

## 【演示・実験】 波の式と位相 (実験書)

【目的】音波が空気（媒質）を伝わる様子をオシロスコープで観察することによって、波を表す式と位相について理解するとともに、発振器から出ている実際の周波数を測定する。

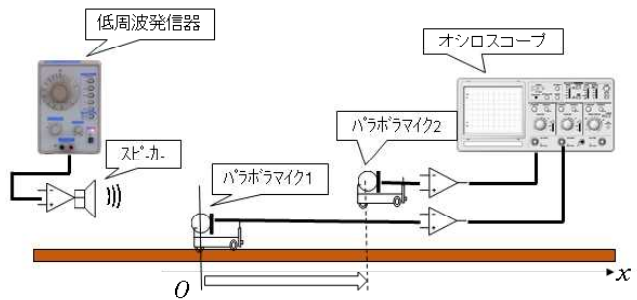
【準備】低周波発信器、スピーカー、スピーカー用アンプ、パラボラマイク 2、マイク用アンプ 2、オシロスコープ、台車 2、台車用レール 2 組、物差し（メジャー）

### 【実験方法】

#### 1 実験装置

図 1 のように各装置を接続し、低周波発振器からスピーカーを通して 400Hz ~ 1000Hz 程度の音を送り出す。板上に 2 組のレールを平行に配し、台車上にパラボラマイクを置き、平行に移動できるように設置する。板にはメジャーを張り付け、マイクの  $x$  座標を読めるようにする。

図1 実験装置概要

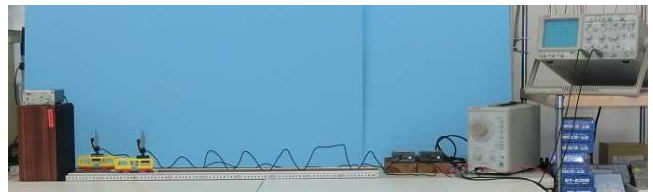


#### 2 実験方法

##### (1) 実験準備

①座標  $x = 0$  の位置にマイク 1 を置き、オシロスコープの  $ch1$  に波形（マイク 1 の媒質の単振動）を表示する。

② マイク 2 を  $x = 0$  の位置に置き、オシロスコープの  $ch2$  に波形（マイク 2 の媒質の単振動）を表示する。 $ch1$  と  $ch2$  の位相が一致する（ $ch1$  と  $ch2$  波形が上下で揃う）ように、マイクとスピーカーの位置を調整する。マイク用アンプの出力を調整して振幅が同じになるよう調整する。



(2) **実験 1** マイク 2 を右にずらしていく（ $x$  を大きくしていく）と  $ch1$  と  $ch2$  の一致していた波形の  $ch2$  の波形が右にずれていくことが観察できる。すなわち、 $x$  の値が大きくなるにしたがって、同じ位相（例えば山の位相）が時間的に遅れていくことを理解する。

(3) **実験 2** マイク 1 に対するマイク 2 の位相の遅れの大きさ  $\Phi$  が位置のずれ  $x$  とどのような関係があるかを調べる。

①低周波発信器で表示されるおよその周波数  $f$  [Hz] と気温  $t$  [°C] を測定して、求められる音速  $V$  [m/s] を計算する。

②マイク 2 の位置をずらしながら、 $ch1$  の位相に対する  $ch2$  (マイク 2) の波形の位相のずれ  $\Phi$  が、 $(1/4) \times 2\pi$ ,  $(2/4) \times 2\pi$ ,  $(3/4) \times 2\pi$ ,  $\dots$  のずれになるときの  $x$  座標を読み取る。

#### 3 実験結果

$x - \Phi$  グラフを書き、 $x$  が  $\Phi$  に比例することを確認する。

#### 4 考察

マイク 1 の単振動は、 $y = A \sin(2\pi t/T)$  であることがオシロスコープから読み取ることができる。マイク 2 の単振動（位置  $x$ ）は、 $y = A \sin\{(2\pi t/T) - \Phi\}$  で表されることから、 $y = A \sin\{(2\pi t/T) - kx\}$  で表し、 $y = A \sin\{(2\pi t/T) - (2\pi x/\lambda)\}$  という形になることを確認する。また、 $x = \lambda \times (\Phi/2\pi)$  という関係から、波長と実際に送り出されている周波数を調べる。

講座 ( ) ( ) 年 ( ) 組 ( ) 席 名前	共同実験者
( ) 月 ( ) 日 ( ) 曜 ( ) 限 気温 ( ) °C 気圧 ( ) hPa 湿度 ( ) %	

## 【解説】オシロスコープの ch1 と ch2 の位相差の確認方法

### 【位相差の同定について】

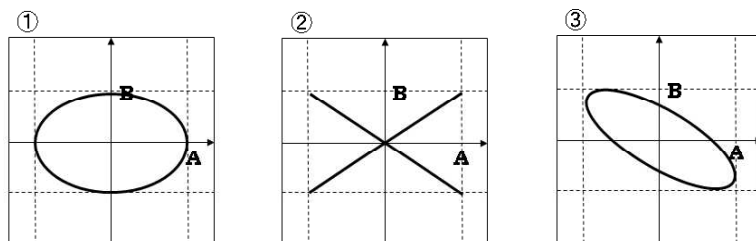
#### 1 リサージュ図形を使う

ch1 と ch2 の波形を、 $y_1 = A\sin(\omega t)$  および  $y_2 = B\sin(\omega t - \Phi)$  とするとき、位相の遅れ  $\Phi$  が次の場合について、オシロスコープで表示できるリサージュ図形を考察する。

①  $\Phi = \pi/2, 3\pi/2$  のとき、 $y_2 = \pm B\cos(\omega t)$  となるので、オシロスコープ上で合成波形をとると、 $(y_1/A)^2 + (y_2/B)^2 = 1$  となり、鉛直・水平軸とする楕円になる。

②  $\Phi = 0, \pi$  のとき、 $y_2 = \pm B\sin(\omega t)$  となるので、オシロスコープ上で合成波形をとると、 $y_1 = \pm (B/A)y_2$  となり、傾きが  $\pm(B/A)$  の直線になる。

③  $\Phi$  が①②以外の場合については、その軸が鉛直・水平軸でない楕円になる。よって、リサージュ図形を確認しながら位相が①②となる位置を確認する。



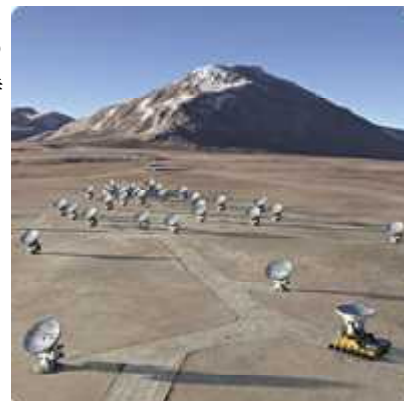
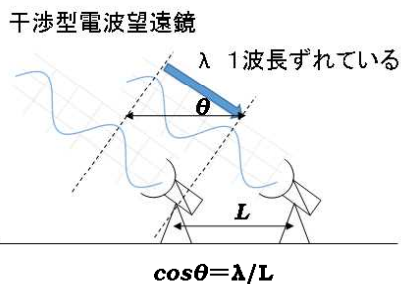
#### 2 合成による干渉を使う

ch1 と ch2 の波形を、 $y_1 = A\sin(\omega t)$  および  $y_2 = B\sin(\omega t - \Phi)$  とするとき、位相の遅れ  $\Phi$  が次の場合について、オシロスコープで表示できる合成波  $y$  を考察する。ch2 のマイクを徐々に遠ざけると  $\Phi = \pi$  では、干渉して振幅が小さくなり、 $\Phi = 2\pi$  では振幅が大きくなる。よって  $y = y_1 + y_2$  を表示し、振幅が極小、極大を観察する。

### 【参考】干渉型電波望遠鏡

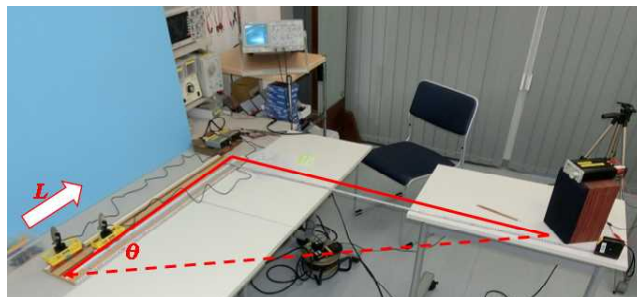
アルマ望遠鏡は、南米のチリ共和国北部にある、アタカマ砂漠の標高約 5000 メートルの高原の広大な土地に 66 台以上の電波望遠鏡を並べ、これらの受信データを組み合わせて観測をしている。このように複数の電波望遠鏡を組み合わせた仕組みを、電波干渉計という。電波も波としての性質を持ち速さは一定なので、もし 2 台のアンテナが天体 X から正確に同じ距離ならば、電波はピッタリ同時に到着する。ここで、2 台のアンテナを離して置くと、図のように

直角三角形の隣辺の分だけ片方のアンテナが遠くなり、電波の到着がそのぶん遅れる。電波望遠鏡を可動式にし、天体 X から発せられた電波を捉え、干渉させて電波の波長方向を調べることができる。



(アルマ望遠鏡国立天文台 HP より)

本実験装置を次のように配置することで、干渉型電波望遠鏡の原理を理解できる。レールの方向から、音源の位置を外して設置し、実験同様に片方のパラボラ型マイクをオシロスコープの波形を観察しながら移動させると、オシロスコープの波形が 1 波長分ずれて再び重なることが観察できる。



## 【演示・実験】 波の式と位相 (データ・レポート)

【目的】音波が空気(媒質)を伝わる様子をオシロスコープで観察することによって、波を表す式と位相について理解するとともに、発振器から出ている実際の周波数を測定する。

【準備】低周波発振器, スピーカー, スピーカー用アンプ, パラボラマイク 2, マイク用アンプ 2, オシロスコープ, 台車 2, 台車用レール 2 組, 物差し (メジャー)

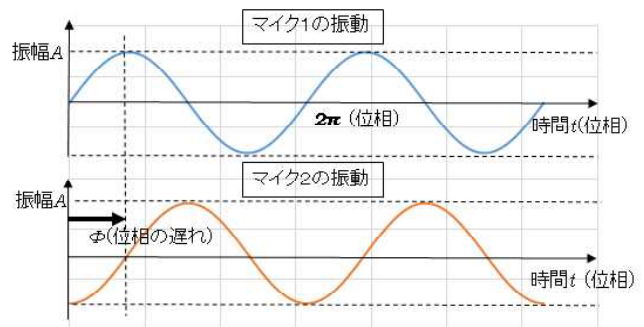


### 【理論】

$ch1$  の位置にある媒質が、振幅  $A$ , 周期  $T$  として  $y_1 = A \sin(2\pi t/T)$  で表される単振動をしているとして、 $ch1$  から  $x$  離れた  $ch2$  の位置にある媒質の振動を考える。このとき波の振幅は減衰しないものとする。波が  $ch1$  の位置から速さ  $v$  で伝わるとすると、 $ch2$  の位置の媒質は時間にして (①  $x/v$ ) 遅れて振動が起きるので、 $ch2$  の位置の媒質の変位は、 $y_2 = A \sin\{(2\pi/T)(② t - x/v)\}$  と表すことができる。

ここで、音の波長を  $\lambda$  とすると、 $v = (③ \lambda/T)$  であることから、 $y_2 = A \sin\{(2\pi t/T) - (④ 2\pi x/\lambda)\}$  となる。すなわち、 $ch2$  の媒質の振動は、 $ch1$  の位相より、 $\Phi = (⑤ 2\pi x/\lambda)$  遅れていることになる。

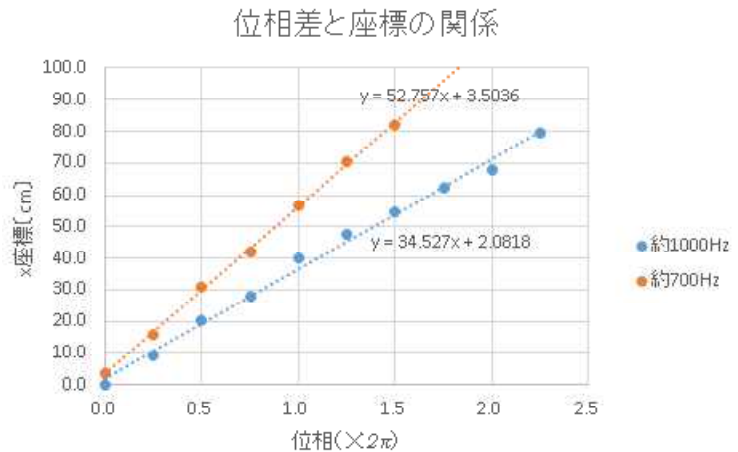
図2 オシロスコープの画面(媒質の単振動)



### 【実験方法・結果】

- ①低周波発振器でおよその周波数を設定する。
- ②気温を調べる。 $t = (⑥ 20.0)$  音速を求める。 $V = 331.5 + 0.6t = (⑦ 343.5)$
- ③図の装置において、パラボラマイクを  $x$  が正の向きに移動させ、位相差  $\Phi$  と  $x$  の関係を求める。

音源(発信器設定)	約1000Hz	約700Hz
位相差( $\times 2\pi$ )	$x$ 座標	$x$ 座標
0.00	0.0	3.6
0.25	9.2	16.0
0.50	20.2	31.0
0.75	27.9	42.1
1.00	40.3	56.5
1.25	47.6	70.3
1.50	54.5	82.0
1.75	62.4	
2.00	68.1	
2.25	79.3	
グラフ傾き(波長)	34.5	52.7
周波数(測定値)	995.7	651.8



【考察】位相が  $2\pi$  ずれると1波長分ずれるので  $x = (\lambda/2\pi)\Phi$ , すなわち  $\Phi = 2\pi(x/\lambda)$  となる。グラフの傾きが波長  $\lambda$  を表すので、低周波発振器の実際の周波数が測定できる。

講座 ( ) ( ) 年 ( ) 組 ( ) 席 名前	共同実験者
( ) 月 ( ) 日 ( ) 曜 ( ) 限 気温 ( ) °C 気圧 ( ) hPa 湿度 ( ) %	

## 【演示・実験】 波の式と位相 (データ・レポート)

**【目的】** 音波が空気 (媒質) を伝わる様子をオシロスコープで観察することによって、波を表す式と位相について理解するとともに、発振器から出ている実際の周波数を測定する。

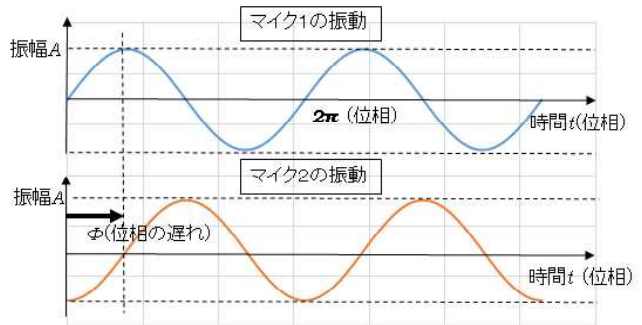
**【準備】** 低周波発振器, スピーカー, スピーカー用アンプ, パラボラマイク 2, マイク用アンプ 2, オシロスコープ, 台車 2, 台車用レール 2 組, 物差し (メジャー)



**【理論】**

$ch1$  の位置にある媒質が、振幅  $A$ , 周期  $T$  として  $y_1 = A \sin(2\pi t/T)$  で表される単振動をしているとして、 $ch1$  から  $x$  離れた  $ch2$  の位置にある媒質の振動を考える。このとき波の振幅は減衰しないものとする。波が  $ch1$  の位置から速さ  $v$  で伝わるとすると、 $ch2$  の位置の媒質は時間にして (①) 遅れて振動が起きるので、 $ch2$  の位置の媒質の変位は、 $y_2 = A \sin\{(2\pi/T)(t - \text{②})\}$  と表すことができる。

図2 オシロスコープの画面(媒質の単振動)



ここで、音の波長を  $\lambda$  とすると、 $v =$  (③)

) であることから、 $y_2 = A \sin\{(2\pi/T)t - \text{④}\}$

) となる。すなわち、 $ch2$  の媒質の振動は、 $ch1$  の位相より、 $\Phi =$  (⑤) 遅れていることになる。

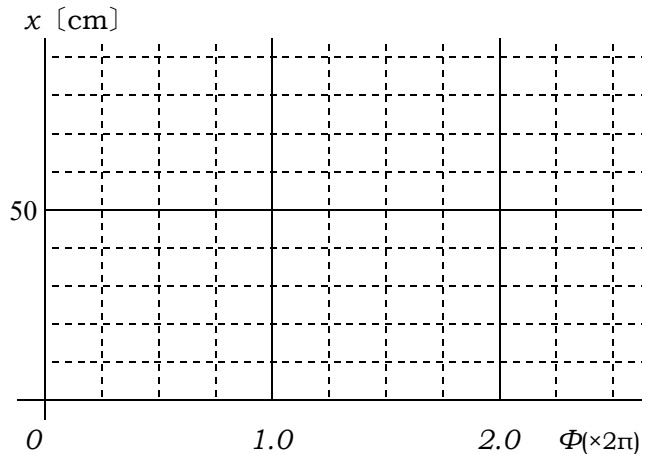
**【実験方法・結果】**

①低周波発振器でおよその周波数を設定する。

②気温を調べる。 $t =$  (⑥) 音速を求める。 $V = 331.5 + 0.6t =$  (⑦)

③図の装置において、パラボラマイクを  $x$  が正の向きに移動させ、位相差  $\Phi$  と  $x$  の関係を求める。

設定周波数 (Hz)	1000	700
位相差 $\Phi(x/2\pi)$	$x$ 座標	$x$ 座標
0/4 (0.00)		
1/4 (0.25)		
2/4 (0.50)		
3/4 (0.75)		
4/4 (1.00)		
5/4 (1.25)		
6/4 (1.50)		
7/4 (1.75)		
8/4 (2.00)		
直線の傾き (波長 $\lambda$ )		
測定した周波数 $f$		



**【考察】** 位相が  $2\pi$  ずれると 1 波長分ずれるので  $x = (\lambda/2\pi)\Phi$ , すなわち  $\Phi = 2\pi(x/\lambda)$  となる。グラフの傾きが波長  $\lambda$  を表すので、低周波発振器の実際の周波数が測定できる。

講座 ( ) ( ) 年 ( ) 組 ( ) 席 名前	共同実験者
( ) 月 ( ) 日 ( ) 曜 ( ) 限 気温 ( ) °C 気圧 ( ) hPa 湿度 ( ) %	