

# スカイメッシュを用いた緊急災害用システム

龍谷大学 理工学部  
情報メディア学科  
T060592 出水 宏明

指導教員 三好 力教授

# 目次

## 概要

### 第1章 はじめに

#### 1.1 研究背景

### 第2章 スカイメッシュ

#### 2.1 スカイメッシュとは

#### 2.2 電波における携帯電話の場所特定・携帯電話の仕組み

### 第3章 緊急災害用システム

#### 3.1 アイデア

#### 3.2 緊急災害用システム

#### 3.3 提案手法1

#### 3.4 提案手法2

### 第4章 実験概要

#### 4.1 実験目的

#### 4.2 実験概要

#### 4.3 面積算出方法

### 第5章 実験結果と考察

#### 5.1 測定結果

#### 5.2 考察1

#### 5.3 考察2

### 第6章 結論

#### 6.1 まとめ

#### 6.2 今後の課題

## おわりに

## 謝辞

## 参考文献

## 概要

日本は地震大国であり各地頻繁に地震が起こっている。また他にも土砂災害といった大規模な自然災害に見まわれる事が多く、中でも阪神淡路大震災・新潟中越地震といった大規模自然災害では多くの犠牲者を出した。[8]また大規模災害時の電話需要は平常時の50倍、100倍にもなり通信、通話が出来ない状況が多々見られたり、行方不明者の続出や通信インフラが破壊され防災関係機関の初動時における情報収集が困難になった。このため激しい被災状況が翌日まで把握されないことから人命救助等に多大な影響を与える被害となった。

一方、近年日本の携帯電話の契約件数が1億台を突破し、1人に約1台持つようになってきている。携帯電話に求める技術も増えてきており様々な機能が搭載されるようになってきている。最近では無線通信技術の発展やPDAやスマートフォンといった高機能な移動端末を持ち歩くことで、いつでもどこでもネットワークに接続できる環境が整っている。またネットワーク構成における技術にモバイルアドホックネットワークというものがあり、様々な研究が行われている。[1][2][3][4][5]このモバイルアドホックネットワークを使った技術でスカイメッシュという技術がある。このスカイメッシュは上記のような災害時の一時的な対処をする際には、非常に有効である。

そこで本研究ではスカイメッシュ・日本では約1人に1台携帯電話を持っているということに注目を置き、複数のスカイメッシュを使用することで、災害時に人命救助を目的とした緊急災害用システムの可能性を検討した。行方不明者(移動端末を持っていると仮定する)が瓦礫などにうもれていることを想定し、どの程度の簡易基地局数・通信半径であればより小さい面積を算出できるか緊急災害用システムを使い実験を行った。

以降、本論文は以下の章により構成される。

第一章においては本論文の研究背景について述べる。第二章ではスカイメッシュの概要・既存技術その技術を利用した活用法について述べる。第三章では既存技術からの改善とその活用またその改善のための提案手法について述べる。第四章では本論文で行った実験についての概要を述べた後、第五章でその実験についての考察を行う。最後に第六章で実験に対する結論・今後の課題を述べ本論文の構成とする。

# 第1章

## はじめに

### 1.1 研究背景

日本は地震大国に加え全国各地自然災害が頻繁に起こっている。1995年の阪神淡路大震災や2004年の新潟中越大地震といった大規模災害が発生し、通信が出来ない・行方不明者の続出など数々の困難な状況が多発した。また地震や土砂災害などの災害発生時には人が瓦礫といった倒壊物に埋もれる場合が多い。それに加え、その場所が特定できず救出に時間がかかってしまい多くの犠牲者を出してしまう。実際に1995年の阪神淡路大震災や2004年の新潟中越地震といったマグニチュード7.0を超える大地震では以下の家屋に関する被害が報告されている。

#### 阪神淡路大震災(図1-1) [8]

住家被害: 全壊 104906 棟, 半壊 144274 棟, 全半壊合計 249180 棟(約 46 万世帯), 一部損壊 390506 棟



図1-1: 阪神淡路大震災

#### 新潟中越地震(図1-2)

全半壊家屋合計 16876 棟



図 1-2：新潟中越地震

上記の件数をみてもわかるように倒壊件数は甚大で、この倒壊した家屋等に埋もれている行方不明者がいる可能性は非常に高い。また災害時には基地局が使えなくなってしまう場合も発生する。そうなると通信することも出来なくなってしまう、被害は拡大する可能性がおおいに考えられる。そこでそうならないよう、通信を復旧させるためにスカイメッシュという技術があり、この様な状況を解決するのに非常に有効な手段である。スカイメッシュは災害時の状況下においての緊急通信バックボーンの確保や被災地の状況把握などに使われ、他にも災害時の利活用として幅広い用途が期待されている。

しかし、既存の技術だけでは救急隊員が通信したり出来るだけで人がどこに埋もれているかという事は分からない。しかし通信を確保するときちょっととしたプラスアルファすることで人が埋まっているであろう検索範囲をある程度絞ることができるようになり早期発見につなげることが出来るようになると思った。これをシステム化した緊急災害用システムを提案する。

## 第 2 章

### スカイメッシュ

#### 2.1 スカイメッシュとは

スカイメッシュ[6]は大規模自然災害が発生した際、基地局が使えず通信機能が麻痺した状況下においての利用を目的としたものである。気球を利用し、そこにアドホック用の簡易基地局(PDA 等 端末・カメラなど)と一緒に上空に飛ばし通信の確保や状況把握に使用するというもので気球間で通信を行うことで上空にメッシュネットワークを構築する技術である。(図 1-8) 上空には 50～100m に設置することで路上や建物の屋上よりも基地局間の見通しも容易に確保できる。また地面からの反射が減るため地上よりも大幅に延長通信が可能となる。

スカイメッシュでは気球を用いてノード、アンテナなどからなる簡易基地局を地上 50～100m に設置する。ロープで地上につなげておくことで基地局を一定位置に保持することが可能であり長期利用が可能となる。

必要に応じて、地上にも基地局を配置する。大規模災害では被災エリアが広域となる。対象エリアに対して必要最小限の基地局を配備する必要がある。基地局間の通信は IEEE802.11b,11g などを想定すると最大でも数 km 以下だが指向性アンテナや IEEE802.16 などの無線 MAN 規格の利用で基地間の通信の大幅延長が可能である。基地局間はモバイルアドホックネットワークで接続され、端末は無線 LAN インターフェースを持つ携帯情報端末、携帯電話端末、ノート PC などである。

以下に活用法を示す。

#### 活用法 1

災害発生時には災害地の通信インフラの故障や停電の発生により、通信の途断が起こる。さらに災害地に向けた通信の集中、災害地内における通信の一斉呼により通信が輻輳状態になり、既存のネットワークが安定して使用できなくなる可能性が高い。しかし災害地と対策本部を結ぶ通信や安否情報の登録など通信することは非常に重要である。スカイメッシュでは被災地から近隣の被災状況が比較的軽く、既存の通信インフラが安定して使用できるエリアまで気球を複数設置し、アドホックネットワークによるマルチホップ通信を行うことにより、緊急通信バックボーンを確保する。

#### 活用法 2

災害発生直後には自治体職員などが被災地各所に散らばり、避難所の設置や運営、被災地で得られる情報を災害対策本部に伝える必要がある。また、同様に災害復旧に従事するレスキュー隊員などへの支持を災害対策本部から行ったり、隊員間でのコミュニケーションも取る必要がある。スカイメッシュでは、被災地を被覆するように気球を設置することで、被災地内での通信を行えるようにする。設置場所としては災害時に避難所となる学校のグラウンドなどに設置することが考えら

れる。避難所では通信を行う必要性が高い上に、打ち上げに十分なスペースが確保できる。また、復旧活動を行うレスキュー隊などが気球を設置しながら、被災地の最前線に 入っていくことも考えられる。これにより、復旧活動を行う上で必要な情報のやりとりをスムーズに行うことが可能となる。

### 活用法 3

災害発生時には被災状況を把握するために現場の映像を得ることが非常に重要となる。また、救援・復旧作業を行う場合には状況の変化を的確に把握する必要がある。地上での撮影は撮影範囲が狭かったりし、危険区域の撮影が困難であるという問題点があるがスカイメッシュでは気球を用いて基地局を上空に設置しているため、広範囲の撮影、危険区域の撮影も容易である。取得した映像をインターネットに配送出来たり、gps の位置に基づき、gis 上にマッピングすることが可能であり、災害状況の把握に利用される。

### 活用法 4

都市部に災害が発生した場合、数千人という規模の非常に多くの人々が避難場所を求め移動する。この状況において、歩行者に対して的確な目的地までの経路を通知し歩行者の避難行動を施すことを目的とした歩行者モデル実験にも使える技術の一つとしても利用が可能である。この場合においては歩行者モデル・通信を組み合わせた技術である。

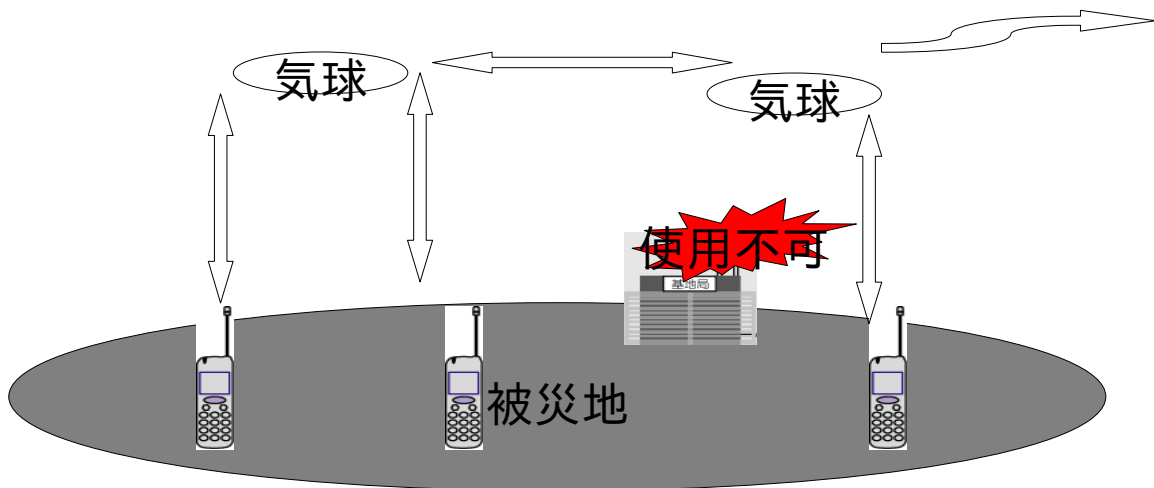


図 2-1 :スカイメッシュの構想図

## 2.2 電波における携帯電話の場所特定・携帯電話の仕組み [7][10]

図:2-2のように小さな丸があるがこれは一つの基地局から電波が届いている範囲である(ゾーン)。範囲の広さはおおよそ数キロメートルである。(ただし携帯電話の方式や人口密度の高い都心、人口密度の低い郊外などで通信範囲は変わる)通信を行うためにはどれかの基地局の通信範囲内にいなければならないが基地局は可能な限りつながらない場所がないように隙間なく、しかも移動中に途切れないように若干重複するように配置されている。またそのいくつかの無線基地局を束ねているのが真ん中の制御局である。制御局は複数の基地局を管理しているものである。そして制御局は交換局とつながっており交換局にはいろんな情報を蓄えておくホームメモリ局という局につながっている。

携帯電話がつながる仕組みとして携帯電話は電源が切れていない限り常に電波を発しており、基地局と通信を行っている。この時一気に複数の基地局と通信を行っているのではなく、一番近い基地局と通信を行っており、例えば「携帯電話 B は地域 A にいます」というような位置情報を基地局に向け発している。この位置情報は受け取った基地局から交換局を通してホームメモリに記憶される。もし携帯電話 B が地域 B に移動した場合は同じようにホームメモリに「携帯電話 B は地域 B にいます」という位置情報を記憶させているのである。ただしホームメモリの情報はどの基地局通信内にいるということはわからず「この地域内にいますよ」という大まかなことだけわかっている情報である。

発信を行う際、例えば携帯電話 B から携帯電話 A に発信を行う場合には携帯電話 B → 基地局 → 制御局 B → 交換局のホームメモリと順に、たとえ通信する相手がどんなに近くにしようが一度ホームメモリに問い合わせを行い、携帯電話 A がどこにいるかという情報を得てくる。ホームメモリ局には「携帯電話 A は地域 A 内にいます」という情報が記憶されているので携帯電話 A の場所を知った制御局 B は制御局 A につなげる。地域 A の制御局がすべての基地局に一斉呼び出しを行い、携帯電話 A の携帯電話が一番近くにいた基地局が反応し、その基地局へとつなげ携帯電話 A につながる仕組みである。

順番的には携帯電話 B → 基地局 (携帯電話 B に一番近い基地局) → 制御局 (地域 B) → 交換局・ホームメモリ → 制御局 (地域 B) → 制御局 (地域 A) → 基地局 (携帯電話 A に一番近い基地局) → 携帯電話 A といった順である。

このように基地局・制御局・交換局・ホームメモリによってすべての携帯電話は管理されている。

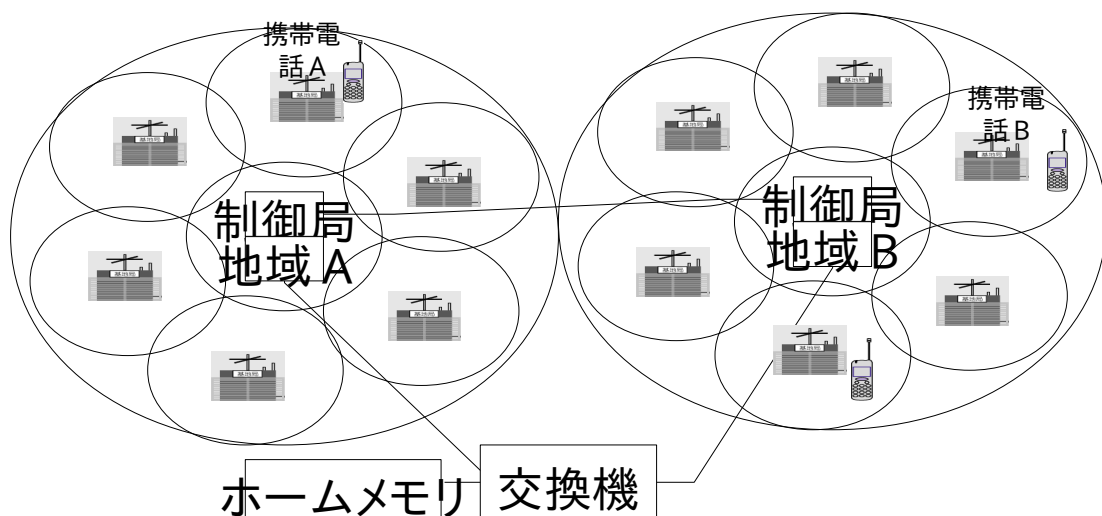


図:2-2 携帯電話の仕組み



# 第3章

## 緊急災害用システム

### 3.1 アイデア

携帯電話世帯普及率

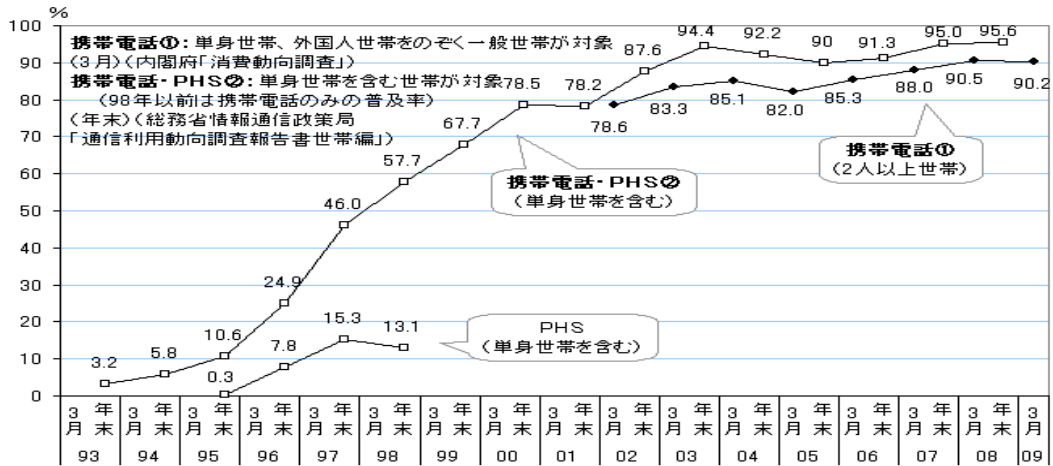


図 3-1: 日本における携帯電話普及率

近年、世界的に携帯電話の普及率が飛躍的に増えてきており世界普及率は67%と人口の半分以上が携帯電話を所持している。上の図を見ても分かるように日本国内の契約件数[11]も過去数年と比べると飛躍的に伸びている。日本の契約件数は1億台を突破し、普及率は総務省の調べによると96%と高確率で乳幼児・高齢者を除くと1人に1台もしくは1台以上を所持していることになる。

携帯電話は肌身離さず持つ場合が多く、災害が起きて倒壊物に埋もれた場合でも所持していることが多いはずである。そこでこの1人1台携帯電話を所持していること・ほとんど常に携帯電話を所持していることを利用し端末を探すことで人を捜索出来るのではないかと考えた。

### 3.2 緊急災害用システム

災害時には瓦礫などの倒壊物に埋もれ行方不明者が多数にのぼることが多い。しかも場所が特定できずに救出が遅れ犠牲者が増えてしまう。これを防ぐため、このような状況下においてこれはどのくらいの範囲に人が埋もれているかということを知るためのシステムであり緊急災害用システムとして提案する。

既存技術では災害が発生した際に通信を確保することは出来ても人の居場所を発見することは出来ない。簡易基地局の役割としては複数のスカイメッシュは携帯電話の電波をキャッチしているのだが既存技術は通信の確保を目的として使われているので携帯電話に一番近い簡易基地局だけが携帯電話と通信を行っている。他の基地局でも電波を受信しているのだが、受け取った信号は破棄されている。そこで緊急災害用システムでは場所を絞るためにこの受信情報を利用する。複数のスカイメッシュが携帯電話の発する電波の受信状況をシステムのホームメモリ局に知らせ

るという拡張を行えば緊急災害用システムが実現できる。

まず通信確保のために、被災地内をすべて網羅出来るよう複数スカイメッシュを打ち上げる。そうすることで上記の拡張を行っているので普通に通信する状況になっていれば一番近い簡易基地局以外の受信可能な簡易基地局がわかるようになる。そのことを利用し、携帯電話から発した電波を受信した基地局をピックアップする。そのピックアップした基地局の通信範囲を利用し通信範囲が重なった部分に人(移動端末)がいると推測するのである。

ここで人がここに埋まっていますという正確な一点を求められればよいのだが、キヨリは電波を元に計算されており、瓦礫等により電波がはね返ったり電波同士が干渉しあったりすることで誤差が生じるので、一点を求めることは困難である。そこでそれを解決するための提案手法を以下に示す。

### 3.3 提案手法 1

携帯電話の電波を受信した基地局がその電波を元にキヨリを計算し、ノードと通信可能な基地局をピックアップする。そのピックアップした基地局の通信範囲を利用し、基地局の通信範囲が重なった面積部分に人(移動端末)がいると判断出来るというものである。(図 3-2)

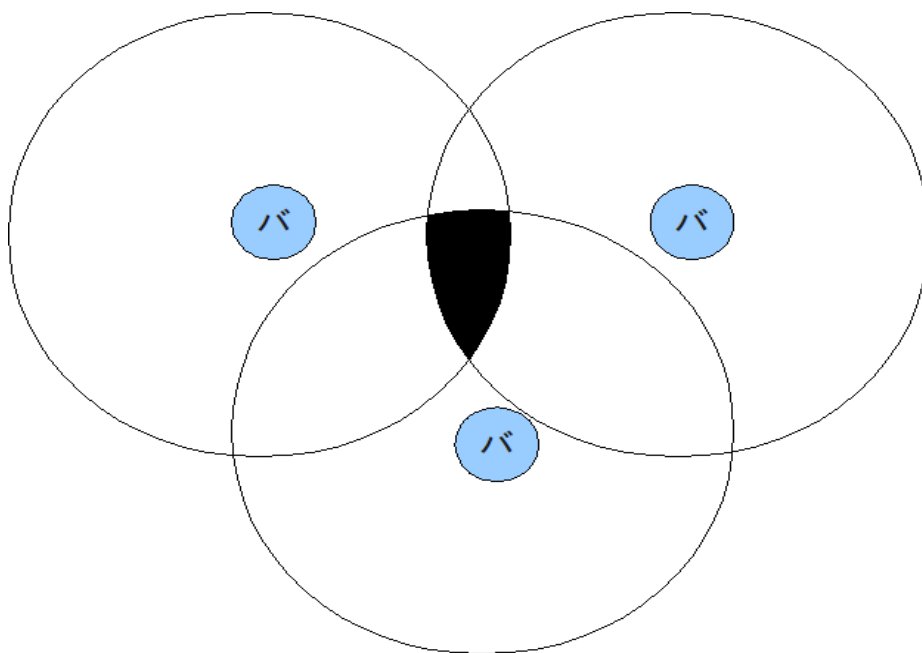


図 3-2: 提案手法 1

### 3.4 提案手法 2

提案手法 1 だけで検索範囲をしぼればよいのだが重なった面積が大きすぎて検索範囲が広くなりすぎてしまい検索が不可能な状況になってしまうという問題点が起きてしまう。

提案手法 2 では提案手法 1 で基地局の通信範囲が重なった面積部分をより小さくし、検索範囲を小さくするものである。

例えば、2 基地局が携帯電話の電波を受信した場合、2 基地局の通信範囲を円 A、円 B とし、その 2 円の交点を通る直線を  $y$  とする。提案手法 1 で求めてきた領域かつ直線  $y$  より電波強度の強い側の領域を探索範囲とする。(図 3-3)

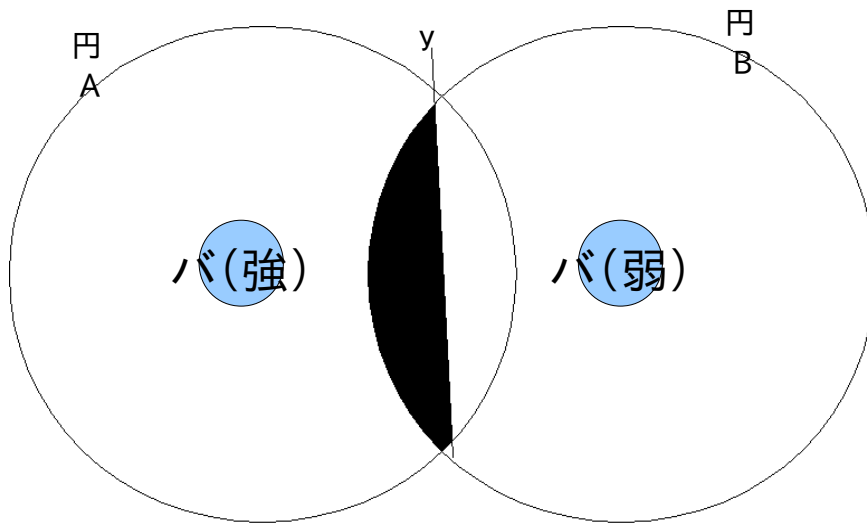
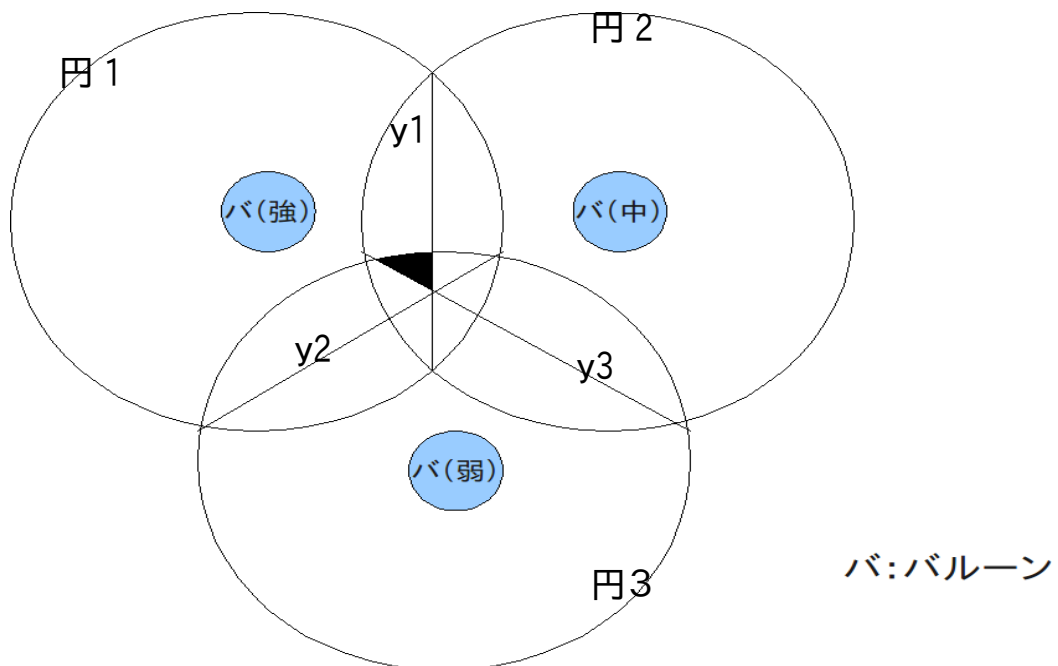


図 3-3: 提案手法 (2 個)

それに 1 つ反応基地局を加わった場合では、ピックアップした 3 基地局の通信範囲円を円 1 (電波強度: 強)、円 2 (電波強度: 中)、円 3 (電波強度: 弱) とする。また円 1 と円 2 の交点を通る直線を  $y_1$ 、円 1 と円 3 の交点を通る直線を  $y_2$ 、円 2 と円 3 の交点を通る直線を  $y_3$  とする。この場合での探索範囲は (円 1 内)かつ(円 2 内)かつ(円 3 内)かつ ( $y_1$  より円 1 側)かつ ( $y_2$  より円 1 側)かつ ( $y_3$  より円 2 側)の領域である。(図 3-4)



バ: バルーン

図 3-4: 提案手法 2 (3 個)

## 第4章

### 実験概要

#### 4.1 実験目的

本論文における実験では生存者発見システムを作成し、人(移動端末)が埋まっていることを想定しどれくらいの面積を算出できるかシミュレーション実験を行う。また簡易基地局の通信半径・個数を変化させ、どのくらいの密度であれば人が探せる面積か検討も行う。(詳細なパラメータは実験結果とともに示す)

#### 4.2 実験概要

100×100のフィールド内にひとつランダムにノード(人)を発生させる。さらに一様になるようランダムに簡易基地局を設置する。その簡易基地局を使い携帯電話の発する電波を受信することでノードがどの程度の面積範囲に埋まっているかシミュレーション実験を行う。また簡易基地局の通信半径・個数を変化させていきそれぞれ面積算出を行う。なお面積算出にはそれぞれ実験を100回ずつ行い、その平均値をとったものを使う。

#### 評価すべき点

- ・基地局の個数(密度)と搜索面積の関係を評価をする  
→スカイメッシュを打ち上げてから通信半径は自由に変えられるものではないので密度と搜索面積の関係を評価する。
- ・面積がどれくらいの値であれば妥当な値か評価をする  
→人が搜索出来る範囲の値を評価する。

#### 4.3 面積算出方法

提案手法で示している黒い複雑な部分の面積を求めるのは普通のやり方だと困難なので本研究の面積算出にはモンテ・カルロ法を使用する。

モンテカルロ法とは乱数を用いたシミュレーションを繰り返すことにより近似値に解を求めることができる計算手法である。

例えば下図4-1のようにTという領域の中にS1・S2という領域が含まれているとする。面積S1+S2が面積Tの何%にあたるか調べるとする。すなわち $(S1+S2)/T$ を求める。このT内領域に基石を敷き詰めてみる。S1・S2には黒石を敷き詰め、S0には白石を敷く。この時十分小さな基石を使うとする。

これにより求める面積比率は  $(S1+S2)/T = \text{黒石/基石の総数}$  である。  
 この計算方法を利用し、今回検索範囲とした領域をもとめる。

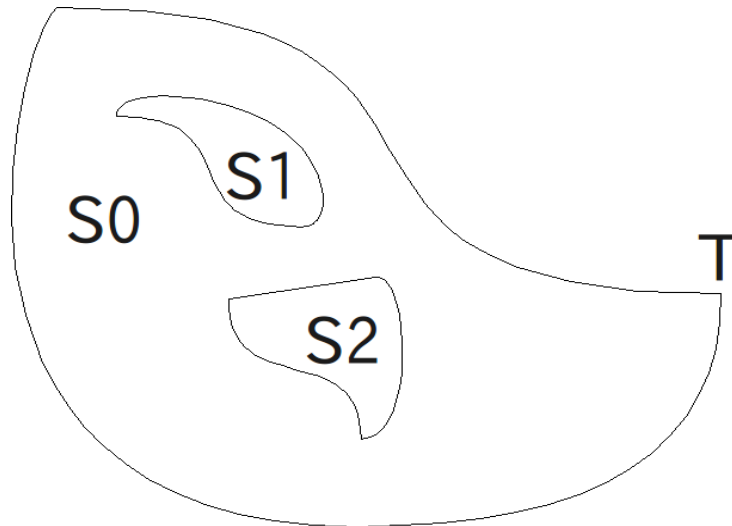


図 4-1:モンテ・カルロ法

#### 計算式

フィールド上すべて一様にランダムに点を複数点を打ち、あらかじめ条件指定をしておいた領域（本研究においては提案手法で示した図の黒い部分）に点を打った場合のみ上記においての黒石とし打点数をカウントする。総打点数を 10000 回として、「指定した領域に打った点（黒石）/10000」、これが全体に対する面積比率である。

これに全体面積をかけることで面積を算出することが出来る。  
 以下にその式を示す。

$$\frac{\text{条件指定した領域に打った点の数}}{10000} \times \text{フィールド面積全体} = \text{検索面積}$$

式 4-1:算出面積式

#### プログラムとして

1. ランダムにノード・簡易基地局の座標を決める。
2. ノードの電波に反応した基地局をピックアップする。
3. そして面積比を出すためフィールド内に点を 10000 点フィールド内一様になるよう打っていく。
4. その打った点とピックアップした基地局の中心点との長さそれぞれが基地局の通信半径の値以下ならばカウントする。(ピックアップした基地局の一つでも通信半径外に点が打たれた場合その点はカウントしない)

図に表すと黒い点(下の点)がカウント、赤い点(上の点)がカウントしない点である。(図 4-2)

5. 式 4-1 に代入し面積を算出する.

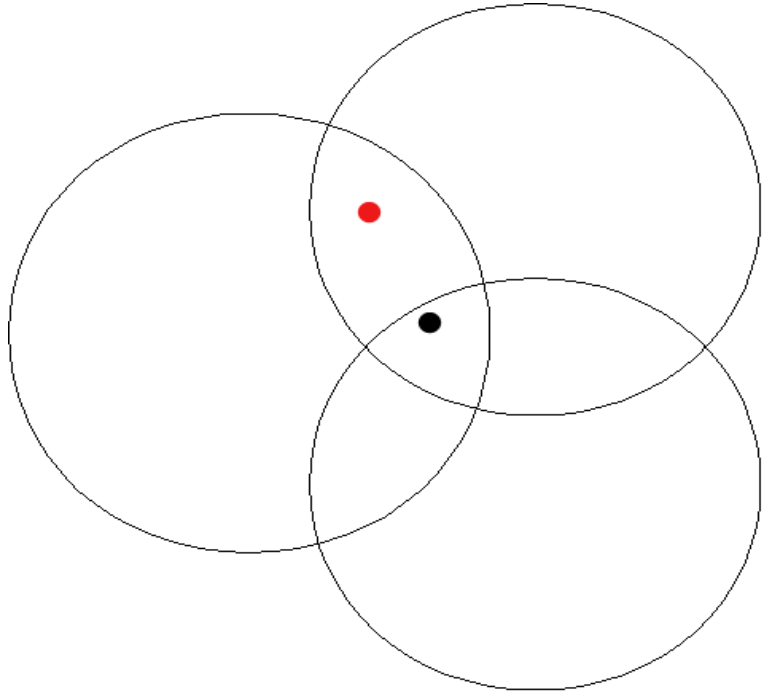


図 4-2: モンテ・カルロ法 例

## 第5章

### 実験結果と考察

#### 5.1 測定結果

図5-1に提案手法1,図5-2に提案手法1の拡大図,図5-3に提案手法2,図5-4に提案手法2の拡大図の実験結果を示す.なお横軸は簡易基地局の通信半径である.

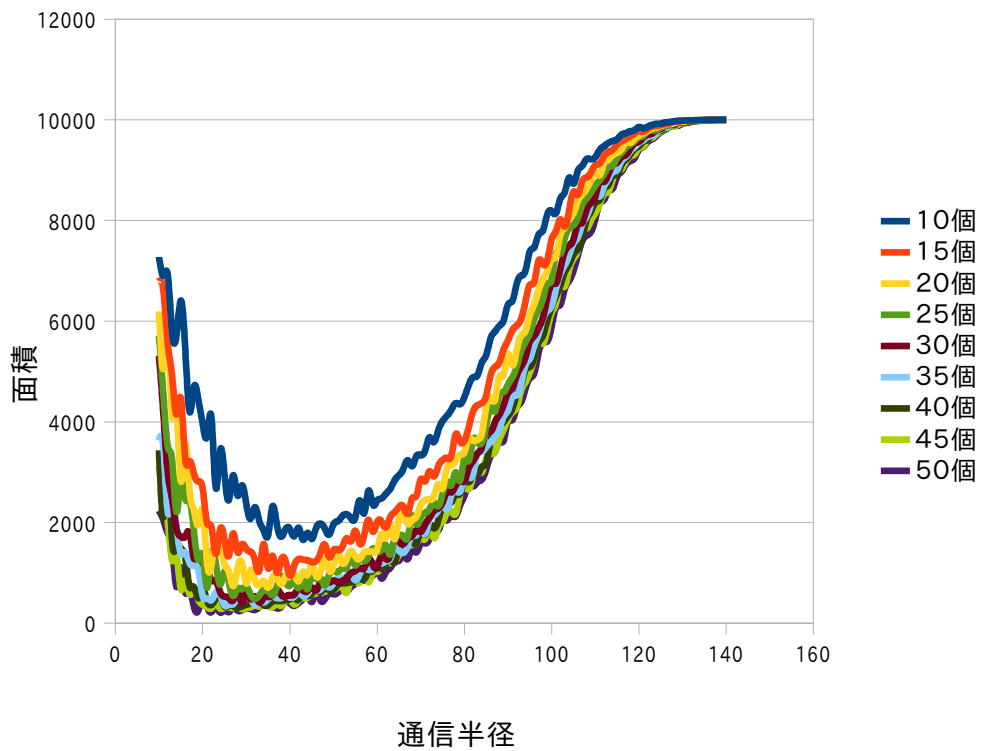


図5-1:測定結果(提案手法1)

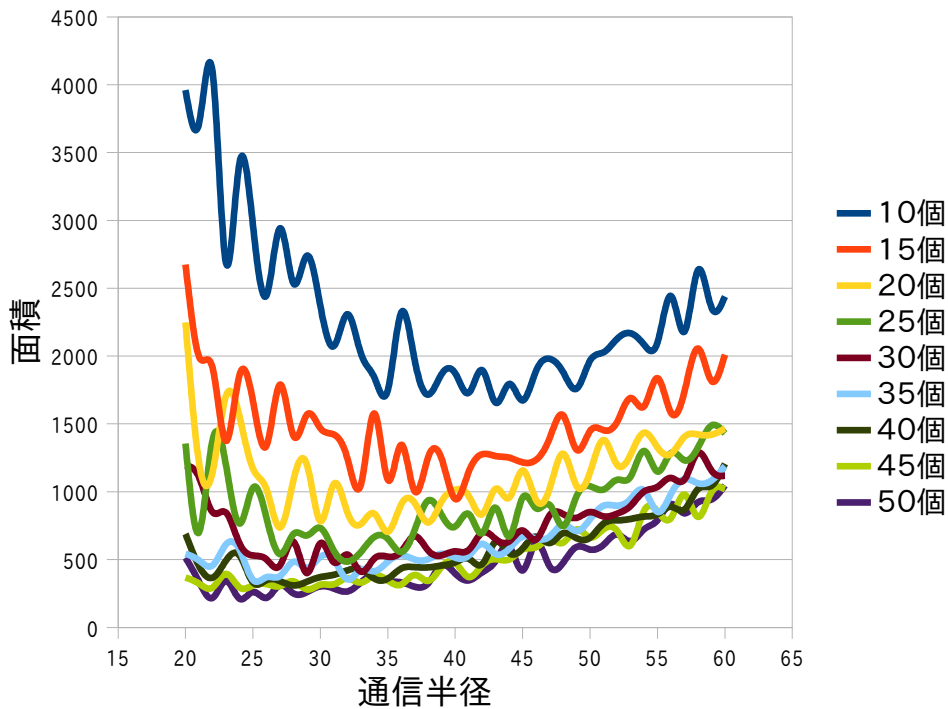


図 5-2: 提案手法 1 の拡大図

図 5-1 は提案手法 1 で通信半径と基地局の個数を変化させたときにどれくらいの面積が算出されるか調べた図である。図での横軸を基地局の通信半径, 縦軸を算出面積 (検索範囲) とした。図中の個数を示しているのは基地局の個数を示し,  $100 \times 100$  の領域内にどれだけ個数の基地局を打ち上げるかといった個数である。この図より通信半径が 10~40 前後まで面積がだんだん減ってきており, 通信半径が 40 を超えだすと面積はだんだん大きくなっていることがわかる。また通信半径 140 の時点ではフィールド全体である 10000 ( $100 \times 100$ ) を示している。

また図 5-2 では提案手法 1 で求めてきた図で良い結果が出た部分を拡大した図である。提案手法 1 での一番最善の結果は通信半径 25, 基地局数 50 個という数値で算出面積 272 という結果であった。



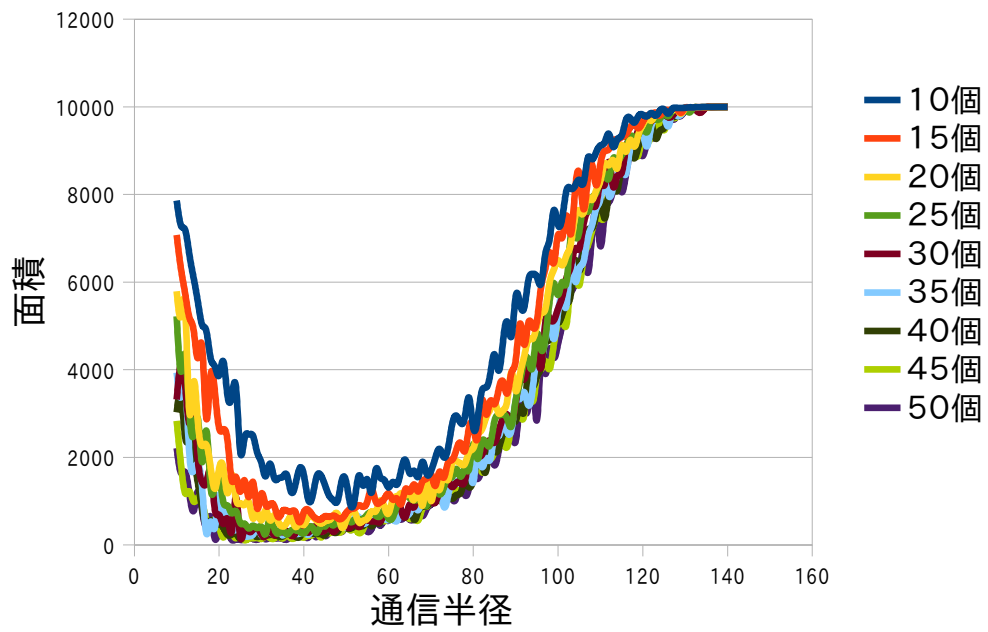


図 5-3:測定結果(提案手法 2)

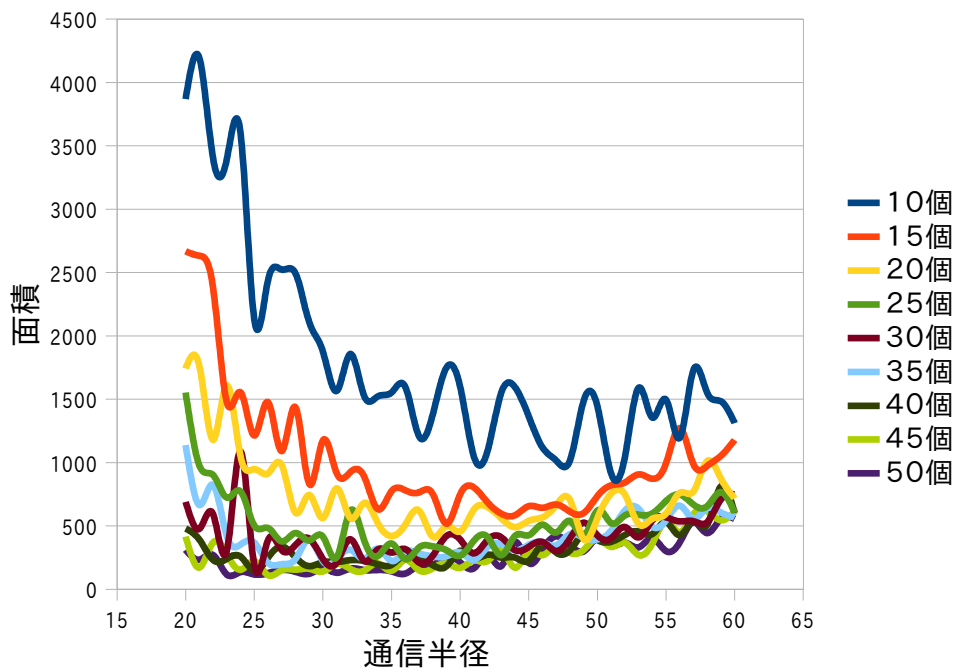


図 5-4:提案手法 2 の拡大図

図 5-3 は提案手法 2 で通信半径と基地局の個数を変化させたときにどれくらいの面積が算出されるか調べた図である。図での横軸を基地局の通信半径、縦軸を算出面積(検索範囲)とした。図中の個数を示しているのは基地局の個数を示し、 $100 \times 100$  の領域内にどれだけ個数の基地局を打ち上げるかといった個数である。この図も図 5-1 と同じように通信半径が 10~50 前後まで面積がだんだん減ってきており、通信半径が 50 を超えだすと面積は段々大きくなっていることがわかる。また通信半径 140 の時点ではフィールド全体である 10000 ( $100 \times 100$ ) を示している。提案手法 1 と違う点は算出面積で小さい数字が出ており、その小さい面積が出た回数も多い点である。

図 5-4 では提案手法 2 で求めてきた図で良い結果が出た部分を拡大した図である。提案手法 2 での一番最善の結果は通信半径 30、基地局数 50 個という数値で算出面積 70 という結果であった。

## 5.2 考察 1

上の図 5-1、図 5-3 をみるように通信半径 10 辺りでは通信半径が小さすぎて携帯電話の電波に反応する基地局が 1~2 個で範囲が大きいため面積も大きくなっている。通信半径を 10 より大きくしていき 40 辺りまでは面積が段々と小さくなっている。これは通信半径が大きくなるとともに検索範囲も大きくなっているが、携帯電話に反応した基地局数が多く、面積算出の際にその反応した基地局数と通信半径のバランスがとれて限定された小さい面積が算出された。また通信半径が 40 を超えだすと次第に面積が大きくなっている。これに対しては多数の基地局の検索範囲が重なった領域が段々大きくなっているからである。さらに通信半径 140 の値に関して 10000 ( $100 \times 100$ ) とフィールド内すべての面積になっている。これはすべての基地局がどの位置にいてもフィールド内すべてを探索しており、結果、重なった部分もフィールド内すべてを探索しているからである。

また個数が 10 個の場合の時と 50 個の時ではどの通信半径でも明らかに算出面積に差がある。これはフィールド内に設置した基地局の通信半径が重なる数が明らかに違うからである。10 個の場合、反応する基地局は 1~3 なのに比べ、50 個の場合 10 個の時より数倍から数十倍の基地局が反応している。よって面積算出の際、算出面積領域が限定され小さくなっている。

これらのことより、通信半径が大きくなればなるほど反応基地局数は多くなり携帯電話の電波を受信する確率は上がるが、通信半径を大きくしてしまうと検索範囲が大きくなりすぎてしまい場所を特定できず失敗してしまう。

また個数においては多ければ多いほど検索範囲は小さくなっていく、ということがわかった。しかし個数はできるだけ少ない方がよい。それは簡易基地局を上げる時間も短縮出来るし、コストの面からも都合が良いからである。

## 5.3 考察 2

今回実験を行い、面積が算出されたのだが、現実的にどのくらいなら妥当な面積か考えた。例えば地震が発生し多くの家屋が倒壊したとき、正確な一点を求められればそれはそれでよいのだが、結局はどの家屋や集合住宅に人がいるかわかればよいので、家屋が断定できればその家屋全体を探すはずだから、ある程度の面積ができればよいと考え、面積  $625 \text{ m}^2 \sim 1600 \text{ m}^2$  なら妥当だと考えた。この  $625 \text{ m}^2$  という値は  $25 \text{ m} \times 25 \text{ m}$  のサイズであり一般家屋サイズで、 $1600 \text{ m}^2$  という値は  $40 \text{ m} \times 40 \text{ m}$  のサイズで集合住宅サイズであると考えた。またスカイメッシュの緊急通信バックボーン用の通信半径が数キロであることを考慮し、5 章の図でフィールドを  $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$  とし通信半

径 3 キロと設定する。この時、提案手法 1 の平均算出面積は 2720㎡(約 52m×52m)でこれは範囲が広すぎる。これを妥当な範囲まで絞ろうとするとさらに多くの基地局数を増やし密度をあげることが必要になってくる。提案手法 2 で提案手法 1 と同じようにフィールドを 10km×10km、通信半径 3km とすると、最善の平均面積の結果が出ているのは 700㎡(約 26m×26m)前後であり、システムとして妥当な結果が算出された。しかしこの時の基地局数は通常の通信を確保する時だけの個数 10 個の 5 倍の 50 個でありコスト面でかなり厳しいと考えられる。そこで密度が半分の 25 個程度であれば算出面積は 1400㎡となるが妥当な面積の範囲内にある。よって通信を確保する時だけの個数の 2.5 倍の個数であれば個数面・算出面積面から見ても妥当な値でありシステムの有効性がある。

提案手法 2 において、図 5-3 を見てわかるように面積が小さくなっているし、その妥当である 625 に近い面積が出た回数も多い。

## 第6章

### 結論

#### 6.1 まとめ

本論文では,災害が発生し倒壊物等に埋もれた人を発見するために提案手法1,提案手法2を通じて,緊急災害用システムというものを作成し実験を行った.

今回実験行い,提案手法1では $100 \times 100$ のフィールド(被災地)における最善結果は,簡易基地局の通信半径25,個数50という比率であった.

同フィールドで提案手法2における一番良い結果は簡易基地局の通信半径30,個数50であった.提案手法2では通信半径を伸ばすことが出来た.

さらに $10\text{km} \times 10\text{km}$ というフィールドにおいても提案手法2の結果をみると通信を確保する時だけの個数の2.5倍の個数であれば妥当な検索面積内でありシステムとして実現性があることが分かった.

#### 6.2 今後の課題

今後,埋まっているノードがフィールドのどの場所に位置しているか表示できるようにすればツールとして性能が上がるはずである.またフィールド内には瓦礫等だけではなく電波に様々な影響を与える障害物や建物を考慮してのシミュレーション実験を行っていきたい.

## おわりに

### 謝辞

本論文作成にあたって日頃からご指導いただいた龍谷大学工学部情報メディア学科の三好力教授には深く感謝致します。また研究に関して様々なアドバイス・相談に乗っていただいた同研究室の皆様や多大なご協力を頂いた皆様に深く感謝致します。最後に私を支えてくれた家族・友人深く感謝致します。

## 参考文献

- [1] 間瀬 憲一,車々間通信とアドホックネットワーク,2006,電子情報通信学会誌
- [2] 石田 剛朗,アドホックなコミュニケーションにおける情報伝播モデルに関する研究,2002 年度慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科修士論文
- [3] 小沼 豊和,ノードの過密なアドホックネットワークにおけるサービスモデルに関する研究,早稲田大学大学院 理工学研究科 2003 年度修士論文
- [4] 浅沼 雅行,災害発生時における移動中継局の配置問題 ,2007 年度北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科知識社会システム学専攻修士論文
- [5] 吉田 傑,アドホックネットワークにおける電波強度を考慮した経路選択法,2004 年度早稲田大学理工学部情報学科卒業論文
- [6] 間瀬 憲一,大規模災害時の通信確保を支援するアドホックネットワーク,電子情報通信学会誌,2006
- [7] ケータイ研究所～よくわかる携帯電話のしくみ～  
<http://www.ieice.org/jpn/kodomo/keitai/index.html>
- [8] wikipedia  
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%98%AA%E7%A5%9E%E3%83%BB%E6%B7%A1%E8%B7%AF%E5%A4%A7%E9%9C%87%E7%81%BD>  
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%9B%BB%E6%B3%A2>
- [9] <http://www.cty-net.ne.jp/~shiroari/jishin/jishin1.html>
- [10] NTTDoCoMo ホームページ  
<http://www.nttdocomo.co.jp/support/area/radio/connect/feature/>
- [11] 総務省ホームページ
- [12] 双葉電子工業ホームページ  
<http://www.rc.futaba.co.jp/industry/technology/denpa.html>

## プログラムソース

```
#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>
#include<time.h>
#include<math.h>
#define NUMBER 200 /* 基地局数 */
#define FIELD 100.000000 /* 縦×横(範囲) */
#define COMMUNICATION 60 /* 基地局の通信半径 */
#define SL 9999999
struct Basestation { /* 基地局 */
    int x; /* 基地局の x 座標 */
    int y; /* 基地局の y 座標 */
    int r; /* 基地局の通信半径 */
    double distance;
};

}bs[NUMBER];

struct Node { /* ノード */
    int x1; /* ノードの x 座標 */
    int y1; /* ノードの y 座標 */
    int r1; /* ノードの通信半径 */
};

struct StraghtLine {
    double type;
    double distance_sa;
};

}sl[SL];

/* ランダムな数字発生 */
int GetRandom(int min,int max);

int main(void)
{
    int z;
    double sousuu;
    double ten;
    int n;
    int c;
    n=NUMBER;
    c=COMMUNICATION;

    srand((unsigned int)time(NULL));
    // printf("%d",(int) GetRandom);
    for(n=45;n<=50;n +=5){ /* 個数 */
        printf("個数%d¥n",n);
        for(c=10;c<=140;c++){ /* 通信半径 */
            // printf("%d の時¥n",c);
            for(z=0;z<100;z++){ /* N 回の平均値 */

                int i;
                int j;
                int o;
```

```

int k;
int in_n=0;
int in=0;
int count=0; /*ヒットした基地局数*/
int hit[NUMBER]; /*該当した基地局を代入*/

int r_x,r_y;//

double r_distance; /*
double s=0.0; /*算出面積*/
double en_i,en_j;//円1、円2

struct Node node =(GetRandom(0,FIELD),GetRandom(0,FIELD)); /*ノードの x 座標、 y 座標*/
// printf("node (%d %d)\n",node.x1,node.y1);

for (i = 1;i<=n;i++) { /*number 個の基地局の x 座標、 y 座標*/
bs[i].x=GetRandom(0,FIELD);
bs[i].y=GetRandom(0,FIELD);
bs[i].r=c;
bs[i].distance = sqrt( (node.x1-bs[i].x)*(node.x1-bs[i].x) + (node.y1-bs[i].y)*(node.y1-bs[i].y) ); /*各基地局とノードと
の長さを計算*/

// printf("bs[%d] (%d %d) %f\n",i,bs[i].x,bs[i].y,bs[i].distance);
}
//printf("反応基地局\n-----\n");

for(i=1;i<=n;i++){
if(bs[i].distance<=c){ /*通信半径以内か通信範囲外か*/
hit[count++]=i; /*通信範囲内の基地局数をカウント ヒットした基地局の番号を hit[]に入れる*/
//printf("bs[%d] (%d %d) ノードとの長さ%f\n",i,bs[i].x,bs[i].y,bs[i].distance);
}
}
// printf("反応基地局数は%d 個です.",count);
// for(i=0;i<count;i++)
// printf("hit[%d]=%d\n",i,hit[i]);
//if(count==1)
//printf("%f\n",COMMUNICATION*COMMUNICATION*3.14);
//}
//else{
//ten=ten+count;
/*モンテ・カルロ法*/
in=0;
for(k=0;k<10000;k++){
r_x=GetRandom(0,FIELD);
r_y=GetRandom(0,FIELD);
//提案手法2

o=0;
for(i=0;i<count;i++){
for(j=i+1;j<count;j++){
en_i=(r_x-bs[hit[i]].x)*(r_x-bs[hit[i]].x)+(r_y-bs[hit[i]].y)*(r_y-bs[hit[i]].y); //円1の方程式

en_j=(r_x-bs[hit[j]].x)*(r_x-bs[hit[j]].x)+(r_y-bs[hit[j]].y)*(r_y-bs[hit[j]].y); //円2の方程式
//printf("%f,%f\n",en_i,en_j);

sl[o].distance_sa = bs[hit[i]].distance - bs[hit[j]].distance;//
sl[o].type = en_i - en_j;//

```



```

        // printf("sl=%f\n",sl[n].type);
        o=o+1;
    }
}

in_n=0;
for(i=0;i<count;i++){
    r_distance=sqrt( (bs[hit[i]].x-r_x)*(bs[hit[i]].x-r_x)+(bs[hit[i]].y-r_y)*(bs[hit[i]].y-r_y) );/

    if(r_distance<=c)//すべての円内か調べる
        in_n++;
    }
    int in_l=0, l;
    for(l=0;l<o;l++){
        if(in_n==count && ((sl[o].type>=0 && sl[o].distance_sa>=0) || (sl[o].type<0 && sl[o].distance_sa<0))){
            in_l++;//すべての円内なら + 直線式満たすならカウント in_l
        }
    }
    if(in_l == o && in_n == count) in++;
}

s=(in/10000.000000)*FIELD*FIELD;
sousuu=sousuu+s;
// printf("  搜索面積は%fでフィールド全体の%f%です.%nヒットした基地局のすべての通信範囲内の領域に入る点の
数%d\n",s,(100*s)/(FIELD*FIELD),in);
//printf("%f\n",s);

//}/*else*/

}

printf("%f\n",sousuu/100);
//printf("%f\n",ten/100);
//ten=0;
sousuu=0.0;
}/*通信半径の繰り返し*/
}/*個数の繰り返し*/
return 0;
}

int GetRandom(int min,int max)
{
    return min + (int)(rand()*(max-min+1.0)/(1.0+RAND_MAX));
}

```

## 電波とは

電波とは「3TH z以下の周波数の交流のエネルギーが空間を伝わっている状態にあるもの」である。人工的には電子回路等で意図するしないに関わらず発生させた、またはした交流のエネルギーが、アンテナかそれ以外の物から空間に出て行き空間を伝わっているのが電波である。また雷、太陽の活動、太陽の活動と地球等の惑星の磁気圏の相互作用等の自然現象でも電波は発生している。

## 電波特性

### 1. 電波強度はキヨリに反比例して減退する

電灯などから出ている光は、離れるとだんだん弱くなっていく。それと同様に、電波を出している基地局から離れれば離れるほど、電波も弱くなる。電波の弱い場所では、通話が途切れたり音質が悪くなったりすることがある。

### 2. 建物などに反射する

光を鏡に当てると、別の方向へ反射する。それと同様に、電波も建物などの障害物に当たると、はね返る。当たる物や電波の周波数によって反射のしかたは変わる。はね返るときに複数の方向へ乱反射することもある。

反射を繰り返すと電波はだんだん弱くなっていく。また、ガラスのように光を通すものであれば、電波も通り抜けることができる。

街中にはビルの壁、線路や道路の高架など、さまざまな障害物がある。人や走る車なども電波状況に影響を与える要因のひとつになる。

### 3. 干渉し合う

見通しの良い場所やビル密集地などは、複数の電波がさまざまな方向から飛んでくる。複数の電波がぶつかり合うと、電波同士がケンカをして電波が不安定になり、発信や着信ができなかったり、通話中に切れやすくなる。

### 4. 電波は回り込んで届く

建物の裏通りにいても、表通りで車が走っている音が聞こえてくる。音が建物を回り込んで裏側にも届くためである。

同様に電波にも建物など障害物の裏側へ回り込む性質がある。そのため、電波が基地局から直接届かない場所でも携帯電話を使えることがある。

## 無線通信で使用される周波数

無線通信で用いる電波は広い範囲に伝わる性質があり、無秩序に無線通信を行うとほかの通信に妨害を与える混信などの問題が生じる。電波は周波数帯によって伝搬様態に違いがあるため、業務に適した特性を持つ周波数帯を選択する必要がある。このため、無線通信の種類ごとに周波数帯域が法律などで定められており、この周波数帯を逸脱して通信を行うことが禁止されている。日本国内で使用されている各種無線業務ごとに割り当てられた周波数帯を以下に示す。

長波 (30kHz ~ 300kHz) → 長波放送,標準電波,ビーコン  
 中波 (300kHz ~ 3MHz) → 中波放送,船舶通信,ビーコン,アマチュア無線  
 短波 (3MHz ~ 30MHz) → 短波放送,船舶通信,航空機通信,アマチュア無線  
 超短波 (30MHz ~ 300MHz) → FM 放送, TV 放送,警察無線,航空機通信  
 船舶通信,アマチュア無線  
 極超短波 (300MHz ~ 3GHz) → TV 放送,列車無線,警察無線,携帯電話  
 衛星通信,無線 LAN,アマチュア無線  
 マイクロ波 (3GHz ~ 30GHz) → 衛星通信,無線 LAN, ETC,電波天文  
 アマチュア無線  
 ミリ波 (30GHz ~ 300GHz) → 衛星通信,電波天文,簡易無線,アマチュア無線

また,世界的には ITU (International Telecommunication Union) の WRC (World Radiocom-  
 munication Conference) において周波数割り当てが決定されている.世界で同一の周波数が使える  
 ことにより,グローバルに共通化できるメリットがある.無線 LAN の例でいうと,無線 LAN 搭載ノー  
 トパソコンをいろいろな国に持っていてもそのまま使えるというメリットがある.

## 電波の伝わり方

### 直接波

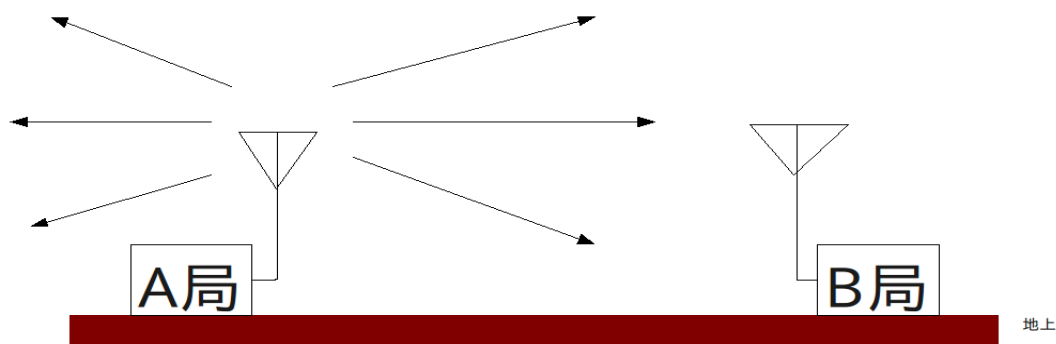


図1-5: 直接波

送信側のアンテナから空間に放射された電波は,四方に広がりながら空間を伝わっていく.この  
 電波が受信側のアンテナで受信される.図1-5はこの様子を表した図である.この図が示すように,  
 電波は送信側である A 局のアンテナから放射され,受信側である B 局のアンテナへ到達する.こ  
 のように,一方のアンテナから空間に放射された電波が直接他方のアンテナへ到達するような形  
 態をとる電波の伝わり方を直接波という.直接波は,超短波帯以上の周波数の高い電波の伝搬様  
 態である.,

### 地表波

送信側のアンテナから放射された電波が,地表面に沿って受信側のアンテナまで到達する電波  
 を地表波という.地表波は,長波と超長波のように波長が長い電波の伝搬様態である.地表面に

沿って伝搬するため、直接波よりも遠キヨリまで到達する性質があり、無線技術の黎明期には低い周波数を用いた通信設備が盛んに作られた。現在では、後述する電離層反射波を利用することで延長通信ができることが発見され、超長波通信はあまり使われなくなっている。

## 大地反射波

図 1-6 に示すように送信側 (A 局) のアンテナから放射された電波がいったん地表面で反射され、受信側 (B 局) のアンテナに到達する電波伝搬の様態を大地反射波という。ちょうど大地を鏡に見立てて、アンテナから光を放射したときに、大地で反射されて受信側に到達するのと同じ伝わり方をする。