「混色」は一つの演算ではない。片方は足し算で、もう片方は通過率の掛け算である

— 通過率 0.5 のフィルタ 2 枚は掛けて 0.250000 になるのに、足して平均すれば 0.500000 で、ずれは 2.000000 倍 — 分離子は、混ぜる操作が強さの上か、通過率の上か — [論文719]

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

色を混ぜるという一つの言葉が、二つの違う演算を指している。光を混ぜるときは足し算で、絵具やフィルタを重ねるときは掛け算である。取り違えたときのずれを数え、掛け算が足し算になる座標を示す。新しい定理も法則も主張しない。 第一に、重ねたフィルタの通過率は掛け算になる——通過率 0.5 の 2 枚は **0.250000**、3 枚は **0.125000**、4 枚は **0.062500** である（第2節）。 第二に、これが本稿の芯である。足し算と取り違えたときのずれは、枚数とともに広がる——2 枚で **2.000000** 倍、4 枚で **8.000000** 倍になる（第2節）。 第三に、違う二枚でも、積は必ず小さいほうより小さい——0.8 と 0.3 を重ねると **0.240000** で、平均の **0.550000** どころか 0.3 も下回る（第2節）。 第四に、光学濃度に移すと、掛け算は足し算になる——1 枚あたりちょうど **0.301030** ずつ増えるので、減法混色は非線型ではなく、別の座標で線型である（第3節）。 第五に、その **0.301030** は体系で三度目である——論文288 の二分法が一回で得る桁、論文612 の先頭が 1 になる割合と、三つとも「2 倍が一桁のうち占める割合」で、10^{-12} 以内で一致する（第3節）。 第六に、分離子は、混ぜる操作が強さの上か、通過率の上かである——同じ「混色」の下で、足す場所が違う（第4節）。 キーワード：加法混色、減法混色、通過率、光学濃度、どの量の上で足すか、同根。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——加法混色と減法混色の区別、ランベルト＝ベールの法則、光学濃度が加算的であることは、いずれも標準的である（ブーゲール 1729、ハント＆ポイントー 2011）。視覚科学を作らない——等色関数、順応、色覚の個人差は扱わない。実在の材料を主張しない——インクや顔料の分光特性は扱わず、通過率は波長を一つに固定して置いた代表値である。面積階調を扱わない——網点のように並べて混ぜる場合は扱わず、重ねる場合だけを見る。吸収以外の発色を扱わない——蛍光、散乱、干渉による色は扱わない。既刊との関係：論文323 は、三原色の「三」が光の性質ではないことを示し、核が線型性から来て色域の限界が凸性から来ることを分けた——そこでは原色の個数が主題で、扱いは一つの線型な写像の上にあった。ここではその線型性が加法混色にしか当てはまらないことを示す。線型な側と、対数を取って初めて線型になる側になる。論文288 と論文612 も引く——**0.301030** が三度目だからで、論文300 の意味での同根として名指す。加えたのは、ずれが枚数とともに **8.000000** 倍まで広がることを示したこと、積が必ず小さいほうを下回ることを示したこと、光学濃度で等間隔になることを **0.301030** と出したこと、その値が体系で三度目だと確かめたこと、分離子を「どの量の上で足すか」に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：光を重ねると強さが足される。物を重ねると通過率が掛けられる。

$$I_{\text{加法}} = \sum_i I_i, \qquad T_{\text{減法}} = \prod_i T_i, \qquad A = -\log_{10} T$$

T は通過率、A は光学濃度である。以下では波長を一つに固定し、通過率を代表値として置く。

問い：「混色」という一つの語は、一つの演算を指しているのか。

2. 取り違えたときのずれ

計算 2.1：通過率 0.5 のフィルタを重ねたときの、掛け算の答と、足して平均した答を並べた。

枚数	掛け算	足して平均	ずれ
1	0.500000	0.500000	1.000000
2	0.250000	0.500000	2.000000
3	0.125000	0.500000	4.000000
4	0.062500	0.500000	8.000000

> **観察 2.2**
>
> これが本稿の芯である。ずれは一定ではなく、枚数とともに広がる。**2** 枚で **2.000000** 倍、**4** 枚で **8.000000** 倍である——一枚だけで確かめて「だいたい合う」と言うと、重ねるほど外れる。

計算 2.3：通過率の違う二枚を重ねた。

量	値
0.8 と **0.3** の積	**0.240000**
0.8 と **0.3** の平均	**0.550000**
小さいほう	**0.300000**

> **観察 2.4**
>
> 積は、平均どころか小さいほうよりも小さい。**0.240000** は **0.300000** を下回る——足し算には「混ぜると中間になる」という性質があるが、掛け算にはそれが無い。

> **観察 2.5**
>
> 向きも逆である。光の三原色を全部足すと白に向かい、色材の三原色を全部重ねると黒に向かう——同じ「三原色」という語のもとで、混ぜた先が反対側にある。

3. 掛け算が足し算になる座標

計算 3.1：通過率を光学濃度に移した。

枚数	通過率	光学濃度
1	0.500000	0.301030
2	0.250000	0.602060
3	0.125000	0.903090
4	0.062500	1.204120

観察 3.2

光学濃度では、一枚あたりちょうど 0.301030 ずつ増える。4 枚の濃度は 1 枚のちょうど 4.000000 倍である——だから減法混色は「非線型」なのではなく、別の座標で線型なのである。

観察 3.3

言い換えると、足し算はどちらにもある。加法混色は強さの上で足し、減法混色は濃度の上で足す——分かれているのは演算ではなく、どの量の上で足すかである。

観察 3.4

この 0.301030 は、体系で三度目である。論文288 では二分法が一回で得る桁として、論文612 では先頭の数字が 1 になる割合として出た——三つを別々の式から出すと 10^{-12} 以内で一致し、三つとも「2 倍が一桁のうち占める割合」である。

観察 3.5

論文300 の意味での同根と書ける。数が一致しただけではなく、源が同じで、しかもその源は「2 倍」の側にある——3 倍で作ると 0.176091 ずれるので、一致は 2 という数から来ている。

4. 分離子

> **観察 4.1**
>
> 分離子は、混ぜる操作が強さの上か、通過率の上かである。同じ「混色」の語の下で、足す場所が違う——どちらも足し算だと言えるのは、座標を明示したときだけである。

> **観察 4.2**
>
> 論文323 と並べる。323 は、三原色の「三」が光の性質ではないことを示し、線型性と凸性を分けた——そこでは個数が主題で、扱いは一つの線型な写像の上にあった。ここではその線型性が加法混色にしか当てはまらないことを示す。線型な側と、対数を取って初めて線型になる側である。

> **観察 4.3**
>
> 言わないこと。等色関数も順応も、実在のインクの分光特性も、並べて混ぜる場合も扱わず、波長は一つに固定した——示したのは、一つの語が二つの演算を指していることと、その二つをつなぐ座標である。

5. 点呼と結び

1. **2** 枚で **0.250000**（計算 2.1）：掛け算になる。
2. **4** 枚で **0.062500**（計算 2.1）：さらに落ちる。
3. ずれは **2** 枚で **2.000000** 倍（観察 2.2）：本稿の芯。
4. **4** 枚で **8.000000** 倍（観察 2.2）：枚数とともに広がる。
5. **0.8** と **0.3** の積 **0.240000**（計算 2.3）：小さいほうを下回る。
6. 平均なら **0.550000**（計算 2.3）：比べる相手。
7. 濃度は **1** 枚 **0.301030**（計算 3.1）：等間隔になる。
8. **4** 枚で **1.204120**（計算 3.1）：ちょうど **4** 倍。
9. **3** 倍なら **0.176091** ずれる（観察 3.5）：源は **2** である。
10. どの量の上で足すか（観察 4.1）：分離子・論文323・288・612。

結び：「混色」は一つの演算ではない。片方は足し算で、もう片方は通過率の掛け算である。通過率 0.5 のフィルタ 2 枚は掛けて 0.250000、3 枚で 0.125000、4 枚で 0.062500 になるのに、足して平均すればいつでも 0.500000 である——ずれは一定ではなく、2 枚で 2.000000 倍、4 枚で 8.000000 倍と枚数とともに広がるので、一枚で確かめて「だいたい合う」と言うと重ねるほど外れる。違う二枚でも同じで、0.8 と 0.3 の積 0.240000 は平均 0.550000 どころか小さいほうの 0.300000 すら下回る——「混ぜると中間になる」という性質は足し算のものであって、掛け算には無い。ところが光学濃度に移すと掛け算は足し算になり、1 枚あたりちょうど 0.301030 ずつ増えて 4 枚で 1.204120 になる——だから減法混色は非線型なのではなく、別の座標で線型なのであって、分かれているのは演算ではなくどの量の上で足すかである。そしてこの 0.301030 は体系で三度目である——論文288 の二分法が一回で得る桁、論文612 の先頭が 1 になる割合と、三つを別々の式から出して 10^{-12} 以内で一致し、三つとも「2 倍が一桁のうち占める割合」である。3 倍で作ると 0.176091 ずれるので、一致は 2 という数から来ている。分離子は、混ぜる操作が強さの上か、通過率の上かである。既刊との位置——論文323 は原色の個数を一つの線型な写像の上で論じた。ここはその線型性が届く範囲を切る。正直に言えば——等色関数も実在のインクも並べて混ぜる場合も扱わず、波長は一つに固定した。

参考文献

1. Bouguer, P. (1729). *Essai d’optique sur la gradation de la lumiere*. Claude Jombert.
2. Hunt, R. W. G., & Pointer, M. R. (2011). *Measuring Colour*. Wiley.
3. 山岸勇輝 (2026). 『「どれが速いか」には三つの答があり、三つとも別の方法が勝つ』[論文288]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22171328
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). 『三原色の「三」は、光の性質ではない』[論文323]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22209319
6. 山岸勇輝 (2026). 『先頭の数字が 1 になるのは三割だが、それは桁をまたいで広がるデータだけである』[論文612]. Zenodo. 10.5281/zenodo.23014476

山岸 勇輝 (Yuuki YAMAGISHI)

© 2026 Yamagishi Complexity Torus Lab, Japan · Licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)