コンピュータによる自己組織系のモデルをめざして

日立製作所中央研究所　金田　泰

内容

- はじめに
- 自己組織のための計算モデル CPM
- 例題 : *N* クウィーン問題
- CPM におけるスケジュリング戦略
- 結論・今後の課題

はじめに
大規模ソフト開発の危機的状況

■ 開発の現状

- ◆ 第 3 次 (“大惨事”) オンライン・システム，CAD システムなどのソフトウェア・システムはますます大規模化している．
- ◆ 大規模化にともなって “ソフトウェア危機” はいっそう深刻化している．

■ “危機” の原因

- ◆ 些細なバグが致命的なあやまりにつながる (規模によらず)．
- ◆ システムは開放性をもつ (人間社会に対してひらかれている) ゆえに仕様もはっきりしない．
- ◆ 人間社会の複雑さを反映しているためにシステムも複雑化している．

危機脱出のためのてがかり—1
自己組織系への注目

■ 自然のシステムがもつ性質 [Laszlo]

- ◆ 全体性 (非還元性)
- ◆ 自己安定性 (負のフィードバック)
- ◆ 自己組織性 (“正のフィードバック”)
- ◆ 階層性

■ 非還元性について

- ◆ 従来のソフト開発法は還元論的 (分割統治法的) だが，現実のソフトは非還元的．
- ◆ 非還元性を利用すべき —“災い転じて福となす” べき (?)

■ 自己安定性について

- ◆ 些細なバグが致命的なのは自己安定性がないから (?)

■ 自己組織性について

- ◆ システムがあつかう問題の解決手順の “自己組織” をめざす．

人間の不完全性・非合理性への注目

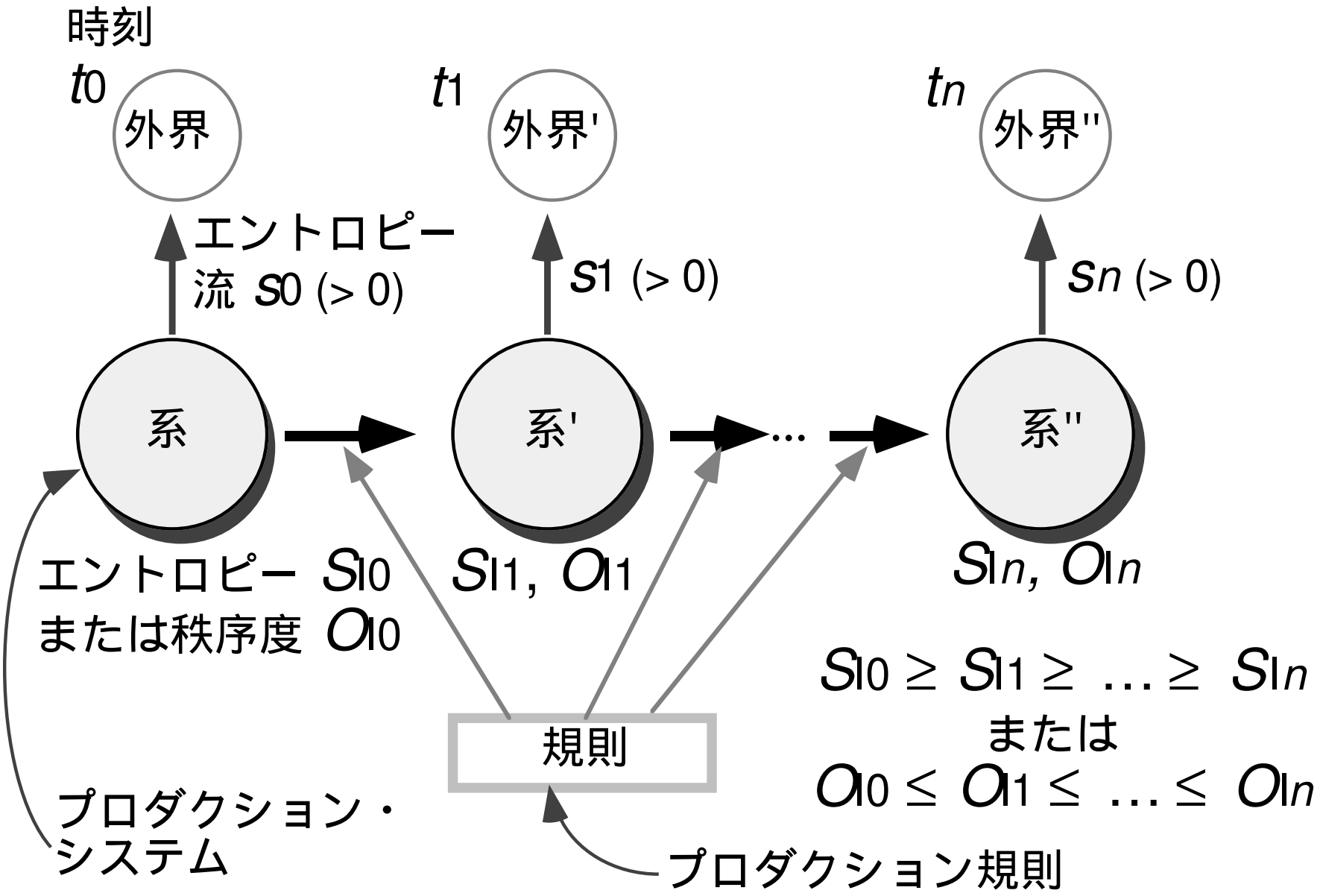
■ 従来のプログラムの理論においては

- ◆ プログラム / プログラマは合理的かつ完全
  — 開発の現場をみれば，こういうモデルこそ不合理．

■ あるべき (やわらかい) 理論においては

- ◆ 不完全な (人間が書いた) プログラムもそれなりの動作が保証されるべき — 自己安定性に関係．
- ◆ 非合理なちからをむしろ利用すべき
  — “災い転じて福となす” べき (?)

“自己”組織系の基本モデル



自己組織のための計算モデル CPM — 1
化学的プログラミング・モデル (CPM) の構成要素

CPM 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．

■ 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である．

■ オブジェクト間の関係

- ◆ 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．
- ◆ 局所秩序度 : 局所的な秩序化の程度をあらわす量．

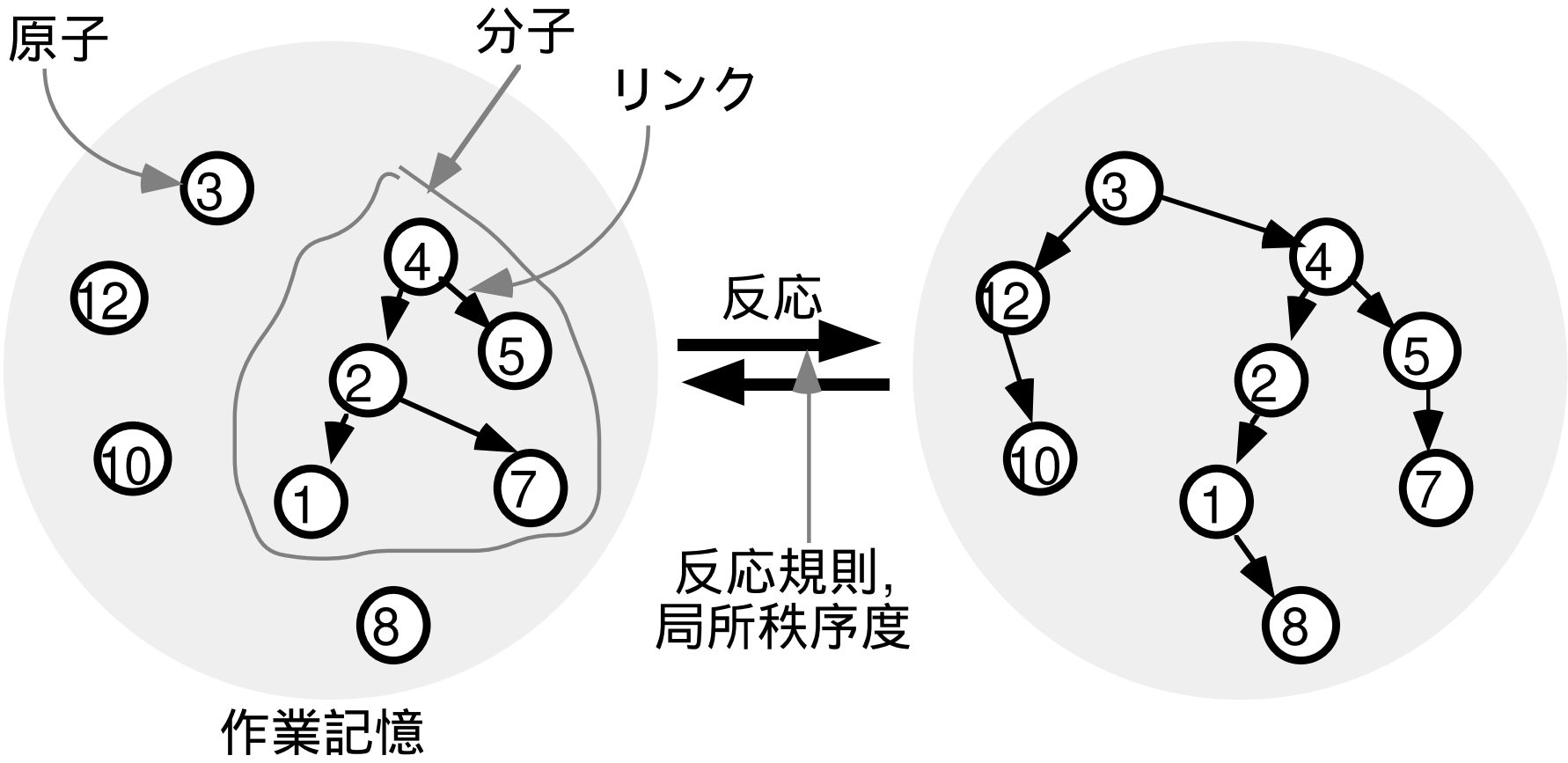
■ 反応規則

- ◆ 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)．

- ◆ 局所秩序度が増加する時だけ規則が適用される．

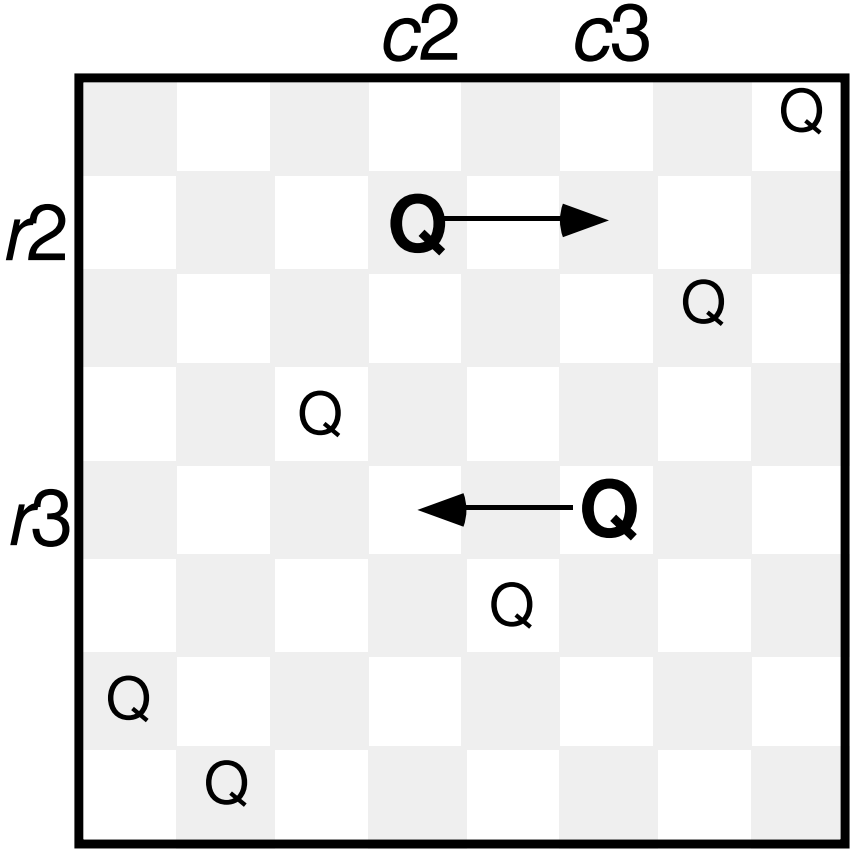
CPM の構成要素の図説



◆ 局所的な情報だけにもとづいて (ボトム・アップに) 反応規則を反復適用して，大域的な秩序を実現することをめざす．

例題：Nクウィーン問題のプログラム—1
解法の基本

2個のクウィーンを非決定的にえらんでその列を交換するという局所的な操作を反復して1個の解 (大域的な秩序) をもとめる．



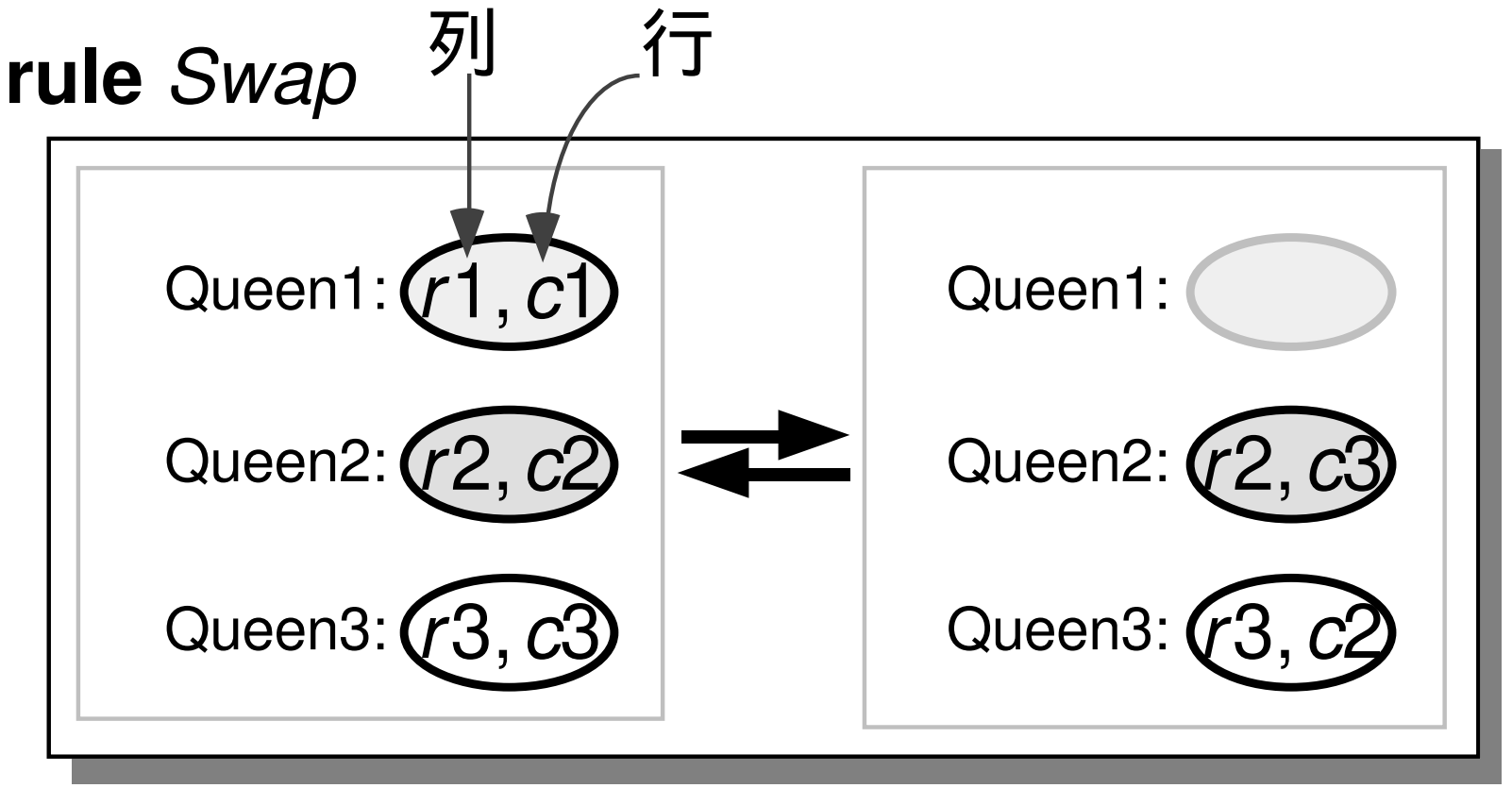
交換のくみあわせかた (手順) はあたえない．

初期条件

- クウィーンはすべて盤面にある．
- クウィーンは各行各列にただ1個とする (対角線方向には2個以上あってもよい)．

反応規則の定義

反応規則は唯一.



(リンクは使用しない)

局所秩序度の定義

■ 定義

相互秩序度として (2 個のクウィーン間で) 秩序度を定義する．

$$o(x, y) = 0 \quad \textbf{if } x.column - y.column = x.row - y.row \textbf{ or } x.column - y.column = y.row - x.row,$$
$$1 \quad \textbf{otherwise}.$$

(2 個のクウィーンが対角線方向にあれば 0，それ以外は 1.)

■ 行方向，列方向をしらべる必要はない．

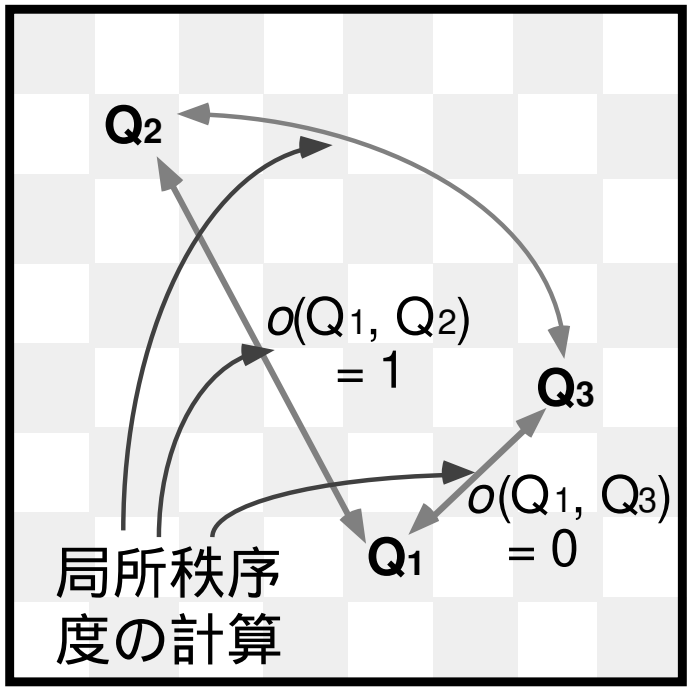
なぜなら，初期状態において同一の行または列にあるクウィーンが存在しなければ，規則の適用後も存在しないから．

■ 他の局所秩序度定義法

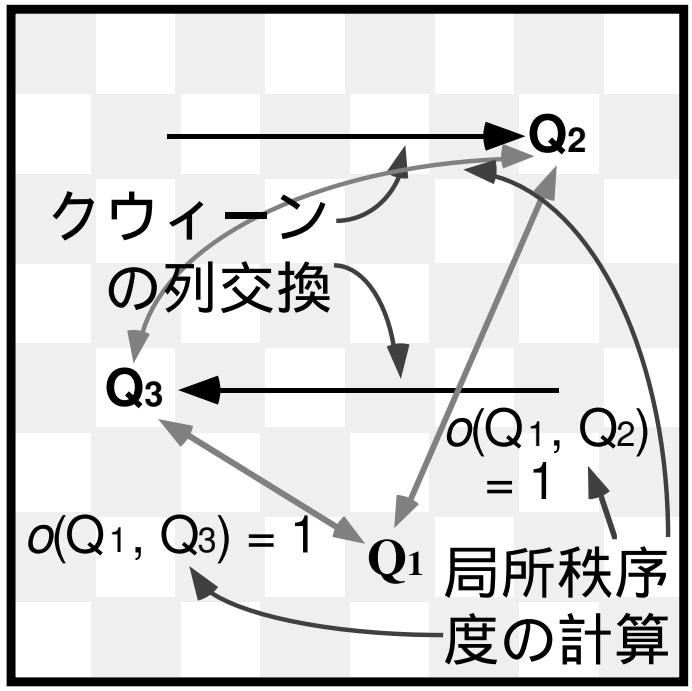
自己秩序度 $o(x)$ (単独のデータに対して定義する)．

Nクウィーン問題のプログラムの意味
規則を適用するかどうかの決定法

規則適用前の状態



規則適用後の状態



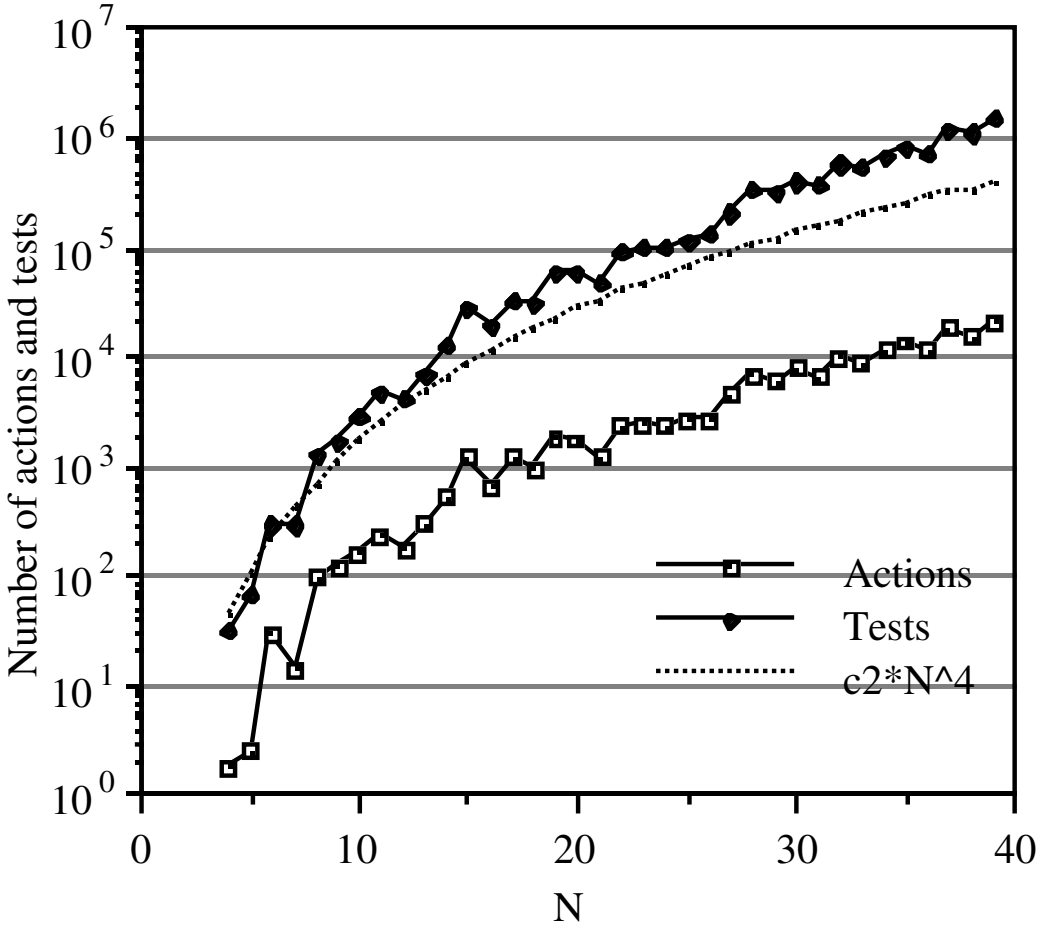
規則左辺にマッチする３個のクウィーンのあいだで規則適用前における局所秩序度の和を計算する.

規則適用後の局所秩序度の和を計算し，それが増加するときだけそれらのクウィーンに対して実際に規則を適用する.

N クウィーン問題の実験結果

■ 解がたかい確率でもとめられる (ループすることもある) .

■ 求解までの規則適用回数とマッチング回数の測定結果*



◆ マッチング回数 = 規則左辺の評価回数 .

◆ 計算時間はほぼマッチング回数に比例し , $O(N^4)$ である .

* CPM にもとづく言語処理系 **SOOP-92 V1** による (SOOP = Self-Organization-Oriented Programming)

Nクウィーン問題のプログラムの２つの性質

■ 漸動性 — 一種の開放性

- ◆ システムが定常状態に達したあとも，入力があればそれに適応的に動作する性質．
- ◆ *N* クウィーンのプログラムには漸動性がある
  — *N* クウィーン問題の解がえられたあとで *N* + 1 番めのクウィーンをあたえると，*N* + 1 クウィーン問題の解がえられる．

■ 極大点からのぬけだし (Simulated Annealing 的効果)

- ◆ 前記のプログラムは大域秩序度の極大点で停止せず最大点に到達する．
- ◆ 大域秩序度の増加時だけクウィーンを交換するようにプログラムを変更すると，しばしば極大点で停止するようになる．

Nクウィーンにおける大域と局所との関係
極大点からのぬけだしの説明など

■ 大域秩序度

- ◆ すべてのデータのくみあわせに関する局所秩序度の和．
- ◆ 大域秩序度が最大になる状態が解となる (容易に証明可能)．

■ 局所秩序度と大域秩序度との対立 — 非還元性

- ◆ 大域秩序度が増加するときすべての局所秩序度が増加するとはかぎらない
  — そのために極大点からのぬけだしが可能になっている．
- ◆ 局所秩序度が増加しても大域秩序度が増加するとはかぎらない — 交換するべきクウィーンと規則左辺にマッチする3つ以外のクウィーンとの関係は，交換によって悪化しうる．
- ◆ 非還元的な問題解決の方法を示唆している (?!)

N クウィーン問題以外の実験

- 巡回セールスマン問題 (TSP)
  - 都市数 500 まで実験し，計算時間は $O(N^3)$ であることがわかった．
- 線形計画問題・整数計画問題
- ニューラル・ネットにもとづく N クウィーン問題
- ソート

...

CPM におけるスケジュリング戦略 — 1
その定義

■ スケジュリング戦略とは

◆ 適用可能な複数の規則とデータとの組が存在するとき，それらをどのような順序で選択して実行するか / 並列処理するかをきめる戦略のこと．

— N クウィーン問題のばあいには規則は唯一なので，データの選択順序だけが問題になる．

◆ 従来のプロダクション・システムにおける競合解消戦略に相当する．

自己組織性との関係

- スケジュリング戦略の非決定性が自己組織化につながる?!
  - スケジュリング戦略には決定的なものと非決定的なものとがある．
  - 自己組織化であるためには，システムが自発的に (ボトム・アップに) 動作することが必要．
    - 自己組織系を外部から観察すれば非決定的に動作しているようにみえるはず (“分岐”，“対称性のやぶれ” などもこれに関連する)．
    - 自己組織系の構成要素は自由をもっていて，非決定的 (非合理的?) な選択によりシステムのつぎの状態をきめる．

さまざまなスケジュリング戦略と“非合理性”の導入

■ 決定的な戦略 — 合理的戦略

系統的な方法で規則の適用順序をきめる戦略．

→ CPM は力学系 (dynamical system) として理論化される (?)

■ 偶然性にもとづく戦略 — “非合理的”戦略 1

乱数などによってランダムに規則の適用順序をきめる戦略．

→ CPM は確率過程として理論化される (?)

■ 人間による主観的選択戦略 — 非合理的戦略 2

人間の直観的な判断，感情的な判断などにもとづいて規則の適用順序をきめる戦略．→ ？

■ 超越的な存在による選択戦略 — 非合理的戦略 3

◆ 自然現象 (カオス的現象など) をつかう適用順序の選択戦略．

◆ “神” (またはシャーマン) による選択． ... → ？

結論

■ この報告では，自己組織系の基本モデルと，それにもとづく計算モデル CPM を提案し，例題をしめした．

■ CPM によって N クウィーン問題を記述・実行し，
- ◆ 単純な手順上は不完全なプログラムで問題解決ができること，
- ◆ このプログラムの非還元的な性質が有利に作用すること，
- ◆ このプログラムが一種の開放性 (漸動性) をもつこと，
- ◆ 多項式時間 ($O(N^4)$) で実行されることなどをしめした．

■ CPM におけるスケジュリング戦略について考察し，その非決定性のなかに非合理性をとりこむ可能性を示唆した．

■ まだ自己組織化や大規模システムの本質への接近が不十分．しかし，人間の不完全性や非合理性，システムの全体性や開放性も許容できる，自己組織的システム実現への一歩になりうる．

今後のおもな課題

■ 開放系の問題への適用

- ◆ *N* クウィーン問題や TSP は基本的に閉鎖系の問題．
  自己組織性が本来のちからを発揮するのは開放系の問題．
- ◆ まず適当な開放系の問題をみつける必要がある．

■ 計算の目標や目的を修正する機構の導入

- ◆ CPM においては秩序度関数 (計算の目標・目的) をシステムが変更することはない．
- ◆ 本来の自己組織過程では目標・目的が修正されることがおおいであろう — CPM を拡張して自己参照 (リフレクション) を導入することが必要．

■ 数理モデルの構築

- ◆ 力学系や確率過程等にもとづくモデル — 安定性などを議論．
- ◆ 記号情報処理とパタン情報処理の溝をうめることをめざす．