

スマートフォンのセンサを用いた気柱共鳴の実験

河端 将史

高等学校学習指導要領（平成30年3月告示）より，観察，実験などを行うことを通して，科学的に探究するために必要な資質・能力を育成すること，特に波の単元では，気柱の共鳴に関する実験を行わなければならないことが示されている。そこで，今回は定番の気柱共鳴装置を使わずに，スマートフォンのセンサを用いて，気柱の共鳴を理解する実験について報告する。

[キーワード] スマートフォン 気柱 共鳴 実験 振動数

はじめに

気柱の共鳴に関する記述について，高等学校学習指導要領（平成30年告示）¹⁾ 物理基礎2内容(2) 様々な物理現象とエネルギーの利用ア(ア) 波④音と振動では「気柱の共鳴に関する実験などを行い，気柱の共鳴と音源の振動数を関連付けて理解すること。」と示されており，気柱の共鳴に関する実験は，原則として，生徒に実験を行わせることが求められている。また，高等学校学習指導要領（平成30年告示）解説²⁾では，「気柱の共鳴に関する実験としては，例えば，気柱共鳴管の管口付近に振動数が既知の音源を近づけたときに共鳴が起こる気柱の長さを，音波の波長と反射する波を基に予想させて実験を行い，その結果を分析し，規則性を考察して表現させることが考えられる。また，水を入れた試験管の縁を吹いたときの音の振動数をセンサなどで測定し，その振動数と気柱の長さとの関係について調べる実験なども考えられる。」と気柱共鳴管もしくは試験管を用いた2種類の実験例が示されている。

気柱共鳴管を用いた実験はこれまでも教科書等に記載され定番ではあるものの，日常生活に関連する管や容器を用いた実験例は少ない。そこで今回，水を入れた管や容器の振動数を，スマートフォンによるセンサで測定し，その振動数と気柱の長さとの関係について調べる実験を2つ報告する。

1 実験1～水を入れた管の縁を吹く実験～

(1) 目的

水を入れた管などの縁を吹いたときの音の振動数をスマートフォンで測定し，気柱の長さとの関係について調べる。

(2) 準備

スマートフォン（アプリ：n-Track Tuner），管（メスシリンダー100mL），水，定規，温度計

(3) 方法

ア 温度計で室温を測る。また，管に水を入れ，その気柱の長さを定規で測る。

イ 図1左のようにn-Track Tunerをチューナーモードにし，スマートフォンを管に近づけ，アプリを開始する。

ウ 図2左のように，管の縁を吹いたときの，最も強く測定される振動数を記録する。なお，3回以上測定した平均値を用いる。

エ 図1右のようにn-Track Tunerをおんきモードにし，おんきの振動数をウの平均値に設定し，アプリを開始する。

オ 図2右のように，スマートフォンを管に近づけ，共鳴しているかを確認する。

カ 以下，ア～オを繰り返し，気柱の長さを変えたときに共鳴する振動数を測定する。

(4) 結果及び考察

得られた結果を表計算ソフトで処理すると，図3のように，気柱の長さ L と固有振動数 f は反比例の関係にある。また，開口端補正を考慮し，

気柱の長さ L と室温から求めた共鳴する振動数の理論値とはほぼ一致している。以上より、水を注ぐほど、気柱の長さは短くなり、固有振動数は高くなる。気柱の固有振動数と音源の振動数とが一致するときに共鳴することも理解できる。



図1 アプリn-Track Tunerの画面（左：チューナーモード，右：おんさモード）



図2 実験風景（左：管の縁を吹いたときの音の振動数の測定，右：管口付近に測定した振動数の音を近づけ共鳴を確認）

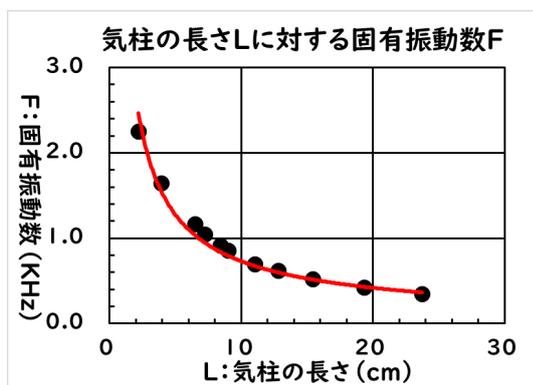


図3 気柱の長さ L に対する固有振動数 F （●は計測値，実線は開口端補正を考慮した気柱の長さ L と室温から求めた共鳴する振動数の理論値）

2 実験2～管や容器に水を注ぐ実験～

(1) 目的

管に水を注ぐと聞こえる音の高さが次第に高くなることを、スマートフォンで測定し、気柱の長さとの関係について調べる。

(2) 準備

スマートフォン（アプリ：Phyphox）、管（100mLメスシリンダーなど）、水、マイク（スマートフォン用）

(3) 方法

ア 図4のように、管口付近にマイクを取り付けスマートフォンに接続し、Phyphoxをオーディオスペクトルモードに設定する。

イ 管に水を注ぐときの振動数を計測する。可能な限り単位時間あたりに一定量の水を管の底面または水面に直接注ぐようにする。



図4 100mLメスシリンダーに水を注ぐ実験風景

(4) 結果及び考察

アプリ上で自動的に得られる、FFTピーク強度周波数に対する時間経過を図5に、時間に対するピーク周波数を図6に示す。図5、6は、図3と同様に、気柱の長さ L と固有振動数 F は反比例の関係があることを示している。また、図3では基本振動のピーク周波数のみを扱っていたが、図5、6からは3倍以上の振動も観察することができる。なお、今回はアプリで自動的に得られたデータを紹介したが、アプリ「Phyphox」で得られるデータは、ExcelやCSVデータとしてエクスポートできるため、汎用性が高く、実験結果の更なる分析や考察に役立つ。

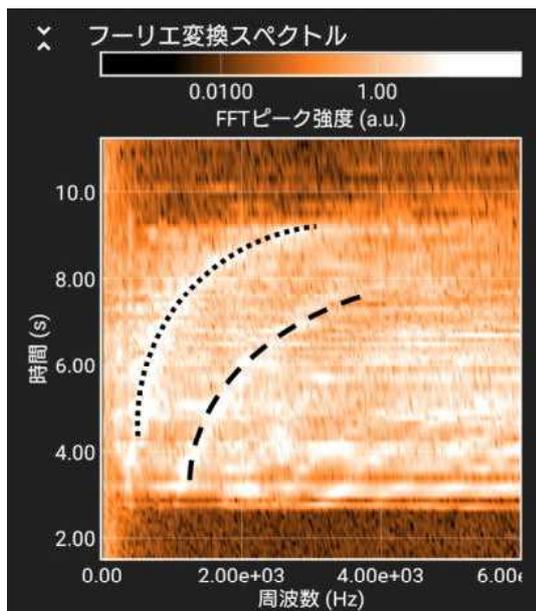


図5 100mLメスシリンダーのFFTピーク強度周波数に対する時間経過（周波数は白い部分ほどFFTピーク強度が高い。時間は管に水を注いだ時間を示す。単位時間あたりに注ぐ水量が一定と仮定すると、時間が経過するほど気柱の長さは短くなることを意味する。点線は基本振動、破線は3倍振動と考えられる部分を筆者が書き加えたもの。）

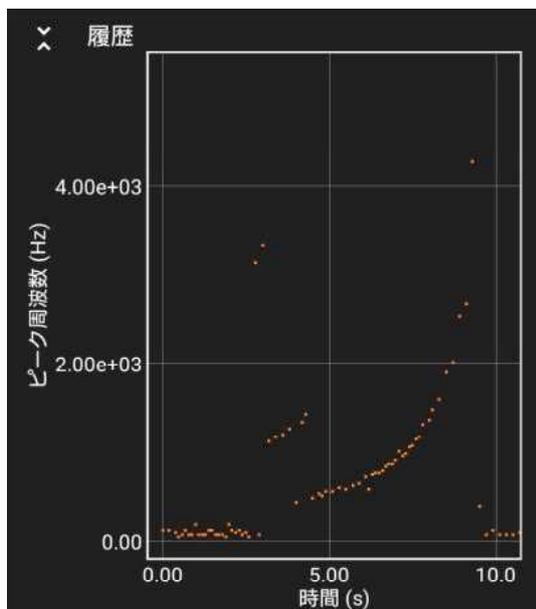


図6 100mLメスシリンダーの時間に対するピーク周波数（図5と同様に、時間が経過するほど気柱の長さは短くなる。）

(5)容器に水を注ぐ実験について

探究の課題や発展的な学習として、日常生活との関連を図りながら、大きさや形状の異なる様々な管又は容器を用いて実験し、気柱共鳴、ヘルムホルツ共鳴及びその中間領域のあるものについて考察することも考えられる。

ここでは、丸底フラスコを用いた例を紹介する。丸底フラスコは、ワイン、ビールやジュースのビンと同様に、太い胴体と細長い首のついた壺型の容器であることから、固有の共鳴周波数をもつヘルムホルツ共鳴器と呼ばれ、容器の口を拭くとポーという低い音が鳴る³⁾。図7のように、300mL丸底フラスコを用いて(3)と同様に実験をした結果を図8，9に示す。



図7 300mL丸底フラスコに水を注ぐ実験風景

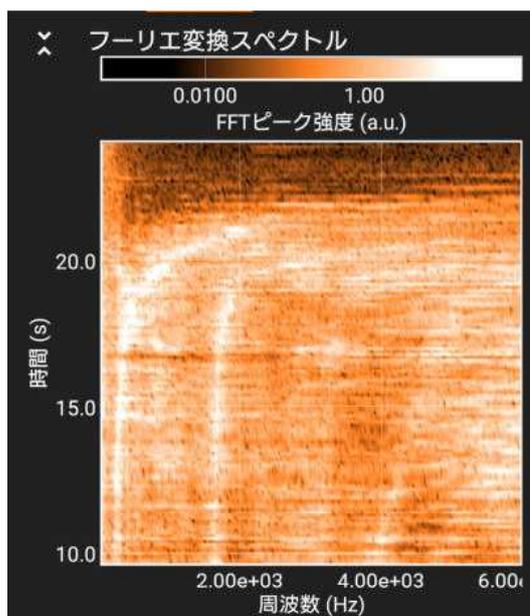


図8 300mL丸底フラスコのFFTピーク強度周波数に対する時間経過

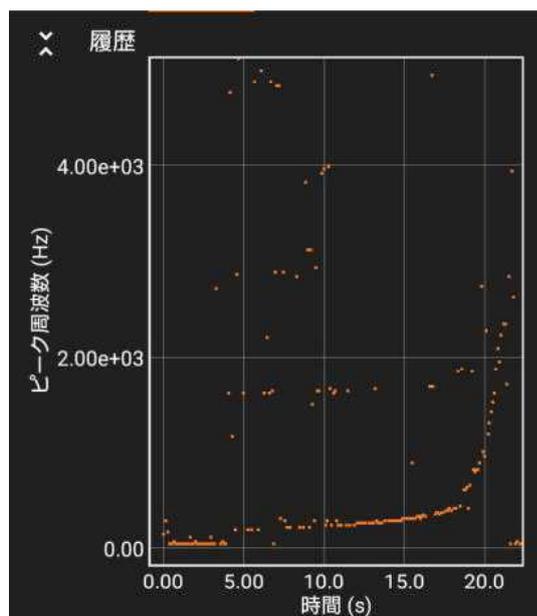


図9 300mL丸底フラスコの時間に対するピーク周波数

図8, 9について, 時間が20.0s程度までは丸型の太い胴体部分まで, それ以降は細長い首のついた管のような部分に水が入っていたことが実験から観察された。つまり20.0sまでは気柱共鳴よりも低い音からもわかるようにヘルムホルツ共鳴が, それ以降は気柱共鳴と似た現象が起こったと考えられる。また, 20.0sまでのピーク周波数から, 基本振動の他に, 3倍振動と5倍振動などが一部記録されたことがわかる。

3 探究的な学びへの展開例

高等学校学習指導要領では, 「自然の事物・現象に関わり, 理科の見方・考え方を働かせ, 見通しをもって観察, 実験を行うことなどを通して」と示されている。今回の2つの実験では, 管や容器に入れる水の量によって音が変わるという自然の事物・現象を, 気柱の長さや振動数について質的・量的な関係などの科学的な視点で捉え, 得られた結果を自然の事物・現象と比較したり, 関係付けたりするなどの科学的に探究する方法を用いて考えるという理科の見方・考え方を働かせ, 共鳴が起こる気柱の長さや振動数を予想したり仮説を立てたりするこ

とを通して, 検証するための実験を行わせることを意識したものである。

また, 「この科目で育成を目指す資質・能力を育むため, 観察, 実験などを行い, 探究の過程を踏まえた学習活動を行うようにすること」と示されている。実験1は, 身近な道具を用いた自然現象で, 検証できる仮説を設定しやすいことから, 仮説の設定から結果の処理まで(課題の探究)の探究の過程を踏まえた学習活動を意識したものである。家庭学習やICTの活用を踏まえ, 意見交換や議論, 調査などの対話的な学びに重点化した活動については, 高等学校教育課程編成・実施の手引理科(令和2年度)⁴⁾を参照願う。実験2は, 図4のように簡単に測定でき, 図5, 6などの実験結果が自動的に得られ, 観察・実験の結果を分析・解釈したり, 考察・推論したことや結論を発表したり, レポートにまとめやすいことから, 考察・推論から表現・伝達まで(課題の解決)の探究の過程を踏まえた学習活動を意識したものである。

おわりに

今回は, 高価で台数が限られる気柱共鳴管を用いた実験に限らず, 個別最適化された学びやBYODが学校現場で推進されていることを踏まえ, 学校や自宅, 個別やグループを選ばずに, 管やスマートフォンさえあれば測定可能な実験について取り扱った。また, 予め家庭学習として自宅で実験をすることが可能であれば, 学校での授業を協働的な学びに重点化できると考えられる。

参考文献

- 1) 「高等学校学習指導要領」(平成30年3月) 文部科学省
- 2) 「高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説 理科編 理数編」(平成30年7月) 文部科学省
- 3) 「ヘルムホルツ共鳴現象を利用した体積計測」(2001) 農業機械学会誌第63巻第1号
- 4) 「高等学校教育課程編成・実施の手引」理科(令和2年度) 北海道教育委員会

(かわばた まさし 物理研究班)