

ランダムウォークと結合の 距離依存性を含んだホタル同期 シミュレーション

山口大学大学院理工学研究科
竹本駿
長峯祐子
三池秀敏
長篤志

ホタルの集団発光

- 東南アジアには**ホタルの木**という、1本の木にホタルが群がり、同じ周期で発光する現象がある
- スパイラルや伝搬波などの単純な集団同期ではない発光パターンが確認されている⁽¹⁾



図1 ホタルの木
http://www.mech.usp.ac.jp/~hnw/theme/bunnya_2007/hikikomi_hotal.html

(1)NHK ダーウィンが来た! 第157回森のイルミネーション 恋の大作戦

引き込み(同期)現象

- 同一のプロセスが繰り返される現象をリズム現象というが、このリズムとリズムの間に生じる同調現象を引き込み現象と呼ぶ
- 影響を及ぼしあふたつ以上の振動子が相互結合することで、個別振動のタイミングが一致するようになる現象である



図2 引き込み(同期)現象
<http://www.mech.usp.ac.jp/>

蔵本モデルの問題点

- 既存の蔵本モデルは空間が無視されているので、このような問題が発生する



- これではスパイラルや伝搬波などの発光パターンは説明できない

研究の目的

- ホタルの集団同期発光に着目し、**引き込み(同期)現象**のメカニズムを解明する
1. 結合強度の距離依存性を蔵本モデルに導入し、発光パターンに関する知見を得る
 2. ランダムウォークを加えた場合の影響を考察する

同期現象のモデル

蔵本モデル⁽²⁾

$$\frac{d\phi_i}{dt} = \omega_i + \frac{K}{N} \sum_{j=1}^N \sin(\phi_j - \phi_i)$$

ω_i はi番目の自然振動数、 ϕ_i はi番目の振動子の位相

今回使用したモデル

$$\frac{d\phi_i}{dt} = \omega_i + \frac{K}{N} \sum_{j=1}^N \alpha_{ij} \sin(\phi_j - \phi_i)$$

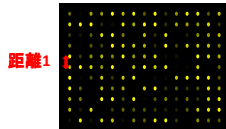
$$\alpha_{ij} = \begin{cases} 1 & (i \text{ と } j \text{ の距離が } D \text{ 以下のとき}) \\ 0 & (i \text{ と } j \text{ の距離が } D \text{ より長いとき}) \end{cases}$$

D は相互作用が及ぶ距離の最大値

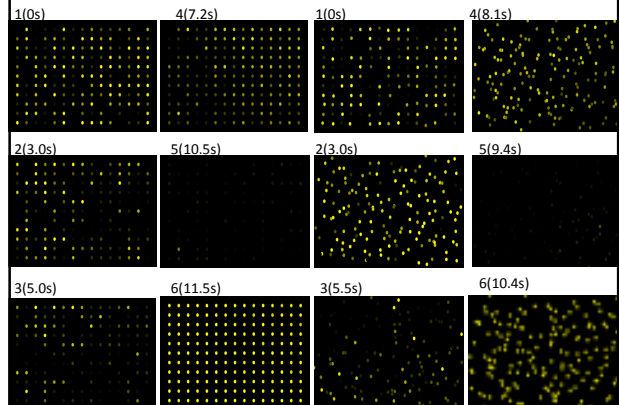
(2) 蔵本 由紀(2007) いわゆる「蔵本モデル」について 17(2), 175-177

シミュレーション手順

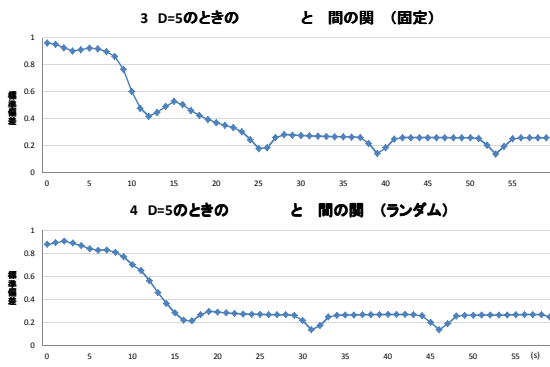
- ホタルの個体数は165(11×15)匹とする
- それぞれの個体には固有の周波数(1~1.25Hz)を与えている
- 初期状態: 位相はランダム(0~2π)に設定
位置は格子状
- ホタルの動き: 固定とランダムウォーク



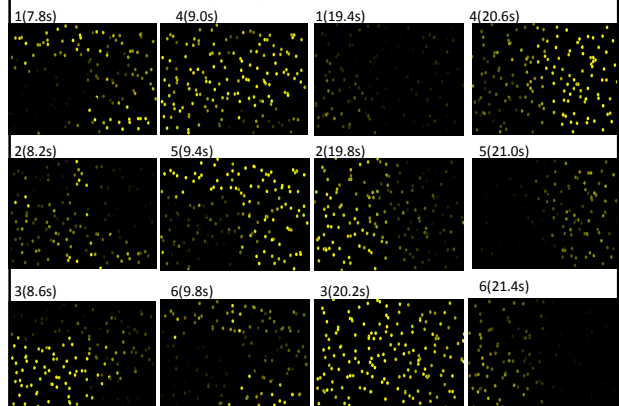
同期の様子(固定、ランダム)



同期までの過程(固定、ランダム)



スパイラル、伝搬波の様子(ランダム)



ランダムウォークを加えたことによる同期過程に する影響

同期するまでの 間(0.4)について をと た結果

相互作用の	有
(D=2)	ある(p=0.02)
(D=5)	なし(p=0.66)
大(D=8)	なし(p=0.97)

まと

1. 距離依存性を加えることにより単純な集団同期ではないスパイラルや伝搬波の発光パターンが得られた
2. ランダムウォークを加えることにより同期過程に する有 がみれた

今 の 題

1. ランダムウォークではない別の動き の
2. 同期度を す ーダーパラメータの導入