卒業論文

３Ｄサウンドの組み込みによる観光経路決定支援システムの拡張

氏　　名　：青山浩也
学籍番号　：2210940004-5
指導教員　：山崎勝弘 教授
提出日　：1998年2月20日

立命館大学 理工学部 情報学科

内容梗概

本論文では、Java による観光経路決定支援システムへの３Ｄサウンドの組み込みについて述べる。３Ｄサウンド（立体音響）技術とは、臨場感豊かな音を聴かせたり、音が聴き手の後方や上方下方から聴こえたりすることができる技術である。観光経路決定支援システムとは、事例ベース推論を用いて観光経路を推論し決定することを特徴としたシステムである。Java とは、１９９５年に Sun Microsystems が発表した言語で、オブジェクト指向言語に大変良く似ている。また、Java はネットワーク、インターネット関係に対応するオブジェクトクラスが用意されていて、これを使うことにより、HTML 言語（Hyper Text Makeup Language) の中から簡単に呼び出して実行することができる。そのため、ウェブ上に展開するには大変有利である。

本研究では、３Ｄサウンドを Java を使って観光経路決定支援システムに組み込むことにより、より多くのユーザに使ってもらえるよう魅力的な演出をするために、臨場感あるサウンドを提供することを行う。

目 次

1　はじめに

古くから立体音響（3Dサウンド）技術は映画の音場再生などで用いられてきたが、最近ではビデオシステムやLD（Laser Disc)、DVD(Digital Video Disc)が普及し、それに伴って家庭用にも小規模なシアターオーディオシステムが開発されている。純粋オーディオでは、コンサートホールの音場を再現するような付加装置が登場し、カーオーディオを中心に製品化されている。また、通信ではディジタル網の発達により、音声のステレオ化や、画像情報を一体化した臨場感のある音声通信サービスの提供が期待されている[7][12]。

本研究室の観光経路決定支援システムは、事例ベース推論を用いて観光経路を推論し決定することを特徴としたシステムである。このシステムは、ユーザの京都の希望観光地、観光ブロック、観光テーマなどを入力してスケジューリングされた観光経路を地図上に表示する。その時に所要時間や交通手段、交通費も出力させることも可能である。京都の地図の表示機能としては、京都全体図、各ブロックの拡大図を表示する。また、観光地の見所、入場料、拝観時間、写真などの観光地情報も表示できる[13]。

インターネットの普及により、観光経路決定支援システムをウェブ上でも展開することが必要になってきた。そして、より多くの人々にこのシステムを使用してもらうためには、このシステムの機能や操作性などのシステム本来の実力はもちろんのこと、それにプラスアルファで魅力的な演出が重要になってくると思われる。ここで言う「魅力的な演出」とは静止画像や動画像などの画像全般もあげられるが、特に音声（サウンド）の充実に注目して、これを3Dサウンドで提供する[1][2][7]。

3Dサウンドは、臨場感豊かな音を聴かせる事ができる。そして、3Dサウンドを実現するための音場制御技術は、ディジタル信号処理技術の急速な発達により、新しい展開を見せはじめ、これからのマルチメディア時代の中軸の一つとして注目されている。特にバーチャルリアリティに関する研究開発が盛んに行われている。また、現在実現している3Dサウンドシステムで1番有名なのは「DOLBY DIGITAL」で、映画館などで採用されている。他にもSRS(Sound Retrieval System)やRSS(Roland Sound Space)、ヤマハ社

の YSOUND 等がある。また QSOUND 社も３Ｄサウンドを実現するシステムを開発している [5][6]。

また、ウェブ上に展開するには Java でプログラムを記述するのが有利である。Java は１９９５年に Sun Microsystems が発表した言語で、言語仕様は C++のようなオブジェクト指向言語と大変よく似ている。Java が有利なのは、ネットワーク、インターネット関係に対応するオブジェクトクラスが用意されていて、これを使うことにより、HTML 言語 (Hyper Text Makeup Language) の中から簡単に呼び出して実行することができるためである。HTML は文章や図をどのように表示するかを指示することが主な役目であるため、ブラウザにホームページを表示した後でその表示位置を移したり、データの入力やイベントにより処理の流れを変えるといったアクティブな動作はできない。しかし、Java を使えば HTML ではできないグラフィックの描画など、様々な処理を行うことができる [2][11]。

本研究は、３Ｄサウンドを Java を使って観光経路決定支援システムに組み込むことにより、より多くのユーザに使ってもらえるよう魅力的な演出をするために、臨場感あるサウンドを提供することである。２章では３Ｄサウンドの理論について述べる。ここでは特に２台のスピーカのみを使って３Ｄサウンドを実現する効果について述べる。３章では実際にどのような方法で３Ｄサウンドを実現するか、そして音源の作成、観光経路決定支援システムのインターフェイス部との連結について述べる。また、その音源は本研究室の３Ｄサウンド班が作成するが、RSS(Roland Sound Space) というシステムも使う。４章では、実際の３Ｄサウンドの評価について述べる。

2　３Ｄサウンドの概要

３Ｄサウンドは、２台のスピーカを使って立体的な音響効果を実現する機能の総称である。聴き手の前方に置いた２台のスピーカだけを使って、聴き手の真横や真上、真後ろからも音が聞こえてくるような効果を生み出す。聴き手を取り囲む３次元空間のあらゆる方向から音が聞こえてくることから３Ｄサウンド（３次元サウンド）と呼ぶ。

2.1　３Ｄサウンドの音響効果

３Ｄサウンドの音響効果は以下の３種類に分類できる。

- ステレオ音の広がり感を強調する「ステレオ強調効果」
- コンサートホールなどの反射音を再現する「音場制御」
- 聴き手の上方や後方などから音が聞こえてくるような効果を生む「音像定位」

である。

いずれの効果もオーディオ信号の周波数特性や位相などを変化させることで実現する。音がその発生源から聴き手の耳に到達するまでの周波数特性の変化や、人間の聴覚特性などを利用する。

３Ｄサウンドの効果を実現する方式は２種類ある。一つは、音楽用CDやゲームソフトの制作段階で、制作者が所望の音響効果を付加したステレオ音を作る方式で、再生する機器には特別な機能は必要ない。もう一つは、パソコンやオーディオ機器に専用の回路を搭載してステレオ音に音響効果を賦課する方式で、どんな音楽用CDやゲームソフトでも効果が得られる[7][14]。

2.1.1　ステレオ強調効果

ステレオ強調効果は、主にパソコンやオーディオ機器など聴き手側の機器で機能を実現する。機器に、音響効果回路や音響効果ICを搭載する。

現状では、アナログ IC を使うことが多い。他の３Ｄサウンド機能に比べて必要な回路規模は小さい。つまり、従来のサラウンド機能とほぼ同じ規模の回路で処理できるということである。

このため、パソコン用スピーカや外付けの音響効果ユニットといった周辺機器にも組みやすい。ステレオ強調効果の機能を備えていない従来のパソコンやオーディオ機器でも、こうした周辺機器をオーディオ出力端子に接続すれば効果を楽しめる [7][14]。

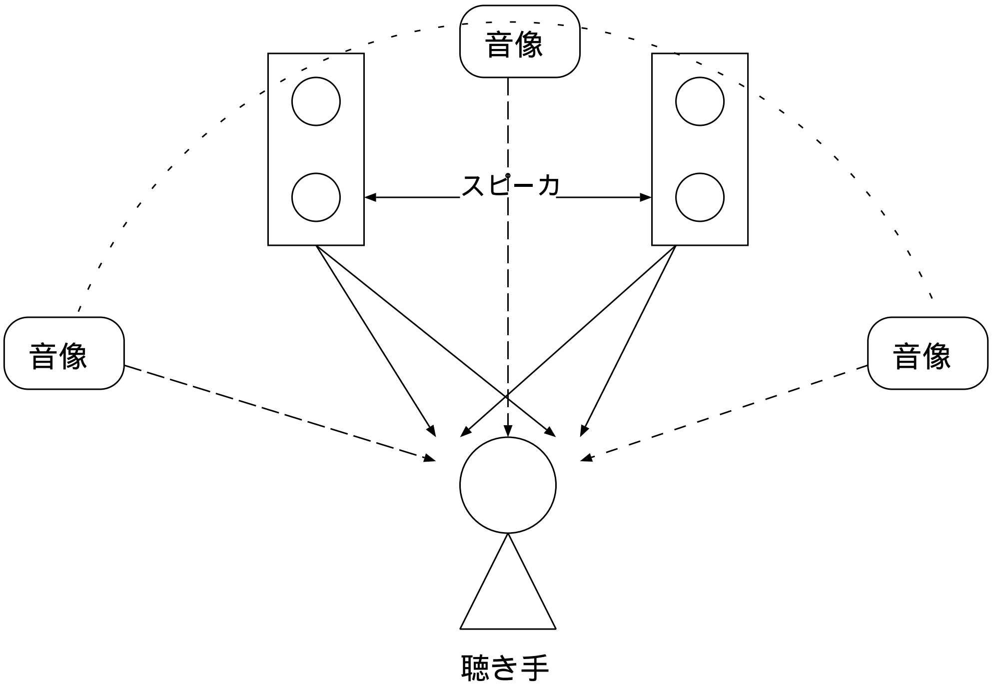


図１ :ステレオ強調効果

2.1.2 音場制御

音場制御は、コンサートホールや劇場で生じる残響効果を再現して臨場感を作り出す効果である。

残響効果は音源の方向から直に聴き手に聞こえてくる直接音と、ホールなどの内壁に反射して聞こえてくる反射音の時間的ズレで生じる。実際のホールで生じる反射音は直接音より遅れて聴き手の耳に届く。この反射音を人工的に作り出すのが音場制御の機能である。

反射音を作るには、直接音と同じ音を時間的に遅らせて再生する必要がある。時間的な遅延は、オーディオ信号をメモリに一定時間格納することで対応する。そして、ディジタル信号処理を使うことが多い。アナログ信号処理よりも時間制御がしやすいからである [7][14]。

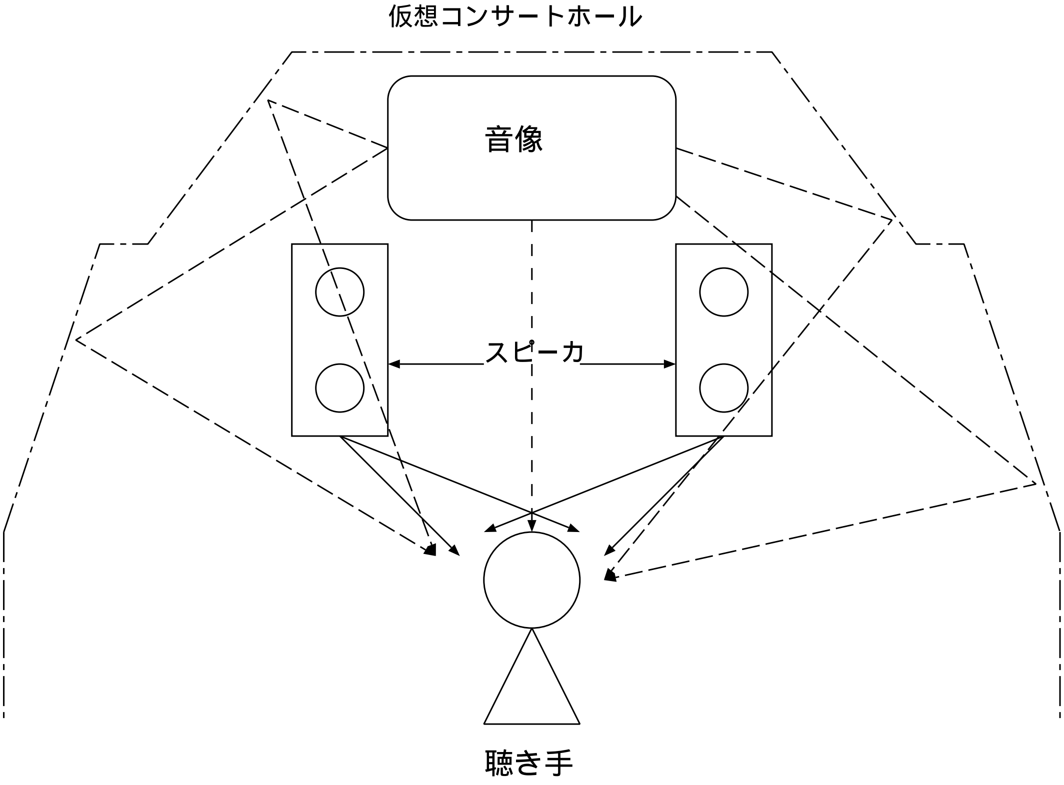


図 2 :音場制御

2.1.3 音像定位

音像定位は、聴き手側の機器で音像定位の効果を付加する方式と制作段階で音像定位の効果を付加する方式の 2 種類の実現方式を使い分ける。

聴き手側の機器で効果を付加する方式は、ゲームソフトなどの効果音に向く。ゲームのキャラクタや映像に合わせて、それらが発する音が聞こえてくる方向を変化させる。視覚的な情報と組み合わせることで音像定位の効果は増す。例えばパソコンのゲームソフトで、敵の戦闘機がユーザ (プレーヤ) の戦闘機の周囲を上下左右に動くとする。この動きに合わせて敵の戦闘機が発する音がユーザの上下左右から聞こえてくるような効果を付加する。

画面の中で動いている物体や画面を横切る物体が発する音は効果を付けやすい。逆に止まっている物体は難しい。ユーザと敵の戦闘機の位置関係は動的に変化するので、制作段階で音を鳴らす方向を決めることはできない。

反対に、制作段階で音像定位の効果を付加する方式は、映画などの映像ソフトや音楽用CDなどに向く。例えば、恐竜の足音、飛行機の飛行音など、個々の音源が発する音に効果を加える。恐竜が画面を左から右に横切るのに合わせて、足音の発生源を左から右に移動させる[7][14]。

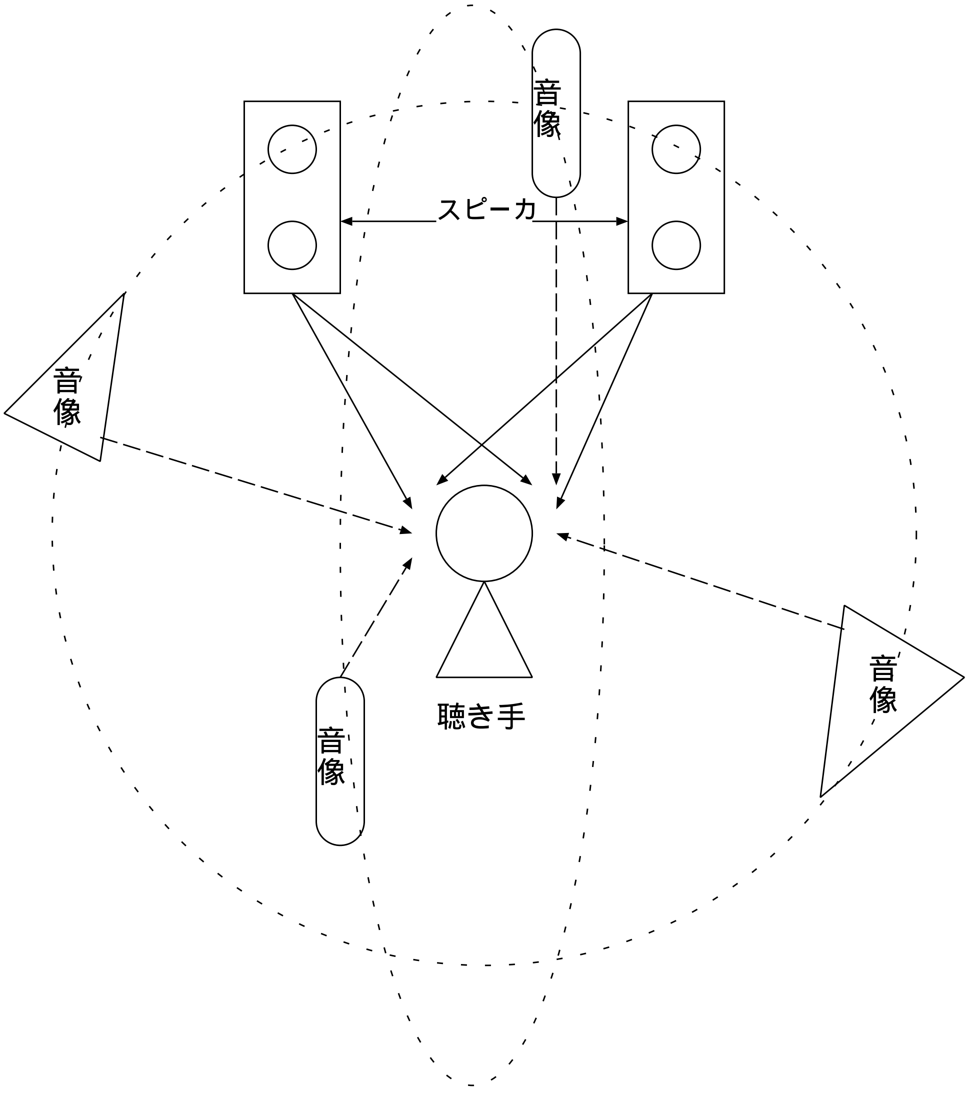


図３　:音像定位

2.2　3 D サウンドの生成方法

前の章で説明した3つの音響効果の内、本研究で扱うのは「音場制御」である。ここでは、もう少し詳しく述べる。

音場の立体化（3 D 化）は、2チャンネルステレオシステムの導入から始まるが、最近の発展は2次元から3次元の音場再生へと拡張されたもので、従来のステレオと区別して音場創成と呼ばれる。

音場創成を実現するためには、音場を意のままに制御する音場制御技術が必要となる。ディジタル信号処理技術の急速な発達は、従来概念のみであった様々な処理手法の実時間でも実行を可能にした。制御という言葉の持つ意味は広く、今日音場創成を実現するために用いられるには至ってない。音場創成においては、信号の伝達系に畳み込み演算等のディジタルフィルタリングが導入されているのが現状で、ディジタル制御よりディジタル処理の方が適切な表現ともいえる。

音場創成技術を系統的に述べるために、まず考え方を2つに分けることにする。ひとつは環境まるごとある特定の音場を再現すること（室内音場創成）、もうひとつは最終的に2つの耳元で音場を再現すること（両耳音場創成）である。

室内音場創成は、室内音場そのものを、設計条件にしたがって創成する考え方で、多人数で音場を共有する場合に有効である。前の章の「音場制御」の所で示した図2が室内音場創成の概念である。

両耳音場創成はパーソナルな状況に適している。その代表例がヘッドホンで実現するバイノーラルシステムである。これは、実際の耳元に伝わる音をそのまま保存するか、あるいは合成し、それをヘッドホン再生系で受聴する方式である。そのまま保存する場合は、ダミーヘッドを用いるためにその精度が問題で、かつ個人に依存するところが応用上の限界となっている。

さらにこの考え方の延長として、スピーカで実現するトランスオーラルシステムがある。これは、音の終端である耳元で実音場を再現するステレオ系のことで、バイノーラルシス

テムとの違いは、耳元に直接イヤホンの信号が伝わるのでは無く、間接的に目的の信号が得られるように加工された信号を空間的に離れたスピーカで再生するのである。これは音場の2点を制御するローカルな音場制御なので比較的実現しやすい。以下にそれぞれのシステムについてもう少し詳しく述べる。[1][3][4][5][12]

2.2.1 バイノーラルシステム

原音場における音圧を、ヘッドホンを利用して厳密に再生する方法として、図4に示したバイノーラルシステムが知られている。バイノーラルシステムは、原音場にダミーヘッド（Dummy Head：疑似頭。胴体をもつダミーヘッドはHATS、Head And Torso Simulatorとよばれているが、ここではこの2つは区別をしない）を設置し、ダミーヘッドの左右の耳の位置にマイクロフォンを設置して2チャンネル収音を行う。収音された音響信号は、記録-伝送などを経た後、ヘッドホンを用いて受講者の耳元で再生される。その結果、受講者があたかも原音場で聴取しているような状況を実現する。

この方法には未解決の問題、例えば、ダミーヘッドと実際の受聴者の頭の形状の違いの問題、受聴者の頭部の回転や移動に対する対処の問題、ヘッドホン特性混入の問題、音がダミーヘッドと受聴者の2つの外耳道共振系を経る問題などが残されている。しかし、現状では、臨場感を最も良好に伝える再生方式の1つである。[1][5][12]

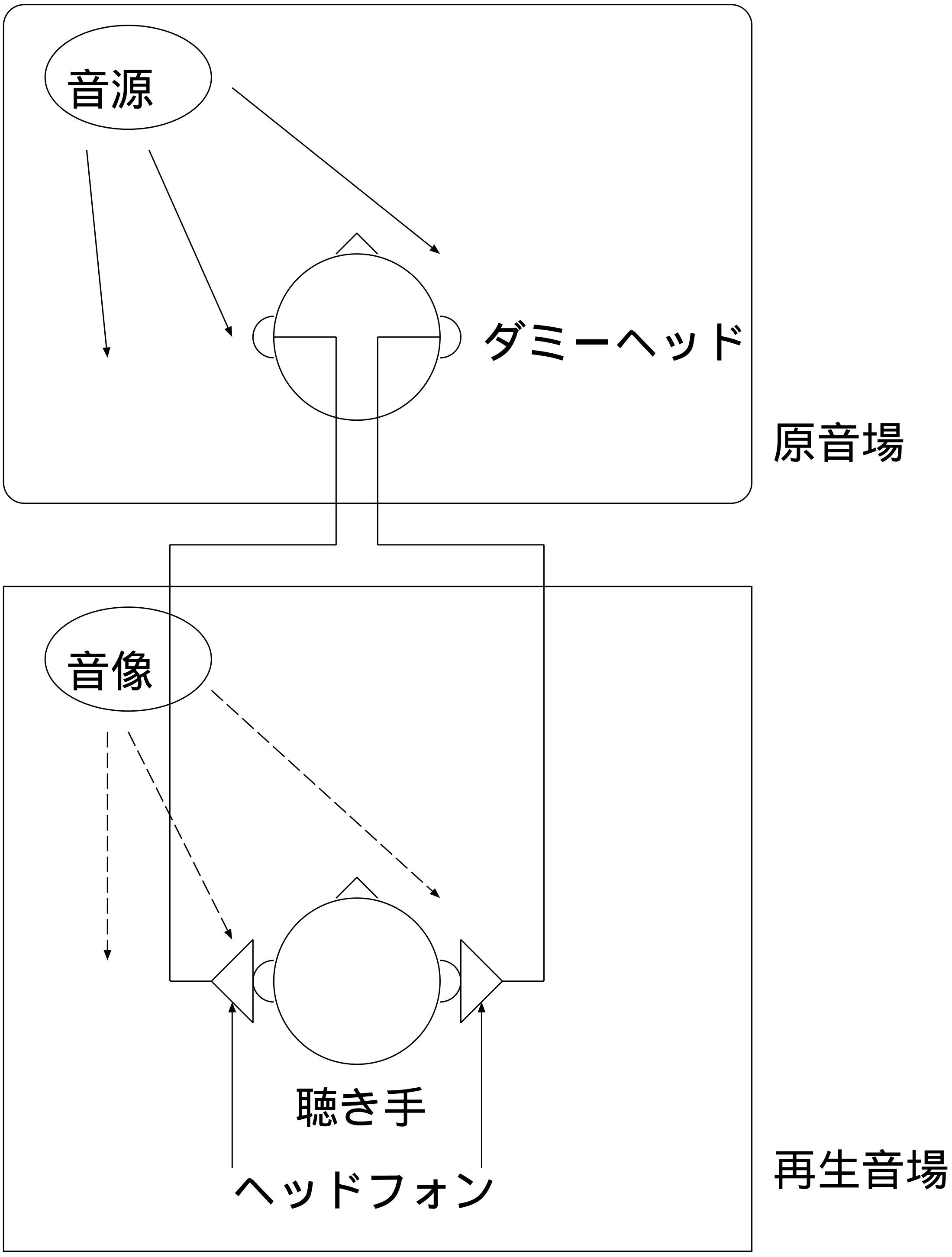


図４ :バイノーラルシステム

2.2.2　トランスオーラルシステム

前項で説明したバイノーラルシステムと同様の効果を、スピーカを用いて実現しようとする技術がトランスオーラルシステムと呼ばれる技術である。図5にトランスオーラルシステムの構成を示す。このシステムでは、バイノーラルシステムと同様に、原音場にダミーヘッドを設置して2チャンネル収音を行う。収音された音は、異なった部屋（再生音場）において、スピーカを用いて再生される。

ただし、単純にバイノーラルシステムの音をスピーカで鳴らしてしまうと、人の耳は2つあるわけで、本来右の耳だけに聞こえるべき音が、左の耳にも聞こえてしまうクロストークという現象が起こる。これは、原音場での音を再生するためには大きな妨害要因となる。そこで、クロストークと打ち消すフィルタが必要となる。[1][5][12]

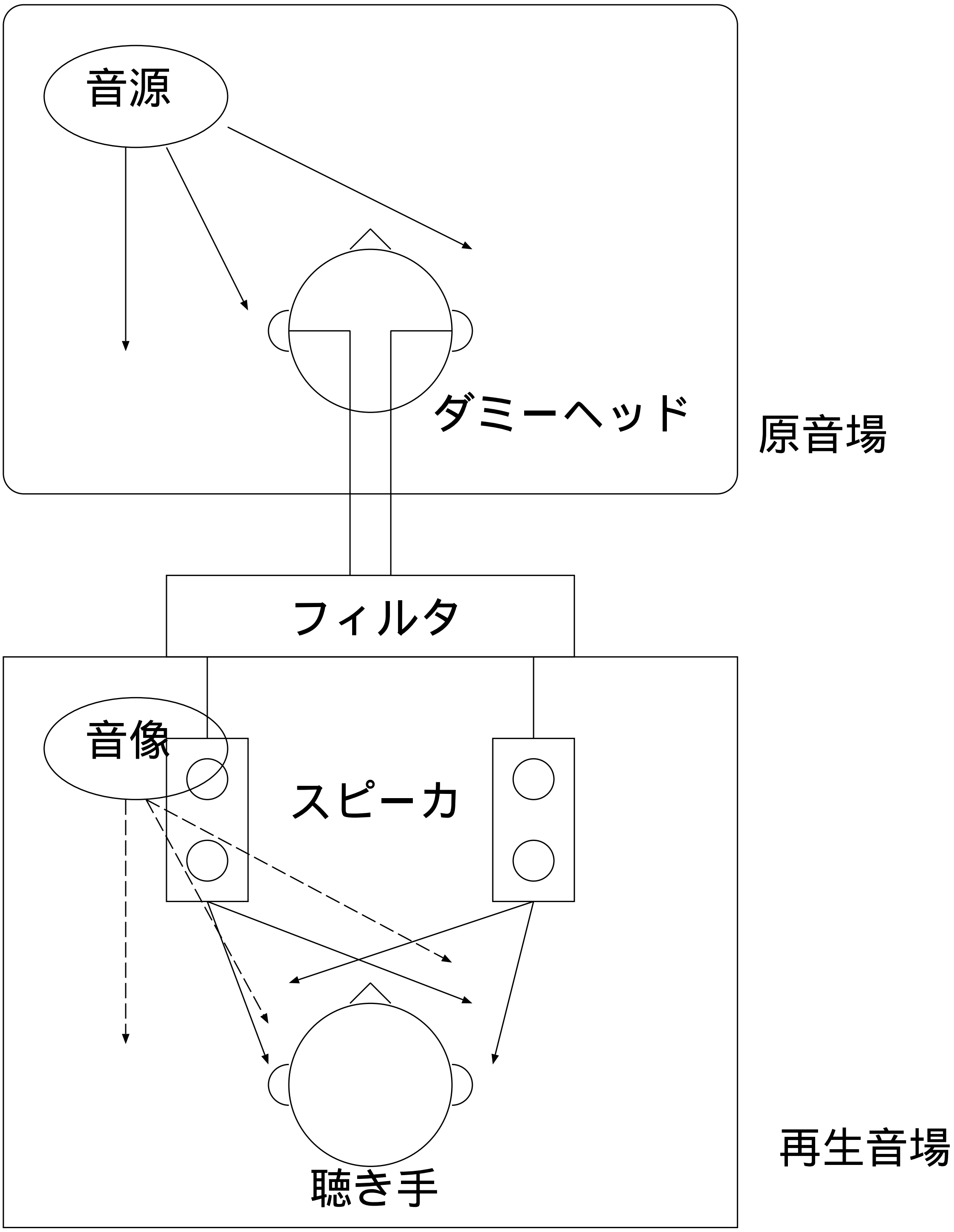


図５　:トランスオーラルシステム

3　Javaによる観光経路決定支援システムへの3Dサウンドの組み込み

Javaは近年できたばかりの言語なので、マルチメディアを意識した言語である。そのため、画像全般はもちろんのこと音声の方もたいへん扱い易い言語となっている。[11]

3.1　3Dサウンドの音源

このシステムは、観光経路を設定し、効率良く観光地を回れるようにするシステムなので、観光地の決定を後押しする観光地の紹介が大切になってくる。そこで静止画像や動画像などの画像全般も挙げられるが、音声（サウンド）に注目し、それを3Dサウンドで提供できれば、ユーザの観光地の決定に大変なアピールになるであろう。

ここで、重要になってくるのが音源である。京都の観光経路決定支援システムであるので、京都の象徴的な場所や行事の音を音源にしなければならない。また、3Dサウンドで提供するので、動きのある音や空間的に奥行きのある音を扱うほうが望ましい。例えば、祇園祭の鉾が街の中を移動するときの音や神社仏閣での厳かな雰囲気を醸し出す音などである。

ただ問題もある。それは、録音方法である。バイノーラルシステムとトランスオーラルシステムで3Dサウンドの実現を目指しているので、ダミーヘッドでの録音が不可欠になってくる。しかし、ダミーヘッドは機動性に劣るので野外での録音が難しい。よって、解決法が必要になってくる。それが、音源にする音を普通に録音して、その音をソフトウェアで3Dサウンド用の音に変換する方法である。

3.2　3Dサウンドの実現方法

現在、本研究室の3Dサウンド班が普通に録音した音を3Dサウンドに変換するソフトウェアを作成している。また、RSS（Roland Sound Space）システムで変換することも可能である。

JavaでサウンドをAudioClipクラスを使うと便利である。AudioClipクラ

スは、アプレットにサウンド機能を追加するために提供されている。そのため、サウンドファイルを、AudioClip オブジェクトに関連付ければよい。そして、AudioClip クラスは、３つのメソッドを提供している。まず play は、AudioClip を１回再生する。次に loop は、AudioClip の再生を繰り返す。最後に stop は、AudioClip の再生を止める。

ただ、ここで問題になってくるのがサウンドファイルのフォーマット形式である。Java では.au フォーマットのファイルしか扱えない。しかし、現在最も普及している OS である Microsoft 社の Windows では.wav フォーマットを、Apple 社の Macintosh では.aif フォーマットを採用している。そして、本研究室の３ D サウンド班が作成しているソフトウェアも.wav フォーマットのファイルを変換し出力するため、サウンドを再生するためには.au フォーマットに変換しなければならない。しかし.wav フォーマットのファイルを.au フォーマットのファイルに変換するのはさほど難しくない。

次に、このサウンドを再生するシステムについて述べる。このシステムは図６の様になっている。

C:¥Program Files¥DevStudio¥Shared IDE¥bin¥V_1081.HTML

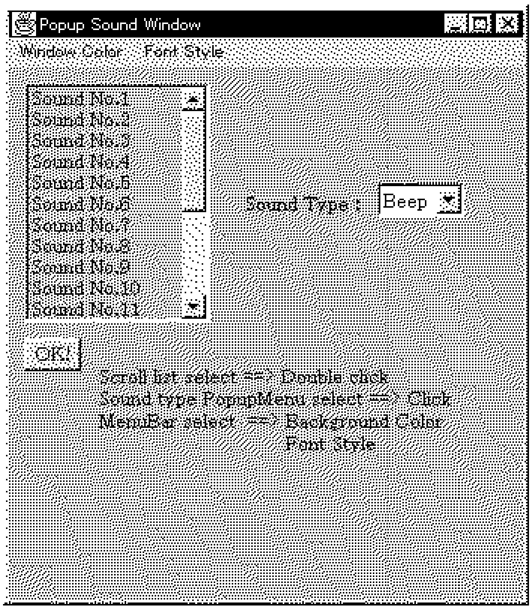
Sound type : ???

Select Sound No. ???

図６ :サウンドを再生するシステム

サウンドを再生するには、まず「Open Window」のボタンを押し、図７のサウンドファ

イルの選択と音の再生の方法の選択をするウィンドウを開く。そのウィンドウの中のスクロールボックスにあるサウンドファイルを選び、ダブルクリックする。次に再生の方法の選択をする。「Beep」を選ぶと１回だけサウンドファイルのサウンドを再生し、「Loop」を選ぶと繰り返しサウンドをしばらくの間再生し続ける。サウンドファイルと再生の方法を選んだら「OK」ボタンを押し、図６の方にある「Sound Start」ボタンを押すとサウンドが流れ出す、となっている。図７のウィンドウが邪魔になるならば、「Close Window」のボタンで閉じることができる。閉じることによりサウンドが再生しなくなったり、違うサウンドファイルの音を再生したりすることはない。



Sound Type : Beep

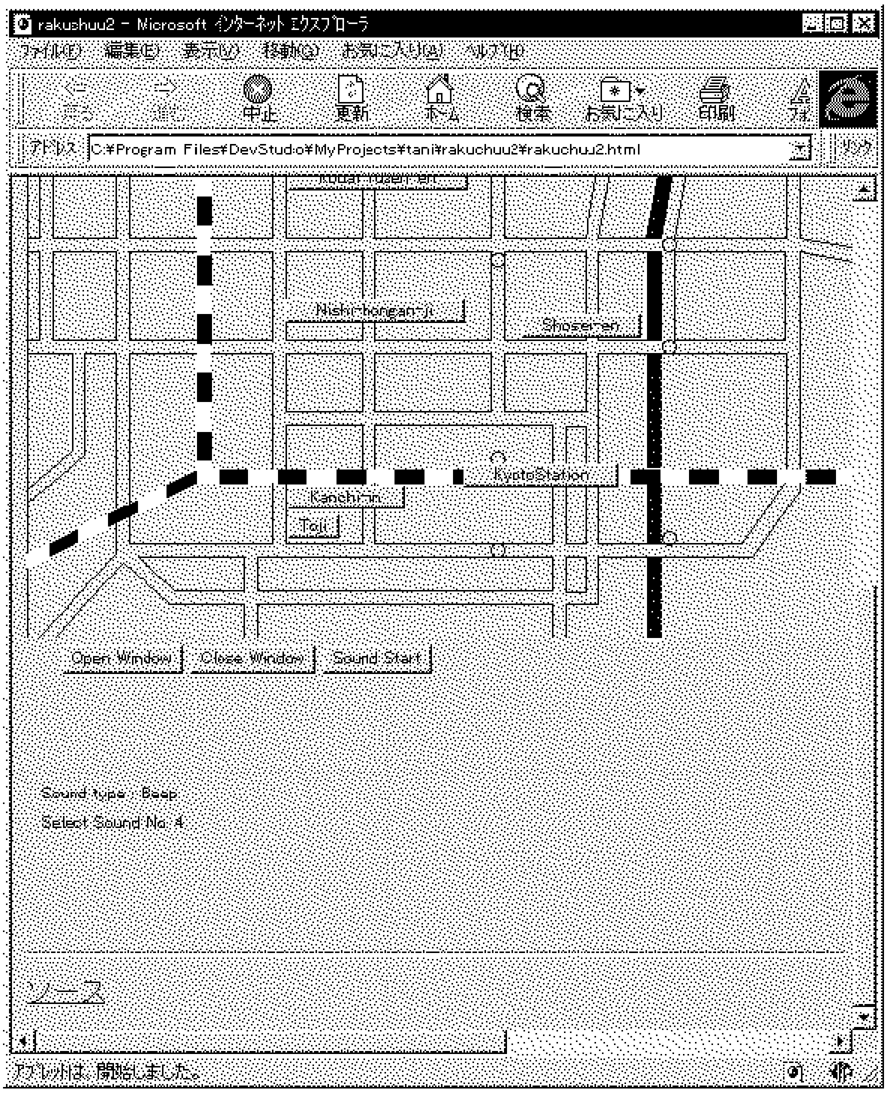
Scroll list select ==> Double click
Sound type PopupMenu select ==> Click
MenuBar select ==> Background Color
Font Style

図７ :サウンドファイルの選択と再生の方法の選択のウィンドウ

3.3 インターフェイス部との連結

3D サウンドの観光経路決定支援システムへの組み込む方法であるが、現在この観光経路決定支援システムのユーザインターフェイスを Java で作成している人が本研究室に居るので、その作成されたユーザインターフェイスとの連結をする。具体的には、図８のようにインターフェイス部の地図の下にサウンドを流すシステムのボタンを配置し、インターフェ

イス部の操作を邪魔しないような形で、１つの画面で一通りの操作ができるようにした。



C:¥Program Files¥DevStudio¥MyProjects¥tani¥rakuchuu2¥rakuchuu2.html

Sound type : Beep

Select Sound No: 4

ｱﾌﾟﾚｯﾄは、開始しました。

図８ :インターフェイス部との連結

4　3Ｄサウンドの評価

サウンド再生システムの評価には、以下の項目を用意した。

- 音質　:CD　(コンパクトディスク）の音質を基準としてもらい、このシステムの音質を評価してもらう。
- 音量　:音声の出力装置が適正な音量状態のときに適度な音量を出力するかどうか、また音割れ等していないかどうか評価してもらう。
- 音場制御　:3Ｄサウンドの特徴の中でも特に残響効果、つまり劇場やコンサートホールの中に居るような臨場感が味わえるかどうかを評価してもらう。

  以上が音に関しての評価の項目である。以下の項目はこのシステム自体の評価である。
- 操作性　:扱いやすいかどうかを評価してもらう。
- 反応速度　:ボタンを押したらすぐに反応して、そのボタンに対応したイベントを行うかどうか評価してもらう。
- デザイン　:このシステムが見やすく、そして分かりやすいかどうか評価してもらう。

これら6つの項目について、研究室の方々に3段階で評価してもらった。その結果を以下の表1に記す。

表1　:サウンド再生システムの評価表

音質	音量	音場制御	操作性	反応速度	デザイン
○	○	×	○	△	△
○	△	×	×	△	△
△	△	×	×	○	△
○	△	×	△	○	×
△	○	×	△	○	×

以上の評価を見てみると、音質、音量そして反応速度の３つに関しては比較的よい評価を得られた。しかし、操作性については厳しい評価を得た。まだまだ改善の余地が大いにあるだろう。デザインについてはそれぞれまちまちで、これは各個人の趣味指向の差が出たのであろうか。この辺りは、使いやすさの向上を求めるのに重要になってくるので、それぞれの意見に耳を傾け、システムに反映させねばならない。音場制御については、このシステムがまだ未完成であるため評価できなかった。

私自身の評価では、音質、音量とも及第点だと感じた。反応速度に関しては問題は無いように思われる。ただ、操作性とデザインに関しては個人的には問題ないと思えるのだが、これはこのソフトウェアが私が制作したからであろう。早い段階で他の人々に使ってもらい、意見を聞いて手直しすべきであった。

5　おわりに

本論文では、３Ｄサウンドの概要とJavaによる観光経路決定支援システムへの３Ｄサウンドの組み込みについて述べた。３Ｄサウンドの概要では、３Ｄサウンドの音響効果について述べた。またその中でも特に音場制御を取り上げ、３Ｄサウンドを生成するための２つの方法、バイノーラルシステムとトランスオーラルシステムについて述べた。Javaによる観光経路決定支援システムへの３Ｄサウンドの組み込みでは、３Ｄサウンドの音源の重要性とその実現方法の注意点について、そして観光経路決定支援システムのインターフェイス部との連結について述べた。

研究を通じて感じたことは、作成した３Ｄサウンドシステムは観光経路決定支援システムとは独立して作ったため、やや扱いづらい所があるのが残念である。また、Javaで扱えるサウンドファイルが.auフォーマットのファイルだけなので、.wavフォーマットを.auフォーマットに変換するソフトの存在を知らなかった段階の時には、テスト用の音源を見つけるのが困難であった。そして、観光経路決定支援システムの拡張ということで、３Ｄサウンドの研究者との連係だけでなく観光経路決定支援システムの研究者との連係もあるので、コミュニケーションの重要さを改めて感じた。

今後の課題としては、音源の充実が挙げられる。特に祭等の録音するタイミングが限定されているものの収集はきちんと押さえておきたい。その中でも京都３大祭の葵祭、祇園祭、時代祭の音は是非とも欲しい音源である。

謝辞

本研究の機会を与えて下さり，日頃，貴重な御指導を頂きました山崎勝弘教授に心より深く感謝の意を表します．

また，本研究にあたり，数々の助言と協力を頂きました板倉修氏、松井誠二氏、谷英和氏、並びにいろいろな面で貴重な御意見や励ましを頂きました本研究室の皆様に心より感謝致します．

参考文献

[1] 電子情報通信学会編 :音響システムとディジタル処理、コロナ社 (1995).

[2] 日本音響学会 :音のコミュニケーション工学、コロナ社 (1996).

[3] The Bose Professiona Sound Group:サウンドシステムデザイン、オーム社 (1991).

[4] Don and Carolyn Davis:サウンドシステムエンジニアリング、誠文堂新光社 (1992).

[5] 浅野純也 :最新３D サウンド事情、月刊アスキー No.230(1996).

[6] 灘波精一郎 :音の科学、朝倉書店 (1989).

[7] 谷荻隆嗣 :音声と画像のディジタル信号処理、コロナ社 (1996).

[8] 伊達俊彦、吹野美和、小川理子、川村明久 :立体音響素材制作ツール、松下技報 vol.42No.5(1996).

[9] 中田和男 :音声、日本音響学会編、音響工学講座 (1995).

[10] 青木茂明 :聴覚から見た音響設計、日本音響学会誌 (1997).

[11] 河西朝雄 :VisualJ++入門、技術評論社 (1997).

[12] 小泉宣夫 :音場制御-音場の創成-、テレビジョン学会誌 vol.45No.4(1991).

[13] 奥村建、多田和生 :英語版京都観光経路決定支援システムの作成、立命館大学理工学部情報工学科卒業論文 (1995).

[14] 高橋史忠 :音場を広げる音響効果 IC、日経エレクトロニクス No.661(1996).

付録

次ページから作成したサウンド再生システムのプログラムを記す。