〈第 67 回静岡県学生科学賞　県教育長賞〉

パラシュートの研究Ⅲ　～実験データの数値的傾向を読み解く～

静岡大学教育学部附属島田中学校
３年　　伊藤　和樹

１　要旨、概要

私は過去２回「長く飛ぶパラシュート」を追究してきた。過去の研究で分かったことをもとに、今年は中学校３年間で学習した、理科・数学の知識を活かして、事象を数理的に捉え基本のパラシュートを基に条件によって生じる数値的な変化をデータ化し、きまり、傾向を見つけることを目的として研究を行った。

基礎実験を行い、基本の状態を定め、飛ばす高さ、パラシュートを離す方法、部屋の温度を一定に保つなど、条件制御を徹底した。傾向を見つけるため、十回以上実験をし、そのデータの平均を出し、比較する際は「条件はかさ、重りの内１つ」など、１つの条件のみを変えて研究を行った。

研究の結果、基本のパラシュートは重りが重くなるほど滞空時間が短くなる、１次関数の傾向（A）が見られた。しかし、かさ６隅に重りを増やして飛ばすと、計 24g でも 1.89 秒飛んだ。そこで、A を延長して調べた結果、基本 24ｇは滞空時間-４秒という非現実的な数値が算出されたが、実際は 2.107 秒飛んだ。つまり、１次関数の傾向が現実とは相違があることが明らかになった。そこで、重りを２g ずつ増加させると A の直線とは異なる、４ｇ以降緩やかな変化を示す正確なグラフを作り上げることができた。

基本のパラシュートの滞空時間の変化は重りが軽いほど大きく、重くなるほど小さくなることがわかった。それは重りが増え落下する運動エネルギーが大きくなることにより、かさ内の空気がより早く循環するようになり、「とどまろうとする力」をもつ空気が、重りが軽い時より多くかさ内に入るからだと考えた。

条件によって生じる数値的な変化をデータ化し、１次関数を導き出せたと思ったが、実験を進めると現実とは相違があった。より細かく数多くのデータを収集しないと傾向が見えてこないことがわかった。自分が期待する結果が出た後も別の角度から実験を行い、自分の予想していなかった結果も取り入れ、時に批判的に考察、吟味することが研究に対して重要なプロセスであるとこの研究を通して学ぶことができた。

２　問題提起、研究目的

（1）　問題提起

今までの研究では、「かさ：半径 20ｃｍ　が最も長く飛ぶ」「かさと重りをつなぐひもの数６本、が最も長く飛ぶ」「パラシュートは円になりたがる」「重りが軽いと長く飛ぶ」「骨組みをかさにつけて飛ば

してもかさが重くなり長く飛ばない」ということが分かった。

しかし、これらを実験した際、「長く飛ぶ」物のみを追究していたことから実験内で出たデータ同士の関連性についての追求をしていなかった。そのため、今回は「長く飛ぶパラシュート」ではなく、「ある条件下におけるパラシュートの滞空時間の傾向」を追究したいと思った。中学校３年間で学習した理科・数学の知識を活かして、実際に実験して得た数値をデータ化し、数理的に捉え、検証していきたい。

（２）　研究目的

基本のパラシュートを基に条件によって生じる数値的な変化をデータ化し、きまり、傾向を見つける。

３　研究方法

（１）　定義したこと

ア　基本の状態

前回までの研究から、滞空時間の長いパラシュートを基礎とした。（かさは前回素材が紙ナプキンであったが、紙ナプキンを接着した際に生じる凹凸や、接着材が結果に影響したことを想定し、一枚で大きさを出せるポリエチレンとした。）

かさは、素材：ポリエチレン、大きさ：半径 20 ㎝、形：円、穴：なしを基本とした。

糸は、素材：タコ糸、長さ：32 ㎝、本数：６本、重り：ひもを付ける場所が中央から等しくしたため、１円玉四個（トラスト構造）を基本とした 。

イ　基礎実験・基本のパラシュート

基本の状態で定義した「基本のパラシュート」の滞空時間は 4.583 秒であった。やはり前回の最も長い滞空時間のものをベースにしているだけあり、滞空時間が長かった。また、かさ全面がドーム状にしわが少なくなっていたことから、かさ全面にまんべんなく空気がゆきわたっていたように感じた（図１）。

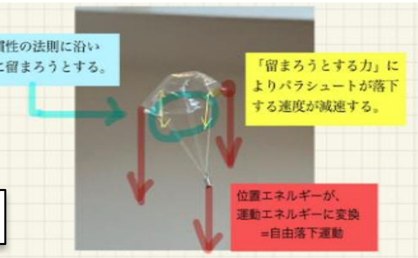


図1

ウ　条件制御

飛ばす高さ（高さ 389 ㎝）を揃えるために、手すりにモップを取り付け、モップを動かしパラシュートを飛ばした。また、部屋の温度を一定にし、温度差による空気の移動を減らすために、エアコンを消し、少し待ってから実験をした。さらに、かさと重りを付けるときなど接着部に用いるマスキングテープの長さを統一した（図２）。

図２

各実験ごとに十回以上実験をし、そのデータの平均を比較に用いた（データおよび平均は小数点第四位四捨五入）。条件はかさ、重りの内１つ。さらに、かさ、重りの条件内でも、かさの面積、重りを

付ける位置など、１つの条件のみを変えた。２つの条件を変える場合には１つの条件を変えたものの結果を基本として考えた。(例：かさの大きさ+重りの数を変更した実験の場合、かさの大きさか重りの数、どちらか１つのみ変更して実験した結果を基本として比較した。)

エ　グラフ

グラフにおいて近似値（どれだけ１次関数のグラフに近いか表す数値、１が完全な１次関数のグラフを表す）が0.９以上の物を「１次関数の関係にあるデータおよびグラフ」とした。

４　結果

（１）　実験１

基本のパラシュート（20cm４g）は重りが重くなるほど滞空時間が短くなる。重りと滞空時間は１次関数にあてはまる関係だと言える。この１次関数の傾向（数式）を使えば、○秒・○ｇの時の数値を導き出せる。(後に、実験６で相違が発見された）（表１、図３)。

表1　中央の重りの変化と滞空時間

回数	基本	1g	2g	3g	4g
1	4.08	4.47	3.67	3.5	3.33（秒）
2	4.8	3.66	3.35	3.63	2.85
3	4.6	4.25	4.03	3.16	3.48
4	4.36	4.35	3.33	3.66	3.15
5	4.85	3.53	4.23	3.51	2.95
6	4.95	4.31	3.26	3.78	2.78
7	5.05	3.8	3.85	3.56	2.93
8	4.35	4.74	3.71	3.83	3.13
9	4.23	4.48	3.65	3.41	3.18
10	4.56	4.47	4.21	3.15	3.11
平均※小数第４位四捨五入	4.583	4.206	3.729	3.519	3.089

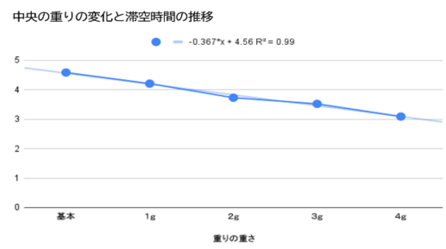


図3　中央の重りの変化と滞空時間の推移

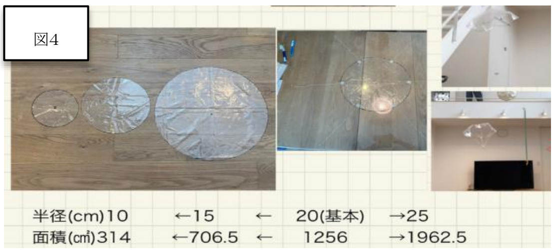
（２）　実験２

円の面積を大きくすると、半径５cm から 20cm までは大きくするほど滞空時間が長くなり、半径25cm は 20cm より短くなった。半径 10 cm～20 cmまでの円は半径に伴って滞空時間が長くなる１次関数のグラフになった。

25cm でかさがうまく開ききっていない感じがしたので、重りを増やせばかさの大きさと重りのバランスが取れて、滞空時間が長くなるのではないかと考え、実験３を行った。(表２、図４～６)。

表2　　半径の変化と滞空時間

回数	半径 10cm	15cm	20cm	25cm
1	2.18	3.08	4.08	3.13　（秒）
2	2.26	3.05	4.8	3.28
3	2.78	3.5	4.6	3.61
4	2.16	2.76	4.36	3.71
5	2.2	3.15	4.85	2.51
6	2.25	3.4	4.95	2.68
7	2.35	2.9	5.05	4.08
8	2.01	2.85	4.35	3.56
9	2.36	3.53	4.23	3.81
10	2.55	3.76	4.56	3.58
11	2.25	3.53		3.43
12	2.78	3.46		3.81
平均※小数第４位四捨五入	2.344	3.248	4.583	3.433



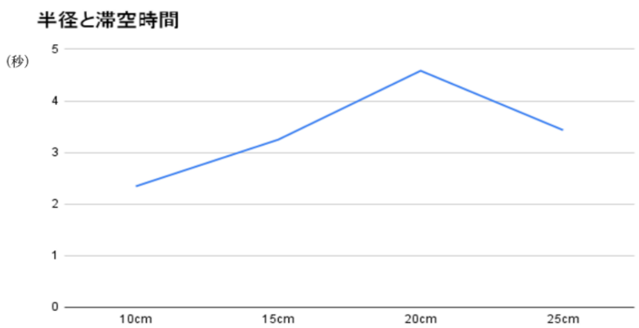


図５：半径と滞空時間（10～25 ㎝半径のパラシュートと滞空時間の関係）

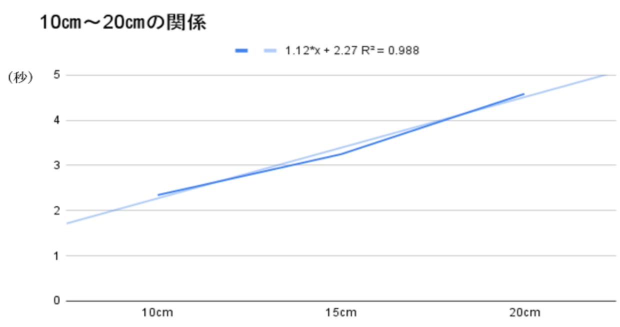


図６：10～20 ㎝半径のパラシュートと滞空時間の関係

（3）　実験３

25㎝ のパラシュートに重りを増やしていくと、重りが重くなるほど滞空時間が１～５g までは伸び、５～７g は短くなる１次関数になった。滞空時間を長くするには、「かさの大きさと重りのバランスが関係している」と今までの研究で言及したものの、どのような状況が最もバランスが取れている状況か明確に分かっていなかった。しかし、今回の実験の結果からかさの大きさ 25 ㎝のパラシュートにおいて「最もバランスの取れた状況」がより明確に分かった。（表３、図８）。

表3：半径 25 ㎝の重りの変化と滞空時間

※1g→基本のパラシュートの重り　2g→基本のパラシュートの重り+1g

回数	1g	2g	3g	4g	5 g	6 g	7 g
1	3.13	3.95	3.2	3.88	4.1	3.43	3.05（秒）
2	3.28	2.98	3.3	3.65	3.9	3.88	3.21
3	3.61	3.58	3.13	3.93	3.3	3.56	3.26
4	3.71	3.51	3.33	3.43	3.63	3.5	3.13
5	2.51	3.21	3.65	3.46	3.95	3.4	3.06
6	2.68	3.8	3.4	3.71	4.06	3.23	3.13
7	3.56	3.25	3.61	3.76	3.9	3.53	3.53
8	3.81	3.63	3.75	3.85	3.95	3.63	3.66
9	3.58	3.63	4.26	3.36	3.55	3.71	3.13
10	3.43	3.06	3.5	3.1	3.43	3.45	3.38
平均	3.33	3.46	3.513	3.613	3.777	3.532	3.254

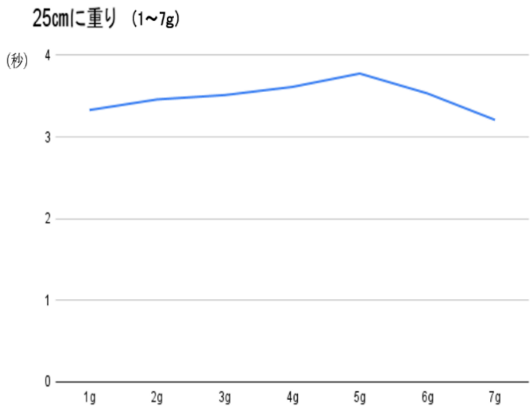
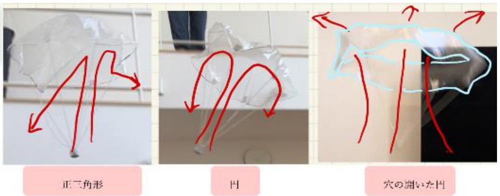


図８：半径 25 ㎝の重りの変化と滞空時間（１g~7g）

（4）　実験４

図9



かさの形による違い　パラシュートの中央で空気を掴む　画像

同じ面積でかさの形が違うとき、角が多い図形ほど滞空時間は長くなる。小学４年生の研究で正三角形、正方形、ひし形を飛ばした際に上から見て「どんな図形も円になりたがる」という感想をもった。今年、基本（円）、正六角形、正三角形の順に滞空時間が長かったことから、角が多くなればなるほど空気がつかみやすく滞空時間が長いのではないかと予想し、様々な図形の中で、より空気をつかみやすい円の部分に空気が多く集まるのだと考えた。しかし、同じ面積でも穴の空いた円の滞空時間が１番短かった。これにより、パラシュートのかさが中央で空気を掴んでいることが分かった。（表４、図９、10）

表4 ：かさの形と滞空時間の違い

回数	基本の円	正三角形	正六角形	穴のあいた円
1	4.08	2.61	3.89	3.15　　（秒）
2	4.8	3.03	3.28	2.68
3	4.6	3.36	3.83	2.73
4	4.36	2.93	4.06	2.56
5	4.85	2.85	3.58	2.73
6	4.95	2.78	3.28	2.78
7	5.05	3.16	3.53	2.81
8	4.35	2.48	3.88	2.85
9	4.23	2.91	3.35	2.58
10	4.56	2.8	3.81	2.86
11		2.86	3.2	
12		3		
平均	4.583	2.898	3.608	2.773

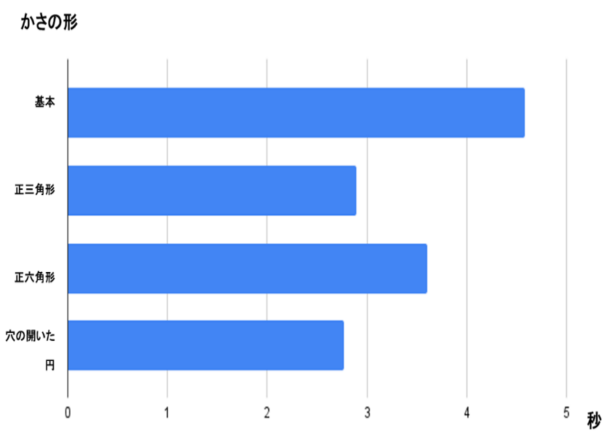


図10　かさの形と滞空時間の違い

（5）　実験５

６隅に１円ずつ重りが増えるほど滞空時間が短くなる１次関数になった。また、24g の重りを背負っているのにもかかわらず平均 1.87 秒も飛ぶのには驚いた。

しかし、「24g６隅」が 1.87 秒飛んだことで、実験１の１次関数の傾きで 24g のパラシュートは飛んでいるのか疑問に思った。（表５、図 11）。

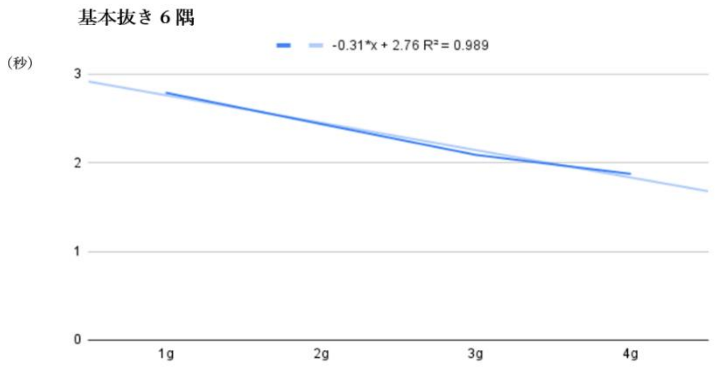


図11　基本抜き６隅（基本のパラシュートのデータを除いた６隅の重りの変化と滞空時間）

表5　かさ６隅の重りの変化と滞空時間

	基本	6 隅重り	6 隅重り	6 隅重り	6 隅重り
各すみ	0g(計１ｇ)	1g(計６ｇ)	2g(計 12ｇ)	3g(計 18ｇ)	4g(計 24ｇ)
中心重り	１ｇ	1g	1g	1g	1g
1　（回）	4.08	2.8	2.56	2.13	2.03　（秒）
2	4.8	2.8	2.6	2.15	1.82
3	4.6	2.88	2.46	1.95	1.8
4　（回）	4.36	2.75	2.41	2.15	1.97　（秒）
5	4.85	2.85	2.41	2.13	1.9
6	4.95	2.68	2.61	1.85	1.81
7	5.05	2.88	2.4	2.35	1.8
8	4.35	2.68	2.3	1.93	1.9
9	4.23	2.93	2.25	1.95	1.93
10	4.56	2.65	2.38	2.3	1.78
平均	4.583	2.79	2.438	2.089	1.874

（6）　実験５を終えて浮かんだ新たな疑問

実験５「かさ６隅の重りの変化と滞空時間」では、６隅に１円ずつ重りが増えるほど滞空時間が短くなる１次関数の傾向が見られた。これは、実験１「中央の重りの変化と滞空時間」で考察した基本のパラシュート（20cm４g）は重りが重くなるほど滞空時間が短くなること、と同じである。

特に実験５では、各隅に１円ずつつけるごとに６g 増えるため、基本との数値の差が激しく、24g の重りを背負っているのにもかかわらず平均 1.87 秒も飛ぶのには驚いた。しかし、24g の重りを背負ったパラシュートが 1.87 秒飛んだことで、実験１の１次関数の傾きのグラフに当てはめると、「24g のパラシュート」は飛んでいるのか、疑問に思った。そこで、実験１と５を比較してみた（図 12）。

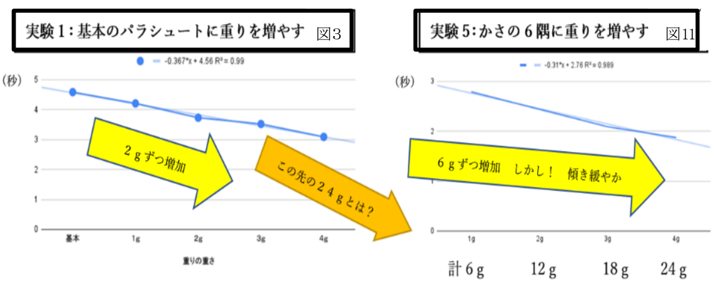


図12　実験５を終えて浮かんだ新たな疑問

すると、実験５は実験１の１次関数（グラフ）に比べ、６個ずつ重りを足しているにも関わらず、グラフの傾きが緩やかだった。特に一番重い６隅に６g ずつ重りをつけたパラシュートのデータは、実験１のグラフの傾きから考えると、相違があるように感じた。そのため、実験１のグラフから 24g の重りをつけた状態で飛ぶ時間を１次関数の数式に当てはめて計算したところ、「−４秒」であった（図 13）。

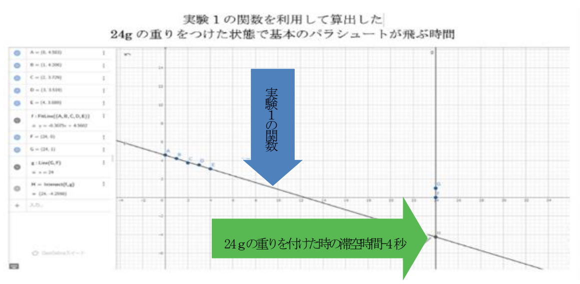


図13　実験１の関数を利用し調べた、24g の重りをつけた状態で飛ぶ時間（仮定）

この傾きは現実的では無いと思ったので、実際に調べてみることにした。

（7） 実験６

24g は１次関数のグラフから導き出された「−4 秒滑空する」という非現実的な数字ではなく、実際には 2. 107 秒飛んだ。実験１の１次関数の傾向（予測データ）が現実とは相違があることが明らかになった。（表６）

表6 ：24g の基本パラシュートの滞空時間

回数	重り 24 g のとき
1 （回）	2.16 （秒）
2	2.05
3	2.16
4	2.2
5	1.93
6	2.08
7	2.23
8	2
9	2.11
10	2.15
平均	2.107

（8） 実験７ 自由落下は実際何秒なのか

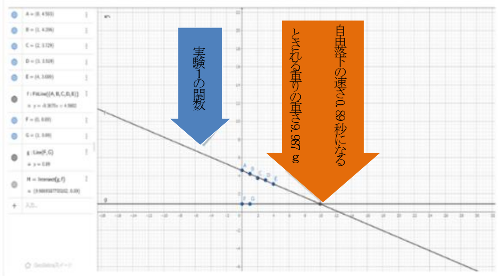
自由落下の速さで落ちる重りと、滞空時間０秒の重りは１次関数上の傾向（予測データ）と現実では相違があった。まず、自由落下の公式から落下速度は 0. 89 秒であった。次に、実験１のグラフより 0. 89 秒で落下する重りは 9. 987g であり、四捨五入して 10g とした（図 14）。また、実験１のグラフより０秒は 12g であった（図 15）。計測結果は 10g2. 821、12g 2. 527 秒であった（表７）。

計測結果の通り、現実には「重り 10ｇは 0. 89 秒、12g は０秒」にはならない。そこから１次関数上の傾向（予測データ）と現実とは相違があることがわかった。

実験６・７から、別の傾向があるのではないかと思い、実際にパラシュートを飛ばし新たな関数が見つかるか追究を続けた。

図14

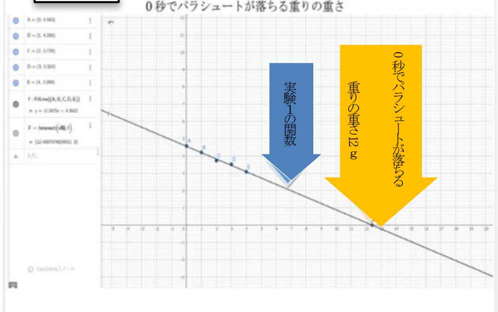
実験１の関数を利用して算出した
自由落下をするときと同じ速さで落ちる重りの重さ



実験１の関数を利用して算出した、自由落下をするときと同じ速さで落ちる重りの重さ

図15

実験１の関数を利用して算出した
０秒でパラシュートが落ちる重りの重さ



実験１の関数を利用して算出した、０秒でパラシュートが落ちる重りの重さ

表7 自由落下は実際何秒なのか 測定結果

足した重り	10 g	12 g
1 （回）	2.81	2.65（秒）
2	2.79	2.45
3	2.63	2.63
4	3	2.41
5	2.55	2.43
6	2.85	2.51
7	2.82	2.38
8	3.08	2.53
9	2.85	2.75
10	2.83	2.53
平均	**2.821**	**2.527**

（9） 実験８

実際に基本のパラシュートに重りをつけて計測した結果１次関数的なグラフにはならなかったが、重りが増えるほど滞空時間の変化が小さくなり、グラフの曲線が緩やかになるという関係を見つけた。このようになったのはおそらく重りが増え早く落ちそうになるほどかさ内の空気がより早く循環するようになり、「とどまろうとする力」を発揮する空気が、重りが軽い時より多くかさ内に入るからであると考えた。（表８、図 16）

表8　１次関数上の傾向と現実の滞空時間

足した重り	基　本 (0g)	2g	4g	6	8	10	12	14	16	18	20	22	(g) 24
1　(回)	4.08	3.67	3.33	2.8	2.81	2.81	2.65	2.4	2.33	2.35	2.23	1.96	2 (秒)
2	4.8	3.35	2.85	2.95	2.68	2.79	2.45	2.4	2.5	2	2.11	2.16	2.05
3	4.6	4.03	3.48	3.15	2.86	2.63	2.63	2.41	2.3	2.28	2	2.15	2.16
4	4.36	3.33	3.15	3.1	2.86	3	2.41	2.35	2.16	2.18	2.25	1.98	2.2
5	4.85	4.23	2.95	3.21	2.78	2.55	2.43	2.6	2.53	2.15	2.4	2.13	1.93
6	4.95	3.26	2.78	3.13	2.66	2.85	2.51	2.36	2.26	2.3	2.26	2.1	2.08
7	5.05	3.85	2.93	3.2	3.15	2.82	2.38	2.43	2.45	2.16	2.23	2.23	2.23
8	4.35	3.71	3.13	3.03	2.75	3.08	2.53	2.46	2.33	2.35	2.16	2.13	2
9　(回)	4.23	3.65	3.18	2.96	3.05	2.85	2.75	2.4	2.51	2.08	2.18	2.25	2.11
10	4.56	4.21	3.11	3.01	2.95	2.83	2.53	2.5	2.44	2.35	2.03	2.23	2.15
平均※小数第4位四捨五入	4.583	3.729	3.089	3.054	2.855	2.821	2.527	2.431	2.381	2.22	2.185	2.132	2.107

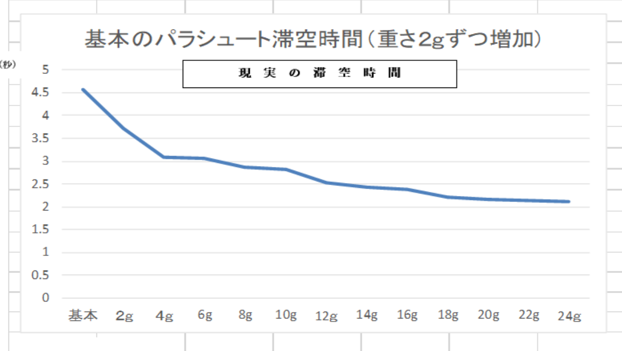


図16　現実の滞空時間＝基本のパラシュート滞空時間（重さ２ｇずつ増加）

(10)　実験９

実験５、８から同じ重さの重りを付けている状況について滞空時間の傾向の違いを観察した結果、中央に重りを付ける方がグラフの傾きが少し緩やかだった。

ここから６隅に重りをつけるときより中央に重りを付けるときの方が、少し滞空時間が長くなると分かった。これは、６隅に重りがあるとき６隅が重力により地面に引っ張られ、パラシュートの口が閉じ、空気をうまく循環できず、より多くの留まろうとする力をもった空気をかさに入れられなかったため、中央に重りがある時より飛べなかったからではないだろうか。（表９、図17～19）

表９：中央に重りを追加した滞空時間

足した重り	6ｇ	12ｇ	18ｇ	24ｇ
1　(回)	2.8	2.65	2.35	2.16　(秒)
2	2.95	2.45	2	2.05
3	3.15	2.63	2.28	2.16
4	3.1	2.41	2.18	2.2
5	3.21	2.43	2.15	1.93
6	3.13	2.51	2.3	2.08
7	3.2	2.38	2.16	2.23
8	3.03	2.53	2.35	2
9	2.96	2.75	2.08	2.11
10	3.01	2.53	2.35	2.15
平均	3.054	2.527	2.22	2.107

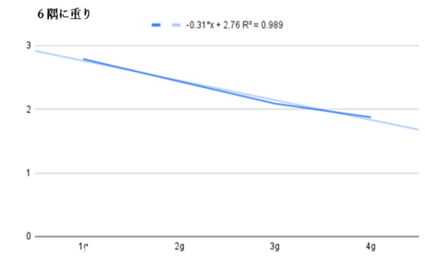


図17　かさの６隅に重りを追加した滞空時間

※「6隅」のｇは６隅のすみ一つ一つに何グラムついているか

（そのため 1g－パラシュート全体に対する追加 6g、2g－パラシュート全体に対する追加 12g…）

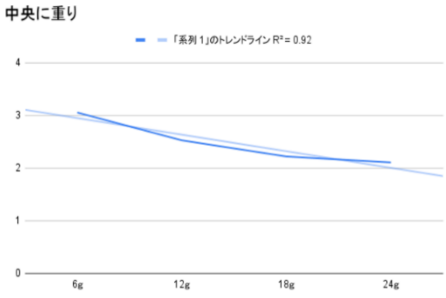


図18　：中央に重りを追加した滞空時間

図19　重りのつき方によって滞空時間の傾向は変わるのか　画像

5　考察

（１）　重りとかさの諸条件に対する滞空時間の１次関数の「傾向」が見られたもの

実験１：基本のパラシュート（20cm１～４g）は重りが重くなるほど滞空時間が短くなる。

実験２：半径 10 cm～20 cmまでの円は半径の大きさに伴って滞空時間が長くなる。

実験３：重りが重くなるほど滞空時間が１～５ｇまでは伸び、５～７ｇは重くするほど滞空時間が短くなる。

実験５：かさの６隅に１円ずつ重りが増えるほど滞空時間が短くなる。

（2）　重りとかさの諸条件について追求して分かった事

実験３：かさの大きさによって、滞空時間が一番長くなる重りの重さは違い、「最もバランスの取れた状況」が存在する。（例：かさの大きさ 25 ㎝のパラシュートにおいて「最もバランスの取れた状況」は、重りが 5g のとき。）

実験４：同じ面積でかさの形が違うとき、角が多い図形ほど滞空時間は長くなる。

実験９：かさの６隅より、中央に重りを付けるときの方が、少し滞空時間が長くなる。

実験５～７：条件によって生じる数値的な変化をデータ化し、１次関数を導き出したが、現実とは相違がある場合があった。

６　結論（課題）

今回の研究では重りとかさの諸条件に対する滞空時間の「傾向」について追求した。条件によって生じる数値的な変化をデータ化し、きまり、傾向を見つけることを目的に、追求を行ってきたが、次のような難しさを感じた。それは、１次関数のグラフと現実に相違があり、傾向が断定しにくかったことである。

しかし、今回の追求の結果、滞空時間の変化は重りが軽いほど大きく、重くなるほど小さくなるという関係がわかった。それは、重りが増え落下する運動エネルギーが大きくなることにより、かさ内の空気がより早く循環するようになり、「とどまろうとする力」をもつ空気が、重りが軽い時より多くかさ内に入るからであると考えた。

また、小学４年生の研究で抱いた感想「三角形、四角形、ひし形を飛ばした際にどんな図形も円になりたがる」に対して、今年、同じ面積の違う図形では、角が多い図形ほど滞空時間は長くなるという結果を得た。それは、最も角の多い多角形が円に近づくことから、より空気をつかみやすい円の部分に空気が多く集まり、滞空時間が長くなるためである。直感的に抱いた感想に対して、結果に基づいて説明できたことは、今まで論理的に物事を追究してきた研究の成果であると思う。

今回「数値的変化の傾向」を求めたことで根拠をもって滞空時間の長いパラシュートの条件を数理的に解明できた。今後も今までの研究から浮かんだ疑問、かさの素材やひもの数と滞空時間の関係について数値的変化の傾向が存在するのかを、事象同士の繋がりを探ることから明らかにしたい。

７　参考文献、グラフ等作成ツール

GeoGebra　https://www.geogebra.org/calculator

keisan(CASIO)　https://keisan.casio.jp/exec/system/1204505696