

人および椅子の吸音力について
残響室法による吸音率測定に関する実験的研究

佐藤孝二・子安 勝（小林理学研究所）
（昭和33年 3月 27日 受理）

On the Reverberation Chamber Measurements of
Absorption of Persons and Theatre Chairs

Kozi SATO and Masaru KOYASU
(Kobayashi Institute of Physical Research)
(Received Mar.27,1958)

So far, it has been said that the sound absorption of persons and theatre chairs measured in the reverberation chamber does not agree with the sound absorption measured in actual situations. This is also the same in the case of added absorption by caused audience taking their seats in theatre chairs.

In this report, measurements of absorption of persons and theatre chairs, which are directly applicable to the actual use, are mentioned. Reverberation chamber used for this research is the chamber of our institute (513 m³, nonparallel walls).

Following results are obtained:

(1) It is possible to measure the absorption of heavily upholstered theatre chairs without regard to the number of chairs (from 5 to 20 seats), or to the arrangement of chairs. This absorption shows a good agreement with the absorption measured in actual theatres (Fig.4).

(2) As to the absorption of persons seated in chairs made by plywood (0.02 ~ 0.03 m-sabin per chair), it was shown that the absorption was affected by the arrangement of seats (Fig.6). By making proper correction on these data, it was found that the absorption of person could be measured in the reverberation chamber. This absorption is in good agreement with absorption resulting in ordinary rooms.

(3) By using above method, the absorption of Japanese persons was obtained (Fig.7). At frequencies below 1000 cycles per second, the absorption varies considerably with different seasons.

(4) Absorption added by seating audience in heavily upholstered theatre chairs was also measured by the same method. The effect of added absorption on the reverberation time of theatres seems to be negligible in the case of chairs used in this research.

ま え お き

劇場や講堂など多数の人間を収容する室内の音響設計をするとき、壁や天井の内装材料についての正確な吸音率を知ることと同時に重要なのは、客席の椅子や聴衆の吸音力である。多くの場合に、室の残響時間を規定の値に保つために必要な全吸音力のうちで、半分程度がこれら椅子と聴衆の吸

音力でしめられることがある。そして極端な場合には、椅子をのぞいては室内にほとんど吸音面を使う余地のない例もみかけることがある。このようにして、室の音響特性に対して（少なくとも残響時間について）は人と椅子の吸音力が重要な役割をなすものと考えられる。とくに劇場などでは聴衆の有無によって音響特性が影響をうけないことが望ましいことである。このためには椅子の構造

人および椅子の吸音力について

や材料と吸音力の関係についての研究が必要である。

ところでこれまで、日本人の吸音力については発表されたものをみない。また椅子によって吸音力がちがうので、それに聴衆が坐ったときの吸音力の増加も一定でないことは、これまでいくつかのホールで満員と空席時の残響時間を測定したときに経験していることである。そこで室の音響設計をするときや、空席時の測定から人が入ったときの残響時間を推定するためには、内装材料の吸音率とともに、椅子（空席と人が坐ったとき）の吸音力を測定することも欠くことのできないことである。

われわれがあたらしく建設した残響室を使って、一般の音響材料の吸音率を測定する場合の諸問題についてはすでに報告した通りである¹⁾²⁾。しかし椅子や人の吸音力を測定する場合には、普通の音響材料の吸音率を測定するときとはちがった問題がおり、それにしたがってまた別の注意が必要であると考えられる。劇場用椅子の吸音力については、最近、米国で残響室と実際の講堂とで測定した結果の比較が報告されている³⁾。そこでは両者の差は相当大きく、講堂では残響室での値の50～60%程度の吸収を示すだけで、残響室で測定した値をそのまま実際の室内に適用することはできないとのべている。また人が椅子に坐ったときの吸音力の増加も、残響室で測定した値は実際の室で空席と満席時の測定から求めた値と一致せず、残響室で測定したときの増加の方が大きくなるといわれている。これは先年英国で Royal Festival Hall が建設されたときの報告でものべられている⁴⁾。

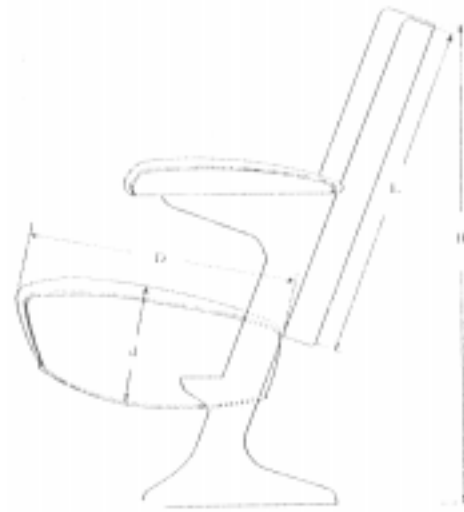
そこで、われわれは実際に室内の音響設計に使うことのできる人と椅子の吸音力測定法を確立することを目標にして実験を行った。その結果、残響室で少数の状態に測定したときには、実際の室内のように多数の聴衆が集合した状態とはちがった吸収を示すことを明らかにした。そして残響室内でも聴衆のちがった配置状態での測定から適当

な操作によって吸音力を求めれば、実際の室内で示されるのに近い値をうることを見出した。これは実際にいくつかの室内での測定によってたしかめることができた。そしてこの測定法を使って、人間の吸音力の季節的な変化、劇場用椅子に坐ったときの吸音力の増加量などを求めた。

§ 1. 劇場用椅子の吸音力測定

最近のオーディトリウムでは、クッションのよい高級な椅子が使われることが多い。また吸音力を増すために特別の工夫をしたものもあって、空室と人が坐ったときの室内の音響特性の変化を少なくするように考えられている。そのために椅子自身の吸音力もかなり大きくなる。そこでまず椅子だけの吸音力をしらべた。

実験に使用した椅子は3種類で、その構造の概要と寸法は Fig.1 に示した。3種類の寸法のちがいをのぞいては同一形式のもので、腰掛と背当の部分はモケット張り、背面と腰掛下面は鋼板製



	H	L	D	d	W(width of seat)
Chair A	780m/m	555m/m	410m/m	210m/m	478m/m
B	780	555	435	190	439
C	790	555	435	190	413

Fig.1 Heavily upholstered theatre chairs measured in reverberation chamber.

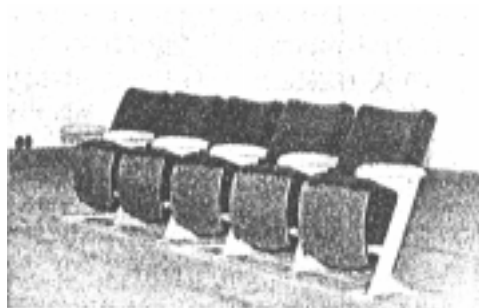


Fig. 2 Photograph of heavily upholstered theatre chairs measured in reverberation chamber.

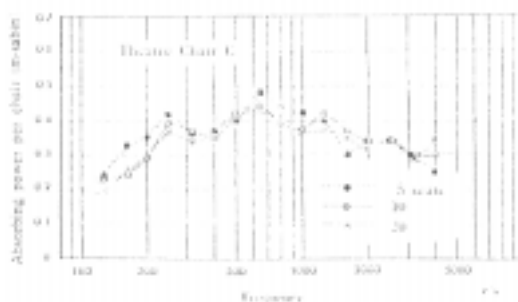


Fig. 4 Effect of the number of seats on the absorption of heavily upholstered theatre chairs.

で、腰掛下面の部分は孔あき板にして吸音力の増加をはかっている。その 1 種類を Fig. 2 の写真に示したが、いずれも現在の劇場用連結椅子としては高級品に属するものである。

残響室は第 1 残響室 (容積 513 m^3 , 不整形, 500 サイクルの残響時間 22 秒) を使った⁵⁾。また音源その他測定装置などは、これまでに報告した一般の音響材料の吸音率測定の場合と同じである。

まずこれらの椅子をそれぞれ 10 脚ずつ残響室内に入れ、これを横に 1 列に並べたときと 5 脚ずつを 2 列にしたときとの吸音力に対する影響をしらべた。ここで 2 列に並べるときには、普通の劇場などで現在一つの規準になっている 90cm の間隔にとった。その結果が Fig. 3 である。つぎに椅子の数を 5, 10, 20 脚と変えて吸音力を求めた結果の一例を Fig. 4 に示した。

いずれの場合にも、椅子の吸音力に対してその

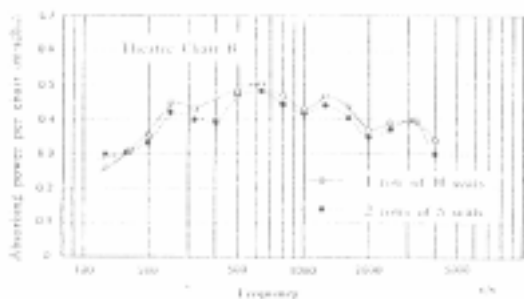


Fig. 3 Effect of the arrangement on the absorption of heavily upholstered theatre chairs.

並べ方の影響はほとんどなく、また 5 ~ 20 脚の範囲で椅子の数を変化することも関係ないことがわかる。ここで実験した椅子は、現在の劇場用連結椅子としては吸音力のもっとも大きいものの中に入ると考えられる。そこでこの種の椅子の吸音力測定のためには、この残響室では 5 ~ 20 脚の椅子を使えば、その並べ方や数は吸音力に影響しないことがわかった。

このようにして残響室で測定した吸音力と、実際の室内にとりつけたときに示す吸音力との比較をするために、これらの椅子のうちの 2 種類を劇場 (A : 容積 $9,900 \text{ m}^3$, 1,518 席 ; B : 容積 $1,820 \text{ m}^3$, 520 席) にとりつけたときの残響時間をつぎの 2 つの方法で求めた。すなわち、椅子取付前の劇場の残響時間 * (実測値) に残響室で測定した椅子の吸音力を入れて計算した残響時間と、椅子の取付後に測定した残響時間とを比較した。その結果を示したのが Fig. 5 で、いずれも残響時間の測定精度から考えてほぼ一致する結果を与えることができる。すなわち、ここでしらべた劇場用連結椅子程度の吸音力までの場合には、残響室で測定した椅子の吸音力をそのまま実際の室の残響時間の計算に使うことができると考えられる。

この結果はさきにのべた Lane の測定結果とちがっている。椅子自身はほぼ同程度のもののみら

* 五十嵐助教授の測定による。

人および椅子の吸音力について

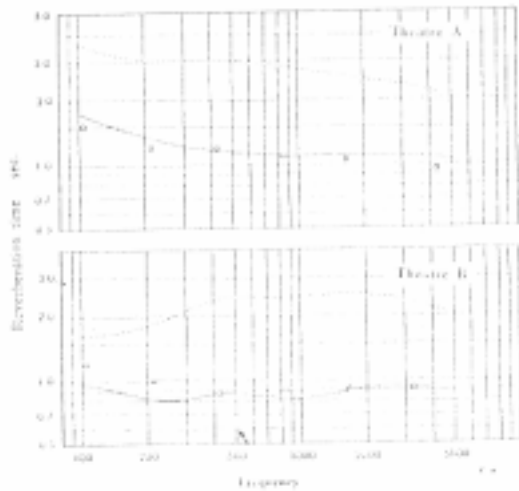


Fig. 5 Comparison of absorption of theatre chair measured in reverberation chamber and in theatres.
 Reverberation time measured in theatre without chairs.
 — Reverberation time calculated from above data by using chair absorption measured in reverberation chamber.
 Reverberation time measured in theatre with chairs.

れるので、そのちがいの原因としては残響室での測定に使用した椅子の数のちがい (Lane の場合は2脚を使っている)、残響室自身の相違が考えられる。

§ 2 . 人の吸音力測定— 実際室内での測定 —

つぎに残響室での人の吸音力測定の問題に入るのに先だって、一般の室内における人間の吸音の状態を知るための一実験を行った。

実験に使用したのは第1表に示す3室で、いずれもほぼ直方体の室である。室 A については約

第 1 表

	室 A	室 B	室 C
室 容 積	471m ³	1250m ³	6000m ³
残 響 時 間 (500c/s, 空室)	1.8秒	2.1秒	8.3秒

160 人が入った状態 (満員) と、その半数が室内に一樣に分散した状態との2つの条件で、また室 B では60人 (定員の約 1/3) がほぼ一樣に分散した状態で、さらに室 C については約 250 人が密集して坐った状態 (ほぼ満員) での残響時間を測定し、これと空室の残響時間からそれぞれの場合に対応する一人あたりの吸音力を求めた。残響時間の測定には競技用信号器の衝撃音を室内で録音し、オクターブ・バンド・フィルターで分析、記録した。この場合の椅子はいずれも木製で、人がそれに坐ったためにおこる空室の場合の吸音力の減少は十分小さいと考えられる。

それぞれの残響時間から、一人あたりの吸音力を求めた結果を第2表に示した。ここで注目され

第 2 表 人の吸音力
(実際室内での測定)

振動数	室 A		室 B	室 C
	160人 (満員)	80人 (1/2)	60人 (1/3)	250人 (満員)
サイクル	m - sabin			
75 ~ 150	0.10	0.15	—	0.15
150 ~ 300	0.15	0.22	0.13	0.31
300 ~ 600	0.35	0.42	0.31	0.38
600 ~ 1200	0.41	0.59	0.61	0.43
1200 ~ 2400	0.41	0.65	0.61	0.44
2400 ~ 4800	0.41	0.61	0.55	0.39
測 定	9 月		7 月	2 月

るのは、満員で人がたがいに密に接近して坐った場合と、比較的まばらに室内に分散した場合とは、一人あたりの吸音力が非常にちがってくることである。そのため実際の室内でも、一般に人間の吸音力を単一のものであると考えることはできず、室内での人の分布状態にしたがって、それぞれ対応する吸音力を考えることが必要であることがわかった。

このように人間の吸音力に対しては、いろいろ複雑な要因が含まれているので、残響室でその吸音力を求めるためには、これらを考慮してその測定条件を検討することが必要であると考えられる。

§ 3 . 人の吸音力測定—— 木製椅子に
坐った場合 ——

残響室で人の吸音力に対する測定条件の影響を
しらべる第一歩として、木製の折たたみ椅子に坐
った場合の吸音力を求めた。この椅子自身の吸音
力は 1000 サイクル以上でも一脚あたり 0.02 ~
0.03 m-sabin の程度で、十分無視できる大きさ
であった。

まず 10 人の成人女子がこの椅子に坐った場合
について、その並び方を種々に変えて一人あたり
の吸音力に対する影響をしらべた。10 人が横に 1
列に並んだ場合と、5 人ずつ 2 列に並び、その間
隔を 90cm から 300cm まで変えたときの結果
を Fig.6 に示した。この場合には、その並び方
は吸音力に影響しないことが示されている。

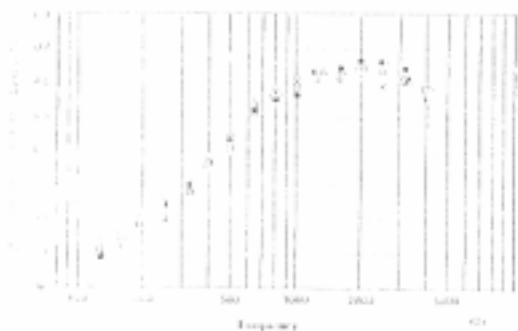


Fig. 6 Effect of arrangement on the absorp-
tion of persons (10 persons seated
in chairs made by plywood, July)
1 row of 10 persons
× 2 rows of 5 persons (90cm apart)
2 rows of 5 persons (200cm apart)
2 rows of 5 persons (300cm apart)

これに対して、こころみに人数を 20 人にした
ときには、Fig.7 に示すように吸音力が大きくな
ると並び方によって測定誤差と考えられる以上の
差がみられる。すなわち 20 人が 10 人 ずつ 2 列
に並んだとき (これを α -配列とする) よりも 5
人ずつ 4 列に並んだとき (β -配列) の方が一人あ
たりの吸音力が小さくなっている。

これはつぎのように考えられる。 α -配列では

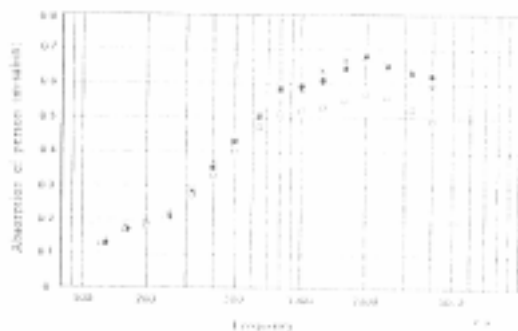


Fig. 7 Effect of arrangement on the absorp-
tion of persons (20 persons seated
in chairs made by plywood, October)
4 rows of 5 persons (90cm apart)
2 rows of 10 persons (90cm apart)
× 2 rows of 10 persons (300cm apart)

20 人全員のほとんど全面が音に対して露出した
状態である。一方 β -配列になると、20 人のうち
中央部にある人は音に対する実効的な吸収面が
 α -配列の場合よりも減少していることになる。
これは従来残響室で少数の例について測定した一
人あたりの吸音力が、実際の室内で多数の人間が
密集した状態での一人あたりの吸音力よりも大き
くなることに対応すると考えられる。

そこで、残響室で測定した吸音力から実際状態
に対する吸音力を求めることをいろいろこころみ
た。その結果 Fig.7 の α, β 配列に対する吸音力
を使って、つぎにのべるような操作をすれば実際
の室内での状態に近い吸音力を求めることができ
ることがわかった。すなわち、 β -配列で求めた
20 人の全吸音力 $20A_{\beta}$ のうちで 10 人に対しては
 α -配列のときの吸音力 A_{α} を適用することにし、
一般の室内で密集状態に対する一人あたりの吸音
力 A を次式によって求めた。

$$10A = 20A_{\beta} - 10A_{\alpha}$$

7 月 (夏), 10 月 (初秋), 2 月 (冬) のそれぞ
れの服装について、 α, β -配列の測定から上式に
よって A を求めたのが Fig.8 である。ここで
2 月のときは、全員が外套を着用した状態であ
る。これを室内で測定した密集状態に対する吸音
力 (第 2 表) と比較してみると、残響室でも上に

人および椅子の吸音力について

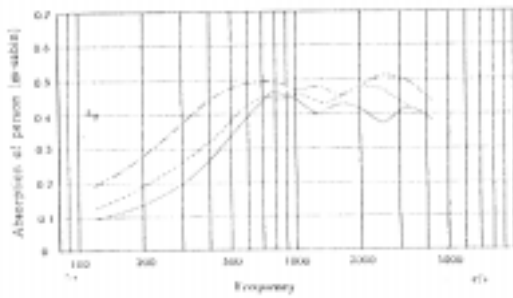


Fig. 8 Absorption of person (seated in chair made by plywood)
 — July(summer)
 October(autumn)
 --- February(winter)

のべたような操作をして吸音力を求めれば、すべての振動数範囲で第2表の値とほぼ一致した結果を与えることができることがわかった。

つぎに、前節でのべたように一般の室内でも満員に近い密集状態でないときには、一人あたりの吸音力は大きく測定されている。残響室でもこれに対応する測定条件を求めるために、さきと同様に種々の並び方に対する吸音力の検討を行った。その結果、定員の1/2程度の人員が室全体に分散して坐った状態での一人あたりの吸音力に対応するものとしては、20人がさきと同様に前後90cmの間隔で4列に並び、その各列の5人はそれぞれ隣りと約50cm程度の間隔で並んだ状態(β'-配

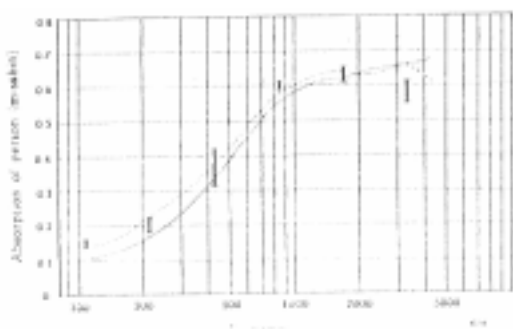


Fig. 9 Absorption of person having a space individually (seated in chairs made by plywood)
 — July } (reverberation chamber measurements)
 October }
 I measured in actual room

列)で測定したものをとればよいことがわかった。このような条件で、残響室で測定した吸音力を第2表の実際例とともに Fig.9 に示した。

§ 4 . 人の吸音力測定——劇場用連結椅子に坐った場合——

つぎに劇場用の吸音力の大きい椅子に坐ったときの人と椅子の全吸音力を測定することを行った。§ 1 .の Fig.4に示した吸音力をもった椅子20脚に人が坐った状態で、α,β-配列に対応する吸音力を測定した結果と、これから前節と同様の操作で満員状態に対応すると考えられる吸音力を求めたのが Fig. 10である。図にはまた比較のために椅子のみの吸音力も示した。

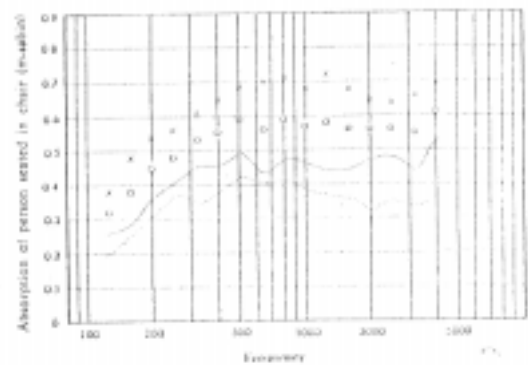


Fig. 10 Absorption of person seated in heavily upholstered theatre chair.
 × 2 rows of 10 seats
 ○ 4 rows of 5 seats
 — corrected absorption from above data
 absorption of chair only

またこの図から、人が椅子に坐ったための吸音力の増加を3つの条件について Fig. 11 に示した。さらにこの実験に使った椅子とほぼ同程度の椅子を備えた劇場(容積4000m³, 客席数1000)で、満員と空席時の測定から求めた人が坐ったための増加量を同じ図に示した。

この結果をみても、椅子に人が坐ったことによる吸音力の増加は、残響室で普通のようにα,β-配列などの方法で測定しただけでは、実際の室で

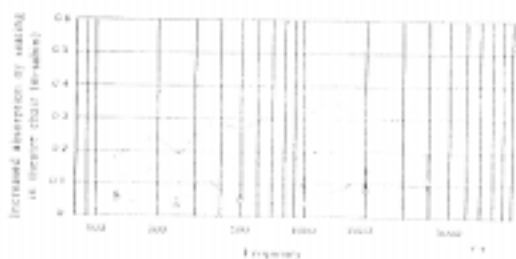


Fig. 11 Increased absorption by seating in heavily upholstered theatre chairs
 - - - 2 rows of 10 seats
 — 4 rows of 5 seats corrected measured in theatre
 ×-× from Beranek's "Acoustics"⁸⁾

の増加よりもはるかに大きくなっていることがわかる。そしてこの場合にも、 α, β -配列を使った補正操作が必要であり、それがまた十分満足できる結果を与えるものであることを示している。

§ 5 . 人間の吸音力について従来の資料との比較と考察

人間の吸音力については、従来欧米の建築音響関係の本などにいくつかの資料が発表されている⁶⁾⁷⁾⁸⁾。しかしその多くは条件がはっきりしないものも多く、また欧米人と日本人とのちがいも考えられる。さらに § 3 . で述べたように季節的な変化もあるので簡単に比較することはできない。ここでは一応それらのうちで、§ 3 . でとりあ

げたような椅子の吸音力が十分小さいと考えられる場合の吸音力のデータを、われわれの残響室で求めた吸音力の結果と比較して第 3 表に示した。

われわれの求めた人間の吸音力 (Fig. 8 , 第 3 表) をみると、ほぼすべての振動数で夏から秋、冬と衣服が厚くなるとともに吸音力が増加している。とくに 1000 サイクル以下の振動数では、この傾向がはっきり示されている。これは一般の多孔室吸音材料で、厚さが増加するとともに低音の吸音率が大きくなることに対応すると考えられる。

人間の吸音力として単一の値を考えるとときには、ここで示した 10 月と 2 月の測定値の中間程度の値をとるのが適当であろう。

む す び

劇場などの音響特性に対して重要な影響を与える椅子や人の吸音力を、残響室で測定するための測定条件の検討を行った。これまで椅子や人の吸音力、人が椅子に坐ったときの吸音力の増加などを残響室で測定すると、実際の室内での値よりも大きくなるとされていた。

われわれの残響室でしらべた結果では、劇場用のかなり吸音力の大きい連結椅子でも、5 脚以上を使って測定すれば、その並べ方や数には無関係な吸音力を求めることができた。さらにその値は実際の室内にとりつけたときに示す吸音力にほぼ

第 3 表 人の吸音力 (m - sabin)

文 献	振 動 数						備 考
	125	250	500	1000	2000	4000	
P.V.Brue1 ⁶⁾	0.17	0.36	0.47	0.52	0.50	0.46	average seated persons but not more than 1 per m ²
V.O.Knudsen & C.M.Harris ⁷⁾	0.23	0.33	0.39	0.43	0.47	0.47	person, adult
L.L.Beranek ⁸⁾	0.19	0.33	0.44	0.42	0.47	0.38	people, standing
	0.24	0.25	0.31	0.36	0.38	0.36	in church pew (no seat cushion)
小林 理 研	0.10	0.16	0.34	0.44	0.41	0.39	7 月
	0.13	0.22	0.38	0.46	0.48	0.39	10 月
	0.20	0.33	0.54	0.54	0.56	0.49	2 月 (外套着用)

人および椅子の吸音力について

一致することがたしかめられた。

また人の吸音力が残響室で大きく測定されるのは、このように小数例を使うときには音場に露出される実効的な面積が実際の室内の場合とちがってくるためであると考えられることがわかった。これを補正するためには、並び方のちがった2状態での測定をすれば、これから一般の室内に対応する吸音力を求めることができることを明らかにした。これは実例についてほぼ一致する結果を与えることがたしかめられた。そしてこの方法で人間の吸音力の季節的な変化を検討し、服装によって吸音力の変化があることを示した。

劇場用の椅子に人が坐ったための吸音力の増加についても同様の方法で測定ができ、この実験に使った程度の椅子では聴衆の有無による吸音力の変化は、普通の室の残響時間にほとんど影響を与えないことがわかった。

おわりに椅子の測定の便宜を与えられた東大理工研五十嵐寿一助教授、坂倉建築研究所駒田知彦氏、また人の吸音力測定について非常な御援助を

いただいた学習院大学近藤正夫教授、被験者として協力された学習院大学学生諸君、小林理研製作所、小林理学研究所の多数の方々、実験に協力された坂上丈寿、中村俊一両君に感謝する。

文 献

- 1) 佐藤孝二・子安 勝：日本音響学会誌 13 (1957) 249
- 2) 子安 勝：日本音響学会誌 13 (1957) 320
- 3) R.N.Lane: J.Acoust.Soc.Am. 28 (1956) 101
- 4) P.H.Parkin, W.A.Allen, H.J.Purkis and W.E.Scholes: Acoustica 3 (1953) 1
- 5) 佐藤孝二・子安 勝：日本音響学会誌 13 (1957) 242
- 6) P.V.Brueel: "Sound Insulation and Room Acoustics" Chapman & Hall Ltd.1951 p.132
- 7) V.O.Knudsen and C.M.Harris: "Acoustical Designing in Architecture" John Wiley & Sons, Inc.1950 p.426
- 8) Leo L.Beraneck: "Acoustics" McGraw-Hill Book Co.,Inc.1954 p.301