

あら檜の実(どんぐり)の転がり方についての研究

愛媛県立吉田高等学校 山口 右城 宇都宮 千尋 松根 葵

1. 研究の要約

171 個のどんぐりと 40 個のビー玉を用いて、転がし始める速さ、落下させる高さ、転がし始める向きを変え、転がり始めから 50cm 進んだ地点が直進した場合よりどれだけ曲がっているか調べた。度数分布表・グラフを描き考察した結果、以下のことが分かった。

- ①ビー玉は球形であり直進するが、どんぐりは正規分布になった。
- ②どんぐりは、最初の速さが遅く落下する高さが高い場合に曲がりやすく、尖ってない方向に曲がりやすい。
- ③特別に直進しやすい(曲がりにくい)どんぐりは存在しないが、曲がりやすいどんぐりは存在する。
- ④曲がりやすいどんぐりは、一般的なものと比べ、平均して細長い。

あら檜は、転がりやすく直進しやすい球形の実ではなく、いびつな紡錘形の実をすることで、広く分布させようとしていることが分かった。

2. 研究の動機と目的

童謡の「どんぐりころころ」にある、あら檜の実に代表されるどんぐり類は、重力散布で種子を拡散する。種を保存し子孫を広げるためには落下後に種子を拡散させなければならない。地上に落ちた種子は転がり拡散していくが、地上に落ちて遠くまで転がるためには、球形が最も適していると考えられる。しかし、どんぐりは球形ではなく先の尖ったいびつな紡錘形をしている。「進化の過程で、あら檜はなぜ実の形を、よく転がる球形ではなくいびつな紡錘形を選んだか。」ということに興味を持ち、研究テーマとした。

3. 方法

(1) 使用したデータと解析ソフト

ア 試料

- (ア) 名称と数 あら檜の果実 171 個、ビー玉 40 個
一部を写真1に示す。

- (イ) 採取場所 愛媛県西予市宇和町卯之町 4-11-2 愛媛県歴史文化博物館 敷地内

イ データ解析ソフト

Microsoft Excel

(2) 実験方法

以下の実験器具で行う。

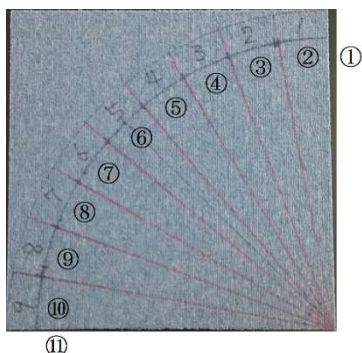


写真2 区分けしたカーペット

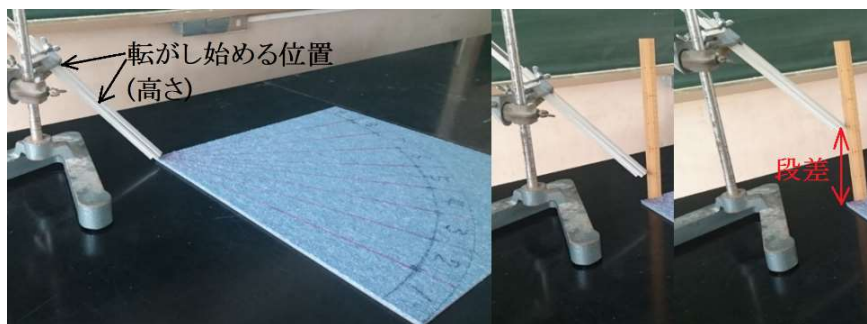


写真3 実験装置 左から段差 0・5・15cm、高さ上 21・下 13cm

- 写真2のようにカーペットに半径 0.50m の 4 分の 1 円を描き、 10° 間隔で区切って、それぞれ右からエリア 1～エリア 11 とする。
- 写真3のように転がし始める位置(高低差 21cm 及び 13cm)、段差(0、5、15cm)を設定し、どんぐり・ビー玉を転がし、

マットの上を転がって 50cm 進んだエリアを求める。

ア どんぐりとビー玉の転がり方の比較

任意に選んだ 112 個のどんぐりと 40 個のビー玉を条件を変えて転がし、どのエリアにどれだけ集まったかで転がり方の比較をした。写真4は、実験結果の一部である。

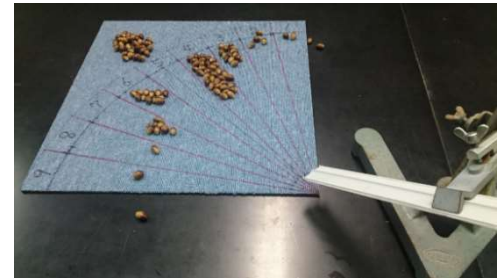


写真4 実験の様子

イ どんぐりの転がる初速度(転がし始める位置)と転がり方の関係

アの実験データより、落下する高さ(段差)を一定にして、どんぐりの転がる初速度(転がし始める位置)とエリア内の数を比較した。

ウ どんぐりの落下する高さ(段差)と転がり方の関係

アの実験データより、どんぐりの転がる初速度(転がし始める位置)を一定にして落下する高さ(段差)とエリア内の数を比較した。

エ どんぐりの転がり始める時の向きと曲がり方の関係

どんぐりを転がすとき、先の尖ったほうを左にした場合と右にした場合との転がり方を比較する。

オ どんぐりの転がり方

アの実験データをまとめて、エリア内のどんぐりの数を比較し、度数分布を描き解析した。

カ 曲がりながら転がるどんぐりの形状

171 個のどんぐりを、転がり始める位置 13cm に尖っている側を進行方向左にして転がし、段差 15cm でマットに落下させた。その後以下の実験を繰り返した。

(ア) 曲がりにくいどんぐりの特徴

- 171 個のどんぐりのうち、エリア⑤⑥⑦(直進から -15° $\sim 15^{\circ}$)に入ったどんぐりを集め、度数分布を描く。
- エリア⑤⑥⑦に入ったどんぐりについてのみ上記の実験を行う。
- 同様な実験を繰り返し、6回連続エリア⑤⑥⑦に進んだどんぐりの割合を求める。
- 各実験の度数分布から、曲がりにくいどんぐりが存在するか確認する。

(イ) 曲がりやすいどんぐりの特徴

- 171 個のどんぐりのうち、エリア⑤⑥⑦(直進から -15° $\sim 15^{\circ}$)以外のエリアに入ったどんぐりを集め、度数分布を描く。
- エリア⑤⑥⑦以外のエリアに入ったどんぐりについてのみ上記の実験を行う。
- 同様な実験を繰り返し、3回連続エリア⑤⑥⑦以外のエリアに進んだどんぐりの割合を求める。
- 各実験の度数分布から、曲がりやすいどんぐりが存在するか確認する。

(ウ) 曲がりやすいどんぐりと曲がりにくいどんぐりの形状の比較

実験(ア)(イ)について最後まで残ったどんぐり(エリア⑤⑥⑦のどんぐり 25 個、エリア⑤⑥⑦以外 11 個)それぞれを、ノギスを用いて長さ(幅)を測定し、比を求めてそれぞれの特徴を求める。

4. 結果と考察

(1) どんぐりとビー玉の転がり方の比較

ア 実験結果

どんぐりとビー玉を、高さ(段差)をそれぞれ変えて転がし、エリアごとの個数を求め度数分布を求めた。高さは 21cm と 13cm、段差は 0cm と 5cm と 15cm と条件を変えた。また、どんぐりは進行方向に向かって先の尖った(細い)方を右にした場合と左にした場合の 2 回測定した。転がし始める高さを高くした場合、マットを転がる初速度が大きくなる。また、段差を高くすると、どんぐりがマットに落ちた時の衝撃でマット状を転がる初速度が小さくなると考えられる。それぞれの実験結果を図1～図6に示す。

エリア	左細	右細	ビー玉
1	1	0	0
2	2	3	0
3	5	5	0
4	9	15	0
5	26	23	0
6	32	34	80
7	21	24	0
8	7	6	0
9	6	1	0
10	3	0	0
11	0	0	0
合計	112	111	80
直進割合	70.5%	73.0%	100.0%
		71.7%	

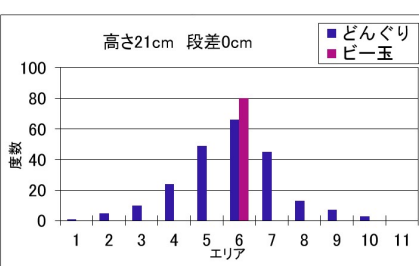


図1 高さ 21cm 段差 0cm

エリア	左細	右細	ビー玉
1	0	0	0
2	0	1	0
3	7	3	0
4	17	10	0
5	35	24	0
6	35	28	80
7	11	29	0
8	4	8	0
9	3	6	0
10	0	1	0
11	0	1	0
合計	112	111	80
直進割合	72.3%	73.0%	100.0%
		72.6%	

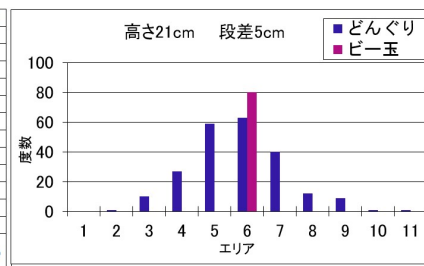


図2 高さ 21cm 段差 5 cm

エリア	左細	右細	ビー玉
1	1	0	0
2	0	0	0
3	3	1	0
4	14	4	0
5	23	10	0
6	38	36	80
7	20	35	0
8	5	12	0
9	7	9	0
10	0	3	0
11	0	1	0
合計	111	111	80
直進割合	73.0%	73.0%	100.0%
		73.0%	

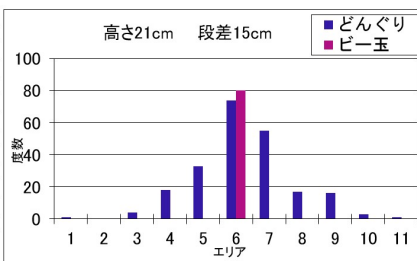


図3 高さ 21cm 段差 15cm

エリア	左細	右細	ビー玉
1	0	0	0
2	0	2	0
3	1	2	0
4	10	10	0
5	33	20	0
6	29	29	80
7	20	29	0
8	12	7	0
9	4	1	0
10	3	0	0
11	0	1	0
合計	112	101	80
直進割合	73.2%	77.2%	100.0%
		75.1%	

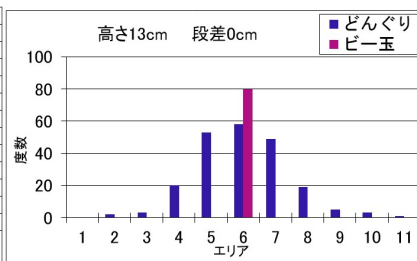


図4 高さ 13cm 段差 0 cm

エリア	左細	右細	ビー玉
1	2	2	0
2	2	4	0
3	4	5	0
4	13	9	0
5	35	30	0
6	33	23	80
7	12	21	0
8	8	10	0
9	1	5	0
10	1	0	0
11	1	2	0
合計	112	111	80
直進割合	71.4%	66.7%	100.0%
		69.1%	

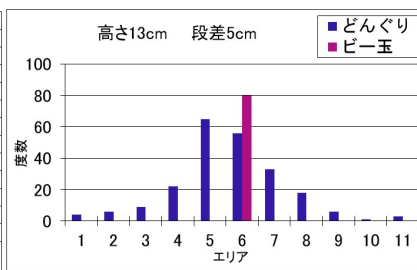


図5 高さ 13cm 段差 5 cm

エリア	左細	右細	ビー玉
1	0	0	0
2	2	2	0
3	3	6	0
4	20	16	0
5	27	22	0
6	27	28	80
7	17	21	0
8	6	11	0
9	7	3	0
10	2	2	0
11	0	0	0
合計	111	111	80
直進割合	64.0%	64.0%	100.0%
		64.0%	

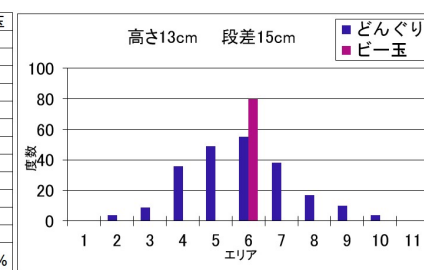


図6 高さ 13cm 段差 15cm

イ 考察

ビー玉は球体であり、条件に関係なく直進した。

どんぐりは、どの条件でも直進するものが多かったが、様々な方向に散らばって転がることが分かった。

(2) どんぐりの転がる初速度(転がし始める位置)と転がり方の関係

ア 実験結果

転がり始めるときの初速度と転がり方の関係を調べるために、高さ 21cm と高さ 13cm の場合に分けて度数分布を調べた。それぞれの実験結果を図7及び図8に示す。

エリア	0cm	5cm	15cm
1	1	0	1
2	5	1	0
3	10	10	4
4	24	27	18
5	49	59	33
6	66	63	74
7	45	40	55
8	13	12	17
9	7	9	16
10	3	1	3
11	0	1	1
合計	223	223	221
直進割合	71.7%	72.6%	73.3%
		72.6%	

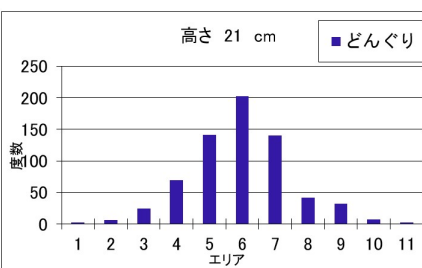


図7 高さ 21cm 段差 0 cm・5 cm・15cm

エリア	0cm	5cm	15cm
1	0	4	0
2	2	6	4
3	3	9	9
4	20	22	36
5	53	65	49
6	58	56	55
7	49	33	38
8	19	18	17
9	5	6	10
10	3	1	4
11	1	3	0
合計	213	223	222
直進割合	75.1%	69.1%	64.0%
		69.3%	

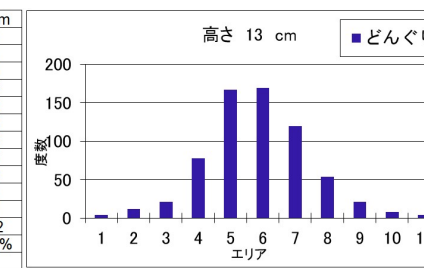


図8 高さ 13cm 段差 0 cm・5 cm・15cm

イ 考察

段差に関係なく、転がし始めの高さが高いほうが直進する割合が高かった。

これは、転がし始めの高さが高いとマット上での初速度が大きくなり、勢いがつくため散らばりにくかったのだと考えられる。高さが低いとマット上での初速度が小さく、勢いがないため散らばりやすいと考えられる。

(3) どんぐりの落下する高さや転がり方の関係

ア 実験結果

マットに落ちる高さや転がり方の関係を調べるために、段差 0cm、5cm、15cm の場合に分けて度数分布を調べた。それぞれの実験結果を図9、図 10、図 11 に示す。

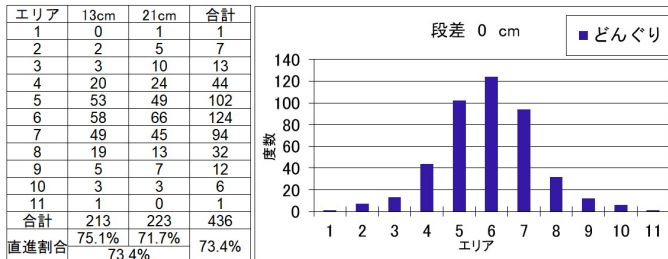


図9 高さ 13cm・21cm 段差 0 cm

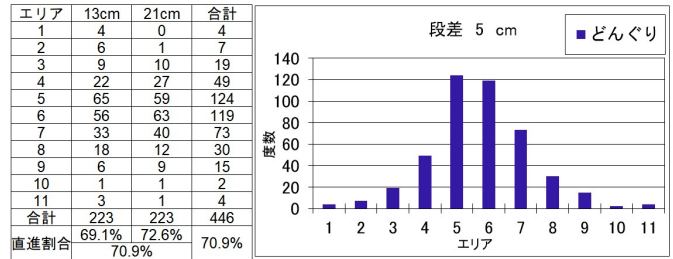


図 10 高さ 13cm・21cm 段差 5 cm

イ 考察

段差が大きいほうが直進する割合が小さく、小さいほうが曲がりやすい結果となった。これは、①段差が大きいとマットに落ちた時にどんぐりが跳ね、軌道が変化したこと、②マットに落ちた時の衝撃で、進行方向の速度が小さくなったこと。が考えられる。

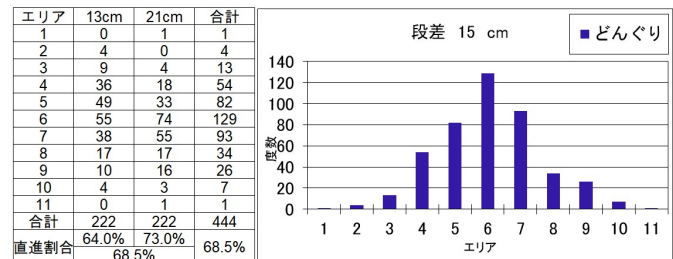


図 11 高さ 13cm・21cm 段差 15 cm

(4) どんぐりの転がり始める時の向きと曲がり方の関係

どんぐりを転がすとき、先の尖ったほうを左(エリア⑦⑧⑨⑩⑪側)にした場合と右にした場合(エリア①②③④⑤)との転がり方を比較した。各高さ・段差ごとのデータを右と左に分けて合算したものである。

ア 実験結果

実験結果を図 12、図 13 に示す。図 12 は尖ったほうを左に、図 13 は尖ったほうを右にした場合である。

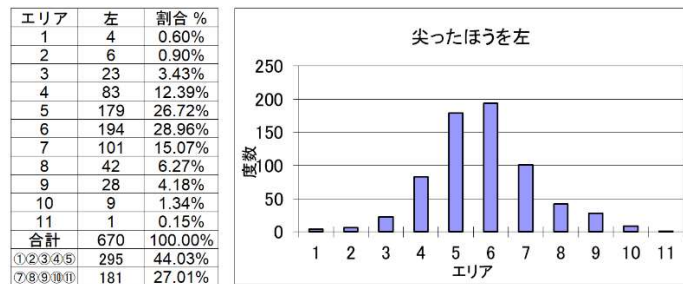


図 12 尖った方を左にした場合

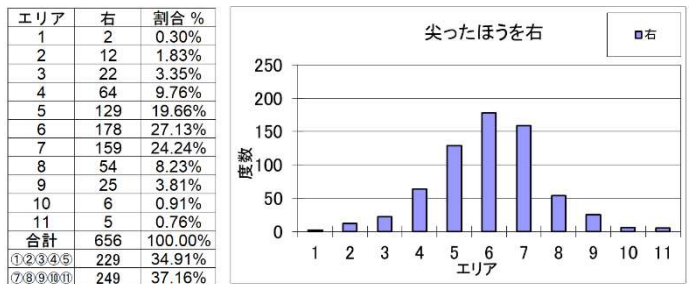


図 13 尖った方を右にした場合

イ 考察

尖ったほうを左にした場合は右に曲がる割合が大きく、尖ったほうを右にした場合は左に曲がる割合が大きかった。その原因として重心の位置が関係していると考えられる。

尖っていないほうに重心があり、そのためマットに接している部分が尖ったのと逆の部分となったためだと考えた。

図 14 のようにマットと回転軸が斜めになることで、尖っていない方向に曲がりやすくなったと考える。

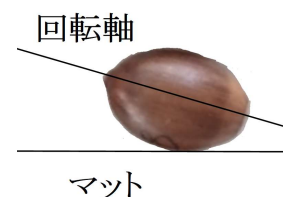


図 14 どんぐりの転がり方

(5) どんぐりの転がり方

ア 実験結果

高さ、段差、転がし始めの先端の左右を変化させ実験したデータを合計して度数分布にしたものが図 15 である。

また、そのデータをもとに、正規分布の式に当てはめ、理論式によりグラフを描いたのが図 16 である。

なお、理論式においては以下の式①を用いた。

$$f(x) = \frac{a}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad \dots \text{式①}$$

ここで x は、直進した場合のエリア6を 0(rad)として各エリアを次の通り定義し、縦軸は割合をとった。

エリア1:-0.873 エリア2:-0.698 エリア3:-0.524
 エリア4:-0.349 エリア5:-0.175 エリア6: 0
 エリア7: 0.175 エリア8: 0.349 エリア9:0.524
 エリア10:0.698 エリア11:0.873 (単位 rad)

イ 考察

実際の度数分布に合う定数 a 、 σ 、 μ を理論式に代入して近似曲線を描いた。

$a=0.175$ 、 $\sigma=0.24$ 、 $\mu=-0.018$ を代入した時に得られた曲線が図 15 である。 μ はエリアの x と割合を掛け平均した。

このことから、どんぐりの転がる方向と数の関係は、正規分布になることがわかる。

どんぐりはいびつな紡錘形をすることで、実が落下した後、いろんな方向に拡散しながら転がるのが分かった。

(6) 曲がりにくいどんぐり

どんぐりが転がって拡散するときに正規分布に従って拡散することは(5)で分かったが、直進しやすい(曲がりにくい)どんぐりの形があるか以下の実験で確かめた。

ア 実験方法

- (ア) 任意の 171 個のどんぐりを、高さ 13cm、段差 15cm の実験器具に、進行方向左に尖った部分において転がす。
- (イ) 171 個のどんぐりのうち、エリア⑤⑥⑦(直進から $-15^\circ \sim 15^\circ$)に入ったどんぐりを集め、度数分布を描く。
- (ウ) エリア⑤⑥⑦に入ったどんぐりについてのみ同様な実験を行う。
- (エ) 同様な実験を繰り返し、6回連続エリア⑤⑥⑦に進んだどんぐりの割合を求める。
- (オ) 最初に任意で実験した 171 個のどんぐりの度数分布と、6回連続エリア⑤⑥⑦に進んだどんぐりを7回ずつ転がした時の度数分布を比較し、直進しやすい(曲がりにくい)どんぐりが存在するのかを確かめる。

イ 実験結果

実験結果を次に示す。図 17 は最初の 171 個を転がした時の度数分布、図 18 は 1 回目の実験でエリア⑤⑥⑦に入った 123 個を転がした度数分布である。図 19 は同様にして得られた 96 個、図 20 は 76 個、図 21 は 54 個、図 22 は 35 個の度数分布である。図 23 は 6 回連続エリア⑤⑥⑦に入った 25 個を 7 回ずつ、延べ 175 個のどんぐりを転がした時の度数分布である。

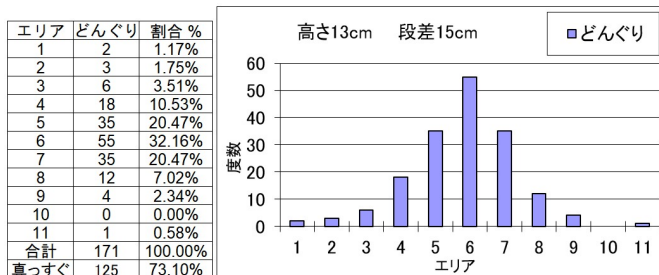


図 17 171 個の度数分布

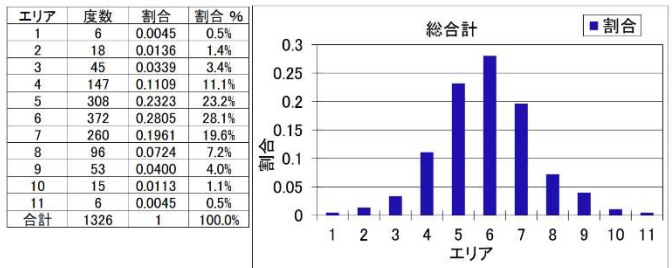


図 15 総データから得られた度数分

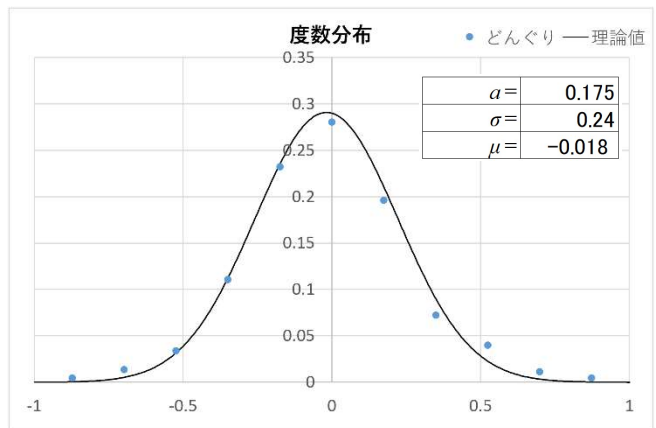


図 16 総データから得られた近似曲線

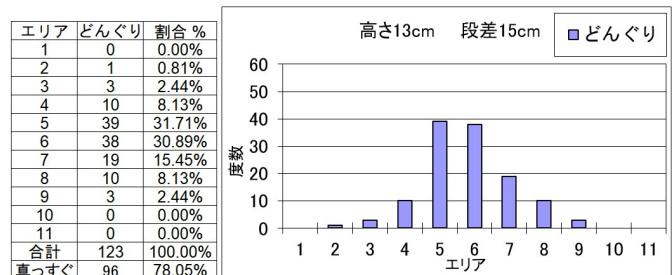


図 18 2 回目の度数分布

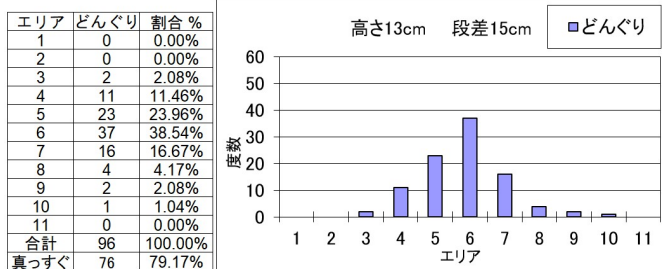


図 19 3 回目の度数分布

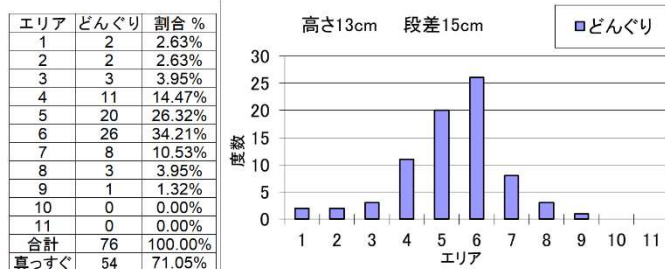


図 20 4 回目の度数分布

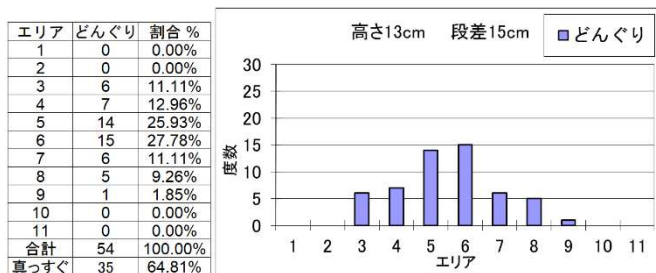


図 21 5 回目の度数分布

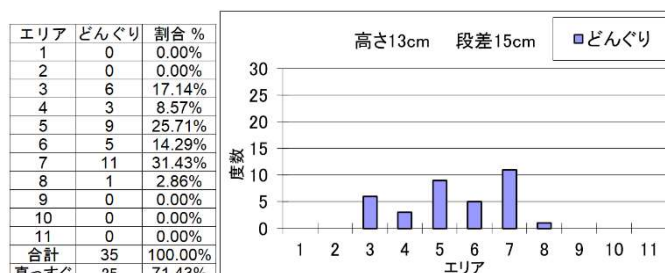


図 22 6 回目の度数分布

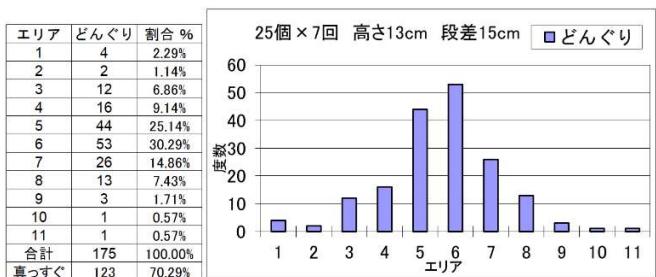


図 23 延べ 175 個のどんぐりの度数分布

また、図 24 は最初の 171 個のどんぐりの度数分布から得られた式①による近似曲線、図 25 は延べ 175 個のどんぐりの度数分布から得られた式①による近似曲線である。ただし a 、 σ 、 μ 、については任意の値を代入した。 μ はエリアの x と割合を掛け平均した。

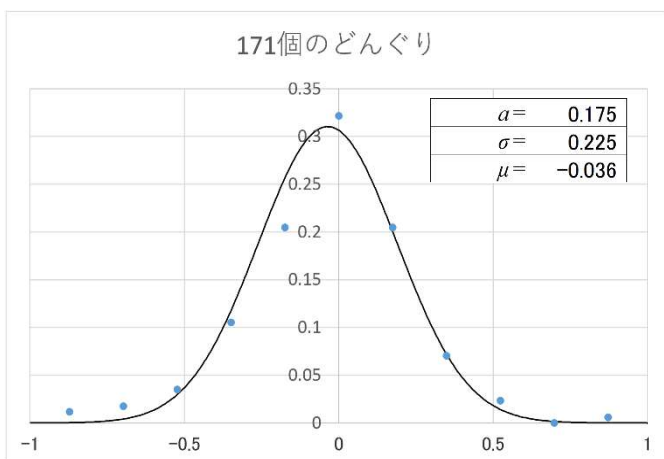


図 24 171 個のどんぐりの度数分布と近似曲線

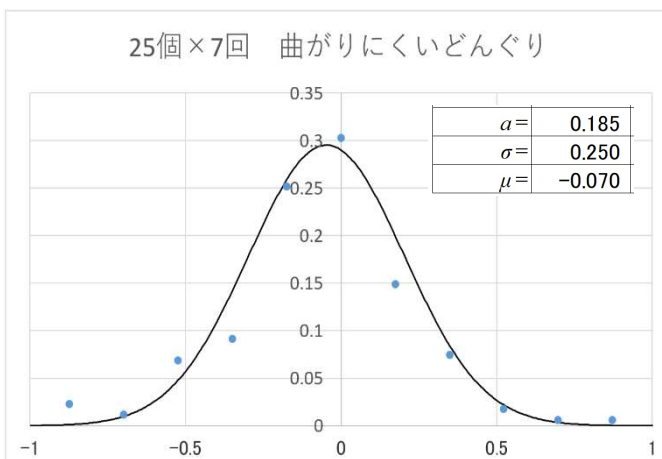


図 25 延べ 175 個のどんぐりの度数分布と近似曲線

ウ 考察

任意に選んだ 171 個のどんぐりの式①における a 、 σ 、 μ については、 $a=0.175$ 、 $\sigma=0.225$ 、 $\mu=-0.036$ となった。また延べ 175 個のどんぐりの、式①における a 、 σ 、 μ については、 $a=0.185$ 、 $\sigma=0.250$ 、 $\mu=-0.070$ となった。

このことより、2 つの分布に大きな差は認められないため、「直進しやすい特別などんぐり」は存在しないと考えられる。

(7) 曲がりやすいどんぐり

直進しにくい(曲がりやすい)どんぐりの形があるか、(5)と同様に以下の実験で確かめた。

ア 実験方法

- (ア) 任意の 171 個のどんぐりを、高さ 13cm、段差 15cm の実験器具に、進行方向左に尖った部分をおいて転がす。
(イ) 171 個のどんぐりのうち、エリア⑤⑥⑦(直進から $-15^{\circ}\sim 15^{\circ}$)以外に入ったどんぐりを集め、度数分布を描く。
(ウ) エリア⑤⑥⑦以外に入ったどんぐりについてのみ上記の実験を行う。
(エ) 同様な実験を繰り返し、3回連続エリア⑤⑥⑦以外に進んだどんぐりの割合を求める。
(オ) 最初に任意で実験した 171 個のどんぐりの度数分布と、3回連続エリア⑤⑥⑦以外に進んだどんぐりを 12 回ずつ転がした時の度数分布を比較し、直進しにくい(曲がりやすい)どんぐりが存在するのかを確かめる。

イ 実験結果

実験結果を次に示す。図 26 は最初の 171 個のどんぐりを転がした時の度数分布とエリア⑤⑥⑦以外に入ったどんぐりの割合である。図 27 は 1 回目の実験でエリア⑤⑥⑦以外に入った 46 個を転がした度数分布である。図 28 は同様にして得られた 24 個、図 29 は 3 回連続エリア⑤⑥⑦以外に入った 11 個を 12 回ずつ、延べ 132 個のどんぐりを回転がした時の度数分布である。

また、図 30 は延べ 132 個のどんぐりの度数分布から得られた式①による近似曲線である。ただし a 、 σ 、 μ 、については任意の値を代入した。 μ に

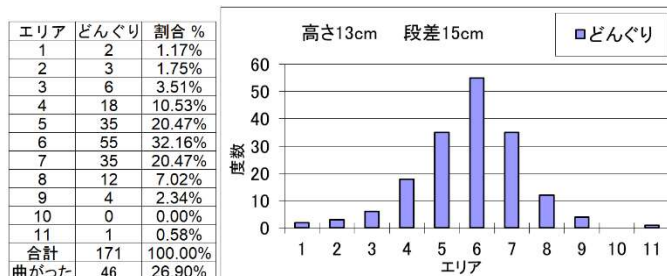


図 26 171 個のどんぐりの度数分布

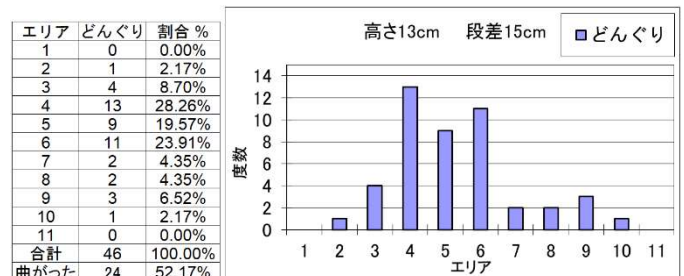


図 27 46 個のどんぐりの度数分布

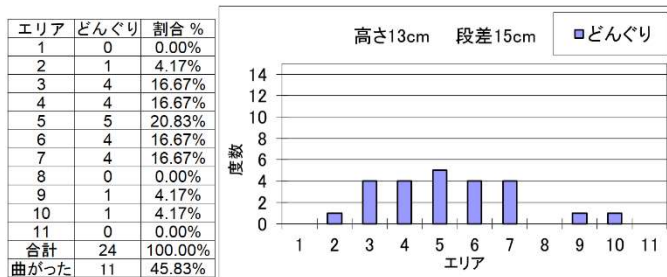


図 28 24 個のどんぐりの度数分布

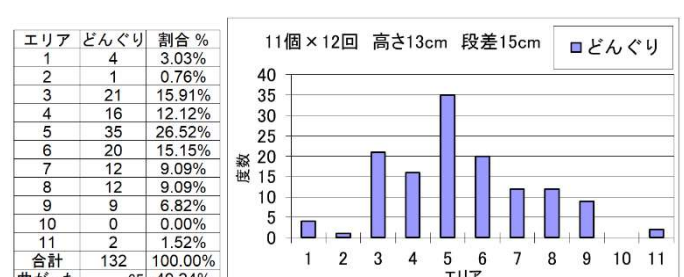


図 29 延べ 132 個のどんぐりの度数分布

ウ 考察

任意に選んだ 171 個のどんぐりの式①における a 、 σ 、 μ については、 $a=0.175$ 、 $\sigma=0.225$ 、 $\mu=-0.036$ となった。

また延べ 132 個のどんぐりの、式①における a 、 σ 、 μ については、 $a=0.210$ 、 $\sigma=0.330$ 、 $\mu=-0.131$ となった。 μ はエリアの x と割合を掛け平均した。

また、エリア⑤、⑥、⑦以外に進む割合も、任意のどんぐりの場合 27%であるが、最初にエリア⑤⑥⑦以外に進んだどんぐりでは、それぞれ 45~50%と割合が高くなっており、違いが明白であった。

このことより、2 つの分布に大きな差は認められ、「曲がりやすい特別などんぐり」は存在すると考えられる。

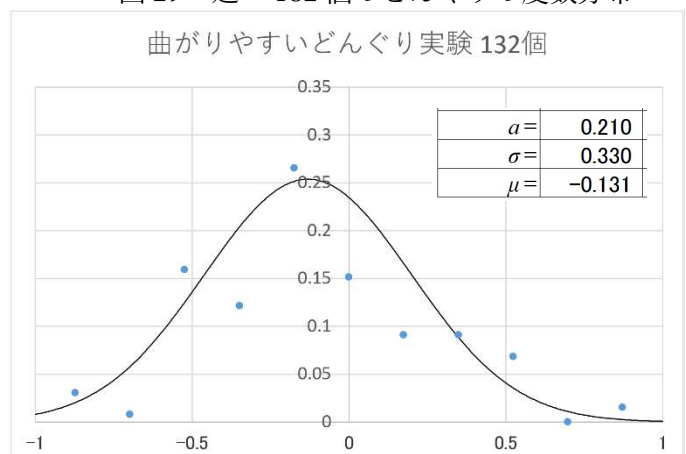


図 30 図 28 の度数分布と近似曲線

(8) 曲がりやすいどんぐりの形状

ア 測定

6 回連続でエリア⑤⑥⑦に入ったどんぐりと、3 回連続でエリア⑤⑥⑦以外に入ったどんぐりの縦と横の長さをノギスを用いて測定した。写真 5 は 6 回連続でエリア⑤⑥⑦に入った 25 個のどんぐり、写真 6 は 3 回連続でエリア⑤⑥⑦以外に入った 11 個のどんぐり、写真 7 は横の長さ、写真 8 は縦の長さを測定しているときのものである。



写真 5 6 回連続で⑤⑥⑦のどんぐり



写真 6 3 回連続で⑤⑥⑦以外のどんぐり



左写真 7 横の長さの測定



右写真 8 縦の長さの測定

曲がりにくいどんぐり						曲がりやすいどんぐり		
番号	横(cm)	縦(cm)	13	1.15	1.84	番号	横(cm)	縦(cm)
1	1.39	1.89	14	1.4	1.91	1	1.28	1.97
2	1.25	2	15	1.3	2.08	2	1.05	1.97
3	1.38	1.95	16	1.24	1.76	3	1.21	1.9
4	1.34	1.97	17	1.29	1.86	4	1.33	2.01
5	1.3	1.8	18	1.33	2.03	5	1.27	1.71
6	1.36	1.91	19	1.29	1.99	6	1.13	1.59
7	1.4	2.02	20	1.37	2.04	7	0.92	2
8	1.38	1.97	21	1.16	1.63	8	1.3	1.93
9	1.32	1.97	22	1.37	1.9	9	1.17	1.75
10	1	1.91	23	1.3	1.92	10	0.85	1.86
11	1.33	1.98	24	1.23	2	11	0.98	1.86
12	1.43	1.96	25	1.26	1.88	平均	1.14	1.87
			平均	1.35	1.94	縦÷横	1.65	
			縦÷横	1.45				

図 31 縦と横の比の比較

イ 結果

測定結果を図 31 に示す。

ウ 考察

曲がりやすいどんぐりは、全体的に縦と横の比が大きく、細長い形状をしており、球体に近いほど直進する。

5. 結論と今後の課題及び感想

(1) 結論

- ビー玉は球形であり直進するが、どんぐりは正規分布になった。
- どんぐりは、最初の速さが遅く落下する高さが高い場合に曲がりやすい。
- 尖ってない方向に曲がりやすい。
- 特別に直進しやすい(曲がりにくい)どんぐりは存在しないが、曲がりやすいどんぐりは存在する。
- 曲がりやすいどんぐりは、一般的なものと比べ、平均して細長い。
- あら桎は、転がりやすく直進しやすい球形の実ではなく、いびつな紡錘形の実を作ること、広く分布させようとして進化したのではないかと考える。

(2) 今後の課題

曲がりやすいどんぐりは細長くいびつな形をしていた。しかし、まっすぐ転がるどんぐりと縦横の比が同じで似たような形状のものもあった。縦横の比以外にも何か転がり方に関係していると考えられ、その特徴を調べたい。

また、落ちて転がる場所をマット以外のものにしたり、斜面を転がして落下させるのではなく自由落下させた場合の分布状況を調べたいと考える。

(3) 感想

今回の実験は、内容は単純だったが、思い通りの結果が出たり、予想しなかった結果が出たりと実験することの面白さを実感した。正規分布曲線に近いグラフができたときは、自然のものでそのような結果を得られたことに驚き感動した。

今回の研究で、ある一つのことに興味を持ち考察し、自分の言葉にすることの重要さとおもしろさを知ることができた。

この研究での経験を今後も活かしていきたい。

6. 参考文献 ① BotanyWEB

<http://www.biol.tsukuba.ac.jp/~algae/BotanyWEB/dispersal.html>