

過去と未来の災害シナリオを用いた耐災害性を 検証・評価するためのネットワークエミュレータの実装

柏崎 礼生^{1,a)}

概要: ICT 環境は生活にも業務にも不可欠になっており、ICT システムの堅牢性の確保が重要になっている。ICT システムを堅牢にするために、冗長性の増加や広域分散による単一障害点の回避手法がある。しかしながら、東南海大地震等の災害では同時多発的に障害が発生し、通常想定する範囲内に収まらない障害を想定しないとらない。そこで分散システムの耐災害性を検証・評価するため、SDN を用いた SDDE (Software Defined Disaster Emulation) プラットフォームを開発した。本稿では過去に起こった災害の障害シナリオ、そしてこれから起こることが予想される災害の被害想定を用いて、災害時の障害を模擬して実ネットワークに反映させる実装について紹介する。

An implementation about a network emulator using past and future disaster scenarios to validate and evaluate disaster tolerability

HIROKI KASHIWAZAKI^{1,a)}

Abstract: ICT environment is requisite for our usual life and business. It is important to ensure toughness and robustness of ICT systems. To ensure them, there are several solution such as redundant configurations, SPoF (single point of failure) less wide-area distribution. Nowadays we, especially people living in the Pacific Ocean side of Japan, must design our system to endure beyond the scope of assumption of disaster caused by southeaster sea (Tounankai) earthquake. In this paper, author shows implementations to reflect to real networks with disaster scenarios occurred in the past and will be occur in the future as a basis for emulating disorders in times of disaster.

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

1. はじめに

電話網や携帯電話網、インターネット、ワイヤレスセンサーネットワーク、WWW、P2P ネットワークはネットワーク上に配置された計算機が互いにメッセージのやりとりによって通信し、連携するソフトウェアシステムである分散システムにより構築されている [1]。これらのネットワークやその上で動作するアプリケーションは現在の生活に必要な不可欠なものとなっている。これらは必要不可欠なものとなっているだけにその価値は利用者により高く評価されており、また利用者の生活はこれらに依存している。

必然的に利用者はこれらのサービスの停止時間がより小さく運用されることが期待する。このような期待を寄せられたサービスは、サービスが獲得する利益を越えない範囲の設備投資で耐障害性を高めることができる。耐障害性を高める代表的な手法として、機器構成の冗長化が挙げられる。しかし機器やネットワーク構成、そして電力供給が冗長化されても、適切に運用されなければ耐障害性が高まることはない。この運用が人間の手によって行われている限りにおいて、運用が単一障害点となり、また自動化できないボトルネックであり続ける。

計算機が登場した 1960 年代以前においては、計算機は人間の仕事をやってくれる、新しくかつ最も有能な機械的奴隷の集団であると考えられた [2, 3]。この有能な機械的

¹ 大阪大学
Osaka University

^{a)} reo@cmc.osaka-u.ac.jp

奴隷の集団により人類は不快な卑しい仕事をやる必要がなくなると考えられ、それにより人類に多大な福祉が提供されることが期待された。人間は単純な計算を機械（計算機）に委託し、やがて計算の組み合わせからなる複雑な処理をも委託するに至ったその処理はやがて人間の植生に適合するよう地理的に拡大され、分散システムと融合しながら情報通信技術（Information and Communication Technology: ICT）を開拓した。継続的にこの変化が持続するという仮定のもとでは、ネットワークやアプリケーションの運用もまた自動化されることとなる。

2011年3月11日に起きた東北地方太平洋沖地震は福島第一原子力発電所の爆発事故を招いた。日本の原子力施設の緊急事態においては、緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム（System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information: SPEEDI）が放射性物質の拡散範囲を計算し、その影響予測を行う。しかしこの爆発事故においては、緊急時対策支援システム（Emergency Response Support System: ERSS）からの放射源情報が得られなかったため、SPEEDI計算を行うことができなかった。これは東京電力の緊急時対応情報表示システム（Safety Parameter Display System: SPDS）から統合原子力防災ネットワークに至るメディアコンバータと無停電電源装置が接続されておらず、地震発生から早い時点で機能を停止したことに起因する*1。

このことから、冗長性や耐障害性を高めることと、災害に対する堅牢性が高まることの間には因果関係が存在しないことが分かる。因果関係があると考えるのは盲信であり、徒に冗長性を高める事例は枚挙に暇がない。このことについては2004年頃に日本においても紹介された“*How Projects Really Work*”（邦題：顧客が本当に必要だったもの）という風刺絵からも読み取ることができる（図1）*2。この「木にブランコがぶら下がった絵」の起源は1960年代あるいは1970年代まで遡るとされている*3。参照可能な文献でこの図が登場したのは1989年のことである[4]。John S. Oaklandが紹介した図と現在流布している図において以下の2つの説明が共通している。

- (1) “As designed by engineering”（プログラマの実装）
- (2) “What the customer wanted”（顧客が本当に必要だったもの）

風刺の最初のコマとすべき「顧客が説明した要件」はJohn S. Oakland版においては“*What marketing suggested*”（営業の提案）となっており、顧客の要望がそもそも存在していない。この風刺絵の理解は「顧客が要望するものは往々にしてねじ曲げられ、本当に必要だったものと

乖離したものとなる」あるいは「顧客がそもそも要望するものが間違っていた」というものと考えられるが、特に後者の理解において注目すべき点は、図1の左上“*How the customer explained it*”（顧客が説明した要件）において木の枝からぶら下がるブランコ状のモノが二本の縄で吊されていることと、右下“*What the customer really needed*”（顧客が本当に必要だったもの）においてはこの縄が一本となっていることの対照であると考えられる。顧客（あるいはJohn S. Oakland版においては営業）にはとかく冗長化させたがる傾向が認められることは経験的に少なからぬ賛同を得られると思うが、冗長化させる事による初期投資の増大と運用費用の増大が冗長化により得られた耐障害性が提供してくれる利益と釣り合うかどうかについての定量的な評価が行われていないこともまた少なからぬ賛同を得られる事柄と思われる。

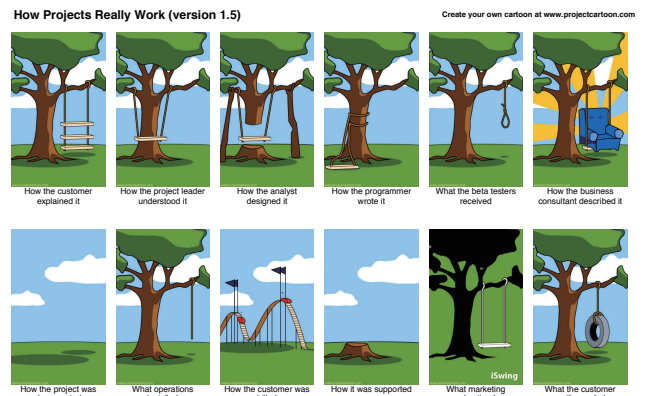


図1 顧客が本当に必要だったもの（バージョン 1.5）
 Fig. 1 How Projects Really Work (version 1.5)

人間社会における耐障害性の向上は、災害に対してどのように対応するかという耐災害性として捉えられ、様々な試みが行われている。高い耐災害性を実現できた事例として岩手県釜石市では津波災害史研究家の山下文男による「津波てんでんこ」と呼ばれる防災標語が挙げられる。これは「津波が来たら、取る物も取り敢えず、肉親にも構わずに、各自てんでんばらばらに一人で高台へと逃げろ」の意味である[5]。この標語が地域社会に広く浸透した結果、釜石市の小中学校（児童数約3,000人）における生存率は99.8%、釜石市の児童数の二割が生活する鵜住居町における生存率は100%であった。この事例は「釜石の奇跡」として国内外のメディアで報じられている*4。

前述の釜石市鵜住居町では対照的な「釜石の悲劇」と呼ばれる事例も生じた。鵜住居地区では避難訓練への参加率を上げるため、本来の避難場所ではなく屋根のある釜石市鵜住居地区防災センターを避難訓練に利用した。この防災

*1 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会最終報告（本文編IV章2(1)より）

*2 Project Cartoon: How Projects Really Work (version 1.5) <http://www.projectcartoon.com/cartoon/2>

*3 <http://www.businessballs.com/treeswing.htm>

*4 NHKスペシャル「釜石の“奇跡”いのちを守る 特別授業」
<http://www.nhk.or.jp/special/detail/2012/0901/>（初回放送2012年9月1日）

センターは平成 22 年に開所したばかりの標高 4.3m, 最寄りの海岸線まで約 1.2km の距離にある鉄筋コンクリート造 2 階建の施設である。市指定津波避難場所は市街地から 1km ほどの距離があり、標高も 30m~50m の地点にあった。この結果、市民には「避難場所」が防災センターであるとの認識が広がり、東日本大震災直前の 2011 年 3 月 9 日に起きた三陸沖地震の発生時においても防災センターに避難した市民がいた。このような事態を受けても市は住民に対して防災センターが一次避難場所ではないことの告知を行わなかった。この結果、東北地方太平洋沖地震とこの地震に起因する津波に対して防災センターで 69 人が遺体として収容された。また 200 人以上が防災センターに避難していたという情報もある*5。訓練が適切に行われなかったことにより耐災害性が損なわれた事例と言える。

2. ネットワーク防災訓練

内閣府は「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)」を 2012 年 8 月に発表した。これによると『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」とい想定されるケースにおいて、高知県幡多郡黒潮町および土佐清水市は国内最大である 34m の津波(満潮位・地殻変動考慮)に襲われることが推定されている(図 2)*6 *7。壊滅的な被害が想定されている高知県では県内の高等学術機関 5 組織が協働し、高知 IX, 高知 PoP, 南国 PoP を連携したさせた冗長構成でインターネットや相互接続を実現している。既存の情報システムに意図的に障害を起こすことにより、情報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、実際に機能する事業継続計画(Business Continuity Plan: BCP)を策定することを目的として、TEReCo4*8 プロジェクトは 2013 年度にネットワーク防災訓練を行った*9。本取り組みでは多様な障害要因をロジックモデル手法で可視化し、3つの障害パターンでの検証を行った。その結果、本来不通になる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

*5 釜石市鶴住居地区防災センターにおける東日本大震災津波被災調査報告書 <http://www.city.kamaishi.iwate.jp/index.cfm/6,28416,c,html/28416/20140312-130741.pdf> より

*6 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

*7 津波 34メートル時代の生き抜き方 <http://webronza.asahi.com/science/themes/2912041300002.html>

*8 Traffic Engineering for Regional Communities, version 4

*9 福本昌弘「災害時に事業継続性を発揮する情報通信インフラのための運用計画改善手法および冗長化技術の研究開発」総務省地域 ICT 振興型研究開発(平成 25 年度~26 年度, 四国総合通信局)http://www.soumu.go.jp/main_content/000284013.pdf

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 [6,7]。

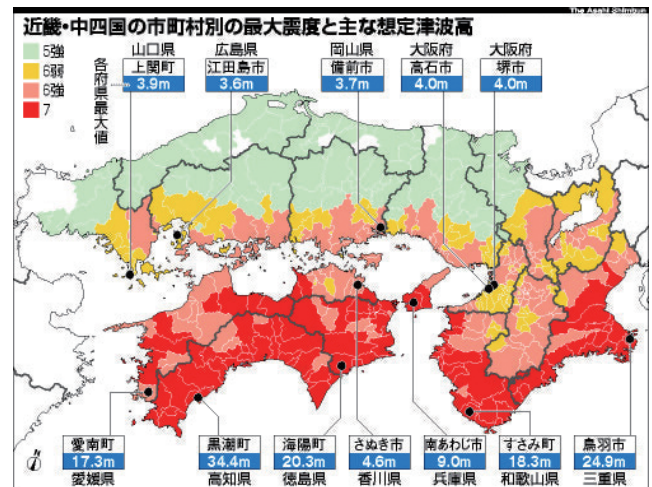


図 2 近畿・中四国の市町村別の最大震度と主な想定津波高

Fig. 2 The maximum seismic intensity and major tsunami height of city by city in Kinki, Chugoku and Shikoku district

このような活動は、主に以下を確認し、課題がある場合にはそれを改善するための材料とすることを目的として行われている。

- 情報システムの障害に対する機能が正しく機能するか(冗長性によって機能維持をする場合には、予備系が正しく機能するか)。
- 情報システムの障害発生時に、システムが障害を通知し、管理者が正しく障害を認識し、原因特定・復旧にいたる手段を実施できるか(直ちに復旧できない場合に代替手段を講じるようになっている場合には、それを実施できるか)。

これまでネットワーク運用管理者を対象としてネットワーク防災訓練の実現が提案されてきたが*10、ネットワーク運用管理者からの反応は、活動の意義や効果は認めるものの、実施することに対する困難が大きいというものであった。また、ユーザが 365 日 24 時間利用しうるため、機能停止を伴う活動が困難であるという声も大きかった。ネットワーク防災訓練を実際に実施することで、ネットワーク防災訓練の有効性を実証することができ、また、ネットワーク防災訓練の方法論を確立して実施の手続きを整備し、小さな手間で実施することが可能となる。高压以上の受電をしている組織が電力設備の法定点検を義務付けられていると同様、一定以上規模の情報システムを運用している組織に対する法令による点検義務が課せられるようになれば、特に地震の発生件数の多い環太平洋地域の国々に

*10 菊池豊「防災訓練! 本当に切るとしたら何処を切りたい何を知りたい?」裏ジャノ 2013@ミクシィ

において有益であると考えられる。

分散システムの中でも特に広域に展開される情報システムは、防災訓練を行うために複数のステイクホルダーの了承を得ることが必須であるため防災訓練の実施が困難だったが、それと同時に高い耐災害性・耐障害性が求められるシステムでもある。そこで我々は分散システムの耐災害性・耐障害性の検証・評価・反映を行うためのプラットフォームを開発した。

3. SDDE プラットフォーム

既に述べた高知県での取り組みにおいてはネットワーク障害の発生は人為的に、かつ実際に人間の手による手動操作で行われたものである。しかし例えば組織内においてネットワークトラフィックの少ない時間帯である深夜から朝にかけての時間帯において障害を発生させようとすると、必然的に人力で訓練のための障害を発生させるコストを要する。前述の取り組みでも障害がもたらす影響を加味して、1月5日の午前5時から訓練を開始しているため、定期的に行うことは困難である。我々は、この訓練が定常的に高い頻度で、しかもパターンの多様性を持つ障害で行われることが必要であると考え、人力で行うためには多様な障害シナリオを記述するコストが必要であり、なおかつ高い頻度で障害を発生させ、その評価を行い、なおかつ検証するコストを算出すると、人力で実現することは現実的ではない。また先の検証においては複数箇所と同時に発生する障害を人為的に作り出すことや、障害後のネットワーク情報を収集すること、そして障害発生後に元の状態へ戻すことの困難さを明らかにしている。そこで本稿で扱う検証・評価・反映を行う機構は、障害を形式的に記述し、かつ障害時にネットワーク情報を収集することが可能であり、評価後にネットワーク状態を元に戻すことが可能であることが要件となる。また自動化により運用コストを低減させるため、これらがソフトウェアで実装されることが重要である。

3.1 災害の模倣による災害訓練の自動化

自動化の実現にはネットワーク機器の制御をソフトウェアで行う必要がある。Open Network Foundation (ONF) による White Paper “Software-Defined Networking: The New Norm for Networks”^{*11} では Software Defined Network (SDN) を “低レイヤーの機能を抽象化することでネットワーク管理者にネットワークサービスの管理を委託するコンピュータネットワークング” として定義している。我々の開発が必要としているものはこれに合致する。現在、SDN といえば OpenFlow といった風潮があるが [8] トラ

フィックの制御をすることのみが SDN でないことは ONF の White Paper にも記述されている。我々が開発しようとしているソフトウェアは OpenFlow のようなトラフィックの制御のみでは実現することが困難である。

OpenFlow 以外の SDN 実装で我々の開発の要求に合致するものとして SNMP や NETCONF^{*12} が挙げられる [9,10]。SNMP は RFC3411, NETCONF は RFC6241 としてインターネット標準になっており、ネットワーク機器に対して設定を投入し、操作、削除をする機構を提供するプロトコルである。SNMP は管理情報ベース (Management Information Base: MIB) をもとに機器の制御を行うため運用が複雑になり、現在は専らネットワーク機器の情報を収集するプロトコルとして利用されている。一方で NETCONF には取り立てて欠点も見当たらないが、使われている事例というものがあまり見当たらない理由として、ツールの決定的な不足を挙げることができる。2000年代前半に提案されたこともあり、XML 幻想に囚われているのかもしれないが、XML は人間が書くようなものではないので何らかのツールが必要となる。しかしそのツールがなければツールを作るほかない。そのツールを作るコスト、作る余裕はネットワーク管理者にはないのであろう。

とはいえ、大量のネットワーク機器を遠隔で制御し、設定情報を一括管理し、なおかつセキュアであるツールのニーズは消え失せたわけではなく、当時と変わらず今なお確実に存在している。そこで Cisco Systems 社は 2012 年に “one Platform Kit” (onePK) をリリースした。このキットは C, Java, Python で操作できる API として提供されており、ネットワーク管理者はそのプロトコルに対応するためのパーサーを書くことに煩わされず、API を使って柔軟にネットワーク機器を制御することが可能である。本開発では Cisco Systems 社の協力のもと、onePK を用いた実装を進め、今後の余裕次第では NETCONF や、他の onePK, NETCONF 非対応ネットワーク機器についても CLI によるコンフィギュレーションを行う API を整備することで、本来あるべき広義の SDN を用いた検証・評価・反映を行うプラットフォームを実現する。我々はこれを SDDE (Software Defined Disaster Emulation) プラットフォームと呼んでいる。本プラットフォームで動作するアプリケーションは、災害シナリオの作成から、シナリオをもとにした実際のネットワーク装置 (エンティティ) への障害エミュレート投入、および状態の収集までを一連のプロシージャとして行うことを想定している。具体的には以下の機能を有し、時間的な変化あるいは空間的な変化を記述し再現することで、災害時における障害状況を模倣する。

- (1) 発災時の障害シナリオを記述できる機能
- (2) シナリオからネットワークエンティティの障害パター

^{*11} <https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/white-papers/wp-sdn-newnorm.pdf>

^{*12} <http://datatracker.ietf.org/wg/netconf/charter/>

ンを構成できる機能

- (3) 障害構成を実ネットワークに実装できる (障害状況を模倣することができる) 機能
- (4) 障害を解除して、定常状態に戻すことができる機能
- (5) 障害の実装、解除において、その前後のネットワークエンティティの状態を自動的に収集することができる機能

3.2 ネットワーク障害の表現

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		遅延発生+n%パケロス
	トラフィックの集中	輻輳	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 3 ネットワーク障害の分類

Fig. 3 Classification of network disorder

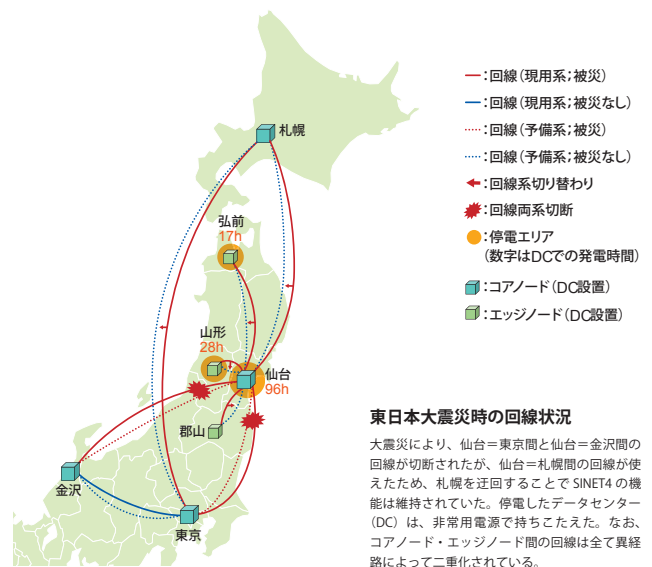
災害によりもたらされるネットワーク障害の表現として、自然災害に起因する障害から装置故障等に起因する障害まで様々な要因が考えられる。また障害パターンの影響範囲、空間的な変化の有無、時間的な推移などの検討も必要となる。総務省「大規模災害等の緊急事態における通信確保の在り方に関する検討会」で示されている災害事象^{*13}や「情報通信ネットワーク安全・信頼性基準」^{*14}の内容をもとに災害時における通信設備等に対する障害に焦点を絞って、各事象に対してネットワーク装置に適用する制御について検討する。現在検討中の分類表を図3に示す。通信障害は主に2つの原因に大別される。ひとつはトラフィック集中による輻輳、もうひとつは回線や機器等のハードウェア・設備障害である。図3はこれらを細かな区分に分類し、それぞれの障害要因と具体的な症状の対応付けを行い、各々について本プラットフォームで実装する機能についてまとめたものである。例えば通信断であっても、ネットワーク機器自体が故障する場合と、中継機・交換機が故障する場合には実際の通信において観測される症状が異なることが予想される。本プラットフォームでは、このような症状も模倣できる形でのパターンの分類を検討している。

^{*13} 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

^{*14} 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

4. 災害発生シナリオの作成

災害発生シナリオの作成には二種類のアプローチがある。一つは既に発生した災害による障害が発生したネットワークを模倣するシナリオであり、もう一つはまだ発生しておらずこれから発生することが想定される災害の想定をもとにした障害の予測シナリオである。災害によりどのような箇所まで障害が生じたかについて回線事業者に情報の公開を求めても開示をしてもらう事に困難が生じることが予想されるが、例えば国立情報学研究所 (NII) が提供する学術情報ネットワークである SINET4 では、東日本大震災時の回線状況について公開している [11]。仙台～金沢間、および仙台～東京間では回線の正副両系の切断が生じ不通になった状況や、仙台 DC は発電により 96 時間サービスを持続したことが公開されている (図 4)。さらに詳細な時系列についても照会すれば情報を獲得できることが期待でき、この時系列に沿った障害発生情報をもとに東日本大震災時の SINET4 のネットワーク障害を模倣することができる。



東日本大震災時の回線状況

大震災により、仙台=東京間と仙台=金沢間の回線が切断されたが、仙台=札幌間の回線が使えたため、札幌を迂回することで SINET4 の機能は維持されていた。停電したデータセンター (DC) は、非常用電源で持ちこたえた。なお、コアノード・エッジノード間の回線は全て異経路によって二重化されている。

図 4 東日本大震災時の SINET4 の回線状況

Fig. 4 Diagram of SINET4 network operating conditions after the 2011 Tohoku earthquake and tsunami

一方、これから発生することが想定される災害については、例えば前述の中央防災会議防災対策推進検討会議の南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループが作成した「南海トラフ巨大地震の被害想定について (第二次報告)」^{*15} が公開されている。この報告では「大すべり域+超大すべり域」が発生する箇所を 5 ケースに分け (図 5)、各々のケースで発生する固定電話回線の不通回線数と不通回線率が推定されている。しかしながら実際にネットワーク回線がどこに敷設されているかは公知でなく、発生する

^{*15} http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_info.html

津波や土砂災害により損傷を受ける可能性のあるネットワーク回線の箇所については明示されていない。不通回線数と不通回線率の推定値は経時変化が示されているものの、被災1日後、1週間後、1ヶ月後という区切りでの推定値であるため、時系列に沿った災害発生シナリオを作成することが難しい。この点については今後の慎重な検討が必要となる。

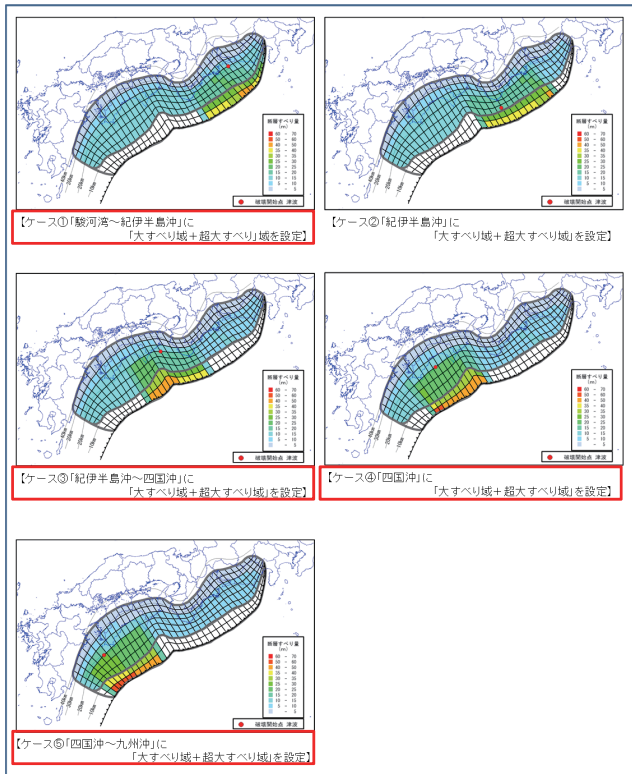


図 5 南海トラフ地震における津波断層モデルのすべり量設定
Fig. 5 5 patterns of slip on seismic surge fault models of Nankai megathrust earthquakes

5. まとめ

災害により生じるネットワーク障害を模倣する SDDE プラットフォームを構築し、この上で動作させる災害発生フレームワークについてシナリオの記述方法について検討を行った。既存の実装では、障害を発生させる箇所を予め指定し、障害を発生させることしかできない。しかし実際の防災訓練においてはかつて発生した災害を再現し、あるいは今後発生するであろう災害を模擬し、訓練を行う。この「災害の再現」と「予想災害の模擬」を実現する機構が本ソフトウェアの価値である。より広範に普及させるためにビジネスモデルの検討を行う予定である。

謝辞 本研究は平成 26 年度北海道大学情報基盤センター共同研究「Software Defined Datacenter を実現する広域分散環境の検証」、平成 26 年度国立情報学研究所共同研究「拠点間マイグレーションを実現する広域分散クラウド技術の

方式検討および SINET4 等を利用した実証実験」による支援、総務省戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE) 先進的通信アプリケーション開発推進型研究開発「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、クラスタストレージ技術である EXAGE / Storage をご提供いただいた株式会社インテック、および、アクセスサーバとして UCS 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] George Coulouris, Jean Dollimore, Tim Kindberg, Gordon Blair: Distributed Systems: Concepts and Design, 5th edition, ISBN: 9780132143011, Addison-Wesley Publishing Company (2011)
- [2] Norbert Wiener: Cybernetics, Second Edition: Or the Control and Communication in the Animal and the Machine, The MIT Press (1965).
- [3] ノーバート・ウィーナー (著), 池原止夫夫, 彌永昌吉, 室賀三郎, 戸田巖 (訳): サイバネティックス 動物と機械における制御と通信, 青 948-1, 岩波文庫 (2011).
- [4] John S. Oakland: Total quality management, Heineemann Professional, ISBN: 9780434914791, LCCN: 89032160 (1989)
- [5] 山下文男: 津波でんでんこ 近代日本の津波史, 新日本出版社, ISBN: 9784406051149 (2008)
- [6] 岡村健志, 菊池豊, 福本昌弘, 豊永昌彦, 佐々木正人, 今井一雅, 山田寛, 風間裕, 一色健司, 名和真一, 高畑貴志: 地域 IX における人為的障害による耐災害性の検証, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2014) シンポジウム, pp.485-489 (2014)
- [7] 菊池豊, 岡村健志, 福本昌弘, 豊永昌彦, 佐々木正人, 今井一雅, 山田寛, 風間裕, 一色健司, 名和真一, 高畑貴志, 栢分正人, 井上望美, 柴田祐輔: 地域 IX で恣意的な障害を発生させることによる耐障害性の検証, ITRC technical report 2013 (2014)
- [8] Nick McKeown, Tom Anderson, Hari Balakrishnan, Guru Parulkar, Larry Peterson, Jennifer Rexford, Scott Shenker, Jonathan Turner: OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks, SIGCOMM Comput. Commun. Rev., Vol. 38, No. 2, pp.69-74 (2008)
- [9] D. Harrington, R. Presuhn, B. Wijnen: An Architecture for Describing Simple Network Management Protocol (SNMP) Management Frameworks, RFC 3411 (2002)
- [10] R. Enns, M. Bjorklund, J. Schoenwaelder, A. Bierman: Network Configuration Protocol (NETCONF), RFC 6241 (2011)
- [11] 東日本大震災でもサービスの提供を続けていた SINET4, NII Today, Vol. 52, pp. 8-9 (2011)