箱の中を飛ぶ光は E/c^2 の重みを運び、放つ側の静止質量は反跳のぶん多く減る

— 重心が動かない条件から、光の重みは飛ぶ時間にも箱の剛さにもよらず E/c^2 に決まり、放つ側の静止質量は $E = Mc^2/2$ で 0 になる — 分離子は、静止質量で重みを付けるか、エネルギーで重みを付けるか — [論文911]

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

質量とエネルギーの等価は、光のような質量の無いものを相手にすると、どこで重みが運ばれているのか見えにくい。本稿は、閉じた箱の端から端へ光を送る思考実験で、重心が動かないという条件だけから光の運ぶ重みを数え、放つ側と受ける側の静止質量がどれだけ動くかを相対論で厳密に数える。新しい定理も法則も主張しない。 第一に、光の運ぶ重みは、飛ぶ時間によらず E/c^2 に決まる——$c=1$・$M=1$・$L=1$ の剛い箱で、$E=0.1$ なら箱が近づくので光の飛ぶ時間は 0.909090909 に縮むが、箱のずれ 9.090909091×10^{-2} と光の進んだ距離から出した重みは E と相対 10^{-12} 以内で合った（第2節）。 第二に、剛い箱を仮定しなくてよい——ばねでつないだ 50 個の質点の鎖で、音の速さを 0.01・0.1・0.5 と変えると、両端の終わりのずれは -1.062687×10^{-2}・-1.025273×10^{-3}・-1.265673×10^{-4} と違うが、鎖の重心はどれも $-1.000000000\times10^{-4}$（$=-EL/(Mc^2)$）だけずれた（第2節）。 第三に、光に置く重みを動かすと、重心が動かないのは E/c^2 のときだけである——重みを 0・0.5・1・2 倍にすると、系の重心のずれは $-1.000000000\times10^{-4}$・$-5.000000000\times10^{-5}$・$-4.449294665\times10^{-17}$・$+1.000000000\times10^{-4}$ だった（第3節）。 第四に、これが本稿の芯である。放つ側の静止質量は、E/c^2 より反跳の運動エネルギーのぶん多く減る——$c=1$ で質量 1 の放つ側と受ける側を置くと、$E=0.1$ で放つ側の静止質量の減りは 0.105572809（E の 1.055728 倍）、受ける側の増えは 0.095445115 で、差はそれぞれの反跳の運動エネルギーと 10^{-12} 以内で一致した。$E=0.5$ で放つ側の静止質量は 0 になり、減りは E の 2.000000 倍である（第4節）。 第五に、エネルギーで重みを付けた重心は動かず、静止質量で付けた重心は動く——前者は五つの E・五つの時刻で 0.500000000000 のままだった。後者は放つ瞬間に跳び（$E=0.001$ で 0.500250250）、光が飛ぶあいだ $-0.500250E$ の速さで動き、受けた瞬間にまた跳び、その後は E^4 に比例する速さ（E^4 で割って 1.000003）で動いた（第4節）。 第六に、分離子は、静止質量で重みを付けるか、エネルギーで重みを付けるかである——$1\,\mathrm{kg}$・$1\,\mathrm{m}$・$1\,\mathrm{J}$ の模型では、箱のずれ $1.112650\times10^{-17}\,\mathrm{m}$ と光の重み $1.112650\times10^{-17}\,\mathrm{kg}$ が同じ数になり、反跳の運動エネルギーは E の 5.563250×10^{-18} しかない。重みの付け方の違いは、この小ささの中に隠れている（第5節・第6節）。 キーワード：アインシュタインの箱、質量とエネルギーの等価、重心、光の運動量、反跳、静止質量。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——光の箱の重心から E/c^2 を出す議論（アインシュタインの箱・アインシュタイン 1906）、放射に E/c^2 の質量をもつ流体を当てて重心の運動を救う考え（ポアンカレ 1900）、物体のエネルギーが E 減ると質量が E/c^2 減ること（アインシュタイン 1905）、相対論ではエネルギーで重みを付けた重心が一定の速さで動くこと、放つ側の静止質量の減りの式は、いずれも既知である。媒質の中の光の運動量に入らない——光は真空を飛ぶとし、媒質の中の光の運動量をめぐる議論（アブラハムとミンコフスキー）には入らない。光を光子として数えない——光は古典的なパルスとし、量子の扱いには入らない。実験を主張しない——$1\ \mathrm{kg}\cdot 1\ \mathrm{m}\cdot 1\ \mathrm{J}$ は模型の値で、箱のずれを実際に測ることには入らない。鎖の模型を一つに限る——ばねは線形で、ばねの伝える速さは光より遅いとし、ばねの相対論的な扱いには入らない。既刊との関係：論文12 は、$E=mc^2$ を球の表面積の形として読んだ——ここでは同じ c^2 を、光の運ぶ重みの分母として、箱の重心から数える。論文908 は、帯電球殻の場では運動量で数えた質量がエネルギーで数えた質量の $4/3$ 倍になることを数えた——ここで壁から離れて飛ぶ光は運動量 E/c をもち、運動量で数えた重みとエネルギーで数えた重みが同じ E/c^2 で揃う。論文240 は、「質量」が七つあることを示した——ここでは、静止質量で重みを付けるか、エネルギーで重みを付けるかで、重心が動くか動かないかが分かれる。論文664 は、反跳が消えたのではなく結晶が受け取ったことを数えた——ここでは反跳を箱が受け取り、そのずれが光の重みを測る。反跳の運動エネルギーは、放つ側の静止質量の減りに入る。論文83 は、ガリレイの相対性原理だけから最高速度をもつ相対論が出ることを示した——ここではその最高速度 c が、光の運動量 E/c と重み E/c^2 に入る。加えたのは、剛い箱の重みが飛ぶ時間に依らないことを示したこと、剛さを仮定しない鎖で重心のずれを位置から測ったこと、放つ側と受ける側の静止質量の動きを反跳の運動エネルギーに分けて数えたこと、エネルギーで重みを付けた重心と静止質量で付けた重心を並べ、後者が跳んで一次と四次で動くことを示したこと、分離子を「静止質量か、エネルギーか」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：質量 M・長さ L の箱が止まっている。左の壁がエネルギー E の光を右へ放つと、箱は運動量 E/c を受けて左へ動き、光が右の壁に着くと止まる。剛い箱として数えると、次のようになる。

$$v=\frac{E}{Mc},\qquad t=\frac{L}{c+v},\qquad Mvt=mct\quad\Longrightarrow\quad m=\frac{Mv}{c}=\frac{E}{c^2}$$

右辺の m は、重心が動かないために光に置かなければならない重みで、飛ぶ時間 t は両辺で消える。相対論で厳密に数えるときは、$c=1$ で、止まっている質量 M_A の放つ側と質量 M_B の受ける側を置く。エネルギーと運動量が保たれると、放ったあとと受けたあとの静止質量と、エネルギーで重みを付けた重心は次のとおりである。

$$M_A'=\sqrt{M_A^2-2M_AE},\qquad M_B'=\sqrt{M_B^2+2M_BE},\qquad X_E=\frac{\sum_i E_i\,x_i}{\sum_i E_i}$$

剛さを仮定しない模型では、50 個の質点をばねでつないだ鎖の左端に運動量 $-E/c$、光が右端に着いた時刻に $+E/c$ を与え、速度ベルレ法（刻み 10^{-4}）で時刻 3 まで動かし、鎖の重心のずれを質点の位置から測った。

問い：光を箱の中で送るとき、重心が動かないためには光にどれだけの重みを置けばよく、そのとき放つ側と受ける側の静止質量はどれだけ動くか。

2. 剛い箱と、ばねの鎖

計算 2.1：$c = 1 \cdot M = 1 \cdot L = 1$ の剛い箱。

E	光の飛ぶ時間	箱のずれ	重心の条件から出した重み
0.001	0.999000999	$9.990009990 \times 10^{-4}$	$1.000000000 \times 10^{-3}$
0.01	0.990099010	$9.900990099 \times 10^{-3}$	$1.000000000 \times 10^{-2}$
0.1	0.909090909	$9.090909091 \times 10^{-2}$	$1.000000000 \times 10^{-1}$

計算 2.2：ばねでつないだ鎖（$E = 10^{-4}$）。

音の速さ	光が着いた時刻の右端のずれ	終わりの左端のずれ	鎖の重心のずれ	終わりの全運動量
0.01	-2.328×10^{-189}	-1.062687×10^{-2}	$-1.000000000 \times 10^{-4}$	-7.589×10^{-19}
0.1	-1.848×10^{-91}	-1.025273×10^{-3}	$-1.000000000 \times 10^{-4}$	-2.191×10^{-19}
0.5	-1.832×10^{-25}	-1.265673×10^{-4}	$-1.000000000 \times 10^{-4}$	1.382×10^{-18}

> **観察 2.3**
>
> 光の運ぶ重みは飛ぶ時間によらず E/c^2 に決まり、剛い箱を仮定しなくてよい。剛い箱では $E = 0.1$ で飛ぶ時間が 0.909090909 に縮んでも、箱のずれと光の進んだ距離が同じ割合で縮み、重みは E のままだった——鎖では、光が着いた時刻に右端はまだ動いておらず（ずれ -2.328×10^{-189} から -1.832×10^{-25}）、終わりの左端のずれは音の速さ 0.01 と 0.5 で 83.962236 倍違う。それでも鎖の重心のずれは三つとも $-1.000000000 \times 10^{-4}$ で、内側の力は重心を動かさないので、ずれは運動量 E/c と光の飛ぶ時間 L/c だけで決まる。

3. 光に置く重み

計算 3.1：音の速さ 0.1 の鎖で、光に置く重み w を動かし、鎖と光を合わせた系の重心のずれを出した。光が着くと、重み w は放つ側から受ける側へ移る。

w	系の重心のずれ
0	$-1.000000000 \times 10^{-4}$
$0.5E/c^2$	$-5.000000000 \times 10^{-5}$
E/c^2	$-4.449294665 \times 10^{-17}$
$2E/c^2$	$+1.000000000 \times 10^{-4}$

> **観察 3.2**
>
> 重心が動かないのは、光に E/c^2 の重みを置いたときだけである。光に重みを置かなければ、閉じた箱は外から何も受けずに $EL/(Mc^2)$ だけずれたことになる——重みを倍にすると、同じ大きさだけ逆向きにずれる。E/c^2 のときのずれ $-4.449294665 \times 10^{-17}$ は重み 0 のときの 4.449×10^{-13} 倍で、重心の位置 0.5 を倍精度で数えるときの丸めの目安 1.110×10^{-16} より小さい。

4. 相対論で厳密に数える

計算 4.1：$c = 1$、放つ側 $M_A = 1$ を $x = 0$、受ける側 $M_B = 1$ を $x = 1$ に置いた。比は E で割った値。

E	放つ側の減り（比）	受ける側の増え（比）	放つ側の反跳	受ける側の反跳	静止質量の合計の減り
0.001	0.001000501（1.000501）	0.000999500（0.999500）	0.000000501	0.000000500	0.000001000
0.01	0.010050506（1.005051）	0.009950494（0.995049）	0.000050506	0.000049506	0.000100013
0.1	0.105572809（1.055728）	0.095445115（0.954451）	0.005572809	0.004554885	0.010127694
0.3	0.367544468（1.225148）	0.264911064（0.883037）	0.067544468	0.035088936	0.102633404
0.5	1.000000000（2.000000）	0.414213562（0.828427）	0.500000000	0.085786438	0.585786438

計算 4.2：静止質量で重みを付けた重心（光の静止質量は 0 なので、光は重みを持たない）。

E	放った直後	受ける直前	受けた直後と放つ直前の差	飛ぶあいだの速さ $/E$	受けたあとの速さ $/E^4$
0.001	0.500250250	0.499750000	5.005×10^{-10}	-0.500250	1.000003
0.01	0.502525317	0.497500320	5.052×10^{-7}	-0.502500	1.000300
0.1	0.527864045	0.475404494	5.670×10^{-4}	-0.524596	1.030823

> **観察 4.3**
>
> これが本稿の芯である。放つ側の静止質量は、E/c^2 より反跳の運動エネルギーのぶん多く減る。光の重みは E/c^2 ちょうどだが、放つ側は光のほかに自分の反跳の運動エネルギーも静止質量から出すので、減りは $E = 0.1$ で E の 1.055728 倍になる。受ける側は光のエネルギーの一部を反跳に回すので、増えは 0.954451 倍にとどまる——静止質量の合計の減り 0.010127694 は、二つの反跳の運動エネルギーの和と一致した。$E = 0.5$ で放つ側の静止質量は 0 になり、速さ -1.000000 で光と同じ速さで動く。

> **観察 4.4**
>
> エネルギーで重みを付けた重心は動かず、静止質量で付けた重心は動く。エネルギーで重みを付けた重心は、光のエネルギーを光の位置に置けば、五つの E・時刻 0 から 10 で 0.500000000000 のままだった——静止質量で付けた重心は、放つ瞬間に放つ側の重みが減って跳び、光が飛ぶあいだは重みを持たない光を置き去りにして $-E/2$ に近い速さで動き、受けた瞬間にまた跳ぶ。受けたあとの速さは E^4 に比例し、$E = 0.001$ では E^4 の 1.000003 倍である。

5. 模型の値

計算 5.1：$M = 1$ kg、$L = 1$ m、$E = 1$ J、$c = 299792458$ m/s。

量	値
光の運動量 E/c	3.335641×10^{-9} kg m/s
箱の速さ $E/(Mc)$	3.335641×10^{-9} m/s
光の飛ぶ時間	3.335641×10^{-9} s
箱のずれ	1.112650×10^{-17} m
光の運ぶ重み E/c^2	1.112650×10^{-17} kg
反跳の運動エネルギー $E^2/(2Mc^2)$	5.563250×10^{-18} J

> **観察 5.2**
>
> 1 kg・1 m の箱では、箱のずれを m で、光の重みを kg で書くと同じ数になる。鎖で見たとおり、箱のずれは mL/M だからである——反跳の運動エネルギーは E の 5.563250×10^{-18} で、静止質量で重みを付けるかエネルギーで付けるかの違いは、この大きさの中に隠れている。

6. 分離子

> **観察 6.1**
>
> 分離子は、静止質量で重みを付けるか、エネルギーで重みを付けるかである。エネルギーで重みを付ければ光も重みを持ち、重心は放つ瞬間も、飛ぶあいだも、受けたあとも動かない——静止質量で重みを付ければ光の重みは 0 で、重心は跳んで動き、光の重みを E/c^2 と置いたときにだけ一次のずれが消える。

> **観察 6.2**
>
> 既刊との位置。論文12 が球の表面積の形として読んだ $E = mc^2$ の c^2 は、ここでは光の運ぶ重みの分母として、箱の重心から出た——論文908 の帯電球殻では運動量で数えた質量とエネルギーで数えた質量が 4/3 倍違ったが、壁から離れて飛ぶ光では揃う。論文240 の七つの質量のうち、静止質量とエネルギーのどちらで重みを付けるかで重心の動きが分かれ、論文664 の反跳は、ここでは静止質量の減りに入った。論文83 の最高速度 c は、光の運動量と重みに入る。

> **観察 6.3**
>
> 言わないこと。媒質の中の光の運動量、光子としての扱い、箱のずれの実際の測定、ばねの相対論的な扱い、片道の光速の約束は扱わない——示したのは、真空を飛ぶ古典的な光のパルスで、重心が動かない条件が光の重みを E/c^2 に決め、放つ側の静止質量がそれより反跳の運動エネルギーのぶん多く減ることである。

7. 点呼と結び

1. $Mvt = mct$（第1節）：飛ぶ時間は消える。
2. $E = 0.1$ で飛ぶ時間 0.909090909（計算 2.1）：重みは E のまま。
3. 鎖の重心のずれ $-1.000000000 \times 10^{-4}$（計算 2.2）：三つの音の速さで同じ。
4. 重み 0 で $-1.000000000 \times 10^{-4}$（計算 3.1）：重心が動く。
5. 放つ側の減り 0.105572809（計算 4.1）：E の 1.055728 倍・本稿の芯。
6. 受ける側の増え 0.095445115（計算 4.1）：差は反跳の運動エネルギー。
7. $E = 0.5$ で減りは 2.000000 倍（計算 4.1）：放つ側の静止質量が 0。
8. エネルギーの重心 0.500000000000（観察 4.4）：動かない。
9. 静止質量の重心の速さ$/E^4$ 1.000003（計算 4.2）：跳んで、動く。
10. 静止質量か、エネルギーか（観察 6.1）：分離子・論文12・908・240・664・83。

結び：箱の端から端へ光を送るとき、重心が動かないためには光が E/c^2 の重みを運ばなければならず、放つ側の静止質量はそれより反跳のぶん多く減る。剛い箱でも、ばねでつないだ鎖でも、重心の条件から出る光の重みは飛ぶ時間にも音の速さにも依らず E/c^2 で、鎖の重心は三つの音の速さで同じ $-1.000000000 \times 10^{-4}$ だけずれた——光に置く重みを 0 や 2 倍にすると重心は動いた。相対論で厳密に数えると、$E = 0.1$ で放つ側の静止質量は 0.105572809 減り、受ける側は 0.095445115 増え、差は二つの反跳の運動エネルギーだった。エネルギーで重みを付けた重心は 0.500000000000 のまま動かず、静止質量で付けた重心は跳んで動いた——光の重みは E/c^2 ちょうどで、静止質量の動きには反跳が混ざる。既刊との位置——論文12 の c^2 を光の重みの分母として箱の重心から出し、論文664 の反跳を静止質量の減りに入れた。正直に言えば——真空を飛ぶ古典的な光のパルスの計算で、媒質の中の光の運動量、光子、実際の測定には入らない。

参考文献

1. 山岸勇輝 (2026).『境界エネルギーから体積エネルギーへ』[論文12]. Zenodo. 10.5281/zenodo.21404703

2. 山岸勇輝 (2026). 『電子の電磁質量の 4/3 は、球の体積ではなく場の向きの平均から来る』[論文908]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22804819

3. 山岸勇輝 (2026). 『「質量」は七つあり、そのうち一つは負になり、一つは押す向きで変わる』[論文240]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22129765

4. 山岸勇輝 (2026). 『反跳は消えたのではなく、結晶が受け取っただけである』[論文664]. Zenodo.

5. 山岸勇輝 (2026). 『なぜ「最高速度」が存在するのか』[論文83]. Zenodo. 10.5281/zenodo.21741190

6. Einstein, A. (1905). Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig? *Annalen der Physik*.

7. Einstein, A. (1906). Das Prinzip von der Erhaltung der Schwerpunktsbewegung und die Trägheit der Energie. *Annalen der Physik*.

8. Poincaré, H. (1900). La théorie de Lorentz et le principe de réaction. *Archives néerlandaises des sciences exactes et naturelles*.

— 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)