

パーソナル・コンピューターによる 大量水文データの収集システム

Collection and Analysis of Hydrologic Data
by Using a Personal Computer

東京大学工学部都市工学科 学生員 山本 唯夫
東京大学工学部都市工学科 正員 市川 新

1 研究の目的

1-1 東大球場雨水浸透実験施設

現在東大球場では、降雨による土中水の動きを把握するために大規模な実験を行なっている。野球グラウンドの外野の人工芝の下に60m×53mの領域に、アスファルト・コンクリートが100mm、れき層(C-40)が100mm～300mmの人工基盤を設置し、その基盤を利用して浸透現象を把握することが実験の目的である。そのために基盤設置時に各種水文量の計測が出来るように計器を埋め込み、降雨期間中・前後の水文量の変化を追跡し、計測結果の多角的解析を行なうものである。

1-2 自動化への試み

多種類の水文量を連続的に正確に追跡するには大量の人員と計器を必要とする。また得られた多量のデータの整理や計器の点検等にも多大の労力を要し、それをシステムティックに管理しないと計測の進行に混乱を招きやすく計測の信頼性を上げることは難しい。さらに長期にわたる計測となると、人員確保と計測遂行の両面の集中力、持続力を欠くようになり、欠測も多くなる。このような手工場の現状を一変させようと、近年、計測現場にコンピューターが導入され、計測の自動化、データ整理等ルーチン・ワークからの解放、省力化、さらに信頼性向上と、先端技術による計測システムの革命が進行している。これをLA(ラボラトリーズ・オートメーション)といい、今、多くの人の関心の的である。

しかしLAには専門的知識が必要で、高価であるという印象を持っていないだろうか。現状はその通りである。コンピューターによる自動記録計器には難解な説明書が付き、納入業者の煙にまくような説明に惑わされ、それ故、それに用いられているソフトはハードと同じ経費が組み込まれている。LAを行なおうと思っても、なかなか実践できないのが現状である。このようなLAの難しさは、LAというものがまだ発展段階でユーザー側に立った利便、ソフト・ハードの使用環境が整備されていないことに起因するもので、LAの発達とともにやがて解消するであろう。しかし私達はその発達を待つことをせず、できるだけ多くのことを自分達で解決することにより、云わば、素人によるLAを試みた。素人による自発的なLAは今後も増加し、それがひいてはLAの発達につながるであろう。

当計測施設では後節で挙げる多種類・大量のデータの計測・記録、データの整理、大型計算機センターへのデータ・ファイルの登録・編集とその解析等を、パソコンを積極的に利用することで簡単に処理するシステムを自力で開発した。

2 計測項目とその方法

2-1 降雨量

降雨量は三通りの方法で計測している。

- (1) 転倒ます 1: 0.5mmの降雨で一回転倒する転倒ますを計測小屋の屋外計器置場に設置し、転倒回数を自記記録計でプロットする。
- (2) 転倒ます 2: 0.1mm精度の転倒ますを計器置場と離れた一壘側に設置し、パソコンで1分間の転倒回数を記録していく。

(3) ロート： 径が80cmのロートを屋外計器置場に設置し、流入した降雨をパイプを通して計測小屋地下の径20cmの水槽に導き、水槽の水位の変動を後述のシステムで2分間隔で記録している。

2-2 流出量

浸透基盤内には10種類の基盤に15本の排水管が埋設され、1/100の勾配で各基盤から計測小屋地下の水槽室へ導かれている。地下室では各排水管ごとに、予想される流出量の違いにより径、深さ、形状（一段式、多段式）の異なる水槽を設置し流出水を貯えている。この水槽には底に排水口と、一定の水位に達したら排水弁が開く電磁弁を設け、水槽があふれることがないようにしてある。このようなシステムで水槽内の水位の変動を記録することで浸透基盤からの流出量を知ることができる。水位変動の記録は、米国ISCO社の水位記録システムを用いている。これは水槽内に置いた圧力式水位センサーで水位を感知し、その2分間隔の記録を9日間分保存可能なメモリー・モジュール（データ一時格納庫）に自動記録するものである。そして約一週間に一度、貯わえられているデータをイントロゲーター（データ処理機）で小型磁気テープに固定記録（掃き出す）する。さらにこの記録をパソコンで扱えるように、パソコン用ディスクに転送する。

このシステムで前述の降雨量も計測している。

2-3 土中水位・土中水分・土中温度

浸透基盤内にはひずみゲージ48点（土中水位用10点、土中水分用38点）、熱電対50点（温度用、実稼働は26点）のセンサーを埋設し、4分間隔で計測している。このシステムは共和電業の、UCAM-5B（小型万能デジタイザ＋スキャナ10点）と増設スキャナ70点と、NECのPC-8801パソコンで構成されている。センサーで測定されたアナログのひずみ値はスキャナでデジタルに変換され、UCAM-5B内であらかじめ設定されている初期値との相対変化量に換算し、設定した定数との積をとりその値をパソコンに転送しディスクに記録する。

2-4 地下水位

地下水位は6箇所2通りの方法で計測している。

- (1) 計測小屋直下の地下水位を前述の自記記録計で降雨量と合わせて記録する。
- (2) 野球場外野周辺5箇所に観測井を掘り、各井戸にひずみゲージを入れ前述のスキャナに接続して4分間隔で計測する。

2-5 大気圧

センサーで測定した値は大気圧の影響を受けているので補正する必要がある。そのためスキャナ2点を大気圧測定用の圧力式センサーに用いている。気圧計による実際の大気圧との関係を求め初期値・較正係数を決定した後、計測小屋屋外で大気圧を4分間隔で計測している。

2-6 蒸発量

浸透現象の水収支を考える際、基盤内水位、流出量の他に蒸発量にも着目する必要がある。この計測は困難なものであるが、当システムでは基盤をシミュレートすることにより解決している。特定の基盤について、それと同じ構造の地盤を21cm角のライシメーターにつめ締め固めを施し電子天秤の上に乗せ屋外に放置し、降雨期間中、前後の重量変化を電子天秤で読みとり、結果をパソコンで収集するものである。パソコンでは4分間隔で秤量開始指示を天秤に送信し、0.4秒間隔で送られてくる重量値を40秒間受信しその平均値をとる。さらにライシメーターの底に排水管を設け、流出した水を0.1mm精度の転倒ますで受け取り、4分間の転倒回数を同じパソコンで記録している。

この蒸発量計測システムでは、3台の電子天秤を用いて、B、Z1と天然基盤の3つの基盤についてシミュレートしている。天然基盤は、たまたま東大構内で法文新館の建設工事が行なわれていたもので、その工事現場から攪乱せずに採取したものである。採取する土の周囲1mを掘り、へらとカッターで注意深く削りとり最終的に中心部を21cm角、高さ70cmの土柱状にして、あらかじめ用意した3段に輪切りしたライシメータ

ーを下段から順にかぶせ底面を削った後、計測小屋に運び底面・排水管をつけ、さらに水洩れがないように補強工作したものである。作成には約2週間かかっている。この基盤の表面には、採取した当時のままに雑草がおい茂っており天然状態をそのまま実験の対象としている。

3 システムの解説

3-1 システムの概要

当実験施設の計測システムの構成を図1に、ソフトウェアの構成を表1に示す。水文量を計測する専用機器はそれぞれ外部通信用電子装置をもっており、通信によってパソコンの管理下におかれている。パソコン・Aでは週に一度イントロゲーションを行なうことにより、16個の水槽の9日間の水位をパソコン用5インチ・フロッピー・ディスクに記録している。そのデータの数約10万個（＝1個／2分・台×24時間×9日×16台）に及ぶ。パソコン・Bは接続されている各機器を直接制御しており、図2のように計測状況を常に画面に表示するとともにフロッピー・ディスクに記録している。これは1週間に約20万個（＝1個／4分・点×24時間×7日×87点）のデータとなるので週に一度交換する。

このようにして集められた週30万個のデータを実験現場から研究室へ持ち帰り、パソコンで構内専用回線（9600ボー）を通して東大大型計算機センターに転送し、全データを統一的に整理したファイルを作成し登録する。また必要ならば、パソコンで生データを画面やプリンターに出力することもできる。

以上の一連の作業を通して人間の行なうことは、ディスクットの交換・運搬、週に一度のパソコンとの簡単な会話、計測機器のメインテナンスのみである。なお、このシステムを導入開発することにより計測の点検も極めて容易となっている。

表-1 ソフトウェア 一覧表

	目 的	記 述 言 語
実験現場	パソコンA （データ転送）	アセンブラ
	パソコンB （自動計測）	アセンブラ
研究室	生データ出力	BASIC, アセンブラ
大型計算機	大型計算機センター転送	BASIC, アセンブラ FORTRAN
	ファイル編集	FORTRAN

3-2 パソコンによる自動計測

パソコンと計測機器とのデータの送受信をデータ通信という。現在市販されているパソコンの多くは、通信に必要なインターフェースを装備しているが、このシステムでは一台のパソコンで複数の機器と通信を行なうために、インターフェースを増設してある。表2に各機器との通信方法を示す。

表-2 計測機器との通信方法

機 器 名 称	台数	通信方法	通信速度
イントロゲーター	1	RS-232C	9600ボー
デジタイザー	1	RS-232C	4800ボー
電子天秤	3	カレント・ループ	2400ボー
転倒ます	4	接点信号	_____

これらの機器との通信については、個々か、あるいは計測間隔が短く、データ数が少ない場合はBASICやFORTRAN等の高級言語でも記述可能であるが、当実験施設のように大量のデータを取り扱う場合

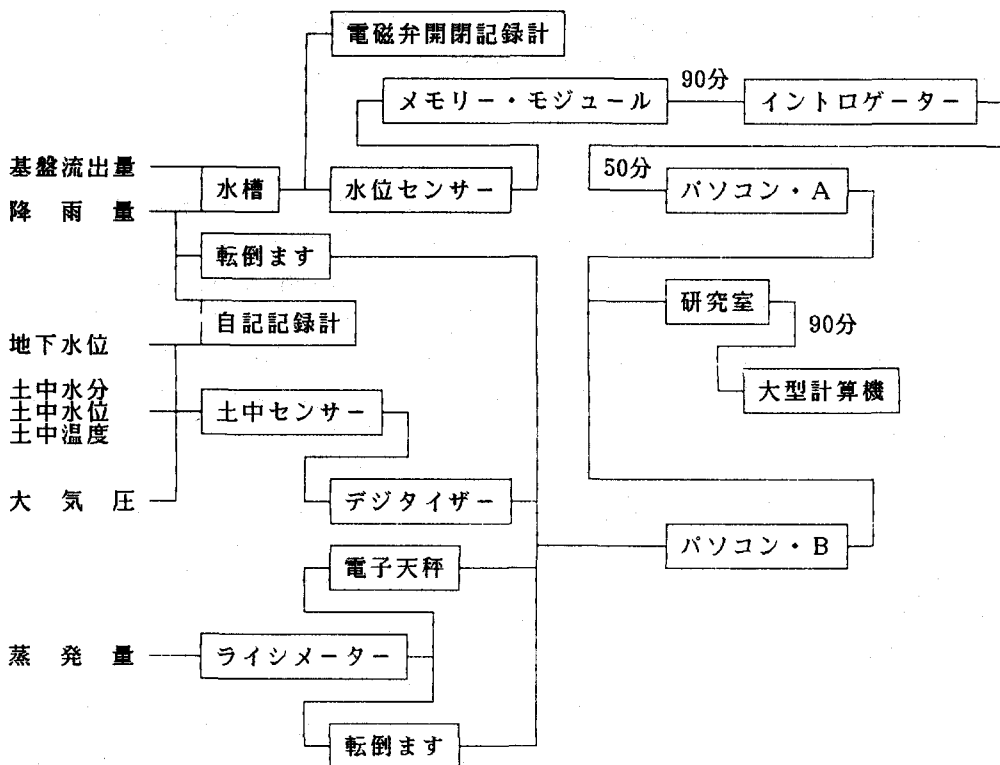


図-1 計測システム

```

STATUS REPORT 1                                     Computer Aided Measuring System
<<<----- ( thermister [°C] )----->>>
20.6 20.6 20.6 20.8 20.2 20.3 20.3 20.5 20.3 20.3 20.5 ---- 20.3 20.5 20.6 20.0
20.2 20.0 20.0 20.0 20.1 19.9 20.0 20.0 19.9 20.0 19.9 19.9 20.0 20.0 19.9 20.3

<<<----- ( water level sensor [g/°] / tensiometer [g/°] )----->>>
      B          C          W          Z1          Z3
  (W) (P) (W) (P) (W) (P) (Wo) (Wi) (Pi) (Po) (W) (Pi) (Po)
31.2 -162.5 118.7 -78.1 134.3 -136.7 134.3 0.0 -78.1 -50.0 148.4 -45.3 -82.8
      -82.8  -73.4      55.4      4.6 -68.7 -110.9      -38.2 -115.6
      -61.7  -71.0      -54.6      6.2 -94.5 -96.8      -7.8 -64.0
      -183.5 -52.3      -59.3      -61.7 -89.8      -7.8 -160.1

      X1          Y1          first          center  ||<----- ( lysimeter )----->>
      (P)          (P)          (P)          (P)  ||
      70.3  |  17.1  |  -190.6  |  -146.0  || Z1 (0) ---- g  30568 g
<-- 84/07/24 13:42 -->||  -164.8  |  -103.9  || B (0) ---- g  52235 g
4.8 days remained  ||  -155.4  |  -38.2  || F (0) ---- g  35914 g
printer / off      ||  -71.0  |  -38.2  ||<----- ( air pressure )----->>
16.3 mm           ||  -59.3  |  -73.4  || ---- mmb : ---- mmb
  
```

図-2 計測画面

は処理速度、実用性、複数機器から短時間でデータを収集するという計測の性質からアセンブラで記述する必要がある。そのためこのシステムでは計測プログラムは全てアセンブラで記述している。

3-3 計測データの収集

システムは全て1つのパソコンで行なう事が可能であるが、1台は定時観測を行なっているため、同一機種のパソコンをもう1台用意してデータの管理を行なっている。

○パソコン・A：水槽の水位はメモリー・モジュール内で、0mmから設定最高水位1500mmまでの値を1024等分した階級値で格納される。水槽の有効水深が80cm～120cmなので精度は約1mmである。一方、水面の変動やセンサーの感度から2mm～2.5mmが最小の精度となっている。この16台の水槽の9日間の水位を磁気テープに転送する作業の所要時間は約90分。その後、イントロゲーターとパソコンを接続し、6544個/台 x 16台のアスキー形式の階級値データを受信し、2バイトのバイナリ形式に変換後、水槽別に16個のファイルを作成している。この所要時間は約50分。

○パソコン・B：パソコンBでは電子天秤3台、転倒ます4台、デジタイザー1台を4分の計測間隔で管理している。電子天秤から40秒間データを受信後、後処理と次の計測のための前処理のための10秒間、計50秒を必要とする。そこで天秤3台で150秒要する。次にデジタイザーから80チャンネル分のデータを受信する。この所要時間は約60秒、残り30秒は後処理と前処理で、計4分間のスケジュールとした。この作業中いつでも転倒ますからの信号と、監視者からの要請（ディスク交換のための計測中断、データのプリンター出力、表示画面の変更）を受け付ける。

表-3 タイム・スケジュール

天秤1		天秤2		天秤3		デジタイザー	
受信	処理	受信	処理	受信	処理	受信	処理
40秒	10秒	40秒	10秒	40秒	10秒	60秒	30秒
転倒ます信号、監視者からの指示の受け付け							

天秤とデシタイザーからは実測値がアスキー形式で送信される。天秤の計測結果（秤量可能範囲は最大60Kg、精度1g）の平均値は2バイトの符号無しバイナリ形式に、またデジタイザーの各チャンネルのデータはディスクの容量の関係から1バイトの階級値にそれぞれ変換している。転倒ますは、ライシメーター用のものは4分間の転倒回数、雨量計測用は1分間の転倒回数を1バイトで記録している。従って4分間の計測データの記録に必要なメモリーは計93バイトで、1週間約252Kバイトとなる。現在のパソコンの標準外部補助記憶装置である5インチのフロッピー・ディスクの容量は320Kバイトなので、これを用いると約10日間の記録が可能となる。

一般にこのような大量のデータを記録するには、信頼性の面からも8インチ・フロッピー・ディスク（容量1Mバイト）を使用するのが適しているかも知れない。しかし8インチのドライバーは電源オンの状態では常にモーターが回転しておりスタンバイ状態になっているので、この実験のように一年中電源投入状態で計測する場合は、5インチのドライバー（インテリジェント・タイプといい、3分間アクセスが無いとモーターの回転が止まる省エネ・タイプ）が有利であろう。実際にこのシステムでは、平均してモーターは3分間稼働後、10分休止するというリズムで回転しており、過去1年間モーターの故障やI/Oエラーは発生していない。

3-4 データの整理

現場で作成されたデータ・ファイルの入ったディスクは研究室へ持ち帰り、計器別の生データの一覧表・グラフをパソコンで出力することができる。また開始時刻・終了時刻、計測間隔がまちまちである、こ

れらデータを時間軸ごとに統一した一つの降雨ファイルを作成するのはパソコンでは速度の面から実用にならないので、東大大型計算機センターと直結している構内専用回線を利用して全データを送り、大型計算機でファイルを編集している。約30万個のデータを16進形式で9600ボーで送り、その転送所要時間は約90分である。

4 システムの特長

1. パソコンの能力を最大限に発揮させるにはソフトはアセンブリ言語で記述する必要がある。当システムの計測プログラムは全編アセンブラ記述で、計測以外のプログラムでもアセンブラを多用している。その結果、以下の事が可能となった。
 2. 大量のデータを扱っているにもかかわらず、アセンブリ言語を用いているためデータ処理が非常に高速であり、短時間で処理が行なわれている。文中で示した作業を高級言語で記述すると数時間から10時間前後かかる。
 3. 1台のパソコンで4台の計器を管理し、それぞれ順番に40秒の計測指令を出しその間計器を監視し、データを受けとる。このローテーションを繰り返しながら転倒ますのデータをパソコンの持つ割込み機能を利用して常時受けつける。
 4. 図2に示すように常に画面に現在の全計測値を表示し、監視者の利用の便を図っている。さらに指示により、リアルタイムでより多くの情報を画面に重ねて表示する。計器への直接コントロールも、計測中いつでも出来る。
 5. 無人運転のため計器の故障は数時間、数日の欠測を招きかねない。特に複数計器による計測の場合、どれか一台の故障のために全ての計測が中断するようでは、被害が大きい。これは計器の故障が通信障害を招き、このアクシデントを知る事が出来ないパソコン側の処理が永久ループに入るために起こることである。当システムでは計測中、天秤とデジタイザーの4台の、どの計器が故障しても計測を続行していける自動判断機能を持っている。
 6. 当システムでは8ビット・パソコンを用いている。現在のパソコンは16ビット型が主流であるが、8ビット型で以上のことを実現でき、不必要にシステムを大きくしないで、かつ経費の節減となっている。
 7. 一番大切な事であるが、マン・マシン・インターフェースには最大限、注意を払っている。計測監視担当者には専任スタッフを設けず研究室の誰もが、たとえコンピューターを知らなくても、簡単に計測システムを操作できる。例えば、データ転送処理においてはプログラムを実行させ、通信相手の電源が入っているか、ケーブルを接続してあるかなどごく初歩的な手続きを終えているか質問に答えるだけである。そして、正常に通信が行なえるか、作成すべきファイルはいくつあるか、作業中の通信障害からの回復、データ・エラーの発見などの人間にとって煩わしく、誤りを犯しやすい判断・作業はパソコンが行なっていく。その間監視者は画面に表示される作業進行状況を時おり確認しながら、作業記録を日誌に書く、プリント・アウトされた記録を整理するなど別の作業に従事できる。
- このようなパソコンの自動判断、それによる監視者の作業負担の軽減はパソコン・Bにおける自動計測処理にも導入されており、週に一度のディスク交換作業は1分もかからない。

以上に解説したシステムを用いて過去1年間に渡り連続計測を続けてきた。開始当初はパソコンの耐久性に不安を持っていたが一度の故障もなく動作している。また2ヶ月に一度の頻度で計器の故障が発生したが、システムの自動判断機能により計測中断も起きていず順調にデータを収集しており、この故障した計器のデータと停電時を除いた全てのデータを記録することに成功している。現在、過去一年分のデータを降雨毎にまとめたファイルを整理中であり、これを次の機会に発表できるだろう。