レーダ雨量計データを用いた降雨の マルコフ性による短時間周期設計降雨量曲線の作成法

正員 小 舘 英 實 (帝京技術科学大学)

木 下 賢 (帝京技術科学大学)

正員 奥 満 男 (株式会社東芝)

A Method to Form Short Cyclic Design Hyetograph on Markovian Property of Rainfalls
by Using Data of a RADAR Raingauge

Hidemi KODATE, Member and Ken KINOSHITA (Teikyo University of Technology),
and Mituo OKU, Member (Toshiba Corporation)

This paper presents a method to form short cyclic design hyetograph by using data of a Radar raingauge for the simulation program we have developed. The program named stormwater pump operator supporting (SPOS) system has been so far designated to calculate in online operations. This time, we add an offline mode of the program for pump operators' training. Stormwater pumps are, if necessary, turned on or off by every calculation interval of some minutes, so design hyetograph as an input of the SPOS system has, instead of hourly cycle of observation, the same short cycle of the pump. For this purpose, data of Radar raingauge are suitably employed. We regard rainfalls as a Markovian process and make an algorithm in a frame of the dynamic programming by R. Bellman. Calculation results are shown.

キーワード：アルゴリズム、雨水排水システム、計算機ソフトウェア、設計降雨量曲線、短時間周期、データ処理、動的計画法、ハイエトグラフ、マルコフ性、モンテカルロ法、レーダ雨量計。

1. はじめに

下水道の雨水排水は污水处理と共に重要な社会基盤として整備されて来っており、大口径管の地下埋設による貯留施設、大容量雨水排水ポンプ設備の設置が行なわれている。また、下水道流域内の降雨量の観測を行なうために、東京都や横浜市などの地方公共団体がレーダ雨量計を導入することも行なわれている。さらに、最新の計算機設備が雨水排水システムの運転記録、運転状態の監視に使用されており、応用ソフトウェアも種々実装されている。

雨水排水システムは降雨に始まり、下水道流域内の流出雨水が埋設された下水管渠を流れ、ポンプ所による排水までを含んでいる。すなわち、降雨量曲線、管渠内流れ解析、都市流出解析、ポンプ運転法の4種の技術が関与している。降雨量曲線は自然現象である降雨を時間量で時系列的に示したもので、ハイエトグラフ(Hyetograph)とも呼んでいる。降雨現象の特徴は、時間的にも、空間的にも再現性がないこと、すなわち、無規則性(Randomness)を有していると言われている。降雨量は従来、時間量[mm/h]で表わしており、その予測も行なわれている。我国の気象庁では、短時間予測として、3時間先までの3点を予測する方法を開発し(16)、また、建設省土木研究所では、河川管理のために、レーダ雨量計を用いて、15分先、30分先、45分先、60分先の降雨量の予測法を発表している(19)。管渠内流れ解析は一樣流、等流、不定流などの流体解析がある

が、下水道では、管路の直径が大きく、開水路として扱うことが多いので、静的な前2者が通常、用いられる(4)。都市流出解析は降雨量[mm/h]から流域面積[m²]を介して、流量[m³/sec]への変換を行なうものである。流出解析は河川の治水や利水に関する解析法で、大地への浸透を経て、流出流量を算出するが(15)、都市流出解析は大地への浸透を経ることなく、直接、流出することが相違する点である(18)。雨水排水ポンプ運転法は最近の単機容量の大規模化した複数台数の設置を考慮して、種々な運転目的から選定された目的を最適化した運転方策で、降雨の時間的な変化に対応した動的な方策が必要となる。

筆者らは雨水排水システムの計算機応用ソフトウェアとして、雨水ポンプ運転支援システム(Stormwater Pump Operations Supporting (SPOS) System)を作成した(6)。これはポンプ運転員が降雨により時々刻々変化するポンプ井流入量に適応させて雨水ポンプを運転をしなければならないので、その判断に役立つデータを提供することが目的である。このために、数分周期で、数時間先までの降雨量を予測(10)して、これを用いて、実時間演算を行ない、運転指令を発する動的な運転アルゴリズム(7)を適用した。この出力結果である降雨量曲線、ポンプ井流入量曲線、ポンプ吐出力曲線、ポンプ井水位曲線をポンプ運転員が見て、次に採るべき方策を検討することが出来る。この場合、上流の降雨量曲線は、最下流のポンプが数分周期で演算するので、それに合わせて、数分周期となる。

従来、降雨量曲線は時間量で表現され、ある地点に設置された雨量計に記録されたデータを数分単位の値に分割しなければならず、雨水ポンプ運転用の数分周期のデータとしては適当ではない。そこで、数分周期で観測するレーダ雨量計のデータを活用することになる。

このSPOSシステムはまずは、実時間的に使用するために作成したが、種々の短時間周期降雨量曲線を生成出来れば、オフライン的な使用法として、技術者の教育訓練にも活用出来る。降雨量は地域により異なるので、対象流域の降雨量データをレーダ雨量計により観測し、それを処理して、活用する。このオフライン的な使用の場合には、降雨持続時間と総降雨量を、たとえば、5時間で150mmのように、指定することが通常、行なわれており、短時間周期降雨量曲線を所望個数だけ生成することが望ましい。

本文では、降雨持続時間と総降雨量を指定されたときに数分周期で観測したレーダ雨量計データを活用して、指定個数の短時間周期降雨量曲線を生成するアルゴリズムについて記す。降雨現象の特徴である空間的および時間的無規則性を具備した降雨量曲線を生成するために、降雨事象のマルコフ性に着目して、システムズアプローチ的扱い方として、動的計画法の枠組みを採用した。その枠組みに則ったレーダ雨量計データの加工として、初期決定過程に対応させて出現頻度確率を、第2段以降の決定過程に対応させてマルコフ性出現頻度確率行列を算定した。さらに、個々の離散時刻における降雨量の決定において、乱数発生を取り入れた構成にした(11), (12), (13)。この乱数発生を採用により、降雨持続時間と総降雨量の指定値条件を満たすことが困難になるが、これは予め、多数の場合の試算を行ない、指定すべき係数を容易に選定するための表を作成して解決した。本アルゴリズムによるプログラムを作成し、その算定結果の例を示した。

2. 対象システムと設計降雨量曲線

< 2・1> 対象システムとしての雨水排水システム

雨水排水システムは家庭污水とは別の管路を敷設する分流式が推奨されている。雨水は概略、道路の側溝から雨水管に入り、枝管から大口径の幹線管に集まり、雨水排水ポンプ所に入って、河川や湖沼に放流される。雨水管は緩い勾配を付けて敷設され、雨水は自然流下により下流へ送られる。管路の距離が長いときには途中にポンプ所を設けることもある。

図1はレーダ雨量計を用いた場合の雨水排水システムについて降雨観測からポンプ所までの関連解析法を示した。設備としては、レーダ雨量計とポンプ所であり、地下埋設の管路がある。解析法は上流から順に、(a) 短時間降雨量曲線、(b) 都市流出解析モデル、(c) 管渠流れ解析モデル、(d) ポンプ運転アルゴリズムの4種である。(a) にはオンライン用のレーダ雨量計のデータ処理による予測法(10)とオフライン用の以下に記す生成法がある。(b) は流域内の幹線管路網の構成により部分流域に分割し、部分流域毎にWatkins によ

るRR L (Road Research Laboratory) 法(17)を適用し、(c) の管路内流れ解析を結合させたモデル(8)を用いた。(d) では大容量ポンプは運転停止の回数を極力少なくなるようなアルゴリズムを作成した(9)。

これら4種の解析プログラムから成る雨水排水システム、

すなわちSPOSシステムは降雨量曲線を入力とし、ポンプ井流入量曲線、ポンプ吐出量曲線、ポンプ井水位曲線を出力する。図2はこの出力結果の例である。

図1 雨水排水システムと関連解析法

Fig.1 Stormwater Drainage System with Analytical Methods

図2 SPOSシステムの計算結果例

Fig.2 An Example of Calculation Results of SPOS System

< 2・2> レーダ雨量計データ

レーダ雨量計は観測周期毎に、円状面積を半径方向と角度方向に均等に分割して得られる曲線台形状面積毎に降雨量が得られる。観測周期は数分でその間に数回回転して、

その平均値を出力する。今、半径方向の分割数を M_r 、角度方向の分割数を M_d とすれば、曲線台形状面積の個数を N_a とすれば、 $N_a = M_r \times M_d$ となる。今、曲線台形状面積について、半径の小さい順に、また角度方向は北から時計方向の順に、番号を付すことにすれば、曲線台形状面積 S_i ($i = 1, 2, 3, \dots, N_a$) と表すことが出来る。また、観測開始時刻 t_0 、観測周期を t_w とし、時刻 $T = t_0 + k \cdot t_w$ であるから、離散時刻を k で表す。

そこで、時刻 k における曲線台形状面積 S_i の降雨量データは $Q_i(k)$, ($i = 1, 2, 3, \dots, N_a; k = 0, 1, 2, 3, \dots, N_t$) ここで、 N_t は観測時の離散時刻数と表すことが出来る。図3はレーダ雨量計のデータの表示画面例である。

図3 レーダ雨量計のデータの表示画面例

Fig. 3 Data on a RADAR Display

< 2・3> 設計降雨量曲線

Arnell et al. (1)は設計降雨を排水システムにおける管路や貯留池のような特定の対象物の設計のために生成された降雨事象であると定義している。尖頭流量の計算や放流水容積の推定のような解析目的に応じて、多種の設計降雨が考案されている。たとえば、Desbordes (3)やYen and Chow (18)の設計降雨量曲線があり、後者の場合を図4に示す。ここでは、4係数 T_{tot} , a , b , h で降雨量曲線が構成出来る。これらの従来の例では、1時間の積算降雨量であり、mm/hour の単位で表されている。

図4 Yen and Chow の設計降雨量曲線

Fig. 4 Design Hyetograph by Yen and Chow

< 2・4> 雨水ポンプ用短時間設計降雨量曲線

従来の設計降雨は適用範囲が特定の目的を想定してはい

たが、降雨量は時間量として扱うと言う点では、同種のものである。著者らが扱う雨水ポンプの運転という特定の目的のための設計降雨量曲線は数分量であること、すなわち、短時間間隔である点が特徴である。これは最近では計算機の産業応用が進み、ポンプが時々刻々、変化するポンプ井流入流量に適応した運転を行なうように、5分あるいは10分の数分周期で計算機演算し、その出力に従い、流量制御、あるいは台数制御を行なっていることに拠る。結果として、この場合には設計降雨量は mm / minutes の単位で表されている。従来の時間量が複数の短時間降雨量を平均した値であり、静的であるのに対し、数分量は動的であると言える。

通常、レーダの観測周期とポンプの演算周期は個々に決定される。この周期が異なるときには、レーダ雨量計のデータをポンプの演算周期に変換するプログラム(7)を完成してあるので、これを使用する。

3. 短時間設計降雨量曲線の作成法

< 3・1> マルコフ過程としての降雨

降雨の挙動を特徴付ける性質は無規則性であると言われている。Schilling (14)は個々の降雨事象が独立であり、ある降雨事象とそれに続く降雨事象を分離するために、ポアソン過程として扱うことを試みている。

無規則性を有する降雨の取り扱い方としては、確率変数の時間的経過を扱う確率過程となる(5)。この過程には、基本的に、定常過程とマルコフ過程の2種があり、それぞれ定常性とマルコフ性を特徴としている。

本文では、降雨事象が時間的な無規則性については、少なくとも、マルコフ性を有するものと考えた。マルコフ性とは、「将来における、ある事象の生起確率は現在の状態にのみ関係し、過去の履歴には関係しない。」という性質である。時刻 k における確率変数 X_k の生起確率 $P(X_k)$ と記すことにすれば、次時刻の生起確率は

$$P\{X(k+1) = Y(k+1) | X(0) = Y(0),$$

$$X(1) = Y(1), X(2) = Y(2), \dots, X(k) = Y(k)\}$$

$$= P\{X(k+1) = Y(k+1) | X(k) = Y(k)\}$$

ここで、 $Y(k') \in Q$ ($k' = 0, 1, 2, \dots, k+1$) ; $Q = \{0, 1, \dots, Q_x\}$; Q_x は降雨量データの最大値 [mm/h] である。

< 3・2> レーダ雨量計データの処理

マルコフ過程については、Bellman による動的計画法がある(2)。これは多段決定過程において、決定変数の最適列を最適性の原理の下に算出する手法であり、2つの関数方程式を用いる。1つは1段目の決定に関する関数方程式で初期化に相当する。2つ目は2段目以降に関する関数再帰方程式である。

そこで、この動的計画法の枠組みを適用することにして、レーダ雨量計データの処理を行ない、2種の表を作成する。1つは出現頻度確率 F_j ($j = 0, 1, 2, \dots, Q_x$) の表であり、初期化に対応する。2つ目はマルコフ出現頻度率行

列 M_{mn} ($m, n = 0, 1, 2, \dots, Q \times$) の表であり、2 段目以降の決定において使用される。

前者の処理はまず、出現頻度 C_j を算出する。前述の時刻 k における曲線台形状面積 S_i の降雨量データ $Q_i(k)$ を用いると、 $Q_i(k) = j$ [mm/h]; $j \in Q$ のとき、 $C_j = C_{j+1}$ とする。この演算を時刻 k と格子 i の全てについて行なう。そこで、 $F_j = C_j / \{N_a \times (N_t + 1)\}$ を得る。

マルコフ出現頻度確率行列 M_{mn} の処理では、マルコフ出現頻度 D_{mn} を計数する。 $Q_i(k-1) = m$ [mm/h]; $m \in Q$ であり、かつ、 $Q_i(k) = n$ [mm/h]; $n \in Q$ であるとき、 $D_{mn} = D_{mn} + 1$ とする。この演算を時刻 $k-1$ と時刻 k の組み合わせと格子 i の全てについて行なう。よって、 $M_{mn} = D_{mn} / (N_a \times N_t)$ が算定される。

出現頻度確率とマルコフ出現頻度確率行列は観測対象流域により異なるし、最新の降雨事象を取り込むことが望ましいので、常日頃、更新作業を行なわなければならない。

< 3・3> 短時間設計降雨量曲線の作成アルゴリズム

短時間設計降雨量曲線の作成はポンプ演算周期で行ない、部分流域に対して行なう場合もあるが、ここでは、流域全体に対して 1 組とする。まず、最初の降雨量を決定するが、出現頻度確率 F_j を用いる。頻度確率の高い降雨量が出現する可能性も高いことを示しているが、降雨の無規則性を考慮することとして、以下のようにする。まず、一様乱数を発生させて、順番 N_f が得てから、頻度確率の高い降雨量の順に整列させ、頻度確率 F_j の N_f 位の降雨量を最初の降雨量 $R(1)$ に採用する。つぎに、2 番目以降の降雨量の決定であるが、マルコフ出現頻度確率行列 M_{mn} を使用する。今、最初の降雨量 $R(1) = m$ であれば、2 番目の降雨量は頻度確率行列 M_{mn} の m 行にある $n=1$ から $n=Q$ までの値の中から選定される。この場合にも、降雨の無規則性を考慮して、頻度確率の高い降雨量の順に整列させ、一様乱数を発生させて、順番 N_m 位が得られたので、その N_m 位の降雨量を 2 番目の降雨量 $R(2)$ とする。第 (k) 番目の降雨量 $R(k) = m'$ であれば、時刻 $(k+1)$ の降雨量 $R(k+1)$ は頻度確率行列 $M_{m'n}$ の m' 行にある $n=1$ から $n=Q$ までの値の中から選定することになる。そこで、同様して、頻度確率の高い降雨量の順に整列させ、一様乱数を発生させて、順番 $N_{m'}$ 位が得られれば、その $N_{m'}$ 位の降雨量を $(k+1)$ 番目の降雨量 $R(k+1)$ とする。この操作を所定の時刻 $k = K_s$ まで続ける。この K_s は指定降雨持続時間 Tr [hour] とポンプ演算周期 tc [min] が与えられたとき、 $K_s = 60.0 \times Tr / tc$ で得られる。

この演算アルゴリズムは以下の 7 ステップに纏めることが出来る。

- ステップ 1 最新の降雨事象を取り込むため、出現頻度確率 F_j とマルコフ出現頻度確率行列 M_{mn} を更新する。
 ステップ 2 計算回数 N_c と降雨量曲線の出力組数 N_d を入力する。指定された降雨持続時間 Tr と総降雨量 R_t を入力し、これらの値に適した頻度確率および頻度確

率行列の選定対象とすべき順位 N_x を指定する。繰返し演算回数 $N = 1$ として、ステップ 3 へ。

ステップ 3 時刻 $k=1$ として、一様乱数を発生させて、順番 N_f が得る。出現頻度確率 F_j の N_f 位の降雨量を最初の降雨量 $R(1)$ に採用する。

ステップ 4 時刻 $k=k+1$ について、降雨量 $R(k-1) = m$ のとき、一様乱数を発生させて、順番 N_m を得る。出現頻度確率行列の m 行の値の中から N_m 位の降雨量を第 k 番目の降雨量 $R(k)$ に採用する。

ステップ 5 時刻 $k < K_s$ のときは、ステップ 4 へ。

$k = K_s$ のときはステップ 6 へ。

ステップ 6 得られた降雨量曲線の総降雨量 $R_c(N)$ を算出する。繰返し演算回数 $N < N_c$ のときは、ステップ 3 へ。 $N = N_c$ のときは、ステップ 7 へ。

ステップ 7 算出した総降雨量 $R_c(N)$ の中から指定総降雨量 R_t に最も近い値 $R_c(N^*)$ を選定し、組数番号 N^* のときの降雨量曲線を出力する。この操作を入手すべき出力組数 N_d 回だけ繰返す。

< 3・4> 選定対象順位 N_x の指定法

上記の演算アルゴリズムのステップ 2 において、指定しなければならない選定対象順位 N_x について説明する。

指定総降雨量の大小と指定降雨持続時間の長短の組合せはいろいろあるが、選定対象順位 N_x は指定総降雨量を指定降雨持続時間で割った値が比較的大きいときに大きい値を選ぶことになる。これは出現頻度確率および頻度確率行列で大きい順に並べると、小さい降雨量が上位に集める傾向があるからである。大きい降雨量を取り込みたいときには、出現頻度確率および頻度確率行列の値の小さい、順位の低いものまでを選定対象にしなければならない。すなわち、選定対象順位 N_x の大きい値を指定すれば良い。

定量的に扱うためには、最新版のデータを用いて、降雨持続時間と選定対象順位 N_x を変えながら、多数回試算して、選定対象順位 N_x をいくつにすると、得られる降雨量曲線の総降雨量の平均値と標準偏差がいくつになるかを作表する。この表において、降雨持続時間の指定値の欄で、指定総降雨量に近い平均値で、かつ、標準偏差の小さい選定対象順位 N_x を選定すれば良い。この選定によれば、計算回数 N_c は数十回のかかなり小さい値で十分となる。

4. 本アルゴリズムによる短時間設計降雨量曲線作成例

< 4・1> 出現頻度確率 F_j 表とマルコフ性出現頻度確率行列 M_{mn} 表の作成

観測周期 $tw = 5$ [分] のレーダ雨量計により、ある流域で観測されたデータを用いて、出現頻度確率 F_j とマルコフ性出現頻度確率行列 M_{mn} を算出して、作表した。表 1 が出現頻度確率 F_j であり、表 2 がマルコフ性出現頻度確率行列 M_{mn} である。数値は慣例に従い、5 分量を時間量に換算した。

< 4・2> 選定対象順位 Nx の選定表の作成

選定対象順位 Nx を指定することは、マルコフ出現頻度確率行列 Mmn 表の使用を一部分に限定することである。最大降雨量 Qx であるから、Mmn 表は $(Qx+1) \times (Qx+1)$ 個の数値で構成されているが、行も列もともに、0 から Nx まで表 1 出現頻度確率 Fj 表の数値を対象とすることになる。Table 1. Table on Outcome Frequency Probability Fj

最新版のデータを用いて、降雨持続時間を 1 時間から 12 時間まで 1 時間間隔で変化させ、選定対象順位 Nx を 10 から 10 間隔で最大値の 76 まで 8 点として、各組み合わせについて、多数回、すなわち、10,000 回試算して得られる 10,000 個の降雨量曲線の総降雨量の平均値と標準偏差を算出して、表 3 を得た。この表では、総降雨量の平均値を上段に、標準偏差を下段に示した。

降雨量 R(i) [mm/h]	出現頻度確率 Fj [-]
0	0.8736028
1	0.0684703
2	0.0274938
3	0.0128240
4	0.0065252
5	0.0050034
6	0.0021606
7	0.0011617
8	0.0006454
9	0.0003849
10	0.0002457
11	0.0001729
12	0.0001312

表2 マルコフ出現頻度確率行列 Mmn 表

Table 2. Table on Outcome Frequency Probability Matrix Mmn

	降雨量 R(k+1) [mm/h]							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0.839282	0.025365	0.004571	0.001532	0.000689	0.000470	0.000189	0.000108
1	0.026290	0.029532	0.008785	0.002532	0.000949	0.000566	0.000211	0.000106
2	0.004461	0.009682	0.007984	0.003277	0.001212	0.000653	0.000233	0.000100
3	0.001345	0.002703	0.003708	0.002614	0.001283	0.000758	0.000233	0.000124
4	0.000525	0.000984	0.001417	0.001422	0.001009	0.000740	0.000243	0.000106
5	0.000274	0.000551	0.000784	0.000921	0.000823	0.000933	0.000389	0.000178
6	0.000085	0.000175	0.000264	0.000329	0.000298	0.000444	0.000278	0.000126
7	0.000041	0.000080	0.000097	0.000143	0.000146	0.000219	0.000162	0.000108
8	0.000023	0.000036	0.000053	0.000068	0.000077	0.000109	0.000081	0.000071
9	0.000009	0.000024	0.000025	0.000042	0.000035	0.000057	0.000044	0.000040
10	0.000004	0.000014	0.000021	0.000019	0.000024	0.000023	0.000030	0.000025

< 4・3> 短時間設計降雨量曲線の生成例

総降雨量と降雨持続時間を 2 種の組合わせて指定して、短時間設計降雨量曲線を生成した。(i) 100.0 mm と 5 時間、(ii) 150.0 mm と 7 時間、の結果をそれぞれ、第 5 図、第 6 図に示す。最大値は(i)では 58 mm/h、(ii)では 63 mm/h である。計算時間は作図を除き、サンマイクロ社製の計算機 SparcStation 2 / GX (28.5 MIPS) で、10,000 回で約 90 秒であった。選定対象順位 Nx はデータ数が少なかったことを考慮し、2 例とも、最大の 76 とした。

5. むすび

雨水排水システムの応用ソフトウェアとして、雨水ポンプ運転支援システムのオンラインモードに付加して、今回オフラインモードのプログラム完成した。これは運転員の訓練をするためのものである。オフラインモードでは、降雨量曲線を多数生成して、これを入力として、システムの主要な変数の変化を出力するので、総降雨量と降雨持続時

表3 選定対象順位 Nx と算出結果の平均値と標準偏差 (試算回数 10000 回)

時間 5 分間隔	選定対象順位 Nx							
	10	20	30	40	50	60	70	76
12	5.5	12.4	19.9	22.9	23.6	24.0	24.4	24.3
	0.83	3.49	4.97	5.04	5.13	5.19	5.14	5.15
24	11.0	25.1	40.2	46.1	47.1	47.4	47.5	47.9
	1.18	5.18	7.19	7.25	7.33	7.33	7.34	7.35
36	16.5	37.8	60.6	69.0	70.5	70.7	71.2	71.2
	1.45	6.35	8.89	9.00	9.02	9.08	9.07	8.95
48	22.0	50.5	81.0	92.2	93.6	94.0	94.4	94.7
	1.66	7.52	10.35	10.54	10.40	10.29	10.30	10.33
60	27.5	63.1	101.3	115.5	117.2	117.7	117.7	118.2
	1.85	8.29	11.61	11.59	11.60	11.59	11.73	11.59
72	33.0	76.0	121.8	138.4	140.5	141.1	141.3	141.4
	1.99	9.12	12.75	12.65	12.64	12.78	12.72	12.82
84	38.5	88.4	142.0	161.8	163.9	164.4	164.6	164.9
	2.20	9.91	13.93	13.76	13.76	13.43	13.62	13.81
96	44.1	101.2	162.4	184.6	187.4	188.0	188.1	188.0
	2.32	10.68	14.83	14.66	14.59	14.68	14.70	14.77
108	49.5	113.8	182.5	208.1	210.7	211.0	211.5	211.4
	2.48	11.32	15.62	15.74	15.61	15.99	15.48	15.78
120	55.0	126.6	202.9	230.8	234.3	234.9	234.7	234.9
	2.61	11.83	16.59	16.65	16.39	16.58	16.31	16.45
132	60.6	139.2	223.2	254.0	257.7	258.0	258.0	258.4
	2.74	12.45	17.15	17.42	17.41	17.24	17.35	17.00
144	66.1	151.7	243.8	277.0	280.9	281.4	281.6	281.7
	2.89	13.06	18.24	18.05	17.97	17.92	17.91	17.91

図5 短時間設計降雨量曲線の生成例 (i)

Fig.5 Example (i) of Calculation Results

図6 短時間設計降雨量曲線の生成例 (ii)

Fig.6 Example (ii) of Calculation Results

間の組み合わせを変えながら、ポンプの運転状態を把握することが出来る。ポンプ運転用の降雨量曲線は従来の時間量と異なり、数分量であり、最近、地方公共団体が設置し

ているレーダ雨量計のデータを活用する。

降雨現象の無規則性をマルコフ過程と見做して、動的計画法の枠組みを用いた7ステップから成るアルゴリズムを構成した。この枠組みに適合させるように、レーダ雨量計のデータを加工おいて、初期過程として出現頻度確率を、第2段目以降の過程としてマルコフ性出現頻度確率行列を作表した。算出例として、降雨持続時間5時間で総降雨量100 mmと7時間で150 mmの2つの降雨量曲線を示した。

特定地域のレーダ雨量計データが与えられたときに、指定された総降雨量と降雨持続時間を満たした、多種の短時間周期設計降雨量曲線を生成するアルゴリズムとして有効なものであることを確認した。

(平成6年9月12日受付, 同7年3月9日再受付)

参考文献

- (1) V. Amell, P. Harremoes, and M. Jensen: "Review of Rainfall Data Application for Design and Analysis", Journal of Water Science and Technology, Vol. 16, No.8/9, pp. 1 - 45, IAWPRC (International Association on Water Pollution Research and Control), Pergamon Press, 1984.
- (2) R. Bellman: Dynamic Programming, Princeton Press, 1957.
- (3) M. Desbordes: "Urban Runoff and Design Storm Modeling", Proceedings of the International Conference on Urban Storm Drainage, held at the University of Southampton, United Kingdom Pentech Press, London, U. K., 1978.
- (4) 本間 仁: 「水理学」(第2刷), 丸善, 1975年。
- (5) 情報処理学会編: 「情報処理ハンドブック」, オーム社, 1989年5月。
- (6) T. Kato, T. Kanamori, T. Matsumura, and H. Kodate: "An Urban Storm Drainage Supporting System with Radar Rain gauges", Proceedings of the 5th ICUSD (International Conference on Urban Storm Drainage), pp. 1171 - 1176, July 1990.
- (7) 加藤孝夫、金森敏介、小館英實: 「雨水排水システムのための短時間降雨量予測法の構築」, 日本下水道協会論文誌, Vol. 28, No. 330, pp. 1 - 13, 1991年8月。
- (8) 小館英實、石崎俊彦: 「多地点都市流出解析用拡張RRL法プログラム」, 土木学会第10回電算機利用に関するシンポジウム講演論文集, pp. 23 - 28, 1985年10月。
- (9) 小館英實、関尚重: 「運転変更台数等を極小化した雨水ポンプ運転アルゴリズム」, 電気学会論文誌, 第107-D巻, 第7号, pp. 860 - 866, 1987年7月。
- (10) H. Kodate, T. Kato, and S. Aoki: "A Short-term Forecast on Rainfalls by Using Two-Dimensional Data Raingauge for Stormwater Pumps", Proceedings of the 5th ICUSD, pp. 609 - 614, July 1990.
- (11) 小館英實、木下賢、加藤孝夫: 「降雨のマルコフ性に着目した短時間周期設計降雨量曲線の作成法」, 電気学会全国大会講演論文集, No. 1718, 第13分冊, pp. 33 - 34, 1993年3月。
- (12) 小館英實、木下賢: 「レーダ雨量計データを利用した短時間周期設計降雨量曲線の作成法」, 電気学会産業応用部門全国大会講演論文集, p. T - 42, 1993年8月。
- (13) H. Kodate, K. Kinoshita, and T. Kato: "A Method to Form Short Cyclic Design Hyetograph on Markovian Property of Rainfalls by Using Data of a Radar Raingauge", Proceedings of the 6th ICUSD, pp. 385 - 389, September 1993.
- (14) W. Schilling, "Univariate versus Multivariate Rainfall Statistics --- Problems and Potentials A Discussion", Journal of Water Science and Technology, Vol. 16, No.8/9, pp. 139 - 146, IAWPRC (Pergamon Press), 1984.
- (15) 菅原正己: 「流出解析法」, 共立出版, 1972年。
- (16) 高瀬邦夫: 「雨の短時間予報」, 災害の研究, 第20巻, pp. 56 - 66, 1989年。
- (17) L. H. Watkins: The Design of Urban Sewer Systems, Road Research Technical Paper No. 55, Dept. of Scientific and Industrial Research, London, Her Majesty's Stationery Office, 1962.
- (18) B. C. Yen and V. T. Chow, "Design Hyetographs for Small Drainage Structures", ASCE, Journal of Hydraulics Division, Vol. 106, pp. 1055 - 1076, 1980.
- (19) 吉野文雄、水野雅光、河関大祐: 「レーダ雨量計による降雨の短時間予測」, 土木技術資料, 第27巻, 第7号, pp. 357 - 362, 1985年。

小館英實 (正員) 1938年10月4日生。1962年3月横浜国立大学工学部電気工学科卒業。同年4月東京芝浦電気株式会社(現株式会社東芝)入社。電動機設計、本社技術部を経て、重電技術研究所で一般産業向応用ソフトウェア開発に従事。工学博士。1991年4月帝京技術科学大学情報学部情報工学科教授、IEEE会員。

木下 賢 (非会員) 1968年3月25日生。1991年3月帝京技術科学大学情報学部情報工学科卒業。同年4月帝京情報技術専門学校教員助手。1994年3月学校法人帝京技術科学大学情報学研究科修了。同年4月株式会社東芝入社。現在、府中工場昇降機部に所属。

奥 満男 (正員) 1951年10月30日生。1970年3月大分県立鶴崎工業高校卒業。同年4月東京芝浦電気株式会社(現株式会社東芝)入社。現在、本社官公システム事業部公共システム技術第2部課長。下水道システムエンジニアリング業務に従事。