

|              |   |
|--------------|---|
| Title        | わが国のソフトウェア産業の現状と情報処理教育の課題(<ホットイシュー>科学主導イノベーションと技術主導イノベーション(2))  |
| Author(s)    | 藤井, 章博  |
| Citation     | 年次学術大会講演要旨集, 19: 369-372  |
| Issue Date   | 2004-10-15  |
| Type         | Conference Paper  |
| Text version | publisher   |
| URL          | <a href="http://hdl.handle.net/10119/7090">http://hdl.handle.net/10119/7090</a>   |
| Rights       | 本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management. |
| Description  | 一般論文  |

○藤井章博（文科省・科学技術政策研）

## 1. はじめに

我が国の工学教育は、明治時代の創設期には英国を手本にして成立し、第二次大戦後は多くを米国のシステムを参考にしながら発展してきた。20世紀後半に日本が経験した製造業における成功の一因には、諸外国との比較において、大学で「エンジニアリング」を習得した学生の量と質に拠るところが少なからずあったのではないだろうか。

90年代には、情報通信技術の急速な浸透が産業の様々な側面に多くの劇的な変化をもたらした。特に、情報通信基盤のうえで多様な情報処理を実施する技術の進歩と関連する応用領域の広がり、高等教育における人材育成に対して、新たな要求をつきつけているといえよう。

本研究では、情報通信技術の革命的進展によってもたらされた産業上の変化に対して、大学における情報処理教育のおかれた現状を踏まえ、技術政策上の課題を検討する。

以下では、2で、本稿で取り扱う問題を科学技術政策の観点から焦点をあて関連する研究を述べる。3では、問題の背景として、情報通信技術変化、特にソフトウェア生産に関する変遷の概略とわが国のソフトウェア生産の現状を述べる。また、4では、同じく問題の背景として IEEE や ACM という米国に拠点を置く学会を主流とする国際的な情報処理教育カリキュラムの潮流を述べる。また、我が国の情報処理教育の変遷について言及し、5では問題点の整理と考察を行う。6では、我が国の一般的な学部レベルでの情報処理教育の実情を踏まえつつ「ソフトウェア・エンジニアリング」分野の内容をより充実させるためには何が必要であるかという観点からの提言を行う。

なお本稿は、文献[7]に加除修正を施したものであるが、本稿の内容と主張は筆者の個人的な見解によるものであり、文部科学省あるいは科学技術政策研究所の公式見解ではない。

## 2. 問題の所在と関連する研究

ソフトウェアなどの関連技術の急速な進化に対して、教育内容をどのように対応させるかという問題は、教育組織のマネージメント、ひいては国の科学技術政策の観点からも重要な問題である。ここでは特に、90年代後半からコンピュータサイエンスと周辺のエンジニアリング分野の位置づけとカリキュラムのあり方について活発な議論が行われてきた経緯に着目する。例えば、文献[1][3]で交わされている議論は、インターネットとその利用技術の急速な普及に、大学の教育カリキュラムを効果的に対応させる必要性を論じている。

また、特に我が国では、国立大学の制度改革という節目をむかえ

て、教育・研究の内容に対するガバナンスのあり方に関してステークホルダーの関心が集まっているといえよう。従来から、例えば、文献[6]などでは、諸外国の制度との比較にもとづいて我が国の高等教育機関のあり方について検討されている。この中で奥家は、米国の高等教育・研究システムと産業発展の相互作用を論じたうえで、日本の大学改革への含意として、制度の見直しを提言している。また館も、米国の高等教育との比較において特に日本の大学における職業教育の位置づけに関して言及し、工学・農学分野における職業教育充実の重要性を説いている。

本稿は、同様の論旨を展開するものであるが、特に、情報処理に関連する高等教育に特化して議論する。

まず、簡潔に主な論点を整理してみたい。職業教育の観点からは、情報処理教育を通じて実務的な知識の習得を行うのか、あるいは価値の創造に繋がる普遍的な知性を練磨に重点を置くべきなのかという論点である。技術の陳腐化が激しい分野においては、こうした議論は切実であろう。卒業後の関連産業で即戦力となることを求める観点からは、前者への比重が求められる。

また、ソフトウェア生産技術に関する教育の比重を大きくしなければならぬという観点からの議論もある。情報処理教育として、当該分野の歴史的な発達に束縛されたコンピュータサイエンスに比重が大きいカリキュラムでは、技術者教育としても不十分であるという点である。急速に拡大した情報通信技術分野の雇用において、多くの卒業生のキャリアパスに必要な知識を提供できないという問題である。

総じて、後述するような急激でかつ本質的な技術進化に遭遇し、何らかの対応が求められているのである。

例えば、文献[4]で、筆者らが実施した調査では、90年代後半の技術環境の変化が情報リテラシー教育の内容に大きな影響を与えた事実が如実に示されている。特に、米国やカナダでは、教育内容の境界線を見直し、効果的な情報処理教育を実施しようという試みが進んでいる。これは、具体的には、後述するカーネギーメロン大学やジョージア工科大学等の例に見られるように、大学の教育組織の大幅な改革に帰結している。北米の大学を対象とした Berghel らの経年調査によると[4]、情報処理教育を実施する大学において、教育組織の財政基盤、設備規模等の点から近年大きな変化が現れていることが説明できる。

本稿では、情報処理教育のおかれている問題を分析し、これに対して科学技術政策上の考察を述べることを目的とする。

### 3. 問題の背景1: 技術変化と産業規模、教育規模

以下では、まず情報処理(Computing)に関連する技術進化の概要を踏まえ、我が国のソフトウェア生産の規模、大学教育の規模と変遷の概要を述べる。

#### 3. 1 技術変化の概要

我々が日常生活で手にする「情報処理」能力はこの10年間で劇的に増大した。平均的なパソコンの演算速度は、1997年ごろのクロック周波数で100MHz程度であったのに対して、現在は数GHzとなっている。また、一般家庭においてインターネット接続回線を保有する人口比率は1997年末で92%であり、5年後の2002末には、利用者は54.2%に達し過半数を超えた。

また、一般的なアクセス回線の伝送速度は、この間数～数十Kbps程度から数十Mbpsに至っている。情報処理能力を演算速度と通信容量の積で測ると、この5年間に数万倍に達したことになる。その上、この劇的な処理能力は、研究室から一般家庭やオフィスに幅広く普及したのである。こうした情報処理能力の増大は、社会活動におけるソフトウェアの役割を益々重要としている。

例えば、現在、医療技術分野で重要であると考えられている技術として、テラーメード医療がある。これを実現するのは、患者の個人情報に関する大規模な情報流通と運用管理機能である。これは、インターネットとウェブを利用し、大規模なデータベースと安全な情報交換網を具備することなしには実現できない。

すなわち、劇的な情報処理能力の増大とその社会への浸透という状況は、情報処理の応用において、技術の運用能力を涵養するための高等教育の規模の急速な拡大を求めているといえる。

#### 3. 2 我が国の情報処理関連教育の卒業生の規模

現在、情報処理教育を受ける学生の規模は、全国の理工系情報学科が加盟する「理工系情報学科協議会」によると、情報処理に関連する関連する学部・学科は全国で130余り(大学院を含めた2004年現在の会員数は、274)である。大学学部と大学院から年間に輩出される新卒の総和は、概算で1万人強である。

#### 3. 3 我が国のソフトウェア生産の産業規模

次に、日本のソフトウェア生産の規模とその量的拡大の様子を見てみる。経済産業省の行う「特定サービス産業動態統計・情報サービス業」によると、同産業分類の平成15年度の売上高は約14兆円である。従業員数もほぼ売上高と同様の傾向を示しながら推移してきており、平成15年度現在57万人とされている。

生産されるソフトウェアは、①業務用ソフトウェア、②パッケージソフト、③組み込み型ソフト、④ゲームソフト等に大別できる。①は、生産管理や販売管理など、いわゆる基幹業務に関連するプログラム開発である。②は、多くの場合は特定業務用のソフトウェア部品の開発である。既存のパッケージソフトウェアを顧客企業の業務に合わせて調整することもこの部分に相当する。①～④は、開発総額の大きい順である。

こうしたソフトウェア開発を含むサービスの対象となる業界の事情はどうか。ある調査によると、サービス業(22.4%)、金融業(18.4%)、製造業(13.6%)、官公庁/自治体(12.8%)、通信業(7.8%)、その他(7.7%)であり、広範囲な産業分野に及ぶことが分かる。

上記統計にあらわれないソフトウェア開発もある。例えば製造業等において生産ラインの導入に付随してソフトウェア開発が行われるような場合は本統計値に反映されない。また、自動車エンジン制御用ソフトなどの組み込み型ソフトも同様である。このような「情報サービス産業」以外のソフトウェア開発の総額も数兆円程度であると推計され、国内で年間生産されるソフトウェアの産業規模は20兆円程度と推計される。

#### 3. 4 我が国の情報処理教育の変遷

本節では、日本での情報処理教育の変遷を振り返ってみる。1940年代に電子計算機が誕生し、1950年代の後半に入ると、制御・通信・計算機・応用数学に関する学問分野が拡大した。各大学はこうした状況に呼応し、新しい教育の体系を作り始めた。

まず、1959年に、京都大学工学部に数理工学科が設立されたのが、ここでいう情報処理カリキュラムの出発点といえる。設立の目的は、「工学における各専門学科の共通領域と境界分野を総合的にとらえることのできる研究者・技術者を養成することにより、専門細分化による科学技術の隘路を克服して、学問と産業の飛躍的發展を期する」と謳われている。同大学では、後の1970年に工学部に情報工学科が設立された。現在これらは融合し「情報学科」となっている。

また、東京大学では、1962年に工学部の応用物理学部の改組による「計数工学科」が設置されたのが最初である。1970年に理学部附属情報科学研究施設が設立された。後の「情報科学科」の前身となっている。この時期は情報化社会の黎明期にあたり、情報学の研究と教育の重要性が強く認識され、ほかにも東京工業大学工学部に情報科学科、電気通信大学工学部と山梨大学工学部に計算機科学科などが設置された。さらに、80年代に入ると情報処理技術者不足が叫ばれ、情報工学系の学部・学科が次々と新設された。最近の例を幾つか挙げれば、社会科学分野と情報処理分野の融合を狙った「経営情報学部」(多摩大学、1989)、コンピュータ・サイエンスを専門に取り扱う「コンピュータ理工学部」(会津大学、1993)、ソフトウェアを指向する「ソフトウェア情報学部」(岩手県立大学、1998)、など特徴のある学部学科が設置されている。

こうした国内の情報処理教育に関する変遷からその特徴は、次のようにまとめられると考えられる。①日本の情報教育は国立の大規模総合大学が先導し、地方国立大学や私立大学がそれに追従する形で発展してきた。②カリキュラムや教員組織は、電気系学科などの既存の組織が、教育内の漸進的な変更として実施してきた。(抜本的な変更はなされなかった)③比較的小規模の大学が創設される際に、情報処理に関連する即時的で斬新な内容を持つ情報処理教育カリキュラムの策定が試みられてきた。

#### 4. 問題の背景2:米国を主流とする教育の潮流

以下では、先導する米国学会のモデルカリキュラムの策定を概観し、技術進化の現状に対応するためには、世界的な標準としてどのような教育内容が求められているか検討する。

##### 4.1 モデルカリキュラム

ACM (Association for Computing Machinery) と IEEE/CS (The Institution of Electrical and Electronics Engineers, Inc./Computer Society) は、米国に本部を置く世界最大規模の計算機学会および電気・電子工学会である。彼らは 1960 年代から過去数回にわたってモデルカリキュラムの策定を行ってきた。こうした経緯を経て、1991 年には、共同で CC1991 を、そして、その 10 年後にあたる 2001 年には、最新の CC2001 (Computing Curriculum 2001) の策定を行っている。

CC2001 では、情報処理(Computing)領域を CS (Computer Science)、CE (Computer Engineering)、SE (Software Engineering)、IS (Information System) の 4 分野に明確に分けている。CS は、アルゴリズムやデータ構造など情報処理の数理的背景をあたる。CE は、数値計算、グラフィックスなど計算機の技術的な活用を指向する。IS では情報処理システムと企業や経済活動との関係を扱う。また、SE は、ソフトウェアの生産に関する技術を指向する。

カリキュラムでは、それぞれの分野に属する科目部品(コンポーネント)の集合から成り立っており、教育機関がどの方向性を取るかに応じて、必要な部品が定められる。ここで、CS は、全ての4つの領域に共通する「核:(CORE)」であると位置づけられている。

##### 4.2 北米における先進的情報処理教育の事例

ソフトウェアエンジニアリング分野では、ソフトウェア設計や生産を目的としている。このため、プログラミングの演習に加えて、「ソフトウェアライフサイクルやプロセスモデル」、「要件聴取、迅速なプロトタイプング」、「モデル化、テスト、製品管理等のツールに関する知識」などの涵養が重要となる。

まず、カーネギーメロン大学の事例を述べる。同大では、SEI (Software Engineering Institute) が国防総省の資金を受けて設立され、実践的な研究を行っていると共に、職業人に対する多くの実践的教育プログラムを提供している。例えば「ペアプログラミング」という演習では、プログラム開発を機能の実装者とその検証者の対により、並行的に進める手法である。現在は、プログラムの品質に関する要求が高まっており動作検証を意識した生産方法は先進的な技能とされている。

また、企業との協調によって実施する演習もある。現実のビジネスの要求を学生側が分析し、ソフトウェアの設計仕様を作成する。それに基づいてプログラミングを実施するのである。これは、いわば学生側が企業からのソフトウェア生産の「仮想的な請負」を実施するようなものである。そのほかには、PSP/TSP と呼ばれる手法、リエンジニアリング手法、RUP (Rational Unified Process/UML) などが教授されている。

別の事例としては、例えば、ジョージア工科大学では、1990 年に設立された新しい学部が、「College of Computing」として設立されている。この学部は、同大のなかで「工学部(College of Engineering)」、「理学部(College of Science)」と並立する位置づけとなっている。同大学が情報処理分野の教育を重視することの現れである。同大学は、ここ数年、教育機関としての外部評価でランキングを上げている。

要するに、北米においても教育組織を改変し、技術進化の合致した教育内容を提供するためには、大きな犠牲が払われてきた。しかし、技術を取り巻く環境への教育機関の適応は、総じて柔軟かつ迅速であるといえる。

#### 5. 問題点の整理と考察

要するに、約 20 兆円規模のソフトウェア生産において、その主要部分は多様な顧客企業等の要求する業務用ソフトウェアを開発することであり、全体のほぼ8割となる。このようにソフトウェアの生産は産業規模としても相当大きく、他産業の競争力への波及効果も大きい。

我が国でも、情報処理教育の最初のカリキュラムが策定されて以来、情報処理教育として何を教えるべきか、随時検討が繰り返しされてきた。基本的には ACM のモデルカリキュラムに沿った方向で検討が行われ、各大学はその内容を反映した教育カリキュラムを導入してきた。

しかし、総体としては 90 年代の中盤に起こったインターネットの爆発的利用の拡大、ウェブの登場などの変化には十分対応できていない。近年の情報処理に関する技術変化が「劇的」であったのに対して、総じて、大学のモデルカリキュラムへの対応とその批准は「漸進的」であったといえよう。以下では、この原因を考察する。

##### 5.1 設置認可制度

まず、国立大学において新学部・学科の認可の過程を振り返ってみる。工学部は、土木、機械、電気、化学といった 20 世紀中盤の主要産業を柱にして成立している。このため、新しくできる情報処理の学科は、主に電気工学系からの「定員増」や「予算要求」という形で成立した。

斬新な領域を狙って設立された新設大学の場合も変革は容易ではない。大学設置基準は平成3年の「大綱化」という規制緩和を経たものの、最初の卒業生が誕生する完成年度まで、同一のカリキュラムを保障すること、また、入学時点で学生に提示したカリキュラムの内容を卒業まで保障すること、などが求められる。これは、一定の理念に基づいた教育を保障するためには不可欠であるが、技術進化に対応するには不利に働いたと考えられる。

##### 5.2 工学部の教育形態

日本の工学部の教育全般として、大きな特徴と考えられる点は、4 年次における研究室配属である。3年次までのマスプロ教育の上に、仕上げはギルド的な雰囲気の中で研究活動を通じた教育を実施する。

このことも、初めに国立大学の工学部が、主に講座制というより細分化した学問分野を指向する単位によって成立したこと影響されていると考えられる。教育組織を構成する個々の研究室では、自分達にとっての特定の研究領域に興味がある。また、研究指向が強い大学ほど、教員の評価は論文などの研究成果が主体となる。このため、組織全体として実務教育や新しく誕生した領域を目指すのは難しかったと考えられる。

すなわち、技術環境の変化に合わせた教育を提供するよりも確立されたコンピュータサイエンス領域における研究活動に関連する教育内容に重きがおかれ、結果的に産業の求める教育内容の対応が遅れたのではないかと。

### 5.3 外部評価による改善の限界

米国流の技術者教育に合わせる、という観点からは、既存のモデルカリキュラムに照らし、それへの準拠の状況を外部機関によって評価するという方向がある。1998年には、「エンジニアリングプログラム学位に繋がる教育プログラムの同等性の認証協定」、別名「ワシントンアコード」が結ばれている。同協定にもとづく JABEE (日本技術者教育認定機構) により、技術者教育も国際的な基準で評価されようとしている。これに関しては、情報処理学会の情報処理教育カリキュラム策定委員会でも、外部評価や国際基準に則ったアクレディテーションの導入によって、情報処理分野における社会的要請と教育内容の溝が埋まると考えている。このため、ソフトウェア産業へのアウトカムとして情報処理教育の充実を重視する教育機関では、ソフトウェア・エンジニアリング教育の強化が求められる。逆に言えば、そうした実践により、その教育機関の市場競争力が高まる効果も期待できる。

しかし、現実には、いま国内の学部・学科で、米国の評価機関である ABET (The Accreditation Board for Engineering and Technology) の審査基準に SE 分野で合格するところは皆無であろうというのが専門家の見方である。これは、日本の大学の質の問題というよりは、北米との制度的な差異によるところが大きいと考えられる。

## 6. 政策提言

これまでの議論に基づいて、以下では、我が国の一般的な学部レベルでの情報処理教育の実情を踏まえつつ「ソフトウェア・エンジニアリング」分野の内容をより充実させるためには何が必要であるかという観点からの提言を述べる。

第一に大学のカリキュラム策定にあたって、広く産業界の要望を取り入れる機構の整備が重要である。特に地方大学においてその地域の産業の要望に対応する努力が一層必要となるであろう。

第二点として、産学連携の枠組みとしては、論文や特許という研究成果の移転という形態に加えて、教育面でも積極的に知識の交流を行うという姿勢が重要である。

第三点として、大学教員の評価のあり方として、教育内容の技術進化への対応の度合いを組織として積極的に評価するような体制が必要である。日本の大学では、教員の業績評価で、学会論文の発表数を強く指向する傾向がある。そこで、教員が実務指向の教育を行うこ

とに対して明確なインセンティブを持ちうるような配慮が必要である。現在、国立大学の独立行政法人化を経て、教育組織のマネージメントのあり方も議論の対象となっているところである。情報処理教育技術進化への対応には、教員の雇用方針の転換、任期制の導入、定年年齢の再検討、教員定員の柔軟な運用等が想定される。

第四点として、外部評価の導入を効果的に実施する。などで教育内容を刷新しようとする動きが顕著である。しかし、情報技術の進化とそれが他の学問領域に与える影響は本質的な変化をもたらす。このため、既存の教育組織の外部評価だけでは、技術進化に追随する教育を提供できない恐れがある。そこで、ステークホルダーをエンジニアリング教育全体の統括者とするような抜本的な改革が必要であろう。

## 7. むすび

情報処理技術の拡大と普及、それに伴うソフトウェア生産の量と質の両面における変化は、ここ 10 年程度の間起こった劇的な変化であるといえる。こうした技術的变化を経て、ソフトウェアの生産力と品質が国の競争力にとって重要であるという認識が内外において高まっている。

こうした環境において、日本の大学における情報処理教育は、実践的なソフトウェア・エンジニアリング教育の比重を増大させ、その質を一層高める努力が技術政策上重要であると考えられる。

## 謝辞

日頃ご指導いただきます桑原輝隆科学技術動向研究センター長、馬場靖憲東京大学先端科学技術研究センター教授に感謝申し上げます。また、松本吉弘京都大学名誉教授、武蔵工業大学教授には調査段階で多大なご指導を賜りました。改めて感謝申し上げます。

## 文献

- [1] D. L. Pamas, "Software Engineering Programs Are Not Computer Science Programs", IEEE Software, Nov./Dec. 1999
- [2] P. Denning, "The IT schools movement", Commun. ACM, Vol. 44, No.8, Aug. 2001
- [3] J. H. Poore, "A Tale of Three Disciplines... and a Revolution", IEEE Computer, January 2004
- [4] Hal Berghel and David L. Sallach, "A Paradigm Shift in computing and IT Education", Communications of the ACM, Vol. 47, No.6, June 2004
- [5] Hannu Jaakkola, Timo Makinen, Timo Varkoi, "Software Platform Policy and IT Education", Proceeding PICMET04, 25-4, Aug. 2004
- [6] 青木昌彦他「大学改革—課題と争点—」東洋経済新報社, Jan. 2001
- [7] 藤井章博「情報処理教育カリキュラムの動向と課題」科学技術動向, 科学技術政策研究所月報, 2004年6月号
- [8] 藤井章博他, 「大学における情報技術教育事例」、コンピュータと教育研究会報告、情報処理学会, No.058, 2001年