

スイングバイで探査機は速くなるが、惑星から見れば速さは一切変わっていない

— 木星の公転速度 **13.07** km/s に対し、太陽から見た増速は最大 **26.14** km/s — そのとき木星が失う公転速度は **2.4310×10^{-20}** m/s — 探査機の世界速度変化は木星のその **1.0753×10^{24}** 倍である — [論文

381]

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

スイングバイは「惑星の重力で加速する」と説明される。本稿が問うのはどの系から見て加速したのかである——答えは太陽から見れば加速し、惑星から見れば速さは変わっていない。新しい定理も法則も主張しない。第一に、惑星から見れば、探査機の世界速度は変わらず向きだけが変わる（弾性散乱と同じ）（第2節）。第二に、これが本稿の芯である。太陽から見た増速は、惑星の公転速度 U の最大 $2U$ である（第2節）。第三に、木星なら **26.14** km/s、金星なら **70.04** km/s になる（第2節）。第四に、**1000** kg の探査機が木星で得る運動エネルギーは **6.0305×10^{11}** J である（第3節）。第五に、そのとき木星が失う公転速度は **2.4310×10^{-20}** m/s で、比は **1.0753×10^{24}** 倍である（第3節）。第六に、分離子は「どの系で速さを測るか」であって、重力の強さではない（第5節）。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——スイングバイ・弾性散乱・運動量保存はすべて既知である。軌道力学を作らない——パッチドコニック近似の妥当性や、実際の軌道設計には立ち入らない。名前を挙げるにとどめる。最大値の条件を導かない—— $2U$ が達成される幾何（正面から回り込む極限）は結果として使い、導出しない。実機を扱わない——特定の探査機の航路や実際の増速量は用いない。数値は明示した仮定の上でのものである。相対論を扱わない——速度は光速に比べて十分小さいものとする。潮汐を扱わない——通過時の潮汐力や自転への影響は主題ではない。既刊との関係：論文367 は感度の総量が保存され配分だけが選べることを示した——そこでも「増えたように見えて移動しただけ」だった。論文356 は流れている量と働いている量が別であることを示した——ここでは同じ速さが二つの系で別の値をもつ。論文300 は同根か別根かが判定できることを示した——惑星から見た速さと太陽から見た速さは、その基準で別根である。論文373 は初期値が振幅を決めることを示した——ここでは基準系が結論を決める。加えたのは、五つの惑星で最大増速を数に出したこと、木星での運動エネルギーの増加を計算したこと、木星が失う速度 $2.4310 \times 10^{-20} \text{ m/s}$ を逆算したこと、エネルギーの逆算が閉じることを確かめたこと、分離子を「どの系で測るか」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：惑星の公転速度を U 、惑星から見た探査機の速さを v とする。

$$\text{惑星系} : |v_{\text{in}}| = |v_{\text{out}}|, \quad \text{太陽系} : \Delta V_{\text{max}} = 2U$$

惑星の重力は保存力なので、惑星から見た速さは通過の前後で変わらない。

観察 1.1

惑星から見れば、これは弾性散乱である。速さは同じで、向きだけが変わる——ボールが壁で跳ね返るのと同じ形である。

観察 1.2

壁が動いていれば、外から見た速さは変わる。近づいてくる壁に当たれば速くなる——惑星は公転しているので、動いている壁である。

観察 1.3

だから増速の上限は惑星の速さで決まる。重力の強さではない——本稿はその値を惑星ごとに出す。

問い：探査機は、どの系から見て加速したのか。

2. 上限は $2U$ である

計算 2.1：惑星ごとの公転速度と最大増速（本稿で計算）。

惑星	公転速度 U [km/s]	最大増速 $2U$ [km/s]
金星	35.02	70.04
地球	29.78	59.56
火星	24.07	48.14
木星	13.07	26.14
土星	9.69	19.38

観察 2.2

これが本稿の芯である。増速の上限は惑星の質量ではなく、公転速度で決まる——金星は木星よりずっと軽いのに、70.04 対 26.14 で二倍以上大きい。

観察 2.3

質量が効くのは別の場所である。どれだけ大きく曲げられるか——軽い惑星では $2U$ に近づけないので、実際の増速は上限より小さくなる。本稿はその幾何を計算していない。

観察 2.4

惑星が止まっていれば増速はゼロである。 $2 \times 0 = 0$ ——どんなに重い天体でも、静止していれば速くできない。式が効いていることの確認になる。

観察 2.5

減速にも使える。惑星の後ろ側を回れば $2U$ 失う——内惑星へ向かう探査機は、これを使う。

3. 惑星が払う代価は 2.4310×10^{-20} m/s である

計算 3.1：1000 kg の探査機が木星で加速する場合（本稿で計算）。

量	値
探査機の質量	1000 kg
太陽から見た速度	10.00 → 36.14 km/s
得た運動エネルギー	6.0305×10^{11} J
木星の質量	1.898×10^{27} kg
木星が失う公転速度	2.4310×10^{-20} m/s
比（探査機 / 木星）	1.0753×10^{24} 倍

観察 3.2

2.4310×10^{-20} m/s は測れない量である。1 mm/s の 10^{16} 分の 1 以下——だが、ゼロではない。

観察 3.3

ゼロでないことが本質である。エネルギーは生まれていない——木星の公転運動から取っている。ただ、相手が 1.898×10^{27} kg なので、割り算の結果が測れないほど小さくなる。

観察 3.4

比が 1.0753×10^{24} 倍である。探査機の速度変化と、木星の速度変化——質量比がそのまま出ている。

観察 3.5

逆算が閉じている。 $\Delta E = MU\Delta U$ に戻すと $6.0305 \times 10^{11} \text{ J}$ が返る——計算の誤りではない。

観察 3.6

だから「タダで加速している」わけではない。代価は払われている——払っているのが巨大なので、請求書が見えないだけである。

4. 同じ運動が、二つの記述をもつ

観察 4.1

惑星から見れば、速さは前後で同じである。 $|v_{\text{in}}| = |v_{\text{out}}|$ ——加速は一切起きていない。

観察 4.2

太陽から見れば、**26.14 km/s** 増えている。同じ通過、同じ時刻——違うのは、どこから見ているかだけである。

観察 4.3

どちらも正しい。速度は基準系に依存する量だからである——「本当はどちらか」という問いには答が無い。

観察 4.4

論文300の基準で別根である。惑星から見た速さは重力が保存力であることが、太陽から見た速さは惑星の運動が決める——同じ「速さ」という語が、二つの量を指している。

観察 4.5

論文367 と同じ形である。論文367 では感度の総量が保存され、配分だけが動いた——ここでは運動量の総量が保存され、配分だけが動く。

5. 分離子：どの系で速さを測るか

観察 5.1

分離子——どの系で速さを測るかであって、重力の強さではない。

基準系	探査機の速さ	変化	エネルギーは
惑星	前後で同じ	向きだけ	保存
太陽	最大 $2U$ 増える	速さも	惑星から移る

観察 5.2

右端の列が誤解の源である。上の行だけを見れば「何も起きていない」——下の行だけを見れば「エネルギーが増えた」。両方を見て初めて、移動だと分かる。

観察 5.3

分離子は動かせる。惑星に固定した系で書けば、加速は消える——消えるのは記述であって、探査機が遠くまで行けるという事実ではない。

観察 5.4

どちらの系を使うかは目的で決まる。通過の幾何を解くなら惑星系、次の惑星へ届くかを見るなら太陽系——正しさではなく、便利さで選ぶ。

観察 5.5

正直に言えば——**26.14 km/s** は上限であって、実際の増速ではない。幾何が理想的な場合の値である——実機ではこれより小さい。本稿はその差を計算していない。

観察 5.6

最後に一つ——「増えた」と言うときは、何に対して増えたのかを言わなければならない。同じ通過が、一方の系では何も変えず、他方では **26.14 km/s** を与える——基準を言わない増加は、増加かどうかすら決まっていない。

6. 点呼と結び

1. 惑星系では速さが変わらない（第1節）：弾性散乱と同じ。
2. 太陽系では最大 **2U** 増える（計算 2.1）：惑星の公転速度で決まる。
3. 木星で **26.14 km/s**（計算 2.1）：金星なら **70.04 km/s**。
4. 質量ではなく速度が効く（観察 2.2）：金星のほうが大きい。
5. 静止した天体では増速ゼロ（観察 2.4）：式が効いている。
6. 得るエネルギーは $6.0305 \times 10^{11} \text{ J}$ （計算 3.1）：**1000 kg** で。
7. 木星は $2.4310 \times 10^{-20} \text{ m/s}$ 失う（計算 3.1）：ゼロではない。
8. 比は 1.0753×10^{24} 倍（計算 3.1）：質量比そのもの。
9. 逆算が閉じている（観察 3.5）： $\Delta E = MU\Delta U$ 。
10. 両方見て初めて移動と分かる（観察 5.2）：片方だけでは誤解する。

結び：スイングバイは「惑星の重力で加速する」と説明される——だが惑星から見れば、速さは一切変わっていない。惑星から見れば、これは弾性散乱である——重力は保存力なので速さは同じで、向きだけが変わる。ボールが壁で跳ね返るのと同じ形であり、その壁が公転しているために、外から見た速さが変わる。だから増速の上限は、惑星の質量ではなく公転速度で決まる——最大 **2U** であり、木星なら **26.14 km/s**、金星なら **70.04 km/s**。金星は木星よりずっと軽いのに二倍以上大きい。静止した天体なら、どんなに重くても増速はゼロである。（質量が効くのは「どれだけ大きく曲げられるか」のほうで、軽い惑星では **2U** に近づけない。本稿はその幾何を計算していない。）そして代価は払われている——**1000 kg** の探査機が木星で **10.00** から **36.14 km/s** へ加速すると得る運動エネルギーは $6.0305 \times 10^{11} \text{ J}$ 、そのとき木星が失う公転速度は $2.4310 \times 10^{-20} \text{ m/s}$ である。**1 mm/s** の 10^{16} 分の 1 以下という測れない量だが、ゼロではない。エネルギーは生まれておらず、

木星の公転運動から取っている——相手が $1.898 \times 10^{27} \text{ kg}$ なので、割り算の結果が測れないほど小さくなるだけである。比は 1.0753×10^{24} 倍で、質量比がそのまま出ており、 $\Delta E = MU\Delta U$ に戻すと元のエネルギーが返る。分けているものは一つ——どの系で速さを測るかであって、重力の強さではない。惑星系だけを見れば「何も起きていない」、太陽系だけを見れば「エネルギーが増えた」——両方を見て初めて、移動だと分かる。どちらも正しく、「本当はどちらか」という問いには答が無い。速度は基準系に依存する量だからである。正直に言えば—— 26.14 km/s は幾何が理想的な場合の上限であって、実機の増速はこれより小さい。本稿はその差を計算していない。最後に一つ——「増えた」と言うときは、何に対して増えたのかを言わなければならない。同じ通過が、一方の系では何も変えず、他方では 26.14 km/s を与える。基準を言わない増加は、増加かどうかすら決まっていない。

参考文献

1. Battin, R. H. (1999). *An Introduction to the Mathematics and Methods of Astrodynamics* (revised ed.). Reston: AIAA.
2. Minovitch, M. A. (1963). *The Determination and Characteristics of Ballistic Interplanetary Trajectories Under the Influence of Multiple Planetary Attractions*. JPL Technical Report 32-464.
3. Van Allen, J. A. (2003). Gravitational assist in celestial mechanics — a tutorial. *American Journal of Physics*.
4. Curtis, H. D. (2013). *Orbital Mechanics for Engineering Students* (3rd ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann.
5. Flandro, G. A. (1966). Fast Reconnaissance Missions to the Outer Solar System Utilizing Energy Derived from the Gravitational Field of Jupiter. *Astronautica Acta*.
6. 山岸勇輝 (2026). 『第三百回の点呼——同根か別根かは判定できる』 [論文300]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22171914
7. 山岸勇輝 (2026). 『電流は流れているのに、仕事をしていない』 [論文356]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22697124
8. 山岸勇輝 (2026). 『感度をどこかで下げると、どこかで必ず上がる』 [論文367]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22697709
9. 山岸勇輝 (2026). 『捕食者と被食者の振幅を決めているのは、方程式ではなく初期値である』 [論文373]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22698669

— 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)