

(案)

報告

科学的知見の創出に資する可視化
—文理融合研究と新パラダイム策定—



令和2年（2020年）4月30日

日 本 学 術 会 議

総合工学委員会

科学的知見の創出に資する可視化分科会

この報告は、日本学術会議第 24 期総合工学委員会科学的知見の創出に資する可視化分科会 ICT 時代の文理融合研究を創出する可視化小委員会および可視化の新パラダイム策定小委員会での審議結果を踏まえ、総合工学委員会科学的知見の創出に資する可視化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科学的知見の創出に資する可視化分科会

委員長	小山田耕二	(第三部会員)	京都大学学術情報メディアセンター教授
副委員長	萩原 一郎	(連携会員)	明治大学先端数理科学インスティテュート (MIMS) 特任教授、研究知財戦略機構特任教授
幹 事	大倉 典子	(第三部会員)	芝浦工業大学学長補佐・工学部教授
幹 事	明和 政子	(連携会員)	京都大学大学院教育学研究科教授
	行場 次朗	(第一部会員)	尚絅学院大学総合人間科学系心理部門教授
	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
	越塚 誠一	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
	下條 真司	(連携会員)	大阪大学サイバーメディアセンターセンター長
	田中 覚	(連携会員)	立命館大学情報理工学部教授
	藤代 一成	(連携会員)	慶應義塾大学理工学部教授

ICT 時代の文理融合研究を創出する可視化小委員会

委員長	田中 覚	(連携会員)	立命館大学情報理工学部教授
幹 事	鹿内 菜穂		亜細亜大学経営学部講師
幹 事	長谷川恭子		立命館大学情報理工学部講師
	小山田耕二	(第三部会員)	京都大学学術情報メディアセンター教授
	明和 政子	(連携会員)	京都大学大学院教育学研究科教授
	安達 基朗		株式会社シュルード設計社長
	安藤 広志		NICT 脳情報通信融合研究センター脳機能解析研究室副室長
	尾上 洋介		日本大学文理学部准教授
	加藤千恵子		東洋大学総合情報学部教授
	北川 千夏		サイバネットシステム株式会社IoT・可視化ソリューション事業部スペシャリスト
	坂野 雄一		NICT 脳情報通信融合研究センター脳機能解析研究室主任研究員

坂本 尚久	神戸大学大学院システム情報学研究科准教授
鈴木 桂子	立命館大学衣笠総合研究機構教授
土田 賢省	東洋大学総合情報学部教授
畠中 靖浩	富士通株式会社 VR/AR ソリューション推進部 シニアマネージャー
宮地 英生	東京都市大学メディア情報学部教授
李 亮	立命館大学情報理工学部准教授

可視化の新パラダイム策定小委員会

委員長	藤代 一成	(連携会員)	慶應義塾大学理工学部教授
幹 事	伊藤 貴之		お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科 教授
幹 事	竹島由里子		東京工科大学メディア学部教授
	行場 次朗	(第一部会員)	尚絅学院大学総合人間科学系心理部門教授
	小山田耕二	(第三部会員)	京都大学学術情報メディアセンター教授
	蒲池みゆき	(連携会員)	工学院大学情報学部教授
	小林 広明	(連携会員)	東北大学大学院情報科学研究科教授
	五十嵐健夫		東京大学大学院情報理工学系研究科教授
	石川 博		早稲田大学理工学術院教授
	植村 誠		広島大学宇宙科学センター准教授
	大林 茂		東北大学流体科学研究所教授
	栗山 繁		豊橋技術科学大学情報・知能工学系教授
	小池 英樹		東京工業大学情報理工学院教授
	斎藤 隆文		東京農工大学大学院工学研究院教授
	斎藤 英雄		慶應義塾大学理工学部教授
	高橋 成雄		会津大学コンピュータ理工学部教授
	土井 章男		岩手県立大学ソフトウェア情報学部教授
	茅 暁陽		山梨大学大学院総合研究部工学域教授
	三末 和男		筑波大学システム情報系教授
	森島 繁生		早稲田大学理工学術院教授
	森 眞一郎		福井大学大学院工学研究科教授
	山口 泰		東京大学大学院総合文化研究科教授

本提言の作成にあたり、以下の職員が事務及び調査を担当した。

事務	犬塚 隆志	参事官（審議第二担当）
	五十嵐久留美	参事官（審議第二担当）付参事官補佐
	横田 真理江	参事官（審議第二担当）付審議専門職付

要 旨

1 作成の背景

本報告は、可視化のあるべき姿を考えるために、総合工学委員会が第 23 期に公表した提言「科学的知見の創出に資する可視化に向けて」（平成 29 年 8 月 8 日付）に盛り込まれた提言の具体的実践に焦点をあてて展開してきた「科学的知見の創出に資する可視化分科会」の活動成果をとりまとめるものである。

2 現状及び問題点

ビッグデータ・オープンデータ時代において、人間がデータに記述されている対象を認識するために可視化の重要性がより広く理解されている。また、深層学習技術を中心とする人工知能時代の再来によって、可視化に対して、さらなる期待が加わった。しかしながら、可視化をどう評価するか、可視化研究コミュニティをどう形成していくか、そして科学教育に可視化をどう活用するのがよいかについては、十分な議論が行われているとはいえない。

3 報告の内容

(1) 日本学術会議活動の俯瞰的可視化

同提言に盛り込まれた社会的データの効果的な可視化の事例については、日本学術会議の提言文書 285 件を SDGs の参照等を通じて自動分類・可視化し、各目標に対して均等に文書が配分済みである。

(2) 可視化公開シンポジウムシリーズの開催と<<学術の動向>>特集の出版

「科学的知見の創出に資する可視化」と題する公開シンポジウム（以下では「可視化公開シンポジウム」と記す）については、これまで計 3 回開催している（平成 30 年 12 月、令和元年 7 月、令和元年 12 月）。さらに、第 1 回の講演・パネル討論の内容を踏まえて、学術誌<<学術の動向>>24 巻、4 号、日本学術協力財団、平成 31 年 4 月で、4 編の総説から構成される「科学的知見の創出に資する可視化」と題する特集を刊行済みである。

(3) 2 種類の小委員会活動

小委員会については、「ICT 時代の文理融合研究を創出する可視化小委員会」ならびに「可視化の新パラダイム策定小委員会」を設置し、各々のテーマにそって、可視化研究・利用の現状分析ならびに上記の可視化公開シンポジウム/雑誌特集等の企画について審議済みである。

目 次

1	可視化分科会の役割と目的	1
2	可視化分科会の諸活動	2
	(1) 日本学術会議活動の俯瞰的可視化	2
	(2) 可視化公開シンポジウムシリーズの開催	3
	(3) <<学術の動向>>特集の出版	3
3	小委員会活動	5
	(1) ICT 時代の文理融合研究を創出する可視化小委員会	5
	① 文化財のデジタルアーカイブを推進するための可視化	5
	② 心の可視化	8
	③ 人文科学を支援する可視化	11
	(2) 可視化の新パラダイム策定小委員会	12
	① 可視化パラダイムの必要性	12
	② データフローパラダイム：90 年代のスタンダード	13
	③ 可視化発見プロセスモデル：21 世紀のスタンダード	14
	④ 非専門家のための可視化へのシフト	16
	⑤ 可視化パラダイム策定の鍵	18
4	第 25 期の新たな提言に向けて	19
	<用語の説明>	20
	<参考文献>	21
	<参考資料 1> 審議経過	24
	<参考資料 2> 可視化公開シンポジウム開催	25

1 可視化分科会の役割と目的

ビッグデータ・オープンデータ時代において、人間がデータに記述されている対象を認識するために可視化の重要性がより広く理解されている。また、深層学習技術を中心とする人工知能時代の再来により、可視化に対して、さらなる期待が加わった。しかしながら、可視化をどう評価するか、可視化研究コミュニティをどう形成していくか、そして科学教育に可視化をどう活用するのがよいかについては、十分な議論が行われているとは言い難い。

そこで総合工学委員会では、第23期において、可視化のあるべき姿を考えるために提言「科学的知見の創出に資する可視化に向けて」[1]を作成し、平成29年8月8日付けで公表した。本分科会「科学的知見の創出に資する可視化分科会」（以降、可視化分科会と略す）では、その提言内容の具体的実践に焦点をあてて活動を展開してきた。

2 可視化分科会の諸活動

可視化分科会の活動は、下記の通り、大きく三つに大別される。

- 1) 日本学術会議活動の俯瞰的可視化
- 2) 可視化公開シンポジウムシリーズの開催
- 3) <<学術の動向>>特集の出版

(1) 日本学術会議活動の俯瞰的可視化

総合工学委員会では、第23期に「社会的課題に立ち向かう「総合工学」の強化推進」と題した提言[2]を公表し、『学術が社会に対して責任をもつためには、社会の声を聞き、社会が何を求めているのかを深く知るための努力が必要である』と述べている。本分科会の前身である、総合工学委員会・機械工学委員会合同 計算科学シミュレーションと工学設計分科会及びポストペタスケール高性能計算に資する可視化処理小委員会では、同時期に「科学的知見の創出に資する可視化に向けて」と題する提言[1]を公表し、そのなかで『国は、政策意思決定における科学的手法の活用において、膨大なデータからエビデンスを発見するための有用性に鑑み、可視化技術の利活用に積極的に取り組むべきである』と述べている。それを受け、当分科会では、社会的期待を的確に把握するために、社会的データを効果的に可視化することを目標に掲げている。

その活動のひとつとして、日本学術会議の提言文書285件を機械学習技術によりベクトル化し、国連の持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals、SDGs）に設定された17ゴールとの類似度に基づき文書を自動分類した[3]。その結果、各ゴールに対して概ね均等に文書が配分された。同様の方法による内閣府の第5期科学技術基本計画記述100項目の分類結果との比較においても、日本学術会議の提言文書は、より幅広い分野の課題に言及していることが数値的に示された。

技術的な観点では、いくつかの提言をSDGsの観点から人手によって分類し、その情報に基づき、すべての提言を自動的に分類した。さらに、その分類結果を東京大学の授業カタログで利用されている「MIMAサーチ」とよばれるツールで可視化した。図1にその可視化事例[3]を示す。この可視化においては、類似度の高いものが小円として互いに近接して配置されるように表示され、クリックすると全文テキストを含む情報が表示されるようになっている。提言は、対応するベクトルのコサイン類似度に基づき分類した。また、本分析の結果、SDGsの観点では分類されなかった提言における重要キーワードを抽出することもできた。

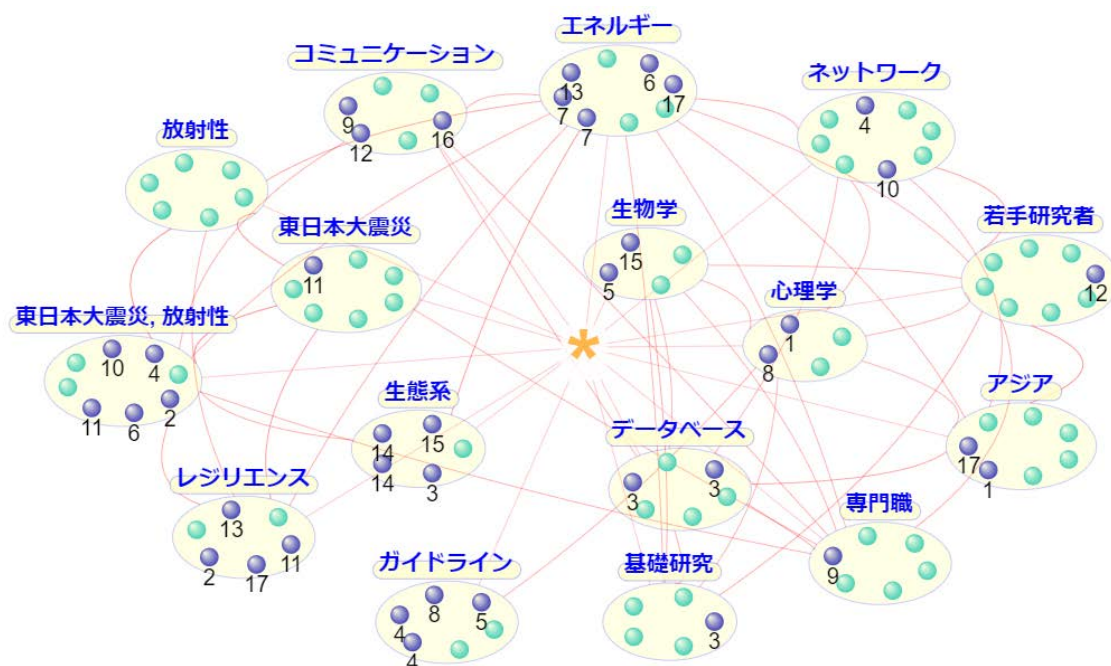


図1 日本学術会議提言概要の文書データの可視化

(出典) 科学的知見の創出に資する可視化分科会作成

(2) 可視化公開シンポジウムシリーズの開催

本分科会は、「科学的知見の創出に資する可視化」と題する公開シンポジウム（以下「可視化公開シンポジウム」と記す）をこれまで計三回開催してきた（参考資料2参照）。

第1回：平成30年12月15日 日本学術会議講堂

「日本発の可視化研究ブレイクスルーに向けて」

第2回：令和元年7月13日 日本学術会議講堂

「新しい可視化パラダイム」

第3回：令和元年12月15日 立命館大学・大阪いばらきキャンパス

「新しい文理融合研究を創出する可視化」

各回とも、個々に設定されたサブテーマにそって、意欲的な研究活動を展開している複数の研究者に招待講演を依頼するとともに、講演者や司会者、分科会・小委員会のメンバをパネリストとするパネル討論を実施してきた。

なお、今期中に第4回目も開催することが、令和2年3月26日第288回幹事会で承認されている。その開催趣旨は4節でふれる。

第4回：令和2年7月4日 日本学術会議講堂

「6エリアモデルと新たな計算パラダイム」

(3) <<学術の動向>>特集の出版

上記の第1回可視化公開シンポジウムでの講演・パネル討論の内容を踏まえて、学術誌<<学術の動向>>（日本学術協力財団）で、以下の特集を組み、刊行した。

特集2 科学的知見の創出に資する可視化

—日本発の可視化研究ブレイクスルーに向けて—

24 巻、4 号、55 頁—77 頁（2019 年 4 月）

特集では、データ可視化分野の先端技術と研究の歴史的・国際的傾向を概観した後[4]、文化財の保存と有効活用[5]ならびに認知科学・心理学との関連[6]に加えて、オープンデータ可視化の代表的事例としての日本学術会議の提言の俯瞰的可視化[3]という三つのテーマに焦点を合わせて、可視化を中核とした新たな文理融合研究の可能性を探った。

なお、第2回・第3回の可視化公開シンポジウムでの成果を取り上げ、日本シミュレーション学会誌、39 巻、3 号（令和2年9月発行）で、「文化と可視化」（仮題）と題する小特集も組む予定である。

3 小委員会活動

本分科会には、以下の二つの小委員会が設置されている。

- 1) ICT 時代の文理融合研究を創出する可視化小委員会
- 2) 可視化の新パラダイム策定小委員会

本節では小委員会ごとにその活動内容を報告する。

(1) ICT 時代の文理融合研究を創出する可視化小委員会

文理融合研究の重要性が謳われているが、現状では、理系と文系の研究者が単に共通の研究対象を扱うなどの文理「連携」レベルの研究プロジェクトが多い。一方、近年、理系文系を問わず研究対象データが複雑化・ビッグデータ化しつつあり、理系と文系の両方の強みを活かした本来の意味での文理融合研究が必須となっている。本小委員会では、可視化を共通言語とした真の意味での文理融合研究のモデルに関して、提言をまとめることを目指している。文理融合研究には極めて多くのパターンがあり、その全てを網羅することは不可能である。そこで本小委員会では、ビッグデータの可視化が必要になる文理融合研究を対象とし、①文化財のデジタルアーカイブを推進するための可視化、②心の可視化、③人文科学を支援する可視化、の3点を中心に議論を行う。以下では、それぞれの議論の概要を報告する。

① 文化財のデジタルアーカイブを推進するための可視化

近年、有形・無形を問わず、人類の資産である貴重な文化財を、計算機で扱えるデジタルデータとして永久保存するプロジェクトが、世界の多くの国で進められている。保存されたデータは文化財のデジタルアーカイブとよばれる[7]。デジタルアーカイブを作成する第一の目的は、経年劣化しない形で文化財を永久保存すること、第二の目的は、文化財を、閲覧しても劣化の心配が無いデジタルコンテンツとして公開し、文化や歴史などの研究資源として利活用することである。例えば、文化財をバーチャルリアリティ（Virtual Reality: VR）の技術を用いて仮想空間内で可視化し、これをインターネットともリンクさせた「デジタルミュージアム」として公開する試みもある[8]。

上述のような文化財の可視化は、文化財を計測して得たデジタルデータを用いて行われる。近年では、計測技術の進歩により、非常に精密なデータが得られるようになった[9][10]。例えば、巨大な仏教寺院や仏像の立体形状は、レーザー計測や多視点写真撮影、計測機器を搭載可能な小型無人航空機（通称ドローン）により、容易かつ精密にデジタル保存できる。また、舞踊などの無形文化財も、モーションキャプチャなどの技術により時系列デジタルデータとして保存可能である。このように、文化財のデジタルアーカイブ作成は、近年の計測技術や ICT の発達により、極めて容易かつ高精度になっている。一方で、その容易さと高精度さゆえに、取得されるデータは急速に複雑化・大規模化している。すなわち、現在に至っては、従来は文系の分野であった考古学や美術史学などであっても、ビッグデータを扱わざるを得なくなってきてい

るのである。文化財をデジタル保存したデータは、文化ビッグデータともよばれる。例えば、世界遺産となっているような大規模な寺院建築の3次元計測などでは、数十億点の3次元的な点のデータが取得される。このことから現代は、大規模・精密なデジタルデータを第一次資料として文化の研究を行うべき時代だといえる。このような研究は、伝統的な人文社会学の研究手法ではもはや遂行が困難である。したがって、ICTの恩恵を活用した文理融合的な新しい研究手法を確立する必要がある。文化の研究においては、今や文理融合研究は、「やったら面白い」というレベルの話ではなく「マスト (must)」であるといえる。

第1回日本学術会議可視化公開シンポジウムにおける講演「文化遺産の記録と再現——『コト』のデジタルアーカイブ——」¹ (立命館大学名誉教授・八村広三郎氏)のなかから、可視化を中核とする新たな文理融合研究を確立するための糸口を得ることができる。八村氏の講演では、氏自身が中核メンバとして進めた、京都・祇園祭のデジタルアーカイブ化とその利活用に関するプロジェクトが紹介された[11]。祇園祭はすでに千年の歴史を有する世界的にも稀有かつ大規模な伝統行事であり、京都という町にとっては、その歴史・文化の縮図ともいえる多彩な内容を含むものである。これをデジタルアーカイブ化するのであれば、有形文化財と無形文化財の両方をデジタル保存しなくてはならない。例えば、祇園祭のハイライトである、様々な美術工芸品で装飾された計33基の「山」あるいは「鉦」とよばれる山車が京都市内巡る「山鉦巡航」を考える(図2)。まず、有形文化財である山鉦の立体形状を、レーザー計測や多視点写真撮影を用いた3次元計測を用いて精密にデジタル保存する。また、毛織物である山鉦の懸装品を、超解像度のカメラを用いて、毛織物の繊維の一本一本まで確認できるほど高精細に記録する。これらは有形文化財のデジタルアーカイブ化であり、「モノ」の保存とよばれる。一方で、京都市内の巡航ルートを進む山鉦の、場所によって異なる祇園囃子の演奏を、現場での聞こえ方を含めて正確に記録する。さらに、祇園祭最大の見せ場である辻回し(方向舵がない山鉦を、青竹を敷いた上に車輪を乗せて向きを変えること)の際に山鉦に乗る人が感じる揺れを、振動センサーで記録する。これらは無形文化財の保存であり、「コト」の保存とよばれる。そして、ここ数年で急速に発達したVR技術を用いれば、保存されたモノとコトを合わせた祭り全体を、高度な臨場感をもって可視化できる。このようなモノとコトが融合した可視化は、伝統的な博物館などでは実現が困難であり、一方で、ICTを基盤とするデジタルミュージアムが得意とするところである。

¹ 題名は原著表記を利用



図2 祇園祭・山鉾巡行のデジタルアーカイブ活用
(出典) ICT 時代の文理融合研究を創出する可視化小委員会作成

ICT が可能にするコトの保存と可視化については、以下のように考えられる。可視化の従来技術でコトの可視化と最も関係が深いのは、時系列データの可視化といえる。時系列データの可視化は、近年の可視化研究における重要テーマのひとつであり、多くの技術の蓄積がある。そのため、可視化を活用した新たな文理融合研究の糸口が含まれていると考えられる。例えば、祇園祭に関して言えば、山鉾の組立過程の半透明可視化という試みがある[12][13]。山や鉾は、毎年の巡航前に部材を組み立てて作られ、巡航が終わると分解されて専用の蔵に保存される。毎年の山鉾を組み立てる作業は「山鉾建て」とよばれ、それ自体が祭りの一部、すなわち無形文化財である。山鉾建てには3～4日かかる。その過程で毎日定時に3次元計測を行うと、山鉾建ての過程を記録した時系列データを取得できる。これらのデータを順に可視化すれば、これはコトの可視化となる。しかし、山鉾建ては主に、下から上、中から外の順に組立が進む。このため、完成時の状態では、初日に組み込んだ部分は隠されて見ることができない。しかし、可視化分野で最近開発された、大規模点群データの半透明可視化の技術を用いれば、内部を見ることが可能である(図3)。さらに、この半透明可視化では、完成した最後の状態の可視化において、最初の方で組み込んだ部分、すなわち「過去」も見えている。このような4次元可視化は、様々な時系列的な分析に有効であるといえる。



図3 祇園祭・八幡山の半透明可視化

(出典) ICT 時代の文理融合研究を創出する可視化小委員会作成

前世紀末に始まり今世紀に入って大きな進展を遂げた、計算機を用いた可視化の技術は、当初は科学・工学すなわち理系分野において、実験やシミュレーションのデータ解析などに活用されてきた。これは、科学・工学が扱うデータの多くが複雑な内容を記述しており、かつ、その時々時代のビッグデータであったためである。このような可視化利用は、科学技術可視化 (scientific visualization) とよばれる。一方、近年、コンピューティングと人文科学を融合させた「デジタルヒューマニティーズ」という新たな文理融合の研究分野が生まれている[7]。デジタルヒューマニティーズ分野で文化ビッグデータを扱うために、可視化は必須の技術であり、そのための研究開発を、積極的に進める必要がある。

② 心の可視化

現代では、職場におけるストレスチェックの義務化、ユーザ・エクスペリエンスを

考慮した製品設計、スポーツ選手に対するメンタルトレーニングなど、生活のあらゆる場面で心理測定・評価の重要性が高まっている。従業員や消費者、スポーツ選手といった個人が最大限のパフォーマンスを発揮するためには、自分自身や他者の心理的健康をマネジメントする、という視点が必要不可欠である。これに伴い、自他の心理状態を理解するための心理測定・評価技術にも、大きな期待が寄せられている。

一般的には、心理状態の定量的・客観的な評価手法として、心理尺度を用いた調査が数多く行われている。心理状態を数値データの形でとらえ、統計的な分析を可能にする尺度により、対象者の性格や気分、ストレス・不安傾向など、様々な心理的特徴を理解することができる。これに加えて、心理尺度ではとらえきれない、個別具体的な対象者の心理状態や変化の様相を明らかにする手法として、インタビューなどの質的調査も必要不可欠である。特に、心理面に関わる問題や、その要因も多様化しつつある昨今では、質的調査により対象者の心理をより深く理解することが求められている。

しかしながら、インタビュー調査の実施、ならびに結果の解釈は、専門的なスキルに基づいてなされるものである。そのため、専門家の手でインタビュー調査が行われたとしても、その結果を誰もが理解し、活用できるとは限らない。心理尺度による調査とインタビュー調査は、並行して行われることも多いが、インタビュー調査の結果について定量的な分析・評価を実施した研究は少ないのが現状である。すなわち、質的調査の結果を正しく理解できるか否かは、実験者の経験やスキルに左右される部分が大きいといえる。質的調査から得られた知見を日常生活に還元していくためには、調査結果、すなわち対象者の心理について、スキルの有無に関わらず、誰もが理解できる表現方法を考える必要がある。そこで、「心理状態をわかりやすく可視化する」ことが必要になる。以下では、本小委員会での分析に基づき、そのような可視化に関して現在行われている先駆的な試みを三つ紹介する。

第一に、カウンセリングの統計解析のための可視化である。例えば、近年では、対面でのカウンセリングに加えて、オンライン上でカウンセリングを受講できる Web カウンセリングが注目を集めている。相談の項目を、「希死念慮」、「無気力」、「不眠」、「不安」などに分類し、地域、季節などで、どの項目が多いか、あるいはその変動の傾向などを、統計的な解析を絡めた可視化によって分析する試みがなされている[14]。Web 上のオンラインシステムでは、容易にビッグデータが取得できる。これは、現代の ICT の恩恵ではあるが、その解析には、やはり、ICT の力を活用した可視化が必須である。

第二に、カウンセリングのプロセスの可視化である。これは、時系列データの可視化となる。上の文化財のデジタルアーカイブデータの可視化の項でも述べたように、時系列データの可視化は、現代の可視化技術が得意とするところである。近年の可視化技術を用いれば、カウンセリングにおける会話の流れを容易に可視化することができる[15]。カウンセリング場面では、クライアント側の発話内容から心理状態を理解することが必要不可欠とされる。同時に、カウンセリング中のカウンセラーからの発

話は、クライアントの発話内容に大きな影響を与える。そのため、新人カウンセラーのスキルトレーニングは極めて重要となる。そこでカウンセラーの質問と、それに対するクライアントとのやりとりといった一連のプロセス（会話の流れ）を可視化することでカウンセラーを支援できる。また、新人カウンセラーは自分の関心にしがってカウンセリングを進め、自ら作り上げた解釈内容をクライアントに確認することを目的として、Yes/No で答えられる「閉じられた質問（close-ended question）」を多用しがちとなる。また、クライアントの思考範囲を制限してしまうだけではなく、カウンセラーの解釈を押しつけてしまうことが少なくない。そこで、熟練カウンセラーが新人カウンセラーのカウンセリング内容に対して指導するスーパービジョンの機会が設けられている。そのなかで、新人カウンセラーが自らのカウンセリングについて適切なフィードバックを得られるように、カウンセリング中の質問とそれに対するクライアントの発話量と発話内容の推移を可視化する試みもある。

第三に、可視化の心理分析や心理療法への応用が考えられる。心理テストの古典的な手法のひとつに「バウムテスト」がある。これは、クライアントに1本の実がなる木を書いてもらい、それをカウンセラーが見てクライアントの心理を分析するものである。より複雑な絵を描かせて心理分析と治療に利用する「絵画療法」もある。また、立体的な物を用いる心理療法として、「箱庭療法」というものもある。これは、クライアントに砂と様々な人形や小物を用いて箱庭を作らせ、その箱庭の造形を見て、カウンセラーが心理分析や心理的な治療を行うものである。これらの心理テストや心理療法は、いずれもビジュアルな媒体を用いた心理テストであり、可視化との関連がつけやすい。現代の高度に発達した可視化技術を用いれば、様々な新しい心理テストを考案できるはずである。例えば、ひとつの試みとして、VRを用いた「箱庭療法」という試みがある[16]。これは、クライアントが作成した箱庭を、利用後に破棄せずに3次元計測して精密保存し、保存したデータを改めて可視化するというものである(図4)。これにより、クライアントには新たな気付きを与え、カウンセラーには心理分析の支援を与えることができる。クライアントが時間をおいて作成した複数の箱庭を計測して時系列データとして保存し、心の状態変化を可視化することもできる。



図4 箱庭療法の箱庭の可視化

(出典) ICT 時代の文理融合研究を創出する可視化小委員会作成

医用可視化は、通常、人体内部の可視化を意味する。これは、医師の手術計画策定や患者へのインフォームドコンセントのための、人体内部の可視化、つまり身体（からだ）の可視化である。一方、ヒトの心を扱う精神医学への可視化の応用は、あまり進んでいない。現代社会における精神医学の重要性に鑑みても、心の可視化は重要であり、かつ、大きな可能性がある。過去においては、身体の可視化もそれほど多くは利用されず、伝統的なレントゲン写真の利用が中心の時代が長く続いた。しかし、現在では、ボリュームレンダリング、VRなどを駆使した高度な可視化が活用されている。以上のことから、心の可視化は、可視化研究の次のターゲットとして注目されているといえる。

③ 人文科学を支援する可視化

文理融合研究を行う場合、人文科学あるいは人文社会学といった「文系」の学問と、自然科学や工学といった「理系」の学問の目指すところの違いを理解する必要がある。それぞれの目指すものを踏まえて、文系と理系の両方に Win-Win の成果をもたらすものでなければ、真の文理融合研究は成り立たない。理系の学問では、何らかの新規性を発見し、実証することが主たる目的である。その新規性は、新たな法則や新たな装置などの、文字通り新規なものである。文系の学問でも、新規性はもちろん重要である。しかしそれは、知識の新たな体系化あるいは新たな視点での智の再構築といった側面が強い。このため、多くの文系の学問領域ではデータベースの構築が重要である。

上記の文系と理系の違いを踏まえて、可視化の有用性を考える。人間が研究対象を「理解した」と認識するのは、それがどのような対象であれ、脳内に何らかの明確なイメージが描けたときである。したがって、可視化は、それ自体で、手法や目的が異なる文系と理系の共通言語となり得る。加えて、文系の学問が知識の体系化を使命と

しているのであれば、その体系化を実装したデータベースの可視化が重要となる。日本学術会議提言概要の文書データをクラスタリングして可視化した例（図1）のように、複雑な構造を有するデータをビジュアルに表現するために、現代の情報可視化（information visualization）の技術は有用である。この方向での可視化技術の発展が、真の文理融合研究を日本に根付かせる鍵となると考えられる。

(2) 可視化の新パラダイム策定小委員会

分野横断型のデータ可視化技術は、1980年代後半に欧米の研究機関から発信が開始され、四半世紀をかけてあらゆる学理に浸透してきた。その技術を今後さらに発展させていくためには、新たな計算パラダイム（基本理念）を策定する必要がある。そこで本小委員会では、第23期の提言[1]を基軸に据え、可視化と接点をもつ情報学周辺の最新シーズの利活用に加え、可視化が重要な役割を果たしてきた代表的な応用分野からの新たなニーズの発掘、そして可視化情報の最終評価者である人間の本質的理解の、互いに直交する三方向からこの課題にアプローチし、新たな提言に繋げていく試みを続けてきた。

本小委員会の審議事項は以下の三点に係ることに要約できる。

- 1) 可視化と接点をもつ情報学周辺の最新シーズの利活用の調査
- 2) 代表的な可視化応用分野からの新たなニーズの発掘
- 3) 可視化情報の最終評価者である人間の本質的理解

以下、1) から 3) を体系的にまとめるうえで重要な基盤を与える可視化パラダイムに着目し、説明する。①でその必要性について述べたのち、②から④で可視化パラダイムがこれまでどのように変遷してきたかについてまとめる。最後に⑤で、今後の有望なパラダイム策定の鍵となる事項にふれる。

① 可視化パラダイムの必要性

計測や数値シミュレーションから得られるデータに潜在する対象の特徴的な構造や挙動に関する情報を効果的に捉えようとするコンピュータ可視化（以後、可視化と略す）は、現代のあらゆる理工学や生命科学の分野で必要不可欠な方法論として定着している。この可視化技術がもつ社会的インパクトの大きさを最初に広く知らしめたのは、1987年7月に米国NSFの支援を受け、米国計算機学会SIGGRAPHが発刊したViSC（Visualization in Scientific Computing）レポート[17]である。このレポートの定義セクションは、次のような印象的な文で始まっている。

『可視化はコンピューティングのひとつの方法である

(Visualization is a method of computing)』。

コンピューティングという専門用語は、ただ単にコンピュータに計算させることにとどまらない。その語源まで遡れば、considerationにも通じ、また、共同作業までも含む人間の高度な知能全般をさしている。

このViSCレポートのフォローアップとして、2006年1月には、やはり米国NSFの支援により、米国・国立衛生研究所がVRC（Visualization Research Challenge）2006

レポート[18]を発刊した。そこでは、可視化を『人間の空間的な推論・決定能力を比喩的に (metaphorically) 増強する (bootstrapping) すること』により、『パターンの検出や状況の的確な把握、タスクの優先順位付け』を可能にする、知識増幅 (artificial intelligence) の技術であると再定義している。測定装置や高性能計算環境、インターネット等の技術革新が進むにつれて、生成されるデータのサイズは加速度的に増大し、しかも多次元・多変量であり、時系列を扱い、多義性を有する点で、問題を本質的により困難なものにしている。同レポートでは、このような状況を情報ビッグバン (information big bang) と名付け、過剰で複雑なビッグデータを効果的に理解・利用するための可視化技術の開発は、今世紀に人類が挑戦すべき最も価値ある課題のひとつに位置づけられるとしている。

あらゆるコンピューティングは、その具体的な処理手続きを考えるうえで基盤となる強力な基本理念—パラダイム (paradigm) が必要である。本小委員会では、可視化のパラダイムの変遷を辿るとともに、今後の可視化技術の展開を下支えする、新たな可視化パラダイム像について考察してきた。

② データフローパラダイム：90年代のスタンダード

ViSCレポートの時代から、可視化の計算パラダイムとして広く知られてきたのは、データフロー (dataflow) パラダイムである。HaberとMcNabbは、『任意の可視化プログラムは、データ入力、フィルタリング、マッピング、レンダリングの4ステップに分解できる』という内容の「可視化イデオム」を発表し、このデータ処理の流れにそって、登録された標準的な処理モジュールを相互接続するだけで、利用者独自の可視化応用プログラムが非手続き的に組めるようなモジュール型可視化環境 (Modular Visualization Environment: MVE) の基本アーキテクチャに決定的な影響を与えた[19]。このモジュール型可視化環境は、視覚的にプログラミングが可能なビジュアルプログラミング環境のひとつであり、複雑なプログラミング言語を学習することなく、可視化プログラムが容易に作成できるという利点がある。Cameronは、1990年代前半に多数発表されたMVEを紹介する大型の特集[19]を組んでいる。実際、MVEは可視化利用の裾野を広げる大きな役割を果たした。現在でも、汎用の商用システムAVS (<https://www.avs.com/>) や生体電気工学応用を重視した、米国・ユタ大学SCI研究所のSCIRun (<http://www.scirun.org>) 等がよく知られている。

図5は、慶應義塾大学が大規模なマルチスペクトル観測データから銀河や天体の構造を視覚的に把握するために、京都大学、広島大学、東京工科大学、他と共同で開発している可視化システムaflak (advanced framework for learning astrophysical knowledge、アラビア語で「天体」の意味) [21]の利用画面の例である。aflakは、天文学で標準的に利用されているマルチスペクトルデータの標準フォーマットであるFITS形式のデータセットを公開リポジトリから受理し、細粒度で処理した結果を出自 (provenance) 管理データとともに公開できる最新のオープンソースMVEである。同図上部のノードエディタインタフェース(c)部には、ビジュアルプログラムが示されてお

り、下段の(d)部にその可視化結果が出力されている。aflakは現在、GitHubで無償公開されている (<https://github.com/aflak-vis/aflak>)。

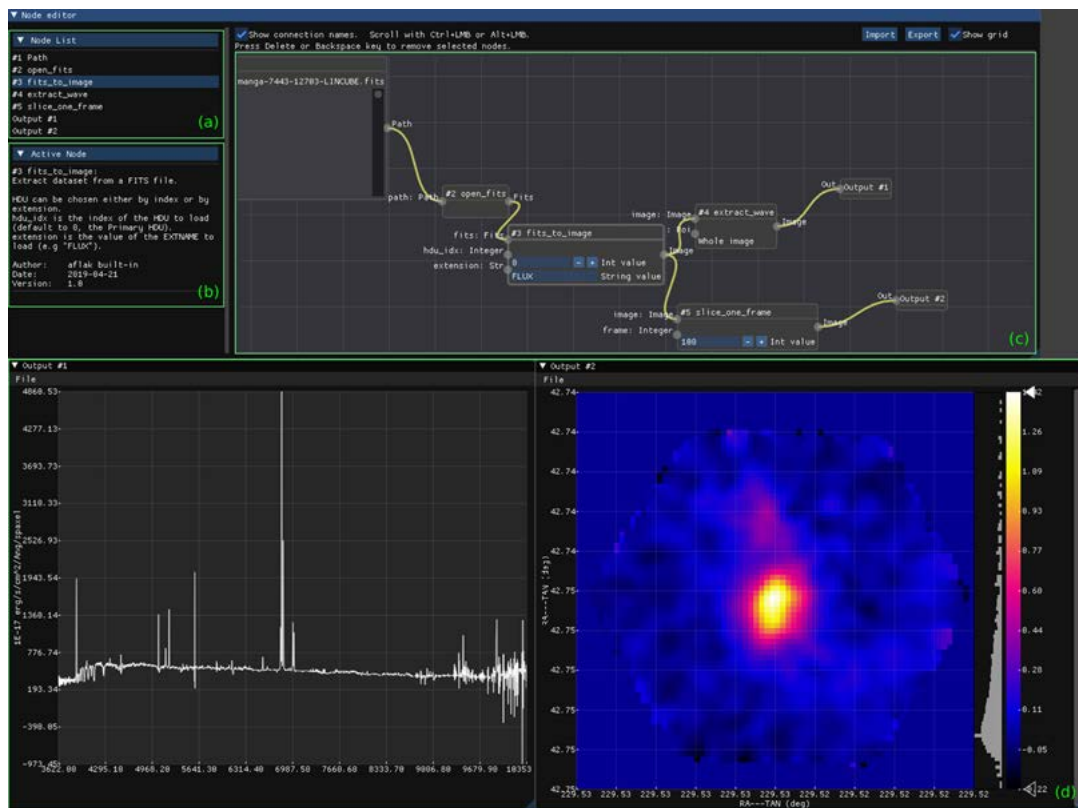


図5 aflak : マルチスペクトル天文データ解析向け MVE
(出典) 可視化の新パラダイム策定小委員会作成

③ 可視化発見プロセスモデル : 21 世紀のスタンダード

MVEでは、出力された可視化画像を利用者が確認した後に、必要ならば入力データファイルを再指定したり、中段のモジュールの制御パラメタ値を調整したりすると、直ちにそれより後段の処理が再実行される。その意味では、データフローパラダイムも利用者によるフィードバック処理を陰的にサポートしている。しかし、この対話的可視化の枠組みを明示的に取り扱ったのは、図6上段に示したVRCレポートの「可視化発見プロセス (visualization discovery process) モデル」である。そこでは、データと可視化、利用者が三位一体となっている点で、利用者の役割が明示されていなかった旧来のデータフローパラダイムから大きく前進している。可視化を通じて画像化されることで、知覚・認知されたデータは利用者の知識となり、その拡充を求めて、利用者はさらに進んだ可視化のためのハードウェアやアルゴリズム、特定のパラメタ値等を仕様化し、可視化に対してフィードバックする仕組み—Human in the Loopが明確にモデル化されている。この可視化発見プロセスでは、本質的に利用者の介入を許していることから、可視化技術のレベル向上は、CPUの性能向上を支配するとされるムーアの法則 (Moore's Law) には従わないことが特徴であると同レポートは述べてい

る。そこで、人間の知覚・認識の本質や制約、効果に関する知覚心理学の研究成果を積極的に採用することを勧めている。この点に関しては、本分科会の活動成果に含まれる、文献[6]等を参照されたい。

このような状況のなか、統計、数学、知識表現、管理・発見技術、知覚・認知科学、決定科学等の知見を総合し、高度な対話的視覚インタフェースを用いた解析的推論を築く科学として、ビジュアルアナリティクス (Visual Analytics) [22]のコンセプトが登場してきた。巨大で動的、時に自己矛盾を起こしているような複雑なデータから、『予期されることを検出するだけでなく、予期できないことも同時に発見し (To detect the expected, and to discover the unexpected) 』、時機を得た評価を効果的に共有して行動に移すことがビジュアルアナリティクスの使命である。9. 11以来、国家安全を確立するための有効な科学的方法論が渴望されているなかで、ビジュアルアナリティクスはその最有力候補と目され、科学技術可視化、情報可視化と並んで、世界各所で活発な研究開発が巻き起こっている。

例えば、科研費新学術領域「スパースモデリング」(2013～2017年度)の可視化関連計画研究[23]では、慶應義塾大学が、会津大学、豊橋技科大学と共同で、大量の高次元データマトリクスから特徴的な部分空間を視覚的にマイニングするような可視化発見プロセスを提供するビジュアルアナリティクスツールABC (Asymmetric Bi-Clustering) [24]を開発してきた。

ABCツールの処理の枠組みを図6中段に示す。ここでは部分空間クラスタリングと部分空間探索の二種類の機能が実現されている。ステップ1では、非対称バイクラスタリングによって、自動的に高い相関性をもつデータサンプルと次元を同時クラスタリングする。色付きブロック図は、各ブロックのデータ相関性の高さを表している(低: 緑—赤: 高)。利用者は、このブロック図を参照しながら、次のステップ2と3で相関性に乏しい次元や異常値と考えられるデータサンプルを選択・削除し、さらなる探索に向けて高い相関性をもつ部分空間を意図的に生成することができる。このような部分空間探索の反復過程に関する出自は、履歴ツリーによって管理され、組織的な視覚分析が実現されている。

図6の下段左は、ABCツールを用いて実際に解析されたIa型超新星データの分類[25]の結果である。米国・カリフォルニア大学バークレー校の専門リポジトリから抽出された14次元132サンプルデータは、このツールによって半自動的に3軸129サンプルのデータにクラスタリングされた。驚くことに、専門分野の予備知識なしに得られたこの散布図マトリクスの下段中央の散布図は、同図下段右に示す、「シリコン吸収線の強度」と「ガスの膨張速度」を変数として「通常の系列」と「高速膨張する天体群」にIa型超新星をクラスタリングする、天文学者による長期に渡る議論の末確立された経験的分類結果と概ね一致することがわかった。

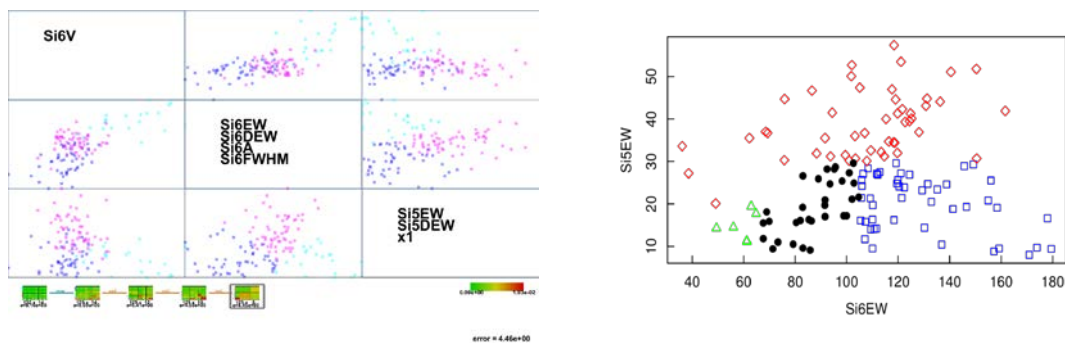
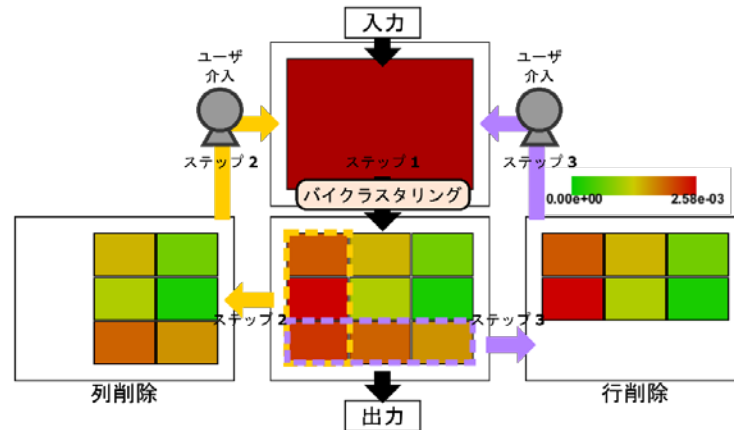
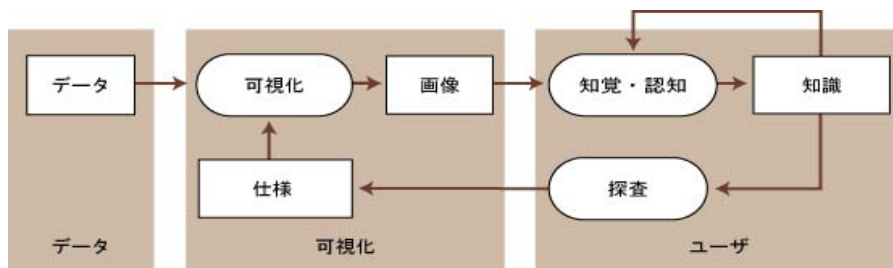


図6 可視化発見プロセスモデル（上段）、高次元データマトリクス可視化分析ツールABCの枠組み（中段）とその応用例（下段）
（出典）可視化の新パラダイム策定小委員会作成

④ 非専門家のための可視化へのシフト

米国・カリフォルニア大学ディビス校のKwan-Liu Maは、可視化研究の新たな方向性のひとつとして、専門家だけでなく非専門家へ向けた可視化環境の重要性を指摘している。エラー！参照元が見つかりません。に、同研究グループが開発した典型的応用事例として、サンフランシスコの体験型科学博物館エクスプロラトリウム（Exploratorium）で実展示されたThe Plankton Table[26]の利用風景を示す。ここで用いられているフラットベット型の大型ディスプレイは、利用者の年齢を問わず没入感（illusion of immersion）のある対話的で協調的（collaborative）な可視化環境を提供できる。特に没入感は、持続的かつ精緻な興味ある対象の視覚探索を約束し、科学的発見の確度を増す要素として評価されており、今後のビジュアルアナリティクスの有力な一形態として近年、没入的アナリティクス（immersive analytics）[27]

とよばれるコンセプトに結実し、その成果に大きな期待が寄せられている。さらに、子供たちが操作している光学レンズを、拡張現実（Augmented Reality: AR）型レンズに置き換えれば、単なる拡大されたビューだけでなく、補助的な情報を重畳呈示することができ、例えば潮流の速さや温度等の関連する物理場とプランクトンの棲息分布との因果関係の解析も容易化できる。このようにARベース可視化は、多変量データ解析の有望な方式に他ならない。



図7 The Plankton Table : 博物館展示された海洋プランクトン仮想探査装置

（出典）可視化の新パラダイム策定小委員会作成

Amy Snyder, Exploratorium, USA, with permission to use

このような試みは、スウェーデン・ノルショーピング可視化センターのAnders Ynnermanが発案しているExploramation（ExplorationとExplanationから成る造語）のコンセプト[28]とも符合する。Exploramationは同じ対象を専門家が視覚的に探究した結果を大衆にもわかりやすく説明する可視化環境の必要性を説くコンセプトである。

図8は、高精度なボリュームレンダリングを用いて3次元人体の対話的解剖を実現したVirtual Autopsy Tableシステムを用いて、ストックホルム・地中海博物館を訪れた子供たちが古代エジプトのミイラを一人称的に解剖している様子である。同様のシステムを常設展示した英国・大英博物館では、実物のミイラ展示に滞在する来館者の平均時間が増加したというシナジー効果も報告もされている。

本年1月に中国武漢で発生した新型コロナウイルス（SARS-CoV-2）が地球規模で感染拡大する様子は、早期から米国・ジョンズ・ホプキンス大学をはじめ、さまざまな研究機関や行政機関を通じてデータ可視化され、各種レベルの政府の政策決定や一般市民の理解に大きな役割を果たしてきた。パンデミックの視覚的状況把握に基づく効果的な政策の合意形成の必要性は、可視化を主要要素技術とする計算論的ジャーナリ

ズム (computational journalism) [29][30]でも大きく採り上げられている。



図8 The Virtual Autopsy Table : 古代エジプトミイラの仮想解剖

(出典) 可視化の新パラダイム策定小委員会作成

Image courtesy of Anders Ynnerman, Linköping University, Sweden

⑤ 可視化パラダイム策定の鍵

先述のとおり、可視化技術の基本的な立場は、利用する人間の知識を増幅することである。その一方で、この数年間で大きく進展した、深層学習による人工知能技術を可視化にも積極的に役立てていこうとする気運も高まってきており、実際関係する学会発表でも取り扱うケースが増えてきている。可視化環境の専門家から非専門家へのシームレスな移行ー可視化利用教育の拡充と読み替えてもよいーと相俟って、将来の可視化パラダイムシフトに大きな影響を与えられと考える。

本小委員会メンバの数名はこれまで国内外で、可視化の未解決問題を採り上げる試みを継続してきた[31]。今後も、可視化の新たなパラダイム策定に焦点を絞って、我が国からの確かな発信に傾注していきたい。

4 第 25 期の新たな提言に向けて

本報告では、第24期の本分科会において、科学的知見を創出する際に不可欠な方法論となる可視化の研究・利用の実態を調査し、分野横断型技術として、より成熟するための方策に向けて議論してきた内容の概要を報告した。

国外の新たな試みに目を向けてみると、IEEE VGTC reVISE (国際電気電子学会可視化とグラフィックス専門委員会改革ワーキンググループ) では、昨年10月に斯界のトップカンファレンスであるIEEE VISの研究領域を抜本的に見直し、「6 エリアモデル (6 Area Model)」を提唱している[32]。そこでは、科学技術可視化や情報可視化、ビジュアルアナリティクスといった歴史的な副領域の設定が既に陳腐化している現況を鑑み、新たな可視化研究領域を以下の6つのサブエリアに規定し直そうとする提案を行っている。

エリア1：可視化の理論と実践 (Theoretical & Empirical)

エリア2：可視化応用 (Applications)

エリア3：可視化システムとレンダリング (Systems & Rendering)

エリア4：可視化における表現と対話 (Representations & Interaction)

エリア5：データ変換と可視化 (Data Transformations)

エリア6：可視化ワークフローと意思決定 (Workflows & Decisions)

このリストからも明らかなように、可視化は個々に発展著しい情報学の周辺領域との連携により、技術的にも刷新される可能性を秘めている。また、各周辺領域独自のパラダイムとも融合する可能性が示唆される。今期最後となる第4回可視化公開シンポジウムでは、この点に焦点を合わせてより具体的に議論を展開する予定である。

人間社会のあらゆる活動が、コンピュータとインターネットの利用を前提とする現代社会において、様々な分野で、ビッグデータが容易に創出されるようになった。科学研究においても、ビッグデータの利用が当たり前になりつつある。そしてその傾向は、自然科学のみならず人文科学でも急速に広がりつつある。これに伴い、科学的知見の創出に必須の「研究データの解析」が、分野に関わらず人手では不可能になりつつある。そのような状況に対処するためには、「新たな可視化の科学」の創出と、自然科学と人文科学の双方で「可視化を基盤とする新たな学問分野」の創出が急務である。

今後も、第 25 期に公表を予定している最終的な提言に向けて、さらに調査の範囲を広げ、考察を深めていきたい。

＜用語の説明＞

ポストペタスケール高性能計算	ペタスケールよりさらに上の精度を必要とする、より高度な計算のこと。
時系列デジタルデータ	計測実験、シミュレーションなどから取得されるデジタルデータで、複数の時刻でのデータを含むもの。一定の時間間隔で多数回のデータ取得を行って、それらをまとめたものを一つの時系列デジタルデータとよぶことが多い。
デジタルミュージアム	コンピュータが生成する仮想空間内に、コンピュータグラフィックスや可視化の技術を用いて仮想的に生成した美術館や博物館。インターネット上の仮想空間内に構築される場合も多い。
デジタルアーカイブ	有形・無形の文化財を ICT の手法を用いて計測し、デジタルデータとして保存したもの。データベースともリンクして保存されることが多い。
4 次元可視化	実世界の 3 次元的なシーンを静的に可視化するだけでなく、シーンの時間変化をも合わせて可視化したもの。アニメーションが最も簡単な例であるが、静止画を用いて時間変化を表現する手法もある。
科学技術可視化	科学研究で行なわれる計測、実験、シミュレーションなどで得られるデータを対象とした可視化。
デジタルヒューマニティーズ	コンピューティングと人文科学 (humanities) 諸分野との接点に関して調査、研究、教育、および考案を行なう学問分野。ICT を主たる研究の手段とする人文科学を意味する場合もある。
文化ビッグデータ	文化財のデジタル保存によって生ずる巨大なデジタルデータ。大規模な有形文化財の 3 次元計測などで得られる。
ユーザ・エクスペリエンス	ユーザが、会社や製品・サービスと接触・利用した際に得られる体験・感情の総称。
希死念慮	死にたいと願うこと。具体的な理由はないが漠然と死を願う状態を言うことが多い。
バウムテスト	スイスの心理学者で産業カウンセラーのカール・コッホが 1945 年に創案した心理検査 (投影法)。テストを受けるクライアントに 1 本の実がなる木を書いてもら

	い、これを専門家が読み解いて心理分析を行なう。
ボリュームレンダリング	3次元データ（ボリュームデータ）全体を、半透明な画像として表示する可視化技術。
情報ビックバン	測定装置や高性能計算環境、インターネット等の技術革新が進むにつれて、生成されるデータのサイズが加速度的に増大し、複雑化している状態。
ビジュアルアナリティクス	統計、数学、知識表現、管理・発見技術、知覚・認知科学、決定科学等の知見を総合し、高度な対話的視覚インタフェースを用いた解析的推論を築く科学。

＜参考文献＞

- [1] 日本学術会議 総合工学委員会 機械工学委員会合同計算科学シミュレーションと工学設計分科会、提言「科学的知見の創出に資する可視化に向けて」、2017 年 8 月 8 日.
- [2] 渡辺美代子、吉村 忍、社会的課題に立ち向かう「総合工学」の強化推進、日本学術会議提言、2017 年 9 月.
- [3] 小山田耕二、「日本学術会議のオープンデータ：提言の俯瞰的可視化」、学術の動向、Vol. 24、No. 4、pp. 73-77、2019 年.
- [4] 藤代一成、「コンピュータ可視化の新しいパラダイム策定に向けて」、学術の動向、Vol. 24、No. 4、pp. 56-61、2019 年.
- [5] 田中覚、「文化財の可視化と ICT 時代の文理融合研究」、学術の動向、Vol. 24、No. 4、pp. 62-66、2019 年.
- [6] 行場次朗、「可視化を考える際の認知心理学的制約とその利用」、学術の動向、Vol. 24、No. 4、pp. 67-72、2019 年.
- [7] 川嶋將生、赤間 亮、矢野桂司、八村広三郎、稲葉光行、日本文化デジタル・ヒューマニティーズの現在、ナカニシヤ出版、2009 年.
- [8] 廣瀬通孝、デジタルミュージアムプロジェクト、映像情報メディア学会誌、Vol. 64、No. 6、pp. 783-788、2010 年.
- [9] 池内克史、大石 岳史、3次元デジタルアーカイブ、東京大学出版会、2010 年.
- [10] 金田明大、文化財のための三次元計測、岩田書院、2010 年.
- [11] 八村広三郎、田中 覚、西浦敬信、田中弘美、文化遺産の記録と再現：「コト」のデジタルアーカイブの実現に向けて（小特集 文化創造学を目指す工学）、電子情報通信学会誌、Vol. 99、No. 4、2016 年.
- [12] 田中 覚、シミュレーション技術を応用した 3 次元文化財の透視可視化、横幹＜知の統合＞シリーズ「社会シミュレーション：世界を『見える化』する」 第 6 章、2017 年.
- [13] S. Tanaka, K. Hasegawa, N. Okamoto, R. Umegaki, S. Wang, M. Uemura, A. Okamoto, and K. Koyamada, "See-Through Imaging of Laser-scanned 3D Cultural Heritage Objects based on Stochastic Rendering of Large-Scale Point Clouds," ISPRS

- Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. III-5, pp. 73-80, 2016.
- [14] H. Zhuang, C. Kato, K. Tsuchida, “Application of 3D Spiral Graph Visualization to the Psychological Data,” *International Journal of Electronics and Computer Science Engineering*, Vol. 2, No. 4, pp. 1219-1230, 2013.
 - [15] 上辻智也、今井晨介、尾上洋介、鎌田 穰、江原康生、小山田耕二、カウンセリングにおける会話の流れの可視化に関する ユーザー評価、可視化情報学会第 44 回可視化情報シンポジウム講演論文集、2016 年.
 - [16] 伊藤大貴、加藤千恵子、青木滉一郎、安達基朗、田中 覚、長谷川恭子、李 亮、箱庭療法における 3 次元点群データを基にした砂の起伏可視化、可視化情報学会第 47 回可視化情報シンポジウム講演論文集、2019 年.
 - [17] B. H. McCormick, T. A. DeFanti, M. D. Brown (eds), “Visualization in Scientific Computing, *ACM Computer Graphics*,” Vol. 21, No. 6, 1987.
 - [18] C. R. Johnson, et al., *NIH/NSF Visualization Research Challenges January 2006*, IEEE Computer Society Press, 2006.
 - [19] R. Haber, D. A. McNabb, “Visualization Idioms: A Conceptual Model for Scientific Visualization Systems,” *Visualization in Scientific Computing*, IEEE Computer Society Press, pp. 74-93, 1990.
 - [20] G. Cameron (ed.), *Special Focus: Modular Visualization Environments (MVEs)*, *ACM Computer Graphics*, Vol. 29, No. 2, pp. 3-60, 1995.
 - [21] M. O. Boussejra, K. Matsubayashi, Y. Takeshima, S. Takekawa, R. Uchiki, M. Uemura, I. Fujishiro, “aflak: Visual Programming Environment Enabling End-to-End Provenance Management for the Analysis of Astronomical Datasets,” *Journal of Visual Informatics*, Vol. 3, No. 1, pp.1-8, 2019.
 - [22] J. J. Thomas, K. Cook (eds.), *Illuminating the Path: Research and Development Agenda for Visual Analytics*, IEEE Computer Society Press, 2004.
 - [23] 藤代一成、高橋成雄、渡辺一帆、Hsiang-Yun Wu、「スペースモデリングと情報可視化」、電子情報通信学会誌D、Vol. 99、No. 5、pp. 466-470、2016 年.
 - [24] K. Watanabe, H.-Y. Wu, Y. Niibe, S. Takahashi, I. Fujishiro, “Bi-Clustering Multivariate Data for Correlated Subspace Mining,” in *Proceedings of IEEE Pacific Visualization Symposium 2015*, pp. 287-294, 2015.
 - [25] M. Uemura, K. S. Kawabata, S. Ikeda, K. Maeda, H.-Y. Wu, K. Watanabe, S. Takahashi, I. Fujishiro, “Data-Driven Approach to Type Ia Supernovae: Variable Selection on the Peak Luminosity and Clustering in Visual Analytics,” *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 699, Article No. 012009, 2016.
 - [26] J. Ma, I. Liao, J. Frazier, K.-L. Ma, “Living Liquid: Design and Evaluation of an Exploratory Visualization Tool for Museum Visitors,” *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 18, No. 12, pp. 2788-2808, 2012.

- [27] K. Marriott, F. Schreiber, T. Dwyer, K. Klein, N. H. Riche, T. Itoh, W. Stuerzlinger, B. H. Thomas (eds.), *Immersive Analytics*, Springer LMCS 11190, 2018.
- [28] A. Ynnerman, J. Löwgren, L. A. E. Tibell, “Explorandation: A New Science Communication Paradigm,” *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 38, No. 3, pp. 13–20, 2018.
- [29] S. Cohen, J. T. Hamilton, F. Turner: “Computational Journalism,” *Communications of the ACM*, Vol. 54, No. 10, pp. 66–71, 2011.
- [30] I. Fujishiro: “Computational Journalism: Promising Scenarios of Big Data Visualization,” *IEEEJ Transactions on Image Electronics and Visual Computing*, Vol. 2, No. 2, pp. 134–137, 2014.
- [31] I. Fujishiro, B.-Y. Chen, W. Chen, S.-H. Hong, T. Itoh, K. Koyamada, K. Ono, J. Nonaka, “Top Computational Visualization R&D Problems 2015: Panel,” in *Proceedings of ACM SIGGRAPH Asia 2015 Symposium on Visualization in High Performance Computing*, Article No. 20, 2015.
- [32] H. Hagen, D. Keim, T. Munzner, S. North, H. Pfister, *Fall 2018: VIS Restructuring Recommendations*, 2018.

＜参考資料1＞審議経過

平成30年

- 5月24日 科学的知見の創出に資する可視化分科会（第1回）
役員の選任、活動方針、小委員会について
- 9月27日 ICT時代の文理融合研究を創出する可視化小委員会（第1回）
小委員会の趣旨説明、幹事の選出、フリーディスカッション、
第1回可視化公開シンポジウムについて
- 10月31日 可視化の新パラダイム策定小委員会（第1回）
小委員会の趣旨説明、幹事の選出、第23期提言の紹介、
IEEE VIS2018 報告、第1回可視化公開シンポジウムについて
- 12月15日 科学的知見の創出に資する可視化分科会（第2回）
小委員会の報告、可視化公開シンポジウム企画、新マスタープランについ
て

令和元年

- 7月13日 科学的知見の創出に資する可視化分科会（第3回）
小委員会の報告、新マスタープラン、学術の動向特集について
- 12月15日 科学的知見の創出に資する可視化分科会（第4回）
ICT時代の文理融合研究を創出する可視化小委員会（第2回）合同会議
可視化公開シンポジウム、報告作成について、話題提供（立命館大学）

令和2年

- 4月6日 ICT時代の文理融合研究を創出する可視化小委員会（第3回）
報告「科学的知見の創出に資する可視化—文理融合研究と新パラダイム策
定—」について承認
- 4月6日 可視化の新パラダイム策定小委員会（第2回）
報告「科学的知見の創出に資する可視化—文理融合研究と新パラダイム策
定—」について承認
- 4月17日～20日 科学的知見の創出に資する可視化分科会（第6回）（メール審議）
報告「科学的知見の創出に資する可視化—文理融合研究と新パラダ
イム策定—」について承認
- 月○日 日本学術会議幹事会（第○回）
報告「科学的知見の創出に資する可視化—文理融合研究と新パラダイム策
定—」について承認予定

＜参考資料２＞可視化公開シンポジウム開催

本分科会が主催してきた「科学的知見の創出に資する可視化」と題する公開シンポジウムのポスターを再掲する。

第１回：平成３０年１２月１５日 日本学術会議講堂

「日本発の可視化研究ブレイクスルーに向けて」

第２回：平成３０年１２月１５日 日本学術会議講堂

「新しい可視化パラダイム」

第３回：令和元年１２月１５日 立命館大学・大阪いばらきキャンパス

「新しい文理融合研究を創出する可視化」

日本学術会議 公開シンポジウム 科学的知見の創出に資する可視化： 日本発の可視化研究ブレイクスルーに向けて

日時 平成 30 年 **12 月 15 日 (土)**
13:00 ~ 18:00

会場 日本学術会議講堂 外1室
東京都港区六本木 7-22-34
東京メトロ千代田線「乃木坂」駅 5 出口

入場無料、事前申し込み不要 当日はお名刺を
ご用意ください

主催 日本学術会議 総合工学委員会
科学的知見の創出に資する可視化分科会

共催 可視化情報学会、日本シミュレーション学会、画像電子学会、芸術科学会、
情報処理学会コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学研究会、画像情報教育振興協会 (CG-ARTS)



1980 年代に欧米の研究機関から発信が開始され、種々の学理に浸透してきたデータ可視化技術は、現在、成熟の域に達しています。一方で、データ可視化技術の新たなブレイクスルーが模索されていますが、現状は混沌としており、様々な提案がなされているものの、大きな流れは生じ得ないでいるのが現状です。そこで本シンポジウムでは、可視化という研究分野の枠組みを大胆にリストラクチャリングし、同時に、文系・理系の垣根を越えた文理融合型の研究分野として発展させるためのアイデアを探ることを目的としています。とくに、日本の強みを活かした日本発の新しい可視化技術の創出を目指します。理系・文系にかかわらず、多くの研究者や技術者、そして可視化技術に興味を持つ多くの方々にご参加いただければ幸いです。

プログラム

- 13:00 開会挨拶 小山田耕二 (日本学術会議第三部会員、京都大学学術情報メディアセンター教授)
- 13:10 趣旨説明 田中覚 (日本学術会議連携会員、立命館大学情報理工学部教授)
- 13:20 Emerging Visualization Research Directions
司会 藤代一成 (日本学術会議連携会員、慶應義塾大学理工学部教授)
講演 Kwan-Liu Ma (カリフォルニア大学デービス校教授)
- 14:20 文化遺産の記録と再現 ——「コト」のデジタルアーカイブ——
司会 大倉典子 (日本学術会議第三部会員、芝浦工業大学工学部教授)
講演 八村広三郎 (立命館大学特任教授)
- 15:20 可視化がもたらす新たな発達科学の可能性
司会 田中覚 (日本学術会議連携会員、立命館大学情報理工学部教授)
講演 明和政子 (日本学術会議連携会員、京都大学教育学研究科教授)
- 16:30 パネル討論「日本発の可視化研究ブレイクスルーに向けて」
ファシリテータ 行場次朗 (日本学術会議会員、東北大学大学院教授)
討論者 前半の部の講演者・司会者・その他分科会メンバ
- 18:00 閉会挨拶
萩原一郎 (日本学術会議連携会員、明治大学研究知財戦略機構特任教授)

お問い合わせ先

立命館大学情報理工学部 田中覚 (stanaka@is.ritsume.ac.jp)
慶應義塾大学理工学部 藤代一成 (ifujishiro@keio.jp)

日本学術会議 公開シンポジウム

科学的知見の創出に資する可視化(2): 「新しい可視化パラダイム」

日時 **令和元** 年 **7** 月 **13** 日(土)
13:00 ~ 18:00

会場 **日本学術会議講堂 外1室**

東京都港区六本木 7-22-34

東京メトロ千代田線「乃木坂」駅 5 出口

入場無料、事前申し込み不要

当日はお名刺を
ご用意ください

主催 日本学術会議 総合工学委員会
科学的知見の創出に資する可視化分科会

共催 日本工学会、可視化情報学会、日本シミュレーション学会、画像電子学会、芸術科学会、
情報処理学会コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学研究会、画像情報教育振興協会 (CG-ARTS)



データ可視化は 1980 年代後半に欧米の研究機関から研究開発が開始され、この三十有余年の間、あらゆる学理に必要不可欠な技術として浸透してきました。それを今後さらに発展させていくためには、新たなパラダイム(基本理念)を策定する必要があります。昨年 12 月に開催した第 1 回科学的知見の創出に資する可視化シンポジウムに引き続き、本シンポジウムでは、可視化と接点をもつ情報学周辺の最新シーズの利活用に加え、可視化が重要な役割を果たしてきた代表的な応用分野からの新たなニーズの発掘、そして可視化情報の最終評価者である人間がもつ視覚心理の本質的理解の三方向からこの課題にアプローチし、新たな提言へと繋げていく布石としたいと考えております。可視化技術に興味をもつ多くの方々にご参加いただければ幸いです。

プログラム

- 13:00 開会挨拶** 小山田 耕二 (日本学術会議会員, 京都大学 学術情報メディアセンター 教授)
- 13:10 趣旨説明** 藤代 一成 (日本学術会議連携会員, 慶應義塾大学 理工学部 教授)
- 13:20 宇宙物理学におけるデータ可視化と可視化研究への期待**
講師: 植村 誠 (広島大学 宇宙科学センター 准教授)
司会: 藤代 一成 (日本学術会議連携会員, 慶應義塾大学 理工学部 教授)
- 14:20 可視化のためのインタラクション省力化の試み**
講師: 伊藤 貴之 (お茶の水女子大学 理学部 教授)
司会: 小山田 耕二 (日本学術会議会員, 京都大学 学術情報メディアセンター 教授)
- 15:20 顔の可視化問題**
講師: 蒲池 みゆき (工学院大学 情報学部 教授)
司会: 田中 寛 (日本学術会議連携会員, 立命館大学 情報理工学部 教授)
- 16:30 パネル討論「日本発の新しい可視化パラダイム像とは？」**
ファシリテータ: 藤代 一成 (日本学術会議連携会員, 慶應義塾大学 理工学部 教授)
討論者: 前半の部の講演者・司会者・その他分科会メンバー
- 18:00 閉会挨拶** 萩原 一郎 (日本学術会議連携会員, 明治大学 研究・知財戦略機構 特任教授)

お問合せ先

慶應義塾大学 理工学部 藤代 一成 (ifujishiro[at]keio.jp)
立命館大学 情報理工学部 田中 寛 (stanaka[at]is.ritsumei.ac.jp)

日本学術会議 公開シンポジウム 科学的知見の創出に資する可視化 (3) : 新しい文理融合研究を創出する可視化

連携開催

じんけん 2019
人文科学とコンピュータシンポジウム

情報処理学会
人文科学とコンピュータ研究会
主催

日時 令和元年 12月15日(日) 13:00~16:00

会場 立命館大学・大阪いばらきキャンパス
いばらきフューチャープラザ/B棟
1階カンファレンスホール
大阪府茨木市岩倉町2-150

主催 日本学術会議 総合工学委員会
科学的知見の創出に資する可視化分科会

共催 情報処理学会人文科学とコンピュータ研究会、可視化情報学会、
日本シミュレーション学会、画像電子学会、
情報処理学会コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学研究会、
芸術科学会、画像情報教育振興協会 (CG-ARTS)



JR「茨木駅」東口より徒歩約5分

入場無料、事前申し込み不要 当日はお名刺をご用意ください

現代の科学研究においては、人文科学と自然科学の別なく、情報科学の恩恵を利用せざるを得ない。例えば、人文科学で解析対象とする新たな種類のデータ、例えばデジタル保存された文化財データや社会状況を分析するための SNS のテキストデータの解析は、高性能計算機を用いて行われ、インターネットもフル活用されている。これは、単に便利だからそうするのではない。解析対象となるデータが計算機で解析せざるを得ない大規模かつ多様・複雑なものとなることが多いからである。このような時代においては、情報科学を中核とした、あらたな文理融合研究の創出が必須である。本シンポジウムでは、情報科学の中でも「可視化」に焦点をあて、新しい文理融合研究を創出する可視化を探りたい。

プログラム

- 13:00 開会挨拶 小山田 耕二 (日本学術会議第三部会員, 京都大学学術情報メディアセンター教授)
鹿内 菜穂 (情報処理学会人文社会とコンピュータ研究会主査, 亜細亜大学経営学部講師)
- 13:05 趣旨説明 田中 覚 (日本学術会議連携会員, 立命館大学情報理工学部教授)
- 13:15 講演1「伝統芸能の技法とマンガ・アニメのこれから」
司会 小山田 耕二 (日本学術会議第三部会員, 京都大学学術情報メディアセンター教授)
講演 應矢 泰紀 (京都国際マンガミュージアム研究員)
- 13:50 講演2「美術史とAI-仏像の顔の様式分析をめざして」
司会 藤代 一成 (日本学術会議連携会員, 慶應義塾大学理工学部教授)
講演 藤岡 穰 (大阪大学大学院文学研究科教授)
- 14:25 講演3「人文学における地理空間情報の可視化」
司会 田中 覚 (日本学術会議連携会員, 立命館大学情報理工学部教授)
講演 矢野 桂司 (日本学術会議連携会員, 立命館大学文学部教授)
- 15:10 パネル討論「新しい文理融合研究を創出する可視化とは？」
ファシリテータ 田中 覚 (日本学術会議連携会員, 立命館大学情報理工学部教授)
討論者 前半の部の講演者・司会者・その他分科会メンバ

お問い合わせ先

立命館大学情報理工学部 田中覚 (stanaka[at]is.ritsumei.ac.jp)

慶應義塾大学理工学部 藤代一成 (ifujishiro[at]keio.jp)

※ [at] は @ に置き換えて下さい

提言等の提出チェックシート

このチェックシートは、日本学術会議において意思の表出（提言・報告・回答、以下「提言等」という）の査読を円滑に行い、提言等（案）の作成者、査読者、事務局等の労力を最終的に軽減するためのものです¹。

提言等（案）の作成者は提出の際に以下の項目を 1～11 をチェックし、さらに英文タイトル（必須）、英文アブストラクト（任意）、SDGs との関連の有無（任意）を記載し、提言等（案）に添えて査読時に提出してください。

記入者（委員会等名・氏名）：科学的知見の創出に資する可視化分科会・小山田耕二

和文タイトル 科学的知見の創出に資する可視化—文理融合研究と新パラダイム策定—

英文タイトル（ネイティヴ・チェックを受けてください）

Visualization Facilitating Scientific Knowledge Making:

Integrated Research of Arts and Sciences and New Paradigm Formulation

	項目	チェック
1. 表題	表題と内容は一致している。	①はい 2. いいえ
2. 論理展開 1	どのような現状があり、何が問題であるかが十分に記述されている。	①はい 2. いいえ
3. 論理展開 2	特に提言については、政策等への実現に向けて、具体的な行政等の担当部局を想定していますか（例：文部科学省研究振興局等）。	① 部局名： 文部科学省初等中等教育局、高等教育局、科学技術・学術政策局、研究振興局 2. いいえ
4. 読みやすさ 1	本文は 20 ページ（A4、フォント 12P、40 字×38 行）以内である。※図表を含む	①はい 2. いいえ
5. 読みやすさ 2	専門家でなくとも、十分理解できる内容であり、文章としてよく練られている。	①はい 2. いいえ
6. 要旨	要旨は、要旨のみでも独立した文章として読めるものであり 2 ページ（A4、フォント 12P、40 字×38 行）以内である。	①はい 2. いいえ
7. エビデンス	記述・主張を裏付けるデータ、出典、参考文献をすべて掲載した。	①はい 2. いいえ

¹ 参考：日本学術会議会長メッセージ、「提言等の円滑な審議のために」（2014 年 5 月 30 日）。
<http://www.scj.go.jp/ja/head/pdf/1>

8. 適切な引用	いわゆる「コピペ」（出典を示さないで引用を行うこと）や、内容をゆがめた引用等は行わず、適切な引用を行った。	①はい 2. いいえ
9. 既出の提言等との関係	日本学術会議の既出の関連提言等を踏まえ、議論を展開している。	①はい 2. いいえ
10. 利益誘導	利益誘導と誤解されることのない内容である。	①はい 2. いいえ
11. 委員会等の趣旨整合	委員会・分科会の設置趣旨と整合している。	①はい 2. いいえ

※9で「はい」を記入した場合、その提言等のタイトルと発出委員会・年月日、既出の提言等との関係、相違点等について概要をお書きください

提言「科学的知見の創出に資する可視化に向けて」（総合工学委員会・平成29年8月8日付）

本報告では、その提言にそった実作業の成果を報告している。

※チェック欄で「いいえ」を選択した場合、その理由があればお書きください

◎ SDGs（持続可能な開発目標）との関連（任意）

以下の17の目標のうち、提出する提言等（案）が関連するものに○をつけてください（複数可）。提言等公表後、学術会議HP上「SDGsと学術会議」コーナーで紹介します。

1. (○) 貧困をなくそう
2. (○) 飢餓をゼロに
3. (○) すべての人に保健と福祉を
4. (○) 質の高い教育をみんなに
5. (○) ジェンダー平等を実現しよう
6. (○) 安全な水とトイレを世界中に
7. (○) エネルギーをみんなに、そしてクリーンに
8. (○) 働きがいも経済成長も
9. (○) 産業と技術革新の基盤をつくろう
10. (○) 人や国の不平等をなくそう
11. (○) 住み続けられるまちづくりを
12. (○) つくる責任つかう責任
13. (○) 気候変動に具体的な対策を
14. (○) 海の豊かさを守ろう
15. (○) 陸の豊かさを守ろう
16. (○) 平和と公正をすべての人に
17. (○) パートナリーシップで目標を達成しよう

※「持続可能な開発目標（SDGs）」とは

2015年9月に国連総会が決議した「我々の世界を変革する：持続可能な開発のための2030アジェンダ」が掲げた目標。

詳細は国連広報センターHPをご覧ください。

提言等公表時のSDGs説明

この説明は、日本学術会議の意思の表出（提言・報告・回答、以下「提言等」という）を日本学術会議ホームページのSDGsコーナーで紹介し、多くの関係者の閲読を促進するためのものです。

提言提出時のチェックシートにおいてSDGsとの関連に記述した場合は、日本語紹介文と英文アブストラクトを記載し、提出してください。

記入者（委員会等名・氏名）：科学的知見の創出に資する可視化分科会・小山田耕二

和文タイトル 科学的知見の創出に資する可視化—文理融合研究と新パラダイム策定—

◎ SDGs（持続可能な開発目標）との関連

チェックシートで選択した項目に○をつけてください。

- | | | | | |
|---------------|---------------|------------------|------------------|----------------|
| 1. (○) 貧困 | 2. (○) 飢餓 | 3. (○) 健康 | 4. (○) 教育 | 5. (○) ジェンダー平等 |
| 6. (○) 安全な水 | 7. (○) エネルギー | 8. (○) 経済成長 | 9. (○) 産業と技術革新 | |
| 10. (○) 不平等 | 11. (○) まちづくり | 12. (○) つくるつかう責任 | 13. (○) 気候変動 | |
| 14. (○) 海の豊かさ | 15. (○) 陸の豊かさ | 16. (○) 平和と公正 | 17. (○) パートナリシップ | |

◎ 和文紹介文 200字以内

当分科会では、社会的期待を的確に把握するために、社会的データを効果的に可視化することを目標に掲げている。その活動のひとつとして、日本学術会議の提言文書285件を機械学習技術によりベクトル化し、SDGsに設定された17ゴールとの類似度に基づき文書を自動分類した。その結果、各ゴールに対して概ね均等に文書が配分されることが判明した。

◎ 英文アブストラクト 150 words 以内

Our subcommittee targets at effectively visualizing sociological data in order to correctly understand the social expectations. As an attempt, we took full advantage of the machine learning technology to characterize 285 proposals from Science Council of Japan and clustered them in terms of 17 SDGs' goals. As the result, it turned out that all the proposals are almost evenly distributed across these goals.

◎ キャッチフレーズ 20字以内

SDGs 目標における提言の網羅性を可視化

◎ キーワード 5つ程度

政策意思決定、エビデンス発見、可視化、機械学習、自動クラスタリング