

光マイクの研究 II

～音の“方向”を録れ！～

熊本県立熊本北高校 物理部

目的

- ①「2山分布」と音波方向との関係解明
- ②「2山分布」を利用して音波の“方向”の分離録音に挑戦

結論

- ①「2山分布」は音波の入射方向に沿ってできる
- ②「2山分布」を複数のダイオードで分けることで音波の方向分離録音の可能性を見出した

1. はじめに

昨年度、私たちは音の場所にレーザー光を通過させて音を録音する「光マイク」の制作に成功した。
図1は光マイクの概略図である。レーザー光が発射され、凸レンズを通して受信機であるフォトダイオードに当たっている。ここで、スピーカーからの音の疎密波がレーザー光を横切ると、光の一部がわずかに振動し、フォトダイオードで受信して音に変換することで、スピーカーの音を録ることができる。

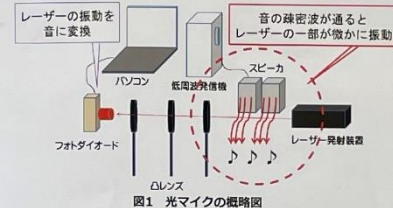


図1 光マイクの概略図

2. 動機と目的

音を鳴らしながら光マイクのフォトダイオードを動かして最も感度がよく出る位置を探す中で、私たちは奇妙な現象に気が付いた。**光マイクの音のピークが、レーザー光の中心ではなく、左右に少しずれた2箇所に現れたのである。(以降この現象を「2山分布」と名付ける。)**

私たちはこの「2山分布」現象が、音の来る方向に関係するのではないかと考え、実験を始めた。最終的には、「2山分布」現象を利用して音の入射方向を分離した録音にも挑戦した。

3. 実験 I : 2山分布の検証

(1) 内容

図2のように、x方向に沿って光マイクのレーザー光を照射。音をx方向に当てて、フォトダイオードをx・y方向にそれぞれ0.10mm間隔で動かしながら音量を測定した。測定ソフトは「運指チューナー」を使用。

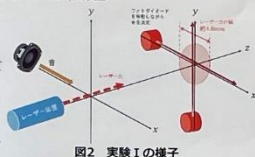
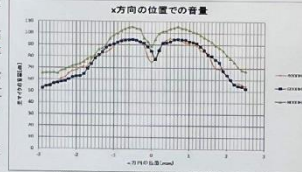


図2 実験 I の様子

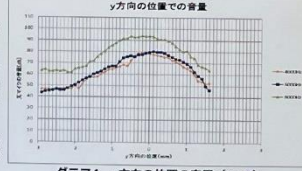
(2) 結果

音に対して水平方向(x方向)では、中心から左右対称の位置で音量が最大になった。レーザー光の幅が約4.0～5.0mmに對し、2山の幅は約1.2mmであった。周波数が異なったら音量に差が出るも、2山の位置はほぼ同じであった。(グラフ3)



グラフ3 x方向の位置での音量 (y=0)

一方、音に対して垂直方向(y方向)では、2山分布は見られずレーザーの中心付近で音量が最も大きくなった。(グラフ4)



グラフ4 y方向の位置での音量 (x=0)

結論 I

- ・2山分布は確かに存在する
- ・2山分布は周波数が異なっても、ほぼ同じ場所に見える

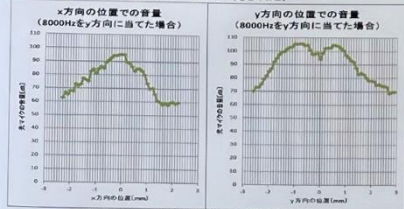
4. 実験 II : 2山分布と音波方向との関係

(1) 内容

2山分布は音の入射方向と関係があるのではないかと考え、次の実験 II を行った。スピーカーをスタンドで固定し、音をy方向に当てた。フォトダイオードをx・y方向に動かしながら音量を測定した。

(2) 結果

グラフ5は8000Hzでの結果である。今度は、y方向のみ中心から左右対称の位置で音量が最大である2山分布が見られた。



グラフ5 y方向に音を当てた場合 (8000Hz)

(3) 追加実験

さらに、音をx方向とy方向2つ同時に当てる追加実験を行った。スピーカーを2台準備し、x方向に4000Hz、y方向に8000Hzの音を同時に当てて、フォトダイオードをx・y方向に動かしながら音量の変化を見た。

図6は、ダイオードをx方向に動かした場合の周波数と音量のグラフを並べたものである。グラフを見ると4000Hzと8000Hz両方測定されており、4000Hzのみ音量が上がった後いったん下がり再度上がる現象(2山分布)が見られた。音量は4000Hzの方が8000Hzより大きかった。

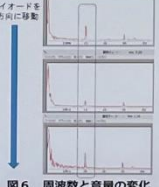


図6 周波数と音量の変化

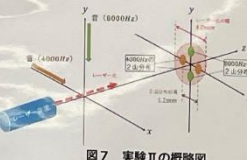


図7 実験 II の概略図

結論 II

- ・2山分布は音波の入射方向に沿ってできる

5. 考察

音に対して平行方向のみレーザー光のピークが2箇所に現れる理由は以下のように考えられる。
音は空気疎密波であり、疎と密で屈折率が少し異なる。レーザー光は密の方にわずかに屈折するため、音波がレーザーを横切ると、音波方向に屈折することで、レーザーの中心からはずれて2箇所でピークが現れると考えられる。(図8)

音波方向のみ光のピーク位置が2箇所にずれる。このことを利用してダイオードを複数配置、その“ずれ”を別々に測定すれば、レーザー光1つで様々な方向から来た音を分離することができるとはならないかと考え、実験 III を行った。

6. 実験 III : 2山分布の分離録音に挑戦

(1) 内容

最初はダイオードを複数並べることを考えたが、2山分布の幅があまりにも小さいため断念。しかし、フォトダイオードを複数に分割しているフォトモジュールの存在を知り、フォトダイオード4つで構成されたPSDモジュールIC1043-06を購入。実験を開始した。

フォトモジュールの受光部分は1辺が10mmの正方形であり、それぞれフォトダイオードA,B,C,Dの4分割で構成されている。(図9)フォトモジュールを135°回転させて固定。受光部分の中心レーザー光を当てて、x・y方向それぞれの2山分布を分離して測定できるようにした。(図10)スピーカー2台を使用して、x方向に4000Hz、y方向に8000Hzの音を当ててフォトモジュールのA,B部分での周波数と音量の関係を測定した。(写真11)



図9 PSDモジュールIC1043-06



図10 フォトモジュールの固定位置

写真11 光マイクの全体

(2) 結果

フォトモジュールを、それぞれA,Bにつないだ結果が図12である。A,Bともに4000Hzと8000Hz両方の音が入っているものの、Aでは4000Hzの音が、Bでは8000Hzの音が比較的大きく録れていることが分かる。

このことをより詳しく調べるため、音質ソフト「Audacity」で5秒間録音した音をスペクトル解析。その結果が図13である。フォトモジュールAではx方向の音、Bではy方向の音が多く検出されていることがわかる。しかし、Aではx方向の音が若干大きいものの、明らかな差は見られなかった。

以上より、x方向とy方向の音はある程度分離して録音できる可能性を見出すことができた。音の分離がまだ不十分なのは、それぞれの音波の2山分布が重なっていることが原因ではないかと考える。

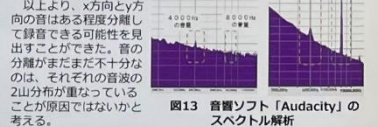


図12 A・Bにつないだ場合の周波数と音量のグラフ

図13 音質ソフト「Audacity」のスペクトル解析

7. 今後の展望

従来なら、音をステレオ(2ch)録音するとき最低2本のマイクが必要である。しかし本研究からは、光マイクのレーザー光1つのみでステレオ録音が可能であることを示している。これらを用いれば、音の鳴っている空間にレーザー光を1つ通すだけで、音の鳴っている方向まですべて録ることが可能になる。

今後は改良を重ねていき、「世界初! ワンマイクのみでステレオ録音やサラウンド録音が可能な光マイク」の製作、実用化を目指したい!

8. 謝辞

東海大学名誉教授の園田先生、東海大学基礎工学部電気電子情報工学科の佐松崇史先生には大変お世話になりました。感謝申し上げます。

【参考文献】

- [1] 光マイクフォンの開発一光による音(可聴帯から超音波帯まで)の直接検出—東海大学名誉教授 園田先生
- [2] 改訂版 総合物理2 数研出版
- [3] 電子情報通信学会「知能ベース」1号10編1章 光と超音波 電子情報通信学会2014