

# 米国にみられる水資源調査のための電算機の利用と研究

小 鯛 桂 一

## § 1 FORTRAN-HYDRO について\*

ASCE (the American Society of Civil Engineers) 委員会は 電子計算機の 評価と回顧・広範な規約の表現・水文学と計算機の言語連結・選択手続きの評価・安定した手続きの推選 などをおもな目的として 水文学・水力学にたずさわる現場技術者や学生など多数が利用できるような 一般化された完全な計算機をつくるための努力を続けています。このような一般化は 結局 水資源調査のための技術計算において 電算機の共通言語である POL(Problem-Oriented Language) の利用を可能にすることにつながっています。

一般的な計算機言語の 2・3 つについて考えてみますと 技術者が計算機を用いてある適合したデザイン業務を行なう場合で ひんぱんに番地を変更する時に起こる言語障害と 多くの計算機装置からのバッチ処理による遅れといった 2 つの障害があります。本質的には 機械語のプログラムに連結するためのプロセッサの体系や系列を働かせることによって 後者は タイムシェアリングを活用することによって 利用者の労力を軽減することができます。ここで重要になってくるのは 利用者が現実に他との伝達に利用する言語との類似性です。

総合的なコードや言語をデザインする最初の段階は 計算機に適応させることよりもむしろ手続きにあり 第 2 段階は 利用者間で可能な規模範囲の手続きを選ぶことです。ここにおいて FORTRAN および ALGOL 呼ばれる POL は 代数的宣言系列を含む手続き言語であるが故に多く利用されています。

水文学・水力学のための既存の計算プログラムは 水文学技術センター・農業用水調査会・アメリカ合衆国地質調査所・土質管理サービス社・数多くの国家機関 大学・コンサルタンツ商会・ソフトウェアのリース会社など おもに保有して いる その数も多く これらは普通 FORTRAN で書かれています。これらのプログラムを大きな問題に結びつけるには 各々がバラバラに書かれては不便であり 同時にこれらのプログラムを小さな問題に適用する初心者にとっても困惑をまねきます。そしてまた 思考の重複をまねくことにもなります。

これらの軽減と組織化や規格化を行なうために 水に

関係したプログラムの集中管理化が進められています。

現在 最も利用されている FORTRAN-HYDRO に至るまでの 初期からのハイドロ言語の努力経過を次に述べます。

**HYDRO** ——水文学・水力学のためにつくられた 最初の POL は カーネギーメルトン大学で発達した HYDRO です。技術手続きのライブラリーを含む HYDRO 手続きは この大学で使用されている ALGOL に変換されます。HYDRO の意図する範囲は 水資源技術の多くの場合を含んでいて 次の 6 つのサブフィールドや部分が操作されます。

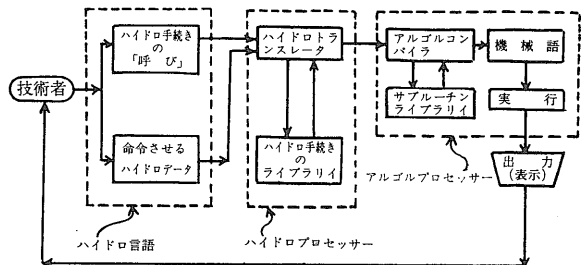
- (1) 振動解析
- (2) 雨量解析
- (3) 水理解析
- (4) 開水路力学
- (5) 流れのルーチン
- (6) 配管網の解析

で これらは 地下水流や水理モデルなどにも発展できます(第 1 図参照)。

**HYDRALGOL** ——論理構造的にできている ALGOL で完全な HYDRO をつくり これを呼んでいます。(第 2 図参照)

**HYDRAU** ——これは水資源流域における 1 つは水供給システムの分配とその関連問題に関するもの もう 1 つは 汚水システムとその関連問題に関するものです。

**FORTRAH-HYDRO** (略して FH) ——パデュー大学で育った FH は この工学生や 他の多くの学生が



第 1 図 ALGOL HYDRO の概念図

ALGOL にはあまり親しくなくて フォートラン IV の作業知識をもっていたので オリジナルなハイドロを解する FORTRAN の方が有利でした。

FH 手続きは 1967年に初めてなされました。FH システムは HYDRO や HYDRALGOL のようなプロセッサを持たない点が相違していて 技術手続きではむしろフォートランIVのサブルーチンに非常によく似た方法でとりあつかわれています。

(第3図参照)

FH のハードウェアとして フォートランIVプロセッサが3Kのコアメモリーをもつもので IBM7094 と CDC6,500 の2つが用いられています。FH 手続きはマグネチックディスク1301の助けをかりて格納されます。CDC6,500は 時間的に変数配列の大きさを見積る必要をなくするような特性をもっていて 格納庫をもたない小型計算機のために 主プログラムにFH サブルーチンのデッキが加えられて使用されます。

1968年9月現在 FH は次のような手続きとその数をもっていて それぞれ随意に抽出され利用されています。

水文学	4	水源デザイン	2
振動解析	4	開水路力学	25
点写	1		

FH プログラムで得られたステートメント数をオリジナルなプログラムの場合に比した場合 その縮小率は約30倍といわれています。

## §2 ハイブリッド計算機の研究\*\*

§1 で 水資源調査における一般的な技術計算のための大規模な POL 計算装置機構の推移と概略について伝えました。しかし多面において たとえ単一な問題であっても 数値解析的に高度な場合における計算システムも研究されていて これは水文学との関連性が特に大きい。水文学にたずさわる技術者は 自然界の現象である不規則な境界条件下における特別な非線型偏微分方程式にしばしば遭遇します。(この問題は もっとも

現実的な要求が多いにもかかわらず もっとも遅れている分野の1つでもあります)。初期条件や境界条件を満たすような偏微分方程式の一般解は あらゆる場合の特解群として表わされますが これを解くことは計算機の進歩した今日でも容易ではありません。§2の目的は地下構造中の特に非線型偏微分的水流式を解くための狭義のハイブリッド計算機について述べることにあります。

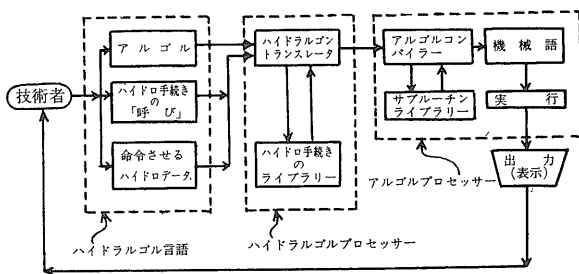
その前に ハイブリッド計算機についての 一般的な説明を加えておきます。ハイブリッド計算機とは アナログ形とデジタル形との混合を意味します。この計算システムには次のようなものが含まれます。

- (a) 自動演算アナログ計算機
- (b) デジタル制御を用いたアナログ計算機
- (c) デジタル要素を用いたアナログ計算機
- (d) デジタル機器を用いるアナログ計算機
- (e) 周辺機器としてデジタル計算機を用いたアナログ計算機
- (f) 並置ハイブリッド計算機
- (g) アナログサブルーチンを用いるデジタル計算機
- (h) アナログ的論理要素を用いるデジタル計算機
- (i) DDA (デジタル デファレンシャル アナライザー)
- (j) アナログ言語を用いるデジタル計算機

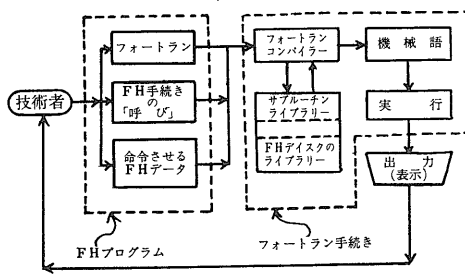
これら ハイブリッド計算システムは デジタル形の正確さと アナログ形の迅速さといった両者の長所を利用している反面 アナログの構造的な立ち遅れと 将来における成長性の不期待そして システム言語として デジタル・アナログ・リンケージ (特殊言語) の3つのプログラミング言語の知識を必要とするといった問題点が残されています。

例として 地層の浸透・不浸透帯における水流解析の問題点も この範疇に属します。連続的水流のルーチンと 涵養源ルーチンもまた この非線型偏微分方程式の中に含まれます。熱伝導・空気力学などの基本方程式と同様に 水文学において起こりうる非線型偏微分方程式を組織的にみれば 次の3つの方程式に各々関係づけられることが示されます。

- I) 連続方程式 (質量保存の法則)
- II) ニュートンの第2法則 (慣性保存の法則)
- III) 熱力学第1法則 (エネルギー保存の法則)



第2図 HYDRALGOL の概念図



第3図 FORTRAN-HYDRO の概念図

これらの保存則を一般的な数式にして表わすと、ネイバーストークスの方程式と呼ばれる高次の非線型偏微分方程式になります。

ポーラスな物質を通る水流は、連続的な動きの方程式と熱力学の方程式から決定でき、これは最終的に3次元フィールド非定常流解析のための基本方程式に導くことができ、これから種々の初期値や境界条件とともに地下水文学における種々の問題を解くことができます。

世界的にみて、水資源への依存とその利用による減少は、特に地下水の流動理論にその重要性和注目が向けられています。地下水は表流水の水系とともに工場や農業などへの供給のための関連で利用されています。このうち、工場や都市での水消費や貯留水の人工的注入をとりあつかい解決する問題も、水頭の変化から最終的に基本偏微分方程式が導かれます。

地下水変動と、通気体中の土質の水収支の量的な見積り問題は、土質水分の貯留や乾燥地帯における植林のために非常に重要です。地下水研究は、土質水分や地表の水収支調査として、通気体などと相関連して行なわれなければなりません。これら研究目的の2・3は

- (1) 土質の流出試験が二重に行なえるような完全なモデルをつくること
- (2) 現場試験ができない流出問題に関する証明をモデル実験の利用によって得ること
- (3) 土質試験の結果、異なった値の土質からの流出の広がりを見積ること

です。未飽和のフィールドにおいては、水頭について云々することは無意味です。しかしまた、水分や圧力の面的な分布をある範囲内で解決することは非常に望ましいことでもあります。この問題は、土質を通して水と空気が同時に起こす混合流であるために、解決が特に困難です。このような現象は、飽和度の垂直的な変化によって起こります。したがって、これは、垂直プロファイルの圧力変化から最終的に1次元の未飽和流を決定する基本偏微分方程式に導かれます。

前述のようなケースは、象表的ではありますが、このような非線型的な水理問題は、しばしば起こりうる問題でもあります。非線型的な自然や不規則な境界は、解析的な面で応々にして処理しにくい問題です。解析方法が不足しても、そのまま偏微分方程式は数学的手法を用いて計算機で解かなければなりません。それには、技術者が直面する2つの問題があります。すなわち

詳しいパラメータ記述のあるポテンシャル関数の決定に関する直接的な問題である「解析の問題」。もう一つは、ポテンシャル分布を知ることにより、パラメータを同一視するといった困難な仕事に関する問題です。

偏微分方程式の解き方には、現在、次のようなものがあります。

- (1) 連続空間——連続時間 (CSCT) 法
- (2) 不連続空間——連続時間 (DSCT) 法
- (3) 連続空間——不連続時間 (CSDT) 法
- (4) 不連続空間——不連続時間 (DSDT) 法

偏微分方程式を、電気的な手法でまねするには、電気的エレメントを分布的に準備する必要があります。その理由の1つに、すべてのアナログ計算技術は、多くの独立変数のうち、少なくとも1つが不連続をとまうからです。

DSCTと呼ばれる不連続空間——連続時間法は、普通実際には、不連続変動を適当な有限差分方程式の導関数に置き換えること、そして、それを時間的に連続させることです。アナログ計算技術は、手ごるな問題の解決には迅速に処理するけれども、時間的に変化するフィールドや非線型的な相似性を得る必要がある場合には、多くの困難を生じます。このような状態においては、コンピュータランの過程において、多数のエレメントを整備する必要があります。このようなことは、アナログ計算処理法が本質的に線型の定常変数に限られるために常に困難であり、ある場合には不能になります。このように変動しやういフィールド問題は、DSDTと呼ばれる不連続空間——不連続時間法を用いるデジタル計算機によって解かれます（この場合、すべての独立・従属変数を分離するので、デジタル計算機は代数だけを解けばよいことになります）。

DSDTアナログの基本は、キルホッフの第1法則と、電気抵抗の自動的多角網です。したがって、まずデジタル計算機で問題を解くものとしてプログラムし、次にその流れ図のうち連立方程式など最も時間消費の多いサブルーチンをアナログ技術で置き換えると、全計算時間や計算法が簡単になります。このように、利点を生かすように一部をアナログに変えます。そのため、この系のアナログ計算機は、デジタル計算機のサブルーチンとして動作することになります〔前述の(8)アナログサブルーチンを用いるデジタル計算機——に相当します〕。このとき、アナログ計算機はもちろん並列に実行されるので、この部分での計算速度とは無関係であり、サンプリングと変換時間によって決定されます。

付) 月着陸船の計算で初めて使用されたハイブリッド計算機は 現在も盛んに使用されていますが そのハードウェアは複雑であり 使用者にとって不便なものです。このような問題を除去し 広義のハイブリッド計算機であるところのETL ハイブリッド計算機の完成のための地道な研究が日本を含めた世界各国において進められているようです。  
(筆者は応用地質部)

文 献

\* Delleur, J. W., et al (1969) FORTRAN-HYDRO: Journal of the HYDRAVLICS DIVISION.  
\*\*Vemuri, V. and Dracup, J. A.: a Hybrid Computer Approach. Water Resources Research. vol. 13, no. 4  
\*\*黒川一夫(1970):ハイブリッド コンピューター 工業技術ライブラリー

地学と切手



第1回 アラブ石油  
会議記念切手

P. Q.

石油が世界のエネルギーの重要な位置を占め 資源が地球上に偏在するためにとかく政治的なものになりやすい。

このようなものとしてアラブ石油会議と 石油産出国機構(OPEC)がある。第1回アラブ石油会議は1959年にカイロにアラブ連盟諸国を集めて開かれた。1969年に第6回が再びカイロで開かれているので 開催年は不規則のようである。これらの会議については不明のことが多いが 1970年の第7回会議について報導されているのは 以下の通りである。

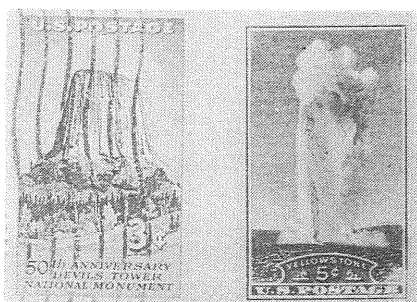
るの 以下の通りである。

第7回会議はクウェートでアラブ連盟諸国のほか20か国から 500人が参加して3月22日に次の決議をした。

- ①石油採掘権を外国石油会社に認めている地域をこれら外国企業から取り戻すよう関係国政府に認める
- ②石油精製と石油化学工業開発のため アラブ諸国が共同企業を起こす
- ③外国政府に対し 外国石油会社による国際資本グループと交渉せず アラブの石油産出国と直接交渉するよう要求する

の3点である。これは外国の石油会社がアラブの石油産出国と西欧 日本との直接商談を妨害しているというのが理由である(3月22日 AP ロイター=共同)

切手は第6回にもアラブ連合から発行されたが 示したのは第1回のである。石油井と送油管がデザインされ アラビア語で「アラブの石油はアラブのために」と記されているとのことである。



アメリカの国定記念物と国立公園  
悪魔の塔と間歇泉

P. Q.

悪魔の塔 アメリカには 現在80に近い国定記念物があって 風景 科学 遺跡 遺物として保存されている。この中には地学的にも貴重なもの(コロラド 谷とか恐竜の産地 グランドキャニオン カトマイなど)が多いが ワイオミング州にある「悪魔の塔」は1906年に最初の国定記念物として指定されたものである。それは高さ約600フィートの火山岩頂で 柱状節理がよく発達し その頂上の直径は325×375フィートといわれている。名の起りは インディアンのスー族によって

「悪神の塔」として畏敬されていたことによるという。

この標高差600フィートの塔は 登高がまったく不可能のように見えるが 手がかりもあって案外簡単に登れるらしい。切手は指定50周年を記念して1956年に発行されたが その年に記念行事のひとつとしてアメリカ国内からの17チームの登山クラブが競技をした。もっとも早く登ったのはアメリカ陸軍の山岳部隊チームで 1日に2往復し 2回目にはわずか1時間28分しかかからなかったとのことである(横山厚夫 切手=世界の山めぐり)。

イエローストーンの間歇泉 イエローストーン国立公園は ワイオミング モンタナ アイダホの3州にわたり 面積は約200万エーカーで日本では千葉県よりも広い。公園の中には 温泉 火山 化石林 野生動物などが多く 間歇泉は約200に達する。温泉の中ではマンモス温泉とその石灰華が有名である。

間歇泉は数地域に分かれて分布しているが オールドフェイスフルが噴出の高さと規則性によってもっとも有名である。そのサイクルは40~80分 平均60分毎で噴湯の高さは100フィート以上 時には200フィートにも達するという。

切手は1934年に発行された国立公園記念10種のうちのひとつである。