

高知大学

http://weather.is.kochi-u.ac.jp/events/000221_Karman_Vortex/

濟州島の風下にできるカルマン渦列

カルマンの渦列とは、円柱の風下(下流)にできる渦の列で Theodor von Karman (1881--1963) がその安定性を示したことからこの名前と呼ばれるようになったものです。毎年のように、冬の寒気の吹き出しがある頃、濟州島 (Cheju-do) の風下に見られることで知られていますが、カルマン渦は電線のうなりや旗のはためきの原因でもあり、日常生活でもなじみの深い流体現象です。

屋久島の風下にもくねった雲が見え、カルマン渦が発生していることがうかがえます。また、この雲列ができるところをアニメーション ([GIF MPEG](#)) にしてみました。但し、夜は可視画像では雲が見えないので赤外画像を使っています。実際に渦列がよくできていたのは、夜中から朝にかけてで、朝になって風向きが変わり筋状の雲の雲の発達が弱まり、渦列も崩れていく様子が見えます。

カルマン渦(2)

カルマン渦が安定に見える室内実験の範囲

$$Re = UD/\nu = 40 \sim 1000$$

濟州島の場合を想定すると、

$$U \sim 20 \text{ms}^{-1}, \quad D \sim 50 \text{km} = 5 \times 10^4 \text{m}$$

これから必要な動粘性係数の大きさは

$$\nu \sim 10^6 / (40 \sim 1000) \sim 10^5 / (4 \sim 100) \text{ m}^2 \text{s}^{-1}$$

しかし、はたして現実的な粘性係数であるのだろうか。

大気分子の動粘性係数 $\nu_{\text{molecular}} = 1.5 \times 10^{-5} \text{ (m}^2 \text{ s}^{-1}\text{)}$ であり、 ν の大きさとしては非常に小さくて不適當である。

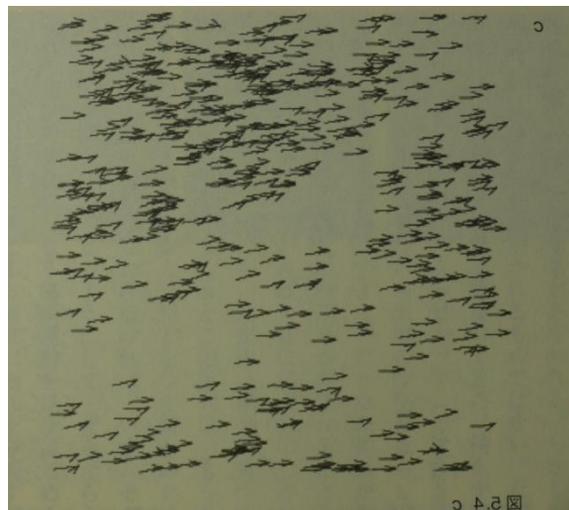
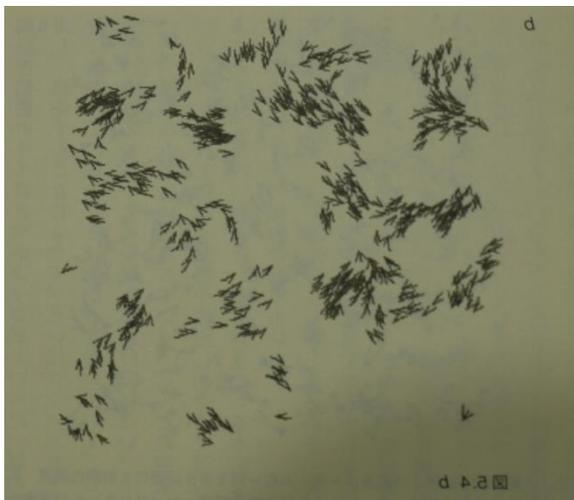
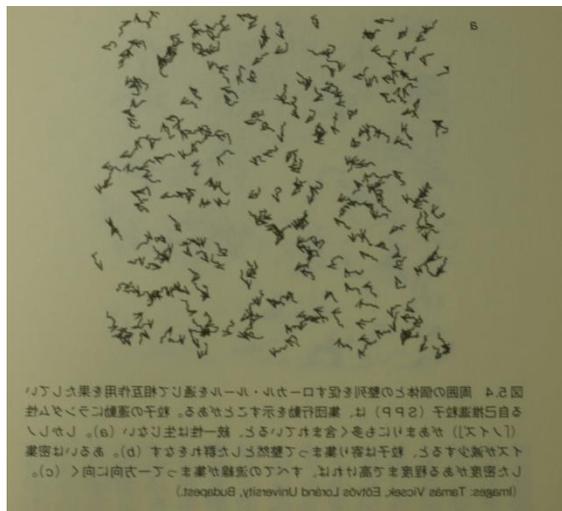
ここで渦を形成するのに必要な ν_* は、大きな値を持つ動粘性係数であるべき。

物理的な実態は、カルマン渦のスケールより小さな渦を伴うものがある。雲を伴う対流運動による渦など

確たる実態はまだはっきりわかっていない。

SPPモデル

一定の速度で移動している各「自己推進粒子」(Self Propelled Particle; SPP)は、ある一定の範囲内にいる隣の粒子の平均運動の方向に動く、というモデルを作る。このSPPモデルには、各粒子の運動にはランダムな要素—迷子になる性質—も与えられるとする。



⇒ サバクトビバッタの行動に応用 ⇒ 有効

P.ボール 流れ より

(流体もどき)

集団記憶

前回サバクトビバッタの隊列行列の形成に関してSPPモデルを使い、有効であることを示した。

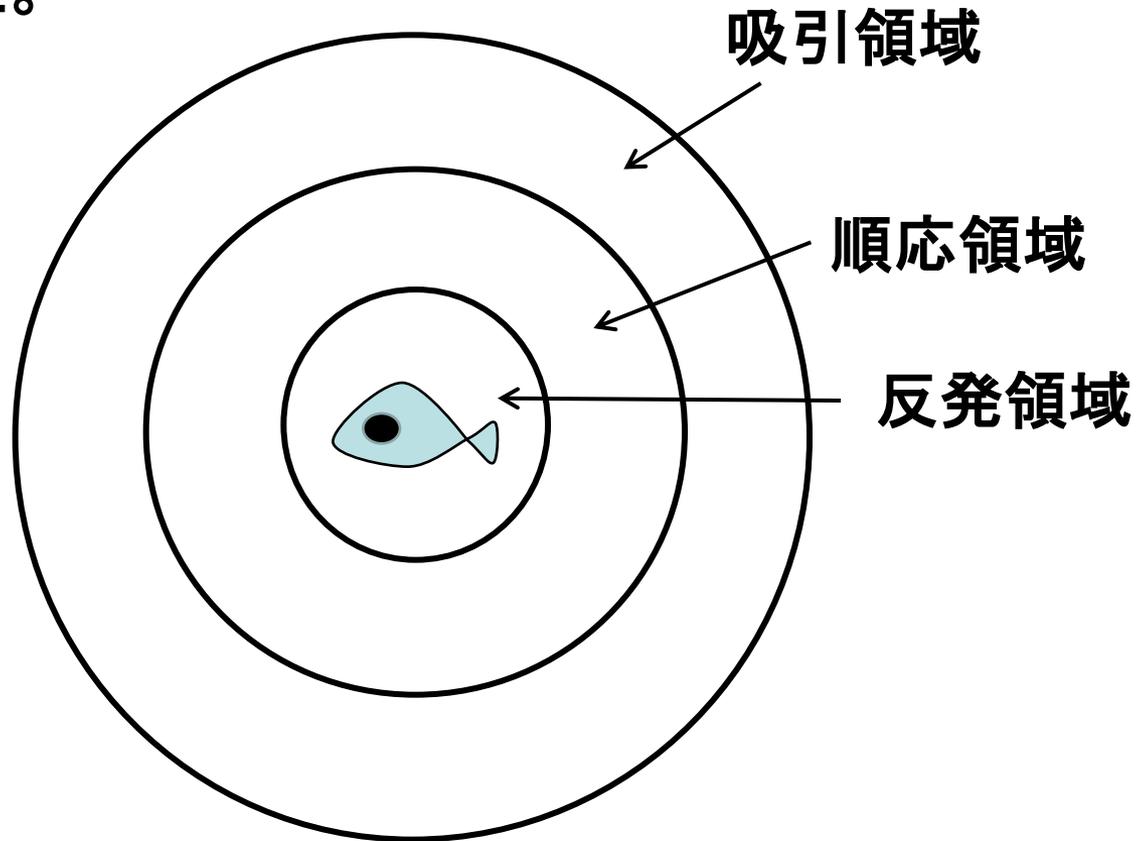
しかし、SPPモデルには限界がある。このモデルは粒子同士の衝突の可能性を想定していない。また、このモデルには形成された集団をずっと集団のままにしておく要素が含まれていない。

SPPモデルは小さな群れの形成と再形成ならできるし、ある枠内の粒子をひとかたまりにして運動させることもできるが、たとえば、魚の群れのような集団が実際には枠もないのにずっと集団になっていられるのか、どうしても説明できなかったのである。

P. ポール 流れ

モデルの発展:

イアン・カズン(プリンストン大学)のグループは、運動が2次元空間だけではなく3次元空間で起こることから、モデルを3次元に拡張した。

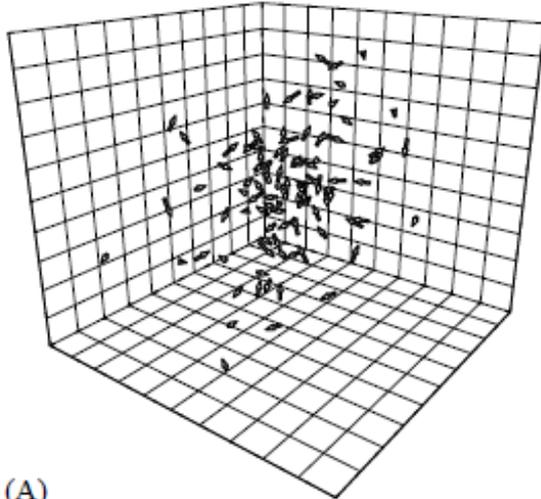
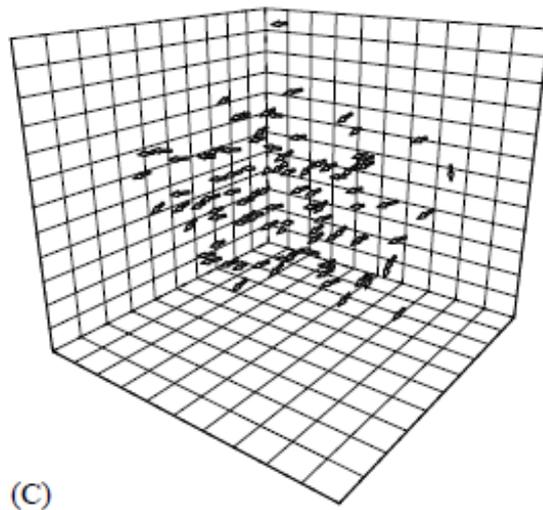
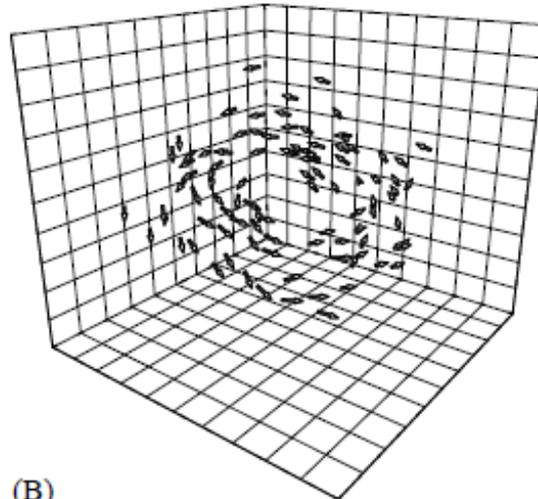
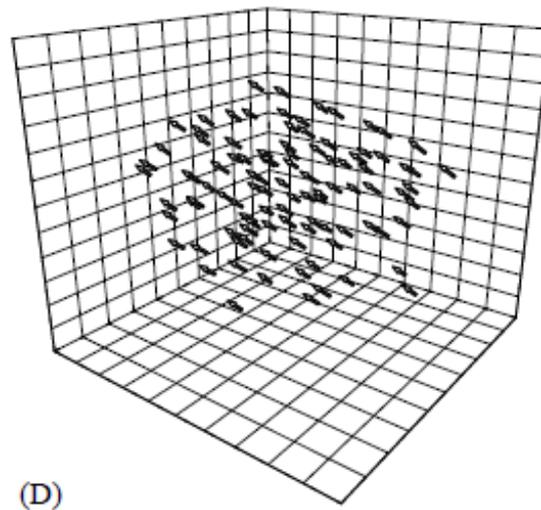


各個体の周りの**複数の相互作用領域**があるとした。

- ・個体に最も近い領域は、**反発領域**。別の個体が入ってくると、個体は回避行動をとって両者は衝突しないようにする。
- ・中間の領域は、**順応領域**。ここに別の個体が入ってくると、それらの個体の平均運動にあわせるように、自分の運動を調節する。
- ・その外側の領域は、**吸引領域**。この領域に個体があると、ともかくそれから離れまいとする行動をとる。

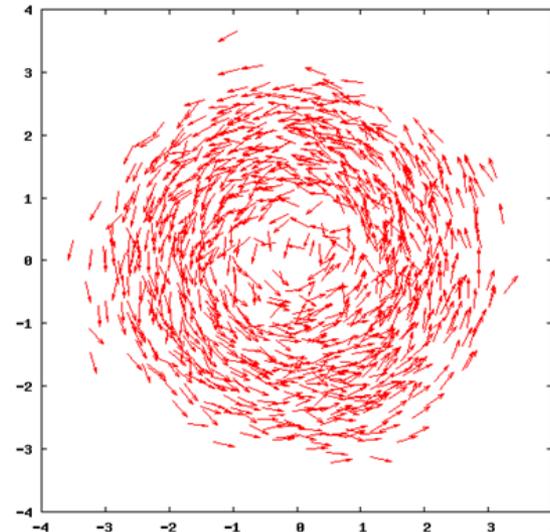
これらの優先順位は個体に近いほど優先される。たとえば反発領域に別の個体がいるときは、動きをあわせることなどは忘れられ、ひたすら衝突を回避する行動がとられる。

⇒ **4つの集団行動**が見られる

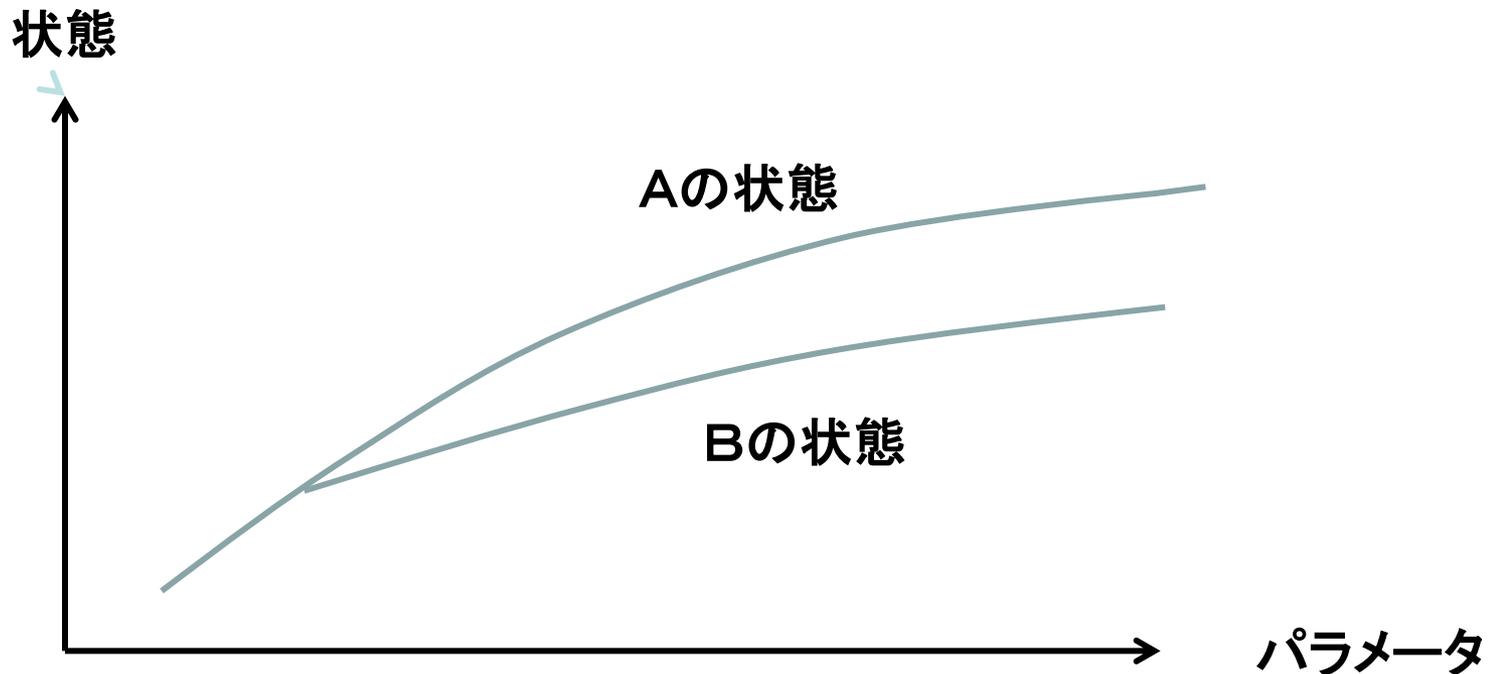
(A)swarm**(B)torus****(C)dynamic
parallel****(D)highly
parallel**

IAIN D. Couzin. (2002) Collective Memory and Spatial Sorting in Animal Groups. *J. theor. Biol.* 218, 1-11.

- (A) ただ群れになっているだけで一定方向への並び方が全くない集団。 例: たくさんの数がひとかたまりになってランダムに飛び回る蚊の集団
- (C) 鳥や魚の群れのように整列して運動している集団。
- (D) 全体が一方向に運動している集団。
例: 移動中の渡り鳥の群れ
- (B) 環状(トーラス状あるいはドーナツ状)に回り続けている集団。動き続けていないと呼吸ができない魚にメリットがある。また後流に乗って運動するほうが水の摩擦抵抗は小さくなる。



・昆虫、鳥、魚の集団には、その集団密度を徐々に変えていっても、条件が同じでも状態が変わる場合と変わらない場合がある。物理学ではこのような集団状態の持続を「**ヒステリシス(履歴現象)**」と呼ぶ。カズンらは、これを「**集団記憶**」と称した。



・集団に捕食者が現われた場合はどうなるだろうか？

カズンのチームはモデルに新しいルールを追加した。
各個体はそれぞれの察知範囲に捕食者が入ってくると
すぐそれに対する回避行動をとる。

集団の最も密度が高いところに捕食者を向かわせると、
例えば、集団は急に広がって、捕食者を取り囲む格好に
なる。捕食者の周りには空っぽの空間を作り、集団を分裂
して複数の小集団になる。

(流体もどき)

リーダー

こうした自己組織化された運動をみていると、リーダーなど不要のように思われる。はたしてそうか？

時に少数の個体が最善の道を知っていることもあるのだ。例えば、餌のありかを一部の個体だけが発見した場合。この場合、集団の運動が協調的で、各個体が隣の個体に反応するようになっていれば、一部の個体の持つ情報が集団全体に広まって、集団全体の利益となるだろう。

カズンのチームは前述のモデルをもとに、運動中の集団が複雑な判断を有効に下せるようになるのかを調べた。

P. ポール 流れ