

解説



情報処理専門教育について

情報学科カリキュラムの一例†

村岡 洋 一††

1. はじめに

本小文では、コンピュータサイエンスのカリキュラムの具体的一例として、1991年度に新設された早稲田大学の情報学科のカリキュラムを紹介することとしたい。

当該カリキュラムを作成するについては、学科構成員の間で数え切れないほどの討議を重ねている。しかし、具体的な細部に至ると必ずしも全員の意志が統一されているかどうかについては、定かでないところもあることは否めない。また、2回生以後のカリキュラムについては、まだ授業が開始されていないこともあって、内容が完全に確定していないところもある。

したがって、以下に述べる事項のうち科目構成そのものは当然事実であるものの、その解釈ないし具体的な科目の内容については多分に筆者の主観的な意見が含まれていることをお断わりしておきたい。そういう意味では、早稲田大学情報学科のカリキュラムを下敷きにした、筆者の情報処理カリキュラム考ととらえていただいても結構である。

ACMカリキュラム89を初めとして今回の連載のきっかけとなった情報処理カリキュラム検討結果に至るまで、理想的なカリキュラムの下敷きはいろいろとある。しかし、現実には種々の制約などから理想論をそのまま実現することは困難である。したがって、本小文も理想論を基に現実にとどのような取捨選択を行ったかという一つの例として、ここに述べるカリキュラムが読者の参考になれば幸いである。

2. 学科設立の主旨

早稲田大学においては比較的初期の時代(LGP-30などというコンピュータをご記憶の読者はどれほどおられようか)から計算機センターをもち、大学全体に対する基本的なプログラミングの教育を施してきたことから考えると、情報学科の設立は遅きに失した感があるのは事実である。もちろん、設立が遅れたについてはそれなりの理由があるがその点についてはここでは深く言及はしないでいきたい。

世に遅れて情報学科を設立するということから、われわれは他に比べてよりその特徴を明確にすることに意を注いだつもりである。具体的には、以下のような配慮を払った。

(1) 理論と抽象化を大切に

ACMカリキュラム89によると、情報処理分野のパラダイムは、理論、抽象化および設計の三つからなるとされている¹⁾。おおまかには理論は数理学に、抽象化は自然科学に、そして設計は工学にそれぞれ対応している。そして情報処理教育ではこの三つのプロセスをバランス良く学ぶことが大切とされている。

しかしややもすると、従来のカリキュラムではたとえばプログラミングなどのような設計主体の科目が中心になってしまう例もなくはない。これに対して当学科では、理論と抽象化のための教育にも十分な時間を割くように心掛けた。最近の情報処理技術の動向を眺めると、認知科学の研究の基礎となる述語論理やニューラルネットワークの研究の基礎となる非線形数学などをもちだすまでもなく、理論的バックグラウンドを有することの重要性はますます大きくなっている。たった今の時点の技術を理解することもさることながら、このような研究分野の展開に十分についていけるよ

† Curriculum of Department of Information Science and Computer Engineering at Waseda University by Yoichi MURAOKA (Department of Information Science and Computer Engineering, Waseda University).

†† 早稲田大学理工学部情報学科

うな基礎的能力をもった学生を育てることの大切さを十分に認識したつもりである。

(2) 設計は重点化して

もちろん設計についても教えないわけにはいかないし、情報処理がある意味で実証科学とすれば設計をまったく無視したカリキュラムはナンセンスであることは当然である。しかし、設計は理論や抽象化と比べると、なお一層の実習による体験学習を必要とする。このために、あれもこれもとトピックを広げるわけにはいかない。

当該学科では設計に関する教育は、重点化を図ることとした。具体的には、2年間にわたる「プログラミング演習」と、1年間の「情報システム実験」ならびに「情報科学演習」がこれに当たる。「情報システム実験」では、VLSI設計とオペレーティングシステム設計を題材にして、設計の概念の教育を行うことを考えている。

(3) ISではなくCSを

情報処理教育の分野は、CS(コンピュータサイエンス)とIS(インフォメーションサイエンス)に大別される²⁾。CSの分野では、次の世代のための新しい知的情報処理、ソフトウェア、アーキテクチャなどを旨とした研究の基礎を構築する。ISの分野では、大規模な情報処理システム構築のための研究の基礎を構築する。

昨今は、ソフトウェア人口の不足も手伝って、IS教育に対する企業からの強い要望があることは十分に承知している。しかし、これに対してわれわれは以下のような理由からCS教育に重点を置くこととした。

- IS教育といってもその基本はCS教育と共通するところが大きい。

- IS教育をつきつめていくと、大規模ソフトウェア開発の経験と対象とする問題を形式化する思考能力を身につけることが必要である。しかし、前者は大学学部教育の中では実現は困難である。また、後者はむしろ前記の理論教育を最初の題材として育てあげるのが適当である。

(4) ソフトウェア中心に

時間的な余裕があれば、もちろん全てのことを教えたい。しかし時間は有限である。

当該学科においては思い切ってハードウェア系の科目(特にハードウェアの基本となる電子技術など)を縮小して、アーキテクチャないしソフト

表-1 情報学科の科目例

学年	科目	必/選	系
1年	プログラミング演習A	*	SKE
	情報科学概論	*	SKE
	プログラミング概論	*	SO
	集合・位相・代数学	*	SR
	技術文書構成論		CO
2年	プログラミング演習B	*	SKE
	電子回路	*1	H
	ネットワーク理論		N
	アルゴリズムとデータ構造	*2	SO
	ソフトウェア工学A		SO
	プログラミング言語設計		SO
	AIプログラミング		AI
	情報理論A		AI
	情報数学(1)	*	SR
	離散数学	*	SR
	解析学概論	*	SR
モデリング	*2	SR	
確率・測定		SR	
3年	情報科学演習	*	SKE
	知識情報工学演習	*1	SKE
	情報基礎数理講究	*2	SKE
	情報システム実験		H
	コンピュータハードウェア		H
	デジタル回路		H
	コンピュータ	*1	SY
	アーキテクチャI, II		
	ソフトウェア工学B		SO
	ソフトウェア解析		SO
	オペレーティングシステム		SO
	データベース設計		SO
	知識工学A, B		AI
	自然言語処理A, B		AI
	パターン理解A		AI
	情報理論B		
代数学概論	*2	SR	
情報数学(2)		SR	
その他数理系科目			
4年	卒業論文	*	SKE
	コンピュータネットワーク		N
	システム設計論		SY
	リアルタイムシステム		SO
	生体情報処理		AI
	パターン理解B		AI
	CAI		AI
	コンピュータ		AI
	グラフィックス		
	計算理論		SR
その他数理系科目			

注) * 情報基礎数理専攻/知識情報工学専攻に共通の必修
 *1 知識情報工学専攻の必修
 *2 情報基礎数理専攻の必修
 SKE 卒論・講究・演習 SO ソフトウェア系
 N ネットワーク系 AI 知識処理系
 H ハードウェア系 SR 数理系
 SY システム系 CO 共通系

ウェア系の科目に重点を置いた。ハードウェア系の科目は既存の学科（電子通信学科および電気工学科）に揃っているの、もし学生が必要を感じたらそれらの学科の設置科目を選択するように指導することとした。

(5) 数理系と工学系の2系統に

早稲田大学にも数学科はある。その卒業生の進路をみると、数学を一生の研究テーマとするものももちろんいるが、一般企業などで数学の能力を發揮していくものも少なくない。しかも多くの場合、その能力の發揮には情報処理部門との協力関係が要請されている。そのような背景を考えると、情報処理の教育と数学の教育を合わせて受けられるような機会を設けることは大切であると考えた。

このため当学科では、情報工学を専攻するコース（知識情報工学専攻）と情報数理を専攻するコース（情報基礎数理専攻）の2専攻を設けた。前者のコースに属する学生は、ソフトウェアなどの工学に重点を置いた教育が中心となるものの、理論的考察も十分にできる能力をもつ。また、後者のコースに属する学生は基礎理論に重点を置いた教育が中心となるものの、実際のソフトウェアなどの開発にも参加できる素養をもつ。すなわち、学生が選択する授業によって、理学的価値観を中心に育つか工学的価値観を中心に育つかが決まる。

3. カリキュラム

情報学科の主要な科目を表-1に示した。上述のように当学科では、情報基礎数理専攻と知識情報工学専攻の2専攻に分かれている。学生は、二つの専攻のいずれを選ぶかにかかわらず共通必修科目（同表における*印の科目）の履修が要求される。二つの専攻のいずれを選ぶかは3回生にな

る時点で、教員のアドバイスを受けて学生が決定する。それぞれの専攻ごとに、必修科目と選択科目の決まりがある（表-2）。

専攻必修科目は表-1に、*1（知識情報工学専攻の必修科目）と*2（情報基礎数理専攻の必修科目）で示した。表-2の条件を満たせば、後ほどの科目を選択してもよい。

また、両専攻に共通した必修科目（表-1の*）として、卒論・講究・演習系の科目などがある。

知識情報工学専攻は、学生の科目選択を容易にするためにさらに、

- 知識処理系
- ソフトウェア系
- システム系
- ハードウェア系
- ネットワーク系

の各系統に細分してある。もちろん、これらの細分にかかわらず科目を選択することも自由ではあるが、できればいずれかの系統を通して重点的に科目の選択をすることを期待しているし、またそのように指導していきたいと考えている。

4. カリキュラムの具体的な内容

3.に述べた科目の全ての内容をあまりなく尽くして説明するには、紙面も足りないまた全ての細目が完全に現時点で定まっているわけでもない。したがって、ここでは当該学科の特徴的な科目の考え方、ならびにカリキュラムJ90²⁾との比較の点から内容を紹介することにしたい。

4.1 情報学科の特徴的な科目

(1) 「技術文書構成論」

この科目は多少欲張った科目である。計算機を勉強と研究の道具として使うためのコンピュータリテラシと、情報科学の基本として大切な良い日本語の技術文書作成技術の二つを教える。

表-2 専攻別履修要件

	情報基礎数理専攻	知識情報工学専攻
共通必修	30 単位	30 単位
専攻必修	12 単位	10 単位
選 択	32 単位以上 数理系から 10 単位以上 ソフトウェア・知識処理系から 10 単位以上	34 単位以上 アーキテクチャ系から 8 単位以上 ソフトウェア・知識処理系から 12 単位以上
合 計	74 単位以上	74 単位以上

コンピュータリテラシでは、「3種の神器」を扱う。それぞれの重点は以下のようである。

- ワードプロセッサ

大部分の学生にとっての初めてのキーボードであり、計算機。これらへの入門を兼ねる。また、これにより、編集の概念まで感得させる。

- 電子メール

ネットワーク社会への第一歩。

- 表計算

データ解析能力の育成。

良い日本語を書くことの大切さは、特に社会に出てから痛感させられる（大学ではこれだけを勉強してきて欲しいという極論をはく企業人らしい）。考えてみると、少なくとも筆者の経験ではそのようなことの大切さを（日本の）大学では教えてもらわなかった。ということで、良い日本語技術文書の作成の大切さとそのための基本的なポイントを教える。文章構成の大枠から、個々の文を分かりやすくするための技術までを扱う。また、技術文書としての作法を教える。

(2) 「モデリング」

情報処理における抽象化の大切さについては、すでに述べたとおりである。またその逆としては、抽象化された理論をどのように実際の場面に適用するかという問題もある。この最も大切な具体例がプログラミングであることに、反論はあるまい。

しかし、プログラミングを通して抽象化の大切さを学生が認識するには時間がかかる。幸いなことに、抽象化の最も適切な例は数学として手元にある。先にも述べたように、われわれは数学を情報処理における非常に大切な基礎学問と考えているが、これを学生に認識してもらうにはやはり抽象化された数学と現実世界の結びつきを具体例によって示すのが適当であろう。またそのような具体例を示さないと、学生は数学を単なる机上の空論ととってしまう可能性も大きい。

ということで、本科目においては自然現象や社会現象などにおける具体的な問題をいかに数学的に定式化するかを、具体例でもって説明する。また、逆に数学が具体的場面でどう役に立つかについてもできればふれることとしたい。

(3) 「プログラミング演習 A, B」

2年にわたってプログラミングの演習を行う。

1年目は手続き型言語 (C, Pascal) を対象にプログラムの方法論や仕様・検証に至る項目を扱い、2年目は各種の基本・応用アルゴリズムやオブジェクト指向などの新パラダイムに加えて関数型言語 (LISP) と論理型言語 (Prolog) を対象に関数的プログラミングや論理プログラミングを扱う。

(4) 「情報システム実験」

本実験では、(5)などと合わせて情報処理の3大パラダイムの一つである設計についての体験的学習を狙っている。情報処理教育における実験と他の学科における実験との大きな違いは、次のとおりである⁴⁾。

(a) 電子通信などの実験では、講義で習った大切な理論などを追体験することが大切なことである。これに対して、情報処理教育における実験では、与えられた設計目標を具現化する設計能力が大切である。

(b) 唯一無二の正解などない問題に解決を与える能力を養う。

(c) したがって、結果の評価も忘れてはならない。

このような観点から、本実験ではたくさんの項目を次から次にと毎週こなさせるのではなく、ごく少ない（具体的には2個）項目に1年にわたって取り組ませることを計画している。

具体的な内容案は以下のとおりであり、それぞれを半年ずつ計1年かかって実現する。

(a) 8ビットマイクロプロセッサの設計

加減算・判断分岐・8ビット I/O 命令および割り込みをもつ8ビットマイクロプロセッサについて、命令設計・回路設計・論理シミュレーション・IC設計などを行う。このためのツールとして方式 DA システム（ゲートアレイ）を利用する。

設計結果の IC を実際に「焼く」ところまで実現するようにしたいと考えて、検討を進めている。

(b) カーネルの設計

上記のマイクロプロセッサのためのオペレーティングシステムのカーネルを設計・作成する。具体的内容例は、割り込み処理・プロセス管理とプロセスディスパッチャ・プログラムローダ・メモリ管理などである。

(5) 「情報科学演習」および「知識情報工学講究・情報基礎数理講究」

知識情報工学専攻においては、「情報科学演習」は(4)の実験に加えてさらに設計のパラダイムを教育する機会であり、「知識情報工学講究」は卒業のための準備期間である。

「情報科学演習」では、講義では扱えないような大規模なソフトウェアなどに直接ふれる機会を作ることを主たる狙いとして、広範な分野を対象に時間をかけた実習・演習などを行う。

具体的には、UNIX オペレーティングシステムのソースコードの解読などを考えている。

(6) 「情報社会学」

情報処理の分野における倫理・道徳・規範などを教える。

これは筆者個人の反省であるが、われわれは学生にシステムに不法侵入することを、ゲームのように考えてそそのかしたりしてはいなかったであろうか。多少の「悪いこと」くらいできるような知識がないと計算機の専門家ではない、というような発言を気楽にしてはいなかったであろうか。

早稲田大学の計算センターでも(ウイルスとまでは言えないまでも)、MS-DOSのコマンドを書き換えて、プログラムを立ち上げようとするとうゲームが始まったり、(その日が13日の金曜日なら)「13日の金曜日」というメッセージが出たりといういたづらがあったこともある。これらはまだ罪が軽いというならば、悪質なものはやはりコマンドを書き換えて、別のコマンドを実行したつもりがファイルが消されてしまう(Erase)というもある。

よく言われているように、計算機を相手にするとハイテックではあるし、人間を相手にした感覚がないので罪の意識をもちにくいということはあるのかもしれない。

しかし、やはり悪いことは悪いのである。これを計算機についてきちんと教える機会および責任は、やはり大学をおいてないであろう。

ということで、計算機を使ううえで倫理に加えて、著作権保護・特許な

どの社会的な問題を扱う科目をあえて設けることとした。

4.2 カリキュラム J90 との比較

表-3 に、カリキュラム J90 の15の科目(JCS 1~15)と、情報学科の科目との関係を示した。同表から分かるように、情報学科のカリキュラムはカリキュラム J90 のリクワイアメントを満足しているつもりである。以下に補足的な説明をする。

(1) カリキュラム J90 のコアカリキュラムとの関係

カリキュラム J90 においてはコアカリキュラ

表-3 カリキュラム J90 との比較

	J C S	情報学科の対応科目
1	プログラミング序論	プログラミング言語概論 プログラミング演習A
2	プログラムの設計と実現	プログラミング演習
3	計算機システム序論	計算機概論 コンピュータアーキテクチャA
4	計算機ハードウェア基礎	コンピュータアーキテクチャ A, B 電子回路 デジタル回路
5	情報構造とアルゴリズム解析	アルゴリズムとデータ構造 情報数学(1)
6	オペレーティングシステムとアーキテクチャI	コンピュータアーキテクチャ A, B オペレーティングシステム
7	プログラミング言語の構造	プログラミング言語概論 プログラミング言語設計
8	オペレーティングシステムとアーキテクチャII	コンピュータアーキテクチャB オペレーティングシステム システム設計論 リアルタイムシステム
9	ファイルとデータベースシステム	オペレーティングシステム データベース解析
10	人工知能	AI プログラミング 知識工学 A, B 自然言語処理 A, B パターン理解 A, B 生体情報処理
11	ヒューマンインタフェース	コンピュータグラフィックス
12	計算のモデルとアルゴリズム	情報数学(2)
13	ソフトウェアの設計と開発	ソフトウェア工学A ソフトウェア工学B
14	プログラミング言語の理論と実際	プログラミング言語設計
15	数値計算の理論と実際	数値解析

注) JCS と情報学科科目とは必ずしも1対1対応にはならないので、上記の比較もおおまかなものである。

ムとして、JCS 1~7 を必修科目としている。これとの比較をすると、情報学科知識情報工学専攻の場合、JCS 2 の一部（データの抽象化、アルゴリズムの複雑さの評価などに関する部分）、JCS 5、JCS 6 の一部（オペレーティングシステムに関する部分）および JCS 7 の一部（コンパイラに関する部分）が選択になっている。

この点については、科目の多様性を増やしたい（そのときの必修科目の数を増やすと、残りの科目を学生が選択しなくなる）などのいろいろの理由から現状のとおりになったが、少し経験をつんでからまた対応を考えたい。

(2) JCS 1 関連

●文書化については、「技術文書構成論」で扱う。

(3) JCS 2 関連

●数値誤差については、「コンピュータアーキテクチャ A」および「数値解析」で扱う。

(4) JCS 3, 4 および 6 関連

●そもそもアーキテクチャとオペレーティングシステムを独立のものとして教えることには無理がある。したがって、「コンピュータアーキテクチャ A」では主として演算関係などオペレーティングシステムに直接関連しない命令を中心に扱い、「コンピュータアーキテクチャ B」ではアーキテクチャ（入出力、割り込み、仮想記憶など）とオペレーティングシステム（特にハードウェアカーネル）を関連づけて扱う。「オペレーティングシステム」では、ハードウェアカーネルより外の部分に重点を置く。また、「リアルタイムシステム」で、ネットワーク（分散）オペレーティングシステムを扱う。

●JCS 3 では、アセンブラ命令は実存する計算機のものを使うことを強く薦めているが、「コンピュータアーキテクチャ A, B」ではあえて仮想的な計算機を導入する。その理由は、

*ハードウェアの作り（ファームウェアコード、性能など）まで教えるために、それに適した構造をもつ計算機を用意する。

*IEEE 浮動小数表示を扱いたい、などである。このためにソフトウェアシミュレータを用意する。

●評価については、「システム設計論」が扱う。

(5) JCS 10 関連

●人工知能の基礎となる言語については、LISP および Prolog を「AI プログラミング」および「プログラミング演習 B」で扱う。

(6) JCS 13 関連

●「ソフトウェア工学 A, B」では、プロジェクト管理および CASE など今まで立ち入った講義を予定している。「情報科学演習」での大規模ソフトウェアの経験と、相補的な位置づけとなる。

5. 理想と現実のはざま

というちょっと恐ろしいタイトルをつけてしまったが、ここであえて少し現実を述べてみたい。参考になれば幸いである。

(1) 教員

情報処理に関する学科を新設する場合における人の問題がよく指摘される⁶⁾。情報処理には、たとえば電子通信におけるマックスウェルの方程式のような広く受け入れられている基本がまだないといわれることがある。むしろ、学科を作るに当たってはそのような基本を構築するという、discipline に富んだ人材が要求されているといえよう。しかし、世の中においては、「プログラムを知っている」という人を既存学科から集めた結果、コンピュータサイエンスとは無関係に各人が自分のテリトリを拡大するという例もあるやに聞く。

早稲田大学情報学科の場合、やはり既存の電子通信・電気工学・数学の3学科から移籍した教員が中心になったものの、新進気鋭の著名なコンピュータサイエンティスト複数人に外部から加わってもらうことができるようになったのは幸いであった。

(2) 教育の場面での計算機の活用

コンピュータリテラシを教え、計算機を手足のようにならざることを学生に要望したとしても、やはり教育の場面で教師が率先して計算機の活用をしてみせることが必要であろう。情報学科というからには、コンピュータマインドな先生が揃って率先してコンピュータを教育に活用することの大切さを、われわれはもっと認識すべきである。残念ながら、現実はまだまだといったところである。

たとえば、レポート作成への DTP の活用の推

契といった簡単なことに始まって、教師と学生の間のコミュニケーションのための電子メールの活用、文書改良のためのツール利用促進などなど、さらには CAI もどきまで、教員はもっと努力することが望まれている。

(3) 設 備

良い教育には費用がかかるということを、もっと自信をもって主張しよう。一流の教育には、一流の施設を。

早稲田大学の場合、現時点では教育は MS-DOS 環境が中心であって、UNIX 環境は教育用としてはまだ規模が小さいという問題がある（これも 1~2 年後には解決したいと計画はしているが）。したがって、まず最初に MS-DOS 環境で教育を始めて、ある程度学生が自立して計算機を使用できるようになった時点で、UNIX 環境に移行させるという 2 度手間をかけることになっている。

6. あとがき

以上、おおまかではあるが早稲田大学情報学科のカリキュラムを紹介した。先にも書いたとおり、当該学科はまだ 1991 年春に新設されたばかりであり、カリキュラムもこれからの経験によって手直ししていくべきところが多々あると考えている。その中で少しでも、理想の情報処理教育に近づけていきたいというのが、われわれ教員一同の念願である。

補足：

なお、早稲田大学では主として文系学生を対象とした全学的な情報教育も行っている。そこでは、

- ワードプロセッサ
- 電子メール
- データベースアクセス（図書検索システムを題材として）

● 表計算

を中心としたコンピュータリテラシーを教える「コンピュータ」コースと、

- さらに高度なプログラミング
- SAS による統計計算

などを中心とした「コンピュータ応用」コースが中核となっており、毎年 3000 人近くの学生が履修している。この情報教育にも、情報学科が協力をするということが何名かの教員が授業を担当している。

参 考 文 献

- 1) デニング他 (木村 泉訳)：学問としての計算機分野、情報処理、Vol. 31, No. 10, pp. 1351-1372 (1990)。
- 2) 野口正一、中森眞理雄：大学等における情報処理教育の諸問題、ditto, pp. 1373-1389。
- 3) 大学等における情報処理教育検討委員会 CS 分科会、大学等における情報処理系専門教育の改善への提言、本連載シリーズ。
- 4) 都倉信樹：情報処理教育における実験・実習、本連載シリーズ。
- 5) 牛島和夫：理工系情報専門学科におけるコアカリキュラムについて、本連載シリーズ。
(平成 3 年 8 月 22 日受付)



村岡 洋一 (正会員)

1942 年生。1965 年早稲田大学電気通信学科卒。1971 年イリノイ大学電子計算機学科博士課程修了。

Ph. D. 1971~1985 年日本電信電話公社電気通信研究所勤務、DIPS の開発に従事。1985 年より早稲田大学理工学部電子通信学科教授。1991 年より同学部情報学科。日本ソフトウェア科学会および情報処理学会理事。並列処理、ニューラルネットワーク、マンマシンインタフェース等に興味を持つ。著書「超並列処理コンパイラ」(コロナ社)等、電子情報通信学会、日本ソフトウェア科学会、ACM、IEEE 各会員。