

フィルムの感度とざらつきは同じ粒の大きさの裏表で、径を二倍にする と感度は四倍、ざらつきは二倍

— 光の量を 10 % から 90 % まで現像させる幅は、要る光子の数が $1 \cdot 4 \cdot 16$ で $1.339538 \cdot 0.583089 \cdot 0.281522$ 桁になり、粒の大きさでは変わらない — 分離子は、粒の大きさを問うか、粒が現像されるのに要る光子の数を問うか — [論文889]

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/889>

— From thinking to syncing. —

要旨

感度の高いフィルムは、よく光を拾う別の材料でできている、と思いがち。本稿は、粒が光子を数えて現像される模型で、感度とざらつきが同じ粒の大きさから出ること数を数える。新しい定理も法則も主張しない。第一に、粒が大きいほど、少ない光で現像される。粒の半分が現像される光の量は、径 1 で **3.672061**、径 2 で **0.918015**、径 4 で **0.229504** である (第2節)。第二に、径を 2 倍にすると、要る光はちょうど 4 分の 1 で、感度は 2 段上がる。粒の面積が 4 倍になり、同じ光で受ける光子の数が 4 倍になるからで、比は差の割合 10^{-9} 未満で 4 だった (第2節)。第三に、これが本稿の芯である。同じ径の 2 倍が、ざらつきも 2 倍にする。窓ごとの濃さのざらつきは径 1 で **0.008980**、径 2 で **0.017767** で、比は **1.978537** である (第3節)。第四に、ざらつきは、窓の中の粒の数で決まる。同じ窓に入る粒は径 1 で 800 個、径 2 で 200 個で、ざらつきの式 $0.008839 \cdot 0.017678 \cdot 0.035355$ と乱数の値が合う (第3節)。第五に、立ち上がりの急さは、粒の大きさでは変わらない。10 % から 90 % まで現像させる光の量の幅は、要る光子の数 $1 \cdot 4 \cdot 16$ で $1.339538 \cdot 0.583089 \cdot 0.281522$ 桁で、粒の面積を 4 倍にしても同じだった (第4節)。第六に、分離子は、粒の大きさを問うか、粒が現像されるのに要る光子の数を問うかである。粒の大きさは感度とざらつきを一緒に動かし、要る光子の数は立ち上がりの急さを動かす (第4節)。キーワード：銀塩写真、感度、粒状性、ポアソン分布、光子の数。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない。感光乳剤の粒が大きいほど感度が高く粒状性が粗いこと、粒が数個の光子で現像できる核を作ること、ポアソン分布による数え方は、いずれも写真化学で既知である。実在のフィルムを主張しない。粒の径、要る光子の数 **4**、覆う割合 **0.5** は模型の値で、どのフィルムにも対応しない。化学を入れない。現像液の働き、増感色素、粒の形の違いは入れない。撮像素子に入らない。デジタルの画素の大きさと雑音は扱わない。既刊との関係：論文**878** は、効き始めから効き切るまでの濃度の幅を決めるのは、効く濃度ではなく協同の度合いであることを示した。本稿はその隣に置く。あちらでは効く濃度が曲線の位置を、協同の度合いが幅を決めた。ここでは粒の大きさが曲線の位置（感度）を、要る光子の数が幅を決める。加えたのは、三つの径で半分が現像される光の量を出したこと、乱数で窓ごとのばらつきを数えて径 **2** 倍で **1.978537** 倍と測ったこと、要る光子の数ごとに立ち上がりの幅を測ったこと、分離子を「粒の大きさか、要る光子の数か」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：面積 a の粒が、面あたり H の光を受けると、受ける光子の数は平均 Ha のポアソン分布になる。粒は光子を k 個以上受けると現像される。

$$p(H) = P(\text{Poisson}(Ha) \geq k), \quad \sigma_{\text{窓}} \approx \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \times \frac{na}{S}$$

$k = 4$ 、粒の面積は径の二乗とした。感度は粒の半分が現像される光の量 H_{50} で、ざらつきは面積 $S = 1600$ の窓（粒が面の半分を覆い、 n 個入る）の覆った割合の、窓ごとの標準偏差で測った。窓は乱数で **400** 個作った。

問い：感度の高いフィルムは、なぜざらつくのか。

2. 粒の大きさと感度

計算 2.1：粒の径ごとに、半分が現像される光の量を出した。

粒の径	半分が現像される光の量	窓の中の粒の数
1	3.672061	800
2	0.918015	200
4	0.229504	50

観察 2.2

径を 2 倍にすると、要る光はちょうど 4 分の 1 である。半分が現像される光の量の比は 4.000000 で、2.000000 段にあたる。粒の面積が 4 倍になり、同じ光でも受ける光子の数が 4 倍になるので、4 分の 1 の光で同じ数の光子が集まる。

3. 粒の大きさとざらつき

計算 3.1：乱数で窓を 400 個作り、覆った割合の平均とばらつきを数えた。

粒の径	覆った割合の平均	窓ごとのばらつき	式
1	0.249855	0.008980	0.008839
2	0.248675	0.017767	0.017678
4	0.250200	0.034633	0.035355

観察 3.2

これが本稿の芯である。同じ径の 2 倍が、ざらつきも 2 倍にする。窓ごとのばらつきは径 1 から 2 で 1.978537 倍になった。同じ窓に入る粒は 800 個から 200 個に減り、一つ一つの粒が覆う面積は 4 倍になる。数が 4 分の 1 になると、ばらつきは $\sqrt{4} = 2$ 倍に効く。感度を 4 倍にした同じ変化が、ざらつきを 2 倍にする。

4. 立ち上がりの急さ

計算 4.1：要る光子の数 k と粒の面積を変えて、10 % から 90 % まで現像させる光の量の幅（桁）を出した。

要る光子の数 k	粒の面積 1	粒の面積 4
1	1.339538	1.339538
4	0.583089	0.583089
16	0.281522	0.281522

観察 4.2

立ち上がりの急さは、要る光子の数で決まり、粒の大きさでは変わらない。要る光子の数を 1 から 16 にすると、幅は 1.339538 桁から 0.281522 桁に狭くなる。粒の面積を 4 倍にしても幅は同じで、曲線が光の量の少ない側へずれるだけである。

観察 4.3

分離子は、粒の大きさを問うか、粒が現像されるのに要る光子の数を問うかである。粒の大きさは、感度とざらつきを一緒に動かす。要る光子の数は、曲線の立ち上がりの急さを動かし、ざらつきの式には入らない。感度を上げてざらつかせないには、粒の大きさ以外を動かすしかない。

観察 4.4

論文878 の隣に置く。878 は、効く濃度が曲線の位置を、協同の度合いが幅を決めることを示した。ここでは粒の大きさが位置を、要る光子の数が幅を決める。位置と幅が別々の量で動く、同じ形である。

5. 点呼と結び

1. 光子 k 個以上で現像（第1節）：ポアソン分布。
2. 径 1 で **3.672061**（計算 2.1）：半分が現像される光。
3. 径 2 で **0.918015**（計算 2.1）：ちょうど 4 分の 1。
4. 感度は 2 段（観察 2.2）：面積が 4 倍。
5. ばらつきは **1.978537** 倍（観察 3.2）：本稿の芯。
6. 窓の粒は 800 個から 200 個（計算 2.1）：数が減る。
7. 式のばらつき $0.008839 \cdot 0.017678$ （計算 3.1）：乱数と合う。
8. $k = 4$ の幅 **0.583089** 桁（計算 4.1）：面積に依らない。
9. $k = 16$ で **0.281522** 桁（計算 4.1）：急になる。
10. 粒の大きさか、要る光子の数か（観察 4.3）：分離子・論文878。

結び：フィルムの感度とざらつきは同じ粒の大きさの裏表で、粒の径を二倍にすると感度は四倍、ざらつきは二倍になる。粒が光子を 4 個以上受けて現像される模型で、径を 2 倍にすると半分が現像される光の量はちょうど 4 分の 1 になり、窓ごとのばらつきは **1.978537** 倍になる。粒の面積が 4 倍になると、光子は 4 倍集まる

が、同じ窓に入る粒の数は 4 分の 1 になるからである。立ち上がりの幅は要る光子の数 $1 \cdot 4 \cdot 16$ で **1.339538** $\cdot 0.583089 \cdot 0.281522$ 桁になり、粒の大きさでは変わらない。粒の大きさは感度とざらつきを一緒に動かし、要る光子の数は急さを動かす。既刊との位置：論文**878**の「位置は効く濃度、幅は協同の度合い」の隣に、位置は粒の大きさ、幅は要る光子の数、という同じ形を置いた。正直に言えば、粒と光子の数は模型の値で、現像の化学も粒の形も入れていない。

参考文献

1. James, T. H. (Ed.). (1977). *The Theory of the Photographic Process* (4th ed.). Macmillan.
 2. 山岸勇輝 (2026). 『効き始めから効き切るまでの濃度の幅を決めるのは、効く濃度ではなく協同の度合いである』 [論文 878]. YOI: <https://www.yamagishiyuuki.com/yoi/878>
-

— *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)