

水滴着水時の音を応用したアンビエントライトの制作

11N3023 組地 翔太 指導教員 佐藤 康三教授

1. はじめに

人は古来、自然の恩恵を受けながら自然と共に暮らしてきた。日本文化はそこに存在する環境を美として捉え、自然を生活の中に多く取り込んできた。そして虫の鳴き声や鳥の鳴き声、雨音、小川のせせらぎなどを好み、音に対して抱く美の意識も存在する。音のない空間にさえ「しん」という表現語をつかうほどに擬音語・擬態語が高度に発達している日本は、音を無意識的に意味あるものとして捉えている。古くから存在する獅子舞、つくばい、風鈴などをみても、音に安らぎを求め自ら音を生み出してきた事がわかる。このように、日本人の音に対する美の造詣は深く、世界に誇れる感性と思われる。

一方で、機能的発達が高度に進み生活が非常に豊かになった現代の日本の大都市では、その代償として自然が生み出す音を身近で聞く機会が少なくなってしまう。ときに都会の喧噪から離れ四季折々の自然の美を五感で堪能する行為は、人間の瞭然たる行為と言える。そこで、音を味わって聞く時間を設けるための試みの一つとして、音の審美的価値に関心を向けさせ心に安らぎをもたらすアンビエントライトの制作を行うことを本研究の目的とする。

2. 研究対象

本研究では、自然界に無窮に存在する音の中でも、水滴着水時の音（以下着水音とする）を応用したアンビエントライトの制作を研究対象とする。着水音は「ポチャン」という擬音語で多くの人々に広く認知されており、様々なシーンでの効果音として使用されている。また、音本来の審美的価値を高める目的として情緒的な空間を演出するために、水滴が水面に着水した瞬間に生じる波紋を活かした光の透過現象も研究の対象とする。

3. 実験及び制作概要

水滴が一定の時間間隔で落下し水面に着水すると、一般的に認知されている「ポチャン」という音が発生するプロダクトを制作する。水滴が水面に落下した瞬間に水面下がブルーに光り、その光りを受けて水面の波紋が天井に照射される。また水面下から天井に向けて暖色光を照射しつつける常夜灯としての役割も持たせ、総じて音の審美的要素を取り入れたアンビエントライトの制作を目的とする。実験及び制作概要を以下に示す。

- 1) 水滴着水時の音源の基礎実験
- 2) 着水音が発生する最適な管の実験 I
- 3) 着水音が発生する最適な網付き管の実験 II
- 4) 落下高度が着水音にどのように関係しているかの実験 III
- 5) 水深、水面の面積、内壁(水面に接している容器の壁の高さ)が着水音にどのように関係しているかの実験 IV
- 6) 水滴の着水と同時に LED が光る仕組み、及び波紋の天井への映り方の実験 V
- 7) 水滴発生部位の水量調整機構の制作
- 8) 機能及び外観意匠の決定
- 9) 実機制作

4. 実験概要 2)3)4)5)6)の指針

着水音を、空間に広がっていくような印象を与える

音と定める。音の違いを判断するために、音量(dB)、音程(Hz)、音継続時間、グラフ形状(縦軸がdB値、横軸が時間)の4つの指標を用いる。また、光の透過現象の指針は、高さ約3000mmの天井に、より鮮明に波紋が照射され光の動きが目視で十分確認できることとする。

5. 基礎実験

5.1 水滴発生方法

水滴を発生させるには様々な方法が挙げられるが、本研究では水道の先端と同じように、小さな直径の管を垂直に立て、下端から水がゆっくりと流れるようにする手法をとる。管の吐水口で表面張力に耐えられなくなった水は自然と滴となってしたり落ちる(図1)。

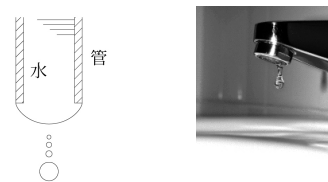


図1 管による水滴発生方法

5.2 水滴着水時の音源

水滴着水時に発生する音は、気泡が音源である。はじめに、管から大きな水滴(以下主水滴とする)が切り離されて落下し、続いて小さな水滴(以下従水滴とする)が数個落下する(図2)。最初の水滴が水面に落下すると大きな窪みができ、この大きな窪みの中へ後続の小さな水滴が落下して小さな窪みを作る。それが気泡となり、大きな窪みは気泡を抱えたまま上昇して、こけし状の水柱を形成する²⁾。

この現象を確認するために、デジタルハイスピードカメラ HAS-500M を用いて水滴落下実験を行う。レンズには PENTAX 12.5mm, F/1.4 を用いる。結果、着水音が発生する場合には、主水滴が作った窪みの中に気泡が発生している事が確認された(図3)。すなわち、従水滴が着水音に大きく関わっていることが導きだされた。

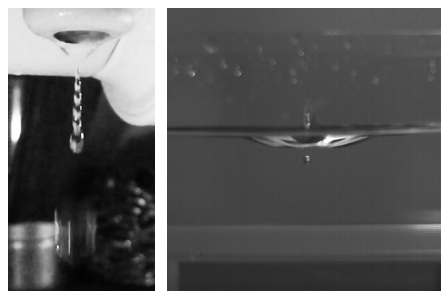


図2 従水滴 図3 水滴着水時の気泡発生現象

6. 実験 I

6.1 概要

水滴を発生させる管の内径が従水滴の発生に大きく影響を与えると仮説を立て検証する。

6.2 実験方法

漏斗に観賞魚用の水量調節バルブを結合し、その先端にチューブを、さらにそのチューブの先に MakerBot 社の 3D プリンター Replicator2 (フィラメントは PLA) で出力した管を結合する。管は内径 4mm、6mm、8mm の 3 種類を用意し、それぞれの外径はすべて内径+

4mm で一定とする。水を入れる容器は縦 120mm×横 160mm×高さ 50mm の直方体のアクリル容器とし、内壁（水面と接する容器の内側の壁）の高さは 15mm で一定とする。管から水面までの距離（以下落下高度とする）は 300mm で一定とする。録音機につなげたマイクを水面に対して 45° の角度に設置し、水面とマイクの距離は 50mm に設定する(図 4)。録音機は SONY 社の ICD-UX300F を、マイクは RODE 社の VIDEOMIC RYCOTE を使用する。実験は室温 24.5℃、湿度 60% の 6 畳一間の室内にて行う。

バルブをゆるめ水をゆっくりと管に流し込む。一つの管に対して 3 秒間隔で 10 回水滴を落下させ、10 回の着水音の音量(dB)、音程(Hz)、音継続時間、グラフ形状（縦軸が dB 値、横軸が時間）の 4 つの指標から最適な管を決定する。

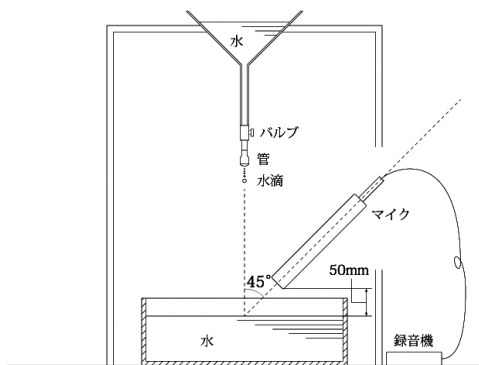


図 4 実験環境(画像は仮)

6.3 実験結果

録音した音の解析には、Adobe 社の Adobe Audition CC を使用する。実験結果は、内径 4mm の管は 1 回も音が発生しなかった。内径 6mm の管は 10 回の音の音量、音程共にばらつきがあり、総じて音量が小さく (dB 値が 0 に近いほど音が大きい) (表 1)、音程は高すぎて音として認識しづらかった(表 2)。内径 8mm は管の吐水口全体に水滴が張り付かなかったため、綺麗な水滴が発生しなかった(図 5)。

表 1 内径 6mm の音量推移

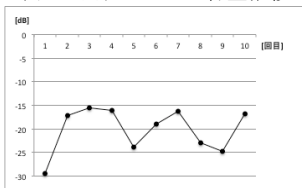


表 2 内径 6mm の音程推移

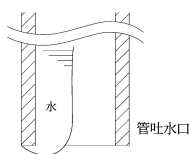
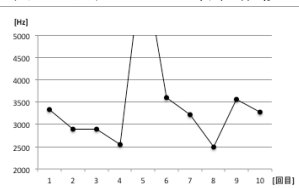


図 5 管の吐水口に水滴が張り付かない状態の断面模式図

7. 実験 II

7.1 概要

管の下面に網を設置する事により、水の表面張力と管下面から管内部に向けて押される大気圧の影響で、実験 I よりも大きく安定した水滴を作る事が可能と仮定し検証する。

7.2 実験方法

管は内径 6mm から 2mm ずつ大きくしていき、内径

6mm から内径 20mm までの計 8 個の網付き管を用意する(図 6)。外径はすべて内径+4mm で一定とし、落下高度もすべて 300mm で一定とする。実験環境、評価指標は実験 I と同様にする。



図 6 実験用の管

7.3 実験結果

実験により音量が-20dB~0dB の間で、音継続時間が 0.03 秒以上、立ち上がり（音が発生する部分）から音の消滅まで滑らかに繋がったグラフが着水音に近いことが分かり、その指標を満たした音の回数を調査した。内径 6mm では着水音が一度も発生しなかった。内径 8mm、10mm、12mm の管では、着水音が 10 回中いくつか発生した。内径 14mm 以上は水滴が管の下部全体に張り付かず、左右どちらかに寄る現象が起きた。よって内径 12mm を最大水滴発生管と定める。

8. 実験 III

8.1 概要

実験 II から管は内径 8mm、10mm、12mm の 3 つに絞られた。ここで、それぞれの管に対して着水音が多数発生する最適な高さが存在すると仮定し検証する。

8.2 実験方法

それぞれ 3 つの管に対して落下高度 100mm から 500mm まで 20mm ずつ高くしていき、それぞれの高さで 10 回水滴を落下させる。実験環境、評価指標は実験 I、II と同様とする。

8.3 実験結果

内径 8mm 管では、高さ 320mm~360mm のとき着水音が多数発生した。また音量は概ね-15dB~-10dB、周波数はおおよそ 1500Hz であり、他 2 つの管と比べて周波数が高いため空間に広がっていくような印象を受ける音が多い(表 2)。また、立ち上がりの音は他 2 つの管よりも大きく、立ち上がりから音の消滅まで滑らかなグラフが確認できた(図 7)。

表 2 内径 8mm の高さ 320mm における実験結果

320mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
音継続時間(秒)	0.07	0.085	0.07	0.075	0.085	0.075	0.07	0.075	0.07	0.07
音量(dB)	-10.5	-14.03	-12.13	-13.5	-10.61	-12.55	-13.76	-12.72	-10.45	-13.03
音程(Hz)	1496	1391	1433	1411	1477	1452	1307	1390	1470	1412

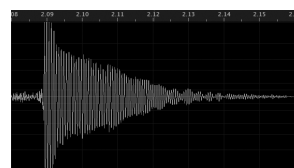
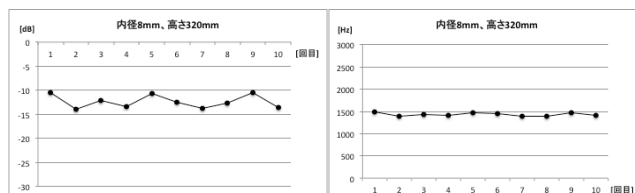
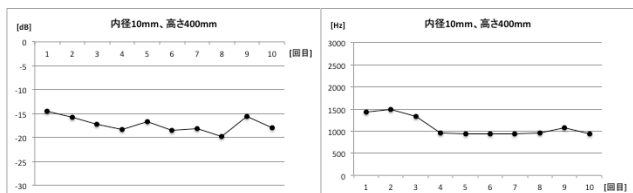


図 7 内径 8mm の横軸が時間、縦軸が dB 値のグラフ形状

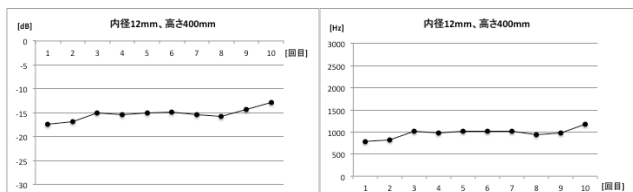
内径 10mm では、高さ 400mm~420mm のとき着水音が多数発生した。また音量は概ね-20dB~-15dB、周波数はおおよそ 1000Hz であり、濁った印象を受ける音が多い(表 3)。また、立ち上がりから音の消滅まで滑らかなグラフが確認できた。

表 3 内径 10mm の高さ 400mm における実験結果



内径 12mm では、高さ 400mm~460mm のとき着水音が多数発生した。また音量は概ね-17dB~-13dB、周波数はおおよそ 1000Hz であり、くぐもった印象を受ける音が多い(表 4)。また、立ち上がりから音の消滅まで滑らかなグラフが確認できた。

表 4 内径 12mm の高さ 400mm における実験結果



それぞれ着水音が多数発生する高さに近づくにつれ、音量は大きく、音程は低くなる。その高さを超えると、音量も音程も不安定になる。これらの結果から、設定した着水音に最も近い音を多く発した内径 8mm 外径 12mm の網付き管を実機制作にて使用することとする。

9. 実験 IV

9.1 概要

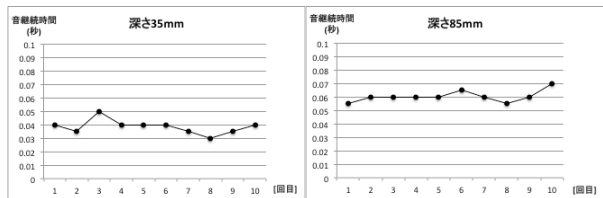
水を入れた容器の水深、内壁、水面面積が着水音にどのように関係してくるのか簡易的な実験検証を行う。容器はすべて厚さ 2mm のアクリル容器を使用する。

9.2 水深

水を入れた容器の水深と水着音の関係を調査する。実験方法は、縦 150mm×横 150mm×高さ 100mm、縦 150mm×横 150mm×高さ 50mm の 2 つの直方体のアクリル容器を用意し、それぞれ深さ 85mm、35mm に設定し、内壁は 15mm で一定にする。実験 I、II、III より求めた内径 8mm 外径 12mm 網付き管を使用し、水面と管下面までの高さ 320mm より 3 秒間隔で水滴を 10 回落下させる。実験環境、評価指標は実験 I、II、III と同様にする。

実験結果は、深さ 85mm、35mm のどちらも音量と音程はほぼ変わりなかったが、音継続時間は深さ 85mm の方が長かった。よって深さが増すほど音継続時間は延びると言える(表 5、図 10)。

表 5 深さの違いによる音継続時間の差



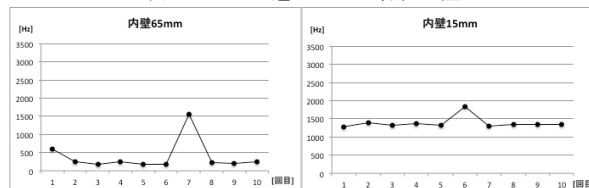
9.3 内壁

水を入れた容器の内壁と着水音の関係を調査する。縦 150mm×横 150mm×高さ 100mm、縦 150mm×横 150mm×高さ 50mm の 2 つの直方体のアクリル容器を用意し、それぞれ内壁の高さを 65mm、15mm に設定する。水深は 35mm で一定にする。実験方法、実験環境、評価指標はすべて水深実験と同様にする。

実験結果は、音程にのみ違いが見られ、内壁が高いほど音程が下がる(表 5)。同じように内壁の内側が膨ら

んだ形でも実験を行ったが、音程が下がりくぐもった音になる事が確認された。

表 5 内壁の違いによる音程の差



また、縦 150mm×横 150mm×高さ 100mm のアクリル容器にて、水深 10mm の内壁 0mm で同様の実験を行ったところ、わずか 0.2 秒の間に 2 回の音が発生する事が確認された。はじめに 1500Hz あたりの音が発生し、その約 0.14 秒後に 2000Hz 以上の高い音が発生する(図 11)。これはポチャンという擬音語に非常に近い音と言える。これは深さが大きいほど顕著であった。

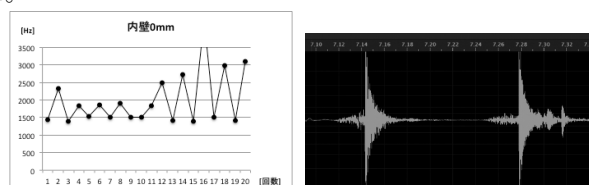


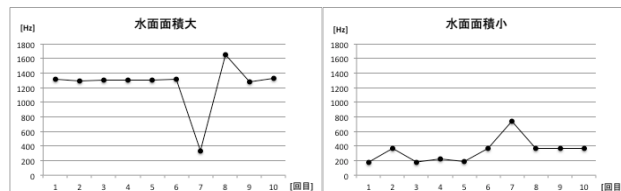
図 11 内壁 0mm の 2 段階による音の発生

9.4 水面面積

水面面積と着水音の関係を調査する。縦 160mm×横 120mm×高さ 30mm、縦 120mm×横 90mm×高さ 30mm の 2 つの直方体のアクリル容器を用意し、水深は 28mm、内壁は 2mm で一定にする。実験方法、実験環境、評価指標はすべて水深、内壁実験と同様にする。

結果、より水面の面積が大きいほど音程が高くなる事が確認出来た(表 6)。

表 6 面積の違いによる音程の差



10. 実験 V

10.1 通電システムの考案

水滴の着水と同時的に水面下の LED を光らせるために、2 本の導線の間を水滴が通過した瞬間に電気が通電する仕組みを用いる。通電した 0.5 秒後に LED を光らせるというプログラムを Arduino を用いて制作し、あらかも水滴が着水した瞬間に水面下が光るのように見える(図 12) 3)。

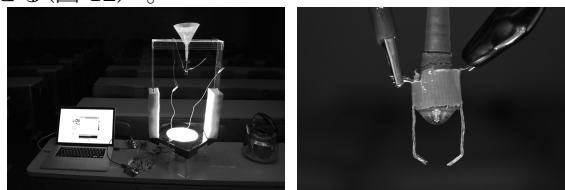


図 12 通電システムの実験風景

10.2 天井への波紋照射実験

透明アクリル容器とスモークのかかった透明アクリル容器に水を入れ、天井への波紋の映り方を比較した結果、透明なアクリル容器の方がより鮮明に波紋による光りの動きが確認出来た(図 13)。また、光りの明るさが弱くても天井に映る波紋は十分に確認出来たため、

このプロダクトには明るさを調光できる機能を付けることとする。

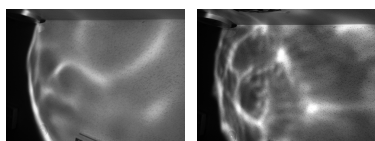


図 13 天井への波紋照射実験

11. 水滴発生部の水量調整機構の制作

水滴発生部位の管から流れる水量を調節させる仕組みを作るため、観賞魚用の水量調節バルブのハンドル軸とサーボモータの回転軸を合わせた機構を作成する。可変抵抗器を回転させることによりサーボモータの軸が回転し、バルブが緩められ水が流れ出る(図 14) 4)。サーボモータの回転プログラムは Arduino を用いて制作する。

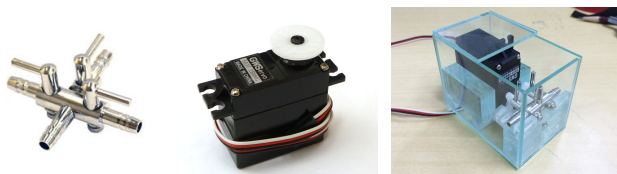


図 14 水滴発生部位の水量調整機構

12. 機能及び外観意匠の決定

12.1 外観意匠設計指針

- 1) 全体フォルムをモダンデザイン(構成主義)とする。
- 2) 室内、またはホテルやマンションのロビー等の卓上に設置することを想定する。

12.2 機能の決定

金属パイプ部に手で 1 回タッチすると、常夜灯の役割を果たす水面下の暖色系 LED が点灯するものとする。もう一度タッチすると消灯するものとする。長押しで LED の明るさを調節できる。台座に設置してあるボリュームを回す事で水滴が発生し、着水と同時に水面下のブルー LED がほのかに光るものとする。

12.3 外観意匠の決定

これらの手順を踏まえ、水面、水滴発生部位、天井の 3 視点がバランスよく見えるよう人の視線を考慮し、形、大きさ、位置を検討する(図 15)。

- 1) アイデアスケッチでイメージを創出する。
- 2) 1)のスケッチより縮尺模型にて実際の見え方を検討する。
- 3) 2)の検討結果より 3DCG にて最終制作物イメージを作成し素材の検討を行う。

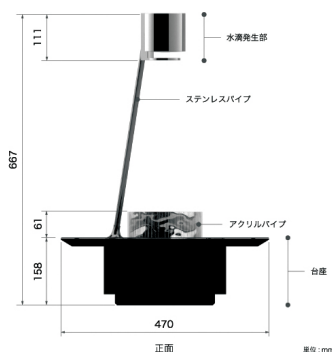


図 15 外観意匠

13. 実機制作

13.1 水滴発生部の制作

水滴発生部位には水量調節機構が入り、後部にはステンレスパイプを差し込む(図 16)。ステンレスパイプの中はポンプからくみ上げられる水を通るチューブ、通電感知に使用される導線 2 本、サーボモータに繋がる導線 3 本が仕込まれている。モデルは 3D プリンターで出力し、塗装を行う。



図 16 水滴発生部

13.2 ポンプ挿入部の制作

水のくみ上げには 100V ポンプを使用する。ポンプは台座中央内部に設置するタンクの中に入れる。タンクにはコンセント用、水滴発生部へ繋がるチューブ用、水排出用の 3 つの穴を開ける(図 17)。



図 17 ポンプ挿入部

13.3 最終制作物

これらの過程をもとに、水滴着水時の音を応用したアンビエントライトの制作を行った(図 18)。



図 18 最終制作物

14. おわりに

本研究では、音を味わって聞く時間を設けるための試みの一つとして、音の審美的価値に着目したアンビエントライトの制作提案を行った。今後さらに自然と人間との関わりを意識させるプロダクトの開発に繋がることを期待する。

参考文献

- 1) 滴, Wikipedia
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E6%BB%B4>(参照 2015-1-5)
- 2) 渡部由雄, 水琴窟の音響機構の解析的研究, 日本水琴窟フォーラム, Vol.43, No.9A, pp.6429-6443 (2007 年 10 月発行)。
- 3) Yuki Anzai, トランジスタを使ってみよう, こた電 http://www.kotaden.com/stage5_1_index.html (参照 2014-11-20)
- 4) Nobuki Hiramine, サーボモータを動かす, hiramine.com http://www.kotaden.com/stage5_1_index.html (参照 2014-11-20)