

大野川上流域の水文特性に対する一考察

高山 茂 美

1) 緒言

河川の流域は水文学的に見ると、降水から流出への変換の場であり、地形学的には正規輪廻の進行過程における一断面を表す。降水から流出への変換過程を理解するためには、流出現象の入力である降水の特性と流出現象の場を規定する流域特性とを把握する必要がある。降水特性としては降水量分布、降水強度、降水継続時間などがあり、流域特性としては植被、地質、流域形状、流域面積、流域内の高度及び傾斜分布、水系配置などが考えられる。この内、植被、地質などの特性は定量化し難いが、流域表面の地形特性は定量化が可能で流出のシステムをモデル化して考察する場合に基本的に重要な指標である（高山1978）。

大分県南西部を流域とする大野川についてその水文地形学的特性を前回の報告（高山1999）で述べた。その折に流域面積、幹川流路延長などの諸元について触れ、水系網の次数区分による水系網解析を行ったので、ここでは、これらの諸量の記載および水系網の法則についての追試結果を省略する。本報告では1982年7月、1990年7月、1993年9月の梅雨前線や台風に伴う洪水災害をとりあげてその出水時の水文学的特性について検討を加えてみた結果、若干の知見を得たので報告する。

本研究の遂行に際して現地調査のための旅費の一部を1999年度敬愛大学環境情報研究所研究費に

よったことを付記して謝意を表する次第である。

2) 大野川上流域の水害について

明治期以降100年以上を経過して、大野川上流域はこれまで所謂激甚災害に見舞われることもなかったといえる。しかし、1982年7月の中旬から下旬にかけての梅雨前線による洪水災害をはじめとして近年になり大雨による洪水災害を頻繁にうけるに到った。すなわち、この8年後の1990年7月2日、さらにその3年後の1993年9月3日の都合3回この地方としては大きな洪水災害に見舞われた。特に1993年9月3日九州南部に上陸した台風13号は観測史上3番目の強さ（930ヘクトパスカル）と言われ、九州各地に甚大な被害を齎した。大野川上流域のほぼ中心にある竹田市では台風が薩摩半島に上陸した9月3日夕刻から4日未明にかけて暴風域に入り、時間雨量50ミリ近い大雨に襲われ、この記録的大雨のため市内を流れる河川の氾濫や住宅の浸水、土砂崩れが頻発した。竹田市では過去において1982年及び1990年に大野川の支流である稲葉川と玉来川を中心に大水害を受けたが、1993年の水害はこれまで余り激しい災害を経験したことのない竹田市南部の大野川の支流の緒方川水系で過去にない氾濫が起こった。宮砥地区では死者3人、行方不明1人、住宅の全壊9棟、半壊10棟、床上浸水37棟、床下浸水61棟を数えた。

被害戸数はそれほど大きいとは言えないが、過疎地で未曾有の水害をうけたことを考慮すると、看過できないものが有る。また稲葉川、玉来川流域でも前回の水害から僅か3年しか経過してないため、前回の災害復旧工事が未だ終わっていない部分もあったと聞く。公共土木施設、農地、農業用施設など大規模な被害を受けた。前回の水害で復旧したばかりの豊肥線が緒方川にかかる橋梁の流失により再び不通となり、一時は廃線という噂も流れたほど壊滅的被害をうけた。

3) 降水量、流量の経年変化について

対象流域の降水量の資料は建設省河川局発行の雨量年表掲載の波野と宮砥の2地点、流量の資料は同局刊行の流量年表所載の犬飼と白滝橋の観測値を用いた。観測期間は1975年から1997年まで24年間にわたる。

観測記録そのものは1961年からあるが、断続的でその間欠測も多く、連続した記録は1975年以降

となる。流量の記録も白滝橋については1956年から、犬飼については1961年からあるが、1974年以前は欠測が多く、連続した記録としては1974年以降が整備されている。

洪水を齎した大雨は過去数10年間の統計資料によってみても記録的降水量であるが、3回の洪水時の流量よりも量的には上回っていても洪水災害を惹起しなかった場合が見受けられる。たとえば、1992年の8月10日には犬飼、白滝橋の2地点における日最大流量はそれぞれ2,320.3トン/秒と2,013.3トン/秒であって犬飼での9月3日における日最大流量の1,744.6トン/秒を上回る。また、白滝橋では9月4日の日最大流量が1,985.7トン/秒であった。極大値で洪水の発生を予測するならば、8月10日には災害が起こっていても不思議でないが、そのような報告は残っていない。この場合当時の降水量の時間的配分について不明なので、これ以上言及できないが、部分的に浸水氾濫があったとしても、居住地区で大規模な浸水災害がなかったことも考えられる。大野川上流域の一部

は行政的には熊本県に属し、波野も熊本県である。宮砥は波野より下流側の観測点で大分県に在る。図1に示すように、波野と宮砥の雨量観測値の間には相関係数が0.8983を示す関係が見られる。古い時

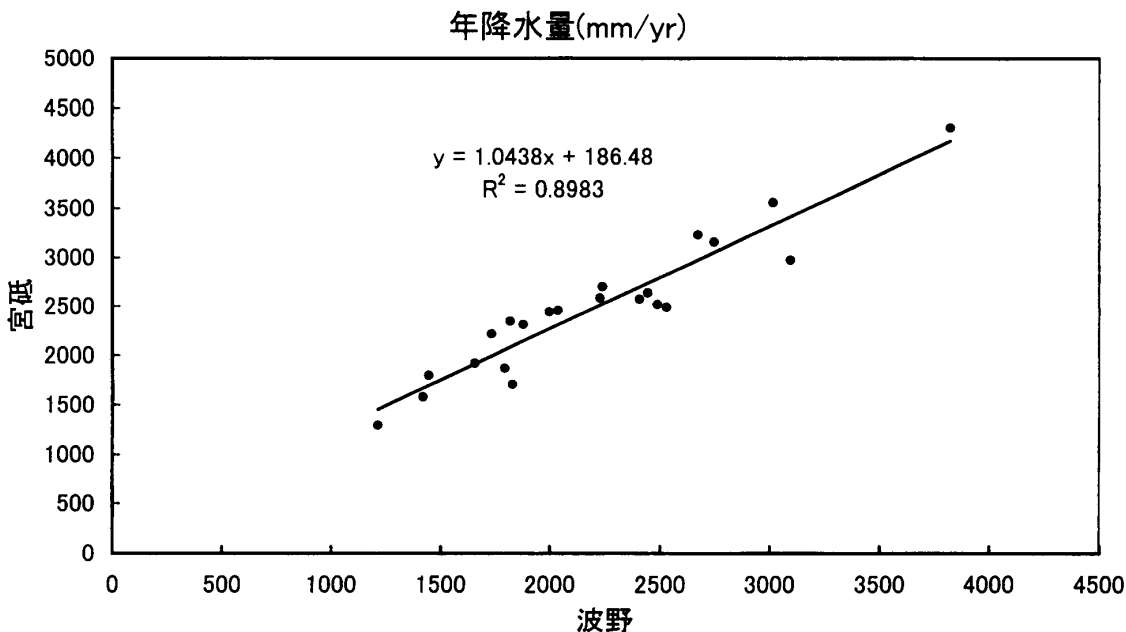


図1 波野と宮砥の雨量の相関々係

大野川上流域の水文特性に対する一考察

代の記録がないので比較はできないが、1974年以降の経年変化を波野と宮砥の年降水量の経年変化および白滝橋における流量を流出高に換算した値の経年変化を図2に示す。大まかには年降水量が漸増傾向にある。白滝橋における流出高の経年変化も波野および宮砥の雨量の経年変化と平行している。降水量に対する流出高の比、即ち流出率を統計期間中の各年について計算してみると、最高が1980年の75.5%であり、一方、最低は1995年の47.4%であった。一定地域、一定期間において、他地域からの地下水や地表水の流入がなければ、降水量P、流出高R、蒸発散量E、 δS を水分貯留量の変化とすると、

$$P = R + E + \delta S \quad (1)$$

の其本式が成り立つ。Rは地表水、地下水の流出量を含むが、ここでは地下水流出量を推算する手

段がないので流量の資料から得た流出高で代表させる。 δS は水文期間を1年にとれば $\delta S \doteq 0$ となるので

$$P = R + E \quad (2)$$

が成立する。上式から明らかなように降水量から流出高を差し引いた残余は1年間については地中における水分貯留量の変化を零とみなせば蒸発散量に等しい。蒸発散の比率は最小0.22から0.53までとかなり変動が大きい。榎根・竹内(1971)は従来のわが国の河川の年流出率が80%を超えることに疑問をはさみ、水収支的な検討を加えた。年降水量、年流出量、年蒸発散量のうちでは年蒸発散量が最も変動が少ないことを明らかにして、実蒸発散量の分布図を作成した。その図によれば、大野川上流域では年蒸発散量が800ミリ程度である。流域の特性によって400~1,000ミリくらいの

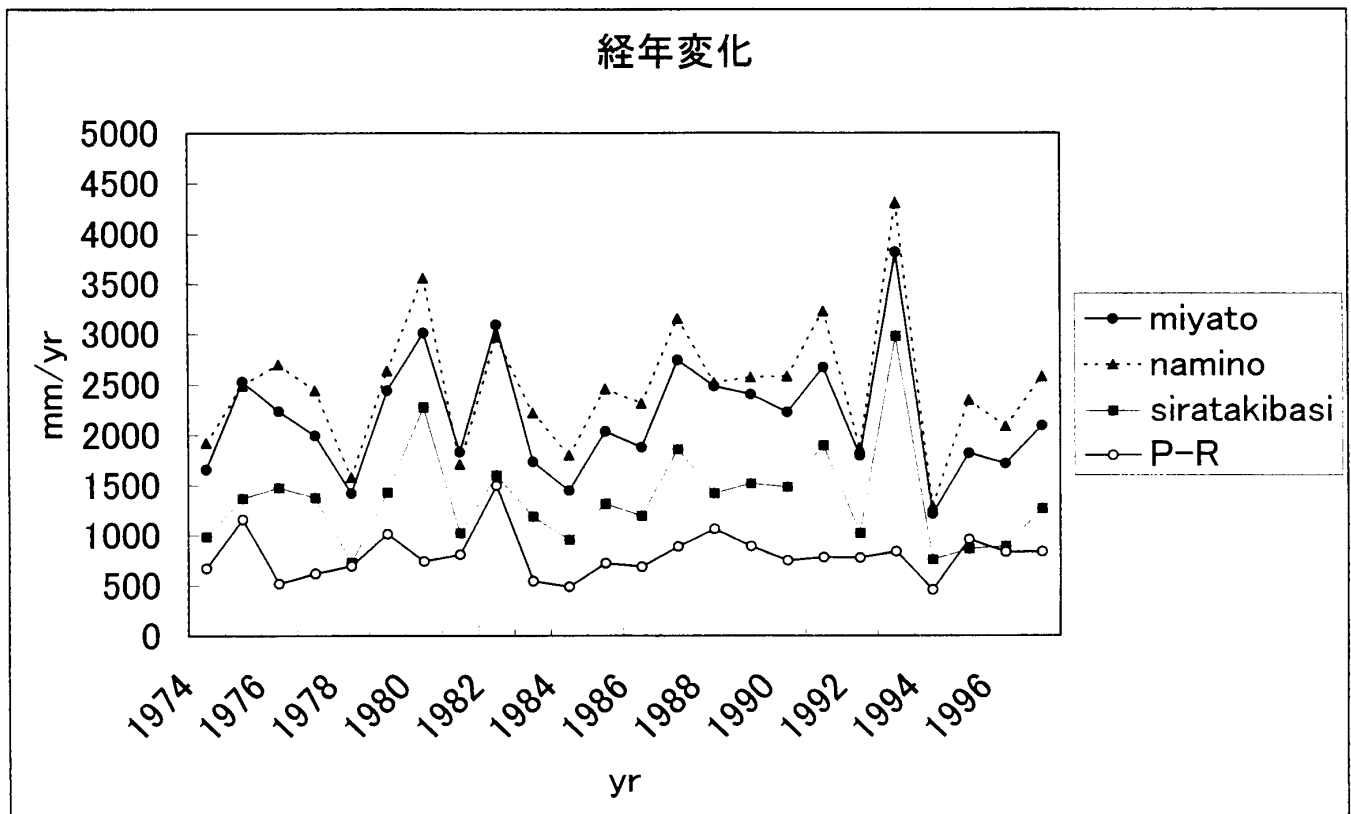


図2 波野、宮砥の雨量と白滝橋の流量の経年変化

範囲で変化し、年降水量が3,000ミリを越えるような流域では降水量の変動に伴う年流出率の変動は小さいが、年降水量が1,000～1,500ミリ程度の流域では年流出率が大きく変化すると述べている。一般的には年蒸発散量は経年変動が降水量などに比べて小さく大まかには一定値に近い。山間部における降水量から蒸発散量を差し引いた残余の全量が河川水として平野部に流出しているものと考えられ、地下水としての流出は無視できるようである。山間部でいったん地下水となることがあっても平野部に出る以前に、その大部分が湧水として河川に流出しているらしい。上流域の竹田盆地には入田湧泉群をはじめとして豊富な湧泉群が見られる。

4) 降水量、流量の月別変化

降水量、流出高の月別変動を図3に示す。洪水

を齎すような日最大雨量の生起月日を各年ごとに調べて見ると、宮砥、波野いずれの観測地点でも6月下旬から7月上旬の梅雨による大雨が24年間のうち17回で、台風に伴う大雨は8月下旬から9月上旬にかけては7例と意外に少ない。1974年以降の観測値では1993年の雨量が最大で波野で4,307.5ミリ、宮砥でも3,820ミリを記録している。流出高も白滝橋で3,000ミリ近い値を示す。月別にみると洪水を齎した9月の月降水量は波野で590.5ミリ、宮砥で630.6ミリでいずれも月降水量の最大は波野で6月の1,173.3ミリ、宮砥で7月の906.8ミリとなっていて、月降水量の最大は台風によるよりはむしろ梅雨期にあることがわかる。洪水の引き金となる降雨は短期間に集中して降る雨で前期降雨の影響は予想外に少ない。9月の台風による大雨が降る前は無降雨期間が10日もある。梅雨期には日降水量が236ミリに達した日もある

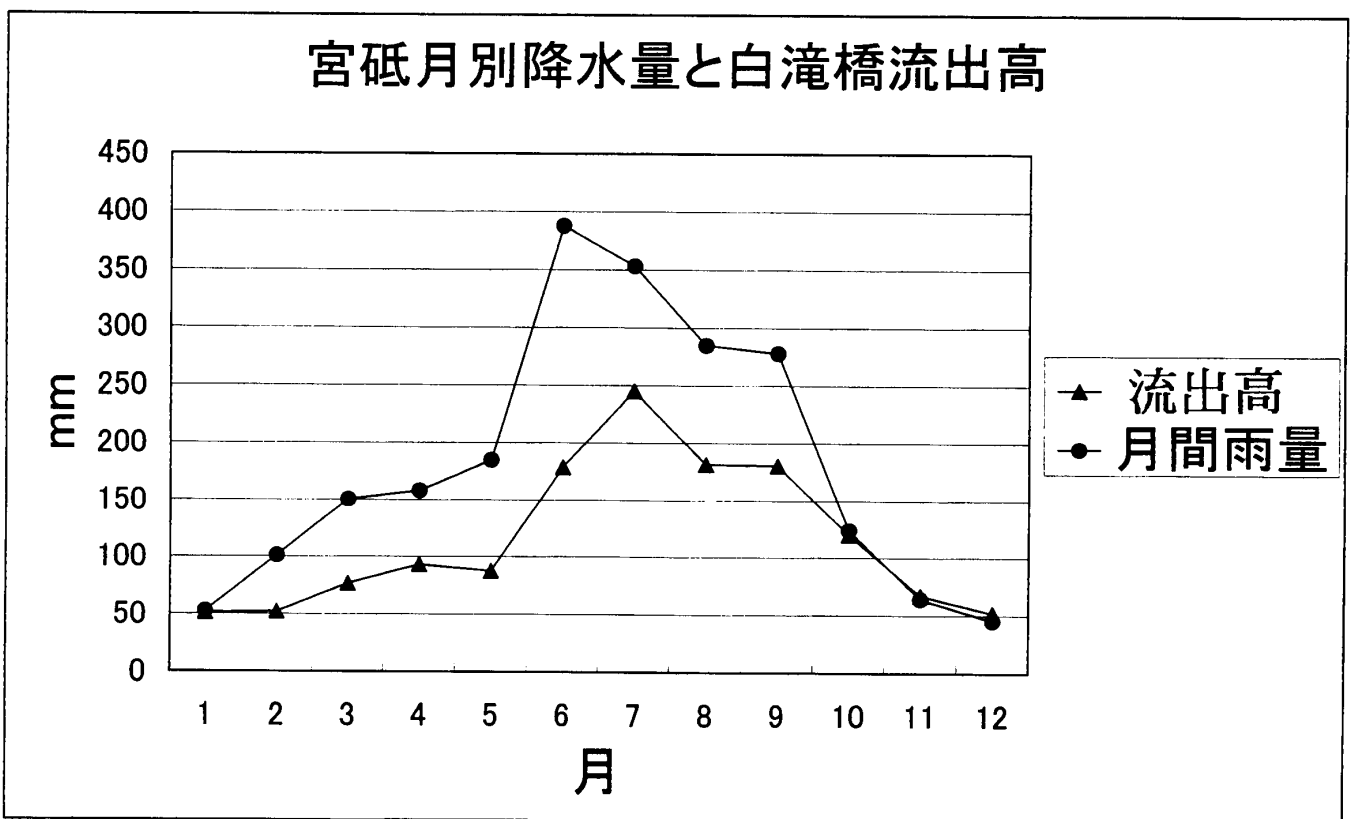


図3 降水量と流出高の月別変化

大野川上流域の水文特性に対する一考察

が、洪水にはなっていない。流出が徐々に起こって高水位が出現してもそれが直ちに洪水災害を発生しない例証である。統計期間内の宮砥の月別降水量と白滝橋の月別流出高の平均値を求めて図3に示す。当然のことであるが、両者は明らかに季節変化を示すが並行性は見られない。前述のように波野と宮砥の間にはかなり良好な相関関係が存在するので、ここでは宮砥の雨量で流域上流部を代表させる。白滝橋における流量を流域面積で除して水柱高に換算して比較してある。両者の差は暖候期に大きく秋から冬にかけて小さくなる傾向がある。季節変化においては流域の入力としての降水量と出力としての河川の流出高の間に位相差がある。月降水量の最大が平均して6月に出現するのに対して流出高のピークは7月に現れる。すなわち季節変化では流域の入力としての降水量変動と出力としての河川流量変化との間にかなりの変形が認められる。

この点に関して由佐 悠紀（由佐1986）はこの年変化のパターンを調和解析法によって抽出し、いわゆる Lamped parameter model の係数 α の値によって河川流量の変化パターンが変形することを証明した。由佐は河川への地下水流出量が流域の地下水貯留量に比例するという中尾 欣四郎（1971）の考えを支持し、流出高 r が貯留量 s に比例すると仮定して、流域の貯留能力および流動抵抗に起因する水理学的特性を総合的に表現するパラメーター α とした。すなわち

$$r = \alpha s \quad (3)$$

上式と（2）式とから河川流量に関して次式を得る。

$$1/\alpha \cdot dr/dt + r = p - e \quad (4)$$

式の右辺は降水量から蒸発量を差し引いた正味の入力である。その合成量を正弦関数で表して由佐は係数 α の効果によって河川流量の変化パターンが変形することが判るとした。もし $\alpha \rightarrow \infty$ ならば s は無限小でなければならない。つまり流域に入力された水は貯留されることなく直ちに流出してしまう。他方 $\alpha \rightarrow 0$ ならば河川流量は不変で安定する。由佐はパラメーター α の算出に際して位相の基準を降水量変化に置き、それぞれを正弦関数で表した。

4) 平野部における地下水涵養量

犬飼と白滝橋観測点における流量の記録を比較してみると、流域面積1,239平方キロメートルの犬飼における流量が下流側にある流域面積1,381平方キロメートルの白滝橋の流量より大きい傾向がある。この間約12キロメートルの間には両岸から5万分の一地形図上で12本の中小支川が流入するが、とくに目立った取水はおこなわれていないという。それにもかかわらず、犬飼の流量に比べて白滝橋の流量が減少しているのは河床下及び周辺沖積層への伏流浸透によるものと考えないと説明がつかない。犬飼付近の河床には基盤岩石の上部白亜系系大野川層群に属する犬飼層の砂岩・頁岩および礫岩が露出しているため、地下への浸透はないものと思われるが、白滝橋付近では沖積層が堆積しているため伏流浸透が起こっている可能性がある。本地域の地質については寺岡 易司ほか5名（1992）の詳細な報告がある。犬飼と白滝橋間で下流側に向かって流量が低減傾向にある事実は既に由佐 悠紀（1986）が指摘しているのでその検証は由佐の論文を参照されたい。

5) 最近同地域を襲った洪水災害について

大野川上流域では過去 50 年以上、人的被害をだすような大きな風水害を蒙った記録がなかったが、1982 年以降、1990 年 7 月 3 日、1993 年 9 月 3 日と人的被害を伴う災害に見舞われた。1982 年の災害は 7 月 11 日から 7 月 25 日の間の梅雨前線による大雨による洪水で、大分県土木部の資料によると、竹田市で総降水量 885 ミリ、最大日雨量 252 ミリに達した。ちなみに建設省の資料では、8 月 26 日に宮砥で日最大雨量 430.0 ミリを記録している。1982 年 7 月 11 日から 7 月 25 日の間の宮砥における総雨量は 894.7 ミリでこの間に無降水日は僅かに 7 月 21 日の 1 日のみである。梅雨期とはいえ、10 日も連続して降り続いた大雨により洪水流出となったものと思われる。前半の 7 月 11 日から 7 月 20 日までの間の総雨量は 531 ミリ、7 月 23 日から 7 月 25 日までの総雨量は 354 ミリで罹災者、建物被害、道路損壊等の被害はいずれも後半の 3 日間に発生している。ここで注目すべきことは、同年 8 月 12 日に台風 11 号により日量 98.6 ミリ、さらに台風 13 号により 8 月 26 日に日量 430 ミリに達する

大雨があったにも拘わらず、本地域で何の人的被害も報告されていないことである。入力としての降水が短期流出に寄与していることは間違いないが、流出の波形が洪水波形を把握していないので、確かなことは不明だが、最大流量だけで災害の規模を推測できない好例であろう。1982 年の犬飼における日流量は 7 月 24 日が 1,786.15 トン/秒に対して 8 月 13 日には 1249.27 トン/秒、8 月 26 日には 2,687.54 トン/秒ではるかに上回っていた。

1982 年の犬飼と白滝橋における流況曲線を図 4 に示す。年平均流量が犬飼で 96.06 トン/秒、白滝橋で 92.78 トン/秒と例年の平均流量の倍近い。

1982 年の大分県下における上記以外の自然災害としては、同年 10 月 13 日から 15 日にかけての台風による風水害の記録が残っているのみである。この台風は大分県東部を通過し、由布岳では土石流が発生したが、本地域に余り影響しなかった模様である。この事実から降水量の日量が 400 ミリを越えても浸水被害を起こすとは限らない事がわかる。7 月の梅雨では土壌水分が飽和状態にあったのに対して、8 月の台風による大雨の際はそれほどでなかったためと推察する。この水害では長崎県下で被害が大きく、長崎災害と呼ばれた災害の

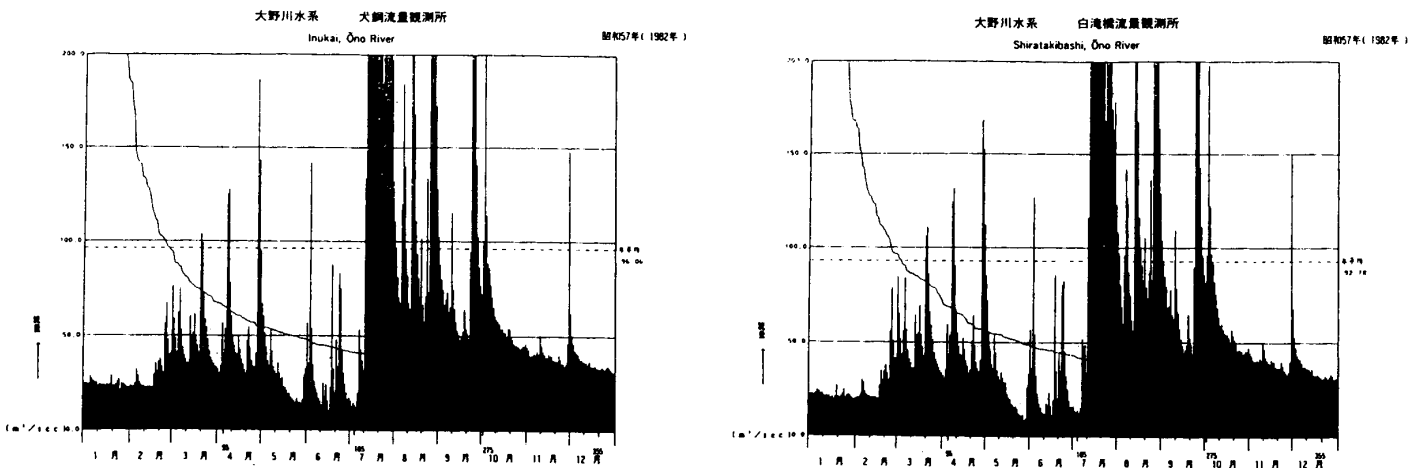


図 4 犬飼と白滝橋の流況曲線

大野川上流域の水文特性に対する一考察

原因となった一連の大雨によるもので、死者は8名に過ぎなかったが、浸水家屋660戸に達した。

1990年7月3日に竹田市中心部を氾濫させた水害も梅雨前線による大雨に起因する。同年6月28日から7月3日にかけて大分県土木部の観測によると竹田市で総降水量357ミリ、日最大雨量186ミリを記録した。宮砥の記録では総降水量が430.9ミリ、日最大雨量が252.3ミリである。この大雨では死者4名、浸水家屋427戸を出した。豊肥線の橋梁流出が各所に見られ、一時は廃線かという噂が流れるほど鉄道、道路など公共施設の被害も大きかった。特に本地域の西側にあたる熊本県一の宮町で土石流災害による死者が多数に上り、新聞等で大々的に報じられたこともあって、一の宮町災害と呼ばれた。

1993年9月3日から4日にかけて九州を縦断した台風13号は上陸時の気圧が930ヘクトパスカルという観測史上3番目の強さといわれ九州各地に被害を齎した。前述のように大野川上流域の中心部にある竹田市では過去に1982年7月、1990年7月の2回、稲葉川と玉来川を中心に大水害を受けた。今回は竹田市南部の緒方川水系で過去にない未曾有の氾濫が起り、宮砥、姥岳、入田地区で大きな被害を受けた。過疎地域のため人的被害は死者3名、行方不明1名と少なかったが、住宅の全壊9棟、半壊10棟、床上浸水37棟、床下浸水61棟におよんだ。1990年の水害復旧工事が未だ完了しないうちの災害だった。JR豊肥線にいたっては1990年の水害で流出した橋梁を復元したばかりで、再び橋梁の流出があった。道路橋や鉄道橋の流出は上流域から流れてくる流木などが橋脚にひっかかり、ダムと同じような堰きとめ効果を発揮して水圧をかけるためである。静水圧は水深に

比例する。1959年の狩野川台風の際にも上流から流下した流木や橋が修善寺橋の橋脚にひっかかり、巨大な鉄橋を2キロ下流まで押し流した事例があり、水流の為す仕事の大きさをあらためて認識させる。

6) 確率水文量について

洪水対策などに対して土木工事を行う場合にあらる変量が起こるといふ確率よりもその変量以上の起こる確率が問題となる。このような確率は周知のように超過確率といふ。たとえば100年確率洪水といふのは、これ以上の洪水流量の起こる確率が1/100であるといふ洪水流量をいふ。いま水文量 x の確率密度関数を $f(x)$ とするとき、任意の値 x と $x+dx$ との間の生起確率は $f(x) dx$ で表されるから、超過確率 $W(x)$ は

$$W(x) = \int f(x) dx \quad (5)$$

で表される。変量 x が x 以上となることが平均的にみて T 年に1度の割合で期待されるとき、この T 年を特定の値の再現期間と呼んでいる。再現期間は次式で定義される。

$$T = 1/n W(x) \quad (6)$$

ここには水文量の年平均生起回数である。水文量 x として毎年最大値を考えた場合は当然 $n=1$ であるが、この場合の再現期間は T 年に1年ということになる。この特定の量 x を T 年確率水文量と呼んでいる。

入力としての降水のうち、日最大降水量がどの程度の発生確率のものかを見るために宮砥の日最大降水量を過去24年間について大きい順に並べ確

率紙上にプロットした結果が図 5 である。諸点を通る傾向線から400ミリの日最大降水量は100年確

率水文量といえる。過去100年近く古老の記憶にもない大洪水という証言を信用できそうである。

$W=0.5$ 2年確率 $\approx 150\text{mm}$

10年 ≈ 260

100年 ≈ 400

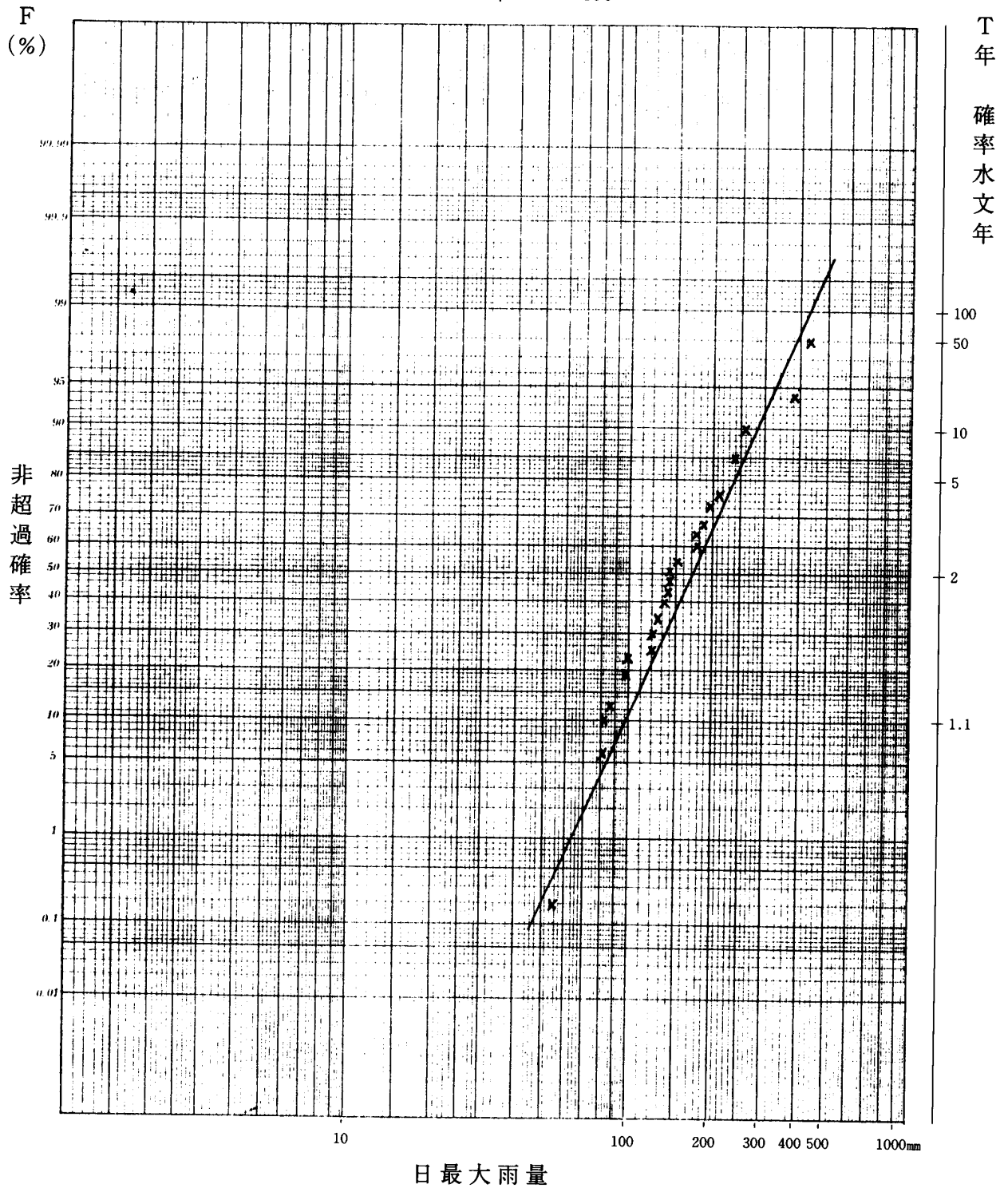


図 5 宮砥の日最大雨量の非超過確率

大野川上流域の水文特性に対する一考察

犬飼と白滝橋について日最大流量を確率紙上にプロットしたものが図6である。対数確率紙による近似解法としてここでは Hazen Plot を用いた。

日最大流量についてはややバラツキがあるが、超過確率5%、すなわち20年確率水文量で約3,000トン/秒とみなせる。統計期間中にこの値を超え

- × 犬飼
- 白滝橋

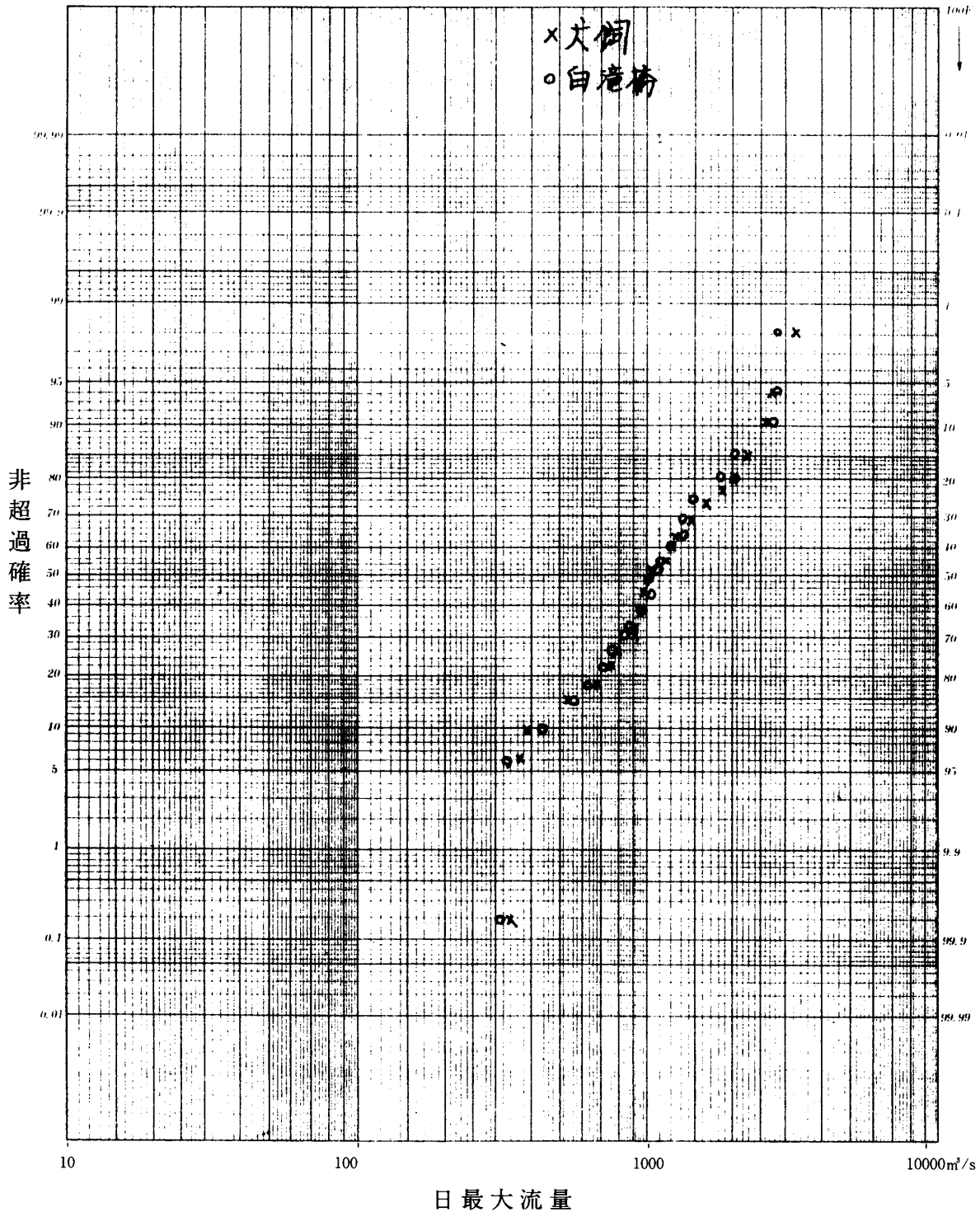


図6 犬飼と白滝橋の日最大流量の非超過確率

たのは1回で、白滝橋では1997年の「2,901トン/秒が相当するとみなせば24年に1回となる。超過確率20%、すなわち、5年確率水文量で約2,000立方メートル/秒である。資料の統計期間24年間に犬飼でこの値を超えた流量は5回で、ほぼ5年に1回生起していることになる。白滝橋では4回であった。前述のように流量は通常の傾向に反してこの区間では下流側で減少する。また1993年9月3日の洪水流量が犬飼で1,744トン/秒、同4日が1,313トン/秒であったのに、同年8月10日には2,320トン/秒の流量を記録しながら災害に到らなかった。少なくとも大野側上流域では5年に1回は2,000トン/秒を越える流量が出現するが、必ずしも直ちに洪水災害に結びつくとはいえないようである。犬飼での流量が3,000トン/秒を越えれば、確実に洪水災害が発生し、その確率水文年は20年となる。再現期間についてはしばしば周期と誤解される向きもあるが、20年間に1回は災害を引き起こす可能性のある流量が出現すると考えておいた方が間違いない。

7) まとめ

大野川上流部における洪水流量の時間配分の比較を意図して始めた研究であるが、資料的制約から所期の目的を達成し得なかった。洪水災害が純粹に物理的現象ではなく、社会的、人文的現象と密接にかかりあっていることをあらためて認識させられる結果となった。極大値だけで氾濫を予測しても被害が発生しなければ洪水災害とはいえない。5年確率水文量として毎秒2,000トンをこす流量が出現しても必ずしも災害を惹起するとはかぎらないこと。本地域で災害を齎した大雨の原因

は台風よりはむしろ梅雨前線に起因することが多いこと。月別流量の変化は月別降水量の変化と平行しないこと。すなわち、入力と出力との間に1月くらいのズレがあること。犬飼より下流側の白滝橋で流量が低減し、この間で沖積層中への伏流浸透が起こっていると見られることなどが結語となる。

参考文献

- 岩井 重久・石黒 政儀 (1973) 応用水文統計学 370p 森北出版
- 榎根 勇 (1969) 水収支観測地の精度について、東京教育大学地理学研究報告 13号 pp129-138
- 榎根 勇・竹内 皓 (1971) 本邦における河川の年流出率について、地理評 44巻 pp347-365
- 高山 茂美 (1978) 降雨-流出の変換の場としての流域の特性 市川 正巳・榎根 勇編「日本の水収支」 pp55-68
- 寺岡 易司・宮崎 一博・星住 英夫・吉岡 敏和・酒井 彰・小野 晃司 (1992) 犬飼地域の地質 地質調査所 129p
- 中尾 欣四郎 (1971) 湖沼水位の安定性についての研究、北海道大学地球物理学研究報告 第25号 pp25-87
- 由佐 悠紀 (1986) 河川流量長期記録に現れる山間部からの流出特性と平野部での地下水涵養 昭和60年度文部省科学研究費自然災害特別研究 (1) 成果報告書 pp 1-10
- Sklash, M. G. and Farvolden, R. N. (1997) The role of groundwater in storm runoff, Jour, Hydr. vol 43, pp45-65

ABSTRACT

Hydrologic Characteristics of Flood Flow Events in the Upper Basin of Ohno River

Shigemi TAKAYAMA

Reconnaissance survey was carried out to investigate hydrologic characteristics of flood flow events occurring in the upper basin of Ohno river, Oita prefecture. The studied area had suffered devastating floods on three different occasions since 1983, in July, 1983, July 2, 1990 and September 3, 1993. Until then, the studied area had not experienced any serious damage by floods for nearly 90 years. Before 1983, the oldest record of flood damage dates back as far as 1870. These three flood events were caused by storm rainfall due to Bai-u or typhoon. Heavy rainfall attaining more than 50 millimeters per hour caused flood flows in the upper basin of Ohno river. As a result, in the urban area of Taketa city, many houses were inundated and railroad bridges and road bridges were destroyed or washed away. Among these three floods, the first and third ones were due to Bai-u or frontal rainfall and second one was due to typhoon #9313.

Unexpectedly, the flood events did not always result in disaster. For example, there was heavier rainfall on August 26th, 1982, (430.0 millimeters per day), the studied area had no serious damage from this heavy rainfall. This might be explained by the distribution of hourly precipitation and amounts of effective rainfall.

The details of hydrogeomorphic characteristics of the drainage basin were already described in the previous paper, which readers may refer to concerning these data. The annual change of precipitation and runoff at Miyado and Namino stations are shown in Fig. 2. The maximum ratio of runoff rate was 75.55% of 1980 and minimum rate was 47.4% of 1985. Judging From Fig. 2 there is a increasing tendency for annual precipitation. As has already been pointed out by Kayane and Takeuchi (1971) that the runoff ratio exceeding 80% is doubtful and annual evapotranspiration is fairly constant, say, 800millimeters in the upper basin of Ohno river. Fig. 3 shows the monthly change of precipitation and runoff height. Although seasonal change can clearly be recognized, there is a slight lag between change of precipitation and that of runoff height. The streamflow discharge of Ohno river decreases downstream from Inukai to Shiratakibashi. This phenomenon can be explained by influent seepage to the alluvium of the downstream area.

If we denote probability density function as $f(x)$, then exceeding probability of $W(x)$ is expressed as follows ;

$$W(x) = \int f(x) dx$$

Return period T is defined as

$$T = 1/n * W(x)$$

where n is the number of years, in this case 24 years.

Twenty-four consecutive years (1974-1997) of daily rainfall and runoff data lead to a total of some 17520 input-output pairs for the drainage basin. A Hazen plot of daily maximum rainfall of each year on probability paper is as shown in Fig. 5. From the regression line of this figure the maximum daily precipitation of 400 millimeters will occur only once in 100 years, that is, a return period of 400mm per day could be 100 years and 99% of daily precipitation will not exceed this value.