

見 解

科学的知見の創出に資する可視化
—ビッグデータのビジュアル分析を基盤とする
分野横断型デジタル視考—



令和5年（2023年）9月26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

この見解は、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可視化の新パラダイム策定小委員会、ICT時代の文理融合研究を創出する可視化小委員会、及び社会に資する可視化の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	萩原 一郎	(連携会員(特任))	明治大学研究・知財戦略機構研究特別教授、先端数理科学インスティテュート(MIMS)所員、自動運転社会総合研究所(MIAD)所員、東京工業大学名誉教授
副委員長	小山田耕二	(第三部会員)	大阪成蹊大学データサイエンス学部教授
幹事	藤代 一成	(連携会員)	慶應義塾大学理工学部教授
幹事	田中 覚	(連携会員)	立命館大学情報理工学部教授
	行場 次郎	(第一部会員)	尚絅学院大学心理教育学群教授
	大倉 典子	(第三部会員)	芝浦工業大学名誉教授・SIT 総合研究所客員教授、中央大学大学院理工学研究科客員教授・研究開発機構機構教授
	下條 真司	(第三部会員)	大阪大学サイバーメディアセンターセンター長
	伊藤 貴之	(連携会員)	お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科教授
	上野佳奈子	(連携会員)	明治大学理工学部建築学科専任教授
	大林 茂	(連携会員)	東北大学流体科学研究所リサーチプロフェッサー
	蒲池みゆき	(連携会員)	工学院大学情報学部学部長・教授
	越塚 誠一	(連携会員)	東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻教授
	高橋 桂子	(連携会員)	早稲田大学総合研究機構グローバル科学知融合研究所上級研究員/研究院教授
	南澤 孝太	(連携会員)	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科教授
	明和 政子	(連携会員)	京都大学大学院教育学研究科教授
	跡見 順子	(連携会員(特任))	帝京大学先端総合研究機構寄付講座特任教授、東京農工大学大学院工学府応用化学専攻客員教授、東京大学名誉教授

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
副委員長	竹島由里子		東京工科大学メディア学部教授

幹 事	夏川 浩明		大阪成蹊大学データサイエンス学部准教授
	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
	大林 茂	(連携会員)	東北大学流体科学研究所教授
	蒲池みゆき	(連携会員)	工学院大学情報学部学部長・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
	五十嵐悠紀		お茶の水女子大学理学部准教授
	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
	小野 謙二		九州大学情報基盤研究開発センター教授
	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		岩手県立大学特命教授、岩手県立大学名誉教授、 株式会社アイプランツ・システムズ代表取締役
	萩原 一郎		明治大学研究・知財戦略機構研究特別教授、先端数 理科学インスティテュート（MIMS）所員、自動運転 社会総合研究所（MIAD）所員、東京工業大学名誉教 授
	茅 暁陽		山梨大学理事・副学長
	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

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
副委員長	加藤千恵子		東洋大学総合情報学部教授
幹 事	鹿内 菜穂		亜細亜大学経営学部准教授
幹 事	長谷川恭子		立命館大学総合科学技術研究機構准教授
	小山田耕二	(第三部会員)	大阪成蹊大学データサイエンス学部教授
	大倉 典子	(第三部会員)	芝浦工業大学名誉教授・SIT 総合研究所客員教授、 中央大学大学院理工学研究科客員教授・研究開発機 構機構教授
	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

應矢 泰紀	京都国際マンガミュージアム学芸室員（京都精華大学）
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 CAE 事業本部 DX ソリューション事業部スペシャリスト
坂野 雄一	愛知学院大学心理学部教授
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
山口 欧志	独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所埋蔵文化財センター研究員
李 亮	立命館大学情報理工学部准教授

社会に資する可視化の小委員会

委員長	伊藤 貴之	(連携会員)	お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科教授
副委員長	脇田 建		東京工業大学情報理工学院数理・計算科学系准教授
幹事	伊藤 正彦		北海道情報大学情報メディア学部情報メディア学科教授
幹事	水野加寿代		ヤフー株式会社テクノロジーグループデータ統括本部データアプリケーション本部エンジニア
	河口 信夫	(連携会員)	名古屋大学未来社会創造機構教授
	伊藤 公人		北海道大学人獣共通感染症国際共同研究所教授
	大西 正輝		国立研究開発法人産業技術総合研究所人工知能研究センター研究チーム長
	岸本 充生		大阪大学データビリティフロンティア機構／社会技術共創研究センター教授
	高田百合奈		青山学院大学地球社会共生学部助教
	高間 康史		東京都立大学システムデザイン学部教授
	豊田 正史		東京大学生産技術研究所教授
	鳥海不二夫		東京大学大学院工学系研究科教授
	永田ゆかり		データビズラボ株式会社代表取締役
	美馬 秀樹		九州大学教育改革推進本部特定教授

吉田 光男

筑波大学ビジネスサイエンス系准教授

渡邊 英徳

東京大学大学院情報学環教授

本見解の作成にあたり、以下の職員が事務を担当した。

事務	佐々木 亨	参事官（審議第二担当）
	柳原 情子	参事官（審議第二担当）付参事官補佐
	影山 祥子	参事官（審議第二担当）付審議専門職付
	岡本 摩耶	学術調査員

要 旨

1 作成の背景

本見解では、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が第23期に発出した提言「科学的知見の創出に資する可視化に向けて」及び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（以下「可視化分科会」という。）が第24期に発出した報告「科学的知見の創出に資する可視化に向けて—文理融合研究と新パラダイム策定—」を踏まえ、その具体的実践に焦点をあてて、可視化分科会が第25期に行ってきた活動のうち、「可視化の新パラダイム策定小委員会」、「ICT時代の文理融合研究を創出する可視化小委員会」、「社会に資する可視化の小委員会」の3つの小委員会に関連する内容を中心に、科学的知見に基づき専門的な見地から政府や関係機関、広く社会に向けた提案を発表するものである。具体的には、「ビッグデータ可視化をコア技術とした学際的研究」という新たな学術研究を創出し、社会に分野横断的に利用可能なビジュアル分析環境として、「デジタル視考基盤」を提供することを提案する。

2 ビッグデータ時代の到来を踏まえた分野横断的可視化の必要性

現在、高性能計算環境を用いた数値シミュレーション、大規模計測や観測、インターネット上でのデータ収集等により、「ビッグデータ」が生成・蓄積されている。この状況は、自然科学を中心とする科学技術のみならず、文化財保存やデータジャーナリズムなど、伝統的にはアナログデータを用いていた分野の研究にまで広がりを見せ、様々な研究分野で、デジタル形式のビッグデータが研究の第1次データとなるケース、すなわち、それ以外の文書や図面などの資料が存在しないケースが増えてきている。このような時代の到来を踏まえ、その特質を最大限に活かした学際的学術研究の創出が求められている。

「可視化」は、巨大で複雑なビッグデータを人間が理解し、情報を引き出すために必須の方法論である。可視化は、異分野の人間に、画像・映像を通じて対象に対して共通のイメージをもたらすことができる。その優れた特長ゆえ、可視化は、日々生まれる多種多様な分野のビッグデータを、各分野の研究者が協働して分析・利活用するための「共通言語」となり得る。一方で、分野やデータに依存した可視化は、実際の利用者の環境や嗜好の影響を受け、バイアスを含む解釈も生み出し得る。この弊害を回避するには、分野横断的なビジュアル分析の標準モデルを構築し、それに基づく環境、すなわち「デジタル視考環境」を開発することが急務である。

3 デジタル視考の確立と基盤構築

本見解では、上記の背景を踏まえ、「ビッグデータ可視化をコア技術とした学際的研究」という新たな学術研究として、分野横断的に利用可能な「デジタル視考」を提案する。社会インフラとして完全に定着したWeb検索に次いで、デジタル視考基盤を社会実装したデジタル視考環境は、ビッグデータを活用し、人々の日々の思考活動に必須のインフラとなり得るポテンシャルを有する。

(1) 科学技術におけるビッグデータのビジュアル分析

斯界の黎明期を飾る科学技術計算における可視化 (Visualization in Scientific Computing) レポート (1987) の冒頭で述べられているように、可視化は「コンピューティング」の一種である。あらゆるコンピューティングにはパラダイムが必要であり、可視化もまた例外ではない。これまで、その時代の計算資源や要求を反映して、幾多の可視化パラダイムが提案されてきた。なかでも挑戦的可視化研究 (Visualization Research Challenge) レポート (2006) に掲げられた可視化発見プロセス (Visualization Discovery Process、以下「VDP」という。) は、データ、可視化、ユーザが三位一体となったビッグデータのビジュアル分析を行う Human-in-the-loop を構成し、現在の標準的な対話的可視化のパラダイムとして広く認知されている。一方、昨今著しい進展を遂げている深層学習は、可視化にも大きな影響を与える可能性がある。本見解では、VDP において、利用者の知覚・認知機構によって可視化画像から新たな知識を得るプロセスや、得られた知識に基づいて可視化に新たな仕様を戻す探索プロセス等に、深層学習を併用する「デジタル視考基盤」を、次世代の科学技術可視化パラダイムとして提案する。

(2) 文化芸術科学におけるビッグデータのビジュアル分析

近年、文化芸術科学でもビッグデータが用いられるようになってきた。例えば、大規模遺跡の3次元計測データは数十億点以上の点群データ(3次元的な点の座標値などを記録したデータ)となる。舞踊などのモーションキャプチャデータも大規模時系列点群データとなる。マンガ・アニメ・ゲーム等のサブカルチャーも、メタバースの活用や人工知能 (Artificial Intelligence) による創作支援などで、ビッグデータとの関連が深い。この分野のビッグデータには、異種データの混在という「データの多様性」と計測ノイズなどに由来する「データの不確実性」という難点がある。そのため、文化芸術科学におけるデジタル視考基盤は、大規模データにおける情報の豊富さ、統計的处理との親和性の良さ等の特長を活かした上で、マルチソースデータを柔軟に扱えるべきである。本見解では、この拡張を前提として、文化芸術科学が扱う様々な対象を有形文化財、無形文化財、マンガ・アニメ・ゲームに分け、可視化を中核とした新たな文理融合研究を追求する。

(3) 社会科学におけるビッグデータのビジュアル分析

最先端の情報技術とビッグデータを駆使して社会現象を分析する「計算社会科学」という学術領域が近年急成長している。計算社会科学を駆使して発見した社会現象を人間が理解するには、上記のデジタル視考基盤を用いて、計算結果を効果的に人間に提示し、人間がそれを反復的に操作することで有意義な知見が引き出せるようなビジュアル分析技術の開発が重要である。計算社会科学とビジュアル分析技術を融合することで、社会現象に関するデータに基づいた調査報道の一種である「データジャーナリズム」の新しい方法論を確立できる。ビッグデータのビジュアル分析の出自を管理し、説明可能な可視化を実現する情報学的アプローチを導入したデータジャーナリズムの普及は、データ分析に興味を持ち理解を示す人材の裾野を広げ、社会現象の客観的理解に資するデータサイエンス戦略にも有効である。

(4) 文理融合に向けた総合工学ビジョン

本見解で提唱するデジタル視考基盤は、上記の3分野に限定されるものではなく、非常に広い分野で有用なものとなる。科学技術データは、実空間のデータと抽象的データ空間のデータの混合である。文化芸術科学では計測で得られる実空間のデータを、社会科学では主として抽象的データ空間で定義されるデータを各々扱う。そして、殆どの学術分野のデータは、このパターンのいずれかに分類可能である。従って、本見解で提唱する、ビッグデータの種類や形式によらないデジタル視考の理論や基盤は、開発される共通フレームワークを基にして、分野ごとに相応しい社会実装を行った上で、多彩な分野に分野横断的に適用可能である。デジタル視考基盤を活用した分野横断的な協働・共創は、ビッグデータ時代にふさわしい文理融合を目指す総合工学ビジョンの一例とも位置付けられる。そのビジョンの実現には、デジタル視考基盤への合意形成機構の取込み、可視化リテラシ教育の拡充等の取組も併せて実施することが重要である。

目 次

1	見解作成の背景.....	1
2	ビッグデータ時代の到来を踏まえた分野横断的可視化の必要性.....	2
3	デジタル視考の確立と基盤構築.....	3
(1)	科学技術におけるビッグデータのビジュアル分析.....	3
①	可視化パラダイムの必要性.....	4
②	可視化発見プロセスモデル.....	5
③	デジタル視考基盤：深層学習を取り込んだ可視化の新パラダイム.....	6
④	デジタル視考基盤に関連する研究開発例.....	7
(2)	文化芸術科学におけるビッグデータのビジュアル分析.....	8
①	有形文化財とビッグデータ可視化.....	9
②	無形文化財とビッグデータ可視化.....	11
③	マンガ・アニメ・ゲームとビッグデータ可視化.....	13
(3)	社会科学におけるビッグデータのビジュアル分析.....	13
①	計算社会科学のためのビジュアル分析とデータジャーナリズムへの応用.....	14
②	社会現象のためのデータジャーナリズムシステムの概要.....	15
③	要素技術1：サイバーフィジカル融合社会における行動変容の可視化.....	17
④	要素技術2：企業間取引ネットワーク・物流ネットワークの没入型可視化.....	18
(4)	今後の展望.....	19
4	見解：文理融合に向けた総合工学ビジョン.....	20
	＜用語の説明＞.....	22
	＜参考文献＞.....	24
	＜参考資料1＞審議経過.....	27
	＜参考資料2＞シンポジウム開催.....	29

1 見解作成の背景

本見解では、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が第 23 期に発出した、提言「科学的知見の創出に資する可視化に向けて」[1]及び総合工学委員会「科学的知見の創出に資する可視化分科会」（以下「可視化分科会」という。）が第 24 期に発出した報告「科学的知見の創出に資する可視化に向けて—文理融合研究と新パラダイム策定—」（令和 2 年（2020 年）9 月 8 日付）[2]を踏まえ、その具体的実践に焦点をあてて、可視化分科会が第 25 期に行ってきた活動の成果として、科学的知見に基づき専門的な見地からの提案を公表するものである。

可視化分科会では、第 25 期に、可視化に関連した 4 つの小委員会を設置して議論を進めてきた。すなわち、「可視化の新パラダイム策定小委員会」、「ICT 時代の文理融合研究を創出する可視化小委員会」、「社会に資する可視化の小委員会」、「細胞-身体可塑基盤からの自分を知り育てる科学知見創出に資する可視化小委員会」である。また、「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を、第 24 期に 4 回、第 25 期に 3 回開催、一連のシリーズとして実施して議論を深めてきた。さらに、「学術の動向」で、議論の成果を報告した[3][4][5][6]。可視化分科会は、これらの活動を通じて、ビッグデータ時代の恩恵を最大限に活用して、我が国において、文理融合を含む分野横断型の研究を振興させる可能性について検討してきた。本見解は、これらの活動のうち、前三者の小委員会に関連する内容を中心に、分科会の主要な検討課題である科学的知見の創出に資する可視化に関して、科学的知見に基づき専門的な見地から政府や関係機関、広く社会に向けた提案を発表するものである。なお、専門用語は 22～23 ページの用語の説明にまとめ、初出箇所に↑を付す。

2 ビッグデータ時代の到来を踏まえた分野横断的可視化の必要性

現在、様々な研究分野で、大規模計測や観測、インターネット上でのデータ収集、ビッグサイエンスの実験やシミュレーション等により、「ビッグデータ」が生成・蓄積されている。この状況は、自然科学を中心とする科学技術のみならず、文化財保存や社会ジャーナリズムなど、伝統的にはアナログデータを用いていた分野の研究にまで広がりを見せている。その状況を受け、分野を問わず様々な研究分野で、ビッグデータが研究の第1次データとなり、それ以外の文書や図面などの資料が存在しない場合が増えている。このようなビッグデータ時代の到来を踏まえ、その特質を最大限に活かした学際的学術研究の創出が求められている。

巨大で複雑なビッグデータを人間が理解し、情報を引き出すための手段として、現実的に見て唯一の方法論が「可視化」である。一方、可視化には、「異分野の人間が、画像・映像を通じて対象に対して共通のイメージをもつことを可能にする」という、優れた特長がある。よって可視化は、日々生まれる多種多様な分野のビッグデータを、各分野の研究者が協働して分析し、利活用することを支援する「共通言語」となり得る。ただし、分野やデータに依存した可視化は、利用者の環境や嗜好に依存し、バイアスを含む可視化結果も生み得る。それを回避するには、分野横断的なビジュアル分析環境による可視化の標準モデルを構築することが肝要である。

本見解では、上記の考察を踏まえ、「ビッグデータ可視化をコア技術とした学際的研究」という新たな学術研究を創出し、社会に分野横断的に利用可能なビジュアル分析環境として、「デジタル視考基盤」を提供することを提案する。「視考」は元々、C. Ware によって命名された概念である[7]。ハンマーが手の力を増幅したり、算盤が計算を補助したりするように、可視化を頼りに人間の知的活動を増幅する機構をさしている。デジタル視考基盤は、「情報学」を結節点とした文理融合ビジョンを下支えする。このビジョンの実現には、ビッグデータの直接的な可視化だけでなく、情報学の近年の最大の成果であり可視化とも密接な関係がある人工知能 (Artificial Intelligence、以下「AI」という。)、特に深層学習 (deep learning) の活用が必須である。加えて、デジタル視考環境への合意形成機構の取込みも重要である。

本見解では、ビッグデータ時代にふさわしい新しい対話的可視化を提案している。これが社会に益するためには、可視化のリテラシ教育の拡充も合わせて行う必要がある。例えば、計算機の登場以前のデータ可視化手法である棒グラフ、折れ線グラフ、円グラフなどは、リテラシ教育があればこそ、広く使われるようになった。新しい可視化のスタイルは、そのリテラシ教育とペアで提案されるべきであることは当然である。本見解の主旨の社会実装である「デジタル視考環境」は、そのために有効なツール、そして研究者だけでなく、企業の技術者、その他多くの人々が可視化を中核とするビジュアル分析、つまりデジタル視考を発展させていく基盤となる。

3 デジタル視考の確立と基盤構築

本見解では、上記のように、「情報学」特にビッグデータ可視化をコアとする学際的ビジョンを提案する。ビッグデータを利活用する社会的フレームワークは既に、第五次科学技術基本計画[8]に記載された「超スマート社会」(Society 5.0)で標榜している「サイバーフィジカルシステム[†]」(Cyber-Physical System、以下「CPS」という。)に示されている。本見解でイメージするビッグデータ時代の文理融合研究のビジョン(図1)は、そのフレームワークと完全に符合する。実空間(フィジカル空間)志向のビッグデータだけでなく、抽象データ空間(サイバー空間)のビッグデータも、各種のセンシング技術を介して得られるものである。逆に可視化は、ビッグデータをメタバース空間のデジタルツイン[9][10]として具象化するアクチュエーション[†]の一種と位置付けることができる。本見解で提案するデジタル視考基盤は、既存の高度センシング・アクチュエーション基盤や、高速インターネット・クラウド化基盤や大規模データ管理基盤と相俟って、このような形態でのビッグデータ利活用を下支えし、デジタル視考環境を提供する。人々はその可視化結果に基づいて、自ら高度な意思決定を行い、とるべき確度の高いアクションに繋げる。

本見解では、このビッグデータを取り扱う主たる分野として、「科学技術」、「文化芸術科学」、「社会科学」を採り上げ、それぞれ、(1)科学技術におけるビッグデータのビジュアル分析、(2)文化芸術科学におけるビッグデータのビジュアル分析、(3)社会科学におけるビッグデータのビジュアル分析、を設けて、具体的な検討を行う。(1)は「可視化の新パラダイム策定小委員会」、(2)は「ICT時代の文理融合研究を創出する可視化小委員会」、(3)は「社会に資する可視化の小委員会」の活動に基づき、各小委員会の横断的な議論に加えて、可視化分科会の審議を経てまとめたものである。



図1 デジタル視考に基づくビッグデータ時代の文理融合研究ビジョン

(出典) 科学的知見の創出に資する可視化分科会作成

(1) 科学技術におけるビッグデータのビジュアル分析

斯界の黎明期を飾る科学技術計算における可視化(Visualization in Scientific Computing、以下「ViSC」という。)レポート[11]の冒頭でも述べられているように、可視化はコンピューティングの一種である。あらゆるコンピューティングにはそのパラダ

イムが必要であり、可視化も例外ではない。これまで、その時代の計算資源や要求を反映して、幾多の可視化パラダイムが提案されてきた。90年代を代表するデータフローパラダイムに代わって、挑戦的可視化研究 (Visualization Research Challenge、以下「VRC」という。) レポート[12]に掲げられた新時代の可視化パラダイムが可視化発見プロセス (Visualization Discovery Process、以下「VDP」という。) である。その本質は、データ、可視化、ユーザが三位一体となったビジュアル分析のループ構成にある。

ところで、昨今の深層学習は、可視化パラダイムにも大きな影響を与えている。そこで VDP において、利用者の知覚・認知機構によって可視化画像から新たな知識を得るプロセスや、得られた知識に基づいて可視化に新たな仕様を戻す探索プロセスに、深層学習を併用する機構を追加した「デジタル視考基盤」を、可視化の新パラダイム策定小委員会では次世代の科学技術のための可視化パラダイムとして提案し、関連する研究開発例を収集・分析してきた。さらに、ビジュアル分析ループの明示的制御により、可視化の出自を管理し、説明可能 (accountable) な可視化環境を実現することが、因果律を最重要視する科学技術可視化のあるべき姿であるという統一した見解を得るに至った。

① 可視化パラダイムの必要性

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せめたのは、1987年7月に米国国立科学財団 (National Science Foundation) の支援を受け、米国計算機学会 (Association for Computing Machinery: ACM) のコンピュータグラフィックスと対話技術部会 (Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques: SIGGRAPH) が発刊した ViSC レポート[11]である。このレポートの冒頭は、『可視化は見えないものを見えるようにするコンピューティングの一つの方法である (Visualization is a method of computing for seeing the unseen)』という印象的な定義から始まっている。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四則演算を実行させることにとどまらない。その語源まで遡れば、computation は consideration にも通じ、人間の高度な知的行為全般をさしていることに注意されたい。

この ViSC レポートのフォローアップとして、同様に米国国立科学財団の支援により、米国国立衛生研究所 (National Institutes of Health) が2006年1月に発刊した VRC 2006 レポート[12]では、『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 (intelligence amplification) の技術であると可視化を再定義している[2]。

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上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[2]。可視化の新パラダイム策定小委員会では、これまでの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サポートする、新たな可視化パラダイム像について24期から一貫して議論を進めてきた[3]。

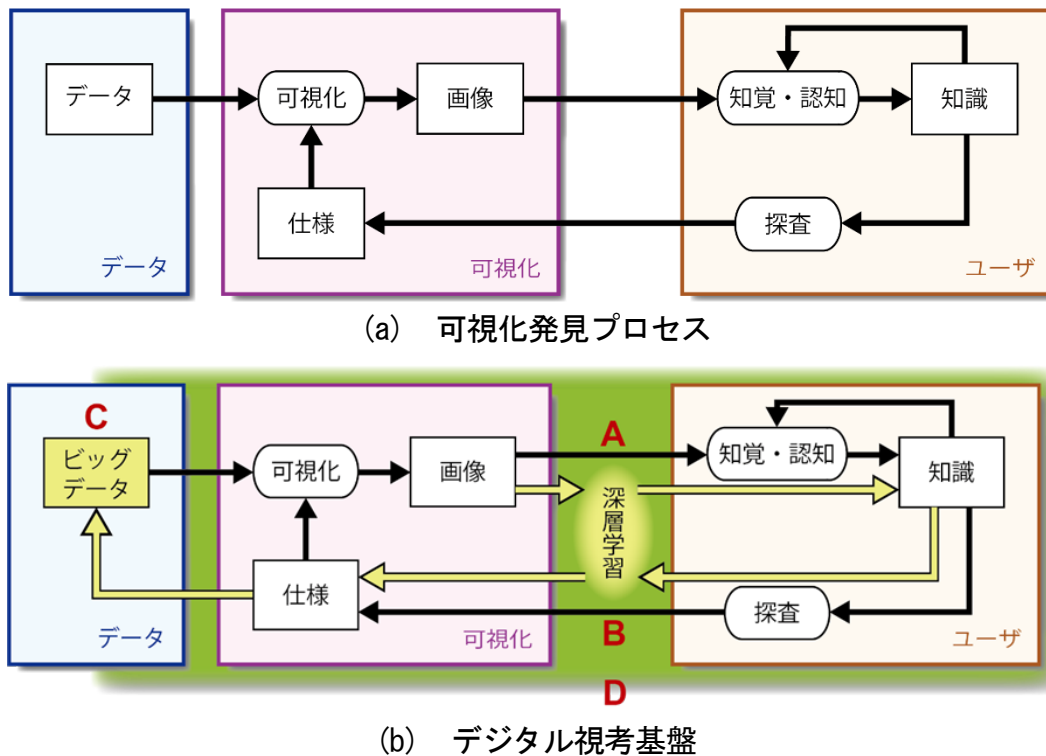


図2 可視化発見プロセスモデルとデジタル視考基盤のフレームワーク

(出典) (a) 文献[12] (日本語に翻訳)

(b) 可視化の新パラダイム策定小委員会作成

② 可視化発見プロセスモデル

現代の対話的な可視化のパラダイムとして広く認知されているのは、VRC レポート[12]に示されたVDPモデルである。図2(a)に示すように、VDPモデルは、データと可視化、ユーザが三位一体となっている点で、ユーザの役割が必ずしも明示されていなかった旧来のデータフローパラダイム[13]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ユーザの知識となる。そしてユーザは、その洗練を求めてアルゴリズム選択や特定のパラメータ値等を組み込んで仕様を変更し、さらに進んだ可視化に繋げる。VDPモデルは、このフィードバックの仕組み、すなわちHuman-in-the-loopを明確にモデル化し、本質的にユーザの介入を許す、対話的可視化特有の技術的特徴を露わにしている。

VDPモデルの提唱と同時期に、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登場してきた「ビジュアル分析」(Visual Analytics) [14]のコンセプトは、巨大で動的、時に自己矛盾を起こしている複雑データから、『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を標榜する総合工学技術である[2]。このビジュアル分析においては、VDPモデルをVisual Analytics Sensemaking Loopと称することがある[15]。

③ デジタル視考基盤：深層学習を取り込んだ可視化の新パラダイム

前述のとおり、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にある。その一方で、この数年間で大きく進展してきた深層学習技術を、可視化の高度化にも積極的に役立てていこうとする気運が高まってきている。実際、関連学会発表でも同目的の試みに関する報告が急増している。

このような研究開発動向をかんがみ、可視化の新パラダイム策定小委員会は、今期の成果として、科学的知見創出のスケラビリティの確保を目的とする、「デジタル視考基盤」(digital visual thinking infrastructure) とよばれる新たなパラダイムを提案している。「視考」は元々、C. Ware によって命名された概念である[7]。ハンマーが手の力を増幅したり、算盤が計算を補助したりするように、可視化を頼りに人間の知的活動を増幅する機構をさしている。

前頁図 2 (b) を見ていただきたい。デジタル視考基盤は、当該分野に既に浸透している VDP モデル (図 2 (a)) に、緑で示した深層学習レイヤを有機的に追加したフレームワークとして定義できる。ここで、可視化を実空間に向けた操作であるアクチュエータに置き換えれば、「ロボット AI」を実現するフレームワーク[16]とも符合し、CPS のなかで統一的に捉えることが可能である。

具体的に、デジタル視考基盤において、可視化発見のプロセスに深層学習を作用させる可能性は 4 ケース存在する。まず、可視化とユーザとの双方向のコミュニケーションに対して深層学習によるバイパス処理を実現することができる。画像を知覚・認知のパスに利用する場合 (ケース A) は、画像の文脈から対象の特徴的な構造や挙動を、人間よりも遍く、かつ詳細に同定する可能性を秘めている。ここは、先行してコンピュータビジョン分野で培われてきた深層学習応用の成果が大いに利活用できる箇所である。一方、獲得した知識に基づいて探査を深化させ、新たな可視化の仕様を決定する場合 (ケース B) でも、過去の類似の成功事例を学習することにより、人手を介さず、より効果の高いアルゴリズムの選択や可視化パラメータの調整を実現できる。

次に、対象となるデータの生成にまで深層学習の適用範囲を拡げるならば (ケース C)、対象となる数値シミュレーションや計測データの信頼性向上の効果が期待できる。計算工学や計測工学分野における同目的の最新成果を存分に利活用できる。

さらに、Human-in-the-loop 全体を管理する際 (ケース D) にも、深層学習の支援が有用である。例えば、ViSC レポートの著者の一人でもあり、1990 年代に多面投影ディスプレイによる没入的視覚環境 CAVE システムを開発し、没入的なバーチャル空間構築への扉を開いた T. A. DeFanti は、国際会議 ACM SIGGRAPH 1988 のビデオ信号ハードウェアに関するパネル討論で『記録できなければ科学ではない (If it ain't recordable, it ain't science)』と述べ、未体験の映像体験を通して実感させられたことを記録・追跡可能にし、必要に応じて再利用できるような環境が科学の発展には必須であることを示唆した。その後、科学的知見の記録・追跡・再利用可能性は、科学データベースや可視化において、出自管理 (provenance management) とよばれる重要な研究テーマとなっており、3 章(3)の「社会に資する可視化の小委員会」の議論と

も密接に関係する。この包括的課題に対する深層学習の適用はきわめて挑戦的である。

ここまでは、可視化に対して深層学習を適用する方策(“AI for Visualization”)を見てきたが、ブラックボックスに陥りやすい深層学習器の挙動を分析し、潜在空間[†]の可制御性を実現する逆向きの処理にも目が向けられている。この方策は“Visualization for AI”と称されており、説明可能AI[†](Explainable AI)の実現に向けた最重要課題の一つとなっている[17]。デジタル視考基盤の対象を深層学習プロセスとすれば、ケースDがまさに説明可能AIのフレームワークを与える。

④ デジタル視考基盤に関連する研究開発例

ここでは、デジタル視考基盤の適用可能性を実証するために、先端的な応用研究開発事例を採り上げ、デジタル視考基盤と関連付け、そのインパクトについて説明する。

山梨大学は、図3に示すように、葡萄の摘粒[†]作業において、最新の深層ニューラルネットワーク[†](Deep Neural Network、以下「DNN」という。)を用いて匠の技を学習し、各種の省力化につなげるスマート農業システムを開発している[18]。このシステムは、学習済DNNの性能向上により、実画像だけから非侵襲的に房あたりの粒数を高い精度(房あたりの平均精度 ± 0.41 粒)で推定し、拡張現実(Augmented Reality、以下「AR」という。)空間で、作業者にその情報をリアルタイムに重畳表示できる(図3右上の白枠脇の数字)。この機能は、人手不足が叫ばれるなか、農繁期に短期間で終了させなければならない摘粒作業の効率化に大きな実利効果が期待されている。これは、図2(b)における深層学習利用のケースAに相当する。さらに、このシステムは、各粒の今後の成長度合いを考慮して、優先的に摘むべき粒まで特定し、指示を出すことにも成功している(図3右上の白枠内で赤く表示された果粒)。これは、図2(b)の深層学習利用ケースBに他ならず、CPSにおけるアクチュエーションの好例と位置付けることも可能である。

この事例は、科学技術データのビジュアル分析の効果を社会実装するシステム形態の典型を与えている。実際、その他の作物への転用や、農福連携[†]、農業教育における利用を目指して様々な農業デジタルトランスフォーメーション[†]

(Digital Transformation、以下「DX」という。)のシステム拡張が検討されている。特に、農業教育においては、学習者に深層学習による決定内容を鵜呑みにさせず、摘粒の根拠を明らかにする必要がある。この点で、図2(b)における深層学習利用のケースDの説明可能AIが果たす役割の重要さは大きい。



図3 葡萄粒摘作業を支援する
スマート農業システム

(出典) 文献[18]

(2) 文化芸術科学におけるビッグデータのビジュアル分析

ここでは、文化芸術科学の研究活動や研究成果利活用を支援するためのビッグデータのビジュアル分析と、それを中核とする新たな文理融合研究について述べる。

3章(1)では、自然科学を中心とした伝統的な科学技術を念頭においてデジタル視考基盤を説明した。しかし、デジタル視考基盤は、あらゆる種類のビッグデータを対象とする「視考」を支援するものである。図1に示したように、科学技術は抽象空間と実空間データが混在したものを扱う。一方で、文化芸術科学のデータは、有形文化財や無形文化財を実測して得られる実空間データが中心であり、その意味では、科学技術よりも単純で扱いやすくすらある。そのため、デジタル視考基盤は、それが実現されれば、文化芸術科学分野においても、科学技術と同等以上の恩恵をもたらす。加えて、科学技術分野との技術や知見の共有も可能になる。例えば、3章(1)でとりあげたスマート農業でも、土地の起伏や植生などの分析に関して3次元計測の技術を利用可能であることから、文化芸術科学との連携により分野横断型の知見を見出す可能性が高い。

ただし、文化芸術科学のビッグデータには2つの難点がある。第1の難点は「データの多様性」である。同分野のデータは、画像、音声、テキスト、統計データなどが混在したマルチソースデータとなることが多く、異種データを統一的に扱うことが必要となる。第2の難点は「データの不確実性」である。これは、現実の文化財等を計測してデジタル保存する際には、必ず計測誤差が含まれるからである。これらの難点を克服し、高精細でインテリジェントなビジュアル分析を行うためには、ビッグデータの大規模性を、困難と捉えるのではなく、情報の豊富さや統計的处理との親和性の良さ等の特長を生むものと捉えて有効利用すべきである。また、マルチソースデータを柔軟に扱える可視化の理論・技術も同時に開発する必要がある。これらの課題を解決することで、文化芸術科学分野における分野横断型の視考が可能になり、ビッグデータ時代の文理融合研究が実現する。そして、そのような文理融合研究のプラットフォームとなるのが、デジタル視考基盤及びそれを社会実装したデジタル視考環境である。

文化芸術科学の研究においては、モノ（有形文化財）、コト（無形文化財）、ヒトの3つが研究対象となる。モノの可視化は有形文化財の複雑形状等の理解を助け、コトの可視化は動きを記述した時系列データの理解を助ける。ヒトの可視化は単純ではないが、本見解では、人の動きをコトとして捉える舞踊などの可視化に関連して、ヒトを識るためのビジュアル分析について考える。これらモノ、コト、ヒトの全てを記録するデータが、近年、急速にデジタル化し、しかもビッグデータ化しているという現状がある[4]。例えば、大規模遺跡（有形文化財）を最新の3次元計測技術でデジタル保存する場合、数十億点以上の3次元点群データ[†]が得られる。また、舞踊やダンスなど（無形文化財）をモーションキャプチャしてデジタル保存する場合にも、大規模な時系列データが記録される。さらに、比較的新しい文化ジャンルであるマンガ・アニメ・ゲームにおいても、インターネット上の新たなプラットフォームとしてのメタバースの活用や、AIを用いた創作支援などで、ビッグデータとの関連が深まっている。このような現状をかんがみれば、「第24期学術の大型研究計画に関するマスタープラン」[19]等を踏まえつつ、これ

を拡張する形で、文化芸術科学分野に登場した新たなビッグデータをも活かすような新たな視点での大型研究計画が、我が国において推進される必要がある。

デジタルデータを活用した文化芸術科学は、これまでも文理融合研究の中核の一つとされてきた。本見解で新たに主張するのは、文化芸術科学分野のデジタルデータが急速にビッグデータ化している現状を積極的に活用した上で、新たな文理融合研究のスタイルを確立すべきだということである。確立される研究スタイルは、異分野の研究者・技術者の相互理解と協働を容易にし、さらに研究者だけでなく一般人が協働に加わる、いわゆるパブリックヒューマニティーズ[†]型の分析を容易にする[20]。例えば、今後の中長期のスパンで実現するはずの次世代／次々世代のメタバース空間は、そのための重要なプラットフォームの一つとなり得る[9][10]。このような、多彩な立場の人間が協働・共創するパブリックヒューマニティーズ型の文化芸術科学は、本見解で提案するデジタル視考基盤を社会実装することでこそ可能になる。前述のように、デジタル視考基盤は、共通の基盤フレームワークを用いて、分野ごとに、最適な実装が行われる。文化芸術科学の場合は、例えば、16 K 以上の超高解像度ディスプレイや、テラヘルツ通信などの超高速通信環境を基盤とするメタバース空間などを有効活用することになると思われる。

以下では、上記の現状分析と本見解のビジョンを踏まえて、文化芸術科学の3つのジャンルのコンテンツやデータを採り上げて、ケーススタディという意味も含めて、ビッグデータ可視化を中核とした新たな文理融合研究について考える(①、②、③)。

① 有形文化財とビッグデータ可視化

近年、3次元計測（レーザ計測とフォトグラメトリ[†]）や計測機器を搭載できるドローンの発達により、実空間に現存する様々な立体物を容易かつ精密にデジタル保存できるようになった。3次元計測で取得されるのは3次元的な点の集合、すなわち、「3次元計測点群」である。その点数は、最先端の計測機器を用いた計測では、通常、数千万点から数億点に及ぶ。寺院や城跡など巨大な遺跡の計測では数十億点以上となることも珍しくない。また、3次元計測点群は、計測データであるから、当然、多くの計測ノイズを含む。このように、3次元計測という新技術の発展は、「計測ノイズを含む大規模な3次元点群」という新しいタイプのビッグデータを生むことになった。

上記のような、有形文化財の3次元計測によって得られる新たなビッグデータが内包する豊富な情報を引き出し、人間が文化芸術科学に利活用するためには、インターフェースとしての可視化が必須である。しかし、この新たなビッグデータの可視化技術は、現在、未成熟である。3次元計測点群の可視化は、現状では、各点に色をつけてそのまま描く単純点描が多い。これは、可視化というよりは単なる点の「表示」にすぎず、そのままでは生成画像が低品質である。そのため、精密ビジュアル分析に必須の高精細可視化のためには、ノイズ点の除去を、手作業を含む多大な労力を費やして行うような前処理が必要となる。これらの前処理は、生データを改変するため、文化財の精密デジタル保存という観点からも問題がある。

有形文化財を3次元計測によってデジタル保存し、取得したデータを利活用することは、従来はアナログかつ小規模なデータを第1次データとして用いていた文化芸術科学を、大きく飛躍させる可能性がある。ただし、その仲立ちとなるべき可視化技術が未成熟であることから、その可能性を活かし切れないでいるというのが現状である。しかも、そのような問題意識での可視化の研究は、国内外で決して多くはない。例えば、3次元計測分野の世界最大の国際学会である国際写真測量及びリモートセンシング学会 (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing: ISPRS) の近年の国際会議でも、研究発表の多くは計測方法や取得データの分類など、計測データセットの構築に関するものが多い。

これまでに述べた現状分析を踏まえ、3次元計測点群の可視化を有形文化財のビジュアル分析に有用なものとするためには、以下の4点が肝要と考えられる：(i) 計測ノイズの影響を受けずに高精細な可視化を行えること。(ii) データの巨大さを情報の豊富さと捉え、その情報を可視化に有効利用すること。(iii) 流体可視化や医用可視化など、伝統的な科学技術可視化分野では実現している、透視可視化や特徴強調可視化などの非写実的可視化を実用化すること。(iv) 遠隔地可視化の環境を提供すること。

上記の4点に関してそれぞれ詳述する。(i)に関しては、ビッグデータの大規模さを統計的な優位性と捉え、解像度の劣化しない平滑化アルゴリズム[†]を開発するという研究開発が考えられる。文献[21]にあるような、画像処理の超解像のアイディアの援用なども有効であろう(図4)。(ii)に関しては、実空間で定義される点(位置座標)のデータである3次元計測点群に、色(テクスチャ)、セマンティック情報[†]、計測デバイスの情報などを付与し、情報を多元化した「多元ビッグデータ」とすることで、有用な情報と不要な情報を自動分類することが可能と思われる。情報の高精度分類のためには、マルチモーダルAI[†]技術[22]の実用化が待たれる。一方で、適切な可視化がマルチモーダルAIの発達を促す可能性も高い。(iii)に関しては、統計的な処理(例えば主成分分析)に基づく特徴抽出手法を、高精細な特徴強調可視化を目的として開発することが必要である。最後に(iv)に関しては、バーチャルリアリティ(Virtual Reality、以下「VR」という。)技術を基盤とする没入型可視化[†]を合わせて行うことが有効である。容易に人間が立ち入ることができない貴重な遺跡や危機に瀕する遺跡も数多いので、文化財の保存保護・未来への継承への観点からも、仮想的な空間でのリモート鑑賞やリモートビジュアル分析の有用性は大きい。また、遠隔多地点からの参加者による仮想的な協働ビジュアル分析も実現が望まれる。

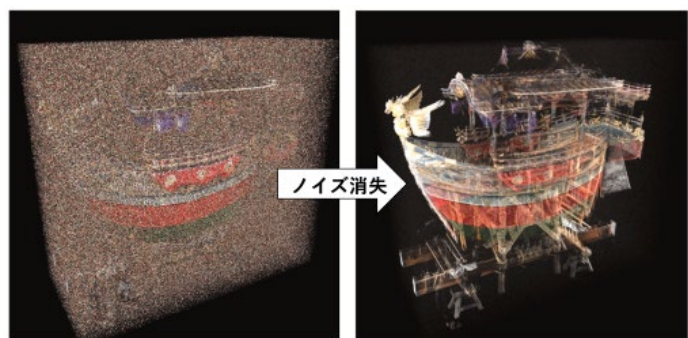


図4 超解像度のアイディアを援用した
計測ノイズ消失
(出典) 文献[21]

② 無形文化財とビッグデータ可視化

無形文化財という概念は、1994年に奈良で開かれた国際会議「世界文化遺産奈良コンファレンス」で採択された「奈良文書」で確立されたといわれる。すなわち、無形文化財は日本発の概念であり、日本の文化芸術科学が得意とする分野でもある。無形文化財の可視化は、技術的には、時系列データの可視化となる。実際、無形文化財は、舞踊などの芸能や工芸における動き、さらには、わざを体得した個人や集団によって体現されるもの、あるいは、有形文化財の制作過程や組み立て過程などをコトとして捉えたものであり、時系列的な情報に意味のあるものである[23]。そして時系列データはビッグデータとなることが多い。以下では、無形文化財の可視化やビジュアル分析に関して、今後のあるべき姿について具体的に論ずる。

まず、人間の動きや動作がそのまま無形文化財となるものとして、舞踊（ダンスを含む）を採り上げる[24]。人間の動きを記録するモーションキャプチャ（図5）の技術は近年大きく発展し、リアルタイムでの高精度計測が可能になっている。加えて、舞踊演者の表情や声、呼吸などのバイタルデータ、足圧分布や重心動揺などの力学的なデータの取得の技術も発達している。しかし、このような高度な計測技術群で取得された時系列ビッグデータ群をビジュアル分析する技術は、まだ未成熟である。従って、文化芸術科学の第1次データとして本格的に用いられているとは言い難い。

舞踊などの無形文化財を記録した時系列ビッグデータの解析が困難な大きな理由は、データの多様性である。舞踊を記録したデータは、身体に取り付けられたマーカや身体の特徴点を表す時系列点群データに、上述のバイタルデータや力学的データが混合したものとなる。このように、無形文化財の計測データは、複数の異種データのセットとして得られる多元ビッグデータとなることが多い。よって、有形文化財の場合と同様にマルチモーダル AI を活用したビジュアル分析が有望である。

舞踊に関しては、ビジュアル分析の結果を演者にリアルタイムあるいは演技後にフィードバックするトレーニングシステム／自己評価システムの研究開発も有望である。そうした開発は、人文学を中心としてきた舞踊研究を超越し、情報科学、心理学、スポーツ科学、生理学、教育学等の研究者が協働して取り組む大規模な文理融合研究となり得る。異分野を繋ぐ共通言語としての可視化がこれを可能にする。さらに、有形文化財の VR／メタバース[†]などと組み合わせることで、精細かつ斬新なエンタテインメント創出の示唆を、文化・芸術科学分野に与えることもできよう。

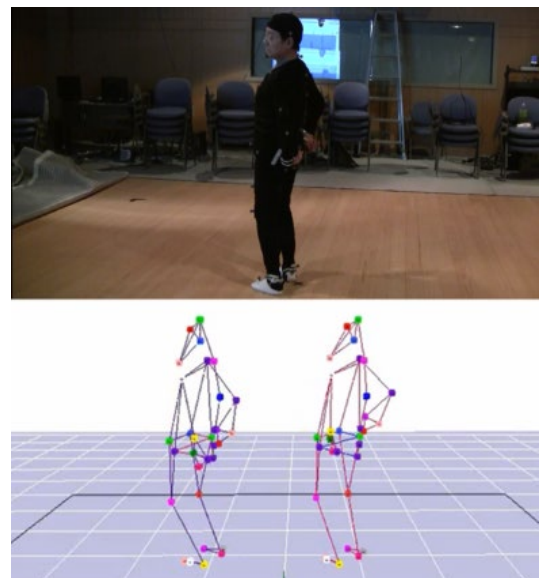


図5 舞踊のモーションキャプチャとビジュアル分析

（出典）亜細亜大学鹿内菜穂研究室提供

舞踊も含めて、人間の動作には心の状態が反映される。その意味で、人間の動作は「心の可視化」[25]という側面をもつ。従って、舞踊、あるいはより一般的に人間の動きに関連した無形文化財をビジュアル分析して、心理アセスメント[†]に活用できれば、ストレス社会におけるメンタルヘルス支援の技術を開発できる可能性がある。人間の身体動作をメンタルヘルスに役立てるという点で関連が深いのは、舞踊心理療法やヨーガの成果である。そうした成果も踏まえて、上記の舞踊などのビジュアル分析の技術・知見を取り入れた「メンタルヘルス支援システム」を構築し、ヨーガの指導に活用できれば、多人数を短時間で指導できる。舞踊心理療法でも、同様に、セラピストの負荷を軽減できる。このようなメンタルヘルス支援システムは、今後期待される学校教育におけるマインドフルネスの導入においても有効であろう。

有形文化財と無形文化財の両方に関連したビジュアル分析も重要である。無形文化財には、有形文化財の制作のプロセスも含まれる[26]。例えば、大規模な歴史的遺跡の各部分を、様々な計測方法を組み合わせてマルチデータソースから透視可視化すれば、初めに造られた内部／下部と後から造られた表層部を同時にビジュアル分析できる。これは、建築のプロセスを表す時系列的な分析を1枚の静止画で行っていると見なせる。例えば、図6は、ユネスコ世界文化遺産であるインドネシアのボロブドゥール寺院を透視可視化したものであり、初めに造られた中心部分の多層の土盛りと後から造られた石造りの表層部を同時に視認できる[27][28]。有形文化財の3次元計測データの分析を3次元点群の可視化によって行うならば、これに時間情報を入れた4次元可視化、さらに、関連情報を統合した超多次元点群の可視化としてビジュアル分析できれば、より総合的な知見が得られる。

有形・無形文化財の可視化とビジュアル分析は、文化芸術科学だけでなく人文社会科学全般に有用である。例えば、日本学術会議「心理学・教育学委員会・言語・文学委員会・哲学委員会・社会学委員会・史学委員会・地域研究委員会・デジタル時代における新しい人文・社会科学に関する分科会」のメンバが構想している Digital Human Twins[29]や歴史的デジタルツイン[†] (Digital Twin of History) などへの応用なども有望である。可視化を伴うデジタルツインの分野横断的な活用に関しては、2022年1月22日に行われた、日本学術会議の第一部、第二部、第三部が協力して開催した日本学術会議公開シンポジウム「総合知創出に向けた人文・社会科学のデジタル研究基盤構築の現在」(主催：日本学術会議心理学・教育学委員会、言語・文学委員会、哲学委員会、社会学委員会、史学委員会、地域研究委員会、情報学委員会合同 デジタル時代における新しい人文・社会科学に関する分科会)でも採り上げられている。

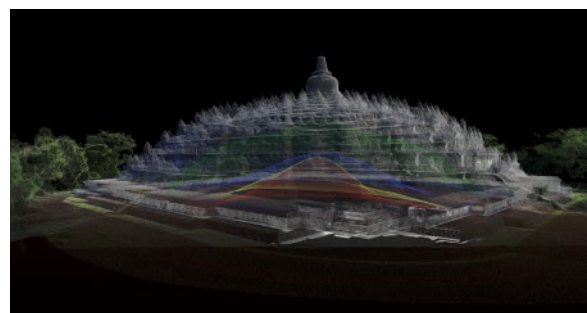


図6 ユネスコ世界文化遺産ボロブドゥール寺院の透視可視化

(出典) 文献[27][28]

③ マンガ・アニメ・ゲームとビッグデータ可視化

マンガ、アニメ、そしてゲームは近年急成長した現代文化である。これら3つは、各創成期において各々から派生した知的財産（Intellectual Property）が共有されることがあっても開発の現場は別々であった。しかし最近、これらは計算機とインターネットを共通のプラットフォームとして融合しつつある。



図7 CGによるアニメ・マンガ製作支援：キャラクターのテストパターン作成

（出典）京都国際マンガミュージアム提供

可視化をマンガ・アニメ・ゲームに役立てる試みとして、創作活動の省力化が挙げられる。PCで利用可能な3次元コンピュータグラフィックス（Computer Graphics、以下「CG」という。）のソフトウェアの登場により、マンガやアニメの制作におけるキャラクターデザイン（図7）や背景や群衆の作画等は、大幅に省力化された[30][31]。しかし、3次元CGを基盤とするツールソフトウェアは、作画を容易にする一方、作者の個性をなくすという問題も指摘されている。例えば、作者の癖としてのパース[†]の狂いが画像の迫力を出しているのが、正確な計算に基づくシーン描画によって消えてしまうこともある。この問題の解決のためには、3次元CGに人間の癖やプロパティを取り込む必要があり、そこにビッグデータ/AI活用の意義がある。現在のAI技術の進展を考えれば、特定の作者の画像を多数学習させることで、3次元的な幾何学計算を経由せずにその作者の画風を再現することも可能である。

マンガ・アニメ・ゲームの今後期待される大きな展開として、メタバース技術との融合がある。元来は2次元平面での文化であったマンガ・アニメ・ゲームが、インターネット上で、3次元的なリアリティをもって新発展を遂げる可能性がある。読者や視聴者が作品世界に入り込んだ参加型の作品鑑賞や、CPSを活用した鑑賞・分析という方向性も考えられる。しかし、マンガやアニメで要求される画像の解像度は、インターネット上のオンラインゲーム等で用いられる低ポリゴンメッシュモデル[†]のレベルの画質では実現が難しい。新たな技術開発が、有形・無形文化財のメタバース空間での高精細可視化と共通する技術課題として、分野横断的に追求されるべきである。そのためにも分野横断的なデジタル視考環境の実現が望まれる。

(3) 社会科学におけるビッグデータのビジュアル分析

本節では、「計算社会科学」という学術分野におけるビッグデータのビジュアル分析に関して、デジタル視考基盤を用いた具体的な議論を展開する。

計算社会科学とは、最先端の情報技術とビッグデータを駆使した社会科学分析の方法論に関する学術分野である。計算社会科学が発見する社会現象は多くの場合において大規模かつ複合的であり、ユーザが求める知見を全自動的に提示することは難しい。そこ

で、まず計算結果の概要を効果的に提示し、それによって知識を得た人間がデータを探索する、という処理の反復によって有意義な知見を引き出す Human-in-the-loop 型のビジュアル分析技術の開発が重要である。このような Human-in-the-loop 型のビジュアル分析は、図 2 (b) に示すデジタル視考基盤によって実現が可能となる。3 章(1) で例として示されている科学技術分野の可視化が、抽象空間と実空間データを同時に扱う複合的な技術であるのと同様に、計算社会科学も計算機上の人間行動と実社会の人間行動を同時に扱う複合的な技術である。その技術の実践のために、図 2 (b) に示すデジタル視考基盤のフレームワークは有効である。

計算社会科学と融合したビジュアル分析技術は、客観的な調査報道の一種であるデータジャーナリズム[†]の新しい技術としてもその活躍が期待される。ビッグデータに基づく情報学的なアプローチを導入したデータジャーナリズムを普及させることが、データ分析に興味をもち理解を示す人材の裾野を広げ、社会現象を客観的に理解できる人材の育成に貢献できると考えられる。

以下では、社会現象を情報伝達するためのビッグデータのビジュアル分析とデータジャーナリズムについて述べる。

① 計算社会科学のためのビジュアル分析とデータジャーナリズムへの応用

計算社会科学[32]は社会科学に関する各種現象を計算機技術によって分析・解明する学術領域である。計算社会科学は社会現象に関するビッグデータを対象とした分析技術であり、社会科学の問題に対して網羅性や客観性の高い知見をもたらす学問である。社会現象を正しく理解して適切な政策に取り組むためにも、計算社会科学の普及は我が国にとって非常に重要な意味をもつと考えられる。

計算社会科学が対象とする問題には、人間の解釈が必要であり、また人間の操作を交えた反復的な分析が必要である。そこで、計算社会科学においても、人間を中心に据えた Human-in-the-loop 型の分析技術が必要であり、ビジュアルな分析技術が必要不可欠である。

計算社会科学によるビジュアル分析技術が効果をもたらす実用例として、データジャーナリズムが考えられる。専門教育を受けた人材のみならず、幅広い国民がデータを観察する機会を有し、データへの理解を示す人材の裾野を広げるためには、データを効果的に表現するジャーナリズム技術[†]の普及が大きな鍵となると考えられる。日本の既存のマスメディアには、「事実をそのまま伝える」「客観的である」という指標が他国より低く、「アジェンダを設定して報道する」という指標が他国より高いという調査結果がある[33]。この調査結果は、日本人が客観的に社会現象を知る機会が他国に比べて少ないことを示唆するものである。一方で、日本のインターネット報道サイトでは他国と比べて、芸能などのエンタテインメント記事の割合が非常に高いという調査結果があり、国内・国外のニュースに触れる機会が他国より少ないことが指摘されている[34]。これらの調査結果を総合すると、我が国ではメディアを通して社会現象を客観的に知る機会が他国よりも少なく、データリテラシ[†]の習得において他国よ

りも不利な環境にあることが懸念される。

以上をかんがみると、日本の一般市民がより正しく日本を知るためには、日本の社会現象に関して客観的・定量的な手段で収集された各種データを、効果的な形で一般市民の目につくように提示することが効果的であると考えられる。このような手段で構築された新しいジャーナリズムにより、一般市民による社会現象の正しい理解がもたらされ、ひいては幸福度の高い社会の構築につながると考えられる。

上で述べたような背景から、社会に資する可視化の小委員会では、これまで、情報通信技術によって蓄積されたデータから発見する社会現象を効果的に報道する手段を検討してきた。その具体的なアイデアとして、計算社会科学・情報可視化・インタラクションなどの各分野の研究開発により、社会現象に関するデータを幅広く収集して統合し、それを効果的に可視化するシステムを構築すると同時に、幅広い一般市民に訴求するデザイン技術やインタラクション技術を適用する。このような研究開発と議論により、データに基づく新しいジャーナリズム技術の確立が実現できる。この構想に基づく新しいジャーナリズムが実現すれば、社会現象に関して一般市民が知り得る情報が大きく変わることが予想される。例えば、災害や疫病などの情報により、最新のデータ蓄積結果を瞬時に配信できることになり、報道のリアルタイム性が向上する。また、報道専門家の見解を介さない客観的かつ中立的な情報を得ることが容易になり、一般市民が社会状況を考察する力が向上すると考えられる。

また、上記のような構想が実現されれば、我が国が現在重点化しているデータサイエンス人材の充実にも貢献が可能である。内閣府が発表した「AI 戦略 2019」[35]では、AI 応用力を有する人材を年間 25 万人育成することが目標となっている。文部科学省は「数理・データサイエンス・AI 教育プログラム認定制度」を制定し、人材育成に貢献できる学術機関の充実に力を入れている。数理科学や情報科学の専門知識を前提としない一般市民を主たる対象としたデータジャーナリズムの確立により、国民全体のデータリテラシーを高める効果につながることが期待される。このような形でデータリテラシーを習得した人材が着実に社会に進出することが、我が国への大きな貢献につながると考えられる。

これらの議論内容から社会に資する可視化の小委員会では、社会現象に関する多様なデータを統合し、複合的な可視化技術によって、それをビジュアルに伝達するデータジャーナリズムの実現がこれからの社会に必要であると結論付けた。また、このようなシステムの実現が可視化教育に用いられることで、一般市民のデータリテラシーの向上に貢献できると考えた。以下、本見解が提案するデータジャーナリズムと、それを実現するための要素技術について説明する。

② 社会現象のためのデータジャーナリズムシステムの概要

情報技術の発達により、多種多様な社会現象が記録されるようになった。実空間での人々の行動の計測、ソーシャルメディアでの発言、商品や作品への評判、ビジネスの決済履歴などがその最たる例である。一方で、人々の架空の行動をシミュレートす

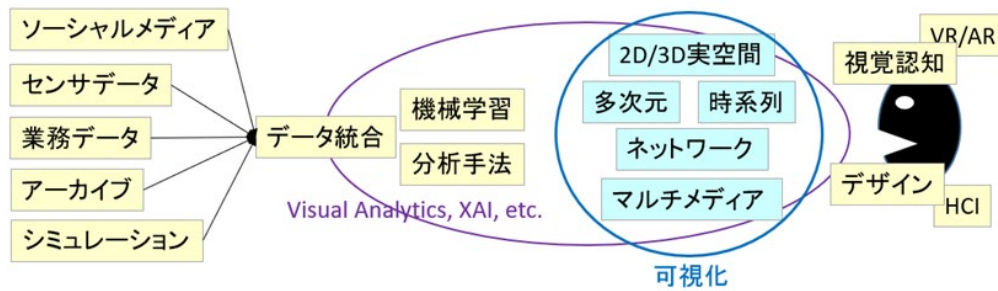


図8 データジャーナリズムシステムの概念図
(出典) 社会に資する可視化の小委員会作成

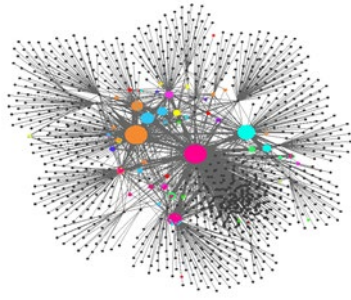
る各種技術も発達している。このような多種多様な記録を統合して分析することで、それまでニュース等で個別に見てきた多様な社会現象を統合的に理解できるようになるとともに、従来のマスメディアとは異なるスタイルの報道が実現できる。

一方で、多様な社会現象は複合的なデータや知識を構成することになり、その理解は必ずしも容易ではない。そこで、可視化技術による高度な視覚表現をもってその知識を伝達することで、このような統合的な見解を多くの人々と共有することができる。以上の考えに基づいて、社会現象の可視化により新しいジャーナリズムの方法論の確立について議論を進めた。

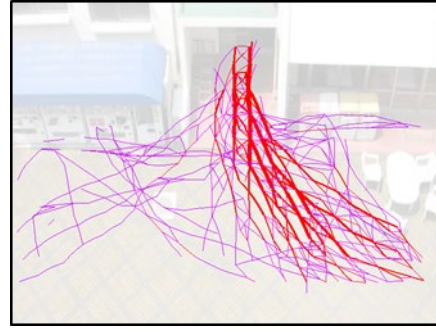
図8は、このようなデータジャーナリズムの構想を議論するために社会に資する可視化の小委員会が掲げてきた、システム概念図である（詳細については専門書[36]を参照）。このシステム案では、まず、ソーシャルメディア・センサデータ・ビジネス業務データ・各種アーカイブ・各種シミュレーションなどから得られるマルチモーダルなデータを収集する。そして収集された各データに対して、機械学習を利用した画像認識・音声認識・自然言語処理などや、時系列解析・ネットワーク解析などの各種分析手法を適用して特徴を抽出するとともに、異なるデータ間の対応関係を発見することでデータを統合する。この過程において、特徴抽出の過程や、データ間の対応関係などを記録し、可視化を可能にすることで、より説明性の高い可視化を実現する。

続いて、このようにして得られた大規模で複合的な知識を、統合的に表現する新しい可視化手法を開発する。データ分析やデータ表現の具体的なシナリオを立てて要件を定義し、その要件を満たすように可視化手法群を統合したシステムを構築する。また、この可視化手法群を反復的に利用する過程を記録するために、3章(1)で論じたデジタル視考基盤の出自管理機能を適用することで、再現性の高い可視化を実現する。

さらに重要な点として、効果的なデータジャーナリズムの実現には、幅広いユーザ層に訴求するデータ表現を模索する必要がある。具体的なユーザ層として、データ分析等に従事する専門家から、メディアを通じて社会現象を知る一般市民に至るまで、多種多様なユーザ層をつなぐ役割を想定する必要がある[37]。そこで、VR や AR をはじめとした先端技術の適用、視覚認知に関する議論、デザイン手法やヒューマンコン



(a) サイバー空間での人間関係



(b) フィジカル空間での人間移動

図9 サイバーフィジカル融合社会の行動変容の可視化

(出典) 文献[38][39]

ピュータインタラクション手法の模索などにより、社会現象を伝達する新しいジャーナリズムのための表現手法を確立する。

我が国は、災害や感染などの社会問題を題材とした計算社会科学やデータジャーナリズムにおいて、既に国際的にも独自性の高い研究成果を有する。そこでこの経験を活用して、災害や感染などの社会問題を題材としたデータジャーナリズムを実現することが効果的である。また、可視化分科会に属する複数の小委員会が連携することで、自然現象・文化現象・心理現象のジャーナリズムへの発展も模索できる。

以下、本システムを実現するために、社会に資する可視化の小委員会が議論してきた要素技術を紹介する。

③ 要素技術1:サイバーフィジカル融合社会における行動変容の可視化

図8に示した、システム構成を実現するための第一歩は、データの収集と統合にある。特に、サイバー空間での Information Flow（ソーシャルメディア投稿やメディア報道）と実空間での People Flow（人流や移動履歴）の統合は、社会現象の理解への重要なキーとなる。図9(a)はサイバー空間を可視化した例である。この図において、色のついた円は人物グループを示し、線は人物グループ間のソーシャルメディア上での情報の流れを示している。図9(b)は、フィジカル空間を可視化した例である。赤や紫の線は当該空間を移動する人物群の歩行経路を示している。

サイバー空間と実空間の融合がもたらす「サイバーフィジカル融合社会」では、サイバー空間での活動が実空間に大きな影響を与える。例えば、昨今のコロナ禍では、テレビや新聞のような伝統的なメディアのみならず、インターネットテレビやソーシャルメディアなどのサイバー空間メディアを通じた情報伝達により、国民に対して「3つの密」を避けるなどの行動変容を求めている。一方、このような情報伝達が実際に行動変容を促したかどうか、あるいは、どのような情報が行動変容に効果的であったかなどは、必ずしも明らかではない。言い換えれば、情報発信者は結果のフィードバックを得ているとはいえない。これは、サイバー空間あるいは実空間のデータが独立に分析されていることに起因する。



(a) ストーリーテリング型の可視化の例 (b) 没入型ディスプレイ

図 10 複数のユーザによる対話や議論を深めるための可視化環境

(出典) (a) (b) 東京大学大学院 渡邊英徳研究室提供

そこで、サイバーフィジカル融合社会を表現するデータを構築し、融合社会において情報伝達により促される行動変容を可視化することで、より正確に実社会で人間行動を理解できると考えられる。そのために、Information Flow と People Flow との相互作用モデルを開発した上で、双方空間の行動変容を可視化するシステムを構築する。

このようなデータは、複雑性と多様性が大きな特徴である。Information Flow のデータについては、ソーシャルメディア (例えば、Twitter) 及びウェブニュースのデータを収集し、さらに、ソーシャルメディアへの投稿や人々の行動に大きな影響を与えていると考えられるテレビデータも活用することが有用である。一方で、People Flow のデータについては、モバイル空間統計データのほか、スマートフォンアプリやカメラ・センサなどから収集された個人移動データを活用することが有用である。

④ 要素技術 2: 企業間取引ネットワーク・物流ネットワークの没入型可視化

社会現象の可視化は、個々のユーザが個々の画面で閲覧するだけでなく、複数のユーザが可視化結果を共有して対話や議論を深め、その結果から行動変革を促すことにも意義や効果がある。そこで、没入型環境の利用により複数のユーザによる可視化結果の共有を促し、その結果としてユーザ間の対話や議論を深めることが有効である。また、対話や議論を活性化するための情報デザインの確立が有効である。

このような可視化環境を実現する具体的な手段として、社会に資する可視化の小委員会ではこれまで、対話・議論を活性化するための可視化環境や情報デザイン手法を検討してきた。一例として、ストーリーテリング (図 10(a)) を組み合わせることが有効である。時系列に沿ったデータの変化をストーリーに沿って展開することで、ユーザの理解を支援することができる。さらに、没入型ディスプレイを用いた多人数の閲覧環境 (図 10(b)) を適用し、可視化をもとにしたユーザ間の対話を創発することで、議論を通して多角的で深い知見が得られるようになる。

このような可視化システムへの題材の例として、国内の業務状況や経済活動を網羅的に俯瞰するための可視化システムの構築があげられる。具体的な事例として、企業

間取引と物流に着目する。まず、企業が提供する企業間取引データと物流データからそれぞれネットワーク情報を抽出し、可視化のためのデータ基盤を構築する。ここで、景気の変動、激甚災害・パンデミックなどによるネットワークの変化を重点的に抽出することで、業務状況や経済活動に重要な変化をもたらした現象を重点的に可視化できる。これは、将来の災害による社会の変化を議論するための材料として利用できる。

(4) 今後の展望

以上の構想をさらに推進するために、主に以下の2点について議論を進める必要があると考えられる。

1) 情報技術環境の変化への対応

可視化分科会が、第25期として議論を開始した2020年当時と比べても、情報技術環境は大きく変化している。例えば、機械学習技術による「生成系 AI[†]」が急成長しており、これによって生成された文章や画像を可視化の一部に用いることが考えられる。ただし生成系 AI による文章や画像にはバイアスが生じる可能性があり、これに十分注意する必要がある。あるいは、今後の成長が予想されるメタバースを情報基盤環境として活用することで、本見解で掲げる構想を拡張することが可能になる。これらの新しい情報技術環境を支援ツールとして活用することで、デジタル視考基盤の拡張を目指すことができる。一方で、例えば、ソーシャルメディアの主な情報源だった Twitter は API[†] (Application Programming Interface) を有償化しており、今後のデータ収集活動に影響を及ぼす可能性がある。このような制約への対応も常に議論する必要がある。

2) 各領域分野の専門家との協業

ここまで、「科学技術」「文化芸術科学」「社会科学」の3分野へのデジタル視考基盤の適用について議論してきた。その各々について、各領域分野の専門家と情報科学・情報工学の専門家の協業が考えられる。それが可視化技術の健全な発展に欠かせない点は、VRC レポート[12]でも強調されている。いくつかの例を挙げよう。科学技術分野に関しては、ドメインエキスパートによる実利用によって、個々のデジタル視考環境の科学的知見の発見可能性や、応用可能性が評価できる。実際、図3の農業 DX システムでは、農業や食関連産業、消費者による実評価に基づいたシステム改良が行われている。次に、文化芸術科学分野に関しては、メタバース空間として実装されたデジタル視考環境を活用して、別々の場所にいる考古学者、情報科学／技術者、芸術家、企業内技術者などが協働し、デジタルアーカイブ化された文化財の新たな利活用の方法を共創することができる。次に、社会科学分野に関しては、データジャーナリズムに起こり得る社会的な問題（例えば、公平性、プライバシー、コンプライアンス、経済効果、心理効果）[40]への新たな形での対処が可能になる。デジタル視考環境において、これらの問題について社会科学者と情報科学者が協働して検証することで、社会科学の諸分野における問題解決のための新たなワークフローが確立できる。

4 見解：文理融合に向けた総合工学ビジョン

ここまで、科学技術、文化芸術科学、そして社会科学の3分野を中心にして、情報学の先端技術を駆使した、ビッグデータ時代にふさわしいビジュアル分析、すなわち「デジタル視考」の開拓について説明してきた。科学技術で扱うデータは、実空間のデータと抽象的データ空間のデータの混合である。文化芸術科学では、計測で得られる実空間のデータを扱う。社会科学では、主として、抽象的データ空間で定義されるデータを扱う（図1）。ほとんどの学術分野のデータは、この3つのパターンのどれかに分類されるため、デジタル視考は、非常に広い分野での活用が見込まれる。本見解で開発を提案する、多彩なビッグデータを対象とするデジタル視考環境は、図2(b)に示したフレームワークを共通の基盤として、ビッグデータを扱う様々な分野に分野横断的に適用することにより、ビッグデータ時代にふさわしい新たな文理融合研究が可能となる。

本見解では、上記のようなビッグデータの利活用を前提とした文理融合研究を可能にするパラダイムとして、デジタル視考基盤という概念を提唱し、科学技術、文化芸術科学、社会科学に関して、具体的な社会実装の例やイメージを述べてきた。表1に、従来のビジュアル分析環境と、デジタル視考環境の違いを4つの項目で比較する。人間が可視化の処理ループに加わる構造は両者に共通しているが、デジタル視考環境は、AI（深層学習）が解析する主体に明示的に加わる点が決定的に異なる。また、ビジュアル分析環境は種類や内容によって対処療法的にビッグデータを取り扱うが、デジタル視考環境は、可視化分野の最新の成果（高次元データ可視化、マルチデータソース可視化、大規模点群可視化、大規模ネットワーク可視化など）を利用して多元的なビッグデータ群を統一的に処理することで、分野横断的なビジュアル分析を可能にする。さらに必要となれば、高度センシング・アクチュエーション基盤と連動し、より規模を拡大した高精度のシミュレーションや計測を要求し、基礎データの更新まで行う。高速インターネット・クラウド化基盤や大規模データ管理基盤とのより緊密な結合が協働・共創の総合的環境構築に奏功するのは言うまでもない。デジタル視考環境の具体的な社会実装のスタイルは、ユーザや学術分野ごとに異なっても良い。基盤となる共通フレームワークの上に、目的に応じた実装を行うことになる。

表1 ビジュアル分析環境とデジタル視考基盤の比較

比較項目	ビジュアル分析環境（図2(a)）	デジタル視考環境（図2(b)）
解析主体	ユーザ（人間）	ユーザとAI（深層学習）
解析対象	個々の応用ごとのビッグデータ	統一的・多元的なビッグデータ
データ更新	なし	あり
CPS連動性	低	高

（出典）科学的知見の創出に資する可視化分科会作成

デジタル視考基盤の開発研究は、上記の最終的なビジョンを踏まえた上で、各分野におけるプロトタイプ研究から開始するのが現実的である。そして、科学技術、文化芸術科学、社会科学の3分野でのプロトタイプ研究開発がある程度進んだ次の段階で必要となるのは、

以下の2点の分野横断的な研究である。

- 1) 特定の分野に依存しないビッグデータ可視化の理論構築
- 2) 異分野の研究者が協働して利用可能な「デジタル視考基盤」の構築

まず、1)に関しては、大規模多元点群可視化技術や、マルチモーダルな深層学習技術に基づく理論構築が有望である。ビッグデータは、実空間あるいは抽象的なデータ空間での多数のベクトルの集合、すなわち大規模点群と捉えることができ、そしてそれは、深層学習と親和性の良いデータだからである。次に、2)に関しては、人間がビジュアル分析を対話的に行うHuman-in-the-loopプロセスに1)の理論を組み込むことで実現できる。

日本学術会議でも、令和4年度（2022年度）に連絡会議[41]が設置された、カーボンニュートラル（ネットゼロ）の実現をはじめ、ビッグデータの分析が必要／有用な分野は急速に増えつつある。その意味で、本見解で述べた提案は時代のニーズに合致したものであり、また、今後可及的速やかに実施に移すべきものである。現在、Web検索は、ビッグデータを活用した社会インフラとして完全に定着した。同様に、本見解の提案は、ビッグデータを活用したデジタル視考を、人々の日々の思考活動に必須のインフラとして社会実装するためのものである。可視化は、異分野の研究者が協働するための有効な共通言語である。従って、本見解で提案するデジタル視考基盤は、現在は分野ごとに個別に、対処療法的に行われている研究DXを、分野横断的に推進する基盤となり得るものでもある。そのためには、これまで以上の国家レベルの大規模な研究開発支援が必要不可欠である。可視化分野をリードする米国を例に挙げれば、米国国立科学財団の情報理工学（Computer and Information Science and Engineering）コアプログラムでは、最大で4.2～7億円／5年間規模の可視化・ビジュアル分析研究支援プロジェクトを複数支援している[42]。また、米国エネルギー省（U. S. Department of Energy）の先進科学計算研究（Advanced Scientific Computing Research）の直近の公募では、1.3億円規模の科学的発見・意思決定・コミュニケーションに関するプロジェクトを多数募集している[42]。さらに、米国国立科学財団が支援する最大20億円レベルのプロジェクト内にも、可視化に関する課題達成目標が含まれている数多くの事例が知られている。

デジタル視考基盤は、「情報学」を結節点とした文理融合を目指す総合工学ビジョンである。その社会実装と利用のためには、ビッグデータ時代の新しい可視化を有効利用するためのリテラシ教育も必須である。学校教育だけでなく、研究DX、企業DXを含む分野横断的なDX推進の支援ツールとしての環境を構築し、公開することが必要である。これは、一部の研究者だけで実施できることではなく、コンソーシアムの設立を含む国レベルの強力な支援体制が必要である。

<用語の説明>

アクチュエーション	実世界に向けて制御フィードバックをかけること。アクチュエーションのための機構をアクチュエータという
サイバーフィジカルシステム	実空間の観測値をサイバー空間で分析することで実現される、高度な社会形成に必要な機能を拡充した形態。可視化はサイバー空間でのデータ分析の高度化に資する。CPS と略記
ジャーナリズム技術	ジャーナリズムを実現するための情報通信技術
深層ニューラルネットワーク	代表的な深層学習アーキテクチャの一種。対象の全体像から細部までの各々の粒度の概念を多段階の階層構造として関連させて学習する手法。DNN と略記
心理アセスメント	心理カウンセラなどが、面接や観察、心理テスト等をとおしてクライアントを様々な視点から捉え、クライアントが抱えている問題を理解すること
生成系 AI	インターネット上に存在する膨大なテキストや画像などの情報を学習し、その結果を用いて、ユーザが指示する画像や文章などを生成する AI 技術、またはそれを実装したアプリケーション
説明可能 AI	AI（主に統計的機械学習）が生み出す結果を、人間が理解し信頼できるようにするための仕組みを備えた AI
セマンティック情報	文書、画像等に記述されたものがもつ意味に関する情報。画像等に描かれた多数のものを分類し、それぞれが何を描いたものかを自動判別することを、セマンティックセグメンテーションという
潜在空間	高次元データの低次元化に伴って生じる、合成変数の空間
データジャーナリズム	大規模なデータの解析に基づいて、新しい解釈を作り出すことを目的とした調査報道手法
データリテラシ	データの内容を正しく理解し、活用すべきデータを適切に選んで分析し、分析結果を正しく解釈する能力
摘粒	葡萄の成長により果粒が混み合い粒の成長を妨げることを防ぐために、前もって間引きする作業
デジタルツイン	実空間から収集したデータを基にして、実空間の様々なモノ、プロセス、場所、システムなどを計算機内にデジタル複製したもの
デジタルトランスフォーメーション	様々なデジタル技術を用いて、従来型の業務フローなどの改善・革新を行うこと。DX と略記
トレーサビリティ	商品の生産から消費までの過程、すなわち出自を追跡できること

農福連携	農業と福祉が連携する取組。高齢者や障がい者などが農業を通じて、自信や生きがいをもって社会に参画する機会を提供する
パース	英語の Perspective（パースペクティブ）の略称。遠近法。コンピュータグラフィックスにおいては、遠近感を表現するための技法あるいは遠近感の効果そのものを指す
パブリックヒューマニティーズ	文系と理系の研究者に加えて、一般社会の人間も議論に参加する、新しい形の人文社会学。多くの場合、デジタルデータの利用を前提とする。デジタルヒューマニティーズ（デジタル人文社会学）の発展形と見なすこともできる
フォトグラメトリ	複数枚の写真から撮影対象の3次元モデルを構築する手法
平滑化アルゴリズム	統計平均などの処理により画像の画素値に含まれるノイズを目立たなくするアルゴリズム
没入型可視化	ヘッドマウントディスプレイなどを装着し、広視野角映像を用いて行う可視化。ユーザは、没入感（可視化対象の置かれた空間に入り込んだ感覚）を持って、実空間での観察に近い形でビジュアル分析を行える。また、視野が広いことにより、通常の平面的ディスプレイを用いた可視化に比べて多数の情報を同時に表示できる
ポリゴンメッシュモデル	三角形などの多角形の集合として平面や曲面を定義する3次元モデル
マルチモーダル AI	テキストや画像、音声、動画などの複数の種類の情報を一度に処理することが可能な AI 技術
メタバース	インターネット上の仮想空間。複数の利用者が同時にリモート参加できる。ヘッドマウントディスプレイを装着してアバターとして参加することが多い。エンタテインメント目的以外に、バーチャル会議などの実用的な目的にも用いられる
3次元点群データ	3次元的な点の座標値などを記録したデータ
API	ソフトウェアコンポーネント同士が互いに情報をやりとりするのに使用するインタフェースの仕様。Application Programming Interface の略

<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] 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.
- [3] 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、報告「科学的知見の創出に資する可視化に向けて——文理融合研究と新パラダイム策定——」、2020 年 9 月 8 日.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] C. Ware, Visual Thinking for Information Design, 2nd Edition, Elsevier, 2021.
- [8] 内閣府、科学技術基本計画、2016 年 1 月 28 日.
- [9] 細井浩一 (代表)、「グローバル COE プログラム『日本文化デジタル・ヒューマニティーズ拠点』2019 年度研究拠点形成支援プログラム研究プロジェクト報告書 1：メタバースを活用した日本文化資源の研究展示環境の構築」、
https://www.arc.ritsumeit.ac.jp/download/ar_21_2019_activities_reports.pdf
(2023 年 5 月 29 日参照).
- [10] A. Ynnerman, J. Löwgren, L. A. E. Tibell, “Exploration: A New Science Communication Paradigm,” IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 38. No. 3, pp. 13-20, 2018.
- [11] B. H. McCormick, T. A. DeFanti, M. D. Brown (eds), “Visualization in Scientific Computing,” ACM Computer Graphics, Vol. 21, No. 6, 1987.
- [12] C. R. Johnson, et al., NIH/NSF Visualization Research Challenges, IEEE Computer Society Press, 2006.
- [13] 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.
- [14] J. J. Thomas, K. Cook (eds.), Illuminating the Path: Research and Development Agenda for Visual Analytics, IEEE Computer Society Press, 2004.
- [15] D. Keim, et al., “Visual Analytics: Definition, Process, and Challenges,” Information Visualization, Springer LNCS 4950, pp. 154-175, 2008.
- [16] 日本学術会議機械工学委員会ロボット学分科会、提言「より良い近未来創造のためのロボット/AI の理解と人材育成」、2020 年 7 月 21 日.

- [17] S. Hong, D. Keim, I. Fujishiro (eds.), Visualization for Explainable AI, NII Shonan Meeting Report No. 166 (February 5-9, 2023) [ISSN 2186-7437], published online, 2023 (to appear).
- [18] P. Buayai, K. R. Saikaew, X. Mao, End-to-End Automatic Berry Counting for Table Grape Thinning, IEEE Access, Vol. 9, pp. 4829-4842, 2021.
- [19] 日本学術会議科学者委員会研究計画・研究資金検討分科会、提言「第24期学術の大型研究計画に関するマスタープラン（マスタープラン2020）」、2020年1月30日。
- [20] 宮北剛己、「インターネット前提時代におけるパブリック・ヒューマニティーズへの挑戦」、慶應義塾大学DMC紀要、Vol. 6、No. 1、pp.82-92、2019年。
- [21] T. Uchida, et al., “Noise-Robust Transparent Visualization of Large-Scale Point Clouds Acquired by Laser Scanning,” ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 161, pp.124-134, 2020.
- [22] T. Baltrušaitis, C. Ahuja, L.-P. Morenc, “Multimodal Machine Learning: A Survey and Taxonomy,” IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 41, No. 22, 2019.
- [23] 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。
- [24] 遠藤保子（監修）、「映像で学ぶ舞踊学」、大修館書店、2020年。
- [25] 加藤千恵子、他、「こころの可視化」、可視化情報学会誌、Vol. 36、No. 143、pp. 30-34、2016年。
- [26] 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、東京電機大学出版局、2017年。
- [27] J. Pan, et al., “Integrated High-Definition Visualization of Digital Archives for Borobudur Temple,” Remote Sensing, Vol. 13, No. 24, p. 5024, 2021.
- [28] J. Pan, et al., “3D Reconstruction of Borobudur Reliefs from 2D Monocular Photographs Based on Soft-Edge Enhanced Deep Learning,” ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 183, pp. 439-450, 2022.
- [29] 心理学・教育学委員会・言語・文学委員会・哲学委員会・社会学委員会・史学委員会・地域研究委員会・情報学委員会合同デジタル時代における新しい人文・社会科学に関する分科会（第25期・第2回）議事要旨、2021年。
- [30] CGWORLD編集部、「アニメCGの現場2020」、ボーンデジタル、2019年。
- [31] 高橋 光輝、津堅 信之（著、編集）、「アニメ学」、NTT出版、2011年。
- [32] 国立研究開発法人科学技術振興機構研究開発戦略センター、科学技術未来戦略ワークショップ報告書「Society 5.0実現に向けた計算社会科学」（令和2年7月9日開催）、

- <https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2020/WR/CRDS-FY2020-WR-03.pdf>
(2023 年 5 月 29 日参照).
- [33] Journalism Country Reports - WJS2 (2012-2016)、
<https://worldsofjournalism.org/country-reports/>
(2023 年 5 月 29 日参照).
- [34] 『Yahoo!』から見る「日本の異常さ」、2016 年 4 月 26 日、
<https://neutmagazine.com/japanese-yahoo>
(2023 年 5 月 29 日参照)
- [35] 内閣府政策統括官（科学技術・イノベーション担当）、「AI 戦略 2019【概要】」、令和元年 7 月 9 日、
<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/tizai/brand/attach/pdf/ai-15.pdf>
(2023 年 5 月 29 日参照).
- [36] 伊藤貴之、宮地英生、田中覚、「可視化と科学・文化・社会」、コロナ社（2023 年出版予定）.
- [37] 日本学術会議社会学委員会社会統計調査アーカイブ分科会、提言「社会調査をめぐる環境変化と問題解決に向けて」、2017 年 9 月 19 日.
- [38] T. Itoh, K. Klein, Key-node-Separated Graph Clustering and Layout for Human Relationship Graph Visualization, IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 35, No. 6, pp. 30-40, 2015.
- [39] 薮下浩子、伊藤貴之、「経路情報の要約と可視化の一手法」、芸術科学会論文誌、Vol. 10、No. 3、pp. 167-178、2011.
- [40] 日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同フロンティア人工物分科会、提言「人類の持続性確保に貢献するフロンティア人工物科学技術の推進」、2011 年 9 月 30 日.
- [41] 日本学術会議カーボンニュートラル（ネットゼロ）に関する連絡会議、
https://www.scj.go.jp/ja/member/iinkai/carbon_n/index.html、2021 年
(2023 年 5 月 29 日参照).
- [42] CISE Core Programs, <https://www.nsf.gov/pubs/2023/nsf23524/nsf23524.htm>、2023 年（2023 年 5 月 29 日参照）.
- [43] Department of Energy, Office of Science, Advanced Scientific Computing Research, https://science.osti.gov/ascr/-/media/grants/pdf/foas/2022/SC_FOA_0002726.pdf、2022 年（2023 年 5 月 29 日参照）.

＜参考資料１＞審議経過

令和２年（2020 年）

- 12 月 12 日 科学的知見の創出に資する可視化分科会（第 1 回）
役員の選出、活動計画について

令和３年（2021 年）

- 3 月 15 日 可視化の新パラダイム策定小委員会（第 1 回）
役員の選出、活動計画について
- 3 月 15 日 社会に資する可視化の小委員会（第 1 回）
役員の選出、活動方針について
- 3 月 24 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）
役員の選出、活動方針、文理融合可視化の提言について
- 9 月 14 日 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）
提言に向けたシンポジウム開催について
- 9 月 18 日 科学的知見の創出に資する可視化分科会分科会（第 2 回）
各小委員会の活動報告、カーボンニュートラルに関する連絡会議報告
- メール審議 科学的知見の創出に資する可視化分科会分科会（第 3 回）
（12 月） 幹事交代について
- 12 月 2 日 社会に資する可視化の小委員会（第 2 回）
関連研究事例の共有
- 12 月 13 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）
シンポジウムと科研費学術変革領域(A)応募について
- 12 月 20 日 可視化の新パラダイム策定小委員会（第 2 回）
新パラダイム候補としての視考支援基盤について

令和４年（2022 年）

- メール審議 科学的知見の創出に資する可視化分科会分科会（第 4 回）
（5 月） 委員追加について
- メール審議 科学的知見の創出に資する可視化分科会分科会（第 5 回）
（7 月） 公開シンポジウム開催について
- 10 月 14 日 科学的知見の創出に資する可視化分科会分科会（第 6 回）
カーボンニュートラルに関する連絡会議報告、未来の学術振興構想への応募、見解の表出について

令和５年（2023 年）

- 2 月 28 日 可視化の新パラダイム策定小委員会（第 3 回）
見解案について
- 2 月 28 日 ICT 時代の文理融合研究を創出する可視化小委員会（第 4 回）
見解案について
- 2 月 28 日 社会に資する可視化の小委員会（第 3 回）
見解案について

- 3月24日 科学的知見の創出に資する可視化分科会分科会（第7回）
見解案について承認
- 9月21日 日本学術会議科学的助言等対応委員会
見解「科学的知見の創出に資する可視化—ビッグデータの
ビジュアル分析を基盤とする分野横断型デジタル視考—」について承認

＜参考資料２＞シンポジウム開催

令和２年（2020年）

- 12月12日 科学的知見の創出に資する可視化（5）：
ICT/ビッグデータ時代の文理融合研究を支援する可視化

令和３年（2021年）

- 11月30日 科学的知見の創出に資する可視化（6）：
総合知～幸福論からみた身心・細胞力、その真理の可視化～
- 12月13日 科学的知見の創出に資する可視化（7）：
人間を織り活かす総合知をもたらす「視考」

令和５年（2023年）

- 7月21日 科学的知見の創出に資する可視化（8）：
可視化を基盤とする分野横断型デジタル視考