

IV. 情報科学における応用物理

情報科学と応用物理

- ・ 「こと」の学問
- ・ 「もの」による実装
- ・ 「こと」と「もの」との関わり

この領域のめざすところ

- ・ 情報科学の基礎理論の探求
- ・ 数理科学的手法による社会問題の解明
- ・ 情報物理学に基づく新情報技術の開拓

数理科学的アプローチ

- ・ 問題の把握
不確実性, ファジィ, 意思決定,
- ・ 数理モデルの構築
複雑系, カオス, 多目的問題, シミュレータ,
- ・ 最適性の追求
最適化手法, 進化型計算, 人工知能
- ・ 社会への還元
生産システム, 社会システム, 政策評価, 金融システム,

情報物理学的アプローチ

- ・ 多様な物理現象
フォトリック現象, 量子現象, 分子間相互作用,
- ・ 情報科学への適用
情報処理, 情報伝送, 情報記録, ヒューマンインターフェース,
- ・ 処理系の実装
VLSIフォトリクス, 量子情報技術, DNAコンピューティング,
- ・ 独自機能の発現
超並列性, 高性能アルゴリズム, 高セキュア性,

IV. 情報科学における応用物理

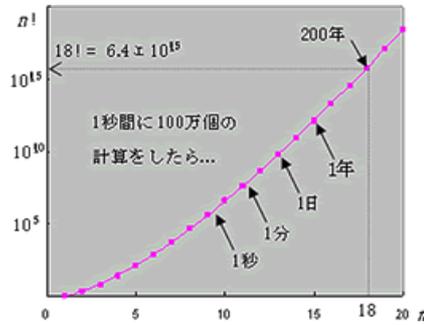
最適を目指すには…

さまざまな制約のもとで最適な状態を作り出すことは工学の基本です。構造物や実験装置などのハード面の最適設計から生産システムや社会システムのソフト面の最適方策まで、広い範囲で最適化の考え方が使われています。現実の問題を数理モデルによって表現し、その数理モデルの最適解を求める手法が最適化手法です。

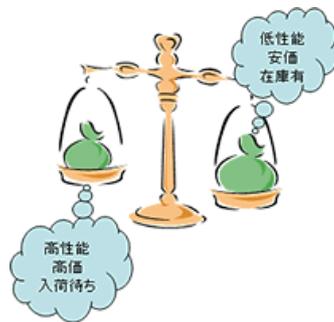
ネットワーク計画法による北千里から応用物理までの最短経路の探索



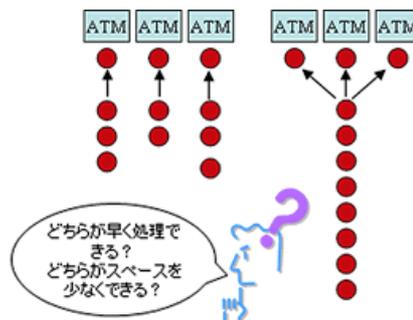
順列を全部求めるのは大変組合せ最適化手法が活躍！



多目的最適化 いろいろな基準があると選ぶのもむづかしい



待ち行列の最適化

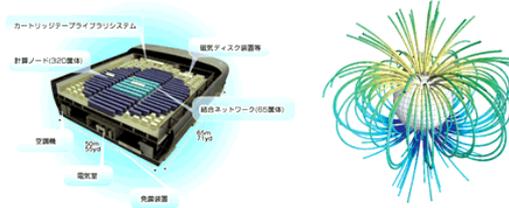


IV. 情報科学における応用物理

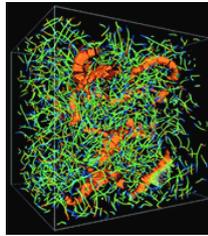
数値モデルで自然現象をシミュレーションする

日々の天候のうつろいなど、身近に経験されるものから、地球規模で起こる大気・海洋の循環や地殻変動にいたるまで、さまざまな自然現象を数値モデルでシミュレーションする技法が開発されている。数値モデル自身やシミュレーション技法の正しさを検証する研究と協力して自然現象への理解を深めている。

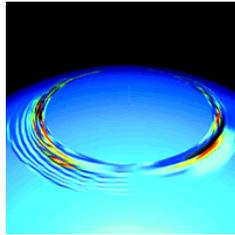
大規模計算機「地球シミュレータ」による地磁気のダイナモ機構の解明



シミュレーションによる乱流の可視化



オーロラのシミュレーション



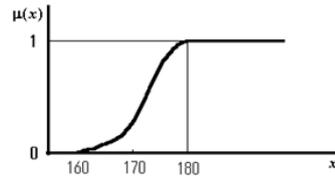
IV. 情報科学における応用物理

曖昧な情報の解析

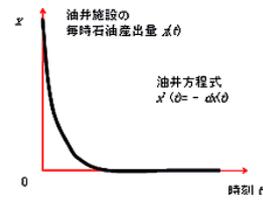
人間を取り巻く環境は、曖昧性を含むことがある。曖昧な情報を含む集まりをファジィ集合という(例えば、背の高い集まり)。曖昧な情報を含む状況(例えば、石油産出がだいたい指数的に減衰する過程)に関して、ファジィアルゴリズムなどの数理的手法により目的に応じた解決策の導出が、ファジィ解析の目的である。

背が高いというファジィ集合

背が高いとは、何センチ以上を示すかは明確でない。図は、160センチ以下とは言わずに、180センチ以上は高いこと示す。160～180センチの間は、高itude合いを示す。



指数的に減衰する油井方程式のファジィ化



ファジィ解析の応用：仙台市地下鉄南北線
(ファジィ自動運転システム89年8月)

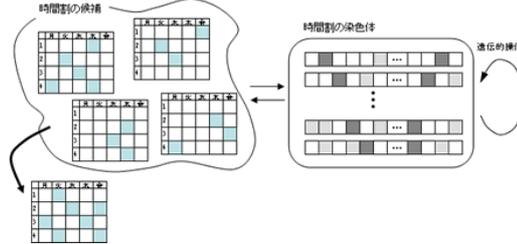


IV. 情報科学における応用物理

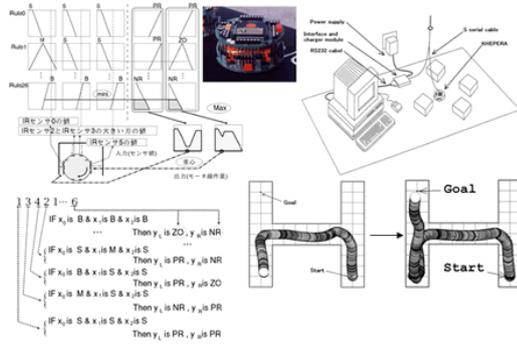
進化に学ぶ情報処理

自然から学び問題を解決する手法が開発されてきている。生物の進化や遺伝にヒントを得たアルゴリズムを進化的計算といい、最適化や機械学習のための計算手法としてアルゴリズムが研究され、ロボットや人工生命のための情報処理をはじめ、意思決定、スケジューリングなど幅広い分野への適用が進められている。

遺伝的アルゴリズムを用いた時間割の作成



遺伝的アルゴリズムによる自律移動ロボットの学習



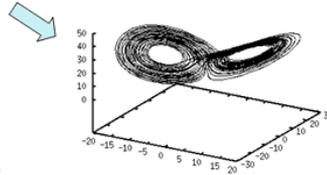
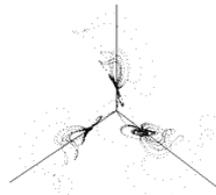
IV. 情報科学における応用物理

複雑な現象を探る

多くの要素が互いに影響を及ぼしあいながら、全体としてある振舞いや働きを見せるような複雑系を計算機の中で扱うことができるようになってきた。生命現象、社会現象、気候変動のような自然現象から宇宙の進化まで、計算機のシミュレーションを通じて、その背景にある仕組みを調べる研究が進められている。

カオス（ローレンスアトラクタ） と銀河団と蝶々の羽模様

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= -\sigma x + \sigma y \\ \frac{dy}{dt} &= -xz + rx - y \\ \frac{dz}{dt} &= xy - bz \\ \sigma &= 10, b = \frac{8}{3}, r = 28\end{aligned}$$



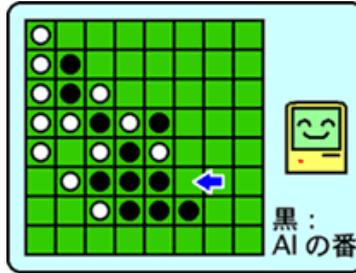
IV. 情報科学における応用物理

コンピュータ上で知能は実現できるか？

人工知能 (AI: Artificial Intelligence) の研究では、コンピュータに知能を持たせることを試みており、チェスのような高度なゲームについても、ヒトを凌駕しつつある。ヒトと日本語や英語などで対話するシステムやインターネットからの知識の自動発掘、発見、個性に合わせた自動作曲やデザインなども研究されている。

(参考: [人口知能のやさしい説明「What's AI」](#))

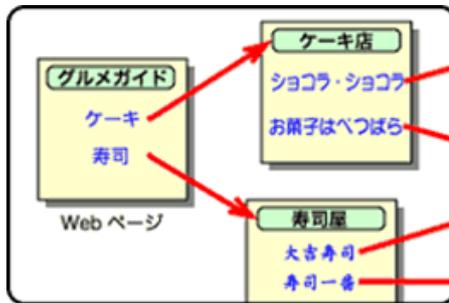
ゲームをプレイする人工知能



日本語や英語で対話するシステム



インターネット上の知識発掘やコミュニティの発見



各個人の感性に合わせた自動作曲

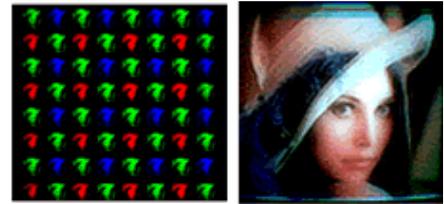
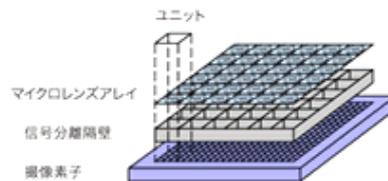


IV. 情報科学における応用物理

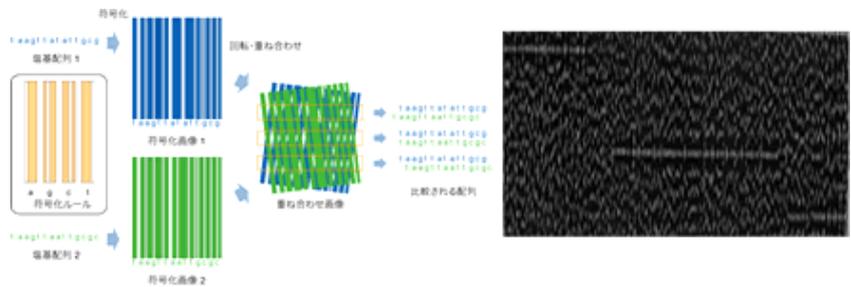
光で情報を取り扱う

フォトニック技術に基づいた新しい情報処理技術として情報フォトニクスと呼ばれる研究分野が生まれている。光の物理的特性を活かすことにより、情報通信・情報伝送、物質の状態観測・状態制御などを効果的に行うことができ、それらの特徴を利用した情報処理技術の開発が進められている。

複眼光学系を利用した超薄型デジタルカメラ



モアレ縞によるゲノム情報の可視化



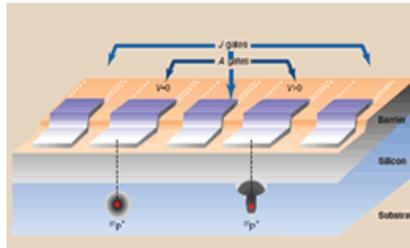
IV. 情報科学における応用物理

量子を用いた超高性能計算

原子法則である量子力学の特徴-重ね合わせ状態-を利用すると、大量の並列演算を行う素子ができることになります。特に、量子力学の創生に寄与したスペクトルや干渉をはじめとしナノ光学いたる様々な光学現象も典型的な量子計算系、さらに一般の情報処理系としての側面をもちます。

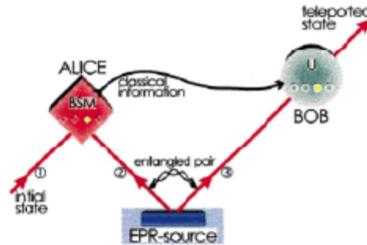
原子の波動関数状態を感知するシリコンチップの概念図

このような素子を組み合わせた回路による量子コンピュータの理論設計はたくさん提案されています。



量子状態をアリスさんからボブさんへ転送(teleportation)する概念図

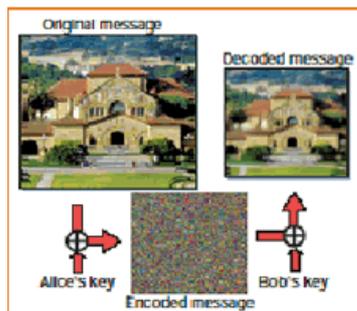
ノイズや通信妨害(盗聴など)があるとたちまちボブさんに見破られます。この分野が、実用に最も近く、基礎実験も成功しています。



1000個の量子ビット(qubit)を制御できるようになると、Shorのアルゴリズムで300桁の整数の因数分解が瞬く間にできます。これを今のコンピュータで計算すると天文学的時間がかかります。その困難を利用して、現在、金融取引の公開鍵暗号システム(RSA)に使われています。量子コンピュータができると大変なことになります!!!

$$\begin{aligned}
 & \overbrace{|1\rangle|0\rangle|0\rangle|1\rangle\dots\dots\dots|0\rangle|1\rangle}^{1000\text{-qubits}} \\
 & = |1\rangle|0\rangle\dots\dots|1\rangle \times |1\rangle\dots\dots|1\rangle
 \end{aligned}$$

E.Waks等(2002)によっておこなわれた量子暗号-完全解読を画像(スタンフォード大のメモリアル教会)の画素毎に応用した実験です。高い信頼度があるということです。



IV. 情報科学における応用物理

DNAによる超並列情報処理

DNAの状態を操作することによって情報処理を実行するDNAコンピューティングに関する研究が盛んに行われている。DNAがもつ反応並列性、微小性、自律的反応性などの性質を利用することにより、効率的に情報を生成、加工、蓄積、提示することができ、これらの特徴を活かした情報処理技術の開発が進められている。

DNAによる情報表現と超並列演算

