

凍った道でゆっくり走ると、速く走るより危ないことがある

— 片勾配 **6** パーセント・半径 **300 m** のカーブは、乾いた路面なら **0** から **89.89 km/h** で走れるが、凍結すると **33.79** から **58.63 km/h** になる — 下限がゼロから **33.79** へ立ち上がり、走行可能域は幅 **24.84 km/h** に狭まる — [論文453]

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

凍った道では、ゆっくり走れば安全だと思われている。本稿が示すのは、摩擦が片勾配を下回ると、速度の下限が立ち上がることであり——だから遅すぎると内側へ滑り落ちる。新しい定理も法則も主張しない。第一に、摩擦ゼロで釣り合う速度は **47.83 km/h** である（第2節）。第二に、乾いた路面（摩擦 **0.15**）なら **0** から **89.89 km/h** まで走れる（第2節）。第三に、これが本稿の芯である。凍結（摩擦 **0.03**）すると下限が **33.79 km/h** へ立ち上がる（第3節）。第四に、そのとき上限は **58.63 km/h** で、幅は **24.84 km/h** しかない（第3節）。第五に、境目は摩擦が片勾配とちょうど等しくなる点で、そこで下限がゼロに戻る（第3節）。第六に、分離子は「上限だけがあるか、上下に挟まれるか」である（第4節）。キーワード：片勾配、カーブ走行、凍結路面、摩擦係数、車両の力学。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——片勾配のあるカーブでの力の釣り合いはすべて既知である。道路を設計しない——設計基準、緩和曲線、視距は主題ではない。運転を指導しない——具体的な運転操作を勧めるものではない。危険な状況では停止も含めて状況判断が要る。摩擦係数を実測しない——**0.15** と **0.03** は代表値であり、実際の路面は場所と時刻で大きく変わる。車両を区別しない——重心高さ、タイヤ、荷重移動、横転は主題ではない。質点として扱う。風と勾配を含めない——横風、縦断勾配、路面の凹凸は主題ではない。既刊との関係：論文452 は持ち上げているのが表面張力の差であることを示した——そこでも、条件が変わると現象そのものが消えた。論文300 は同根か別根かが判定できることを示した——「上限だけの安全域」と「上下に挟まれた安全域」は、その基準で別根である。論文447 は最良点が内部にあることを示した——そこでも、片側だけを見ると誤った。加えたのは、摩擦ゼロの釣り合い速度を **47.83 km/h** と出したこと、乾燥時の上限を **89.89 km/h** と出したこと、凍結時の下限を **33.79 km/h** と出したこと、走行可能域の幅を **24.84 km/h** と出したこと、摩擦が片勾配と等しい点を境目として置いたこと、分離子を「上限だけか、上下に挟まれるか」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：半径 R 、片勾配 e （横断方向の傾きの正接）のカーブを、横方向の摩擦係数 f で走る。外側へ滑り出さない上限速度は

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{gR(e+f)}{1-ef}}$$

内側へ滑り落ちない下限速度は

$$v_{\min} = \sqrt{\frac{gR(e-f)}{1+ef}}$$

であり、 $e \leq f$ のときは根号の中が負になるので下限は存在しない（すなわちゼロである）。以下 $R = 300 \text{ m}$ 、 $e = 0.06$ とする。

観察 1.1

凍った道ではゆっくり走れば安全だ、と思われている。速度を落とせば遠心力が減る——上限の側だけを見れば、正しい。

観察 1.2

だがカーブには傾きがついている。止まっていれば、その傾きに沿って内側へ滑る——支えているのは摩擦である。

問い：摩擦が減ったとき、走れる速度の範囲はどうなるのか。

2. 乾いた路面では下限が無い

計算 2.1：摩擦を使わずに釣り合う速度を出す。

$v = 13.2861 \text{ m/s} = 47.8299 \text{ km/h}$ である。

観察 2.2

これがこのカーブの設計速度である。この速度なら、タイヤは横向きの力を一切出さなくてよい——片勾配だけで釣り合っている。

計算 2.3：乾いた路面（ $f = 0.15$ ）で走れる速度の範囲を出す。

路面	下限 [km/h]	上限 [km/h]
乾燥（ $f = 0.15$ ）	0.0000	89.8869

観察 2.4

下限はゼロである。 $e = 0.06$ が $f = 0.15$ より小さいから——止まっても滑り落ちない。

観察 2.5

だから乾いた道では「遅く走れば安全」が成り立つ。下限が無いので、遅くするほど余裕が増える——この経験が、そのまま凍結時にも持ち込まれる。

3. 凍結すると下限が 33.79 km/h へ立ち上がる

計算 3.1：凍結（ $f = 0.03$ ）で走れる速度の範囲を出す。

路面	下限 [km/h]	上限 [km/h]	幅 [km/h]
乾燥（ $f = 0.15$ ）	0.0000	89.8869	89.8869
凍結（ $f = 0.03$ ）	33.7904	58.6322	24.8417

観察 3.2

下限がゼロから 33.79 km/h へ立ち上がった。 $f = 0.03$ が $e = 0.06$ より小さくなったから——片勾配を摩擦が支えきれなくなっている。

観察 3.3

走行可能域の幅は 24.84 km/h に狭まる。乾燥時の 89.89 から——3.62 分の 1 である。

観察 3.4

30 km/h で走ると、下限の下にいる。慎重に速度を落とした結果、滑り落ちる側に入る——「ゆっくり走れば安全」が、ここで裏返る。

観察 3.5

境目は $f = e = 0.06$ である。ちょうど等しいとき、下限はゼロに戻る——摩擦が片勾配を上回っているかどうか、現象の有無を決める。

観察 3.6

そして上限も 89.89 から 58.63 へ下がっている。両側から挟まれる——速すぎても遅すぎても危ない、という状態になる。

4. 分離子

分離子：上限だけがあるか、上下に挟まれるか。

観察 4.1

上限だけなら、遅くするのはいつでも安全側である。単調な関係——判断が要らない。

観察 4.2

上下に挟まれるなら、遅くしすぎると別の側で失敗する。最良は内部にある——どちらに寄っているかを知らなければ、動かす向きが決まらない。

観察 4.3

これは論文300の基準で別根である。どちらも「安全な速度域」と呼ばれる——一方は片側だけの制約、一方は両側からの制約である。

観察 4.4

論文447と同じ形である。そこでは汚泥を濃くしすぎると実効性能が落ちた——ここでは速度を落としすぎると滑り落ちる。どちらも、良くしようとする向きに限界があった。

観察 4.5

論文452とも重なる。そこでは差がゼロになると現象そのものが消えた——ここでは摩擦が片勾配を上回ると下限そのものが消える。どちらも、境目の片側でだけ存在する。

観察 4.6

だから凍結時に片勾配の大きいカーブは、設計速度の近くを保つのが釣り合いに近い。**47.83 km/h** が、摩擦を一切使わない点である——ただしこれは力の釣り合いの話であり、実際の走行では停止を含めた状況判断が要る。

観察 4.7

正直に言えば——質点として扱っている。重心の高さ、荷重移動、横転、タイヤの特性を入れていない——下限が立ち上がるという結論は変わらないが、実際の限界はこれより手前にある。

5. 点呼と結び

1. 釣り合い速度は **47.8299 km/h** (計算 2.1) : 摩擦を使わない点。
2. 乾燥時の上限は **89.8869 km/h** (計算 2.3) : 余裕がある。
3. 乾燥時の下限はゼロ (観察 2.4) : $e < f$ だから。
4. 凍結時の下限は **33.7904 km/h** (計算 3.1) : 本稿の芯。
5. 凍結時の上限は **58.6322 km/h** (計算 3.1) : 上も下がる。
6. 幅は **24.8417 km/h** (計算 3.1) : **3.62 分の 1**。
7. **30 km/h** は下限の下 (観察 3.4) : 慎重さが裏返る。
8. 境目は $f = e = 0.06$ (観察 3.5) : そこで下限が消える。
9. 分離子は片側か両側か (観察 4.3) : 論文300 の基準で別根。

10. 質点として扱った（観察 4.7）：実際の限界は手前。

結び：凍った道ではゆっくり走れば安全だ、と思われている——速度を落とせば遠心力が減るから、上限の側だけを見れば正しい。だがカーブには傾きがついており、止まっていればその傾きに沿って内側へ滑る。支えているのは摩擦である。乾いた路面では、その支えが十分にある——片勾配 6 パーセント・半径 300 m のカーブは、摩擦を使わずに **47.8299 km/h** で釣り合う。この速度ならタイヤは横向きの力を一切出さなくてよい。摩擦 0.15 なら 0 から **89.8869 km/h** まで走れて、下限はゼロである—— $e = 0.06$ が $f = 0.15$ より小さいので、止まっても滑り落ちない。だから乾いた道では「遅く走れば安全」が成り立ち、この経験がそのまま凍結時にも持ち込まれる。ところが凍結すると、下限が立ち上がる——摩擦 0.03 では走行可能域が **33.7904** から **58.6322 km/h** になり、幅は **24.8417 km/h** しかない。乾燥時の 89.89 の 3.62 分の 1 である。 $f = 0.03$ が $e = 0.06$ より小さくなったので、片勾配を摩擦が支えきれなくなっている。だから 30 km/h で走ると下限の下にいる——慎重に速度を落とした結果、滑り落ちる側に入る。「ゆっくり走れば安全」が、ここで裏返る。境目は $f = e = 0.06$ で、ちょうど等しいとき下限はゼロに戻る。摩擦が片勾配を上回っているかどうか、現象の有無を決めている。そして上限も 89.89 から 58.63 へ下がり、速すぎても遅すぎても危ないという状態になる。分けているものは一つ——上限だけがあるか、上下に挟まれるか。上限だけなら遅くするのはいつでも安全側で、単調な関係だから判断が要らない。上下に挟まれるなら遅くしすぎると別の側で失敗し、最良は内部にあって、どちらに寄っているかを知らなければ動かす向きが決まらない。論文300 の基準で別根であり、一方は片側だけの制約、一方は両側からの制約である。論文447 と同じ形で、そこでは汚泥を濃くしすぎると実効性能が落ちた。どちらも、良くしようとする向きに限界があった。論文452 とも重なり、そこでは差がゼロになると現象そのものが消えた。どちらも、境目の片側でだけ存在する。だから凍結時に片勾配の大きいカーブは、設計速度の近くを保つのが釣り合いに近い——**47.83 km/h** が摩擦を一切使わない点である。ただしこれは力の釣り合いの話であり、実際の走行では停止を含めた状況判断が要る。正直に言えば——質点として扱っており、重心の高さ、荷重移動、横転、タイヤの特性を入れていない。下限が立ち上がるという結論は変わらないが、実際の限界はこれより手前にある。

参考文献

1. American Association of State Highway and Transportation Officials (2018). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* (7th ed.). AASHTO.
2. Wong, J. Y. (2008). *Theory of Ground Vehicles* (4th ed.). Wiley.
3. Gillespie, T. D. (1992). *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. SAE International.
4. 山岸勇輝 (2026). 『三百本目の点呼 — 同根か別根かは、判定できる』 [論文300]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22171914
5. 山岸勇輝 (2026). 『働き手を増やしすぎると、働き手のほうが流れ出す』 [論文447]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22732494
6. 山岸勇輝 (2026). 『液を持ち上げているのは表面張力ではなく、表面張力の差である』 [論文452]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22732842

— *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)