

修 士 論 文

災害発生の初期段階で起きる避難所に関する問題の定量化
—金沢市をモデルとして—

1550034 山中 康行

主指導教員	林 幸雄
審査委員主査	林 幸雄
審査委員	宮田 一乗
	西本 一志
	由井蘭 竜也

北陸先端科学技術大学院大学

知識科学研究科

平成 29 年 2 月

目次

第1章 諸言 _____ 1

- 1. 1 研究の背景 _____ 1
- 1. 2 研究の目的 _____ 1
- 1. 3 本論文の構成 _____ 2

第2章 防災に対する現状 _____ 3

- 2. 1 避難所 _____ 3
 - 2. 1. 1 避難所の種類 _____ 3
 - 2. 1. 2 避難所の収容人数 _____ 5
 - 2. 1. 3 避難所の問題 _____ 6
- 2. 2 金沢市の災害 _____ 7
 - 2. 2. 1 過去の災害 _____ 7
 - 2. 2. 2 ハザードマップ _____ 9
 - 2. 2. 3 金沢市の災害対策 _____ 11
- 2. 3 道路の役割 _____ 13
- 2. 4 業務無線 _____ 14
 - 2. 4. 1 防災行政無線 _____ 14
 - 2. 4. 2 MCA 無線 _____ 17
 - 2. 4. 3 簡易無線 _____ 17
 - 2. 4. 4 特定小電力無線 _____ 18
 - 2. 4. 5 小エリア無線（小エリア通信システム） _____ 19

第3章 実験 _____ 20

- 3. 1 避難所関連 _____ 20
 - 3. 1. 1 人口地域メッシュデータの利用 _____ 20
 - 3. 1. 2 各種データ値設定 _____ 22
- 3. 2 避難所間の距離について _____ 30
 - 3. 2. 1 相対近傍グラフ(RNG) _____ 30
 - 3. 2. 2 その他のグラフ _____ 31
 - 3. 2. 3 それぞれのグラフと道路の構成比率 _____ 32

第4章 実験結果と考察	34
4.1 避難所に関する実験結果	34
4.1.1 溢れる人数・割り当てる人数の結果	37
4.1.2 割り当てることができた人数と金沢市備蓄品(表2-5)との関係	41
4.2 金沢市避難所間におけるRNGの距離分布	48
4.3 金沢市避難所間におけるRNGの距離分布の考察	51
第5章 結論	53
付録	54
謝辞	65
引用文献	66

第 1 章 諸言

1. 1 研究の背景

災害は自然現象や人為的な原因によって、人命や社会生活に被害が生じる事態である。防災に関する現状の政策として、大規模な災害が生じた場合には、あらかじめ市町村が指定した避難所に行き、安全を確保する。しかしながら、災害が大規模であるほど、避難所内が人で溢れかえり、多大な混乱やストレスを招く [1]。車を用いて避難や、車中で寝泊りする人も多く、渋滞による災害復旧の遅延やエコノミークラス症候群も問題となる。各々の市町村区が溢れた人達にもできる限り適切な支援できる、防災が必要である。

災害の初期段階において、災害の現状や避難所間の連携などに必要な情報は、非常に重要となる。それらの情報を効率的にやり取りができる無線通信が不可欠となる。しかし、防災無線に関しては各々の市町村に任せている部分があり、コストの理由で防災無線が整備されていない場所もある [2]。

1. 2 研究の目的

本研究の目的は、災害発生の初期段階で起こる避難所に関する問題を定量化し明確にすることである。問題とは、避難所の収容人数や溢れ・備蓄品の必要量・コストを考慮した業務無線を主に扱う。それぞれ金沢市収容人数のデータ、金沢市の備蓄品データ、業務無線の性能情報をもとに、数値を算出し考察を行う。

1. 3 本論文の構成

本論文の構成は以下のようなものである。第2章では防災に対する現状を述べる。第3章では扱う人口分布や避難所の収容人数のデータ、及び利用する平面グラフの説明する。第4章では第3章で示したデータを扱い、算出された結果から考察を行う。第5章では本研究の結論を述べる。

本論文では、災害発生 of 初期段階で起こる避難所に関する問題の観点から、

- i. 避難関係
- ii. 道路関係
- iii. 無線関係

に分類できる。以下の図 1-1 に本論文の構成を示す。

図 1-1：本論文の構成

第2章 防災に対する現状	
2. 1 避難所	i. 避難関係
2. 2 金沢市の災害	i. 避難関係
2. 3 道路の役割	ii. 道路関係
2. 4 業務無線	iii. 無線関係
第3章 実験	
3. 1 避難所関連	i. 避難関係
3. 2 避難所間の距離について	ii. 道路関係
第4章 実験結果と考察	
4. 1 避難所に関する実験結果	i. 避難関係
4. 2 避難所に関する実験結果の考察	i. 避難関係
4. 3 金沢市避難所間における RNG の距離分布	iii. 無線関係
4. 4 金沢市避難所間における RNG の距離分布の考察	iii. 無線関係
第5章 結論	

第2章 防災に対する現状

災害は自然現象や人為的な原因によって、人命や社会生活に被害が生じる事態である。政府広報オンライン [3]でも記されている通り、災害時に命を守る為には一人一人の防災対策が重要だと述べられており、多面にわたる制度が取り決められている。本章では今回扱う防災の制度として、避難所・道路の役割・金沢市の災害・業務無線の通信利用について検討する。

2. 1 避難所

避難所は災害によって住む家を失った被災者等が一時的に生活を送る場所である。本節では、避難所には様々な種類があること、避難所の収容人数、認知されている避難所に関する問題を述べる。

2. 1. 1 避難所の種類

避難所の種類として市町村によって違いはあるものの一般に、指定緊急避難所、指定避難所、福祉避難所に分けられる [4]。

(i) 指定避難所：指定避難所は、“災害の危険性があり避難した住民等を災害の危険性がなくなるまでに必要な間滞在させ、または災害により家に戻れなくなった住民等を一時的に滞在させるための施設として市町村長が指定する（法第49条の7 [5]）。”と記載されている。指定避難所の政令による基準は、以下の全てを満たすことになっている。

(令第20条の6 [5])

- ・被災者等を滞在させるために必要かつ適切な規模のものであること。
- ・速やかに、被災者等を受け入れ、または生活関連物資を配布することが可能なものであること。
- ・想定される災害の影響が比較的少ない場所にあること。
- ・車両などによる輸送が比較的容易な場所にあること。

(ii) 指定緊急避難所：指定緊急避難場所は、「災害が発生し、又は発生するおそれがある場合にその危険から逃れるための避難場所として、洪水や津波など異常な現象の種類ごとに安全性等の一定の基準を満たす施設又は場所を市町村長が指定する(法第 49 条の 4 [5]).」と記載されている。

指定避難所との違いは、洪水・地震・津波や大規模な火事から、一時的に身の安全を確保する場所と制定されている為、職員の配置や物資などの配備は行われない。

(iii) 福祉避難所：福祉避難所とは、災害対策基本法令第 20 条の 6 第 5 号 [5] に「主として高齢者、障害者、乳幼児その他の特に配慮を要する者（以下この号において「要配慮者」という。）を滞在させることが想定されるものにあつては、要配慮者の円滑な利用の確保、要配慮者が相談し、又は助言その他の支援を受けることができる体制の整備その他の要配慮者の良好な生活環境の確保に資する事項について内閣府令で定める基準に適合するものであること。」と記載されている。具体的な施設は老人福祉施設、障害者支援施設、児童福祉施設、宿泊施設が挙げられる。

以上から殆どの市町村では、指定避難所の指定場所を公民館・学校・公園としている。

2. 1. 2 避難所の収容人数

一般に、避難所における避難者1人あたりが必要とする面積は、内閣府防災のガイドラインでは示されていない。そこで『長野県危機管理課の避難所マニュアル策定指針（H24.3）[6]』における以下の表2-1で、収容可能な人数の算定評価を行った。

表2-1：収容可能な人数の算定評価 [6]

1 m ² / 人	災直後の一時的避難段階で座った状態程度の占有面積
2 m ² / 人	急対応初期の段階で就寝可能な占有面積
3 m ² / 人	難生活が長期化し、荷物置場を含めた占有面積

公園における収容可能な人数の算定は、『大阪府防災公園施設整備マニュアル(大阪府土木部公園課)』における、広域避難地の一人当たり避難面積は2 m²/人と制定され [7]，上記の表2-1とほぼ合致する。また『防災公園技術ハンドブック [8]』では、公園内の有効避難面積を50～70 %程度と想定している。

2. 1. 3 避難所の問題

避難所に関する問題として、「狭い・溢れる避難所」と「避難所間の情報伝達」の2つを考え、具体的な事例を交えて説明する。

(i) 狭い・溢れる避難所

平成23年3月11日に東日本大震災として大規模な地震災害が発生した。例えば、陸前高田市立第一中学校の屋内運動場における避難所では、面積1050 m²に約1000人（一人あたり約1.0 m²/人）の人数を収容していたので、寝るのも大変困難であった [1]。

平成28年4月14日には、震度7を観測する熊本地震が発生し、町対策本部が置かれた益城町保健福祉センターに約600人が避難した。しかし、施設内は混雑しており、廊下や玄関も人が溢れていた [9]。その為車中泊での避難の数も多く、長時間同じ姿勢を続けることで起こるエコノミークラス症候群（ECS / 旅行者血栓症）も問題の1つとされている。

(ii) 避難所間の情報伝達

災害発生直後から避難所間に関する情報が必要とされ、時間の経過とともに求められる情報も変化する。時系列の必要情報を以下の表2-2に記す。

表2-2：時系列の必要情報 [10]

時系列	収集する避難所の情報	避難所に伝達する情報
災害発生直後	・避難所の開設状況	・避難所の開設指示
～3日程度	・避難者情報 避難者数、要給食者数 災害時要援護者の情報 安否情報確認	・災害情報 ・救助対策の実施方針 ・実施内容 ・ライフライン等の復旧目処
～1週間程度	・各避難所のニーズ ・避難者の被災状況 ・避難者の生活再建、住まい	・救護対策の実施内容 ・生活再建支援策、住まいの 確保対策の実施方針
～2週間程度	確保の見込み	・生活再建支援策、住まいの 確保対策の実施内容

表2-2のような変化に見合った情報をいかに効率よくやり取りできるか、その為の通信網の確保と、人的コミュニケーションのあり方が重要になる。

2. 2 金沢市の災害

2. 2. 1 過去の災害

石川県で発生する地震は「陸域の浅い地震」と呼ばれ、陸のプレートの深さがおよそ20kmより浅いところで発生する為、比較的規模の小さな地震であっても、大きな被害が生じることがある。さらに金沢市は、空中写真の北東から南西に横切る形で森本断層と富樫断層がある [11]ので、将来大規模な災害が来る可能性がある。以下の表 2- 1 に石川県に被害をもたらした主な過去地震を示す。

表 2- 3 : 石川県に被害をもたらした主な過去地震 [11]

発生年月日	地域	マグニチュード	金沢市震度	被害状況 (石川県)
1948.6.28	福井県嶺北地方 (福井地震)	7.1	4	死者：41人 負傷者：453人 家屋全壊：802棟
1952.3.7	石川県西方沖 (大聖寺沖地震)	6.5	3	死者：7人 負傷者8人 建物破損：82棟 床下浸水：30棟
1961.8.19	石川金加賀地方 (北美濃自身)	7.0	3	死者：4人 負傷者：7人 道路損壊・山崩れ：5箇所 等
1983.5.26	秋田県沖 (日本海中部地震)	7.7	3	負傷者：3人 建物損壊：9 漁船被害：67隻
1993.2.7	能登半島沖	6.6	4	重傷：1人 軽傷：28人 建物全壊：1棟 山崖崩れ・トンネル落盤
2000.6.7	石川県西方沖	6.2	3	負傷者：2 窓ガラス破損等
2007.3.25	能登半島沖 (能登半島地震)	6.9	4	死者：1人 重傷：88人 住家全壊：686棟 半壊：1740棟

地震は建造物を破壊して火災・土砂災害を引き起こすだけでなく、海域で発生すると津波が生じる可能性がある。津波とは海底下で大きな地震が発生し、その上の大きな海水が持ち上げられて大きな波となって押し寄せることである。津波は0.5mの腰ぐらいの深さで立ってはいられず、1.0mで確実に人命に影響を及ぼす。

また、金沢市の防災対策は洪水の気象災害に対する防災対策も行っている。過去にも洪水による大規模な災害があり、以下の表 2-4 に、金沢市における過去の主な気象災害と被害状況を示す。

表 2-4：金沢市における過去の主な気象災害 [12]

発生年月日	災害名	概要	被害状況
1985.7.3~14	大雨・強雨	県内総降水量： 500 ミリ以上	死者：9 負傷：33 床下浸水：1686 棟
2006.7.15~19	浸水・山がけ崩れ	梅雨前線 能登町 1 時間 70 ミリ	多数の床上・床下浸水 がけ崩れ
2008.7.28	大雨・強雨	停滞前線 石川付近 金沢 1 時間：100 ミリ	浅野川(金沢市) 2000 棟の床下浸水
2011.9.19~22	洪水・浸水	台風 15 号, 3 日雨量 金沢：244.5 ミリ	負傷者：3 名 河川護岸決壊：65 件
2014.8.15~17	浸水・山がけ崩れ	3 日かけての雨量は 羽咋：286.5 ミリ 金沢：182.0 ミリ	死者：1 名 住家被害：48 棟

2. 2. 2 ハザードマップ

ハザードマップとは、一般的に自然災害による被害の軽減や防災対策に使用する目的で、被災想定区域や避難場所・避難経路などの防災関係施設の位置などを表示した地図である。

『金沢市洪水避難地図』は石川県が作成した「浸水想定区域図」をもとに、市民が避難するための必要な浸水情報、避難情報などの各種情報をまとめたものである [13]。金沢市洪水避難地図を図 2-1 に示す。

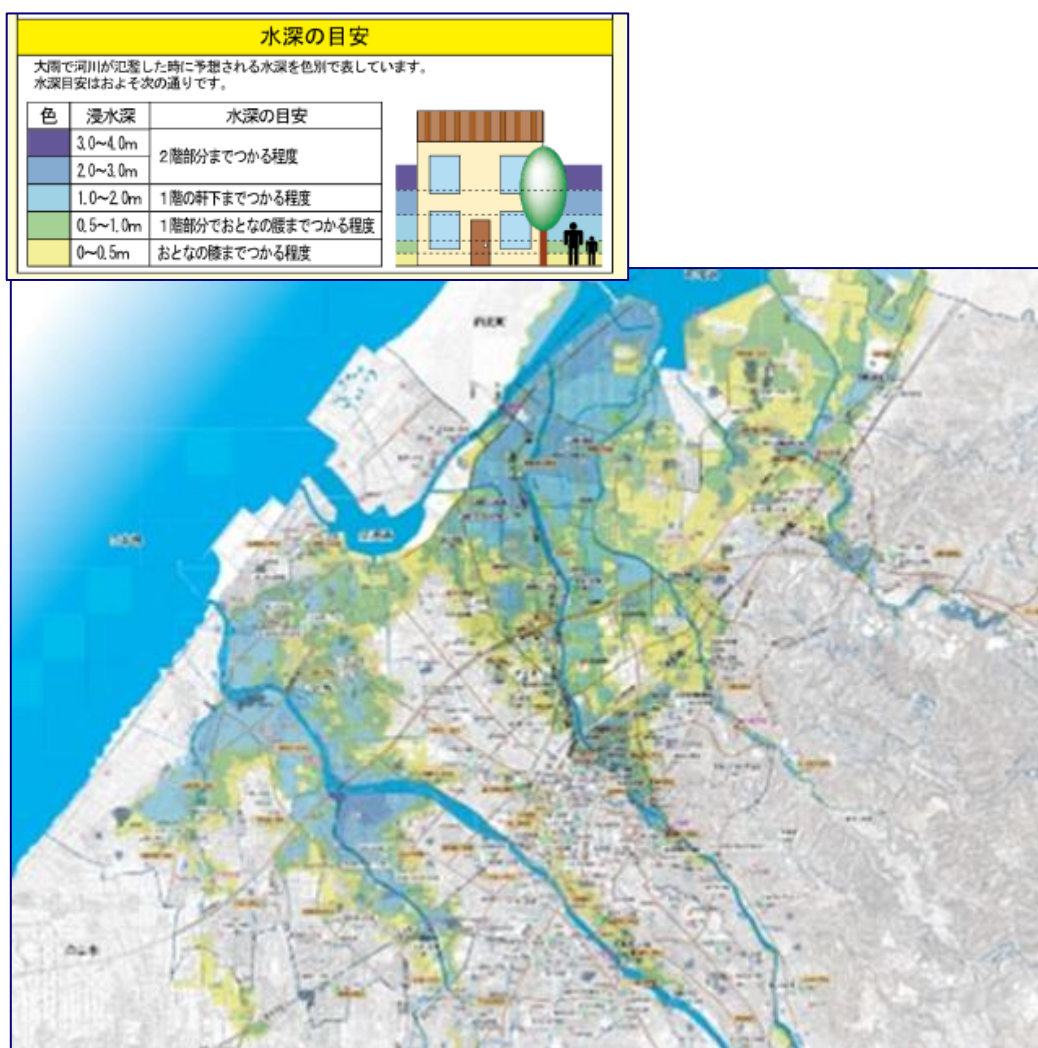


図 2- 1 : 金沢市洪水避難地図 出典 [13]

『金沢市津波避難地図』は、石川県が作成した「石川県津波浸水想定区域図」をもとに、津波から避難するために必要な浸水情報や避難情報などの、各種情報をまとめたものである [14]。金沢市津波避難地図を以下の図 2-2 に示す。

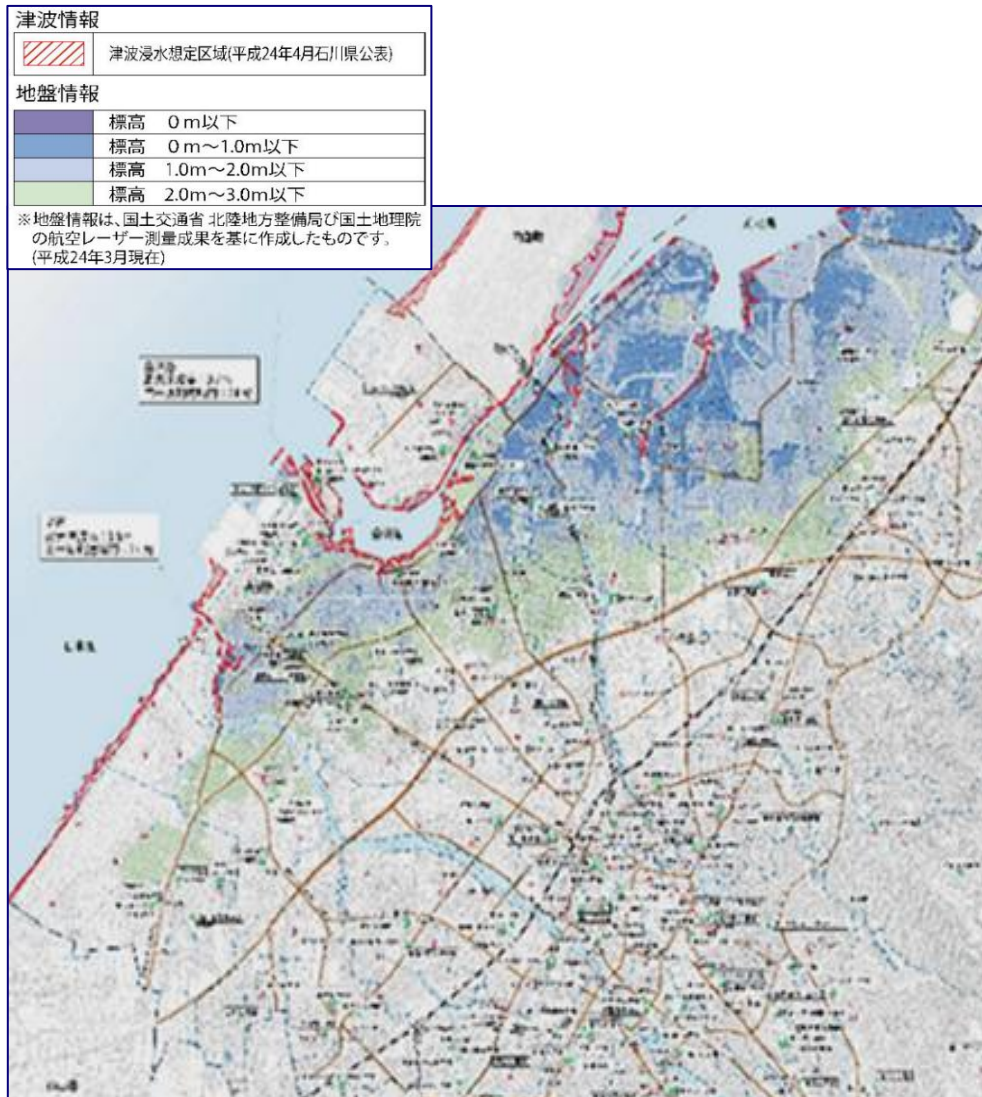


図 2-2 : 金沢市津波避難地図 出典 [14]

2. 2. 3 金沢市の災害対策

金沢市では大規模災害が発生し、家屋に被害があった場合ライフラインが途絶した時、また大規模災害の発生が予想され、あらかじめ住民の避難が必要な時などに、一時的な生活の本拠地、あるいは一時避難場所として、学校・公民館・公園など 496 箇所を指定している [15]。 (金沢市では 2 章 1 節 1 項 の区分として、緊急指定避難所と指定避難所の区別は無く、指定避難所として統一している)

・拠点避難場所：小学校を中心に 68 箇所を定めており、自主防災組織本部（避難所運営委員会）が設置されるなど地域で、市災害対策本部との連絡や物資支援の窓口となる。

・屋内指定避難場所：中学校、高校、大学、公民館、市営体育館等 133 カ所を屋内避難場所として指定している。一時的な生活を送る場所としては拠点避難場所と同じであるが、避難者の情報等を拠点避難場所の自主防災組織本部（避難所運営委員会）に連絡する必要がある。

避難所施設が使用不可の場合、市災害対策本部を調整し、他の避難所の使用を検討するか、状況により 屋外での避難所用テント等の設営を考慮すること になっている [15]。

さらに金沢市では、防災用品を備蓄している。次のページの表 2-5 金沢市における食料等の備蓄計画及び状況を示す。

表 2-5：金沢市における食料等の備蓄計画及び状況 [15] 【平成 26 年度末】

備蓄品目		26 年度末備蓄総量 (カッコ内は 災対本部要員量)	備考
食料	アルファ米	100,000 食	必要量：9 食/(人・日)
	サバイバルフーズ	(10,000)食	災害本部要員文
	粉ミルク	1,000 缶	—
	長期保存水(500ml)	9,000 本	必要量：3ℓ/(人・日)
生活必需品	日用品セット	22,650 組	タオル,ティッシュ,歯ブラシ 洗剤等,必要なセット 4 人分
	毛布	50,000(4,000)枚	真空パックで保管
防災資機材	テント	186 張	—
	ブルーシート	2,000 枚	—

表 2-5 以外でも、中核市災害時相互応援協定による公的備蓄や民間団体等との災害時防災活動協力協定による流通備蓄を活用して、必要物資を確保する体制を構築している。成人 1 人につき、1 日に必要な量の目安は

- ・貯水すべき水量は、1 人 1 日 3 ℓ
- ・主食・主菜・副菜 or 汁物、それぞれ 3 食分

であり、3 日分の量が必要とされている [16].

2. 3 道路の役割

東日本大震災では、太平洋沿岸の国道 45 号は被災・寸断されたが、部分的に供用していた三陸沿岸道路の高速道路は、過去の津波を考慮して高台に整備していた為、損傷がほとんど無く、発災後も国道 45 号の迂回路や緊急輸送路として大きな役割を果たした。また、過去の震災をふまえ耐震補強を実施してきた結果、幹線道路は致命的な被害を受けずに早期復旧が可能になった [17]。

しかし自動車で避難すると、「信号が止まって移動困難」「路上駐車が邪魔」等の理由により復旧に重要な役割を担っている道路が、車の渋滞を引き起こす要因になる。この問題を対処する為に、災害発生直後は「避難するためやむを得ない場合を除き、避難のために車を使用しないこと。」(交通の方法に関する教訓 [18]) と通達されている。即ち災害発生直後は車の利用を極力避け、市町村が定めている一番近い指定避難所や緊急指定避難所にそれぞれ避難することが非常に重要である。

2. 4 業務無線

2. 4. 1 防災行政無線

防災無線とは官公庁で使用される，人命に関わる通信を確保する為に整備された専用の無線通信システムである．日本の防災通信網は，国・都道府県・市町村の各階層から構成される [2]．

(i) 中央防災無線

内閣府を中心に，指定行政機関等（中央省庁等28機関）や指定公共機関（NTT，NHK，電力等52機関），立川広域防災基地内の防災関係機関（東京都防災センター等10機関）を結ぶネットワークである．

(ii) 消防防災無線

消防庁と全都道府県の間を結ぶ通信網で，電話及びファクシミリによる相互通信と消防庁からの一斉通報に利用されている．

(iii) 都道府県防災行政無線

都道府県と市町村，及び防災関係機関等との間を結ぶ通信網で，防災情報の収集・伝達を行うネットワークである．衛星系を含めるとすべての都道府県に整備されている．

(IV) 市町村防災行政無線

市町村が防災情報を収集し，また住民に対して防災情報を周知するために整備しているネットワークである．

表 2-6：それぞれの防災無線システムと関係する区分 [2]

防災無線システム	関係する区分
中央防災無線	・内閣府災害対策本部 ・総務省 ・消防庁 ・警察庁 ・国土交通省 ・気象庁 ・NTT ・NHK ・東京電力 等
消防防災無線	・消防庁 ・県庁災害対策本部
都道府県防災行政無線	・県庁災害対策本部 ・土木事務所 ・農林事務所 ・消防本部 ・气象台 ・市町村 ・NHK 等
市町村防災無線	・市町村役場 ・住民 ・出先機関

本論文では、金沢市の避難所や住民に関係がある**市町村防災行政無線**について着目する。

市町村防災行政システムは主に同報系と移動系の2つに分けられる [2]。

同報系・・・野外に設置したスピーカ等で、住民へ一斉に通信を行う通信システムである。災害時に注意報や警報などの緊急情報を放送する。使用する周波数は 60MHz で空中送電力は 10W, 通信距離 (平坦台地) は 10km 以上通信できる。

移動系・・・携帯型や車載型を利用し災害情報を収集する通信システムである。使用する周波数は 150MHz / 400MHz と、平成 25 年施行の電波法一部改正により、260MHz のデジタル化の変更が進められている。

以下の表 2-7 に防災無線の通信距離とコストを示す。

表 2-7 : 150/260/400MHz 帯の防災無線の通信距離とコスト [19] [20]

周波数帯	出力	通信距離の目安	1 個当たりのコスト (万円)
150MHz	5W 以下	数 km～数十 km (アンテナの高さ, 見通しによって変動)	統制局：5000～8000 山上基地局 (多重)：5000～8000 (有線)：3000～6000 半固定型 100 /1 局 車載機 50 /1 局 ハンディ機 10～20 /1 局
400MHz	5W 以下		
260MHz (デジタル)	5W 以下		

以下の図 2- 3 に 260MHz 帯移動系市町村防災行政無線の整備率の推移と、移動代替手段の移行先の割合を示す。

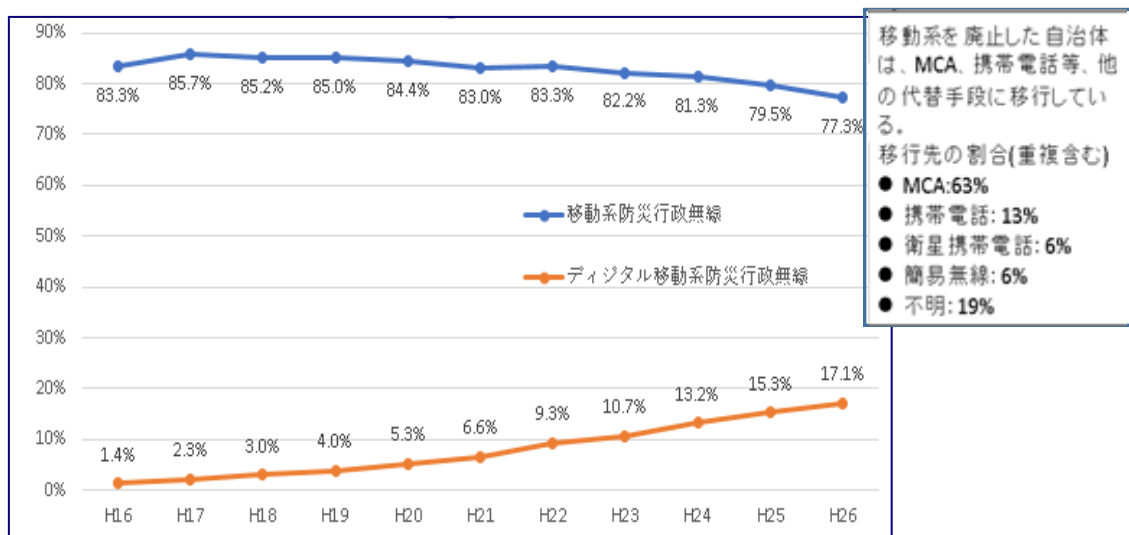


図 2- 3 : 移動系市町村防災行政無線の整備率の推移 出典 [2]

図 2- 3 のようにデジタル移動系防災無線の割合は少ないながらも年々伸びている。しかし、既存の移動系防災行政無線の割合は年々減少し、その移動先として MCA 無線や簡易無線等が選ばれている。この理由として防災行政無線は、設備更新費や初期投資に多額な費用がかかる為だと考えられる。各自治体が財政赤字に苦しむ等の状況下で、コストの面を考慮しなければならない。

通信距離やコストに関して、デジタル移動通信システムは様々な種類があり、通信距離に関しても周波数だけでなくアンテナの感受性・アンテナの高さ・出力等によって、通信距離は大きく変わってくる。以下、移動通信システムの通信距離に関して、八重洲無線工業の業務用無線を例に述べる。

～八重洲無線株式会社が製品としている業務用無線通信機器 [21]～

2. 4. 2 MCA 無線

MCA 無線システムは、(財)移動無線センターが設置・運営する無線制御局を利用して通信を行うシステムである。MCA の特徴として

- ・ 1 回の通話は 5 分以内
- ・ 混信に強く、クリアな音質
- ・ 同報(一斉指令)機能
- ・ 周波数の利用効率が高い
- ・ グループ通信機能

が挙げられる。以下の表 2- 8 に 800MHz の通信距離とコストを示す。

表 2- 8 : MCA 無線の通信距離とコスト (八重洲無線工業の製品) [21]

周波数帯	出力	通信距離の目安	コスト(1 個当たり)
800MHz	2W	制御局を中心に 半径 20~30km 程度	132,000~250,000

2. 4. 3 簡易無線

簡易無線とは、150MHz 帯、400MHz 帯、900MHz 帯、50GHz 帯等を扱う、無線従事者を必要としない無線である。以下の 表 2- 9 に簡易無線の通信距離とコストを示す。

表 2- 9 : 簡易無線の通信距離とコスト(八重洲無線工業の製品) [21]

周波数	特徴	出力	通信距離の目安	コスト(1 個当たり)
150MHz 帯	障害物が少ない場所での通信に適している	1~5W	見通しの良い場所で 約 10~20km ※基地局と移動局が交信の場合	70,000-172,800
400MHz 帯	建物内・都市部での通信に適している。			

また最近の動向として、920MHz 帯の無線が防災に役立つとして注目されている。その理由として、

- ・簡易な免許手続き、無線従業者不要.
- ・通信の信頼性が高く、干渉が少ない
- ・費用が安い（無線機器アンテナ込みの価格：10 万円前後）

【比較】：同報系アンテナ込みの価格：150 万円前後

が挙げられ、特徴として、映像・音声をマルチホップ通信で行うことができ、防災行政無線（同報系）の代わりになるとされている [22]。以下の表 2- 10 に 920MHz 帯の通信距離とコストを示す。

表 2- 10：920MHz 帯の通信距離とコスト 出典 [22]

周波数帯	出力	通信距離の目安	コスト(1 個当たり)
920MHz	250mW	約 2km	約 10 万円前後

2. 4. 4 特定小電力無線

ライフスタイルやビジネスシーンが多様化し、比較的狭いサービスエリアにおける無線通信の需要が増加した背景から、特定小電力無線局に対する制度が作られた。総務省で定める一定の条件を満たした無線設備であれば、無線従事者資格も無線局免許も不要である為、広く一般の人々が利用できる。以下の表 2- 11 に特定小電力無線の通信距離とコストを示す。

表 2- 11：特定小電力無線の通信距離とコスト（八重洲無線工業の製品） [21]

周波数帯	出力	通信距離の目安	コスト(1 個当たり)
400MHz	10mW 以下	見通しの良い場所で 約 1km-2km	10,000~39,000 (中継機)
		市街地で 100-200m	18,600~128,000

2. 4. 5 小エリア無線（小エリア通信システム）

簡易無線の中で 300MHz 帯を扱う無線を、特に小エリア無線と呼ぶ。300MHz は比較的
空いている周波数の為、イベント会場などの簡易無線が頻繁に使用される場所でも、通信
状況が勝るケースがある。しかし、2022 年 11 月 30 日までで、現在の小エリア無線（新簡
易無線）は制度廃止となり、機器も使用できなくなる。以下の表 2-12 に小エリア無線の通
信距離とコストを示す。

表 2-12：小エリア無線の通信距離とコスト(八重洲無線工業の製品) [21]

周波数帯	特徴	出力	通信距離の目安	コスト(1 個当たり)
300MHz	比較的空いている 周波数帯。 混信の可能性が少ない。	1W	見通しの良い場所で 約 2~3km	82,000~160,000

第3章 実験

3.1 避難所関連

3.1.1 人口地域メッシュデータの利用

人口地域メッシュデータ [23]とは、公益財団法人の統計情報開発センターで緯度・経度に基づき地域を隙間なく網の目 (Mesh) の区域に分けて、統計データをそれぞれの区域に編成した地域メッシュデータから、500m ごとに男女・年齢3区分別人口及び一般世帯数のみを収録し、第1次地域区画コードを単位として全国を70ファイルで編成しているデータである。以下の図3-1：金沢市を含むメッシュコードと人口分布を以下に示す。(尚、図3-1はOpenGL [24]と呼ばれるソフトを利用して、黄色→橙色→赤色の順に500mメッシュ内における人口の割合が、高くなるように可視化している。)

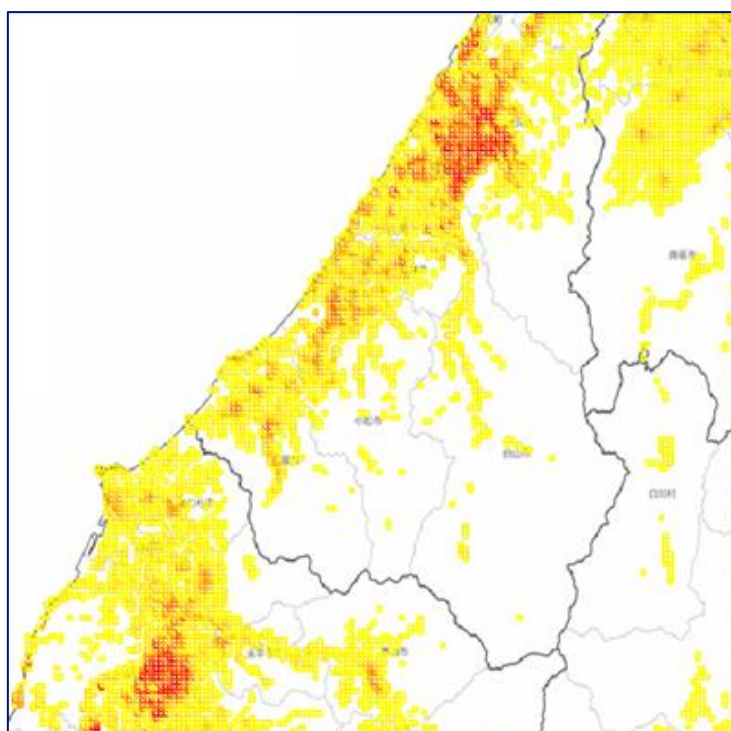


図3-1：金沢市を含むメッシュコード{5436}と人口分布
(OpenGL [24]のソフトウェアを利用して、黄色→橙色→赤色の順に
500mメッシュ内における人口の割合が高くなるように可視化)

本研究では男女・年齢の区分は付けず、500m メッシュ内にある全人口数を扱う。また、金沢市を中心に参照する為、以下図 3-2 の右図に示した金沢市の範囲で実験を行う。

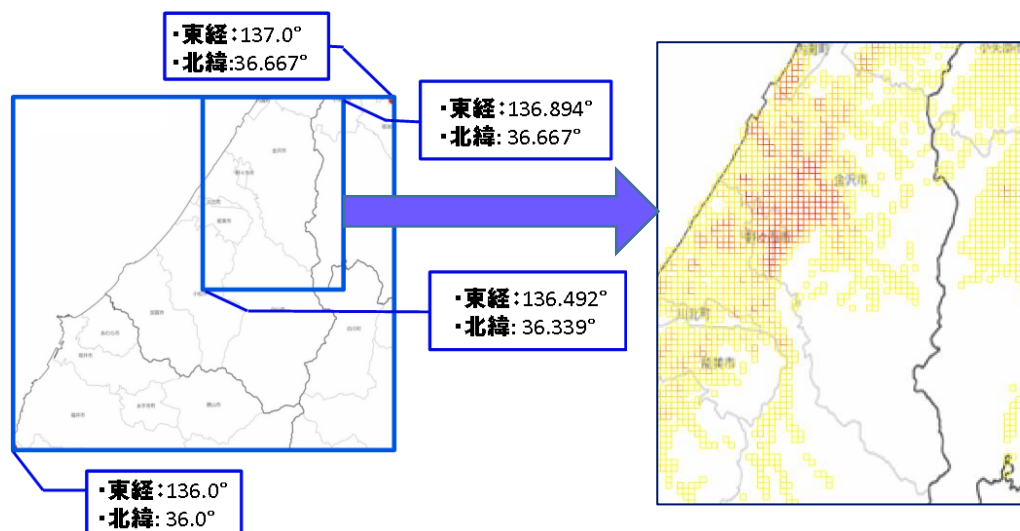


図 3-2 : 実験で扱う,金沢市を含んだ範囲

3. 1. 2 各種データ値設定

●金沢市避難所のデータ

金沢市避難所のデータは、施設オープンデータ [15]から CSV 形式で利用できる。避難所の CSV データ (H28.9) から、

- ・ 指定避難所の名称 (住所が重ならない 496 箇所 {H28.9} を扱う.)
- ・ 指定避難所の場所 (住所名)
- ・ 指定避難所の許容人数

の 3 つの値を扱う。指定避難所の場所から Geocoding (HTTP 経由の緯度経度変換ソフトウェア) [25]を使い、緯度と経度を出す。

しかし許容人数について、金沢市における公園の許容人数のデータ値は記されていないかった (274 箇所 許容人数記載無し)。許容人数が載っていない場所は全て公園の為、『大阪府防災公園施設整備マニュアル (大阪府土木部公園課) [7]』や『防災公園技術ハンドブック [8]』を参考に^{※1}、公園面積から許容人数を算定した。

公園面積は、金沢市役所の都市整備局・緑と花の課 から頂いたデータを扱う。しかし、面積が載っていない場所もある (274 箇所中 34 箇所 面積記載無し) ので、面積計算サイト [26]を利用して、許容人数が記載されていない避難所全ての面積を求めた。以下の図 3-3 に面積計算サイトを利用した参考として示す。

※1 本論文の 2 章 1 節 2 項 (避難所の収容人数, p.5) を参照。



図 3- 3 : 面積計算サイト [26] を利用して面積算定 (34 箇所利用)

以上で得られた 274 箇所の公園の面積から、

$$\text{公園の許容人数(274 箇所)} = \text{公園の面積} \times 70\% \div 3 (\text{m}^2 / \text{人})$$

として、許容人数が記載されていない場所に対する、許容人数の算定を行った。

496 箇所の避難所から「公民館・施設」「学校・体育館」「公園・その他」の3つに分類して実験を行う。以下の図 3-4 に、

I (赤)、公民館・施設

II (青)、学校・体育館

III (緑)、公園・その他

と分類し可視化した図を示す。

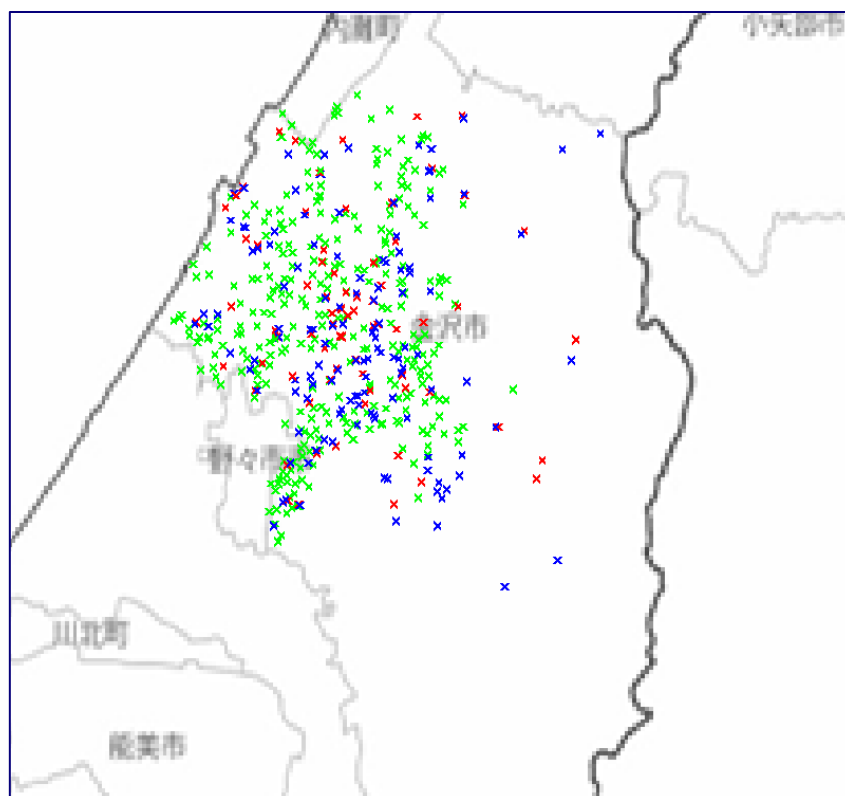


図 3-4：金沢市の避難所

I. 赤 ← 公民館・施設 74 箇所

II. 青 ← 学校・体育館 126 箇所

III. 緑 ← 公園・その他 296 箇所

●災害範囲の設定

災害範囲の設定において、本論文では金沢市全体で避難所に避難する場合と金沢市における洪水災害の範囲で避難する場合、及び金沢市における津波災害の範囲で避難する場合の3つの場合に分けて考える。

・金沢市全体で避難所に避難する場合

大地震等により、金沢市全体の人々が避難所に避難するケースを考える。以下の図 3-5 に金沢市全体の人を含む災害範囲を指定した図を示す。

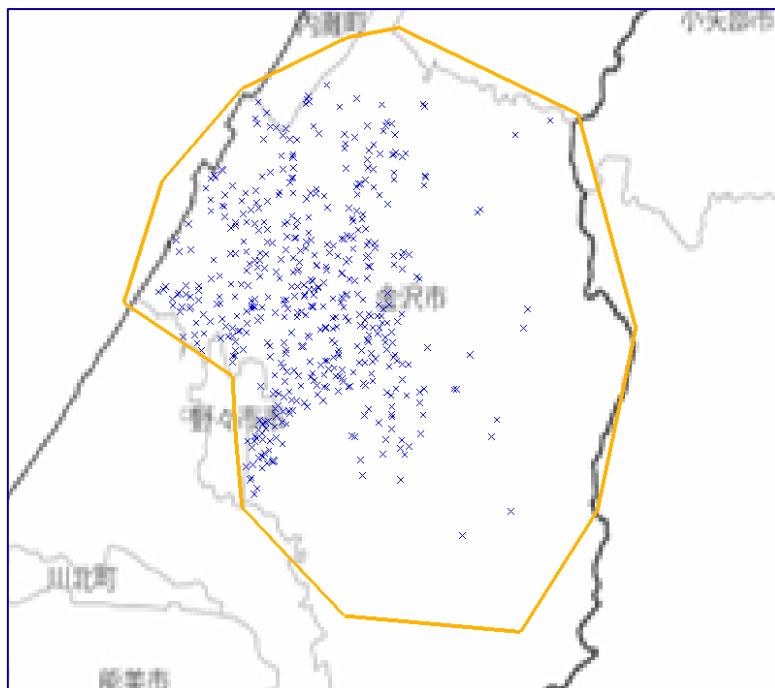


図 3-5 : 金沢市に住んでいる人全員を含む災害範囲を指定
(金沢市の最南部は人が存在しない)

- ・金沢市における洪水災害の範囲で避難する場合

金沢市で発生する洪水被害の範囲から、避難所に避難するケースを考える。図 2-1 のハザードマップから洪水被害範囲をさらに 3 つの場合に分類して、

【洪水 Level1 {浸水深 2.0~(4.0)m}】

【洪水 Level2 {浸水深 0.5~(4.0)m}】

【洪水 Level3 {浸水深 0~(4.0)m}】

として指定する。以下の図 3-6 に洪水避難地図から災害範囲を指定した図を示す。

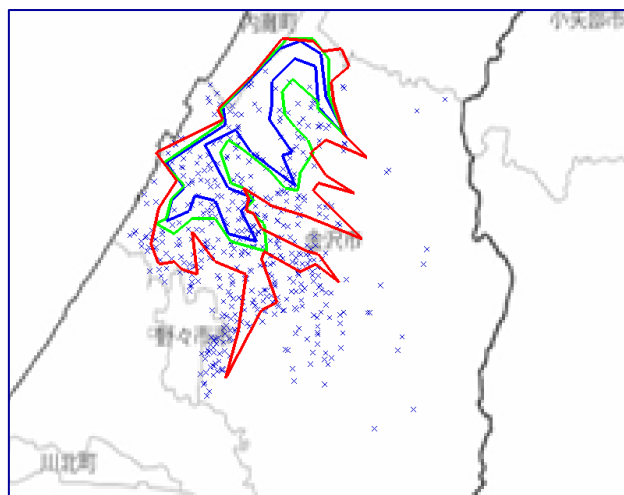


図 3-6 : 洪水避難地図 [13] を参考に災害範囲を指定

【洪水 Level 1】 金沢市洪水 浸水深 2.0~(4.0)m

【洪水 Level 2】 金沢市洪水 浸水深 0.5~(4.0)m

【洪水 Level 3】 金沢市洪水 浸水深 0~(4.0)m

- ・金沢市における津波災害の範囲で避難する場合

金沢市で発生する津波被害の範囲から、避難所に避難するケースを考える。図 2-2 のハザードマップから津波被害範囲をさらに 3 つ場合に分類して、

【津波 Level1 {標高 0～1.0m以下}】

【津波 Level2 {標高 0～2.0m以下}】

【津波 Level3 {標高 0～3.0m以下}】

として指定する。以下の図 3-6 に洪水避難地図から災害範囲を指定した図を示す。

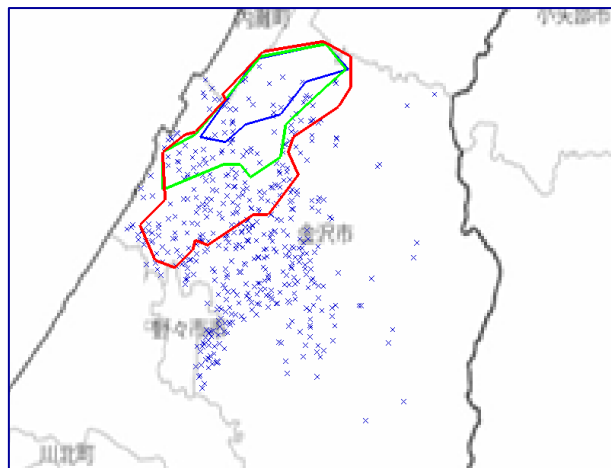


図 3-7：津波避難地図 [14] を参考に災害範囲を指定

【津波 Level1】 金沢市津波 標高 0～1.0m以下

【津波 Level2】 金沢市津波 標高 0～2.0m以下

【津波 Level3】 金沢市津波 標高 0～3.0m以下

●500m の地域メッシュデータから避難所に人口割り当てる方法

人口地域メッシュデータでは、1 辺 500m の正方形が最小の範囲となる。したがって本実験では、「500m メッシュ内に避難所がある場合」と「500m メッシュ内に避難所が無い場合」の 2 つの場合に分ける。それぞれの場合に応じて、メッシュ内の人口を避難所に割り当てる手順を考える。

～500m メッシュ内に避難所がある場合～

500m メッシュ内に避難所がある場合より

500m メッシュ内にある避難所数	: $N (N \geq 1)$
500m メッシュ内にあるそれぞれの避難所	: $S_n = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$
500m メッシュ内の人口数	: P

とおく。メッシュ内の人口を避難所に割り当てる手順は、

$$S_n = \frac{P}{N} \quad (n = 1, 2, \dots, N)$$

とする。図 3-8 に 500m メッシュ内に避難所がある場合の例を示す。

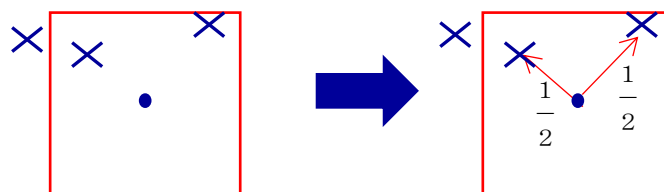


図 3-8 : 500m メッシュ内に避難所がある場合
(500m メッシュ内に 2 箇所の避難所がある為、
それぞれ 2 か所に 1/2 の人口を割り当てる)

～500m メッシュ内に避難所が無い場合～

500m メッシュ内に避難所が無い時, メッシュの中心から一番近い避難所に, メッシュ人口を割り当てるようにする. 以下 図 3-9 に 500m メッシュ内に避難所が無い場合の例を示す.

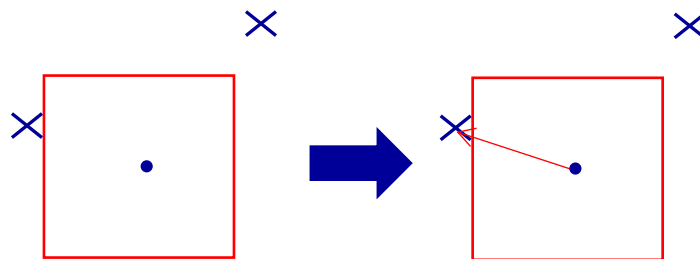


図 3-9 : 500m メッシュ内に避難所が無い場合
(500m メッシュの中心から一番近い
避難所に人口を割り当てる.)

3.2 避難所間の距離について

避難所間を繋ぐ無線通信では、電波干渉により通信が困難になる状況は避けたい。よって、無線通信で電波干渉を起こしやすいリンクの交差が無い平面グラフとして、相対近傍グラフ（以降 RNG）に着目する。この節では、RNG の特徴から、「それぞれのグラフと道路の構成比率」について説明する。

3.2.1 相対近傍グラフ(RNG)

相対近傍グラフ（RNG : Relative Neighborhood Graph）は 2 点間を半径とする円の重複部分に点が無い場合に 2 点間を結ぶ辺で構成される平面グラフである [27]。以下の図 3-10 に RNG における、ノード i - j 間の結合条件を示す。

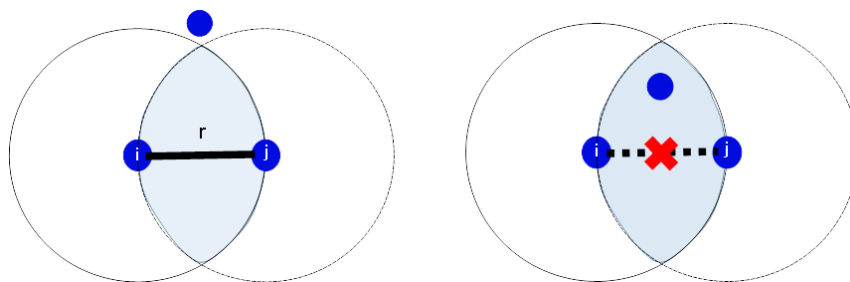


図 3-10 : RNG グラフ

以下に RNG の疑似コードを示す。

```
if (( $d(i,k) < d(i,j)$  かつ  $d(j,k) < d(i,j)$ )となるノード  $k$  が存在しない)
    # $d(i,j)$ はノード  $i$ - $j$  間のユークリッド距離
    then ノード  $i$ - $j$  間にリンク  $r$  を構築する
else
    then ノード  $i$ - $j$  間にリンクを構築しない
```

3. 2. 2 その他のグラフ

●ガブリエルグラフ

ガブリエルグラフとは、2点間を直径とする円が空円の場合に二点間を結ぶ辺で構成される平面グラフである [27]. 以下の

図 3-11 にガブリエルグラフの構築を示す.

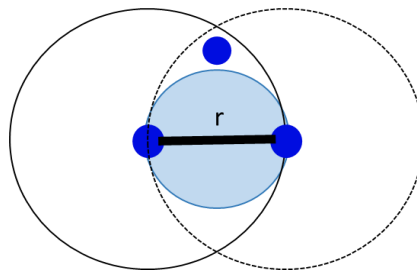


図 3-11 : ガブリエルグラフ

(2点間を直径 r とする円内に, 他の点が無い場合に構築)

●ドロネー網

ドロネー網とは, 空間中の点群から点どうしを連結し三角形の網を生成する手法である. ドロネー三角形分割とも呼ばれ, 3点を外接する円の内部に, 他の点が存在しない場合に構築される. 以下の図 3-12 にドロネー網の構築を示す.

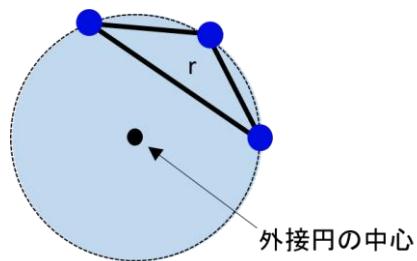


図 3-12 : ドロネー網

(3点の外接円内に, 他の点が無い場合に構築)

3. 2. 3 それぞれのグラフと道路の構成比率

[27] では, RNG やガブリエルグラフ, ドロネー網等の平面グラフから, 実際の道路網形態との解析を行っている. ここで,

- グラフ構成比率・・・構築したグラフ本の本数に対するグラフ辺と道路辺との一致した割合
- 道路構成比率・・・道路辺の本数に対するグラフ辺と道路辺との一致した割合
- 総合構成比率・・・道路辺と構築したグラフ辺の和集合の辺に対する本数に対するグラフ辺と道路辺との一致した割合

を指標として, 様々なグラフを比較した結果を以下の図 3- 13 に示す.

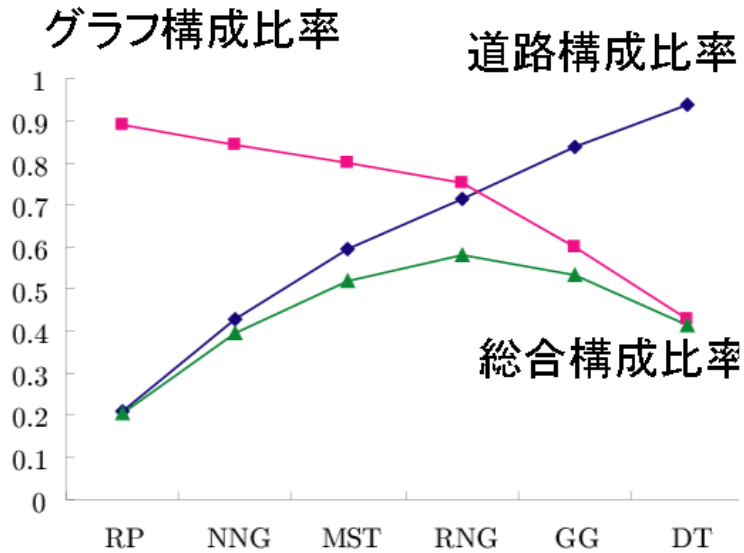


図 3- 13 : 様々なグラフと構成比率

(つくば) 出典 [28]

(ここで, **RP** : 孤立最近接対, **NNG** : 最近傍グラフ, **MST** : 最小木, **GG** : ガブリエルグラフ, **DT** : ドロネー網 を示す)

図 3-13 から, ガブリエルグラフ (GG) やドロネー網 (DT) では, 道路網と一致している数は多いが, 不要な辺も多く現れた. 逆に RNG の構成より少ない MST (最小木) グラフ等では, 不要な辺は少ないが, 道路網と一致している数も少ない.

本論文では, 実際の道路網と一致している辺が多く, 不要なグラフの辺が少ない特徴をもつ RNG の平面グラフ を利用する.

表 4-2 : 洪水 Level1 (図 3- 6)における溢れる箇所と割合の結果

FLevel1	I [公民館] : 11箇所	II [学校] : 14箇所	III [公園] : 45箇所
I + II + III	9箇所 (82%)	4箇所 (29%)	19箇所 (42%)
I + II	11箇所 (100%)	7箇所 (50%)	—
II + III	—	6箇所 (43%)	20箇所 (44%)

表 4- 3 : 洪水 Level2 (図 3- 6) における溢れる箇所と割合の結果

FLevel2	I [公民館] : 21箇所	II [学校] : 20箇所	III [公園] : 81箇所
I + II + III	16箇所 (76%)	5箇所 (25%)	35箇所 (43%)
I + II	19箇所 (90%)	16箇所 (80%)	—
II + III	—	6箇所 (30%)	38箇所 (48%)

表 4- 4 : 洪水 Level3 (図 3- 6) における溢れる箇所と割合の結果

FLevel3	I [公民館] : 41箇所	II [学校] : 67箇所	III [公園] : 161箇所
I + II + III	33箇所 (80%)	17箇所 (25%)	75箇所 (47%)
I + II	19箇所 (90%)	41箇所 (61%)	—
II + III	—	19箇所 (28%)	82箇所 (51%)

表 4- 5 : 津波 Level1 (図 3- 7) における溢れる箇所と割合の結果

TLevel1	I [公民館] : 3箇所	II [学校] : 4箇所	III [公園] : 18箇所
I + II + III	2箇所 (67%)	1箇所 (25%)	3箇所 (17%)
I + II	3箇所 (100%)	2箇所 (50%)	—
II + III	—	1箇所 (25%)	3箇所 (17%)

表 4- 6 : 津波 Level2 (図 3- 7) における溢れる箇所と割合の結果

TLevel2	I [公民館] : 7箇所	II [学校] : 14箇所	III [公園] : 45箇所
I + II + III	6箇所 (86%)	4箇所 (29%)	16箇所 (36%)
I + II	7箇所 (100%)	10箇所 (71%)	—
II + III	—	4箇所 (29%)	18箇所 (40%)

表 4- 7 : 津波 Level3 (図 3- 7) における溢れる箇所と割合の結果

TLevel3	I [公民館] : 25箇所	II [学校] : 38箇所	III [公園] : 118箇所
I + II + III	20箇所 (80%)	7箇所 (18%)	54箇所 (46%)
I + II	23箇所 (92%)	24箇所 (63%)	—
II + III	—	11箇所 (29%)	60箇所 (51%)

公園を避難所として収容しない場合（Ⅰ+Ⅱ）の、溢れる避難所数の割合を調べると、公民館の溢れる割合は約90%以上、学校に関しては、約50%以上と溢れる避難所の割合があった。学校は、指定避難所全て避難する場合（Ⅰ+Ⅱ+Ⅲ）と比べると、平均約30%の割合が上昇した。よって大規模災害が発生した時に備えて、公園で避難生活ができるように、整えておかなければならないと考えられる。

対して、公民館を避難所として収容しない（Ⅱ+Ⅲ）場合の、溢れる避難所数の割合を調べると、平均7%の上昇で済んだ。よって、基本的に避難先は学校や公園を利用し、やむ負えない場合公民館に避難する手段が溢れの混乱を減らすことができると考えられる。

また割合の最大値（赤字）より、範囲の広い全体や、洪水や津波のLevel3に多いわけではなく、範囲の狭いLevel1やLevel2の方が、溢れる避難所数の割合が多い。これは、範囲が広がることにより、別の近い避難所に避難できるようになる為と推測される。よって災害範囲の大きさと、溢れる避難所数における割合の大きさでは、相関性があるとはいえないと考えられる。

4. 1. 1 溢れる人数・割り当てる人数の結果

溢れる人数と、割り当てる人数、及びそれらの割合の結果を以下の表 4- 8～表 4- 14 に示す。

表 4- 8～表 4- 14 のセル内は
溢れた人数 / 割り当てる人数(割合) とする。

表 4- 8 : 全体における結果

全体	I [公民館]	II [体育館]	III [公園]
I + II + III	69,532人 / 82,505人 (85%)	20,068人 / 118,005人 (17%)	135,417人 / 309,059人 (44%)
I + II	181,631人 / 195,778人 (93%)	128,996人 / 313,399人 (41%)	—
II + III	—	46,421人 / 164,238人 (28%)	157,809人 / 344,901人(46%)

表 4- 9 : 洪水 Level1 における結果

FLevel1	I [公民館]	II [体育館]	III [公園]
I + II + III	10,080人 / 11,481人 (88%)	3,695人 / 16,397人 (23%)	14,260人 / 34,679人 (41%)
I + II	25,416人 / 27,046人 (94%)	14,578人 / 35,518人 (41%)	—
II + III	—	4,987人 / 23,826人 (21%)	17,503人 / 38,733人 (45%)

表 4- 10 : 洪水 Level2 における結果

FLevel2	I [公民館]	II [体育館]	III [公園]
I + II + III	16,665人 / 19,738人 (84%)	3,161人 / 19,482人 (16%)	29,670人 / 70,884人 (42%)
I + II	41,294人 / 45,201人 (92%)	27,251人 / 65,094人 (42%)	—
II + III	—	5,585人 / 29,327人 (19%)	33,924人 / 80,781人 (42%)

表 4- 11 : 洪水 Level3 における結果

FLevel3	I [公民館]	II [体育館]	III [公園]
I + II + III	31,129人 / 37,765人 (82%)	13,136人 / 67,675人 (19%)	56,126人 / 147,222人 (38%)
I + II	73,109人 / 81,129人 (82%)	67,074人 / 171,559人 (39%)	—
II + III	—	23,891人 / 89,877人 (27%)	65,204人 / 162,793人 (40%)

表 4-12：津波 Level1 における結果

TLevel1	I [公民館]	II [体育館]	III [公園]
I + II + III	3,246人 / 3,464人 (94%)	45人 / 3,036人 (1%)	2,619人 / 8,984人 (29%)
I + II	5,325人 / 5,596人 (95%)	4,637人 / 9,890人 (47%)	—
II + III	—	79人 / 4,190人 (2%)	2,619人 / 11,376人 (23%)

表 4-13：津波 Level2 における結果

TLevel2	I [公民館]	II [体育館]	III [公園]
I + II + III	7,258人 / 8,321人 (87%)	716人 / 12,767人 (6%)	14,169人 / 36,382人 (39%)
I + II	17,257人 / 18,373人 (94%)	19,205 / 39,107 (49%)	—
II + III	—	750人 / 17,708人 (4%)	14,616人 / 39,765人 (37%)

表 4-14：津波 Level3 における結果

TLevel3	I [公民館]	II [体育館]	III [公園]
I + II + III	19,894人 / 23,677人 (84%)	4,266人 / 40,998人 (10%)	45,237人 / 09,310人 (41%)
I + II	52,347人 / 56,440人 (93%)	47,560人 / 117,564人 (40%)	—
II + III	—	8,963人 / 52,931人 (17%)	51,570人 / 121,060人 (43%)

表 4-9～表 4-14 の結果から、一番近い指定避難所全てに避難した場合と、公園を避難先としない場合、及び公民館を避難先としない場合から、溢れる人数の割合を表したグラフを、それぞれ図 4-1、図 4-2、図 4-3 に示す。

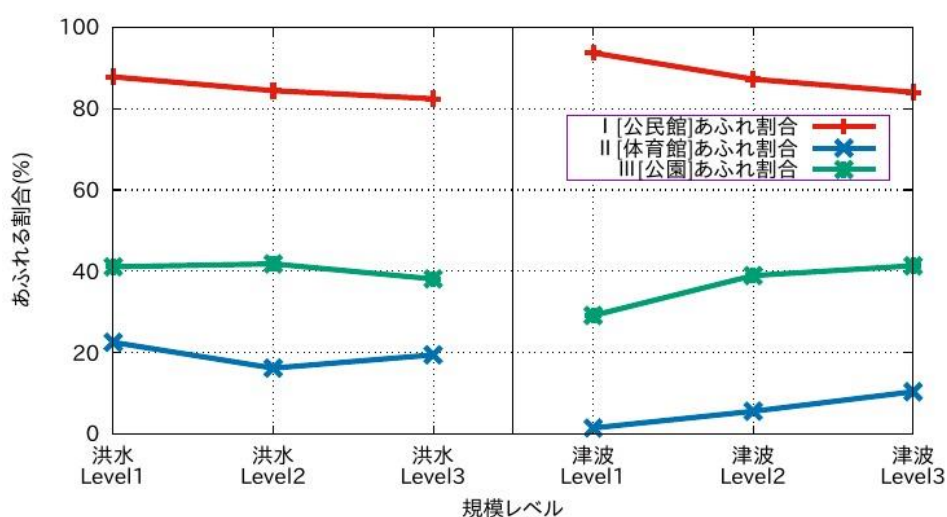


図 4-1：公民館(I)・体育館(II)・公園(III) に人を割り当てる時の溢れた人数の割合

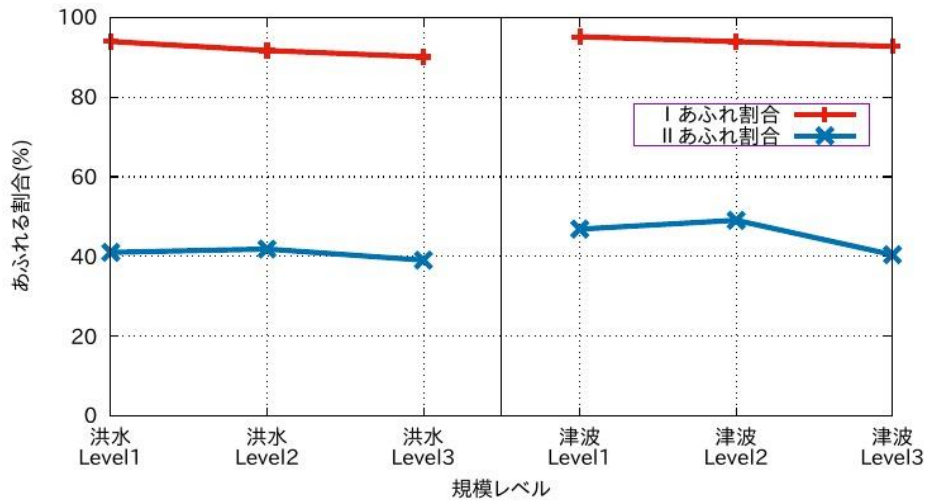


図 4- 2 : 公民館(I)・体育館(II)に人を割り当てる時の溢れた人数の割合

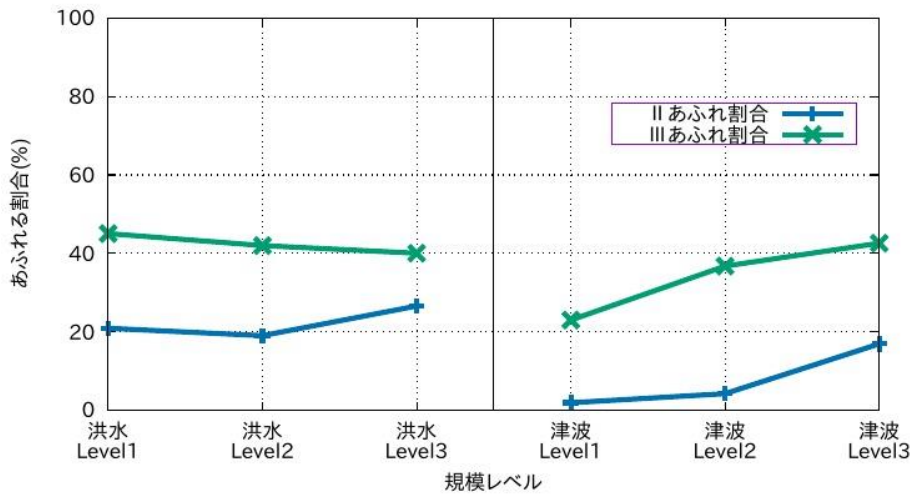


図 4- 3 : 体育館(II)・公園(III)に人を割り当てる時の溢れた人数の割合

表 4-8～表 4-14 の結果をから、I [公民館]の溢れる人数の割合は約 80%以上である。さらに、全体の指定避難所に避難する場合（図 4-1）と、公園を避難所として収容しない場合（図 4-2）の比較を行うと、学校の溢れる人数の割合は約 30%増加している。しかし、公民館を避難所として収容しない場合（図 4-3）の比較を行うと、溢れる人数の割合はほぼ変わらない。

これらから、一番近い避難先として公民館に向かうと、高い割合の人数が溢れを引き起こし、混乱を招く。可能であれば、公民館よりも学校・公園を避難先にしておくと、溢れにより引き起こされる混乱の人数を、抑えることができる。

4. 1. 2 割り当てることができた人数と金沢市備蓄品 (表 2-5)との関係

指定避難所に割り当てることができた人数を、以下の表 4-15 に示す。

表 4-15：指定避難所全体を対象に割り当てることができた人数

避難した 避難所全て	I + II + III	I + II	II + III
洪水 Level1	34,522 人	22,570 人	40,069 人
洪水 Level2	60,608 人	41,570 人	70,599 人
洪水 Level3	152,271 人	112,505 人	163,575 人
津波 Level1	9,574 人	5,524 人	12,787 人
津波 Level2	35,327 人	21,018 人	42,107 人
津波 Level3	104,588 人	74,097 人	113,458 人

表 4-15 の割り当てることができた人数で、公園を指定避難所としない場合 (I + II) は、指定避難所全て避難する場合 (I + II + III) に比べて、少ない人数を示している。これは収容人数が多い公園が、対象から外れた為だと考えられる。

災害時の食料について、主食は1日3食の食事が必要である。金沢市の備蓄品 (表 2-5) から、アルファ米やサバイバルフーズの食料があり、合わせると 110,000 食あるので、1 日約 36,666 人分の食事があるのがわかる。以下の表 4-16 に割り当てることができた人数の結果から、食料の必要人数分と算出手順を示す。

表 4-16：金沢市備蓄品の食料（110,000 食分）を除いた必要人数と算出手順
 （1人あたり1日3食）
 [○：備蓄品で充足可能]

避難所に割り当てることができた人数 — 36,666人分

避難した 避難所全て	I + II + III	I + II	II + III
洪水 Level1	○	○	3,403 人
洪水 Level2	23,942 人	4,904 人	33,933 人
洪水 Level3	115,605 人	75,839 人	126,909 人
津波 Level1	○	○	○
津波 Level2	○	○	5,441 人
津波 Level3	67,922 人	37,431 人	76,792 人

以上の表 4-16 から、洪水 Level1 と、津波 Level1, Level2 の範囲では、避難所にいる人数分の食料は、金沢市の備蓄品のみで足りる場合がある。しかし洪水 Level3 だと 最高約 12 万人分の食料が足りない。以上から、食料に関して民間の協力や、各世帯における非常食の備えが必要だといえる。

災害時の飲料水について、1日3ℓの量が必要である。金沢市の備蓄品（表2-5）から500mℓの長期保存水は9,000本であるので、1日約1,500人分の飲料水があるのがわかる。以下の表4-17に割り当てることができた人数の結果から、飲料水の必要人数と算出手順を示す。

表4-17：金沢市備蓄品の飲料水(9,000本|500mℓ)を除いた必要人数と算出手順
(1人あたり1日3ℓ)

避難所に割り当てることが できた人数	— 1,500人分
-----------------------	-----------

	I + II + III	I + II	II + III
洪水 Level1	33,022 人	21,070 人	38,569 人
洪水 Level2	59,108 人	40,070 人	69,099 人
洪水 Level3	150,771 人	111,005 人	162,075 人
津波 Level1	8,074 人	4,024 人	11,287 人
津波 Level2	33,827 人	19,518 人	40,607 人
津波 Level3	103,088 人	72,597 人	111,958 人

以上の表4-17から、金沢市の備蓄品だけでは、飲料水が足りないことがわかる。災害時の飲料水は、民間の協力や個人の備えが必須といえる。

災害時のブルーシートについて考える。ブルーシートの用途は一般的に、学校内で使われることが多い。よって、以下の表 4-18 に学校(Ⅱ)に割り当てることができた人数を示す。

表 4-18：学校のみ対象で割り当てることができた人数

学校	I + Ⅱ + Ⅲ	I + Ⅱ	Ⅱ + Ⅲ
洪水 Level1	12,702 人	20,940 人	18,839 人
洪水 Level2	16,321 人	37,843 人	23,742 人
洪水 Level3	54,539 人	104,485 人	65,986 人
津波 Level1	2,991 人	5,253 人	4,030 人
津波 Level2	12,051 人	19,902 人	16,958 人
津波 Level3	36,732 人	70,004 人	43,968 人

ブルーシートは大きさの違いより、1枚あたり約4~12人(約100m²のブルーシートもある)扱える。金沢市の備蓄品(表 2-5)から、ブルーシートは2000枚ある。表 4-18の学校に割り当てることができた人数の結果をもとに、ブルーシートの必要量と算出手順を以下の表 4-19に示す。

表 4-19：学校に対する、金沢市備蓄品のブルーシート(2,000枚)を除いた必要量と算出手順(1枚あたり4~12人)

[○：備蓄品で充足可能]

学校の避難所に <u>割り当てることができた人数</u> — 2,000枚 4~12人
--

	I + Ⅱ + Ⅲ	I + Ⅱ	Ⅱ + Ⅲ
洪水 Level1	○~1,176 枚	○~3,235 枚	○~2,710 枚
洪水 Level2	○~2,080 枚	1,154~7,461 枚	○~3,936 枚
洪水 Level3	2,545~11,635 枚	6,707~24,121 枚	3,499~14,497 枚
津波 Level1	○	○	○
津波 Level2	○~1,013 枚	○~2,976 枚	○~2,240 枚
津波 Level3	1,061~7,183 枚	3,834~15,501 枚	1,664~8,992 枚

以上の表 4-19 から、1 枚あたり 12 人で扱うことができれば、洪水や津波における Level2 の範囲まで充足できる。しかし、洪水や津波における Level3 の範囲まで広がると、1 枚あたり 12 人使用でも、ブルーシートが足りなくなる。

災害時のテントについて考える。災害用テントの用途は一般的に、屋外である公園等で使われることが多い。ここで以下の表 4-20 に、公園 (Ⅲ) に割り当てることができた人数を示す。

表 4-20：公園のみ対象で割り当てることができた人数

公園	I + II + Ⅲ	II + Ⅲ
洪水 Level1	20,419 人	21,230 人
洪水 Level2	41,214 人	46,857 人
洪水 Level3	91,096 人	97,589 人
津波 Level1	6,365 人	8,757 人
津波 Level2	22,213 人	25,149 人
津波 Level3	64,073 人	69,490 人

災害用のテントは、1 張あたり 12m²~25m² より、約 4~8 人収容できる。金沢市の備蓄品 (表 2-5) から、テントは 186 張ある。表 4-20 の公園に割り当てることができた人数の結果をもとに、テントの必要量と算出手順を以下の表 4-21 に示す。

表 4-21：公園に対する、金沢市備蓄品のテント数 (186 張)を除いた必要量と算出手順
(テント 1 張あたり 4~8 人)

<p>公園の避難所に 割り当てることができた人数 — 186張 4~8人</p>
--

	I + II + Ⅲ	II + Ⅲ
洪水 Level1	2,366~4,919 張	2,468~5,122 張
洪水 Level2	4,966~10,118 張	5,671~11,528 張
洪水 Level3	11,201~22,588 張	12,013~24,211 張
津波 Level1	610~1,405 張	909~2,003 張
津波 Level2	2,591~5,367 張	2,958~6,101 張
津波 Level3	7,823~15,832 張	8,500~17,187 張

以上の表 4-21 からテント必要量は、最低値で 610 張、最高値で 24,211 張である。よってテントに関して、割り当てることができた人達に金沢備蓄品のみでは数が足りないといえる。つまり、公的備蓄や民間団体等にテントを確保する必要性があると考えられる。

4. 2 金沢市避難所間における RNG の距離分布

以下図 4-4 に、金沢市で避難所間に RNG グラフで構築した様子を可視化したものを示す。

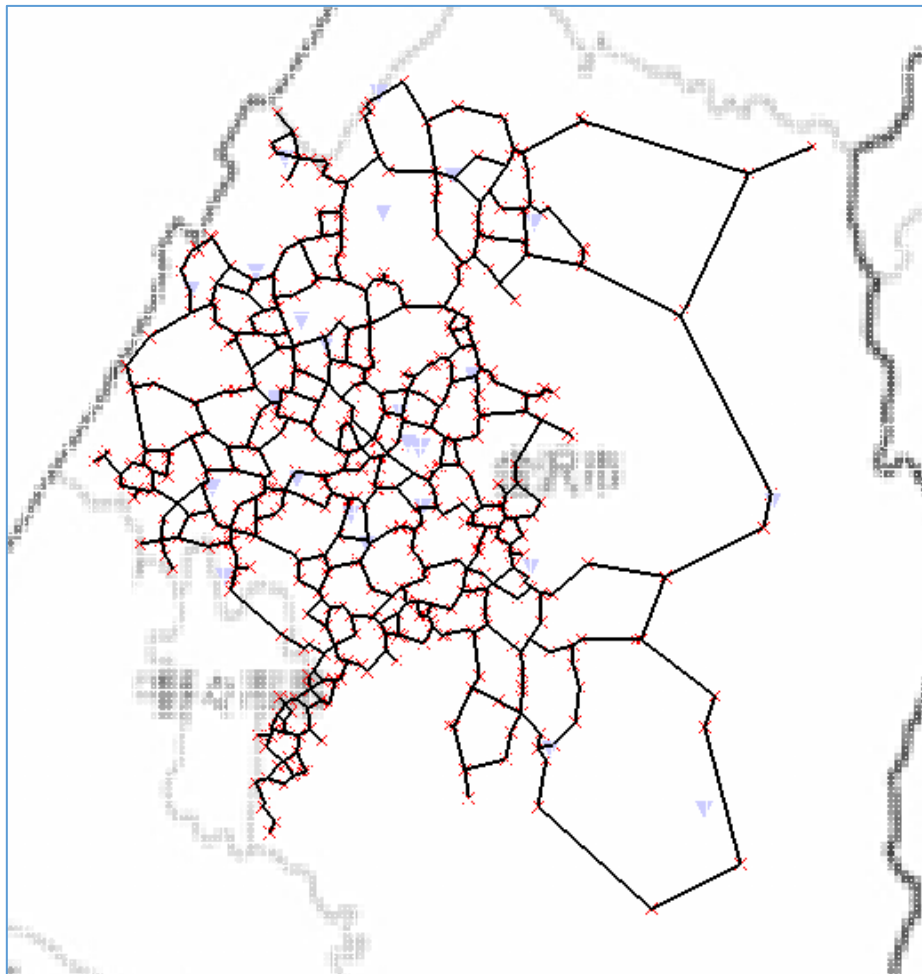


図 4-4 : 金沢市の避難所 (496 箇所)RNG 構築様子

図 4- 5 に金沢市の避難所間に RNG グラフで構築した辺長分布, 図 4- 6 はその累積分布を以下に示す.

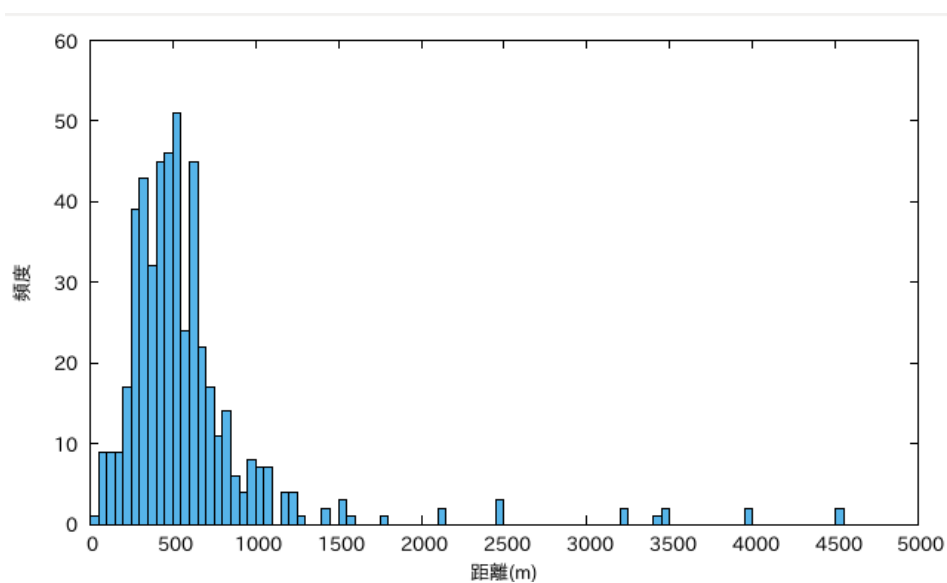


図 4- 5 : 金沢市避難所間に構築した RNG グラフの辺長分布

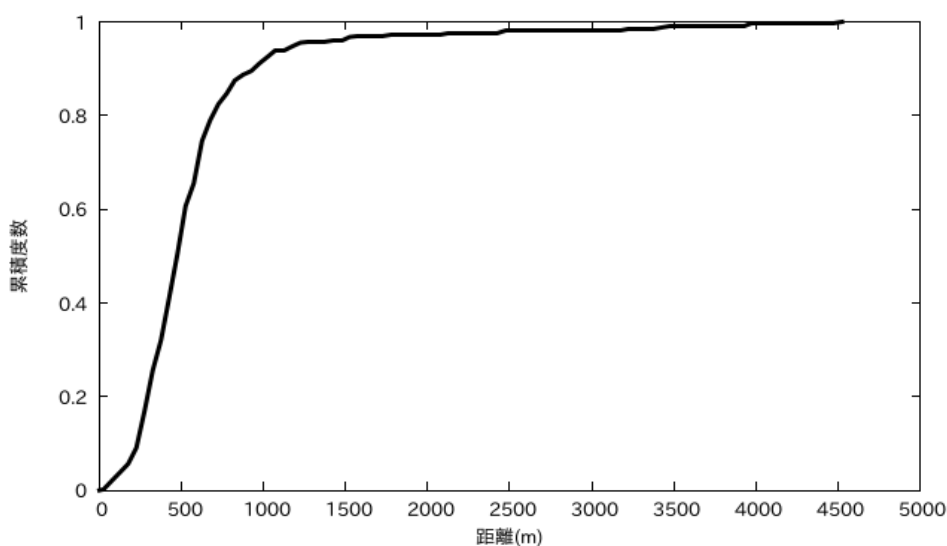


図 4- 6 : RNG 辺長分布による累積分布

さらに、以下の表 4-22 に金沢市で構築した RNG グラフのパラメータと、表 4-23 に相対に近傍しているリンクをすべて含む避難所数と割合を示す。

表 4-22 : RNG グラフのパラメータ

間隔幅	50m
金沢市避難所数	496 箇所
平均距離	445.149m
最大距離	4547m
最小距離	6.337m

表 4-23 : 各範囲における、構築した RNG の隣接しているリンクが全て届く避難所数
(=相対に近傍している避難所全て、全避難所 496 箇所)

半径 100 m 以内	10 箇所(2%)
半径 250 m 以内	45 箇所(9%)
半径 500 m 以内	250 箇所(50%)
半径 1 km 以内	452 箇所(91%)
半径 2 km 以内	482 箇所(97%)
半径 3 km 以内	487 箇所(98%)
半径 5 km 以内	496 箇所(100%)

4. 3 金沢市避難所間における RNG の距離分布の考察

・ MCA 無線 (800MHz) で金沢市避難所間を構築する場合 :

表 2- 8 より, 通信距離は半径 20~30km 程度なので, 金沢市の避難所間全て(100%) 孤立することなく通信することができる. また MCA 1 個あたり約 19 万円とすると, 避難所全て通信しようとする約 94,240,000 円となる.

・ 簡易無線 (150&400MHz / 920MHz)で金沢市避難所間を構築する場合 :

表 2- 9 より, 150MHz & 400MHz の通信距離は半径 10~20km なので, 金沢市の避難所間全て (100%) 孤立することなく通信することができる. また, 表 2- 10 より, 920MHz の通信距離は半径 2km なので, 約 97%孤立することなく通信することができる.

簡易無線 1 個あたり約 12 万円とすると, 避難所全て通信しようとする約 59,520,000 円となる.

・ 特定小電力無線 (400MHz)で金沢市避難所間を構築する場合 :

表 2- 11 より, 見通しのよい場所で 90%近く通信を行うことができるが, 市街地では 10%未満となり, かなり通信が不安定である. 特定小電力無線 1 個あたり 3 万円とすると, 避難所全てを所有しようとする約 14,880,000 円となる.

・ 小エリア無線 (300MHz)で金沢市避難所間を構築する場合 :

表 2- 12 より, 通信距離は半径 2-3km 程度なので, 95%程度通信を行うことができる. 小エリア無線 1 個あたり 12 万円とすると, 避難所全てを所有しようとする約 59,520,000 円となる.

以上の結果から、防災における業務無線の通信距離とコストの評価を、以下の表 4-24：金沢市避難所間を繋ぐ表 4-24 に示す。

表 4-24：金沢市避難所間を繋ぐそれぞれの業務無線に対する評価

	周波数	避難所間での 通信可能な割合	コスト
MCA 無線	800MHz	◎	△
簡易無線	150MHz&400MHz	◎	○
	920MHz	○	○
特定小電力無線	400MHz	×(不安定)	◎
小エリア無線	300MHz	○	○

表 4-24 から金沢市の避難所間を業務無線で設置コストを考慮した構築をする場合、半径 10～20km 通信でき、構築が安い簡易無線の利用が望まれる。

第5章 結論

今回は災害発生の初期段階で起こる避難所に関する問題を扱い、金沢市をモデルとして算出したデータの値から考察を行った。具体的に問題は、避難所の収容人数や溢れ・備蓄品の必要量・コストを考慮した業務無線構築を主に取り扱った。

避難所の収容人数や溢れに関して、公民館・学校・公園に分け、さらに洪水と津波のハザードマップを参考に災害範囲を指定して、算出し考察を行った。考察として、金沢市における災害の殆どは、公民館における溢れる箇所や人数の割合が高いことがわかった。また、大規模な災害が発生し避難する場合は、公園を避難所として有効利用することが、避難所の溢れからくる混乱を抑える一つの方法であるといえた。

備蓄品の必要量に関して、食料・飲料水・テント・ブルーシートに分けて、それぞれ考察を行った。考察として、金沢市の備蓄品だけでは、避難所にいる人達の人数分に、ほぼ達していないことがわかった。このことから、災害が発生し食料・飲料水・テント・ブルーシート等に関しては、公的備蓄や民間団体の協力、及び世帯ごとの備えが必要であるといえた。

コストを考慮した業務無線構築に関して、MCA 無線・簡易無線・特定小電力無線・小エリア無線を金沢市の避難所間に構築する場合をそれぞれ考えた。価格にばらつきがあるので、八重洲無線株式会社さんの製品に絞り、金沢市避難所間における通信距離とコストの評価を行った。金沢市の避難所間に構築した、平面グラフ (RNG^{※4}) による距離の結果から、ある避難所の半径 5km 以内には、他の避難所が必ずあることがわかった。このことから、金沢市の避難所間に無線を構築するならば、見通しの良い半径 10~20km 通信でき、コストの低い簡易無線の利用が適切だといえた。

課題として、今回老若男女問わず人口の割当を行ったが、人口割当時 65 歳以上の人の割合を調べることにより、新たな問題が発見できる可能性がある。今回場所は金沢市のみであったが、他の場所と比較して結果は変化するかを調べる必要がある。

※4 3章2節1項（相対近傍グラフ, p.30）を参照。

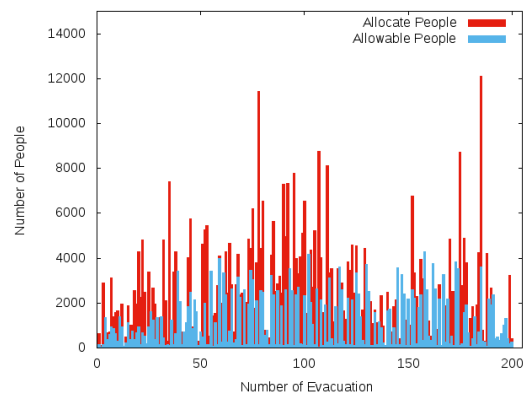
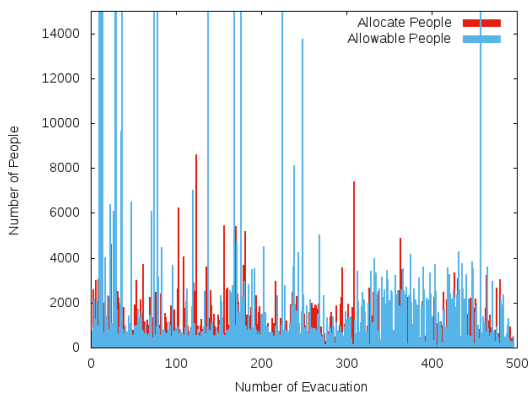
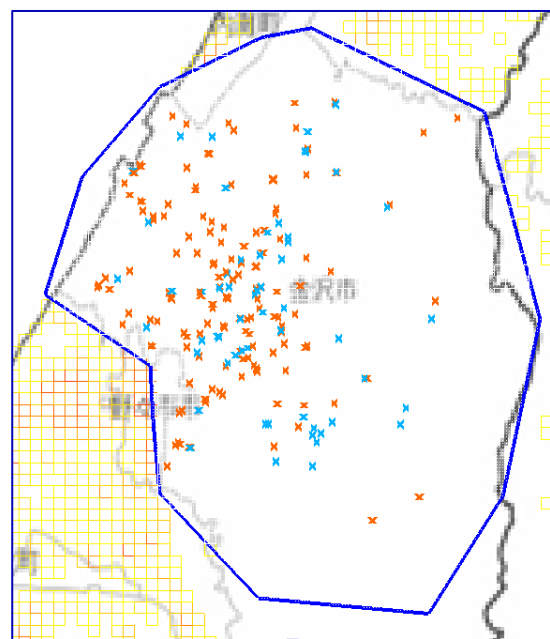
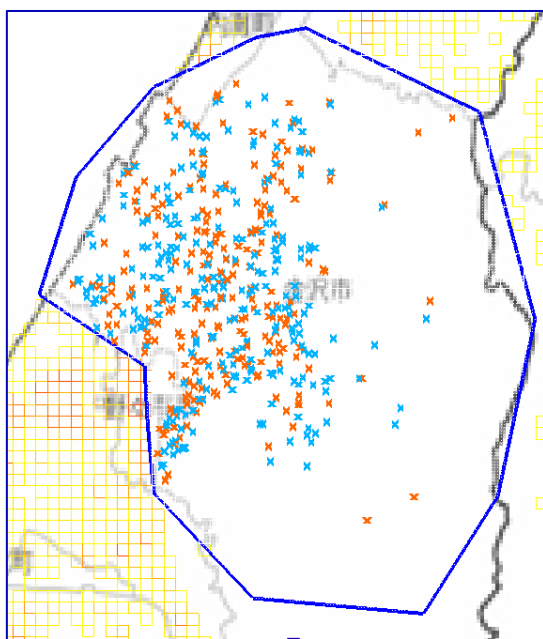
付録

× : 溢れた避難所 × : 溢れない避難所

① : 指定避難所全体に避難 ② : 公園以外の指定避難所に避難

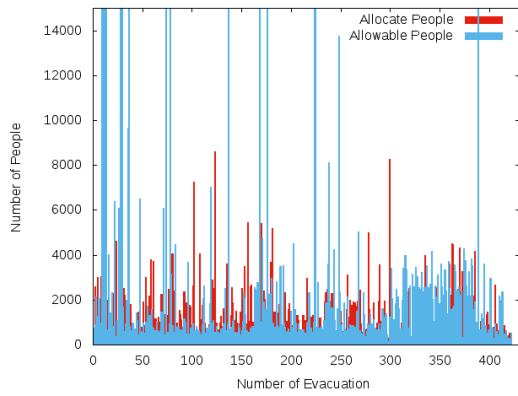
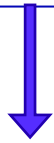
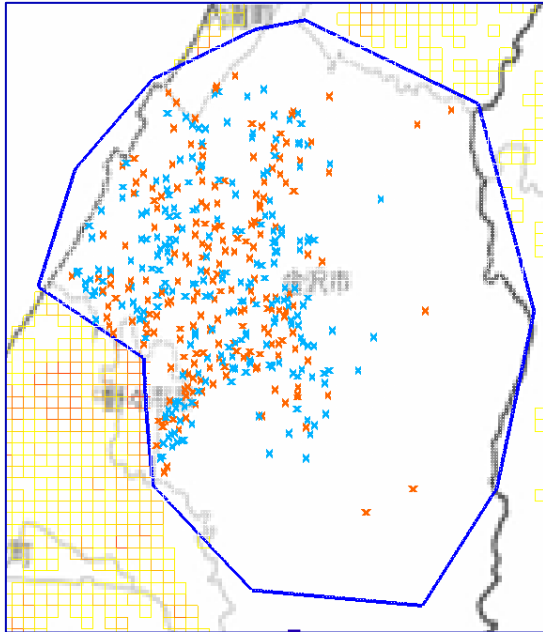
③ : 公民館以外の指定避難所に避難

として、以下の図 A-1～A-21 の上段に可視化した図と、下段に各避難所に対する許容人数 (水色) と溢れる人数 (赤) を表したグラフを示す。



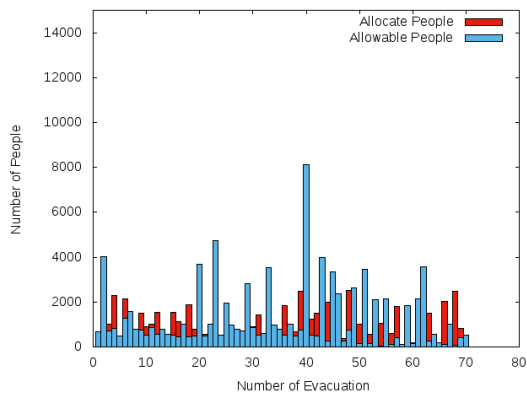
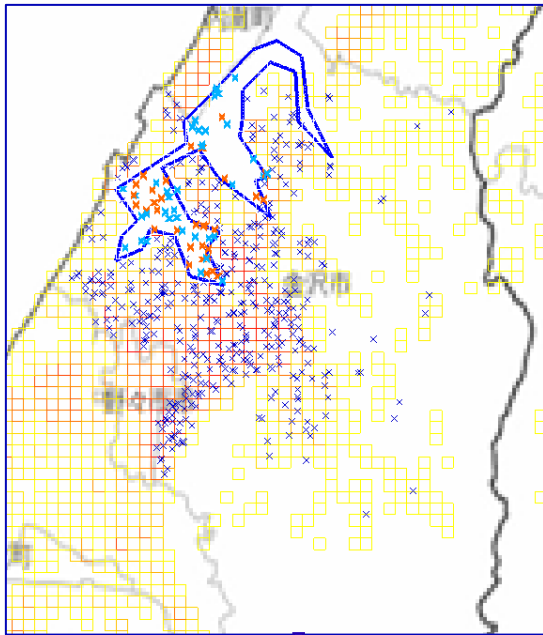
A-1 : 全体範囲における①の結果

A-2 : 全体範囲における②の結果

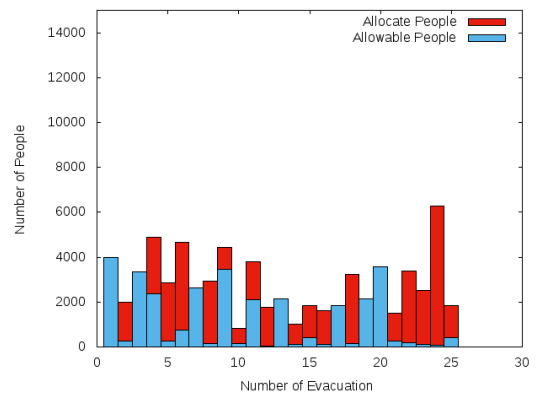
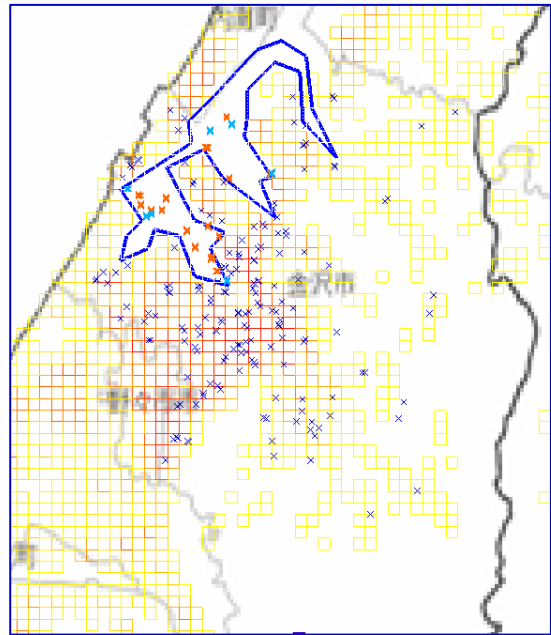


A-3 : 全体範囲における③の結果

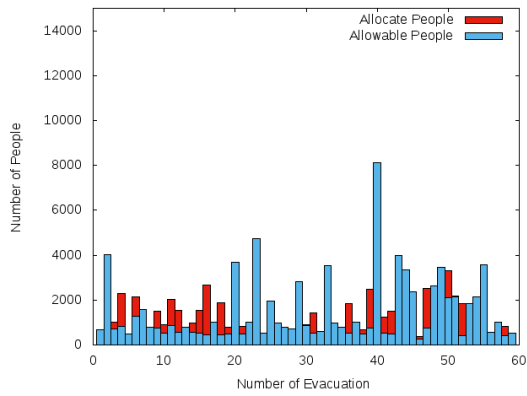
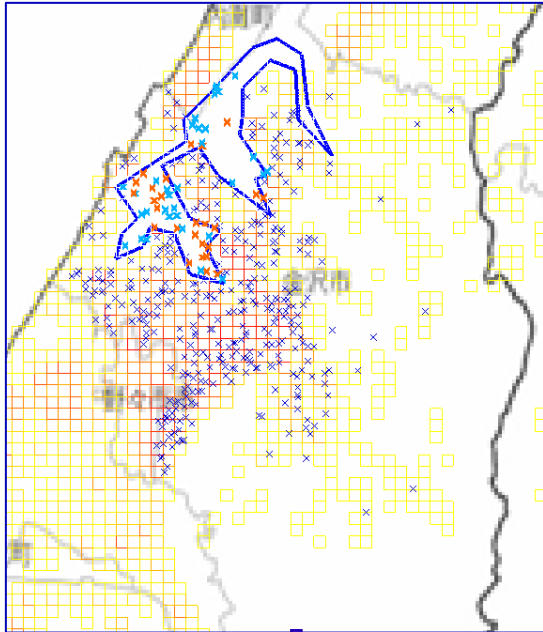
～洪水災害 (図 3-6) の範囲～



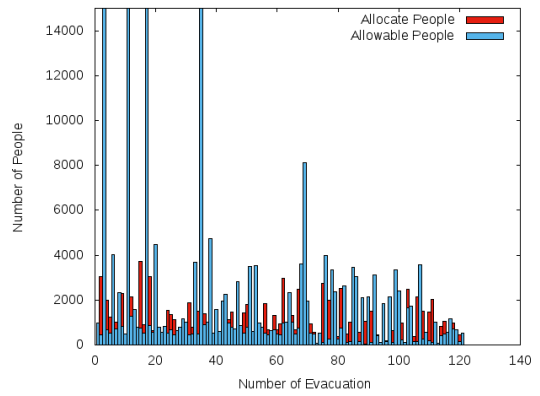
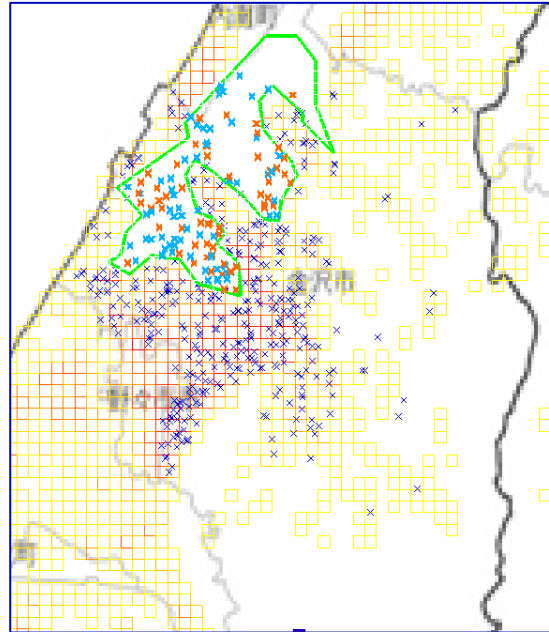
A- 4 : 洪水 Level1 における①の結果



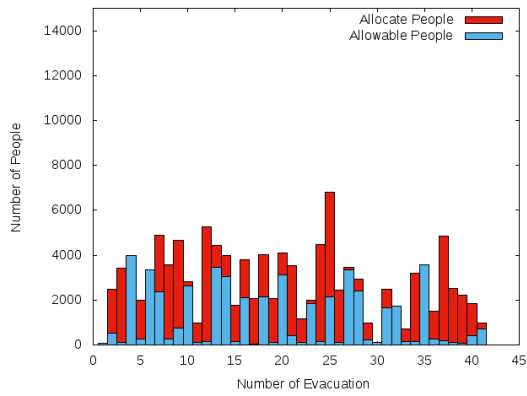
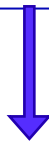
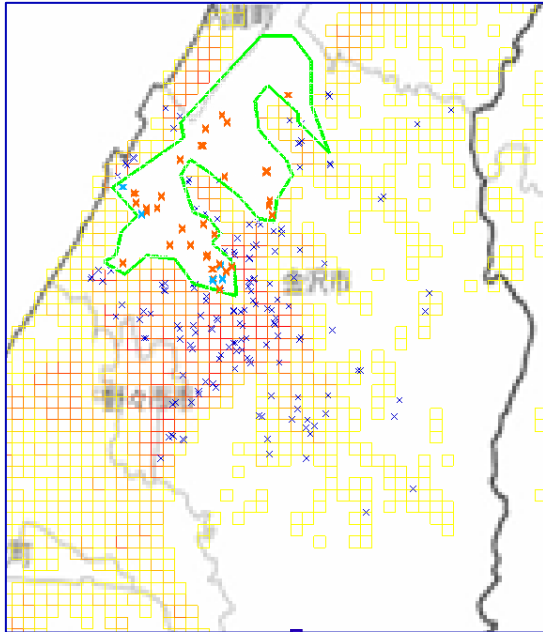
A- 5 : 洪水 Level1 における②の結果



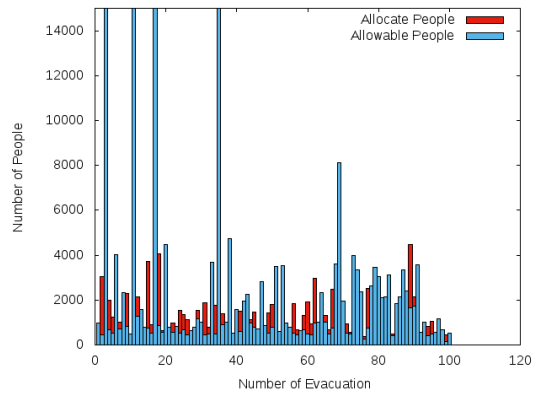
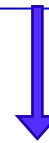
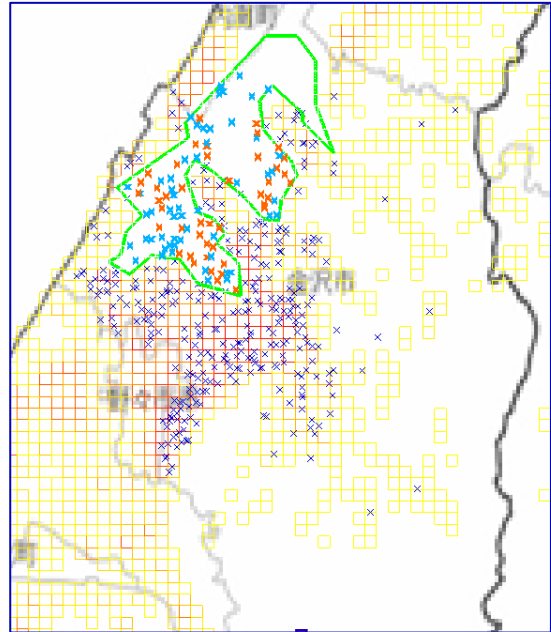
A- 6 : 洪水 Level1 における③の結果



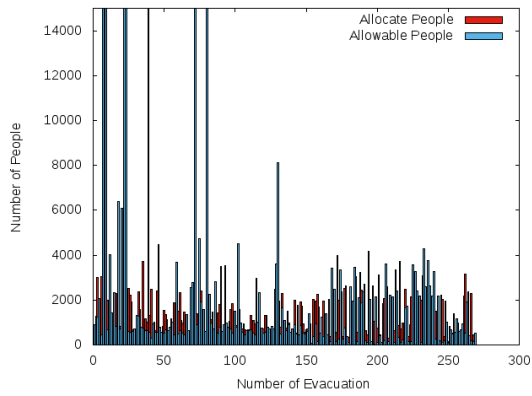
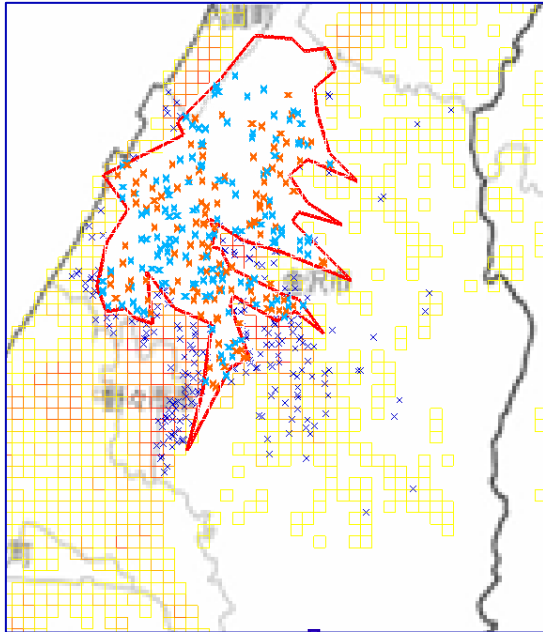
A- 7 : 洪水 Level2 における①の結果



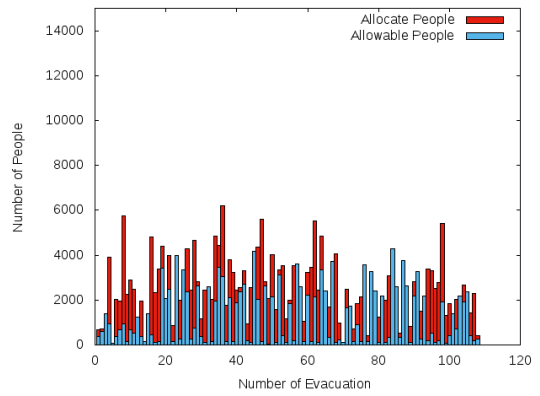
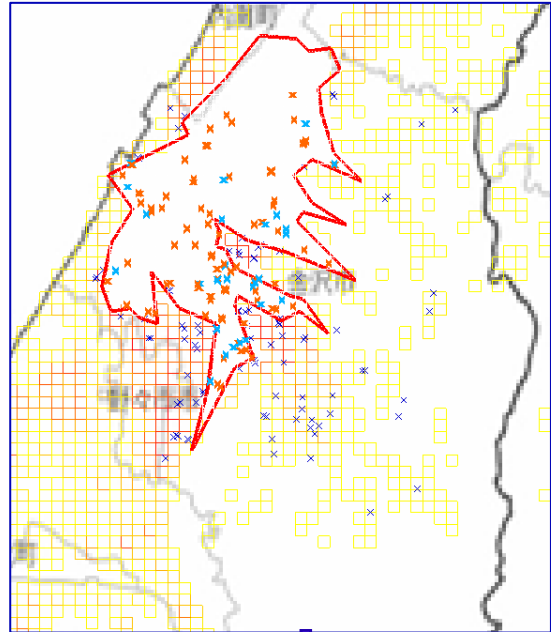
A- 8 : 洪水 Level2 における②の結果



A- 9 : 洪水 Level2 における③の結果

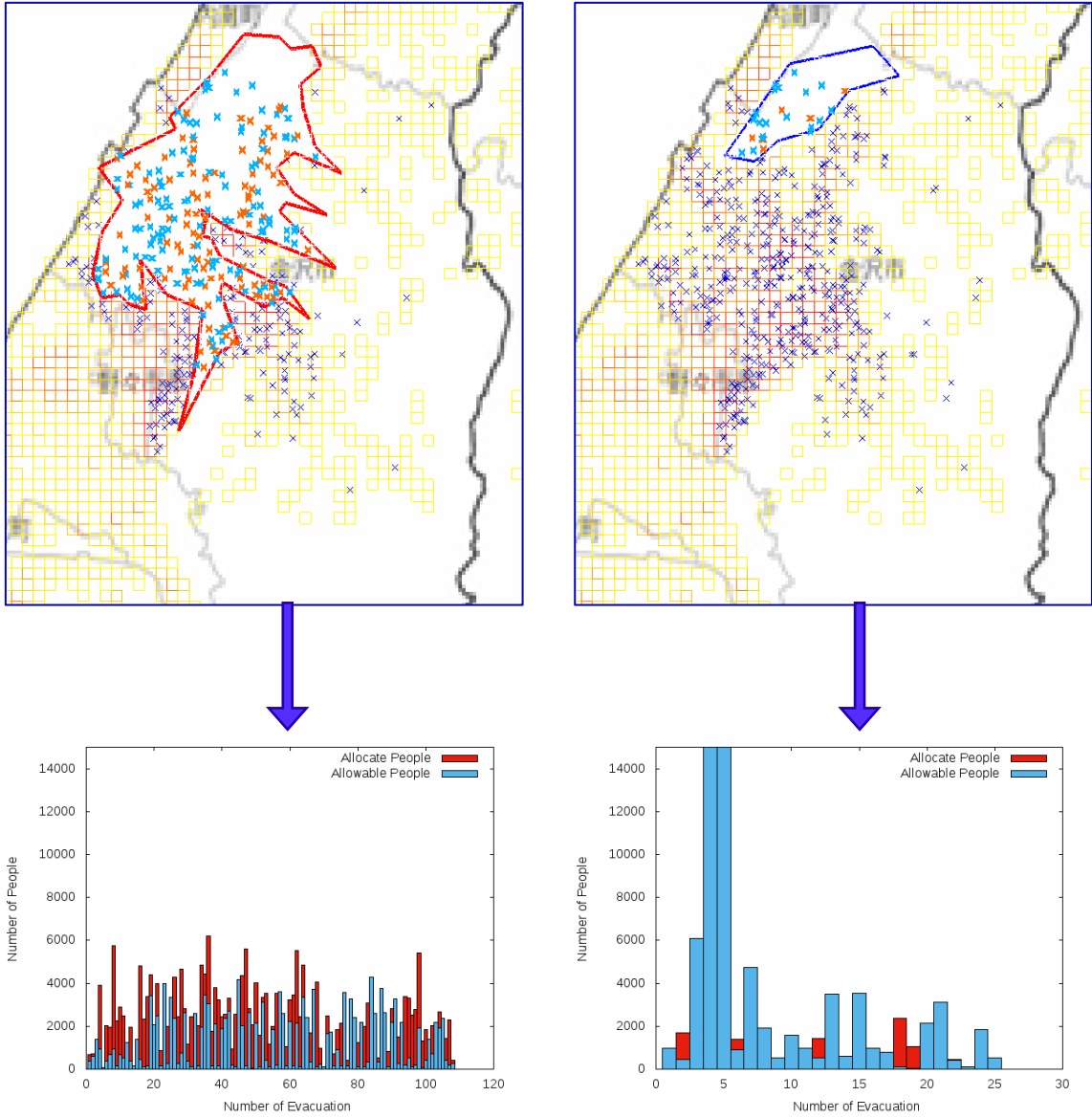


A- 10 : 洪水 Level3 における①の結果



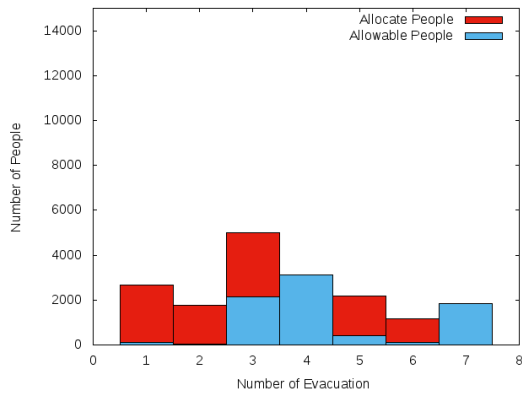
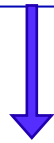
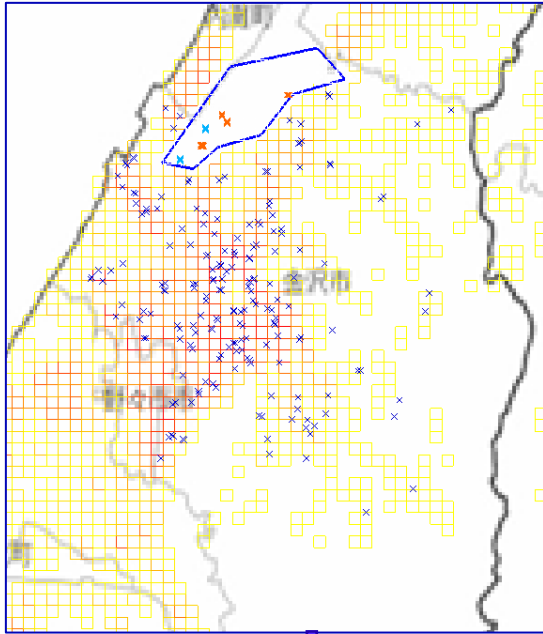
A- 11 : 洪水 Level3 における②の結果

～津波災害の範囲 (図 3- 7)～

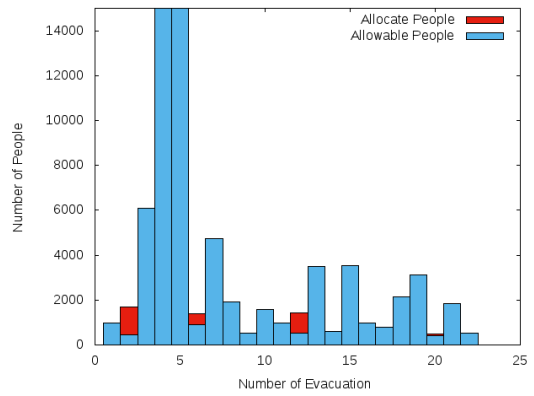
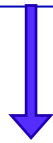
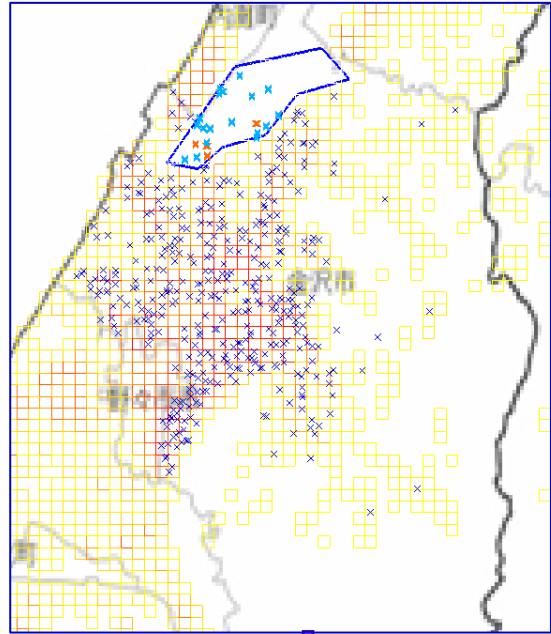


A- 12 : 洪水 Level3 における③の結果

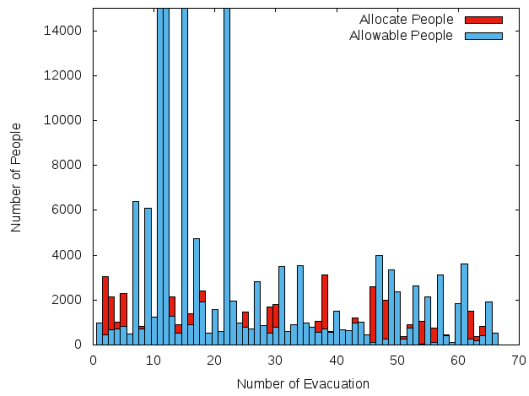
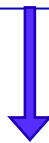
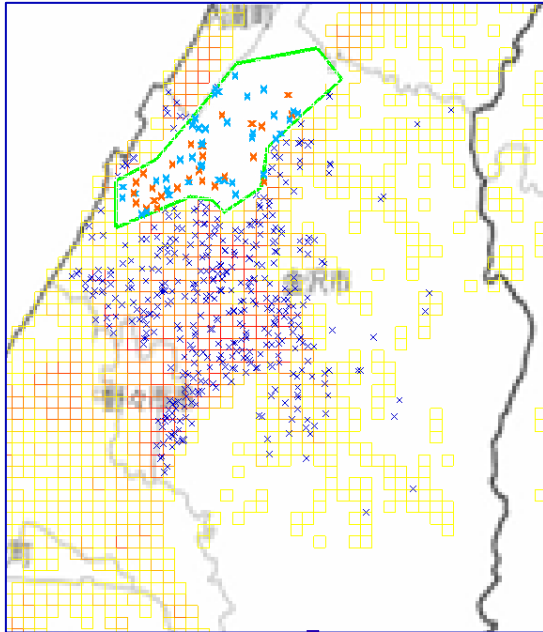
A- 13 : 津波 Level1 における①の結果



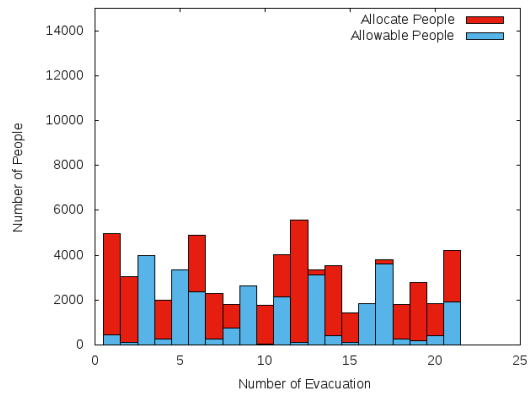
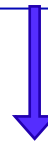
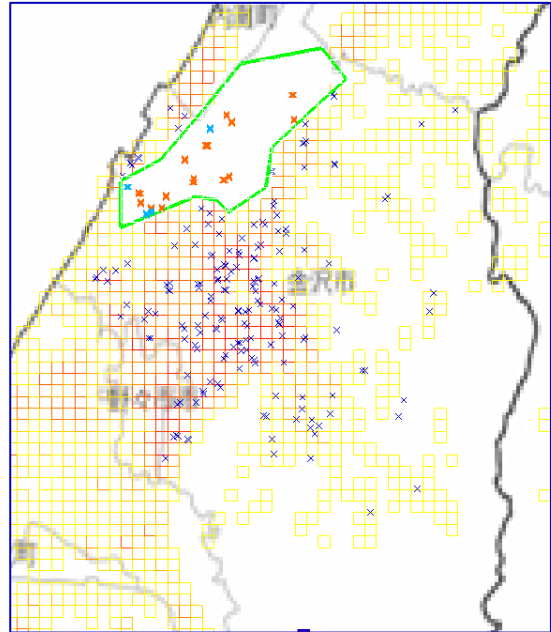
A-14 : 津波 Level1 における②の結果



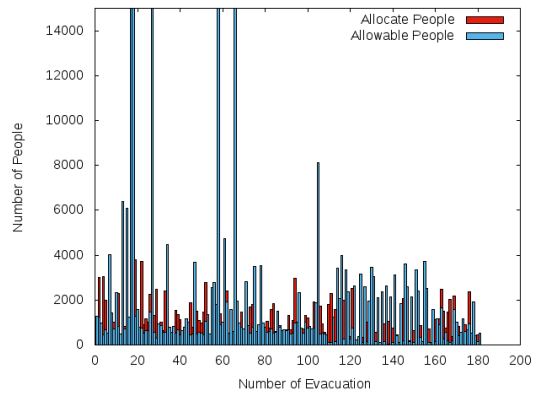
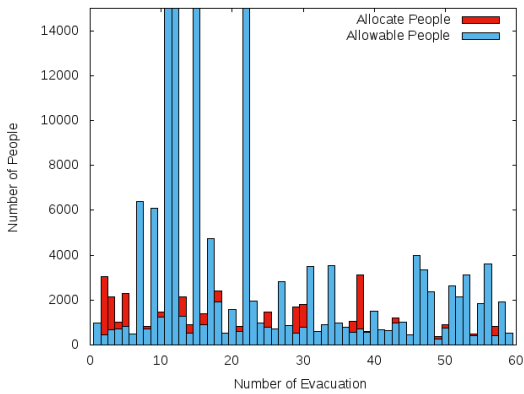
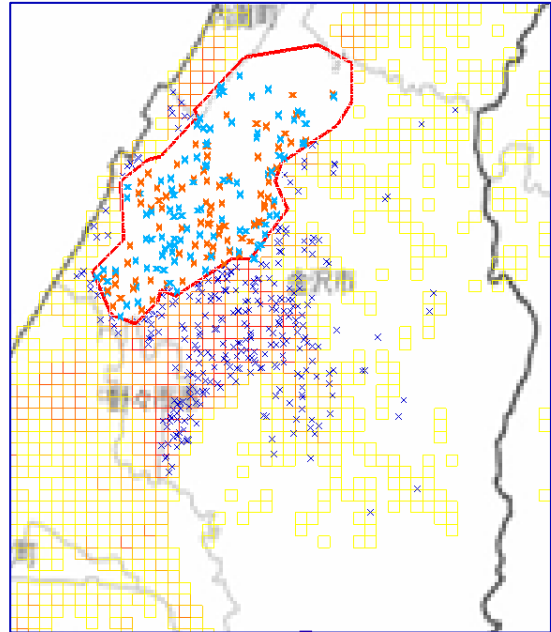
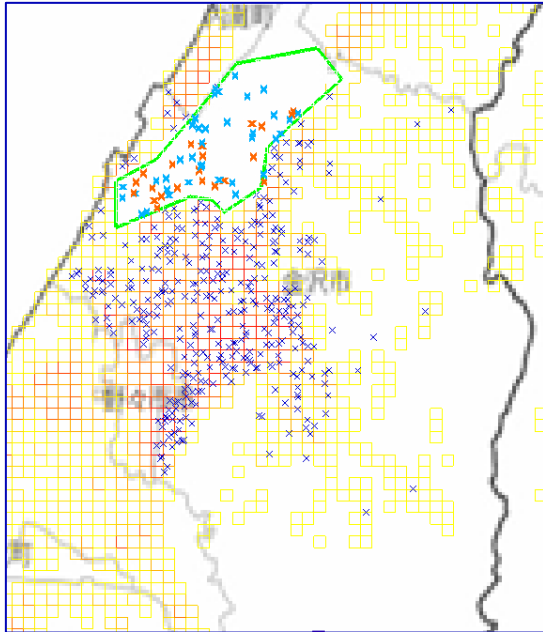
A-15 : 津波 Level1 における③の結果



A- 16 : 津波 Level2 における①の結果

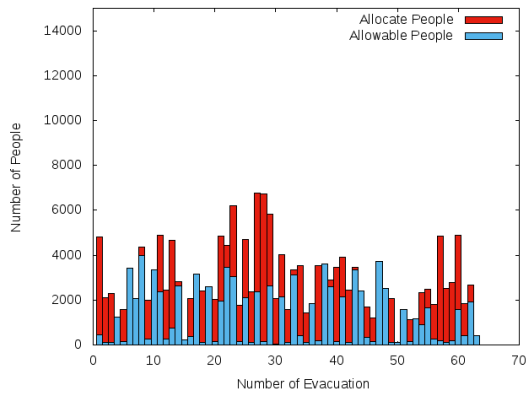
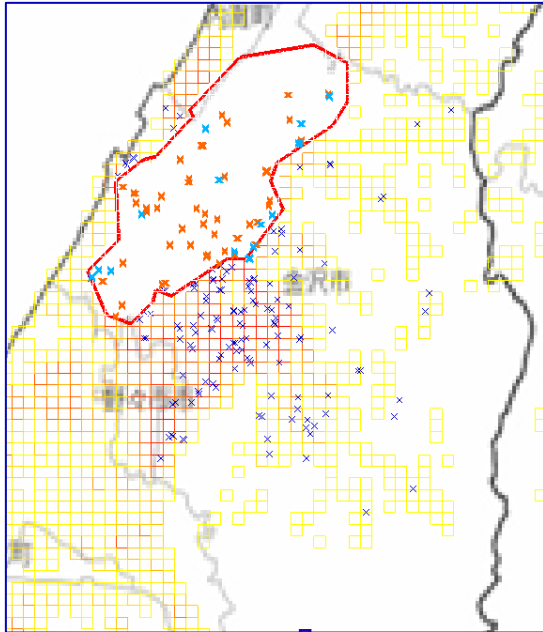


A- 17 : 津波 Level2 における②の結果

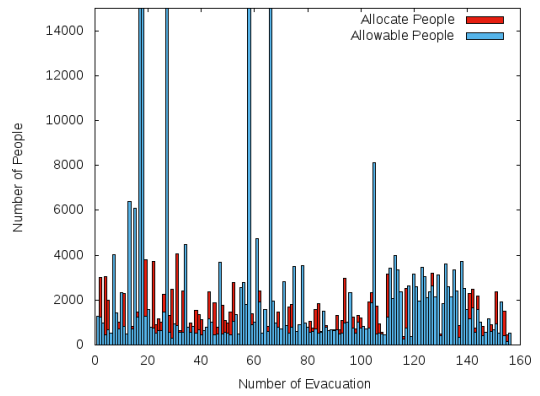
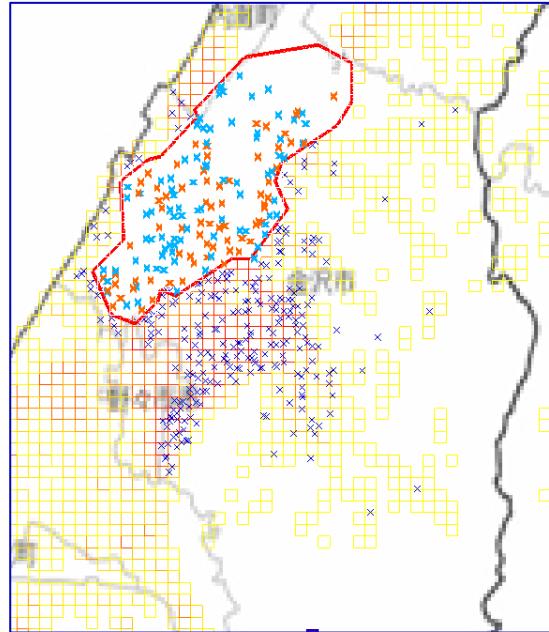


A- 18 : 津波 Level2 における③の結果

A- 19 : 津波 Level3 における①の結果



A- 20 : 津波 Level3 における②の結果



A- 21 : 津波 Level3 における③の結果

謝辞

本研究を進めるにあたって、数多くの方々からご支援をいただきました。改めまして、深く感謝の意を表したいと存じます。

指導教官である林幸雄先生は、研究者のなんたるか、社会人のなんたるか、大人としてのなんたるかを、言葉と行動で示してくださいました。本校に入学する前の私と比べて、技術的に進歩したことはもちろんのこと、今何をすべきなのか、それを実現する為に、どのような戦略で実行すべきなのかを試行錯誤する重要性について、身をもって認識することができました。未来の社会やビジネスに一目置かれる人になる為に、今後も必要なことは精一杯取り組みます。本当にありがとうございました。

研究員として2週間、山形大学でお世話になった田中敦先生には、お忙しい時間の中未熟な私に、ほぼ毎日研究やプログラミングのことについて教わりました。山形大学で得たことは今でも非常に役立っております。今後も山形大学で得たことを生かして、精進し続けます。

引用文献

- [1] “避難所が抱える問題,” <http://www.monotsukuri.net/daisinsai/03.pdf>.
- [2] “総務省 電波利用ホームページ,” <http://www.tele.soumu.go.jp/index.htm>.
- [3] “政府オンライン ホームページ,” <http://www.gov-online.go.jp/>.
- [4] “内閣府 防災情報のページ,” <http://www.bousai.go.jp/taisaku/hinanjo/>.
- [5] “法庫 ホームページ,” <http://www.houko.com/>.
- [6] “避難所マニュアル策定指針,” 長野県危機管理部 危機管理防災課, H24.3.
- [7] “門真市中町地区防災機能を有する公園基本計画” .
- [8] “(財)都市緑化技術開発機構 公園緑地防災技術共同研究会 (編). 防災公園技術ハンドブック , 環境コミュニケーションズ” .
- [9] 毎日新聞, 熊本地震「車中泊避難」で指針 政府が策定検討, 12 5 2016.
- [10] “避難所管理運営の指針 (区市町村向け),” 東京福祉保健局, H25.2.
- [11] “石川県に影響を及ぼした過去地震 金沢气象台,”
http://www.jma-net.go.jp/kanazawa/mame/kakojishin/jishin_tsunami.html#top%20%20.
- [12] “過去の主な気象災害 金沢气象台,”
<http://www.jma-net.go.jp/kanazawa/mame/sonota2011/saigai.html>.
- [13] “金沢市洪水避難地図,”
<http://www4.city.kanazawa.lg.jp/29220/suigai/hinan/kouzui.html>.
- [14] “金沢市津波避難地図,”
http://www4.city.kanazawa.lg.jp/22054/bousai/tsunami/tsunami_4.html.
- [15] “金沢市 公式ホームページ,” <http://www4.city.kanazawa.lg.jp/>.
- [16] “備える.jp,” <http://sonaeru.jp/bcp/basis/intro/c-4/>.
- [17] “国土交通省：多重性（リダンダンシー）、ネットワークの重要性の再認識,” 国土交通白書 2012,pp.45-49,, 2012.
- [18] “交通の方法に関する教訓,”
<https://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku/kyousoku/index.htm>.
- [19] 非常通信協議会, “非常通信確保のためのガイド・マニュアル,”
<http://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/hijyo/4.pdf>, H27.7.
- [20] 総務省・九州総合通信局, “市町村の同報系通信システム整備ガイドライン,”

<http://www.soumu.go.jp/soutsu/kyushu/ru/file/guideline.pdf>.

- [21] “八重洲無線株式会社 ホームページ,” <http://www.yaesu.com/jp/index3.html>.
- [22] “920MHz 帯を利用した無線センサーシステムと他システムとの比較について,”
http://www.soumu.go.jp/main_content/000329501.pdf.
- [23] “(財) 統計情報研究開発センター,” <http://www.sinfonica.or.jp/index.html>.
- [24] “OpenGL ホームページ,” <https://www.opengl.org/>.
- [25] “Geocoding -住所から緯度経度を検索-,” <http://www.geocoding.jp/>.
- [26] “計算サイト -面積の計算-,” <http://www.calc-site.com/maps/area>.
- [27] 渡辺大輔, “近傍グラフによる道路網形態の解析,” 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2005 春季研究発表会アブストラクト集, pp.14-15(2005), 2005.
- [28] 渡. 大輔, “近接性からみたネットワーク形態解析と輸送システム最適化に関する数理的研究,”
http://www.risk.tsukuba.ac.jp/~ussrl/public_html/dissertations/2005_watabe.pdf,
2006.02.08.
- [29] “災害時の備え ココチキ,”
http://www.cococimo.jp/shop/c/static/bousai_tokushu1/.