

日本の展望—学術からの提言 2010

報告

## 情報学分野の展望



平成22年（2010年）4月5日

日本学術会議

情報学委員会



この報告は、日本学術会議情報学委員会および情報学展望分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

### 日本学術会議情報学委員会

委員長	村岡 洋一	(第三部会員)	早稲田大学理工学術院教授
副委員長	武市 正人	(第三部会員)	東京大学大学院情報理工学系研究科教授
幹事	土井美和子	(連携会員)	株式会社東芝研究開発センター首席技監
幹事	西尾章治郎	(第三部会員)	大阪大学理事・副学長
	青山 友紀	(第三部会員)	慶應義塾大学デジタルメディア・コンテンツ統合研究機構教授
	安西祐一郎	(第三部会員)	慶應義塾学事顧問、慶應義塾大学理工学部教授
	今井 秀樹	(第三部会員)	中央大学理工学部 教授
	金出 武雄	(第三部会員)	U. A. andHelenWhitakerUniversityProfessor, Carnegie Mellon University, The Robotics Institute
	坂内 正夫	(第三部会員)	情報・システム研究機構国立情報学研究所所長
	坂村 健	(第三部会員)	東京大学大学院情報学環・学際情報学府教授
	田中 英彦	(第三部会員)	情報セキュリティ大学院大学情報セキュリティ研究科研究科長、教授
	宮原 秀夫	(第三部会員)	独立行政法人情報通信研究機構 理事長
	米澤 明憲	(第三部会員)	東京大学大学院情報理工学系研究科教授

### 情報学展望分科会

委員長	坂内 正夫	(第三部会員)	情報・システム研究機構国立情報学研究所所長
幹事	土井美和子	(連携会員)	株式会社東芝研究開発センター首席技監
	武市 正人	(第三部会員)	東京大学大学院情報理工学系研究科教授
	西尾章治郎	(第三部会員)	大阪大学理事・副学長
	村岡 洋一	(第三部会員)	早稲田大学理工学術院教授
	安達 淳	(連携会員)	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構 国立情報学研究所教授
	石田 享	(連携会員)	京都大学大学院情報学研究科教授
	稲垣 康善	(連携会員)	豊橋技術科学大学理事・副学長
	片桐 滋	(連携会員)	同志社大学工学部情報システムデザイン学科教授
	國吉 康夫	(連携会員)	東京大学大学院情報理工学系研究科教授
	白井 良明	(連携会員)	立命館大学情報理工学部教授
	東倉 洋一	(連携会員)	国立情報学研究所副所長
	中島 秀之	(連携会員)	公立はこだて未来大学学長

南谷 崇	(連携会員)	東京大学先端科学技術研究センター教授
西田 豊明	(連携会員)	京都大学大学院情報学研究科教授
益田 隆司	(連携会員)	東京大学名誉教授
松山 隆司	(連携会員)	京都大学大学院情報学研究科教授

※ 名簿の役職等は平成 22 年 3 月現在

# 要 旨

## 1 現状と課題

情報学は、情報の表現法や計算・処理方法の基礎を、情報学分野のみならず、他の多くの学問分野に対しても、「礎」の学問として提示してきた。情報学分野の展望に当たっては、この歴史的経緯を踏まえ、「礎」の学問としての視点で、今後、「礎」として何を具現すべきかが、最も重要なポイントである。さらに言えば、各分野における情報処理は、分野価値を十分に引き出しているとは必ずしも言えない状況にあり、情報学分野として、他分野における課題に明確に対応できる新たな普遍性の高い方法論を開発する責務を持つ。また一方、より広い視点での情報学の展開を戦略的に図っていくことも重要である。

## 2 提案などの内容

### (1) 「礎」の学問としての情報学の課題：

#### ① 超大規模、ダイナミックなシステムに対する問題解決の新たな手段の開発：

自然や社会・経済活動に関わるシステムは、超巨大化し、それを解析し、問題解決を行うための従来方式の限界は明らかである。具体的には、(ア)従来の厳密さを捨てた新たな超大規模システム解析法や無限・開放型の新たなシステムの分析方法などや、(イ)巨大で、柔軟なシステムである生体に学ぶ情報学の可能性を追求することも有望である。

#### ② サイバー物理システム実現のための情報学：

自動車、鉄道などの交通、エネルギー（電力など）、医療、環境、農業などの、社会活動の基盤となる社会システムは、その付加価値をソフトウェアとして具現する物理システムであるという共通点を持ち、したがって、サイバー物理システムと呼ぶことができる。このようなサイバー物理システムにおいては、その付加価値を具現化する戦略的方策が持続可能な社会を支えるための重要課題である。情報学としては、「価値創成」のための研究開発手法の提示や、実時間・実世界を対象にした巨大ソフトウェアの安全、高能率なシステム開発の手法や制度が重要である。

#### ③ データセントリック価値創出のための情報学：

ウェブ空間やさらには実世界観測系からの「爆発する情報空間」の高度な活用と、有意な価値の創出は、学術研究、社会、経済活動にとっての大きな課題である。ウェブ空間からの価値創出のための挑戦手法の開発と、社会・経済的に有意なデータの戦略的収集、アーカイブ、活用の体制などが挙げられる。

④ その他の新たな研究課題として、人間の行動や心理、認知の解明や、高齢者や障害者などを含む人々の生活の質の向上、現在の情報化社会の基盤であるネットワーク技術の限界を超える将来ネットワークの必要性、統計科学・情報学融合による新しい

モデリング研究などがある。

## (2) 次世代の学術研究推進の「基盤（礎）」としての情報学：

学術研究をより積極的に推進し、かつ、分野や国・地域を超えた連携を強化していくためには、必要とする各種の学術研究資源や、研究活動そのものを、超高速ネットワークを通じて、高度に共有・活用する新しい方法の変革が不可欠である。

具体的には、モデル化、シミュレーション、スーパーコンピュータ活用による第3の研究方法論（コンピューテーショナルサイエンス）、データ統合や既存の「知」の高度活用による第4の方法論（E-サイエンス）の確立と、より幅広い研究分野への普及が不可欠である。また、自前主義的活動から、ネットワークで共有・共生するスタイル、エコ学術研究体制（学術クラウド型研究体制などと呼ぶこともある）への移行が必要である。

## (3) 課題解決のための情報学展開：

### ① グローバルリスク：

現在大きなグローバル課題として共通に認識されているものは、CO<sub>2</sub>削減などの環境問題、エネルギー問題、新型疾患リスク、食糧問題、安全社会の実現などである。これらは、経済成長などとの要素と両立させつつ、全分野、全世界の協力・協調の下、解決策を具現していく必要がある。その際に、全世界で強く求められているのが、「情報通信（ICT）の利活用によるグローバル課題の解決」である。情報学はこれらのグローバル課題解決のための展開方策を提示していく責務を負う。

### ② 新たな文化や社会の実現：

新しい情報技術の活用による新たな文化形成や、メディア芸術の振興や伝統文化の継承、図書等の電子化の進展で、変化する出版、図書館、美術館・博物館、資料館等の将来展望、オープンなネット上で形成されつつあるクリエイティブコモンズなどの共生型社会の追求と、ネットワークが招く負の側面との調和なども重要な課題である。

### ③ 安心・安全で活力ある社会の基盤形成：

社会・経済などの活動のあらゆる断面に、情報システムが深く関わっている現実を踏まえ、情報システムのセキュリティとディペンダビリティ対策や、実世界空間での新たな情報活動を支える空間情報基盤などを提案した。

## (4) 情報学人材の育成：

小・中・高校レベル教育における情報学分野の「見える化」や、持つべき資質の提示、大学・大学院レベルでの人材育成のグランドデザイン、情報学的能力のみならず他分野との融合における新たな価値の創成を担保する人材の育成、高度 IT 人材の育成など、新たな資質を有する人材育成方策を推進すべきである。

## 目 次

1	はじめに.....	1
2	「礎」の学問としての情報学の課題、展望.....	2
	(1) 超大規模、ダイナミックなシステムに対する問題解決のための新たな手段.....	2
	(2) サイバー物理システム実現のための情報学.....	2
	(3) データセントリック価値創出のための情報学.....	3
	(4) その他の新たな研究課題.....	5
3	次世代の学術研究推進の「礎」としての情報学.....	7
	(1) E-サイエンスの展開による学術研究の推進.....	7
	(2) E-サイエンスを推進する上での重要課題.....	8
4	課題解決のための情報学展開.....	10
	(1) グローバル課題解決のための情報学展開.....	10
	(2) 新たな文化や社会実現のための情報学展開.....	11
	(3) 安心、安全で活力ある社会の基盤としての情報学展開 : .....	12
	(4) その他の課題 : .....	15
5	情報学人材の育成.....	16
	(1) 小・中・高校レベル教育における情報学分野の「見える化」や、持つべき資質の 提示、大学・大学院レベルでの情報分野人材育成のグランドデザイン.....	16
	(2) 情報処理技術スキルのみならず、他分野との融合における新たな価値の創成を担 保する人材の育成.....	16
	(3) 高度IT人材の育成.....	17
	<参考文献>.....	18

## 1 はじめに

情報学は、情報の表現法や計算・処理方法の基礎を、情報学分野のみならず、他の多くの学問分野に対しても、「礎」の学問として提示してきた。情報学分野の展望に当たっては、この歴史的経緯を踏まえ、「礎」の学問としての視点で、今後、「礎」として何を具現すべきかが、最も重要なポイントである。さらに言えば、各分野における情報処理は、分野価値を十分に引き出しているとは必ずしも言えない状況にあり、情報学分野として、他分野における課題に明確に対応できる新たな普遍性の高い方法論を開発する責務を持つ。また一方、より広い視点での情報学の展開を戦略的に図っていくことも重要である。この点を踏まえて、本展望では次の課題を提案・検討する。

まず第2章では、「『礎』の学問としての情報学の課題、展望」と題し、超大規模、ダイナミックなシステムに対する問題解決のための新たな手段、サイバー物理システム実現のための情報学、データセントリック価値創出のための情報学について検討し、さらに情報学委員会所属の会員・連携会員から吸い上げた意見から、その他の新たな研究課題について論じる。第3章では、次世代の学術研究全般の推進のための「基盤」としての情報学—E-サイエンスの展開について、議論を展開する。第4章では、課題解決のための情報学の展開として、グローバルリスク解決、および新たな文化や社会実現のための情報学展開、安心、安全で活力ある社会の基盤としての情報学展開を論ずる。第5章では、情報学人材の育成について論じる。

## 2 「礎」の学問としての情報学の課題、展望

### (1) 超大規模、ダイナミックなシステムに対する問題解決のための新たな手段

自然や社会・経済活動に関わるシステムは超巨大化しており、それを解析し、問題解決を行うには、従来方式の限界は明らかである。このための新たな分析・解析手段の提供が、「礎」の学問としての情報学の責務である。具体的には、

- ① 従来のような厳密さを捨てた新たな超大規模システム解析法や、有限・閉域型システムを前提とした要素還元主義的な手法ではない、無限・開放型の新たなシステムの分析方法・シミュレーション方法の開発。
- ② 巨大で、柔軟なシステムである生体に学ぶ情報学の可能性の追求。

②については、すでに生命情報学などの具体的な取り組みが始まっている。また、特に①に関連した興味ある視点として、「オープンシステムサイエンス」がある[1]。

地球環境、持続性社会、健康・生命の維持、経済・社会の安定、複雑・巨大な人工システム（インターネットなど）などの安全性など、超巨大・ダイナミックなシステムにおける問題には、以下のような特徴がある。

- ・ これらの超巨大・ダイナミックなシステムは、相互に複雑に関連したサブシステムからなる全体システムであり、このため、サブシステム間の相互依存性を正確に把握できない
- ・ さらに、日々活動する人間などの生体に対して、あるいは、社会における実用に供したままのシステムにおける問題を解いていく必要があり、問題を再現性のある形で汎用化、抽象化することが困難である

このような問題には、今までのような個々の要素問題に分解して解決する、還元主義的な方法は通用しない。

「オープンシステムサイエンス」の提案では、この超巨大・ダイナミックなシステムにおける問題を解決するために、ものごとの基本原理を探求する「分析」、要素から全体を作る「合成」に加えて、変化に対応して全体を持続させてゆく「運営」の軸を導入し、この三者を統合した新しい方法論が必要である。現段階で具体的な解決方法が明確に提案されている訳ではないが、情報学の重要な課題として捉え、全く異なる取り組みによるこの方向性への挑戦が必要であろう。

### (2) サイバー物理システム実現のための情報学

自動車、鉄道、航空機などの交通システム、エネルギー（電力など）システム、医療システム、環境、農業などの、社会活動の基盤となる社会基盤システムの付加価値を高めることは、持続可能な社会を支えるための地球規模での課題である。

このようなシステムは、その付加価値をソフトウェアとして具現する物理システムで

あることが共通点である。このソフトウェアによる付加価値部分を強調して、サイバー物理システムと呼ぶことができる。このようなサイバー物理システムにおいては、その付加価値を具現化する戦略的方策が不可欠である。具体的には、次の2点が我が国としての研究開発戦略として重要である。

- ① 社会基盤的な物理システムに、新たな付加価値を生み出す「価値創成」研究開発手法。付加価値を具現化するためには、新たな付加価値を生み出す価値創成研究開発手法が不可欠である。
- ② ①に必要な大規模なサイバー物理システムのためのソフトウェア開発。我が国で従来、「組み込みソフトウェア」と言われてきたが、このような実時間・実世界を対象にした巨大ソフトウェアの開発戦略、特にディペンダブルソフトウェアなどと言われる安全、安心でかつ高能率なシステム開発の技術的、制度的、経済的形成が課題となっている。

特に、①のサイバー物理システムに新たな付加価値を生み出す新たな情報学は、情報学分野への新たな挑戦を要求している。

より安全で省エネルギーの自動車や道路インフラ、より高速、省エネルギーで空間利用効率の高い航空機、より効率的で安価、再生可能なエネルギー源や次世代配電網、健康や生命により大きな貢献ができる各種医療システム、賢く安全な農業システム、賢くやさしい介護などのロボットシステムなど、サイバー物理システムへの新たな価値創成を実現するためには、従来にはない全く新しい取り組みが必要である。従来、情報学はアルゴリズムを作り、一方で機械工学、土木、交通工学、生物工学などは、物理現象や対象分析を扱うという形で、情報学と工学は言わば個別の取り組みを行い、その上でそれぞれが互いを「応用する」という形で結合していた。しかし、より大きな展開のためには、これを統一的に融合していくことが第一の挑戦となる。次に、このような統合を実現するためには、物理学と情報学を統一する新たなサイバー物理システムのための科学・技術が必要である。例えば、サイバー物理システムで共通の問題となる力学、時間、電力、物理サイズなど多様な物理要求やセキュリティ、耐故障性などの多様なシステム要求を統一的に扱い、設計していく抽象化手法の再調整などである。これらは情報学を超えた新たな学問分野を要求する重要な課題と考える。

### (3) データセントリック価値創出のための情報学

今後の情報分野を展望して最も顕著と考えられる特徴は、ウェブ空間やさらには実世界観測系からの「爆発する情報」の問題である。ウェブ空間の高度活用と有意な価値の創出は、学術研究、社会、経済活動にとっての大きな課題となる。さらに、人が記述するウェブのみならず、センサが生み出す情報を核とするさらなる多様な情報爆発も見逃すことは出来ない。特に、情報学については、以下の二つの課題が考えられる。情報学委員会ウェブ・メディア社会基盤分科会からは、ウェブ上の情報の保存記録（アーカイ

ブ) 化についての記録『我が国におけるウェブアーカイブ構築の意義および諸課題』[3]が取りまとめられており、二つ目の課題については、本記録に基づいて論じる。

### ① 情報爆発への挑戦手法の開発

ウェブ上の情報は現在も爆発的な増加を続けており、音声、画像、動画、自動生成コンテンツ、対話的コンテンツなど多様なメディアへの進化も日々進んでいることから、ウェブ情報の完全な収集蓄積は原理的に困難となってきた。特に、ウェブで発信される音声、画像、動画などのマルチメディア情報のアーカイブ化には、経済的にも技術的にも課題が多い。多様な利用を可能とするためにはできる限り網羅的な収集または分散収集が必要となるが、必要かつ十分な収集範囲を規定することが重要な課題となる。

さらに、収集・蓄積した情報を保存するだけでなく、効率的・効果的に利活用できるようにするための検索技術やユーザインタフェース技術の開発も重要である。また、多くのウェブサイトは背後のデータベースから動的にウェブ情報を検索・生成する、いわゆる深層ウェブ（deep Web）という構成を取っており、このような深層ウェブのアーカイブ化や、既存の検索エンジンが生成した索引情報のアーカイブ化も重要な課題である。また、ウェブ空間や実世界観測系からの情報収集とアーカイブ化は分散して行われることが普通であるが、利用者の立場からは、これらを横断的に検索・利活用することができるような検索技術も重要である。

総じて、ウェブ上の情報メディアは進化し続け、これに伴う技術開発が今後も重要であることから、中核的・永続的保存機関と最先端の収集・検索・分析技術を有する大学・研究機関との連携が重要である。

### ② 社会・経済的に有意なデータの戦略的収集、アーカイブ、活用の体制など。

ウェブは新しいメディアであるが、急速に、かつ、広範に広がりつつあり、今や、重要な社会情報基盤の位置を占めつつある。その範囲は、学術活動の情報基盤のみならず、国家、文化、社会、国民生活、経済活動など広範囲におよび、過去に発信されたウェブ情報を、その同一性を保証しつつ収集・保存するウェブアーカイブの構築の重要性および緊急性は論を待たない。デジタル起源の情報を発信するウェブは、デジタル起源であるが故に利活用が容易である反面、過去のウェブ情報は書き換えや消去が容易であり、情報の信憑性の担保が難しいという特性を併せ持っているからである。ウェブアーカイブの構築を行うことの意義は大きいですが、一方、以下に述べるように解決すべき課題も山積している。

ウェブアーカイブに関する学術的な観点からの課題は、学術分野においてはその収集保存範囲が我が国に閉じていないこと、言語の壁、国立研究機関や学会などの収集保存主体の連携をいかにして行うかなどである。また、ウェブというメディア自体が依然発展途上にあるため、ウェブアーカイブの構築およびその検索・利活用のための技術研究開発が重要であるが、これをどのように推進するかも最重要課題の一つであ

ろう。

アーカイブの主体の選択に関しては多様な考えがある。経済的な観点からは、ウェブアーカイブ構築に関しての国と民間の役割分担とともに、産官学連携や中央・地方連携のもとにいかに関築を行うかが重要な論点である。

ウェブからの情報発信の影響力が著しく増大しつつある今日、ウェブアーカイブは膨大な個人の情報発信に基づくデジタル民主主義の促進につながる大きな力を有しているが、それ故に発信情報の同一性保証などによる安全安心な社会活動の基盤を構築することは、重要な課題となる。

#### (4) その他の新たな研究課題

情報学分野で今後 20 年程度を想定した時、重要とする基礎的な研究課題を次に示す。

- ・ 人間の行動や心理、認知の解明や、その結果を活用した新たな情報学手法の展開
- ・ 高齢者や障害者などを含む人々の生活の質の向上のための情報学
- ・ 現在の情報化社会の基盤であるネットワーク技術の限界の指摘と、それを超える将来ネットワーク（我が国では新世代ネットワークという）の必要性
- ・ 統計科学・情報学融合による新しいモデリング研究

第1項目、第2項目についてはすでに多くの研究が開始されており、ここではその重要性を提起するにとどめる。以下、第3項目、第4項目について詳述する。

##### ① 新世代ネットワークの研究必要性と今後の方向性

21 世紀に入った 10 年間に人類の社会生活、経済活動が ICT による社会基盤に依拠するレベルが急速に高まっており、その ICT 基盤に対する要求条件が各段に高度化、広範囲化しつつある。また、地球環境の保全に対する要求条件もますます厳しくなっており、ICT 基盤のエネルギー消費の効率化が求められている。

従来は、IP ベースのインターネットと電話網と 2 種の情報ネットワークが存在していた。それが、2010 年代には電話網も IP ベースの次世代ネットワーク（NGN: Next Generation Network）によって置き換えられようとしている。さらに、2020 年代以降には、集中制御のサーバー・クライアントシステムから分散制御のクラウドコンピューティングシステムに移行すると考えられている。ネットワーク基盤もインターネットや次世代ネットワークの延長ではなく、新しいネットワークアーキテクチャとプロトコルによる新世代ネットワーク（NWGN: New Generation Network）が必要となる。

新世代ネットワークの研究開発は米国・欧州で公的資金が投入され大きな研究資源により開始されており、韓国、中国のアジア勢も研究プロジェクトを立ち上げている。ICT 基盤のパラダイムシフトをもたらす新世代ネットワークとクラウドコンピューティングシステムの研究開発は日本の産学官を結集して取り組むべき最重要課題である。新世代ネットワークにおいては新しいアーキテクチャとプロトコル、ネットワーク仮

想化技術、センサネットワークなどの革新的なネットワーク構成技術、爆発的に拡大する情報を安心・安全に流通させる新しいネットワーク制御技術などの研究が必要である。それらを実現するためには、従来の通信理論、ネットワーク理論を超える科学的手法（ネットワークサイエンス）の確立が必須である。またそれらの新しい手法やシステムの性能、信頼性、保全性、消費電力の大幅な削減を実証する大規模なネットワークテストベッドの構築・運用と他国のそれらとのグローバルな接続実験ができる環境の整備が必須である。

現行のインターネットの開発には、10年以上の長期的研究開発を要している。これと同様に新世代ネットワークの開発にも長期的研究開発と多くの産学官の研究者が自由に参画できるオープンな国家的プロジェクトと位置付け、十分な公的資金を投入することが求められる。日本発の技術がグローバルに適用される成果をもたらすことによって、日本のICT産業のグローバル的発展と日本社会、そして人類社会の継続的発展に貢献できる。

## ② 実世界とサイバー空間をつなぐモデリング研究の推進

大規模・大量データに基づいて複雑な現象の理解や未来予測を実現するためには、直面する問題の背後に潜む様々な不確実性や多様性を的確に捉えつつ対象の「機能」を数理表現し、時々刻々蓄積し増大する実データや知見に基づいて循環的に知識を発展させるモデリング技術が枢要である。この確立のためには、諸科学、産業界の直面する未解決問題に挑みながら、統計科学、情報学の先端研究の知識融合によって新たなデータ解析技術・ツールや能動的センシングの研究開発を行うことが急務である。特に、次のような研究課題は、統計科学と情報学が担う重要な課題である。

- ・ シミュレーションモデルと大規模データ情報を統合するデータ同化技術
- ・ 商品・サービスの受益者一人一人の満足度を高めることを総合的に実現する個人適用化（パーソナライゼーション）技術
- ・ 統合的リスク管理やリスク予測の基盤となるリスクの定量的評価を実現するリスクモデリングに関する研究
- ・ 自然科学・社会科学の未解決の研究課題に対して、実大量データを起点に挑戦する、統計思考力を備えた人材の育成

### 3 次世代の学術研究推進の「礎」としての情報学

#### (1) E-サイエンスの展開による学術研究の推進

学術研究をより積極的に推進し、かつ、分野や国・地域を超えた連携を強化していくためには、必要とする各種の学術研究資源や、研究活動そのものを、超高速ネットワークを通じて、高度に共有・活用する新しい方法の変革が不可欠である。

具体的には、従来の実験科学、理論科学から、モデル化、シミュレーション、スーパーコンピュータ活用による、第3の研究方法論（コンピューテーショナルサイエンス）、さらに、データ統合や既存の「知」の高度活用による第4の方法論であるE-サイエンスの確立と、より幅広い研究分野への普及が不可欠である。

さらに、共生、オープンシステムサイエンスなどの開かれた学術研究推進や、自前主義的な研究資源の活用から脱皮して、ネットワークで資源を共有するスタイルであるエコ学術研究体制（学術クラウド型研究体制などと呼ぶこともある）等の新しい変革の方向性に、学術分野も早急に対応すべきである。このための情報学展開（次世代情報基盤やE-サイエンス展開）が重要な課題である。

コンピューテーショナルサイエンス、あるいは第2章の(3)「データセントリック価値創出」で論じた様々な手法を研究推進のツールとして駆使する「データセントリックサイエンス」を進展させる過程で、科学者達が互いに連携をして大量のサイエンスデータを扱うための新しい手法の提案、あるいは新たな機能の開発などを行って、科学上の思いもかけない発見や新たな真理の探究を実現する可能性が出てきている。

そのような可能性を一層高めるために、高機能コンピュータと高速ネットワークからなる高度な情報基盤が必須であり、様々な科学者コミュニティがバーチャルに活動できる新たな情報基盤の実現が21世紀の学術の基幹として緊急の課題である。また、このような高度な情報基盤を駆使することを想定しながら、科学者コミュニティ自らが、新たな研究方法論の創出のために実践を重ね、その手順を確立しつつある。その新たな研究方法論がE-サイエンスであり、コンピューテーショナルサイエンスやデータセントリックサイエンスを包括した方法論である。ここでは、情報学委員会 E-サイエンス分科会が取りまとめた記録『日本における E-サイエンスの推進に関する諸課題』[4]に基づいて、E-サイエンス（我が国では e-サイエンス、e サイエンスとの表記もある）についての今後の重要な課題などを論じることにする。

新たな研究方法論としてのE-サイエンスを推進するための礎として、情報学分野における大量のサイエンスデータを扱うための新しい手法の提案、あるいは高度で高速な情報処理機能の開発などを行うことが求められる。その観点からも情報学は、あらゆる分野の学術において新たな発見や真理の探究を実現するための基盤的学問分野でもあると言えよう。

まず、E-サイエンス推進のために現在までに我が国や海外で実現されてきた活動を概観すると以下のような多くの事例を見ることができる。

- ・ 研究用グリッド基盤（高速ネットワーク上での計算・データなどの大規模連携）構築：  
大規模なスーパーコンピュータから研究室のパーソナルコンピュータまでを高速ネットワークで連携させ、計算・データ・ネットワーク資源の共有を実現する高度な情報基盤の構築。
- ・ 高度な実験装置など、各種実験資源の高速ネットワーク上での共用：  
電子顕微鏡、大型研究施設などを遠隔から共用することを実現。
- ・ 観測データなどのリアルタイム連携（センサネットワーク型）：  
天文、地震、生態分野など、散在する大量の観測データをリアルタイムで計測・処理することを実現。
- ・ サイエンスデータベース、学術コンテンツなどのデータ共有・共用：  
観測データのみならずシミュレーション結果などをアーカイブ化し大規模なストレージシステムを用いて共有することを実現。

## (2) E-サイエンスを推進する上での重要課題

### ① E-サイエンス推進に必要な次世代学術情報基盤整備

E-サイエンスの推進基盤として、現在、国立情報学研究所(NII)を中心にして推進されている「学術情報基盤整備（サイバー・サイエンス・インフラストラクチャ：CSI）」を一層高度化することが必須の要件である。E-サイエンスに必要なネットワーク帯域を確保することのみならず、全国を格差なくカバーする広域性も重要である。並行して、大学等の学内ネットワークの高度化も行い、大学や研究機関が保有する、スーパーコンピュータや大規模なストレージを含む情報資源が、国全体で活用できるようにする必要性も看過してはならない。このようにして、データセントリック処理向けの総合的なグリッドシステムを構築することにより、各種のアプリケーションの提供・共有までを行うことが可能となる。このような基盤が今後「学術クラウド基盤」として我が国の教育研究に必須のものと発展していくと期待される。

### ② 学術情報のオープン・アクセス(OA)に関する国レベルの方針提示

サイエンスデータベース、学術コンテンツなどのデータ共有を実現するには、インターネットを通じて無料で提供するオープン・アクセスが重要な鍵になっている。国際的な連携のもとで進める観点も重要である。

現在、大学では欧米の学術出版社から許諾を受ける電子ジャーナルの価格の高騰が最も困難な問題となっており、国レベルでの議論を必要としている。そのような国内状況のなかで、機関リポジトリ構築が注目されている。機関リポジトリとは、大学とその構成員が創造したデジタル資料の管理や発信を行うために、大学が構築する情報発信システムである。今後は、学術論文や学術資料に加え、観測データ、実験データなどのサイエンスデータベースのオープン化をいかに推進していくかが大きな課題であり、これらも大学等の機関リポジトリで公開されることが期待される。

ただし、これらのデータを公開するに当たっては、データそのものが創造性に富む科学的な発見資源であることを考えると慎重な判断を要する。公開に向けては、著作者の権利保持に関する工夫が必要であろう。

### ③ サイエンスデータベース、学術コンテンツなどの整備・拡充に関する国レベルの統合的な体制作り

サイエンスデータベースや学術コンテンツなどの整備・拡充は、国の学術研究の推進のためにますます重要である。より効率的で網羅的な事業推進を可能とするために、国立国会図書館(NDL)、国立情報学研究所(NII)、科学技術振興機構(JST)をはじめとする主要関連諸機関で連携・調整をしながら、大学などとも密接に協力しつつ、各機関のミッションに沿った効率的な情報の電子化と相互運用性の向上について連携を促進することが必要である。

### ④ E-サイエンスに関わる高度人材育成

E-サイエンスの振興には、計算科学的な「対象となる学問分野」の推進に「情報分野」の研究者が関わる形態が通常であるが、現状では、「対象となる学問分野」の研究者と「情報分野」の研究者が二つのグループに分かれてしまっている。E-サイエンスが特に強みを発揮する融合領域研究を推進する上では、他の分野のことも理解できる人材の育成が強く求められている。そこでは、自分自身の研究領域に関する深い知見をもっていることと同時に、E-サイエンスの情報基盤に関する知識を有し、それを使いこなす技術が重要である。E-サイエンスの推進過程において情報学が取り組むべき新たな技術課題、研究テーマを見出し、研究者自身の学問分野の進展を大きく先導していけるような高度な人材を育てることが急務である。

## 4 課題解決のための情報学展開

### (1) グローバル課題解決のための情報学展開

様々な地球規模の問題群の出現や、国内の諸問題の深刻化に伴い、ヨーロッパ連合(EU)、米国や我が国を始めとする各国で、数十年以上先を見通した全地球的なレベル、あるいは国家レベルでの重要な課題に対応していくための具体的な計画、施策が取られている。グローバルな課題として共通に認識されているものは、CO<sub>2</sub>削減などの環境問題、エネルギー問題、新型疾患リスク、食料問題などであり、我が国における深刻な問題としては、少子・高齢化問題、安全社会の実現などがある、これらの課題は、経済成長などとの要素と両立させつつ、全分野、全世界の協力・協調の下、解決策を具現していく必要がある。その際に、全世界で強く求められているのが、「情報通信 (ICT) の利活用によるグローバル課題の解決」である。情報学はこれらのグローバル課題解決のための展開方策を提示していく必要がある。

第2章の(2)で述べたサイバー物理システムは、全く新しい情報学方法論を提示することにより、問題解決に貢献する、いわば分野からの視点に立った方法論である。これに対してグローバル課題には解が必要であり、情報学分野からの貢献は、必須である。その際の評価軸は、いかに効果的に課題の解決に貢献できるか、また、それが実際に活用されるかである。このために重要なことは、グローバル課題そのものを扱っている他分野との、また国際的で積極的な連携である。また、研究者としては、情報学だけではない複眼的な知識、見識、活動舞台を有する人材が望まれる。

これらを前提にして、最も必要なことはその課題解決のための将来ビジョンを具体的に提示・合意し、その実現のための活動方針を設定して活動していくことである。

CO<sub>2</sub>削減やエネルギー問題への貢献、安全社会の実現などの課題にチャレンジする次世代交通システムである高度道路交通システム (Intelligent Transport System: ITS) を例にとって少し具体的に示す。ITS とは、最先端の情報通信技術を用いて人と道路と車両とを情報でネットワークすることにより、交通事故、渋滞などといった道路交通問題の解決を目的に構築する新しい交通システムであり、我が国の ITS の関連組織は、自動車や電機などの産業界、国土交通省・警察庁・総務省・経済産業省の省庁、地方自治体、大学・研究所、産業界のまとめ役である特定非営利活動法人の ITS Japan などである。そして、内閣府 IT 担当室に設けられた ITS 推進協議会が、2010 年までに、8 箇所の地方自治体の大規模実証実験エリアで、交通事故死者ゼロなどを目標設定し、その実現のための活動方針を3段階に分けて計画し、産官学民連携してその実現を具体化している。その中で、情報通信研究開発の具体的方向性も明確化されつつある。

他のグローバル課題についても、問題ごとに事情の違いはあるものの、「ビジョン設定と合意」と「連携による活動方針の具現」は共通した取り組みであろう。情報学においては、実世界とサイバー空間をつなぐモデリング研究により「ビジョン設定と合意」をはかり、ソフトウェアによる付加価値創成により「連携による活動方針の具現」を実現することができる。

## (2) 新たな文化や社会実現のための情報学展開

社会のあり方や文化などの活動に対して、従来にない新たな方向性・付加価値やコンセプトを提供していくことも情報学が貢献すべき重要な目標である。これらの視点から重要と考えられる課題は次の諸点である。

- ① 新しい情報技術の開発や活用による新たな文化形成や、メディア芸術の振興、伝統文化の継承などへの貢献
- ② 図書等の電子化の進展で、変化する出版、図書館、美術館・博物館、資料館等の将来展望
- ③ オープンなネットワーク上で形成されつつあるクリエイティブコモンズなどの共生型社会の可能性と、ネットワークが招く負の側面との調和

①の新しい情報関連技術による新たなメディア芸術や伝統文化の継承などへの貢献については、従来からも多くの取り組みがある。コンピュータグラフィクス技術、3D映像技術などが代表的なものである。しかし、これらはさらに技術的な進展（超高精細映像技術など）や、これらを駆使するクリエイタの育成、ビジネス成立前の国などからの支援の充実などの普及に向けた課題は多い。いずれにせよ、「文化を創り、文化を継承することをおろそかにする社会に未来はない」ことを銘じつつ、情報学分野としての努力が不可欠である。

②の図書等の電子化と出版、図書館、美術館等の将来像は、広義には①の一角をなす問題であるが、より具体的に事態が動きつつある。

米国グーグル社は2005年より全米などの大学図書館の所蔵図書を電子化（テキスト化）、無料閲覧を展開し、我が国でも2007年より慶応義塾大学図書館との提携を行っている。さらに2009年に米国出版社協会等との和解によりグーグル社による書籍デジタル化が米国内で商用利用可能になった事態が、我が国も含めた出版、図書分野に大きな波紋を投げかけている。電子化により広がる活用、ビジネスの可能性の積極面と、著作権との両立、従来ビジネスモデルとの軋轢、情報独占への危惧などの調整を要する多くの課題が一気に具体化してきている。

美術館、資料館等についても、グーグル社による電子化の脅威とそれへの対抗策としての電子化の普及方策も含めて、同種の問題が近づいている。

情報学分野としては、電子化による付加価値の増大の最大化と、付随する多くの課題の負の側面を最小化とを両立できるよう全体的に捉えていく基本スタンスが必要である。また、電子化により美術館・博物館、図書館、資料館は、互いに重なる側面が増大する。独自の側面を意識しつつ、MLA (Museum, Library, Archive) 連携を強める方向性も有力であろう。

③の情報学、特にインターネットが持つ社会的影響への対応は、従来から多くの指摘や議論のある情報化社会の光と影の問題である。

ここでは、第2章(1)の「オープンシステムサイエンス」でも触れた、新しい科学研究

の方法論の一般化形態である、インターネットにより実現されつつあるクリエイティブコモンズなどの共生型社会と、理念的にその対極にあるインターネットにおける独占の問題に触れておきたい。

インターネット以前には、自前主義で、必要な情報やサービスを作り出していた。それが、インターネットの進展と高度化により、共に作り共に利用する形態が可能となった。つまり、学術研究や創作、映像やゲームなどのエンタテインメントなどあらゆる分野での「共生型社会」を形成させつつある。代表的な試みとして、レシックの提唱する共生型社会（クリエイティブコモンズ）などがある。クリエイティブコモンズとは、著作権者の権利は守りつつ、かつ著作物の流通を促進するための仕組みであり、知的財産の保護を図りつつ、積極的な著作物の流通を促進することを目的としている。

環境などのグローバル課題解決には、協調が不可欠であることの認識が深まっているが、インターネットの進展と高度化により、ハンティントンの言う「文明の衝突」の限界も明らかに認識されてきている。情報学分野は、歴史的な背景の存在にも十分留意しつつ、新たな社会形態への進展に貢献できるという自負を持つべきであろう。

一方で、「勝者独り勝ち」というネットワーク社会での現実に帰因する「独占」の問題は、このような共生型社会に背を向けるものであるという認識を同時に持つ必要もあろう。

### (3) 安心、安全で活力ある社会の基盤としての情報学展開：

社会・経済などの活動のあらゆる断面に、情報システムが深く関わっている現在、社会基盤強化やリスク対応のための積極的、戦略的な対応が不可欠である。主な課題として、ここでは、次の2つを取り上げる。

- ・ 社会基盤としての情報システムのセキュリティとディペンダビリティ対策
- ・ 世界空間での新たな情報活動を支える空間情報基盤やその社会活動基盤の形成とその活用

前者の課題については、情報学委員会セキュリティ・ディペンダビリティ分科会が提言『情報社会基盤政策機関の設立検討に向けて』[5]、また後者の課題についてはユビキタス空間情報社会基盤分科会が提言『安定持続的なユビキタス時空間情報社会基盤の構築に向けて』[6]を発出している。これらの提言に基づき、本節では上記の2課題について論じる。

#### ① 社会基盤としての情報システムのセキュリティとディペンダビリティ対策

我が国の国民生活や社会経済活動に多大な影響を及ぼすいわゆる重要な社会基盤は、コンピュータシステムやインターネットなどのいわゆる情報基盤の普及とともに、密接かつ複雑に相互に関与するようになった。いまや社会基盤としての情報システムは、我が国の社会的経済基盤および社会的生産基盤の効率化を進めるだけでなく、電子商

取引などの新しい産業形態や e-tax などの電子行政の進展など、生活基盤そのものを急激かつ大幅に変容させ、我々の生活に必要なものとして定着しつつある。

しかしながら、急激な変容とともに、これまでの社会基盤では起こりえなかった情報システムの関与する事故が起こるようになった。これは、情報システムの保護技術の整備が不十分であるとともに、法律・倫理および教育など社会生活規範の整備が不十分であることが要因である。このような現代の多様な変化のもとで、データや資源の保全性を保証する「セキュリティ」とシステムの包括的な信頼性や保全性を保証する「ディペンダビリティ」は人の生活と社会の活動が安心して依存できる良質で信頼できるサービスを提供する情報システムの構築を目標とする。つまり、セキュリティとディペンダビリティは情報社会基盤強化としての重要な役割をもつ。

一方で、セキュリティとディペンダビリティは情報学の様々な分野の発展に寄与し、逆に様々な分野の成果を吸収し自ら発展する総合科学としての重要な役割も持つ。例えば「礎」の学問としての情報学の課題である「超巨大規模システム解析」、「無限・開放型システム分析・シミュレーション」、「組み込みソフトウェア」、「情報爆発への開発」などでは、データやソフトウェアの完全性や秘匿の実現が不可欠である。また、情報学が実現する「生活の質向上」においても、プライバシー保護や異なる情報間の分断の実現が不可欠である。次世代の学術研究推進の「礎」としての情報学がすすめる新たな研究方法論である「オープン型学術研究推進」、「エコ学術研究体制」で行われる異なるデータの統合や既存の「知」の統合活用には、「統合前後の各データや知の完全性検証」や「いつでもどこでも必要なデータや知が利用できる頑健性」の実現が必須である。さらに、新たな文化や社会実現のための情報学展開である「図書館、美術館、博物館の電子化」では、著作権保護やプライバシー保護の実現は必須である。これら完全性、秘匿、可用性、プライバシー保護、異なる情報間の分断、著作権保護などは、セキュリティあるいはディペンダビリティの根幹的な研究テーマであるが、対象によって、適用できる研究・技術も異なり、情報学の発展とともに進歩する永久的な研究課題といえる。残念ながら、情報学の各分野とセキュリティとディペンダビリティの分野間での研究あるいは人的な融合が進んでおらず、分断されていることは大きな問題といえる。

このような背景の下、セキュリティとディペンダビリティの情報社会基盤強化および情報学の発展に不可欠な研究課題として、2つの側面での課題を挙げる。

## ア 情報社会基盤強化の研究課題としての重要課題

情報社会基盤の普及に対応した社会生活の規範の確立が重要な課題である。具体的には以下の課題が挙げられる。

- ・ サイバー犯罪による被害者や加害者、情報社会基盤の脆弱性の発見や研究者の保護に関する法制度の整備
- ・ 各種団体の情報社会基盤の指導・管理の体制の整備
- ・ 情報社会基盤を構築あるいは管理・運用、指導を行う人材の知識・技術を客

観的に評価できる資格認定制度の整備

- ・ 情報システムが主原因となる事故および重大事件の原因を科学的に究明し、公正・中立の立場から事故の防止に寄与する事故調査委員会の設置
- ・ 情報社会基盤に関わる課題を一元的に扱う機関の設立

## イ 情報学の発展に不可欠な研究課題としての重要課題

セキュリティとディペンダビリティの研究開発は情報学の様々な研究分野の進展に密接に関与しており、情報学の各研究分野の発展のためには、セキュリティとディペンダビリティの研究開発の推進が不可欠である。さらに、情報学の各分野とセキュリティとディペンダビリティの融合による、さらなる情報学の発展・創造を実現する仕組みの構築が必要である。

## ② 世界空間での新たな情報活動を支える空間情報基盤やその社会活動基盤の形成と活用

いつでも、どこでも、誰でもが、状況に応じて最適化された、情報通信技術によるサービスを受けられるような社会のことをユビキタスコンピューティング社会と呼ぶ。このような社会の実現は、技術的には日本が世界をリードしているユビキタスコンピューティング技術の研究開発の成果により、現実的なものになっている。特に、最近の地理空間情報への社会的関心の高まりとともに、実世界と仮想空間を融合するというユビキタスコンピューティングの理想は実現に向けて大きく動き出している。

しかし、このような優れた要素技術を実際に運用し「ユビキタス空間情報社会」を創り出すためには、関連制度の設計や標準化の取り組みなどを通して、社会基盤としての整備を進めることが不可欠である。具体的には、実世界を構成する実際の人・モノ・事象を、空間的・時間的なデータとして相互に関連付けられた形で整備し、統合的に高度利用するためのオープンで、かつ安心・安全な基盤が必要である。

この実現のためにとりわけ重要な基礎となるのは、

- ・ 複数の識別体系・時空間参照系の連携を可能とする基盤の実現、および、
- ・ 場所定義とその識別子を明示的に付与することを推進する法体系の整備

を目指した取り組みである。そのための具体的なユビキタスコンピューティング技術としては、「uコード」と呼ばれる固有の識別子を活用し、空間・場所（およびそこに存在するモノ）に認識番号（ID: Identification）を振るという試みを推進する提案がなされている。

場所や物の識別子としては、住所、緯度経度、公物管理番号などが応用の必要性に応じた多様な形ですでに存在し運用されているが、このuコードを利用する方式の大きな特長としては、これら既存の識別子に大きな変更を加えることはなく、それらの関係性を明示することで、情報システムによる場所情報の一括管理・運営を可能とす

る点にある。この特徴により、既存の識別子を利用した位置情報システム（機械的なものだけでなく、制度的なものも含め）の大きな変更なしに、相互運用性を確立し、それによって先に述べた「ユビキタス空間情報社会」のための基盤を、無理なく現実的に実現できるということである。

現在でも国土地理院によるインテリジェント基準点の整備などに u コードが用いられているが、それに加えて、日本国土レベルで ID 整備を進めるために、街区基準点や住居表示板などへのコード付与を社会的に進めることが望ましいと考えられる。これら「基準点」への u コード付与により実空間での場所情報発信を進めれば、全地球測位システム（GPS:Global Positioning System）の位置特定に見られる誤差の問題や屋内での位置情報所得の困難さも補完でき、統合的でより高度な位置情報サービスを提供することが可能となる。また、応用的・付随的な効果としては、基盤地図と現地との対応付けがなされる、異なる出自を持つ地図間のずれを補正できる、緊急時の通報・位置特定が容易になる、土地境界などに関する紛争の減少を見込める、などの点が挙げられる。

#### (4) その他の課題：

情報学がその本来の社会的貢献を果たしていくための課題は、その他にも数多くある。特に我が国においては、著作権法と個人情報保護法などの制度、あるいは我が国指向（ガラパゴス化）から国際標準への意識の変革などが重要である。

## 5 情報学人材の育成

理学・工学系における人材の育成については、第三部（理学・工学）の情報学を含む全11の分野別委員会合同の若手・人材育成問題検討分科会からの提言『新しい理工系大学院博士後期課程の構築に向けて－科学・技術を担うべき若い世代のために－』[7]が発出されている。本提言に基づきながらもさらに、情報学分野が以上述べてきたような課題を含めた社会的貢献を実現していくためには、教育課程における人材育成のあり方や、新しい資質を持つ情報学人材の育成が重要である。教育・人材育成には多くの課題があるが、本章では、以下の3点を重要戦略として提案する。

### (1) 小・中・高校レベル教育における情報学分野の「見える化」や、持つべき資質の提示、大学・大学院レベルでの情報分野人材育成のグランドデザイン

情報学の人材育成における重要な課題は、「情報離れの阻止」である。これは、小・中教育における「理科離れ」、高校教育における「理学・工学離れ」と密接に関わる問題である。その原因の一つは、科学の方法論が実験科学から理論科学、コンピューテーショナルサイエンスへと変遷するにしたがって、内容が見えにくくなることがある。情報学分野はその典型例になっている。したがって、情報学分野の「見える化」に関しては、見える存在である自然現象や社会現象などに関連づけて情報学の重要性を説くとともに、現在の社会基盤を支えているのは情報基盤であり、情報学はその構築に不可欠であることを生徒や学生に十分に理解させなければならない。小・中・高校レベルから大学・大学院レベルまでの、情報学の見える化を可能にする資質を備えた教育人材の育成と教材の開発を行うためのグランドデザインが必要である。

### (2) 情報処理技術スキルのみならず、他分野との融合における新たな価値の創成を担保する人材の育成

情報技術が社会基盤化した現在、情報学は、生命情報学、ゲノム情報学、神経情報学に代表される多様な他分野と融合し新しい価値を創成する「礎」としての性格を強くしてきた。このような異分野で活躍する情報学人材を育成するには、主として二つの方法が考えられる。

第一は、大学レベルの教育において、リベラルアーツの教育を充実させることである。近年の学問の細分化によって、専門課程の教育が過度に強化されてきた。この結果、情報学に関するスキルだけは身につけているが、関連分野や異分野に関わる広い知識見識を兼ね備え、未来価値を見据えて研究・開発に従事する創造的人材が著しく欠如している。以前は、学士課程で実施されていた人文科学、自然科学、社会科学といった包括的な学問を強化する必要がある。

第二は、大学院レベルにおけるダブル・ディグリー制度の充実である。この制度は、二つの専門分野において対等に学び学位を取得するものであるが、「礎」の学問としての情報学は、ダブル・ディグリー制度を率先して推進すべきである。特に、情報学と異分

野の融合研究プロジェクトの推進には、二つの分野を専門とする人材が中核メンバーとして重要である。国内の複数大学の共同プログラム、共同大学院や海外大学との協定締結によって、大学院生側からみて、ダブル・ディグリーを取得しやすい環境の整備が重要である。また、ダブル・ディグリーの取得が、将来のキャリアアップにつながるような奨励制度など社会環境も整える必要がある。ダブル・ディグリー制度は、以前よりは重視されつつあるが、まだ、国外に比較して限定的な状況にとどまっており、強力な推進が期待される。

### (3) 高度IT人材の育成

高度 IT 人材、特に高度ソフトウェア人材が質・量ともに不足していることは、国際競争力にも直結する深刻な問題として指摘されてきたが、同時に、大学の供給する人材と産業界のニーズとのミスマッチも早急に解決すべき課題とされてきた。これらの問題は、大学側だけ、あるいは産業界側だけの努力により解決する問題ではなく、双方が協力・連携して解決に当たるべき問題である。解決策への試みとして、文部科学省の科学技術振興調整費の新興分野人材育成プログラムにおいて、高度ソフトウェア人材育成が取り上げられた。その一例である国立情報学研究所の産学融合先端ソフトウェア技術者養成拠点の形成では、大学のソフトウェア科学の成果と企業におけるソフトウェア開発現場の課題を融合させ、世界最先端のソフトウェアツールを駆使し、課題解決に取り組むための実践的な教材を産学連携で開発し、この教材を活用した講座の開設により、人材育成に成果を上げている。これらの成果は、現在、推進中の「先導的 IT スペシャリスト育成推進プログラム」に引き継がれ、さらに後継として「高度 IT 人材育成拠点の広域展開」が検討されている。これらの産学連携体制は、大学院のソフトウェア教育において、企業などにおいて高度 IT の先導的役割を担う人材を育成するだけにとどまらず、海外でソフトウェア開発やシステム運用を行うオフショア開発も念頭において、これらの人材のスキルを企業の現場において活かすことによって、人材のさらなる成長を促すという点が重要である。このことに産学連携体制の成否がかかっており、継続的な努力が必要である。

## <参考文献>

- [1] オープンシステムサイエンス (原理解明) の科学から問題解決の科学へ) NTT 出版 2009 年
- [2] <http://varma.ece.cmu.edu/Summit/>
- [3] 日本学術会議、情報学委員会ウェブ・メディア社会基盤分科会、記録『我が国におけるウェブアーカイブ構築の意義および諸課題』、2008 年 9 月 4 日
- [4] 日本学術会議、情報学委員会 E-サイエンス分科会、記録『日本における E-サイエンスの推進に関する諸課題』、2008 年 8 月 22 日
- [5] 日本学術会議、情報学委員会 セキュリティ・ディペンダビリティ分科会、提言『安全・安心を実現する情報社会基盤の普及に向けて』、2008 年 6 月 26 日
- [6] 日本学術会議、情報学委員会 ユビキタス空間情報社会基盤分科会、提言『安定持続的なユビキタス時空間情報社会基盤の構築に向けて』、2008 年 6 月 26 日
- [7] 日本学術会議、環境学委員会・数理科学委員会・物理学委員会・地球惑星科学委員会・情報学委員会・化学委員会・総合工学委員会・機械工学委員会・電気電子工学委員会・土木工学・建築学委員会・材料工学委員会合同 若手・人材育成問題検討分科会、提言『新しい理工系大学院博士後期課程の構築に向けてー科学・技術を担うべき若い世代のためにー』、2008 年 8 月 28 日