

水面波の研究

小樽工業高校 ボランティア同好会

1年 葛西 優也 三上 馨太 酒井 直哉
 廣部 仁 竹内 雄大

1. はじめに

音の振動発生装置を水面波の発生に利用した。振動球をスピーカーに固定し振動させ、強制的に波を起こす装置である。ミルククラウンの発生の説明も可能である。

2. 円形波と花卉状の模様



図1 1振源からの振動は円形波

静かに振動させ観察すると、図1のように円形波が発生する。アンプの出力を上げ振動の強さを大きくしていくと、図2のように別の形の水面波が発生し、振動数を変化させていくと花卉状の模様が発生した。花卉状の模様が安定するように振動数を調整するとその花卉の枚数を数えることができた。



図2 花卉状の波紋が見えてくる。

3. この現象の考え方と結果

強い振動を与えた時、波高は高くなるが同時に高さの割にはその厚さが薄くなるために、水の表面張力により上部がちぎれて水球ができ、それが第2の振源になるためではないかと推測した。

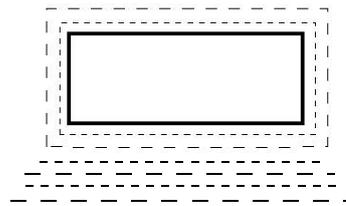


図3

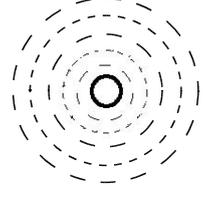


図4

波のエネルギーが小さい時、波源が平行の場合は、図3の波線のように発生する波もきれいな平行波が発生する。また、点波源の場合は図4のようにきれいな円形波が発生する。

しかし、強い振動を与えた場合は、波に別の要素の影響、この場合表面張力により波の先端がちぎれる現象が起こり、その部分が第2の震源になる。

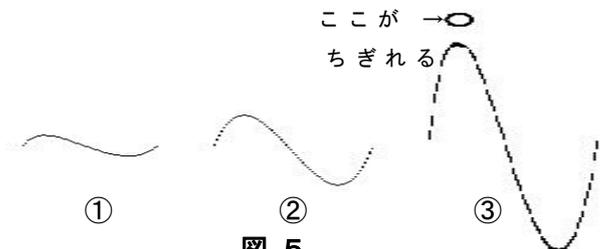


図5

このような新たな震源を2次震源とし、図5の③のように千切れた球がその本体であると考えた。

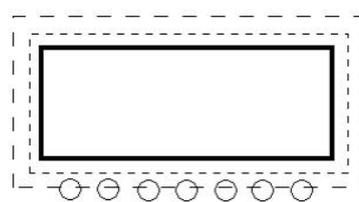


図6

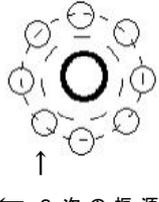


図7

この考えに至った理由は、多くの実験を観察による。結果は、与えた振動数と2次振源の数はその振動の強さにはよらず、強制的に与えた振動数に比例するということが分かった。

4. 発生する表面の水玉について

実験観察を進める上で、界面活性剤を添加した。理由は、千切れた水玉が水面安定に存在する確率が高くなり、観察がしやすく、かつ興味深い現象だからである。原理は以下の図のように界面活性剤のセッケン分子が疎水性部分と親水性部分に分かれていて、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。

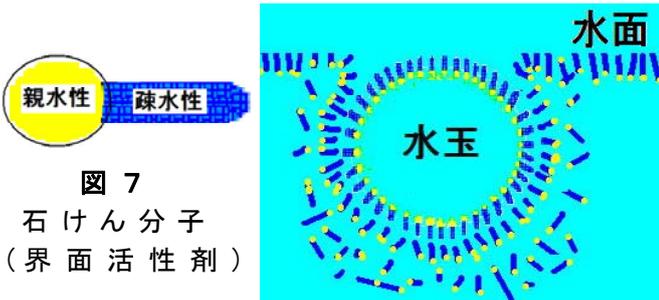


図 8 水玉が水面で安定

5. 観察と測定

球による振動を様々観察し、典型的な例を撮影できた。図 8 は界面活性剤を少量入れ観察した時の写真である。水 995ml に 16% の台所洗剤 5ml 加えた。つまり、 1.6×10^{-3} % の濃度である。



図 9 20Hz の 2 次振源
20Hz の振動数で 4 方向の水玉

20Hz ではきれいに 4 方向に連続した水玉が発生した。20Hz ~ 200Hz 程度の振動数まで測定した。振動源に使用し球体は 12mm のものである。この場合 20Hz で球の周辺に 4 個の千切れた水玉

が連続して発生している。

振動数を上げていくと振動球の回りに発生する数が増える。図 10 は 40Hz で 8 方向に水玉が跳ねとんでいる。

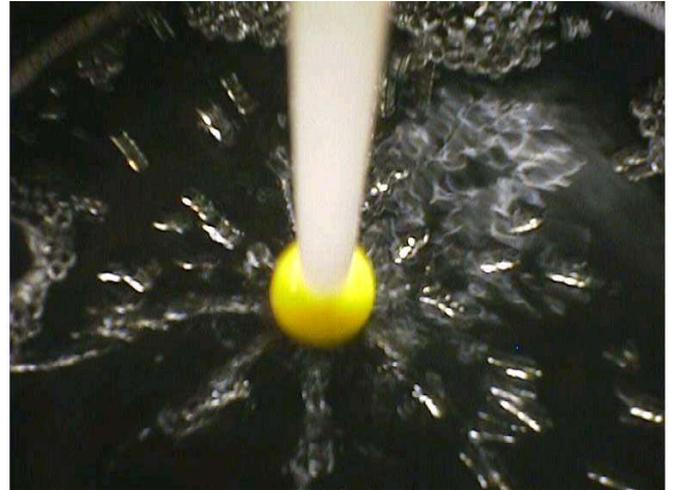


図 10 40Hz で 8 方向の水玉確認

実験を繰り返すと振動を強くすると水玉が発生し、やや弱くすると花卉状模様ができるが、水玉の発生数・方向と花卉状の模様の数は同じであった。

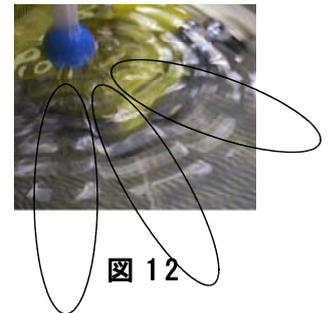
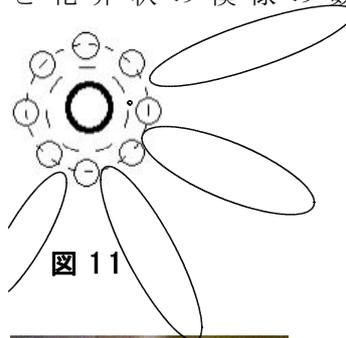


図 13 80Hz

水玉が水面に浮かばない程度の強度を与えるとコブができる。図は 80Hz の例である。このコブが振源となっていると考えた。

6. 観察結果と結論

1 つの球体から発生する振源の場合、振動強度により得られる現象が異なる。

① 形や模様

- ア 小さい場合・・・円形波
- イ 中ぐらゐの場合・・・花卉状模様
- ウ 大きい場合・・・水玉発生

② 方向

花卉状模様の方向と水玉発生方向は振動数で決まる。

③ 振動板が円の場合

波は円の周りを一定間隔で発生することになるが、コブが球震源を囲み一周し2次振源のコブの位置と重なる時、安定したきれいな花卉模様や目視しやすい水玉状態ができる。

7. 平行波の発生の場合

角型の振動板による実験装置でも、水玉やコブの発生について調べた。

球の振源と同様振動強度により得られる現象が異なった。

① 形や模様

ア 小さい場合・・・平行波

イ 中ぐらいの場合・・・網目模様

強度が小さい場合は角型板の縁に平行波が発生し、大きくするとコブが等間隔にでき網目模様が観察できた。

また、角型振動板の直線部分に発生するコブも振動数により数が決まることが観察された。図14では等間隔に並ぶコブが2次振源になるので、その波の重ね合わせにより、網目状の模様が見える。これは、球の振源の花弁状模様に対応している。

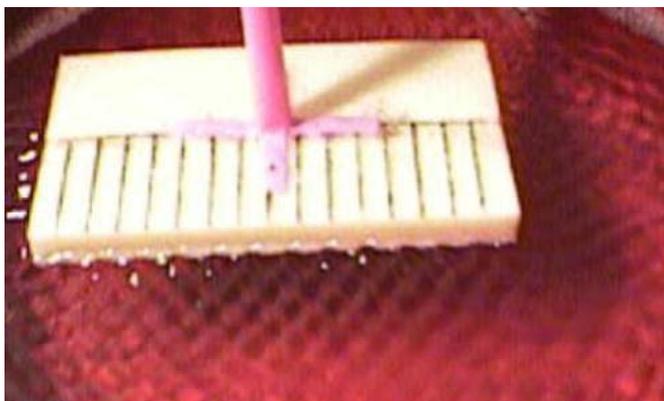


図14 角型振動板の水面の様子

8 振動数毎のコブの密度の測定結果

測定は図のように、振動数と現象を連続撮影して解析しその密度を計算した。



図15 20Hzで発生するコブ

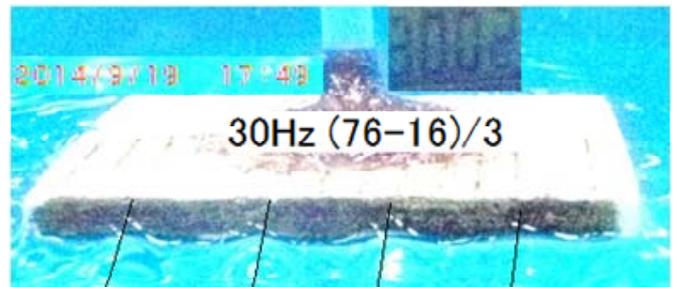


図16 30Hzで発生するコブ

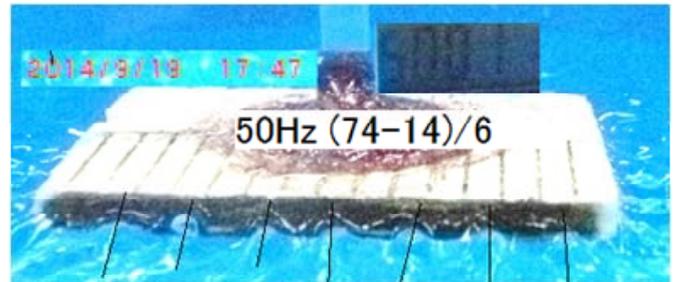


図17 50Hzで発生するコブ

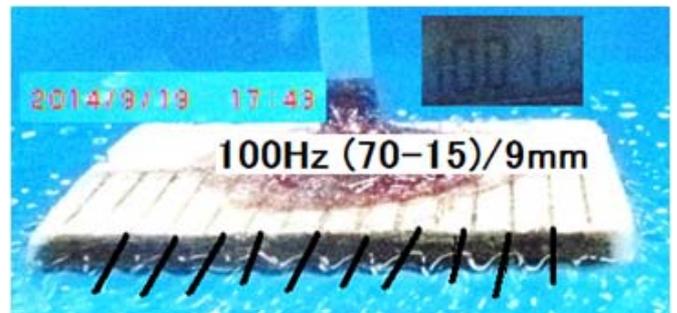


図18 100Hzで発生するコブ

9. 角型振動板のデータ分析

下記の実験結果を得た。

19.0°C		個/cm	mm/波	密度とは 1cmあたりの コブの数で ある。 波長とは 角型振動板 の側面にで きるコブと コブの距離 のことであ る。
周波数	Hz	密度	波長	
20Hz	20	0.323	31.0	
25Hz	25	0.377	26.5	
30Hz	30	0.5	20.0	
35Hz	35	0.615	16.3	
40Hz	40	0.702	14.3	
45Hz	45	0.926	10.8	
50Hz	50	1	10.0	
55Hz	55	1.071	9.3	
60Hz	60	1.136	8.8	
65Hz	65	1.154	8.7	
70Hz	70	1.277	7.8	
75Hz	75	1.351	7.4	
80Hz	80	1.385	7.2	
85Hz	85	1.5	6.7	
90Hz	90	1.538	6.5	
95Hz	95	1.587	6.3	
100Hz	100	1.636	6.1	

図19 角型振動板 20-100Hzの測定結果

グラフは次のようになった。

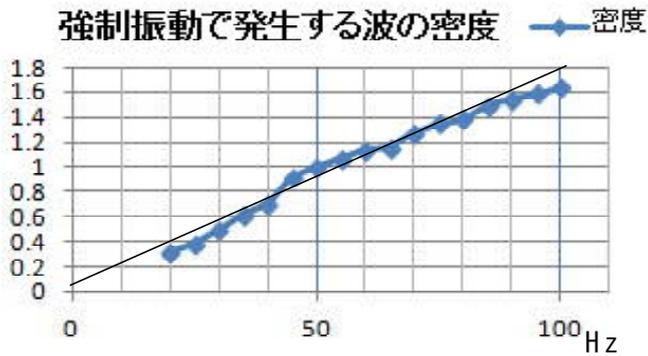


図 20 角型振動板の測定値のグラフ

振動数にほぼ比例する結果が得られた。振動数を f (Hz) 発生する波の密度 d (個/cm) 傾きを K (個/cmHz) とすると

$$d = k f \quad (K = 1.7 \times 10^{-2}) \quad \dots \textcircled{1}$$

の式が得られた。

10. 球の振源と花卉模様発生の場合

24.5°C		13mm球
周波数	Hz	発生個数
20Hz	20	4
25Hz	25	
30Hz	32	6
35Hz	35	
40Hz	40	8
45Hz	45	
50Hz	50	10
55Hz	55	
60Hz	60	12
65Hz	65	
70Hz	70	14
75Hz	75	
80Hz	80	16
85Hz	85	
90Hz	90	18
95Hz	95	
100Hz	98	20
	105	
	110	22
	120	
	122	24

図 21 球の回りに発生する個数

球の回りに発生する個数とは水玉であれ、花卉模様であれ、コブであれ、その数を数えた。どれもが振動数に対応した現象であり、数は同じである。

角型振動板の実験はコブの数の密度 (個/cm) を出したので、球についても同様の密度に換算する。

円型振動板の2次振動源発生個数

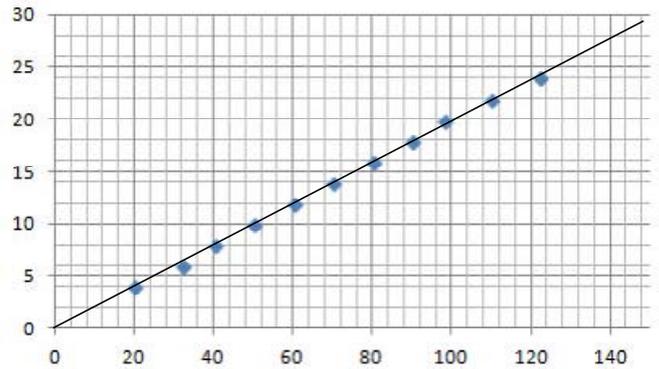


図 22 13mm球の2次震源のグラフ

このグラフもほぼ直線となり振動数に比例している。

11. 角型と球の振動の考察

球は円型の振動板と考えて円周上にコブができています。コブは球に接触しているように見えるが、側面から離れて出現すると仮定し、その距離を r とする。水面に出現するコブの数は角型でも円型でも、同じ密度であるはずである。

振動球の直径より r (cm) だけ外側にコブができるとして方程式をたて r を導き出す。

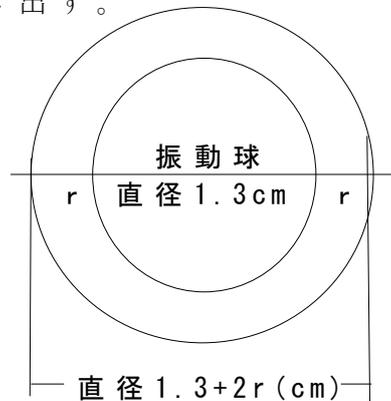


図 23

図のようにコブが出現する仮の直径を $(1.3 + 2r)$ cm とすると

その円周は $3.14 \times (1.3 + 2r)$ cm
 密度は 50Hz の具体的な値で考えると
 図 20 では $f = 50$ Hz で 0.9 (個/cm)
 図 22 では $f = 50$ Hz で 10 (個/円周)
 0.9 個/cm = 10 個 / $(3.14 \times (1.3 + 2r))$ cm
 と等しくなるはずである。

$$\text{解は } 2r = 2.24$$

球から外側に 1.14 cm の位置となった。コブが出てくる円の直径は 3.54 cm となった。

この解を入れてグラフ化した。

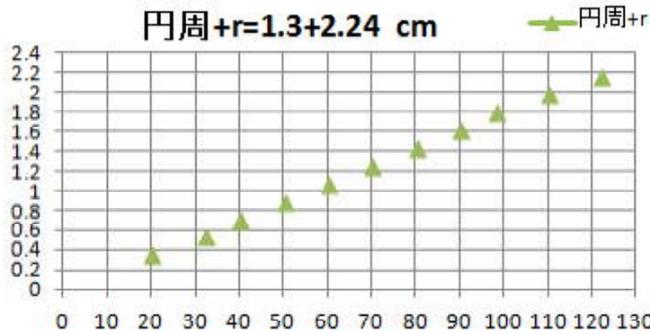


図24 補正値を組み込んだグラフ

当然図20と同じようになった。

このように考えると、この場合の球体の振動源は球体から1cm以上の離れたところにコブを作り、そこが2次の振動源になっていると考えられる。

12. ミルククラウンとの関係を考察

ミルククラウンの発生と関連するのではないかと実験を重ねた。

その結果ミルククラウンの発生時にできる水粒の数や大きさと方向は、本来、振動の源は一つのはずだが、ある程度の水面を強度で叩くと、まわりに2次的な震源ができ、水のコブとなって得ると解釈できる。さらに強く叩くと、そのコブは水粒となって空中に飛びミルククラウンとなると解釈できる。

13. ミルククラウンの発生実験

洗剤の濃度や水温はほぼ同じ条件にして、直径13mmのプラスチック球を上から落とし撮影した。何度もトライして得たのが下記の写真である。

高速撮影のため画質が良くないが、ミルククラウンの現象が見える。



図25 クラウンの先端に水滴が見える。



図26

粒は6方向に飛散している。

図21の表では30Hzに相当する。図25図26はそのあとの連続写真である。



図27

14. 直径の計測

図25の全景写真を下記に示す。背景にあるのは5mm方眼の定規である。

その定規の手前2cmの位置に球が落下し、50cm手前にカメラを置き撮影した。

画像にスケールを貼り付けてクラウンの直径を求める。矢印の幅が直径とすると1目盛5mmなので $24-2=22\text{mm}$ つまり直径は2.2cmとなった。

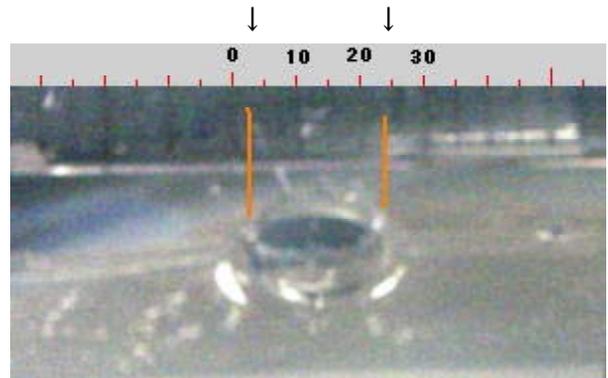


図28 クラウンの直径の測定写真

15. 考察

予想値は図23の考察から出てきた3.54cmであるがクラウンの直径は2.2cmである。

水質や温度がほぼ同じ条件で実施した。しかし、期待通りには行かなかった。そこで図26についても考察した。

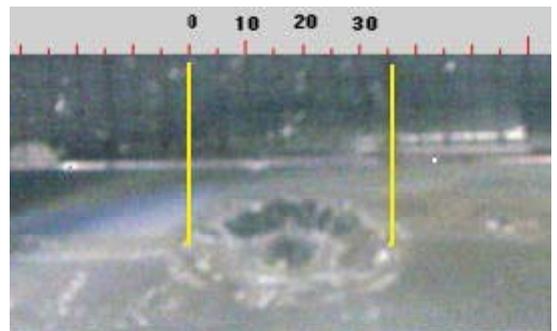


図29 図26を測定

同様に写真で見ると3.5cmぐらいのコブコブの輪が見えている。

これは予想値と一致する。そして、図26には2次振源から発生した波、つまり円形波ではなく、コブコブの振源からの重なった波が見えている。

また、図27は図26で発生したコブコブが内向きに伝播して多重に重なった結果大きな水柱が突き出るように発生している。この説明が確実なものかの検証は次回の課題とする。

追記 下記は

千歳科学技術大学、長谷川先生の講座のミルククラウンの写真データです。

深さ1mmのミルクに高さ30cmから、ミルクを滴下した時の写真です。

ここにも図32に2次振源の後が見られます。この場合コブコブは8個です。

このように2次振動であるコブコブができるのはどのミルククラウンにも共通の現象ではないでしょうか？



図33 2次振源からの合成波が重なり
ミルクの柱が突き出てくる様子



図30 ミルククラウン発生



図31 その後の様子1



図32 2次振源の痕跡8個を確認