

# 水面波の研究

## A study of surface wave

諏訪司

Tsukasa Suwa

私たちは、CMなどでよく見るミルククラウンに魅力を感じ水面波の研究をしようと思った。弱い振動では円形波が生じ、強い振動では花びら状の波が発生し、また界面活性剤を加えた溶液では水玉が発生した。振動の周波数を変えることにより花びらの枚数を数える実験をすると、周波数と花びらの枚数は比例関係にあることが分かった。また球体の大きさを変えて実験した実験結果から二次振源の位置が分かった。

### 1. はじめに

ミルククラウンに興味を持ち先行論文を調査していく中で、水面波について、興味ある現象が観察されていることを知った。振動中心に与える振動強度を大きくすると円形の波が崩れ、花びら状の模様が見えるという実験である。

この現象の再現を試み水面波の性質について研究することとした。

### 2. 実験装置

図1のように低周波発信器を介してアンプをスピーカーにつなげ、コーンの中心に土台を作った。その土台に剛体の棒(割り箸)を固定し、先端に球体(丸画鋸など)を取り付け、水面に振動を与える装置である。



図1 実験装置

また今回、実際に使用した球体の大きさは以下のようになっている。

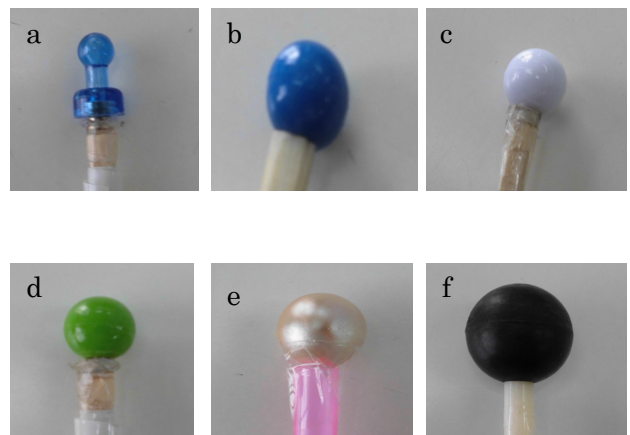


図2

各球体の直径は a)6.0mm, b)8.0mm, c)10mm, d)13mm, e)15mm, f)22mm である。

### 3. 実験の推移

実験は室温で行い、水道水 1.5 リットルを洗面器に入れ直径 10mmの球体を水面に接した状態でスピーカーから振動を与えた。スピーカーによる上下の往復の振動幅はおおよそ 3cm である。

振動数と強度を徐々に変化させて波を強制的に発生させる実験である。振動数は 20Hz から 100Hz を超える程度まで行った。

#### 4. 実験と観察

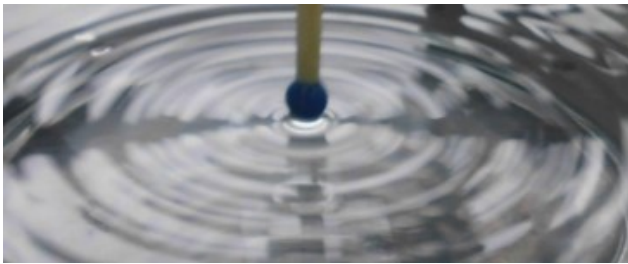


図3 弱い振動の波は円形波

水面に弱い振動を与えると図2の様な、よく目にする円形の波が発生する。

アンプの出力を上げ振動の強さを大きくしていくと図3のような花弁状の波が発生する。



図4 花弁状の波が発生

花弁状の模様が安定するように振動数を調節すると花弁の数を数えることができた。

さらに強度を上げ、界面活性剤を少量加えるなどこの現象を見やすくするための工夫をし、振動を与えたところ、図4のように連続した水玉が発生した。この場合は20Hzの振動数のときであった。よく観察すると花弁と花弁の間の所に水玉が発生し、それが水面に連なって浮き上がる現象が見えた。

#### 5. 観察結果の考察

さらに観察すると、はじめは、この水玉は水に浮いているように見えたが、横から観察すると水面から下に沈んでいることが観察された。



図5 連続した水玉が発生(20Hz)

この現象は界面活性剤のセッケン分子が疎水性部分と親水性部分が水を取り巻く時、膜構造ができて一定時間安定に存在すると考えられる。構造はシャボン玉と同じだが水中で発生する。また、界面活性剤の分子の隙間に空気が入り、全反射で光って見えると考えられる。図6はそれを表した図である。

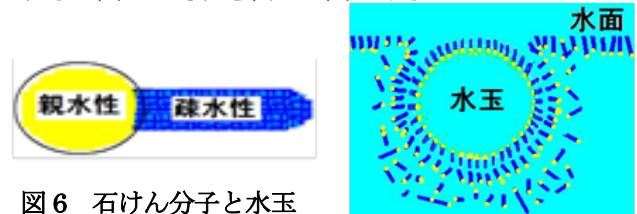


図6 石けん分子と水玉

#### 6. 「2次振源」仮説と花弁の数

振動を強くすると水玉が発生し弱くすると花弁状模様ができるが、水玉の発生数・方向と花弁状の模様は同じであった。つまり水玉と花弁模様は同じ原理で発生している。

花びら状の水面波が見える理由は、水玉が発生する部分に、新たに**2次的に発生する振動源**がありそこから発する波の重ね合わせによる強弱の共鳴が花弁を作るといふ仮説である。また、観察の結果、このとき見える花びらの枚数と連なっている水玉の列の個数はすべて偶数個であった

次の図のようなイメージである。

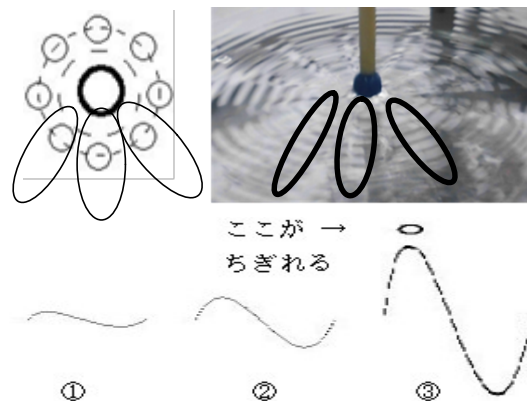
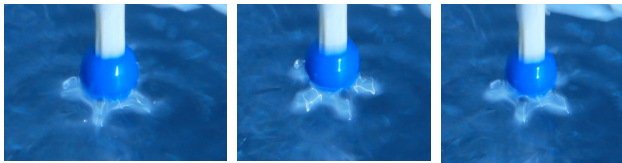


図7

- ① は弱い振動 ②は中間の強さ
- ② のちぎれた部分が2次的振動源

### 7. 花びら状の波の花びらが偶数の理由

実験の測定の結果、花びら状の波の花びらの個数はすべて偶数個であった。



1枚目                      2枚目                      3枚目

これらの画像は水面に振動を与えた様子を1秒間に30枚撮れるカメラで撮り、1枚目2枚目3枚目を並べたものである。この3つの画像から分かるように、二次振源は1/30秒ごとに逆位相で発生する。この画像の場合だと1/30秒ごとに5個ずつ発生していることが分かるから、目で見たとこでは合計10個の二次振源が発生しているように見える。

### 8. 測定とグラフ化

振動源となる球体の直径を6, 8, 10, 13, 15, 22(mm)と変えて実験を進めた。

周波数 Hz	直径 6m mm	直径 8.0 mm	直径 10.0 mm	直径 13.0 mm	直径 15.0 mm	直径 22.0 mm
22				4	4	6
24				4	4	6
26				6	4	8
28			4	6	6	8
30			4	6	6	8
32			4	6	6	10
34			4	8	8	10
36			6	8	8	12
38			6	8	8	12
40			6	8	8	12
42			6	8	8	12
44			6	10	10	12
46			6	10	10	14
48			8	10	10	14
50			8	10	10	14
52		6	8	10	12	14
54		6	8	10	12	16
56		6	8	12	12	16
58		6	8	12	12	16
60		6	10	12	14	16
62		6	10	12	14	16
64		8	10	14	14	18
66	6	8	10	14	14	18
68	6	8	10	14	14	18
70	6	8	10	14	14	18
72	6	8	10	14	16	20
74	6	8	10	14	16	20
76	6	8	12	14	16	20
78	6	8	12	16	16	20
80	8	8	12	16	16	
82	8	8	12	16		
84	8	10	12	16		
86	8	10		16		
88	8	10		16		
90	8	10		16		
92	8	10		16		
94	8			18		
96	8			18		
98	8			18		
100	8			18		
102	8					
104	10					
106	10					
108	10					
110	10					
112	10					
114	10					
116	12					

表1 各球体による花卉の数の測定

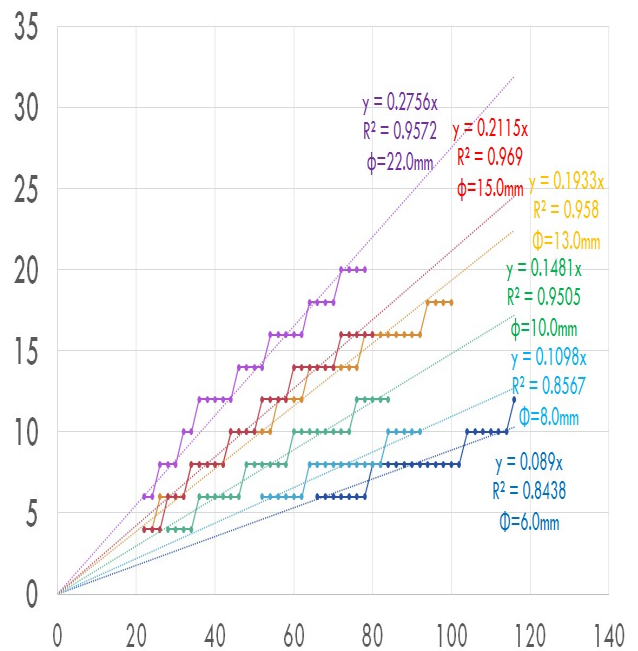


図8 図1の表のグラフ化

花卉発生数は周波数に比例し、原点を通る。球体の直径が増加しても比例しているが発生割合は大きくなる。

それぞれの球体の直径と周波数あたりの発生個数の関係をまとめると、下記の結果になった。

直径(mm)	6	8	10	13	15	22
傾き(個数/Hz)	0.087	0.1098	0.1357	0.1933	0.2115	0.2756

表2

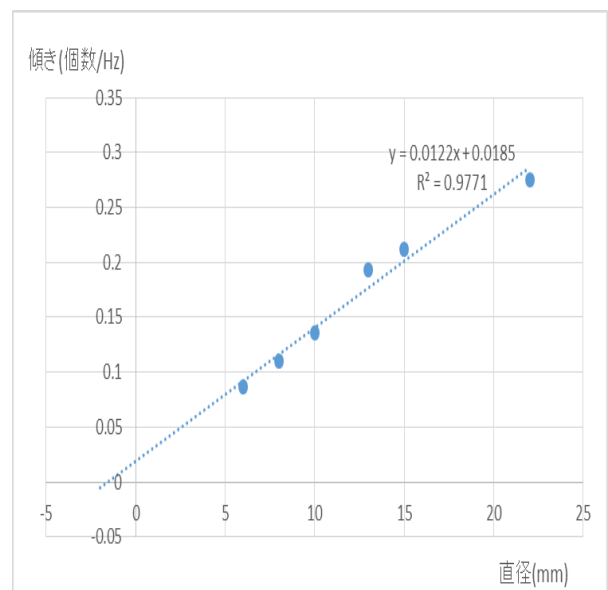


図9 周波数あたりの発生個数と振動源の球体の直径の関係

図 9 のドットに近似式直線を引くと  $y=0.0122x+0.0185$  という関数になった。さらに偏差は 0.9771 だったことからほぼ比例関係にあることも分かる。また図 9 のグラフの直線を原点を通るように引くと次の図のようになる。

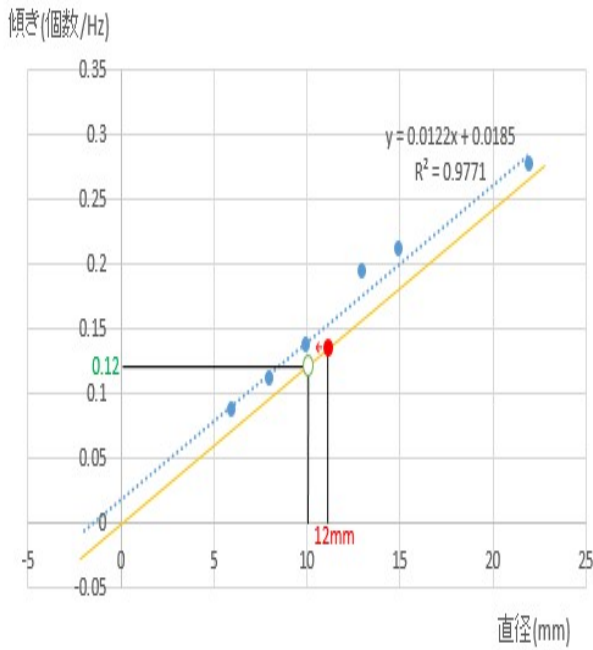


図 10 図 9 を原点を通るように平行移動させた直線

図 10 では 2 次振源の位置を特定している。それは例えば直径が 10mm の時、原点を通る直線より本来傾きは 0.12 であるはずだが測定結果から求めたグラフは実測値よりやや大きい。実際の傾きを変えずに原点を通る直線に乗せると直径は 12mm になった。つまり 2 次振源の位置は本当の直径よりも 2mm 大きい円周上にある。

## 9. 考察

観察からは、2 次の振動源は球体の円周部分に発生する。つまり大きくなれば発生円周の距離が大きくなるが、距離あたりの発生密度は変わらないので発生個数は増加する。また、写真測定の際のじっけんから二次振源は偶数個発生する。

図 8, 図 9 は、球体の直径が変化しても周波数に比例して 2 次振動源の発生個数も増加することを実験的に証明している。

ここで図 9 の傾き（発生個数/Hz）が直線であることが、何を意味しているかを検討する。球体の直径が変化しても傾き（発生個数/Hz）は一定。つまり、周波

数あたりの発生個数は球の円周での発生密度は同じである。これは、水道水の場合であるが、流体の密度、粘性、表面張力により変化するものと考えられる。

## 9. 今後の課題

考察にあるように、流体の種類を変えることにより、この現象の原理が深く解明されると考えている。検討しているのは下記の流体である。

- 1 石けん水
- 2 グリセリン液
- 3 食用油
- 4 各濃度の人工泥

それぞれの粘性・密度、表面張力などのデータを得て、実験を進めたい。

また、二次振源の数が偶数個であったことから、ミルククラウンの飛び出る粒の数も偶数なのではないかという仮説を検証したいと思う。

謝辞

本研究は菅原陽先生をはじめ、SS 研究に携わってくださった方々の補助を受けて実施したものである。

参考文献

- 1) 小樽工業, 菅原陽 他 : 水面波とミルククラウンの研究
- 2) 郡司博史, 石井秀樹, 斉藤亜矢, 酒井敏 : ミルククラウンの研究