

## 室内音響設計のための明瞭性評価指標SNRstatとその 応用に関する研究

増田, 潔

<https://doi.org/10.11501/3168355>

---

出版情報：九州芸術工科大学，1999，博士（芸術工学），課程博士  
バージョン：  
権利関係：

## 第3章 聴感実験による検証

$SNR_{stat}$ の理論的な背景とその計算方法、計算に必要なデータ測定法について述べてきたが、一次近似的な明瞭性の評価指標として聴感との対応が確保されることが必須の条件となる。そこで、単一評価指標として提案した $\overline{SNR}_{stat}$ と聞き取りやすさとの対応について、聴感実験により検討した。

明瞭性に関する聴感実験としては、無意味音を使用した2連音節明瞭度および3連音節明瞭度試験、有意味の単語もしくは文章フレーズを用いる単語理解度および文章理解度試験を実施することが一般的に多い。しかし、ここでは空間を使用するユーザーの聞き取りやすさの印象が重要であるとの考え方から、聞き取れる程度に関するカテゴリ評価実験を採用している。

### 3.1 試験音の収録

Table 3.1に示す特性をもつ5つの建築空間において、DATに録音された女性および男性アナウンサーのスピーチそれぞれ4種類を音源スピーカより再生した。スピーチの音源は、日本音響コンサルタント協会制作の「Audio/Acoustics Technical CD for professional use」に収録されている約90sの女性および男性のアナウンス（女性は小説の朗読、男性はラジオアナウンスを収録したもの）から、15s程度で文章としてきりの良い4箇所をDATに切り出して録音したものである。文章の内容をTable 3.2に示す。音源スピーカより放射さ

Table 3.1 試験音を収録した実在する室空間の諸特性と音源に関する特性

Room	Average Absorption Coefficient		Volume (m <sup>3</sup> )	Surface Area (m <sup>2</sup> )	Directivity Gain 10log <sub>10</sub> Q		Distance	
	500Hz	2kHz			500Hz (dB)	2kHz (dB)	r <sub>1</sub> (m)	r <sub>2</sub> (m)
	A	0.02			0.04	220	223	15
B	0.20	0.23	541	512	12	13	2.5	9
C	0.14	0.14	549	594	12	13	4	12
D	0.07	0.07	228	240	15	16	1	5
E	0.10	0.11	14525	4151	12 (9)*	13 (10)*	4	22.4

\*E室では音源-受音点間距離が4mの場合スピーカは床付近に、22.4mの場合は床からも壁からも遠い場所に設置された。

Table 3.2 試験音に用いたスピーチの内容

No.	スピーチの内容
女声	1 親譲りの無鉄砲で子供の頃から損ばかりしている。小学校にいる時分、学校の二階から飛び降りて一週間ほど腰を抜かしたことがある。
	2 新築の二階から首を出していたら、同級生の一人が冗談に、「いくら威張ってもそこから飛び降りることはできまい。弱虫やーい。」とはやしたからである。
	3 こづかいにおぶさって帰ってきたとき、親父が大きな目をして、「二階ぐらいから飛び降りて腰を抜かさやつがあるか。」といったから、「この次は抜かさずに飛んでみせます。」と答えた。
	4 親類のものから西洋製のナイフをもらってきれいな刃を日にかざして友達にみせていたら、一人が、「光ることは光るが切れそうもない。」といった。
男声	1 果てしなく続いている秩父の山々、寄居町はこの秩父の山々がいったん切れて、そして東の端が関東平野へと連なっていくあたりにあるんですね。
	2 お釜を伏せたような形の釜伏山の斜面に転々とあります寄居町の「風布」という町、「風」の「布」の町と書きますが、戸数は60戸です。
	3 まあ風布というのはちょっと変わった名前ですが、この谷に白い布がたなびくかのように朝霧がたちこめるところから風布と呼ばれるようになったといえます。
	4 送り迎えのバスが風布まで入ってくるようになったのもつい最近のことです。今年の四月、荒川をわたる大きな橋ができるまでは、小さな吊り橋が一つ架かっていただけでございました。

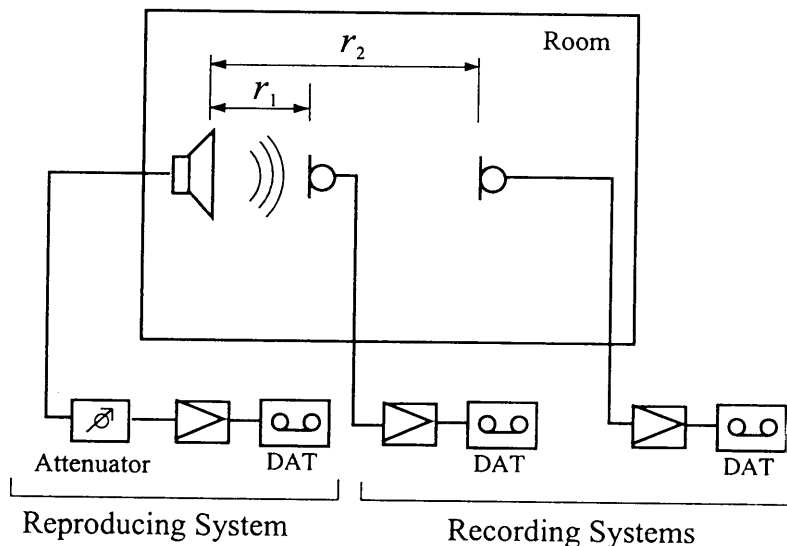


Fig.3.1 試験音の収録方法

れたスピーチはスピーカの正面2箇所の受聴位置で空間を介して別のDATに録音された (Fig.3.1)。これにより、10通りの空間伝達特性が畳み込まれた合計80個の試験音が作成されたことになる。各室において再生されたスピーチのパワーレベルおよびスピーカの指向特性はあらかじめ第2章に示した方法で測定しておいた。受聴点方向の指向特性と放射立体角を合わせた指向係数をTable 3.1中に、再生音声のパワーレベルの周波数特性をFig.3.2に示す。

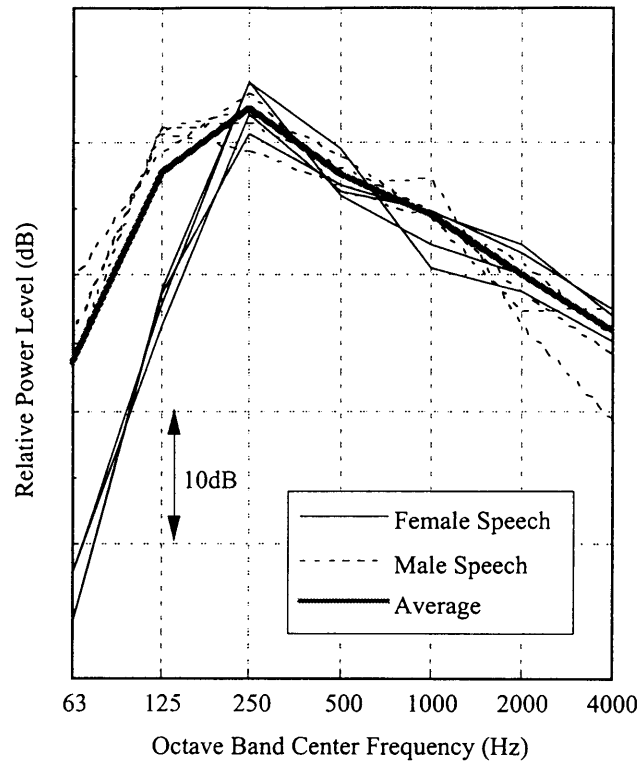


Fig.3.2 各スピーチのパワーレベル

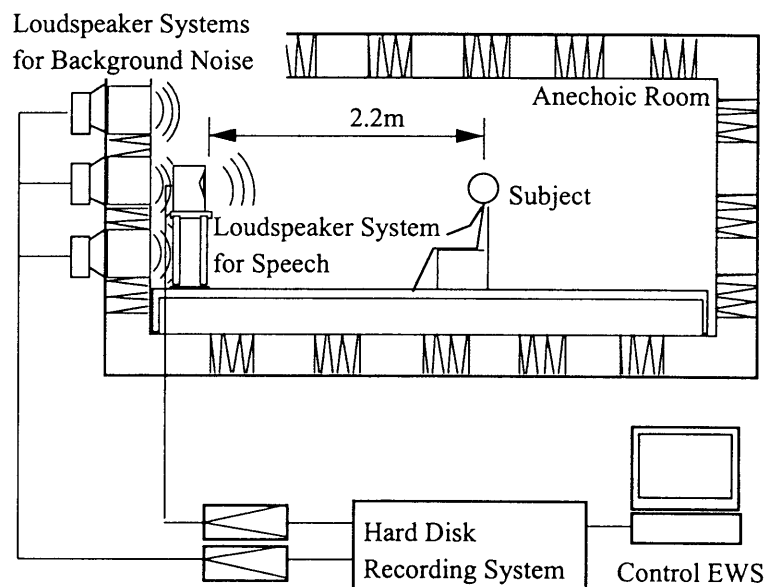


Fig.3.3 聴感実験

### 3.2 実験手続き

これら試験音を無響室で再生し、受聴位置 (Fig.3.3) において55dB(A)になるように設定した。一方、Fig.3.4に示す周波数特性をもつ定常的な背景騒音を壁に埋め込まれた専用スピーカから40、50、60dB(A)の3段階で放射することとした。試験音と背景騒音の組み合わせは合計で240試行になるが、被験者への負担が大きくなると判断し、空間伝達特

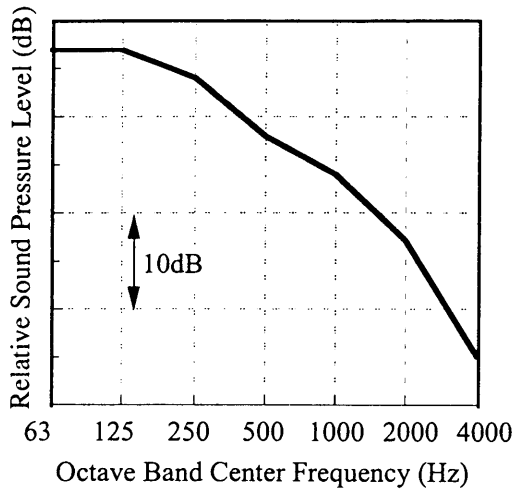


Fig.3.4 背景騒音の周波数特性

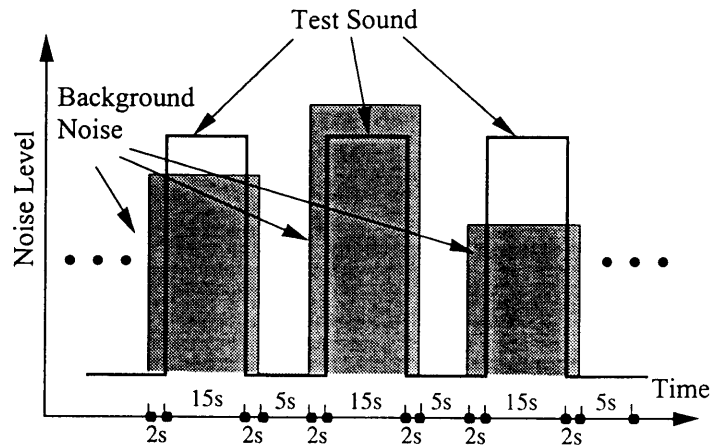


Fig.3.5 提示パターン

Table 3.3 実験で被験者が選択したカテゴリー

No.	1	2	3	4	5
評価	全て聞き取れない	半分以上聞き取れない	半分程度聞き取れる	半分以上聞き取れる	全て聞き取れる

性10通り、女声・男声の区別の2通り、背景騒音レベル3通りが全て異なるような組み合わせで60試行を選びだし、1セットの実験とした。文章の違いは女声、男声合わせて8通りしかないため、1セットの実験で被験者は同一内容のスピーチを7回もしくは8回聴取することとなった。

提示パターンをFig.3.5に示す。各試行では背景騒音の提示開始の2s後に約15sのスピーチが提示され、スピーチ終了後2sして背景騒音の提示が終了する。各試行は5s間隔で行われ、この間に被験者は試験音の聞き取りやすさを評価した。

評価の方法として、「スピーチの中の言葉一つ一つがどの程度聞き取れるか」を5個のカテゴリー（Table 3.3）から選択する評定尺度法<sup>1)</sup>を採用した。被験者は20代から40代までの男女10名である。一人の被験者に対し2セットの実験を実施した。

### 3.3 $\overline{SNR}_{stat}$ の算出

実験時の被験者位置での音圧レベルに基づき補正した Fig.3.2 の音源のパワーレベル、Table 3.1 に示した空間の諸特性および音源・受聴点の距離、音源の指向係数、Fig.3.4 の背景騒音のオクターブバンドレベルから第2章に示した計算方法にて各試行に対する  $\overline{SNR}_{stat}$  を算出した。

### 3.4 実験結果と考察

まず、各試行に対する被験者の回答と  $\overline{SNR}_{stat}$  の計算値を比較した結果をFig.3.6に示す。図中、○は各試行に対応していて、その縦軸の値はカテゴリーに1から5までの点数を与えたときの全被験者の回答を平均した値である。また、横軸の値は各試行について算出された  $\overline{SNR}_{stat}$  の値である。図に書き込まれた曲線は2次の多項式近似曲線で、このときの相関係数は0.92と高い数値を示した。

Fig.3.6の結果は、試験音毎の周波数特性、すなわちスピーチの内容や話者の違い、さらにその話し方の違いまで考慮して算出した  $\overline{SNR}_{stat}$  と被験者の回答とを比較した結果である ( $\overline{SNR}_{stat}$  算出時にスピーチ毎に異なるパワーレベルを使用しているため)。しかし、実際の設計において、どんな周波数特性の音声をした人が何を話すのかを想定して明瞭性を予測することは現実的でない。むしろ多くの場合、男声・女声の区別が与えられずにモデル的な周波数特性によって設計時の検討は行われるものと考えられる。そこで、今回使用したスピーチ全てのエネルギー平均値 (Fig.3.2中のAverage) を仮に代表的な音源のパワーレベルとして、被験者の評価と  $\overline{SNR}_{stat}$  がどのような対応を示すか検討した。被験者の評価は空間伝達関数と背景騒音の組み合わせ毎に、男声に対する回答と女声に対する

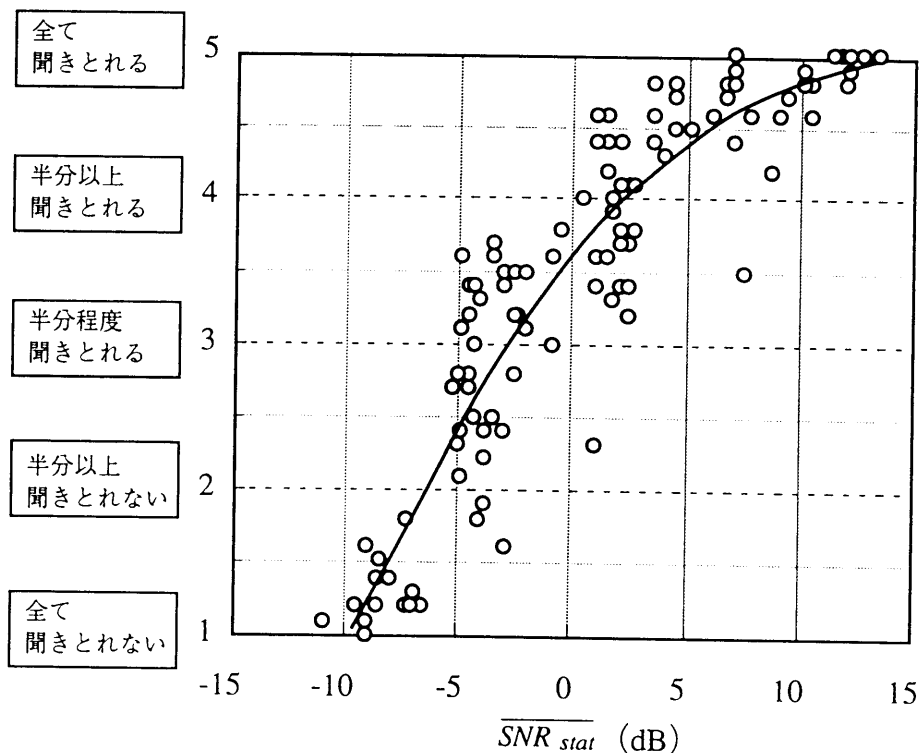


Fig.3.6 被験者の評価と  $\overline{SNR}_{stat}$  との対応

図中の曲線は2次の多項式近似曲線で相関係数は0.92。

回答を平均して算出することとした。結果を Fig.3.7 に示す。図中の記号の違いは対象空間 (Table 3.1 の室 A ~ E) の違いを示している。

この結果によれば、モデル化した音源のパワーレベルから算出した  $\overline{SNR}_{stat}$  と被験者の回答の平均はよく対応し、相関係数も 0.96 と非常に高くなる。

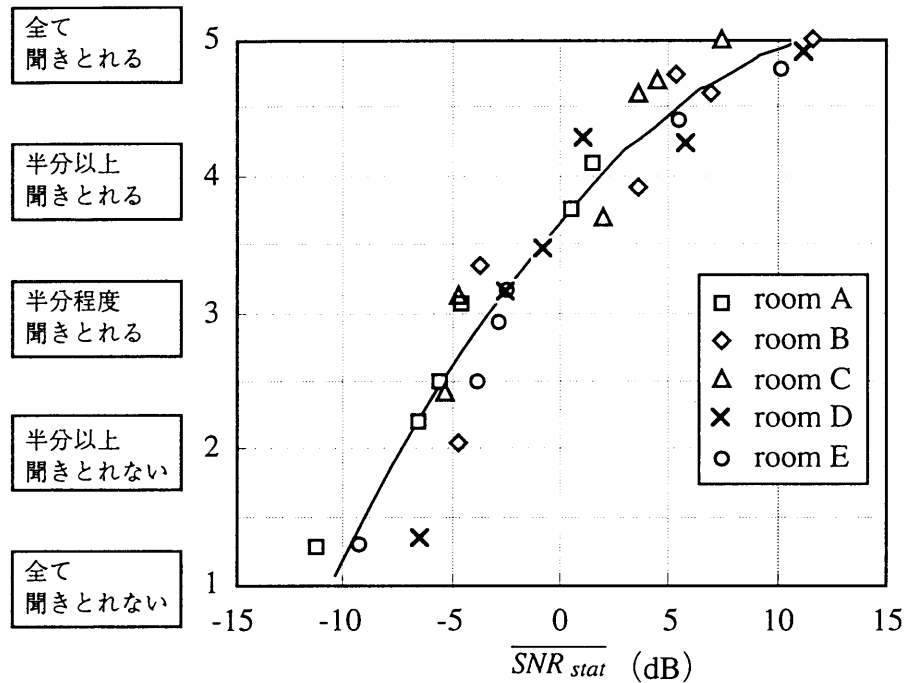


Fig.3.7 被験者の評価とモデル化した音源パワーレベルで算出した場合の  $\overline{SNR}_{stat}$  との対応  
図中の曲線は2次の多項式近似曲線で相関係数は0.96。

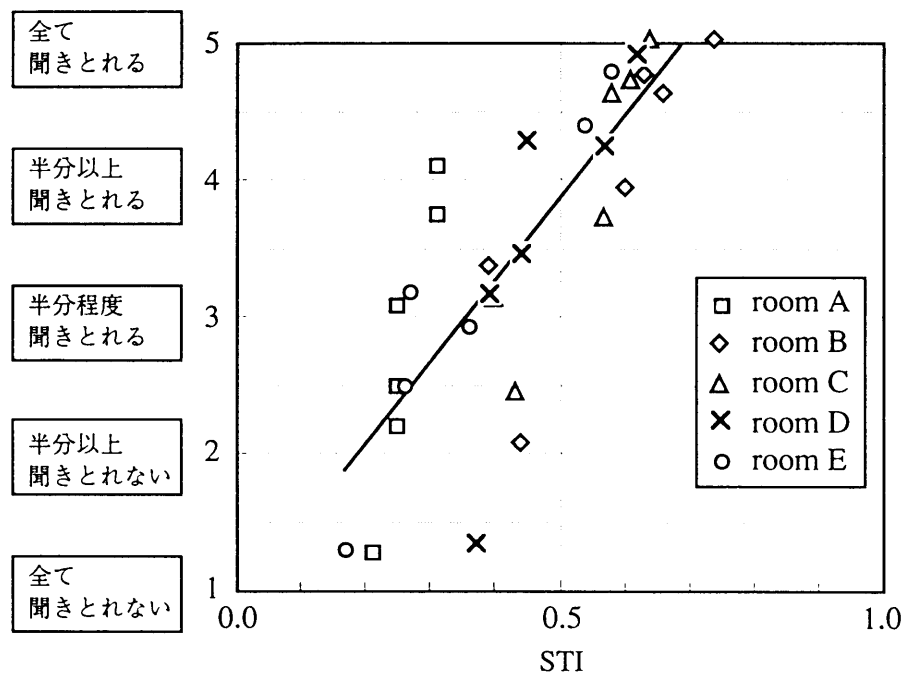


Fig.3.8 被験者の評価とモデル化した音源パワーレベルで算出した場合の STI との対応  
図中の曲線は2次の多項式近似曲線で相関係数は0.81。

ここで、比較として $\overline{SNR}_{stat}$ と同様に設計数値に基づいて計算したSTIの値と実験結果の対応についてFig.3.8に示す。STIの計算には第2章の(2.4)および(2.7)式を使用した。Fig.3.8によれば、STIの値が0.5以下のときにばらつきが大きく、そのため相関係数も0.81とやや低い。これは統計室内音響理論によるSTIの計算方法によるもので、反射音全てが明瞭性を阻害すると評価することに起因する。例えば室Aや室Dのように室容積が小さく、かつ平均吸音率が低いような空間では、たとえ残響時間が長くても、平均自由行路が短いため明瞭性に貢献する初期反射音が豊富にあるはずである。しかし、反射音全てが明瞭性を阻害すると考えると、背景騒音のレベルや音源からの距離が変化しても、ほぼ一定の低いSTI値をとるように計算されてしまうのである。これに対し、 $\overline{SNR}_{stat}$ は初期反射音が考慮されているため、このような問題は解決されている。

第2章でも述べたが、STIを設計数値にて予測する方法は、一見使用しやすそうに見えるが、明瞭性を向上させなければならない場合に対策がたてにくいなどの欠点がある。さらに、今回の実験結果は、この方法で予測されたSTIと聴感との対応についても、問題があることを示している。

聞きやすい空間をユーザーに提供するという観点から室内音響設計を見た場合、どれだけ聞き取れるかということよりも、どれだけ確率で100%聞き取れるのかという方が重要である。少しでも聞きにくければ、その建築空間に対しユーザーからクレームが発生する可能性が無視できなくなるからである。

そこで、今回の実験結果について「全て聞き取れる」という回答が全回答のうちに占める割合を、 $\overline{SNR}_{stat}$ の値の範囲ごとにまとめた結果をFig.3.9にまとめた。これによれば、

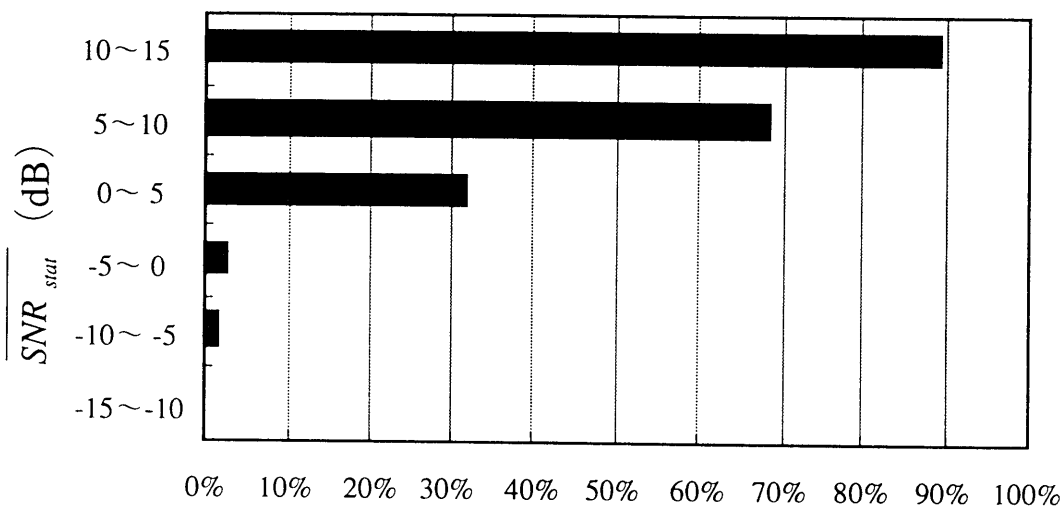


Fig.3.9 「全て聞き取れる」という回答が全回答のうちに占める割合



$\overline{SNR}_{stat}$  の値が 5dB ~ 10dB であれば約 70% の回答が「全て聞き取れる」に、10dB ~ 15dB であれば約 90% の回答が「全て聞き取れる」になることが分かる。この結果は、設計目標値を設定する上で、重要な資料となる。(具体的な設計目標値の決め方は第4章で STI、RASTI の判定基準と比較することで設定される。)

今回の実験は、実音場で録音した試験音をモノラルで実験室で提示するという方法をとっているため、両耳聴の効果は反映されていない。しかし、実際の設計において聴取者の正確な頭の位置や向きを考慮できる場面は少ないことから、このような実験の結果は、設計に十分役立つ資料になりえると判断した。

以上の実験結果より、 $\overline{SNR}_{stat}$  は初期反射音や背景騒音の影響を同時に評価しながら、設計段階における使用を目的とした「聞き取りやすさ」の一次近似的な評価指標として、一定の精度を確保できることが示された。

#### 参考文献

- 1) 難波, 桑野, “音の評価のための心理学的測定法,” 日本音響学会編, コロナ社 (1998)
- 2) T. Houtgast, H. J. M. Steeneken and R. Plomp, Predicting Speech Intelligibility in Rooms from the Modulation Transfer Function. I. General Room Acoustics, *Acoustica*, 46, 60-72 (1980).