

— IBM 計 算 機 械 組 織 —

今 村 茂 雄

IBM 統計機械、またはパンチカード計算式という名前を御存知ですか。統計局や官廳、會社などで膨大な資料を處理し、會計、給與の計算などを能率的に實施する一羣の機械組織で、元祖はアメリカのインタナショナル・ビジネスマシーン社ですが、わが國にも多數の機械が輸入され、活用されています。これが最近いろいろな數値計算にも利用され、現在もつとも實質的な寄與をなしている機械組織です。

IBM 計算機械組織とは穿孔カード計算組織 (Punched card computing system) の一つであつて、穿孔カード (Tabulating card ともいう) という特殊なカードを使用する一連の電氣的機械から成る高度の計算機械組織のことです。IBM 機械は初め統計機械・會計事務機械として發達したものでありますが、次第に自然科學の分野にも應用されるようになり、さらには數値計算専用の機械も生れて今では事務機械として、或は科學機械として發達しております。現在の大型數値計算機 (Large-scale digital computing machine) はほとんどこの IBM 機械に源を發していると申しても過言ではありません。なお、IBM とはこれらの機械を製作している International Business Machines Corporation (米國) の略字であります。ここでは主に自然科學の分野から見たこの組織のあらましについて説明致します。

0° IBM 機械の背景

米國の國勢調査局はかねがね從來の手集計法を機械集計の方法に切替えて、龐大な人的・物的冗費を節約すべく、殊に集計のための時間を極めて短縮するように、多くの技術者に依頼して研究していたが、1890年にホリス博士 (Dr. H. Hollerith) が電氣的に作動する。1907年にパワース技師 (J. Powers) が機械的に作動する統計機械を發明した。前者は1890年、後者は1910年の國勢調査に使用されてそれぞれ劃期的な成功を収めた。さらにこれらの機械は19世紀末から20世紀初頭へかけての米國産業界の異常な發展期を背景として經營の合理化・事務の機械化の波にのつて一連の事務機械群として素晴らしい發達をとげた。このホリス式機械がここに述べる IBM 機械であつて以後電氣的・電子的に發達をと

げる。後者のパワース式機械は機械的に發達して現在では R.R. (Remington Rand) 機械として知られている。今日、事務機械としても、科學機械としても IBM 機械がほとんどその主な領域を占めている。

1° 組織のあらまし

從來の統計・會計・計算作業では調査表・傳票・觀測資料等から一定の集計用紙・帳簿・計算用紙に數字をいちいち轉記して、これをいろいろな項目別に分類仕譯するとか、一定の計算順序に従つてソロバン・卓上計算器等によつて計算した上、その結果を各種の統計表・帳簿・結果表に寫しとつて作成していたのであるが、これらの作業過程はほとんど全部人手によるものであつた。

IBM 機械組織では前述した穿孔カードという一定の大きさの特殊なカードに種々の計算項目を穿孔 ($1/8$ 吋 \times $1/16$ 吋の長方形の孔) という型式であけておけば、その後の操作は機械がその穿孔を電氣的によみとることによつて、分類・計算・印刷等の全部の作業が非常な速さ・正確さをもつて處理される。

2° 穿孔カード (Punched card 或は Tabulating card)

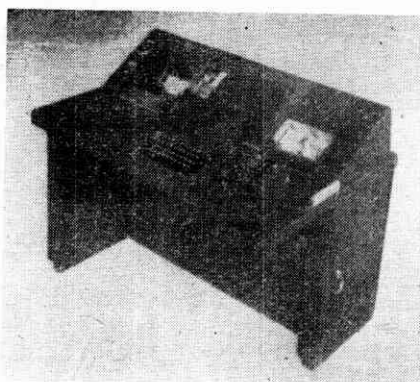
IBM 機械組織の基礎ともいふべき最も大切な要素は穿孔カードである。現在一般に用いられているものは ($3\frac{1}{4}$ 吋 \times $7\frac{3}{8}$ 吋 \times 0.0065 吋) の長方形のカードで、第1圖に示すように横 80 行から成り、各行には縦に 12 コの穿孔位置がある。この内 0~9 の 10 コの穿孔位置は數字の 0~9 に對應し、その上の 2 コの穿孔位置は通常上から 12, 11 穿孔位置とよばれて特殊な用途に使われる。英字は次のような組合せ二重穿孔によつて表わされる。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	A	B	C	D	E	F	G	H	I
11	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
0		S	T	U	V	W	X	Y	Z

2-0° 符號づけ (C. ding)

カードには普通數字または英字によつて穿孔するのであるが、職業別・府縣名等の項目は名稱が長すぎたり、略字が不統一になつたりするおそれがあるので、これを

いがなければ1行宛先へ進む。打鍵のくいちがいは原書類と照合してカードを訂正する。検孔機にも機械的か、電気的かによつて、種々の自動装置の有無によつていろいろな型式がある。第2圖は最も新しい英字式検孔機



第2圖 英字式検孔機 (Type 055)

穿孔カードに正しく穿孔が行われたかどうかを再度の打鍵で確かめる機械。

で、手前に見えるのが数字鍵、タイプライター様のものが英字鍵である。検孔速度の標準は1時間12,000行(カード約180枚)である。

3-2° 特殊穿孔機

穿孔カードの他に穿孔テープ (Punched tape) というものがある。これはちょうど Teletype のテープのようなもので、幅 $11/19$ 吋の細長いテープに丸孔を穿孔する。テープ穿孔機によつてカード上の穿孔項目をテープに自動的に複写穿孔し(毎秒約8行)テープ式カード穿孔機によつてテープ上の穿孔項目をカードに複写穿孔する。(毎秒約10行)これらの2種の機械が組になつて始めてその全機能を發揮しテープの内容を Teletype 方式によつて遠隔地に送信しカードに再製するとか(例: 氣象情報)カード輸送の代りに軽くて安いテープを送るとかその利用範囲は廣汎である。また、種々の實驗觀測値を觀測計器より一定時間毎によみとつてカード上に自動的に穿孔する(例えば風洞實驗の記録、星の位置等)という特殊觀測穿孔機や十進法の値を二進法の値に換算して穿孔する特殊換算穿孔機等もあるが、テープ式のものをのぞいてはあまり一般的ではない。

4° IBM 機械の働き

數値計算に用いられる IBM 機械には次のようなもの

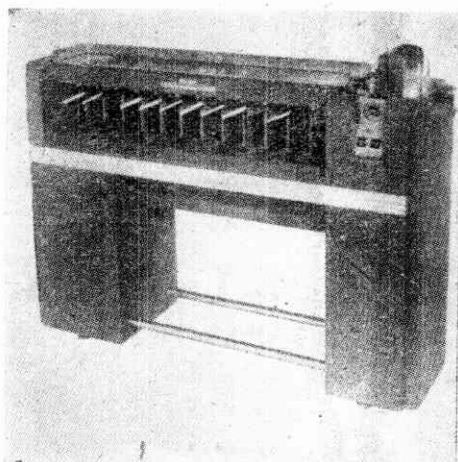
名 稱	枚數 計算	分類	數值 照合	加算	減算	乗算	除算
分 類 機	×	×	×				
照 合 機		×	×				
會 計 機	×		×	×	×		
乗算穿孔機				×	×	×	×
計算穿孔機	×		×	×	×	×	×
(電子式計算穿孔機)	×		×	×	×	×	×

があげられるが、これらをその働きから分類してみるとこのような表が得られる。

數値計算の中には、四則算法の他に分類操作・照合操作等が含まれてくることに注目しなければならない。なお數値計算に直接関係をもたない機械はこの表から除外した。

4-0° 分類機 (Sorter)

分類機は分類整理作業を1時間24,000~40,000枚の高速度で自動的に、かつ極めて正確に行う。第3圖に示す



第3圖 電子式分類機 (Type 082)

右側上部から挿入される穿孔カード群を穿孔數字にしたがつて選別し、別々のポケットにカードを自動的に分類する。

のは電子式分類機であつて、左から順に 9, 8, 7, ..., 0, 11, 12 の穿孔位置に相應する 12 コ、無穿孔カードに對する 1 コ、合計 13 コのポケットがある。機械には適當に行數を選択できる 1 本のブラシがあつて、カードの任意の行の穿孔を電氣的によみとつてそれぞれのポケットに分類する。數行にわたる數値を分類整理するためには通常一位・十位・百位.....の順に、順次高い位數に移行して分類して行けばよい。英字穿孔は二重穿孔であるから 1 行について 2 回の分類操作 (1~9 および 0, 11, 12) を必要とする。

分類機.....分類速度 1 分間 400~450 枚

電子式分類機.....分類速度 1 分間 約 650 枚

内部機構に電子装置が用いられている。

計算器付分類機...分類速度 1 分間 400~450 枚

個々のポケットに落ちたカードの枚數を數える計算機構がついていて、各ポケットの枚數、小計および累計を計數するための 15 コの計算器から成立つている。

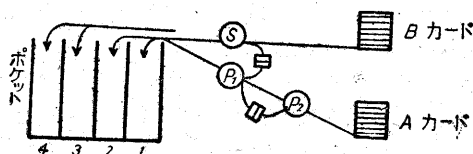
その他種々の特殊分類裝置・照合裝置を附加することもできる。

4-1° 照合機 (Collator)

照合機は分類機によつては操作が非常に困難であつたり、極めて長時間を要するような分類・整理・照合操作

を極めて短時間に正確に行う。ことに函数の数値表（これはすでにカードの形式になつているもの）との照合には缺くことができない機械といえよう。

照合機は2コのカード送り込み機構とカードを分類・整理するための4コのポケットから成立つている。（第4圖参照）よみとり機構としては80本1組のブラシが3組（ $P_1 \cdot P_2 \cdot S$ ）あり、このブラシによつてよみとられた数値を種々比較照合するための比較装置があつて次のような結果を出し、これに従つて種々の組合せ操作が行われ、カードは4コのポケットのいずれかに落ちる。



第4圖 照合機模式圖

○印はブラシ印は比較装置を表す。Aカードは数値表に當るカード群で、Bカードに對應する函数値をAカード群よりぬき出す装置。われわれが数表を引く操作を自動的に行うもの。

$$P_1 < P_2 \quad P_1 = P_2 \quad P_1 > P_2 \quad (I)$$

$$S < P_1 \quad S = P_1 \quad S > P_1 \quad (II)$$

(1) 順序検査 (Checking sequence)

$P_1 > P_2$ に従つて誤順序のカードを摘出する。

$P_1 = P_2$ に従つて同一のカードを摘出する。

(2) 整順操作 (Merging)

(II) 式に従つて A ブループ、B グループのカードを一組のカードに順序正しく配列する→ポケット2。

(3) 照合操作 (Matching)

(I) 式、(II) 式に従つて A ブループ、B グループのカードを照合して4つの結果を4コのポケットに出す。

すなわちAカードはポケット1・2へ、Bカードはポケット3・4へ入る。観測値と数値表との照合はこの(3)の照合操作によつて極めて容易に行える。

COSMIC RAY ANALYSIS									
25TH MONTH JAN 1943									
FOURIER COEFFICIENTS A-2 B-2									
COMPUTED BY TYPE-405									
25	01	12	45	90559	X	41	30752	X	
	02	12	25	62392	X	45	56668	X	
	03	12	31	55291	X	33	84136	X	
	04	12	31	69631	X	26	11259	X	
	05	12	26	02576	X	14	71171	X	
	06	12	19	86624	X	16	24958	X	
	07	12	21	16137	X	11	45187	X	
	08	12	7	95423	X	3	25384	X	
	09	12	3	48887		1	61407	X	
	10	12	20	58354		22	91846		
	11	12	9	80887			52804		
	12	12	11	75757	X	4	70103	X	

第5圖 計算の結果表

會計機によつて計算、製表された結果表の一例であつて、宇宙線解析の結果が印刷されている。最初の2行(25)は月、次の2行が日、次の12は各組(1日分)のカード枚数である。Fourier係数 a_2 、 b_2 が同時に計算されている。×印のあるものは真の値、1行分あいているのは小数点を表す。穿孔カードによつて、同時に報告書の表題も印刷されている。

ポケット	Aグループ	Bグループ
1	入る	対応なし
2	入る	対応あり
3	対応あり	入る
4	対応なし	入る

その他種々の組合せ照合操作や英字項目の整順・照合操作等ができる。速度は操作の種類によって異なるが、1分間 240 枚～480 枚である。

4-2° 会計機 (Accounting Machine or Tabulator)

会計機は一定の目的に従って分類整理された穿孔カードの数字或は英字項目を電気ブラシ (80 本×2 組或は 3 組) にてよみとり、所要の様式に従って用紙上に印刷製表し、かつ、計算項目の加減算を行いつつその結果をも印刷製表して統計表・計算表等を自動的に作成する。IBM 機械組織の中でも最も重要な部分を占める機械である。第5圖に示したのはこの会計機によつて計算し、かつ、印刷製表した宇宙線強度の解析結果表 (Fourier 係数) である。

この会計機にも十数種におよぶ諸型式があるが、標準型式のものは計算機械として電気機械的に回轉する計算輪 (Counter wheel) が 80 コあり、カードの穿孔を電気ブラシにてよみとつた際に生ずる電気脈流の時間的關係 (Timing) によつてこれらの計算輪が作動される。この 80 桁の計算機構は 16 のグループ (2 桁×4, 4 桁×4, 6 桁×4, 8 桁×4) にわかれていて、これらの組合せによつて任意の偶数桁数のグループを作成することができる。例えば 16 桁の合計がほしい時には (8 桁+8 桁) 或は (8 桁+6 桁+2 桁) として電氣的に結合して使用できる。減算の場合には次のような 9 の補数の加算によつて行われる。もし結果が負数になる時は特殊な變換回路によつて負の眞数が求められる。計算速度は 1 時間 9,000 枚 (80 桁×9,000) である。

(一例: 6 桁の計算グループの場合)	
(実際の計算)	(結果が正の場合)
1000	98
-) 98	-) 1000
902	-902
(機械の行う計算)	
1000	98
+) 999901	+) 998999
(1) 000901	999097
→1	+) 111915
902	-902
(電氣的に換算される)	(變換係数が自動的に加算され、繰上りは行われない。)

印刷機構としては 88 本の Type-bar という活字棒を有し、43 本は (英字・数字)、45 本は (数字・記號) を印刷する。印刷速度は 1 時間 6,000 枚 (88 字×6,000) である。

カード上の分類項目が變る度毎に自動的に小分類・中分類・大分類の分類項目が區別され同時に小計・中計・

大計の三種の合計が計算され印刷される。その他枚舉にいとまない程の多くの自動装置が附加されているがここでは一切省略する。

計算の結果は結果表に印刷製表されるばかりでなく、複寫穿孔機または合計穿孔機と連結して合計カード (Summary card) 上に計算結果を穿孔させてやることもできる。

4-3° 乗算穿孔機 (Multiplying punch)

この乗算機はカード上の数値をよみとつて計算を行い、その結果をさらにそのカード上に穿孔する。計算の種類は乗算 (最大 8 桁→16 桁) 1 桁乗算を含む組合せ加減算、組合せ加減算 (約 6 項目迄) であつて除算は行えない。乗算には個別乗算と群乗算とがあつて、前者は乗数・被乗数共にカード毎に異なる場合、後者は乗数が一定して被乗数だけが異なる場合 (例えばメートルから尺への換算) で、この時には一定乗数を親カードに穿孔して機械に Input してやれば各カードには乗数を穿孔する必要がなくなる。この機械の乗算の原理は機械内部において電気回路が九九の表を作成しており、九九の十位の數と一位の數とを別々の計算機構に累計しておいて最後に 1 桁だけずらせて加え合わせるという方式である。従つて通常の卓上計算器の計算法にくらべれば比較にならない程速い。計算速度は計算の種類・組合せ方・計算桁数・穿孔桁数によつて變つてくるが、大體 1 時間 500 枚～1,800 枚である。

(A)	(乗算の原理)	(B)
$\begin{array}{r} \times 294 \\ 183 \\ 816 \\ 183816 \end{array}$	$\begin{array}{r} \times 294 \\ 183 \\ 816 \\ 183816 \end{array}$	$\begin{array}{r} \times 294 \\ 183 \\ 816 \\ 183816 \end{array}$

4-4° 計算穿孔機 (Calculating punch)

この機械は加減乗除の四則演算ならば任意に組合せて計算させることができ。さらにはその繰返し計算も任意回数だけできる極めて廣用範圍の廣い機械である。機械内部には 30 桁の計算機構 (Calculating counter) と 72 桁の貯数機構 (Storage counter)、各種の選擇裝置の他に計算順序指令裝置 (Programming device) を備えている。従つて一枚のカードが機械を通過する間に多種多様の計算が行われて、その最終結果が (必要ならば中間結果も併せて) そのカードへ (必要ならば他の指定したカードへ) 自動的に穿孔される。計算例の一二をあげれば、

乗算.....最大 22 桁×8 桁=30 桁

一回の操作により數種の異つた乗算を行う。

除算.....最大 15 桁÷8 桁=7 桁

一回の操作により數種の異つた除算を行う。

群乗算・群除算・群加減算

加減算...結果が最高 30 桁を超えぬ範囲では計算項目には制限がない。

組合せ計算...或る程度の桁数の制限に注意しさえすれば如何なる四則計算の組合せでもできる。
ただし 12 段階を超えることはできない)

繰返し計算...一つの計算式が 12 段階以内の組合せ計算から成る時は、その繰返し計算を任意回数行うことができる。(一例...平方根算出)

計算速度はやはり計算項目の桁数・計算方法・種類・穿孔桁数によつて変わるが、普通の乗算・除算では穿孔を含めて 1 時間 1,000 枚～3,000 枚である。

この機械で注目すべきは計算順序指令装置と貯数機構とである。これによつて従来中間的な段階において必要としてきた努力・時間・カードが一挙にして不要となり、観測値を代入してやれば、極めて複雑な計算式の最終結果だけが短時間の内に得られることとなつた。なお、この機械の乗算の方法は前述の九九の方法 (1～9×1～9) によらず、もつと巧妙な方法 (1・2・5×1～9, すなわち九三の方法) によつてゐるが、今ここに詳述するだけの紙面を持たない。除算はこの (九三の方法) の電気回路と整商選擇装置とを組合せて巧妙に行つてゐる。

4-5° 電子式計算穿孔機 (Electronic calculating punch)

前述の計算穿孔機をさらに高速度化したもので、50 桁の電子計算機構を使用しているために計算容量は前者よりも劣る。計算順序指令は 60 段階もあつてこれだけあれば普通の計算は大體間に合つてしまう。計算速度は計算方式の如何にかかわらず 0.08 秒であるが、穿孔操作があるので實際は毎分 100 枚に制限されている。

乗算.....5 桁×8 桁=13 桁

除算.....13 桁÷8 桁=5 桁

計算機構.....13 桁

貯数機構.....16 桁×2

5° その他の補助機械

計算そのものには関係しないが、種々な點で穿孔カード組織に缺くことのできない機械が幾つかある。

(A) 翻譯印刷機 (Card interpreter)

カード上の穿孔は一見してその内容をよみとるのがむづかしいので、その不便を補うためにカードの穿孔項目をよみとつて自動的にカードの空欄に印刷するのがこの翻譯印刷機である。

(B) 集團檢定合計穿孔機 (Reproducing-gang-summary punch)

集團穿孔とはあらかじめ穿孔されている親カードをもとにしてえと穿孔内容の同じカードを必要枚数だけ作る操作。

複寫穿孔とはあらかじめ穿孔・檢孔されている一組

のカードの一枚一枚を無穿孔の他の一組のカードの一枚一枚へ自動的に複寫して穿孔する操作。

合計穿孔とは會計機によつて計算された結果を合計カード上に自動的に穿孔すること。

以上のような種々の穿孔操作を併せてできるのがこの機械である。種々な型式がある。

6° 電子式分類統計機 (Electronic statistical Machine)

國勢調査や世論調査の仕事は主として項目別による件数の計数、すなわちカード枚数の計算であつて、カードに穿孔された数値を計算するという性質のものではない。この機械によれば項目別の複雑な組合せの分類・計算ができ、結果を自動的に印刷する。

機械には分類機と同じく 13 コのポケットがあるが、ブラシは 80 本×2 組あり、計算機構としては 4 桁 (0～9999) の單位計算機構 (Unit counter) が 60 組あつて 60 種類の項目にわたりカード枚数の計算ができる。

(1) 分類 (2) カード枚数計算 (3) 順序檢査 (4) 合計穿孔 (5) 結果印刷製表 (6) あり得べからざる數字の組合せの摘出 (7) 特殊番號のカードの選擇 (8) 複雑な組合せ項目のカード枚数計算 (9) 標本抽出作業等の諸操作が行える。

7° IBM 機械の有機的な働き

種々の IBM 機械についてごく平面的に記してきたが、これも紙面の關係上やむを得ない。さてこれらの機械に共通する點は穿孔機をのぞいてはすべての機械が Control panel (配線盤とでも譯すべきか) と稱するものを持つていて、この盤上の自由自在な配線によつて各機械の複雑な操作が自動的に行われ、この配線盤のもつ融通性と應用性によつて IBM 機械組織が特色づけられてゐる。眞に頭腦の役割を果すものといふことができよう。さらにこの盤は抜き差し裝入が自由であるから一臺の機械に對して數面の配線盤を作つておけば、時間を空費することなく多くの種類の仕事ができる。個々の機械に對して Control panel が有機的な働きをしているように、組織全體を見た場合、組織を構成している一つ一つの單位機械がそれぞれ有機的な關連をもつてゐる。仕事の規模・種類・經費等によつていろいろな單位機械を選擇して均衡のとれた計算機械組織を形作ることができる。従つてこれらの機械の企畫性ある綜合的・合理的運營によつてのみ迅速・正確・完全な成果が得られるのである。

附. 數値計算への應用

IBM 機械の數値計算への應用は相當以前から行われていてその文献だけでも 200 篇を下らない。その詳細については IBM 社および Columbia 大學 Watson 科學計算研究所について得られると思う。筆者も乏しい經驗を基にして實務の餘暇に幾つかの方法を考案してみた。

これらの方法の詳細については他日また發表の機會を持ちたいと思つてゐる。 (27.1.24)