

情報学を定義する —情報学分野の参照基準

萩谷昌己（東京大学）

■ 本報告を書くに至った経緯

日本学術会議では、文部科学省からの依頼もあり、大学の分野別の教育課程（学部の専門課程）編成上の参照基準の策定を進めている。情報学分野の参照基準については、日本学術会議・情報学委員会・情報科学技術教育分科会（委員長：萩谷昌己（東大）、副委員長：寛捷彦（早大））が、本会・情報処理教育委員会（委員長：寛捷彦）の協力のもとに、その策定を進めているところである^{☆1}。

策定の進捗に関しては後に詳しく述べるが、2014年1月に筆者の萩谷が本会の理事会において報告をしたところ、その3月の全国大会においてパネルを行ってはどうか、というご提案を会長よりいただいた。そして、会長をはじめとする理事会

^{☆1} 情報処理教育委員会の協力もあり、参照基準の策定にあたっては、高校の情報科の親学問としての役割も自然と配慮された。実際に、できあがりつつある参照基準は、文系と理系の情報学を幅広く含んでおり、高校の情報科との連続性は非常によいものになったと考えている。

および学会事務局のご厚意により、「情報学を定義する—情報学分野の参照基準『一家言ある者は来たれ!』」と称するパネルを開催することができ、パネリスト、参加者による活発なご議論をいただいた。

本稿では、パネルの直前に筆者が行った講演とパネルでの議論をもとに、情報学分野の参照基準とその策定の進捗について解説する。

■ 分野別の参照基準について

◇ 参照基準の背景

まず、参照基準の背景、その予想される影響などについて簡単に述べる。

大学教育の分野別質保証と参照基準は、大学自身によって自主的・自律的に大学教育の質保証を行うべきという考え方に基づいている。すなわち、「教育課程編成上の参照基準を、大学コミュニティ、学術コミュニティが策定し、それを参照しながら、各大学が建学の伝統精神、人的物的資源、学生の資質

を考慮して、最善のプログラムを執行する」ことが想定されている¹⁾。関連して、図-1に同じ文献1)のp.12を引用する。なお、この考え方は、従来の大学評価である認証評価制度の延長上にあるといえる。

具体的には、2008年5月に文部科学省高等教育局長から日本学術会議会長宛に「大学教育の分野別質保証の在り方に関する審議について」と題する依頼があり、この依頼を受けて日本学術会議では、6月に「大学教育の分野別質保証の在り方検

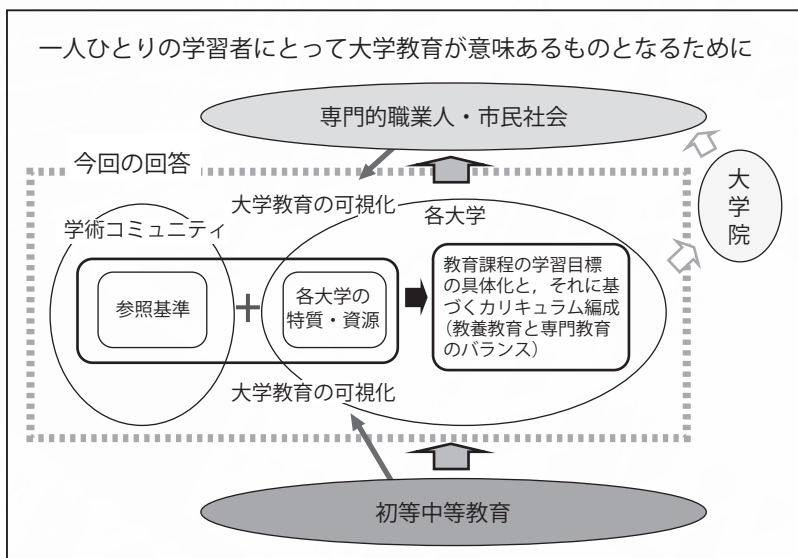


図-1 分野別参照基準の位置づけ¹⁾

討委員会」を課題別委員会として設置し、9月には第1回の委員会を開催して具体的な審議を開始し、2010年8月に文部科学省に対して「回答 大学教育の分野別質保証の在り方について」（以下「回答」と参照する）を手交した²⁾。

回答は3部から成り立っており、第1部では参照基準により質保証の枠組みについて、第2部では教養教育・共通教育との関係について、第3部では大学教育と職業との接続について述べている。

ここで、回答の冒頭部分で参照基準の基本的な考え方を述べている部分を引用する。「分野別の質保証の核となる課題は、学士課程において、一体学生は何を身に付けることが期待されるのかという問いに対して、専門分野の教育という側面から一定の答えを与えることにあるが、その検討の際には、以下の点に十分留意すべきである。

- ・ 大学教育の多様性を損なわず、教育課程編成に係る各大学の自主性・自律性が尊重される枠組みを維持すること
- ・ 学生の立場から、将来職業人として、あるいは市民として生きていくための基礎・基本となる、真に意義あるものをしっかり身に付けられることが意図されていること
- ・ 各学問分野に固有の特性に対する本質的な理解を基盤とし、それに根差した教育の内容が明示されること」

ここでまず指摘すべきは、分野別参照基準は、大学の学部・学科における専門教育の基準を与えるものであり、各分野の研究を定めるものではない。また、深く関係はしているものの、教養教育や大学院教育を定めるものでもない。次に指摘すべきは、本節の冒頭にも述べたが、各大学の自主性・自律性を尊重していることである。

そして日本学術会議は、回答の第1部に基づいて各分野の参照基準の策定を自主的に開始し現在に至っている。2014年3月の時点で、生物学・数理科学・機械工学・家政学・法学・言語-文学・経営学の各分野の参照基準が、日本学術会議の報告という形で公表されている。

一方、2012年8月には文部科学省高等教育局長からも「分野別の教育課程編成上の参照基準の審議

言語・文学、哲学、心理学・教育学、社会学、史学、地域研究、法学、政治学、経済学、経営学、基礎生物学、統合生物学、農学、食料科学、基礎医学、臨床医学、健康・生活科学、歯学、薬学、環境学、数理学、物理学、地球惑星科学、情報学、化学、総合工学、機械工学、電気電子工学、土木工学・建築学、材料工学

図-2 日本学術会議の30の分野別委員会

について」と題して、参照基準の審議を精力的に進めるようとの依頼もあり、文部科学省が日本学術会議の自主的な活動にお墨付きを与える形となっている。

では、具体的に、どのような組織が参照基準を策定しているのだろうか。日本学術会議には3つの部（人文・社会科学、生命科学、理学・工学）と各学問分野を代表する30の分野別委員会が組織されている。具体性をより増すために、30の学問分野を図-2に示す。

これらの委員会はそれぞれの学問分野を代表しており、複数の委員会にまたがる分野もあるが、おおよそ、委員会ごとに参照基準が策定されようとしている。すなわち、分野別の参照基準における分野とは、日本学術会議の分野別委員会の分野に対応していると理解してよいだろう。

各委員会のもとには数多くの分科会が組織されている。参照基準策定のための分科会を新たに設ける委員会が多いが、既存の分科会において参照基準を策定する委員会もある。情報学の場合については後述する。

さて、各分野の参照基準が次第に出揃ってくると、当初はあまり注目されなかった参照基準も、関係各所において無視できない存在となる可能性がある。上述したように、参照基準は各大学が自主的にカリキュラム編成を行う際に参照するものとして位置づけられているが、やがてその影響力が増してくると、各大学の教育課程の編成上の実効的な基準になるかもしれない。また、初等中等教育からは、各分野の教育内容を参照するための拠りどころとなるかもしれない。したがって、各分野の参照基準はその分野の将来の命運に大きく影響するかもしれない。現状の大学教育を想定しつつも、分野の将来を見据えて策定することが求められている。

◇ 情報学の場合

情報学委員会では、情報学分野の参照基準を策定するにあたり、新たな分科会を設けずに、既存の情報科学技術教育分科会において策定することとした。この理由は、同分科会が広く情報学分野の教育に関して議論をする場であり、すでに、情報学分野の専門教育も含めて、広く情報教育に関する議論を進めていたからである。ただし、参照基準を策定するにあたり、2013年7月に「大学教育の分野別質保証に資するために、情報学分野における教育課程編成上の参照基準も作成する」として、その設置目的の追加を行った。また、このために委員の追加も行った。文献3)に委員名簿を参照する。特に、参照基準策定のための追加された委員は以下の方々である。

石田亨 (京大)、伊藤守 (早大)、坂井修一 (東大)、
須藤修 (東大)、向殿政男 (明大名誉教授)、
西垣通 (東京経済大学、東大名誉教授)

なお、分科会の委員数の上限は20名とされており、現在の委員数はその上限となっている。

上記分科会で策定している参照基準の詳細については以下で述べていくが、ここで特筆すべきは、親の情報学委員会が主に日本学術会議の第3部(理学・工学)のもとで活動していることである。情報学委員会に属する会員はすべて第3部に属している。しかし、後に詳述するように、情報学は文系と理系に広がる学問分野と考えるべきである。いわゆる情報工学や情報科学を包含するより大きな学問分野である。参照基準を策定するにあたって追加された委員の何人かは、人数としては少ないが、文系に広がる情報学を代表、もしくは、文系と理系の橋渡しをされていると考えていただきたい。

さらに、回答(文献2))には「なお、参照基準の作成にあたっては、関連する学協会の参画や、大学の多様性が適切な形で代表されること、若手世代や職業人、隣接する他分野、さらにはまったく異なる分野の人の意見を聞くことなど、審議メンバーの構成や審議手続きにおける適切さを確保するための措置が重要である。また、実際に開設されている各大学の教育課程や諸外国での状況、関連する学協会の取組み等、基礎的な関連情報を適切に収集し、吟味することも重要で

ある」と記されている。

言うまでもなく、学協会として本会の協力を得ているところである。本会の教育に関する調査・議論・施策は、主として情報処理教育委員会において行われている。情報科学技術教育分科会の筓副委員長が情報処理教育委員会の委員長であったため、参照基準策定の当初より、情報処理教育委員会の協力を得ることができた。なお、今後は、ほかの学協会等への説明や意見聴取も行いながら、参照基準を策定していく所存である。

◇ 参照基準の主要な構成要素

回答(文献2))によれば、参照基準の基本的な構成項目は以下の通りとされ、6として独自の項目を設定したり参考資料等を追加したりすることも可能となっている。

1. 当該学問分野の定義
2. 当該学問分野に固有の特性
3. 当該学問分野を学ぶすべての学生が身に付けることを目指すべき基本的な素養
4. 学習方法および学習成果の評価方法に関する基本的な考え方
5. 市民性の涵養^{かんよう}をめぐる専門教育と教養教育とのかわり

3の当該学問分野で学生が身に付けるべき基本的な素養には、その分野の基本的な知識と理解および基本的な能力がある。基本的な能力は、その分野に固有の能力とジェネリックスキルに分けられ、後者のジェネリックスキルは、学士力、さらに、いわゆる人間力に通じると考えられる。すなわち、「当該分野の学びを通じて学生に身に付けさせる能力を定義しつつ、そのことが、職業人として、市民として、人間そのものとして、どういう意義を持つかを明らかにする」ことが期待されている¹⁾。

■ 情報学の参照基準を取り巻く状況

◇ 情報学の系譜

情報学を定義し情報学分野の参照基準の策定するためには、現在に至る情報学の系譜を振り返らな

ければならない。現在、情報技術は社会の隅々にまで浸透し社会基盤の1つとなっている。このような情報社会を作ってきた学問分野は何であろうか。もちろん、情報機器のハードウェアを構成する技術の背景には電子工学や物理学などの諸分野があり、さらにその基礎には数学があるが、情報を主たる対象とし、コンピュータやそのネットワークに代表される情報技術を生み出し、現在の情報社会の作ってきた学問分野は何であろうか。

計算に関する理論の起源は、ギリシャ数学（たとえばユークリッドの互除法）やイスラム科学（たとえば、アルゴリズムの語源であるアル＝フワーリズミーの計算法）に求めることができるが、現代の情報学と直接的に繋がる計算理論は、1930年代に Gödel, Church, Turing たちによって確立された。彼らの主たる興味は、計算できることと計算できないことを区別すること、特に、ある種の問題が計算によって解けないこと（計算不能であること）を示すことであり、そのために計算可能であることを厳密に定義したのである。ここにおいて、計算という概念が科学的に扱うことが可能な概念として定式化されたのである。

1940年代から、von Neumann たちによるコンピュータの開発が始まった。ここで、コンピュータの歴史について詳しく振り返ることはしないが、コンピュータを作る技術の進歩とともに、そのもとになった電子工学等の分野とは独立に、計算機科学（コンピュータサイエンス）と呼ばれる学問分野が生まれた。いうまでもなく、計算機科学を支える基礎理論の1つとして上述の計算理論があるが、その主たる興味は計算不能性から計算可能性へと移り、特に計算の効率に関する理論が発展した。

一方、1940年代には Shannon による情報理論も発表され、情報量の概念が確立した。そして、情報の変換や伝達に関する科学的な理解が深まるとともに、それを応用した通信技術が発展した。

計算機科学の進歩とともにコンピュータが普及し、コンピュータ同士もしくはコンピュータと各種の機

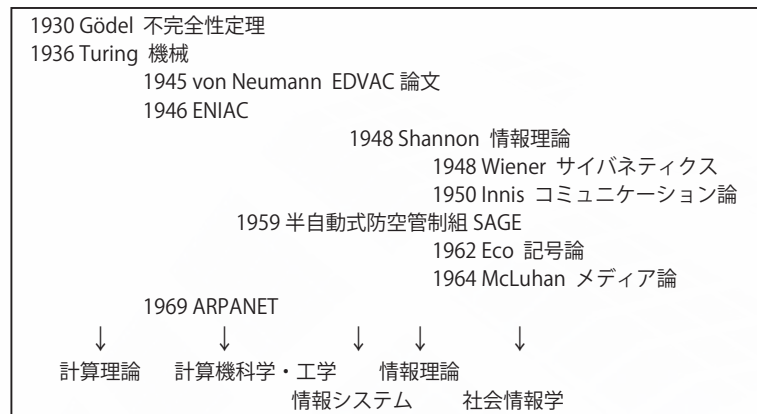


図-3 情報学の系譜年表

器を繋ぐネットワークが世界中に張り巡らされ、いわゆる情報システムが社会を支える基盤となった。情報技術（より広く情報通信技術と言ってもよいが、ここでは単に情報技術と呼んでおく）は人間の組織の在り方も変えた。人間の組織と情報システムが一体化しつつあると言っても過言ではない。

当然ながら、それに伴って、人間同士のコミュニケーションの在り方も変貌した。これは、すなわち、人間社会そのものが情報技術によって大きく変化していることにほかならない。人間社会の制度や規範が変化し、意思決定のメカニズムも変わってきた。そして、社会の根底にある倫理観も変化せざるを得ない。それに伴って、コミュニケーションやそのメディアに関して、情報技術の影響も含めて、より普遍的に理解する必要が生じ、人間社会を情報の観点から探求する学問分野として社会情報学が現れた。なお、社会情報学のみならず情報学全体において、コミュニケーションに関する研究の源流は Wiener のサイバネティクスにまで遡ることができる。

以上の系譜に属する学問分野は、そのそれぞれが、また、互いに関連し合いながら総体として、人間社会を含む世界を情報や情報を処理する計算の観点から理解し、さらに、その理解に基づく情報技術によって世界を変革することを指向している。これらが情報学という大きな学問分野を構成していると考えられる。

◇ 大学の現状

すでに引用したが、回答（文献2）は「実際に開設されている各大学の教育課程」を把握し検討することが重要であると述べている。現状の大学教育

情報学は、情報によって世界に意味・価値を与え秩序をもたらすことを目的に、情報の創造・生成・収集・表現・記録・認識・分析・変換・伝達にかかわる原理と技術を探求する学問である。

図-4 情報学の定義

とかけ離れたものであれば、参照するための基準として意味のないものになってしまう。

情報学に関係する学部学科は、理系のみならず文系にも広くまたがって存在している。特に私学には、分科会の何人かの委員も所属しているように、そのような学部学科が非常に多い。このことは、上述した情報学の系譜を考えれば自然なことであり、また、以下に呼べるように、社会からの要請を反映しているとも考えられる。したがって、そのような学部学科を包含できるような情報学の定義が求められる。

◇ 情報学を学んだ者の社会における役割 (情報学を学ぶことの社会的意義)

現代の情報社会において、情報学を学んだ者の役割は今後もますます大きくなっていくと考えられる。特に、社会基盤となった情報システムを設計・開発・運用するためには、情報技術だけでなく、情報システムを使う側の人間と組織に関する深い理解を有していなければならない。残念ながら、日本は各種のデバイスやネットワークの回線では進んでいるが、情報技術の活用に関しては、欧米だけでなくアジア諸国にも遅れをとっているとされる。実際に、金融システム等のシステムダウンに見られるように、情報技術に関する初歩的な理解がないがために、社会を揺るがすような事態がしばしば起こっている。たとえば、2005年の「ジェイコム株大量誤発注事件」は各種の人為的ミスが重なったために起きたものだが、情報システムの開発側における問題に加えて、利用者側の理解不足がその原因の1つと考えられている⁴⁾。

現状では、情報学の専門教育（特に情報工学や情報科学）を学んだ者は、主としてメーカ（開発企業）等に就職しており、ユーザ側に情報学の専門家が不足していると言わざるを得ない。情報学を学んだ者が、情報システムの開発側だけでなく、ユーザ側においても広く活躍し社会基盤となった情報システムを支え、さらに情報技術による社会の変革を先導し

なければならない。そのためには、理系のみでなく文系にわたる情報学の素養が不可欠である。

◇ 大学一般情報教育および初等中等教育における情報教育

情報学は、情報学を専門に学ぶ者に限らず、広く市民が持つべき教養の一部ともなっている。大学においては、「大学一般情報教育」という名の下で、教養教育（共通教育）の一分野として情報学が教えられている。また、高等学校においては、情報科が必修科目として10年以上にわたって教えられている。

ここで特筆すべきは、大学一般情報教育も高等学校情報科も、理系の情報学のみならず、情報社会の制度や情報倫理など、文系の情報学を含んでいることである。すなわち、大学教養教育および初等中等教育においても、情報学は文系と理系にまたがる広い分野として認識されているのである。高等学校情報科は「社会と情報」と「情報の科学」の2科目から成り立っている⁵⁾。

同じ分野であっても、教養として万人が知っておくべきことと専門教育で教えられることは異なるし、教養教育は専門教育の単なる入門ではないのだが、それらの間に密な関係があるべきことは明らかである。一般に、教養教育には学問的な基盤を与える親学問が必要である。したがって、情報学分野の参照基準は、いわゆる情報教育の親学問としての情報学を定める役割も担っている。実際に、現在策定中の参照基準は、情報教育の親学問として自然に位置づけられるものとなっている。

■ 情報学分野の参照基準

◇ 情報学の定義と固有の特性

情報の厳格な定義を与えることは不可能であるが、情報とは、単なる物の集まりである世界に、意味を与え秩序をもたらす源である。物に意味が与えられれば価値が生じる。したがって、情報学とは、人類の価値をつくり運用するための知の学問ということができよう。本参照基準では、以上を情報学の本質と目的と捉え、情報学を図-4のように簡潔に定義

した。情報学が情報の創造から伝達までの原理と技術を探求する学問であることに異論のある人はいないだろうが、ここでは、情報を単なる物の集まりに価値を与える源泉として捉え、情報学が探求する原理と技術は、「人類が価値をつくり運用するための知」と位置づけているのである。

図-4の定義において、創造・生成・収集・表現・記録・認識・分析・変換・伝達することを、総じて「扱う」と言うことにしよう。すると、情報学は、情報を扱う技術とその原理を探求する学問ということになる。

では、ほかの学問と比べて、情報学はどのような特性を有しているのだろうか。上述したように、情報学は世界を情報の観点から理解することを目指している。しかし、情報学は単に世界を理解するだけでない。アナリシスとシンセシスという二元論において、情報学は両方の特性を有している。すなわち、情報を扱う技術によって世界を変革するという特性を有している。さらに言うならば、既存の世界を変化させるだけでなく新たに世界を生み出すこともある。いわゆるサイバー世界がその典型である。そして、情報学は自らが作り出した世界を再びその対象とする。これはほかの学問にはない特質であろう。これ以外にも多くの特性を挙げることができるが、それらは参照基準の本文に譲りたい。

◇ ほかの諸科学との協働

情報技術が社会に広く浸透しているように、情報学の原理や技術は、ほかの諸科学に広くかつ深く浸透し、その結果、諸科学において応用情報学もしくは領域情報学と呼ぶべき学問分野が数多く生まれている。日本学術会議の30の分野のうち、情報学を除く29のすべての分野にそのような応用情報学が存在していると言っても過言ではない。これらの応用情報学と情報学の関係はどうあるべきなのか。

情報学とは、応用情報学を帰納して得られる総合的な学問分野であると捉える考え方もある。実際に、情報学は応用情報学における原理や技術を普遍化することにより発展してきた。特に、複数の応用情報学にわたる原理や技術は、情報学にとって固有のものと考えられるだろう。今後も、そのようにして情

報学は発展していくと考えられる。

しかし、学士課程の専門教育を考えたとき、情報学を専門に学ぶ者は、まず情報学の中核にある基礎的な部分を学び、情報学を学んだ専門家としての知識と能力を獲得することが重要であろう。学士課程においても、複数の応用情報学を学びそれらを普遍化することを体験すべきという考え方もあるが、本参照基準が定める情報学の知識体系には応用情報学は含めない。

言うまでもなく、情報学の最前線においては、多くの応用情報学が入り乱れ、ほかの諸科学とも一体化しつつ、研究が展開されている。また、近年、産業界においても、「IT融合人材」が求められていると言われている⁶⁾。IT融合人材とは、ITと異分野との複合領域においてイノベーションを起こし新たなサービスを創造する人材とされている。

本参照基準は、他分野との境界で活躍する研究者や新たなサービスを創造するIT融合人材にとっても、情報学の基盤を与えるものと考えられる。

以下は、現時点では、筆者のまったくの私見である。応用情報学やIT融合領域において必要とされるのは、異分野の知識そのものではなく、必要に応じて異分野を理解し、その分野の活動を迅速に把握して、その分野における新たなサービスを（もちろんITを基盤として）創造する能力であろう。これは情報学に固有の知識の体系に含めるべきものではなく、むしろ、情報学に固有の能力、もしくは、情報学を学ぶことによって得られるジェネリックスキルと捉えるべきではないだろうか。その意味で、上述した「学士課程においても、複数の応用情報学を学びそれらを普遍化することを体験すべきという考え方」は、応用分野の知識を学ぶのではなく、応用する力を養うという点において、個人的には賛成である。しかし、学士課程で複数の応用情報学を学ぶのは実際的には難しいという意見は分科会でも根強い。

◇ 情報学に固有の知識の体系

本参照基準では、情報学に固有の知識の体系として、図-5の5つの分野を定めている。

ここで、A以外は、先に述べた情報学の系譜に表

- ア 情報一般の原理
- イ コンピュータで処理される機械情報の原理
- ウ 情報を扱う機械および機構を設計し実現するための技術
- エ 情報を扱う人間と社会に関する理解
- オ 社会において情報を扱うシステムを構築し運用するための技術・制度・組織

図-5 情報学に固有の知識の体系

れる学問分野に対応している。アについては後述する。

イは、情報学の系譜における計算理論と情報理論の流れを汲むものであり、情報科学、情報工学、計算機科学等と呼ばれる専門分野の基礎理論を体系化している。IEEE/ACMのComputing CurriculaにおけるCS (computer science)の基礎的な部分(アルゴリズム、計算量、計算数学、離散数学等)を含む。なお、イの「機械情報」とは、アにおいて用いられている用語であり、コンピュータによって扱うことが可能な形式的な情報を意味している。

ウは、情報科学、情報工学、計算機科学等と呼ばれる専門分野において、情報機器であるコンピュータやネットワークを構築するための技術を体系化している。CS (computer science)の多くの部分とCE (computer engineering)を含む。

エは、情報学の系譜における社会情報学の流れを汲むものである。

オは、情報システムに関係する分野であり、IS (information systems)、IT (information technology)、SE (software engineering)を含む。技術だけでなく情報システムを活用するための制度や組織に関する知識も含む。さらに、ユーザインタフェース等、情報システムを利用する人間に関する知見も含む。

イからオの分野は、情報学の系譜にあるように、現在に至るまで多様な交流があったにせよ、異なる研究コミュニティによって発展してきたものである。また、現状の大学教育においても、これらは別の分野として扱われることが多い。しかし、前述したように、これらの分野が情報学という1つの大きな学問分野を構成しており、今後、これらの分野はより緊密に連携して1つにまとまっていくと期待される。本参照基準は、そのような将来を見据えつつも、研究コミュニティの現状に基づいている。したがって、イからオの分野には重なりがあり、また、項目によっては別の分野に分類した方がよいものもあるだろう。本参照基準が契機となって情報学がより一

体化した後は、この分類も変わってくると考えていただきたい。

アは、情報を分類することにより、イからオの全体を統一的に把握するための指針を与える役割を担っている。分科会の西垣委員の「基礎情報学」に基づいており、情報を「生命情報」「社会情報」「機械情報」に分類し、情報学全体を俯瞰する指針を与えている。この役割において、情報学全体の原理と位置づけている。なお、「生命情報」と「機械情報」の用語については異論もあるが、「基礎情報学」の用語として参照することは妥当であろう。ただし、その意図するところを十分に説明する必要はある。「生命情報」が最も広義の情報ならば単に「情報」と説明すべきかもしれない。「根源的な情報」と説明することも考えられる。「機械情報」については、「機械情報(工)学」という分野名と混同する恐れがあるので、「形式情報」と説明することも考えられるが、「形式」という用語は誤解を招く恐れがある。なお、イの項目名においては、「機械」を除いて、「コンピュータで処理される情報の原理」とすることを検討している。

現状の大学教育において、アからオをすべて教えている学部学科は存在しないだろう。しかし、情報学の専門教育を担う学部学科は、本参照基準の全体像を想定し、将来的には、軽重の差はあっても(たとえば、分野によっては入門的な科目のみを開講する)、本参照基準のすべての分野を教えることが理想である。ただし、現状においても、各大学はカリキュラムを編成する際に、そのどの部分が本参照基準のどの部分に相当するかを示すことにより、その編成方針を説明することができる。これは参照基準の典型的な活用方法である。

以下、策定中の参照基準の原稿から、「獲得すべき基本的な知識と理解」のアの部分を図-6に引用する。

策定中の参照基準では図-6の後に、イからオの記述が続くが、これらに関しては図-7～10に大項目を挙げるにとどめる。ここで注意いただきたいのは、これらの項目は分野を例示するためのものであり、分野の厳密な範囲を規定するものではない。た

例えば、ウに関して、Web サービスが入っていないとか、クラウドはどうしたのだとか、もはやスマホの時代なのに、というようなコメントをいただくことがあるが、たとえ明示的に書かれていなくとも、ウではコンピュータやネットワークの技術に関する学部レベルの知識はすべて想定されている。そもそも、参照基準はカリキュラムの詳細を定めるものではないことに注意いただきたい。

◇ 情報学を学ぶ学生が獲得すべき能力

上述したように、当該学問分野で学生が身に付けるべき基本的な能力には、その分野に固有の能力とジェネリックスキルがある。本参照基準では、前者として、図-11の項目が挙げられている。また、後者として図-12の項目が挙げられている。特に、モデル化・形式化・抽象化を行う能力がジェネリックスキルとして位置づけられていることに注意いただきたい。

◇ 学習方法・評価方法

参照基準では、獲得すべき能力に続いて、学習方法と評価方法が書かれることになっている。実は分科会では、まだこの部分については、ほとんど議論が進んでいない。言うまでもなく、講義・演習・実験はほかの分野と共通しているだろう。しかしながら、特に情報学に期待されているジェネリックスキル

ア 情報一般の原理

情報学を学ぶものは、情報の意義、すなわち、情報が物理力でなく意味作用を通じて世界を変化させ、そこに価値と秩序を与えることを認識しなければならない。さらに、各種の情報を普遍的に理解するためには、コンピュータなどの電子機械が扱う情報と、人間社会のコミュニケーションに現れる情報の間の関係性（共通点と相違点）を把握することが求められる。

人間社会や機械に加えて、広く生物をも情報を扱う主体だと考えると、生物が生存するための選択行動が情報の意味作用の源泉だということがわかる。生物の生存のための情報（生命情報）が最も根源的な、広義の情報である。これを記号で表すと人間社会で通用する狭義の情報（社会情報）となる。社会情報は記号と意味内容のセットである。コンピュータで機械的に処理される情報（機械情報）は、基本的に社会情報から派生し、記号が独立して意味内容が潜在化したものであり、最狭義の情報として位置づけられる。このように情報を扱う主体により情報を分類すれば、各種の情報の関係性が明らかになり、記号の意味解釈とコミュニケーションの様相が明確になる。

したがって、情報学を学ぶものは、情報一般の原理として、以下に述べるように、情報の分類と、それに基づく、記号、意味解釈、コミュニケーションの様相を理解することが必要である。

- ・生命情報は意味作用の源泉であり、暗黙知・身体知など、明示的／非明示的なすべての情報を含む最も広義の情報である。社会情報は記号で明示化された生命情報であり、人間社会で通用するすべての情報を含む。機械情報は社会情報の記号が独立したものであり、機械で形式的に処理することが可能な、最も狭義の情報である。
- ・社会情報は、記号とそれが表す意味内容の連結体に他ならない。記号には三種類あり、第一にアナログ信号、画像映像、擬音擬態語など、意味内容と類似したパターンである類似記号、第二にトイレや緊急出口の案内板など、意味内容と論理関係を持つパターンである指標記号、第三にデジタル信号、大半の言語記号など、意味内容と無関係なパターンである象徴記号に分類される。
- ・記号の意味解釈や意味処理の仕方は、情報を扱う主体によって異なる。まず、人間をふくむ生物個体は、記号の自律的な意味解釈・意味処理を行う。過去の体験にもとづき、再帰的・自己準拠的に解釈処理を行い、主観世界を構成する。次に、人間の社会的組織は、記号の半自律的な意味解釈・意味処理を行う。過去の慣例にもとづき、半ば再帰的・自己準拠的に解釈処理を行い、共同体的・間主観的世界を構成する。さらにコンピュータなどの電子機械は、記号の他律的な意味解釈・意味処理を行う。指示された操作手続きにもとづき形式的に解釈処理を行い、人間の思考をふくめ客観世界のシミュレーションを行う。
- ・情報をもとにコミュニケーションを生み出すシステムも、情報を扱う主体ごとに異なるモデルによって特徴づけられる。人間を含む生物個体のモデルは自律的な閉鎖系（オートポイエティック・システム）である。人間の社会的組織のモデルは半自律的な暫定的閉鎖系（階層的自律コミュニケーション・システム）であり、そこには人間とコンピュータが多様に複合化したシステムも含まれる。コンピュータなど電子機械のモデルは他律的な開放系（アロポイエティック・システム）である。

以上の一般原理の基礎として、主に、基礎情報学、サイバネティクス、生命哲学を学ぶことが求められる。

- ・情報と意味 … 情報は意味作用をもち、世界を変化させ、そこに価値と秩序をあたえる。
 - ・生命にとっての意味と価値
 - ・生物が生存するための選択行動のベースとなる
 - ・情報と秩序
 - ・物理力によらず意味作用で世界を動かし、秩序化する
- ・情報の種類 … 広義、狭義、最狭義の情報（包含関係）
 - ・生命情報（意味作用の源泉、暗黙知・身体知を含む）
 - ・広義の情報：明示的／非明示的なすべての情報
 - ・DNA 遺伝情報だけではない
 - ・社会情報（人間社会で通用するすべての情報）
 - ・狭義の情報：記号で明示化された生命情報
 - ・マスコミ情報だけではない
 - ・機械情報（機械で形式的に処理される情報）
 - ・最狭義の情報：社会情報の記号が独立したもの
 - ・0/1 のデジタル情報だけではない
- ・情報と記号 … 情報は、記号とそれが表す意味内容のセットから成り立っている。
 - ・類似記号（意味内容と類似したパターン）
 - ・アナログ信号
 - ・画像映像、擬音擬態語など
 - ・指標記号（意味内容と論理関係をもつパターン）
 - ・トイレや緊急出口の案内板など
 - ・象徴記号（意味内容と無関係なパターン）
 - ・デジタル信号
 - ・大半の言語記号など
- ・記号の意味解釈 … 意味解釈や意味処理の仕方は、情報を扱う主体によって異なる。
 - ・人間をふくむ生物個体 … 記号の自律的な意味解釈・意味処理
 - ・過去の体験にもとづき、再帰的・自己準拠的に解釈処理
 - ・主観世界を構成
 - ・人間の社会的組織 … 記号の半自律的な意味解釈・意味処理
 - ・過去の慣例にもとづき、半ば再帰的・自己準拠的に解釈処理
 - ・共同体的、間主観的世界を構成
 - ・コンピュータなど電子機械 … 記号の他律的な意味解釈・意味処理
 - ・指示された操作手続きにもとづき形式的に解釈処理
 - ・客観世界のシミュレーション、人間の思考のシミュレーション
- ・コミュニケーション … 情報をもとにコミュニケーションを生み出すシステム
 - ・自律的な閉鎖系 … 人間をふくむ生物個体のモデル
 - ・オートポイエティック・システム
 - ・半自律的な暫定的閉鎖系 … 人間の社会的組織のモデル
 - ・階層的自律コミュニケーション・システム
 - ・人間とコンピュータが多様に複合化したシステム
 - ・他律的な開放系 … コンピュータなど電子機械のモデル
 - ・アロポイエティック・システム

以上の基礎にあるのは主に、基礎情報学、サイバネティクス、生命哲学。

図-6 獲得すべき基本的な知識と理解 ア 情報一般の原理（策定中の参照基準より引用）

- イ コンピュータで処理される機械情報の原理
- ・情報の変換・伝達
 - ・情報量・量子化（離散化）・標準化・圧縮・符号・暗号
 - ・情報の構造と表現・記録
 - ・データ・データ構造・データ型・データベース
 - ・計算
 - ・計算モデル・アルゴリズム・計算の限界・計算の効率
 - ・計算の表現・計算の正しさ
 - ・各種の計算・アルゴリズム
 - ・探索・整列・木・グラフのアルゴリズム
 - ・数値計算・シミュレーション・最適化・自動推論
 - ・信号処理・パターン認識・機械学習・データマイニング・自然言語処理

図-7 獲得すべき基本的な知識と理解 イ コンピュータで処理される機械情報の原理

- ウ 情報を扱う機械および機構を設計し実現するための技術
- ・コンピュータ（ハードウェア）
 - ・素子・デジタル回路・組合せ回路・順序回路
 - ・アーキテクチャ
 - ・基本ソフトウェア
 - ・オペレーティングシステム・言語処理系
 - ・入出力デバイス
 - ・プリンタ・ポインティングデバイス
 - ・ネットワークインタフェース・センサ
 - ・ネットワーク
 - ・情報通信ネットワーク
 - ・コンピュータネットワーク

図-8 獲得すべき基本的な知識と理解 ウ 情報を扱う機械および機構を設計し実現するための技術

- エ 情報を扱う人間と社会に関する理解
- ・社会において情報が創造・伝達される過程と仕組み
 - ・コミュニケーション・メディア
 - ・情報を扱う人間の特性と社会システム
 - ・参加と討議
 - ・観測、シミュレーション、制御と社会的意思決定
 - ・情報倫理と社会組織のルール
 - ・情報技術を基盤にした文化
 - ・アーカイブ・デジタル文化と資本
 - ・近代社会からポスト近代社会へ
 - ・近代社会の価値と人間・ポスト近代社会への移行

図-9 獲得すべき基本的な知識と理解 エ 情報を扱う人間と社会に関する理解

を、どのように養うのかは決して自明ではない。

先に、IT 融合人材に求められる能力はジェネリックスキルではないか、と述べた。もちろん、ジェネリックスキルという点については異論があるかもしれないが、そのような能力が情報学を学ぶものに求められていることは間違いない。ここではそのような能力を融合力と呼びたい（「関連付ける力」という言葉も使われているようである）。ではその融合力は、いったい、どのようにして養うことができるのだろうか。1つには、先にも述べたように、複数の応用情報学を学びそれらを普遍化することを体験することが考えられる。したがって、できるだけ多くのPBLやOJTを経験することが重要であろうと思われる。

実は、この点に関して、情報処理教育委員会のメーリングリスト上で若干の議論があった。先に述べ

- オ 社会において情報を扱うシステムを構築し運用するための技術・制度・組織
- ・情報システムを開発・構築する技術・運用する技術
 - ・要求工学・システム工学
 - ・情報システム・情報セキュリティ
 - ・ソフトウェア工学・プログラミング技術・プロジェクトマネジメント
 - ・情報に関わる社会的なシステム
 - ・社会制度・法制度・企業・組織
 - ・安心・安全なシステム・評価・認証
 - ・Human Computer Interaction
 - ・人間の認知特性
 - ・ユーザインタフェース設計・ユーザインタフェース指針
 - ・ユーザビリティ・アクセシビリティ・ユニバーサルデザイン・評価手法
 - ・対話手法・可視化

図-10 獲得すべき基本的な知識と理解 オ 社会において情報を扱うシステムを構築し運用するための技術・制度・組織

- ・情報の構造を設計する能力
- ・計算を設計し表現する能力
- ・形式的なモデルのもとで演繹する能力
- ・情報を扱う機械を作る能力・運用する能力
- ・システムの体系・構造を理解し表現する能力
- ・社会において情報を扱うシステムを作る能力・運用する能力
- ・社会において情報にかかわる問題を発見し解決する能力
- ・情報一般の原理を自覚して情報社会に積極的に参画する能力
- ・社会において情報の意義や危険性を読み解く能力
- ・社会においてルールを遵守しつつ情報を利活用する能力

図-11 情報学に固有の能力

- ・創造力・構想力・想像力
- ・協調性・コミュニケーション能力・プレゼンテーション能力
- ・指導力・リーダーシップ
- ・論理的思考能力・論理的緻密さ・演繹する能力
- ・問題発見能力
- ・モデル化・形式化・抽象化を行う能力
- ・問題解決能力
- ・システム思考
- ・クリティカルシンキング
- ・ストレス耐性
- ・主体的に学習する能力

図-12 ジェネリックスキル

たように、本参照基準は情報処理教育委員会の協力のもとに策定されている。学習方法と評価方法に関して分科会ではまだ手つかずの段階であったので、いい機会と捉え、筆者からメーリングリストで意見を募った次第である。今後、分科会においても、これらの意見をもとに、学習方法と評価方法を検討していきたいと考えているので、ここではその議論を紹介したい。

情報処理教育委員会の掛下委員によれば、「異なる分野の取り組みや技術を融合させるためには、それらを抽象化・モデル化することを通じて理解・分析し、何らかの思考基盤の上で組み立てることによって、価値を創造する必要がある」という。すなわち、抽象化やモデル化に関する教育が「関連づける力」「融合力」の育成に資する、という考えである。これは先に、モデル化・形式化・抽象化を行う能力をジェネリックスキルと捉えたことに通じている。掛

下委員によれば、「OJTを始めとする場あたりの教育しか受ける機会がなかった人の場合、個別事象には詳しくなるが、モデル化能力や、新たな問題を発見してそれを解決する能力の面で、問題が出てくるケースが増える」という。

では、抽象化・モデル化の能力を育成するにはどうすればよいのだろうか。情報処理委員会では何回かの意見交換があったが、ここでは、掛下委員の最終的な意見を引用したい。本来ならば筆者が適切にまとめるべきところだろうが、非常に簡潔に明快にまとめられているので、そのまま引用させていただく。ご本人にも了解は得ている。

「CSやIS等の授業ではモデリング技術や各種の理論を教える機会が多くあります。それらの中で、現実世界の技術や業務（ワークフロー）と対応づける訓練をする方法が考えられます。また、さまざまな分野の技術を組み合わせたアプリケーションの企画を、学生に立てさせるのも良いでしょう。

こういった教育はPBL等の実践教育や卒業研究の指導ではしばしば行われています。一般の授業や実験でも学生に課題を出すことはできるので、同様の指導が可能です。系統的なプログラミング教育は、まさにこれに該当すると思います」

この後、上の引用で参照されている系統的なプログラミング教育が、なぜ、抽象化・モデル化の能力、そして、問題解決能力の育成に資するかについても議論があった。ここでは、情報処理教育委員会の久野委員が即座に出した意見を引用したい。この意見も、久野委員らしく一点の曇りもなく、きわめて明快にまとめられているので、そのまま引用したい。もちろん、ご本人の了解を得ている。

「・プログラミング自体のモデル性—現実の具体的な問題の全側面をコンピュータに載せることはもともと不可能なので、プログラムとして解を実現すること自体が必要な部分の取舍選択を含んでいる、つまりモデル化となっている、と言えます。

・モデルの形式性—プログラムの場合、決まった記法で書かないと動かないので、曖昧さや形式からの逸脱が自ずから排除されます。

・モデルの検証性—一般のモデルを作る人とそれ

を解釈する人は（1人で作っている最中は）同じなので、モデルの間違ひを見つけるのは簡単ではないです。これに対し、プログラムは自動実行されますから、モデルが意図したものでない場合にそのことが明確に示されます。

・モデルの利便性・実用性—プログラムの形で記述されたモデルは動くので、役に立てられたり、ほかの人に調べてもらえたりします。このことはモデル化を行ったり、間違ひがないか調べたり、モデルをさらに拡張したりする動機づけとなります」

なお、繰り返しになるが、以上の意見は決して無駄に引用したわけではない。今後、参照基準の策定の中で、適宜反映させていく所存である。

■ 今後

情報学分野における参照基準については、本会だけでなく、すでに高校教科「情報」シンポジウム（ジョーシン）や大学ICT推進協議会等で解説講演を行っている。今後、ほかの学協会（電子情報通信学会情報・システムソサイエティ、情報システム学会等）や関連組織（IPA等）への説明を行いつつ、参照基準の原稿が完成した時点で、公開シンポジウムによりさらなる意見聴取を行う予定である。

なお、策定中の参照基準に関してご意見があれば、ぜひ、筆者までお伝えいただきたい。

参考文献

- 1) 北原和夫：大学教育の分野別質保証と参照基準，<http://www.scj.go.jp/ja/member/iinkai/daigakusuisin/pdf/s-doboku1-6.pdf>
- 2) 日本学術会議：回答 大学教育の分野別質保証の在り方について，<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-21-k100-1.pdf> (2010)
- 3) 情報学委員会情報科学技術教育分科会：委員名簿，<http://www.scj.go.jp/ja/member/iinkai/bunya/jyoho/pdf/kyoikukousei.pdf>
- 4) 玉井哲雄：ソフトウェア社会のゆくえ，岩波書店（2012）。
- 5) 文部科学省：学習指導要領解説「情報編」(2010)。
- 6) ITコーディネータ協会：「IT融合人材育成連絡会」の最終報告の公開について，<http://www.itc.or.jp/news/inv20140325.html> (2014)

(2014年4月3日受付)

萩谷 昌己 (正会員) hagiya@is.s.u-tokyo.ac.jp

1982年東京大学大学院理学系研究科情報科学専攻修士課程修了。京都大学数理解析研究所を経て、現在、東京大学大学院情報理工学系研究科教授（コンピュータ科学専攻）。計算システムをモデル化し、特に演繹的な方法を用いて、その性質を計算機上で検証することに興味を持っている。最近では、電子計算機からなる計算システム以外にも、生物系や分子系も研究の対象としている。特に、分子ロボティクスの研究を行っている。