

記 録

文書番号	S C J 第 2 1 期-230930-21550300-028
委員会等名	日本学術会議 総合工学委員会 工学基盤における知の統合分科会
標題	知の統合の体系化と推進に向けて － 工学基盤からの視点 －
作成日	平成 2 3 年（ 2 0 1 1 年） 9 月 3 0 日

※ 本資料は、日本学術会議会則第二条に定める意思の表出ではない。掲載されたデータ等には、確認を要するものが含まれる可能性がある。

この記録は、日本学術会議 総合工学委員会 工学基盤における知の統合分科会の審議結果を取りまとめたものである。

日本学術会議 総合工学委員会 工学基盤における知の統合分科会

委員長	舘 暲	(連携会員)	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科・教授
副委員長	萩原 一郎	(連携会員)	東京工業大学大学院理工学研究科・教授
幹事	中西 友子	(連携会員)	東京大学大学院農学生命科学研究科・教授
幹事	原 辰次	(連携会員)	東京大学大学院情報理工学系研究科・教授
	笠木 伸英	(第三部会員)	東京大学大学院工学系研究科・教授
	岸浪 建史	(第三部会員)	釧路工業高等専門学校・学長
	小林 敏雄	(第三部会員)	(財)日本自動車研究所副理事長・研究所長
	柘植 綾夫	(第三部会員)	芝浦工業大学・学長
	林 勇二郎	(第三部会員)	北陸先端科学技術大学院大学・監事
	矢川 元基	(第三部会員)	東洋大学計算力学研究センター長・教授
	山地 憲治	(第三部会員)	東京大学大学院工学系研究科・教授
	飯吉 厚夫	(連携会員)	中部大学・総長
	池田 雅夫	(連携会員)	大阪大学大学院工学研究科・教授
	上田 完次	(連携会員)	東京大学人工物工学センター長・教授
	内田 健康	(連携会員)	早稲田大学理工学術院・教授
	小野 晃	(連携会員)	(独)産業技術総合研究所研究・副理事長
	川村 貞夫	(連携会員)	立命館大学理工学部・教授
	木村 英紀	(連携会員)	理化学研究所バイオミメティックコントロールセンター・チームリーダー
	小泉 英明	(連携会員)	(株)日立製作所・役員待遇フェロー
	小畑 秀文	(連携会員)	東京農工大学・学長
	小林 尚登	(連携会員)	法政大学デザイン工学部・教授
	佐野 昭	(連携会員)	慶應義塾大学理工学部・教授
	杉原 正顯	(連携会員)	東京大学大学院情報理工学系研究科・教授
	架谷 昌信	(連携会員)	愛知工業大学工学部・教授・総合技術研究所長
	早川 義一	(連携会員)	名古屋大学大学院工学研究科・教授
	藤井 孝藏	(連携会員)	(独)宇宙航空研究開発機構情報・計算工学センター長・教授
	真壁 利明	(連携会員)	慶應義塾大学理工学部・教授
	吉川 弘之	(連携会員)	科学技術振興機構研究開発戦略センター長
	吉村 忍	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科・教授

要 旨

本記録は、日本学術会議 第 21 期の「総合工学委員会：工学基盤における知の統合分科会」における「知の統合体系化小委員会」と「知の統合推進小委員会」の二つの小委員会の活動を中心に、「知の統合」に向けた具体的活動のあり方を示すものである。

まず「知の統合」とその歴史を振り返った後、二つ小委員会の活動の結果を紹介する。「知の統合体系化」に向けては、まず知の統合の視点から「制御理論」、「ナノ・マイクロ・エンジニアリング」、「デジタルヒューマニティー」、「ロボティクス」の4つを事例として、分野創造の経緯と知の統合が起きる経緯について考察する。まとめとして、今後新しい分野での「知の統合」を行うために有用と想定される「知の統合の方法論知」について、事例から議論する。

一方、「知の統合推進」に関しては、まず「知の統合推進」に向けて必要となる枠組みに関してのべた後、知の統合を推進するための「研究の評価」に対する検討結果を紹介する。知の統合を目指す研究の評価に関し、① 短期的指標 → 長期的指標、② 数値的指標 → 非数値的指標 への評価指標のシフトの重要性を述べた後、具体的評価指標として、展開性・波及効果。相乗効果を重視し、かつ研究組織の多様性も評価すべき重要項目であることを指摘している。

目 次

1	はじめに：「知の統合」に向けて	5
2	「知の統合」とその歴史	
	(1) 「知の統合」とは	7
	(2) 「知の統合」の歴史.....	8
3	「知の統合」に向けた体系化	
	(1) 事例の検証.....	9
	(2) 知の統合の方法論知.....	18
4	「知の統合」推進と研究評価	
	(1) 知の統合推進に向けた枠組み	20
	(2) 研究評価に関するこれまでの提言：それらの概要と考察.....	26
	(3) 知の統合推進に向けた研究の評価	29
5	まとめと今後の展開.....	31
	<参考文献>	33
	<参考資料1> 社会のための学術としての「知の統合」推進委員会審議経過	34

1 はじめに：「知の統合」に向けて

近年、環境・エネルギー・食料・医療など様々な社会的課題を解決し、安心・安全で持続可能な社会を構築することが強く望まれており、その実現に向けての科学・技術に対する期待は高まっている。これは、いわゆる社会からの要請に応える「社会のための科学」の重要性の流れである。このような社会的課題は、一般には非常に大規模かつ複雑で、単一の学問分野のみはもとより、単なる複数分野の融合のレベルで対処できるものではない。異なるディシプリンをもつ様々な分野の異なった視点や手法を統合していく必要がある。これが、「社会のための科学」からみた「知の統合」の必要性である。しかしながら、何もしなければ一般には細分化していく科学・技術の発展に抗して、「知の統合」を実現していくのは簡単ではない。「知の統合」に向けた環境を整備し、新しい概念や原理の提案による科学・技術の体系化手法を構築していく必要がある。

このような状況の中、日本学術会議では「知の統合」に向けた活動が行われてきた。2007年には、科学者コミュニティと知の統合委員会が『提言：知の統合－社会のための科学に向けて－』[1]を提出し、「知の統合」の重要性を明らかにしてきた。また、『日本の展望-学術からの提言 2010』[2]においては、「21世紀の世界において学術研究が立ち向かう課題」の解決に向かって、学術の総ての分野の知を結集し統合的研究を進めることの必要性が述べられている。一方、総合工学委員会においても、工学基盤に限定されてはいるものの、2008年には記録『知の統合の具体的方策－工学基盤からの視点－』[3]が「工学基盤における知の統合分科会」によってまとめられた。そこでは、知の統合を推進するための方策として、(1) 戦略的研究プロジェクトを通じたトップダウン型の知の統合の推進、(2) 科学研究費補助金システムによるボトムアップ型の知の統合の推進、の重要性を指摘している。前者に関しては、日本学術会議イノベーション推進委員会からの報告「科学者コミュニティが描く未来の社会」（平成19年1月25日）に提案された課題の中から、知の統合がその成否の鍵と考えられる7つの課題を抽出し、5つのプロジェクトを知の統合を実現する推進課題としてまとめ、それらをトップダウン型研究として実施することを提案している。後者に関しては、科研費申請の窓口となる系・分野・分科・細目の体系は学術の細分化に引きずられてきた面があったことを指摘し、アンケート調査に基づいて、知の統合に関わる課題を受け入れ易い研究種目として、「統合研究」（仮称）を設けることを提案し、それが知の統合の趣旨に沿って適切に機能するように、応募領域の指定方式と審査における評定要素の設定を具体的に策定している。

21期の「工学基盤における知の統合分科会」では、前期の同名の分科会の活動成果としてまとめられたこの記録を受けて、工学基盤という範囲より少し幅広い視点から「知の統合」の体系化に向けた具体的な方法論と「知の統合」を推進していく科学・技術政策に関する審議を行ってきた。その柱は、学問としての知の統合の

方法論と体系化について議論する「知の統合体系化小委員会」と、知の統合推進に向けた科学技術政策と課題別委員会への展開について検討する「知の統合推進小委員会」の二つの小委員会である。

「知の統合体系化小委員会」では、知の創造と知の継承の観点から議論を行い、「知の統合」を「複数分野の知を基盤に新しい知の領域の創成」と「既存の知の共通性の発見とその普遍化」の二つに分けて、具体的事例をベースとしてまとめ、その中から「統合知」の抽出を試みた。一方、「知の統合推進小委員会」では、科学研究費の改善に向けた審議の報告や、JSTにおける研究費配分の基本方針の変更（重点分野指定から課題解決型設定）など外部資金に関する最近の動向をベースにして、特に「研究の評価」という観点での議論を行い、「研究を育て膨らませる評価」という点に焦点を当てて、知の統合推進の方策に関して議論した。

また、「知の統合」を推進していくことの重要性と緊急性を社会的課題の解決に向けた科学技術の発展の視点で議論し、具体的アプローチの紹介を通してアピールすることを目的として、平成22年5月21日に「公開シンポジウム『知の統合』に向けて」を開催した[4]。このシンポジウムは、「知の統合」の社会に果たす役割（第1部）と「知の統合」に向けての具体的な取り組み（第2部）の2部構成で、第1部では文系を含む様々な視点から「知の統合」についての考えが紹介された。第2部では、知の統合による社会的課題へのアプローチを具体的事例を通して議論するとともに、本分科会のそれまでの審議の総括と今後の展望が紹介された。

本報告では、まず「知の統合」とその歴史を振り返った後、二つ小委員会の活動の結果を紹介する。「知の統合体系化」に向けては、まず知の統合の視点から「制御理論」、「ナノ・マイクロ・エンジニアリング」、「デジタルヒューマニティー」、「ロボティクス」の4つを事例として、分野創造の経緯と知の統合が起きる経緯について考察する。まとめとして、今後新しい分野での「知の統合」を行うために有用と想定される「知の統合の方法論知」について、事例から議論する。一方、「知の統合推進」に関しては、まず「知の統合推進」に向けて必要となる枠組みに関してのべた後、知の統合を推進するための「研究の評価」に対する検討結果を紹介する。

2 「知の統合」とその歴史

本章では、学術の動向に掲載された「知の統合」[5]に基づいて、「知の統合」とその歴史について述べる。

(1) 「知の統合」とは

科学という言葉が、分科学という言葉に由来していることから明らかなように、我々は、物事を細かく分けて条件を整理して実験し、理論化することで科学や科学技術を発展させてきた。分科なくして進歩はなく、科学と科学技術が進展すればするほど複合領域が増え、新領域も生まれる。加速度的に、新しい科学の新領域が生まれるのは必然であり宿命とさえいえるのである。

しかし、一方では、このように分科し細分化しすぎた科学の弊害も顕著になってきている。あるディシプリンで最適に設計したつもりの仕組みが、グローバルにみると最適でなかったり、場合によっては最悪になったりする例は、環境問題だけではなく多くの人工物やシステムに既にみうけられる。このまま、細分化の一途を辿ったときの結末は想像を絶して悲惨なものとなろう。それを解決するためには、総合的な学術体系、技術体系が必要であることは明らかである。しかも、それは抽象的な議論ではなく、現実をベースとしたものでなくてはならない。つまり実問題を解決する力のある、社会のための学術でなくてはならないのである。そうした統合への流れが「知の統合」であり、究極的には、その学問体系である「知の統合学」を目指しているといえる。

つまり、「知の統合」は、総合的な学問体系としての「新しい設計論と構成論の確立」と「実問題の俯瞰的解決」を目指してきている。言い変えると、「知の統合学」は、「人文・社会科学、自然科学、設計科学ないしは創造科学を横断的に俯瞰し、知の統合のための方法論と方策を明確にし、その体系化をはかるとともに、知の統合を実践してゆくための科学」といえよう。

従来、知が統合された結果として、大問題が解決したり、新しい人工物が創造されたり、あるいは、科学や科学技術の大発見や大発明があっても、そのための一般的な「知の統合」の方法論が語られることは少なく、まして、そのための具体的なツールが用意されているわけでもなかった。優れたリーダーや良いメンバーに恵まれたグループ、個人の直感力や才能や感性、あるいは、その組織が伝える徒弟間の直伝などによっている。そのような、これまで明確にされることのなかった「知の統合」の方法論を顕在化し、それを、誰もが利用可能にして行くことが求められている。それは、体で覚えるしかなかった「技能」が、誰でもが理屈で習得できる「技術」に高めた過程の再現ともいえよう。そして、この「知の統合」の目的が、「問題解決」や「創造」、「意思決定」あるいは「新たな知の発見」であることから、それぞれの目的のための方法論、組織論、具体的な手法や方策などが体系化されなくてはならないであろう。

それらをすべて列挙し体系化した、いわば「知の統合学」大全の完成が最終目標であるが、残念ながら、現在まだその目次すら明らかでない。既に存在するものと、まだ存在しておらず、従って、オープン・プロブレムとして提起して広く解決を募るべきものなどを明確化して、いわば「知の統合学」大全の「目次」を作りあげることが緊要であり、その目次ができあがった時、「知の統合」が学問として、その第一歩を歩き出すといえるであろう。

(2) 「知の統合」の歴史

コンシリエンス (consilience) すなわち、知識の統合 (the unity of knowledge) は、古代ギリシャの宇宙を支配する固有の秩序という概念に由来するといわれている。この概念は、ルネッサンス期に再発見され、啓蒙思想期に絶頂期を迎えたが、現代科学の振興とともに衰えた。1840年になって「科学者」(scientist) という言葉を作った人物としても知られる William Whewell が、その著書『The Philosophy of the Inductive Sciences, Founded Upon Their History』[6]の中で、consilience を使用し見直され、科学哲学の世界では知られる概念となったが、一般的な認知度は低かった。最近になって、Edward Osborne Wilson が、1998年の著書『Consilience :The Unity of Knowledge』で、C. P. Snow が提唱した自然科学と人文科学を統合する方法についての議論を拡張し、異なる専門化された分野の知識の統合を、consilience という用語を用いて説明してから再び一般的な考え方として議論されるようになってきている。

一方、Swiss Academy of Arts and Science では、Network for Transdisciplinary Research を通じて、transdisciplinary research (横断型基幹科学技術) を推進している。この中心的な活動拠点は、Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich にあり、『Principles for Designing Transdisciplinary Research』(2007年)や『Handbook of Transdisciplinary Research』(2008年)を纏めるなど精力的な活動が進められている。また、The International Center for Transdisciplinary Research (CIRET)が1987年に、Basarab Nicolescuにより設立され、1994年には、「The Charter of Transdisciplinarity」が提案され、『Manifesto of Transdisciplinarity』(2002年)や『Transdisciplinarity - Theory and Practice』(2008年)が出版されるなど積極的な活動が行われている。

我が国に於いても、2003年に、横断型基幹科学技術研究団体連合(横幹連合)が、文理にまたがる43の学会の連合体として設立され、細分化されタテ型の活動が支配する傾向をもつ科学技術に対して、「横」の軸の視点や「知の統合」の重要性を訴えて横断型の科学技術の振興、普及と活用を強化するための活動を行っている。

3 「知の統合」に向けた体系化

知の統合体系化小委員会は、工学基盤としての科学が果たしてきた役割について事例研究を通して検討することにより、新しい発見や創造のための知の統合や、問題解決のための知の統合に必要な具体的な方法論やツールを明らかにし体系化することを目的として設置された。

本章では、まず知の統合の視点から幾つかの事例を考察する。具体的には、制御理論、ナノ・マイクロ・エンジニアリング、デジタルヒューマニティー、ロボティクスの事例とする。最後に、今後新しい分野での「知の統合」を行うために有用と想定される「知の統合の方法論知」について、事例から議論する。

(1) 事例の検証

(1A) 制御理論

・分野創造の経緯

19世紀後半、マクスウェルが蒸気機関の速度制御システムの安定性を解析するために、特性多項式という数式を持ち込み、その根の実部の正負が安定性に関係がありそうなことを見出した。根を直接計算することなく、特性多項式の係数から根の正負を判定する方法をラウスが見出し、制御理論が生まれたと考えられる。特性方程式の根とシス

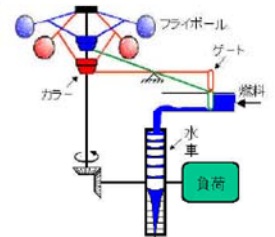
テムの安定性の関係に留まっていれば、数学の世界の議論としか言えなかったかも知れない。しかし、根を計算できなかった時代に、根の性質を明らかにできたことから、制御工学は発展してきたとも考えられる。また、逆に数学の研究に制御工学が動機を与えたという見方もできる。

事例①制御理論

情報提供: 池田雅夫(大阪大学)
資料提供: 足立修一(慶応大学)

～1930年ごろまで 機械工学・ヨーロッパ

1788年 Wattの蒸気機が開発された。
1868年 Maxwellのガバナ(調速器)により一定速度の運転可能
しかし、条件によっては、一定速度と
ならない問題(不安定状態)が発生



蒸気機関のメインシャフトの
回転角運動を表現する微分方程式

$$MB \frac{d^3x}{dt^3} + (MY + FB) \frac{d^2x}{dt^2} + FY \frac{dx}{dt} + FGx = 0$$

数式による問題のモデル化

1930年ごろ～1960年ごろ 電気工学・アメリカ

• ラウスの判定条件
方程式の解を直接計算することなく、特性多項式の係数から解の正負を判定する方法

- リアプノフの安定性
- ストドラのPID制御
- フルビッツの安定判別法
- ナイキストの安定判別法
- ボードの安定判別法
- ウィーナのサイバネティクス 1948年
(動物と機械における通信と制御に関する理論)



その後、安定性の解析法は、ストドラやフルヴィッツの研究により別の形が導かれた。そして、ナイキストによるフィードバック制御系の周波数応答に基づく図的安定判別法、ボードによる周波数応答におけるゲインと位相の関係、リアプノフによる時間領域での安定判別法など、制御工学と数学の知の統合がいくつも生まれてきた。これらは、システムを数式モデルで表すことが制御に関する知見を得るために、どれほど重要かという意識を定着させたと言える。ただし、制御工学の現象を数学で説明するという解析の側面が強く、20世紀後半になるまで制御系設計論として強力なものは現れなかった。

20世紀後半は、数学を駆使していくつもの制御系設計論が導かれた時代である。カルマンによる時間領域の最適レギュレータ理論、ドイルらによる周波数領域の H_∞ 制御理論などとともに、それらから展開したロバスト制御理論により、現実の制御問題と数学的手法のバランスを取りながら制御理論は発展してきている。現在では、制御理論は、機械工学、電気電子工学、情報工学等の分野から、経済学、生命科学等へ広がっている。

・ 知の統合の起こる経緯

制御理論においては、以下の3段階を経て知の統合がなされてきた(下図参照)。

- (i) 19世紀後半の蒸気機関の速度制御では、機械工学と数学の分野の間で知の交流が始まり、新しい分野を形成したと考えられる。その際、発端は知的興味というよりは、蒸気機関を安定に動作させるとの明確な目的であったと考えられる。
- (ii) 蒸気機関の機械工学問題が数学の研究を刺激し、両者が新しい分野を形成した。
- (iii) 電気電子工学、化学工学、生命科学などの他分野と知交流が起こり、知の統合が進んでいる。

1960年ごろ～1980年ごろ 現代制御理論

カルマン

1960年第1回IFAC 国際自動制御連合
World Congress(モスクワ)

最適制御問題

変分法

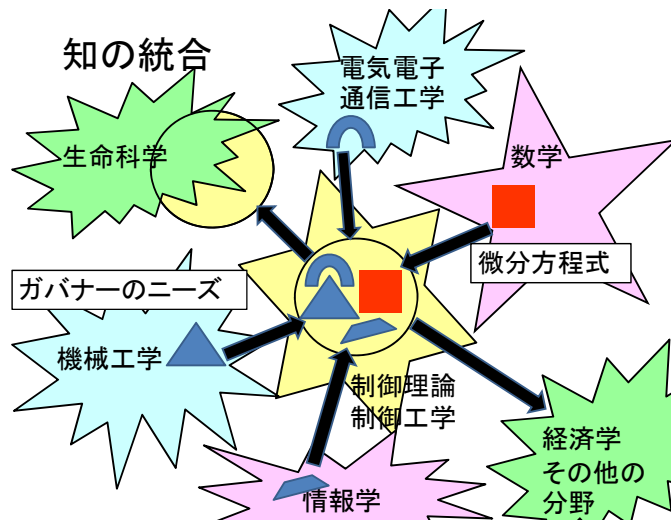
動的計画法 ベルマン

最大原理 ポントリヤーギン

状態空間法

最適レギュレータ 時間領域による設計法

カルマンフィルター



(1B) ナノ・マイクロ・エンジニアリング (NME)

(マイクロマシン, MEMS, NEMS を包含)

・分野創造の経緯

1951年 RCA社によりシャドーマスクが製作され、1963年豊田中研により半導体圧力センサが発表されている。1970年頃スタンフォード大学においてNASAの委託研究として、ガスクロマトグラフがシリコンウエハー上に作成された。

歴史的には、これに続き微細な機械構造が注目を集めるきっかけとなったのは1987年の

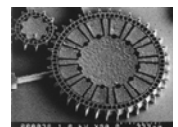
Transducers'87で発表されたマイクロギアやタービンである。その後、マイクロモータ、櫛歯型アクチュエータなどの発明により脚光を浴びる。マイクロギア、タービン、モータ等は、実用的な目的から開発されたのではなく、知的興味からの研究開始であったと思われる。しかし、そのインパクトは大きく、日本の機械工学分野、電気工学分野の研究者も87年ごろに発表されたマイクロギア、タービン、モータ等に触発されて研究を開始しているものがある。

近年では、マイクロからナノの世界に展開され、MEMSからNEMSが実現されつつある。また、バイオテクノロジーとナノテクノロジーの統合技術のナノバイオテクノロジーが生まれ、生きた細胞のナノレベルでの操作技術・機器、生物材料の持つ自己組織化能や生体分子そのものの機能を活かした独創的な分子機械・治療材料、原子・分子をナノレベルで制御した機能性素材の創製などを可能とし、ライフサイ

事例②ナノ・マイクロ・エンジニアリング (NME)

情報・写真提供: 福田敏男(名古屋大学) 杉山進, 小西聡(立命館大学)

- 1951年RCA社 シャドーマスク製作
- 1963年豊田中研 半導体圧力センサ発表
- 1970年頃スタンフォード大学
- NASAの委託研究として、ガスクロマトグラフがシリコンウエハー上に作成
- 1987年 Transducers'87でマイクロギア, タービン発表
- その後、マイクロモータ, 櫛歯型アクチュエータなど発明
- 近年 マイクロからナノの世界に展開



エンス、情報通信、環境をはじめとした広範な分野に適用されることが期待されている。これら以外にも、ロボット、情報、ヒューマンサイエンスにまたがって様々な統合が起こっている。

各分野での例を以下に示す。

① 物理、応用物理系

- ・ NME と量子工学：STM, AFM など SPM 技術で代表される，原子、分子レベルの計測、操作
- ・ NME と宇宙工学（天体）：計測器の小型化、軽量化，推進制御システムの小型化，軽量化，集積化

② 機械工学系

- ・ NME とロボット工学：センサ、アクチュエーターの小型化，集積化，高速応答化
- ・ NME と精密工学あるいは精密加工学：取り扱う幾何学的背景

③ 電気・電子工学系

- ・ NME と半導体工学：More than Moore の方向性
- ・ NME と発電（工学）：Energy Harvesting あるいは Energy Harvesting Technologies（多様な電気エネルギー創生技術）分野
- ・ NME と計測工学（計測制御工学）：小型化，集積化，高速応答化
- ・ NME と光学：ホトニック結晶、エバネッセント（近接場）光などの利用
- ・ NME と通信工学：光通信用機能デバイス、高周波デバイス、分布定数回路技術
- ・ NME と画像工学：撮像デバイス、ディスプレイの高度化、大型化、プロジェクターの小型化、軽量化、高度化
- ・ NME と情報工学：Man-Machine Interface（入出力装置）の高機能化

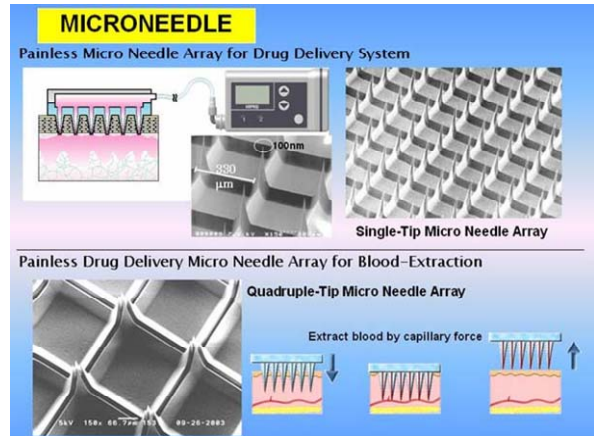
④ 化学系

- ・ NME と化学分析工学： μ -TAS（Micro-Total Analysis Systems）で代表される分野で進行
- ・ NME と化学工学：化学反応の高速化、精密制御化

⑤ 生体・医学系

- ・ NME と生体工学：細胞操作、生体の機能構造評価
- ・ NME と医療工学：生体の機能構造の模倣・代替、治療の精密化、計測、分析・診断装置の高速化、小型化、高機能化

マイクロニードル

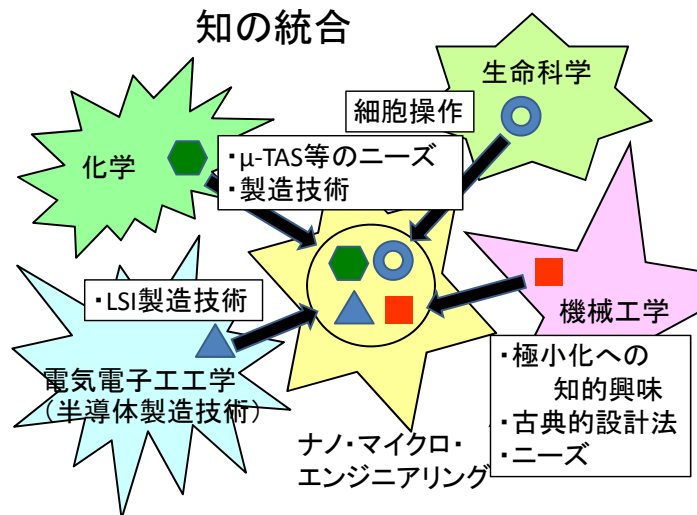


バイオMEMS、医療MEMS、 μ TASは、ライフ・イノベーションに貢献すると予想される。一方、燃料電池等に関連してパワーMEMSの分野および、一般に小さくなることの省エネ効果が、グリーンイノベーションに貢献すると思われる。

・ 知の統合の起こる経緯

ナノ・マイクロ・エンジニアリングにおいては、以下の4段階を経て知の統合がなされてきた（下図参照）。

- (i) 計算機のハードウェア開発の傑出した技術が、牽引した例となる。他分野の実用的問題解決の依頼が、知の統合のトリガーとなっている。
- (ii) マイクギア、マイクロモータ等では、実目的よりも、知的に新しいものを創造することへの先導力を与えることが重要と思われる。
- (iii) ひとつの分野の方法では解決できないことが、他の分野の方法を借りることにより、相乗的に解決・加速できるために統合が起こる。
- (iv) この分野の知の統合には、大型あるいは高価な施設機器が必要である。そのため、戦略的、政策的な予算措置による大型プロジェクトが統合を促進してきた。



(1C) デジタル・ヒューマニティーズ (DH)

・ 分野創造の経緯

[名称と分野概要]

デジタル・ヒューマニティーズ (Digital Humanities) とは、広義には。情報技術を用いた人文科学（人文学）で、ヒューマニティーズ・コンピューティング (Humanities Computing) とも呼ばれる。デジタル・ヒューマニティーズは、計算メディア (Computational Media) を用いて、知識の調査、分析、統合、提示を行い、これまでの人文科学（歴史学、哲学、言語学、文学、芸術、音楽など）に新たな知見を創出することが期待されている。デジタル・ヒューマニティーズは、本質的にはコンピュータを用いるという点で技術論的なものであり、また計算メディアや情報技術を介して極めて学際的な研究分野であるといえる。

[組織]

DHの代表的な国際的な学会組織としては、The Alliance of Digital Humanities Organizations (ADHO)がある。この組織は、関連する1978年設立のThe Association for Computers in the Humanitiesと1973年設立のThe Association for Literary and Linguistic Computingの2つが母体となって、2002年頃から組織化が行われた。また、1986年にカナダを中心にThe Consortium for Computers in the Humanitiesとして設立したThe Society for Digital Humanitiesもある。

日本においては、1989年に情報処理学会の中にフロンティア領域の属する研究会として、人文科学とコンピュータ研究会（略称：IPSJ-CH、CH研究会、人文コン研究会、etc.）が発足した。この他、関連学会では、図書館司書、学芸員、美術史研究者、マスコミ関係者、コンピュータ技術者らによる、1989年設立のアートドキュメンテーション学会、英語コーパス学会などがある。

事例③デジタル・ヒューマニティーズ(DH)

資料・写真提供：矢野桂司(立命館大学)

デジタル・ヒューマニティーズ (Digital Humanities)とは？

情報技術を用いた人文科学(人文学)

デジタル・ヒューマニティーズ
計算メディア(Computational Media)を用いて、知識の調査、分析、統合、提示を行い、これまでの人文科学(歴史学、哲学、言語学、文学、芸術学、音楽など)に新たな知見を創出する。

[経緯]

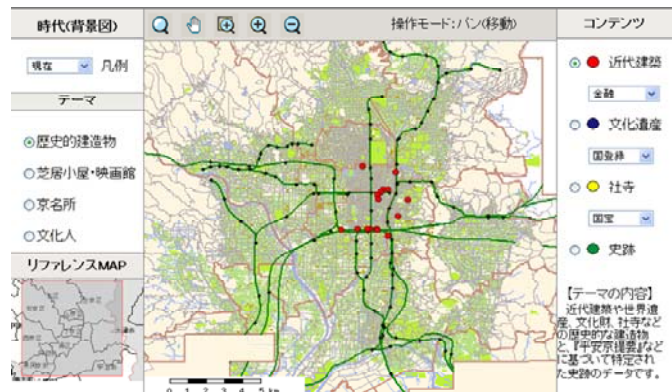
このようにDHの展開は、1980年代頃から、ツールとしてコンピュータを利用しはじめた人文科学研究者の集団と、それをアシストする形での情報科学者集団が融合あるいは連携する形でなされてきたことが分かる。とりわけ、文献データベースの構築に関わる研究や、フルテキストを用いたコーパス研究などが、草創期のテーマであったといえる。その後、膨大なデータベースの蓄積に伴う、データの標準化やデータ・マイニング手法の開発が進むとともに、テキストのデジタル化だけでなく、画像、音声、映像などのマルチ・メディアのデジタル・メディアを扱う研究、地理情報システム(GIS)、さらに、急速に発展したインターネット技術を用いた研究などが取り込まれ、ITを用いた人文科学研究全般(歴史学、哲学、文学、宗教学など)がDH研究の中に取り込まれてきたといえる。

[内容]

多くの伝統的な人文科学では、一次資料を対象とする現物主義的な研究スタイルで、それらをデータベース化して新たな知見が得られることに関しては懐疑的であった。しかし、現物をデジタル化した二次資料の膨大な蓄積により、限られた量の一次資料だけでは得られない情報、そして新たな知が創造される可能性がある。

例えば、立命館大学アート・リサーチセンターでは、国内外の浮世絵データベースを構築し、その数は25万を超える。このデータベースを用いることにより、これまで国内の現物だけでは想定できなかった近世の芸能史の刷新や、これまで対象とされなかった浮世絵に描かれた文様の図柄の年代推定、あるいは劣化した色の再現、などこれまでは想定できなかった新たな研究テーマが導かれることになった。また、情報技術の発展により、高解像度なデジタル画像、レーザーなどによる3次元計測、モーションキャプチャーなどによる動作のデジタル化などが可能となり、これまでの伝統的な人文科学では対象としてこなかった側面が研究対象になりはじめた。さらに、人文科学者らが要求するデジタル化の実現のために、情報科学者らによる新たな情報技術の開発が進められることになる。例えば、浮世絵の高精細なデジタル画像撮影や光源の違いによるレンダリングなど、VRを用いた能装束の触覚再現などはその一例である。

バーチャル京都マップ



人文学研究に時空間の制約を取り払う



無形文化財の有形化



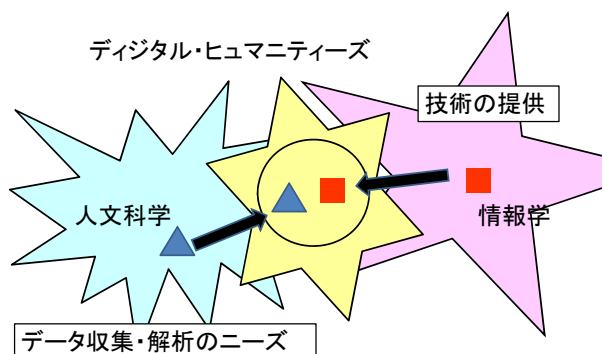
・分野統合の起こる経緯

デジタル・ヒューマニティーズにおいては、以下の3段階を経て知の統合がなされてきた(下図参照)。

- (i) 1980年代以降、ITの急速な発展により、人文学分野に技術的方法として変革が生じた。計算機運用に優れた人文学者および人文学課題に興味ともつ情報学者の連携によって、分野の統合が起こったと思われる。
- (ii) 文化財保存の重要性が深く認識されるに従って、デジタルアーカイブ等は社会として必要であるとの認識が深まった。このような社会的背景もDHの統合が加速した要因と思われる。
- (iii) プロジェクト等により、人文系と情報系の研究者が共同で作業する場の設

定が大きな要因となっている。

知の統合



(1D) ロボティクス

・新領域分野の経緯

人間や他の生物の形態や機能を人工物で実現したいという欲求は、古くからあったと思われる。たとえば、紀元前8世紀ごろのホメロス作「イーリアス」には、火の神へパイストスが、人間の少女そっくりの黄金製のロボットのようなものを作りだしたという話がある。また、アレキサンドリア時代（紀元前後1世紀ごろ）には、ヘロンが各種の自動装置を作ったといわれる。特に、神殿の自動ドアは有名である。これは、祭壇の火を熱源として、サイホンの原理で扉を自動的に動かす装置であった。

その後も、人間の形態や運動を模倣した自動人形（日本では茶運び人形）などと人間の作業を機能的に実現する自動機械の2つの流れで発達した。ただし、20世紀までは、分野的にみれば機械工学が中心であった。

20世紀に入り、劇作家カレル・チャペックが戯曲「ロッサム・ユニバーサル・ロボット会社」の中でロボットの名称が登場している。技術的には、産業用ロボットが1950年代に登場した。これは、腕型のロボットに目標位置を与えて、関節のセンサ値をフィードバックすることにより目標位置に動かすものである。19世紀までに得られた制御工学に機械工学、電気工学を合わせた形式となる。その後、ロボットのアクチュエータとして電気モータが広く利用されることもあり、機械と電

事例④ロボティクス

生物の形態や機能の模倣的人工物実現



弓曳童子
原作 田中久重 写真提供:学研

自動機械による作業の機能的実現



パラレルリンクロボット
資料提供:ファナック株式会社

気の統合として、「メカトロニクス」という言葉が日本から提案され、現在では海外の大学の学科名にもなるほど国際的に定着した。

1980年代以降の計算機の急速な進歩により、従来よりも高速なロボットの運動を安定に制御することが可能となった。また、以前では計算時間に問題があり実現できないような視覚情報処理が、高速ビジョンシステムなどの開発により、ロボットシステムとして実現できる段階となった。

一方、電気電子工学を基盤として、アクチュエータやセンサは、ロボットへの利用の動機付けから研究開発が行われた。小型軽量モータ開発や減速用ギアを用いないダイレクトドライブ (DD) モータなどが開発された。DD モータ等は、現在では洗濯器等にも利用されている。また、画像のトラッキングはロボットの研究から開発され、現在では監視カメラ等に広く利用される状況となった。

ロボットの運動方程式は一般に非線形となる。この非線形特性の解析と運動制御方法は、非線形力学や非線形制御の研究分野の研究者にも研究の動機付けをあたえた。その結果、多関節構造体の力学と制御の分野が形成され、特に 1990 年以降に人間の身体運動科学、バイオメカニクスにも利用されるようになった。

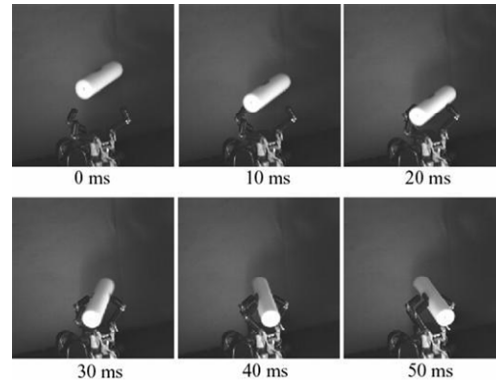
ロボティクスの大きな目的の一つは、自律機能の実現である。これは情報学と関わりが深い。たとえば、運動の計画は大きなテーマとなってきた。人工知能、最適理論、確率基盤の意志決定法等が、ロボットを適用例として実施するが多い。このような場合は、情報学がロボットをツールとして導入したとも解釈できる。一方、機械工学またはメカトロニクスとして見た場合、産業用ロボットにカメラを取り付けて外界の情報を取り込むことによって、ロボットを自律化させる方法は、機械工学を中心とする分野が、画像をツールとして利用するとも考えられる。

機械工学ベースの運動制御、情報学ベースの画像情報や意志決定等などの分野の隔たりは、次第に小さくなっている。たとえば、大学の一つの研究室において、運動制御と画像処理を同時にシステム化する研究も進展しつつある。

生物学、脳科学とロボティクスの連携も急速に強化されている。生物学・脳科学の解析にロボティクスの技術を利用する場合や、生物学・脳科学から新しいロボットの機能を生み出すアイデアが生み出される場合がある。

・分野統合の起こる経緯

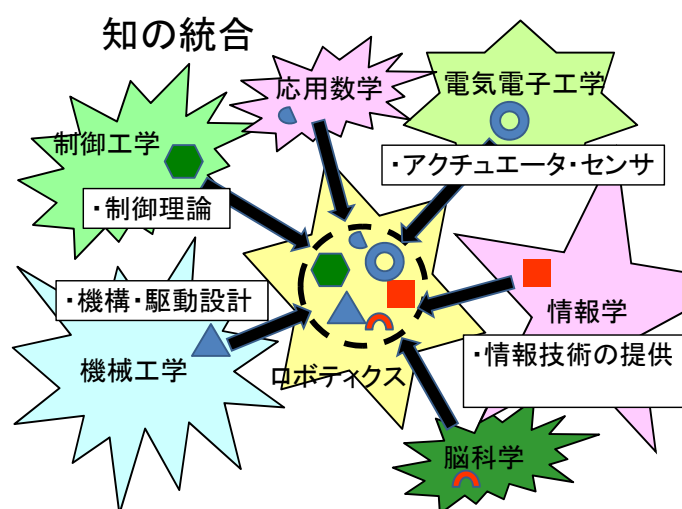
高速ビジョンシステムとロボットの運動制御



写真提供: 石川正俊 (東京大学)

ロボティクスにおいては、以下の2段階を経て知の統合がなされてきた（下図参照）。

- (i) アクチュエータ、センサ、コンピュータ、エネルギー源のシステムを実現するためには、従来の枠組みの分野を超えた連携・協力が必要であったので、自然な形で統合が進んだ。
- (ii) ロボット研究について、人間をモデルに考えると、感覚、判断、運動等の幅広い領域に跨るので、多くの分野との統合を考えざるを得ない。



(2) 知の統合の方法論知

・事例分析

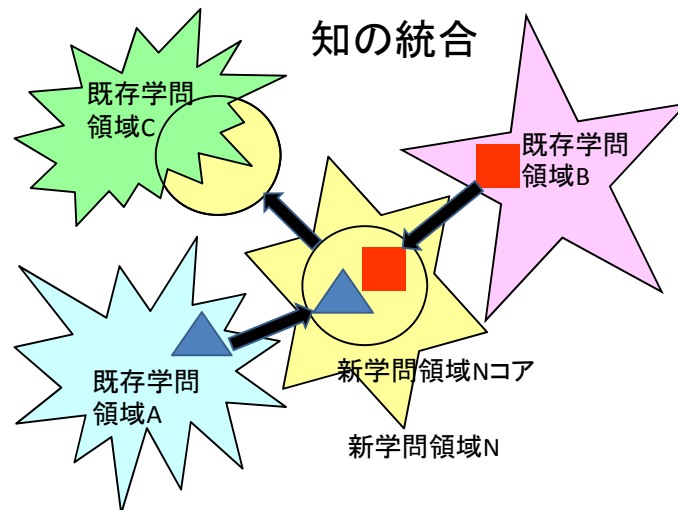
今後、新しい知の統合を推進するために、過去の事例の特徴を明確にすることは意義があると思われる。以下、事例の中から読み取れる内容を列挙する。

(1) 具体的な課題解決の目的から、知の統合が起こった場合がある。たとえば、蒸気機関の速度制御、実用目的からのMEMS、産業用ロボットなどである。これらは、共通して従来に存在しない新しい人工物を作る際に生じた問題を解決するために必要となった。課題解決のために、既存分野の専門の異なる研究者間の情報交流から新しい分野の創造へと繋がったと解釈できる。

(2) 具体的な課題ではなく、知的興味から知の統合が開始される場合がある。たとえば、マイクロギア、マイクロモータ、自動人形などが挙げられる。

(3) 20世紀後半から21世紀にかけて、情報の科学と技術が飛躍的に進歩した。本報告の事例の多くは、情報分野との統合が起こっている。また、情報以外でも、産業界での有力な技術、大型国家プロジェクト等の傑出した科学と技術を中心として、他の分野との知の統合が発生しやすい。

(4) 知の統合により新学問領域が形成される段階で、普遍化・一般化された知が別の既存学問分野へも利用され、既存の学問分野の新展開等を生み出している。



・「知の統合」体系化・推進の課題

これまでの事例の分析に基づいて、「知の統合」の体系化と推進の課題をまとめると、以下ようになる。

(1) 課題解決型の知の統合においては、異分野交流の場を積極的に設定し、課題解決のヒントを他分野との協力によって得ることが望まれる。ひとつの分野で困難に直面している時に、他分野の科学・技術を利用できることは極めて重要となる。このために、お互いの分野で経験を有する人のネットワークを形成することが重要な要素となる。

(2) 知的興味型の知の統合では、そもそも知的興味は発生するためにも異分野交流の場が重要となる場合が多い。

(3) 上記の異分野交流の場において、専門用語の違い、主張点・価値観の違い等によって、有効で効率的な場とするために工夫も必要である。

(4) 異分野交流の場を生み出し、有効で効率的とするためには、交流を推進する人材を育成する必要がある。たとえば、情報技術をもった人文科学者、人文科学の知識をもった情報科学者の育成などは、学問分野の距離が比較的遠いために積極的な政策・行動が重要となろう。

(5) 統合されて創造される分野が新しい学際領域であるがゆえに、学問の基準が明確でない点があげられる。若手研究者を育てるために、従来の既存分野の評価基準でない教育プログラムが必要となる場合が多い。

(6) 知の統合を加速するために大型プロジェクトは効果的である。ただし、知の統合に対するコストが益々大きくなり、一大学、一機関が対応できる規模を超える場合も多くなると予想される。国レベルの政策的資源の投下が重要となる。

4 「知の統合」推進と研究評価

「知の統合推進小委員会」は、知の統合推進に向けた科学技術政策について、主に工学の立場から審議するとともに、課題別委員会への展開について検討することを目的として設置された。

日本学術会議では、これまで「新しい学術の在り方」の議論を経て、「知の統合」の重要性が認識され、「知の統合」に関する議論が様々な形でなされてきた。その議論の結果は、例えば、対外報告『提言：知の統合 — 社会のための科学に向けて —』、科学者コミュニティと知の統合委員会（平成 19 年 3 月 22 日）、報告『横断型基幹科学技術としての制御学の役割 — 「知の統合」を目指す研究・教育の促進に向けて —』、工学共通基盤研究連絡委員会 自動制御学専門委員会（平成 17 年 7 月 21 日）、記録『知の統合の具体的方策 — 工学基盤からの視点 —』、総合工学委員会 工学基盤における知の統合分科会（平成 20 年 8 月 18 日）などで公開されている。

これらは、知の統合の推進方策に関する示唆に富むものが多く含まれている。そこで、本期の「知の統合推進小委員会」では、これをさらに発展させ、より幅広い視点から「知の統合の推進」を実現する科学・技術政策に関する審議を行った。本報告では、今期の活動の報告として、まず「知の統合推進」に向けて必要となる枠組みに関して、「**研究開発戦略立案の方法論 — 持続性社会の実現のために**」[7]で提唱されている枠組みを「知の統合」の観点から眺め直した後、特に「研究の評価」の視点での検討結果について紹介する。

（1）知の統合推進に向けた枠組み

（1-1）社会的課題解決に向け求められる研究パラダイム

日本学術会議「科学者コミュニティと知の統合委員会」が平成 19 年 3 月にまとめた提言「知の統合 — 社会のための科学に向けて —」では、「社会のための科学」の実現に当たっては、「あるもの」や「存在」を探究する認識科学と「あるべきもの」や「当為」を探究する設計科学の間の連携ならびに異分野科学者間の対話の促進の重要性が述べられている。しかし、このような連携や対話の促進は必ずしもうまくはっていないのが現状である。その実現に向けては、これまでと全く異なる新しい研究パラダイムのもとで適切な研究環境を設定する必要がある。ここでは、社会的課題解決に向け求められる新しい研究パラダイムについて考察する。

科学者が、自治を持つコミュニティの中で知的好奇心に駆動されて研究を行うことが真の科学研究である、という考え方は長い歴史をもっている。このような伝統的研究パラダイムにおいては、社会からの要請とは独立な”知的好奇心”に基づいて、研究者自らが主体的に定めた研究課題を遂行する基礎研究をベースとし、重点領域等社会的要請に対応する特定の科学・技術領域の課題に基づく研究がなされて

きた。この段階では、好奇心に基づく社会から独立した科学者による研究推進と、その成果による社会の繁栄という調和的な状況が存在した。

しかしながら、環境・エネルギー・食料・医療といった人類が生き延びるために解決しなければならない具体的な社会的課題に直面している現在、科学・技術に寄せられる期待は高まりつつあるが、このようなボトムアップ型の研究パラダイムのままでこのような社会的要請に応えられるかどうか、はなはだ疑問である。なぜならば、未経験の社会的課題を解決するためには単に既存の知識を使うのではなく、まだ存在していない科学知識や技術手法が必要となり、その結果として科学・技術の研究が知的好奇心という内在因を動機とする研究から、社会的要請という外在因を動機とする研究へと必然的に重心移動してきているからである。この内在因（研究者個人）と外在因（社会の要請、学会の関心）の2つの異なる研究動機を、従来の研究の主流であった個別的（領域内）研究と知の統合の目指す全体的・横断的（超領域）研究の2つに分けて表としてまとめると、以下の表となる。

表 4.1 研究動機

	内在的（研究者個人）	外在因 （社会の要請、学会の関心）
全体的・横断的 （超領域）	知識の均衡（矛盾除去） 自己の概念体系の整合化 領域統合・融合の理論 知識の可逆性 など	知識の均衡（矛盾除去） 持続性と繁栄の両立 文化の共存 不平等の除去 など
個別的 （領域内）	知的好奇心 新しい存在、現象の発見 存在・現象関係の新理論創出 領域内理論の整合化 など	学会（学問領域）の関心 公知の課題 私秘的な課題 など

この表において、左下が知的好奇心に基づいた研究者個人による課題設定であり、右上が社会的要請に基づく問題解決型の問題設定である。この2つの動機は一般には相反するので、この動機の不整合の問題を何らかの形で解決する新しい研究パラダイムを構築しなければならない。言い換えれば、社会的要請から生まれる研究課題設定という外因性の動機のもとで、科学がその伝統である研究の独立性（研究課題選択の自由）に基づく中立的正当性を保証し続けることをどのようにして可能するかを明らかにしておくことが緊急の課題といえる。なぜならば、要請という外因性の動機に基づく研究においては、

(i) 要請の蓋然性（恣意性）により誤要請となる危険性

(ii) 研究の自由の縮小によって科学的成果の中立性が劣化する危険性

という科学における二重の危険性をもたらす恐れがあるからである。

これらを回避するためには、科学者が要請を主体的に選択するか、あるいは要請

が正当であるかのどちらかを満たさなければならない。まず社会的期待 (social wish) を明確にし、次にそれを満たすための研究課題とは何かについて社会と科学者との間で合意することが必要である。この合意は課題の恣意性を排除し、科学者が逡巡することなしに研究にとりかかるための条件であり、研究課題の恣意性や曖昧性の排除には「課題の科学」が必要である。すなわち、課題解決型研究においては研究の実施のみならず、課題の選定も科学的行為でなければならない。この行為を、“社会的期待発見研究”と呼ぶことにする。社会的期待を充足するための課題を科学的研究によって導出することで、課題解決型研究が持つ二つの問題、すなわち社会が発する課題の恣意性による誤った課題設定の可能性と、研究動機が外在化することによって基礎研究の伝統が失われる危険とを同時に解決する可能性が生まれる。

(1-2) 循環型研究構造：持続性社会の実現に向けた研究パラダイム

“社会的期待発見研究”は、科学が社会的課題の解決に貢献するために必要な新しい研究カテゴリーではある。しかし、それだけでは十分ではない。社会的課題の解決には、科学そのものが持続的発展をする必要があり、そのための循環的構造を成立させることが必要である。現在の科学（認識科学・設計科学）の多くは、各学問領域に閉じた形で深化と進化を遂げてきたため、各々の成果が断片的であり、社会的課題解決に向け諸分野の融合の重要性が声高に叫ばれてきたが、その障壁は非常に厚く、必ずしもうまくいっていない。現在の科学と社会的期待発見研究のそれぞれの役割を明確にすることにより、これまで断片的であったループが閉じ、社会的課題解決に向けた循環的研究構造の実現に向けた流れが加速することが期待される。以下、循環的研究構造について考察する。

一般に、ある対象が持続的に進化するためには適切な循環構造を持つ必要がある。その一つの枠組みを図 4.1 に示す。この循環構造には、「観察者」、「構成者」、「行動者」という3つの異なるプレイヤーが存在する。「観察者」は、対象の状態を観察し、その変化の意味を解釈して警告を発する。「構成者」は、その警告によって取るべき行動を考察して助言する。「行動者」は、その助言から

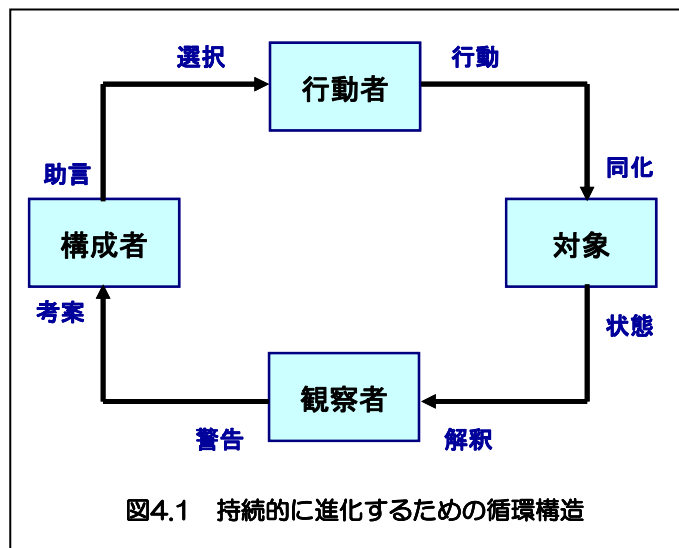
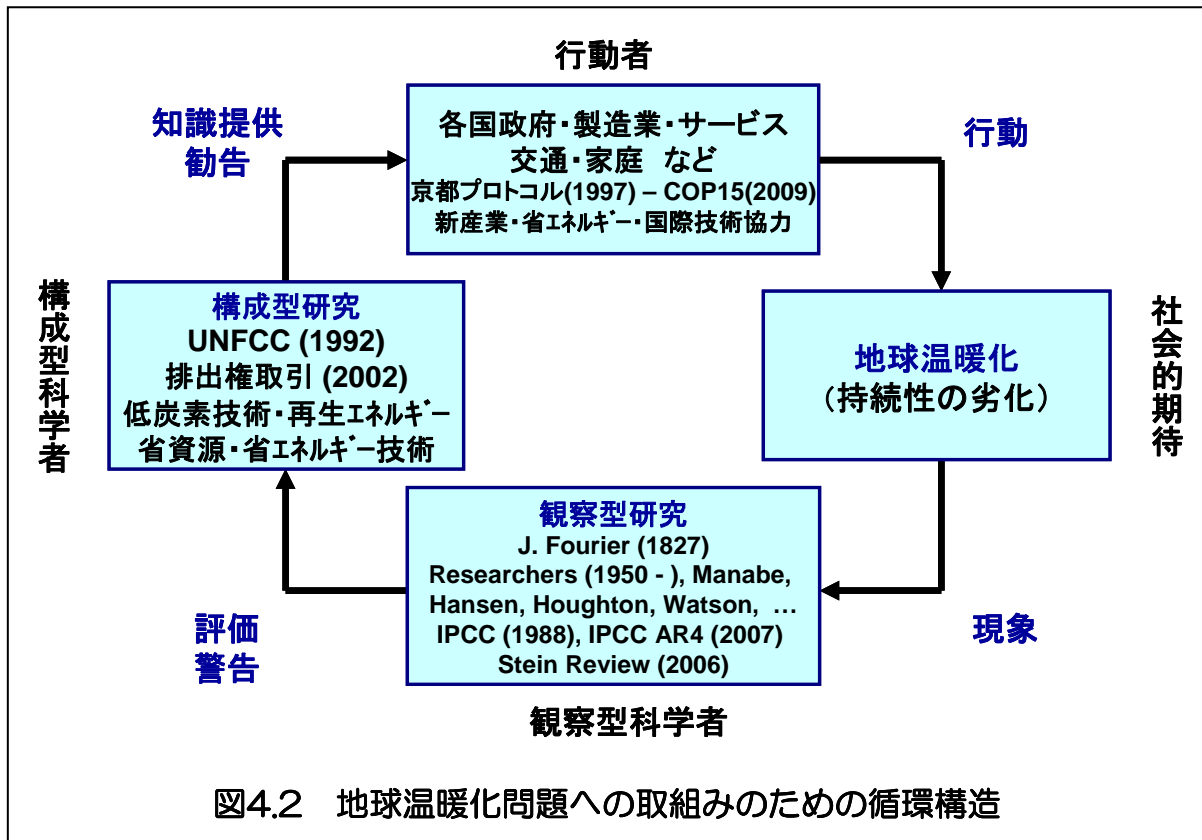


図4.1 持続的に進化するための循環構造

任意に選択し、それに基づいて行動する。行動は対象に同化して対象の状態を変化させる。この変化が再び観察されることにより、情報がループ上を循環し、結果として対象は進化する。このように、解釈・考察・選択・同化が他律的でなく自律的に行われるが、このことは各ブロックが自治的な存在であることを意味しており、

これが進化の条件である。

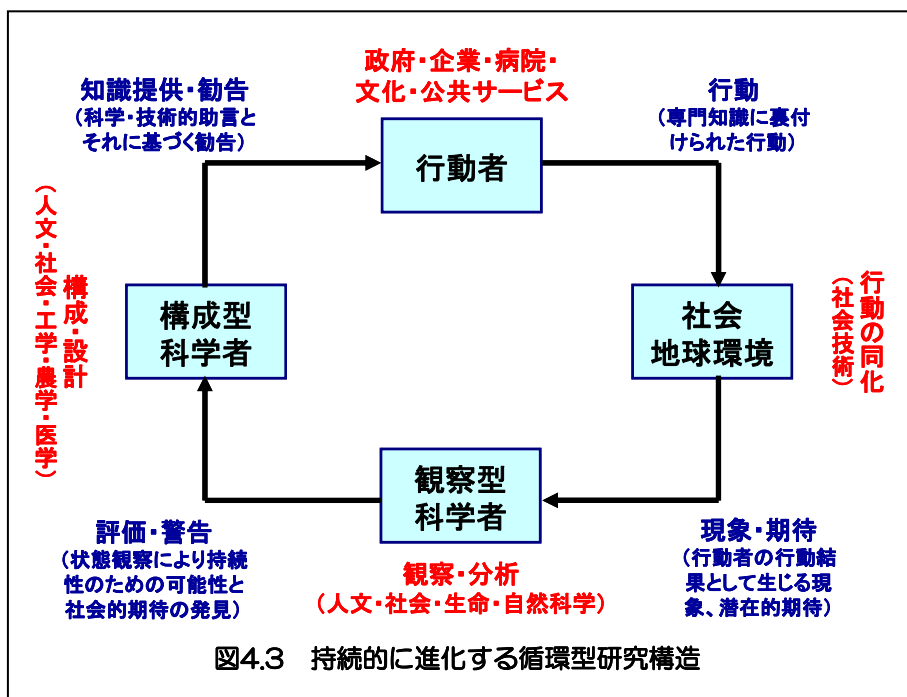
「地球温暖化問題」を例にとり社会的課題に向けた循環型研究構造を表したのが図4.2である。非常に大まかに言えば、観察者は構造が比較的機能している例であり、紆余曲折はあり多くの課題を抱えているとはいえ、世界の協調的行動が進みつつある。観察型科学者（主に認識科学に携わる研究者）に、構成者は構成型科学者（主に設計科学に携わる研究者）に対応付けられる。この地球温暖化問題はこの循環型構造が比較的機能している例であり、紆余曲折はあり多くの課題を抱えているとはいえ、世界の協調的行動が進みつつある。



しかしながら、一般の場合は必ずしもそうではない。図4.2を抽象化し、社会的課題の解決に向けて科学が貢献するため循環型構造のあるべき姿を考えてみる。それが図4.3である。観察型科学者は、行動者の行動結果として生じる社会・地球環境の現象や社会的な期待潜在的期待に関する観察・分析を行うことにより、状態観察により持続性のための可能性を評価し社会的期待に基づく警告を行う。学問分野としては、人文科学・社会科学・生命科学・自然科学などが対応する。構成型科学者は、その評価・警告に基づき、持続ある社会の実現に向けた具体的構成法や設計法について検討し、行動者に対して知識提供（科学的技術的助言）とそれに基づく勧告を行う。人文科学・社会科学・工学・農学・医学などが対応する。政府・企業・病院・文化・公共サービスなどの行動者は、構成型科学者の助言・勧告に基づき、専門知識に裏付けられた行動規範を作成し、実際に行動する。これらの行動は、実

社会システムや地球環境に作用し同化する。この部分が社会技術に相当する。この図に示すように、これらは循環的な構造を有しており、行動の同化によって生じる現象や社会的期待の変化が、観察型科学者の研究の新たな動機となり、社会的課題の解決（持続社会の実現）に向けた研究が推進される。

残念なことに、現状では、この循環構造が構成されていない。以下、それぞれのブロックごとに現状をみってみる。まず、主に認識科学に対応する観察型科学者の研究（社会現象の解明である社会科学、生命現象の解明である生命科学、物質現象の解明である物質科学など）に注目してみる。これらの学問領域では、対象（社会・自然）の普遍的性質の解明（法則の導出）を主目的としており、個別対象の入出力関係による対象の同定（例えば、心理学における刺激と反応、物理学における場と現象など）に多くの興味を持たれている。すなわち、行動者の行動の結果と変化する入力ではなく、計画された入力に対する出力にのみ焦点を当てた研究が主流となっており、現在の状態にあまり興味を持ってこなかった。その結果、社会の要請との関係が希薄となり、社会的期待の発見に繋がる研究はほとんど行われてこなかった。ここに、研究課題選択の恣意性という問題が表れている。



つぎに、主に設計科学に対応する構成型科学者の研究について考えてみる。代表は工学であり、認識科学で得られた知識を社会に役立たせるための学問である。知識利用の基礎理論やシミュレーション技術による工学的分析、プロトタイプの作成、システムの設計・構成手法の確立、標準化など、行動者の行動規範を定めるための科学的根拠情報と具体的手法を提供しており、個別な課題の解決には大きく貢献してきた。しかし、どちらかといえば個別領域ごとに設計・構成手法を経験的に積み重ねることに終始し、一般的手法を確立するには至っていないし、社会システムや自然環境といった大規模なシステムに対する効果的な手法の提供も行われて

いない。

3番目は行動者（政治家、政策立案者、行政者、事業家、教育者、報道者など）の問題である。行動者と科学者の間に大きなギャップあり、構成型科学者の知識提供や助言が行動者に届かなかつたり、届いても耳を貸さなかつたりすることがしばしば起こっている。また、行動者が助言を聞いたとしても、その選択が恣意的であったり、システム全体に対する考慮の欠如した局所的な選択に陥りがちである。したがって、今回の東日本大震災や福島原発に関連した様々な意思決定で見られるように、社会的期待の方向に向けた正しい選択となっていない場合が多い。

最後は、行動者の行動の結果として生じる社会現象・自然現象の変化に関する部分であり、科学が社会的課題の解決に貢献するために欠かすことができない重要な部分である。この部分は社会科学の研究対象の一つであり、その推移を持続的社会の実現に向けて構成（デザイン）するのが社会技術といえる。残念ながら、このような学問領域はこれまでの科学であまり注目されてこなかった。その最大の理由は、多くの科学者が各個別の学問領域の興味にだけ目を向け、現実の状態変化に対する関心が希薄であったことにある。求められるのは、すでに社会において人々が求めている顕在的課題だけではなく、まだ指摘されていない重要な課題も「潜在的な社会的課題」として抽出することであり、全く新しい発想が要求される。

以上、各ブロックごとに見てきたように、各々のブロックの連携は十分なされてはならず、また社会システムや自然環境といった大きな目で捉えるという思考も希薄であるのが

現状といえ、循環型研究構造とはなっていない。問題点をまとめると、以下のようになる。

- ・観察型科学者の問題：社会・自然の変化に対する全体性の視点の欠如と現実状態に関する関心の希薄
- ・構成型科学者：社会システム・自然環境といった大きな視点の欠如とそれらに対する方法論の未成熟
- ・観察型・構成型科学者の連携の不十分性
- ・科学者と行動者の交流・連携の不足
- ・行動者：全体的視点での行動選択の欠如

これらの問題点を総合すると、①科学者間および科学者と行動者の交流・連携の強化、②全体システムとして捉えること、の2つが重要であることが浮かびあがってくる。これら2つの点はまさに「知の統合」の目指す方向であり、その推進を図る必要がある。

したがって、持続性社会の実現（社会的課題の解決）に科学が貢献するためには、「知の統合」の推進による上記問題点の解決に加え、すでにその必要性和重要性を述べてきた“社会的期待発見研究”とを組み合わせた新しい研究パラダイムを構成する必要がある。図4.4がその構成である。これまでの循環構造に新たな構成要素として「知の統合」が追加されている。この「知の統合」のブロックは、観察型科

学者と構成型科学者の有機的な交流・連携のもとに、「潜在的社会的期待の発見」を目指す。さらに、行動者との連携を図り、行動の選択が統合的かつ非恣意的になるように、「持続性社会のあるべき全体像の提示」を行う。このブロックが有効に機能するためには、知の統合モデル等、前章で提案してきた「知の統合体系化」の推進とその実現が不可欠である。

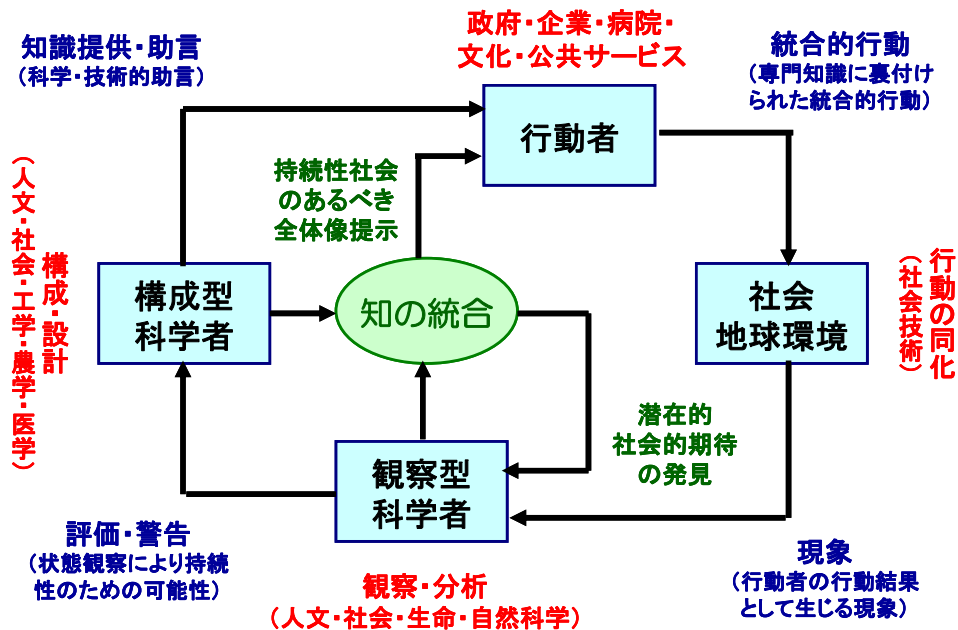


図4.4 持続性社会の実現に科学が貢献する循環型研究構造

上記の新しい循環型研究構造（研究パラダイム）が機能することにより、課題解決型研究が持つ二つの問題（社会が発する課題の恣意性による誤った課題設定の可能性と、研究動機が外在化することによって基礎研究の伝統が失われる危険性）を解決することが可能となる。具体的には、基礎研究は、発見された社会的期待を実現するシステムや製品などを行う開発研究に向けて、以下のように位置づけることができる。①目的基礎研究は、その社会的期待実現に必要な科学領域・技術領域を戦略的に進化させるための課題に基づく研究。②基礎研究は、社会的期待の発見研究によって自らが課題を抽出しその課題を遂行することにより学問の深化を図る研究。すなわち、社会的期待の発見研究によって自らが課題を定め、ネットワークオブエクセレンスを主体的に構成することにより、自由度の高い研究として、中立的知識を生み出す基礎研究となり得る。

（2）研究評価に関するこれまでの提言：それらの概要と考察

（2-1）第20期の総合工学委員会「工学基盤における知の統合分科会」活動の成果

まず、第20期の総合工学委員会「工学基盤における知の統合分科会」活動の成果を、その記録をベースに簡単に紹介する。

前提条件として、研究活動は、国が課題設定を主導して進めるトップダウン型のものと、研究者が自発的に課題を設定して進めるボトムアップ型のものの2つに大別できることとしている。このことは、科学技術・学術審議会学術分科会の「競争的資金の在り方について（見解）」（平成13年10月12日）でなされている。ここで前者は、各省庁や科学技術振興機構、新エネルギー・産業技術総合開発機構などの国が設置した研究開発に関わる機関が母体となる科学技術振興調整費や戦略的創造研究推進事業などの委託研究である。それらにより有用な研究成果を得るためには、その課題設定が最重要と考えられる。一方後者は、多数の研究者の多様なアイデアから研究成果が生まれることを期待するもので、国に関わるものとしては科学研究費補助金（以下科研費と呼ぶ）による研究がそれに当たる。この科研費により有用な成果を得るためには、研究者の自発性を尊重し、提案される多様な課題を受け付け、適切に審査するシステムになっていることが重要である。

第20期の分科会においては、この視点に基づき、①戦略的研究プロジェクトを通じたトップダウン型の知の統合の推進と、②科学研究費補助金システムによるボトムアップ型の知の統合の推進、の2つの提案を行っている。特に、後者に関しては、以下のように、知の統合を推進するための具体的な提案を策定している（要旨より一部抜粋）。

科研費申請の窓口となる系・分野・分科・細目の体系は学術の細分化に引きずられてきた面があった。そのため、知の統合を主調とする研究課題は適当な応募の入り口がなく申請を見送るか、適切な審査を受けられない傾向にある。このような状況のもと、上記の報告「科学者コミュニティが描く未来の社会」の提案者に対してアンケート調査を行った。その結果等に基づいて、知の統合型研究を推進するために、複数の系・分野・分科・細目（場合によっては、複数の系・分野・分科）に関わる課題を受け入れ易い研究種目として、「統合研究」（仮称）を設けることを提案するという結論に達した。そして、それが知の統合の趣旨に沿って適切に機能するように、応募領域の指定方式と審査における評定要素の設定を具体的に策定した。

この提案は、長年にわたって引き継がれてきた科研費（その他の研究費においても）の申請ならびに審査に使われている「分科・細目」が、知の細分化を促進する力となっている、すなわち「知の統合の推進」にブレーキをかけているという構造的な問題を指摘し、「知の統合」を意識した研究の必要性と重要性を明示的に示している点で、知の統合の推進に貢献するものと思われる。課題は、この新しい研究種目における研究の評価（審査基準）をどう設定するかであり、この点の本質と言える。本期では、この点に注目して審議を行ってきた。

(2-2) 対外報告「我が国における研究評価の現状とその在り方について」

つぎに、対外報告「我が国における研究評価の現状とその在り方について」（日本学術会議、研究評価の在り方検討委員会：2008年2月）[8]の内容を要約して紹介する。

この対外報告は、研究活動の質を高めるために必要不可欠であり、また社会的要請が強くなってきている研究評価について、その現状と問題点を整理したものである。主な視点は、以下の4点である。

①ピアレビューは必要不可欠であるが、膨大な時間とエネルギーを要し、有能な研究者の深刻な研究時間不足をもたらし、さらには評価の形式化に伴い評価作業への徒労感を生んでいる。

②多様な研究活動の奨励のためには、評価対象の違いに応じた評価基準の適正化・精緻化が必要である。しかしながら、現状は十分とはいえない。

③重要な研究課題や研究施策：評価者・評価方法・基準が推進側（各府省）で決定されることが多く、公正性や透明性に国民から疑念が残る。

④評価業務を実施・支援するための人的及び物的な基盤整備が不十分である。

この中で、「知の統合推進」に深く関わるのは②であるので、ここでは②に焦点を当てる。この対外報告では、研究を「基礎研究」、「応用研究」、「開発研究」の3つに分類し、さらに「基礎研究」を以下の2つに分けて議論している。

・純粋基礎研究：新物質・新現象の探索、現象の普遍化など

・目的基礎研究：直接応用や実用に向けた研究ではないが、ニーズを指向したもの
ここでは、「純粋基礎研究」に議論を限定して、対外報告書の主たる指摘を紹介する。

まず、基礎研究評価の在り方として、最近の評価システムの影響について言及している。ポイントは以下の2点である。

(i) 短期的成果の評価の弊害：挑戦的で、成果が得られるかが不確実であり、長期間を要する研究は倦厭されがちである。このため、短期間で確実に成果、あるいは結果が得られる研究課題が指向される傾向が助長されている。すなわち、現在の評価システムによって、基礎研究の方向性自体が変化させられている状況にある。

(ii) 数値的指標（研究論文数や被論文引用件数、インパクトファクターなど）による評価：ピアレビューの研究課題評価結果を尊重しつつも、国民にわかりやすい数値的指標などを求められる傾向にある。このため、数値的指標による基礎研究評価への難しさも認識されるようになってきている。

対外報告書では、適切な基礎研究評価方法については今後のさらなる検討が望まれている、と結論付けている。まさにこの2点は「知の統合推進」にとっても重要なポイントであり、分科会ではこの2点に関して議論を重ねた。

一方、基礎研究の特徴を考慮に入れた評価の在り方についても述べられている。要約すると、以下の2点である。

・基礎研究では、研究成果の価値がすぐには顕在化しない。したがって、研究成果の評価はその将来価値で行うべきであるが、数値的な評価指標のみでそれを

行うことは極めて困難である。

- ・基礎研究評価の視点としては、当該研究分野における成果そのものの評価はもちろん、他研究分野における成果の知的価値、社会における研究・教育の構造基盤への影響、科学的・技術的理解の向上など、社会への文化としての影響をも適切に評価することが重要である。

また、基礎研究課題についての評価事例として、米国 NSF のメリットレビューが紹介されている。NSF では(1) Intellectual Merit (知的価値) および(2) Broader Impact (より幅広いインパクト) の二つの基準により実施されている。特に、①関連する研究分野や異なる研究分野に進んだ知識や理解を与えることができるか、②どの程度、創造的、独創的、変革的な概念を切り開き、提案できるか、等が要求されている前者が「知の統合推進」と大きく関連しており、参考にすべき評価基準である。また、NSF で行われている「研究課題毎の外部専門家パネル」の導入も提案されており、歓迎すべきことである。ただし、「知の統合」の観点から重要なポイントは、パネルメンバーの多様性と意識にあると思われる。

(3) 知の統合推進に向けた研究の評価

前節に示した認識のもと、知の統合推進に向けた研究の評価について議論を重ねてきた。特に、知の統合に向けた視点として重要となるのは、以下に示すような科学技術の重心の移動である。

- ・知の細分化 (要素還元型) → 知の統合
- ・個別技術 → 統合化技術
(システムインテグレーション)
- ・局所的視点 → 大局的視点 (空間的・時間的)
- ・もの (対象) → コト (機能)

この認識に立って「知の統合推進」に向けた「研究の評価」を考えると、

- ・短期的指標 → 長期的指標 (研究の時定数)
- ・数値的指標 → 非数値的指標
(研究成果の価値、見えないもの評価)

の2つの評価指標のシフトが重要と言える。なぜならば、真の「統合化」を短期間で達成することは不可能であり、また「統合化」の本質はそれを実現する重要な概念・原理であり、そのプロセスにも大きな価値があるからである。これは、2.2節の対外報告の主張と一致している。

知の統合を促進するためには、これだけでは十分でない。統合に向けたアプローチを評価する新たな指標が必要となる。この参考になるのが、NSFにおいて2つのメリット評価に加えて最近導入されてきている「Transformative Research (変化させる力を持つ研究)」という概念である。これは、既存の分野に大変革を起こしたり、新しい研究領域を生み出したり、パラダイム・シフトを引き起こしたり、発見

を支えたり、抜本的に新しい技術を導いたりする研究、と定義されている (National Science Board, 2020 Vision for the National Science Foundation, NSB-05-142, 2005, p.7)。すなわち、研究の評価指標として、

- ・展開性、波及効果、相乗効果

といった項目を設定し、その比重を大きくすることが「知の統合推進」に向けた研究を奨励することになると思われます。これをベースにアメリカでは、予期しなかった展開や多分野への波及、新研究領域の創出を期待している。これに対して、日本の場合の融合研究は必ずしもうまくいっていない。その理由は、何か重点領域を決めると、それに真っ直ぐに向かった研究活動を行い、その問題解決だけに注目し、結果の評価もその視点で行っている。このような状況の中で本当に融合研究ができているかどうかは疑問であり、知の統合への道のりも長いものとなっている。

もう一つ重要な指標は、研究組織の多様性である。統合化に向けたプロセスでは、様々な異なる分野の融合が不可欠である。これを奨励するためには、何らかの意味での「研究組織の多様性」を評価に入れることが必要である。アメリカにおいては、多様性のない研究課題申請は採択されない方向にある。これは、多様性が文化として定着しているアメリカでは当たり前のことである。多様性文化に乏しい日本に、どのような形で多様性評価を導入するかは大きなポイントと言える。

この他に参考となるのは、産業技術総合研究所が最近発行した「シンセシオロジー（構成学）」の評価基準”シナリオ”である。確固たる定義はまだないようであるが、提案する構成的方法論の妥当性をシナリオという形で評価する方向性は、知の統合が目指す方向と一致している。

5 まとめと今後の展開

本報告では、まず「知の統合」とその歴史を振り返った後、「知の統合体系化小委員会」と「知の統合推進小委員会」の2つの小委員会の活動の結果を紹介した。「知の統合体系化」に向けては、まず知の統合の視点から「制御理論」、「ナノ・マイクロ・エンジニアリング」、「デジタルヒューマニティー」、「ロボティクス」の4つを事例として、分野創造の経緯と知の統合が起きる経緯について述べた。また、まとめとして、今後新しい分野での「知の統合」を行うために有用と想定される「知の統合の方法論知」について、事例を通して考察を行った。一方、「知の統合推進」に関しては、「知の統合推進」に向けて必要となる枠組みに関して述べた後、知の統合を推進するための新しい「研究の評価」の軸を提案した。

本分科会は、第三部の総合工学委員会のもとに設置されたもので、工学に重点をおいた報告となっている。真の「知の統合」を実現するには、文理を超えた幅広い分野で捉える必要がある。本分科会の活動を学術会議全体に広めていくため、課題別委員会：社会のための学術としての「知の統合」推進委員会を提案し、平成22年7月の幹事会での承認に基づきこれが設置された。その目的は、「提言：知の統合—社会のための科学に向けて」や「記録：工学基盤における知の統合の推進」で論じられた知の統合をさらに方法論的に展開し、知の統合のために必要な具体的な方法を「知の統合学」と位置づけ、新しい発見や創造あるいはイノベーションのための「知の統合」や、課題解決のための知の統合に必要な具体的な方法論や方策を明らかにすることである。

この委員会では、主に工学の視点から検討してきた本分科会の活動報告を出発点として、学術全体の幅広い視点から「知の統合の推進」を実現するための審議を行い、知の統合のための具体的な方法論と方策の追求が行われた。さらに、「知の統合によるイノベーションの展開」などの具体的な課題を設けて、それに対する知の統合の実践を試みるとともに、社会のための学術としての「知の統合」を担う「人材育成」について学術全体の広い視点から俯瞰的に審議され、提言『社会のための学術としての「知の統合」—その具現に向けて—』[9]の形で報告がなされた。この提言を受けて、分野を超えた具体的活動が活性化されることを期待する。

今後は、第21期に課題別委員会を立ち上げ、そこから提言を行った経験をいかし、学術全体の幅広い視点から「知の統合の推進」を実現するための審議を継続して行い、知の統合のための具体的な方法論と方策をさらに深化させる。特に、2011年3月11日の東日本大震災とその後の大惨事の教訓も踏まえた具体的な課題を設けて、それに対する「知の統合」の実践を試みるとともに、社会のための学術としての「知の統合」を担う人材育成について学術全体の広い視点から俯瞰的に審議する予定である。

また、『提言：社会のための学術としての「知の統合」—その具現に向けて—』

では、社会的課題の解決と科学の持続的発展を両立させるため、社会的課題そのものを科学的手法により発見する新学術分野である「社会的期待発見研究」を樹立し推進すべきであるとしている。つまり、科学者集団が、自ら社会的課題を発見してゆくことにより課題解決のための具体的な道筋を明らかにするとともに、科学の自主性を保ってゆくとしている。そのためにも、まずは、「知の統合」を実現するための基盤の整備が緊要であり、研究者の積極的な参加を促す枠組み等の展開が焦眉の急であるとしている。

その提言を受け、科学者自らが領域を超えて集まり社会のための科学の取り組むべき課題を知の統合の過程の中で発見してゆく「社会的期待発見研究」の試みを行うとともに、研究評価についての詳細な検討を行うなど基盤整備の具体的な取り組みを行ってゆく。

謝辞

本報告の第3章をまとめるにあたり、足立修一氏（慶応大学）、福田敏男氏（名古屋大学）、杉山進氏（立命館大学）、小西聡氏（立命館大学）、矢野桂司氏（立命館大学）、株式会社学研ホールディングス、ファナック株式会社、石川正俊氏（東京大学）の方々から文章や情報を提供頂きました。ここに感謝申し上げます。

<参考文献>

- [1] 日本学術会議、科学者コミュニティと知の統合委員会、提言『知の統合 ―社会のための科学に向けて―』、2007年3月22日
- [2] 日本学術会議、提言『日本の展望 ― 学術からの提言 2010』、2010年4月5日
- [3] 日本学術会議、総合工学委員会、工学基盤における知の統合分科会記録『知の統合の具体的方策 ― 工学基盤からの視点 ―』、2008年8月18日
- [4] 日本学術会議 『公開シンポジウム「知の統合」に向けて』資料、2010年5月21日
- [5] 舘璋、「知の統合」、学術の動向、2010年10月

- [6] E. O. Wilson “Consilience: The Unity of Knowledge” Knopf, 1998 (邦訳：山下訳「知の統合～科学的知性と文化的知性の統合～」2002年)
- [7] 吉川弘之「研究開発戦略立案の方法論 ― 持続性社会の実現のために」科学技術振興機構研究開発戦略センター、2010年6月1日
- [8] 日本学術会議、研究評価の在り方検討委員会、「我が国における研究評価の現状とその在り方について」、2008年2月26日
- [9] 日本学術会議、提言『社会のための学術としての「知の統合」―その具現に向けて―』、2011年8月19日

＜参考資料 1＞ 工学基盤における知の統合分科会 審議経過

- ・分科会設置：平成 20 年 10 月 22 日
- ・第 1 回分科会：平成 21 年 1 月 6 日
役員の選出、活動方針の決定
- ・第 2 回分科会：平成 21 年 3 月 27 日
「知の統合体系化小委員会」と「知の統合推進小委員会」の設置
- ・第 3 回分科会：平成 21 年 5 月 22 日
「知の統合体系化小委員会」と「知の統合推進小委員会」からの活動報告とそれに基づく討論、知の統合に向けた事例紹介
- ・第 4 回分科会：平成 21 年 7 月 30 日
「知の統合体系化小委員会」と「知の統合推進小委員会」からの活動報告とそれに基づく討論、知の統合のための人材育成に関する討論
- ・第 5 回分科会：平成 21 年 10 月 6 日
「知の統合体系化小委員会」と「知の統合推進小委員会」からの活動報告とそれに基づく討論、知の統合のための人材育成の紹介
- ・第 6 回分科会：平成 22 年 1 月 27 日
「知の統合体系化小委員会」と「知の統合推進小委員会」からの活動報告とそれに基づく討論、「知の統合シンポジウム」の開催決定
- ・第 7 回分科会：平成 22 年 4 月 21 日
「知の統合体系化小委員会」と「知の統合推進小委員会」からの活動報告とそれに基づく討論、「知の統合シンポジウム」の内容確定
- ・第 8 回分科会：平成 22 年 7 月 7 日
「知の統合シンポジウム」の開催報告、今後の活動方針、課題別委員会『社会のための学術としての「知の統合」推進委員会』の設置趣旨説明
- ・第 9 回分科会：平成 22 年 11 月 24 日
課題別委員会の活動報告、報告書作成に向けた方針
- ・第 10 回分科会：平成 23 年 1 月 28 日
課題別委員会の活動報告、報告書（記録）の内容に関する討論
- ・第 11 回分科会：平成 23 年 7 月 29 日
課題別委員会の活動報告、記録「**知の統合の体系化と推進に向けて**
－ **工学基盤からの視点** －」のドラフトの紹介とそれに関する討論