化学反応系とのアナロジーにもとづく自己組織的情報処理のためのモデル CCM

金田　泰，新情報処理開発機構
Yasusi Kanada, Real-World Computing Partnership

概要

■ 自己組織的な記号情報処理を実現するための計算のモデル CCM (化学的キャスティング・モデル) を提案する．

■ CCM をグラフ彩色問題のような制約充足問題に適用すると，局所的な計算のくりかえしによって，かんたんに解をもとめることができる．

1. 研究の目的

■ 自己組織的計算の実現

◆ 局所的・部分的な情報から，のぞみの大域的な構造をつくる創発的な情報処理法の実現をめざす．

◆ 理由： 複雑な情報処理システムをつくるとき，神ならざる人間が大域的・全体的な情報をあたえるのは不可能ゆえ．

◆ 創発的な情報処理法とは

- トップダウン設計・計算ではなく，ボトムアップ計算にもとづく．
- 決定論的な計画 (= あらかじめあたえられたプログラム) ではなく，多数のミクロな計算の動的な相互作用にもとづく．

■ 記号情報処理とパタン情報処理の統合 (RWC の大目標) への記号側からの接近をはかる．

◆ 関連研究として，ニューラル・ネットや統計的方法によるパタン側からの接近，人工生命の研究などがある．

2. CCM

■ CCM とはなにか？

◆ 自己組織的な情報処理のための計算モデルを考案した．

◆ このモデルを化学的キャスティング・モデル (Chemical Casting Model) とよぶ．

- “キャスティング” は “プログラミング” や “計算” にかわることば．

◆ CCM は化学反応系とのアナロジにもとづく計算モデルである．

■ CCM の構成

◆ オブジェクト

- 原子 : □　データの単位．原子は内部状態をもつ．
- 分子 : □　原子がリンクによって結合されたもの．
- リンク: □　原子を結合するもの．
  向きがあり，ラベルがつく点が化学結合とことなる．

◆ キャスタ (プログラム)

- 局所秩序度 : □　局所的な秩序化の程度をあらわす量．
- 反応規則 : □　　系の局所的な変化のしかたをきめる規則．
  - 前向き推論によるプロダクション規則．
  - 化学反応式に相当し，双方向に動作しうる．

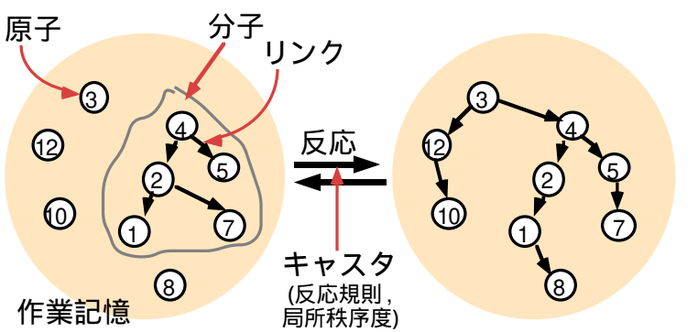
■ 計算の方法

- ◆ 適用すべき反応規則とオブジェクトは非決定論的に (乱数をつかって) 選択する．
- ◆ 反応規則は，適用すべきオブジェクトの局所秩序度の和が増加する時だけ適用する．
- ◆ しかるべき条件がなりたつまで反復適用する．
  - • 反応可能な原子がなくなると停止する，または規則左辺を一定回数しらべても反応がおこらないと停止する．

■ CCM にもとづく計算の特徴

- ◆ 規則の適用は基本的に局所的な情報だけにもとづく．
- ◆ 反復適用の結果として，大域的な構造が形成される (ことをめざす)．

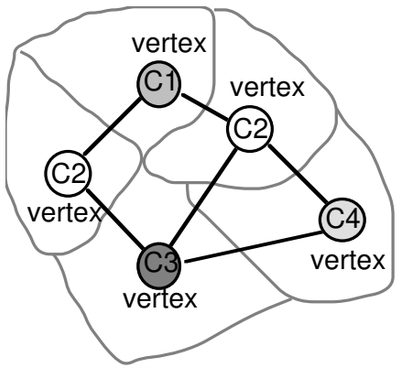
■ CCM の構成要素の図説



3. 例： 彩色問題

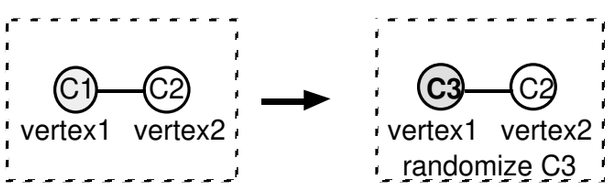
■ 問題

- ◆ グラフの頂点を 4 色にぬりわける．
- ◆ 地図の彩色問題ともみなせる．



■ キャスタ

- ◆ 反応規則 (反応規則)



  - • この規則は “触媒” を 1 個ふくんでいる．
  - • 触媒とは，規則にあらわれるが反応によって変化しないオブジェクトのこと．
- ◆ 局所秩序度

$$o_w(x, y) = \begin{cases} 1 & \textbf{if } x.neighbor = y \textbf{ and } x.color \neq y.color \\ 0 & \textbf{otherwise} \end{cases}$$

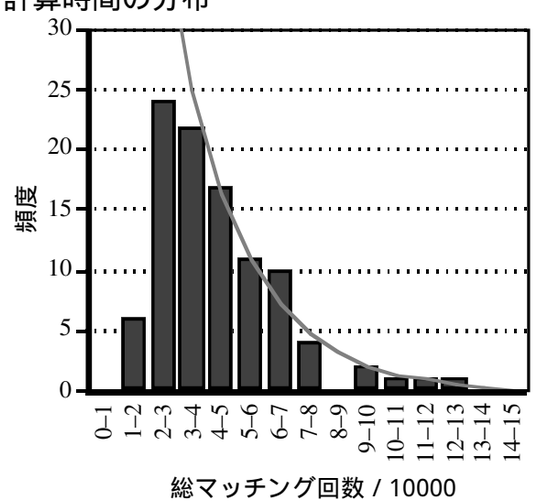
■ 実行結果

- ◆ 米国本土 48 州の地図の彩色を実行した．
- ◆ 実行のたびに解をもとめることができた．
- ◆ 計算時間はほぼ $O(N)$ ~ $O(N^2)$ (?)
- ◆ 計算過程における大域秩序度 (局所秩序度の総和) の変化を観測した．
  - • 大域秩序度は単調には増加しない — “競合” がおこっている．

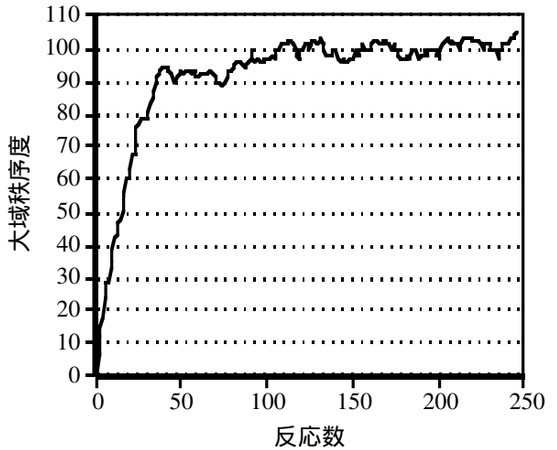
■ これまでにためした他の例題

- ◆ 制約充足問題としては，N クウィーン問題など．
- ◆ 最適化問題としては，巡回セールスマン問題，整数計画問題など．
- ◆ 他に，ソート，いくつかのグラフ問題 (最短路探索) など．

■ 計算時間の分布

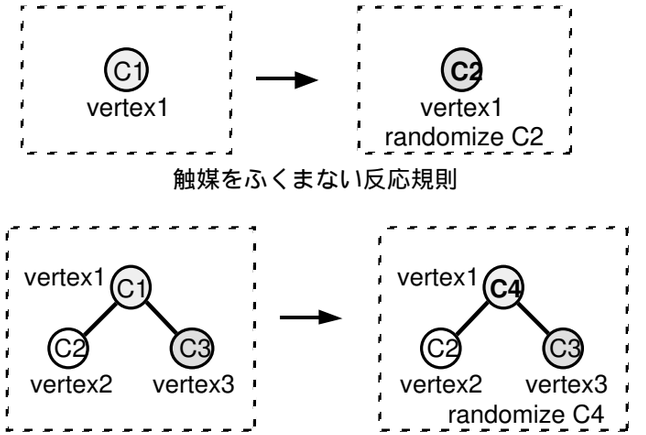


■ 大域秩序度時系列の例

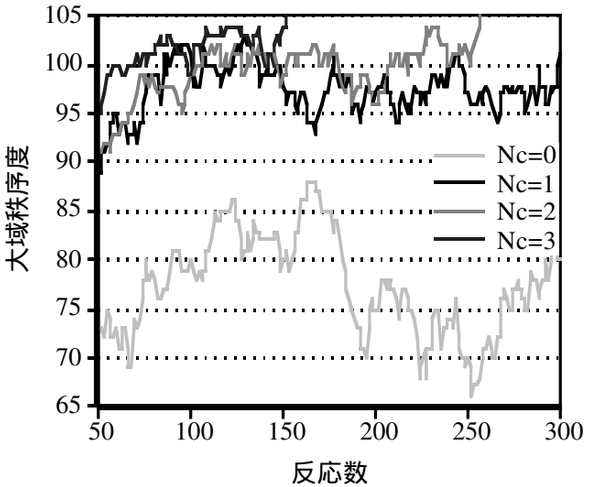


■ マルコフ連鎖として説明可能

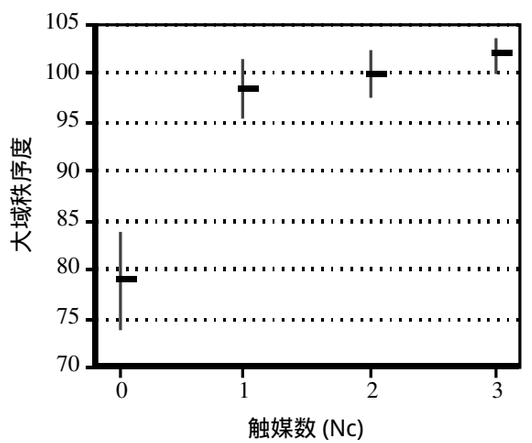
■ 触媒数がことなる規則



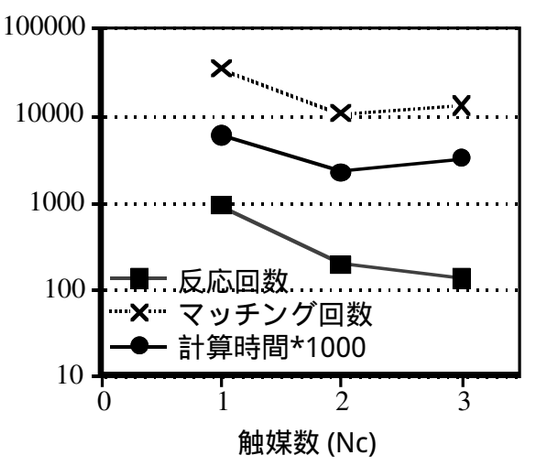
■ 触媒数 0 ~ 3 のときの大域秩序度時系列の例



■ 準定常状態における大域秩序度の平均値と標準偏差



■ 触媒数と計算時間などとの関係



4. 結論

■ CCM にもとづいて，局所的な情報から彩色問題などの問題解決ができる．

■ CCM にもとづく制約充足問題をとくシステムは興味ぶかい動特性をしめす．

◆ 大域秩序度の時間変化，触媒の作用などにおいて．

■ 今後，より適切な自己組織的情報処理のための例題をさがして，CCM を適用したい．

◆ 制約充足問題や最適化問題は例題として不十分．