

2017年度博士後期課程（ソフトウェア情報学）論文

大規模災害時における統一した災害情報の収集・表示・操作を
可能とする超高精細表示システムの研究

Research on Unified Disaster Information Gathering/Displaying/Operating
System on Ultra Definition Displaying System in Large Scale Disaster

岩手県立大学大学院
ソフトウェア情報学研究科
2018年3月15日

2362012001
櫻庭 彬

研究指導教員 橋本浩二
土井章男
佐々木淳

要旨

本論文では、高精細表示環境を使用して被害情報の提示を主目的とする災害情報 GIS の設計について述べる。大規模災害発生直後、被害情報は自治体が設置する災害対策本部に多数集中する。本提案手法は、大型かつ高精細表示環境による大量の被害情報の広範囲かつ詳細な表示を実現するとともに、高解像度画像を災害情報コンテンツとして多数表示することのできる災害情報提示空間の提供を行う。物理的大型ディスプレイにより、現実の災害対策本部のような多人数による情報閲覧の支援を可能とする。本システムは表示コンテンツ表示のための制御機能を災害対策本部員に対して提供することにより、大規模災害で発生した時空間情報を整理しつつ、その場の職員が「共通の状況認識」の把握を支援する。加えて、本提案手法では災害現場から即時に被害状況を本部へ報告するための被害情報報告サブシステムを統合的に扱う。また、被害情報を上位機関である都道府県や隣接市町村との間で相互に共有するための設計を含み、被害情報報告を迅速なものにするデザインとした。本稿では、これらの手法の有効性を評価するため、プロトタイプシステムを構築し実災害を想定したシナリオに基づく評価実験を行った。その結果、被害情報の現場からの報告は劣悪なネットワークにおいても一定の報告機能を稼働させることができた。大規模高精細表示環境を使用した被害情報の提示に関しては、遅延はあるものの、安定したパフォーマンスで表示できることを確認した。

Abstract

This paper describes a design of disaster management GIS on ultra high definition display environment. In the early stage of large scale disaster, a huge number of disaster-related information are consolidated to counter disaster headquarters. This proposed method provides presentation workspace which consists of two of different disaster information spaces. The first of them is designed to show wide-area's detailed view and high resolution digital image based on GIS map. Second one shows media displaying workspace of whiteboard-like display environment. Physically large display has capability to present disaster information for multiple user at once as with actual counter disaster headquarters. This system also provides control method to operate workspace for user, in order to organize huge information for making common understanding among officers at headquarters. The system integrates disaster information state reporting method from disaster area with presentation method, it is designed to report faster than conventional reporting procedure. Proposed system is designed to share disaster information between both prefectural headquarters and other municipal headquarter too. To evaluate proposed method, we set up performance evaluation. As these result, we suggest that our proposed system can perform reporting function on unstable performance network. We have also measured display delaying on ultra high definition display for evaluation, we observed some delaying to show whereas display performance was quite stable.

目次

1. はじめに ...11
 - 1.1. 背景：本邦の自然災害と自治体の災害対策任務 ...11
 - 1.2. GIS の普及と超高精細表示関連技術の進展 ...14
 - 1.3. 本研究の目的 ...19
 - 1.4. 本稿の構成 ...19
2. 災害時の意思決定プロセスおよび被害情報の提示に関する課題 ...21
 - 2.1. はじめに ...21
 - 2.2. 防災関係の職務に従事する職員へのヒアリング分析 ...21
 - 2.2.1. 調査対象者 ...21
 - 2.2.2. 調査方法 ...21
 - 2.2.3. ヒアリングに対する回答内容 ...21
 - 2.2.4. ヒアリング結果の分析 ...22
 - 2.3. 地方公共団体における情報集約 ...23
 - 2.3.1. 岩手県における災害情報集約の現状 ...23
 - 2.3.2. 平成 19(2007) 年新潟県中越沖地震の事例 ...23
 - 2.3.3. 平成 27 年 9 月関東東北豪雨の事例 ...24
 - 2.3.4. 平成 28 年熊本地震の事例 ...25
 - 2.4. 過去の災害対策事例の分析 ...26
 - 2.4.1. 被害と地理情報の紐付けにかかわる課題 ...26
 - 2.4.2. 共通の状況認識の確保に関する課題 ...26
 - 2.4.3. 地理情報の表示にかかわる課題 ...27
 - 2.5. まとめ ...27
3. 統一的災害情報提示システム LIVEWall...28
 - 3.1. システムの目的 ...28
 - 3.2. システムの機能 ...28
 - 3.2.1. 被害情報の収集・報告 ...28
 - 3.2.2. 被害情報の蓄積・保持 ...29
 - 3.2.3. 被害情報提示空間（ワークスペース）の構築 ...30
 - 3.2.4. 被害情報提示空間の大規模超高精細ディスプレイへの出力 ...31
 - 3.2.5. 被害情報提示空間へのアクセスと表示される情報の制御 ...31
 - 3.3. ワークスペース ...32
 - 3.4. Workspace Controller によるインタラクション ...33

- 3.5. オーバレイ表示情報のフィルタリング ...35
 - 3.5.1. 最新情報によるフィルタリング ...35
 - 3.5.2. 優先度によるフィルタリング ...36
 - 3.5.3. 時系列フィルタリング ...36
 - 3.5.4. 地理的フィルタリング ...36
- 3.6. LIVEWall の災害時インフラの利用 ...36
 - 3.6.1. 災害情報ネットワーク ...36
 - 3.6.2. 電力 ...37
- 3.7. システム構成 ...38
- 3.8. アーキテクチャ ...39
 - 3.8.1. Disaster Information Server...40
 - 3.8.2. State Reporting Device...41
 - 3.8.3. Presentation Host...41
 - 3.8.4. Workspace Controller...42
 - 3.8.5. LIVEWall Manager...42
 - 3.8.6. GIS サーバ ...43
- 3.9. LIVEWall が取り扱う被害情報 ...43
 - 3.9.1. 被害情報の種別 ...43
 - 3.9.2. メタデータ ...45
- 3.10. 被害情報のアクセス権 ...46
 - 3.10.1. CLOSED...46
 - 3.10.2. NEIGHBOR-ONLY...47
 - 3.10.3. ONLINE...47
 - 3.10.4. SUPERVISABLE...47
 - 3.10.5. REPORTING...47
 - 3.10.6. FULL-ONLINE...48
- 3.11. State Reporting Device の実装 ...48
- 3.12. Presentation Host の実装 ...49
- 3.13. Workspace Controller の実装 ...50
 - 3.13.1. Shared Workspace...51
 - 3.13.2. オーバレイ情報のフィルタリング設定 ...53
 - 3.13.3. Contents Workspace...56
 - 3.13.4. Disaster Information Server の実装 ...57
- 3.14. LIVEWall Manager の実装 ...57

3.15.	サブシステム間のデータフロー ...59
3.15.1.	Shared Workspace のデータフロー ...59
3.15.2.	Contents Workspace のデータフロー ...63
3.16.	まとめ ...67
4.	プロトタイプシステム ...68
4.1.	はじめに ...68
4.2.	ハードウェア構成 ...68
4.3.	ソフトウェア構成 ...70
4.4.	まとめ ...71
5.	機能および性能評価 ...72
5.1.	はじめに ...72
5.2.	機能比較による評価 ...72
5.2.1.	既存災害情報 GIS との機能的比較 ...72
5.2.2.	TDW プラットフォームとの機能的比較 ...74
5.3.	State Reporting Device の可用性評価 ...76
5.3.1.	評価の目的 ...76
5.3.2.	実験環境および構成 ...76
5.3.3.	評価実験で使用したデータ ...77
5.3.4.	ネットワークのエミュレーション ...78
5.3.5.	実験結果 ...80
5.4.	TDW への出力評価 ...83
5.4.1.	目的 ...83
5.4.2.	実験の構成および構成 ...83
5.4.3.	Shared Workspace の評価シナリオ ...85
5.4.4.	Contents Workspace の評価シナリオ ...86
5.4.5.	Shared Workspace の表示評価実験結果 ...88
5.4.6.	Contents Workspace の表示評価実験結果 ...89
5.5.	実験の考察 ...90
5.5.1.	State Reporting Device の可用性評価実験に対する考察 ...90
5.5.2.	ワークスペースの表示遅延評価に対する考察 ...91
5.6.	まとめ ...93
6.	システムの利用によるハンズオン評価 ...94
6.1.	はじめに ...94
6.2.	ハンズオン評価の対象と流れ ...94

6.3.	ハンズオン評価全体における「想定災害」	...95
6.3.1.	災害の背景・状況	...95
6.3.2.	主要被害状況	...95
6.4.	プレイヤーおよび被験者の属性	...96
6.5.	状況付与	...97
6.5.1.	State Reporting Device への状況付与	...97
6.5.2.	Workspace Controller への状況付与	...98
6.5.3.	状況付与のプレイヤーへの提示	...99
6.6.	Shared Workspace への被害情報配置状況	...100
6.7.	Contents Workspace に対するプレイヤーへのオペレーションの要求	...102
6.8.	ハンズオン実験の環境	...103
6.9.	評価方法	...104
6.10.	ハンズオン評価結果	...104
6.10.1.	State Reporting Device のユーザビリティ	...105
6.10.2.	Shared Workspace に対する Workspace Controller のユーザビリティ	...105
6.10.3.	Contents Workspace に対する Workspace Controller のユーザビリティ	...106
6.10.4.	システムその他部分のユーザビリティ	...107
6.11.	ユーザビリティ評価に関する考察	...108
6.12.	まとめ	...110
7.	考察および課題	...112
8.	むすびに	...114
	謝辞	...116
	参考文献	...117

図目次

- 図 1. 災害対策本部のツリー型構造12
- 図 2. TDW ベースの超高解像度表示環境16
- 図 3. NHK 総合テレビジョンで放映された益城町災害対策本部の状況
平成 28 年 4 月 14 日 22 時 30 分頃 [28].....26
- 図 4. ワークスペースの概念32
- 図 5. Workspace Controller と TDW 上のワークスペースのインタラクション関係34
- 図 6. Shared Workspace におけるフィルタリングの概要35
- 図 7. 災害対策本部間通信網のモデル図37
- 図 8. 本システムの構成38
- 図 9. 本システムのアーキテクチャ40
- 図 10. 被害情報の種類43
- 図 11. 優先度別のドロップピン44
- 図 12. 地図上のドロップピンとシーケンス番号44
- 図 13. State Information Device のスクリーンショット49
- 図 14. Shared Workspace と Contents Workspace の TDW への表示50
- 図 15. Workspace Controller における Shared Workspace と Contents Workspace 間のタブの切替51
- 図 16. Shared Workspace の TDW 操作メニュー52
- 図 17. Workspace Controller におけるプレビュー表示53
- 図 18. 優先度フィルタリングの設定画面54
- 図 19. 地理的フィルタリングの設定画面55
- 図 20. 時系列フィルタリングの設定画面55
- 図 21. Contents Workspace の操作メニュー56
- 図 22. LIVEWall Manager の被害情報提示画面58
- 図 23. Shared Workspace インタラクションのデータフロー59
- 図 24. Contents Workspace インタラクションのデータフロー63
- 図 25. LIVEWall プロトタイプのネットワークレベルでの接続と構成68
- 図 26. State Reporting Device 評価環境の構成76
- 図 27. State Reporting Device 評価環境で送信される画像データ78
- 図 28. Gigabit Ethernet における State Reporting Device による被害情報送信の結果80
- 図 29. W-CDMA における State Reporting Device による被害情報送信の結果81
- 図 30. VSAT における State Reporting Device による被害情報送信の結果82
- 図 31. 802.11b/g における State Reporting Device による被害情報送信の結果82

図 32. FDD-LTE における State Reporting Device による被害情報送信の結果	83
図 33. TDW 表示遅延評価実験構成	84
図 34. Shared Workspace の表示評価での各シナリオ表示結果	86
図 35. Contents Workspace の表示評価での各シナリオ表示結果	88
図 36. Shared Workspace の表示遅延実験結果	89
図 37. Contents Workspace の表示遅延実験結果	90
図 38. プレイヤーとなる被験者の ICT スキル	97
図 39. プレイヤーに提示される状況付与カードの一例	100
図 40. プレイヤーに提示したオーバーレイ情報の凡例	101
図 41. 状況付与開始時における Shared Workspace への被害情報配置状況	102
図 42. プレイヤーに要求した Contents Workspace のオブジェクト配置	103
図 43. ハンズオン試験の機器配置概況（俯瞰）	104
図 44. ハンズオン試験の機器配置状況（実態）	104
図 45. State Reporting Device のユーザビリティ平均スコア	105
図 46. Workspace Controller の Shared WS 部分のユーザビリティ平均スコア	106
図 47. Workspace Controller の Contents WS 部分のユーザビリティ平均スコア	107
図 48. システムのその他部分のユーザビリティ平均スコア	108

表目次

表 1. メタデータのフィールドと情報例	45
表 2. 被害情報のアクセス権	46
表 3. 構成サブシステムのハードウェア構成	69
表 4. TDW 構成ノードのハードウェア諸元	69
表 5. 既存災害情報 GIS との機能比較	72
表 6. TDW 表示環境との機能比較	74
表 7. State Reporting Device 評価環境で送信されるメタデータ	77
表 8. State Reporting Device 評価環境でエミュレートするネットワーク性能	79
表 9. Shared Workspace の表示評価タスクと Presentation Host の送受信データ量	86
表 10. Contents Workspace の表示評価タスクと Presentation Host の送受信データ量	87
表 11. State Reporting Device への状況付与	98
表 12. Workspace Controller への状況付与	99

1. はじめに

1.1. 背景：本邦の自然災害と自治体の災害対策任務

本邦は災害多発国であることが知られている。平成 22 年から平成 27 年にかけて、地震は観測規模が気象庁マグニチュード $M_j=6.0$ 以上の事象に限っても 95 回 [1]、台風の上陸数は 17 個 [2] を、気象庁が命名した災害として計数される降雨災害等の事象は 5 回 [3] をそれぞれ記録している。

当然ではあるが、大規模災害は、被害報告数や関係する都道府県数が増える特徴がある。平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震においては、住宅にかかわるだけでも 17 都県の約 710,000 箇所 [4] で、平成 28 年 (2016 年) 熊本地震では、建物被害報告数が 7 県約 7,600 棟 [5]、近い将来発生が予測されている南海トラフ地震では、道路被害に限っても 39 都府県のおよそ 40,500 箇所 [6] でそれぞれ被害が報告され、また予測がなされている。

これらの大規模災害は、地理的広範囲に被害が波及し、その被害も極めて甚大であることが一般的である。そのため、住民の生命および財産を守るため、都道府県や市区町村といった地方公共団体は大規模災害に対しての十分な準備を行うことが求められている。各地方公共団体は、あらかじめ定められた規模の災害の発生が予測され、もしくは発生した場合に災害警戒本部並びに災害対策本部を設置し、災害の対応を主体的に行うことが国から求められている [7]。一例である岩手県では指定職員配備、主査以上配備、全職員配備の 3 段階を災害対策本部規定により定めており、このうち最もレベルの高い全職員配備では、本部および広域支部それぞれにおいて、(1) 大規模な災害が発生した場合において、本部長が本部のすべての組織及び機能を挙げて災害応急対策を講じる必要があると認めたとき、(2) 津波警報 (大津波) が発表された場合、(3) 県内に震度 6 強又は震度 7 の地震が発生した場合等のそれぞれのケースにおいて災害対策本部が設置され、職員が対応にあたることとされている [8]。市区町村レベルでも同様であり、滝沢市災害警戒本部設置要領 [9] では、(1) 市内の地域に気象警報が発せられたとき、(2) 市内の地域に震度 4 以上の地震が発生したとき、(3) 岩手山に関する臨時火山情報 (火山噴火予知連の統一見解を除く。) が発せられたとき、(4) 大規模な火災、爆発等による災害が発生するおそれがあるとき並びに長雨等による地面現象による災害が多数発生するおそれがあるときのそれぞれの事象が発生することが予期される場合に災害警戒本部を設置することとされている。このように、大規模災害につながる災害の発生が予測される状況または災害が実際に発生した場

合、各都道府県およびその傘下の市区町村は相互に連携して、被害発生防止と、状況の把握、そして被害への対応により早期の復旧・復興を行うための活動を実施することになる。

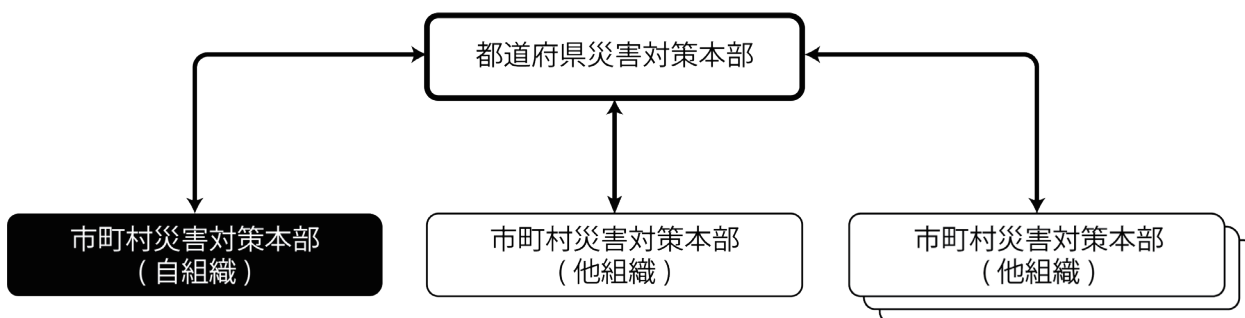


図 1. 災害対策本部のツリー型構造

ところで、我が国の災害対策本部運営は、広域災害が発生した場合に内閣が設置する非常災害対策本部が設置された場合を除いては、図 1 に示すような、都道府県庁に設置された都道府県災害対策本部をトップとしたツリー構造による組織を編成する。このツリー構造の中において、下位機関である市区町村は、上位機関である都道府県に対して、被害情報を取りまとめて報告を行う。このとき、市町村は、まず管轄する地域内の被害情報の収集にあたることとなるが、大規模災害が発生したケースでは、被害情報数も莫大なものとなることが容易に推測される。このため、対応にあたる市町村災害対策本部においては、これらの情報を整理し、被害情報を上位機関へ報告する必要が生じる。

一方で、市町村は、上位機関である都道府県災害対策本部でとりまとめられ、発信された情報や指示を受領する。この構造は、都道府県レベルでは情報の集約を一元的に行い、統一的な意思決定を行えるメリットを持つ一方で、複数市区町村にまたがる広域災害においては、隣接した市区町村の間で直接的に災害情報の共有を行うことが想定されておらず、市区町村の境界近くで発生した被害の把握を早期に行うことが困難であると考えられる。

加えて発災直後に重要とされているのが被害情報である。渡部ら [10] が指摘する災害時に必要な情報として、発災から 72 時間程度とされる発災期においては、被害情報が最も重要な情報の一つとして挙げられているが、災害の規模によってはこの伝達が不十分であることがこれまでの自然災害を経験した教訓として得られている。一例である平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震においては、通信局設備および通信線路の物理的障害や通信の輻輳を起因として、県庁と沿岸部市町村等間の情報途絶が課題としてあげられた [11]。報告書では、このような市町村間の通信が途絶した場合には、情報通信技術を活用した災害時の通信確保や、それをバックアップする非常用電源や衛星携帯電話などのイン

フラストラクチャの整備，加えて情報収集が必要とされる場合に，県災害対策本部長が現地調査班を派遣できる体制を整備するといった事項を岩手県地域防災計画へ盛り込むことを提言している。

前述の通り，発災期には被害情報の集約が災害対策本部にとって最も重要なタスクの一つとなっているが，被害情報の調査を行う職員が災害対策本部が設置されている庁舎を出発し，被害情報収集のために現地で被害状況の調査や写真撮影を行い，報告関係業務のために，いったん庁舎に戻ってくるといった移動時間等による被害情報集約にかかる遅延が存在することが考えられる。特に大規模災害においては，道路などのインフラが大きく損傷を受け，あるいは避難する地域住民の自動車による交通渋滞が発生が頻発しあるいは想定しうる事象である。その一方で，情報を収集した被害情報の調査を行う職員の移動にもなう報告の遅延は抑制することが可能な要素であり，これを抑制するための手法が必要であると考えられる。

災害対策本部の業務，特に情報集約においては，複数の部署から構成される組織（岩手県災害対策本部では情報班が相当）において，管轄地域内の状況を認識し，部署間で共通の状況認識を形成し，意思決定者に対して共通の状況認識に基づいた適切な意思決定を支援し，また上位・下位機関相互の情報発信を実施する必要があることが指摘されている。

我が国の災害対応業務では，一般に災害対策用地図または災害対策用図と呼ばれる縮尺が 1:100,000 から 1:25,000 程度の白地図が使用されるか，行政事務でデファクトスタンダードとなっている株式会社ゼンリンが発行する住宅地図を使用して，被害状況とその地理的位置の結びつけを行っている。そして，これらの紙ベースの地図を大判にしたものを災害対策本部の机上に広げて，これをもとに現在の状況に応じた応急修復や復旧計画の立案などに利用されている。これを通じて複数部署間で**共通の状況認識 (Common Understanding)** の形成を目的に当該の作業を実施し，統一的な視点から現況を掌握し，復旧に関する意思決定と行動を実施することになる。

ところが，紙ベースの地図は，時系列での管理という観点からは，特定の被害地点の履歴を参照することが困難であると考えられる。実際に平成 25 年に岩手県がとりまとめた災害対応の見直し概要に関わる報告書 [12] では，災害対応業務に携わった職員に対してのアンケート調査において災害対策業務を遂行する上での課題として，情報分析・整理に必要な地図や位置情報の整理に課題があるとの結果がまとめられている。これを受けて岩手県では，位置情報の確認や，地図上への情報整理方法について，被害情報の分析を行う情報班の業務フローを見直しを行うことを検討することを決定するなど，位置情報の扱いは課題となっている現状が存在する。

このように、既存の災害情報管理には、その方法について現場レベルからでも改善の要求が出されることから、大規模災害における情報管理に対しての課題が残る状況となっている。

1.2. GIS の普及と超高精細表示関連技術の進展

こんにちの我が国においては、業種にかかわらず地理情報システム (GIS, Geographical Information System) を構成要素とした多数の情報システムが実際の現場で運用されており、災害対策活動や、それを担任する都道府県レベルの地方公共団体においても次第に導入が進みつつある。一例では、茨城県において県と県下の全市町村が共同で運用する県域統合型 GIS「いばらきデジタルまっぷ」[13] が運用されており、GIS のアプリケーションの一つとして防災用途に使用することが設計に盛り込まれている。

しかしながら現在一般的な運用がされている GIS アプリケーションは、標準的な PC に接続された画面解像度が Full High Definition(1,920 x 1,080 px) 程度、また多くは 20 インチ台の液晶ディスプレイ、もしくはスマートフォンやタブレットといったスマートデバイス類での運用が事実上前提となっている。発災直後には、市町村災害対策本部がまず被害情報の第一線として対応を求められることから、特に大規模災害において、大量の情報が市町村対策本部に押し寄せることになる。このようなケースでは、物理的な画面サイズの小ささが特徴である表示デバイスによる GIS 運用に次のような課題があると考えられる。

第一に、複数人数による状況掌握を目的とする災害 GIS アプリケーションには、単一ディスプレイでのユーザビリティが低いことによる問題があると考えられる。一般的な PC やスマートデバイスは、基本的に単一のユーザのみが使用することを前提に設計されているため、複数の部署のユーザが、共通の状況認識のもとに協働を行う災害情報タスクにおいては、そのまま応用することの困難さが想定される。

第二点である解像度に起因する問題としては、ディスプレイデバイスが表示可能な最大解像度が決定している以上、表示できる地理的領域と地図の詳細な表示はトレードオフの関係にあり、特に複数の市町村に被災範囲が及ぶような大規模災害において、広域における正確な情報の掌握に課題を残すことが考えられる。

ところで、マルチメディアコンテンツを被害情報の把握に使用することは重要な要素の一つとみなされている。前述の岩手県の報告書 [12] によれば、災害対策本部では被害情報の収集手段の一つとして、テレビジョン放送を盛り込むことが現場から要求されている。また、平成 28 年 (2016 年) 熊本地震においては、国土交通省が UAV (Unmanned Aerial Vehicle) により動画像を撮影し、土木構造物の被害状況を調査した事例が存在する。

このような事例は、災害情報のリッチコンテンツ化の一端であるといえる。

ところが、これまでの災害対策本部の活動ではこれらのマルチメディアコンテンツによる被害情報を取り扱うことは考慮されていないか、考慮されていた場合であっても、PCに接続された一般的な解像度のプロジェクタによって行われる程度にとどまり、机上の地図による情報表示と関係性との分離による状況掌握の非効率性が懸念される。さらに、被害情報の報告も同様に紙ベースで行われており、マルチメディアコンテンツが今後災害対応業務の主力となってきた場合において、コンテンツと被害情報との結びつけが課題となることが考えられ、これらの方策を検討する余地があると考えられる。

一方で、災害対策本部で行われる被害情報の共有の活動は、その意思決定も含めて、複数の部門を横断して行われることが一般的である。つまり、それぞれの業務において、担当者が重要だと考える被害情報にアクセスできる手段を確保しつつ、災害対策本部としては統一的な情報の理解を得るための何らかの方策が必要と考えられる。

ところで、大規模データの可視化手段において、ディスプレイ解像度が不足していることが課題として挙げられていた。これら超高解像度ディスプレイ実現への要求への一つの解決策として、図2のようなタイルドディスプレイウォール (TDW) 技術が過去10年ほどで成熟したものとなった。TDWは、一般的なディスプレイパネルを縦横の格子状に配置したディスプレイアレイと、コンテンツを表示、あるいはディスプレイ構築を制御する計算機から構成され、単一の大規模かつ超高精細解像度をもつ表示デバイスを実現する技術である。黎明期において、TDW技術は分散コンピューティングと高速ネットワークの発展を背景として開発されたものがあり、本稿では便宜的にこれを**第1世代 TDW**と呼ぶことにする。第1世代 TDWの一例として米イリノイ大学 EVL (Electric Visualization Laboratory) が開発した SAGE (Scalable Adaptive Graphics Environment)[14] や、xK[15]、CGLX[16]、DisplayCluster[17]、Chiba らの手法 [18]、Samsung UDなどが挙げられており、これらは大型の単一高精細表示装置を、高速ネットワークによる分散レンダリングにより実現することに主眼がおかれていた。



図 2. TDW ベースの超高解像度表示環境

コンテンツが TDW に表示されるまでの機序として，第 1 世代 TDW の一つ SAGE[14] を挙げると，最初に，アプリケーションが動作するアプリケーションノードにおいて，アプリケーションが SAGE の出力フレームバッファに出力したい画面のピクセル情報を書き込む．次にアプリケーションが動作する計算機がこのバッファをフラッシュすると，TDW の表示を管理するマスタノードの指示に従って表示するピクセルデータを分割し，ディスプレイが接続されたレンダリングノードに送信する．これを受けて，ディスプレイが接続されたレンダリングノードは，送信されたピクセルデータをディスプレイに表示するものである．このように，第 1 世代 TDW では，出力に直接利用されるピクセルデータの送受信が，計算機間のネットワークの上で行われるものであった．

その一方で 2010 年代以降では，AMD Eyefinity[19] や NVIDIA Mosaic[20] に代表される，単一のアプリケーションノードが複数（特に 3 枚以上）のディスプレイからなるマルチディスプレイ環境にピクセルデータを直接表示することができ，かつ，既存のデスクトップアプリケーションを再コンパイルすることなく TDW 上に表示できる技術が現れるようになった．ここでは，この技術を便宜的に**第 2 世代 TDW** と呼ぶことにする．この技術が台頭した背景には，従来のアナログ VGA や DVI といったディスプレイと計算機間を接続するケーブル規格がデジタル化かつ大容量化され，大容量のピクセルデータを直接高解像度ディスプレイに送信できる HDMI(High-Definition Multimedia Interface) や DisplayPort などの規格をインタフェースとしたディスプレイおよびグラフィックカードの普及や，単一のグラフィックボードで多数のディスプレイ出力を提供できる製品が市場に投入されたこ

とを背景として挙げられる。これにより、第1世代 TDW で必須であった、ディスプレイアレイを構成するディスプレイの枚数ごとに増加するレンダリングノードや、レンダリングノード、マスタノードそしてアプリケーションノード間を結ぶネットワークングデバイスが不要となった。

アプリケーションノードとディスプレイアレイが直結できるシンプルな構成を実現可能な第2世代 TDW では、容易にディスプレイアレイを構築、コンテンツの出力ができるようになった。第2世代 TDW をプラットフォームとした、SAGE2[21] や HyperInfo[22] に代表されるシステムのデザインにおいて、Web アプリケーションで利用される技術による表示をもとにした実装が一般化し、システムの目的の主眼も多人数によるコラボレーションタスクに変化しつつある。

TDW 技術が他に有しない特徴は、単一のディスプレイ環境では実現し得ない超高精細環境を大画面で実現できること、汎用的なデバイスで構成されることによる低コスト性を挙げることができる。

一点目の超高精細解像度の実現においては、比較的簡単に構築が可能となる技術の一つである AMD Eyefinity Technology[19] においても、同社のグラフィックカード実装の一つである AMD FirePro V7900 を使用し、ディスプレイアレイと PC 間の接続に DisplayPort 1.2 を使用した環境では、縦 16K pixel、横 16K pixel の総ピクセル数 256 Mega pixel という、2017 年現在における汎用表示デバイスをはるかに超えた超高精細環境を実現させることが可能となっている [23]。

TDW におけるスケーラビリティは、設置される物理的な環境や、要求されるタスクによって構成を容易に選択することが可能な観点から説明できる。2017 年現在で一般的に入手可能な液晶ディスプレイの多くは、テレビジョン放送のコンテンツ表示を背景に定められた、画面アスペクト比が 16:9 であるものが多く、表示するコンテンツによっては、これを変化させることが必要になってくる可能性があるが、TDW では画面アスペクト比および表示解像度を柔軟に変更でき、表示コンテンツに最適な表示環境を実現しうる特徴を有する。また、設置すべき場所の物理的制約によっては、大型のディスプレイ装置を設置することは困難であることも容易に考えられるが、TDW は L 字型のように変形させた配置を行うことも可能である。すなわち、既存のディスプレイ装置や大型プロジェクタのスクリーンでは困難であった配置も可能となる、設置における柔軟性を有することが挙げられる。

第三に挙げた TDW が汎用デバイスから構成されていることに関しては、2010 年代に至るまで、デジタルサイネージ等で使用されていたマルチディスプレイ装置においては、

リアプロジェクション型の大型スクリーン並びに専用の制御装置から構成される特殊な機材を使用する必要があったケースもある。一方、近代的な TDW においては、比較的安価である液晶ディスプレイを組み合わせ、汎用的なワークステーションや、ハイエンドクラスの PC 程度の処理能力のある計算機と、汎用的なネットワークングデバイスを組み合わせることで実現が可能である点が大きく異なっている。

こうした技術は、多数の情報コンテンツを同時に表示することが可能で、しかもコンテンツに含まれる情報を損なう縮小処理をさせることなく、さらに、物理的規模を生かした大画面として表示することによる多人数による閲覧を可能にするといった特徴をもつ。災害対応業務に対する TDW の特徴は、災害発生後の初動期に、災害対策本部へ大量に押し寄せる多数の被害情報を管理し、表示し、そして意思決定に必要な情報として扱うために必要な基盤として活用することに対する潜在的能力を有していることが考えられる。

前述したように、TDW は大型かつ超高精細な特徴をもつディスプレイであるが、コラボレーションツールとしての利用という観点からは、表示されているコンテンツに対するインタラクションもまたさまざまな検討がなされてきた。その一つに、ディスプレイアレイに赤外線走査式のタッチセンサを装着したものがあり、多人数がディスプレイに近接して、直接表示されているコンテンツを操作できる、高い直感性をもつインタラクションをユーザに提供することができる。この手法はコンピュータや情報システムの操作に不慣れであるユーザにも利用が容易である一方で、必ずディスプレイに近接してインタラクションすることが求められているなど、ユーザの位置を固定化することが懸念される上、赤外線センサは一般的なデバイスとは必ずしも言えず、それ以外の用途に使用することが難しいことが考えられる。

TDW を表示デバイスとした災害情報 GIS のユーザインタフェースは、想定されるユーザである災害対策要員が、平常時は都道府県や市町村において勤務している一般的な職員であり、必ずしも計算機や情報通信技術のエキスパートではないという観点からすれば、議論するまでもなく何らかのユーザビリティ向上のための手法が必要になるほか、TDW が持つ特徴にマッチした新たなインタフェースデザインが必要になることが考えられる。

本稿では、市町村もしくは都道府県災害対策本部において、発災期における被害状況の集約と、それによる意思決定を支援するための災害情報 GIS のデザインについて論じる。本提案手法では前述の災害情報 GIS がもちうる、運用されるデバイスの解像度による詳細度と広域表示のトレードオフ関係を解消する TDW による被害情報の提示手法、災害現場からリアルタイム性の高い被害情報を被害画像並びに複数の付加情報を災害対策本部に伝達する手法、TDW 上に表示された被害情報へのインタラクションを行うための制御デバ

イスに関する手法、およびこれらを統一的に扱うことの可能な大規模災害を意識した災害情報 GIS のデザインについて述べることとする。

1.3. 本研究の目的

本研究は、地方公共団体、特に基礎的地方公共団体である市町村が災害時に設置する災害対策本部において、発災後に被害情報の集約と、それによる意思決定を支援する災害情報システム・LIVEWall(Large-scale and Interactive Visualization Environment for tiled display Wall) の設計・開発を実施して、本手法の有用性を検証評価することを目的としている。LIVEWall は、大規模災害における情報集約の迅速化を目的とした GIS ベースの地図により、災害対策本部員全員に対して俯瞰的視点からみた事態の状況である共通の状況認識の掌握を支援する。本提案手法では、災害現場からの被害状況報告および収集・被害状況の大規模超高解像度表示環境への投影・投影された被害状況の表示制御・上位機関である都道府県ならびに、隣接した市町村間における災害情報の共有にかかわる機能を実現する。これら機能群は、災害の状況を迅速かつ正確に掌握することにより、早期の復旧を実現するための意思決定支援を行うことを目的としている。

本研究の流れは、最初に地方公共団体を対象とした災害時の情報の流れや、その扱い方に関するヒアリング調査を行い、現場で認識している課題を明確にする。次に、システムが必要とされる機能を検討し、その機能を実現させるための設計を実施する。さらにその設計に基づいたシステムを実際に実装し、TDW 環境上での表示を実現させ、有用性や性能評価を行う評価実験を通じて、本研究のデザインがどの程度有効なものであるかを、ユーザとして想定した市町村職員による、実機でのハンズオン評価を含めて実施することにより行った。

1.4. 本稿の構成

本論文の構成について述べる。

第 2 章では、現状の災害対策本部における情報を収集・共有・発信するフローについて、岩手県内の市町村をモデルに問題の分析を行い、課題点を明らかにするほか、災害情報取扱に関する現状をヒアリング調査した結果について述べる。

次いで第 3 章では、提案システムである LIVEWall の主要機能について述べ、機能群の実現に必要なシステムの構成やアーキテクチャについて検討する。さらに、具体的なソフトウェア実装の主にユーザインタフェースデザインについて、実装した事例を挙げながら詳細に述べる。

第4章では、本提案手法に基づいたシステムを構築し、行うためのプロトタイプとした。この章において、ハードウェアおよびソフトウェアのそれぞれの実装について述べる。

第5章では、本提案手法が機能的な有用性や、ネットワークベースの性能評価を行い、本提案手法に対する評価を行う。

第6章では、実際にプロトタイプをユーザにハンズオン形式で試用させることによる、ユーザビリティ評価について述べる。

第7章では、これまでに述べた点について全体的に考察し、課題点をさらに述べる。

第8章は、本論全体を総括する。

2. 災害時の意思決定プロセスおよび被害情報の提示に関する課題

2.1. はじめに

本章では、本研究の背景の一つである、災害対策任務における意思決定と、それに至るまでの情報の集約、共有ならびに発信の各プロセスについて論ずる。ここでは、まず災害対応のために防災担当者への聞き取り調査を行った結果を示し、次いでこれまでの主要な災害における地理的情報の扱いについて調査・分析を行った。

2.2. 防災関係の職務に従事する職員へのヒアリング分析

ここでは、現状の災害対策業務で、災害情報がどのように取り扱われているかを調査することを目的に実施したヒアリング調査に関して述べる。

2.2.1. 調査対象者

このヒアリング調査は、災害情報の取扱いに詳しい地方公共団体の防災担当者、消防関係者および防災情報の研究関係者を対象として、災害時に災害情報の取得・共有・発信にかかわる手段等の現状を把握するために実施した。

2.2.2. 調査方法

このヒアリング調査は質問紙によって実施した。8名を対象にヒアリング調査を実施し、本稿執筆時点である2017年12月現在で、有効回答率は12.5%(N=1)であった。

2.2.3. ヒアリングに対する回答内容

ヒアリング調査に対する回答は、次に掲げる内容であった。

被害情報の取得はどのような状況か？

自組織、関係機関（中央官庁・都道府県・警察・NTT等）、消防からの被害情報は携帯電話が主要な被害情報をやりとりする手段で、住民からの被害情報の取得は一般加入電話もしくは携帯電話が主力である。通信が途絶した場合に情報収集が困難となることが課題（40代 防災担当者）

市町村における被害情報の共有はどのような状況か？

課長級程度の管理職間で行う。共有のための会合を行う時機に特に定めはない（40代 防災担当者）

被害情報の地理情報へのマッピングはどのように実施しているか？

商用のインターネット地図を利用、時系列による管理は不実施（40代 防災担当者）

被害情報の記録・管理は何によって行われるか？

紙に印字した表に手書き・若しくはホワイトボードに手書き（40代 防災担当者）

上位機関等への被害情報の発信は誰がどのタイミングで行い、どのような課題があるかと考えるか？

管理職が情報発信を実施する。一般加入電話および携帯電話を使用。情報発信の迅速さと正確な情報の配信がトレードオフであることが課題（40代 防災担当者）

紙ベースの地図を置き換える GIS 環境は役に立つか？被害情報を大画面に表示して、その内容を制御できる仕組みは役に立つか？

掌握に役立つと思う（40代 防災担当者）

被害情報を現場から即時に送信し報告することのできるシステムは被害情報掌握に役立つと思うか？

掌握に役立つ（40代 防災担当者）

上位機関・隣接市町村間で被害情報を直接共有・交換できるシステムは被害情報の掌握に役立つか？

掌握に役立つ（40代 防災担当者）

2.2.4. ヒアリング結果の分析

情報の取得および発信は、情報源を問わず携帯電話もしくは一般加入電話による音声ベースとした系統によって行われていることが判明した。地方公共団体向けに災害情報システムを開発する場合は、極力これに近い Human Computer Interaction を考慮することが求められることを示唆している。発信においては、情報発信の迅速性は、住民の生命・財産を守り、早期の復旧・復興を実現するために必要不可欠であるが、その分不正確な情報が発信されやすいことも明らかになった。防災情報システムでは、迅速な被害情報を正確に扱うことを意識した機能の実現が求められる。

被害状況の共有および発信は、管理職の間で行われることが明らかとなった。行政管理職の年齢は一般的に比較的高く、ICT スキルは個人により大きくばらつきがあることが想定される。また、新たなデバイスの運用に心理的抵抗感を感じる可能性もあるため、この点の考慮が必要であることが想定される。

また、被害情報の取得と共有は統一的な機能ではなく、リアルタイムで共有を行うための状況を示す地図へのマッピングは困難であり、また、口頭による伝達を行ううちに不正確な情報として扱われる危険性がある。

さらに、実際の災害対策本部に相当する拠点において、GIS に対する運用実績があることが判明した。ただしこれは Google Maps, ちず丸, Yahoo! 地図に代表される商用インターネット上のサービスとして運用されているものであり、災害対策本部におけるインターネット接続能力が喪失した場合は、ただちに GIS の運用が不可能になる障害点であることが明らかである。

被害情報の記録・管理の面では、時系列による管理は意識して行われなかったことが判明した。これはホワイトボードに現状で掌握している情報を一覧で表示する程度に留まり、情報の整理の面で課題が残っていることを表す。また、災害の記録は後にアーカイブとして利活用されうるものであり、将来的な防災・減災の観点からも、正確かつシステムティックに記録することが望ましい。

第 1 章でも掲げた本研究のコンセプトに基づく機能は、「被害情報の現場からの即時報告」「GIS 環境の大画面への表示」「大画面上へのコンテンツの制御」「他地方公共団体との情報交換」いずれのシステムコンセプトも、実務者レベルでは、災害状況の早期掌握に役立つと考えられていることが示唆された結果となった。

2.3. 地方公共団体における情報集約

2.3.1. 岩手県における災害情報集約の現状

前章で述べた通り、現在の岩手県の災害対策本部は、岩手県庁を頂点、各市町村をリーフノードとするツリー構造を構成している。市町村災害対策本部は、市町村ごとに設置されている支所または総合事務所に代表される出先機関との間でさらに相互に情報が伝達される。ここで、各部署が巡回や電話等で取得した被害情報は、岩手県が定めた被害情報報告書にまとめられて市町村災害対策本部に発信・伝達され、これを集約した後に上位機関である都道府県災害対策本部へ発信・集約がなされる。

一方で、情報集約そのものに関する課題は、明確に提示されているものとなった。岩手県宮古市が東北地方太平洋沖地震後にまとめた災害対応に対する検証報告 [24] では、報道機関への対応や避難所運営および本部における状況の掌握で本部員が手一杯となり、並行して災害状況の記録、特に管轄地域の被災状況の記録が不十分であったことが指摘された。災害時に自立して稼働する移動系防災行政無線は、通信集中による輻輳が問題としてあげられ、情報の伝達や通信手段に関しては、複数の連絡手段の確保を課題として挙げている。

2.3.2. 平成 19(2007)年新潟県中越沖地震の事例

平成 19(2007)年新潟県中越沖地震で設置された新潟県災害対策本部では、「地図作成班」

と呼ばれる、デジタル地図を利用した状況認識の統一に向けて複数部署を参画させた取り組みが初めて行われた [25]。地図作成班のミッションは、災害対策本部に入来した情報を**主題図 (Common Operational Picture, COP)** と呼ばれる全体的状況を俯瞰する視点の情報として、迅速に電子地図化することで効果的な災害対応を行うことで、早期復興に貢献することとされた。ファクシミリなどのさまざまなメディアで入電してくる被害情報を電子地図上に表現し、災害対策本部会議または各部署で使用するために必要な地図を作成する活動を 23 日間にわたって実施している。

地図作成班では、ファクシミリなどで寄せられた生データを中間ファイルである Excel スプレッドシートに変換し、デジタル地図および従来形式の紙媒体の本部会議資料へ変換し、災害全体の状況を見通す情報として扱うことのできる業務プロセスを構築した。

地図作成班は、23 日の活動において 187 種類のデジタル地図を作成し、そのうちの 54% は県災害対策本部の本部班から寄せられたとしている。

浦川らは、災害対策本部が応急対策期に実務者が統一的な状況認識を形成する上で作成する GIS の運用では、迅速かつ最新情報の正確な提示が求められたとまとめている。筆者らはさらに、新潟県災害対策本部地図作成班が有効なデジタル地図を作成できたが、多分野にわたる高度な専門性を必要とする現状から、すべての地方公共団体でこのような枠組みを持つことは困難と指摘している。

2.3.3. 平成 27 年 9 月関東東北豪雨の事例

平成 27(2015) 年 9 月関東東北豪雨後には、茨城県常総市が詳細な検証報告書 [26] をまとめている。

災害情報の集約・共有に至るプロセスでは、第一に、災害対策本部員が「情報に振り回され」ることによって、対応が逐次的になったことを課題として挙げられている。報告書では、全体の状況を俯瞰的に眺めた上で、個別の対応の妥当性や優先度の検討を行う視点を欠いており、本部員間での状況認識の統一がとれず、本部員が同列の観点から対策を協議していたことがこの問題の温床であったとされている。

次に、本部における情報伝達の齟齬の発生が述べられている。情報伝達の災害対策本部と本部事務局が隣接していないことから、伝令や電話による口頭での情報の通伝が行われた。この途中で、情報の漏れの取り違いや意図の誤解といったミスコミュニケーションを発生させ、相互の情報共有と意思疎通を阻害することになったと考察されている。

第三には、災害状況の記録にも課題があった。災害対策本部会議での活動記録を残すことの配慮が十分でなく、ホワイトボードによる記録は議事録や活動記録の代替とならなかったとされている。

災害情報の取得において、当該報告書は極めて貧弱な体制であったとまとめている。被害情報は多様な情報が口頭によって寄せられたものの、受動的に受け止めるだけにとどまったほか、整理されることなく、情報が錯綜する結果となった。

災害状況の提示では、現在多くの基礎自治体で使用される紙ベースの大判地図が用意されなかったことが事実として挙げられている。結果的に、災害対応の初期段階に災害対策本部が設置された部屋に大判地図が存在せず、後に要救助者の位置をプロットするマップが作成されたが、自衛隊や警察のような外部機関に提供されるだけであった。

また、報告書において、GIS ソフトウェアが災害対策本部で使用可能であったとされている。しかし、GIS ソフトウェアはいわゆるジオタグ付きの画像をインポートすることにより、被害と地理情報をリンクさせた表示は可能であったにもかかわらず、活用されることはなかった。さらに、紙の大判地図を代替するものであったが、必ずしも活用されなかったとの報告がある。

当該報告書では、GIS は活用可能であるが、操作に高いスキルレベルを要求するようであっては意味がないと結論づけられている。

2.3.4. 平成 28 年熊本地震の事例

平成 28(2016)年熊本地震において、web GIS が活用された [27]。防災科学技術研究所は、熊本県災害対策本部において、地理情報の集約のために震度分布や各機関から提供された被害情報に関して地図上にマッピングすることが可能な地図情報支援を実施している。この取り組みでは、道路被害情報は直接統合することができず、住所情報などをもとにして GIS 上で扱ったとしている。

一方で、市町村レベルにおいては、在来型の紙ベースにおける被害状況の集約が行われたことが確認された。図 3 は、発災直後に熊本県上益城郡益城町役場に設置された災害対策本部における活動の様子を NHK の報道がとらえたものであるが、地図上に災害対策図と思料される地図が広げられ、そこに被害情報を手書きで書き込んでいる様子が認められる。



図 3. NHK 総合テレビジョンで放映された益城町災害対策本部の状況
平成 28 年 4 月 14 日 22 時 30 分頃 [28]

2.4. 過去の災害対策事例の分析

これまでに掲げた事例から課題を分析すると、次のようにまとめられる。

2.4.1. 被害と地理情報の紐付けにかかわる課題

岩手県の災害情報取扱の現状や、平成 28 年熊本地震の事例でもみられたように、被害情報の地図上へのマッピングは、被害が発生した箇所を住所情報から自動もしくは人力でジオコーディング、つまり緯度経度座標へ変換することが必要であることが一般的である。多くの都道府県および市町村で使用される被害報告書の様式では、平常時の行政事務と同様、住所を基本とした被害と発生位置の紐付けが行われているためと考えられる。ところが、大規模災害が発生した場合においては、被害の発生件数は膨大なものになることは当然であり、被害情報の交換が GIS などで電子化されても、このジオコーディング作業は人的リソースに限られる発災直後期には大きな業務の負担となることが考えられる。すなわち、被害を覚知して、報告する段階から緯度経度座標系を使用した、もしくは緯度経度座標系への正確な変換が極めて容易な方法による被害報告フローを編成する必要があると考えられる。

2.4.2. 共通の状況認識の確保に関する課題

茨城県常総市の事例では、災害対策本部で意思決定に携わる要員が被害の俯瞰的観点を欠如していたことにより、初動において有効な対策を講じることができなかったことが明らかとなった。このため、災害対策本部全体で共通の状況認識を確保するために、多数の参加者へ情報を同時に提示できる手段が必要であり、なおかつ、それが災害対策本部での情報共有を促進できるものとする需要が存在している。

2.4.3. 地理情報の表示にかかわる課題

地理情報の表示にかかわる課題では、地理認識の共有は困難であり、欠落しやすいことを挙げる事ができる。先述の常総市のケースでは、ベテラン職員で構成される災害対策本部員の地理認識に頼った結果、大判地図を用意せず、被害状況や対応の可視化を地図上に視覚的に表示することができなかつたことが報告書で述べられている。これにより、対策の抜けや、漏れが発生した。

先述した新潟県中越沖地震では、主題図を作成するための地図作成班が部署を横断して編成され、災害対策本部の意思決定に全体の俯瞰的視点を提供した。ところが浦川らは、このような地図作成班を全ての都道府県や市町村で運用することは、現実的でないと述べている。よって、地図作成班の編成によらない共通の状況認識を形成する上では、何らかの方策やワークフローの改善が要求される状況にあると分析できる。

2.5. まとめ

本章では、地方公共団体の災害情報取得・共有・発信の現状を明らかにするとともに、これまでの主要な災害における地理情報の取り扱われ方について調査を行った。

現状の災害対策本部では、電話による被害情報の取得・発信が主要なインフラとして使用されており、公衆回線であることから、通信の輻輳や断絶により災害対策本部は容易に情報の取得機能を喪失する。また、情報の取得と共有は別ワークフローで存在していることから、取得した被害情報を不正確なものにする恐れがある。GISを運用する能力は現状存在しているが、インターネット接続を失うと情報管理が破綻する、といった課題点が明らかとなった。

本研究で提案するシステムの基幹的コンセプトは、実務者から災害対策任務において役に立つ要素から構成されていることが明らかとなった。

一方の過去の主要な災害における地理情報は、俯瞰的観点の欠如による統一的な状況認識が困難であった例や、統一的な状況認識を形成するための主題図は有用ではあるが、すべての災害での運用は現実的でないことを課題として挙げた。また、既存の被害状況報告は、地理情報のフォーマット変換が必須であり、そのための方策やワークフロー改善への要求を明らかにするものであった。

これらの過去の事例や現状を分析をもとにして、次章からは本研究の提案システムのコンセプトを具体的に論述していくことにする。

3. 統一的災害情報提示システム LIVEWall

3.1. システムの目的

第2章で挙げた自治体の災害情報の収集・共有・発信に関する問題を解決することを目的として、LIVEWall(Large-display Interactive Visualization Environment for Tiled Display Wall) システムを開発した。本システムでは、第一に、災害情報の収集、特に管轄地域内の被害情報にあたる職員に対して、これまでの情報収集手法と比較して即時的に行う情報収集のフェイズに対する機能を提供する。次いで、地方自治体が設置した災害対策本部において、多数の情報表示と地理的広範囲の領域を詳細な表示とを両立させて、災害対策本部員間の情報共有を支援する。このとき、多数の職掌をもつ職員で構成される災害対策本部員各個人をシステムのユーザととらえて、各個人の職掌に際した地理情報の閲覧・提示・参照を可能とする機能群を提供し、情報の共有を支援する。第三に、市町村災害対策本部で収集された情報を、隣接市町村災害対策本部若しくは上位機関である都道府県災害対策本部間で共有することで、より広域な情報の収集・共有を可能とするフレームワークを実現する。これらの3つの機能を統一的に扱うことで、大規模災害発生時に市町村が置かれた状況を迅速に掌握する。これにより、災害対策本部員による的確な意思決定の実施を支援することにより、復旧・復興を迅速なものにできる新たな災害対策本部の活動を実現させることを目的としている。

3.2. システムの機能

ここでは、提案システムである LIVEWall のコンセプトを実現させるために必要と検討される機能を、システム利用が想定される流れに沿って述べる。

3.2.1. 被害情報の収集・報告

最初に、発災期に直ちに行われる被害情報の収集を支援する機能について論じる。被害情報の収集・報告は、平常時に市町村で道路維持や水道業務といったインフラストラクチャに関わる業務に従事している職員や、危機管理や防災に関係する業務に従事している職員が、発災初期に被害情報の調査を現場で行うことによって行われる。

被害情報収集では、「いつ」「どこで」「どのような被害が発生したか」、そして「誰によって報告されたか」が重要な要素であると考えられた。現状の被害情報報告は、紙による被害報告書を職員が手書きすることによって実現されてきたが、災害対策本部で即時に参照させることが困難であると考えられる。その上、隣接自治体や都道府県への報告も、紙ペー

スの報告では瞬時に行うことを想定されていないことで、報告や状況の掌握に時間を要することが課題と考えられている。このため、このフェイズでシステムが提供すべき機能として、被害報告情報を電子的データとして扱い、災害対策本部へこれらの情報を送信・報告させるフレームワークが必要となる。

本システムでは、被害情報の中核に動画ほどネットワーク帯域を消費せず、視覚的に被害情報を伝達できる静止画のデジタル画像をとり入れた。災害時には動画による被害情報収集が最も効果的と考えられるが、輻輳や通信網の断絶により、災害時に使用することの可能なデータ通信手段は、そのネットワーク帯域幅が大きく制限されることが想定される。このため、本フェイズでは災害現場からこれを送信するための仕組みが必要であると分析した。

加えて、画像だけでは判断できない情報を、現場から本部に対して伝達することが必要と考えられる。この種の解説的情報は、現状の被害情報報告書で、状況を文章で記載することによって伝達される文字情報として扱われる。しかし、想定されるユーザが市町村職員であり、情報機器の扱いに必ずしも高いスキルを有していないといった背景への考慮が必要と考えられる。情報機器に搭載されたハードウェア若しくはソフトウェアキーボードによるテキスト入力でこれを代替することは、ユーザビリティの観点からすると、ユーザに対して著しいシステム利用の負担を与えることにつながると考えられる。このため、解説的情報を現場から伝達するために、既存の無線による通信と同等のシステム利用の負担であると想定される、ユーザが発話した音声による情報の付加に関わる機能を提供する。

第三に、これまでの被害情報報告書では明示されてこなかったものの、その被害の状況に関する情報に、優先度を現場で指定させる機能を盛り込んだ。これにより、本部では様々な状況が報告される中、より優先度の高い状況に人的・物的リソースを集中して投入させる判断を可能にする**情報トリアージ**に該当する機能の提供を盛り込むことにした。

これ以外に付加される情報として、「どこの誰が」「いつ」「どこで発生した情報を報告したか」を示す副次的な情報が含まれる。この副次的な情報は、被害情報の報告に使用するデバイスが、その状況に応じて自動的に付加する機能を有している必要がある。これにより、煩雑な操作を行うことなく、即時的な情報の報告を可能にさせる。

これらの処理を実施する被害報告端末を、本システムでは **State Reporting Device** と呼ぶ。

3.2.2. 被害情報の蓄積・保持

3.2.1 項で解説した機能の実現には、被害情報の蓄積が必要であり、情報の蓄積は本システムの基幹的な要素と位置づけられる。被害情報の蓄積フェイズでは、システムを構成

する要素からアクセスされる**災害情報サーバ (Disaster Information Server)**がこの機能の提供を担当する。災害情報サーバは、被害情報の基礎である「いつ」「どこで」「どのような被害が発生したか」が「誰によって報告されたか」を蓄積し、システムの構成要素の要求に応じて参照させる機能を有する。

3.2.3. 被害情報提示空間（ワークスペース）の構築

災害情報サーバのもう一つの機能に、「ワークスペース」と呼称する被害情報提示空間の構築・提供がある。ワークスペースとは、災害情報サーバで蓄積・保持された災害情報をベースに構築する災害情報の可視化表示空間である。LIVEWallでは、災害情報サーバで構築されたワークスペースを、システムを構成する各サブシステムで参照させる。被害情報の提示は、本システムにおいては、地理的情報を提示する**Shared Workspace**とコンテンツ情報を表示する**Contents Workspace**に分割して表示するよう設計した。

地理的情報を提示する被害情報提示空間である Shared Workspace は、被害発生状況を電子地図上に提示する2次元的なGISによって表現される。この機能の実現のため、災害情報サーバは、電子地図表示の実現と、その上にオーバレイ表示される被害情報の可視化に関わる機能の提供を行う。オーバレイ表示情報は、3.2.2項の被害情報の蓄積機能から必要に応じて呼出し、サーバにより地図上に表示する形式に変換される。

第二の、コンテンツ情報で構成される被害情報提示空間である、Contents Workspace に必要とされる機能について解説する。この被害情報提示空間は、一つの市町村災害対策本部ごとに構築され、各災害対策本部で重要と思われる情報についての被害情報共有に使用することを前提とした設計とした。

災害情報サーバは、蓄積された被害情報画像を参照し、提示空間内に配置された被害情報オブジェクトの位置とそのオブジェクトがどの画像と結びつけられているかを一元的に管理する。災害情報サーバでは、蓄積された情報に基づいて被害情報提示空間を構築し、空間にアクセスしてきたサブシステムに対して情報提示空間を提供する。このとき、コンテンツ情報で構成される被害情報提示空間に対する操作に対するインターフェースも同時に提供する。例えば、コンテンツの追加や削除、コンテンツ自体の拡大縮小の割合、配置位置や回転角度を変更する、といったユーザからのインタラクションを受けて、管理している被害情報提示空間の情報をリアルタイムで更新する機能を、この空間にアクセスしているサブシステムに対して提供させる。

この機能では、早期の被害状況の分析と、災害対策本部員間の情報共有を促進させることを目的とした。この機能群により、現場から報告された被害情報画像を、ほぼ瞬時に災害対策本部内の共有スクリーン上に高解像度のまま表示させることが可能とさせることを

試みる。

3.2.4. 被害情報提示空間の大規模超高精細ディスプレイへの出力

本提案システムのデザインでは、被害情報提示空間は、共有ディスプレイとして設置された、TDW 環境に代表される大規模高精細表示装置上へ出力・投影される。TDW 環境への被害情報提示空間の表示は、**Presentation Host** と呼ぶ、ワークスペースを提示するためのクライアントアプリケーションを動作させるホストによって行われる。Presentation Host は、表示地理的被害情報提示空間と、コンテンツ情報で構成される被害情報提示空間双方を TDW 環境に投影する。双方の被害情報提示空間は、被害情報サーバと通信を行うことによって表示される。

3.2.5. 被害情報提示空間へのアクセスと表示される情報の制御

TDW 環境上に表示された被害情報提示空間には多数の情報が表示されるが、それらの被害情報へのアクセスと、表示される情報を制御することで、災害対策本部でそのとき必要とされる情報の適切な選択表示を行う機能が必要と考えられる。本システムでは、被害情報提示空間に対するこれらの機能を、地理的情報・コンテンツ情報双方の空間に対して提供する。

被害情報提示空間へのアクセス・制御は、各災害対策本部員にパーソナルデバイスとして配布する **Workspace Controller** によって行われる。Workspace Controller は汎用的なタブレットデバイス上に実装され、Disaster Information Server との無線アクセスによる、ユーザ位置の独立性を確保することを試みた。この無線アクセスにより、特定の PC や TDW 環境に近接した位置でなければ被害情報提示空間への操作が行えないといった、ユーザの位置に依存した問題を解消させることが可能と考えられる。また、スマートデバイスが内蔵したタッチパネルによるインタラクションは、直感的な操作の提供に適していることから、各ユーザ個人の ICT リテラシのレベルと関係なく、インタラクションの負担を軽減させることを試みる。

地理的情報を提示する被害情報提示空間である Shared Workspace のアクセス機能では、ユーザに対して電子地図を TDW 上に表示されている被害情報提示空間とは独立したズームレベル（紙の地図での縮尺に相当）と、表示される地理的位置を変更することができる電子地図による地理情報のブラウジング機能を提供する。この機能は、災害対策本部員の各個人が自らの職務の専門性に応じて必要とする地理的情報が異なる一方で、災害対策本部では全体で現在の状況を把握することが必要となるジレンマの解消を目的としたものである。

Shared Workspace に対する制御に対しては、電子地図上にオーバーレイ表示される被害

情報は、距離による地理的、優先度、時系列そして最新情報に限定して表示する**フィルタリング機能**により選択表示を実現する。

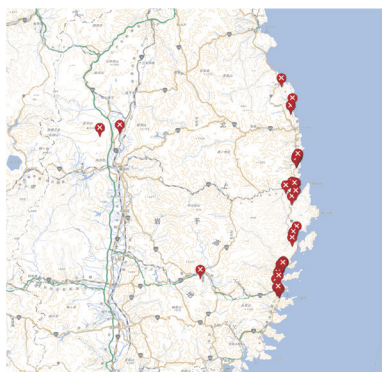
TDW 上で表示される電子地図における表示領域とズームレベルの変更を行う機能も、表示空間の制御機能として備えている。TDW や会議が行われているテーブルを離れることなく、必要な地理情報を対策本部員全員で共有することを可能とする。

一方、コンテンツ情報を表示する Contents Workspace に対するアクセス・制御では、電子ホワイトボード機能に対する操作に関するインタフェースを Workspace Controller が提供する。

Workspace Controller は、電子ホワイトボード上に、被害情報画像オブジェクトの追加、削除に加え、オブジェクトが表示される位置や大きさ、重ね順を変更させることを可能にする。

3.3. ワークスペース

Shared Workspace : GIS 表示領域



Contents Workspace : ホワイトボードのようなコンテンツ表示領域



図 4. ワークスペースの概念

本提案システムにおいて、被害情報を表示する空間をワークスペースと呼ぶ。前述の通り、ワークスペースは地理的空間による被害情報の提示を目的とした Shared Workspace と、報告された被害情報画像などのメディアによる被害情報の提示を行う Contents Workspace に分けられている。このコンセプトを図 4 の通り示す。

双方のワークスペースは、TDW 上に超高解像度で表示される。Shared Workspace は、広範囲の地理的情報の表示をズームレベルの縮小、すなわち、詳細性を損なわずに提示する。一方の Contents Workspace に対して、超高解像度表示環境は、報告された被害情報画像を可能な限り等倍で表示できる能力を有する。TDW をベースとした超高解像度表示環境では、これらの表示空間を同一の表示デバイス上に提示させることが可能となり、災害対策本部における統一的な被害情報の提示を可能にする。

一方、システムのデザインでは、Shared Workspace と Contents Workspace の分離を、多数の情報を提示を表示する情報の種別ごとに整理することを目的に試みている。既存の GIS において、地図上にオーバレイ表示された災害情報にアクセスするとバルーン表示により、その位置に紐付けられた付加情報の提示がされるものがある。これらの表示デザインは多くの GIS ベースの災害情報システムでも行われているが、多数の情報が表示されている地図上では、バルーンに隠れる情報が存在しうる。これは特に複数のユーザが地図上の情報を閲覧するケースを考慮すると、全体の情報の一覧性を欠く結果となり、災害対策本部のような多数のユーザがシステムとインタラクションしながら災害対策作業を行うというケースでは課題があると考えられる。LIVEWall では、地図上に表示された地理的情報と、メディア情報とを分離して表示することでこの問題の解消を試みる。

ところで、TDW 環境をベースとしたワークスペースへのユーザによる操作は、これまでも課題とされてきた事例である。すでにディスプレイウォール向けの Human Computer Interaction に対応するよう、汎用的な機器としてタッチインタラクションを実現することの可能なデバイスが市場に供給されているほか、これまでも無線デバイスによる 3D 空間へのインタラクション技術が検討されてきた。LIVEWall においても、TDW 上に表示されているワークスペースに対するインタラクションを課題であるとして、Workspace Controller による操作・制御について設計を行った。本項目の設計と実装については次節において論ずる。

3.4. Workspace Controller によるインタラクション

3.2.5 節において述べた通り、ユーザである災害対策本部員は、TDW 上に表示されたワークスペースへの操作を、Workspace Controller を介して行う。

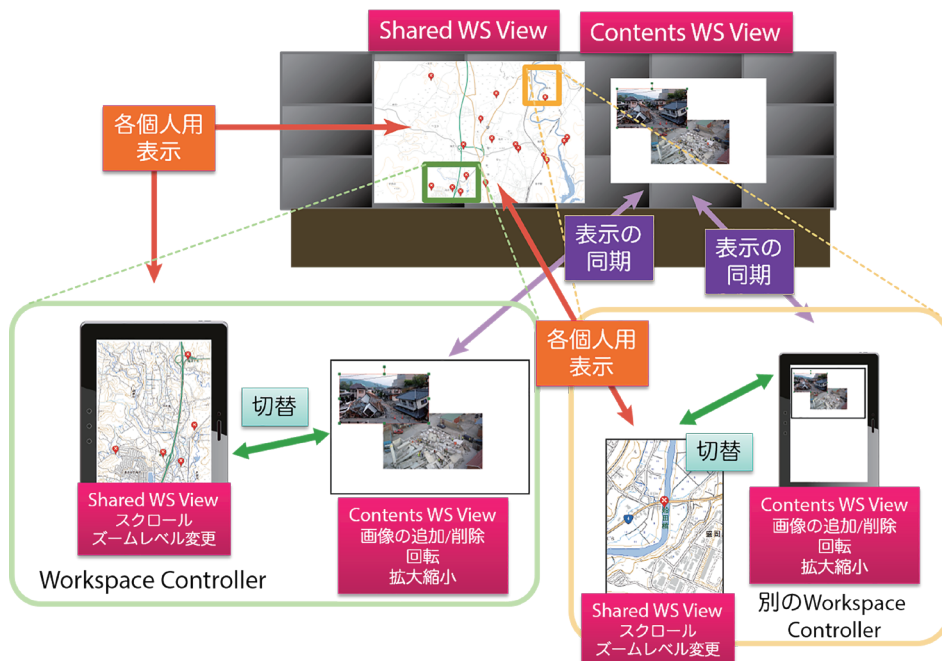


図 5. Workspace Controller と TDW 上のワークスペースのインタラクション関係

図 5 は、そのときの本システムにおける TDW ワークスペース上のワークスペースと、システムに参加している複数の Workspace Controller の関係を示す。

Workspace Controller 上では、個人用地図は、TDW に表示されているワークスペースと同じ表示であるが、表示ピクセル数が少ない Shared Workspace 表示として表示される。個人用地図を提供する目的は 2 つあり、1 つは個人用地図を通じた TDW 上のワークスペースの制御、もう 1 つが各対策本部員が注目したい箇所の地図の自由な閲覧である。前者は、TDW 上のワークスペースの表示位置を変更をシステムに指示する場合に、地図表示の中心座標を指定するために行われる操作等に相当する。後者は、TDW 上の地理的エリア表示とは無関係に地図を操作することを可能にするものである。この機能により、TDW 上においては災害対策本部員全員が知るべき共通の情報を常に提示しておき、各個人の Workspace Controller を通じて、各個人が職務の専門性に基づいた被害状況の参照を行うことを可能にする。

一方の Contents Workspace に対して、Workspace Controller は、ワークスペース上の表示を縮小表示させた領域を提示して、その領域を通じて TDW 上の被害画像オブジェクトの新規作成や削除・位置の操作を行わせる。このとき、マルチタッチ対応のタッチパネルによる、スワイプ動作や、ピンチイン-アウトといった、近年のスマートデバイスが標準で提供するような直感的操作により、被害情報画像オブジェクトの位置や大きさを自由に変更させる機能を提供する。

本システムは、全ユーザが Workspace Controller を保持するシステムデザインがある。このため、Workspace Controller では、災害情報サーバで一元的に管理されたオブジェクトの配置情報を、TDW 上の表示空間と操作を行った Workspace Controller 間だけでなく、他の Workspace Controller に対しても表示を完全に同期させる。

3.5. オーバレイ表示情報のフィルタリング

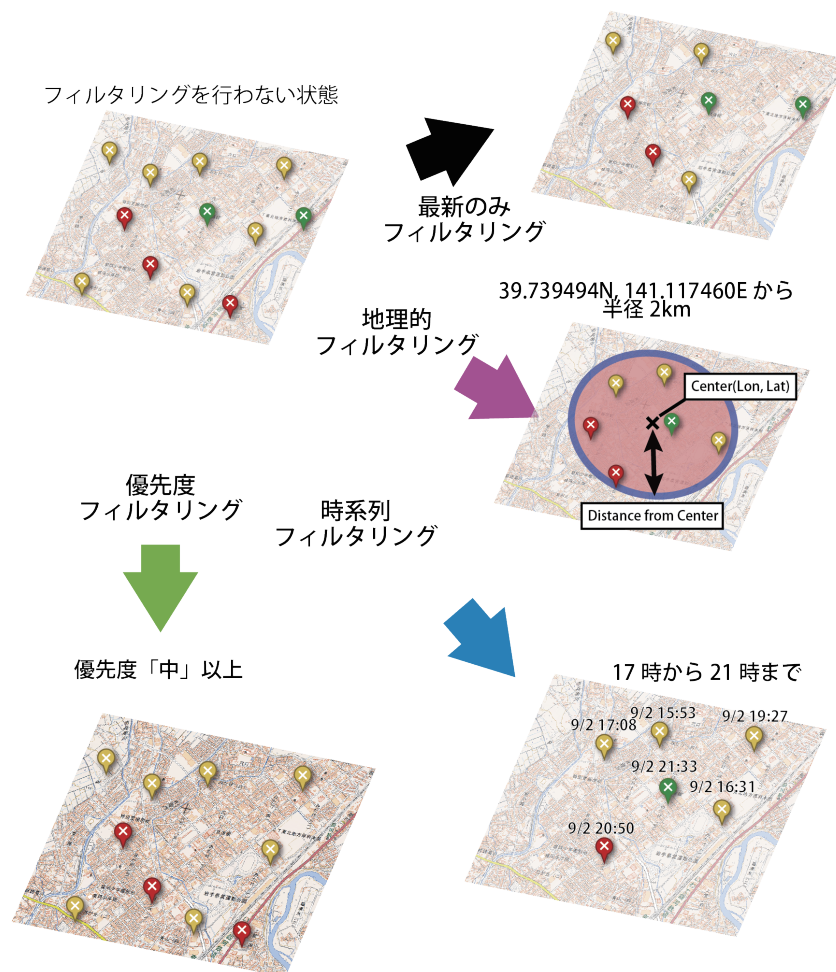


図 6. Shared Workspace におけるフィルタリングの概要

大規模災害ではオーバレイ情報の件数は膨大な数になることが予測されるため、これらの表示管理を本研究では課題としている。本システムにおいては、ユーザである災害対策本部員がパラメタを指定することにより、オーバレイ表示される災害情報の件数を削減することで、状況を的確に把握しやすいものとするフィルタリング機能を備える。

本提案システムにおいて、フィルタリングは、「最新」「優先度」「時系列」「地理的」の4つの種別によりフィルタリングを可能とする。

3.5.1. 最新情報によるフィルタリング

被害情報のうち、システム上で最新として管理されている被害情報のみを抽出し、表示

対象とする。このフィルタリングは、純粹に現在の最新の状況を知るために利用することを想定している。

3.5.2. 優先度によるフィルタリング

優先度がユーザの指定した被害情報のみを表示対象とするフィルタリングである。オプションとして、指定した優先度レベル以上、もしくは優先度レベル以下の被害情報も含めて抽出を行うこともできる。このフィルタリング利用の想定の一例として、現在最も急を要して対応することが求められている被害情報が集中している地理的エリアを検索するようなシナリオを挙げることができる。

3.5.3. 時系列フィルタリング

時系列フィルタリングでは、ユーザが設定した基点時間と終点時間の間に更新された情報のみを抽出表示する。このフィルタリングでは、基点時間と終点時間がおおよそ判明している、特定のイベントの抽出を可能とする。

利用シナリオの一例として、ある時刻に発生した土石流による被害のうち、報告が発生から3時間以内の初動フェイズで収集できた情報のみを表示する、といったシナリオにおいて、基点時間に土石流発生時刻、終点時間に発生時刻の3時間後を指定することで、土石流発生から3時間以内の情報を表示するフィルタリングを実施することが可能となる。

3.5.4. 地理的フィルタリング

地理的フィルタリングは、緯度経度座標系において、一定のエリア内に含まれる被害情報のみ抽出し表示する。現在の実装では、中心座標と半径を指定して、その円に含まれる被害の抽出を地理的フィルタリングとして実装している。地理的フィルタリングの利用が想定されるシナリオとして、特定の地区の被害状況のみをハイライトする場合の利用が考えられる。

3.6. LIVEWall の災害時インフラの利用

3.6.1. 災害情報ネットワーク

災害情報システムでは、災害時に頻発する通信路の輻輳や断絶に対応することが課題となる。LIVEWallにおいても同様であり、特に災害対策本部間や、災害対策本部と災害現場との間の一般的な公衆交換電話網や携帯電話網、都道府県情報ハイウェイは、通信事業者の局舎における被害などで、平常時のような確保が困難である状況下においても、確実なエンド間通信を要求する。

LIVEWall では、図7に示すように災害対策本部間並びに災害対策本部 - 災害現場間の広

域通信におけるエンド間通信確保のために、複数の物理的リンクを動的に切り替えることで、エンド間通信を粘り強く確保することが可能なネットワークを要求する。このバックボーンネットワークに利用可能な代表的な技術が Never-Die-Network(NDN)[29] である、これは、パケットロス率やネットワーク帯域幅といったネットワークパラメタを監視し、Software Defined Network(SDN) 技術によって、複数の有線および無線メディアを動的に切り替える。これにより、ある特定の通信チャンネルが断絶したり、性能が著しく低下した場合においても、本システムが運用できるような、広域での通信を可能にする技術である。NDN ノードを広域通信のゲートウェイとして利用することにより、通常の携帯電話網や、商用インターネットならびに都道府県情報ハイウェイのような高速な平常時 WAN が断絶した場合においても、平常時比で性能は低下するものの、システムを稼働させ続けることを試みる。

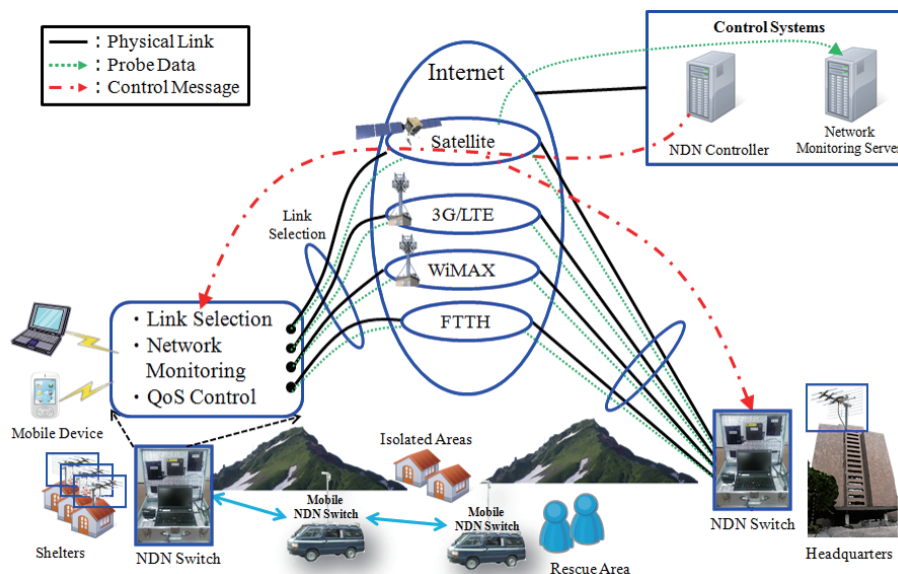


図 7. 災害対策本部間通信網のモデル図

3.6.2. 電力

災害対策任務において、非常に重要視されているインフラの一つは電力であり、災害対策本部においても同様である。東北地方太平洋沖地震の教訓の一つに、災害対策本部が設置されることの多い市町村役場庁舎における電力の確保がある。これは商用電源が、配電網の損壊などを原因として長時間停止することにより、必要な災害対策任務を行うことが困難となった経験に基づいている。この問題の対処として、市町村役場に発動発電機による自家発電設備とその運転に必要な燃料の備蓄が進められてきた。また新たな試みとして、公用車に大容量の蓄電池を搭載した電気自動車を平常時から使用し、災害時には搭載された蓄電池から電力を取り出すことを想定したインフラの確保の考慮がされる現状が存在する。

LIVEWall は災害情報システムであるため、稼働のための電力は必須である。これらの電力確保施策をインフラとして活用することにより、災害時における運用を試みている。

3.7. システム構成

ここまで述べてきた LIVEWall のシステム構成を整理して図 8 に示す。

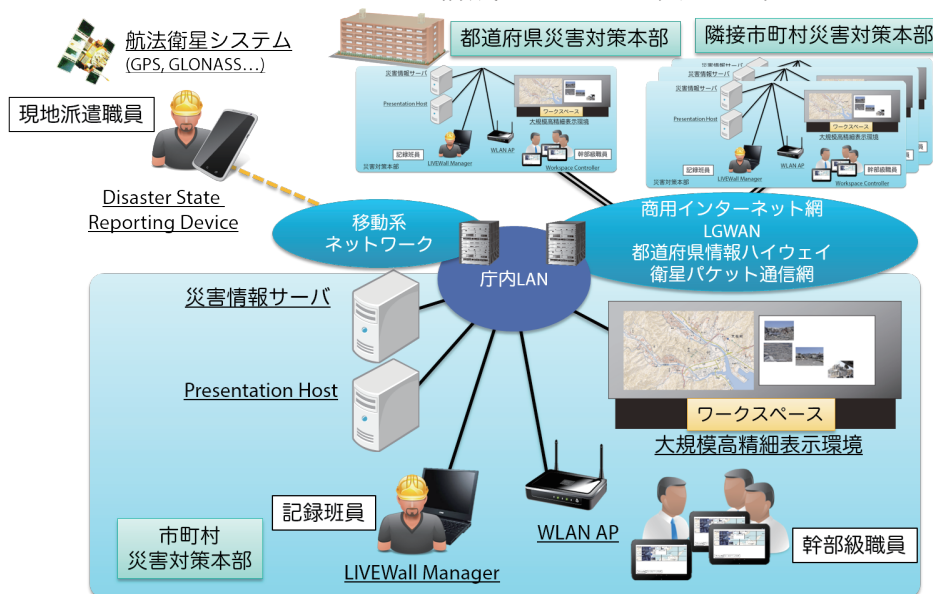


図 8. 本システムの構成

本システムでは、災害現場、各市町村災害対策本部と、上位機関である都道府県災害対策本部間を、災害情報ネットワークを介した運用を通じて災害情報の報告・共有・交換を行う。

災害発生後、被災現場を巡回する職員に State Reporting Device と称する災害情報報告用端末を携帯させる。State Reporting Device は、GPS や GLONASS, QZSS (みちびき) 等に代表される全球測位衛星システム (Global Navigation Satellite System, GNSS) あるいは航法衛星システムによる自機の測位を行い、報告を行う職員の現在位置を正確に掌握する。その後、報告を行う職員は、デバイスに内蔵されたカメラで撮影した被害情報画像、発話音声による状況説明である音声アノテーション、そして被害に対処すべき優先度を設定した災害情報を、自動的に付加される時刻情報や報告者情報とともに、自らが所属する市町村災害対策本部に設置された災害情報サーバに対して送信することで、災害の報告を行う。この活動を、複数の災害現場において繰り返し、早期の被害状況の掌握を促進させるものである。

一方、各災害対策本部では、災害情報サーバが稼働し、サーバが保持している被害情報や、被害情報提示空間の構成情報をもとにして、TDW で構成された共有ディスプレイ上で被害情報提示空間を表示させる。

共有ディスプレイとなる TDW 上の被害情報提示空間への操作を提供するため、各災害対策本部員は Workspace Controller を携帯し、各人が必要とする情報を Controller 上で参照したり、あるいは他の本部員間での状況の共有のため、共有ディスプレイに被害情報を表示したり、共有ディスプレイ上に表示された地図を操作する制御機能を提供する。また、Workspace Controller においても、限定的に被害情報の追加機能を提供する。Workspace Controller と災害情報サーバとの間は、庁内 LAN および IEEE 802.11 a/b/g/n といった庁内無線アクセスを介した通信が行われる。

また、本システムで扱う被害情報の管理を行う責任者を配置し、その責任者には被害情報管理端末 LIVEWall Manager を通じて災害情報サーバ上の被害情報に対し、新規作成、修正、削除の操作を提供する。

本システムでは、これらの機能を災害情報の収集の複数のフェイズを横断的・統一的に提供することにより、災害状況の掌握と、上位機関・隣接市町村間における情報共有をいち早く行い、適切な措置を行うことを支援する。

災害情報ネットワークは、有線系高速ネットワークが使用可能な場合には商用インターネット回線や都道府県が運用する情報ハイウェイ網、地方公共団体情報システム機構が運用する総合行政ネットワーク（LGWAN）などにより接続され、被害情報の交換を行う。通常系のネットワークの通信品質が著しく低下した場合には、衛星ネットワークや災害時に敷設する地上系無線ネットワークなどの、より安定して通信可能な物理的リンクに自動的に切替えて、システムの運用を継続する。

3.8. アーキテクチャ

本システムを構成するサブシステムとアーキテクチャ、およびこれに含まれるモジュールの役割について、図 9 を基にして述べる。

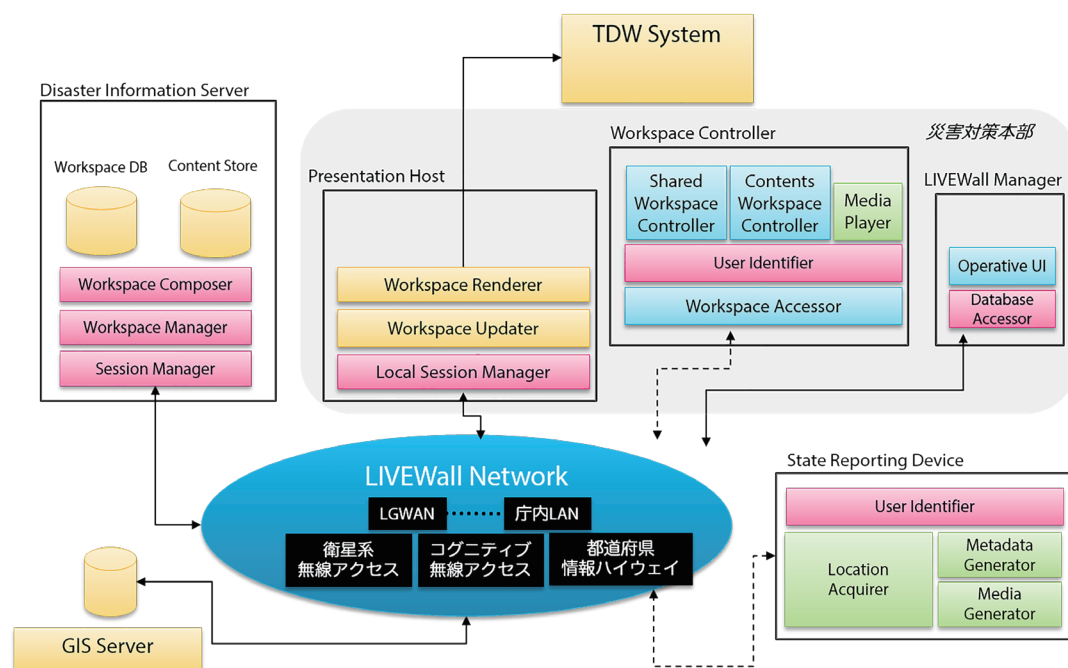


図 9. 本システムのアーキテクチャ

3.8.1. Disaster Information Server

Disaster Information Server は災害情報サーバの実装形態である。典型的なクライアント - サーバモデルを構成しており、災害情報サーバが、State Reporting Device, Workspace Controller, LIVEWall Manager ならびに Presentation Host で利用される機能、および Presentation Host によって TDW に表示される情報を一元的に提供する。

Content Store では、LIVEWall で使用される被害情報画像および音声アノテーションなどを保存し、システムの要求に応じてアクセスさせる機能を提供する。

Workspace DB は、被害情報のデータベースとして機能する。データベースでは、被害情報管理の基本となる「いつ」「どこで」「誰が」「どのような情報を報告したか」にかかわる細目を記録しており、サーバ内のモジュールを通じて、他のサブシステムの要求に応じた情報を記録および提示を行う。

Workspace Composer は、ワークスペースの構築を担当する。このモジュールにおいて、Shared Workspace の GIS 機能を他のサブシステムに対して提供するほか、Contents Workspace に対しては、電子ホワイトボード機能を実現する作業空間を構築する。

Workspace Manager では、表示の制御にかかわる処理を行う。Shared Workspace に対して、Workspace Manager は、サブシステムである Workspace Controller が送信したオーバーレイ表示情報や、GIS 表示情報の制御機能を行うサブシステム間インタフェースとしてふるまう。オーバーレイ情報の更新では、Workspace Controller が送信したパラメータに基

づいて Workspace DB から合致する情報を引き出し、Workspace Controller や Presentation Host に対して公開されるオーバレイ情報を更新する。GIS 表示情報の更新では、本モジュールは Presentation Host が表示すべき GIS 地図の緯度経度情報とズームレベルを指定し、Presentation Host に対して提供する。

同時に Workspace Manager は、Contents Workspace に対して、ワークスペース上のオブジェクト配置情報を管理しつつ、TDW に表示される Contents Workspace と、全ての Workspace Controller との間のオブジェクトの配置情報のリアルタイム同期を処理している。

Session Manager では、災害対策本部で本システムを利用するユーザを管理するほか、被害情報のアクセス権について管理する。また、State Reporting Device から送信された被害情報を、送信パラメタに基づいて Workspace DB および Content Store に格納することも行う。

3.8.2. State Reporting Device

StateReporting Device は、災害現場から被害情報を Disaster Information Server に送信する機能がある。ここでは State Reporting Device の構成モジュールについて述べる。

User Identifier では、災害情報サーバに対し、データベース上に登録されている被害報告者の問合せを行い、その中から、このデバイスを誰が使用しているかを設定する情報を保持させる。ここで得られた被害報告者情報は、メタデータに含まれて送信される。

Media Generator では、被害情報画像と音声アノテーションの取得を行う。このモジュールでは、デバイスの内蔵カメラにより、被害情報画像を撮影を行い、次いで音声アノテーションをデバイスの内蔵マイクロフォンで録音し、この両方を災害情報サーバに対して送信可能な形式で保持する。

Location Acquirer では、デバイスの緯度経度位置を GNSS により測位する。測位した座標が一定の誤差以下であれば、測位座標を被害情報報告地点として被害情報に付加する。

Metadata Generator では、被害情報にここまで説明した以外のパラメータを付加する。具体的には、メタデータに被害報告時間を自動で付加するほか、被害情報の優先度も報告者がここで設定する。これらの被害情報のメディアと要素が揃うと、災害情報サーバへ被害情報を送信する。

3.8.3. Presentation Host

Presentation Host は、サーバ上の情報を元に超高解像度の被害情報提示空間を TDW 上に描画出力する処理を担当する。本項目ではこれらの処理について解説する。

Local Session Manager では、Contents Workspace の配置情報の同期に関するメッセージ

を、Disaster Information Server を介して Workspace Controller と交換する。

Workspace Updater は、Shared Workspace においては、地図の表示位置をサーバに問合せるほか、オーバレイ情報の定期的なフェッチによる取得を担当し、Contents Workspace においては、Local Session Manager の更新メッセージに基づいて、ワークスペースのレンダリングに必要な内部情報を更新する。

Workspace Renderer は、TDW に出力するために各ワークスペースをレンダリングし、ピクセルデータとして TDW 自体の構成システムやミドルウェアに引き渡す役割をもつ。すなわち、ここでレンダリングされたものが、TDW 環境上に超高解像度のピクセル出力として表示される。

3.8.4. Workspace Controller

Workspace Controller は、ユーザの操作に応じて、Disaster Information Server で管理されているワークスペースの状態を変化させる。本項目ではこの機能を構成するモジュールを解説する。

Workspace Accessor は、ワークスペースの制御に必要な Disaster Information Server へのアクセス機能と、被害情報の追加機能を提供する。このモジュールには、サーバを通した Presentation Host および他 Workspace Controller とのワークスペースの同期機能を備える。

User Identifier では、State Reporting Device と同様、災害情報サーバに対し、登録されている被害報告者の問合せを行って、Controller の使用者に特定に必要な情報を取得・保持する。

Shared Workspace Controller は、Shared Workspace と同様の GIS をデバイス上に表示し、個人用地図の操作機能を提供するほか、TDW 上に表示される地理的領域情報の定義、およびオーバレイ情報の制御を行うインタフェースを構築する。

Contents Workspace Controller では、Contents Workspace を操作するためのインタフェース用のワークスペースをレンダリングし、ユーザからのインタラクションを待つ。ここを通じて操作された被害情報画像オブジェクトのパラメータは、前述の Workspace Accessor を通じて、他のサブシステムへ送られるほか、同様に、他 Workspace Controller の操作によって発生した Contents Workspace の変更も、Disaster Information Server を経由し、Accessor を通じて瞬時に反映される。

Media Player では、被害情報画像の Workspace Controller 上におけるプレビュー機能と、プレビュー画面における音声アノテーションの再生機能を担当する。

3.8.5. LIVEWall Manager

LIVEWall Manager では、Disaster Information Server の Workspace DB 上に格納された被

害情報の新規作成・編集・削除を行うことができる。本サブシステムは次の2つのモジュールで構成される。

Database Accessor では、Workspace DB を操作する実質的な機能が実装されているほか、現在データベースに格納されている被害情報の一覧を取得する。

Operative UI では、デスクトップアプリケーションとしてのユーザインタフェースを構成し、被害情報の管理を行う責任者がデータベース上の情報を状況に応じて管理させることができる。

3.8.6. GIS サーバ

GIS サーバは、LIVEWall サブシステムからアクセスされる電子地図機能を提供し、web GIS として稼働するのに必要な機能群の提供を行う。これには、ラスターライズされた背景地図画像を表示し、サーバから指定された情報に基づき、背景地図上に被害情報をオーバーレイ表示する実質的な機能が必須である。

3.9. LIVEWall が取り扱う被害情報

3.9.1. 被害情報の種別

Shared Workspace では、図 10 のように、被害情報を点情報 (POINT)、面情報 (POLYGON)、そして線情報 (LINE) のいずれかの形式で扱う。

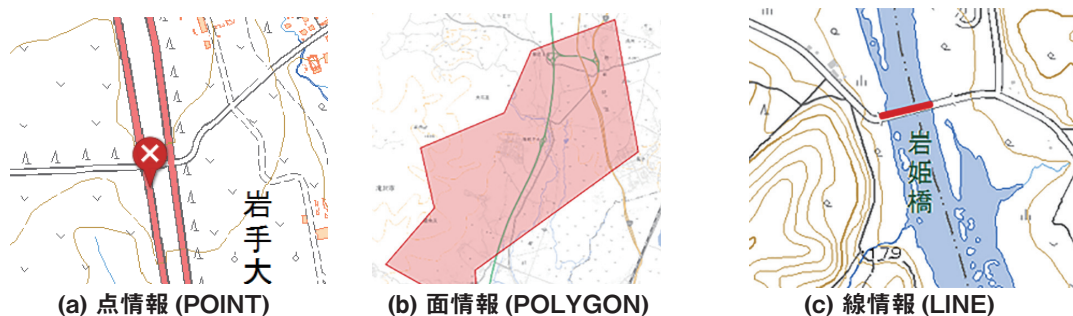


図 10. 被害情報の種類

点情報では、特定の座標で発生した被害情報をピンポイントで提示する。点情報が表現する被害情報の範囲は、おおむね半径 5 ないし 10m 以内に存在する被害を想定している。点情報は、State Reporting Device からの被害情報報告や、Workspace Controller による被害情報追加によって発生する。点情報で表すことが適当と考えられる被害は、道路や鉄道の決壊箇所、市街地における火災が発生している建造物、あるいは、土砂崩れのような個々の被害そのものを前提としている。点情報は、現在の Google Maps や Open Street Map に代表される web GIS 基盤のように、ドロップピンによって表示がなされる。ドロップピンは、被害情報の優先度 (3.9.2 節で解説する) に応じて、優先度が高い順に「赤」「黄」「緑

のそれぞれの色のピンで，図 11 のように色分け表示される．さらに，ドロップピンの横部分には，図 12 に示すように，数字が若いほどより優先度が高く，より新しい被害情報であることを示すシーケンス番号を表示し，簡易的に被害情報の時系列的前後関係を表すことができる．



図 11. 優先度別のドロップピン

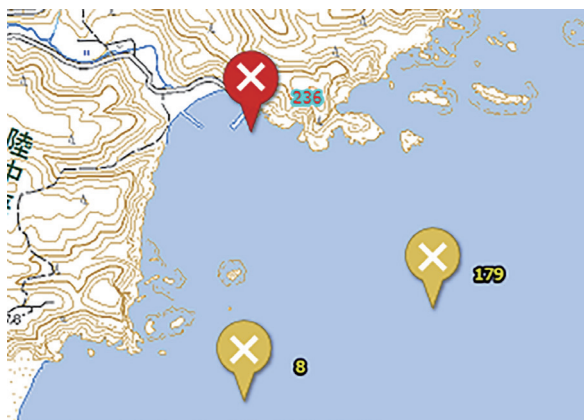


図 12. 地図上のドロップピンとシーケンス番号

面情報は，3以上の頂点からなる多角形を塗りつぶした領域によって被害状況を指示する．現状のデザインでは，線情報と同様，Workspace Controller を携帯した本部員により，自組織または他組織が掌握している被害状況をもとに作図されることを前提にしている．面情報では，広範囲にわたる被害状況の提示を行うことが可能である．この種別の情報で表すことが適当と考えられる被害は，土石流の発生箇所とその領域や，津波の浸水区域に例示されるような広範囲にわたるものを想定した．

線情報は，2以上の複数の緯度経度座標を結んだ線分の連結によって表される，長さ情報を表す地理的被害情報を管理・提示する．本提案システムにおいては，線情報は地理的な幅に関する情報はもたない，単なる線として扱う．線情報は災害対策本部において，Workspace Controller を携帯した本部員により作図され，災害情報サーバに登録がなされる．このとき作図に必要な情報は，すでに地図上に配置されている点情報や，他機関からもたらされた被害情報を基にして行うことを想定している．線情報により表すことが適当である被害は，道路の通行不能区間，河川の氾濫部の越堤した部分など，何らかの構造物に沿って発生した被害を想定している．

これらの複数の種別の情報を GIS マップ上に表示することにより、既存の紙ベースの地図と同様の表示を、超高解像度環境上においても実現することを試みる。

3.9.2. メタデータ

表 1. メタデータのフィールドと情報例

メタデータのフィールド	説明	フィールドの例
Disaster State UUID	全災害対策本部を通じてユニークな被害情報 ID	bfb76d45-0a52-11e7-bacf-e840f2d3dd73
Deployed Workspace ID	被害情報が配置されたワークスペースの ID	4cad0ccb-6584-4c92-90ab-65c3801d2cf1
Author	被害情報の報告者名	関口 @ 滝沢市防災防犯課
Type of State	被害情報の種別を Point/Surface(Polygon)/Line から選択	POINT
Image File Location	被害情報のファイル名	1490884581.jpg
Voice Annotation Location	音声アノテーションのファイル名	1490884592.aac
Coordinate(s)	被害情報を示す緯度経度座標	39.755726, 141.162225
First Reporting Time	第一報報告日時	2017-03-16 13:45:39
Modified Reporting Time	被害情報の更新日時	2017-03-16 14:33:12
Past UUID	更新された被害情報であれば、一つ前の被害情報の ID	68af22e1-ecff-11e6-bacf-e840f2d3dd73
Is_Latest	最新情報であれば True	True
Is_Deleted	被害情報が削除されれば True	false
Attributes	Type が Surface/Line であれば、図形の塗りや線色など情報	NULL
Accessibility	アクセス権	ONLINE

本提案システムの基本的なコンセプトでは、1 件の被害情報は、被害情報画像、音声アノテーション、そしてメタデータで構成される。前述の通り、被害情報画像は、実際の被害の様子を画像で表現するもので、音声アノテーションは、ユーザの発話音声により被害情報の説明を行うものである。

本システムで扱うメタデータのフィールドと、その例を表 1 に示す。メタデータは災害情報を扱う最も基礎的なテキストベースの情報で、被害情報画像や音声アノテーションが、どこで、いつ発生し、誰によって報告された被害情報とリンクされるかを示す。これらの情報をもとに、被害情報の GIS 上におけるオーバーレイ表示や、それを制御する被害情報のフィルタリングを行う。

メタデータには、その被害情報が示す被害への取り組みに対する優先度を示すフィールドを検討した。優先度は、「高」「中」「低」の 3 段階のうちいずれかを指定するものである。

これは、多数の被害情報が集約される大規模災害の初動段階などでは、優先度によるフィルタリングで、よりクリティカルな情報のみを選択して表示するような、表示情報の整理などに利用することを想定したものである。

メタデータには、被害情報の種類の定義も含まれる。

メタデータのフィールドのアクセス権については、次節で別に述べる。

3.10. 被害情報のアクセス権

表 2. 被害情報のアクセス権

アクセス権	都道府県 参照	都道府県 更新	市町村 参照	市町村 更新
CLOSED	×	×	×	×
NEIGHBOR-ONLY	×	×	○	×
ONLINE	○	×	○	×
SUPERVISABLE	○	○	×	×
REPORTED	○	○	○	×
FULL-ONLINE	○	○	○	○

本提案システムでは、他組織に対する被害情報のアクセス権を考慮したデータ設計を盛り込んだ。本システムは、隣接する市町村災害対策本部および上位機関である都道府県災害対策本部を拠点間ネットワークを通じて結び、相互に被害情報を共有・伝達することが容易に可能な設計としている。この中で被害情報を他災害対策本部との間で相互にやりとりする場合、問題となりうるものの一つが、拠点間で事実関係が無確認な情報の共有がされることや、共有した被害情報が他組織で不正確なまま上書きや削除される誤操作である。この発生しうる問題への対処として、各被害情報は 3.9.2 節で述べた被害情報のメタデータにおいて、各被害情報に対するアクセス権を定義した。アクセス権そのものの変更は、LIVEWall Manager を操作する責任者が実施する。

本システムのアクセス権は、上位機関である都道府県災害対策本部と、隣接市町村災害対策本部それぞれに、参照権 (readable) と各フィールドの更新権 (writable) を設定するものである。自災害対策本部所属の報告者が作成した被害情報は、無条件で参照、更新ともに可能である。これらの関係は、表 2 に示す通りであるが、以下の各項目で、それぞれの状態について詳細に述べる。

3.10.1. CLOSED

新規被害情報作成時のデフォルト値は **CLOSED** に割り当てられる。この状態から、報告元災害対策本部の責任者が意図して他の状態にしない限り、他災害対策本部からは、上位機関を含めて被害情報を参照することも、編集することもできない。CLOSED に設定さ

れた被害情報は、災害対策本部において被害報告の状態を検証し、現に市町村の幹部間で共有を行っている状態である。この被害状況を他組織にどのように公開するかを検討して、責任者はその結果に応じてアクセス権を更新する。アクセス権の更新により、他組織では参照または更新が可能になる。

3.10.2. NEIGHBOR-ONLY

NEIGHBOR-ONLY は、他市町村が設置した災害対策本部にも被害情報の参照を許可することで、隣接する市町村間での被害情報の共有を目的とする状態である。上位機関の都道府県災害対策本部への情報伝達・共有が可能なほど正確な情報と判断されていない場合に使用するため、上位機関に対しては参照・更新ともに不可能とした。

この状態において、他市町村災害対策本部では参照のみが許可されており、誤操作による情報の破壊を防止するため、編集権は与えられていない。

3.10.3. ONLINE

ONLINE と指定された被害情報は、都道府県・市町村両方のレベルの災害対策本部においても、参照は許可されるが、誤操作による情報の破壊を防止するため、更新機能はロックされる。アクセス権の ONLINE への指定は、特定の被害情報を、市町村および都道府県双方の災害対策本部へ共有させる時に行うことを想定している。

この状態が使用される例は、市町村境付近で発生した被害を覚知した後、被害の状態が発生していることが確実になった段階で、早急に近隣市町村のみならず都道府県にも情報を共有することが必要と判断されたケースで使用される。

3.10.4. SUPERVISABLE

SUPERVISABLE に設定された被害情報は、上位機関たる都道府県災害対策本部との間で、相互に参照と編集を許可するものである。一方で、隣接市町村災害対策本部に対しては参照権および更新権はなく、被害情報の存在そのものを隠蔽する。

この状態が利用されるケースとして、情報を整理するために隣接市町村には災害情報を直接通知せず、都道府県災害対策本部で一度取りまとめた後で、別のアクセス権を設定して公開する、といったユースケースが想定される。これは既存の被害情報の取得・共有・発信で使用されている、市町村で収集された情報が、一旦上位機関へボトムアップで集約された後、トップダウンで発信される情報フローにおいて応用可能である。

3.10.5. REPORTING

状態 **REPORTING** は **SUPERVISABLE** の状態に、他市町村の参照権のみを付加したアクセスを実現する。この状態に設定された被害情報は、上位機関による被害情報への参照権と更新権を完全に与えた上で、隣接市町村においても参照を行わせるような状態である。

この状態は、3.10.4 節で述べた SUPERVISABLE と組み合わせることにより、現行の情報取得から集約、発信に至るツリー型情報フローと同様のオペレーションを行うことが可能である。ボトムアップで報告された情報を上位機関で確認し、これを再び市町村レベルに配信できる。

3.10.6. FULL-ONLINE

FULL-ONLINE として登録されている被害情報は、どの災害対策本部からでも自由に参照し、また更新することができる。

3.11. State Reporting Device の実装

State Reporting Device は、執筆当時である 2017 年現在において、一般的なスマートデバイスをプラットフォームとすることを想定にしたデザインとなっている。

State Reporting Device の画面デザインは図 13 に示す単一画面から構成され、画面の上から順番に各項目を埋めていくような単純な操作によるものとした。State Reporting Device の想定ユーザは、平常時は行政事務や現業的職務に従事しており、必ずしも ICT の専門家ではない。このことから、ICT リテラシのレベルによらず、簡便な操作で報告機能を実施することは不可欠であると考えられる。

入力の自動化がなされている被害情報の項目は、報告者名、配置先ワークスペース、報告日時および被害情報の座標の各項目である。

ユーザが手動で行う操作は、最初に被害情報画像を撮影、もしくは内蔵ストレージから選択する。次にデバイスの内蔵マイクروفोनを使用し、音声アノテーションを最大 30 秒間発話音声により記録する。この後必要に応じて、送信前に音声アノテーションはプレビュー再生できるほか、録音のやり直しも可能である。さらに優先度を優先度設定を行う Rating Star によって、3 段階で設定させる。最後に、画面最下部の送信ボタンの押下により、デバイスはメタデータを構成して、被害情報画像、音声アノテーションとともに災害情報サーバへ送信される。



図 13. State Information Device のスクリーンショット

3.12. Presentation Host の実装

Presentation Host は、現在一般的に利用されるデスクトップ環境上に構築される。

Shared Workspace はデスクトップアプリケーションにより実現される。このアプリケーションは、Disaster Information Server が指定する表示すべき中心座標とズームレベルを参照することにより webGIS 表示環境を構築して、背景地図であるラスタタイル地図を表示し、地図上に表示されるオーバーレイ情報の取得を一定間隔で行う。さらに、サーバ上で公開される点情報、線情報そして面情報の各情報を構築するためのオーバーレイ情報の構築情報を取得して、背景地図上にオーバーレイ表示を行う。このとき GIS の画面は、デスクトップアプリケーションとして Presentation Host のデスクトップ上に全画面表示される。

一方の Contents Workspace は、標準的な web ブラウザによって描画される。サーバ上のワークスペースを表示するスクリプトをロードすると、web ブラウザはサーバとの接続を行い、現在のオブジェクトの配置情報を取得する。一度接続が行われれば、Workspace Controller からの操作により、同期的に配置情報が更新され、あるいはオブジェクトの追加や削除がなされる。



図 14. Shared Workspace と Contents Workspace の TDW への表示

図 14 では Shared Workspace と Contents Workspace の双方を表示した TDW の例を示す。

TDW 環境への各ワークスペースの出力は、デスクトップイメージの転送によって行われる。すなわち、デスクトップ環境で双方のワークスペースを表示するアプリケーションを実行させ、その出力がデスクトップに表示されると、TDW の構成システムは、デスクトップに表示されているピクセルイメージを TDW 環境へ送信する。これは TDW 環境に依存するが、SAGE や DisplayCluster のような第 1 世代 TDW では、TCP/IP によりピクセルイメージをレンダリングノードに送信され、分散レンダリングの後、TDW を構成するディスプレイウォールに結果を高解像度で表示する。第 2 世代 TDW においては、マルチディスプレイをサポートしたグラフィックカードは DisplayPort や HDMI ポートに接続されたケーブルを通じて、直接ディスプレイウォールにレンダリング結果を出力する。

このように、TDW 環境をベースとした環境における超高解像度のワークスペース表示が行われるよう実装した。

3.13. Workspace Controller の実装

Workspace Controller において、Shared Workspace と Content Workspace の操作インターフェースは、図 15 のように、タブによる切替が可能なインターフェースによって提供される。ユーザは、この二つのタブを任意に切り替えてワークスペースへのインタラクションを行う。



1) Shared Workspaceタブの表示



2) Contents Workspaceタブの表示

図 15. Workspace Controller における Shared Workspace と Contents Workspace 間のタブの切替

3.13.1. Shared Workspace

Workspace Controller の Shared Workspace 側タブでは、個人用地図が常に表示されている。ユーザは自由にこの地図をスクロールし、あるいはズームレベルを変更して、任意の地域の表示をいつでも自由に閲覧可能である。

Shared Workspace の地図表示からは、TDW 側地図のオペレーションを呼び出すことができる。これは TDW 上に表示された「共有地図」の中心座標を指定したり、ズームレベルを一つ上げ（いわゆる紙の地図でいう縮尺を大きくする）たり、あるいは一つ下げる（紙の地図でいう縮尺を小さくする）オペレーションを提供する。ここで行われた操作は、直ちに TDW 側の地図に反映される。これを行うためのメニューは、図 16 の通り実装された。

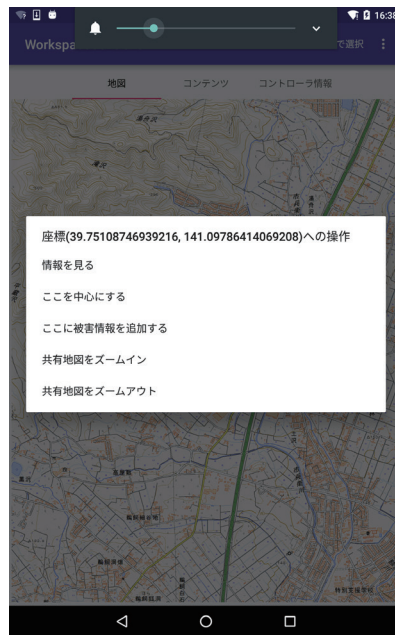


図 16. Shared Workspace の TDW 操作メニュー

Shared Workspace タブからは、個別の被害情報にアクセスし、プレビュー表示を行うことも可能である。図 17 は地図上の被害情報が表示されているアイコンをタップして、コンテキストメニューから呼び出したプレビュー表示の一例である。プレビュー表示は、地図上にポップアップウィンドウの形で表示される。プレビュー表示には、被害情報画像、報告者、被害報告第一報および更新日時が表示されるほか、音声アノテーションの再生も可能とした。

Shared Workspace タブではオーバーレイ情報のフィルタリングも呼び出すことが可能であるが、これについては次節で述べる。



図 17. Workspace Controller におけるプレビュー表示

3.13.2. オーバレイ情報のフィルタリング設定

フィルタリング機能は, Shared Workspace タブから呼び出すことができる. タブ上のツールバーにはそれぞれのフィルタの名称が表示されており, これらはタップ操作により呼び出すことができる.

フィルタリングのパラメータをユーザに指定させるポップアップウィンドウは, 優先度フィルタリング, 地理的フィルタリング, および時系列フィルタリングの呼出のとき表示される.



図 18. 優先度フィルタリングの設定画面

優先度フィルタリングでは，図 18 のようなポップアップウィンドウで，抽出したい優先度を Rating Star によりユーザに設定させる．さらに，設定された優先度以上もしくは設定された優先度以下のオプションを有効にするスイッチがある．この画面で，星 2 つをユーザが設定し，かつ，「優先度以上の情報を表示」オプションが有効の状態で行う場合，画面に抽出表示される被害情報が，優先度は「高」および「中」の情報に限られる．



図 19. 地理的フィルタリングの設定画面

地理的フィルタリング設定画面では、図 19 のように、ウィンドウ内に中心座標設定用のマップと、中心座標からの距離を設定するシークバーを設けた。中心座標設定用のマップをタップすることで中心座標を決定し、次いで中心からの距離を設定させる。

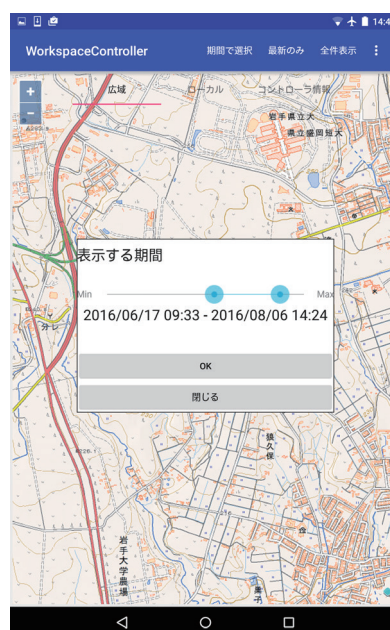


図 20. 時系列フィルタリングの設定画面

時系列フィルタリングの設定画面では、図 20 のように、基点時間 (左) と、終点時間 (右) から構成される、2 つのサムを持つシークバーによって期間を設定する。

3.13.3. Contents Workspace

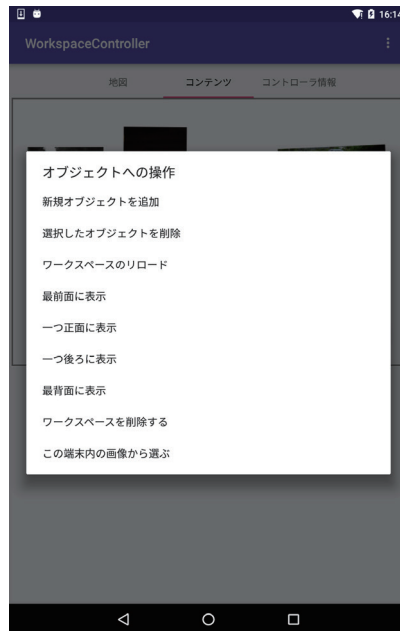


図 21. Contents Workspace の操作メニュー

Contents Workspace には、図 15 下段で示した、TDW 上に表示されているワークスペースの縮小表示を通じてインタラクションを行う。縮小表示は、Disaster Information Server によって提供され、一般的なスマートデバイスと同様、ピンチイン/アウトや、スワイプによるオブジェクトの大きさや位置の操作を直感的に提供する。

オブジェクトはタップ操作により、バウンディングボックスが表示されて選択中であることをユーザに知らせる。

オブジェクトの追加は、Disaster Information Server に保存されている被害情報画像の一覧を取得し、そこからユーザが追加したいオブジェクトを選択することによって行われる。

一方削除は、オブジェクトを選択した状態から、ツールバーメニューもしくはタップホールド操作で表示される、図 21 で示したメニューから削除を選択する。

オブジェクトの重なり順の変更も想定した設計としている。オブジェクトを選択した後、最前面に表示する、一つ前に表示する、一つ後ろに表示する、そして最背面に表示するといった、現在提供されている一般的なグラフィックソフトウェアと類似した操作を可能としている。

表示を手動でリフレッシュすることも可能である。何らかの理由で表示の同期がとれなくなった場合は、Disaster Information Server に対し、サーバが保持しているオブジェクト

の配置情報を送信するようリクエストを送り、それを受けて、Workspace Controller の表示を再度構築させる、

3.13.4. Disaster Information Server の実装

Disaster Information Server では、HTTP により、Workspace DB へのメタデータ、被害情報画像、音声アノテーションの被害情報登録を提供し、State Reporting Device から利用できるよう公開する。

加えて、Shared Workspace に対して HTTP をベースとしたオーバレイ情報の操作手段を非同期的に提供する。これには、最新 / 時系列 / 優先度 / 地理的の各フィルタリング機能を起動するインタフェースと、インタフェース起動時に与えられたパラメタにより、データベースを検索して、条件に合致した被害情報を、GIS 側から参照できる形に変換する。

プレビュー機能を実現するため、Workspace Controller の地図から指定された座標をキーにして、その座標の至近に存在する被害情報のメタデータを提供するインタフェースも有する。

Contents Workspace は実装の簡便性のため web ベースでワークスペースを構成する。同期通信を実現するため、WebSocket によるメッセージングを実装した。ワークスペース上のオブジェクトの配置情報は、Disaster Information Server により一元的な管理がされ、TDW に表示を行う Presentation Host、および操作のためにシステムに参加した Workspace Controller では、ここで管理されている配置情報をもとにワークスペースを描画させる。

表示解像度が低い Workspace Controller に対しては、TDW 上の画面解像度を Workspace Controller で表示される Contents Workspace の解像度で除算した変換係数をもとに、配置座標をダウンスケールして表示する。逆に、Workspace Controller での操作情報は、オブジェクトが操作された後最後に位置した座標数値を、Disaster Information Server で変換係数を乗算して TDW のネイティブ解像度に変換する。

システムで使用される被害情報画像および音声アノテーションは、サーバ上で公開される。この公開されたリソースを HTTP を経由して参照することで、各サブシステムで描画・再生を可能にする。

3.14. LIVEWall Manager の実装

LIVEWall Manager は、一般的な PC 上で稼働するデスクトップアプリケーションとして実装され、入力デバイスは、汎用のキーボードとマウスを想定したものとしている。LIVEWall Manager は、実質的にデータベースそのもののインタフェースとして位置づけられる。

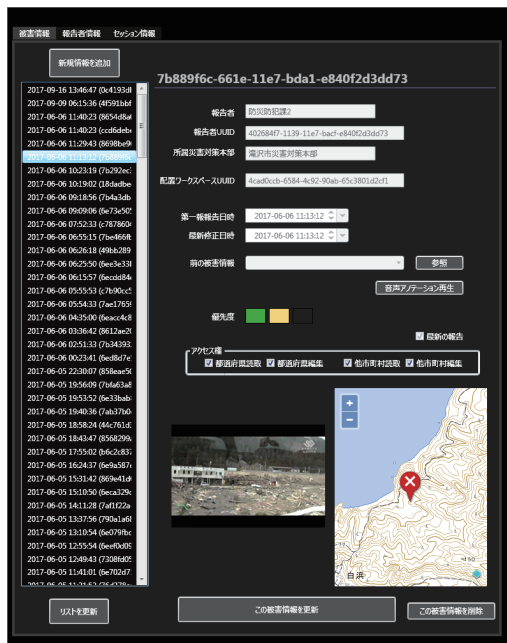


図 22. LIVEWall Manager の被害情報提示画面

このサブシステムは図 22 のような UI デザインならびに実装がなされている。ウィンドウ内左側のリストで、現在データベースに存在する災害情報を一覧表示し、リストのアイテムを選択することにより、右側のペインに当該の被害情報が表示される。

右側の各被害情報表示ペインにおいて、メタデータ各フィールドに基づいて表示がなされる。優先度は 3 段階のカラーバーで表示される。被害情報そのものの UUID は書き換えることを想定していない。被害発生地点、もしくは被害を示す図形情報を示す地図に加え、被害情報画像がそれぞれ表示されるほか、音声アノテーションの再生を行うことも可能である。

また、アクセス権についても都道府県・市町村それぞれのレベルについて、参照権と更新権がどのようになっているかを表示する。なお、当然ではあるが、他組織所属の報告者が報告した被害状況で、自組織に対する参照権がない被害情報は表示そのものが行われな

い。

LIVEWall Manager では、過去の情報を追跡表示することが可能である。これは特定の被害情報を選択してから、「前の被害情報」ボタンにより、時系列に沿って被害の状況を追跡することができる。これにより、現在の対応状況を災害対策本部でただちに掌握することを可能とした。

3.15. サブシステム間のデータフロー

ここでは、システムを構成するサブシステム間の通信におけるデータフローについて述べる。

3.15.1. Shared Workspace のデータフロー

Shared Workspace は、**Initiate, Displayed Data Renewing, Viewing on WS Controller, Viewing on TDW, Filtering, Querying Info of State** のそれぞれのフェイズから構成される。これらのフェイズは、Workspace Controller からの操作によってイベントドリブンで移行する。各フェイズの一覧と、フェイズ内でのデータフローを図 23 に示す。

ここからは、各フェイズに含まれる通信メッセージとデータについて解説する。

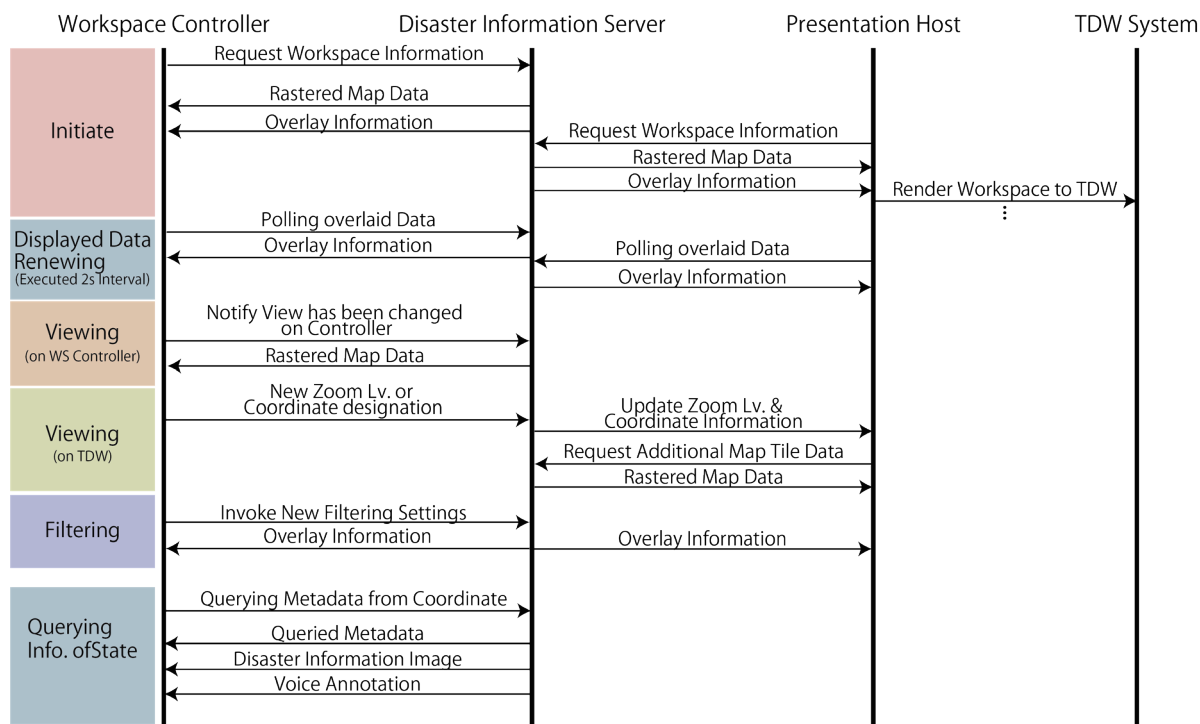


図 23. Shared Workspace インタラクションのデータフロー

Initiate

Initiate は、システム起動時に発生する初期化処理である。

Request Workspace Information

Request Workspace Information は、Workspace Controller および Presentation Host が、それぞれのサブシステム起動時に、GIS 地図を表示するための基本情報をサーバに対して送信する。これには中心座標やズームレベルといった地図の表示に関するパラメータを与える。

Rastered Map Data

Rastered Map Data は、Workspace Controller または Presentation Host がサーバに送信した Request Workspace Information に応じて、サーバが送り返す背景地図タイルのラスタ画像である。この画像は、電子地図を表示するライブラリによって背景地図として構成・表示される。

Overlay Information

Overlay Information は、サーバが現在保持している災害情報データベースに応じて、地図上に表示すべき被害情報を、KML(Keyhole Markup Language) や GeoJSON に代表されるテキスト形式で表現するものである。この情報は Workspace Controller および Presentation Host で取得され、電子地図を表示するライブラリによりラスタタイル地図上にオーバーレイ表示される。

Render Workspace to TDW

Render Workspace to TDW では、Presentation Host においてレンダリングされたワークスペースを構成するピクセルデータとその送信が行われる。このピクセルデータは、Presentation Host から第 1 世代 TDW であれば、ネットワーク経由でマスタノードや各レンダノードへ、第 2 世代 TDW であれば、グラフィックボードから直接ディスプレイへ送信され、ディスプレイウォールに表示される。

TDW へのレンダリングは、この後アプリケーションのフェイズを問わず随時行われる。

Displayed Data Renewing

Displayed Data Renewing において、Shared Workspace の地図上にオーバーレイ表示されるオーバーレイ表示情報の更新が行われる。現在の実装では、2 秒ごとに更新処理が行われる。

Polling overlaid Data

Workspace Controller および Presentation Host は、サーバ上に格納されたオーバーレイ情報が含まれるファイルをポーリングし、当該ファイルの取得を試みる。

Overlay Information

サーバは Polling overlaid Data で要求されたオーバーレイ表示情報のリソースをリクエスト元に送り返す。この情報は Initiate で行われた処理と同様、電子地図を表示するライブラリにより地図上にオーバーレイ表示される。

Viewing on WS Controller

フェイズ Viewing on WS Controller は、Workspace Controller で自分の見たい地域の地図

を確認する操作のように、地図操作オペレーションのうち、TDW 側へインタラクションが反映されないものに該当する。

Notify View has been changed on Controller

Notify View has been changed on Controller は、地図の表示されているズームレベルや中心座標が変更され、新しいラスタ地図を構成するタイル画像が必要になったとき発生するメッセージである。このメッセージは、地図の表示パラメタが変更され、新たに不足したイル画像リソースをサーバに対して要求する。

Rastered Map Data

ここでの Rastered Map Data も、Initiate フェイズにおいて述べたものと同様に、サーバが送り返す背景地図タイルのラスタ画像のデータが該当する。このとき送り返されるデータは、Viewing on WS Controller メッセージに含まれる、不足していると指摘されたラスタタイル画像である。

Viewing on TDW

Viewing on TDW では、TDW 側の地図、つまり Presentation Host が表示を担当する Shared Workspace の地図オペレーションに関するメッセージングとデータフローを定義する。

New Zoom Lv. or Coordinate designation

New Zoom Lv. or Coordinate designation は、TDW 側で表示される地図の中心座標やズームレベル転換を行う場合に Workspace Controller から発せられるメッセージである。このメッセージには、転換後に Presentation Host に参照させたい中心座標とズームレベルが含まれ、サーバサイドではこれを保存する。

Update Zoom Lv. & Coordinate Information

Update Zoom Lv. & Coordinate Information では、Disaster Information Server は New Zoom Lv. or Coordinate designation メッセージに含まれる中心座標およびズームレベルを、Presentation Host に対して転送する。

Request Additional Map Tile Data

Request Additional Map Tile Data において、Presentation Host は、Update Zoom Lv. & Coordinate Information メッセージの到来で更新された中心緯度経度座標およびズームレベルに基づいて、電子地図を再表示する。このとき、表示するために不足しているラスタ地図タイル画像を、Disaster Information Server に要求する。

Rastered Map Data

ここでの Rastered Map Data は、Request Additional Map Tile Data メッセージ

で要求されたラスタ地図タイルを構成する画像データが該当する。これにより、Presentation Host の要求に応じた地図表示の更新を可能とする。

Filtering

Filtering は、オーバレイ表示情報のフィルタリング機能にかかわる操作が Workspace Controller から起動された場合に移行するフェイズである。

Invoke New Filtering Settings

Invoke New Filtering Settings では、Workspace Controller は Disaster Information Server に対して、フィルタリングの種類に応じた必要なパラメータを送信し、サーバサイドのフィルタリング機能を起動する。

Overlay Information

Overlay Information では、Initiate と同様に、サーバが Workspace Controller と Presentation Host に地図上に表示する情報を送信し、双方で表示された地図でオーバレイ表示を行わせる。

Querying Info. of State

このフェイズでは、Workspace Controller のユーザが地図を操作し、特定の緯度経度座標に極めて近傍している被害情報をサーバに問合せ、近傍被害情報のメタデータ、被害情報画像、音声アノテーションを取得し、プレビュー機能を実現させる。

Querying Metadata from Coordinate

Querying Metadata from Coordinate のメッセージングでは、Workspace Controller がユーザが指定した緯度および経度座標をサーバに送信し、対するサーバサイドにおいて、被害情報クエリ機能を起動させる。

Queried Metadata

Queried Metadata は、Disaster Information Server がデータベースを検索し、条件に合致した一つまたは複数の被害情報のメタデータである。このメタデータは JSON 形式で、送信元 Workspace Controller へ検索結果として送信される。

Disaster Information Image

Disaster Information Image は、サーバに保存されている被害情報画像をファイル形式で送信する。

Voice Annotation

Voice Annotation は、サーバに保存されている音声アノテーションをファイル形式で送信する。

3.15.2. Contents Workspace のデータフロー

Contents Workspace における通信のフェイズは、図 24 に示したように、**Initiate, Adding an new Object, Modifying state of object, Deleting an object, Join other WSC, Workspace Manipulation(this → other),**そして**Workspace Manipulation(other → this)**の各段階からなる。各フェイズは、Workspace Controller の操作によってイベントドリブンの的に移行し、実行される。

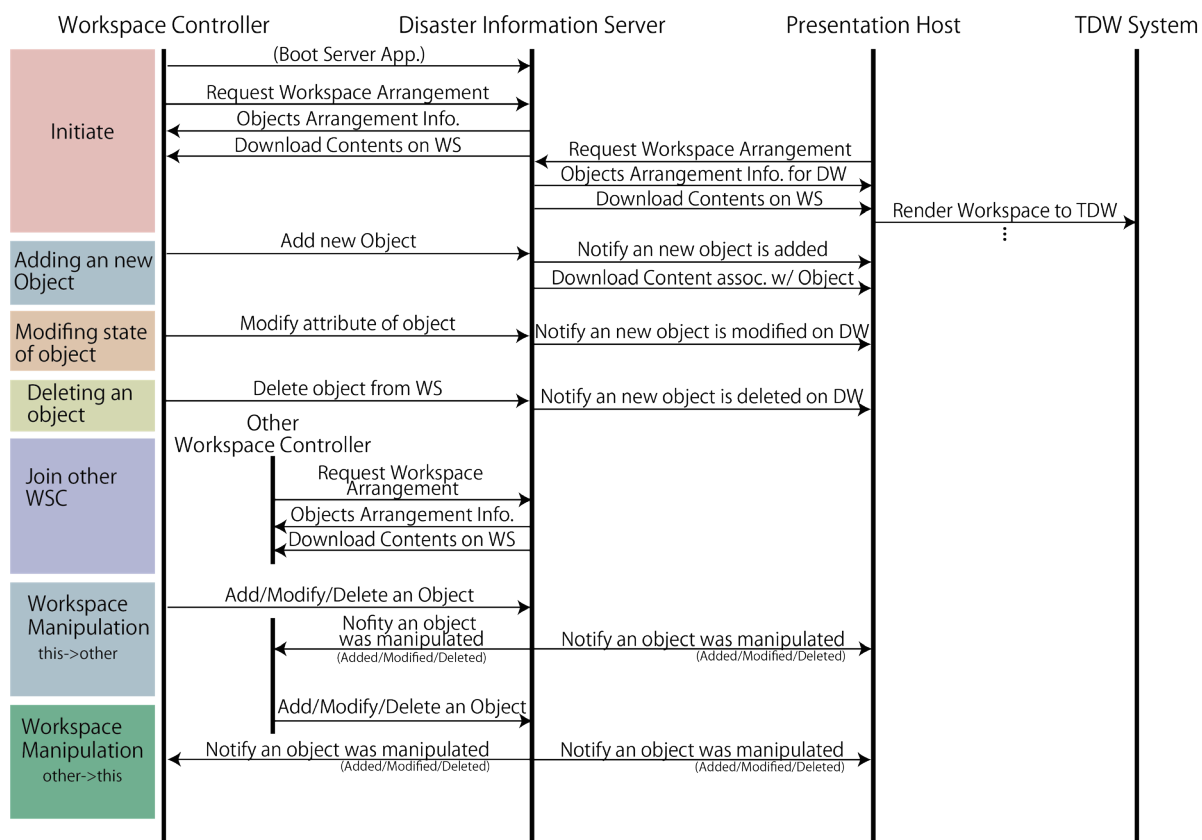


図 24. Contents Workspace インタラクションのデータフロー

Initiate

Initiate は、各サブシステムの起動直後に初期化のために実行される通信が該当する。

Boot Server App

Boot Server App では、Contents Workspace のサーバセッション初期化を Workspace Controller からサーバに対して行う。これによりサーバ上で管理されるワークスペース配置情報が、オブジェクトが何も配置されていない状態として構成される。

Request Workspace Arrangement

Request Workspace Arrangement においては、Presentation Host および

Workspace Controller が、現在サーバ上で管理されているワークスペースのオブジェクト配置情報の取得を要求する。このメッセージは、各サブシステム起動時に 1 回だけ要求のため送信される。

Objects Arrangement Info for DW

Objects Arrangement Info for DW は、Disaster Information Server が Presentation Host から求められた Request Workspace Arrangement メッセージに応じて、サーバ上で管理している配置情報を、テキスト形式でリクエスト元に送信する。

Objects Arrangement Info

Objects Arrangement Info は、Objects Arrangement Info for DW と同様に、サーバ上で管理している配置情報を、テキスト形式でリクエスト元に送信するが、配置位置とオブジェクトの拡大率は、Workspace Controller 上のワークスペース解像度に合わせてダウンスケールされたものが配信される。

これは Workspace Controller が表示できるワークスペースの解像度と、実際の TDW に表示される解像度が大きく異なることに起因している。

Download Contents on WS

Workspace Controller および Presentation Host は、配置情報に基づき、コンテンツ本体をサーバからダウンロードする処理に該当する。その後、コンテンツをレンダリングし、ワークスペースとして表示する。

Adding an new Object

Adding an new Object は、特定の被害情報画像をオブジェクトとして Contents Workspace へ新たに追加する処理を行うフェイズである。

Add new Object

追加を行った発信元の Workspace Controller は、Add new Object メッセージを、画像リソースとともに Disaster Information Server に送信する。

Notify and new object is added

Notify and new object is added メッセージは、ワークスペースに新規オブジェクトが追加されたことを通知するメッセージである。このメッセージは、Presentation Host および、他にサーバに接続している Workspace Controller があれば、その端末にも通知される。

Download Content assoc w/ Object

Download Content assoc w/ Object は、Download Contents on WS と同様、画像コンテンツ本体のダウンロードをサーバから行うことに相当する。これにより、

ワークスペースへ新規オブジェクトをレンダリングさせることが可能となる。他にサーバに接続している Workspace Controller があれば、その端末においてもダウンロード処理が行われる。

Modifying

Modifying state of object はオブジェクトの状態、つまり、角度やサイズが変更された場合に発生するフェイズである。このときのデータフローは次の通りである。

Modify attributes of object

Modify attributes of object メッセージは、Workspace Controller で追加されたオブジェクトのパラメータの変化、例えば、配置位置、回転角度、並び順、拡大率のようなパラメータが操作された場合に、Disaster Information Server に対してパラメータ変更を伝達する。配置位置とオブジェクトの拡大率は、サーバから配信された配置情報とは逆に、TDW 上のワークスペースのネイティブ解像度に合わせてアップスケールして送信される。

Notify an new object is modified on DW

Notify an new object is modified on DW メッセージは、Presentation Host に対して、ワークスペースに追加された新規オブジェクトのパラメータの変更を通知するメッセージである。Presentation Host は、このメッセージを受けると当該のオブジェクトの見た目を、Workspace Controller が指定した通り変更する。

Deleting an object

Deleting an object は追加したオブジェクトが直ちに削除された場合に発生するフェイズである。

Delete object from WS

Delete object from WS メッセージは、追加されたオブジェクトが Workspace Controller の操作で直ちに削除された場合、Disaster Information Server へこのことを伝達するために発出される。このメッセージを受けた Workspace Controller は、配置情報から当該オブジェクトに相当する箇所を削除し、次の Notify an new object is deleted on DW メッセージを発出する。

Notify an new object is deleted on DW

Notify an new object is deleted on DW は TDW から当該のオブジェクト表示を消去するよう通知するメッセージとして実装された。Presentation Host は、このメッセージを受けると当該のオブジェクトをワークスペースから消去する。

Join other WSC

フェイズ Join other WSC は、別の Workspace Controller（図中 Other Workspace Controller と表記）が現在のセッションに参加した場合に発生する。Initiate フェイズと同様に、まず、Request Workspace Arrangement で現在サーバが持っている配置情報 Objects Arrangement Info を Disaster Information Server に要求し、ワークスペースのオブジェクト配置情報を取得する。次に Workspace Controller は、配置されているオブジェクトのコンテンツそのものを、Download Contents on WS により自端末に取得し、配置情報をもとにワークスペースの縮小表示を自端末画面上に表示させる。

Workspace Manipulation

Workspace Manipulation は、ワークスペース上の既存オブジェクトに対する操作が行われた時に実行される。

Add/Modify/Delete an Object

前述した Adding/Modifying/Deleting の各フェイズと同様に、自端末上でオブジェクト操作が行われると、オブジェクト操作に応じて、操作された結果を Disaster Information Server に通知する。このとき、Disaster Information Server では、Controller で行われた操作のうち、拡大率と配置位置に関するパラメータを、TDW のネイティブ解像度へアップスケールする処理を行う。

Notify an object was manipulated

Adding/Modifying/Deleting それぞれの操作が行われた通知をサーバが受信すると、操作対象となったオブジェクトがどのように変化したのかを通知するメッセージをサーバが発出する。この結果を受けて、操作対象オブジェクトが操作された結果を Presentation Host および他 Workspace Controller に中継する。このとき、他 Workspace Controller には、一定の比率でダウンスケールされたオブジェクト情報が通知される。この比率は、Workspace Controller 上のワークスペース解像度が TDW 側ワークスペース解像度に対して何倍であるかにより求められる。

他 Workspace Controller で行われた操作はどのように伝達されるかについて述べる。他 Workspace Controller でも、自 Workspace Controller 同様に、操作された結果をサーバに一旦通知する。サーバはこれを受けて、Presentation Host には等倍のままで、Workspace Controller に対して前述のダウンスケーリングを行ったオブジェクトの配置情報を通知する。

これらの流れによって、複数の Workspace Controller と、 Presentation Host が管理する TDW 上のワークスペース表示は、これまでに述べた通り、参加しているサブシステム間で完全に一致した配置を常に維持することが可能である。

3.16. まとめ

この章では、本研究で示した課題を解決するための災害情報 GIS・LIVEWall のデザインについて、主要機能、扱う情報、システム構成およびアーキテクチャ、加えてサブシステムごとに具体的な実装について論じた。

提案システムである LIVEWall は、災害情報の報告サブシステム、被害情報の提示環境、被害情報を蓄積するサーバから構成され、統一的な災害情報を取り扱うプラットフォームとして機能する。

本システムは、TDW をベースとする超高精細表示装置を利用することにより、大量の被害情報を、同時に、詳細性を損なうことなく、多数のユーザに対して提供する。これに加えて、他災害対策本部の被害状況を参照することも可能にした設計とした。データの設計において、被害情報にアクセス権の概念を付加し、情報の正確性を各災害対策本部で担保した後、他災害対策本部へただちに参照させることを可能とするようなデザインにしたものである。

災害情報システムでは、災害時の劣悪な環境においても運用が可能な高い可用性と信頼性をネットワークに求める。本提案システムも、耐災害性を考慮した Never-die-Network 技術を災害対策本部間のネットワークに取り入れることで、エンド間通信を粘り強く確保し、壊滅的な被害が発生した環境での運用に備えている。

TDW のような超高精細表示装置上に表示する被害情報提示空間は、扱う情報の種類ごとに分離されているが、システム上では統一的に管理されている。双方の環境へのインタラクションは、制御用端末によって行われる。制御用端末は直感的な操作を提供、ユーザ位置の独立性、ユーザが従事する職務の専門性が異なることに考慮する、というような要素を備えている。

また、本章では、サブシステム間データフロー設計について述べ、どの時機に、どのメッセージがどこへ送られるかについて解説した。

4. プロトタイプシステム

4.1. はじめに

本章では、これまで述べてきた統合型超高解像度災害状況報告・表示 GIS である LIVEWall の各種評価実験を行うためのシステムのプロトタイプの構成について述べる。

4.2. ハードウェア構成

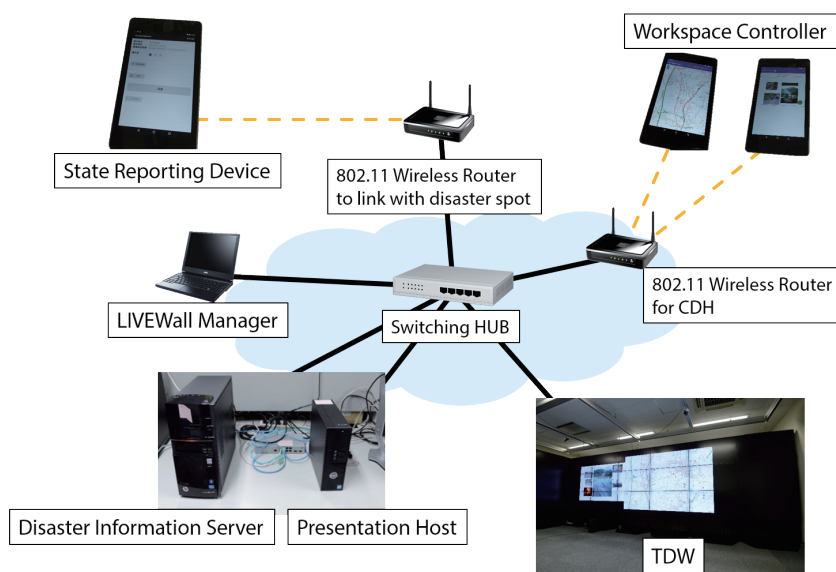


図 25. LIVEWall プロトタイプのネットワークレベルでの接続と構成

図 25 ではプロトタイプシステムのネットワークを中心とした構成を記す。以下に示す各構成要素間は、特記しない限りは 1000BASE-T Ethernet によって 1Gbps の有線ネットワークで結ばれている。

State Reporting Device は ASUS Nexus 7(2013) を実機としてその上に Android ベースのプロトタイプアプリケーションを実行させる方式をとっている。プロトタイプデバイスの主要なスペックは表 3 を参照されたい。State Reporting Device は、最初のゲートウェイまでの通信に、IEEE 802.11b/g/n による無線アクセス(図中黄破線)を使用しており、ゲートウェイから先の通信は、TCP/IP が取り扱えるものであれば通信メディアを問わない。図 25 では、ゲートウェイが本部が設置されている市町村庁舎内の庁内 LAN を模した閉じた環境を模擬した。

Disaster Information Server は、AMD64 アーキテクチャによる PC ベースの環境で稼働する。今回構築したプロトタイプの構成については、表 3 に記した。

Presentation Host も同様に、AMD64 アーキテクチャによる汎用的ワークステーション

ン環境で稼働している。プライマリディスプレイには DELL 2405FPW を接続しているが、デスクトップ空間を構成する表示エリアを拡張するため、CompuLab 社の fit-Headless 4K[30] をグラフィックカードの HDMI ジャックに挿入し、デスクトップのピクセル空間の拡大を行わせている。これにより、プライマリディスプレイだけでは解像度が WUXGA(1,920x1,200px) のところ、仮想セカンダリディスプレイ側に 2,560x1,440px のピクセル空間を描画させ、最大で 4,480x1,200px のデスクトップ空間を実現することが可能になった。Presentation Host のハードウェア実装のベースは DELL Precision 3420 であり、この構成も表 3 に記す。

Workspace Controller も State Reporting Device と同様、Android ベースのデバイスを使用し、開発および評価には Asus Nexus 7 (2013) を実機環境として準備した。

LIVEWall Manager も、AMD64 ベースの PC をベースとした環境において動作する。現在のハードウェア実装は表 3 の通りである。

表 3. 構成サブシステムのハードウェア構成

	Disaster Information Server	Presentation Host	LIVEWall Manager
CPU	Intel Core i7-3770K (@3.50GHz)	Intel Xeon E3-1220 (@3.10GHz)	Intel Core i3-3240 (@3.40GHz)
Memory	12GiB	8GiB	8GiB
グラフィック	AMD Radeon HD 7770	NVIDIA Quadro K620	NVIDIA GeForce GT620

TDW を構成するシステムのハードウェア群は、1 台のマスタノードに 27 台のレンダリングノードとしての機能をもつ x86 アーキテクチャ PC が内蔵された液晶 46 インチディスプレイシステムから構成されている。レンダリングノードとして Samsung 460UTn-UD が 1000BASE-T によって接続され、マスタノードと通信する。ディスプレイウォールの配置は横 9 面、縦 3 面で構成され、このうち 6x3 面部分と 3x3 面部分は約 90 度の角度で L 字に屈曲している。ディスプレイウォールの物理的サイズは、床面基準で全高 1,935mm、全幅 9,235mm であり、最高表示解像度は 12,294x2,304px である。各ディスプレイのベゼル面は、2 枚の接合部の幅が 7.3mm あり、ベゼル面の下のピクセル領域がベゼルに隠れるようレンダリングされる非表示設定が有効になっている。TDW を構成するホストの諸元は表 4 の通りである。

表 4. TDW 構成ノードのハードウェア諸元

	Master Node	Render Node
CPU	Intel Core Xeon E3520 (@2.66GHz)	AMD Athlon x2 Dual-Core 4450e(@2.3GHz)
Memory	12GiB	1GiB

4.3. ソフトウェア構成

ここでは、プロトタイプで使用したソフトウェアに関する項目について述べる。

State Reporting Device は前節で述べた Android ベースのシステムとして、Android 6.0 システム上で稼働する Android アプリケーションとして実装を行った。State Reporting Device を構成するアプリケーションは、Android SDK を使用した Java による開発を行った。

Disaster Information Server はごく一般的な LAMP(Linux-Apache-MySQL-PHP) 環境による実装となった。現在の実装は、Disaster Information Server に GIS Server の機能を統合して提供している。サーバは openSUSE 13.2 をベースとしたシステムで動作し、HTTP サーバは Apache 2.4、データベースへの I/O 処理では PHP 5.4、データベースエンジンは MySQL 5.6 をそれぞれ使用している。サブシステムとデータベースの仲介となる web インタフェースは、PHP による実装を行った。web インタフェースは、データベースエンジンに対して SQL を使用したデータベースの操作クエリを発行する一方で、地図上のオーバレイ情報の表示に必要なサーバからの出力は GeoJSON 形式で、表示を担当するサブシステムに対してオーバレイ情報の描画内容を指定する。

GIS 表示は web ブラウザ上に提供するため、Slippy Map を実現する JavaScript ライブラリである OpenLayers 4.2[31] を使用し、Shared Workspace の地図およびオーバレイ表示を実現する。Slippy Map のラスタ背景地図には、国土地理院が提供する地理院地図背景地図画像（淡色）を使用し、オーバレイ情報が見やすいよう考慮した。

Contents Workspace の実装では、ワークスペースは web ブラウザにより描画される。この表示空間の実装では、HTML 5 Canvas のラップ実装の一つである Fabric.js[32] を利用して、オブジェクトの配置情報をサーバのオンメモリに配置している。ワークスペースを操作するリアルタイムで同期を行うメッセージング処理において、WebSocket をベースとしたものを考慮した。実装では Node.js ならびに Socket.io[33] を利用している。

Presentation Host は Windows 8.1 ベースのシステムにより稼働する。Presentation Host で稼働するデスクトップアプリケーションでは Shared Workspace の表示を担当し、サーバからリソースの提供を受けて、C# で実装された Windows アプリケーションによって TDW 上に表示するコンテンツの描画を行う。アプリケーションは Microsoft .NET Framework 4.6 が提供する機能を使用するほか、web ブラウザ表示の実現において、Chromium の .NET Framework 向け実装である CefSharp[34] を、JSON のデコードのため、Newtonsoft.JSON[35] をそれぞれライブラリとして利用した。

一方 Contents Workspace は web ブラウザにより直接表示される。ブラウザは Google Chrome を使用している。

TDW への出力処理は、プロトタイプが使用するディスプレイウォールが Samsung UD をベースとしたシステムを使用しているため、同社が Windows 向けのデスクトップキャ

プチャに用途に開発した Samsung UD Sender を使用し、Shared Workspace と Contents Workspace で出力した結果を TDW 上に出力する。

TDW 環境は、前節で述べたハードウェア構成の上で稼働する Samsung UD により実現される。Presentation Host のデスクトップに表示されたピクセルは、Samsung UD Sender により、TCP でマスタノードに転送される。その後 UDP により各ディスプレイの内蔵 PC に送信され、表示の同期をとりながら分散レンダリングされ、TDW 上に一枚の超高精細表示が行われる。現在のプロトタイプシステム実装において、Presentation Host が出力するデスクトップ環境は前節で述べたように、プライマリ側解像度が 2,550x1,440px、セカンダリ側解像度が 1,920x1,200px のデュアルディスプレイ環境である。このピクセル空間を UD Sender がキャプチャするため、27 面全てに出力されない。現在の構成において、Presentation Host の出力を 1.4 倍にアップコンバートして TDW 上に表示した場合、横 5 面、縦 3 面、すなわちネイティブ解像度で最大 6,720 x 2,304 px 相当の空間にわたって表示される。

Workspace Controller については、Android SDK の標準機能のみで開発を行い、開発言語は Java によった。Workspace Controller アプリケーションは、Android 6.0 以降のシステムで動作可能な構成とした。

LIVEWall Manager は、Windows ベースのデスクトップアプリケーションとして実現されている。LIVEWall Manager は Windows Presentation Foundation と XAML により画面まわりの実装を行い、処理は C# により実装している。プレビューに使用する web ブラウザ表示の実現において、Chromium の .NET Framework 向け実装である CefSharp を使用している。また JSON デコードには、Presentation Host と同様 Newtonsoft.JSON をそれぞれライブラリとして利用している。

4.4. まとめ

本章では、LIVEWall の評価を行うことを目的としたプロトタイプのハードウェアおよびソフトウェア構成を示した。各サブシステムのハードウェア諸元のほか、実装言語および依存関係にあるライブラリを示した。また、本プロトタイプのキー部分である TDW 環境について物理的構成を述べた。

5. 機能および性能評価

5.1. はじめに

本章では、これまで2章にわたって論述した LIVEWall について、機能的、および性能的な面から評価を行い、本提案手法の有用性について議論する。

5.2. 機能比較による評価

本節では、既存の災害情報 GIS がもつ機能や、TDW 環境を実現するプラットフォームのシステムとの主に表示・インタフェース面における比較による機能的評価を行う。これにより、LIVEWall が機能的にどのような点で優れているかを示す。

5.2.1. 既存災害情報 GIS との機能的比較

表 5. 既存災害情報 GIS との機能比較

評価機能	いばらきデジタルマップ	岩手県災害情報システム	LaDIPS	Ishida, Hirohara らの方法	LIVEWall (提案システム)
災害現場からの直接報告と表示機能の統合	○	×	×	×	○
複数種類の被害情報の取扱い	○	○	○	○	○
UHD 環境への表示を前提としたシステムデザイン	×	○	×	×	○
時空間的な表示フィルタリング	△	×	○	○	○
インターネット接続の有無にかかわらず運用可能性	×	×	○	○	○
情報トリアージの考慮	△	?	?	×	○
被害情報の時系列による追跡	○	×	○	○	○
複数の災害対策本部間をリンクした運用	×	×	○	○	○

ここでは、LIVEWall との機能的比較の対象としたシステムを災害情報 GIS との機能的比較を行う、

災害情報 GIS は、佐々木らが提案した Large Disaster Information Portal System (LaDIPS) [36]、Ishida および Hirohara らが開発した手法 [37]、いばらきデジタルマップ、岩手県防災情報システム [38] を一例とした。このうち後者 2 例は、実際に都道府県が災害への対応の現場で運用しているシステムである。

表 5 では災害情報 GIS を対象として機能比較を示す。表中の記号で「○」とあるものは、その機能が考慮され実装されているもの、「△」とあるものは、限定的な実装があるもの、「×」は、その機能に該当するものがないものを表す。

災害現場からの直接報告と表示機能の統合機能は、すでに行政で運用されている災害情

報 GIS を含めて、LaDIPS 以外では、機能として含まれていない。LIVEWall ではこの機能は、State Reporting Device が報告・登録した被害情報を、即時に災害対策本部の共有スクリーン上へ提示することによって実現できている。

複数種類の被害情報の取扱いは、点、画像、図形といったさまざまな種類の情報により GIS 地図上に被害情報の提示を行う機能である。これは列挙した全てのシステムで標準的に使用できる機能であり、LIVEWall では Shared Workspace で実装済みである。

TDW のような UHD（超高精細表示）環境への表示を前提としたシステムデザインを Ishida および Hirohara らの手法と LIVEWall において取り入れている。Ishida および Hirohara らの手法では、表示に HyperInfo を使用しており、UHD 環境を考慮したデザインをクリアしている。LIVEWall では Workspace Controller を通じて操作を行うシステムデザインを通じてこの点をクリアした。しかしながらその他の 3 環境はあくまでも汎用的なシングルディスプレイ環境、もしくはスクリーンとプロジェクタを表示に使用するにとどまり、超高精細表示に対する課題を残している。

時空間的な情報フィルタリング機能は大量の災害情報を扱う上で、LaDIPS は、時系列で被害情報の表示を制御する機能を有しているが、空間的フィルタリングに関しては未実装の部分が多い。Ishida および Hirohara らの手法に関しては、フィルタリングについて相当する機能は見受けられなかった。行政が運用するいばらきデジタルマップと岩手県災害情報システムは公開されている情報を現在調査中である。LIVEWall では、時空間双方に対するフィルタリングが考慮されている。

インターネット接続の有無にかかわらず運用可能性は、完全にシステム外のリソースに依存することなく自律的に稼働できるかについて示すものである。列挙したシステムでいえば、行政が運用するいばらきデジタルマップと岩手県災害情報システムでは、システム内部で GIS を自己完結的に管理している。その一方、LaDIPS では国土地理院が公開している電子国土（現・地理院地図）のリソースを、Ishida および Hirohara らの手法では Google Maps のそれぞれ GIS 機能を外部サービスに依存していることもあり、インターネット接続を喪失した場合の運用性で課題となる。LIVEWall では、ワークスペースの構築を行うシステムはすべて自己完結的に運用することを前提に設計しているため、この点でのアドバンテージがある。

表中の被害情報の時系列による追跡は、特定の被害情報のクロノロジ、つまり時系列的な記録を追跡する機能の提供状況を表している。LaDIPS と、行政向けプロダクトであるいばらきデジタルマップおよび岩手県災害情報システムでは、これらの機能をクロノロジに従って被害情報を追跡可能であるが、Ishida および Hirohara らの手法では時系列に基づ

いて被害情報の変遷に関する追跡に相当する機能は見受けられなかった。

最後に、複数の災害対策本部間をリンクした運用では、いわゆるツリー型の都道府県-市町村災害対策本部間の構造での横断的な情報共有についての能力を述べる。いばらきデジタルマップと岩手県災害情報システムでは、県災害対策本部と市町村災害対策本部との間で、ドキュメントベースのような被害情報レコードの報告を行う機能でこれを実現している。LaDIPS や Ishida および Hirohara らの手法は、基本的に単一の市町村災害対策本部における被害情報の共有や、住民への情報発信に重点が置かれているため、災害対策本部間の情報共有・発信を行う本システムとは用途が類似しているが異なる。LIVEWall は、複数の災害対策本部間での被害情報の交換を行うために、アクセス権などの参照を行う方法についての検討を行い、実装した。

以上の機能的比較から、提案システムである LIVEWall のアドバンテージは、「災害現場における被害情報の取得」とその表示が統合的に行われていることと、被害情報を超高精細表示環境に提示し、それに対するオペレーションを提供する点が既存手法と比較することにより示唆された。

5.2.2. TDW プラットフォームとの機能的比較

TDW プラットフォームでは、SAGE, SAGE2, HyperInfo, そして NVIDIA Mosaic や AMD Eyefinity などの、3面以上のマルチディスプレイ環境への出力が可能な汎用 PC 環境との比較を示す。

表 6. TDW 表示環境との機能比較

評価対象の機能	SAGE	SAGE2	HyperInfo	マルチディスプレイ 汎用 PC	LIVEWall (提案システム)
GIS ベースの被害情報提示	×	×	×	×	○
多人数によるディスカッションを前提としたメディア表示	○	○	○	○	○
ユーザの位置を限定しない表示空間へのインタラクション	×	○	○	×	○
個人向けビューの提供	×	×	×	×	○
複数拠点を結んだワークスペース表示	○	○	×	×	○

表 6 では評価対象の機能に対して、例示したシステムの機能的評価を示した。表中の記号で「○」とあるものは、その機能が考慮され実装されているもの、「△」とあるものは、限定的な実装があるもの、「×」は、その機能に該当するものがないものを表す。

GIS ベースの被害情報提示機能は、システム単体で GIS 関係の表示を行うことができるかを比較する。SAGE はミドルウェアを使用して web ブラウザのピクセル出力を SAGE 環境に出すアプリケーションを構築する必要があるなど単体ではできず、SAGE2 や HyperInfo でも同様の課題が残る。マルチディスプレイ汎用環境は、そのままでは単なる

超高精細表示環境がデスクトップ環境で扱えるだけの PC であり、機能自体が単体では存在しない。

多人数によるディスカッションを前提としたメディア表示では、ディスプレイウォールの前でディスカッションを行うユーザに対して、適当なメディア表示を行う機能について比較する。この機能は、被害情報画像を超高解像度で表示することにより実現される。多くの TDW プラットフォームでは、メディアビューアは基本的な機能として実装されているほか、単なる超高解像度の汎用 PC であるマルチディスプレイ環境でも、OS 標準の画像ビューアを使用することで簡単に画像を表示することができる。すなわち、メディア表示に関しては列挙した全てのシステムにおいて機能を提供しているといえる。

ユーザの位置を限定しない表示空間へのインタラクションに相当する機能では、ユーザがワイヤレスデバイス等を使用して、ディスプレイウォールの前からディスプレイウォール上のコンテンツへのアクセスを行う機能について比較する。SAGE やマルチディスプレイ環境では、標準のワイヤレスコントローラは機能として提供されていない。一方で、SAGE2 や HyperInfo においては、Android や iOS が稼働するスマートデバイスをコントローラとして使用することが可能である。これは LIVEWall においても Workspace Controller で実装済みの機能としてあげることができる。

個人向けビューでは、各個人が表示されているコンテンツを自分が操作するデバイスで自らの興味のある情報を表示することが可能であるかを比較する。SAGE、SAGE2、HyperInfo、マルチディスプレイ環境いずれでも、個人向けビューに相当する機能は標準でサポートされていない。LIVEWall では、主に Shared Workspace に対する操作においてこの機能を実現させている。

複数拠点を結んだワークスペース表示では、物理的に複数の拠点において一つの共通のミッションに向けての協働が可能な機能を標準でサポートしているかを比較する。SAGE および SAGE2 では、標準的な機能として、表示されているコンテンツを複数の拠点間で共有することができる。一方 HyperInfo は単一拠点での協働にフォーカスが置かれているデザインである、マルチディスプレイ環境においては、単なる PC であるため、別途アプリケーションを開発しなければ協働に結びつくタスクの実施を満足させることができない。LIVEWall は、Shared Workspace を複数の拠点において、情報のアクセス権によって表示を制御し、広範囲の災害情報を表示させる設計をとっており、この機能を満足させることができる。

以上の点から、ここで例示した既存の TDW プラットフォームとの機能比較においては、LIVEWall は標準で GIS ベースの被害情報提示を、User Location Independent なインタラク

ションを提供しつつ、かつ、そのインタラククションを行うデバイスの上で各ユーザの興味に基づいた情報の提示を行える点が大きく優れていることが比較により示された。

5.3. State Reporting Device の可用性評価

5.3.1. 評価の目的

本評価の目的は、平常時からネットワーク環境が変化した場合に、災害情報の報告がどの程度可能であるかを評価して、現状の設計や実装の課題を把握することである。State Reporting Device は、発災初期に災害現場において現在起きている被害情報の報告に使用される。発災直後のネットワークは、ネットワーク環境は通常時と比較して著しく変化することが知られている。このような環境において、現在のシステム設計における災害対策本部に対する報告機能が、どの程度のネットワーク環境の変化、言い換えれば性能の低下まで機能するかを考慮する必要がある。

本評価実験を通じて、State Reporting Device で行われる通信関係の処理を、性能を変化させることが可能なネットワーク上でシミュレートすることにより、これらの検討に必要なデータを収集することを旨とする。

5.3.2. 実験環境および構成

ここでは本実験で使用した実機構成について述べる。

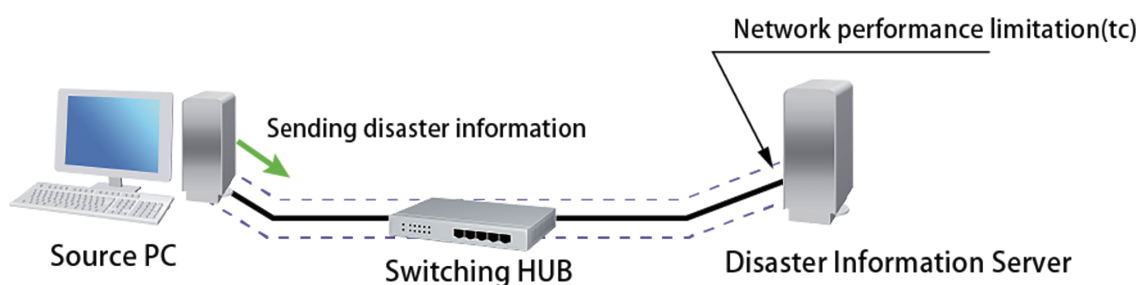


図 26. State Reporting Device 評価環境の構成

図 26 は、本実験のネットワーク構成の概略を示している。構成自体は単純なものであり、被害情報を報告する Source PC と、Disaster Information Server を、スイッチングハブを介して接続した上で、被害情報の登録処理をサーバに対して行うものである。本実験の目的を達成するため、この構成において、Source PC から Disaster Information Server 間のネットワーク性能を意図的に変化させる環境を構築した。

本来、被害情報の報告処理の送信は、State Reporting Device 実機で行うべきである。デバイス実装の特徴として、アプリケーションは自動的に複数のメタデータ項目を決定する

ほか、被害を撮影した静止画像やアノテーション音声を動的に収録するため、完全に同一の被害情報を複数回送信することが困難である。このため、あらかじめ取得された被害情報画像や音声アノテーションをメディアとした上で、固定のメタデータを送信する設定を実施して、ネットワーク性能をシミュレーション環境下で変化させながら、システムの評価実験を実施することとした。

この実験におけるトライアルは、State Reporting Device を模擬する Source PC から、メタデータ、音声アノテーション、そして被害情報画像の 3 種類の被害情報データを Disaster Information Server に送信完了することで構成される。リクエストの送信には、HTTP ベースの REST API テストツールである Postman 4.1[39] を使用した。

ネットワーク性能の検討を行うにあたって検討項目としたパラメータは、ネットワーク帯域幅、round-trip-time(RTT)、ジッタ、そしてパケットロス率 (PLR) の 4 項目である。本評価実験では、異なる 5 つの特性をもったネットワークメディアと、3 種類のパケットロスレート (PLR) から構成されるシナリオを構築した。各シナリオにおいて、同じデータを送信するトライアルを、各 10 トライアル実施する。このとき、各情報の種別ごとに送信に所要した時間、具体的には、被害情報を送信して、サーバから送信成功メッセージを受けるまでのレスポンスタイムを記録する。その後、各シナリオごとに 10 トライアルの平均送信所要時間を算出して、評価の指標とする。

5.3.3. 評価実験で使用したデータ

本評価実験で使用したメタデータ、音声アノテーションならびに被害情報画像について述べる。

表 7. State Reporting Device 評価環境で送信されるメタデータ

フィールド名	値
配置先ワークスペース UUID	4cad0ccb-6584-4c92-90ab-65c3801d2cf1
Auhor ID	feb1595c-6a07-48c0-ada8-3b018262825c
被害情報の種類	POINT
座標	39.83638381958008, 141.0590362548828
アップロードした画像ファイル名	1495382875.jpg
アップロードした音声アノテーションファイル名	1495382905.aac
優先度	低

送信に使用したメタデータの項目を表 7 に示す、指定した以外のデータは、データベースへの登録時にデフォルトの値をとる。このメタデータは、新規の点情報を登録することを前提とした内容であり、1 トライアルにつき 1 回送信する。このときのメタデータは、事前のパケット解析の結果、毎回 HTTP により送受信されるときに 730bytes の平文テキストデータとしてサーバへ送信される。

音声アノテーションも 1 トライアルにつき 1 回送信される。音声アノテーションのサ

サンプルデータは、成人男性が特定の被害状況を発話した音声を、汎用的なスマートデバイス内蔵のマイクロフォンで録音したデータによって構成されている。この音声データは、再生時間が 19.586s, MPEG-4 AAC 形式で圧縮され、サンプリングレート 8kHz, ビットレートが 12Kbps の、チャンネル数 1 の音声から構成されるファイルとして構成される。ファイルサイズは、30.5KiB となった。

トライアルで送信した被害情報画像を図 27 に示す。被害情報画像も他の情報と同様に、1 トライアル中 1 回送信される。この画像は、汎用的なビデオカメラで撮影した被災地の交通状況のビデオクリップから、特定のフレームを切り出したものを非可逆圧縮してファイルに書き出したものである。このときの画像のパラメータは、解像度 2,000x1,125px, 色深度 32bits, 圧縮形式は JPEG で、圧縮品質は 80% とした。ファイルサイズは、236.0KiB であった。



図 27. State Reporting Device 評価環境で送信される画像データ

これら 3 つの情報は、Disaster Information Server が web インタフェースとして公開しているスクリプトを使用してサーバへ転送される。このうちメタデータに関しては HTTP POST Request により、音声アノテーションと被害情報画像については HTTP Multipart Request により、メタデータ、音声アノテーション、被害情報画像の順で連続的に送信される。

5.3.4. ネットワークのエミュレーション

この実験シナリオでは、災害現場と災害対策本部間を結ぶ物理メディアを模擬し、想定物理メディアごとにネットワーク帯域幅, RTT, ジッタを設定する必要がある。ネットワークメディアのエミュレーションに際して、5 つの異なる特徴をもつメディアを、表 8 のように想定した。

表 8. State Reporting Device 評価環境でエミュレートするネットワーク性能

エミュレートするネットワークメディア	帯域 [Mbps]	Roud-trip-time(RTT)[ms]	ジッタ [ms]
Gigabit Ethernet(GbE)	1,000	設定なし	設定なし
W-CDMA(3G)	0.4	300	50
VSAT	1.0	1,000	200
IEEE 802.11 b/g	7.0	100	20
FDD-LTE(LTE)	100	60	5

エミュレートする一つ目のメディアは携帯電話網である。最もユーザにとって身近なメディアの一つであり、災害発生後に基地局等が罹災した状況においても通信事業者が移動基地局を比較的早期の段階で運用することが期待される。本邦ではいくつかの移動体通信の規格が使用されているが、その中でも最も基礎的な第3世代携帯電話規格の一つである W-CDMA(3G) を選定した。W-CDMA の特徴は、帯域は 1Mbps を大きく割り、RTT は陸上の無線局間を結ぶ無線通信規格の中では、比較的 RTT の値が大きい特徴を有する。

第二のメディアに、衛星パケット通信網 (VSAT) を選択した。VSAT は、被災現場で運用している地上局から、通信衛星、遠隔地の地上局を経由してインターネットとの通信を確立することが可能であり、非常に高い耐災害性をもつネットワークの一つである。その一方、約 36,000km 上空の静止軌道上まで信号が往復するため、一般的に地上の有線通信網と比較して非常に RTT が大きくなる。VSAT ネットワークでは、一般的に、使用される搬送波の周波数帯は高い。ipstar や SUPERBIRD といった広く使用されている VSAT サービスの搬送波は Ku バンドであり、その特性は降雨減衰などにより大きく通信品質に影響することが知られている。これらの特徴から、エミュレーションの設定では、帯域は 1Mbps 程度 [40]、RTT は 1,000ms 程度を想定し、不安定な RTT を再現するためにジッタは比較的大きな値による設定を行った。

第三のメディアは、IEEE 802.11b/g である。通常、無線 LAN の規格として 802.11b/g は使用されるが、ビル間通信ユニットと高指向性アンテナを組み合わせることで、数キロ程度の拠点間通信が可能であり、さらにこれをマルチホップ環境を利用することにより、さらに長距離を結ぶエンド間通信で運用することも可能であることが示されている [41]。このメディアでは、この技術による災害現場から災害対策本部への報告を再現した。802.11 b/g のエミュレーションでは、比較的短距離での通信であるため、RTT は 100ms 程度に抑えるほか、同様の理由からジッタも大きく変化しないように設定している。

第四が、3.9 世代携帯電話規格の一つである FDD-LTE であり、現用の携帯電話通信網で広く使用されているものをエミュレートする。LTE 規格全般の特徴は、Voice over LTE によるパケット網上で音声通信サービスを行うために、ネットワークアーキテクチャレベ

ルにおいて非常に低い RTT とジッタをベースとした通信が可能な点である。FDD-LTE のエミュレーションでは、帯域は無線アクセスの中でもっとも広く、さらに、RTT とジッタを $60 \pm 5\text{ms}$ 程度に抑えることにした。

最後に比較として、ごく一般的な Gigabit Ethernet(GbE)、すなわちネットワークエミュレーションを行わない状況を設定した。

これらの詳細なパラメタを表 8 に示す。

さらに、各メディアに対して、PLR を設定する。本実験では、PLR を 0%, 10%, 25% として、被害情報報告にかかる送信処理を評価する。すなわち、本実験では合計 150 トライアルを実施し、ネットワーク性能の変化によるパフォーマンスの変化を記録する。また、被害情報送信そのものの成否についても評価の対象とした。

これらのネットワークエミュレーションは、Disaster Information Server のネットワークカードの性能を意図的に制御することで行った。性能のエミュレーションは Linux Traffic Control(tc) により行った。

5.3.5. 実験結果

まず最初に、基準となる Gigabit Ethernet 環境における結果を図 28 で示す。横軸は左から PLR 0%, 10%, 25% を示し、縦軸が送信開始からの経過時間を示す。積層グラフは、下からメタデータの送信（緑）、音声アノテーションの送信（赤）、画像の送信（黄）のそれぞれ所要時間を表している。

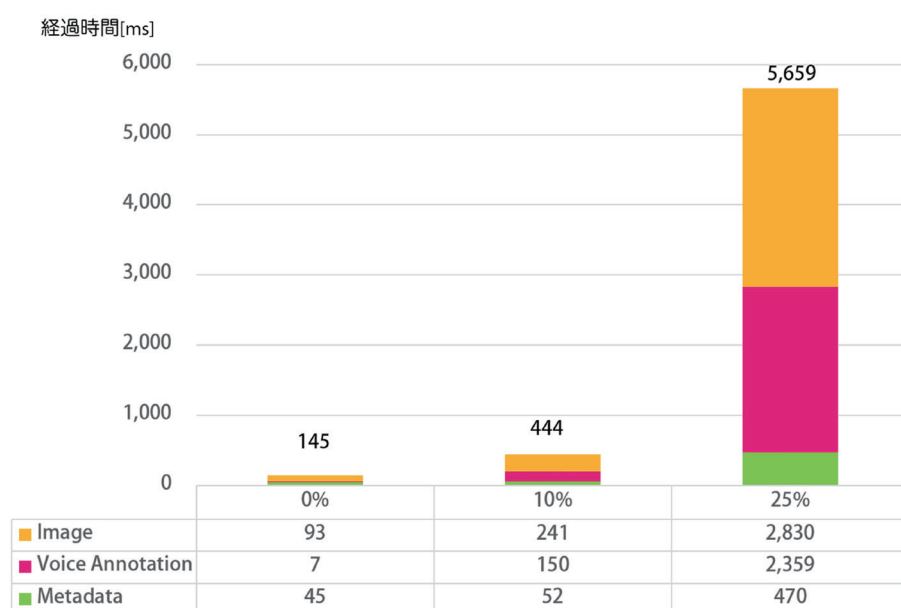


図 28. Gigabit Ethernet における State Reporting Device による被害情報送信の結果

PLR 0% では、全ての情報の送信に 145ms 所要していたものが、10% になると 444ms,

25%では5,659msそれぞれ要する結果となった。特にメディアデータの送信では、PLR 0%では93msで送信できた画像を例にとると、25%のPLRでは約30倍の時間的遅延を発生させる結果となった。これはパケットロスが高頻度で発生する場合にTCPにより再送が行われるが、再送したパケットすら失われるという一般的な原因による。

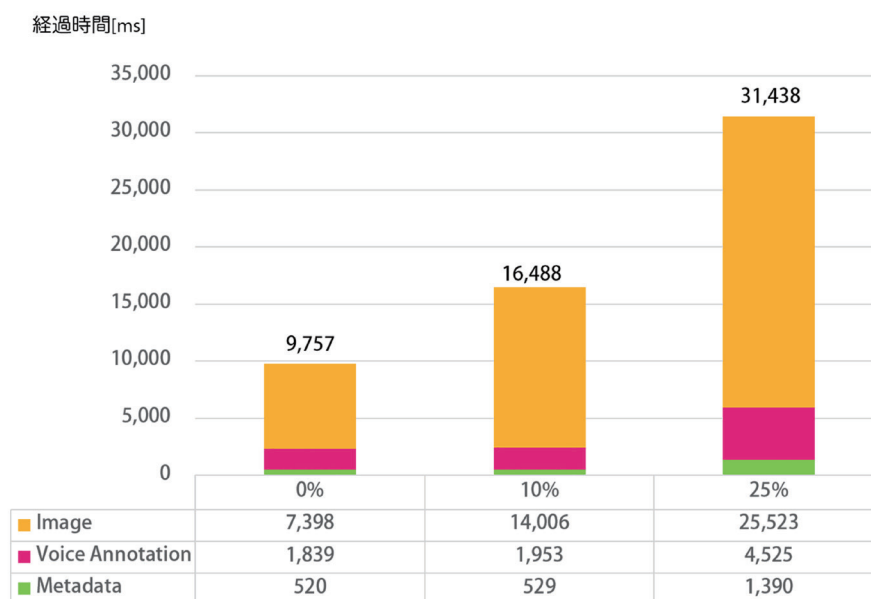


図 29. W-CDMA における State Reporting Device による被害情報送信の結果

図 29 は W-CDMA を模擬した環境における結果のグラフである。図 28 と同様に、横軸に PLR、縦軸にタスク投入からの経過時間を表す。W-CDMA では、400kbps という限られた帯域であることから、PLR は 0% でも、全ての情報の送信におよそ 9,800ms を要し、タスク実行時間のおよそ 76% が画像データの送信に費やされた。一方、10% PLR では送信完了までの所要時間は 169% に増大し、約 16,500ms に大きく増えたことがわかる。25% のパケットがドロップした場合では、1 件の被害情報の送信には 31,400ms を超える時間を必要とし、PLR 0% 基準と比較すると、タスク全体の所要時間は 322% に増大した。特にインパクトが大きいのが、被害情報のうちデータ量の大きな画像ファイルの送信であり、25% PLR シナリオでは実に 25 秒以上が画像ファイルの送信に費やされている。

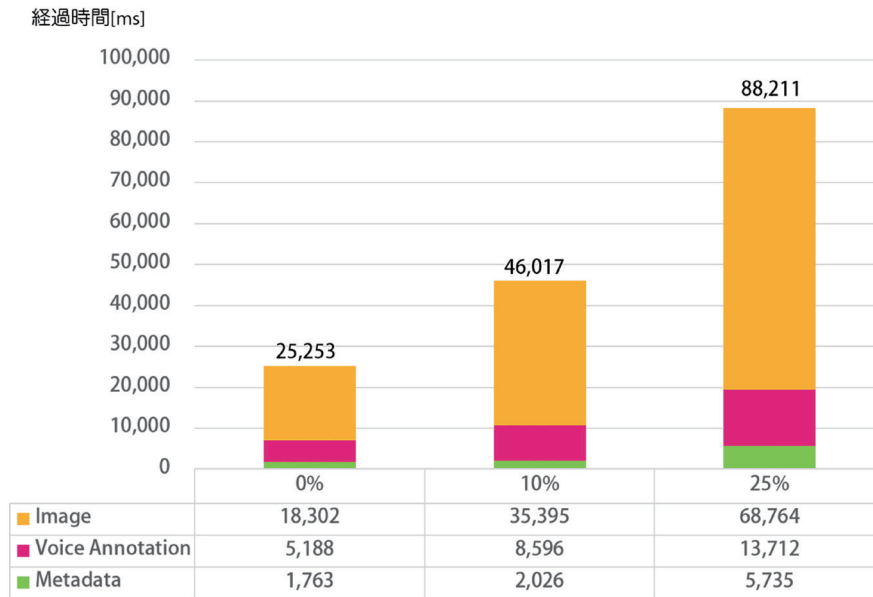


図 30. VSAT における State Reporting Device による被害情報送信の結果

VSAT におけるエミュレーション結果を図 30 に示す。VSAT は RTT が最初から大きい特徴があり、パケットをドロップしないシナリオにおいても 25,253ms を所要した。そのうち画像の送信に 18,000ms を超える時間が必要となっている。PLR が 10%、25% と増大するにつれ、タスク所要時間はそれぞれ 182%、349% に増大し、25% シナリオの平均所要時間は 88,211ms を要している。注目したいのが、PLR 25% シナリオで、音声アノテーションと画像の送信にそれぞれ失敗したトライアルが 3 回観測された点である。トライアルの完了に失敗したのは、VSAT の PLR 25% のシナリオだけで観測された現象である。

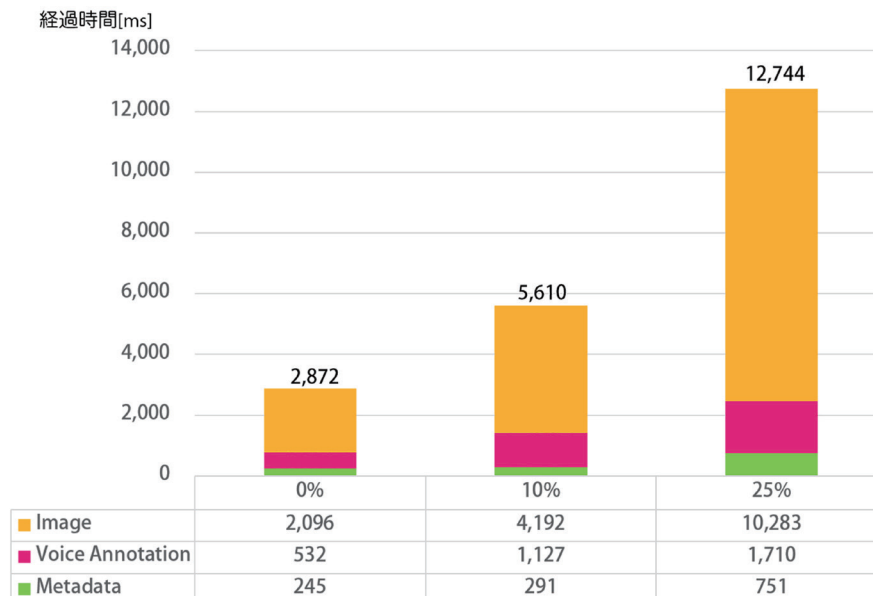


図 31. 802.11b/g における State Reporting Device による被害情報送信の結果

IEEE 802.11b/g の結果を図 31 に示す。802.11b/g をベースとした想定環境は RTT が比較的小さく、ジッタも小さく安定しているため、PLR 0% においてタスク完了に 2,872ms

を所要するにとどまった。PLRの増大によるタスク時間の増加についても、10%では5,610ms(0%比で195%)、25%では12,744ms(0%比で444%)というタスク時間増大にとどまった。

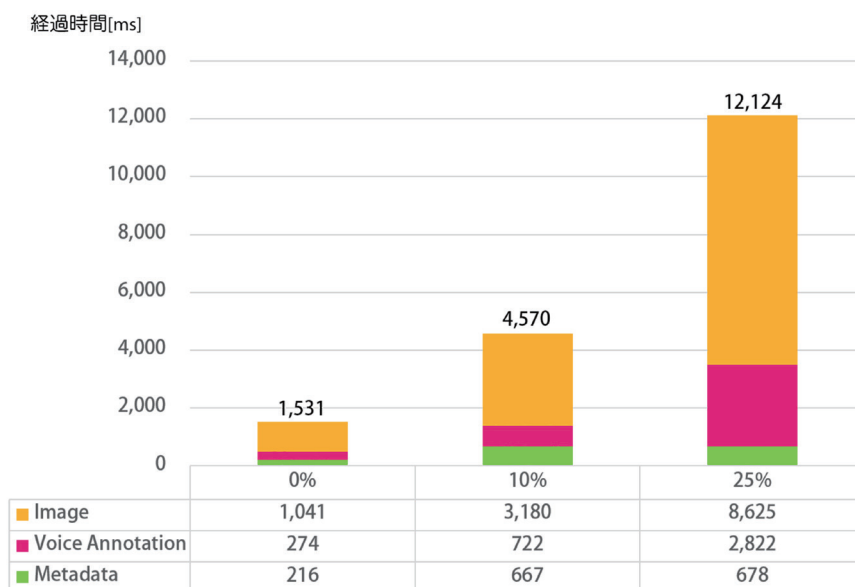


図 32. FDD-LTE における State Reporting Device による被害情報送信の結果

高速かつ極めて低RTT/ジッタであるFDD-LTE環境における結果を図32に示した。まず、全情報の送信完了までの所要時間では、0% PLRのシナリオにおいて1,531msと、Gigabit Ethernetを除く全シナリオで最速の結果となった。PLRが増加するに従って、10% PLRでは4,570ms(0%比305%)、25% PLRでは12,124ms(792%)と所要時間は増大したが、いずれもGigabit Ethernet以外では最速の所要時間であった。

5.4. TDW への出力評価

5.4.1. 目的

Presentation HostがTDWに出力を行うにあたり、アーキテクチャの関係上、出力遅延が発生することは避けられない。この評価実験においては、実際のTDW環境上でワークスペースを構築・表示する処理を行い、表示が完了するまでの遅延時間を測定する。これにより、どの程度の出力遅延が発生しているかを把握することにより、プロトタイプにおける課題を明らかにすることを目的とする。

5.4.2. 実験の構成および構成

図 33 ではこの実験の構成を示す。

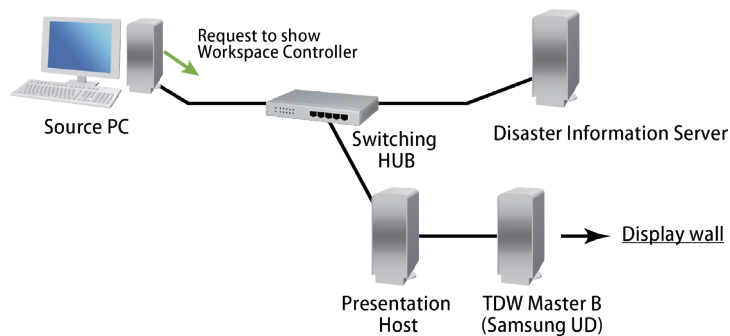


図 33. TDW 表示遅延評価実験構成

この評価用の構成では、すべてのサブシステムおよび TDW プラットフォームは Gigabit Ethernet で接続されており、各ホストはすべて同じ IP セグメント内に配置されている。

処理の流れについても、一般的な利用方法と同様に、Workspace Controller からの要求を受けて、Disaster Information Server は表示についての制御を行い、処理結果をサブシステムに対して公開する。この公開されたリソースは Presentation Host において参照され、それをもとにワークスペースの描画を行う。描画されたワークスペースは TDW プラットフォームである Samsung UD Sender により、出力されたピクセルがキャプチャされる。ピクセルデータは、マスタノードである TDW Master B に送信され、TDW Master B は TDW の各レンダリングノードに分割されたピクセルデータを送信し、出力が行われる。

本評価実験では、Shared Workspace と Contents Workspace 双方の表示評価を実施する。

Shared Workspace の評価では、TDW にワークスペースを表示した後、表示エリアを変更したり、あるいはフィルタリング機能によりオーバーレイ表示対象の被害情報数を変更するオペレーションを含むシナリオを策定した。Workspace Controller における操作は Source PC によりエミュレートされる。エミュレートされる操作は、本来 Workspace Controller で行う操作に相当するが、これを正確かつ任意のタイミングで実行することを目的としている。Source PC からは、Workspace Controller が送出するメッセージを同じように送信することにより同等の操作を実現する。

Contents Workspace に対する評価は、次の手順によって行う。まず、Disaster Information Server 上で一定数のオブジェクトを配置したオブジェクト配置情報を読み込み、ワークスペースを構築する。次に Presentation Host で Contents Workspace をロードさせることにより、その配置を Presentation Host で反映させるというものである。

本実験におけるトライアルは、各表示シナリオを 10 回繰り返して行い、表示処理開始から完了までの所要時間を計測する。すべてのトライアルが完了したあと、各表示シナリオごとに相加平均を算出し、これを表示遅延として扱う。トライアルを構成する表示シナ

リオは、後述する。

本評価実験での計測時間の定義に関して述べる。

タスク所要時間 T_1 は、シナリオの実行開始を基点時間として、シナリオの表示完了までの時間により導出される。 T_1 の測定は、ストップウォッチをベースとした測定により行われる。

ネットワーク遅延時間 T_2 は、シナリオの実行によるネットワーク通信が TCP セッションを確立してから、通信を完了しセッションを閉じるまでの時間によって定義される。 T_2 の測定は、パケットキャプチャで得たタイムスタンプによって行われ、パケットキャプチャには Wireshark 2.2.6[42] を使用した。

表示等遅延 T_3 は、サーバサイドの処理遅延、TDW へのピクセルデータのトランスポートや分散レンダリングにかかる処理などの表示関係の遅延が含まれるもので、 T_1 から T_2 を減ずることによって算出される。

表示解像度はプロトタイプの構成通り、Shared Workspace 側は 2,560x1,440px、Contents Workspace 側は 1,920x1,200px で出力した。

5.4.3. Shared Workspace の評価シナリオ

Shared Workspace の表示評価のシナリオは、想定されるシステムの利用形態に基づくものである。初期状態は、比較的広域の地図が表示されており、次いで特定の被害発生地区をクローズアップ表示する。さらに被害情報のオーバレイ表示を実施したり、地理的に離れた別のエリアの表示を行う。また、フィルタリング処理を行うことで、オーバレイする情報を選択するといったアクションを想定した。

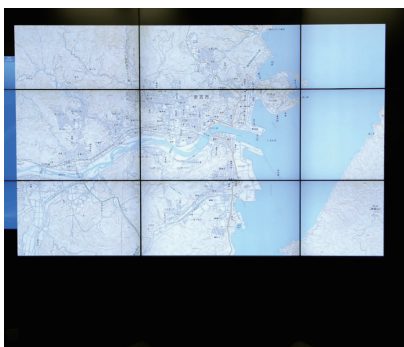
事前準備として、オーバレイ情報の表示のため、被害情報をあらかじめ Disaster Information Server の Workspace DB に登録した。このデータベースでは、岩手県沿岸部を被災地とした地震災害を模したシナリオを登録している。被害情報発生地点の配置は、2017 年 7 月 1 日の時点で岩手県宮古市に属する領域をおおよそカバーする凸型の多角形の内部にランダムに配置し、配置オブジェクトの総数は 271 である。各被害情報の報告日時は、2017 年 6 月 1 日 12 時 00 分 00 秒から同年同月 6 日 12 時 00 分 00 秒までの間にランダムで設定されている。被害情報は全て点情報 (POINT) として定義され、優先度は「高」に設定された被害情報が 12 件、「中」が 220 件、「低」が 39 件とした。

これらの操作の流れと、主要なパラメータ、シナリオを通じて Presentation Host が送受信するデータの総量を表 9 に記し、それらの実行結果が実際に TDW 上に表示されている状況を図 34 に示す。このうち、全件表示、時系列フィルタリング、優先度フィルタリングの各項目は、オーバレイ表示すべき情報の指定リソースである GeoJSON テキストの

みを受信するため、他の背景地図タイルの変化が発生するシナリオと比較して、著しく送受信されるデータ総量が小さい。

表 9. Shared Workspace の表示評価タスクと Presentation Host の送受信データ量

シナリオ	送受信データ量 [MiB]
初期状態表示	7.87
座標・ズームレベル転換	1.3
全件表示	0.08
時系列フィルタリング	0.04
優先度フィルタリング	0.004



(1) 初期状態表示



(2) 座標・ズーム Lv 転換



(3) 全件表示



(4) 時系列フィルタリング



(5) 時系列フィルタリング

図 34. Shared Workspace の表示評価での各シナリオ表示結果

5.4.4. Contents Workspace の評価シナリオ

Contents Workspace の表示評価では、表示されるオブジェクトの数が増えた場合に表示遅延がどのように変化するかを測定する。表示シナリオは、オブジェクトが 10 表示され

た状態からスタートし、オブジェクトが 20 表示された状態、オブジェクトが 30 表示された状態、そしてオブジェクトが 40 表示された状態までのトータル 4 シナリオから構成される。

それぞれの実験シナリオでワークスペース上に配置される画像のデータ量は、最も小さい画像が 46,591bytes、もっとも大きなものが 2,986,006bytes に及ぶ。これは、本システムが実際の災害において稼働する際に、自組織の State Reporting Device 以外に、汎用デジタルカメラや、国土交通省の地方整備局が設置した監視カメラ、あるいは UAV による空撮画像などの複数の情報ソースがある状況下で、フォーマットがそれぞれ異なる画像情報がワークスペースに配置されるようなシナリオを再現することを意図したものである。

これらの実験シナリオの一覧を示した上で、各シナリオで Presentation Host が送受信するデータ量との関係は、表 10 の通りであった。各シナリオの出力結果は、図 35 の各スクリーンの表示状況通りである。

表 10. Contents Workspace の表示評価タスクと Presentation Host の送受信データ量

シナリオ	送受信データ量 [MiB]
オブジェクト数 10	0.85
オブジェクト数 20	9.70
オブジェクト数 30	14.9
オブジェクト数 40	32.1



オブジェクト数 10



オブジェクト数 20



オブジェクト数 30



オブジェクト数 40

図 35. Contents Workspace の表示評価での各シナリオ表示結果

5.4.5. Shared Workspace の表示評価実験結果

Shared Workspace 表示遅延評価の実験結果は図 36 の通りであった。このグラフは横軸に各シナリオ、縦軸に表示処理を投入してから、TDW に表示が完了するまでの時間をとり、ネットワーク遅延時間 T_2 (緑)と表示等遅延時間 T_3 (赤)を積層グラフで表したものである。初期状態表示は、多くの背景地図タイル画像を読み込むという、ネットワーク・表示両面でインパクトの大きいタスクであり、平均タスク完了所要時間はおよそ 7,455ms という結果となった。

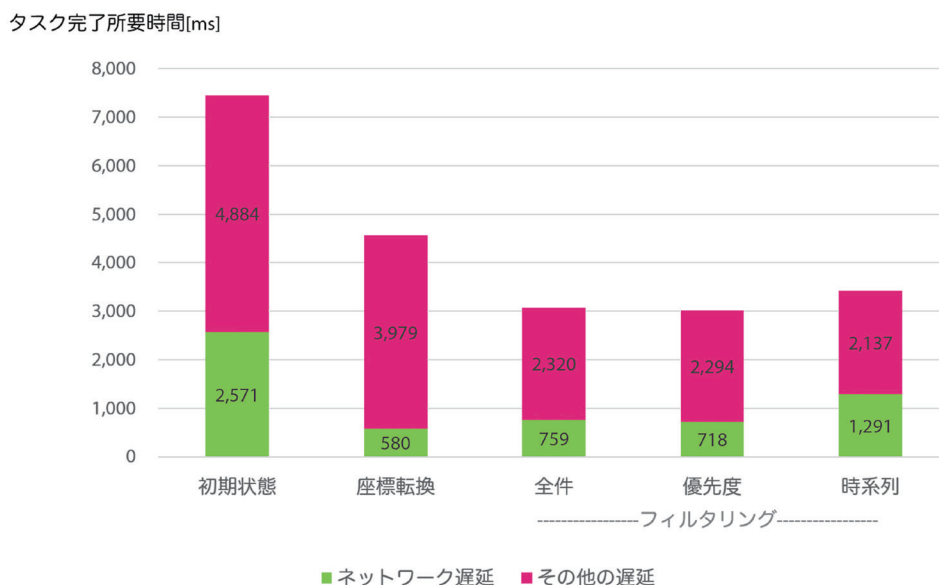


図 36. Shared Workspace の表示遅延実験結果

一方の座標転換タスクにおいて、タスク全体の所要時間は、投入から平均 4,559ms との結果を得た。ネットワーク遅延 T_2 は初期状態表示タスクとの比較では 23% とデータ送受信量に依存する結果を得ている。一方、表示等遅延である T_3 は、初期状態で所要した時間の 82% を要する時間のかかるタスクであることが示された。

オーバーレイ表示の制御を行うフィルタリングは、オーバーレイ情報を指定する GeoJSON テキストの送受信である。このため、ネットワーク遅延 T_2 のインパクトは大きなものではない。さらに、ネットワークコネクションの確立などにかかるオーバーヘッドや、GeoJSON テキストの参照を 2s ごとにフェッチしている実装上の関係から、オーバーレイ情報を司る GeoJSON ファイルのデータサイズに無関係なネットワーク関係の遅延が生じることが観測できた。今回のシナリオでいえば、優先度フィルタリングを実行したシナリオにおいて、全件表示シナリオの 1/20 のデータ量であったにもかかわらず、時系列フィルタリングは、全件表示の 1.7 倍ものネットワーク処理時間を所要している。

5.4.6. Contents Workspace の表示評価実験結果

Contents Workspace の各表示シナリオと、表示遅延の関係は、図 37 のグラフに示す通りの結果を得た。このグラフでも、横軸がそれぞれのシナリオ、縦軸が表示処理を投入してから TDW に表示が完了するまでの時間であるネットワーク遅延時間 T_2 と表示等遅延時間 T_3 を積層グラフで示したものである。

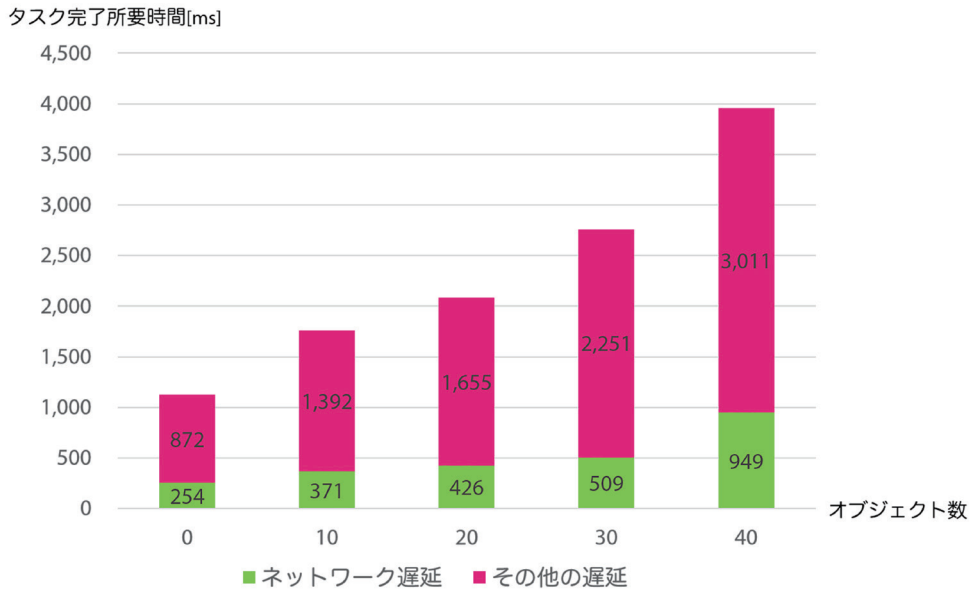


図 37. Contents Workspace の表示遅延実験結果

オブジェクト数 10 のシナリオでは、タスク投入から表示完了まで 1,763ms、オブジェクトが 20 が増えると 2,081ms、オブジェクト数 30 では 2,760ms、一番時間がかかったオブジェクト数 40 においても、3,960ms それぞれ平均で表示を完了している。

今回想定した各シナリオでは、ネットワーク遅延時間 T_2 と表示等遅延時間 T_3 両方において、Presentation Host が送受信するデータ総量が増えると、それに対して線形で増加するような関係を示した。オブジェクト数 10 のシナリオと比較して、オブジェクト数 40 の表示パターンでは、全体の表示遅延 T_1 は 2.24 倍になっており、ネットワーク遅延 T_2 は 2.56 倍、表示等遅延 T_3 は 2.16 倍に増加するなど、増加傾向に大きな乖離はみられなかった。

5.5. 実験の考察

5.5.1. State Reporting Device の可用性評価実験に対する考察

異なるネットワーク性能をもつ環境では、エンド間パフォーマンスがドラスティックに変化することが観測された。そのような状況下においても、設定した 150 トライアル中 147 トライアル、率にして 98% のシナリオにおいて、メタデータ、音声アノテーション、被害情報画像の送信に成功している。しかしながら、VSAT のような RTT 値が大きい環境におけるパケットロス、接続のタイムアウトを起因とする送信失敗を観測する結果となった。

このような環境において、部分的な被害情報の伝達、すなわち何らかの情報の欠落にとどまる被害情報の報告には、被害情報のデータサイズとコンテンツの重要度を考慮した被

害情報送信を考慮する必要がある。つまり、本システムではメタデータ、音声アノテーション、被害情報画像の順番での送信が最も望ましいといえる。現在の State Reporting Device の実装ではこの順番で被害情報が送信されるため、この課題についてはクリアしていると考えられる。

また、現在の実装の課題にはネットワークに対する QoS(Quality of Service) を意識したメディアの取扱いが挙げられる。QoS 確保に対する解決策の一つとして検討されうる事項には、被害情報を送信する前にネットワーク性能をあらかじめ測定して、それに応じてメディアの扱いを変更させる処理がある。たとえば、送信前のネットワーク状況を測定して、パケットドロップが多数確認される場合には送信を一時保留したり、低帯域の通信しか確保できないような状況であれば、画像や音声をさらにトランスコードしてデータ量を減らすといった処理が検討できる。さらに、複数の被害情報が保留されている場合、State Reporting Device では優先的により高い優先度に指定された被害情報から優先的に送信するなどの、データトリアージの導入も検討すべきと考えられる。

5.5.2. ワークスペースの表示遅延評価に対する考察

現状の実装モデルを使用したケースにおいては、Shared Workspace の表示を行うケースで、背景地図の位置が大きく変化するような操作を行うと、明確に時間のかかる遅延の発生への可能性が示唆された。特に、ネットワーク処理以外の遅延が全体として大きいことが実験結果からわかる。初期状態表示がもっとも時間的に高いコストを要する処理であるが、GIS アプリケーションの起動を含めてのオーバーヘッドを含めていることが原因の一つであると考えられる。

Shared Workspace におけるワークスペース表示空間における表示遅延に関しては、地図上オーバーレイ情報の件数は、表示等遅延に対して一定の比例関係があることが示唆された。この原因の一つとして、オーバーレイされるデータ量や、ピクセル表現の複雑さに比例して時間がかかることが推定される。今回設定したシナリオでは全件表示、優先度フィルタリング、時系列フィルタリングのシナリオごとにオーバーレイされる情報、すなわち GIS 地図の複雑度が低くなるが、処理するデータ量が減れば、表示等遅延を構成する時間も同様に減るためと考えられる。しかし、頻繁に使用されると想定されるオーバーレイ情報の更新や制御は、大きく表示件数が変化したケースにおいても、表示遅延がドラスティックな変化を行うことはなく、この点では安定した描画が可能であることが示唆された。

一方の Contents Workspace では、直接的な表示遅延が Shared Workspace と比較してはるかに大きい結果となった。今回の環境では、Shared Workspace 側が WQHD で出力されているのに対し、Contents Workspace 側の解像度は WUXGA と、ピクセル空間は Shared

Workspace 側の 63% にとどまるにもかかわらず、大きくパフォーマンスを落とす結果が観測された。この原因の一つとして想定されるのが、Contents Workspace はピクセル表現を処理するコストが GIS 表示を行う Shared Workspace と比較して大きなものであり、TDW における表示処理にかかる時間的コストが必然的に大きくなるためと考えられる。すなわち、Contents Workspace における表示遅延は大きな課題として残っていると見える。この評価で使用した各シナリオではオブジェクトをただ表示させているだけであるが、すでに配置されているオブジェクトの配置情報を変更したり、オブジェクトをさらに追加したりといったインタラクションを行うと、同等もしくはより長い表示遅延が発生する。LIVEWall のようなインタラクティブなシステムでは、ユーザの操作に対する応答性がある程度求められることになるため、表示遅延の短縮は、今後の大きな検討課題の一つとなる。

ところで、これらの遅延に対して、TDW 上への表示そのもの、つまり T_3 にかかる遅延を低減させる手法の検討は比較的容易と考えられる。第一に、デスクトップの表示領域、すなわちピクセルデータ量を減らすことにより、TDW プラットフォームに起因する遅延を減らすという手段をとることが簡単に可能である。デスクトップ空間のピクセルサイズを減少させることで、Presentation Host がピクセルデータをマスターノードに送信し、マスターノードがそれを分割して、レンダリングノードに配信し、分散レンダリングさせるというすべての通信において、データ量を根本的に削減させることが可能である。この手段による改善は容易ではあるが、当然ながら TDW に表示されるピクセル空間も大きく削減される。この場合、表示遅延の減少と高解像度のデスクトップ空間のトレードオフとなり、本提案手法にとって大きくデメリットとなる可能性がある。

別の手法では、そもそもネットワークを介して分散レンダリングを行う第 1 世代 TDW ではなく、ビデオカードから直接ディスプレイウォールを出力する第 2 世代 TDW を使用することである。この手法においては、表示に直接かかわるネットワーク遅延よりはるかに高速な応答速度を実現することが可能である。

より容易な性能向上手法としては、コンテンツ自体をダウンスケールし、ピクセルサイズを抑制させることで、デスクトップに表示されるまでの間のパフォーマンス向上を目指すことが有効と考えられる。特に Contents Workspace では、ワークスペースの表示に多数のリソースを使用する処理を web ブラウザ上で実行している。これは、コンテンツの表示にかかるマシンリソースを減らすことで、TDW にピクセルデータを送信する前の段階で、遅延の大幅な減少が期待されるものである。

5.6. まとめ

本章では，本研究の提案システムである LIVEWall の機能評価を，既存システムとの比較を行い，先進的観点の提示を行った．特に，災害情報を現場から報告し，統一的なシステムデザインによる統合的提示を，情報の優先度を考慮した上で行う点がキーポイントとして挙げる事ができた．

また，可用性評価や，表示遅延評価を通じて課題点を明らかにした．State Reporting Device は，ネットワーク性能が限定的な環境においても高い確率で災害情報の報告を可能にであったほか，一部の種類の災害情報が欠落しても，断片的ではあるものの，報告作業を実施することが示唆される結果を得た．明らかとなった課題点として，QoS を考慮した災害情報メディアの扱いをシステムデザインに盛り込むことが挙げられる．

災害情報の表示フェイズでは，超高精細表示を行う 2 種類のワークスペースに対するオペレーションに関する評価を実施した．ネットワークベースで分散レンダリングを行うアーキテクチャに基づく TDW を表示システムに使用した場合，ワークスペースの表示にかかる遅延は避けられない問題である．しかしながら，Shared Workspace に対しては，頻繁に使用されるであろうオーバレイ情報の更新においては，表示件数にかかわらず安定したシステムパフォーマンスであることが判明した．Contents Workspace でのレンダリングは，まだ多数の課題が残り，特に被害情報画像が多数表示されているワークスペースのレンダリングには，コンテンツの数に対して線形的に増大する時間的コストの問題が残されている．本章ではこれに対してのいくつかの対応策を提示したが，有力と考えられるメディアのリサイズ処理などを積極的に盛り込むなどして，パフォーマンス向上の余地がまだ残されているものと推定される．

6. システムの利用によるハンズオン評価

6.1. はじめに

本章では、システムのユーザビリティの観点からシステムの有用性を評価するにあたって、LIVEWall プロトタイプを使用した評価実験について述べる。

本提案システムは、災害時の市町村職員をユーザとして、大規模災害が発生した場合に使用することを想定している。このため、システムのユーザビリティは実際の災害時に使用される情報基盤を評価する上で重要な点として挙げることができる。この評価では、本提案システムのユーザビリティが、ユーザにとってどの程度であるかをもって、有用性を評価することを目的とする。

6.2. ハンズオン評価の対象と流れ

この評価は、本システムを構成するサブシステムのうち、実際にユーザが操作することになる State Reporting Device と Workspace Controller を対象としたユーザビリティ評価である。ここではこれらの評価の流れを記す。

まず最初に、それぞれの実機によるハンズオンを被験者に行わせる。このハンズオンでは、最初に実験者が仮想災害シナリオの全体的な状況と、被験者が演じる役割をブリーフィングにおいて説明する。次いで、被験者に各機器を実際に操作させて災害への対応を実施させる。このとき、後述する特定の災害を模したシナリオに沿って、実際に提案システムをユーザに操作させることによって行われる。ハンズオンの後、質問紙を配布し、ユーザビリティに関わる項目に関する主観的調査を実施した。

本評価は、災害対策本部の運用訓練などで使用される「図上訓練 Disaster Imagination Game (DIG)」[43] をベースとした、ロールプレイング形式の活動がリアルタイムで進行することによって構成される。このシナリオでは、**状況付与**、つまりシナリオ想定が、DIGにおいて**プレイヤー**と呼ばれる被験者に対して指示されることによって進行する。

これに対して、シナリオ自体を統裁し、ハンズオン試験を行う実験者を、DIG に準じて**コントローラ**と呼称する。

本評価実験の実施において、State Reporting Device と Workspace Controller それぞれの評価を、別個に実施する。

6.3. ハンズオン評価全体における「想定災害」

本評価は、本節に掲げる地震災害を想定したシナリオに基づいて行い、プレイヤーに対する状況付与も本想定を基準としている。

6.3.1. 災害の背景・状況

平成 30 (2018) 年 10 月 21 日 04 時 34 分頃、三陸沖北部を震源とするマグニチュード $M_j7.7$ の地震が発生

久慈市、宮古市、釜石市で震度 6-、大船渡市、気仙沼市で震度 5+ を観測

気象庁は 21 日 4 時 41 分、岩手県沿岸を含む北海道・東北・北関東の太平洋沿岸部に大津波警報を発令

5 時 20 分から 30 分にかけて警戒中の沿岸各市町村消防団が津波第一波の到達情報を発信

6.3.2. 主要被害状況

以下は平成 30 年 10 月 21 日 07 時 00 分現在の岩手県内の主要な被害状況である。

建物

概数不明なるも、宮古市市街地中心部では 2 割程度の建造物が倒壊。沿岸部の低地では津波による建造物の流出が確認される。

人的被害（判明分）

死者 6

行方不明者 2,000~3,000

負傷者 1,700

主要道路

国土交通省各道路管理事務所および県から、国道 45 号 津波浸水で通行不能箇所 10 カ所以上、国道 106 号では宮古市墓目付近でトレーラが横転する事故を確認、上下線ともに通行不能の情報が入電

鉄道

岩手県内の JR 各線・IGR いわて銀河鉄道線・三陸鉄道各線ともに全線区で運転中止。土木・電力・信号通信各部署から損害報告、2 カ所で橋梁流失、4 カ所で路盤の崩壊を確認

電力

市町村内全域で停電するも、市町村庁舎は自家発電装置により庁舎内で使用する電力を維持

通信

公衆交換電話：輻輳および物理的な通信路の破壊により発着呼が著しく困難，NTT 東日本は 06 時 12 分発呼制限を開始

携帯電話：主要通信事業者は音声チャネルの発呼制限を実施．基地局機能は蓄電池により維持されており，データ通信は可能

いわて情報ハイウェイ：宮古，釜石，久慈地域振興局管内のゲートウェイで障害発生，本庁舎（盛岡市）との通信途絶

LGWAN: LGWAN 接続ルータの電源が投入できなくなるものの，21 日 05 時 45 分復旧

衛星ネットワーク：発災直後に一時停電したが，現在は使用可能

NDN と関係ネットワーク：LIVEWall の稼働にあわせ，21 日 06 時 04 分正常に運用開始

上下水道

各想定市町村内では上水道の断水が発生

本管の破損による漏水報告が少なくとも十数件発生

6.4. プレイヤーおよび被験者の属性

State Reporting Device の評価では，プレイヤーは宮古市職員で被害情報初動調査を担当する職員として活動する．

Workspace Controller の評価では，プレイヤーは宮古市災害対策本部員となり，本部会議における被害状況表示制御のオペレーションを担当する本部員として活動する．

プレイヤーとなる被験者は，大学で事務的職掌にある職員およびコンピュータサイエンスを専攻する学部所属の学生の合計 6 名（男性 5 名，女性 1 名）から構成された．被験者の PC 類（デスクトップ / ラップトップ / 2-in-1 PC 等）の利用経験を図 38-1) に，スマートデバイスおよび PDA 類の利用経験を図 38-2) に示す．

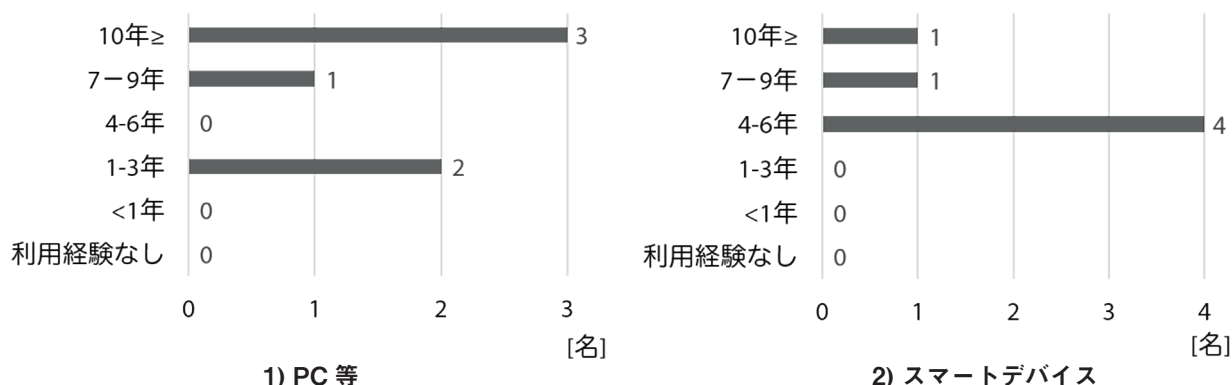


図 38. プレイヤーとなる被験者の ICT スキル

6.5. 状況付与

ここでは、State Reporting Device および Workspace Controller のそれぞれのハンズオン実験において、どのような状況が付与されるかを述べる。

6.5.1. State Reporting Device への状況付与

State Reporting Device のハンズオン試験では、災害現場からの報告業務を模擬する。本ハンズオン中にプレイヤーに与えられる想定である状況付与は、10月21日07時11分を起点として13分間で4地点からの被害情報の報告をリアルタイムで行うことを要求する。状況付与に対して報告すべき被害情報は、表11に示す通りである。プレイヤーは、この状況付与に応じて、被害画像撮影、音声アノテーションの録音を行うほか、メタデータを構成するいくつかの項目に関する操作を行った後、被害情報を本部に報告する。メタデータを構成する項目の操作には、被害情報の優先度が該当する。

なお、デバイスの測位は、評価を行う端末の位置情報をエミュレートすることによって行われる。これは本評価実験は屋内で行うため、航法衛星によるデバイスの測位が極めて困難ないし不可能であることに起因している。

表 11. State Reporting Device への状況付与

状況付与時刻	被害発生場所	座標 (緯度, 経度)	優先度	状況付与	状況付与の 意図
21 日 0712	国道 45 号 259.6kp 付近 (宮 古市高浜一丁目)	39.608986, 141.958766	高	巡回中, 地震動により路盤の 路肩部分が崩落, 仙台方面車 線が通行不能であることを現 認	通常の報告 対応
21 日 0717	宮古市山口三丁目	39.647593, 141.935205	中	巡回中, 地震により道路の路 盤が崩落, 水道管本管が見え ており, 対応が必要であるこ とを現認	通常の報告 対応
21 日 0722	宮古市磯鶏	39.630242, 141.966770	中	巡回中, 港湾地区で倉庫群の 上屋で火災が発生しているこ とを現認. 火勢は激しく, 東 側の方向に類焼の危険がある ことを現認	通常の報告 対応
21 日 0725	宮古市千徳町	39.634330, 141.922781	低	巡回中, 山田線の高架橋が地 震で崩落していることを確認 直ちに人的被害はなしが, JR へ被害情報の共有も伝達する 必要	通常の報告 対応

6.5.2. Workspace Controller への状況付与

一方, Workspace Controller に対するハンズオンにおいては, Shared Workspace および Contents Workspace 双方へのインタラクションを行う. これらのインタラクションは, 本部会議に参集している市町村長や各部署の長といった意思決定者のワークスペース操作の要求を状況付与としてプレイヤーに与え, プレイヤーは状況付与に従って Workspace Controller を操作する.

状況付与は, 被害報告の蓄積が進行した, 発災からおおよそ 12 時間後の 10 月 21 日 16 時 30 分を起点として開始される. システムに対する 10 のオペレーションを Workspace Controller から行わせるための意思決定者の要求の形で, プレイヤーに状況が付与される. これらの操作は, 13 分間にリアルタイムで行わせることによって行われる. このときの状況付与と, それに対応するオペレーションは, 表 12 に示す.

表 12. Workspace Controller への状況付与

状況付与時刻	タスク	状況付与	状況付与の意図
21 日 1630	優先度フィルタリング	災害対策本部会議において、現在優先度が最も高い情報のみを表示するよう参加者から要求があった	「優先度フィルタリング:高」の操作を行わせる
21 日 1631	優先度フィルタリング	災害対策本部会議において、ここまでの情報に加えて、表示するよう参加者から要求があった	「優先度フィルタリング:中以上」の操作で、「以上/以下条件」を含む優先度フィルタリングでを行わせる
21 日 1632	最新フィルタリング	災害対策本部会議で、ここまでの情報共有が終了したため、最新の情報のみを標示	いったんフィルタリングをリセットさせる
21 日 1633	情報の更新	再度最新の情報を表示させるよう本部員から指示	変化した情報の差分を読み取らせる
21 日 1634	時系列フィルタリング	災害対策本部会議において、現時刻の 40 分以内に報告された情報の提示を行うよう参加者から要求があった	一定の時間内 (2018-10-21 15:50 から 2018-10-21 16:34) に含まれる時系列フィルタリングを行わせる
21 日 1635	TDW 上の地図操作	災害対策本部会議において、津軽石地区の状況を共有スクリーンに表示するよう幹部から指示があった	TDW 側の地図表示の変更操作
21 日 1636	空間フィルタリング	災害対策本部会議において、津軽石地区の被害状況を掌握するため、中心座標 (39.592996, 141.945760)、半径 3km の被害情報を表示するよう幹部から指示があった	空間フィルタリングを設定画面から行わせる
21 日 1636	点情報の追加	State Reporting Device 以外から寄せられた工場プラントの火災報告 (発生座標 39.631720, 141.948631、優先度「高」) を地図上に追加して表示するよう指示があった	Workspace Controller から被害情報 (POINT) を追加させる
21 日 1640	面情報の追加	消防団から津軽石地区 (津軽石駅南西 300m 地点) で発生している延焼中の火災に関して POLYGON としての追加が要求された	Workspace Controller から被害情報 (POLYGON) を追加させる
21 日 1643	Contents WS に対する画像オブジェクトの追加	幹部職員から津波の浸水状況に関する画像情報 (3 枚で構成) の提示要求があった	Contents Workspace に対するオブジェクトの追加処理を実施させる

6.5.3. 状況付与のプレイヤーへの提示

表 11 および表 12 で示した状況付与は、それぞれの状況付与ごとに、1 枚のカードにしたものをスクリーンに表示することでプレイヤーに提示される。状況付与カードには、状況付与時刻、状況付与先、付与内容、およびオペレーションに地理的情報が含まれる場合には、おおよその位置を地図で表したものが含まれる。図 39 は、Workspace Controller に対するハンズオン試験において 16 時 36 分に付与される状況付与カードの一例である。



図 39. プレイヤーに提示される状況付与カードの一例

状況付与の時機は基本的に所定の時刻に準じて提示されるが、プレイヤーの操作状況に応じて柔軟に進行させる。

6.6. Shared Workspace への被害情報配置状況





Workspace Controller のハンズオンでは、Shared Workspace への被害情報提示を行うために、Disaster Information Server 上の Workspace Database にあらかじめ被害情報を登録しておく必要がある。

評価実験が岩手県宮古市を想定範囲とすることから、ハンズオンに先立ち、岩手県宮古市に含まれる領域および南北に隣接する市町境近辺に被害情報を配置した。6.3 節で述べた想定災害の背景に基づき低地は地震で発生した津波の浸水および建造物・車両による道路の閉塞、主要道路では路盤の崩壊、その他に地震動による建造物の崩壊状況を提示できるような状況を再現した。これらの被害に関して、あらかじめ POINT による被害情報を 33 箇所、POLYGON による被害情報を 27 箇所、POLYLINE による被害情報を 11 箇所を登録した、このうち全ての POINT による被害情報には、それに対応する被害情報画像を各 POINT に対して 1 アイテムを紐付けてある。被害情報が表す内容は図 40 のように定義され、これと同じものを共有ディスプレイ上の本システムのワークスペース表示以外の領域に提示しておき、プレイヤーがいつでも参照できるようにした。

これらを実際の地図上に全件表示させたものが図 41 に示す通りである。図 41-1) は岩手県宮古市全域の被害情報の配置状況、図 41-2) は宮古市中心部を拡大して表示した被害情報の配置状況を示す。


地図上に表示されるアイコン（線情報）

特定の被害発生「箇所」を表示：おおむね半径 50m 以内が目安

-  **優先度「高」**
重要インフラの被害のうち、被害が甚大であるもの
住民の生命に直ちに危機が生じる情報
例：主要国道の啓開に必要な被害情報 津波の到達状況 大規模な工場火災
-  **優先度「中」**
インフラの一般的な被害情報や
放置しておく住民の生活に支障が生じる情報
例：生活道路の被害状況
-  **優先度「低」**
被害の参考情報や一般的な情報
例：水道管の破損 これ以上拡大の心配がない洪水の浸水状況 道路交通状況
-  **シーケンス番号**
現在表示されている点の被害情報のうち、被害情報が新しければ新しいほど若い番号が附番

地図上に表示されるアイコン（線情報）

幅がないが、長さをもつ被害情報を表示

-  **赤線**
道路の通行不能区間を表示
太さ：
自専道 4px
国道・県道 3px
市町村道 2px

地図上に表示されるアイコン（面情報）

広範囲に発生した被害情報を面として表示



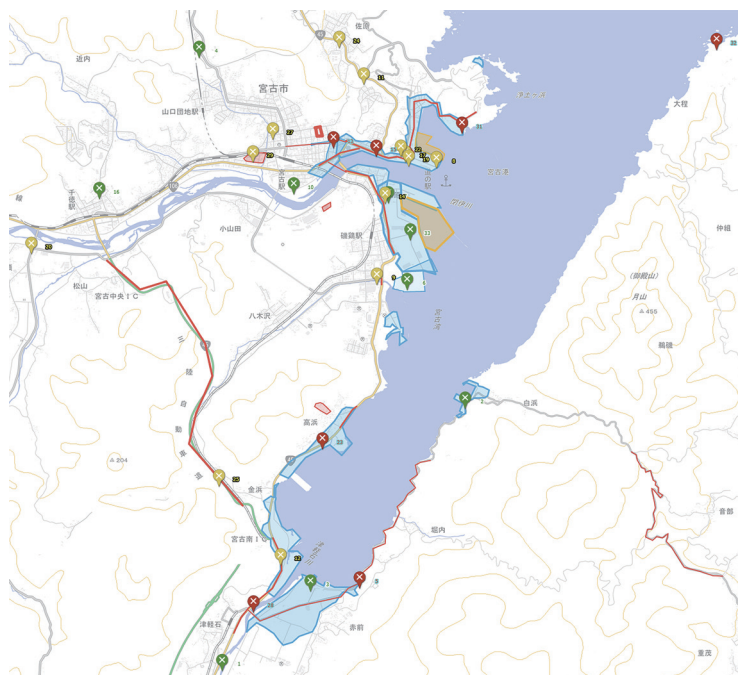
-  **赤線に赤塗り**
火災の類焼状況を表示
太さ：3-4px くらい
透明度：10-30% くらい
-  **青線に青塗り**
津波・洪水の浸水エリアを表示
太さ：一律に 3px
透明度：20-30% くらい
-  **黄線に黄塗り**
港湾の航行支障を表示
太さ：3-4px くらい
透明度：10-40% くらい

図 40. プレイヤーに提示したオーバーレイ情報の凡例



1) 岩手県宮古市内全域



2) 岩手県宮古市中心部

図 41. 状況付与開始時における Shared Workspace への被害情報配置状況

6.7. Contents Workspace に対するプレイヤーへのオペレーションの要求

Contents Workspace のハンズオンでは、6.5.2 節で述べたプレイヤーに対する状況付与により、Contents Workspace を操作して複数の被害情報画像から構成される視覚的な被害情報の提示を行わせる。この中で、Contents Workspace 上の被害情報画像と紐付けられた

被害情報を特定し、Shared Workspace との関係性を明確なものとする付加情報を追加した。このハンズオン実験では、画像下部に、撮影者、所属災害対策本部、報告日時、そして Shared Workspace 上に表示されたアイコン横のシーケンス番号を追加することにより、この関係をプレイヤーに掌握させることを試みた。

状況付与として、プレイヤーに対し TDW 上の Contents Workspace に提示するよう要求したワークスペースを図 42 に示す。プレイヤーは、Workspace Controller を通じてこの配置に近い被害情報画像の提示を行う必要があることを要求した。



図 42. プレイヤーに要求した Contents Workspace のオブジェクト配置

6.8. ハンズオン実験の環境

本実験は、第 4 章で示した LIVEWall プロトタイプ環境を使用して実施する。これに加えて、プレイヤーに与えられた状況付与カードに相当する情報を表示する**状況付与スクリーン**をプレイヤー席の前に配置する。当該スクリーンには状況付与を表示し、プレイヤーがおかれた状況を示すほか、次に行うべき操作を指示する。

State Reporting Device に関する評価シナリオでは、被害状況画像の撮影が含まれる。災害現場の視覚的な状況を提示させるため、**被害状況提示スクリーン**もプレイヤー席に配置している。プレイヤーは、State Reporting Device の内蔵カメラを使用して、被害状況提示スクリーンに投影された災害現場の状況を撮影し、システムに被害状況画像として報告することになる。

これらの機器の配置の概況は、図 43 のように、実際に配置した状況は図 44 に示した通りであった。実験は、岩手県立大学滝沢キャンパスに所在する地域連携棟内「3次元実験室」で実施された。

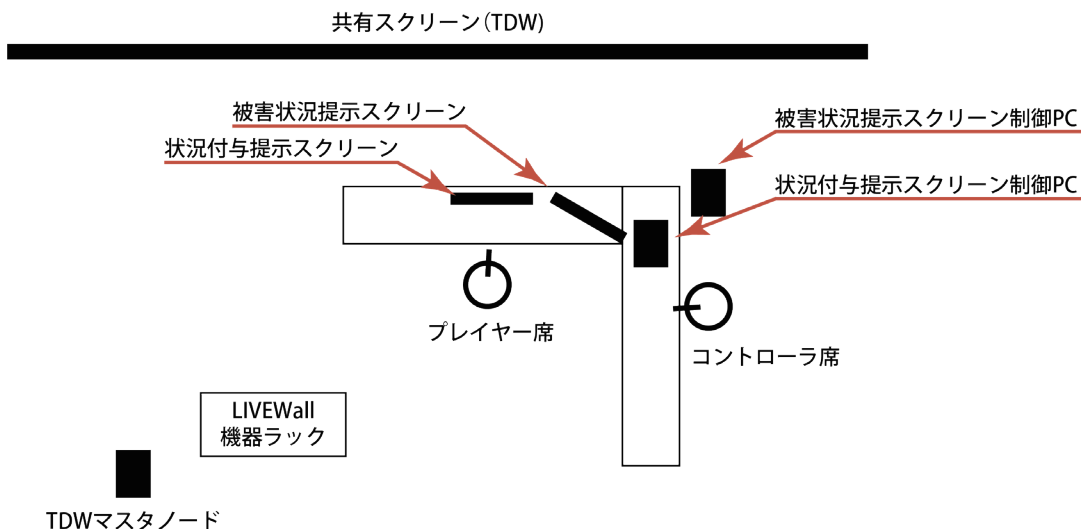


図 43. ハンズオン試験の機器配置概況（俯瞰）

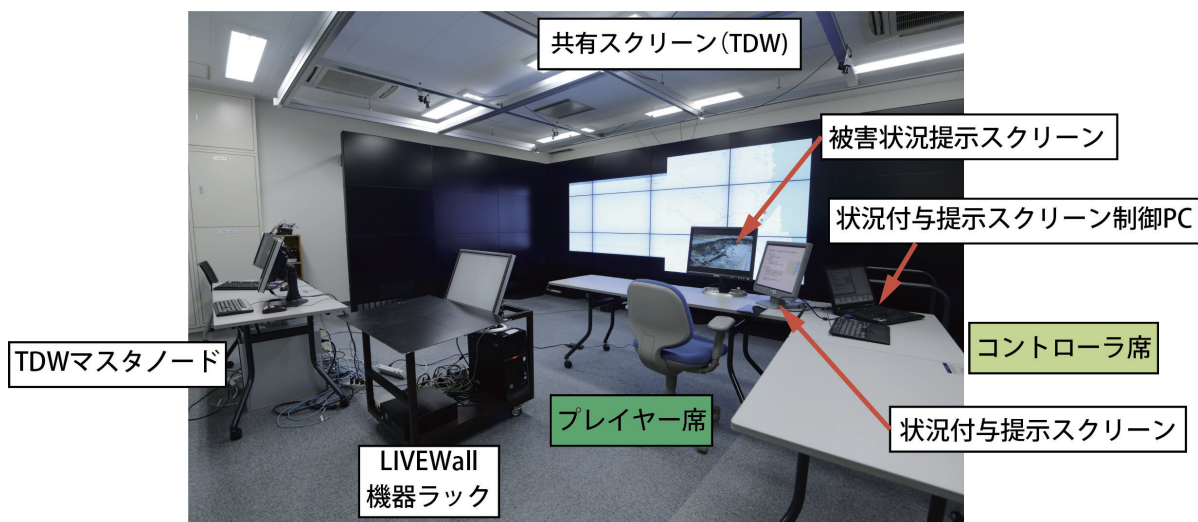


図 44. ハンズオン試験の機器配置状況（実態）

6.9. 評価方法

本評価は、プレイヤーたる被験者に対し、一連のトライアル終了後に質問紙による主観的調査を行い、ユーザビリティを評価する。各質問項目は、5段階のリッカート尺度によって回答させる形式で行い、最も肯定的な回答を5pts、最も否定的な回答を1ptとして算出し、項目ごとに相加平均をとることによりユーザビリティ評価の指標とした。

6.10. ハンズオン評価結果

ここでは、ハンズオン評価について、State Reporting Device. Workspace Controller の Shared Workspace のインタラクションに関わる部分、Workspace Controller の Contents

Workspace のインタラクションに部分，システムその他部分の 4 項目に分けて，実験結果を述べる。

State Reporting Device のユーザビリティ評価は，状況付与に所定 13 分のところ，質問紙への回答を含めて 15 分から 20 分程度を要した。Contents Workspace に関係する状況付与は，所定は状況開始から 13 分のところ，質問紙への回答を含めて 20 分程度を要した。

6.10.1. State Reporting Device のユーザビリティ

State Reporting Device のオペレーションに含まれる要素に対するユーザビリティのスコアを図 45 に示す。

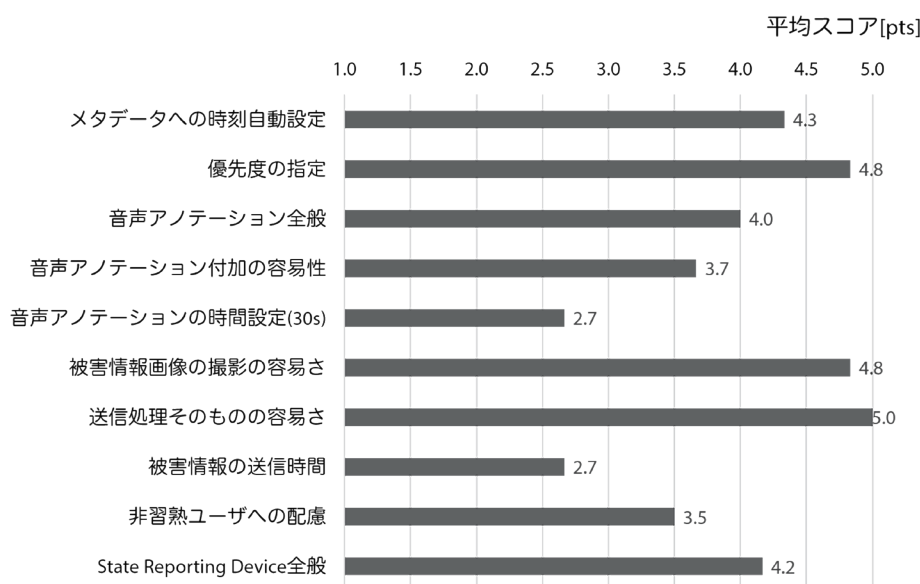


図 45. State Reporting Device のユーザビリティ平均スコア

被験者からユーザビリティが高いと判断されたものが，被害情報送信（5.0pts），優先度の指定方法（4.8pts），被害情報画像の撮影（4.8pts）の各機能であった。

一方，否定的な回答となったのが，音声アノテーションの記録可能時間が最大 30s という設定に対する適切さ（2.7pts），送信処理時間の適切さ（2.7pts）であった。

音声アノテーションの操作は平均で 4.0pts であったが，発話音声による被害情報説明の容易さは 3.7pts にとどまった。

非習熟ユーザへの配慮，すなわち，ICT スキルの低いユーザでも容易に使用できると思うかに関する質問では，平均スコアは 3.5pts と，どちらかといえば肯定的な結果となった。

State Reporting Device の全体的なユーザビリティは平均 4.2pts であった。

6.10.2. Shared Workspace に対する Workspace Controller のユーザビリティ

Workspace Controller の Shared Workspace のオペレーション相当部分に含まれる要素に対するユーザビリティの平均スコアをグラフにしたものを図 46 に示す。

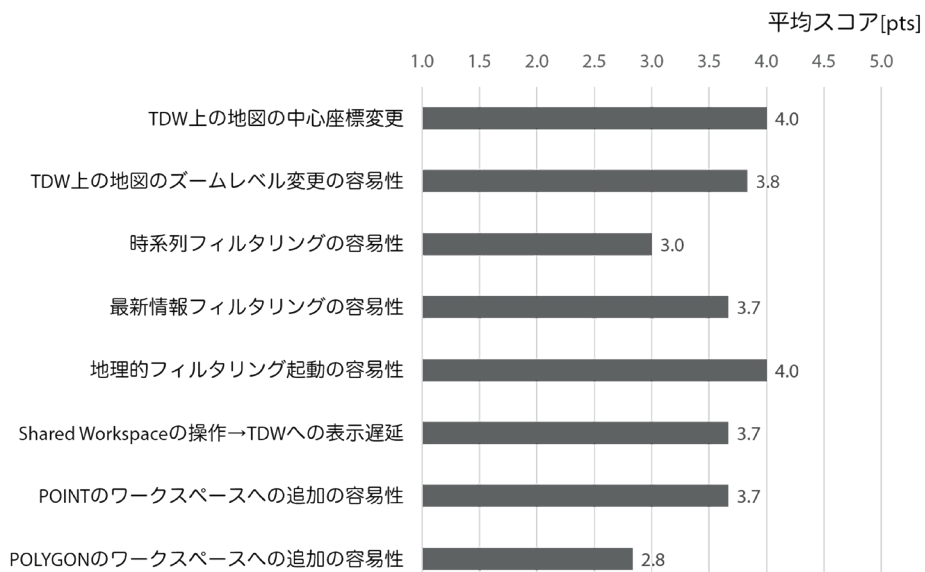


図 46. Workspace Controller の Shared WS 部分のユーザビリティ平均スコア

実験を通して、被験者からユーザビリティに関する高い評価を受けたオペレーションは、TDW 上の地図の表示エリアを、地図の中心座標変更指令によって変更させる処理 (4.0pts) と、地理的フィルタリングの起動の容易性 (4.0pts) であった。

この一方で、低いスコアとなったものが、時系列フィルタリングの容易性 (3.0pts) と、POLYGON 情報の地図上の描画による追加処理の容易性 (2.8pts) であった。

その他のオペレーションに対するユーザビリティスコアは、地図のズームレベル変更 (3.8pts)、最新情報のみを抽出するフィルタリングの容易性 (3.7pts)、POINT 情報のワークスペースへの追加の容易性 (3.7pts) となり、Shared Workspace への操作を Workspace Controller から行い、これが TDW に結果として反映されるまでの表示遅延は 3.7pts との結果を得た。

6.10.3. Contents Workspace に対する Workspace Controller のユーザビリティ

Workspace Controller の Contents Workspace のオペレーション相当部分に含まれる要素に対するユーザビリティの平均スコアをグラフにしたものを図 47 に示す。

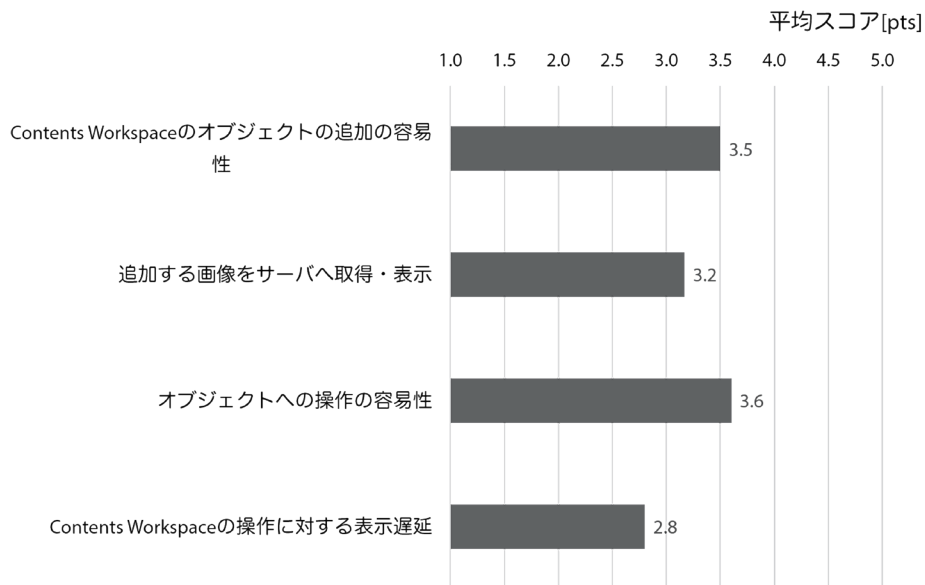


図 47. Workspace Controller の Contents WS 部分のユーザビリティ平均スコア

これらの4つのオペレーション群のうち、新規画像オブジェクトをワークスペースに追加するオペレーションの容易性は3.6pts、このオペレーション追加する画像の選択は3.2pts、オブジェクトの拡大・縮小・位置の操作にかかわる容易性が3.6pts、と、獲得しうるスコア中央である3.0以上を記録しているが、Workspace Controllerで行った操作がTDWに結果として反映されるまでの表示遅延では、平均2.8ptsとShared Workspaceに対する操作と比較しても明らかに低いスコアを記録した。

6.10.4. システムその他部分のユーザビリティ

システム全体のうち、ここまでに述べていない部分のユーザビリティの要素に対する平均評価スコアは、図48の通りであった。

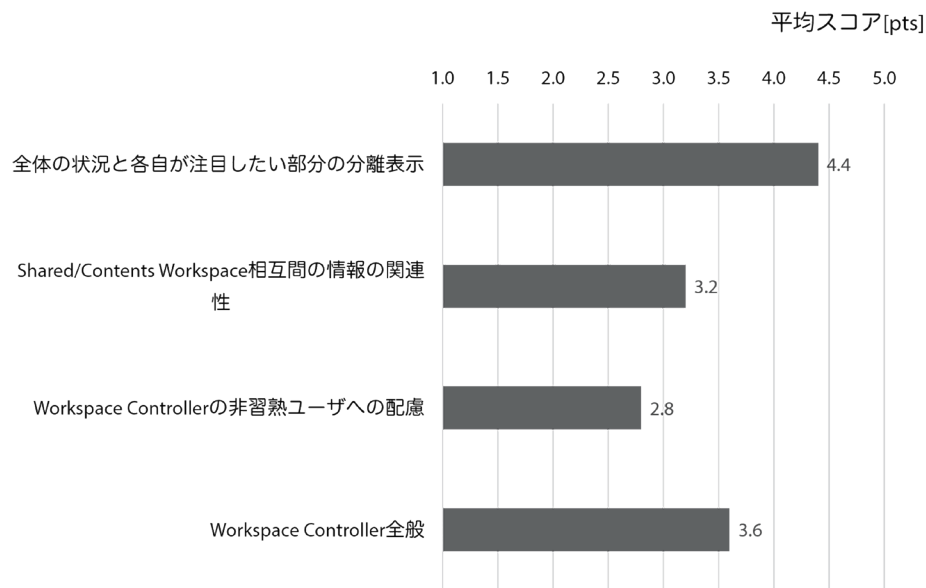


図 48. システムのその他の部分のユーザビリティ平均スコア

本システムでは Shared Workspace に対して、災害対策本部全体で共通の状況認識を得るため、TDW 上で地理的広範囲の全体的表示を提供する一方、Workspace Controller では各自が注目したい部分の自由な閲覧を可能としているが、この分離表示に関しては 4.4pts と比較的高いスコアを得ることができた。

Contents Workspace では、前述の通り、画像下の付加情報により Shared Workspace 上の情報との関係性をリンクさせることを試みている。この関係性を読み取らせた結果では、スコアは平均 3.2pts とスコア中央の値と比較して高いスコアを獲得した。

Workspace Controller そのものが非習熟ユーザへの配慮、すなわち、ICT スキルの低いユーザでも容易に使用できると思うかを問う質問では、結果は平均 2.8pts となった。

Workspace Controller 全般のユーザビリティについて、被験者からのスコアは平均 3.6pts であった。

6.11. ユーザビリティ評価に関する考察

ここまでのハンズオンによるユーザビリティ評価の結果から、主要機能に関する質問のうち約 81% の項目で、スコア中央である 3.0pts を超える、やや肯定的なユーザビリティであるとする評価を得た。特に被害情報に付加されるメタデータ部分の大部分を自動化して、簡易な操作による本部への報告機能に関しては、著しく高いユーザビリティを被験者が感じる事ができたことが確認できる。また、被害情報の提示部分に関しては、TDW 上で地理的広範囲の全体的表示を提供する一方、Workspace Controller では各自が注目し

たい部分の自由な閲覧を可能とする分離表示のデザインは、ユーザに対して高い満足度を感じさせることが認められた。

State Reporting Device 全般に関するユーザビリティは平均 4.2pts とやや高いスコアとなったが、これは State Reporting Device のユースフローが一本道であることに起因すると考えられる。画面の上から下に向かい必要な設定項目を表示しながら、カメラを起動し、被害情報画像の撮影を行い、音声アノテーションを記録し、そして送信ボタンを押下するというユーザエクスペリエンスであり、別画面のメニューなどへの分岐は行わない設計としていた。ユーザは数回の反復操作を通じて使用方法を習得でき、結果として State Reporting Device の利用が容易であったことがユーザに感じられたと考えられる。本実験の被験者は、いずれも防災的職掌を専門とするユーザではないことから、多数の職掌からなる被害調査班が編成されたとしても、ユーザに対する負担をかけにくいことが示唆される結果となった。

一方で、State Reporting Device で被害情報の付加を行う音声アノテーションは、一般的に課題が残る結果となった。音声アノテーションに対する不満をもつユーザからのフィードバックがあり、「収録時間が 30s では短い、60s 程度は必要（30 代男性）」「何を話せばいいのかわからない、トークスクリプトのフォーマットがほしい（40 代女性）」「音声による説明は行いにくい、別の手段であれば使いやすいのではないかと（20 代男性）」との意見を得ることができた。

Workspace Controller 全般に対するユーザビリティは 3.6pts であった。特に ICT スキルの低いユーザへの配慮では 2.8pts と、State Reporting Device の同じ項目と比較して 0.7 ポイント低いユーザビリティにとどまった。Workspace Controller は Shared および Contents Workspace 双方の機能を横断的に操作させるため機能が複雑となる特徴がある。項目の多いコンテキストメニューや、フィルタリング機能のパラメータ設定で現れるポップアップウィンドウなどが実装されていることから、視覚的負担を与える結果となった可能性が考えられる。Workspace Controller は、Google が 2014 年に提唱した Material Design[44] に準拠したユーザインタフェースとしていたものの、特にスマートデバイスの利用経験が浅いユーザに対して、デスクトップアプリケーションとは異なる挙動であることもあり、インタラクションに対する負担となっていた可能性が考えられる。

前述の通り、POLYGON 情報をワークスペースへ追加させるオペレーションは評価が低く、Workspace Controller の評価で最低のスコアとなった。POLYGON の描画は、地図上で多角形の頂点をタップすることによって行われるが、この頂点の正確なタップが難しいという印象をユーザに抱かせたことが明らかとなった。現代のスマートデバイスでは、静

電容量方式のタッチパネルを搭載していることもあり、ユーザによっては、指による操作に対してデバイス側の反応がシビアであるとの意見をトライアル後に得た。この二つの問題の解消には、静電容量方式のタッチパネルに対応したスタイラスペンを Workspace Controller と併用させることで、正確なタップ座標をシステムに伝達することを可能にし、ある程度この問題を解消させることが可能と考えられる。また、タップを行う際にフィードバックがないことで、タップできているかどうかの判断がユーザにとって不明瞭であることも課題となった。バイブレータを内蔵するスマートフォンと異なり、タブレットデバイスでは、何らかの視覚的なフィードバックを描画の際に行わせることが、ユーザビリティ向上の一助となることが考えられる。

別の低い満足度を記録した項目である時系列フィルタリングでは、2つのサムがついたシークバーの操作が難しく、正確な基点時間と終点時間の設定が困難であったとの被験者からのフィードバックがあった。時刻を正確に設定するため、Date Picker のような UI 要素がこのような用途で使用する事が適当であると考えられる。

第 2 章で述べた通り、現実の災害対策本部における意思決定者は、都道府県および市町村の課長級以上の幹部であり、一般的に中高年が占める割合が多いユーザ層といえる。これを考慮すると、Workspace Controller に関していえば、現行プロトタイプよりもより簡素であることが求められ、デバイスの操作に困惑を与えないようなユーザインタフェースによる Human Computer Interaction の改善は必要不可欠であると考えられる。

6.12. まとめ

本章では、実災害を模擬したシナリオに沿って、本研究の提案手法のプロトタイプを実際にユーザに使用させることにより、本システムのユーザビリティを測定する評価について論述した。評価実験はリアルタイムで想定を被験者に与えることにより進行する形式で実施した。

State Reporting Device に対するシナリオでは、災害現場を模した環境で、被害情報画像、音声アノテーション、そしてメタデータを送信するオペレーションを複数回災害対策本部に送信することを要求する想定を有する。Workspace Controller に対するシナリオで行ったオペレーションは、Shared Workspace および Contents Workspace 双方にわたった。Shared Workspace に対するオペレーションは、各種オーバーレイ情報のフィルタリング、TDW 側地図の操作、新規被害情報の追加から構成される。Contents Workspace へのオペレーションは、複数の画像オブジェクトから構成される被害情報の提示を行わせるための、オブジェクトの追加と操作からなる。

以上のシナリオに基づいたハンズオン評価を実施し、被験者に対して質問紙によるユーザビリティ評価を実施した。結果として、全般的に比較的肯定的な評価を得ることができ、State Reporting Device のメタデータの自動化や送信処理に関する部分や、TDW 上の全体的な状況の表示と、Workspace Controller の各個人の興味に基づく部分の分離表示は特に高いユーザビリティを有していることが認められた。State Reporting Device が比較的高いユーザビリティを持っている一方で、Workspace Controller は、機能の多さや表示の複雑さが原因と考えられる、State Reporting Device に比較して低いユーザビリティを有することが判明した。

State Reporting Device では、音声アノテーション機能がユーザビリティの課題であり、収録時間の見直しや、音声アノテーションによらない災害状況の説明手法の検討も含めての継続的な検討が必要となる。Workspace Controller では、より簡易なユーザインタフェースや、操作を行いやすくするデバイスの活用などにより、ユーザ層として想定されうる自治体の幹部級職員が比較的高齢であることを考慮したユーザビリティの向上が求められることが示唆された。

7. 考察および課題

これまでに述べてきた評価結果を踏まえると、次のような現状の考察と課題が存在する。本章では、今後取り組むべき課題について述べることにする。

耐災害性の強いインフラの活用

本提案システムは、典型的な防災情報システムであり、災害時の運用可能性が重要である。この種の情報システムのサーバが自治体の庁舎内に設置されている場合、庁舎の位置によっては、土砂災害や水害、地震発生時の津波の浸水等により、サーバは容易に罹災する。このため、サーバを遠隔地に設置した場合に課題となるのが、被害情報のマイグレーションである。この問題に対処しうる技術が、ライブマイグレーションないしはホットマイグレーションと呼ばれる技術であり、クラウドコンピューティングの事例である IaaS (Infrastructure as a Service) や PaaS (Platform as a Service) の主要機能のうちの一つである。これは、運用中の仮想マシンを別のサーバに停止させることなく移行させることが可能という特徴があるため、複数の災害対策本部およびバックアップ拠点において、統一的に被害情報を管理することが容易となると考えられる。本稿執筆時点においても、IaaS をベースとした災害情報クラウドシステムの運用プラットフォームを構成する技術が既存研究として存在しており、中には Delay-tolerant networking (DTN) による通信の途絶に対処する機能を取りこんだ実装 [45] も存在する。これらはネットワークの断絶状況下においてもプラットフォーム上の web システムを運用させることを可能にした技術であり、これらのプラットフォーム上で本研究の提案システム・LIVEWall を運用することは非常に有用であると考えられる。これらの技術をベースとした自治体レベルで運用される耐災害性の強いクラウドコンピューティング基盤を整備することがあれば、直ちに LIVEWall を大規模災害状況下でも運用できる、分散型被害情報表示システムとして広域運用することが期待できる。

分散システムとしてサーバを遠隔地に設置した場合に浮上する別な課題には、その間の通信をいかなる場合でも確保することが求められる点である。柏崎らは、大規模災害による広域被害が発生した場合において、情報システムの広域分散を目的とした、SDN 技術による耐災害性のあるネットワーク構築に取り組んでいる [46]。前述の遠隔地サーバとの確実な通信を確保し、LIVEWall を分散システムとして運用する場合には、このような技術のベースとした広域災害情報ネットワークでの運用性や実装について、また議論する必要がある。

別な問題は、災害対策本部と被災現場間のネットワーク、いわば State Reporting Device にとっての Last-one-mile 部分の確保である。移動体通信事業者は、災害発生時に直ちに移動中継車を現地に派遣するほか、基地局も内蔵している蓄電池により、ある程度の期間サービスを提供することは可能である。ところがこれも十分ではなく、基地局そのものが被災した場合や、蓄電池を使い切った場合に直ちに被害報告を行えなくなる恐れがあるほか、公衆回線であることから、輻輳が発生する恐れが存在する。

そのため、LIVEWall の運用以外の目的にも使用される、移動系防災行政無線のような自営ネットワークが必要と考えられる。性能評価実験でも述べた IEEE 802.11 b/g/n 系のネットワークを利用した応急情報ネットワークがこれまでもいくつか提案されてきた。これに加えて、ここ 5 年ほどで 5GHz 帯や 18GHz 帯といった高周波帯域を使用した無線アクセスシステムが、公共通信インフラとして急速に進展してきている。このような通信メディアを活用することにより、State Reporting Device がより多彩かつリッチな情報を災害対策本部へ送信できる可能性がある。たとえば、広いネットワーク帯域を活用することにより、リアルタイムで撮影された動画を本部へ送信したり、双方向でのやりとりを可能にすることも可能になるものと思われる。このような移動体通信システムを自営ネットワークとして自治体が運用可能であれば、災害時には災害状況のより正確かつ迅速な掌握を期待できる。

ネットワークレイヤレベルでの情報トリアージ取扱い

現在の提案システムの実装において、被害情報のメタデータに含まれる優先度は、オーバレイ情報の表示制御に使用されるに留まっている。ところが、災害時にはネットワーク帯域は平常時と比較して大幅にシビアなものとなるため、ネットワークレイヤレベルでの情報トリアージが必要となる。例えば、被害情報をネットワークに送信する段階、あるいは、ネットワークゲートウェイがデータを構成するパケットを中継する段階において、優先度がより高い情報として扱われているデータの packets は、優先的に送信キューに投入されるなどの優先的な扱いや、逆に優先度が低い情報は、トラヒックの少ない時機に送信をスケジューリングするなどの処理である。

SDN 技術をベースとしたネットワークでは、特定の packets を優先的に扱うことが可能であり、いくつかのコンセプトではこれをベースとしたトラヒック制御を行っている [47]。ネットワーク側における通信優先度設定と、LIVEWall のメタデータの優先度をリンクさせる仕組みを検討することによる、ネットワークレベルにおける情報トリアージの実現は、クリティカルな状況下における災害情報システムの設計運用を行う上で、重要な課題である。

8. むすびに

本研究では、大規模災害の発災初期において、被害情報の提示を大規模高精細表示環境上で行うプラットフォームについての実装・検討を行った。このシステムは、都道府県および市町村災害対策本部における災害対応業務に視点をあてたものである。災害現場における被害情報の収集、災害対策本部における共有のための提示、そして、災害対策本部間で災害情報を共有するための枠組みを検討し、それを満足させる機能について詳細に検討を行った。

本研究のキーポイントを掲げる。第一に、被害情報を簡易な手段で災害現場から報告・蓄積できる手段の提供である。第二に、蓄積された被害情報を被害情報の提示を行う空間「ワークスペース」に提示し、それを大規模高精細表示環境の上で表示できる方法を提供する。第三にワークスペース上に対するオペレーションを行う手段を、ユーザを特定のデバイスに近接させることなく、かつ、各ユーザが希望する表示を提供できるようなデザインをとることにある。第四は、取得した被害情報を、他の災害対策本部に対して、被害情報の検証などを行った上で適切に共有できるデータ設計を行い、実際に共有できる枠組みを構築することである。これらの四つのキーポイントを統合的に組み合わせた災害情報GISを実装・構築し、実機上で各種評価を行うことで、この有用性についての検証を行った。

システムの評価を通じて、本研究における提案システムがどの程度有効なものであるかを分析した。機能評価では、既存の災害情報GISや大規模高精細表示環境との比較を行い、本研究のシステムのキーポイントとなる部分が、既存システムと比較して機能面で新たに追加されていることを確認した。性能評価では、被害情報を現場から報告する手段は、悪化したネットワーク環境においても報告をある程度行えることが示唆された。また、災害情報を実際の大規模高精細表示環境に提示する上で、表示に対する一定の遅延が発生しうることが示された。また、評価を通じて、災害情報の報告はネットワーク性能を監視した上でQoSを考慮した改良が有効であることが考えられる。災害情報の提示では、表示される被害情報画像の品質を制御することで、表示にかかる遅延を大きく削減できる可能性が示唆されているが、課題として残っている。

ユーザビリティ評価においては、システムの各機能は大半が肯定的なユーザビリティを有することが判明し、特にState Reporting Deviceでは顕著なものであった。これは、最低限のトレーニング程度で、防災の職掌にない職員でも被害状況の報告を可能にできるデバイス設計であることが示唆された。

課題点として、State Reporting Deviceでは、音声アノテーションのデザインや、収録可

能時間，さらには，ユーザに対して何を報告させるかを定義するなどの運用面の課題が明確なものとなってきた．Workspace Controller では，多数の機能に起因する複雑なユーザインタフェースが根本的原因とみられる，非習熟ユーザへの配慮が具体的課題として浮上した．この問題は，想定ユーザである意思決定者，すなわち地方公共団体の幹部級職員が比較的高齢な職員層からなることを考慮すると，ユーザエクスペリエンスの改善は避けて通れない問題となる．

今後本提案手法を発展させるケースでは，実際に複数の市町村や都道府県を広域ネットワークでリンクし，その上で災害情報の交換を行うことが挙げられる．この場合の課題として想定されるトピックとして，第一にサーバのマイグレーションやデータの同期，第二に耐災害性を有した広域ネットワークの実現，第三に，災害現場と市町村災害対策本部との間の通信確保が挙げられる．第一のトピックでは，IaaS や PaaS をベースとした災害情報クラウドネットワークがこの問題に対する有力な技術的手段であるものと考えられる．第二のトピックでは，SDN 技術と複数の物理的ネットワークリンクをもつ広域ネットワークの設計，第三のトピックに対しては，自営による無線アクセスシステムの利用である．

さらに検討すべき事項として，メタデータ内の優先度による情報トリアージをネットワークレベルに拡張することを挙げることができる．そして第四のトピックに対しては，ゲートウェイが LIVEWall のトラヒックを解析して，優先度の高い被害情報から送信するというようなネットワークレイヤと LIVEWall との連携をもつ仕組みの設計構築が有用であると考えられる．

謝辞

本研究の遂行にあたり、学部卒業研究以降、平成 27 年度まで主指導教員としてご指導いただいた岩手県立大学地域連携室特任教授・柴田義孝先生、平成 28 年度以降主指導教員としてご指導いただいた岩手県立大学ソフトウェア情報学部教授・橋本浩二先生、副指導教員としてご指導いただいた同学部教授・土井章男先生ならびに同学部教授・佐々木淳先生には、多大なご協力をいただいた。また、平成 27 年度まで副指導教員として指導にあたっていただいた津田塾大学情報科学科教授・村山優子先生ならびに岩手県立大学地域連携室コーディネータ・澤本潤先生、平成 26 年度まで副指導教員としてご指導いただいた京都産業大学コンピュータ理工学部准教授・瀬川典久先生にも、複数指導体制において貴重な意見をいただいた。

また、茨城大学工学部講師・石田智行先生には、行政担当者としての経験から、本システムのプロトタイプ開発および文献等に関する助言を数多くいただくことができたほか、京都大学学術情報メディアセンター講師・江原康生先生には、TDW 技術や実装関係でご協力をいただくことができ、本研究にフィードバックすることができた。

自治体における災害対応および災害情報の扱いに関するヒアリングにご協力をいただいた担当者の方、ならびにデバイスのハンズオン試験にご協力いただいたみなさまは、本研究を進めるにあたり欠かせない存在であった。

このほか、私を支援ならびに応援してくださったすべての方には、様々な面で助けとなっていた。

上記の皆様のご協力により本研究を遂行させることができた。このことは幸甚に存じ、この場を借りて篤く感謝申し上げる次第である。

(役職は執筆時点のものである)

参考文献

- [1]気象庁震 度データベース, <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php>, (2017-02-04 アクセス)
- [2]気象庁 台風の上陸数 (2016 年までの確定値と 2017 年の速報値), <http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/statistics/landing/landing.html> (2017/02/04 アクセス)
- [3]気象庁, 災害をもたらした気象事例 (平成元年~本年) <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index.html> (2017-02-04 アクセス)
- [4]"平成 24 年版防災白書", 内閣府 (2012)
- [5] 熊本県熊本地方を震源とする地震非常災害対策本部会議 (第 31 回), 内閣府 (2016).
- [6]南海トラフ巨大地震の被害想定 (第二次報告) について, 内閣府 (2012)
- [7]"平成 13 年中央防災会議議事録", 内閣府 (2001)
- [8] "岩手県災害対策本部規程", 岩手県
- [9]"滝沢市災害警戒本部設置要領", 滝沢市 (2014)
- [10]渡部和雄 ほか:"被災者・行政支援情報システムの研究開発", 日本災害情報学会第 2 回研究発表大会予稿集, pp.163-172 (2000).
- [11]"東日本大震災津波に係る災害対応検証報告書", 岩手県 (2012)
- [12]"大雨災害の教訓等を踏まえた災害対応の見直しについて【見直し概要】", 岩手県, https://www.pref.iwate.jp/dbps_data/_material/_files/000/000/020/759/kensyou.pdf (2017-12-27 アクセス)
- [13]茨城県 | 地方公共団体向け地理空間情報に関する Web ガイドブック http://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/gis/gis/webguide/giswg_casht/457/ (2017/03/18 アクセス)
- [14]J. Leigh et al.: "Scalable Adaptive Graphics middleware for visualization streaming and collaboration in ultra resolution display environments", Proc. of Workshop on Ultrascale Visualization 2008, pp.47-54 (2008)
- [15]宮地英生, 久木元伸如: "タイル型ディスプレイへの画像表示インターフェイスの開発", 第 11 回 PSE ワークショップ 2008 論文集, pp.55-58 (2008).
- [16]K. Doerr, F. Kuester: "CGLX: A Scalable, High-Performance Visualization Framework for Networked Display Environments", IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics, Vol.17, No.3, pp.320-332 (2010).
- [17]G. P. Johnson et al. : "DisplayCluster: An Interactive Visualization Environment for Tiled Displays", Proc. of Int'l Conf. on Cluster Computing, pp.239-247 (2012).

- [18]G. Chiba et al. : "High-Resolution Presentation Environment Using Multi Displays", Proc. of Int'l Conf. on Advanced Information Networking and Applications, pp.1012-1016 (2008).
- [19]Eyefinity | Multi Monitor Gaming Display | AMD <http://www.amd.com/en-us/innovations/software-technologies/eyefinity> (2017-04-12 アクセス)
- [20]NVIDIA Mosaic Technology for Multiple Displays | NVIDIA <http://www.nvidia.com/object/nvidia-mosaic-technology.html> (2017-04-12 アクセス)
- [21]T. Marrinan et al. : "SAGE2: A New Approach for Data Intensive Collaboration Using Scalable Resolution Shared Displays", Proc. of 10th int'l Conf. on Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing, pp.177-186 (2014).
- [22]N. Kukimoto, et al.: "HyperInfo: Interactive Large Display for Informal Visual Communication", Proc. of 2014 17th Int'l Conf. on Network-Based Information Systems, pp. 399-404 (2014).
- [23]White Paper | DisplayPort™ 1.2 Technology AMD FirePro™ V7900 and V5900 Professional Graphics, http://www.amd.com/Documents/50279_AMD_FirePro_DisplayPort_1-2_WP.pdf (2017-04-03 アクセス)
- [24]"東日本大震災における災害対応行動の検証報告書", 宮古市 (2012)
- [25]浦川豪, 林春男: "2007年新潟県中越沖地震発生後の新潟県災害対策本部における状況認識の統一", 京都大学防災研究所年報, No. 51 A, pp.111-120 (2008)
- [26]"平成 27 年常総市鬼怒川水害対応に関する検証報告書", 常総市水害対策検証委員会 (2016)
- [27]佐野浩彬ほか: "2016 年熊本地震における地図情報作成・集約・共有による災害対応支援", 2016 年度日本地理学会秋季学術大会, 609 (2016)
- [28]NHK 総合テレビジョン 平成 28 年 4 月 14 日 22 時 30 分頃のキャプチャ
- [29]N. Uchida et al.: "Never Die Network Based on Cognitive Wireless Network and Satellite System for Large Scale Disaster", J. of Wireless Mobile Networks, Ubiquitous Computing, and Dependable Applications, Vol. 3, No. 3, pp. 74-93 (2012).
- [30]fit-Headless 4K - fit-PC, <https://www.fit-pc.com/web/products/fit-headless-4k/> (2017-12-23 アクセス)
- [31]OpenLayers - Welcome <https://openlayers.org/> (2017-12-23 アクセス)
- [32]Fabric.js Javascript Canvas Library <http://fabricjs.com/> (2017-12-23 アクセス)
- [33]Socket.IO <https://socket.io/> (2017-12-23 アクセス)
- [34]GitHub - cefsharp/CefSharp: .NET (WPF and Windows Forms) bindings for the Chromium Embedded Framework <https://github.com/cefsharp/CefSharp> (2017-12-23 アクセス)
- [35]Json.NET - Newtonsoft <https://www.newtonsoft.com/json> (2017-12-23 アクセス)

- [36]佐々木豊, 柴田義孝: “ 統一的な時系列記録を可能とする分散型災害情報共有システム ”, 第 19 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp.272-278 (2011)
- [37]Tomoyuki Ishida, Yusuke Hirohara, et al. : "Implementation of a Community-Based Disaster Prevention Information System", Proc. of 20th Int'l Conf. on Network-Based Information Systems, pp. 625-634 (2017).
- [38]岩手県災害情報システム稼動! - 株式会社アイシーエス, https://www.ics.co.jp/ics_cms/content/uploads/2016/06/vol63_201607.pdf (2017-12-23 アクセス)
- [39]Postman | API Development Environment, <https://www.getpostman.com/> (2017-10-20 アクセス)
- [40]移動衛星通信システムの現状等, 総務省 - https://www.soumu.go.jp/main_content/000432704.pdf (2017-10-20 アクセス)
- [41]Daisuke Asahi et al.: "Long Distance Wireless Disaster Information Network by Automatic Directional Antenna Control Method", Proc. of the 13th Int'l Conf. on Network-Based Information Systems, pp.273-378 (2010).
- [42]Wireshark · Go Deep. , <https://www.wireshark.org/> (2017-12-28 アクセス)
- [43]小村隆史, 平野昌: “ 図上訓練DIG (Disaster Imagination Game) について ”, 地域安全学会論文報告集, Vol.7, pp.136-139 (1997)
- [44]Material Design for Android | Android Developers, <https://developer.android.com/design/material/index.html> (2018-02-01 アクセス)
- [45]Y. Kikuchi, Y. Shibata: “Mobile Cloud Computing for Distributed Disaster Information System in Challenged Communication Environment”, Proc. of 2015 Int'l Conf. on Advanced Information Networking and Applications Workshops, pp.512-517 (2015).
- [46]北口善明 ほか: “SDDE(Software Defined Disaster Emulation) プラットフォームを用いた経路冗長化環境に対する評価実験 ”, 情報処理学会研究報告, Vol.IOT-28, No.12 (2015).
- [47]Rohit Abhishek, Shuai Zhao et al. : "SPArTaCuS: Service priority adaptiveness for emergency traffic in smart cities using software-defined networking", Proc. of 2016 IEEE International Smart Cities Conf., pp.1-4 (2016).