

大規模分散環境における災害情報ネットワークシステムの構築と評価

越後 博之† 湯瀬 裕昭‡ 沢野 伸浩†† 干川 剛史‡‡ 高畑 一夫††† 柴田 義孝†
岩手県立大学大学院ソフトウェア情報学研究科† 静岡県立大学経営情報学部‡
星稜女子短期大学†† 大妻女子大学人間関係学部‡ 埼玉工業大学人間社会学部†††

筆者らはこれまで、インターネットと高速専用回線、無線 LAN を併用した通信環境下に広域災害情報共有システム (WIDIS) の構築を行ってきた。本稿では、災害によりサーバやネットワークに障害が発生したときでも、WIDIS を利用できるよう、ロバストネスと可用性を保つ新しい手法について述べる。この手法では、障害の発生したノードと経路を検知のうえ分離を行い、正常なノードとリンクのみで動的再構成を行う。また、この手法をプロトタイプシステムに実装し、実運用に向け評価を行ったので報告する。

Development and Evaluation of the Disaster Information Network System on Widely Distributed Environment

Hiroyuki Echigo†, Hiroaki Yuze‡, Nobuhiro Sawano††
Tsuyoshi Hoshikawa‡‡, Kazuo Takahata†††, Yoshitaka Shibata†
Graduate school of Software and Information Science, Iwate Prefectural University†
School of Administration and Informatics, University of Shizuoka‡
Seiryō Women's Junior College††
Faculty of Human Relations, Otsuma Women's University††
Faculty of Human and Social Studies, Saitama Institute of Technology†††

So far, we have developed Wide-area Disaster Information Sharing system (WIDIS) on the multi-homing environment using Internet, high-speed wide-area network and wireless network to provide more useful information for both the residents and volunteers when the disaster happened. In this paper, we introduce a new method to preserve the robustness and availability of WIDIS even though the some servers and network nodes and links are disordered by disaster. By this method, the failed nodes and lines on the system are detected and isolated. Eventually the remained normal nodes and links are automatically reconstructed. We introduced this method and implemented to WIDIS to improve its robustness and availability. A prototype system was built to evaluate its performance and functionality to verify the realization as real use.

1. はじめに

日本は自然災害多発国であり、各地で地震や火山噴火、水害等の災害が頻繁に発生している。災害における通信手段として、電話網は輻輳が発生しやすく確実性に欠け、ラジオやテレビなどのマスメディアでは、被災地住民をはじめとした人々にとって必要な情報伝達がなされるとは限らない問題があった。

そのような中、インターネット技術の普及や高速無線

LAN の導入により、個人にとっても制約のない多様な情報伝達が双方向に行えるようになってきた。また、モバイルコンピューティングの普及により、多くの人が日ごろ使い慣れた端末で、情報発信・受信できることも可能な状況になってきた。

筆者らはこれまで、災害時の情報通信手段として岩手山周辺地域に無線 LAN および有線 LAN を統合した通信環境を構築し、避難訓練等を通じてその有効性を確認してきた[1]。

あわせて、筆者らはウェブ技術による安否情報システム構築を行った[2]。ウェブ技術によるシステムは、クライアントをPC・携帯電話・PDAと幅広く扱うことができる。その上、近年のインターネットの普及により、利用者にとっても違和感なく利用可能であることから、多くの災害情報システムがウェブ技術により開発されている。

安否情報等の災害情報を共有・交換する取り組みは様々な機関で研究・導入がなされてきているが、それらのシステムでは、ネットワークの切断や通信機器の故障等の障害、負荷集中に対しては、全てを同時に考慮されていない。

本稿では、災害時に実運用可能なネットワークシステムを目指し、その提案と実装を行う。そのためにまず、これまでの災害時に得られた現場での知見をもとに、災害情報共有システムに必要な要件を明らかにする。そして次に、具体的な方法論として、冗長化構成による可用性の向上と、資源の動的再構成による障害箇所の分離による耐故障性の向上について述べる。あわせて、そこで述べた方法論に基づいて構築中のプロトタイプシステムについて性能評価を行い、その有効性について述べる。

2. 災害時に求められるシステムの機能

本研究における災害情報システムでは、自治体災害担当者や災害ボランティアがイニシアティブをとって情報共有・交換を行うことを前提にしている。筆者らは、災害現場の実態調査や避難訓練結果の検証[3]から、システムの基本要件として以下の8つを考慮した。

1. 災害時に短時間で立ち上げられること
2. 運用に多くの人手を必要としないこと
3. 住民が必要とする情報をわかりやすく提供できること
4. 情報の取得や提供が効率よく行えること
5. アクセス集中に備えて負荷分散が可能であること
6. できるだけ既存の資源を活用して低コストで実現できること
7. GISシステムとの連携
8. 連発する各種災害への対応

以上の基本要件をもとにして、災害時を想定した情報基盤上における、災害現場のニーズに応えるシステムの構築を行う。

上記8基本要件を、システムに必要な性質として以下にまとめる。

- (1) 対故障性
- (2) 可用性

- (3) 保守性
- (4) スケーラビリティ
- (5) 情報の信頼性
- (6) ユーザビリティ

以上のうち、(5)と(6)に関してはアプリケーションの中にも実現できると考えられるので、本稿では(1)~(4)の機能を備えた情報基盤部分について中心に述べる。

これらの必要な条件に対して、以下のような機能をシステムに組み込むことによって実現を図る。

(1) 障害検知と分離

災害時においては、システム上のノード（サーバ、ネットワーク機器）やリンク（通信回線）の故障・断線が想定される。災害故障を検知できる仕組みと、故障箇所を分離しシステムを運用し続けられるようにする仕組みが必要である。これらによりシステムの耐故障性を向上させ、同時に保守性の改善を行う。

(2) 分散化と統合化

災害による障害発生時には、代替サーバで迅速な復旧ができるようにする。災害による同時被災を防ぐため、アクティブサーバとバックアップ用サーバは地理的に離れた場所に設置する。また、サーバ・リンクなどの分散した資源の管理を行い、災害情報データの一貫性考慮を行う。機能としては、分散先のサーバに統合作業をかける、あるいは統合した情報を遠隔地サーバにバックアップを行う。資源管理の機構によりスケーラビリティを高め、分散化と統合化により冗長度が高まり、システムのロバストネス向上を図る。

(3) 負荷分散

被災地内外から殺到する情報取得要求を適切に分配し、システムの負荷を軽減する役割を果たす。これにより、システムの可用性を高める。

(4) 回線の多重化

そのサーバへ全く通信経路が確保できない事態を回避するために、通信経路は複数を用意する。一方は災害情報提供用途、もう一方はバックアップ作業用途とするが、断線時には両方の用途を併用できるものとする。

3. システムアーキテクチャ

先に述べた、システムの要件を満たすために取り入れる実際の方法論についてここで述べる。本システムではアプリケーションを実現する情報基盤上でミドルウェアの層を果たす部分として、図1のように3つの機能を実装する。具体的には、Data-source Manager Plane, Status Monitor Plane, Load-Balancing Plane から構成される。以下、その3つの機構の機能について説明する。

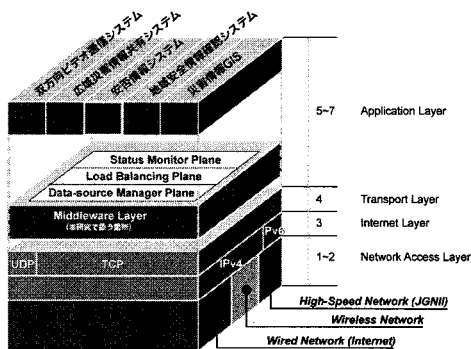


図1：ネットワークアーキテクチャ

3.1 Data-source Manager Plane

この Data-source Manager Plane においては、参照先サーバ数を増加させて負荷を軽減するため、分散、ならびに統合の機能を果たす。

本システムにおいては、地域内の情報システムのサーバの複数化と、地域内の情報を統合したサーバの複製による冗長化を行う。本システムは、避難所—市町村—都道府県というようなボトムアップで情報を上げていく階層化構造をとっており、負荷の分散が可能となる。一方で、下位のコミュニティで入力・収集された情報を、上位のコミュニティ・組織団体へ集約・統合していく仕組みが必要となる。これについては、定期的なポーリングを上位にあるサーバから起動するようにする。また、必要がある場合には下位のレイヤーのサーバから手動で上位のサーバに情報を上げることもできるようにする。この統合手法により、スケーラビリティの向上が可能となる。

具体的な流れを以下に示す。

各避難所を統括する防災中央センターのサーバは、各避難所の災害情報データベースに対しポーリングを行う。まず、同じ防災中央センターサーバ内にある位置テーブルより、登録されている各避難所のサーバの場所を取得する。そこで得た、サーバの IP アドレスや RDBMS の種類等の情報に基づき、順々にポーリングを行う。

接続要求を最初に行い、接続が確立された場合にはまだ防災中央センターのサーバに登録されていない情報の取得を行う。中央センターには過去に統合した時の時間データを記録しており、その時間以降に登録・更新された災害情報のみ統合化を行う。防災中央センターサーバは過去の統合した接続が確立されなかった場合には、災害情報の統合化は行わず、次の避難所の統合へと移行する。

以上の作業は、統合発動モジュールによって予め指定

した時間になると行われる。

都道府県の防災中央センターサーバの情報統合において、サーバが故障した場合には、その都道府県の情報システムが完全にダウンしてしまう問題点がある。そこで、図2のようにこれら防災中央センターサーバを冗長化し、全国に分散することでシステムの可用性向上を図る。

以上に述べた分散化と統合化をあわせて、情報の一貫性を確保する。

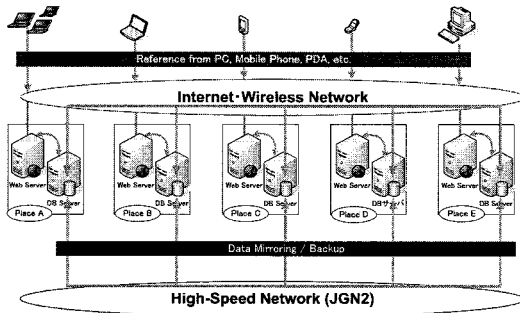


図2：システム分散の概要

3.2 Status Monitor Plane

Status Monitor Plane においては、故障検知と分離を行う。災害時には、サーバそのものの動作状態を確認する必要がある。そして、サーバ間やサーバクライアント間を結ぶリンクが切れていないか確認を行う必要もある。そして、故障箇所はシステムから切り離し、尚且つ切り離された部分がシステムから去ったことによるサービスが提供できないことを防ぐような仕組みも必要である。この、検知と分離を行うために Status Monitor を導入する。

検知を行う方法は、できるだけどのような環境でも確認を行える方法を採用する。地域内災害情報ネットワークにおいて下位サーバがダウンした場合には、リンク先を書き換えることで対応する。リンクについては、予めバックアップ先の優先順位を定めておき、その順序で接続を試みるものとする。

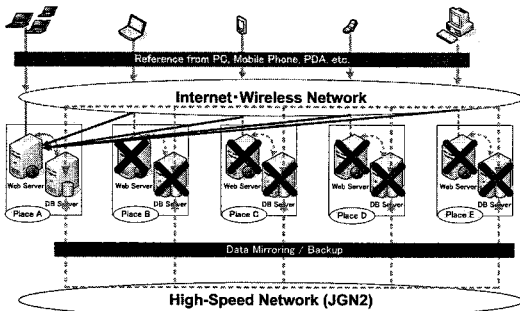


図3：障害時のシステムの概要

また、各地域内災害システムのトップページを提供する都道府県の防災中央センターサーバが故障した際には、そのトップページを提供していたサーバのアドレスを、バックアップのサーバが代行する。

このように障害検知と切り離しを行うことで、対故障性への対応が可能となる。図3で示したとおり、1拠点でも動作している状況ならサービスの提供が維持できる。

3.3 Load-Balancing Plane

災害発生直後には、災害情報サーバへのアクセス数が急激に増加、負荷が増大し、場合によってはシステムダウンを引き起こすこともある。これを防ぐために、負荷分散を行う必要がある。

本システムでは、Load-Balancing Plane においてシステムの耐故障性向上を優先するため、分散したサーバにそれぞれ違う URI を割り当て、DNS ラウンドロビンによる方法と、サーバ負荷やホップ数などを勘案した DNS リダイレクトを行う方法を併用し、参照要求が分散されるような仕組みを採用し可用性を向上させている。

4. プロトタイプシステム

4.1 システムの設計

これまでの述べてきた方法論に基づき、図4で示すように設計を行った。

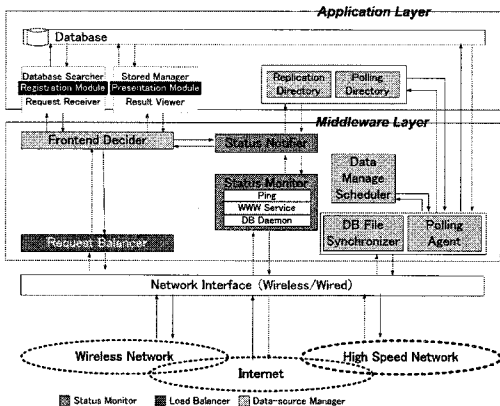


図4：モジュール構成図

4.1.1 Data-source Manager Plane

防災中央センターサーバからのポーリングにおいては、Cron による定期的なポーリングを行っている。その際、Status Monitor によって障害が検出されたサーバに関しては、ポーリング対象としないようにしている。また、このポーリングは手動でシステム管理者が行うことも可能である。避難所に新たにサーバを設置した際、および

災害障害により一時的に途切れた避難所サーバがシステムに復帰した際には、防災中央センターのサーバへ通知を行い、その通知を受けポーリングが行われる。災害情報は時系列で表示されるため、利用者は避難所で登録された最新の情報を入手することができるようになる。

各避難所から情報を統合したサーバの冗長化についてはデータベースでの複製と、ファイルベースでの複製の両方を行う。また、高速専用回線 JGN2 とインターネットの2系統でマルチホーミングによる複製を行い、回線の障害に対応させている。

データベースのレプリケーションでは、レプリケーション先のサーバが、レプリケーション元のデータベースのバイナリログを読み込み、その内容をもとに、クエリをレプリケーション先のデータベースサーバに発行し、データベースの内容の同期をとることを行う。この作業によって、分散化を行っているバックアップサーバ群の内容を一致させる。サーバが遠距離に配置されているため、同期型レプリケーションを採用していない。

ファイルベースの複製では、RDBMS がテーブルを格納しているファイルデータをそのまま rsync によって定期的に遠隔地にコピーすることを行う。バックアップそのものも2種類の方法をとることにより、確実性を高めている。

4.1.2 Status Monitor Plane

今回のプロトタイプシステムでは、3つの方法による障害検知を行う。

第1の方法は、Ping による導通確認である。筆者らはこれまで、SNMP を用いた RMS (Resource Management System) の開発を行ったが[4]、本システムにおいてはより多くの環境下での動作確認を達成するために Ping による簡単な導通確認法を採用した。この方法は、サーバの設置場所のネットワークにおいて、ICMP パケットがブロックされないようあらかじめ設定しておく必要がある。

第2の方法は、TCP パケットをウェブサーバが提供される 80 番ポートに送信し、実際に送信が可能であればウェブサーバは稼働していると判断し、そうでないときはシステムダウンと判定する方法である。

以上2つに関しては、全国に分散したサーバ Cron により定期的にチェックを行い、導通が確認できない場合には、各サーバが持つ Status Database に状況を記録する。

第3の方法としては、ウェブサーバ、ならびにデータベースサーバへ接続が行えるかどうか、アクセスがある毎に確認を行うものである。この方法に関しても、状況の変化に応じて Status Database に記録を行う。

切り離しについては、Load Balance モジュールにおいてリダイレクトを行う際に、Status Database に確認を行い、

障害のあるサーバにはリダイレクトを行わないようにしている。

4.1.3 Load-Balancing Plane

今回のプロトタイプシステムでは、分散化により耐故障性向上させており、負荷分散に関しては、外部ウェブインターフェイスを持つ複数のバックアップサーバに、それぞれ異なる URI を割り当て、その URI へのアクセス後、クライアントからのホップ数、ならびにサーバの負荷に応じてリダイレクト実行させている。

4.2 システム環境

本システムは、災害情報サーバにウェブサーバとデータベースサーバ機能を実装した。現在、本庄と静岡にサーバを設置することにより遠隔地ミラーリングを実現している。各拠点間のサーバ性能、ネットワーク構成は図5の通りである。情報統合を行う大規模分散サーバ群には、Linux を使用し、ウェブサーバには Apache1.3.31, 2.0.54 を用い、データベースサーバに MySQL4.1.7 を使用した。

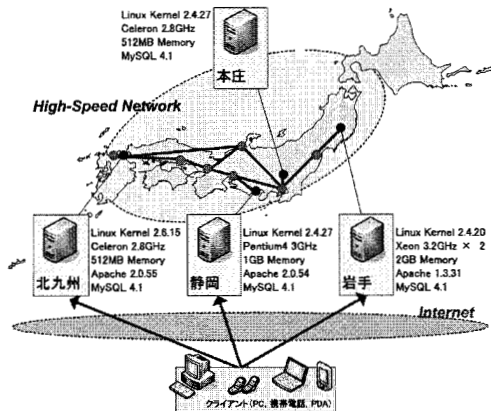


図5：プロトタイプシステム構成図

4.3 情報基盤上で動作するアプリケーション

この基盤上で災害時用のアプリケーションとして、従来まで研究を行ってきた安否情報確認システムに加え、今回新たに開発した広域災害情報共有システム（WIDIS : Wide-area Disaster Information Sharing system）を搭載している。以下、WIDIS について説明する。

4.3.1 安否情報確認システム

安否情報確認システムに関しては、ウェブサーバに Apache のほか、Windows2000 Server も使用し、データベースサーバに PostgreSQL 7.4.6 や Oracle 8 も用いており、幅広い環境での動作を考慮している[5]。

4.3.2 広域災害情報共有システム・WIDIS



図6：広域災害情報共有システム

WIDIS に関しては、大規模分散サーバ群である3拠点（岩手県滝沢村、静岡県静岡市、埼玉県本庄市）で分散運用を行い、PHP4.3.10 により開発を行った。WIDIS においては、被害情報、道路・交通機関情報、避難施設・救援情報、行政機関・防災機関情報、ライフライン情報、生活情報、ボランティア活動・募集情報、物資募集情報、これらに含まれないその他の情報を取り扱う。安否情報や気象・地震情報等については、他のシステムへのリンクを登録の上トップページで表示することができ、災害時ポータルとして運用することが可能である。日本各地のあらゆる災害時に対応できるよう、災害を複数登録することで、災害毎にトップページを分けることができる。GIS 機能として、国土地理院の「電子国土」を使用し、災害情報表示を地図上に展開したり、災害情報の位置入力を地図を使って指定したりことも可能になっている。

図6にシステムのスクリーンショットを掲載する。

5. 評価

本研究の有効性を確認するために、プロトタイプシステムの機能評価および性能評価を行う。

現在、岩手と静岡のサーバが外部に対してのインターフェースを持っている。この2つのサーバに対して、Apache Bench による過負荷試験を行った。

実験は2種類行った。

1. 実験1・基本処理能力測定実験
総アクセス数1000とし、同時並行アクセス数を20から260まで変化させ実験を行う。
2. 実験2・最大許容負荷測定負荷実験
総アクセス数を10000から100000に変化させ、同時並行アクセス数500とする。

実験1は、災害情報の登録を行うボランティア団体が

らのアクセスを想定した実験である。実験で設定した数値の根拠としては、2005年1月に行ったWIDIS実証実験時に8日間の1日あたりの平均として、約750のアクセス数、約54のアクセス元IPがあり、それらの参加団体が災害時に同時アクセスを行うことを想定し、同時アクセス数を最大260とした。実験2は、災害時に外部から災害情報参照のための大量アクセスがあることを想定し、高負荷に対する許容度を測定するために行う。実験で設定する数値に関しては、クライアントで発行可能な接続数を考慮し、数値を決定した。

この2つの性能評価実験により、システムの可用性について考察を行う。

表1: 1秒当たり処理可能なリクエスト数

	静的ページ	動的ページ
岩手→岩手 (LAN内)	1192.69	648.90
静岡→岩手 (Internet)	196.71	23.41
静岡→岩手 (JGN)	306.98	157.38
岩手→静岡 (Internet)	111.30	21.24
岩手→静岡 (JGN)	109.68	65.42

実験1についての結果が表1である。ウェブサーバのみで完結する静的なコンテンツの方が、データベースサーバが関わってくる動的なコンテンツよりも多くのリクエストが処理可能である。また、LAN経由のアクセス、JGNII経由のアクセス、インターネット経由の順に、処理能力が低下した。そして、性能的に劣る静岡サーバに関しては、同時並行アクセス数200を越えたあたりから処理能力の低下した。

実験2に関しては、図7の通りとなった。静岡に設置したサーバに関しては、動的コンテンツにおいて40000アクセス以上の時に処理オーバーフローしていることが分かった。

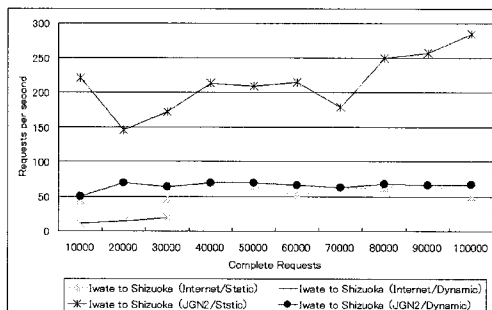


図7: 最大許容負荷測定実験結果

これらの実験を通して、必要とされるサーバの性能や台数を推定するために、災害情報の同期が図られた分散

環境下におけるData-source Manager Planeによる冗長化と、Load-Balancer Planeによる負荷分散にどのように対応すべきかを決定する定量的な把握を行うことができた。Data-source Manager Planeにおいては、避難所から防災中央センターまでの階層構造によるスケーラビリティの実現も図られており、アプリケーションで確保された信頼性とユーザビリティを含め、3章で述べた災害情報システムに求められる6つの機能のうち、可用性、スケーラビリティ、情報の信頼性、ユーザビリティの4つまでが達成可能であることを確認できた。

6. おわりに

本稿では、災害時の故障や負荷集中に対処可能な大規模分散環境の構築について述べた。あわせて、現在開発中のプロトタイプシステムを用いた性能評価について述べた。今後、拠点サーバが故障した際にフェイルオーバーを行った場合の性能評価を予定しており、対故障性についての有意性を示す。

また、新たにサーバ数をさらに増加させて、大規模災害を想定した性能評価も行う予定である。

参考文献

- [1] Shibata, Y., Nakamura, D., Uchida, N. and Takahata, K.: Residents Oriented Disaster Information Network, Proc. on Symposium on Applications and the Internet (SAINT2003), pp.317-322 (2003).
- [2] 坂本大吾, 旭秀晶, 中村大輔, 橋本浩二, 高畑一夫, 柴田義孝: 無線通信を主体とした防災・災害情報ネットワークシステム: 安否情報検索システムの開発と機能評価, 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.67-72 (2001).
- [3] 干川剛史: ITを利用した災害情報共有・交換システムの実態と課題, 大妻女子大学人間関係学部紀要人間関係学研究, 大妻女子大学人間関係学部(2004).
- [4] Nakamura, D., Uchida, N., Asashi, H., Takahata, K., Hashimoto, K. and Shibata, Y.: Wide Area Disaster Information Network and Its Resource Management System, Proc. of the 17th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA2003), pp.146-149 (2003).
- [5] 越後博之, 湯瀬裕昭, 干川剛史, 高畑一夫, 柴田義孝: JGN2を用いた災害情報システムのロバストネス向上手法の提案, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2006)シンポジウム論文集 (II), pp.925-928 (2006).