

サラウンドシステム

"Surround" System

藤 田 尚⁽¹⁾
Takashi Fujita

要 旨

ステレオ再生におけるいわゆる「サラウンド」方式についてステレオ音場の合成の立場から、その可能性、効果などについて解析した。

その結果「サラウンド」と称するステレオ付属効果機器は、音質上不自然な面があり、また、拡がり感もあまり期待できないことがわかった。

したがって「サラウンド」を導入するについては、十分にその特徴を理解しておくことが必要である。

The possibility and effect of "Surround" system in stereo reproducing are analized from view point of stereo acoustic field's composition.

Eventually we found that "Surround" equipment produces somehow artificial sound and not so wide-spread presence as expected.

Adapting "Surround" it is necessary to fully understand its characteristics.

⁽¹⁾ 上野学園大学

1. ま え が き

サラウンドと称するステレオ装置が市場に現れて久しい。日本電子機械工業会ではこのサラウンド装置の定義を発表しているが、この装置がじつさいにどのような機能をもっているか、その目的とすることがどのように実現されるかは明らかでない。つまりこの方式の定義はシステムの定義でなく希望するステレオ効果をのべているからである。したがって、サラウンドと称する装置にはいろいろな流儀があり得るわけであって内容はさまざまである。しかし、この装置は従来の定義されているステレオ音響システムの付属効果用機器であるから、その目的（希望）がどの程度実現できる可能性があるか、あるいはどのようなマイナスの面を持つかを推測することができる。

本文では、本来の英語 Surround（動詞）の意味の、「囲む」「取り巻く」の意味と音場の関係からサラウンド方式の効果の解析を始める。

2. 室内音響とサラウンド効果

ホールなどの閉じられた空間で音をきくと、われわれは音源の音とその方向を知覚、認識できると同時に空間の広さを感じる。これはまた構造体（天井、壁、床など）に取囲まれていることを感じるということでもある。これは四方八方から反射してくる“音波によって取囲まれている”からである。

この音波によって取囲まれているような感じは、別のことばでいうと“拡がり感”に対応するものであり、音波の音とその方向を知るいわゆる“方向定位感”と対比されているものである。^{脚注 1)} この“拡がり感”の中心をなす音波に囲まれた、ある

いは包みこまれた感じは文字通り、音波が聴取者をサラウンドしていることから発生しているのであり、物理的にいうと方向性をもった反射音の集合による効果となる。

室内音響の用語を用いると、この効果は“音の響き”に対応するものでもある。物理量で表わすと残響時間、R 値、D 値などの量で関係づけていることはよく知られている。この物理要因としては、反射音の数、遅延時間、エコータイムパターン、レベルなどがある。

さて、今簡単のために問題を 2 次元の平面内にしばって音線図をかいて以上のことを更に考えてみることにする。

図-1 の音源 A からでた音波は四方八方に進行して壁に当たって反射する。このうち特定の方向に進行した波は反射後直接聴取点を通過するが、これは丁度壁に対してイメージの音源があるのと同様な現象と考えてよいことになる。このイメージ音源は室の形などによって様々な位置に置かれるがその数は壁が複雑になればなるほど増加し、大雑把にみると聴取点を取り囲んで高密度に分布点在

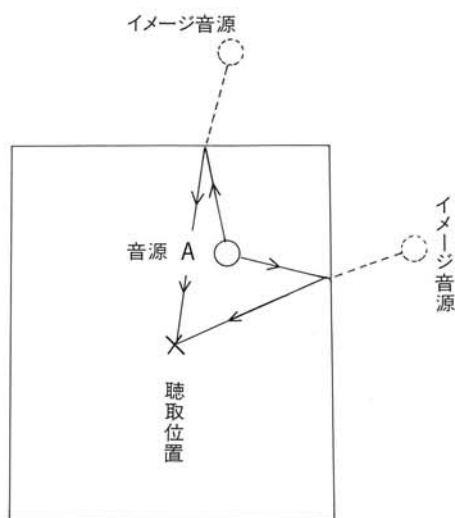


図-1 室内のイメージ音源

Fig. 1 Imaginary sources in a room.

脚注 1) 厳密な表現ではない。特に視覚の影響を加えると様子は変わってくる。

する形になる。この反射波、つまりイメージの位置にあるイメージ音源は反射経路が様々であるために上記のような分布を想定することができるわけである。

これらのイメージ音源群のもつ性質は、実音源がイメージの位置に分布している広い空間と同様であるから聴取点においてこの音波をきくと原音源に似た音を発する音源が聴取者を取囲んで遠く近く分布しているということになる。

この聴取者の囲を取囲んでいるイメージ音源群はその反射経路と回数、長さによって聴取点に到着するまでの時間には長短があり、直接音源からくる音波に対して様々な遅れ時間をもつ。またそのレベルも様々であるし、反射についての周波数特性の影響でスペクトルにも様々な変形があるけれどもこれらはみな原音に似た音であることには変りはないのである。

以上をまとめると、サラウンドとよぶ効果は自然空間の中で音源の音に似た音波を発射する大小の音源が遠く、近く、四方八方に分布している状態で作られるのと同様な効果であるということになる。

同様の効果、つまりサラウンドの効果を得るためには、これらの音源群をどのようにして創り出すかということになる。

次の節では、この問題はしばらくおいて2チャンネルのステレオ音場の性質について、サラウンド効果を創るために必要な情報量がどのような形で含まれているかを検討してみる。

3. 2チャンネルステレオ音場の性質

2チャンネルステレオ音響は、收音する音場における音波の情報を再現しようとすることを目的にしており、そのために、基本的には左右の二つの信号を二つのスピーカから再生して空間的な音場を創る方法である。

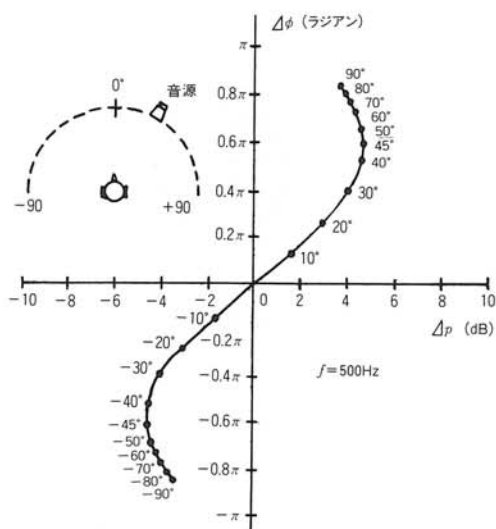


図-2 実音源と左右の耳における音圧差と位相差
Fig. 2 Sound source locus on the ΔP - $\Delta \phi$ plane.

このステレオ音響システムでは、例えばホールでのオーケストラの演奏をステレオ用マイクロホンで收音したものでも、全く人工的な処理によって作られたものでも（電子音楽など）、結局は再生するさいの二つのスピーカによって囲まれた範囲に、時にはその外側の一部分に音場を作る方法であり、左右のスピーカから放射される左右のステレオ用信号によって作られるものであることは変りはない。

この左右の信号には、ある特定の音源の音の情報と、その“響き”に対応する情報とが適当に割りふられて含まれており、この量的関係によってスピーカに囲まれた範囲あるいは外側近傍に音場を作り出すことになる。

この場合、二つのスピーカによって合成された音は音像とよばれるが、これは前にのべたイメージ音源とは特別な場合はよく似ているといえるが、大部分の場合、異なった性質をもっているのである。いま我々が取扱う音場は水平面内の現象

脚注 2) 2次元的な拡がりを用いる。

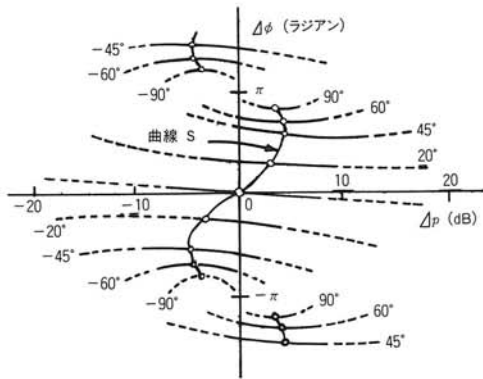


図-3 両耳間音圧差と位相差と音源の方法との関係
Fig. 3 Direction of source on the ΔP - $\Delta \phi$ plane.

が中心であるので前節と同様に水平面内の音場について考えることにする。

図-2の左上の図のように、自然な空間あるいは無響室に聴取者を置いて、実際のスピーカを耳と同一平面において音を出す。このときの聴取者の左右の耳の入口における音圧レベルの差と位相差を測定すると図-2のような結果がえられる。

このS字形曲線の中のパラメータ数値はスピーカの角度であり正面から右廻りに度数で表わしてある。実音源から到着した音波がこのS字線上にある限り聴取者は音源とその位置方向を認識できる。これがいわゆる“自然な音像”と呼ばれているものである。

ところで、二つのスピーカから特定の音源の音波によって聴取者のための耳の位置における合成された音圧と位相の差はどのような関係にあるかを示したのが図-3である。

これをみると音源の信号が左右のスピーカの出力に分配されている割合によっては、左右の耳の位置での音圧レベル差と位相差は自然な音場では得られない有様を呈する。これはまた聴取者とスピーカとの位置関係が変わっても同様で、その状態は図-4と同様な形となり、自然な音場での音源の位置を示すS字形からは遠くはなれていることに

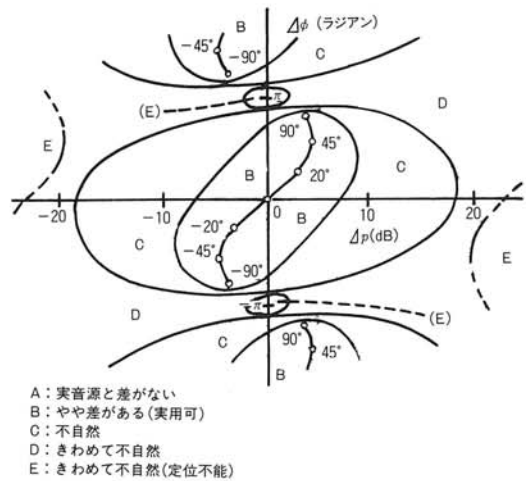


図-4 音像の質と両耳間のレベル差、位相差の関係
Fig. 4 Sound image quality on the ΔP - $\Delta \phi$ plane.

なる。じっさいに、このS字曲線から離れれば離れるほど不自然な印象をうけることになるが、この不自然さのランク付けをしたものが図-4である。ランクはA B C D Eの5段階になっているがAはS字上とほとんど一致するもので自然な音像と差はないが、Cランク以下は明らかに不自然でかつ多くの人々には不快な感じを与えることになることが実験的にたしかめられている。

以上をまとめると、まず、自然な音場での音源の音を再現するには、その信号としてすくなくとも左右のスピーカの出力に位相差の少ないレベル差のみの信号を与えることが必要であることと、位相差が大きくレベル差の少ない信号を与えると自然な音像を得ることはできず、不自然あるいは不快な感じを与えることになることがわかる。

なお、この位相差が大きくレベル差の少ない信号の場合は人によっては頭のまわりをとり囲んだというような、あるいは音が頭にかぶさったとの感じを与えることが多くの人によっていわれており、これがサラウンドであるとする向きもないではないが、これは本来の意味の音に囲まれているという現象とは全く異なるものであることは明らかであろう。

4. 2チャンネルステレオ信号の性質

ここで本来の問題に入るとして、2チャンネルステレオ信号には“音に囲まれている”現象を起す信号成分がどのような形でふくまれているかをしらべてみよう。

まず、自然な、あるいは自然に近い音像が左右のスピーカの間分布している状態は音に囲まれているという範ちゅうに入らないから、^{脚注 3)}それ以外の成分がいわゆる臨場感、残響感、などの効果を与えている筈である。^{脚注 4)}

通常の再生音場では音像その他の音はスピーカに囲まれた範囲より若干外側に分布するが、これでは2次元の音場の中ではわずかに前方 $\frac{1}{2}$ 程度の範囲が囲まれているにすぎない。

この範囲をカバーするために必要な事項を構成するための信号について考えてみる。

いま簡単のために単純化した信号モデルで解析する。まず、

2チャンネルステレオ信号波としては、よく知られている通り L, R があるのみであるからこの内容を簡単にした数式で表わす。まず、自然に近い音像を再現する成分を L', R' とするとこれらは音源信号を左右に適当なレベル差をつけたものだけであるので各音源信号を $f_i(t)$ とすると

$$L'(t) = \sum K_i \cdot f_i(t) \quad (1)$$

$$R'(t) = \sum (1 - K_i) \cdot f_i(t) \quad (2)$$

となる。ただしここでは絶対レベルは無視してある。

その他の成分は、位相差の大きい部分であるから、この分をそれぞれ $L''(t), R''(t)$ で表わすとその形はつぎのようにかくことができる。

$$L''(t) = \sum \sum_{i,j} \Delta_j \cdot f_i(t - {}_L\phi_j({}_L\tau_j)) \quad (3)$$

$$R''(t) = \sum \sum_{i,j} \Delta_j \cdot f_i(t - {}_R\phi_j({}_R\tau_j)) \quad (4)$$

ここで ${}_L\Delta_j, {}_R\Delta_j$ は j 番目の反射波個々の L, R チャンネルへの分配係数であり ${}_L\phi_j({}_L\tau_j), {}_R\phi_j({}_R\tau_j)$ はその時間遅れと移相分である。

左右の全スピーカ出力は

$$L(t) = \sum K_i \cdot f_i(t) + \sum \sum_{i,j} \Delta_j \cdot f_i(t - {}_L\phi_j({}_L\tau_j)) \quad (5)$$

$$R(t) = \sum (1 - K_i) \cdot f_i(t) + \sum \sum_{i,j} \Delta_j \cdot f_i(t - {}_R\phi_j({}_R\tau_j)) \quad (6)$$

となる。

さて、この $L(t), R(t)$ のうちからサラウンドに当る反射波成分を抽出する手順であるが、単純な代数的な方法では各々の第1項を消去することはできない。最も単純で、能率のよい方法は差の信号を利用することである。(5)、(6)式から

$$L(t) - R(t) = \sum (-1 + 2K_i) \cdot f_i(t) + \sum \sum_{i,j} \Delta_j \cdot f_i(t - {}_L\phi_j({}_L\tau_j)) - \sum \sum_{i,j} \Delta_j \cdot f_i(t - {}_R\phi_j({}_R\tau_j)) \quad (7)$$

となる。

中央正面附近に定位する成分は $K_i = \frac{1}{2}$ であるからこのときは第1項は零になりよく知られている正面ヌケの信号となる。このさい左右スピーカ方向に定位する音は $K_i = 1$ または零の分であるから音源の音は中央は消滅して左右の音が強く含まれることになる。

反射波の分は、(7)式第2、3項であり、理論上は音源が聴取点に対し完全に対称ならばこの項は消滅する。しかし、一般には対称性はないので

$${}_L\Delta_j = {}_R\Delta_j, \quad {}_L\phi_j({}_L\tau_j) = {}_R\phi_j({}_R\tau_j)$$

であるから $f_i(t)$ についての反射波の集団は消滅せず残る。

今、和信号 $L(t) + R(t)$ について同様の反射波の集団を考えると、(7)式の第2、3項の差が和になるだけであるから、前出係数のランダム性から、反射波の分については和差ともに大きな差

脚注 3) 後述のように約 $\frac{1}{4}$ 程度の幅に音像が点在するという表現が適している。

脚注 4) ホール等での反射音の集団にとりかこまれている状態がいわゆるサラウンド効果の主たる目的であるから。

はない。対称点については反射波は増強される傾向があるが逆に中央附近の音像の成分が強く、この信号から反射音の集団の情報を得るのは能率が悪いことになる。すなわち、一般のステレオ信号^{脚注 5)}の特徴である、中央附近に主要な音像を配置するということから反射音の集団情報として差信号を採用する。

我々が利用しようとしている主な反射音情報はこのようにして差の信号に含まれていることになる。

5. サラウンド系の形式とサウンドステージ

サラウンド系は、基本的には2チャンネルステレオ音場を正式に構成した上に効果として付加するものであって、普通、前方二つのスピーカによって囲まれたかあるいは若干外側の領域の音場（通常サウンドステージという）をくずさないことが必要である。このさいの2チャンネルステレオのサウンドステージは前方60度、やや不明確ではある

が120度、まれに180度内にある。

したがって、図-5のハッチした部分に音場を付加する方法がサラウンド系ということになる。

音場を新たに付加するには別にスピーカが必要で、その置き方は別に規制はない^{脚注 6)}。しかし一般には後方スピーカとして背面に1個あるいは2個、必要ならば3個という具合に設置されるのが普通である。

ここで、これらのスピーカに供給される信号は $L-R$ 信号そのまま、あるいは若干の処理がされている信号となる。この $L-R$ 信号に含まれる反射音は前方のステレオスピーカ出力に含まれる反射音と共通のものがかなり多いので、その効果を減殺あるいは増強する分もある。問題はどのような信号を作ってこれらのスピーカに供給するかということになる。

ところが注意が必要なことは、これら $L-R$ をはじめ $L+R$ 、 L 、 R の信号自体は、モノホニック信号であり“単独”ではステレオ信号とはなり得ないものである。若干の疑似ステレオの手段を用いる以外、ステレオ的な音場、つまり、サウンドステージを作るのは困難であるということになる。

つまり、図-5の後、横方向にサウンドステージを創り出すのは非常にむずかしく、事実上リニアな処理では無理^{脚注 8)}ということになる^{脚注 9)}。

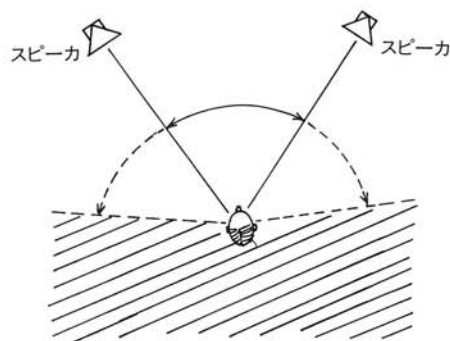


図-5 サウンドステージの拡がり
Fig. 5 Spread of sound stage.

脚注 5) たとえばボーカル

脚注 6) 系の構成は自由であるから。信号は L 、 R 以外は使用できない。

脚注 7) $L+R$ 、 L 、 R の残響波を人工的に作り、使用する場合もあるがこれは後でふれる。

脚注 8) ひとつの信号を何個のスピーカから出しても条件の悪いモノホニック再生と同じ結果となる。疑似ステレオの手段によると多少はステレオ再生的な効果がえられる。

ただし、音質は一般に低下する。

脚注 9) レベル差定位では横方向の定位は実現できない。

6. 後方信号によるステレオ効果への影響

後方に配置されたスピーカからの信号波がどのような影響をもたらすか検討してみる。例えば後方に左右ふたつのスピーカを設置した場合、いわゆる4チャンネルステレオの基準スピーカ配置を取上げる。

スピーカ配置は図-6のとおりで、前方の2スピーカが通常のステレオ音場を作っている。

今、左前スピーカに音像が定位している場合を考えてみる。左前スピーカ出力を l とすると、後方の左右スピーカ出力には $\pm l$ ^{脚注 10)}が現われる。この後方スピーカ出力は、左前スピーカ方向に定位している音像に変化を与える。

この音像への影響は、定位の方向を変え、あるいは3章でのべたS字曲線からはなれた音質へと変化させる。その結果、音像は不自然で、頭の上、中に感じられ、頭をつつむ感じを与えることになる。すなわち、 $L-R$ 、またはその変形のモノホニック信号を後方スピーカの入力として用いると、前方に拡がったサウンドステージを害する方向に作用するとともに全般的な音質の低下をもたらすことになる。

この現象は特定の音像に対するものではなく、前述の $L-R$ 信号にふくまれる反射音成分に対しても成立つものであることはいうまでもない。これをさけるには後方スピーカ出力を前方スピーカの出力に対して十分小さくするか、あるいは別途の処理をすることになる。たとえば、 $L+R$ 、 $L-R$ 、 L 、 R の信号から残響音を作って後方スピーカに供給するなどがある。 $L+R$ 信号等から作った残響音は L 、 R 信号にふくまれる反射音集団とは時間的にずれており信号間の相関が高いけれども別個の信号として作用する場合が多く、前述の音像の質に与える不自然感はあまり大きくないよ

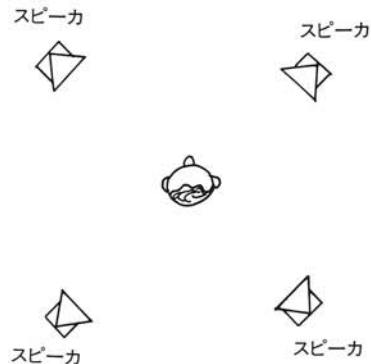


図-6 4チャンネルステレオ

Fig. 6 4 Channel stereo

うに処理することができる。サラウンドシステムに残響付加装置がよく用いられるのはこのためである。ただし、この場合でもサウンドステージは360度に拡がることはない。極端に表現すると横方向が欠けた8の字形のサウンドステージとなる。

7. あとがき

以上サラウンドステレオのシステムを音場合成の立場から解析してみたが、結論はいささか暗い見通しとなった。

サラウンドというと、いかにも360度空間音響という感じがするし、ホールの音響の再現といった印象を受けるが、じっさいは音質上の欠点、不自然さが残り、また、360度サウンドステージにはなり得ない。しかし、その音を初めてきくと大きな効果を感じるがしばらく聴いていると今までのべたマイナスの印象が強くなってくるのである。

サラウンドシステムは2チャンネルステレオの付

脚注10) $L-R \rightarrow l$ 、位相反転すると $-(L-R) \rightarrow -l$ である。

脚注11) あまり小さいと後方スピーカを置かない場合と同じである。何等の効果も期待できない。

脚注12) 適当な時間遅れがあれば前スピーカの音に残響音がついた印象を与えることができる。この場合残響音は後方からのみきこえる。

属効果機器ではあるが、その効果を過大評価するのは疑問である。

数年前に4チャンネルステレオが現われたときのことを思い起すのは筆者だけではないと思う。特にマトリックス4チャンネルステレオとサウンド方式が本質的には同質であることと、この4チャンネルステレオが期待外れに終わったことを考えると取

扱いは十分注意しなければならないように考える。(上記は筆者の全く個人的な考えである)

サラウンドシステムは2チャンネルステレオの再生上の化粧のようなものである。欠点を十分に知りかつサウンドステージの拡大の効果のある面を引立たせるような利用を考えねばならない。

豆 辞 典

音 の 話

世界的に有名な経営学者ピーター・F・ドラッカーの著書「抄訳マネジメント」(上田惇生訳)の中で、次のような文がありますので紹介します。

“仏教の禅僧や、回教のスーフィー教徒や、タルマッドのラビなどの神秘家によって発せられた公案に、「無人の山中において木が倒れたとき、音はするか」という謎がある。

今日われわれは、この問に対する答が「否」であることを知っている。たしかに、音波はある。しかしだれも音を感じないかぎり、音はしないのである。音は知覚されることによってつくられる。そしてここにいう音こそコミュニケーションである。

この答は何も目新しくは思えないかもしれない。昔の神秘家たちも、既にこのことは知ってい

た。彼らも、「誰も聞かなければ音はしない」と答えた。しかし、この古臭い答が、実は今日きわめて重要な意味をもっている。まずこの答は、コミュニケーションを成立させるものはコミュニケーションの受け手であるということを教えてくれる。それはコミュニケーションの内容を発する人間、即ちコミュニケーターではない。彼は発するだけである。聞くものがなければ、コミュニケーションは成立しない。ただ意味のない音波があるだけである。”

以上のことから、「音」を売り物にしてるい当社として今一度見直してみたいことは、ユーザとのコミュニケーション、即ち人間の耳に如何に感じる「音」を作り込むべきかということになるのではないのでしょうか。以 上