

## 実験問題 1 の解答用紙（両面 3 枚）

| 第 2 チャレンジ番号 | 氏 名 |
|-------------|-----|
|             |     |

### 課題 1－1

測定結果を表の 2 行目にまとめよ。

| 共振モード         | 基本振動 | 2 倍振動 | 3 倍振動 |
|---------------|------|-------|-------|
| 共振振動数<br>(Hz) | 24.9 | 50.3  | 75.1  |
| 基本振動数<br>との比  | 1    | 2.02  | 3.02  |
|               |      |       |       |

### 課題 1－2

結果の考察

- ① 観測された倍振動数と基本振動数のあいだにはどのような関係がみられるか。必要とあらば表の空欄部分を活用せよ。 基本振動数の 2 倍、3 倍になっている。
- ② 観測された基本振動数の測定値と (3) 式から推定される振動数の計算結果と比較検討せよ。

$$n = 1 \text{ と置いた (3) 式 : } f_1 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\rho}} \text{ に}$$

$L = 0.7 \text{ m}$ ,  $\rho = 6.5 \times 10^{-4} \text{ kg/m}$ ,  $T = 8 \times 9.5 \times 10^{-3} \times 9.8 \text{ N}$  を代入して計算すると、

$$f_1 = 24.2 \text{ Hz}$$

測定値と計算値はほぼ一致している。

20

点

課題 2－1

測定結果を表の 2 行目にまとめよ。

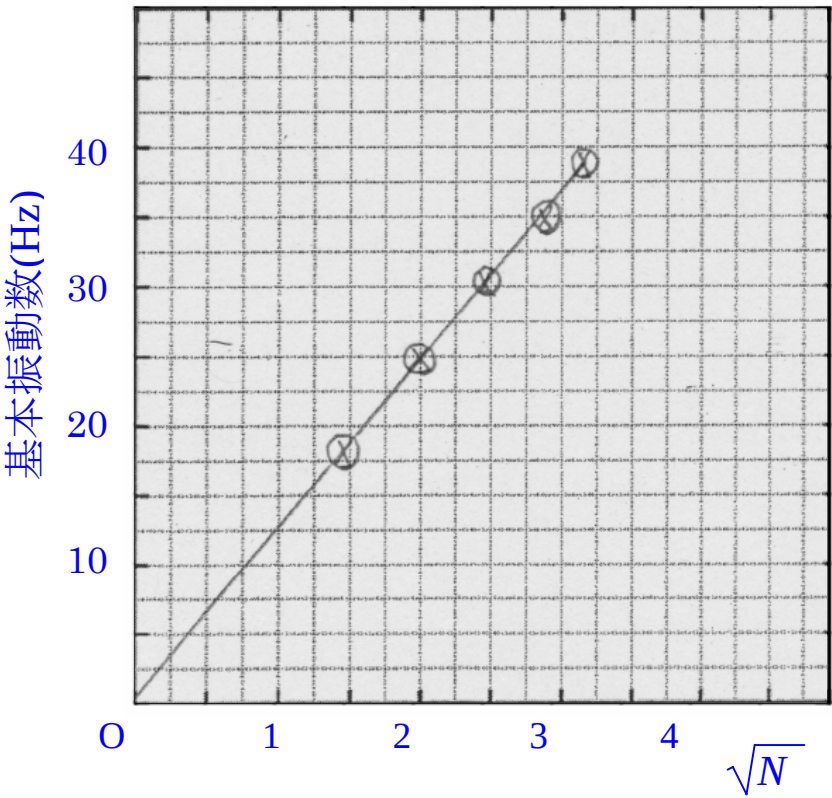
|               |      |      |      |      |      |
|---------------|------|------|------|------|------|
| おもりの<br>個数    | 2    | 4    | 6    | 8    | 10   |
| 基本振動数<br>(Hz) | 18.0 | 25.1 | 30.5 | 34.8 | 39.0 |
| $\sqrt{N}$    | 1.41 | 2.00 | 2.45 | 2.83 | 3.16 |
|               |      |      |      |      |      |

課題 2－2

測定結果のまとめと考察

必要とあらば下のグラフ用紙や上表の空欄部分を活用せよ。

おもりの個数を  $N$  と置く。 $T \propto N$  であるので(3)式から、 $f \propto \sqrt{N}$  となることが予想される。  
基本振動数  $f$  とおもりの個数  $N$  の平方根との関係をグラフにすると、原点を通る直線となり、 $f \propto \sqrt{N}$  が確認された。



15 点

|             |     |
|-------------|-----|
| 第 2 チャレンジ番号 | 氏 名 |
|             |     |

課題 3－1

測定結果を表の 2 行目にまとめよ

|                                  |      |      |      |      |      |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|
| 弦の長さ<br>(cm)                     | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   |
| 基本振動数<br>(Hz)                    | 43.4 | 34.5 | 29.3 | 25.4 | 22.4 |
| $\frac{1}{L}$ (m <sup>-1</sup> ) | 2.50 | 2.00 | 1.67 | 1.43 | 1.25 |
|                                  |      |      |      |      |      |

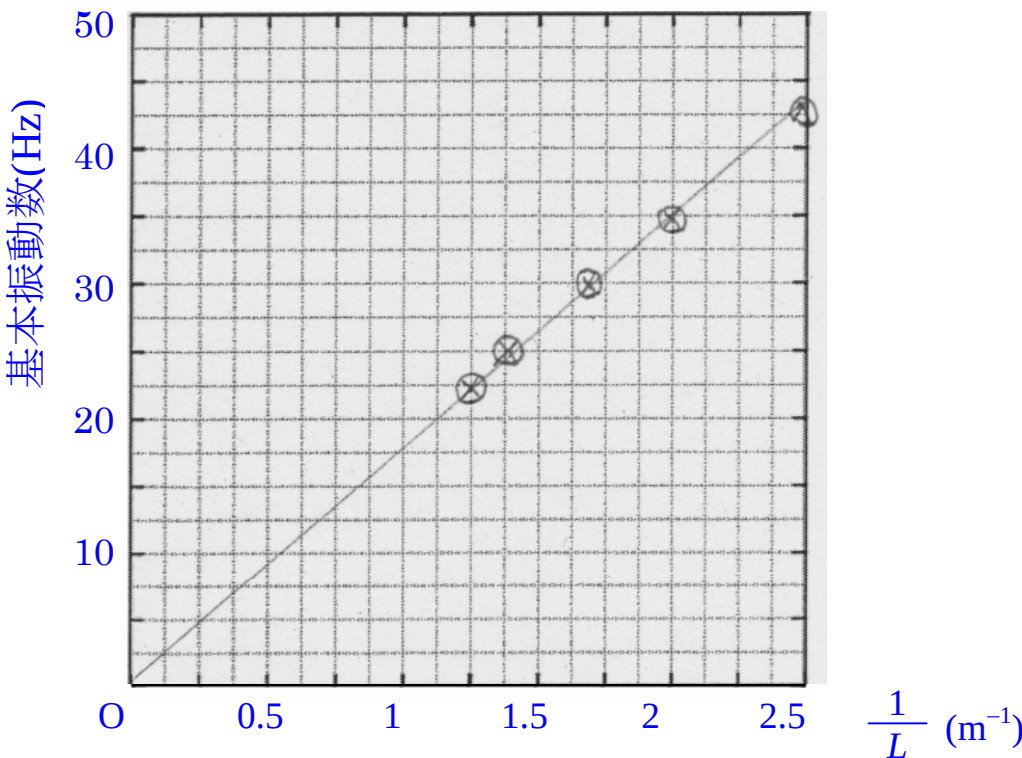
課題 3－2

測定結果のまとめと考察

必要とあらば下のグラフ用紙や上表の空欄部分を活用せよ。

弦の長さを  $L$  と置く。(3)式から、 $f \propto 1/L$  となることが予想される。

基本振動数  $f$  と弦の長さ  $L$  の逆数との関係をグラフにすると、原点を通る直線となり、 $f \propto 1/L$  が確認された。



15 点

課題 4－1

測定結果を表の 2 行目にまとめよ

|                                                                |                      |                      |                      |
|----------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 弦の直径(mm)                                                       | 0.3                  | 0.2                  | 0.1                  |
| 基本振動数<br>(Hz)                                                  | 30.8                 | 44.9                 | 91.8                 |
| 線密度(kg/m)                                                      | $6.5 \times 10^{-4}$ | $2.9 \times 10^{-4}$ | $7.3 \times 10^{-5}$ |
| $\frac{1}{\sqrt{\rho}}$ (kg <sup>-1/2</sup> m <sup>1/2</sup> ) | 39                   | 59                   | 117                  |
|                                                                |                      |                      |                      |

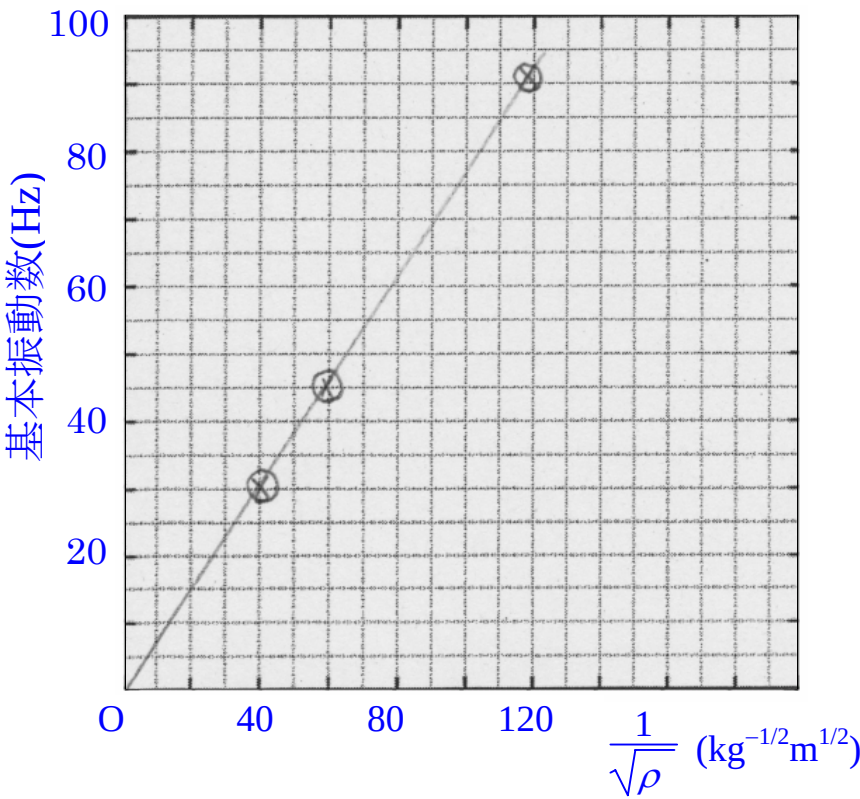
課題 4－2

測定結果のまとめと考察

必要とあらば下のグラフ用紙や上表の空欄部分を活用せよ。

弦の線密度を $\rho$  と置く。(3)式から、 $f \propto 1/\sqrt{\rho}$  となることが予想される。

基本振動数  $f$  と弦の線密度 $\rho$  の平方根の逆数との関係をグラフにすると、原点を通る直線となり、 $f \propto 1/\sqrt{\rho}$  が確認された。



15

点

| 第2チャレンジ番号 | 氏 名 |
|-----------|-----|
|           |     |

### 課題5－1

測定結果を表の2行目にまとめよ。

| おもりの<br>個数    | 4    | 6    | 8    | 10   | 12   |
|---------------|------|------|------|------|------|
| 基本振動数<br>(Hz) | 15.6 | 19.1 | 21.9 | 24.5 | 26.8 |
| $\sqrt{N}$    | 2.00 | 2.45 | 2.83 | 3.16 | 3.46 |
|               |      |      |      |      |      |

### 課題5－2

測定結果のまとめと考察

必要とあらば下のグラフ用紙や上表の空欄部分を活用せよ。

①  $f \propto \sqrt{N}$  となることから、基本振動数が張力の平方根に比例することが分かった。

②一様な弦と仮定すると線密度は、 $\rho = 0.76 \times 10^{-3} / 48 \times 10^{-2} = 1.58 \times 10^{-3} \text{ kg/m}$  となる。

おもりの数  $N=4$  のとき、 $T = 4 \times 9.5 \times 10^{-3} \times 9.8 = 0.372 \text{ N}$  であり、 $L = 0.48 \text{ m}$  として、

基本振動数を計算すると、

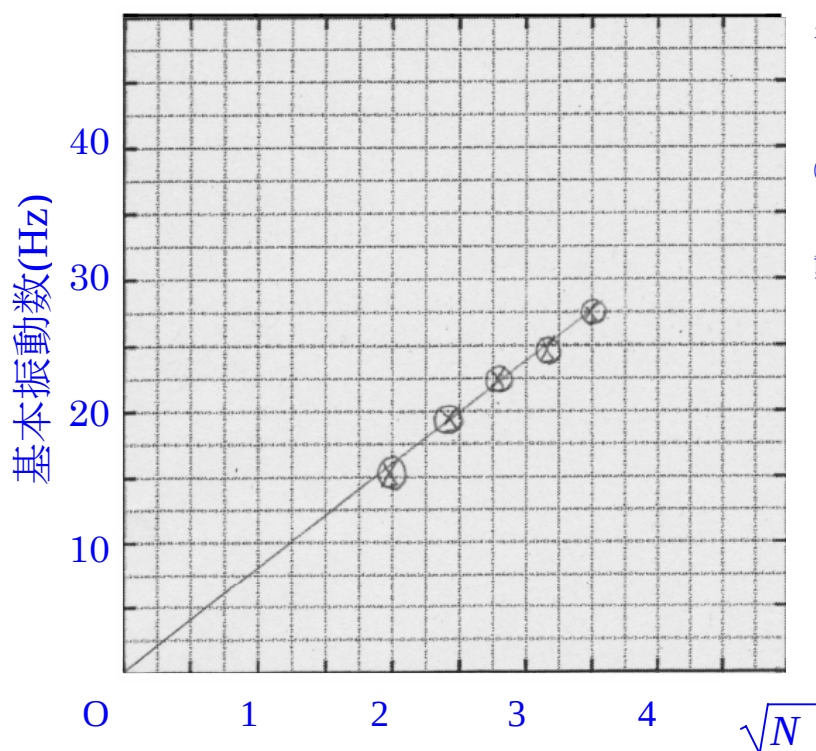
$$f = 15.8 \text{ Hz}$$

となり、測定値とほぼ一致している。

③②の結果から、長さ  $L$  の間隔で質量  $m$  のビーズが7個つながった弦の基本振動では、波の速さは弦を線密度  $\rho = m/L$  の一様な弦とみなしたときの速さ

$$v = \sqrt{\frac{T}{\rho}} = \sqrt{\frac{TL}{m}}$$

にほぼ一致することが分かった。



20

点

課題 6－1

測定結果を表にまとめよ。

|            |      |
|------------|------|
| 基本振動数(Hz)  | 47.7 |
| 2 倍振動数(Hz) | 98.0 |

課題 6－2

測定結果の考察

弦の一端に、弦に平行な振動を与えると、弦に垂直な振動を与えた課題 1－1 の場合の 2 倍振動数（50.3 Hz）の近く（47.7 Hz）で大きな基本振動の共振が見られ、その約 2 倍の振動数（98.0 Hz）で 2 倍振動の共振が観測された。

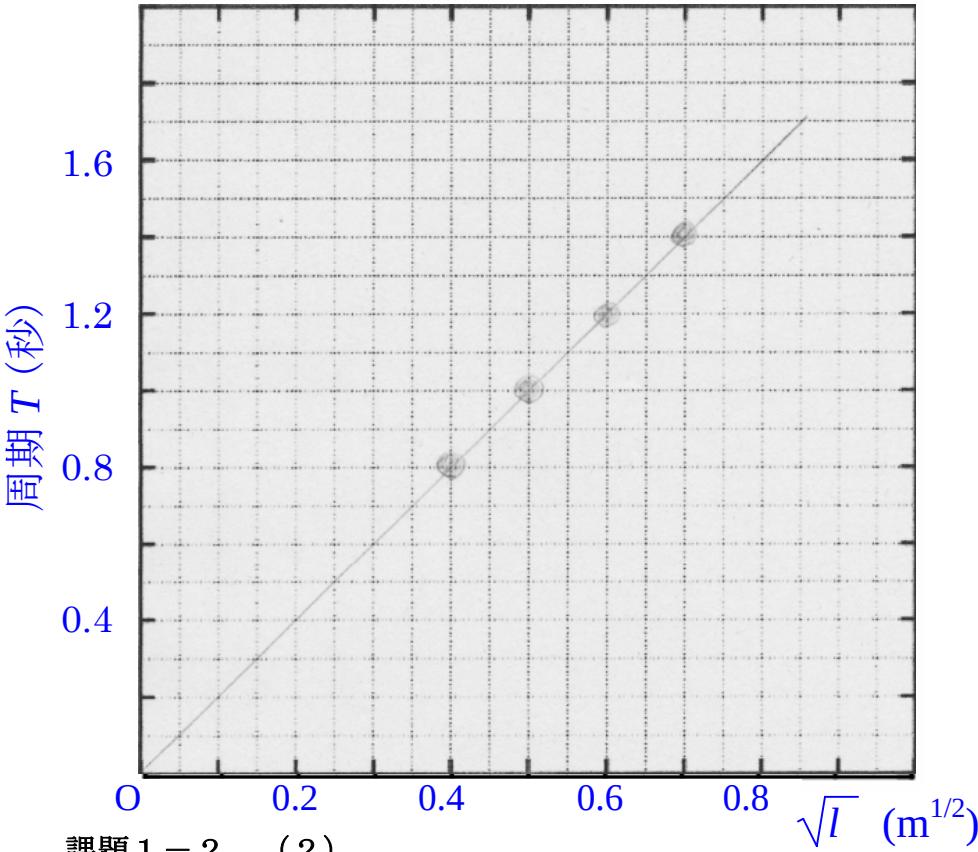
課題 1－1 の 2 倍振動のとき、節付近が不安定な振動をしたのは、ここで観測したパラメトリック励振の基本振動が同時に起こったためと考えられる。

15  
点

実験問題 2 の解答用紙（両面 4 枚）

|             |     |
|-------------|-----|
| 第 2 チャレンジ番号 | 氏 名 |
|             |     |

課題 1－2 （1）



5 点

課題 1－2 （2）

$g = 9.8 \text{ m/s}^2$

5 点

課題 2－2 （1）

10 点

|       | $l_s/2$         | $l_s$           | $2l_s$          | $3l_s$          | $4l_s$          |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 長さ(m) | 0.070           | 0.140           | 0.281           | 0.421           | 0.561           |
| 振幅(度) | $1 \times 10^1$ | $4 \times 10^1$ | $1 \times 10^1$ | $1 \times 10^1$ | $1 \times 10^1$ |

課題 2 - 2 (2)

$$l_r = 0.140 \text{ m}$$

5 点

課題 2 - 4 (1)

$$f_r = 1.33 \text{ Hz}$$

15 点

|                         |        |        |        |        |        |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\Delta l \text{ (m)}$  | -0.020 | 0.020  | 0.030  | 0.040  | 0.050  |
| $\Delta f \text{ (Hz)}$ | 0.108  | -0.084 | -0.122 | -0.156 | -0.187 |
| うなりの<br>周期 (s)          | ~9     | ~10    | ~8     | ~6     | ~5     |

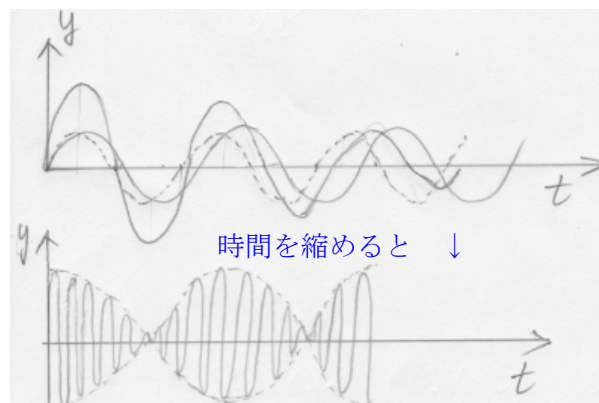
課題 2 - 4 (2)

$$T = 1/|\Delta f|$$

10 点

$$y = \sin(2\pi f_r t) + \sin(2\pi(f_r + \Delta f)t) = 2\cos(\pi\Delta f t) \sin(2\pi(f_r + \Delta f/2)t)$$

2つの振動数の平均値  $f_r + \Delta f/2$  の振動の振幅が、 $|\cos(\pi\Delta f t)|$  で振動する。これは2つの振動数の差の半分  $|\Delta f|/2$  の2倍の振動数  $|\Delta f|$  で増減する。



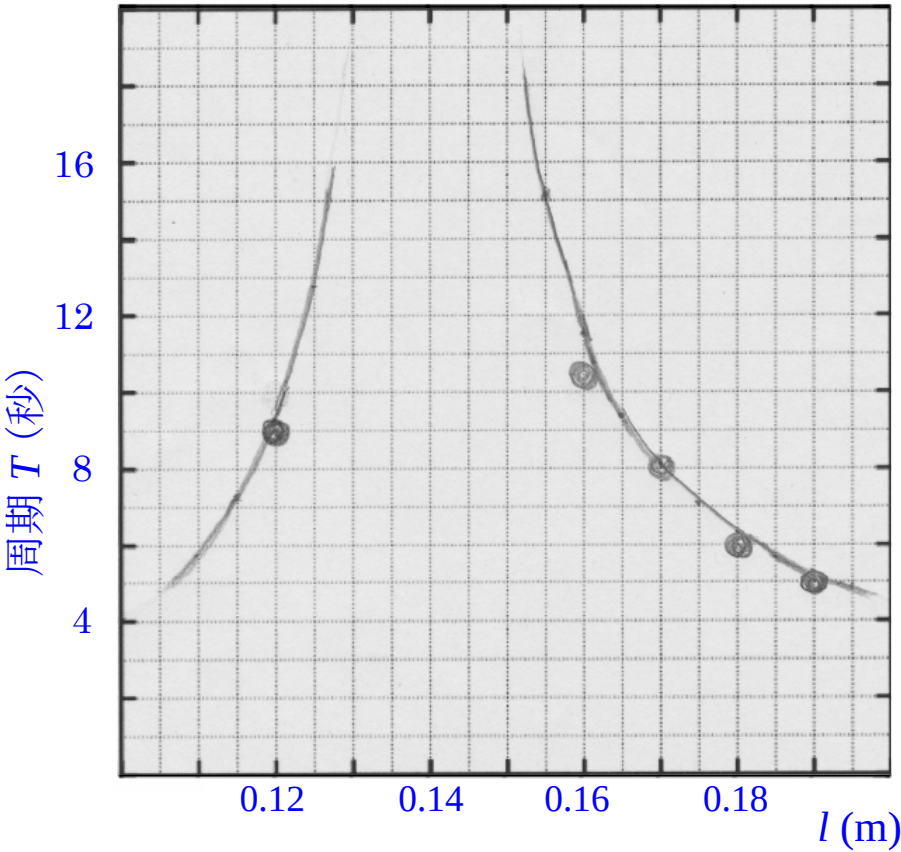
山と山が重なる ↑

↑ 山と谷が重なる

| 第2チャレンジ番号 | 氏 名 |
|-----------|-----|
|           |     |

課題2-4 (3)

5  
点



(2)で求めたうなりの周期(曲線)と実測(黒丸)の値はほぼ一致した。

課題2-6 (1)

|         |     |
|---------|-----|
| 支点の初期位置 | (c) |
|---------|-----|

5  
点

課題2-6 (2)

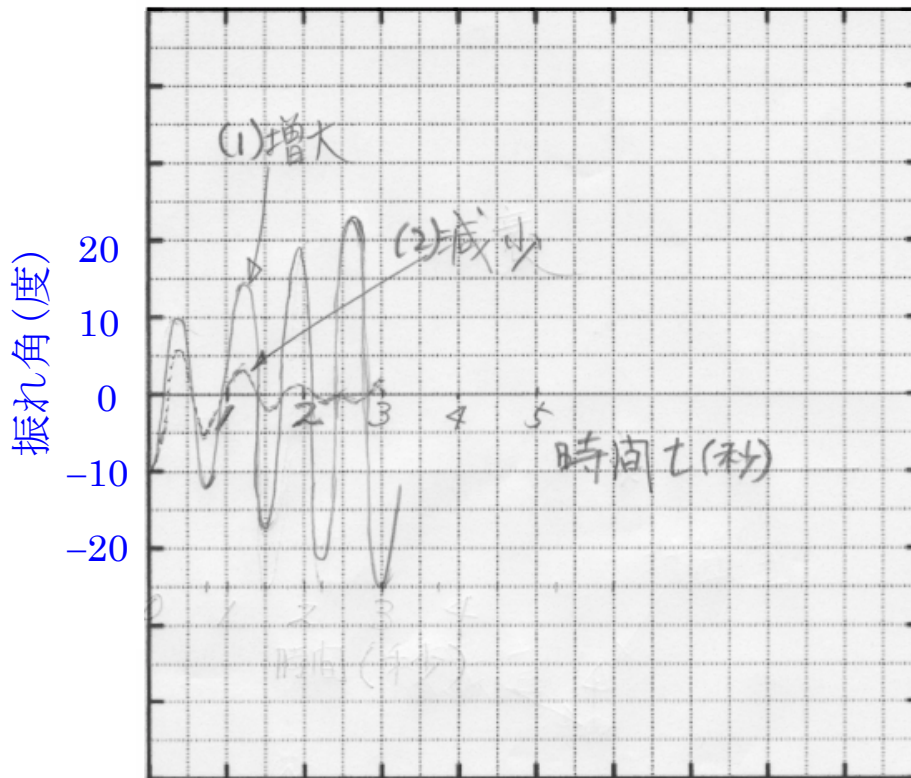
|         |     |
|---------|-----|
| 支点の初期位置 | (d) |
|---------|-----|

5  
点

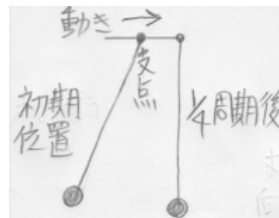
課題 2-6 (3)

10

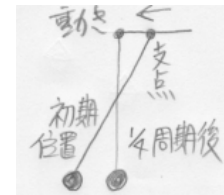
点



(1) 振幅増大時：  
おもりに働く張力の水平成分と同じ向きに支点が動いている。



(2) 振幅減少時：  
おもりに働く張力の水平成分と逆の向きに支点が動いている。



課題 2-6 (4)

5

点

おもりに働く張力の水平成分が弱まる（強くならない）方向に支点を動かせば良い。すなわち、荷物が真下を通過するとき荷物の動く方向にクレーンを動かす。

| 第2チャレンジ番号 | 氏 名 |
|-----------|-----|
|           |     |

課題3－2（1）

15  
点

|       | $l_s$ | $2l_s$ | $3l_s$ | $4l_s$ | $5l_s$ |
|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 長さ(m) | 0.140 | 0.281  | 0.421  | 0.561  | 0.701  |
| 振幅(度) | ~10   | ~10    | ~10    | ~40    | ~10    |

|                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| $l_r = 0.561$ m | $f_r = 0.67$ Hz |
|-----------------|-----------------|

課題3－2（2）

5  
点

おもりに働く糸の張力の水平成分はおもりの振動数と同じ振動数で増減している（向きが変わる）のに対して、おもりに働く張力（の鉛直成分）はおもりの振動数の2倍の振動数で増減するから。

(白紙)

これよりチャレンジ問題：

| 第2チャレンジ番号 | 氏 名 |
|-----------|-----|
|           |     |

課題3－4（1）

$$f_r = 0.67 \text{ Hz}$$

点

|                 |        |  |  |  |  |
|-----------------|--------|--|--|--|--|
| $\Delta l$ (m)  | 0.020  |  |  |  |  |
| $\Delta f$ (Hz) | -0.012 |  |  |  |  |
| うなりの<br>周期 (s)  | 45     |  |  |  |  |

課題3－4（2）

点

振動数  $f = f_r + \Delta f$  の振り子の  $N$  周期分の時間がうなりの周期  $T$  であるとすると、この間に糸長は振動数  $f_s = 2f_r$  で  $2N \pm 1$  周期だけ振動する。

したがって、

$$T = \frac{N}{f} = \frac{2N \pm 1}{f_s} = \frac{2N}{2f} = \frac{1}{|f_s - 2f|} = \frac{1}{|2f_r - 2(f_r + \Delta f)|} = \frac{1}{2|\Delta f|}$$

$\Delta f = 0.012 \text{ Hz}$  を代入すると、 $T = 1/(2 \times 0.012) = 42 \text{ s}$  となり、実測値  $45 \text{ s}$  とほぼ一致する。

この関係式は、課題2－4（2）で求めた公式  $T = 1/|\Delta f|$  とは2倍異なる。

課題 3－6（1）

点

|         |     |
|---------|-----|
| 最も大きく増大 | (d) |
| 最も大きく減衰 | (c) |

課題 3－6（2）

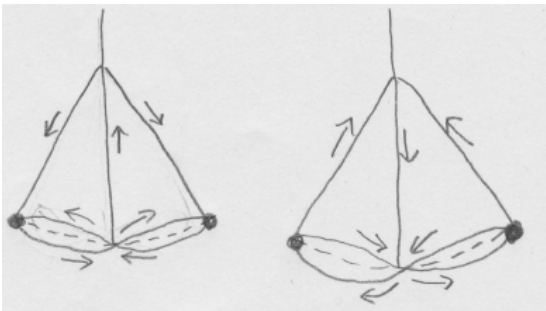
点

おもりが真下に来た（振れ角 0 の）とき、速度が最大となり、遠心力により糸の張力も最大となる。

張力が最大（最小）のとき糸を短く（長く）すると、1 周期の間におもりに対して正の仕事をするので振幅は増大し、逆に、張力が最大（最小）のとき糸を長く（短く）するとおもりに対して負の仕事をするので振幅は減少する。

(1) 振幅増大時

(2) 振幅減少時



課題 3－6（3）

点

ブランコでは、糸の伸縮の代わりに重心を上下させて仕事をする。  
真下に来た（振れ角 0 の）とき、立ち上がり、振れが最大のにしゃがめば振幅を増大させることができる。