(表紙) 解答例

令和5年度　鹿児島大学理学部理学科
物理・宇宙プログラム
AO入試提出レポート

受験番号＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

氏名＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

1. 背景と目的

私たちが普段耳にしている「音」は、物体の振動が空気をふるわせ、それによって励起された空気の波が空間を伝播する現象である。様々な楽器から生み出される音色や音階は、古来より人類を魅了してきた。弦の長さや弦をはる力(張力)を変えると、弦からでる音色や音の高さ(音階)も変わることが知られている。本レポートでは、バイオリンとおんさを用いて行った以下のような実験について報告する。この実験を通して、音が物理的にどのように記述されるのかを理解する。

2. 方法

(1) 用意したもの

バイオリン 1台

おんさ　1本

オシロスコープ機能を持ったタブレット端末　1台

(2) 実験の手順

1) バイオリンに張られた 4 本の弦のうちの 1 本の弦 A について、弦の振動する領域の長さ L を計測すると、L = 32.7 cm であった(L は図 1 の矢印の長さであり、上駒と駒の間の距離である。)。ただし弦の振動領域の両端である、上駒と駒はそれぞれ固定端とみなす。

実験 1

2) どこも押さえずに弦 A から音を出し、その音の波形を計測した。横軸を時間、縦軸を音の振幅として図 2(a)の波形を得た。

ただし、横軸は左端を時間の原点とし、そこからの経過時間を示している(波形のグラフの横軸、縦軸については以下同様である。)。また本レポートでは、得られた弦の振動は固有振動の重ね合わせとみなせることとする。

固有振動：弦の両端を節とする定在波。

3) (どこも押さえていない)弦 A の基本振動数のみを持つ音を、おんさからだして 2)と同様に計測すると、図 2(b)の波形を得た。

基本振動数：固有振動のうち最も振動数の小さい振動(基本振動)の振動数。

実験 2

4) 弦 A のある場所を指で押さえ、弦の振動領域の長さを変えることで、ドの音を出し計測すると図 3(a)、別の場所を指で押さえその 1 オクターブ上のド(以下「上のド」と呼ぶ) の音を出し計測すると図 3(b)の波形を得た。

ここで「1 オクターブ」とは、「ドレミファソラシド」の最初のドと最後のドのように、任意の音から数えて 8 番目の音同士の関係を表す。

実験 3

5) 弦 A の張力 F を変えて、どこも押さえずに鳴らした音を計測すると、図 4(a)から図 4(f)の波形を得た。張力 F の値は図中に示されている。

以下課題シートに従って 3. 結果、4. 考察、5. 結論を作成し、レポートを完成させなさい。

3. 結果

実験 1

(1-1) ものさしを用いて、図 2(a)のデータを読み取り、弦 A をどこも押さえずに出した音の基本振動数を有効数字 3 桁で求める。

ものさしで波の周期を、ものさしの最小目盛りの 1/10 まで読み取り、周期 T を計測したところ

$T = 2.24 \times 10^{-3}$ [s]

となった。したがって

振動数fは $f = \frac{1}{T} = 4.46 \times 10^{2}$ [Hz]

と計算できる。

(1-2) 上の(1-1)結果を用いて、弦 A を伝わる基本振動の波の速さを導出する。

波の速さvは波長λと振動数fを用いて、

$$v = f\lambda,$$

と与えられる。

ただし、弦の両端は節であるので、基本振動の波長は

$$\lambda = 2L$$

である。

これらを用いて

$$v = f \times 2\,L = 446 \times 0.327 \times 2 = 2.92\ \times 10^{2}\ \mathrm{m/s}$$

と波の速さが求められる。

実験 2

(2-1) 図 3(a)の「ド」と、 図 3(b)の「上のド」の図から、それぞれの基本振動数を有効数字 3 桁で求める。

波の周期を、ものさしの最小目盛りの 1/10 まで読み取り、周期を計測した。そして、その周期の逆数を計算することによって、振動数を以下のように求めた。

ド: 5.20×10^{2} Hz、 上のド: 1.06×10^{3} Hz

実験 3

(3-1) ものさしを用いて、図 4(a)から図 4(f)のデータを読み取り、張力 F、基本振動の周期 T_1、基本振動数 f_1、基本振動数の 2 乗 f_1^2 の値を求め、表 1 を完成させた(以下の表 1 参照)。

(3-2) 表 1 のデータを用いて、張力 Fを横軸に、基本振動数 f_1 を縦軸にとったグラフ 1 を作成した。

(3-3) 表 1 のデータを用いて、張力 Fを横軸に、基本振動数の 2 乗 f_1^2 を縦軸にとったグラフ 2 を作成した。(以下のグラフ 1、2 参照)。

4. 考察

(1) 図 2 のバイオリンとおんさの波形を見比べると、その波形に相違点がある。その理由について考察する。

図 2 のおんさの波形とバイオリンの波形を比べると、基本振動は最も振動数の小さい波を表していることがわかる。さらに、バイオリンの波形には基本振動以外にも、より振動数の大きい 2 倍振動、3 倍振動など、異なる振動数の波が含まれていることがわかる。このことが波形の違いを生んでいると考えられる。

(2)実験 1 における弦 A の基本振動の波の速さと、音速を比較することで、空気中を伝わる波の波長と(どこも押さえなかった場合の)弦 A の基本振動の波長の違いについて考察する。

実験 1 の結果（1-2）から、基本振動の波の速さは 292 m/s で空気中の波の速さ（340 m/s）より遅いことがわかった。弦の振動は振動数が等しくなるように空気をふるわすため、空気中の音の振動数と弦の振動数は一致する。したがって $\lambda f=v$ より、波長は空気中のほうが長いことがわかった。

(3)実験 2（図 3）の結果をもちいて、1 オクターブ高い音を出すためには、振動領域の長さを何倍にすればよいかを考察する。

実験 2 から、ドに比べて、上のドの振動数は誤差の範囲で 2 倍になると結論づけられる。したがって弦を伝わる波の速さを一定とすると、振動領域、すなわち

波長を 1/2 倍にすれば 1 オクターブ高い音が出ると考えられる。

(4) 実験 3 で解析した、基本振動数 f_1 と張力 F の関係を考察する。

グラフ 2 から、F と f_1^2 のグラフが直線的に変化していることがわかる。つまり、f_1 は F の 1/2 乗に比例すると考えられる。

(5) 1 オクターブ高い音を出すためには、張力を何倍にすればよいか考察する。

考察(4)から、F の 1/2 乗に f_1 が比例するので、F を 4 倍にすると f_1 が 2 倍となり、1 オクターブ高い音がでると考えられる。

5. 結論

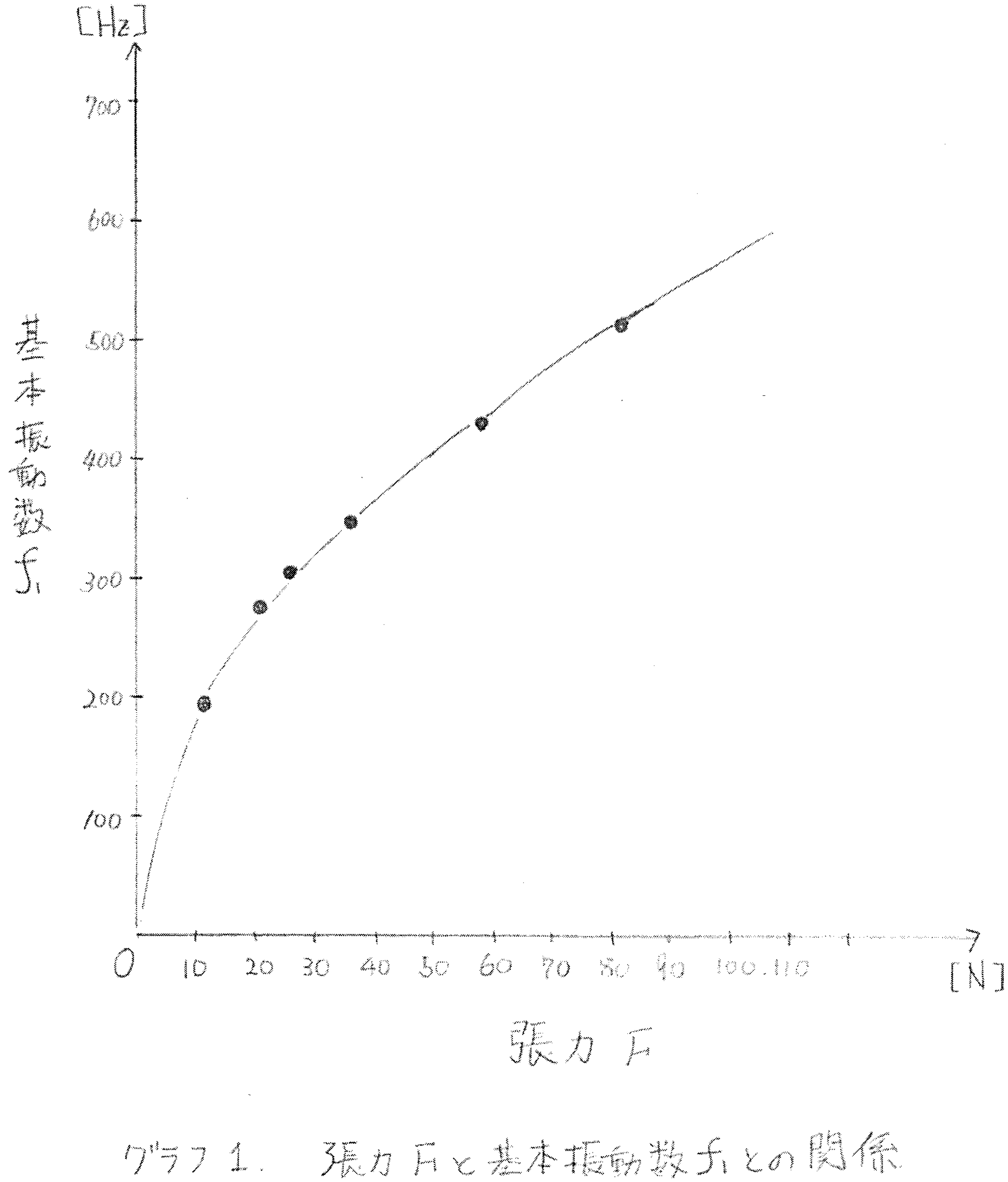
(1)この実験からわかったことをまとめる。

バイオリンを用いて音についての実験を行った。その結果、以下のことが分かった。

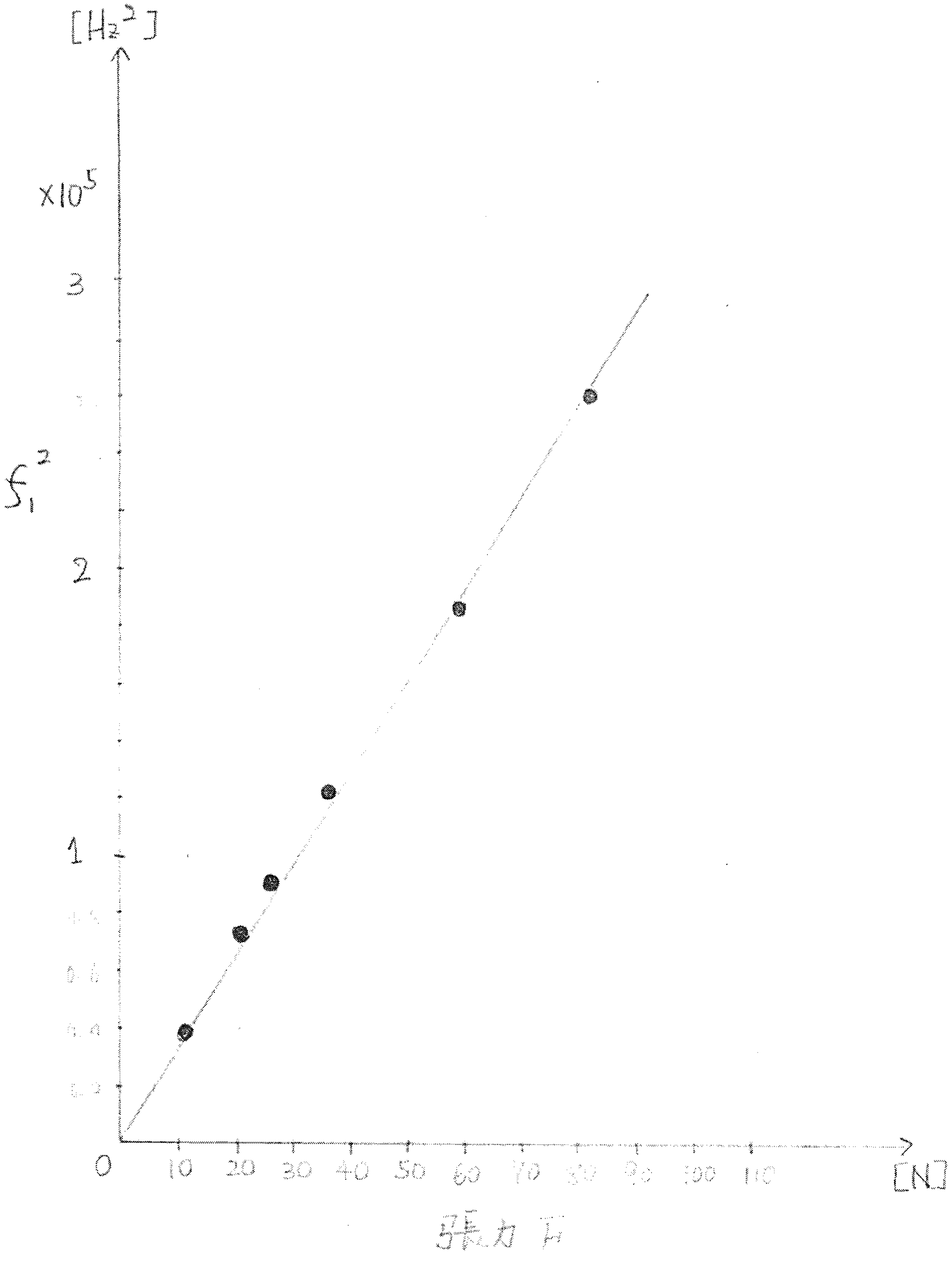
1. 実験 1 では、空気中を伝わる波よりも弦 A をつたわる波のほうが遅いことがわかった。
2. 実験 2 から、ドと 1 オクターブ上のドでは、振動数が約 2 倍異なることがわかった。
3. 実験 3 から、基本振動数の 2 乗と弦の張力は比例関係にあることがわかった。

表 1 [　　　　　　　　　張力と周期、基本振動数f_1、f_1^2の関係　　　　　]

張力 F [N]	周期 T_1 [秒]	基本振動数 f_1 [Hz]	f_1^2 [Hz^2]
11.6	5.10×10^{-3}	1.96×10^{2}	3.84×10^{4}
20.5	3.62×10^{-3}	2.76×10^{2}	7.62×10^{4}
26.0	3.28×10^{-3}	3.04×10^{2}	9.24×10^{4}
36.5	2.86×10^{-3}	3.50×10^{2}	1.23×10^{5}
58.5	2.31×10^{-3}	4.32×10^{2}	1.87×10^{5}
82.0	1.94×10^{-3}	5.15×10^{2}	2.65×10^{5}



グラフ 1.　張力 F と基本振動数 f_1 との関係



グラフ2　張力Fと$f_1{}^2$との関係