関する研究開発を開始した。

2015 年 10 月に慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス 25 周年記念イベントとして、サイバーフィジカルシステムの実証実験を行った。独居老人が介護用パーソナルロボットと生活し、ロボットが自動運転しているロボットタクシーを呼び出し、病院にリハビリに行くといったシナリオがデモンストレーションされた。図 13 にロボットと自動運転車とのインタラクションの様子を示す。図中の PC 画面が自動運転車内に設置されたカメラの映像を映している。このようなサイバーフィジカルシステムの難しさは、単体のシステムでも十分複雑であるにもかかわらず、他のシステムとの連携がシームレスにかつ高信頼性が実現されなければならないという点である。一方、新しい社会基盤システムとして確立されるためには、ロボットと自動運転車などが協調しやすい道路の構造や道路交通法などの法的整備だけでなく、ロボット内のエージェントソフトウェアがどのようにロボットタクシーと協調するのか、それらの API などの標準化

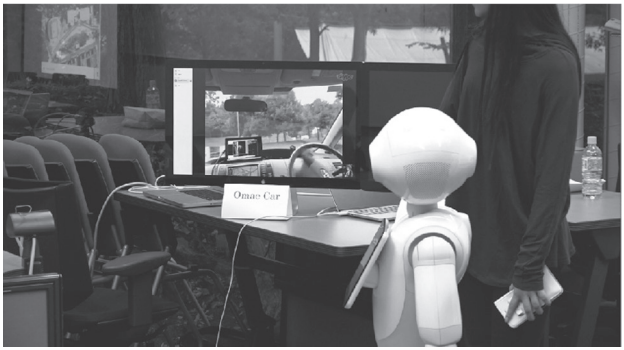

図 13　ロボットと自動運転車とのインタラクション

なども進める必要があり難しい課題が山積している。

5.6　大学院政策・メディア研究科における教育研究プロジェクト

1994 年に開設された政策・メディア研究科は、学部から独立した研究科で、グローバル社会におけるリーダやプロフェッショナルをめざし、問題発見・解決の実践力を持った人材を広く受け入れてきた。学部時代の専門分野や個別の学問的分野にとらわれず、分野横断的な視点を持ち、プロジェクトを通じて、新しい専門知識と実践的な問題解決能力も身につけ、社会における課題の解決に向けて挑戦したい学生が集まった大学院である。1996 年に始まった文部科学省初代 COE (Center of Excellence) プロジェクト「創造的デジタルメディアの基礎と応用」や慶應インターナショナル・エグゼクティブ・プログラム KIEP (徳田 , 98) を皮切りに、2002 年からスタートした第 2 期 COE プロジェクト (「次世代メディア・知的社会基盤」「日本・アジアにおける総合政策学先導拠点」) が始まり、その後も「先端 IT スペシャリストコース」、「低炭素社会デザインコース」、「社会イノベータコース」、「国際コース」、「環境イノベータコース」など様々なスペシャリストやイノベータを育成するプログラムを開設し、大学院における教育研究の質的向上に努めてきた。ここでは、その中の「次世代メディア・知的社会基盤」COE プロジェクトと先端 IT スペシャリストコースについて述べる。

5.6.1　COE プロジェクト

COE 拠点は、SFC における研究リソースを活用し、次世代インフラ基盤、次世代応用基盤、および先端的な基盤実証実験の 3 層における研究を融合させ、次世代情報インフラやデジタルメディアの新しい応用を研究開発するとともに、実証実験を通じて、人間、社会、環境、文化、教育、医療などを支える 21 世紀型知的社会基盤アーキテクチャの確立（徳田 , 2005 ; 徳田 , 2007）をめざして設置された。情報のデジタル化は、コンテンツだけでなく、それを利用する行為パターンや社会制度自体に大きな影響を与えており、これらを総合的に探究する必要性が増大している。次世代情報インフラやデジタルメディアの応用とその社会基盤実証実験に関して、理念、方法論、基礎理論、要素技術、応用などの研究を進める意義は大きい。

拠点は、「次世代インフラ基盤」、「次世代応用基盤」、および「先端的実証実験」の 3 層からなる研究グループ（図 14 参照）によって構成された。また、各グループメンバーは、図 15 に示したような 3 つのグループ間でのコラボレーションを行いながら研究開発を推進する「3 層串刺し型」アプローチを実践した。

次世代インフラ基盤グループでは、先端的な情報通信・情報インフラ技術を研究開発し、21 世紀の安全で快適な情報環境を構築するための、次世代の情報インフラストラクチャを構築することをめざしている。情報インフラストラ

図 14　COE 拠点における 3 層構造とその研究テーマ

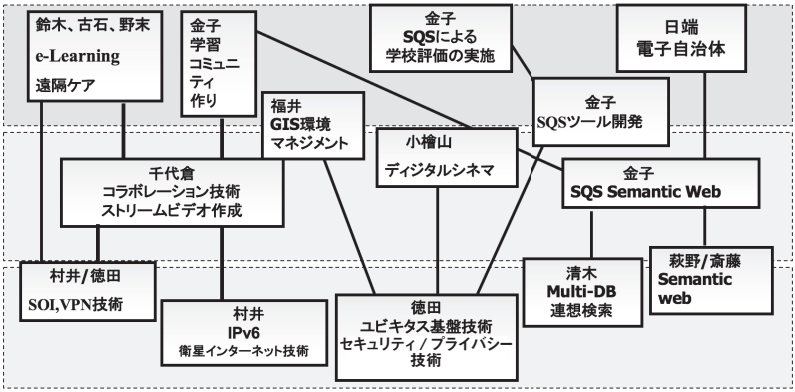

図 15 COE 拠点における 3 層串刺し型アプローチ

クチャが 21 世紀型社会基盤へと進化するためには、(1) 遍在性、(2) 安全性、(3) 可用性、(4) 持続性という性質を普遍的に満たしていかなければならない。インフラ基盤グループでは、このような認識に基づき、ユビキタスネットワーク、セキュリティ / プライバシー保護、モビリティ支援、バリアフリーダム、分散マルチデータベースおよび情報空間における信用と協調のメカニズムについて研究を行った。

次世代メディア応用基盤グループでは、(1) メディアの作成技術、(2) メディアと人間、(3) メディアとコンテンツといった 3 つの視点から研究を進めている。メディアの作成技術では、コンピュータグラフィックス、ビデオ、音楽といったメディア構築に関する新しい技術が開発された。メディアと人間という視点からは、「メディアはどうデザインされるべきか」について人間の視覚、身体知、音声の立場から考察している。メディアとコンテンツに関しては、次世代メディアをベースとしたコンテンツ開発技術を研究し、ソフトウェア工学に基づくコンテンツ製作手法や都市空間、実空間での新しいコンテンツの製作技法が開発された。

先端的基盤実証実験グループでは、次世代インフラ基盤グループと次世代メディア応用基盤グループにおける研究成果を活用しながら、先端的な基礎実証実験を企画し、理論モデルやコンテンツを構築し、自治体や各種団体などと

共同で実験を実施してきている。特に、(1) e-learning、(2) e-governance、(3) e-space といった中心的なテーマを設け、それぞれのテーマに関して、実システムの開発や実証実験を行った。e-learning が個人の自己啓発と社会的共同知形成のシステム設計と方法論を扱い、e-governance が社会・経済システム運営の組織面からの考察を実証的に扱うのに対して、e-space は、地域から都市や国土まで、さまざまな広がりを想定した、ローカルコモンズからグローバルコモンズまでの課題を扱った。

5.6.2　IT 人材育成プロジェクト

先端 IT スペシャリスト育成プログラムは、文部科学省先導的 IT スペシャリスト人材育成推進プログラムのひとつの拠点として 2007 年度より開設された。全国で 6 拠点が採択されたが、我々の拠点が、慶應義塾大学（理工学部 +SFC）、早稲田大学、中央大学、情報セキュリティ大学院大学といった私学の唯一の拠点であった。

当時のパンフレットには、以下のような趣旨が書かれている。「今日、我々の日常生活を支える社会インフラやネットワークは、ソフトウェアによってシステムのコアの部分が構築あるいは制御されています。しかし、我が国のソフトウェア分野における IT 人材不足は、その量と質のどちらにおいても深刻な問題になってきています。本プログラムでは、これらの背景を踏まえ、産学 NPO 連携により社会基盤を支える先端ネットワーク、大規模分散システム、ポスト Web2.0 やユビキタス技術を使った新しい IT 応用システムを構築できる実践的な IT スキルを備え、かつ、先見性と独創性を併せ持った世界最高水準のＩＴスペシャリスト養成をめざしています。特に、本プログラムでは、ソフトウェア創造力を重視し、かつ学生参加型の研究プロジェクト科目や企業や NPO で実施されるインターンシップ科目を通じて実践力や応用力を養ってくれることを期待しています。また、プロジェクトレビューを経験することにより、コミュニケーションやプレゼンテーションスキルにも優れ、幅広い視点でソフトウェアを分析・評価・検証でき、先導的な役割を担える力を身につけることを期待しています。」

プログラムの特徴は、先端かつ創造的なソフトウェア、システム作りやイン

ターンシップを通して学ぶ PBL 型の実践教育カリキュラムを構築し、多様な視点から最先端の IT システムや先端ネットワークをとらえられる講師陣ネットワークを形成した。特に、IT ベンダー系、情報通信系企業 、オープンソース開発 NPO 法人である Mozilla Japan などとも協力し、非常に幅広い人的ネットワークを構築した。また、プロジェクトを通じて、講義資料冊子、講義ビデオアーカイブ、特別演習プロジェクト仕様書冊子および DVD の形で、計 23 教材を開発したとともに、毎年 30 名以上の ITSP (IT Specialist) サーティフィケートを授与することができた。さらに、研究科横断的に連携したカリキュラムやリアルタイム型の遠隔授業方式は、教員資源が限られている私立大学大学院における 1 つのモデルとして活用可能であり、他大学への移行がより容易なモデルとして実証することができた。

6　これからの研究教育

これまでにも SFC 主催の ORF2014 において“慶應義塾創立 200 周年に向けて”というパネル討論（図 16 参照）を安西祐一郎元塾長、相磯初代学部長をゲストに迎え、当時の執行部であった河添総合政策学部長、村井環境情報学部長、筆者らで行ったことがある。その際、相磯秀夫先生から提示された SFC 創設時の検討課題や注意すべき視点について、SFC にて 28 年間研究教育に携わってきた一人として再考することにする。

6.1　創設時の検討課題についての再考

6.1.1　学術の進歩

SFC における研究成果を公表するスタイルは、従来の大学に比べて非常に幅広く、紙メディアや電子メディアによる論文だけでなく、オープンソースのソフトウェア、国際標準、政策提言、アートや音楽などの作品であったり、非常に幅広い形態をとっている。一方、一般的には、大学における学術的な研究成果の発表は、研究論文／学術論文という形で学会などの論文誌に発表されてきた伝統がある。また、最近では、これらの学術誌の多くが特定の商業出版社に管理されており、国内外の大学において学術誌の高額な購読料を維持できなくなってきている問題も発生している。また、学術の健全な発展を促してい

図 16　ORF2014 PROTO 義塾 ～慶應義塾創立 200 周年に向けて～でのパネル

くには、出版された論文だけでなく、どういうテーマの論文やキーワードが多く検索されているかといったダイナミックな研究のトレンドを研究者自身が利用できることも重要であるが、出版社によっては有料の会員サービスとなっている。

研究者側においては、論文作成時に研究データを改ざんして発表したといった研究者としてはあるまじき行為による問題なども発生しており、研究不正を防止するとともに、より多くの研究者が研究データや研究論文を容易に共有できることが学術を健全に発展させていく上で重要な課題となっている。

そこで、これからの研究教育の現場では、公的資金で遂行された研究成果やそのデータをオープン化するといったオープンサイエンス化が重要である。もちろんこれまでにも個々の大学や研究機関において研究論文や研究データのアーカイブ化が個別に進められているが、これらのデータに統一的でかつユニークな ID（Digital Object Identifier（DOI））やメタデータがきちんと付与され、世界中で共通に検索や利用できる環境が整備されるべきである。

6.1.2　産業・社会の変革と大学への期待

SFC 創設時と比べて、社会の情報通信環境は大きく変わった。人々の多くは、スマートフォンを所有し、いつでも、どこでも高速なモバイルネットワーク経由でインターネットを利用できる環境が整備された。Facebook、Twitter、LINE などのソーシャルネットワークサービスの出現により、人々は、よりつながりを持ちやすい社会と変化した。さらに、IoT（Internet of Things）技術の普及によって“あらゆるモノ”がインターネットにつながり、フィジカル空間とサイバー空間の融合が加速している。

大学における教育現場においても、SFC が我が国をリードしてきた all wired から all wireless へのデジタルキャンパス環境や他国との遠隔授業設備も、他大学でも当たり前のデジタル環境となった。では、産業界と比べて、大学の情報環境は圧倒的な先進性を持っているだろうか？　ある意味、SFC においても、クラウドコンピューティング環境の整備あたりから追いつかれた感が強い。SFC は、未来からの留学生を育てる場であり、その日常的なデジタル情報環境においても、圧倒的な優位性を弛まぬ努力で提供していかなければならない。

さらに、これらを一歩進めて、IoT、BigData、AI 技術が融合した高度なデジタル情報環境が実現される未来においては、人対人の協働作業だけでなく、人と機械（AI）との共創環境（コ・デザイン環境）を実践できる教育の場を提供することを期待する。かつて、我々が準備期間中に議論したマイケル・ギボンズ氏のモード論（GIBBONS, 97）で言えば、既存の専門分野の中での知識生産であるモード 1 も、SFC が目指している社会的要請のコンテクストの中で行われる知識生産であるモード 2 も、機械との共創を積極的に行いながらの知識生産であるモード 1 ＋、モード 2 ＋へとパラダイムをシフトする時期に来ている。
さらに、SFC のように、学際、複合型であり、分野横断的な教育・研究をめざしている学部や大学院は、これからの“オープンイノベーションの泉源”となるべき人材を育成すべきである。

6.1.3　教育の同質化と個性化

大学教育のグローバル化と大学の地元地域や特色を意識したローカライ

ゼーションのバランスに関しては、国際間での優秀な学生を誘致する競争が激化しているといえる。SFC 開設時は、AO 入試と 9 月入学への対応がユニークであり、いろいろメディアで取り上げられたが、いずれも、他大学でもコピーされ、実施されてきた経緯がある。また外国語だけで入試から卒業時まで、すべてを学べるといった国際コースも文部科学省の施策であった Global30（実際に 1 期目に採択された大学は 13 校）により国内に創設された。SFC では、2011 年 9 月より GIGA プログラム（GIGA, 2018）がスタートし、2017 年より総合政策学部も参加し、年間 50 名程度が入学してきている。

GIGA により、内からの教育の国際化は進んだといえるが、外に出て行く学生数をもっと多く増やすべきである。すくなくとも学部生全員が卒業までには海外でインターンシップであったり、異文化の世界で生活した経験を持つべきである。大学院生であれば、一度は、海外の機関との合同研究プロジェクトに参加した経験を積むべきである。人と人の交流に加えて、人と機械との共創にむけても、どのような新しいスキルセットを提供すべきかを真剣に議論する時期に来ている。

6.1.4　大学の体質改善

SFC が掲げた問題発見・解決型の教育は、諸学問横断的な教育研究を指向する上でもっとも基本的な教育モデル、ある意味、メタレベルの教育フレームワークである。どのような社会的課題に対しても、問題を見つけ出す能力、分析する能力などは、モード 2 ＋を目指す教育研究には必須のスタイルである。これまでの多くの大学は、解決フェーズばかりに力点を起き、すでに形式知化された問題を教室で解くトレーニングに重点が置かれていた。リアルな社会のリアルな問題を発見し、それを解くといった Problem Based Learning（PBL）のスタイルは、ある意味、SFC が得意とし、牽引してきたところと言える。また、従来の座学的な教育ではなく、学生が主体となって学生参加型のグループワークであったり、討論型であったり、プロジェクト型であったりといろいろな様式が SFC の先生方によって実践されてきた。これらのベースとなっているのが、筆者は、SFC 創設以来、大事に育ててきた“キャンパスのオープンなカルチャー ”であると認識している。2014 年 4 月に日本学術会議で開催された

公開シンポジウム「ICT の将来展望と課題解決にむけて〜尖った人材をいかに育て、イノベーションにつなげるか〜」（学術会議 , 2014）にて講演した際にも、“やってみればという背中を押す教員”、“自分の頭で考え、解決するスキル”、“一緒にプロジェクトをやっていくカルチャー”、“多様性に富んだ仲間たち”、“やる気のある学生からの刺激” などオープンで、リベラルなカルチャーが根付いている点を強調した。このカルチャーを失わずに、さらなる進化を期待している。

6.1.5　大学を取りまく社会環境

この視点がもっとも劇的に変化した点では無いだろうか。大学間の国際競争は激化し、GIGA プログラム（GIGA, 2018）でも、世界の大学と競争して優秀な学生を慶應義塾大学へ来てもらわなければならない時代となった。かつて、筆者は、CMU 時代には、たびたび日本からの博士課程入学希望者に対して、学科からの依頼で個別面接を行い、その結果のレポートを作成し大学に報告していたが、GIGA 創設時には、手分けをして海外の優秀な高校を訪問した。筆者が担当したのは、台湾のトップレベルの高校 6 校であったが、既に香港の大学からは、多くの奨学金が提供される枠が設けられていたり、国内からも早稲田大学などから推薦枠を提供されている高校もあったのを記憶している。幸い慶應義塾大学からも優秀な卒業生が台湾にもどられ、ビジネス界で活躍している OB/OG の方々のサポートもあり、学部説明会などはどこの高校でも大変な盛況であった。今後は、よりきめ細かい AO 入試のプロセスが重要になってくると理解している。

また、国際的な大学、企業や機関などとの連携も今まで以上に進める必要がある。形式的な MOU ではなく、学部生や大学院生のインターンシップや、学生や若手教員の短期滞在や合同プロジェクトなどをより積極的に進め、国内ではなかなか体験できない環境での生活を卒業までに必ず体験してもらうことが重要である。SFC と理工学部の連携で実施されているリーディング大学院プログラム GESL（Global Environmental Systems Leader）（GESL, 2018）では、両学部の先生がスーパーバイズするだけでなく、必ず海外の先生が 1 名コ・スーパーバイザとなって学生を指導している体制は、今後の SFC にとっての良い

モデルといえる。

産業界との関係も教育・研究の両面で、より積極的な協業が重要となってきている。かつて CMU キャンパス内に、Google、Intel、Disney といった企業の研究所が誘致されていたが、我が国においても大阪大学情報科学研究科のように、キャンパス内に企業との協働研究所を設置し、産学連携の研究を加速している大学がある。SFC においても、創設時の SFC 研究所の枠組みをさらに進化させ、より積極的に企業とのジョイントラボやインキュベーションセンターを拡張すべきである。

6.2　SFC らしさの大切さ

筆者の SFC での 28 年間での教育研究をまとめるにあたって、もっとも大切にしていた SFC らしさについて最後に触れておこう。

6.2.1　コラボレーションとコデザイン

分野横断的な教育研究を進めていく上で、SFC が掲げた問題発見・解決型の教育は、メタレベルの教育フレームワークとして大変優れている。どのような社会的な課題に対しても問題を見つけ出し、解決するスキルは、必須であるからである。一方、複雑な課題に対しては、さまざまな専門分野でのスペシャリストがプロジェクトを立ち上げ、協働しながら解決にむけて努力しているが、その協働作業を支える基本は、お互いの分野やその方法論を尊重し、理解するといった基本姿勢が重要である。SFC では、すくなくとも、そのコラボレーションの基礎を育んで頂きたいし、また、人とのコデザインだけでなく、機械とのコデザインにも積極的になっていくことを期待する。

6.2.2　オープンカルチャー

慶應義塾においては、他キャンパスも、オープンなカルチャーが基本となっているが、SFC では、特に、キャンパスを構成している教職員、学生のだれもがこのリベラルな風土を理解している。学部生に対しても大学院生に対しても、同じように研究指導なども行われており、それだけ学生たちを大人扱いしているキャンパスである。裏を返せば、それだけ学生の自主性ややる気に任されて

いる点が多い。他学部と比べても、必修科目が少なく、ほぼすべての科目を選択できる自由が与えられており、難しいテーマにチャレンジし、アクティブな学生たちが定常的にいることにより、キャンパスの知的好奇心は持続していくと思っている。また、海外からの学生数や海外に出ていく学生数も増加していくことを期待している。さらに、学術的にもオープンデータ、オープンサイエンスの流れが加速していくことを期待する。

6.2.3　社会的アカウンタビリティと VMP

SFC では、多くの先生方が社会との接点を持った研究プロジェクトを実施されているが、どのような基礎的なサイエンスの研究であれ、基礎的な要素技術であれ、その研究が持っている社会的意義を理解し、説明できなければならない。さらに、デザインすべき未来社会に対する VMP (Vision, Mission, Passion)、すなわち未来へのビジョン、それを達成するためのミッション、そしてそれを遂行できるパッションを持ち続けていることを期待する。

7　おわりに

慶應義塾に定年制度がある以上、SFC の先生が最後の講義なるものを開く年齢に達する。筆者の場合も、恩師の相磯秀夫初代環境情報学部長の最終講義の運営を 20 年前にお手伝いしたが、まさか自分の番がこんなにも早く巡ってくるとは思ってもいなかった。

SFC がスタートする 2 年前の 1988 年夏に三田の開設準備室に伺い、SFC のキャンパス計画の議論に参加したのを皮切りに、米国大学視察のお手伝い、SFC キャンパスの開設、9 月入学生の対応、研究室の立ち上げ、大学院の開設、鳥居塾長のもと情報、業務改革担当の常任理事としての三田での経験、その後 、SFC に戻った後も大学院委員長、学部長などを拝命し、28 年間、SFC で教育研究に携われたことは、筆者にとってこの上ない幸せであり、かつ人生において大変充実した時間であった。

SFC には、私たちと入れ替わりに新しい世代の先生方が就任されたが、ぜひ、SFC らしさを尊重し、オープンなカルチャーを継承し、全社会の先導者となるべき、新しいイノベータをあらゆる分野で輩出されていくことを期待している。

最後に、28 年間一緒に研究教育に携わってきた教職員の方々、学生諸君、そして、このような最終講義をまとめる機会を与えてくださった本特集号の関係者の皆様に心から感謝する次第です。

参考文献

(ARPA, 69) <https://ja.wikipedia.org/wiki/ARPANET>。
大越 匡・米澤 拓郎、津村 真理子・長島 令奈・鴻巣 和憲・山本 慎一郎・中島 円・神武 直彦・栗田 治・中澤 仁・徳田 英幸（大越 , 2016）「EverCuate: ユーザ非同期参加型津波避難訓練システム」『情報処理学会論文誌』 vol.57, no.10, pp. 2143-2162、2016 年。
（学術会議 , 2014）<http://www.scj.go.jp/ja/event/pdf2/187-s-3-4.pdf>。
（GIGA, 2018）<http://ic.sfc.keio.ac.jp/ja/>。
（GESL, 2018）<http://gesl.sfc.keio.ac.jp>。
マイケル・ギボンズ、小林 信一（訳）（GIBBONS, 97）『現代社会と知の創造―モード論とは何か』丸善ライブラリー新書、1997 年。
徳田 雄洋・徳田 英幸（徳田 , 84）「電子メイルを日本国内で容易に送受できる環境を実現し、研究者の意見交換を高速大量化する方法について」『情報処理』 Vol. 25, No. 7、1984 年、pp. 717-719。
徳田 英幸・梅垣 理郎・武藤 佳・村井 純他（徳田 , 98）『ディジタルメディア革命～ 21 世紀の人間／社会／教育～』慶應出版会、1996 年。
徳田 英幸（徳田 , 2005）「次世代メディア・知的社会基盤プロジェクト」『情報処理』46 巻、5 号、2005 年、pp. 481-487。
徳田 英幸・村井 純、千代 倉明、金子 郁容編（徳田 , 2007）『コラボレーション！ SFC という「融合の現場」』慶應義塾大学出版会、2007 年。
中澤 仁・陳 寅・米澤 拓郎・大越 匡・徳田 英幸（中澤 , 2017）「ユニバーサルセンサネットワークと清掃車を活用した藤沢市のスマート化」『 情報処理学会デジタルプラクティス』 Vol.8 No.3、pp. 244-252、2017 年。

Accetta, M., Rashid, R. et al., (ACCETTA, 86) “Mach: A New Kernel Foundation for UNIX Development.” In *Proc. of the Summer 1986 USENIX Conference*, July 1986, pp. 93-113.
Aiso, H., Tokuda, H., Kamibayashi, N. et al., (AISO, 75) “A Mini-computer Complex - KOCOS,” *Proc. IEEE/ACM 4th. Data Communications Symposium*, Oct. 1975, pp. 5-7 to 5-12.
Farber, David J. et al., (FARBER, 73) “The Distributed Computing System.” *Proc. Seventh Annual IEEE Computer Society International Conf.*, Feb. 1973, pp. 31-34 .
Kohtake, N., Takashio, K., and Tokuda, H., (KOHTAKE, 2005) “u-Texture: Self-organizable Universal Panels for Creating Smart Surroundings.” *The 7th Int. Conf. on Ubiquitous Computing (UbiComp2005)*, Sept. 2005, pp. 19-36.
Seghrouchni, A. E. F., Ishikawa, F., Hérault, L., and Tokuda H., (SEGHROUCHNI, 2016), *Enablers for Smart Cites (Information Systems, Web and Pervasive Computing Series)*. Wiley-ISET, 2016.
Sha, L., Rajkumar, R. and Lehoczky, J. P., (SHA, 90) “Priority Inheritance Protocols: An Approach to Real-Time Synchronization.” In *IEEE Transactions on Computers*, vol. 39, Sep. 1990, pp. 1175-1185.
Stankovic, John A., (STANKOVIC, 88) “Misconceptions About Real-Time Computing: A Serious

Problem for Next-Generation Systems." *Computer*, v.21 n.10, Oct. 1988, pp. 10-19.

Suzuki, G., Aoki, S., Iwamoto, T., Maruyama, D., Koda, T., Kohtake, N., Takashio, K., and Tokuda, H., (SUZUKI, 2005) "u-Photo: Interacting with Pervasive Services using Digital Still Images." *The 3rd International Conference on Pervasive Computing (Pervasive 2005)*, 2005, pp. 190-207.

Tokuda, H., and Mannging, E.G., (TOKUDA, 83) "An interprocess communication model for a distributed software testbed." In *Proc. of ACM SIGCOMM '83*, Apr. 1983.

Tokuda, H., and Mercer, C.W., (TOKUDA, 89) "ARTS: A Distributed Real- Time Kernel." *ACM Operating Systems Review*, Vol. 23, No. 3, 1989.

Tokuda, H., Nakajima, T., and Rao, P., (TOKUDA, 90) "Real-Time Mach: Towards a Predictable Real-Time System." In *Proc. of the USENIX Mach Workshop*, Oct. 1990.

Tokuda, H., and Tobe,Y. et al., (TOKUDA, 92) "Continuous Media Communication with Dynamic QOS Control Using ARTS with an FDDI Network." In *Proc. of ACM SIGCOMM'92*, Aug.1992.

Tokuda, H., and Kitayama, T., (TOKUDA, 93) "Dynamic QOS Control based on Real-Time Threads." *Proc. Fourth International Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video 93*, 1993, pp. 114-123.

Tokuda, H., Nakazawa, J., and Yonezawa, T., (TOKUDA, 2011) "Ubiquitous Services: Enhancig Cyber-Physical Coupling with Smart Enablers." *IEICE Transactions on Information and Systems*, Volume E94.D, Issue 6, 2011, pp. 1122-1129.

Weiser, M., (WEISER, 91) "The Computer for the 21st Century." *Scientific American Special Issue on Communications, Computers, and Networks*, Sept. 1991.

〔受付日　2018. 5. 1〕