

仁淀川流域の豪雨出水の統計的特性

角 屋 睦・中 村 敬 二

A STATISTICAL CHARACTERISTIC OF HEAVY RAINFALL AND FLOOD RUNOFF IN THE NIYODO RIVER BASIN FOUND BY THE PRINCIPAL COMPONENT AND REGRESSION ANALYSES

By *Mutsumi KADOYA* and *Keiji NAKAMURA*

Synopsis

There exist several low lands in danger of flooding in the down-stream reaches of the Niyodo river. Flood disasters there are not independent of flood flows in the Niyodo river, but the flood flows are not simple because the Niyodo river basin is large as 1460 km² in area in the upstream of Ino which is the key water gauge station for river plannings.

In this paper, the statistical characteristics of heavy rainfalls are examined for the flood flows over 3000 m³/s at Ino, by applying the principal component analysis. On the basis of the results, the correlation between average rainfall over a sub-basin and flood peak discharge at Ino is examined to show that the flood peak is mainly governed by the rainfall in the middle zone of the basin.

1. ま え が き

高知県仁淀川下流部には、日下川・波介川・宇治川流域など、内水災害危険度が高いとみられているいくつかの低平地流域があり、これらの地域が、昭和50年8月5号台風¹⁾、51年9月17号台風²⁾に伴う豪雨により大災害を被ったことは、いまなお記憶に生々しい。これらの地域の災害は、もとより仁淀川の出水と深い係りを持っている。しかし、仁淀川の流域面積は基準地点伊野で 1460 km² もあり、仁淀川に大出水をもたらす豪雨は、決して流域一様ではなく、場所的にもかなりの差がみられる。

ここでは、仁淀川の出水形態を分類するための基礎として、仁淀川流域の豪雨が地域的にどうなっているか、それが出水ピーク流量とどのような関連を持っているかを、主成分分析・重回帰分析によって検討した結果を報告する。

2. 資 料

検討に用いた資料は、雨量観測点の整備状況からみて、昭和31～51年の21年間に、伊野地点ピーク流量が 3000 m³/s（ほぼ指定水位相等）以上となった30出水時の豪雨を対象として、20観測点の毎時雨量表から求めた継続時間12, 18, 24時間の最大雨量、および伊野地点ピーク流量発生時刻前雨量である。中には欠測もいくつかあったが、これらは等雨量線図を描いて補間推定した。Fig. 1 に、仁淀川流域の概要を示す。

なお、この30豪雨のうち27例は、中心が九州西部から四国東部までの間を通過した台風に伴うもので、その半数が高知県を直撃ないしそれに近いものであった。残り3例のうち2例は、低気圧が豊後水道から四国南方洋上を東進したときの雨、1例は台風はるか南方洋上にあるときに発生した前線によるものとなって

いる。とくに伊野地点ピーク流量が $6000 \text{ m}^3/\text{s}$ (ほぼ警戒水位) 以上の11出水は、すべて台風に伴う豪雨によってもたらされ、そのうち8例が高知県を通過ないしかすめた台風によるものであった。

3. 主成分分析とその結果

主成分分析は³⁾, **Table 1** に示すようなデータについて相関行列を求め、それに基づいて行った。各豪雨の大きさの影響を消去した Cases C, D, および最大24・12時間雨量を結合した Case E のような特殊なもの以外は, **Table 2** に示すように, 累積寄与率は, 第2主成分までで70%以上, 第3主成分まででは80%に達している。また, 分析結果に基づく豪雨特性地域分類は, どのようなデータの場合にも大きな差異がみられなかった。そこで以下では, 代表的と思われるものについて, 若干の考察を加える。

3.1 30出水時最大24時間雨量の分析結果 (Case A)

伊野地点ピーク流量が $3000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上となった30出水時の最大24時間雨量についての主成分分析の結果を, 因子負荷量の形で整理したものを **Fig. 2 (a), (b)** に示す。

第1主成分の固有ベクトルはすべて正であり, 因子負荷量は, **Fig. 2 (a)** にみられるように, 流域外下流部に位置する測点18 (弘岡, **Fig. 1** 参照) 以外はすべて0.5以上となっているから, 第1主成分は, 全体としての雨量の大きさを表現しているといえそうである。そこで, 第1主成分得点と流域平均雨量との関係を調べてみると, **Fig. 3 (a)** のように, きれいな線形関係がみられる。また, 各地点雨量と流域平均雨量との相関係数を第1主成分因子負荷量と対比しても, **Fig. 3 (b)** のような関係になっている。すなわち, 第1主成分はたしかに雨量の大きさを表現している, といえる。

なお第1主成分因子負荷量は, 測点4~5, 8, 10~17など, 中流域の西部 (中上流域) から東部にかけて

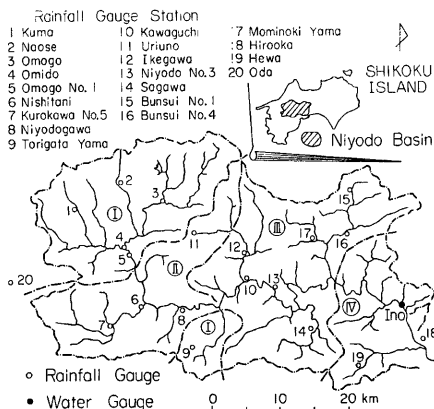


Fig. 1 Gauge stations in the Niyodo river basin

Table 1 Data and case symbols for the principal component analysis

Data	Maximum Rainfall		Rainfall Before Q_p	
	$Q_p \geq 3000$	$Q_p \geq 6000$	$Q_p \geq 3000$	$Q_p \geq 6000$
R_{24}	A	F	H	K
R_{18}			I	L
R_{12}	B	G	J	M
R_{24}/P_{24}	C			
R_{12}/P_{12}	D			
$R_{24} \cdot R_{12}$	E			

R_T : Point rainfall for the duration of T hours

P_T : Areal rainfall for the duration of T hours

Q_p : Peak discharge (m^3/s), at Ino

て大きく、とくに、測点10（川口）、12（池川）、13（仁淀第3ダム）、17（瓜生野）で0.8以上の値を示しているから、仁淀川流域平均雨量は中流域の雨量に大きく左右されるといえる。

一方第2主成分因子負荷量は、本川に沿って測点8（仁淀川）、9（鳥形山）より上流側で正、測点10（川口）より下流側で負となっている。すなわち、この主成分は上流域多雨ないし西部山地多雨型成分を表現しているといえる。これに対し第3主成分は、上流山地の測点1（久万）、2（直瀬）、20（小田）および9（鳥形山）と、下流側山地の14（須川）、19（戸波）および18（弘岡）で正であり、その他はほとんど0に近い負値を示しているから、流域の西部山地・南部山地多雨型成分といえる。ただし、19、18は伊野地点からみれば流域外であるが、これら測点の雨量はその付近の雨の特性を表現するものと考えればよい。なお第2、第3主成分とも、第1主成分ほどの顕著な特徴はみられない。

これら主成分の寄与率は、累加値で示した **Table 2** よりみられるように、第1主成分が53%、第2主成分が20%と大きく、これらに対して第3主成分の寄与率は6%と小さくなり、第4、第5主成分の5%、4.5%と大差がない。何番目までの主成分を考えるべきかは問題であるが、累積寄与率が第2主成分までで73%、第3主成分までで79%となっているので、第4主成分以下の考察は省略する。

以上の主成分分析の結果に基づいて、豪雨特性からみた地域分類を考えると、**Fig. 2** に点線で囲んだようになる。ただし、グルーピングをどのように行うべきかについての基準はないので、分類はかなり主観的になりやすい。たとえば、**Fig. 2 (a), (b)** では、測点11（瓜生野）を他のグループより切離した方がよいかも知れない。しかしここでは、この分類は決定的なものではなく、他のデータに基づく分類をも考慮して最終的に判断すればよいと答え、できるだけマクロに扱うことにした。

3.2 30出水時最大12時間雨量の分析結果 (Case B)

前項と同様のことを、最大12時間雨量について行った。ただし、この最大12時間雨量はすべて最大24時間雨量に含まれていたため、雨量の12時間の集中度を表現していると理解さ

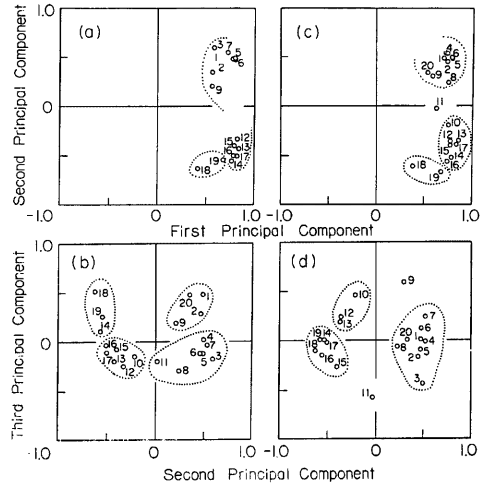


Fig. 2 Factor loadings of the first, second and third principal components, (a) and (b) for Case A, (c) and (d) for Case B

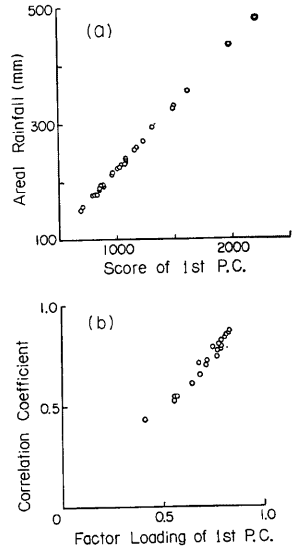


Fig. 3 Relations of the first principal component to (a) areal rainfall, and (b) the correlation between point and areal rainfalls

Table 2 The coefficient of determination

Case	Principal Component				
	1	2	3	4	5
A	0.528	0.728	0.789	0.843	0.888
B	0.503	0.701	0.771	0.834	0.869
C	0.447	0.555	0.657	0.746	0.805
D	0.432	0.561	0.650	0.726	0.775
E	0.492	0.687	0.750	0.810	0.850
F	0.525	0.700	0.810	0.878	0.930
G	0.441	0.704	0.805	0.866	0.910
H	0.496	0.727	0.801	0.845	0.879
I	0.540	0.729	0.803	0.850	0.883
J	0.565	0.736	0.801	0.856	0.887
K	0.477	0.743	0.816	0.879	0.924
L	0.500	0.720	0.800	0.864	0.912
M	0.502	0.707	0.805	0.864	0.914

れる。分析結果を Fig. 2 (c), (d) に示す。

第1, 2主成分の解釈は, 前項の最大24時間雨量の場合と変わらない。しかし第3主成分はやや異なり, その因子負荷量は, 中流域のごく限られた西南山地部で正, 流域の北部・北東部山岳域で負となっている。前項において, 第3主成分と第4主成分の寄与率に大差がないとしながら第4主成分の考察を省略したが, 最大12時間雨量についての各地点の第3, 4主成分因子負荷量の正負は, 最大24時間雨量についてのそれらと逆となっていた。すなわち, 最大24時間雨量についての第4主成分が, 最大12時間雨量では第3主成分となって現われた, と理解される。

さて, これら3個の主成分因子負荷量による観測点のグルーピングは, Fig. 2 (c), (d) に点線で示されている。同図(c)でのグルーピングは(a)と同じであるが, (d)では, 測点8より上流の測点の第3主成分因子負荷量が漸変していて明確な区分が難しいので, それらを大きく纏めたこと, および測点9, 11を他と独立させたことが, Fig. 2 (b) と異なっている。

3.3 30出水時最大雨量規準化変数による分析結果 (Cases C, D)

第2項で分析の基礎とした最大24時間雨量 R_{24} , 12時間雨量 R_{12} を, それぞれの流域平均雨量 P_{24} , P_{12} で除して, 各降雨時の雨量の大小の影響を除いたデータについて分析を行ってみた。これは, 概念的には, 第2項で得られた第2, 3主成分がそれぞれ第1, 第2主成分として求まるはずと考えたためであるが, 結果は必ずしもそうならなかった。

Fig. 4 (a) は, R_{24}/P_{24} についての第1, 2主成分因子負荷量を示している。第1主成分因子負荷量の正負は, Fig. 2 (b) の第2主成分のそれと逆になり, かつその絶対値がかなり大きくなっている。すなわち, Fig. 4 (a) にみられる第1主成分は, 中下流多雨型成分を表わしている。これに対し, 第2主成分の解釈は,

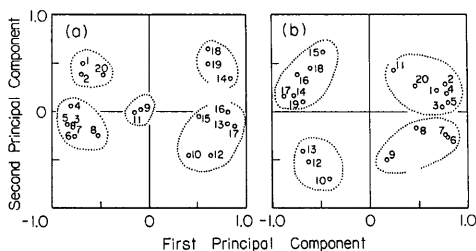


Fig. 4 Factor loadings of the first and second principal components for (a) Case C and (b) Case D

Fig. 2 (b) の第3主成分のそれとほとんど変わらず、西部山地・南東部多雨型成分を表わしている。

一方、 R_{12}/P_{12} についての分析結果を示す Fig. 4 (b) では、第1主成分因子負荷量の正負は Fig. 2 (d) の第2主成分のそれとほとんど変わらず、上流域・中流西部域への降雨集中型成分を表現している。しかし第2主成分は Fig. 2 (d) の第3主成分とは逆で、上流域・流域東部多雨、流域中央・南西山地寡雨型成分といえそうである。

これらの分析結果に基づく観測点のグルーピングは、Fig. 2 (b), (d) よりはやりやすくなって、Fig. 4 に点線で示したようになる。

3.4 大出水時最大雨量の分析結果 (Cases F, G)

標本数が大幅に減少するのが問題ではあるが、伊野地点ピーク流量 $Q_p \geq 6000 \text{ m}^3/\text{s}$ の11個の大出水時の豪雨について、主成分分析を行ってみた。Fig. 5 (a) は最大24時間雨量、(b) は最大12時間雨量についての結果を、第1、2主成分について示したものである。

第1主成分因子負荷量は、両図とも、中流部から東部側で大きく、とくに測点10, 12~14, 17, 19が顕著であるのが注目される。この傾向は、12時間雨量より24時間雨量の方が強い。また30出水時のデータによる Fig. 2 (a), (c) と比べて、因子負荷量の大小関係がはっきりしてきて、上流域雨量を示す測点20, 1, 3, 4などのウェイトが小さくなっている。すなわち、大出水になると、中流域から下流側の雨量が大きな影響を持つことを暗示している。

第2主成分因子負荷量の正負は、Fig. 2 (a), (c) とほとんど変わらない。強いといえば、24時間雨量について測点20が負になったこと、24・12時間雨量とも、中央部測点10, 12, 13の因子負荷量が0に近い傾向がさらにはっきりした程度であって、第2主成分が上流山地多雨型成分を表現しているという見方は同じである。

第1, 2主成分による測点のグルーピングは、Fig. 5 で点線で囲んだようになる。同図 (a) において、測点11は、測点10, 12, 13と同一グループとしてよいかも知れないが、測点20は他と別扱いせざるを得ない。

3.5 ピーク流量前雨量の分析結果 (Cases H~M)

前項までの分析は、いずれも最大雨量データに基づくものであって、降雨波形についての配慮はなかった。そこで、僅かながら降雨波形への配慮、伊野地点ピーク流量に関与する雨量を考える意味で、伊野地点出水ピーク発生時刻以前の雨量に対して、分析を行ってみた。

Fig. 6 は、主成分分析の結果を第1, 2主成分因子負荷量で示したもので、(a)~(c) が伊野地点ピーク

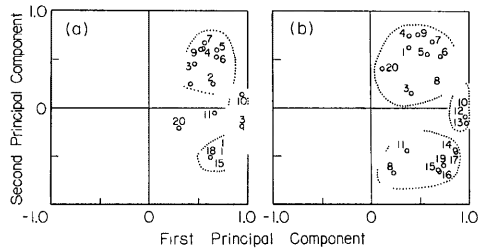


Fig. 5 Factor loadings of the first and second principal components for (a) Case F and (b) Case G

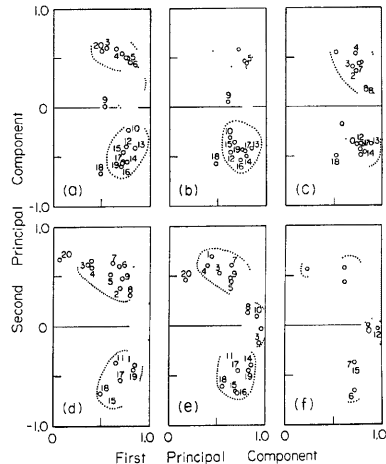


Fig. 6 Factor loadings of the first and second principal components for (a) Case H ~ (f) Case M

流量 $3000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の30豪雨, (d)~(f) が $6000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の11豪雨についてのもので, 左から24, 18, 12時間前雨量についての結果を示している。なお, 第1主成分因子負荷量はいずれも正であるから, 負の領域を省略して図示している。また第2主成分までの累積寄与率がいずれも70%以上となっているので, 第3主成分以下の図は省略した。

さて, 第1, 第2主成分に対する解釈は, 最大雨量の場合と同じであって, 第1主成分は雨量の大きさを, 第2主成分は上流側多雨因子を表現している。

地域分類も, 最大雨量についての前項までの結果と大きく変わっていない。**Fig. 6 (a), (c)** を **Fig. 2 (a), (c)** と対比すると, 測点 8, 11, および 9 の分類に若干の差異がみられる。**Fig. 6** では測点 9 を一応独立させてあるが, これら 3 点を同一グループとすることも考えられよう。この傾向は **Fig. 2** でも多少みられないことはない。一方 $6000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の出水時についての**Fig. 6 (d), (f)** を **Fig. 5** の (a), (b) とそれぞれ対比してみると, **Fig. 6** では, 測点 1, 4, あるいはさらに 3, 7 を同一グループとして独立させてよいほどの纏まりが見られるほかには, ほとんど差がみられない。なお, 18時間雨量についての結果, **Fig. 6 (b), (e)** は, 24時間雨量と12時間雨量との中間的傾向を示しているが, どちらかといえば24時間雨量に近い性状がみられる。

3.6 地域分類

以上, 各種のデータに基づく主成分分析の結果を考察するとともに, その結果に基づいて測点のグルーピングを行った。このグルーピングは, 対象としたデータによって多少の差を生じたが, これらは総括すると, 次のような地域分類が考えられる。

上流域: 20, [1, 2], [3, 4, 5], 9

中流域西部: 11, [6, 7, 8]

中流域東部: [10, 12, 13], 14, [15, 16, 17]

下流域: [18, 19]

これらのうち, 測点 9, 11は, 上流域豪雨と中流域豪雨との中間的な性格を示しており, どちらかのグループに一方的に分類するのは, 必ずしも適切ではないかも知れない。上記地域を図上で示すと, **Fig. 1** の I ~IV のようになる。

4. 重回帰分析とその結果

前述の主成分分析では, 各地点雨量の間の相関係数に基づいて行ったので, それに基づく地域分類は, 雨の降り方の似たものをグルーピングしたことになり, 伊野地点流量の大きさを直接表現することにはならない。むしろ第1主成分が流域平均雨量の大きさを表現していることから, その固有ベクトルを利用して, あるいは因子負荷量の大小を利用して, 伊野地点流量と関連づけることも考えられるが, 雨水の伝播時間の大小も関連するので, 必ずしも絶対的な解にはなり得ない。そこで, 主成分分析の結果に基づいて得た地域区分に従って, 分割流域平均雨量を等雨量線法によって求め, これと伊野地点流量 Q_p との関係を重回帰分析によって調べることにした。

この際, 分割流域平均雨量としてどの程度の継続時間を選定するかが問題になる。仁淀川流域のような大流域では, ピーク流量に係る洪水到達時間の概念⁴⁾は成立し得ないが, 継続時間選定の目途としてこれを算出してみると, ピーク流量 $3000 \sim 12000 \text{ m}^3/\text{s}$ に対する洪水到達時間は12~8時間程度となる。また洪水時の降雨について図式推定法で洪水到達時間を求めると, 18~8時間となり, とくに16~9時間に集中することが分った。現実には有効降雨の問題も絡むので, 一応12, 18, 24時間の最大雨量および伊野地点出水ピーク前雨量を, 重回帰分析の基礎データとした。

さて, **Fig. 1** に示す4個の分割流域の単独ないし数個の組合せ流域について, 前記継続時間別の流域平均雨量を求め, 伊野地点ピーク流量の線形推定式を求めると, 最大雨量, ピーク前雨量のいずれも, 継続時

間24時間の雨量を用いたものが、小差ながら18, 12時間雨量より良結果となった。

Fig. 7 に、重回帰分析によって得られた相関係数・重相関係数を示す。

Fig. 7 (a), (b) は最大24時間雨量, (c), (d) はピーク前24時間雨量による結果で、上段が $Q_p \geq 3000 \text{ m}^3/\text{s}$, 下段が $Q_p \geq 6000 \text{ m}^3/\text{s}$ の出水に対するものである。1分割流域雨量については、 $Q_p \geq 3000 \text{ m}^3/\text{s}$ の出水に対しては中流域西部雨量, $Q_p \geq 6000 \text{ m}^3/\text{s}$ の出水については中流域東部雨量との相関が高い。また分割流域の2個の組合せでは、 $Q_p \geq 3000, 6000 \text{ m}^3/\text{s}$ いずれの場合も中流域東部・西部の組合せが最も高く、それ以上組合せても相関は向上しない点が注目される。ただし2個の分割流域の組合せで $Q_p \geq 6000 \text{ m}^3/\text{s}$ の場合は、中流域東部・下流域の組合せも中流域東部・西部の組合せと同程度の相関を示し、大出水になるほど下流側雨量のウェイトが高くなることを示している。

Fig. 7 にみられるように、ピーク前雨量の方が、僅差ながらも最大雨量より相関が高い。これはむしろ当然のこととはいえ、最大雨量との相関も高いのは、ピーク流量の発生時刻は降雨ピークのそれよりかなり後であり、最大雨量が降雨ピークを挟む時間帯の雨量に大きく左右されることを考えると、ほぼ理解できる。なお、24時間雨量が18, 12時間雨量よりも相関が高くなるのは、ピーク流量に關する有効雨量が、短時間より長時間の雨量に左右されること、および河道の流下時間をここでは配慮しなかったことによるものと考えられる。

また、相関係数として、**Fig. 7** に示した値以上のものを期待するのは無理とも思われる。ここでは、簡単に、線形回帰式で伊野地点ピーク流量推定を行ったが、より精度の向上を期待するには、流出現象をうまく表現できる式を導入する必要がある。

5. む す び

本稿では、仁淀川に大きな出水をもたらす豪雨の性格を、主成分分析・重回帰分析の手法を用いて統計的に吟味し、出水規模はほとんど中流域の豪雨によって左右されることを明らかにした。もとより、仁淀川の出水現象は、ここで扱った線形統計解析手法だけで説明できるものではないが、今後の水工計画の基礎資料として、十分有用な情報が得られたものと考えている。

本研究に際し、建設省高知工事事務所から、基礎資料の提供その他数々の協力を頂いたことを付記し、深謝の意を表する。なお、本報告は、昭和56, 57年度科学研究費（自然災害）による研究成果の一部である。

参 考 文 献

- 1) 矢野勝正(代)：昭和50年8月風水害に関する調査研究，昭和50年度科研費（自然災害）報告書，1976，

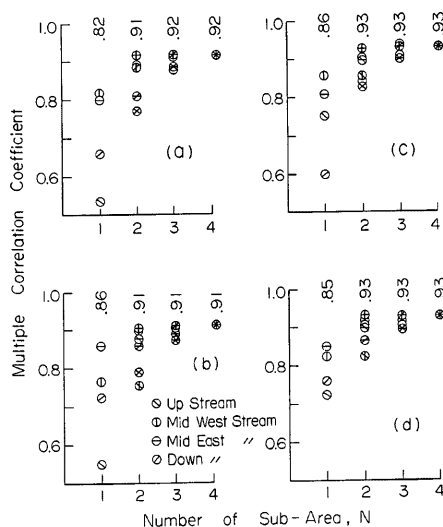


Fig. 7 The correlations between flood peak discharge Q_p (m^3/s), at Ino and areal 24 hours rainfall in sub-basins, (a) maximum rainfall depth for $Q_p \geq 3000$, (b) maximum depth for $Q_p \geq 6000$, (c) depth before $Q_p \geq 3000$ and (d) depth before $Q_p \geq 6000$

pp. 93~171。

- 2) 中島暢太郎(代)：昭和51年9月台風17号による災害の調査研究，昭和51年度科研費（自然災害）報告書，1977，pp. 61-87。
- 3) 奥野忠一他：多変量解析法，日科技連，1971，pp. 160-257。
- 4) 角屋 睦：流出解析手法（その8）—洪水到達時間と合理式—，農業土木学会誌48(8)，1980，pp.39-44。