HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	木構造モデルにおける結合振動子を用いた情報伝搬および同期現象の解析
Author(s)	小笠原, 寛弥; 鈴木, 育男; 山本, 雅人; 古川, 正志
Citation	情報処理北海道シンポジウム講演論文集, 2009, 45-46
Issue Date	2009-10-03
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/51062
Rights	ここに掲載した著作物の利用に関する注意 本著作物の著作権は情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。
Type	article
File Information	Hokkaidosympo20094546.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

情報処理北海道シンポジウム 2009

木構造モデルにおける結合振動子を用いた情報伝搬および同期現象の解析

小笠原寛弥* 鈴木育男 山本雅人 古川正志
(北大工)† (北大情報科学)‡

1 諸論

各種組織やITアーキテクチャ，流通システムなど，現在の社会は多くの木構造を内包している．木構造は，要素数が増えても系全体を表現することが容易であり，また，階層的構造は人間の地位や身分の上下関係にも合致する．従って，木構造モデル上での情報伝搬メカニズムについて解析することは，社会システムや意見形成メカニズムを明らかにすることに有用である．

本研究では，木構造における情報伝搬を結合振動子の同期現象の視点から，シミュレーションに基づき解析し，木構造上での情報伝搬の性質を明らかにする．

2 結合振動子を用いた木構造情報伝搬モデル

本研究における木構造情報伝搬モデルは，木構造となるように振動子を結合させたものである，この系で相互作用を受けるのは，振動子間にリンクが存在する場合のみであり，例えば，図1の根(ルート)振動子は，自身の子振動子(図中の●)からのみ作用を受ける．また本モデルでは，任意に情報発信振動子を一つ指定し，情報伝搬の様子を観察する．

以下では，本研究で用いる蔵本モデル，また，それを木構造に適用した場合のモデルについて示す．

2.1 蔵本モデル

蔵本モデル [1, 2] とは，蔵本由紀によって提案された同期現象を記述する数学モデルである．このモデルでは，完全に独立した全ての振動子間に弱い相互作用がはたらき，かつ，その相互作用は二つの振動子間の位相差の正弦関数として与えられる，二つの前提条件がある．

蔵本モデルは，N 個の振動子で構成され，この振動子系における i 番目の振動子の位相 θ_i は以下の支配方程式に従う．

$$\frac{d\theta_i}{dt} = \omega_i + \frac{\sigma}{N}\sum_{j=0}^{N} sin(\theta_j - \theta_i) \tag{1}$$

ここで，ω_i は振動子 i の固有振動数，σ は結合強度を表し，σ の値は全振動子において同じ値をとる．

2.2 蔵本モデルの木構造への適用

蔵本モデルを木構造に適用し，支配方程式を以下の様に変形する．

$$\frac{d\theta_i}{dt} = \omega_i + \frac{\sigma}{k_i} f_i \sum_{j=0}^{N} a_{ij} sin(\theta_j - \theta_i) \tag{2}$$

ōga@complex.eng.hokudai.ac.jp
札幌市北区北14条西9丁目北海道大学工学部
札幌市北区北14条西9丁目北海道大学大学院情報科学研究科

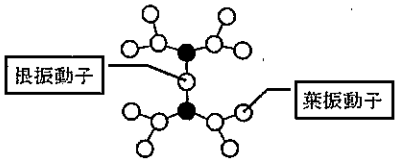


Fig. 1 木構造情報伝搬モデル

ここで，新たに加えられた k_i は振動子 i の枝次数を表す．また，f_i は影響係数を表し，以下の式で定義した．

$$f_i = \begin{cases} 1 & (i \neq X) \\ 0.25 & (i = X) \end{cases} \tag{3}$$

式(3)における X は，情報発信振動子の番号である．これにより，情報発信振動子が他の振動子から受ける作用は小さくなり，結果，自身の固有振動数を強く主張する振動子となる．また，a_{ij} は相互作用する振動子間のリンクの存在を示す隣接行列 $A = [a_{ij}]$ であり，以下の式で定義される．

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & (\text{リンクが存在するとき}) \\ 0 & (\text{リンクが存在しないとき}) \end{cases} \tag{4}$$

なお，本モデルでは，情報発信振動子との位相差が0.25未満のものを強伝搬振動子，0.25以上0.5未満のものを弱伝搬振動子として定義し，情報発信振動子からの情報が伝搬する度合いを表すものとする．

3 シミュレーション実験

木構造における振動子による情報伝搬を調べるため，以下の実験を行う．

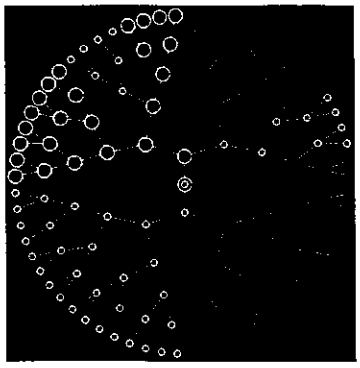
3.1 発信源による実験

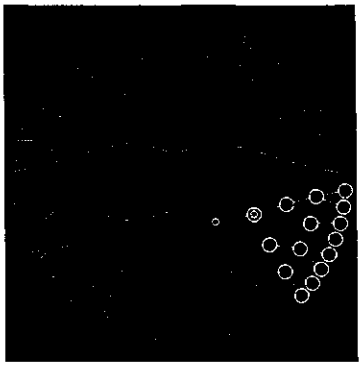
3.1.1 実験条件

情報発信振動子を根振動子，根振動子と葉振動子の中間にある振動子，葉振動子にした場合の振る舞いの変化について調査した．ここで用いたモデルは，深さ7の二分木，三分木モデルである．また，本実験における σ の値は3.0，ω_i は一様分布の乱数により与えられる．

3.1.2 結果・考察

二分木モデルの場合の実験結果を図2〜4に示す．これらは全て，定常状態に至ったときのものである．また，◎は情報発信振動子を表し，○は伝搬が広がっている振動子を表す．ここで，○が大きいものは強伝搬振動子，小さいものは弱伝搬振動子である．





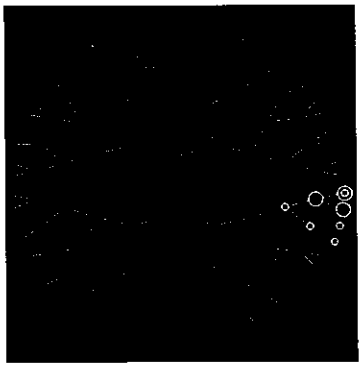


Fig. 2 根振動子からの情報発信　Fig. 3 中間の振動子からの情報発信　Fig. 4 葉振動子からの情報発信

パラメータは同一であるが，その情報伝搬の振る舞いは大きく異なる結果となった．情報発信振動子が根振動子の場合は，完全とはいかずとも情報伝搬が大きく広がっているが，情報発信振動子が，パス長が根から遠い葉に置かれるほど，情報伝搬が広がりにくくなることが確認できる．三分木モデルからも同様の結果が得られた．これより，根に近い振動子からの情報ほど全体に伝搬しやすく，根から遠い振動子からの情報ほど全体に伝搬しにくいということが言える．

3.2 結合強度による実験

3.2.1 実験条件

結合強度 σ による，情報伝搬の割合 (強伝搬振動子と弱伝搬振動子が全体を占める割合) とステップ数の関係性の変化について検証した．本実験における σ の値は，0.0，0.5，1.0，1.5 とし，情報発信振動子は根振動子とする．また，ω_i は，一様分布の乱数により与えられるものとし，ステップ数は 1000 とした．1000 ステップは，本モデル，設定条件において，定常状態に達する十分なステップ数である．

3.2.2 結果・考察

結果を図 5 に示す．各データは 10 回の試行の平均である．結果から，σ の値を増加させることにより，情報伝搬がより大きく広がっていることが確認できる．また，その振る舞いから 2 つの特徴を見出すことができる．

まず一つ目は，σ が 0 より大きな値の場合の初期過程に見られる伝搬割合の山型の変化である．これは，根振動子 (情報発信振動子) と葉振動子の間に存在するパス長の距離により，モデル全体への情報伝搬にある程度の時間を要し，情報発信振動子以外の振動子間に同期現象が生じてしまうことによると考えられる．

二つ目は山型の変化の大きさである．σ の値が小さいほど，その変化の大きさは小さい．これは，σ の値の増加が距離の問題をより小さいものとしたためと考えられる．従って，結合強度 σ と深さには大きな相関があると言える．

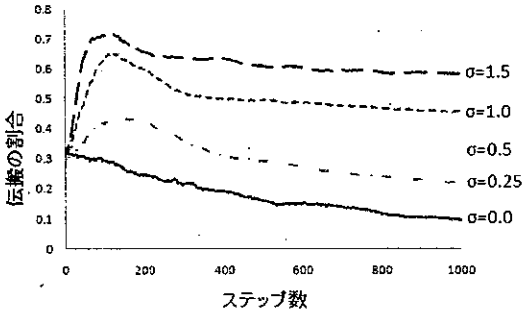


Fig. 5 情報伝搬の割合とステップ数の関係

4 結論

本研究では，木構造における情報伝搬を結合振動子の同期現象の視点から，シミュレーションに基づき解析し，木構造上での情報伝搬の性質解析に努めた．

まず最初の実験より，情報発信振動子が根から遠い葉に置かれるほど，情報伝搬は広がりにくいこと，そして二つ目の実験より，木構造における情報伝搬の広がりには，山型のうねりが存在することが示された．これは，例えば木構造を持つ企業において，地位の低い社員の意見は地位の高い社員に伝わりにくく，また，新たな情報の伝搬は社内に動揺を招くということを示している．これらの事実は，本来望まれるものではない．

本研究で扱ったモデルは，地位にあたるもの，つまりノードにウェイトを考慮していないモデルである．地位という問題がこの結果にどのような影響を及ぼすのかが非常に興味深い．今後は，深さを考慮したモデルの提案，うねりの問題を極力小さなものとする構造及び手法についての研究，等から追及していくことが課題である．

参考文献

[1] Y.Kuramoto: Chemical Oscillations, Wave and Turbulence. Springer, Newyork, (1984)

[2] J.A.Acebrom, L.L.Bonilla, C.J.P.Vicente, F.Ritort, and R.Spigler: The Kuramoto model: A simple paradigm for synchronization phenomena. Phys. Rev. Vol.77, pp.137-185, (2005)