



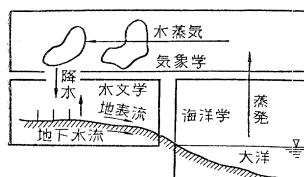
## 1. まえがき

資源といえば鉱物資源を指しているというのがこれまでの常識であって、比較的自然に恵まれたわが国で水を特に水資源と名づけて論ずるようになったのは最近のことである。この地球上で人間が生活を始めた時以来人間と水とは切ってもきれない関係をずっと続けて来たわけである。これまでどちらかというと自然発生的に水を利用して来たのであるが、近年になり人口が急に膨張し水への需要が急激に増大したため、その合理的利用の再検討がせまられるに到った。どれくらいの量の水が給供可能であるかをきめるには、まず観測によって河にどれくらいの水があるかという実態を十分調べ、その結果を正しく理解することが必要である。観測により得られた結果を大いに活用して合理的な計画へと進むべきだと考える。

## 2. 観測

水は地球のまわりで図-1に示すように大きく循環している。特に地表面に注目してみると、ここに降った雨の一部は蒸発により大気に還元し、一部は地下に浸透し、

図-1 水の循環



残りは地表面を流れて水路を形成し、これらが集まって河川となりさらに下流してついには大洋に流入する。ここで考へている地表水は、水路を形成してからの流れを指すこととする。この流れは、降雨中は直接地表流によって大部分が補給される。降雨後でも流れがあるのは一たん地下にもぐったものが再び顔を出したものであって、その履歴のいかんを問わず広く河道の流れを地表水とよぶこととする。

河道を流れる水の量は観測する場所によって違うものであり、また同じ場所でも時間的に変動するものである。流域内のある地点の流量は気象条件とこれを受けける

\* 正員 建設省土木研究所 河川部長

流域条件とによって支配される。前者は降雨量、後者は流域の被覆、地形、地質などであって、これらによって流出がいかなる影響を受けるかについて一般論が確立していないから目的とする地点地点でそれ流量観測を実施して実態を調査するというのが現在のところ実状である。

### (1) 観測所配置計画

水を利用しようという立場の流量観測の歴史からいようと、初めはある地点のある時期の流量がほしいというので観測を開始したのが大部分である。例えば山奥のある場所に水路式発電を計画しようとした、その予備調査として、渇水期の流量を何年か測って資料を得るという方法を採用了。水利用の方式がさらに高度化して来てダム方式が考えられるようになると、年間の流量を全部利用することになり、従って低水から高水まで年間全体の流量が必要になってくる。

従来の観測所は水利用計画があるところ、ありそうなところへと点で配置して来たのであるが、今後の社会の要求に対しても単に点を増すだけでなく既往の他の点とも有機的に働いて網の作用をするような配置が望ましいというように変わりつつある。観測網の体系が整備されると、特定の目的の観測を増設しなくとも既設のものより計算によりかなりよい推定ができることになる。

流量観測所網の密度についてはこれまで一般的な基準はなかったし、また今後も作ることはむずかしいと思う。地域ごとの特性によって決められものであろうが、密度として横から眺めた場合その値があまり低ければある程度の線まで引き上げることが望ましいという結論を出すのに利用できる程度である。

現在わが国に流量観測所はかなり多く設置されており現実に観測が行なわれている。流域の開発が非常に進んでいる国であるから、農業用水、および発電用水が人為的に川筋の各所で取水され、排水されているので、たまたま観測されたものは人為的要素が加味されたものであってその河川固有の自然流量ではない。洪水量に対して利用水量の割合は小さいので、この場合の利用水量は無視できるかもしれないが、低水時には無視できなくなる。河川流量の実態を知るためにには固有流量に復元して考える必要があるが、現在のところ使用水量の方の調査が不十分なため全体として不均衡のところがかなりあるように思われる。

水資源の調査の体制としては、河川の流量を支配する降水観測をこれと併行して行なうのが普通である。雨量観測所の分布については一般的の観測で考えている程度のもので十分である。

### (2) 観測施設

流量観測所が指定されるとそこには施設を整備することが必要である。ここには連続水位の記録がとれる水位

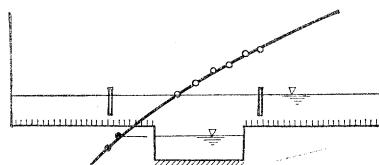
観測所を併設すべきは当然である。

建設省では流量観測を低水と高水とにわけており、低水は表-1に示す 流速計一ロッド一舟 方式によるのが普通であり、高水は、浮子一行なわづ一橋あるいは浮子投下器 方式による。水位が増して来ると流速が大きくなるため流れに抗して舟が支えられずこの方式による観測は中止せざるを得ない。図-2 に示すように水位がふえて高水敷にのった場合、ここには植物が繁茂しているのが普通であるから水位が可成り上らないと浮子はこれを流下できない。したがってある水位の区間浮子観測はできない。あらゆる水位に対して流量観測を可能ならし

表-1 測定器具および施設

流 速	水 深 (断面)	施 設
流 速 計	ロ ッ ド 錘	徒 涉 舟 橋
浮 子	行なわづ (洪水前後の断面を借用)	浮 子 投 下 器 吊 か ご 橋 と 観 测 車 遠 隔 ウ イ ン チ

図-2 横断面形状



めようと思えば、流速計一錘一吊かご 方式を採用せねばならなくなる。ここでいう流速計とはこれまでのプライス流速計のことではなく、どんな洪水でも測定できるような洪水流速計が完成するということを前提としておりまた水深測定に使用する錘もどんな流速に対しても河底までとどくに十分な重さのあることを条件としている。

### (3) 観測 器 械

器械の種類としては、水位、断面、流速にわけられるが、低水流量の立場から特にとりたてていうと浅いところ、流速の小さいところの測定である。観測場所としてはこういうところはなるべく避けるのがよいが、断面の一部に浅いところや流速のおそいところがあり、しかもこの部分の断面積が大きいときには流量は無視できない。現在のところ、この問題に対する解答は普通のプライス流速計の3/5の小型流速計を製作し、水深5cm、流速4cm/secまで、測定可能になったということである。

### (4) 観測 組織

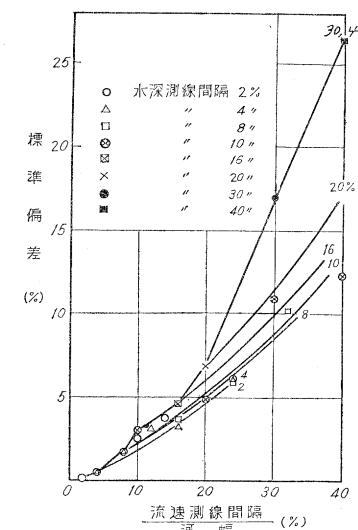
流量観測のような大がかりなものになると個人でできるものでないから始めから参加する各人の仕事の分担をはっきりきめておくことが必要である。仕事を分析するだけでなく、これを総合したり横からチェックすることまで全体の仕事の一部として始めから見込んでおくことが必要である。こんなことはこれまでどこでもやって來

たといわれるかもしれないが、こういった分担を文章に書き残し、手引きを作り各人の目にふれるようにし、各人から全体の中のどこを受持っているかまで認識するくらい研修に意を注ぐべきだと考える。これまでは個人の熱心さでこういった仕事が支えられて来たこともあったが、今後は個人より組織にきりかえられるべきである。

### (5) 観測 方法

河川のある地点に到着して新たに流量観測を始めようとした場合、まず問題となるのは水深と流速とを河巾に對してどんな間隔で測っていたらよいかということである。初めての流量観測なら水深および流速の測線は等間隔にするのが常識的であろう。流量観測の精度は水深測線間隔をいくらにとり、流速測線間隔をいくらにとるかで支配を受けるものであると考えられる。利根川支川での観測結果によると<sup>1)</sup>、河床の断面形状が整っていて平均水深にくらべて河床の凹凸の少ないところでも、横断方向の流速測線間隔は流量の精度に大きい影響を与える。

図-3 標準偏差



が、水深測線の方はさらに狭い間隔で測っても流量精度にはほとんど寄与しないことがわかった。しかし、比較的河床の凹凸の大きいところでは流速測線の間でさらに水深も測定することによって精度を向上せしめることが図-3 よりわかる。河巾に對して流速測線

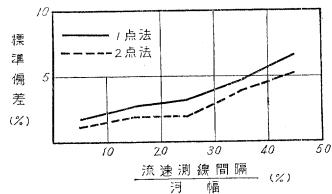
間隔を等間隔に河巾の 10% 以下にとれば、流速測線間隔による流量のばらつきを表わす比率の標準偏差は 3% 以下に見込むことができる。

観測所に資料が整って来たらつぎに述べるアメリカのような方法を採用すべきである。原則として等間隔とするが、測線の受持つ区分流量が全流量の 10% を越えないという制限を設ける。このためには流量観測前に全流量を水位流量曲線より推定しておくことと、区分流量の計算が観測しながら行なわれていることを前提としているのである。ある測線でこの制限を越えるとその制限以下になるまでその測線前後に測線を内そうしていくというやり方である。

流速測線上での平均流速はこの測線上で測点をこまかくとて計算するのが常道であろうが、現実にはその上

の代表2点あるいは1点をとっても平均流速を表わすことがよく知られている。これらの簡便法を使用した場合、全流量でどれくらい誤差が出て来るものであるかを調べた結果<sup>3)</sup>が図-4

図-4 2点法、1点法の標準偏差



た結果<sup>3)</sup>が図-4である。測線上くわしく測点をとっても簡便法を使用してもその差は大して違わぬことがわかった。

従来の流量観測方法では水深方向にはかなりくわしく測定するのにその割には横断方向の測線数が足りなかつたが、2点法でも十分精度の得られることがわかったのであるから、今後は測線上で省かれた余力を測線数をふやすことにふり向けるよう努力すべきである。

#### (6) 資料整理

流量観測で測定されるのは断面と流速であるが、これより流量を計算する場合その計算方法いかんによって、その値が違つて来るものである。河川断面をとおる流量は区分流量の和として表わされるが、区分流量の計算を行なう場合区分断面と平均流速との組合せ方については次のような2つの場合が考えられる<sup>3)</sup>。

(イ) 1つの流速計の支配する範囲は両隣りの流速測線までの間隔のうちそれぞれ半分までおよぶとする。

(ロ) 2つの流速測線でかこまれる区分断面は両流速の平均を代表流速とする。

区分流量の計算方法として図-5に示す(イ)、(ロ)方法を考えてみた。各場合の流量精度を図-6に示す。各流量の真値に対する比率の%が100%に近いほどすなわち基準流量に近いほど計算値として変動の少ないことを示し、その標準偏差の小さいほどばらつきの小さいことを示すと考えられるから、全資料の結果から(イ)による計算値がすぐれていると考えてよからう。

流量観測回数をふやし水位流量曲線の数を多くし分離をよくすればよくするほど、水位より求めた流量の精度のよくなることは明らかである。このことを神流川流域の資料について示そう。ただしここは流砂による河状変

図-5 区分流量の計算(イ), (ロ)

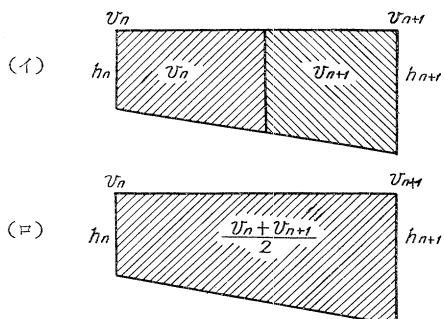
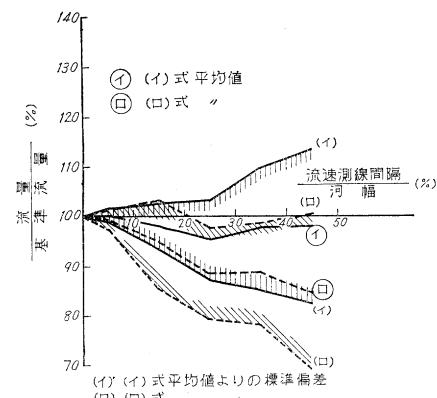


図-6 (イ), (ロ)の比較



化ははげしいところである。

神流川観測所においては流量観測を常時は毎日朝夕2回、出水時には1日数回行なう。1953年は年間718回流量観測を行ない、これに対して13本の水位流量曲線を作成した。全観測値の中より毎月5日の日の朝の観測を取り出した36個について水位流量曲線を1本作成した。この36個に、比較的大きい出水の観測点2個を加えた38個の観測値に対して水位流量曲線を4本作った。これらの3方法によって求められた水位流量曲線それぞれについて巾10%の帯を描き、718個の観測点がそれぞれの帯状の中に入る%を求める表-2のようになる。

表-2 観測値が10%の巾に入る割合

観測回数	観測値が10%の帯に入る割合(%)										平均			
	96	93	94	96	100	100	98	98	100	91	89	98	97	95
718	76										90	80	90	83
38	69										90	80	90	83
36	69										90	80	90	83

水位流量曲線の数をふやすほどそれぞれの曲線の帯に入れる%は増すことがわかる。また毎月5日の日の観測値に出水の資料を加え分離を多くした方が加えないよりばらつきの程度のよくなることがわかる。

分離によって水位流量関係が常に1対1になる範囲が求まると、次にはこの区間で観測値を最もよく表わす水位流量曲線の形をきめることになる。観測値が十分とられており、条件がよければ視察によって曲線を引いてよいのであるが、一般には点のばらつきがあるので個人による差を除くためこれに適合する曲線形状を最小2乗法により探し求める。

形状としては2次曲線をまず仮想するが、それでも満足されなかった場合にはn次曲線を推定する。この場合対数方眼紙上で図式によると簡単にいく。

流量観測は時々しか行なえないから、これと密接な関係にある水位を連続観測しそれを水位流量曲線に当てはめて連続流量値に換算する。流量値はまず最小単位、普通は時流量で読み取り、目的に応じて、それより大きい単位すなわち日流量、月流量、年流量と積み重ねて計算す

る。日流出量年図はその河川の流出の状況が一見してわかるから大いに活用すべきである。日流出量の大きさをその生じた日数で整理した流況図も計画には使われる。

### 3. 観測値

流量は時間的に、場所的に変化する量であるから実態を論ずる場合、変数のどちらかは固定し他の要素に対する流出量の変化を考えることになる。

#### (1) 流出量の地域的分布

わが国の河川の流出の概況を知るため年流出量の全国的分布を調べた<sup>4)</sup>ところ表-3 のようになった。これは全国を8気候区にわけたものについての昭和32~34, 3カ年間の値で、建設省直轄河川の個々についての資料をもとにして推定したものである。全国平均で約1500 mmあり、北陸、中部、東海、南海は2000 mmを越す。

表-3 年 流 出 量

地 域	年 流 出 量 (mm)		
	1957	1958	1959
北 海 道	1085	1064	1032
東 北	1110	1460	1280
関 東	1100	1130	1320
北 陸	1860	2200	2140
中 部、東 海	2200	1860	2490
近畿、瀬戸 内	1260	1100	1320
南 海	2440	1900	2170
西 日 本	1870	1150	1580
全 国	1530	1460	1590

#### (2) 流出量の時間的分布

特定の流域について流出量の時間的分布がどうなっているかを考えてみよう。その例として利根川支川神流川の資料について考えてみる。ここは、関東地方の北西部に位置し、気象特性としては太平洋的である。

a) 年流出量 神流川において観測された年流出量を図-7に示す。参考のため流域代表雨量観測所における56年間の年雨量をあわせ記してある。年雨量でいうと倍も変動しているから年流出量も長期間にわたってはそれに近い変動をするものであると推察される。

b) 月流出量 年間の流出の様相を知るには日流出量年図を作らねばならないが、大まかな特徴を知るには月流出量でもよい。この流域の特性として図-8に示すような代表的なパターンを見ることができる。ただし縦軸には年間流出量に対する%がとっている。表-4に示す多雨月に、51年は55%, 53年85%, 58年は64%のように大部分が流出してしまうことになる。

c) 日流出量 図-9に示す日流量年図を見れば年間の流出の特性がよく把握できる。独立降雨に対しては流出が独立しているのでその対応がはっきりしてい

図-7 神流川年流出量

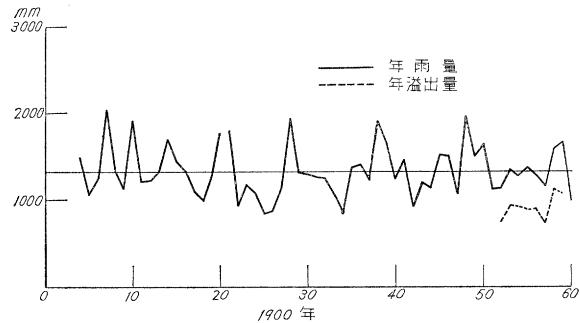


図-8 月 流 出 量 パ ー ト ン

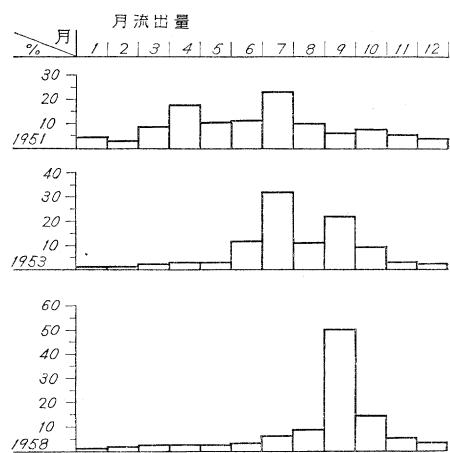
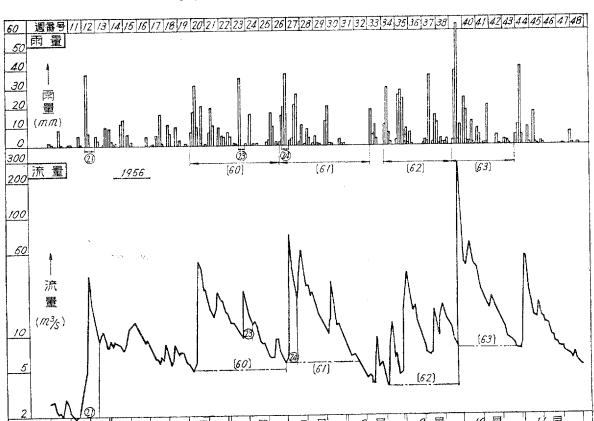


表-4 多雨月のパターン

特 徵	多 雨 月				例
	4. 5.	6. 7. 8.	9. 10.	11. 12.	
(1) 前ずれ、秋雨なし	○	○			1951
(2) 2山、普通		○	○		1953
(3) 後ずれ、からつゆ			○		1958

図-9 日 流 出 量 年 図



凡例：○印「独立」の対応する流量および雨量  
( )印「群」の

るが、大きく独立降雨の集まりを群とみてそれについて降雨と流出との対応をみていくこともできる。さらに拡張すれば年間ということになる。

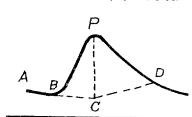
#### 4. 解析

降った雨のうちどれだけが河の流量となって出て来るものか、その量は時間的にどういうおくれで出て来るかという2つの点について論ずる。

##### (1) 流出の分離

出水時の流量ハイドログラフとして図-10に示すような形状のハイドログラフが得られた場合、この流量を表面流出、中間流出、地下流出にわけることを流出の

図-10 流出の分離



分離とよんでいる。この分離の方法として確立されたものはないが、洪水流出を対象とする場合では図に示すような簡便法でも地下流出を分離して大した違

いではないとされている。かような直感的方法では個人誤差が入るのでこれを除くため化学的方法によろうと筆者は実験を試みた。地下にしみこんだ水は地中の炭酸ガスを吸収して炭酸となり、これは接触岩石を溶解して重炭酸塩を生ずる。この量は地表流出と地下流出との区別のインデックスになるとと考え検出を行なったが、期待するような結果は得られなかった。別に濁度によって分離点を求めるようという実験も行なわれている。

流量がつい減しているところに独立降雨があったとすると、流出は一度ふえるが、再び前と同じてい減をたどることになる。図-11において独立降雨に対する全流出は、DAPBFで表わされるが、これは計算が大変なので幾何学的に置換した图形CAPBEで計算すると簡単に求まることになる。

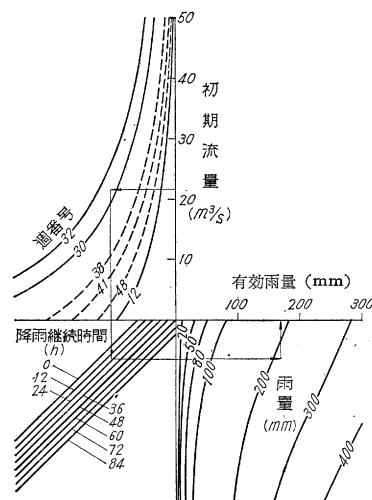
##### (2) 有効雨量

雨量のうちどれだけが流出して来たというように雨量と対比して考える場合の流出量を特に有効雨量とよぶ。雨量と有効雨量との関係についてはこれまで多くの研究が行なわれているが、いずれも場所場所の要素がふくまれ一般法則が成立するまでにはいっていない。

有効雨量の最も単純な表わし方は、これを雨量の関数とすることである。独立降雨についてこれまで求められたものはいずれも洪水時の表面流出についてであって地下流出までを考慮に入れたものはなかった。年間の雨量と有効雨量については直線的に近い関係が得られているのは、年間となるといろんな要素が平均化して比較的単純化されるものらしい。

しかし、流出機構は複雑であるから有効雨量を雨量だ

図-12 神流川有効雨量を求めるためのコアキシアル図



けで表わすことには無理であってそのほかいくつかの変数を考えに入れた方がよくある。この表わし方としてはコアキシアル図が用いられる。

図-12<sup>5)</sup>は神流川の資料について得られたもので、独立降雨の初期流量、週番号、降雨継続時間、雨量を与えると有効雨量が求まる。この場合、変数を多くするほど適合性のよくなることもたしかめられている。

雨量と有効雨量とを直接結びつける方法として両者の比をとったり、差をとったりすることも考えられる。年雨量と年流出量との比は年流出率とよばれ一般に用いられている。わが国の河川について表-3と同様な地区についてこれを求める表-5<sup>6)</sup>のようになる。北海道と北陸が大きい値を示しているのは雪の観測値が少なく出すぎているためらしい。瀬戸内は常識的にも蒸発の多い地区とされている。

表-5 年流出率

	年 流 出 率 (%)		
	1957	1958	1959
北 海 道	89.6	90.4	89.2
東 北	81.2	82.1	75.8
関 東	72.9	64.6	78.0
北 陸	98.7	98.6	98.8
中 部, 東 海	88.7	82.3	92.1
近畿, 瀬戸 内	65.6	62.2	67.6
南 海	83.1	81.1	78.9
西 日 本	67.7	60.6	71.8
全 国	82.2	80.1	82.6

比をとるといっても、両者を直線的関係で結びつけた方がよく表わされる場合もあり、神流川の年間資料では図-13に見るような結果が得られた。なお、この区には前述の8気候地区の値も併記してある。

雨量と有効雨量との差を損失雨量という。観測されるのは雨量と流出量とであって、流域の蒸発量、流域貯留量変化は直接測定できない量であるので、水収支を計算よりつめることはできない。年間でみると自然現象はならされて來るので、年損失雨量を計算してみると神流川の資料では表-6のようになって比較的一様な値を示す。

図-13 年雨量と年流出量

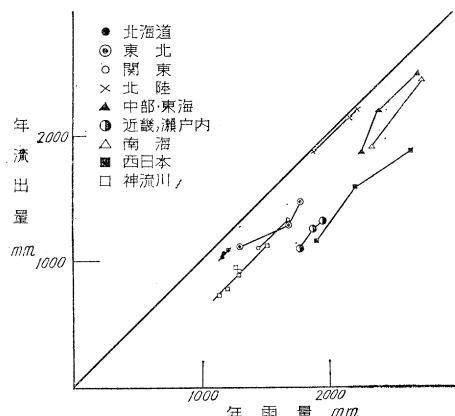


表-6 年損失量

年	流域平均年雨量 (mm)	年 流 出 量 (mm)	年 損 失 量 (mm)
1951	1116	738	378
52	1196	775	421
53	1272	936	336
54	1290	919	371
55	1300	882	418
56	1284	890	394
57	1132	738	394
58	1514	1124	390

### (3) 流出量の時間的分布

独立降雨の場合(2)で得られた有効雨量を時間的に分布するため洪水時に対しては種々な計算方法が展開されている。同様な方法を中小洪水に対して当てはめた例はほとんどないが、計算の係数を調整すれば同様な方法が適用できると考えてよいであろう。

長期間の日雨量と日流量とを対応させる流出計算法が菅原正己<sup>7)</sup>氏によって提案されている。これは雨量が指数関数的に流出するという仮定から出発しており、解析によって半減期の異なるいくつかの流出成分を探し求めている。

### 5. 低水流量の予想

流域の過去の雨量と流出量資料よりその関係を求ることを流量解析という。この結果流域に固有な係数が得られることになる。雨量は観測されたがまだその雨は到達していないという段階で、まだ観測されない流出量を流出係数を用いて短時間に計算から予測することを流量予想といふ。洪水に対して流出の研究はかなり行なわれて來たが、低水流量についてはこれまであまり行なわれて來ていない。

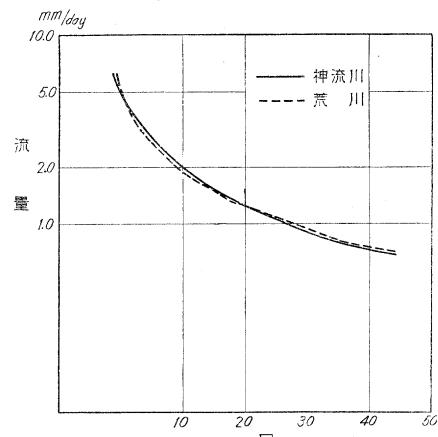
低水流量の予想はかんがい、水力発電、上水道、舟運などに大いに活用されるわけであるが、現在のところわが国ではまだ組織的には行なわれていない。しかし、自然流の河川でかんがい期、冬期渇水期に流量の供給がお

いつかなくなった場合流量の予想は、試算としては種々試みられている。ただしこの場合の流量の単位としては高水出水の場合と違いもっと時間を長くとってよく、日単位で十分表わされる。

予想のケースは降雨のある場合と降雨の無い場合との2つに大きくわけられる。独立降雨に対する流出は洪水の場合にはかなり研究が進んでいるが、これは地下流出を除く部分に対するものであった。中小出水の場合には計算方法としては同じであって、まず有効雨量を求め、ついでこの時間的分布を求めるわけであるが、この場合の特徴は地下流出との分離点がはっきりしないことで、対応降雨による流出と地下流出との量をくらべると、一方が他方にくらべて無視できない量であることである。この場合は対象降雨により直接出て来たものと、その前からの地下流出との両方の部分の和で表わされるから全体でみていかねばならない。中水に対する計算例はあまりみない。

無降雨が続いた場合の流量は比較的正確に予想できる。夏の田植え前の水争いはこの無降雨の場合に当るがこの時は、あと何日無降雨が続くかという推定に問題点がある。年間の流量ハイドログラフを描いた図から無降雨のところのてい減部のうち最も低いものを選び、つなぎ合わせこれらに対して包絡線を作成したものを標準てい減曲線とよぶ。これは流域にどんな降雨分布をしても地表流がさっと流れさったあとは、その前の降雨のいかんにかかわらず、地下に一度もぐって河岸の岩げきからしみ出て来る流出現象はほぼ一様であるとみなしえるようなものである。これは流域の地下構造の特性を示すものであって、岩質により支配される性質のものであろう。利根川支流神流川と、その南に隣接する荒川とは気象条件が似ていると考えられているが、この相隣する2河川の無降雨のてい減部をくらべると図-14のようになる。ただし流量としては各流域面積で割って mm/day を単位にとってある。この図から地質的に同じ秩父古生

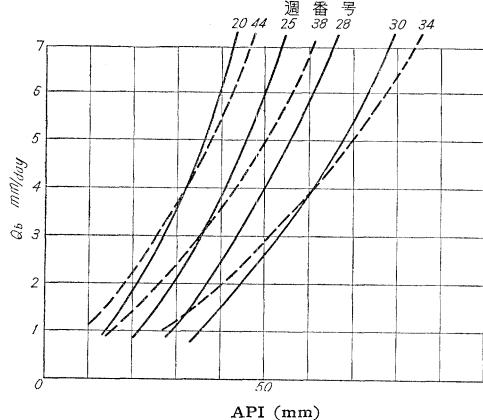
図-14 神流川、荒川てい減曲線



層の流域では、類似の地下構造をていすると判断してよいであろう。これを基として平滑な減衰曲線が作成できる。第1日の流量を与えると、第n日の流量が此の曲線より推定できる。この曲線は半対数目盛りに書いてあるが、全体的にみると直線ではない。

特定の日の低水流量は此の標準曲線の上でどこにのるかということは初期条件として大切である。特定の日の

図-15 API と初期流量との関係



条件としては雨量をとりあげることとし、特定の日までに降った雨量の前期効果を何か数量的に表わしたい。このためには特定の日の前に降った雨の特定の日への効果を、減衰を考慮に入れて API で表わし、これと特定の日の低水流量  $Q_b$  を結びつけたところ、簡単には表わせないので、週番号をパラメーターに入れ、図-15 に示すような関係を得た。特定の日より前に降った雨量がわかればこれより API を計算し、この値に対応する初期流量が求まる。もしこの特定の日以後、降雨が無ければ流量は標準的減衰曲線によって計算できるということになる。この図は特定の流域について作成したものであるが、他の河川でも同様にして作成出来るであろう。

#### 参考文献

- 1) 竹内俊雄・江川太朗：低水流量観測の精度に及ぼす 2, 3 の要素について、土木研究所報告 105 号
- 2) 同上
- 3) 同上
- 4) 水資源叢書
- 5) 竹内俊雄：河川の流出に関する 2, 3 の計算法、土木研究所報告 103 号
- 6) 水資源叢書
- 7) 菅原正己：日本河川に於ける流出機構の解析について(英文)、日本地球物理学会誌 1961.3

(原稿受付: 1961.10.20)

**最新刊**

水道、簡易水道、専用水道のすべてを詳述!

# 都市上水道

東大名誉教授 工博 広瀬孝六郎著

本書は、水道法による水道、簡易水道、専用水道の3つを都市上水道と定義して、都市上水道のすべてを解説した水道人はもちろん関係技術者必携の書である。〔主要目次〕総論(構成、目的、沿革) 上水の要求(水量、水質、上水検査) 自然水一水源(水の種類と不純物、天水、地表水、地下水、水源と水量) 取水(水源の比較と選択、天水、地表水、地下水、貯水池) 導水(導水方法、開水路、管水路) 净水(目的と方法) .....ほか3章。

B5判上製 300頁 定価 1,200円

## 多層ラーメンの数値計算法

G. KANI 著 奥村・佐々木共訳 B6判 200頁 定価 350円

階層ラーメンにおいて節点が変位しないと仮定できないような場合がよくある。本書は種々な不合理を除くために役立つ計算方法を研究し、その研究結果を詳述した好書

技報堂

東京都赤坂溜池5 振替東京10 電話 (481) 8581 内容説明書は誌名ご記入の上お申込み下さい