1. 情報とその取扱い

1.1 情　報

1.1.1 情報とは何か

現代は情報時代であるといわれる．情報とは何であろうか．書物，新聞，ラジオ，テレビジョン，電話などが取扱っているものが情報であることは明らかであるが，といって情報を定義することはむつかしい．情報は物質でもないし，エネルギーでもない．書物の価値は，それを作っている紙やインクという物質の価値ではない．また，ラジオを1キロメートル先まで聞こえる大きな音を出すようにしてもバカげている．つまり情報がエネルギーでないからである．以下情報とはどんなものかを考えてみよう．

情報が伝送されるという場合を考えてみると，これを送るもの――これを送信者と呼ぼう――と，これを受けるもの――これを受信者と呼ぼう――の両者がある．両者をまとめて通信者と呼ぼう．ここで

いう通信者は，人間や動物の場合もあれば，機械の場合もあるし，さらに**生体情報**や**遺伝情報**などといわれるように，生体内の機関の場合も含める．たとえば，私が不用意に指先を熱いものに触れたとする．指先は〝熱い〟という情報を神経を通じて頭脳に送る．この場合の送信者は指先で，受信者は頭脳である．

情報が送られたという場合，必らず受信者が予想されているはずである．何物も受信する（認識する）ことがないと分っていて送られるものは，ここでは情報ではないとしよう．誰も聞いていないことが分っていて独りごとをいう場合の受信者は，独りごとをいっている人間自身であるとしよう．

一方，送信者というものは明確でない場合もありうる．あるいは送信者というよりは，**情報源**といった方が適切な場合がある．たとえば，太陽はどのような物質からなっているかということは，太陽の発する光を観測することから或程度知りうるので，情報が送られてきていると考えることができる．この場合の受信者は明らかに観測している人間であるが，太陽は送信者というよりは情報源といった方が適当であろう．

以上は情報の伝送されるという場合について考えたが，われわれが独りで考えたり，思いうかべたりする場合を考えてみよう．たとえば，入学試験に合格したときの喜びを思い出したり，勉強不足で試験に臨む苦い感情を思いだしたり，恋人にどう打ちあけようかと考えたりする．このとき，その人の頭脳の論理素子が，認識した情報に対応した一定の状態にあるとみることができる．

ここでさらに次のような制限を加えよう．

〔前提〕ここで考える情報は，何らかの意味でわれわれ人間（地球上の）に関係のあるものに限る．

たとえば蜜蜂AがPなる地点からQなる方向へ飛んだということは，なんらかの意味で人間に関係があるなら情報である．しかし，宇宙の果の星に宇宙人が住んでいて，AとBが結婚したということは，われわれ人間には認識し得ないし，関係がないので情報としない．ただし物語とか，想像とかの意味での情報となりうる．

以上の考察の上に情報の定義として次のようなものが考えられる．

定義 1.1〔情報Ⅰ〕情報とは，われわれ（地球上の人間）に関係のある概念（人間ならびに人間に関係のあるものの概念，ならびにわれわれの認識し得る，あるいは認識する可能性のある概念）である．概念とは離散的な状態である．

こう考えると，月の石の成分は現在では情報であるが，月に行くことが不可能であった鎌倉時代には情報ではなかった．しかしその時代でも，月の石の成分は何であろうかと考えた人がいたなら，そんな疑問を思いうかべたという意味の情報ではあり得た．しかし原始時代のように，衣食住などに追われていたときは，情報ではなかったということができる．

もう一つ別の面から情報というものを考えてみよう．情報のあるところには必らず何らかの変化がある．逆にいうと，何の変化もないところに情報はあり得ない．たとえば，〝空が青い〟ということは，青くないものがありうるから情報である．しかし，もし宇宙のあらゆるものが常に青色をしているなら，〝空が青い〟というのは情報ではない．このような面から考えて情報の定義は次のようにしてみてはどうであろうか．

定義 1.2〔情報Ⅱ〕情報とは，われわれ人間に関係のある〝変化〟である．

先の定義では，概念という言葉を用い，概念とは離散的な状態であるとした．離散的という意味は次の1.1.2で述べるとして，ここでいう状態ということと，変化ということが同じ意味であるのは，次のようなことである．〝空が青い〟ということは，空が青い状態にあることで，〝空がうす黒い〟とか，〝炭が黒い〟とかの状態に対する変化である．また，恋になやむ状態は，頭脳細胞などがある状態に陥ることであり，そうでない状態に対する変化である．

定義Ⅱの方がすっきりしている．なお，われわれ人間に関係のあるという制限をつけてきたのは，次の項に述べる情報の性質を考えることがらである．

1.1.2 情報の性質

情報には次の2つの性質があると考えられる．

〔情報の性質Ⅰ〕情報は離散的である．

〔情報の性質Ⅱ〕情報の数は有限である．

まず性質Ⅰについて考える．たとえばわれわれは時間を連続な量として捕えてはいるが，無限個の情報としては捕えてはいない．たとえば，100メートルの競泳を考えるときは1/1000秒より細かい時間間隔は考えないし，光の速度のような早いものを考えるときでも，$1/10^{10}$秒程度の細かさで考え，それ以下は同じ（同値類）として離散的に考えている．別の例をあげると，図1.1に示す鍵において，AとBを結ぶ曲線は無限個あり，図の曲線はその中の1つではあるが，合鍵というものが必らず作れるように，これと極めて類似した曲線は同じものとしてみているのである．同様に，われわれは実数は連続であると認識はしているが，無限個の実数をいちいち情報として認識してはいないし，またし得ない．

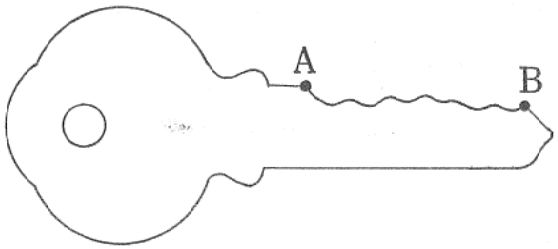


図 1.1 鍵
（AとBを結ぶ曲線は無限個であるが，情報としては有限個である）

次に性質Ⅱについて述べよう．たとえば計算機が情報を認識するということは，入力の情報によって計算機の記憶装置などに変化が起り，入力情報に関係のある1つの状態に落ち着くこととみることができる．その状態が先に定義に用いた概念である．計算機の記憶素子の数は有限であるから，計算機の認識しうる情報の数は有限である．人間も同様で，人間の頭脳の細胞の数は10^{20}程度であるから，人間に生じる概念は有限個である．そうして，われわれに関係のある人間，動物，機械などの数も有限であるから，情報の数は有限であるといえよう．

なお，前項の1.1.1と，この1.1.2の項は著者の主観的な考察である．

1.1.3 情報量，ビット

情報量というものが定義されるためには，情報が伝達され，受信者がこれを認識したときの効果によらねばならないであろう．ここでは単純な場合を例をあげて考察しよう．いま，隣の家に赤ちゃんができたとし，男だろうか女だろうかと思っているとき，〝男ですよ〟という情報がもたらされたとしよう．男であるという情報をうけるまでは，男か女か全くあいまいであったものが，あいまいさがなくなって，男であるとはっきりしたわけである．つまり事前のあいまいさに相当する情報量が受信者に伝送されたということができる．なお，この場合は事前のあいまいさが，事後には全くなくなったが，一般的には

事後にもあいまいさが残ることもある．そこで情報量としては

（伝送された情報の量）＝（事前のあいまいさ）－（事後のあいまいさ）

として評価するのが適当のようである．

あいまいさというものを確率を用いて表現し，情報量は数式の上で次のように定義されている．

$$\text{情報量 } I = \log \frac{p_1}{p_0} = \log p_1 - \log p_0 \tag{1.1}$$

（ただし，p_0 は情報を受信する前の確率
p_1 は情報を受信した後の確率）

先の赤ちゃんの例では，通報を受ける前後で男である確率は，

$$p_0 = 1/2, \quad p_1 = 1 \tag{1.2}$$

で，I は

$$I = \log \frac{p_1}{p_0} = \log \frac{1}{1/2} = \log 2 \tag{1.3}$$

一般に通報をうけた後の確率 p_1 が，$p_1=1$ のときは

$$I = \log \frac{1}{p_0} = -\log p_0 \tag{1.4}$$

となる．また，等しい確率のもの n 個の中から，どれか１個であると通報を受けたときの情報量は，$p_0=1/n$, $p=1$ であるから，

$$I = \log \frac{1}{1/n} = \log n \tag{1.5}$$

となる．

対数の底としては２を用いることが多く，ｅや10を用いることもある．２を用いたときは**ビット**（bit），ｅを用いたときは**ナット**（nat），10を用いたときは**ディット**（dit）または**ハートレー**（Hartley）と呼んで情報量の単位としている．bit は binary digit の略，nat は natural unit の略，dit は decimal unit の略である．なお，ビットは２進法の１桁の意味にも用いられる．

ビットを単位としたとき，先の赤ちゃんの例の場合の情報量は

$$I = \log_2 2 = 1 \text{（ビット）} \tag{1.6}$$

となる．つまりビットを用いると，男か女かというような，二者択一の場合の情報量が１ビットとなる．

（例題1.1）甲乙２人が入学試験をうけた．甲は成績がよく，合格率は80％であったとし，乙は20％であったとする．甲乙おのおのに対し，合格したという通報がもたらされた．この場合の情報量はいくらか．

（解）甲の場合，$p_0 = 8/10$，$p_1 = 1$ で

$$I_1 = \log_2 \frac{1}{8/10} = -\log_2 \frac{8}{10} \text{（ビット）} = \log_2 10 - 3 \tag{1.7}$$

乙の場合は，$p_0 = 2/10$，$p_1 = 1$ で

$$I_2 = \log_2 \frac{1}{2/10} = -\log_2 \frac{2}{10} = \log_2 10 - 1 \text{（ビット）} \tag{1.8}$$

つまり，乙の場合の方が情報量が２ビットだけ多い．

1.1.4 情報の表現，言葉とその役目

情報は自然に表現されていることがある．たとえば空が曇っているとか，海が荒れているという場合である．一方，情報を積極的に送る場合には，情報を積極的に表現する必要がある．そこで次のような定義をしよう．

定義 1.3〔言葉〕：情報を表現し，これを伝送したり，蓄積したりする役目をもつものを言葉という．

定義 1.4〔記憶〕：情報を蓄積したものを記憶という

上の言葉の定義によると，情報を文字で書き表わしたり，音声で表わしたりしたものも言葉であるが，ジェスチャー等も言葉である．実際，ろう唖者などはジェスチャーによって自由自在に話し合っている．また野球の監督はジェスチャーによって選手に指令，すなわち情報を送っているし，捕手は投手にサインを送っている．交通信号機は，赤，黄，青の電灯の点滅によってわれわれに情報を送っているから，これらの電灯の点滅が信号機の言葉である．また鉄道の踏切の遮断機は，上っているとき〝通ってよい〟，下っているとき〝危険だから通ってはいけない〟との情報を送ってくる．遮断棒の上り下りが遮断機の言葉であり，1ビットの情報を送ってくれるのである．

ここでディジタル計算機（以下単に計算機という）の言葉について述べよう．われわれが計算機に何かの仕事をやらせようとすると，どういうことをどのようにやるかの情報を与えねばならない．すなわち，仕事の内容を計算機の理解しうる言葉で書き表わす必要がある．計算機が制作される際には，たとえば〝加算せよ〟，〝引算せよ〟，〝比較せよ〟，〝記憶せよ〟，〝入力をとれ〟〝出力を出せ〟というような片言を，約100種類理解できるように設計されている．この片言を**命令**（instruction）といい，これらの命令でできる言葉を**機械語**（machine word）という．機械語は単純で，わずかに100種類しかないので，これらを組合わせて複雑な情報処理の指令を表現するのは極めて面倒なことである．そこで，より高度な言葉を作り，これを計算機が理解しうるように教え込むのである．アセンブリ言語，インタープリータ，FORTRAN, ALGOL や COBOL などは，この順番に高度な言葉である．

計算機に高度な言葉を教え込むと述べたのは，次のようにすることである．すなわち，いまアセンブリ言語を作ると，これを機械語で説明したものを計算機に記憶させる．そうすると，計算機はそのアセンブリ言語を理解しうることになる．同様に，COBOL という言葉を，機械語または，すでに理解することのできる言葉で説明し（これを翻訳プログラムという），それを計算機に記憶させる．順次このようにしてゆけば，記憶容量が十分大きければ，次第に高度な言葉を教え込むことができる．しかし，人間の言葉すなわち**自然語**は，計算機に説明し切れない程高度な言葉である．なお，自然語に対し，FORTRAN や COBOL 等を**人工言語**という．

計算機にやらせるべき仕事を，計算機の理解しうる言葉で書き表わすことを，**プログラミング**（programming）という．**ソフト・ウエア**（soft ware）という場合は，計算機用の人工言語を作ることなど，計算機の利用に関すること一切を指し，広い意味では，言語理論やオートマトン理論のような，情報工学全般を指している．これに対し，**ハード・ウェア**または**金物**（hard ware）というのは，物理的な装置や，それを製作することをいう．さらに一般的にいうと，たとえばある会社のソフト・ウェアといえば，その会社の生産計画，拡張計画，開発計画などを指し，ハード・ウェアといえば，生産自体や物理的な装置や工場などを指す．

1.1.5 符号（コード），文字，状態割当

情報を表現するのは言葉であるが，言葉は以下に述べるように**符号**あるいは**コード**（code）からなっている．情報を表現するためには，何らかの変化がなければならない．たとえば 図 1.2（a）のように，ハーという発音（これを太線で表わしてある）を無限に続けるだけでは何等の情報も表わし得ないが，（b）のようにハを区切ってハハとすれば母を表わしうる．また（c）のようにハからナにいう発音（これを細線で表わす）に変わると花を表現する．なお，この場合アクセントの変化も入れると鼻にもなる．

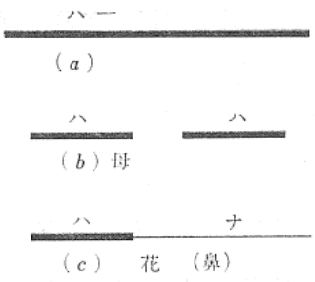


図 1.2 状態の変化による情報の表現

このように，情報を表現するのに少くとも２つの状態が必要である．図1.2（b）の場合は，ハと発音する状態と，発音しない状態の２つである．

先に，情報の定義Ⅱで述べたように，情報とは変化であるから，情報を表わすのにも変化が必要である．これは見方を変えると，情報を表現するのに，別の情報を**対応**（correspondence）させているのである．対応はまた**状態割当**（state assignment）ともいう．一例をあげると，ある会社では 図 1.3 に示すように，電灯によって幹部の人の所在を表示している．図のように電灯２個あると，その点滅の状態は $2^2=4$ 個あり，４つの**通報**（message）を表示することができる．

電灯の状態（符号）	表示する通報
○ ○	在　室
○ ●	来客中
● ○	構　内
● ●	不　在

図 1.3 対応（状態割当）（○は点灯，●は消灯を示す）

（例題１．２）上の例のように電灯で表示するとすれば，電灯n個あれば何個の通報を表示できるか．またm個の通報を表示するには最少何個の電灯を必要とするか．

（解） 電灯の点滅状態を１と０で表わすと，n 個の電灯の点滅の状態は２進法 n 桁の数に対応せしめることができる．２進法 n 桁の数は０から (2^n-1) までで，2^n 個あるから，n 個の電灯で 2^n 個の通報を表示することができる．またm個の通報を表示するのにx個の電灯を用いるとすると，

$$2^x \geq m \tag{1.9}$$

でなければならないから，

$$x \geq \log_2 m \tag{1.10}$$

であるような最小の正の整数xを選べばよい．

上の例のように，情報を表現するのに別の情報で対応づけているのであるが，このとき，対応づけられた一方を，他方の符号という．図１．３の場合なら，左の欄に示した電灯の状態が右の欄に示した通報の符号である．

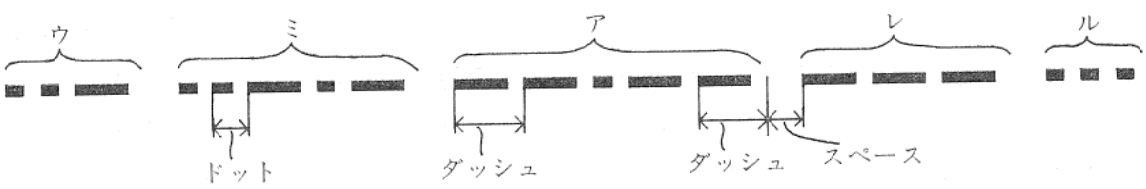


図 1.4 モールス符号

符号についてさらに説明するためにモールス符号を例にとろう．これは図１．４に示すように，ドットとダッシュによって**文字**（character）を表わし，スペースによって文字間を区切っている．ウを表わすドット２つとダッシュを**符号語**（code word）と云い，ア，イ，ウなどの符号語全体を**符号系**または単に**符号**という．符号系とは，ある規則によって作られた符号語の集合である．別の例をあげると，表1,9(P18) の中央にはソロバンの符号系が示されている．ここで３を表わす符号語は01110で，６を表わす符号語は11000である．以下では混乱のおそれのないときは，符号語も符号系も単に符号とよぶ．符号語を構成している素子を**符号素子**とよぶことにする．

モールス符号の場合，ドット，ダッシュ，スペースが符号素子である．モールス符号では，符号語で文字を表わし，文字から単語となり，さらに文章となって，自然語という高級な言葉を表現する．単語や文章を符号語で表わすこともある．

先にも述べたように情報を表現するには少くとも２つの状態が必要であるが，２つあれば十分でもある．モールス符号をドットとダッシュとスペースの３つからなると考えたが，図１．５のように，ドッ

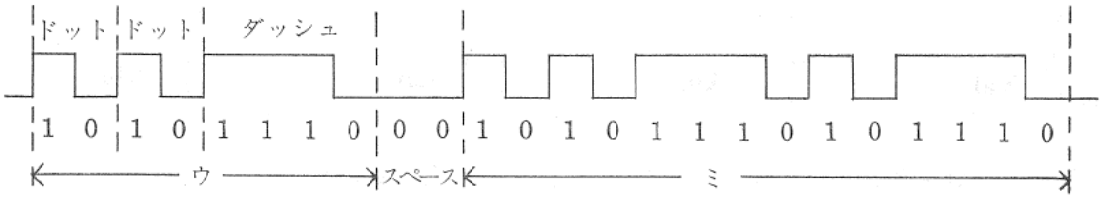


図 1.5　符号素子２つから成ると見たときのモールス符号

トを10，ダッシュを1110，スペースを00と表わせば，０と１なる２つの符号素子からなるとみることができる．このように符号素子の数が２個である符号を**２元符号**という．なお，モールス符号をドット，ダッシュおよびスペースの３つから成ると考えた場合でも，文字を作っているのはドットとダッシュだけで，スペースは間隔としてしか使っていないから，やはり２元符号とよんでいる．

電子計算機の場合，後で述べるように**２値素子**（２つの状態をもった素子）が得やすく，安価でかつ安定であるので，これを利用することから２元符号を用いている．図１．６には紙テープ上における２元符号を示す．

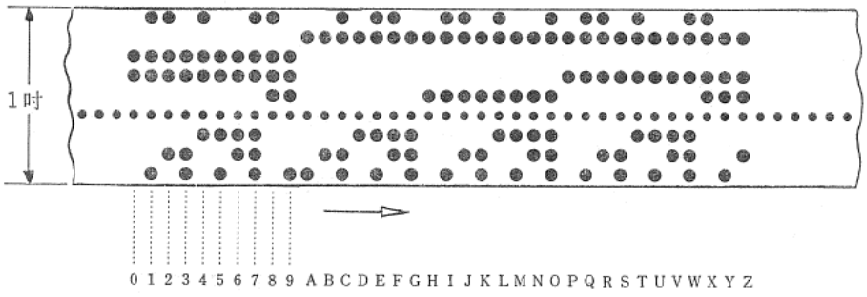


図 1.6　紙テープ上の符号

黒点は孔である．孔のある状態とない状態の２つの素子からなっている．以下２元符号の場合，一方を１，他方を０で表わすと約束しよう．

別の例として遺伝情報の場合を示そう．これは図１．７に示すA，G，C，T（Tの代りにUとなることもある），なる４つの素子よりなる４元符号を用いている．表１．１は蛋白質を示す符号語である．

表 1.1　遺伝子における符号（太字はその符号語の表わす蛋白質）

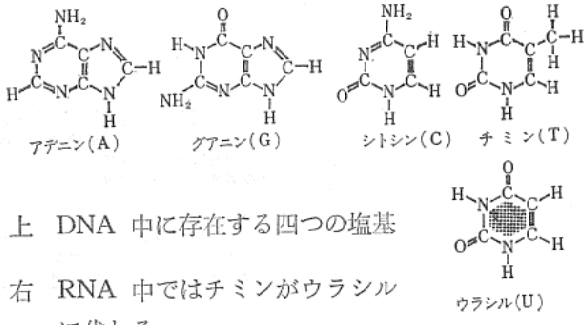
UUU **Phe**	UCU **Ser**	UGU **Cys**	UAU **Try**
UUC	UCC	UGC	UAC
UUA	UCA	UGA (無意味)*	UAA
UUG **Leu**	UCG **Ser**	UGG **Try**	UAG 無意味
CUU **Leu**	CCU **Pro**	CGU **Arg**	CAU **His**
CUC または (無意味)*	CCC	CGC	CAC
CUA	CCA	CGA	CAA
CUG **Leu**	CCG **Pro**	CGG **Arg**	CAG **Gln**
AUU **Ilu**	ACU **Thr**	AGU **Cer**	AAU **Asn**
AUC	ACC	AGC	AAC
AUA	ACA	AGA **Arg**	AAA
AUG **Met**	ACG **Thr**	AGG または (無意味)*	AAG **Lys**
GUU **Val**	GCU **Ala**	GGU **Gly**	GAU **Asp**
GUC	GCC	GGC	GAC
GUA	GCA	GGA	GAA
GUG **Val**	GCG **Ala**	GGG **Gly**	GAG **Glu**

この符号語を特に**コードン**（cordon）といっている．これはA，G，C，U（またはT）の4つの素子の中から3つで符号語を形成している，いわゆる**等長符号**である．コードンは，A，G，C，Uを0，1，2，3に対応せしめると4進法3桁の数に対応せしめ得るから，$4^3=64$ 個あるのに対し，これによって表わされる蛋白質は20個で，無意味というのを入れても21個であるから，蛋白質1つに対して2個以上の符号語が対応している．

自然語を考えてみると，まず書き表わす場合，文字が符号素子であり，符号語でもある．たとえば英語なら，a，b，c，……，0，1，2，……，？，！，……などの外，数学で用いる記号や，楽符などがすべて符号である．日本語なら漢字も加わってさらに複雑である．

次に音声によって自然語を用いる場合は，日本語なら，ア，イ，ウ，エ，オなどの音が符号素子であり，これにアクセントという要素も加わっている．

自然語においてこのように複雑な符号を数多く使い得るということは，人間の頭脳が極めて優秀であるということである．



上　DNA 中に存在する四つの塩基

右　RNA 中ではチミンがウラシルに代わる

図 1.7　遺伝子における符号素子

1.1.6　アナログ量とディジタル量

われわれは温度を水銀柱の長さで表わしたり，時間を針の廻転角度で表わしたりする．温度は長さではないし，時間は角度ではないが，長さや角度で類似（アナロジ，analogy）させている．また一方，温度を25.5℃とか，時間を4時15分というように文字で表わすことがある．前者を**アナログ表示**，後者を**ディジタル表示**とよぶ．すなわち，

アナログ表示　：数や物理量などを，大きさ，長さ，角度のような，判りやすい量で類似させて表示すること．

ディジタル表示：数や物理量などを，符号（文字を含む）で表示すること．

アナログ表示された量を**アナログ量**，ディジタル表示された量を**ディジタル量**という．別の例をあげよう．計算尺は数を長さで表わしているから，アナログ量を取扱っている．ソロバンは，ソロバン玉を素子とする符号で数を表わすから，ディジタル量を取扱っている．アナログ量は連続で，ディジタル量は不連続で離散的である．

計算尺による計算は，ソロバンに比べて簡単で便利である．しかし精度は10進法3桁程度である．これに対してソロバンは，10進法10桁でも20桁でも取扱うことができる．このことは一般にアナログ量とディジタル量を取扱う場合にあてはまることである．電子計算機にもアナログ計算機とディジタル計算機があり，前者は簡便であるが精度は上らない．

1.2 情報の伝送

情報の伝送と蓄積すなわち記憶とは本来同じもので，空間的に離れたものへ送る場合が伝送であり，時間的に離れたものへの伝達が記憶である．情報は，伝えられるべき必然性のあるもので，伝えられることのないものは情報ではないといって過言ではない．ただし自己から自己への伝達も含める．

1.2.1 情報伝送における問題

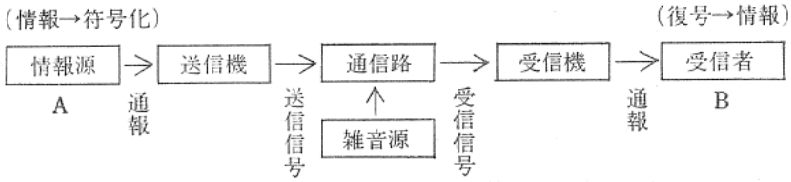


図 1.8　Shannon の通信系のモデル

情報伝送を考えるために，図1．8に示した Shannon の通信系モデルを参照し，国鉄の座席予約機を使う場合について考察しよう．みどりの窓口は全国に約 500 あり，中央処理装置は秋葉原駅近くに設置されている．いま，みどりの窓口の駅員が客からの要求を聞いて，たとえば〝9月1日新幹線第20A列車大阪から東京まで切符を売りたいが，空席ありや〟という情報を中央処理装置に問い合わすとする．情報源は駅員で，彼はこの情報を端局装置（送信機に当る）によって符号化し，電気的な符号として，電線を通じて送る．中央処理装置はこれを受信し（受信機の役目もし），これを解読，すなわち復号して情報を理解する．次には逆に中央処理装置が情報源となって，〝8個以上16個以下の空席あり〟という情報を符号化して送信する．端局装置はこれを受信して復号し，8～16個空席のあることを示す電灯を点灯する．

伝送において問題点は，符号化，復号，機器や伝送線間の整合，雑音ならびに伝送速度の問題である．

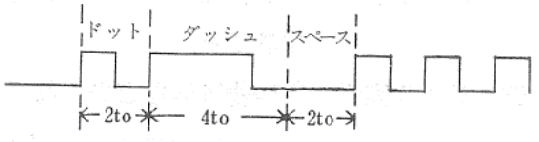
1.2.2 伝送速度

はじめに伝送速度を定義しよう．図1．9（a）に示すモールス符号において，ドットの長さの半分を t_0 とすると，モールス符号は t_0 の長さのものの組合せからできていると考え，1秒間に t_0 に相当するものを何個送りうるかを**伝送速度**と定義し，その単位を**ボー**（Baud，B で表わす）という．図

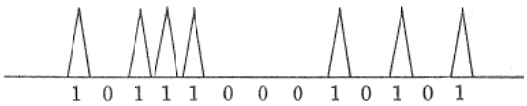
（b）のようにパルスによる2元符号のような場合なら，毎秒何ビット送り得るかということである．すなわち

$$\text{Baud} = \text{bit/sec} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.11)$$

図（b）は，実は図（a）のモールス符号を1と0におきかえたものである．



（a）



（b）

図 1.9　伝送速度の定義参考図

情報の伝送は，機械的な伝送の場合，電波による空間を利用した無線伝送と，電流による電線を利用した有線伝送が主である．伝送速度は伝送路の送り得る周波数帯幅に比例する．いま伝送速度を nB（n ボー）とすると，所要周波数帯幅 B_f は，

$$B_f \geq n/2 \qquad (1.12)$$

でなければならない．これは，いま図1.10のような波形を nB の速度で送ったとすると，この波形をフーリエ展開したときの基本周波数 f_0 は，明らかに

$$f_0 = \frac{n}{2}$$

となるから，所要周波数帯域は少くともこの周波数を伝送しうるものでなければ，波形歪が著しいであろうということからきている．

たとえばテレビジョンの場合を考えてみよう．

図 1.10

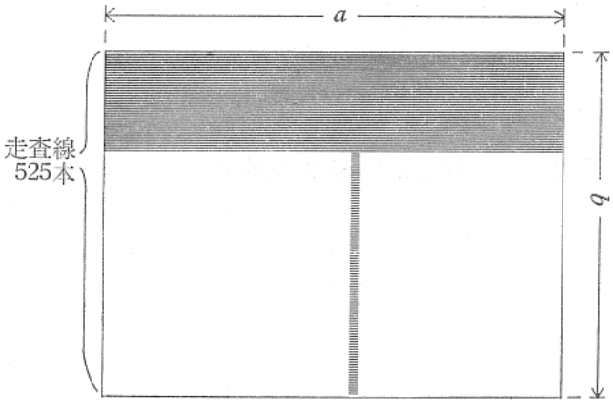


図 1.11　テレビジョンの画面，
a：b ＝4：3

図1.11に示すテレビジョンの画面は，水平方向に525本の走査線で走査されている．水平方向と垂直方向の長さの比は4：3であるから，画面は

$$525 \times \left(\frac{4}{3} \times 525\right) = 367,500 \qquad (1.13)$$

すなわち，約37万個の画素からなると考えることができる．換言すると，37万ビットの情報を表わすと考えることができる．これが毎秒30枚送られるのであるから，伝送速度は

$$367,500 \times 30 = 11,025,000 \quad (\text{bit/sec} = \text{B}) \qquad (1.14)$$

となり，f_0 は

$$f_0 = 11,025,000 \div 2 = 5,512,500 \ (\text{Hz}) \qquad (1.15)$$

となって，5.5 MHz 以上の周波数帯域を必要とする．実際には6 MHz 程度が用いられている．

なお，普通の電話は3,400 Hz 程度の周波数帯域が用いられ，電信は50Bの速度である．

大阪東京間のような大都市長距離伝送線にはマイクロ波と同軸ケーブルが用いられている．いずれも搬送式多重通信によって，多数の**回線**（channel）を多重にしている．同軸ケーブルの場合を示したの

が表１．２である．

表 1.2　同軸ケーブルにおける多重通信

周波数帯幅	電話線回線数
4 MHz	960 Ch
12 MHz	2700 Ch
電信は電話１回線を24回線に分割使用	

表 1.3　データ伝送線

50B	現　用(電信線)
200B	現　用
1200B	現　用
2400B	試験中

データ伝送線としては表１．３に示すようなものが現用あるいは試験中である．50 B のものは電信回線と同じもので，それ以外は電話線を用いる．大学や会社などが自己の構内から外へデータ伝送を行なう場合は，上記の電々公社の回線を借りなければならない．図１.12 は大阪大学の計算機システムにおけるデータ伝送の略図である．電々公は社 MODEMから MODEM までの伝送に責任をもつ．MODEM は，信号を整形増幅するとともに，インピーダンス整合する装置である．

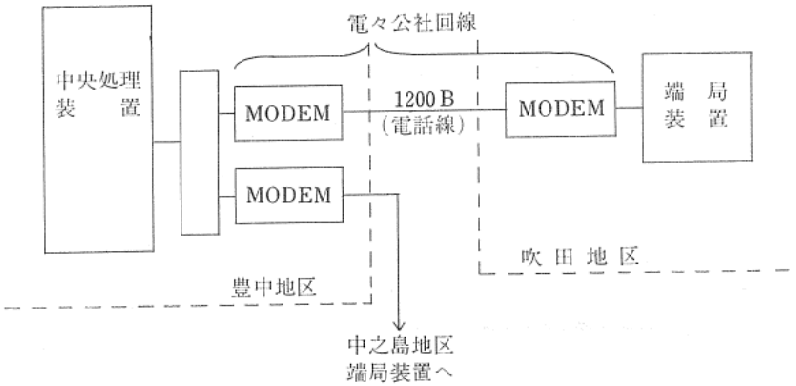


図 1.12　データ伝送の例

1.3　情報の蓄積（記憶）

情報を蓄積したものを記憶と定義することは先にも述べた．記憶された情報は，いずれは再び取り出されるべきもので，そうでないものは記憶とはいえない．

1.3.1　2　値　素　子

先にも述べたように，情報を表現するには何等かの変化がなければならない．特に記憶のために用いる素子は，それ自身で２つ以上の状態をもつものでなければならない．２つの状態をもつものを**２値素子**という．たとえば電灯は点灯している状態と消えている状態の２つをもつとすると，これは２値素子である．２値素子は１ビットの情報を蓄積することができる．

機械的なディジタル記憶素子としては２値素子が用いられている．３値以上の素子もあるにはあるが不安定で誤りを起こしやすい．これに対し２値素子は得やすく，安定でしかも安価であるからよく用いられるのである．表１．４には２ 値素子の例を示す計算機などではすべて２値素子が用いられている．２値素子を用いると，数の表示には，２進法が便利　である．また 2^n進法も同様に便利である．

1.3.2　記憶における問題（記憶密度と 情報探索速度）

記憶としては安定であることのほかに，記憶容量を大きくするために２つの問題がある．第１は**記憶**

密度（storage dencity）の問題である．図1.13は体積当りの記憶密度（bit/cc）を種々の記憶について比較したものである．これから明らかなように，人為的な機械的記憶は，頭脳や遺伝子に比べると遙かに劣っていることが明白である．特に遺伝子の場合は理論的限界に可成り近づいていることが知られよう．

表 1.4　2 値 素 子

	状態 1	状態 2
指	立った状態	折った状態
紙テープ 紙カード	孔のあいた状態	孔のない状態
磁気コア 磁気ドラム 磁気ディスク 磁気テープ	ある方向に磁化された状態	左と反対方向に磁化された状態
フリップ フロップ	1	2
リレー	接	断
ランプ	点　　灯	消　　灯

第2の問題は，莫大な記憶から所望の情報を速かにさがし出す問題，すなわち**情報探索**（information retrieval）の問題である．この問題は記憶密度の問題とは平行せず，むしろ相反する場合が多い．つまり，記憶密度の大きなものが情報探索の速度がおそいことが多い．遺伝情報のように，1年近くの長い時間を使ってよい場合は，記憶密度さえ大であればよく，事実情報探索速度は極めておそいが，それで十分である．

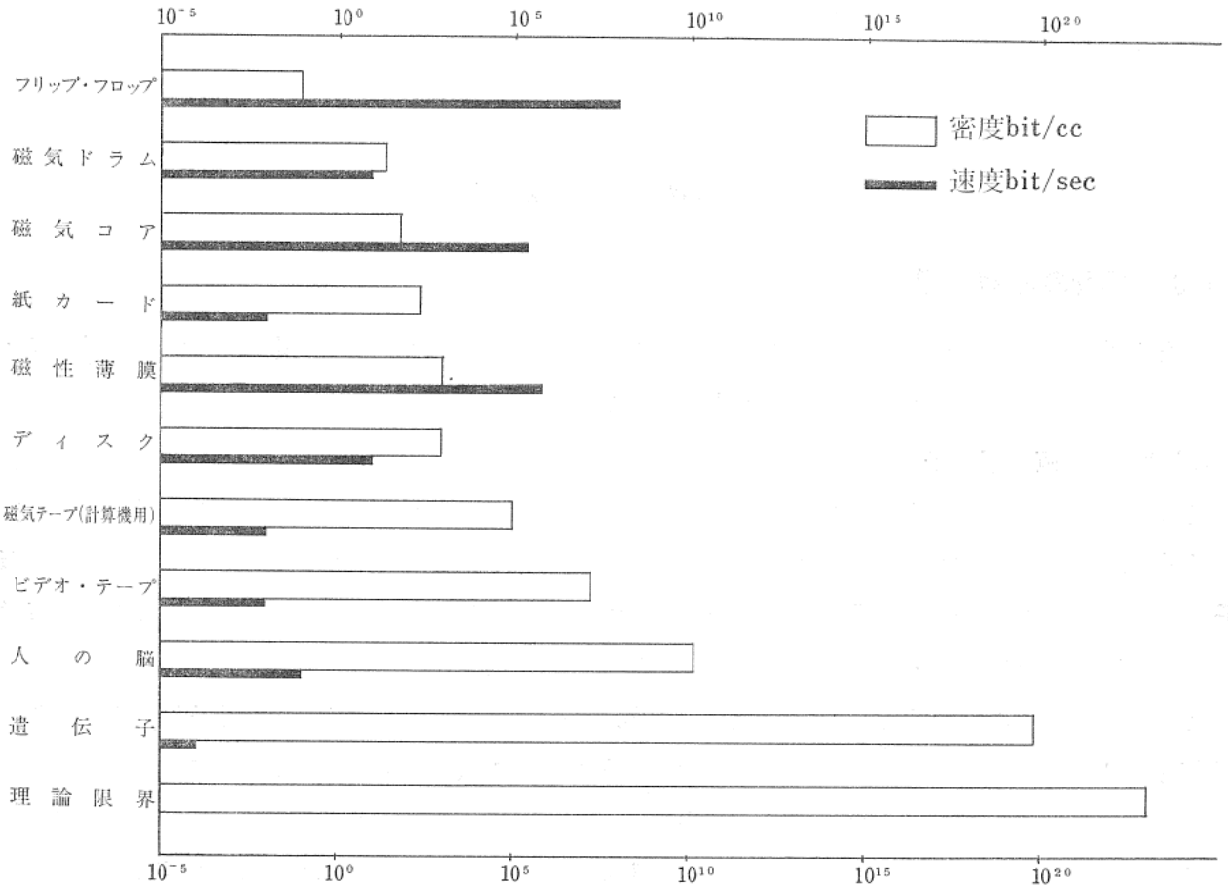


図 1.13　種々の記憶の記憶密度と情報探索速度（ランダム・アクセスの場合）記憶密度の理論限界は分子数（アボガドロの数）である．（IEEE spectrum より）

電子計算機などでは，情報探索の速度としては2通りが考えられる．後に記憶装置の節でくわしく述べるが，ここに略記すると，その1は情報を順序不同で出し入れするための記憶，すなわち**ランダム・アクセス** (random access) の場合の探索速度である．第2はデータを順番にならべて記憶しておいて引き出すときも順番に引き出すか，または**ブロック情報** (block information) として一団で引き出す場合，すなわち**シーケンシャル・アクセス** (sequential access) の場合の探索速度である．図1.13にはランダム・アクセスとして考えた場合の速度を bit/sec で表わしてある．

情報探索については，記憶装置の項でさらに詳細に述べる．

1.4 順 序 機 械

記憶能力をもっていて，記憶している情報を自ら利用する（あるいは，情報に応じて行動する）能力をもった機械を**順序機械** (sequential machine) という．電子計算機はじめ，自動販売機（の大部分），自動エレベータなどは順序機械である．テープ・レコーダなどは，情報を記録はするが，自らはそれを利用する能力がないから，順序機械ではない．簡単な順序機械の例として，自動販売機を考えよう．いま15円の商品（たとえば切符）を売る自動販売機を考えると，始めに10円入れても何も出てこない．次に5円入れると商品が出るし，10円入れれば商品とおつりの5円がでる．

この機械では，10円入れられると10円入れられたということを記憶しているのである．このとき機械は10円入った状態（**内部状態** internal state）にあるという．そうするとこの機械は次の3個の状態のうちいずれかにある．

（1） 何も入ってない状態，これをaで表わそう．

（2） 5円入った状態，これをbで表わそう．

（3） 10円入った状態，これをcで表わそう．いま，この機械の主要部を図1.14のようなモデルで表わそう．ここで入力 x_1 と x_2 はそれぞれ10円および5円が入れられたとき1つの状態（たとえば電圧が現われる）となり，入れられないときは別の状態（電圧が現れない）となるものとする．この2つの状態は1と0で表わす．出力についても同様で，$z_1=1$ のときは切符が出，$z_2=1$ のときはおつりが出るものとする．内部状態はa，b，cの3つがあり，これを y_1, y_2 なるパラメータで表わす．y_1 と y_2 は，たとえばフリップ・フロップのようなもので，a，b，cの3つの状態は，たとえば次のような状態割当によって表わされる．

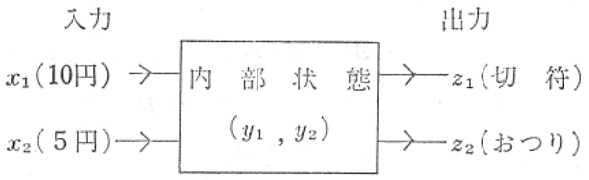


図 1.14 自動販売機のモデル

表 1.5 内部状態の表示

y_1	y_2	状 態
0	0	a
0	1	b
1	0	c

さて，この順序機械の主要部が電気回路であるとし，（記憶を持つ電気回路を**順序回路** (sequential circuit という）この電気回路の動作機態を表わすのに2つの方法がある．その第1は図1.15に示す**状態（遷移）図** (change of state diagram) といわれるものである．図でa，b，cは前記の内部状態で，矢印のついた線は遷移状況を表わす．ここで

$$\frac{0.1}{0.0},\ \frac{1.0}{1.0}$$

などと表わしたのは，分子は入力を，分母は出力を表わしているもので，たとえば

$\frac{0.1}{0.0}$は$\frac{x_1, x_2}{z_1, z_2}$を表わし，$x_1=0$, $x_2=1$, $z_1=0$, $z_2=0$

を表わしている．換言すると，状態aにおいて，5円入れると，$x_1=0, x_2=1$ で出力はなし，すなわち $z_1=0$, $z_2=0$ で，状態bに移ることを示す．

順序回路の機能を表わす第2の方法は，表 1．6 に示す flow table を用いる方法である．図の見方は，たとえば現在の状態が c であるとき，入力，x_1, x_2 が 0，1なら（換言すると 5 円入れられたら），次の状態は a で，出力は $z_1=1$, $z_2=0$（すなわち切符だけ出て，おつりは出ない）となるの意味である．

記憶をもっていない回路を **組合わせ回路**（combinational circuit）という．この場合出力 z_i はある時刻の入力 x_i だけの関数となり，次のような式で表わされる．

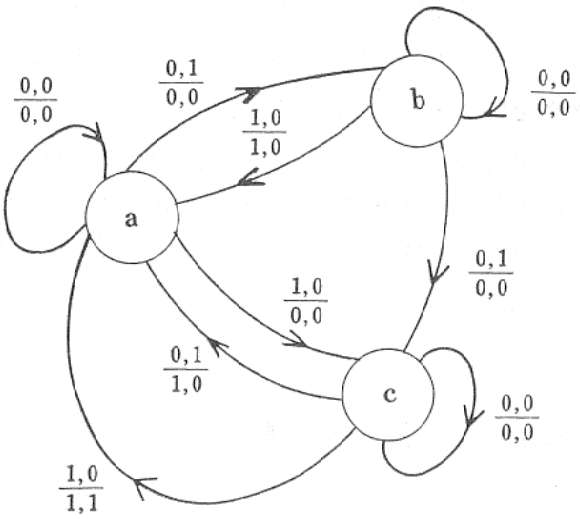


図 1.16 状態（遷移）図

表 1.5 flow table（x_1, x_2 は入力）

現状在態の	次の状態(出力 z_1, z_2)			
	x_1, x_2 0, 0	x_1, x_2 0, 1	x_1, x_2 1, 0	x_1, x_2 1, 1
a	a (0,0)	b (0,0)	c (0,0)	—
b	b (0,0)	c (0,0)	a (1,0)	—
c	c (0,0)	a (1,0)	b (1,1)	—

$$z_i=f_i(x_1, x_2, \cdots, x_n) \tag{1.16}$$

ところが順序回路の場合は，出力はある時刻の入力だけによっては決らず，入力と内部状態の関数となり，次のような式で表わされる．

$$z_i(t+\Delta t)=f_i(x_1(t), x_2(t), \cdots, x_n(t), y_1(t), y_2(t), \cdots, y_m(t)) \tag{1.17}$$

ここで t は時間を表わし，z（$t+\Delta t$）とあるのは，Δt だけの時間のおくれが必らず必要であるということである．なお，内部状態自体も，今迄の内部状態と入力の関数で，次のように表わされる．

$$y_i(t+\Delta t)=g_i(x_1(t), x_2(t), \cdots, x_n(t), y_1(t), y_2(t), \cdots, y_m(t)) \tag{1.18}$$

なお順序機械の出力はある時刻の入力だけによって決らないが，ある時間間隔の入力すべてが分れば，それによって出力は決る．

1.5 文字と数の表示

以下計算機における文字や数の表示について述べよう．

1.5.1 r 進法，10進法，2 進法

まず10進法（decimal system）を例にとって考えよう．たとえば10進法で 352.7 という数は

$$352.7=3\times10^2+5\times10^1+2\times10^0+7\times10^{-1}$$

の意味であって，10^2や10^1を略す代りに，小数点（10進法の小数点は，decimal point，2 進法の小数点なら binary point）を用いて352.7と書き表わすのである．一般に r 進法で

$$(h_m h_{m-1}\cdots h_1 h_0 \cdot h_{-1} h_{-2}\cdots h_{-n})_r \tag{1.19}$$

（ただしカッコ外に小さく r と書いたのは，r 進法で表わされた数の意．10進法のときだけは略する．）

と表わされた数は，

$$(h_m h_{m-1}\cdots h_1 h_0 \cdot h_{-1} h_{-2}\cdots h_{-n})_r = \sum_{i=-n}^{m} h_i r^i \tag{1.20}$$

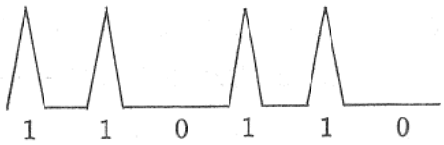
の意味である．r のことを**基底**（base）または**基数**（radix）という．$r=10$なら10進法，$r=2$ なら2進法である．h_i なる文字（character，ただし10進法に用いる 0，1，2，……，9 は digit という）10進法なら0から9までの10個，8進法なら0から7までの8個，2進法なら0と1の2個でよい．一般に r 進法なら0から（$r-1$）までの r 個必要である．

表 1.7 2^n の 表

n	2^n	2^{-n}
1	2	0.5
2	4	0.25
3	8	0.125
4	16	0.062 5
5	32	0.031 25
6	64	0.015 625
7	128	0.007 812 5
8	256	0.003 906 25
9	512	0.001 953 125
10	1 024	0.000 976 562 5
11	2 048	0.000 488 281 25
12	4 096	0.000 244 140 625
13	8 192	0.000 122 070 312 5
14	16 384	0.000 061 035 156 25
15	32 768	0.000 030 517 578 125
16	65 536	0.000 015 258 789 062 5
17	131 072	0.000 007 629 394 531 25
18	262 144	0.000 003 814 697 265 625
19	524 288	0.000 001 907 348 632 812 5
20	1 048 576	0.000 000 953 674 316 406 25

表 1.8 2値素子による4進法，8進法文字の表示

	4 進 法	8 進 法
0	0 0	0 0 0
1	0 1	0 0 1
2	1 0	0 1 0
3	1 1	0 1 1
4		1 0 0
5		1 0 1
6		1 1 0
7		1 1 1



$(1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0)_2 = 54$
$(3\ \ 1\ \ 2)_4 = 54$
$(\ \ 6\ \ 6\ \ )_8 = 54$

図 1.16 パルスによる2進数，4進数，8進数の表示

（例題 1．3）$r=16$，すなわち16進法を考える．このとき0から15までの16個の文字が必要である．これを，0，1，2，……，9，x, y, z, u, v, w とすると，

$$(v\,5\,w\,2\,x\cdot 3\,u)_{16} \tag{1.21}$$

は10進法になおすとどうなるだろうか

（解）式（1．20）を参照すると，

$$(v\,5\,w\,2\,x\cdot 3\,u)_{16} = 14\times16^4+5\times16^3+15\times16^2+2\times16^1+10\times16^0+3\times16^{-1}+13\times16^{-2} \tag{1.22}$$

となる．以下の計算は略する．

計算機には2進法がよく用いられる．その理由は前にも述べた通りで，後にもたびたび必要であるので2の乗べきを表 1．7 に示す．これから，たとえば 825.5 は2進法になおすと次のようになる．

$$825.5=512+256+32+16+8+1+0.5$$
$$=1\times2^9+1\times2^8+0\times2^7+0\times2^6+1\times2^5+1\times2^4$$
$$+1\times2^3+0\times2^2+0\times2^1+1\times2^0+1\times2^{-1}$$
$$=(1100111001.1)_2 \qquad (1.23)$$

2値素子は2進数の表示に好都合であるが4進法，8進法および一般に 2^n 進法にも同様に有利である．例として4進法を考えよう．4進法1桁を表示するには2値素子2個を用いる．換言すると2ビットを要する．4進法（ならびに8進法）の文字の表示の例を表 1．8 に示す．たとえば図1.16のパルスの列が4進数を表わしているとみると

$$\underset{(3}{\underbrace{1\ 1}}\ \underset{1}{\underbrace{0\ 1}}\ \underset{2)_4}{\underbrace{1\ 0}}$$

となり，これは

$$(312)_4=3\times4^2+1\times4^1+2\times4^0=54 \qquad (1.24)$$

となって，2進表示としてみたものと一致する．

（例題1．4）両手の指を有効に使うと，いくつまで数えることができるか．

（解）2値素子10個であるから，2進法10桁の数を表示することができる．したがって0から $(1111111111)_2=2^{10}-1=1023$ まで表示できる．

ここで，2進数と10進数との相互変換の方法について述べよう．いま2進数 X を

$$X=C_n2^n+C_{n-1}2^{n-1}+\cdots+C_12^1+C_02^0+C_{-1}2^{-1}+\cdots+C_m2^m \qquad (1.25)$$

とし，まず整数部分

$$X_1=C_n2^n+C_{n-1}2^{n-1}+\cdots+C_12^1+C_02^0 \qquad (1.26)$$

の10進数への変換を考える．この X_1 は

$$X_1=2(C_n2^{n-1}+C_{n-1}2^{n-2}+\cdots+C_1)+C_0 \qquad (1.27)$$

と表わしうるから，X_1 を2で割ると余りが C_0 となることから，C_0 が求まる．次に商を

$$X_1{}^1=C_n2^{n-1}+C_{n-1}2^{n-2}+\cdots+C_1 \qquad (1.28)$$

とすると，これも X_1 と同様に

$$X_1{}^1=2(C_n2^{n-2}+C_{n-1}2^{n-3}+\cdots+C_2)+C_1 \qquad (1.29)$$

と表わしうるから，$X_1{}^1$ を2で割った余りとして C_1 を求めることができる．以下同様にして，C_2, C_3, …, C_n を求めることができる．例を示そう．いま35を2進法になおしてみると右のようになる．

	剰余
2) 35	……1
2) 17	……1
2) 8	……0
2) 4	……0
2) 2	……0
2) 1	……1
0	

$\therefore\ 35=(100011)_2$ (1.30)

次に小数点以下を X_2 とすると，これを2倍すれば，

$$2X_2=C_{-1}+C_{-2}2^{-1}+\cdots+C_{-m}2^{-m+1} \qquad (1.31)$$

C_{-1} は小数点より上の部分として求められる．同様に

$$X_2{}^1=C_{-2}2^{-1}+C_{-3}2^{-2}+\cdots+C_{-m}2^{-m+1} \qquad (1.32)$$

として，これを2倍すれば，

$$2X_2{}^1=C_{-2}+C_{-3}2^{-1}+\cdots+C_{-m}2^{-m+2} \qquad (1.33)$$

となり，C_{-2} は小数点より上の部分として求められる．以下同様に C_{-3}, C_{-4},…,C_{-m} が求められる．例として0.828125を2進数になおしてみると，

$$
\begin{array}{r}
0.828125 \\
\times\quad 2 \\
\hline
1.656250 \\
\times\quad 2 \\
\hline
1.312500 \\
\times\quad 2 \\
\hline
0.625000 \\
\times\quad 2 \\
\hline
1.250000 \\
\times\quad 2 \\
\hline
0.500000 \\
\times\quad 2 \\
\hline
1.000000
\end{array}
\qquad \therefore\ 0.828125=(0.110101)_2 \qquad (1.34)
$$

同様にして10進数を2進数に変換することができる．すなわち整数の場合は10で割って余りを取り出すことを繰返す．たとえば $(100011)_2$ を10進数に変換するには，$10=(1010)_2$ であるから，

$$
\begin{array}{r|l}
1010 & 100011 \\
\hline
 & 1010 \\
\hline
 & 1110 \\
 & 1010 \\
\hline
 & 101 \quad \cdots\cdots 5(\text{剰余})
\end{array}
\qquad
\begin{array}{r|l}
1010 & 11 \\
\hline
 & 0 \quad \cdots\cdots 3(\text{剰余})
\end{array}
$$

$$\therefore\ (100011)_2=35 \qquad (1.35)$$

また2進小数を10進数になおすには，10倍すなわち $(1010)_2$ 倍して小数点以上を取出す方法を繰返せばよい．たとえば $(0.11)_2$ を10進数になおしてみると，

$$
\begin{array}{r}
0.11 \\
\times\ 1010 \\
\hline
110 \\
11 \\
\hline
111.10 \quad \leftarrow 7 \\
\times\ 1010 \\
\hline
100 \\
10 \\
\hline
101.00 \quad \leftarrow 5
\end{array}
\qquad \therefore\ (0.11)_2=0.75 \qquad (1.36)
$$

1.5.2　2値素子による10文字ならびに10進数の表示

前述のように，2進法や 2^n 進法は計算機にとって便利ではあるが，人間にとっては大きな数を2進法で表示されるとなかなか理解しがたい．人間にとっては，なんとしても10進法で表わされていなければならない．そこで2値素子を用いて10進数を表わす必要がある．表1．9には10進法の文字や10進数自体を2値素子によって表示したものの例を示す．最もよく用いられるのは**2進化10進法**(binary coded decimal system) あるいは，**8—4—2—1 コード**と呼ばれるもので，表の最初の列に示したものである．これは2値素子4個，すなわち4ビットを用いて10進法の文字 0，1，2，……，9を表示している．これによると，たとえば10進法の数2569は，次のように表わされる．

$$\underbrace{0010}_{2}\ \underbrace{0101}_{5}\ \underbrace{0110}_{6}\ \underbrace{1001}_{9}$$

2進化10進法で数を表示しているときは，1010，1011，1100，1101，1110，1111なる符号は用いない．すなわち，これらは組合せ禁止であって，たとえば13を表わすには

表 1.9　2値素子による10進文字ならびに10進数の表示

	重みをつけた符号				（参　考）		重みをつけない符号			
名称	8-4-2-1 コード				ソ ロ バ ン		3 あまり	two-out-	グレイ・コード	
重み / n	8421	5211	3321	51111	5	1111	コ ー ド	of-five	反 転	2 進
0	0000	0000	0000	00000	0	0000	0011	00011	0000	0000
1	0001	0001	0001	00001	0	1000	0100	00101	0001	0010
2	0010	0100	0010	00011	0	1100	0101	00110	0011	0110
3	0011	0110	0011	00111	0	1110	0110	01001	0010	0111
4	0100	0111	0101	01111	0	1111	0111	01010	0110	0011
5	0101	1000	1010	10000	1	0000	1000	01100	0111	0001
6	0110	1001	1100	11000	1	1000	1001	10001	0101	0101
7	0111	1011	1101	11100	1	1100	1010	10010	0100	0100
8	1000	1110	1110	11110	1	1110	1011	10100	1100	1100
9	1001	1111	1111	11111	1	1111	1100	11000	1101	1110
10									1111	1111
11									1110	1101
12									1010	1001
13									1011	1011

$$\underbrace{0001}_{1}\quad\underbrace{0011}_{3}$$

とし，2進表示13である1101は用いない．

次に，表1.9で参考としてあげたソロバンを考えよう．ソロバンでは5玉1個と1玉4個がある．換言すると，5ビットの中で1つのビットには**重み**（weight）5を与え，他の4つのビットには重み1を与えたものである．ソロバンとほとんど同様なのが51111コードである．このコードでは，後に述べる補数計算に便利なように，0と9，1と8，2と7，3と6，4と5の0と1が逆になっている．たとえば3は00111で6は11000となっている．

5211コードや3321コードも同様で，5なり2なりの重みをもったビットで構成されている．また0と9，2と8などは，やはり1と0が逆になっている．

表の右方にあげた重みをつけない符号は，名の通り各ビットには重みはついていない．この3種類の符号はいずれもよく知られたもので顕著な特徴をもっている．たとえば two-out-of-five code という符号では，5ビットの中で1が2個で0が3個である．もしこの符号で表わされた文字が，伝送の途中などで何らかの原因により1個の誤りを起こした場合，1の数が2個でなくなるから誤りの起ったことが知られる．しかし2個誤ると分らない．なお後に述べるように，さらに多くのビットを用いた符号では，2個以上の誤りを検出することも可能となるし，誤りを訂正することも可能である．これを**誤訂正符号**（error correcting code）という．

3あまりコード（excess three code）は加算器の設計に便利であり，**グレイ・コード**（Gray code）はアナログ・デイジタル変換などに便利である．

1.5.3　Hamming 距離，奇偶ビット（パリティ・ビット）

図1.17に示すように，同じビット数（これを**長さ**とよぼう）の2つの符号語をならべて比較してみ

ると，チェック印をつけた桁だけが1と0と異っている．この異っている数を，この2つの符号の間のHamming **距離** (Hamming distance) という．ここでは単に距離ともいうことにする．Hamming 距離という概念は，図1.18に示すように，長さがnの符号に対してn次元立方体を考え，その各頂点に符号語を対応させると分りやすい．図（a），（b），（c），（d）はそれぞれ長さが1，2，3，4の場合である．Hamming 距離とは，ある点から地の点を稜に沿って到達する際に通過すべき稜の最少数である．たとえば図（d）で，点P（0100）からQ（1111）の距離は3で，これは最小3本の稜を通らなければPからQに行けないことに相当している．

```
1 0 1 1 0 1 1

1 1 0 1 0 1 0
  V V       V
```

図 1.17Hamming 距離

Hamming 距離という考えから two-out-of-five code をみなおすと，各符号語間の距離は2か4であることが容易に知られよう．このように最小距離が2であれば，1桁の誤りが起こっても検出することができる．（距離が1の符号があれば，相異る桁が1ケ所であるから，その桁に誤りを起こせば検出できないことは明白）一般に，最小距離が2nであるような符号では（n－1）個までの誤りなら訂正でき，n個の誤りなら検出することのできるものがある．また最小距離が（2n＋1）なら，n個までの誤りを検出できる符号がある．これ等が先にも述べた**誤訂正符号**である．

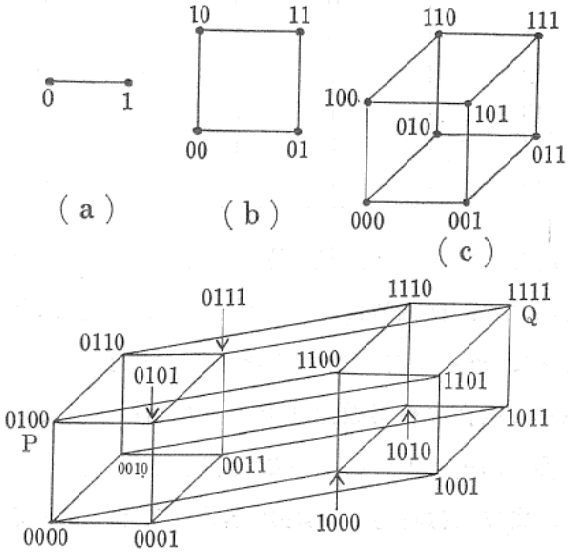


図 1.18 符号の幾何学的表現

誤訂正検出符号を用いる場合は，必らずむだをやらねばならない．たとえば two-out-of-five code では，0から9までの10個の文字を表わすのに，普通なら4ビットで十分であるのに5ビットを用い，11100とか11111のような符号語は利用していない．このような符号語を**冗長** (redundancy) とか，**組合せ禁止** (forbidden combination) とか，don't care などといっている．表1.10には上記の理論を用いて，誤りを検出できるようにした符号の例を示す．表でA，B，C，Dの4ビットは2進数を表わし，これに余分なビットPが附加されている．Pは，各符号の1の数が偶数（奇数にしてもよい）になるように1か0を割当ててある．こうすると，誤り1個起れば，1の数が偶数でなくなるから検出される．この符号の組の Hamming 距離は最小2であることも明らかである．1の数が奇数個の符号は，すべて組合せ禁止である．ビットPのことを**奇偶ビット**または**パリティ・ビット** (parity bit) あるいは**チェック・ビット** (check bit) という．

なお，図1.16に示した8単位の符号では，一番上のビットが奇偶ビットで，孔の数がすべて偶数になっている．したがって符号語間の距離は2以上で，1ビットの誤りは検出することができる．

表1.11に示す符号は，**Hamming コード** (Hamming code) と呼ばれる極めて巧妙な誤検出符号である．P_0, P_1, P_2 はチェック・ビットである．いま，(011011) が送られ，3番目の桁に誤りを生じ，01101

表 1.10 奇偶ビットのついた符号

	A	B	C	D	P
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1
2	0	0	1	0	1
3	0	0	1	1	0
4	0	1	0	0	1
5	0	1	0	1	0
6	0	1	1	0	0
7	0	1	1	1	1
8	1	0	0	0	1
9	1	0	0	1	0
10	1	0	1	0	0
11	1	0	1	1	1
12	1	1	0	0	0
13	1	1	0	1	1
14	1	1	1	0	1
15	1	1	1	1	0

表 1.11 Hamming コードの例

	7	6	5	4	3	2	1
メッセージ	A	B	C	P_2	D	P_1	P_2
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1	1	1
2	0	0	1	1	0	0	1
3	0	0	1	1	1	1	0
4	0	1	0	1	0	1	0
5	0	1	0	1	1	0	1
6	0	1	1	0	0	1	1
7	0	1	1	0	1	0	0
8	1	0	0	1	0	1	1
9	1	0	0	1	1	0	0
10	1	0	1	0	0	1	0
11	1	0	1	0	1	0	1

11となったとする．P_2, P_1, P_0 のパリティ・チェックを次のように行なって検査数（checking number）を求める．検査数は，パリティが正しければ0（偶なら），正しくなければ（奇なら）1としてある．いまの場合の検出数は011で，2進法の3であり，3番目の桁に誤りのあることが示される．

	検査数
P_2：(4,5,6,7)＝(0,1,1,0)．偶のパリティ	0
P_1：(2,3,6,7)＝(1,1,1,0)．〃	1
P_0：(1,3,5,7)＝(1,1,1,0)．奇のパリティ	1

いままでは符号間で距離を開くことによって誤訂正検出を考えた．これとは逆にグレイ・コードは，相隣る数を表わす符号間の距離はすべて1となる符号であり，これはアナグロ・デイジタル変換に便である．

1.6 文字・図形の認識

現在，計算機への入力の大部分は，紙テープまたは紙カード上に穿孔された符号によっている．したがって計算機に情報を送り込むためには，いわゆるパンチャーと呼ばれる人が穿孔器に向い，情報に応じてカードまたはテープに穿孔しなければならない．この仕事が大変神経を刺激する労働であって，これを何時間も続けると気が変になる可能性がある．（したがって現在パンチャーは数十分毎に休む権利が与えられている．）このような恐るべき労働は当然機械にやらせるべきであり，切実な問題である．

パンチャーの手を介せず，ペンや鉛筆で書かれた文字を計算機に見せると計算機がこれを読取ってくれればよいわけである．あるいは，計算機に向って音声で情報を伝えれば，計算機がこれを聞きとって理解する能力をもっていれば申し分がない．

文字というものは一つの**図形**（パターン，pattern）である．これを見て理解することを**パターン認識**（pattern recognition）という．音声も音波の波形という図形とみることができ，波形の相違によって，〝こんにちわ〟という情報になったり，あるいは“Ich liebe dich.”となったりするのである．また，われわれが人に会って，この人が友人であるか，親戚の人であるか，あるいは見知らぬ人であるかを判

断するのも，人の顔とか姿というパターンを認識するのである．

数値計算などにおいて驚くべき馬鹿力をもっている計算機も，パターン認識という点では極めて無力であって，犬や猫よりも劣るといえるであろう．犬は自己の飼主を，多数の人の中から見分けることができるが，計算機にその所有者の顔を覚えさせるというようなことは，現在のところ不可能である．

図形はどのように認識されるかは極めて難問であって，現在でもあまりよく知られていないが，ここでは文字の認識についてその一端を述べる．

（詳細は文献１参照）

町を歩いていると，図１.19（ａ）に示すように，電球によって時刻をディジタル表示しているのがみられる．（図の場合，電球数が少ないのでみにくいが，４時25分を示している．図（ｂ）は，点灯している電球を１，消えているのを０で表わしたものである．とすると図（ａ）と図（ｂ）は一対一に対応せしめることができる．かくして文字４，２，５は図（ｂ）のような１と０の配列とみることができる．この配列は計算機に記憶させることができる．たとえば文字４は，第１行目0010，第２行目0110などであり，これらを直列にならべて，

４：0010011010101111 0010

とする．同様に２と５は，

２：0111100100100100 1111

５：1111100011100001 1110

とする．

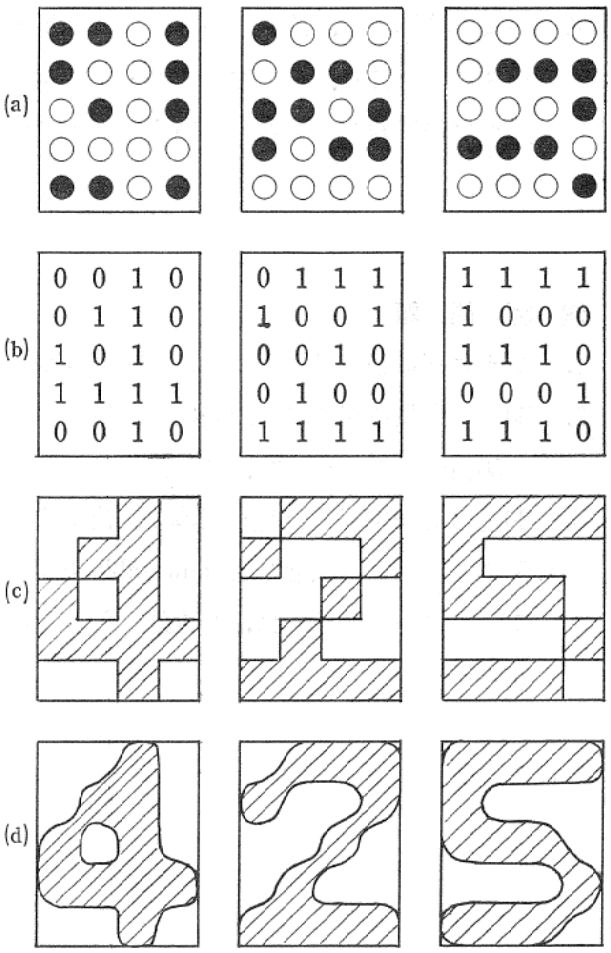


図 1.19 図 形 の 認 識

このようにして計算機に文字や図形を記憶させておく，一方，図（ｃ）または図（ｄ）のような文字をみると，図（ｂ）のように20点を走査して，黒か白かをみきわめて，１か０になおす能力のある入力装置を設ける．そうすれば，入力装置から得られる１と０の列と，あらかじめ記憶装置に記憶されている列とを比較して，どの文字であるかを判定すればよい．

ここに述べた方法は極めて単純なもので，走査点の数も少ないし，走査点を多くしても，文字が上下や左右にずれたり，斜に傾いたりすると認識不能である．これから，手書きの文字を認識したり，音声を認識することの困難さが想像されよう．現在手がきの郵便番号を計算機に読取らせているが，６割位しか正しく読取れない由で，郵便の仕分けなら４割間違っても，残りを人が見ればよいが，普通の計算には４割も間違ってはお話にならない．

規格化された文字を機械で自動的に読取らせる装置が実用化されている．この場合，できるだけ機械が読み誤りの少ない形に文字を変形してある．しかし人間がみても読める程度にしか変形はできない．機械が読み誤りの少ない形とは，文字相互が似ていないということで，前記の１と０の列に符号化した

とき，Hamming 距離が相互に大きいということである．図1.20は一例を示したものである．

パターン認識というような問題になると，計算機は全く非力である．その他，英語を日本語になおすとか，思考するというような問題についても同様である．つまり計算機は，演算という点にだけ馬鹿力があるウスノロである．それはちょうど，犬が嗅覚という点だけ驚異的な力をもっているのと似ていると思われる．

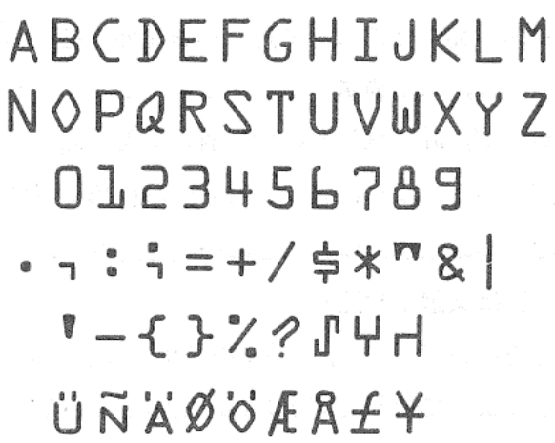


図 1.20　自動認識用文字の例
（OCR—Aフォント）

演　算　問　題

1. アナログ量を取扱う場合と，ディジタル量を取扱う場合を比較せよ．
2. 50円の商品を売る自動販売機で，使用する硬貨としては50円玉か100円玉とする．100円入れたときは50円のおつりを出す．この機械は順序機械であるか？
3. 30円の切符を売る自動販売機で，使用する硬貨は10円，50円，100円とする．図1.15ならびに表1.5 にならって，状態図と flow table を作れ．
4. ディジタル計算機には，2進法が便利である理由と，2元符号がよく用いられる理由を述べよ．