

量子情報科学講義 (2013年11月28日)

学は一なり: 量子、情報、ゲノム
Quantum, Bit, Genome and All That !

神沼 二真(かみぬま つぐちか)

サイバ-絆研究所
Institute for Cyber Associates

.....
Kaminuma@join-ica.org

自然認識の方法論(物理学)の発展

1687 Newton 力学	重力	
1865 Maxwell 電磁気学	電磁力	
1897		J.J. Thomson 電子の発見 Kelvin, William Thomson
1905 Einstein 特殊相対論		
1915 Einstein 一般相対論		
1928 量子力学の完成		
1932		J. Chadwick 中性子, C.D. Anderson 陽電子
1933	Fermi 弱い相互作用 (β 崩壊理論)	ニュートリノ
1934	湯川 核力理論	中間子仮説
----- 加速器が進歩 -----		
1940~	Schwinger, Feynman, 朝永 繰り込み理論(QED)	
1960~		Gell-Mann Quark model
1970~	色のGauge理論(QCD): 強い相互作用理論, Weinberg-Salam: 弱い相互作用のGauge理論+電磁相互作用	素粒子の標準模型
現在	超弦Superstring理論による大統一理論: 素粒子論(量子論)と宇宙論(重力理論)の統一	
	QED Quantum Electrodynamics 量子電気(電磁)力学	
	素粒子の標準理論 - Higgs 粒子(boson)の発見	
	宇宙の主役? Dark Matter 暗黒物質(26.8%)、Dark Energy 暗黒エネルギー(68.3%)の登場, 残り(4.9%)	

物理学の発展の本道:

高エネルギーと大きなスケール

応用:放射光(Spring 8)、WWW、...

物理学の発展の裏通り → 表通り

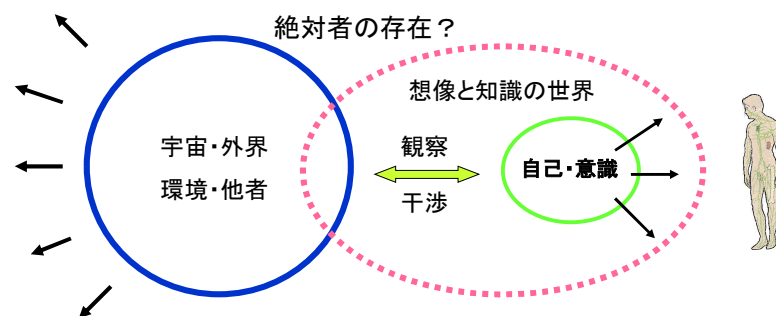
量子力学の本質的な理解

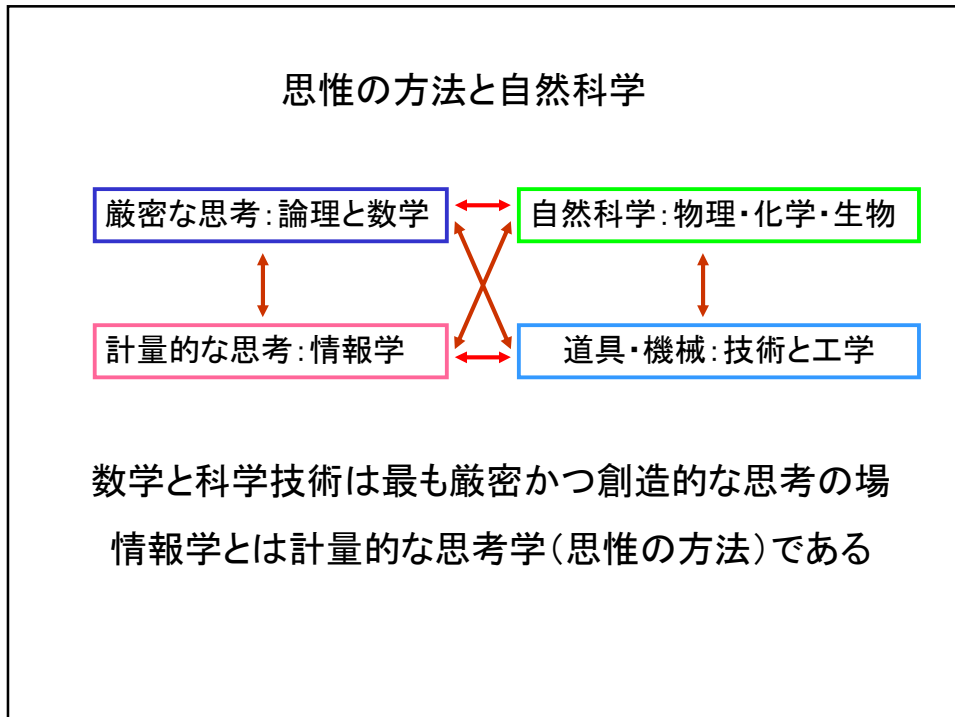
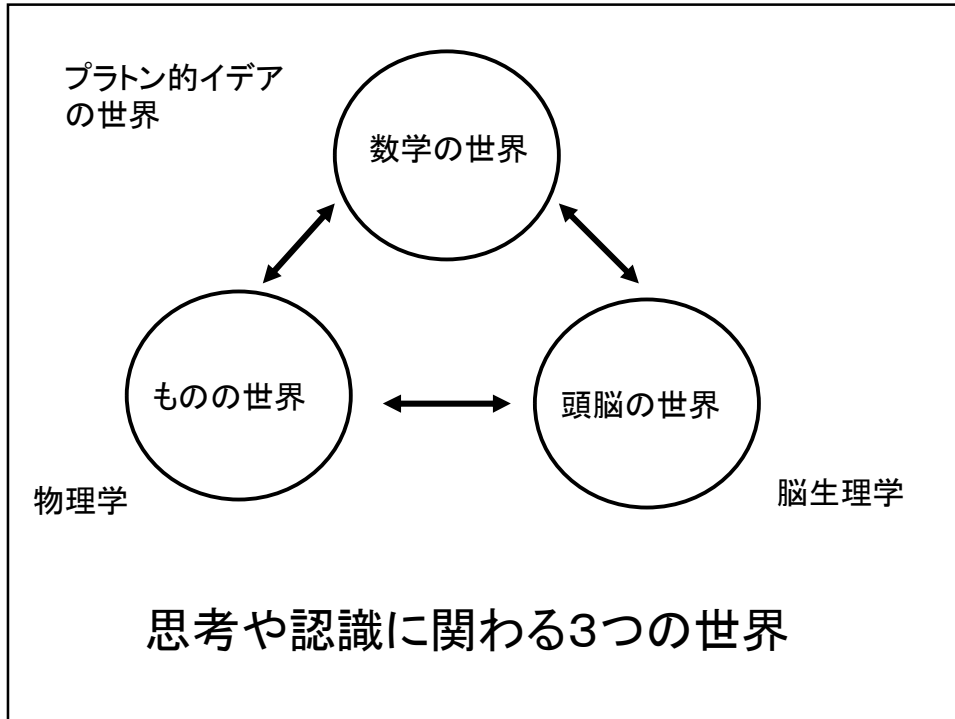
観測の理論 — 隠れた変数 — 量子纏れ

量子力学の第2革命:量子通信、量子計算機、

人間の自然認識の方法論としての意義

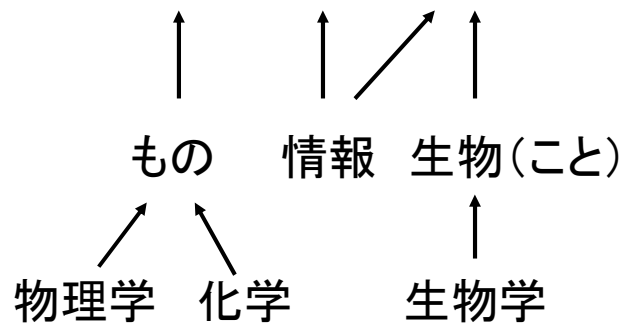
- ロックのかかる2本足で直立、歩行する
- 脳が大きい
- 脳が未熟なまま生まれ、誕生後に成長する
- 言語が使える
- 社会的な集団をつくる





Quantum - Bit - Genome

量子・ビット・ゲノム



自然科学における学際性、「学は一なり」の機運が熟している

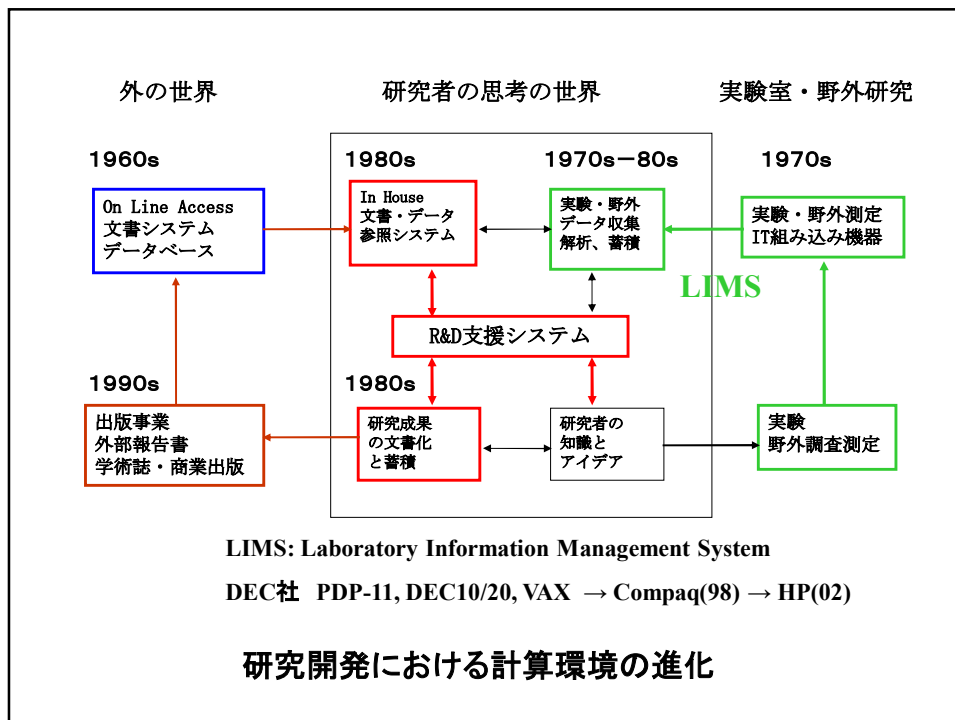
情報学 Informatics とはどんな学問か？

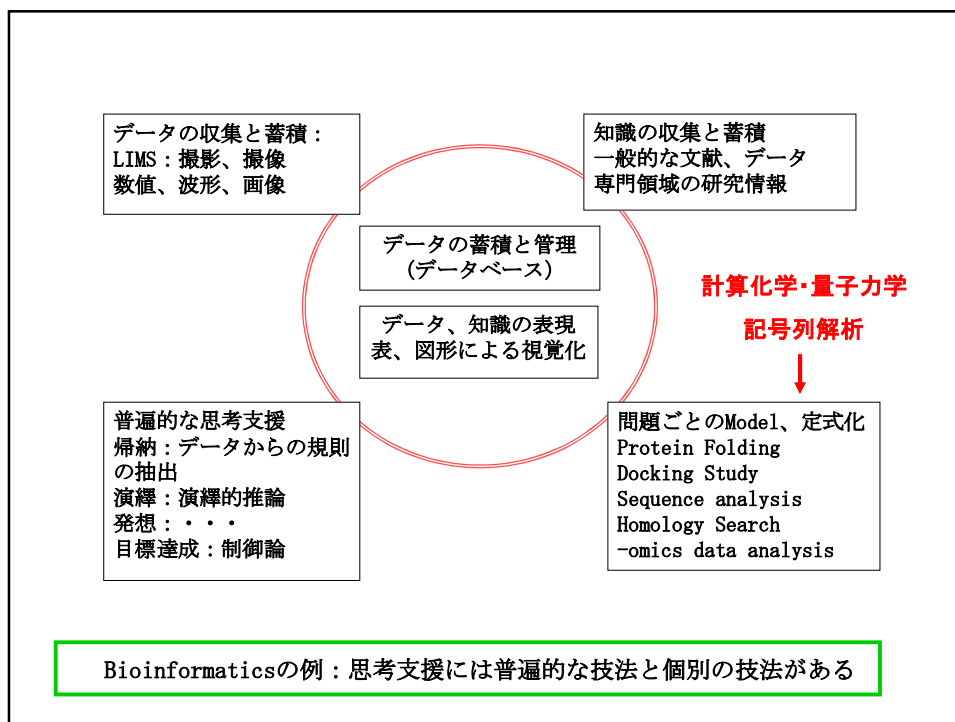
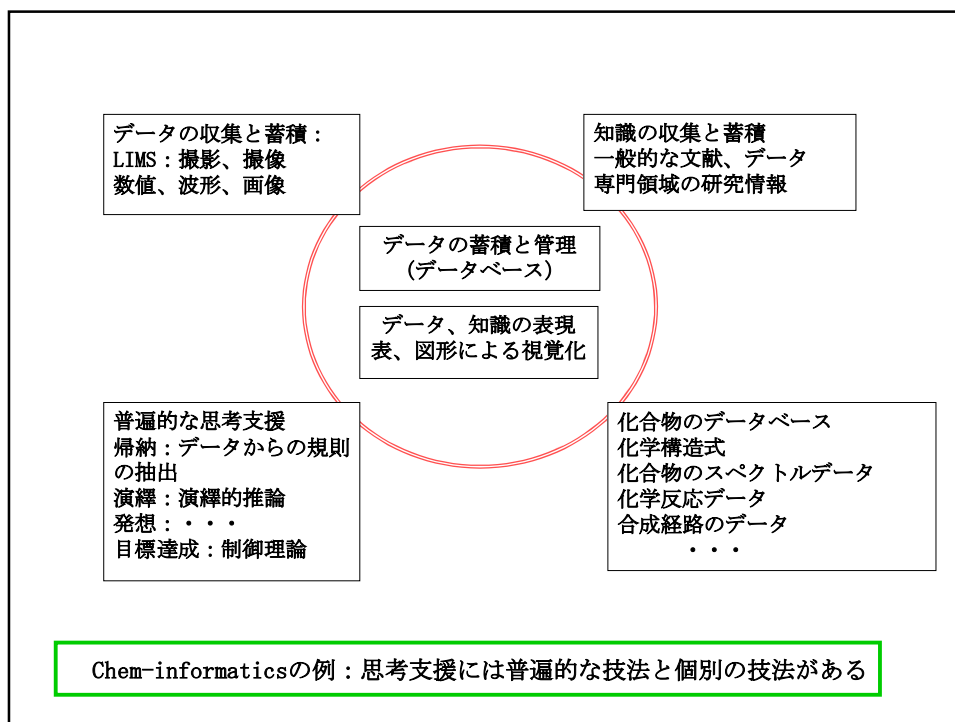
- 情報学とは情報通信理論: C. E. Shannon
- C. Shannon and W. Weaver, The Mathematical Theory of Communication, Univ. of Illinois, 1948/49
- 今井秀樹、情報理論、昭晃堂、1984
- 「情報理論とは、情報伝達をいかに効率よく、そして信頼性高く行うかに関する理論である」
-
- 情報学とは、計量的な思惟の技法
- J. von Neumann (1932), S. Watanabe (渡邊慧, 1939)
- 量子力学における知識の不確定性からの発想

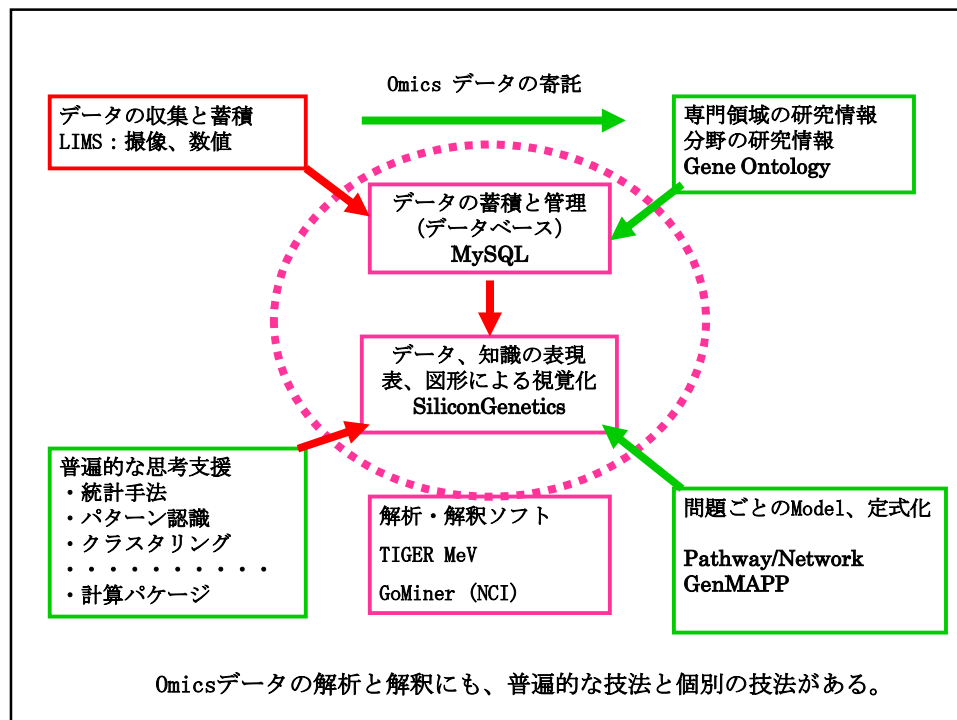
Claude E. Shannonの業績

- シヤノン(情報)エントロピーの導入: $H = - \sum_i p_i \log p_i$
- 情報源符号化定理(シヤノンの第1定理)
ビット符号の長さの平均はエントロピーまで短くできる。
- 通信路符号化定理(シヤノンの第2定理)
通信路には固有の通信容量Cが定義でき、符号中に真の情報が含まれる率R(情報ビット数/符号ビット数)をC以下にするなら、誤って伝わる確率を限りなく小さくする符号化が存在する。
- 標本化定理 (Sampling Theorem)
帯域が制限されているアナログ波形は、それが含む最大周波数の2倍以上の標本化周波数で標本化すれば、完全に復元できる。

S. Verdú, Fifty Years of Shannon Theory, IEEE Transactions of Information Theory, 44(6):2057-2078, 1998.







情報学＝計量的な思惟の技法

- 帰納: Induction
統計学、データ解析、パターン認識
- 演繹: Deduction
推論、知識工学、人工知能、・・・
- 発想: Abduction
帰納的学習、発想支援グラフィックス
- 計画: Planning
数理計画法、制御工学

古典物理学の中の統計、情報、エントロピー

A. Stean, Quantum Computing, Rep. Prog. Phys., 61: 117–173, 1998.

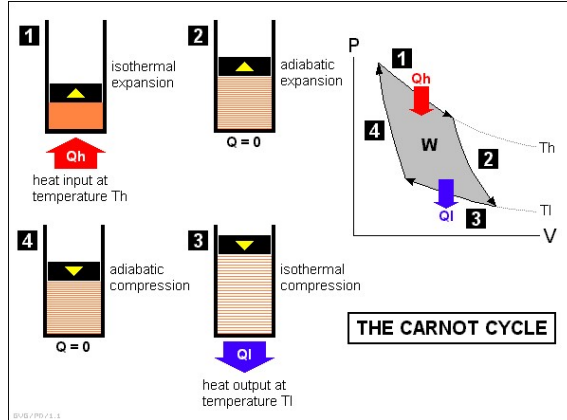
物理学における情報思想

- Maxwell's Demon: J. C. Maxwellが1871年に刊行したTheory of Heatで紹介した“being”。L. Kelvinが命名。
- 観察や記憶と動作が結び付けられる知的存在beingを考慮すると熱力学の第2法則(気体運動の熱平衡状態)が破られる。
- L. Szilardの論文(1939年):「情報」収集には、エネルギー消費が伴う。 $k\ln 2/\text{bit}$
- 電子計算機の開発(1946年)
- C. E. Shannonの情報理論(1948/9年)
- N. Wiener, Cybernetics(1949年)
- R. Landauer, 情報の消去にはエネルギー消費が伴う(1961年)
- Quantum Computing, Quantum Informationの理論
- Richard P. Feynman (J.G. Hey and R.W. Allen eds.), Feynman Lecture on Computation, Addison Wesley, 1996
- A. Stean, Quantum Computing, Rep. Prog. Phys., 61: 117–173, 1998.



(1796-1832)

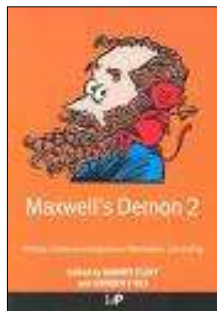
熱力学の創始者カルノー S. Carnotの考察



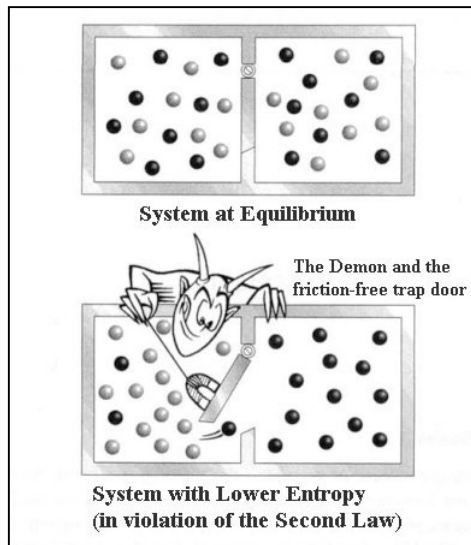
http://www.vectorsite.net/tpecp_10.html

理想機関の条件: 熱移動は等温、ゆっくり(準静的)可逆過程

Maxwell's Demon: Theory of Heat 1871 ... 名付け親、William Thomson (Kelvin)

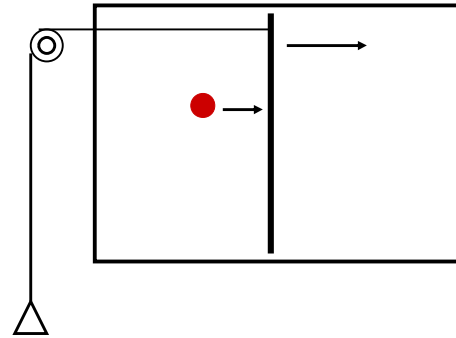


H.S. Leff and A.F. Rex, Maxwell's Demon 2: Entropy, Information, Computing, Adam Hilger, 2003.



<http://universe-review.ca/I01-09-demon.jpg>

情報と仕事： Szilard's demon (Engine)



$$W = k_B T \ln 2$$

$$1\text{bit処理 } kT \log 2$$

L. Szilard, Über die Entropieverminderung in einem thermodynamischen System bei Eingriffen intelligenter Wesen, Zeitschrift für Physik, Vol.53, pp.40–856, 1929.

カルノーの思想

- 仏英戦争の敗北の原因は、英国の産業力、熱機関にあった。
- どうしたら、理想的な熱機関をつくれるか？
- 彼の研究の結論：熱機関は、どんな物質を使っても、ある限界以上の性能を出せない。
- 熱機関の性能限界は、高温の熱源と、低温の熱源、それぞれの温度で決まる。
- この熱機関は、可逆的に運転されなければならない。

統計力学におけるエントロピーの概念



ボルツマンの原理

ボルツマン L. Boltzmannは、熱力学的なエントロピー S が微視的な世界の統計量である「状態の数」 W と、

$$S = k \log W$$

という関係にあるという考えを提唱した(1870年頃)。

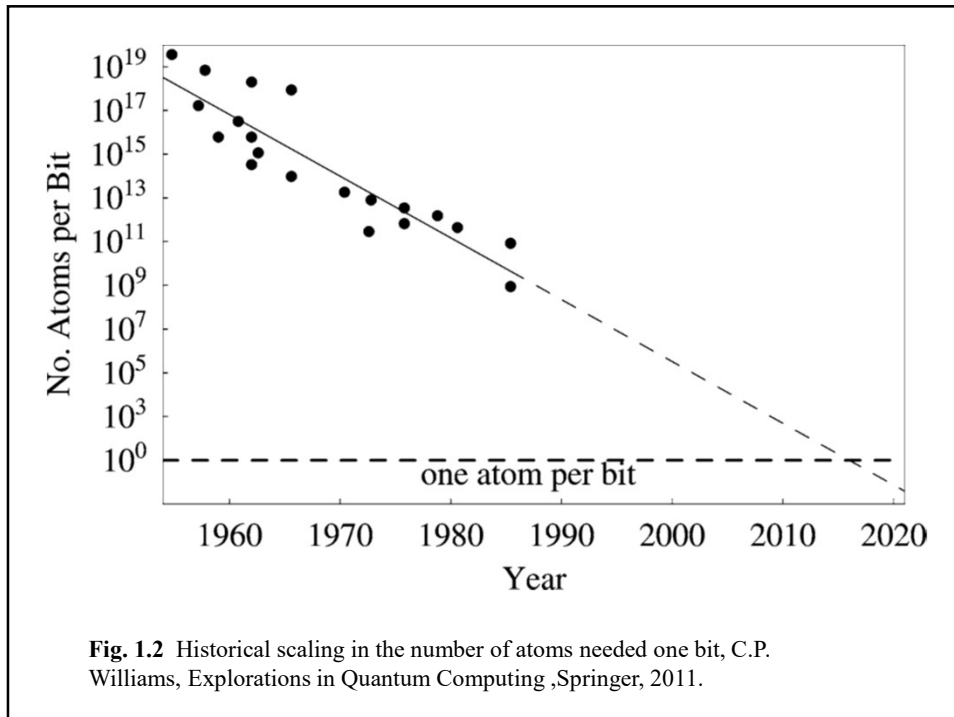
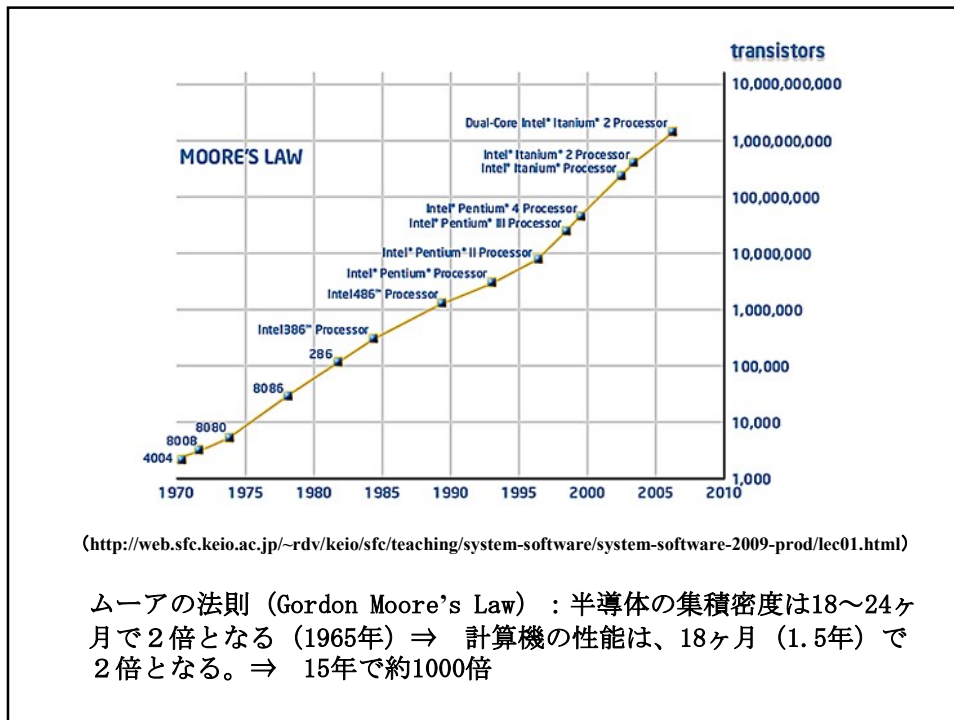
ボルツマンの H 関数: $H = \int f \cdot \log f \, dv$

ここで f は、ある気体粒子の速度が v と $v+dv$ との間にある確率である。関数は基本的にエントロピーと符号だけを異にする関数であり、気体が平衡状態に近づく過程で常に減少する (H 定理: 符号が反対のエントロピーは増大する)。

計算機の進歩と限界への不安

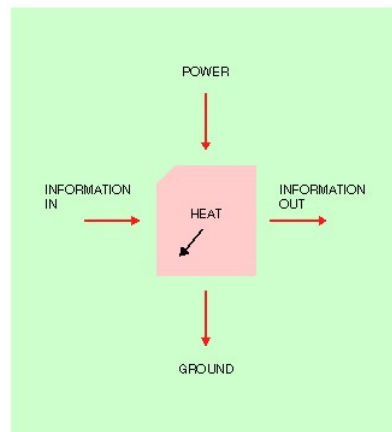
理想の熱機関 vs 理想の計算機

計算過程、計算機の物理学



情報計算とエネルギー

Figure 1 Fluxes into and out of a chip



1929、Szilard/J. von Neumannら、
1 bit の情報入手に $k_B T \ln 2$ joules 必要



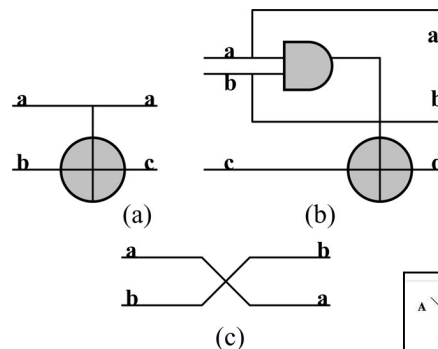
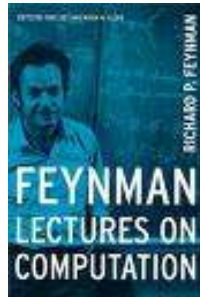
1961、Rolf Landauer (1927–1999)
情報の消去にエネルギーが必要

N. Gershenfeld, Signal entropy and the thermodynamics of computation, IBM Systems Journal, 35(3/4): 577-586, 1996.

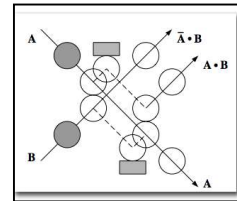
発熱への挑戦

- 1996年頃
- Laptop 10 watts (W=Joule/second)
- Desktop 100 watts
- Supercomputer 100 kwatts
-
- 2010年
- Supercomputer 1000 kwatts (メガワット)
- MD computer ANTON
- D.E.Shaw et al., Anton, a Special-Purpose Machine for Molecular Dynamics Simulation, COMMUNICATIONS OF THE ACM, 51(7): 91-97, 2008.

Feynman: 計算に必要なエネルギーの推定、量子計算と可逆回路



Fredkin, Toffoli,
Billiard Ball Computer



R. P. Feynman, Simulating Physics with Computers, Int. J. of Theo. Phy., 21, Nos. 6/7:467-488, 1982
 R. P. Feynman (J.G. Hey and R.W. Allen eds.), Feynman Lecture on Computation, Addison Wesley, 1996 (原康夫他訳、ファイマン計算機科学、岩波書店、1999年)

素子縮小の限界をどう越えるか？

- Richard P. Feynman, There's Plenty of Room at the Bottom, A Talk to American Physical Society on December 29, 1959 at Caltech, also in Richard P. Feynman (Jeffery Robbins ed.), The Pleasure of Finding Things Out, Perseus Pub., 1999, pp.117-139
- 1980年代：半導体集積技術の限界と革新技術の模索
- Molecular Electronic Devices:分子回路素子への挑戦
- Micro/Nano Machine、STM、・・・
- Biochip/Biocomputer の夢
- Bio Circuit/Bio Sensor

Fig. 2.11 Icon for the TOFFOLI gate also called the controlled-controlled-NOT gate. TOFFOLI is reversible and universal

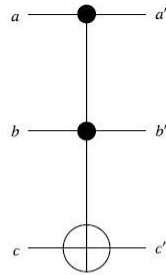
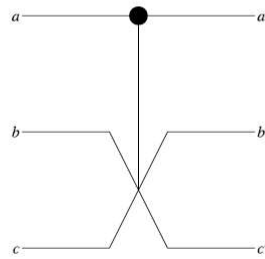


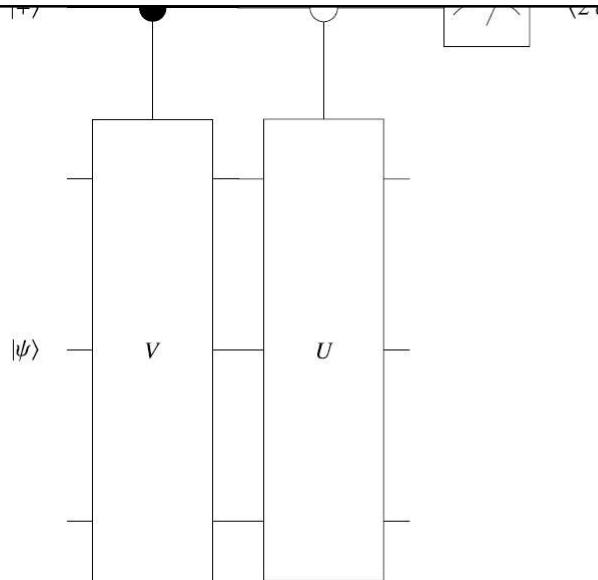
Fig. 2.12 Icon for the FREDKIN gate also called the controlled-SWAP gate. FREDKIN is reversible and universal



2.1.5.1 TOFFOLI (a.k.a. “Controlled-Controlled-NOT”)

The TOFFOLI gate is also called the controlled-controlled-NOT gate since it can be understood as flipping the third input bit if, and only if, the first two input bits are both 1. In other words, the values of the first two input bits control whether the third

Fig. 8.1 Quantum circuit for ancilla-assisted readout. By determining the expectation value of the operator $\langle 2\sigma_+ \rangle$ for a single ancilla qubit using a number of trials polynomial in n , we can infer the expectation value $\langle \psi | U^\dagger V | \psi \rangle$ of the operator $U^\dagger V$ for an n -qubit quantum system in state $|\psi\rangle$. This means we can extract properties of the result of a quantum simulation without having to know the final state explicitly



bit, designated as the “answer” bit, that carries the value of the function.

As in the case of reversible Turing machines, we can trade space for time in reversible *circuit* simulations of irreversible computations. But in the circuit picture, “space” (i.e., the amount of auxiliary memory) is measured in terms of the *number of ancillae* required to perform the computation, and “time” is measured by the i.e. total gate count, of the circuit. In some cases allowing more ancillae results in a reversible circuit with smaller net size (i.e., fewer total gates).

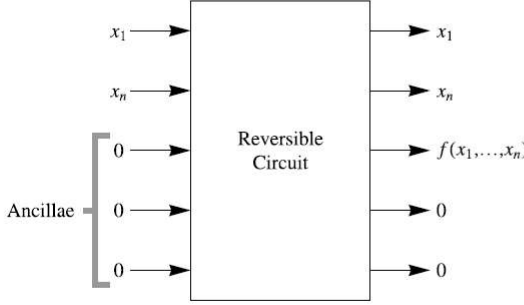


Fig. 2.13 Computing a Boolean function using a reversible circuit

²What we call an “ancilla bit” is also referred to as a “storage bit” or a “garbage bit” in the literature.

物理学における情報の概念と計算過程

- Maxwell’s Demon: J. C. Maxwellが1871年に刊行した Theory of Heatで紹介した“being”。L. Kelvinが命名。
- 観察や記憶と動作が結び付けられる知的存在beingを考慮すると熱力学の第2法則(気体運動の熱平衡状態)が破られる。
- L. Szilardの論文(1939年):「情報」収集には、エネルギー消費が伴う。 $k \ln 2 / \text{bit}$
- R. Landauer, 情報の消去にはエネルギー消費が伴う(1961年)
- Quantum Computing, Quantum Informationの理論

Quantum Information & Quantum Computer

量子情報・量子計算

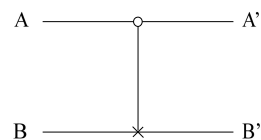
重要な定理：IBMのディビンセンゾーD. DiVincenzoは、「任意の 2^n 次元ヒルベルト空間上のユニタリ作用素は2入力の位相回転回路とコントロールNOTの組み合わせで表現可能である」ことを証明した。すなわち位相回転回路とコントロールNOTとは、量子計算の基本演算回路（ユニバーサル・ゲート回路）である。

もっとも簡単な位相回転回路は、アダマールHadamard変換であり、その行列表現は、

$$U_H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$$

2入力のコントロールNOTの行列表現は、

$$U_{CN} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$



C. P. Williams, Explorations in Quantum Computing,
Springer, 2010.

Chapter 2 Quantum Gate 参照

Quantum Gate → Quantum Circuit → Computer

量子アルゴリズム

10進数 → 2進数 → qubit状態を用意 →

Quantum Circuit → ユニタリ変換 → 観測

→ 2進数 → 10進数

基本となる位相推定、フーリエ変換

Quantum Algorithm – その1

- 1992年のDeutsche-Jozsa Algorithm :ある種の関数を推定する、
- 1994年のP. Shor's Algorithm:大きな数の因数分解を、量子フーリエ変換を使って実行する
- 1996年のL. Grover's Algorithm:「隠された数」を判定する高速DB検索を実行する、
- The Abelian Hidden Subgroup Problem

シヨア P. W. Shor のアルゴリズム

(1) N は偶数 → 素因数 2 を出力

(2) もし $N = a^b$ ($a \neq 1, b \neq 2$) → 素因数 a を出力

(3) 1 から N の間で、任意の x を選ぶ
 x と N の最大公約数が 1 より大きければ、その数を出力する

(4) x と N ($x < N$) の位数 r を求める。 ($x^r = 1 \pmod{N}$)

(5) もし r が偶数かつ、 $x^{r/2} \not\equiv -1 \pmod{N}$ なら、 $x^{r/2} - 1$ と N の最大公約数と、 $x^{r/2} + 1$ と N との最大公約数を求め、いずれかが N の因数なら、それを出力 → 駄目なら(3)に戻る



量子情報、量子計算の現状

- ・ 量子情報・量子計算への関心は高まり、研究者が増えている。
- ・ すべての基盤はEntanglementの実験的な検証にある
- ・ 思考実験、アイデアが実際の実験で確認されている
- ・ 実験では、我が国の研究者も活躍している
- ・ 量子暗号：竹内繁、量子テレポーテーション：古澤明
- ・ 物理系としては、イオントラップと光学装置が最も活用されている
- ・
- ・ **A one-hour video lecture on "Quantum Entanglement: Weird but useful" by Sir Peter Knight, Imperial College at:**
<http://ichelix1.cc.ic.ac.uk/ramgen/mediaspool/events/pknight.rm>)
- ・ 下記にある量子物理学の文献サイトに関連論文がある。
<http://xxx.lanl.gov/archive/quant-ph>

これまでの物理学との関連性

- ・ **Spin ½の2状態系の記述**
- ・ 統計演算子（密度行列）
- ・ **J. von Neumann**の量子的なエントロピー
- ・ 縮約されて密度行列
- ・ **E. Schmidt**の分解理論
- ・ 統計物理学や多体問題 との関係が認識され始めた
- ・ 量子化学とも関係が深い

Nature誌の特集 (nature insight) とノーベル賞

- **Quantum Coherence, Nature, 453:1003-1049, 2008**
- **K. Southwell, Quantum coherence**
- **V. Vedral, Quantifying entanglement in macroscopic systems**
- **R. Blatt & D. Wineland, Entangled states of trapped atomic ions**
- **I. Bloch, Quantum coherence and entanglement with ultracold atoms in optical lattices**
- **H. J. Kimble, The quantum internet**
- **J. Clarke & F. K. Wilhelm, Superconducting quantum bits**
- **R. Hanson & D. D. Awschalom, Coherent manipulation of single spins in semiconductors**
-
- **The Royal Swedish Academy of Science, MEASURING AND MANIPULATING INDIVIDUAL QUANTUM SYSTEMS, 2012.**
- **S. Horoche と D. J. Wineland の受賞論文。Reviews of Modern Physics.**

Quantum Algorithm – その2

大規模な線形代数の問題

- **A. W. Harrow A. Hassidim, S.Lloyd, Quantum Algorithm for Linear Systems of Equations, Physical Review, 103(15):150502-1-4, 2009.**
- **K. Temme et al, Quantum Metropolis sampling, Nature 471:87-90, 2011.**
- **P. Rebentrost et al., Quantum support vector machine for big feature and big data classification, arXiv, 2013.**
-

Quantum Simulatorのアイデア

- **Richard P. Feynman, Simulating Physics with Computers, International Journal of Theoretical Physics, 21(6/7): 467-488, 1982**

量子力学の教科書と講義の見直し

- P.M.A. Dirac, The Principles of Quantum Mechanics (4th ed.), Oxford Univ. Press, 1963
- John von Neumann, Mathematische Grundlagen der Quantummechanics, Apringer, Berlin, 1932
(英語訳、R. T. Bayer, Mathematical Foundation of Quantum Mechanics, Princeton University Press, 1955; 井上健、広重徹、恒藤敏彦訳、量子力学の数学的基礎、みすず書房、1957年)、この中の5章、6章が観測の理論になっている。
.....
- J.J. Sakurai, Modern Quantum Mechanics, 1986/1994.
- 猪木慶治・川合光、量子力学 (I・II)、講談社サイエンティフィック、1994.
- D. A. McQuarrie and J. D. Simon, Physical Chemistry: A Molecular Approach, University Science Books, 1997.

標準的な量子力学と量子情報、量子計算をつなぐ

- 竹内 繁、量子コンピュータ、講談社(ブルーバックス)、2005年
- 宮野健次郎、古澤明、量子コンピュータ入門、日本評論社、2008
- Daniel R. Bès, Quantum Mechanics A Modern and Concise Introductory Course (2nd), Springer, 2007. (樺沢宇紀、現代量子力学入門—基礎理論から量子情報・解釈問題まで、丸善プラネット、2009)
- 佐川弘幸、吉田宣章、量子情報理論、シュプリンガー・ジャパン、2009
- 石坂智、小川明宏、河合亮周、木村元、林真人；量子情報科学入門、共立出版、2012
- A. Peres, Quantum Theory: Concepts and Methods, Kluwer Academic, 1993.
- M. Nielsen and I. Chuang, Quantum computation and quantum information, Cambridge University Press, 2000 (訳本分冊あり)
- C. P. Williams, Explorations in Quantum Computing, Springer, 2010.

関係する話題が多い

- ・ 情報理論、熱力学、統計力学、量子統計力学
- ・ 計算機： Richard P. Feynman, Computing Machines in the Future, (in Richard P. Feynman (Jeffery Robbins ed.), The Pleasure of Finding Things Out, Perseus Pub., 1999, pp.27-52)
- ・ 次の本のpp. 30-73がTuring Machineの優れた解説になっている。Roger Penrose, The Emperor's New Mind-Concerning Computers, Minds, and Laws of Physics, Oxford Univ. Press/Penguin Books, 1989
- ・ E. Schmidt decomposition: Hilbert 空間論
- ・ 暗号論、数論の基礎：戸川美郎、ゼロからわかる数学—数論とその応用、朝倉書店、2001.
- ・ 確率・統計論、情報理論、Fourier変換、・・・
- ・ S. Dasgupta, C. H. Papadimitriou, and U. V. Vazirani, **Algorithms**, McGraw-Hill, 2006. Text at UC Berkeley and UC San Diego
- ・
- ・ A. Galindo, M.A. Martin-Delgado, Information and computation: Classical and quantum aspects, Reviews of Modern Physics, 74: 347-423, 2002.

教科書の問題点

- ・ これまでの教科書とのつながりが薄い
- ・ 独習できない
- ・
- ・ ネット上でよい資料が入手できる
- ・ ネット上オープンコースウェアを活用する
- ・ ミニマム(2状態系の)量子力学
- ・ 線形代数から計量的な思惟の方法へ
- ・ Genetics/Genomicsの人材育成は焦眉の急
- ・ 暗号とネットの安全対策が緊急の課題
- ・ 社会人などの「再入門」講座として意義がないか
- ・ グループで学習する

Molecular Electronicsのその後

- ・ P. Ball, *Chemistry meets computing*, *Nature*, 406:118–120, 2000.
- ・ C. Joachim, J.K. Gimzewski, A. Aviram, Electronics using hybrid-molecular and mono-molecular devices, *Nature*, 408: 541–548, 2000.
- ・ R. L. Carroll and C. B. Gorman, The Genesis of Molecular Electronics, *Angew. Chem.Int. Ed.* 41: 4378–4400, 2002.
- ・ Michael T. Niemier et al., Using Circuits and Systems-Level Research to Drive Nanotechnology, *Proceedings. IEEE International Conference on*, 2004.
(http://www.nano.gatech.edu/publications/pdf/Niemier_Kogge.pdf)

Feynmanの推定

1 bit の処理 $kT \ln 2 \sim 3 \times 10^{-21}$ Joule

トランジスタ回路の1スイッチ $10^{18} kT$

DNA → RNA転写、1ビット $100 kT$

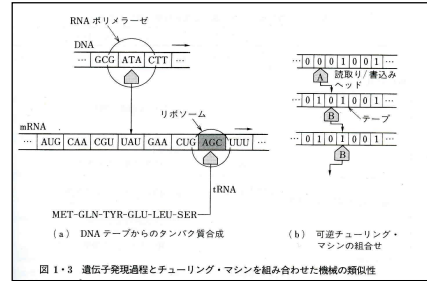
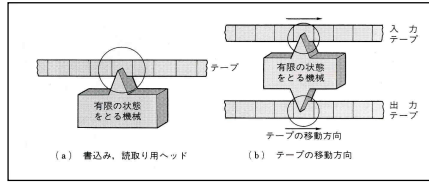
生物のエネルギー消費 Energy Dissipation 対策

- 異化 (Catabolism 分解) と同化 (Anabolism 合成)
- 両者のカップリングが多い
- 大きな温度差がない、大きな熱源がない
- 反応の自由エネルギーの増減は、少ないように、組み合わせられている
- 情報分子 塩基とエネルギー通貨分子 ATP, GTP には、共通性がある
- 細胞内の信号経路は、リン酸化と脱リン酸化で制御されている。
- ミクロなエネルギー収支をしらべる研究？

分子計算回路の最近の話題

- U. Pichel et al., Information Processing with Molecules – Quo Vadis, ChemPhysChem, 14: 28-46, 2013.
- Chip-on-Pill: 薬剤へ回路を貼りつける
- iGEM: MIT, 木賀大介 (東工大): 人工的な生物回路をつくる

現代の生命観: 生物は分子Turing Machineである



C. H. Bennett, "The Thermodynamics of Computation - A Review", *Int. J. Theoretical Physics* 21(12):905-940 (December, 1982).

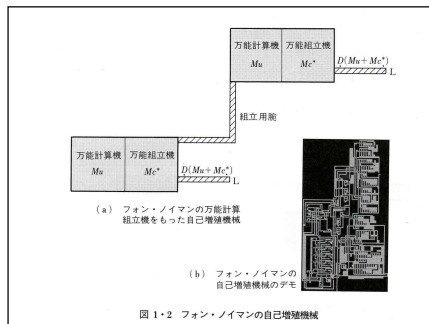
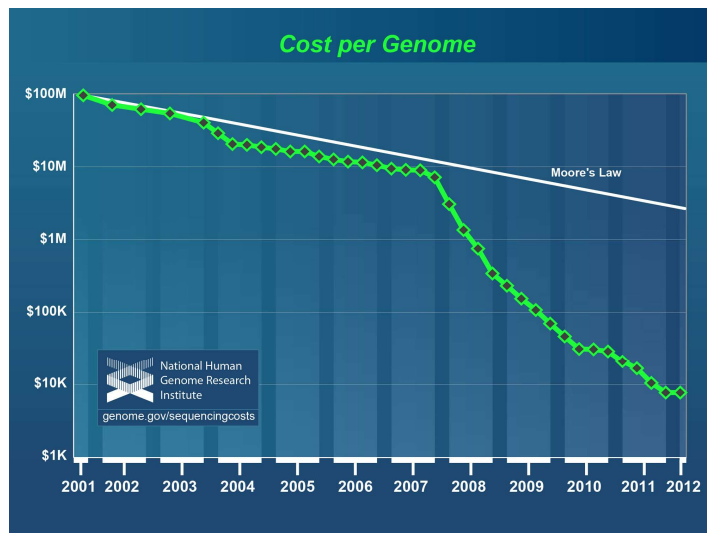


図 1・2 フォン・ノイマンの自己増殖機械

ゲノム(配列決定)機器の進歩は、計算機のムーアの法則を越えている！



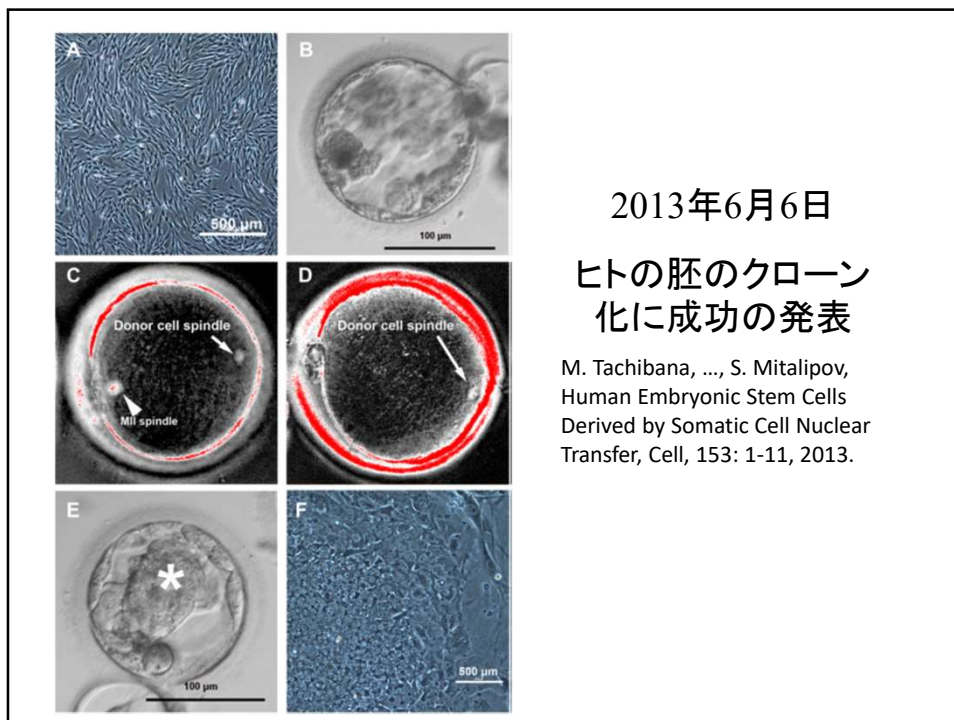
DNA Sequencing Cost: the National Human Genome Research Institute

現代のイノベーションは GII
Genome x ICT = Innovation

ゲノムの解読: \$1,000から\$100へ!

胚性幹細胞(ESC)とiPS細胞

細胞(生命)を人工的につくることはできない。しかし、“変換”はできる。



23andMe: Genetic Test
Designer's Babyの特許

Obama's Brain Initiative

- 2013年4月: Brain Research through Advancing innovative Nerurotechnologiesの計画発表
- 国の機関、NIH, DARPA, NSF+民間資金 232Mドル
- Society for Neuroscience meeting Nov. 9-13で概要
- DARPA:帰還兵士の心的障害PDSOなどの治療機器開発
- Allen Brain Institute: マウスの脳回路
- Howard Hughes Med. Inst. : ハエの脳回路
- アルツハイマー疾患、多発硬化症、PTSD、・・・
-
- 欧州、Human Brain Initiative:ヒトの脳の計算機モデル構築

情報社会と熱エネルギーの生成

- 人為的な熱の発生による気候変動への懸念
- 経済活動に伴う炭酸ガス発生抑制
- 照明による熱発生低減 → LED
- 情報計算通信機器の発生する熱問題
- Sustainable Computing/Informatics
-
- 計算過程における熱発生抑制
- 水に流せる計算機 Bio Computer の開発

おわりに: 専門職の拡大

- 量子情報・量子計算は、理系大学院の共通、教養講座に位置づけられる
- • 自然科学と情報計算学の境界領域が拡張されつつある
- 物理学と情報計算学
- 化学と情報計算学 Chemical Informatics & Comp.
- 生物学と情報計算学 Bioinformatics & Biocomp.
- 生物医学と情報計算学 Biomedical Informatics
- 薬の研究開発、神経系と脳、健康、農業、環境、...

インターネット革命

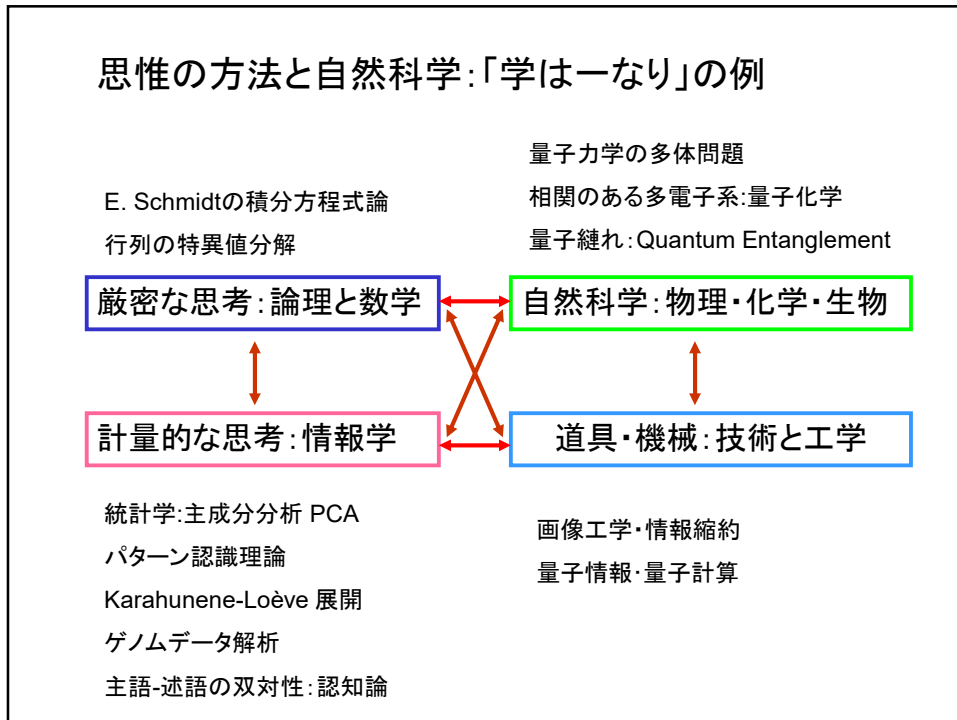
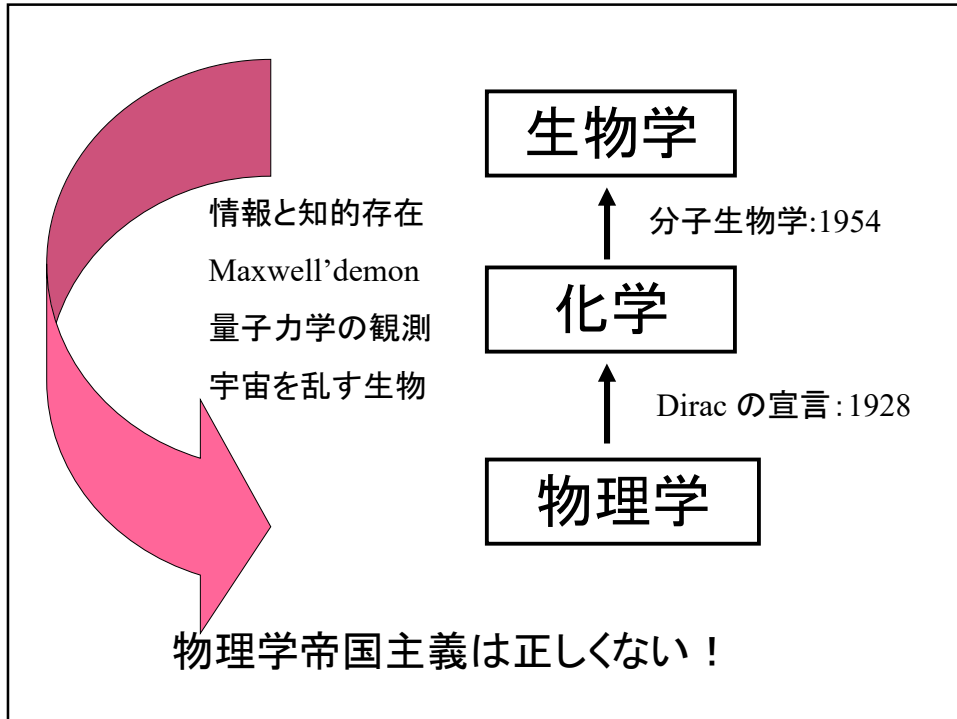
- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • 第1次革命: 1994年 • インターネット/WWW • 大学、国立研究機関 • ネットワークビジネス • • 神沼二真、第三の開国—インターネットの衝撃、紀伊国屋書店、1994 | <ul style="list-style-type: none"> • 第2次革命: 2011年 • MUC技術 • 携帯若者、大衆文化 • 社会的なサービス • • 独裁者の打倒 • 鉄の五角形の衰退 • 教育と医療の革新 • 一次産業の革新 |
|--|--|
- 規制保護分野への影響大 →

未来 : 起きている現実

- G. Orwell, 1984, 1949: 監視社会の恐怖
- NPR: Your Digital Trail: Private Company Access
ネット企業による個人情報の収集
<http://www.npr.org/blogs/alltechconsidered/2013/10/01/227776072/your-digital-trail-private-company-access>
- いわゆる「ビッグデータ」活用の時代
-
- 産業ロボット
- 医療用手術ロボット(ダビンチ)
- 火星探索車、車の自動走行、ロボット兵器
- 無人機 Drone (UAV: Unmanned Air Vehicle)
-
- 高次の判断: IBMのWatson – 人間のクイズ王を破る、チェス、将棋、...
- 健康診断、処方支援、...
- • 全てのモノがネットにつながる、...chip on pill

ネット第2革命と集団知の時代

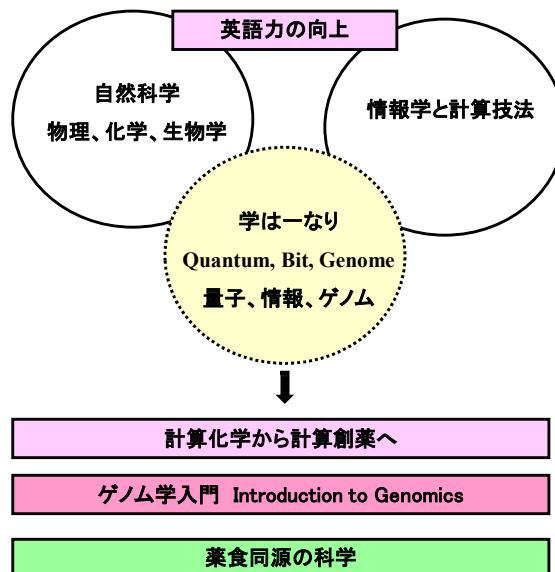
- **M. Nielsen, Reinventing Discovery, Princeton, Univ. Press, 2012. オープンな科学研究**
- **A. J. Williams et al, Mobile apps for chemistry in the world of drug discovery, Drug Discovery Today, Vol. 16(21/22), 928-939, 2011. 化学へのインパクト**
- **E. Schmidt, J. Cohen, The New Digital Age, John Murray, 2013 ネット無料サービスの代償**
- **Eric Topol, The Creative Destruction of Medicine, Basic Books, 2012 医療イノベーション**
- **C. Anderson, Makers - The New Industrial Revolution, Random House, 2012. 3Dプリンター**



情報計算技法の応用分野

	数学・計算	情報学/Meta Science
物理学	計算物理学 Computational Physics 量子計算機	物理学と情報 量子情報
化学	計算化学 Computational Chem.	情報化学/化学情報学 Chem(o)informatics
生物学 Biotech	計算生物学 Computational Biology	生命情報工学 Bioinformatics
薬学 毒性学	Chem-Bio Informatics 計算毒性学 Computational Toxicology	医薬情報学 Pharmacoinformatics Toxicoinformatics
医学・医療	遺伝学 GWAS: Statistical Genetics GET: Genome x Environment = Trait 放射線の照射計算	医療情報学 Medical Informatics
	生物化学複合領域 環境中の生物の網羅的解析 Meta-Genome	情報計算化学生物学会 Chem-Bio Informatics Society

自然科学と情報計算技法との学際領域のネット講義(案)「



物理学の中の情報と計算の思想の開拓者たち



J. C. Maxwell



J. von Neumann



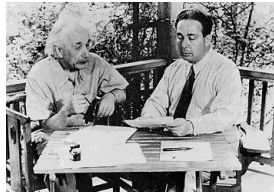
C. A. Shannon



C. H. Bennett



L. Boltzmann



A. Einstein & L. Szilard



E. Schrödinger



R. P. Feynman



S. Watanabe, *Knowing and Guessing*, John Wiley, 1969
 渡辺慧/村上陽一郎訳、知識と推測 I-IV, 東京図書

渡辺慧、時間の歴史、東京図書、1973年
 渡辺慧、時、河出書房新社、1974年
 渡辺慧・渡辺ドロテア、時間と人間、1979年
 渡辺慧、知ること、東京大学出版、1986年
 渡辺慧、認識とパタン、岩波新書、1978年
 渡辺慧、生命と自由、岩波新書、1980年

渡辺慧 Michael Satoshi Watanabe (1910-1993年)