

武庫川の定点における淡水魚の出現パターン

関西学院高等部 理科部
3 年 田中康就 大西義之 小山雄太郎 岡拓也
藤井亮哉 山下泰生 古野壮一郎 中岡尚哉
1 年 宇佐美かほる 原井里奈

1. 動機及び目的

淡水魚の多くは季節や成長段階によって川の中を移動し生活場所を変えるといわれているが、その詳細はほとんど分かっていない。移動分散パターンは、淡水魚の生活史を解明し保全に役立てるための有益な情報となる。そこで我々は、淡水魚の河川内での移動分散パターンを明らかにするために、西宮市の武庫川で1地点の定点を設けて、淡水魚の出現パターンの季節変化を調べた。

2. 方法

調査地は支流仁川河口部の約60mの区間(図1)で、調査は2012年9月から2015年8月まで3年間、毎月1回行った。環境データとして、ポータブル pH 計を用いて水温、pH を計測した。1回の調査につき、調査区間で投網を5投した後、3人がタモ網を用いて15分間、淡水魚を採集した。採集されたすべての魚の種類、標準体長、個体数を記録し、その場で放流した。データは、2012年9月から2013年8月までを2012年度、以下、同様に2013年度、2014年度とした。環境データ、各種の月ごとの出現個体数の変化を年度ごとにグラフ化した。特に出現個体数の多い種については月ごとに体長分布をグラフ化し、その月の平均体長と標準偏差を算出した(ただし、スペースの関係上、この論文では示さなかった)。



図1 調査地

3. 結果と考察

3.1. 水質データ

水温は、3年間の最高水温は29.8℃(2012年8月)、最低水温は6.3℃(2012年2月)だった(図2)。pHの最高値は10.63(2014年9月)、最低値は6.39(2012年11月)で、両年度ともに冬場に低く、夏場に高くなる傾向がみられた(図3)。

3.2. 淡水魚全体の出現パターン

淡水魚は、2012年度には計17種3374個体、2013年度には計20種3876個体、2014年度には計21種3682個体が採集された(表1)。調査期間を通して出現個体数が最も多かったのはオイカワで、3年度ともに全体の65%以上を占めていた。次いで、

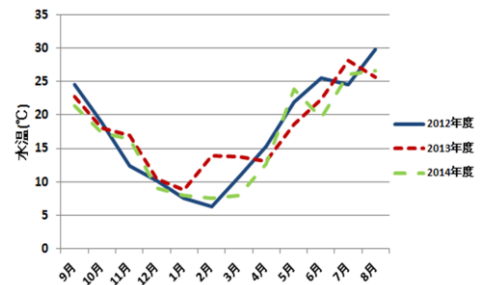


図2 3年間の月ごとの水温の変化

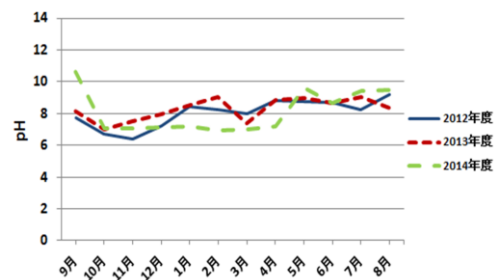


図3 3年間の月ごとのpHの変化

表1 調査期間中に採集された魚種と個体数

種名	年度	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	合計	3年間合計
オイカワ	2012	176	388	735	402	57	1	0	18	46	283	25	70	2201	7457
	2013	102	416	204	1063	74	3	449	209	52	13	81	95	2761	
	2014	19	99	303	1974	17	3	5	1	4	1	27	42	2495	
	2015	20	181	48	221	1	1	0	5	27	9	2	0	519	
コウライモロコ	2012	20	70	68	30	49	20	113	157	0	3	14	13	557	1428
	2013	11	21	124	95	45	33	9	2	1	10	0	0	352	
	2014	56	39	11	14	8	9	11	4	10	0	10	9	181	
	2015	34	22	9	4	3	7	11	29	1	2	59	37	218	
カマツカ	2012	28	28	27	5	17	12	4	12	0	2	48	90	273	672
	2013	4	46	0	1	0	0	0	0	0	0	35	53	76	
	2014	76	4	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	84	
	2015	4	15	34	1	5	1	8	0	0	0	57	6	126	
ギンブナ	2012	3	2	1	0	0	0	0	0	0	29	4	37	78	286
	2013	7	13	2	1	2	1	1	0	1	3	33	5	69	
	2014	2	1	1	2	1	0	4	2	25	39	7	13	97	
	2015	8	0	0	0	0	0	0	0	0	3	19	1	31	
タモロコ	2012	0	2	3	0	0	0	0	0	4	9	6	1	25	194
	2013	20	1	9	0	4	0	0	0	4	1	5	44	95	
	2014	1	0	1	1	0	0	8	0	0	1	1	5	25	
	2015	0	0	7	0	5	7	6	1	10	10	0	0	46	
コイ	2012	4	4	3	2	0	0	0	0	0	2	1	6	22	90
	2013	5	16	0	0	0	0	0	0	0	5	5	20	51	
	2014	0	2	3	0	0	0	0	0	0	1	7	4	17	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ミナミメダカ	2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70
	2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ガフヨシノボリ	2012	6	1	5	1	0	0	0	0	2	5	13	3	45	59
	2013	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	5	5	11	
	2014	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	
	2015	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	28	11	46	
ドンコ	2012	5	5	2	0	0	0	1	2	0	5	5	2	27	58
	2013	2	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	6	
	2014	0	0	3	0	0	1	1	2	11	6	0	0	25	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ゲンゴロウブナ	2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	54
	2013	12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	
	2014	0	6	19	0	0	0	0	0	0	0	8	6	39	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
オオクチバス	2012	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	7	27
	2013	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
カフムツ	2012	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	22
	2013	0	0	2	0	1	0	6	1	0	0	0	0	10	
	2014	0	2	3	0	0	0	1	0	0	0	0	3	9	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
アユ	2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	21
	2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	1	8	
	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	9	12	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
モンゴ	2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	19
	2013	1	0	9	0	0	0	0	1	0	0	1	12	19	
	2014	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	4	
	2015	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	
ブルーギル	2012	2	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	6	18	18
	2013	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	7	0	9	
	2014	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	7	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ドジョウ	2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
	2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ナマズ	2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ムギツク	2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ギギ	2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34
	2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
フナ sp.	2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34
	2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

※背景の色は、緑が100個体、青が100～999個体、赤が1000個体以上を示している。
※体長が小さく同定困難なフナ sp.とした。

コウライモロコ、カマツカが多く、3年度ともにこの3種類で出現個体数の90%程度を占めた。また、出現した種数、総個体数は季節により大きく変動しており、夏から秋にかけてともに増加し、

冬には大きく減少した（図4、5）。ただし、総個体数はオイカワとコウライモロコの個体数の増減に大きく影響を受けていた。

3.3. 淡水魚各種の出現パターン

調査地点での淡水魚の出現パターンは、大きく3つに分けられた。1つ目は、調査地点付近で産卵していると考えられる種である。オイカワ、タモロコ、フナ類、コイがこのパターンにあてはまっ

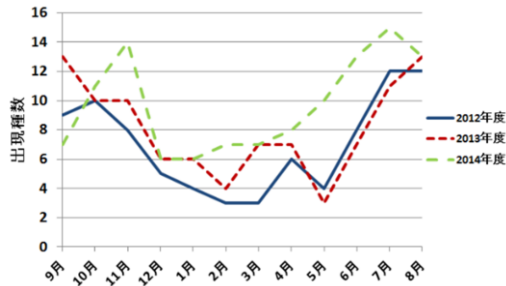


図4 3年間の月ごとの出現種数の変化

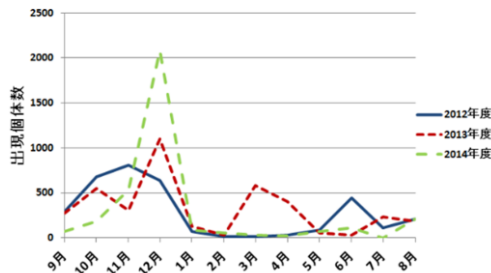


図5 3年間の月ごとの出現個体数の変化

た。これらの種は産卵期の5～8月に当歳魚と思われる体長の小さな個体^{1,2)}が出現した。したがって、調査地点付近で産卵していると考えられる。しかし、各種の年間を通しての出現パターンは少しずつ異なっていた。

オイカワは1年中出現したが、秋から初冬にかけて特に多く出現し、水温が10℃を切る晩冬から初春にかけて激減した。このことから、調査地点と本流の間を季節移動していると推測された。成魚と当歳魚の出現時期から、水温が20℃を上回るころに産卵していると考えられた。

タモロコは5～6月に当歳魚が出現し、体長が60mm以上の個体はほとんど出現しなかった。したがって、当歳魚は急速に成長し、66mmを超えてから本流に移動していると考えられる。

コイは5～6月に当歳魚が出現し、体長が100mm以上の個体はほとんど出現しなかった。したがって当歳魚は急速に成長し、体長100mmを超えてからは本流に移動していると推測された。

ギンブナとゲンゴロウブナは夏～秋にかけて多く出現し、冬はあまり出現しなかった。したがって、冬は本流に移動していると推測された。

2つ目は、武庫川本流で産卵していると考えられる種である。コウライモロコ、カマツカ、アユがこのパターンにあてはまった。

コウライモロコとカマツカは、5～8月に成魚と思われる体長の大きな個体が大きく減少し³⁾、その1～2ヶ月後に再び出現していた。この時期はこの2種の産卵期であり²⁾、本流に移動し産卵していると推測された。しかしながら、コウライモロコは秋から冬にかけて出現個体数が多く、年間を通して大きく変動していたが、カマツカは産卵期以外に出現個体数の大きな変動は見られなかった。したがって、コウライモロコは調査地点と本流の間を季節移動し、カマツカは、産卵期以外はあまり移動しないと推測された。

アユは5～8月にのみ出現した。アユは初夏に河川を遡上し、秋に産卵のために下流へと移動することが知られている²⁾。したがって、調査地点に出現してきた個体は、本流を遡上してきたあと、産卵のために本流下流に移動していると推測された。

3つ目は、本流にはほとんど生息せず、支流から流下してきたと考えられる種である。シマヒレヨシノボリ、オオクチバス、カワムツ、ブルーギル、ムギツク、ドンコ、モツゴがこのパターンにあてはまった。本調査地点は、仁川と川西川が武庫川に流入する地点である。これらの種は出現個体数が少なく、付近の1日の降水量が50mm近い降雨⁴⁾による増水の直後に出現することが多かった。また、これらの種は武庫川本流の下流部にはほとんど生息していない⁵⁾。したがって、増水によって調査地点に流されることによって出現していると推測された。

そのほかに、カワヨシノボリ、ギギ、コウライニゴイ、ドジョウ、ナマズ、ミナミメダカが出現したが、出現個体数が少なかったため、考察できなかった。

4. 参考文献

- 1) 中村守純(1969)日本のコイ科魚類、資源科学研究所
- 2) 川那部浩哉・水野信彦(1989)山溪カラー名鑑 日本の淡水魚、山と溪谷社
- 3) 上野智(2002)カマツカの成熟年齢と成熟サイズ、陸水学報、17:33-41
- 4) 国土交通省水文水質データベース、<http://www1.river.go.jp/> (2015.10.9閲覧)
- 5) 富永浩史(2014)武庫川下流域の淡水魚の生息状況、武庫川市民学会誌、2:62-66

シャボン膜に関する研究

神戸鈴蘭台高等学校 理科部
3年 高橋拓也, 足立宙夢

1. 動機及び目的

シャボン玉の虹色は、光の薄膜干渉によるものである。干渉の条件式から光の波長が決まれば膜の厚みを測定することが可能である。

そこでこの干渉縞を観察することでシャボン膜の厚みが時間と共にどう変化するかを測定し、洗剤濃度とシャボン膜の耐久時間の関係について調べることにした。

2. ドデシル硫酸ナトリウム (DS) の cmc 測定とシャボン膜の耐久時間測定

(1) 実験方法

洗剤の特性は臨界ミセル濃度 (cmc) に大きく左右される。そこで最初に DS の cmc を導電率から求めた。同時に、プラスチック製の枠にシャボン膜を張り各濃度の DS 溶液におけるシャボン膜の耐久時間を測定した。

(2) 結果

図1の導電率の測定から $\text{cmc}=0.008\text{mol/L}$ と求められた。耐久時間については図2の通り、 0.01mol/L 付近にピークがあり、cmc との一致が見られた。

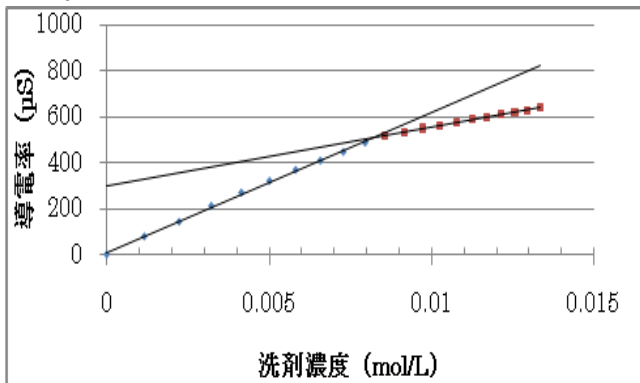


図1 洗剤濃度と導電率の関係

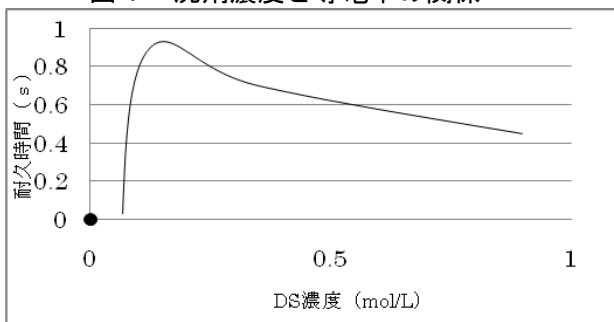


図2 シャボン膜の耐久時間

3. シャボン膜の厚み測定

(1) 実験方法

図3, 4に示す装置を自作した。2(1)で用いたプラスチック製の枠内にシャボン膜を張り、装置にセットする。このとき干渉縞の暗線の位置 a からその暗線のある膜の厚み d は次の式で求められる。

$$d = \{1.33(a^2 + 115^2)^{1/2} m \lambda\} / (2 \times 115n)$$
$$(m=0, 1, 2, \dots) \quad \lambda=635\text{nm} \quad n=1.33$$

干渉縞の様子はスマートフォンにより録画し、膜の破裂する直前の画像から3秒ごとに12秒前まで画像を解析した。

(2) 結果と考察

測定した結果を図5に示す。12s前と直前の膜厚の変化量 (横軸) は 0.01mol/L と 0.004mol/L は広いが、 0.008mol/L は狭くなっている。すなわち図2において 0.01mol/L 付近でシャボン膜が一番長持ちする要因は、膜厚の薄くなる速さがこの濃度で最小となることにありと結論づけられる。

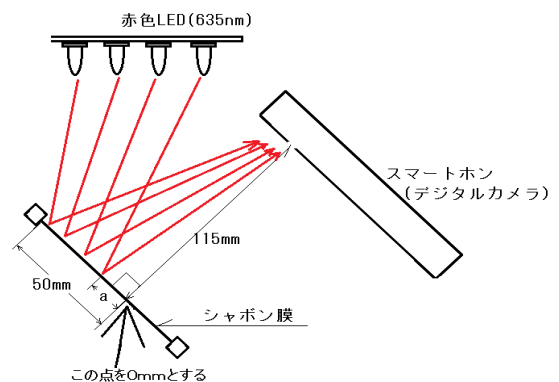


図3 干渉縞解析装置 (概略図)

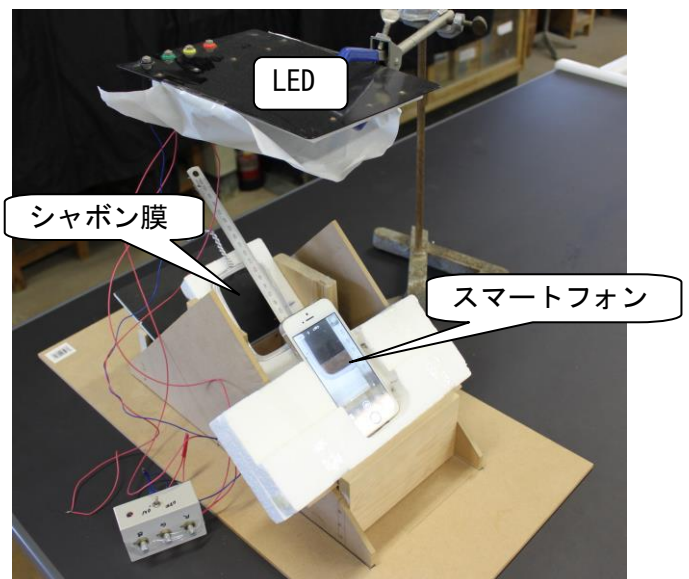


図4 干渉縞解析装置 (写真)

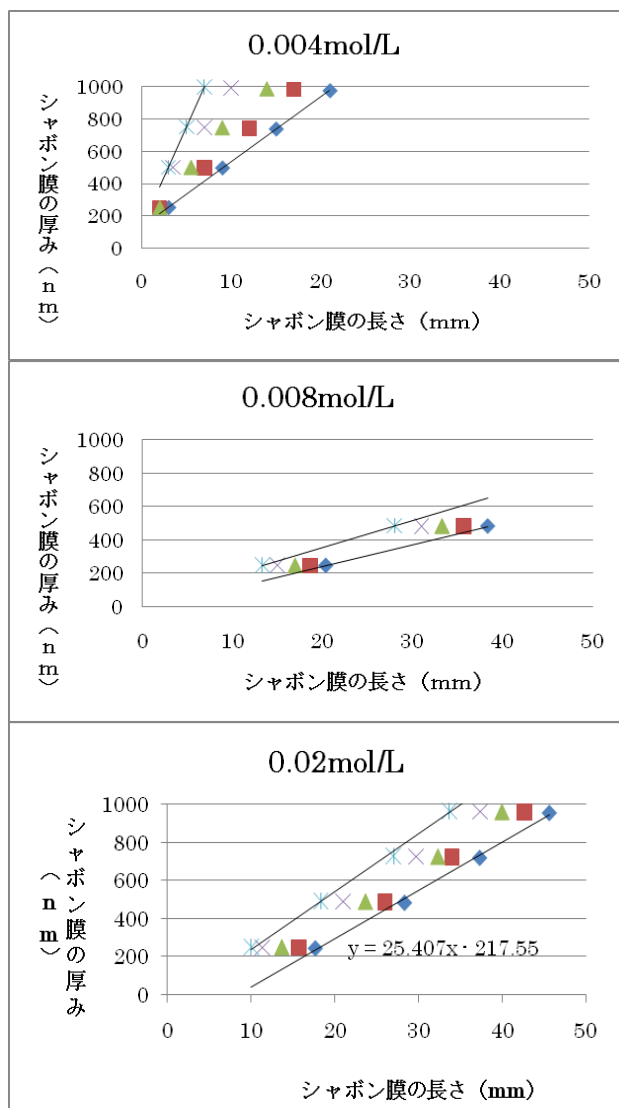


図5 DSの濃度とシャボン膜厚の変化量

◆破裂直前 ■3秒前 ▲6秒前 ×9秒前 ※12秒前

4. ポリビニールアルコール（以下 PVA）を用いた実験

市販のシャボン液には、PVA が添加されている。そこで、PVA の添加によってシャボン膜の膜厚の変化が小さくなると仮説を立て実験で確かめる事にした。

(1) 方法

図1の装置を用いて、0.008mol/L DS 溶液に PVA を 0～4%添加して膜厚の変化を調べた。

(2) 結果と考察

結果は図6に示した。PVA 0～1%はあまり変化が見られないが、2～4%は PVA の添加量に応じて、膜厚の変化が小さくなってるのがわかる。このことから PVA を添加すればするほどシャボン膜の膜厚の変化が小さくなり、よってシャボン膜が長持ちする事と考えられる。

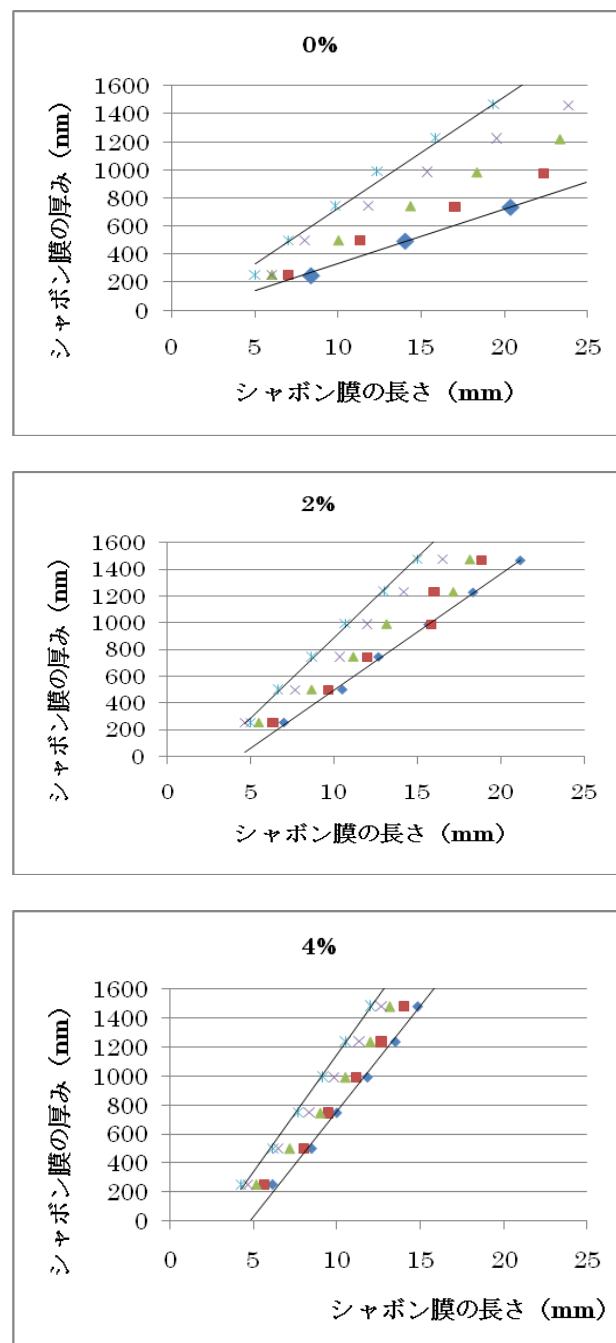


図6 PVA 濃度とシャボン膜厚の変化量

5. まとめ

今回の実験では試作した装置を用いてシャボン膜厚の変化が追跡出来ることがわかった。以下に結果を記す。

1. DS 濃度が cmc においてシャボン膜の膜厚変化が最小となる。
2. PVA は添加するほどシャボン膜の膜厚変化は小さくなる。

参考文献

- 1) 國友正和他, 物理, 数研出版(2012)
- 2) 竹内節, 界面活性剤, 米田出版(1999)

近隣小学校にあったラベル不可読薬品の判別

兵庫県立津名高等学校 化学部
3年 池田智哉, 内海虹介
2年 山口賢太郎, 西岡泰徳, 坂東慶希
1年 太田晃生, 木下祐輝, 田村希美

1. 動機及び目的

継続した研究テーマもなく、高校化学未履修の生徒達でできることを探していた時、「小学校でラベルが古く読めなくなった薬品の対処に困っている」という話を聞いた。近年淡路ではいくつもの小学校が統合され、また、テロ対策で薬品管理の徹底が求められている。それらの薬品を判別し、有効利用する方法を探ることが地域貢献にもつながると思い取り組むことにした。

2. 方法

小学校にあった薬品であることから見当をつけ、化学図説等で確認方法を探して確かめた。

(1) 液体ビン 20 本について次のことを調べた。

①色, 臭い, pH 等。②塩酸の可能性を Ag^+ , 硫酸は Ba^{2+} との沈殿反応。硝酸の可能性を銅との反応やパックテスト。③塩基性のものについては Na^+ や Ca^{2+} の存在を炎色反応で調べた。④中和滴定でおおよその濃度を調べた。

(2) 固体 6 種については色と状態を観察し、高校にある薬品と比較することで見当をつけ、その確認実験を行った。

(3) さらに、市内の小学校 17 校、中学校 4 校を訪問して理科室や薬品庫を見学し、どんな薬品があるかや現状等を教えてもらった。

3. 結果と考察

(1) 結果と推定を以下の表 1, 2 にまとめた。

表 1 調べた液体試薬(一部抜粋)

No.	pH	色	Ag^+	Ba^{2+}	その他	推定薬品名
1	酸性	無色	+	+	※1	2mol/L硫酸
2	酸性	無色	—	—	銅で赤褐色気体発生	9mol/L硝酸
3	酸性	茶変色	—	+		9mol/L硫酸
4	弱酸性	茶変色	—	—	酢の臭い	酢酸
5	酸性	無色	—	+	※2	硫酸
6	塩基性	無色	—	—	アンモニアの臭い	アンモニア水(濃)
7	酸性	無色	—	+	$\text{K}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ で青色に	不明
8	酸性	無色	—	+	粘性あり 比重大	濃硫酸
9	塩基性	無色	—	—	炎色反応(オレンジ)	水酸化ナトリウム
10	酸性	無色	—	+	※3	濃硫酸
11	酸性	無色	++	—	※4	5.5mol/L塩酸
12	中性	緑色	—	—	アンモニア水で青色に	硫酸ニッケル(?)

表 2 調べた固体試薬

No.	色	形状	確認方法	推定薬品名
A	黒紫色	鱗片状	加熱すると赤紫気体に	ヨウ素
B	桃色	角粒状	加熱すると青色に	シリカゲル
C	白黄土色	砂状	硬くて水にとけない	ケイ砂
D	銀色光沢	涙形状	水酸化ナトリウム水溶液にとける	スズ
E	赤橙色	角粒状	塩基性で黄色、酸性で赤橙色	ニクロム酸カリウム
F	白色	半球状	炎色反応が黄色 強アルカリ	水酸化ナトリウム



図 1 判別前の状態 → 判別した薬品

(2) 判定が難しかった事例と予想外の反応

※1 硝酸銀反応陽性のため希塩酸と推定したが、沈殿量と滴定濃度が適合せず、硝酸バリウムにも反応して硫酸の存在も確認できた。

※2 濃い硫酸にフェノールフタレインを滴下すると、橙色に変化したため、塩酸、硝酸、硫酸をそれぞれ濃度を変えて用意し、確認を行った(図 2)。

※3 酸を中和滴定した際に、水酸化ナトリウム水溶液を加えると、泡が発生したものがあつた。

※4 高濃度の酸に硝酸銀を滴下すると、沈殿がすぐに消滅する現象が見られたので、濃度の異なる塩酸を用意し、確認を行った(図 3)。

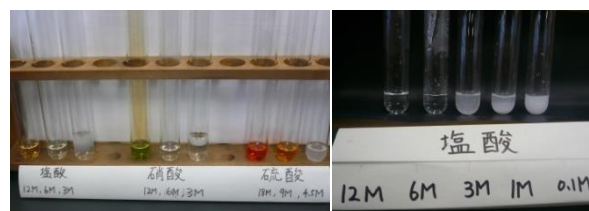


図 2 フェノールフタレインの色の変化 図 3 塩化銀白濁の様子

(3) ※1 についての検証

硝酸銀水溶液を水道水に滴下しても白色沈殿が生成したため水道水混入を考えた。小学校訪問の際に確認すると、多くの小学校で昔は希釈に水道水が使用されていた。現在は希釈された薬品を購入することが多い。

(4) ※2 についての考察

無色から赤色への変化を見る中和滴定で、いきなり黄～橙色に変化した。色から硝酸の影響かと思当をつけたが、硝酸は含まれていなかった。確認実験でフェノールフタレインは強酸性では橙色に変化することが分かった。概ねの濃度を調べる目的で、強酸溶液を薄めずに用いたために知ることができた。

(5) ※4 についての考察

昨年の発表で「化学平衡」や「錯イオン」が関係しているのではないかとアドバイスを頂き次の実験を行った。

【実験 1】 化学平衡に関する検証

『硫化亜鉛の生成する pH 条件』⁴⁾の実験を参考に、塩酸濃度を変えて反応を調べた。各濃度溶液 6mL に 0.1M 硝酸銀水溶液を 2 滴ずつ加えた。

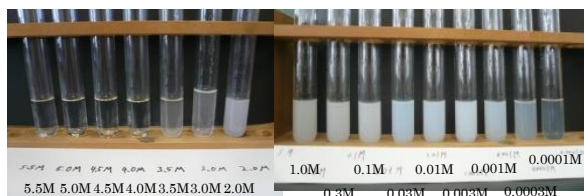


図 4 塩酸の濃度と沈殿生成の関係

【結果 1】

塩酸濃度 4.0M 以上で沈殿が消え、薄いほど沈殿が残った。しかし、0.001M より薄くなると沈殿生成量が減っていった。

【考察 1】

理論値を求めようとしたが、HCl の電離定数は非常に大きく、電離平衡の影響とは考えにくいことが分かった。濃塩酸でも電離していることを粉末リトマスを用いて確認した。



図 5 粉末リトマスを用いた酸の電離の確認

【実験 2】 錯イオンに関する検証

沈殿が消えるのは Cl^- の濃度が関係していると考え、塩化ナトリウム水溶液を用い、濃度を変えて硝酸銀水溶液との沈殿生成の反応を見た。

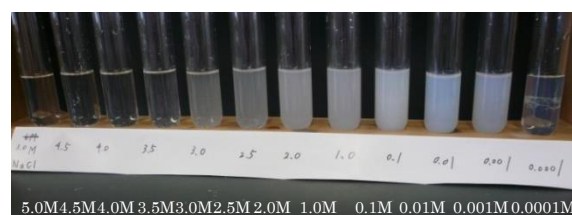


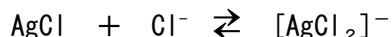
図 6 塩化ナトリウム水溶液の濃度と沈殿生成の関係

【結果 2】

塩酸のときとほぼ同じ結果で 4.0M 以上では沈殿が消えた。このことから沈殿生成には Cl^- の量が関係していることが分かった。

【考察 2】

Cl^- の濃度が高いと沈殿が多く生成するはずであるが、生成した沈殿が溶けたのは、過剰に存在する Cl^- が



と、錯イオンになり水溶液中に溶け込んでしまっていると考えられる。

【実験 3】

Ag^+ の量による沈殿の変化を見るため、滴下する硝酸銀水溶液の濃度を変化させて、0.1M 塩化ナトリウム水溶液を 2 滴ずつ加えた。

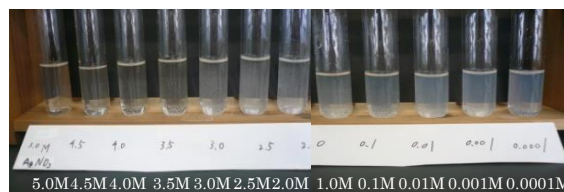


図 7 硝酸銀水溶液の濃度と沈殿生成の関係

【結果 3】

硝酸銀水溶液の濃度が 3.5M 以上では生成した沈殿が溶けた。実験 1, 2 に比べて白濁が生じにくかった。粒の大きい塩化銀が生成していた。

【考察 3】

硝酸銀水溶液の濃度が高いと過剰に存在する Ag^+ の量が増え、錯イオン $[\text{Ag}_2\text{Cl}]^+$ になって溶けると考えられる。

4. 今後の課題

- ・今回は見た目だけの判断だったため、定量的な実験を行って、数値を用いた解析を行いたい。
- ・実験 3 では、実験 1, 2 より生成した塩化銀沈殿の粒が大きかった。なぜ粒が大きくなったのか調べていきたい。
- ・未知物質を確定する高度な方法についても調べてみたい。
- ・薬品庫のさびや薬品瓶につく結晶を防ぐ方法など、薬品の保管方法について情報を集めたい。
- ・小学校を訪問した際、さらにニーズがあることがわかったため、今後も協力していきたい。
- ・塩化物イオンに硝酸銀水溶液を滴下しても沈殿ができなかったり、フェノールフタレインが酸性でも色の変化があったりと、教科書には載っていない現象を知ることができた。教科書の内容のみに捉われることなく、自ら進んで研究を行っていきたい。

5. 参考文献

- 1) 教科書 化学基礎 数研出版
- 2) フォトサイエンス化学図録 数研出版 (2014)
- 3) スクエア最新図説化学 第一学習社 (2013)
- 4) ト部吉庸 『硫化亜鉛の生成する pH 条件』サイエンスネット第 54 号 数研出版

走行中における白線検知システムについて
ロボカップジュニアサッカーチャレンジにおける
「アウト・オブ・バウンズ」対策

兵庫県立三田祥雲館高等学校 理科部
2年 田中暁 中島香名子
1年 今川楽人 福田尚寿 小河彩輝

1. 動機及び目的

本校理科部は、平成24年度よりロボカップジュニアサッカーチャレンジに取り組んでいる。

この競技には「ロボットが白線を越えフィールド外側に出るとその機体は1分間の退場を命じられる（アウト・オブ・バウンズ）」ルールがあり、1チーム2台で行う競技では退場させられると必ず相手に得点を与える結果となるため、対策が望まれる課題ではあるが、決定的な解決策が見出せずに3年が経過していた。昨年3月に開催された全国大会においても決勝トーナメントには進出をしたが、上位入賞を果たすことができなかった。

本研究では以下の方法をもってこの課題を解決することを目的とする。

2. 検討項目

- A) ラインセンサーに関する検討
(センサーによる白線の見落とし)
- B) プログラムループ時間に関する考察
(センサー読み取りタイミング)
- C) センサー出力信号を延長するための工夫
(ワンショット回路の設置)

3. 検証実験と結果考察

A) ラインセンサーに関する検討

一昨年まで利用していた「DAISEN 社製ラインセンサーDSR-543」はライントレース競技でもよく利用されている赤外線を照射しフォトトランジスタで読み取る反射型赤外線フォトリフレクタと呼ばれるタイプのものである。

本競技では緑色フィールドと白線の色の違いをセンサーにより読み取るが素材等の指定はなく、ただ、緑と白という色の指定のみである。このため、競技場によってセンサーによる読取値は大きく異なり、数値の較正に多くの時間が費やされていた。また、全国大会における上位入賞チームの多くは、高



輝度LEDを利用していたことから「DAISEN 社製ホワイトラインセンサー DSR1502」を入手し、比較検討を行った。

このセンサーは高輝度赤色LEDで照射した可視光領域の光を、分光感度特性が人間の視感度特性に近いフォトトランジスタで読み取るため、反射率のみで色を特定することを考えると赤色LEDによる発光のほうが優位だと考えられる。

素 材	赤外線	赤色LED
白(テーピング)	40%	81%
白(スチレンボード)	80%	81%
白(低発泡塩ビ板)	62%	81%
白(塗料)	25%	72%
緑(タイルカーペット)	2%	13%
緑(カーペット)	1%	1%
較正基準		

表1 センサー読み取り比較

実験A) 白線を越えたらストップするプログラムを制作し、モーター速度の上限値を調べる。

結果) 赤外線型 速度 80%
赤色LED型 速度 80%

考察)「赤外線型が白線を見落としているわけではない」ということ証明されたが、各大会において、競技開始までの短い調整時間を考慮すると赤色LED型が有効であると考えられる。

B) プログラムループ時間に関する考察

「プログラム上のループが長すぎるために、センサー信号読取命令時にはすでに白線を越えているのではないか。」

プログラム言語「C-STYLE」では、割り込み処理等を行わず、実験Aのようにプログラムループが短いものであれば常にセンサー信号を確認することができるが、長いループでは他の命令を行っている間に白線を越えているのではないかと考えた。

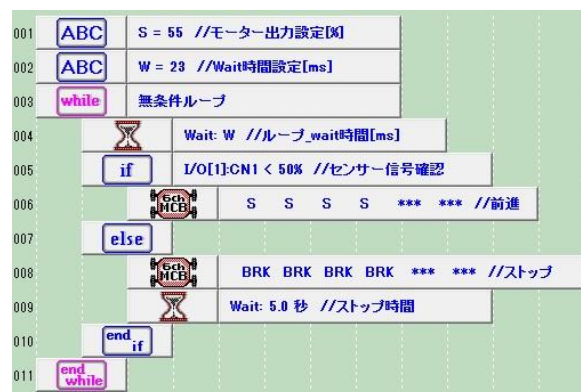


図1 「C-STYLE」によるプログラム
実験B) 図1に示すプログラムを作成、Wait 命

令によりループ時間を設定、1mの区間を走行させ、何[ms]まで反応できるのかを調べる。

(モーター出力 55%平均速度 161.3[cm/s])

結果) Wait 時間 限界値 23[ms]

考察) 実験結果より 23[ms]の間の機体の移動距離を計算すると、 $161.3[\text{cm/s}] \times 23[\text{ms}] = \text{約 } 3.7[\text{cm}]$ 。幅 2.0[cm]の白線ではこの値が限界だと考えられる。(3.7[cm]の読取間隔で 2.0[cm]の白線が検知できるのはセンサーの読取範囲が影響していると考えられる。)

プログラムループを短くすることが最善
とはいえ、「C-STYLE」でのモーター制御時間設定は 100[ms]単位であり、一つでも入ればそれだけで機体は最大 16[cm]進んだことになってしまい「プログラムループを短くする工夫だけでは対策とはなりえない。」

C) センサー出力信号を延長するための工夫

第①案 図2のように各方位に1個設置していたセンサーを各方位に複数個設置する。

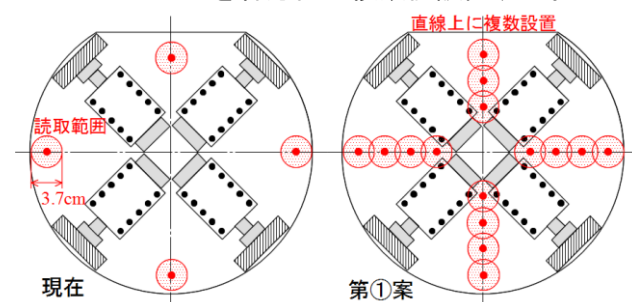


図2 センサー複数配置図

ラインセンサー1個での走行時の読取間隔は前回の実験より約 3.7[cm]ということから、1方位あたり4個設置することにより 10[cm]前後をカバーすることが出来る。

第②案 センサーは、白線検知時のみ信号を出力するので CPU との間に、白線検知後に一定時間、検知信号を出し続けるような IC 回路（ワンショット回路）を設置する。

以上2案を検討した結果、第①案ではセンサーの増加による費用増加、また増設したセンサーを並列処理するための IC 回路を設計しなければならず、「第②案」を採用することにする。

ワンショット回路（単安定マルチバイブレータ）を制作するにあたり、74HC123A を利用する。

この IC はリトリガブル（リトリガー可能）である。ただし、このリトリガー機能は、新たにエッジを検知した時に出力時間をリセット（延長）

するため、入力信号がある間、常にエッジが検知できるようにする必要があり、前段に NE555P を発信器として利用し、パルス波を出力することにより入力信号が途切れた後も一定時間、信号を出力する回路を制作する。(図3)

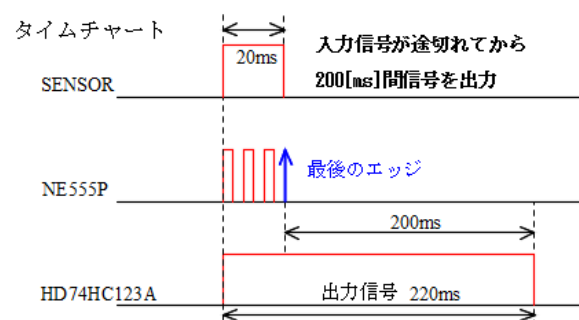


図3 リトリガー機能タイムチャート

実験 C) B)と同様のプログラムを作成、Wait 時間の限界値を調べる。

(モーター出力 55%平均速度 161.3[cm/s])

結果) Wait 時間 限界値 200[ms]

考察) 設計通り 200[ms]の延長時間が得られた。この間の機体移動可能距離を計算すると、約 32.3[cm]となり最大直径 22[cm]の機体が白線を越えないようにすることが目的であるため、後はプログラムループを工夫するしかないと考えられる。

4. 今後の課題

赤色 LED 型、ワンショット回路を導入した機体は、白線検知時の復帰処理後にボールがフィールド内側で確認されない限り機体を動かさないようにプログラミングを施し、単独動作では白線外に出ることはなくなったが、競技は4台の機体で行われるため、他の機体に押されることにより停止位置をずらされたり、2方位同時に白線を検知することにより予定していた復帰処理が行われずに「アウト・オブ・バウンズ」となってしまいうことが今年3月の全国大会でも続いた。今後はより正確な位置確認を行うプログラムを制作することが要求される。

5. 参考文献(web サイト)

RoboCupJuniorJapan, RoboCupJuniorSoccerRule2015, http://rcj.robocup.org/rcj2015/soccer_2015.pdf (Oct. 9, 2015)

株式会社ダイセン電子工業, ホワイトラインセンサーDSR1502, <http://www.daisendenshi.com/> (Oct. 9, 2015)

熱気球はどこまで軽くできるか

兵庫県立宝塚北高等学校 化学部
3年 平野 猿, 3年 多治見 大地, 2年 水田 千尋

1. はじめに

熱気球は、空気が暖まると膨張し密度が小さくなることを利用して浮揚する気球である。

熱気球の装置の質量を m 、常温で熱気球と同体積の気体の質量を w 、熱気球内の加熱された気体の質量を w' とすると、熱気球の飛ぶ条件は、

$$w' + m < w$$

と表される。気体の状態方程式 $pV = wRT/M$ より、気球内の加熱された気体の絶対温度を T' として熱気球が飛ぶ条件をまとめると次の式で表される。

$$m < \frac{MPV(T' - T)}{RTT'} \dots \textcircled{1}$$

アルキメデスの原理によれば浮力は体積が大きいほど大きくなり気球は飛びやすくなる。以上より熱気球をどれだけ小さく軽くできるかに興味をもった。また、過去の文献では燃料を除いた質量が 1.8 g のものが最軽量であることが分かった。

2. 目的

熱気球をどこまで軽くできるかを調べ、できるだけ軽い熱気球を製作して飛ばす。

3. 実験と結果および考察

熱気球は、袋、接続部、熱源から構成される。はじめは身近な袋、針金、エタノールを用いて様々な熱気球を製作し、飛ぶかどうか調べた。

袋(1)材質について

- ・ポリエチレン製のゴミ袋：飛んだが重い(27g)
 - ・コンビニのポリエチレン袋：熱で溶けた
 - ・アルミニウム箔で作った袋：重く飛ばなかった
- 可能な限り軽い素材として、食品用ラップフィルムを用いることにした。ラップフィルムを二重に重ねてアルミニウム箔で挟み、はんだごての熱で溶かして接着し、袋状にして実験した。
- ・ポリエチレン製ラップ(耐熱温度 110℃)：溶けた
 - ・ナイロンの両面をポリエチレンでコーティングしたラップ(耐熱温度 160℃)：溶けた
 - ・ポリメチルペンテン製ラップ(耐熱温度 -30℃～180℃)：溶けずに飛んだ

以上より、ポリメチルペンテン製ラップを用いることとした。このラップの質量は、 $1.8 \times 10^3 \text{ cm}^2$ あたり 1.519g であった。また、袋内の温度は 160℃ に到達していると仮定して実験を進めた。

(2)体積について

袋の体積は、表面積が同じであれば球形で最大である。平面状のラップから球形を製作するのは困難なため、ラップを折りたたんで正方形が 2 枚

重なった形にし、その 2 辺を接着して袋を作った。

様々な大きさの袋について、水槽に沈めながら内部に色水を入れて体積を測定し、元の正方形の一辺の長さ、内部の体積の関係を調べた(図 1)。

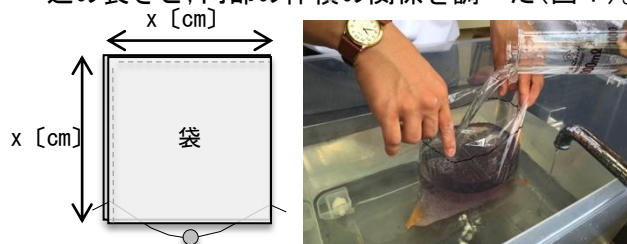


図 1. 熱気球の袋の一辺の長さ、体積の測定

得られたデータから近似曲線を求めると、ほぼ一辺の 3 乗に比例することが分かった(図 2)。

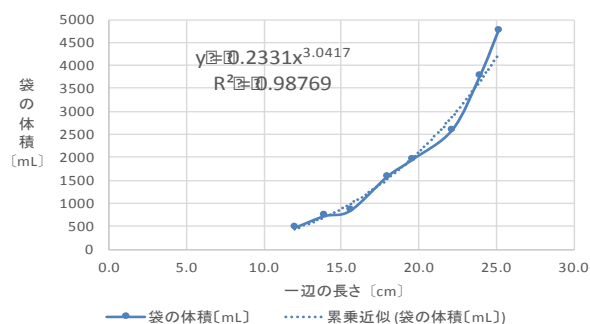


図 2. 袋の一辺の長さ、体積の関係

(3)袋の内部の温度について

袋の内部が 160℃ に到達していることから熱源からの距離と温度の関係について調べた。0.50g の脱脂綿に 1.0mL のエタノールを含ませて燃焼させ、上方の温度変化を測定した(図 3)。

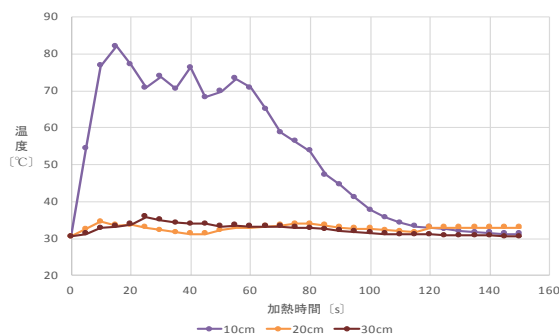


図 3. 加熱時間と熱源の上方の温度の変化

熱源から 10cm の高さで 82℃ まで、20cm, 30cm の高さでは、ほとんど温度が変化しなかった。

熱源の上方の温度が高くなる要因には、輻射熱および高温の気体自身の上昇の 2 つが考えられるが、20cm, 30cm の高さで温度変化がなかったことから、気球内部の温度上昇の原因は、高温の気体自身の上昇によるものと考えられる。

次に、燃焼によって生じた高温の二酸化炭素と水蒸気が上昇することを確かめるため、4 本のろうそくを縦に並べ、火をつけてから筒の中に入れて蓋をし、消える順番を調べたところ、ろうそくは上から順に消えた。二酸化炭素の分子量は 44

で空気の平均分子量より大きい、高温のため、水蒸気とともに上昇することが確かめられた。
接続部 熱に耐え軽いことが必要なので、ステンレス製で直径 0.19mm の針金を用いた。袋の下端が円形になったときの直径の長さで両端の袋に掛ける部分の 1.0cm ずつとを合わせて $2x/\pi + 2.0$ [cm] とし、袋の下端から 1.5cm の所に穴を開けて引っ掛けた。質量は 25cm あたり 0.056g であった。

熱源 (1) 素材について

熱源には、燃料、吸収材、受け皿の 3 つが必要と考え、はじめはエタノールと脱脂綿と受け皿のアルミニウム箔を用いたが、受け皿は重い使用せず液体燃料と脱脂綿だけを用いることにした。

(2) 燃料について

5 種類の物質について、0.050g の脱脂綿に燃料を含ませて、その質量、物質質量、燃焼して気体が生成するときに発生する熱量を調べた (表 1)。

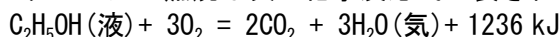
表 1. 0.050g の脱脂綿が含む物質とその燃焼熱

物質	化学式	質量 [g]	物質質量 [mol]	発生する熱量 [kJ]
メタノール	CH ₃ OH	0.393	0.0123	7.85
エタノール	C ₂ H ₅ OH	0.550	0.0120	14.8
アセトン	CH ₃ COCH ₃	0.436	0.00751	12.7
1-ペンタノール	CH ₃ (CH ₂) ₄ OH	0.415	0.00482	14.7
ヘキサン	C ₆ H ₁₄	0.315	0.00366	14.1

脱脂綿はセルロースからなり多くのヒドロキシ基 (-OH) をもつため、分子中に -OH をもち、その割合が大きい物質ほど多くの物質質量が含まれることが確かめられた。同質量の脱脂綿が含む燃料から最も燃焼熱が多く出るものはエタノールであった。

(3) エタノールの燃焼で生じる気体と熱について

エタノールの燃焼は次の化学反応式で表される。



空気の比熱を $1.0 \text{ J}/(\text{g} \cdot \text{K})$ 、空気の平均分子量を 28.8 とすると、 V [L] の気体を、 t [°C] から 160°C まで上昇するには、

$$1.0 \times \frac{V}{22.4 \times \frac{273+t}{273}} \times 28.8 \times (160-t) \times 10^{-3} \text{ [kJ]}$$

の熱が必要である。ただし、暖めた気体はシャルルの法則によって膨張して袋から出るため、熱の損失がある。熱を加えて袋内に残る気体の割合は、 $\frac{273+t}{273+160} \times 100$ [%] である。これを熱効率とする。

まとめ 以上より、製作する熱気球の質量 $m_{\text{実際}}$ は、

$$\text{袋: } m_1 = \frac{1.519}{1.8 \times 10^3} \times 2x^2, \text{ 接続部: } m_2 = \frac{0.056}{25} \times \left(\frac{2x}{\pi} + 2.0\right)$$

$$\text{燃料: } m_3 = \frac{1.0 \times \frac{2.331 \times 10^{-4} x^3 \cdot 0.0417}{22.4 \times \frac{273+t}{273}} \times 28.8 \times (160-t)}{\frac{273+t}{273+160} \times 1236 \times 10^3} \times 46$$

$$\text{吸収材: } m_4 = \frac{0.050}{0.550} \times m_3$$

の和で、 $m_{\text{実際}} = m_1 + m_2 + m_3 + m_4$ である。この $m_{\text{実際}}$ が、前ページ①式の理論上の限界質量 $m_{\text{理論}} = \frac{MPV(T'-T)}{RTT'}$ を下回るとき、熱気球は飛ぶと考えられる。

いま、袋の体積は一片の長さ x のほぼ 3 乗に比例するのに対し、 $m_{\text{実際}}$ の大部分を占める袋は x を

小さくしてもラップの厚さが変わらないため 2 乗に比例する。したがって、 x を小さくしていくと、あるところで $m_{\text{実際}}$ が $m_{\text{理論}}$ を上回り、限界となる。25°C で、様々な一片の長さ x と、 $m_{\text{実際}}$ と $m_{\text{理論}}$ を計算し、グラフを描いた (図 4)。

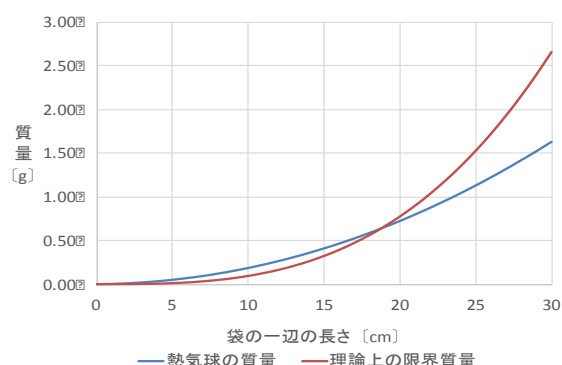


図 4. 袋の一辺の長さとの関係 (25°C)

このグラフの交点が、気温 25°C における限界質量 (0.650g) を示し、このとき $x=18.9\text{cm}$ である。

さらに、気温と限界温度の関係を計算しグラフを描いた (図 5)。これより、限界質量の近似値を求めることができる。

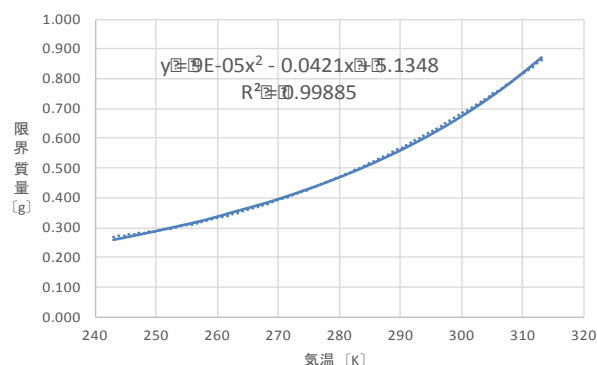


図 5. 気温と熱気球の限界質量の関係

以上をふまえて軽量化に挑戦した。これまでに飛んだ最軽量のものは、 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$, 11.5°C で、0.704 g (袋 0.661g, 針金 0.029g, 燃料 0.012g, 脱脂綿 0.002g, $x=19.5\text{cm}$) である (2016. 3. 9 現在)。

4. 結論

熱気球の限界質量は、袋、接続部、燃料の吸収材、燃料の種類と周囲の気温で決まる。

この研究の熱気球の製作方法では、理論上 25°C で 0.650g まで軽くすることができる。

5. 今後の課題

袋の形状の改良、熱効率および袋内の温度の正確な測定と、理論値に近い熱気球の製作を行う。

6. 参考文献

- 化学基礎、化学 (実教出版)
- ニューステージ化学図説 (浜島書店)
- いきいき物理わくわく実験 (愛知物理サークル)

扇風機後方はなぜ涼しくないのか

兵庫県立宝塚北高等学校 園芸部
3年 行田結希 石垣綾乃
田淵蓮 竹村一樹 2年 飯田陽

動機と目的

夏のある日、扇風機前方では風を受け涼しいが、後方では涼しくなかった。疑問に思い、後方で涼しくない理由を調べることにした。

仮説 1

扇風機の後方では風がないから涼しくないのではないかと考えた。ただし、普段風を浴びる空間を前方、その反対を後方、網で囲まれた空間の後方側を内部と定義する。

実験 1

扇風機の 10cm 後方で薄い紙をかざした。風の有無と方向を調べた。風速計を使って扇風機の前後の風速の違いを調べた。

結果 1

紙は扇風機の方になびいた。風速は測定できなかった。これは、扇風機のモーターによる磁場が影響を与えたためである。

考察 1

後方にも風があると分かった。回転翼が空気を押しだすと同時に吸い込むからだと思われる。

仮説 2

回転翼の後方を塞ぐと、風の起き方に変化が起きるのではないかと考えた。

実験 2

後方の全面をゴミ袋で完全に塞いだ扇風機を用意し、内部、前方、扇風機から離れた場所(今後基準)の気圧をそれぞれ約 30 秒間 100Hz で測定した。測定には spark (PS-2008A 島津理化) に気圧測定のアタッチメントを接続して使用した。

結果 2

図 1 に測定気圧をヒストグラムで示した。

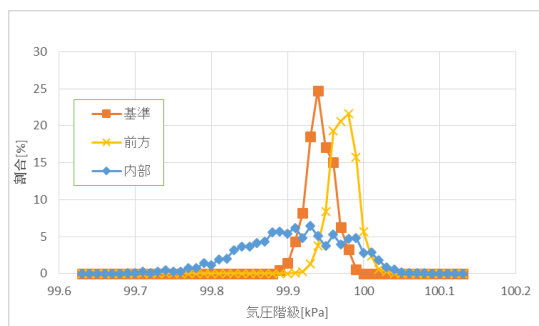


図 1 後方を完全に塞いだ気圧のヒストグラム

後方を塞いだ場合、前方に風は発生しなかった。気圧の平均値は、内部が 99.91kPa、前方が

99.97kPa、基準が 99.94kPa であった。測定器の分解能は 0.1kPa であるため、平均値に有意な差を観測できなかった。そこで、測定した場所ごとに 0.01kPa の幅でヒストグラム化した。

考察 2

平均値に有意な差がなくても、ヒストグラムには大きな差が出た。内部の気圧は、基準や前方と比べ、気圧が高い回数が減り、気圧が低い回数が増えることが分かった。同様の実験を 10 回繰り返しても同じ結果を得た。

後方を塞ぐと回転翼が回っていても風が起きないことから、風は回転翼が直接空気を押し出して起こすのではないと分かった。また、回転翼は内部に低気圧をつくっている。

仮説 3

扇風機内部の低気圧によって風が生じるのであれば、後方を塞がなくても内部に低気圧は発生しているのではないかと考えた。

実験 3

後方を塞いでいない扇風機を用意して、基準と前方、内部の 3 点の気圧をそれぞれ測定した。測定方法は実験 2 と同様にした。

結果 3

図 2 に測定気圧をヒストグラムで示した。

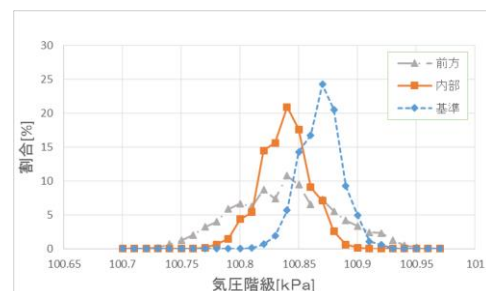


図 2 通常時の気圧のヒストグラム

考察 3

基準と比べ、後方は気圧の低い回数が多い。後方を塞がなくても内部に低気圧が発生していた。前方も気圧の低い回数が多いことが分かった。

扇風機が風を起こす仕組みは、次のようである。回転翼は直接風を起こさず、空気を押しだすことで、低気圧を発生させる。そして、その低気圧に後方から空気が流れ込み風となっている。

仮説 4

扇風機後方を半分だけ塞ぐと、塞いだ前方は風が生じず、残りの半分の前方でのみ風が生じるのではないかと考えた。

実験 4

後方を半分だけ塞ぎ、10cm 前方で薄い紙をかざし、場所ごとに紙がなびくか調べた。

結果 4

扇風機の半分の面で前方では紙がなびき、残りの面の前方ではなびかなかった。しかし、塞いだ場所と紙がなびかない場所は少しずれていた。

考察 4

考察 3 の通り、扇風機の風は回転翼が回るだけでは生じず、後方から風が流れ込み生じている。ただし、回転翼は風の向きを少し変えている。

仮説 5

フォグマシンを使えば、扇風機後方の空気の流れを可視化できるのではないかな。

実験 5

後方で煙を発生させ、煙の動きを調べた。

結果 5

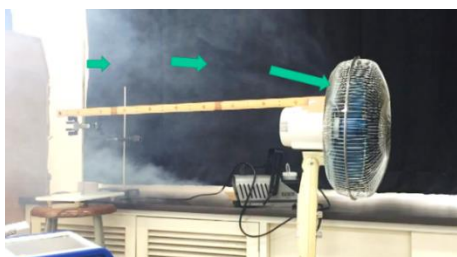


図 3 扇風機後方の煙の動

図 3 に実験の様子を示す。矢印の向きと長さで、煙の動く向きと速さを定性的に表した。

考察 5

空気は扇風機の 1m 以上後方から徐々に加速される。特に扇風機のすぐ後ろで急加速していた。

空気は高気圧から低気圧に向かって流れる。後方 1m 離れた所から扇風機のすぐ後ろにかけて気圧が低くなる勾配ができていていると思われる。

仮説 6

扇風機後方の気圧は扇風機に近づくとつれ、低くなっているのではないかな。

実験 6

扇風機の内部と、後方から 1m 先まで 10cm 間隔でとった 10 地点の気圧を測定した。

結果 6

図 4 に測定した点のうち 5 点の気圧についてヒストグラムを示す。

考察 6

扇風機に近づくとつれて、気圧の高い回数が減少し、低い回数が増加した。実験 5 で観察した煙の様子と一致した。

仮説 7

扇風機後方で気圧勾配が出来るのには時間がかかるのではないかな。

実験 7

後方に蠟燭を 5cm 間隔で設置し、ビデオカメラで撮影した。動画で炎の揺らぎを観察した。後方の気圧差の伝わり方を求めた。

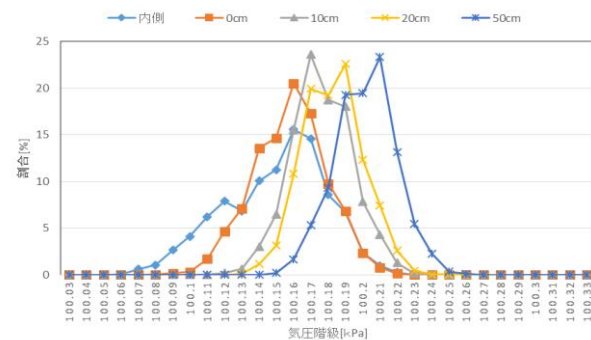


図 4 扇風機後方からの距離と気圧の分布

結果 7

図 5、6 に結果をグラフで示した

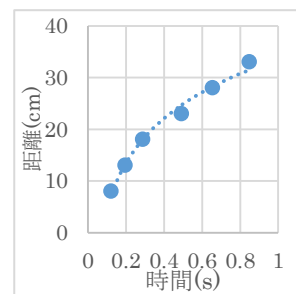


図 5 後方の気圧差が
伝わる時間と距離

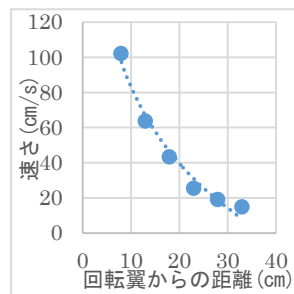


図 6 後方の距離と気圧
差の伝わる速さ

考察 7

後方からの距離と後方の気圧差の伝わり方は対数の関係がある。後方に近い所ほど、後方の気圧差の伝わり方は大きい。実験 5 で観察した煙の様子、実験 6 で測定した気圧の変化と一致していた。

仮説 8

扇風機後方に物体があると、物体を避けるように空気が動くのではないかな。

実験 8

後方 50cm の所に人を立たせた。後方で煙を発生させ、煙の動きを調べた。

結果 8

煙は後方では人を回り込むように流れた。

考察 8

後方では、空気は物体を避けるように流れ、後に後方に吸い込まれると考えられる。

結論

扇風機には後方にも風が生じている。しかし、扇風機の真後ろで空気が急加速するため、そこ以外では風が弱い。また、後方では空気が物体を避けるため、人が立っていると風が当たらない。以上より後方では涼しさが感じられない。

参考文献

- 1) 安達勝之・菅野一仁著, 絵ときでわかる 流体力学(第 2 版), オーム社(2014)
- 2) 吉中司著, ジェット・エンジンの仕組み—工学から見た原理と仕組み, 講談社(2010)