

課題番号 jh170042-ISJ

## 研究課題名

耐災害性・耐障害性の自己検証機能を具備した広域分散プラットフォームの国際的展開  
と HPCI-JHPCN システム資源との柔軟な連携

柏崎礼生（大阪大学）

概要 広域分散ストレージ技術に代表される広域分散技術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。また、災害時のみならず国際的な研究において透過的かつ効率的にデータを共有することでより円滑な研究進捗が期待することができる。そこで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を拡大するとともに、運用にかかる人的負荷を軽減する仕組みとスモールスタートでこのプラットフォームに参画できる仕組みを作った。このプラットフォームを利用した様々なアプリケーション（例：広域分散ストレージ）を展開し、その評価と実証を推進した。上記プラットフォーム上で展開されるアプリケーションに対して Software Defined Network (SDN) を用いた災害訓練を行い、耐災害性・耐障害性の検証を行い、レジリエンスの定性的・定量的な評価手法の改善を行った。

### 1. 共同研究に関する情報

#### (1) 共同研究を実施した拠点名

北海道大学、東北大学、京都大学、大阪大学、九州大学

#### (2) 共同研究分野

##### □ 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

- 柏崎礼生（大阪大学・サイバーメディアセンター）：研究総括
- 渡邊英伸（広島大学・情報メディア教育研究センター）：クラウドセキュリティ
- 棟朝雅晴（北海道大学・情報基盤センター）：分散システム技術
- 杉木章義（北海道大学・情報基盤センター）：インターネットクラウド技術
- 菅沼拓夫（東北大学・サイバーサイエンスセンター）：サイバーリアルコンピューティング
- 中村隆喜（東北大学・電気通信研究所）：高可用性ストレージ技術
- 岡部寿男（京都大学・学術情報メディアセンター）：クラウドプライバシー技術
- 小谷大祐（京都大学・学術情報メディアセンター）：スケーラブル SDN 技術

- 岡村耕二（九州大学・情報基盤研究開発センター）：Content Centric Network
- 中川郁夫（大阪大学・サイバーメディアセンター）：分散オブジェクト技術
- 市川晃平（奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科）：仮想ネットワーク技術
- 長田智和（琉球大学・工学部）：インターネット運用技術
- 近堂徹（広島大学・情報メディア教育研究センター）：インターネットクラウドマイグレーション
- 横山重俊（群馬大学・総合情報メディアセンター）：アカデミッククラウド
- 北口善明（東京工業大学・学術国際情報センター）：ネットワーク評価技術
- 菊池豊（高知工科大学・地域連携機構）：超広域分散環境

### 2. 研究の目的と意義

本研究の目的は以下の三点からなる。  
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を拡大するとともに、運用にかかる人的負荷を軽減する仕組みとスモールスタートでこのプラットフォームに参画できる仕組みを作る。

このプラットフォームを利用した様々なアプリケーション（例：広域分散ストレージ）を展開し、その評価と実証を推進する。

上記プラットフォーム上で展開されるアプリケーションに対して Software Defined Network (SDN) を用いた災害訓練を行い、耐災害性・耐障害性の検証を行い、レジリエンスの定性的・定量的な評価手法の改善を行う。

広域分散ストレージ技術に代表される広域分散技術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。また、災害時のみならず国際的な研究において透過的かつ効率的にデータを共有することでより円滑な研究進捗が期待することができる。本研究提案の代表者ほかは 2011 年から広域分散プラットフォーム “distcloud” の構築を開始し、2016 年度末までに国内 12 拠点まで展開させた。特に 2016 年度においては SINET5 L2VPN/L3VPN を用い、このプラットフォームで動作させる研究プロジェクトごとの VLAN 設計コストを低減することに成功し、広域分散ストレージの評価・実証の実験を行っている。2017 年度はストレージのみならず広域分散化することにより有用性の高まるアプリケーション（適応的なインタークラウドマネジメントサービスなど）の実証を進めるとともに、SINET5 や JGN への接続性がない海外拠点でも低コストで参画可能な手法を提案し、全世界的な展開を目指す。またこのプラットフォームは SDN を用いて耐障害性・耐災害性を検証する機能を具備しており、パフォーマンスだけでなく災害発生時のパフォーマンス劣化やサービス不能状態の規模を事前に把握することが可能となり、正常時だけでなく異常時も含めた統合的なアプリケーションのサービス品質を定量的に評価することが可能である点も注目されている。

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。センサー端末やモバイル端末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いるが、収集する基盤が遠方にあるクラウドコンピューティング環境上にある場合、その途中にあるインターネット回線は大規模自然災害による影響を受けやすい。そのため広域分散システムは単に構築し正常系における実証実験と評価実験を行うだけでなく、その耐災害性・耐障害性を検証して実際の大規模災害時に情報収集と解析の品質にどのような影響が及ぼされるか、事前に十分な災害訓練を行うことで把握しておくことが求められる。

本申請課題の参加者はこれまで国内外 12 の研究組織（北海道大学、東北大学、NII、金沢大学、奈良先端科学技術大学院大学、京都大学、大阪大学、広島大学、高知工科大学、九州大学、琉球大学、カリフォルニア大学サンディエゴ校）からなる広域分散プラットフォーム「distcloud」を構築し、太平洋横断ライブマイグレーションをはじめとして様々な実証実験を行ってきた。また SDN を用いて広域分散システムの耐災害性・耐障害性を検証する「DESTCloud」を設計・開発し、災害シナリオを用いて広域分散システムを構成する実ネットワークに対して意図的な障害を発生させることで耐災害性を検証するプラットフォームを構築した。本計画では distcloud の拠点数をさらに拡大させ、その拠点間で DESTCloud を動作させることで、広域分散仮想化基盤と、その耐障害性・耐災害性の検証を同時に実現できるプラットフォームを構築し、その実践的な運用の知見を得る。また、既に参加しているカリフォルニア大学サンディエゴ校のほか、SINET5 や JGN の海外 AP であるニューヨーク、ロサンゼルス、シンガポール拠点の構築を進捗させ、国際的な学術研究環境を構築する。また、APAN (Asia Pacific Advanced Network) の取り組みと連携することにより、より広域な展開を目指すとともに、より安価な計

算機資源の提供によりこのプラットフォームに参画できる仕組みを考案し、実装する。このプラットフォーム上で透過的かつ効率的にデータを共有するための透過的分散オブジェクト技術や、広域分散アプリケーションの実証実験を行い、かつ DESTCloud を用いてこれらの破壊的な検証を行うことで、より高い水準の耐災害性・耐障害性を実現できる体制を確立する。

### 3. 当拠点公募型共同研究として実施した意義

学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点にはスーパーコンピュータと HPCI システムが具備されており、ビッグデータと称される高い流速・多様性・大容量を有するデータの発生源となっている。特に今年度は京都大学に設置された Xeon Phi サーバを用いた機械学習サービスの実証実験を行う予定であるため、データを処理、保持、および共有する需要とマッチングしやすい。また現在稼働している 12 の拠点については SINET5 の L2VPN/L3VPN サービスを利用し、ユニキャストによる一対多の広帯域トラフィック要求を発生させているため、十分な帯域で拠点間が接続されていなければ高い精度で問題解決を行う事が難しい。学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点は超広帯域ネットワークにより接続されているため、このような研究開発と検証のための環境として極めて有益である。

複数のクラウドコンピューティング環境を横断的に利用するインタークラウドは新しい研究テーマとして位置づけられている。複数の独立なクラウド間でのデータ共有は難しいとされるが、本研究が提唱するアーキテクチャでは、複数の独立なクラウドをまたいで計算機リソースを透過的に共有・参照するアーキテクチャを実現することが期待できる。本研究の成果によって、研究データの遠隔保存や共有が実現できるだけでなく、複数の独立に運用されるクラウド間での透過的なファイル共有が可能になり、例えば、産業界で生成・蓄積されるデータを、学術クラウド上で分析・解析することや、学術クラウド上のデータを商用の解

析機能を用いて処理するなど、国際・業際での透過的なデータ共有を容易にすることが考えられる。

### 4. 前年度までに得られた研究成果の概要

本研究提案者らは 2011 年の東北地方太平洋沖地震以降、広域分散ストレージを用いた広域分散仮想化環境 distcloud に関する研究を行っており、2016 年度の JHPCN 公募型共同研究課題では SINET5 L2VPN/L3VPN を用いた国内 11 拠点からなる広域分散プラットフォームの稼働を実現することができた。各拠点が提供する計算機資源は仮想化され、仮想計算機を高速にかつ低い運用負荷で広域にデプロイすることができるように再設計された。また仮想計算機を広域で連携し、複数の異なるプロジェクトによる検証評価を同時に実現し、なおかつ低い運用負荷を実現するために SINET5 L2VPN の上に IEEE802.1q (QinQ) によるメッシュネットワークを構築した。このプラットフォームを用いた広域分散ストレージの耐災害性・耐障害性の検証評価実験を行っている。

### 5. 今年度の研究成果の詳細

広域分散アプリケーションの実証実験を行うため、日本の国立大学を中心として国内 9 拠点（国立情報学研究所(NII)、金沢大、奈良先端科学技術大学院大学 (NAIST)、京都大学、大阪大学、広島大学、高知工科大学、九州大学、琉球大学)の計算機資源を、学術ネットワーク SINET5 や研究開発テストベッドネットワーク JGN を用いて接続した広域分散データ処理基盤「Distcloud」を構築していたが、2017 年度末までに国内外 18 拠点（北海道大学、東北大学、NII、金沢大学、NAIST、京都大学、大阪大学、広島大学、高知工科大学、九州大学、九州産業大学、琉球大学、SINET5 北海道 DC、SINET5 東京 DC、SINET5 大阪 DC、SINET5 福岡 DC、Amazon Web Service 東京リージョン、Microsoft Azure 東京リージョン、UCSD）まで展開させた。

2017 年度においては SINET5 L2VPN/L3VPN と NFV を用い、このプラットフォームで動作させる研究プロジェクトごとの VLAN 設計コストを低減する

とともに主要なパブリッククラウドサービスとの相互接続を実現し、広域分散ストレージの評価・実証の実験を行った。特にインターネット経由での VPN により Distcloud に接続する設計を行ったほか、これにより参加組織が増大した場合におけるネットワーク資源の枯渇に対応するべく、VLAN 延伸技術である VXLAN、NVGRE の利用を前提とし、バックボーンネットワークの IPv6 化、および経路制御プロトコルとして IGP でなく EGP (BGP-4) を利用する設計を行い、実装に着手している。

各拠点で動作させるルータとしてこれまではオープンソースで開発が行われている Vynos を利用していたが、SINET5 の NFV サービストライアルに参画し、SINET5 北海道 DC、東京 DC、大阪 DC、および福岡 DC においては Juniper 社の vMX および vSRX を利用し、異なる NFV 実装の相互接続実験を行った。また Arista Networks 社と共同研究体制を確立し、同社が提供する vEOS router の提供を受け、Distcloud にデプロイすることで、同様に相互接続実験が行えるような環境を構築している。Cloudian 社は昨年度までと同様、オブジェクトストレージ製品である Cloudian Hyperstore を提供していただき、この検証実験を行った。NII の「クラウド利活用実証実験」に参画することにより Amazon Web Service (AWS) と Microsoft Azure との接続を行った。AWS は Direct Connect、Microsoft Azure は Express Route と呼ばれる仮想ネットワークインスタンスを用いて BGP-4 を用いて接続を行った。

これらの研究成果は Asia Pacific Advanced Network の Cloud Working Group で発表が行われ、環太平洋地域からの今後の参加が期待される。

## 6. 今年度の進捗状況と今後の展望

今年度は拠点数を昨年比 200% (9→18) とすることができた。また今年度の 3 つの目標はすべて達成できたほか、Arista Networks 社との共同研究体制や沖縄オープンラボラトリーとの合同ワークショップの開催など、当初の予定以上の成果を上げることができている。

## 7. 研究成果リスト

### (1) 学術論文

- Pongsakorn U-chupala, Yasuhiro Watashiba, Kohei Ichikawa, Susumu Date, Hajimu Iida: Application-aware network: network route management using SDN based on application characteristics, CSI Transactions on ICT, Vol. 5, No. 4, pp 375-385 (June 2017)
- Che Huang, Chawanat Nakasan, Kohei Ichikawa, Yasuhiro Watashiba, Hajimu Iida: A Multipath OpenFlow Controller for Multiple TCP Stream Applications, Journal of Information Processing, Vol. 25, pp. 924-933 (October 2017)

### (2) 国際会議プロシーディングス

- Pongsakorn U-Chupala, Yasuhiro Watashiba, Kohei Ichikawa, Susumu Date, Hajimu Iida: Container Rebalancing: Towards Proactive Linux Containers Placement Optimization in a Data Center, IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC 2017), pp. 788-795 (July 2017)
- Ikuo Nakagawa: IoT Agent Platform Mechanism with Transparent Cloud Computing Framework for Improving IoT Security, 2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC), Turin, 2017, pp. 684-689, doi: 10.1109/COMPSAC.2017.156
- Yong Jin, Masahiko Tomoishi, Satoshi Matsuura, Yoshiaki Kitaguchi: A Secure Container-based Backup Mechanism to Survive Destructive Ransomware Attacks, The 2018 Workshop on Computing, Networking and Communications (CNC2018), pp. 1-6 (March 2018)
- Misumi Hata, Mustafa Soylu, Satoru Izumi, Toru Abe, Takuo Suganuma: A Design of SDN

- Based IP Mobility Management Considering Inter-Domain Handovers and Its Evaluation, Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, Vol. 2, Issue. 3, pp.922-931 (June 2017)
- Luis Guillen, Satoru Izumi, Toru Abe, Takuo Suganuma, Hiroaki Muraoka: SDN implementation of multipath discovery to improve network performance in Distributed Storage Systems, Proc. of the 4th International Workshop on Management of SDN and NFV Systems (ManSDN/NFV2017, CNMS2017 Workshop), pp.1-4 (November 2017)
  - Misumi Hata, Mustafa Soylu, Storu Izumi, Toru Abe, Takuo Suganuma: Design of SDN based End-to-end Routing over Multiple Domains for Mobility Management Proc. of the 4th International Workshop on Management of SDN and NFV Systems (ManSDN/NFV2017, CNMS2017 Workshop, pp.1-4 (November 2017)
- (3) 国際会議発表
- Hiroki Kashiwazaki: Design and Implementation of the distributed platform "Distcloud" ver.2, APAN45: The 45th Asia-Pacific Advanced Network Meeting, (Mar. 2018, シンガポール)
  - Hiroki Kashiwazaki: How about community cloud ROI? -insentive for continuity-, APAN44: The 44th Asia-Pacific Advanced Network Meeting (Aug. 2017, 中国)
  - Hiroki Kashiwazaki: Brief recent updates of general container technology, APAN44: The 44th Asia-Pacific Advanced Network Meeting (Aug. 2017, 中国)
  - Hiroki Kashiwazaki: Brief discussion of container leveraged clouds, APAN43: The 43rd Asia-Pacific Advanced Network Meeting, (Mar. 2017, インド)
- Hiroki Kashiwazaki: distcloud: distributed virtualization platform, APAN43: The 43rd Asia-Pacific Advanced Network Meeting, (Mar. 2017, インド)
  - Ikuo Nakagawa: Global reference model and global garbage collection in the Dripcast, PRAGMA 32, (Apr. 2017, U.S.)
  - Ikuo Nakagawa: The Future of the Monetary Economy ~ Digital Innovation Also Changes the Economic Model, Cloud Expo 2017 West (Oct. 2017, U.S.)
- (4) 国内会議発表
- Hiroki Kashiwazaki: Dissipative Infrastructure, Design and Implementation, ITRC Technical Report, ISSN: 1343-3083 (2018 (to appear))
  - 柏崎礼生: RICC update: RICC における減災の取り組み, ITRC Technical Report, ISSN: 1343-3083 (2018 (to appear))
  - 柏崎礼生: 属人的運用からの漸近的解放のために, ITRC Technical Report, ISSN: 1343-3083 (2018 (to appear))
  - Hiroki Kashiwazaki: Contents migration for practical uses of inter cloud environments, ITRC Technical Report, ISSN: 1343-3083 (2018 (to appear))
  - Hiroki Kashiwazaki: Short reports from NZNOG2017/NANOG69/APAN43, ITRC Technical Report, ISSN: 1343-3083 (2017)
  - 柏崎礼生: post DESTCloud: RICC の次の取り組み, ITRC Technical Report, ISSN: 1343-3083 (2017)
  - 柏崎礼生: 地域間インタークラウドと減災の 5 年間, ITRC Technical Report, ISSN: 1343-3083 (2017)
  - 柏崎礼生: SCOPE と DESTCloud の 2 年間とこれからの RICC/D4Cloud ITRC Technical Report, ISSN: 1343-3083 (2017)
  - 柏崎礼生: 耐災害性・耐障害性の自己検証機能を具備した広域分散プラットフォームの国

- 際的展開と HPCI-JHPCN システム資源との柔軟な連携, 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 第 9 回シンポジウム
- 中川 郁夫: IoT セキュリティの向上を目指す IoT Agent Platform の提案, ITRC Technical Report ISSN: 1343-3083 (Sep. 2017)
  - 中川 郁夫: Secure IoT Agent Platform における秘匿分散解析手法の応用, ITRC Technical Report, ISSN: 1343-3083 (Feb. 2018)
  - Pongsakorn U-Chupala, Yasuhiro Watashiba, Kohei Ichikawa, Hajimu Iida: Towards Self-Optimizing Network: Applying Deep Learning to Network Traffic Categorization and Identification in the Context of Application-Aware Network, 研究報告インターネットと運用技術 (IOT), Vol. 2017-IOT-40, No. 6, pp. 1-6 (March 2018)
  - 市川 晃平, 竹房 あつ子, 木戸 善之, 渡場 康弘, 伊達 進: 広域 SDN 環境とオンデマンドクラウド構築サービスを用いたソフトウェア定義クラウド環境構築に関する提案, 研究報告インターネットと運用技術 (IOT), Vol. 2017-IOT-40, No. 15, pp. 1-5 (March 2018)
  - Wassapon Watanakesuntorn, Kohei Ichikawa, Hajimu Iida: A proposal of a real-time OpenFlow DDoS detection tool, 研究報告インターネットと運用技術 (IOT), Vol. 2017-IOT-40, No. 34, pp. 1-4 (March 2018)
  - 北口 善明, 石原 知洋, 高嶋 健人: センサデバイスを利用したネットワーク状態計測手法の評価, 情報処理学会 マルチメディア・分散・協調とモバイル (DICOMO) シンポジウム 2017 論文集, pp.1348-1353 (June 2017)
  - Misumi Hata, Mustafa Soylu, Satoru Izumi, Toru Abe, Takuo Suganuma: A Study on SDN Based End-to-end Routing Mechanism for Mobility Management in Multiple Domain Networks, 平成 29 年度 電気関係学会東北支部連合大会, 2B04 (2017)
  - Luis Guillen, Satoru Izumi, Toru Abe, Takuo Suganuma, Hiroaki Muraoka: SDN Based Multipath Control Method for Distributed Storage Systems, 平成 29 年度 電気関係学会東北支部連合大会 2B05 (2017)
  - Guillen Luis, Satoru Izumi, Toru Abe, Takuo Suganuma, Hiroaki Muraoka: Design of an SDN based network control method for Multipath Distributed Storage Systems, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.117, No.205, IN2017-23, pp.19-24 (September 2017)
  - 高平寛之, 畑美純, 和泉諭, 阿部亨, 蒼沼 拓夫: 災害発生直後における災害リスクとデータ転送時間を考慮したネットワーク制御手法の提案, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 117, No.205, IN2017-23, pp.67-72 (September 2017)
  - Misumi Hata, Mustafa Soylu, Satoru Izumi, Toru Abe, Takuo Suganuma: SDN Based End-to-end Inter-domain Routing Mechanism for Mobility Management and Its Implementation, IEICE Technical Report, Vol.117, No.299, IA2017-46, pp.71-76 (November 2017)
  - 柏崎 礼生: サイバー・フィジカルとカオス・インフラ, ストレージトレンドセミナー2018 (Feb. 2018 大阪府)
  - 柏崎 礼生: セキュリティ研究者になりたい皆様に捧ぐ, SecHack 365 (Dec. 2018, 大阪府)
  - Hiroki Kashiwazaki: Chaos Infrastructure for trustworthy transactions of data harvesting, RICC-RIEC workshop 2018 (Nov. 2018, 宮城県)
  - 柏崎 礼生: クラウドコンピューティングの研究現場より ~クラウドの怪談~, 国立松江高等専門学校 技術講演会 (Jul. 2017, 島根県)

- 柏崎礼生: 殉教者視点で考える最強のホテル無線 LAN の設計と実装, INTEROP2017 (Jun. 2017, 千葉県)
  - 柏崎礼生: AWS の IAM 秘密鍵を GitHub に push したあと 1 時間でされたこと, JANOG39.5 Interim Meeting (Apr. 2017, 東京都)
  - Hiroki Kashiwazaki: short reports from NZNOG/NANOG/APAN (religious flavor) & followup surveys for the “6.2MJPY” incident, サイバー関西プロジェクト (Apr. 2017, 大阪府)
  - 中川郁夫: IoT セキュリティの向上を目指す IoT Agent Platform の提案, 広域センサーネットワークとオーバーレイネットワークに関するワークショップ (Jun. 2017)
- (5) その他 (特許, プレス発表, 著書等)  
特になし