

ソフトウェア工学とさまざまな領域の行き来

玉井 哲雄

1 パイオニア?

コンピュータソフトウェア誌の創刊号から編集委員を7年間も務めたので、この雑誌の初期の時代に「パイオニア」というジャンルがあったのはよく知っている。しかし、そこに登場するパイオニアは、高橋秀俊先生とか森口繁一先生というような天上の神様のような人たちで、同じ名前の欄に原稿を書くからといって、引き合いに出すのもおこがましいどころか、眼が潰れるような話である。

このパイオニア欄は第6巻あたりで原稿が途切れて、長い間休止状態であった。それを2004年に復活させたのが上田前編集委員長で、これまで米澤明憲、二村良彦、伊藤貴康の3氏が登場している。いずれも国際的に著名でその道を究めた碩学である。それらの諸氏が語られた足跡に比べ、自分の過去を振り返ってみたとき、何らかの特徴があるだろうか。

企業に長く勤め、その後大学に移ったということがまず挙げられる。今や大学勤めも20年を経過し、会社勤めの17年を超えたが、大雑把に言えば社会に出てから半分は産業界に、半分は学界に身を置いたことになる。また、これまで所属した組織が、ほとんどすべて分野横断的な性格のものだった。学生として学部から修士課程までを過ごした東京大学工学部計数工学科の数理工学コースは、数理的なアプローチであらゆる工学の問題に取り組むことをその基本理念としていた。1972年に入社した株式会社三菱総合研究所は、社外からの委託調査研究を業とするものだった。

だが、取り組む分野は極端に言えばプロジェクトごとに異なり、プロジェクトの実施体制もたとえば都市計画、経営学など異分野の専門家と組むような機会が多かった。またプロジェクトの委託元である顧客が、金融業、製造業、サービス業、官庁などさまざまで、その業種・業態に応じた知識をすばやく身につける必要があった。しかし、多様な業界の人たちとの個人レベルの交流は刺激にもなった。

1989年に、筑波大学が東京の大塚地区に設立した社会人向けの大学院「経営システム科学専攻」に誘われて転職した。ここがまた、計算機科学、数理科学、経営学の3分野を融合するという組織だった。入ってくる社会人学生もさまざまな仕事と経歴を持ち、大学院に対する期待も多様だった。続いて、1994年に東京大学の駒場に移った。ここは旧制第一高等学校を受け継ぐ教養学部のあるところで、文系系系にまたがる幅広い教養教育を行うことを使命としている。もちろん大学院による専門教育も行っており、1996年には大学院重点化で教員はすべて大学院所属となったが、全体が総合文化研究科という文理を統合した一つの研究科で、学際的、総合的な研究教育を行うことを看板としている。学科としては学部で広域科学科、修士博士課程で広域システム科学系に属し、やはりシステム思考により多様な対象領域に分野横断的に切り込んでいくことがその精神である。さらに、東大では2000年に研究科横断的な新しい組織として情報学環を立ち上げた。この組織を検討し設計する段階から委員として関わり、発足後3年間は流動教員として総合文化研究科から移籍して、その基盤作りと教育に携わった。

しかしこれらの経験を通じて、融合とか統合とかいうことがそれほど生易しいものでないことも痛感している。異分野を統合する組織は、それぞれの分野で

能力と実績のある人が集まってこそ威力を発揮する。しかしそれは往々にして寄せ集め集団となって、融合による効果が醸成されにくく、また組織内のグループ同士でエゴがぶつかり合う場となりがちである。教育の体制としては、教える側はそれぞれの専門分野を背景としながら、学ぶ側に分野横断的な学習を期待するという、ある意味で矛盾した形態となる可能性が多分にある。

それでも時に融合の効果がよく現れた仕事や研究成果が生まれ、また学際性を体現した人材が育つという喜びがある。私自身の専門分野はソフトウェア工学で、そこを拠点としながら多様な領域と行き来してきた。ソフトウェアそのものがその対象領域ごとにさまざまに存在するという特性をもつものであり、その開発技術としてのソフトウェア工学は、計算機科学から認知科学、組織論などの人文・社会科学に至るまで、多くの分野にまたがらざるをえない性格のものである。

そこでこの小文では、企業と大学をまたがり、またさまざまな分野を行き来して得た経験を述べることに、自分なりの特徴を見出すという方針をとることにした。ただ、下手をすると、あれをやりました、これもやりました、という雑然とした話になりかねない。それにコンピュータソフトウェア誌だから、できれば経験談ばかりでなく技術としての芯が通った話の組み立てにしたい。以下は、その企てに向けて努力した跡である。

2 修士論文と博士論文

話を大昔の稚拙な修士論文から始めるのも面映ゆいが、出来はともかく、やはり振り返ってみればこれが原点という感じはある。題目は「化学反応系の代数位相幾何学的研究」と大仰である。

修士課程は近藤一夫先生の研究室に入ったが、近藤先生は修士1年目で定年退官され、引き継がれた伊理正夫先生にご指導いただいた。同期の安藤敏也氏とともに、伊理先生の最初の修士ということになる。伊理先生の多分野にわたる数多くの業績の中に、電気回路網を位相幾何学的に取り扱った美しい体系がある。電気回路は素子を辺として接続したトポロジーとし

て表現でき、素子(辺)には電流と電圧という物理量が結びつけられている。そうするとキルヒホフの電流法則と電圧法則やエネルギー保存則は位相幾何の言葉できれいに表現できる。同じような体系は、静力学系に対しても部材を素子にとり、変位と応力を物理量として考えることで定式化できる。

同じ穴のムジナを化学反応系で捕ろうとしたのがこの話である。構成元素(イオンなどでもよい)を0次元セル、化合物を1次元セル、化学反応を2次元セルとした代数的複体として化学反応系を考える。電気回路の電流と電圧に対応するのが反応速度と親和力になる。キルヒホフの法則に相当するのは構成要素の保存則となり、エネルギー保存則に対応する関係も、エントロピー生成、あるいはGibbsの自由エネルギーの保存という概念として位相的に表現できる。電気回路と違うところもある。結合係数は電気回路の場合、1, -1, 0に限られるが、化学反応系では一般に整数を取る。だから複体といっても幾何的な線形グラフには対応しない。

さて時は巡り、ちょうど20年を経た1992年に「計算の流れの構造に関する研究—グラフ上の不動点問題の統一的定式化と解法—」という学位請求論文を伊理先生のもとに提出し、博士の学位を認めていただいた。それが伊理先生の定年退官される直前であり、奇しくも東京大学における伊理先生の最初の修士で最後の博士ということになった。その内容は、情報の単位がグラフ構造上の流れを形作るような一連の問題を統一的に扱う枠組みを示し、その解法アルゴリズムを一般化して構築するというものである。だからその精神は修士論文のそれとかなり近い。しかし、修論で扱った化学反応系については、白状すればほとんど知識なしに大胆にというか無謀に取り組んだのに対し、ここで統一的に扱った個々の問題については、20年の間にさまざまな形で実際に体験したものであるところが違うといえよう。それは仕事として経験した、構造のある大規模数値計画法の問題、最短路などのネットワーク計画問題、静的プログラム解析のためのデータフロー解析、プログラムの正当性検証のための記号実行、人工知能分野の探索問題などである。

これらの問題の共通な構造を大雑把に言えば、グ

ラフの頂点に、ある性質をもったデータが存在し、頂点と頂点とを結ぶ辺の上でそのデータが変換されて、その結果が辺の終点におけるデータに結合されるというものである。すなわち、計算は、データが辺の上を流れて変換されることと、頂点で結合されること、また頂点から分配されること、によって実行される。このような構造を計算の流れの構造と呼んで、情報を表すのに束を、操作を表すのに束から束への関数群で一定の性質をもつものを用いて表現し、その構造上の問題を不動点問題として一般的に定式化した。

前節で「経験談ばかりでなく技術としての芯が通った話の組み立てにしたい」と大見えを切ったが、実はこの博士論文の枠組みになるべく関連づけて述べるというほどの意味である。

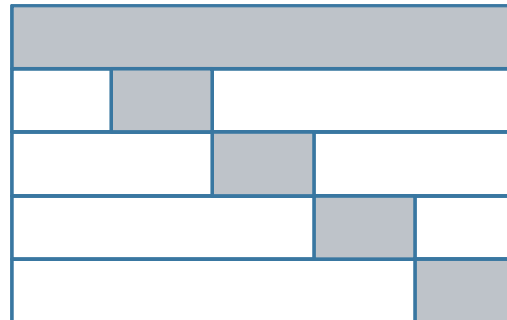
3 MRI 時代

修士課程を修了した 1972 年に、三菱総合研究所 (MRI) というできて間もない会社に入った。そこで 17 年間働いたが、その期間を大きく、オペレーションズ・リサーチ (OR)、ソフトウェア工学 (SE)、人工知能 (AI) の 3 つの時期に分けて振り返ってみる。もちろんこれらの分野の仕事をしていた時期は重なり合うし、とてもこの 3 つに分類できないプロジェクトも多数経験したが、それを便宜的に大きくくくってみることにする。

3.1 OR

MRI で配属されたのが、OR の専門家、反町洋一氏を課長とし、同じ計数工学科森口研出身の岡本吉晴氏等がいた課である。そして最初の仕事が、国産計算機のために数理計画法システムを開発するという国家予算のついた比較的大きなプロジェクトだった。この分野では当時、IBM の MPSX というシステムがまさに独壇場という状況だったが、ささやかながらその対抗馬を作ろうというものである。国産機というのは富士通の FACOM で、まだ IBM 互換機路線前の時代である。新人の身としてはその開発プロジェクトの末端に連なったというところだが、MPSX がない機能として、構造のある線形計画問題を効率よく解く EGUB というアルゴリズムを実装するという仕

事を、もう一人の新人、熊野長次郎氏と分担して担当することになった。といってもすでに基本設計はされていて、きちんとした設計書ができていて、EGUB とは Extended Generalized Upper Bound の省略形で、「一般化」の屋上に「拡張」を重ねた重たい名前だが、要するに図 1 のような構造の問題行列をもつ線形計画問題を、効率よく解くという話である。



問題行列の灰色の部分にのみ非零要素がある可能性があり、白色部分はすべて零要素からなる。

図 1 EGUB 問題の構造

この時代の線形計画法の解法はもちろん単体法である。単体法の商用コードでは、線形計画法の教科書に書いてあるように基底逆行列を行列として保持するのではなく、掃出し演算に必要な操作データを順に付け加えていくという方法を取って、問題を表す行列が疎である (0 要素がきわめて多いこと) 性質を最大限活かそうとするが、適当なタイミングでそのように表現された逆行列を作り直す必要がある。EGUB でもその逆行列計算を担当し、その後別の線形計画法のコード開発でも同じ機能を開発したが、その際基底行列の疎な性質を利用して、ブロック三角化をまずほどこした。つまり行と列を並べ替えて、対角線より上になるべく非零要素がこないようにするのである。この問題は、グラフの強連結成分分解と等価であるが、まさに計算の流れの構造問題に帰着できる。また、一般的に与えられた線形計画問題の行と列を並べ替えて、図 1 のような形にすることも、ちょっとヒューリスティックスを必要とするが同型の問題となる。

続いて、大規模なネットワーク上の数理計画問題、たとえば最短路問題、最大流問題、最小費用流問題、

多種流問題などを総合的に取り扱うネットワーク計画システムの開発に、中心メンバーとして従事した。ここで、疎で大規模なネットワーク上の問題を取り扱うための技術について、知見を得た。また、とくに多種流問題は、構造をもつ線形計画問題の特殊問題といえ、EGUBの手法にグラフ操作の手法を組み合わせで効率化できるものだった。また、すでにおびただしい種類の手法が提案されている最短経路問題が、構造としてはやはりグラフ上の不動点問題に帰着することも改めて実感した。

この手の数理計画法の手法に関しては、整数計画法や非線形計画法についても実験的なプログラムを開発したり、OR学会の数理計画部会に参加して知識を得たりした。これらはORといっても解法ツールの開発であり、筋金入りのOR屋からは実践を伴わないとの批判を招きそうだが、一方では多少なりともORの実践らしきものも経験した。たとえば、運輸省と地方自治体が合同で政策検討していた物流拠点計画の委員会に参加し、交通流の発生予測や道路混雑状況のシミュレーション分析をした。また、具体的な開発には至らなかったが、道案内システムという名称で現在のカーナビに相当する仕組みのフィージビリティ・スタディを、トヨタと共同で行った。さらに後の時期になるが、三菱電機中央研究所の下地貞夫氏からの依頼を受け、人工衛星内の熱システムの設計・最適化や、建物内の空調機による空気と熱の流れの解析なども行った。この一連の下地氏との仕事では、ORを超えて、ナビエ・ストークス方程式、カルマンフィルター、ハウスドルフ変換など、広く数値解析の分野で経験を積むことができた。

3.2 SE

1975年後半から、当時の通産省が情報処理振興事業協会（IPA）を通して付けた予算で、ソフトウェア産業の技術振興という政策目標のもとに、多企業参加型の「プログラム生産技術」というツール開発プロジェクトがスタートした。われわれはその中の「デバッグ支援」というツールを担当し、そこでとくに、プログラムの静的解析ツールを作った。そのためにコンパイラの最適化にもすでに標準的に使われていた

データフロー解析を研究し、それを応用した。そこでデータフロー解析の問題形式と解法が、最短経路問題と共通することに気づいた。

これと並行して、1977年からはソフトウェア工学のより研究的なプロジェクトが、やはり通産省を元締めとして開始された。その中心人物は大野とし郎氏で、当初は大学からも多くの研究者が委員として参加した。たとえば米田信夫氏、西村恕彦氏、広瀬健氏、土居範久氏などである。その中で、MRIは福永光一氏と私が共同してプログラム検証系の開発というプロジェクトに取り組んだ。対象領域をファイル処理プログラムに絞る、それが仕様を満たすことを定理証明技術を使って検証する。その際、広い意味での記号実行に相当する方法を工夫して用いたが、この記号実行がデータフロー解析と同じように、プログラム制御グラフ上の計算の流れ問題となる。とくにループがある場合にその不動点を求めることは、ループ不変量を抽出することに相当する。

このソフトウェア工学プロジェクトの一環として、海外の動向調査が実施された。とくに初年度の1977年には大きな調査団が結成され、米国からヨーロッパを3週間にわたって訪問したが、その中で大学の広瀬氏、土居氏と企業の吉村鐵太郎氏と私は、ずっと4人組として行動を共にした。多くの人と会ったが、一部の名前を挙げてみると、D. Luckham氏、J. King氏、R. Yeh氏、H. Mills氏、N. Harbermann氏、R. Weyhrauch氏、R. Burstall氏、鈴木則久氏、藤崎哲之助氏、安西祐一郎氏、益田隆司氏などが思い浮かぶ。

プログラム生産技術全体の後継として、1980年の後半からプログラム保守技術という同様の大規模プロジェクトが岸田孝一氏をリーダーとして開始されたが、その初めの方の調査を中心とする時期にだけ参加した。また、プログラム検証系の後継プロジェクトとして、吉田紀彦氏、西山聡氏とプログラム合成系の研究開発も行った。技術としてはDarlington & Burstall以来のプログラム変換を用いた。

これらのソフトウェア工学研究の直接的な実践というわけではないが、1981年後半から三菱銀行の第3次オンライン・システム開発の基本計画策定プロジェ

クトに参加したのは、ソフトウェア・システム開発分野における大きな経験だった。三菱銀行は米国のブーズ・アレン& ハミルトン社とコンサルタント契約を結んだが、そのチームと三菱銀行チームとの間に立って仕事を進行させる役どころが私に振られた。ベンダー選定も重要な決定事項で、コンピュータ・メーカー各社が精鋭を送り込んできたが、その中の一人が IBM の北城格太郎氏だった。これを皮切りに、東京海上火災のシステム部門コンサルテーション、三菱信託銀行のシステム部門コンサルテーション、三菱銀行・日興証券・明治生命共同のファイナンシャルプランニング、岡三証券の株価予測モデルの開発など、金融分野の仕事をした。

ソフトウェア開発の実践的な技術やプロセスに関する調査もした。たとえば IPA から発注された「ソフトウェア開発実態調査」(1986年)は、ソフトウェア開発のいわゆる上流過程、すなわち要求分析と基本設計のフェーズで、日本の代表的なコンピュータ企業、ソフトウェア企業、コンピュータのユーザ企業がどのような工程と手法を用いているかを調査したもので、発注者の古宮誠一氏も評価してくれたが、自分でもよくできたレポートだと思う、この仕事の一部は、後に論文として発表した[3]。また、通産省関連の「日本語プログラミング調査」(1987年)では、種々の日本語プログラミング言語の発案者や実践者に面接調査し、また記述実験を行って比較評価するなどした結果をまとめたが、その一部もまた後に論文として発表した[2]。

報告書ではなく一般向けに書いたものとしては、たとえば1983年にbitという雑誌に載った「ソフトウェア開発におけるプロトタイピング」という解説があるが、わりと反響があった。1988年には三嶋良武氏、松田茂広氏と共著で「ソフトウェアのテスト技法」という本を共立出版から出した。

3.3 AI

1980年代に突如 AI ブームが到来した。米国スタンフォード大学の E. Feigenbaum 氏が知識工学という巧みな命名で AI の実用化を提唱したのが発端で、日本やヨーロッパにも波及した。日本では国家プロ

ジェクトとして淵一博氏による第五世代コンピュータ開発計画が1982年に開始され、世界にも大きなインパクトを与えたが、その主な目標も知的なコンピュータを作ることだった。

プログラム検証系の開発で定理証明系を調べ、また特殊な証明系を作ったりした経験から、AI についてある程度の基礎知識があったし、チームとして Lisp によるかなりの規模のシステム開発を経験していた。そこで、このブームに便乗して1984年に「人工知能革命」と題したマルチクライアント・プロジェクトをしかけたが、タイミングが絶好だったこともあり、MRI 史上空前のヒットとなった。内容は AI の技術動向、市場動向の調査および予測と、エキスパート・システム構築用のツール Zeus の開発である。調査部分は玉井が担当し、Zeus 開発は小林慎一氏が担当した。

AI の基本技術に問題空間の探索があるが、そこで使われる A^* アルゴリズムと、OR の整数計画法で知られている分枝限定法がほとんど同じであることに気づいた。それに気づいたのはもちろん私が初めてではないが、それを明示的に指摘しているものはあまり見当たらなかった。AI と OR とそれぞれの分野で独立に工夫されてきたので、お互いに相手のことに気づかなかったことが想像される。 A^* アルゴリズムが最短路問題のダイクストラ法を利用していることからわかるように、 A^* も分枝限定法もやはり計算の流れ構造と同型である。

第五世代コンピュータの開発は ICOT と略称される組織が実施したが、その中で定理証明系がらみの一部の作業を、横井俊夫氏の監督下で、業務として請負ったのは、AI 分野の仕事と呼んでいいだろう。10年間の ICOT プロジェクトで中心的な役割を果たしたとは言えないが、藤田正幸氏や堀敦史氏等の若い同僚を数名送り込み、長く関わりを保った。

AI の実践的な仕事としては、ダイヤモンドクレジット社を顧客とした、クレジット入会審査エキスパートシステムの開発がある。クレジットカード会社はカード申請者の申込書に書かれたデータからカードを発行するか否かを審査するが、この判断はカード会社にとって生命線ともいえるものである。支払い不能で事故を起こすような人物を入会させてはいけないが、

審査を厳しくしすぎると大きな機会損失を招く。入会してもカードを一切使わない人は、安全だが利益を生まない。裏を返せば、リスクが高い人と収益源となる人のタイプはむしろ近い。そこに難しさがある。

カード会社には審査が緩かった時も厳しかった時も含めて過去の大量のデータがあるので、それを利用して決定木を作って判断する方式を取ることにした[5]。調べてみると、われわれが作ったものは、AIでは帰納推論の分野で R. Quinlan により提唱された ID3 アルゴリズムと基本的に同じであることがわかった。しかし、この手法は統計解析の分野では分類や判別に古くから使われてきたものである。これも異なる分野で同じ手法が再発見される例であろう。

このシステムはダイヤモンドクレジット社で実用的に使われただけでなく、審査以外の用途としてマーケティングなどにも拡張され利用された。さらにこのシステムを一般化したパッケージを作り、他の金融機関に販売した実績もある。

4 大学勤め

筑波大学大学院に移ったとき、研究教育の中心をソフトウェア工学に置くか AI に置くかという選択があった。同じくこの大学院開設に際して電力中研から移ってきた寺野隆雄氏も似たような経歴だったが、少なくとも授業に関しては寺野氏が AI、玉井が SE と棲み分けることになった。それとともに AI 分野の研究に危うさを感じていたこともあって、研究も SE 中心で行くことにした。会社勤めの間は論文を書くことへの動機づけがなかったが、大学に身を置いてからはさすがにある程度の数の論文を、国際会議や学術誌に発表してきた。それらは、ソフトウェア工学に知識工学を適用するというテーマも含みはするが[1]、ほとんどがソフトウェア工学分野である。

筑波大学と東京大学に所属したこの 20 年を、MRI 時代と同じように時期に分けて振り返るのもまた話が長くなるし、分野で言えばソフトウェア工学を中心に据えたので研究対象で時期を区分するのも適切ではない。そこでいくつかのトピックを取り上げて、話をまとめることにしよう。

4.1 形式手法

大塚(筑波大)時代のもっとも大きな仕事は、すでに述べた学位論文である。そこで用いた方法は、抽象化・形式化といえよう。その前のプログラム検証系もまた、プログラムの抽象化・形式化を基礎とするものであった。ソフトウェア工学の世界でもヨーロッパを中心に VDM とか Z などの形式仕様言語が注目され始めた。とくに Z は面白いと思い、早速それを道具として使って、種々のソフトウェア設計手法の比較をする論文を書いて国際会議で発表したりした[4]。

1995 年から二木厚吉氏が、足かけ 5 年のプロジェクトとして代数的仕様言語 CafeOBJ の研究開発をスタートさせ、私もそれを手伝った。学位論文でまとめた計算の流れ構造の定式化を CafeOBJ で表現し、このプロジェクトで開発された処理系で性質の検証や「実行」を試すことができたのは、ありがたかった[9]。

やはり CafeOBJ プロジェクトに参加した萩谷昌己氏が、この計算の流れ構造に関心を持ってきて、当時萩谷研究室の学生だった山本光晴氏にこの定式化を HOL 上で記述し、アルゴリズムの正当性の機械的な証明を与えるようアドバイスした。お蔭で、私が手でやった証明が機械的に確認された。萩谷グループとは、当時ソフトウェアへの適用がようやく注目を集め始めたモデル検査技術に関しても、共同研究した。モデル検査の手法はデータフロー解析と同じ構造を持っていることはすでに指摘されており、それを論じた論文も萩谷グループと一緒に読んだが、この共同研究によってモデル検査技術もやはりデータの流れモデルに帰着することを改めて明確に認識した。

実は、モデル検査技術の創始者の一人、E. Clarke 氏には、1984 年にカーネギー・メロン大学を訪問した時に会って、論文のコピーをもらっている。Clarke と E. A. Emerson がモデル検査について最初に発表したのは 1980 年だが、現在もっともよく引用される原典ともいべき論文は 1986 年に出されているので、この時期はまだモデル検査の揺籃期である。もらった研究ノートは後に出版された論文の元となるものだったにもかかわらず、先見の明なくその論文を長い間ファイルキャビネで眠らせてしまった。

同じく CafeOBJ プロジェクトに参加していた中島

震氏もモデル検査に注目し、分散的なソフトウェア部品システムのアーキテクチャとして仕様が公開され、それに準拠した製品も出始めていた EJB(Enterprise Java Beans) の性質の検証に適用するという、卓抜した着想を得て私に相談を持ちかけてきた。その研究成果が SPIN ワークショップでの論文やコンピュータソフトウェア誌に載って論文賞を得た論文として結実したが、その研究の主要部分はすべて中島氏によるものである。

4.2 ソフトウェア進化モデル

MRI 時代にもソフトウェアの保守技術プロジェクトに多少関わったが、大塚の社会人学生として日石情報システムの鳥光陽介氏が私の研究室に入って、ソフトウェア保守に関連した面白いデータを集めた。彼は修士論文のために「ソフトウェアの寿命と作り直し」というテーマを設定し、まず社内のシステムを調査した後、一般企業にアンケート調査をして、情報システムの作り直しの事例を収集した。それをもとに、ソフトウェアが作り直されるまでの寿命の分布、寿命の長さとの関連、作り直しの要因、などを分析した。その知見を「世代をまたがるソフトウェアの進化プロセス」としてまとめ、1992 年のソフトウェア保守国際会議 (ICSM) [8] などで発表した。

続いてやはり大塚の研究室に入ってきた伊東暁人氏は、ソフトウェア開発時のフェーズの手戻りについて実証的な研究を行った。手戻りとは、たとえばプログラミング・フェーズで設計や要求仕様の問題点が明らかになって、設計フェーズや要求フェーズに作業が戻ることという。これも見方によっては、開発プロセスの中ですでに要求仕様や設計仕様の保守作業が発生している、と捉えることができる。この研究成果も共著の論文としてまとめ、1993 年のソフトウェア工学国際会議 (ICSE) [6] などで発表した。

駒場に移ってから、1995 年にオブジェクトの進化プロセスの研究というテーマを、IPA の「独創的情報技術育成事業」というプログラムに申請して認められた。ちょうど博士課程に入学してきた中谷多哉子氏が、このテーマに沿って実証的な研究に取り組んでくれた。Smalltalk で書かれた 4 つのシステムの、パー

ジョンによる種々の統計値の変化を分析して、それらのシステムやオブジェクトレベルの進化のパターンを明確にしようというものである。これは従来誰も試みなかった統計モデルのこの分野への適用という意味でも、面白い結果を生んだ[7]。

続いて、片山卓也氏が研究代表者となって 1997 年から始まった「発展機構を備えたソフトウェアの構成原理の研究」という科研の重点領域 (途中から特定領域と名称変更) プロジェクトに、計画研究班として参加する機会を得た。この枠組みのもとに、中谷氏と進めていた研究を進展させるとともに、やはり博士課程に入学してきた鷗林尚靖氏が「動的発展が可能な協調アーキテクチャの実現」というテーマに取り組んだ。これはソフトウェアの進化・発展を実証的に観察するという方法を補完する形で、環境変化に対して柔軟に適応するような計算モデルを構築しようというものである。その基本は役割モデルで、協調の場を役割間の相互作用として記述し、オブジェクトは動的に役割と結びつくことにより協調の場に参加し、また必要がなくなれば役割を放棄して協調の場から降りることができる。この 2 つの性格が異なる研究は、片山科研にはぴったりの組合せだったと思う。

この科研の成果を広く知らせ、またソフトウェア発展というテーマ自身への国際的な認知を広げるために、片山氏が「ソフトウェア発展原理に関する国際シンポジウム (ISPSE2000)」を企画された。そこで、米崎直樹氏と私がプログラム委員長となって、2000 年 11 月に北陸先端科学技術大学院大学近くの施設でこの会議を開催した。それ以降も、同じテーマの国際ワークショップ IWPSE を、ほぼ 2 年に一度のペースで世界各地で開催してきている。

4.3 モデルと言語

片山科研で研究開発を進めた役割モデルを鷗林氏は Epsilon と名づけ、成果を学位論文としてまとめたが、その後彼は研究の関心をアスペクト指向に移していった。しかし、私はこの Epsilon モデルにまださまざまな可能性があると思い、改めてモデルを基礎からきちんと構築しなおすとともに、モデルを体現する言語を設計したいと考え、少しずつ作業を進めて

いた。2003年に、それまで毎年応募しては撥ねられていた文科省の在外研究が、年齢上限ぎりぎりを通った。そこで秋からロンドンのインペリアル・カレッジの J. Kramer 氏のところに2ヶ月半、その後ミラノのミラノ工科大学 C. Ghezzi 氏のところに2ヶ月半滞在した。どちらにいた時も、他の大学に呼ばれてセミナーをするなど結構忙しく動いていたが、その合間に Epsilon モデルとその言語 EpsilonJ の設計を進めて何とか形を整えた。その成果を2005年の ICSE で論文として発表した[10]。

今世紀に入ってからのソフトウェア工学研究で目立つ現象の一つは、定量的なデータによってソフトウェア工学のプロセスや手法を評価しようという動きが盛んになったことである。その一方で、プログラムの精密な解析というアプローチは、ソフトウェア工学をプログラミング言語分野に再び接近させる契機ともなっている。最近の ICSE などの論文を見ると、プログラミング言語関係の会議で発表されてもおかしくないようなものが少なからずある。このようにソフトウェア工学の研究も、長い年月の間にはさまざまな流れの変化を生んできている。折しも昨年の2008年は、ソフトウェア工学という名を冠した最初の国際会議がドイツのゲーミッシュで開かれてからちょうど40周年ということで、この間のソフトウェア工学の変遷を顧みたる論説を、依頼に応じて情報処理学会誌に寄稿した[12]。

ソフトウェア工学の流れという意味では、われわれの Epsilon 研究も、はからずも計算モデルと言語という分野に近づいている。それには別のきっかけもある。駒場の若い同僚に増原英彦氏がいて、増原研と私の研究室とで毎週合同ゼミを開くなど研究協力を続けている。今や、増原氏はアスペクト指向研究の世界的リーダーの一人だが、Epsilon の目指す柔軟なモジュール性、再利用性という目的にはアスペクト指向と共通するものがあり、共同で研究を進めることで互いに得るものは大きい。

折よく安西祐一郎氏を研究代表とし、米澤明憲氏等を企画の中心とする科研の特定研究「ITの深化の基盤を拓く情報学研究」が2001年から足掛け5年のプロジェクトとして始まった。これは6つの柱からな

り、その中の「新しいソフトウェアの実現」という柱の長を担当したが、同時にその柱に属する計画研究として「信頼性の高いコンポーネント技術の研究」というプロジェクトを立ち上げた。そこに増原氏を初め、柴山悦哉氏、五十嵐淳氏、中島震氏、鶴林尚靖氏に参加してもらった。ここで「信頼性」と「コンポーネント」をキーワードとして、ソフトウェア工学研究とプログラミング言語研究との融合を図った。

これに引き続いて、同じようなグループで4年間の科研基盤研究を現在実施中である。テーマをアスペクト指向に絞って、「生産性と安全性向上のためのアスペクト指向ソフトウェア開発に関する研究」と称している。対象をアスペクト指向に絞ったことでメンバーも一部変更し、柴山氏に代わり、増原氏とともにアスペクト指向分野をリードしている千葉滋氏を加えて、強力布陣を敷いた。

ソフトウェアの要求分析や設計の段階ではモデルを作成することが一般的だが、そのモデル記述用の言語として UML(Unified Modeling Language) が普及してきた。UML はクラス図や状態図のような図式表現を定めた「言語」であるが、数多くある図式のほとんどはグラフ構造をしている。グラフ構造をとるのは概念やものを頂点で表し、それらの関係を辺で表すという意味で自然であり、直観的にも分かりやすい。そこで UML に限らず多くのモデル記述にグラフ表現が使われるが、しかしグラフの直観的な分かりやすさが曲者で、異なる種類の図式間の頂点や辺の意味を混同したり、1つの図式の中で頂点や辺の意味が揺れていることが往々にして起こりがちである。

一方で、UML だけでもたくさんあるモデルの図式表現を、グラフ構造という観点から統一的に捉えることはソフトウェア・モデルの理解のためにも有効である。2004年に岩波書店から出版した「ソフトウェア工学の基礎」は、同じ年に大川出版賞を受賞したが、ソフトウェア工学全般を体系的に記述するに際して、このようなモデルのグラフ構造という軸を用いてモデル間の共通点と相違点をとらえるという工夫をした。考えてみればこの見方は、修論や博論でやったこととつながるもので、結局40年間、似たようなことをやってきたと言えないこともない。

5 おわりに

ここ数年の自分の活動分野として比重を増しているのはソフトウェアの要求工学 (RE) で、昨年 9 月にスペインのバルセロナで開かれた要求工学国際会議 (RE2008) ではプログラム委員長を務めた。この分野では妻木俊彦氏と共著で、RE の数多い手法やツールの中から、開発プロジェクトや開発チームの特性に合わせて何を選べばよいか、という実践的な論文を発表した。また、鎌田真由美氏と共著で、要求仕様書の品質がプロジェクトの成功・失敗にどうつながるかという実証的な研究成果をまとめた論文も出している。妻木氏も鎌田氏も企業で長く開発経験を積んできた技術者で、実際のソフトウェア開発にその成果が生かされなければ意味がないソフトウェア工学という分野の研究では、このような産業界とのつながりを生かすことは重要である。

しかし、大学勤めを長く続けるうちに、実践との関わりがやや希薄になってきたことは否めない。その中で、2005 年 12 月に起きたみずほ証券の誤発注事件と、それで判明した東京証券取引所の証券取引システムの不具合、その不具合が原因だとしてみずほ証券が東証を相手に起こした損害賠償請求に関わる裁判、という一連の流れに、偶然のきっかけで関与することとなった。この事件には、ソフトウェア工学の視点だけから見ても、耐故障の安全設計、人と機械のインタフェース、要求仕様の品質、モジュール設計やデータベース設計の不具合、テストの妥当性、発注者と受注者の関係、技術者の情報倫理、ソフトウェア開発の下請け構造など、多くの問題が絡んでいる。そのような視点から書いた論説が、最近の IEEE Computer 誌に掲載された [11]。やはりこれからも、研究と実践をつなぐような場に自分を位置づけて活動を続けていければ幸いだと思う。

人の名前をかなり挙げたが、たまたま話の流れで出てきたもので、この他にも薫陶を受けた人、お世話になった人はたくさんある。そのような方々に感謝する

のがこの文章の意図ではないので、多方面にわたる失礼の段はご容赦いただきたい。

参考文献

- [1] Tamai, T.: Applying the Knowledge Engineering Approach to Software Engineering, *Japanese Perspectives on Software Engineering*(Matsumoto, Y. and Ohno, Y.(eds.)), Addison-Wesley, 1989, pp. 207-227.
- [2] Tamai, T.: On Japanese-based Programming, *Journal of Information Processing*, Vol. 13, No. 1(1990), pp. 46-56.
- [3] Tamai, T.: Current Practices in Software Processes for System Planning and Requirements Analysis, *Information and Software Technology*, Vol. 35, No. 6/7(1993), pp. 339-344.
- [4] Tamai, T.: How Modeling Methods Affect the Process of Architectural Design Decisions: A Comparative Study, *8th International Workshop on Software Specification and Design (IWSSD'96)*, Paderborn, Germany, March 1996, pp. 125-134.
- [5] Tamai, T. and Fujita, M.: Development of an expert system for credit card application assessment, *International Journal of Computer Applications in Technology*, Vol. 2, No. 4(1989), pp. 1-7.
- [6] Tamai, T. and Itou, A.: Requirements and Design Change in Large-Scale Software Development: Analysis from the Viewpoint of Process Backtracking, *15th International Conference on Software Engineering (ICSE'93)*, Baltimore, Maryland, USA, May 1993, pp. 167-176.
- [7] Tamai, T. and Nakatani, T.: Statistical Modeling of Software Evolution, *Software Evolution and Feedback: Theory and Practice*(Madhavji, N. H., Ramil, J. F., and Perry, D. E.(eds.)), John Wiley and Sons, 2006, pp. 143-160.
- [8] Tamai, T. and Torimitsu, Y.: Software Lifetime and its Evolution Process over Generations, *International Conference on Software Maintenance (ICSM'92)*, Orlando, Florida, USA, November 1992, pp. 63-69.
- [9] Tamai, T.: Formal Treatment of a Family of Fixed-Point Problems on Graphs by CafeOBJ, *Third IEEE International Conference on Formal Engineering Methods (ICFEM'00)*, York, UK, IEEE, September 2000, pp. 67-74.
- [10] Tamai, T.: An Adaptive Object Model with Dynamic Role Binding, *27th International Conference on Software Engineering (ICSE'05)*, St. Louis, Missouri, USA, May 2005, pp. 166-175.
- [11] Tamai, T.: Social Impact of Information System Failures, *IEEE Computer*, (2009), pp. 58-65.
- [12] 玉井哲雄: ソフトウェア工学の 40 年, *情報処理*, Vol. 49, No. 7(2008), pp. 777-784.