

本地堂の“鳴き竜”復元に関する研究

石井 聖光・平野 興彦

昭和 36 年 3 月、鳴き竜で有名な日光東照宮の本地堂は火災のため焼失した。その後この重要文化財を復元する計画が進み、栃木県当局からの依頼により“鳴き竜”復元のために 1/4 の模型を製作して調査研究を行ない、元どおり復元できる見通しがえられた。

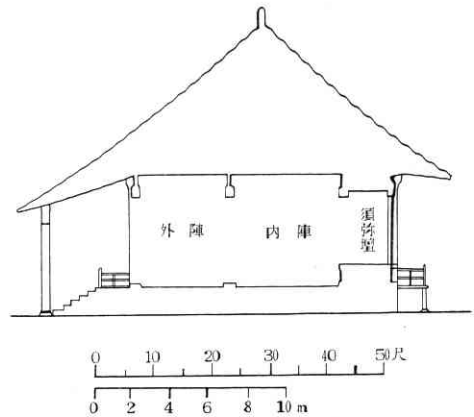
1. はしがき

日光東照宮の本地堂の鏡天井には狩野永直安信の筆による竜の絵が描かれており、この竜の頭の直下で拍手すると、これに応じて天井からブルブルという奇音がきこえる。あたかも竜が鳴くように思われるために“鳴き竜”として有名であった。

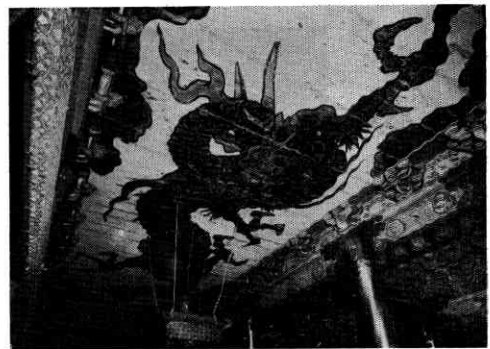
昭和 36 年 3 月 15 日夜、不幸にしてこの本地堂が焼失した、その後この建物を復元する計画が進み、昭和 38 年度より 5 年計画で復元工事が始められた。この重要文化財の復元に当たって栃木県当局からの依頼により“鳴き竜”の復元に関する基礎的な研究を行ない、1/4 の模型を製作して天井の形と“鳴き竜”の関係について検討し、元どおりに復元できる見通しがえられ、すでに関係方面への報告を行なったのでその大要を報告する。

2. 焼失した本地堂について

本地堂は徳川家康の本地仏薬師如来を安置した堂で、一名薬師堂とも呼ばれ、第 1 図(a), (b) のような建物であり、その内陣の木造の鏡天井に第 1 図(c) のような竜が描かれている。床は大部分板の間で漆塗りであり、



第 1 図(b) 本地堂縦断面図



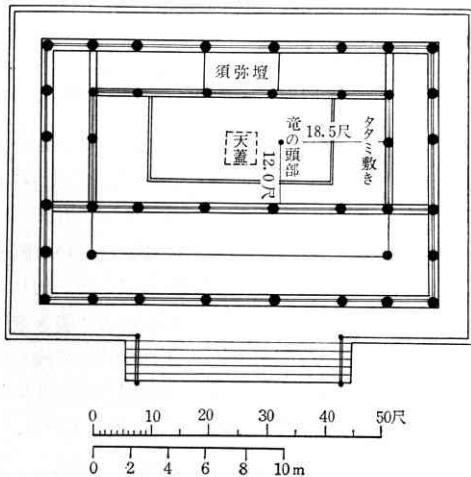
第 1 図(c) 本地堂内陣の鏡天井

内陣の正面には須弥壇があり、左右と前面は格子がはまっているだけで直接外気に接している。

3. “鳴き竜”に関する文献と録音

“鳴き竜”は明治 38 年ごろに発見されたものとされ、このころはじめて東照宮内部を解放して一般に参拝を許したところから偶然に発見されたものだという。古来の文書にも手がかりになるものが見当たらず、一部に伝えられているような、往時の工匠が工夫して考案したものだという説は伝説と思われる。

この“鳴き竜”に科学的なメスを加えた最初の研究は大正初期に後藤牧大、長畑順一郎の両氏によって行なわ



第 1 図(a) 本地堂平面図

れたもので、当時の科学雑誌である東洋学芸雑誌に報告され¹⁾、²⁾ 理学会誌に転載されている。

この報告の1節につきのようのべられている。

“内陣の正面は仏像の並べてある壇であって音の反射はよくできない。左右と正面は格子であってこの三方からも音の反射はない。音を反射する所は天井と床のみであってこの平行になっている両面の間を音が往復してそうして反響が耳にはいるのである……うんぬん”

したがって“鳴き竜”の原因が天井と床の間で音が往復反射するためであり、天井と床以外の前後左右からの反射が少ないためにこれが特に目だつことを指摘している。

その後大正末期に当時早大助教授であった佐藤武夫博士が後藤氏らの研究とはまったく別の立場から現地調査をして、“鳴き竜”の原因について研究し、この結果は早稲田建築学報³⁾に報告されている。

この報告ではまず本地堂の構造と状況についてつぎのようなことがらがのべてある。

“この堂が山腹の傾斜面を半ば切り開き半ば盛土して建てられているために、多少の不同沈下があり、また竜の描かれている鏡天井は、建築技術の原則*どおり、上方にわずかなふくらみを持たせてあり、床の板の間は漆仕上げで局部は多少下方にわん曲して下がっている。天井と床面との距離は最大点（竜の頭部）で約18尺9寸、柱際の最小点で約18尺7寸あり、上下の膨みは約2寸である”

つぎに鳴き竜現象については、竜の頭部の直下に立って拍手すると、上方でしばらくブルブルという奇音が聞こえ、聞き

とれる継続時間は約2秒である。拍手でなくとも拍子木、石と石、舌打ちなどでもほとんど同じ現象が起こり、この現象の起こる平面的範囲はだいたい竜の頭部を中心とする直径10尺の圏内で、中央ほど明瞭である。発音点の位置は上下どこでも大差ないが、床面直上で発し、同じ床面直上に耳をおいて聞くともっとも明瞭である。発音者の外に4～5名の人がその周囲に集まると奇音はうすらぎ、人を増すに従ってきこえなくなる等々のべてある。

つぎに鳴き竜の原因として、天井と床の間の往復反射であることをのべ、偶然にも天井と床が平滑で堅く、しかも適当な曲率を持っているために、拍手の音は天井と

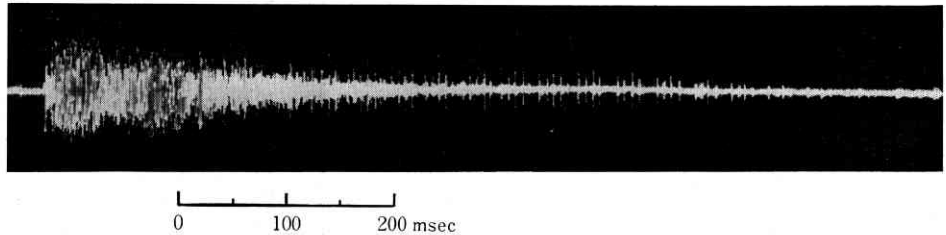
床の材料に吸収されつくすまで反復反射を繰り返し、しかも他方向からくる反射音の影響がほとんどないために、はっきりとした鳴き竜を生ずると説明している。

さらに昭和にはいって中村清二、小幡重一、栗原嘉名芽の3氏により、マイクロホン、増幅器、オシログラフなど当時の最新型の測定器による研究が行なわれ、“鳴き竜”が天井と床という二つの反射面の間の音の反復反射に原因するものであることを証明し、昭和10年10月帝国学士院に報告され、その内容は「自然科学と博物館」⁴⁾に掲載されている。この研究により“鳴き竜”の原因についての説明は、ほぼ完結されたといえることができる。

また焼失前の“鳴き竜”の唯一の記録はNHK音のライブラリーに保存されている録音で、これによって、かつての“鳴き竜”の音を知る手がかりがえられた。

4. “鳴き竜”復元に関する研究計画

過去の研究により“鳴き竜”が天井と床の間の音の往復反射によるものであり、天井がわん曲しているためにこの往復反射が長く続くようになったものであることがわかっているので、それではどのくらいわん曲させればよいかを幾何音響学的な作図によって検討することから始め、つぎに模型実験によって、どの程度わん曲させればどんな鳴き竜が生ずるかを調べて復元の資料とすることとし、これと並行して焼失前の録音の検討を行なうこ



第2図 NHKの録音から求めた焼失前“鳴き竜”のオシログラム

ととした。

5. 焼失前の“鳴き竜”録音の分析

昭和28年NHKによって録音されたテープを分析したが、この録音は拍手を音源としたのではなく、石と石をたたいたものだという。この録音をシンクロスコープで観察した結果は第2図のようで、石をたたいた直後には種々の反射音（残響）が入り乱れているが、約0.2秒以後の波形にはパルスの連続したいわゆる“鳴き竜”の波形が明らかに認められる。この波形からその繰り返しの回数を求めると約29回/秒で、佐藤博士⁵⁾が天井高から理論的に求めた値29.6回/秒とよく一致している。

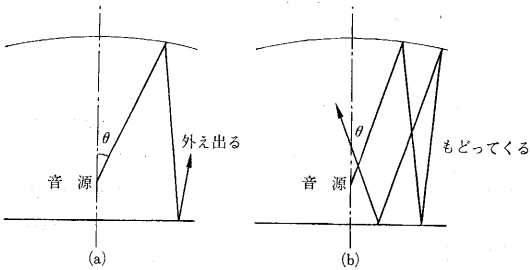
つぎにその減衰を高速度レベル記録器で記録して部屋の残響時間と同じ定義（60dB減衰する時間）によって

* 天井を水平にすると錯覚のため下に垂れて見えるので、上方にわん曲させて見た目に水平と感じさせる手法。

求めた継続時間は、約 2.5 秒であった。また第 2 図からわかるように減衰の過程で多少の凹凸が見られ、大きくなったり小さくなったりしながら減衰してゆくことがわかる。

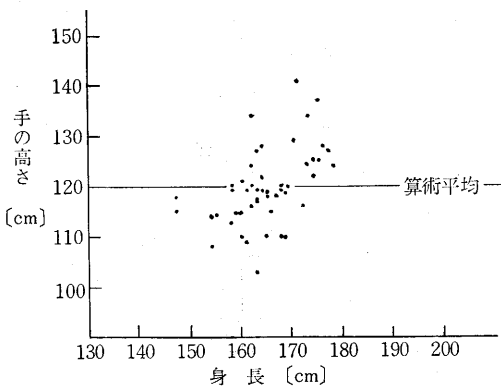
6. 幾何作図による“鳴き竜”の検討

半径が一定の曲面の天井と、平面の床との間の音の往復反射経路を幾何学的に作図して、天井のわん曲の度合すなわち建築用語でいう“むくり”をどの程度にすれば天井と床の間を往復反射しながら音がいつまでも残るかを調べた。すなわちいろいろな“むくり”の天井について音源から出た音の反射を検討したところ第 3 図のように数回の反射の後、外へ出てしまつて往復反射が終

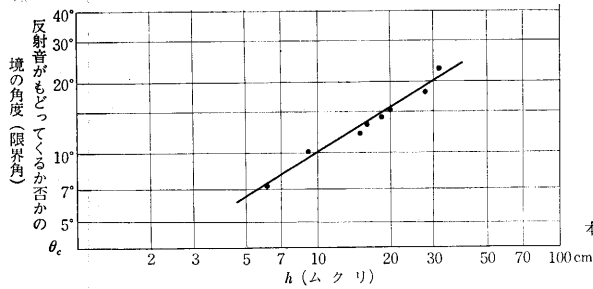


第 3 図 往復反射の後、外へ出る場合ともどってくる場合とがある

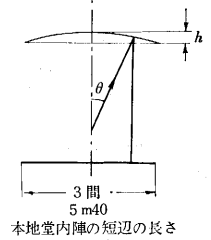
わるものと、再びもどってきていつまでも反射を繰り返すものがあり、このどちらになるかは音源から音の出る方向 (θ) と、“むくり”の程度に関係することがわかった。なお音源の床上的高さ、すなわち拍手する手の高さは当研究所の職員男女 50 名について調査したところ第 4 図のようで、その平均の高さは 1.2 m であったのでこの値を用いた。



第 4 図 手を打つ時の手の高さとの関係 50 例の平均



第 5 図 音のもどる限界角とムクリの関係



この作図の結果をまとめると第 5 図のようになり、“むくり”が 9 cm の場合には音源から $\theta < 10^\circ$ の角度で出た音が往復反射を繰り返すことがわかる。

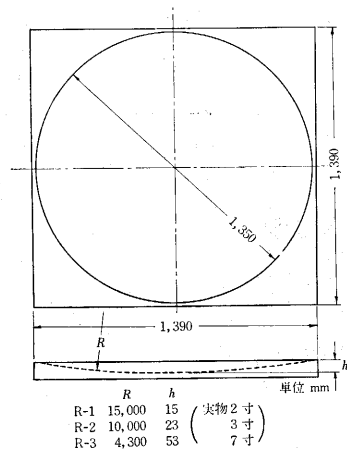
7. “鳴き竜”に関する模型実験計画

以上の検討結果に基づいて“むくり”に関する最終的な判断を下す資料をうる目的で模型実験を計画した。すなわち天井と床のみ 1/4 の模型を製作し、この模型内で生ずる鳴き竜を調べて“むくり”の程度、音源の位置などとの関係を調べることにした。

(1) 模型の製作

“鳴き竜”の起こる内陣は第 1 図のように 3 間 \times 8 間 (5.4 m \times 14.5 m) であるが、模型ではその短辺の長さを取り、約 3 間 \times 3 間の正方形の天井と床のみの 1/4 模型をつくり、天井に相当する板を凹曲面とし、その形状は半径が一定の球の一部に相当するものとした。天井と床以外の部分は“鳴き竜”に直接関係しないと思われるので実験の道具だてを簡単にするため製作しなかった。

材料は音の反射がよく、工作がしやすいことから石膏とした。模型の床は平面 (原則として) とし、天井の“むくり”の程度は実物に換算して 2 寸、3 寸、7 寸のものを製作し、このほかに比較のために天井にも平面の

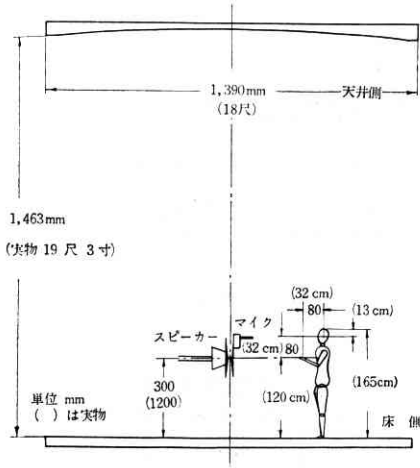


第 6 図 鳴き竜 1/4 模型天井

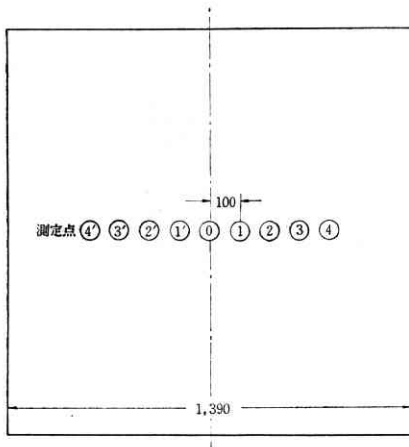
ものを製作した。これら天井板の寸法は第6図のようである。

(2) 模型実験方法

模型は無響室内に設置し、音源のスピーカ、受音のマイクロホンとその前置増幅器は無響室内に置き、その他



第7図(a) 鳴き竜 1/4 模型実験装置



第7図(b) 鳴き竜模型実験測定位置平面図

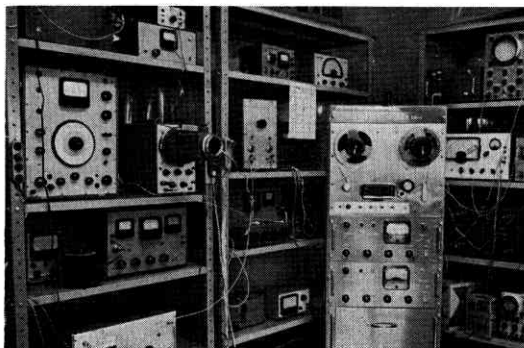


第8図(a) 無響室内におかれた模型 (朝日新聞撮影)

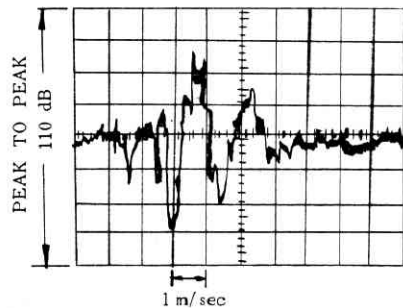
の測定器はすべて別室に置いた。天井と床は実物では上下に配置されているが、模型では便宜上両者の相対的な関係位置を変えずに90°回転させて左右の対向壁のような形に配置した。音源、マイクロホンその他との関係位置は第7図(a)、床上の測定位置は第7図(b)のよう、無響室内におかれた。模型は第8図(a)、測定室においた測定器は第8図(b)のようである。

音源には主として拍手に近い音を電氣的に発生させたものを用いた。B. G. Watters 研究⁵⁾によると、拍手の波形は第9図のよう、その基本周波数は600~700 c/s 継続時間は約4 msec であり、1/4 模型の実験では相以則を満たすために周波数は4倍して2500 c/s、継続時間は1/4の1 msec とした。

マイクロホンで受けた音は増幅し、フィルタを通してからシンクロスコープに接続して模型の中での“鳴き竜”を観察し、写真を取り、また76 cm/secの速度の磁気テープに録音し、これを1/4の速度の19 cm/sec で再



第8図(b) 測定室におかれた測定器

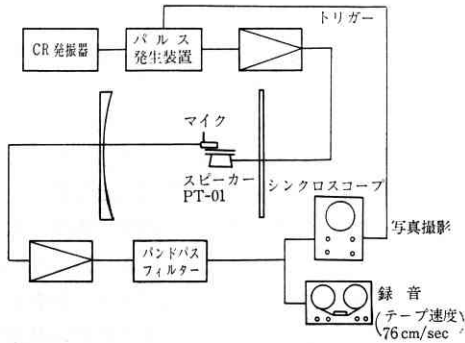


第9図 拍手の波形の1例 (B. G. Watters)

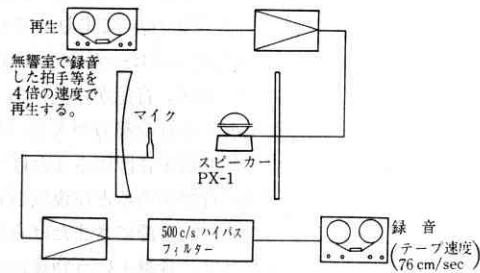
生して実際に聴取したり、高速レベル記録器に記録させて鳴き竜の継続時間を部屋の残響時間と同じ定義によって求めたりした。

実験の最終段階では拍手などの音を録音 (19cm/sec) したテープを 4 倍の速度 (76 cm/sec) で再生して模型内に出し、これによって生じた鳴き竜を再び録音 (76 cm/sec) し、これを 1/4 の速度 (19 cm/sec) で再生して実際に聴取したり、記録したりした。

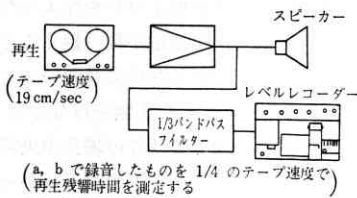
これらの実験のブロック図は第 10 図のようである。



(a) 正弦波パルス録音の場合



(b) 拍手等の録音の場合



(c) 再生および残響時間の測定の場合

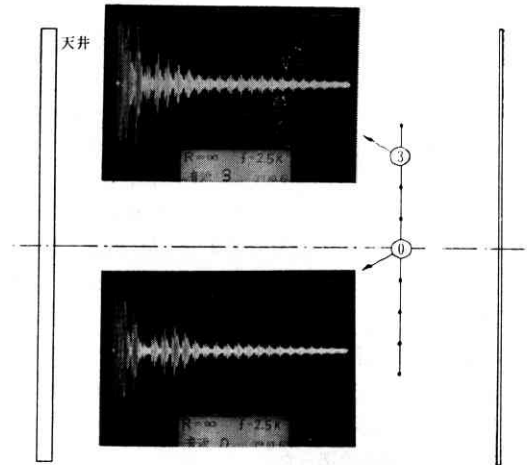
第10図 実験のブロックダイアグラム

8. 模型実験の結果とその検討

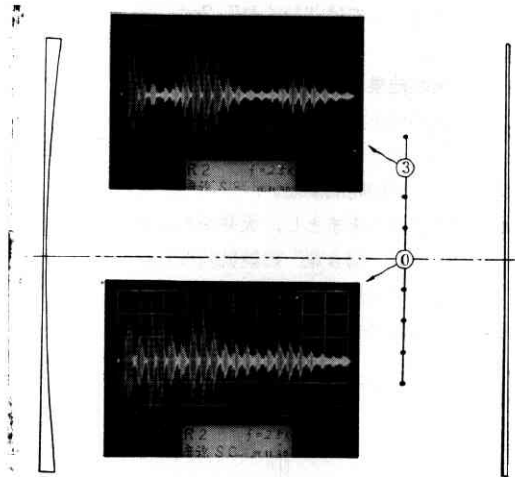
(1) 模型実験

天井、床ともに平行な平面であるときの鳴き竜のオシログラムは第 11 図のようで、残響時間と同じ定義で求めた継続時間は第 1 表の R-0 の値で、中央の 0 点で約 2.04 秒、3 点では 1.54 秒であった。

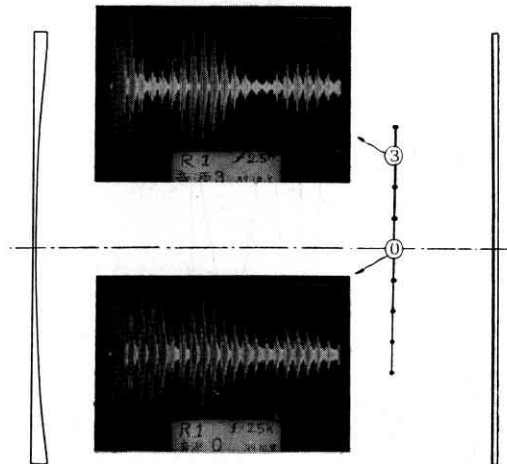
つぎに天井にのみ実物と換算して 2 寸に相当する“むくり”すなわち $h=6\text{cm}$ としたときのオシログラムは第



第 11 図 天井、床とも平行の場合のオシログラム



第 12 図 天井ムクリ 2 寸床フラット (R-1) の場合のオシログラム



第 13 図 天井ムクリ 3 寸 (R-2) 床フラットの場合のオシログラム

12図のように、“むくり”のない場合に比べて“鳴き竜”がたいへん長く続くことがわかる。その継続時間は第1表のR-1の値で中央で2.86秒、3点では3.82秒である。ここで注意すべきことは中央の0点より縁へよった1~3点のほうが継続時間が長いことである。また減衰の波形をみると縁へよると大きくなったり、小さくなったり波打ちながら減衰していることがわかる。

さらに天井に実物に換算して3寸 ($h=9$ cm) の“むくり”をつけた場合のオシログラムは第13図のようで、その継続時間は第1表のR-2の値で中央の0点で約3.4秒、3点では約4.2秒あり、“むくり”2寸の場合にくらべてさらに長い“鳴き竜”が認められた。また測定位置による減衰波形のちがいは“むくり”2寸の場合と同じ傾向であった。

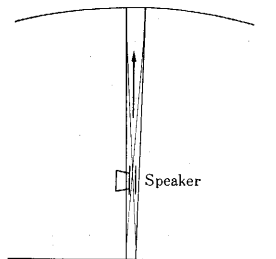
このほかに天井の“むくり”7寸の場合、天井の“むくり”3寸で床も凹曲面とした場合について測定を行なったが、傾向としては“むくり”2寸、3寸のときと同じであった。

(2) 実験結果の検討

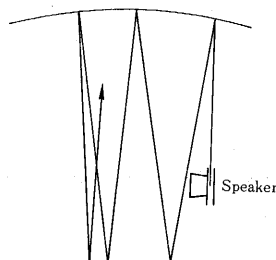
この実験結果をまとめると次のようになる。

i) 天井、床ともに平面の場合でも“鳴き竜”の現象は起きるが、継続時間が短い。

ii) 床は平面のままとし、天井をわん曲させて“むくり”をつけると“鳴き竜”の継続時間が長くなり、むくりの量を実物に換算した値で2寸、3寸、7寸と増してゆくと継続時間はますます長くなる。



(a) スピーカー中央の場合



(b) 中央よりわきによった場合

第14図 音源が中央にあるとき(a)はおもに中央部で往復反射する。音源が片よったところにあると往復反射しながら行ったり来たりする

iii) 平面図上での音源の位置による鳴き竜の継続時間は、中央(0点)よりも片よった2~3点のほうが長く、その波形は音源が中央にあるときは割合すなおな対数減衰をするのに対して片よった位置では大きくなったり、小さくなったり波打ちながら減衰してゆく。

以上のことがらのうち i), ii) は予想されたことであるが、iii) の問題は検討を必要とする。このうち音源の位置による波形の形はつぎのように説明することがでける。

すなわち中央に音源があるときは第14図(a)のように中央部分で往復反射する音の勢力が大きいので、減衰波形もすなおな対数減衰となる。ところが音源の位置が片よると第14図(b)のように往復反射をしながら音が行ったり来たりするために、ある位置で観測していると波打ちながら減衰する。この現象はシェル構造の屋根を持つ体育館などで、しばしば経験されることである。

つぎに中央位置よりやや片よった位置に音源のある場合のほうが鳴き竜が長く続くことは原理的には考えられないことであるが、これは音源となるスピーカやマイクロホンが音の往復反射をまったくさまたげない場合のことであって、このためにはこれらのものの寸法が音の波長にくらべて十分小さいことを必要とする。この実験に用いた音の周波数は主として2500 c/sであり、その波長は約13.6 cmであるから音源のスピーカの寸法(直径15 cm)は相当に大きいものである。音源が中央にあるときは中央部分でのみ往復反射する音の勢力が大きいために、それが往復のたびごとに進路を音源にさまたげられる。ところが片よった位置に音源があると往復反射しながら行ったり来たりするために、音源にさまたげられない反射経路が相当量あるわけで、音源という物体にさまたげられる度合いが少ない。

このように説明すると中央よりやや片よったところに音源がある場合のほうが鳴き竜が長く続くことが理解できる。そこでこれを証明するために音源のスピーカを直径5 cmの小さいものに変えて実験を行なったところ第1表のR-2'のようにむくり3寸の場合中央で6秒という長い鳴き竜がえられ、前述の説明が正しかったことが立証された。しかし実物についてもやはり拍手する人が反射音の途上に存在するわけで、人の肩幅は約40 cmあり、1/4模型に換算すると約10 cmとなる。したがって実物でも人の影響があると考えられる。この影響の程度は人の服装によっても異なると考えられるが、その寸法その他から推定すると、この模型実験で用いた直径約15 cmのスピーカの影響よりははやや少なく、後に試験的に用いた直径5 cmのスピーカの影響よりは、だいぶ大きいと思われる。

したがって実物についてもむくりの最大となる所の直下よりはやや片よった所で拍手したほうが長い“鳴き

第 1 表 鳴き竜模型実験残響時間 (実物換算)

音源スピーカー PT-01 周波数 625 c/s

測 定 位 置						測 定 位 置					
	0	1	2	3	4		0	1	2	3	4
R-0 両面平行	2.1	2.1	1.8	1.8	1.4	R-3 ムクリ 7 寸	4.6	4.7	4.7	4.6	4.6
	2.0	2.0	1.8	1.5	1.4		4.7	4.7	4.6	4.6	4.6
	2.0	2.1	1.8	1.5	—		4.6	4.8	4.6	4.6	4.6
	2.1	2.1	1.8	1.5	1.5		4.6	4.7	4.7	4.6	4.7
	2.0	2.1	1.8	1.4	1.4		4.6	4.8	4.6	4.6	4.8
平均	2.04	2.08	1.80	1.54	1.43	平均	4.62	4.74	4.64	4.60	4.64
R-1 ムクリ 2 寸	2.8	3.3	3.4	3.8	2.8	R-1-2 ムクリ 3 寸 天井と対応 する床の逆 わん曲 2 寸	4.7	4.7	4.7	4.5	4.5
	2.8	3.5	3.4	3.8	2.9		4.7	4.7	4.7	4.5	4.4
	2.9	3.4	3.4	3.9	—		4.7	4.7	4.7	4.5	4.4
	2.9	3.4	3.4	3.8	—		4.8	4.7	4.7	4.6	4.5
	2.9	3.5	3.5	3.8	2.8		4.8	4.8	4.7	4.6	4.4
平均	2.86	3.42	3.42	3.82	2.83	平均	4.74	4.72	4.70	4.54	4.44
R-2 ムクリ 3 寸	3.3	3.5	3.6	4.0	3.0	R-2' ムクリ 3 寸	6.0	6.4	6.5	4.8	3.8
	3.5	3.5	3.7	4.2	2.9		6.0	6.4	6.5	4.8	3.8
	3.6	3.5	3.7	4.0	3.0		6.0	6.4	6.5	4.5	3.8
	3.4	3.6	3.6	4.3	3.3		6.0	6.4	6.5	4.5	4.0
	3.4	3.5	3.7	4.4	3.2		6.0	6.4	6.5	4.7	4.0
平均	3.44	3.52	3.66	4.18	3.08	平均	6.00	6.40	6.50	4.66	3.88

竜” が聞かれると予想される。

(3) 模型実験結果よりえられた結論

以上の実験結果よりつぎのことが結論される。

i) 天井に 3 寸の“むくり”をつけるならばその下で拍手する人の体の影響を考慮しても 3 秒程度続く“鳴き竜”がえられる。前にのべたように焼失前の録音の分析結果によると継続時間は約 2.5 秒であるから、3 秒続けば十分満足できると考えられる。

ii) 音源の位置、すなわち拍手する位置は、人の体の影響を考慮するとむくりの頂点の直下よりやや片よったところでもっとも長い鳴き竜がえられ、このような位置では鳴き竜が波打ちながら減衰する。

9. 総合的検討

模型実験の結果からこのような結論がえられたが、さらに 7 節の終わりにのべたようなテープ速度を 4 倍にしたり、1/4 にしたりすることによって模型内の鳴き竜を実際の音に変換して聴取した結果でも、3 寸のむくりがあれば十分であることがわかり、さらにむくりの頂点の直下よりやや片よったところで拍手すると鳴き竜が波打ちながら減衰し、このためにすなおに減衰する場合よりも、もっともらしく聞こえることがわかった。

このような検討結果を総合して本地堂“鳴き竜”復元が可能であるという結論をえ、研究資料とともに当局へ報告した。

しかし実際に“鳴き竜”を復元するためにはこれらの研究結果をいかにして実際の建築へ取り入れてこれを実

現させるかという問題が残っている。もちろん現場の当局者も 3 寸の“むくり”が建築上実現可能であることを認めており、この程度のむくりならば下から見た目には気が付かない程度である。したがって復元はまず間違いないものといえるが、念には念を入れるために現場でどのような施工法をとれば“むくり”の形がどのようになるかを研究してもらう予定で、われわれもこれに協力して現場実験を繰り返し、すこしでもよい鳴き竜が復元できるよう労を惜しまないつもりである。

10. おわりに

最後に“鳴き竜”復元の仕事に参加する機会を与えられ、あらゆる面でご指導とご協力をたまわった栃木県重要文化財本地堂管理審議会委員元早大教授 佐藤武夫博士、文部省文化財保護委員会建造物課長東大教授 関野克博士ほか多くの方々、実験研究を卒業論文の一部として協力された東京理科大学学生 田中利幸君ほか多数の方々へ深く感謝する。(1965 年 2 月 7 日 受理)

文 献

- 1) 後藤牧太: 日光廟の啼竜 理学会誌 (東京高等師範学校) 第 7 卷 5 号 大正 2 年 5 月 p.1~3
- 2) 後藤牧太, 長畑順一郎: 再び啼竜につきて 理学会誌 第 7 卷 5 号 大正 2 年 5 月 p.4~10
- 3) 佐藤武夫: 日光東照宮の鳴竜について 早稲田建築学報 第 5 号 昭和 2 年 9 月 p.46~55
- 4) 中村清二, 小幡重一, 栗原嘉名芽: 鳴竜 自然科学と博物館 第 7 卷 3 号 昭和 11 年 3 月 p.6~15
- 5) B.G.Watters: The Sound of a Bursting Red Balloon, *Sound* vol. 2, no. 2, 1963 p.8~14