

## 2. ドップラー効果の測定

### 1. 目的

音源が動く時に観測される音の振動数を測定し、ドップラー効果の式を確かめる。

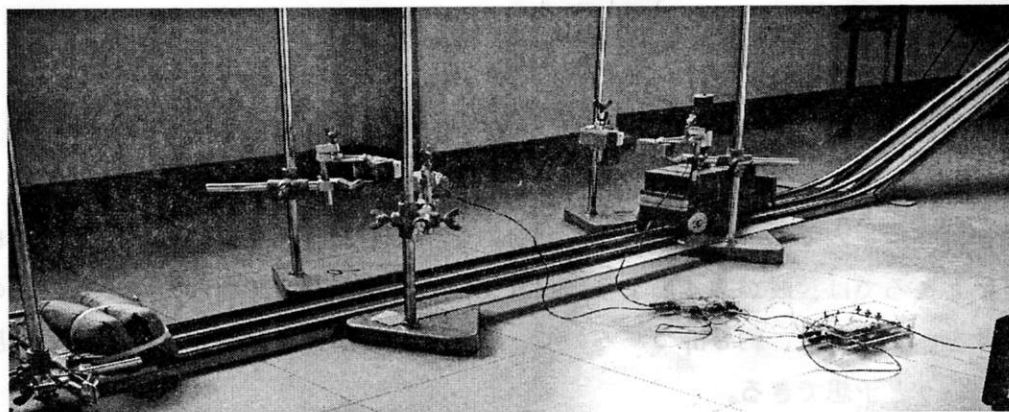
### 2. 準備

力学台車、力学台車用ガイドトラック (1.8mのものを2つ連結)、共鳴箱付き音さ、コンピュータ、マイク、サウンドブラスター (音源ボード)、デジタルストップウォッチ、光スイッチ

### 3. 方法

- (1) コンピュータにマイクを接続し (内蔵マイクを利用してもよい)、Windowsに付属するソフトのサウンドレコーダーを用いて、静止している音さの音を録音する。このとき、サウンドレコーダーのサンプリング周波数を44.1kHz、分解能を16ビットに設定する。
- (2) 音さを乗せた力学台車を直線運動させ、この音さの音をサウンドレコーダーで録音する。サウンドレコーダーの設定は(1)と同じにする。また同時に、光スイッチとデジタルストップウォッチを用いて台車が0.500mを動く時間を測定する。

図1 実験の全体図



- (3) サウンドブラスターに付属するソフトのサウンドエディターを用いて、録音した音の周期  $T$  を測定し、 $f = 1 / T$  の式より振動数  $f$  を求める。

### 4. 結果と考察

#### (1) 静止した音さの振動数

コンピュータによる測定の精度を確認するため、4種類のコンピュータを用いて、360Hzと440Hzの音さの振動数を求めた。いずれも20周期分の時間を求め、その値から振動数を計算した。サウンドエディターはサウンドブラスターが接続した状態でないと起動できない構

造になっており、今回の実験にはNEC PC-9800用のものを使用した関係上、Windows3.1上でこのソフトを利用した。図2にサウンドエディターによって得られた波形を示す。この図の波形を構成している点と点の横軸の間隔が $1/44100$  sに相当する。

図2 360Hzの音さの波形図（静止）

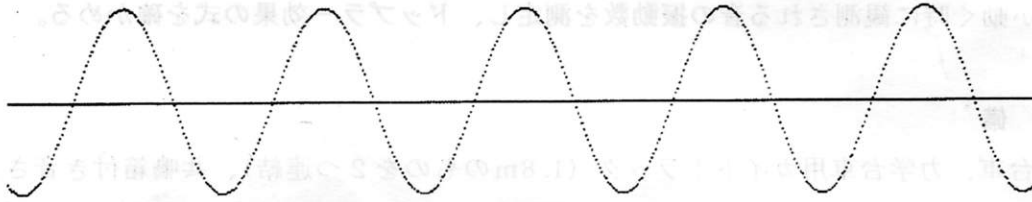


表1 音さの振動数（静止）

CPU	測定値 [Hz]			振動数 [Hz]	測定値 [Hz]			振動数 [Hz]
	1回目	2回目	3回目		1回目	2回目	3回目	
Celeron 500MHz	360.1	360.1	360.1	360.1	439.8	439.5	439.7	439.6
K6-2+ 450MHz	360.6	360.4	360.3	360.4	439.9	440.3	440.1	440.1
ATHLON 1GHz	360.1	360.0	360.4	360.2	439.7	439.5	439.7	439.6
486DX4 100MHz	360.9	360.7	360.9	360.8	440.6	440.6	440.6	440.6

表1より、コンピュータの性能がある程度以上あれば、振動数の差は0.2Hz程度におさまるようなので、この実験では音を録音するコンピュータとして、Celeron500MHzのものを用いた。そのため、音さの振動数としてこの機種値を用いた。

(2) 音さが動いているときの振動数の測定

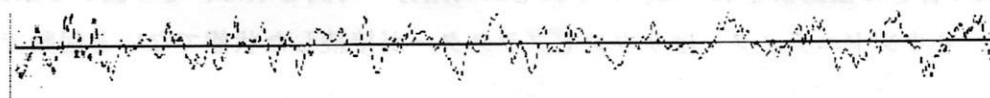
ア. 台車を斜面上ですべり落とした場合（実験室内）

最初は実験室内で実験を行ったが、図3に示すようになりが生じた。このため、振幅が小さいところでは、波が図4のようになり、波の周期が測定できなくなった。このうなりの振動数を測定すると、約8Hzであるので、斜面を立てかけた教師用実験台からの反射音のためであろうと予想できる。

図3 うなりが生じたとき



図4 図3の拡大図（振幅が小さい所）



イ. 台車を斜面上ですべり落とした場合 (廊下)

実験台からの反射音をなくすため、実験装置を廊下に出し、斜面を机に立てかけて実験を行った。この実験で得られた波形は、図5のように、うなりがあまり生じていない。音さに乗せた台車の速さは、表3の測定値より、360Hz、440Hzともに3.42m/sであった。

図5 うなりがあまり生じていないとき



表2 台車の速さ

	台車が0.500mを動く時間[s]					平均[s]	台車の速さ[m/s]
360Hz	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	0.1460	3.42
440Hz	0.146	0.146	0.146	0.147	0.146	0.1462	3.42

表3 測定された音の振動数 (360Hz) 気温30.2℃

周期の数	9	11	10	9	10	10	10	10	10	合計	89
時間 [s] ×1/44100	1089	1492	1227	1000	1211	1226	1199	1213	1219	合計	10876
振動数[Hz]	364.5	325.1	359.4	396.9	364.2	359.7	367.8	363.6	361.8	平均	360.9
周期の数	10	10	10	10	10	10	10	10	6	合計	86
時間 [s] ×1/44100	1233	1219	1222	1221	1222	1210	1207	1215	730	合計	10479
振動数[Hz]	357.7	361.8	360.9	361.2	360.9	364.5	365.4	363.0	362.5	平均	361.9
周期の数	10	10	10	10	10	10	10	6		合計	76
時間 [s] ×1/44100	1217	1218	1221	1213	1209	1210	1219	726		合計	9233
振動数[Hz]	362.4	362.1	361.2	363.6	364.8	364.5	361.8	364.5		平均	363.0
3回の平均											361.9Hz

表4 測定された音の振動数 (440Hz) 気温30.2℃

周期の数	10	10	10	10	10	10	10	10	8	合計	88
時間 [s] ×1/44100	999	991	991	1001	993	997	997	994	789	合計	8752
振動数[Hz]	441.4	445.0	445.0	440.6	444.1	442.3	442.3	443.7	447.1	平均	443.4
周期の数	10	10	10	10	10	10	10	10	8	合計	88
時間 [s] ×1/44100	999	991	991	1001	993	997	997	994	789	合計	8752
振動数[Hz]	441.4	445.0	445.0	440.6	444.1	442.3	442.3	443.7	447.1	平均	443.4

周期の数	10	10	10	10	10	10	10	6	/	合計	76	
時間 [s] ×1/44100	1001	982	1002	989	999	997	992	606		合計	7568	
振動数[Hz]	440.6	449.1	440.1	445.9	441.4	442.3	444.6	436.6		平均	442.9	
									3回の平均			443.2Hz

音速  $V$ [m/s]は $331.5 + 0.6 \times 30.2 = 349.6$ [m/s]となり、この音速を用いてドップラー効果の公式に代入して振動数を計算すると、

$$360\text{Hzでは } 360.1 \times \frac{349.6}{349.6 - 3.4} = 363.6\text{[Hz]}$$

$$440\text{Hzでは } 439.6 \times \frac{349.6}{349.6 - 3.4} = 443.9\text{[Hz]}$$

となり、440Hzの方はかなり近い値が出ているが、360Hzの方は近い値とは言えない。やはり、反射音の影響がかなりあるようで、振幅が小さい所では波の周期が測定できず、こういった所を避けて周期を求めたことに原因があるようである。

ウ. 斜面を使わないで台車を動かした場合

イの結果より、台車を滑り落としている斜面が音の反射を起こしている可能性を考えて、斜面を使わず、台車を手で押して動かして実験を行った。手で台車を押すため、台車の速さは毎回異なり、音の録音と同時に台車の速さを測定した。

表5 測定された音の振動数 (360Hz) 気温30.2°C

周期の数	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	合計	100
時間 [s] ×1/44100	1205	1215	1212	1213	1213	1220	1190	1221	1209	1207	合計	12105
振動数[Hz]	366.0	363.0	363.9	363.6	363.6	361.5	370.6	361.2	364.8	365.4	平均	364.3

台車の速さ 4.2m/s      ドップラー効果の式による計算値 364.3Hz

周期の数	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	合計	100
時間 [s] ×1/44100	1213	1217	1215	1216	1215	1196	1217	1215	1210	1208	合計	12122
振動数[Hz]	363.6	362.4	363.0	362.7	362.4	368.7	362.4	363.0	364.5	365.1	平均	363.8

台車の速さ 4.0m/s      ドップラー効果の式による計算値 364.2Hz

周期の数	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	合計	76
時間 [s] ×1/44100	1220	1214	1217	1211	1213	1213	1215	1217	1211	1210	合計	12141
振動数[Hz]	361.5	363.3	362.4	364.2	363.6	363.6	363.0	362.4	364.2	364.5	平均	363.2

台車の速さ 3.3m/s      ドップラー効果の式による計算値 363.4Hz

表6 測定された音の振動数 (440Hz) 気温30.2℃

周期の数	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	合計	100
時間 [s] ×1/44100	980	1004	998	999	994	993	997	996	987	992	合計	9940
振動数[Hz]	450.0	439.2	441.9	441.4	443.7	444.1	442.3	442.8	446.8	444.6	平均	443.7

台車の速さ 3.8m/s ドップラー効果の式による計算値 444.8Hz

周期の数	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	合計	100
時間 [s] ×1/44100	985	992	995	991	996	1002	972	999	977	985	合計	9894
振動数[Hz]	447.7	444.6	443.2	445.0	442.8	440.1	453.7	441.4	451.4	447.7	平均	445.7

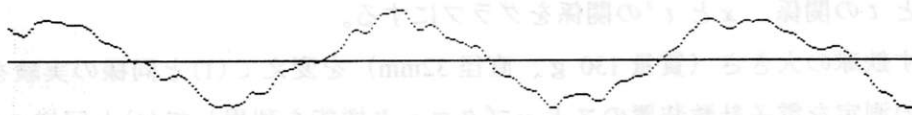
台車の速さ 4.2m/s ドップラー効果の式による計算値 445.3Hz

周期の数	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	合計	100
時間 [s] ×1/44100	993	984	990	1000	998	999	982	984	1010	981	合計	9921
振動数[Hz]	444.1	448.2	445.5	441.0	441.9	441.4	449.1	448.2	436.6	449.5	平均	444.5

台車の速さ 3.8m/s ドップラー効果の式による計算値 444.8Hz

360Hzの方は実験値と理論値の差が0.5Hz以内に収まっており、ドップラー効果の式の証明はある程度できたようである。しかし、440Hzの方は最大1.4Hzの差が生じている。これは、音さの音量が360Hzに比べて小さかったため、車輪からの雑音が重なり（図6）、音波の周期が正確に測れなかったためだと考えられる。また、どちらも反射音によるうなりがまだ生じており、うなりを完全になくすためには校舎の屋上等の壁が存在しない場所で実験を行うしかないようである。実験のデータで一番問題なのは、10周期ごとの振動数がかなり変化していることである。ある程度長い時間をとって振動数を計算すれば理論値にかなり近い値が出るが、短い時間ではかなり激しく変動しており、こんな値を平均して振動数を出してよいのか考えさせられる値である。これは音さの音に車輪の音が重なって、波の周期に変化を及ぼしているようであるが、より正確な実験のためには車輪の静音化やハイカットフィルターの工夫が必要である。

図6 車輪の雑音が重なった波形



## 5. 発 展

音源が動く場合だけでなく、観測者（マイク）が動く場合の実験を行う。また、音源または観測者が動く速さを規則的に変化させた実験を行う。