

jh240077

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)

概要

近年のビッグデータサイエンスを加速するため、北海道大、東北大、東京大、名古屋大、京都大、大阪大、九州大および NICT、千葉大、筑波大、信州大の合計 11 拠点からなる全国規模の広域分散クラウドシステム（以下、JHPCN 広域分散クラウド 2024）を構築した。2024 年度は、2023 年度に引き続き①広域分散性と異種計算機リソース融合のための基礎性能検証を進め、さらにクラウド機能を社会実証を目指すシステム利用するための基盤環境構築を行った。さらに②広域分散クラウドの特性を活かしたデータ駆動型研究を実施したが、2024 年度は社会実装を目指す技術開発を行う点に新規性がある。本研究で構築する JHPCN 広域分散クラウド 2024 は全国規模の 11 拠点の分散リソースを L2VPN 網上で融合するが、JGN/SINET をベースとした大規模な大学間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。特に、2024 年度は JHPCN 広域分散クラウドを社会実装に活用する視点で構築する点新しい。

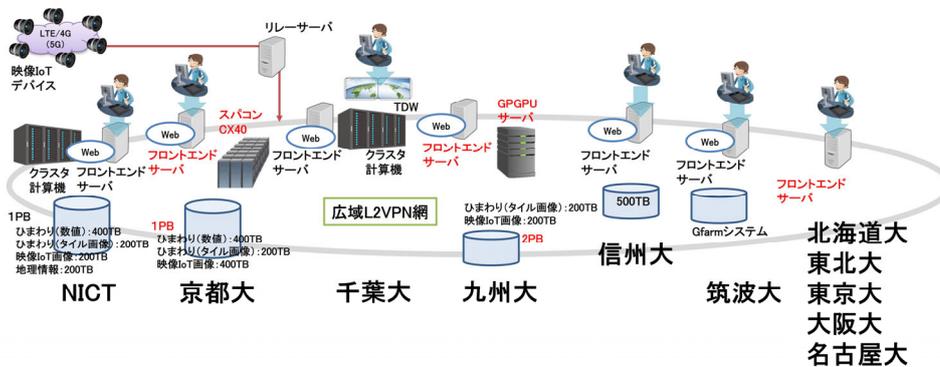


図 0. 2024JHPCN 広域分散クラウド（提案時）：採択結果により北海道大、東北大、東京大、大阪大は対象外

1. 共同研究に関する情報

(1) 共同利用・共同研究を実施している拠点名

- 名古屋大学 情報基盤センター
- 京都大学 学術情報メディアセンター
- 九州大学 情報基盤研究開発センター

(2) 課題分野

データ科学・データ利活用課題分野

(3) 参加研究者一覧と役割分担

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た。②のドメイン研究チームメンバーは拠点リソース(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

で学術成果を挙げた。なお、個別の分担は別紙に記載した。

2. 研究の目的と意義

近年のビッグデータサイエンスを加速するため、北海道大、東北大、東京大、名古屋大、京都大、大阪大、九州大およびNICT、千葉大、筑波大、信州大の合計 11 拠点からなる全国規模の広域分散クラウドシステム(以下、JHPCN 広域分散クラウド 2024)を構築する。2024 年度は、2023 年度に引き続き①広域分散性と異種計算機リソース融合のための基礎性能検証を進め、さらにクラウド機能を社会実証を目指すシステム利用するための基盤環境構築を行う。さらに②広域分散クラウドの特性を活かしたデータ駆動型研究を実施するが、2024 年度は社会実装を目指す技術開発を行う点に新規性がある。なお、①は実際には採択リソースの関係で 6 拠点となった(図 0)。

3. 当拠点の公募型共同研究として実施した意義

本研究で構築した JHPCN 広域分散クラウド 2023 は3つの JHPCN 拠点大学 4 つの国内他大学(NICT、千葉大、筑波大、信州大)の分散リソースを L2VPN 網上で融合したが、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。

4. 前年度までに得られた研究成果の概要

① 広域分散性と異種計算機リソース融合のための基礎性能検証

京都大学および九州大学に IPB ストレージを申請したが、両大学のストレージは定期的な計画停電やシステムメンテナンスによる停止が行われている。ひまわりリアルタイムやローカルひまわり等の Web アプリケーション、映像 IoT システムおよび本年度から追加のゲノムデータの BCP/BCM を実現するために、HpFP(High-performance and Flexible Protocol)をベースに作成したファイル同期プロトコル hsync により、数 10～数 100TB クラスのデータセットのバックアッ

プおよび同期を進めた。(ネットワーク設定に時間がかかっており、2024 年度の継続課題である)。さらにデータ同期対象をローカルひまわりのピラミッドタイル画像に限定し、可能な限り長期間(10 か月分)のひまわり衛星データ公開を実現した。また、高レベル(市町村レベル)の短期間画像と低レベル(都道府県レベル)の長期間画像の 2 種類のピラミッドタイル画像を組み合わせた Web アプリケーションを開発した。

また、今後の JHPCN 広域分散クラウドでの遠隔ストレージシステムの有効候補である筑波大学に設置した Gfarm/HDFS システム利活用実験として、各拠点のフロントエンドサーバからのデータ転送およびファイル I/O 速度計測を実施した。

② 広域分散クラウドの特性を活かしたデータ駆動型研究

A)時空間データ GIS プラットフォーム構築

時空間データ GIS プラットフォームを JHPCN 広域分散クラウド上に構築した。①の大規模ストレージ上にひまわり衛星データを含むリアルタイム気象データ、国土地理院や国交省の地理情報(GIS)データ、映像 IoT システムが収集する画像データ保存を進めた。また、これらのデータを処理するための API・ライブラリ・アプリケーションについて、京都大学や NICT、信州大学のフロントエンドサーバ上に実装した。AI 処理が必要なアプリケーションについては九州大学のシステム B に実装した。Web アプリケーションを公開するための Web サーバとしては九州大システムは頻繁なシステムメンテナンスのために連続運用をすることはできなかったため、京都大学、NICT、千葉大学等のフロントエンドサーバを用いた。

B)映像 IoT 技術高度化

これまで情報通信研究機構が中心となり、長野県千曲市や茨城県つくば市などに映像 IoT システムを設置してきた。これらのシステムでは PTZ(パン・チルト・ズーム)機能を有する IP ネットワークカメラを用い、遠隔地から PTZ 操作を行うことができる。現在、遠隔 PTZ 操作用 API および WebRTC による動画像ストリーミング配信用 API とアプリケーションを開発し、一部公開を開始した。また、九州大学システム B を用い、Optical Flow 高速化や AI(DeepSort)によるリアルタイム画像処理アプリケーションを開発した。ア

アプリケーションが対象物(たとえば噴煙)を検知すると、PTZ 操作により自動的に対象物を中心に移動、さらにズームインする。並行して映像ストリーミングを自動的に開始することで、Web 上で噴煙の状況を確認できるようになった。

C)3 次元時系列 GIS 環境整備

上記 A) の GIS データを用いた 3 次元時系列 WebGIS 環境を整備した。基盤となる 3 次元 WebGIS ライブラリは、iTown および Cesium (図 7) を用いた。国土地理院データ (DEM データ)、国交省データ (国土数値情報、PLATEAU 建物データ)、行政境界データ (情報学研究所) を選択することで、任意位置 (任意視点) からの地形や都市情報を含む 3 次元 GIS 可視化が実現できた。さらに、情報通信研究機構が開発し、オープン化を行った Web アプリ用の時間表示ツール (Timeline) を導入した。これにより、A) においてデータベース化した各種気象データを 3 次元空間上で地理情報と併せて時系列可視化できた。

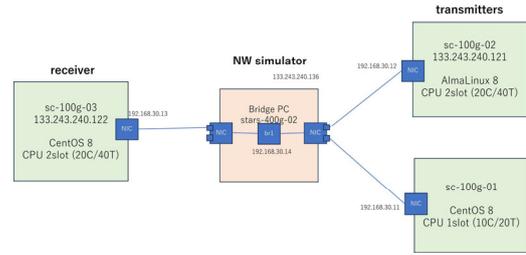
D) 時空間データ WebGIS アプリケーション開発

上記の高度化した映像 IoT 技術と 3 次元時系列 GIS を融合した高度な時空間データ WebGIS アプリケーションを開発した。本 WebGIS アプリケーションでは、フィールドに設置した映像 IoT システム (PTZ 機能を有する IP ネットワークカメラ) からのリアルタイムストリーミング画像と 3 次元 GIS 画像を連動して表示できる。後者では前者の IP ネットワークカメラ設置位置と同じ GIS 空間内の位置に仮想 PTZ カメラを設置し、前者の IP ネットワークカメラの PTZ 値と後者の仮想カメラの PTZ 値を連動させることで両者の画角をできるだけ一致させる。操作は IP ネットワークカメラカメラからも仮想カメラからも行うことができる。これにより、地図上の任意地点 (たとえば橋) を選択すると地図中心に橋が移動する。同時に、IP ネットワークカメラが自動的に橋の方に向く。その際、両者の画角をできるだけ一致させることで、両画面の対比が容易となった。

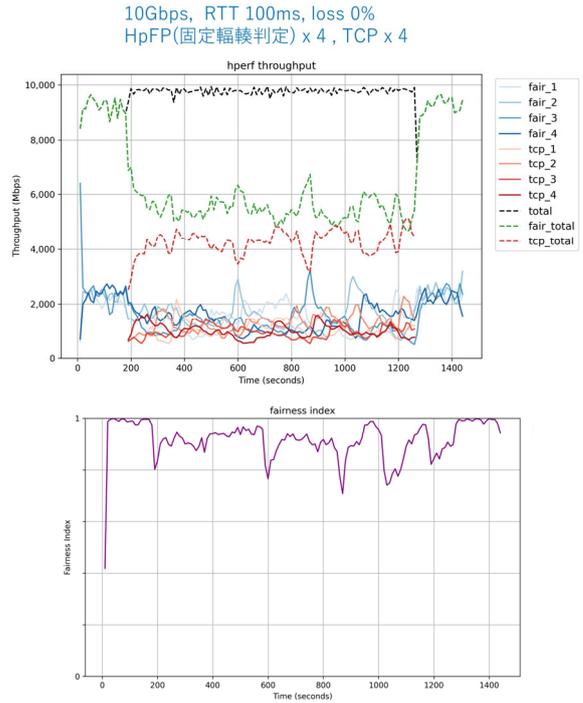
E) 映像公開 Web アプリケーション

本プロジェクトでは、2020 年より映像 IoT による画像収集を開始し、30 を超える拠点からの映像を JHPCN 広域分散クラウドストレージに保存している。2023 年度中に、これらのうち 10 か所の映像を Web アプリケーションから公開した。具体的には、千曲市 (3 カメラ)、つくば市、富士山

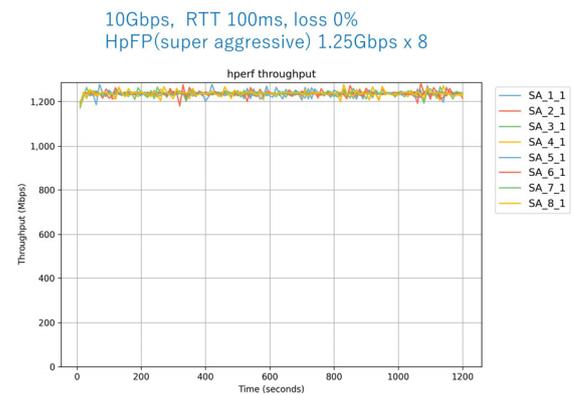
(a) 室内実験環境



(b) 上図 : fairness モード (cubic 準拠版) と下図 : fairness インデックス



(c) super aggressive モード (完成)



(d) Fairness インデックス (n は時間ステップ)

$$f(x_1, \dots, x_n) = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n \sum_{i=1}^n x_i^2}$$

図 1 (a) HpFP プロトコル実験環境及び最新の通信性能試験結果 : (b) fair mode および (c) super aggressive mode

(a) 富山県下新川海岸（田中）



(b) 愛媛県松山市（興居島）



図4 電力自立型映像 IoT システム

阪大学)のスケラブル可視化に着手した(2024年度にも継続して進めた)。

5. 今年度の研究成果の詳細

① 広域分散性と異種計算機リソース融合のため

の基礎性能検証

本申請は継続案件であるが、JHPCN 広域分散クラウド(図0)に関しては数年間にわたりシステム開発を行い、クラウド継続運用と基礎通信性能試験を実施してきた。2024 年度も基礎通信実験を継続して行っており、特に通信基盤となるトランスポート層プロトコルである HpFP (High-performance and Flexible Protocol)の高性能化を進めている。HpFP プロトコルはこれまでに報告した通り標準的な fair モード以外に super aggressive モード、modest モードを有しており、目的に応じて使い分ける。

図1は(a)室内実験環境(10Gbps 環境)と(b)fair モードおよび(c)super aggressive モードの実験結果である。fair モードは TCP cubic 準拠モードと通常の fair モードを開発しているが、前者の結果を図に示した。TCP×7/HpFP×1 から TCP×1/HpFP×7 までの7パターンを両モードでサーベイし、図1(d)の fairness インデックスにより公平性の評価を行った。その結果、cubic 準拠モードは TCP のみの場合と同レベル(最低でも 0.8)の公平性を達成したが、通常 fair モードは最低で 0.4 程度と改良の余地があることが分かった。一方、super aggressive モードは目標値を設定することでそのスループットを実現するモードである。図1(a)の遅延(RTT)100ms、パケットロス率 5%における 10Gbps 環境ではほぼ 10Gbps を達成した。また同環境で8本のセッションがほぼ 1.25Gbps となり、高いイントラ公平性も実現できた。

②広域分散クラウドの特性を活かしたデータ駆動型研究

A)自治体連携による地域スマート防災システム構築

NICT が開発した映像 IoT 技術による鳥の目・虫の目・魚の目カメラ(映像伝送システム)映像システムを長野県千曲市(千曲川周辺)、茨城県つくば市(森の里)、福岡県北九州市(皿倉山)、鹿児島県始良市(なぎさ公園あいら)、富山県下新川海岸(赤川、田中)、福島県三春町(ふぁーむわたなべ)に設置し、それぞれの映像システムに関して自治体と協力の下で地域スマート防災システムの実用性検証を進めている。

図2は福島県三春町のふぁーむわたなべの外観、ビニールハウス内および映像 IoT システムからのコンテンツを表示するための My キノコに関する

る Web サイトである。

図3は 2024 年度に富山県下新川海岸に後述の国土交通省受託案件で設置した映像 IoT システムと静電容量計のハイブリッドシステムである。同海岸の赤川および田中に標準機能を有する映像 IoT システムを各 1 台および静電容量計システムを各 1 セット設置した。さらに田中には、後述の内閣府 SIP スマート防災プロジェクトで開発した電力自立型映像 IoT システム(図4)を追加で設置した。本システムの有効性(外部電力がない場所でも太陽光発電だけで映像取得できる)を愛媛県松山市興居島において連続稼働することで検証した。

JHPCN 広域分散クラウド上のWebサーバには、これらのデータをリアルタイムおよびアーカイブ表示するWebアプリケーションを整備した。とくに映像 IoT システムと静電容量計のデータを比較することで、ハイブリッドシステムが両者の欠点を補足しあうことが分かった。

B) 科学館やイベント等への映像および気象データ提供システム構築

ひまわりデータ提供は、これまでに実装した国内外で利用できるスマートフォンアプリを最新 OS 対応にアップデートし、ストアで公開を再開した。Web アプリやスマホアプリへのひまわり画像データの継続的提供を JHPCN 広域分散クラウドから行う BCP 型運用のために、負荷分散装置を利用した冗長化を実現した。なお、負荷分散装置は将来的な継続運用を視野に入れ、民間クラウド(さくらインターネット VPS)に移設し、NPO 太陽放射コンソーシアムへの運用に移行中である(2024 年度内に移行完了予定)。

C) 歴史的境界 WebGIS を活用した小中学生への地域教育システム構築と科学館での実証実験

NICT および京都大学学術情報メディアセンターでは、過去約 100 年間の自治体境界の変遷を TopoJSON 形式でデータベース化し、現在は存在しない特定の自治体名を Web 上で検索し、現在の自治体ではどこに位置するかを可視化する Web アプリを開発してきた。

2024 年度は、城県・仙台市科学館および福岡県・北九州市環境ミュージアムとの議論を進めた。仙台科学館は 2025 年 4 月にリニューアルオープンを行うため、新しい展示内容に即したデータベースおよびコンテンツ(アプリケーション)につ

(a) 仙台市科学館



(b) 北九州市環境ミュージアム



図5 仙台市科学館および北九州市環境ミュージアム展示システム

いて具体的に検討した。同科学館は仙台市・宮城県を中心に東北地方全域からの来館者があり、地域の中心的位置づけとなる科学館である。とくに仙台市内のほぼすべての小中学校の理科郊外授業を行っており、若年世代への科学教育が重要な視点となることが分かった。年間で約 10 回の会合を持った結果、科学館からはリニューアルに際して「防災コーナー」の一角を専用スペースとして提供を受けることになった。専用スペースには 3 台のディスプレイを壁に埋め込む形で設置し、そのうちの 1 台を「研究開発コーナー」として本案件等の技術開発・研究開発中のコンテンツ・データベース・アプリケーションを展示できることとなった。

また、北九州市環境ミュージアムにおいて 2024 年度に開発した STARS 同期 (①研究成果において報告) の OSS を用いた Web アプリケーションである「バーチャル展望台」を用いたコンテンツを公開する準備を進めた。バーチャル展望台は北九州市皿倉山に設置した映像 IoT システムによるリアルタイムストリーミング映像と北九州市の環境教育関係施設を含む WebGIS アプリケーションを同期表示するツールである。同期の際の遅延時間に関するストレス試験を行った結果、同ミュージアムにおいて展示するに十分な低遅延性を有することが分かった。

6. 進捗状況の自己評価と今後の展望

本申請で利用する JHPCN 広域分散クラウドは、研究業績、公開ライブラリ、特許、著書の成果が多数挙がっている。また、同クラウドをベースとして、国交省受託案件(映像 IoT 技術を活用した護岸うちあげ高モニタリング)、ROIS-DS(大学共同利用機関法人情報・システム研究機構データサイエンス共同利用基盤施設)公募型共同研究、内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第 3 期スマート防災、JAXA(宇宙航空研究開発機構)宇宙航空科学技術推進委託費、富士山測候所利用、東北大学共同研究(マイシイタケプロジェクト、有害鳥獣モニタリング、火山監視)、名古屋大学 ISEE(宇宙地球環境研究所)共同利用などの共同研究申請も進んでおり、これらのうちの数件は採択済みである。テーマ①

(d) 河森シグニチャパビリオン外観



(e) 5m クラス大スクリーン表示 (ひまわりリアルタイム映像)



図 6 大阪・関西万博での河森シグニチャパビリオン展示システム (JHPCN 広域分散クラウドを用いた冗長化システムを利用)

のクラウド性能検証対象としてだけでなく、テーマ②～④の研究開発プラットフォームとしても重要であるため、今後も継続的に申請を行っていききたい。

展示については、さらなる発展として大阪・関西万博の河森シグニチャパビリオンにおいてひまわりリアルタイム映像を展示するバックアップシステムを JHPCN 広域分散クラウドが担っている(図6)。本提案は残念ながら 2025 年度案件として採択されなかったが、独自に京都大システムを利用することで 2024 年度までに構築したシステムの維持・運用を行っている。

7. ※7. 研究業績はウェブ入力です

作業分担（ハッチ箇所は担当せず）

村田 健史	情報通信研究機構 総合テストベッド研究開発推進センター	全体の統括
深沢 圭一郎	京都大学 学術情報メディアセンター	各大学間連携・シミュレーション実行とデータ伝送
棟朝 雅晴	北海道大学 情報基盤センター	北海道大学通信環境整備・統括（不採択）
杉木 章義	北海道大学 情報基盤センター	高速データ伝送実験（不採択）
飯田 勝吉	北海道大学 情報基盤センター	高速データ伝送実験（不採択）
菅沼 拓夫	東北大学 サイバーサイエンスセンター	東北大学通信環境整備・統括（不採択）
江川 隆輔	東北大学 サイバーサイエンスセンター	東北大学取りまとめ（不採択）
阿部 亨	東北大学 サイバーサイエンスセンター	映像 IoT 画像処理（不採択）
田浦 健次郎	東京大学 情報理工学系研究科	東京大学通信環境整備・統括（不採択）
埴 敏博	東京大学 情報基盤センター	高速データ伝送実験（不採択）
木村 智樹	東京理科大学・理学部第一部物理学科	ビッグデータ利活用（実験）
片桐 孝洋	名古屋大学 情報基盤センター	名古屋大学環境整備・総括
嶋田 創	名古屋大学 情報基盤センター	ネットワーク解析
岡部 寿男	京都大学 学術情報メディアセンター	京都大学通信整備
岩下 武史	京都大学 学術情報メディアセンター	京都大学通信整備
伊達 進	大阪大学 サイバーメディアセンター	大阪大学通信環境整備・統括（不採択）
小野 謙二	九州大学 情報基盤研究開発センター	TDW 可視化
岡村 耕二	九州大学 情報基盤研究開発センター	九州大学通信環境整備・統括
南里 豪志	九州大学 情報基盤研究開発センター	九州大学取りまとめ
笠原 義晃	九州大学 情報基盤研究開発センター	九州大学通信環境整備・統括
大島 聡史	九州大学 情報基盤研究開発センター	九州大学・ネットワーク担当
長崎 正朗	九州大学・生体防御医学研究所	ゲノムデータ（ビッグデータ）の同期システム実験
浅倉 章宏	九州大学・生体防御医学研究所	ゲノムデータ（ビッグデータ）の同期システム実験
橋本 洋希	九州大学・生体防御医学研究所	ゲノムデータ（ビッグデータ）の同期システム実験
渡部 重十	北海道情報大学・経営情報学部 システム情報学科	気象衛星データ利活用
柿並 義宏	北海道情報大学・情報メディア学部 情報メディア学科	インフラサウンド実験・データ処理
建部 修見	筑波大学・計算科学研究センター	大規模ストレージシステム実験
日下 博幸	筑波大学・計算科学研究センター	富士山笠雲解析（論文投稿終了）
樋口 篤志	千葉大学・環境リモートセンシング研究センター	気象データ伝送実験
鈴木 彦文	国立情報学研究所・学術基盤推進部 学術基盤課 学術認証推進室	信州大学通信整備
小林 一樹	信州大学・学術研究員工学系	気象衛星データ利活用
原田 浩	理化学研究所・計算科学研究センター 運用技術部門	高速データ伝送実験（実験せず）
木村 映善	愛媛大学・大学院医学系研究科	ネットワーク解析支援
河野 英昭	九州工業大学・大学院工学研究院電気電子工学研究系	映像 IoT 技術開発（高解像度画像生成）
村上 雄樹	情報通信研究機構・総合テストベッド研究開発推進センター	AI 画像処理
長妻 努	情報通信研究機構・量子 ICT 協創センター	気象 WebGIS による耐災害応用研究

東海林 淳二	情報通信研究機構・レジリエント ICT 研究センター企画連携推進室	映像 IoT 技術開発（システム開発・運用）
菊田 和孝	情報通信研究機構・レジリエント ICT 研究センターサステナブル ICT システム研究室	映像 IoT 技術開発（画像処理技術開発）
西村 竜一	情報通信研究機構・レジリエント ICT 研究センターサステナブル ICT システム研究室	インフラサウンド実験・データ処理