

非線形システム概論2007

最終回

池口 徹

埼玉大学 大学院 理工学研究科研究部 数理電子情報部門 情報領域

338-8570 さいたま市 桜区 下大久保 255

Tel : 048-858-3577, Fax : 048-858-3716

Email : tohru@ics.saitama-u.ac.jp

URL : <http://www.nls.ics.saitama-u.ac.jp/~tohru/>

非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.1/40

講義のキーワード

講義の内容を

で表すと？

注) 単に

だけ，

だけだと面白くない

非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.2/40

重ね合わせの理

□ $f(x)$ に対して，以下が成立すること．

⇒ $f(x)$ な場合にのみ成立

問 我々の身の回りに存在する，様々な事象・現象において，重ね合わせの理が必ず成立しているだろうか？

⇒

むしろ

⇒

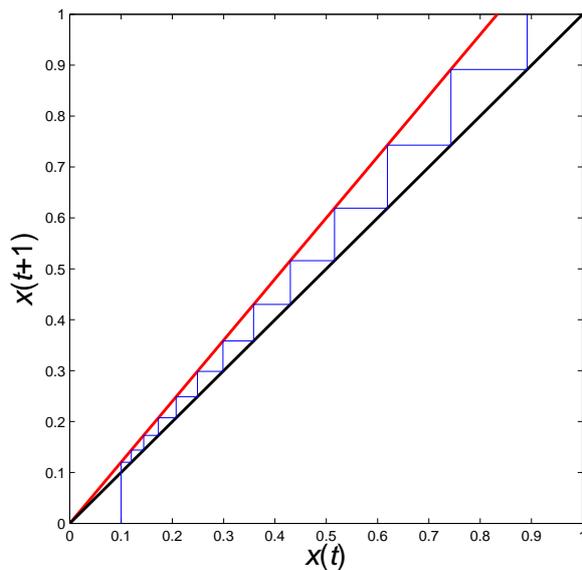


非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.3/40

なぜ非線形ダイナミクスか？

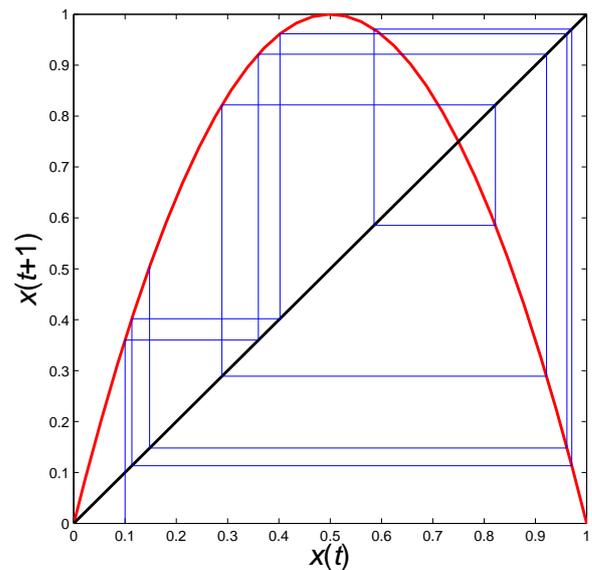
線形なダイナミクス

$$x(t+1) = 1.2x(t)$$



非線形なダイナミクス

$$x(t+1) = 4x(t)(1 - x(t))$$



状態が発散する → あり得ない

非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.4/40

講義のまとめ

- 非線形ダイナミカルシステムの導入
 - 蠅の個体数のモデリング
 - 1次元非線形写像 (ロジスティック写像) の振る舞い
 - 固定点, 周期解, カオス, 安定性, 不安定性, 分岐
- 多次元非線形ダイナミカルシステムの基礎
 - エノン写像, 池田写像
 - 固定点, 周期解, カオス, 安定性, 不安定性, 分岐
 - テーラ展開
 - 固有値問題
- 複雑ネットワーク入門
 - 実世界に存在するネットワークの特徴
 - 非線形素子がどのように結合するのか

非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.5/40

紹介出来なかった最新の話題例

1. 複雑な現象の非線形予測

複雑な現象は _____ である。従来手法では困難とされている複雑現象を _____ して、世の中の役に立つ。

2. 脳の情報処理原理の解明

我々の脳は、非線形な演算素子であるニューロンが、複雑に結び付きあっている。 _____ が用いられているのか。

_____ の情報処理原理を明らかにし、 _____ を目指すことで、世の中の役に立つ。

3. 組合せ最適化問題の高速解法の開発

工学にいれば必ず出会う組み合わせ最適化。NP 困難な大規模組み合わせ最適化問題を _____ 解くためのアルゴリズムを開発して、世の中の役に立つ。

4. 複雑ネットワーク理論の応用

我々の身の回りには複雑ネットワーク (SW, SF, etc) があふれている。ネットワーク思考に非線形ダイナミクス理論を _____ して、世の中の役に立つ。

非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.6/40

現在取り組んでいる研究課題例

1. 複雑な現象の非線形予測

決定論的カオス { 長期予測不能性
短期予測可能 } 良いモデル
= 非線形モデリング

非線形ダイナミクスの抽出

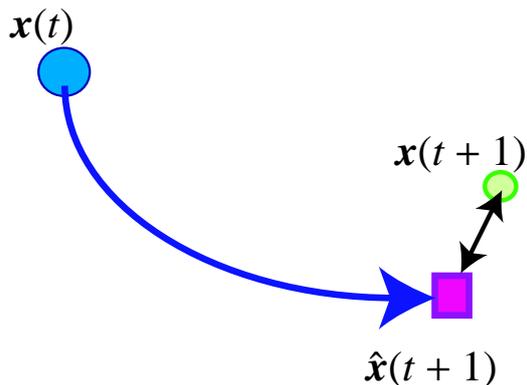
非線形予測の精度向上

カオスの同定も可能

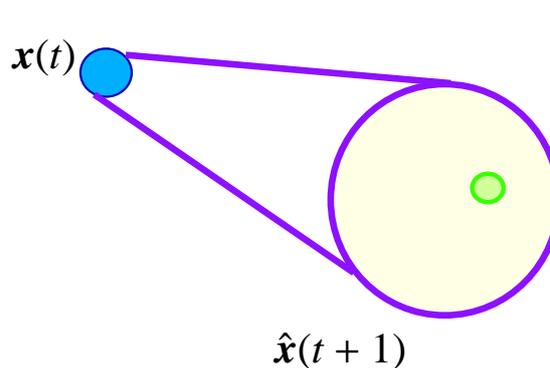
非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.7/40

ブートストラップ法による予測領域推定

一点で予測-



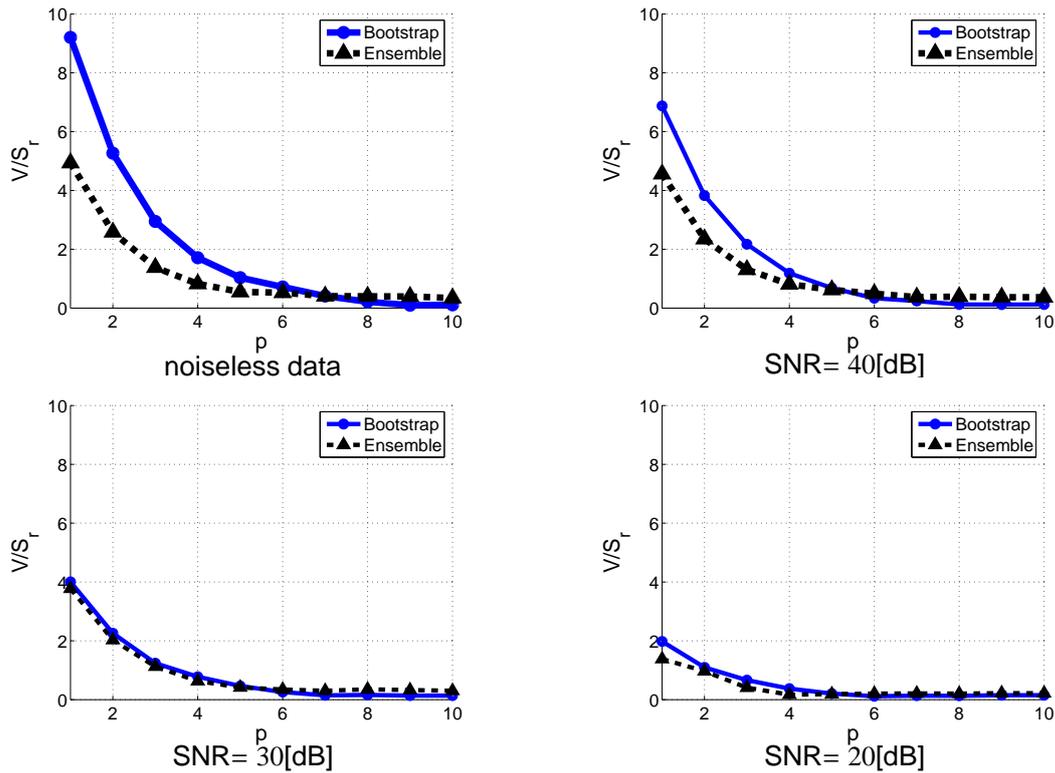
領域で予測-



アンサンブル法による予測領域の算出
→ ブートストラップ法による予測領域を算出

非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.8/40

結果例



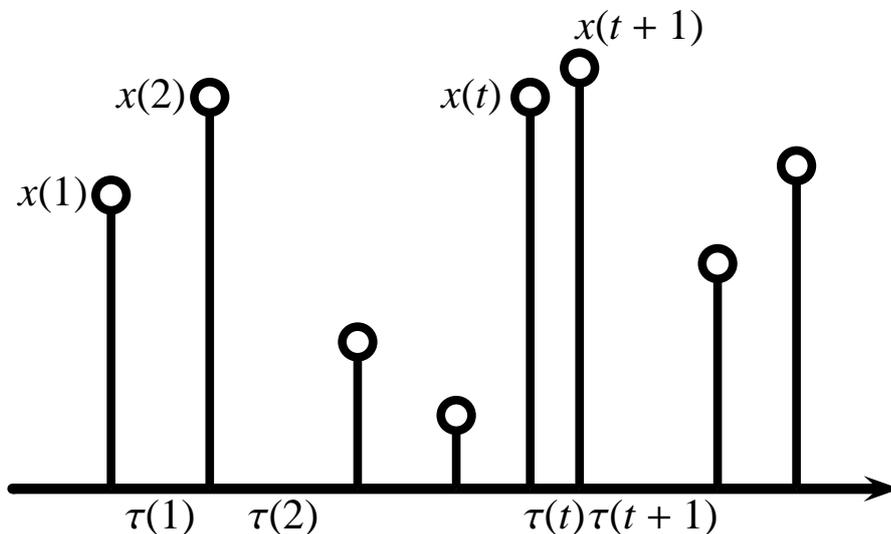
非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.9/40

現在取り組んでいる研究課題例

1. 複雑な現象の非線形予測

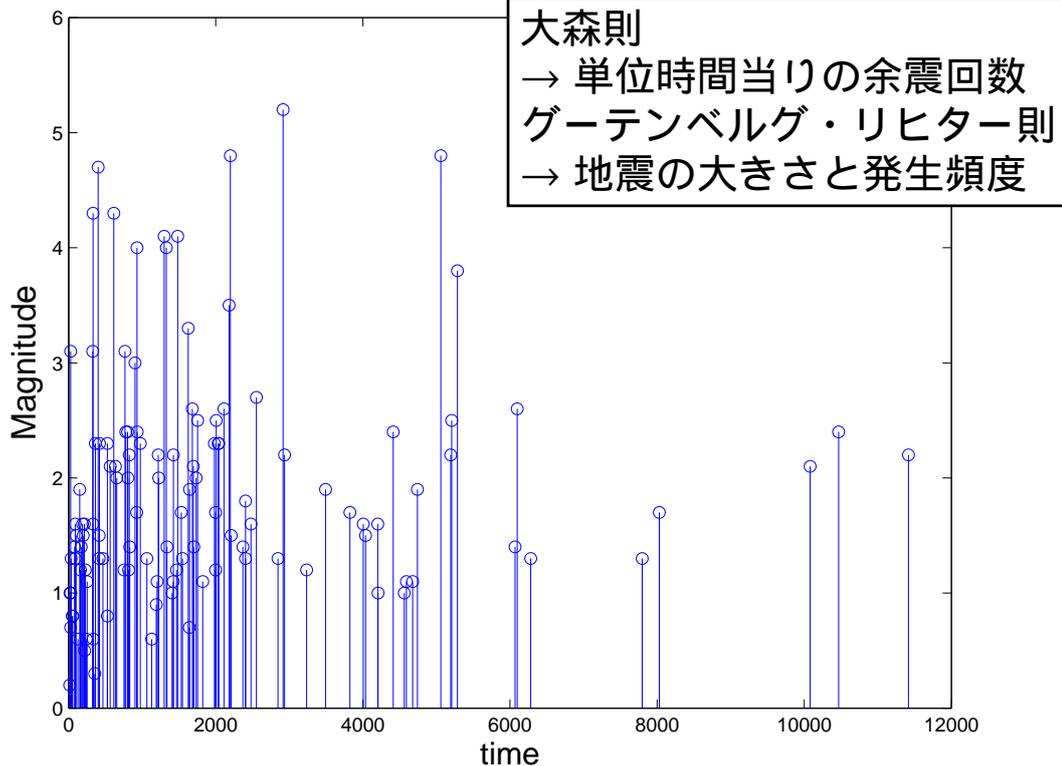
新しいフレームワークの構築

「いつ」、「どこで」、「どの程度」の事象が発生したか?



非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.10/40

地震の発生時刻とマグニチュードの例



非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.11/40

現在取り組んでいる研究課題

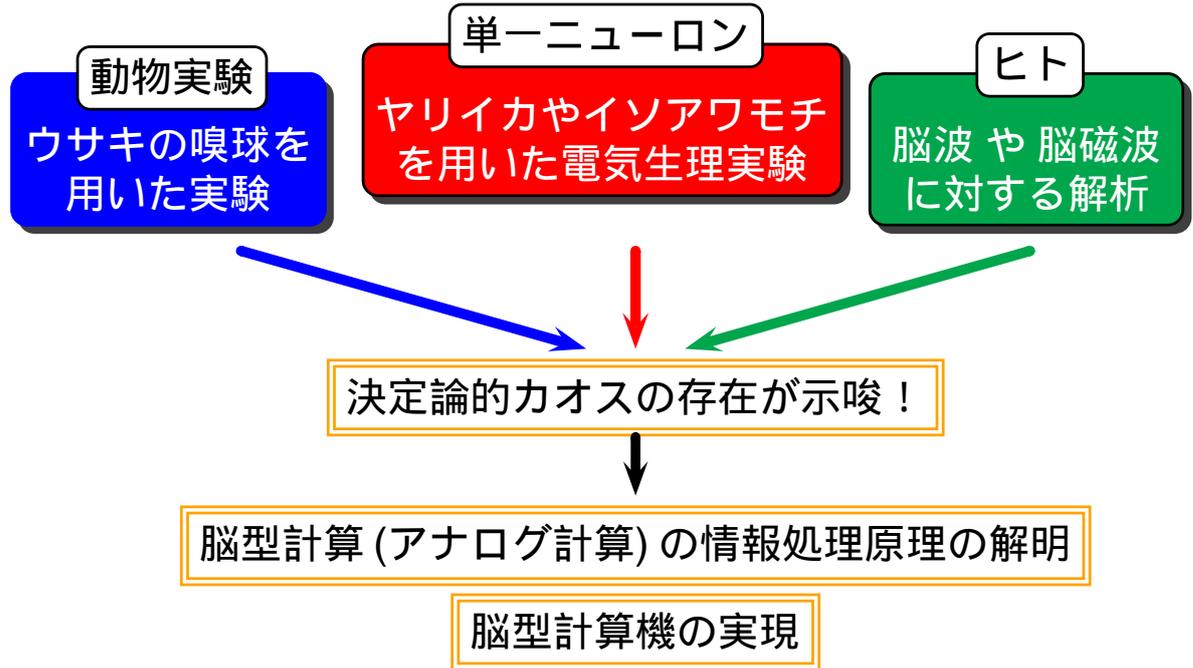
1. 複雑な現象の非線形予測 – 具体例 –

- ブートストラップ法を用いた非線形予測技法の高性能化
- 地震発生機構の解明と予測システムの構築
- 画像信号の非線形予測による画像圧縮技法の開発成
- 音声信号の非線形解析と音声合成
- 神経スパイクの非線形モデル
- 雷発生予測システムの構築
- 交通流量予測, バス運行間隔予測
- スギ花粉量予測, 天候・花粉症患者数との因果解析
- インターネット上のトラフィック量の解析
- 日経平均株価, 為替相場などの解析と予測
- 感染症患者数の解析と流行予測
- 農作物の隔年豊凶現象の予測と制御
- 脳波, 脈波の解析によるヒトの状態診断

非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.12/40

現在取り組んでいる研究課題

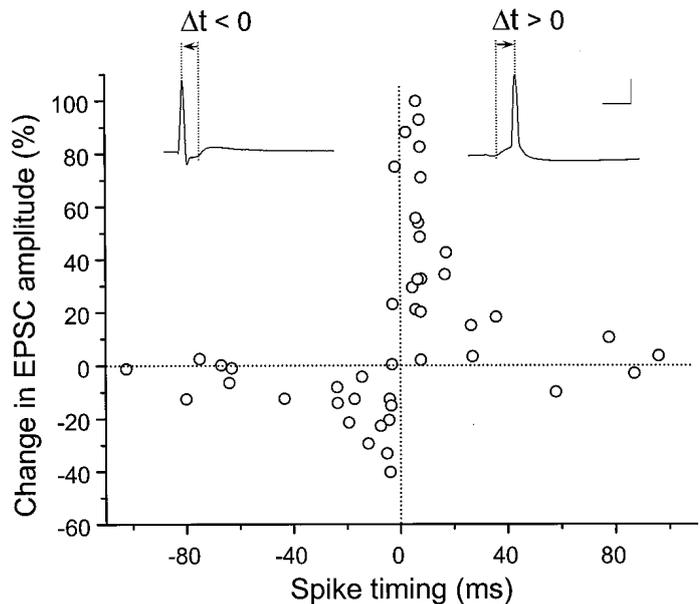
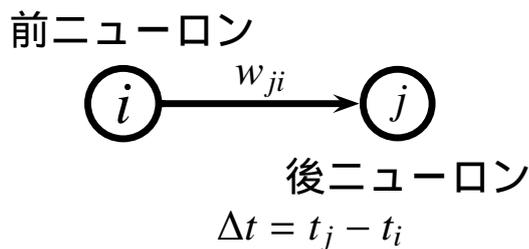
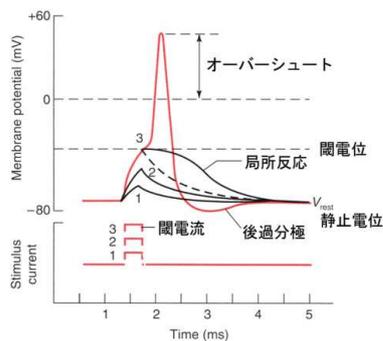
2. 脳の情報処理原理の解明



現在取り組んでいる研究課題

2. 脳の情報処理原理の解明

スパイクタイミングに依存した学習則 (STDP)



現在取り組んでいる研究課題

2. 脳の情報処理原理の解明-具体例-

- ニューラルネットワークのダイナミクスにカオスを導入したら，どのような現象が観測されるか？そして，それをどのように応用するか？
- 脳において用いられている情報表現に関する仮説
 - ニューロンの発火タイミング (テンポラルコーディング)
 - ニューロンの発火率 (レートコーディング)⇒ デュアルコーディング仮説に基づく解析
- スパイクタイミングに依存した学習則 (STDP)
- 非線形ダイナミカルシステムとしてのニューラルシステム
 - 同期発火現象
 - 位相同期，位相の一貫性

非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.16/40

現在取り組んでいる研究課題

3. 組み合わせ最適化問題の高速な解探索法の開発

組み合わせ最適化問題とは？

- 施設配置
- スケジューリング
- 基盤配線 (回路設計)
- 配送計画 (ロジスティクス)
- バイオ・インフォマティクス

⇒

どのような分野にも
現れる重要課題

厳密な最適解を求めることは非常に難しい



出来るだけ良好な解を，出来るだけ短時間 → 近似解法

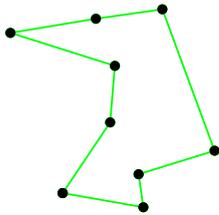


カオスダイナミクスによる
組み合わせ最適化問題へのアプローチ

非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.18/40

巡回セールスマン問題 (TSP) とその例

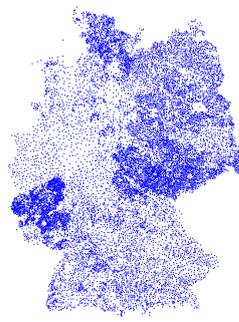
あるセールスマンが、 N 都市を巡回して営業をかけることになった。各都市間の距離が与えられたとして、これらの N 都市を一度だけ訪れ、最後に出発点となる都市に戻るような経路 (巡回路) の中で最も短いものを求めよ。



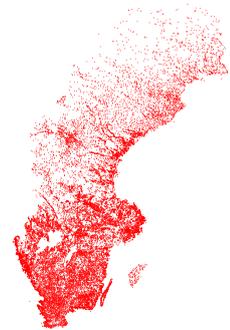
さいたま市 9 区



アメリカ 13509 都市



ドイツ 15112 都市



スウェーデン 24978 都市

非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.19/40

巡回セールスマン問題

- 組み合わせ最適化問題の中でも、最も有名な問題の一つ
 - セールスマンが、 N 個の都市を、少なくとも一回、必ず一回訪問し、出発点の都市に戻らなくてはならない。
 - 最も短い経路 (最適解) を求めよ。
- 都市の数が大きくなければ、それほど難しくない。
- でも 20 都市程度でも全解探索は不可能。 10^6 (1 テラ) MIPS のスパコンでも宇宙の年齢 (150 億年) の約 6 倍かかる。

短い時間で、最適解に近い近似解を見つけることが大事!

カオスを用いたアプローチ ⇒ 世界一

非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.20/40

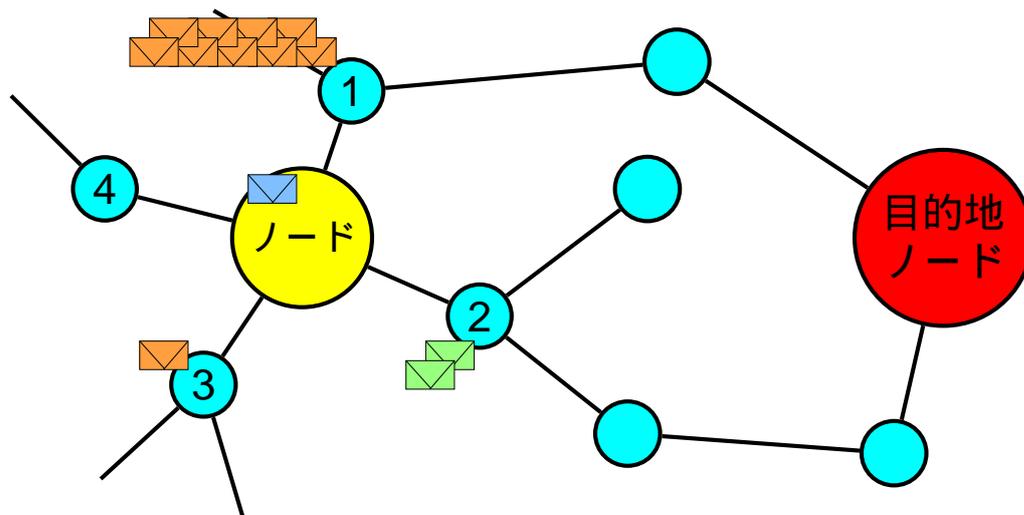
現在取り組んでいる研究課題

3. 組み合わせ最適化問題の高速な解探索法の開発 – 具体例 –

- パケットルーティング問題
- DNA, アミノ酸配列のモチーフ解析
- 配送計画問題, コンクリートミキサー車の配車計画
- エレベータ制御の最適化
- 巡回セールスマン問題に対する Super Lin-Kernighan アルゴリズムの構築
- 時間割作成問題
- グラフ分割問題, 基板配線, 基盤穿孔, VLSI 設計
- カオスアントシステム (構築法とカオスの融合)
- アナログ回路による専用ハードウェアの開発との協調的なアルゴリズム開発
- カオスダイナミクスを用いた手法と量子計算との関連

非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.21/40

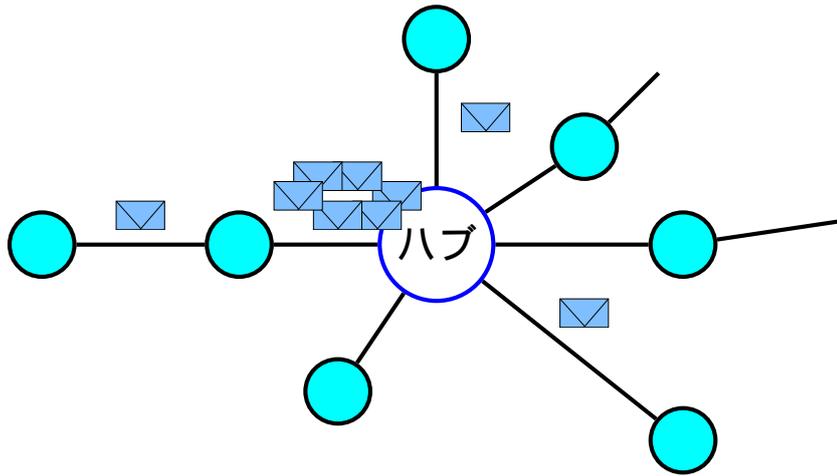
パケットルーティング



単なる最短経路探索にならない

非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.22/40

最短性だけを考慮したルーティング

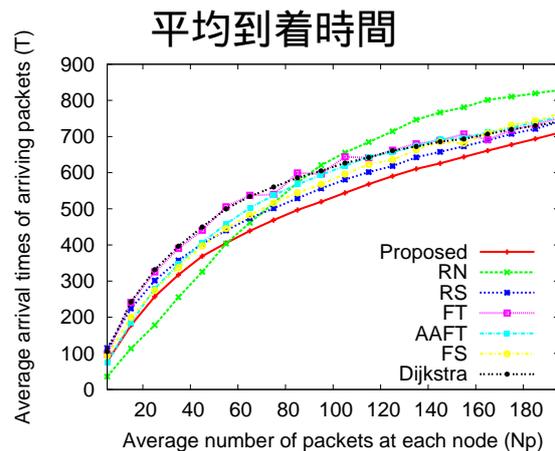
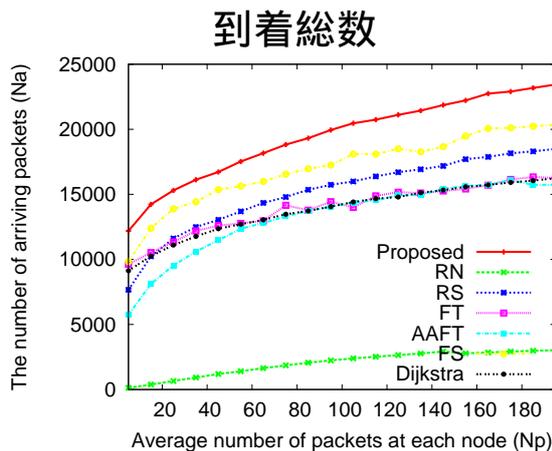


ハブなどでは、パケットが溜まりやすい

カオスダイナミクスにより、最適なパケットルーティングを実現

非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.23/40

スケールフリーネットワークでの結果例



$$\text{平均到着時間} = \frac{\text{目的ノードに到着したパケットの総時間}}{\text{到着したパケットの総数}}$$

(Kimura and Ikeguchi, 2006; 2007)

非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.24/40

モチーフ抽出問題

□ ヒトゲノム計画 (1990 年開始)

- DNA の ATGC 塩基配列の決定
- 2003 年 4 月終了 → 30 億文字の塩基配列が決定



配列のどの部位に生物学的に重要な情報があるのかを決定する事が重要

□ DNA の性質

- 生物は共通の祖先から進化している
- 進化の過程で様々な原因により置換, 挿入, 欠損が起る
- 生命に重要な機能部位は生物種をこえて保存される

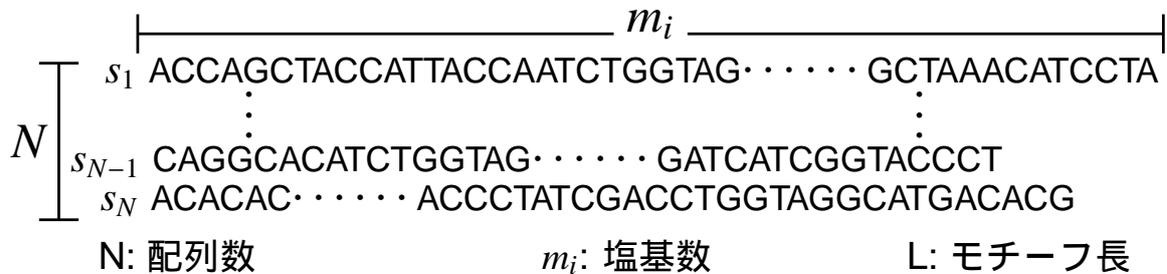
共通した部分配列を DNA 塩基配列から発見する

||
モチーフ … 塩基配列中の生物学的に意味のあると思われる共通した特徴をもつ配列パターン

モチーフの抽出 = 生命の重要部位の発見

非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.25/40

モチーフ抽出問題



モチーフパターンの総数
DNA(塩基) : 4^L

モチーフ長の増加

モチーフパターンの総数が飛躍的に増加

NP 困難 (Akutsu, 2000)

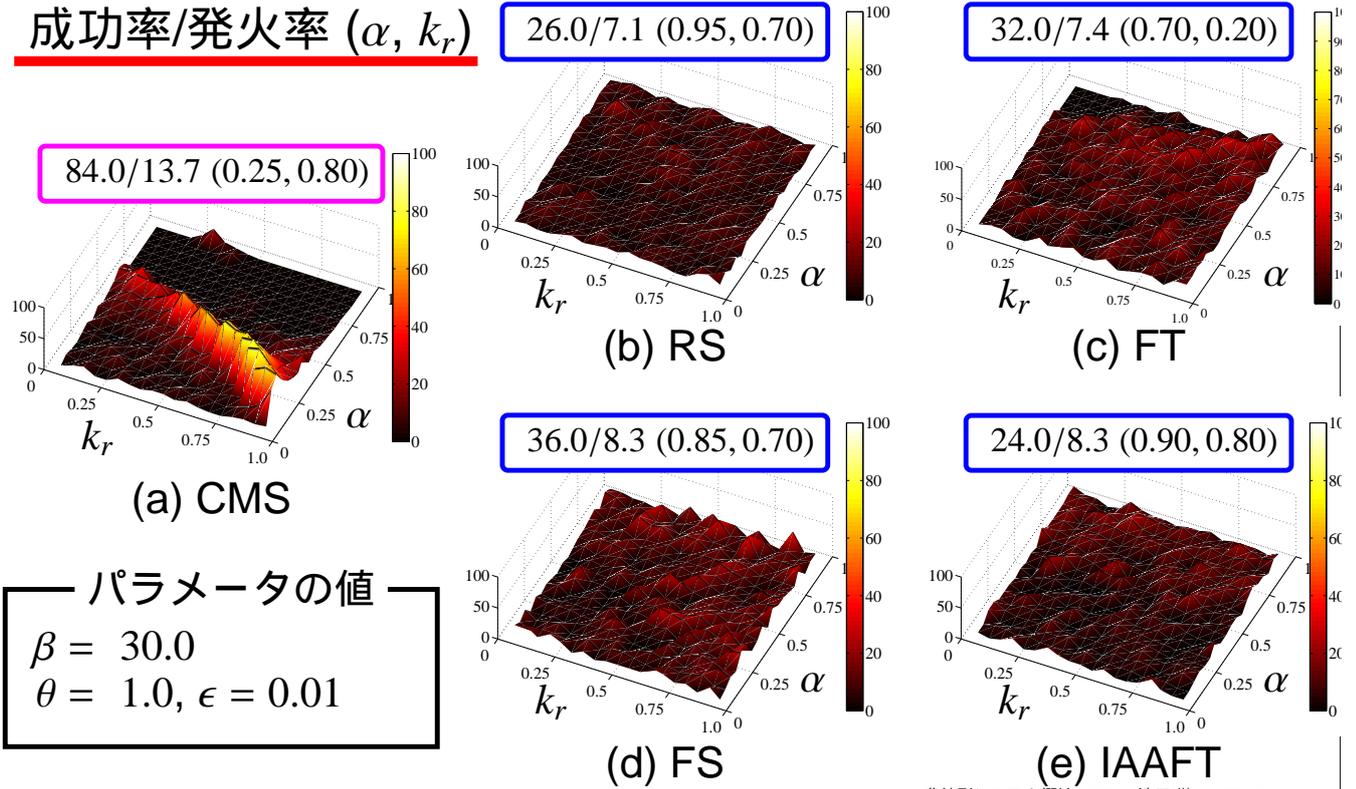
効果的な近似解法の開発が必要

非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.26/40

モチーフ抽出問題の結果

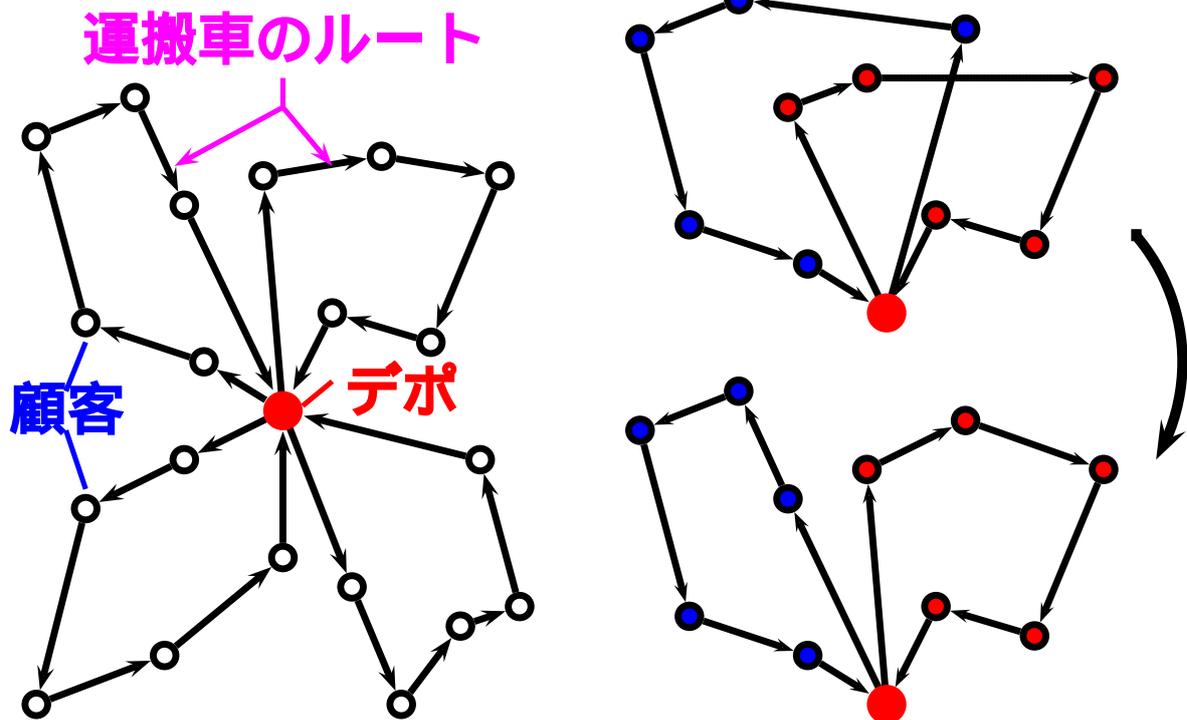
(Matsuura and Ikeguchi, 2005, 2006; 2007)

成功率/発火率 (α, k_r)



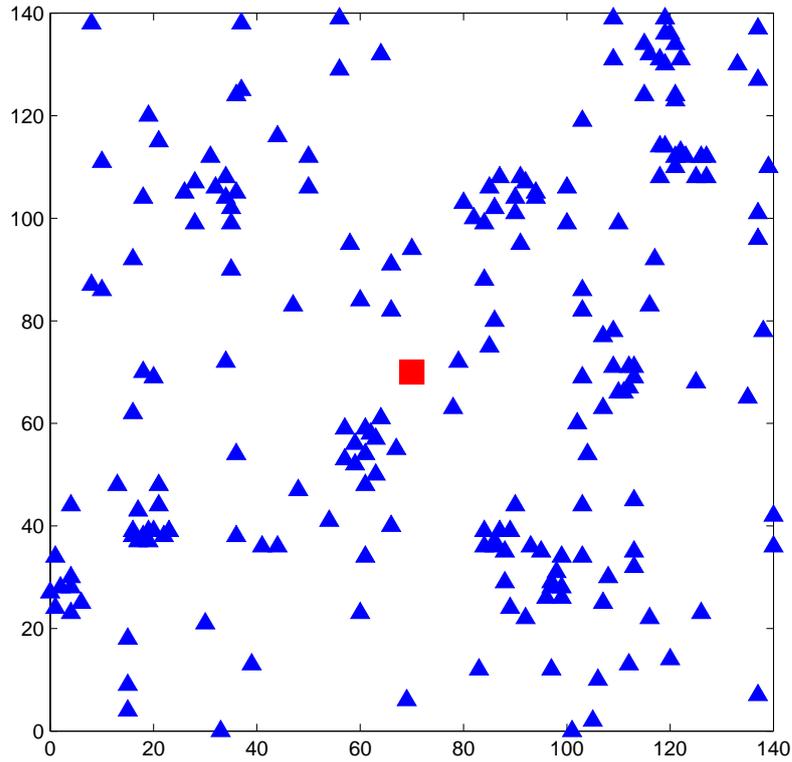
非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.27/40

配送計画問題



非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.28/40

配送計画問題の例



非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.29/40

結果 (星野, 木村, 池口, 2007)

問題 C102 既知最良解: 10 / 828.94
(運搬車台数/総移動距離)

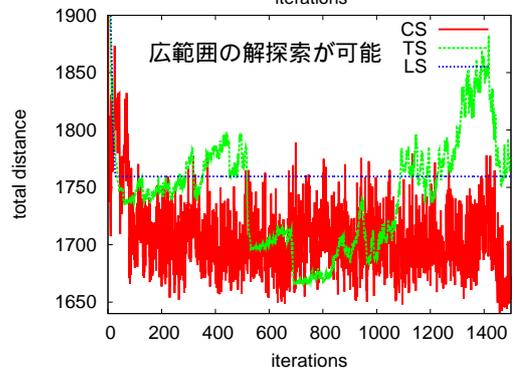
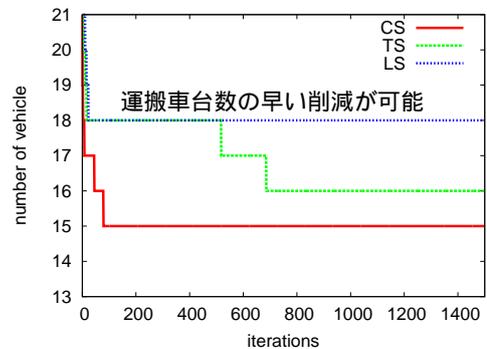
	最良解	最悪解	平均
CS	10 / 828.94	10 / 850.72	10.00 / 834.83
TS	10 / 828.94	10 / 895.75	10.00 / 840.58
LS	10 / 828.94	12 / 980.81	10.57 / 884.69

問題 R101 既知最良解: 19 / 1645.79
(運搬車台数/総移動距離)

	最良解	最悪解	平均
CS	19 / 1654.01	19 / 1678.46	19.00 / 1669.24
TS	19 / 1651.10	21 / 1663.78	19.55 / 1661.62
LS	20 / 1684.69	24 / 1788.29	22.01 / 1716.91

問題 RC101 既知最良解: 14 / 1696.94
(運搬車台数/総移動距離)

	最良解	最悪解	平均
CS	15 / 1623.93	15 / 1686.05	15.00 / 1642.14
TS	15 / 1641.05	17 / 1716.11	16.18 / 1680.70
LS	16 / 1716.79	20 / 1923.80	18.18 / 1775.74



非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.30/40

複雑ネットワーク理論の応用

- 我々の身の回りにあるネットワークには、構造的な特徴があるのだろうか？⇒ YES!
- どのような特徴だろうか？
 - Small World
 - Scale Free
 - etc...
- それはどのように形成されるのだろうか？
 - Random rewiring
 - Growth with Preferential attachment
 - etc...

非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.32/40

複雑ネットワーク理論の応用

- このようなことを考えると何が解決できるのか？
 - なぜインターネットはルータの故障に対して頑健なのか？
 - なぜ金持ちはますます金持ちになるのか？
⇒ の法則
 - 金持ちがますます成功する社会で、
新規参入者はどうすれば生き残れるのか？
 - 有限な予算で病気の感染拡大を防ぐにはどうすべきか？
 - ブラックアウトを防ぐ手立てはあるのか？
 - 良い就職口を探すにはどうすれば良いか？
- 非線形ダイナミカルシステムと関係があるのか？⇒



非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.33/40

複雑ネットワーク理論の応用

- このようなことを考えると何が解決できるのか？
 - なぜインターネットはルータの故障に対して頑健なのか？
 - なぜ金持ちはますます金持ちになるのか？
⇒ パレート の法則
 - 金持ちがますます成功する社会で、新規参入者はどうすれば生き残れるのか？
 - 有限な予算で病気の感染拡大を防ぐにはどうすべきか？
 - ブラックアウトを防ぐ手立はあるのか？
 - 良い就職口を探すにはどうすれば良いか？
- 非線形ダイナミカルシステムと関係があるのか？ ⇒ YES

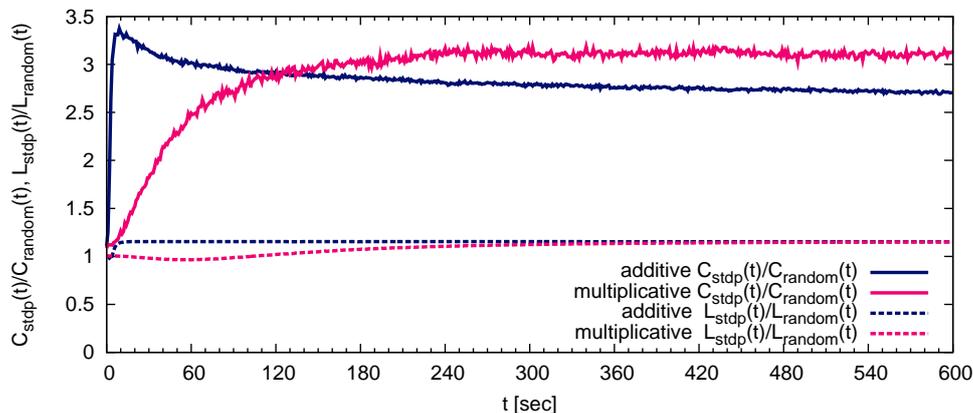
だから、非線形はやめられない！

現在取り組んでいる研究課題

4. 複雑ネットワーク理論の応用

Spike Timing Dependent Plasticity 学習則によるニューラルネットワークの構造変化

- 同期応答の観測
- スモール・ワールド・ネットワークへ自律的に変化
- 重み付き有向グラフへの拡張



現在取り組んでいる研究課題

4. 複雑ネットワーク理論の応用－具体例－

- 神経回路網における STDP 学習則により自律的に導かれる複雑ネットワーク構造の定量化
- 多次元神経スパイクデータを用いた神経回路網の複雑ネットワーク構造の推定とその応用
- 複雑ネットワーク理論と非線形時系列解析技法の融合
- 会社間の取引関係に関する複雑ネットワーク論的解析
- 遺伝子ネットワークの複雑ネットワーク論的解析
- 鉄道網の複雑ネットワーク論的解析とダイヤ作成への応用
- 道路網の複雑ネットワーク論的解析に基づく新しい渋滞解消モデル
- 植物の隔年結実現象・一斉開花現象を説明する複雑ネットワークモデル

非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.35/40

その他の研究課題

- ノイズ源としてのカオス
- 独立成分分析とカオス
- カオス振動が人体に与える影響の解析
 - － マッサージ機
 - － 歯ブラシ
 - － 剃刀
 - － 携帯電話
- カオスの特徴の一つ，初期値鋭敏依存性を用いたパターン認識アルゴリズムの開発と偽札認識への応用
- カオス暗号，カオス通信，カオス乱数
- 量子カオス
- スーパーチューリングマシンとコンプレックス・カオス力学系 (一般化写像)
- カオスゆらぎの応用
- 画像圧縮 (非線形予測の応用)

非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.36/40

研究の目標

我々が生きる世界における様々な複雑現象は、
により生み出されている。 を積極的
に考慮した解析技法を駆使することによって、世界に存在する
様々な非線形問題を解決する。



非線形問題解決軍団
池口研究室



非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.37/40

最終課題の内容

1. この講義の内容を以下の観点からまとめなさい。

(1)

(2)

2.

注1 大学生らしい文章を書くこと。
意味不明な文章は採点対象としない。

注2 自分で考えること。
他人のものを写したと考えられるものは採点対象としない。

注3 丁寧な字で書くこと。
汚い字、判読不明な字で記述されたものは採点対象としない。

非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.38/40

最終課題の実施方法

- 課題 1 は以下の様式により提出
 - A4 サイズの用紙 (表紙はつけないこと)
 - 1 ページ目に学籍番号, 氏名を記載.
- 注 4 上記の提出様式違反は採点対象外とする.
- 課題 2 の方法
下記の口頭試問の一部として行う.
- 実施期間・方法等
 - 実施期間 本日 ~ 2007 年 8 月 10 日 (金) 17:00 まで
 - 実施場所 総合研究棟 5F 池口研究室 (505 室)
 - 実施方法 課題 1 を池口宛直接提出する.
その場で口頭試問を行う.

注 5 口頭試問では, 講義中に配布した資料のみ持ち込み可とする.

注 6 口頭試問を受けないレポート提出は, **理由の如何を問わず**最終課題未提出 (= 不合格) とする.

注 7 会議・出張等の理由で不在の場合もあります. あらかじめアポを取る等してくれても良いです.

非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.39/40

授業アンケートについて

- 担当教員名 池口 徹
- 講義番号 T73480
- 科目名 非線形システム概論
- アンケート用紙にある自由記入欄にも書いてください.
- 提出は, へ!
- コメント用紙は, 池口まで!

生体情報工学

- 後期水曜日 7,8 限, 工学部 54 番教室
- キーワード
脳, 神経細胞, 情報処理, 同期現象, 人工ニューラルネットワークと工学的応用
- サポートページ
<http://www.nls.ics.saitama-u.ac.jp/~tohru/Lectures/BI/>



非線形システム概論 2007 / 池口 徹 - p.40/40