山地流域における計画規模の洪水を対象とした新流出計算法の開発について

新潟大学工学部　正員　岡本芳美

１。はじめに

講演者は、前第２０回の本講演会において、〝滲透能が高い山地流域における流出循環について〟と題して講演し、その席で、山地流域における洪水の流出計算のための線形分布パラメータ型数理モデルを発表した。本講演論文は、そのモデルを改良し、図－１に示す全国８０余の多目的ダム流域で発生した大洪水に適用して、洪水の再現計算を行い、モデルを検証すると共に、中に含まれる諸パラメータの総合化を試みた結果である。

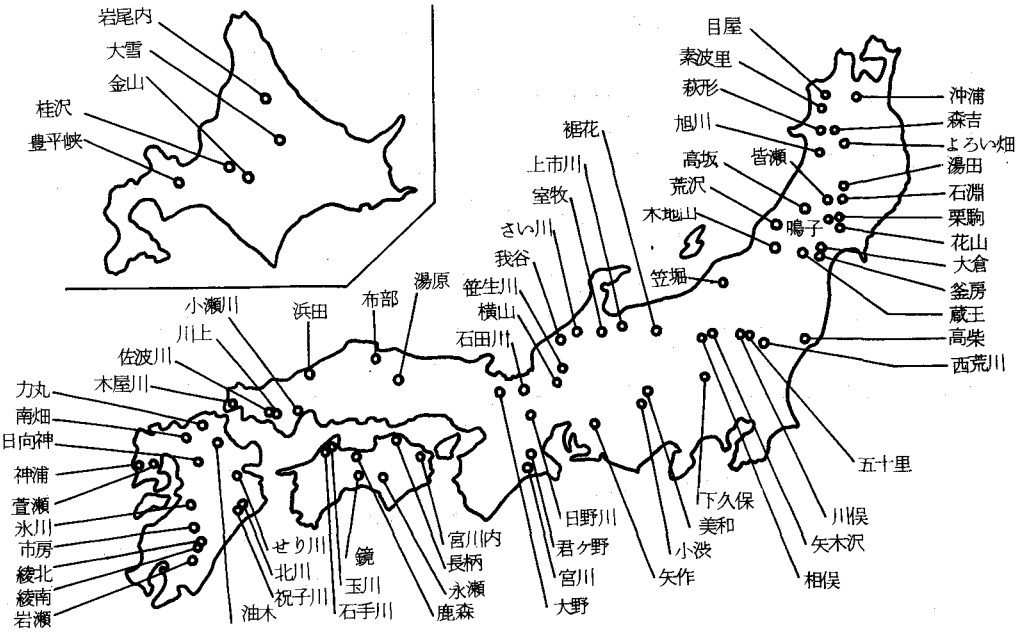
２。山地流域における計画規模の洪水の計算のための講演者の線形分布パラメータ型数理モデル

本モデルにおいては、講演者は、山地流域を斜面と河道に大別している。斜面を、さらに、地形的に次に分類している。①山林、②原野、③湿地・沼地、④畑、⑤水田、⑥宅地、⑦道路、⑧市街地。そして、それらは、流域の中に均等に分布しているものとする。河道は、原則として、面積を持たない線であつて、線形河道網と、その下流端に位置する線形貯水池により構成されているものとする。斜面に降つた降雨の有効分は、斜面の各部分の特性に応じた貯留作用を受た後に、河道に流出し、線形河道網を流下して、線形貯水池に流入し、そこからの流出流量が、すなわち、流域からの流出流量であると考えるというのが本モデルの骨子である。

地形的に八つに分類された斜面において降雨の有効分が受る貯留作用は、次の通り考える。

①山林―山林は、表面流・浅層透過流域と深層透過域に大別される。表面流域は、滲透能が低く、降雨の有効分は、表面流となつて河道に流出（表面流出）する区域である。浅層透過流域とは、ここでは、滲透能が

図－１　再現計算対象多目的ダム流域一覧



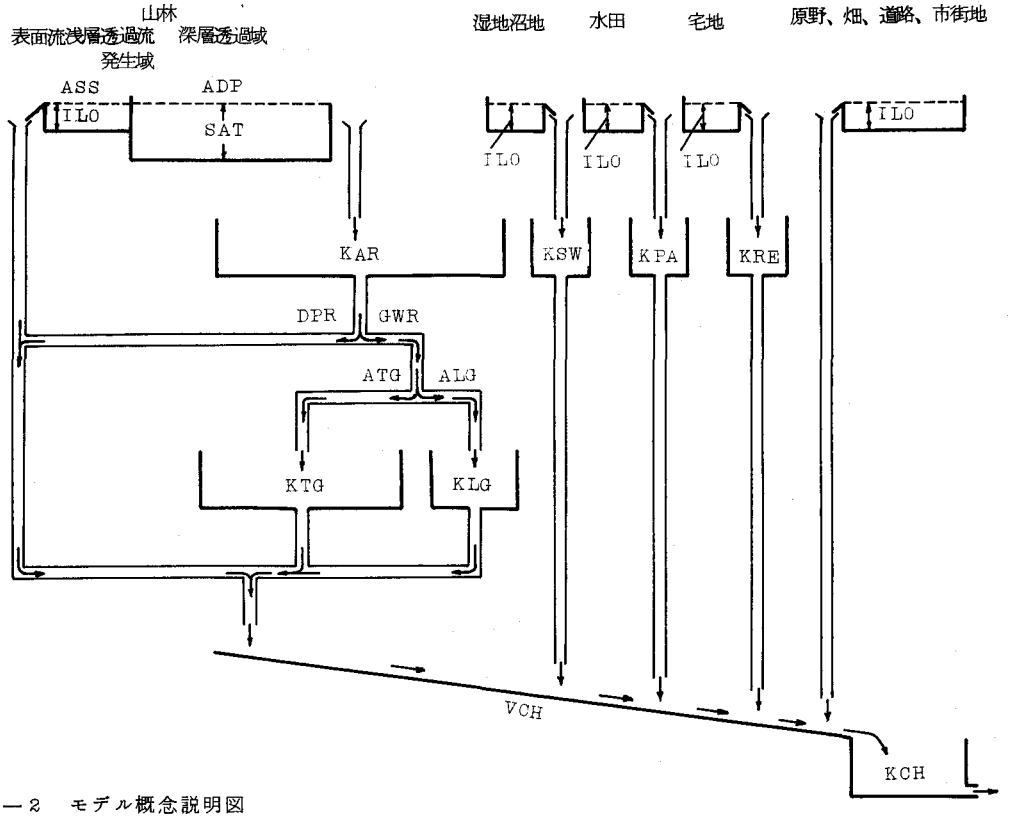
大きく、降雨は、すべて、滲透してしまうが、滲透した降雨の有効分は、土壌水帯中を地表面と平行に流れて（浅層透過流となつて）河道に流出（浅層透過流出）する河道沿いの区域である。表面流と浅層透過流では、その形態が全々異なるが、河道に流出する時間的経過からは、両者は、ほぼ、同一視できるものと考えた。文献３参照。表面流・浅層透過流域の降雨の有効分は、斜面では貯留作用を受ずに、ただちに、河道に流出するものと考える。深層透過域では、降雨は、すべて、土壌水帯に滲透して空の毛管孔隙を満したあとの有効降雨は、すべて、深層に向け透過（深層透過）して行く。中間帯と毛管水帯を流れる有効降雨の一部は、飽水帯に到達する以前に、表面流・浅層透過流域に現われて、そこを表面流や浅層透過流となつて流れて、河道に流出（深層透過流出）する。流域の地下の深部は、地形や地質構造に応じて、ある部分は、常時の飽水帯（永久的飽水帯）になつており、また、残余の部分は、晴天が続くと地下水は存在しないが、大雨のあとの比較的短い期間は、飽水帯（一時的飽水帯）となつている。深層に透過した降雨の有効分から深層透過流出分を差し引いた残りの分は、永久的飽水帯と一時的飽水帯に到達して、地下水となり、そこから河道に流出（永久的地下水流出・一時的地下水流出）する。すなわち、山林部分からの総流出は、表面流出と浅層透過流出、深層透過流出、一時的地下水流出と永久的地下水流出の総和であると考える。そして、通気体と飽水帯は、共に、線形貯水池であると仮定する。すなわち、山林部の地下には、線形貯水池が縦に連なつていると考えるものである。

②原野ー原野は、最終滲透能が零の、表面流出のみが発生する地域と考える。

③湿地・沼地ー湿地・沼地は、滲透能が零で、窪地貯留が満足されたならば、すなわち、河道への出口の敷まで降雨がたまつたならば、流出が開始される線形貯水池と考える。

④畑ー畑は、原野同様に、考える。

⑤水田ー水田は、湿地・沼地と同様に、考える。



図ー２　モデル概念説明図

⑥宅地―宅地は、最終滲透能が零の、表面流出のみが発生する地域と考える。ただし、地形としては、おおむね、水平に整地されているので、貯留作用の極小さな線形貯水池であると仮定する。

⑦道路―道路は、原野や畑と同様に考える。

⑧市街地―市街地は、最終滲透能が零の、都市排水施設の備つた、表面流出のみ発生する地域と考える。

次に、降雨の有効分、すなわち、時間有効雨量の算定の仕方は、各地形区分、共に、降雨開始からの累加雨量がある量に達つするまでは、降雨量は、総て、損失雨量になり、それを越たならば、それ以後の雨量は、総て、有効雨量になると考える。山林の表面流・浅層透過流域、原野、畑、宅地、道路、市街地部分は、それぞれに、降雨の極初期、累加雨量がそれほど多くない段階で、流出が開始されるものとし、その平均的な値をもつて初期損失雨量と名付ける。すなわち、そこでは、累加雨量が初期損失雨量を越たならば、雨量は、有効雨量に転ずると考える。山林部の深層透過域では、累加雨量が相当量に達した時点以降の雨量が有効雨量に転ずるものと考え、また、この時点では、流域全体が飽和していることから、この累加雨量を飽和雨量と名付けることとする。すなわち、初期損失雨量と飽和雨量という二つのパラメータをもつて、時間有効雨量を算定する。

以上から、本モデルには、地形区分を除いては、１４ケのパラメータが存在する。すなわち、まず、降雨開始時の流域の湿りの度合を規定するものとして、ⓐ初期流量（ＩＦＬ）、ⓑ初期損失雨量（ＩＬＯ）、ⓒ飽和雨量（ＳＡＴ）の三つがある。次に、山林部においては、表面流・浅層透過流域と深層透過域の、各、占める割合を示す―ⓓ表面流・浅層透過流域面積率（ＡＳＳ）と深層透過域面積率（ＡＤＰ）、地下の一時的飽水帯と永久的飽水帯の、各、占める割合を示す―ⓔ一時的飽水帯面積率（ＡＴＧ）と永久的飽水帯面積率（ＡＬＧ）、深層透過流出と地下水流出への有効降雨の分配率を現わす―ⓕ深層透過流出分配率（ＤＰＲ）と地下水流出分配率（ＧＷＲ）、中間帯や毛管水帯の貯留作用を現わす―ⓖ通気帯貯留係数（ＫＡＲ）、ⓗ一時的飽水帯貯留係数（ＫＴＧ）、ⓘ永久的飽水帯貯留係数（ＫＬＧ）の６ケがある。山林部以外では、ⓙ湿地・沼地の貯留係数（ＫＳＷ）、ⓚ水田の貯留係数（ＫＰＡ）、ⓛ宅地の貯留係数（ＫＲＥ）の三つがある。河道には、河道網の集中作用を現わす―ⓜ河道集中速度（ＶＣＨ）、河道の貯留作用を現わす―ⓝ河道貯留係数（ＫＣＨ）の二つがある。

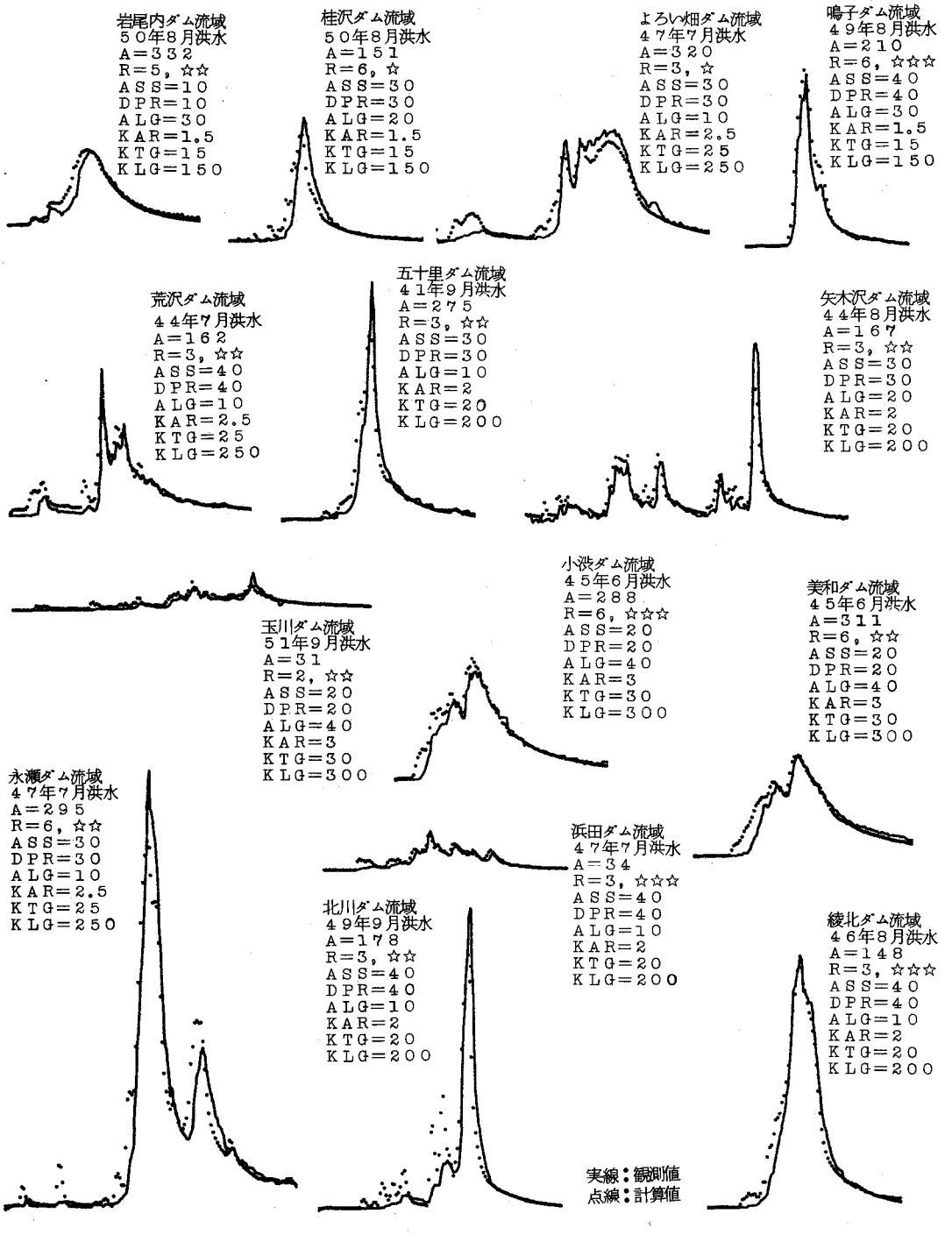
本モデルの特徴の一つとしてあげられることは、各パラメータの持つ物理的な意味が、はつきりと、定義されていることである。これらのパラメータは、その値が解析的に求まるものと、試算により求まるものの二種類に大別することができる。その基本的な考え方は、文献１を参照していただくことで省略し、試算により求める必要のあるパラメータは、以下のものである。すなわち、ⓓ表面流・浅層透過流域面積率と深層透過域面積率、ⓕ深層透過流出分配率と地下水流出分配率、ⓔ一時的飽水帯面積率と永久的飽水帯面積率、の三つである。すなわち、それらは、雨量と流量の関係が判明している洪水に本モデルを適用し、洪水の再現計算を通じて、得られることになる。

３．本モデルの洪水の再現計算を通じての検証と得られた各パラメータの値

本モデルには、先にも述べた様に、値が解析的に決定されるパラメータと、洪水の再現計算を通じて決定されるパラメータの二種類がある。そこで、モデル検証のために、まず、解析的にパラメータの値を決め、次に、試算的パラメータの値を繰り返し仮定し、雨量と流量の関係のはつきりしている洪水の再現計算を行つた。計算は、図－１にかかげた、全国に散らばる、８０余の多目的ダム流域で発生した、ピーク流量の比流量が１㎥／sec／Km²以上で、総雨量が飽和雨量を、はるかに、越えていると思われる、主要洪水について行つた。ダム流域で観測された洪水を再現計算に用いる際の問題点は、流量は、いうなれば、升で計られているのであるから、相当に、正確であるのに対して、雨量の精度は、雨量計の設置密度や絶対数、その時の気象状況によつて、流域毎に、また、同じ流域であつても、洪水毎に相当良かつたり、悪るかつたりするこ

とである。ある程度以下に雨量精度が下がると、モデルの検証、ならびに、パラメータの値を求めるために、洪水の再現計算を行うことの意味がなくなる。図－３は、本モデルによる洪水の代表的再現例である。

◉図－３　洪水の代表的再現例--Ａ：流域面積（㎢）、Ｒ：雨量計数、☆：面積雨量の精度の良悪〔☆☆☆：良、☆☆：普通、☆：悪〕、ＡＳＳ・ＤＰＲ・ＡＬＧの単位は%、ＫＡＲ・ＫＴＧ・ＫＬＧの単位はｈｒ、ＫＳＷ＝６ｈｒ、ＫＰＡ＝３ｈｒ、ＫＲＥ＝１ｈｒ。



図－４の１と２は、本モデルによる洪水の再現過程を説明している

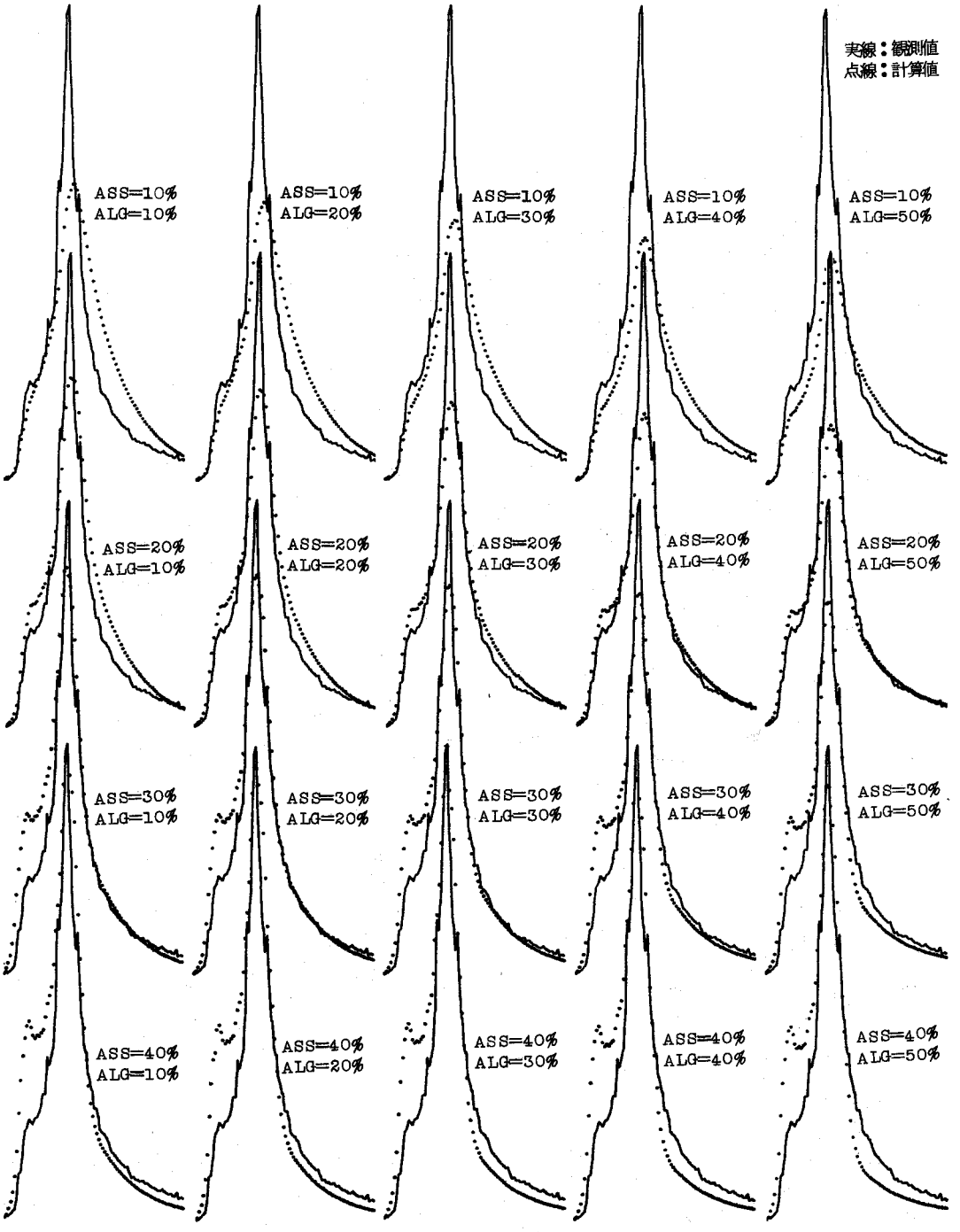
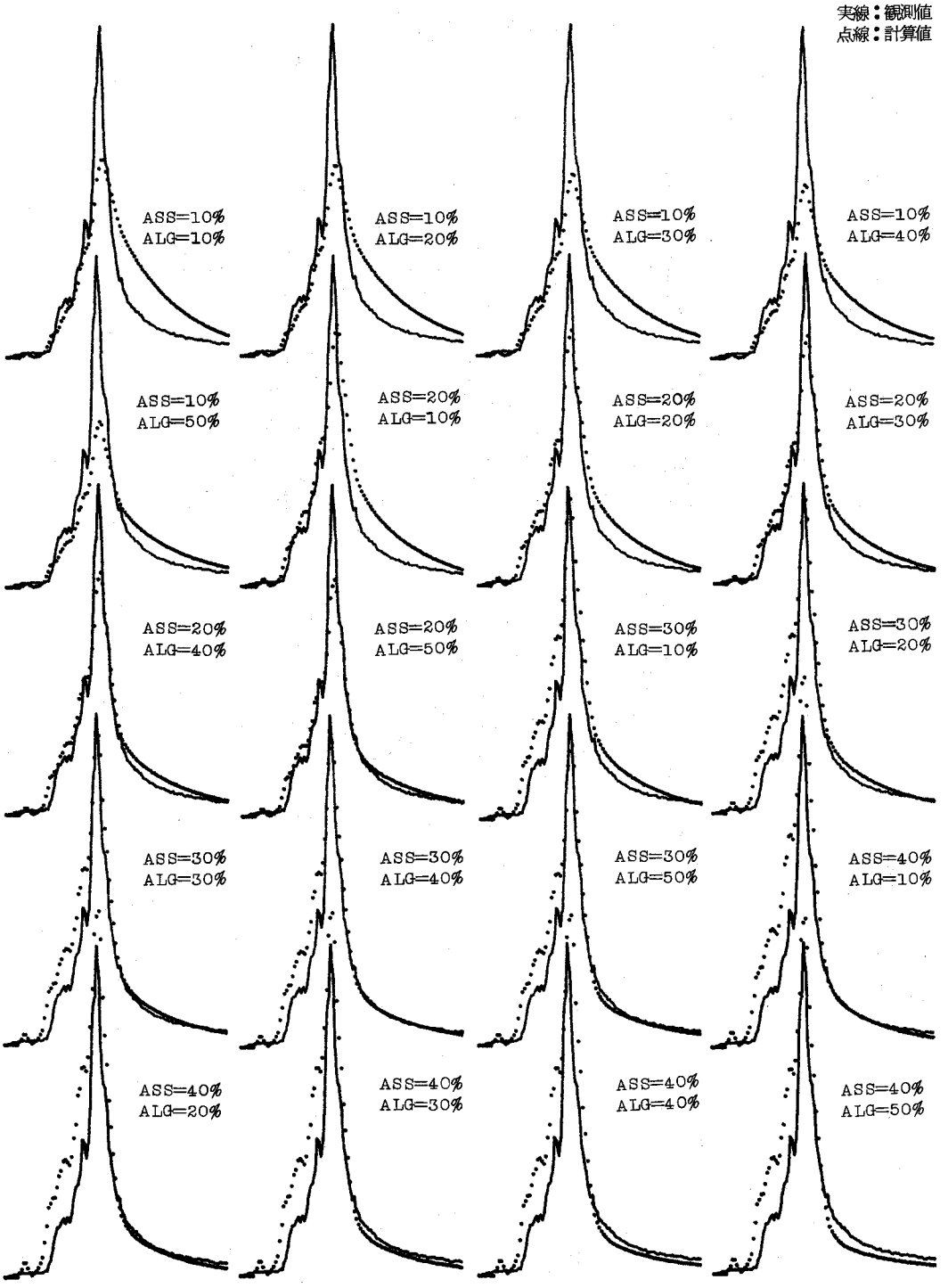


図--４の１　試算による洪水の再現計算の過程の例—木曾川水系横山ダム流域昭和５０年８月洪水

パラメータの値－ＩＦＬ＝１９㎥/sec、ＩＬＯ＝２０㎜、ＳＡＴ＝６０㎜、ＤＰＲ＝ＡＳＳ、ＫＡＲ＝２hr、ＫＴＧ＝２０hr、ＫＬＧ＝２００hr、ＫＰＡ＝３hr、ＫＲＥ＝１hr。ＡＳＳとＡＬＧは、図中に記入されている。Ａ＝４７１Km²。

面積雨量の精度－本洪水の面積雨量の精度は、一十数％程度と、講演者は、推定している。雨量計数７。



図－４の２　試算による洪水の再現計算の過程の例－矢作川水系矢作ダム流域昭和５０年８月洪水

パラメータの値－ＩＦＬ＝２３㎥/sec、ＩＬＯ＝２０㎜、ＳＡＴ＝６０㎜、ＤＰＲ＝ＡＳＳ、ＫＡＲ＝３hr、ＫＴＧ＝３０hr、ＫＬＧ＝３００hr、ＫＰＡ＝３hr、ＫＲＥ＝１hr。ＡＳＳとＡＬＧは、図中に記入されている。Ａ＝５０５㎢。面積雨量の精度－本洪水の面積雨量の精度は、一数～十％程度と、講演者は、推定している。雨量計数５。

次に、いくら、洪水の本モデルによる再現度が見かけ上は良くても、再現計算を通じて試算的に得られたパラメータの値が物理的に説明がつけられない様な値になる時は、その再現は、実質的には、意味を持たないものと考えるべきである。全国８０余の多目的ダム流域について、洪水の再現を通じて得た、現段階におけるパラメータに関する結論は、次の通りである。

まず、解析的なパラメータは、次の通りである。

初期損失雨量（ＩＬ０）―降雨開始後、ハイドログラフが立ち上がりを見せるまでの累加雨量。

飽和雨量（ＳＡＴ）―ハイドログラフの流量が急激に上昇し始じめるまでの累加雨量。

初期流量（ＩＦＬ）―相当期間無降雨が続いた後の、降雨開始時の流量。

永久的飽水帯貯留係数（ＫＬＧ）―地下水の原逓減曲線の逓減係数の逆数。

一時的飽水帯貯留係数（ＫＴＧ）―ＫＬＧの１０％前後の値。

通気体貯留係数（ＫＡＲ）―ＫＬＧの１％前後の値。

水田の貯留係数（ＫＰＡ）―３hr程度の値。文献２参照。

湿地・沼地の貯留係数（ＫＳＷ）―ＫＰＡの二倍前後の値。

宅地の貯留係数（ＫＲＥ）―１hr程度の値。文献２参照。

河道集中速度（ＶＣＨ）―いわゆる、ババリア地方の公式を用いれば良い。

河道貯留係数（ＫＣＨ）―リンスレーの提唱した式〔$K = b L A^{*} S^{-1/2}$ ここで、Ａ：流域面積（mile²）、Ｌ：幹川流路長（mile）、Ｓ：幹川流路の平均勾配（feet/mile）、ｂ：係数で、その値は、0.04 ～ 0.08 の範囲、本モデルでは、0.04 を採用〕を用いれば良い。文献５参照。

次に、試算的パラメータについては、次の通りである。

表面流・浅層透過流域面積率（ＡＳＳ）―２０～３０％前後の値であることが多い。

深層透過流出分配率（ＤＰＲ）―ＡＳＳと、ほぼ、同値をとる。

永久的飽水帯面積率（ＡＬＧ）―流域の地形や地質構造により相当の幅がある様で、１０～５０％の値、平均的に見ると、２０～３０％の値が多い。

洪水の再現計算を行つて見てわかつたことは、洪水の流出計算に線形分布パラメータ型のモデルを用いる場合には、パラメータの値が一つ一つについては正確に与えられていなくとも、夫々が当らずといえども遠からずの範囲内に決められているならば、結果的には、相当良い再現度が得られるということである。これは、図－４を見ていただければ、良く、御理解いただけよう。すなわち、これは、各パラメータにより生ずる誤差が互いに打ち消し合う作用をするためであろうと考えられる。

本モデルの持つパラメータの総合化は、未だ、完成していないが、全々水文資料のない流域で洪水の流出計算を行おうとする場合、パラメータの各値を次の様に設定すれば、ピーク流量の精度が±１０～２０％、その発生時刻の精度が±１時間位の結果は、楽に、得られよう。すなわち、ＡＳＳ≒３０％、ＤＰＲ＝ＡＳＳ、ＡＬＧ≒２０％、ＫＡＲ≒１．５hr、ＫＴＧ≒１５hr、ＫＬＧ≒１５０hr、ＫＰＡ≒３hr、ＫＳＷ≒６hr、ＫＲＥ≒１hr とし、ＩＦＬは、比流量から求める。ＩＬＯとＳＡＴの値については、文献４を参照されたい。したがつて、計算ピーク流量に対いしては、安全率として１．１～１．２なる値をかけてやれば良い。これによつて、現在、広く用いられているラショナル式法より、はるかに、合理的な結果が得られよう。

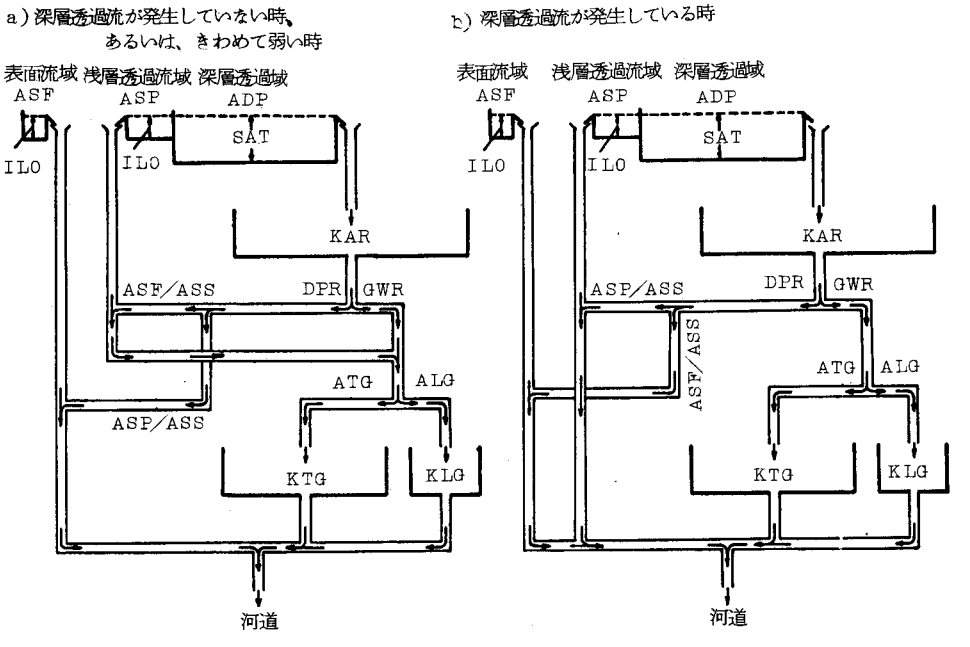
４．洪水の再現計算を行つた結果得られた本モデルの問題点、ならびに、関連問題点

講演者は、本モデルを組み立てるに当つて、累加雨量が初期損失雨量をこえた時点で浅層透過流が発生するものと考えた。しかし、この様な考え方では、累加雨量が初期損失雨量をこえて飽和雨量に達つする間の洪水の再現が、どうしても、満足の行く結果にならないことが判明した。現時点における、この点に関する考え方は、次の通りである。すなわち、累加雨量が初期損失雨量をこえたならば、無条件に、浅層透過流が

発生するのではなく、その要件としては、深層透過流の存在が必要である。すなわち、浅層透過流域においては、深層透過流が発生するまでは、有効降雨は、総て、通気帯を経て、飽水帯に向け透過して行くと考えた方が良い。したがつて、表面流域と浅層透過流域を一括して、パラメータＡＳＳを設定していたものを、表面流域面積率（ＡＳＦ）と浅層透過流域面積率（ＡＳＰ）に分割し、山林部斜面については、モデルを図－５の様に改訂すべきであると考えている。この改訂モデルによる洪水の再現結果については、本講演会の席上で述べたいと思う。

次に、関連問題点に移つて、洪水の再現計算の対象となつた多目的ダム流域には、建設省の統一規準に従つて、テレメータ化された雨量計が配置されている。この規準は、時代によつて変えられて行つている様であるが、おおむね、５０～７５Km²に一点の割合で多目的ダム流域には雨量計が配置されている様である（栗駒ダムは、建設省所管の多目的ダムではない。）。これまでの二三の研究・調査結果によると、この程度の雨量計配置密度により得られる面積雨量の精度は、おおむね、±１０％以内であるといわれている。しかし、講演者は、これに対して大きな疑問をいだいている。流域の気候をとらえる目的であれば、この程度であれば、十分であろうが、個々の洪水について、必らず、±１０％以内の精度で面積雨量を得るためには、雨量計の配置密度と最低配置数、ならびに、雨量計の構造と設置条件に、もつと、検当が加えられる必要があろう。講演者のこれまでの調査結果によると（文献４参照）、個々の洪水について見ると、観測された地点雨量から面積雨量を計算した場合、真の値（それは、知り得ないが）より大きな値が得られていることは、まず、無く、たいがいは、少くな目に、しかも、その割合が三から五割にもおよぶと考えられる場合が多々ある。講演者は、ここで述べている様な分布パラメータ型のモデルのパラメータの値を洪水の再現計算を通じて求め様とする場合には、面積雨量の精度は、±１０％、ないし、せいぜい、±１５％以内に収さまつていなければならないと考えている。これよりも悪い場合は、適格なパラメータの値を試算的に求めることは、無理であろうと考えている。その様な場合は、解析的な方法に切り換える必要が生じよう。面積雨量の精度がどんな洪水に対しても、必らず、±１０％以内に求められる流域は、そう、ざらには、ない。しかし、多目的ダム流域の場合は、観測された多くの洪水の中には、必要条件を満たした洪水が、少なくとも、一つ位はあると考えて見て、間違えないであろう。

図－５　改訂モデル－山林部斜面のみを示す。



5。おわりに

講演者は、本モデルによる流出計算の仕方を〝修正単位図法〟と名付けている。その理由は、斜面から河道に流出した降雨の有効分が計算地点にまで流れて行く過程を、単位図法を用いて計算するからである。ここでは、単位図は、集中面積図を追跡することによつて得られる。

本線形分布パラメータ型数理モデルを、さらに、できるだけ多くの流域・洪水に適用して、パラメータの総合化を計り、修正単位図法を完成したいものと、講演者は、念じている。

6。謝辞

本法開発のために、御援助・御協力をいただいている多くの方々に対し、心からの感謝の意を表するものであります。

7。参考文献

1）岡本芳美　滲透能が高い山地流域における流出循環について　第２０回水理講演会論文集
2）岡本芳美　流域の都市化についての一考察　土木学会第３１回年次学術講演会講演集第２部
3）岡本芳美　山腹における降雨の貯留作用について　第１９回水理講演会論文集
4）岡本芳美　山地河川の洪水流出高について　第１８回水理講演会講演集
5）LINSLEY, KOHLER, PAULHUS APPLID HYDROLOGY McGRAW-HILL P 532