# 最大 300 N の弓でも力の形でためるエネルギーは 1.43 倍ちがい、60 N で保てる

— 引く長さ 0.5 m で、力が引いた長さに比例する弓は 75.000000 J、立ち上がって平らに保つ形は 107.250000 J をためる — 分離子は、弓の強さを最大の力で言うか、力を引く長さで積分した量で言うか — [論文792]

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)
Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan｜山岸勇輝ラボ
2026年9月

*— From thinking to syncing. —*

**要旨**

弓の強さは、引き切るのに要る最大の力で言われることが多い。けれど矢に渡るのは、引くあいだにためたエネルギーである。最大の力をそろえた三つの力の形で、ためるエネルギー、引き切って保つ力、矢の速さを数える。新しい定理も法則も主張しない。 第一に、最大の力が同じでも、ためるエネルギーは違う——**75.000000・88.235294・107.250000 J**（第2節）。 第二に、これが本稿の芯である。エネルギーを決めているのは、最大の力ではなく力の形である——最大の力×引く長さに対する割合は **0.500000・0.588235・0.715000**、三つ目と一つ目の比は **1.430000**（第2節）。 第三に、引き切って保つ力は、最大の力と別にできる——三つ目の形は最大 300 N でも、引き切ったとき **60 N** で保てる（第2節）。 第四に、矢の速さはエネルギーの平方根で違う——**69.282032・75.146915・82.849261 m/s**、比は **1.195826**（第3節）。 第五に、同じエネルギーなら、最大の力は小さくてよい——**75 J** をためる三つ目の形の最大の力は **209.790210 N**（第3節）。 第六に、分離子は、弓の強さを最大の力で言うか、力を引く長さで積分した量で言うか——「強い弓ほど矢が速い」は、強さを最大の力で言うのか積分で言うのかを言うまで真偽が決まらない（第4節）。 キーワード：弓、ばね、仕事とエネルギー、力と変位の曲線、コンパウンドボウ、積分。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——ためるエネルギーが力を引く長さで積分した仕事であること、同じ最大の力でも力の形でエネルギーが変わること、滑車を使う弓で引き切ったときの保持の力が下がること（レットオフ）は、いずれも既知である（クロプステグ 1943、ハリデイほか 2013）。力の形は置き方である——比例、0.7 乗、立ち上がり・平ら・下がりの三つの形は比べるために置いたもので、実在の弓の力の曲線は主張しない。効率を同じと置く——ためたエネルギーの 0.8 が矢に渡るとし、形による効率の違いは入れない。値は代表値である——最大の力 300 N、引く長さ 0.5 m、矢の質量 0.025 kg。弓の設計と競技の規則を扱わない——どの弓を選ぶべきかは述べない。既刊との関係：論文774 は、熱電対が測っているのが温度ではなく、二つの接点のあいだの積分であることを示した——その射程注記は熱電対の起電力に限っていた。そこでは一点の値と見えるものが、実は積分だった。ここでは弓の強さを表す「最大の力」が、矢に渡るエネルギー（力の積分）を決めていないことを数える。温度の積分と、力の積分になる。加えたのは、最大の力をそろえた三つの形でエネルギーを式と数値積分の二通りで出したこと、最大の力×引く長さに対する割合 0.715000 までを並べたこと、引き切って保つ力と矢の速さを出したこと、同じエネルギーに要る最大の力 209.790210 N を出したこと、分離子を「最大の力か、積分か」に置いたことである。

## 1. 記法と問い

設定：引いた長さ $x$ での力を $F(x)$、引く長さを $d$ とする。ためるエネルギー $E$、最大の力 $F_{\max}$ に対する形の割合、矢（質量 $m$、効率 $\eta$）の速さは次のとおりである。

$$E = \int_0^{d} F(x)\,dx, \qquad \frac{E}{F_{\max} d}, \qquad v = \sqrt{\frac{2\eta E}{m}}$$

三つの形を比べる。比例（ばね）$F = F_{\max} x/d$。0.7 乗 $F = F_{\max}(x/d)^{0.7}$。三つ目は、引く長さの 0.25 までに $F_{\max}$ へ立ち上がり、0.70 まで平らに保ち、0.90 までに 60 N へ下がり、あとは 60 N（コンパウンドの形）。$F_{\max} = 300$ N、$d = 0.5$ m、$\eta = 0.8$、$m = 0.025$ kg と置く。

問い：最大の力が同じ弓は、同じだけエネルギーをためるか。

## 2. ためるエネルギー

計算 2.1：三つの形で、区分ごとの式と、折れ目を刻みにそろえたシンプソンの数値積分の二通りでエネルギーを出した（相対差 最大 $3.036 \times 10^{-9}$）。

| 力の形 | エネルギー（式・数値） | 最大の力×引く長さに対する割合 | 引き切って保つ力 | 矢の速さ |
|---|---|---|---|---|
| 比例（ばね） | **75.000000**・**75.000000** J | **0.500000** | **300.0** N | **69.282032** m/s |
| **0.7** 乗 | **88.235294**・**88.235294** J | **0.588235** | **300.0** N | **75.146915** m/s |
| コンパウンドの形 | **107.250000**・**107.250000** J | **0.715000** | **60.0** N | **82.849261** m/s |

> **観察 2.2**
>
> 最大の力が同じでも、ためるエネルギーは違う。最大の力はどれも **300 N** だが、エネルギーは **75.000000**・**88.235294**・**107.250000 J** である。

> **観察 2.3**
>
> これが本稿の芯である。エネルギーを決めているのは、最大の力ではなく力の形である。最大の力×引く長さに対する割合は **0.500000**・**0.588235**・**0.715000** で、三つ目と一つ目のエネルギーの比は **1.430000** である——早く立ち上がって長く高い力を保つ形ほど、同じ最大の力でたくさんためる。

> **観察 2.4**
>
> 引き切って保つ力は、最大の力と別にできる。比例と **0.7** 乗では引き切ったとき **300 N** を保つが、三つ目の形は **60 N** で保てる——手に感じる最後の重さも、最大の力も、ためたエネルギーも、それぞれ別の数である。

## 3. 矢の速さと、同じエネルギー

計算 **3.1**：エネルギーと速さの比、同じ **75 J** をためる三つ目の形の最大の力を出した。

| 量 | 値 |
|---|---|
| エネルギーの比（コンパウンド／比例） | **1.430000** |
| 矢の速さの比 | **1.195826** |
| **75.0 J** をためるコンパウンドの形の最大の力 | **209.790210 N** |

> **観察 3.2**
>
> 矢の速さはエネルギーの平方根で違う。エネルギーが **1.430000** 倍でも、速さは **1.195826** 倍である。

> **観察 3.3**
>
> 同じエネルギーなら、最大の力は小さくてよい。比例の弓と同じ **75 J** をためるには、三つ目の形なら最大の力 **209.790210 N** で足りる——最大の力の小さい弓が、最大の力の大きい弓と同じ速さの矢を飛ばしうる。

## 4. 分離子

> **観察 4.1**
>
> 分離子は、弓の強さを最大の力で言うか、力を引く長さで積分した量で言うか。最大の力なら三つとも **300 N** で同じ強さ、積分なら **75.000000** から **107.250000 J** まで **1.430000** 倍ちがう——「強い弓ほど矢が速い」は、強さを最大の力で言うのか積分で言うのかを言うまで真偽が決まらない。

> **観察 4.2**
>
> 論文774 と並べる。774 は、熱電対が一点の温度ではなく二つの接点のあいだの積分を測っていることを示した——ここでは弓の強さを表す最大の力が、矢に渡るエネルギーという積分を決めていないことを数えた。一点の値と積分の取り違えが、温度の側と力の側に出る。

> **観察 4.3**
>
> 言わないこと。実在の弓の力の曲線、形による効率の違い、弓の選び方、競技の規則は扱わない——示したのは、最大の力とためるエネルギーと保つ力が別の数であることである。

## 5. 点呼と結び

1. 比例の形 **75.000000 J**（計算 2.1）：割合 **0.500000**。
2. **0.7** 乗の形 **88.235294 J**（計算 2.1）：割合 **0.588235**。
3. コンパウンドの形 **107.250000 J**（計算 2.1）：割合 **0.715000**。
4. エネルギーの比 **1.430000**（観察 2.3）：本稿の芯。
5. 保つ力 **60 N**（観察 2.4）：最大の力と別。
6. 矢の速さ **69.282032** と **82.849261 m/s**（計算 2.1）：平方根で違う。
7. 速さの比 **1.195826**（観察 3.2）：エネルギー比の平方根。
8. 同じ **75 J** に **209.790210 N**（観察 3.3）：小さい最大の力で足りる。
9. 式と数値積分の相対差 $3.036 \times 10^{-9}$（計算 2.1）：二通りで一致。
10. 最大の力か、積分か（観察 4.1）：分離子・論文774。

結び：同じ最大 **300 N** の弓でも、ためるエネルギーは力の形で **1.430000** 倍ちがい、引き切って保つ力は **60 N** にできる。引く長さ **0.5 m** で、比例の形は **75.000000 J**、**0.7** 乗は **88.235294 J**、立ち上がって平らに保ち終わりで下がる形は **107.250000 J** をため、最大の力×引く長さに対する割合は **0.500000**・**0.588235**・**0.715000** である——エネルギーを決めているのは最大の力ではなく、力の形の積分である。矢の速さは **69.282032**・**75.146915**・**82.849261 m/s** でエネルギーの平方根で違い、比例の弓と同じ **75 J** をためるなら三つ目の形の最大の力は **209.790210 N** で足りる——最大の力、ためるエネルギー、引き切って保つ力は、それぞれ別の数である。分離子は、弓の強さを最大の力で言うか、力を引く長さで積分した量で言うかである。既刊との位置——論文774は温度の側で一点の値と積分を分けた。ここは力の側で同じ取り違えを数えた。正直に言えば——力の形は置き方で、実在の弓の曲線も効率の違いも扱っていない。

## 参考文献


1. Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). *Fundamentals of Physics* (10th ed.). Wiley.
2. Klopsteg, P. E. (1943). Physics of bows and arrows. *American Journal of Physics*.

3. 山岸勇輝 (2026). 『熱電対が測っているのは温度ではなく、二つの接点のあいだの積分である』[論文774]. Zenodo. 10.5281/zenodo.23015271

---

*— From thinking to syncing. —*

**山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)**

© 2026 Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan · Licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)