4-3　時空間データ GIS プラットフォーム

4-3　STARS-GIS: A GIS Platform with SpatioTemporal Data Analytic and Reciprocal Synchronization

村田健史　川鍋友宏　山本和憲　村上雄樹
MURATA Ken Takeshi, KAWANABE Tomohiro, YAMAMOTO Kazunori, and MURAKAMI Yuki

本稿では、デジタルデータ指向型社会の基盤の一つとなる時空間データ GIS プラットフォームについてこれまでの取組と新たな提案について述べる。まず CyberEarth コンセプト及び第 4 の研究手法としてのインフォマティックスを紹介し、ビッグデータ処理基盤となるサイエンスクラウド及び JHPCN 広域分散クラウドについて述べる。時空間データ GIS プラットフォームは CyberEarth をクラウド上で実現するためのプラットフォームであり、ビッグデータ伝送技術、収集技術、管理技術、処理技術、可視化技術などの様々なエコシステムをライブラリ（API）やアプリケーションとして提供する。ユーザはこれらをマッシュアップすることで目的に応じた時空間データ GIS アプリケーション開発が可能であり、NICT テストベッドの新しい提案である DCCS（Data Centric Cloud Service）での利活用が期待されている。本稿では開発事例として、ひまわりリアルタイムと千曲あんずプロジェクトを紹介する。

This paper introduces our attempts so far regarding a GIS platform based on the STARS (SpatioTemporal data Analytic and Reciprocal Synchronization) techniques, which could be the foundation of a digital data-oriented society. First, we introduce the CyberEarth concept and informatics as a fourth research method. Then we describe the NICT Science Cloud and the JHPCN wide-area distributed cloud, which are big-data processing cloud systems. The STARS-GIS is a big-data platform for realizing the CyberEarth on the cloud, with help of ecosystems and applications such as data transmission technologies, data crawling technologies, data management technologies, data processing technologies, and data visualization technologies for large-scale digital data. By providing both ecosystems and applications and then by mashing them up, users get easy environments to develop GIS applications for spatiotemporal data according to their own purposes on the platform. The Data Centric Cloud Service (DCCS), that is a new concept of NICT Testbed, is one of the target applications of the platform. We introduce a couple of development examples working on the platform: the Himawari Real-time and the Chikuma ANZU Project.

1　まえがき

21 世紀に入り約 20 年間、情報通信の世界ではユビキタスネットワーク、グリッド、クラウド、ビッグデータ、IoT（Internet of Things）、サイバーフィジカル、B5G（Beyond 5G）、DX または DT（Digital Transformation）など数多くのバズワードが登場し、それが 21 世紀の新しい ICT（Information and Communications Technology）の潮流を支えるトレンド技術となってきた。一方で、頻出するバズワードに対する批判的な見方もあり、バズワードに翻弄されない骨太の問いかけこそが重要であるという指摘もある。しかし、これらのバズワードに示されるすべての技術は、共通する骨太な方向を向いていると考えるのが妥当であろう。それはデジタルデータ指向型とも評される社会の実現である。デジタルデータは物質のような形を成さないが、社会を構成する重要な基盤の一つである。データは単なる情報ではなく、データが社会を構成し、データが未来を決定すると言ってもよい。

本稿で議論する時空間データ GIS プラットフォームは、デジタルデータ指向型社会を構成する技術の一つである。本稿では、**2** で筆者らがどのようにこの発想に至ったかについての背景を議論し、どのようなプラットフォームがどのような機能を実現するかについ

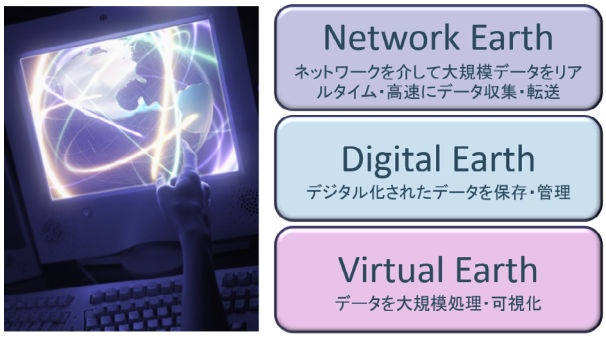


図 1　CyberEarth コンセプト

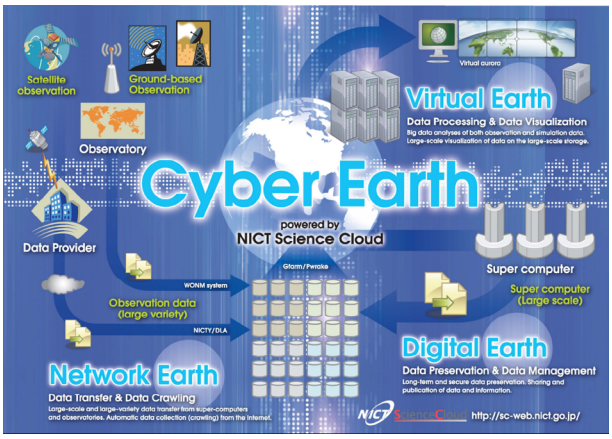


図 2　CyberEarth コンセプトと要素技術マッシュアップ

て情報通信研究機構（NICT）の JGN テストベッド上でのクラウド事例について述べる。**3** では同プラットフォームを支える要素技術を紹介する。**4** では同プラットフォームにより実現するアプリケーションやシステム事例を紹介する。**5** で本稿をまとめる。

2　時空間データ GIS プラットフォーム

2.1　CyberEarth

本節では、時空間データ GIS プラットフォームの発想の基盤となった CyberEarth 構想（図 1）について述べる。筆者らは、地球磁気圏研究において 3 次元時系列可視化技術 [1]–[6] とその応用としてオブジェクトモデル化技法（OMT：Object Modeling Technique）による仮想地球環境システム（VEMS）[7] を 2001 年ごろに着案・構築し、これが CyberEarth 構想の基盤となった。CyberEarth は先端的 ICT により地球規模でのデジタルデータ指向型社会を実現する構想である。地球環境をグローバルに理解するためには、様々な観測データを融合し解析・分析する環境が必要である。しかし、21 世紀に入りあらゆる科学データサイズが爆発的に大規模化し、並行して起こったデータオープン化の流れに相まって、自然科学を含む多くの科学者たちは「データの波」に溺れ始めた*。科学ビッグデータ問題を解決できるのは先端的 ICT であるという信念の下、筆者らは分野横断的のアプローチの一つとして CyberEarth を提案した [8]。

図 3　CyberEarth 紹介映像コンテンツ [9]

CyberEarth はネットワークを通じて集められる様々なデジタルデータをコンピュータに蓄積し、クラウド上で処理する統合的なシステムである。CyberEarth を構成する基本機能の一つは、定常的に流れ込むあらゆるデジタルデータを管理・保存することである。保存されたビッグデータは大規模処理・可視化がなされ、ユーザの要望に応じた形で提供できる。CyberEarth では蓄積ビッグデータから情報を抽出し、過去・現在・未来の地球を大型ディスプレイ上に再現（可視化）する。研究者やデータアナリストは 3 次元時系列空間において地球空間情報を総合的に理解することを目指す。すなわち Cyber Earth は ネットワークを介して大規模データをリアルタイム・高速にデータ収集・転送する機能（Network Earth）、デジタル化されたデータを保存・管理する機能（Digital Earth）、データを大規模処理・可視化する機能（Virtual Earth）の 3 つの機能から構成される（図 1）。CyberEarth 実現のためには、様々な高度情報通信技術のマッシュアップが必要である（図 2）。図 3 は CyberEarth の詳細についての紹介コンテンツである [9]。

2.2　第 4 の科学研究手法

科学研究の分野には、3 つの研究手法があると言われてきた。第 1 の手法は理論研究手法であり、第 2 の手法は観測や実験による研究手法である。19 世紀までに確立されたこれらの伝統的な研究手法に加えて、20 世紀後半のコンピュータ処理能力向上に伴い、計算機シミュレーション手法が登場した。計算機シミュレーションは多くの科学及び工学分野で成果を挙げ、第 3 の科学研究手法と呼ばれるようになった。オブジェクト指向型計算機シミュレーションコード [10]–[14] やデータ解析アプリケーション [15] の登場によりプログ

＊ とある科学衛星プロジェクトの PI の言葉はそれを象徴している。「なんてこった、一生かかっても解析できない観測データが手に入ってしまった。」

ラムの開発効率や再利用性が向上し、第 3 の手法は加速した。

21 世紀に入り、これら 3 つの研究手法に加えて、第 4 の手法としてインフォマティックスが提言された。インフォマティクスとは、広義には「コンピュータシステムにおける構造、行動、自然的または人工的な相互作用」と説明されているが、科学研究分野では「人間よりも計算機が有利な処理・計算機にしかできないデータ処理を行う手法」と解釈されることが多い [16][17]。インフォマティクスが研究手法として提言されてきた背景には、19 世紀末に科学研究で扱うデータのほとんどがデジタル化された（すなわち、ネットワーク上で流通し、コンピュータ上で処理できる）ことと、データサイズや種類が大規模化・多様化したことが挙げられる。第 2、第 3 の研究手法の発展により、我々の持つ科学データは量・種類とも増え続け、多くの研究者は、「一生かけても解析できない程の量と種類のデータ」に埋もれつつある。いわゆる、科学研究分野におけるビッグデータ問題である。インフォマティクスへの期待は、コンピュータのデータ処理能力を存分に活用して、これらのビッグデータ問題を解決することである。

表 1 は、4 つの科学研究手法をまとめたものである。第 1 の手法が机上で行うものであるのに対して、第 2 の手法の研究基盤は観測装置群となる。第 3 の手法の基盤は、もちろんスーパーコンピュータやクラスタ計算機群である。さて、インフォマティクス研究手法の研究基盤は何であろうか。筆者らは、クラウド（クラウドコンピューティング環境）こそがインフォマティクス研究手法の基盤であると考えてきた。したがって、第 4 の研究手法を実現するためには科学研究用クラウドが必要となる。これが **2.3** の NICT サイエンスクラウド発想の原点となった。

第 3 の手法である大規模数値シミュレーション分野においても、類似のパラダイムシフトが起こった。High Performance Computing（HPC）は計算指向型（Compute-Intensive）アプローチであり、上記の第 3 のパラダイム（数値シミュレーション科学）としてスーパーコンピュータや CPU、メモリバンド幅の高機能化を主体とした計算機科学の高度化に特化してきた。しかし、出力される大規模データ処理のためにデータ指向型ともいえる第 4 のパラダイムが登場した。ここでは、広域に分散する多数の異種リソースを組み合わせて計算を行う Many-Task Computing（MTC）という概念や、データ分散、並列処理及びローカルディスクアクセスに着目した総合的計算を行う Data Intensive Computing（DIC）という概念が中心となる。数値シミュレーション分野での第 4 のパラダイムは着実に実用化されており、筆者らも Gfarm（GRID Datafarm）による大規模データの並列分散処理技法 [18]–[22]、遠隔通信技法 [23]、システム安定化技術 [24]、セキュアデータ管理手法 [25]–[28] を様々に開発し、これらは科学衛星データ処理 [29]–[31] や後述のひまわりリアルタイム（**4.1**）で実用化されている。

2.3　NICT サイエンスクラウド

クラウド（またはクラウドコンピューティングシステム）は 2005 年頃にビジネスを中心として急速に広がった情報通信インフラの集合形態であり、先端的情報通信技術を基盤とした多目的型のデータ処理環境である。クラウドとは何かという問いに対して明確な定義はなくバズワードの一つであり、別のバズワードであるビッグデータと融合して、実態が不明瞭なまま数年間で世界中に広まった。しかし当時、大規模データの重要性と問題点を認識していた筆者ら研究者にとっては、むしろ「問題点がビッグデータと言う言葉で明確になった」という喜びが大きかった [32][33]。

筆者らは地球惑星科学の気象系、惑星系、超高層大気系、岩石・火山系などの諸分野の研究者と協力し、日本最大の地球惑星学会である日本地球惑星科学連合大会において「情報地球惑星科学と大量データ処理」セッションを主宰している。これは、ビッグデータというバズワード登場後の 2013 年から始まったものであり、当時から地球惑星科学研究分野においてビッグデータ問題意識を持つ研究者がいたことを意味している。近年では、このセッションは発表数も増加し、自然科学分野においても時代が追いついてきたという思いが強い。これらを背景に、筆者らは 2010 年頃に図 4 に示す NICT サイエンスクラウドを提唱した [32]–[37]。図 4 は、NICT サイエンスクラウドの概念図である。NICT

表 1　4 つの科学研究手法のまとめ

	研究手法	研究基盤（宇宙科学の場合）
第 1 の手法	理論研究	机、紙と鉛筆
第 2 の手法	観測・実験	衛星観測・地上観測・室内実験
第 3 の手法	計算機シミュレーション	スーパーコンピュータ
第 4 の手法	インフォマティクス	科学研究クラウド

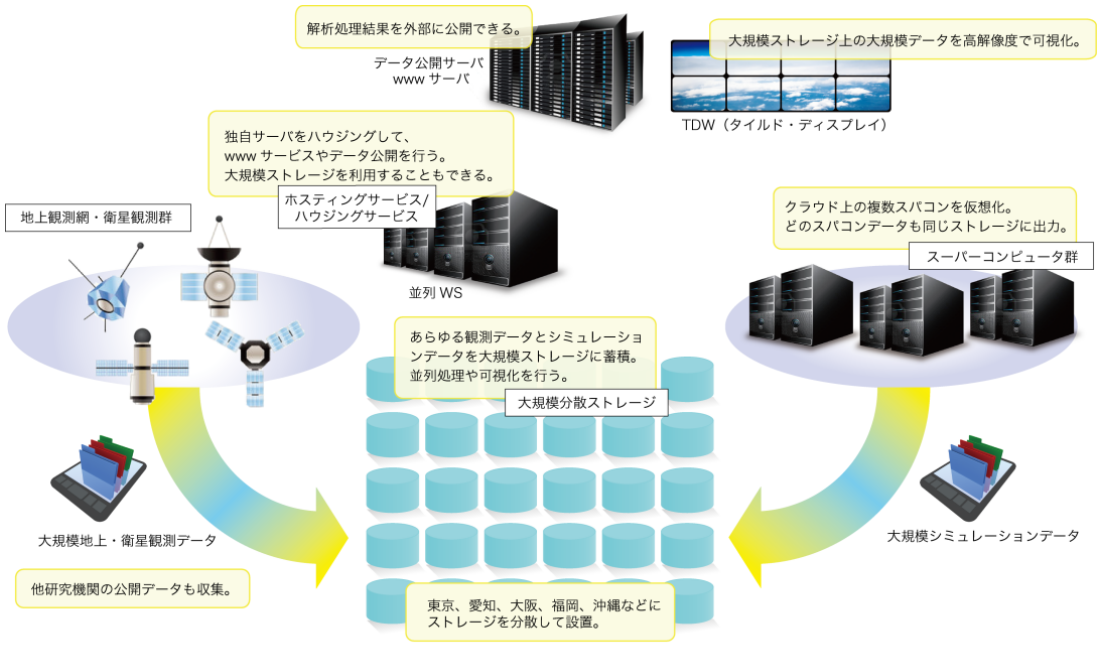


図 4　NICT サイエンスクラウドの概念図

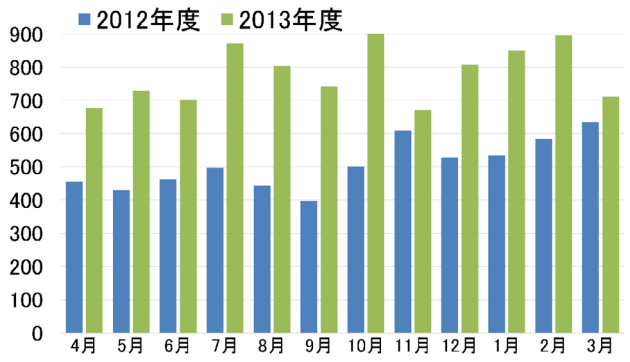


図 5　NICT サイエンスクラウドユーザログイン回数（2012 年度～ 2013 年度）

サイエンスクラウドでは、表 1 の第 2 の研究手法（観測・実験）により得られた多種多様な観測・実験データと、第 3 の研究手法（計算機シミュレーション）により得られた大規模な計算機シミュレーションデータを一つのストレージ環境に集約する。この設計は、各研究者が独自のデータストレージを有する必要がないことや、データ管理を自ら行う必要がないことだけが利点ではない。すべてのデータが一か所にあることで、あらゆるタイプのデータを横断的・統合的に処理することが可能となる。これにより、例えば科学衛星観測データと宇宙科学シミュレーションデータの融合的解析の効率が飛躍的に向上する。筆者らは NICT テストベッドである JGN 上に、宇宙天気予報システムにおいて国内外からのデータ収集 [38]–[41]、データ転送 [42][43]、データ保存 [24] を一括して行うシステムを構築した [44]–[46]。

大規模科学データ処理環境という点でも、科学研究クラウドは有効である。前述のとおり、近年の科学研究データ、特にビッグサイエンスデータは大規模化の一途をたどっている。これらのデータの多くは、単体の計算機で処理できる規模を超えており、並列分散処理が必須である。しかし、同一の計算機を複数台接続したクラスタ環境では、システムのスケーラビリティーに問題がある。クラウドはヘテロコンピューティング環境を前提としており、システムを継続的に拡張することができる。Hadoop や Gfarm などは分散ストレージ管理システムであるが、同時にヘテロ環境でのデータ処理機能を有している [47]。

また、協調的研究環境も科学研究クラウドの利点の一つである。現在、ほとんどの大型科学研究プロジェクトは、国内外の複数の研究組織・研究グループの研究者の協力により進められている。交通網の発達により以前よりも研究者の交流は容易になったが、それでも国際的な研究者間の交流・情報交換と共同研究は容易ではない。特に本稿執筆時は世界的なコロナ禍にあり、研究者の海外渡航は困難な状況である。クラウド上に複数の研究者が共通で利用できる研究環境を作ることで、コストダウンだけではなく、協調的研究環境がデータ解析を加速させることが可能となる。

NICT サイエンスクラウドはコンセプト提案だけではなく、NICT の高速バックボーンネットワークである JGN を活用して広域分散クラウドとして実装され、2012 年度及び 2013 年度は月平均で 400 ～ 900 ユーザアクセスがあった（図 5）。特に、2013 年度の成果はプロジェクト規模、プロジェクト分類、リソース利用分類、利用者数、学術研究成果、セキュリティー対応状

表 2　NICT サイエンスクラウドプロジェクト一覧：Zone は C（共通リソース）、E（拡張リソース）、A（アプリケーション・サービスゾーン）、H（ハウジングゾーン）。分野は O（観測）、S（シミュレーション）、T（技術開発）、＋（その他）[34]

PJ 番号	プロジェクト名称	代表者所属（組織名なしは NICT）	分担者数（NICT 外）	分野	Zone	NICTY WONM	V_AU RORA	Pwrake T/M	Web
1	GNSS 全電子数計測を利用した電離圏の研究	宇宙環境インフォマティクス研究室	20(19)	O	CEAH	N	−	−	○
2	東南アジア域低緯度電離圏観測（SEALION）	宇宙環境インフォマティクス研究室	4(0)	O	C-A-	W	−	−	○
3	短波到来方向探査装置を利用した電離圏の研究	宇宙環境インフォマティクス研究室	3(1)	O	C-A-	W	−	−	○
4	宇宙天気シミュレーション	宇宙環境インフォマティクス研究室	16(10)	S	C-AH	−	○	−	○
5	次世代宇宙天気情報処理の研究	宇宙環境インフォマティクス研究室	2(0)	T	C-A-	−	−	P	○
6	太陽圏モデリング	宇宙環境インフォマティクス研究室	14(10)	O	C---	−	−	−	−
7	大気圏・電離圏長期シミュレーションデータの解析	宇宙環境インフォマティクス研究室	3(2)	S	C-A-	−	−	−	○
8	太陽風ー磁気圏電離圏システム相互作用	宇宙環境インフォマティクス研究室	2(2)	S	C-A-	−	○	−	−
9	ジオスペース・放射線帯予測	宇宙環境インフォマティクス研究室	5(1)	OS	CEA-	N	−	−	○
10	南極観測	宇宙環境インフォマティクス研究室	11(5)	O	CE--	W	−	−	−
11	Integrated Satellite Observaion SIMulator for a Coherent Doppler Lidar (ISOSIM-L)による衛星搭載ドップラーライダーのフィジビリティスタディ	センシング基盤研究室	5(4)	S	CE--	−	−	−	○
12	SMILES/GOSAT	センシング基盤研究室	45(37)	O	---H	−	−	T/M	−
13	フェーズドアレイ気象レーダのデータ利用システム	センシングシステム研究室	9(7)	O	CEAH	W	−	T/M	○
14	生体電磁環境プロジェクト	電磁環境研究室	4(0)	＋	C---	−	−	−	−
15	太陽圏の巨視的構造とダイナミックスの研究	アラバマ大学	3(0)	S	C---	−	−	−	−
16	科学衛星搭載プラズマ波動観測器で得られた波形データの特徴解析	金沢大学	2(2)	O	CE--	−	−	T/M	−
17	惑星間空間磁場北向き時の磁気圏電離圏対流機構の解明	九州大学	5(3)	S	C---	−	○	−	−
18	GNSS 可降水量データベース	海洋研究開発機構	1(1)	O	C---	−	−	−	−
19	静止軌道衛星帯電プラズマ環境の解析および予測の研究	大阪府立大学	1(1)	S	C---	−	−	−	−
20	地球磁気圏の形状と自由エネルギーに関する初期研究：大規模 3 次元電磁流体計算と観測を比較する方法の確立	名古屋大学	1(1)	S	C---	−	−	−	−
21	気象分野におけるビッグデータ利活用技術の研究	気象庁	2(2)	O	C---	−	−	−	−
22	バーチャルオーロラツールを活用したデジタル磁気嵐現象の研究	京都大学	2(1)	S	C---	−	−	−	−
23	SS-MIX 標準ストレージの NoSQL 実装と並列分散処理の検証	愛媛大学	1(0)	＋	CE--	−	−	−	−
24	サイエンスクラウドを用いたゲノムデータ管理基盤に関する研究開発	（株）カイ	3(0)	＋	C---	−	−	−	−
25	社会インフラのメインテナンスに資するシミュレーションとセンシングデータの解析	愛媛大学	1(1)	S	C---	−	−	−	−
26	大規模 Global MHD シミュレーション可視化	九州大学	3(3)	S	CE--	−	○	P	−
27	SALMON	統合データシステム研究開発室	0	O	-E-H	−	−	−	−
28	時系列データ表示アプリケーション（STARS touch）の開発	統合データシステム研究開発室	5(5)	T	CEA-	N W	−	P	○
29	サイエンスクラウドセキュリティ技術開発	統合データシステム研究開発室	5(5)	T	C---	−	−	−	○
30	サイエンスクラウド高速データ転送表示技術開発	統合データシステム研究開発室	6(6)	T	CE--	−	−	P	−

況などのファクトデータ及びクラウド利活用形態分析、ハウジング利用方法、対象科学データ分類、計算リソース割り当て、利用者ニーズ分析、研究プロジェクト分類（表 2）、公開 Web アプリケーション、クラウド技術スピンアウトの視点から詳細に分析を行った [34]。

2.4　JHPCN 広域分散クラウド

2.4.1　JHPCN 広域分散クラウド概要

2019 年度に NICT サイエンスクラウドプロジェクトは終了したが、発展的利用を希望する研究者のため、広域分散型の研究基盤の維持が必要であった。複数拠点間を接続する広域分散クラウド構築では、各拠点担当者の協力が不可欠である。大規模広域分散計算環境の構築のため、筆者らは学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点プログラムをベースにブロードバンドネットワークを提供する NICT テストベッド JGN（JGN2 または JGN-X という名称の時期もある）と大学間広域ネットワークである SINET5 を用いて、JHPCN 広域分散クラウドを構築した。筆者らが過去に学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点プログラム申請

し、採択されたプロジェクトは表 3 のとおりである。2020 年度までの成果をまとめると次のとおりである。

表 3 の全期間を通じての目的は、JHPCN 拠点大学の情報基盤センターのコンピュータリソース（高性能スーパーコンピュータ、大規模ストレージ、大画面可視化デバイス／ディスプレイ）及び各種 IoT センサー（特に映像 IoT デバイス）を融合的に活用するビッグデータサイエンス基盤となる JHPCN 広域分散クラウド（図 6）構築である。デバイス環境の融合のためには、高速インフラストラクチャネットワーク（JGN 及び SINET5）の有効活用が必要となる。上記研究では、NICT 等が開発している TCP と共通なインターフェースを有するトランスポート層プロトコルである HpFP（High-performance and Flexible Protocol）[48]–[56] 及び高速ファイル転送ツール HCP tools [57][58] を用いた基礎性能検証を行ってきた。**3.3** で後述のとおり HpFP は UDP ベースで設計されており、HCP tools は HpFP 版と TCP 版がある。HpFP や HCP tools を用いてコンピュータリソースや IoT デバイスを組み合わせることでビッグデータ処理システムを構築し、ビッグデータサイエンス分野の様々なケーススタディを実施してきた [59][60]。

HpFP プロトコルを基盤としたビッグデータ解析のための広域分散クラウドでは、図 6 の 9 拠点を対象に 10 Gbps 通信環境（一部は 1 Gbps 通信環境）を活用した拠点間データ伝送・共有を進めた。2020 年度に、

表 3　これまでの JHPCN 採択プロジェクト

年度	タイトル
2015	クラウドを活用したビッグデータポスト処理環境実現のためのデータ伝送実験、(jh150033-IS02)
2016	SINET を活用したエピゲノムビッグデータ可視化システム技術開発、萌芽（九州大学、JPHCN-Q、EX1682）
2016	クラウドを活用した遠隔データの大規模可視化処理実験、一般課題学、HPC 科学計算コラボレーション PJ 研究、(EX1651)
2017	HPC と高速通信技術の融合による大規模データの拠点間転送技術開発と実データを用いたシステム実証試験、(jh170034-ISH)
2018	HPC と高速通信技術の融合による大規模データの拠点間転送技術開発と実データを用いたシステム実証試験、(jh180054-ISJ)
2019	HPC と高速通信技術の融合による大規模データの拠点間転送技術開発と実データを用いたシステム実証試験、(jh190005-MDH)
2020	HPC と高速通信技術の融合による大規模データの拠点間転送技術開発と実データを用いたシステム実証試験、(jh200038-MDH)
2021	HPC と高速通信技術の融合による大規模データの拠点間転送技術開発と実データを用いたシステム実証試験、(jh210009-MDH)

表 4　TCP 計測結果 (iperf3 による)

単位：Gbps

Cl \ Sv	東京大	京都大	九州大	NICT	筑波大	千葉大
東京大	34.0	6.19	1.25	8.74	9.16	0.87
京都大	5.18	23.4	2.26	8.32	2.14	0.82
九州大	1.49	2.59	32.5	1.62	1.32	0.64
NICT	7.23	5.66	1.27	27.1	7.10	0.87
筑波大	8.63	8.21	1.10	8.80	24.3	0.86
千葉大	0.88	0.87	0.87	0.87	0.87	15.5

表 5　HpFP 計測結果 (hperf による)

単位：Gbps

Cl \ Sv	東京大	京都大	九州大	NICT	筑波大	千葉大
東京大	11.6	5.21	2.11	7.96	2.18	0.87
京都大	5.71	5.65	1.94	6.18	2.13	0.84
九州大	5.35	5.44	7.01	5.30	2.21	0.64
NICT	8.45	5.10	4.43	5.70	7.95	0.85
筑波大	8.52	5.18	5.78	6.85	5.08	0.87
千葉大	0.87	0.87	0.78	0.87	0.87	2.91

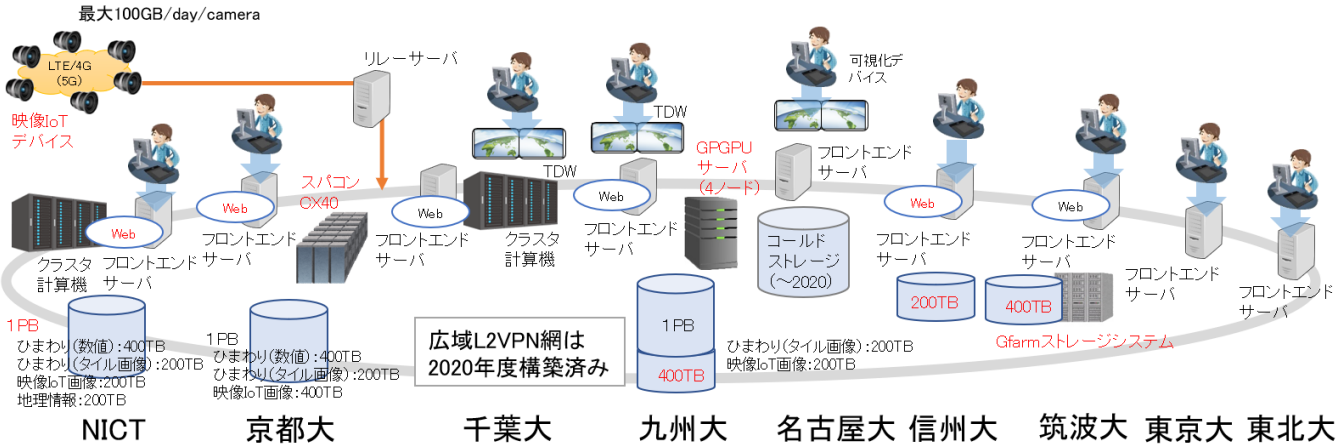


図 6　JHPCN 広域分散クラウド (国内 9 拠点のリソース分散)：赤文字は 2021 年度割り当てリソース

表 6　NICT サイエンスクラウドプロジェクトのエコシステム

目的	アプリケーション・ツール名	概　　要
データ収集	NICTY/DLA	インターネットで公開されている科学データをクローリングするツール．メタ情報自動収集ツール（NICTY）とデータファイルダウンロードエージェント（DLA）から構成．
データ収集	WONM（Wide-area Observation Network Monitoring）システム	広域観測網の観測所・観測拠点の観測システムを監視し，データ転送を自動的に行うツール．サーバツールとクライアントツールから構成されるが，クライアントツールをあらかじめセットアップした小型アプライアンスサーバを利用できる．
データ伝送	遠隔高速ストレージシステム	分散ファイルシステム（Gfarm）を仮想ストレージとして，遠隔地から高速データファイルの読み込み・書き出しを行うツール．クライアントサーバにセットアップすることで，API として利用できる．
データ管理	WSDBank	サイエンスクラウドのストレージ（NAS，分散ファイルシステム）上のデータファイルにアクセスするための Web アプリケーション．
データ管理	Gfarm トレーサビリティー	分散ファイルシステム（Gfarm[16]）上のデータファイルの履歴をファイル単位（インスタンス単位）で追跡するツール．信理者用．
データ処理	Pwrake	複数の計算ノードでデータファイルを分散処理するための並列処理用タスクスケジューラ．NFS でも Gfarm でも利用できるが，Gfarm と組み合わせローカルファイルに優先的にアクセスすることで I/O 高速化を実現するアフィニティースケジューリングが可能となる．
データ処理	Torque/Maui（T/M）	クラスタ計算環境で並列処理に適したタスクスケジューラ．リソース・マネージャ（Torque）とスケジューラ（Maui）から構成される．
データ可視化	バーチャルオーロラツール（V_AURORA）	Global MHD シミュレーションデータを可視化するツール．AVS Express/Dev により実装．

東京大学、京都大学、九州大学、NICT、筑波大学、千葉大学は VLAN 設定及びジャンボフレームのためのスイッチ設定が完了した。10 Gbps 通信のためには通信ノードにおける TCP 及び UDP バッファサイズの拡張が必要であるが、名古屋大学、九州大学、信州大学及び東北大学を除いて設定が完了した。（その後、名古屋大学、九州大学及び信州大学は 2021 年度に環境構築が完了した。）

2020 年度にはさらに、構築したネットワーク環境で高速データ伝送のための基礎通信性能測定を行った。通信スループットの測定結果を表 4（TCP）及び表 5（HpFP）に示す。ここで hperf は iperf3 に合わせて作成した HpFP ベースのネットワーク環境計測ツールである。これらの実験により、次のことが明らかになった。① 2019 年度までの L3（レイヤ 3）環境での計測結果と比較すると 2020 年度に構築した L2（レイヤ 2）の VPN 環境（L2VPN）では全体的にデータ通信速度が高速化している。②環境整備（ネットワーク及びサーバ）が整っている環境ではスループットとして 10 Gbps に近い速度を達成している。一方、達成できていない通信環境（たとえば京都大学→筑波大学）もあり、これらについては今後の原因究明と対策検討が必要である。③パケットロスレス環境では TCP でも十分な高速化を達成しており、このような場合には HpFP の有利性はそれほど高くない。

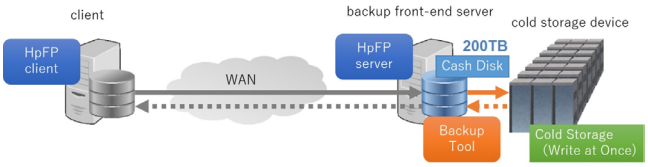


図 7　名古屋大学不老システムコールドストレージへのデータバックアップの仕組み

2.4.2　広域分散クラウド研究開発事例

本節では、2020 年度の JHPCN 広域分散クラウドプロジェクトで行った各拠点の研究開発事例を報告する。なお、本稿に含まれない NICT サイエンスクラウドプロジェクトのエコシステムについて、表 6 にまとめた[34]。

京都大学には、フロントエンドサーバ（VM サーバ）上に HpFP サーバ環境を整備し、1 PB ストレージへの HpFP プロトコルツールによるデータ伝送環境を整備した[61]。NICT からのひまわり衛星データ伝送については 6 か月で 200 TB のデータ伝送を完了した。また、映像 IoT システムからの映像データ（静止画像、動画像）については、191 台の観測拠点（カメラ）からの画像を総計で 98 TB（ファイル数 4,833 万）伝送した。京都大学スパコン XC40 への H.264 コーデック及び FFmpeg のセットアップに成功し、基礎試験を終了した。スパコンへの FFmpeg 実装により今後の大規模並列分散型画像処理の実現が期待される。

図 7 は名古屋大学不老システムのコールドストレージ利活用提案である。ユーザは HpFP（HCP）クライアントアプリのファイル転送またはファイル同期機能を用いて名大ストレージ（キャッシュ領域として利用する）にデータファイルを保存し、スケジューリングに従って磁気ディスクに保存する。2020 年度は名古屋大

図 8　ChOWDER (OSS) による TDW (タイルドディスプレイ) 大規模可視化事例：(上) 超高解像度分散レンダリング、(下) 複数 GIS コンテンツ (気象衛星画像) 同時表示

学に HCP サーバをセットアップし、さらに他拠点の HCP クライアントからの高速ファイル転送環境整備を行った。これにひまわり衛星に関するデータ (総データサイズ 48 TB、総データファイル数 850 万) を不老のホットストレージに転送し、これらのファイルがバックエンド処理によりコールドストレージに正しく保存されていることを diff コマンドにより確認した。バックアップシステムの有用性は確認できたものの、この方法はデータファイルの一括バックアップには適するが頻繁に書き込む用途には向かないため、キャッシュ機能や新規書き込み等の転送機能についての検討が必要であることが分かった。

九州大学及び千葉大学については、**3.7** で述べるタイルドディスプレイ (TDW) 用の OSS 化されたミドルウェア ChOWDER[62][63] による大規模データ可視化のための基礎環境整備が完了した (図 8)。L2VPN 上の京都大学 VM サーバ上に ChOWDER サーバを起動し、そこに接続したタイルドディスプレイで超高解像度コンテンツ表示が可能なことを確認した。また、NICT に地図と数値標高データの配信サーバを構築した。今後は、3 次元時空間 GIS データの大規模可視化を九州大学や千葉大学のタイルドディスプレイ間で同期レンダリングする実験を検討する。

信州大学は、図 9 のひまわりゲームサーバに高速接続し、スムーズな時系列データ可視化を行う PC を L2VPN 網で接続し、ひまわりゲームを高速に体験することに成功した。ゲームの場合、アプリケーションが停止することなく動作することが重要であるが、L2

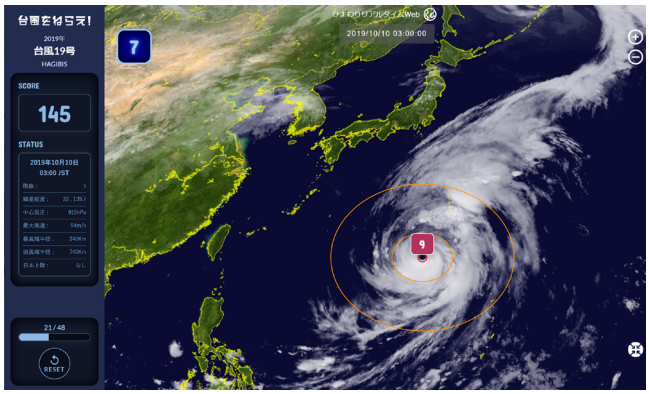


図 9　ひまわりリアルタイムをベースに HTML5/iframe により作成したひまわりゲーム (台風進路追跡)

図 10　STARS ライブラリのオープンソース Web サイト (http://www.k2go.jp/public で公開予定)

ネットワークの導入によりこの問題を回避した。将来的には信州大学に 10 G 接続された地域の小中学校において同実験を児童たちに対して行う計画である。

筑波大学については、NICT から Gfarm 実験用のサーバ群 20 台 (総コア数 208、総メモリサイズ 1,648 GB) の移設及び UPS の設置を完了した。今後の性能検証実験に向けて Gfarm 最新版 (バージョン 2.7.18) のセットアップを完了した。その際、システムの一部を、筑波大学開発のコンシステントハッシュファイルシステム (CHFS) [64] で利用することとした。

国立極地研究所では NICT が独自開発したオープンソースの jQuery である Timeline 及び TileViewer を用いた時系列高解像度オーロラ画像データセットの準

備と閲覧用 Web アプリケーション開発が進んでいる。Timeline 及び TileViewer はオープンソースとして Web 公開し（図 10）、さらに現在 GitHub などで OSS（Open Source Software）として公開予定である。

ビッグデータ利活用（東北大学、NICT、宇宙航空研究開発機構）では HpFP プロトコル [48]–[56] をベースとして開発した HCP ツール [57][58] の Windows クライアント版を用いたデータファイル実験準備中である。クライアントプリはおおむね完成しており、JHPCN 広域分散クラウド上での動作検証中である。

2.5　時空間データ GIS プラットフォーム

本稿の目的は、時空間データ GIS プラットフォームの提案である。時空間データ GIS プラットフォームは、**2.1** の CyberEearth のコンセプトを **2.3** の NICT サイエンスクラウド及びその発展である **2.4** の JHPCN 広域分散クラウドにおいて実現するものである。図 11 には CyberEarth（NICT サイエンスクラウド）を実現するために必要なエコシステムを示したが、これらは **3.1** 及び NICT サイエンスクラウド報告 [34] において準備が完了している。

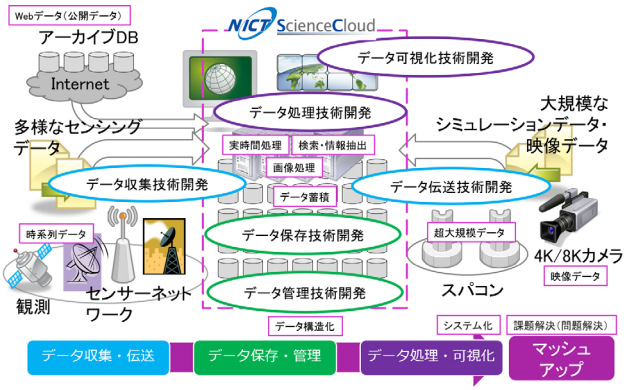


図 11　NICT サイエンスクラウド要素技術（エコシステム）

時空間データ GIS プラットフォームの基本コンセプトと目指すゴールは、次のとおりである。基本コンセプトは **2.1** に述べた CyberEarth そのものであるが、より具体的には次のとおりとなる。

- 時空間のスケーラビリティー可視化
- 充実した API（ライブラリ）
- 大規模ボリュームコミュニケーション
- 汎用性と訴求性の高い実アプリケーション

時空間データ GIS プラットフォームを Web アプリケーションとして実装する際に最も重要な機能は、時間（1 次元）及び空間（3 次元）においてスケーラブルな可視化機能を有することである。3 次元空間のスケーラビリティーについては Google Earth や Cesium、iTowns などの WebGIS ツールがこれを達成している。メディア等でしばしば用いられる地球体から特定の家屋までを連続的にズームイン可視化するデモンストレーションは、スケーラブル可視化機能の有効性を如実に示している。その一方で、データの時間スケーラブル可視化技術については顕著な開発事例がない。例えば、amCharts[65] のようにデータのスケーラビリティーに対応しているグラフツールもあるが、機能は限定的である。筆者らは上記 WebGIS で用いられているピラミッドタイル技術を時間方向に適用することで時間スケーラブルな時系列データ可視化を実現した。

時空間データ GIS プラットフォームを利活用し、目的に応じたアプリケーションを実装するためには充実した API（ライブラリ）の提供が重要である。提供すべき API にはデータアクセスのための API とデータ処理機能提供の API がある（図 12）。また、JavaScript、jQuery や React のような Web ベースの API や画像処

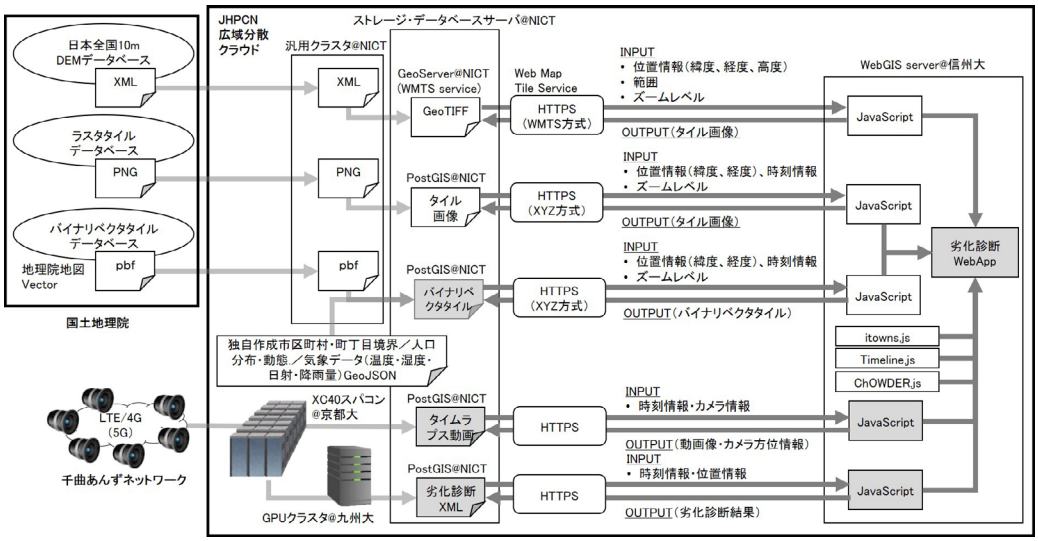


図 12　GIS 及び映像 IoT データベースシステム（データ提供 API と可視化機能 API）

理、データ通信、並列分散処理、可視化処理など様々な機能の API も有効である。筆者らは、これまでに NICT サイエンスクラウドにおいて図 11 に示す様々な機能のエコシステムをライブラリやアプリケーションとして開発し、それらの多くを OSS やフリーウェアとして提供している。

時空間データ GIS プラットフォームに求められる機能として、国内外の様々な研究者やシステム利用者が遠隔地から情報を共有できる大規模ボリュームコミュニケーション機能が挙げられる。2020 年から 2021 年にかけてのコロナ禍により遠隔会議システムが日常的となったが、一方でデータやアプリケーションの遠隔共有は十分には進んでいない。**3.7** で述べる ChOWDER は大規模可視化ライブラリであるが、これによる遠隔可視化共有機能を有しており、これを時空間データ GIS プラットフォームに取り込むことで実現可能である。

筆者らは NICT サイエンスクラウドでの経験から、これらの機能提供により、研究者やデータ利用者による独自アプリケーションや独自システム開発を推進するためには、データやライブラリ、アプリケーション提供だけでは不十分であると考えている。これらを利用した汎用性と訴求性の高い実アプリケーション開発によるプロモーション活動が不可避である。時空間データ GIS プラットフォームを活用したアプリケーションやシステムの多くが要素技術の複雑な組み合わせによるマッシュアップによることを考えると、個別の要素技術の訴求は単体では容易ではなく、システム体験が最も効率的で効果的であると考える。**4** で述べるひまわりリアルタイムや千曲あんずプロジェクトは時空間データ GIS プラットフォーム技術を具現化した事例であり、現在もこれらのアプリケーションを通じて NICT サイエンスクラウドの要素技術を利用する事例には枚挙にいとまがない。

時空間データ GIS プラットフォームが目指すべき目標の一つが異種データ連携である。筆者らも、RSS（RDF Site Summary）によるメタデータ記述の拡張によるセマンティック Web 構築を、宇宙環境データメタデータベース [66][67] や生物バンクデータなどで構築する試みを進めてきた [68]–[70]。図 13 は NICT サイエンスクラウドを基盤とした学際的科学データ表示 Web の処理フローである [71]。データ連携による意味情報の解釈・処理目指したが、RDFDB（RDF database）を用いてもデータ処理の高速化は難しく、また未知のデータ解釈や推論には至らなかった。**4.1** で述べるひまわりリアルタイムの拡張である地域版ひまわりリアルタイム（図 43 で後述）においては、基盤となる地理情報に各種気象データやエネルギー需要情報 [72]、災害記録などの異分野データを別レイヤとして

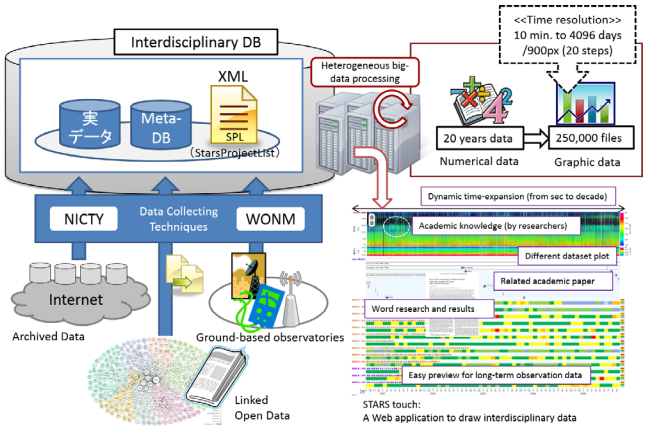


図 13　NICT サイエンスクラウドを基盤とした学際的科学データ表示 Web の処理フロー

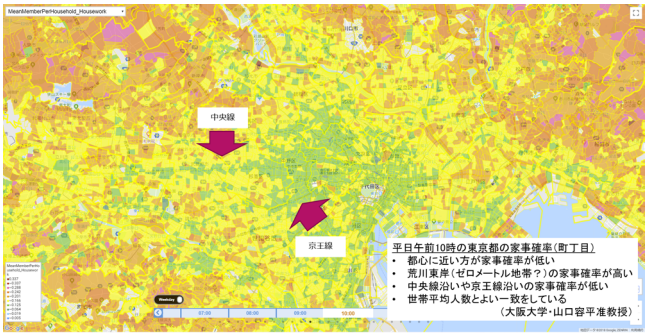


図 14　東京都下の町丁目別の電力需要マップ [92]

同一時空間でオーバーレイ可視化している（図 14）。時空間データ GIS プラットフォームでは、アプリケーション利用者が独自の視点や目的で必要とする異分野データ連携可視化により情報抽出を行い、独自にデータの相関分析を行う環境の提供を目標とする。

3　科学クラウドエコシステム

クラウドを科学分野のビッグデータ処理において活用する NICT サイエンスクラウド及びその発展形である時空間データ GIS プラットフォームを設計・構築するにあたり重要なのは、エコシステムとして機能する要素技術である。本節では、これまでに構築し、有効性を検証してきた要素技術について議論する。

3.1　スケーラブル時空間同期連動技術（STARS）

国際科学会議（ICSU）の下で WDC（世界科学データセンター）と FAGS（天文地球物理恒久事業連盟）が WDS（世界科学データシステム）として融合し、様々な科学分野でビッグデータ化が進み、情報処理・情報通信技術は高度化している。しかし、WDS の理念の一つである異分野学際的科学研究推進は目覚ましい発展を遂げたとは言い難い。

図 15　データ存在バー表示：バー色により Mission（観測計画）を表し、左側のタイトル部が Team 観測チーム）を表す。(2) は (1) を時間方向に拡大した場合。バーが抜けている期間は、当該データがその期間に存在しないことを示している。

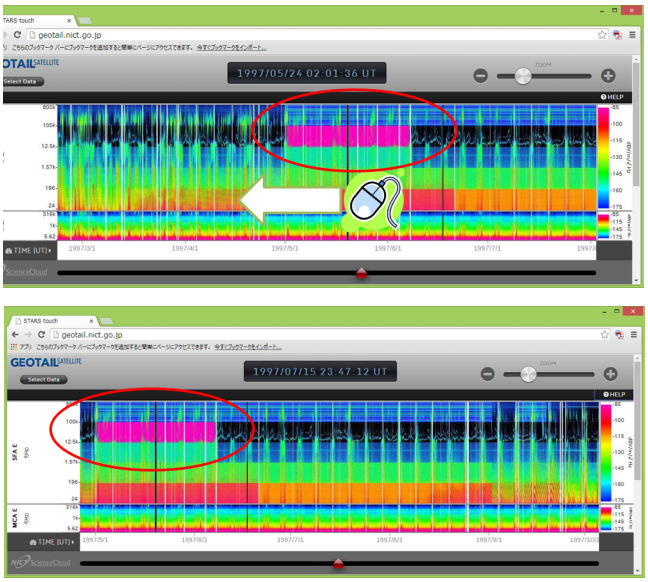


図 16　STARStouch 時間スライド表示機能：(1) でマウス左クリックによるドラッグで (2) のように時間方向にデータをスライド表示できる。STASRtouch では、表示画像の前後時間のグラフ画像をキャッシュすることで表示高速化を実現している。

筆者らはかつての WDC 組織のデータ及びデータベース担当者であり、宇宙環境や地球環境といった自然環境研究分野の研究者として大規模データ処理システムや可視化システムの開発に従事してきた [73][74]。上記の問題についてこの研究分野の視点から検討を行った結果、解決方法の一つとしてビッグデータ処理の基盤として NICT サイエンスクラウドを活用し、様々な時系列データを融合的に表示するための学際的科学データ表示 Web を提案した [71]。多種多様な科学データを高い利便性で時系列表示できるため、異分野間連携データ表示・理解の進展が期待できる。

学際的科学データ表示を実現するには、異なる研究機関からのデータの収集、データ構造が異なる多種多様なデータへの対応、データの大規模化と大規模処理、大量情報表示環境などがボトルネックとなり、実現していなかった。科学データ自動収集クローラ、データをカプセル化するクラスライブラリ、クラウド環境での並列データ処理技術、TDW（Tiled Display Wall）による超高解像度ディスプレイなどの NICT サイエンスクラウド基盤技術によりこれらの問題点を解決できる。クラウド基盤技術をマッシュアップすることで、今後、本研究で提案する学際的科学データ表示 Web により異分野横断型研究への寄与が期待される。

筆者らはこれらを背景に、図 15 に示す複数の独立した異なる科学衛星プロジェクトの時系列データを時間スケーラブルに比較可視化するアプリケーション（STARStouch）を NICT サイエンスクラウド上に実装した [71][75]。図 16 は、STARStouch により時間方向（水平報告）にデータスライド表示を行っている様子である。一般のグラフツールでは表示時間帯を変更するためにはメニューで当該日時を入力するが、この作業によりデータの連続性の認識が難しくなる。本アプリケーションではマウス左クリックで水平方向にドラッグすることでデータを時間方向にデータが存在する限り無限に連続表示できる。ここでは、表示時間の前後のグラフ画像データをキャッシュすることでグラフ表示の高速化を行っている。図 17 は、STARStouch で時間方向（水平報告）にデータを拡大表示する様子である。マウス左ダブルクリックで時間方向に拡大（ズームイン）、右ダブルクリックで縮小（ズームアウト）する。一般的な解像度（例えばフル HD）のディスプレイ端末上であれば、約 10 分から約 10 年までを 20 段階で連続的に拡大・縮小表示できる。STARStouch は、垂直方向にデータ配置を移動する機能も有している。比較したいデータを上下に自由に配置することで試行錯誤的に異分野データ間の相関を目視で確認・検討することが可能となる。STARStouch の技術は新聞記事などの定期刊行物可視化技法として 2020 年 1 月に特許を取得している [76]。これらの実装事例をもとにサイエンスクラウドビジュアライゼーションギャラリー（図 18）を立ち上げ、学際的科学データ表示 Web の有効性を検証した。これにより得られた基礎技術を整理し、有効となる時空間同期技術を STARS（SpatioTemporal data Analytic and Reciprocal Synchronization）として提案し [73][77]、その一部を OSS として公開予定である（図 10）。

関連分野や異分野の情報を連携・連動して研究者に提示する方法は、言い換えると多種多様で大量のデータを同時に研究者に提示することを意味している。分野融合の視点では様々なデータが連動して提示されることは望ましい一方で、膨大なデータをどのように整理して提示するかが重要となる。複数の情報を乱雑に提示しても、研究者がそれをもとに新たな知見を得ることにはつながらない。**2.5** で議論したとおり、セマ

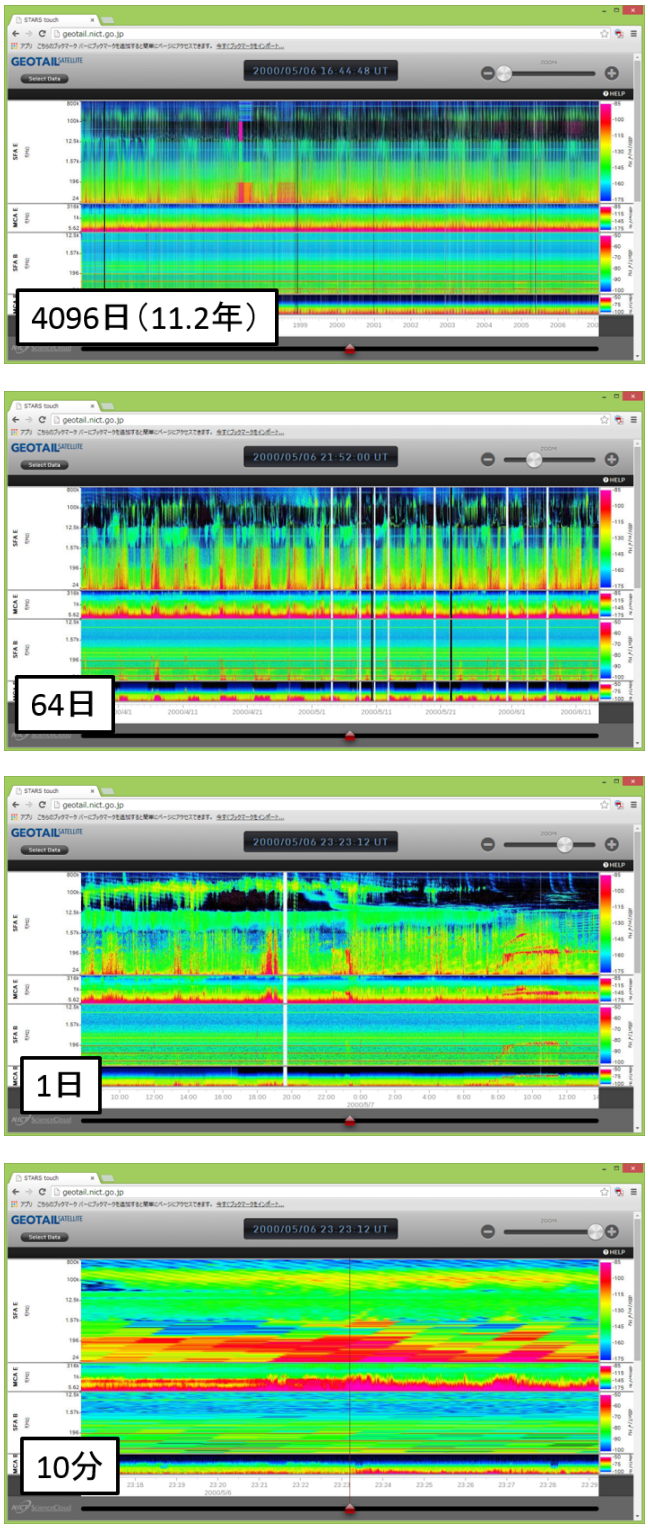


図 17　STARStouch 時間拡大・縮小（ズームイン・ズームアウト）表示機能：左クリックで (1) から (4) へと連続的に 20 段階でズームインし、右クリックで (4) から (1) へとズームアウトする。

ンティック Web は解決方法の一つであるが、現在の計算機処理性能では異分野データからの新しい知見の取得は容易ではない。したがって、現状は大量の表示データから必要とする情報や関連性が高いデータを自動選択・抽出して提示する技術や、Web アプリケーションを通じて異分野研究者が情報交換をする技術が

図 18　NICT サイエンスクラウドビジュアライゼーションギャラリー：(1) 部屋の様子、(2) 部屋の様子、(3) WONM データ収集画面、(4) 縦型タッチパネル (STARStouch 表示)

有効である。上記の各種 STARS 技術の OSS 化（図 10）や **3.6** 及び **3.7** のボリュームコミュニケーション技術は、異分野データの時空間連携を行うための様々なアプリケーション開発支援を目的としている。

3.2　3 次元 WebGIS 技術

時空間データ GIS プラットフォームでは、基盤となる 3 次元 WebGIS ツールの一つとして 3 D WebGIS の一つである iTowns（フランス MATIS/COGIT 研究所による OSS）を用いる。iTowns は 3 次元可視化ライブラリのデファクトスタンダードの一つである three.js をベースに開発された 3 D WebGIS ツールであり、潤沢な three.js ライブラリが利用できる。また、他の多くの商用または準商用 3 D WebGIS ツールに対して iTowns は OSS であるためベンダロックがないことから、研究者や開発者独自の目的に応じた柔軟な 3 次元可視化が可能である。筆者らはこれまで気象衛星雲画像、日射量、気温、湿度、風向･風速、降水量や DEM（数値標高データ）などのラスタタイル化された気象データや市区町村・町丁目境界データ、歴史的行政境界データなどのベクタタイル化された境界データをデータベース化し、API として提供してきた（図 12）[78][79] が、これらは iTowns で利用可能である。また、**2.4.2** で述べたようにスケーラブルな時間管理ができる jQuery である Timeline により iTowns の時系列化にも成功している。今後は、上記の異分野データ連携の一つとして、**3.4** で述べる映像 IoT システムから得られるリアルタイム映像を 3 次元空間に時系列可視化することで、地理情報と映像のオーバーレイ（図 19）を目指している。

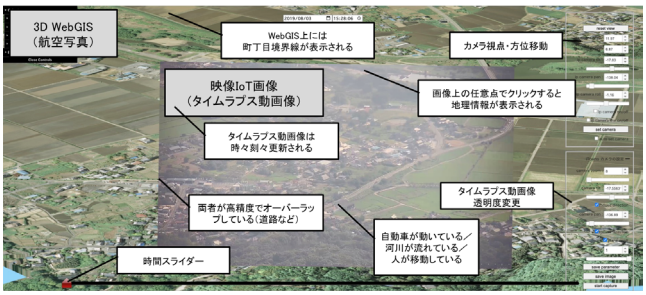


図 19　サイバーフィジカル時空間データ GIS プラットフォームによるタイムラプス映像と地理情報の融合可視化

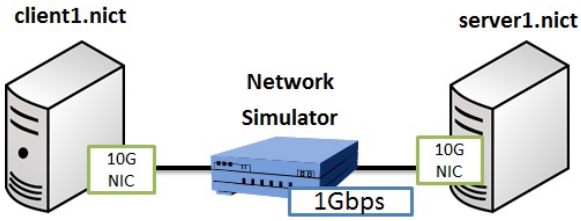


図 20　HpFP と iperf 比較のための室内実験環

3.3　高速データ伝送技術（HpFP）

JHPCN 広域分散クラウドの基盤となる JGN や SINET5 などの高速ブロードバンド回線の活用には、その上で高い機能を発揮する通信プロトコルが重要となる。筆者らは、NICT テストベッドネットワークである JGN などの広帯域長距離ネットワーク LFN（Long Fat Network）において高いパケットロス耐性を有する通信プロトコルとして、HpFP（High-performance and Flexible Protocol）の設計と実装を進めている。一般には、データ通信プロトコルとしては http や ftp、rsync や rcp などの TCP を基盤としてプロトコルを使うことが多い。しかし TCP は遅延やパケットロス環境に弱く、特に両者が融合する環境ではパフォーマンスの低下が極端である傾向にある。UDP ベースの高信頼通信プロトコルとしては UDT（UDP-based Data Transfer Protocol）があるが、筆者らの実験では LFN において 10 Gbps 以上を達成することができず、将来性が高くないと判断した。[23][42][43][80]。そこで、基盤プロトコルとして筆者らが開発した HpFP を提供する。HpFP は 2019 年 11 月に特許取得 [81] しており、その詳細設計及び仕様については多くの論文で報告済みである [48]–[56][82]。本稿では HpFP の仕様については割愛し、室内実験による基本性能を紹介する。さらに、HpFP を使った NICT サイエンスクラウドシステムと京都大学学術情報メディアセンターによる JGN と SINET5 を用いた実環境での通信実験結果を紹介する。

図 20 は、本研究の室内実験環境である。2 台の送受信サーバをネットワークシミュレータで挟み、人工的な遅延やパケットロスを与える。ネットワークカードは送受信で 10 G であるが、シミュレータにより実験帯域を最大で 1 Gbps とした。これは、JHPCN 広域分散クラウドの L3（Layer 3）ネットワークでファイアウォールを考慮すると、京都大学学術情報メディアセンターと NICT サイエンスクラウドシステムの間のスループットが 1 Gbps を上回ることがないからである。図 21 は HpFP と TCP の基本性能測定ツールとして一般に利用されている iperf（本研究では TCP オプションを選択）との比較実験を、図 20 の室内実験環境において行った結果を示す。図 21 によると、iperf（TCP）はパケットロスや遅延がない環境では十分な性能を示すが、遅延が発生すると性能が低下することが分かる。性能低下はパケットロス環境下では顕著であり、片道 0.5 %程度のパケットロスがある環境では 1 msec 程度の遅延でもデータ伝送性能は極端に低下する。一方、図 21 によると HpFP は遅延やパケットロスに極めて強いことが分かる。片道 0.5 %のパケットロスと 50 msec 程度の遅延においても、その性能劣化は極めて小さい。本稿では議論しないが、実際にはロス 10 %で 200 msec の遅延環境などの極めて厳しい環境においても、HpFP は図 21 と同様の高いロス耐性・遅延耐性の振る舞いを示すことがわかっている。

さらに筆者らは、図 20 の室内実験を背景として、JHPCN 広域分散クラウド（L3）上で SINET 及び JGN を用いた広域通信実験を行った。図 22 は、HpFP により京都大学学術情報メディアセンターと NICT サイエンスクラウドシステムの間で基礎的な通信実験を行った結果である。京都大学学術情報メディアセンターと NICT サイエンスクラウドシステム間ではパケットロスはなく、RTT は平均 15.7 ms であった。また、両者間の JGN 及び SINET5 のネットワーク帯域（バンド幅）は 10 Gbps と十分であり、通信ボトルネックは NICT サイエンスクラウドの FW（ファイアウォール）にあることが分かっている。（通常は、300 Mbps ～ 500 Mbps 程度しか空き帯域がない。）

HpFP は目標スループット（上限スループット）を設定することができるが、図 22 では 100 Mbps ～ 600 Mbps を目標スループット値として設定して実験を行った。300 Mbps までは安定して通信できていることから、HpFP による両者間での通信は、安定して 300 Mbps 以上が可能であることが分かる。図 22 では目標スループットが 400 Mbps 以上では目標スループット値が達成できていない。例えば、目標スループットを 600 Mbps と設定した場合でも、実測値は 440 Mbps 以下となっている。本稿では述べていないが、事前に行った室内実験（パケットロスなしで 20 Gbps 環境）において HpFP は 100 msec 以上の遅延環境でも 10 Gbps 以上を達成していることから、HpFP の実装の制約で

はない。したがって、目標値を達成できていない理由は上記の NICT サイエンスクラウド FW の帯域変動によるものと考えられる。

なお、図 22 と同じ京都大学と NICT 間での iperf (TCP) による測定結果が 340 Mbps 程度であったことを考えると、HpFP の目標スループットを 400 Mbps 以上に設定することで、HpFP は TCP 系のデータ伝送ツールと同等以上の高い実用性能が期待できる。前述のとおり、図 22 の実験では両研究機関間でのパケットロスがなく、遅延もそれほど大きくなかった。図 21 でもわかるとおり、低遅延・パケットロス環境では両者のスループットには大きな違いはない。しかし、実験を行う時間帯においては、両機関間でのネットワーク輻輳（ふくそう）によるパケットロスなど発生することもあり得る。この場合には、HpFP の優位性が発揮されると予想される。

筆者らはこれまで、様々なネットワーク環境において HpFP の性能検証を行ってきた。例えば Google QUIC に先んじて HpFP による Web アプリケーションの高速化を実現した [83]。WIND 衛星、インテルサット衛星などの静止軌道上の通信衛星 (RTT は約 500 ms) を対象とした通信実験を行い、気象環境に依存しない高速データ通信に成功する [84]–[86] だけではなく、パケットロスやビットエラーの計測ツールとしての有効性も示した [82]。3 次元気象レーダーデータのデータ転送ツールとしても有効性を検証済みである

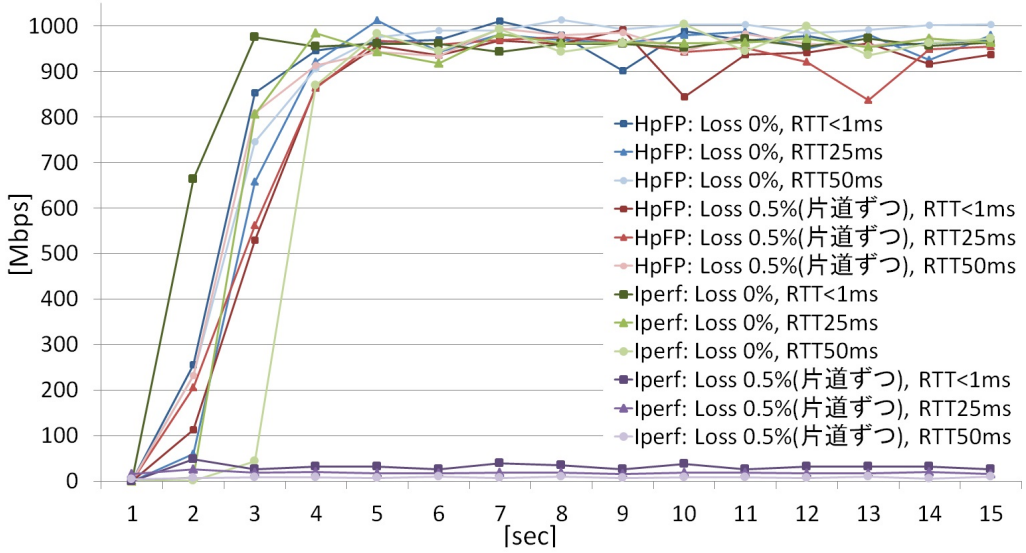


図 21　HpFP と iperf の比較結果 (室内実験)

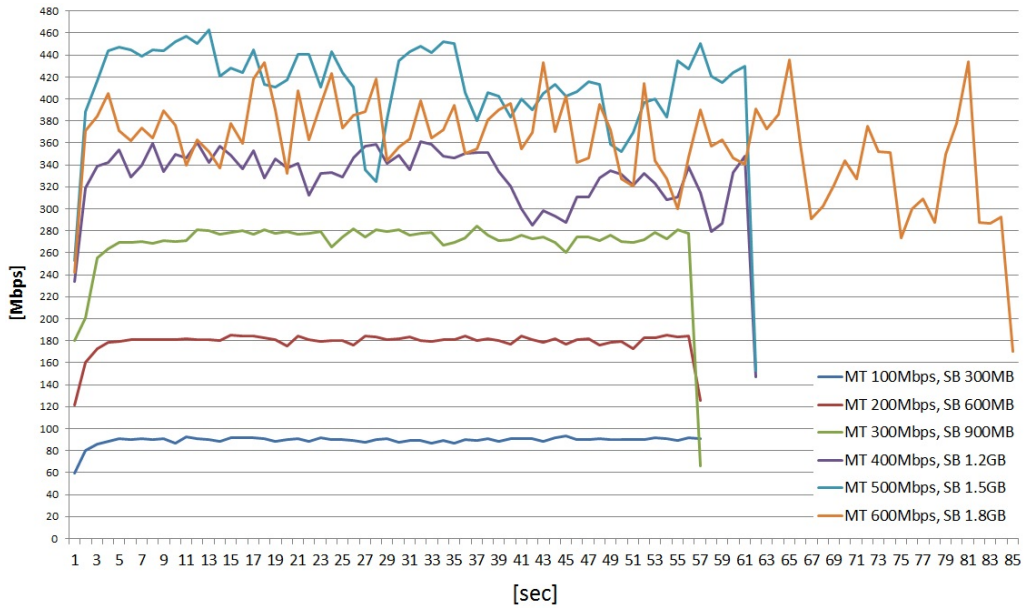


図 22　HpFP による京都大学学術情報メディアセンターと情報通信研究機構サイエンスクラウドシステムの間で基礎的な通信実験結果：同じ環境で iperf (TCP) では 340 Mbps 程度であった。

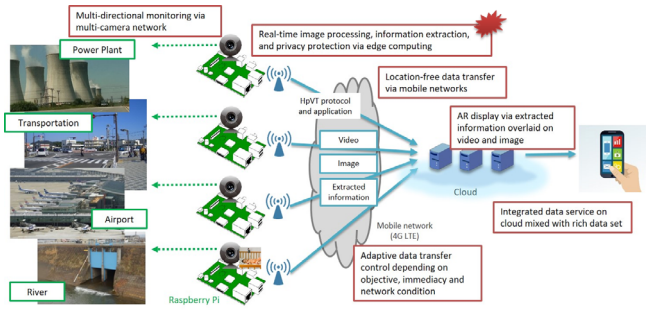


図 23　映像 IoT コンセプト

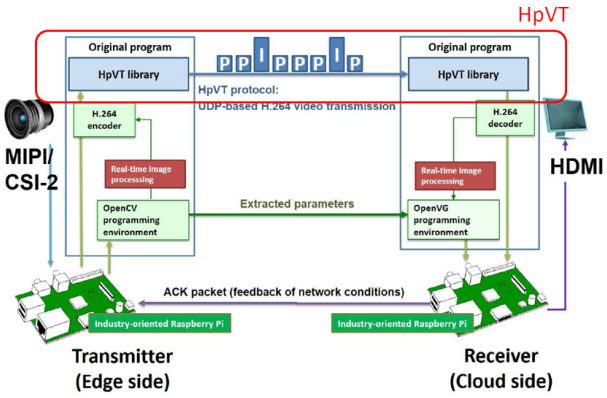


図 24　HpVT プロトコル及びアプリケーション概要

[59][60]。HpFP を基盤とした高速ファイル転送ツール HCP は商用化されており、JHPCN 広域分散クラウド（**2.4**）や JGN も DTN（Data Transfer Node）として参加している SuperComputing Asia の DMC（Data Mover Challenge）でも高い性能を発揮している [49]。

3.4　映像 IoT（Visual IoT）

情報通信技術の急速な成長により、実空間（物理空間）での大量の情報・データが様々センサーによって生成され、サイバー空間（クラウドシステムなど）に蓄積されている。モノのインターネット（IoT：Internet of Things）は、IoT センサー群をインターネットに接続することによりセンサーにより取得される実空間現象をサイバー空間上に再現する概念である。Iyer らにより 2016 年に提唱された映像 IoT[87] は IoT のクラスの一つである。一般的な IoT 型センサーと異なり、映像 IoT ではイメージセンサーまたはビデオセンサーを IoT センサーと位置付ける。すなわち、IoT デバイスにモバイルカメラなどのビデオ伝送機器を装備し、これをインターネット接続することで映像 IoT センサーとする。図 23 に示すとおり様々な環境に映像 IoT センサーを配備することで、社会インフラや公共設備の監視、防災・減災への取組などが可能となる [88] [89]。

映像 IoT では、映像データの広帯域幅の確保やエッジ側でのコンピューティングと通信のトレードオフなど、様々な技術課題に対処する必要がある。Iyer らは特に（1）高品質なビデオ伝送と（2）画像処理や画像認識技術による画像からの情報抽出の 2 点を指摘している [87]。筆者らが開発した HpVT プロトコル及びそれを用いた HpVT アプリケーション [90] は図 24 に示すとおりこれら 2 点を解決するために開発した映像伝送用の技術であり、近年の Web カメラ等で主として用いられている HTTP 伝送の欠点を補うために設計されている [91][92]。パケットロスやジッタなど環境変動に弱い TCP ベースの HTTP（Hyper Text Transfer Protocol）や HTTPS と異なり、UDP ベースの独自プロトコル HpVT は動画像のフレーム送出をできるだけ平滑化し、不要なバッファリングを行わないことで映像のストリームをスムーズに再生することに特化した。ネットワーク環境の変化により帯域品質が低下した場合には優先フレームのみを送出することで画質よりも映像のリアルタイム性を重視している。HpVT プロトコルは、特に 4G/LTE 等のモバイル通信網においてその性能を発揮する。

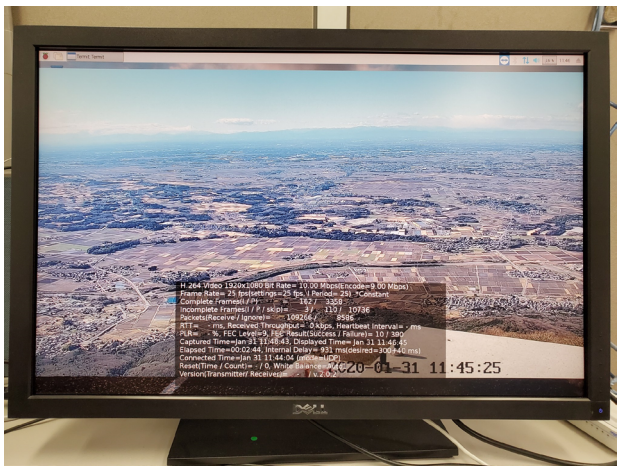


図 25　受信側画像の OpenVG による情報オーバーレイ事例（パラメータ表示部）

HpVT アプリケーションは HpVT プロトコルの性能を有効活用し、同時にユーザが独自に画像処理プログラムを構築することができる環境を提供する。図 24 に示すとおり送信側（エッジ側）のシングルコンピュータ（Raspberry Pi）上には OpenCV 環境を用意しており、取得動画像フレームをリアルタイム処理することができる。例えば、動画像フレームから任意のフレームを静止画像として抽出することや、一定間隔の動画像ファイルを抽出することが可能である。その例として、これまでの筆者らのオペレーションでは 1 分ごとに 1 秒分（30 フレーム）の連続静止画像抽出及び 1 時間おきに 2 秒間の動画像抽出などの実験を行い、正常な画像取得を確認している。このような特殊な画像取得

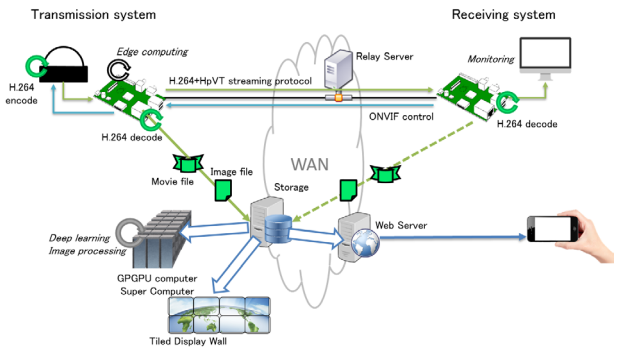


図 26　映像 IoT 通信システム概要図

図 27　乳幼児突然死症候群 (SIDS) 対応のための Magnification 技術事例 [98]

操作は一般的な IP カメラでは容易ではなく、送信側に Raspberry Pi 等のシングルコンピュータを用いていることの利点の一つである。受信側では OpenVG 開発環境を利用して、AR（Augmented Reality）等により映像に取得情報をオーバーレイすることができる。例えば、ネットワークパラメータ（遅延時間、パケットロス率など）や映像パラメータ（フレームレート、ビットレート、解像度、バッファサイズ等）を受信画面に表示したり、中心点を＋で表示したりするなど、様々な応用が可能である（図 25）。

図 26 は、図 24 の HpVT アプリケーションを用いたシステムのコンセプトモデル図である。図 24 に示すカメラ側（送信側すなわちエッジ側）の Raspberry Pi においてエンコードされた H.264 エンコードされたフレームデータが HpVT プロトコルによるストリーミングパケットとして送出され、モバイル通信網などを介して受信側の Raspberry Pi で受信される。Raspberry Pi は ARM ベースの安価なシングルボードコンピュータであり、H.264 のハードウェア及びソフトウェアエンコーダを搭載しているため、HpVT のプラットフォームとして選択した。受信パケットは H.264 デコードされ、HDMI 対応のディスプレイ等に表示される。一方、送信側の Raspberry Pi 上で OpenCV により抽出されたフレーム画像（静止画像）

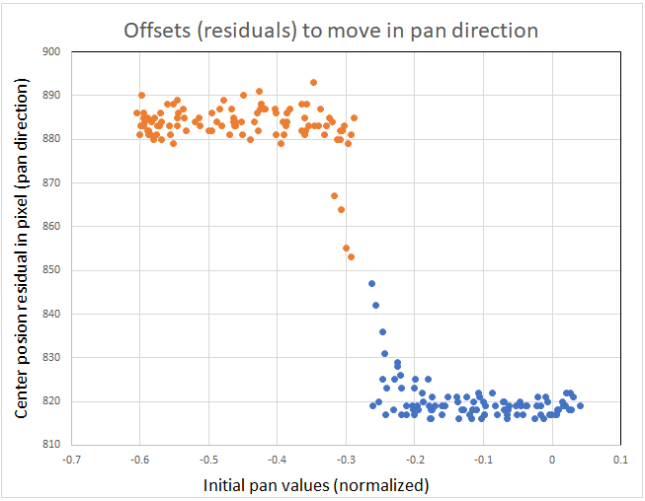


図 28　安価な PTZ 対応 IP ネットワークカメラのパン操作時の制御誤差 [99]

ファイルや動画像ファイルは、Web サーバに定常的に伝送される。ストリーミング再生とは異なり映像モニタリングのリアルタイム性はないが、Web アプリでスマートフォン等によりどこからでも準リアルタイムに映像の確認ができる。また、画像ファイルをアーカイブすることで過去データの検索等も可能である。

3.5　大規模可視化技術

3.4 の映像 IoT において筆者らの HpVT プロトコルは、モバイル通信環境を活用することにより、有線ネットワークの空間的制約を受けることなく、あらゆる場所からの高品質・低遅延映像伝送を可能とした。一方で、映像 IoT の活用においては映像から情報を抽出する技術が重要であるが、多地点からの高品質映像伝送では蓄積画像がビッグデータ化されるため、高度で高速な画像処理技術が求められる。ここでは、開発中を含めた大規模可視化技術を紹介する。

ビッグデータから有用な情報を抽出する手法の一つがデータマイニングであるが、データを可視化することでデータマイニングを実現する手法であるビジュアルデータマイニング [93][94] において、筆者らは特に衛星データ処理 [95] や **2.1** の VEMS 上での 3 次元計算機シミュレーションデータからの情報抽出（特徴点検出）[96] に成功している。

ビジュアルデータマイニングの発展として、筆者らはこれまでに映像 IoT と微小変化増幅画像処理技術（Magnification）を組み合わせることで、映像内に含まれる微細変動情報抽出に取り組んでいる。図 27 では乳幼児突然死症候群（SIDS）に対応するため、目視ではほとんど確認できない画像上の乳児のわずかな呼吸を抽出し、拡大可視化することに成功している [97][98]。Magnification 技術は、映像 IoT 技術と相まって今後、

図 29　AKAZE 特徴量によるカメラ画像ブレ補正結果 [100]

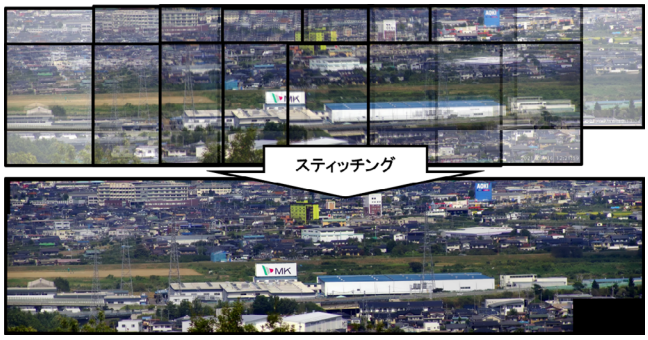


図 30　OpenCV（スティッチング）による超高解像画像生成技術：CX2570 上で処理の並列化により 96 K 解像度画像生成（現在は 16 K に成功）

都市劣化診断などでの利活用が期待される。

3.4 で述べた映像 IoT では、多数のカメラ設置目的のため映像伝送のために安価な民生 PTZ カメラ利用が重要である。村上らは図 28 に示すように安価な PTZ カメラ操作において画像上で 30 ピクセル程度のずれが発生することを確認し [99]、さらに図 29 のとおり AKAZE 特徴量による補正手法を確立済みである [100]。さらにこの技法を基に PTZ 操作により得られる 12 枚の full HD 解像度画像からの高解像画像を生成するスティッチング手法を構築した（図 30）。これらのアプリケーションも、**2.4.2** の OSS サイトにおいて一般公開予定である。

屋外高所設置の鳥の目カメラ（**4.2.2** で後述）では強風によるカメラ揺れに伴う時系列画像のブレが不可避である。さらに長期変動検出（例えば 1 日以上）では太陽の位置や日々の気象状況により同じ PTZ 値でも画像の彩度・明度が異なり、霧雨等により不鮮明画像となる場合もある。これらの条件下で正確に画像差分を抽出するための前処理として、筆者らは AKAZE 特徴量及び相互情報量による連続画像のブレ補正を行っている [100]。劣化診断対象物の変動時間スケールは様々であるため、異なる複数の時間スケールでのタイムラプス動画像生成が求められる。本研究では京都大学スパコン上に OSS である FFmpeg と OpenCV の並列処理環境を構築し、1 分から 1 年程度の時間スケーラブルな複数タイムラプス動画像生成を行い、建築物変形・地滑り兆候（長時間スケール）[101]–[103] や河川増水・煙検出（短時間スケール）の検出に対応する。

3.6　ボリュームコミュニケーション

科学分野の共同研究において、複数の研究者同士がインターネットを介して三次元可視化オブジェクト（ボリュームデータ）をリアルタイムに共有できる環境は重要性が高い。特に、現在の COVID-19 によるコロナ禍においてオンラインコミュニケーションは重要である。一方、近年多くの科学研究分野で利用されている 3 次元可視化アプリケーションは、多地点遠隔地におけるボリュームデータ共有機能が限定的であることが指摘されている。筆者らは大規模シミュレーションの可視化で有名な汎用三次元可視化ソフトウェアである AVS（Application Visualization System） の ボリュームコミュニケーション技術開発を行った [104]。AVS から派生したビューアーである 3 D AVS Player をベースに、多地点遠隔ボリュームコミュニケーションシステムの設計及び実装を行った。このシステムでは、VPN によりユーザがプライベートネットワークに用意された VENUE に参加する。VENUE 内では、すべてのユーザが同じ GFA ファイルを取得する。取得した GFA ファイルの視点情報と時刻情報は、マルチキャスト通信によって VENUE に参加しているすべてのユーザに同期配信される。

一般にデータ共有時にはすべてのユーザがデータを取得するまでの時間がかかるため大規模 3 次元可視化データのリアルタイム共有は容易ではないが、HpFP により高速でのデータシェアリングが可能になる。たとえば 10 Gbps 通信では 10 GB のデータを 10 秒程度でシェアリングできる。一方、プレビューにおいてはパラメータのみを通信するために、ネットワークの広帯域を必要としない利点がある。また、マルチキャスト通信を用いているため、システムの通信部が比較的シンプルなデザインでの実装が可能である。

本システムは、筆者らが開発した仮想地球環境システム（VEMS）[105] に適用され、実際に地球磁気圏の磁力線やプラズマ運動可視化を遠隔多地点や TDW（タイルドディスプレイ）でボリュームシェアリングすることに成功した。なお、このシステムは 3 D AVS Player を視覚型 VR システムとして利用する際には、リモートコントローラとしても利用が可能である。3 D AVS Player が動作する計算機のネットワーク内に VENUE を構築し、コントロールする計算機をこの

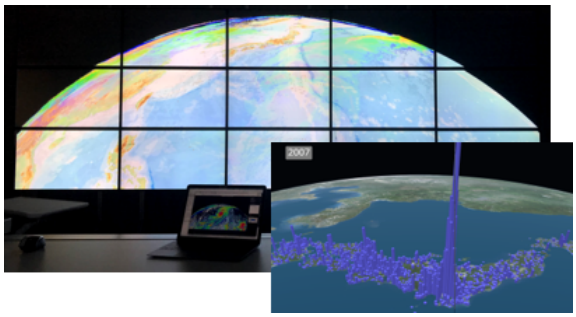


図 31　ChOWDER による iTowns アプリケーションの TDW 表示事例

図 32　ひまわりリアルタイムアプリケーション（スマートフォンアプリ）

VENUE に参加させる。これにより、VR システム上の GFA コンテンツの視点移動や時間ステップの更新は、コントロール計算機から制御することができる。

3.7　ChOWDER

筆者らはこれまで、TDW での大規模可視化用ミドルウェア ChOWDER を開発してきた [62][63]。ChOWDER は複数のディスプレイにコンテンツを分散レンダリングできるため、**3.6** で述べたボリュームコミュニケーション機能を有する。また、筆者らが開発･OSS 化している STARS 機能の一つである Web アプリ用時間管理ツール Timeline[106] を組み込むことにより **3.2** で述べた iTowns に時系列データ表示機能を付加し、TDW 上での超高解像度表示を実現した（図 31）。これは他の類似ミドルウェア（たとえば SAGE2）や他の WebGIS（たとえば Google Earth や Cesium）にはない独自機能である。

4　時空間データ GIS プラットフォーム活用事例

4.1　ひまわりリアルタイム

NICT サイエンスクラウド（及び時空間データ GIS プラットフォーム）利活用事例の一つが、ひまわりリ

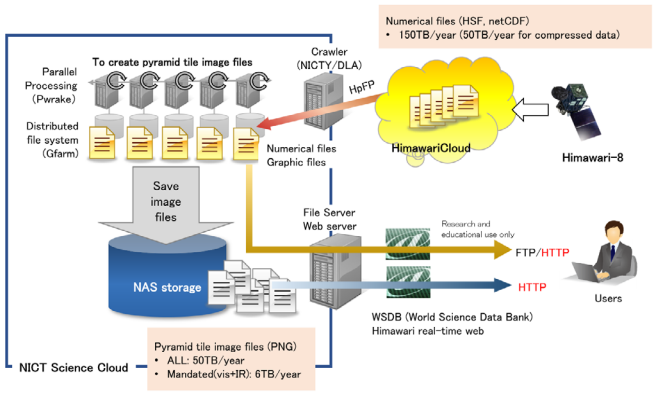


図 33　ひまわりリアルタイムデータフロー [107]

図 34　ウェザーニューズ社オンライン天気予報でのひまわりリアルタイム利用事例

図 35　ひまわりゲームアプリとイベント利活用事例：(a/b) NICT オープンハウス 2019 体験ブース、(c) 名古屋市科学館、(d) 土庄小学校（香川県）

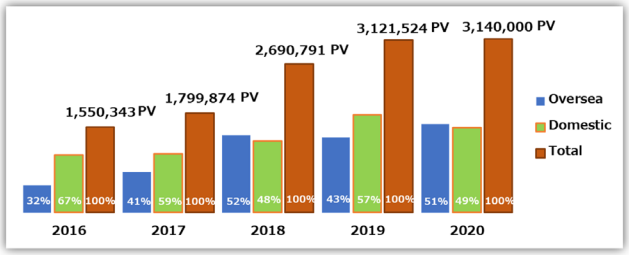


図 36　ひまわりリアルタイムアクセスログ（国内、海外、合計）：2016 年～2020 年

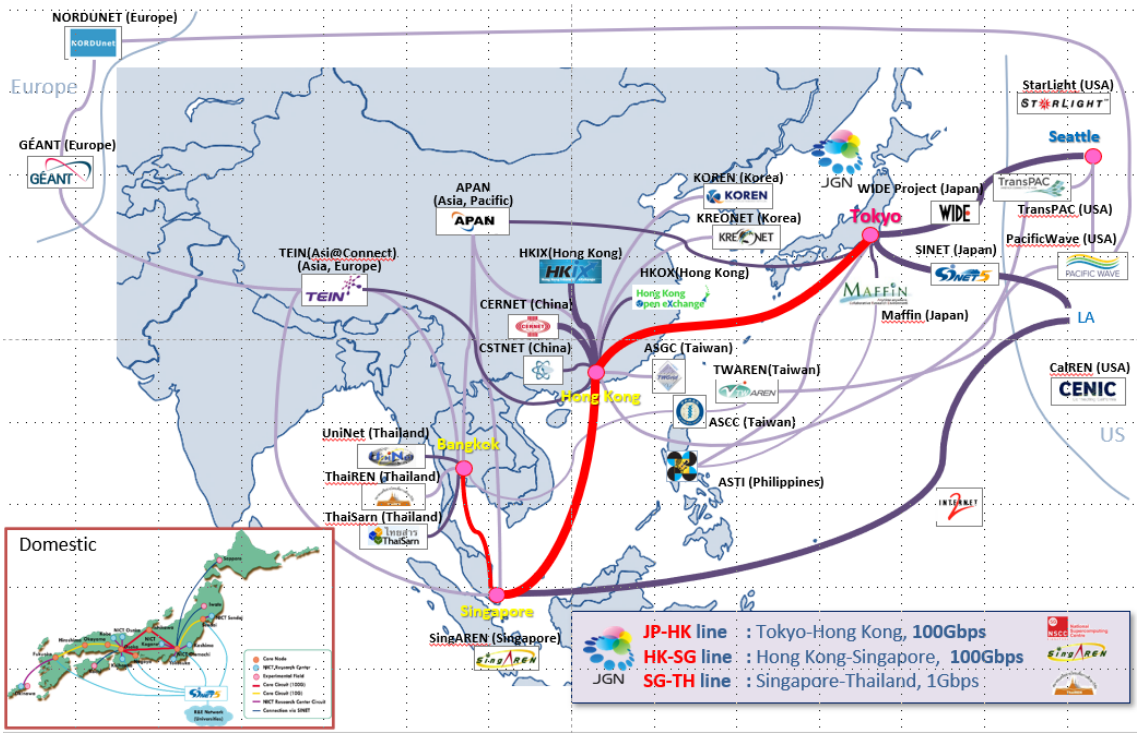


図 37　JGN 国際回線・国内回線及び APAN (Asia Pasific Advanced Network) (2018 年度時点)

アルタイム [107][108] である。ひまわり衛星の全データをリアルタイム公開するひまわりリアルタイムアプリ (図 32) は、高速データ伝送、並列分散処理、スケーラブル時系列可視化などの先端的情報通信技術のマッシュアップにより実現した (図 33)。気象予報 (図 34)、報道、教育、インターネット、イベント (図 35) 等で幅広く利用されている。年々利用件数は増加 (2019 年は 300 万 PV 以上) している (図 36)。以下にひまわりリアルタイム研究開発の概要を示す。

ひまわりリアルタイムは日本域観測データを 10 分以内 (フルディスク観測データはは 30 分以内) にインターネット公開することで、誰もが「現在の地球の様子」を PC やスマートフォンで閲覧できるアプリケーションである。ひまわり衛星を含む気象衛星データ閲覧 Web サイトや画像表示アプリケーションは国内外に数多くあるが、世界的に見ても観測直後にインターネット上で画像を一般公開するアプリケーションはない。しかも、ひまわりリアルタイムはフル解像度かつ全観測バンド (すなわち全衛星観測データ) を公開対象としており、特定データを選択的に公開しているわけではない。筆者らは現在、ひまわりリアルタイムの高機能化への取組の一つとして、時系列データ同期技術 STARS (**3.1**) を用いた全 16 バンドのフル解像度画像同時プレビュー機能を開発中である。

ひまわりリアルタイムは現在の技術で可能な最も高速と言えるデータ伝送･データ処理を実現しており、基盤技術としては完成度が高い。今後はこの Web 技術を横展開し、産学官及び民間での事業化を目指すことになる。ひまわりリアルタイムは「現在のデータを可視化する」アプリケーションであるが、これに提供者の様々な情報をオーバーレイすることで付加価値を生み出すことができる [109][110]。図 35 のひまわりゲームはその例であり、ベースとなるひまわりリアルタイムにゲーム機能をオーバーレイすることで、様々な気象現象をひまわり画像上で発見するゲーム機能を実現している。

ひまわりリアルタイムには 2019 年の大型台風 (台風 19 号) 接近時には合計で 50 万を超えるアクセスがあった。民間気象予報 Web サイトのような気象予報情報を掲載しないにもかかわらずこれほどのアクセスがあるのは、一刻も早い台風現状把握を望む社会ニーズに応えているからである。また、図 36 に示すとおり近年は海外からのアクセスが 50 %前後であり、アジア諸国へのサービス充実が求められている。フル解像度のピラミッドタイル画像ファイルを独自高速伝送技術で JGN 及び他の APAN 国際高速ネットワーク (図 37) を介してリアルタイム伝送し [111]、各国のミラーサイト上でデータ公開することはひまわり衛星データの国際貢献で重要である。現在は、東南アジア 3 か所にミラーサイトを立ち上げており (図 38)、例えばタイミラーサイトへの 2019 年のアクセス数は前年比で 17 倍となった。

ひまわりリアルタイムでは Web を通じた個人への情報提供だけではなく、気象予報、報道 (テレビ、新聞、雑誌)、教育 (科学館)、インターネット (ネット

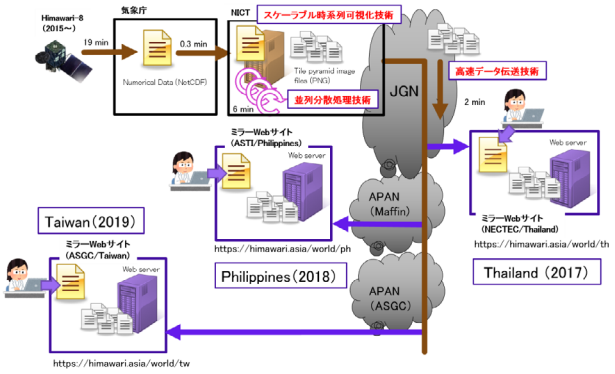


図 38　ひまわりリアルタイム技術と海外展開 (ミラーサイト)

ニュース、気象予報番組) において幅広く利用されている。報道については、たとえば、2019 年の大規模台風 10 号や 19 号では NHK「ニュースウォッチ 9」、テレ朝「サタデーステーション」、TBS「N スタ」など、30 以上の全国放送や地方番組でひまわりリアルタイムの静止画像・動画像が利用された。他の類似アプリと比較して任意の画角の画像を Web 上で作成できる点で秀でており、報道利用が多い。また、世界最大の気象予報企業であるウェザーニューズ社がネットニュース番組において、ひまわりリアルタイムを用いている (図 34)。ひまわりリアルタイムをクロマキー処理することで気象予報士が画面上に立ち、指差し等で気象現象を解説する。一般的なテレビの「天気予報」と異なり番組内でリアルタイム画像を利用することで、天気予報としては理想的な最新ひまわり画像を用いた番組を実現している。

宇宙開発利用 [112] の視点からひまわりリアルタイムを支える ICT として、①高速データ伝送技術 (**3.3**)、②並列分散処理技術 (**2.2**)、③スケーラブル時空間可視化技術 (**3.1**)、④先端的 WebGIS 技術 (**3.2**)、⑤ AI 型画像処理技術開発 (**3.5**) を進めている。① **3.3** で述べた独自開発の高速データ通信プロトコル HpFP による高速データファイルツール HCP は、ひまわり衛星ピラミッドタイル画像のようにファイルサイズが小さくファイル数の大きなデータセットの高速転送に適している。そのため、JAXA (防災インターフェースシステム) 及び気象庁 (ひまわりクラウドシステム) において採用されている。② **2.2** で述べた Gfarm のアフィニティースケジューリングによりデータのローカリティーを最大限活用する技術である Gfarm/Pwrake をベースとして、ひまわり画像のピラミッドタイル生成を NICT サイエンスクラウド及び JHPCN 広域分散クラウド上で行っている。③時系列ピラミッドタイル画像を高速可視化表示する JavaScript を独自開発し、ひまわりリアルタイムで利用すると同時に無償公開している [106]。④バイナリベクタタイルデータにより高速な 3 次元 GIS 可視化が可能な Mapbox GL JS、three.js をベースに地球などのグローバルな 3 次元表示が得意な iTowns とひまわりリアルタイムを組み合わせることで、地球規模の気象データから地域情報・タウン情報などの GIS 空間情報を時空間内で連続的に接続可能となった。⑤ AI により全バンドデータから可視画像だけでは分からない台風内部構造の分類を北海道情報大学と共に進めている。

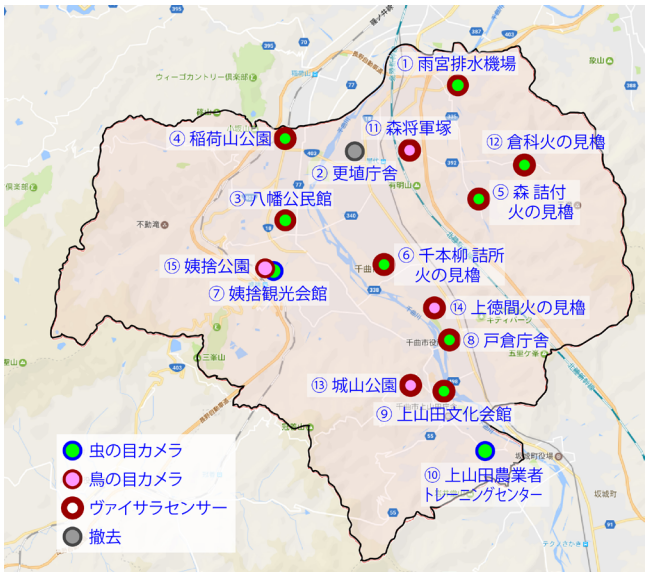


図 39　千曲あんずネットワーク中継局 (2021 年時点) [113]

4.2　千曲あんずプロジェクト

4.2.1　千曲あんずネットワーク

千曲あんずプロジェクトは、2018 年から始まった長野県千曲市内全域を実験フィールドとする地域実証実験課題であり、3 で述べた様々な要素技術の今後の実用化を視野に入れた、社会実証実験及び社会実装検討のためのプロジェクトである [113]。特に LPWA 技術の一つで長距離通信性能が高い LoRa 通信や映像 IoT 技術 (モバイル環境での高品質映像伝送技術と画像処理技術) を活用して、千曲市の生活、防災、環境、産業などへの新しい寄与の可能性を検討及び検証することを目指している。2019 年度までに基本となる 14 か所の千曲市内中継局網 (図 39 の千曲あんずネットワーク) を構築し、LPWA 通信環境実験、中継局安定性調査検討、気象データ分析、映像処理技術開発などを進めてきた。

LPWA (LoRa) 基礎通信実験では、各中継局間での LoRa 通信性能評価を実施した。LPWA 中継局には EASEL 社と RFLink 社の 2 種類の LoRa 通信モジュールを搭載しているが、本実験では EASEL 社の LoRa 通信モジュールを用いて千曲市内の通信環境実験を実施した。独自開発の LoRa 発信機 (エアチェッカー) で

市街地をサーベイし、14 か所の中継局のうち 1 局以上にデータ通信可能なエリアマップを作製した（図 40）。地理的に見通しがある場合についてはおおむね通信可能であることを確認し、特に姨捨のように高所（平野部よりも 200 m 高所）の中継局は有利であることを定量的に確認した。一方で、見通しのあるなしに関わらずパケット到達率は全体に 20 %～90 %程度である場合が多く、パケットロスの原因解明が必要であることも分かった [113]。この成果は、東南アジア諸国での減災研究でも活用が始まっている [114]。

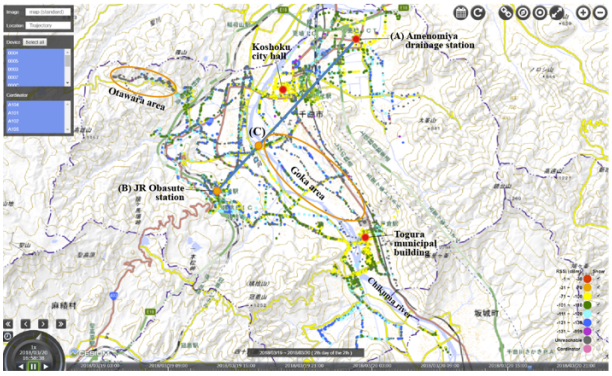


図 40　千曲あんずネットワーク LPWA (LoRa) 通信マップ [113]

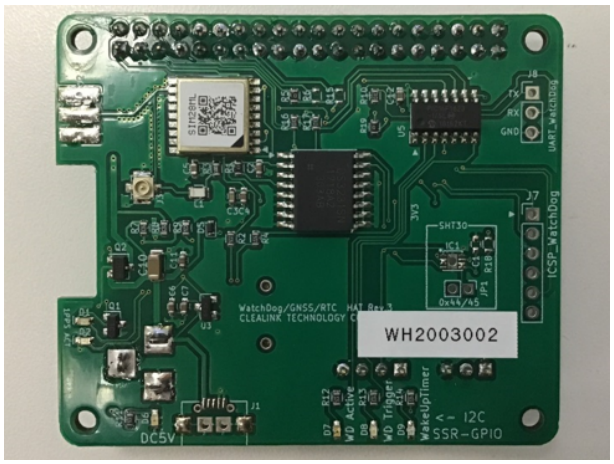


図 41　RPi のハートビート監視によるウォッチドッグ：①電源断からの再通電による完全リセット動作機能、②定時再起動 (RPi への安全なシャットダウンを促す機能)、③インターバル自動起動機能 (定期観測などの利用を想定) [115]

あんずネットワークでは中継局の LoRa 通信機器や映像 IoT 機器を安価なシングルボードコンピュータである Raspberry Pi（RPi）で構成している。LoRa 通信で用いている RPi zero は省電力性のアドバンテージがあるが、一方で 24 時間 /365 日の連続運転時では頻繁にシステムダウンの症状が確認された。調査の結果、CPU 負荷によるクロック周波数自動切換え時に正常ではない振る舞いをすることが分かり、クロック周波数固定により回避できることを確認した。同時に、タイムスケジューリングできるウオッチドッグ（HAT ボード）（図 41）を開発し、①ハートビート（HB）による監視、②定常的にシステムリブート、③一定時間特定プロセスからの応答がない場合は強制リブート（HB では検出できない）など冗長性の高い死活監視を実施した。その結果、2020 年 10 月以降は 14 か所の中継局は一度も停止しておらず、システムの安定化に成功した [115]。

気象センサー基本性能検証として、11 か所（図 39）の中継局の設置したヴァイサラ社の気象ステーションデータ（気温、湿度、気圧）を統計的に近隣の気象庁アメダスデータ（「長野」「信濃大町」）と比較した。11 か所の気温データについては有為（相関係数 90 %以上）に相関があり、ヴァイサラセンサーは正しく観測を行っていると判断した。ただし、気象ステーション設置環境（壁に近い、屋上のヘリに近いなど）によっては正しくデータが取得できないこともがあることが分かった。

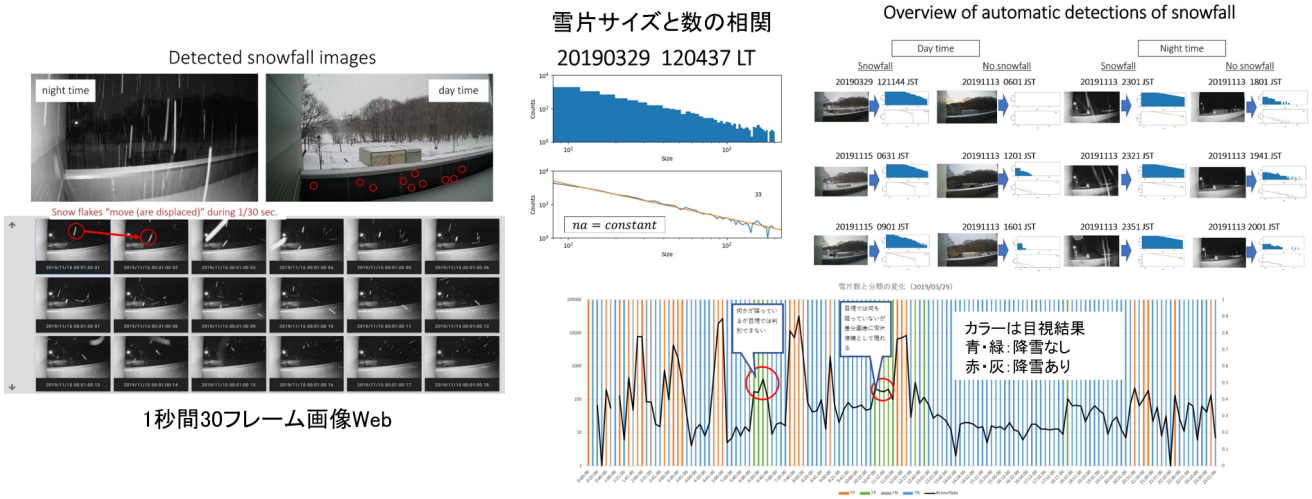


図 42　降雪画像処理による降雪自動検出 [116]

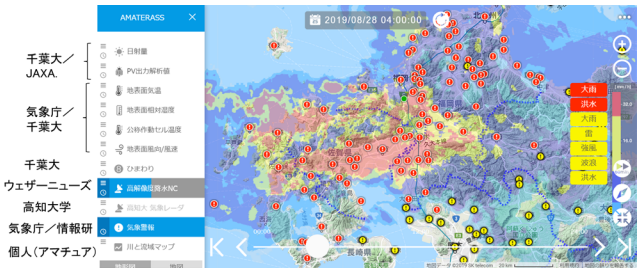


図 43　地域版ひまわりリアルタイム [117]

その後、環境が望ましくない一部の気象ステーションについては別の中継局に移設した（上徳間火の見櫓を上山田農業者トレーニングセンターに移設、姨捨観光会館センサーを姨捨公園に移設）。また、中学校構内環境データ計測として、小型環境センサー（WxBea-con2）の Bluetooth（BLE）による Raspberry Pi 中継局からのデータ伝送システムが完成した。戸倉上山田中学校の校舎で 1 学年 5 教室の合計 15 教室に 2 か所ずつセンサーを設置するなど、中学校内 40 か所からのデータ取得実験に成功した。2020 年度取得データの詳細分析を行ったところ、屋内外の環境の差異が可視化され、人の行動（窓を開ける）などがデータから読み取れることが明らかになった。

千曲あんずネットワークの映像 IoT システムを用いた映像処理技術開発として、降雪画像処理による降雪自動検出を試みてきた。図 39 の千曲あんずネットワーク中継局 14 か所の映像 IoT うち 11 か所は虫の目カメラ（図 44 で後述の足元をモニタリングするカメラ）であり、動画像取得のサンプリングタイムは 10 分ごとで映像取得時間は 5 秒である。すなわち 10 分ごとに 5 秒の動画像を録画しており、このような録画モードがプログラマブルであることは映像 IoT システムの汎用的な IP ネットワークカメラに対するアドバンテージとなっている [90]。研究ではまず、雪片のサイズと数がカメラの距離に反比例する特徴を活かした降雪検出アルゴリズムを作成した。実際に観測された降雪日画像で性能検証を行い、図 42 に示すように 90 %以上の高い確率で降雪検出ができることを確認した [116]。

その他、千曲あんずプロジェクトでは、**3.5** の画像処理のための定常的な映像データ取得、映像 IoT のための遠隔 PTZ（パン・チルト・ズーム）制御技術開発、地域災害データの歴史的境界 WebGIS との連携、民間企業による画像処理型水位計開発フィールドなどの役割も担っている。**4.1** のひまわりリアルタイム技術を生かし、地域気象データ（日射量、降雨、風向風速、気温、湿度、雲画像、気象警報等）の時系列可視化 Web アプリケーション開発（地域版ひまわりリアルタイム [117]）も進んでいる（図 43）。

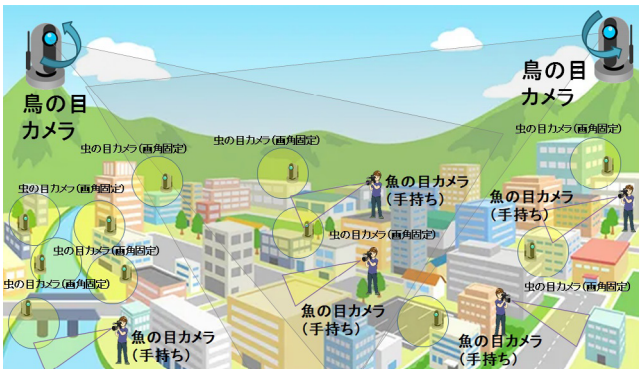


図 44　鳥の目カメラ・魚の目カメラ・虫の目カメラによる都市見守りコンセプト

4.2.2　都市劣化診断（千曲市見守り）

都市劣化診断は、時空間データ GIS プラットフォーム利活用事例のコンセプトの一つである。筆者らは、**3.4** の映像 IoT システムを都市域の様々な箇所に設置し、定常的に都市を見守るコンセプトを提案している（図 44）。高所に PTZ（パン・チルト・ズーム）機能を有する鳥の目カメラ、低所に安価な固定型の虫の目からを設置し、これらの目の届かない場所は可動型の魚の目カメラが映像を伝送する。本節では、千曲市を対象としてどのように都市劣化診断を実施するかを議論する。

3.4 の映像 IoT は社会全体に映像伝送システムを配置することで都市空間を広域に見守る技術である。一方、近年活用が進んでいる GIS（地理情報システム）では従来の 2 次元から 2.5 次元、さらには 3 次元 WebGIS と機能向上が進んでおり、任意視点からの時系列ビューが得られるなどの点で映像 IoT 技術との親和性が高い。時空間データ GIS プラットフォームによる都市劣化診断では、申請者らがこれまでに開発してきた映像 IoT 及び 3 D WebGIS の要素技術を高度化し、一つのシステムとしてマッシュアップすることでサイバーフィジカル型の時空間データ GIS プラットフォームを開発する。機械学習による複数の先進的画像処理技術を有効に組み合わせ、PTZ（パン・チルト・ズーム）機能により高所設置カメラが都市スキャンすることで得られるタイムラプス動画像から建造物変形や土砂災害予兆などの長期変動や河川増水・火災発生・交通状況などの短期変動に関して、画像内のピクセル単位での差分情報を抽出する都市劣化診断をリアルタイムに実施する。診断結果は時々刻々と更新する動画とともに 3 次元 GIS 空間に正確にオーバーレイされ、人口・世帯分布 [72] や詳細な行政境界・歴史的境界 [78][79] などの基本となる地理情報と直接比較される。提案プラットフォームは大規模なシステムとなるため、**2.4** で述べた学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（JHPCN）で実装済みの広域クラウドシステム上に実

装することが有効である。たとえば、**4.2.1** の多地点映像伝送ネットワーク（千曲あんずネットワーク）で長野県千曲市市街部全域を実証実験フィールドとするなどを検討中である。

5 あとがき

本稿を記述している 2021 年は、1 年以上続く COVID-19 によるコロナ禍から社会は脱却しきれていないパンデミック状況が世界的に継続している。人々の社会生活はこのウィルスにより多大な影響をうけ、個人活動も経済活動も目に見えない疫病による大きな制約を受けている。これほどまでに AI（人工知能）への期待が高まっているにもかかわらず、現在の COVID-19 によるコロナ禍において、人類は近未来の感染傾向の予測すら成功していない。これは、予測モデル精度の問題もあるが、高い精度で予測するためのデータが十分ではないことも要因の一つである。デジタルデータはネットワークを通じて社会のあらゆる機能を高めるための重要な情報である。

著者らはデジタルデータ指向型社会の基盤の一つとして、時空間データ GIS プラットフォームを提案している。本稿では、2000 年以降に多様な科学データにデータベースやデータ伝送など多角的に携わった結果、同プラットフォームを提案するに至るこれまでの取組について詳細に報告した。まず、CyberEarth コンセプト及び第 4 の研究手法としてのインフォマティックスについて紹介し、さらにこれらを実現するためのビッグデータ処理基盤となるサイエンスクラウド及び JHPCN 広域分散クラウドについて述べた。

時空間データ GIS プラットフォームは CyberEarth を広域分散クラウドで実現するためのプラットフォームであり、ビッグデータを対象としたデータ伝送技術、データ収集技術、データ管理技術、データ処理技術、データ可視化技術などの様々なエコシステムをライブラリ（API）やアプリケーションとして提供する。ユーザはこれらをマッシュアップすることによりプラットフォーム上で目的に応じた時空間データ GIS アプリケーション開発が可能であり、NICT の新しい提案である DCCS（Data Centric Cloud Service）での利活用が期待されている。

筆者らは、時空間データ GIS プラットフォームが多くの分野で利用されるためには、まずは自らが同プラットフォームの有効な活用事例を示すことが必須であると考えている。これにより、エコシステムや API をどのように活用し、それによりどのようなアプリケーション・システムが実現するかの手順の事例を示すことができる。そこで本稿ではその開発事例として、年間 300 万アクセスを有するひまわりリアルタイムアプリケーションと 10 以上のアカデミア・自治体・民間企業が連携して長野県千曲市において進めている千曲あんずプロジェクトを紹介し、その有効性や応用事例について議論した。時空間データ GIS プラットフォームは、すでに河川氾濫監視プロジェクト、遠隔農業実習、キレイな空気プロジェクト、遠隔火山監視、民間企業による自治体へのソリューション提案など多岐にわたるプロジェクトでの活用が進められており、今後も広く展開が期待される。

謝辞

本研究は、NICT・総合テストベッド研究開発推進センター（とくに研究開発用テストベッド JGN）の協力を得て行ったものです。学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（JHPCN）課題（課題番号 : jh210009-MDH）は副代表である深沢圭一郎氏（京都大学・学術情報メディアセンター）、分担者である岡部寿男氏（京都大学・学術情報メディアセンター）、菅沼拓夫氏（東北大学・サイバーサイエンスセンター・情報通信基盤研究部）、江川隆輔氏（東北大学・サイバーサイエンスセンター）、阿部亨氏（東北大学・サイバーサイエンスセンター）、建部修見氏（筑波大学・計算科学研究センター）、日下博幸氏（筑波大学･計算科学研究センター）、樋口篤志氏（国立大学法人 千葉大学・環境リモートセンシング研究センター）、片桐孝洋氏（名古屋大学・情報基盤センター）、嶋田創氏（名古屋大学・情報基盤センター）、大島聡氏（名古屋大学・情報基盤センター）、小野謙二氏（九州大学・情報基盤研究開発センター）、岡村耕二氏（国立大学法人九州大学・情報基盤研究開発センター）、南里豪志氏（九州大学・情報基盤研究開発センター 先端計算基盤研究部門）、笠原義晃氏（九州大学・情報基盤研究開発センター）、竹中栄晶氏（宇宙航空研究開発機構･地球観測研究センター）、原田浩氏（理化学研究所・計算科学研究センター 運用技術部門）、片岡龍峰氏（国立極地研究所）、田浦健次朗氏（東京大学・情報理工学系研究科）、山口龍太郎氏（東京大学･情報理工学系研究科電子情報学専攻）、小林一樹氏（信州大学・学術研究員工学系）、鈴木彦文氏（信州大学・総合情報センター）、木村智樹氏（東北大学・学際科学フロンティア研究所）、土屋史紀氏（東北大学・大学院理学研究科）、垰千尋テニュアトラック研究員（NICT・電磁波研究所）、村上豪氏（宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所）、北元氏（宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所）、Pavarangkoon Praphan 協力研究員（NICT・総合テストベッド研究開発推進センター）の皆様の協力を得ています。なお、各メンバー

の所属組織は JHPCN2020 申請時のものです。また、各要素技術については、長妻努室長（NICT・レジリエント ICT 研究センター）、菊田和孝研究員（NICT・レジリエント ICT 研究センター）、渡部重十氏（北海道情報大学）、佐々浩司氏（高知大学・理工学部門）、本田理恵氏（高知大学・理工学部門）、新見道治氏（九州工業大学）、徳永旭将氏（九州工業大学）、山口容平氏（大阪大学）、水原隆道氏（クレアリンクテクノロジー）、村永和哉氏（SEC）、加賀谷仁秀氏（GEO ソリューションズ）、金野太一氏（IoT コンサルティング）、森田清輝氏（ウェザーニューズ）、井上健二氏（いのうえコンピュータサービス）、戸田智恵氏（戸田ペリカン事務所）、勝聡氏（ハロウィンジャック）、大吉芳隆氏（バーチャル）にご協力いただきました。そのほか、JST SICORP、JPMJSC18 E3、JST CREST JPMJCR15 K4JPMJCR15 K4、総務省 SCOPE（受付番号 165009001）、情報・システム研究機構 ROIS-DS-JOINT（034 RP2021）、JSPS 科研費 JP21 K11904、JSPS 科研費 JP19 HP8020 の支援を受けて行いました。

【参考文献】

1 松岡大祐，村田健史，山本和憲，“3 次元可視化とバーチャルリアリティシステムによる宇宙プラズマシミュレーションの新しい解析手法，”可視化情報学会学会誌，vol.24，no.95，pp.250–254，2004.
2 久保田康文, 村田健史, 山本和憲, 深沢圭一郎, 坪内健，“地球磁気圏3次元グローバル MHD シミュレーションの磁力線追尾可視化技術，”宇宙航空研究開発機構研究開発報告：宇宙科学情報解析論文誌, vol.JAXA-RR-13-010, pp.129–135, 2014.
3 村田健史，磯田総子，渡邉英伸，深沢圭一郎，山本和憲，建部修見，田中昌宏，木村映善，“NICT サイエンスクラウドによる大規模シミュレーションデータ分散可視化処理，”宇宙航空研究開発機構研究開発報告：宇宙科学情報解析論文誌, vol.JAXA-RR-13-010, pp.57–70, 2014.
4 Y. Kubota, K. Yamamoto, K. Fukazawa, and K. T. Murata, “Visualization of the Flux Rope Generation Process Using Large Quantities of MHD Simulation Data,” Data Science Journal, vol.12, pp.WDS134-WDS138, 2013.
5 D. Matsuoka, K. T. Murata, K. Yamamoto, S. Fujita, and T. Tanaka, “Global Magnetohydrodynamic Simulation and Visualization of Magnetic Flux Rope in the Earth’s Magnetotail,” IEEE Transactions on Plasma Science, vol.39, no.11, pp.2716–2717, 2011.
6 松岡大祐，村田健史，藤田 茂，田中高史，山本和憲，木村映善，“Global MHD シミュレーションによる磁気フラックスロープの 3 次元構造解析，”可視化情報学会論文集, vol.28, no.6, pp.38–46, 2008.
7 村田健史，ヌルディヤナ・ガーニ，橋本弘蔵，松本紘，荻野龍樹，“バーチャル地球磁気圏システムの提案，”電子情報通信学会論文誌 (B)，vol.J87-B, no.2, pp.309–313, Feb. 2004.
8 村田健史，“サイバー地球：分野横断的地球科学に向けた新しいコンセプト，”JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 千葉, 日本, May 22-22, pp.MGI30-P05, 2017.
9 CyberEarth 紹介映像コンテンツ：https://youtu.be/Rkl8Tzbjc1w
10 村田健史, Nuridiyana binti , Abdul Gahni, 臼井英之, 上田裕子, 岡田雅樹, 大村善治, 松本紘，“宇宙プラズマ計算機シミュレーションの問題解決環境の提案，”情報処理学会論文誌：数理モデル化と応用, vol.43, no.SIG7 (TOM6)，pp.105–117, Sept. 2002.
11 村田健史，上岡功治，高橋誠治，岡田雅樹，上田裕子，大村善治，松本紘，“プラズマ電磁粒子コードの並列化手法と速度向上率の評価，”情報処理学会論文誌：数理モデル化と応用, vol.43, no.SIG7（TOM6)，pp.118–131, Sept. 2002.
12 村田健史，上田裕子，上岡功治，臼井英之，岡田雅樹，大村善治，松本紘，“オブジェクト指向開発技法によるプラズマ粒子シミュレーションコードの開発，”電子情報通信学会論文誌 (B)，vol.J85-B, no.8, pp.1411–1425, Aug. 2002.
13 村田健史，プラズマシミュレーション支援環境 PocketPOM の試作，電子情報通信学会論文誌 (B)、vol.J85-B, no.4, pp.573–578, April 2002.
14 H. O. Ueda, M. Nakata, K. T. Murata, H. Usui, M. Okada, and K., Ito, “An object-oriented design of electromagnetic wave simulator for multi schemes,” IEICE Transactions on Electronics, vol.E84-C, no.7, pp.967–972, July 2001.
15 K. T. Murata, “A Software System Designed for Solar-Terrestrial data Analysis and Reference via OMT Methodology,” Today and Tomorrow of the Science and Technology Exchange between Ehime University-Japan and Ecole Centrale de Nantes-France, pp.16–22, 2002.
16 村田健史，長屋嘉明，木村映善，“ビッグデータとオープンデータ：これからの科学研究を支える二つのキーワード，”日本化学会情報化学部会誌，vol.32，no.4，12 月号，pp.84–94，2014.
17 村田健史，“NICT サイエンスクラウドによる新しい科学研究の姿，”情報管理, vol.55, no.8, pp.552–561, 2012.
18 山本和憲, 木村映善, 村田健史, 建部修見, 松岡大祐, 宮地英生，“グリッドデータファームによる並列分散処理，”情報通信研究機構季報, vol.55, nos.1-4, pp.447–458, 2010. http://www.nict.go.jp/publication/shuppan/kihou-journal/kihou-vol55 no1.2.3.4/040201.pdf
19 Ken T. Murata, Yoshiya Kasahara, Daisuke Yagi, Yasuko Kasai, Shoken Ishii, Kazunori Yamamoto, Eizen Kimura, Osamu Tatebe, Masahiro Tanaka, Kentaro Ukawa, Kazuya Muranaga, Yutaka Suzuki, and Hirotsugu Kojima, “New techniques of high-speed data processing for spacecraft observation data via NICT Science Cloud,” International Conference on Space, Aeronautical and Navigation Electronics 2013 (ICSANE 2013), Hanoi, Vietnam. Nov. 2013.
20 村田健史，“NICT サイエンスクラウドによるセンシングデータ高速処理，”信学技報, vol.114, no.87, pp.97–101, 2014.
21 磯田総子，村田健史，渡邉英伸，深沢圭一郎，山本和憲，久保田康文，笠井康子，佐藤晋介，鵜川健太郎，村永和哉，鈴木豊，黒澤隆，木村映善，建部修見，田中昌宏，“NICT サイエンスクラウド ～ 地球科学・宇宙科学ビッグデータ分散処理技術 ～，”電子情報通信学会，パターン認識，メディア理解研究会 (PRMU)，信学技報 PRMU2013-62, vol.113, no.230, pp.29–34, 2013.
22 山本和憲，村田健史，木村映善，“Grid Datafarm における太陽地球系観測データの大規模統計解析の試み，”情報処理学会研究報告，2006-HPC-107, no.40, pp.233–238, Aug. 2006.
23 K. T. Murata, P. Pavarangkoon, K. Yamamoto, Y. Nagaya, K. Muranaga, T. Mizuhara, A. Takaki, O. Tatebe, E. Kimura, and T. Kurosawa, “Multiple Streams of UDT and HpFP Protocols for High-bandwidth Remote Storage System in Long Fat Network”The 7th IEEE Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON2016), Vancouver, Canada, Oct. 13-15, pp.1–6, 2016. doi: 10.1109/IEMCON.2016.7746276.
24 渡邉英伸，亀澤祐一，高杉英利，平野一樹，今井潔，村田健史，建部修見，“広域分散ファイルシステム Gfarm の SLA 評価手法，”インターネットと運用技術シンポジウム 2013（IOTS2013）論文集, pp.9–16, 2013 年 12 月.
25 渡邉英伸，上野宣，村田健史，“NICT サイエンスクラウドセキュア Web アプリケーション開発協力手法，”情報知識学会誌, vol.24, no.3, pp.291–296, 2014. doi: 10.2964/jsik_2014_029.
26 渡邉英伸，大垣哲也，岩間司，田光江，村田健史，“広域分散ファイルシステムにおける時刻認証を用いたファイル改竄検証システム，”電子情報通信学会論文誌, vol.J96-B, no.10, pp.1131–1141, Oct. 2013.
27 T. Ogaki, H. Watanabe, T. Iwama, M. Den, and K. T. Murata, “Design and Implementation of File Authentication System using Timestamp Mechanism for a Distributed File System,” IEICE Technical Report, vol. IEICE-112, no.250, pp.79–84, 2012.
28 H. Watanabe, T. Iwama, K. T. Murata, S. Ushiyama, and Y. Muto, “Improvement of the Integrity Verification Application Using Timestamp Mechanism for Distributed File System,” 2014 IEEE 38th International Computer Software and Applications Conference Workshops, Vasteras, Sweden, July 21–25, pp.158–163, 2014. doi: 10.1109/COMPSACW.2014.30.
29 矢木大介，村田健史，笠原禎也，“科学衛星で観測された波形データ処理を用いた NICT サイエンスクラウド上での並列分散処理の評価”情報知識学会誌, vol.25, no.1, pp.3–22, 2015, doi: 10.2964/jsik_2015_002.
30 K. T. Murata, H. Watanabe, K. Yamamoto, E. Kimura, M. Tanaka, O. Tatebe, K. Ukawa, K. Muranaga, Y. Suzuki, and H. Kojima, “A high-speed data processing technique for time-sequential satellite observation data,” IEICE Communications Express, vol.3, no.2, pp.74–79, 2014. doi: 10.1587/comex.3.74.

31 K. T. Murata, H. Watanabe, Y. Kasahara, D. Yagi, Y. Kasai, S. Ishii, K. Yamamoto, E. Kimura, M. Tanaka, O. Tatebe, K. Ukawa, K. Muranaga, Y. Suzuki, and H. Kojima, “New techniques of high-speed data processing for spacecraft observation data via NICT Science Cloud,” IEICE Technical Report, vol.13, no.335, pp.133–138, 2013. DOI: https://ci.nii.ac.jp/naid/110009903328/

32 村田健史，長屋嘉明，長妻努，“科学ビッグデータとサイエンスクラウド，”東海情報通信懇談会会報誌，9 月号，2015.

33 村田健史，“サイエンスクラウドは第四の研究基盤となるか？，”学術の動向，vol.17，no.6，pp.42–47，2012.

34 村田健史，渡邉英伸，鵜川健太郎，村永和哉，鈴木豊，山本和憲，木村映善，“NICT サイエンスクラウド運用および利活用報告，”情報知識学会誌，vol.24, no.3, pp.275–290, 2014, doi: 10.2964/jsik_2014_028.

35 村田健史，渡邉英伸，鵜川健太郎，村永和哉，鈴木豊，磯田総子，山本和憲，久保田康文，長妻努，坂口歌織，津川卓也，西岡未知，建部修見，田中昌宏，深沢圭一郎，才田聡子，海老原祐輔，藤田茂，木村映善，黒澤隆，村山泰啓，永井亨，水原隆道，“科学研究用クラウドシステム (NICT サイエンスクラウド) の提案，”宇宙航空研究開発機構研究開発報告：宇宙科学情報解析論文誌，vol.JAXA-RR-13-010，pp.39–56，2014.

36 亘慎一，加藤久雄，村田健史，山本和憲，渡邉英伸，久保田康文，國武学，“宇宙天気情報サービスとサイエンスクラウド，”宇宙科学情報解析論文誌，no.2，March 2013.

37 K. T. Murata, S. Watari, T. Nagatsuma, M. Kunitake, H. Watanabe, K. Yamamoto, Y. Kubota, H. Kato, T. Tsugawa, K. Ukawa, K. Muranaga, E. Kimura, O. Tatebe, K. Fukazawa, and Y. Murayama, “A Science Cloud for Data Intensive Sciences,” Data Science Journal, vol.12, pp.WDS139–WDS146, 2013.

38 木村映善，村田健史，“RSS/RDF を利用した太陽地球系物理観測データのメタデータ配信の検討，情報処理学会論文誌，”vol.47，no.4，pp.1051–1062, April 2006.

39 村田健史，渡邉英伸，鵜川健太郎，山本和憲，是津耕司，“NICT サイエンスクラウド　～ 科学データの RSS を用いたクローリングと Linked Open Data に向けた取り組み ～，”電子情報通信学会，人工知能と知識処理研究会 (AI)，サービスコンピューティング研究会 (SC)，信学技報 IEICE-AI2013-18, IEICE-SC2013-12, vol.113, no.178 (AI)，no.179 (SC)，pp.19–24, 2013.

40 村田健史，木村映善，山本和憲，亘慎一，加藤久雄，森川靖大，是津耕司，木俵豊，下條真司，“RDF を用いたデータ収集技法による太陽地球系科学セマンティック Web 構築の試み，”情報通信研究機構季報，vol.55，nos.1-4，pp.471–491，2010. http://www.nict.go.jp/publication/shuppan/kihou-journal/kihou-vol55 no1.2.3.4/040203.pdf

41 石倉諭，村田健史，久保卓也，木村映善，山本和憲，篠原育，“RSS1.0 を利用した科学衛星・地上観測データのメタデータ自動収集，”電子情報通信学会論文誌 (B)，vol.J91-B，no.4，pp.499–509，April 2008.

42 渡邉英伸，黒澤隆，村田健史，木村映善，建部修見，“UDT を用いた並列ファイル転送ツール基本性能評価，”信学技報，vol.113，no.256，IA2013-42，pp.7–12，2013.

43 渡邉英伸，黒澤隆，一岡翔太郎，木村映善，村田健史，建部修見，UDT を用いた並列ファイル転送技術，情報処理学会研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC)，vol.2013-HPC-139，no.8，pp.1–8，2013.

44 村田健史，下条真司，木村映善，山本和憲，亘慎一，森川靖大，加藤久雄，石井守，“宇宙科学研究のためのクラウドコンピューティング環境：OneSpaceNet，”信学技報，vol.109，no.186，DE2009-19，pp.45–46，2009.

45 T. Nagatsuma, K. T. Murata, K. Yamamoto, T. Tsugawa, H. Kitauchi, T. Kondo, H. Ishibashi, M. Nishioka, and M. Okada, “Operation of a Data Acquisition, Transfer, and Storage System for the Global Space-Weather Observation Network,” Data Science Journal, vol.13, pp. PDA51-PDA56, 2014. doi: 10.2481/dsj.IFPDA-09.

46 K. T. Murata , S. Watari, T. Nagatsuma, M. Kunitake, H. Watanabe, K. Yamamoto, Y. Kubota, Y. Murayama, H. Kato, and T. Tsugawa, “A Science Cloud for Space Weather Operations and Other Researches,” The 1st ICSU World Data System Conference - Global Data for Global Science -, Kyoto, Japan, Sept. 2011.

47 村田健史，渡邉英伸，山本和憲，久保田康文，建部修見，田中昌宏，深沢圭一郎，木村映善，鵜川健太郎，村永和哉，鈴木豊，磯田総子，“Gfarm/Pwrake による NICT サイエンスクラウドの並列分散処理技法，”情報処理学会研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC)，vol.2013-HPC-139，no.9，pp.1–6，2013.

48 村田健史，水原隆道，長屋嘉明，“IoT/M2M 時代に向けた高性能遠隔制御のための通信プロトコル - 新しい社会システムデザインに向けた基盤通信技術の創出 -，”電波技術協会報 FORN 2016 年 9 月号，no.312，pp.6–9，2016.

49 P. Pavarangkoon, K. T. Murata, K. Yamamoto, N. Fujita, H. Ohkawa, H. Mikai, Y. Ikehata, K. Muranaga, T. Mizuhara, A. Takaki, and Y. Kakizawa, “Performance Evaluation of High-Performance and Flexible Protocol on Data Mover Challenge,” in 2020-5th International Conference on Information Technology (InCIT), ChonBuri, Thailand, Oct. 21–22, pp.265–269, 2020. doi: 10.1109/InCIT50588.2020.9310956.

50 K. T. Murata, P. Pavarangkoon, K. Yamamoto, Y. Nagaya, T. Mizuhara, A. Takaki, K. Muranaga, E. Kimura, T. Ikeda, K. Ikeda, and J. Tanaka, “A quality measurement tool for high-speed data transfer in long fat networks,” in 2016 24th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM), Split, Croatia, Sept. 22–24, pp.1–5, 2016. doi: 10.1109/SOFTCOM.2016.7772111.

51 K. T. Murata, P. Pavarangkoon, K. Suzuki, K. Yamamoto, T. Asai, T. Kan, N. Katayama, M. Yahata, K. Muranaga, T. Mizuhara, A. Takaki, and E. Kimura, “A High-Speed Data Transfer Protocol for Geostationary Orbit Satellites,” in 2016 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC), Hanoi, Vietnam, Oct. 12–14, pp.425–430, 2016. doi: 10.1109/ATC.2016.7764819.

52 K. T. Murata, P. Pavarangkoon, K. Yamamoto, Y. Nagaya, N. Katayama, K. Muranaga, T. Mizuhara, A. Takaki, and E. Kimura, “An Application of Novel Communications Protocol to High Throughput Satellites,” The 7th IEEE Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON2016), Vancouver, Canada, Oct. 13–15, pp.1–7, 2016. doi: 10.1109/IEMCON.2016.7746274.

53 K. T. Murata, K. Yamamoto, P. Pavarangkoon, K. Suzuki, T. Asai, T. Kan, K. Muranaga, T. Mizuhara, Y. Kagebayashi, Y. Kakizawa, and M. Yahata, “A Network Quality Check Tool via HpFP Protocol on WINDS Satellite Link,” Journal of the NICT, vol.64, no.2, pp.167–176, 2018.

54 村田健史，水原隆道，高木文博，福島啓介，山本和憲，長屋嘉明，村永和哉，木村映善，池田貴俊，池田嘉一郎，田中　仁，“UDP ベースの 10 Gbps 対応ネットワークプロトコル HpFP の提案　～ LFN 環境評価ツールとしての有効性～，”信学技報，vol.115，no.496，CQ2015-124，pp.95–100，2016.

55 村田健史，水原隆道，高木文博，福島啓介，山本和憲，長屋嘉明，村永和哉，木村映善，“遅延・パケットロス環境で高速データ伝送を行うための UDP ベースの高信頼性通信プロトコル：HpFP　～ HpFP プロトコル設計～，”信学技報，vol.115，no.484，IN2015-109，pp.7–12，2016.

56 村田健史，山本和憲，長屋嘉明，深沢圭一郎，伊達進，木戸善之，荻野正雄，南里豪志，建部修見，木村映善，“クラウドを活用したビッグデータポスト処理環境実現のためのデータ伝送実験：基礎実験編 ～ HPC と高速伝送の融合を目指して，”京都大学学術情報メディアセンター全国共同利用版 [広報]，vol.14，no.1，2015.

57 K. T. Murata, P. Pavarangkoon, K. Yamamoto, K. Muranaga, T. Mizuhara, K. Fukazawa, R. Egawa, T. Katagiri, M. Ogino, and T. Nanri, “High-Speed File Transfer of Real Datasets over JHPCN,” IEICE Technical Report, vol.118, no.466, Okinawa, Japan, March 4–5, pp.175–179, 2019.

58 村田健史，深沢圭一郎，“JHPCN が拓くビッグデータサイエンス：高速データ伝送技術，”京都大学 学術情報メディアセンター 全国共同利用版 [広報]，vol.19，no.2，pp.12–18，2021.

59 K. T. Murata, K. Muranaga, K. Yamamoto, Y. Nagaya, P. Pavarangkoon, S. Satoh, T. Mizuhara, E. Kimura, O. Tatebe, M. Tanaka, and S. Kawahara, “Real-time 3D Visualization of Phased Array Weather Radar Data via Concurrent Processing in Science Cloud,” in The 7th IEEE Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON2016), Vancouver, Canada, Oct. 13-15, pp.1–7, 2016. doi: 10.1109/IEMCON.2016.7746347.

60 K. T. Murata, P. Pavarangkoon, K. Yamamoto, Y. Nagaya, S. Satoh, K. Muranaga, T. Mizuhara, A. Takaki, and E. Kimura, “Improvement of Real-time Transfer of Phased Array Weather Radar Data on Long-Distance Networks,” 2016 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET), Jakarta, Indonesia, Oct. 3-5, pp.22–27, 2017. doi: 10.1109/ICRAMET.2016.7849575.

61 P. Pavarangkoon, K. T. Murata, K. Yamamoto, K. Muranaga, T. Mizuhara, K. Fukazawa, R. Egawa, T. Katagiri, M. Ogino, and T. Nanri, “Performance Improvement of High-Speed File Transfer over JHPCN,” in The 5th IEEE International Conference on Cloud and Big Data Computing (CBDCom 2019), Fukuoka, Japan, Aug. 5–8, pp.1086–1089, 2019, doi: 10.1109/DASC/PiCom/CBDCom/CyberSciTech.2019.00195.

62 小野謙二，川鍋友宏．“タイルドディスプレイシステム ChOWDER を利用したオンラインコラボレーション，” In　AXIES 年次大会口頭発表プログラム，2018.

63 川鍋友宏, 小野謙二, 櫻井大督.“タイルドディスプレイシステム ChOWDER の超大規模画像データ表示機能とその応用事例,” In AXIES 年次大会口頭発表プログラム, 2019.
64 建部修見,“CHFS: コンシステントハッシュファイルシステムの設計,” 情報処理学会研究報告ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC), vol.22021-HPC-178, no.22, pp.1–8, 2021.
65 amCharts：https://www.amcharts.com/
66 村田健史,“国際太陽地球系物理観測の広域分散データベースシステム,” 電子情報通信学会論文誌 (B), vol.J86-B, no.7, pp.1331–1343, July 2003.
67 村田健史, 岡田雅樹, 阿部文雄, 荒木徹, 松本紘,“太陽地球系物理観測の分散メタデータベースの設計と評価,” 情報処理学会論文誌：データベース, vol.43, no.SIG12 (TOD16), pp.115–130, Dec. 2002.
68 Murata, K. T., Watanabe, H., Ukawa, K., Yamamoto, K., and Zettsu, K., Solar-Terrestrial Physics (STP) database system designed for Linked Open Data and Semantic Web based on RSS1.0 and RDF, 2013 Linked Data in Practice Workshop, Seoul, Korea, Nov. 2013.
69 K. T. Murata, K. Yamamoto, E. Kimura, and N. Kimura, “A Web application designed for Earth Environment Observation Data and its Semantic Web,” International Symposium: Fifty Years after IGY, 2008.
70 村田健史, 渡邉英伸, 是津耕司, 黒澤隆, 小嶋浩嗣, 鵜川健太郎, 木村映善, 建部修見, 田中昌宏,“セマンティック Web と高解像度可視化技術の融合の一提案,” 人工知能学会 第 31 回セマンティックウェブとオントロジー研究会, SIG-SWO-A1302-01, pp.1–9, 2013.
71 村田健史, 鵜川健太郎, 村永和哉, 鈴木豊, 渡邉英伸, 是津耕司, 山本和憲, 篠原育, 笠原禎也, 岡田雅樹, 小嶋浩嗣, 能勢正仁, 木村映善, 建部修見, 田中昌宏,“世界科学データシステム (WDS) のための学際的科学データ表示 Web の提案,” 情報知識学会誌, vol.24, no.3, pp.297–320, 2014. doi: 10.2964/jsik_2014_030.
72 Y. Yamaguchi, H. Takenaka, K. T. Murata, Y. Kambayashi, T. Okada, A. T. Matsuoka, Y. Shoda, and Y. Shimoda, “National-scale application of an activity-based residential building energy model using postcode-level census data,”Proceedings of the 16th IBPSA Conference, Rome, Italy, Sept. 2–4, pp.2326–2333, 2019, doi: 10.26868/25222708.2019.211024.
73 M. Kunitake, K. Yamamoto, S. Watari, K. Ukawa, H. Kato, E. Kimura, Y. Murayama, and K. T. Murata, “Solar-Terrestrial Data Analysis and Reference System (STARS) - Its High Potentiality for Collaborative Research,”Data Science Journal, vol.12, pp.WDS225–WDS228, 2013.
74 S. Watari, H. Kato, K. T. Murata, K. Yamamoto, H. Watanabe, Y. Kubota, and M. Kunitake, “Research Environment and Information Service of Space Weather Cloud,” Data Science Journal, vol.12, pp.WDS209–WDS212, 2013.
75 村田健史, 長屋嘉明, 山本和憲, 鵜川健太郎, 村永和哉, 村山純一,“新聞記事のカテゴリやワードの出現頻度を様々な時間スケールでスケーラブルにカラー表示・分類する可視化技術,” 信学技報, vol.115, no.520, SC2015-22, pp.1–6, 2016.
76 村田 健史,“定期刊行物記事の分野や語句の出現頻度の時間的に伸縮可能な可視化方法,” 特願 2015-227720 号, 2015.11.20, 特開 2017-097544 号, 2017.6.1, 6653502 号, 2020.1.31 確定
77 K. T. Murata,“Solar-Terrestrial Data Analysis and Reference System: STARS,” IUGG2003 Abstracts week A, p.346, Oct. 2003.
78 北本朝展, 村田健史,“歴史的行政区域データセットβ版をはじめとする地名情報基盤の構築と歴史ビッグデータへの活用,” 情報処理学会研究報告, vol.2020-CH-124, no.1, オンライン, 日本, Sept. 5-5, pp.1–8, 2020.
79 北本朝展, 村田健史,“歴史的行政区域データセットβ版をはじめとする幾何データ共有サイト「Geoshape」の構築,” JpGU - AGU Joint Meeting 2020, オンライン, 日本, July 12–16, pp.MGI41–15, 2020.
80 渡邉英伸, 黒澤隆, 木村映善, 水原隆道, 村田健史, 建部修見,“広域分散ファイルシステムにおける UDT マルチストリームファイル転送ツール,” 電子情報通信学会　和文論文誌 D, vol.J99-D, no.5, pp.514–525, 2016, doi: 10.14923/transinfj.2015 AIP000.
81 村田 健史, 水原 隆道,“負荷変動およびパケット伝送損失がある LFN 伝送路で高信頼通信を行うためのデータ通信制御方法,” 特願 2015-179510 号, 2015.9.11, 特開 2017-055336 号, 2017.3.16, 6613742 号, 2019.11.15 確定
82 村田健史, 山本和憲, パワランクン プラパン, 鈴木健治, 浅井敏男, 菅智茂, 村永和哉, 水原隆道, 影林佑哉, 柿澤康範, 矢羽田將友,“HpFP プロトコルによる WINDS 衛星の回線品質検査,” 情報通信研究機構研究報告, vol.63, no.2, pp.153–162, 2017, doi: 10.24812/nictkenkyuhoukoku.63.2_153.
83 K. T. Murata, P. Pavarangkoon, K. Inoue, T. Mizuhara, Y. Kagebayashi, K. Yamamoto, K. Muranaga, E. Kimura, and Y. Nagaya, “Development of High-performance and Flexible Protocol Handler for International Web Accesses,” in The 21st IEEE International Conferences on High Performance Computing and Communications (HPCC-2019), Zhangjiajie, China, Aug. 10–12, pp.1958–1963, 2019, doi: 10.1109/HPCC/SmartCity/DSS.2019.00270.
84 P. Pavarangkoon, K. T. Murata, Y. Inoyama, T. Mizuhara, Y. Kagebayashi, K. Yamamoto, K. Muranaga, and E. Kimura, “Design of Satellite Network-Based Remote Control and Monitoring System for Power Plants,” in 2019 IEEE 11th International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN 2019), Chongqing, China, June 12–15, pp.621–625, 2019, doi: 10.1109/ICCSN.2019.8905371.
85 P. Pavarangkoon, K. T. Murata, M. Okada, K. Yamamoto, Y. Nagaya, T. Mizuhara, A. Takaki, K. Muranaga, and E. Kimura, “Bandwidth Utilization Enhancement for INTELSAT Satellite Network,” in The 7th IEEE Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON2016), Vancouver, Canada, Oct. 13–15, pp.1–7, 2016, doi: 10.1109/IEMCON.2016.7746292.
86 K. T. Murata, M. Okada, K. Yamamoto, Y. Nagaya, P. Pavarangkoon, T. Mizuhara, A. Takaki, K. Muranaga, and E. Kimura, “A novel data transfer protocol for INTELSAT satellite network - Application of throughput control protocol -,” IEICE Technical Report, vol.116, no.41, Nagoya, Japan, May 19–20, pp.13–17, 2016.
87 R. Iyer and E. Ozer, “Visual IoT: Architectural Challenges and Opportunities; Toward a Self-Learning and Energy-Neutral IoT,” IEEE Micro, vol.36, no.6, pp.45–49, 2016.
88 村田健史, 水原隆道,“映像 IoT とは何か？: Raspberry Pi を使った Visual IoT 技術紹介,” セキュリティ研究, vol.20, no.10, pp.54–57, 2017.
89 村田健史, 水原隆道, パワランクン プラパン, 山本和憲, 村永和哉, 青木俊樹,“映像 IoT の提案,” 信学技報, vol.118, no.38, pp.43–46, 2018.
90 K. T. Murata, P. Pavarangkoon, S. Phon-Amnuaisuk, T. Mizuhara, K. Yamamoto, K. Muranaga, and T. Aoki, “A Programming Environment for Visual IoT on Raspberry Pi,” in The 5th IEEE International Conference on Cloud and Big Data Computing (CBDCom 2019), Fukuoka, Japan, Aug. 5-8, pp.987–992, 2019. doi: 10.1109/DASC/PiCom/CBDCom/CyberSciTech.2019.00180.
91 K. T. Murata, T. Mizuhara, P. Pavarangkoon, K. Yamamoto, K. Muranaga, and T. Aoki, “Design and Development of Real-Time Video Transmission System Using Visual IoT Device,” Proc. 12th Multi-disciplinary International Conference on Artificial Intelligence (MIWAI 2018), Lecture Notes in Artificial Intelligence, vol.11248, Hanoi, Vietnam, Nov. 18–20, pp.263–269, 2018, doi: 10.1007/978-3-030-03014-8_25.
92 K. T. Murata, T. Mizuhara, P. Pavarangkoon, K. Yamamoto, K. Muranaga, and T. Aoki, “A Proposal of Visual IoT for Real-Time Monitoring,” IEICE Technical Report, vol.118, no.38, Yokohama, Japan, May 17–18, pp.43–46, 2018.
93 Matsuoka, D., Murata, K. T., Fujita, S., Tanaka, T., Yamamoto, K., and Ohno, N., “3D Visualization and Visual Data Mining, Journal of the National Institute of Information and Communications Technology,” vol.56, nos.1–4, pp.507–517, 2011.
94 松岡大祐, 村田健史, 藤田茂, 田中高史, 山本和憲, 大野暢亮,“3 次元可視化とビジュアルデータマイニング,” 情報通信研究機構季報, vol.55, nos.1–4, pp.459–469, 2010. http://www.nict.go.jp/publication/shuppan/kihou-journal/kihou-vol55 no1.2.3.4/040202.pdf
95 白石隆文, 石坂圭吾, 三宅壮聡, 岡田敏美, 村田健史,“磁気圏プラズマ波動スペクトルにおける低域カットオフ周波数の自動検出法の開発,” 電子情報通信学会論文 (B), vol.J92-B, no.4, pp.794–802, 2009.
96 磯田総子, 村田健史, 深沢圭一郎, 渡邉英伸, 海老原祐輔, 才田聡子, 久保田康文, 木村映善,“地球磁気圏 MHD シミュレーションの高時間分解能可視化,” 可視化情報全国講演会 2013 (会津), 可視化情報学会学会誌可視化情報, vol.33, no.2, pp.247–248, 2013.
97 S. Phon-Amnuaisuk, K. T. Murata, P. Pavarangkoon, T. Mizuhara, and S. Hadi, “Children Activity Descriptions from Visual and Textual Associations,” 13th International Conference, MIWAI 2019 Proceedings, vol. LNAI 11909, no.121, Kuala Lumpur, Malaysia, Nov. 17–19, pp.132, 2019, doi: 10.1007/978-3-030-33709-4_11.
98 村田健史, 深沢圭一郎, 徳永旭将, 水原隆道, 野見山陸, Somnuk Phon-Amnuaisuk,“映像 IoT 技術による赤ちゃん見守りシステム,” 情報処理学会研究報告 研究報告情報システムと社会環境 (IS), vol.2020-IS-151, no.3, 東京, 日本, Feb. 28-28, pp.1–6, 2020.
99 Yuki Murakami, Ken T. Murata, Ryozo Yamazaki, Kazutaka Kikuta, Yoshihide Kagatani, Toshiki Aoki, Takamichi Mizuhara, Kazunori Yamamoto,

Tomohiro Kawanabe, Tsutomu Nagatsuma, Junji Tokairin, Michiharu Niimi, Kazuki Kobayashi, and Keiichiro Fukazawa, “Techniques in Pan-Tilt-Zoom Operation of IP Network Camera for Visual IoT,” submitted to The 24th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC2021), 2021.

100 Yuki Murakami, Ken T. Murata, Kazutaka Kikuta, Michiharu Niimi, Tomohiro Kawanabe, Takamichi Mizuhara, Toshiki Aoki, Kazunori Yamamoto, Tsutomu Nagatsuma, Kazuki Kobayashi, Keiichiro Fukazawa, and Praphan Pavarangkoon, “An Image Stabilization Technique for Long-durational Outdoor Footages Obtained by Visual IoT Systems,” submitted to The 24th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC2021), 2021.

101 A. Tanatipuknon, P. Aimmanee, Y. Watanabe, K. T. Murata, A. Wakai, G. Sato, H. V. Hung, K. Tungpimolrut, S. Keerativittayanun, and J. Karnjana, “Study on Combining Two Faster R-CNN Models for Landslide Detection with A Classification Decision Tree to Improve the Detection Performance,” Journal of Disaster Research, vol.16, no.4, pp.588–595, 2021, doi: 10.20965/jdr.2021.p0588.

102 J. Karnjana, S. Keerativittayanun, K. Sangrit, P. Dillon, A. Tanatipuknon, P. Aimmanee, and K. T. Murata, “Real-time Monitoring System Based on Wireless Sensor Networks and Remote Sensing Techniques for Landslide-prone Areas in the Northern Region of Thailand,” in Virtual Conference on DISASTER RISK REDUCTION, Online, , March 19–21, 2021, doi: in print.

103 J. Karnjana, P. Aimmanee, A. Tanatipuknon, P. Dillon, and K. T. Murata, “Change Detection in Multi-temporal Remote Sensing Images for Landslide Monitoring,” in ASEAN IVO Forum 2020, Online, Japan, Oct. 28–28, 2020.

104 渡邉英伸, 山本和憲, 村田健史, 木村映善, 亘慎一, 村山泰啓, 宮地英生, 荻野瀧樹, 深沢圭一郎, “3 次元可視化パラメータ共有による多地点遠隔ボリュームコミュニケーションシステム,” 電子情報通信学会論文誌 (D), vol.J95-D, no.5, pp.1160–117, 2012.

105 K. T. Murata, K. Yamamoto, D. Matsuoka, H. Matsumoto, M. Okada, T. Mukai, J. B. Sigwarth, S. Fujita, T. Tanaka, K. Yumoto, T. Ogino, K. Shiokawa, N. A. Tsyganenko, J. L. Green, and T. Nagai, “Development of the Virtual Earth's Magnetosphere System (VEMS),” Advances in Polar Upper Atmosphere Research, no.19, pp.135–151, Aug. 2005.

106 STARS OSS サイト：http://k2go.jp/public

107 村田健史, 武田康男, 菊池真似, “ひまわり 8 号と地上写真からひと目でわかる 日本の天気と気象図鑑,” 誠文堂新光社, 2017.

108 K. T. Murata, P. Pavarangkoon, A. Higuchi, K. Toyoshima, K. Yamamoto, K. Muranaga, Y. Nagaya, Y. Izumikawa, E. Kimura, and T. Mizuhara, “A web-based real-time and full-resolution data visualization for Himawari-8 satellite sensed images,” Earth Science Informatics, vol.11, no.2, pp.217–237, 2017, doi: 10.1007/s12145-017-0316-4.

109 R. Ando, S. Watanabe, K. T. Murata, and P. Kunakornvong, “Exploration of the earth environment using “Himawari-8” data of meteorological satellite and deep learning,” UTK Research Journal, vol.14, no.2, pp.1–9, 2020.

110 樋口篤志, 豊嶋紘一, 村田健史, 可知美佐子, “ひまわり 8 号が観測した地球の姿 (静止気象衛星 ひまわり 8 号･9 号とその利用),” 気象研究ノート, vol.238, pp.1–9, 2018.

111 P. Pavarangkoon, K. T. Murata, K. Yamamoto, K. Muranaga, A. Higuchi, T. Mizuhara, Y. Kagebayashi, C. Charnsripinyo, N. Nupairoj, T. Ikeda, J. Tanaka, and K. Fukazawa, “Development of international mirroring system for real-time web of meteorological satellite data,” Earth Science Informatics, vol.13, no.4, pp.1461–1476, 2020, doi: 10.1007/s12145-020-00488-z.

112 村田健史, ”情報通信技術を宇宙科学にどう活用するか (全 9 回),” 宇宙航空研究開発機構 PLAIN Center News, 2006 〜 2007.

113 K. T. Murata, K. Mizutani, Y. Muroyama, K. Yamamoto, K. Muranaga, T. Mizuhara, P. Pavarangkoon, and K. Kobayashi, “LoRa Communication Maps of Medium-Sized Rural City in Japan via Community Bus Services,” in The 5th IEEE International Conference on Cloud and Big Data Computing (CBDCom 2019), Fukuoka, Japan, Aug. 5–8, pp.1054–1059, 2019, doi: 10.1109/DASC/PiCom/CBDCom/CyberSciTech.2019.00189.

114 K. Sangrit, K. Tungpimolrut, U. Lewlompaisarl, M. Chatpoj, J. Karnjana, K. T. Murata, W. S. H. Suhaili, J. D. Cruz, F. Asarias, P. Siharath, D. Bouangeune, and T. L. L. Thein, “Experiments on LoRa Communication Used in a Relay Station Network for Disaster Management,” International Conference on Computational Intelligence in Information System, vol.1321, Tokyo, Japan, Nov. 13–15, pp.225–232, 2021, doi: 10.1007/978-3-030-68133-3_22.

115 ヌリシラジ マハダド, 水原隆道, 青木俊樹, 村田健史, 山本和憲, 村永和哉, Pavarangkoon Praphan, “Raspberry Pi の耐久性検証とインテリジェントウオッチドッグ開発,” in JpGU - AGU Joint Meeting 2020, オンライン, 日本, July 12–16, pp.MGI41–P05, 2020.

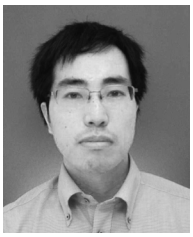
116 S. Watanabe, K. T. Murata, and P. Pavarangkoon, “Real time observations of snowfall snowflake size distribution with video camera,” in AGU Fall Meeting 2019, San Francisco, CA., USA, Dec. 9–13, 2019.

117 Y. Yamamoto, T. Funayama, K. Konda, H. Takenaka, K. T. Murata, and T. Y. Nakajima, “Provision and Visualization of Solar Radiation Data for Energy Management System,” in 2019 17th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE), Bangkok, Thailand, Nov. 20–22, pp.1–4, 2019, doi: 10.1109/ICTKE47035.2019.8966805.

村田健史　（むらた　たけし）
ソーシャルイノベーションユニット
総合テストベッド研究開発推進センター
研究統括
博士 (工学)
時空間データ GIS プラットフォーム

川鍋友宏　（かわなべ　ともひろ）
ソーシャルイノベーションユニット
総合テストベッド研究開発推進センター
有期研究技術員
時空間データ GIS プラットフォーム、超高解像度可視化

山本和憲　（やまもと　かずのり）
ソーシャルイノベーションユニット
総合テストベッド研究開発推進センター
有期研究技術員
時空間データ GIS プラットフォーム



村上雄樹　（むらかみ　ゆうき）
ソーシャルイノベーションユニット
総合テストベッド研究開発推進センター
有期研究技術員
時空間データ GIS プラットフォーム