

BLE信号を用いた 位置推定手法の研究

Bluetooth Low Energyの略
Bluetoothを利用した研究

情報技術科3年 鈴木捷登

72時間の壁

72時間の壁

1995.1.17に発生した**阪神淡路大震災**で

3日目（72時間）以降に救出された

被災者の生存率が著しく低下したことから
人命救助における**タイムリミット**を
示す言葉として用いられるようになった



https://izufull.com/shop_pic/slide/gDsQIU6B5D_1719news_top_pic_pc.PNG



<https://www.asahi.com/articles/photo/AS20240112002882.html>



あれから 30 年たった今も...



<https://mainichi.jp/articles/20240216/ddm/005/070/105000c>

令和 6 年能登半島地震 (2024.01.01)

72時間以内の救出が必要



2000年以降に発生した 大きな地震

最大震度	回数
7	5回
6強	12回
6弱	25回
5強	40回
5	3回
5弱	57回
(25年間で合計)	142回

2000年以降に発生した 最大震度7の地震

日付	地震名	建物	
		全壊	半壊
2024.01.01	令和6年能登半島地震	6,532棟	23,680棟
2018.09.06	平成30年北海道胆振東部地震	469棟	1,660棟
2016.04.14	平成28年熊本地震	8,667棟	34,719棟
2011.03.11	平成23年東北地方太平洋沖地震 (東日本大震災)	122,050棟	283,988棟
2004.10.23	平成16年新潟県中越地震	3,175棟	13,810棟

倒壊した建物の中に
多くの人々が下敷きなっていたのでは...

2000年以降に発生した 最大震度7の地震

日付	地震名	死者	負傷者
2024.01.01	令和6年能登半島地震	634人	1,398人
2018.09.06	平成30年北海道胆振東部地震	43人	782人
2016.04.14	平成28年熊本地震	273人	2,809人
2011.03.11	平成23年東北地方太平洋沖地震 (東日本大震災)	19,775人	6,242人
2004.10.23	平成16年新潟県中越地震	68人	4,805人

72時間以内に倒壊した建物から救出できたら
もっと死亡者を減らすことができるのでは

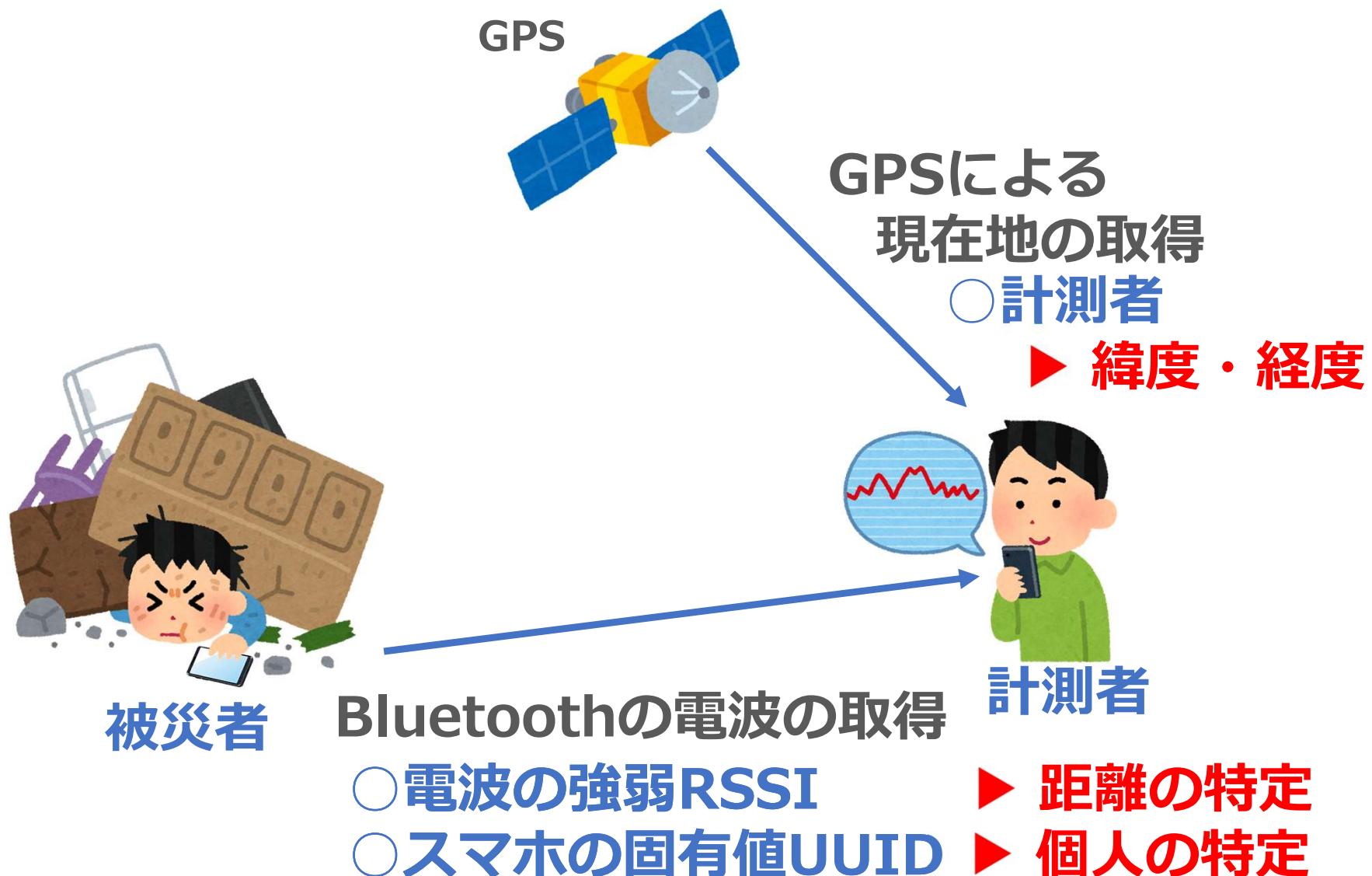
救出するためには...

位置の特定が必要



所持しているスマホの
Bluetoothの電波で
位置の特定

被災者の位置を 特定するためのデータ収集



電波の強さから距離を求める

インターネットで公開されている
RSSIから**距離d**を求める式

$$d = 10 * (\text{TxPower} - \text{RSSI}) / 10 * n$$

d: 距離

TxPower: 1m離れた時の平均RSSI

RSSI: 実際に測定したRSSI

n: 伝搬損失係数

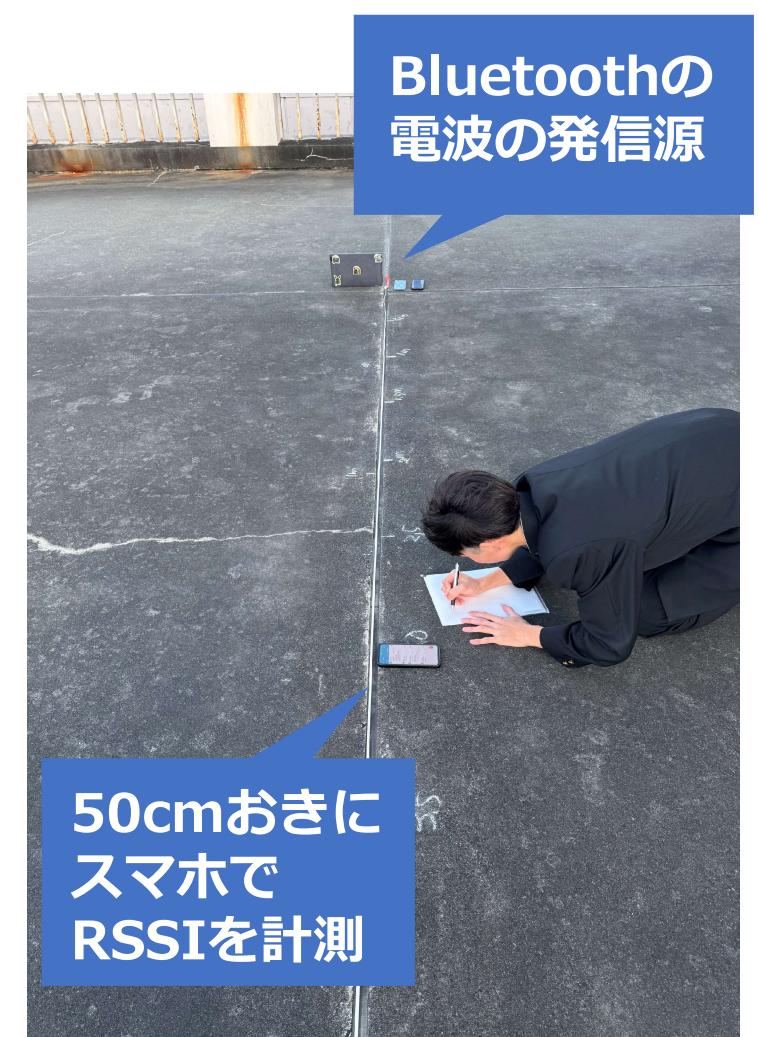
1.6~1.8:障害物のない屋内

2.0~2.5:一般的な屋内(家具、壁あり)

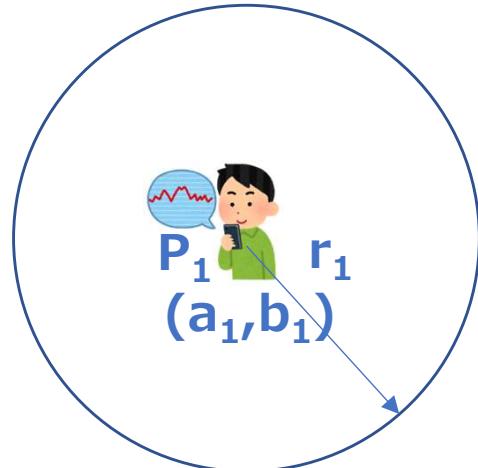
3.0~4.0:混雑した室内、金属が多い環境

50cmおきにRSSIの値を計測して、
TxPowerとnの値を逆算して求める

$n=2.0$ $\text{TxPower}=-60$
と算出



被災者の位置の特定方法



計測者が位置 P_1 で
Bluetoothの電波を取得

RSSIの値

▶被災者との距離 r_1 を取得

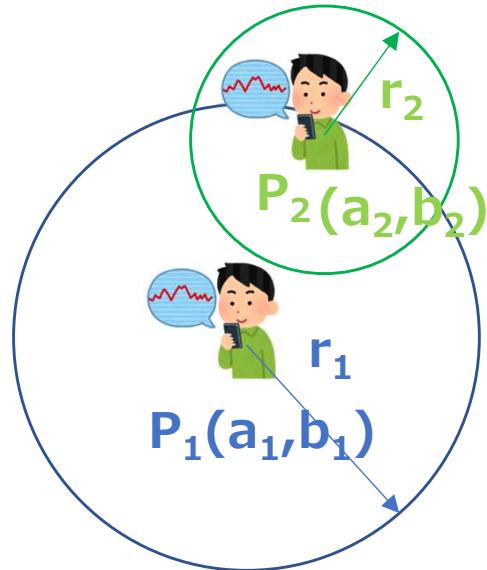
GPSの値

▶計測者の位置

経度 a_1 ,緯度 b_1 を取得

計測者を中心に
半径 r_1 の円周上に
被災者が存在

被災者の位置の特定方法



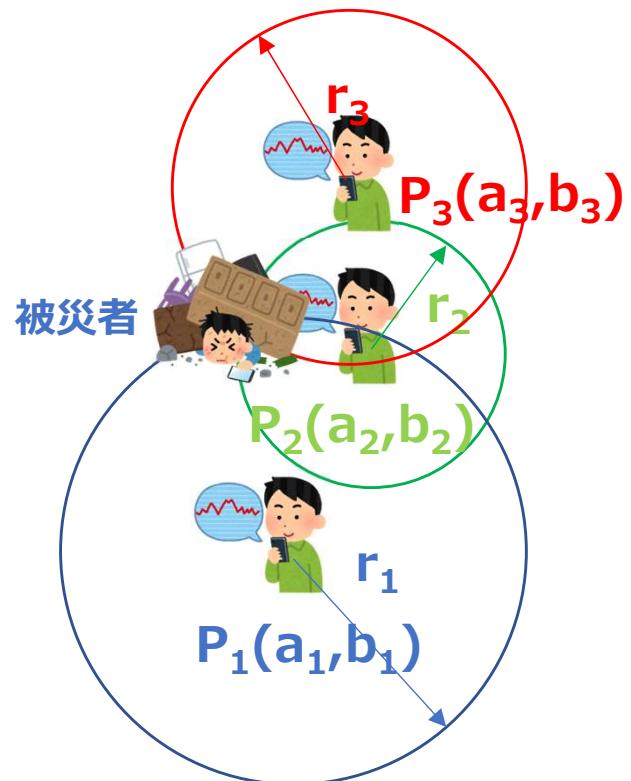
同一人物

計測者が位置 P_2 に移動して
同じUUIDの
Bluetoothの電波を取得

位置 P_1 と同様に...
位置 $P_2 (a_2, b_2)$ を中心に
半径 r_2 との円周上に
被災者が存在

2つの円周の交点に
被災者が存在
▶交点が2つ?どっち?

被災者の位置の特定方法

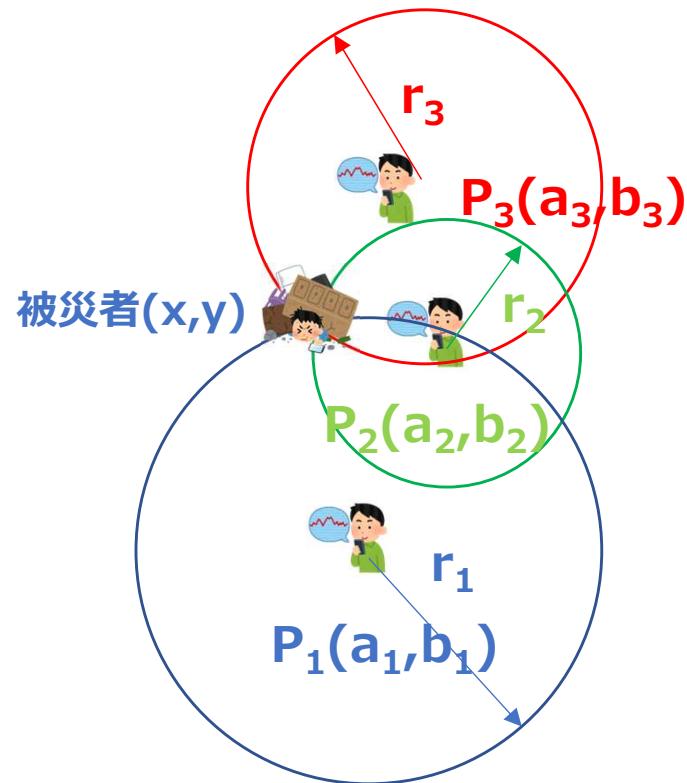


さらに...
計測者が位置 P_3 に移動して
同じ UUID の
Bluetooth の電波を取得

位置 P_1, P_2 と同様に...
位置 $P_3 (a_3, b_3)$ を中心に
半径 r_3 との円周上に
被災者が存在

3つの円周の交点に
被災者が存在
▶被災者発見!!

被災者の位置の特定方法



数学的に
被災者の位置(x, y) を求める

▼ ▼ ▼ ▼ ▼
計測者の各位置 P_1, P_2, P_3 で
円の式を立てる

▼ ▼ ▼ ▼ ▼
 P_1 の円の式

$$(x-a_1)^2 + (y-b_1)^2 = r_1^2$$

P_2 の円の式

$$(x-a_2)^2 + (y-b_2)^2 = r_2^2$$

P_3 の円の式

$$(x-a_3)^2 + (y-b_3)^2 = r_3^2$$

▼ ▼ ▼ ▼ ▼
この連立方程式を解けば、
被災者の位置が特定できる

連立方程式を解いていこう!!

$$(x-a_1)^2 + (y-b_1)^2 = r_1^2 \quad ①$$

$$(x-a_2)^2 + (y-b_2)^2 = r_2^2 \quad ②$$

$$(x-a_3)^2 + (y-b_3)^2 = r_3^2 \quad ③$$

各式を展開します

$$x^2 - 2a_1x + a_1^2 + y^2 - 2b_1y + b_1^2 = r_1^2 \quad ①'$$

$$x^2 - 2a_2x + a_2^2 + y^2 - 2b_2y + b_2^2 = r_2^2 \quad ②'$$

$$x^2 - 2a_3x + a_3^2 + y^2 - 2b_3y + b_3^2 = r_3^2 \quad ③'$$

x^2 や y^2 が解いていくのに邪魔なので $①' - ②'$

$$-2a_1x + 2a_2x + a_1^2 - a_2^2 - 2b_1y + 2b_2y + b_1^2 - b_2^2 = r_1^2 - r_2^2$$



$$-2(a_1 - a_2)x + a_1^2 - a_2^2 - 2(b_1 - b_2)y + b_1^2 - b_2^2 = r_1^2 - r_2^2$$



$$-2(a_1 - a_2)x + (a_1 + a_2)(a_1 - a_2) - 2(b_1 - b_2)y + (b_1 + b_2)(b_1 - b_2) = (r_1 + r_2)(r_1 - r_2)$$



$$(a_1 + a_2 - 2x)(a_1 - a_2) + (b_1 + b_2 - 2y)(b_1 - b_2) = (r_1 + r_2)(r_1 - r_2)$$

①'-②'

$$(a_1 + a_2 - 2x)(a_1 - a_2) + (b_1 + b_2 - 2y)(b_1 - b_2) = (r_1 + r_2)(r_1 - r_2)$$

同様にして①'-③'も求めると...

$$(a_1 + a_3 - 2x)(a_1 - a_3) + (b_1 + b_3 - 2y)(b_1 - b_3) = (r_1 + r_3)(r_1 - r_3)$$

よって、連立方程式は以下のようになる

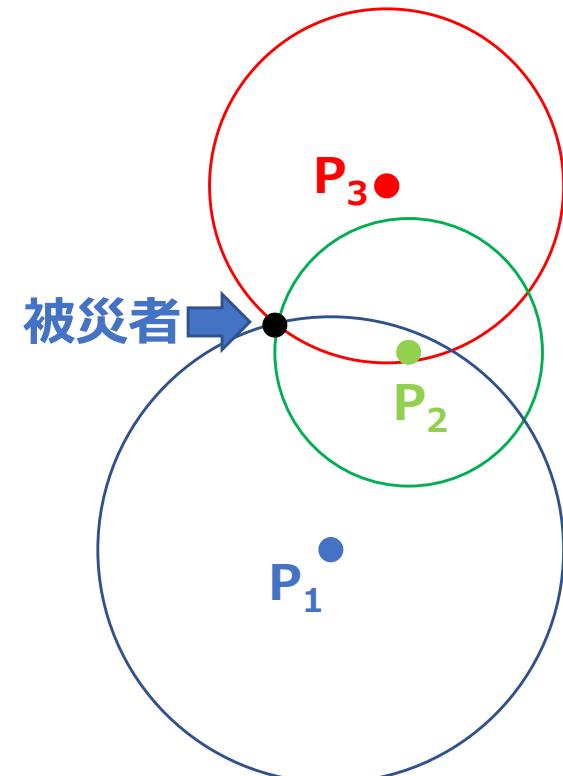
$$\begin{cases} (a_1 + a_2 - 2x)(a_1 - a_2) + (b_1 + b_2 - 2y)(b_1 - b_2) = (r_1 + r_2)(r_1 - r_2) \\ (a_1 + a_3 - 2x)(a_1 - a_3) + (b_1 + b_3 - 2y)(b_1 - b_3) = (r_1 + r_3)(r_1 - r_3) \end{cases}$$

つまり、以上の連立方程式を解けば、

被災者の位置 (x, y) がわかる

連立方程式を解いて 被災者の位置 (x, y) がわかつても...

- ▶ (x, y) の数値で位置を特定
 - 数値では位置がわかりにくい
- ▶ センサーのデータは誤差がつきもの
 - 正確な位置を示すのは難しい
- ▶ Bluetoothの電波を受信した複数の位置で円を描く
 - 円の交点で被災者の位置を特定



Androidのネイティブアプリとして
Javaでプログラムを作成

作成したアプリの実験



作成したアプリの実験



作成したアプリの実験



最後に...

ウクライナで...



ガザで...



これまでの研究...**平面的な被災者の位置を検出**

これから的研究...**立体的な被災者の位置を検出**