

テレヘッドを通じた空間音響事象の知覚*

○ 平原達也 (富山県立大学 工学部)

1 はじめに

近年バイノーラルやトランスオーラル方式、波面合成方式などによる立体音響空間や音像の再生技術が進んでいる。しかし、それらによって創りだされる立体音響空間や音像の評価は、物理的・心理物理的いずれの方法も、極めて限定的な条件下で行われる場合が多い。つまり、反射や暗騒音のないクリアな音を用いて、受聴者の頭部も呈示音像も静止した状態での音像定位精度で評価がなされていることが多い。しかし、騒がしく反射があり動的な音環境で神経回路を学習してきたであろう私たちの聴覚系にとって、このような非日常的な条件下での評価は、必ずしも適切とはいえない。本稿では、実環境の動的バイノーラル信号を収録できるテレヘッドを通じた空間音響事象の聴こえをいくつか紹介し、これまでの立体音響再生技術で見逃されているいくつかの点について考察する。

2 テレヘッド

2.1 テレヘッドとは何か

テレヘッド(*TeleHead*)とは筆者の造語で[1]、狭義には、受聴者の頭部運動に追従して静粛かつ高速に運動するダミーヘッドを指す(Fig.1)。ダミーヘッドは、ほとんど省略の無い動的バイノーラル信号を実時間で計算するので、両耳に置いたマイクで良質の動的バイノーラル信号を収録できる。そして、この動的バイノーラル信号を離れた場所でヘッドホン受聴すると、自分の耳がダミーヘッドの置かれた場所にあるかのように感じる。つまり、「リアル」な三次元に広がる音が高い忠実度で再生される。テレヘッドは頭部運動を反映した聴覚テレプレゼンスロボットでもある。

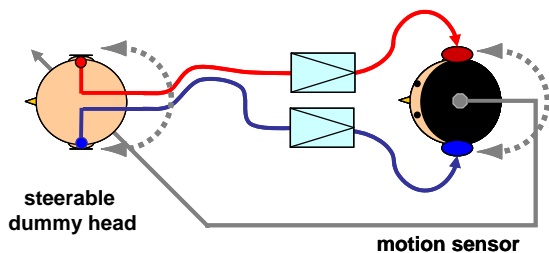


Fig. 1 Key structure of *TeleHead* system

2.2 テレヘッドの系譜

テレヘッド一号機はワイヤーとプーリーを用いてダミーヘッドを3軸で姿勢制御した(Fig.2)。追従遅延は200 ms、動作時の騒音は70 dB SPLと大きかった。ダミーヘッドは頭部形状を石膏で型取りして作成したが、その形状再現精度は低かった[2]。



Fig. 2 *TeleHead* I

二号機はモータの配置と駆動力伝達方式を一新した。追従遅延は120 ms、動作時の騒音は聴感度の高い1~4 kHzで24 dB SPL以下で、静粛に頭部運動に追従できた(Fig.3左)。ダミーヘッドはソフトシリコーン製で、頭部形状を石膏で型取りしたうえで光計測データとMRIデータで補正して型を作成することにより、形状再現精度を向上させた[3,4]。

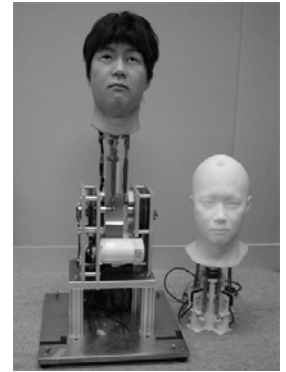


Fig. 3 *TeleHead* II, III

三号機は多自由度超音波モータを利用して小型化を図った(Fig.3右)。しかし、頭部運動の追従制御が容易ではないために、実用には至らなかった[5]。

四号機は頭部運動にダミーヘッドを追従して旋回させるだけのもので、頭部回旋運動に追従するローテータともいえる。追従遅延は120 ms、動作時の外部放射騒音レベルは24 dBA以下である。ダミーヘッドは、MRIで計測した頭部形状から光造形装置で成形したエポキシ製あるいは石膏製の軽量のものである。また、ダミーヘッドの代わりにステレオマイクなどを載せることもできる。



Fig. 4 *TeleHead* IV

* Perception of spatial acoustic events via *TeleHead*, by HIRAHARA Tatsuya (Toyama Prefectural Univ.)

3 テレヘッドを通じた音の聴こえ

3.1 初期微動による音響空間の拡がり

当初、テレヘッドは静かな無響室内に設置し、HRTF の計測とその周囲に配置したスピーカで鳴らした実音源を用いた音像定位実験に用いていた。そのとき、テレヘッドの頭部運動追従スイッチを入れると、その瞬間に、ヘッドホンから再生される音響空間が突然拡がった。それは、モノラル再生をステレオ再生に切り替えたほどの違いであった。

壱号機と弐号機では、運動追従スイッチを入れるとダミーヘッドの3軸制御を行っているモータのブレーキが外れて、頭部姿勢を保持するためにサーボ機構が動作し始め、ダミーヘッドがブルツと震える。また、モータの回転音が聴こえ始める。これらによって、静的なバイノーラル信号が動的なものに切り替わったことが聴覚的にも知覚されるからかもしれないが、このように音響空間が突然拡がって聴こえる仕組みはよくわからない。

同様の現象は、HRTF を数値的に畳みこむ方式の動的聴覚ディスプレイ[6]の頭部運動追従スイッチを投入した場合にも認められる。一方、1軸制御の四号機ではスイッチ投入に伴うダミーヘッドの振動もほとんど無く、その時点での聴こえの変化もほとんど無い。

3.2 他動運動時の不思議な音像の動き

他人が動かすテレヘッドで収録した動的バイノーラル音を受聴すると、音像定位精度は低下する。また、そのとき再生される音像は直線的に動き、自分の頭部運動にテレヘッドを追従させたときの動き方とは大きく異なる。他人の頭部運動を後ろから眺めて100ms程度遅れて模倣運動すると、音像の動きは自発運動時と同じように自然になる。この現象には移動音の聴覚情報処理メカニズムが関与していると思われるが、そのメカニズムも音像の動き方が異なって聴こえる理由もよくわからない。

他人が動かすテレヘッドで収録した動的バイノーラル音は、受聴者の意思にかかわらず音像が動かされているという点で、電子的に合成した動的バイノーラル音と同じである。再生音像に微小な動きを与えて音像定位精度を向上させようとする試みがあるが[7]、動きが大きい場合、その戦略では不自然な音像の動きが知覚されることになる。

3.3 物理的実体による気配の察知

テレヘッドを防音室や無響室から出して通常の部屋に置くと、部屋の反射や様々な環境音があるのままで聴こえてくる。このとき、テレヘッドの傍で声や音を出すと、身体がテレヘッドの傍に近づく気配がわかるし、声や音もより「リアル」に聴こえる。ダミーヘッドの代りにステレオマイクを用いると。この「リアルさ」は明らかに低くなる。

これは、物理的実体を持つ発音源がダミーヘッドの傍に近づくことによって起きる反射や遮蔽に伴う音の変化や、遠くにいるときには聴こえない弱い音を動的に聴くことによるためと考えられるが、その仕組みはよくわからない。

4 まとめ

音を聴く行為は総合的なものであり、受聴者の身体の形状と運動、および、受聴場所の物理世界と受聴者の内部世界とが立体音響事象の聴こえ方に関与する。現行の空間音響技術は、実世界での音響現象の枝葉を切り落とした、いわば第一主成分だけを利用して実現されている。立体音響技術の完成度を高めるためには、少なくとも、音を聴く際の身体の形状と運動の効用については、聴覚系のメカニズムとともに、もう少し理解を深めることが必要ではないかと考える。

参考文献

- [1] 平原達也, 戸嶋巖樹, 植松尚, "頭部の3次元運動に追従するダミーヘッドシステム-テレヘッド (TeleHead)-," 人工知能学会研究会資料 SIG-Challenge-0216-8, 45-52, 2002.
- [2] 戸嶋巖樹, 植松尚, 青木茂明, 平原達也, "頭部運動を再現するダミーヘッド: テレヘッド," 音響学会誌 **61(4)**, 197-207, 2005.
- [3] 戸嶋巖樹, 青木茂明, 平原達也, "頭部運動を再現する改良型ダミーヘッドシステム-テレヘッドII-", 音響学会誌 **62(3)**, 244-254, 2006.
- [4] I. Toshima, *et al.*, "Sound Localization Using an Acoustical Telepresence Robot: TeleHead II," Presence **17(4)**, 365-375, 2008.
- [5] H. Kawano *et al.*, "Application of a multi-DOF ultrasonic servomotor in an auditory tele-existence robot," IEEE Trans. Robotics **21(5)**, 790-800, 2005.
- [6] 平原達也, "バイノーラル信号による音像定位技術 —動的バイノーラル信号の効用—," 騒音制御 **33(3)**, 204-211, 2009.
- [7] A.Kudo, *et al.*, "Improved method for accurate sound localization," Acoustical Sci. & Tech. **27(3)**, 134-146, 2006.