

信号の段数を増やしても、列車の間隔はブレーキ距離と列車の長さの和より短くならない

— 段を一つ足す効き目は **1.286468** 倍から **1.055727** 倍へ縮み、**6** 段から最後尾で測る方式に替えても本数は **1.200739** 倍にしかない — 分離子は、線路を決まった区間で切るか、前の列車の最後尾から測るか — [論文893]

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)

Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan | 山岸勇輝ラボ

2026年9月

YOI: <https://www.yamagishiyuuki.com/yoi/893>

— *From thinking to syncing.* —

要旨

信号の段数を増やせば、列車はいくらでも詰めて走れる、と思いがち。本稿は、段数の違う信号と、前の列車の最後尾から測る方式で、全速のまま走り続けられる間隔と一時間の本数を数える。新しい定理も法則も主張しない。第一に、段を増やすと間隔は縮む。頭どうしの間隔は **3** 段で **1830.015432 m**、**4** 段で **1422.511574 m**、**5** 段で **1286.676955 m**、**6** 段で **1218.759645 m** である (第2節)。第二に、段を一つ足す効き目は、足すほど小さい。一時間の本数は **3** 段から **4** 段で **1.286468** 倍、**4** 段から **5** 段で **1.105570** 倍、**5** 段から **6** 段で **1.055727** 倍である (第2節)。第三に、これが本稿の芯である。間隔はブレーキ距離と列車の長さの和より短くならない。前の列車の最後尾から測る方式の間隔 **1015.007716 m** は、ブレーキ距離 **815.007716 m** と列車の長さ **200 m** の和で、段をいくら増やしてもここに近づくだけである (第3節)。第四に、その下限の大部分はブレーキ距離である。**6** 段から最後尾で測る方式に替えても本数は **1.200739** 倍で、その間隔の **0.802957** をブレーキ距離が占める (第3節)。第五に、間隔は位置をずらして探しても同じである。閉塞の中の後ろの列車の位置を **4000** 通りずらして探した最小の間隔は、**3~6** 段のすべてで式の値と同じだった (第2節)。第六に、分離子は、線路を決まった区間で切るか、前の列車の最後尾から測るかである。区間で切ると、区間の数だけ余分な長さが間隔に入る。最後尾から測るとその余分は消えるが、ブレーキ距離は残る (第4節)。キーワード：閉塞、信号の段数、移動閉塞、ブレーキ距離、運転間隔、線路容量。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない。線路を閉塞に区切って一つの区間に一本だけ入れること、信号の段数を増やすと閉塞を短くできること、前の列車の位置から間隔を測る方式で間隔が縮むこと、列車の間隔の下限にブレーキ距離が効くことは、いずれも鉄道の信号で既知である。実在の路線を主張しない。速さ **130 km/h**、減速度 **0.8 m/s²**、列車の長さ **200 m**、閉塞の長さをブレーキ距離を $n - 2$ で割った値にとる約束はモデルの値で、どの路線の信号方式にも対応しない。余裕を入れない。運転士が信号を見る距離、止まる位置の余裕、駅での停車、加速と減速にかかる時間を入れない。速さの最適を扱わない。本数を最も多くする速さは扱わない。既刊との関係：論文394 は、同じ交通量が二つの別の状態で実現し、流量を測ってもどちらにいいのかは分からないことを示した。本稿はその隣に置く。あちらは道路で、車の詰まり方が状態を決めた。ここは線路で、車間の下限をブレーキ距離が決め、信号の段数はその下限に近づけるだけである。加えたのは、**3~6 段**と最後尾で測る方式で間隔と本数を並べたこと、段を一つ足す効き目が縮むことを測ったこと、最後尾で測る方式でもブレーキ距離が間隔の **0.802957** を占めることを測ったこと、分離子を「区間で切るか、最後尾から測るか」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：列車は速さ $v = 130 \text{ km/h}$ (**36.111111 m/s**) で走り、減速度 $b = 0.8 \text{ m/s}^2$ で止まる。列車の長さは $L = 200 \text{ m}$ とする。 n 段の信号では、止まれの一つ手前から $n - 2$ 個の閉塞で止まれるように、閉塞の長さを $D/(n - 2)$ とする。後ろの列車が全速のまま走り続けるには、入ろうとする閉塞を含めて $n - 1$ 個の閉塞が空き、その先に前の列車の最後尾がなければならない。

$$D = \frac{v^2}{2b}, \quad s_n = (n - 1) \frac{D}{n - 2} + L, \quad s_\infty = D + L$$

s_∞ は、前の列車の最後尾から測る方式の間隔である。運転間隔は間隔を速さで割り、一時間の本数は **3600 秒** を運転間隔で割った。式とは別に、後ろの列車の頭を閉塞の中で **4000 通り** ずらし、どの位置でも全速でいられる最小の間隔を探した。

問い：信号の段数を増やせば、列車の間隔はいくらでも詰められるのか。

2. 段数と間隔

計算 2.1：ブレーキ距離は $D = 815.007716 \text{ m}$ である。段数ごとに間隔、運転間隔、一時間の本数を出した。

信号	頭どうしの間隔 (m)	運転間隔 (s)	一時間の本数
3 段	1830.015432	50.677350	71.037652
4 段	1422.511574	39.392628	91.387657
5 段	1286.676955	35.631054	101.035462
6 段	1218.759645	33.750267	106.665823
最後尾から測る	1015.007716	28.107906	128.077844

観察 2.2

段を増やすと間隔は縮むが、足すほど効き目は小さい。一時間の本数は、3 段から 4 段で 1.286468 倍、4 段から 5 段で 1.105570 倍、5 段から 6 段で 1.055727 倍になる。閉塞の中で位置を 4000 通りずらして探した最小の間隔は、3～6 段のすべてで表の値と同じだった。いちばん厳しいのは、後ろの列車が閉塞に入った瞬間である。

3. 最後尾から測る方式とブレーキ距離

計算 3.1：6 段から最後尾で測る方式に替えたときと、3 段から替えたときの本数の比を出した。6 段からは 1.200739 倍、3 段からは 1.802957 倍である。

観察 3.2

これが本稿の芯である。間隔はブレーキ距離と列車の長さの和より短くならない。段数 n を増やすと $(n-1)/(n-2)$ は 1 に近づき、間隔 s_n は $D+L=1015.007716$ m に近づくだけである。最後尾から測る方式はその値に着くが、その間隔の 0.802957 はブレーキ距離 815.007716 m が占める。3 段から替えたときの 1.802957 倍から 1 を引いた値がちょうどこの割合になるのは、3 段の間隔 $2D+L$ と $D+L$ の比だからである。

4. 分離子

観察 4.1

分離子は、線路を決まった区間で切るか、前の列車の最後尾から測るかである。決まった区間で切ると、前の列車が区間のどこにいても区間まるごとを塞ぐので、間隔に $D/(n-2)$ の余分が入る。最後尾から測ればその余分は消える。しかしブレーキ距離は、どちらの方式でも間隔に残る。

観察 4.2

論文394 の隣に置く。394 は、道路では同じ流量が二つの状態で実現し、流量からはどちらか分からないことを示した。ここは線路で、車間の下限をブレーキ距離が決め、信号の段数と測り方はその下限にどれだけ近づけるかを定める。

観察 4.3

言わないこと。実在の路線の信号方式や本数、信号を見る距離や止まる位置の余裕、駅での停車、本数を最も多くする速さは扱わない。示したのは、この模型で、段数を増やしても間隔がブレーキ距離と列車の長さの和より短くならないことである。

5. 点呼と結び

1. 間隔 $s_n = (n-1)D/(n-2) + L$ (第1節) : n 段の信号。
2. ブレーキ距離 815.007716 m (計算 2.1) : $130 \text{ km/h} \cdot 0.8 \text{ m/s}^2$ 。
3. 3 段で 1830.015432 m (計算 2.1) : 本数 71.037652。
4. 6 段で 1218.759645 m (計算 2.1) : 本数 106.665823。
5. 段を足す効き目 1.286468 から 1.055727 倍 (観察 2.2) : 縮む。
6. 位置を 4000 通りずらしても同じ (観察 2.2) : 入った瞬間が厳しい。
7. 最後尾から測って 1015.007716 m (観察 3.2) : 本稿の芯。
8. 6 段から替えて 1.200739 倍 (計算 3.1) : まだ増える。
9. ブレーキ距離の割合 0.802957 (観察 3.2) : 下限の大部分。
10. 区間で切るか、最後尾から測るか (観察 4.1) : 分離子・論文394。

結び：信号の段数を増やしても、列車の間隔はブレーキ距離と列車の長さの和より短くならない。 130 km/h ・減速度 0.8 m/s^2 で、全速のまま走り続けられる頭どうしの間隔は、3 段で 1830.015432 m 、6 段で 1218.759645 m で、段を一つ足す効き目は 1.286468 倍から 1.055727 倍へ縮んだ。段を増やしても、間隔はブレーキ距離 815.007716 m と列車の長さ 200 m の和 1015.007716 m に近づくだけである。前の列車の最後尾から測る方式はその値に着き、6 段から替えれば本数は 1.200739 倍になるが、その間隔の 0.802957 はブレーキ距離が占める。区間で切る余分は測り方で消せても、止まるのに要る距離は消えない。既刊との位置：論文394 の「同じ流量が二つの状態で実現する」道路の隣に、ブレーキ距離が車間の下限を決める線路を置いた。正直に言えば、速さ・減速度・列車の長さで閉塞の約束はモデルの値で、信号を見る距離や止まる位置の余裕は入っていない。

参考文献

-
1. 山岸勇輝 (2026). 『同じ交通量が、二つの別の状態で実現する——流量を測っても、どちらにいいのかは分からない』 [論文394]. YOI: <https://www.yamagishiyuuki.com/yoi/394> ・ DOI: 10.5281/zenodo.22699272
-

— *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)