

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4章 既存評価指標との対応

第1章でも述べたように、これまでにいくつか明瞭性を評価する指標は開発されてきた。その中でも特にRASTIは専用の計測機器が開発されて計測が簡便になったことから、完成した建物の音場評価に頻繁に使用されるようになった。そして、それに合わせるようにSTIやRASTIを設計目標値として使用する動きも出てきている。したがって、ここではSTIと SNR_{stat} との対応関係を明らかにし、STIが設計目標値である場合でも、より設計に適し計算が簡易な SNR_{stat} に置き換えた設計や、 SNR_{stat} を用いて設計した場合でも建物完成後にRASTIを計測して評価できるようにする。

また、室内音響設計指標の代表的存在である最適残響時間曲線との対応についても検討する。最適残響時間は室内音響設計技術の中で最も実績のあるものの一つである。したがって、この指標との関連を示すことで室内音響設計用評価指標としての SNR_{stat} の位置付けを明確にすることができる。

最後にインパルスレスポンスより算出される明瞭性評価指標との関係について検討する。これらの指標は、主にコンサートホールなどの建築空間において、一般的な条件で評価するための指標であり、音源の指向性および背景騒音等、音声の明瞭性を決定する上で重要になる要素が考慮されていない。しかし、反射音の取り扱いについては SNR_{stat} とほとんど同じ考え方をしているので、参考として比較する。

4.1 STIとの対応

STIは、100%振幅変調したノイズを音源として、受聴点においてどの程度その信号が保存されているかを示すMTF (Modulation Transfer Function) を計測し、その値から得られるS/N (Signal to Noise Ratio) を0~1の数値に単純に置きなおして得られる評価量である (第2章の2.1節参照)。このS/Nは SNR_{stat} のSignal to Noise Ratioと言葉の上では同じであるが内容は若干異なる。その違いとは、 SNR_{stat} において初期反射音成分がSignal to Noise RatioのSignalに含まれるのに対し、STI算出時のS/NのSignalには、直接音 (もしくは100%保存されている信号) しか含まれない点である。しかし、STIにおいて初期反射音が著しくMTFを低下させることになることはないので、この差異がSTIと SNR_{stat}

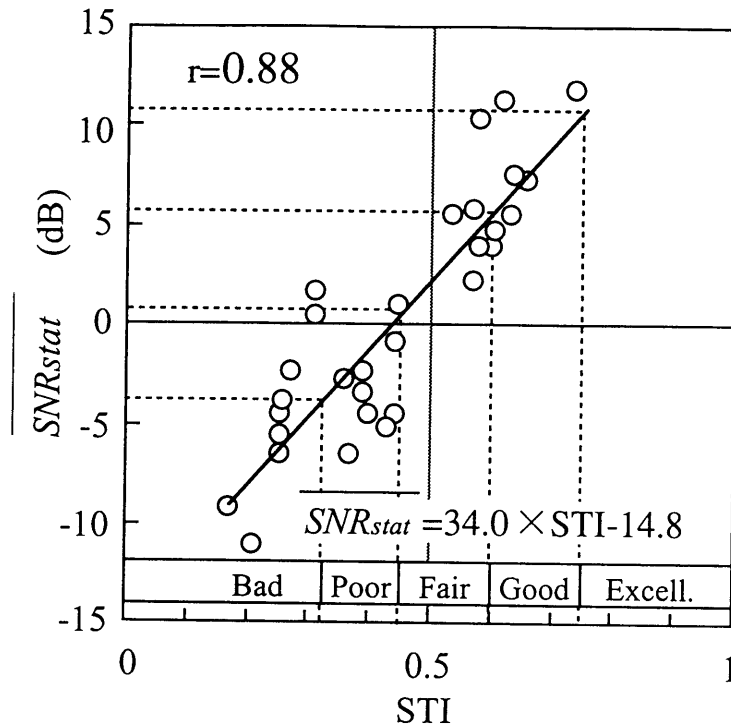


Fig.4.1 \overline{SNR}_{stat} と STI との対応

第3章の聴感実験で用いた条件について検討した結果である。図中の直線は1次近似式で相関係数は0.88。

との対応関係を否定するものになるとは考えにくい。

実際、第3章で示したように聴感実験の結果と SNR_{stat} および STI のそれぞれの相関は、大小の差はあるものの、同様に正の相関を示している。そこで、同一条件に対する SNR_{stat} と STI の値の相関から対応関係を導き出すこととする。

Fig.3.7 と Fig.3.8 に示した聴感実験の結果から、同一条件に対する \overline{SNR}_{stat} と STI の値をそれぞれ縦軸、横軸にとって整理すると Fig.4.1 のようになる。

Fig.4.1 中の直線は回帰直線で、

$$\overline{SNR}_{stat} = 34.0 \times STI - 14.8 \quad (4.1)$$

で与えられる。相関係数は0.88で \overline{SNR}_{stat} と STI は一定の相関関係を持つことが分かる。この式を逆に STI を求める式に書き直すと、

$$STI = [\overline{SNR}_{stat} + 14.8] / 34.0 \quad (4.2)$$

となり、(2.4) 式の S/N から STI を求める式に非常に近いことが分かる。

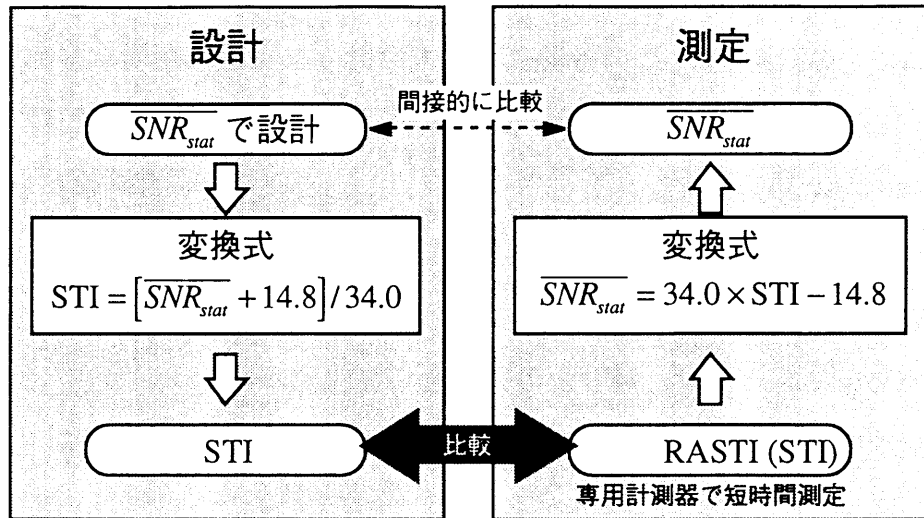


Fig.4.2 \overline{SNR}_{stat} と RASTI 間の変換式と設計および測定での使用法

図中には、参考として STI の評価¹⁾が示してあるが、対応が良いことを考えると、同様な評価が \overline{SNR}_{stat} についても可能であると考えられる。この図によれば、 \overline{SNR}_{stat} はおおよそ 10dB 以上で Excellent、5 ~ 10dB で Good、0 ~ 5dB で Fair、-5 ~ 0dB で Poor、-5dB 以下で Bad に対応している。第 3 章の Fig.3.9 に \overline{SNR}_{stat} の 5dB 刻みの範囲毎に、聴感実験において全て聞き取れる割り合いを示したが、ここでいう Good の範囲で全回答の約 70% が、Excellent で約 90% が「全て聞き取れる」という判断をしていることから、妥当な評定であることが分かる。(この結果を参考にして、Table 4.1 中に STI の値や評価と \overline{SNR}_{stat} を直接対応付けられるように、 \overline{SNR}_{stat} のスケールも合わせて示してある。)

以後、本論文において(4.1)および(4.2)式は STI もしくは RASTI と \overline{SNR}_{stat} との変換式として使用する。これらの変換式により、 \overline{SNR}_{stat} を間接的に RASTI 専用の計測器で測定することが可能になり、 \overline{SNR}_{stat} の短所である測定の手間が改善されることになる (Fig.4.2)。

尚、あくまでもこれらの変換式は限られた条件で得られた回帰式であるため、今後、理論的に変換式を導出する必要がある。

4.2 最適残響時間との対応

最適残響時間は明瞭性そのものを評価するために開発された指標ではない。しかし、室用途によっては、完全に明瞭性評価を行っている場合もあり、明瞭性評価指標としての一面も持っている。さらに、この指標によって設計された建築空間は膨大な数であり、この指標との関係を明らかにすることなしで \overline{SNR}_{stat} の音響設計評価指標としての存在意義はない。

ここでは、 SNR_{stat} の基本式から室容積と残響時間に関する関係式を導出して最適残響時間曲線と比較する。

関係式の導出にあたって、幾つかの条件を一般化する。

まず、第2章の(2.13)式のように表現される直接音成分を、

$$E_d = \frac{Wp}{cV} \quad (4.3)$$

とおく。これは音源を無指向性とし、さらに、距離によって異なる直接音エネルギー密度を空間的に平均したものに等しい。また、(2.19)式の有効最大反射次数の計算式に含まれる音源から受聴点までの距離 r も平均自由行路 p で一般化して、

$$n = 1 + \frac{c\Delta t}{p} \quad (4.4)$$

とおく。Eyring の残響式と Beranek¹⁰⁾ が示した表面積と容積の関係式

$$S \approx 6.25V^{2/3} \quad (4.5)$$

を用い、背景騒音の影響も無視できるとして(2.12)式に(4.3)、(2.14)、(2.15)、(4.4)、(4.5)式を代入して変形すると、残響時間 T と室容積 V および SNR_{stat} との間に以下の関係式が成り立つ。

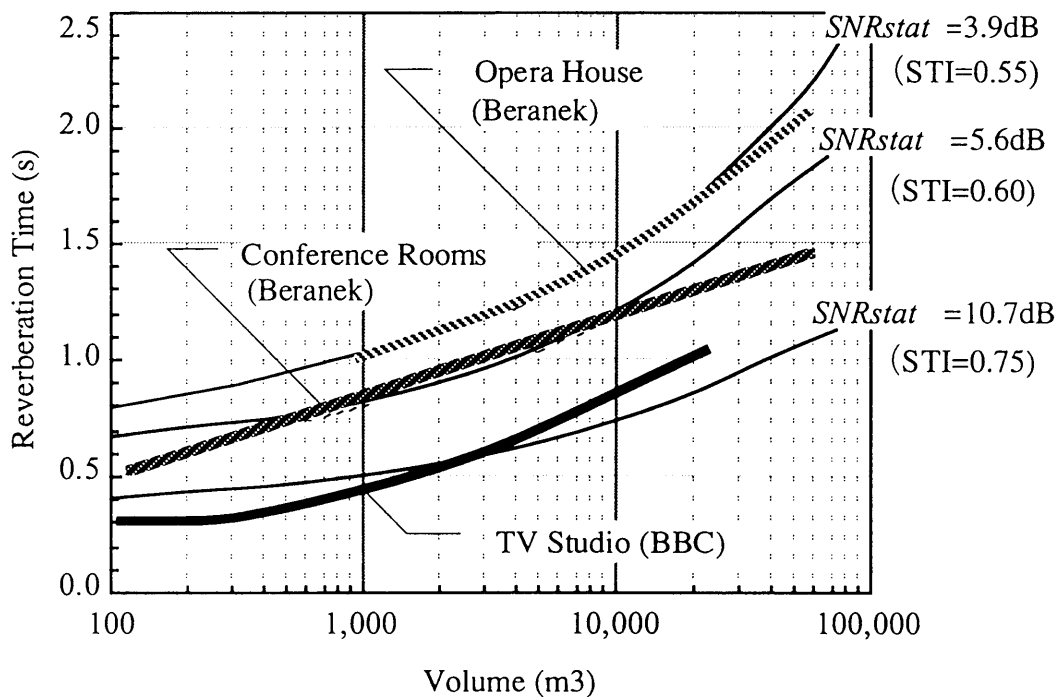
$$T = \frac{0.0515V^{1/3} + 0.690}{\log_e(10^{SNR_{stat}/10} + 1)} \quad (4.6)$$

この式は SNR_{stat} の値を決定すると、室容積と残響時間の関係を示す関数となり、最適残響時間曲線と直接比較することが可能になる。

ここで、どのような SNR_{stat} の値を選択するかであるが、多くの実在建築空間での測定結果に基づき、STI および RASTI のガイドライン作りを試みた文献²⁾にある、ガイドライン案 (Table 4.1) と Fig.4.1 に示した STI に対する評価語を参考にする事とした。これらの評価語や適用建物に対する STI の推奨値を(4.1)式により SNR_{stat} の値に変換して検討に用

Table 4.1 文献2) に示されている STI、RASTI の適用範囲のガイドライン案と \overline{SNR}_{stat} との関係

	STI, RASTI										備考	
	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75		
会議場、会議室、講堂、教室	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	音声による情報伝達を主目的にする空間	
多目的ホール、劇場、映画館	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	多目的に用いられる空間であるが質の高い音声による情報伝達が必要な空間	
音楽ホール	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	音楽演奏などを主目的にする空間	
体育館	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	競技を目的とするが場内放送等による音声情報伝達が必要な空間	
多目的大空間	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	スポーツ、コンサート等多目的に使用される空間であり、音声情報伝達が難しい空間	
評価語	悪い 不可		最低 許容	普通 標準			良好 推奨		特別			
ICE SCALE	BAD		POOR			FAIR			GOOD		EXCELLENT	
\overline{SNR}_{stat}	-5dB		0dB			5dB			10dB		変換式より算出	

Fig.4.3 \overline{SNR}_{stat} と最適残響時間曲線との対応

討に用いた。検討結果を Fig.4.3 に示す。最適残響時間は文献³⁾より引用した。

図中、 $SNR_{stat}=5.6\text{dB}$ の曲線は Beranek の提案している会議室に対する最適残響時間曲線に良く対応している。 $SNR_{stat}=5.6\text{dB}$ という値は(4.2)式によれば $STI=0.60$ に対応し、STIの評価では Good の下限値に、Table 4.1 では会議室等「音声による情報伝達を主目的とする空間」の推奨値の下限となる。 $SNR_{stat}=10.7\text{dB}$ の曲線はテレビスタジオ用の最適残響時間曲線と良く一致しており、これに対応する STI の値は Excellent の下限値にあたる 0.75 である。

また、参考までに、音声の明瞭度も要求される音楽施設であるオペラハウスの最適残響時間曲線も示してあるが、これに良く一致するのは $SNR_{stat}=3.9\text{dB}$ の曲線で、この値は Table 4.1 で音楽ホールの推奨値の下限値 $STI=0.55$ に対応する。

以上のように SNR_{stat} の計算式からいくつかの条件を一般化して導出した関係式が最適残響時間曲線と良く対応することが示された。この結果は、最適残響時間曲線の理論的な妥当性を統計室内音響理論の観点から示すと共に、 SNR_{stat} が最適残響時間の説明関数になっていることも示している。

さらに、関係式を導出する際に一般化された条件（音源と受聴点間の距離、音源の指向性、背景騒音）を設計数値として指定できる SNR_{stat} が、最適残響時間に縛られない室内音響設計を実用的に可能にすることも、この章の結果は示唆している。したがって、音源と受聴点の距離が限られた範囲であったり、音源の指向性によっては、必ずしも最適残響時間を満足しなくても明瞭性を確保できる室内音響設計が SNR_{stat} により可能になるということである。

4.3 インパルスレスポンス評価量との対応

コンサートホールにおける明瞭性の評価量としては Reichart の $C80$ ⁴⁾ や Thiele の D^0 ⁵⁾ などが一般に用いられる。これらは、コンサートホール完成後のインパルスレスポンス測定の結果より算出される数値でそれぞれ、

$$C80 = 10 \log_{10} \left(\frac{\int_0^{80\text{ms}} p^2(t) dt}{\int_{80\text{ms}}^{\infty} p^2(t) dt} \right) \quad (4.7)$$

$$D = \frac{\int_0^{50ms} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (4.8)$$

で算出される。これらの値は(2.11)式のSNRの定義式に非常に似ており、 SNR_{stat} とも一定の相関をもつと考えられる。しかし、どちらも建築空間の一般的な傾向を示す数値として開発されており、STIや SNR_{stat} のように背景騒音や音源の指向性を考慮して明瞭性を総合的に評価できる指標ではない。

ここでは参考として、相関式を求めるようなことはせず、第2章の SNR_{stat} の定義式と同様な統計室内音響理論に基づいた表記を紹介し、比較するにとどめる。

D を統計室内音響理論に基づいて表記した D_{stat} は、

$$D_{stat} = \left[\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \{1 - (1 - \bar{\alpha})^n\} \right] / \left[\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right] \quad (4.9)$$

で表すことができる。また、C80を同様に表記した $C80_{stat}$ は、

$$C80_{stat} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \{1 - (1 - \bar{\alpha})^n\} \right] - 10 \log_{10} \left\{ \frac{4}{R} (1 - \bar{\alpha})^{n'} \right\} \quad (4.10)$$

となる。ここで、 n' は(2.9)式において Δt を80msとして計算した値である。

初期反射音が明瞭性に貢献し後部残響音が明瞭性を阻害するという基本的な考え方が共通であるために、(4.10)式は(2.12-b)式とほぼ同じ式となる。また、(4.10)式が、同様に統計室内音響理論に基づいてBarronにより導出された(2.9)および(2.10)式と若干異なるのは、初期反射音の取扱いにおいてFig.2.4に示すような違いがあるからである。

尚、ここで示した表記では取り扱う周波数帯域が明確になっていないため、CやDの簡易計算式として使用する際には注意が必要である。

参考文献

- 1) T. Houtgast and H.J.M. Steeneken "A Multi-language evaluation of the RASTI-method for estimating speech intelligibility in auditori," *Acustica*, 54, 185-199(1984)
- 2) 杉野,井上, "音声伝達性能とSTI、RASTIの対応," 日本建築学会環境工学委員会音環

境運営委員会 96-1 資料, 7-18 (1996)

- 3) “建築の音環境設計, 日本建築学会設計計画パンフレット,” 彰国社, 10, (1983)
- 4) W. Reichardt and U. Lehman, Optimierung von Raumeindruck und Durchsichtigkeit von Musikdarbietungen durch Auswertung von Impulsshalltests, *Acoustica* 48, 174-185 (1981).
- 5) R.Thiele, “Richtungsverteilung und Zeitfolge der Schllrückwürfe in Räumen,” *Acustica*, 3, 291-302 (1953)