

修 士 論 文 の 和 文 要 旨

研究科・専攻	大学院情報システム学研究科 社会知能情報学専攻 博士前期課程		
氏 名	大隅 匡	学籍番号	1551006
論 文 題 目	大地震発生後の災害支援物資におけるアマチュア無線の活用		
<p>要 旨</p> <p>【目的】</p> <p>大地震発生後の災害支援物資の輸送場面において、円滑でかつ偏りが少ない配分をアマチュア無線によって実現できるか、シナリオの作成やシミュレーションを通して検証する。</p> <p>また、上記のシナリオやシミュレーションを、本学所在地の東京都調布市に当てはめることで、実現に向けた課題を見出す。</p> <p>【検証方法】</p> <p>プッシュ型、プル型、今回提案する方法（以下、提案方法）で、簡易シミュレーションを作成する。輸送終了後の物資の在庫数や所要時間を比較して、提案方法が有効であることを示す。</p> <p>提案方法では、無線機を避難所や、物資を保管する集積所などに配置することで、通信網を構築して円滑な情報共有を可能とする。</p> <p>【結果】</p> <p>提案方法が、偏りが少なく適切な物資配分が実現できること、所要時間短縮が可能であることから、有効であることが示された。</p> <p>【調布市における想定】</p> <p>本論文で提案したシナリオやシミュレーションを調布市に当てはめる場合、5つのエリアに分けて災害支援物資を輸送する方法を提案する。また、本学が調布市に貢献できる可能性にも言及する。</p> <p>【課題】</p> <p>提案方法において、極端に避難者が多い避難所が存在する場合、災害支援物資を十分に輸送できず不足が発生することが分かった。広範囲で連絡できるように体制を見直すなど、検討する必要がある。</p>			

平成28年度 修士論文

大地震発生後の災害支援物資における
アマチュア無線の活用

電気通信大学

大学院情報システム学研究科 社会知能情報学専攻

学 籍 番 号 : 1551006

氏 名 : 大隅 匡

主任指導教員 : 田中 健次 教授

指 導 教 員 : 山本 佳世子 准教授

指 導 教 員 : 栗原 聡 教授

提 出 年 月 日 : 平成29年1月26日

目次

第1章	研究背景と目的	1
1.1	研究背景	1
1.2	熊本地震における災害支援物資の輸送	1
1.3	研究目的	1
1.4	先行研究	2
第2章	アマチュア無線とは	3
2.1	概要	3
2.2	メリット	3
2.3	過去の大地震における活用事例	5
第3章	新しい輸送方法の提案	6
3.1	内容	6
3.2	導入による効果	8
3.3	輸送方法の比較	9
第4章	提案方法の有効性の検証	11
4.1	設定内容	11
4.2	結果	12
4.3	考察	16
4.4	追加検証	20
第5章	調布市における災害への取り組みとモデル化	24
5.1	備蓄物資	24
5.2	物資が不足する場合の供給方法	24
5.3	災害発生時の連絡手段	25
5.4	本学や市内の学校との提携	26
5.5	新しい輸送方法に基づく運用の検討	26
5.6	想定内容	35
第6章	実現に向けた課題	39
6.1	事前の打ち合わせ	39
6.2	アマチュア無線の資格取得	39
6.3	本番を想定した運用訓練	39
6.4	他の通信手段による運用及び考察	39
第7章	終わりに	41
謝辞		43
参考文献		44

第 1 章 研究背景と目的

1.1 研究背景

阪神・淡路大震災や東日本大震災のような大地震が発生すると、音声電話やインターネットなど日常生活で当たり前のようになっている通信手段は、停電や通信ケーブル切断などにより使用できなくなる可能性がある。使用できても、特に音声電話は通信規制がかかる可能性があり、実際に東日本大震災では、携帯電話で通信規制が行われた。これらによって、けが人発生など緊急時に連絡が取れない可能性がある。また、これらに加えて、土砂崩れなどで道路が寸断した場合、完全に孤立して支援が受けられなくなる可能性がある。命の危険にさらされることもある。

普段はあまり目を向けられていないが、大地震発生後に度々注目が集まる通信手段として、アマチュア無線がある。メリットは、基地局や中継局が無くても無線機同士で直接通信可能で、停電時でもリアルタイムに連絡が取れることだ。実際に、阪神・淡路大震災や東日本大震災において、被災者救助や災害支援物資輸送に活用された。

問題点として、具体的なメリットや課題が提示されておらず、シミュレーションや実証実験がほとんど行われていないことがある。

1.2 熊本地震における災害支援物資の輸送

平成 28 年 4 月 14 日に発生した熊本地震では、災害支援物資の分配に偏りがあったことが問題となった。

同月 16 日に、政府は避難者を約 10 万人と想定して 3 日間分の食料約 90 万食を送る、プッシュ型支援を発表した[1]。同月 18 日には 180 万食に倍増した[2]。

しかし、行政職員が対応しきれず[1]、スムーズに災害支援物資を届けることができなかった。熊本県民総合運動公園を災害支援物資受入拠点として、熊本市役所職員を 10 人派遣したが、荷捌きの経験が無く手に迫える状況では無かった。その結果、トラックが最大 30 台も並んだまま、何時間も動けなかった[3]。また、プッシュ型支援について「国が主導しているので、どこに何が届くのか分からない」と熊本県の担当者は、困惑を見せていた[2]。

また、災害支援物資の配布状況が避難所によって差が大きいことや需給のミスマッチが、問題となった。被災地から、「水が過剰に配送された」、「食料品は足りているが、歯ブラシなど日用品が足りない」[2]、「衛生用品、食料などが無い」[4]という声があった。Twitter 上には、「物資を回してください」[3]という投稿もあった。

以上から、物資が十分行き渡っていない、意思疎通不足が問題になっていると考えられる。

1.3 研究目的

大地震発生後の災害支援物資の輸送場面において、円滑でかつ偏りが少ない配分をアマチュア無線によって実現できるか、シナリオの作成やシミュレーションを通して検証する。

また、上記のシナリオやシミュレーションを、本学所在地の東京都調布市に当てはめることで、実現に向けた課題を見出す。

1.4 先行研究

アマチュア無線と災害支援物資の 2 点に分けて、述べる。

始めにアマチュア無線の活用に関する先行研究として、上野ら[5]の研究がある。上野らは、岩手・宮城内陸地震の事例から、災害時の住民の通信手段としてアマチュア無線に着目しており、コンピュータで無線周波数の伝搬を予測した結果、山間部を除く地域では半径 20km 程度なら通信環境が良好となった。課題として、アマチュア無線の資格取得後の教育や通信訓練が重要だと、述べている。

次に災害支援物資の流れに関する先行研究として、桑原ら[6]の研究がある。桑原らは、東日本大震災における支援物資の流れに関する定量的な記録の収集と分析を行い、災害支援物資が一次集積所を経由する割合が県によって差があること、需給のミスマッチが発生していること、情報通信手段の早期の確保が課題だと、述べている。

本論文では上記の課題の内、アマチュア無線の資格取得後の教育は、通信技術向上の観点から重要と考え、その方法を述べる。災害支援物資では、集積所を経由する輸送方法や需給のミスマッチをアマチュア無線で解決する方法を述べる。

第2章 アマチュア無線とは

本章では、知名度はやや低いものの、大地震発生後に度々注目されるアマチュア無線について述べる。

2.1 概要

アマチュア無線は、「金銭上の利益のためでなく、もっぱら個人的な無線技術の興味によって行う自己訓練、通信及び技術的研究の業務をいう。」と、電波法施行規則で定められている[7]。しかし、特定小電力トランシーバーと違い、国が認める「無線従事者免許」が必要で、一度取得すると生涯有効である。資格取得後に無線機とアンテナを購入し、総務省へ手続きすると、英数字6文字で表される「コールサイン」が割り当てられて、初めて通信可能となる。無線機には、電源コンセントで動作する固定型と、バッテリーのみでも動作可能で持ち運びが容易な携帯型に、主に分類される。

通信方法は主に音声電話で、発信ボタンを押すと、周波数を合わせた他無線機に通話内容が流れる。その他に電鍵（キー）を用いるモールス符号が存在する。周波数は 135kHz～10.4GHz の一部[8]で、特に 144MHz や 430MHz が携帯型無線機では主流で、入門用としても適している。

2.2 メリット

① 無線機同士で通信可能

携帯電話や固定電話、インターネットは、基地局や中継局などを経由して通信するため、基地局などが停電すると使用できなくなる。しかし、アマチュア無線はこれらを介さず、周波数を合わせるのみで、複数の無線機同士で直接通信できる。

② 利用者の少なさ

平成28年3月時点での携帯電話契約数は、約1億5648万700件[9]。これに対して、平成27年度のアマチュア無線運用可能資格総取得者数は367万6185人[10]と、少ない。利用者が少ないことから、混雑が少なく通信しやすい。

表 2-1 携帯電話契約者数

キャリア	契約者数
NTT docomo	70,963,500
au	45,909,600
Softbank	39,367,600
Y!mobile	
合計	156,480,700

表 2-2 免許取得者数

免許の名称	人数
第 1 級総合無線通信士	14,200
第 2 級総合無線通信士	18,717
第 3 級総合無線通信士	31,347
第 1 級海上無線通信士	1,173
第 2 級海上無線通信士	2,642
第 4 級海上無線通信士	53,467
航空無線通信士	53,987
第 1 級陸上無線技術士	42,537
第 2 級陸上無線技術士	33,124
第 1 級アマチュア無線技士	31,544
第 2 級アマチュア無線技士	78,818
第 3 級アマチュア無線技士	232,686
第 4 級アマチュア無線技士	3,081,923
合計	3,676,165

③ 通信内容の信頼性が高い

アマチュア無線の利用者は、国家資格の免許保有者のみである。免許取得には、無線の工学的知識と法令に関する知識を勉強する必要がある。法令を遵守して運用する必要があり、本論文で提案する新しい輸送方法では、事前の打ち合わせで顔合わせしており、信頼性は高いと思われる。しかし、心無い妨害者や無資格者による不法無線局への対策も検討する必要がある。

④ 連絡所要時間の短縮

一般電話は 2 者間通話が原則で、相手は特定の電話番号のみである。携帯電話事業者によっては 3 者以上間通話も提供している[11][12]。一般電話で複数箇所にかける場合、その箇所数分をかける必要がある。

アマチュア無線は周波数を合わせて一斉に通信できるため、連絡所要時間は一般電話 1 回分のみとなり、短縮を実現できる。

⑤ 他拠点との円滑な情報交換

一般電話ではできない、他箇所同士の通信内容の傍受が可能となる。内容に疑義が生じた場合は（割込）通信することで、確認や内容修正が可能となり、円滑な情報交換・共有が実現できる。

2.3 過去の大地震における活用事例

前述のメリットを活かして、大地震で大いに役に立った事例を紹介する。

平成 7 年 1 月 17 日に発生した阪神・淡路大震災では、被災地である兵庫県神戸市にて、発生後から 1 週間は建物や道路の損壊状況の報告、他無線局や行政機関にまとめた情報を送信、同年 2 月初旬からは無線機メーカーから提供された無線機 260 台を避難所などに置き、災害支援物資の数量調整や仮設トイレの調達、医療情報の提供などに活用した[13]。

平成 20 年 6 月 14 日に発生した岩手・宮城内陸地震では、岩手県一関市巖美町須川岳にて、橋の落下などで孤立地帯が発生し、携帯電話の電波が届きにくく通信制限があり状況把握が難しかった状況の中で、アマチュア無線によって孤立地帯の人数や安否などを同市内在住の他住民に連絡した[14]。

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では、岩手県下閉伊郡山田町田の浜地区にて、避難先の元ホテルに森林火災が迫り、携帯電話が使用できない状況の中で、アマチュア無線で救助を何度も求めた結果、同町副町長につながり、100 人以上が自衛隊によって救助された[15]。また、岩手県大船渡市では、固定電話、携帯電話、防災無線が津波で使えず、職員を現地に向かわせて片道 1 時間程で状況確認を行っていたが、友好都市の神奈川県相模原市の市役所職員で構成されている「相模原市役所アマチュア無線クラブ」及び工事業者がアンテナの設置・点検を行い、通信網を敷くことによって、情報が早く届くようにした。なお、防災無線は同月下旬に復旧し、使用していた無線設備は全て大船渡市へ寄贈した[16][17]。

第3章 新しい輸送方法の提案

本章では、本論文で提案する輸送方法の詳細を述べる。

3.1 内容

ある市を想定して、従来の災害支援物資の輸送の問題点を指摘し、新しい方法を提案する。

本章では、国土交通省 国土交通政策研究所が発行している「支援物資供給の手引き」の「Ⅰ．全体概要編」[18]、「Ⅱ．事前準備編」[19]、「Ⅲ．支援物資業務編」[20]を参考にして

① 市内の建物

災害支援物資を積載したヘリコプターが発着陸する飛行場が1か所ある。

飛行場からの災害支援物資を入庫・保管、避難所などへ出荷する集積所が3か所あり、トラックが1台ずつ配置されている。

集積所1か所につき避難所3か所を管理し、これらを1グループとする。計3グループで、避難所は合計で9か所となる。

② 使用する無線機

各集積所、各避難所に携帯型を1台ずつ配備する。

③ 従来の輸送方法

プッシュ型とプル型である。トラックを用いて災害支援物資を輸送する。

輸送ルート及び階層図は図3-1の通り。集積所から飛行場へ行き災害支援物資を受け取った後、各避難所へ行き集積所に戻るまでを、1ルートとする。詳細を説明する。

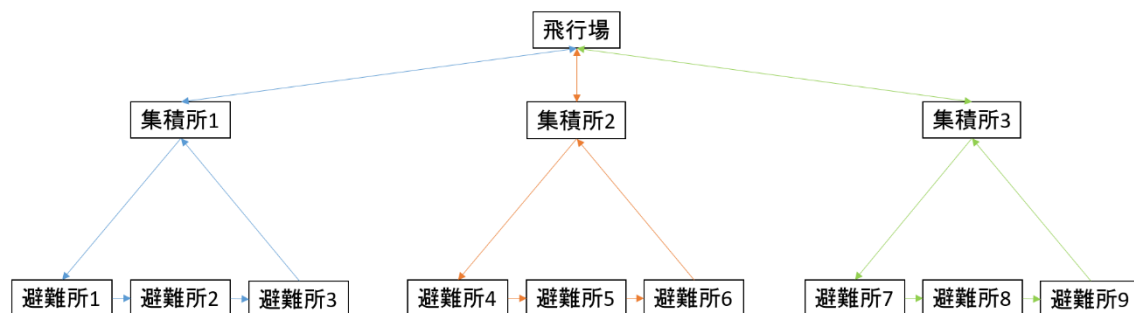


図 3-1 階層図

I. プッシュ型

「支援物資のニーズ情報が十分に得られない被災地へ、ニーズ予測に基づき緊急に物資を供給する場合の輸送方法」と定義されている[18]。

避難所や市町村役所などと連絡できず、ニーズが把握できない状況でも迅速に災害支援物資が届くのが利点である。

しかし、ニーズ予測を誤ったり、避難者数が急増したり、避難者の質（予め災害対策をしているか、性格や年齢など）によっては十分に行き渡らない、必要な災害支援物資が届かない、過剰に届くなどで、結果的には何度も輸送して手間取ってしまう可能性があることが、欠点である。

また、受入側の被災地で混乱発生、対応する行政職員や災害発生時の提携会社社員が十分にいないために、災害支援物資の受入が滞ってしまい、結果的に供給が大きく遅れてしまうことも、また欠点である。

II. プル型

「支援物資のニーズ情報が十分に得られる被災地へ、ニーズに応じて物資を供給する通常の物資支援の場合の輸送方法」と定義されている[18]。

必要なものを連絡すると、無駄が無くほぼ確実に届けてもらえることが利点である。

しかし、被災地で混乱発生や避難所などへ連絡が取れない場合はニーズの把握に時間を要する可能性や、在庫によって取り寄せになる可能性があり、こちらも結果的に供給が大きく遅れてしまうことが、欠点である。

④ 提案方法

I. 定義

プッシュ型に加えて、避難所間で災害支援物資の数量を調整する。

II. 概要

先程定義したグループ内でアマチュア無線を用いて、避難所間で災害支援物資の数量調整や物資譲渡などの連絡をして、偏りが少なく時間をかけずに災害支援物資が行き渡るようにする。

災害支援物資の輸送や譲渡はトラックを用いて、アマチュア無線の通信は周辺の地域住民で有資格者とする。

III. 通信内容

一例を、順番に示す。

表 3-1 通信内容

番号	◇避難所（避難所物資担当者）の対応 ◆集積所（物資調整担当者）の対応 △トラックの対応 ▲市の対応	アマチュア無線の通信状況 □避難所からの連絡内容 ■集積所からの連絡内容	○諸注意 ●課題
①	【▲県などと連絡を取る】 ヘリコプターで災害支援物資を輸送		○①はプル型のみ使用 ○県との連絡は、アマチュア無

	する連絡が入る。品名や数量は不明		線以外の手段を使用している
②	【▲集積所へ連絡】 △集積所から飛行場へ向かう	【■一斉連絡】 左記内容を各避難所へ連絡	
③	【飛行場に災害支援物資到着】 △受け取り、集積所へ戻る		
④	【集積所に災害支援物資到着】 ◆品名と数量を確認		
⑤	【△各避難所へ輸送開始】 【◆現在の状況を報告】 ◇無線運用者へ右記を報告 ◆無線運用者から報告を受け、配分調整	【一斉連絡】 ■左記内容を各避難所へ連絡 □以下を集積所へ報告 ・現在の物資在庫状況 ・避難者数 ・希望の物資	○物資調整担当者が中心的役割となって数量調整、配分見直しを行う ○次回輸送予定日時までの数量分を確保できるよう、議論する
⑥	【◇物資不足の可能性】 ◇無線運用者へ以下を報告 ・不足している品名 ・必要な数量	【不足の内容詳細把握】 □避難所運営要員から左記を聞き取り、集積所へ報告	○各避難所から不足の旨の連絡が、この後多く来ると予想。
⑦	【◆避難所への災害支援物資を他避難所へ変更】 【◆避難所に備蓄している物資を他避難所へ譲渡】 無線運用者に報告	【■左記内容の報告と避難所へ連絡】 了承も取る	○左記の連絡は、輸送中や物資受取中に多く発生すると予想される ●突発的な連絡にも対応できるようにする
⑧	【△避難所へ到着】 物資の受取数量変更や譲渡の連絡を避難所物資担当者から受ける	【□物資受取完了】	
⑨	【△避難所を出発】	【□出発済み】	
⑩	(⑥～⑨の繰り返し)		
⑪	【全避難所への輸送終了】 △集積所へ戻る。輸送した数量を物資調整担当者へ報告 ◆上記の報告を受け、とりまとめる。 物資が余っている場合、トラックから降ろして保管場所へ移動	【■輸送終了を一斉連絡】 左記内容も一斉連絡	○1 ルートで物資の数量が必要数量に達せず、2 回目の輸送が発生する場合、⑤、⑧、⑨を行う

3.2 導入による効果

各避難所が積極的に議論に参加し、共助の精神を持つことが前提となる。

① 円滑な情報共有の実現

近隣の他避難所の物資の数量や避難者数、避難者の内訳（性別や年代など）、これらに基づく物資のニーズなどの情報をその場にしながら把握、共有できる。内容の修正や異議を出すこともできる。

② 偏りが少なく適切な物資配分の実現

各避難所に応じた偏りの少ない物資の配分を直接議論できる。この結果、過剰な在庫や極端な不足を防げる。

③ 避難者の不平・不満の減少

避難所で配られている物資に差があるなど、不平・不満を減らすことが可能となる。

④ 労力の減少や所要時間の短縮

極端に避難者数が多い状況では無く、全避難所に十分に災害支援物資を輸送できれば、追加で輸送や取り寄せをしなくて済む。この結果、トラック輸送に関わる労力や燃料の削減が可能である。

⑤ 状況に応じた柔軟かつ迅速な行動

災害支援物資の到着が分かる場合、予め必要な人員を配置することで、手早く災害支援物資の受取や配布が可能になる。受取が滞ることが無くなる。

3.3 輸送方法の比較

各輸送方法を比較し、表にまとめた。

表 3-2 各輸送方法の比較

	プッシュ型	プル型	提案方法
対象避難所	全て	必要箇所のみ	必要箇所のみ
補充の意思決定	政府や都道府県	各拠点	政府や都道府県
所要時間	かかる	かかる	かかりにくい
連絡	取れない	取れる	取れる
輸送終了後の数量	偏る	偏らない	偏りにくい
避難所間数量調整	行わない	行わない	行う

また、所要時間の目安を図で表した。

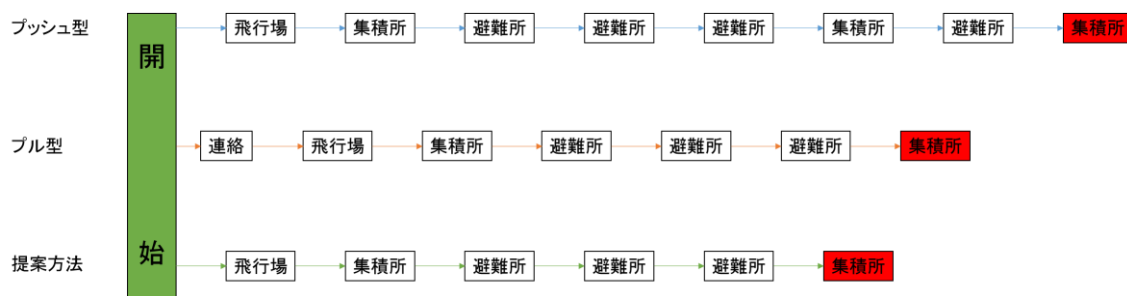


図 3-2 所要時間の比較

開始を緑色、終了を赤色で示す。開始から終了までの長さが短いほど、所要時間は短い。

プッシュ型では1回目の輸送終了後、物資が不足している避難所が1か所存在する場合を想定している。各々の所要時間は全ての輸送方法とも同一とする。

この結果、提案方法が一番短いことが分かる。

しかし、提案方法で1回目の輸送終了後、物資が不足している避難所が存在して2回目の輸送が発生する場合、所要時間が増大する。避難者が極端に多い避難所が存在する場合が当てはまる。プッシュ型では物資が不足している避難所が多いほど、所要時間が増大する。プル型では、連絡や物資到着に時間がかかるほど、所要時間が増大する。

第 4 章 提案方法の有効性の検証

4.1 設定内容

プッシュ型、プル型、提案方法で、先程の想定を基にした簡易シミュレーションを作成する。輸送終了後の物資の在庫数や所要時間を比較して、提案方法が有効であることを示す。

市内の建物は、第 3 章で述べたものと同一である。

各避難所の物資の在庫状況を、数値で表す。物資の品名は、物資 A、物資 B、物資 C、物資 D とする。各避難所は 100 人収容可能で、1 人 1 日過ごすために必要な各物資の数量を 1 個とする。1 人 3 日間の場合は 3 個となる。

トラックに積載する災害支援物資の数量は、避難所 3 か所へ物資 A～D を 3 日間 100 人分、計 3600 個とする。

各避難所の輸送前の在庫状況を後述する。輸送後の在庫数が、各物資とも 350 個以上であれば輸送は終了となり、350 個未満の場合はもう一度輸送する。350 個とした理由は、3 日間過ごすための必要な数量に加え、避難者数の増加や予備の物資保管に対応するためである。

プッシュ型で、輸送終了後に物資の数量が不足している場合は、2 回目の輸送が必要となる。

所要時間は、飛行場～各集積所間は 30 分、各集積所～各避難所間は 30 分、隣同士の各避難所間は 15 分、物資の積み下ろし及び整理作業は 15 分とする。これらとは別に、プル型において、各避難所～各集積所と、各集積所～県庁へ連絡する所要時間は 10 分、飛行場に災害支援物資が到着してトラックへ積載する所要時間は 120 分とする。

輸送ルートを以下に示す。

- ①各集積所を出発して、飛行場へ行く
- ②飛行場で災害支援物資を受け取り、各集積所へ戻る
- ③各集積所では、物資や数量を確認し、必要に応じて保管する物資と各避難所へ輸送する物資に分別する
- ④各避難所へ向かい、物資を輸送、配布する
- ⑤全避難所へ輸送完了後、各集積所へ戻る

図 4-1 は輸送ルートを表している。①～⑤は集積所 1 内でのルートのみ記載で、集積所 2, 3 は 1 と同一のため省略する。

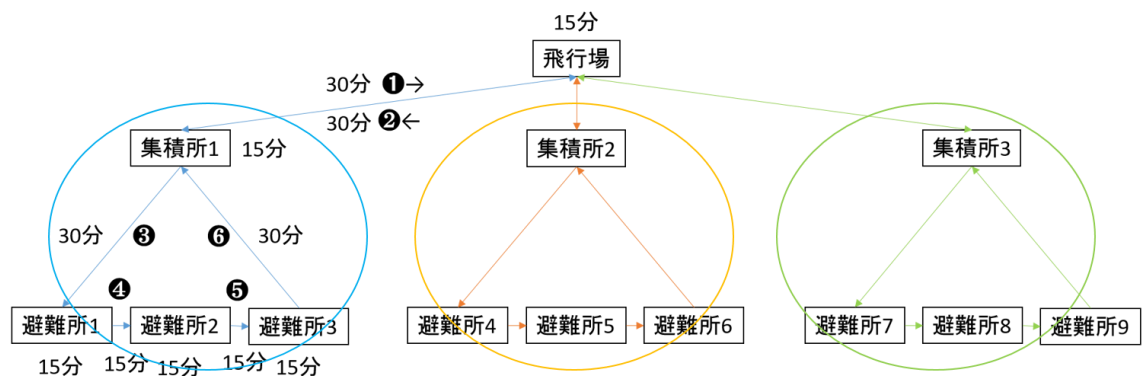


図 4-1 階層図及び輸送ルート

表 4-1 は、各避難所の輸送開始前の在庫状況を表す。

縦軸は物資 A～D で「物資」を省略してアルファベットのみ、横軸は避難所 1～9 で「避難所」を省略して数字のみ表記している。単位は「個」である。

表 4-1 各避難所の在庫数（輸送開始前）

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	100	100	100	25	100	75	25	25	100
B	100	25	75	75	100	25	25	100	100
C	75	100	75	100	100	75	100	75	50
D	100	100	75	75	75	50	100	100	75

4.2 結果

① 輸送終了後の各避難所の在庫状況

I. プッシュ型

1 回目の輸送終了後は、以下の通り。

表 4-2 輸送終了後（1 回目）の在庫数

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	400	400	400	325	400	375	325	325	400
B	400	325	375	375	400	325	325	400	400
C	375	400	375	400	400	375	400	375	350
D	400	400	375	375	375	350	400	400	375

350 個に達していない避難所（赤字で表記）が 5 か所も存在するため、2 回目の輸送が発生。2 回目の輸送終了後の在庫状況は、以下の通り。

表 4-3 輸送終了後（2 回目）の在庫数

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	400	400	400	350	400	375	350	350	400
B	400	350	375	375	400	350	350	400	400
C	375	400	375	400	400	375	400	375	350
D	400	400	375	375	375	350	400	400	375

II. プル型

輸送終了後は、以下の通り。

表 4-4 輸送終了後の在庫数

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	350	350	350	350	350	350	350	350	350
B	350	350	350	350	350	350	350	350	350
C	350	350	350	350	350	350	350	350	350
D	350	350	350	350	350	350	350	350	350

III. 提案方法

各集積所、避難所との無線のやり取りを述べる。

避難所 4 では物資 A が 25 個、避難所 7 では物資 A, B が 25 個しか無い。それぞれ 300 個補充しても 325 個となり、350 個には達しない。そのような状況をトラック到着前に避難所 4, 7 では物資調整担当者から報告を受け、連絡する。物資調整担当者の指示を受け、集積所 1, 2 では、無線で他避難所全ての在庫状況を確認すると同時に、物資に余裕がある場合は避難所 4, 7 への配分に変更できるかどうか連絡する。

避難所 4 では、隣の避難所 5 に物資 A が 100 個あり、少なくとも 250 個補充すれば良いことから回して良い旨の連絡が入り、決定。

避難所 7 では、物資 B は避難所 8 の輸送分を回すことで決定したものの、物資 A は隣の避難所 8 においても 25 個しかないため回すことが難しいと連絡があったが、避難所 9 から、「物資 A が 100 個あり、本来受取る物資 300 個の内、避難所 7, 8 に 25 個ずつ回せば良い」という連絡が入り、決定。

トラックが到着後、変更後の数量で避難所 1, 4, 7 へ物資を渡す。

避難所 1, 4, 7 への輸送終了後は、以下の通り。緑色の数値は、輸送済みを表す。

表 4-5 避難所 1, 4, 7 での輸送終了後の在庫数

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	400	100	100	350	100	75	350	25	100
B	400	25	75	375	100	25	350	100	100
C	375	100	75	400	100	75	400	75	50
D	400	100	75	375	75	50	400	100	75

トラック出発直前に避難所 2 から物資 B が 25 個しか無く、300 個補充しても足りないという急ぎの連絡が集積所 2 に入る。次に輸送予定の避難所 3 へ連絡を取り、物資 B の在庫状況を確認してもらう。結果、75 個あることから避難所 2 へ回しても良い旨の連絡が入り、問題は解消した。

この後行く避難所全てに在庫状況を確認したところ、避難所 6 で物資 B が 25 個しか無く不足していることが判明。避難所 5 に問い合わせたところ、100 個あり回して良いという連絡があり、25 個を避難所 6 に回すことが決定した。

この影響で、避難所 1, 4, 7 の積み下ろし時間は通常の 15 分の他に、無線連絡と数量調整作業が合わせて 6 分追加でかかり、計 21 分となった。

表 4-6 避難所 2, 5, 8 での輸送終了後の在庫数

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	400	400	100	350	375	75	350	350	100
B	400	350	75	375	375	25	350	375	100
C	375	400	75	400	400	75	400	375	50
D	400	400	75	375	375	50	400	400	75

避難所 3, 6, 9 へ配布する数量は先程決めた通りである。以下の表になり、全ての輸送が終了する。

表 4-7 全ての輸送終了後の在庫数

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	400	400	400	350	375	375	350	350	350
B	400	350	350	375	375	350	350	375	400
C	375	400	375	400	400	375	400	375	350
D	400	400	375	375	375	350	400	400	375

② 所要時間

I. プッシュ型

時間がかかったものを全て列挙すると、以下の表の通りになる。

表 4-8 プッシュ型の所要時間

内容	所要時間 (分)
各集積所から飛行場への移動	30
飛行場での物資積載作業	15
飛行場から各集積所への移動	30
各集積所での数量調整	15
各集積所から避難所 1, 4, 7 への移動	30

避難所 1, 4, 7 での物資積み下ろし	15
避難所 1, 4, 7 から避難所 2, 5, 8 への移動	15
避難所 2, 5, 8 での物資積み下ろし	15
避難所 2, 5, 8 から避難所 3, 6, 9 への移動	15
避難所 3, 6, 9 での物資積み下ろし	15
避難所 3, 6, 9 から各集積所への移動	30
(2 回目の輸送開始)	
各集積所での物資の積載	15
各集積所から避難所 2, 4, 7 への移動	30
避難所 2, 4, 7 での物資積み下ろし	15
(以下 3 つが同時進行、合計所要時間の計算には最も時間のかかった 2 番目のみ使用)	
避難所 2 から集積所 1 への移動	30
避難所 4 から避難所 6 への移動	30
避難所 6 での物資積み下ろし	15
避難所 6 から集積所 2 への移動	30
避難所 7 から避難所 8 への移動	15
避難所 8 での物資積み下ろし	15
避難所 8 から集積所 3 への移動	30
合計所要時間	360

II. プル型

表 4-9 プル型の所要時間

内容	所要時間 (分)
各避難所から各集積所への電話	10×3
各集積所から行政への電話	10
各集積所から飛行場への移動	30
飛行場での物資選定及び積載作業	120
飛行場から各集積所への移動	30
各集積所での物資数量調整	15
各集積所から避難所 1, 4, 7 への移動	30
避難所 1, 4, 7 での物資積み下ろし	15
避難所 1, 4, 7 から避難所 2, 5, 8 への移動	15
避難所 2, 5, 8 での物資積み下ろし	15
避難所 2, 5, 8 から避難所 3, 6, 9 への移動	15

避難所 3, 6, 9 での物資積み下ろし	15
避難所 3, 6, 9 から各集積所への移動	30
合計所要時間	370

III. 提案方法

表 4-10 提案方法の所要時間

内容	所要時間（分）
各集積所から飛行場への移動	30
飛行場での物資積載作業	15
飛行場から各集積所への移動	30
各集積所での物資数量調整	15
各集積所から避難所 1, 4, 7 への移動	30
避難所 1, 4, 7 での物資積み下ろし	15
無線連絡と数量調整作業	6
避難所 1, 4, 7 から避難所 2, 5, 8 への移動	15
避難所 2, 5, 8 での物資積み下ろし	15
避難所 2, 5, 8 から避難所 3, 6, 9 への移動	15
避難所 3, 6, 9 での物資積み下ろし	15
避難所 3, 6, 9 から各集積所への移動	30
合計所要時間	231

4.3 考察

① 充足率の導入

ここで、充足率を導入して以下の計算式で算出した。導入理由として、個数と比べて一目で在庫が足りているかを分かりやすくするためである。

$$(\text{各避難所の各物資在庫数}) / (\text{各物資の必要数量}) = (\text{充足率})$$

ここでの「各物資の必要数量」は、350 である。充足率が 1 未満であれば不足しており、1 以上であれば足りている。

輸送開始前の充足率を計算する。

表 4-11 輸送開始前の充足率

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均
A	0.286	0.286	0.286	0.071	0.286	0.214	0.071	0.071	0.286	0.206
B	0.286	0.071	0.214	0.214	0.286	0.071	0.071	0.286	0.286	0.198
C	0.214	0.286	0.214	0.286	0.286	0.214	0.286	0.214	0.143	0.238

D	0.286	0.286	0.214	0.214	0.214	0.143	0.286	0.286	0.214	0.238
平均	0.268	0.232	0.232	0.196	0.268	0.161	0.179	0.214	0.232	

I. プッシュ型

1 回目の輸送終了後の充足率は、以下の通り。赤字は、1 未満を表す。

表 4-12 輸送終了後（1 回目）の充足率

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均
A	1.143	1.143	1.143	0.929	1.143	1.071	0.929	0.929	1.143	1.063
B	1.143	0.929	1.071	1.071	1.143	0.929	0.929	1.143	1.143	1.056
C	1.071	1.143	1.071	1.143	1.143	1.071	1.143	1.071	1.000	1.095
D	1.143	1.143	1.071	1.071	1.071	1.000	1.143	1.143	1.071	1.095
平均	1.125	1.089	1.089	1.054	1.125	1.018	1.036	1.071	1.089	

2 回目の輸送終了後の充足率は、以下の通り。

表 4-13 輸送終了後（2 回目）の充足率

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均
A	1.143	1.143	1.143	1.000	1.143	1.071	1.000	1.000	1.143	1.087
B	1.143	1.000	1.071	1.071	1.143	1.000	1.000	1.143	1.143	1.079
C	1.071	1.143	1.071	1.143	1.143	1.071	1.143	1.071	1.000	1.095
D	1.143	1.143	1.071	1.071	1.071	1.000	1.143	1.143	1.071	1.095
平均	1.125	1.107	1.089	1.071	1.125	1.036	1.071	1.089	1.089	

II. プル型

表 4-14 輸送終了後の充足率

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均
A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
D	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
平均	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

III. 提案方法

表 4-15 輸送終了後の充足率

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均
A	1.143	1.143	1.143	1.000	1.071	1.071	1.000	1.000	1.000	1.063

B	1.143	1.000	1.000	1.071	1.071	1.000	1.000	1.071	1.143	1.056
C	1.071	1.143	1.071	1.143	1.143	1.071	1.143	1.071	1.000	1.095
D	1.143	1.143	1.071	1.071	1.071	1.000	1.143	1.143	1.071	1.095
平均	1.125	1.107	1.071	1.071	1.089	1.036	1.071	1.071	1.054	

② 充足率からの考察

プッシュ型では、1回目の輸送終了後では充足率1にわずかに約0.07足りないところが6か所ある。他の災害支援物資の充足率も1.2を超えているところが無く、不足は発生しているものの予測した通りに災害支援物資が届いており、在庫が過多になっていることは無い。

プル型では、要望を聞いた上で補充する方法であり、充足率は全て1である。

提案方法では、充足率はプッシュ型と比較して少々低いところが存在するものの、1.15以上のところはない。全体的に大差はない。

③ 所要時間

今回、提案方法が一番短いことが分かった。

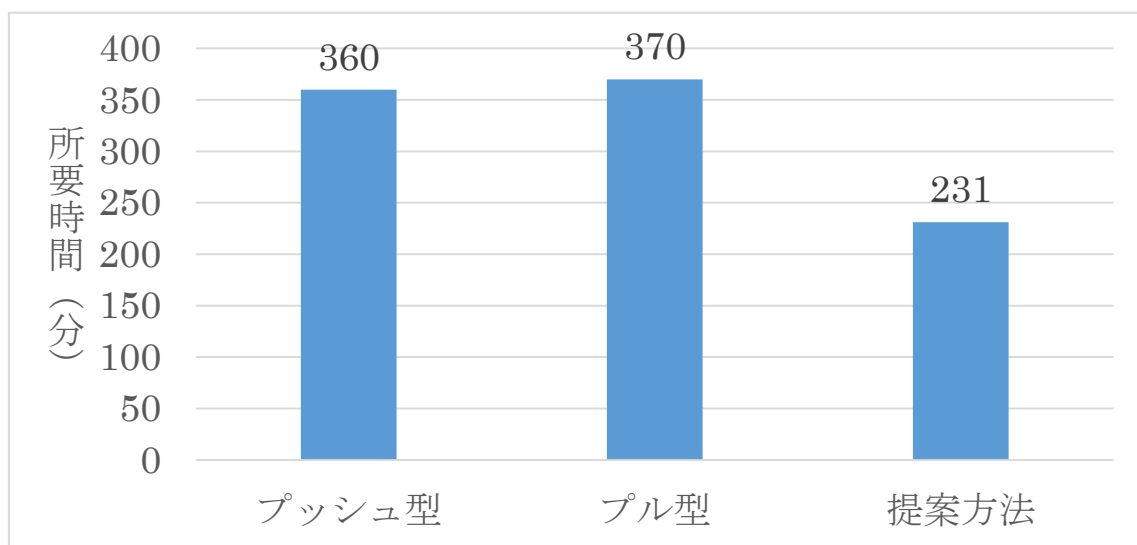


図 4-2 各輸送方法の所要時間

また、避難所7, 8, 9における物資Aの在庫数の変化を、折れ線グラフで表した。

プッシュ型とプル型では、必要数量の350に達するのに時間がかかっていることが分かる。

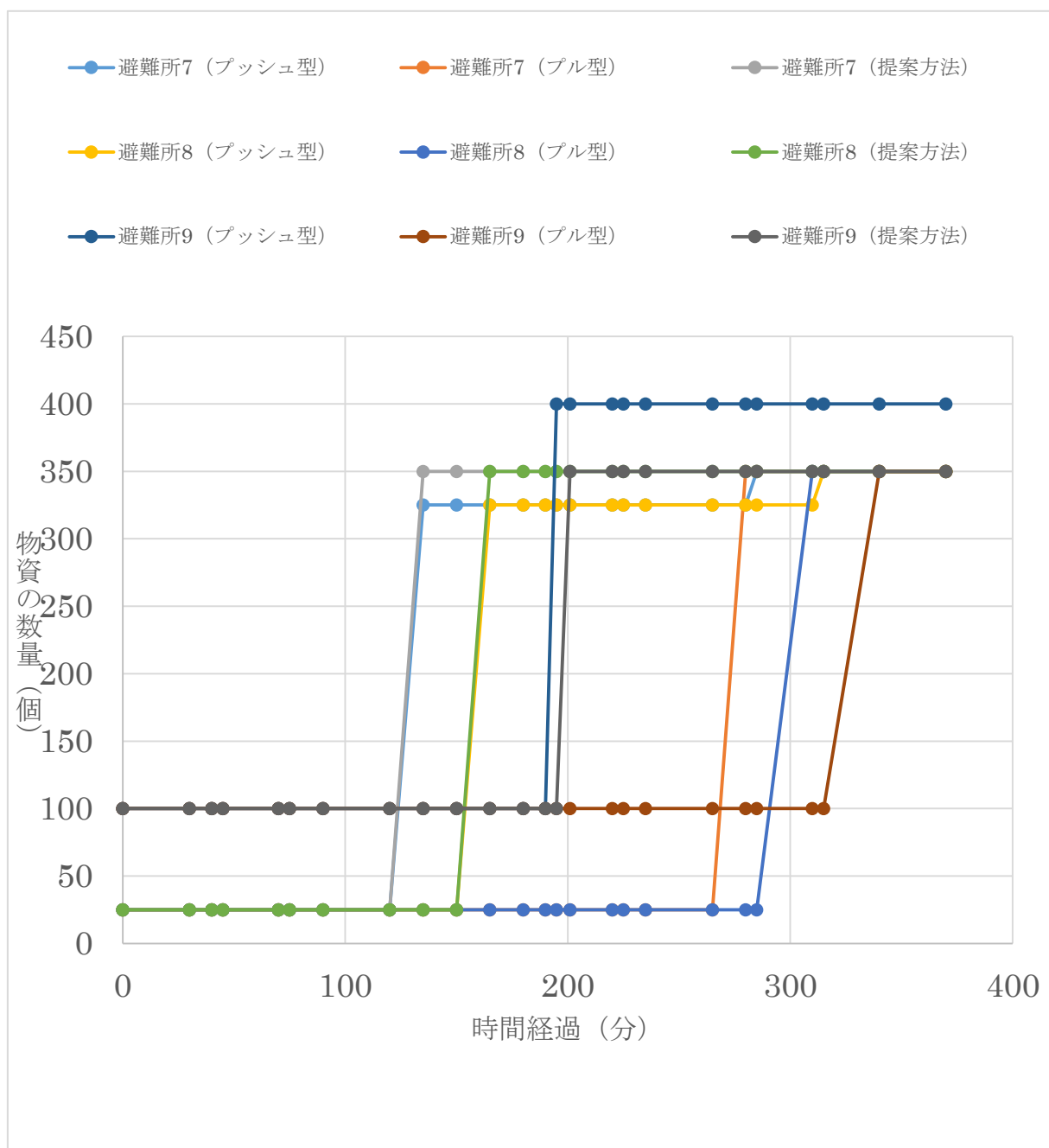


図 4-3 避難所 7, 8, 9 における物資 A の在庫数

④ 課題

提案方法で、避難所 1 で物資不足の緊急連絡が入ったことから 2 回目の輸送は回避できたが、この連絡が無い場合は行う必要があった。常に在庫状況を確認しておくこと、不足が判明した場合は速やかに連絡するための仕組み作りを検討する必要がある。

4.4 追加検証

上記の結果を踏まえて、本論文で提案する内容が効果的であることをより説得力のあるものにすべく、追加シミュレーションを2パターン行った。輸送方法は先程と同様、プッシュ型、プル型、提案方法とする。

この追加検証では、提案方法によって物資が十分に行き渡るかを見ており、充足率の平均値の変化を時間軸で表している。輸送方法や所要時間は先程と同じで、無線による連絡は成功していることを前提としており、考慮していない。また、無線による連絡で多くかかった時間は無しとし、プッシュ型では物資が必要な数量に達していない場合の2回目の輸送は考慮していない。

① パターン1

I. 概要

各避難所の定員を200人とし、現在の避難者数をランダム関数で100～300人にした。

物資の残量を100に統一し、トラックによる災害支援物資の輸送量を定員2日分である400とした。物資の必要数量を、現在の避難者数の2日分とした。

この内容のシミュレーションを10回行った。

II. 結果及び考察

各輸送方法の充足率の平均値を折れ線グラフで示す。折れ線グラフ内の点（平均値）における最大値と最小値を、折れ線グラフと同色の記号で示す。

7回目では、プッシュ型は1回目の輸送で必要数量に達し、提案方法は結果が同じになるため行っていない。

また、8,9回目の提案方法では、1回の輸送で必要数量に達しなかった。原因は避難所の避難者数が極端に多かったためで、このような場合は分配自体が上手く機能しないことが分かった。

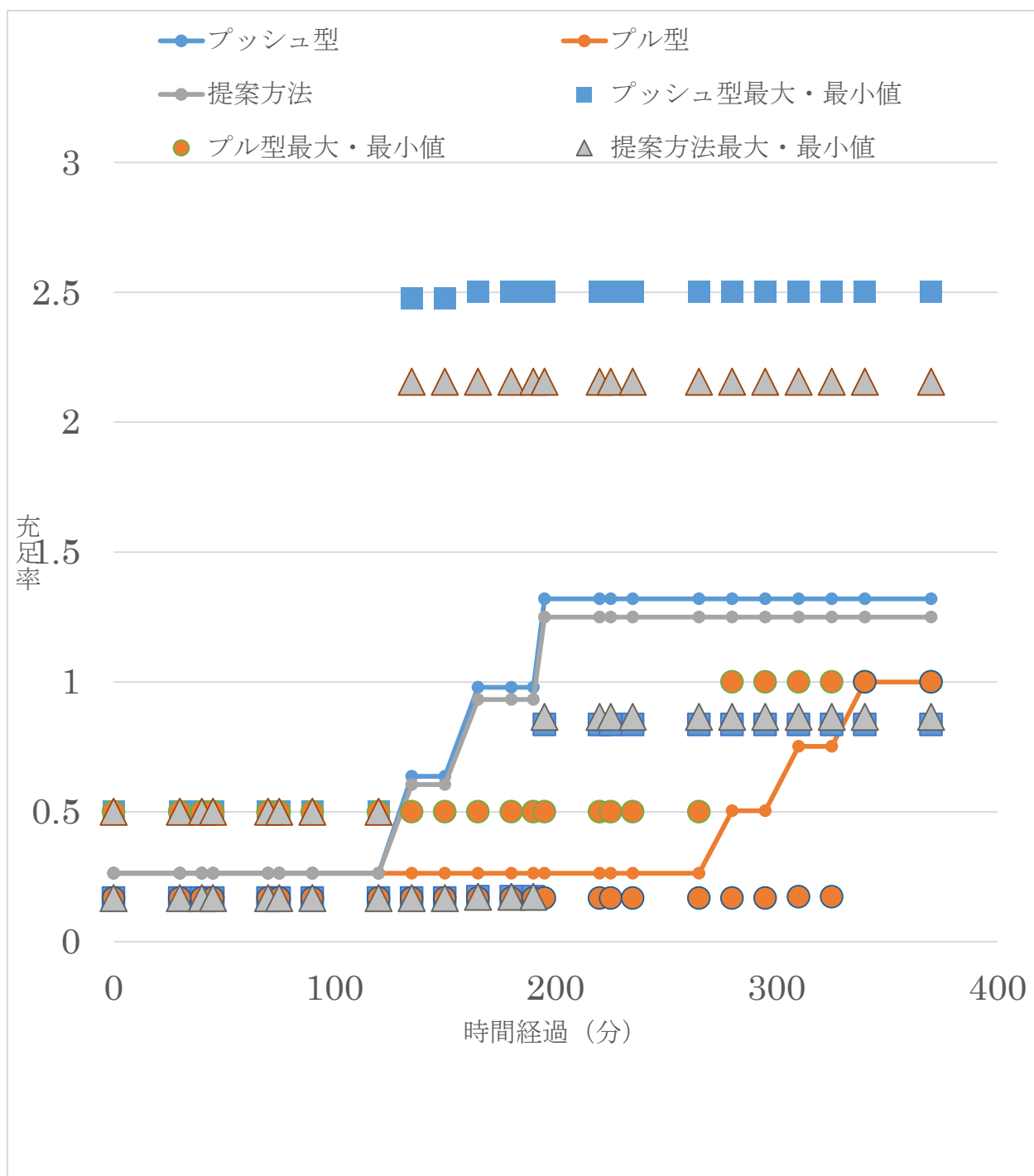


図 4-2 充足率（パターン 1）

図 4-2 より、最大値と最小値の幅はプル型が輸送終了間近で 0 になることが分かるが、輸送に時間がかかってしまっている。提案方法ではプッシュ型より幅が短く、偏りが少ないことが分かる。

② パターン 2

I. 概要

各避難所の定員を 200 人とし、現在の避難者数を 0~400 人とした。避難者数は先程と同様、ランダム関数で決定した。

物資の残量を 100 に統一し、トラックによる災害支援物資の輸送量を定員の 2 日分に予備を加えて 500 とした。物資の必要数量を、現在の避難者数の 2 日分とした。

輸送方法は、先程と同様である。この内容のシミュレーションを 10 回行った。

II. 結果及び考察

充足率の平均値を記載する。図中の説明は、先程と同様である。

8 回目では、プッシュ型は 1 回目の輸送で必要数量に達し、提案方法は結果が同じになるため行っていない。

また、10 回目の提案方法では、1 回の輸送で必要数量に達しなかった。原因は、先程と同様である。

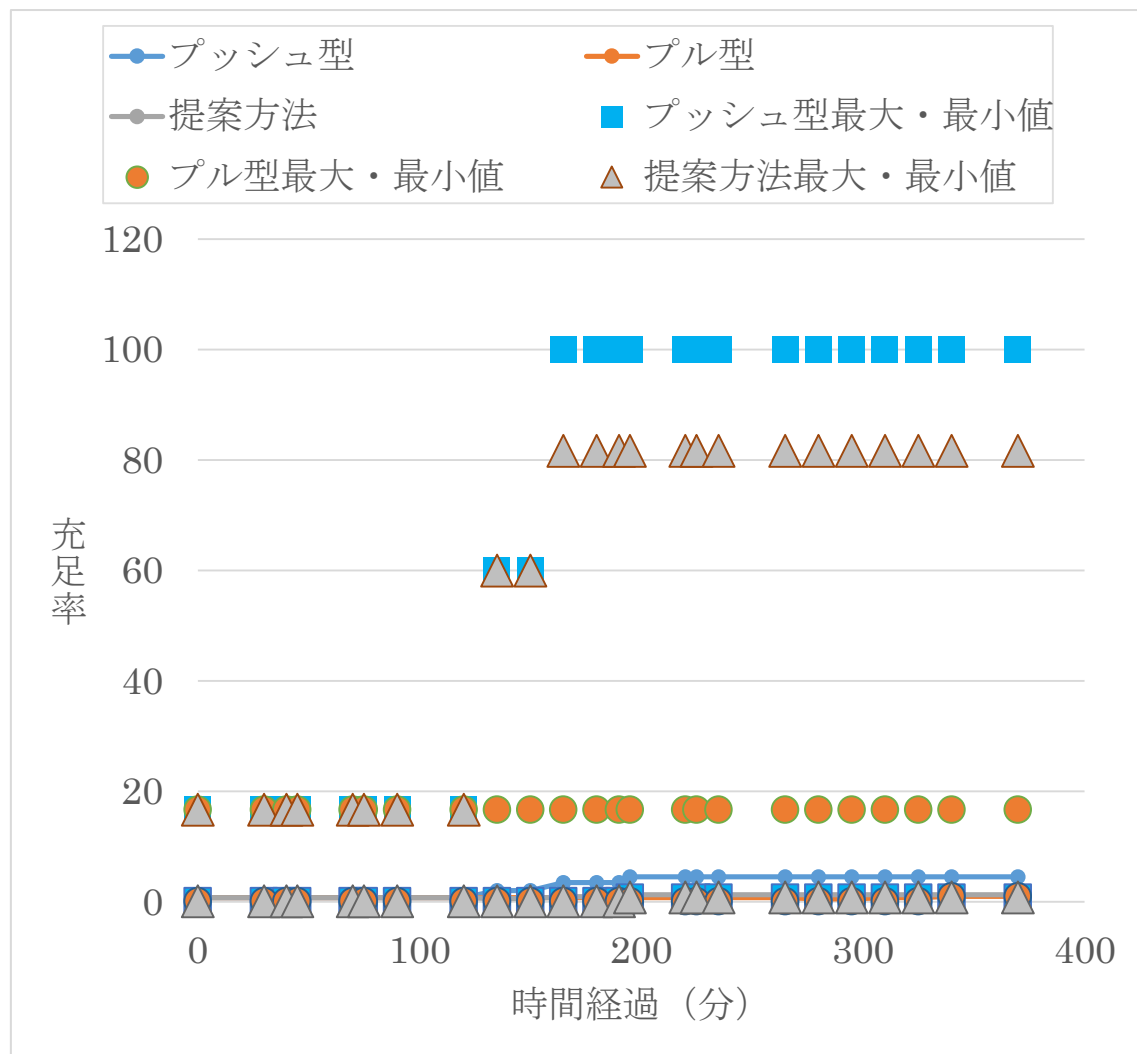


図 4-3 充足率（パターン 2）

図 4-3 より、充足率がプッシュ型では 100 になることもあり、避難所間で物資の偏りが激しいことが分かる。これに対し、提案方法では最大値が 81.667 であり、偏りが縮小して分配が機能していることが分かる。

③ 改善策の提案

提案方法で充足率が 1 に達しなかった避難所が発生した原因として、無線で連絡できる範囲が狭かったことが挙げられる。

改善策として、現在のグループで維持する場合は他グループに災害支援物資を分けてもらえないか無線で要請できるように、仕組みを変更することである。もしくは、避難所を 9 か所にしてグループを大きくすることなどである。共通点は、無線で要請できる範囲を広くする点である。

④ 結論

上記の 2 パターンの追加検証より、避難所間での物資の偏りが縮小することから、提案方法が有効であることが分かった。

第5章 調布市における災害への取り組みとモデル化

ここでは調布市役所ホームページ[21]を参考に、調布市が災害へどのような取り組みをしているか述べる。また、ホームページの内容から疑問点を解消するため、平成28年11月22日に調布市役所 総務部 総合防災安全課にインタビューした内容も、述べる。

更に、第3,4章の内容を調布市に当てはめる場合、どのような体制になるかを予想する。

5.1 備蓄物資

調布市地域防災計画に基づき、避難所に備蓄倉庫を設置しており、それぞれ避難者約800人3日分を目安に物資を保管している。一例として、アルファ米や飲料水、毛布、携帯トイレ、電池など多岐に渡る。

災害発生時は多くの避難者が備蓄物資を取りに来る可能性があり、あっという間に無くなってしまうため、各家庭において少なくとも1人3日分の食料や飲料を始めとした防災用品をセットとして、保管しておくことが望ましい。

また、お年寄りや障がいのある方、乳幼児や妊娠中の方、外国人など要配慮者の方々を想定した専用の物資も、備蓄している。一例として、アレルギー対応食や筆談機、車いす、ミルクなどである。

5.2 物資が不足する場合の供給方法

調布市役所ホームページ「防災情報」にある「調布市地域防災計画」の「「本冊」震災編 物流・備蓄・輸送対策の推進」(320～321頁目)に、災害支援物資の輸送方法が記載されている。それによると、災害支援物資を受け入れる場合、東京都が災害支援物資の積替・輸送などを行う「広域輸送基地」を整備するとしている。また、調布市が地域における物資の受入、配分などの拠点として「地域内輸送拠点」を東部には整備済みで、今後は西部、南部、北部、中央部に整備を進めていくとしている。

広域輸送基地は調布飛行場が、地域内輸送拠点は大町スポーツ施設(大型拠点倉庫1棟)が該当する。

これらから災害支援物資は、広域輸送基地から地域内輸送拠点を經由して、各避難所や各広域避難場所へ輸送することになると、思われる。

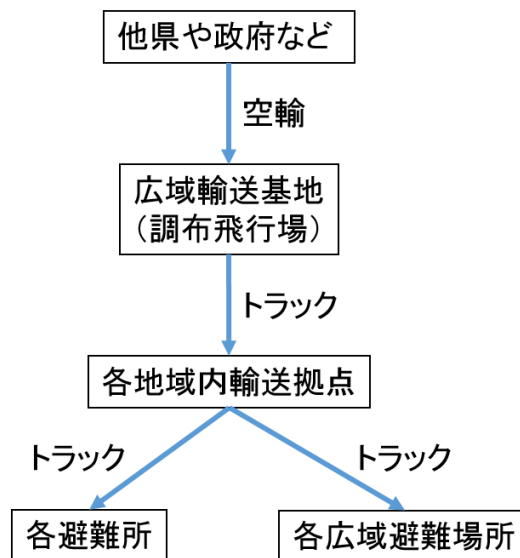


図 5-1 災害支援物資の輸送方法

5.3 災害発生時の連絡手段

調布市役所 総合防災安全課によると、調布市内では、市役所や消防団、各学校、病院、図書館などに MCA 無線を配備しており、大規模災害の際の連絡手段として用いている。

MCA 無線とは、800MHz 帯の電波を利用したデジタル業務用移動通信である。「MCA」は、「Multi-Channel Access」の略である。マルチチャンネルアクセス方式という複数の定められた周波数を複数のユーザーで共同使用して通信する。中継局が複数の通信チャンネル（周波数）から自動的に空きチャンネルを選択して割り当てる通信方式を取っており、一定数の通信チャンネルを多数の利用者がスムーズに通話を行う事を可能にする。MCA 無線は必ず中継局を経由しての通信となり、アマチュア無線のように無線機同士での通信はできない。このため、ごく若干のタイムラグが発生する。また、北海道から沖縄まで全国で利用可能である。

無線機は、バッテリーで動作可能な携帯型と、乗用車などに設置可能な車両設置型、バッテリー内蔵で電源コンセントでも動作可能な半固定型に、分類される。

災害発生時は、この MCA 無線を用いて連絡する。また、停電時でも中継局に発電機を設置し、災害時でも安定した通信を確保することが可能である。しかし、使用者は調布市役所職員や学校教職員など各施設の無線を扱う担当者が主で、一般市民が使用することは殆ど無いと思われる。よって、この無線は市民に広く開かれているものではない。この特性から、無線通信内容は、市民にはあまり知られたくない、もしくはすぐに市民に知れ渡ると混乱が発生しそうなものが含まれているのではないかと、予想している。

以上より、MCA 無線とアマチュア無線とで、通信内容や重要度に応じて使い分けるのが良いと判断し、予想される通信内容と、これまでの解説も含めた比較を以下の表に示す。

表 5-1 MCA 無線とアマチュア無線との比較

	MCA 無線	アマチュア無線
守秘性	高い	やや高い
使用者	各施設の無線を扱う担当者	市民の内、免許所持者
通信可能エリア	全国	半径 20km～海外
予想される通信内容	<ul style="list-style-type: none"> ・アマチュア無線開設までの各拠点同士連絡（避難所開設報告など） ・各拠点担当者同士の連絡（各地域の被災状況） ・市民にはあまり知られたくない内容、すぐに知れ渡ると混乱が発生しそうな内容 	<ul style="list-style-type: none"> ・各地域の詳細な被災状況報告（左記の補完的役割） ・災害支援物資の輸送や数量調整

一般市民向けの情報発信方法として、ホームページやメール、FM ラジオ（調布エフエム放送株式会社と協定締結）、行政無線、Twitter、Facebook がある。

5.4 本学や市内の学校との提携

本研究では、本学学生がアマチュア無線通信で地域の災害復興に取り組むことを提案する。

本学と調布市は、平成 15 年 5 月 20 日に、調布市相互友好協力協定を結んでいる。これは、文化、教育、学術、スポーツなどの分野で援助、協力し相互発展を図ることを目的としている。本学では、科学分野を始めとした講座の開講、本学 100 周年記念事業などが該当する。

本学には無線部があり、活動人数は 27 名である[22]。その他にも、無線に関する知識を持っている学生は多くいると思われる。これまで述べた内容から、この知識を災害時に、避難所などとアマチュア無線で通信して状況把握や復興などに活かすことができるのではないかと考えられる。そして、災害に関する研究をアマチュア無線や地域との連携に着目して、取り組むことができる。これらによって、本学学生の活躍が期待できる。

調布市は、それぞれの学校の性格に合わせて協定を結んでいる。既に、東京慈恵会医科大学附属第三病院（狛江市）や白百合女子大学とも、災害に関する協定を結んでいる。

5.5 新しい輸送方法に基づく運用の検討

① 本部と各部の概要及び設置場所

アマチュア無線を調布市内で円滑に運用するために、以下の機能を備えた拠点を設置する。避難する場所が多いため、調布市役所ホームページ「防災情報」にある「調布市地域防

災計画」の「〔本冊〕震災編 物流・備蓄・輸送対策の推進」（323 頁目）を参考に、5 部エリア（東部、西部、南部、北部、中央部）へ分けて、各避難所や各広域避難場所、各エリアの通信をまとめるための場所として地域内輸送拠点、これらがエリア内で通信する事とした。この他に、地域内輸送拠点をとりまとめるための本部を、南部の地域内輸送拠点内に併設する。

東部以外は設定されていないため、こちらで以下のように設定した。以下に各部の場所と、今後の説明内で使用する各部の色を示す。

表 5-2 地域内輸送拠点の一覧と色の対応表

部	場所	色
東部	避難所⑨大町スポーツ施設（指定済）	紫
西部	調布基地跡地運動広場及び大沢総合グラウンド一部（広域避難場所①）	橙
南部（本部）	調布市文化会館たづくり及びその周辺建物	赤
北部	都立神代植物公園及び自由広場（広域避難場所②）	黒
中央部	本学	青

設定した理由として、西部と北部は、広域避難場所として広大な土地が確保されており、災害支援物資の整理や輸送に適した場所であると判断したためである。南部（本部）は、市役所職員が災害支援物資を直接確認しやすいためである。中央部は、本学は災害発生時の避難場所として指定されていないが、西地区体育館や東地区 B 棟など広い場所が数ヶ所あり、災害発生時の使用を期待できるのではないかと考えたからである。

② 各部の無線通信・災害支援物資の輸送範囲

こちらで指定した。範囲は、以下の図の通りである。

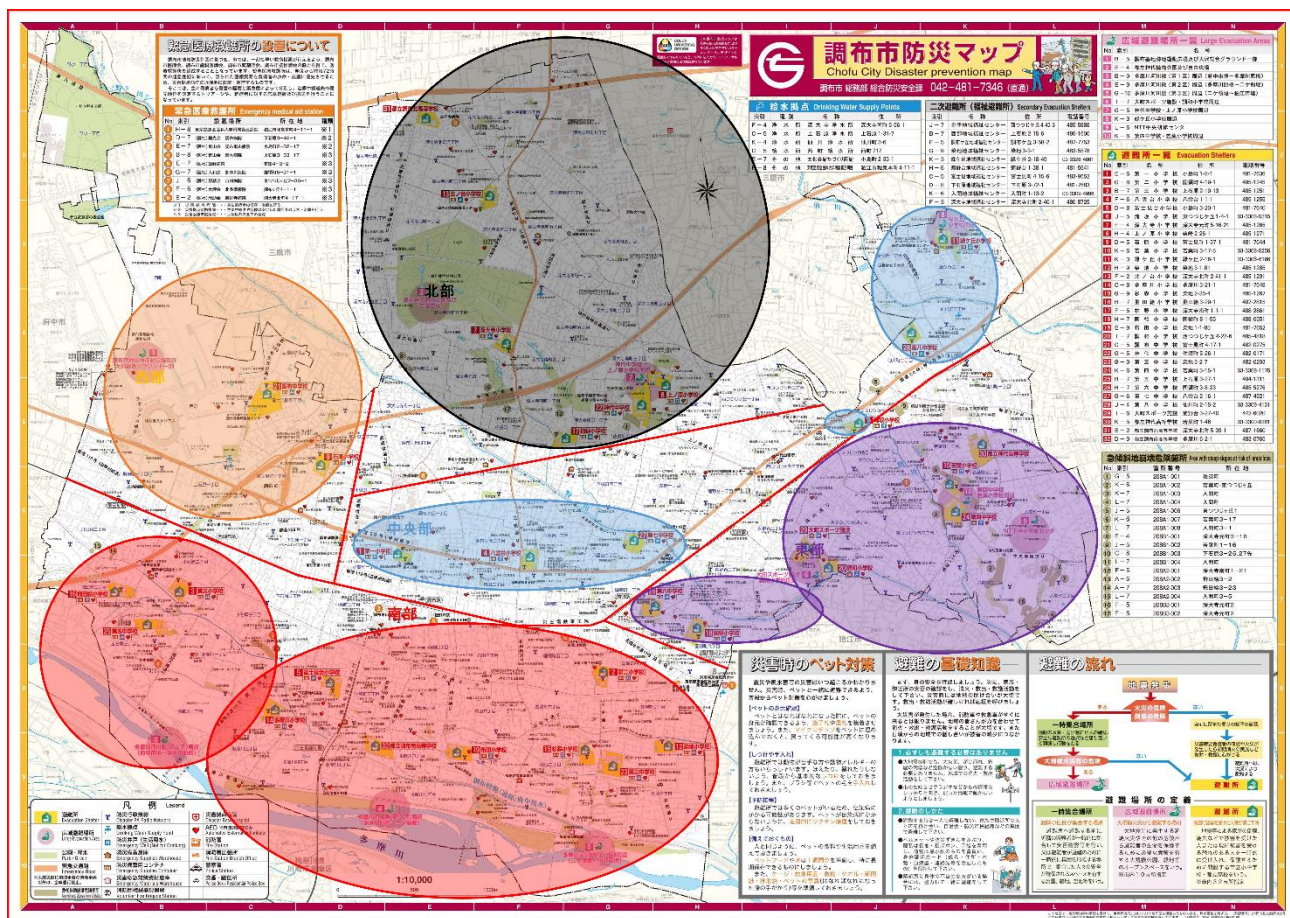


図 5-2 各部の災害支援物資の輸送範囲

調布市内の広域避難場所は 10 か所、避難所は 32 か所存在する。これらを各部に分けるが、広域避難場所と避難所が隣り合っている所が 5 か所存在する。以下に示す。

表 5-3 隣り合っている所の一覧

部	場所
東部	広域避難場所⑩第四中学校若葉小学校周辺
	避難所⑩若葉小学校
	避難所⑭第四中学校
東部	広域避難場所⑥大町スポーツ施設調和小学校周辺
	避難所⑩調和小学校
	避難所⑲大町スポーツ施設
南部	避難所⑮杉森小学校
	避難所⑲第三中学校
北部	広域避難場所⑦神大中学校上ノ原小学校周辺
	避難所⑧上ノ原小学校
	避難所⑳神大中学校

中央部	広域避難場所⑧緑ヶ丘小学校周辺 避難所⑪緑ヶ丘小学校
-----	-------------------------------

これらは、まとめて1か所に無線機1台のみ配置することで、配置の簡素化を図る。以上より、各部が管轄する場所の数は、以下の通りになる。

表 5-4 管轄数の一覧

部	数
東部	5
西部	2
南部	13
北部	5
中央部	6

③ 所要時間

各部の所要時間を、以下の基準で算出した。

google map で表示される車での所要時間に3倍掛けた。大地震発生直後は、道路の損壊や車の滞留、停電によって信号機が作動しないなど、諸問題が多く発生することが予想されるためである。各避難所における物資の積み下ろし作業の所要時間は15分と設定した。

I. 東部

表 5-5 東部の所要時間

目的地	距離(km)	所要時間(分)
(出発地) 広域避難場所⑥大町スポーツ施設調和小学校周辺 避難所⑳調和小学校 避難所㉑大町スポーツ施設	-	-
避難所⑱国領小学校	1.8	21
避難所㉒第六中学校	0.35	6
避難所㉓都立神代高等学校	3.2	42
広域避難場所⑩第四中学校若葉小学校周辺 避難所⑩若葉小学校 避難所㉔第四中学校	0.75	12
広域避難場所⑨NTT 中央研修センタ	0.75	9
(出発地へ戻る) 広域避難場所⑥大町スポーツ施設調和小学校周辺 避難所⑳調和小学校 避難所㉑大町スポーツ施設	1.9	18

各避難所の物資の積み下ろし作業	-	15×5
合計	8.75	183

II. 西部

表 5-6 西部の所要時間

目的地	距離(km)	所要時間 (分)
(出発地) 調布基地跡地運動広場及び大沢総合グラウンド一部 (広域避難場所①)	-	-
避難所⑫調布中学校	2.1	18
避難所⑨石原小学校	1.3	12
(出発地へ戻る) 調布基地跡地運動広場及び大沢総合グラウンド一部 (広域避難場所①)	2.5	21
各避難所の物資の積み下ろし作業	-	15×2
合計	5.9	81

III. 南部

管轄する広域避難場所や避難所の数が多いため、京王相模原線を境にして 2 つに分けた。

表 5-7 南部 1 の所要時間

目的地	距離(km)	所要時間 (分)
(出発地) 調布市文化会館たづくり及びその周辺建物	-	-
避難所③第三小学校	1.6	24
避難所⑯飛田給小学校	0.75	12
避難所⑮第五中学校	0.55	9
広域避難場所③多摩川河川敷 (第 1 区) 周辺 (府中市境～多摩川原橋)	1.0	9
避難所⑭多摩川小学校	1.2	15
避難所⑤富士見台小学校	0.65	12
(出発地へ戻る) 調布市文化会館たづくり及びその周辺建物	1.0	15
各避難所の物資の積み下ろし作業	-	15×6
合計	6.75	186

表 5-8 南部 2 の所要時間

(出発地) 調布市文化会館たづくり及びその周辺建物	-	-
避難所⑫都立調布南高等学校	1.0	12
広域避難場所④多摩川河川敷（第２区）周辺 （多摩川原橋～ニケ領堰）	0.45	12
避難所⑬布田小学校	1.3	18
避難所⑮杉森小学校 避難所⑯第三中学校	1.4	18
広域避難場所⑤多摩川河川敷（第３区）周辺 （ニケ領堰～狛江市境）	0.6	9
避難所⑭染地小学校	1.1	12
避難所②第二小学校	0.8	9
(出発地へ戻る) 調布市文化会館たづくり及びその周辺建物	1.8	21
各避難所の物資の積み下ろし作業	-	15×7
合計	8.45	216

IV. 北部

表 5-9 北部の所要時間

目的地	距離(km)	所要時間(分)
(出発地) 都立神代植物公園及び自由広場（広域避難場所②）	-	-
避難所⑦深大寺小学校	1.1	18
避難所⑰柏野小学校	1.0	9
広域避難場所⑦神大中学校上ノ原小学校周辺 避難所⑧上ノ原小学校 避難所⑱神大中学校	0.8	6
避難所⑬北ノ台小学校	2.7	27
避難所⑰都立調布北高等学校	0.85	12
(出発地へ戻る) 都立神代植物公園及び自由広場（広域避難場所②）	2.5	42
各避難所の物資の積み下ろし作業	-	15×5
合計	8.95	189

V. 中央部

表 5-10 中央部の所要時間

目的地	距離(km)	所要時間(分)
(出発地) 本学	-	-
避難所①第一小学校	0.014	3
避難所④八雲台小学校	0.85	9
避難所②⑦第七中学校	1.2	12
避難所⑥滝坂小学校	1.9	18
避難所②⑧第八中学校	1.0	12
広域避難場所⑧緑ヶ丘小学校周辺 避難所⑩緑ヶ丘小学校	0.9	15
(出発地へ戻る) 本学	5.3	48
各避難所の物資の積み下ろし作業	-	15×6
合計	11.164	207

④ 無線の周波数

以下の図や表の通り、6つの異なる周波数を使用する。図 5-3 の矢印の同色同士で通信する。

表 5-11 各部の通信相手

色	通信対象相手
紫	東部地域内輸送拠点と部内の避難所、広域避難場所
橙	西部地域内輸送拠点と部内の避難所、広域避難場所
赤	南部地域内輸送拠点（本部）と部内の避難所、広域避難場所
黒	北部地域内輸送拠点と部内の避難所、広域避難場所
青	中央部地域内輸送拠点と部内の避難所、広域避難場所
緑	各部の地域内輸送拠点同士

通信対象相手を分けることによって、多数の要請が飛び交うことによる大混乱を防ぐという目的もある。但し、周波数を合わせることによって、他部の状況を把握することは可能である。

通信の相関図は、以下に示す。

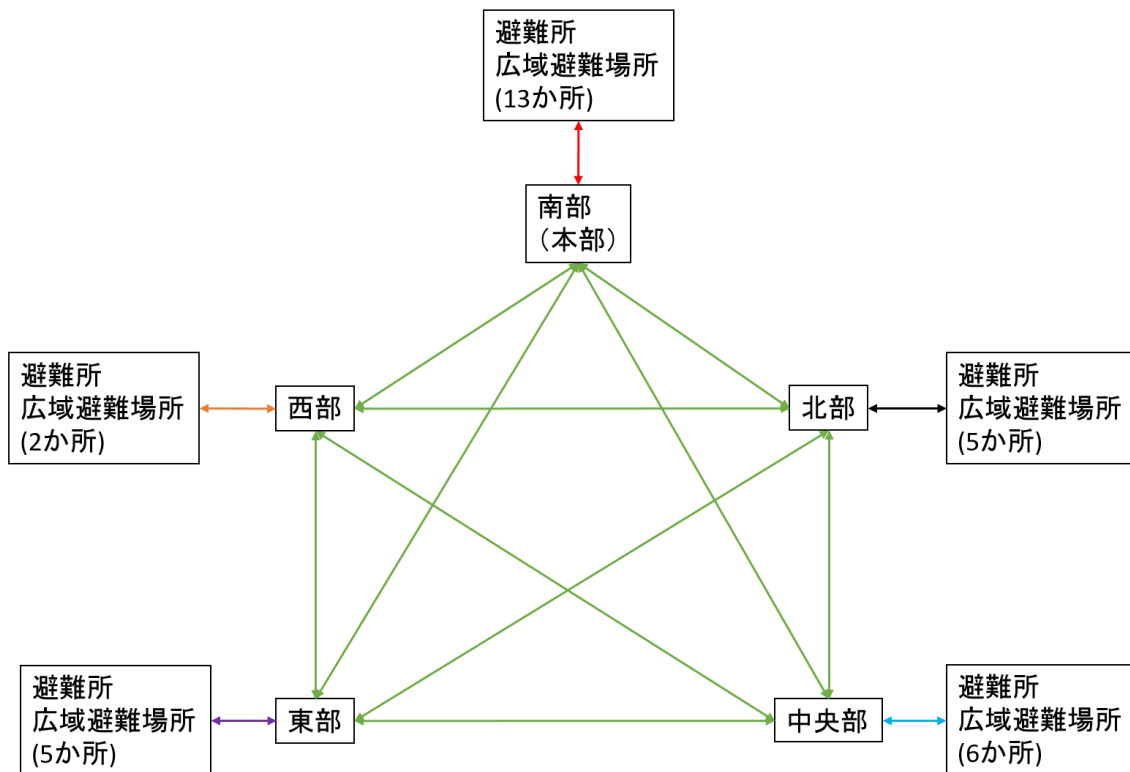


図 5-3 通信相関図

通信の階層図も、以下に示す。

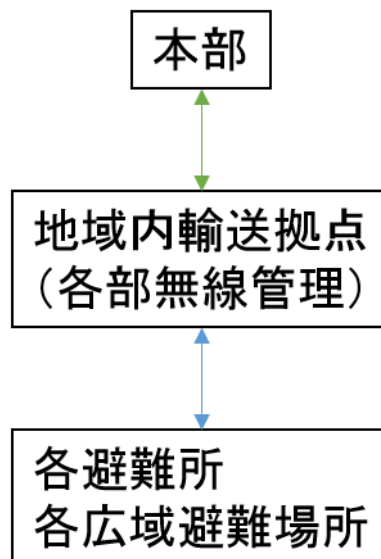


図 5-4 通信階層図

⑤ 使用する無線設備

地域内輸送拠点の内、南部（本部）のみ、固定型を使用する。本部には非常用電源設備があり、停電時も使用可能である。その他の地域内輸送拠点と各避難所、広域避難場所には携帯型を配備する。

調布市は主に平野部で構成されており、山間部は存在しないことから、電波が届きにくい場所は無いと思われる。

中央部（本学）には本学無線部が使用している無線機、もしくは本学が購入した無線機を使用する。その他の運用場所には、本学もしくは調布市が購入した無線機を使用する。

⑥ 配置と役割

I. 本部

17人配置する。1人は室長として取りまとめを担当する。各5部との通信に3人配置し、計15人とする。1人が無線機操作を担当し、地域内輸送拠点や各広域避難場所、各避難所と通信する。他の2人は通信補助として配置し、聞き取った内容を書き取る際に誤りが無いかどうかの確認作業などを行う。ヒューマンエラーを防ぐ目的もある。またこれらとは別に、調布市役所 総務部総合防災安全課 職員への災害支援物資に関する報告などのやり取り作業の担当として、1人配置する。

II. 各地域内輸送拠点

4人配置する。2人が無線機操作を担当し、1人が本部との通信、もう1人は各避難所や各広域避難場所との通信を行う。他2人は通信補助として配置し、聞き取った内容を書き取る際に誤りが無いかどうかの確認作業、拠点内の物資調整担当者への報告などのやり取り作業に、従事する。

III. 各避難所、各広域避難場所

2人配置する。1人が無線機操作を担当し、部内の他避難所や他広域避難場所、地域内輸送拠点と通信する。残りの1人は通信補助として配置し、聞き取った内容を書き取る際に誤りが無いかどうかの確認作業、避難所物資担当者などへの報告などのやり取り作業に、従事する。

⑦ 無線通信の担当者の詳細及び考察

各運用場所近くに在住のアマチュア無線の有資格者でかつ、調布市民もしくは本学学生が運用に入る。

ところで、調布市内のアマチュア無線の個人無線局は484局、団体無線局は15局存在する[23]。なお、この中には、局を持っているのみで運用を全くもしくは殆どしていない局も存在する可能性があることに、注意されたい。

このようにアマチュア無線を運用できる地域住民や団体構成員が多くおられることから、

上記のような運用は人員に余裕があり実現できる可能性が高いことが分かる。

また、安全確保や学業、課外活動などとの両立など課題は多いものの、本学学生のみで運用することも十分考えられる。例えば授業期間中の平日日中時間帯なら、本学から学生が各運用場所に行くこと、授業を行わない時間帯や長期休業中の場合、本学周辺在住の学生に限られる可能性が考えられるが、近くの運用場所に行くことで運用可能となる。

⑧ 運用上の注意・その他

無資格者が運用すると電波法違反となり、緊急時であっても問題になる可能性があるため、有資格者のみ配置する。

無線機を所有する一般市民から、無線機の貸出や通信などの協力の申し出がある場合、原則として通信の聞き取り、建物倒壊など緊急時の使用、無線機故障時の代替機提供などの対応を取りたいと、考えている。通信する無線機の数が多すぎると、緊急時に要請が多く飛び交い連絡が取りづらいなどトラブルになる可能性が高い。このトラブルを防ぐには、市役所の広報などを通して災害発生時に使用する周波数を予め提示するべきと、考える。

5.6 想定内容

① 発生日時

11月25日(水) 18時頃

設定理由として、調布市役所ホームページに公開されている「想定・首都直下大地震ドキュメント」に合わせると、どのような無線通信をすれば良いのか、災害支援物資をどのようにして輸送や分配をすると良いのかイメージしやすいと、考えたからである。

② 想定場所

東京都調布市全域

③ 想定震度

6弱

④ 被害状況

本学周辺及び調布市内で建物倒壊や火災発生など甚大な被害が発生し、死傷者も発生。固定電話や携帯電話、インターネット、水道やガス、電気などライフラインも使用不可。

⑤ 通信内容

時系列でまとめた。この想定は一例であり、他の内容を伝えたり、他の事態が発生したりする可能性も考えられる。今回は、災害支援物資の輸送以外に、地震発生直後の通信内容も

記載する。

I. 発生当日(11月25日(水))

主に、避難所及び周辺の状況確認に関する連絡が殆どであると思われる。

表 5-12 発生当日の通信内容

時間	状況 ▲市の対応	アマチュア無線の通信状況	○諸注意 ●課題
18:00	本震発生		
18:02		【指定場所直行】 揺れが収まり次第、家族の安全を確保しつつ向かう 【アマチュア無線の開設作業並びに無線通信テスト】 到着次第、行う	○本部や地域内輸送拠点も開設作業を行う ○全ての作業は安全第一で行い、危険を冒してまで行う事が絶対に無いようにする ○夜間のため、特に学校では開設要員が不足しており、その作業も並行する可能性があるが、なるべく無線に専念する
18:40		【開設作業並びに無線通信テスト完了】 避難所開設より一足早く完了する 【通信開始】 当面の間、主な通信内容は以下の通り ・現在の状況（人数や物資、トラブル発生有無など） ・周辺の被害状況（道路損壊、電柱倒壊、住宅やブロック塀倒壊、火災発生など） 各要員は聞き取った内容をメモし、必要に応じて白地図上に書き込む 緊急性の高いものは、本部へ連絡したり、警察や消防へ通報したりする	○聞き取り・書き取りミスには、十分気を付ける ○要員に負担がかからないよう、交代や休憩も考慮 ●状況確認をするために持ち場を離れる場合、誰が無線機を持っているかを把握する必要がある。例えば、周囲の人に伝える、紙面に残しておくなどの対策が必要 ●機器故障で運用開始できないトラブルの対処方法を検討する必要有 ●臨時解放の可能性のあるグリーンホールなどへの無線機配置も検討する必要有（今回は考慮しない） ●警察や消防への連絡方法を検討する必要有
19:00	▲災害対策本部設置	【本部への状況報告】 準備でき次第、これまでの通信内容をまとめて報告 以降も時々、報告	●どのような形式で報告するか、検討する必要有（口頭か、手書きか）
20:30	全避難所で開設作業開始済	引き続き、通信	
21:30	避難所開設作	【開設作業完了を一斉報告】	

	業完了	各避難所は地域内輸送拠点へ連絡し、 地域内輸送拠点は本部へ連絡 引き続き、通信	
--	-----	---	--

II. 発生翌日(11月26日(木))以降

火災も収まり、やや落ち着きを見せているかと思いきや、避難者は疲れが溜まっている。どの鉄道会社も点検や修理作業が長引き、すぐに運転再開は難しい。路線バスも動いているが、僅かである。そのような中、避難所や広域避難場所には大量の帰宅困難者が流れてきているためか、保管していた物資の一部が不足する可能性が出てきた。翌朝、政府や他県から災害支援物資が届くという情報が直前になって入り、偏りが少なくなるように工夫して調整作業する。

表 5-13 発生翌日の通信内容

時間	番号	◇避難所（避難所物資担当者）の対応 ◆地域内輸送拠点（物資調整担当者）の対応 △トラックの対応 ▲市の対応	アマチュア無線の通信状況 □避難所からの連絡内容 ■地域内輸送拠点からの連絡内容	○諸注意 ●課題
0:00		避難所には帰宅困難者が流入し、他の部屋を開放などの対応	引き続き、通信	●深夜時間帯(0:00～6:00)の通信方法や人員体制の詳細な検討必要有 (一般的な就寝時間帯のため)
6:00		◇朝食の配布	□現時点での状況報告	○簡潔に話す
(省略)	①	【◆東京都と連絡を取る】 ヘリコプターで災害支援物資を輸送する連絡が入るが、物資名や数量は不明 【▲地域内輸送拠点へ連絡】 △地域内輸送拠点から急いで飛行場へ向かう	【■一斉連絡】 左記内容を各所へ連絡	○東京都との連絡は、アマチュア無線以外の手段を使用
	②	【飛行場に災害支援物資到着】 △災害支援物資を受取り、地域内輸送拠点へ戻る		
	③	【地域内輸送拠点に災害支援物資到着】 ◆数量を確認		
	④	【△各所へ輸送開始】 【◆現在の状況を報告】 ◇無線運用者へ右記を報告	【一斉連絡】 ■左記内容を各所へ連絡 □以下を地域内輸送拠点	○物資調整担当者が中心的役割となって数量調整、配分見直しを行う

		◆無線運用者から報告を受け、物資の配分調整をする	へ報告 ・現在の物資在庫状況 ・避難者数 ・希望の物資	○次回輸送予定日時までの数量分を確保できるよう、議論する
	⑤	【◇物資不足の可能性】 ◇無線運用者へ以下を報告 ・不足している物品名 ・必要な数量	【不足の内容詳細把握】 □避難所運営要員から左記を聞き取り、地域内輸送拠点へ報告	○各避難所から不足の旨の連絡が、この後多く来ると予想
	⑥	◆避難所への物資を他避難所へ変更 ◆避難所に備蓄している物資を他避難所へ譲渡 無線運用者に報告	【■左記内容の報告と避難所へ連絡】 了承も取る	○左記の連絡は、輸送中や物資受取中に多く発生すると予想される ●突発的な連絡にも対応できるようにする
	⑦	【△避難所へ到着】 災害支援物資の受取数量変更や譲渡の連絡を避難所物資担当者から受ける	【□物資受取完了】	
	⑧	【△避難所を出発】	【□出発済み】	
	⑨	(⑤～⑧の繰り返しの可能性あり)		
	⑩	【全避難所への輸送終了】 △地域内輸送拠点へ戻る。輸送した数量を物資調整担当者へ報告 ◆上記の報告を受け、とりまとめる。物資が余っている場合、トラックから降ろして保管場所へ移動	【■輸送終了を一斉連絡】 左記内容も一斉連絡	○1回目の輸送で必要数量に達せず、2回目の輸送が発生する場合、④、⑦、⑧を行う

第6章 実現に向けた課題

今回の一連の内容を実現するためには、様々な課題が存在する。解決に向けた具体的な案を提示する。

6.1 事前の打ち合わせ

内容を伝達し、十分理解することを目的とする。避難所で無線通信を行う者や行政職員など、実際に無線通信や災害支援物資に携わる者が参加する。

月1回など定期的に行い、初回は参加者の自己紹介、概要の説明、内容を記載している冊子の配布や説明を主に行う。2回目は参加者の登録と、冊子の修正、疑問点の解決を主に行う。必要に応じて3回目以降も話し合う。新たな参加者は、冊子を配布して説明する。

6.2 アマチュア無線の資格取得

独学で勉強する場合、不明点があると進めず非効率である。

そこで、「一般財団法人 日本アマチュア無線振興協会」が実施している、第4級及び第3級アマチュア無線技士の養成課程講習会[24]を受講するのが良いと考えた。受講して修了試験に合格すると免許が取得できる。合格率はいずれも、97%以上と高い。難点は受講費用の高さで、第4級が22,750円、第3級が12,750円である。

6.3 本番を想定した運用訓練

無線機の操作に慣れるために、無線機の操作方法や通信方法などを習得する勉強会を定期的に開催する。机上で説明後、実際に無線機を操作して通信する。慣れたら屋外でも通信する。

本番を想定した訓練をしなければ、いざ必要な時に力を発揮することが難しい。本番を再現するのは難しいが、縮小したバージョンで訓練することで、各運用者の技術力向上、手順確認に努める。訓練内容は、以下の通り。

- ・地域内輸送拠点、避難所間を想定した無線通信
 - ・災害支援物資のトラック輸送
- 訓練場所が広い時のみ行う

事前に訓練を想定したシナリオを作成し、配布も行う。訓練終了後にミーティング（反省会）を行う事で、良かった点や改善点、今後修正すべき内容などを共有することができる。

6.4 他の通信手段による運用及び考察

アマチュア無線と違い免許不要な無線として、前述と被るが特定小電力トランシーバー、MCA 無線、デジタル簡易無線が存在する。以下の表を用いて、これらとアマチュア無線とを、通信距離などの点で比較する。

表 6-1 アマチュア無線と他手段との比較

	アマチュア無線	特定小電力 トランシーバー	MCA 無線	デジタル 簡易無線
通信可能距離 (おおよそ)	全国、一部海外 (携帯型は 20km)	2km[25]	全国	4km[26]
届出の必要性	○	×	○[27]	○[28]
秘匿性	×	×	○[29]	○[28]
停電時の使用	○	○	○	○

使用する無線機の性能（アンテナや出力）や、天候、周辺の建築物などの環境に大きく左右されるため、実際に通信できる距離は異なるものの、停電時に使用可能なことは変わらない。

これらから、費用や導入する地域に応じて、別の無線を採用することも視野に入れると良いのでは、と考えた。

第7章 終わりに

本章では、本論文のまとめを述べる。

本研究では、大地震発生後の災害支援物資の輸送場面において、アマチュア無線による通信を活用することで、円滑でかつ偏りが少ない配分が実現できるかどうかを、シナリオの作成やシミュレーションを行うことで検証した。また、このシナリオやシミュレーションを、本学所在地の東京都調布市に当てはめてみることで、実現に向けた課題を抽出した。

第2章では、アマチュア無線の概要を解説した。免許取得が必要なことや、秘匿性がやや低いことがデメリットであるが、電源不要で複数の無線機同士で直接通信可能という大きなメリットがあり、過去の大地震で活躍した実績を紹介した。

第3章では、このアマチュア無線を活かした災害支援物資の新しい輸送方法を提案した。無線機を避難所などに配置して通信網を構築することで、従来の輸送方法「プッシュ型」、「プル型」と比較すると、他拠点との円滑な情報共有、それによって物資の数量調整が可能となる。

第4章では、第3章の内容を想定した簡易シミュレーションを作成し、災害支援物資の輸送終了後の在庫状況を従来の輸送方法「プッシュ型」、「プル型」と比較した。その結果、提案方法が、偏りが少なく配布できる点や所要時間短縮の点で有効であることが、示された。しかし、極端に避難者数が多い避難所が存在すると、提案方法を発揮できない可能性があり、解決策として広範囲で連絡、物資の数量調整ができるように仕組みを見直すことを挙げた。

第5章では、調布市における災害への取り組みを解説し、第3, 4章の内容を調布市に当てはめた場合を想定したシナリオを作成した。また、これによって本学が調布市に貢献する可能性も述べた。

第6章では、第5章を踏まえて実現に向けた課題を抽出し、具体的な案を出した。

以上より、主なメリットは以下の3点となった。

- ① 円滑な情報共有の実現
- ② 偏りが少なく適切な物資配分の実現
- ③ 輸送所要時間の短縮

逆に、主な課題は以下の1点となった。

- ① 極端に避難者数が多い避難所が存在する場合は配分が難しい

今回の研究では、アマチュア無線に関する論文が少なく、新聞記事、行政や無線機メーカーのホームページ、専門雑誌も参考文献として取り入れた。

大地震発生後に度々注目が集まり、社会からも期待されているアマチュア無線。本研究が
発展すると、社会への貢献が高くなるのでは、とも考えている。

謝辞

本研究を進めるにあたり、電気通信大学 大学院情報システム学研究科 社会知能情報学専攻 経営情報システム学講座の田中 健次 教授には、導入から遂行、論文執筆に至るまで、終始多大なるご指導とご教授を戴きました。心より感謝申し上げます。

また、同講座の岩崎 敦 准教授、同専攻の栗原 聡 教授、山本 佳世子 准教授を始めとした教員の方々には、本論文の審査をはじめ、中間発表などを通して様々な面からご指導とご教授を戴きました。心より感謝申し上げます。

そして、本学学部 1 年次の「第三級アマチュア無線技士」の取得のために、多くのご助言とご指導を戴きました本学無線部の皆様に、心より感謝申し上げます。

更に本論文の執筆のためご多用の中、資料の提供やインタビューにご協力戴きました、調布市役所 総務部 総合防災安全課の方々に、心より感謝申し上げます。

最後に、田中研究室、岩崎研究室の皆様には研究遂行にあたり、日頃より有益な議論と助言、更には論文執筆や印刷などにあたりご協力を、多く戴きました。その他、多くの方々にご協力いただきました。感謝の意を込め、本論文の結びとさせて戴きます。

参考文献

- [1] 被災自治体の要請待たない “プッシュ型支援” が稼働 食料だけで 263 万食. 産経 WEST. 2016-05-17,
<http://www.sankei.com/west/news/160517/wst1605170009-n1.html>,
- [2] 政府の「プッシュ型支援」は機能しているのか. 西日本新聞経済電子版. 2016-04-22,
<http://qbiz.jp/article/85409/1/>,
- [3] 物資輸送 業者とダック. 朝日新聞. 2016-11-21,
- [4] 「助けて」「テレビ映像信じられない」…SNS 上で支援物資不足訴える投稿続々. 産経 WEST. 2016-04-17,
<http://www.sankei.com/affairs/news/160417/afr1604170045-n1.html>,
- [5] 上野 勝利, 森 篤史, 中野 晋, 吉田 敦也. 中山間地の孤立対策へのアマチュア無線の活用. 第 30 回土木学会地震工学研究発表会論文集. 2009, Vol. 30, No. 1,
<http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00578/2009/4-0036.pdf>,
- [6] 桑原 雅夫, 和田 健太郎. 東日本大震災における緊急支援物資ロジスティクスの定量的評価：一次集積所における搬入/搬出記録の分析. 土木計画学研究・講演集. 2012,
<http://www.jterc.or.jp/kenkyusyo/product/tpsr/bn/pdf/no60-04.pdf>,
- [7] 総務省 電波利用ホームページ. “電波法施行規則”.
http://www.tele.soumu.go.jp/horei/reiki_honbun/a720020001.html,
- [8] 一般社団法人 日本アマチュア無線連盟. “アマチュアバンドプラン”.
http://www.jarl.org/Japanese/A_Shiryo/A-3_Band_Plan/bandplan20150105.pdf,
- [9] 一般社団法人電気通信事業者協会. “携帯電話・PHS 契約数”.
<http://www.tca.or.jp/database/>,
- [10] 総務省. “資格別無線従事者免許取得者数の推移”. 総務省 情報通信統計データベース.
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/field/data/gt020404.xls>,
- [11] KDDI 株式会社. “三者通話サービス”.
<http://www.au.kddi.com/mobile/service/call/sansha-tsuwa/>,
- [12] ソフトバンク株式会社. “グループ通話”.
<http://www.softbank.jp/mobile/service/call-3g/>,
- [13] 災害時に生かせ アマ無線ネット 被害情報、住民や行政に. 神戸新聞. 1995-11-01,
- [14] 孤立地帯、無線が活躍 一関の須川岳. 岩手日報. 2008-6-28, 夕刊, 岩手日報 WebNews,
<http://www.iwate-np.co.jp/08iwate-miyaginairiku/200806/nairiku0806286.html>,
- [15] 岩手・山田 アマ無線 交信成功. 河北新報. 2011-04-20,
- [16] JG1ZOO 相模原市役所アマチュア無線クラブ. “～東日本大震災発災時のドキュメント～ 相模原市役所アマチュア無線クラブの支援活動”. CQ ham radio. CQ 出版社,

2013, pp 50-53.

- [17] 三木 哲也. “アマチュア無線への思い”. 月刊 FB ニュース.
http://www.fbnews.jp/201404/rensai/ja1cin_amateur_omoi_09_01.html,
- [18] 国土交通省 国土交通政策研究所. “支援物資供給の手引き I. 全体概要編”.
www.mlit.go.jp/pri/houkoku/gaiyou/pdf/kkk111-1-1.pdf,
- [19] 国土交通省 国土交通政策研究所. “支援物資供給の手引き II. 事前準備編”.
www.mlit.go.jp/pri/houkoku/gaiyou/pdf/kkk111-1-2.pdf,
- [20] 国土交通省 国土交通政策研究所. “支援物資供給の手引き III. 支援物資業務編”.
www.mlit.go.jp/pri/houkoku/gaiyou/pdf/kkk111-1-3.pdf,
- [21] 調布市ホームページ.
<http://www.city.chofu.tokyo.jp/>,
- [22] 電気通信大学無線部. “2016 年度 入部案内”.
<http://www.ja1zgp.com/entry.html>,
- [23] 総務省 電波利用ホームページ. “無線局等情報検索”.
<http://www.tele.soumu.go.jp/musen/SearchServlet?pageID=1>,
- [24] 一般財団法人 日本アマチュア無線振興協会. “JARD 養成課程講習会のご案内”.
<https://www.jard.or.jp/yoseikatei/course/>,
- [25] アイコム株式会社. “IC-4110”.
https://www.icom.co.jp/products/land_mobile/products/tokusyo/ic-4110/,
- [26] アイコム株式会社. “IC-DPR6”.
<http://www.icom.co.jp/products/leisure/products/IC-DPR6/>,
- [27] 田中電気株式会社. “MCA 無線導入までの流れ”.
<http://mcamusen.tanaka-denki.co.jp/flow>,
- [28] アイコム株式会社. “デジタル無線とは?”.
https://www.icom.co.jp/products/land_mobile/products/land_mobile/digital_info/,
- [29] 田中電気株式会社. “一斉通話が可能”.
<http://mcamusen.tanaka-denki.co.jp/merit/communication>,