

jh210009-MDH

## 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

村田 健史（情報通信研究機構）、深沢 圭一郎（京都大学）

### 概要

本研究では 2019 年度までに構築した L3（レイヤ 3）による拠点間ネットワークを再構築し、JGN と SINET5 のブロードバンドネットワーク性能を最大限に引き出しつつ、ビッグデータを伝送・共有・保存するための東北から九州までの広域拠点を L2（レイヤ 2）接続する JHPCN 広域分散クラウドシステムが完成した。さらに TCP プロトコルと情報通信研究機構が中心となり開発している HpFP プロトコルの基礎通信性能比較とファイル伝送実験を行った。並行して、分散クラウド上において各分野のドメイン研究者がビッグデータ処理や可視化を行った。特に、気象衛星ひまわりデータリアルタイム処理と大規模可視化および地域気象との連携、映像 IoT 技術を活用した多地点カメラ画像処理による地域見守りおよび時空間データ GIS プラットフォームを活用した大規模分散協調型可視化を行った。

### 1. 共同研究に関する情報

#### (1) 共同研究を実施した拠点名

東北大学 東京大学 名古屋大学 京都大学 九州大学

#### (2) 共同研究分野

超大規模データ処理系応用分野  
超大容量ネットワーク技術分野  
超大規模情報システム関連研究分野

#### (3) 参加研究者の役割分担

本研究は、テーマ①を担当するシステム担当者としてテーマ②～④を担当するドメイン研究者から構成される。①については各拠点および非拠点大学のシステム開発チームメンバーに L2VPN をベースとし

た広域クラウドシステムの構築の協力を求める。②については拠点リソース（スパコン、大規模ストレージ、GPGPU 計算機、大規模可視化環境）を縦横無尽に利用して学術成果を挙げる。

### 2. 研究の目的と意義

SINET5 の高速化（および SINET6 への移行）を背景に、JHPCN 拠点間を接続する広域分散クラウドへの期待は大きい。一方で、汎用的に（つまり様々な研究テーマで）利用できるクラウドはこれまでに事例がない。そこで本研究テーマ（継続案件）では 2020 年度までに L2（レイヤ 2）による拠点間ネットワーク（図 1 の JHPCN 広域分散クラウド）を構築し、スパコンや大規模ストレージによるデー

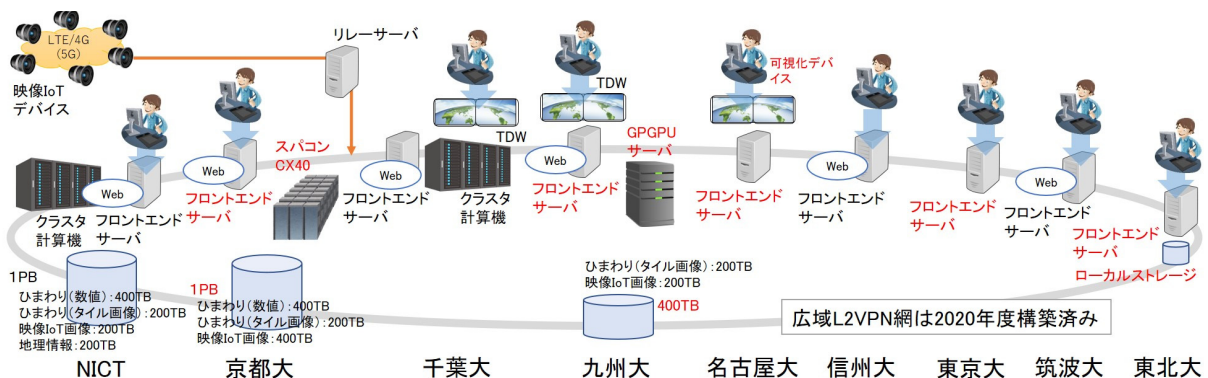


図 1 2020 年度構築の L2VPN 網を用いた学術研究における JHPCN 広域クラウド 2021 システム: 赤文字はリソース申請分

タ処理環境整備を行ってきた。2021 年度計画では SINET（一部 JGN）のブロードバンドネットワーク性能を最大限に引き出しつつ、ビッグデータを伝送・共有・保存するための基礎的な通信性能とファイル転送・ファイル共有性能の計測を行う。さらに、これらをもとに JHPCN 広域分散クラウド上において各分野のドメイン研究者がビッグデータ処理や可視化を行う。

### 3. 当拠点公募型研究として実施した意義

当拠点公募型共同研究として実施する意義として、本研究で構築する広域分散クラウドサービスは 5 つ（東北大・東大・名大・京大・九大）の JHPCN 拠点大学および国内外大学の分散リソースを融合することが挙げられる。このような大規模な広域分散計算環境の構築は当拠点公募型共同研究でなくては実現が難しい。本提案の 5 拠点のうち、名大・京大・九大の 3 拠点は、広域分散クラウド上でそれぞれの特性を生かした役割を果たす。他の研究機関はこれを一つの統合システムとして利用する。

SINET5 および JGN のブロードバンドネットワーク性能を 100%引き出すことができる通信プロトコルおよびファイル転送ツールにより、各研究機関が自らの研究データを目的に応じて柔軟で快適に利用できる環境は JHPCN 自身の最終目的の一つであろう。一方、このような広域分散クラウドはそれ自身の開発だけを目的とするべきではない。これまでの単一クラウド環境では不可能であった学術成果および社会実証・社会実装を達成することで価値が評価されるべきである。本課題では地域気象および AI 画像処理において高い成果を挙げてきたドメイン研究者が本システム上でその腕を振るうことでその目標を達成できる。そのためのエコシステム（データ収集技術、データ通信技術、データ処理技術、データ可視化技術、データ保存技術）はこの数年

間の計画で実用レベルでの準備が整っている。

### 4. 前年度までに得られた研究成果の概要

2020 年度は①HpFP プロトコルと L2VPN 網によるビッグデータ解析のための広域分散クラウド構築と実用性検証（継続）、②気象衛星ひまわりデータリアルタイム処理と大規模可視化および地域気象との連携（継続）、③映像 IoT 技術を活用した多地点カメラ画像処理による地域見守り（継続）および④時空間データ GIS プラットフォーム[9]を活用した大規模分散協調型可視化（新規）の 4 つのテーマを提案した。

テーマ①では、10Gbps 通信環境（一部、1Gbps 通信環境）を活用した拠点間データ伝送・共有を進めた。全 9 拠点のなかで東北大、名古屋大、九州大、信州大、千葉大を除く全拠点の VLAN 設定およびジャンボフレームのためのスイッチ設定が完了した。そこで計測可能な通信路について、高速データ伝送のための基礎通信性能測定（遅延量とパケットロス率）、バンド幅測定（iperf3 と hperf）を行った。なお 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。これらによると、次のことが明らかになった。環境整備（ネットワークおよびサーバ）が整っている環境の多くではスループットとして 10Gbps 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→筑波大）もあり、これらについては原因究明と対策検討が必要である。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、HpFP の有利性はそれほど高くない。する予定である。なお、基礎通信実験以外の設定および実験実施状況は次のとおりである。

京都大には、VM サーバ上に HpFP サーバ環境を整備し、600TB 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。NICT からのひまわり衛星データ伝送については 6 か月で 200TB のデータ伝送を完了したが、伝送速度に課題が残った。また、映像 IoT システムからの映像データ（静止画像、動画）については、191 台の観測拠点（カメラ）からの画像を総計で 98TB（ファイル数 4 千 833 万）伝送した。また、京都大スパコン XC40 への H. 264 コーデックおよび ffmpeg のセットアップに着手した。

名古屋大においては、HCP サーバをセットアップし、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が完了した。これにひまわり衛星に関するデータ（総データサイズ 48TB、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た。さらに、これらのファイルをコールドストレージシステムに自動保存する仕組みを構築した。

九州大については、テーマ③の ChOWDER による大規模データ可視化のための基礎環境（タイルディスプレイ）整備が完了した。L2VPN 上の京都大 VM サーバ上に ChOWDER サーバを起動し、そこに接続した九州大タイル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。

信州大は、スムーズな時系列データ可視化を行う PC を設置し、テーマ②のひまわりゲームを高速に体験することに成功した。

筑波大では Gfarm 最新版（バージョン 2.7.18）と筑波大開発のコンシステントハッシュファイルシステム（GHFS）のセットアップに着手した。

NICT は独自開発のオープンソース jQuery である Timeline および TileViewer を用いた時空間 GIS アプリケーション開発環境を整備した。また、ビッグデータ利活用のために HpFP プロトコルをベースとして開発した HCP tools の Windows クライアント版を用いたデータファイル実験の準備を進めた。

テーマ②では、HTML5 の iframe 技術を用いて、ひまわりリアルタイム Web をベースとし

たひまわり衛星データ関連アプリの開発・公開を行った。2019 年度より、JHPCN 拠点リソースを活用した「ひまわりリアルタイム Web」の実用性検証を進めてきた。2019 年 10 月の大型台風 19 号の日本上陸時にはひまわりリアルタイム Web に 50 万を超えるアクセスがあり、16 コアの Web サーバの負荷が飽和する事態となった。バックアップ機を千葉大に用意していたが、台風による停電で全学計算機が停止した。そこで、大型台風接近時や突然の停電時にも BCM (BCP) が実現できることを示すための負荷分散システムを NICT、京都大学および千葉大学の 3 か所で Web サーバを立ち上げ、NICT 無停電電源ルームに負荷分散装置を設置することで実現した。3 拠点への均等なコネクション分配による負荷テストを開始した。

テーマ③では、3 次元 WebGIS (iTowns) 上に映像 IoT 技術により取得した映像をオーバーレイする技術開発と、iTowns アプリケーションをタイルディスプレイ上に可視化するためのミドルウェア (ChOWDER) を用いたシステム開発を進めた。さらに、高所カメラ画像をステッチングすることでレンズゆがみの影響を受けにくい超高解像度画像処理技術開発に着手した。また取得した大規模画像処理アルゴリズム開発に着手した。大規模可視化については、VLAN (L2VPN) 上で九州大のタイルディスプレイスレーブサーバ群が京都大 VM サーバ上の ChOWDER サーバにアクセスしてユーザ PC から送出された超高解像度画像データを大画面表示するための基礎試験を完了した。

## 5. 今年度の研究成果の詳細

- ① HpFP プロトコルと L2VPN 網によるビッグデータ解析のための広域分散クラウド構築と実用性検証（継続）

2021 年度は L2VPN 網の整備がおおむね完了（図 2）したため、2020 年度に引き続き基礎

	サーバ設置・設定	L2VPN	ジャンボフレーム	バッファサイズ拡張
東北大	設置済み 2020年4月	設定待ち	設定待ち	設定待ち
東京大	設置済み 2020年4月	設定済み 2020年12月	設定済み 2020年12月	設定済み 2021年5月
名古屋大	設置済み 2020年4月	設定済み 2021年2月	設定済み 2021年5月	設定済み 2021年6月
京都大	設置済み 2020年4月	設定済み 2020年7月	設定済み 2021年3月	設定済み 2021年4月
九州大	設置済み 2020年8月	設定済み 2020年8月	設定済み 2021年2月	設定済み 2021年5月
NICT	設置済み 2020年4月	設定済み 2020年9月	設定済み 2020年2月	設定済み 2021年4月
信州大	設置済み	設定済み 2020年12月	設定待ち	設定待ち
筑波大	設置済み 2020年9月	設定済み 2021年2月	設定済み 2021年2月	設定済み 2021年4月
千葉大	設置済み (1G) 2020年4月	設定済み 2020年7月	設定済み 2020年12月	設定済み 2021年4月
理研	サーバ準備中	設定待ち	設定待ち	設定待ち

図2 JHPCN 各拠点準備状況

通信性能試験を行った。パケットロスについてはどの場合も0であり、VLAN環境は良好である。遅延は上り下りでほぼ同一の値を示しており、最大は東京大・九州大間の約18msecであった。バンド幅計測は、JHPCN 拠点およびNICTについては良好であり、ほとんどの環境で9Gbps以上、最低でも8Gbpsを達成した。一方で、千葉大学では3Gbpsを下回る場合もあった。信州大はジャンボフレーム未疎通のため評価から外した。

これらの結果から、一部を除いてはTCPおよびUDPベースのHpFPの両プロトコルでL2VPN網のデータ通信性能が十分に高く、拠点連携基盤は完成したと結論付けた。すなわち、図1の広域分散クラウドのネットワーク基盤は実用段階に入り、②~④の様々なテーマにおいて大規模データ・大容量ネットワーク活用を進めるためのファイル伝送・ファイル共有の高度化に進む準備が整った。調査結果は論文投稿の予定であるため、本報告書ではその概要を述べる。

ファイル伝送速度の基礎となる各拠点のストレージのディスクI/O性能評価をddコマンドにより行った(図3)。マウント方式は拠点によって異なるが、lustreでは7Gbps以上でありバンド幅と同等であるが、xfs(SATA)では3Gbps以下、sshfsでは1.3Gbps以下とバンド幅を下回った(図4)。このため、10GBファイル転送実験ではディスクI/O速度がボトルネックになる拠点(京都



図3 JHPCN 広域分散クラウド通信実験模式図

	ストレージ種別	ディスク領域	マウント方式	書き込み速度
東京大	スパコンストレージ	(11PB)	lustre	14.4
名古屋大	スパコンストレージ	(24PB)	lustre	10.4
京都大	スパコンストレージ	1PB	sshfs	1.258
九州大	スパコンストレージ	400TB	lustre	7.816
NICT	ローカルディスク (SATA)	875GB	xfs	1.21
筑波大 1	ローカルディスク (SSD)	57GB	xfs	16.836
筑波大 2	Gfarmストレージ	438TB	gfarm2fs	5.17
千葉大	ローカルディスク (SSD)	53GB	xfs	2.864
信州大	ローカルディスク (SATA)	97GB	xfs	1.083

図4 各拠点のストレージのマウント方式とディスクI/O速度

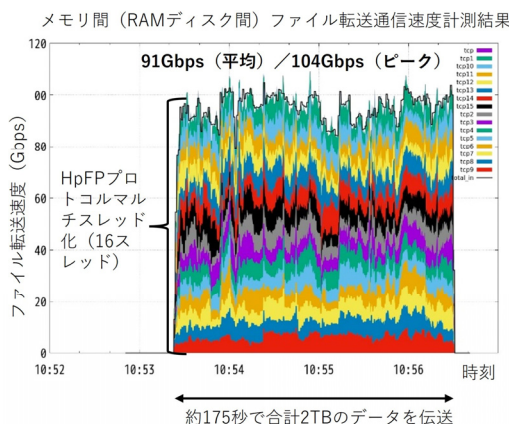


図5 国際高速ブロードバンド回線での100Gbpsファイル転送技

大、九州大、NICT、千葉大など)と通信速度がボトルネックになる拠点(東京大、名古屋大)などに分かれた。また、scpなどの暗号化通信では暗号化によるオーバーヘッドが大きかった。

また、将来のSINET高速化に備え、HCP tools (HpFP) のマルチスレッド化と国際ブロードバンド回線でのデータ伝送実験をDMC21 (Data Mover Challenge) で実施し、平均で90Gbps超のファイル転送速度を達成(図5)したことで

Most Innovative and Best IPv6 Performance 賞を受賞した(図6)。

なお、ストレージ利用については、京都大は1PBのストレ

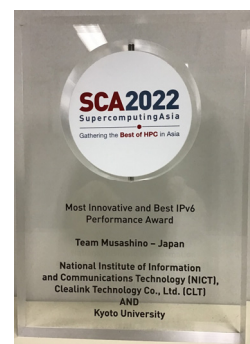


図6 Data Mover Challenge 受賞楯

ージに、映像 IoT 関連データを 50TB、ひまわり数値データを 450TB、ひまわりタイル画像 225TB を保存した。また、九州大学の 2PB のストレージにはひまわり関連データを 120TB、日射量関連データを 30TB、映像 IoT 関連データを 20TB、ひまわり数値データを 450TB、ひまわりタイル画像 225TB を保存した。

② 気象衛星ひまわりデータリアルタイム処理と大規模可視化および地域気象との連携（継続）

2021 年度は、2020 年度構築の負荷分散システム（図 7）NICT、京都大学、千葉大学の 3 か所から九州大、信州大を加えた 5 か所に拡張し、同時に安定運用試験を行った。全システムでデータ処理とデータ保存を行うのは効率的ではないため、以下のシステム構成とした。まず、図 7 には示していないが気象庁ひまわりクラウドから数値データを取得できるのは、気象庁との契約により NICT と千葉大に限定される。このファイル取得はまれに通信エラーなどで欠損が生じるため、両者間で rsync による同期を常時行っている。次に、ピラミッドタイル画像生成は NICT と千葉大サーバで行い、両拠点のストレージに保存する。両大学の Web サーバはそれぞれのストレージ上のタイル画像にアクセスする。一方、京都大学と九州大学では潤沢なストレージが利用できるため、千葉大学のピラミッドタイルデータをミラーリングする。ミラーリングには HpFP をベースとした hsync ツールを用いる予定であったが、開発が遅れたため

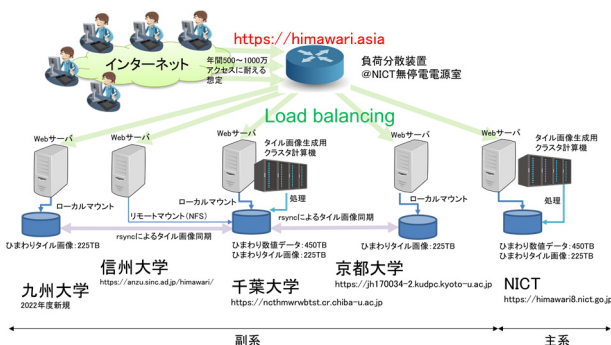


図 7 ひまわりリアルタイム負荷分散システム(2021 年度)



図 8 宮城県仙台市天文台設置のひまわりゲーム利用の様子

に rsync を用いた。信州大には大容量ストレージがないため、Web サーバは千葉大学ストレージをリモート NFS マウントし、タイル画像にアクセスする。なお、リモートマウント先は即時変更が可能であるため、例えば千葉大学の計画停電時は NICT のストレージをリモートマウントするなどの柔軟な対応が可能である。2020 年度は大きな気象現象がなかったが、2021 年度には 2022 年 1 月にトンガで大規模な海底火山噴火があり、50 万を超えるアクセスがあったが、本負荷分散機能が有効に機能した。これにより、2021 年度の目標であった実用レベルでどのような大型台風時にも情報をリアルタイム提供できる気象衛星データ Web の BCP モデルを確立できた。

なお、2020 年度に作成した HTML5/iframe によるひまわりリアルタイムベースのゲームアプリについては、2021 年度に宮城県仙台市天文台に設置し、継続的に運用されている（図 8）。

③ 映像 IoT 技術を活用した多地点カメラ画像処理による地域見守り（継続）

映像 IoT プロジェクトでは 2021 年度までに、長野県千曲市（14 か所）、北海道情報大学（2 か所）、筑波山（1 か所）、宮城県加美農業高校（2 か所）、宮城県女川町（1 か所）、鳥取県日吉津村（1 か所）、富士山周辺（4 か所）、福岡県北九州市（3 か所）、福岡県福岡市（1 か所）など設置場所を拡大した。またその多くで PTZ（パン・チルト・ズーム）制御可能な IP ネットワークカメラを用いた。すべての画像データを JHPCN 広域分

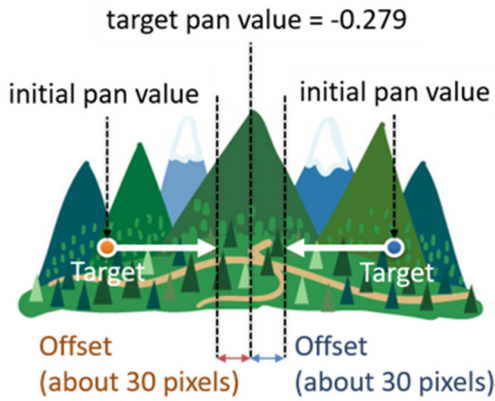


図9 市販 PTZ カメラの制御精度検証:パン値に対して左右どちらからでも 30 ピクセル程度の誤差が生じる[1]

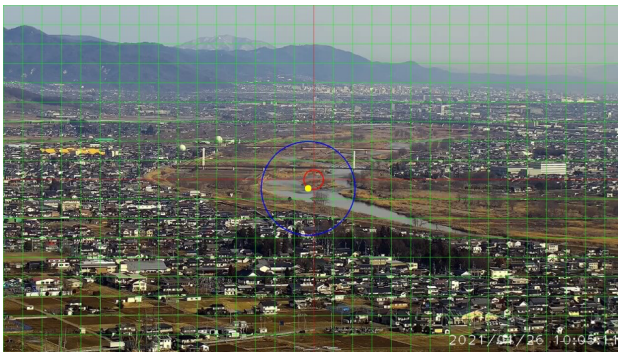


図10 千曲市姨捨公園カメラによる PTZ 操作実験(黄色丸が目標位置、赤丸が中央)[1]

散クラウド上に保存し、九州大学サーバなどによる映像 IoT 技術開発や画像処理を行った。

これらの成果は採録済み論文や投稿予定論文で詳細に議論するため、本報告書ではその一部について概要を示す。図9は市販 PTZ カメラの遠隔制御精度を検証したものである。パン値に対して左右どちらからでも 30 ピクセル程度の誤差が生じることが分かり、映像 IoT システムのロボット化の課題である。このずれを考慮したうえで PTZ 操作により狙った場所にカメラを向けてズームインするアプリケーションを作り、千曲市姨捨公園カメラによる PTZ 操作実験では良好な結果を得た(図10)。

上記のような屋外設置カメラでは、強風や取付環境の経年変化による短期・長期の映像ブレが不可避である。2021 年度には AKAZE 特徴量を用いた連続画像フレームのブレ補正アプリケーションを開発した(図11)。



図11 AKAZE 特徴量を用いたブレ補正技術[2]:(上図)ブレ補正なし、(下図)ブレ補正あり

これらの技術の応用として、画像処理技術開発も進んでいる。図12は宮城県女川町に設置した屋外カメラによる国道車両モニタリング Web である。現在の交通量(台数・速度)を時々刻々と表示しており、近日中に論文投稿および一般公開する予定である。また、図13は宮城県加美農業高校の牛舎に設置した映像 IoT システムによるモニタリング Web であり、10 分おきに 30 秒の動画を閲覧できる。たとえば普段は出産前後の母牛の様子を見ることは難しい(出産時が分からないため)がこれにより振る舞いの違いを生徒が学習できるようになった。また画像処理としても、出産時の目の動きを

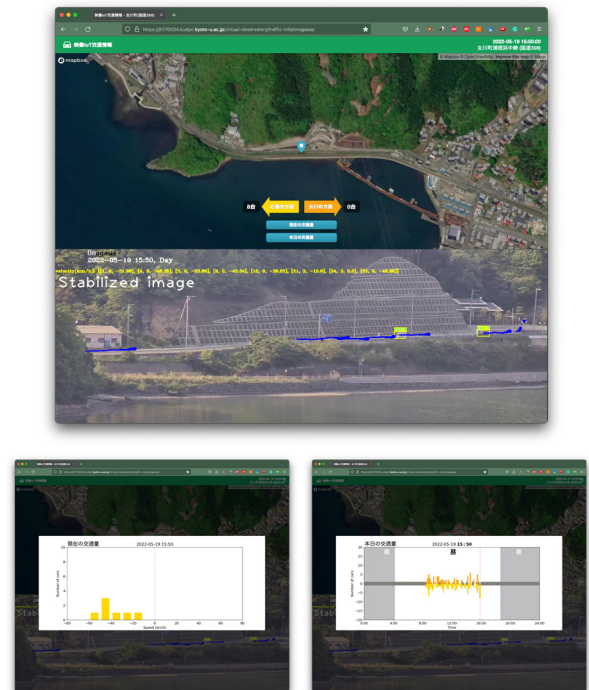


図12 宮城県女川町車両モニタリング Web:(上図)リアルタイム画像、(下左図)現在交通量(速度・台数)、(下右図)24 時間交通量(台数)

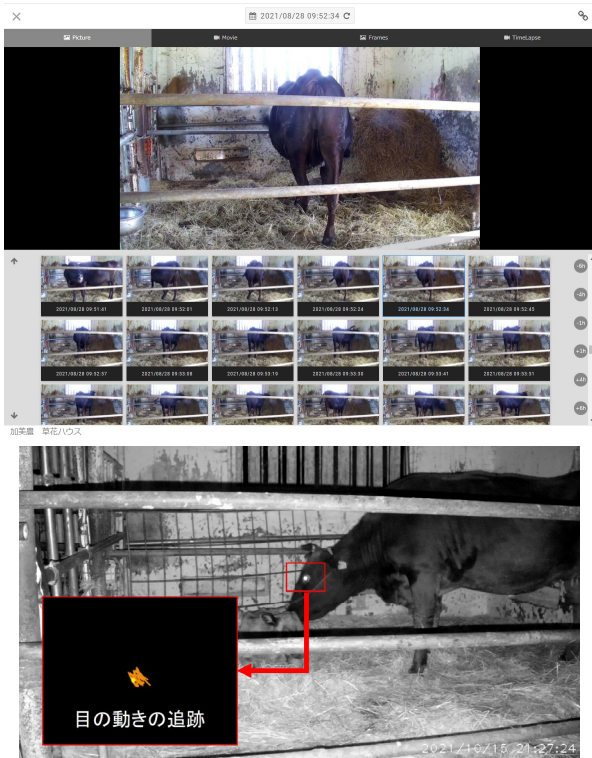


図13 (上図)宮城県加美農業高校牛舎モニタリング Web(10分おきに30秒の動画像を閲覧できる):(下図)出産時の目の動き検出(denseOpticalFlowによる)

denseOpticalFlowにより検出することに成功し(論文投稿準備中)、農地での有害動物検出への応用を検討中である。論文投稿予定のために本稿では図を示さないが、高所カメラによる煙(火災)自動探知の画像処理も進んでいる[7]。

また、海外連携においても当プロジェクトにより蓄積された画像処理が、夜空の画像処理や地滑りなどの災害モニタリング研究で利用された[3, 4, 5, 6]。

④ 時空間データ GIS プラットフォームを活用した大規模分散協調型可視化(新規)

2021 年度の新規提案として、ウィズコロナ・ポストコロナ時代に対応した協働的なビッグデータの分析・可視化環境を実現するため、現時点で調達可能な既製品を組み合わせ、ローコストかつバーサタイル(多用途・多目的)なタイルドディスプレイの試作・評価を行った。制御ソフトウェアは、理化学研究所計算科学研究センターが開発し、NICT および九州大学が継続開発しているオープンソースソフトウェア[8]のスケラブルディスプレイシステム ChOWDER をベースに応用開発し、超高解像度分析・可視化環境での実用性を検証する。

当初計画では、タイルドディスプレイ製作し、架台ごとに別拠点に置くことで超高解像度コンテンツの2拠点同期表示を行う予定であったが、長引くコロナ禍において他拠点への移設は実現しなかった。しかし、千葉大と九州大には ChOWDER が利用可能なタイルドディスプレイが設置されており、これらと NICT 設置のタイルドディスプレイ装置を L2VPN 上の ChOWDER サーバ(京都大設置)で結んだ3拠点において、ひまわりリアルタイム Web の最高解像度画像(5,500×5,500ピクセル)を全拠点で共有表示し、操作用 PC 上の ChOWDER 用 Web アプリで、表示画像の時刻歴操作を行う実験を行った(図14)。図中の各拠点タ

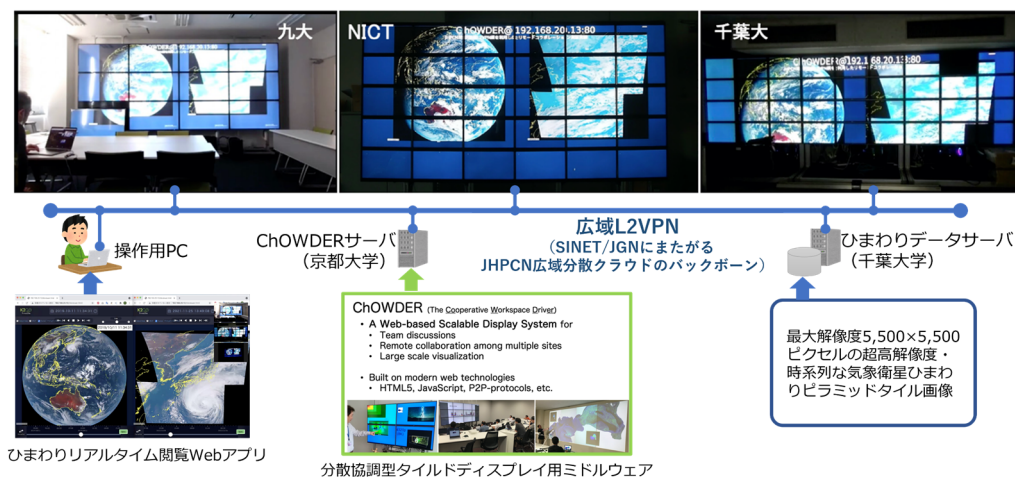


図14 ChOWDER 共有分散実験:ひまわりリアルタイム Web を3拠点で同期可視化

イルドディスプレイに表示された2つの画像は同一時刻を表示しており、操作用 PC 上の Web アプリで一方の時刻を変更すると、他方も追従する。実験では1日分の時刻変化を操作し、全拠点のタイルドディスプレイ上でもその操作に同期して表示されることを確認した。異なるタイル構成・解像度のタイルドディスプレイ間でのコンテンツ共有表示は ChOWDER 独自機能であり、本利用事例は、旧来のタイルドディスプレイのように一箇所に研究者が集まり、画面を見ながら議論するような利用方法にとられないポストコロナ時代に適応したタイルドディスプレイの利用方法を示すものである。

## 6. 今年度の進捗状況と今後の展望

2021 年度計画は目標をおおむね達成し、その成果をもとに 2022 年度継続申請を行った。2022 年度はリソース要求を含めておおむね採択されており、基盤技術開発は最終段階に入り、テーマの主題は JHPCN 広域分散クラウドによるこれまでにない学術研究成果の達成に重点を移す。とくに広域分散クラウドの特性を生かした研究テーマに積極的に取り組む。

## 7. 研究業績一覧

(発表予定も含む。投稿中・投稿予定は含まない)

### (1) 学術論文 (査読あり)

### (2) 国際会議プロシーディングス (査読あり)

- [1] Y. Murakami, K. T. Murata, R. Yamazaki, K. Kikuta, Y. Kagatani, T. Aoki, T. Mizuhara, K. Yamamoto, T. Kawanabe, T. Nagatsuma, J. Tokairin, M. Niimi, K. Kobayashi and K. Fukazawa, "Techniques in Pan-Tilt-Zoom Operation of IP Network Camera for Visual IoT," in 2021 24th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, Okayama, Japan, Dec.

14-16, pp. 1-6, 2021, doi: 10.1109/WPMC52694.2021.9700476.

- [2] Y. Murakami, K. T. Murata, K. Kikuta, M. Niimi, T. Kawanabe, T. Mizuhara, T. Aoki, K. Yamamoto, T. Nagatsuma, K. Kobayashi, K. Fukazawa and P. Pavarangkoon, "An Image Stabilization Technique for Long-durational Outdoor Footages Obtained by Visual IoT Systems," in 2021 24th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, Okayama, Japan, Dec. 14-16, pp. 1-6, 2021, doi: 10.1109/WPMC52694.2021.9700467.
- [3] 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," Civil Engineering for Disaster Risk Reduction, Online, Mar. 19-21, pp. 169-180, 2021, doi: 10.1007/978-981-16-5312-4\_12.
- [4] 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," Proceedings of Computational Intelligence in Information Systems (CIIS 2020), Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 1321, Online, Jan. 25-27, pp. 225-232, 2021, doi: 10.1007/978-3-030-68133-3\_22.



- [5] T. Connie, M. K. O. Goh, V. C. Koo, K. T. Murata and S. Phon-Amnuaisuk, "Improved Parking Space Recognition via Grassmannian Deep Stacking Network with Illumination Correction," Proceedings of Computational Intelligence in Information Systems (GIIS 2020), Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 1321, Online, Jan. 25-27, pp. 150-159, 2021, doi: 10.1007/978-3-030-68133-3\_15.
- [6] M. Kasim, K. T. Murata, N. Midun, T. Mizuhara, P. Pavarangkoon and S. Phon-Amnuaisuk, "Use Case of HPVT in Counting Stars: A Vision-Based Approach of Monitoring Natural Events," Proceedings of Computational Intelligence in Information Systems (GIIS 2020), Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 1321, Online, Jan. 25-27, pp. 172-181, 2021, doi: 10.1007/978-3-030-68133-3\_17.

(3) 国際会議発表 (査読なし)

(4) 国内会議発表 (査読なし)

- [7] 菊田和孝、村上雄樹、村田健史、複数フレームにおける煙の移動累積を使用した Optical flow に基づく映像の煙検出、信学技報, vol. 121, no. 144, SIP2021-27, pp. 1-4, 2021 年 8 月.

(5) 公開したライブラリなど

- [8] スケーラブルディスプレイシステム ChOWDER  
<https://github.com/NICT-STARS/ChOWDER>

(6) その他(特許, プレスリリース, 著書等)

- [9] 村田健史, 川鍋友宏, 山本和憲, 村上雄樹, 時空間データ GIS プラットフォーム, 情報通信研究機構研究報告 67 (2) (2022) 63 - 89.