

◎ 吉田道子 (上智大・外国語), 薄木信幸,
荒井隆行, 村原雄二 (上智大・理工), 菅原勉(上智大・外国語)

1. はじめに

クントの実験を用いると、様々な共鳴現象を視覚的にとらえることができる。ヘルムホルツレゾネータの共鳴現象を可視化した実験模型¹⁾を参考に、断面積が一定でない管の共鳴を観察できる模型を作製した。実験により、管が共鳴する時の周波数およびコルク粉末の描く縞模様、音響管の形状に対応して変化する様子を確認した。

2. クントの実験

ガラス管内に敷いた微細な粉末により気柱共鳴を視覚化し、粉末の動きが不活発になる節の位置から定在波の波長を計算、これにより管内の音速を求めたのがクントの実験である。この実験の音響教育における有用性は非常に高く、大学²⁾・高等教育・博物館³⁾等において幅広く利用されている。

本研究では、声道の共鳴現象の視覚化を試みるためにクントの手法を用いた。

3. 実験と結果

Fig.1 に示した模型を用意した。箱の外寸は、高さ 50mm×幅 340mm×長さ 470mm、アクリル板を材料とし、密閉されている。内部には、高さ 31mm×幅 30mm×長さ 135mm の管を設け、箱の中全体にコルクの粉末を敷き詰めた。音源にはオシレータを用いた。その音源をアンプによって増幅し、ドライバユニットを駆動させる (Fig.2)。ドライバユニットは、内部の管の一端に接する側面に切ったねじにはめ込まれている。このドライバユニットから出力される正弦信号の周波数が内部の管の共鳴周波数に近づくと、管における腹を中心にコルク粉末が浮き上がる様子を観察できる。

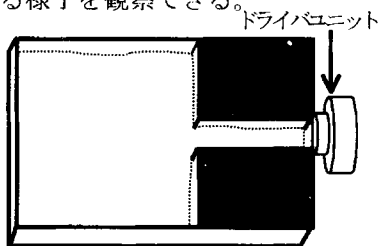


Fig.1: Airtight box with an inner tube for visualizing vocal tract resonance

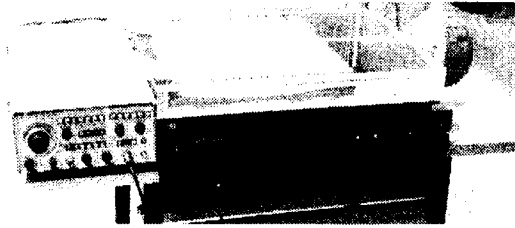


Fig.2: Experimental setup

上述の装置により、以下の実験を行った。

(1) 断面積が一定の音響管

Fig.1 に図示されている状態の管に 100Hz 程度の正弦信号を入れ、次第に周波数を上げながらコルクの動きを観察した。管の中のコルクが管全体にわたって一様なひだを形成する周波数帯域 (300-400Hz) を通過したのち (Fig.3)、650Hz 付近で管の端においてのみコルクのひだが生じた (Fig.4)。これを管そのものの共鳴と判断した。第 2 共鳴は 2300Hz 付近で観察できたが、第 1 共鳴の観察時と同じ音圧ではコルクが反応を示さないため、音圧を大幅に上げる必要があった。また、第 1 共鳴 (Fig.4) と第 2 共鳴 (Fig.5) では、ひだの生じる位置が異なることも確認できた。

ただし、コルクの動きは、厳密な管の共鳴時点を知らせるほど顕著ではなかったため、本稿で記述する共鳴周波数には 10% 前後の測定誤差が含まれている可能性を否めない。



Fig.3: Pleats uniformly distributed in the tube

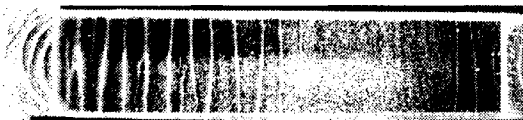


Fig.4: First resonance (650Hz)



Fig.5: Second resonance (2300Hz)

*A challenge for visualizing vocal tract resonance: devising a tool for acoustic education in speech science.

By M. Yoshida, N. Usuki, T. Arai, Y. Murahara, & T. Sugawara (Sophia Univ.)

(2) 断面積比が1:2の音響管

前方と後方で管内の断面積比を1:2にするために、アクリル板で作製した直方体(高さ31mm×幅15mm×長さ63mm)を管内のスピーカ側に設置した(Fig.6)。測定の結果、第1共鳴は750Hz付近、第2共鳴は2000Hz付近であった。

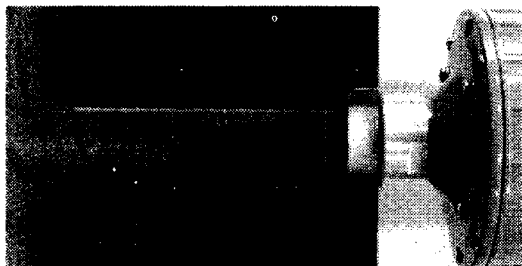


Fig.6: Constriction at the closed end



Fig.7: First resonance (750Hz)



Fig.8: Second resonance (2000Hz)

さらに、同じ直方体を管の開口端側に設置すると(Fig.9)、第1共鳴は630Hz、第2共鳴は2400Hz付近で観察された。

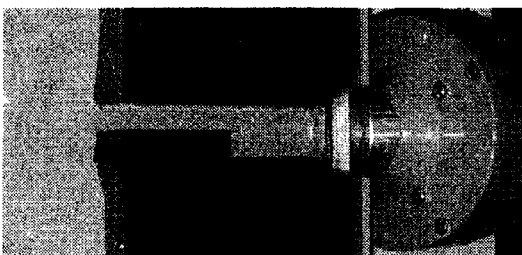


Fig.9: Constriction at the open end



Fig.10: First resonance (630Hz)



Fig.11: Second resonance (2400Hz)

4. 考察

音響管を母音生成モデルとしてとらえると、管の一方の端に設置されたスピーカは声帯、管は声道、開口端は口唇に対応する[4]。実験(1)で観察した、狭めのない管は、声道のいかなる位置においても断面積が等しい中舌・中母音/e/に対する音響モデルと言える。また、実験(2)のスピーカ(声帯)側に狭めを設けた管(Fig.6)は後舌母音(例えば/a/)、開口端(口唇)側に狭めを設けた管(Fig.9)は前舌母音(例えば/i/)の声道を模造した音響モデルと考えられる。

Table 1に示した実験の結果より、形状の異なる各音響管の第1および第2共鳴の値は理論どおりの傾向を示していることがわかる。

Table 1: Results of experiments (Hz)

狭め	母音	第1共鳴	第2共鳴
なし	中舌	650	2300
スピーカ側	後舌	750↑	2000↓
開口端側	前舌	630↓	2400↑

今後の課題としては、1)管の断面積比が共鳴周波数のシフトの度合いに及ぼす影響の検討、2)スピーカの間隔が及ぼす影響の検討、3)一貫した測定方法の確立、などが挙げられる。

5. むすび

クントの実験を応用した本手法は、形状が異なる音響管の共鳴現象を視覚化し、各管が異なる周波数において共鳴することを確認するうえで、非常に有用であった。クントの視覚化技術と本研究の模型の併用が、声道の共鳴現象の学習を促進する可能性は極めて大きいと思われる。

謝辞

本研究を進めるにあたって、東京大学生産技術研究所の橋研究室の皆様、とくに青木亜美さんには多大なご協力をいただきました。心よりお礼申し上げます。

参考文献

- [1] Tachibana, H., Sakamoto, S. & Mukai, H., "Visualization of acoustic resonance phenomena by the Kundt's method," International Symposium on Simulation, Visualization and Auralization for Acoustic Research and Education (ASVA97), 571-574, 1997.
- [2] <http://www.physics.umd.edu/deptinfo/facilities/lecdem/demolst.htm#h3>
- [3] 浜松科学館, <http://www.kagakukan.city.hamamatsu.shizuoka.jp/tenji/index.html>
- [4] 荒井隆行, 菅原勉 監訳, 音声の音響分析, 海文堂出版, 1997.