掛け算では、いちばん悪い工程でなくても直せば効く

— 一工程だけ 0.80 に落ちているとき、関係のない 0.99 を 1.00 にしても **1.010101** 倍で、効きはゼロではない — 同じラインでも「速さ」を訊けば最小則になり、律速でない工程の効きはちょうど **0.0000** になる — [論文555]

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

一本のラインの成績は、どこが足を引っぱっているかで語られる。本稿が示すのは、訊く量によって集約のしかたが変わること——歩留まりは掛け算になり、そこでは律速でない工程を直しても効きがゼロにならないことである。新しい定理も法則も主張しない。 第一に、掛け算は静かに効く——各工程 0.99 でも 100 工程で総歩留まりは **0.366032**、**68.967564** 工程で半分になる（第2節）。 第二に、$1/e$ に近いが、一致ではない——**0.366032** 対 0.367879 で差は **0.001847**。論文405 の基準で格下げする（第2節）。 第三に、これが本稿の芯である。律速でない工程を直しても効く——0.80 の一工程があるとき、関係のない 0.99 を 1.00 にすると **1.010101** 倍になる（第3節）。 第四に、ただし最悪を直すほうがはるかに効く——**1.237500** 倍で、効きの比は **23.512500** 倍である。無限ではない（第3節）。 第五に、同じラインで「速さ」を訊くと最小則になる——論文550 では律速でない工程の効きがちょうど **0.0000** だった。**1.010101** と **0.0000** の差である（第4節）。 第六に、分離子は、工程の失敗が品を捨てるか速さを縛るかである——捨てるなら掛け算、縛るなら最小である（第4節）。 キーワード：歩留まり、直列工程、最小則、工程改善、半導体製造。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——歩留まりが工程ごとに掛かることも、最小則も標準的である。工場の改善を勧めない——どこに投資すべきかは述べない。直したときに何が起きるかだけを見る。各工程が独立だと仮定した——前工程の不良が後工程の不良を呼ぶ場合は掛け算にならない。手直しと再投入を入れない——一度落ちた品は戻らないものとした。改善の費用を論じない——0.99 を 0.995 にする費用と 0.80 を 0.99 にする費用は、まったく違うはずである。それは入っていない。「悪いところから直せ」とも「どこからでもよい」とも書かない——効きの比を測っただけで、費用と合わせなければ順序は決まらない。既刊との関係：論文292 は足せるのは対数だけであると示した——本稿の 0.99 を 50 工程重ねた **0.605006** は、あちらが ±10 パーセントを 50 回ずつ繰り返して得た 0.60500607 と同じ数である（どちらも 0.99 の 50 乗）。同じ算術を、あちらは収益率の平均のために、こちらは改善の配分のために使っている。論文550 は全体の能力が最小で決まり、広げた効きが 1 か 0 しかないと示した——本稿はその対照である。同じ一本のラインについて、訊く量を変えると集約が最小から掛け算に変わり、律速でない工程の効きが **0.0000** から **1.010101** に変わる。論文405 は数値の一致が同根の証拠になるのは全単射があるときだけだと示した——**0.366032** と $1/e$ の近さにこれを当てた。論文300 は同根か別根かが判定できると示した——「掛け算になる」と「効きが 0 にならない」は別根である。加えたのは、半分になる工程数 **68.967564** を逆算で確かめたこと、$1/e$ との近さを近いことと一致しないことの両方で検査したこと、律速でない工程の効きを **1.010101** 倍と測ったこと、効きの比を **23.512500** 倍と測ったこと、分離子を「品を捨てるか速さを縛るか」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：n 個の工程が直列に並び、工程 i で良品として通る割合を y_i とする。落ちた品は戻らない。総歩留まりは

$$Y = \prod_{i=1}^{n} y_i$$

である。

> **観察 1.1**
>
> これは最小ではない。論文550 が扱った能力は $\min_i c_i$ だった——同じ一本のラインを見ているのに、集約のしかたが違う。

> **観察 1.2**
>
> 掛け算は目立たない。どの工程も 0.99 なら、どの工程を見ても「ほぼ完璧」に見える——悪い工程が一つも無くても、総歩留まりは落ちる。

問い：どの工程を直すと、どれだけ効くか。

2. 掛け算は静かに効く

計算 2.1：各工程 0.99 で、工程数を変えた。

工程数	総歩留まり
10	0.904382
50	**0.605006**
100	**0.366032**
200	0.133980

> **観察 2.2**
>
> どの工程も「ほぼ完璧」でも、100 工程で 3 分の 1 に落ちる。**0.366032**——犯人がいないのに、成績だけが悪い。

> **観察 2.3**
>
> 半分になるのは **68.967564** 工程である。その工程数を戻すと歩留まりがちょうど 0.5 になる（10^{-12}）——逆算で確かめている。

> **観察 2.4**
>
> 50 工程の **0.605006** は、論文292 の数と同じである。あちらは +10 パーセントと −10 パーセントを 50 回ずつ繰り返して 0.60500607 を得た——どちらも 0.99 の 50 乗である。同じ算術を、あちらは収益率の平均のために、こちらは改善の配分のために使っている。数が同じでも、問うていることは違う。

> **観察 2.5**
>
> $1/e$ に近い。**0.366032** と 0.367879 の差は **0.001847**——「100 工程で $1/e$ に落ちる」と言いたくなる近さである。

> **観察 2.6**
>
> しかし一致ではない。差は 10^{-4} より大きい——論文405 の基準で格下げする。0.99 の 100 乗は $e^{-1.005033}$ であって e^{-1} ではない。近いのは $\ln 0.99$ が -0.01 に近いからで、これは近似であって一致ではない。検査は「近い」と「一致しない」の両方を要求してある。

3. どの工程を直すと効くか

計算 3.1：全工程 0.99 のラインで、改善のしかたを二つ比べた。

改善	総歩留まり	元に対する比
なし	**0.366032**	1.000000
一工程だけ 0.995 に	0.367881	**1.005051**
全工程 0.995 に	0.605770	**1.654964**

> **観察 3.2**
>
> 一工程だけ直しても、ほとんど動かない。**1.005051** 倍——全部直せば **1.654964** 倍で、改善量の比は 100 倍を超える。工程数が多いほど、一点集中は割に合わない。

計算 3.3：次に、一工程だけが 0.80 に落ちているラインを置いた。

改善	総歩留まり	元に対する比
なし（0.99 が 99 工程 ＋ 0.80 が 1 工程）	**0.295784**	1.000000
その 0.80 を 0.99 に	**0.366032**	**1.237500**
関係のない 0.99 を 1.00 に	**0.298771**	**1.010101**
効きの比	—	**23.512500**

> **観察 3.4**
>
> これが本稿の芯である。律速でない工程を直しても、効きは **1.010101** 倍でゼロではない——「そこは犯人ではないから触っても無駄」は、掛け算では成り立たない。

> **観察 3.5**
>
> ただし最悪を直すほうがはるかに効く。効きの比は **23.512500** 倍で、20 より大きく 30 より小さい——実測してから挟んだ。「桁が違う」と先に置いていたら外れていた。

> **観察 3.6**
>
> どの工程を直すかで、順序は効かない。掛け算は順序を問わないので、同じ改善を別の位置に置いても答は変わらない（12 桁）——効きを決めているのは位置ではなく、元の値である。

4. 分離子

> **観察 4.1**
>
> 分離子は、工程の失敗が品を捨てるか、速さを縛るかである。捨てるなら掛け算、縛るなら最小になる——どちらも「直列に並んだ工程」だが、集約のしかたが違う。

観察 4.2

同じ一本のラインで、訊く量を変えると集約が変わる。「一時間に何個できるか」と訊けば最小、「投入のうち何個が良品か」と訊けば掛け算である——ラインは一本しかないのに、答の作り方が二つある。

観察 4.3

そこが論文550 との対照である。あちらでは律速でない工程を広げた効きがちょうど **0.0000** だった——こちらでは **1.010101** で、ゼロではない。最小は選ばれなかった側の情報を捨てるが、掛け算はすべての工程の情報を残す。「関係ない工程を触っても無駄か」への答が、訊いた量によって逆になる。

観察 4.4

論文300 の基準で別根である。「掛け算になる」は落ちた品が戻らないという持ち物を要る——「効きが 0 にならない」は各因子が最終値に一次で入るという別の持ち物を要る。手直しで戻せる工程があれば前者が崩れ、掛け算でなくなる。

観察 4.5

言わないこと。「悪いところから直せ」とも「どこからでもよい」とも書かない——効きの比を測っただけで、0.99 を 0.995 にする費用と 0.80 を 0.99 にする費用はまったく違うはずである。費用と合わせなければ順序は決まらない。

5. 点呼と結び

1. 100 工程で **0.366032**（計算 2.1）：各工程 0.99。
2. 半分になるのは **68.967564** 工程（観察 2.3）：逆算で確かめた。
3. 50 工程の **0.605006** は論文292 と同じ数（観察 2.4）：問いは違う。
4. $1/e$ との差 **0.001847**（観察 2.5）：近い。
5. しかし一致しない（観察 2.6）：論文405 で格下げ・$e^{-1.005033}$。
6. 一工程だけ 0.995 で **1.005051** 倍（計算 3.1）：ほとんど動かない。
7. 最悪を直すと **1.237500** 倍（計算 3.3）：0.80 を 0.99 に。

8. 律速でない工程でも **1.010101** 倍（計算 3.3）：本稿の芯・ゼロではない。
9. 効きの比 **23.512500** 倍（観察 3.5）：実測してから挟んだ。
10. 論文550 では同じ位置が **0.0000**（観察 4.3）：訊く量で答が逆になる。
11. 分離子は捨てるか縛るか（観察 4.1）：掛け算か最小か。

結び：一本のラインの成績は、どこが足を引っぱっているかで語られる。ところが歩留まりは掛け算で集約されるので、犯人がいなくても成績は落ちる——各工程が 0.99 という「ほぼ完璧」でも、100 工程重ねれば総歩留まりは **0.366032**、3 分の 1 近くまで落ちる。半分になるのは **68.967564** 工程で、その値を戻すとちょうど 0.5 になることを逆算で確かめた。100 工程の値は $1/e$ に近く差は **0.001847** だが、一致ではない——0.99 の 100 乗は $e^{-1.005033}$ であって e^{-1} ではなく、近いのは $\ln 0.99$ が -0.01 に近いからである。論文405 の基準で格下げし、検査には「近い」と「一致しない」の両方を要求した。なお 50 工程の **0.605006** は、論文292 が ±10 パーセントを 50 回ずつ繰り返して得た 0.60500607 と同じ数である。どちらも 0.99 の 50 乗で、あちらは収益率の平均のために、こちらは改善の配分のために使っている。そして掛け算では、律速でない工程を直しても効きがゼロにならない——一工程だけ 0.80 に落ちたラインで、その 0.80 を 0.99 にすると **1.237500** 倍になる。ところが関係のない 0.99 を 1.00 にしても **1.010101** 倍で、これはゼロではない。「そこは犯人ではないから触っても無駄」は、掛け算では成り立たない。ただし最悪を直すほうがはるかに効き、効きの比は **23.512500** 倍——20 より大きく 30 より小さい。実測してから挟んだので、「桁が違う」と先に置いていたら外れていた。掛け算は順序を問わないので、同じ改善を別の位置に置いても答は変わらない。効きを決めているのは位置ではなく元の値である。分離子は、工程の失敗が品を捨てるか、速さを縛るかである——捨てるなら掛け算、縛るなら最小になる。どちらも「直列に並んだ工程」だが、集約のしかたが違う。同じ一本のラインでも、「一時間に何個できるか」と訊けば最小、「投入のうち何個が良品か」と訊けば掛け算である。ラインは一本しかないのに、答の作り方が二つある。そこが論文550 との対照で、あちらでは律速でない工程を広げた効きがちょうど **0.0000** だった。最小は選ばれなかった側の情報を捨て、掛け算はすべての工程の情報を残す。「関係ない工程を触っても無駄か」への答が、訊いた量によって逆になる。論文300 の基準では、「掛け算になる」は落ちた品が戻らないことを、「効きが 0 にならない」は各因子が最終値に一次で入ることを、それぞれ別に要る。正直に言えば——工場の改善は勧めていない。各工程は独立と仮定しており、前工程の不良が後工程の不良を呼ぶ場合は掛け算にならない。手直しと再投入も入れておらず、一度落ちた品は戻らないものとした。そして改善の費用を論じていない——0.99 を 0.995 にする費用と 0.80 を 0.99 にする費用はまったく違うはずで、それは入っていない。だから「悪いところから直せ」とも「どこからでもよい」とも書かない。効きの比を測っただけである。

参考文献

1. Cunningham, J. A. (1990). *The Use and Evaluation of Yield Models in Integrated Circuit Manufacturing*. IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing.
2. Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2011). *Factory Physics* (3rd ed.). Waveland Press.

3. May, G. S., & Spanos, C. J. (2006). *Fundamentals of Semiconductor Manufacturing and Process Control*. Wiley.

4. Nahmias, S., & Olsen, T. L. (2015). *Production and Operations Analysis* (7th ed.). Waveland Press.

5. 山岸勇輝 (2026).『足せるのは対数だけである』[論文292]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22171519

6. 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

7. 山岸勇輝 (2026).『数値の一致が同根の証拠になるのは、全単射があるときだけである』[論文405]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22699433

8. 山岸勇輝 (2026).『広げた効きは **1** か **0** のどちらかで、途中が無い』[論文550]. Zenodo. 10.5281/zenodo.23014187

— 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)