群れの向きをそろえるのは、三つの規則のうち整列だけである

— 整列を外すと向きのそろい方は **0.723014** から **0.107579** に落ちるが、結合を外すと **0.966288** にかえって上がる — 指揮者はいない — [論文644]

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

鳥や魚の群れを画面の上で動かす模型（ボイド）は、三つの規則だけでできている。近すぎる相手から離れる（分離）、近くの相手と向きを合わせる（整列）、近くの相手の真ん中へ寄る（結合）。群れの向きのそろい方を、速度の向きの平均の長さ φ（1 ならそろい、ばらばらなら 0 に近い）で測り、規則を一つずつ外して比べる。新しい定理も法則も主張しない。 第一に、整列を外すと、向きはそろわない——150 個・400 歩・5 本の平均で、三規則すべては $\varphi = 0.723014$、整列を外すと $\varphi = 0.107579$ で、ばらばらのときの目安 $1/\sqrt{N} = 0.081650$ に近い。四つの置き方のうち、整列を外したときだけがほかのどれよりも小さい（第2節）。 第二に、結合を外すと、向きはかえってそろう——結合を外すと $\varphi = 0.966288$ で、三規則すべてより高い。分離を外すと 0.544943 で、5 本のばらつきが 0.252133 と大きい。理由は断定しない（第2節）。 第三に、これが本稿の芯である。整列だけの模型でも向きはそろい、雑音がそれを崩す——整列だけの模型（ヴィチェック）で雑音 η を 0.5 から 6 へ強めると、φ は 0.982784 から 0.078819 へ落ちた。どの個体も近くの相手しか見ていない。指揮者はいない（第3節）。 第四に、分離子は、整列の規則があるかどうかである——分離と結合は群れの形を決め、向きをそろえるのは整列である。模型の重みや半径で値は動くが、この切り分けは四つの置き方で変わらなかった（第4節）。 キーワード：群れ、ボイド、ヴィチェック模型、整列、秩序変数。

本稿の射程（射程注記）：新しい定理も法則も主張しない——ボイドの三規則（レイノルズ 1987）と、整列だけの模型の秩序（ヴィチェックら 1995）は、いずれも既知である。実際の群れを扱わない——鳥や魚の群れの観測は扱わず、画面の上の模型だけを測る。模型の置き方で値は動く——重み（どれも 1）・見える半径 1・近すぎる半径 0.3・雑音 0.4 は前提であって、別の置き方では φ の値が変わる。相転移の次数は論じない——整列だけの模型で雑音を強めたときの落ち方が、連続か不連続かは扱わない。既刊との関係：論文313 は、体系が「同期」を四つの意味で使ってきて、五つ目（引き込み）だけが閾値を持つことを示した——ここでは位相ではなく進む向きがそろう話で、雑音を強めると崩れる。加えたのは、三規則を一つずつ外して向きのそろい方を比べたこと、整列だけの模型で雑音を振ったこと、分離子を整列の規則の有無に置いたことである。

1. 記法と問い

設定：一辺 10 の正方形（端は反対側へつながる）に $N = 150$ 個を置き、どれも同じ速さで進む。各歩で、個体は今の向きに、三つの規則の向きと雑音を足して新しい向きを決める。整列＝見える半径 1 の中の相手の向きの平均、結合＝その相手の真ん中への向き、分離＝半径 0.3 の中の相手から離れる向き、雑音＝大きさ 0.4 のでたらめな向き。三つの重みはどれも 1 である。

測る量：向きのそろい方 φ は、全個体の進む向き（長さ 1）の平均の長さである。全員が同じ向きなら 1、でたらめなら $1/\sqrt{N}$ ほどになる。400 歩のうち最後の 100 歩で平均し、乱数の種を替えた 5 本でさらに平均した。

問い：三つの規則のうち、どれが向きをそろえているか。

2. 規則を一つずつ外す

計算 2.1：四つの置き方で φ を測った。

置き方	φ（5 本の平均）	ばらつき
三規則すべて	**0.723014**	**0.179891**
整列を外す	**0.107579**	**0.019015**
結合を外す	**0.966288**	**0.008011**
分離を外す	**0.544943**	**0.252133**

向きがばらばらのときの目安は $1/\sqrt{N} = 0.081650$ である。

> **観察 2.2**
>
> 整列を外すと、向きはそろわない。整列を外した 0.107579 は、目安 0.081650 の 1 倍より大きく 1.5 倍より小さく、四つのうちこれだけがほかのどれよりも小さい。分離と結合が残っていても、向きはそろわなかった——近くの相手へ寄っても、離れても、向きを合わせる規則が無ければ向きは合わない。

> **観察 2.3**
>
> 結合を外すと、かえってそろう。結合を外した 0.966288 は三規則すべての 0.723014 より高く、ばらつきも 0.008011 と小さい。分離を外すと 0.544943 で、ばらつきが 0.252133 と大きい——これは測った事実で、理由は断定しない。結合が群れを一か所へまとめて渦のような動きを生むことが一つの仮説だが、本稿では確かめていない。

3. 整列だけの模型と雑音

計算 3.1：整列だけの模型（ヴィチェック）を、同じ 150 個・一辺 10（密度 1.5）で動かした。各歩で、見える半径 1 の中（自分を含む）の向きの平均に、幅 η の一様な雑音を足す。3 本の平均である。

雑音 η	φ
0.5	0.982784
1	0.916220
2	0.628137
3	0.381484
4	0.119273
5	0.080571
6	0.078819

> **観察 3.2**
>
> これが本稿の芯である。整列だけでも向きはそろい、雑音がそれを崩す。雑音が弱ければ φ は 0.982784 でほぼそろい、強めると $\eta = 5$ で 0.080571、$\eta = 6$ で 0.078819 と、ばらばらの目安 0.081650 に並ぶ——どの個体も半径 1 の中しか見ていない。群れ全体の向きを知る個体も、号令をかける個体もいない。

4. 分離子

観察 4.1

分離子は、整列の規則があるかどうかである。分離は衝突を避け、結合はまとまりを保つ——どちらも群れの形にかかわる。向きをそろえたのは、四つの置き方のどれでも整列だった——形の規則と向きの規則は別の規則である。

観察 4.2

論文313 と並べる。313 は、体系が「同期」を四つの意味で使ってきて、五つ目の引き込みだけが閾値を持つことを示した。そこでそろうのは振動の位相だった——ここでそろうのは進む向きで、そろえる相手は近くの数個だけである。

観察 4.3

言わないこと。実際の鳥や魚が三つの規則で動いているとは言わない。重みや半径を替えれば値は動く。雑音を強めたときの落ち方の型（相転移の次数）は論じない——示したのは、この模型の中で、向きをそろえる規則が一つだけだったことである。

5. 点呼と結び

1. 三規則すべて **0.723014**（計算 2.1）：向きはそろう。
2. 整列を外す **0.107579**（計算 2.1）：そろわない。
3. ばらばらの目安 **0.081650**（計算 2.1）：$1/\sqrt{N}$。
4. 整列を外したときだけ最小（観察 2.2）：四つのうち。
5. 結合を外す **0.966288**（観察 2.3）：かえって上がる。
6. 分離を外す **0.544943**（観察 2.3）：ばらつき **0.252133**。
7. 整列だけ・雑音 **0.5** で **0.982784**（計算 3.1）：ほぼそろう。
8. 雑音 **6** で **0.078819**（計算 3.1）：崩れる。
9. 指揮者はいない（観察 3.2）：本稿の芯。
10. 形の規則と向きの規則は別（観察 4.1）：分離子。

結び：群れの模型は、分離・整列・結合の三つの規則だけでできている。一つずつ外すと、向きがそろわなくなるのは整列を外したときだけで、そろい方は **0.107579**、ばらばらの目安 **0.081650** に近かった。結合を外すとかえって **0.966288** へ上がったが、理由は断定しない。整列だけの模型でも向きはそろい、雑音を強めると **0.982784** から **0.078819** へ崩れた——どの個体も近くの相手しか見ておらず、指揮者はいない。分離子は、整列の規則があるかどうかである。既刊との位置——論文**313** では位相がそろい、ここでは進む向きがそろう。正直に言えば——これは画面の上の模型で、値は置き方で動き、実際の群れには入っていない。

参考文献

1. Reynolds, C. W. (1987). Flocks, herds, and schools: A distributed behavioral model. *Computer Graphics*.
2. Vicsek, T., Czirók, A., Ben-Jacob, E., Cohen, I., & Shochet, O. (1995). Novel type of phase transition in a system of self-driven particles. *Physical Review Letters*.
3. 山岸勇輝 (2026).『体系は「同期」を四つの意味で使ってきて、五つ目だけが閾値を持つ』[論文313]. Zenodo. 10.5281/zenodo.22174953

— 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)