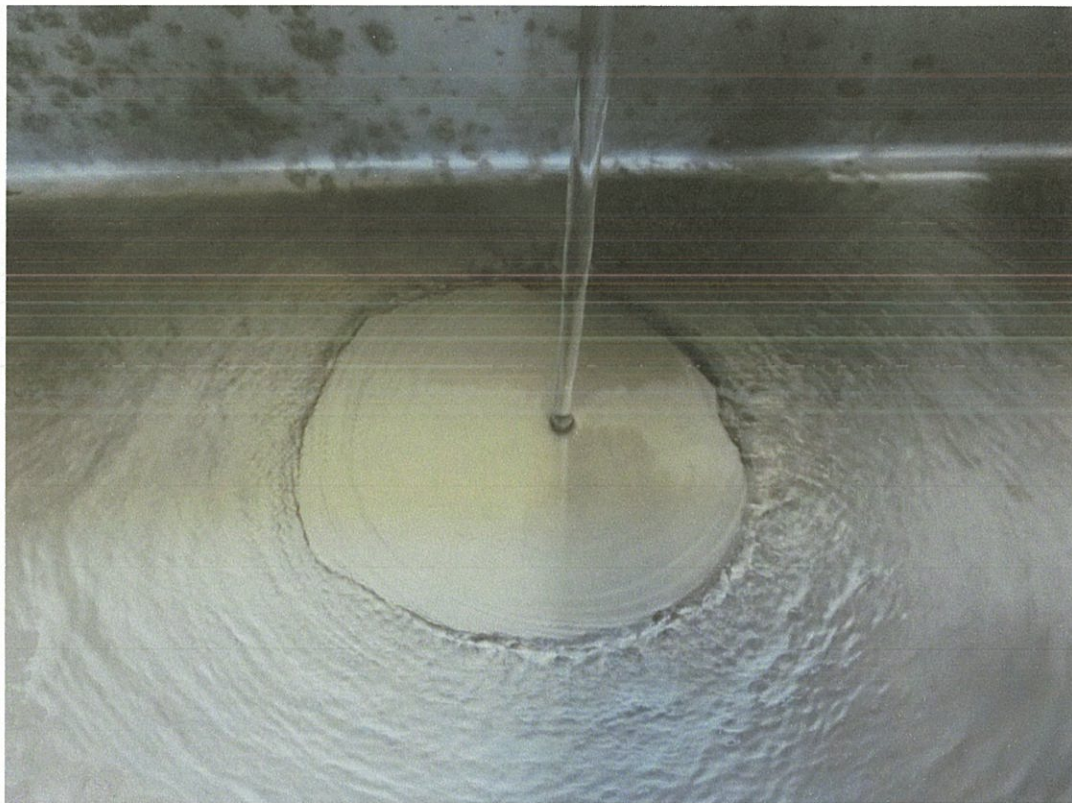


水の輪のメカニズムの解明



大磯町立大磯中学校 科学部 水の輪班

3年C組 加藤 聖伶

3年C組 龍岡 紘海

3年C組 中島 大河

3年D組 伊東 実聖

1年B組 乙津 昂光海

1年D組 千葉 大雅

1年D組 古屋 良幸

<研究概要>

私達が普段使っている流しに水を流すと、流しの底面には水の輪ができる。私達はこれに疑問を持ち、研究を始めた。1つ目に、水の輪の面積を調べた。実験の結果から、水の輪の面積は蛇口から出る水の流量に比例することが分かった。2つ目に、流しの底面の粒度を変える実験を行った。すると、粒度が小さくなるにつれて、輪の面積が大きくなること分かった。最後に、水の輪の半径と流れる水の速度の関係について調べた。この実験の結果から、水の輪の外側と内側では水の速度が違うことが分かった。また、水の輪の外側はおおむね 0.25m/s で流れることが分かった。そして、 0.25m/s という値は水の輪の大きさにかわらず一定であることがわかった。また、水の輪の中心から輪のほうに向かって流れ出している水は一定の速度ではなく、輪の中心から輪に向けて一定の割合で直線的に減速していることが分かった。水の輪は、一定の速度まで落ちた水流が輪の外側の水との境にできるものであることがわかった。

<研究動機>

私たちが普段手を洗うとき、流しの底に、水の輪ができていてことに気が付いた。そこで、どうやってこの水の輪ができるのだろうと不思議に思い、研究してみようと思った。

<実験 I 水の輪のできるメカニズム>

仮説 1

蛇口から出た水が、流しの底面に当たって周りに広がってゆくとき、その力で周りの水を押し出しているから水の輪ができるのではないかと。

実験道具 1

ビーカー、砂が入ったトレー

実験方法 1

高さ 31cm から 1 秒間に 8ml(実際には 1 秒間に流れる速度で測ることが大変だったので 5 秒間に 40ml)流れる水量で水が落ちるようにする。水の輪ができているとき、トレーに入った砂に水を流す。

実験結果 1

流した瞬間、仮説 1 の通り砂が水の輪の外側から約 1 cm のところに溜まった。(写真 1) 溜まったあたりで砂の動きが止まり、その先はあまり広がらなかった。



写真 1 トレーに入った砂に水を流したときの様子

考察 1

蛇口から出た水が流しの底に当たって周りに広がってその力で周りの水を押し出しているから砂が輪の周りまで押し出されたのだと思う。溜まったあたりで砂の動きが止まり、その先はあまり広がらなかったのはそこで水の流れが遅くなり、水の押し出す力が弱くなったからだと思う。なぜなら、輪の中に指を入れると水が強く当たるが、輪の外だと指に当たる水が弱くなるからである。また輪の外が少し盛り上がっていたのは、水の流れが早いところが水の流れが遅いところの下に入っていったからだと考えられる。そして流れが早いところと流れが遅いところがぶつかるところに砂がたまったのではないかと考えられる。

<実験 II 蛇口から流れる水の流量と水の輪の面積の関係>

仮説 2

蛇口から出る水の流量が大きくなると水の流れる速度も大きくなるので、周りの水を押し出す力も大きくなるだろう。したがって蛇口から出る水の流量が大きくなると、水の輪の面積も大きくなるのではないかと考えられる。そして、その水の流量と水の輪の面積の関係をグラフにすると直線状のグラフになるのではないかと。

実験道具 2

ビーカー、定規、ストップウォッチ

実験方法 2

1 秒間に 10ml、20ml、30ml、40ml、50ml、60ml、70ml、80ml、90ml、100ml(実際には 1 秒間に流れる速度で測

ることが大変だったので5秒間に50ml、100ml、150ml、200ml、250ml、300ml、350ml、400ml、450ml、500ml)流れる速さで調べた。そして、写真2のように定規で水の輪の半径を測り、そこから輪の面積を計算する。今回は、水道の場所による違いを見るために、写真3の第2理科室の流しと写真4のトイレ前の流しの2か所で行った。なお、蛇口は各実験場所で同じ蛇口を用いた。



写真2 水の輪の半径を測る様子

写真3 第2理科室の流し

写真4 トイレ前の流し

実験結果2

表1を図1, 図2のようにグラフにしたら、直線状になった。なお、「理科室①」の①は、理科室での実験1回目ということを表している。

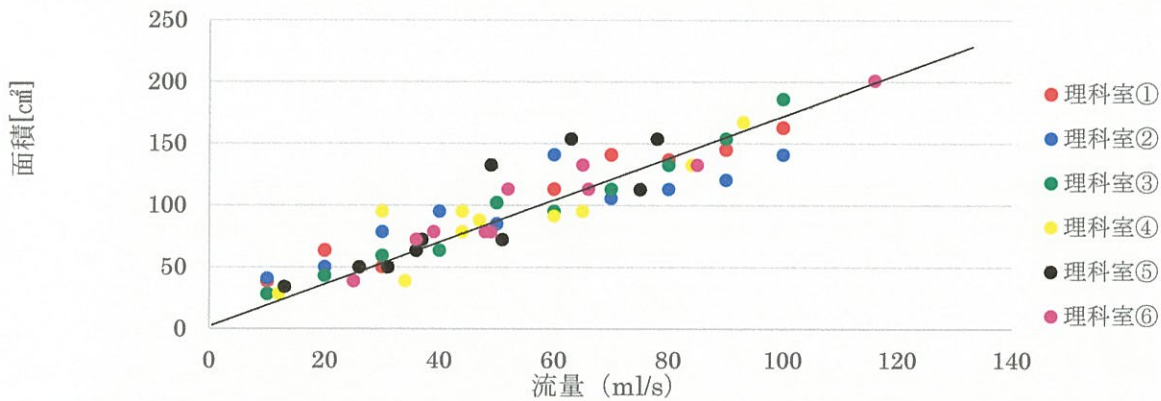
<表1>水の流量と水の輪の面積の関係

理科室①			理科室②			理科室③		
流量(ml/s)	半径(cm)	面積(cm ²)	流量(ml/s)	半径(cm)	面積(cm ²)	流量(ml/s)	半径(cm)	面積(cm ²)
10	3.5	38.5	10	3.6	40.7	10	3	28.3
20	4.5	63.6	20	4	50.3	20	3.7	43
30	4	50.3	30	5	78.5	30	4	59.3
40	4.5	63.6	40	5.5	95	40	4.5	63.6
50	5.2	84.9	50	5.2	84.9	50	7.2	102.1
60	6	113.1	60	6.7	141	60	5.5	95
70	6.7	141	70	5.8	105.7	70	6	113.1
80	5.6	136.8	80	6	113.1	80	6.5	132.7
90	6.8	145.3	90	6.2	120.8	90	7	153.9
100	7.3	162.9	100	5.7	141	100	7.7	186.3

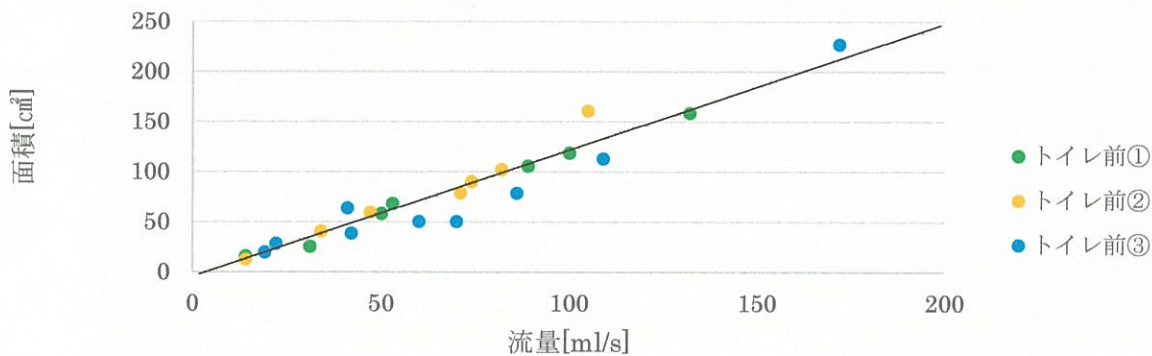
理科室④			理科室⑤			理科室⑥		
流量(ml/s)	半径(cm)	面積(cm ²)	流量(ml/s)	半径(cm)	面積(cm ²)	流量(ml/s)	半径(cm)	面積(cm ²)
12	3	28.3	13	3.3	34.2	25	3.5	38.5
30	6.5	95	26	4	50.3	36	4.8	72.4
34	3.5	38.5	31	4	50.3	39	5	78.5
44	5	78.5	36	4.5	63.6	48	5	78.5
44	5.5	95	37	4.8	72.4	49	5	78.5
47	5.3	88.2	49	6.5	132.7	52	6	113.1
60	5.4	91.6	51	4.8	72.4	65	6.5	132.7
65	5.5	95	63	7	153.9	66	6	113.1
84	6.5	132.7	75	6	113.1	85	6.5	132.7
93	7.3	167.4	78	7	153.9	116	8	201.1

トイレ前①			トイレ前②			トイレ前③		
流量(ml/s)	半径(cm)	面積(cm ²)	流量(ml/s)	半径(cm)	面積(cm ²)	流量(ml/s)	半径(cm)	面積(cm ²)
14	2.25	15.9	14	2	12.6	19	2.5	19.6
31	2.75	25.5	34	3.6	40.7	22	3	28.3
50	4.3	58.1	47	4.35	59.4	41	4.5	63.6
53	4.65	67.9	71	5	78.5	42	3.5	38.5
89	5.8	105.6	74	5.35	89.9	60	4	50.3
100	6.15	118.8	82	7.2	102.1	70	4	50.3
132	7.1	158.4	105	7.15	160.6	86	5	78.5
						109	6	113.1
						172	7.5	227

<図1> 場所：理科室 流量と面積



<図2> 場所：トイレ前 流量と面積



考察2

蛇口から出る水の流量とできる水の輪の面積の関係をグラフにしてみたら、仮説通り直線状になった。すなわち今回の実験を行ったことにより、水の流量と水の輪の面積は比例することが分かった。すなわち、**仮説2**の「直線状のグラフになる」は正しかった。この場合、水の流量は蛇口から出る水の速さを表している。水は流しに落ちて広がるときに円の面積として広がっていく。水の流量が2倍になると輪の面積は2倍になるだろう。だから図1や図2のような直線状のグラフになるのだろう。しかし、そのとき輪の半径は2倍にならず、 $\sqrt{2}$ 倍になる。

<実験Ⅲ 紙やすりの粒度と水の輪の面積の関係>

仮説3

流しに紙やすりを敷いて、蛇口から水を落とす。紙やすりの目が細くなればなるほど水にかかる摩擦力が小さくなると考えられるので、紙やすりの目が細くなれば水の輪の面積は大きくなると思う。また、仮説2と同じ理由でグラフにすると直線状のグラフになるのではないか。

実験道具3

ビーカー、定規、ストップウォッチ、紙やすり(粒度：#150、#240、#400、#1000、#2000で行った。なお、番号の値が大きくなるほど、やすりの目は細くなる)

実験方法3

第2理科室の流しで水道の蛇口から1秒間に10ml、20ml、30ml、40ml、50ml、60ml、70ml、80ml、90ml、100ml(実際には1秒間に流れる速さで測ることが大変だったので5秒間に50ml、100ml、150ml、200ml、250ml、300ml、350ml、400ml、450ml、500ml)流れる速さで調べた。できた水の輪の下に各粒度の紙やすりを写真5のようにしく。その時にできた水の輪の半径を写真2のように測り、輪の面積を出す。これを粒度ごとに5回ずつ行った。また、紙やすりを敷いていないときの輪の面積も測定する。

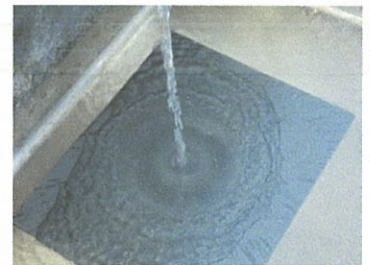


写真5 紙やすりを敷いた様子

実験結果3

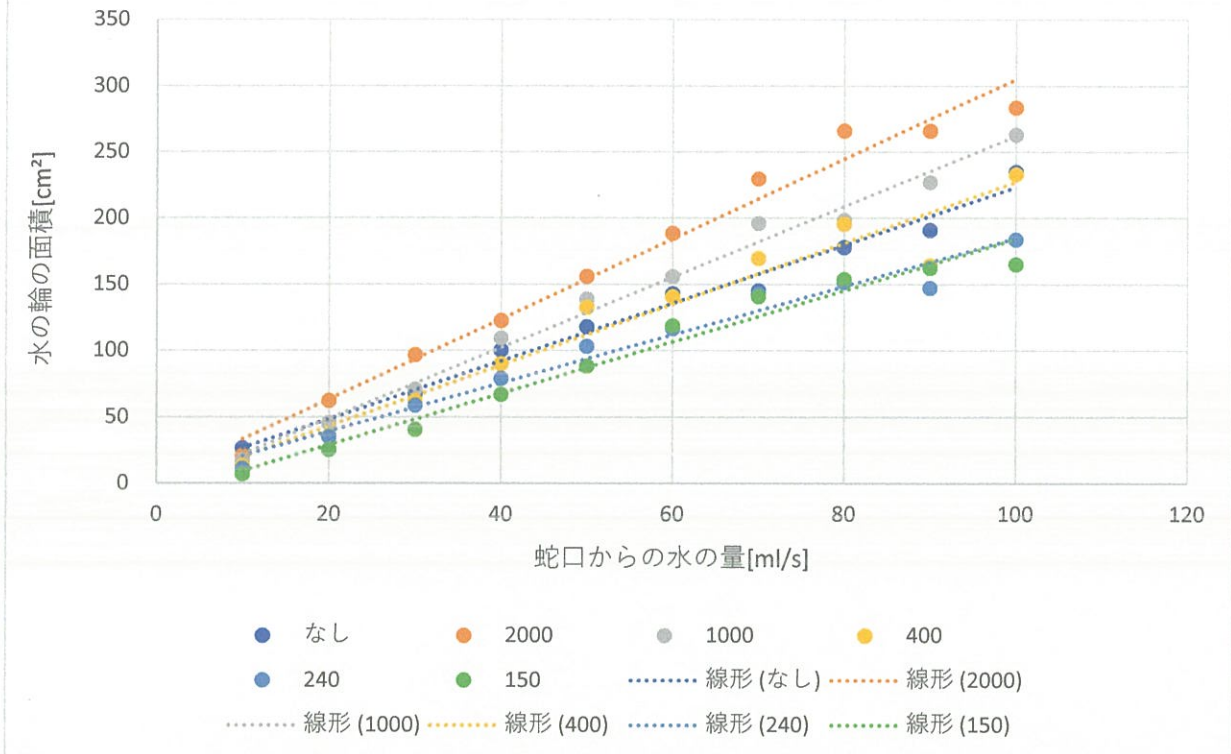
表2の結果を図3のように直したら、直線状になった。なお、表2、図3の結果は5回実験した平均である。

<表2 紙やすりの粒度と水の輪の面積の関係>

水の量 \ 紙やすりの粒度	なし	#2000	#1000	#400	#240	#150
10 [ml/s]	26	21	17	13	11	7
20 [ml/s]	45	62	46	35	35	25
30 [ml/s]	68	97	71	62	59	40
40 [ml/s]	100	123	109	90	79	67
50 [ml/s]	118	156	139	133	103	88
60 [ml/s]	143	189	156	141	117	119
70 [ml/s]	145	230	196	170	143	141
80 [ml/s]	178	266	198	195	152	154
90 [ml/s]	191	266	227	164	147	162
100 [ml/s]	235	283	263	233	184	165

※単位は cm²

<図3> 紙やすりの粒度と水の輪の面積の関係



考察 3

仮説 3 とおり、紙やすりの粒度の番号が大きくなれば大きくなるほど(目が細かくなるほど)、水の輪の面積は大きくなった。また、グラフも直線状になった。このグラフを見てわかったことは、紙やすりを敷いていない時よりも紙やすりの粒度 #1000、#2000 を敷いたほうが水の輪の面積が大きくなったことだ。つまり、粒度 1000、2000 を敷いたほうが水の流れがよくなるということだ。これは、鮫肌の原理と同じなのではないかと考えた。鮫肌は多少凹凸があり、泳ぐときに、よりスピードが速くなる。ここは今回の研究とあまり関係がないので追及はしないことにした。

<実験Ⅳ 水の輪の内外での速さの測定>

仮説 4

水の輪の内側の水の流れる速さは輪に近づくにつれ、一定の速さになるのではないかと考えた。なぜなら、実験Ⅰで「水の輪の面積と水の流れる速さは比例する」とわかったからだ。

実験道具 4

定規、穴あけパンチの紙片、ハイスピードカメラ、パソコン、QuickTime Player(ソフトウェア)

実験方法 4

水の輪の半径を 3cm、6cm、9cm、10cm と設定し、水道の蛇口から「穴あけパンチを使用したときに出る丸い紙片」を流す。その様子を写真 6 のように、1 秒間に 1000 コマ撮影できるハイスピードカメラ (市販のデジタルカメラ) で紙片がカメラの画面から消えるまでを撮影する。その映像を QuickTime Player というソフトウェアを使って、5 コマ、つまり、5/1000 秒間ずつ動かして水の輪の中央から紙片が何 mm 動いたかを画面上で測定する。これを半径ごとに 5 回ずつ、合計 20 回行った。なお、動いた距離[m]÷0.005[s]を計算して出た数値を水の流れる速さ[m/s]とした。

実験結果 4

実験結果をグラフにしてみたら図 4、5、6、7 のようになった。

写真 6 ハイスピードカメラで撮る様子



図4 半径 3cm のときの水の流れる速さの変化のグラフ

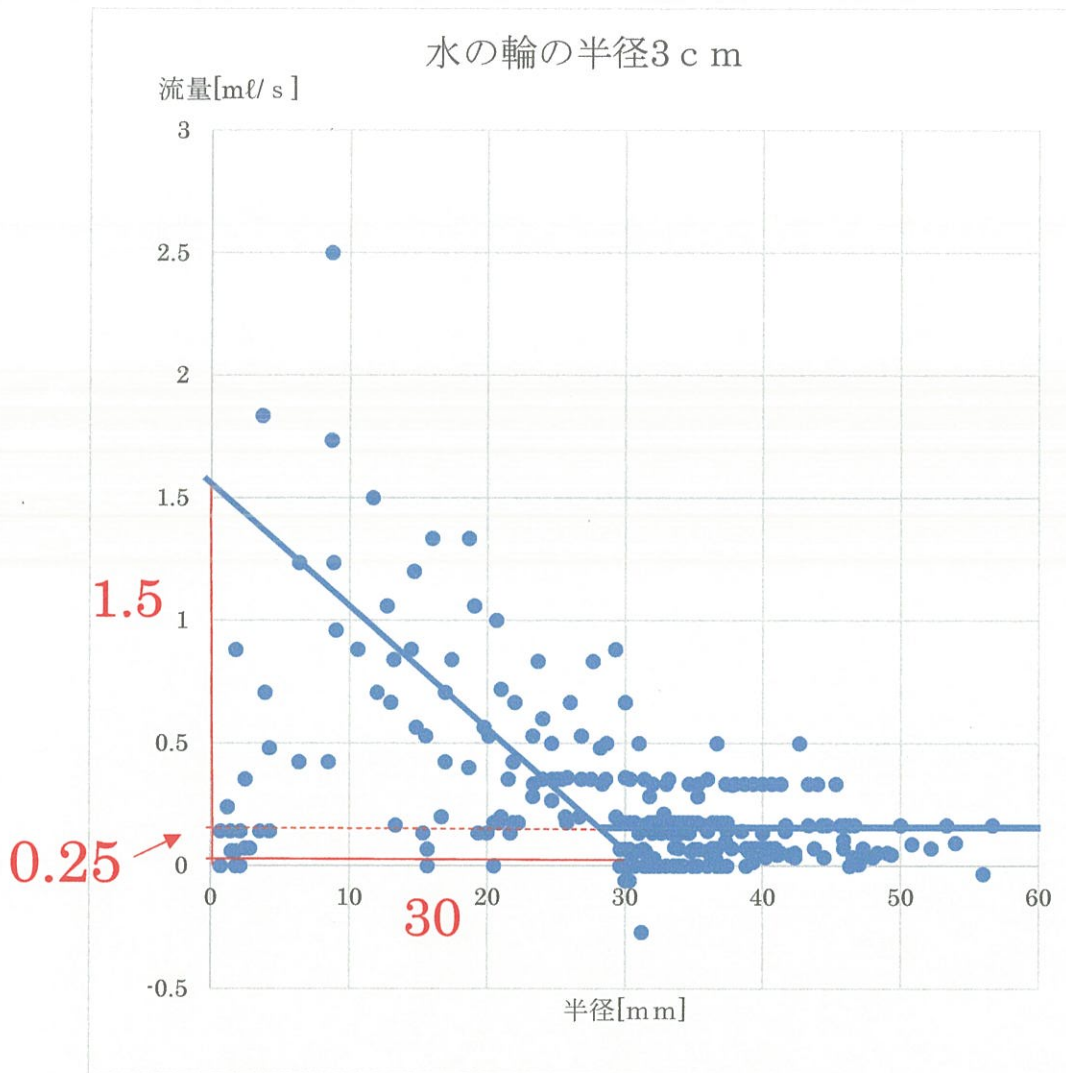


図5 半径 6cm のときの水の流れる速さの変化のグラフ

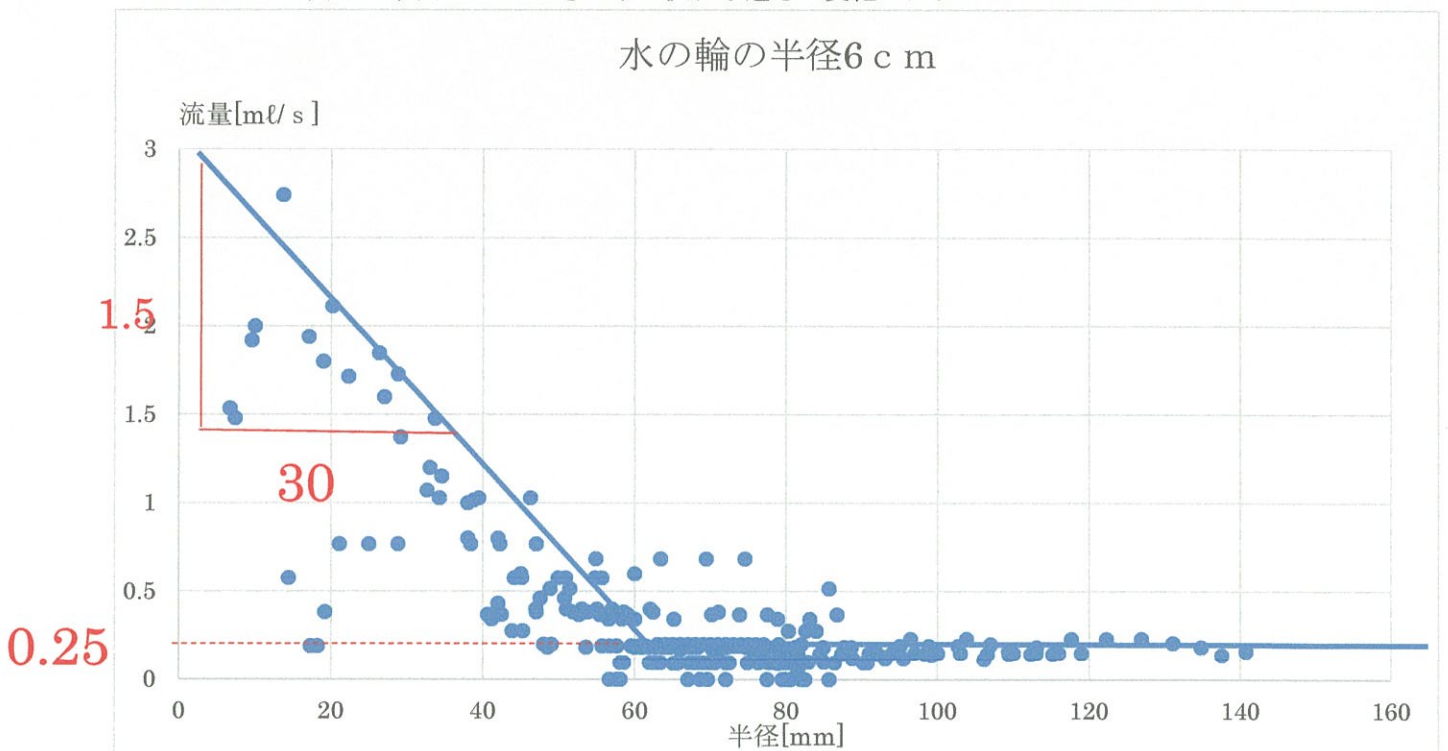


図6 半径 9cm のときの水の流れる速さの変化のグラフ

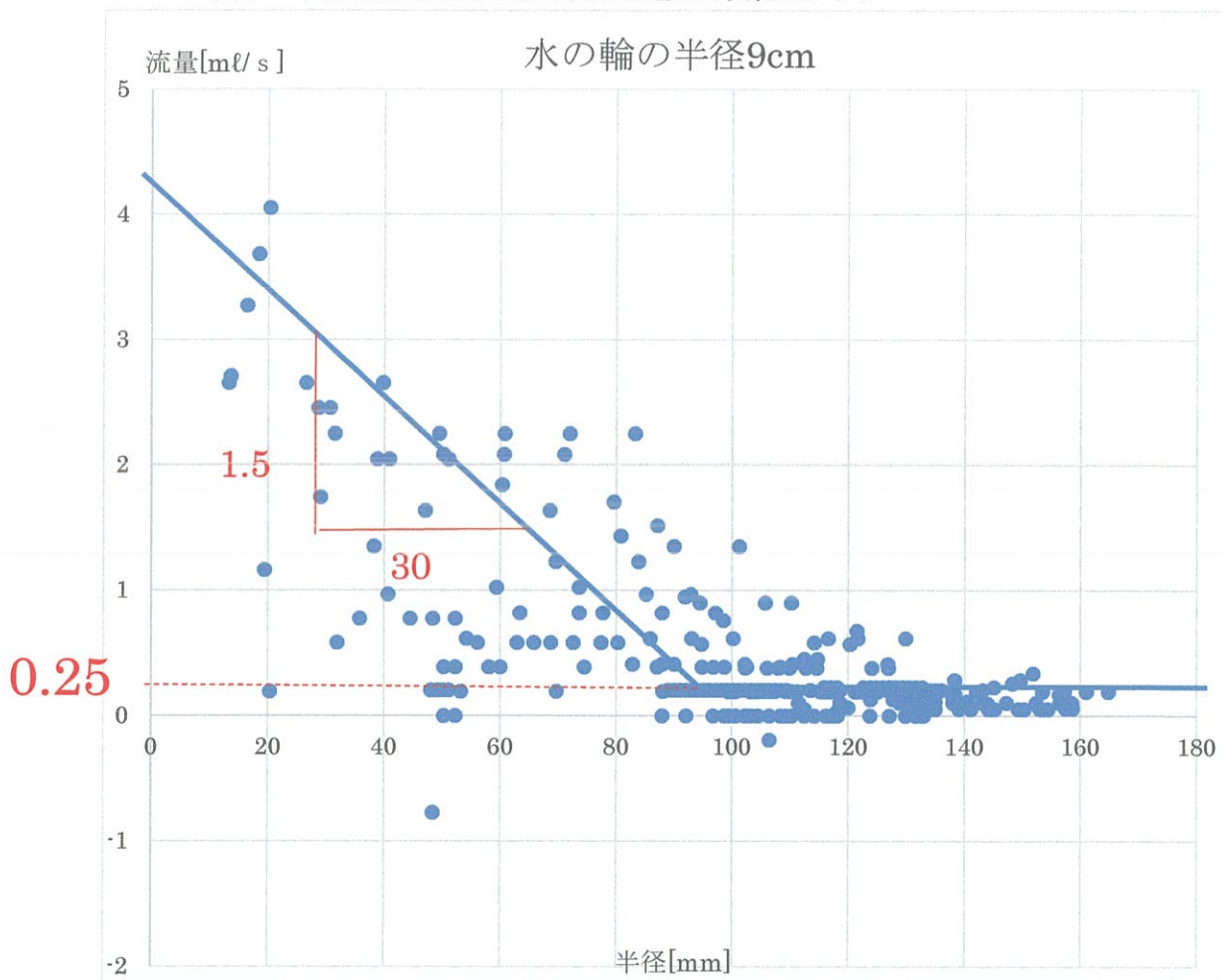
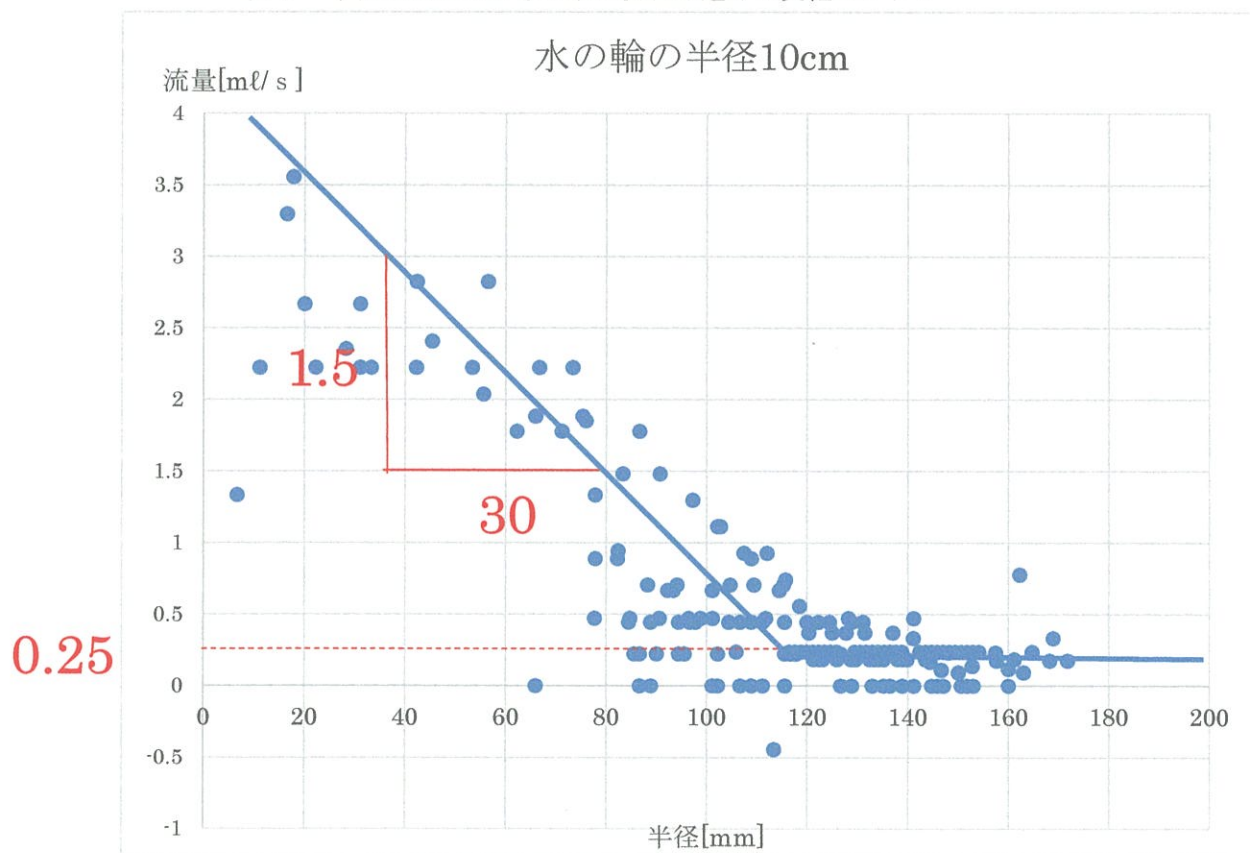


図7 半径 10cm のときの水の流れる速さの変化のグラフ



考察 4

水の輪の内側の水の流れる速さは一定ではなく、中心から外側に向かって一定の割合で減速していくことが分かった。また、この減速の割合は水の輪の大きさに関係なく、一定であることが分かった。具体的には 30mm 外側に向かうにつれ 1.5m/s ずつ減速する。これは水の粘性の特徴であると思う。粘性が水よりも大きい液体(例えば牛乳など)を用いると、もっと減速の割合が大きくなるものと思われる。

また仮説 4「水の輪の内側の水の流れる速さは、輪に近づくにつれ一定の速さになる」は確かにそうだった。すなわち、水の輪の半径が 3cm、6cm、9cm、10cm のいずれの場合も、中心からの水が減速していったら 0.25m/s ほどになると水の輪になることが分かった。

ところで、図の 4～7 を見ると、輪の内側では水の減速の様子が直線状になっている。これは輪の内側に外側から圧力が加わっていないことを意味する。もし輪の外側からの水圧が輪の内側にかかっているのなら、二次関数の放物線を横に倒したような、図 8 のグラフになると考えられる。このグラフの意味は、水の輪に近づくにつれ、水の輪の外側から「より大きな力」を受けるという意味を持つ。全体的には図 8 のようにはならず、直線状になる結果が多かったのだが、私たちの実験データの中には、図 10 のように図 8 と形の似た実験結果のグラフがいくつか出てきている。したがって、この「速さを調べる実験」はさらに回数を増やして行い、精度を上げてゆく必要がある。

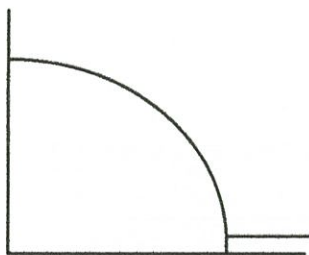


図 8 水圧がかかった場合のグラフ

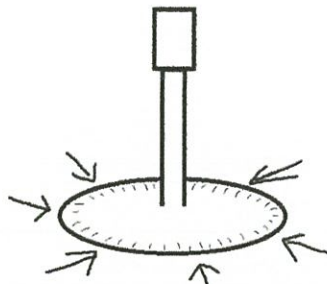


図 9 水の輪の外側から内側にかかる水圧の模式図

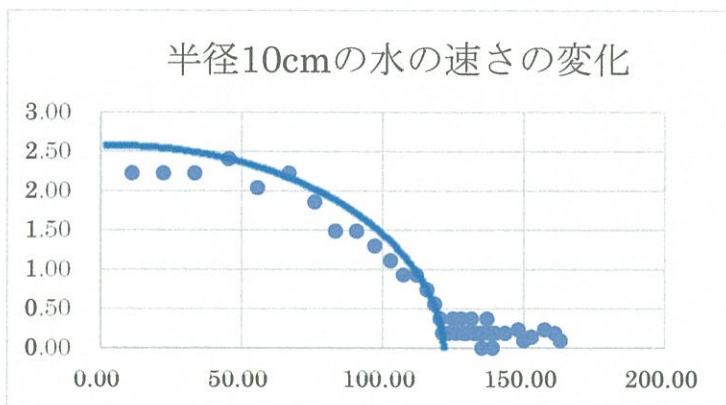


図 10 実験IVの実験結果のサンプル

<まとめ>

私たちが普段使っている「流し」に水を流すと、流しの底面には水の輪ができる。私たちはこのメカニズムを知りたくて実験を繰り返した。そのメカニズムとして仮説 1 で考えた「蛇口から出た水が流しの底面に当たって周りに広がってゆくと、その力で周りの水を押出しているから水の輪ができている」は実験 1 からそのとおりであることが分かった。しかし、水の輪の外側から内側に水圧がかかることはない。その理由は、図 4～7 のグラフの「速さの減速の仕方」が直線状であるからである。これは、水の輪の外側から内側に力が加わっていないことを示している。つまり、水の輪のメカニズムは、輪の周りの水からの圧力と、内側からの圧力が釣り合うところで輪ができるというものではないだろう。もっと異なるメカニズムで輪ができているようである。私たちの仮説・実験からわかったことは次の通りである。

① 蛇口から出る水の量と水の輪の面積は比例する。すなわち、水の量が倍になると、水の輪の面積も倍になるということである。・・・仮説2

② 紙やすりを流しに敷いて、その上に水を蛇口から流した。やすりの粒度が小さくなると、そのやすり上にできる輪の面積は大きくなった。仮説の通り、やすりの目が細くなればなるほど摩擦が小さくなり、水の輪が大きくなったのである。・・・仮説3

この実験は図3のグラフに示されるが、「流し」に紙やすりを敷かない場合よりも、#1000 や#2000 という目のたいへん細かい紙やすりを敷いたほうが水が流れやすいことが分かる。ステンレスシンクのほうが#1000 や#2000 の紙やすりより滑らかなわけで、一見矛盾しているが、これはサメ肌理論であるかもしれない。競泳用水着に使用されたレーザーレーザー(商品名)はこのサメ肌理論を応用したものだそう。

③ 水の輪の内外での流速の測定は高速度カメラを使い行った。仮説の通り、水の輪の内側の水の流れる速さは輪に近づくとつれ、一定の速さになる。具体的にはどの大きさの輪の時も 0.25m/s ほどになった。

・・・仮説4

また、輪の内側の流速の減速の仕方は、輪の大きさに関係なく、30mm につき 1.5m/s であることが分かった。これは水の粘性の特徴であると考えている。

④ 以上の結果より、水の輪は蛇口から放出されて流しに広がった水が、だんだんと減速してゆき 0.25m/s ほどという一定の速さになったときに、輪の外側の水との境にできるものであることが分かった。

<これからの研究>

今回の研究をもとに、水の輪ができるメカニズムについてさらに迫ってゆきたい。これからは、水の輪の内外における水の速さの測定の実験をさらに回数を重ねたい。また、水は流体であるので、水の表面(上側)と、水の底面に近い側(下側)と異なる動きをしているものと予想される。今回の実験は水の表面の実験であったので、実験方法を工夫して、底面に近い側の動きを解明し、水の輪のメカニズムに迫りたい。

<参考文献>

水の段差はなぜできるのか： 第57回 OLYMPUS 自然科学コンクール 2016

愛知県刈谷市立依佐実中学校 水の段差班

<謝辞>

本研究の遂行にあたって、お忙しい中、研究についての的確なアドバイスを頂いた株式会社リバネスの百目木幸枝さん、花里美紗穂さん、本多知佳さん、長 伸明さん、東北大学放射線物理学講座助教の田中香津生さん、横浜物理サークルの皆さん、大磯中学校科学部顧問の林 恭弘先生、また科学部の部員の皆さんに感謝いたします。