

# Distcloud の拡張、継続性の向上、およびその応用研究

柏崎 礼生 (近畿大学)

## 概要

日本をはじめ、環太平洋地域の島嶼国においては特に、自然災害による情報インフラストラクチャの破壊が他地域と比較して高い頻度で発生している。センサーやモバイルデバイスから収集された時系列データを用いた防災・減災のための取り組みがこれらの地域では重要視されており、エッジコンピューティング環境の利活用が期待されている。本課題では本研究提案者らが十年来運用している広域分散プラットフォーム「Distcloud」を対象とし、「Distcloud の拡張」「Distcloud の継続性と運用品質の向上」「Distcloud の応用」の3つの目標を設定することでエッジコンピューティング環境の利活用を実証する。結果として2022年度はDistcloudの拠点数を拡大することに成功し、運用品質の向上に資する評価実験を実施し、SRv6のネットワークデバッグ手法の開発、Local 5Gコミュニティの醸成という応用を成果として展開することができた。

## 1 共同研究に関する情報

### 1.1 共同研究を実施した拠点名

- 北海道大学 情報基盤センター
- 大阪大学 サイバーメディアセンター
- mdx

### 1.2 課題分野

- 大規模計算科学課題分野

### 1.3 共同研究分野 (HPCI 資源利用課題のみ)

- 超大規模情報システム関連研究分野

### 1.4 参加研究者の役割分担

- 柏崎礼生 (近畿大学) 研究統括・インセンティブ導入
- 高瀬英希 (東京大学) エッジコンピューティング
- 市川昊平 (NAIST) 分散機械学習
- 大平健司 (阪大) SRv6 実証実験

## 2 研究の目的と意義

日本をはじめ、環太平洋地域の島嶼国においては特に、自然災害による情報インフラストラクチャの破壊が他地域と比較して高い頻度で発生している。センサーやモバイルデバイスから収集された時系列データを用いた防災・減災のための取り組みがこれらの地域では重要視されており、エッジコンピューティング環境の利活用が期待されている。

本提案代表者らはこれまで国内10拠点(東北大, 東工大, NII, NAIST, 京大, 阪大, 広大, 高知工科大, 九産大, 琉球大)の研究者らが自主的に提供した計算機とネットワークの両資源からなる広域分散プラットフォーム「Distcloud」を運用してきた。Distcloudを構成する各拠点の計算機資源は拠点内ネットワークにも接続されているため、拠点内のセンサーやモバイルデバイスと低遅延・広帯域のネットワークで通

信することができる理想的なエッジコンピューティング環境である。また、SINET L2VPN でこれら拠点が相互接続されることにより計算機同士が各拠点の通信制御ポリシーに制約されない広帯域のトラフィックを要求することができる。本課題では Distcloud をエッジコンピューティング環境として利活用するべく、以下の三点からなる目標を設定した。

- **Distcloud の拡張**

広域に分散した研究組織が計算機資源を提供し合うことにより構築される広域分散プラットフォーム「Distcloud」に、北海道大学のインタークラウドシステムおよび mdx を接続することにより、より多くの拠点から Distcloud を利用可能とする。

- **Distcloud の継続性と運用品質の向上**

Distcloud において提供される資源と運用品質とに基づく経済的動機付けを実験的に導入し、この動機付けが運用品質の向上に及ぼす影響の効果測定を行う。

- **Distcloud の応用**

多拠点からなる Distcloud を利活用する応用研究として、12 拠点をフルメッシュネットワークで接続し、SRv6 を用いたトラフィックエンジニアリングによる Distcloud 拠点間トラフィックの効率化を図り、障害回避やスループットの向上など、その有効性を検証する。

### 3 当拠点公募型研究として実施した意義

地理的に広域に分散したサービスは大規模災害時の災害回復や事業継続計画において重要である。特に COVID-19 により強制的に普及したテレワーク環境において、広域で発生したリッチなトラフィック要求が発生するよ

うになった。このトラフィック要求を、各拠点に設置されたエッジゲートウェイを経由し、安定した広帯域のバックボーンに迂回させ、トラフィック最適化を実現することでネットワークアプリケーションの品質を向上させることが求められている。Distcloud はまさにこのようなエッジゲートウェイを実現する、地理的に広域に分散した計算機資源を SINET6 L2VPN を用いて相互接続したプラットフォームである。JHPCN 公募型共同研究で提供される計算機資源は SINET6 L2VPN ネットワークへの接続性があるため、相互接続することにより、Distcloud の規模を拡大し易い。SINET の活用事例としての訴求力も高い。

一方、このような自律的な、コミュニティ形の広域分散プラットフォームは継続させるための動機付けに乏しい。経済的動機付けの導入により、提供される計算機資源・ネットワーク資源の運用品質向上に寄与し得るかどうか、それにより Distcloud の需要が喚起されるかどうかを検証することは、Distcloud と同様の自律型・コミュニティ型のプラットフォームの継続性に寄与することが期待できる。また国内 12 拠点という数の多さを利用した応用研究は、実際に Distcloud 上で利用される分散ストレージや分散 KVS のトラフィックを対象とした実証実験を行うことができる点においても、Distcloud を用いて実施する意義がある。これまで Distcloud の取り組みは Asia Pacific Advanced Network (APAN) の Cloud WG でも積極的に成果発表をしており、海外の学術情報ネットワークと APAN を介した相互接続を行うことも視野に入れている。この観点からも、JHPCN の課題として実施する意義がある。

## 4 前年度までに得られた研究成果の概要

本課題は継続課題ではない。

## 5 今年度の研究成果の詳細

### 5.1 Distcloud の拡張

Distcloud はこの 10 年間で最大 20 拠点まで参加拠点数を増大させたが、定常的に接続されている拠点数は 2023 年 3 月現在の拠点数である 10(東北大, 東工大, NII, NAIST, 京大, 阪大, 広大, 高知工科大, 九産大, 琉球大) に留まっている (図 1)。参加拠点数が増えない原因として、

- 参加する動機付けの欠如 (アプリケーションの訴求力不足)
- 参加するハードルの高さ (初期投資の大きさ、SINET L2VPN への接続)

が挙げられると整理した。2022 年度は (一部 2023 年度 5 月までの成果も含む) Distcloud に関連する発表を行い [4-6, 11, 14-16]、Distcloud へ具体的に参加するにあたっての手続きをその予稿や発表において一定のウェイトを置いて解説することとした。また口頭発表としては国内外で発表を行っており、前述の APAN や産学協力研究コンソーシアム インターネット技術研究会 (ITRC) を中心とした発表を行っている [4-5, 14-16]。これらの活動の成果として、2022 年度中に近畿大学、群馬大学、鳥取大学、九州工業大学から参加希望のオファーを受けることができ、近畿大学においては 2022 年度中の新規参加を完了させることができた。2023 年度は残りの参加組織の接続へ向けて具体的に進捗させる予定である。

本課題では HPCI の計算機資源として北海道大学のインタークラウド (物理)) を 12 ノー

ド月利用することができた。この資源を Distcloud の L2VPN 環境と接続するにあたり、北海道大学のインタークラウド環境にある仮想ルータを用いて、Distcloud 側が提供する仮想ルータと接続し、この後者の仮想ルータの NIC を Distcloud と接続する、という構成を取る必要があることが分かった。これは前者の仮想ルータにおいて、後者の仮想ルータと接続するネットワークセグメントが固定とされている制約条件に起因する。後者の仮想ルータを当初国立情報学研究所の ABC クラウド環境に構築した。このような構成は mdx と既存の SINET L2VPN プロジェクトの接続でも同様の手続きを取る必要があると考えられる。

### 5.2 Distcloud の継続性と運用品質の向上

Distcloud の各拠点に設置された計算機資源を、エッジコンピューティング環境における Multiaccess Edge Computing (MEC) サーバと読み替えるとき、低遅延で通信可能な範囲に一定数のデバイスが接続されていることが期待される。このデバイスが計算処理を行うとき、その計算処理が要求する処理完了時間までにデバイスが所有する計算機資源を用いて処理を完了させることができる場合もあれば、そうでない場合もある。そうでない場合のとき、このデバイスは他の計算機資源、たとえばパブリッククラウドコンピューティング環境の資源や、前述の MEC に計算を委託する選択肢がある。

このようなデバイス上の計算処理を他の資源に委託して実行する資源透過型分散処理プラットフォームである Giocci の研究開発を進めた。計算処理の委託先を効率的に決定する資源配分手法を提案し、その評価を行った。評価に先立ち、Giocci を構成する機能のモデル化を行い、資源配分問題を定式化した。提案する手法は、平均待ちタスク数優先割り当て、通信遅延優先割り当て、タスク応答時間優先割り当て、およ

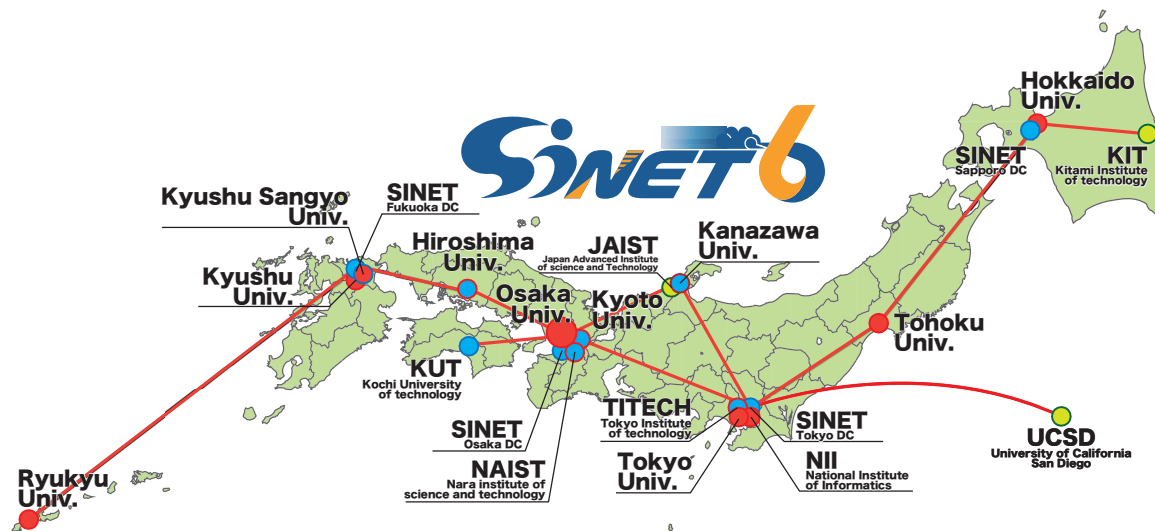


図1 Distcloudの模式図(2022年度版)

び計算資源利用コスト優先割り当ての4つである。これらを Giocci におけるタスク割付先決定機能として実装し、それぞれの目的に応じて適切な資源配分結果が得られることを定量的な比較評価を行うことで示した [1, 4-5, 7-8, 13]。

たとえば図2は Giocci の現実的な運用環境として想定される、MECサーバが15台、デバイスが15台、中継を行うリレーサーバが9台という環境での評価実験結果である。デバイスが発生させるタスク発生間隔時間、タスクの処理に要する浮動小数点演算数、そしてタスクの総数を予め定めた範囲内における一様分布で与える。このとき同様に15台のMECサーバの処理能力、およびクラウドサーバの演算能力を予め定めた範囲内における一様分布で与え、それぞれのサーバとの通信遅延時間も同様に与える。このとき各デバイスで一定時間内に発生したタスクの処理がMECサーバ、あるいはクラウドサーバに委託される時、割り当て手法の違いによる応答時間を比較したものである。

このように、Distcloudのようなエッジコンピューティング環境において、タスクの粒度が

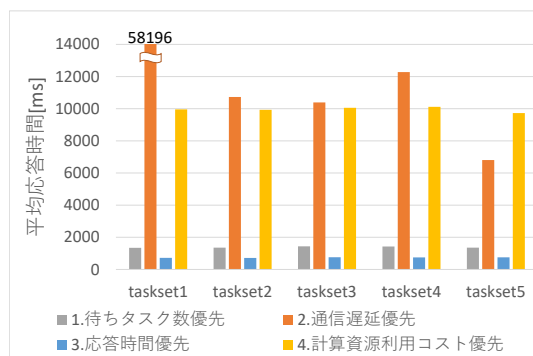


図2 タスクの委託が完了するまでの応答時間の評価比較

統計的に把握できる時、通信品質に代表される運用品質をどのように設定するとき、デバイスの処理が効率化されるかをシミュレーションを用いて見積もることができる。

### 5.3 Distcloudの応用

#### 5.3.1 SRv6 追跡システムの開発

Distcloudは、SINET L2VPNで相互接続された複数組織間で、各組織の対外対内ネットワーク制御ポリシーに依存しない自由な通信の検証をすることができる点に特徴がある。この



- 松原雅俊 (QTnet): ローカル 5G への通信事業者としての挑戦
- 新井イスマイル (奈良先端科学技術大学院大): キャンパス通信インフラとしてのローカル 5G の使い道
- 大平健司 (大阪大): NICT B5G モバイルテストベッドの大阪大学における準備状況
- 廣瀬丈矩 (Local24): Local5G 立ち上げに関わる裏話
- 後藤英昭 (東北大): 5G 時代におけるセルラーと無線 LAN の連携・コンバージェンス
- 菊池豊 (高知工科大): ろ〜かる 5G をできるだけ低コストで導入する
- 中尾彰宏 (東京大学): 地域創生を駆動するローカル 5G の普及推進
- 菊池豊 (高知工科大学): 大学研究室レベルで Local 5G を導入するための手法の考察
- 苫東厚真発電所でのローカル 5G PoC 実施について: 池野桂司 (北海道総合通信網株式会社)
- キャンパスネットワークとシームレスにつながる Local 5G 実験環境 (をこれから構築する話): 近堂徹 (広島大学)

これらの知見は Local 5G を導入するにあたっての具体的な基地局やバックエンドシステムを提供するベンダーの特徴や相互接続性、免許取得を含めて導入に要する時間や、出力制御に関する現実的な問題点などが共有された。複数の拠点間で分散機械学習を行う取り組みは既に行われているが、これに Local 5G 環境を導入し、実際的な実証実験を行うことができる組織を集めて情報共有をすることができた意義は大きいものである [4-5, 7, 9]。

## 6 今年度の進捗状況と今後の展望

2022 年度は拠点数の拡大、APAN での 2 回に渡る発表、Distcloud を用いた研究開発とその成果展開を実施することができた。特に SRv6 を用いた研究開発においては、IEEE のフラグシップ国際会議である COMPSAC において Full paper(採択率 22%)で採択された。また、このような研究業績のみならず、ワークショップを開催して Local 5G の知見を得るもの同士を集めたり、また 2023 年 5 月に開催した ITRC meet53 では、BBSakura Networks で SRv6-MUP<sup>\*1</sup>を推進している開発部隊、プログラミング言語 P4 のユーザコミュニティ、また P4 をネットワークスイッチに実装している ARISTA Networks と交流している。

一方で順調でなかったこととして、HPCI 計算機資源である北海道大学のインタークラウドおよびデータプラットフォーム mdx と、Distcloud とを接続する作業は最終的に完了させることができなかった。これは課題代表者の転職に伴う研究環境の混沌化に伴い、この作業に従事するための十分な時間を確保できなかったことに起因する。これらの計算機資源やプラットフォームと Distcloud を連携させる手続きは、今後の応用の展開において重要な知見を得られると考えていただけに残念と言わざるを得ない。一方、連携させるために必要な手続きに関する知見は得られたので、来年度以降、またの機会に恵まれた際には迅速にこの手続きを進めていきたいと考えている。

今年度の成果は国際学会予稿に留まっているが、来年度以降は論文誌への掲載を目指しつつ、即物的には Distcloud の参加拠点の増大さ

<sup>\*1</sup> 5G ネットワークのモバイルユーザプレーンを SRv6 で実現する取り組み。IETF Draft となっている。

せることによるコミュニティの拡大に重きをおいて活動を推進していく予定である。

## 7 研究業績一覧（発表予定も含む）

### 学術論文（査読あり）

#### 国際会議プロシーディングス（査読あり）

1. Daisuke Sasaki, Hiroki Kashiwazaki, Mitsuhiro Osaki, Kazuma Nishiuchi, Ikuo Nakagawa, Shunsuke Kikuchi, Yutaka Kikuchi, Shintaro Hosoai, Hideki Takase: Resource Allocation Methods among Server Clusters in a Resource Permeating Distributed Computing Platform for 5G Networks, 2023 IEEE 47th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC) (2023) [to appear]
2. Shuichiro Shimatani, Hiroki Kashiwazaki, Nobukazu Iguchi: SRv6 Network Debugging Support System Assigning Identifiers to SRH, 2023 IEEE 47th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC) (2023) [to appear]
3. K. Thonglek, K. Takahashi, K. Ichikawa, C. Nakasan, P. Leelaprute and H. Iida: Sparse Communication for Federated Learning, 2022 IEEE 6th International Conference on Fog and Edge Computing (ICFEC), Messina, Italy, 2022, pp. 1-8, doi: 10.1109/ICFEC54809.2022.00008.

#### 国際会議発表（査読なし）

4. Hiroki Kashiwazaki: Resource-transparent wide-area distributed computing environment with a functional paradigm in the Beyond 5G

era., APAN55: The 55th Asia-Pacific Advanced Network Meeting, Cloud working group (2023).

5. Hiroki Kashiwazaki: Distcloud update 2022Q1 Q2 And Beyond 5G (B5G) update, APAN54: The 54th Asia-Pacific Advanced Network Meeting, Cloud working group (2022).

#### 国内会議発表（査読あり）

6. 嶋谷修一郎, 柏崎礼生, 井口信和: SRH への識別子を付与することによる SRv6 パケットの経路可視化システム, インターネットと運用技術シンポジウム論文集, Vol. 2022, pp.48-55 (2022).

#### 国内会議発表（査読なし）

7. Hiroki Kashiwazaki: Let's deploy distributed services to a wide-area distributed environment and then benchmark everyday, 研究報告インターネットと運用技術 (IOT), Vol. 2023-IOT-61, No. 19, pp. 1-6 (2023).
8. 大崎充博, 西内一馬, 中川郁夫, 高瀬英希, 細合晋太郎, 菊地俊介, 菊池豊: 5G ネットワークの MEC とパブリッククラウド上の計算資源を透過的に扱う分散計算プラットフォームの提案, 研究報告インターネットと運用技術 (IOT), Vol. 2023-IOT-61, No. 20, pp. 1-7 (2023).
9. 佐々木大祐, 柏崎礼生, 大崎充博, 西内一馬, 中川郁夫, 菊地俊介, 菊池豊, 細合晋太郎, 高瀬英希: 5G 通信網向け資源透過型プラットフォームにおける MEC サーバ間の資源配分手法, 研究報告インターネットと運用技術 (IOT), Vol. 2023-IOT-60, No. 3, pp. 1-8 (2023).
10. 大平健司: NICT 総合テストベッド大阪大

学拠点における B5G モバイル環境の基礎的機能性能評価, 信学技報, Vol. 122, No. 434, IA2022-77, pp. 1-6 (2023)

11. 山崎衛, 大平健司: SRv6 により利用可能となる複数経路の利用容易化に関する一検討, 信学技報, vol. 122, no. 306, IA2022-48, pp. 17-22, (2022).
12. Hiroki Kashiwazaki: Throughput Evaluation of a Mobile Large-Scale Mesh Network Using a batman-adv with ns-3, 研究報告インターネットと運用技術 (IOT), Vol. 2022-IOT-59, No. 8, pp. 1-4 (2022).
13. Kashiwazaki Hiroki, Mizuta Masahiro, Sato Dai: Resilience Evaluation by SLA of Line Connectivity Using Discrete Structure Processing System, 研究報告インターネットと運用技術 (IOT), Vol.2022-IOT-56, No.36, pp.1-6 (2022)
14. Hiroki Kashiwazaki, Yutaka Kikuchi, Ikuo Nakagawa, Kazuma Nishiuchi, Mitsuhiko Osaki, Shunsuke Kikuchi, Hideki Takase: Design and Implementation of Multi Agent Simulator for Resource Transparent Widely Distributed Computing Environment, 研究報告インターネットと運用技術 (IOT), Vol.2022-IOT-56, No.50, pp.1-5 (2022)
15. 柏崎礼生: RIXX のご紹介, 産学協力研究コンソーシアム インターネット技術研究会第 53 回研究会 (2023 年 5 月)
16. 柏崎礼生: B5G with Distcloud, RIXX-PIoT workshop 2023 (2023 年 2 月)
17. 柏崎礼生: RIXX のご案内, 産学協力研究コンソーシアム インターネット技術研究会第 52 回研究会 (2022 年 11 月)

#### 公開したライブラリ等

- ITRC-RICC  
<https://github.com/ITRC-RICC/>
- b5g.ex  
<https://github.com/b5g-ex/>

#### その他 (特許, プレス発表, 著書等)

- さくらインターネット、高知工科大学、シティネット、近畿大学、東京大学、他と共同で Beyond 5G に関する研究を開始 ~高知県に設置した Local5G とさくらのクラウドを用いて広域分散コンピューティングの実証実験を開始~  
<https://newscast.jp/news/8477519>