

報告

「知の統合」の人材育成と推進



平成29年（2017年）9月20日

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

この報告は、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知の統合推進小委員会での審議結果を踏まえ、総合工学委員会工学基盤における知の統合分科会において取りまとめ公表するものである。

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	原 辰次	(連携会員)	中央大学研究開発機構教授、東京大学・東京工業大学名誉教授
副委員長	吉村 忍	(連携会員)	東京大学副学長、大学院工学系研究科教授
幹 事	小山田耕二	(連携会員)	学術情報メディアセンターコンピューティング研究部門ビジュアライゼーション研究分野
幹 事	水野 毅	(連携会員)	埼玉大学大学院理工学研究科人間支援・生産科学部門教授
	北川源四郎	(第三部会員)	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構機構長
	高橋 桂子	(第三部会員)	国立研究開発法人海洋研究開発機構地球情報基盤センターセンター長
	青柳 正規	(連携会員)	前文化庁長官、東京大学名誉教授
	浅間 一	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
	池田 雅夫	(連携会員)	大阪大学名誉教授
	上田 完次	(連携会員)	国立研究開発法人産業技術総合研究所特別顧問、東京大学名誉教授（平成 27 年 11 月まで）
	苧阪 直行	(連携会員)	京都大学名誉教授
	岸浪 建史	(連携会員)	国立大学法人室蘭工業大学監事・工学博士
	木村 忠正	(連携会員)	電気通信大学名誉教授
	木村 英紀	(連携会員)	早稲田大学理工学術院招聘研究教授
	小泉 英明	(連携会員)	株式会社日立製作所フェロー
	小畑 秀文	(連携会員)	学校法人嘉悦学園理事
	鈴木 久敏	(連携会員)	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構監事、筑波大学名誉教授
	為近 恵美	(連携会員)	横浜国立大学成長戦略研究センター客員教授
	柘植 綾夫	(連携会員)	社団法人科学技術国際交流センター顧問
	野家 啓一	(連携会員)	東北大学高度教養教育・学生支援機構教養教育院総長特命教授
	萩原 一郎	(連携会員)	明治大学研究知財戦略機構・特任教授、東京工業大学名誉教授
	早川 義一	(連携会員)	愛知工業大学工学部教授
	本庶 佑	(連携会員)	京都大学大学院医学研究科特任教授

山口しのぶ	(連携会員)	東京工業大学学術国際情報センター教授
大和 裕幸	(連携会員)	東京大学理事・副学長

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知の統合推進小委員会

委員長	鈴木 久敏	(連携会員)	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構監事、筑波大学名誉教授
幹 事	山口しのぶ	(連携会員)	東京工業大学学術国際情報センター教授
	北川源四郎	(第三部会員)	大学共同利用機関法人情報・システム研究機構機構長
	高橋 桂子	(第三部会員)	国立研究開発法人海洋研究開発機構地球情報基盤センターセンター長
	池田 雅夫	(連携会員)	大阪大学名誉教授
	木村 英紀	(連携会員)	早稲田大学理工学術院招聘研究教授
	小畑 秀文	(連携会員)	学校法人嘉悦学園理事
	柘植 綾夫	(連携会員)	社団法人科学技術国際交流センター顧問
	早川 義一	(連携会員)	愛知工業大学工学部教授
	原 辰次	(連携会員)	中央大学研究開発機構教授、東京大学・東京工業大学名誉教授
	西村 秀和		慶応義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科教授

本提言の作成にあたり、以下の職員が事務および調査を担当した。

事務	石井 康彦	参事官（審議第二担当）（平成 29 年 7 月まで）
	糸川 泰一	参事官（審議第二担当）（平成 29 年 7 月から）
	松宮 志麻	参事官（審議第二担当）付参事官補佐（平成 29 年 7 月まで）
	高橋 和也	参事官（審議第二担当）付参事官補佐（平成 29 年 7 月から）
	柳原 情子	参事官（審議第二担当）付審議専門職

## 要 旨

### 1 作成の背景

日本学術会議で「知の統合」に関する議論が始まってから10年以上が経過し、人材育成の重要性に対する認識を含め議論が深化してきたが、具体的施策に結び付くまでに至っていないのが現状である。当分科会では、これまでの提言、報告、記録並びに近年の海外動向を踏まえ、社会的課題の認識・把握・解決に向けた知の統合を推進する体制の観点から、

- 1) 知の統合を担う人材（知の統合人材）の育成
  - 2) 知の統合人材の評価
  - 3) 知の統合に関する研究・人材育成・社会実装を担う組織体制
- について議論し、一定の結論を得たので、本報告にまとめる。

### 2 現状および問題点

#### (1) 知の統合人材への期待

先端化・細分化する科学技術と学術および教育の現状は、科学技術・学術に対する社会からの期待に対して十分応えられていない。知の統合人材には、①社会が求めるものをいち早く嗅ぎ取る感性とそれを言葉やイメージで表現できる力、②複数の専門分野に関心を持ち、それらの分野の専門家とコミュニケーションができる素養、③異なる分野の知を統合し、社会が求める価値に転換できる知識と技能、④異なる分野の専門家を統率できるリーダーシップや人間的魅力などが必要とされており、そうした素質を持つ人材を発掘し、育成することが強く期待されている。

#### (2) 旧来の専門性重視から脱却した知の統合人材の評価システム

大学、公的セクター、産業界における知の統合人材の評価は如何にあるべきか、その目的、評価項目、評価時期、評価方法など評価システムを固め、知の統合人材の適切な処遇を確立すべき段階にある。わが国の大学の工学分野における教育内容は、伝統的な電気・情報系、機械系、化学・材料系、建築・土木系、生命系等に分類されるものがほとんどであり、公的セクターや企業の多くも、旧来の分野別枠組みで人材を評価し、採用を決めている。一方で、イノベーションを引き起こすために必要とされる知の統合人材は、専門性を過度に重視した従来からの評価システムでは対応できないため、旧来の専門性重視の評価からの脱却が求められる。

知の統合人材の能力評価において、①学術論文は必ずしも能力を表さない、②学術的な能力の面でも論文数は必ずしも客観的な質の評価に繋がらない、という2つの課題がある。しかし、知の統合人材として優れた能力を発揮する者が大学や公的研究機関に職を得ようとする、旧来の評価システムに晒され、相対的に不利になるため、知の統合を研究する領域に有能な人材が集まり難い。この状況を打破するには、評価システム自身を見直して、新たに構築し、かつそれを実践する「場」が必要である。

#### (3) 異分野の知をシステム統合する知識・技術の体系化の必要性

社会的・経済的価値は、異分野の知を統合したシステムを通じて生み出されることが

多い。システム構築を成功させるには、システムが果たすべき目的や機能、システムの環境、含まれる部品や要素などを、全体として総合的に捉え、所与の社会的・経済的価値を実現するシステムに統合する設計思想（システムアーキテクチャ）が必要である。異分野の知の統合を促進し、良いシステム構築に繋ぐ学術体系の確立が求められている。

### 3 報告等の内容

#### (1) 大学、公的セクター、産業界における知の統合人材の育成

知の統合人材の育成には異なる知と出会う機会が必須である。人材の流動性を高めて、分野、組織、セクターの壁を乗り越え、大学院生・ポスドク、若手研究者・技術者が多様な場で自己研鑽に取り組める機会を提供することが必要である。大学や研究機関等の人材育成を担う組織は、社会的課題を抱える企業や行政等と共同で実問題解決を前提とした研究開発プロジェクトを立ち上げ推進し、そのプロジェクトに大学院生・ポスドクらを参加させ、知の統合を実体験させる実践教育を行うことが重要である。

#### (2) 知の統合人材評価システムの構築

知の統合人材の評価には、これまでの研究成果や研究人材の評価とまったく異なる評価システムが必要となる。知の統合人材は、①生み出した成果の社会的・経済的価値、②成果を価値創出に繋げた「知の創造プロセス」、③研究開発プロジェクトを遂行する組織マネジメント力で評価されるべきである。成果の社会的・経済的価値の認定・計量には、成果や類似成果が、どこで、どのように使われ、どのような価値を生み出しているかのデータベースが必要となる。知の創造プロセスの評価には、成果を生み出すのに使われた数値データ、モデル、分析方法などのメタ研究情報がデータとして管理・保存され、公表されている必要がある。組織マネジメント力の評価には、成果が使われた個別ドメインから独立した評価部門が必要であり、組織戦略との兼ね合いから事業トップが関与する形が望ましい。このような包括的かつ多面的な新たな評価システムを構築する必要がある。

#### (3) 知の統合に関する研究・人材育成・社会実装を担う組織体制の構築

知の統合が扱う問題は複数の科学、広範なドメインに跨る問題であり、分野横断的な知の専門家とそれを適用する個別ドメインに関する知の専門家との共同作業が必要であり、分野横断知とドメイン知の統合による新たな価値創出の枠組みが求められる。このため、知の統合の推進組織のミッションを以下の3つと定め、その組織体制と運営上の工夫を提案する。①認識科学と設計科学の連携を図り、社会の持続的発展に繋がる具体的な社会的課題に対して、知の統合による課題の認識・把握・解決を目指すプロジェクトを立ち上げ推進し、その成果を社会に実装してイノベーションや新たな産業の興隆につなげる、②たとえば次世代交通物流システムのようなシステム構築プロジェクトを通して、新たな分野横断知の創造や知の統合に向けた方法論・ツールの開発を推進し、新たに生起する社会的課題の認識・把握・解決にも適用可能な「知の統合プラットフォーム」の形成により、学際的・統合的・俯瞰的な学術体系「知の統合学」を確立する、③産業界、行政、並びに学術界における知の統合人材を育成する。

## 目 次

1	知の統合に関する国内外の動向と本報告の位置付け	1
(1)	日本学術会議の過去の2つの提言の概要	1
(2)	日本学術会議総合工学委員会等の過去の報告・記録の概要	1
(3)	知の統合に関する海外動向	2
(4)	本報告の位置付け	3
2	状況認識	4
(1)	社会からの期待	4
(2)	期待される人材	5
(3)	知の統合人材の評価	6
3	現状の問題点、克服すべき課題	7
(1)	知の統合人材とその育成	7
(2)	知の統合人材の評価方法	8
(3)	専門性と細分化	8
(4)	システム統合としての認識	9
(5)	異分野の知を統合する知識・技術の体系化	10
4	知の統合人材の育成への試み	11
(1)	大学における人材育成	11
(2)	システム構築プロジェクトによる人材育成	11
5	知の統合人材の評価	13
(1)	評価方法	13
(2)	評価システムの構築	14
(3)	評価のための具体的な提案	14
6	知の統合の推進体制	16
(1)	知の統合を推進する学術の確立	16
(2)	推進組織が持つべき機能、あるべき姿	16
(3)	推進組織の体制と運営	18
7	まとめ	20
	<用語の説明>	21
	<参考文献>	28
	<参考資料1> 審議経過	33
	<参考資料2> シンポジウム開催	34
	<付録1> 知の統合を巡るこれまでの様々な議論	37
	<付録2> システム科学研究所構想について	44
	<付録3> 知の統合プラットフォーム研究開発拠点 KCP-Complex の形成	47

## 1 知の統合に関する国内外の動向と本報告の位置付け

### (1) 日本学術会議の過去の2つの提言の概要

先端化・細分化する科学技術と社会から期待される科学技術とのギャップの拡大に対する危機感から、2003年4月に横断型基幹科学技術研究団体連合（横幹連合）が設立され、知の統合の重要性を訴える活動を開始した。日本学術会議では、同様の危機感を持ち、知の統合に関して2つの重要な提言を行ってきた[1] [2]（付録1に概要を示す）。

科学者コミュニティと知の統合委員会提言[1]では、「知の統合」を『異なる研究分野間に共通する概念、手法、構造を抽出することによって各分野間での知の互換性を確立し、それを通じてより普遍的な知の体系を作り上げること』と定義し、新たな価値を生むが新しい知を生まない「総合」や異なる分野の知が1つに融け合う「融合」とは異なる概念とした。旧来の学術が知の体系の細分化に流れ「社会のための科学」の障壁となっていること、科学者コミュニティが知の細分化問題を十分に自覚していないことの2点を課題と指摘し、知の統合が、社会のための科学の実現にとって必要不可欠な概念であると述べている。さらに、知の統合を図る施策として、①認識科学と設計科学の連携促進、②研究マネージメントリーダーの養成、③文と理のインターフェースを果たす人材の育成や異分野間の知的触発を促進する教育研究環境の整備などを挙げている。

社会のための学術としての「知の統合」推進委員会提言[2]では、幅広い学術の視点から知の統合の推進を目指して、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並びに知を結集した統合的研究（以下、「知の統合研究」と呼ぶ）による社会的課題解決のために必要な方法論を明らかにした。知の統合に繋がる異分野連携の成功事例の分析を通して、①時代の必然的要請、②連携を行う場の存在、③推進を担う適切な人材の存在という3つの成功要因を見出している。また、知の統合を推進し社会的課題を解決するための具体的な方策として、「知の統合知識ベース」の構築や基盤整備を訴えている。知の統合を担う人材の育成には、評価の仕組みと評価基準の見直しや当該人材のキャリアパスの整備が必要と指摘している。

上述の提言[1][2]の間に出された日本の展望委員会提言[3]においては、蓄積しつつある地球規模の問題を解決するための統合的研究と、それを体系化する「統合の科学」の発展を主張している。理工学分野の課題は、科学の目標が固定価値の解明から変化過程の解明・問題解決へシフトしており、分野を細分化する手法では、現代社会が抱える複合的課題に対応することは困難であるとして、従来の領域型分野を再編し、新しい価値観や科学・技術を生み出す知の統合と、そのための新しい研究方法論の開拓や新しい研究推進体制の構築が必要と指摘している。

また、研究評価の在り方検討委員会対外報告[4]は、研究課題に応じた評価基準や評価の在り方、第三者評価の必要性に言及し、人文・社会系分野等を含めた多様な研究分野の評価方法の確立、研修を通じた評価能力の向上や評価人材の必要性を指摘している。

### (2) 日本学術会議総合工学委員会等の過去の報告・記録の概要

日本学術会議の下で「知の統合」の概念が最初に現れたのは、2005年の自動制御研究

連絡委員会・工学共通基盤研究連絡委員会自動制御学専門委員会報告[5]である。[5]では、知の統合を設計科学（利用知の体系化）や機能・働き（コト）を扱う横断型基幹科学技術との関係から捉えている。社会のための学術の発展に貢献するには、①「対象（もの）の知」と「機能・働き（コト）の知」の統合、②横断型基幹科学技術の振興、③従来の科学技術と異分野融合を促す科学技術を縦・横で捉える2次元構造の評価システムが必要と述べている。その後の議論は報告・記録[6][7][8][9]に取りまとめられている（付録1に概要を示す）。

総合工学委員会工学基盤における知の統合分科会記録[6]では、知の統合の推進方策として、①戦略的研究プロジェクトを通じたトップダウン型研究（課題解決型研究）と②ボトムアップ型研究（好奇心駆動型研究）の2つがあると指摘し、課題解決型では知の統合を内部にはらむプロジェクトの立ち上げが鍵であり、好奇心駆動型では当時の科学研究費補助金審査システムが「知の統合型研究」に対応できないことを検証した上で、新しい研究種目の追加と評定要素の導入が成功の鍵であると指摘している。

総合工学委員会報告[7]では、知の統合が総合工学の役割であることを明確にし、その分野における人材育成の重要性を指摘している。

総合工学委員会工学基盤における知の統合分科会記録[8]では、「知の統合学」を「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て体系化を図り、これを実践して行くための科学」と定義している。また、事例をベースに知の統合を引き起こす「方法論知」を導出し、異分野交流の場を有効にする工夫や知の統合プロジェクト推進上の課題を指摘している。

総合工学委員会工学基盤における知の統合分科会記録[9]では、知の統合が優れたリーダーや個人的な資質に強く依存し、形式知化されていないと指摘し、知の統合学に昇華するため、モデル化、シミュレーション、予測、意思決定、VRなどのヒューマンインタフェースをサイバー空間に仮想的に展開し、様々な立場のメンバーが分散して活用可能な「知の統合プラットフォーム」の構築と、これらを担う組織の構成を提案している。

### (3) 知の統合に関する海外動向

20世紀の終盤からグローバル化が進み、世界が直面する問題も多様化し、科学技術をリードする国々においても研究者を取り巻く環境が大きく変化した。米国では「発見、学びとイノベーションを通じて国の将来に貢献する」という50年来のビジョンを有した米国科学財団（NSF: National Science Foundation）が、21世紀に入り、学術の境界を超えた研究の重要性を説いている[10]。特に高等教育においては、分野を超えた、いわゆる越境的アプローチを理解し、学際的な考え方ができる holistic designers（全体論的または総体的デザイナー）が、イノベーションの実現には必要不可欠であると説いている。また、近年では知の統合（consilience）[11]が盛んに議論されるようになった。社会のニーズに基づいてバイオ技術、ナノ技術、情報技術、認知技術の知識を統合し、人間行動を組み合わせ、持続可能な質の高い生活水準の実現を目指している[12]。

「知と技術と社会の統合」は、世界のトレンドとなりつつある。EUのHorizon 2020プ

プログラムでは、研究の成果をイノベーション、経済成長、雇用に結び付けることを目指している[13]。第一優先の卓越した科学支援では、新しくかつ有望な分野の連携研究が強調され、第三優先の社会的問題への取り組み支援では、7つの課題が抽出され、分野間の共同研究が奨励されている[14]。21世紀に入り、欧州の各国は、地球規模の問題に対応するため、これまでの価値観とは異なる新しい知の創造の必要性を説いている。ドイツでは、研究、イノベーション、創造性を生活水準維持のための重要項目と位置付け、卓越した若手研究者支援に際して、学際的な思考ができる研究者が周りに居る研究環境を重要視している[15]。また、スウェーデンの「未来の研究リーダープログラム」では、卓越した科学技術的能力に加え、リーダーシップと経営能力と研究結果の実装に関する能力や自分の殻を破って活動する資質を選定基準としている。2017年からの研究戦略では、研究成果の社会貢献性および研究の学際性を重要項目として明記している[16]。

米国では、2014年5月に米国学術研究会議（NRC: National Research Council）が、『ブレークスルーを引き起こし、学問の壁を越えて横断的な問題解決を図る知の統合研究を支援する全国レベルでの協調が必要』という緊急提言[17]を行った。そこでは、知の統合研究を、生命科学、自然科学、工学などの学問領域の壁を越えてツールや知識を統合するものとし、知の統合研究はイノベーションを加速し、社会の問題解決に取り組むのに役立つが、これまで以上に大規模な協調が必要であり、学問分野毎に研究体制を組織してきた研究機関にとってカルチャー転換が必要であると指摘している。知の統合の成功事例として工学とバイオ技術の統合による3次元印刷技術を挙げ、研究助成機関同士の協調例として米国立衛生研究所（NIH: National Institutes of Health）と米国エネルギー省（DOE: Department of Energy）のヒトゲノム解析計画を挙げている。知の統合への努力を支援するための戦略として、①共通のテーマ、課題、科学的挑戦に取り組む研究組織やプログラムの設立、②分野横断的クラスターでの研究者の雇用、③知の統合への関与を昇進やテニユア獲得プロセスに反映すべきと述べている。NSF 長官 France Córdova は2016年5月に米国科学審議会（NSB: National Science Board）の理事会でNSFの将来に向けた方針を提案し、称賛された[18]。提案では、『知の統合はディシプリンを持った研究者を招集しグランドチャレンジに挑ませる新しい考え方である』とし、知の統合研究推進のために、評価基準の根本的な見直しに着手すると述べている。

#### (4) 本報告の位置付け

日本学術会議が知の統合の議論を開始して10年以上が経過し、その議論が次第に深化してきたと言える。また海外でも知の統合を支援する動きが急速に進行中である。

総合工学委員会工学基盤における知の統合分科会及び同知の統合推進小委員会（以下、本分科会等）では、上述の提言[1][2][3]、報告[5][4][7]、記録[6][8][9]、ならびに海外動向を踏まえて更なる検討を加え、大学、公的セクター、産業界が連携して社会的課題の認識・把握・解決に向けた知の統合を推進する観点から、①知の統合を担う人材（知の統合人材）の育成、②知の統合人材の評価、③知の統合に関する研究・人材育成・社会実装を担う組織体制、の3点について一定の結論を得たので、ここに報告する。

## 2 状況認識

### (1) 社会からの期待

科学技術と学術に向けた社会からの期待は、1999年に国際科学会議（ICSU）が発したブダペスト宣言の機軸「社会のための科学、社会における科学」に代表され、21世紀の世界が直面する地球規模の様々な社会的課題を解決する実践的貢献へと変化している。また、世界工学連盟（WFEO）・日本工学会・日本学術会議主催の2015年第5回世界工学会議（WECC2015）の京都宣言でも「社会のための工学、社会における工学」が謳われた。

しかしながら、益々、先端化・細分化する科学技術と学術および教育の現状は、これらの社会からの期待に対して十分応えていない。初等・中等教育で学習内容と社会生活とを関連付ける教育が不足しているために、生徒たちの多くが理科・数学の学習に対する興味と意欲を失っていく傾向がある。また高等教育段階においても、社会的課題の解決能力に関する知識と知恵に関する学習不足が指摘されている[19]。「教育（人材育成）」と「研究（知の創造と科学技術革新）」と「イノベーション（社会的・経済的価値の創造）」の三位一体的推進を謳った日本学術会議の提言[3]の実践が今こそ求められている。



図1 知の創造と社会的・経済的価値創造を結ぶネットワーク（出典[20]）

科学技術の研究成果を社会的・経済的価値創造に結実させる知の統合は、図1に示すように「自由な発想による基礎研究（知の創造）－目的基礎研究－応用・実用化研究開発－製品開発・市場投入・普及・標準化」の4層構造であり、かつ複雑なプロセス（多くは、非線形かつ確率論的特性）と言える[20][21]。このプロセスを成功させる鍵は、①各階層間での双方向の適切なコミュニケーション、②上位階層の社会ニーズを下位の基礎研究に伝える還流、③同一階層内の研究領域間での分野横断的かつ有機的な双方向の知の結合の3つである。科学技術に対する社会からの期待に応えるには、横軸の多様

な科学的・学術的知を相互に結合・統合すると共に、縦軸の基礎研究から製品開発・市場投入・普及・標準化までに様々な知の統合が必要であり、今まさに知の統合が求められている。教育と研究とイノベーションを三位一体的に進めることで、この構造と特性を理解し、このプロセスを適切にマネジメントできる人材を育てることができる。

この視点に立ち、日本学術会議や日本工学会など各学術団体は、ICSU1999 ブタペスト宣言や WECC2015 京都宣言の観点から、それぞれの活動の現状を可視化し、社会からの期待に応える行動計画を立て、それを実践する必要がある。その視座として図1のように、個別の科学的・学術的知の創造活動と社会的・経済的価値創造に向けた知の統合活動の実践に向けた複眼的分析と可視化が求められている。同時に、この科学技術駆動型イノベーション・エコシステムは「教育と研究とイノベーションの三位一体的推進」によって、はじめて持続可能となることも忘れてはならない。なお、ここでの教育には、初等・中等教育から高等教育、さらには生涯学習のあらゆる教育段階での教育効果（アウトカム）と、各教育段階の間の橋渡し、この2つの視点を欠くことができない[22]。

## (2) 期待される人材

21世紀の人材育成に関し、学力だけではなく、創造性、コミュニケーション能力、問題解決能力などを含めた総合的な能力が、刻々と変化する世界に対応できる人材として必要不可欠であることが指摘されている[23]。OECD では、「ものづくり産業を基盤とした社会経済に根ざした教育は前世紀のものであり、21世紀の教育は若者が知識社会に対応するためのスキルを習得する手助けをしなければならない」としている[24]。

第5期科学技術基本計画中間取りまとめ[25]は、「我が国は個別の製品や要素技術で強みを持つものの、それらを組み合わせ、統合したシステムとしてデザインする力が十分ではなく、その強みを生かし切れていない」と述べている。「知」の創造プロセスが急速に変化する中、旧来の枠組みに囚われない自由な発想力を有し、異なる背景をもつ専門家や研究者と積極的に交流する人材が期待される。

成案となった第5期科学技術基本計画[26]や日本学術会議イノベーション推進検討委員会報告[27]によれば、失敗を恐れず高い障害に果敢に挑戦し、他の追随を許さないイノベーションを生み出していく営みが重要である。既存の慣習やパラダイムに囚われることなく、社会変革の源泉となる知識や技術のフロンティアに挑戦し、社会実装を試行し続けていくことで、新たな知識や技術を生み出し、そこから画期的な価値を創出することが求められている。そして、そうした価値は、既存の競争ルールを一変させ、競争力に大きな影響を与え得ることが指摘されている[26]。さらに新たな価値を生み出し、社会的に大きな変化を起こすイノベーションのためには、新たな価値を生み出す源泉として学術研究が不可欠であると同時に、単に特定分野における学術研究のみでは困難であること、および学術研究の成果が学術分野に閉ざされてはならないことを指摘している[27]。イノベーションを引き起こすためには、まさにこれらを担う人材が必要であると言える。言い換えれば、知の統合を推進し、統合のプロセスをマネジメントできる人材であり[1]、以下、これを「知の統合人材」と呼ぶことにする。これまでの提言・報告

等を纏めると、知の統合人材には、

- 1) 社会が求めるものをいち早く嗅ぎ取る感性と言葉やイメージとして表現できる力
- 2) 複数の専門分野に関心を持ち、当該専門家とコミュニケーションができる素養
- 3) 異なる分野の知を統合し、社会が求める価値に転換できる知識と技能
- 4) 異なる分野の専門家を統率できるリーダーシップや人間的な魅力

などの素質、能力が必要とされており、その発掘と育成が強く期待されていると言える。

### (3) 知の統合人材の評価

知の統合人材を育成しても、それらの人材が活躍しやすい環境を構築しなければ、イノベーションの創出には至らない。そのために特に注意すべきは、知の統合人材の評価の仕組みが大学、公的セクター、産業界で確立していないという現状である。旧来の評価指標は、基礎研究や要素研究を担う人材の評価には適しているかもしれないが、前節で述べた知の統合人材の評価に適しているとは言い難い。知の統合人材には、学术论文の数と掲載誌の質では測れない能力が要求されているのであり、旧来の評価指標の下では正当な評価がなされないのは明らかである。

知の統合研究の研究評価については、[2][8]に指標が提示されている。一方、知の統合人材の評価については、議論が緒に就いたばかりである。何ををもって「価値ある業績」とするのか、学术论文のあり方自身も変わっていく必要がある。これまで専門性を重視していた工学分野でも、エンジニアリングの本質は知の統合による価値の創出であると認識を改め、評価基準の見直しを進めるなど、評価する側も変わりつつある、あるいは変わらざるを得ない状況にあり、海外でも評価基準の見直しが進んでいる[15][16]。

伝統的な科学技術分野であっても、新たな知の発見や発明それ自身のみならず、そのような発見・発明に繋がったデータやモデルの構築についても、その価値が見直されつつある。新たな発見・発明を次につなげるには、どのようにデータを集め、どのような仮説の下に、どのようなモデルを構築し、どのように分析した結果なのかという、結論の背後にある構造や道具建てが重要視されるようになってきたと言える。このような動向を受け、近年、データジャーナル（例えば[28]）の発刊により、データがどの分野でどのように使われたか、モデルや分析システムの活用がどのように行われたのかが、第三者にも見えるようになってきた。この点からも評価の指標に変化の兆しが見える。たとえばビッグデータで注目されるデータサイエンス分野[29]では、データサイエンティスト協会がデータサイエンティストに必要とされる能力として、約400項目にわたる詳細なスキル標準[30]を定めており、学术论文だけを評価の対象としていない。

知の統合研究のそれ自体の評価の仕組みは、当然ながら知の統合を推進する人材の評価と不可分な関係にある。知の統合研究の評価の仕組みをベースに、知の統合人材の育成に資する評価は如何にあるべきか、その目的、評価項目、評価時期、評価方法（相対評価と絶対評価）など、その具体像を固め、大学、公的セクター、産業界において知の統合人材が適切に評価され得る環境を早期に確立すべき段階にあると言えよう。

### 3 現状の問題点、克服すべき課題

日本学術会議で「知の統合」に関する議論が始まってから10年以上が経過し、人材育成の重要性に対する認識を含め議論が深化してきたが、具体的施策に結びつくまでに至っていないのが現状である。その最も大きな要因は、様々な意味で「縦割り思考」の強い日本の文化にあると考えられる。「知の統合人材」を育成し、社会的課題解決に向けた「知の統合」を実現していくためには、この認識を共有し、既存の学問分野の枠をはるかに超えた「分野横断的枠組み」の導入による具体的施策や組織化の検討が急務と言える。本章では、人材育成・評価システム・学術の体系化等の幾つかの視点で、現状の問題点と克服すべき課題を整理する。

#### (1) 知の統合人材とその育成

知の統合人材は、科学技術イノベーションによる日本社会の活性化の観点から、今日の企業でもっとも求められる人材であるが[31]、残念ながら現状ではそのような人材は産業界においてすら少なく、大学等で系統的な育成が強く望まれている。

知の統合人材の育成について、報告[27]は、以下の3つの原則を示した。

- 1) 多様な価値観を認める多面的な人材を育てる
- 2) 互いに積極的に異文化との交流を図り、切磋琢磨する人材を育てる
- 3) 生き生きとして新しいことに挑戦する人材を育てる

また、具体的な人材育成システムとして、①世界から人材を集める大学院づくり、②学部教育の強化と開放、③初等中等教育における学問力の向上の3点が必須であると指摘しているが、その実現には至っておらず、これらを実行することが喫緊の課題と言える。

文部科学省および経済産業省の下に組織された理工系人材育成に関する産学官円卓会議[32]では、専門分野の枠を超えた俯瞰的な視点を持ち、修得した知識・技術を社会に応用できる実践的・専門的な能力を育成するため、実践的な内容・方法による授業の提供（産業界から講師の派遣・登用、PBL、企業の実例を用いた演習、インターンシップ等）の促進、産学共同研究を通じた博士人材の育成、研究開発プロジェクト等を通じた人材の育成など、産業界との密な連携の重要性を指摘している。

文部科学省大学間連携共同教育推進事業「KOSEN 発 “イノベティブ・ジャパン” プロジェクト」[33]において、高等専門学校（KOSEN）が目指すべきは、

- 1) 市民や異なる分野の専門家から生まれる「生きている情報」を工学上の言葉や具体的な技術に変換することのできる高度なコミュニケーション力
- 2) 社会の複雑な要求に基づきながら改善や改良に取り組む主体性と創造性の教育とされている。これらの能力の育成には、現実の問題に正面から向き合い、他者との対話と工学的な知識を駆使し、価値を共に創造する経験が必要で、①課題を把握する、②提供する価値を考案する、③社会に導入する、④評価を得る、の4ステップから構成される教育プログラムが提案されている。

知の統合人材は、大学、特に大学院において伝統的に育成されてきた特定分野の専門家・研究者イメージとは大きく異なる。その育成の方向性は各種の答申や提言等で示さ

れており、教育・研究・イノベーションの三位一体の下で、大学、公的セクター、産業界が連携した知の統合人材の育成体制の早期実現が望まれている。

## (2) 知の統合人材の評価方法

研究人材の評価では、学術的な能力を、学術論文数、掲載論文誌の格やインパクトファクタ、論文の被引用数、そして同じ分野の研究者によるピアレビューで評価するのが通例である。しかしながら、学術的な能力の面でも、論文数は必ずしも客観的な質の評価に繋がらないばかりか、このような論文数中心の評価は、必ずしも知の統合人材の能力評価に相応しくないとと言える。

論文は特定の専門分野内での新規性、独創性の評価には有効であっても、その内容が社会的課題を認識・把握・解決し、人類に役立つ価値を生み出すとは限らない。まして学術論文数によって知の統合人材としての能力は測れない。とは言え、現実には、研究者の能力評価は論文数中心で行われており、多様な視点からの包括的な評価はなされていない。仮に知の統合人材として優れた能力を有する者でも、大学や公的研究機関に職を得ようとする旧来の評価システムに晒され、大学や公的研究機関に適切な人材が集まり難い。

これを打破するには、大学、公的セクター、産業界における知の統合人材の評価法を見直し、新たな評価システムを構築する必要がある。

## (3) 専門性と細分化

わが国の大学、特に工学系分野においては、学科や専攻の名称が多様化しているにも拘わらず、教育内容は伝統的な電気・情報系、機械系、化学・材料系、建築・土木系、生命系等に分類されるものがほとんどである。分野ごとに必ずマスターすべき科目の学修が徹底され、他分野の内容を含める余地は少ない。これは、教員に対する評価が主に同分野の研究者によるピアレビューであるため、学生に対しても領域が明確な伝統的分野の修得を課すためと考えられる。また、企業経営者の多くが、「俯瞰的なものの見方ができる人材、様々な部門の人間を統率できるリーダーシップを持った人材が必要であり、大学ではそのような人材を育て欲しい」[31]と言う一方で、大企業の人事部門の多くは、評価が容易である従来分野の枠組みで学生を評価し、採用を決めている。実際、既存の枠組みに入らない新設の学科・専攻の学生は就職に苦労することが多い。

確かにこれまでは、大学も、企業も、専門分野に特化し、専門性をどこまでも追及することで他との差別化を図り、生存を担保してきたといえる。その意味で、これまでは専門性の重視も意味を持っていたと言えるが、今日のように科学技術が高度に進展し、どこまでも細分化した状況では、先端性のみで社会的・経済的価値を生み出すのは困難になっている。すでに20世紀の終盤から、付加価値がサービスやソフトウェア技術によって実現されるようになり、ハードウェア技術だけで差別化できる要素は少なくなっている。過度の専門性重視の姿勢は見直しを求められている。

細分化が進んだもう1つの要因は、人文社会系の要素が入った分野が立ち上がったこ

とも影響している。従来は人文社会系と思われていた分野に対しても、工学的なアプローチ、認識科学ではない設計科学的なアプローチが必要になって来たことの現れであろう。このような新しい分野を開拓するには、過度に専門性を重視した人材育成や評価システムでは対応できないのは明らかである。

#### (4) システム統合としての認識

これまで日本学会会議の中で知の統合について多くの議論があり、さまざまの形でその必要性が強調されてきた[1][2][3][5][6][7][8][9]。これらの議論は学術の現在の発展段階における重要な課題を明らかにし、今後の学術の方向性を示唆する意味で大きな役割を演じてきたが、依然として抽象論のレベルに止まり、建前論の域を脱していない。

一方、知の統合を具体的な研究テーマに設定しようとする、通常の融合プロジェクトと区別が付かない、在り来りのものとなってしまい、どこに知の統合の理念があるのか分からなくなってしまう。知の統合という理念を、どのように現実の研究開発の課題に結びつけるか、そのための橋渡しになる方法論は何か、というきわめて深刻な問題である。

これらの議論の中で浮かび上がって来たのが「知の統合」と「システム統合」との関係性である。知の統合は良いシステムを構築するために不可欠である。なぜなら、システムは多くの異なる機能をもつ要素の集まりであり、要素がもつ機能はそれぞれの分野の知が発見した結果であり、したがってそれらを組み合わせたシステムを構築するには、さまざまな分野の知の統合が必要となるからである。それだけでなく、われわれは様々なシステムに取り巻かれている。たとえば、工業製品を作る生産ラインは、部品と機械・機器、センサー、通信系、ロボットなど、多くの要素からなる複雑なシステムである。設計、製造、出荷、物流、販売、納入、保守を含むサプライチェーンも、時間的な変動が大きな要因となるダイナミックなシステムである。さらに、われわれの生活に不可欠なライフラインや通信、交通といったインフラも、金融、教育、年金、医療、保険などわれわれが日常的に受けているサービスも、巨大な社会システムと考えられる。システム構築はきわめて具体的、普遍的な社会的・経済的価値創造であり、そこに知の統合の理念を盛り込むことは、知の統合の具体化を図る上で、きわめて適切かつ説得力を持つ手法である。

これまで知の統合は、異なる分野の専門家が目的を共有し、研究場所を共有してプロジェクトを行えば、それで実現すると思われてきた感がある。しかしながら、知の統合をシステム統合あるいはシステム構築の課題の下でさまざまな角度から照らしてみると、それだけではないことが分かる。システム構築は要素を集めて並べるだけではなく、必要な機能を実現するために、それらをどのように組み合わせるか、その結果どのようなメリットとリスクが生じるか、など様々な問題を内包するからである。これらの問題は、要素を作り上げる際に用いた各専門分野の知だけでは解くことができない。要素である異分野の知をシステムに統合するためのプラスアルファの知、すなわち知の統合学が必要になるのである。科学技術振興機構 (JST) の研究開発戦略センター (CRDS) では、

この知を「システム科学技術」と呼び、さまざまな調査活動を行っている [34] [35] [36] [37]。

知の統合をシステム統合の視点から推進することは、知の統合に関する日本学術会議における 10 年近い議論を集大成し、具現化する上で有力な推進策になり得る。

#### (5) 異分野の知を統合する知識・技術の体系化

克服すべき課題の 1 つに「システム思考の強化」がある。システム構築を成功させるには、構築しようとするシステムやそこに含まれる部品や要素、システムが全体として果たすべき目的や機能、システムの置かれた環境などを、総合的に捉え、所与の社会的・経済的価値を実現するシステムとして統合する設計思想（システムアーキテクチャ）、すなわちシステム思考が必要になる。システム思考を端的に表すのが、部分最適化を超える全体最適化である。各要素や部品はそれぞれ自分の機能を果たす上で最適な指標を持っていて、その指標に最も合うようにシステムの活動を担おうとする。しかしその要求通りに設計すると、全体として必ずしも最適とはならず、場合によってはシステムとしての機能を果たさなくなることもある。部分最適化が必ずしも全体の最適化に直結しないところに現代の複雑なシステム構築の難しさがあり、質の高いシステム思考が必要とされる所以である。

これまで日本の科学技術分野のさまざまなマイナス面が指摘されてきたが、それらの多くはシステム思考の弱さ、あるいは異分野の知を統合する知識・技術の弱さ、体系化の未整備として理解することができる。そのいくつかを挙げると、①要素の性能に拘り全体設計の視点が弱い、②ハードウェアには強いがソフトウェアは弱い、③組織が縦割りで横断的な結びつきが弱い、④「ものづくり」には強いが「もの」を使って実現すべき価値創造やサービスへの関心が薄い、⑤成果が目に見える実験研究が重視され理論研究はあまり評価されない、⑥プロジェクト研究でも細分化が進行する傾向が強く成果を統合することへのモチベーションが弱い、などである。これらすべてをシステム思考の弱さに結びつけるには無理があろうが、少なくとも社会実装、そしてシステム構築の重要性を念頭に置くことによって、克服できる可能性は高い。

## 4 知の統合人材の育成への試み

### (1) 大学における人材育成

このような背景のもと、第2期教育振興計画(対象期間:平成25年度～平成29年度)[38]では、高等教育上の方策として「未来への飛躍を実現する人材の養成」が取り上げられ、変化や新たな価値を主導・創造し、社会の各分野を牽引していく人材の重要性が指摘されている。また、笠木は、『学術の動向』[39]において、大学院教育におけるイノベーションの視点の重要性を指摘している。第5期科学技術基本計画[26]では、新たな知識や価値を生み出す高度人材やイノベーション創出を加速する多様な人材の育成・確保が明記されている。具体的には、大学院教育を通じて、高度な専門的知識と倫理観を基盤に、自ら考え行動し、新たな知およびそれに基づく価値を創造し、グローバルに活躍する高度な博士人材について、産学官の連携の下で育成することを謳っている。

文部科学省と日本学術振興会は、平成23年度より「博士課程教育リーディングプログラム」[40]を開始し、俯瞰力と独創力を備えグローバルに活躍するリーダの育成を奨励している。そのため、専門分野の枠を超えて世界に通用する質の保証された学位プログラムを産・学・官の参画によって実現しようとする大学院教育を支援している。具体的には、文系、理系、医学系の13研究科、11海外大学、11企業の連携からなる「超成熟社会発展のサイエンス」(慶応義塾大学)、9研究科、10大学、23機関との繋がりによる「社会構想マネジメントを目指したリーダシッププログラム」(東京大学)、14研究科と9国際機関を含む外部機関との連携による「京都大学大学院思修館協働事業」(京都大学)、14研究科、7企業・機関等との連携からなる「超域イノベーション博士課程プログラム」(大阪大学)など、多様な取り組みが企画実施されている。全部で64のプログラムが展開され、様々な分野で研究する若手人材の異分野間の融合を促進している。

知の統合人材の能力向上には、異なる知と出会う機会を経験することが必須である。人材の流動性を高め、分野、組織、セクターの壁を乗り越えるためにも、大学院において専攻や大学の枠を超えた共同プログラムに社会と連携した活動を取り入れ、大学院教育の質を向上させていくことが望まれる。また、学生や研究者が多様な場で自己研鑽に取り組むことができるように、様々な機会を提供することが必要である。

### (2) システム構築プロジェクトによる人材育成

前述したように、知の統合の成果は、多くの場合、最終的にシステムという形で実現されている。様々な学問分野に跨って形づくられる複雑な製品やサービスなどのシステム構築に際して、コンセプト設計の段階から考え始め、その価値を社会に提供するところまで持っていくには、製品やサービスのすべてのライフサイクル[41]を考慮した上で、正しいアーキテクチャの下でシステムを構築する必要がある。この一連の活動は「システム構築プロジェクト」として遂行される。コンセプト設計の段階では、システムから便宜を受ける利用者・顧客のニーズ・要求、企業としての戦略、エコシステムとして持続的に成立する条件の見究めが重要となるため、この段階で行うビジネス分析[42]には、ビッグデータを活用するためのデータサイエンティスト[43]やいわゆるビジネス分析

の素養[44][45]を持つ人材が必要となる。こうしたビジネス分析と合わせてコンセプト設計を行った上で、その成果物を経営層などの意思決定者に示して正しい判断を得ることが、システム構築プロジェクトを成功させ、良いシステムを実現する鍵となる[46]。

様々な学問分野に跨る複雑な製品やサービスをシステムとして構築し、社会に提供するには、コンセプト設計の段階からモデルに基づく一貫性のある設計を行うことが求められる[41]。特に、IoT (Internet of Things) を活用し企業を超えた連携を積極的に行う動き[47]や、同じ目的を持ちながら互いに独立したマネジメントのコントロール下にある複数のシステムを連携させる SoS(System of Systems)の動き[48]に対応するには、コンセプト設計が極めて重要となる。

上述のような活動を行うには、システム思考に加えて、産業ごとのドメインに特化した専門性も必要であるため、ドメイン知を有する専門家との協働作業が必須となる。知の統合を担う人材には、ドメイン専門家とコミュニケーションでき、プロジェクト全体を統括・推進できる能力が要求されるため、講義等による学習に加えて、実際の開発業務に直結するプロジェクトを活用したOJTによる人材育成システムが望ましい。このため、製品やサービスを開発する企業や行政から提供された実プロジェクトの中で、人材の育成を図ることがきわめて有効である。

一方で、企業や行政側では、現実の製品やサービスの開発を手がける技術者は居るものの、その開発プロセスには属人的な側面が強く、異なる分野の技術者を協調させ開発業務を進めることに長けた人材は少ない。また、そのような人材の育成システムも整備されていない。開発プロセスを効率的で生産性の高いものに変革していくためには、上に述べたアーキテクチャを設計した上で、開発プロセス全体をマネジメントできる人材がまた必要である。そのような人材育成を担う「学の組織 (大学や研究機関)」が必要である。この学の組織は、解決すべき社会的課題を抱える企業等から、そこで働く技術者の育成を兼ねて、技術者派遣を伴う課題解決プロジェクトを受託し、共同で研究開発を推進し、その成果を企業等に還元すると同時に、課題解決プロジェクトに大学院生・ポスドクらを参加させ、知の統合を実体験させる実践教育を行う。これにより、教育・研究・イノベーションの三位一体の推進組織として機能させることができる。

学の組織が企業等からの協力を得て推進するプロジェクトでは、複数の大学院生やポスドクらがドメイン専門家と綿密なディスカッションができる体制を整える必要がある。そして、国際標準であるシステムズエンジニアリングプロセス[41]に準拠しプロジェクトを実施する。このためには、ファシリテータを置き、プロジェクト全体の進捗状況をモニタリングしながら、適宜アドバイスすることが求められる。その上で、プロジェクトの中で、ドメイン専門家と、プロジェクトを先導するリーダーとそれをサポートする者が協働する体制とするのが良い。このような人材育成の試行的取り組みは、慶応義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科など、すでに日本でもいくつかの大学で始まっており、このような流れを促進するための積極的な支援が必要である。

6章では、国としてこれらを具体的に推進する新しい組織体制を詳述している。

## 5 知の統合人材の評価

### (1) 評価方法

大学、公的セクター、産業界において知の統合人材は何で評価されるべきであろうか。既に述べたように、知の統合人材は特定の専門分野の知識のみを持つだけでは務まらない。知の統合人材は、できるだけ広範な複数の異なる専門分野について、その分野の専門家と質の高い対話ができる一定の見識と理解力が必要であり、ある分野の知識をその分野の専門家以外にも理解できるように咀嚼し、説明できる能力、表現力が求められる。これらは、一般的な学術論文では測り難い能力である。現状、多くの大学・研究機関等で採用されている論文重視の評価システムでは、知の統合人材は、正しく評価することができず、優秀な人材を埋もれさせてしまう。包括的かつ多面的な、従来とは異なる評価指標が不可欠なのである。

知の統合人材は、第一義的には、その人材が生み出した成果の社会的・経済的価値あるいはその予測値で評価されるべきである。すなわち、知の統合の成果が使われた分野（新しく適用された分野）での有用性で評価されるべきである。企業であれば売上や利益という明確な評価指標を採用することもできる。しかし、普遍的な知の体系化を目指す知の統合研究ではそのような短期的、数値的な指標だけでは不十分であり、成果がもたらす将来的な価値まで含めて評価する必要があり、その意味で長期的、非数値的な指標を加味するべきである。成果が直接的に使われた分野だけでなく、将来を含めた他分野への展開性、波及効果、相乗効果にも十分配慮した評価が必要となる。それには、実際に使われた分野（社会のニーズ側、市場）の実務家・研究者による専門性の高い評価が基礎になる。この点が、成果を産み出した技術分野（学術のシーズ側）の研究者によるピアレビューを基礎とする従来の研究評価や人材評価との大きな違いである。

2つ目の評価基準としては、成果とそれがもたらす価値だけでなく、その成果を価値の創出に繋げたプロセスを重視すべきと考える。どのデータになぜ着目し、データとデータをどのように結び付けたのか、また、どのようなモデルを作成し、解析方法にどのような工夫を凝らしたのかも評価する必要がある。そのような知の創造プロセスの独創性、斬新性はもちろんのこと、プロセスの妥当性、柔軟性、多様性、普遍性を評価指標に加えるべきである。

3つ目の評価基準としては、知の統合研究がプロジェクト形式で実施される場合が多いことから、そのプロジェクトを目的に沿って的確に、効率よく動かしたかという視点が必要になる。俗にリーダーシップ、プロジェクトマネジメントと呼ばれるような組織マネジメント能力である。さらに、当該プロジェクトの中で、部下や若手研究者の能力をどれだけ伸ばさせたかという指導力も評価の対象とすべきである。

一方で、このような非数値的な指標だけでは、当該人材が、将来仮に大学等の研究組織（多くの場合、旧来の論文重視）に異動する際に不利な評価に晒され兼ねない。それを防ぐためには、特に成果の可視化が困難な上記の第2の評価基準を、旧来の評価システムの評価にも耐えられるようにすることもまた重要である。その点で、最近注目を集めているデータジャーナル（例えば[28]）、社会的・経済的価値の創造プロセスに焦点を

当てた評価を標榜する学術誌「Synthesiology (シンセシオロジー)」[49]、横断的視点に立った考察・論理展開や知の統合に向けた概念・方法論の提案を原著論文として採択する学術誌「横幹」[50]などの役割は大きいと言える。今後このようなジャーナル等がますます増え、知の統合人材の評価環境が一層整備されることを期待したい。

無論、成果が既存分野にもたらす変革、新学術領域の創成、学術領域のパラダイム・シフト、新事実の発見や新技術の創出への貢献など、より普遍的な知の創出も重要な評価項目であるが、これらは学術的な成果としても認識されるので、学術論文として成立しやすく、既存の学術誌においても正当に評価されるであろう。

## (2) 評価システムの構築

大学、公的セクター、産業界における知の統合人材の評価のために、前述の3つの評価基準からの包括的かつ多面的な評価を行う評価システムを構築する必要がある。

知の統合成果が実際に利用された分野や将来使われる可能性がある分野での価値を客観的かつ的確に認定、計量するためには、その成果や関連する類似の成果が、どの分野で、どのように使われ、どのような価値を生み出しているかのデータベースを構築しておく必要がある。データベースの情報を基に評価を行う際には、特定の利用分野の専門家だけでなく、その成果が波及する可能性がある分野など他分野の専門家・実務家も含めて、多角的に評価する仕組みにする必要がある。

知の創造プロセスの評価のためには、成果を生み出すのに使われた数値データ、モデル、分析方法など、何をどのように活用したのか、誰がどの部分をどのように担当したのか、成果に繋がったアイデアが生まれた経過などのメタ情報が、きちんとデータとして管理され、保存され、公表されている必要がある。そのようなメタ情報のデータベースも構築する必要がある。そのために、Elsevier、Thomson の他に、Research gate や Google scholar なども活用できる可能性がある。

組織マネジメントの視点からの評価は、成果が使われる個別ドメインの評価とは異なる視点からの評価になるので、それら個別ドメインとは独立した評価部門が必要である。組織戦略を意識した観点で評価するために、事業トップが関与する形が望ましい。

このように評価システムには、3つの評価軸からなる包括的かつ多面的な評価が不可欠である。そのような評価システムを実際に構築し、知の統合人材の評価に試行的に適用し、より優れた評価システムに改善する仕組みも必要である。6章で提案する知の統合推進組織はその目的にも活用できる。

## (3) 評価のための具体的な提案

ここまで、様々な観点から大学、公的セクター、産業界において知の統合を推進する人材の役割と重要性、そのような人材を育成するための仕組みや評価の視点について考察してきた。明らかなことは、現在、多くの科学技術分野で、研究や研究人材の評価手段としている確立したディシプリンに基づく評価とは、異なる評価システムを構築することが不可欠であるという点である。その大きな方向性は[8]で既に指摘されているよ

うに、短期的な指標から長期的な指標へ、数値的指標から非数値的な指標へのシフトである。しかし、この2つのシフトを直接的に実現することは容易ではない。そこで本報告では、新しい評価システムのもとで、結果としてこれらのシフトが実現される道を提案する。注目して欲しい視点は、以下の3点である。

- 1) 知の統合の推進には複数のディシプリンの様々なインタラクションが必要であり、単一のディシプリンでの評価では扱いきれない
- 2) 知の統合が求める価値は特定の専門分野に限定された学術的価値ではなく、社会に何らかの変革をもたらす社会的・経済的価値であり、学術的にはそれを生み出す方法論としての新しい学問分野の創出に価値がある
- 3) 社会変革をもたらす知の統合研究は、社会的・経済的価値を起点とするトップダウン的な研究が主流であり、確立したディシプリンを起点とするボトムアップ的な研究とは大きく異なる

これらの3点を念頭に、知の統合人材の育成に資する具体的な評価システムの構築に関して、以下の重要な2点を提案する。

- 1) 知の統合推進に向けた学術研究分野リストの作成と更新
- 2) 研究成果ではなく、研究プロセスを評価する評価システムの確立

現状、研究人材が正しく評価されるためには、社会に認知された学問分野に立脚していることが必要であるが、このことが、複数学問分野の「知」を統合するための新しい学問「知の統合学」の分野で、人材の評価を難しくしている。そこで、これまでの長い歴史を経てディシプリンを確立してきた既存の学問分野の分類に適したこれまでの科学研究費補助金の分科細目表とは独立に、今後、新しい学問分野として期待される学問分野の表を作成し、それを頻繁に（できれば毎年）更新していく委員会を設置する。学問分野表の作成・更新に当たっての重要なポイントは、「将来を見据えた可能性・期待感に基づく学問分野の抽出」と「社会的・経済的価値を起点とするトップダウン型思考からの導出」である。前者の例としては、人間社会と自然の調和、伝統文化と先端技術の調和、個人の価値と社会の価値の調和、短期目標と長期目標の調和など、様々な切り口からの「調和」をキーワードとする新しい学問分野が考えられる。一方、後者の例としては、環境・エネルギー・交通・医療といった社会的課題を個々に扱うのではなく、相互に適切に絡ませて統合的に解決するシステムズ・アプローチが挙げられる。すなわち、確立した学問分野からボトムアップ的に構築されてきた歴史を持つこれまでの分科細目表とは対照的な学問分野表の作成・更新である。

知の統合推進の方向性は固定されたものではなく、1つの展開が新たな展開を生む連鎖が重要であり、また社会的・経済的な環境の変化にも柔軟に対応していくところに価値が生まれる。したがって、研究の成果よりも、その創造プロセスを適切に評価していくことが知の統合の推進に大きく貢献する。具体的には、「プロジェクト研究での各研究人材の役割を評価する具体的評価項目の作成」と「知の統合に向けた学術の評価で重要となる発展性・相乗効果・波及効果、並びに知の創造プロセスの柔軟性・多様性・普遍性に関する評価法の確立」である。

## 6 知の統合の推進体制

### (1) 知の統合を推進する学術の確立

知の統合学は、より高次元の学問体系としての「知の統合のための設計論と構成論の確立」と「知の統合による実問題の俯瞰的解決法」を目指す学問であることから[51]、知の統合学の確立には、次の「方法論とツール」、並びに統合を実現する「場」を必要とする。

- 1) 解決すべき課題の認識・把握並びに俯瞰的課題解決のための方法論とツール
- 2) 設計・構成のための方法論とツール
- 3) 新しい科学技術を発見するための方法論とツール

知の統合学の開拓は緒に就いたばかりである。その確立のためには、既知なものと未知なものを明確にし、未知なものについては Open Problem として提起し広く方法論とツールを募り、現実の課題に適用して、その有用性を検証し、改善を図るなどして、いわば「知の統合学大全」の目次を作り上げることから始める必要がある。

異なる学術分野を跨いだ基本概念の互換性の確立[1]と、社会的課題の俯瞰的かつ普遍的な解決[2]は、社会で稼働している様々なドメイン別システム（エネルギー・環境、社会インフラ、防災とリスク、食糧確保、地域再生など）のドメイン知と、ドメインに依存せずに適用可能な分野横断知（システム理論、モデリング、機械学習、最適化、制御、統計学、予測、システム構築方法論、ネットワーク、複雑系、サービスシステム、社会システム、価値システムなど）との出会いの場で図られる。特定ドメインのシステム構築に有効な知は、分野横断知を媒介として、他のドメインのシステム構築にも有効となる。

知の統合が扱う課題は複数の科学、広範なドメインに跨る問題であり、知の統合学を開拓するには、分野横断的な知の専門家とそれを適用する個別ドメインに関する知の専門家との間で認識の共有が必要であり、分野横断知とドメイン知の統合による新たな価値創出の枠組みが求められる。このため、国にとしても社会を構成する諸因子（認識科学、設計科学、行動者、社会環境）の間の連携・協働を推進する組織体制が必要となる。

### (2) 推進組織が持つべき機能、あるべき姿

知の統合を推進する組織体制として如何なるものが望ましいのか、本分科会等では付録2「システム科学研究所構想について」[52]に示された統合知システム研究所構想をたたき台として検討を行った。同構想では、研究所の目的を以下のように定めている。

- 1) 統合化・システム化を図る新しい科学技術を創出し、イノベーション力を高める
- 2) 共通に活用できる知の統合プラットフォームを形成し、その上で新たなシステム構築プロジェクトを実行する
- 3) プロジェクトの中で知の統合人材を育成する

そして、その目的達成のための機能として、①システム科学研究の深化と統合、②システム構築の価値認識と評価、③システムの実装・運用・保守の体系の確立の3点を掲げ、これらの機能を担う組織体制として、図2に示す3ユニット（システム構築連携支

援センター、統合化システム研究部、システム科学研究部)、クロスアポイントメント制の研究者10名程度からなる組織を提案している。本分科会等の議論で、これは知の統合推進のために有効な組織モデルであるとの結論を得た。

## 「統合知システム研究所」構想（組織・役割）

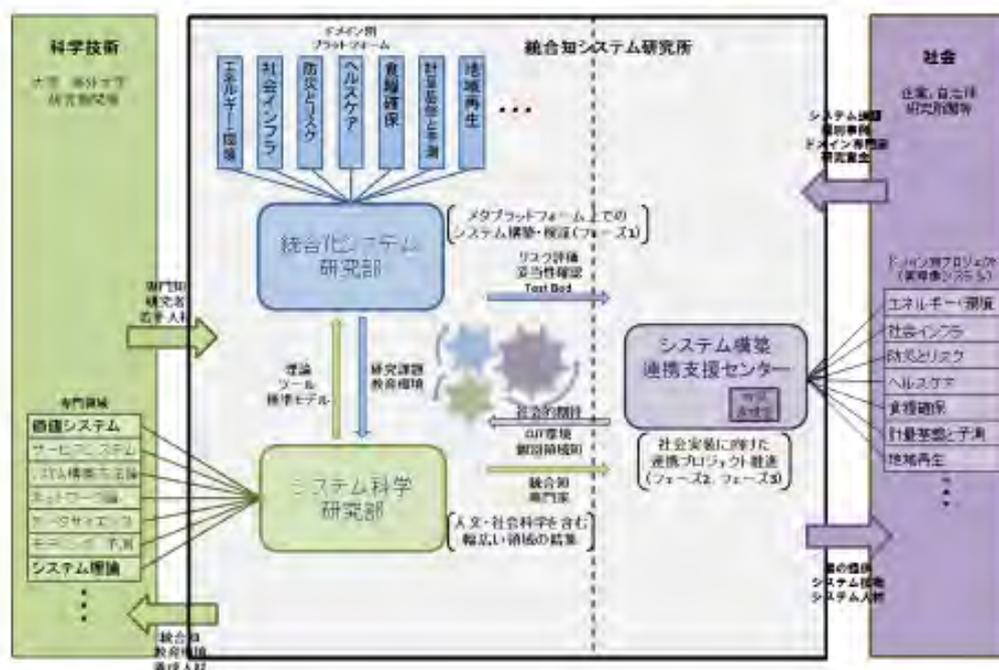


図2 統合知システム研究所の組織体制と機能（出典[52]）

図2において、システム構築連携支援センターは、産業界や行政との連携・コンサルティングの窓口として、個別の企業や行政と共に解決すべき課題を認識、発掘・同定し、統合化システム研究部に引き継ぐと共に、統合化システム研究部での研究成果（課題解決策を具現化したテストベッド）を産業界・行政の利用に供与し、共に社会実装に繋げるプロジェクトを推進する役割を担う。統合化システム研究部は、具体的な社会的課題に対して、システム科学部で育んだ知の統合学の知識や方法論・ツールを駆使して異分野の知を統合し、課題を解決する仮想的なシステム（テストベッド）を構築、評価・検証を行い、システム構築連携支援センターに引き渡す役割を担う、いわば推進組織の中核部門である。また、様々なステークホルダーが共通に利用可能な知の統合プラットフォームの構築・整備など、システム構築連携支援センターの後方支援機能の役割を果たす。知の統合プラットフォームの構想例[53]を付録3に示す。システム科学研究部は、ドメイン知や分野横断知に関する国内外の学術組織と連携して、統合化システム研究部で個別課題の解決の際に生み出された分野横断知の共通性、異質性を峻別し、適用ドメインに依存しないメタ知識としての知の統合学を確立するとともに、メタ知識を様々なドメインに適用する際に使える方法論・ツールを開発し、知の統合知識ベースとして整備することで、統合化システム研究部の活動を支援する基盤を構築する。

なお、本分科会等の議論の中では、

- 1) 実システムを作る方法論・ツールの開発、コンサルティングのあり方に関する検討
- 2) システム構築の理論や技術の深化
- 3) 新しい人材評価システムの構築と試行

の3点が重要であることを確認し、加えて統合化システム研究部やシステム構築連携支援センターが機能することで、既存の研究所との差異化が図れると考えている。

### (3) 推進組織の体制と運営

知の統合は、社会のための科学を具現化し、国民に対して科学技術の存在価値を実感させるものでなければならない[1]。そのため国レベルで設置を検討すべき新たな推進組織のミッションとして、以下の3点を掲げる[2][3]。

- 1) 認識科学と設計科学の連携を図り、社会の持続的発展に繋がる具体的な社会的課題に対して、知の統合による課題の認識・把握・解決を目指すプロジェクトを立ち上げ推進し、その成果を社会実装してイノベーションや新たな産業の興隆につなげる
- 2) 上記システム構築プロジェクトを通して、新たな分野横断知・方法論・ツールの創造・開発を推進し、新たに生起する社会的課題の認識・把握・解決にも適用可能な知の統合プラットフォームの構築により、学際的・統合的・俯瞰的な学術体系「知の統合学」を確立する
- 3) 産業界、行政、並びに学术界における知の統合人材を育成する

前述のように、社会的課題解決の多くは必然的にシステム構築を媒介とした知の統合研究となり得る。実際の社会的課題の認識・把握・解決には、知の統合の概念が必要不可欠である一方、課題解決の過程そのものが、知の統合の学問的発展に寄与する。すなわち、課題の認識・把握・解決を図るシステム構築プロジェクトを数多く推進することにより、その過程で生まれ、有用性が検証された個別の方法論・ツールの共通性と異質性を峻別することで、分野横断知を同定し、知の統合に必要な方法論を導出できる。一方で、知の創出だけでは社会的・経済的価値に繋がらない。知の統合の成果を、産業を通して継続的に社会に価値提供する社会実装が同時に必要であり、そのためにはそれぞれの立場で社会に接する産業界や行政との連携が必須となる。このシステム構築プロジェクトを研究者や専門家だけに任せるのではなく、学生や実務家と協力して、共にプロジェクトを推進することで、彼らの柔軟な発想やドメイン知の取り込みと人材育成が同時に可能となる。

したがって、この推進組織は、必然的に、①異分野の研究者・専門家・実務家が結集する場、②知の統合の基礎研究、応用研究、開発研究、実践研究の場、③産官学連携の場、そして④学生の教育や実務家の再教育の場、という複数の機能を併せ持つことになる。

推進組織の構成よりも、さらに重要なポイントは、このように多様なミッション・機能をもつ組織を運営する上での困難を如何に克服するかである。具体的には、

- 1) 優秀な異分野の研究者・専門家・実務家を国内外から結集しやすい仕組み
- 2) 異分野の研究者・専門家・実務家が、互いに多様性を積極的に受容し、実践活動や研究生活を心地よく推進できる仕組み

など、従来イメージの「研究所」とは異なる新たな組織運営を検討する必要がある。

1)については、人材流動性の困難を排除しつつ、国内大学の研究者だけでなく、海外大学、内外の研究機関、行政、企業等から異分野の多様な人材を集めやすく、同時に組織の硬直化を防ぐため、クロスアポイントメント制度の活用を促す。一人の研究者・専門家・実務家はいずれかの組織を本籍地として所属し勤務しながら、同時に他の組織にも所属して実際に勤務し、複数の組織から給与等を受ける仕組みである。ただ複数の組織に所属し、日々勤務組織が変わるだけで、各組織で果たすべき仕事量が従来と変わらず、給与も増えないなら、結果的に過重労働となるだけで良い成果は期待できない。制度利用者が不利にならない、むしろ何らかの恩恵を享受できるような制度が必要である。本籍地での身分・ポストの保証や勤務時間・給与・退職金・年金等の勤務条件だけでなく、複数勤務地間を移動する経費・労力、遠隔地勤務となる場合の宿舍・子育て・介護等の支援などにも十分配慮した制度設計が望まれる。これらの制度設計に当たっては、東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構(Kavli IPMU)などの先駆的取組みが参考になる。

2)については、研究者が異分野間の文化の違いを乗り越えるため、交流や対話が行いやすい施設環境や支援体制・制度が不可欠である。推進組織の中では、研究成果や研究人材の評価に際して5章で述べた新たな評価システムを適用し、知の統合研究や知の統合人材を正当に評価することで、心地良い環境を整えるとともに、多様な人材に統合活動へのモチベーションを与える。同時に評価システム自身の「適切性」「妥当性」を検証し、改善につなげるPDCAを回すことが必要になる。また、推進組織の内部でも、一人の研究者、専門家、実務家は、システム構築連携支援センター、統合化システム研究部、システム科学研究部のいずれか1つだけに所属するのではなく、1つの部門を本籍地としつつも同時に他部門に所属し、複数部門の仕事を同時並行的に遂行するものとする。いわば推進組織内でのクロスアポイントメント制である。こうすることで、人事の硬直化を防ぐだけでなく、推進組織内部でも異部門間の知の交流が自然に進む組織運営を行い、異分野間の横断的な結びつきを促進する仕組みとする。

## 7 まとめ

日本学術会議内で知の統合に関する議論が始まって既に 10 年以上が経過した。海外においても数年前から Convergent Research の名の下で知の統合と同様な議論が始まり、欧米ではイノベーションに繋がる重要な研究領域と位置付けられ、その支援に向けて巨大ファンドの研究開発投資や推進のための組織作りが急ピッチで始まっている。これに引き換えわが国では、この分野の重要性を世界に先駆けていち早く気づき、日本学術会議の中で議論を始めてきたにも拘わらず、その検討の成果が、直接、国の高等教育政策や科学技術政策、さらには産業政策に結び付くことはなく、今まさに後発の欧米に追い越されようとしている。

具体的施策に至っていない最も大きな要因は、様々な意味で「縦割り思考」の強い日本の文化にあると考えられる。世界に先駆けた議論を生かし、「知の統合人材」の育成を通し、社会的課題解決に向けた「知の統合」を実現していくためには、この認識を共有することが不可欠であり、既存の学問分野の枠をはるかに超えた「分野横断的枠組み」の導入による具体的施策や組織化の検討が急務と言える。

このような危機感を背景に、本報告では知の統合に関連するこれまでのわが国での議論をレビューし、特に検討が不十分であった人材育成、人材評価に焦点を当てた議論を展開し、①知の統合を担う人材を育成するための教育、②知の統合に関連する学術研究の確立、③成果の社会実装を通じたイノベーションの推進の 3 つを、三位一体で同時に推進する組織体制とその運営方法について、具体的な構想案として「統合知システム研究所」を提案した。

本報告は、主に理工学分野の学部・大学院教育に焦点を当てての検討をまとめたもので、ここでの検討内容は総合工学委員会で議論している提言案『社会的課題に立ち向かう「総合工学」の強化推進』の作成にも役立ち、同提言案では総合工学の 4 つのカテゴリー毎の研究評価と人材育成に関する提言の重要なポイントとして活かされている。しかし、当然のこととして、ここでの検討は人文・社会科学を含むすべての分野に適用可能であり、幅広い分野横断的視点での今後の大きな展開を期待したい。特に、大学、行政（内閣府、文部科学省、経済産業省、総務省、国土交通省、厚生労働省など）、研究助成機関、産業界等、科学技術に関連するすべてのステークホルダーがこの危機感を共有し、わが国においても緊急に具体的な強化・振興策を策定し、これを実行して、欧米に先んじて成果を挙げ、科学技術の果実を国民に還元できる状況を産み出したいと切に願う。

時あたかも、第 3 期教育振興基本計画(平成 30～34 年度)の検討が開始された[54][55]。これから大変革するであろう 2030 年以降の社会の変化を見据えて、次の 5 年間の日本の教育・人材育成のあり方を決めようとするものである。学問領域を超えた知の統合の重要性・必要性が益々高まっていくことは疑いない。第 3 期教育振興基本計画においても、知の統合人材の育成が重要な柱となることが強く望まれる。

## ＜用語の説明＞

(出現順)

### 横断型基幹科学技術（横幹科学、横幹学）

論理を規範原理とし、自然科学、人文・社会科学、工学などを横断的に統合することを通して異分野の融合を促し、それにより新しい社会的価値の創出をもたらす基盤学術体系である。たとえば、社会、人間、環境、生命、経営、組織マネジメントなどを扱うために生み出された、統計学、シミュレーション学、最適化手法、情報学、設計学などの学術体系である。（出典：横幹連合 HP、<http://www.trafst.jp/aims.html>）

### 知の統合

異なる研究分野の間に共通する概念、手法、構造を抽出することにより、それぞれの分野の間での知の互換性を確立し、それを通じて、より普遍的な知の体系を作り上げること。

（出典：[1][51]）

### 認識科学

真理の発見、現象の把握など、「あるものの探究」を主な目的として発展してきた従来の科学。対象は、自然、生命、人間、社会など。

### 設計科学

人間や社会のために、一定の目的と価値の実現を目指す「あるべきものの探求」を主な目的とする知の営み。対象は人工物システムとなる。認識科学を縦糸とすれば、設計科学はそれらを結びつける横糸である。（出典：[56]）

### 知の統合研究（知の統合型研究）

異なる研究分野の間の連携により知の統合を推進し、社会的・経済的価値を生み出す研究。多くの場合、地球規模の社会的課題を認識・把握・解決するプロジェクト研究となる。

### 統合の科学

人類の存続・発展を可能とし、精神的・物質的に調和のとれた幸福な人間社会を実現するため、具体的な研究領域において諸科学（文理）の連携、協働を進め、蓄積しつつある地球規模の課題を認識・把握・解決するのに有効な知を体系化したもの。「持続可能な社会構築の科学」、「安全の科学」などが代表例。（出典：[3]）

### 利用知

自然科学や人文・社会科学の成果として、自然や人間、社会など、対象の認識を目的とした知識を「対象知識（対象知）」というのに対して、その得られた対象知識を積極的に利用して、人間が豊かにかつ幸福に生きるために用いられる知識を「利用知識（利用知）」という。代表的なものは、工学、農学、薬学、医学などの学問分野を形成している知識であ

る。

## コト

「コト」は「モノ」との比較において語られる価値概念である。モノが実体として目に見える物質であり、その所有に起因する価値であるのに対して、コトは目に見えない経験や体験、思い出、人間関係、サービスなどの事象であり、感覚・感情・情緒に起因する価値である。市場経済が十分成熟し、金銭的余裕さえあれば必要なモノはほとんど自由に手に入る先進諸国において、人々の関心はモノの所有欲を満たすことから、コトを経験することから生まれる満足に移行していると言われている。

## 知の統合学 (Consilienceology)

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。また、メタな学問体系としての「知の統合のための設計論と構成論の確立」と「知の統合による実問題の俯瞰的解決法」を目指す学問との定義もある。(出典:[9][51])

## 知の統合プラットフォーム

社会を構成する人間・生態系・環境・人工物を、機能の面から捉え、モデル化し、シミュレーションを通して予測して、それに基づいて意思決定し行動することを可能とするとともに、VR (Virtual Reality)などの高度のヒューマンインタフェースにより現実世界に結び付けられたインタラクティブなバーチャル空間である。これにより解決すべき課題の認識・把握・解決や新たな創造の方法や方策が明らかになり、またその方法や方策が、政治家、官僚、産業人、市民といった多様なステークホルダーや当事者が参加するかたちで評価可能となる。(出典:[29])

## ブダペスト宣言

ユネスコと国際科学会議(ICSU)のもとに、1999年6月26日から7月1日までの間、ハンガリーのブダペストで開催された「21世紀のための科学：新たなコミットメント」世界科学会議で採択された「科学と科学的知識の利用に関する世界宣言」のこと。知識のための科学：進歩のための知識、平和のための科学、開発のための科学、社会における科学と社会のための科学の4項目から成る。(出典:文部科学省HP、[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu4/siryo/attach/1298594.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu4/siryo/attach/1298594.htm))

## 目的基礎研究

新たな知の創造を担う研究活動は、一般に、「基礎研究」、「応用研究」、「開発研究」に区分され、この区分が研究に関する施策や関係統計に使われているが、第3期科学技術基本計画以降、「基礎研究には、研究者の自由な発想に基づく研究と、政策に基づき将来の応用を目指す基礎研究がある」とされている。この中で、前者のどんな応用ができるかわ

からないが新しい現象や知識の探究を純粹基礎研究、後者の特定の目的に役立てるため現在不明な点の穴埋めをする研究を目的基礎研究という。

目的基礎研究は、将来の産業・経済の持続的な発展に大きく寄与するもので、出口を明確にし、イノベーション創出を目指すものである。(出典:総合科学技術会議基本政策推進専門調査会資料、<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/suisin/haihu13/siryo3-1.pdf>)

### イノベーション・エコシステム

多種多様な関係者(企業、研究機関、政府等)が自律的に活動し、かつ競争と補完関係の中でイノベーションの創出を加速していく様子を生態系(エコシステム)に準えたものである。また、その形態は一律のものではなく、地域や属する経済圏特有の資源を活用しながら自律的發展性を持つものと考えられている。(出典:みずほ情報総研 HP、<https://www.mizuho-ir.co.jp/publication/column/2011/1227.html>)

### 要素研究

製品やシステムを形成している個々の要素に関わる技術的な研究のこと。システム研究の反対概念。

### データジャーナル

オリジナル論文の発表を中心とした分野別の学術研究のこれまでの成果発表の方法に加えて、データ生産者が分野を超えて連携して、オリジナル論文に埋め込んだデータや論文投稿時に棄却した高品質のデータを学術の成果として集積するための新たな場として発刊され始めた学術雑誌。(出典:日本学術会議 HP、<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-h140930-3.pdf>)

### ビッグデータ

近年の ICT (情報通信技術)、特にセンサーの飛躍的發展によって、地球物理、気象、地震、天文、生命科学、マーケティング、ファイナンスなど多くの研究分野や社会で出現した大量・大規模のデータ。ある事象に関する非常に多数の多種多様な要因データが得られるようになったことが本質で、これによって大きな可能性が開けた反面、従来の方法では解決できない新しい課題を生み出している。(出典:[29])

### データサイエンス

ビッグデータの活用の統計学と先端計算技術が融合した新たな学問領域であり、散在するデータを処理するためのビッグデータ処理技術(分散処理、並列処理、データベース、クラウド計算など)、膨大な高次元データや計算結果を人間が把握できるようにするためデータ可視化技術(次元圧縮、特徴抽出、画像処理など)、ビッグデータからの価値ある深い知識獲得のためのデータ解析法(統計学、機械学習、データマイニング、最適化

など)を主たる要素技術とする。(出典:[29])

### データサイエンティスト

ビッグデータの活用に不可欠な3つの要素的な技術(ビッグデータ処理技術、データ可視化技術、データ解析法)を習得し、さらに研究戦略立案能力、コミュニケーション能力、研究倫理などのデータリテラシーを備えた人材。このような人材の育成にあたっては、方法論の習得と領域の知識と経験が重要で、結果的にT型、II型の人材となる。本提言では、データサイエンティストは従来のStatistician(統計家)やDeep Analytical Talent(統計、機械学習、データマイニング、最適化などを駆使できる人)の発展形と捉えている。なお、Deep Analytical Talentという名称にはやや違和感があるが、ビッグデータから従来の情報処理以上のDeep knowledgeの獲得を目指すという意味が込められていると考えられる。(出典:[29])

### スキル標準

特定の職務の遂行に必要とされる能力を明確化・体系化した指標で、特定の職能団体等により定められることが多い。

### PBL (Project-Based Learning)

プロジェクトを通じた実践的な学びを得ることであり、グループで現実的な課題を認識・把握・解決するためのプロジェクトに取り組むこと。課題に対処する中で自ら学び取ることができる。

### システム統合

情報システムの分野では、複数の情報システムを1つのシステムに再編成する概念として使われることが多いが、本報告ではより一般的に、複数の異なる要素を互いに有機的に結合し、全体として所与の目的を達成するよう「システムとして統合する」の意味で使用している。「システム化」、「システム構築」とほぼ同義語。

### システム科学技術

システムを正確に解析し望ましいシステムを構築・管理するための科学的な基盤と、それを達成するための技術的な手法の総体。(出典:[37])

### システムアーキテクチャ

システム要素とそれらの関係性の中で具体化された、ある環境中のシステムの基本概念または特性であり、またシステムを設計し進化させるための原則のこと。(出典:ISO/IEC/IEEE 42010 HP、<http://www.iso-architecture.org/ieee-1471/>)

## システム構築プロジェクト

複雑な製品やサービスなどのシステム構築に際して、コンセプト設計の段階から考え始め、その価値を社会に提供するまでの一連のプロジェクト活動のこと。システムの廃止や他のシステムによる代替まで含めて考えることが多い。

## コンセプト設計

ミッション分析またはビジネス分析を元に、企業体のミッション要求またはビジネス要求を定義し、さらに利害関係者を特定した上で、利害関係者のニーズと要求を定義する中で開発しようとする対象システムの運用を考慮し、システムおよび主要なシステム要素を構想すること。いくつかの候補となる構想の中で、技術的な準備レベルやリスク、実現可能性、価格的な配慮などを評価し、運用以外のライフサイクルを検討しておく必要がある。

(出典:[41])

## ビジネス分析

組織の構造とポリシーおよび業務運用についての理解を深め、組織の目的の達成に役立つ解決策を推進するために、利害関係者間の橋渡しとなるタスクとテクニックの集まり。

(出典: IIBA®日本支部 BABOK®翻訳プロジェクト (監訳), ビジネスアナリシス知識体系ガイド(BABOK®ガイド) Version 2.0, IIBA®日本支部, 2009年8月1日)

## IoT (Internet of Things)

インターネットを通じてモノ同士がつながること。特に、あらゆるモノがインターネットを介してつながることを意味する場合が多い。

## SoS (System of Systems)

必ずしもライフサイクルステージ全体に渡ってマネジメントすることができるとは限らない個々のシステムを構成要素とし、これらの構成システムによって成り立つ一段上位のシステムを意味する。

## ドメイン知

分野横断知の反対概念。旧来の縦割りの特定の学問分野あるいは特定のシステムドメインの中で生まれ、使われている固有の知識群のこと。

## システムズエンジニアリングプロセス

ISO/IEC/IEEE 15288 で定義される合意プロセス、組織的プロジェクト実現プロセス、技術マネジメントプロセス、および技術プロセスから成る。システムの全ライフサイクルステージにわたりシステムズエンジニアリングを計画通りに QCD を守って進めるためには、これらのプロセスを適切に実施する必要がある。(出典: Systems and software engineering -- System life cycle processes,

[http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail?csnumber=63711](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=63711))

## プロジェクトマネジメント

プロジェクトの目標達成に向けて、具体的に計画し、目標達成までの期日や費用、目標とする品質を明確に定義し、作業を進めていくためのプロセスやツール、技法などを適用すること。（出典：A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)–Fifth Edition, Project Management Institute, 2013, <https://www.pmi.org/pmbok-guide-standards>)

## 分野横断知

自然科学や人文・社会科学と言った従来の縦割りの学問分野（工学分野で言えば電気、機械系、化学・材料系、建築・土木系、生命系など自然科学の知識の上に成立している分野）とは異なる人工的な原理で生まれ、これら縦型学問分野のいずれにおいて分野横断的に使うこと可能な知識群のこと。数学、モデル、システム、統計、最適化、制御、設計学などが代表例。

## 統合化技術

顧客や社会のニーズに合わせて、実在する様々な機器・部品、ソフトウェア、データ、制度などの中から、最適なものを選択し、最適な組合せで、所与の目的を実現するシステムを構築するのに用いられる技術群。

## Transformative Research

米国科学財団(NFS)が打ち出した研究のカテゴリーで、既成概念や既存の研究分野に革新をもたらす可能性の高い研究のこと。（出典：日本学術振興会 HP、<https://www.jsps.go.jp/j-bilat/u-kokusen/foreign/washington-h1804.html>)

## バーチャル・ユニバース

社会を構成する人間・生態系・環境・人工物などの機能面に着目し、その機能を、モデル化、シミュレーション、予測、意思決定などのツール群と VR (Virtual Reality) などのバーチャル技術や先進的ヒューマンインタフェースを組み合わせで代替し、コンピュータやネットワーク上に、まるで物理的に実在する世界であるかのように思わせる仮想的空間のこと。

## e-サイエンス

計算機技術やそれに基づくインフラの上で、一連の探求から成果発表までを行う科学的方法論の総称である。そこでは、探求を行うために必要な種々の準備や実験、データ収集、成果の普及、探求の過程で生成されるあらゆる資料データの長期保管やアクセスが、計算機技術を用いて実現される。より具体的な形態としては、計算機を用いた科学的データベ

ース、データモデリング、シミュレーション解析、デジタル実験室、電子的実験ノート、論文・報告書作成、電子的成果発行など、あらゆる電子化された科学的研究活動を指す。  
(出典:[29])

### **データ中心科学**

ICT の急速な発展に伴って利用可能となった大規模・大量データ（ビッグデータ）を活用した、研究や技術・サービス開発のための科学的方法論。ICT をフルに活用した、帰納的（データ駆動型）な方法と位置づけられる。(出典:[29])

## <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。  
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-20-t34-2.pdf>
- [2] 日本学術会議社会のための学術としての「知の統合」推進委員会、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。  
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-21-t130-7.pdf>
- [3] 日本学術会議日本の展望委員会、提言「日本の展望—学術からの提言2010」、2010年4月5日。  
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-21-tsoukai.pdf>
- [4] 日本学術会議研究評価の在り方検討委員会、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」、2008年2月26日。  
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-20-t51-3.pdf>
- [5] 日本学術会議自動制御研究連絡委員会・工学共通基盤研究連絡委員会自動制御学専門委員会、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—」、2005年7月21日。  
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-19-t1031-14.pdf>
- [6] 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。
- [7] 日本学術会議総合工学委員会、報告「総合工学分野の展望」、2010年4月5日。  
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-21-h-3-7.pdf>
- [8] 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「知の統合の体系化と推進に向けて—工学基盤からの視点—」、2011年9月30日。  
<http://www.scj.go.jp/ja/member/iinkai/kiroku/3-110930.pdf>
- [9] 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「知の統合への具体的な方法論と方策の提案」、2014年9月12日。  
<http://www.scj.go.jp/ja/member/iinkai/kiroku/3-140912-2.pdf>
- [10] Bordogna, J., “Transcending Boundaries in Research and Graduate Education”, Remarks at the 46th NSF Annual Meeting, Arizona, 2004.
- [11] Edward O. Wilson, Consilience: The Unity of Knowledge, Alfred A. Knopf, 1998.
- [12] M. C. Roco, W. S. Bainbridge, B. Tonn and G. Whitesides, Convergence of Knowledge, Technology and Society –Beyond Convergence of Nano-Bio-Info-Cognitive Technologies–, Springer, 2013, Boston.
- [13] European Union. Research and Innovation Funding: Making a Real Difference. 2016.
- [14] 科学技術振興機構、欧州の新しい研究開発・イノベーション枠組みプログラム Horizon 2020 の概要、2013.
- [15] 永野博、「世界が競う次世代リーダーの養成」、近代科学社、2013.

- [16] Swedish Foundation for Strategic Research, Research Strategy 2017-2021, 2016.
- [17] The National Academies of Sciences, Engineering and Medicine, "National Coordination Needed to Help 'Convergent' Research Achieve Breakthroughs and Solve Problems that Cross Disciplinary Boundaries," News from the National Academies, May 7, 2014.  
<http://www8.nationalacademies.org/onpinews/newsitem.aspx?RecordID=18722>
- [18] American Institute of Physics, "NSF Director Córdoba Proposes Nine Big Ideas for the Foundation," Science Policy News from AIP, June 14, 2016.  
<https://www.aip.org/fyi/2016/nsf-director-cordova-proposes-nine-big-ideas-foundation>
- [19] 中央教育審議会、答申「個人の能力と可能性を開花させ、全員参加による課題解決社会を実現するための教育の多様化と質保証の在り方について」、平成 28 年 5 月 30 日。[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1371833.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1371833.htm)
- [20] 柘植綾夫監修、「イノベーター日本—国創りに結実する科学技術戦略」、オーム社、2006 年 11 月。
- [21] 柘植綾夫、「学術とイノベーション—知の創造と社会経済価値創造の結合強化を目指して—」、学術の動向 2006 年 12 月号、pp. 8-16、2006 年 12 月。  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/tits1996/11/12/11\\_12\\_8/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/tits1996/11/12/11_12_8/_pdf)
- [22] 日本学術会議科学・技術を担う将来世代の育成方策検討委員会、提言「科学・技術を担う将来世代の育成方策～教育と科学・技術イノベーションの一体的振興のすすめ～」、2013 年 2 月 25 日。<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-t169-2.pdf>
- [23] ATC21S, "Draft White Paper 1 - Defining 21st Century Skills. Assessment and Teaching of 21st Century Skills", a research project by University of Melbourne, CISCO, Intel and Microsoft, 2010. <http://atc21s.org>
- [24] Ananiadou, K., & Claro, M., "21st Century Skills and Competences for New Millennium Learners in OECD Countries", OECD Education Working Papers No. 41, OECD: Paris, 2009. <http://dx.doi.org/10.1787/218525261154>
- [25] 総合科学技術・イノベーション会議基本計画専門調査会、「第 5 期科学技術基本計画に向けた中間取りまとめ」、2015 年 5 月 28 日。  
<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/kihon5/chukan/honbun.pdf>
- [26] 総合科学技術・イノベーション会議、答申「第 5 期科学技術基本計画（平成 28 年 - 32 年）」、2016 年 1 月 22 日。  
<http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5honbun.pdf>
- [27] 日本学術会議イノベーション推進検討委員会、報告「科学者コミュニティが描く未来の社会」、2007 年 1 月 25 日。<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-20-t32.pdf>

- [28] Scientific Data, <http://www.nature.com/sdata/>
- [29] 日本学術会議情報学委員会 e-サイエンス・データ中心科学分科会、提言「ビッグデータ時代に対応する人材の育成」、2014年9月11日。  
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-t198-2.pdf>
- [30] 一般社団法人データサイエンティスト協会、「データサイエンティストに必要とされるスキルを纏めたスキルチェックリストを初公開 総合人材サービス会社での活用が決定」、2015年11月20日。  
<https://www.datascientist.or.jp/common/docs/skillcheck.pdf>
- [31] 鈴木久敏、坂井佐千穂、旭岡勝義、「横断型・融合型人材はなぜ必要か?」、横幹、第3巻第1号、pp.6-12、2009年。<http://www.trafst.jp/journal/backnumber/3-1/p6-p12.pdf>
- [32] 理工系人材育成に関する産学官円卓会議、「理工系人材育成に関する産学官行動計画」、2016年8月。  
[http://www.mext.go.jp/component/b\\_menu/shingi/toushin/\\_\\_icsFiles/afieldfile/2016/08/02/1375040\\_01.pdf](http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/__icsFiles/afieldfile/2016/08/02/1375040_01.pdf)
- [33] 文部科学省、KOSEN 発 “イノベティブ・ジャパン” プロジェクト、2016年。  
<http://www.innovative-kosen.jp/>
- [34] (独) 科学技術振興機構研究開発戦略センター、「米国の Engineering Research Centers (ERC) —融合型研究センターの Federal Flagship Scheme —」、平成26年度調査報告書 CRDS-FY2014-RR-02、2014年9月。  
<https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2014/RR/CRDS-FY2014-RR-02.pdf>
- [35] (独) 科学技術振興機構研究開発戦略センター、「システム構築型イノベーションの重要性とその実現に向けて」、プログレスレポート CRDS-FY2013-XR-03、2013年11月。  
<https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2013/XR/CRDS-FY2013-XR-03.pdf>
- [36] (独) 科学技術振興機構研究開発戦略センター、「システム科学技術分野 (2013年) 第2版」、研究開発の俯瞰報告書 CRDS-FY2013-FR-06、2014年3月。  
<https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2013/FR/CRDS-FY2013-FR-06.pdf>
- [37] (独) 科学技術振興機構研究開発戦略センター、「システム科学技術分野 (2015年)」、研究開発の俯瞰報告書 CRDS-FY2015-FR-06、2015年4月。  
<https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2015/FR/CRDS-FY2015-FR-06.pdf>
- [38] 文部科学省、閣議決定「第2期教育振興基本計画」、2013年6月14日。  
[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/keikaku/detail/\\_\\_icsFiles/afieldfile/2013/06/14/1336379\\_02\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/a_menu/keikaku/detail/__icsFiles/afieldfile/2013/06/14/1336379_02_1.pdf)
- [39] 笠木伸秀、「イノベーションを創出する工学系人材育成に向けて」、学術の動向、Vol. 11、No. 12、pp. 29-35、2006年。  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/tits1996/11/12/11\\_12\\_29/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/tits1996/11/12/11_12_29/_article/-char/ja/)
- [40] 日本学術振興会、博士課程教育リーディングプログラム、2015年。

- <http://www.jsps.go.jp/j-hakasekatei/>
- [41] INCOSE Systems Engineering Handbook, A Guide for System Life Cycle Processes and Activities, 4th Edition, International Council on Systems Engineering, Wiley
  - [42] A Guide to the Business Analysis Body of Knowledge® (BABOK® Guide): 3 Paperback - April 15, 2015, International Institute of Business Analysis.
  - [43] Thomas H. Davenport, D.J. Patil, “Data Scientist: The Sexiest Job of the 21st Century”, Harvard business Review, October 2012 Issue, 2012.
  - [44] Thomas H. Davenport, “5 Essential Principles for Understanding Analytics”, Harvard business Review, October 21, 2015.
  - [45] Thomas H. Davenport, “Analytics 3.0”, Harvard business Review, December 2013 Issue
  - [46] The special issue on “Model-Based Conceptual Design - Architecting the Problem Space”, INCOSE INSIGHT, Vol.17, Issue 4, 2014.
  - [47] Industrial Internet Reference Architecture, tech-arch.tr.001, Version 1.7, 2015-06-04. <http://www.iiconsortium.org/IIRA.htm>
  - [48] Mohammad Jamshidi, ed., System of Systems Engineering: Innovations for the Twenty-First Century, John Wiley & Sons, 2011.
  - [49] Synthesiology (シンセシオロジー).  
[http://www.aist.go.jp/aist\\_j/aistinfo/synthesiology/index.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/aistinfo/synthesiology/index.html)
  - [50] 横幹、<http://www.trafst.jp/journal/index.html>
  - [51] 舘暲、「「知の統合」と「知の統合学」をめざして」、日本学術会議総合工学シンポジウム 2016 講演資料、2016 年 7 月 20 日.
  - [52] 北川源四郎、「システム科学研究所構想について」、日本学術会議「先端学術分野におけるシステムズ・アプローチの進展と課題」シンポジウム資料、2015 年 11 月 28 日.
  - [53] 日本学術会議、「社会のインタラクティブ合意形成を実現する知の統合プラットフォーム研究開発拠点 KCP-Complex の形成」、第 23 期学術の大型施設計画・大規模研究計画に関するマスタープラン (マスタープラン 2017) 説明資料 (区分 I)、計画番号 107、学術領域番号 27-2.  
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-t241-1-24.pdf>
  - [54] 文部科学省、「第 3 期教育振興基本計画の策定について (諮問)」、2016 年 4 月 18 日. [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1378937.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1378937.htm)
  - [55] 中央教育審議会、資料「第 3 期教育振興基本計画 (平成 30 (2018) 年度～34 (2022) 年度) 諮問の概要」、2016 年 5 月 26 日.  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo3/siryu/\\_icsFiles/afieldfile/2016/06/09/1371613\\_18.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/siryu/_icsFiles/afieldfile/2016/06/09/1371613_18.pdf)
  - [56] 日本学術会議運営審議会附置新しい学術体系委員会、報告「新しい学術の体系—社

- 会のための学術と文理の融合―」、2003年6月24日。  
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/18pdf/1829.pdf>
- [57] 文部科学省、平成14～15年度振興調整費科学技術政策提言報告書「横断型科学技術の役割とその推進」(研究代表者:木村英紀)、2004年6月。  
[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/kagaku/chousei/news/1357715.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/kagaku/chousei/news/1357715.htm)
- [58] 内閣府、平成18年度科学技術振興調整費「イノベーション戦略に関する調査・研究」成果報告(2)「イノベーション戦略に係る知の融合調査」付録(委託先:特定非営利活動法人横断型基幹科学技術研究団体連合)、2006年9月。  
<http://www8.cao.go.jp/cstp/stsonota/yugo/siryo-ap.pdf>
- [59] 内閣府、平成18年度科学技術振興調整費「イノベーション戦略に関する調査・研究」成果報告(2)「イノベーション戦略に係る知の融合調査」(委託先:特定非営利活動法人横断型基幹科学技術研究団体連合)、2007年3月15日。  
<http://www8.cao.go.jp/cstp/stsonota/yugo/yugo.html>
- [60] 舘暲、「知の統合学としての横幹学をめざして」、横幹、Vol.3、No.1、pp.1-2、2009年4月。<http://www.trafst.jp/journal/backnumber/3-1/p1-p2.pdf>
- [61] 舘暲、巻頭メッセージ「知の統合学をめざして」、横幹連合ニューズレター、No.015、2008年10月。<http://www.trafst.jp/nl/015/index.html>
- [62] 舘暲、「知の統合学」、横幹、Vol.7、No.2、pp.67-72、2013年10月。  
<http://www.trafst.jp/journal/backnumber/7-2/p67-p72.pdf>
- [63] 中央教育審議会、答申「新しい時代にふさわしい高大接続の実現に向けた高等学校教育、大学教育、大学入学者選抜の一体的改革について～すべての若者が夢や目標を芽吹かせ、未来に花開かせるために～」、2014年12月22日。  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/\\_\\_icsFiles/afielldfile/2015/01/14/1354191.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/__icsFiles/afielldfile/2015/01/14/1354191.pdf)
- [64] 科学技術・学術審議会人材委員会、提言「第7期人材委員会提言」、2015年1月27日。  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/gijyutu/gijyutu10/toushin/\\_\\_icsFiles/afieldfile/2015/03/12/1355849\\_01.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu10/toushin/__icsFiles/afieldfile/2015/03/12/1355849_01.pdf)

## <参考資料 1> 審議経過

平成 27 年

3 月 2 日 総合工学委員会（第 2 回）

分科会・小委員会の設置、公開シンポジウム企画案

5 月 7 日 工学基盤における知の統合分科会（第 1 回）

趣旨説明、役員選出、今期活動方針、小委員会の設置

11 月 28 日 工学基盤における知の統合分科会（第 2 回）

公開シンポジウム企画案確認、小委員会の活動計画報告

11 月 28 日 総合工学委員会工学基盤における知の統合分科会公開シンポジウム開催

12 月 23 日 知の統合推進小委員会（第 1 回）

役員選出、委員追加、今後の進め方、フリーディスカッション

平成 28 年

1 月 6 日 総合工学委員会（第 3 回）

公開シンポジウムの開催提案、分科会活動報告

2 月 19 日 知の統合推進小委員会（第 2 回）

知の統合の推進体制についてアイデア出し

3 月 10 日～3 月 17 日 総合工学委員会（第 4 回）（メール審議）

公開シンポジウム開催計画承認

4 月 19 日 知の統合推進小委員会（第 3 回）

知の統合の推進体制についてアイデアの整理と選択

6 月 17 日 知の統合推進小委員会（第 4 回）

知の統合の推進体制について骨子案検討、確認

7 月 20 日 総合工学委員会（第 5 回）

分科会活動報告

7 月 20 日 総合工学委員会公開シンポジウム開催

11 月 7 日 知の統合推進小委員会（第 5 回）

報告案『知の統合の推進体制について』の検討、承認

12 月 2 日 工学基盤における知の統合分科会（第 3 回）

報告案『「知の統合」の人材育成と推進』の検討について

平成 29 年

3 月 16 日～21 日 工学基盤における知の統合分科会（第 4 回）（メール審議）

報告（案）『「知の統合」の人材育成と推進』の承認について

8 月 17 日 日本学術会議幹事会（第 250 回）

報告『「知の統合」の人材育成と推進』について承認

## <参考資料2> シンポジウム開催

### 1. 公開シンポジウム

「先端学術分野におけるシステムズ・アプローチの進展と課題」

主催：総合工学委員会 工学基盤における知の統合分科会

共催：横断型基幹科学技術研究団体連合

日時：平成27年11月28日（土）13：30～18：00

場所：日本学術会議 講堂

開催趣旨：

知の統合の重要性は日本学術会議でもしばしば指摘され、学術会議における学問論の主要なテーマとなってきた。しかし、その理念的な深まりはまだ不十分であり、それを推進する具体的な方策は依然として手探りの状態にある。一方、現在各先端分野で同時進行しつつあるシステムズ・アプローチの進展は、「システム」の概念を通じて知の統合が進展する可能性を示唆しており、知の統合を媒介する理念的な枠組みを与えることが強く期待される。

システムズ・アプローチの進展は幅広い分野で見られる。例えば、生物学の主流になりつつある「システム生物学」、新しい研究グループが創設された「システムナノ技術」、新学術領域「システムがん」などである。これらの近年の成果を受け、環境・エネルギー・医療など様々な社会的課題を総合的に解決するためには、それぞれのシステムを総合的かつ系統的に捉える SoS (System of Systems) の視点とそれを具体的に実現するためのプラットフォームの構築が重要となってきたが、この方向性は正に「知の統合」が目指してきているものである。

システム化の波やその役割は分野によって異なるし、分野における視方も異なるが、知の互換性という視点での共通点は多い。各分野でのシステム化による具体的な成果とその将来動向を持ち寄り、その共通の課題と分野相互の協調の可能性を探ることは、知の統合をモメントとした学術の再編成の視点から現時点で大きな意味がある。本シンポジウムはシステム化の進みつつある諸分野の研究者を一堂に集め、その成果と課題について共通の場で語っていただき、知の統合の推進役を担うシステム科学技術の将来の方向性を展望する。

プログラム

13：30 開会の辞 渡辺 美代子（日本学術会議第三部会員、総合工学委員会委員長、国立研究開発法人科学技術振興機構執行役）

13：35 主催者挨拶 花木 啓祐（日本学術会議副会長、東京大学工学系研究科教授）

<講演：各分野におけるシステムズ・アプローチ>

13：45 「健康リスク制御のシステム科学技術」  
山本 義春（東京大学大学院教育学研究科教授）

14：15 「細胞内シグナル伝達のシステムズバイオロジー」

- 黒田 真也（東京大学大学院理学系研究科教授）
- 14：45 「持続的農業生産を支える情報システム」  
二宮 正士（東京大学大学院農学生命科学研究科）
- 15：15－15：30 （休憩）
- 15：30 「複雑系と社会学」  
今田 高俊（日本学術会議連携会員、東京工業大学名誉教授）
- 16：00 「システム思考から生まれるロボット制御の新しいパラダイム」  
下田 真吾（理化学研究所研究員）
- 16：00－16：20 （休憩）
- <パネル討論：システムズ・アプローチの進展と課題>
- 16:20 - 17:50  
（司会）木村 英紀（日本学術会議連携会員、早稲田大学理工学術院研究招聘教授）  
（パネラー）  
北川 源四郎（日本学術会議第三部会員、情報・システム研究機構 機構長）  
船橋 誠壽（北陸先端科学技術大学院大学シニアプロフェッサー）  
西村 秀和（慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科教授）  
山本 義春（東京大学大学院教育学研究科教授）  
今田 高俊（日本学術会議連携会員、東京工業大学名誉教授）
- 17：50 閉会の辞 原 辰次\*（日本学術会議連携会員、工学基盤における知の統合  
分科会委員長、東京大学大学院情報理工学系研究科教授）
- 18：00 閉会

## 2. 公開シンポジウム

「総合工学シンポジウム 2016

知の統合を如何に達成するか - 総合工学の方向性を探る -」

日時 平成 28 年 7 月 20 日 (水) 13:00~17:00

場所 日本学術会議講堂

主催 日本学術会議 総合工学委員会

<http://www.scj.go.jp/ja/event/pdf2/229-s-3-3.pdf>

プログラム

開会挨拶

花木 啓祐 (日本学術会議副会長・東京大学大学院工学系研究科教授)

第 I 部

【基調講演】 構成科学としての工学 (設計科学)

吉川 弘之 (日本学術会議栄誉会員・JST 特別顧問)

知の統合と知の統合学をめざして

舘 暲 (東京大学名誉教授)

情報学から見た工学分野の融合について

喜連川 優 (日本学術会議会員・国立情報学研究所所長)

東日本大震災後の被災地支援研究

似田貝 香門 (東京大学名誉教授)

第 II 部 パネル討論

ファシリテータ

吉村 忍 (日本学術会議連携会員・東京大学大学院工学系研究科副研究科長)

パネリスト

奥村 次徳 (日本学術会議連携会員・東京都立産業技術研究センター理事長)

大倉 典子 (日本学術会議連携会員・芝浦工業大学工学部教授)

狩野 光伸 (日本学術会議特任連携会員・岡山大学大学院医歯薬学総合研究科教授)

瀬山 倫子 (日本学術会議連携会員・NTT 先端集積デバイス研究所主幹研究員)

閉会挨拶

渡辺 美代子 (日本学術会議会員・JST 副理事)

## ＜付録 1＞ 知の統合を巡るこれまでの様々な議論

### (1) 日本学術会議の過去の2つの提言の概要

日本学術会議は知の統合に関して2つの重要な提言を行っている。1つ目は2007年の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—』[1]であり、2つ目は2011年の社会のための学術としての「知の統合」推進委員会提言『社会のための学術としての「知の統合」—その具現に向けて—』[2]である。

[1]では、知がより有効に社会に資するために科学者コミュニティは何をすべきかの観点から、知の統合を議論している。まず知の統合を、「異なる研究分野の間に共通する概念、手法、構造を抽出することによってそれぞれの分野の間での知の互換性を確立し、それを通じてより普遍的な知の体系を作り上げること」と定義し、新たな価値を生むが新しい知を生まない「総合」や異なる分野の知が1つに融け合う「融合」とは異なる概念としている。①旧来の学術が知の体系の細分化に流れ、「社会のための科学」の障壁となっていること、②科学者コミュニティが知の細分化問題を十分に自覚していないことの2点を課題と指摘し、知の統合が、社会のための科学の実現にとって必要不可欠な概念であり、学問論であり、また方法論であるとして、知の統合への熱い期待を述べている。さらに、知の統合を図る施策として、①認識科学の知が設計科学によって社会化されるとの立場から認識科学と設計科学の連携促進、②研究成果の産業化や社会化に関して広い知を結集し俯瞰的に洞察できる能力を持った研究マネジメントリーダーの養成、③異分野科学者間の対話を促進するため、文と理のインターフェースを果たす人材の育成や異分野間の知的触発を促進する教育研究環境の整備などを挙げている。なお、認識科学と設計科学の連携促進に関しては、運営審議会附置新しい学術体系委員会報告『新しい学術の体系—社会のための学術と文理の融合—』[56]が、科学を「あるものの探究」としての認識科学と「あるべきものの探究」としての設計科学とに区分し、これらを両輪とする新しい学術の体系の構築の必要性を指摘している。

[2]では、総合工学や第三部に止まらず、幅広い学術の視点から知の統合の推進を目指して、人文・社会科学や生命科学を含む学術全体で知の統合を審議する課題別委員会を設立し、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に、また知を結集し統合的研究を進め社会の問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している。具体的には、[1]の指摘に加えて、知の統合を阻む壁を詳細化し、①学術分野を跨いだ基本概念の互換性の欠如、②データ公開のインセンティブの欠如、③人材移動の困難性、④実務コストの問題、⑤科学と社会の接点を担う人材の不足等を指摘し、知の統合に繋がる異分野間連携の成功事例の分析を通して、①時代の必然的要請、②連携を行う場の存在、③推進を担う適切な人材の存在といった、3つの連携成功要因を見出している。その上で、知の統合を推進するための具体的な方策として、①知識を構造化した「知の統合知識ベース」の整備、②社会的課題の解決と知の統合の推進を同時に実現する枠組み・技術の整備といった、知の統合を推進する基盤の必要性を訴えている。知の統合人材の育成と量的拡大のためには、知の統合研究の評価の枠組みや当該人材のキャリアパスの整備が必要であることを指摘している。また知の統合研究に

は旧来の学術とは異なる評価が必要とし、その評価軸として事前評価軸（研究の独創性、研究組織の多様性、展開性・波及効果への期待感）と事後評価軸（有用性、普遍性、展開性・波及効果）を挙げ、これまでの研究評価基準の見直しを求めている。

前述の提言[1][2]の間に、日本の展望委員会提言『日本の展望—学術からの提言 2010』[3]があり、その一部で知の統合に言及している。[3]では、学術研究の近未来として、具体的な研究領域における諸科学（文理）の連携、協働を進め、蓄積しつつある地球規模の問題を解決するための統合的な研究、また、それを体系化する「統合の科学」を発展させるべきと主張している。その上で、理学・工学分野の課題は、①社会のための科学の流れの中で、科学の目標は固定価値の解明から変化過程の解明・問題解決へシフト、②科学・技術分野を細分化する手法では、現在の社会が抱える環境等の地球的・複合的課題に対応することは困難、との現状認識を示し、近年は、従来の領域型分野を横につなぎ、あるいは縦に編成し、新しい価値観や科学・技術を生み出す知の統合とそのため新しい研究方法論（例えば、e-サイエンス）の開拓や新しい研究推進体制（例えば、バーチャル研究所）の構築が必要と指摘している。

研究評価全般に関しては、2008年の研究評価の在り方検討委員会対外報告『我が国における研究評価の現状とその在り方について』[4]に纏められている。[4]では、現状および問題点として、①評価のために膨大な時間とエネルギーが費やされ、評価の形式化や評価作業への徒労感があること、②評価対象の違いに応じた評価基準の適正化・精緻化が必要なこと、③評価者、評価方法・基準を重要研究課題や研究施策の推進側が決定しているため公正性や透明性に疑念が生じる可能性があること、④評価業務を実施・支援するための人的および物的な基盤整備が不十分であることなどが指摘されている。中でも融合研究分野や挑戦的な研究課題については、特性に即した評価基準を設定し、研究分野を熟知した評価者によってなされるべきであるとされている。その上で、(1) 研究課題に応じた評価や研究評価に対する国民の理解など研究課題評価の在り方と、(2) 第三者評価の実施体制、評価事例の検証、評価に係る人材の育成など第三者評価の必要性とその在り方について提言が行われている。そこでは、人文・社会系分野等を含めた多様な研究分野の評価方法の確立、研修を通じて評価者能力の向上や評価自体の専門知識を有する人材の養成の必要性が指摘されている。

## (2) 日本学術会議総合工学委員会等の過去の報告・記録の概要

日本学術会議の下部組織である自動制御研究連絡委員会、工学共通基盤研究連絡委員会、総合工学委員会では、知の統合について継続的に議論してきた。日本学術会議の中で、知の統合という概念が最初に現れたのは、平成17年7月21日付けの自動制御研究連絡委員会と工学共通基盤研究連絡委員会自動制御学専門委員会の連名による報告『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—』[5]である。その後、議論は総合工学委員会や下部組織の工学基盤における知の統合分科会に引き継がれ、その調査研究の成果が報告・記録[6][7][8][9]に取りまとめられている。

[5]では、知の統合を「あるべきものの探求」の科学である設計科学(利用知の体系化)や「機能・働き(コト)」を扱う横断型基幹科学技術との関係から捉えている。すなわち、様々な社会的課題を解決する社会のための学術の発展に貢献するには、①「対象(もの)の知」と「機能・働き(コト)の知」の統合が不可欠であること、②対象(もの)を扱って来た旧来の個別学問分野(縦型科学)の振興だけでは不十分で、機能・働き(コト)」を扱う「横断型基幹科学技術」(横断型科学)の振興が重要であること、③科学技術を「たてとよこ」の2次元構造として捉え、異分野間の融合を促進し新しい学問分野を創成することの必要性を主張し、具体的方策として科学研究費補助金の審査方式に「縦型・横断型の2次元構造」を導入することを提案している。

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—』[6]では、知の統合を推進する具体的な方策として、①戦略的研究プロジェクトを通したトップダウン型の知の統合(課題解決型研究)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(好奇心駆動型)の推進の2つがあると指摘し、それぞれの方策が成功する要因を導き出している。課題解決型では、知の統合を内部にはらみ知の統合を通じて具体的に進行するプロジェクトの立ち上げが、好奇心駆動型では、日本学術会議イノベーション推進検討委員会報告「科学者コミュニティが描く未来の社会」[27]で示された274個の「創出すべきイノベーション」の提案者にアンケート調査し、当時の科学研究費補助金審査システムでは複数の系・分野・分科・細目に跨る知の統合型研究に対応できないことを確認した上で、新しい研究種目を追加し、知の統合の趣旨に沿った応募研究領域の指定方式と評定要素の導入が、それぞれ鍵であると指摘している。

総合工学委員会報告『総合工学分野の展望』[7]では、総合工学の主な役割の1つが知の統合の具現化であるとし、その具体的なプロセスを明らかにする議論が展開され、併せて人材育成の重要性が指摘されている。

総合工学委員会工学基盤における知の統合分科会記録『知の統合の体系化と推進に向けて—工学基盤からの視点—』[8]では、これまでの知の統合に加えて、新たに知の統合学を人文・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いくための科学と定義した上で、2つの小委員会を置いて検討している。知の統合体系化小委員会では、具体的事例をベースに知の統合の起こり方を抽出し、新しい分野で知の統合を引き起こす際の「方法論知」を導出した上で、異分野交流の場を有効で効率的にする工夫や知の統合を加速する大型プロジェクトの推進(国レベルの政策的資源の投下)が課題と指摘した。一方、知の統合推進小委員会では、研究費配分など外部資金の最近の動向に検討を加え、「研究を育て膨らませる評価」に焦点を当てた推進方策を検討している。知の統合研究の評価は、科学技術の重心が要素還元型から知の統合型へ、また個別技術から統合化技術(システムインテグレーション技術)へ移動したことを踏まえて、知の統合研究の特性にも配慮して、評価指標を、短期より長期的、数値よりも非数値へとシフトすべきとしている。具体的には、統合に向けたアプローチを評価する

ことの重要性を指摘し、既存分野に変革をもたらす研究(Transformativ Research)、展開性・波及効果・相乗効果、研究組織の多様性、アプローチ(研究シナリオ)の妥当性などを評価指標に追加すべきとしている。

総合工学委員会工学基盤における知の統合分科会記録『知の統合への具体的な方法論と方策の提案』[9]では、現状では知の統合が、優れたリーダーや個人の直感力・才能・感性に強く依存し、その技能が師弟間の直伝など暗黙知による継承に止まり、大学等で教育可能な形式知化されていないと指摘している。これを知の統合学に昇華するため、社会を構成する人間・生態系・環境・人工物を機能面から設計・試作・仮想体験可能なインタラクティブな「バーチャル・ユニバース」(モデル化、シミュレーション、予測、意思決定、VRなどのヒューマンインタフェース)をパソコンやネットワーク上のサイバースペースに仮想的に展開し、様々な立場のメンバーが分散して活用可能な知の統合プラットフォームの構築を提案している。また、知の統合を担う組織の構成・運営やファンディングシステムの在り方にも言及している。特に組織については、異分野の研究者が集い相互作用しながら知の統合を実現し、具体的に社会的課題の解決を指向し、その運営についても、各研究者は既存の専門分野別組織と知の統合を遂行する組織の両組織に同時に所属し、専門性の深化とともに異分野の研究者たちと知の統合を推進することで、新しい分野の開拓や社会的課題解決に取り組む方式を提案している。

また、関連する議論として、情報学委員会 e-サイエンス・データ中心科学分科会は、提言『ビッグデータ時代に対応する人材の育成』[29]で、高まるデータサイエンスの重要性からビッグデータを扱うデータサイエンティストの育成の重要性を指摘している。データ中心科学の実践における課題の本質の把握、定式化、データ取得、分析、知識獲得、課題解決の全過程に関与するデータサイエンティストは、まさしく知の統合人材の1つの類型である。

### (3) 横幹連合における議論

専門用語としての「知の統合」とその概念を日本で最初に使い始めたのは、文理に跨って約40近い異分野の学会が集い、様々な提言や研究活動を行っている特定非営利法人横断型基幹科学技術研究団体連合(略称、横幹連合、2003年4月設立)である。横幹連合の設立準備をしていたグループは、2002年9月から2004年3月に掛けて文部科学省から振興調整費科学技術政策提言の調査研究を受託し、2004年6月に報告書『横断型科学技術の役割とその推進』(研究代表者:木村英紀)[57]を取りまとめた。その中で、知の統合に関して

- 際限なく進む知の細分化と、現代社会が要求する知の統合化との間のギャップは、広がりつつある。知の細分化は自然に進むが、統合は意識的に取り組まなければ達成されない。
- 最近の科学技術の激しい変貌、特にその社会との接点の劇的な広がり、これまでの枠を超えた知の統合のための新しい概念と、このギャップを埋める国家レベルでの戦略的な取り組みを必要としている。知の統合のための戦略はどの国でも科学技術政策

の最重要課題のひとつとなりつつある。

との見解を表明し、知の統合が目指すべきものを明らかにしている。

木村を中心としたグループは、ほぼ同時期に日本学術会議の中に自動制御研究連絡委員会・工学共通基盤研究連絡委員会自動制御学専門委員会を立ち上げ、知の統合を目指す研究・教育の促進策の検討を進め、2005年7月に日本学術会議としての報告[5]を取り纏めている。この動きが日本学術会議全体の中でも次第に広がり、2007年3月の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—』[1]に結びついて行くことになる。

横幹連合は引き続き知の統合について、学の立場から調査研究を推し進め、2006年8月には「学としての知の統合委員会」を立ち上げ、「知」の異分野での流通と統合の問題を、「知の融合」というよりはさらに積極的で構成的な立場での「知の統合」を研究するという立場から、「知の統合」に対して

- 異なる研究分野の間に共通する概念、手法、構造を抽出することによってそれぞれの分野の間での知の互換性を確立し、それを通してより普遍的な知の体系を作り上げることである

とする定義を初めて与えている[58]。なお、この時点で既に「知の統合」は「知の融合」とは別物との認識を同時に打ち出している。これらの定義と考えは、そのまま前述した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—』[1]に採用されている。

また、横幹連合は2006年9月に内閣府平成18年度科学技術振興調整費イノベーション戦略に関する調査・研究を受託し、それに先立って設置した横幹連合「学としての知の統合委員会」の助言を受けて、成果報告『イノベーション戦略に係る知の融合調査』[59]を取り纏めている。ちなみに、成果報告書のタイトル等で「知の統合」でなく「知の融合」が使われているのは、委託元である内閣府の当時の考え方であり、まだ「知の統合」が市民権を得ていなかったことの現れと言える。同調査では、

- 研究開発の成果が社会的な価値や経済的価値を持つために、本来とは異なる研究分野の知識や方法が大きな役割を果たした事例
- 複数の分野の知識や方法同士がうまくかみ合っ初めて社会的な価値や経済的価値を持ち得た事例

を収集し、これらの事例を通して、

- 異分野の「知の融合」がイノベーション戦略の一つの形態となり得る

ことを検証している。同調査活動と横幹連合「学としての知の統合委員会」との関係が成果報告付録[58]で確認できる。

次に専門用語としての「知の統合学」について見てみると、これも横幹連合の活動の中で産まれてきたと考えられる。知の統合学という用語が使われたのは、恐らく館による横幹連合ニューズレターの巻頭メッセージ[60]が最初であろう。その中で、館は「知の統合学」と「横幹科学」とをほぼ同義の概念として用い、

- 総合的な学問体系として、「横幹科学」は、科学技術を総合し俯瞰的な視座を備えた「新

しい構成論と設計論の確立」や「実問題の俯瞰的な解決」を目指してきている。「横幹科学」は、「人文科学、社会科学、自然科学を横断的に俯瞰して、知の統合のための方法論とツールを明確にし、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」である。

としている。同様の議論が[61]にもある。舘は日本学術会議における知の統合の議論に長年にわたり深く関わり[7][8][9]、知の統合と知の統合学との関係を

- 「知の統合」が普遍的な知の体系を作り上げることであり、そのためには、作り上げるための学術体系、技術体系が必要であることは明らかである。普遍的な知の体系を作り上げるための方法論や方策論などが「知の統合学」であり、「知の統合」は、究極的には、そのメタな学問体系といえる「知の統合学」をも目指しているといえる。
- つまり、「知の統合学」は、知の統合のためのメタな学問体系としての「知の統合のための設計論と構成論の確立」と「知の統合による実問題の俯瞰的解決法」を目指してきている。すなわち、「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。

と総括している[9][62]。なお、2016年の日本学術会議総合工学シンポジウム2016において、舘は、知の統合学を

- 知の統合のためのメタな学問体系としての「知の統合のための設計論と構成論の確立」と「知の統合による実問題の俯瞰的解決法」を目指す学問と簡潔に再定義している[51]。

このように、知の統合と知の統合学の概念は、横幹連合の活動の中で生まれ、その議論が日本学術会議に引き継がれてオーソライズされるとともに、より精緻化され、広く使われる概念に発展して行ったことが分かる。

#### (4) 知の統合に関連する行政側の議論

日本学術会議の外に目を向けても、知の統合人材という言葉が明示的に出さないまでも、その重要性や人材育成へ向けた教育改革の議論・試みが活発である。

2013年6月14日に閣議決定された『第2期教育振興基本計画（対象期間：平成25年度～平成29年度）』[38]においても、教育行政が今後5年間に実施すべき教育上の方策として4つの基本的方向性が示され、その1つに高等教育の役割として「未来への飛躍を実現する人材の養成」が取り上げられ、変化や新たな価値を主導・創造し、社会の各分野を牽引していく人材の重要性が指摘されている。その上で、具体的施策として、創造性やチャレンジ精神、リーダーシップ、日本人としてのアイデンティティ、語学力・コミュニケーション能力などの育成に向けた多様な体験・切磋琢磨の機会の増大や優れた能力と多様な個性を伸ばす環境の醸成が謳われている。知の統合人材は、この「未来への飛躍を実現する人材」と軌を一にするものと言える。

2014年12月22日の中央教育審議会答申『新しい時代にふさわしい高大接続の実現に

向けた高等学校教育、大学教育、大学入学者選抜の一体的改革について～すべての若者が夢や目標を芽吹かせ、未来に花開かせるために～』[63]では、単に知識や技能だけでなく、思考力・判断力・表現力等を含む多面的な学力の重要性を指摘し、大学入試も多面的学力の測定に大転換すべきと指摘している。

2015年1月27日の科学技術・学術審議会人材委員会提言『第7期人材委員会提言』[64]では、研究開発力強化に向けた産学一体の人材育成に関して、「教育の重点が、知識を創造し、活用することができる人材を育成するための教育に移行しているものと理解できる。特に、博士号を取得した者については、広い教養と深い専門知識をもち、かつ社会的課題の解決にその知識を活用できる人材として、その重要性が更に高まっている。高度な専門性に加え、俯瞰力と独創性および社会的視野を備え、国内外、産学官にわたり活躍することのできる人材を育成するため、専門分野の枠を超えた体系的な大学院教育を確立していくことが引き続き求められる。」と主張している。

文部科学省と経済産業省が共同で開催した理工系人材育成に関する産学官円卓会議は、2016年08月02日に『理工系人材育成に関する産学官行動計画』[32]を取りまとめ、その中で専門分野の枠を超えた俯瞰的な視点を持ち、修得した知識・技術を社会に応用できる実践的・専門的な能力を育成するため、実践的な内容・方法による授業の提供（産業界から講師の派遣・登用、PBL、企業の実例を用いた演習、インターンシップ等）の促進、産学共同研究を通じた博士人材の育成、研究開発プロジェクト等を通じた人材の育成など、産業界との密な連携の重要性を強調している。

2016年4月18日に文部科学省が『第3期教育振興基本計画（対象期間：平成30年度～平成34年度）』策定のために中央教育審議会に対して諮問した中でも「主体的に判断し、多様な人々と協働しながら新たな価値を創造する力を、あらゆる教育段階を通じて身に付けること」が謳われている[54][55]。

このように本報告が取り上げている知の統合人材の育成と人材育成のための方策は、わが国が今後取り組もうとしている各種施策を後押しする具体的な提案と言える。

<付録2> システム科学研究所構想について

(出典 [52])

### 「統合知システム研究所」構想

● 研究所の目的

1. 世界トップレベルを誇る我が国の科学技術、要素技術、要素技術、分野知などを統合し、システム化するための**新しいシステム科学技術**を創出し、それを発展強化することを通じて日本の科学技術のイノベーション力を高める。
2. **複数の課題領域のシステム構築のプラットフォームを作成し**、具体的なシステム構築を行っている他機関の研究者と共同でシステム構築に紐付けされた基礎研究も含む**一貫したシステム構築プロジェクトを実行**する。
3. 幅広い視野を持ちシステム化の視点を有する**若手のプログラムマネージャの育成**を目指す。

3

### 「統合知システム研究所」構想

● 研究所の機能

1. **システム科学研究の深化と統合**  
システム構築の基盤となるシステム科学および関連する基礎科学の研究を行う。システム理論、モデリング、機械学習、最適化、制御、ゲームと意思決定、システム構築方法論、ネットワーク、複雑系、サービシステム、社会システム、価値システムなどのシステム関連の諸学術研究が互いに連携することにより深化させるとともに、人文・社会科学も含めたシステム構築にかかわる新しい学際領域を創出する。
2. **システム構築の価値認識と評価**  
インフラ、防災、医療、エネルギー、農業、環境、年金など様々な応用分野における持続的なシステム構築の原理的課題を解明し、それらを通してメタレベルのシステム構築の方法論を開発し、それを体現したプラットフォームを構築進化させる。システムの社会実装を視野に入れたテストベッドの作成も必要に応じて行う。
3. **システムの実装・運用・保守の体系の確立**  
現在進行中および計画中の進歩的プロジェクトの担当者、担当組織と共同で当該プロジェクトをシステム化の視点で捉え、それらの間の共通性や互換性の発掘を通してプロジェクトの有効性を高める。併せて、システム科学技術の標準化問題にも対応する。

4

## システム科学研究所構想について

日本学術会議第3部会員  
情報・システム研究機構  
北川源四郎

日本学術会議公開シンポジウム  
先駆学術分野におけるシステムズ・アプローチの進展と課題  
日本学術会議 2015年11月28日

### 科学技術振興機構 研究開発センター (JST-CRDS)

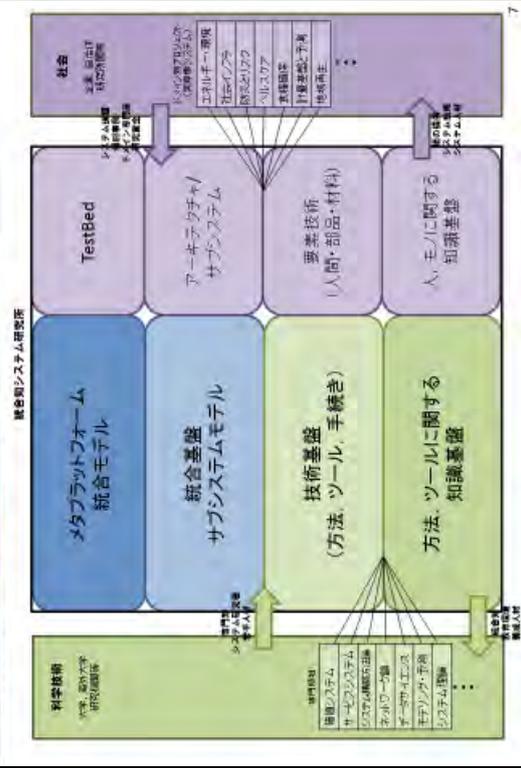
#### システム科学技術研究推進会議 システム科学研究所構想分科会

- ・ 委員：北川源四郎、木村英紀、西村秀和、原辰次、吉村 忍
- ・ オブザーバ：鈴木久敏
- ・ 事務局：富川弓子
- ・ 2014/9/19 ~ 2015/2/20 (6回)
- ・ 講演・報告：シン・ジャウ (CRDS)、長須寛弘文 (CRDS)、古田一雄 (東大)、寺野隆雄 (東工大、CRDS)

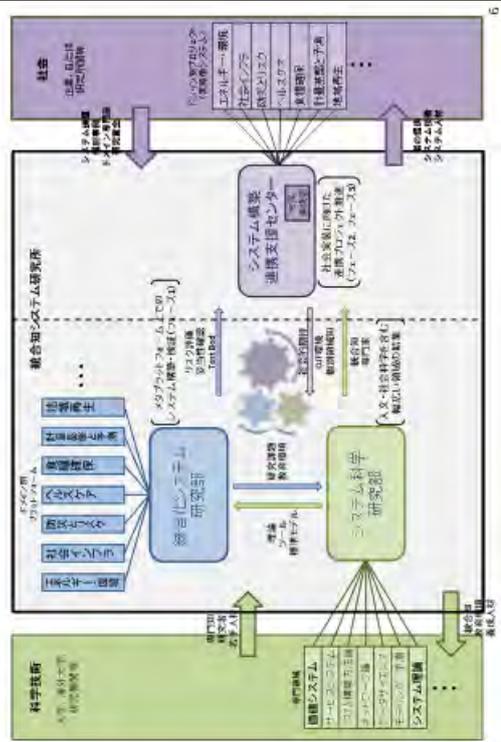
## 研究所の構成

- **システム科学研究部**  
 価値システム、サービスシステム、システム構築方法論、ネットワーク論、データサイエンス、モデリング、予測、システム理論。
  - **統合化システム研究部**  
 メタプラットフォームでのシステム構築・検証（ドメイン：エネルギー・環境・社会インフラ、防災・リスク、ヘルスケア、食糧確保、計量基盤と予測、他域再生）。
  - **システム構築連携支援センター**  
 社会実装に向けた連携プロジェクト推進。
- 科学技術分野および社会と交流しつつ、3つのユニットが知識発展のスパイラルを実現することが重要
- 設置形態：  
 ・ ネットワーク型研究体制  
 ・ クロスアポイントメントの活用

## 「統合知システム研究所」機能イメージ



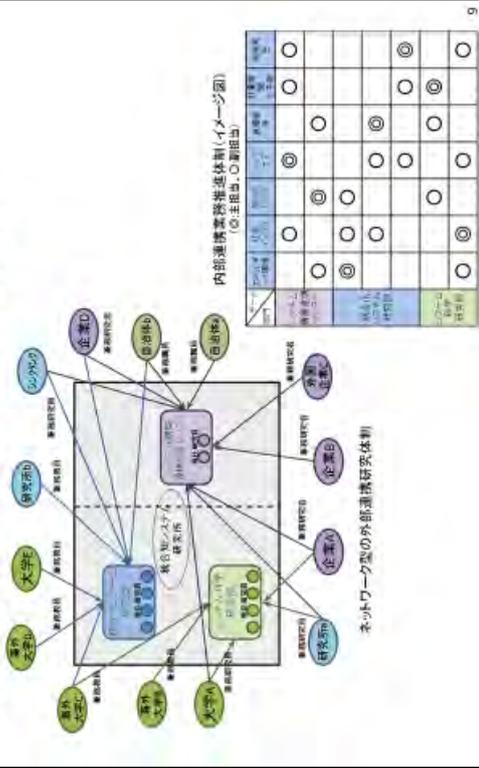
## 「統合知システム研究所」構想（組織・役割）



## 人材育成について

- ・ システム構築を推進・支援できる人材の育成を同時に推進するとともにキャリアパスの確立が不可欠。
- ・ データサイエンティストと同様に、従来と異なる評価システムの確立が必要。

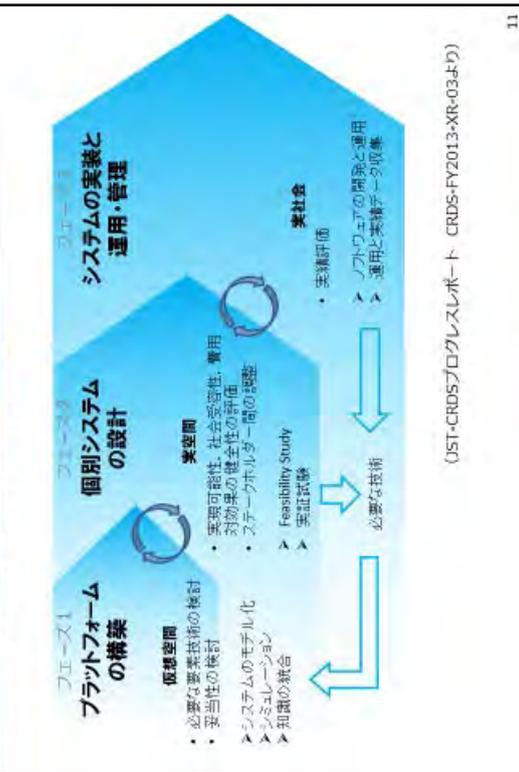
### 「統合知システム研究所」構想 (クロスアポイントによるネットワーク型研究体制)



内部連携業務推進体制(イメージ図)  
(◎:主催者, ○:参加者)

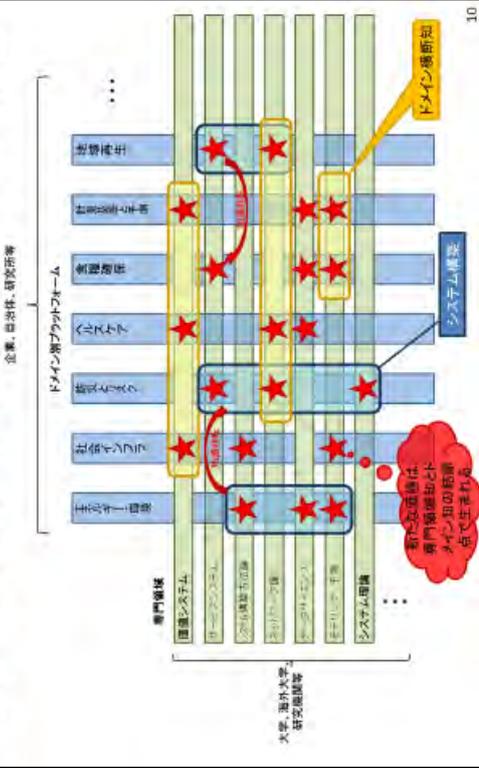
業務	推進体	推進者	参加者
共同研究	◎	◎	○
共同開発	◎	◎	○
共同事業	◎	◎	○
共同教育	◎	◎	○
共同人材育成	◎	◎	○
共同施設	◎	◎	○
共同設備	◎	◎	○
共同情報	◎	◎	○
共同広報	◎	◎	○
共同社会貢献	◎	◎	○

### 【参考】システム構築の手順



(JST-CRDSプログラレスレポート CRDS-FY2013-XR-03より)

### 「統合知システム研究所」構想 (専門領域とドメイン知の統合による新たな価値創出の枠組み)



## ＜付録 3＞ 知の統合プラットフォーム研究開発拠点 KCP-Complex の形成

(出典[53])

### ① 計画の概要

現代社会が直面する複合的課題の解決やその影響を軽減し、第 5 期科学技術基本計画に掲げられた「超スマート社会」の実現に向けて、新しい技術やシステム、制度をデザインし社会実装する際に、多数の利害関係者がインタラクティブに合意形成を進めるための知の統合プラットフォーム研究開発拠点 KCP-Complex を形成する。

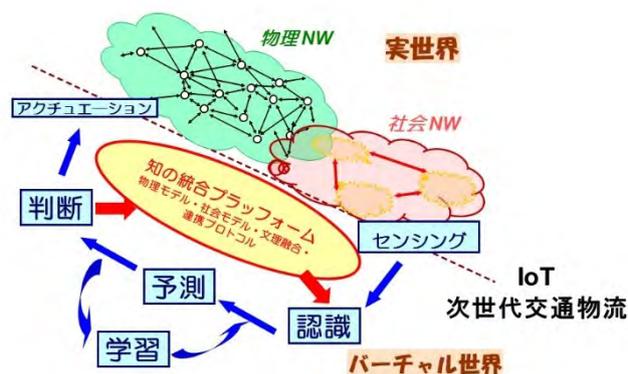
ここでは、現代社会の主要構成要素を、自然物理系、生命・生態系、人間・社会系、人工物系等にカテゴリ分けし、それぞれに内包されるサブシステムを、現代社会への影響や機能、価値の面から捉え直し、各サブシステムの応答を定性的あるいは定量的に評価可能なモデルとして構築する。それらを総合し、現代社会の複合的で非線形な応答を定性的あるいは定量的に評価可能な SoS (System of Systems) シミュレータとして再構成する。

各サブシステムの総合にあたっては、異領域間の知の相互作用を考慮した「知の統合プラットフォーム連携プロトコル」を設計・構築することで、実現する。さらに、同プラットフォームに、現実世界情報のセンシングツール、VR・AR 等の体感ツール、現実世界へ働きかけるアクチュエータを接続し、同プラットフォームと現実世界の双方向のフィードバック及び共進を再現し、その活用を通して、新しい技術やシステム、制度をデザインし社会実装する際に多様な利害関係者らのインタラクティブな合意形成を支援する。この知の統合プラットフォームとその研究開発運用を担う拠点を KCP-Complex と総称する。KCP-Complex は、複雑な現代社会を理解し、様々な解決策をプロトタイプングするための仕組みであり、文理にわたる異領域の多様な専門家らが、「知の統合」の学理と方法論、実社会への実装を研究する拠点となる。

### ② 目的と実施内容

IoT の実装を前提とした自動運転の導入やスマートグリッドとの連携が進む次世代交通物流システム等、現代社会においては、新しい技術やシステム、制度の研究開発とスムーズな社会実装が求められている。しかし、そのためには、個別技術開発のみでは不十分であり、社会実装を想定したシステム総合評価と社会的メリットとリスクの抽出、一般市民を含む多数の利害関係者間の合意形成を、平行して進めることが必須である。本提案は、そのための知の統合プラットフォーム研究開発拠点 KCP-Complex を形成することを目的とする。

知の統合プラットフォームの骨格は次の通りである。現代社会の主要構成要素を、自然物理系、生命・生態系、人間・社会系、人工物系等にカテゴリー分けし、各サブシステムを、現代社会への影響や機能、価値の面から捉え直し、モデル化を行う。それらを総合し、現代社会の複合的で非線形な応答を定性的、定量的に評価可能なシミュレータとして再構築する。



各サブシステムの総合にあたっては、異領域間の相互作用を考慮した「知の統合プラットフォーム連携プロトコル」を設計・構築することで実現する。さらに、同プラットフォームに、現実世界情報のセンシングツール、VR・AR等の体感ツール、現実世界へ働きかけるアクチュエータ等を取り込み、同プラットフォームと現実世界の双方向のフィードバック機構及び共進を実現する。

組織としては、少数の中核機関とそれにつながるサテライト機関からなるハブ&スポーク型拠点を構成する。ここに、自然物理系、生命・生態系、人間・社会系、人工物系等の専門家、センシング、アクチュエータに関する専門家、社会学等に関する専門家を招集し、IoTの実装を前提とした次世代交通物流システムという「超スマート社会」の基盤となる具体的事例を設定し、「知の統合」に基づく研究開発を進める。

### ③ 学術的な意義

本計画の第一の学術的意義は、自然環境、人間・社会系、生態系、人工物・人工システム等が相互作用しながら非線形に進化する現実社会を、サブシステムに分解してモデル化を行い、それらを知の統合プラットフォームとして再構成する取り組みを通して、従来個別独立に研究対象とされてきた異なる学術分野や現象の相互作用に焦点を当てた新学術分野を創成する点である。これは、日本学術会議において長年議論されてきた「知の統合」の具現にあたる。たとえば、物理系においては、マルチフィジクス・マルチスケール概念が重要な学術概念として近年急成長し、具体的な方法論についても目覚ましい進展が見られる。本計画では、物理系現象と人間・社会系現象の相互作用を学術的に検討することを通して、社会系におけるマルチソーシャル、マルチスケール概念を構築し、その具体的な方法論に関する研究が進むと期待される。

第二の学術的意義は、現実社会とKCP-Complexの間を、多様なセンサーやアクチュエータ、AR等の実体化技術で結びつけ、両者にフィードバック機構を実現することにより、バーチャル世界と現実世界が相互作用しながら共創的に時間発展するというサイバー・フィジカル課題をSoSの観点から研究する新たな学術分野が創成される点である。これは現実社会に存在するSoSのマネジメントを行うために、大きな貢献を担う。

第三の学術的意義は、KCP-Complexを活用することにより、一般市民を含む多様な利害関係者が現代社会の複合的な課題に対して、様々なバーチャル社会実験を遂行し、その効果を多様な価値の観点から評価できること、また、そうした情報をベースに、インタラク

ティブな合意形成を促進するという新しい社会課題解決メソッドを構築できるという点である。

#### ④ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

「知の統合」に関しては、2011年8月の「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—」（日本学術会議）、に述べられているように、学術分野間、学術分野と社会間の連携が行われてきた。人文学と情報科学の事例としてデジタル・ヒューマニティーズ、医学と工学の事例としてはナノバイオテクノロジーなどである。しかし、一般的な「知の統合」の方法論が語られることはなかった。本計画は、「知の統合」の具現を進めるための基盤構築に関する世界初の取り組みである。また、具体的なエネルギー問題、環境問題、交通・物流問題の解決や、「超スマート社会」の実現に向けて、複合的観点から総合的にデザイン、合意形成を図るためのアプローチは見出されておらず、本計画は、総合的な課題解決に向けて多様な利害関係者のインタラクティブな合意形成を図るための画期的なアプローチとなる。

#### ⑤ 実施機関と実施体制

本拠点の組織としては、少数の中核機関とそれにつながるサテライト機関からなるハブ&スポーク型拠点を構成する。東京大学大学院工学系研究科、同大学院情報理工学系研究科、慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科に中核拠点を設置し、そこに、計測自動制御学会、日本VR学会、人工知能学会、日本計算力学連合、情報・システム研究機構等に所属する全国の研究者や海外大学・研究期間の研究者がサテライト機関の連携研究員として参画する。

実行組織としては、拠点長、副拠点長のもとに、参画研究者らを、(1)自然物理系ユニット、(2)生命・生態系ユニット、(3)人間系ユニット、(4)社会系ユニット、(5)人工物・人工システム系ユニット、(6)連携プロトコルユニット、(7)センシング系ユニット、(8)VR・ARユニット、(9)アクチュエータ系ユニット等、及び文系の研究者に参画いただく(10)価値・社会学系ユニット、のもとに束ねる。

この拠点においては、多様な分野の専門家が相互作用しながら「知の統合」を実現し、大きな社会的課題の解決にあたっていくために、各研究員は、専門分野の既存の組織と、「知の統合」を遂行する組織の両方に所属し、どちらの組織においても主務として務める。物理的な移動に加えて、専門分野の主務と「知の統合」を遂行する主務の間を自由に行ったり来たりするバーチャル空間の構築とその効率的活用が必要であり、「知の統合プラットフォーム」はその取り組みを支援する役割も果たす。

#### ⑥ 所要経費

平成29-35年度：33.3億円（組織整備費：6億円、運営費：27.0億円、国際シンポジウム開催費：0.3億円）

平成29年度組織整備費：6億円（中核拠点整備費：5億円、研究費：1億円）

平成29-35年度定常経費：27.0億円（毎年4.5億円×6年）

運営費：年間4.5億円（設備運営費：7千万円、人件費：7千万円、研究費：1億円、システム開発委託費：1.5億円、システム検証費：4千万円、旅費：2千万円）

平成 31、33、35 年度国際シンポジウム開催費：0.3 億円（1 千万円×3 回）

## ⑦ 年次計画

平成 29 年度から平成 30 年度前半まで

- (1) 拠点形成に向けた研究開発体制を確立する。東京大学大学院工学系研究科及び同情報理工学系研究科、慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科に KCP-Complex の中核拠点を整備し、そのもとに大学・民間研究機関、学協会など連携研究者の研究開発ネットワーク（ハブ&スポーク型）を構築する。
- (2) 知の統合プラットフォームの主要構成要素の設計を行い、研究開発を開始する。連携プロトコルは、異なるサブシステム間の相互作用に加えて、サブシステムと人（個人・組織・集団）の相互作用、社会的価値評価等を視野に入れ構築する。

平成 30 年後半から 32 年後半

- (3) 各サブシステム等及び連携プロトコルの構築を進めると同時に、機能検証を行い、修正し、全体を組み上げる。
- (4) IoT を前提として次世代交通物流システムへの KCP-Complex の適用を進め、シミュレーションを実行する。

平成 33 年度前半から平成 35 年度

- (5) 専門家、行政担当者や一般市民に参加いただきバーチャル社会実験を実施し、社会的合意形成に取り組む。
- (6) KCP-Complex の構築プロセス、及び実問題への適用プロセスを分析することにより、性能検証を進める。
- (7) 平成 31 年度、33 年度、35 年度に国際会議開催と共に外部研究者による評価を受ける。

## ⑧ 社会的価値

現代社会内の複雑な因果関係を、利害関係者が KCP-Complex を活用することによって定量的に把握することができ、社会的課題解決に向けてインタラクティブに社会的合意形成を促進できる。専門家に独占されがちな、高度な先端的科学技術情報や知見をわかりやすく市民に提供することができ、市民からのボトムアップなプロセスを経て新たな知が創造される。

⑨ 本計画に関する連絡先 吉村 忍（日本学術会議／東京大学大学院工学系研究科）