

# VR 技術を用いた津波疑似体験システムの構築

中央大学大学院	学生員	川辺 起史
中央大学大学院	学生員	江嶋 孝
中央大学	正会員	樫山 和男
サイバネットシステム	非会員	宮地 英生
五洋建設	正会員	古牧 大樹

## 1. はじめに

近年、わが国では大規模な自然災害が頻発しており、これらが及ぼす人的被害を最小限に抑えることは必須である。また、近年のコンピュータ性能の向上より津波の数値シミュレーションが多く行われており、シミュレーション結果をVR空間内に投影し、疑似体験システムを構築することは防災教育において有効であると考えられる。著者らの研究ではシミュレーション結果の可視化映像を没入型VR装置に投影し立体視することで、災害を疑似体験することが可能なシステムを構築した<sup>1)</sup>。しかし、津波の襲来音や建物崩壊の音などの聴覚情報が実装されておらず臨場感が欠けていた。

そこで本研究では、谷川らにより提案された立体音響場<sup>2)</sup>の構築手法を用いて、津波の襲来音を考慮した疑似体験システムの構築及びその検証を行った。

## 2. システムの概要

図-1はシステムの概要であり、津波解析、可視化、音響計算、可聴化の4つのパートにより構成されている。なお津波解析は事前に行い可視化及び音響計算で用いる解析結果と水際線情報を利用する。また、本研究で用いる没入型VR装置 Holostage は前面、側面および底面の3面の大型スクリーンとそれぞれのスクリーンに対応する3台の高性能プロジェクターと、VR装置内の観測者の動きを捉えるためのワイヤレスの光学式トラッキング装置、およびそれらを制御する並列計算機から構成される。

### (1) 可視化

可視化には AVS/Express を用い、津波のステップ数情報と観測者の位置情報を 0.1 秒毎に出力を行っている。ス

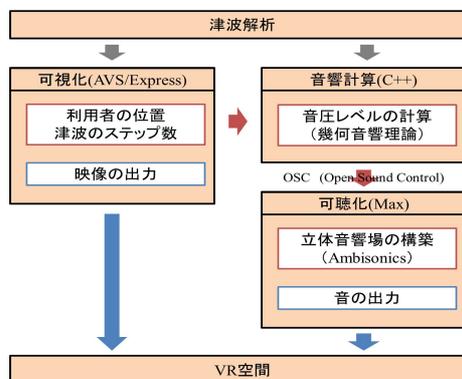


図-1 システムの処理工程

トップ数情報を音響計算に送ることで可視化と可聴化の同期を取ることが可能となる。

### (2) 音響計算

音響計算では AVS/Express から出力された観測者の位置情報及び津波のステップ数情報を用い、幾何音響理論に基づいて A 特性音圧レベルの計算を行う。プログラム内で予め全ての水際線情報を読み込み、ステップ数情報から計算で用いる水際線を決定する。また、観測者の位置情報として出力されている変換行列を用いて3次元アフィン変換を逐次行う。これによりVR空間内における観測者の位置情報が決定する。なお音響計算にはプログラミング言語として C++ を用いて作成した。

#### a) 音源位置の設定手法

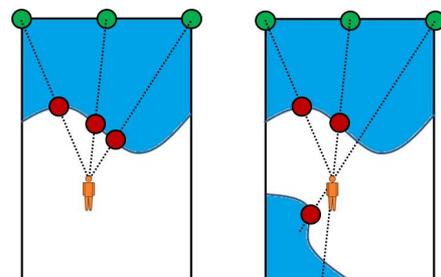
津波の襲来時に発生する音源は様々な要因(建造物の倒壊、津波同士の衝突、警報機など)からなるが、本システムでは第一段階として水際線付近から発生する音のみを考慮する。音源位置の設定には図-2に示すように、観測者の位置とあらかじめ設定した初期音源位置を用いて求めた一次関数と水際線との交点の座標を音源とする。水際線は一定の間隔で出力した最大値の x,y 座標および最小値の x,y 座標の点で表現している。なお、本手法において交点が複数ある場合には観測者と各交点が最も近い交点の座標を音源として設置した。

#### b) A 特性音圧レベルの計算

本システムは幾何音響理論に基づいた音響計算手法を採用し、以下の式を用いて距離減衰の考慮を行った。

$$L_A = L_{WA} - 8 - 20\log_{10}r \quad (1)$$

ここで、 $L_{WA}$  は津波襲来音の A 特性音響パワーレベル、 $r$  は観測者から音源位置までの直接距離となる。なお音源の



● 初期音源位置 ● 音源位置

図-2 音源位置の設定手法

KeyWords : 襲来音, CAVE, 津波, 立体音響  
 連絡先 : 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27

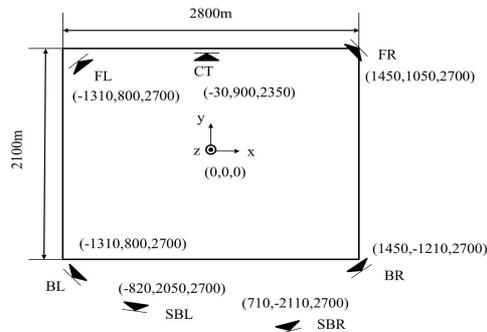


図-3 スピーカの配置

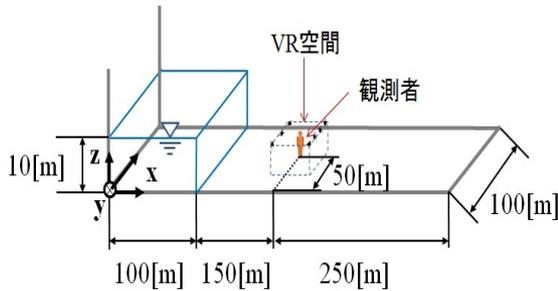


図-4 検証モデル



図-5 VR空間内で本システムを検証している様子

A 特性音響パワーレベルは 80dB と仮定した。

### (3) 可聴化

可聴化には音響用プログラミングソフトである Max を用いて音響出力を行っている。また、立体音響場の構築には Ambisonics と呼ばれる手法<sup>3)</sup>を用いた。なお、音源や空間情報や減衰量などの音響情報を音響計算と共有する必要があるため、Open Sound Control プロトコル (OSC) を用いた UDP/IP 通信を行っている。スピーカは図-3 に示すように前方のスピーカ (FR, CT, FL) と後方のスピーカ (BL, SBL, SBR, BR) の 7 つを配置した。現段階では津波の水際から発生する音源を取得することが困難であることから津波の襲来音として滝の音源データを使用する。

### 3. 適用例

図-4 に示すような段波が押し寄せる例題を用い、立体音響場においての本システムの妥当性の検証を行った。また、図-5 は VR 空間内において本システムを検証している様子である。

図-6 は、上述の条件において波が前方から後方へ移動する際に再生される A 特性音圧レベルである。また、VR 装置の中央位置で騒音計 (設置高さ 1.5m) により、前方スピーカのみをオンにした結果と後方スピーカのみをオンにした結果の比較を行う。図より、波の移動に応じて各方向

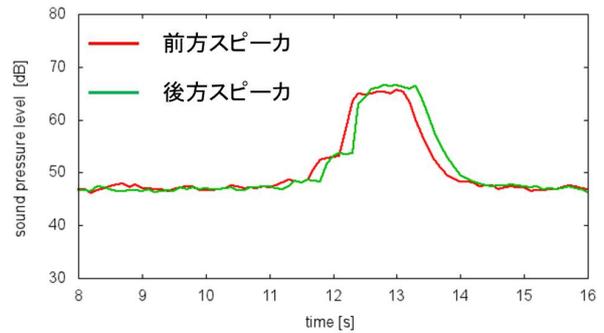


図-6 各方向のスピーカから出力される音圧レベル

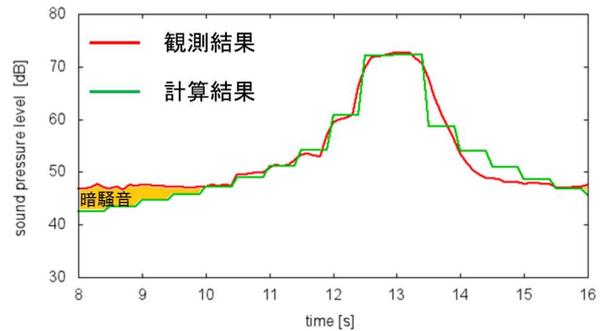


図-7 観測結果と計算結果の音圧レベル

のスピーカから再生される音圧レベルが変化していることが分かる。また、波が観測者へ近づく時には前方スピーカからの再生音が後方スピーカと比べ先に増加し、波が観測者から遠ざかる時には後方スピーカが遅れて減少することが確認され、立体音響場が実装されていることがわかる。図-7 は、同じ騒音計の位置から観測した全スピーカからの再生音 (観測結果) と計算結果の比較を示す。また、キャリブレーションを行ったことにより、計算結果と観測結果の音圧レベルが良い一致を示していることがわかる。

### 4. おわりに

本研究では、VR 技術を用いた津波疑似体験システムの構築及び検証を行ったことにより以下の結論を得た。

- 立体音響場が構築されていることを確認し、より現実感の高い可聴化を行うことが可能となった。
- キャリブレーションを行うことにより計算結果と同じ音圧レベルを VR 空間内に再現することが可能となった。

今後は津波襲来音の音源データの取得と合理的な実装を行うとともに、システムの有効性の検証を行う予定である。

### 参考文献

- 1) 田近伸二, 高田知学, 櫻山和男: VR 技術を用いた災害疑似体験システムの構築, 土木学会第 63 回年次学術講演会, pp.375-376, 2008
- 2) 谷川将規, 守屋陽平, 江嶋孝, 櫻山和男, 志村正幸: VR 技術を利用した道路交通騒音評価システムの立体音響化と現実感向上に関する研究, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.69, No.2(応用力学論文集 Vol.16), pp.I-155-162, 2013.
- 3) Ward, D.B. and Abhayapala, T.D.: Reproduction of a plane-wave sound field using an array of loudspeakers, IEEE Transactions on Speech and Audio Processing, vol.9 pp.697-707, 2001.