

相異なる集団組織の分離融合ダイナミクス

村田賢太, 吉井伸一郎
北海道大学大学院 情報科学研究科

概要

本論文では, ふたつの小規模な全結合集団組織の分離融合に焦点を当てる. 集団組織を蔵本振動子でモデル化し, いくつかの非同期な振舞いを数値計算シミュレーションで観測する. そして, そのダイナミクスと系のパラメータとの関係を議論する. その結果, いくつかの非同期パターンの特徴を, 系のパラメータ設定から説明することができた.

Structural dynamics of different organized populations

Kenta Murata and Shinichiro Yoshii
Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

Abstract

In this paper, we focus on union and disunion of two small organized populations as complete graph structure. The organized population is modeled with Kuramoto oscillators, and several incoherent behavior is observed by the numerical simulation. Then, the relation to the system parameter and the dynamics is discussed. As a result it is able to explain the feature of some incoherent patterns from the set of the system parameters.

1 はじめに

どのような時代においても, 複数の異なる集団組織が融合することもある, ひとつの集団組織が分離することもある. 大小様々な組織改変が世界的に発生している要因は, 組織内外の各要素が, 常に自らの目的達成のために行動するからであろう. 例えば, 日本国内ではこれまでに, 政党の合併および分裂, 企業の合併および分社, プロ野球団の統合などが発生している. また最近では, 市町村合併が多発し, その発展として大規模な組織改変となる道州制が叫ばれている. これらはどれも, コスト削減など, 各々の目的達成のために行なわれた組織改変である.

ただし, このような組織改変がいつも成功するとは限らない. これは, 組織改変の決定プロセスにおいて把握できる情報が限られていること, および,

集団ダイナミクスの予測困難性を原因としているのではないだろうか. 組織改変の合目的性を判断するには, 典型的な改変パターンとの照合, 数値シミュレーションなどの方法論が考えられる. しかしながら, 組織改変を定量的および定性的に分析するための方法論は, これまでに提案されていない.

本論文では, 異なる組織間の分離融合について, 数値シミュレーションに基づき考察する. 組織内のすべての構成要素が相互に結合した小規模な組織を対象とする. 組織に属する要素を位相振動子として理想化し, 集団組織のダイナミクスを蔵本振動子を用いてモデル化する. そして, ふたつの組織間に新たな繋がりが生じるとき, およびその繋がりが消えるとき, 各組織のダイナミクスにどのような変化が生じるかを観察し, その結果から組織改変の定量的分析の可能性について検証する.

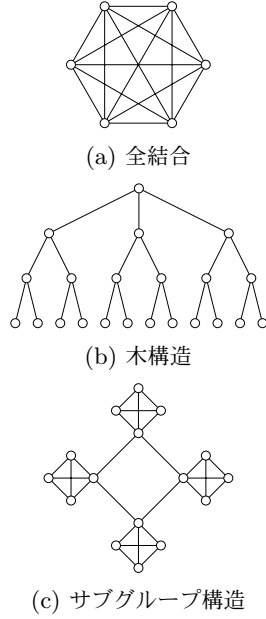


Fig. 1 集団組織のさまざまな内部構造

2 集団組織の分離融合

2.1 集団組織のモデル化

本論文が対象としている集団組織は、複数の人間が集って形成される組織である。ここでは、人が自身の行動を感情や外部刺激に基づいて決定していると仮定し、組織の構成要素としての人をモデル化する。

複数の人間で構成される集団組織は大小様々な存在する。このような組織は、一般的に、その規模に応じて異なる内部構造を持つ。組織内の内部構造は一般に、構成要素間のネットワークとして表現される (Fig. 1)。

集団組織の内部ダイナミクスは、蔵本振動子 [1] を拡張した次式で定式化する。

$$\frac{d\theta_i}{dt} = \omega_i + \sigma \sum_{j=1}^n \sin(\theta_j - \theta_i) + \tilde{\sigma} \xi \quad (1)$$

ここで、 θ_i と ω_i はそれぞれ要素 i の位相と自然振動数、 σ は組織内部の結合強度、 $\tilde{\sigma}$ は組織外部との結合強度、 ξ は組織外部からの影響である。

集団組織の同期を測るために、秩序パラメータと

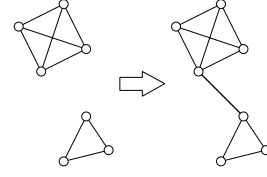


Fig. 2 集団組織の融合

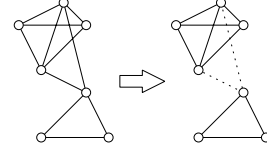


Fig. 3 集団組織の分離

して次式を用いる。

$$Re^{i\Theta} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n e^{i\theta_j} \quad (2)$$

ここで R をコヒーレンス、 Θ を結合位相と呼ぶ。

2.2 組織間の分離融合

本論文では、二組織間の融合と分離を取り扱う。それまで独立して存在していた組織間に新たな繋がりが発生することを融合とする。そして、いくつかの繋がりが消滅することで、ひとつの組織から複数の組織が発生することを分離とする。集団組織の融合の例を Fig. 2 に、分離の例を Fig. 3 にそれぞれ示す。

3 実験および考察

ふたつの集団組織 A , B が融合し、その後分離する過程を数値計算シミュレーションで観測する。観測対象は、各集団に属する要素の位相 θ_i 、各組織毎の秩序パラメータ $R_A e^{i\Theta_A}$ と $R_B e^{i\Theta_B}$ 、そして全体の秩序パラメータ $R e^{i\Theta}$ である。

実験の条件は次のとおりである。各要素の初期位相を $[-\pi, \pi)$ の一様分布乱数で、自然振動数を $\omega_0 = 0$ 、 $\gamma = 0.5$ の Cauchy-Lorentz 分布

$$g(\omega_0, \gamma) = \frac{1}{\pi} \frac{\gamma}{(\omega - \omega_0)^2 + \gamma^2}$$

で与える。組織内の結合強度 σ および組織間結合強度 $\tilde{\sigma}$ は Table. 1 に示す組合せて設定する。シミュレーションは、時刻 $t = 0$ で各要素が孤立した状態

Table. 1 結合強度の設定

	組織内結合強度 σ	組織間結合強度 $\bar{\sigma}$
(1)	1.0	1.0
(2)	1.0	4.0
(3)	4.0	1.0
(4)	4.0	4.0

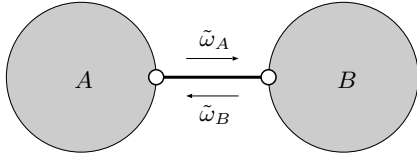


Fig. 4 組織間での自然振動数の交換

から開始する．時刻 $t = 50$ でふたつの組織 A および B を構築，時刻 $t = 100$ で二組織 A – B 間に結合をひとつ追加し，組織を融合させる．そして時刻 $t = 200$ で A – B 間の結合を削除し，組織を分離させる．最後に時刻 $t = 300$ でシミュレーションを終了する．

実験から，Table. 1 で示した 4 組の条件下では，パラメータの初期設定について同期を示すものが存在することが確認された．また，同期か非同期かに関わらず，分離後の各組織が持つ平均振動数は融合前の平均振動数と等しい値を示した．

非同期な振舞いが観測された条件は (1)，(2)，および (3) である．蔵本振動子の理論 [2] より，全結合組織の振舞いは，有限サイズ効果を含んだ単一の振動子として近似可能である．従って，同期を示す場合の振舞いは本質的に組織 A と組織 B を単一振動子とした場合の二体問題として考えることが可能である (Fig. 4)．

しかしながら，同期を示さない場合は，そのような近似を用いて考察することはできない．なぜなら，蔵本振動子理論では，同期の発現について詳細に議論されてはいるが，非同期な振舞いの詳細については殆ど分かっていないからである．そこで，非同期な振舞いについて詳細に観測する．

Fig. 5 は Table. 1 (1) の条件下で観測された非同期パターンである．この例は，組織内同期振動数に大きな差が見られ，振動数の小さな組織 A が振動

数の大きな組織 B からの影響を受けている．しかしながら，組織 B は組織 A からの影響を受けておらず，組織融合前の振動状態を保っている．このような非同期パターンが現われる要因は，組織内振動数の絶対値に大きな差があること，かつ組織間結合強度が小さいことであると考えられる．

Fig. 6 は Table. 1 (1) の条件下で観測された非同期パターンの別な例である．この例の特徴は，極端に大きな自然振動数を持つ要素が片方の組織に存在している点である．ダイナミクスに注目すると，組織 B に属する一要素を除いて，同期振動を発現していることが分かる．さらに，組織 B に注目すると，極端に大きな自然振動数を持つ要素の影響で，組織 A と同期している要素の振動にノイズが混入している．組織 B 内に見られる非同期パターンが現われる要因は，要素が持つ自然振動数の絶対値に大きな差があること，かつ組織内結合強度が小さいことであると考えられる．また，組織 A は組織 B 内の非同期要素から全く影響を受けていない．これは，組織 B 内の各要素が持つ振動数が， A – B 間結合を担う要素で平均化されて組織 A へ伝播されるからであると考えられる．

Fig. 7 は Table. 1 (2) の条件下で観測された非同期パターンの例である．この例の特徴は，Fig. 6 と同様に，極端に大きな自然振動数を持つ要素が片方の組織に存在している点である．しかしながら，この例では，組織 A および B の両方が非同期要素から影響を受けている点が異なる．このような違いが現われる要因は，組織内結合強度と比較して大きな組織間結合強度にあると考えられる．

Fig. 8 は Table. 1 (3) の条件下で見られる非同期パターンの例である．この例の特徴は，組織 A と B がお互いに影響を与え合っているが，両者共に組織内結合振動をほとんど維持していることである．この例では， A と B の組織内結合振動数がほとんど同じであることから，組織融合によって容易に同期を発現しても良いと考えられるが，そうはなっていない．この要因は，大きな組織内結合強度にあると考えられる．組織内結合強度が大きい為，外部から伝播してくる影響が，組織内での引き込みの強さに勝

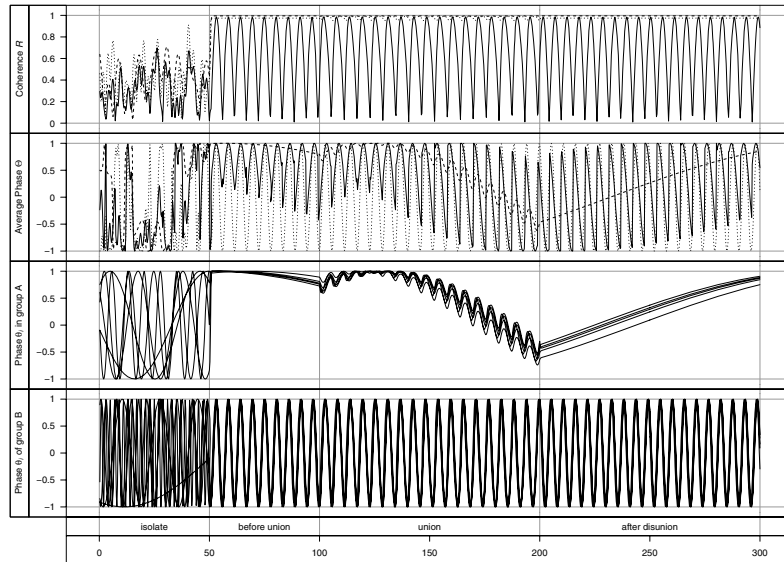


Fig. 5 Table. 1 (1) の条件下で見られる非同期な振舞い. 組織 A が組織 B からの影響を受けているが, 組織 B は組織 A からの影響を受けていない.

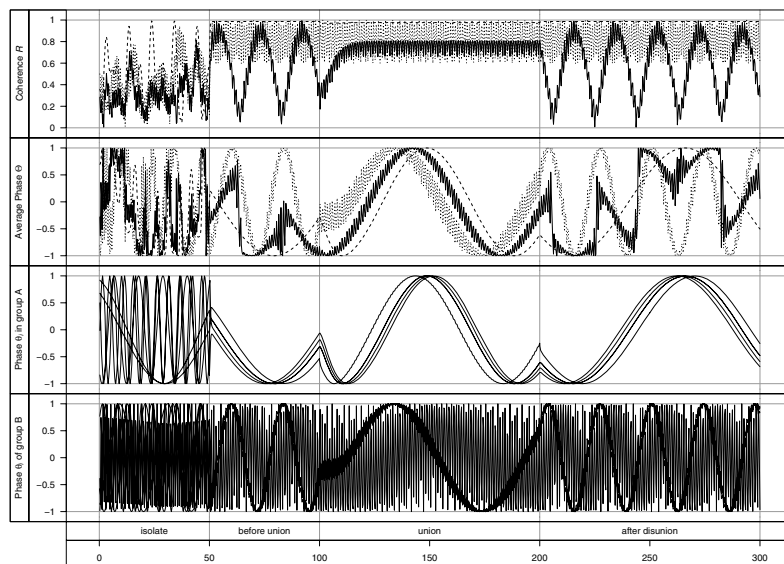


Fig. 6 Table. 1 (1) の条件下で見られる非同期な振舞い. 組織 B 内の一要素を除いて同期していることが分かる. 組織 B 内の同期要素は非同期要素からの影響を受けているが, 組織 A 内の要素は影響を受けていない.

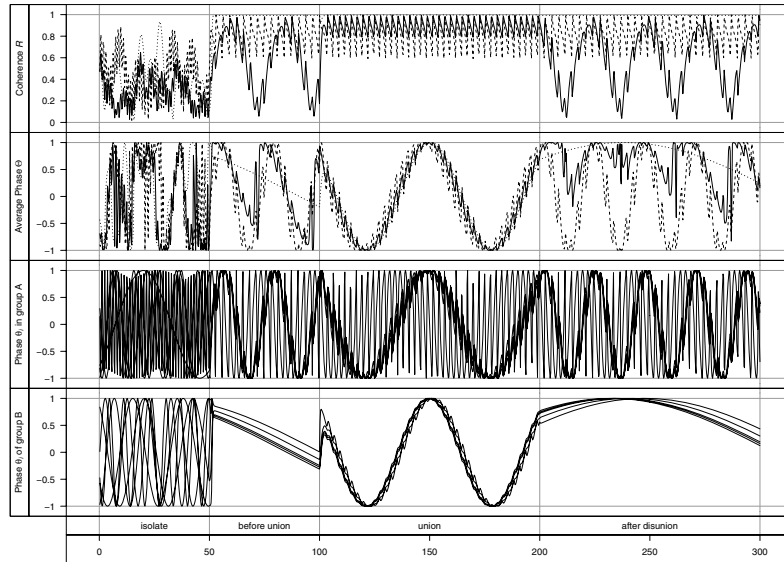


Fig. 7 Table. 1 (2) の条件下で見られる非同期な振舞い. 組織 A 内の一要素を除いて同期していることが分かる. 組織 A および組織 B の両方が, 非同期要素からの影響を受けている.

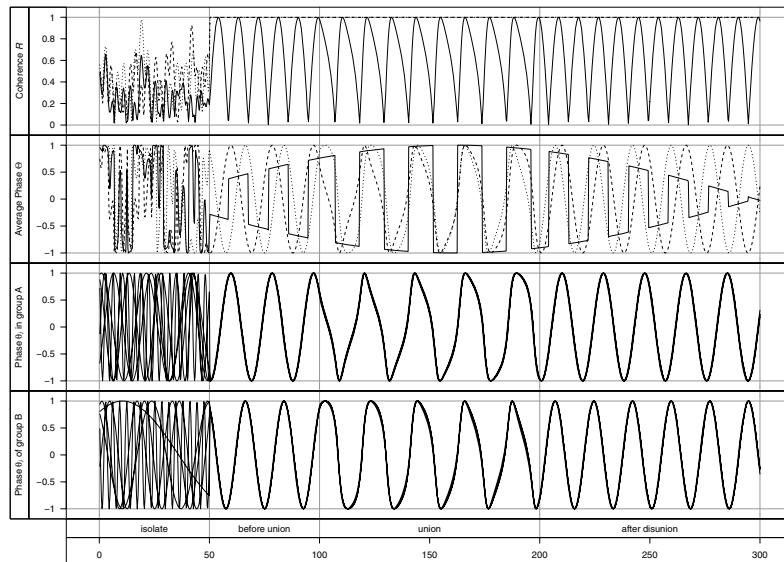


Fig. 8 Table. 1 (3) の条件下で見られる非同期な振舞い. 両組織とも, 互いに影響を与え合っているが, その効果が小さいため引き込まれていない.

てず、効果が減少するのである。

4 おわりに

本論文では、ふたつの小規模な全結合組織の分離融合における非同期な振舞いに焦点を当てた。そして、いくつかの条件下で非同期な振舞いを観測し、そのダイナミクスと系のパラメータとの関係を議論した。その結果として次のことが明かとなった。

- 弱い組織間結合強度の下で、小さな振動数で同期する組織は、大きな振動数で同期する組織からの影響を受けて揺らぐ。
- 極端に大きな自然振動数を持つ要素がひとつだけ存在する場合は、組織間の同期に影響を与えない。しかしながら、それが属する組織内外では、組織内・組織間の各結合強度の値によって、その要素による結合振動の揺らぎが生じる。
- 大きな組織内結合強度を持つ組織間の融合では、振動数が近い値を示していたとしても、組織内の引き込みによって外部からの影響が弱められる。そのため、組織間に同期が見られない。

通常、組織構造を変更する必要がある場合、その計画立案では、どうすれば上手く事が運ぶかに焦点が当てられる。しかしながら、組織改変におけるフォールトトレランスを実現するためには、どうすれば失敗するかを調査し、そのような状況を回避することが必要不可欠であろう。従って、集団組織のダイナミクスから組織改変の定量的分析を実現するためには、上手く同期しないパターンに焦点を当てた解析が重要である。今後は、非同期な振舞いについて、より多くのパターンを調査し、各振舞いが発現する条件の同定などを行う必要がある。

参考文献

- [1] Y. Kuramoto. *Chemical Oscillations, Waves, and Turbulence*, volume 19 of Series in Synergetics. Springer, New York, 1984.
- [2] J. A. Acebrón, L. L. Monilla, C. J. P. Vicente, F. Ritort, and R. Spigler. The Kuramoto model: a simple paradigm for synchronization phenomena. *Rev. Mod. Phys.* **77**, 137, 2005.