

最優秀賞

●研究テーマ

トーストの落下運動に関する研究

～バターを塗った面が下に向くのは運が悪いからか？～

福井大学教育学部附属義務教育学校9年

 橋本 さくらさん


動機

日常生活で起こるさまざまな経験をユーモアな法則で表現した「マーフィーの法則」を読んだことがきっかけとなり、トーストが床に落下した際にバターが下を向く確率が高い理由を明らかにしたいと考え、この実験研究に取り組んだ。

内容

自作したトーストの模型を使い、書籍「マーフィーの法則」の裏表紙に描かれているトーストが垂直に立った状態から落下する場合と、日常生活で起こりうるテーブルの端から重心がはみ出して落下する場合について、落下実験を繰り返した。実験の結果から以下のことが分かった。

- I 垂直に立った状態から落下する場合
 - ・どちらの面が下になるかは、ほぼ同じ確率であり、「運」と言える。
- II テーブルの端から重心がはみ出して落下する場合
 - ・トーストが床に到達するまでに、「 $90^\circ < \text{回転} < 270^\circ$ 」ならバターが下になる。「 $\text{回転} < 90^\circ$ または $270^\circ < \text{回転}$ 」ならバターが上になる。
 - ・『テーブルの高さ』と『はみ出し率（トーストが落ち始めるときに重心がどれだけはみ出しているか）』を設定すると、床に到達するまでに何度回転するかが決まるため、どちらの面が下になるかも決定される。
 - ・高さが70cm前後の日常生活で使用するテーブルでは、はみ出し率がどの場合であっても必ずバターが下になる。バターを塗った面が下になるのは「運が悪いから」ではなく「物理の法則に従った現象」と言える。

まとめや感想

繰り返し行った落下実験の撮影画像分析と得られた確率のデータによって、結論にまでたどり着けたことがとてもうれしい。この研究を通して、日常生活で起こる現象を科学的に見ることの楽しさを感じた。

トーストの落下運動に関する研究

～バターを塗った面が下に向くのは運が悪いからか？～

1. はじめに（研究の動機）

父の書齋に、「アーサー・プロック著、倉骨彰訳『マーフィーの法則』、株式会社アスキー(1993)」という本があった。この本には日常生活で起こる様々な経験をユーモアな法則で記載されており、とてもおもしろい。「ものが壊れる確率は、その価格に比例する。」「いちど認めた例外は、次からは当然の権利となる。」「機械が動かさないことを誰かに証明して見せようとする、動きはじめる。」「機械の故障は、もつとも悪いタイミングで発生する。」「偉い人が見学していればしるほど、見学者の数が多ければ多いほど、機械の信頼性は低下する。」「見たい番組は家を留守にしていると放送される。」「マーフィーの法則」のオリジナルは、アメリカの空軍基地のエンジニア『エドワード・アロイシヤス・マーフィー小』が、戦闘機の重力測定装置のセッティングを誰かが間違ってしまった際に言った、「いくつかの方法があつて、1つが悲惨な結果に終わる方法であるとき、人はそれを選ぶ」という言葉であるそうだ。この本の裏表紙には、マーフィーの法則の典例として、次の一文が記載されている。

トーストのバターを塗った面が下を向いて落ちる確率は、カーベットの値段に比例する。

「カーベットの値段に比例する」という部分については、科学的でないことは明らかだが、トーストのバターを塗った面が下を向いて落ちることは、これまでの経験からその確率が高いと思われる。しかし、本の裏表紙(図1)のように、トーストを垂直に立てて落下させた場合に、バターを塗った面が下を向いて落ちる確率が高いかは疑問である。1991年にイギリス放送協会(BBC)のテレビ番組『Q.E.D.』が行った実験では、トーストが様々な条件のもとで



図1 アーサー・プロック著、倉骨彰訳『マーフィーの法則』、株式会社アスキー(1993)
裏表紙の赤線内「トーストのバターを塗った面が下を向いて落ちる確率は、カーベットの値段に比例する。」

トーストの落下運動に関する研究

～バターを塗った面が下に向くのは運が悪いからか？～

福井大学教育学部附属義務教育学校後期課程

9年B組 橋本さくら

空中にほうり投げられたが、どのような場合にも、バターが下にくる確率は統計的に50%であったようだ。このことから、空中にほうり投げた場合は、バターが下にくるかどうかは、まさに『運』と言えそう。

ロバート・マシュー博士（イギリス アストン大学）は、長方形の薄い板を人間の身長を考慮した高さから落とす実験から、トーストを落とすとバターが下になる確率が高いことを力学的に説明し、『落下するトースト マシューの法則と基礎定数』というタイトルで1995年にイグ・ノーベル物理学賞を受賞している。（残念ながら、原文を見つけたとはできなかつた。見つけても英文だろうが。）

私は、「イアン・スチュアート著、伊藤文英訳『バズルでめぐる奇妙な数学ワールド』、(2006) 第4章マシューの法則の真実」に記載のロバート・マシュー博士の研究を参考にして、バターが下に向いて床に落ちる確率について、まじめに研究に取り組むことにした。

2. 研究の仮説と目的

① トーストを垂直に立てた状態で落下する場合について
トーストを垂直に立てた状態（図2）で落下することは日常生活の中ではないが、この場合に、バターを塗った面が下になる確率が高くなるとしたら、次の2点が考えられる。

- 1 バターによって表面の粘性が変化し、両面での空気抵抗に差が生じ、バターを塗っていない面よりもバターを塗っている面が速く落下しようとして、落下中にバターの面が下になる方向に回転する。
- 2 トーストに塗ったバターの質量により、重心の位置がバターの方の方にずれることで、落下中にバターの面が下になる方向に回転する。

物理の専門家である父によると、1については、空気抵抗は物体の運動の速度に関係があるため、バターの粘性によって、空気抵抗係数が小さくなったとしても、床までの落下までに両面の空気抵抗の差が大きくなることはないと考えられるようだ。2については、そもそも物体の質量が変わっても落下速度や落下時間には関係がないため、重心の位置がずれたからといって回転することはないと考えられるようだ。しかしながら、マシューの法則の本の裏表紙の絵が、トーストを垂直に立てて落下させているため、検証しないわけにはいかない。念のため、実験によって確かめることにした。

② トーストがテーブルの端から落下する場合について

日常生活においては、バターを塗ったトーストをほうり投げることはない。テーブル上のトーストに何かの力が加わり、テーブルの端から何かの押し出されて落下するのである。ロバート・マシュー博士によると、トーストがテーブルから落下する場合、バターを塗った面が下に向いて床に落ちる確率は、トーストが落ち始めるときに重心がどれだけはみ出しているかという『臨界はみだし率』が関係している（図3）。論文の主たる結論は「バターの面が上になって落ちて

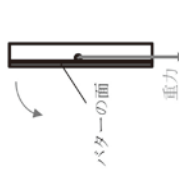


図2 トーストが垂直に立てた状態で落下

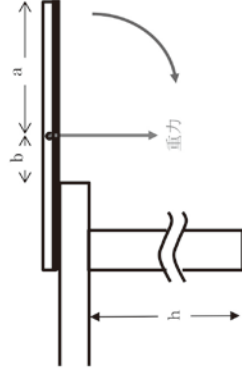


図3 トーストがテーブルから落下する場合 b/a が『臨界はみだし率』である

ためには、臨界はみ出し率が6%以上でないといけない。」である。臨界はみだし率が大きいほど、トーストの回転の角速度が速くなるのである。よって、トーストのどちらの面が下になるかは、床までの落下時間と床に到達するまでに何度回転するかによって決定され、 180° の奇数倍になれば、バターが下にくることになる。

180° になるためには、床に到達した時に、 $90^\circ < \text{回転} < 270^\circ$ あれば、トーストが床に衝突後、飛び上がらないかぎり、バターが下にくる。また、通常使用するテーブルの高さを考慮すると、簡単な実験により1.5回転以上の回転は起こらないと言えるため、以下のようにまとめることができる。

床に落下するまでに、 $90^\circ < \text{回転} < 270^\circ$ ならバターが下にくる
 回転 $<90^\circ$ または $270^\circ < \text{回転}$ ならバターが上にくる

そうであるならば、テーブルの高さも大きく関係しているはずだ。私は、テーブルの高さによって、バターが下になったり、上になったりする確率が『臨界はみ出し率』とどのように関係があるのかについて調べることにした。

3. 研究の方法

1 トーストの代用品を準備する

実際にトーストにバターを塗って落下させるわけにもいかないのが代用品を準備する。バターを塗ったトーストの落下実験を母に見られると、「食べ物や粗末にしないで！」「床を汚さないで！」と叱られてしまう。実際に朝食でよく食べるトースト2種類の質量を測定したところ、45gと60gであった(図4)。また、バターを塗った後の質量の増加量により、バターの質量を測定したところ、2~3gであった。これは、トーストの質量の5%程度である。かなり多く塗る人でも10%までであろう。

これらの測定値を参考に、片面にコルク版が取りつけられた発泡スチロール製のカラーボードを3枚貼り合わせて、トーストの大きさ、質量にほぼ等しい代用品を準備した(図5)。コルク版の面にはざらつきがあるのでトーストの表面、コルク版のない面はなめらかでありバターを塗った面とした。また、バターの質量を考慮し、バター側に重心がずれよう、厚紙をカラーボードの3枚のうちの真ん中とコルクなし面の間に厚紙を入れた(図6)。

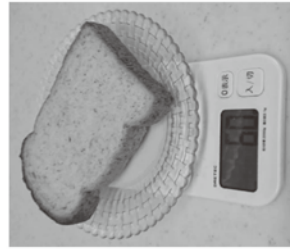


図4 朝食でよく食べるトースト2種類の質量
 トーストの質量は60g(左)と45g(右)
 普段塗るバターの質量は2~3g程度であった

4. 実験

【準備物】

作成したトーストの代用品 (以下、トーストとする)、メジャー、作成したテーブルの代用品 (以下、テーブルとする)、毛布

実験1 トーストを垂直に立てた状態で落下する場合のバター面が下になる確率を調べる

【実験方法】

- ① 110cm の高さ (図8のように、腕をまっすぐにしてトーストを持ち、床からトーストの下端までの長さ) から、100回落下させる。床には、毛布を敷いておく。
- ② バターの面が下になる確率を求める。

【実験結果】

トーストを垂直に立てた状態で落下させた場合の様子を連続写真で記録した。



図8 トーストを垂直に立てた状態で落下させた場合の様子 その1
10コマ/秒で撮影



図9 トーストを垂直に立てた状態で落下させた場合の様子 その2
10コマ/秒で撮影

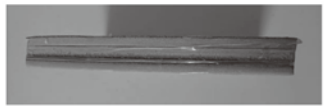


図6 作成したトーストの断面
左面がコルクなし：バターを塗った面
右面がコルクあり：バターなし面
真ん中と左の板の間に厚紙をはさむことで、重心をバター面側にずらした

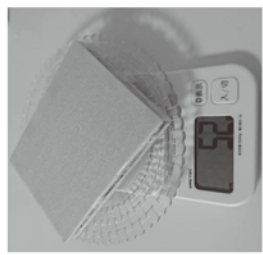


図5 作成したトースト
トーストの質量は52g
たて15cm、横11cm、高さ1.8cm

II テーブルの代用品を準備する

普段使用している食卓テーブルの高さは70cmであるが、他の高さでも実験できるよう、テーブルの代用品を用意する。L字型の金属でできた本立てに木製の板をセロテープで取りつけ(図7)、これをかべにあてることにより、テーブルの代わりとした。



図7 作成したテーブル

III 研究方法

①トーストを垂直に立てた状態で落下する場合、②トーストがテーブルの端から落下する場合の様子を連続写真撮影(10コマ/秒)し、運動のメカニズムを明らかにする。それぞれ、落下実験を繰り返し行い、バターの面が下になる確率を調べる。特に②の場合については、様々な条件(高さ、臨界はみ出し率)で落下実験を行い、本研究の中心としたい。なお、トーストが床に着地直後に跳ね返らないよう、床に毛布を敷いた。

表1 トーストを垂直に立てた状態で落下させた場合

状態	50 回時点	100 回時点	確率
バターを塗った面が下になる	24	51	51%
バターを塗っていない面が下になる	25	48	48%
トーストが直立する	1	1	1%

実験2 トーストがテーブルの端から落下する場合のバター面が下になる確率を調べる

【実験方法】

- ① テーブルの高さ50cm、70cm（自宅の食卓テーブルの高さ）、90cm、110cm、130cm、150cm のそれぞれの高さで、トーストが落ち始めるときの「はみ出し率」を5%（はみ出しが重心から0.4cm）、10%（0.8cm）、15%（1.1cm）、20%（1.5cm）、25%（1.9cm）に変えて、それぞれ20回落下させる。なお70cmの高さについては、はみ出し率30%～80%についても、同様に行った。床には、毛布を敷いておく。
- ② ①のそれぞれの場合について、バターの面が下になる確率を求める。

【実験結果】

トーストをテーブルの端から落下させる場合の様子を連続写真で記録した。

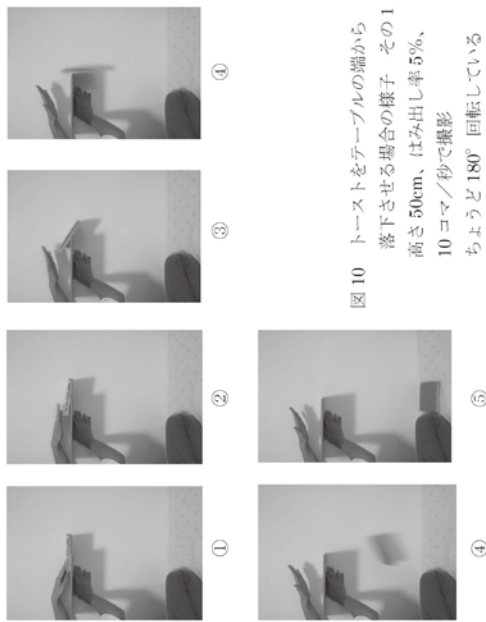


図10 トーストをテーブルの端から落下させる場合の様子 その1
高さ50cm、はみ出し率5%、10コマ/秒で撮影
ちょうど180°回転している



図11 トーストをテーブルの端から落下させる場合の様子 その2
高さ150cm、はみ出し率5%、10コマ/秒で撮影
約270°回転している



表2 トーストをテーブルの端から落下させた場合

高さ50cmのテーブル

はみ出し率	5%	10%	15%	20%	25%
バターを塗った面が下になる	20/20 (100%)	20/20 (100%)	20/20 (100%)	20/20 (100%)	20/20 (100%)
バターを塗っていない面が下になる	0/20 (0%)	0/20 (0%)	0/20 (0%)	0/20 (0%)	0/20 (0%)

どののはみ出し率でも、すべてバターの面が下になった

高さ70cmのテーブル（普段使用している食卓テーブルの高さ）

はみ出し率	5%	10%	15%	20%	25%	30～80%
バターを塗った面が下になる	20/20 (100%)	20/20 (100%)	20/20 (100%)	20/20 (100%)	20/20 (100%)	20/20 (100%)
バターを塗っていない面が下になる	0/20 (0%)	0/20 (0%)	0/20 (0%)	0/20 (0%)	0/20 (0%)	0/20 (0%)

どののはみ出し率でも、すべてバターの面が下になった

高さ 90cm のテーブル

はみ出し率	5%	10%	15%	20%	25%
バターを塗った面が下になる	20/20 (100%)	20/20 (100%)	20/20 (100%)	20/20 (100%)	20/20 (100%)
バターを塗っていない面が下になる	0/20 (0%)	0/20 (0%)	0/20 (0%)	0/20 (0%)	0/20 (0%)

どのはみ出し率でも、すべてバターの面が下になった

高さ 110cm のテーブル

はみ出し率	5%	10%	15%	20%	25%
バターを塗った面が下になる	20/20 (100%)	20/20 (100%)	20/20 (100%)	20/20 (100%)	0/20 (0%)
バターを塗っていない面が下になる	0/20 (0%)	0/20 (0%)	0/20 (0%)	0/20 (0%)	20/20 (100%)

はみ出し率 5~20%では、すべてバターの面が下になった

はみ出し率 25%では、すべてバターを塗っていない面が下になった

高さ 130cm のテーブル

はみ出し率	5%	10%	15%	20%	25%
バターを塗った面が下になる	20/20 (100%)	20/20 (100%)	20/20 (100%)	20/20 (100%)	0/20 (0%)
バターを塗っていない面が下になる	0/20 (0%)	0/20 (0%)	0/20 (0%)	0/20 (0%)	20/20 (100%)

はみ出し率 5~20%では、すべてバターの面が下になった

はみ出し率 25%では、すべてバターを塗っていない面が下になった

高さ 150cm のテーブル

はみ出し率	5%	10%	15%	20%	25%
バターを塗った面が下になる	4/20 (20%)	0/20 (0%)	0/20 (0%)	0/20 (0%)	0/20 (0%)
バターを塗っていない面が下になる	16/20 (80%)	20/20 (100%)	20/20 (100%)	20/20 (100%)	20/20 (100%)

はみ出し率 5%では、バターを塗った面が下になった確率が 20%、バターを塗っていない面が下になった確率が 80%であった。はみ出し率 10~25%では、すべてバターを塗っていない面が下になった。

5. 考察

実験 1 トーフトを垂直に立てた状態で落下する場合について

バターの面が下にくる確率は 51%、バターを塗っていない面が下にくる確率が 48%であり、予想どおり、両面にほとんど差はなく、バターを塗った面が下にくるの、まさに「運」と言ってもよいだろう。100 回の落下実験の中で、トーフトが床に着地した後も直立したままという奇跡的なことが 1 回あった。本物のトーフトであれば、その柔らかなさから、着地後、どちらかの面にバランスを崩すことが考えられ、直立したままになることは 1%の確率よりもずっと低いと思われるが、興味深い結果であった。また、連続写真撮影（図 8、9）をよく確認すると、手からトーフトが離れた直後の僅かな傾きによって、着地後の上にくる面がほぼ決まると言う。そうであるならば、人間の心理にも全く関係がないとは言いきれず、マーフィーの法則の「カーペットの値段」も絶対に関係がないとは断定できないかも知れない。

実験 2 トーフトがテーブルの端から落下する場合について

実験結果をまとめると以下のようになる。

○高さ 50cm、70cm、90cm のテーブルからの落下においては、どのはみ出し率の場合でも、100%の確率でバターを塗った面が下になった（図 10 に一例を示した）。

○高さ 110cm、130cm のテーブルからの落下においては、はみ出し率 5~20%では、100%の確率でバターを塗った面が下になった。はみ出し率 25%では、100%の確率でバターを塗っていない面が下になった。

○高さ 150cm のテーブルからの落下においては、はみ出し率 5%では、バターを塗った面が下になった確率が 20%、バターを塗っていない面が下になった確率が 80%であった。はみ出し率 10~25%では、100%の確率でバターを塗っていない面が下になった。

これらの結果から、テーブルの高さとのはみ出し率を設定すると、バターを塗った面が下になるか、バターを塗っていない面が下になるかは、ほとんどの場合において決定されることが分かった。すなわち、バターを塗った面が下になるかどうかは、「運」ではなく、物理の法則に従った現象であると言える。実験の中で、唯一、結果にばらつきが出たのは、高さが 150cm のテーブル、はみ出し率 5%の時であった。実際には、高さが 150cm のテーブルを普通の家庭で使うことは考えにくいのだが、この場合は、ちょうど 270°前後の回転になるため（図 11）、微妙なばらつきが出てくると言える。

また、普段使っている高さ 70cm のテーブルからの落下の場合、はみ出し率をどんなに大きくしても、落下までに 180°前後回転するため、トーフトがテーブルの端から落下する場合には、100%の確率でバターを塗った面が下になるのである。バターの面が下

にならないようにするために、落下が始まると同時に、水平方向に手ではらって吹っ飛ばし、回転運動が始まる前に、テーブルから離れるしかないのである（真下の床が汚れる以上の被害が出るかもしれない）。

6. 今後の展望

今回の研究により、トーストがテーブルの端から落下する場合、バターを塗った面が下になるかどうかは、「運」ではなく物理の法則に従った現象であることを実験によって明らかにすることが出来た。実験の結果から、結論にまでたどり着けたことが、とてもうれしい。しかしながら、ロバート・マシュー博士の論文の主たる結論「バターの面が上になっで落ちるためには、臨界はみ出し率が6%以上でないといけない。」というものが、具体的にどのような実験によって得られたものなのかは、確認することが出来なかった。英語力を高め、原文を読んで再現実験を行い、今回の実験と比較検証したい。また、トーストを垂直に立てた状態で落下させる場合には、今回、手に持ったトーストを落下させて実験を行ったが、人間の心理を完全に排除するには、トーストに手を触れることなく落下させる方法をとる必要がある。

7. 参考文献

1. アーサー・ブロッック著、倉骨彰訳
『マーフィーの法則』、株式会社アスキー(1993)
2. イアン・スチュアート著、伊東文英訳
『バズルでめぐる奇妙な数学ワールド』、早川書房(2006)