



平成 24 年度 修士論文

モバイルデバイスを用いた 災害情報共有システム

電気通信大学 大学院情報システム学研究所
情報システム基盤学専攻
1153019 蛭田 瑞生

指導教員 鶴岡 行雄 客員教授
多田 好克 教授
古賀 久志 准教授

提出日 平成 25 年 2 月 12 日

目次

第 1 章	はじめに	3
第 2 章	災害情報とその共有	5
2.1	災害のフェイズ分け	5
2.2	災害情報の分類	5
2.3	災害情報の共有のシナリオ	6
第 3 章	システムの設計	8
3.1	災害情報共有のワークフロー	8
3.2	各サーバの処理	9
3.3	システムの課題	15
3.4	1 ラウンドのサーバ台数の制約	16
3.5	1 ラウンドの処理時間	18
3.6	1 ラウンドの消費電力	19
3.7	1 ラウンドに必要なとなるサーバ台数の算出	21
3.8	全ラウンドのサーバ台数の制約	24
3.9	全ラウンドに必要な全サーバ台数の算出	26
3.10	通信方式についての考察	27
3.11	災害情報のデータ形式	28
3.12	災害情報の配布手段	28
第 4 章	まとめ	29

図目次

3.1	システムの構成	8
3.2	管理サーバの処理フロー	10
3.3	受取・補完サーバの処理フロー	11
3.4	災害情報の補完イメージ	12
3.5	仕分けサーバの処理フロー	13
3.6	整理サーバの処理フロー	14
3.7	配布サーバの処理フロー	15
3.8	配布サーバの動作イメージ	16
3.9	1 ラウンドの配布サーバの処理時間と 1 ラウンドの消費電力量	23
3.10	1 ラウンドの全サーバの台数	24
3.11	災害情報のデータ形式	28

第 1 章

はじめに

2011年3月11日、東日本大震災が発生した。被災地域は宮城県、岩手県、福島県など東北地方を中心に広範囲に及び、死者は1万5千人にまで達した。電気、水道といったライフラインにも障害が発生した。こういった大規模災害発生時においては、多くの被災者が避難生活を強いられる。被災者が安全かつ効率的な避難生活を送るためには、生活物資や危険な地域などに関する災害情報の収集、及び共有を行う必要がある。東日本大震災では携帯電話を用いてインターネットを利用し、災害情報の収集と共有が行われた。代表例をいくつか挙げる。まず、安否確認サービス [1] がある。これは被災者を探す、あるいは被災者が無事を知らせるためのシステムであり、主に震災直後から活躍した。携帯電話サービスを提供する通信事業者による安否確認サービスとテレビ局による安否確認サービスが主に利用された。次に災害復興ボランティアの支援のための Web サイト [2][3] がある。これらはボランティア活動の支援や紹介が主な目的である。被災者に向けた、避難生活の補助を目的とするタイプと、支援者に向けた、ボランティア活動の支援を目的とするタイプが存在する。最後に SNS[4] やマイクロブログ [5], wiki[6] がある。これらは本来、ユーザ同士のコミュニケーションを目的としているが、震災当時はユーザにより災害情報の収集と共有が行われた。特に twitter[7] は情報の拡散力が高く、新たな情報源としても注目されるようになった。しかし、災害発生直後より輻輳や基地局等の損壊によりネットワークが利用不可能になり、被災地を中心に災害情報の共有ができなくなる状況が生じた [8]。携帯電話サービスを提供する通信事業者は大型バッテリーの配備 [9] など様々な物理的対策を講じ始めたが、地震や津波等による故障や倒壊の可能性を考えると不安が残る。したがって、被災地において災害情報の共有を迅速に行うためには、通信インフラストラクチャに依存しない災害情報共有システムが必要である。

災害時に用いる事を前提とした、アドホックネットワーク [10] やすれ違い通信 [11] を用いた災害情報に関する研究も多数行われている。災害時には停電等の理由でモバイルデバイスへの給電が困難となる。したがって、モバイルデバイス間でアドホックネットワークやすれ違い通信を利用する場合、常時情報を待ち受けることとなり、端末の消費電力が問題となる。ゆえに、通信時のみ電力を消費する近接通信が望ましい。通常、災害情報は被災者によって避難所に集められ、整理される。避難所にサーバを配備することにより、

.....

災害情報の整理・共有を行う取り組み [12][13] がある。しかし、全ての避難所にサーバを配備するのは困難であり、また配備に時間がかかることも予想される。また、平常時に運用されていないシステムを震災時に運用するのは難しいと考えられる。したがって、被災者が常に携帯しているモバイルデバイスを用いて災害情報の収集、整理、共有を行える事が望ましい。なお、市民参加による災害情報の共有の有効性が [14] でも示されている。

本研究では、専用の避難所サーバを用いず、被災者が持つスマートフォンのみで、安否情報、避難情報、生活情報などの災害情報の収集、整理、共有を行う災害情報共有システムを提案する。災害情報は被災者が避難中にスマートフォンで収集し、避難所で提供する。本システムにより、通信インフラストラクチャが使えず、また避難所にサーバが無い状況においても、避難所内で被災者が災害情報を共有できる。

第 2 章

災害情報とその共有

この章では災害情報について定義する。ここでは、災害発生時に必要とされる情報を災害情報と定義する。災害情報を定義することで、本システムで扱うべき情報の範囲を明確にすることが目的である。

2.1 災害のフェイズ分け

被災地において災害発生から復興が終了するまでを以下のフェイズに分ける。

1. 災害発生フェイズ
災害が発生した直後を指す。被災者の安全確保が最優先となる。
2. 避難フェイズ
被災者が避難をしようと考えた時点から避難が完了するまでを指す。この段階から安否情報、避難情報等が必要となる。
3. 避難生活フェイズ
震災前とは異なるが、生活は可能な状態を指す。災害発生から 3 日間程度を指す。電気、ガス、水道、通信等のインフラストラクチャに障害があり、物資供給が困難である。生活情報等が必要になる。
4. 復興フェイズ
インフラストラクチャが復旧し、被災地が震災前と同じ状態に戻るまでを指す。災害発生から 1 年間程度を指す。

以上のように、各フェイズで必要とされる情報は変わってくる。

2.2 災害情報の分類

災害情報には以下の情報が含まれる。

- ・安否情報
被災者の安否に関する情報である。これは被災者でない人（被災地外の支援者等）も必

要とする情報である。

・避難情報

被災者が避難する時に必要な情報である。以下の3つに分類される。

- ・避難所情報（避難所の位置などの情報）
- ・交通情報（通れない橋や道の情報）
- ・地域情報（地震情報，津波情報，気象情報，放射線情報）

・生活情報

被災者が避難生活を送るために必要な情報である。以下の2つに分類される。

- ・物資情報（生活に必要な物資に関する情報：水，食料等）
- ・救援情報（助けて欲しい内容，提供できる行動の情報）

被災者が災害情報を容易に検索できるようにするためには，上記のような分類が必要となる。また，分類をすることで，どういった情報を収集すべきかがわかる。

2.3 災害情報の共有のシナリオ

以下に前提条件を示す。被災者は全員がスマートフォンを所持しており，災害発生後避難所へ行く事とする。被災地は通信インフラストラクチャが遮断されており，電気が使用できないものとする。避難中，被災者は自身のスマートフォンを用いて災害に関わる情報（以下，災害関連情報と呼ぶ）を取得する。避難中に文字を入力するのは煩雑であり時間がかかるため，より短時間で簡単に取得できる写真や動画の撮影，音声の録音を行うことで，災害関連情報を取得する。避難後，余裕ができた時にコメント等の文字情報を付加する。そして，避難所で被災者が取得した災害関連情報をスタッフが集め，分類し，災害情報として整理した後，被災者に配布することで共有を行う。これらを日々繰り返すことで，被災者は災害情報を活用でき，避難生活を乗り切ることができる。

被災者が災害情報を持ち運ぶことで，避難所間で災害情報を共有できる。また，ネットワークにアクセスできる避難所へ災害情報を持ち運ぶことで，ネットワーク上に災害情報をアップロードできる。

避難所にサーバがあれば災害情報の整理と共有が行えるが，フェイズ2，3においてサーバの配備が十分に行き届いていない可能性がある。また，サーバが配備されていても電源確保の問題がある。よって，避難所のサーバに依存しないシステムが必要である。

以上より，災害情報共有システムに求められる要求条件は以下のようになる。

要求条件 1 ネットワークインフラストラクチャの復旧前でも利用できる

要求条件 2 避難所サーバが無くても利用できる

要求条件 3 少ない消費電力で稼働する

.....

要求条件 4 被災者による設定が最小限で簡単に使える

以上の要求条件を満たす災害情報共有システムについて次章で検討する.

第 3 章

システムの設計

3.1 災害情報共有のワークフロー

提案システムが前提とする災害情報共有のワークフロー（処理の流れ）について説明する。本システムでは、避難所サーバを用いずに情報共有を行う。そのために、被災者が所持するスマートフォン等のモバイルデバイスを活用する。提案システムの構成を図 3.1 に示す。ここでは、スタッフの持つスマートフォンをサーバと呼ぶ。提案するシステムは管理サーバ、受取・補完サーバ、仕分けサーバ、整理サーバ、配布サーバ、そして被災者のスマートフォンで構成される。

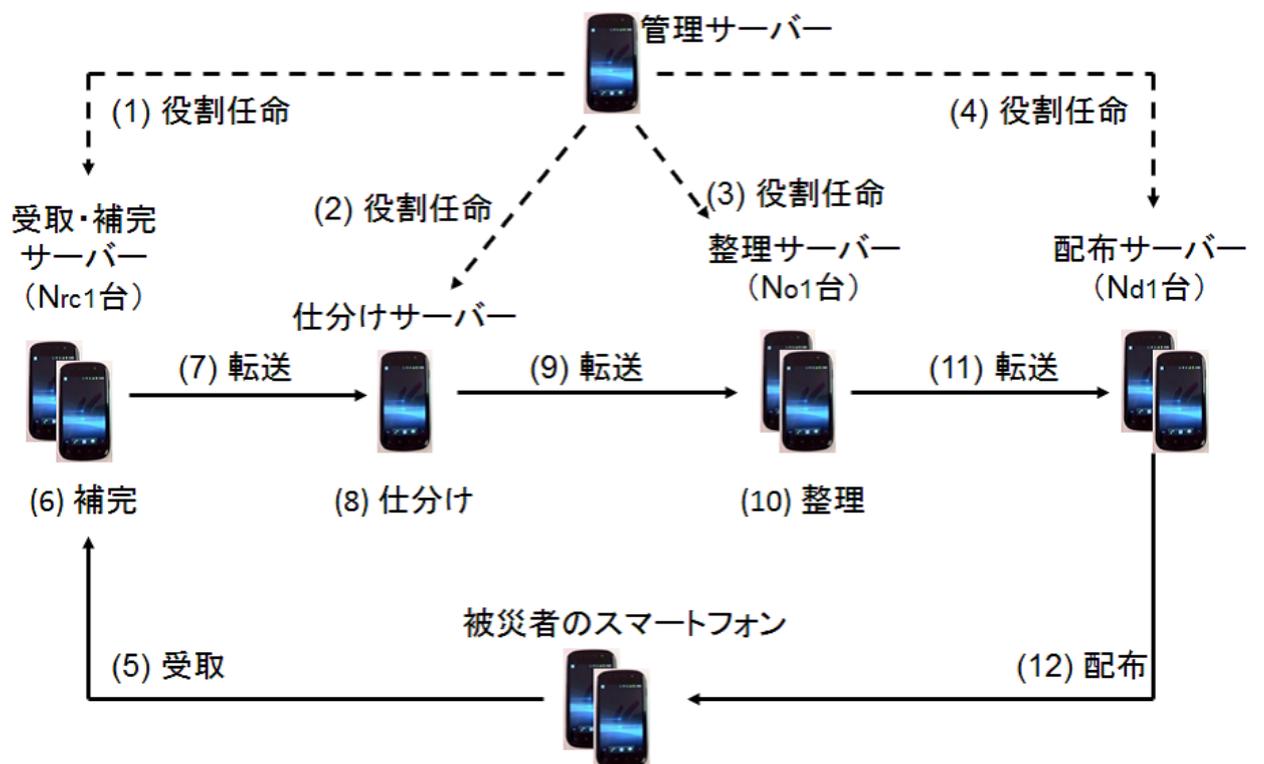


図 3.1 システムの構成

.....

管理サーバを所持するスタッフ（管理者）は、避難所に避難した被災者のうち、システムの運用に協力してくれるボランティアを集め、災害情報の共有に必要な受取・補完、仕分け、整理、配布を行うスタッフとしてそれぞれ任命する (1)~(4)。そして、スタッフのスマートフォンをそれぞれ受取・補完サーバ、仕分けサーバ、整理サーバ、配布サーバとして利用する。管理者は当該の避難所を担当する自治体職員等を想定している。1つのスマートフォンが複数のサーバの機能を持つように任命しても構わない。例えば、受取・補完サーバと配布サーバが同じスマートフォンであっても良い。この場合は受取と配布が同時にできる。

受取・補完サーバを所持するスタッフは、災害関連情報を被災者のスマートフォンから受け取り (5)、情報を提供した被災者から話を聞いてタグやコメントを用いて補完する (6)。補完された災害関連情報は仕分けサーバへ送信される (7)。

仕分けサーバを所持するスタッフは受取・補完サーバから受信した災害関連情報を地区毎に仕分けし (8)、地区毎の災害関連情報をそれぞれを担当する整理サーバへ送信する (9)。仕分けは地区毎だけでなく、災害関連情報の種類毎に行うことも考えられる。

整理サーバを所持するスタッフは仕分けサーバから受信した災害関連情報の真偽の確認し、有益かどうかを判断し、また、複数の同一の災害関連情報をまとめる (10)。整理サーバは整理された災害関連情報を災害情報として配布サーバへ送信する (11)。

配布サーバを所持するスタッフは整理サーバから受信した災害情報を被災者に配布する (12)。

この一連の流れをラウンドと呼ぶ。本システムは停電期間中に複数回のラウンドを実行する。例えば、1日2ラウンドを3日間行い、6ラウンドを実行する。

受取・補完サーバ、整理サーバ、配布サーバは負荷分散のため複数台用いる。管理サーバは管理を一元化するために1台とする。仕分けサーバは同じ分類の情報を1つにまとめるために、一元処理が必要であり、1台とする。

以上のシステム及びワークフローにより、2章で述べた要求条件2（避難所サーバが無くても利用できる）を満たす。

3.2 各サーバの処理

この節では各サーバの処理についてより詳細に述べる。

3.2.1 管理サーバの処理

管理サーバの処理フローを図 3.2 に示す。

まず、被災者数等の条件からシステムの稼働に必要な受取・補完サーバ数 N_{rc1} 、整理

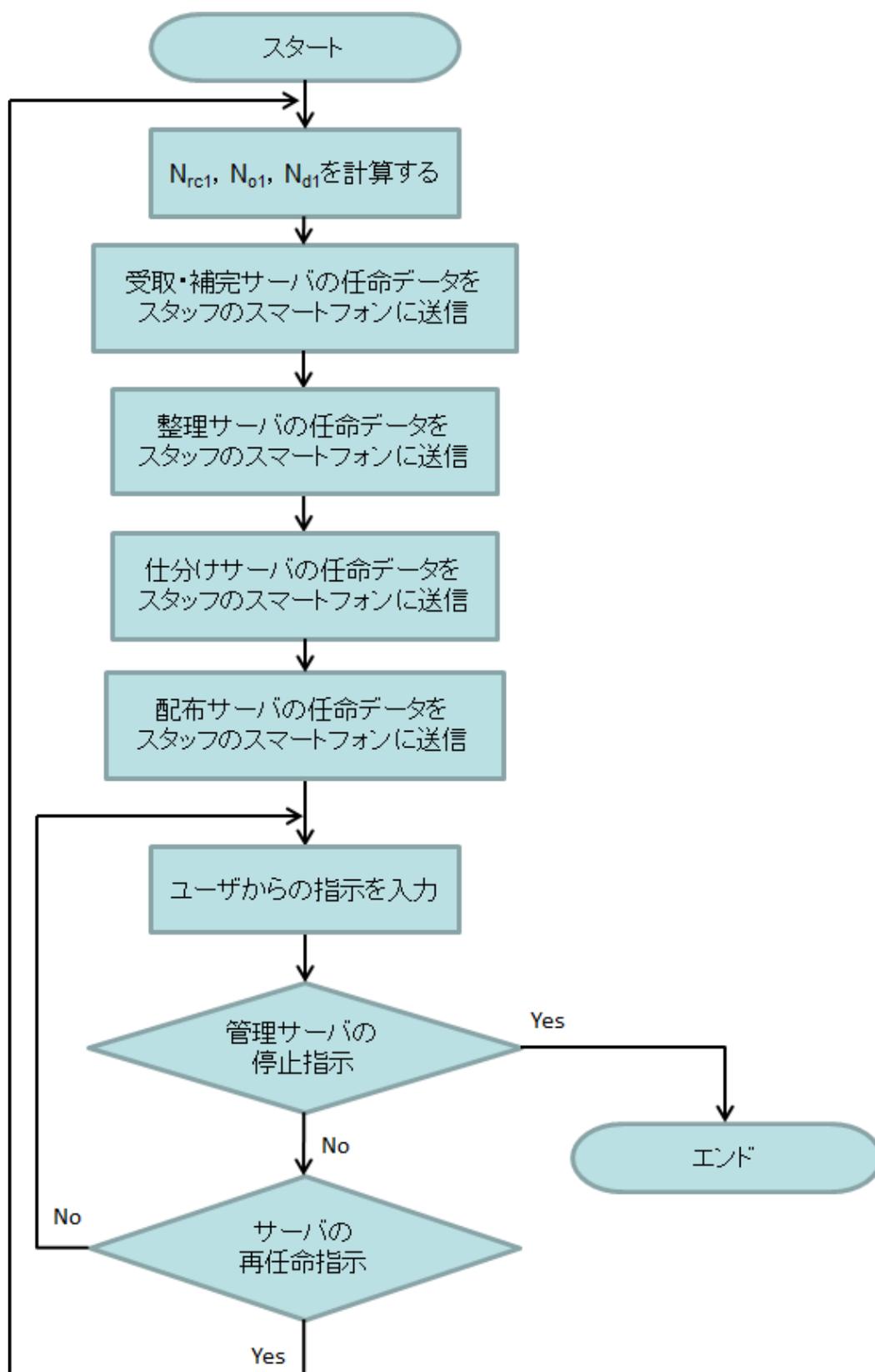


図 3.2 管理サーバの処理フロー

サーバ数 N_{o1} , 配布サーバ数 N_{d1} を算出する。そして、受取・補完サーバ、仕分けサーバ、整理サーバ、配布サーバの任命データをそれぞれスタッフのスマートフォンへ送信する。任命データは受取・補完などの機能名と、通信時に取得したスタッフのスマートフォンの MAC アドレス等のデバイス ID を含む。任命データを受け取ったスマートフォンはサーバとなり、与えられたサーバの機能が有効になる。任命データは受信してから一定時間が過ぎると無効となり、サーバの機能を利用できなくなる。デバイスの ID によりサーバを特定し、管理する。例えば、ラウンドを跨いで同じサーバに同じ機能を割り当てることができる。

3.2.2 受取・補完サーバの処理

受取・補完サーバの処理フローを図 3.3 に示す。

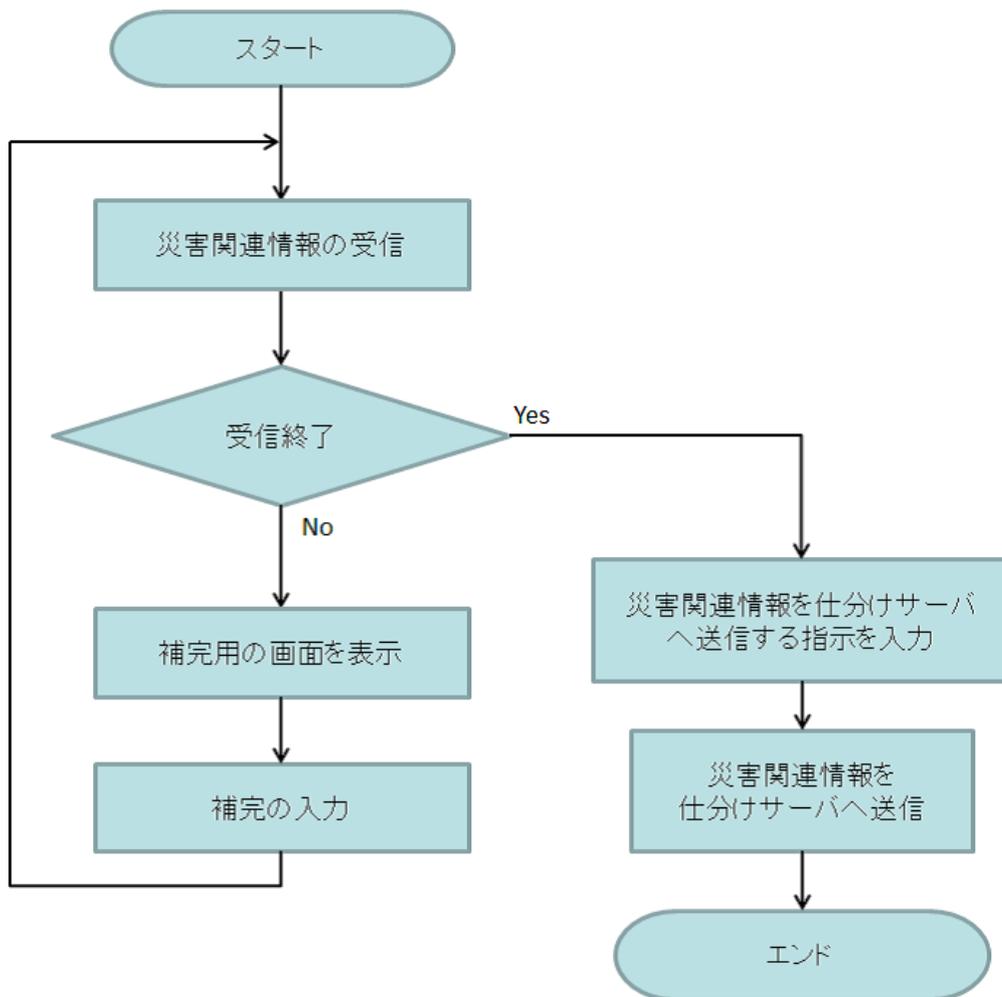


図 3.3 受取・補完サーバの処理フロー



図 3.4 災害情報の補完イメージ

受取・補完サーバは、被災者のスマートフォンから災害関連情報を受信する。受信した災害関連情報のそれぞれについて、ユーザから補完するための指示を入力する。補完が完了したら、補完された災害関連情報を仕分けサーバへ送信する。災害関連情報は図 3.4 のような形で補完される。

3.2.3 仕分けサーバの処理

仕分けサーバの処理フローを図 3.5 に示す。仕分けサーバは、すべての受取・補完サーバから補完された災害関連情報を受信する。補完された災害関連情報は、タグに基づき、各タグに対応したフォルダに入れ、仕分けされる。仕分けされた災害関連情報はそれぞれ対応する整理サーバへ送信される。

3.2.4 整理サーバの処理

整理サーバの処理フローを図 3.6 に示す。整理サーバは、仕分けサーバから仕分けされた災害関連情報を受信する。受信した災害関連情報のそれぞれについて、ユーザから整理するための指示を入力する。そして、整理された災害関連情報をまとめた災害情報を配布サーバへ送信する。

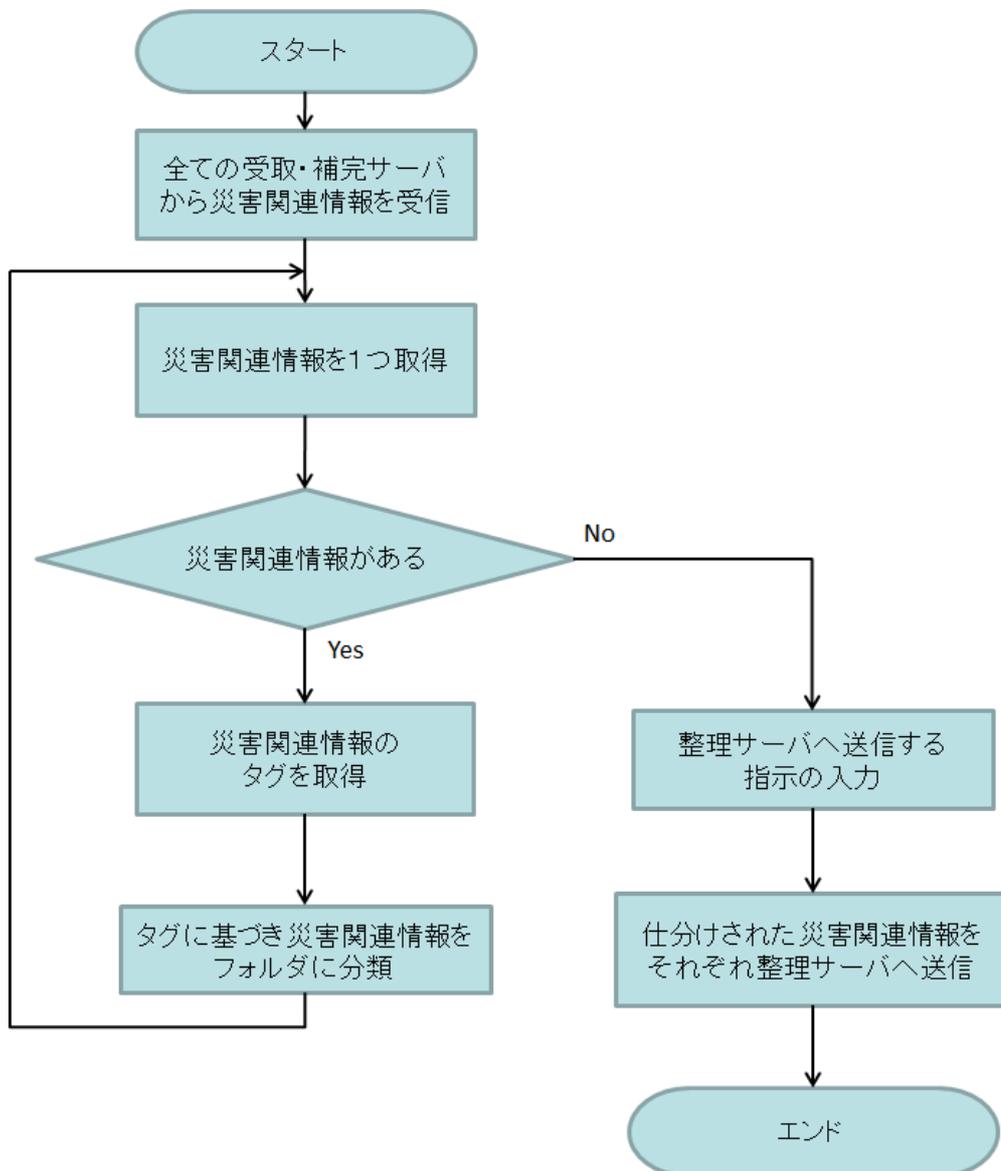


図 3.5 仕分けサーバの処理フロー

3.2.5 配布サーバの処理

配布サーバ間での災害情報の共有は、以下のステップに従い、段階的に行う。ステップ 0 では整理サーバから災害情報を受け取った配布サーバ 1 台のみが災害情報を持っている。ステップ k で j 台の配布サーバが災害情報を持っているとすると、次のステップでそれらがまだ災害情報を持っていない配布サーバへ災害情報を共有した場合、ステップ $k+1$ で災害情報を持つ配布サーバは $2j$ 台となる。以上より、ステップ k ($k = 0, 1, 2, \dots$) で災害情報を持つ配布サーバは 2^k となる。故に、配布サーバ n 台の間で災害情報を共有

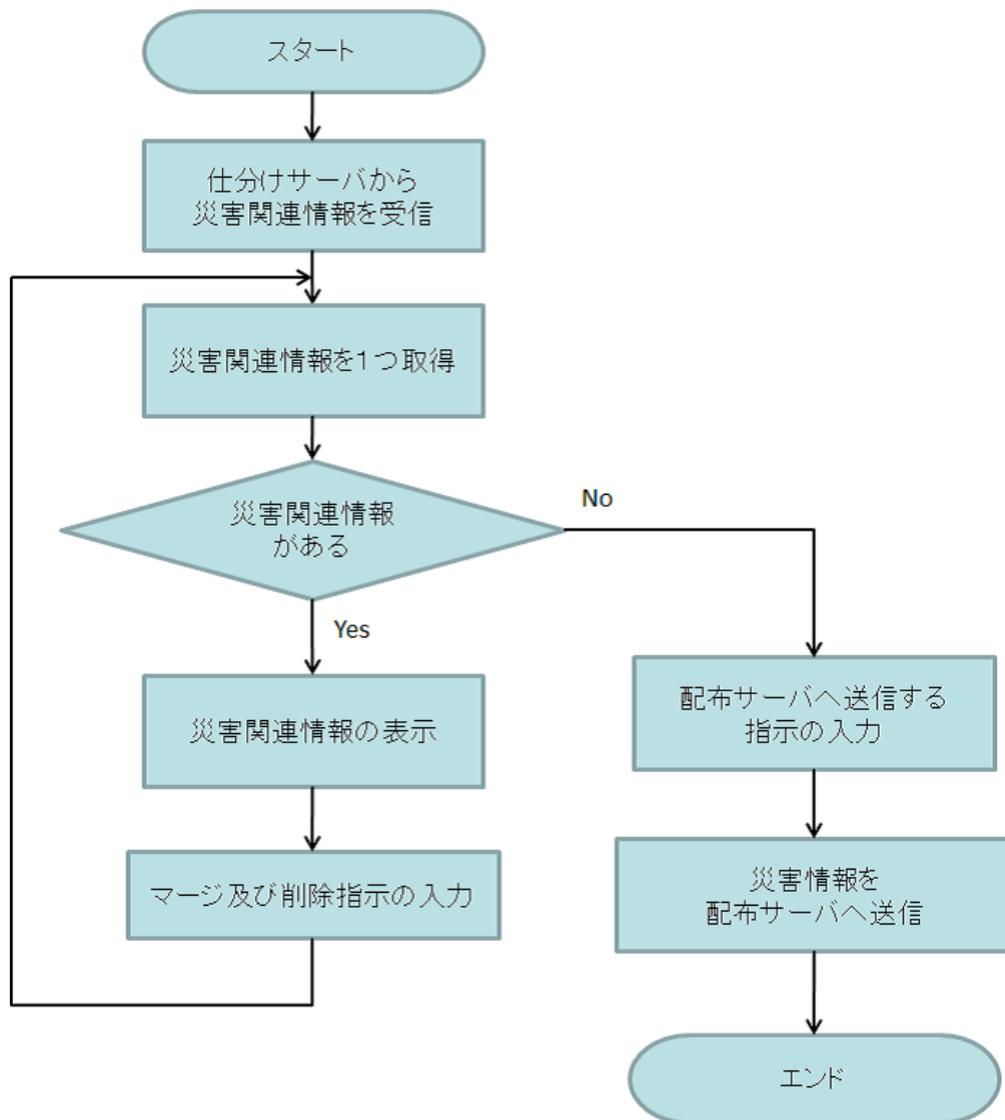


図 3.6 整理サーバの処理フロー

するためには、 $\lceil \log_2 n \rceil$ ステップが必要となる。

配布サーバの処理フローを図 3.7 に示す。

配布サーバは、整理サーバあるいは配布サーバから災害情報を受信する。受信した災害情報は、まだ災害情報を受信していない他の配布サーバへ送信する (12a)。共有が終了したら、災害情報を被災者のスマートフォンへ送信する (12b)。ここでは図 3.1 の (12) を (12a) と (12b) の 2 つの手順に分割している。(12b) において配布サーバは、被災者から災害情報に関する要求を受信する。配布サーバは受信した要求を満たす災害情報を検索し、被災者へ配布する。配布サーバの動作イメージを図 3.8 に示す。

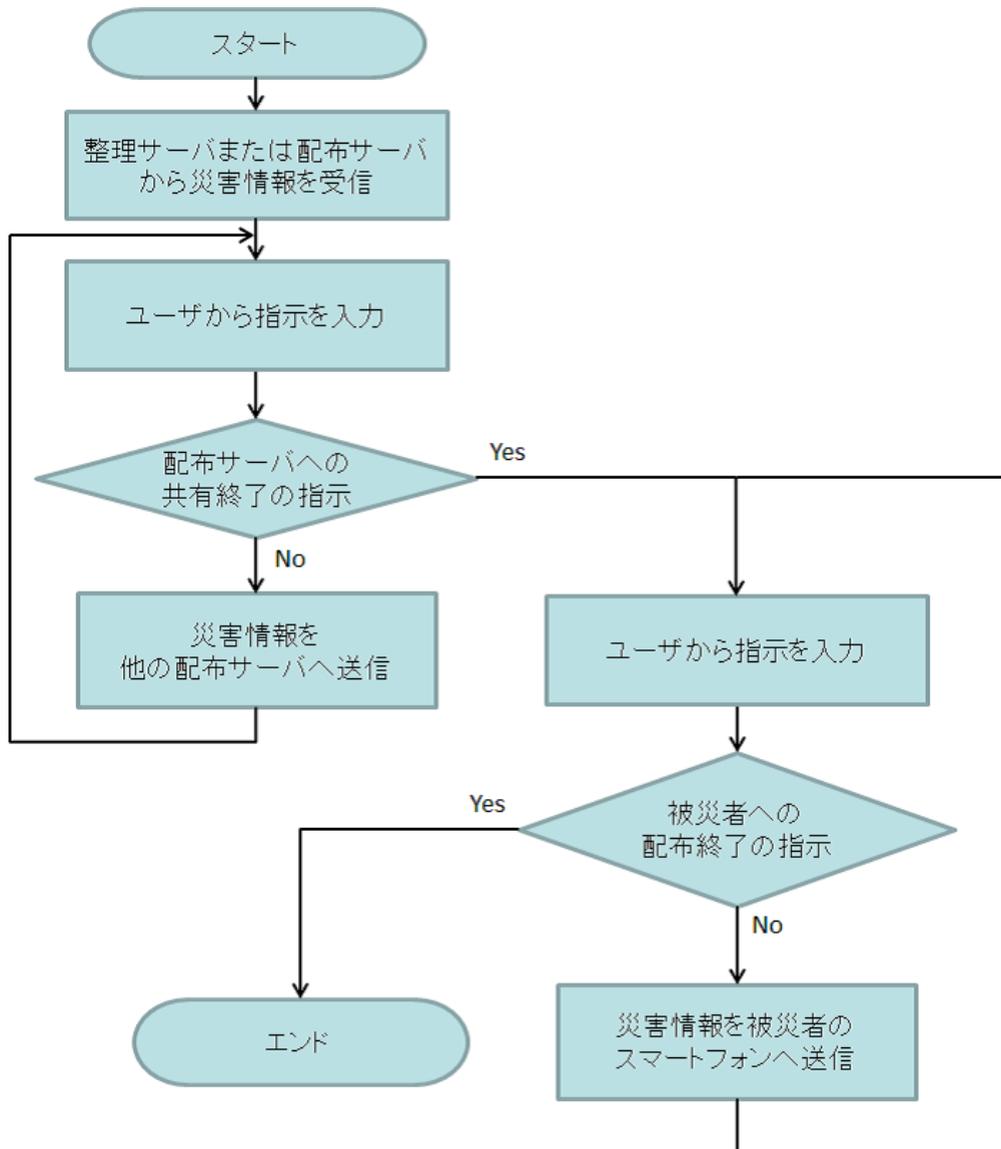


図 3.7 配布サーバの処理フロー

3.3 システムの課題

災害時においては停電期間中にスマートフォンの充電が見込めないため、スマートフォンに残っているバッテリー残量で、停電期間中システムを稼働し続ける必要がある。そのために、システムの消費電力を抑える必要がある。

一方、災害情報の共有を迅速に行うためには、1 ラウンドの処理を一定時間内に完了する必要がある。配布サーバの台数を増やすことで処理時間を短縮できるが、配布サーバ間で災害情報の共有を行うための消費電力が増加する。

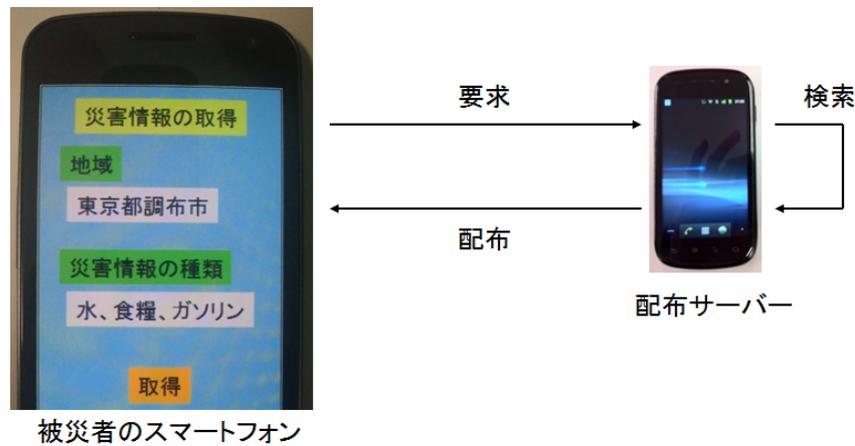


図 3.8 配布サーバの動作イメージ

すなわち，配布サーバにおいて消費電力と処理時間はトレードオフの関係にある．

受取・補完サーバの台数を増やすと処理時間は短縮できるが，情報の複製をしないために全体の処理量は増加せず，消費電力は増加しない．整理サーバも受取・補完サーバと同様である．

以上より，システム全体として，処理時間と消費電力はトレードオフとなっており，また，システム全体のサーバ台数が同じでも，どのサーバに何台割り当てたかで，処理時間と消費時間が変わってくる．

本システムでは，1 ラウンドの処理時間を一定時間内に抑えつつ，全体のサーバ台数と消費電力を削減したい．そのためのサーバ台数の内訳を明らかにする必要がある．なお，3.1 節で述べた通り，管理サーバの台数 N_{m1} と仕分けサーバの台数 N_{a1} は共に 1 である．以下の節で受取・補完サーバの台数 N_{rc1} ，整理サーバの台数 N_{o1} ，配布サーバの台数 N_{d1} それぞれの下限と，全体のサーバ台数の上限を求める．

3.4 1 ラウンドのサーバ台数の制約

被災者数や停電期間等の条件は避難所毎に違うため，様々な状況に対応できなくてはならない．サーバ台数の決定に必要なパラメータは以下の通りである．

N : 被災者数 [人]

D : 被災者 1 人当たりが 1 ラウンドに提供するデータ量 [MB]

W_S : スマートフォン 1 台の平均バッテリー残量 [Wh]

P_S : スマートフォン 1 台の稼働時の平均消費電力 [W]

V_{com} : 通信速度 [MB/h]

ここで、スマートフォン1台の平均稼働時間 T_S [h] は、 $T_S = W_S/P_S$ となる。また、スタッフを含む被災者は避難所から離脱しないものとする。

1 ラウンドの受取・補完に必要となる受取・補完サーバの台数 N_{rc1} は以下の通りである。受取・補完サーバの処理は、(5) 被災者のスマートフォンからの受信、(6) 補完処理、(7) 仕分けサーバへの送信である。なお、管理サーバとの通信はデータ量が少ないため無視する。(5) の処理に必要となるのべ時間は ND/V_{com} となる。(6) の処理に必要となるのべ時間は ND/V_c となる。ここで V_c [KB/h] はスタッフ1人が1時間で補完できるデータ量とする。ここでは、被災者から提供された災害関連情報は、補完や整理によってサイズが変化しないものとする。よって、(7) の時間は(5)と同じである。したがって、

$$\begin{aligned} N_{rc1} &\geq \left\lceil \left(\frac{ND}{V_c} + \frac{2ND}{V_{com}} \right) / T_S \right\rceil \\ &\geq \left\lceil \left(\frac{1}{V_c} + \frac{2}{V_{com}} \right) \frac{ND}{T_S} \right\rceil \end{aligned} \quad (3.1)$$

となる。

1 ラウンドの仕分けに必要となる仕分けサーバの台数 N_{a1} は以下の通りである。仕分けサーバの処理は、(7) 受取・補完サーバからの受信、(8) 仕分け処理、(9) 整理サーバへの送信である。(7) と(9) の処理に必要となるのべ時間は共に ND/V_{com} となる。(8) は、3.2.3 節で述べた通り、タグに基づき自動で仕分けされるので処理時間は無視する。したがって、

$$N_{a1} \geq \left\lceil \frac{2ND}{V_{com} T_S} \right\rceil \quad (3.2)$$

となる。

1 ラウンドの整理に必要となる整理サーバの台数 N_{o1} は以下の通りである。整理サーバの処理は、(9) 仕分けサーバからの受信、(10) 整理処理、(11) 配布サーバへの送信である。なお、管理サーバとの通信はデータ量が少ないため無視する。(9) と(11) の処理に必要となるのべ時間は共に ND/V_{com} となる。(10) の処理に必要となるのべ時間は ND/V_o となる。ここで V_o [KB/h] はスタッフ1人が1時間で整理できるデータ量とする。以上より、

$$\begin{aligned} N_{o1} &\geq \left\lceil \left(\frac{ND}{V_o} + \frac{2ND}{V_{com}} \right) / T_S \right\rceil \\ &\geq \left\lceil \left(\frac{1}{V_o} + \frac{2}{V_{com}} \right) \frac{ND}{T_S} \right\rceil \end{aligned} \quad (3.3)$$

となる。

1 ラウンドの配布に必要となる配布サーバの台数 N_{d1} は以下の通りである。配布サーバの処理は、(11) 整理サーバからの受信、(12a) 他の配布サーバへの送信、(12b) 被災者のスマートフォンへの送信である。なお、管理サーバとの通信はデータ量が少ないため無視する。(11) の処理に必要なのべ時間は ND/V_{com} となる。(12a) の処理に必要なのべ時間は $ND(N_{d1} - 1)/V_{com}$ となる。3.2.5 節で述べた通り、配布サーバは災害情報の全てを被災者に送信するわけではない。ここでは被災者が受け取る災害情報の平均のサイズを αND [KB] とする ($0 < \alpha \leq 1$)。 (12b) では αND [KB] の災害情報を N 人の被災者に配布するため、必要となるのべ時間は $\alpha N^2 D/V_{com}$ となる。したがって、

$$\begin{aligned} N_{d1} &\geq \left\lceil \left(\frac{ND}{V_{com}} + \frac{ND(N_{d1} - 1)}{V_{com}} + \frac{\alpha N^2 D}{V_{com}} \right) / T_S \right\rceil \\ &\geq \left\lceil \frac{ND(\alpha N + N_{d1})}{V_{com} T_S} \right\rceil \end{aligned}$$

となる。簡単のために、

$$N_{d1} \geq \frac{ND(\alpha N + N_{d1})}{V_{com} T_S}$$

を N_{d1} について解くと、

$$N_{d1} \geq \frac{\alpha N^2 D}{V_{com} T_S - ND}$$

となる。よって、

$$N_{d1} \geq \left\lceil \frac{\alpha N^2 D}{V_{com} T_S - ND} \right\rceil \quad (3.4)$$

また、スタッフは被災者数 N 以下でなければならないため、1 ラウンドに必要な全サーバ台数 N_1 は

$$N_1 = N_{m1} + N_{rc1} + N_{a1} + N_{o1} + N_{d1} \leq N \quad (3.5)$$

を満たす必要がある。以上より、式 (3.1)~(3.5) を満たす N_{rc1} , N_{a1} , N_{o1} , N_{d1} を選ぶ必要がある。この場合、1 ラウンド中に各サーバのバッテリーが切れることはない。

3.5 1 ラウンドの処理時間

1 ラウンドの災害情報の共有に必要な処理時間 T_1 は以下の通りである。

1 ラウンドにおける管理サーバの処理は他のサーバとの通信であり、通信データ量が少ないため管理サーバの処理時間は 0 とする。

3.4 節で述べた通り、(5) の受信に必要なのべ時間は ND/V_{com} であるため、 N_{rc1} 台で並列に処理すると仮定すると、(5) の受信処理時間は $ND/N_{rc1}V_{com}$ となる。同様に、(6) の補完処理時間は $ND/N_{rc1}V_c$ となる。(7) の受信処理時間は仕分けサーバが 1 台のため受信が逐次化され ND/V_{com} となる。(8) の仕分けの処理時間は 3.4 節で述べた通り 0 とする。(9) の仕分けサーバから整理サーバへの送信処理時間は (7) と同様 ND/V_{com} となる。3.4 節で述べた通り、(10) の整理に必要なのべ時間は ND/V_o であるため、(10) の整理処理時間は $ND/N_{o1}V_o$ となる。(11) の受信処理時間は、整理サーバ N_{o1} 台が配布サーバ 1 台へ送信するため、受信が逐次化され ND/V_{com} となる。(12a) の処理は 3.2.5 節で述べたように、 $\lceil \log_2 N_{d1} \rceil$ ステップを要する。よって、処理時間は $\lceil \log_2 N_{d1} \rceil ND/V_{com}$ となる。3.4 節で述べた通り、(12b) の配布に必要なのべ時間は $\alpha N^2 D/V_{com}$ となるため、(12b) の送信処理時間は $\alpha N^2 D/N_{d1}V_{com}$ となる。

よって、1 ラウンドの災害情報の共有に必要な時間 T_1 は、

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{ND}{N_{rc1}V_{com}} + \frac{ND}{N_{rc1}V_c} + \frac{ND}{V_{com}} + \frac{ND}{V_{com}} \\ &\quad + \frac{ND}{N_{o1}V_o} + \frac{ND}{V_{com}} + \frac{\lceil \log_2 N_{d1} \rceil ND}{V_{com}} + \frac{\alpha N^2 D}{N_{d1}V_{com}} \\ &= ND \left(\frac{1}{N_{rc1}V_{com}} + \frac{1}{N_{rc1}V_c} + \frac{1}{N_{o1}V_o} + \frac{3 + \lceil \log_2 N_{d1} \rceil}{V_{com}} + \frac{\alpha N}{N_{d1}V_{com}} \right) \quad (3.6) \end{aligned}$$

となる。

3.6 1 ラウンドの消費電力

この節では、システムの 1 ラウンドの消費電力量 W_1 を明らかにする。これは、各サーバの 1 ラウンドの消費電力量の和である。管理サーバの処理は他のサーバとの通信であり、データ量が少ないため管理サーバの 1 ラウンドの消費電力量 W_{m1} は 0 とする。受取・補完サーバは、3.4 節より (5), (6), (7) で電力を消費する。(5) の受信に必要なのべ時間は ND/V_{com} , (6) の補完に必要なのべ時間は ND/V_c , (7) の送信に必要なのべ時間は ND/V_{com} である。スマートフォンの稼働時の平均消費電力 P_S より、受取・補完サーバの 1 ラウンドの消費電力量 W_{rc1} は、

$$\begin{aligned} W_{rc1} &= \left(\frac{ND}{V_{com}} + \frac{ND}{V_c} + \frac{ND}{V_{com}} \right) P_S \\ &= NDP_S \left(\frac{2}{V_{com}} + \frac{1}{V_c} \right) \end{aligned}$$

となる。

同様に、仕分けサーバの 1 ラウンドの消費電力量 W_{a1} は、3.5 節より

$$\begin{aligned} W_{a1} &= \left(\frac{ND}{V_{com}} + \frac{ND}{V_{com}} \right) P_S \\ &= \frac{2NDP_S}{V_{com}} \end{aligned}$$

となる。

同様に、整理サーバの 1 ラウンドの消費電力 W_{o1} は、3.4 節より

$$\begin{aligned} W_{o1} &= \left(\frac{ND}{V_{com}} + \frac{ND}{V_o} + \frac{ND}{V_{com}} \right) P_S \\ &= NDP_S \left(\frac{2}{V_{com}} + \frac{1}{V_o} \right) \end{aligned}$$

となる。

配布サーバは前節まで述べたように、(11)、(12a)、(12b) で電力を消費する。3.4 節より、(11) の処理に必要となるのべ時間は ND/V_{com} 、(12a) の処理に必要となるのべ時間は $ND(N_{d1} - 1)/V_{com}$ 、(12b) の処理に必要となるのべ時間は $\alpha N^2 D/V_{com}$ となる。したがって、配布サーバの 1 ラウンドの消費電力 W_{d1} は、

$$\begin{aligned} W_{d1} &= \left(\frac{ND}{V_{com}} + \frac{ND(N_{d1} - 1)}{V_{com}} + \frac{\alpha N^2 D}{V_{com}} \right) P_S \\ &= NDP_S \left(\frac{\alpha N + N_{d1}}{V_{com}} \right) \end{aligned}$$

となる。

したがって、システムの 1 ラウンドの消費電力量 W_1 は、

$$\begin{aligned} W_1 &= W_{m1} + W_{rc1} + W_{a1} + W_{o1} + W_{d1} \\ &= NDP_S \left(\frac{2}{V_{com}} + \frac{1}{V_c} \right) + \frac{2NDP_S}{V_{com}} + NDP_S \left(\frac{2}{V_{com}} + \frac{1}{V_o} \right) + NDP_S \left(\frac{\alpha N + N_{d1}}{V_{com}} \right) \\ &= NDP_S \left(\frac{6 + \alpha N + N_{d1}}{V_{com}} + \frac{1}{V_c} + \frac{1}{V_o} \right) \end{aligned} \quad (3.7)$$

となる。1 ラウンドの消費電力量 W_1 は N_{rc1} や N_{o1} に依存せず、 N_{d1} のみの関数となる。 W_1 を削減するためには、 N_{d1} を減らす必要がある。

3.7 1 ラウンドに必要なとなるサーバ台数の算出

この節では、システムの1ラウンドの処理について、各サーバ台数の制約式(3.1)～式(3.5)および、後述する処理時間 T_1 の制約を満たしつつ、1ラウンドに必要なとなる全サーバ台数 N_1 を最小化する各サーバ台数を算出する。サーバ台数の算出に必要なパラメータは以下の通りとする。

$$\begin{aligned} N &= 200[\text{人}] \\ D &= 0.15[\text{MB}] \\ V_c &= 3[\text{MB/h}] \\ V_o &= 6[\text{MB/h}] \\ V_{com} &= 450[\text{MB/h}] \\ P_S &= 1[\text{W}] \\ W_S &= 6[\text{Wh}] \\ \alpha &= 0.5 \end{aligned}$$

被災者数 N は、東日本大震災のデータ[15]から200人とした。被災者が1ラウンドに提供するデータ量 D は、写真1枚のサイズを0.05MB、1人当たり写真を3枚を提供すると仮定し、0.15MBとした。補完速度 V_c は、受取・補完サーバが1時間に60枚処理可能と仮定し、3MB/hとした。整理速度 V_o は、整理サーバが1時間に120枚処理可能と仮定し、6MB/hとした。通信速度 V_{com} は、通信手段をIrDA(1.0Mbps)と仮定し、450MB/hとした。スマートフォンの稼働時の平均消費電力 P_S は1Wと仮定した。GALAXY NEXUSのバッテリー容量約6Whより、平均バッテリー残量は $W_S = 6[\text{Wh}]$ とした。スマートフォン1台の平均稼働時間は、 $T_S = W_S/P_S = 6$ となる。3.4節で定義した α は0.5とする。これは、被災者が災害情報全体の50%を取得することを表す。

1ラウンドの処理時間 T_1 の上限を5時間とする。

$$T_1 \leq 5 \quad (3.8)$$

これは、1日に2ラウンド行うことを想定している。

上記パラメータを式(3.1)、式(3.2)、式(3.3)、式(3.4)に代入すると、

$$\begin{aligned} N_{rc1} &\geq \left[\left(\frac{1}{V_c} + \frac{2}{V_{com}} \right) \frac{ND}{T_S} \right] \\ &\geq \left[\left(\frac{1}{3} + \frac{2}{450} \right) \frac{200 \times 0.15}{6} \right] \\ &\geq 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
N_{a1} &\geq \left\lceil \frac{2ND}{V_{com}T_S} \right\rceil \\
&\geq \left\lceil \frac{2 \times 200 \times 0.15}{450 \times 6} \right\rceil \\
&\geq 1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
N_{o1} &\geq \left\lceil \left(\frac{1}{V_o} + \frac{2}{V_{com}} \right) \frac{ND}{T_S} \right\rceil \\
&\geq \left\lceil \left(\frac{1}{3} + \frac{2}{450} \right) \frac{200 \times 0.15}{6} \right\rceil \\
&\geq 1
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
N_{d1} &\geq \left\lceil \frac{\alpha N^2 D}{V_{com}T_S - ND} \right\rceil \\
&\geq \left\lceil \frac{0.5 \times 200^2 \times 0.15}{450 \times 6 - 200 \times 0.15} \right\rceil \\
&\geq 2
\end{aligned}$$

となり，以上をまとめると

$$N_{rc1} \geq 2, \quad N_{a1} \geq 1, \quad N_{o1} \geq 1, \quad N_{d1} \geq 2 \quad (3.9)$$

となる．式 (3.6)，式 (3.8) より，

$$\begin{aligned}
T_1 &= f(N_{rc1}, N_{o1}, N_{d1}) \\
&= 30 \left(\frac{151}{450N_{rc1}} + \frac{1}{6N_{o1}} + \frac{3 + \lceil \log_2 N_{d1} \rceil}{450} + \frac{2}{9N_{d1}} \right) \leq 5 \quad (3.10)
\end{aligned}$$

となる．

以上より，システムの 1 ラウンドの処理について，各サーバ台数の制約式 (3.9)，式 (3.5)，および処理時間の制約式 (3.10) を満たしつつ，1 ラウンドに必要となる全サーバ台数 N_1 を最小化する各サーバ台数を総当たりで調べた．ただし， N_1 に上限を設けて探索した．その結果， $N_{rc1} = 6$ ， $N_{o1} = 4$ ， $N_{d1} = 4$ で全サーバ台数 N_1 が最小となる．そのときの N_1 は 16 台，処理時間 T_1 は 4.93[h]，消費電力量 W_1 は 22.33[Wh] である．

また，システムの 1 ラウンドの処理について，各サーバ台数の制約式 (3.9)，式 (3.5)，および処理時間の制約式 (3.10) を満たしつつ，1 ラウンドの消費電力量 W_1 を最小化する各サーバ台数を総当たりで調べた．その結果， $N_{rc1} = 12$ ， $N_{o1} = 9$ ， $N_{d1} = 2$ で W_1 が

最小となる。そのときの全サーバ台数 N_1 は 25 台，処理時間 T_1 は 4.99[h]，消費電力量 W_1 は 22.2[Wh] である。

消費電力量を減らすためには配布サーバの台数 N_{d1} を減らす必要があるが，処理時間の制約のため受取・補完サーバの台数と整理サーバの台数が増え，結果として全サーバ台数 N_1 が増加する。上記の二例を比べた場合， N_1 の増加に比べ， W_1 の削減はわずかである。したがって，全サーバ台数 N_1 を最小化することが優先される。 N_1 を減らすことで，より少ないスタッフ数でシステムの運用が可能となる。

なお，参考のため，1 ラウンドの配布サーバの台数 N_{d1} に対する 1 ラウンドの配布サーバの処理時間と，1 ラウンドの全サーバの消費電力量 W_1 のグラフを図 3.9 に示す。処理時間は配布サーバの台数が増加することで減少する。しかし，配布サーバの台数が増えることで配布サーバ間での通信が増加し，消費電力量が増加する。グラフより，処理時間と消費電力のトレードオフが成立していることがわかる。

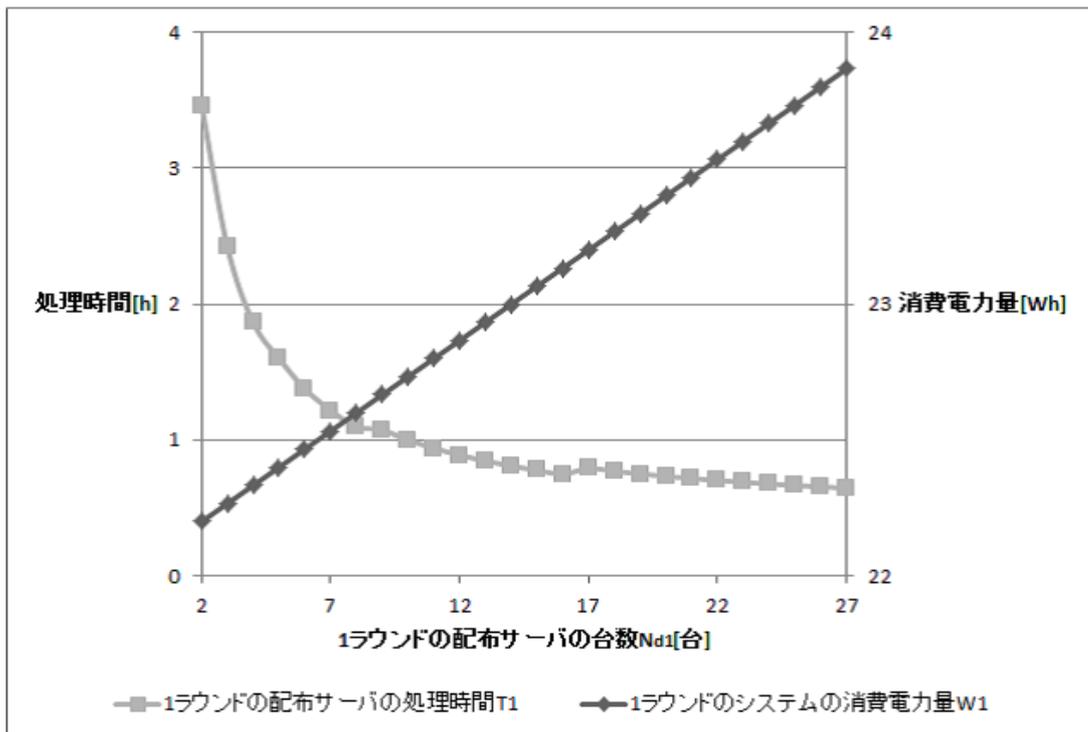


図 3.9 1 ラウンドの配布サーバの処理時間と 1 ラウンドの消費電力量

1 ラウンドの処理時間を 5 時間以下に抑えた時の，1 ラウンドの配布サーバの台数 N_{d1} に対する 1 ラウンドの全サーバの台数 N_1 のグラフを図 3.10 を示す。1 ラウンドの配布サーバの台数を減らすと，全サーバの台数は一定数まで減少するが，途中から増加に転じる。これは，配布サーバの台数が減少したことで，配布サーバの処理時間が増加し，1 ラウンドの処理時間を 5 時間に抑えるために，受取・補完サーバと整理サーバを増加させる

.....

ことで対処する必要があるからである..

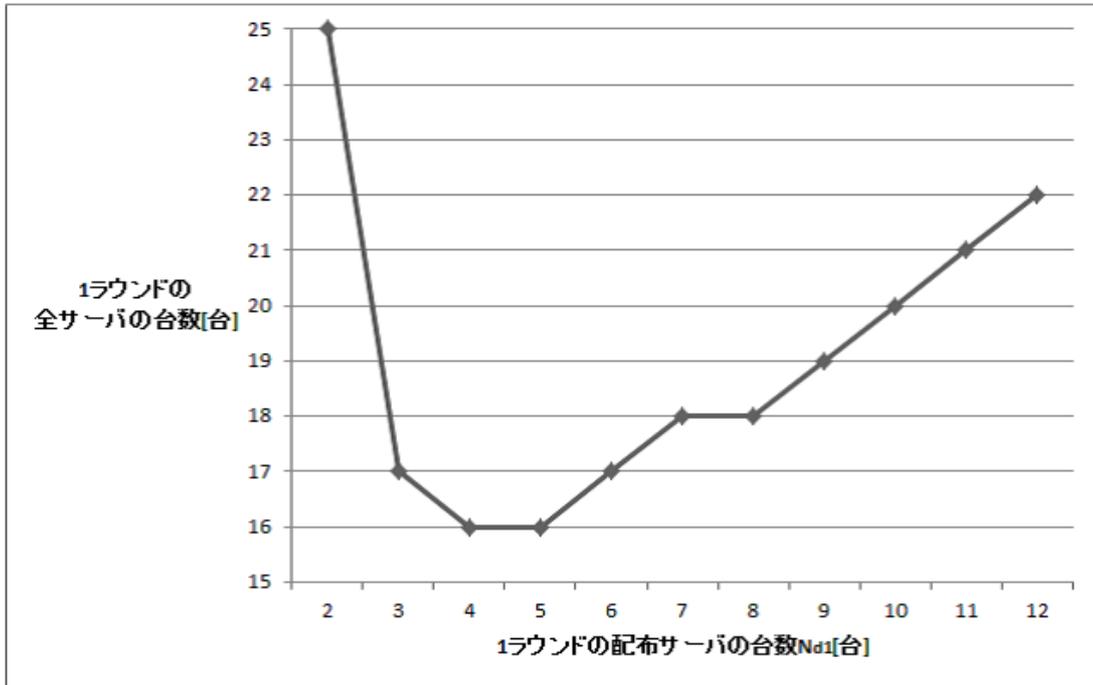


図 3.10 1 ラウンドの全サーバの台数

3.8 全ラウンドのサーバ台数の制約

1 ラウンドの全サーバ台数 N_1 が決まっても、全ラウンドに必要なサーバ台数は決まらない。なぜならば、1 ラウンド終了後にスマートフォンのバッテリーに余りが生じ、その余りをどう使うかで全ラウンドに必要な全サーバの台数が決まるからである。システム運用の負担を減らすためには、 N_1 を減らすことに加えて、全ラウンドに必要な全サーバの台数を減らす事が必要である。

停電期間中にシステムを稼働させるラウンド数を R とする。以下で、全 R ラウンドに必要な全サーバの台数 N_R の下限を求める。

1 ラウンドにおける管理サーバの処理は他のサーバとの通信であり、データ量が少ないため R ラウンドの管理サーバの台数 N_m は 1 台とする。

管理サーバを除いた全サーバの、 R ラウンドの消費電力量 W_R [Wh] は $W_R = W_1 R$ となるため、 N_R の下限は

$$N_R \geq \left\lceil 1 + \frac{W_1 R}{W_S} \right\rceil \quad (3.11)$$

となる。

次に N_R の上限を求める。

1 ラウンドにおける、受取・補完サーバ 1 台の消費電力量は W_{rc1}/N_{rc1} [Wh] となる。よって、1 台の受取・補完サーバが稼働できるラウンド数は

$$\left\lfloor W_S / \left(\frac{W_{rc1}}{N_{rc1}} \right) \right\rfloor = \left\lfloor \frac{N_{rc1} W_S}{W_{rc1}} \right\rfloor$$

となる。 R ラウンドに必要となる受取・補完サーバの台数 N_{rc} は、

$$N_{rc} \leq \left\lceil R / \left\lfloor \frac{N_{rc1} W_S}{W_{rc1}} \right\rfloor \right\rceil N_{rc1} \quad (3.12)$$

となる。同様に、 R ラウンドに必要となる仕分けサーバの台数 N_a と整理サーバの台数 N_o はそれぞれ、

$$N_a \leq \left\lceil R / \left\lfloor \frac{N_{a1} W_S}{W_{a1}} \right\rfloor \right\rceil N_{a1}, \quad N_o \leq \left\lceil R / \left\lfloor \frac{N_{o1} W_S}{W_{o1}} \right\rfloor \right\rceil N_{o1} \quad (3.13)$$

となる。

3.2.5 節で述べた通り、整理サーバから最初に災害情報を受け取った配布サーバ 1 台が最も消費電力量が大きい。その配布サーバ 1 台の 1 ラウンドの処理時間 T_{d1} は、3.5 節で述べた通り、

$$\begin{aligned} T_{d1} &= \frac{ND}{V_{com}} + \frac{[\log_2 N_{d1}]ND}{V_{com}} + \frac{\alpha N^2 D}{N_{d1} V_{com}} \\ &= \frac{(1 + [\log_2 N_{d1}])ND}{V_{com}} + \frac{\alpha N^2 D}{N_{d1} V_{com}} \end{aligned}$$

となる。その配布サーバ 1 台の消費電力量は、 $T_{d1} P_S$ となり、その配布サーバ 1 台が稼働できるラウンド数は、

$$\left\lfloor W_S / T_{d1} P_S \right\rfloor$$

となる。以上より、 R ラウンドに必要となる配布サーバの台数 N_d は

$$N_d \leq \left\lceil R / \left\lfloor \frac{W_S}{T_{d1} P_S} \right\rfloor \right\rceil N_{d1} \quad (3.14)$$

となる。

よって、

$$\begin{aligned} N_R \leq & \left\lceil R / \left\lfloor \frac{N_{rc1} W_S}{W_{rc1}} \right\rfloor \right\rceil N_{rc1} + \left\lceil R / \left\lfloor \frac{N_{a1} W_S}{W_{a1}} \right\rfloor \right\rceil N_{a1} \\ & + \left\lceil R / \left\lfloor \frac{N_{o1} W_S}{W_{o1}} \right\rfloor \right\rceil N_{o1} + \left\lceil R / \left\lfloor \frac{W_S}{T_{d1} P_S} \right\rfloor \right\rceil N_{d1} \end{aligned} \quad (3.15)$$

また、スタッフは被災者数以下でなければならないため、 R ラウンドに必要な全サーバ台数 N_R は

$$N_R = N_m + N_{rc} + N_a + N_o + N_d \leq N \quad (3.16)$$

を満たす必要がある。したがって、全サーバの台数 N_R の上限は、式 (3.15) または式 (3.16) のいずれかで与えられる。

3.9 全ラウンドに必要な全サーバ台数の算出

ここでは、 R ラウンドに必要な全サーバの台数 N_R の下限と上限は以下の通りである。必要なパラメータは、3.7 節のパラメータを利用する。また、1 ラウンドの各サーバ台数は 3.7 節で算出した $N_{rc1} = 6$, $N_{a1} = 1$, $N_{o1} = 4$, $N_{d1} = 4$ を使用する。停電期間を 3 日間、1 日に 2 ラウンド行うことを想定し、停電期間中のラウンド数 R を 6 とする。

パラメータを式 (3.11), 式 (3.15) に代入すると、

$$\begin{aligned} N_R &\geq \left\lceil 1 + \frac{W_1 R}{W_S} \right\rceil \\ &\geq \left\lceil 1 + NDP_S \left(\frac{6 + \alpha N + N_{d1}}{V_{com}} + \frac{1}{V_c} + \frac{1}{V_o} \right) \frac{R}{W_S} \right\rceil \\ &\geq \left\lceil 1 + 200 \times 0.15 \times 1 \left(\frac{6 + 0.5 \times 200 + 4}{450} + \frac{1}{3} + \frac{1}{6} \right) \frac{6}{6} \right\rceil \\ &\geq 24 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_R &\leq \left\lceil R / \left\lfloor \frac{N_{rc1} W_S}{W_{rc1}} \right\rfloor \right\rceil N_{rc1} + \left\lceil R / \left\lfloor \frac{N_{a1} W_S}{W_{a1}} \right\rfloor \right\rceil N_{a1} \\ &\quad + \left\lceil R / \left\lfloor \frac{N_{o1} W_S}{W_{o1}} \right\rfloor \right\rceil N_{o1} + \left\lceil R / \left\lfloor \frac{W_S}{T_{d1} P_S} \right\rfloor \right\rceil N_{d1} \\ &\leq \left\lceil 6 / \left\lfloor \frac{6 \times 6}{10.13} \right\rfloor \right\rceil 6 + \left\lceil 6 / \left\lfloor \frac{1 \times 6}{0.13} \right\rfloor \right\rceil 1 \\ &\quad + \left\lceil 6 / \left\lfloor \frac{4 \times 6}{5.13} \right\rfloor \right\rceil 4 + \left\lceil 6 / \left\lfloor \frac{6}{1.867} \right\rfloor \right\rceil 4 \\ &\leq 30 \end{aligned}$$

これらをまとめると

$$24 \leq N_R \leq 30 \quad (3.17)$$

となる。

以上より，被災者が 200 人の避難所において，各サーバ台数を $N_m = 1$ ， $N_{rc1} = 6$ ， $N_{a1} = 1$ ， $N_{o1} = 4$ ， $N_{d1} = 4$ とおくと，30 人のボランティアスタッフにより 6 ラウンドの災害情報の共有が可能となる。まとめると，1 ラウンドの各サーバ台数と 6 ラウンドの各サーバ台数は表 3.1 の通りである。受取・補完サーバ，整理サーバ，配布サーバについてはそれぞれ 1 度サーバを補充する必要がある。

表 3.1 スタッフ数と所要時間のまとめ

サーバ名	1 ラウンドのサーバ台数	6 ラウンドのサーバ台数
管理サーバ	1	1
受取・補完サーバ	6	12
仕分けサーバ	1	1
整理サーバ	4	8
配布サーバ	4	8
合計	16	30

3.10 通信方式についての考察

スマートフォンで，現在及び将来利用可能と考えられる通信方式を表 3.2 に示す。

表 3.2 通信方式の比較

通信方式	通信速度	有効範囲	通信設定
Wi-Fi(IEEE 802.11g)	54Mbps	100m	必要
Bluetooth 3.0(Class2)	2.1Mbps	10m	必要
NFC	424kbps	5mm	不要
IrDA	1Mbps	0.3m	不要
IrSimple	3.8Mbps	1m	不要
TransferJet	560Mbps	3cm	不要

災害時はモバイルデバイスへの給電が困難となるため，災害情報共有システムで用いる通信方式は消費電力の少ない近接通信が望ましい。避難所内でのみ通信を行うため，通信距離が短くても構わない。また，より多くの被災者に利用してもらうためには，初期設定が不要な通信方式が望ましい。Wi-Fi と Bluetooth は接続時に被災者による設定が必

要である。残った NFC, IrDA, IrSimple, TransferJet の内, NFC は他に比べて通信速度が遅いため適していない。TransferJet はスマートフォンには現在実装されておらず, IrSimple は SHARP 製の一部の機種に実装されているに留まっている。IrDA であれば多くの人が操作可能であり, 十分な通信速度を持っている。したがって, IrDA が最も適している。

3.11 災害情報のデータ形式

災害情報のデータ形式は XML とする。例を図 3.11 に示す。災害情報には画像, タグ, コメントを含んでいる。

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<information>
  <picture path="..."/>
  <tag>...</tag>
  <comment>...</comment>
</information>
```

図 3.11 災害情報のデータ形式

3.12 災害情報の配布手段

配布手段はスマートフォンに配布するだけでなく, 他にもいくつか考えられる。例えば, 地域 FM 局によるラジオ放送や駅の掲示板等が挙げられる。特に地域 FM 局であれば情報が拡散しやすく, 配布サーバへの通信コストも軽減できる。しかし, 地域 FM 局が利用でき, かつ FM ラジオを聴くことができる環境が必要である。

第 4 章

まとめ

大規模災害時に避難所において、災害情報を共有するシステムを提案した。提案システムは被災者が持つスマートフォンをサーバ化することで、安否情報、避難情報、生活情報などの災害情報の共有を実現する。本システムにより、通信インフラストラクチャが使えず避難所にサーバが無い状況においても、避難所内で災害情報を共有できる。

大規模災害時には、停電によりスマートフォンの給電ができず、限られたバッテリーでシステムを稼働しなくてはならない。また、処理能力の低いスマートフォンで大量の災害情報を処理するためには、複数台による並列処理が必要となる。ただし、並列処理のための通信により消費電力が増加するという問題がある。したがって、消費電力と処理時間にはトレードオフが存在する。また、システムの稼働に必要なスマートフォンの台数を抑えることで、システムの運用がより容易になる。

本研究では、災害情報共有に必要な処理時間を一定時間内に抑えつつ、全体のスマートフォンの台数と消費電力を削減するシステム構成を明らかにした。具体的には、災害情報の共有に必要な機能を 5 つに分け、それぞれの機能に必要なスマートフォンの台数を算出した。

本システムではスマートフォンのみによりシステムを構成したため、ネットワークインフラストラクチャの復旧前でも利用できる。また、避難所サーバが無くても利用できる。

本研究により市民参加による災害情報共有システムの実現形態を明らかにした。また、スマートフォンのサーバ化の課題を解くことで、省電力が求められる分野への応用が可能となる。

謝辞

本研究を遂行するにあたっては、いろいろな方々にお世話になりました。

まず、指導教員の鶴岡行雄先生には日頃から熱心なご指導、そしてご鞭撻を賜りました。また、鶴岡先生のみならず、多田好克先生、小宮常康先生、末田欣子先生からも大変貴重なご助言を頂きました。ここに厚く御礼申し上げます。

そして、本研究が行えたことは、研究方針や方法論について議論をし、共に研究生活を送ってきた基盤ソフトウェア学講座のメンバーの皆様のおかげでもあります。本当にありがとうございました。

最後に、貴重な経験をさせて頂いたボランティア団体、東松島市生活復興支援センターの皆様と、大学外での発表と議論をする場を提供して頂いたモバイルマルチメディア通信研究会の皆様に感謝します。

参考文献

- [1] Google Person Finder,
<http://google.org/personfinder/global/home.html>
- [2] sinsai.info, <http://www.sinsai.info/>
- [3] ふんばろう東日本支援プロジェクト
<http://fumbaro.org/>
- [4] mixi, <http://mixi.jp/>
- [5] twitter, <https://twitter.com/>
- [6] 東日本大震災（東北地方太平洋沖地震）@ウィキ
<http://www46.atwiki.jp/earthquakematome/>
- [7] Twitter, <https://twitter.com/>
- [8] 瀬戸山順一，東日本大震災における情報通信分野の主な取組 立法と調査，2011.6，No.317
- [9] ドコモ，災害対策への取り組み
<http://www.nttdocomo.co.jp/corporate/csr/disaster/index.html>
- [10] 山明寛，久田嘉章，村上正浩，座間信作，遠藤真，滝澤修，野田五十樹，関沢 愛，末松孝司，大貝彰，被害情報収集支援システムを用いた災害情報共有に関する研究，日本地震工学会論文集，第9巻，第2号(特集号)，2009
- [11] 鈴木規之，津田徹，斎藤利文，森山京平，ジェーンルイフレスコザモーラ，樫原茂，藤川和利，山口英，SOSCast:救助要請伝搬アプリケーションの設計と実装，信学技報，vol.111，No.384，pp.49-54，2012年
- [12] イーアクセス株式会社 報道資料，
<http://www.eaccess.net/cgi-bin/press.cgi?id=1070>
- [13] Kenichi Mase, How to Deliver Your Message from/to a Disaster Area, IEEE Communications Magazine, January 2011
- [14] Leysia Palen and Sophia B. Liu, Citizen Communications in Crisis:Anticipating a Future of ICT-Supported Public Participation, CHI 2007 Proceedings Emergency Action, pp.727-736
- [15] 内閣府，東日本大震災、阪神・淡路大震災及び中越地震の比較について，2011