



Title	液体表面の固有振動数を用いた表面張力の新規な測定法の提案
Author(s)	守友, 暁寛
Citation	平成30年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書. 2019
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/71938
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

平成30年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書

ふりがな 氏 名	もりとも あきひろ 守友 暁寛	学部 学科	理 化学	学年	3 年
ふりがな 共 同 研究者氏名		学部 学科		学年	年
				年	年
				年	年
アドバイザー教員 氏名	塚原 聡	所属	理学研究科		

研究課題名

液体表面の固有振動数を用いた表面張力の新規な測定法の提案

研究成果の概要

研究目的、研究計画、研究方法、研究経過、研究成果等について記述すること。必要に応じて用紙を追加してもよい。（先行する研究を引用する場合は、「阪大生のためのアカデミックライティング入門」に従い、盗作剽窃にならないように引用部分を明示し文末に参考文献リストをつけること。）

1. 研究目的

大阪大学理学部の行っている自主研究奨励プログラムであるオーナーセミナーにおいて、2年生の後期から本研究と同じテーマで研究を行っていた。本研究はその続きである。先行研究には、「楽器の太鼓の膜と円形の水面は類似の振動の挙動を示す」という予想が存在する。本研究では、これが成り立つとすると、水面の振動数を測定することで、水の表面張力を測定することができるのではないかと考え、新しい表面張力の測定法を作り出すことを目的とした。

2. 研究計画

まず、先行研究について説明する。楽器の太鼓に代表される円形の膜は（ f_0 ：鼓面の振動数、 A_{ij} ：振動の形状に固有な値、 r_m ：鼓面の半径、 σ_s ：鼓面の張力、 z_0 ：鼓面の膜の厚さ、 d_l ：鼓面の面密度）として次の式（1）が成り立つ。

$$f_0 = \frac{A_{ij}}{2\pi r_m} \sqrt{\frac{\sigma_s}{z_0 d_l}} \quad (1)$$

ここで、 A_{ij} について詳しく述べる。円形膜を振動させたときに生じる膜の振動の形は、図1に示すように、面の中に対称軸が何本あるか、振動の節をつなげた内部の円がいくつあるかによって区別することができる。ここで、図1は影のついた部分が凹、影のない部分が凸に変形しており、それらが周期的に交互に入れ替わっていることを示している。

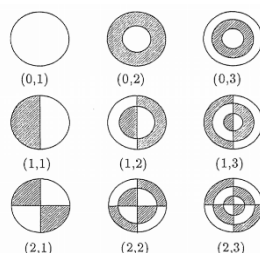


図1:円形太鼓の固有振動の形

本先行研究では、この円形の膜に対して成り立つ式（1）が、（ f_0 ：液体表面の振動数、 A_{ij} ：振動の形状に固有な値、 r_m ：液体表面の半径、 σ_s ：液体の表面張力、 z_0 ：振動の深さ、 d_l ：液体

の密度)として、円形の液体表面に対しても成り立つ可能性があると述べている。また、先行研究中では、 A_{ij} は(0, 1), (0, 2)など中心対照的な振動の形のみが観測され、振動の深さは溶液に依らず約 1mm であると述べられていた。

これより、表面張力を測定するためには、液体表面の半径と液体の密度は既知の値として考えられるため、式(1)より、 f_0 、 A_{ij} を求めればよいと考えられる。したがって、この2つの値を測定できる装置を作り、その値を測定することにした。

次に実験方法を説明する。 f_0 と A_{ij} を測定する装置を、わかりやすいように2つに分けて説明する。まず、 f_0 の測定装置から説明する。図2のような装置を外からの様々な振動が伝わらない耐震台の上に置き、次の①～④のように振動の様子を測定した。

- ① レーザー装置から水面に反射させて 50 μm のピンホールに入るようにレーザー光を射出させる。この際、水面が完全に静止していないため、レーザー光の反射している部分の角度のずれや高低差から、ピンホールに入る光の量は常に変化することになる。さらに、水面の揺れが周期的なものであれば、ピンホールに入る光の量は周期的に変化することになる。
- ② 光ファイバーを用いて、フォトダイオード(光量に比例して電流を流す装置)にレーザー光を伝える。
- ③ フォトダイオードから生じた電流を、オシロスコープを用いてアナログ信号からデジタル信号へと変換させる。
- ④ オシロスコープで変換された電流の信号を PC の LabVIEW で読み取り、フーリエ変換を用いて、水面の振動を構成している振動数を調べる。

この装置を用いて、半径 $r = 0.75 \text{ cm}$ 、 0.5 cm 、 1.2 cm 、 2.0 cm 、 3.6 cm の円形の容器上面すれすれまで精製水を満たして測定した。その後、液体の入った容器の下にピエゾ素子(電圧をかけると上下に湾曲する薄い円形板)を敷き、関数発生器よりピエゾ素子に一定振動数の交流を印加することにより水の入った容器を振動させ、水面を振動させた。ピエゾ素子に印加する交流の電圧の周波数を任意に設定し、図2の装置を用いて水面で共振が起きる振動数を調べた。

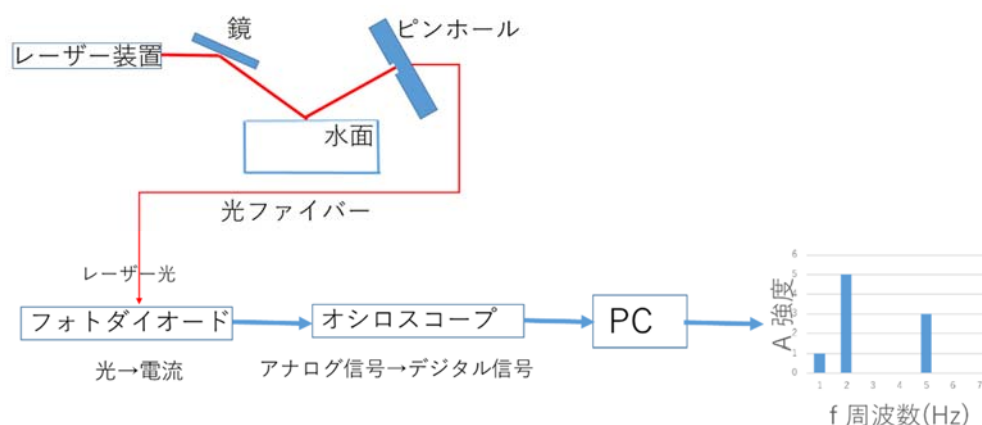


図2：自然な状態での水面の振動を測定する装置

次に A_{ij} を測定する装置について説明する。図3のような装置を作り、次の①～③の手順を用いて水面の振動の形(モード)を測定した。

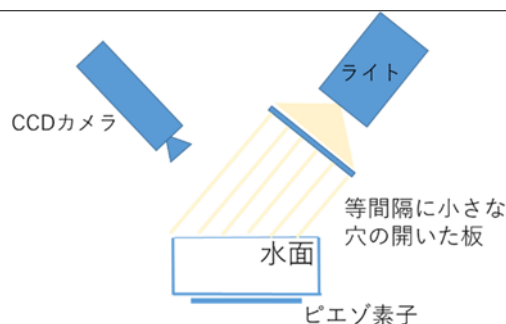


図 3 : 水面の振動の形を観測する装置

- ① 関数発生器を用いて一定の振動数で振動させているピエゾ素子を、水が表面すれすれまで入った容器の下に置き、水面を強制振動させた。
- ② ライトの光が水面に反射してちょうど CCD カメラに入るようにライトと CCD カメラを設置した。またこの時、ライトと水面の間に、等間隔に小さな穴の開いた板を挟んだ。その時の水面に反射する光の様子を図 4 に示した。

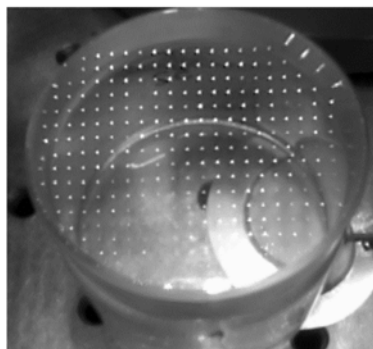


図 4: CCD カメラでとらえた水面に反射する光の様子

- ③ 振動している水面の様子を②の装置を用いて動画としてとらえ、その様子を観察した。これを半径が 1.2 cm、1.85 cm の容器それぞれについて観察した。

3. 研究経過

2.実験計画に基づいて、実際に f_0 と Λ_{ij} を測定した。その結果、水面には共振振動を起こす振動数が存在し、その振動数で共振させているとき水面の振動は Λ_{ij} を求める際に用いる図 1 の (1,1) (1,2) など対称軸を持つ形で大きく振動していることが分かった。これにより、 f_0 と Λ_{ij} のペアを求めることができた。ここから表面張力を実際に求めてみると、図 5 のようになった。ここで、図 5 では、 $r=1.85$ cm、 $d_f=1.0$ g/cm³ を用い、固有振動数とその時の振動の形より求められた Λ_{ij} を振動数の大きさに順に並べそれを横軸に、またそのペアの値を用いて求められる表面張力の値を縦軸に用いてプロットした。

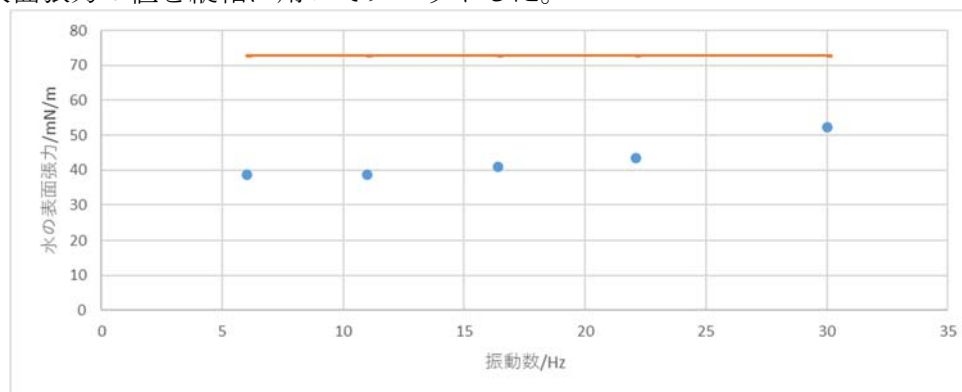


図 5: 水の表面張力の測定値と理論値の比較

図 5 に示すように、強制振動の振動数を大きくすると、得られる表面張力の値が大きくなっている。これは、振動モードが異なる振動の時も振動の深さ z を 1 mm と仮定したためであると考えられる。振動数が上がれば振動モードに表れる節の数は多くなり、それにより、より密に節と腹が現れることになる。よって振動数が高い時の振動の深さ z_0 は振動数が低い時よりも小さな値をとると考えられる。ここまで、 z_0 は振動モード、容器の深さによらず一定であると考えてきたが、この結果より z_0 は一定ではないと考えられる。また、計算値と理論値のずれも、振動の深さ z_0 を 1.0 mm と仮定したことによるずれであると考えられる。

現段階では、振動の深さが先行研究と異なる値をとったことは、1) 振動の励振方法が異なるため、2) 先行研究では中心対照的なモード (図 1 の (0, 2), (0, 3) など) のみを励振しており、本研究とモードが異なるため、3) 液体の表面に対して、液体の水深が深すぎたため、などの理由が考えられるが、現在のところ、ここでの原因は第 3 の理由が主であると考えている。はじめの予想では、振動の深さは、容器の深さによらず一定であると考えていた。しかし、そうではなく、容器の深さがある一定よりも小さくなった時、振動の深さは一定であり、表面張力の差は同じ振動モードにおける振動数の差として生じる。また振動の深さが制限されないほどに容器の深さが深い場合には、振動の深さよりも優先して同じ振動モードでの振動数が近い値になるようにするのはないかと考えられる。これにより、今回の研究での結果と先行研究の予想を説明することができる。また、液体表面は連続した分子集まりであるから、薄くなってもその振動は伝わるはずである。したがって振動の深さが一定になるまで液体の水深を浅くすることで、液体の表面の振動数は変化し、それにより、振動数を求めることができると考えられる。つまり、水深のより浅い液体に対して外部から振動を加え、固有振動数を求めその際の振動の振動モードを読み取ることで、式 (1) の f_0 、 A_{ij} 、 r_m 、 z_0 、 d_l を決定でき、それにより表面張力を求めることができると考えられる。

4. 研究成果

本研究で得られた成果として以下があげられる。

- (1) レーザーとピンホールを用いて、水面の振動を測定し、LabVIEW を用いて振動の解析を行い水面の振動数を測定する原理の発明、またその自動測定装置を作り出したこと。
- (2) CCD カメラと均等に穴の開いた板を用いて水面の振動の形を読み取る原理の発明、またその自動測定装置を作り出したこと。
- (3) 先行研究の予想である、式 (1) が水面に対しても成り立つ可能性を強めたこと。
- (4) 外部から強制振動させ、その時の振動数を測定することによって、液体の表面張力を測定することができる可能性を強めたこと。

今後の研究の予定と展望について現段階では、振動の深さを決定することができれば、液体の振動数を測定することによって表面張力を測定することができる。したがって振動の深さとは実際に何を意味するのかを求めていく。具体的には、現在計算値として求められた振動の深さよりも、浅い水深にすることで、振動のモードは測定することができるのか、測定できなかった場合は測定できるギリギリの水深を調べ、それがどのように影響するかを調べる予定である。この研究により新しい測定法が生み出されれば、非接触による表面張力の測定は、液体と物質の相性を考える必要もなく、少量でも測定でき回収もできるため、わずかしかな得られない液体などに対しても効果的に表面張力を調べることができる。さらに、それぞれの値を測定する際に用いる道具には特別高価なものではなく、LabVIEW を用いて測定を自動化して今回の実験を行ったことから、この測定法を用いれば、知識がなくても、試料をセットするだけで簡単に表面張力を測定できるとようになると期待される。

5. 参考文献

- (1) TSUKAHARA, Satoshi; TSURUTA, Tsuyoshi; FUJIWARA, Terufumi
Surface tension determination through measurements of resonance oscillation of a small surface using dielectric force by a localized alternating current electric field. *Analyst*, **138**, 2110-2117 (2013).
- (2) 日本化学会編, 改訂 5 版 化学便覧 基礎編 II, 丸善 (2004).