

大空間の移動を許容する  
立体音響再生技術の開発について

～仮想空間における音像の完全固定～

環境都市工学部 建築学科  
建築環境工学第一研究室  
建 13-99 松永 優真

指導教官 准教授 豊田 政弘

# 目次

<b>第1章 はじめに</b> .....	<b>3</b>
1.1 研究背景 .....	3
1.1.1 災害的背景 .....	3
1.1.2 技術的背景 .....	3
1.1.3 時代背景 .....	4
1.2 本研究概要 .....	5
1.2.1 立体音響技術とは .....	5
1.2.2 立体音響技術の現状 .....	5
1.2.3 本研究の目的 .....	6
1.2.4 本研究の用途 .....	7
1.3 先行研究 .....	8
<b>第2章 システム実現方法</b> .....	<b>9</b>
2.1 システムの概要と理論 .....	9
2.1.1 システムの概要 .....	9
2.1.2 音像定位 .....	9
2.2 聴覚ディスプレイ .....	11
2.3 全地球測位システム(GPS:Global Positioning System) .....	12
2.4 ハードウェア構成 .....	13
2.5 ソフトウェア構成 .....	15
2.5.1 ソフトウェア構成の概要 .....	15
2.5.2 HRTF の畳み込み .....	15
2.5.3 ナビゲーションシステム .....	15

## 目次

2.5.3.1 ナビゲーションシステムの概要.....	15
2.5.3.2 マップ表示と現在地表示.....	16
2.5.3.3 位置座標取得、二点間距離.....	18
2.5.4 音声再生システム.....	19
<b>第3章 結論</b> .....	<b>20</b>
3.1 結果 .....	20
3.1.1 目標に対しての達成度 .....	20
3.1.2 本研究で実装した過程 .....	20
3.1.3 本研究目標との違い .....	20
3.2 考察 .....	22
参考文献 .....	24

# 第1章 はじめに

## 1.1 研究背景

### 1.1.1 災害的背景

日本は地震大国とも言われるほど非常に地震が多い国である。原因はユーラシアプレート・フィリピン海プレート・太平洋プレート・オホーツクプレートという4つの大きなプレートの境界上に日本が位置しているためである。常にこれらのぶつかり合うエネルギーにさらされていて、プレートのほかにもこのエネルギーのひずみとして地震の原因となる断層がいくつも日本には存在している。

1995年1月17日に発生した阪神・淡路大震災は兵庫県南部で発生し、今もなお被災の記憶は語り継がれている。犠牲者は6000人を超え、戦後最悪の自然災害と言われていた。2011年の3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)は地震の被害者、津波による死者や行方不明者を合わせると24000人を超えた災害で、福島第一原子力発電所の事故の影響を未だに残している。2016年4月14日から複数日起きた熊本地震では震度7を記録し余震の定説を覆した。次に予想されている大きな地震は南海トラフ地震と言われており、文部科学省の地震調査委員会から今後30年間で70%~80%の確率で発生すると発表された[1]。

この日本が地震大国と言われる所以はその頻度にあり、震度5を超える地震は少なくとも1年に10回ペースで発生している。多い時では15回を超えている。(図1) [2]さらには、震度2以下の地震は毎日複数回日本のどこかで発生している。この国ではこれらの対策をより強化していく必要がある。

### 1.1.2 技術的背景

近年、科学技術によってXRという分野の発展が顕著で、今後の発展も期待されている分野でもある。XRというのはVR(仮想現実)、AR(拡張現実)、MR(複合現実)、SR(代替現実)などの総称で、コンピューター上で作られた世界を体感できる技術である。2016年にはVR元年と言われるほど急激に開発がすすめられ、ARを使ったアプリゲームは世界で爆発的にダ

はじめに

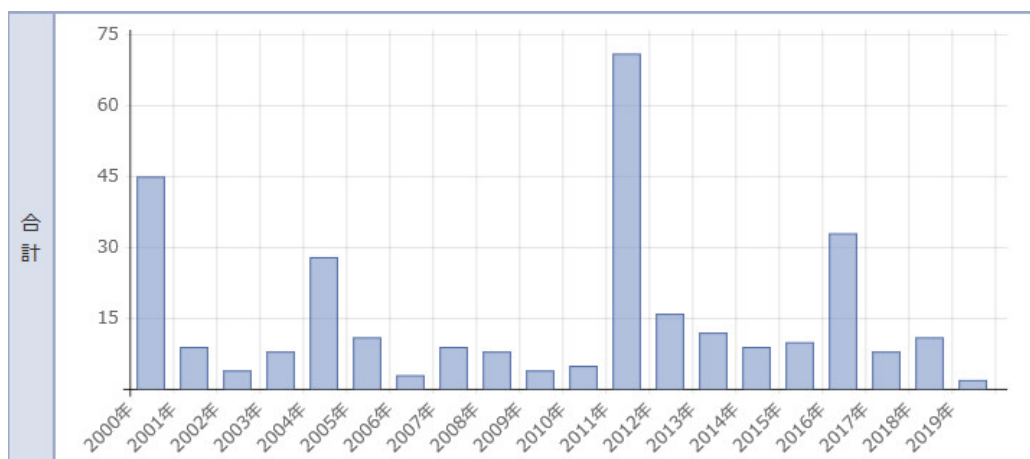


図1：震度5弱以上の地震回数

ダウンロードされ社会現象を起こしたほどである。

XR はGoogleなどを付けたりスマートホンの画面等に視覚的に表示するだけでなく、音にも臨場感を持たせるため左右から出す音を変えて聴覚的にもリアリティを追及している。そこで注目されているのが立体音響技術と呼ばれているもので、3次元的に音の方向や広がり、距離などを再生できる技術である。最近ではイヤホンでなくスピーカーで再生する立体音響技術が進んでおり、室内など限られた空間ではより自由度の高い再生方法へ発展している。

### 1.1.3 時代背景

技術的背景で述べた XR や VR は娯楽のイメージが強いかもしれないが、災害対策に活用され始めており、以前までは文字や音声のみの情報をもとに移動させるだけだったが、技術発展により例えば津波がどれくらいのスピードで、また、どれくらいの水位で来るのかを可視化することもできるようになった。XR のおかげで、よりリアルで質の高いシミュレーションを実施できるようになったと言える。特に、AR は実際の地図を使ったシミュレーションを行うことができるため、より災害対策への期待が高まっている。しかし、実際の地図を使う場合、今の立体音響技術ではあまり相性が良くない。なぜなら、今の立体音響技術は使用者が動かないことを前提として作られており、地図を見て動くときに様々な不具合が起こる。そのため、イヤホンによる再生技術の向上を図り、あらゆる状況下でも XR 等に対応できる立体音響技術が必要とされている。

## 1.2 本研究の概要

### 1.2.1 立体音響技術とは

立体音響技術とは、3次元的な音の方向・距離・拡がりなどを再生または録音する技術である。これを実現するために様々な方法が提案され、複数の方式が確立されている。元来、音はモノラル方式（1チャンネル）と言われる方式を用いており、1個のマイクによる録音と1個のスピーカーによる再生を行っていた。その後、生み出された新たな方式は、今では一般的になったステレオ方式（2チャンネル）という方式で、2個のマイクによる録音と2個のスピーカーによる再生を行うことによって音に幅が与えられた。最近では、サラウンド方式という3チャンネル以上のものも開発され、音に空間的な広がりを持たせることが可能となった。一般用には5.1チャンネルや7.1チャンネル、専門的な研究では22.2チャンネルというものも開発された。理論上4チャンネル以上あれば平面方向の広がりに加え、高さ方向にも音に拡がりを持足せることができ、録音環境を空間的に再現できる。チャンネル数を増やすことでよりリアルな方向から音を再生できるため臨場感が増すと考えられる。

しかし、チャンネルを増やすことは機材の数やシステムの複雑化から考えて一般的ではなく、また、物理的により正確に録音環境を再現する方法としてバイノーラル技術が開発された。そもそも人は2つの耳によって空間的に音を把握しているため、2チャンネルでも空間的な音を感じることは可能である。人の頭部を模した人形（ダミーヘッド）の耳の部分にマイクを設置して録音することで、そのまま録音環境を空間的に再現できるシステムである。近年では、トランスオーラル技術も開発された。これは、バイノーラル技術を応用し、イヤホンではなくスピーカーによって空間的な音を再生できるシステムである。

### 1.2.2 立体音響技術の現状

現在、バイノーラル技術、トランスオーラル技術ともに研究が進んでおり、深度センサーなどによって使用者の頭部運動に対応できるようになってきている。移動に関しては、主題として研究されることは少ないものの深度センサーの特性上センサー範囲内の移動等にも対応できる。だが、大空間内の移動に対してはいずれもまだ対応できていない。

はじめに

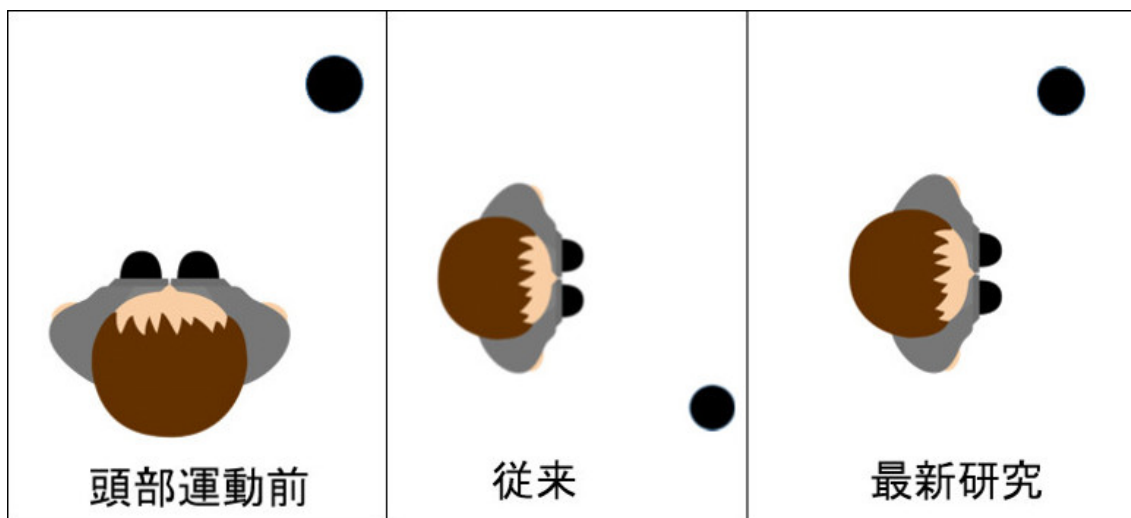


図 2：立体音響技術における頭部運動後

従来の立体音響技術の問題点として使用者が北を向いた状態で音像を北東側に感じた際、使用者が東を向くと音像が南東側に動いてしまうというものがある。使用者からすると常に右斜め前側から音が聞こえるため頭部を動かすと臨場感に欠けることになる。最新研究では使用者が東を向いてもセンサーを用いて逆算することで音像を北東側に固定できるようになった。使用者からすると徐々に自分の前を通過するように音が聞こえ溜めより臨場感が増したと言える（図 2）。

### 1.2.3 本研究の目標

これまでの運動を許容する立体音響再生技術に用いられてきたセンサーは複数ある。しかし、ジャイロセンサーは回転角情報しか得られないため移動に対応していない。深度センサーでは位置情報も同時に処理されるため移動にも対応できるが、センサー範囲内という制限があるため実際の地図を用いた移動には対応していない。そのことを踏まえて、GPSを用いて大移動を可能とすることを目的とする。トランスオーラル技術ではスピーカーを用いるため移動に適していないため、バイノーラル技術に限定し開発を行う。上記の例の場合、使用者が北に進み東を向くと最新研究を用いても移動後の北東側に聞こえ、常

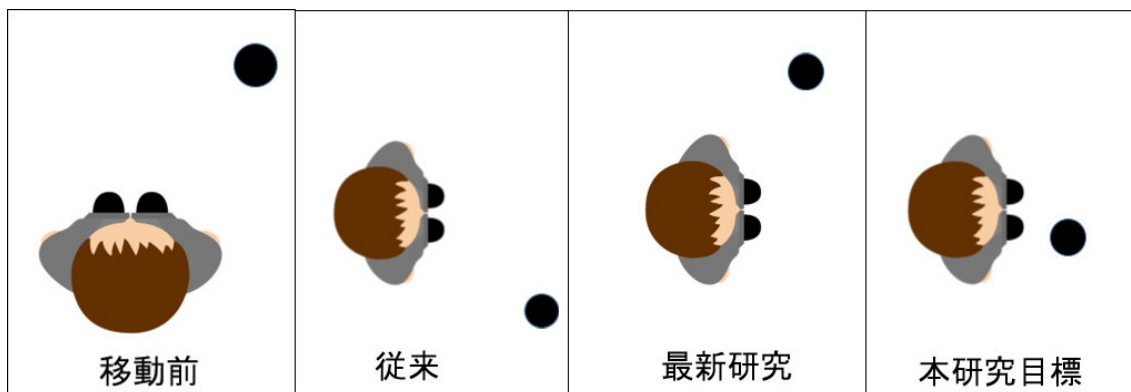


図3：立体音響技術における移動後

に相対的な位置は保ったままであるため臨場感に欠ける（図3）。そのため、本研究では移動も許容される音像の完全固定を目標とする。

これらによって、よりリアルなシミュレーションを行うことが可能となり、防災に役立つものになると考えられる。アプリケーションにすることで各個人での防災訓練ができ、防災意識の向上や大規模訓練のコスト削減など様々な面で防災を近いものとし活躍できるであろう。

#### 1.2.4 本研究の用途

仮想空間における音像の完全固定は上記の防災だけではなく、XR 技術と融合し更なる仮想現実のリアル化を促進できることができる。したがって、防災はもちろん、娯楽の発展にもつながるものと思われる。また、マップ上に音像を固定するため、音像に向かえば直感的に辿り着くことができるため、簡易的なナビゲーションツールとしても使うことができる。地図の読めない人も音の鳴る方向へ進むだけで目的地にたどり着くことができる。将来的にはセンサー類をイヤホンに埋め込むことでタブレット端末等を手に持たない状態で使用できるであろう。



### 1.3 先行研究

バイノーラル技術にセンサーで得られる情報を加えるシステムとしては大谷[3]による頭部運動を許容する立体音響再生技術の開発、また、そのシステムを発展させた関西大学の亀川[4]による頭部運動を許容する立体音響再生技術の開発などがあげられる。

バイノーラル技術に GPS と電子コンパスで得られる情報を加えるシステムとしては信州大学の井上[5]による聴覚ディスプレイによる視覚障害者のための携帯端末ナビゲーションの開発などがあげられる。この研究は現在地から目的地までのルート上の各地点において周辺の状況や進むべき方向を空間的な音の呈示によりナビゲートするものであり、大空間の移動に対応している。本研究との大きな違いとして、音像の完全固定の有無が挙げられる。この研究では移動によって各地点へと音像が切り替わるため、本研究の目標とする音像の完全固定は行われていない。本研究では移動によって音声ファイルを切り替えるが音像は常に対象地点に固定され、1つの地点から聞こえるようにした。

## 第2章 システム実現方法

### 2.1 システムの概要と理論

#### 2.1.1 システムの概要

本システムでは、GPS を用いた測位により使用者と目標地点の座標やそれら 2 点間の距離を割り出し、タブレット端末に内蔵されている電子コンパスを用いて使用者の向いている方位を割り出す。これらの情報を用いて、使用者から目標地点までの相対的な位置・方向・距離を算出し、聴覚ディスプレイによる空間的な音環境の再現を行うことでリアルなシミュレーションや直感的なナビゲーションなどを実現する。

#### 2.1.2 音像定位

人間に音像定位という感覚が備わっており、音の大きさ、音の高さ、音色以外にもその方向や距離などの空間的な情報を認知することができる。音像とは音源が知覚される空間的な像である。例えば「この場所から音が聞こえる」といった場合の「この場所」に音像があるということになる。イヤホン等でモノラル、もしくは、ステレオ録音された音を聞くと頭の中から音が聞こえる、つまり音像が頭の中に存在し、これを頭内定位という。

音像定位の変化には複数の要因があり、水平面内の変化の大きな要因は両耳間レベル差と両耳間時間差の 2 つとされている。これらは頭部の形状が大きく影響しているため、一概に数値化できるわけではなく、一人ひとりで異なる値をとる。

##### ・両耳間レベル差 (ILD: Inter-aural Level Difference)

左右の耳に伝達される音の振幅の大きさの差。差がなく振幅が等しい場合は正中面に音像が生じ、左右を比べたときにどちらか一方の振幅が大きい場合はその耳の方向に音像が移動する。

##### ・両耳間時間差 (ITD: Inter-aural Time Difference)

左右の耳に伝達される音の到達時間の差。差がなく到達時間が等しい場合は正中面に音像が生じ、左右を比べたときにどちらか一方の到達時間の遅延が大きい場合は先に音が到達した耳の方向に音像が移動する。

上下方向の変化には頭部や耳介による音の反射や散乱により生じる周波数特性上の手がかりが利用され、この手がかりは頭部伝達関数（HRTF : Head Related Transfer Function）に含まれる。これは音源から両耳までの音響伝達関数であり、人それぞれで異なる関数である。自分の HRTF を調べるには長時間の測定を行う必要がある。ただし、ダミーヘッドは頭部や耳介の形状のおおよその平均値をとっているため、その HRTF は誰が使用してもある程度の音像定位を生じる。

## 2.2 聴覚ディスプレイ

聴覚ディスプレイとして、本研究では特定の音に HRTF を畳み込んだ音源をイヤホンから提示する。HRTF は京都大学の 大谷 [3] の頭部情報や耳介形状から作られたものを使用する。HRTF の音源は、正面を 0 度、反時計回りを正方向として、頭部中心から半径 1 m の水平面の円周上に  $-175^{\circ}$  から  $+180^{\circ}$  まで  $5^{\circ}$  毎に配置した。これら 72 個の HRTF を特定の音源に畳み込むことによって 72 個の出力音源を作製した。

GPS を用いた測位により使用者と目標地点の座標やそれら 2 点間の距離を割り出し、タブレット端末に内蔵されている電子コンパスを用いて使用者の向いている方位を割り出す。これらの情報を用いてから使用者から目標地点までの相対的な位置・方向・距離を算出し、72 個の音源から 1 つの音源を随時選択する。

## 2.3 全地球測位網 (GPS : Global Positioning System)

GPS とは衛星測位システムという地球上の現在位置を測定するためのシステムである。アメリカ合衆国が軍事用に打ち上げた GPS 衛星の数個からの電波を GPS 受信機で受け取ることで位置情報を算出している。精度は基本的に数 m とされており、誤差の原因は原理的な自然要因や人為的な要因など様々ある。大気圏の影響や構造物等による電波の反射、または、衛星の配置状況や受信状況などによっては最大で 30 m 程度の誤差が生じる。

本研究ではタブレット端末内蔵の GPS を用いるため、使用範囲によっては 30 m の誤差が大きな誤差となってしまう。したがって、適正使用範囲の決定も必要となる。

## 2.4 ハードウェア構成

表 1, 2 にハードウェア構成を示す。使用機器は、GPS と電子コンパスを内蔵する HUAWEI の android 端末 のタブレット (HUAWEI MediaPad M5) (写真 1) と JVC の一般的なイヤホン (HA-FX26) (写真 2) とする。

表 1: タブレット端末の諸元

製品名	HUAWEI MediaPad M5
OS	Android™ 8.0 Oreo / Emotion UI 8.0
寸法 (幅×縦×厚さ)	約 124.8 mm×約 212.6 mm×約 7.3 mm
重量	約 320 g
ディスプレイ	約 8.4 インチ, WQXGA (2560 x 1600), IPS
CPU	HUAWEI Kirin 960 オクタコア (4 x Cortex-A73@2.4 GHz + 4 x Cortex-A53@1.8 GHz)
メモリ	RAM 4 GB / ROM 32 GB
測位方式	GPS, AGPS (SHT-W09 not supported), GLONASS, BDS
通信方式	WiFi
センサー	指紋認証 / 加速度 / 照度 / 電子コンパス / ホール / ジャイロ

表 2 : イヤホンの諸元

型名	HA-FX26
型式	ダイナミック型
再生周波数帯域	8Hz～23,000Hz
出力音圧レベル	101dB/1mW
最大許容入力	200mW (IEC※)
インピーダンス	16Ω
コード	1.2m (Y型)、 φ3.5mm 24金メッキL型ステレオミニプラグ付
質量	約3.6g (コード含まず)

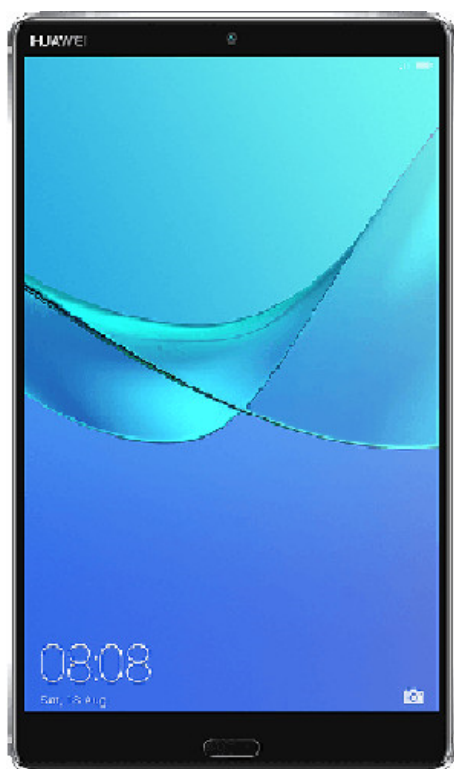


写真1 タブレット端末 (HUAWEI MediaPad M5)

写真2 イヤホン (HA-FX26-A)

## 2.5 ソフトウェア構成[6]

### 2.5.1 ソフトウェア構成の概要

ソフトウェアは Android Studio を用いて、主にナビゲーションシステムと音声出力システムの2つによって構成される。また、MATLAB を用いて HRTF を畳み込んだ音源を作り、アプリケーション内に保存しておく。ナビゲーションシステムは主に html ファイルで Google Map API v3 や Google Maps Android API を使い、WebView 上にロードし、アプリケーション側と WebView 側で情報を相互にやり取りする。

### 2.5.2 HRTF の畳み込み

様々なセンサーから得た情報を算出しながら聴覚ディスプレイにリアルタイムで音を再生する方法として、音源をリアルタイムで HRTF を畳み込んで再生する方法と、HRTF を畳み込んだ音源をいくつか用意して、その音源の中から随時選び出し再生する方法がある。前者は実装の際に様々な音源を扱える一方で処理が複雑、かつ、重たくなる等の特徴があり、後者は畳み込んだ音源のみに限られるが処理が簡易、かつ、比較的軽くなる特徴がある。今回は GPS 情報をリアルタイムで扱うため軽い動作が求められるので後者を選択した。

音源は一般的に自主規制音等でよく扱われるピー音 (1 kHz の正弦波) を用いて大谷[3]の HRTF と畳み込みを行った。正面を 0 度、反時計回りを正方向として頭部中心から半径 1 m の水平面の円周上に  $-175^{\circ}$  から  $+180^{\circ}$  まで  $5^{\circ}$  毎の 72 個の HRTF を畳み込むことによって 72 個の出力音源を作った。

### 2.5.3 ナビゲーションシステム[7]

#### 2.5.3.1 ナビゲーションシステムの概要



ナビゲーションシステムは主に html ファイルを使い、Google が配布している Google Maps JavaScript API v3（以下、Google Map API）を用いる。また、このナビゲーションシステムでは使用者の現在地と対象となる地点の座標を取得し、取得した情報からそれら二点間距離と現在地から対象となる地点までの方位を算出する。一方で電子コンパスから使用者の現在地での向いている方位を取得し、GPS から算出された方位を加えて最終的に使用者の向いている方位から対象地点まで何度ずれているかを算出する。

### 2.5.3.2 マップ表示と現在地表示

Android Studio で Google マップを使うアプリケーションを開発する際、元々ある程度パッケージ化されているので Android Studio をダウンロード後にマップを使うアプリケーションを選択すると画面上にマップが表示される。マップタイプはデフォルトの地図と航空写真などから選択できるが、ズームなどはそのままではできないため設定する必要がある。

現在地の取得、表示は Android6.0 以降で仕様が変わったため Android6.0 未満のプログラムほど簡単ではなくパーミッションの理解が必要になってくる。Android6.0 未満では“`mMap.setLocationEnabled(true)`”の一行をプログラムに足すだけで良かったのだが、Android6.0 以降はパーミッションという情報使用についての許可をダイアログで表示しなければこれらの機能は使えない（図 5）。そもそも Android6.0 未満ではアプリケーションのダウンロード時にパーミッションのチェックをしていたため使用者がよく注意書きなどを読まずにアプリケーションをダウンロードして予期せぬシステムが使われることがあり、トラブルなどがあった。使用者の使いやすさを追求する中で Android6.0 以降はアプリケーションの実行時にパーミッションのダイアログ表示することを義務付けた。

実装にあたっては Runtime Permissions に関するアクティビティ図（図 6）を参考にしてプログラムを作成した。

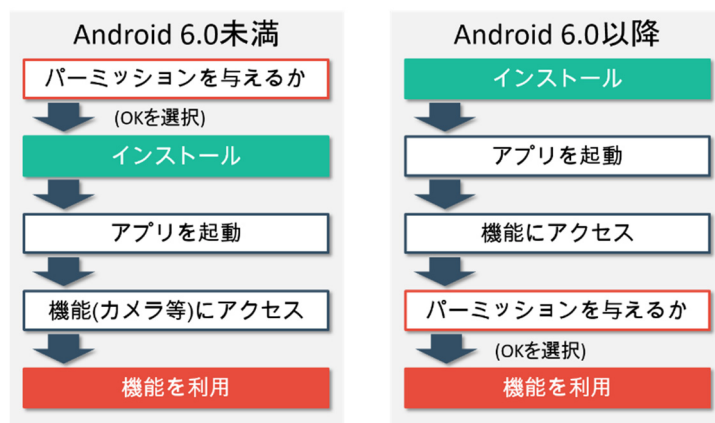


図 5 : パーミッションに関する変更点

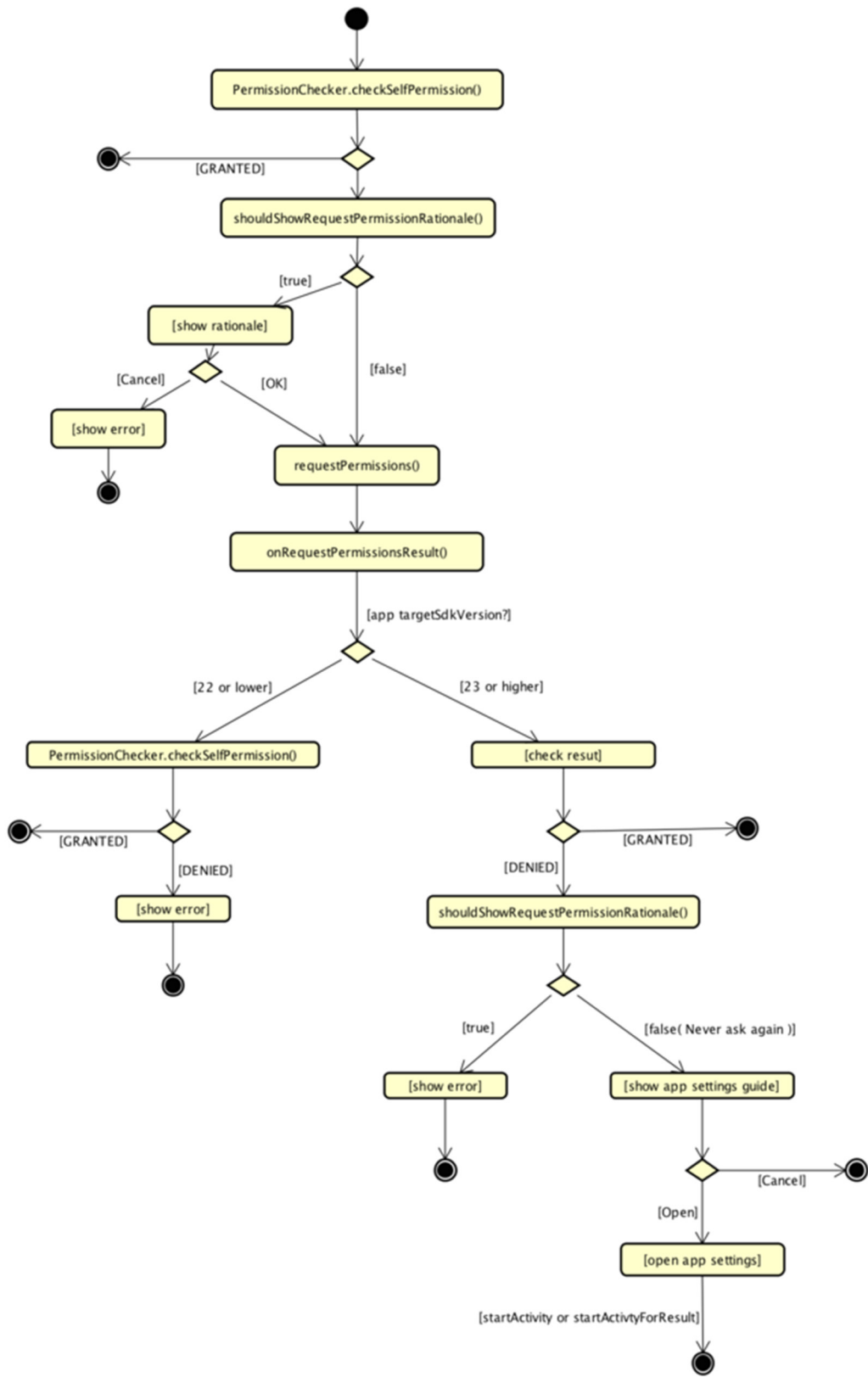


図 6 : Runtime Permissions に関するアクティビティ図

### 2.5.3.3 位置座標取得、二点間距離

上記の方法でマップ表示と現在地表示後、現在地の位置座標も取得しておく。その後、対象地点をマーカーとして追加できるように設定する。getPosition を書き加えるだけで位置座標を取得可能である。

現在地と対象地点の位置座標から二点間距離と現在地で北向きを仮定したときの対象地点とのなす角を算出する。平面と仮定すれば三平方の定理を用いて簡単に求めることができるが、GPS を使うにあたって地球が球面であることを考慮しなければならない。地球を完全な球体と仮定し三角球面法を用いることで図7に示すように計算を行った。

また、現在地で向いている方位も考慮する必要がある。現在地で向いている方位と北がなす角を方位角  $\theta a$  ( $0 \leq \theta a < 360$ ) とすると向いている方向から目的地までの角度  $\theta$  は  $\theta = \theta_{xy} - \theta a$  ( $-180 \leq \theta_{xy} - \theta a \leq 180$ )、 $\theta = 360 + (\theta_{xy} - \theta a)$  ( $\theta_{xy} - \theta a < -180$ )、 $\theta = 360 - (\theta_{xy} - \theta a)$  ( $\theta_{xy} - \theta a > 180$ ) と表される。

後に  $-175^\circ \sim +180^\circ$  の値にするためこの時点で場合分けをしてレンジを合わせておく。また、 $5^\circ$  ずつにするため算出された値から階段関数を用いて近似的に値を決定する。

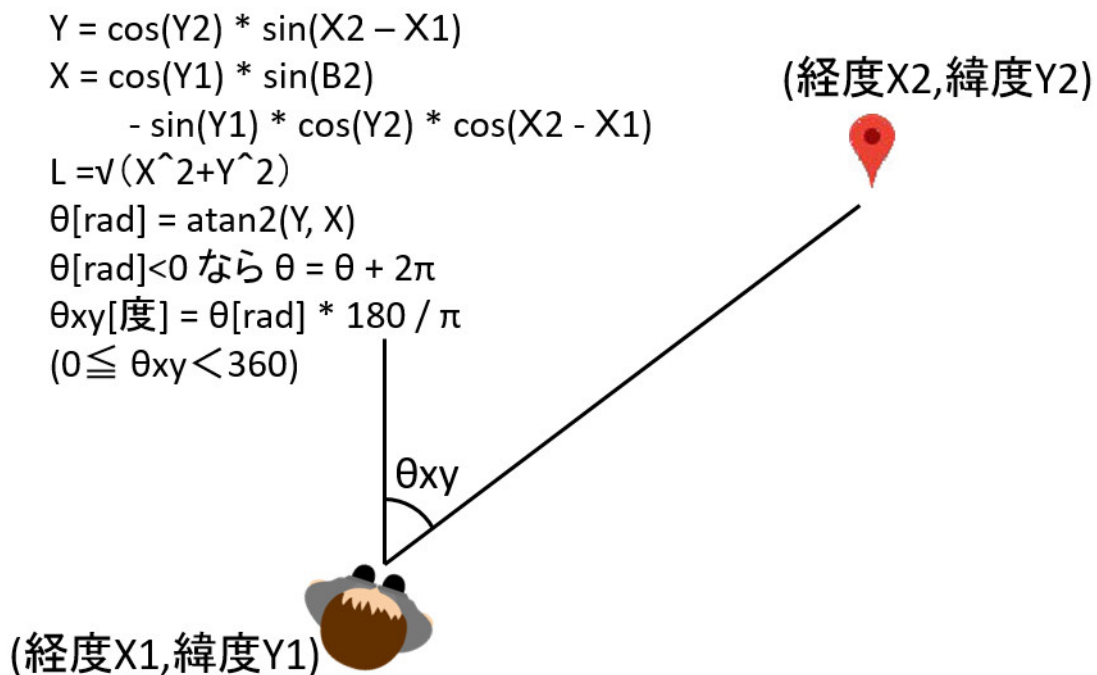


図7：緯度経度から二点間距離と方位を求める

#### 2.5.4 音声出力システム

音声出力システムとしては主に MediaPlayer を用いて、上記の計算式から得た 5 の倍数 (-175~+180) の 72 個の値を 72 個の音源に対応させて再生する。この時、正の定義の違いにより負をかけて対応させる。

音声を再生すること自体は簡単なので画面ディスプレイとしてマップページとは別ページに音声再生ボタンと停止ボタン、音量調節機能なども実装し操作を可能にした。

## 第3章 結論

### 3.1 結果

#### 3.1.1 目標に対しての達成度

当初の目標であったアプリケーションの機能は完成したが、プログラム作成終盤でタイムラグ解消のためにプログラムを書き換えると起動できなくなるエラーが発生した。起動した瞬間に強制的に終了し、画面が暗くなる、または、画面の点滅を繰り返してしまったために、本研究目標の実用的な実装には達することができなかった。ただし、アプリケーション開発にあたり数段階の実装を行っていたため、プログラムを書き換える直前の最終段階までは目標へアプローチできた。

#### 3.1.2 本研究で実装した過程

まず、HRTFの畳み込みによる音源作成としての72個の音声ファイルは完成させた。また音声再生システムも構築でき、肝となる立体音響の表現を可能とした。ナビゲーションシステムの現在地と対象地点の位置座標から必要な情報を算出しテキストファイルで出力し、電子コンパスの方位角情報を加えた値を計算し、72個の値の中で最も近い値を出力した。また、初めから72個の音源を用いたわけではなく4個の音源を用いて前後左右から音が正しく再生されたように聞こえるかの確認をした。

アプリ起動時と音声再生ボタンを押した時にGPSを計測して値を算出し、音の再生を可能とした。この時点である程度目標は達成しているが、ボタンを押してから音が再生されるまでの時間が長かったので、このタイムラグを解消することを目指した。

#### 3.1.3 本研究目標との違い

本研究では、リアルタイムで随時GPSと電子コンパスを用いて現在地と対象地点の方位を算出し、算出した方位に対応する音声再生することで対象地点に音像を作り出すアプリケーションの開発を目標とした。しかし、実際に制作した本アプリケーションは、リアル

## 結論

タイムでの情報の取得はできず、ボタンを押すことによってその時点の情報を取得するものとなった。

また、大きな問題としてボタンを押してから音声再生までにかかなり大きなタイムラグがあるため、ボタンを押してからの頭部運動や移動はできないものになった。元々センサーにより頭部運動や移動を許容することが目標であったためこのタイムラグは目標に逆行する形となってしまった。

その他の問題として、HRTF を畳み込んだ音源が想像していたよりも人によって感じ方が異なることが分かった。著者は音像定位を容易に行えたため、どの方位でも  $10^\circ$  違えば音像の動きを追うこともできたが人によっては「後ろ側の音像定位が難しい。」「前後誤判定が起こる。」などの意見があった。

## 3.2 考察

まず、随時計測をしていたプログラムからリアルタイムのプログラムに書き直した途端に起動しなくなった原因として最初に考えられたのがプログラムの打ち込みのミスである。しかし、何度も打ち込み直しても改善しなかったため、プログラム自体にミスがあるか、プログラムにはミスはないが処理が重たい等のスペックに対する過度な動作による処理落ちなどのどちらかであると思われる。そもそもプログラムには完璧な正解などはなく、より効率的な解を探す必要があるのだが、明らかな不正解というのは存在している。その不正解とは、プログラム言語のルールの逸脱等でデバックランの時にエラーとして認識されるためそもそも起動できないのだが、今回はデバックランでエラー認識がない状態でアプリ起動時に強制終了してしまったので、原因を突き止めることはできなかった。処理の重たさ等も考えたがタブレット端末の高スペックを考えるとそれほどの負荷がかかるとは思えない。一応プログラムを軽くする仕様に変えてみたりもしたが変わらなかったので因果関係はあまりないと思われる。

大きなタイムラグに関しては GPS の取得に時間がかかるため上記のリアルタイムのプログラムが完成すればある程度の改善はできると思われる。また、もう 1 つの原因としては音声再生システムに用いた MediaPlayer の特性が考えられる。長時間の音声ファイルを扱うことができる一方でファイル呼び出しから再生までに多少の時間がかかるという特性がある。MediaPlayer に替わるシステムとして AudioTrack や SoundPool などがタイムラグを少なくした音声再生システムとして挙げられる。

音像定位の個人差について大谷[3]の HRTF を畳み込んだ音源が精度の高いものだと感じたのは頭部形状や耳介形状が大谷と類似していたためであり、人によっては形状が異なるため音像定位が難しかったのではないかと考える。改善案として、ダミーヘッドの HRTF を仕様すると、もう少し違う結果が得られる可能性がある。また、音像定位しやすい音もすでに分かっており、それはノイズ等のような様々な周波数帯をもつ音である。本研究では耳障りの悪いノイズを用いず、聞きなじみのある 1 kHz の正弦波を用いたため個人差が大きくなったと考えられる。



おわりに

## 謝辞

本論文は1年間の研究結果をまとめたものであり、その間研究を進めるにあたり、お忙しい中ご指導ご鞭撻を頂いた豊田政弘准教授、快く研究データをご提供して頂いた京都大学の太谷真准教授には、心より御礼申し上げます。また音環境ゼミの皆様にも、アドバイス等のお力添えをしていただきありがとうございました。

おわりに

## 参考文献

- [1] 南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト | 地震本部 (2019. 2. 1)  
[https://www.jishin.go.jp/database/project\\_report/nankai/](https://www.jishin.go.jp/database/project_report/nankai/)
- [2] 国土交通省 気象庁 日本付近で発生した主な被害地震 (2019. 2. 8)  
<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/higai/higai1996-new.html>
- [3] 大谷真 「立体音響技術」 一般社団法人日本音響学会第 129 回技術講習会 東京  
(2013/10/30)
- [4] 亀川直人 頭部運動を許容する立体音響再生技術の開発について  
関西大学 卒業論文 (2014)
- [5] 井上裕翔 聴覚ディスプレイによる視覚障害者のための携帯端末ナビゲーションの  
開発 信州大学大学院 修士論文 (2015)
- [6] 初めてのアプリの作成 | Android Developers (2019. 1. 23)  
<https://developer.android.com/training/basics/firstapp/?hl=ja>
- [7] Android アプリを作る (2018. 11. 28)  
<https://akira-watson.com/>