

混声合唱のフォーメーションと客席の音圧分布の関係

40092 徳光 健治

1. はじめに

コンサートホールは実際に演奏された上で評価されることが多いが、設計段階での音場予測は単一の無指向性音源で行うことが多い。しかし近年、音源の物理的特性を設計の段階から数値計算に組みこむことで、初めから楽器で演奏した場合の聴覚印象を考えた設計を目指す手法が考えられつつある。その一貫として合奏を想定し、複数の音源を単指向性音源に近似する試みがある[1]。しかしこの近似は舞台上全域を占める大編成の楽器群で当てはまるとは言えず、またそうした演奏形態には得てして様々なフォーメーションが考えられる。この研究は大編成の楽器群として混声合唱を例に取り、フォーメーションを通して客席の音場に影響を与える様々な条件について知見を得ることを目的とする。

2. 研究手順と各種条件

本研究では幾何音響シミュレーションソフト CATT により数値解析を行う。想定したホールは以下の通り。

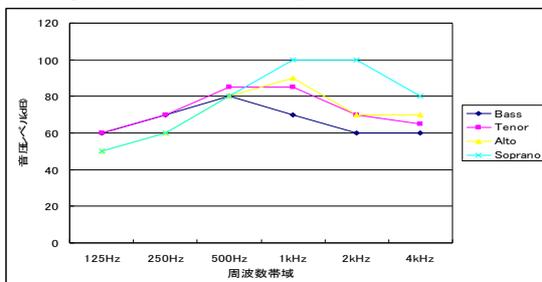
- ・ 幅 20m×奥行 45m×高さ 18mの直方体型が基本
- ・ 高さ 1m, 奥行 10m のステージ, さらに雛壇を作る
- ・ 雛壇の吸音率は演奏者 100 人を想定
- ・ 受音点として客席を 1m 四方でメッシュ状にする

	吸音率 (%)	拡散係数 (%)
客席	<40 50 60 70 80 80>	<30 40 50 60 70 80>
雛壇	<45 63 72 72 72 72>	<30 40 50 60 70 80>
後壁	<40 90 80 55 55 70>	<30 30 30 30 30 30>
その他	<15 13 10 9 8 7>	<30 30 30 30 30 30>

〈表 1: 各面の吸音率と拡散係数〉

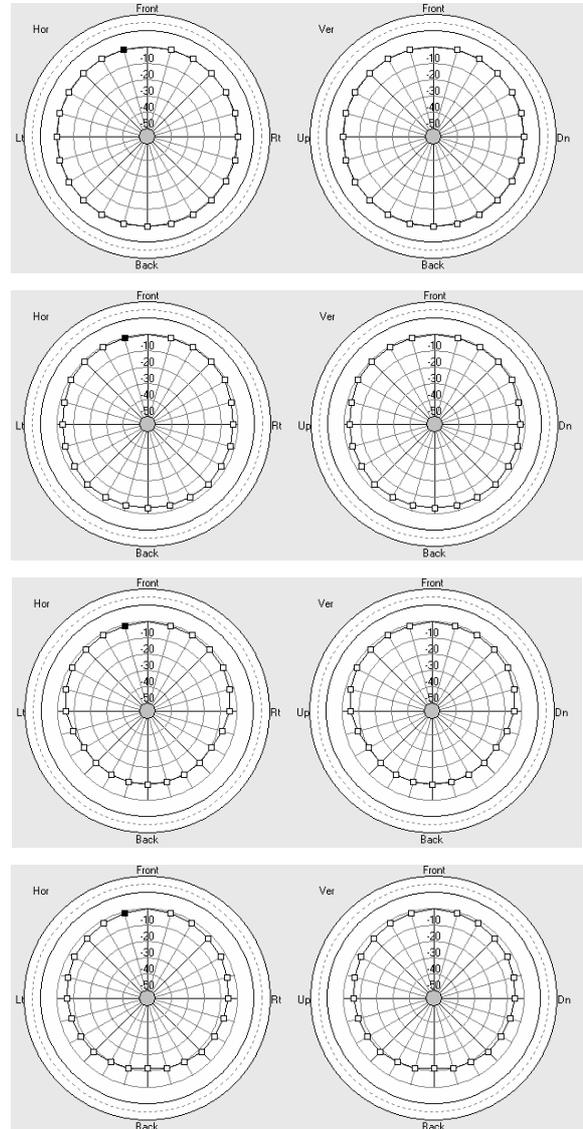
なお、数字は順に 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1kHz, 2kHz, 4kHz の周波数帯域における特性に対応している。

その他は基本的に CATT の既定値に基づいている。音線数はオート, 追跡時間は 3 秒, 室温は 20°C, 湿度は 50%, 空気吸収を考慮に入れ, またホール形状から, 室容積 $V=15754 \text{ m}^3$, 受音面積 $S=700 \text{ m}^2$ と算出される。音源には文献[2]および無響室での実測から得られたデータを簡単にモデル化した以下のデータを用いた。



〈グラフ 1: 4 声の周波数特性〉

また、指向性については、Meyer(1985)によると男声、女声の間に本質的な違いは見られないため、帯域ごとの指向性をを 4 声部に当てはめた。それぞれの帯域における水平・垂直断面に見る指向性を以下に示す。



〈図 1: 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1kHz の指向性モデル〉

3. 研究結果と考察

3-1. 声楽の指向性の検証

舞台中央にソプラノ型の音源を一つ用意し、無指向性の場合(a)と本モデル(b), および指向軸が 90 度回転した場合(c)による客席の音場を比較した。その結果、(a)では音源を中心に SPL は同心円的に広がりを見せ、(b),(c)では指向性およびその向きがはっきり音場に反映された。なお、バスのモデルの同様の実験ではあまり変化がなかった。指向性が弱いとされる声楽においても、指向性の観点から声部の配置が音場に重要な影響を与えることが分かる。

3-2. 複数人の声による音場

舞台中央にソプラノ型の 8 つの音源を集中させた形(d)と、横一列の並べた場合(e)を比較した。SPLdir では音源

が横方向に拡散したため、分布は(e)の方が扁平な形をとる。また、(e)では最高音圧レベルが低い(側壁付近の音圧レベルの低下は小さい(SPL全体でも同様)。後方の座席において(d)では全域で75dBが確保されているが、(e)ではそれを下回る部分が目立つ。舞台端の音源の指向軸の向きによっては後方に音が届きにくくなるのが分かる。

3-3. 混声合唱モデルにおける音場の特徴

ソプラノ(S), アルト(A), テノール(T), バス(B)各6個、計24個の音源が順に並ぶ形で数値計算を行った。

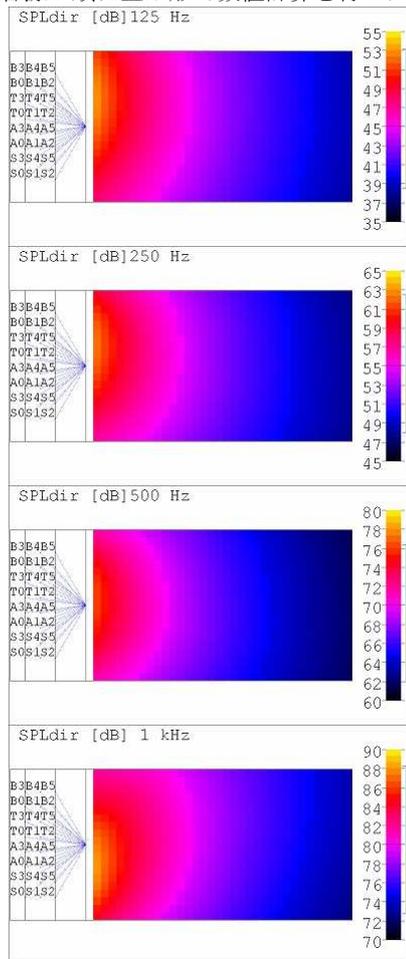


図2: 上から125Hz, 250Hz, 500Hz, 1kHzの混声合唱モデルのSPLdir

前方座席のSPLdirについて、客席ではそれぞれ近い音源の影響を非常に受けやすいことが分かる。また、低周波である125Hz帯域の場合最大の音圧レベルから10列目までほぼ全ての座席が1.5dB以下の減衰の中に留まるが、1kHzの場合、最大値91dBから3dB差と開きが大きい。周波数ごとの吸音率の影響の程度が分かる。

3-4. 指向軸の向きによる影響

3-1の発展として、指向軸の向きを指揮者に向けたモデル(f)と客席に向けたモデル(g)とで比較を行った。違いの際立つ1kHzの帯域において、(f)では舞台からの距離に従って並行して減衰するのに対し、(g)ではSPLの最高点(Sの前の客席)が局所的に強く、そこから同心円的に減衰する。これは高周波帯域の強い指向性の結果であり、C-80と比較しても音の集中具合が明白であった。

3-5. 面的音源における前列と後列の違い

4-3モデルから、前列のみ(h)、後列のみ(i)を取り出して数値計算し、それぞれの作る音場を比較した。この差の原因には距離による減衰と舞台上吸音面による減衰の二通りの可能性が考えられる。その距離による減衰は特に前方の座席で大きな差となり、一方吸音面による減衰については、(i)において歌手の吸音率を0としたモデルと比較することで検証した。その結果その差は概ね0.5~1dBであり、いずれの座席にも見られる差である。全体を通して(h)と(i)のSPL差は、距離による減衰が大きな影響力を持つ客席前部ではその差が特に大きく、客席後方では舞台上の吸音面の影響が相対的に強くなっていく。

3-6. 雛壇の高さによる音場への影響

舞台上の雛壇の高さを4m(j), 2m(k), 0.2m(l)と変えた場合の後列モデルの受ける影響を観察した。いずれの周波数帯域でも、客席で観測される音圧レベルの高いほうから(j), (k), (l)の順となった。これは雛壇が高い方が指向軸と雛壇の吸音面との間に角度が開き、吸音の影響を受けにくくなるからだと思われる。なお、指向軸が客席に入射する角度の影響ははっきり見られなかった。

3-7. フォーメーションの組み換えによる音場への影響

最後に混声合唱の声部の配置を入れ替えて検討した。

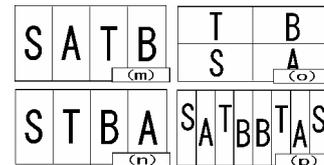


図3: 主に検討した4配置(下が客席)

ここまで検討したあらゆる要素の複合と言える。(m), (n)では3-3で示した声部と客席との遠近が大きく影響し、音高ごとの方向性では(m)が、客席の響きのバランスおよび舞台上での低音の聞きやすさは(n)がそれぞれ優れている。(o)は線的音源の傾向が強くなり、舞台からの距離に並行してSPLが減衰する。二重合唱を想定した(p)では、声部の方向性が保たれかつ各帯域のSPLのばらつきが少ない。

4. まとめ

複数の指向性音源の場合、無指向性音源では考えられない要素があり、それは音場に少なからぬ影響を与えていることが分かる。今後の課題としては、モデルをさらにリアルなものにすることや、ホール形状を変化させて検証すること、大編成に対応した音響反射板など舞台装置の検討といったものが可能であるだろう。

〈参考文献〉[1] 松尾他「幾何音響シミュレーションのための弦楽四重奏用指向性音源モデル」(日本建築学会環境系論文集, 2004. 3) [2] A. H. Marshall 他「The Directivity and Auditory Impressions of Singers」(ACUSTICA, 1985. 8)