

■ 情報学基礎論の意義

■ なぜ、情報を学ぶ際に基礎が大切なのか

私たちの住む社会や、私たち自身の生活において、「情報」が占める位置は、ますます大きく、ますます重要さを増している。当分の間この変化の方向は変わりそうもない。したがって、生活を快適にし、有意義な社会参加をするために「情報」を学ぶ重要性も、変わることがない。

私たちは、さまざまな性格の情報に取り巻かれて生活しており、「情報」についてそれなりの知識も持っている。特に若い世代ほど「情報感度」が高く、さまざまな情報を入手して生活の諸側面に活かしている。それだけに、つい、「情報」のことはすでに知っていると思いがちである。パソコンは使えるし、インターネットも活用できるし、これ以上取り立てて学ばなくとも困ることはない、と。だが、本当にそうだろうか。「情報」について知識はもっていても、見識を備えていると言えるだろうか。人生の重大な局面で、「情報」に関わる判断を正しく下せるだろうか。

いや、そもそも私たちは、「情報」とは何かを、ちゃんと知っているだろうか。

そうではあるまい。そのことについては深く考えたことはなく、単に情報機器や、情報システムを活用する実技(スキル)を習うなり独学なりで身につけたというだけなのだ。多くの大学の教養科目に含まれている「情報基礎論」や、「コンピューター・リテラシー」などの講義は、「基礎論」を標榜しながらも、実際には実技コースであり、「IT実践」とでも呼ぶほうがぴったりする。

実技を軽視しているのではない。情報処理技術(IT)を身につけることで、仕事や勉強を効率化でき、情報技術なしにはまるで不可能な作業さえもこなすことができる。特にビジネスの世界に進む場合、この実技のレベルを保ち、向上させてゆく不断努力が必要だろう。

だが、その一方で、「情報」はこの世の森羅万象に広く、深く関わる、実にさまざまな考察の対象になりうる何物かなのであり、私たち人間も、私たちが住んでいる社会や世界も、情報なしには成り立たない。そもそも、生命にとって「情報」は「物質 = エネルギー」と並んで不可欠な要素である。

したがって、時に実技をはなれて、「情報とは何か」、「それは私たち人間や、私たちの社会とどう関わっているのか」と問い、じっくり考えてみることは、情報の本質を考え、ひいては、人間や社会について深く考えることにつながる。さらには、それまでは実技に関連して、つまりテクニカルにしか捉えてこなかった、「他者とのコミュニケーション」や「情報倫理」といった問題の全貌を明らかにすることでもある。そうした営為こそ、真の「情報学基礎論」の名にふさわしい。実技面の理解と、この理論面の理解とが一人の人間にともに備わることによって、はじめて「情報」についての真の理解が得られ、各自の生活(全人生)を一変させるほどの大きな知的進展が期待できるのである。

だから、小中高や、パソコン教室ならともかく、大学における情報科目のあり方は、以下の図のようになっているべきである。実践のほかに、理論的な意味での基礎をしっかりと身につけた上で、はじめて各種の情報論を学ぶのが正しいやり方だと思う。

各種情報論	文字情報論	数値情報論	画像情報論	プログラミング……
実践と理論の基礎	IT実践(「情報基礎論」)		情報学基礎論	

この講義では、そうしたいくつかの基礎的な問題を、細部をゆるがせにせず、哲学や科学、宗教などが何千年にもわたって積み上げてきた知的営為をも参考にしながら、一年間をかけてい

ねいにたどっていかうとするものである。

前期の「情報学基礎論A」では、主に

「情報とはなにか」

の問題を、後期の「情報学基礎論B」では、主に

「情報は私たち人間とどう関わっているのか」

「情報は私たちの社会とどのように関わっているのか」

について論じてゆく。詳しくはシラバスを参照のこと。情報と社会との関わりについて多くの時間を割くのは、社会学部で行う情報学基礎論としての使命を自覚しているからである。

■物質・エネルギー・情報

■物質・エネルギー・情報

抽象概念や、それを表す言葉(抽象名詞)は、言語発生の原初から存在するものではなく、さまざまな事象を一つの抽象概念としてくくり、みな共通理解にまで高める、知的かつ文化的な活動の結果、はじめて得られるものなのである。

これら三つの抽象概念は、人類が長い歴史の中で生みだし、よりはっきりした姿へと形づくり、固めてきたものである。誕生の時期はそれぞれ異なり、「物質」「エネルギー」「情報」の順に概念形成されたと考えられる。

○「情報」概念成立までの歴史に関わる科学者・哲学者

→ 配付資料1

デモクリトス、アリストテレス

ガリレイ、デカルト、ニュートン

ラバアジェ、ジュール

アインシュタイン、ウィーナー、ノイマン、チューリング、シャノン

○「物質」概念の成立

「この世界のすべては物質から作られている」

この理解は現在では自明のことのように思われているが、こうした理解が形成されたのは、17世紀以後、古く見ても2,500年前程度以上は遡れないだろう。それは、

「物は何からできているか」

という疑問の答として考え出された概念だからである。

そもそも「物」という抽象概念(もちろん具象概念ではない)自体、おそらく人間が「道具としての物」を手にして以降、文字通りそれを手がかりとして生み出されたものである。

紀元前5世紀ギリシャの哲学者デモクリトスは、この世界のすべての物は「原子」という不可分の粒からできているという、いわゆる「原子論」をはじめて提唱した。

また、紀元前4世紀ギリシャの哲学者アリストテレスは、物を含めた世界の成り立ちを、「質料」と「形相」の二つの概念を用いて説明した。「質料」は現在の理論でいう「物質 = エネルギー」に、「形相」は「(最広義の)情報」にあたると考えればわかりやすい。

この二人によって提唱された「物質」の概念は、さまざまな哲学者・思想家による思索を経、17世紀フランスの哲学者ルネ・デカルトに至って確立されたと言える。

○「エネルギー」概念の成立

一方、「エネルギー」という概念は、「物質」よりもはるかに遅れて成立した。いまでもしばしば「力」と「エネルギー」を混同している人を見受けられるように、「エネルギー」は以下のようなさまざまな形をとりうるため、それらを単一の概念として認識できるようになるには、長い間の思索と実験の積み重ねが必要だったのである。

運動エネルギー

位置エネルギー

電気エネルギー

化学エネルギー(化学物質のもつエネルギー)

熱エネルギー

原子力エネルギー

光のエネルギー

.....

「エネルギー」の存在をはじめて認識したのは、17世紀イタリアの物理学者ガリレイであった。彼は位置エネルギーと運動エネルギーとについての実験を積み重ねることで、この概念に到達したのである。彼の得た結論は、閉じた系の中では、これらの力学的エネルギーの総和が一定である、つまり保存されるということであり、これは、

「力学的エネルギー保存の法則」

という。

熱エネルギーや化学エネルギーなど、力学的エネルギー以外のエネルギーを含めた形で、その法則を拡大した形で再定義したのが、19世紀イギリスの物理学者ジュールである。これは、

エネルギー保存の法則

と呼ばれ、ここにおいて「エネルギー」の概念は完全に確立したと言える。

つまり、エネルギーの歴史はたかだかここ150年ほどにすぎないのである。

○ **質量:物質の最も基本的な「量」**

「物質」概念がデカルトなどによってほぼ確立した後も、物体の運動などを研究する力学が成立するには、物質におけるもっとも基本的な量である「質量」概念の誕生を待たねばならなかった。

「質量」という力学的概念が形成されるには、

慣性(運動状態の変えにくさの程度)の概念が生まれ、物質に固有な量だと認識されること

質量と重量(重さ)の違いがはっきりすること

が必要である。

これらの仕事はガリレイ、ケプラー、デカルトらによって少しずつ実現され、ニュートンにいたって確立されるにいたった。ニュートンはこの「質量」を用いて、運動の法則と万有引力の法則とを導いた。

一方、18世紀フランスの化学者ラバアジエは、

化学反応においては、反応前の物質の全質量と、反応後に生成した物質の全質量とは等しい

という、いわゆる質量保存の法則を導いた。

○ **「物質」と「エネルギー」の等価性**

物質とエネルギーが根源において同じものであり、相互に変換が可能だということは、20世紀の物理学がもたらした最大の発見であった。

化学反応によってもエネルギーの出入りはあるが、それは関与する物質の質量に比べればきわめてわずかであるため、質量の変化として観測されるほどではなく、したがって、この時点ではまだ、質量とエネルギーの関係は発見されるにいたらなかったのである。

しかし、原子核の崩壊や変換、核反応などに際しては、化学反応よりはるかに大きなエネルギーが放出される。これを核エネルギーとか原子エネルギーという。原子核中に潜むこのエネルギーの存在は、20世紀の初めから、天然に存在する放射性元素の研究によって知られていた。

アインシュタインの特殊相対性理論(1905)は、物質(の質量)とエネルギーとが等価であること

を定量的につきとめた。この関係を記述したのが、

$$E=mc^2$$

という、いわゆるアインシュタインの関係式である。ここでEはエネルギー、mは物質の質量、cは光速度である。これは、1グラムの質量がエネルギーに変換されると9000億兆エルグのエネルギーとなり、これは100ワットの電球3万5000個を1年間点灯し続けうるエネルギーに相当する。

■「情報」とは何か

○情報とその担体

ここまでの議論で、世界を構成する三大要素、物質、エネルギー、情報の三つのうち、最初の二つの概念が明確になり、しかもその二つは互いに変換可能なもの、つまり等価なものであるという、意外なことが判明した。

それでは、残る「情報」について、この事実を踏まえて考えてみよう。

すべての情報には、その情報を乗せて運ぶための「もの」が必要である。

たとえば本の内容という情報は、紙という物質の乗せられ、さらに言えば、インクのしみの形作る「パターン」(文字)の並び(テキスト)として保存され伝達される。この講義資料の内容は、WEBのサーバー上にあるハードディスクに、磁気パターンとして記録されているが、リソグラフによって印刷された紙を「担体として」みなさんに伝わったり、通信回線を通して(電気エネルギーの変化として)教室のパソコンに伝わり、光のパターンとしてプロジェクター上に投影されたりする。

つまり、情報の担体は物質やエネルギーであり、情報はそれら担体の形作る「パターン」として表現されている。

物質とエネルギーが相互に変換されるとき、変換されるのはそれらの「質料」だけであり、物質やエネルギーの上にいわば「刻みこまれた」パターンは、それが担っているかも知れない情報とともに失われてしまうと考えられる。

○「情報」の正体は自明ではない

現代社会は極度に情報化が推し進められた社会

情報という言葉を聞かない日はないほどである

例:「イラク人質事件」(2004)を巡る報道。「情報が錯綜している」

私たちにとって、「情報」と言えば、このような、人の居場所とか、誘拐の犯人といった「事実」に関する「報せ」を意味することが多い

私たちは「情報」とは何かということを、あまり考えないままに、知ったつもりでいる

だが、「情報」の正体は、必ずしも自明でない

○「情報」概念の変遷

「情報」という概念(concept)の誕生と、その移り変わりを、「情報」というコトバの歴史的変遷をたどることでみてみる→配付資料1

たとえば20世紀の間に、情報概念がなにかしら変質し、一般の人の共通概念として根付いてきていることが見てとれる

また、「情報」を含むいくつかのコトバを考察することで、「情報」について考えてみる

情報通信

遺伝情報

情報量
情報化(社会)
情報源

○「情報」概念の発生

たとえば、Aという人しか知らないはずのことを、Bという人も知っていたら……

昔の人なら、「AがBに話したに違いない」とか、「Aが秘密を漏らした」(これはやや進歩がある)と言うだろう。

今の人なら、「AからBに「情報が伝わった」と言うだろう。

また、生まれた子供が親にうり二つだったとしたら……

昔の人なら、「血は争えない」と言うだろう。

今の人なら、「親から子へ、「遺伝情報」が伝わった」と言うだろう。

このように、「情報」という概念は、「伝わってゆくもの」という考え方に端を発している。「情報」が「伝わる」ものかどうかはさておき、こうした現象に出会ったとき、人々は、人から人へ、親から子へ、「何か」が伝わっていくためだと考え、その「何か」を、長い年月をかけて、「報せ」、さらに「情報」という概念にまで抽象したのである。

○通信の理論

担体と情報との関係が注目されるようになったのは、電信や電話による遠隔通信の技術ができたことによる。通信の量や正確さについて、はじめて理論化したのが、アメリカの電気工学者クロード・シャノンである。

○情報と生物との関係の発見

また、情報通信理論の研究から着手して、生物個体の行動と通信機械の動作の平行性、同型性などに気づき、情報・通信に関わる一連の問題が、機械、生物個体、社会を問わず同じ構造を持ち、本質的に一つの統一理論で扱えることを見抜いたのが、アメリカの数学者ノーバート・ウィーナーである。

この統一理論(を研究する学問)のことを、かれは「サイバネティックス」と呼んだ。サイバネティックスは、その後の情報論のすべてを支える基盤の一つとなっている。

自然発生的に生まれた「情報」の概念は、シャノンとウィーナーに至って、一面的ではあるが明確な定義を与えられた。また、情報を定量的に図るという考え方も、このときにできたものである。

○シャノンとウィーナー：情報理論の開拓者

■シャノン Claude Elwood Shannon (1916 —)

アメリカの電氣工学者、数学者。情報理論の創始者。1936年ミシガン大学を卒業後、マサチューセッツ工科大学(MIT)の大学院で電氣工学、ついで数学を専攻、40年に数学の学位を得た。(中略)41年にベル・テレフォン研究所に入り、第二次世界大戦中は通信の雑音や暗号解読などの研究に従事。

1948年シャノンは『通信の数学的理論』A Mathematical Theory of Communication と題する長大な論文を研究所の雑誌に発表した。この論文は、情報を数量的に扱う方法を考察して「情報量」の定義を与え、この概念を用いて通信の基本問題を論じたもので、通信の効率化をはじめ情報伝達におけるさまざまな問題がどのようにして理論的に取り扱われるかを明らかにした。彼は論文の最初に情報伝送における通信系のモデルを提示、次に「情報源を確率過程として」とらえ、その確率分布に関して統計熱力学と同じ形の「エントロピー関数」を導入し、これによって情報量を定義した。これは、1928年のハートリー Ralph V. L. Hartley (1888 —) による選択の自由度による定義の直接の拡張であった。そして雑音のない通信路における符号化定理を与え、条件付きエントロピー、相互情報量、通信路容量などの概念を導入、雑音のある通信路を通して情報を伝送する場合の「シャノンの第二符号化定理」を導いた。(一部略)(小学館『日本大百科事典』より抜粋)

■ウィーナー Norbert Wiener (1894 — 1964)

アメリカの数学者、サイバネティックスの提唱者。父自身が語学、数学に多面的な才能を有する天才肌の人物で、その父により幼時から徹底した英才教育を受けてノバートは、14歳でカレッジを卒業、ハーバード大学大学院に入り、数理哲学の論文で博士の学位を得たのは18歳のときであった。同大学在外研究員として、イギリスのケンブリッジ大学でB・ラッセルの下で数理哲学を学ぶとともに、数学、物理学そのものの勉強の重要性を教えられ、ドイツのゲッティンゲン大学で数学者ヒルベルトに学んだ。第一次世界大戦勃発(ぼつぱつ)とともに帰国、カレッジの哲学臨時講師のほか、さまざまな仕事をしたが、1919年、24歳のときようやくマサチューセッツ工科大学(MIT)の数学講師の職を得、以後、助教授、準教授、教授(1932)として、終生ここで研究を進めた(中略)。

MITに就職してまず取り組んだ研究が、確率過程論的な問題、ブラウン運動の数学的研究であった。ブラウン運動理論は電氣雑音の理論と本質的に同一構造であり、後者は濾波器(ろはき)の問題と基本的にかかわる。これは予測理論と関連し、ウィーナー・ホップの予測の方程式は、後述のサイバネティックスの提唱にとって重要な意義をもつものとなる。

第二次世界大戦中、ウィーナーは対空火器の射撃制御装置の設計にかかわり、一方、電子計算機の問題にも取り組んだ。また神経生理学者、電氣工学者と共同して生物の自己制御機構の研究も進めた。戦後、著作にとりかかり、「動物と機械における制御と通信」を副題とする有名な『サイバネティックス』(1948)を出版した。以後もサイバネティックスについて研究と思索を重ね、社会的に大きな影響を与えるとともに、サイバネティックスの社会的悪用についての警告も行った。(一部略)(小学館『日本大百科事典』より抜粋)

■情報の数量化

■自己情報量・平均情報量

シャノンやウィーバーは(以降、シャノンで代表させるが)、「情報」を理論化するにあたって、まず、送信者と受信者とを結ぶ通信路を流れる信号としての情報を考えた(→配付資料6)。そして、情報源を確率過程(事象系 = 確率試行)と考えることで、事象と事象系の**情報量**を定義した(→配付資料7、8)。

事象の自己情報量: 事象の起こる確率により定義

事象系の平均情報量: 起こりうる各事象の情報量の期待値により定義

シャノンらによるこのコミュニケーション・モデルは、当時新しいテクノロジーとして普及していた電信や電話、無線などによる通信を強く意識したものになっており、それらの応用には極めて有用である。通信路の容量や、信号と雑音の関係を論ずるための基礎理論になっている。

また、機械(たとえばコンピュータ)で処理できる情報について考える場合、このシャノンらによる情報の定義が一般に使われる。

このことから、ここで定義される「情報」とは、いわゆる「**機械情報**」であると考えられる。

われわれの情報学ではこの「機械情報」を、最狭義の(または、一番低いレベルの)「情報」の一種と捉える。

■エントロピー

この「情報量」の概念と密接に関係するのが、「エントロピー」といわれるものである。

エントロピーの考え方は、熱力学から生まれてきたが、情報学、その他自然科学から、社会現象にいたるまで、広く応用でき、さまざまな現象の説明に使われる。

エントロピーの定義それ自体は、領域によって異なるため、ここでは、エントロピーをめぐるさまざまな言説を見ていくことで、そのおおざっぱなイメージをつかんでもらい、それが「情報」とどう関わるのかを考えてゆくことにする(→配付資料9、10)。

■ 機械情報とコンピュータ

■ チューリングとノイマン

シャノンとウィーナーによって、はじめて、「情報」を科学的、定量的に扱う方法が確立された。この「情報」は、「情報の4つのレベル」からすれば「最狭義の情報」ではあるけれど、それだけに、機械で保存(記憶)したり、伝達したり、処理したりできる利便性を備えている。

最広義の情報	
広義の情報	
狭義の情報	
最狭義の情報	機械情報

この二人の後を受け、「情報を処理する機械」すなわちコンピューターの理論的基礎を築いたのが、チューリングとノイマンの二人である。

■ チューリング Alan Mathison Turing (1912 — 54)

イギリスの数学者。ロンドンに生まれ、ケンブリッジ大学キングス・カレッジに学ぶ。1936年、計算可能関数の数学的定式化として思考上の計算機械を創案した。

これは次のようなもので、彼の名をとって「チューリング機械」とよばれている。

〔1〕限りなく大きな紙をもっている、〔2〕有限個の記号を用いる、〔3〕おのおのの瞬間に有限個のものを読み取る、〔4〕記憶の状態が有限個あり、各瞬間にどれか一つの状態にある、〔5〕現在みているものが何であり、状態が何であるかによって、次に何を消し、何を書き加え、どこに目を移すか、さらに次の状態が何であるかが決まる。

関数が計算可能とは、その関数を計算するチューリング機械をつくることができることであり、この機械によって計算可能な関数は帰納的な関数と同じである。

(小学館 『日本大百科事典』より抜粋)

■ ノイマン Johann Ludwig von Neumann (1903 — 57)

ハンガリー出身のアメリカの数学者。量子力学の数学的基礎づけ、作用素論およびエルゴード理論に重要な業績を残し、ゲームの理論、計算機理論を創始した。

(中略) 第二次世界大戦中、軍事技術上重要な衝撃波や複雑な流体力学の問題にかかわり、その膨大な計算は彼の目を高速度計算機に向かわせた。当時彼はアバディーン弾道研究所、海軍兵器局、およびロス・アラモス研究所の顧問であり、原子爆弾の開発に重要な役割を演じた。戦時中にここで世界最初の電子計算機の開発に加わり、そして戦後プリンストン高級研究所における電子計算機計画を指導、プログラム内蔵方式による計算機の論理設計を行い、今日の電子計算機の原型となったいわゆる「ノイマン型」計算機を試作した(1952)。計算機理論、オートマトン理論の研究に力を注いだが、研究なかばにして病に倒れ、57年2月28日その生涯を閉じた。

(小学館 『日本大百科事典』より抜粋)

■ チューリングの万能計算機械

チューリングは、「計算」の問題、つまり、ある関数が一定の手順で計算できるかどうかについて考え、そのために、チューリング機械(万能計算機械)を考案した。これは、数学的な議論のための仮定の装置であり、実際に製造された「機械」ではない。

チューリング機械の構成と動作(計算するしくみ)を配付資料12に示す。

チューリングはこれを使って、ある問題が「計算可能である」とは、「チューリング機械にあたえる形式的な計算手順の記述が存在するかどうか」に置き換えられることを示した。この、ある問題を解くための(有限回)の手順のことを、**アルゴリズム**という。つまり、「計算可能である」とは、「アルゴリズムが存在する」と言い換えることができる。

■ デジタルコンピューターの発明

計算を行う機械には、つぎのような種類がある。

	機械式	電子式
数量の表現方式：		
アナログ量	計算尺	アナログコンピューター
デジタル量	そろばん	(デジタル)コンピューター

現在のコンピューターは、電圧や電流のON、OFFを二進数の1、0に対応させることで、数量をデジタルで表現する、電子式のデジタルコンピューターであり、単に「コンピューター」と言えばこれを指す。一方で、アナログコンピューターも特殊な分野では今も使われている。

最初の(デジタル)コンピューターENIACが発明されたのは、第二次世界大戦下のアメリカで、陸軍兵器局で大砲の弾道を計算する必要からだった。発明者はモークリーとエッカートである。

18,000本の真空管を使って、1秒間に10万回の計算を行うことができた(現在のパソコンの性能の1万分の1程度)。30メートル四方の部屋を独占していたという。

ENIACは、演算器の間の結線を変えることで、さまざまな数式の計算を行う方式であり、この結線の組み合わせが現在でいう「プログラム」にあたる。その機能は数値積分の計算に限られており、チューリング機械を実現してはいなかった。

■ フォン・ノイマン型コンピューター

ENIACの次に計画されたEDVACのプロジェクトに参加し、この欠点を解消し、現在のコンピューターと同じ形にしたのが、フォン・ノイマンである。

フォン・ノイマンのアイデアは、計算の手順(アルゴリズム)を表すプログラムを、電線の結線で実現するのではなく、演算されるデータと同様、電子的に、デジタルで表現し、データと一緒に格納してしまうことであった。

フォン・ノイマン型コンピューターのしくみを、配付資料13に示す。

■ 機械情報の表現

○ デジタル化

コンピュータは、デジタル化された(1と0だけで表された)機械情報を処理する機械である。したがって、すべての情報は、コンピュータによる処理に先立って、デジタルな情報として表現されなければならない。本来の情報は、必ずしもデジタルな情報ではない。ここで、デジタルとアナログを、つぎのように定義しておこう。

デジタル:離散量 = とびとびの値をとる量

例: バス料金、人数、文字(言語)、デジタル時計の時刻

アナログ:連続量 = 連続量 = 連続的に変化する量

例: 色、画像、音声、温度、アナログ時計の時刻

アナログ量を、デジタル量で(近似的に)表現することを、**デジタル化**という。たとえば、気温の小数点以下を切り捨てるか、四捨五入して、「26」といった整数で表すことも、一種のデジタル化だと言える。

気温のような一つの量をデジタル化すると、誤差が生じる。この誤差は、デジタル化したときのデータの情報量が大きいほど小さくなる。これは、同じ気温を、「26」と表現するときと、小数点化1桁まで入れて「26.1」と表現するときのことを考えればわかる。

○ 標本化定理

また、時間的に変化するアナログ量(アナログ信号)をデジタル化する方法を、配付資料15に示す。ここで紹介したのは、パルス符号変調(PCM)と呼ばれるデジタル化の方式であり、現在、CDやMD、MP3など、ほとんどのデジタル音声記録で使われている。

このとき、アナログ信号の大きさを計る時間間隔が大きいと、デジタル化した信号から、もとのアナログ信号の波形を完全には再現できなくなる。これは、前述した量の誤差とは別の、時間的な変化に基づく誤差である。

この誤差をなくすにはどうしたらよいか、を考えた結果、シャノンらにより導かれたのが、**標本化定理**である。

■ 標本化定理

連続波形を一定時間間隔の標本値で表す場合、**信号に含まれる最高周波数成分の2倍以上の周波数**(標本化周波数とよび、 f_s で表す)に相当する繰返し周期($1/f_s$)で標本値を求めれば、**もとの信号波形を完全に表すことができる**という定理。これは周波数成分が限られている(帯域制限を受けている)信号に対しての、時間領域における標本化定理である。この定理はまた、限られた時間(T)内しか存在しない信号に対しては、 $1/T$ の間隔で抽出した周波数成分標本値によって、全体が決定されるという周波数領域における標本化定理にも拡張できる。この定理は、アメリカの数学者であるシャノンやウィーナーなどにより電気通信の分野に導入された。たとえば電話の音声信号をパルス符号変調(PCM)により送信する場合には、通常音声は4キロヘルツ以下に帯域制限されているので、これを8キロヘルツのパルスで標本化すればよいことになる。

(小学館『日本大百科事典』より抜粋)

○ビット列と情報量の単位

デジタル化されたデータのうち、記号が0と1の2つだけで表現されたもののことを、バイナリデータという。すなわち、バイナリデータは、0と1の並びで表現されたデータである。このとき、バイナリデータによって表現できる(区別できる)情報の個数は、その桁数(長さ)によって決まる。この関係を下表に示す。

ビット列長(桁数)	表現個数	例
1	2	1ビット
2	4	
4	16	
8	256	1バイト、1バイト文字の上限数
16	65,536	2バイト文字の上限数
24	16,777,216	フルカラー(24ビットカラー)の色数
32	4,294,967,296	IPアドレスの上限数

コンピューターの世界でよく使われる情報量の単位も、基本的には、このビット列の長さから派生したものである。データの大きさや記憶装置の容量を表すために、下表の単位を用いる。

1ビット(1bit)	2進数の1桁。0か1を区別できる最小のデータ量。
1バイト(1B)	8ビット。英数字1文字にあたるデータ量。日本語文字1文字は2バイトで表す。
1キープバイト(1KB)	1024(=2 ¹⁰)バイト。
1メガバイト(1MB)	1048576(=2 ²⁰)バイト。
1ギガバイト(1GB)	1073741824(=2 ³⁰)バイト。
以後1024倍毎に	「テラバイト(TB)」「ペタバイト(PB)」など。

○演習:デジタルデータの情報量は?

それでは、色、文字、画像、音声など、さまざまな種類の情報について、それらをデジタル化したときの情報量を計算してみよう。

(→配付資料14)

■「情報学」の構築

■吉田民人の情報論

○「情報学」は未完成

シャノンらによる「機械情報」概念の確立と、それに立脚した情報処理技術の急速な進歩により、われわれの「情報」理解が大幅に進んだかと言えば、実はそうではない。むしろ、それらデジタルデータとして表現された「情報」や、「信号(シグナル)」としてやりとりされる「情報」だけがクローズアップされ、「情報」の他の側面、たとえば、

言語や記号としての情報

人間社会を成立させる要素としての情報

生物個体の内部で流通し、生命現象そのものを支えている情報

の側面が相対的に隅にやられ、「情報」の統一的な理解を妨げているというほうが真実に近い。われわれがこれから構築しなければならない「情報学」とは、もちろんこれら「情報」の諸側面を広く包含するものでなくてはならないが、それはまだ発展途上であり、はなはだしく未完成である。

○ウィーナーの思想

シャノンやフォン・ノイマンが機械情報の研究に成果を上げたのに対し、「情報」の意味をより広く、深く考えた最初の人、ウィーナーであった。彼は、**機械、人間、生物**の三者が、情報の処理(システムの制御)にかけては本質的に同じ側面を持つことに着目し、それらにおける制御と通信の問題を論ずる**サイバネティックス**という学問分野を提唱し、後の多くの研究者に影響を与えた。物質やエネルギーに対して、それらがこの世界に存在するあり方、つまり時間的・空間的、定性的・定量的な**パターン**こそが、この世界のもう一つの根源的要素であり、そのパターンが「情報」の本体であることを指摘したのも、ウィーナーである。

○吉田民人による情報の定義

このウィーナーの思想を踏まえて、より深く「情報」の本質を探ろうとしたのが日本の哲学者・**吉田民人**である。もともと、「情報」に関しては、さまざまな研究者が、さまざまな定義を与えているが(→配付資料18～22)、これらの大部分に共通するのは、

「情報」に単一の定義を与えるのではなく、いくつかの抽象レベルで異なる定義を与えるのが適当であるという姿勢と、

アリストテレスの言う質料(物質＝エネルギー)に対して、情報は形相に類する概念であること。つまり、「情報は物質＝エネルギーと対になる概念であること」

であった。

吉田はこれを踏まえ、つぎの4レベルからなる情報のモデル化を行った。

最広義の情報	物質＝エネルギーのパターン
広義の情報	生命に特有な「システムの自己組織能力」に関わる情報現象
狭義の情報	人間個体、人間社会に特有な、「意味現象」としての情報現象
最狭義の情報	自然言語に見られる情報概念

(吉田自身による記述は配付資料19)

誤解してはならないのは、上位レベルの「情報」は下位レベルの「情報」を論理的に包含していることである。たとえば、人間の体内で行われるDNAやホルモンによる情報現象は、人間には関わるけれども人間だけに特有なものではないため、「広義の情報」のレベルに位置づけられる。彼はさらに、それら情報を担うものをすべて「記号」として扱い、それについて、

内(個体内)と外(個体外)

シグナルとシンボル

生得的(低次)と習得的(高次)

などのさまざまな要素に着目して類型化を行った。これについては秋学期の「情報学基礎論B」で詳しく見てゆくが、一例をあげると、

昆虫が分泌し、仲間に情報を伝えるフェロモン→外シグナル

他人に呼びかける言葉→外シンボル

人間が頭で思い描くイメージ→内シンボル

生物の世代を超えて伝えられてゆく「遺伝情報」→内シグナル

といった具合である。

■ 情報学基礎論A (春学期) のまとめ

春学期の情報学基礎論Aでは、

「情報とは何か」

という基本テーマについてさまざまな側面から考えた。世界(自然)の構成要素として、情報が物質やエネルギーと並んでもっとも基礎的なものであることを、それらの概念の発見史・受容史からはじめ、究極的には「物質 = エネルギー」と「情報」が対概念として世界を構成していることまでを説いた。通信や情報処理の発達により、「機械情報」を理論的・定量的に扱う技術は急激に進歩したが、一方でわれわれを取り巻く情報一般を扱う統一理論は、課題として積み残されている。そうした統一的「情報学」への試みとして、代表的な吉田民人の情報論を取り上げた。

秋学期の情報学基礎論Bでは、引き続き彼の情報論に従って情報のさまざまな側面を理解するとともに、

「情報と人間との関わり」

「情報と社会との関わり」

について、ますます情報化する社会に住むわれわれが一度は考えなければならぬいくつかのテーマについて考察する。

■ 情報学基礎論の意義

- なぜ、情報を学ぶ際に基礎が大切なのか

- 自己情報量・平均情報量

- エントロピー

■ 物質・エネルギー・情報

- 物質・エネルギー・情報
 - 「情報」概念成立までの歴史に関わる
科学者・哲学者
 - 「物質」概念の成立
 - 「エネルギー」概念の成立
 - 質量: 物質の最も基本的な「量」
 - 「物質」と「エネルギー」の等価性
- 「情報」とは何か
 - 情報とその担体
 - 「情報」の正体は自明ではない
 - 「情報」概念の変遷
 - 「情報」概念の発生
 - 通信の理論
 - 情報と生物との関係の発見
 - シヤノンとウィーナー: 情報理論の開拓者

■ 機械情報とコンピュータ

- チューリングとノイマン
- チューリングの万能計算機械
- デジタルコンピュータの発明
- フォン・ノイマン型コンピュータ
- 機械情報の表現
 - デジタル化
 - 標本化定理
 - ビット列と情報量の単位
 - 演習: デジタルデータの情報量は?

■ 「情報学」の構築

- 吉田民人の情報論
 - 「情報学」は未完成
 - ウィーナーの思想
 - 吉田民人による情報の定義

■ 情報の数量化

