

触覚で音の共鳴現象を感じて学ぶ*

○荒井隆行（上智大・理工）

1 はじめに

音の物理学を学ぶことは単に理論の習得ということだけではなく、我々が日常、生活していく上でも深く関係し、障害のありなしに関係なく重要である。例えばコップの中に液体を注ぐとき、どれだけの液体でコップが満たされているかは見て判断するだけではなく、音を聞いても判断できる。視覚に障害がある場合、コップに注がれる液体の様子を音情報だけから得ることができるようになることは重要であり[1]、そのための音の教育もまた大きな意味がある。

我々は、周りで起きている事象を把握する際、視覚や聴覚などといった複数の感覚を使って感じ取っている。そして、視覚に障害があれば限られた視覚情報に加えてそれ以外の感覚をも積極的に利用する。聴覚に障害がある場合でも同様である。聴覚、視覚以外に、触覚が利用できる場合も少なくない。

音響教育を視覚障害や聴覚障害を持った学生・生徒に対し考える場合、聴覚情報や視覚情報を有効に利用することが考えられる。さらに、視覚障害・聴覚障害に関わらず、触覚情報を利用することも考えられる。そこで、本報告では「音の共鳴現象」に焦

点を当て、視覚や聴覚に加えて触覚によって共鳴現象を感じるものの可能性を追求することを目的とした。

2 実験

断面積が一樣な閉管の中で起きる共鳴現象を体感する実験を、聴覚・視覚・触覚の3つのモダリティーを用いて行った。

2.1 実験環境

Fig. 1 に、実験に用いた装置を示す。ダイヤル式の発振器 (GWInstek GAG-810, Fig. 1 中央) から出力された正弦信号を、アンプ (ONKYO MA-500U) によって増幅し、ホーンスピーカのドライバユニット (TOA TU-750, Fig. 1 左下) に入力した。ドライバユニットにはネック部のネジ山に合わせて、アクリル製の音響管を装着した。ネック部には終端のインピーダンスを高めるためアルミ製の詰め物をして、その中央に断面積が 0.13 cm^2 の穴を開けた。音響管は内径が 34 mm 、長さが 170 mm であり、その背面には長さ 130 mm 、幅 10 mm の穴が開けられている。以後、この紙で塞いだ穴のことを「スリット」と呼ぶことにする。音響管の中にはコルクの粉を少量入れ、上記スリットはコピー用紙で塞いだ。

発振器のダイヤルは常に布で覆うことで、ダイヤル上の目盛を参加者が読み取ることが出来ないようにした。発振器の出力信号については、オシロスコープ (Tektronix TDS3012) によって実験者がその周波数をモニタリングした。

視覚と触覚の実験では駆動信号の音が聞こえないようにするため、実験参加者にマスキング雑音を提示した。そのためのマスキング雑音として、サンプリング周波数 48 kHz の白色雑音 (長さ 10 分) を作成し、デジタル・レコーダ (Marantz PMD570) からヘッドホン (Sennheiser HDA-200) を介して提示した。

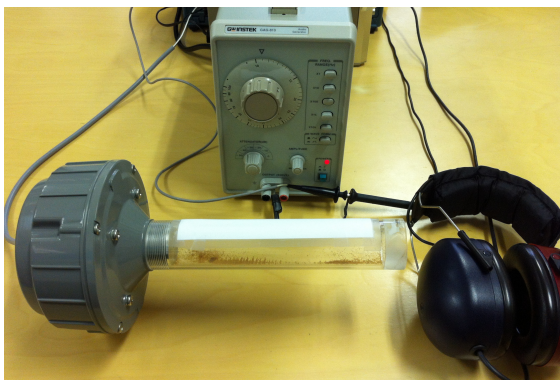


Fig. 1. Experimental setup.

* Sensing and experiencing sound resonance through tactile, by ARAI, Takayuki (Sophia University).



Fig. 2. Experiment by auditory information.



Fig. 3. Experiment by visual information.



Fig. 4. Experiment by tactile information.

なお、実験参加者には Fig. 1 の実験装置の前に着席してもらい、その状態で音響管から耳の位置までは約 50 cm 離れていた。その距離で音響管内のコルクが最も激しく立つ状態（約 1041 Hz）での騒音レベルは、68 dB（騒音計は Rion NL-32）であった。また、マスキング雑音の騒音レベルは、71 dB であった（騒音計は小野測器 LA-5111 で B&K 社製の人工耳を使用して測定）。

2.2 実験手順

聴覚・視覚・触覚の各実験において、実験参加者には最も共鳴する周波数を探してもらった。まず、発振器のダイヤルは試行ごとに 1,000-10,000 Hz のレンジの最低周波数（約 950 Hz）まで戻した。ダイヤルは最大で 90 度の角度（周波数にして約 1,700 Hz）まで回して良いものとし、その間で最も共鳴すると思う位置をなるべく早く、かつ正確に見つけてもらうように教示した。

実験参加者にはスタート時に「はい」と発声してもらおうと同時に、実験者はストップウォッチを用いて時間の測定を開始した。その後、共鳴位置が求まったら再び「はい」と発声してもらおうと同時に、実験者は時間の計測を終了し、オシロスコープ上に表示されている周波数を読み取った。

各参加者について、モダリティーごとに 3 セッションの実験（以下、聴覚実験、視覚実験、触覚実験）を行った。モダリティーの順序による影響を低減するため、実験参加者ごとに異なる順番を割り当てることでカウンターバランスをとった。各セッションでは練習を 1 試行行った後、本番では 5 試行を行った。

実験前に実験の説明を行った上で同意書に署名してもらい、実験後にはアンケートに回答してもらった。アンケートでは、聴覚実験、視覚実験、触覚実験のうち、どれが最も簡単であったかとその理由、どれが最も難しかったかとその理由などを答えてもらった。

2.2.1 聴覚実験

聴覚実験では、実験参加者には目を閉じた状態で実験に臨んでもらった（Fig. 2）。そのため、聴覚情報だけを用いて共鳴を探すことになる。

2.2.2 視覚実験

視覚実験では、実験参加者にはヘッドホンを着用してもらいマスキング雑音を聞きながら実験に臨んでもらった（Fig. 3）。そのため、視覚情報だけを用いて共鳴を探すことになる。見るものは音響管内のコルクの粉であり、練習の際に共鳴時に激しく立つ様子を確認してもらった。

2.2.3 触覚実験

触覚実験では、実験参加者には目を閉じてもらおうと同時にマスキング雑音を聞きながら実験に臨んでもらった (Fig. 4)。この実験では、さらに音響管のスリットに覆われた紙を指の腹で触れながら触覚情報だけを用いて最も共鳴が感じられる位置を探してもらった。

2.3 参加者

実験参加者は健常な 20 代の大学生・大学院生 6 名であった。

3 結果

各参加者の各セッションの結果を見ると、5 回の試行のうち、最初の 2 回試行はまだ実験に慣れていないなどの理由でデータが安定していなかった。そのため、以下の結果では第 3~5 試行を分析対象とした。Table 1 に各モダリティーに対して共鳴位置を探すのに要した時間と最終的な信号の周波数の平均値を示す。また、Fig. 5 に各モダリティーに対する周波数対時間の散布図を示す。この図では、聴覚実験は○、視覚実験は□、触覚実験は*で示され、それぞれのデータ点の横の数字は参加者番号を示す。これらの図表を見ると分かるように、時間については視覚実験が最も早く、次いで触覚実験、最も遅かったのが聴覚実験となった。一方、周波数については視覚実験と触覚実験でほぼ同じ周波数 (約 1055 Hz) になったのに対し、聴覚実験では 100 Hz 以上高めとなった。

4 考察

共鳴位置を決めるまでの時間について、触覚を用いる場合、視覚の場合ほどは早くはなかったものの、聴覚に比べても劣らない結果となった。このことについて、実験後のアンケート結果から以下のことが分かった：

- 6 人中 4 人が視覚、2 人が触覚が一番答えやすかったと回答した。その理由として、視覚は変化が分かりやすい、触覚は集中しやすいことがあげられていた。
- 6 人中 4 人が聴覚、視覚と触覚については 1 人ずつが一番難しかったと答えた。その理由として、聴覚は共鳴位置が分かりづらいという感想が最も多かった。

Table 1 Average time and frequency in the auditory experiment (A), the visual experiment (V), and the tactile experiment (T).

	A	V	T
Time [s]	5.14	2.73	4.39
Frequency [Hz]	1166	1053	1056

周波数については、視覚と触覚の平均値はほぼ一致したが、聴覚の場合にずれた。周波数軸上での分布の分散も、聴覚の場合に増加した。その原因として、触覚実験の際はスリットの紙を指で押さえていたのに対し、聴覚実験の際には指の押さえがなかったことが考えられる。

視覚実験に際して、当初はスリットを指で押さえずに実験を行うことを計画していた。しかし、そのままではコルクの粉が顕著に立つ様子が観測されなかった。この視覚実験はいわゆる「クントの実験」[2,3]を応用したものであるが、紙が張られたスリットからは音響エネルギーが外界に放射されるため、コルクの粉を激しく立たせるには至らなかったと推測される。そのため実際の視覚実験では、実験者がスリットの上から手で紙を押さえながら実験を行った。これはちょうど触覚実験と同じような条件になるため、両方で共鳴周波数が一致したものと考えられる。

聴覚実験では手で押さえることをしなかったが、手で押さえた場合と押さえない場合とで周波数を変えながら騒音レベルを測定した結果を Fig. 6 に示す。この図を見ると、手で押さえることによって周波数が 100 Hz 程度下がることが分かる。これより、Fig. 5 で聴覚実験において観測された共鳴周波数のずれは、手で押さえるように条件を揃えることによって補正され、3 つの実験において共鳴周波数がほぼ重なるものと考えられる。

さらに Fig. 6 を見ると、手で押さえた条件のほうが Q が大きそうである。これにより、聴覚実験において周波数分布上の分散が大きくなったとも考えられ、このことはアンケートの結果とも一致する。しかし、手で押さえるように条件を揃えた場合でも、聴覚実験における分散が視覚や触覚の実験

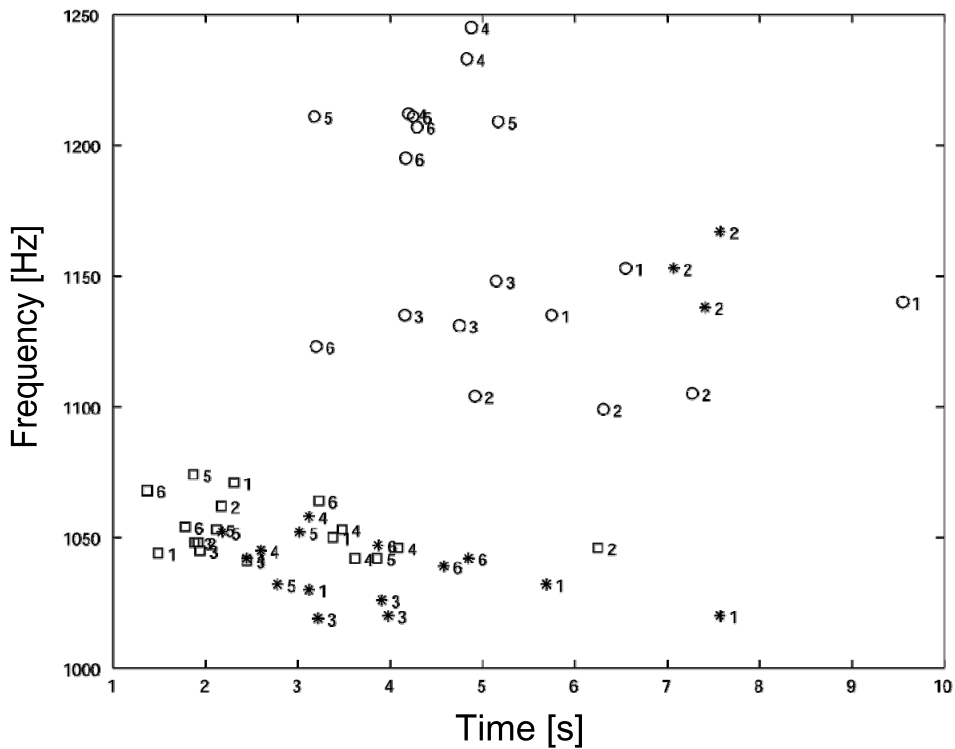


Fig. 5. Scatter plot of frequency vs time for the auditory data (○), the visual data (□), and the tactile data (*). The number next to each marker indicates the index number of each participant.

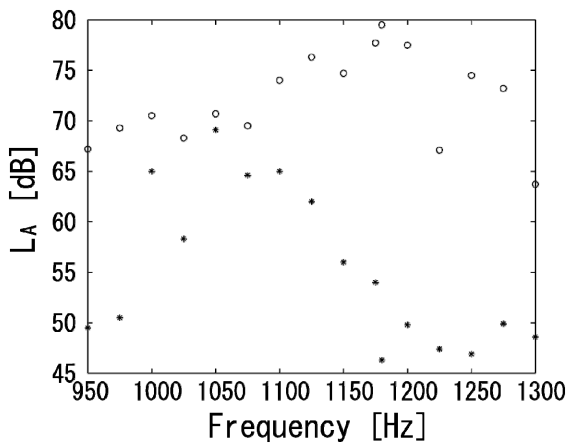


Fig. 6 LAeq vs. frequency with gripping (*) and without gripping (o).

に比べて広がるかについてはさらなる実験が必要である。

5 おわりに

今回の実験では3つのモダリティーをそれぞれ1つずつしか用いなかった。しかし、実際に障害を持った学生・生徒がこのような音の共鳴に関する物理実験を行う際、障害の程度によっては複数のモダリティーを

併用して実験に臨むことが考えられる。

それは例えば、視覚障害者が聴覚情報と触覚情報の両方を同時に用いる、あるいは聴覚障害者が視覚情報と触覚情報の両方を同時に用いるなどである。いずれの場合も触覚情報が含まれ、また今回の実験から触覚情報だけからも音の共鳴を探ることが可能であることが確認された。したがって、触覚と他のモダリティーを併用することによってより現象を的確に体験できることが期待される。

謝辞

内容の一部は日本学術振興会の科学研究費補助金(24501063)の助成を得た。

参考文献

- [1] 伊藤精英, 日本特殊教育学会, 44, 158, 2006.
- [2] Tachibana *et al.*, International Symposium on Simulation, Visualization and Auralization for Acoustic Research and Education (ASVA97), 571-574, 1997.
- [3] 吉田道子他, 音講論集, 1, 399-400, 2002.3.