

(別記様式)

記 録

文書番号	S C J 第 22 期-260912-22650500-049
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	知の統合への具体的な方法論と方策の提案
作成日	平成 26 年 (2014 年) 9 月 12 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。

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特別招聘教授、東京大学名誉教授
副委員長	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
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	吉村 忍	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科副研究科長、教授
	青柳 正規	(連携会員)	文化庁長官
	池田 雅夫	(連携会員)	大阪大学副学長
	石川 正俊	(連携会員)	東京大学大学院情報理工学系研究科教授
	上田 完次	(連携会員)	(独) 産業技術総合研究所特別顧問、東京大学名誉教授
	内田 健康	(連携会員)	早稲田大学理工学術院教授
	苧坂 直行	(連携会員)	京都大学名誉教授
	笠木 伸英	(連携会員)	(独) 科学技術振興機構研究開発戦略センター上席フェロー
	川村 貞夫	(連携会員)	立命館大学総長特別補佐
	岸浪 建史	(連携会員)	室蘭工業大学監事
	北川 源四郎	(第三部会員)	情報・システム研究機構長
	木村 忠正	(連携会員)	(独) 科学技術振興機構プログラムオフィサー
	木村 英紀	(連携会員)	(独) 科学技術振興機構研究開発戦略センター上席フェロー
	小泉 英明	(連携会員)	(株) 日立製作所フェロー
	小畑 秀文	(連携会員)	(独) 国立高等専門学校機構理事長
	小林 敏雄	(連携会員)	一般財団法人日本自動車研究所顧問、東京大学名誉教授
	小林 尚登	(連携会員)	法政大学デザイン工学部教授
	野家 啓一	(第一部会員)	東北大学理事、附属図書館長、大学院文学研究科教授
	萩原 一郎	(第三部会員)	明治大学先端数理科学インスティテュート副所長、研究知財戦略機構特任教授
	早川 義一	(連携会員)	名古屋大学大学院工学研究科教授
	林 良博	(連携会員)	国立科学博物館館長
	本庶 佑	(連携会員)	京都大学大学院医科学研究科特任教授
	山地 憲治	(第三部会員)	公益財団法人地球環境産業技術研究機構理事、研究所長

分科会における審議において、以下の方に御協力いただきました。

藤井 秀樹 東京大学大学院工学系研究科講師

活動記録

・分科会開催

- 第1回 平成23年12月21日
- 第2回 平成24年 2月13日
- 第3回 平成24年 4月18日
- 第4回 平成24年 7月27日
- 第5回 平成24年12月26日
- 第6回 平成25年 5月29日
- 第7回 平成26年 2月28日
- 第8回 平成26年 5月14日
- 第9回 平成26年 7月18日

・シンポジウム開催

日本学術会議シンポジウム 「知の統合」 その具現 平成24年 7月27日

1 審議の背景

日本学術会議が標榜している「社会のための学術」の実現にとって「知の統合」は、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。従って、常時この課題を審議し、学術として深化させ体系化するとともに、それを具現してゆく方法論と方策を審議して社会のための学術に取り組むことが必要である。

日本学術会議では、第 20 期から「知の統合」に本格的に取り組み、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－』を提出した。また、日本学術会議は、『日本の展望－学術からの提言 2010』において、「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、科学・技術を含め学術の総ての分野の知を結集し統合的研究を進め、国際的協働に立った学術の総合力を強力に発揮しなければならないとした。

そのような知を結集し統合的研究を進めるにあたっては、「知の統合」の具体的な方法論と方策が緊要となることから、第 20 期に当該分科会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」が設立され、2008 年には、『記録：知の統合の具体的な方策－工学基盤からの視点－』を纏めた。

第 21 期においては、「知の統合」の理念からして、総合工学や第三部にとどまらず、幅広い学術の視点から「知の統合の推進」を実現する審議を行うことが必要であることから、人文・社会科学や生命科学を含む学術全体で、知の統合の具体的な方法論と方策を審議する『社会のための学術としての「知の統合」推進』の課題別委員会を、当該分科会から提案し設立した。この課題別委員会では、新しい発見や新規の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し『社会のための学術としての「知の統合」－その具現に向けて－』を提言した。また、当該分科会としては、それを補足する資料として『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－』を纏めた。

しかし、上記の課題別委員会には継続性がなく、「知の統合」の学術としての確立は、上記の委員会で大きな進展はみせたものの、まだ解決に至ったわけではない。課題別委員会からの提言をさらに具体化させるための息の長い継続的な審議が「社会のための学術」の達成には必要であることから、今期 22 期にも、当該分科会である「工学基盤における知の統合分科会」において、課題別委員会に参加いただいた人文・社会科学や生命科学の委員にも引き続き加わっていただくかたちで継続審議を行った。

2 現状及び問題点

「知の統合」という用語の定義については、日本学術会議の対外報告『提言：知の統合－社会のための科学に向けて－』で定義された下記の意味を統一的に用い、それを踏まえることで、それ以降の議論を建設的にすることができることから、当該分科会の議論では、これを利用している。すなわち「知の統合」とは、「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」である。

「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。従来、知が統合され、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、その組織が伝える師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」を、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。

3 審議の結果

審議の結果、大型研究計画における学術研究領域としての「知の統合学」研究領域を設定するとともに、「知の統合」のための具体的な方法論と方策を提案するにいたったので、ここに記録としてまとめる。特に、方法論としては、「知の統合プラットフォーム」を構成して知を統合する仕組みと「知の統合」を担う組織を具体的に明らかにし、方策については、「ファンディングシステム」についての方策を明確にした。

(1) 「知の統合プラットフォーム」構築による知の統合

知の統合を行う目的が、問題解決と創造そして新しい知の発見であり、それを一天才の出現や、あるいは、代々伝わる直伝による秀才に頼らずに、誰でもが行えるようにするための学問体系が「知の統合学」である。しかし、これはいまだ緒についたばかりであり完成にはほど遠い。その一方で、地球規模の問題や複雑な社会システムの問題など、その解決のためには自然科学や工学だけでは十分でなく社会や政治や法律なども関与してくる社会問題が山積しており、「知の統合学」の完成を待てない現状である。現時点の我々のもてる知を統合して、複雑な社会システムが関係する問題を解決する一般的な方法に対する解答の一つが、「知の統合プラットフォーム」の構築による知の統合手法である。

「知の統合プラットフォーム」は、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、それに基づいて意志決定し行動することを可能とするとともに、VR（バーチャルリアリティ）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ばれたインタラクティブな「バーチャル・ユニバース」である。これにより問題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。

分野を特定すれば、その個別領域のシミュレーションや個別領域のデータベース、個別領域のインターフェースをある程度自律的に作成・運用・発展させることが期待される。このようにして、個別領域において様々な資産が形成されている。したがって、それらの統合を図るためには、それらを壊し、再びまったく新しいものを構築するよりも、各要素技術、各個別領域の相互作用を司る連携プロトコルを定義し、それを介してそれらが連携する仕組みが必要である。これらは、専門の異なる多岐にわたる異分野の知識や知恵を共通の言語で記述するということでもある。連携プロトコルのデザイン・構築を通して、異分野の相互作用のメカニズムの理解が促進されるという効用も生まれてくる。さらに、スパコンやネットワークなどの上に、それらを展開し、様々な立場のメンバーがそれを分散して活用することも可能となる。個別技術の具現化と同時にそれぞれの連携プロトコルの具現化を図ることを通して、プロトタイピングとして何らかの知の統合プラットフォームが構築されるであろう。こうした取り組みを積み上げながら、より普遍的な知の統合プラットフォームとしての骨格を明らかにしていくことが望まれる。

(2)「知の統合」を担う組織の在り方

「知の統合」を担う組織はどうあるべきかについても検討を進めた。組織としては、既存の組織群の中の1、ないし数個の組織を中核機関として指定し、それにセンター機能を持たせて、それに他の多くの関連機関をバーチャルに連携させるものと、既存の組織を離れて全く新しい組織を作ることの2つの方式が考えられる。それらについて考えるには次の2つの視点からの検討が必要である。第一点は、既存の組織と、「知の統合」を司る組織の物理的関連性であり、第二点は、人の所属の問題である。

組織の作り方の一つは、既存の組織の上に、一部として、「知の統合」を担うという新しいミッションを実現する機能を持たせることである。作りやすさを考えれば、このアプローチは可能性が高いが、如何にして既存組織の上で、軽やかに知の統合に関わるミッションの運営を効率的に行うかが課題である。一方、既存のいずれの組織にも属さず、まったく新しく「知の統合」を担う組織を作る方法もある。この場合、新しいミッションを理想的に遂行できる可能性が高まる一方で、その設立や運営を軌道に乗せるまでに膨大な手間と費用がかかることとなる。また、新しい組織は独立性が高まると同時に孤立していく場合も多く、知の統合に関わる多種多様な専門分野における既存の組織と如何にダイナミックな連携を実現していくかが重要である。

また、いろいろな分野の専門家が集い相互作用しながら「知の統合」を実現し、大きな課題の解決にあたっていくには、そこに関わるメンバーは、それぞれの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することが肝要である。しかも、知の統合においては、既存の組織においてはある分野の専門家としてその専門分野の深化を進める一方で、「知の統合」を担う組織においては、他分野の専門家たちと「知の統合」を進め、新しい分野の開拓と課題解決に取り組むことが要請される。すなわち、どちらの組織においても主務として務めることが肝要

である。これを実現するためには、物理的な移動に加えて、専門分野の主務と「知の統合」を遂行する新分野の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となる。先に述べた「知の統合プラットフォーム」は、そうした取り組みを大きく支援する役割も担うことになる。

（３）知の統合推進のための「ファンディングシステム」と研究評価

「知の統合推進」に向けた研究評価の２つのパラダイムシフト、①短期的指標から長期的指標へと②量的指標から質的指標へ、を念頭に、「知の統合推進」に向けたファンディングシステムのあり方を検討し、次のようにまとめを行った。

① 若者に安心感を与える研究環境の実現

- ・ 知的好奇心に基づく研究を保障
 - ＜科研費 基盤研究＞ 制度はシンプルにし、採択率の向上を目指す。
最低目標（３年計画の研究）：単年度採択率 1/3 で 6 割の総合採択率。
- ・ 挑戦的な研究を推奨し、イノベーションの目を育む研究文化の構築
 - ＜科研費 挑戦的萌芽研究＞ 分野融合研究で新規性を重視した審査。

② 日本がリードする科学技術の促進

- ・ イノベーションに繋がる新学術分野の創成
 - ＜科研費 新学術領域研究＞ 展開性・波及効果を重視したイノベーション型評価（社会変革への期待の最大化）を確立する。すなわち、インクリメント型評価（例えば、ロードマップによる予定調和型評価）からの解放。
- ・ それを遂行する人材の育成
 - ＜科研費 新学術領域研究＞ 多様性を持った研究組織による幅広い人材育成。

③ 社会的課題解決に向けた社会的価値の創出強化

- ・ 社会的課題解決に向けた「知の統合」の実現
 - ＜JST 戦略的創造研究＞ 社会的価値の創出に焦点を当てた研究体制・研究支援方法・研究の評価法（事前評価・事後評価）を確立する。

④ 日本再生に向けた新産業の創出

- ・ 環境・エネルギー・医療などの世界的規模の社会的課題解決に向けた開発型研究の実効的支援
 - ＜各省庁＞ 産官学の役割を明確にし、長期的展望に立った戦略的プロジェクト・ファンディングの構築を目指す。縦割り行政の打破は必須。

目 次

1	はじめに	1
(1)	「知の統合」の定義	1
(2)	知の統合学 (Consilienceology)	2
(3)	審議の過程と結果	3
2	「知の統合プラットフォーム」構築による知の統合	6
(1)	基盤的議論	6
(2)	「知の統合プラットフォーム」具現のアプローチ	7
(3)	知の統合プラットフォーム「バーチャル Japan」	9
(4)	「知の統合プラットフォーム」の基本デザイン	11
(5)	知の統合を担う組織	12
3	知の統合推進に向けたファンディングシステムと研究評価	15
(1)	知の統合推進に向けた研究評価のあり方	15
(2)	関連する提言・報告	16
(3)	各種ファンディングシステムの役割と研究評価	18
4	まとめ	21
(1)	「知の統合プラットフォーム」構築による知の統合	21
(2)	「知の統合」を担う組織	22
(3)	知の統合を推進するファンディングシステム	22
<参考文献>		24
<参考資料>		
総合工学委員会 工学基盤における知の統合分科会審議経過		25
<付録>		
学術の大型研究計画に提案された「知の統合学」関連の提案		
付録 1	日本社会のインタラクティブを実現する知の統合プラットフォーム「バーチャル Japan」構築 計画番号 160 学術領域番号 27-2	26
付録 2	医用画像を中心とした診断治療支援スーパーブレインシステム 計画番号 132 学術領域番号 25-8	28
付録 3	「レイグジスタンス社会」実現のための知の統合研究 計画番号 136 学術領域番号 25-9	30
付録 4	複雑系数理モデル学に基づく数理知の統合とその分野横断的科学・技術応用 計画番号 157 学術領域番号 27-2	32
付録 5	マルチスケールで循環する水活用システムを実現する知の統合学 計画番号 158 学術領域番号 27-2	34
付録 6	食・素材・エネルギーとしてのバイオマスの徹底利用を実現し好循環型社会構築を目指す分野横断的研究拠点の形成 計画番号 159 学術領域番号 27-2	36

付録7 統合的リスク情報システム科学の確立と社会実装を加速するネットワーク型研究基盤構築 計画番号 161 学術領域番号 27-2	38
付録8 「知の統合学」関連分野の学術の大型研究計画の相互比較表	40

1 はじめに

日本学術会議が標榜している「社会のための学術」の実現にとって「知の統合」は、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。従って、常時この課題を審議し、学術として深化させ体系化するとともに、それを具現してゆく方法論と方策を審議して社会のための学術に取り組むことが必要である。

日本学術会議では、第 20 期から「知の統合」に本格的に取り組み、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]を提出した。また、日本学術会議は、『日本の展望 - 学術からの提言 2010』において、「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、科学・技術を含め学術の総ての分野の知を結集し統合的研究を進め、国際的協働に立った学術の総合力を強力に発揮しなければならないとした。

そのような知を結集し統合的研究を進めるにあたっては、「知の統合」の具体的な方法論と方策が緊要となることから、第 20 期に、当該分科会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」が設立され、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 —』を纏めた[2]。

第 21 期においては、「知の統合」の理念からして、総合工学や第三部に留まらず、幅広い学術の視点から「知の統合の推進」を実現する審議を行うことが必要であることから、人文・社会科学や生命科学を含む学術全体で、知の統合の具体的な方法論と方策を審議する『社会のための学術としての「知の統合」推進』の課題別委員会を、当該分科会から提案し設立した。この課題別委員会では、新しい発見や新規の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し、『社会のための学術としての「知の統合」 — その具現に向けて —』[3]を提言した。また、当該分科会としては、それを補足する資料として『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 —』[4]を纏めた。

しかし、上記の課題別委員会には継続性がなく、「知の統合」の学術としての確立は上記の委員会では大きな進展をみせたものの、まだ解決に至ったわけではない。課題別委員会からの提言をさらに具体化させるための息の長い継続的な審議が「社会のための学術」の達成には必要であることから、今期 22 期にも「工学基盤における知の統合分科会」を設置し、上記の課題別委員会に参加いただいた人文・社会科学や生命科学の委員にも引き続き加わっていただくかたちで継続審議を行った。

(1) 「知の統合」の定義

William Whewell が consilience を唱えたとき、consilience は、一つの事象に対して独立な複数の領域の方法論でエビデンスが得られるとき、その事象の正しさが飛躍的に増すというような意味合いであった。Edward Osborne Wilson が、158 年後にそれを使用したとき、consilience は、異なる分野を、可能な限り少ない統一的な原理で説明することを目指すという還元的な「知の統合」となった[5]。

日本学術会議での議論では、このような学術自体のもつ「統一知」に向かう還元

的な「知の統合」に加えて、社会のための学術の立場から、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」の必要性を論じてきている。

「知の統合」という用語の定義については、前述の日本学術会議の対外報告『提言：知の統合 ― 社会のための科学に向けて ―』[1]で定義された下記の意味を統一的に用い、それを踏まえることで、それ以降の議論を建設的にすることができることから、当該分科会の議論ではこれを利用している。すなわち「知の統合」とは、「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」である。

なお、「知の統合」の取り組みは、ディシプリンを超える「統合」を意味し、consilience と transdisciplinarity[6]の両者の要素を兼ね備えており、そのどちらかの文脈だけで語ることはできない。また、日本語の「知」は「知識」と「知恵」であることから、英語訳としては、Wilson の「The Unity of Knowledge」を使用するのではなく、「Transdisciplinary Unification of Knowledge and Wisdom」を使用している[7]。

(2) 知の統合学 (Consilienceology)

「知の統合」が普遍的な知の体系を作り上げることであるとすれば、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」[8]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。

従来、知が統合され、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、その組織が伝える師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」を、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、その第一歩を踏み出すといえるであろう。

人文科学、社会科学、自然科学を横断的に鑑みて、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ための科学技術である「知の統合学」は、問題解決や創造、また新たな知の発見のためのものであることから、下記の問題解決・創造・新しい科学技術発見のための方法論とツールと統合の場を必要とする。

- 1) どのような組織をつくるか
- 2) どのような専門家が必要か
- 3) どのように運営してゆくのか
- 4) 問題解決の手法はどれを利用するのか
 - i) 問題解決の手法とツールの集大成
 - ii) 過去の問題解決の成功事例、失敗事例の集大成
- 5) 「知の統合プラットフォーム」など具体的な「知の統合の場」の構築と「知の統合」の実践

なお、産業技術総合研究所で取り組んでいる、シンセシオロジー（構成学）は、上記の 4) ii) を具体的に実践しており「知の統合学」へ向けての重要な活動の一つと位置づけられる。

（３）審議の過程と結果

審議の結果、大型研究計画における学術研究領域としての「知の統合学」研究領域を設定するとともに、「知の統合」のための具体的な方法論と方策を提案するにいたったので、ここに記録としてまとめる。特に、方法論としては、「知の統合プラットフォーム」を構成して知を統合する仕組みと「知の統合」を担う組織を具体的に明らかにし、方策については、「ファンディングシステム」についての方策を明確にした。

1) 「知の統合プラットフォーム」構築による知の統合

知の統合を行う目的が、問題解決と創造そして新しい知の発見であり、それを一天才の出現や、あるいは、代々伝わる直伝による秀才に頼らずに、誰でもが行えるようにするための学問体系が「知の統合学」であるが、これはいまだ緒についたばかりであり完成にはほど遠い。その一方で、地球規模の問題や複雑な社会システムの問題など、その解決のためには自然科学や工学だけでは十分でなく社会や政治

や法律なども関与してくる社会問題が山積しており、「知の統合学」の完成を待てない現状である。現時点の我々のもてる知を統合して、複雑な社会システムが関係する問題を解決する一般的な方法はないものであろうか。

その解答の一つが、「知の統合プラットフォーム」の構築による知の統合手法である。「知の統合プラットフォーム」は、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、それに基づいて意志決定し行動することを可能とするとともに、VR（バーチャルリアリティ）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ばれたインタラクティブな「バーチャル・ユニバース」である。これにより問題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。

問題解決や創造のための「知の統合」にとって、この「構成的」なアプローチが「分析的」アプローチよりも適している。問題解決や創造の対象を、バーチャルに構成し、シミュレーションして、評価する過程で「知の統合」がなされるのである。

地球温暖化問題や環境問題、あるいは高度情報化社会の問題のように、迅速な解決が求められる多くの課題に人類が直面していることを考慮すれば、上記のように必要な知を集め、それを用いて設計し検証することを可能とする「知の統合」のための適切な基盤すなわち「知の統合プラットフォーム」の構築が有効であることがわかる。

2) 「知の統合」を担う組織の在り方

「知の統合」を担う組織とはどうあるべきかについても検討を進めた。組織としては、既存の組織群の中の1、ないし数個の組織を中核機関として指定し、それにセンター機能を持たせて、それに他の多くの関連機関をバーチャルに連携させるものと、既存の組織を離れて全く新しい組織を作ることの2つの方法が考えられる。それについて考えるには次の2つの視点からの検討が必要である。第一点は、既存の組織と、「知の統合」を司る組織の物理的関連性であり、第二点は、人の所属の問題である。

組織の作り方の一つは、既存の組織の上に、一部として、「知の統合」を担うという新しいミッションを実現する機能を持たせることである。作りやすさを考えれば、このアプローチは可能性が高いが、如何にして既存組織の上で、軽やかに知の統合に関わるミッションの運営を効率的に行うかが課題である。一方、既存のいずれの組織にも属さず、まったく新しく「知の統合」を担う組織を作る方法もある。この場合、新しいミッションを理想的に遂行できる可能性が高まる一方で、その設立や運営を軌道に乗せるまでに膨大な手間と費用がかかることとなる。また、新しい組織は独立性が高まると同時に孤立していく場合も多く、知の統合に関わる多種多様な専門分野における既存の組織と如何にダイナミックな連携を実現していくかが重要である。

また、いろいろな分野の専門家が集い相互作用しながら「知の統合」を実現し、

大きな課題の解決にあたっていくには、そこに関わるメンバーは、それぞれの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することが肝要である。しかも、知の統合においては、既存の組織においてはある分野の専門家としてその専門分野の深化を進める一方で、「知の統合」を担う組織においては、他分野の専門家たちと「知の統合」を進め、新しい分野の開拓と課題開拓に取り組むことが要請される。すなわち、どちらの組織においても主務として務めることが肝要である。これを実現するためには、物理的な移動に加えて、専門分野の主務と「知の統合」を遂行する新分野の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となる。先に述べた「知の統合プラットフォーム」は、そうした取り組みを大きく支援する役割も担うことになる。

3) 知の統合推進のための「ファンディングシステム」と研究評価

「知の統合推進」に向けた研究評価の2つのパラダイムシフト、①短期的指標から長期的指標へと②量的指標から質的指標へ、を念頭に、「知の統合推進」に向けたファンディングシステムのあり方を検討した。

① 若者に安心感を与える研究環境の実現

- ・ 知的好奇心に基づく研究を保障 <科研費 基盤研究>
- ・ 挑戦的な研究を推奨し、イノベーションの目を育む研究文化の構築
<科研費 挑戦的萌芽研究>

② 日本がリードする科学技術の促進

- ・ イノベーションに繋がる新学術分野の創成 <科研費 新学術領域研究>
- ・ それを遂行する人材の育成 <科研費 新学術領域研究>

③ 社会的課題解決に向けた社会的価値の創出強化

- ・ 社会的課題解決に向けた「知の統合」の実現 <JST 戦略的創造研究>

④ 日本再生に向けた新産業の創出

- ・ 環境・エネルギー・医療などの世界的規模の社会的課題解決に向けた開発型研究の実効的支援 <各省庁>

2 「知の統合プラットフォーム」構築による知の統合

(1) 基盤的議論

はじめに、『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)』[3]において議論された「知の統合知識ベース(知の統合プラットフォーム)」に関連する議論を振り返る。

この提言では、(1)人文学と情報科学における事例としてデジタル・ヒューマニティーズ、(2)医学と工学における事例としてマイクロ・ナノエンジニアリング、(3)人文・社会科学と生物学における事例、(4)哲学と脳科学、心理学における事例、(5)理学と情報学における事例、などのいくつかの「知の統合」の事例が取り上げられたが、それらを俯瞰し分析したとき、それぞれの事例は一見異なって見えても、「知の統合」が成し遂げられた背景には共通性があることが見出された。その共通性とは、時代の必然的な要請という「機」、それを行う「場」、そして、それを担う「人」であり、それらが揃った場合に、「知の統合」が成立し、事柄が大きく進展してきたという点である。

このことは、時代の要請といった「機」に関しては、予め対応することはできないにしても、「知の統合」のための仕組みとしての「場」を予め整備し、それを担う「人」を育てておけば、時代の要請に速やかに対応することが可能となって、それによって多くの課題を迅速かつ的確に解決しうるということを意味している。つまりそのような「場」と「人」を予め用意しておくことが、時代の要請に速やかに対応して「知の統合」を具現してゆく際に必須である。

問題解決に必要な知を集め、それを用いた設計や検証を可能とする「知の統合」の実現に向けた適切な基盤の整備が焦眉の急である。その基盤の整備は、方法論、組織論、手法や方策の体系化や体制づくり等多岐にわたるが、それらの第一歩として、異分野の知識や知恵を分野共通の言葉で記述し、さらに、個々の学術分野における分析的な知識や知恵を課題解決やシステム構築に活用可能な知識や知恵に変える「知の統合プラットフォーム」の整備が緊要である。

この「知の統合プラットフォーム」は単にデータを集めたデータベースではなく、様々な形でのシミュレーションを可能とするダイナミックなシステムでなくてはならない。このシステムでは、社会を構成する人間、生態系、環境、人工物が、それが社会に対して果たす機能の面から捉え直されモデル化される。さらにシステムが提供するシミュレーション機能を通して予測を行うことができ、予測結果に基づいて意思決定し行動することが可能となるようなダイナミック性も兼ね備える。このようにダイナミックな「知の統合プラットフォーム」が用意されることで、加速的に「知の統合」の具現が進むと思われる。同時に、世界をモデル化しシミュレーションして現実とつきあわせることにより、「知の統合」が現実在即したものであることが証明される。

その実現に向けては、多くの専門家が、それぞれの専門分野を分担しネット上の共通の基盤上に「知の統合プラットフォーム」を構築することが必要となる。このような活動を持続的に行うには、専門家が進んで参加したいと考えるようにインセ

ンティブを提供する枠組みを構築しなければならない。また、このような枠組みの構築に加えて「知の統合プラットフォーム」実現の要諦となるシミュレーション手法の高度化、機能のモデル化に対する新しい概念の提案とそれに基づく系統的な手法の開発、結果をリアリスティックかつインタラクティブに人間に提示し評価するVR（バーチャルリアリティ）などのヒューマンインタフェース技術についてもより強力に研究開発を推進してゆくことが必要である。

（２）「知の統合プラットフォーム」具現のアプローチ

知の統合を行う目的が、問題解決と創造そして新しい知の発見であり、それを一天才の出現や、あるいは、代々伝わる直伝による秀才に頼らずに、誰でもが行えるようにするための学問体系が「知の統合学」である。しかし、これはいまだ緒に付いたばかりであり完成にはほど遠い。その一方で、地球規模の問題や複雑な社会システムの問題など、その解決のためには自然科学や工学だけでは十分でなく社会や政治や法律なども関与してくる社会問題が山積しており、「知の統合学」の完成を待てない現状である。現時点の我々のもてる知を統合して、複雑な社会システムが関係する問題を解決する一般的な方法はないものであろうか。

その解答の一つが、「知の統合プラットフォーム」の構築による知の統合手法である。「知の統合プラットフォーム」は、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、それに基づいて意志決定し行動することを可能とするとともに、VR（バーチャルリアリティ）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ばれたインタラクティブな「バーチャル・ユニバース」である。これにより問題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。

「知る」ということを考えた時、「分析的に知る」ことに対して「構成的に知る」というアプローチがある。ロボットは生物、特に人間の機能の再現と機能の拡大であるから、ロボットをつくることは人間を知ることでもある。また、分析的に知った人間に関する知識が、ロボット構成にそのままでは役立たず、構成のために人間に関する知識を再度求めなくてはならないことも多い。同じように、VRは、我々の生活している世界と同じ世界を構築し、さらにそれを拡張しようとする行為であるため、VRを構築することは、世界を知ることにつながる。また世界を分析的に解明した知識だけではVR世界を構築できず、構築のための知を希求しなくてはならない点もロボット構築の場合と同様である。

問題解決や創造のための「知の統合」にとって、この「構成的」なアプローチが「分析的」アプローチよりも適している。問題解決や創造の対象を、バーチャルに構成し、シミュレーションして、評価する過程で「知の統合」がなされるのである。

「知の統合プラットフォーム」の実現においては、専門の異なる多岐にわたる異分野の知識や知恵を共通の言語で記述する必要がある。コンピュータ内に対象のモデルを構築してゆく過程で、異なる専門の知が使われるが、同一のモデルを作成する

ためには言語の統一が必須となり、その過程で摺り合わされ統一される。さらに、現象の分析・把握を目的とした「認識科学」の観点からの知識や知恵のそのままの形で用いるのではなく、目的や価値を実現するための学術である「設計科学」の観点から課題解決やシステム構築の目的に適合する知識や知恵に変える必要があること、また、「認識科学」で得られている知識や知恵が「設計科学」の観点から不十分であれば、不足している知識や知恵を設計科学の観点から希求しなくてはならない点は、前述のロボットやVR研究の説明の通りである。これは、対象のシミュレーション可能な現実世界のモデルを作成する際に必要に応じて研究され求められる。また、現実の社会問題解決のための方法論や方策を評価する際には、個別領域の評価軸の統合の仕方も課題であり、評価軸を客観的に統合する方法が求められる。

シミュレーション可能な対象のモデリングが完成すれば、その後はシミュレーション結果の人間への現実感溢れる提示、また現実感溢れる提示下での人間のインタラクションの実現である。すなわち、解決されるべき問題が明らかになった場合、その対象をモデリングすることから始め、バーチャル世界を構築し、その世界に実際の人が入り込み、その世界にいるような体験をしながらインタラクティブに評価する。

そのバーチャル世界は、例えば、交通・物流問題を例にとるならば、この問題は既に、経済性、利便性、渋滞、騒音、排ガス、燃費、新エネルギー活用などの観点からは個別に検討されているものの、少子高齢化、安全・安心、防災・減災、エネルギー・資源・環境などの複合的観点から総合的に解決するためのアプローチは見出されていない。また、問題が複合的であることに加え、多様で多数の利害関係者が関与するため、社会的合意を形成できずにいる。もし、これらの対象をシミュレーション可能な形でモデリングしバーチャル世界を構築して、それぞれの人が体験的に参加することが可能となれば、これを、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の参加する、交通や人・もの・情報の移動を含む物流に関わる様々なバーチャル社会実験が遂行可能となり、その社会実験結果を定量的に評価し、そうした情報をベースに、現実世界の複雑な社会問題の合意形成を促進するという新しい社会問題解決メソッドを構築することが可能となる。また、現実には、具体的な交通・物流問題の課題を解決できることにもなる。

上記は一例に過ぎないが、地球温暖化問題や環境問題、あるいは高度情報化社会の問題のように、迅速な解決が求められる多くの課題に人類が直面していることを考慮すれば、上記のように必要な知を集め、それを用いて設計し検証することを可能とする「知の統合」のための適切な基盤すなわち「知の統合プラットフォーム」の構築が有効であることがわかる。

これまでの議論から、「知の統合プラットフォーム」のデザインと提案が緊要であることが認識され、その要素技術としては、

- ①データベース
- ②コラボレーション／コミュニケーションツール

- ③シミュレーション
- ④リアリスティックかつインタラクティブなインターフェース
- ⑤アクチュエータ
- ⑥複数の具体的アプリケーション

があることも語られた。第 22 期は、そのデザインの具体化を進めた。第 22 期の活動期間中には、日本学術会議において、学術の大型施設研究計画・大規模研究計画に関するマスタープラン策定が行われることとなり、そこへの提案を一つの目標に「知の統合プラットフォーム」の前項で述べた「バーチャル・ユニバース」としての具体的なイメージ作りを進めた。なお、このマスタープラン策定の過程で、「知の統合学」が学術領域として認定されたことも、第 22 期の活動成果として特記すべきことである。その「知の統合学」に対して、当該分科会で検討を進めた『日本社会のインタラクティブデザインを実現するプラットフォーム「バーチャル Japan」構築』が提案された。さらに、この他に、「知の統合学」分野に関連するテーマとして 6 つのテーマが提案された。それぞれの具体的な提案は、本記録の最後に添付する。これらの合計 7 つの提案について、①テーマ名、②ターゲット課題、③克服すべき課題、④波及分野、⑤コア技術、⑥関連分野（統合すべき知の分野）、⑦設計ツール、⑧データベース、⑨統合プラットフォーム、⑩統合の仕組み、⑪統合の組織、の観点から、それらの分析を行い、共通項を抽出し、表 1 の結果を得た。なお、この分析において、当該分科会での『知の統合プラットフォーム「バーチャル Japan」』に関する提案をリファレンスとして、他の提案の比較対象を行った。

(3) 知の統合プラットフォーム「バーチャル Japan」

「知の統合プラットフォーム」の具現を進めるにあたって、「知の統合」を必要とする具体的な課題を設定し、検討することは戦略として有用である。当該分科会においては、そうした観点から検討を進め、学術の大型研究計画に『日本社会のインタラクティブデザインを実現する知の統合プラットフォーム「バーチャル Japan」構築』を提案した。

知の統合プラットフォーム「バーチャルJapan」

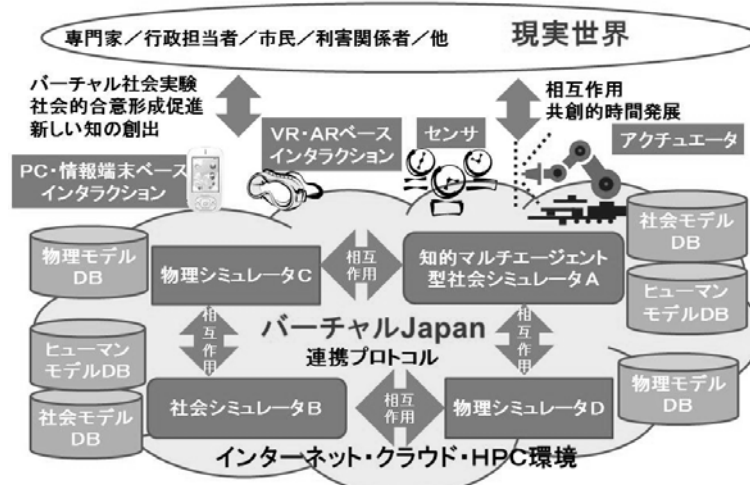


図1 知の統合プラットフォーム「バーチャルJapan」のイメージ

現代日本の複合的課題の解決や影響軽減に向けては、新しい技術やシステム、社会制度を、多数の利害関係者が参加しインタラクティブかつ定量的にデザインし、社会実装に向けて社会的合意形成を促進することが必要である。そのため、知の統合プラットフォーム「バーチャルJapan」を構想する。

具体的には、現代日本の主要構成要素を、物理系A（自然環境）、物理系B（人工物・人工システム）、人間・社会系、生態系等にカテゴリー分けし、各カテゴリーに内包されるサブシステムを、現代日本への影響や機能の面から捉え直し、各応答を定量的に予測可能なシミュレータの統合体として構築する。微分方程式で表現される現象に関しては、最新の計算科学・計算工学手法を活用し、人間・社会系の現象に関しても知的マルチエージェントなどの最新の定量的社会シミュレーションを活用する。各シミュレータにはそれぞれのモデル構築支援データベースを構築し接続する。また、「知の統合プラットフォーム連携プロトコル」を設計・構築し、異領域間の多様で複雑な相互作用を考慮した統合シミュレーションを可能とする。このようなバーチャルJapanのエンジン部分に、センシングシステム、VR・AR、アクチュエーションシステム等を接続し、バーチャルJapanと現実世界の双方向の相互作用も実現する。

バーチャルJapanは、クラウド・HPC環境での動作を実現し、京コンピュータ、ポストペタやエクサコンピュータも稼働環境として想定する。バーチャルJapanの構築にあたり、少子高齢化、安全・安心、防災・減災、エネルギー・資源・環境等の現代日本の重要課題に深く関わる「交通・物流（人・もの・情報の移動）問題」を具体的ターゲットとして設定し、たとえば、少子高齢化の進む町のモビリティシステムの実現や電気自動車が50%導入された社会のインフラ・運用デザイン等の具体的な社会的課題解決に活用する。

本計画の第一の学術的意義は、人間・社会系、生態系、自然環境、人工物・人工システム等が相互作用しながら動く日本という現実社会を、そのダイナミクスを定量的に模擬可能な「バーチャルJapan」と名付けた統合モデルに再構築する取り組

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あてた新学術分野を創成できる点である。それこそが、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、物理系現象と社会系現象の相互作用を集中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、現実社会とバーチャル Japan の間に、センシングシステム及びアクチュエーションシステムや VR 等の実体化技術を組み込むことにより、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課題を対象とする新たな学術分野が創成される点である。

第三の学術的意義は、バーチャル Japan を活用することにより、多様なステークホルダーが交通・物流（人・もの・情報の移動）に関わる様々なバーチャル社会実験を遂行し、その効果を定量的に評価することができること、また、そうした情報をベースに、現実世界の複雑な社会問題の合意形成を促進するという新しい社会問題解決メソッドを構築することが可能となる点である。また、現実には、具体的な交通・物流問題の課題を解決できる点も重要である。

交通・物流問題に関しては、経済性、利便性、渋滞、騒音・排ガス、燃費、新エネルギー活用などが個別に検討されているものの、少子高齢化、安全・安心、防災・減災、エネルギー・資源・環境などの複合的観点から総合的に解決するためのアプローチは見出されておらず、問題の複合性と多様で多数の利害関係者関与のため、社会的合意を形成できずにいる。「知の統合プラットフォーム」の構築に基づく本計画は、交通・物流分野の総合的な課題解決に向けて画期的なアプローチとなる。

本提案の社会的価値は、日本社会内の複雑な因果関係を、利害関係者によるバーチャル Japan のインタラクティブな使用によって定量的に把握することができ、その結果、社会的課題解決に向けて国民の社会的合意形成を促進できる点である。知的価値としては、専門家に独占されがちな、科学技術情報や知見をわかりやすく国民に提供することができ、その結果、国民からのボトムアップ的なプロセスを経て新たな知が創造される。また、バーチャル Japan の構築プロセスや交通・物流問題への適用を通じて、多様な異分野の知が交流することにより、学際領域、異分野交錯領域における新たな知の創造につながる。経済的・産業的価値については、交通・物流問題をターゲットとして具体的な活用を行うことにより、経済的にも、エネルギー・資源的にも、環境的にも、社会利便性という観点からも、社会合理的な交通・物流システム・施策を提案し、社会実装を促進することができ、少子高齢化が急速に進む現代日本に、多大な経済的・産業的価値を創出することができる。

本計画を推進するにあたっては、東京大学大学院工学系研究科及び同大学院情報理工学系研究科に、バーチャル Japan 研究開発中核拠点を設立する。さらに、計測自動制御学会、日本計算力学連合等に所属する全国の研究者、及び交通・物流関係の研究所・企業の部課長クラスや主任研究員クラスの方、また、海外の大学の研

究者等が客員研究員として参画し遂行する。

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)物理系 A (自然環境) ユニット、(2)物理系 B (人工物・人工システム系) ユニット、(3)人間系ユニット、(4)社会系ユニット、(5)生態系ユニット、(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、のもとに束ねる。

(4)「知の統合プラットフォーム」の共通構造

多様で多数の異なる分野から人々が集まり、知識データの収集・整理・登録・共有・活用するには、適切かつ柔軟なプロトコルが必要である。個別領域において活用されているデータベースや知識ベース、あるいはシミュレーションプログラムは数多く存在するが、異なる知が集うことが要請される「知の統合」において活用できるものはない。付録に示したように、日本学術会議で公募した学術の大型施設研究計画・大規模研究計画への提案のうち、「バーチャル Japan」の提案以外にも、「知の統合学」分野に関連する提案が6件出されたが、それらの複数の提案の中にも「知の統合プラットフォーム」へつながるものが含まれているが、その具現化に関する説明は弱い。また、「知の統合プラットフォーム」に集められる知識は、データであったりシミュレーションであったり、センシング技術であったり、インターフェース技術であったり、ノウハウであったり多種様々である。それらを用いて、異分野の研究者がコミュニケーションを図ったり、テストをしたり、新しいアイデアやシステムをデザインすることが必要である。

分野を特定すれば、その個別領域のシミュレーションや個別領域のデータベース、個別領域のインターフェースをある程度自律的に作成・運用・発展させることが期待される。このようにして、個別領域において様々な資産が形成されている。したがって、それらの統合を図るためには、それらを壊し、再びまったく新しいものを構築するよりも、各要素技術、各個別領域の相互作用を司る連携プロトコルを定義し、それを介してそれらが連携できる仕組みの構築が効果的である。これらは、専門の異なる多岐にわたる異分野の知識や知恵を共通の言語で記述するということでもある。「バーチャル Japan」の中では、異なる物理シミュレーション間の連携プロトコル、物理シミュレーションと社会シミュレーションの連携プロトコル、シミュレーションとデータベースの連携プロトコル、アクチュエータ・センサー・バーチャルリアリティ技術などとシミュレーションやデータベースとの連携プロトコルの構築が想定されている。これらの連携プロトコルのデザイン・構築を通して、異分野の相互作用のメカニズムの理解が促進されるという効用も生まれてくる。さらに、スパコンやネットワークなどの上に、それらを展開し、様々な立場のメンバーがそれを分散して活用することも可能となる。

鶏が先か卵が先か、すなわち、汎用的な知の統合プラットフォームをデザイン・構築してから、ターゲットとなる課題解決に資するのがよいか、あるいはターゲットとなる課題解決を図ろうとする中でそれに適した知の統合プラットフォームが構築されていくのか。

添付資料には「バーチャル Japan」の提案も含めて7つの提案が掲載されているが、これらの提案が通り具体的なプロジェクトがスタートすれば、そこに統合されるべき個別知の領域が定まるし、①データベース、②コラボレーション／コミュニケーションツール、③シミュレーション、④リアリスティックかつインタラクティブなインターフェース、⑤アクチュエータ、などの個別技術もある程度定まる。それら個別技術の具現化と同時にそれぞれの連携プロトコルの具現化を図ることを通して、プロトタイピングとして何らかの「知の統合プラットフォーム」が構築されるであろう。こうした取り組みを積み上げながら、より普遍的な「知の統合プラットフォーム」としての骨格を明らかにしていくことが望まれる。その上で、個別領域の評価軸の統合を進めることが必要である。

(5)「知の統合」を担う組織

学術の大型施設研究計画・大規模研究計画への提案においては、既存の組織群の中の1、ないし数個の組織を中核機関として指定し、それにセンター機能を持たせて、そこに他の多くの関連機関や関係者をバーチャルに連携させる提案が複数あった。「バーチャル Japan」の提案でもそうした組織の構築を念頭においている。一方、既存の組織を離れて全く新しい組織を作る提案もあった。「マルチスケールで循環する水活用システムを実現する知の統合学」では、そうした新しい組織として、グローバル水利用システム研究センターの設立を提案している。知の統合を進めるにあたって、どのような組織で進めるのがより望ましいであろうか。この場合、次の2点について併せて検討する必要がある。

第一点は、既存の組織と、「知の統合」を司る組織の物理的関連性である。組織を作れば、人事や経理、イベントなどの具体的な作業が発生するため、多くの場合、そうした共通の基盤機能をすでに有している既存の組織の上に、一部として、新しいミッションを実現する機能を持たせることを考えがちである。しかし、そうすると、既存の組織の持つ制約や既成のルールに強く縛られることとなり、それが高じて、既存の組織のミッションからはみ出る部分、すなわち新しく追加されたミッションがないがしろにされかねない。作りやすさを考えれば、このアプローチは実現性が高いが、知の統合を担う中核機関の選定は慎重に進める必要がある。その上で、如何にして既存組織の上で、軽やかに知の統合に関わるミッションの運営を効率的に行うかが課題である。

一方、既存のいずれの組織にも属さず、まったく新しい組織を作る際には、新しいミッションを理想的に遂行できる可能性が高まる一方で、その設立や運営を軌道に乗せるまでに膨大な手間と費用がかかることとなる。さらに、一旦構築された組織が時間とともに硬直化していく懸念もある。特に、新しい組織は独立性が高まると同時に孤立していく場合も多く、知の統合に関わる多種多様な専門分野における既存の組織と如何にダイナミックな連携を実現していくかが課題である。

第二点は、人の所属の問題である。いろいろな分野の専門家が集い相互作用しながら「知の統合」を実現し、個別領域を超える大きな課題の解決にあたっていくには、そこに関わるメンバーは、それぞれの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することが肝要である。知の統合プロセスは、前項の「知の統合プラットフォーム」でも述べたように本質的に様々の異質な知がぶつかりあいながら相互作用し進化していくダイナミックなプロセスである。このため、既存の組織を離れ「知の統合」を遂行する組織に 100%所属して活動するという形態だけではなく、既存の組織と知の統合を担う組織に同時に所属しその間を行ったり来たりしながら、様々な人間がそれぞれの分野の専門家として知の統合に主体的に加わるのが重要である。

最近では、2つの組織に同時に所属し、どちらかを主務、もう片方を兼務するということがしばしば行われるようになってきている。いわゆるクロスアポイントメントやスプリットアポイントメントと呼ばれる制度である。多くの場合、そのどちらの組織でもその人に期待されていることは、同一の分野に関わることである。たとえば、ある特定の専門分野の中で、大学では基礎研究を行い、研究所では産学連携を通して社会実装を推進する、といった関係である。しかし、知の統合においては、既存の組織においてはある分野の専門家としてその専門分野の深化を進める一方で、「知の統合」を担う組織においては、多分野の人間たちと「知の統合」を進め、新しい分野の開拓と課題解決に取り組むことが要請される。どちらの組織においても主務として務めることになる。このようなことを実現するためには、物理的な移動に加えて、専門分野の主務と「知の統合」を遂行する新分野の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となる。先に述べた「知の統合プラットフォーム」は、そうした取り組みを大きく支援する役割も担うことになる。

3 知の統合推進に向けたファンディングシステムと研究評価

(1) 知の統合推進に向けた研究評価のあり方

知の統合推進を具体的実現するためには、現在と本質的に異なる新しい研究環境を構築していく必要がある。この観点から、第21期の課題別委員会「社会のための学術としての「知の統合」推進委員会」は、『社会のための学術としての「知の統合」― その具現に向けて ―』の提言[3]を行った。その中で、「社会的期待発見研究」という研究カテゴリーを明示的に設定し、現在の科学との有機的な循環構造を形成する新しい研究パラダイムを構築する必要があることを述べるとともに、「知の統合」の推進に向けた研究評価のあり方について考察している。

そこでは、まず、日本学術会議の対外報告『我が国における研究評価の現状とその在り方について』[9]の指摘を踏まえ、①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な長期間を要する研究は倦厭されがちであること）と②数値的指標の弊害（研究論文数や被引用件数、インパクトファクターによる基礎研究評価が困難であること）が研究評価に関する2つの問題点であることを指摘し、

- ① 短期的指標から長期的指標へ （研究の時定数の考慮）
- ② 量的指標から質的指標へ （内容を考慮した評価、不確実性の評価）

という研究評価指標に関する2つのシフトが重要であると結論づけている。さらに、米国国立科学財団（NSF: National Science Foundation）によって導入されてきた研究の概念である「Transformative Research（変化させる力を持つ研究）」、すなわち、既存の分野に大変革を起こしたり、新しい研究分野を生み出したり、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[10]の考えを参考に、「知の統合」に向けた研究を適切に評価し促進するためには「展開性、波及効果、相乗効果」と「組織の多様性」の2つの評価軸が重要であることを述べている。

これらの考察に基づき、「知の統合」を推進していくための新しい評価軸として、以下を提案している。

- ① 研究の事前評価（ファンディングのための審査）
 - 研究の独創性：社会的課題の解決や「知の統合」に向けた新しいアプローチ（既存ディシプリンを超えているか？）
 - 研究組織の多様性：幅広い分野の研究者で組織されているか？
 - 展開性・波及効果への期待感：研究の進展が新しい学術分野の創成や他の分野の展開に結びつく可能性が高いか？
- ② 研究の事後評価（研究成果の評価）
 - 有用性：社会的課題の解決や「知の統合」に向けた具体的貢献は何か？
 - 普遍性：「知の統合」を実現する新しい概念・方法論の具体的提案がなされているか？
 - 展開性・波及効果：研究の成果が新しい学術分野の創成に繋がるのか？また、

相乗効果・スパイラル効果によって、他の分野の進展に大きな影響を与えているか？

新しい研究評価軸が十分機能するためには、その適切な設定だけではなく、その枠組みを与えるファンディングシステムを適正に設定する必要がある。そこで今期（第22期）の「工学基盤における知の統合分科会」では、この提言を受け、これらの研究評価軸を適正に取り込むことができるファンディングシステムのあり方について検討を行った。具体的には、既存の各種ファンディングシステムの枠組みを認めた上で、それらの役割を明確にし、「知の統合」を促進するためのファンディングシステムのあり方と研究評価の方法について提言する。

（２） 関連する提言・報告

研究評価システムやファンディングシステムに関しては、これまでもいくつかの提言あるいは報告がなされている。ここでは、「知の統合の推進」という観点での検討の前提条件として、以下の２つの資料の要点をまとめておく。

- ① 研究にかかわる「評価システム」の在り方検討委員会の提言：「我が国の研究評価システムの在り方 - 研究者を育成・支援する評価システムへの転換 -」[11]
- ② 調査報告書「国による研究開発の推進」：「研究開発におけるファンディングと評価 ―総論―」[12]

(i) 研究にかかわる「評価システム」の在り方検討委員会の提言 [11]

研究の評価に関する現状とその問題点に関し、以下のように総括されている。

- ・若手を中心に研究活動が短期志向になりがちであり、研究者個人評価から研究課題評価への重心移動を行う必要がある。
- ・研究評価基準が研究活動やその成果・インパクトの多様性に配慮した評価基準となっていない。
- ・大型研究課題等の評価者の選定についても、透明性・公平性の点で課題が残されている。
- ・競争的資金制度の全体構成や基盤的資金とのバランスの適切性の検証が必要である。
- ・評価を適切に設計しうる人材の育成が必要である。
- ・研究評価システムをその有効性・効率性の面から評価するメタ評価が必要である。
- ・研究の評価を単に公的資金支出に対する説明責任のためのものとするのではなく、科学・技術政策における課題解決の促進の一手段として設計する必要がある。

上記の７つの点を受け、以下の提言を行っている。

- ① 研究評価システムのメタ評価の実施
- ② 若手研究者の育成・支援に資する研究評価システムへの転換方策

(ii) 「研究開発におけるファンディングと評価 ―総論―」 [12]

まず、世界的に共通の傾向として、大学の研究開発資金源のほとんどが GUF (General University Funds) であった状態から、徐々に DGF (Direct Government Funds) のシェアが増えてきているというファンディングシステムの変容について説明している。ついで、DGF に関する Geuna [13] の分析における以下の 2 つのポイントを紹介し、DGF への重心移動は「長期的視野に立った研究環境の整備を構造的に妨げる危険性をはらんでいることになる」ことを指摘している。

- ・長期的に見ると、DGF は短期的に成果が出やすい研究の増加をもたらす可能性があるのではないか？
- ・DGF による集中傾向は次の選抜に有利に働くことで累積的效果をもたらし、長期的には研究活動の集中、地域的偏り、組織間の格差をもたらす可能性がある。

実際、伊地知[14]によれば、日本のファンディングシステムと研究評価の課題として、以下の 2 点が挙げられる。

- ・本来は、研究開発の質の向上などを目指して長期的視点から評価すべきであるのに、研究の質やファンディングの目的に対する適合性よりも効率性や効果を重視した評価に偏る傾向がある。
- ・事後評価において公正性を過度に重視するためプロジェクト全数の評価が行われるので、疲労感も大きくなる。

このような現状認識もとで小林は、イノベーションへの貢献に向けた科学技術政策の変容として、以下の 2 点を指摘している。

- ・科学技術政策の要請に応えるファンディングシステムをどのように設計するか、既存のファンディングシステムとの折り合いをいかにつけるのかが、今日の科学技術政策の最大の課題である。
- ・研究評価も、伝統的な研究者集団による研究の科学技術的価値に対する評価だけでなく、それがどのような社会的結果をもたらし、どのように政策目的の達成に寄与するのか、といった多面的な評価を必要とする。

さらに、日本の科学技術政策に固有の問題として、

- ・プロジェクト・ファンディングへのシフトが、本質的でない生き残り競争に大学を駆り立てる可能性があり、たとえ勝ち組の大学であったとしても、少なからず研究基盤の疲弊をもたらす。
- ・この研究基盤の脆弱化により、イノベーションへの対応ができない状況にある。

の 2 点を指摘し、「研究基盤の整備と目的達成型のプロジェクト・ファンディングのバランスをいかにとるべきか？」はどの国にとっても直面する課題であるが、長期にわたり公的研究開発費が低迷してきた日本においてその緊急性は著しく高いと述べている。

これらの考察の結果として、小林は「ファンディングシステムと研究評価システムの包括的な見直し」が必要であると結論付けており、「知の統合」に向けた研究

環境の整備の方向性と一致していると言える。

(3) 各種ファンディングシステムの役割と研究評価

「知の統合推進」に向けた研究評価の2つのパラダイムシフト、①短期的指標から長期的指標へと②量的指標から質的指標へ、を念頭に、前節の考察（一般論としての研究評価・ファンディングシステムのあり方）を踏まえて「知の統合推進」に向けたファンディングシステムの改善の方向性を検討すると、以下の3点が重要となってくる。

- ①「研究推進＋人財育成」のためのファンディングへ
- ②「社会的価値の創出」を支援するファンディングの強化
- ③バランスのとれたファンディングシステムの構築

以下、各々の項目に関し、少し詳しく述べる。

①「研究推進＋人財育成」のためのファンディングへ

これまでのファンディングは主に「研究推進」に焦点が当てられてきた。しかしながら、多くの科学・技術が複雑となり「知の統合」を必要としている現在、長期的視点に立って人材の育成も視野に入れなければ、例え短期的な成果が出たとしても、その効果は非常に限定的となりがちである。したがって、ファンディングシステムの改善のポイントとして、若手研究者が夢を持って研究を遂行できる環境を構築するという視点を導入することは非常に重要であり、基盤的研究の強化という点でも大きな効果が期待できる。このポイントに関しては、人材育成の重要性を認識しそれも含めた形で研究支援を行っている NSF の ERC(Engineering Research Center) のプログラムが参考となる。

また、近年のバイオ関連の研究への非常に偏ったファンディングがもたらしている社会的問題は、定常的なアカデミックポストとファンディングシステムの整合性の問題を提起しており、有能な若手研究者を育てていくファンディングシステムの構築という視点の導入は不可欠と言え、喫緊の課題である。多様性のある研究組織や研究プロジェクトへの研究支援が強化されるならば、その中で育っていく若い研究者の視野は広がり、次の世代でのイノベーションや知の統合への貢献が期待できる。この意味でも「多様性」は重要なキーワードであり、「人材育成」と「多様性」を前面に押し立てたファンディングシステムと研究評価の確立が急がれる。

②「社会的価値の創出」を支援するファンディングの強化

「知的好奇心に基づく基盤研究」の支援に加え、近年は「社会のための学術研究」への支援が重要となってきた。最終目標は、環境・エネルギー・医療など様々な世界的規模の社会的課題の解決である。しかし、その実現は容易ではなく、少なくとも20年、30年の時間スケールで考える必要がある。そのためには、異分野融合をスタート点とした「知の統合」を目指す研究を活性化させ、その上で長期的視野に立った研究支援を行うことが必要不可欠である。すなわち、「社会的課題の解決」を直接目標とする研究支援ではなく、間接的に「社会的価値の創出」を目指す研究支援が必要となってくる。

これには、これまで主流であった「インクリメント型（連続的）研究」ではなく、

「イノベーション型（不連続的）研究」へのファンディングに移行していく必要がある。その際に重要となるのは、以下の2点である。

- ・研究評価軸の変更：「投資損失の最小化・費用対効果の最大化」から「社会変革への期待の最大化」へ
- ・多様性（研究組織・審査員構成・研究評価軸）の重視

この2点を考慮した新しい評価システムの構築が望まれる。まずは、現在の研究評価（事前評価・事後評価）の実態を、特に科研費の新学術領域研究と JST の戦略的創造研究（CREST, ERATO 等）を例にとり調査するところから始めることが必要である。

③ バランスのとれたファンディングシステムの構築

すでに前節で述べたように、プロジェクト・ファンディングへのシフトは基盤研究の脆弱化を引き起こし、引いてはイノベーションに向けた研究活力の低下をもたらす。したがって、①主に知的好奇心・シーズに基づき、主として学問の深化を目指す「ボトムアップ型研究」への支援（主に科研費）、②社会的価値の創出・ニーズを視野に、主として社会的課題に向けた研究を推進する「トップダウン型研究」への支援（主に JST 戦略的創造研究）、③具体的な社会的課題解決に向けた「開発型研究」への支援（各省庁）のバランスを取ることが重要である（各種ファンディングの役割を図に示す）。

そのためには、各種ファンディングの役割ならびに特性をより明確にし、研究者提案型の基盤的研究の支援がおろそかにならないようにする必要があり、基盤的研究支援の強化ならびにプロジェクト・ファンディングに対する事前評価（ファンディングのための審査）と事後評価（研究成果の評価）の見直しは必須である。

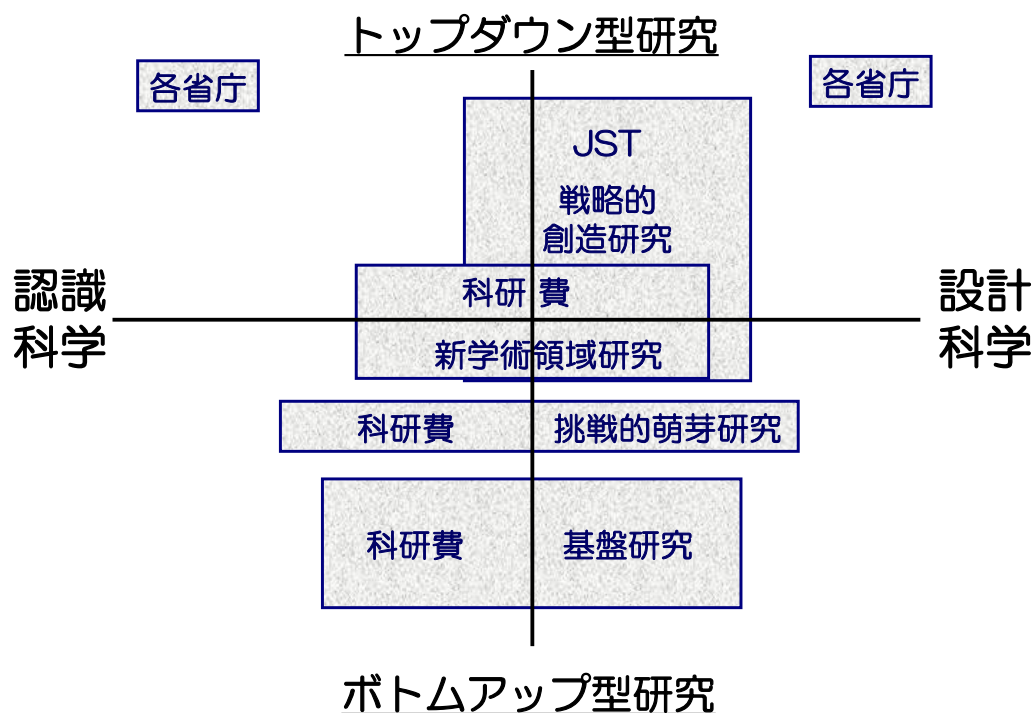


図2 各種ファンディングの役割

上記の視点に立ち、知の統合推進に向けたファンディングのあり方を以下にまとめる。科研費を中心とするボトムアップ型の研究支援に関しては、長期的な視点に立った安定的な研究環境の実現とそのもとでのイノベーションに繋がる研究の促進ならびにそれを通じた人材の育成が目標となる。特に、若手研究者に対する研究環境の改善は長期的視点に立った方策として最も重要なポイントである。一方、トップダウン型の研究支援に関しては、最終的に目指す社会的価値からスタートした価値のブレークダウンのプロセスの確立と省庁の枠を超えての産官学連携の新しいアプローチが重要となる。具体的には、以下の4つを提案する。

① 若者に安心感を与える研究環境の実現

- ・知的好奇心に基づく研究を保障

＜科研費 基盤研究＞ 制度はシンプルにし、採択率の向上を目指す。

最低目標（3年計画の研究）：単年度採択率 1/3 で 6割の総合採択率*

*y年計画研究で単年度採択率がxの場合、総合採択率は $xy/(1+(y-1)x)$ 。

- ・挑戦的な研究を推奨し、イノベーションの目を育む研究文化の構築

＜科研費 挑戦的萌芽研究＞ 分野融合研究で新規性を重視し、新しい芽となる可能性を最大指標とする審査方法を確立する。

② 日本がリードする科学技術の促進

- ・イノベーションに繋がる新学術分野の創成

＜科研費 新学術領域研究＞ 展開性・波及効果を重視したイノベーション型評価（社会変革への期待の最大化）を確立する。すなわち、インクリメント型評価（例えば、ロードマップによる予定調和型評価）と惜別し、これまでの延長上の研究と比べて社会変革に何をもたらす可能性があるかに焦点を当てた評価法に変更する。

- ・それを遂行する人材の育成

＜科研費 新学術領域研究＞ 多様性を持った研究組織を構成し、そこでの活動を通して幅広い人材育成を目指す。例えば、新学術領域の提案に当たっては、提案する研究領域と直接関係しない多様な研究者をある一定以上（2～3割程度）メンバーに入れることを義務付ける一般ルールを設定する方策の導入などが考えられる。

③ 社会的課題解決に向けた社会的価値の創出強化

- ・社会的課題解決に向けた「知の統合」の実現

＜JST 戦略的創造研究＞ 社会的価値の創出に焦点を当てた研究体制・研究支援方法・研究の評価法（事前評価・事後評価）を確立する。すなわち、最終的に期待する社会的価値のブレークダウンを行い、短期から中長期の各段階での目標設定するプロセスを確立する。

④ 日本再生に向けた新産業の創出

- ・環境・エネルギー・医療などの世界的規模の社会的課題解決に向けた開発型研究の実効的支援

＜各省庁＞ 産官学の役割を明確にし、長期的展望に立った戦略的プロジェクト・ファンディングの構築を目指す。そのためには、縦割り行政の打破は必須であり、長期的な最終目標から出発し、短期的な目標設定を行うプロセスを省庁の枠を超えて行う必要がある。

4 まとめ

以上の議論のもとに、大型研究計画における学術研究領域としての「知の統合学」研究領域を設定するとともに、「知の統合」のための具体的な方法論と方策を提案としてまとめる。特に、方法論としては、「知の統合プラットフォーム」を構成して知を統合する仕組みと「知の統合」を担う組織を具体的に明らかにし、方策については、「ファンディングシステム」についての方策を明確にした。

(1) 「知の統合プラットフォーム」構築による知の統合

知の統合を行う目的が、問題解決と創造そして新しい知の発見であり、それを一天才の出現や、あるいは、代々伝わる直伝による秀才に頼らずに、誰でもが行えるようにするための学問体系が「知の統合学」である。しかし、これはいまだ緒に付いたばかりであり完成にはほど遠い。その一方で、地球規模の問題や複雑な社会システムの問題など、その解決のためには自然科学や工学だけでは十分でなく社会や政治や法律なども関与してくる社会問題が山積しており、「知の統合学」の完成を待てない現状である。現時点の我々のもてる知を統合して、複雑な社会システムが関係する問題を解決する一般的な方法に対する。解答の一つが、「知の統合プラットフォーム」の構築による知の統合手法である。

「知の統合プラットフォーム」は、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、それに基づいて意志決定し行動することを可能とするとともに、VR（バーチャルリアリティ）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ばれたインタラクティブな「バーチャル・ユニバース」である。これにより問題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。

分野を特定すれば、その個別領域のシミュレーションや個別領域のデータベース、個別領域のインターフェースをある程度自律的に作成・運用・発展させることが期待される。このようにして、個別領域において様々な資産が形成されている。したがって、それらの統合を図るためには、それらを壊し、再びまったく新しいものを構築するよりも、各要素技術、各個別領域の相互作用を司る連携プロトコルを定義し、それを介してそれらが連携する仕組みが必要である。これらは、専門の異なる多岐にわたる異分野の知識や知恵を共通の言語で記述するということでもある。

「バーチャル Japan」の中では、異なる物理シミュレーション間の連携プロトコル、物理シミュレーションと社会シミュレーションの連携プロトコル、シミュレーションとデータベースの連携プロトコル、アクチュエータ・センサー・バーチャルリアリティ技術などとシミュレーションやデータベースとの連携プロトコルの構築が想定されている。これらの連携プロトコルのデザイン・構築を通して、異分野の相互作用のメカニズムの理解が促進されるという効用も生まれてくる。さらに、スパコンやネットワークなどの上に、それらを展開し、様々な立場のメンバーがそれを

分散して活用することも可能となる。

それら個別技術の具現化と同時にそれぞれの連携プロトコルの具現化を図ることを通して、プロトタイピングとして何らかの「知の統合プラットフォーム」が構築されるであろう。こうした取り組みを積み上げながら、より普遍的な「知の統合プラットフォーム」としての骨格を明らかにしていくことが望まれる。

(2) 「知の統合」を担う組織

「知の統合」を担う組織とはどうあるべきかについても検討を進めた。組織としては、既存の組織群の中の1、ないし数個の組織を中核機関として指定し、それにセンター機能を持たせて、それに他の多くの関連機関をバーチャルに連携させるものと、既存の組織を離れて全く新しい組織を作ることが考えられる。それについて考えるには次の2つの視点からの検討が必要である。第一点は、既存の組織と、「知の統合」を司る組織の物理的関連性であり、第二点は、人の所属の問題である。

組織の作り方の一つは、既存の組織の上に、一部として、「知の統合」を担うという新しいミッションを実現する機能を持たせることである。作りやすさを考えれば、このアプローチは可能性が高いが、如何にして既存組織の上で、軽やかに知の統合に関わるミッションの運営を効率的に行うかが課題である。一方、既存のいずれの組織にも属さず、まったく新しく「知の統合」を担う組織を作る方法もある。この場合、新しいミッションを理想的に遂行できる可能性が高まる一方で、その設立や運営を軌道に乗せるまでに膨大な手間と費用がかかることとなる。また、新しい組織は独立性が高まると同時に孤立していく場合も多く、知の統合に関わる多種多様な専門分野における既存の組織と如何にダイナミックな連携を実現していくかが重要である。

また、いろいろな分野の専門家が集い相互作用しながら「知の統合」を実現し、大きな課題の解決にあたっていくには、そこに関わるメンバーは、それぞれの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することが肝要である。しかも、知の統合においては、既存の組織においてはある分野の専門家としてその専門分野の深化を進める一方で、「知の統合」を担う組織においては、他分野の専門家たちと「知の統合」を進め、新しい分野の開拓と課題解決に取り組むことが要請される。すなわち、どちらの組織においても主務として務めることが肝要である。これを実現するためには、物理的な移動に加えて、専門分野の主務と「知の統合」を遂行する新分野の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となる。先に述べた「知の統合プラットフォーム」は、そうした取り組みを大きく支援する役割も担うことになる。

(3) 知の統合推進のための「ファンディングシステム」と研究評価

「知の統合推進」に向けた研究評価の2つのパラダイムシフト、①短期的指標から長期的指標へと②量的指標から質的指標へ、を念頭に、「知の統合推進」に向けたファンディングシステムのあり方を検討し、次のようにまとめを行った。

① 若者に安心感を与える研究環境の実現

- ・ 知的好奇心に基づく研究を保障
 < 科研費 基盤研究 > 制度はシンプルにし、採択率の向上を目指す。
- ・ 挑戦的な研究を推奨し、イノベーションの目を育む研究文化の構築
 < 科研費 挑戦的萌芽研究 > 分野融合研究で新規性を重視した審査。

② 日本がリードする科学技術の促進

- ・ イノベーションに繋がる新学術分野の創成
 < 科研費 新学術領域研究 > 展開性・波及効果を重視したイノベーション型評価（社会変革への期待の最大化）を確立する。
- ・ それを遂行する人材の育成
 < 科研費 新学術領域研究 > 多様性を持った研究組織による幅広い人材育成。

③ 社会的課題解決に向けた社会的価値の創出強化

- ・ 社会的課題解決に向けた「知の統合」の実現
 < JST 戦略的創造研究 > 社会的価値の創出に焦点を当てた研究体制・研究支援方法・研究の評価法の確立。

④ 日本再生に向けた新産業の創出

- ・ 環境・エネルギー・医療などの世界的規模の社会的課題解決に向けた開発型研究の実効的支援
 < 各省庁 > 産官学の役割を明確にし、長期的展望に立った戦略的プロジェクト・ファンディングの構築を目指す。

以上

＜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)
- [3]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)
- [4]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)
- [5]E. O. Wilson: “Consilience: The Unity of Knowledge,” Knopf, (1998)
- [6] G. Hirsch Hadorn et al. (Ed.): “Handbook of Transdisciplinary Research,” Springer, (2008)
- [7]舘 暲：「知の統合」、学術の動向, Vol.15, No.10, pp. 66-69, 2010.
- [8]舘 暲：知の統合学、横幹, Vol. 7, No.2, pp.1-6, 2013.
- [9] 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、(2008.2.26)
- [10] National Science Board, “2020 Vision for the National Science Foundation”, NSB-05-142, p.7, (2005)
- [11] 提言『我が国の研究評価システムの在り方 ― 研究者を育成・支援する評価システムへの転換 ―』、日本学術会議、(2012.10.26)
- [12] 小林信一：調査報告書「国による研究開発の推進」：研究開発におけるファンデティングと評価 ― 総論 ―、国会図書館、(2011)
- [13] A. Geuna, The Changing Rationale for European University Research Funding : Are There Negative Unintended Consequenses ?, Journal of Economic Issues, Vol.35, pp.607-632, (2001)
- [14] 伊地知寛博：我が国の公共セクターにおける研究とイノベーションのための評価システムとマネジメントの現状と課題」研究技術計画、Vol.24, No.3, pp.214-230, (2009)

<参考資料 1> 総合工学委員会 工学基盤における知の統合分科会審議経過

平成 23 年

- 12 月 21 日 分科会（第 1 回）
分科会の活動方針について

平成 24 年

- 2 月 13 日 分科会（第 2 回）
審議の主対象及び審議の進め方について
- 4 月 18 日 分科会（第 3 回）
潜在的社会的期待の発見に関する話題提供、知の統合プラットフォームのデザイン及び **Funding System** について、シンポジウム内容について
- 7 月 27 日 分科会（第 4 回）
シンポジウム準備状況報告、知の統合プラットフォームと **Funding System** の検討状況報告
- 12 月 26 日 分科会（第 5 回）
シンポジウム実施報告、知の統合プラットフォームと **Funding System** の検討状況報告、学術の大型施設計画・大規模研究計画に関する分科会方針について

平成 25 年

- 5 月 29 日 分科会（第 6 回）
Funding System の検討状況報告、バーチャル Japan 提案の報告、科学・夢ロードマップに関する分科会方針について

平成 26 年

- 2 月 28 日 分科会（第 7 回）
大型学術研究状況報告、**Funding System** の検討状況報告、分科会活動のまとめについて
- 5 月 14 日 分科会（第 8 回）
知の統合プラットフォームと **Funding System** の検討内容のまとめ方について
- 7 月 18 日 分科会（第 9 回）
記録案について

＜付録＞ 学術の大型研究計画に提案された「知の統合学」関連の提案

付録１ 日本社会のインタラクティブを実現する知の統合プラットフォーム「バーチャル Japan」構築 計画番号 160 学術領域番号 27-2

付録２ 医用画像を中心とした診断治療支援スーパーブレインシステム
計画番号 132 学術領域番号 25-8

付録３ 「テレイグジスタンス社会」実現のための知の統合研究 計画番号 136
学術領域番号 25-9

付録４ 複雑系数理モデル学に基づく数理知の統合とその分野横断的科学・技術応用
計画番号 157 学術領域番号 27-2

付録５ マルチスケールで循環する水活用システムを実現する知の統合学
計画番号 158 学術領域番号 27-2

付録６ 食・素材・エネルギーとしてのバイオマスの徹底利用を実現し好循環型社会
構築を目指す分野横断的研究拠点の形成 計画番号 159 学術領域番号 27-2

付録７ 統合的リスク情報システム科学の確立と社会実装を加速するネットワーク
型研究基盤構築 計画番号 161 学術領域番号 27-2

付録８ 「知の統合学」関連分野への学術の大型研究計画の比較表

日本社会のインタラクティブデザインを実現する知の統合プラットフォーム「バーチャル Japan」構築

① 計画の概要

現代日本の複合的課題の解決や影響軽減に向けて、新しい技術やシステム、社会制度を、多数の利害関係者が参加しインタラクティブかつ定量的にデザインし、社会実装に向けて社会的合意形成を促進するための、知の統合プラットフォーム「バーチャル Japan」を構築する。

具体的には、現代日本の主要構成要素を、物理系 A（自然環境）、物理系 B（人工物・人工システム）、人間・社会系、生態系等にカテゴリー分けし、各カテゴリーに内包されるサブシステムを、現代日本への影響や機能の面から捉え直し、各応答を定量的に予測可能なシミュレータの統合体として構築する。微分方程式で表現される現象に関しては、最新の計算科学・計算工学手法を活用し、人間・社会系の現象に関しても知的マルチエージェントなどの最新の定量的社会シミュレーションを活用する。各シミュレータにはそれぞれのモデル構築支援データベースを構築し接続する。また、「知の統合プラットフォーム連携プロトコル」を設計・構築し、異領域間の多様で複雑な相互作用を考慮した統合シミュレーションを可能とする。このようなバーチャル Japan のエンジン部分に、センシングシステム、VR・AR、アクチュエーションシステム等を接続し、バーチャル Japan と現実世界の双方向の相互作用も実現する。

バーチャル Japan は、クラウド・HPC 環境での動作を実現し、京コンピュータ、ポストペタやエクサコンピュータも稼働環境として想定する。バーチャル Japan の構築にあたり、少子高齢化、安全・安心、防災・減災、エネルギー・資源・環境等の現代日本の重要課題に深く関わる「交通・物流（人・もの・情報の移動）問題」を具体的ターゲットとして設定し、少子高齢化の進む町のモビリティシステムの実現や電気自動車が 50%導入された社会のインフラ・運用デザイン等の具体的な社会的課題解決に活用する。

② 学術的な意義

本計画の第一の学術的意義は、人間・社会系、生態系、自然環境、人工物・人工システム等が相互作用しながら動く日本という現実社会を、そのダイナミクスを定量的に模擬可能な「バーチャル Japan」と名付けた統合モデルに再構築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あてた新学術分野を創成できる点である。それこそが、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、物理系現象と社会系現象の相互作用を集中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。

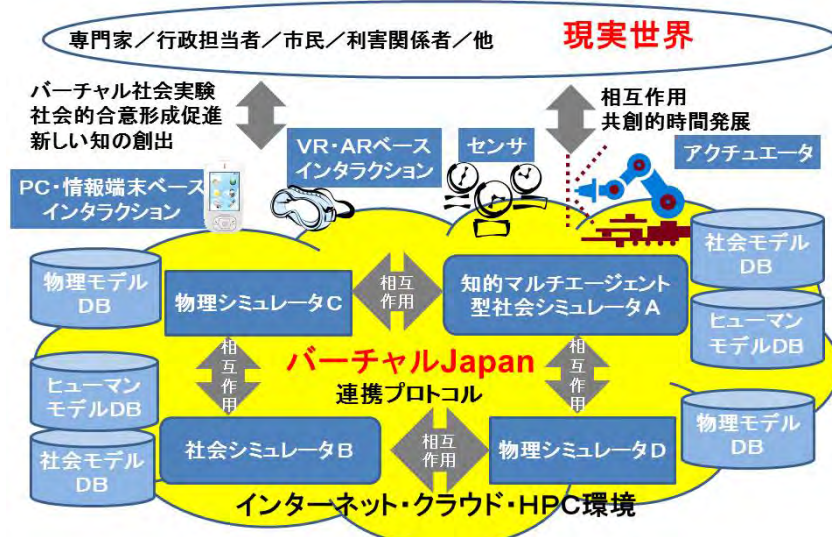
第二の学術的意義は、現実社会とバーチャル Japan の間に、センシングシステム及びアクチュエーションシステムや AR 等の実体化技術を組み込むことにより、バーチャル世界と現実世界が相互作用しながら共創的に時間発展するという課題を対象とする新たな学術分野が創成される点である。

第三の学術的意義は、バーチャル Japan を活用することにより、多様なステークホルダーが交通・物流（人・もの・情報の移動）に関わる様々なバーチャル社会実験を遂行し、その効果を定量的に評価することができること、また、そうした情報をベースに、現実世界の複雑な社会問題の合意形成を促進するという新しい社会問題解決メソッドを構築することが可能となる点である。また、現実、具体的な交通・物流問題の課題を解決できる点も重要である。

③ 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）、に詳述されているように、学術分野間、あるいは学術分野と社会間の連携が行われてきた。たとえば、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、理学と情報科学の事例としては学術データのリポジトリ化などがある。しかし、こうした知の統合の事例はあっても、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」の具現を汎用的に進めるための基盤構築に関する世界発の取り組み

知の統合プラットフォーム「バーチャル Japan」



である。交通・物流問題に関しては、経済性、利便性、渋滞、騒音・排ガス、燃費、新エネルギー活用などが個別に検討されているものの、少子高齢化、安全・安心、防災・減災、エネルギー・資源・環境などの複合的観点から総合的に解決するためのアプローチは見出されておらず、問題の複合性と多様で多数の利害関係者関与のため、社会的合意を形成できずにいる。本計画は、交通・物流分野の総合的な課題解決に向けて画期的なアプローチとなる。

④ 所要経費

平成25～31年度：42.9億円

(初期投資：9億円、運営費：32.4億円、国際シンポジウム開催費：1.5億円)

平成25年度組織整備費：9億円

(中核拠点整備費：5億円、研究費：1億円、システム開発委託費：3億円)

平成26～31年度定常経費：32.4億円(毎年5.4億円×6年)

運営費：年間5.4億円

(設備運営費：7千万円、人件費：8千万円、研究費：1億円、システム開発委託費：2億円、

システム検証費：6千万円、旅費：3千万円)

平成27、29、31年度国際シンポジウム開催費：1.5億円(5千万円×3回)

⑤ 年次計画

平成25年度から平成26年度前半まで

(1)「バーチャル Japan」構築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に研究開発中核拠点を整備し、そのもとに大学・民間研究機関、学協会などの研究開発ネットワークを構築する。

(2)バーチャル Japan の主要構成要素(物理系、社会系等の各サブシステムのシミュレータおよびモデル構築支援DB、知の統合プラットフォーム連携プロトコル、各種センシングシステム、VR・AR等の実体化システム、アクチュエーションシステム)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)の相互作用を視野に入れ構築する。

平成26年後半から28年後半

(3)バーチャル Japan の構築を進めると同時に、各サブシステムの機能検証を行い、修正し完成度を高める。

(4)全国規模かつ数m～10数mオーダーの詳細度を実現する大規模マイクロ道路交通ネットワークや鉄道ネットワーク、航空ネットワーク、船舶ネットワークのシミュレータを構築し、マルチモーダルな交通・物流シミュレーションを実行する。

平成29年度前半から平成31年度

(5)交通・物流の専門家、行政担当者や一般市民に参加いただき、全国各地の交通・物流問題に関するバーチャル社会実験を実施し、その成果に基づき社会的合意形成に取り組む。

(6)バーチャル Japan 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、知の統合プラットフォームとしての性能検証を進める。

(7)平成27年度、29年度、31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。

⑥ 主な実施機関と実行組織

東京大学大学院工学系研究科及び同大学院情報理工学系研究科に、バーチャル Japan 研究開発中核拠点を設立する。さらに、計測自動制御学会、日本計算力学連合、日本計算工学会、日本応用数理学会、日本シミュレーション学会、交通工研究会、日本VR学会、人工知能学会、日本機械学会、土木学会、日本船舶海洋工学会、に所属する全国の研究者、及び日本自動車研究所、鉄道総合技術研究所、産業技術総合研究所、トヨタ自動車、ITS Japan、JR東日本、日本郵船などの交通・物流関係の研究所・企業の部課長クラスや主任研究員クラスの方、また、MIT、UCB、ICL、ETH、KTH、清華大学、ソウル国立大学、シンガポール国立大学、インド工科大学等の海外大学の研究者に、客員研究員として参画いただく。

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)物理系A(自然環境)ユニット、(2)物理系B(人工物・人工システム系)ユニット、(3)人間系ユニット、(4)社会系ユニット、(5)生態系ユニット、(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、のもとに束ねる。

⑦ 社会的価値

日本社会内の複雑な因果関係を、利害関係者によるバーチャル Japan のインタラクティブな使用によって、定量的に把握することができ、その結果、社会的課題解決に向けて国民の社会的合意形成を促進できる。知的価値としては、専門家に独占されがちな、科学技術情報や知見をわかりやすく国民に提供することができ、その結果、国民からのボトムアップ的なプロセスを経て新たな知が創造される。また、バーチャル Japan の構築プロセスや交通・物流問題への適用を通じて、多様な異分野の知が交流することにより、学際領域、異分野交錯領域における新たな知の創造につながる。経済的・産業的価値については、交通・物流問題をターゲットとして具体的な活用を行うことにより、経済的にも、エネルギー・資源的にも、環境的にも、社会利便性という観点からも、社会合理的な交通・物流システム・施策を提案し、社会実装を促進することができ、少子高齢化が急速に進む現代日本に、多大な経済的・産業的価値を創出することができる。

⑧ 本計画に関する連絡先

吉村 忍(東京大学・大学院工学系研究科) yoshi@sys.t.u-tokyo.ac.jp

医用画像を中心とした診断治療支援スーパーブレインシステム

① 計画の概要

医用画像は、臨床診断・治療において、中心的役割を果たしている情報源の一つであり、その解析やシミュレーションにより、病態把握や治療効果の予測など定量的・客観的な情報を提供するための様々な研究が行われている。加えて、組織検査による確定診断や治療後の追跡データ、遺伝子や血液検査など医用画像以外のデータも日々蓄積されている。この膨大な患者データを最大限活用して、正確な診断を行い、疾患の治療効果、機能の温存（回復）、リスク低減等を最適バランスする治療を行うには、「スーパーブレイン*」と呼ぶに相応しい“医師の情報集約・意思決定能力の増強”を可能にする計算機支援が必要不可欠な状況となっている。（*この用語は、コンピュータ外科の分野で、手術支援ロボットが「スーパーハンド」（医師の操作能力増強）、手術支援映像技術が「スーパーアイ」（医師の視覚能力増強）とも呼ばれることに基づく。）

本計画では、医用画像を中心として、通常の臨床データだけでなく、最新の診断治療法や臨床研究で得られる様々な治療前・中・後の患者画像・計測データ、治療計画や施行時の時空間記録データ、および画像解析や予測シミュレーションで得られる患者解剖・機能データなどを統合した症例データベースを構築し、そのマイニング・統計学習等に基づく“診断治療支援スーパーブレイン”システムを開発する。データの発生から、データベース化、スーパーブレイン化、臨床応用まで、情報学・工学研究者と臨床医学研究者が密接な共同研究を行うため、新規に設置する「画像診断治療スーパーブレインセンター」を統括本部として、多施設でのデータ集積、研究開発、臨床評価を行えるネットワーク型広域・学際的共同研究プラットフォームを構築する。これにより、最適診断治療の数理的機序を明らかにする方法論を確立し、情報学と臨床医学の境界領域における人材育成と学術創成に寄与する。

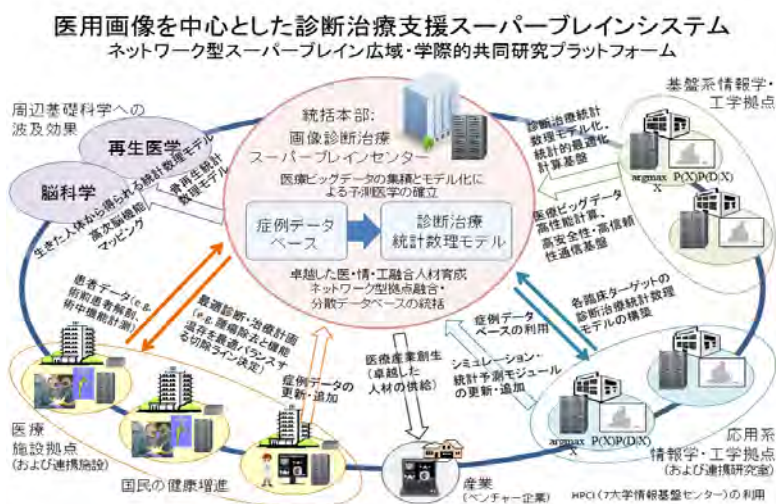
② 学術的な意義

本計画では、暗黙知とみなされる臨床知識と過去症例の大規模かつ多面的な時空間情報を総合した統計数理モデル（スーパーブレイン）を用いて、治療後の状態の統計的予測を行い、治療効果を最大限引き出す意思決定情報を導き出す。単に、参考情報を提示するのではなく、人間では扱いきれないビッグデータに基づき、医師の能力を超える意思決定情報の導出を目指す点に、科学としての挑戦があり学術的意義がある。例えば、がん診断治療において、患者の画像情報に加えて、過去の治療歴、血液検査、遺伝子情報などを入力として、がんの鑑別診断、最適治療法の選択（放射線治療、焼灼、外科的切除、抗がん剤など）、およびその治療法における最適治療計画立案と治療効果の予測を自動的に行う。さらに、医療知識のスーパーブレイン化により、予測に基づく診断治療の最適化を実現するだけでなく、診断治療の数理的機序の解明、および先端医療施設の医療知識パッケージ化による地域格差の無い医療の提供や医学教育への活用が期待される。

本計画は、情報学研究者が新規開発したモジュールを、他の既存モジュールと組み合わせたスーパーブレインシステムと症例データベースを用いて評価できるネットワーク型の枠組みを提供するものである（上図参照）。これにより、従来、新規参入が難しかった医療分野に、多数の基礎系情報学研究者の参入を促す。一方、情報学と接点がなかった臨床医学研究者も、本計画で開発されたシステムを利用して、自身の患者データの臨床評価研究を行える。よって、情報学と臨床医学の融合領域の人材育成と学術創成の飛躍的な発展が期待される。本計画により、全世界の臨床医学研究者によるデータの収集と臨床評価、広域に分散した情報学・工学研究者が共同で診断治療支援スーパーブレインの開発を推進できる環境が構築され、継続的、かつ広域・学際的に医療知識を統合していくことが可能になる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

IBM では、人間のクイズ王を超えるクイズ解答力を持つシステムを医療診断に応用する研究が行われている。この研究では、自然言語処理や記号推論による大規模文献検索により意思決定情報を導くので、本計画のように、入出力が多様な様式の画像や時空間パターン情報となるような問題を扱えない。医用画像に基づいた臓器形状や疾患パターンの統計数理モデルの研究が、科研費・新学術領域「計算解剖学」や米国 NIH の医用画像国家連携プロジェクトで行われている。これらは、医用画像から患者解剖3次元構造の自動抽出や疾患の定量評価を行うが、最適な治療法選択・治療計画立案という専門医の高度な推論能力が必要とされる課題には着手していない。EU の仮想人体生理プロジェクトでは、生理学シミュレーションを精密に行う研究が行われており、治療効果の予測にも利用できる。しかし、シミュレーションの結果と実際の患者状態の関係を検証することは十分に行われておらず、さらにそれを利用した最適診断・治療計画の導出には至っていない。本計画は、以上の研究を包含し、



医療における意思決定のより本質的な目的に向けて発展させるものである。

④ 所要経費

所要経費は、初期投資 25 億円、運営費等 50 億円、総額 75 億円である。初期投資として、新規拠点施設（統括本部）に高性能計算・大規模ファイルサーバ（5 億円）、医療施設拠点 5 グループ（5G）にデータベース構築用ファイルサーバ（1 億円×5＝5 億円）、情報学・工学拠点 9 グループ（9G）にスーパーブレイン構築用計算サーバ（1 億円×9＝9 億円）を設置する。その他、連携医療施設、情報学・工学研究室にファイル・計算サーバ（6 億円）を設置する。計 25 億円を要する。運営費として、統括本部施設費とリーダー・スタッフ研究員（2 億円×5 年＝10 億円）、医療施設 5G において博士研究員各 4 名（医療系 2 名、情報学・工学系 2 名）、および情報学・工学 9G において各 4 名を雇用し（500 万円×4 名×14G×5 年＝14 億円）、データフォーマット策定、データ収集システム構築、データベース構築、スーパーブレインシステム構築、臨床システム構築、およびネットワーク基盤の開発・利用環境の構築を行う。さらに、ファイル・計算サーバの増設費 16 億円、ネットワーク機器・消耗品・旅費など 10 億円、計 50 億円を要する。

⑤ 年次計画

1～2 年度目：各医療施設拠点において、臨床応用ターゲットの診断・治療・（治療後）追跡のワークフロー解析を行う。統括本部において、各臨床応用のワークフローを総合的に解析し、共通データフォーマット策定およびデータ収集・データベース化システムを構築する。データの性質上、開発段階では、データ収集とデータベース化は、インターネット接続されていない医療施設内ネットワークで開発を行う必要があり、情報学・工学系の博士研究員を医療施設で雇用し、医学研究者と密接に協力して進める。情報学・工学拠点は、基盤システム系と応用システム系に分類され、基盤系は、スーパーブレイン化における医療データ特有の性質を考慮した統計数理モデル、アルゴリズム、計算・通信方式の開発、応用系では、それぞれの臨床応用ターゲットに対して、数百例規模のデータを利用して、最適診断治療パイロットシステムを構築する。統括本部において、ネットワーク型広域・学際的共同研究を可能にするプラットフォームの開発とプラグインモジュール仕様の策定を行う。各拠点および連携施設が、このシステムを用いたデータ提供、モジュール開発などを試験的に行う。

3～5 年度目：統括本部を中心に、データベースの構築と利用、およびスーパーブレインシステムの構築と利用を、ネットワーク上で統一的に複数の異なる臨床施設拠点と情報学・工学拠点が行えるプラットフォームの運用を開始する。臨床施設拠点、情報学・工学拠点、および連携施設が協力して、各臨床応用ターゲットに対して、数千～万例規模のデータを用いたスーパーブレインの構築と臨床評価を、前向き評価（新規患者でのリアルタイムの評価）も含めて行う。倫理的な検討を慎重に進めながら、データベースやスーパーブレインの公開を進める。

⑥ 主な実施機関と実行組織

実行組織は、医療施設拠点 5 グループ、情報学・工学（情・工）拠点 9 グループ（基盤系 4、応用系 5）、および統括本部から構成される。5 つの医療拠点と情・工拠点の応用系は、臨床ターゲット毎に、5 組の医・情・工連携チームを形成する。それぞれ臨床ターゲットの応用システムは、医用画像とキーとなる周辺科学を融合させることで実現され、スーパーブレインの多様な展開を試みる。具体的な実行組織とその役割に関して、医用画像と融合する周辺科学と合わせて、以下に示す。

A. 医療拠点：データベース構築と臨床応用：a) 脳神経疾患診断治療（東京女子医大）、b) がん診断治療：b-1) 超精密がん診断（国際医療福祉大、国立がん研究センター）、b-2) 低侵襲がん治療（九州大）、b-3) 放射線がん治療（放射線医学総合研究所）、c) 筋骨格疾患診断治療（大阪大、慈恵医大）。

B. 応用系拠点：スーパーブレイン応用システム：a) 脳科学融合ー脳神経疾患診断治療（東京大）、b) がん診断治療：b-1) バイオメディカルインフォマティクス融合ー超精密がん診断（徳島大、岐阜大）、b-2) ロボット融合ー低侵襲がん治療（名古屋大、早稲田大、東京大）、b-3) 計算解剖学融合ー放射線がん治療（千葉大、九州大）、c) 骨再生・筋骨格シミュレーション融合ー筋骨格疾患診断治療（大阪大、山口大）。

C. 基盤系拠点：スーパーブレイン基盤情報技術：a) 医療時空間パターンデータ統計数理（統計数理研究所、名古屋工大）、b) 診断治療の多元的統計数理表現（東京大、千葉大）、c) 診断治療ベイズ最適化計算（東京農工大）、d) 医療ビッグデータの高性能計算と高信頼性・高安全性通信（名古屋大）。

D. 統括本部：画像診断治療スーパーブレインセンター（新規設置）

⑦ 社会的価値

本計画は、情報学の導入により、医療水準の全体的向上を実現することに加え、診断治療における意思決定の根拠を明確にし、患者が納得できる医療に直結する研究計画として、国民の理解が得られると考える。我が国では、生命科学基礎研究者と情報学研究者との共同研究は活発化しているが、情報学と臨床医学の協力が不十分である。その重要性にも関わらず当該融合分野を担う人材は現時点で極めて不足しており、本計画では統括本部を中心に卓越した人材の育成を図る。我が国の臨床医学の水準は極めて高く、情報学と臨床医学の密接な連携に基づいて、先端医療のデータベースとスーパーブレインを構築し、それを核として、広域学際的連携プラットフォームにより世界の知識を集約する。これにより、世界をリードし、その知的価値を向上させ続ける仕組みを提供する。経済的・産業的観点から、本計画は、医療情報産業という未開拓の市場を拓くための社会資産を提供する。我が国の臨床医学の水準の高さは国際的に認められているにもかかわらず、現在の我が国の医療産業は弱い。本計画は、我が国の臨床医学の水準を産業・経済に結び付ける役割を果たすと期待される。

⑧ 本計画に関する連絡先

小畑 秀文（独立行政法人国立高等専門学校機構） kobatake@kosen-k.go.jp

「テレグジスタンス社会」実現のための知の統合研究

① 計画の概要

本研究計画は、世界中に分身ロボットを配置し、ユーザーが自分の代理として分身ロボットを遠隔から自由に利用することで時間と空間の制約を解除し、ユーザーの未知の体験を可能としつつ、人の能力を自在に活用可能として、かつ省エネルギーにも貢献する「テレグジスタンス社会」の実現を目指すものである。ユーザーは、ネットワークで、世界中の分身ロボットのうち現在利用できるロボットを検索し、空いているロボットにログインして、そのロボットを自分の分身のように自在に制御して活動する。

この研究は、ネットワーク環境を利用したパーソナルな「テレグジスタンス社会」をめざした研究開発構想とそのための大型設備と運用による目的基礎研究と位置づけられる。この実現には情報メディア、ヒューマンインターフェース、ロボティクス、計測制御、通信、計算科学といった工学の分野にとどまらず、生理学、実験心理学、社会学や法学などの人文社会学の知をも統合することが緊要となる。本計画では、「テレグジスタンス社会」を目指した研究開発を学術的な立場から行うとともに、産官学の協同による技術開発、法的整備などを遂行してゆく。

具体的には、オフィスや工場、病院、学校、図書館、美術館、公園、競技場、アミューズメントパークなどテレグジスタンスの適用が必要となる代表的な現場にテレグジスタンス・ロボットを配置するとともに、それを利用するためのテレグジスタンス・ブースを、家庭、オフィス、あるいは公衆電話のような公衆テレグジスタンスサイトなど様々な形態で設置して、それらを大規模ネットワークで結び実験的な運用を行う。

運用のデータを集積し、かつ運用のなかで技術的な問題や実際に適用する際の人との関係及び社会の受容性の問題、さらには法的な諸問題を、知の統合の観点から専門家を集め、解決し「テレグジスタンス社会」の実現を目指す。

② 学術的な意義

本研究の学術的意義は、人間の能力を時間と空間を超えて伝えるための技術の方法論と構成論を確立し、新しい学術分野を樹立することにある。テレグジスタンスは、人間が現前に現存する空間とは別の空間を、高い臨場感をもって体験し行動することを可能とするとともに、自己の存在をその空間へ拡張するものであり、いわばバーチャルリアリティの究極形態の一つである。これは、バーチャルリアリティ技術・ロボット技術・通信技術を極め、法的な問題や倫理の観点からのシステム構築なども含め、それらの知を統合することにより可能となる。

テレグジスタンスは、使用者の目となり耳となって環境を認識し、使用者の自在な行動を可能とする。その際その場所の環境知能と連携して、周りの人々や障害物などとの衝突回避や操作の安全性を確保しながら、また、得られた環境情報を付加して使用者の能力を拡張しつつ、使用者の意のままに、あたかも使用者の拡張された分身のように行動する。テレグジスタンスを用いれば、人間は時間と空間を越えて存在できるようになる。すなわち、テレグジスタンスは、人間が同時にどこにでもいるかのように感じさせる、すなわち人間をユビキタスにする技術であるといえる。

世界中に配した分身ロボットを自在に操り、人間の経験を拡大するとともに、既に得た経験を生かして社会に貢献できるテレグジスタンスは、限りある地球のエネルギーを最小限に利用しながら、コミュニケーション、生産、医療、福祉、災害対応、レジャーなど幅広い活動を、実際の移動をともなわず居ながらに行える。

本研究開発は、科学技術の深化に加え、インフラ整備や法的な基盤整備などを産官学の英智を集め知の統合により推進してゆくことにより、テレグジスタンス社会を実現させて、日本のこれからを担う産業と文化を生み出してゆく目的基礎研究開発といえよう。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

本計画は、我が国から生まれたテレグジスタンスを確立して、学術的な国際的な優位性を確かなものにするのみならず、将来の有力産業として日本の活性化に寄与するという視座を有する。テレグジスタンスが生まれて 30 年以上が経ち、米国、ヨーロッパ、アジアなどで世界的な展開を見せ始めており、成果の一部を反映した製品も製造され販売されるに至っている。しかし、現在、市販されているシステムは、理想とするテレグジスタンスからすると臨場感の観点からも存在感の観点からも満足ゆくものからはほど遠い。また、ネットワークの問題や、安全知能、非匿名性、また法的整備の視点もなく、健全な発展の障害となっている。

現在、ロボットに関する安全基準が ISO から公表され、ロボットサービス連携プラットフォームの国際標準化が ITU-T で勧告される予定である。これらを本計画がいち早く採用し、これまで蓄積してきたテレグジスタンス技術を大規模システムとして整備することで、最先端でかつ国際競争力のある技術開発が可能になる。社会や国民に役立つテレグジスタンス社会を我が国主導で国際的に実現することが緊要である。

④ 所要経費

総経費 87 億円 (5 年間)

テレグジスタンス共通プラットフォームを設置し、拠点同士のどこからでもどこにでもテレグジスタンスすることを可能とする実験プラットフォーム基盤を構築する。

⑤ 年次計画

平成26年～30年度（5年計画）

平成26年度：ITU-Tに国際標準化されたユビキタスネットワークロボットプラットフォーム技術をベースに、本共通プラットフォームのアーキテクチャの技術仕様を明らかにし、テレグジスタンス共通プラットフォームの構築を行う。拠点がサーバーとなって、様々な応用に対応するロボットシステムとコックピットが配置される。本プラットフォームは、バーチャル空間へのテレグジスタンスやバーチャル空間を介して実空間にテレグジスタンスする拡張型テレグジスタンスが可能なプラットフォームとして構成する。

平成27年度：テレグジスタンス総合実験を開始する。

平成28年度：中間評価

平成30年度：最終評価

平成26～30年度：臨場感・存在感の解明と工学的実現、分身性、安全知能、非匿名性などにつき研究を行う。具体的には、人間がいかんして臨場感を得て通常の生活を送るのと同じ感覚で分身ロボットを使いこなせるかを解明し、人間の意図を非拘束かつ適格に反映できるよう、生理学や心理学的な知見に裏打ちされたVRインタフェースを模索し実現してゆく。また、リアルタイム性を保証した大容量・超高速の通信に加え、いかんして人間の異種感覚間の同期を保証するか、多数の使用者の協調作業をいかんして可能とするかなどVR固有の問題を解決する。

工学的実現に際しては、テレグジスタンスのハードウェアとソフトウェアの構成を家庭内に適したロボットや各種作業に適したロボットという多様な構成を可能とする、分身ロボット間のインターオペラビリティ、マルチロボット管理、多地点管理、ユーザー管理、サービス連携管理などについても明らかにする。さらに、自動車とのアナロジーからの法的整備、非匿名性とプライバシーの問題、安全知能などについても、異分野の専門家の知の統合を実践して解決してゆく。

⑥ 主な実施機関と実行組織

慶應義塾大学が中心となり研究開発を進める。慶應義塾大学、東京大学、大阪大学、ATR、日本科学未来館の5拠点を通信網で結び、それを世界と結ぶことで国際的な共同利用が可能な、テレグジスタンス共通プラットフォームを構成する。また、各拠点で、テレグジスタンスを構成する、計測制御、メカトロニクス、ロボティクス、バーチャルリアリティ、通信、ヒューマンインターフェース、認知心理などの要素技術を研究開発するとともに、システムインテグレーションの観点からシステムを設計し引用して、また緊要な課題を見つけ出し、要素技術として解決して、システムを完成されるという研究段階を踏む。応用についても、それぞれの機関で得意な分野を担当して適用を試み、その結果を共有しあう。さらに、自然科学にとどまらず人文社会科学分野の国内外の専門家を集めた「知の統合専門家会議」を組織し、テレグジスタンスを用いて会議、ワークショップ、また、技術指導などを、その場に集う臨場感と存在感を共有しながら実践し問題を解決してゆく。専門家をテレグジスタンスで招致することも積極的に実践する。

⑦ 社会的価値

工場やプラント、コンビナート内の危険劣悪環境内作業、原子力プラントの点検、修理、作業、放射線廃棄物処理、宇宙海洋での探索、修理、組立、災害時における捜索、人命救助、復旧作業、通常時においては、清掃事業、土木建築作業、農林水産業、警察、探検、レジャー、テストパイロットやテストドライバーの代替など広範囲の応用の可能性をもつ根幹技術である。従って、国民生活をその根幹から支えたとともに、人の暮らしを豊かでかつ活力のあるものとする。

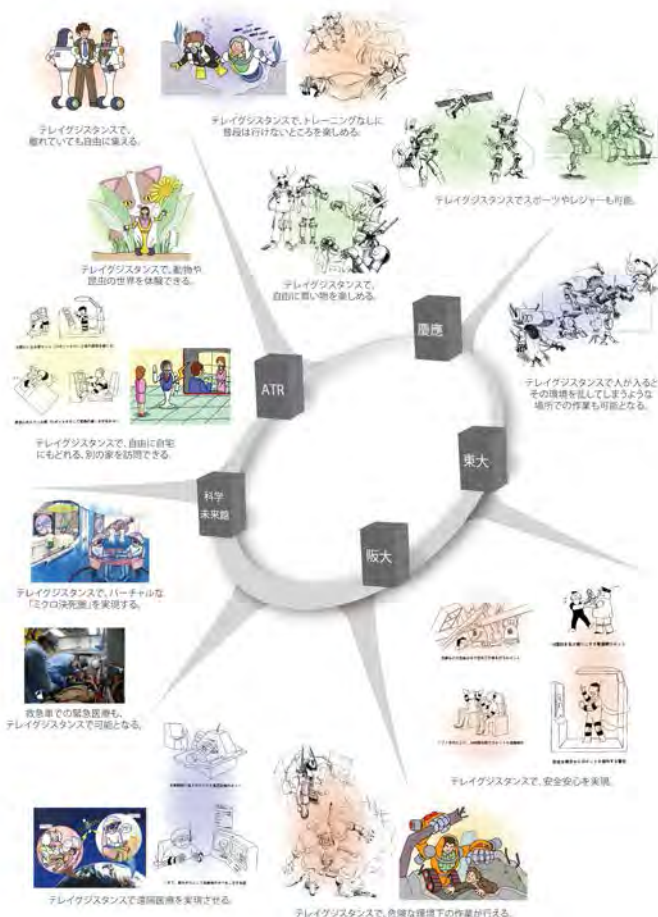
高齢者や障害をもつ人でも、テレグジスタンスによれば、失った機能を補いながら、かつその人の優れた点は効果的に発現することができ、人を活かし人に生きがいをもたせる社会の実現に貢献する。

実際の物理的な移動をとまわず、効果としては瞬間移動が可能なことから、時間を効率的に利用できるという側面に加え、省エネルギーの立場からも優れた社会が実現できる。

本計画は、我が国から生まれた技術であるテレグジスタンスを確立して、学術的な国際的な優位性を確かなものにするのみならず、将来の有力な産業として日本の活性化に寄与する。

⑧ 本計画に関する連絡先

舘 暲（慶應義塾大学・大学院メディアデザイン研究科） tachi@tachilab.org



複雑系数理モデル学に基づく数理知の統合とその分野横断的科学・技術応用

① 計画の概要

脳、生命、健康、癌、免疫、新興・再興感染症、環境、エネルギー・電力、情報、通信、交通、経済、安全、地震などの21世紀の最重要課題は、すべて多面的アプローチを必要とする広義の複雑系の問題である。1990年代にアメリカを中心に複雑系研究はブームとなったが、工学、産業、医学などの実学への本質的貢献はほとんどなかった。これに対して、本大規模研究計画は、これら実学を含む様々な科学・技術応用に関わる種々の複雑問題、複雑現象や複雑システムを対象として、それらを数理的に解明・解決する複雑系数理モデル学に基づく数理知の統合とその分野横断的科学・技術応用に関する、国際的にも卓越した大規模な研究を目的とする。まず、数理モデリングと数理解析によって、複雑問題の解決、複雑現象の理解、さらには複雑システムの制御、予測、最適化を目指す複雑系数理モデル学に基づいて数理知の統合のための基盤的枠組を構築する。同時に、その数理的方法論を様々な科学・技術分野で行なわれている多様な複雑系研究に応用して、種々の複雑問題の解決、複雑現象の理解、複雑システムの制御、予測、最適化に活かす具体的方法論を整備する。そして、これらの理論研究と応用研究との統合により、「複雑系数理モデル学に基づく数理知の統合とその分野横断的科学・技術応用」研究を完成させる。

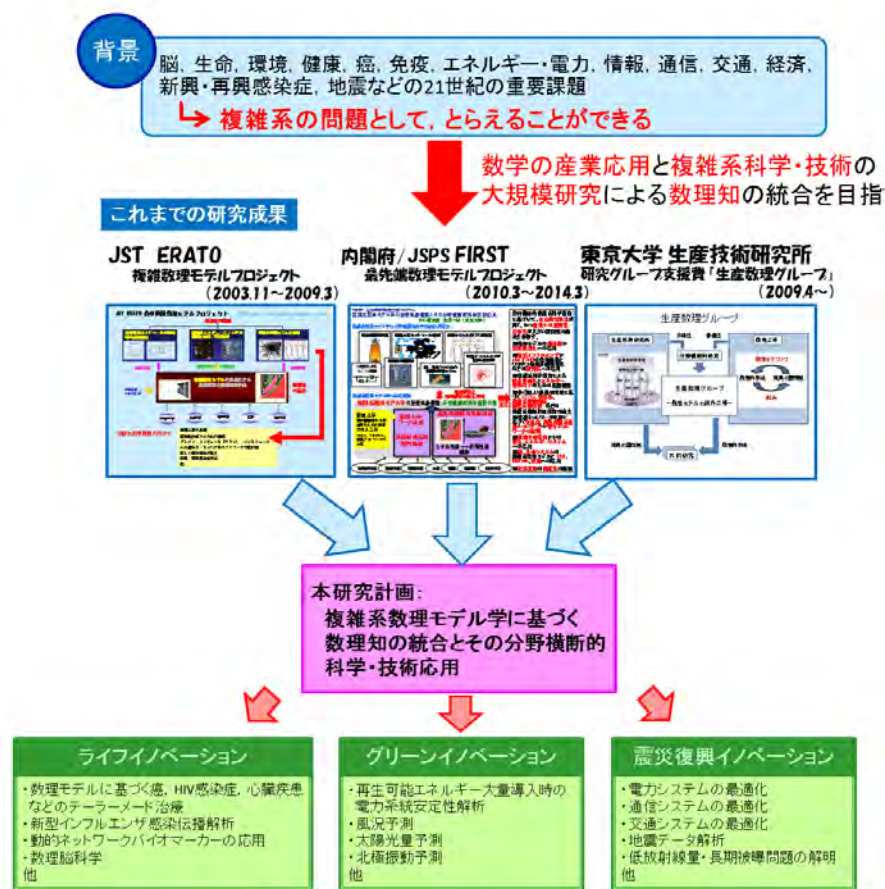
この目的のために、東京大学生産技術研究所の最先端数理モデル連携研究センターと東京大学大学院情報理工学系研究科数理情報学専攻を核としてこの大規模研究計画を運営し、関連する多様な諸分野との共同研究のためのコンピュータシステム等の設備を充実させるとともに、多分野の関連研究者とのネットワークを構築して、各研究成果および関連数理モデルやビッグデータを集積・統合化し、さらにコンピュータ上に公開して一般に広く活用できる数理的プラットフォームを構築する。

② 学術的な意義

本大規模研究計画は、第2次世界大戦後に東京大学工学部や京都大学工学部で生まれ、それ以来60年以上にわたって数学の工学・産業応用研究を担ってきた我が国独自の学問「数理工学(Mathematical Engineering)」や、数理工学の観点からカオス、フラクタル、複雑ネットワークなどの工学応用を目指す「カオス工学(Chaos Engineering)」、さらには現在東京大学生産技術研究所の最先端数理モデル連携研究センターで行なわれている内閣府/日本学術新興会 最先端研究開発支援プログラム(FIRST)「最先端数理モデルプロジェクト」の成果を基盤として、複雑系数理モデル学に基づく数理知の統合とその分野横断的科学・技術応用のための数理基盤をあらたに確立する点に、大きな特徴と独自性がある。

数理的基礎理論は、多くの課題へ応用可能な普遍性、分野横断性を有している。他方で、数理工学研究の基礎理論のアイデアは、個別応用問題に対応する数理モデルを駆使した課題解決型研究から得られる。したがって、理論研究と応用研究を同時にインタラクティブに遂行して数理的手法を確立し、さらに他の課題へ水平展開することが重要であり、この点が数理を基盤とする本研究計画の方法論としてのユニークな特徴である。

期待される研究成果は、実世界の多様な複雑系研究の基盤となる数理知の統合、そして、「ライフイノベーション」に関する癌、新型インフルエンザ、HIV感染症、動的ネットワークバイオマーカーや数理脳科学、「グリーンイノベーション」に関する再生可能エネルギー予測や気象解析(風況、太陽光量、北極振動など)、「震災」後に重要性を増した電力システム、通信システム、交通システム、地震データ解析、低放射線量長期被曝問題、さらには電気電子応用技術の基盤となるA/D変換、複雑系情報処理技術、脳型コンピュータなどの分野横断的科学・技術応用の多岐にわたる。



研究計画概略図

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

2006年5月に文部科学省・科学技術政策研究所によるレポート「忘れられた科学—数学」が発表されて以降、数学の産業応用への期待が高まっている。この様な状況を背景として、文部科学省・研究振興局・基礎研究振興課に基礎研究推進室／数学イノベーションユニットが設置されるなど、数学の産業応用を目指した様々な展開が見られる。他方で、これまでの科学・技術が取り残してきた問題として、広い意味での複雑系の問題が20世紀末より世界的に注目を集め、アメリカのサンタフェ研究所やドイツのマックスプランク複雑系物理学研究所のように20～30年にわたって複雑系に関する研究所が大規模な援助の下で運営されてきている。しかしこれらの研究は、主として物理学的な視点からの理論研究を目指して、工学、産業、医学などの実学の本質的進歩にはほとんど貢献していない。

本大規模研究計画は、これらの数学の産業応用と複雑系科学・技術を数理知として統合して分野横断的科学・技術応用研究に活かす点に、国際的に見てもまったく新しい独創性と新規性がある。

④ 所要経費

合計 32 億円

初年度：5 億円（初期投資：2 億円、運営費：3 億円）、2 年目～10 年目：3 億円／年（運営費）。

運営費として、人件費 1.5 億円（特任教員 5 名、研究員 10 名、技術員 3 名、研究支援総括 2 名、RA10 名）、物品費 1 億円、旅費・その他 0.5 億円、計 3 億円／年が必要となる。初年度は運営費に加え、研究実施場所の整備、数値解析用大型計算機の整備等、初期投資費用として 2 億円が必要となる。

⑤ 年次計画

初年度～2 年目：

- ・数理モデリングと数理解析による複雑問題の解決、複雑現象の理解、さらには複雑システムの制御、予測、最適化を目指す複雑系数理モデル学の体系化の拡充。

3 年目～8 年目：

- ・複雑系数理モデル学に基づく数理知の統合。
- ・複雑系数理モデル学の様々な分野横断的複雑系科学・技術研究への応用。

9、10 年目：

前年までの理論研究と応用研究との統合による、複雑系数理知の統合、および応用のための基盤となる数理的プラットフォーム完成と一般への公開。

⑥ 主な実施機関と実行組織

本大規模研究は、東京大学生産技術研究所と東京大学大学院情報理工学系研究科数理情報学専攻を主な実施機関として行なう。

東京大学生産技術研究所の最先端数理モデル連携研究センターが本研究計画の中核的役割を果たす。また、同研究所の生産数理グループは、生産技術研究所における数理的研究に関する研究交流の場として、2009 年 4 月から活動してきている。2013 年 4 月時点で 20 名の教員が所属しており、複雑系数理モデル学の実学応用の主要的役割を果たす。

東京大学大学院情報理工学系研究科数理情報学専攻は、東京大学における「数理工学」発祥の専攻であり、数学と諸科学・技術を橋渡しするための中心的役割を果たす。

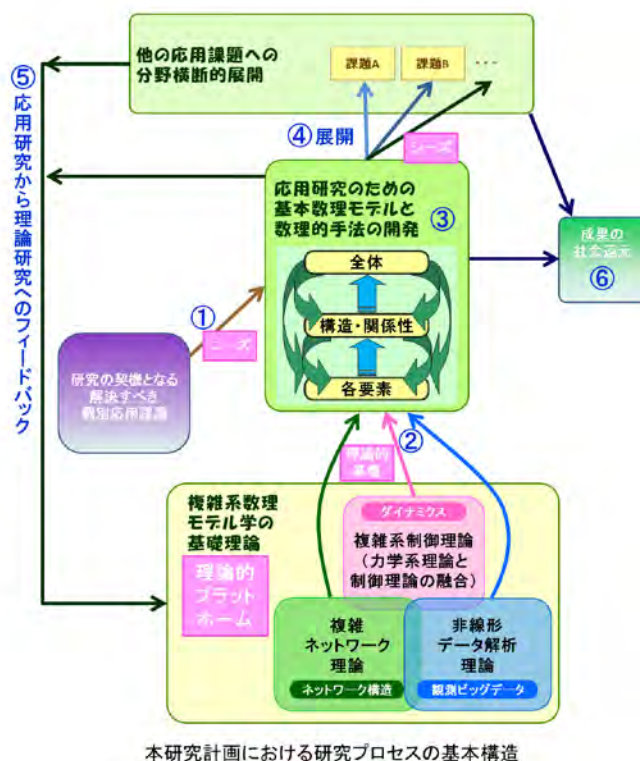
さらに現在進行中の内閣府／日本学術新興会 最先端研究開発支援プログラム（FIRST）「最先端数理モデルプロジェクト」に参加している東京大学大学院工学系研究科、情報理工学系研究科、数理科学研究科、新領域創成科学研究科、そして東京工業大学、東京電機大学、九州大学、京都大学、徳島大学、東京都市大学、九州工業大学、大阪大学、東京理科大学、理化学研究所、帝京科学大学、大分大学、大分工業高等専門学校、福井大学、広島大学、南山大学、立命館大学、明治大学、香川大学、名古屋大学、東北大学、工学院大学、早稲田大学などが基礎理論と科学・技術応用に関する個々の関連テーマを研究する。

⑦ 社会的価値

社会的には、前項で述べた様に、「ライフイノベーション」、「グリーンイノベーション」、「震災復興イノベーション」など多岐にわたる知的価値、経済的価値、産業的価値を創出することが期待される。また、数学が社会の役に立つことを実証的に示すことにより、中学生や高校生の数学への興味が大きく増すことも期待される。これは、内閣府／日本学術振興会・FIRST 最先端数理モデルプロジェクトにおいてこれまで活発に行なってきた中学生、高校生などへのアウトリーチ活動を通じて、予備的に実証してきた成果である。

⑧ 本計画に関する連絡先

合原 一幸（東京大学・生産技術研究所） aihara@sat.t.u-tokyo.ac.jp



マルチスケールで循環する水活用システムを実現する知の統合学

① 計画の概要

これからの科学技術には、エネルギー・環境・医療など社会的解決への貢献が強く求められている。これらの社会的課題は時空間的に様々なスケールで互に関連しており、多くの分野の知の統合を図り総合的かつシステムの的に検討していく必要がある。本研究では、特に「自然と循環し多面性を有する水」に注目し、それを生かした新しい生活環境空間を実現するためのプラットフォームの構築を目指す。

現在までの下水道においては、末端で生じた下水を下水道管に閉じ込めて処理場まで輸送し、集中処理する形態が最も合理的とされてきた。しかし、急速な進歩を遂げた計測・情報技術と水質浄化技術、現代における都市の諸問題、人々の感性と美意識なども考慮して水インフラを構築するのであれば、その姿は現在のそれとは大きく異なるものとなるであろう。例えば下水を配管に閉じ込めるのではなく、ローカルな汚水処理の後に地上に排出することで、ヒートアイランド問題の解決、都市の美観や利便性などにおいてもメリットを生み出し、新たな産業創出を喚起することが可能である。その実現には、システム設計手法に立脚し、人間の行動と心理、都市景観など広範囲に渡る英知を結集して全体デザインを策定し、政治の決断のもとで実行する必要がある。

本研究では、このような水循環システム革新を構想するための最良の人材を集め、新しい水活用インフラの設計図を描ききることを第一の目的とする。今後の10年間で活用できる要素技術を前提とし、目指すべき水活用システムの姿を明確にする。第二段階では、それらを実現するための要素技術開発を行い、様々な分野の事業者が本構想を実行するために必要となるノウハウを容易に引き出せるように情報化する。事業者が新規事業に取り組む際に必要となる基礎技術開発を学術研究が肩代わりし、複数の企業がその成果を活用するための知識共有・活用基盤を構築・提供する。

② 学術的な意義

現在の日本では、大学や複数の企業の英知を集積してトップダウン型のシステム設計を行い、それらの知識の集積を複数の企業が活用しながら国際的競争力をもって事業化を推進できる支援システムが強く求められている。このような方法論を確立することは、エネルギー、生活環境、都市交通など、大規模システムの根本問題を解決するために不可欠であるばかりか、世界の中での日本の産業競争力を高めるためにも必須のアプローチであると考えられる。

本研究は、水循環システムを具体的テーマとし、多分野の大学、企業による知識集積・活用のプラットフォームを確立するものである。特に、自然と循環し多面性を有する水を時空間的に異なるスケールを持つ階層化された動的システムとして捉えることにより、これまでと全く異なるアプローチでの社会的課題の解決に向けたシステム設計のための基盤構築を目指す。具体的には、最新のICT技術を前提とし、事業者が新規事業に取り組む際に必要となる基礎技術開発を学術研究が肩代わりし、複数の企業がその成果を活用するための知識共有・活用基盤を構築・提供する。このようなスキームは、大規模かつ公共性の高い諸問題を解決する共通の基盤となる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

水インフラや水環境の改善についてはすでに国内外に専門の学会が存在し、継続的に研究が進められている。伝統的な治水学・水理学や土木工学、汚泥・汚水の計測技術、ろ過技術に加え、近年では先進的なセンシング・制御技術



マルチスケール水循環システムの概念図
(SICE ビジョンプロデュースプログラム, 2011)

に基づく高機能な都市設計や、水に関する新しいビジネスも生まれてきている。しかし、都市における下水道システムの多くは、末端で生じた下水を下水道管に閉じ込めて（地上の衛生の確保に必要）処理場まで輸送し、集中処理する形態（コスト面での合理的な形態）をとっており、その前提から大きく逸脱することは現実的ではないと考えられている。

本研究は最新の計測・情報・水浄化技術と不完全情報を扱う制御およびシステム設計手法に立脚し、地表温度や降雨の予測技術、都市の人々の行動と心理、都市モビリティ、都市景観、など広範囲に渡る英知を結集して水活用の新しい姿を描き直そうとするものである。ここで描かれる水インフラの姿が新規であると同時に、要素技術のノウハウ共有によって複数の事業体が協力して公共性の高い大規模インフラを変革する知の統合スキームは従来に試みのない新規なものである。

④ 所要経費

5期10年間での総額は12,120百万円。

⑤ 年次計画

初年度において、プロジェクトの核となる「グローバル水利用システム研究センター」を設立する。その後も7年目までは年度ごとにテーマを設定し、本プロジェクトに参加する大学・企業グループの公募を継続する。

＜初年度＞ グローバル水利用システムセンターを設立、研究員を公募

初年度は研究センターを設立し、世界から専任研究員を公募する。センター運営の核となる数名の専任研究員を選定し、当該センターの広報活動を展開するとともに、学術・産業界におけるキーパーソンに対してヒアリング調査を行う。水システムのグランドデザインを策定する大学・企業グループの公募テーマを設定する。

＜2～3年目＞ グローバル水利用システムのグランドデザイン

本プロジェクトへの参加を希望する大学・企業グループの公募を継続しグループ全体での密な意見交換を通して本プロジェクトが目指す水システムの姿を明確化する。従来の枠にとらわれず、かつ実現可能な水システムの提案を目指す。年度ごとの議論を反映して公募テーマを設定し、段階的にプロジェクトを拡大する。

＜4年目＞ グローバル水利用システムのグランドデザインを確定し、要素技術開発を展開

4年目までにグランドデザインを確定し、開発すべき要素技術をリストアップする。それらの要素技術に関して再び公募を行い、要素技術の開発チームを編成する。

＜5年目以降＞ 行政と一体となった水利用システムの展開

5年目以降は行政と一体となり、新しい水利用システムの実社会での運用を段階的に開始する。

⑥ 主な実施機関と実行組織

本計画は以下の実行組織と参加メンバーによって構成される。

1) 研究センター

研究センターは中立的立場にある大学に設置する。センター設立時のコアメンバーとして、学術、産業界、行政の各分野に精通した少数のメンバーを厳選する。

2) 第1期および第2期メンバー

参加メンバーは公募およびコアメンバーによる指名により、大学、企業、行政のグループとして選定され、随時追加される。第2期までのメンバーは、基本構想を作成するメンバーである。基本構想は、知の統合化のスキームに関する基本構想と、水活用の具体的姿に関する基本構想の両方を含む。

3) 第3期から第5期のメンバー

第3期以降のメンバーは、基本構想に基づいて要素技術を開発するメンバーである。要素技術には、知の統合化のためのシステム開発と、新しい水活用を実現するための計測、通信、水質改善、地表温度や降雨の予測、都市の人々の行動と心理の把握、都市モビリティ、都市景観、等に関する要素技術の両方が含まれる。

⑦ 社会的価値

水ビジネスは近年注目を集めるビジネス領域であり、世界的な主導権争いが始まりつつある。しかし、日本国内においては従来から水ビジネスを手掛ける事業体が個別の事業を展開するのみであり、今後世界の中での競争力を獲得するためには、多様な分野の横断的な協力を支援する組織的な取り組みが必須であると考えられる。特に我が国にとって、東日本大震災で壊滅的な被害を受けた地域の生活インフラを再構築することは喫緊の課題である。効率的かつ明るい未来を展望できる新しい生活インフラに対するニーズは非常に強く、国民にとっては生活環境の飛躍的改善という多大な恩恵が得られる。また、産業界にとっては、世界の水ビジネスにおいて顕著な競争力を獲得することとなり、本研究計画への集中投資による効果が極めて大きい。

さらに、本研究計画はエネルギー・環境・医療といった既存の枠組みの中での解決を考えるのではなく、システム設計論の手法に基づいて広域的・複合的問題を根本的に解決する新しい取り組みのモデルケースとなるものである。ここで実証されるスキームは他分野の問題解決にも適用することができ、幅広い波及効果をもつ。

⑧ 本計画に関する連絡先

篠田 裕之（東京大学・大学院新領域創成科学研究科複雑理工学専攻） hiroyuki_shinoda@k.u-tokyo.ac.jp

食・素材・エネルギーとしてのバイオマスの徹底利用を実現し好循環型社会構築を目指す 分野横断的研究拠点の形成

① 計画の概要

持続的に発展可能な循環型社会の構築には、バイオマスの利活用が必要不可欠である。2003 年から「バイオマス・ニッポン総合戦略」に基づきバイオマス利活用に関する様々な政策が各省庁で個別に進められてきた。しかし、2011 年に初めて行われた政策評価で、全事業の 84%が効果的に実施されておらず、関連施設の約 7 割が赤字、など厳しい状況が指摘された。

主な原因は、個別の技術開発に焦点が当てられ、原料生産から収集・運搬、製造、利用までの全体システムを構築するという俯瞰的視点が十分に導入されなかったことにある。例えば、全体の物質とエネルギーの流れを把握せず、採算性向上のために製造プラントを大型化し、実際には稼働させる原料が調達できない、エネルギー供給や廃棄物処理、製品精製などのコストを考慮せずに経済性を評価し、実際には大きな赤字、などの問題が散見する。また、社会ニーズに即した対応を考慮せず、バイオマス由来製品の品質が不安定で実際には使う人がいない、などの問題もある。

本研究計画では、様々な分野に分散するバイオマスに関連する技術や知見、情報、社会ニーズを集約し、統合的・俯瞰的視点で捉え、広範な分野の学術知識を構造化させることで「知の統合」を図る。それにより、前述の問題点を解決し、食・素材・エネルギーとしてのバイオマスの徹底利用を実現、真の好循環型社会の構築を目指す。

具体的には、広範な学術分野の研究者の叡智を集めたネットワークと研究拠点を形成し、1) 食料供給や既存用途と競合せずバイオマスの特性に応じた多段階（カスケード）徹底利用を実現するプロセスの構築、2) 他産業の排熱や既存の配送網の利用など地域の産業構造や物質・エネルギーの流れ、市民ニーズを考慮した自立型社会システムの構築、3) 地球環境問題の解決に必要な広範な学術領域を踏まえて俯瞰的に物事を考察できる技術者の育成、に取り組む。

② 学術的な意義

バイオマスやエネルギーの利活用や循環型社会構築に関する学問は、いずれも多岐の分野で個別に進展している。日本学術会議でも、社会学、農学、食料科学、環境学、化学、総合工学、機械工学、土木工学・建築学、材料工学の分野別委員会などで各々類似研究が進められているが、必ずしも十分な連携が取られていない。特に、環境・経済・社会面からの統合的な評価や市民生活との関連にまで踏み込んだ議論は僅少である。これは各省庁においても同様であり、その結果、実施された様々な事業で有効な成果を得るに至らなかったと推測される。

化石資源は局所的に濃く存在する限られた資源であり、百数十年かけてこれを効率的に利用する世界共通の技術や学問が発展し、現在の社会が構築された。これに対し、バイオマスは広く薄く存在する再生可能資源であり、地域社会に応じた利活用システムの構築が重要となる。しかし、関連する学問はスタートしたばかりで、システム全体を俯瞰的に評価できる段階にまで至っていない。化石資源利用に匹敵するレベルまで短期間で発展させるには、広範な学術分野で個別に蓄積されつつある知見や情報の集約と強固なネットワーク形成、学術の融合が必要不可欠である。

例えば、技術に着目すると、現代生活に不可欠なプラスチックなどの化学品は、全て石油から酸化反応で合成されるが、バイオマスからは還元反応で合成されるため、従来とは異なる新たな基盤化学が必要となる。また、システムに着目すると、地域の産業構造や物質・エネルギーの流れを有効利用して原料生産から収集・運搬、製造、利用までの一貫システムを構築するには、適切な単位操作の選択と全体の物質やエネルギー収支を把握・評価する新たな融合学術領域「総合プロセス工学」などが必要となる。

このように、既存の学術基盤や領域を超えた新たな学術の融合や創生といった展開が必要となり、日本発の先進的な学術領域の構築に繋がる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

国内では、2003 年度から「バイオマス・ニッポン総合戦略」に基づき、バイオマス利活用に関する様々な政策が各省庁で個別に進められてきた。いずれもバイオマス変換のための新規技術開発が中心であった。しかし、2011 年に行われた政策評価で、全事業の 84%が効果的に実施されておらず、全体システムを構築するという統合的・俯瞰的視点が十分に導入されていなかったと指摘された。これを踏まえ、関連する 7 府省（内閣府、総務省、文部科学省、農林水産省、経済産業省、国土交通省、環境省）連携によるバイオマス活用推進会議が設置され、昨年 9 月に事業化戦略が示された。

本研究計画は、この国が示すバイオマス事業化戦略を具現化するために必要不可欠な広範な学術分野に分散する技術や知見、情報の集約と構造化を図り、共通基盤となる分野横断的な研究拠点の形成を目指すものである。

国外でのバイオマスに関連する研究動向は、前述の国内動向と同様である。そのため、世界に先駆けて統合的・俯瞰的な視点からバイオマスの多段階徹底利用を実現し、真の好循環型社会の構築を目指す本計画は、世界共通の研究基盤を与える。

④ 所要経費

総額 450 億円（初期投資 150 億円、運営費等 300 億円）

平成 26 年度 150 億円（センター建設・研究設備 120 億円、運営費等 30 億円）

平成 27-29 年度 120 億円（研究設備 30 億円、運営費等 30 億×3 年=90 億円）

⑤ 年次計画

第2期(5年)で、戦略の具現化に必要不可欠なバイオマスに関連する知見や情報を、研究領域毎ではなく、「原料(入口)」、「技術(製造)」、「利用(出口)」、「社会システム」に分割して集約し、統合的にデータベース化する。「原料」では、農林水産加工業や東日本大地震被災地で生じる廃棄物系バイオマスの徹底利用を第一目標とし、発生状況(量や時期、場所)を把握してマップ化、多段階利用のために重要な成分組成とその変動データを調査して蓄積する。「技術」では、各先端技術を原料と製品の化学物質名で整理し、触媒と変換条件、転化率、使用薬剤と排出物、プロセス構成など、開発者自身に入力を依頼し、詳細かつ厳密な情報を集約する。そして、要素技術の構造化を行い、物質やエネルギーの流れ、コストや環境影響を定量的に評価できるデータベースを構築する。「利用」では、各製品の品質とその変動性、長所・短所を詳細に調査する。また、代替する現状製品の性状と利用形態を調査し、バイオマス由来品の特長を活かした適切な利用法を提案できるデータベースを作る。「社会システム」では、いくつかの地域をモデルとし、産業構造、物質やエネルギーの流れ、市民ニーズなどを調査してデータ化する。また、社会実証試験の成果や問題点を集約し、事業化の障害となる地域特有の問題点を解析する。

⑥ 主な実施機関と実行組織

⑦ 社会的価値

バイオマス利用の現状

8. 主要なバイオマス利用技術の状況

① バイオマス利用技術には、直接燃焼等の単純なものから糖、発酵、ガス化、化学等の高度なものまで様々なものがあるが、これまで技術の発達レベル(研究、実証、実用化)や環境の改善が認められていない。

第4回バイオマス活用推進会議資料1-1 (H24.2.2)

バイオマス資源	製造技術	製品	技術開発の課題(例)
糖 糖液 (サトウキビ、コーン等)	糖化・発酵 [エタノール] [メタノール] [ブタノール]	ガソリン代替燃料 (エタノール等)	①糖化・発酵の最適化(原料、糖化、発酵、蒸留)の最適化 ②生産効率の向上、経費削減、プロセスの技術革新等
セルロース (薪、木質チップ)	ガス化・発酵	化学製品原料	①ガス化・発酵 ②生産効率の向上、経費削減等
油脂類 菜種、菜花、食用油脂	直接燃焼	熱・電力	①コストの削減、利用技術の開発
藻類等	熱分解・ガス化	熱・電力	①コストの削減、利用技術の開発
食品廃棄物	エタノール	エタノール	①コストの削減、利用技術の開発
家畜糞等(牛糞、馬糞)	メタン発酵	メタンガス	①コストの削減、利用技術の開発
稲藁等	直接燃焼	熱・電力	①コストの削減、利用技術の開発
稲藁等	糖化・発酵	エタノール	①コストの削減、利用技術の開発

② 関連論文数は現時点でも飛躍的に増加 (Web of Science検索結果H25.3.29)

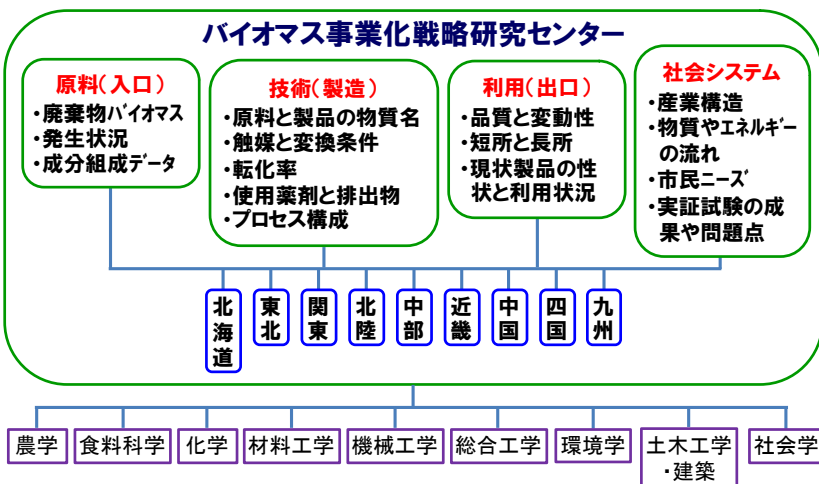
《問題点》

- 様々な分野で類似の製造技術が提案
- 原料バイオマス資源が食を含めて競合
- 燃料利用だけでは採算性なし
⇒特性に応じた多段階底利用が必須

研究計画の概要

様々な分野に分散している技術や知見、情報、社会ニーズを集約し、統合的・俯瞰的視点で捉え、広範な分野の学術知識を構造化させることで「知の統合」を図り、下記に取り組む

- 1.食料供給や既存用途と競合せず特性に応じた多段階利用を実現するプロセス構築
- 2.地域の物質やエネルギーの流れ、市民のニーズを考慮した自立型社会システム構築



⑧ 本計画に関する連絡先

国家戦略の具現化を目指し、1) ボトムアップ型の分野横断的統合データベースを構築、2) 原料特性に応じた多段階徹底利用と自立型社会システムを設計できるツールを確立

統合的リスク情報システム科学の確立と社会実装を加速するネットワーク型研究基盤構築

① 計画の概要

本計画の目的は、個別学術領域に分散する多様なリスク科学方法論を統一的に理解する統合的リスク科学の理念と体系、更にその教育システムを整備し、この学術を全国の研究教育機関が共同利用可能な仕組みを提供することである。特に、個別学術領域リスク関連ミクロ事象を集約概念としたリスクモード事象の網羅的整備を通じて、領域横断的あるいは領域を跨いだ連鎖リスクの分析・対応を可能とする機動的学術支援ネットワークシステムを世界に先駆けて構築する。

提供する統合リスク対応プロセスは、(1)全リスク分野で共有可能なリスクモードによる事象解釈、(2)リスクモード周辺の因果構造に関する知のデータからの発見と潜在している専門知の表出化、(3)リスクモードに関する因果構造の定量化、(4)多様な利害関係者が絡むシステムへのパレート最適リスク対応の可視化からなる。これに対応して、本計画では(1)リスク表出学、(2)リスク発見学、(3)リスク構造分析学、(4)リスク対応学 の4方法論を集中的に研究開発する4基幹研究拠点を、発見科学、データマイニング、数理科学、安全科学の異なるディシプリンに立脚する情報・システム学研究組織に構築する。更に、構築学術システムを多様なリスク研究分野へ機動的に展開し、分野を跨る複合リスク、連鎖リスクの対応方法検討を目的とした5実装拠点を構築する。また、これら統合的リスク情報システム科学を体系化し、専門家の系統育成と一般市民啓発とを旨とした教育システムとを開発し、次世代専門家育成プログラムを実行する教育拠点も1か所配置する。一連の研究、実装、教育拠点間の有機的連携研究活動を統括し、全国の研究者・実社会が抱えるリスク問題への科学的ソリューション実装の公募型共同研究事業を運営する中核的支援拠点を大学共同利用機関1か所に配置し、当該機関の責任で、統合的リスク情報システム学術体系の確立と全国共同利用を通じた実装を実現する。

② 学術的な意義

本計画により、先ず個別リスク科学領域の多様性を記述する明確な方法が確立する。すなわち、自殺予防学のように主として回避の条件を社会的に設計することでリスク対応を図る領域と、金融リスク管理のように期待効用最適化を通じて、リスク対応が図られる領域とを俯瞰的・統合的視点から特徴付け、その対応の差異の必然性を記述可能な定式化が確立する。

リスク構造分析学の期待成果として、故障モードを拡張した故障事象集約概念としての対象システムの「リスクモード」が網羅的に整備されることがある。従来のリスク学が対象とした個々の事象ではなく、集約的に抽象化・汎用化されたリスクモードを用いて議論を進めることで、個別リスク科学領域の専門家の知を他領域のリスク表出化プロセスで再利用することが可能となる。また、リスクモードとその原因・影響の対応関係に基づく、データからの知識発見学的方法論も導かれる。更に、領域横断的なリスク構造化が実現し、この構造化に基づくリスク対応戦略についても、領域に依存しない類型化が可能となる。また、利害相剋が生じる問題でのリスク対応の合意形成プロセスも透明化する。

これらの研究成果を体系化することで、リスク性事象発生的一般システムとしての理解が実現し、複数領域を横断する複合リスクや分野を跨ぐ連鎖リスクへの対応も系統的に設計できるようになる。また、統一的リスク対応設計を目的とした横断的専門教育カリキュラムの開発が可能となる。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

過去50年以上、国内外ともにリスクは多様な個別学術領域で研究され、その社会的対応方策が検討されてきた。このため学術を横断するリスクの対応を設計することが、困難となっているのが現状である。平成21年にリスクマネジメントプロセスとその基礎概念に関する国際標準が合意され、産業界ではリスクアセスメントからリスク対応までのプロセスが共有化された。しかし、この標準は抽象的な水準にとどまり、リスク対応に寄与する科学的方法論の標準化ではなく、様々なステークホルダーの存する複合リスク、複数領域に跨る連鎖的リスク現象への対応の実装に資するものでない。一方、横断的対応を目指す研究も、社会システム工学、情報学、数理科学など多様な分野に散在し、これら個別総合理工学的方法の適用は、リスクマネジメントの特定部位に限定され、プロセス全体を対象とした統合的リスクシステム科学形成は、国内外ともに実現していない。

本計画は、上記の課題の解決方法体系を世界に先駆けて全国の研究機関が共同利用可能な学術システムとして提供する。

④ 所要経費

平成25-31年度総額：33.3億円

平成25年度：6拠点立ち上げ経費：1.2億円

1中核支援拠点、4基幹研究拠点、1教育拠点整備費

内訳：

中核支援拠点データベース整備・拠点間情報ネットワーク、SNS形成費：4億円

教育拠点整備費：4億円（E-Learning教育プログラム開発環境整備）

4基幹研究拠点形成整備費：4億円（4基幹拠点センター設備経費）

平成25年度-平成31年度：定常研究運営経費合計：19.8億円（年間3.3億円×6）

運営費：1中核支援拠点、4基幹研究拠点、5実装拠点、1教育拠点、年間3.3億円

内訳：

設備運営費：8000万円

人件費：1.2億円

ソフトウェアシステム開発委託費：1億円

旅費：3000万円

平成27, 29, 31年度国際学会組織開催費：1.5億円（5000万円×3）

⑤ 年次計画

平成25年度

(1) 中核支援拠点である大学共同利用機関統計数理研究所に全国共同利用ならびに拠点の有機連携を統括する支援室を設置し、事業責任者と事務責任者とを置き、共同利用研究公募事業を開始する。

(2) 中核支援拠点、教育拠点、基幹研究拠点の6拠点に専任研究者を最低2名配置すると共に、特定有期雇用の若手研究者を2名ずつ配置し、ネットワーク上の6講座体制を確立し、所属部局を超えたリスクの知の統合に関する運営方針を確認する。

(3) 統合リスク科学実現プロセス提案を共有する5実装拠点を通じて、全国の関連研究者とのワークショップを早期開催し、研究理念の確立と実装拠点が属する個別リスク科学領域への統合的視点に基づく再体系化を実施する。このため、分野内の有機的共同利用研究を組織する。更に、分野を跨る重篤な個別リスクの連鎖への対応を明らかにする。

(4) 教育拠点の筑波大学大学院システム情報工学研究科リスク工学専攻で、E-Learningを活用した若手研究者研修プログラムを策定し、若手研究者の系統育成を開始する。

平成26年度以降：

中核支援拠点の調整下、基幹研究拠点が相互に協力して、統合的リスク対応プロセスに関わる公募型共同研究テーマあるいは実装拠点が重点的解決に当たる研究課題解決を支援する。各研究拠点に、教育拠点で研鑽を積んだ若手研究者の配置を開始し、個別科学領域での効果的リスク対応形成に関する課題解決研究を推進する。

平成31年度までに、教育拠点では、学位プログラムを前提とした教育システムの開発を終了する。

平成27年度、29年度、31年度

世界への先導的役割を果たすために、学際的研究者を招へいた国際会議を開催すると共に外部研究者による評価を受ける。

⑥ 主な実施機関と実行組織

中核支援拠点を大学共同利用機関法人情報・システム研究機構 統計数理研究所リスク解析戦略研究センター（NOE事務局組織）とし、本計画の責任機関とする。学術システム内拠点の連携をマネジメントすると共に、公募型共同利用研究事業を運営し、全国のリスク科学研究への方法論実装に責任を持つと共に、本計画の事務を統括。

教育拠点を筑波大学システム情報工学研究科リスク工学専攻（NOE運営委員長組織）とし、リスク情報システム科学の体系化、教育システム開発を行う。2008年に中核支援拠点と結んだ部局間協定を基に責任機関を支援。

基幹研究拠点を下記4拠点設置し、リスク情報システム科学の基幹要素の研究実施。

リスク表出学拠点：東京大学大学院工学系研究科システム創生学専攻

リスク発見学拠点：島根大学医学部医療情報部（NOE運営委員組織）

リスク構造分析学拠点：九州大学マス・フォア・インダストリー研究所（NOEメンバー）

リスク対応学拠点：明治大学安全学研究所（NOEメンバー）

関連データを保有する下記5実装拠点配置。リスク情報システム科学の実装と分野への展開、連鎖リスク対応の方法を開発。

地震・災害拠点：地震予知総合研究振興会

製品、プラント、輸送システム拠点：電気通信大学次世代品質信頼性情報システム融合研究ステーション（NOE運営委員組織）

食品・医薬品安全性拠点：国立医薬品・食品衛生研究所（NOEメンバー）

金融・経済拠点：同志社大学理工学部

自殺・健康影響拠点：国立精神・神経医療研究センター（NOEメンバー）

中核的支援機関が平成17年11月より運営した「リスク研究ネットワーク（NOE）」の加盟機関（19学協会、25研究機関）が研究推進協力組織となり、喫緊のリスク研究課題について公募型共同研究などを自ら組織、あるいは本学術システムの抱える研究課題に対する解決を支援する。

⑦ 社会的価値

東日本大震災と福島原発事故以来、国民は巨大なリスク性事象とその連鎖に対する科学的対応導出についての学術分野の混乱を十分認識している。この意味で、合理的リスク対応を導くための俯瞰的リスク科学形成は、安全・安心を希求する国民の期待に沿うものである。更に、この種のネットワーク型学術システムの常設は、巨大な社会リスクが発生あるいは発生が予測されるときに機動的な専門家の協力を通じて国民の期待に応えることもできる。

また、システム工学、発見科学、統計科学など情報・システム工学内でこれまで没交渉的であった学術分野が協同して、専門知に基づく演繹的方法とデータに基づく帰納的方法との架橋を形成しつつ、統合の知としてのリスク情報システム科学を構築する価値も大きい。

⑧ 本計画に関する連絡先

鈴木 和幸（電気通信大学情報理工学研究科総合情報学専攻） suzuki@se.uec.ac.jp

添付資料 8 「知の統合学」 関連分野への学術の大型研究計画の相互比較表

テーマ名	日本社会のインタラクティブデザインを実現する知の統合プラットフォーム「バーチャルJapan」構築（計画番号 160、学術領域番号 27-2） （工学基盤における知の統合分科会提案）	医用画像を中心とした診断治療支援スーパーブレインシステム（計画番号 132、学術領域番号 25-8）	「トレイグジスタンス社会」実現のための知の統合研究（計画番号 136、学術領域番号 25-9）	複雑系数理モデル学に基づく数理知の統合とその分野横断的科学・技術応用（計画番号 157、学術領域番号 27-2）	マルチスケールで循環する水活用システムを実現する知の統合学（計画番号 158、学術領域番号 27-2）	食・素材・エネルギーとしてのバイオマスの徹底利用を実現し好循環型社会構築を目指す分野横断的研究拠点の形成（計画番号 159、学術領域番号 27-2）	統合的リスク情報システム科学の確立と社会実装を加速するネットワーク型研究基盤構築（計画番号 161、学術領域番号 27-2）
①ターゲット問題	交通・物流（人・もの・情報の移動）問題を具体的なターゲットとして、交通の関連する社会的課題解決に活用	医用画像を中心として、多様なデータ等を統合した症例データベースを構築し、そのマイニング。統計学習等に基づく「診断治療支援スーパーブレイン」システムを開発	人間の能力を時間と空間を超えて伝えることのできる「トレイグジスタンス社会」を目指す	複雑系数理モデル学に基づいて数理知の統合のための基盤的枠組みを構築、具体的方法論の整備、理論研究と応用研究との統合	自然と循環し多面性を有する水（＝時空間的に異なるスケールを持つ階層化された動的システム）を活かした新しい生活環境空間の実現	バイオマスの徹底利用の実現	統合の知としてのリスク情報システム科学の構築により、リスクの知を統合、連鎖リスクの分析・対応
②実施に向けて克服すべき課題	新しい技術やシステム、社会制度を、多数の利害関係者が参加しインタラクティブかつ定量的にデザインし、社会実装に向けて社会的合意形成を促進するための、知の統合プラットフォームの構築	従来システムでは、最適な治療法選択・治療計画立案という高度な推論能力が必要とされる課題に着手できていない。また、シミュレーションの結果と実際の患者状態の関係を検証することが十分に行われておらず、最適診断・治療計画の導出に至っていない	技術的な問題、人との関係、社会の受容性、法的な諸問題の解決	1990 年代に複雑系研究はブームになったが、工学、産業、医学などの実学への本質的貢献はほとんどなかった	急速な進歩を遂げた計測・情報技術と水質浄化技術、現代における都市の諸問題、人々の感性と美意識なども考慮して水インフラを構築する 大学や複数の企業の英知を集積してトップダウン型のシステム設計を行い、それらの知識の集積を複数の企業が活用しながら国際的競争力をもって事業化を推進する支援システムが求められている	バイオマスに関連する技術や知見、情報、社会ニーズを集約し、統合的・俯瞰的視点で捉え、学術知識を構造化する。広範な学術分野に分散する技術や知見、情報の集約と構造化を図る。共通基盤となる分野横断的な研究拠点の形成を目指す	
③波及分野	現代日本の複合的課題の解決や影響軽減に役立つ	診断治療の数理的機序の解明、地域格差のない医療の提供や医学教育への活用	限りある地球のエネルギーを最小限に利用しながら、コミュニケーション、生産、医療、福祉、災害対応、レジャー等に役立つ	ライフイノベーション、グリーンイノベーション、震災復興イノベーション	エネルギー、生活環境、都市交通などの大規模システムの根本問題の解決に不可欠。日本の産業競争力を高めるためにも必須。	持続的に発展可能な循環型社会の構築	地震・災害、製品・プラント・輸送システム、食品・医薬品安全、金融・経済、自殺・健康影響

添付資料 8 「知の統合学」 関連分野への学術の大型研究計画の相互比較表

④コア技術	計算科学・計算力学シミュレーション、社会シミュレーション、データベース・知識ベース、センシング、インターフェース、統合化、ペタ・エクサスケールコンピューティング、クラウドコンピューティング、センサー、バーチャルリアリティ、インターフェース	情報学、臨床医学。特に、統計数理モデル、アルゴリズム、計算・通信方式、数千～万例規模のデータに対する臨床評価	計測制御、メカトロニクス、ロボティクス、バーチャルリアリティ、通信、ヒューマンインターフェース、認知心理、システムインテグレーション	数理工学、カオス工学、複雑系数理モデル学	最新の計測・情報・水浄化技術、不完全情報を扱う制御及びシステム設計手法、地表温度や降雨の予測技術、都市の人々の行動と心理、都市モビリティ、都市景観など	基礎化学、総合プロセス工学 総合的・俯瞰的な視点からバイオマスの多段階徹底利用の実現	
⑤関連分野 (統合すべき知の分野)	人間・社会系、生態系、自然環境、人工物・人工システム、交通・物流		情報メディア、ヒューマンインターフェース、ロボティクス、計測制御、通信、計算科学などの工学分野、生理学、実験心理学、社会学や法学などの人文社会学	数学の産業応用、複雑系科学・技術	システム設計手法、人間の行動と心理、都市景観、治水学・水理学、土木工学、汚泥・汚水の計測技術、ろ過技術、先進的なセンシング・制御技術、高機能の都市設計	社会学、農学、食料科学、環境学、化学、総合工学、機械工学、土木工学・建築学、材料工学、経済学、社会科学	横断的対応を目指す研究、社会システム工学、情報学、数理科学、発見科学、統計科学
⑥設計の視点	インタラクティブデザイン					自立型社会システムを設計できるツール	
⑦データベース	物理モデルデータベース、ヒューマンモデルデータベース、社会モデルデータベース	症例データベース				原料(人口)、技術(製造)、利用(出口)、社会システムに分けて、統合的なデータベース化	
⑧統合プラットフォーム	知の統合プラットフォーム「バーチャル Japan」	スーパーブレインシステム、ネットワーク型スーパーブレイン広域・学際的共同研究プラットフォーム	トレイグジスタンス共通プラットフォーム。拠点同士のどこからでもどこにでもトレイグジスタンスすることが可能。基盤として、ISO から公表予定のロボットに関する安全基準、ITU-T で勧告される予定のロボットサービス連携プラットフォームの国際標準を採用	多分野の関連研究者とのネットワークを構築、数理的プラットフォームを構築。各研究成果及び関連数理モデルやビッグデータを集積・統合化し、コンピュータ上に公開して一般に広く活用	多分野の大学、企業による知識集積・活用のプラットフォームを確立、大規模かつ公共性の高い諸問題を解決する共通の基盤	バーチャルネットワーク拠点	
⑨統合の仕組み	連携プロトコル、相互作用モデリング		自然科学に留まらず人文社会科学分野の国内		知の統合スキーム、グローバル水利用システム	知識や情報の集約と強固なネットワーク	

添付資料 8 「知の統合学」 関連分野への学術の大型研究計画の相互比較表

			外の専門家を集めた「知の統合専門家会議」を組織		ム研究センター	形成、学術の融合	
⑩ 総合の組織	東大工学系研究科と情報理工学系研究科に研究開発中核拠点を設立し、その周りに研究開発ネットワークを形成	スーパーブレインセンター	慶應義塾大学が中心となり、国内 5 拠点を通信網で結び、それを世界と結ぶ。	東大生産技術研究所の最先端数理モデル連携研究センターと東大情報理工学系研究科数理情報学専攻を核	グローバル水利用システム研究センター	バイオマス事業化戦略研究センター	