

低 平 地 の 流 出*

—ユニットハイドログラフ作成の一例—

秋 野 隆 英**

Runoff in Low-Lying Drainage Basin

—An Example of the Drawing of Unit Hydrograph—

Takahide AKINO

要 旨

本研究は、貯留ハンラン形式の卓越する水田地帯を対象とした単位図法の適応性について調べ、これらの特性を考慮して立神法による単位図法を用いて低平地の流出解析を試みた。

Synopsis

In this paper I investigated on the applicability of the unit hydrograph method in the paddy field where the inundations are seen in many parts, and with these considerations I tried runoff analysis, using the unit hydrograph method of Tategami in the low-lying drainage basin.

は し が き

低平な水田地帯では洪水による被害は大きい。このような状態を防ぐためには適格な排水計画をたてて、作物に支障のないような計画排水量を決定しなければならない。それには重要な基礎資料となる河川の洪水量を算定することが必要である。一方近年社会経済の発展に伴い、低平地帯の開発が急速に行なわれ、内水対策の重要度が強く認識されてきている。低平地における雨水の流出機構ないしは流出解析についての研究は、こうした地域における内水対策の基礎となるものであって、その重要性について改めていうまでもない。

この論文では、貯留ハンラン形式の卓越する水田地帯を対象とした単位図法の適応性について調べ、これらの特性を考慮して、立神法による単位図法を用いて、低平地の流出解析を試みた。

1. 水田地帯における単位図法の適応性

ここでは水田流域雨水流出系について調べ、System analysis の立場から単位図法の適応性について考える。

1.1 水田地帯の雨水流出系

この雨水流出系はある容量までは非線型、これを越えると線型にせん移する特性をもったプロセスの結合系と考えることができ、つぎの三つの型に大別される。(i)系全体が非線型系。(ii)線型、非線型のプロセス

が混合している系。(iii)系全体が線型系。つぎにこれらの系を実際の流出現象と対比してみると、

(i) 系全体が非線型系の場合

この場合は各プロセスとも非線型、すなわち排水路の通水能力以下で流出する系であって、一般に出水の初期および後期にはいずれの流域においても現われるが、とくに一連の降雨に対して十分な排水能力をもつ場合には、出水の全期間にわたって現われる。

(ii) 線型、非線型プロセスが混合した系

この場合には、一部のプロセスでは線型すなわち通水能力を越えてハンラン貯留がおこり、他のプロセスでは非線型すなわち通水能力以下の流れとの組み合わせ系で、とくに排水路網の通水能力がバランスしていない地域によく現われる。こうした系における合成は線型プロセスに対しては単位図の取り扱いができるであろう。

(iii) 系全体が線型系の場合

すべてのプロセスが線型となる系は、末端排水路、支線排水路の通水能力を越えるハンランにより流域の広範囲にわたって貯留効果が卓越するとき現われる。この系の雨水流出量を与える式はつぎのようになる。

$$Q(t) = \int_{-\infty}^t X(\tau) r(t-\tau) d\tau \quad \dots\dots\dots (1.1)$$

すなわちこうした線型系では系全体に対する単位図が存在することを意味し、単位図法の適用が完全が可能となる。

* 1969年9月、農業土木学会北海道支部講演会にて一部発表

** 助手 土木工学科

以上3つの型に大別される雨水流出系は、一般にその流域がもつ排水組織の能力と出水規模との関係によって出水期間中に系の変換があることはいうまでもない。

1.2 単位図法の適応性

上述から明らかなように、単位図が適用できるのは出水期間を通じて線型系が発現している場合で、実際には出水の初期、終期に一部非線型系が現われるとしても、ほとんど出水期間を通じて線型系の卓越する出水に対してである。このような観点より、現実の水田地帯における出水に注目すると、一般に通水能力のきわめて小さい排水不良地域、または用排兼用の水路網からなっている地域などにおいては出水初期より、ハズラン貯留が起り線型系の出水特性を示しやすく、こうした出水に対しては単位図法の適用が理論的にも可能である。従来より水田地帯（低平地）においては単位図法の適合性が高いといわれているが、実は線型系の発現する出水に対してのみいえるわけで、非線型系の卓越した出水に対しては適合しないと思われる。

2. 立神単位図法による流出解析

この方法は、流域に単位降雨があったとき、流域各部の雨水がそれぞれの到達距離に応じて、時間的にズレをもって流集するものと考え、流域下流対象地点の流量曲線を求めるものである。

その方法は対象地域の平面図から集中曲線図を作成し、次に流量観測資料から算定した地表流出のテイ減係数を用い、河道貯留の影響を求め集中曲線図を変形して、瞬間降雨に対する単位図を作成する。

集中曲線図から流出量曲線への変換は、次の関係を用いる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{貯留方程式} \quad S = K \cdot q \\ \text{連続方程式} \quad ds = (i - q) dt \end{array} \right\} \dots\dots\dots (2.1)$$

2.1 地区概要

本地区は、北海道中央部石狩平野の南東部に位置し、地区の西側を流下する千歳川および南側を千歳川に向って流れる旧夕張川を用排水本川として利用し、2つの河川にはさまれた低平水田地帯であり、受益面積は2,261ha、標高は最高11.00m、最低6.00m、平均6.50mで、地区の東部はおおむね1/400、他は1/200、の勾配をもって東から西に緩傾斜をなして千歳川に向っている。したがって出水時には内水によるタン水被害が著しく、農業経営を大いに阻害している。そのため昭和41年度において、夕張太内水排除地区として排水計画が終了し、昭和42年より実施に入った地区である。

この調査は、本地区における従来の水文観測資料を補強するとともに、今後の排水計画に資する目的で昭和42、43年の2年間にわたり行なわれた。調査のはじめにおいて、地区の排水幹線である西17号線および西

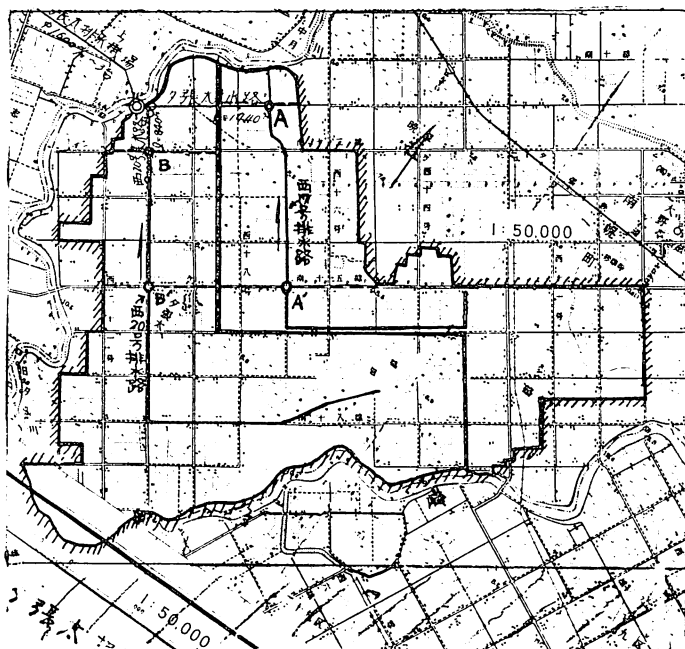


図 1 夕張太概要図

- | | |
|--------------------|---------|
| A : 西17号南11線 (下流) | } 流量観測点 |
| A' : 西17号南15線 (上流) | |
| B : 西20号南12線 (下流) | |
| B' : 西20号南15線 (上流) | |

20号線の集水地域区分を明確に決めうるとの観点から、各集水地域の特性を把握する目的で、それら2幹線の上、下流地点に測水所を設置した。なお本報告には昭和43年度の資料を使用した。

夕張太地区の概要図は図1である。

2.2 流出解析とその結果

立神法により、西17号南11線（下流）、西17号南15線（上流）、西20号南12線（下流）、西20号南15線（上流）における単位図を作成し、その単位図より計算流量を算出し、実測流量との比較を行って、立神法の検討を進めた。

立神法では、流出率として流量指示率を用いているが、一般に低平地では一連降雨の総雨量と損失雨量との関係から、流出率を求める方法がより良い結果をうるといわれているので、ここではそれを利用した。

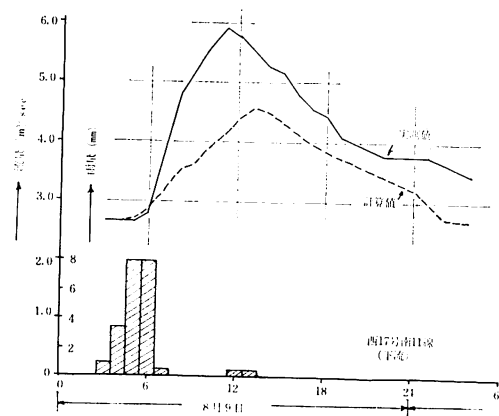


図2 流量の実測値と計算値

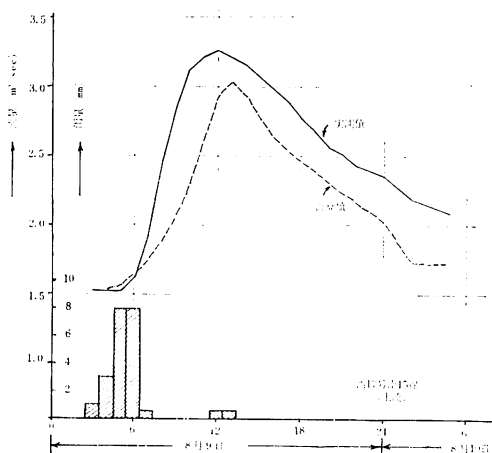


図3 流量の実測値と計算値

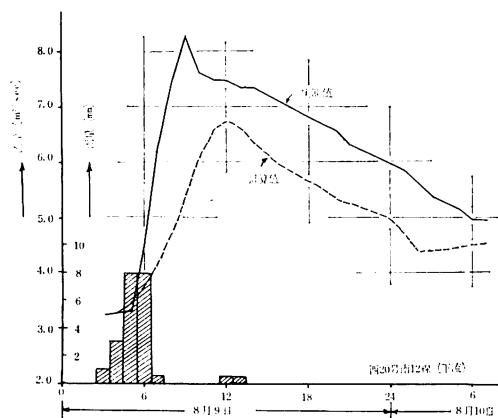


図4 流量の実測値と計算値

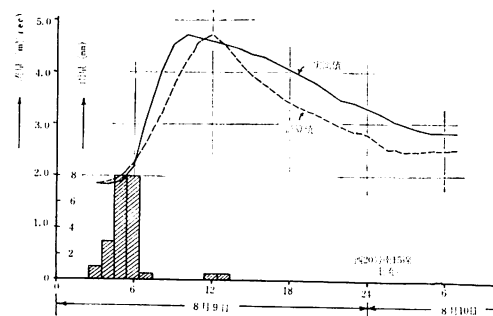


図5 流量の実測値と計算値

以上より求めた例として、まず8月9日の降雨にもとづく各測水点の流出量の計算値と実測値を図2～図5に、つぎに8月17日の降雨による流出量のそれを図6～図9に、最後に8月21,22日の降雨による流出量を図10（西17号南11線）に示した。

8月9日による降雨（21.5mm）では、各測水点とも流量のピーク発生時刻の計算値は実測値より遅く、流出量の計算値は実測値よりかなり下廻っており、また流出時間は計算値のほうが早く終わっている。これは実測値の流出率が20mm程度の降雨にもかかわらず、非常に高いことが主なる原因と考えられるが、このほか有効雨量と損失雨量との分離の不適当あるいは先行降雨（前日に小降雨があった。）などが原因と考えられる。

8月17日の降雨（12.5mm）雨による流出ハイドログラフでは、図6の場合、流量のピーク時刻はほぼ一致しているが、流量の計算値は実測値より低いが、図7～図9では逆に流量のピーク時刻は実測値の方が計算値より1時間程早く、流出量は計算値のほうが実測値より多量に流出している。また実測値は全体として早期に流出がおり、扁平化したハイドログラフとな

っている。これらの相異は流出率が原因しているものと思われるし、また降雨量（12.5mm）そのものにも原因している。

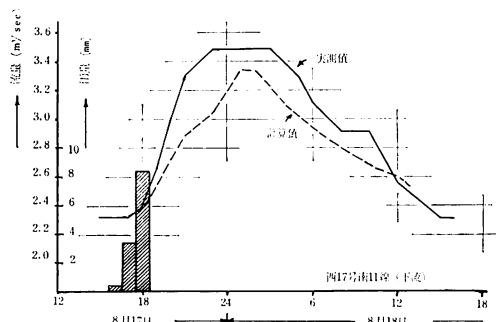


図6 流量の実測値と計算値

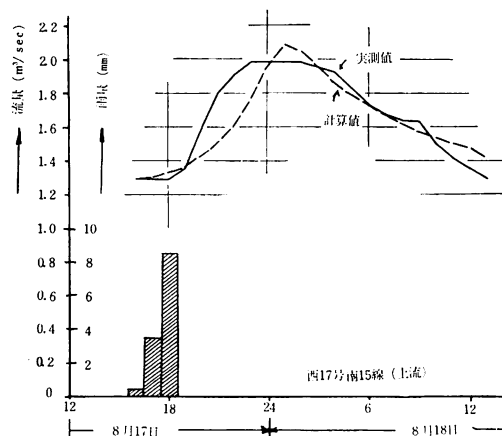


図7 流量の実測値と計算値

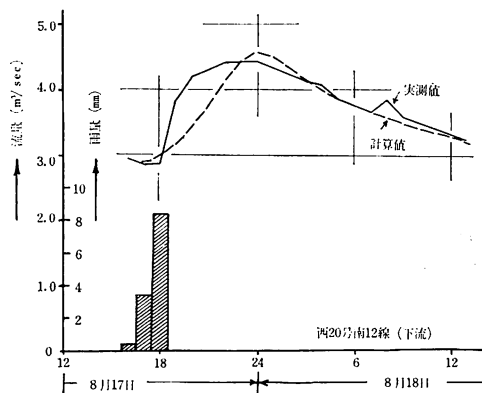


図8 流量の実測値と計算値

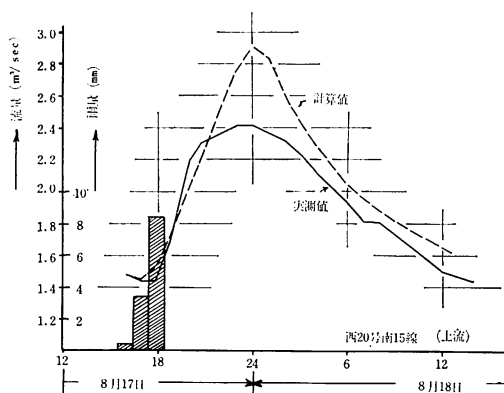


図9 流量の実測値と計算値

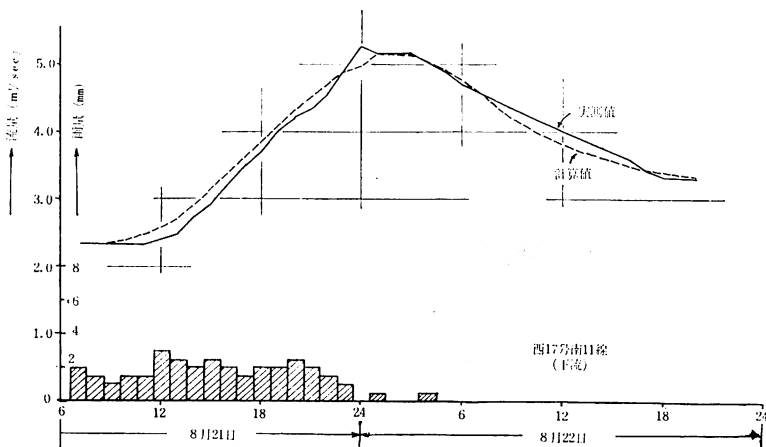


図10 流量の実測値と計算値

一方、8月21、22日（図10）の降雨による流出ハイドログラフでは比較的大きな降雨（33.0mm）なた

め、流量のピーク発生時刻、全流出量、流出時間の適合性が非常に良好である。この降雨に対する流出率も

妥当な値を示しており、この程度以上の降雨が計算値の単位図を満足しうるものと思われる。この降雨にもとづく流出のハイドログラフは器具の故障等のため他の測水点では得られなかった。

つぎに上流の単位図を用いて、下流の単位図を試算によって求めた。この方法は上流と下流の流量観測点間の距離を求めて、中安法の流量到達時間すなわち $T=L^{0.7}$ に、この距離を L に代入して、到達時間を求める。これを使って上流の単位図を単位時間（たとえば1時間）ごとにずらして単位図を描き、下流観測点の到達時間まで行う。各時間毎にこれらの単位図を重ね合わせて合成し、単位図の使用回数で割り、平均化した単位図をもとめ、さらにこの単位図に上流と下流の支配面積の比を乗じて配分し、流出量を修正し、合成単位図を作成する。（この単位図を合成単位図と名づける。）この方法の仮定として、上下流間の流域は上流の流域と比較して、地形、斜面コウ配、植生および流出機構が全く同一であることが必要となる。

これらの合成単位図を17西号線については図11に、

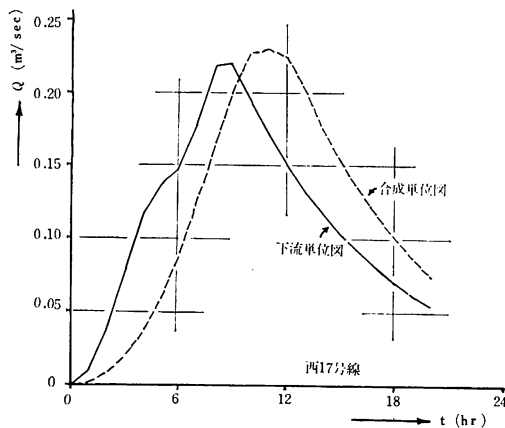


図11 合成単位図と下流単位図

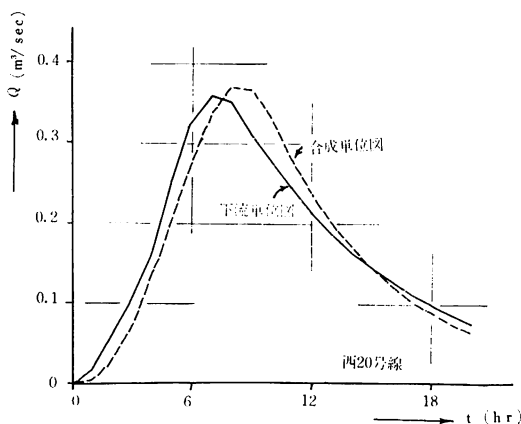


図12 合成単位図と下流単位図

西20号線については図12に示した。

2. 3 考 察

以上のことより1章で述べた水田地帯の単位図法の適合性との関係を検討し、また合成単位図についても考察してみる。

この地区は標高は低く、地区内ではタン水現象を示している鶴沼があり、背水の影響を受けやすい。また支線排水路および末端排水路は断面も小さく区別しにくい。このような状態では20～30mm程度の降雨ですでに一部にハンランの発生がみられている。このような流域の出水性状を前章の考え方にもとずいて推論すると、

- (1) 総降雨量が20mm程度以下で、出水期間を通じて、ハンランしない状態では非線型系で、むしろ途中での系変換はない。したがってこうした範囲での出水に対してはユニークな単位図は存在せず、個々の出水に対してそれぞれみかけ上の単位図が描けるにすぎない。なおこの単位図は降雨の規模が大きくなるにつれ、プロセス内の貯留効果が少しずつ増大するはずであるから、ピークが次第に扁平化する性状をもつことになる。
- (2) 総降雨量が20～30mm程度では非線型系から線型、非線型プロセスの混在した系にセン移し、さらに降雨が続くと次第に線型系へと系の変換が行なわれるわけであり、その単位図は非線型系、線型系に対する単位図の中間に分布することになる。
- (3) 総降雨量が30mm以上になると、線型系の卓越する出水性状を示し、単位図は近似的にユニークなものとして表わされうる特性をもっている。

したがって、夕張太地区においては8月17日の降雨は(1)に属し、8月9日の降雨は(1)ないしは(2)の性状となるわけで、それぞれ独立の単位図をつくるが必要となる。しかし現実的には河川の洪水量を推定するためには役立たないし、これらの流出は人為的操作や背水などに影響されてみかけ上の単位図となっている。一方8月21,22日の降雨(33.0mm)は(3)の特性を示しており、計算と実測とのハイドログラフが非常に良く適合している。したがってこの程度以上の降雨が実際の洪水量を推定する場合に使用されうるものと思われる。

つぎに合成単位図については、いずれも下流の単位図の基長時間は短い。到達時間を考慮した場合、上流の単位図より得た合成単位図程度の基長となるであろう。しかし合成単位図と下流の単位図の流量は非常に良く適合しており、上流と下流の流量観測点が比較的

近接している場合に、上流の単位図より下流の単位図を想定しうるのではないかと思う。しかし上流側が山間地流域で、下流側が低平地となっている流域では、地形、コウ配、植生などが異っていることと、流出機構そのものの性質が異っているのでこの想定は無理であらう。

ここでは、地区全体として同じような流出がみられる場合に限っていえることである。

む す び

以上低平地とくに水田地帯を対象とした雨水流出についての単位図法の適応性の問題について述べ、その適用例として立神法により流出解析を試みた。その結果一応満足すべき結果を得たが、観測資料がとぼしく、と

くにカンガイ期における降雨の資料が少ないうえ、大降雨がなかったこと、非カンガイ期の流量の資料が背水の影響等で全く使用できなかったことは残念である。また排水網に現われる背水現象、あるいはタン水現象など今後さらに解明すべき問題も少なくない。単位図を先験的に作成する総合単位図の問題は、従来よりその解決が切望されているが、いまだ満足すべき解答が得られていない。今後こうした水理特性を導入することによりさらに統一された理論と精度の高い実用的な手段が期待されるものと考えられる。

最後に本稿をまとめるにあたり、日頃御指導いただいている北大農学部山本茂教授に感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 山本 茂：「かんがい・排水〔Ⅱ〕排水」
- 2) 立神弘洋：「洪水流出の新解析法」昭和30.3
- 3) 中安米蔵：「雨量より洪水量の推定について」
建設省直轄工事第4回技術研究報告 昭26.3
- 4) 石原藤次郎，田中要三，金丸昭治：「わが国における単位図の特性について」土木学会誌第41巻3号
- 5) 川端幸夫：「水文気象学」応用気象学大系第1巻
- 6) 石原藤次郎，高橋琢馬：「単位図とその適用に関する基礎的研究」土木学会論文集第60号別冊(3-3)
- 7) 豊国永次：「低平地の流出」土木学会関西支部，
水理学，水文学における最近の進歩 昭42.3
- 8) 緒形博之：「背水の影響をうける排水路の流量調査」農業土木学会関東支部大会講演要旨 昭42.10
- 9) 山本 茂，梅田安治，佐藤晃三，秋野隆英：「夕張太地区流出機構調査報告書」(Ⅰ)(Ⅱ) 昭43. 昭44
- 10) Ray, K Linsley JR., Max A. Kohler and Jouseph L. H. Palhus : Applied Hydrology.
- 11) Ray K. Linsley JR., Max A. Kohler and Jouseph L. H. Palhus : Hydrology for Engineers.
(昭和45年1月16日受理)