

# 粒子によるクラドニ図形の違い

SSP 理数 (振動班)  
2年9組 佐藤 裕宗  
富樫 泰基  
正木 慎  
指導教諭 大川 佳亮

## 1 要約

波長、周期、振幅、速さが同じで進行方向が互いに逆向きの 2 つの波が重なり合うことによってできる波を定常波という。その定常波を粒子により可視化したものがクラドニ図形である。我々は粒子の大きさ、種類、密度などの違いによる図形の変化を研究した。その結果、粒子が小さいまたは軽い時に腹に集まることが分かった。

## ABSTRACT

The wave created by two waves whose amplitude, period, wave form and velocity are the same is called a standing wave. A standing wave is made visible using particles by Chladni figure. We studied changes in the figures when we changed the type, diameter and density of particles. Consequently we found that particles get together in the antinode when they are small or light.

## キーワード

波形、周期、振幅、定常波、クラドニ図形、腹

## Key Word

Wave form Period Amplitude Standing wave Chladni figure Antinode

## 2 緒言

クラドニ図形とは、ドイツの物理学者エルンスト・クラドニの名にちなんだ図形で、振動板を振動させたときに振動の上に見える定常波を粒子を乗せることで可視化したものである。

板の振動する部分の粒子が弾き飛ばされ、振動しない部分に集まるため、節の線が粒子によって形取られるのである。板の形でクラドニ図形の形が異なることは先行文献から分かっている。

私たちはクラドニ図形が『神の指紋』と呼ばれていることに魅力を感じ、参考文献になかった粒子に焦点を当てたクラドニ図形の実験を行った。

## 3 目的

クラドニ図形を使って粒子を節と腹以外の部分に集めれば粒子を分けることが出来るのではないかと考えた。これを応用することで粒子を選別する装置を

作れるのではないか。この装置は調剤などに用いることができると考えている。

## 4 装置説明

ヤガミ クラドニ図形実験キット

四つの角にばねを付けた鉄板を土台となる受け皿につけ宙に浮かし鉄板に取り付けているプラスチックの空気にスピーカーから出た音波が伝わり、鉄板が振動し定常波ができることによってクラドニ図形を作る。



## 写真1 装置

### 5 予備実験

#### 5.1 実験目的

装置付属の白砂でクラドニ図形ができることを確認すると同時に振動数を変えて実験した。

#### 5.2 実験結果

- ・先行研究の通り高音になるほど模様が細かくなった。
- ・この実験より 400Hz が最もクラドニ図形が見やすく実験が行いやすいため今後の研究はすべて 400Hz で行うものとする。

### 6 実験1

#### 6.1 実験目的

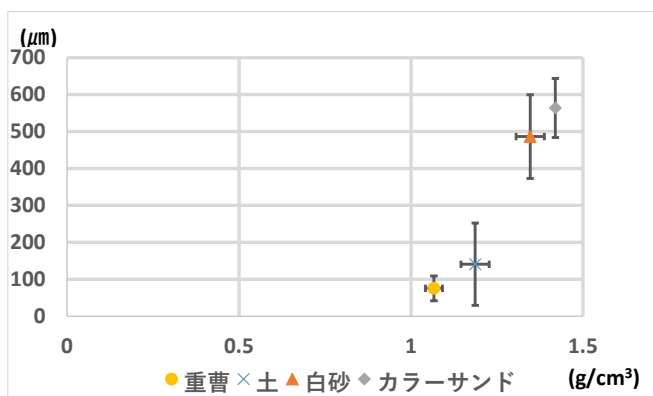
粒子による集まり方の違いを見つける。

#### 6.2 実験方法

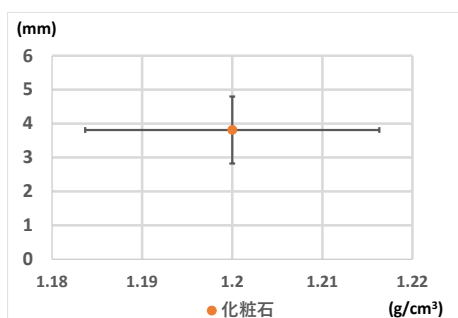
-----試料の紹介-----

	重曹	土	白砂	カラーサンド	化粧石
粒径(μm)	75.3±33.6	140±111	486±113	564±80.0	3.81×10 <sup>3</sup> ±989
密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.07±0.0249	1.19±0.0411	1.35±0.0525	1.42±0.00	1.20±0.0163

表1 1種類の粒子を用いた試料



グラフ1 化粧石以外の散布図



グラフ2 化粧石の散布図

試料	1	2	3
粒子A	カラーサンド	カラーサンド	カラーサンド
粒子B	土	化粧石	白砂
体積比率(a:b)	1:1	1:1	1:1

表2 2種類の粒子を混合した試料

- ・粒子が大きすぎる又は重すぎると装置の特性上うまく動かないので試料には入れなかった。
- ・化粧石のみノギスで測定したので誤差が大きくなっている(その他の試料は imagej を用いて測定した)。

-----  
試料ごとにクラドニ図形を作り、形における違いを調べる(振幅・出力は一定にする)。

#### 6.3 実験結果

- ・形にはほとんど差がない。
- ・土、白砂の時にはっきりと筋のようなもの(写真2,3)ができ、試料に土が入っているとき腹と考えられる部分にも少しだが粒子が集まった(写真3,6)。
- ・重曹は腹に集まることもあったが、だまになり、集まらないことが多かった(写真4)。

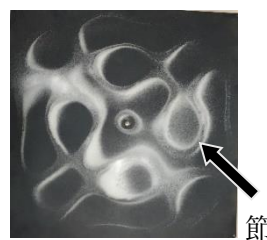


写真2 白砂

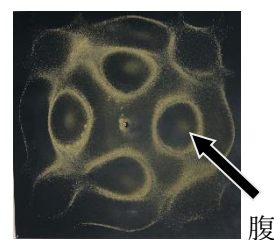


写真3 土

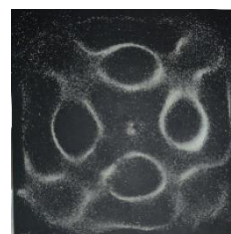


写真4 重曹



写真5 カラーサンド



## 6.4 考察

・多くの試料で(写真2~7)模様が共通していることから、(写真2~7)で粒子が集まっている部分を節、粒子が最も弾き飛ばされているが、小さな粒子は集まる場所を腹とこれからの実験では定義する。

・筋のような模様は節の上にはでき、カラーサンドでは見られないため、粒径が小さいために起こった現象だと考えられる。

・基本的には同じ形ができるが粒子の大きさや重さで腹に集まることがあると考えられる。

## 7 実験2

### 7.1 実験目的

土の腹に集まる現象について追及する。

### 7.2 実験方法

- ① 土でクラドニ図形を作り腹に集まった部分、節に集まった部分での違いを見つける。
- ② 腹に集まった部分の粒子だけを集めその粒子でもう一度クラドニ図形を作ってみる。
- ③ 試験管に0,1,2,3と番号を振り  
 試験管0 ふるいをかけただけの土  
 試験管1 試験管0の土でクラドニ図形を作り腹に集まった土  
 試験管2 試験管1の土でクラドニ図形を作り腹に集まった土  
 試験管3 試験管2の土でクラドニ図形を作り腹に集まった土  
 をそれぞれ入れた。

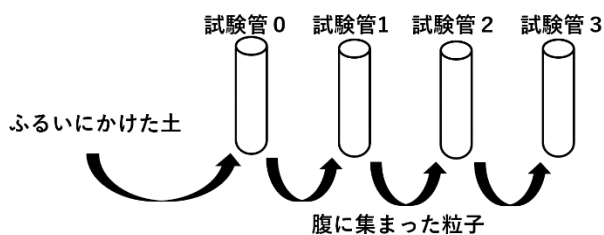


図1 試験管について

(振幅・出力は一定にする)

- ④ 顕微鏡を用いて粒径の違いを見た。

## 7.3 実験結果

- ・節と腹では粒径に違いがみられた(表3)。
- ・試験管1以降は試験管0の実験よりもはっきりと腹に集まった。
- ・試験管1,2,3の粒径にあまり違いはなかったが、少しずつ粒径が小さくなっている(表4)。

	節	腹
最大粒径(μm)	339	191

表3 腹と節の粒径の違い

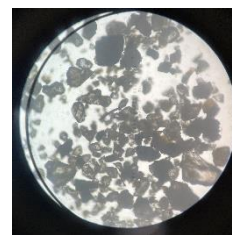


写真8 節

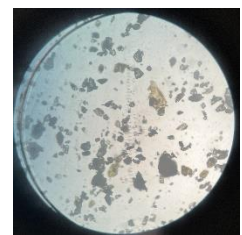


写真9 腹

試験管	0	1	2	3
最大粒径(μm)	383	186	180	155

表4 試験管ごとの最大の粒径

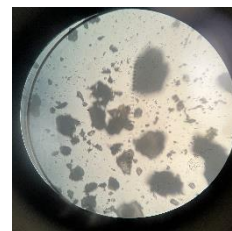


写真10 試験管0

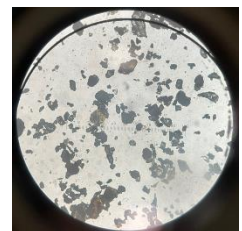


写真11 試験管1



写真12 試験管2

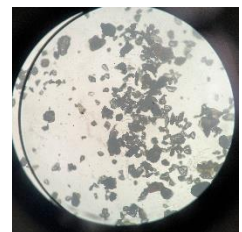


写真13 試験管3

### 7.4 考察

腹には粒径の小さいものが集まっている可能性が高い。

この実験を試験管1,2,3,4,5...と続けていくと最大粒径は一定になると考えられ、一度で粒径が小さくな

らないのは粒子の回収を手作業で行っていること、装置の精密性によるものだと考える。

### 8 実験 3

#### 8.1 実験目的

「7.4 考察」を確認する。

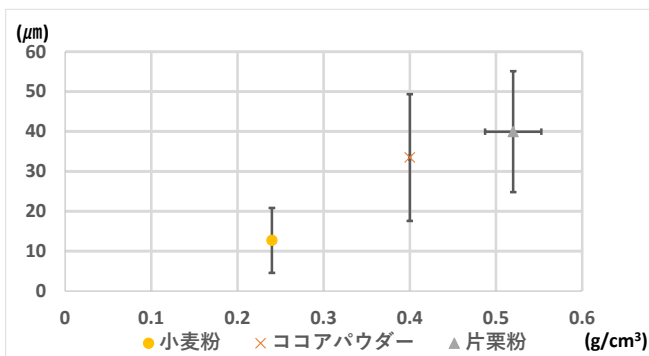
#### 8.2 実験方法

実験 2 の結果より、粒径が小さいと腹に集まると考えたため、粒子が小さいと思われるものを試料とした。(振幅・出力は一定にする)

試料の紹介

	小麦粉	ココアパウダー	片栗粉
粒径(μm)	12.7±8.14	33.4±15.9	39.9±15.2
密度(g/cm <sup>3</sup> )	0.240±0.00	0.400±0.00	0.520±0.0327

表 5 用いた試料について



グラフ 3 試料の散布図

#### 8.3 結果

- ・ココアパウダー、片栗粉では腹に集まるという結果が得られた(写真 14,15)が小麦粉では見られなかった(写真 16)。
- ・顕微鏡で観察したところ小麦粉とココアパウダー、片栗粉と小麦粉の節ではたくさんの粒子が集まった大きな塊がみられた(写真 17)。



写真 14 ココアパウダー



写真 15 片栗粉



写真 16 小麦粉

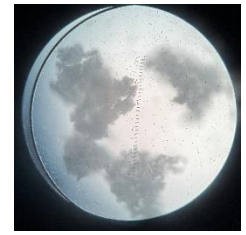


写真 17 小麦粉節

節	小麦粉	ココアパウダー	片栗粉
最大粒径(μm)	783	393	226

表 6 試料ごとに節に集まった最大の粒径

腹	小麦粉	ココアパウダー	片栗粉
最大粒径(μm)	×	51.6	23.1

表 7 試料ごとに腹に集まった最大の粒径

#### 8.4 考察

・試料ごとに腹に集まる最大の粒径が異なっている(表 7)ため腹に集まるのは粒径ではなく粒子の質量が一定以下だと集まっている可能性が高いと考えられる。

#### 8.5 仮説

腹に質量の小さな粒子が集まることから、クントの実験と類似しているのではないかと考えた。クントの実験では、筒の中の空気柱を振動させることで縦波の定常波を発生させており、その中に質量の小さな発砲スチロール等を入れると、空気の振動幅が最も大きい腹で発砲スチロールが立つ現象がみられる。今回の実験も振動板の腹上部の空気塊が、大きく振動し、質量の小さな粒子が集まったのではないかと考えた。

### 9 実験 4

#### 9.1 実験目的

出力が大きくて振動が強いつまり振動板表面の気圧変化が大きい時と、出力が小さくて振動が弱いつまり振動板表面の気圧変化が小さい時に違いが出るかを調べる。

#### 9.2 実験方法

- ① 振幅を一定にした時に出力が大きい状態にする。
- ② 腹以外に集まった土を除去する。

- ③ 出力を下げて再びクラドニ図形を作り節と腹で違いがあるか調べる。

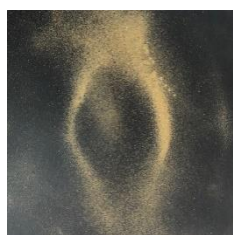


写真 18 ①の様子



写真 19 ②の様子

### 9.3 実験結果

- ・出力を下げると再び節が現れた(写真 20)。
- ・節と腹の違いを顕微鏡で観察すると節のほうが大きい粒子、腹のほうが小さい粒子になっていた(表 8、写真 21,22)。



写真 20 節が再びできた様子

	節	腹
最大粒径( $\mu\text{m}$ )	136	85.2

表 8 実験後の粒径



写真 21 腹



写真 22 節

### 9.4 考察

- ・出力を下げた時、節が再びできたこと、数値(表 8)より出力が大きい時のほうが小さい時よりも粒径の大きい粒子が腹に集まることが分かる。「8.4 考察」この結果より、質量が小さい時に集まると分かる。
  - ・これは、(空気の振動による影響)>(振動に飛ば(#される力)という関係になっていることが原因だと考える。
- これにより仮説が正しい可能性が高まったと考えら

れる。

### 10 今後の展望

仮説に従い考えられる研究として

- ・密度の小さい物で実験することで、本当に質量が腹に集まることの原因となっているのか確認する。
  - ・煙を装置の中に入れることで、気圧の変化が実際に起こっているかを確認する。
- ことがあげられる。
- ・音響浮遊という技術があるためそれも可能性の一つに含め今後の研究を行いたいと思う。

最終的には、出力を変えることで集まる粒子の違いを活かして粉末の分別を可能にすることを可能にしたい。

### 11 参考文献

- (1) 金沢大学 理工学域 ダイナミックデザイン研究室 岩田佳雄, 小松崎俊彦, 北山弘樹『振動が描く不思議な模様 ~クラドニ図形を見てみよう~』[振動が描く不思議な模様 ~クラドニ図形を見てみよう~ \(kanazawa-u.ac.jp\)](http://kanazawa-u.ac.jp/~vibration/)
- (2) 鹿児島高校 藤崎 夕加里 [9688ff3e3dee306eb4143645fbd65685.pdf](http://9688ff3e3dee306eb4143645fbd65685.pdf) ([kakoubun.com](http://kakoubun.com))
- (3) 伊藤義人『音の定常波による物質のふるまい』 [ja \(jst.go.jp\)](http://jst.go.jp)

### 12 謝辞

この研究にご助言くださった先生方に深く御礼申し上げます。