

# 耐障害性・耐災害性の検証・評価・反映プラットフォームを用いた広域分散ストレージの評価

柏崎 礼生<sup>1,a)</sup> 北口 善明<sup>2,b)</sup> 市川 昊平<sup>3,c)</sup> 近堂 徹<sup>4,d)</sup> 西内 一馬<sup>5,e)</sup> 中川 郁夫<sup>1,6,f)</sup>  
菊地 豊<sup>7,g)</sup>

概要：センサー端末やモバイル端末から得られる広域に渡る大量の時系列情報を用いた防災・減災のための情報を提供するサービスにおいて、その情報を収集するための基盤の耐災害性・耐障害性が検証される必要がある。著者らは Software Defined Network を用いた耐災害性・耐障害性の検証・評価・反映プラットフォームを用いて広域分散ストレージソフトウェアを評価する。

## Evaluations of wide area distributed storage systems by using a platform for validating, evaluating and reflecting disaster and disorder tolerance

HIROKI KASHIWAZAKI<sup>1,a)</sup> YOSHIAKI KITAGUCHI<sup>2,b)</sup> KOUHEI ICHIKAWA<sup>3,c)</sup> TOHRU KONDOU<sup>4,d)</sup>  
KAZUMA NISHIUCHI<sup>5,e)</sup> IKUO NAKAGAWA<sup>1,6,f)</sup> YUTAKA KIKUCHI<sup>7,g)</sup>

**Abstract:** Some attempts to provide services for natural disasters prevention and mitigation by using the Big Data (a large amount of time series data from sensor and mobile devices in a wide sphere) were proposed. It is necessary for the attempts to validate their infrastructure to collect, analyze and process the data. Authors validate and evaluate a wide area distributed storage software by a platform to validate, evaluate and reflect a fault-tolerance and a disaster tolerance with a software defined network approach.

**Keywords:** disaster recovery, disaster drill, distributed system, software defined X

- 
- <sup>1</sup> 大阪大学  
Osaka University  
<sup>2</sup> 金沢大学  
Kanazawa University  
<sup>3</sup> 奈良先端科学技術大学院大学  
Nara Institute of Information Science and Technology  
<sup>4</sup> 広島大学  
Hiroshima University  
<sup>5</sup> 株式会社シティネット  
City Net Inc.  
<sup>6</sup> 株式会社インテック  
Intec Inc.  
<sup>7</sup> 高知工科大学  
Kochi Institute of Technology  
a) reo@cmc.osaka-u.ac.jp  
b) kitaguchi@imc.kanazawa-u.ac.jp  
c) ichikawa@is.naist.jp  
d) tkondo@hiroshima-u.ac.jp  
e) nishiuchi@city-net.jp  
f) ikuo@cmc.osaka-u.ac.jp  
g) yu@kikuken.org

### 1. 背景と目的

災害という言葉が人間の幸福という概念により定義される以上<sup>\*1</sup>、地球上において災害に見舞われない場所とは人間が存在しない場所である。豪雨、台風、それに伴う高潮、洪水、土砂崩れ、そして地震やそれに伴う津波は、災害の一要素である自然災害として分類される。日本においてはMj 7.3の兵庫県南部地震やMw 9.0の東北地方太平洋沖地震、そして今後発生が想定される南海トラフ巨大地震や南関東地下地震の存在により地震災害が注目される。地震は環太平洋地域が頻発地域であるが、その他にネパールやト

---

<sup>\*1</sup> デジタル大辞泉より「災害:地震・台風などの自然現象や事故・火事・伝染病などによって受ける思わぬわざわい。また、それによる被害。」「災い:人に不幸をもたらす物事。また、その結果である不幸な出来事。」

ルコのような大陸内部でも地震の頻発地域がある。2014年4月に発生した Mw7.8 のネパール地震が記憶に新しい。日本だけに範囲を限定しても、平成 27 年 9 月関東・東北豪雨による鬼怒川の洪水や、平成 26 年 8 月豪雨による広島市の土砂災害など多様な自然災害が発生している。東南アジアに範囲を広げると最低気圧 895hpa の平成 25 年台風 30 号とその高潮はフィリピンの社会インフラストラクチャを破壊した。また災害には自然災害だけでなく人災も含まれる。人災には火災や情報システムへのクラッキングが挙げられる。

### 1.1 災害回復

このような自然災害による被害により情報システムのデータが喪失し、あるいは復旧に時間を要することがある。前述の自然災害が情報通信インフラストラクチャや情報システムにもたらした影響はよく知られる。人災に分類される火災による影響として 2015 年に発生したベルファストのデータセンターの火災や 2013 年に発生した台湾のデータセンターの火災により情報システムが提供するサービスが停止した事例が挙げられる。このような災害に対しデータあるいは情報システムを復旧させる詳細な手続きを災害回復と呼ぶ [1]。災害により喪失したデータを復旧させる手法として、災害の発生以前にデータを冗長化することが挙げられる。自然災害はデータセンター一つを破壊する程度の能力を持つことを鑑みれば、そのデータの重要度に応じ、冗長化されたデータを広域に分散配置することも検討される。より短時間でデータを回復するためには配置する箇所が適切に決定される必要がある [2]。しかしデータと、そのデータを利用者に提供するサービスの両方が復旧しなければ情報システムとして復旧したことになるケースもある。大量のモバイル端末やセンサー端末から収集された時系列データを利用し、リアルタイムに処理して端末に情報を提供することにより減災に寄与するサービスはその一例である。

サービスが稼働する計算機を広域に分散配置する場合、配置された計算機がデータを共有するための共有ストレージが必要となり、この共有ストレージが単一障害点となる。そのため共有ストレージをさらに分散配置する必要がある。ストレージを分散配置する際には、ある拠点のストレージが正系となり、他拠点のストレージがその複製を行う構成がある。複製がファイル単位で行われる場合、ファイルへの書き込み終了後に複製が開始されるため、書き込まれるファイルの大きさと複製開始時刻の遅延は比例する。より即応性を重視するサービスにおいてはブロック (チャンク) 単位での複製が求められる。また、前述のような広域分散配置された複数の計算機が広域分散配置された複数の共有ストレージのうち 1 つの正系共有ストレージと通信するシステム構成においては、異常時に正系から副系に切り替わ

ると、各計算機と共有ストレージ間の遅延が変化し、ストレージへの入出力性能に変化が発生する。共有ストレージが全ての計算機からの遅延の総計が最小となる場所に配置されていた場合、副系に切り替わった際にストレージ性能は悪化する。

### 1.2 distcloud

そこで著者らは全ての拠点のストレージが正系として動作し、チャンク単位でデータを複製する広域分散ストレージを提案し構築した [3]。全ての拠点が持つストレージのメタデータは分散 KVS に格納され共有される。同一拠点でチャンクの複製を行った時点でチャンクへの書き込みを終えたものとし、その後バックグラウンドで他拠点への複製の作成を行う。そのため各拠点からはその拠点にあるストレージと同じ性能で入出力を行うことができる。チャンク単位で管理を行うため、仮想計算機 (Virtual Machine: VM) のイメージファイルも高速に他拠点に複製が作成することができる。この特性を利用し、拠点間で VM をライブマイグレーションさせることができる。一つの共有ストレージに VM のイメージファイルを保存してライブマイグレーションを行うと、移動後の仮想化ホストと共有ストレージの遅延が増大した場合、VM のストレージへの入出力性能が悪化する。しかし提案する広域分散ストレージでは複製されたチャンクが広域に分散配置され、最短のチャンクを取得するためライブマイグレーション後のストレージへの入出力性能の低下が比較的少ない。また分散 KVS にも広域分散に対応する複製技術を導入することにより、より高い入出力性能を実現した [4,5]。仮想化基盤の共有ストレージとしてこの広域分散ストレージを利用することにより、広域分散の仮想化基盤を構築することができる。著者らはこれを「distcloud」と呼ぶ。

しかしメタデータを広域分散させて共有している以上、拠点間を接続するネットワーク障害によって network partition が発生する可能性がある [6]。しかし network partition が発生するという理由で広域分散を忌避することは問題解決手法の選択肢を少なくすることになる。この distcloud の上でどのようなサービスに、どのようなサービスレベルが要求されるかを把握し、サービスを支えるプラットフォームとして distcloud がそのサービスレベルに足る品質を提供しているかどうかを評価することで、distcloud が問題解決手法足り得るかどうかを判断することができる。災害の中でも特に大規模自然災害は広域で同時多発的に発生するため、network partition を発生させるネットワーク障害のパターンと合致する大規模自然災害が発生する可能性がある。

### 1.3 BCP の現状

事前に災害の規模やパターンを想定し、損害を最小限に

とどめつつ、中核となる事業の継続あるいは早期復旧を可能とするために、平常時に行うべき活動や緊急時における事業継続のための方法、手段などを取り決めておく計画を事業継続計画 (Business Continuity Plan: BCP) と呼ぶ。プライスウォーターハウスクーパース株式会社は IT-BCP サーベイ 2014 報告書を公開している\*2。図1はその抜粋である。

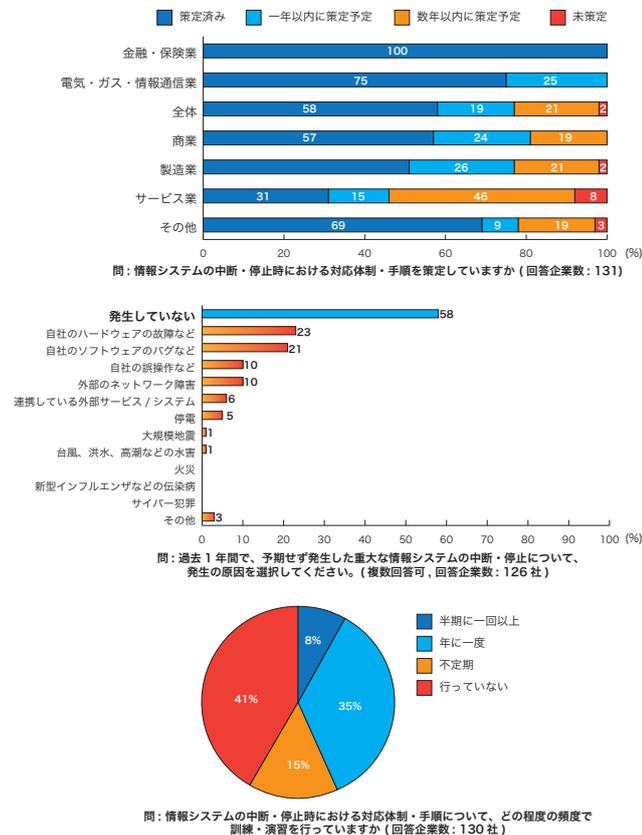


図1 プライスウォーターハウスクーパース株式会社による IT-BCP サーベイ 2014 報告書 (抜粋)

Fig. 1 IT-BCP Survey 2014 Report by PricewaterhouseCoopers Co., Ltd. (excerpted version)

企業を対象としたこの調査によると「情報システムの中断・停止時における対応体制・手順を策定していますか」という問いに対して131社が回答し、金融・保険業と電気・ガス・情報通信業においては「策定済み」「一年以内に策定予定」が100%を占めたが、全体では77%に留まり、特にサービス業においては46%に留まり、「数年以内に策定予定」「未策定」が半分以上(54%)を占めた。また「過去1年間で、予期せず発生した重大な情報システムの中断・停止について、発生の原因を選択してください」という問いに対して126社が回答し、58%が「発生していない」と答えた一方で、発生したと答えた42%においては「自社のハードウェアの故障など」「自社のソフトウェアのバグな

\*2 <http://www.pwc.com/jp/ja/advisory/research-insights-report/it-bcp-survey2014.html>

ど」「自社の誤操作など」という自組織内の問題、「外部のネットワーク障害」「連携している外部サービス/システム」「停電」などの外部委託したシステムでの問題、「大規模地震」「台風、洪水、高潮などの水害」などの天災も1%存在している。その一方で、「情報システムの中断・停止時における対応体制・手順について、どの程度の頻度で訓練・演習を行っていますか」という問いには130社が回答し、「半期に一回以上」が8%、「年に一度」が35%、「不定期」が15%、「行っていない」が41%という結果となり、BCPにより策定された対応を訓練や演習により迅速かつ適切に行うための取り組みが行われていない事例が最多という結果となっている。

#### 1.4 高知県の取り組み

2012年8月に内閣府が発表した「南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等(第二次報告)及び被害想定(第一次報告)」によると、想定されるケース「『四国沖』に『大すべり域+超大すべり域』を設定」および「『四国沖~九州沖』に『大すべり域+超大すべり域』を設定」において高知県幡豆郡黒潮町および土佐清水市は最大津波高(満潮位・地殻変動考慮)において国内最大の34mと推定されている\*3。そこで高知県では県内の高等学術機関5組織が協働し、ICTシステムの冗長性や障害対策の機能およびICT関係者間での連絡体制等を確認・検討し、実際に機能するBCPを策定することを目的として、TEReCo4\*4プロジェクトによるネットワーク防災訓練を2013年度から行っている。この取り組みでは様々な障害要因をロジックモデル手法で可視化しており、3つの障害パターンでの検証が行われた。その結果、本来不通になるはずの障害パターンにおいてもインターネットへの導通が確認されたことにより、運用者が把握していない冗長構成の存在が発覚するなど、防災訓練を行うことで、耐災害性・耐障害性を向上させるのみならず、本来の目的以外の効果が現れた事例の報告が行われている[7]。

この取り組みの問題点としてネットワーク防災訓練を行うために各拠点で障害を発生させるための操作を行う人員配置が必要であり、かつ実際に稼働しているシステムに対して訓練を行うため、そのサービス提供が停止することによる影響を鑑み、サービス利用率の低い時間帯に行わなければならない点が挙げられる。また、ネットワーク防災訓練の内容には偏りがあるため、より多様な訓練シナリオを考える必要があるものの、それを人間が考えることにもそれなりの時間と能力を必要とする。そのため訓練の頻度は必然的に低くならざるを得ない。より広域、かつ他拠

\*3 南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等(第二次報告)及び被害想定(第一次報告)資料1-2 都府県別市町村別最大津波高一覧表<満潮位> [http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/1\\_2.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/1_2.pdf)

\*4 Traffic Engineering for Regional Communities, version 4

発生区分	障害要因	症状	実装する機能
制御・運用・ソフトウェア	通信規制制御	輻輳	遅延発生+n% パケットロス トラフィックシェーブ
	不正な経路伝搬	経路ループ	RIB/FIB 強制書換
		経路フラップ	
ネットワーク機器	装置故障 (全体)	通信断 (全体)	インターフェイスダウン
	装置故障 (部分)	通信断 (部分)	
	リソース過負荷	パケットロス	n% パケットロス
		遅延増大	遅延追加
通信回線	拠点間通信ケーブル断	通信断 (部分)	インターフェイスダウン +100% パケットロス
	中継器・交換機故障		
	トラフィックの集中	輻輳	遅延発生+n% パケットロス トラフィックシェーブ
設備環境	局舎損壊	通信断 (全体)	インターフェイスダウン +100% パケットロス
	電源喪失		
	空調故障	通信断 (部分)	

図 2 ネットワーク障害の分類

Fig. 2 Classification of network disorder

点からなる広域分散システムに対するネットワーク防災訓練においては訓練シナリオの作成と人員配置のコストはより高くなるが見積もられる。

そこで著者らは、ネットワーク防災訓練を自動化し、広域分散システムやその上で動作するサービスの耐災害性・耐障害性を検証し、評価し、その結果を反映させるためのプラットフォーム“DESTCloud”を構築した。

## 2. DESTCloud

DESTCloud は Software Defined Network 技術を利用し、ネットワーク機器をプログラマブルに操作することにより障害を実装し、これを解除するという訓練を行う。自然災害や人災により発生する障害の組み合わせは無限に存在するが、無限に存在するからといって訓練に意味がないわけではない。訓練は時系列順に配置された障害の羅列により構成され、全ての障害が解除されることにより平常状態に戻り訓練が終了する。災害による障害は無限の種類があるわけではなく、総務省「大規模災害等の緊急事態における通信確保の在り方に関する検討会」で示されている災害事象<sup>\*5</sup>や「情報通信ネットワーク安全・信頼性基準」<sup>\*6</sup>を根拠とするならば、有限個の障害により災害を模倣することができる。DESTCloud で実装する機能を図 2 に示す。

広域分散システムを構成するネットワーク機器に対して障害を実装し、ネットワーク防災訓練を実現するために、DESTCloud はそのプラットフォームを大きく三つの部分に分けている (図 3)。三つの部分は以下の通りである。

- (1) ユーザーインターフェイス部 (User interfaces)
- (2) 災害シナリオコントローラ (Disaster scenario controller)
- (3) 障害実装部 (Network fault implementation)

以下では各部分についての役割と機能の説明を行う。

<sup>\*5</sup> 総務省「大規模災害等緊急事態における通信確保の在り方に関する検討会」[http://www.soumu.go.jp/main\\_sosiki/kenkyu/saigai](http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/saigai)

<sup>\*6</sup> 総務省「情報通信ネットワーク安全・信頼性基準」[http://www.soumu.go.jp/menu\\_seisaku/ictseisaku/net\\_anzen/anshin](http://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/net_anzen/anshin)

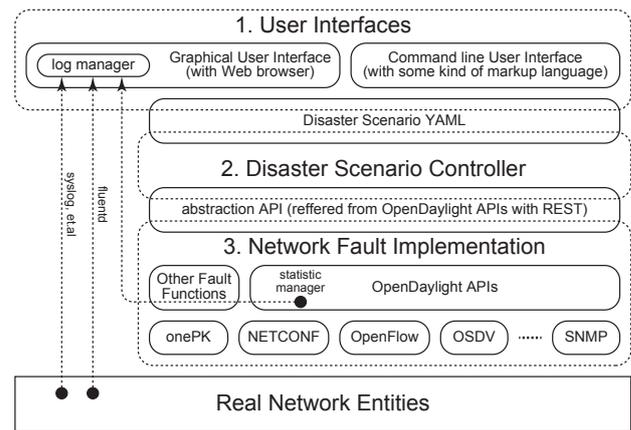


図 3 DESTCloud の模式図

Fig. 3 A structure diagram of DESTCloud

訓練を企画し実行する人 (実施者) はどのような訓練内容を想定するかを鑑みる時、過去に発生した災害を参考にする場合と、前例のない災害を想定するという需要が考えられる。前例のない災害についても、気象シミュレーションを用いて科学的根拠に基づく災害を想定する場合と、発生する可能性は極めて低いが極めて高い損害が見積もられる災害を想定する場合が考えられる。災害シナリオが1つ以上の障害の発生とその解除により構成されることに注目し、DESTCloud は災害シナリオの記述方式のみを規程し、多様な需要に応じられる柔軟性を提供している。この記述方式は「いつ」「どこで」「何が」「どのように」起こるかの四要素により障害を表現し、この羅列により災害シナリオを構成する。この記述様式が標準化されることにより、様々なシミュレーション結果や災害記述ツールから容易に災害シナリオを記述することが可能となる。

災害シナリオに沿った訓練を行うだけでなく、結果の省察を行うことによりネットワーク機器の設定やシステム構成、さらには BCP の手順の見直しを行うことが DESTCloud が果たす目的の一つである。そのため実施者に対して省察のためのログを集約し提供する必要がある。災害シナリオに紐付く障害には全て固有の ID が振られており、DESTCloud 内部ではログにこの ID を記載する。この ID を元にログをフィルタすることで実施者に必要な情報を提供することができる。実施者に対し災害シナリオを作成させ、それを実施し、ログを実施者に提供するのがユーザーインターフェイス部の役割である。

実施者は災害シナリオを実施するネットワーク機器群を指定し、そのネットワーク機器群が提供する資源のなかで実際の災害シナリオで利用したい資源のみを指定する。その資源のなかで、いつ (相対時間)、どこで、何が、どのように発生するのかを記述し、この災害シナリオを開始する絶対時間を指定して災害シナリオコントローラにその実行を依頼する。

災害シナリオコントローラは実施者が作成した災害シナリオを解釈し、ネットワーク機器に対する制御を実現する。広域分散システムを構成するネットワーク機器は単一のネットワークベンダーの機器であるとは限らないため、制御プロトコルの差異を吸収する必要がある。そのため、災害シナリオ生成部はまず対象となる広域分散システムのネットワーク機器の情報を一元的に把握する必要がある。把握した結果、その機器間がどのように接続されているかのトポロジを生成する必要がある。機器情報は実施者から提供されるものとし、生成されたこのトポロジは実施者に返され、実施者による災害シナリオ執筆の支援を行う。

実施者から提供された災害シナリオをもとに、指定された絶対時間になると、指定された資源に対して障害実装部を通して障害の実装を命令する。この命令を行ったイベントも全てログとして記録し、ユーザーインターフェイス部が持つログマネージャへと集約させる。災害シナリオコントローラからの命令により障害実装部は各ネットワーク機器の制御に即した方法を用いて障害を実装する。

## 2.1 訓練の流れ

実施者が行う手順と各部分間の通信について図4に示す。

実施者は訓練を実施する広域分散システムを構成するネットワーク機器の情報からなる entities YAML を災害シナリオコントローラに登録する。このデータを受け取ると災害シナリオコントローラはユーザーインターフェイスに受領確認の ACK を返す。災害シナリオコントローラはこのネットワーク機器の情報をもとに、障害実装部に対してネットワーク情報の問い合わせを行う。障害実装部はネットワーク機器ごとに存在し、ネットワーク機器の各ポートに設定された L3 ネットワーク情報を災害シナリオコントローラに対して返答する。これらの情報をもとに災害シナリオコントローラはユーザーインターフェイス部から提供されたネットワーク機器がどのようなトポロジで接続されているかを知ることができる。ユーザーインターフェイス部は災害シナリオコントローラに対してこのトポロジの問い合わせを繰り返す。災害シナリオコントローラがネットワーク機器全体のトポロジ (entire topology) を生成し終わると、この問い合わせにトポロジを記述した YAML を返答する。

実施者はこの YAML から生成されたトポロジを見て、訓練で使用する資源を選択する。この資源はネットワーク機器全体のトポロジに対する部分トポロジなので、sub topology と称する。実施者は sub topology を災害シナリオコントローラに登録すると、災害シナリオコントローラはその sub topology を内部データベースに登録し、この sub topology の ID をユーザーインターフェイス部に返答する。実施者はこの sub topology 内で実装する障害とその発生時間を、災害訓練開始時間からの相対時刻で指定する。

全ての障害を記述し終えたら災害シナリオを開始時間を災害シナリオコントローラに登録する。災害シナリオコントローラはこの災害シナリオを解釈し、指定された相対時間に指定されたネットワーク機器に対して指定された障害を発生するよう障害実装部と通信を行う。災害シナリオに記載された全ての障害を実装し終えた時が災害シナリオの終了であり、ユーザはこのあと一定の時間を margin として指定し、その時間が経過するまで収集されたログを、この災害訓練に関わるログとして見直し、省察を行う。

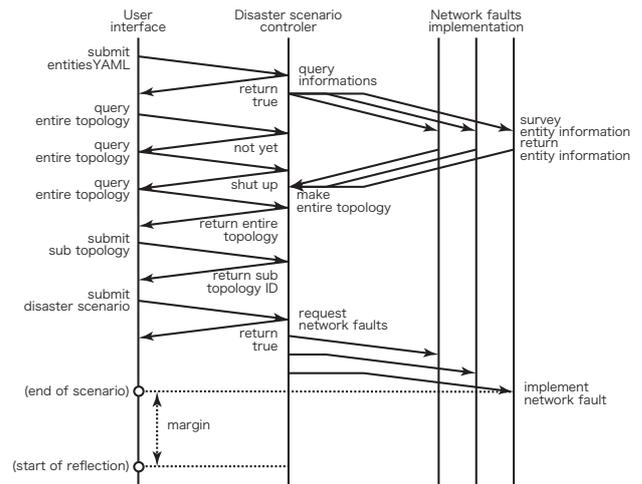


図4 DESTCloudの通信様式図

Fig. 4 A communication diagram of DESTCloud

より詳しい設計と実装については文献??に詳しい。

## 3. 検証計画

現在、広域分散を謳うオブジェクトストレージサービスを提供する製品として Cloudian Hyperstore と Scality Ring を対象とし、DESTCloud を用いた耐障害性・耐災害性の検証実験を行っている。JGN-X で接続された札幌の北海道総合通信網 (HOTnet) が提供するデータセンター、金沢大学、奈良先端科学技術大学院大学、大阪大学、広島大学、高知工科大学、および沖縄の OKIT 社が提供する設備からなるネットワークを構築している。各拠点には物理計算機あるいは VM を提供することができる仮想化ホストが設置されている。

これらの製品を構成するサービスを複数拠点、複数計算機で動作させたときに各拠点間の接続状況を DESTCloud を用いて変化させ、複数拠点に設置した計測用の VM で COSBench\*7 を実行してオブジェクトストレージの入出力性能の変化を計測することを予定している。この計測結果の性能はベンチマークの公平性について各社に照会をした後に公開する予定である。

\*7 <https://github.com/intel-cloud/cosbench>

#### 4. 今後の展望

本稿では DESTCloud を開発するに至った背景と目的について説明し、その内部構造と検証計画について述べた。本研究開発を今後も継続するために、この成果物により恩恵を被る組織、あるいは開発に寄与したい個人からなるコンソーシアムを立ち上げる\*8。このコンソーシアムは大規模な自然災害や事故に備えた災害訓練の重要性を強く認識し、その取り組みを普及させることを目的とするほか、DESTCloud に関連する技術の標準化活動を推進することを目的としている。

謝辞 本研究は平成 27 年度北海道大学情報基盤センター共同研究「耐障害性を検証し自律進化する広域分散プラットフォームの検証」、平成 27 年度国立情報学研究所共同研究「学術拠点を利用したデータ基盤サービスとそのアプリケーションに関する検証」による支援、平成 27 年度戦略的情報通信研究開発推進事業重点領域型研究開発(先進的通信アプリケーション開発型)フェーズ II 研究開発課題「分散システムの耐災害性・耐障害性の検証・評価・反映を行うプラットフォームとビジネスモデルの開発」および JSPS 科研費課題番号「26870325」の助成を受けました。また日本学術振興会産学協力研究委員会インターネット技術第 163 委員会 (ITRC) および地域間インタークラウド分科会 (RICC) からの支援をいただきました。コンピュータリソースのご提供をいただいた各大学、SINET4 の回線をご提供いただいた国立情報学研究所、JGN-X の回線をご提供いただいた情報通信研究機構、および計算機リソースをご提供いただいた Cisco Systems 合同会社に感謝します。

#### 参考文献

- [1] Paige Baltzan, Amy Phillips: Business Driven Information Systems 5th Edition, McGraw-Hill Education; 5 edition, ISBN: 0073402982 (2015)
- [2] Takaki Nakamura, Shinya Matsumoto, Masaru Tezuka, Satoru Izumi, Hiroaki Muraoka: Comparison of Distance Limiting Methods for Risk-aware Data Replication in Urban and Suburban Area, Journal of Information Processing (2016).
- [3] 柏崎 礼生, 北口 善明, 近堂 徹, 楠田 友彦, 大沼善朗, 中川 郁夫, 阿部 俊二, 横山 重俊, 下條 真司: 広域分散仮想化環境のための分散ストレージシステムの提案と評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 55, No. 3, pp. 1140-1150 (2014).
- [4] Ikuo Nakagawa, Kohei Ichikawa, Tohru Kondo, Yoshiaki Kitaguchi, Hiroki Kashiwazaki and Shinji Shimojo: "Transpacific Live Migration with Wide Area Distributed Storage", Proc. the 2014 IEEE 38th Annual International Computers, Software and Applications Conference, Sweden, pp. 486-492, Jul. 21-25, 2014. (DOI: 10.1109/COMPSAC.2014.71)
- [5] Ikuo Nakagawa, Masahiro Hiji, Hiroshi Esaki: Dripcast - Architecture and Implementation of Server-less Java Programming Framework for Billions of IoT Devices,

- [6] Journal of Information Processing, Vol. 56, No. 6 (2015) R. M. Lefever, Michel Cukier, W. H. Sanders: "An experimental evaluation of correlated network partitions in the Coda distributed file system", Proceedings. 22nd International Symposium on, pp. 273-282, doi: 10.1109/RELDIS.2003.1238077 (2003).
- [7] 菊池 豊, 福本 昌弘, 豊永 昌彦, 佐々木 正人, 今井一雅, 山田 覚, 風間 裕, 一色 健司, 名和 真一, 高畑 貴志, 岡村健志: 人為的障害の発生によるネットワークシステムの検証, 信学技報, Vol. 114, No. 478, IN2014-126, pp. 31-36 (2015).
- [8] 北口 善明, 柏崎 礼生, 近堂 徹, 市川 昊平, 西内 一馬, 中川 郁夫, 菊池 豊: 耐障害性・耐災害性の検証・評価・反映プラットフォームの設計と実装, 研究報告インターネットと運用技術 (IOT), Vol. 2015-IOT-32 (2016)

\*8 \*9