

## ④ 水資源と統計\*

菅原正己

### 1. ま え が き

昨年の記念講演会では、「降雨量と河の流量と」という題で、徳島県那賀川の流量を流域諸地点の雨量から推定する話をした。我々はその後もこの方面の仕事を続け、幾分か結果も蓄積されて来たので、今日は稍領域を拓げ、「水資源と統計」という題で、今までに得られた結果についてのあらましをお話したい。

今回の敗戦により、我國民8,000万は、小さな四つの島に住まなければならなくなったが、その島たるや、山ばかりで、耕地面積は全体の僅か15%に過ぎない。我々は果して生きて行くことができるであらうか。

總司令部天然資源局技術顧問であったアッカーマン博士は、米議会外交委員会への報告書に於て、八千万の日本人が昭和5年～9年の生活水準を維持するためには、食糧の $\frac{1}{5}$ 、木材および繊維の $\frac{2}{5}$ 、石油の $\frac{9}{10}$ 、磷酸肥料の $\frac{1}{2}$ 、加里の $\frac{1}{4}$ 、鉄の $\frac{2}{3}$ 、鉛の $\frac{4}{5}$ 、塩の大部分、アルミニウムの全部を輸入する必要があると述べている。我々は勿いて輸出することにより、これらの物資を輸入する代金を獲得しなければならない。

前に、我々は果して生きて行くことができるであらうかと言ったが、実はこれは愚問である。人間は生きて行かなくてはならないし、また必ず生きて行くものである。問題はどの程度の生活水準で生きて行くかと言うことにある。我々の今後の生き方を合理的に決定するために、我國の資源問題を科学的に究明することは最も大切であると信ずる。

我國のかように乏しい天然資源のうちにあつて、水資源は最も有望なものの一つである。しかもこの資源は、石炭や硫黄や石灰岩のように、

\* 本稿は、昭和27年6月14日の研究所創立記念講演会における、講演草稿である。

一度掘ってしまえばなくなるというものではない。毎年くり返して使える循環資源である。我國の雨量は年間  $1,000\text{ mm} \sim 4,000\text{ mm}$ 、平均しておよそ  $1,700\text{ mm}$  程度で、ヨーロッパやアメリカの雨量が  $500\text{ mm} \sim 1,500\text{ mm}$  程度であるのに比べると、およそ2倍から3倍である。かつ、我國の農地を制約した山岳も、高落差を享受するという点では、かえって水力電気に幸いしている。また、我國が全面積の15%にしか過ぎない農地によつて、ともかくかなりの食糧を供給できたのは、畑にたいし肥料の努力を要せず、しかも約倍の収穫を享受する水田の複作のおかげであつて、これも豊富な水があつて初めて可能なことである。

しかし、この豊富な雨量も、我々に幸福ばかりもたらすものではない。裏日本に冬期降り続く雪は、北陸電源地帯の水力のもとであり、しかも貯水池なしに、3月より7月まで豊富な安定した水力を供給する点から言つて、甚だ恵まれた天然資源であるが、雪はふばかりでなく、平地にも降り積つて種々の災害を享受する。さらに大きな災害として、台風がある。我國農地の  $\frac{2}{3}$  を占める水田は、大部分河口に近い、河沿いの沖積層に発達しているものであり、多くの都市もこの地帯に発達している。従つて、もしも河に堤防がなかつたならば、我國の水田と都市の大部分は浸水に会うことになる。中国の黄河の例をひくまでもなく、水を治めることは國を治める一つの要件である。

我國でも古くから、多くの努力により、洪水の災害は次第に減少して行く傾向にあるが、逆に治水に關する費用は増大している。現在、国家予算総額の約10%が治水方面に用いられているのであるが、それでもなお手が廻りかねているという状態である。

かかる災害を転じて福とすることはできないであらうが、我々は直ちにアメリカで行われたコロラド河のフーヴァーダムや、T.V.Aの偉業を思い浮かべるのである。そこで、再び我國の水利用の面に眼を転じよう。

現在我國の包蔵水力は2,000万kwと言われている、そのおよそ  $\frac{1}{3}$  が開発されている。しかし、有利な地点は既に開発され尽くして、残

されている地点はそれぞれ何等かの意味で不利なものである場合が多い。上記の包蔵水力2,000万kwという数字にしても、明治末より大正初めの調査で482万kwであったものが、大正10年頃の調査で743万kwに増し、昭和12年以降の調査で2,000万kwとなったのである。この2,000万kwの開発には、大規模な貯水池や、流域変更等を伴うのであって、そう簡単には電気は出て来ないのである。我國の従来発電は自流式が主で、それは初期には過水量(年間355日以上は保証される流量)で設計されたものが、次第にその2倍~3倍の流量(年内6ヶ月~3ヶ月しか保証されないことになる)を基準に作られるようになった。それは石炭の値を考慮し、最も安価な電気が供給できるように、十分な計算がなされていたのであるが、今後の電力開発は自流式だけでは行かない事情にある。例えば、ある入の計算によれば、2,000万kwを全部自流式で開発すると、火力発電に石炭を毎年4,000万トン要するという。これでは、掘った石炭を殆ど全部発電用に燃してしまうことになる。石炭を焚かないならば、冬の過水期には節電しなくてはならない。我國の電気は、下手に自流式で開発すると、開発すればする程、冬期に停電で悩むということになりかねない。この見地から、貯水池を作ることは絶対に必要になって来る。貯水池の目的には、この他洪水防禦や灌漑の問題もある。これがいわゆる多目的ダムであり、総合開発計画である。

しかし、貯水池さえ作れば電気は幾らでも出るというように問題は簡単ではない。例えば100mの落差で10万kwの発電をするには1日に約10万トンの水が必要である。相模湖の總貯水容量が1億トン余りであることを思えば、過水期の水を過水期に持ち越すためには、どれほど多くの貯水池が必要であるかがわかるであろう。自流式発電には我國の山地の急勾配が幸いしたのであるが、貯水池を作ることになると、狭い谷と、急な勾配は不利であって、大きなダムを作っても、水は少ししか貯えられないということになる。そして谷が広く、勾配もゆるやかならば、そこには人が住んで土地を耕していることが多く、補償の問題が出て来る。また地盤もあまりよくない。更に重大なのは、ダムの建設が

多大の資本を要するということである。従つて貯水池を作るには、十分に資料を揃えて計画を立て、その運営方式も十分に考える必要がある。

しかるに我國の水文学資料には多くの欠陥がある。それについては、経済安定本部資源調査会から「水文学資料の欠陥に関する報告」が出ているほどであつて、水資源についてはよくわかつていないということがよくわかっているのである。例えば、雨量観測点はかなり数多く散在するとは言へ、平野部に密で、水文学上大切な山地の降雨状況は十分にわかかっていない。また流量観測値の精度にはかなりの疑問が持たれている。特に洪水量の精度については疑問の点が多い。従来のように、自流式発電を中心とし、洪水の水は早く海へ流し出すことだけを目的にしていた場合はそれでもよいが、大貯水池によつて水の完全利用を計画することになると、かかる従来流量資料をそのまま信用することは、かなり危険であると思われる。

雨量や流量に関する資料を十分に集めること、それらの信頼度を調べること、観測値の精度や有効度をあげること、資料の間の関連を明らかにすること等は、地味で迂遠な仕事ではあるが、甚だ大切である。統計の仕事は元来か縁の下のか持ちであつて、よく行ってきり前、悪く行けば多大の迷惑をかけるのである。水文学に関する、かかる基礎的な統計的研究は、眼前の役にはすぐ立たないかも知れないが、その意義は重大であつて、総合開発計画はかかる基礎的研究の上に建てられなければならないのである。

我々が雨量と流量との関係、すなわち流出の問題に関係するようになったのも、実は那賀川の開発計画に関連して、資源調査会のエネルギー部会から研究を委嘱されたのがいとぐちであつた。

我々はそれ以前から、洪水の問題、特に洪水予報の問題に関心を持っていたのであるが、資源調査会の水部会から最初に頼まれたことは、雨量観測点のサンプルデザインであつた。それを決定するためには、まず雨がどのように降るかを知らなければならない。我々が昭和13年~17年

の5年間の関東地方各地点の日雨量記録について統計的に調べた結果によると、熱気流による雷雨、寒冷前線の通過による降雨等、地点による変動の甚だしいものを例外として除くと、二地点の降雨量の対数の間には、かなりよい相関々係が見られる。そしてA地点はB地点のおよそ、1.2倍の降雨量があるというような、およその比例関係が認められる。このことから、ある地域内の降水量の全体は、地域内の数地点の雨量の幾何平均に、適当な係数を掛けることにより得られるのではないかと考えた。そこで問題になるのは、何個の観測点を、どこどこに散布すればよいかということであるが、気象台で聞いた所によると予算の関係で観測点を増すことは困難であるというし、通信、交通の便を考えると、観測点の位置も限定されるとのことであつた。観測点の散布が思う通りにできないとなれば、与えられた観測点により、ある領域内の降雨量の全体がどれだけの精度で推定できるか、問題になる。それはある仮定をよぶことにより計算できよう。しかしその計算には果してどれだけの意味があらうか。ある地域内に降る降雨量の全量を実際に測定することは事実上不可能なのであるから、推定値の正しさをチェックすることができない。従つて推定値の精度を主張しても、それは主張するだけにすぎない。事実知ることができないものに対して、種々の推論やら判定をするならば、結局はうまく言いくるめた方が勝ちということになるであらう。(かかる推論には多くの仮定が伴うことに注意しなければならない。) それは実証的、科学的とは言えない。我々は実際に測り得るものゝ間の関係を求めることを目的とすべきである。

我々は流域内に降る降雨量の全量を知ることはできない。知ることができるのは、流域内数地点の雨量と、測定誤差の大きい河川の流出量である。降つた雨は一部滲透し、一部蒸散し、しかも流出にはある時間的遅れを伴うのであるが、治水、利水に必要なのは、流域に降つた雨量の全量ではなく、その流出量であり、流出の仕方である。そこで我々は雨量と流量との関連を究めることを目標に置いた。那賀川の月流量を流域

の月雨量から推定する問題が現われたのは、丁度その頃であつた。我々は統計的に、かつ現象論的に、この両者の関連をつけることを試み、かなりの成功を見たのであるが、那賀川以後、利根川洪水の時間流量推定、利根川の日流量推定、宝川（利根川上流の一支川）の流出機構の研究、宝川的方式を利用した利根川、北上川の洪水流量推定、球磨川の月流量推定等に、いずれもかなりの成果を挙げることができた。

研究は目下進行中であるが、最初は統計的、現象論的に得られた結果にも、次第に物理的意味が付き、流出の機構が次第に明らかになって行くことが期待される。

これらの結果について、以下簡単に説明を加えて行きたい。

## 2. 那賀川の月流量推定

2.1 我々の目的は那賀川小浜（流域面積  $553 \text{ km}^2$ ）の月平均流量を流域諸地点の月雨量から推定することであつた。

2.2 利用可能な資料は、流量が昭和7年～19年の13年間、その期間につき、3～4地点の雨量資料が与えられた（7地点は流域外）。

2.3 我々が得た最後の結果は、推定流量の対数と実測流量の対数との間の相関係数が0.9524となるもので、この推定式を用い、明治38年以降の小浜の流量を雨量資料から作製した。

2.4 最初、ある月の流量  $y_n$  はその月の雨量  $x_n$ 、前月の雨量  $x_{n-1}$  の一次式で表わされるものと仮定し、 $(ax_n + bx_{n-1} + c)$  により流量を推定しようとし、
$$\frac{y_n - (ax_n + bx_{n-1} + c)}{y_n}$$
の平方の和が最小になるように  $a, b, c$  を定めた。この方法は豊水期の雨量を常に過小に出す傾向があつた。

2.5 二三の試みの後、降雨は一応涵養され、流出の速さは涵養された水の量に比例するとの仮説を立てた。これにより降雨はラジウムの崩壊の如く、指数函数的に流出する。

この仮定は那賀川の月雨量推定に成功したばかりでなく、利根川洪水の時間流量、利根川日雨量の推定にも相当の成功をおさめた。またこれについては、後に述べるように、ある程度の理論的裏づけも得られた。

2.6 いまここに $X$ なる水が涵養されてあり、これが指数函数的に流出するならば、 $\lambda$ カ月ごとに流出する水の量は等比数列をなして減少する。これを $Q, Q\lambda, Q\lambda^2, \dots$ とすれば、この和 $\frac{Q}{1-\lambda}$ が $X$ でなければならぬから、 $Q = (1-\lambda)X$ である。故に、 $X$ なる水は $n$ 月後に $(1-\lambda)\lambda^n X$ だけ流出する。従つて、ここに月雨量の系列

$$\dots, X_{-2}, X_{-1}, X_0, X_1, X_2 \dots$$

があれば、ある月 $n$ における流出は過去の雨量の流出の和として

$$\sum_{i=0}^{\infty} (1-\lambda)\lambda^i X_{n-i}$$

となる。

この計算は降雨（収入）を一応貯蓄に繰り入れ、貯蓄残高に比例して支出して行く計算であるので、我々は仮りに比率 $\lambda$ による繰り入れ計算と呼ぶことにする。この計算は連立式計算機の連続操作により容易に行うことができる。

2.7 月流量の系列を $\{y_n\}$ 、月雨量の系列を $\{x_n\}$ とし、月雨量に繰り入れ計算をした結果を $\{z_n\}$ とする。すなわち

$$z_n = (1-\lambda) \sum_{i=0}^{\infty} \lambda^i x_{n-i}$$

である。

$\lambda$ の値を種々変え、 $y_n$ と $z_n$ とを両対数方眼紙の上にプロットすると、 $\lambda = 0.35$ のとき、よい相関関係がみられる。 $y_n$ の代りに、ある基底流量を引いたもの $(y_n - 3)$ と、 $z_n$ との相関関係をみると、更により相関関係がみられる。

相関係数を計算した結果は次の通りである。

繰り入れ計算 の比率 $\lambda$	$\log y_n$ と $\log z_n$ の 相関係数	$\log(y_n - 3)$ と $\log z_n$ の 相関係数
25%	0.9075	0.9187

30%	0.9095	0.9207
35%	0.9138	0.9231
40%	0.8921	0.9041

2.8  $\log Z_n$  より  $\log (y_n - 3)$  を推定する式を最小二乗法で定めると

$$\log (y_n - 3) = 1.4338 \log Z_n - 2.1059$$

となる。  $y_n - 3$  の3を省略すれば、上の関係は

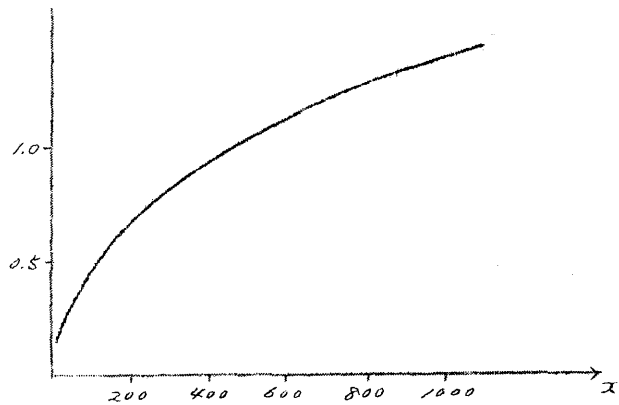
$$y_n = k Z_n^A = (k Z_n^{A-1}) Z_n$$

となる。  $k Z_n^{A-1}$  は、いわば流出

の比率を表わすもので、

流量を雨量と同じ mm 単位で表わせれば、この流出比率を表わす函数は第1図のようになる。これは雨量が増す程流出率が増すことを示すものである。流出率が遂には1を越すのは、山地の雨量が平地より多いことによるものであろう。

第 1 図



2.9 雨量が大であるときは、大部分がその月のうちに流出し、あまり翌月に持ち越さないことと思われる。そこで繰り越し率を次第に減少させ、繰り越し高が150mm以上にならないような栈構を築いたところ、推定流量の対数と、実測流量の対数との相関は、実に0.9524になった。もつとも、この値には偶然による好運も手伝っているように、現在では感ぜられる。



### 3. 利根川洪水の時間流量推定

3.1 繰り入れ計算により、雨量から流量を算出する方式を、利根川の洪水流量に適用したところ、方法が簡単な割合に、意外なほどよい結果が得られた。この方式は、宇都宮、桐生、高崎を結ぶ線、すなわち利根川及び、その各支流が平野部に入るあたりまでの流量の推定に利用できるもので、いわば第一近似である。我々は目標を八斗島流量の推定に置いた。

3.2 第3回は昭和16年7月23日の洪水について、万場の雨量から、神流川若泉（流域面積345  $\text{km}^2$ ）の流量を推定したものである。

$\gamma = 0.7$  または  $\gamma = 0.8$  とすると、推定流量の曲線は実測流量の曲線と甚だよく似て来る。第3回において、 $\gamma = 0.7$ 、 $\gamma = 0.8$  併用と書いてある推定流量曲線はピーク到達までの増水期に  $\gamma = 0.7$  を用い、減水期に  $\gamma = 0.8$  を用いたものである。

3.3 神流川で成功した方式を昭和16年7月洪水について、烏川、鐮川、鬼怒川、渡良瀬川等に適用すると、いずれも流域内の一地点の雨量を用いたのみで、推定流量曲線の形は、実測流量曲線の形とよく一致する。

ただし、適当な補正係数をかけることと、適当な時間的遅れとを与えることが必要である。それは推定流量と実測流量とのピークが一致するように定めることにした。

3.4 上の方式により、利根本流、烏川、碓氷川、鐮川、神流川の各流量を、東小川、三之倉、五料、下仁田、万場の各雨量からそれぞれ推定し、これを合成して八斗島の推定流量とした。これは第4回に示すように、甚だ満足すべき結果を与えた。

3.5 3.4の方法を13年9月1日洪水に適用したものが第5回で、今度は20%ばかり小さく出た。

3.6 不幸にして、補正係数は16年洪水と13年洪水とで、かな

り異って出て来るのである。補正係数が洪水毎に異なる理由は種々考えられるが、

(7) 流域の雨量を一地点で代表させるため、降雨の型により補正係数が異なること

あ) 降雨の中には速やかに流出する部分と、地中に一応涵養されてからゆっくり流出する部分とがあり、この振り分け方が、地面の乾き具合、雨の強度によって異なることに起因するもの、かその主なものであろう。

い) については後にまた論ずる。

3.7 上に述べたように、補正係数は洪水毎に異なるであろうが、各河川につき、それぞれ平均的な補正係数と時間的遅れとを固定しておいても、幾つかの河川を合流させれば過不足が相殺し合うことが多いであろうから、かなりよい推定ができるであろうと想像される。

また、この方法によらなければ、洪水の予報は不可能である。

3.8 3.7の方法によって、上福島と岩鼻の流量を推定したものが第6図と第7図である。上福島の推定流量は、東小川の雨量から片岳川の、湯原の雨量から利根川の、草津と中之条の雨量から吾妻川の各流量を推定し、それを合成したもので、第6図では補正係数は一律に50%にしてある。(これは稍々小さ過ぎるようである)

岩鼻の推定流量は三之倉の雨量から烏川の、五料の雨量から碓氷川の、下仁田の雨量から竈川の各流量を推定して合成したもので、補正係数は一律に60%である。

3.9 上と同様の方法で八斗島の流量を推定したものが第8図である。補正係数は神流川が87%で、以外はすべて60%にした。時間的遅れは、片岳川、利根川、吾妻川が7時間、烏川、碓氷川が2.5時間、神流川が3.5時間で、これは河川の長さにおよそ比例している。

3.10 以上の洪水の他に資料の入手できたものについては計算を行ったが、方法が簡単な割合に、かなりよい一致を与える。

ただし、昭和16年6月末の梅雨前線による大雨の際の推定流量は実

測より遙かに大きく出る。このように、強度の余り大きくない雨は、もつとゆるやかに流出するものらしい。これについては後にまた述べる。

3.1.1 単純な繰り入れ計算だけでは、流量推定に不十分なことは、昭和13年6月末の洪水以外についても、増水期において適大な、減水期において過小な値を与える傾向があることから明らかなである。しかし、洪水流量がピーク附近しか測られていなかった従来記録によつては、それ以上の解析は不可能で、それには宝川の詳細な資料を待つ必要があつた。

#### 4. 利根川の日流量推定

4.1 洪水の時間流量が繰り入れ計算により算出できたことに力を得て、日流量を推定することを試みた。これもかなり成功した。

4.2 神流川につき、万場の日雨量に  $\gamma = 0.8$  で繰り入れ計算を行うと、実流量とよく似た曲線が得られた。

第9図は万場と若泉の日雨量の平均に  $\gamma = 0.8$  で繰り入れ計算をした結果に50%を掛けたもの1日だけの遅れを与えたものと若泉の実測流量とを比べたものである。掛ける補正係数は55%程度がよいらしいが、手間を省くため50%とした。万場の雨量だけでもかなりよい結果は出るのであるが、それでは7月下旬、8月上旬の雷雨の影響が強くて困るのである。

4.3 第9図で推定が明らかなに悪いのは、6月末の所で、これは先に出た昭和13年6月末の梅雨前線による洪水である。かゝる大雨においては、降水量の大部分は速かに流出してしまふ。およそ45~50mm以上の部分をその日のうちに流出させ、残りを  $\gamma = 0.8$  で流出させたものが、第9図の破線で描いたものである。

4.4 4.3の方式を神流川につき13年から16年まで、5月より9月までの期間に適用してみると、13年と16年によく合ひ、15年には余りよく合わぬ。同様のことが、片岳川、吾妻川、烏川、渡良瀬

川、鬼怒川につき成立する。昭和15年は有名な渇水年である。この原因は流量がある程度減ると流出速度が遅くなり、 $\gamma = 0.95$ 程度にとる必要があることによるらしい。

4.5 結局日雨量から日流量を算出するに際しては、50mm以上の部分はその日のうちに流出させ、残りを $\gamma = 0.8$ ,  $\gamma = 0.95$ の比率で流出する二つの成分に分けるとかなりよく合うらしい。

この流出の遅い成分を求めるには4日雨量と4日流量との関係を考察することも効果があった。 $(0.95)^4 \approx 0.81$ ,  $(0.8)^4 \approx 0.41$ であるから、4日流量を見ることにより、流出の遅い成分の変化が見易くなるのである。

4.6 ここまで来て、はっきり気がつくことは、結局幾つかの異なる固有流出率を持つ成分があるらしいことである。

この関係を明らかにするために、放射性元素の場合と同様に、流出の速さ(これが崩壊速度に相当する)を、半減期で表わすとよい。

那賀川で用いた月流量についての $\gamma = 0.35$ は20日の半減期、利根川の日流量についての $\gamma = 0.95$ は1/3日の半減期、 $\gamma = 0.8$ は約3日の半減期に相当し、利根川の洪水における $\gamma = 0.7$ ,  $\gamma = 0.8$ はそれぞれ約2時間と3時間の半減期に相当する。このように流出が指数函数で表わされ、しかも幾つかの固有半減期を持つことは、地下水の流出が熱伝導の方程式で表わされると考えることにより説明される。

もちろん、流出の機構は熱伝導の方程式で表わされるほど簡単ではないであろう。指数函数型流出の組合せを用いる方法が、たゞ一種の近似に過ぎないとしても、以上の理論的考察はこの近似法にある程度の根拠を保証すると思う。

## 5. 宝川の流出機構

5.1 宝川は利根上流の山間部の一支出で、その流域面積は約19  $km^2$ である。ここに農林省林業試験場の試験地があって、雨量と流量の精密な測定が、多くの入々の努力によって続けられている。我々はカ

スリン、アイオン、キテイを含む6つの台風の詳細な記録をもとにして、流出機構を探究した。

5.2 我々は先ず、雨量に繰り入計算を試み、 $\gamma = 0.5$  とし、50%の補正係数を掛けると、推定流量のグラフが実測と似ることを認めた。これが第10図のb)である。これは次の欠点を持っている。

- 1) 増水がはやすぎる。
- 2) 減水がはやすぎる。
- 3) カスリン台風の2回目のピークが大きい。

この欠点を除くには、降り始めの頃の水を一定貯蓄に回し、ゆっくりと流出させればよいと思われる。

5.3 室川においては、幸にして、降雨がやんだ後も長く流量が観測されていて、減水の様子がよくわかつている。この減水の仕方から、 $\gamma = 0.947$  なる流出率が発見された。

そこで、 $\gamma = 0.5$  と  $\gamma = 0.95$  の二つを組合わせてみた。これが第10図のc)である。これは最も簡便に、雨量を半分ずつ  $\gamma = 0.5$  と  $\gamma = 0.95$  の成分に振り分けたものである。

この方式により減水のはやすぎる欠点は消えたが、増水のはやすぎる欠点、カスリン台風の2回目のピークが大きい欠点は除かれなない。

5.4 資料の与えられた6つの台風の中には、カスリンのように、二つのピークを持った豪雨、アイオンのように一つのピークを持った豪雨、キテイのように途中にかなり長い休止期間のあつた豪雨、昭和20年10月4日および9日のようにあまり強くない雨等、種々の型を含んで居り、また降雨開始前の流量(基底流量)にも種々の差があつた。この基底流量は降雨前の地下水位の高さ、あるいは土の湿り具合を示す指標として大切であつた。

これら種々の型の降雨に対し、どれについてもよく適合する流出機構を発見することは甚だ困難であつた。

5.5 100回に近い試行錯誤の後、現在得られた方式は、 $\gamma = 0.9975$  (半減期12日)、 $\gamma = 0.94$  (半減期11.2時間)、 $\gamma = 0.70$

(半減期 1.94 時間),  $\gamma = 0.20$  (半減期 26 分) の四つの成分を組み合わせて、カズリン台風をこの方式で推定したのが第 10 図の  $\alpha$ ) である。

## 6. 利根川、北上川の洪水流量に対する宝川の方式の応用

6.1 宝川で得られた方式を、利根川、北上川の洪水流量に応用すると、単なる繰り入れ計算に比し、はるかによい結果が得られる。ただし、流域面積が大きくなるに従って宝川の方式を施した結果に、ある種の平均化の操作を施す必要がある。その平均化には、一応算出した結果に更に繰り入れ計算を施すとよいらしい。

6.2 第 11 図は鬼怒川の石井の流量を推定したもので、単なる繰り入れ計算ではこのようによい結果は得られない。また、昭和 13 年 6 月の梅雨前線の雨についても、略々満足すべき結果を与える。

6.3 第 12 図は北上川の支流、猿ヶ石川、胆沢川に適用した結果である。

## 7. 球磨川の神瀬の月流量の推定

7.1 これは那賀川の方式に従って行った。月流量推定の事例を増したことで、那賀川の方式についての評価をすることができた。

7.2 神瀬の流域面積  $1,630 \text{ km}^2$  に対し流量資料のある時期に限って雨量資料が甚だ乏しかった。(流域内 2~3 地点、流域外 2 地点で時々欠測あり)。かゝる不運も手伝って、繰り入れ率  $\gamma = 0.25$  のとき、相関係数  $0.87$  なる結果しか得られなかった。これは那賀川の結果に比べてかなり劣っている。

7.3 しかし、球磨川については上流の栗鶴の流量資料があり、これにより相関係数  $0.93$  なる推定方式が得られた。

7.4 7.2 の結果と 7.3 の結果に 7:2 の重みをつけて平均した結果は、相関係数  $0.95$  なる推定値を与えた。これは雨量資料が十分に資料として価値のあることを示している。この推定値は、誤差の大きさの

真から見ると那賀川のものに優るもので、流量測定精度を考え合わせると、これ以上の推定はかなり無理であろうと思われる。

7.5 球磨川上流の川辺川について、雨量と流量との関連を調べたところ  $\gamma = 0.20$  のとき、相関係数は  $0.91$  となった。この  $\gamma = 0.20$  は半減期にして約  $3$  日で、これは利根川の日雨量から得られた  $\gamma = 0.95$ 、宝川で得られた  $\gamma = 0.99$  と甚だよい一致を与えるものである。

すなわち  $15$  日前後の半減期の成分が存在することは確かなようで、これが最も長い半減期らしい。月雨量から月流量を推定するときは、この最も長い半減期を持つ成分が重大な役割を演ずる。

## 8. む す び

最初の説明がくわしかつたに反して、後に行くに従って説明が簡略になったことをお詫びしたい。もっとも、宝川の計算方式や、それを探究した道筋は、ここでは十分に説明しきれないほどめんどうなものである。

我々の算出方式は、流域面積僅か  $19 \text{ km}^2$  の宝川から流域面積  $1,230 \text{ km}^2$  の鬼怒川の石井、流域面積  $6,000 \text{ km}^2$  の利根川の川俣にまで適用できるものであるし、また洪水の時間流量から、月流量にまで通する方式である。このことを考えると、我々の方式は偶然の一致ではなく、多分何等かの意味のあるものであろうと思う。

今後もさらに例を増して行きたいし、また実験との連絡もつきたいと考えている。例えば、流出速度には種々の半減期が得られているが、短い半減期のものは地表を流れる水のもので、長いのは地下水の流出であろうと思う。どの水が地表流出で、どの水が地下水の流出であるかは、化学的な分析をすることにより区別できないであらうか。また降雨の何割が滲透し、何割が流出するかは、履歴に大いに関係するのであるが、それは地下水位に関係することが大である。宝川の場合は、降雨直前の流量（基底流量）から地下水位を想定し、それを用いたのであるが、それに対する実測がなされている訳ではない。地下水位の資料を集めることは、河川の流出を知る上に大切なことであらう。また水の実質部分

がどのように動くかを、例えば化学的方法で追跡することも大切であろう。我々は統計的、現象論的に得られた我々の算出方式が、種々の実験的研究と相俟って、次第に物理的意味を得て、修正され確立されて行くことを期待している。

流出に関する研究がどのような効果を持っているか、次に尋ねてみよう。

- 1) 流量との関連を見ることにより、降雨量の地域変動の仕方を知らることができる。(我々には雨量観測点の数はそれ程多くなくても、流域全体の降雨量がかなりの精度で推定できるように感じられる。もちろん、これについて実験的研究が大切である)
- 2) 雨量測定値と関連させることにより、流量測定値の誤差の程度を知ることができる。
- 3) 従って流量資料をチェックすることができる。(しかし、そのためにはどこかで正確な流量測定値が欲しい。ある河川の開発計画を立てるとき、たとえ一二年でもよいから、精密な流量測定を行い、これと雨量とを比較するならば、過去の雨量資料により、過去の流量資料をチェックすることができて、過去の資料の価値が増大するであろう。)
- 4) 流量資料の欠を補うことができる。(那賀川についてこの仕事をしたのが、我々の研究の発端であったし、また球磨川の開発計画に対してもこの計算は役に立った。)
- 5) 洪水の予報ができる。
- 6) 水の利用計画を立てるに必要である。(北上川のような多目的ダムに十分に活用するには、流量の予報が大切な役割を演ずる。)
- 7) 流出、滲透、涵養の機構が次第に明らかになる。(これは理論的な問題であると同時に、森林の効用を知る等、実際上の大切な問題を含まれている。)

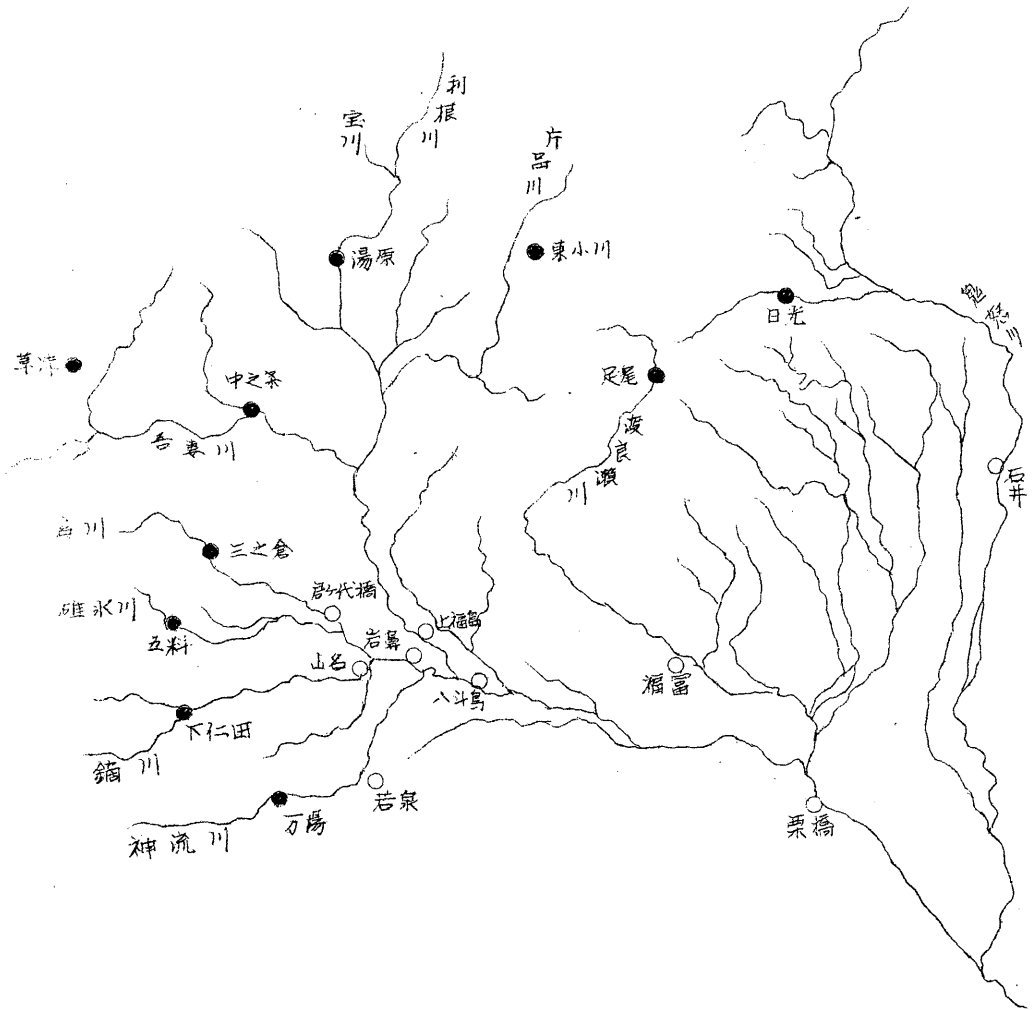
この研究において、最も困るのは数値計算が面倒な点にあるが、それ



に対しては、我々は既に計算機の設計を終って居り、一方から雨量資料を入れれば、他方から推定流量が出て来る装置を考案してあるので、近い将来にそれが実現することを強く希望している。

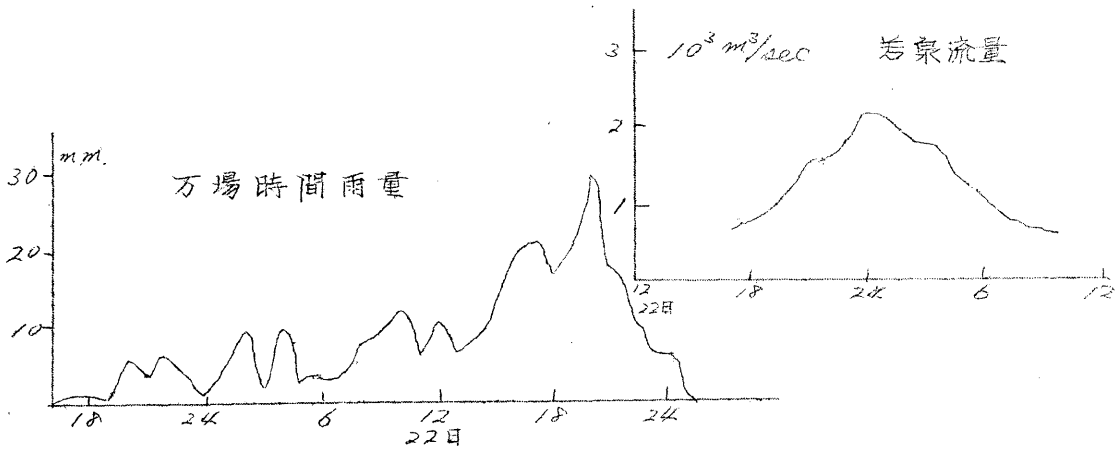
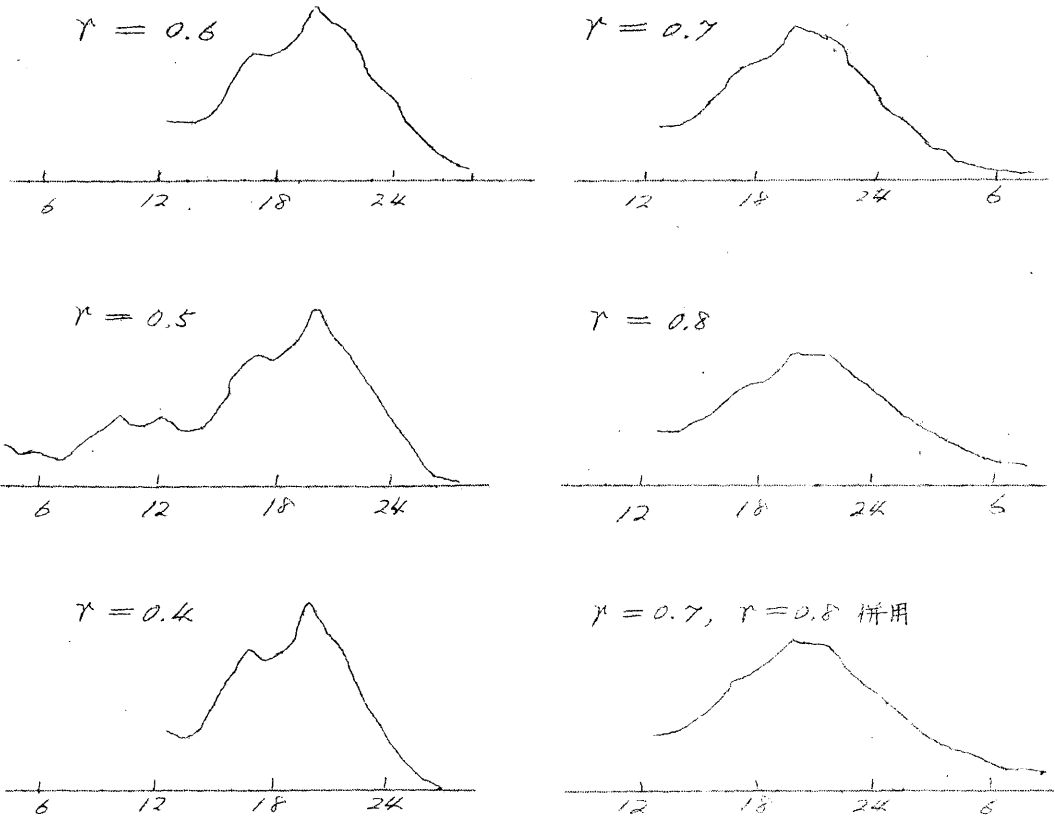
終りに当たって、この研究に対して多大の援助を下さいされた、経済安定本部資源調査会の安芸皎一先生を初めとする諸氏、建設省並びに関東地方建設局、東北地方建設局の諸氏、農林省林業試験場の諸氏に対して厚く感謝したい。

第 2 図



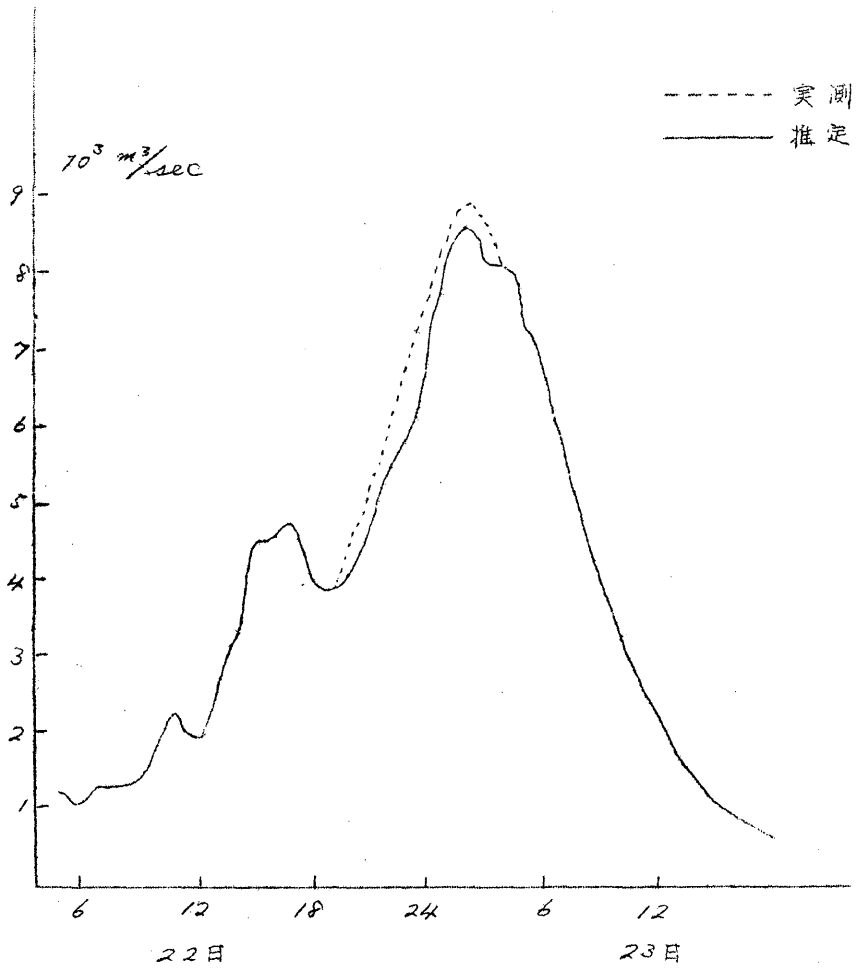
### 第3図 万場雨量より岩泉流量推定

神奈川 昭和16年7月



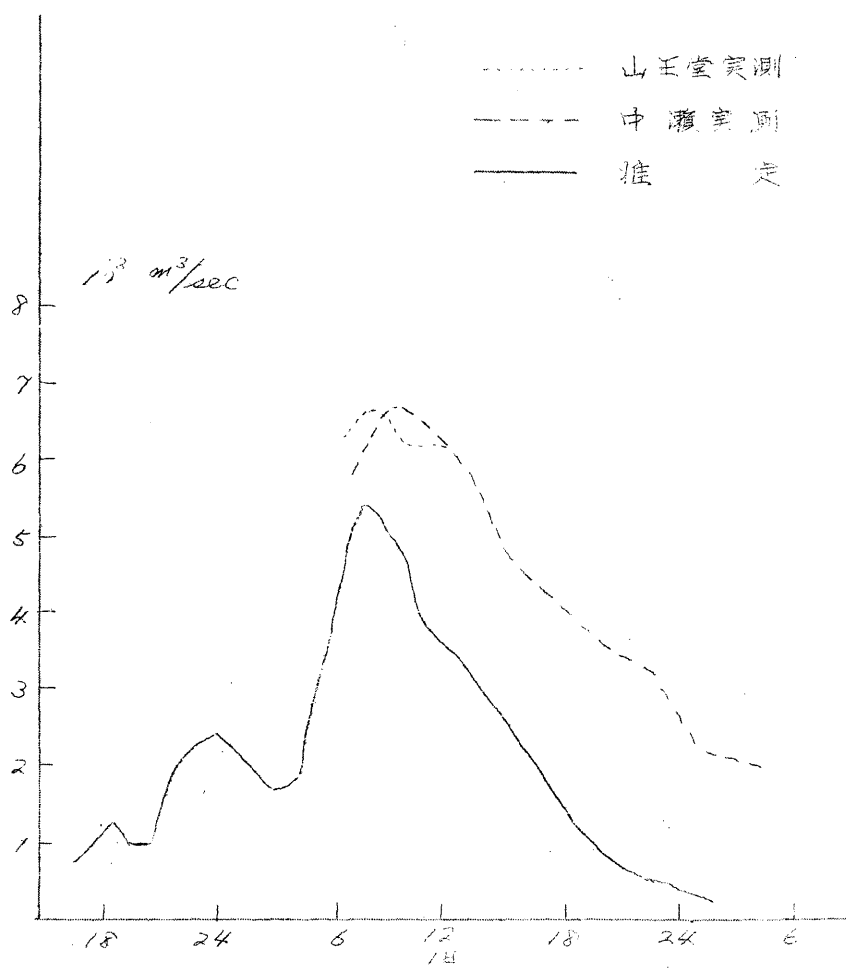
# 第 4 図 入斗島流量推定

昭和 16 年 7 月



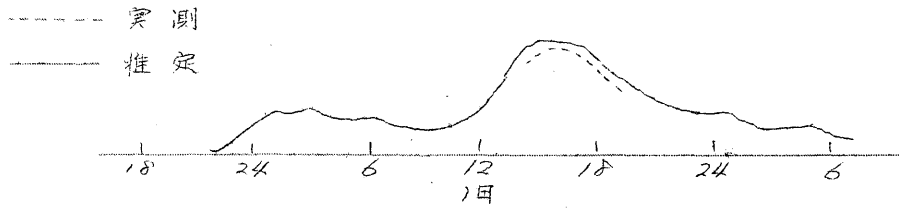
# 第5圖 八斗島推定流量

昭和13年9月



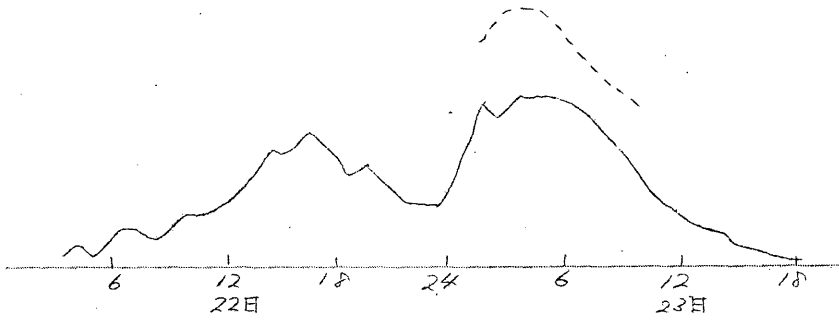
# 第6回 上福島流量推定

13年9月 (東小川, 湯原, 草津雨量)



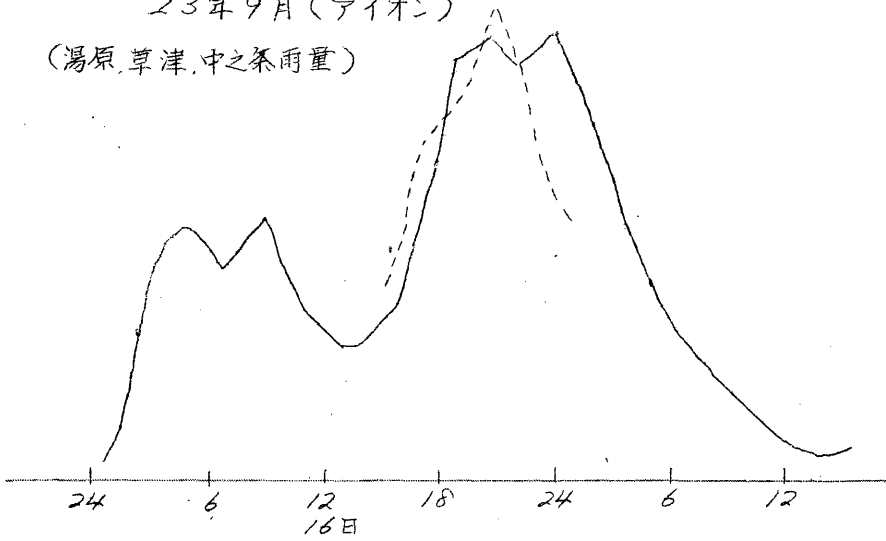
16年7月

(東小川, 湯原雨量)



23年9月 (アイオン)

(湯原, 草津, 中之条雨量)

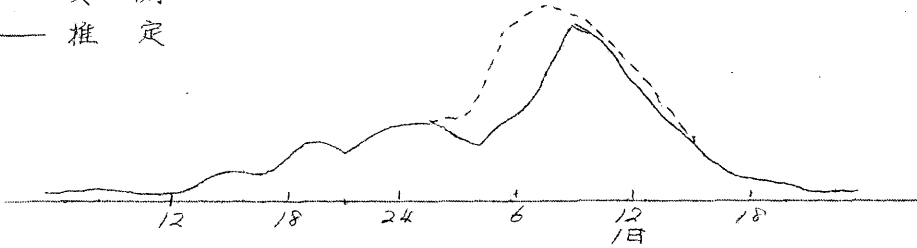


# 第7図 岩算流量推定

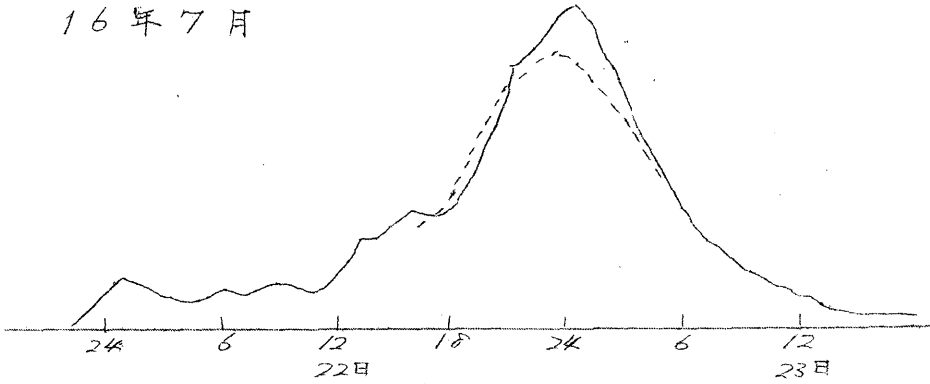
(三之倉, 五科, 下仁田雨量より)

13年9月

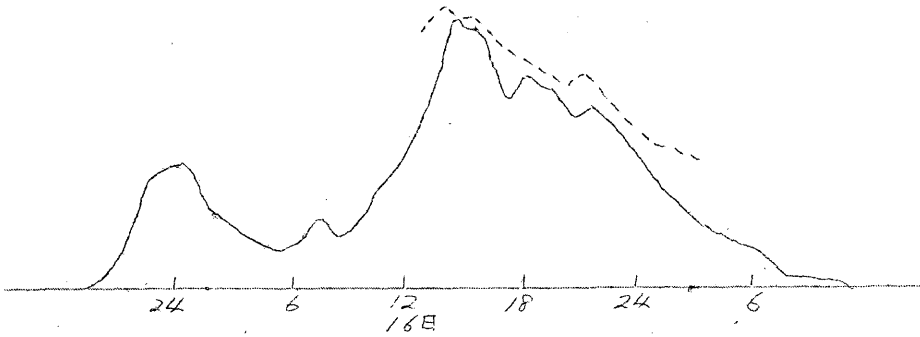
--- 実測  
— 推定



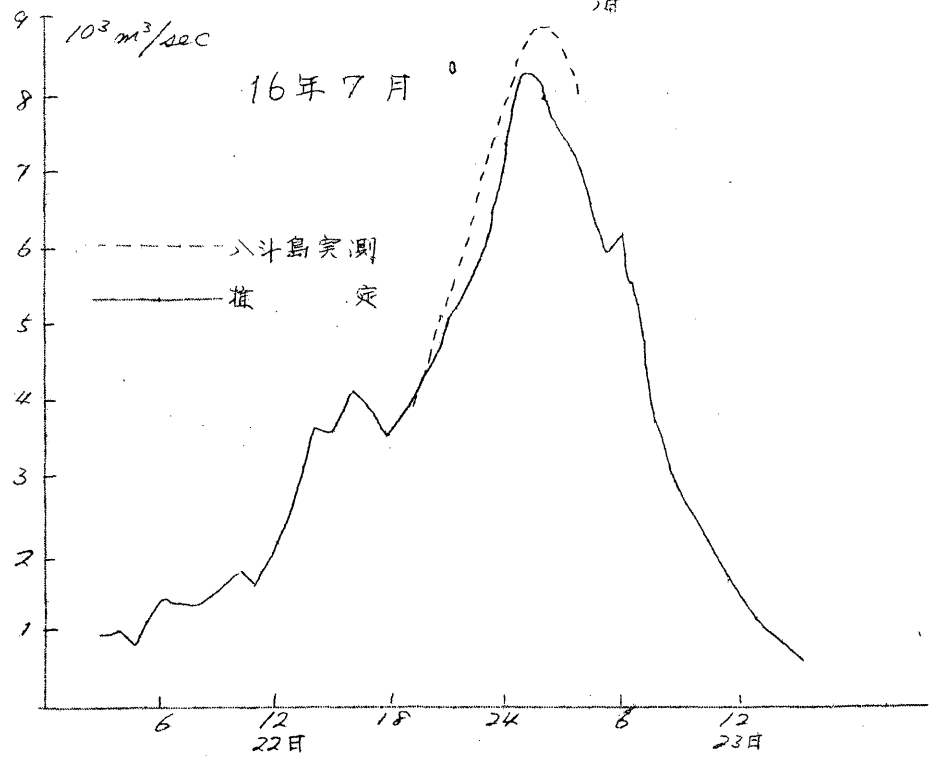
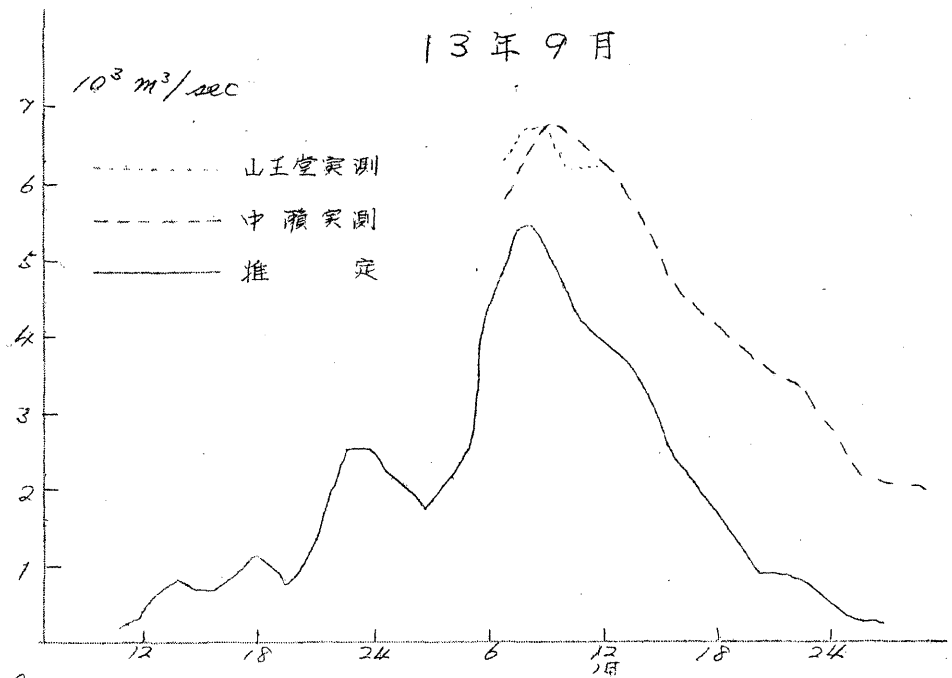
16年7月



23年9月(アイオン)

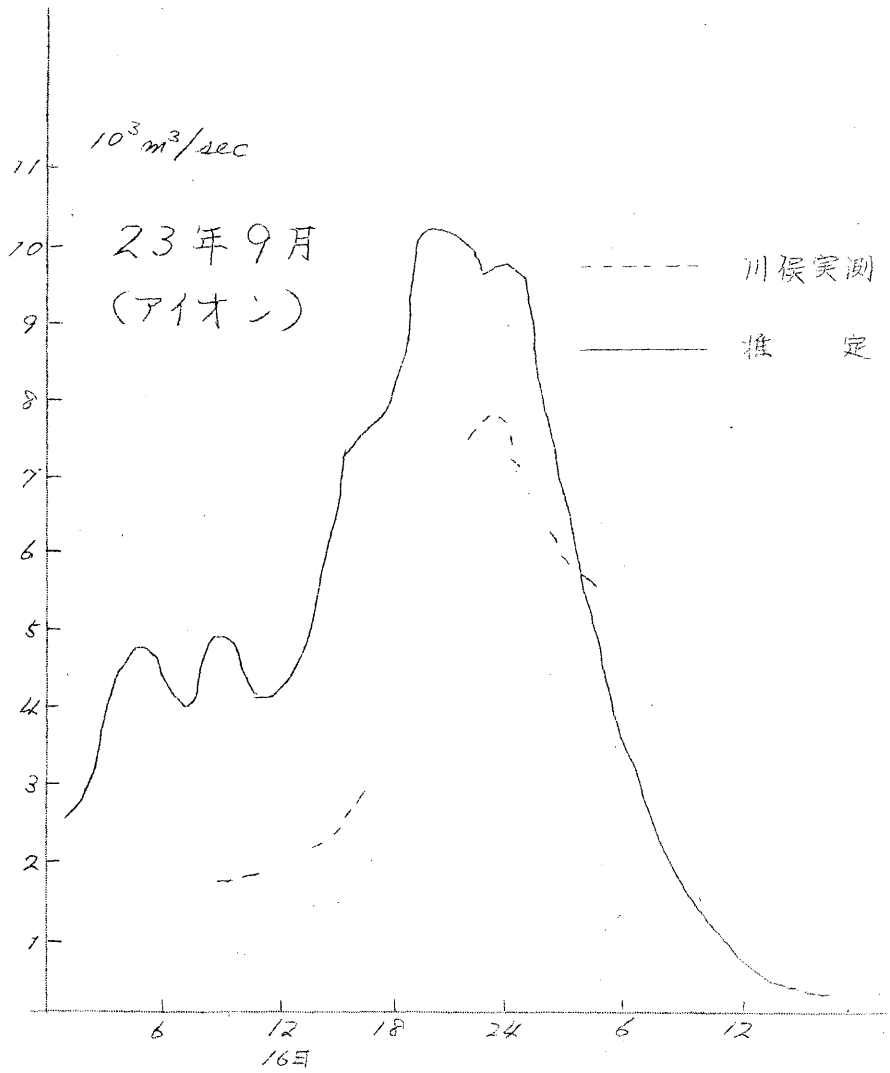


第 8 回 八斗島





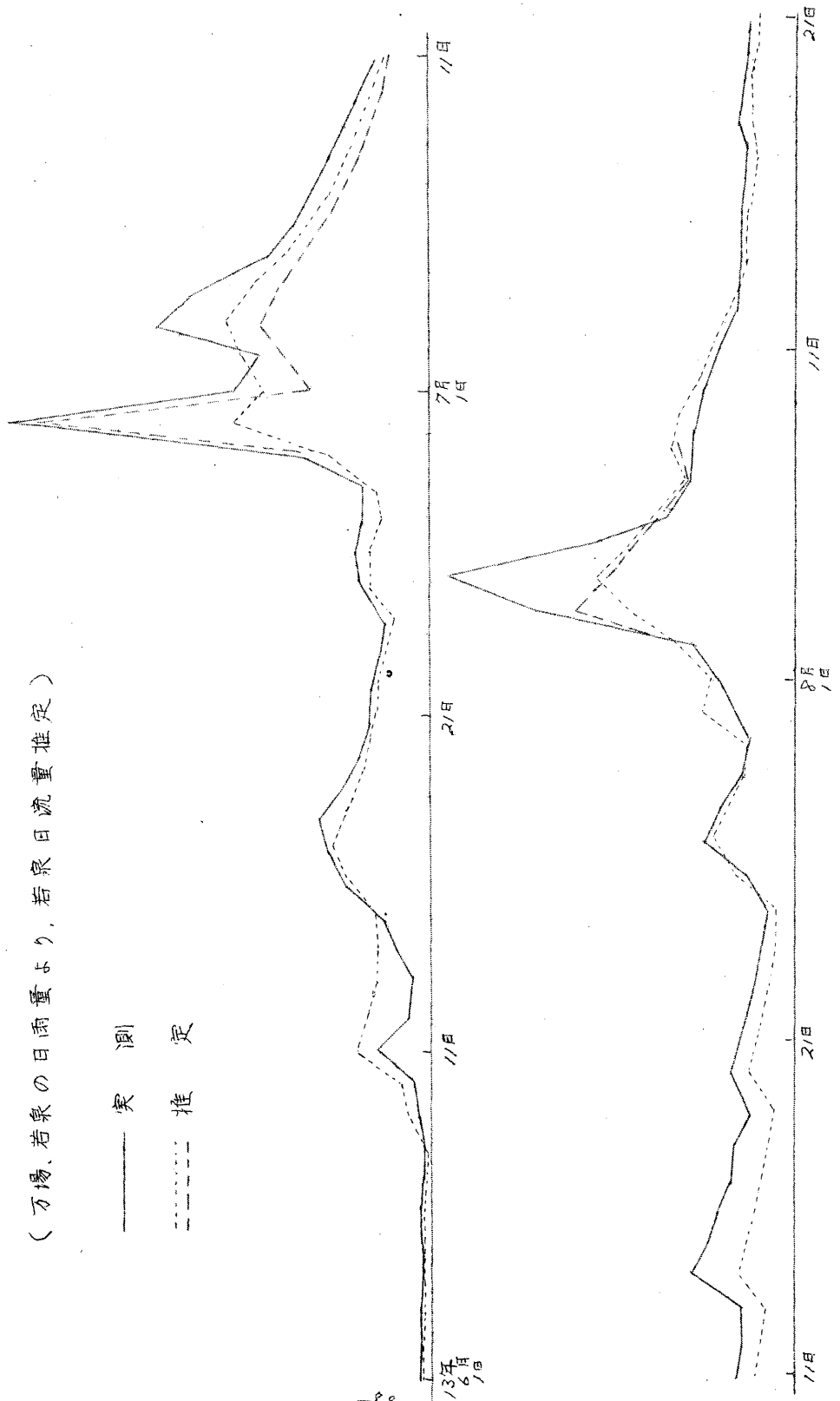
# 流量推定



# 第9図 神流川日流量推定

(万場、若泉の日雨量より、若泉日流量推定)

— 実測  
 - - - 推定

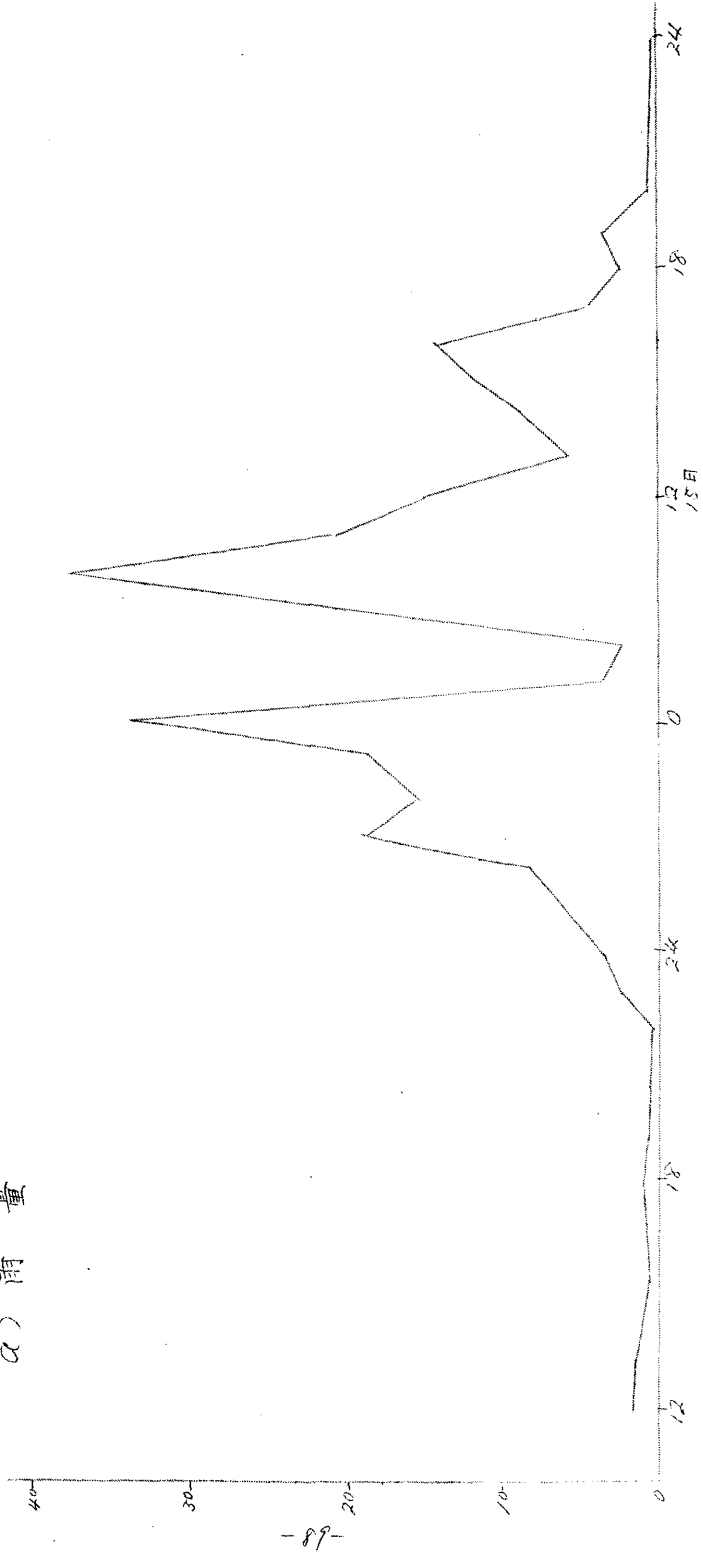


13年  
 6月  
 7日

第10図 宝川洪水流量推定

カスリン台風

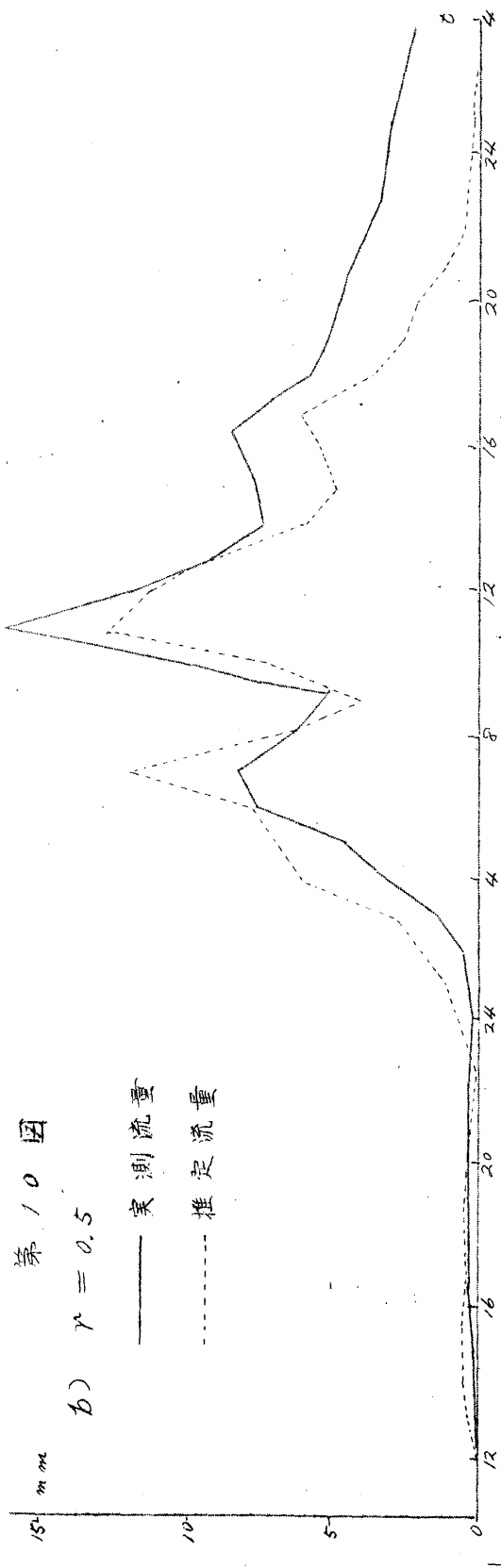
a) 雨量



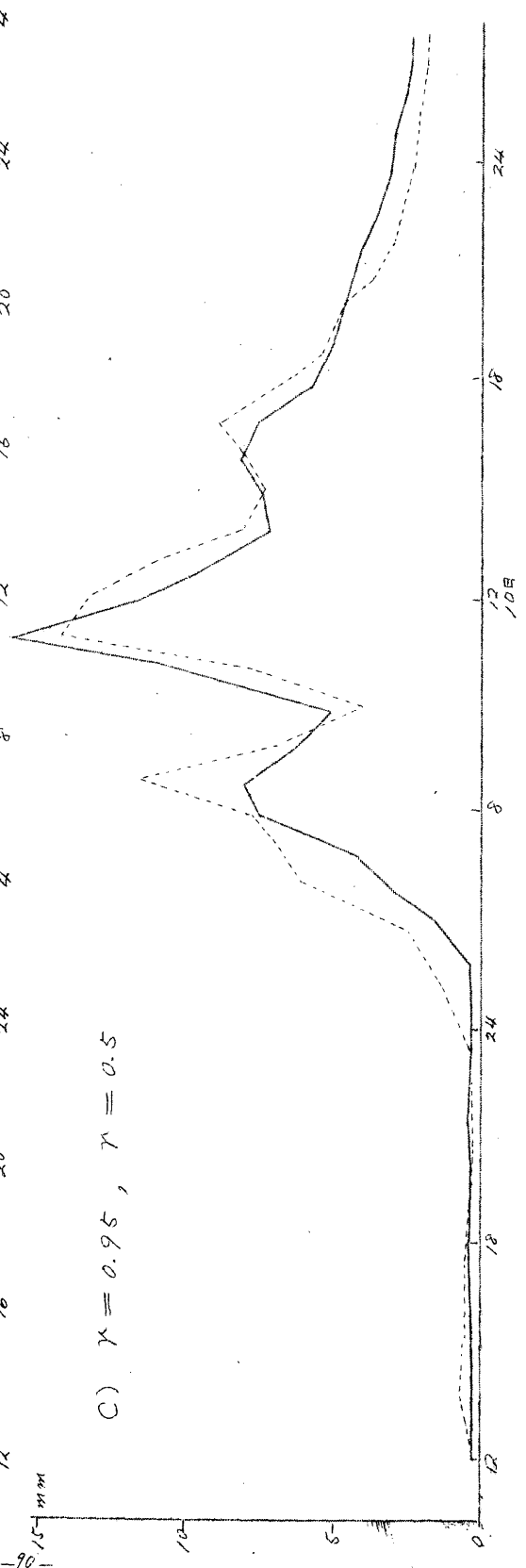
第 10 图

b)  $r = 0.5$

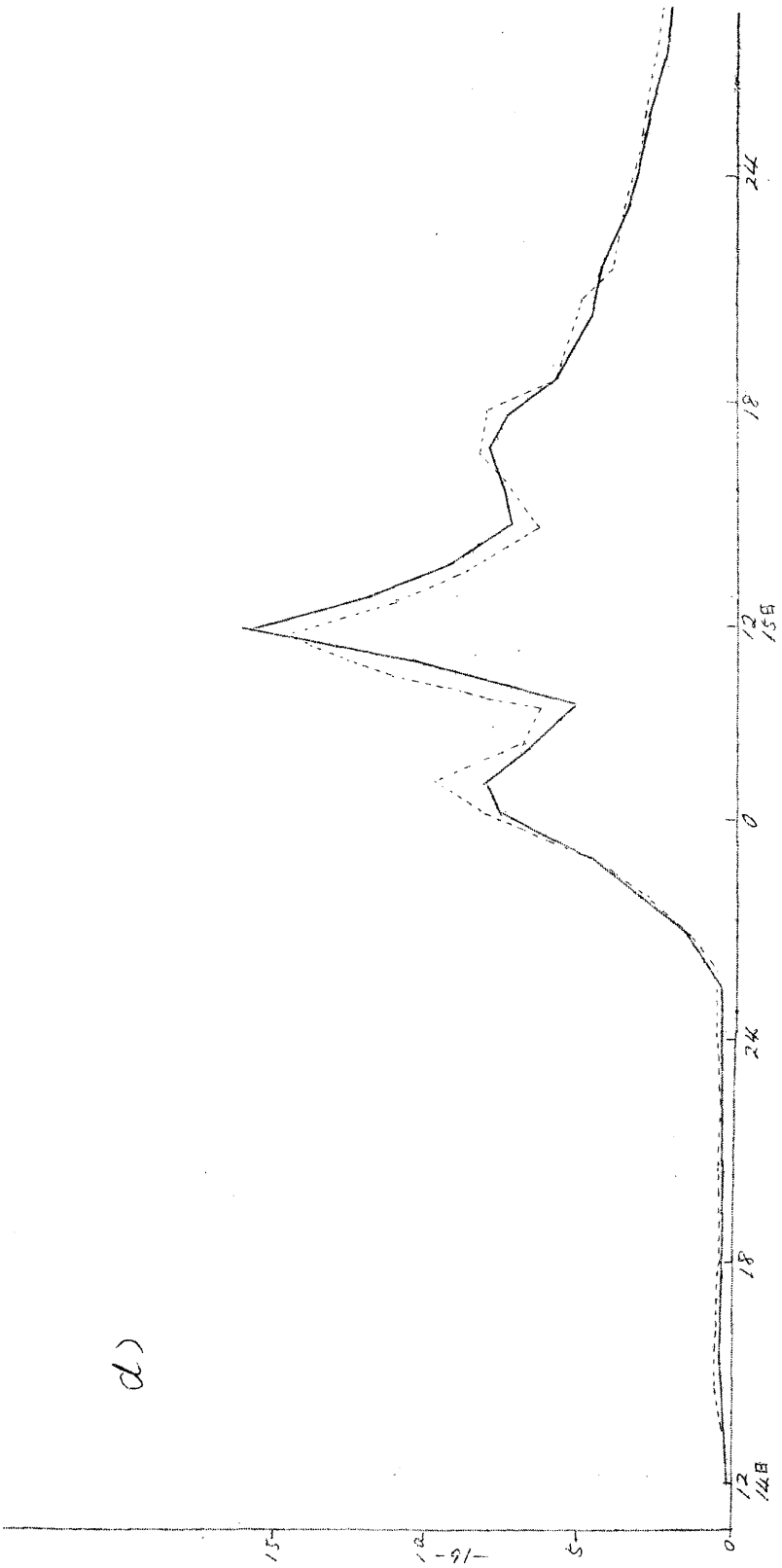
— 实测流量  
- - - 推定流量



c)  $r = 0.95, \tau = 0.5$



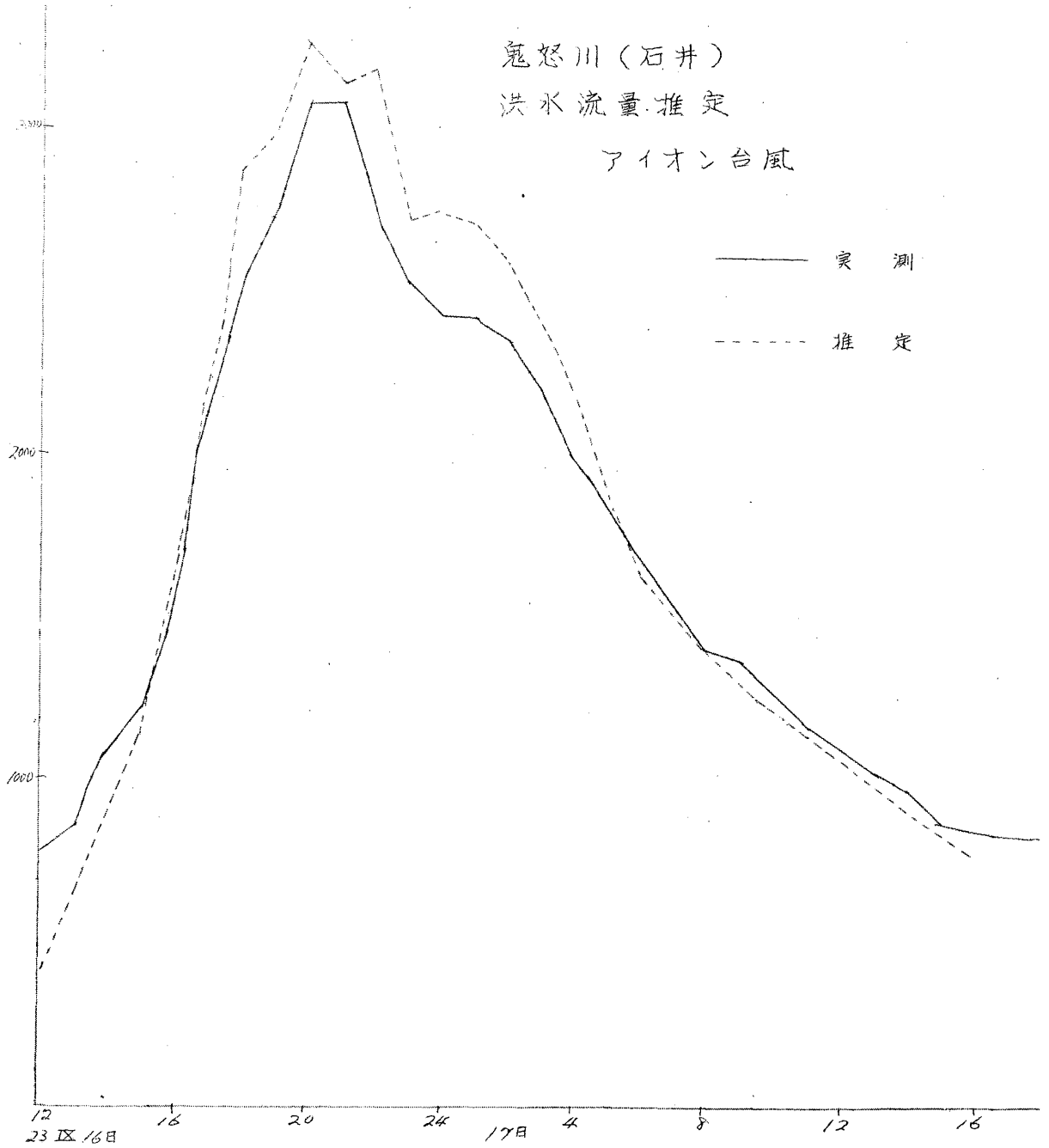
d)



第 11 図

鬼怒川(石井)  
洪水流量推定

アイオン台風



第12図

北上川洪水流量推定

猿ヶ石川

遠野雨量より黄金山流量推定

アイオン台風

— 実測

- - - 推定

