

# 19<sup>th</sup> FORUM8 Design Festival 2025

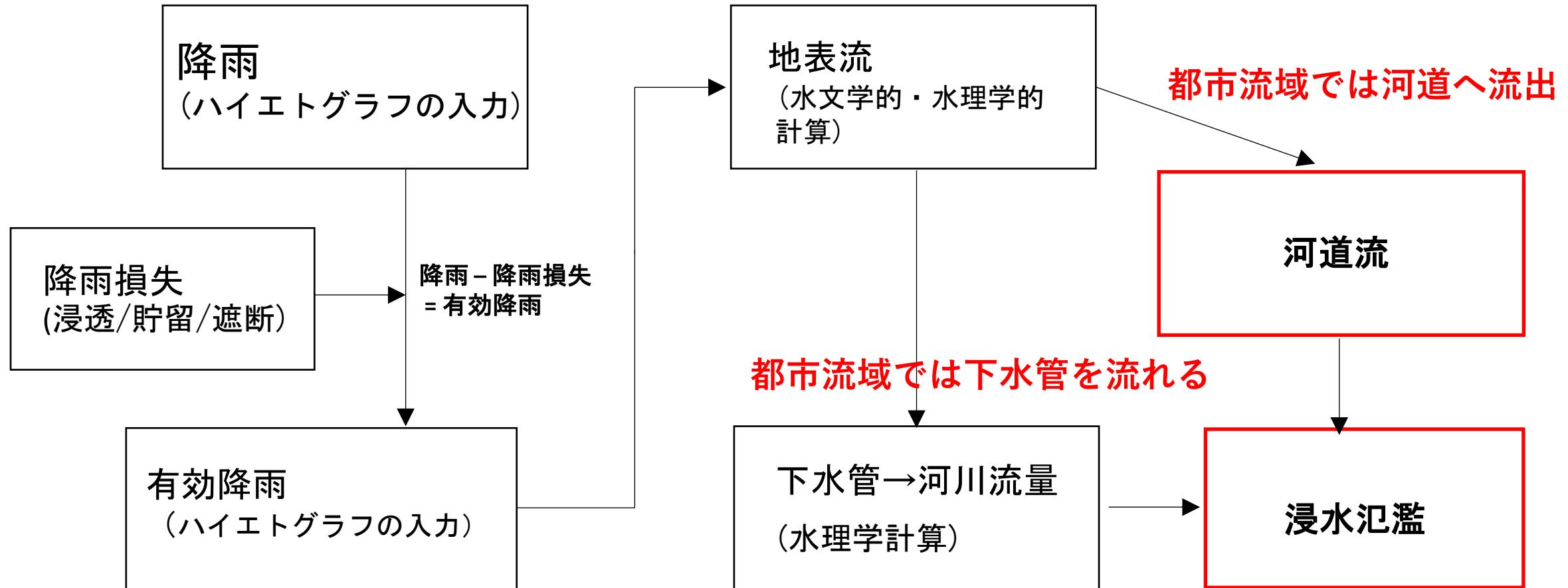
## 浸水氾濫モデルの開発の歴史と洪水リスク評価モデルへの発展

- 1. 流出解析モデルの概観
- 2. 合理式－計画のためのモデル
- 3. 前コンピュータ世代の流出モデル
- 4. 物理モデルと浸水氾濫モデル
- 5. パッケージ・ソフトウェアの時代
- 6. 浸水氾濫モデルの今後の発展

2025年11月21日

芝浦工業大学名誉教授  
守田 優

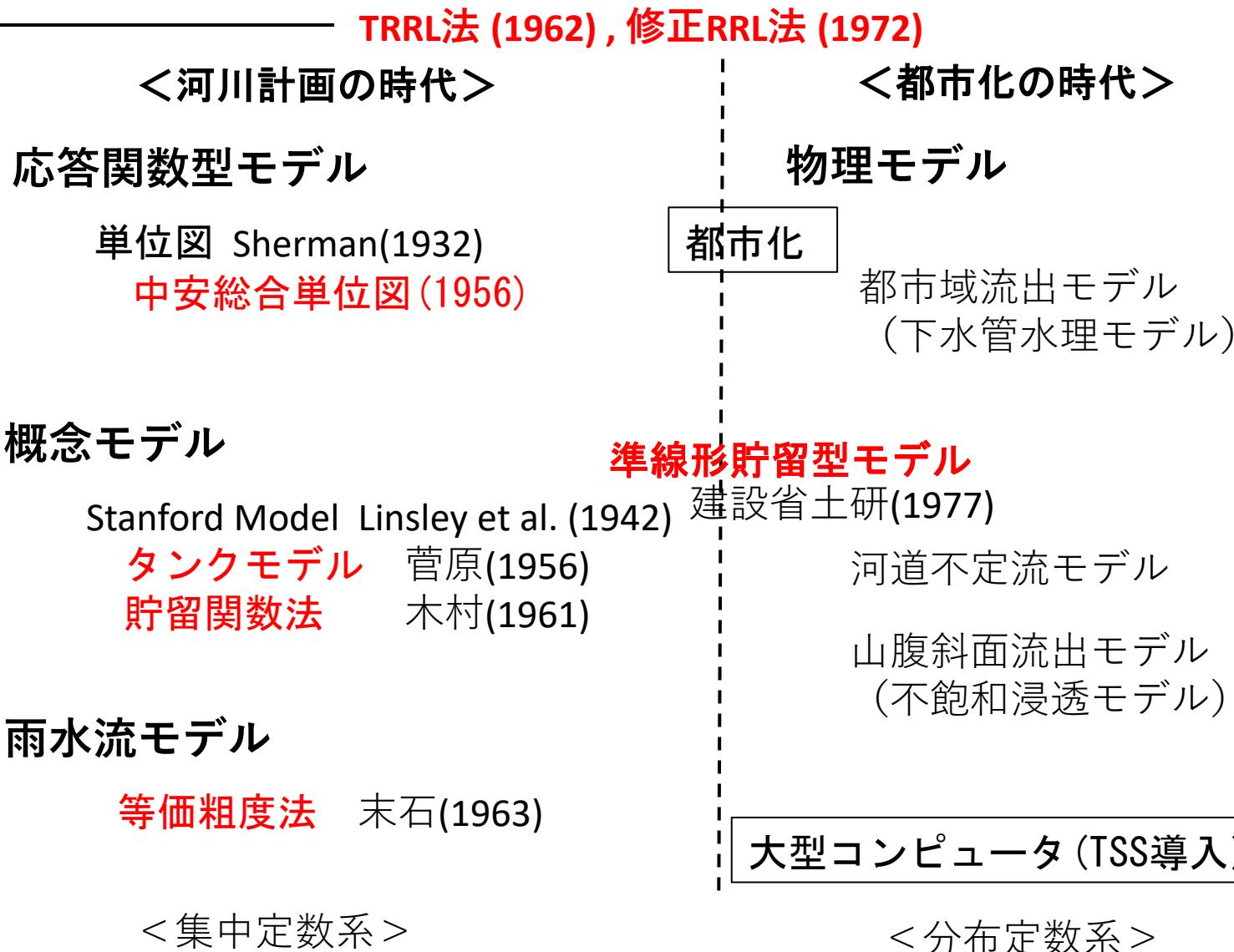
# 流出プロセスのモデル化



## 合理式

Mulvaney  
(1851)  
Kuichling  
(1889)  
Lloyd Davies  
(1906)

## 前コンピュータ世代 (1950~1970s)



## パッケージSW世代 (2000~)

<ハザードマップの時代>

物理モデル

浸水氾濫モデル

XP-SWMM  
MOUSE  
InfoWorks

パーソナル  
コンピュータPC)

# 合理式という方法

合理式 (Rational Method)  
流出解析の始まり～1851年

# 合理式

細長い流域に雨が $T$ 時間降るとする。いま、流域の最上流端Cに降った雨が、地表から河道を流れて、流域最下流端のDに到達するに要する時間（洪水到達時間）を $T_a$ とする。

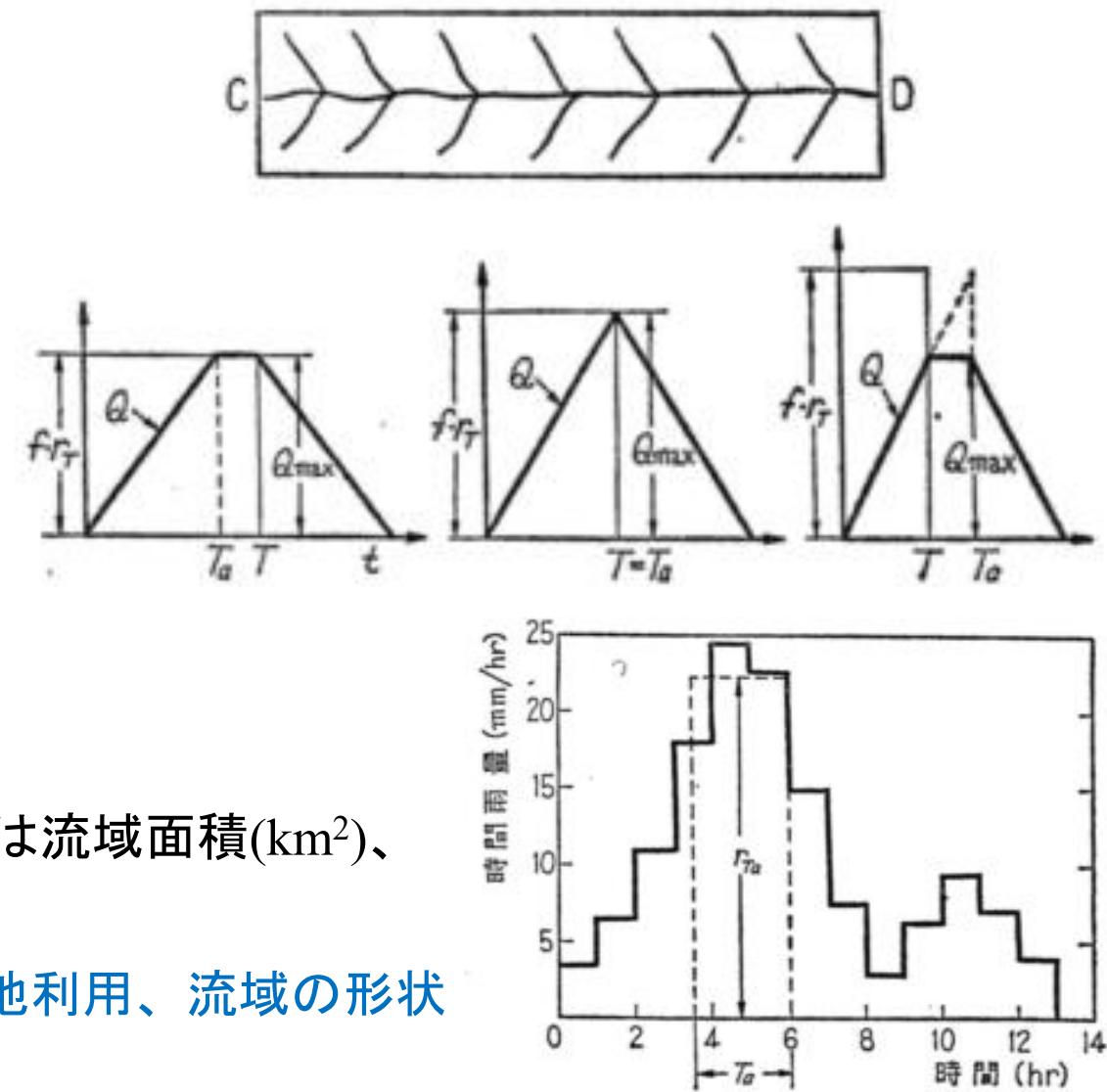
これらのハイドログラフにおいて、 $T \geq T_a$  のとき、全流域に降った雨がD点に集まり、**ピーク流量**は

$$Q_p = \frac{1}{3.6} f r_{T_a} A \text{ (m/sec)}$$

ここに、 $r_{T_a}$ は洪水到達時間内降雨強度(mm/hr)、 $A$ は流域面積( $\text{km}^2$ )、 $f$ は流出係数である。

- ①流出係数は、降雨の時空間分布や地質・地形・土地利用、流域の形状を含めた係数である。
- ②洪水到達時間（あるいは流達時間）によってピーク流量は左右される。

現在においても、下水道計画、都市河川の計画においては、基本的に合理式が用いられている。



# 前コンピュータ世代の流出モデル

(1950～1970年代)

応答関数型モデル

概念モデル

雨水流モデル

# 戦後治水の基本方針と流出解析モデル

明治期は、既往最大流量を計画高水流量としてきた。しかし、戦後、確率洪水の考え方方が導入されるようになり、確率により計画降雨を設定し、基本高水を計算し、ダム、遊水池等を考慮した計画高水流量を決定する方法が確立された。 → 洪水予測モデルは、ピーク流量だけではなく、ハイドログラフの算出が求められる。

基本高水の計算には、「前コンピュータ世代」の流出解析法（貯留関数法など）が適用され、確率降雨と流出解析を組み合わせた治水計画の方法は、「河川砂防技術基準（案）」（初版1958年）として整理されていった。こうしてダム計画、河道計画を担う工学的手法も1960年代整備された。

一級水系・大河川の治水方法として、河道治水、

**堤防整備 + ダムによる洪水調節** が、定型となる。

→ 貯留関数法が建設省標準となる。

# 合理式

Mulvaney  
(1851)  
Kuichling  
(1889)  
Lloyd Davies  
(1906)

前コンピュータ世代  
(1950s～1970s)

コンピュータ世代  
(1980s～1990s)

パッケージSW世代  
(2000～)

TRRL法 (1962), 修正RRL法 (1972)

## 応答関数型モデル

単位図 Sherman(1932)  
**中安総合単位図 (1956)**

## 概念モデル

Stanford Model Linsley et al. (1942)  
**タンクモデル** 菅原(1956)  
**貯留関数法** 木村(1961)

## 雨水流モデル

**等価粗度法** 末石(1963)

<集中定数系>

## 物理モデル

### 都市化

都市域流出モデル  
(下水管水理モデル)

### 準線形貯留型モデル

建設省土研(1977)

河道不定流モデル

山腹斜面流出モデル  
(不飽和浸透モデル)

大型コンピュータ (TSS導入)

<分布定数系>

## 物理モデル

浸水氾濫モデル

XP-SWMM  
MOUSE  
InfoWorks

パーソナル  
コンピュータPC)

# 流出計算例題集1

建設省水文研究会編

社団  
法人 全日本建設技術協会

戦前の流出モデルは合理式のみだった  
(物部長穂の「物部水理学」)

戦後、Shermanの単位図が紹介され、日本  
でも流出解析モデルの開発が始まった。

流出計算例題集 I (建設省水文研究会編) 1962年

- \* 立神単位図法
- \* 佐藤流出関数法

流出計算例題集 II (建設省水文研究会編) 1971年

- \* タンクモデル
- \* 貯留関数法

# 応答関数型モデル

## 単位図

単位図法(Unit Hydrograph)は、1932年、シャーマン(Sherman)によって提案されたもので、有効雨量と直接流出量との間の関係について、以下の基本的な仮定がある。

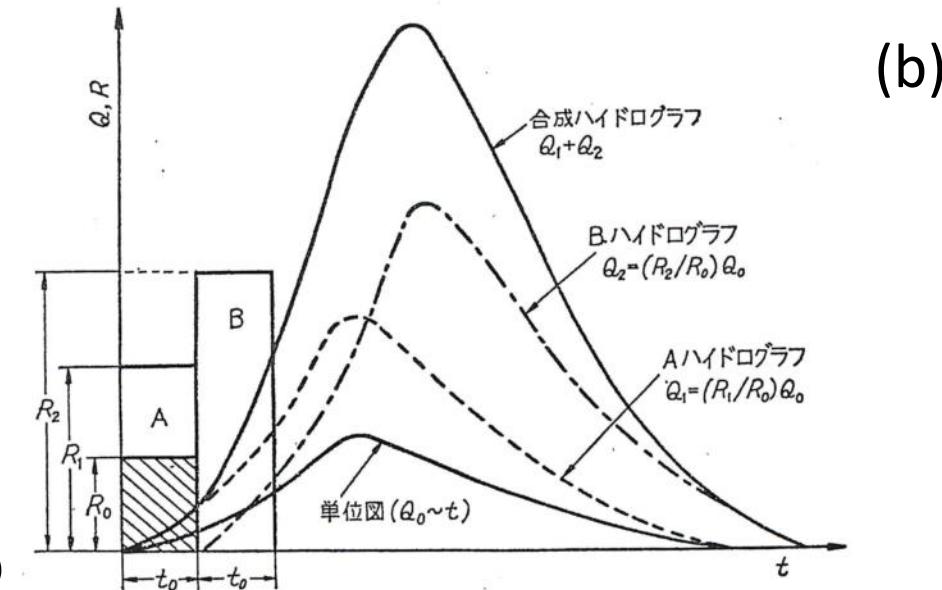
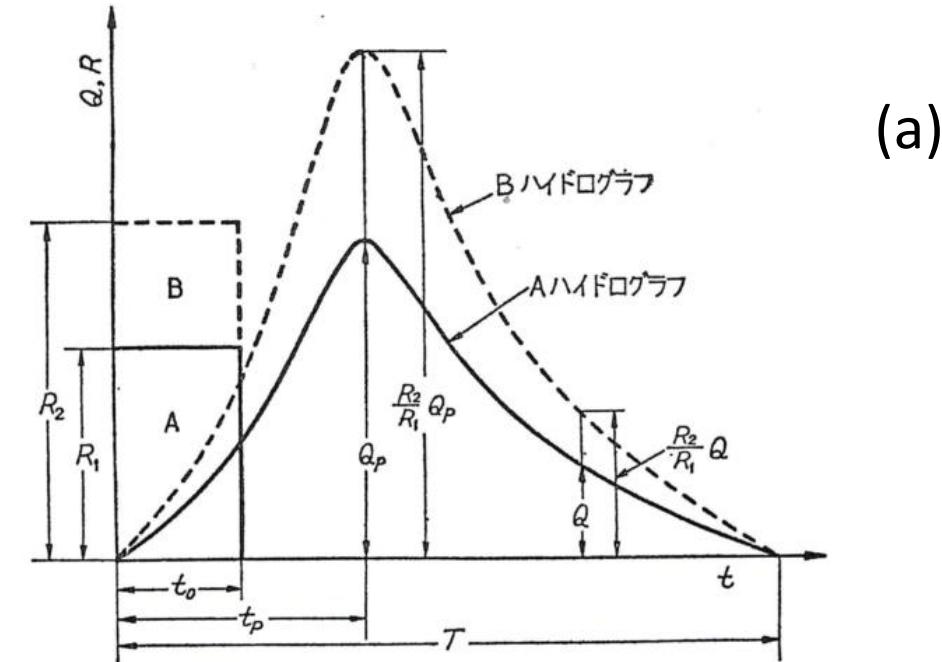
(1) 基底長一定：ピーク流量の出現時刻と直接流出の期間は、降雨強度の大小にかかわらず一定。図(a)の $T = \text{一定}$

(2) 比例仮定：継続時間が等しく、降雨強度の異なる有効降雨による直接流出量は降雨強度に比例する。図(a)の $R_a$ と $R_b$ による流出量

(3) 合成仮定：各々の有効降雨による合成流出量は、各々のハイドログラフを重ね合わせたものである。図(b)における重ね合わせ

中安総合単位図法が日本では開発された。

中安米蔵：「本邦河川洪水のUnit Hydrographについて」(1956)



# 概念モデル（貯留関数法）

1961年、木村俊晃（当時建設省土木研究室水文研究室長）が開発

貯留関数は、洪水流出が表面流であるとして、Manningの流れの式から、流域または河道の貯留量 $S$ をその流出量 $Q$ の指數型関数、

$$S_t = K Q_t^p \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

( $K, p$  : 流域または河道による定数)

と表わして運動方程式とし、さらにこれを連続方程式、

$$\frac{1}{3.6} f r_{ave} A - Q_t = \frac{dS_t}{dt} \quad [1 \text{ 流域につき}] \dots \dots \dots (3.2)$$

$f$  : 流入係数

$r_{ave}$  : 流域平均雨量,  $A$  : 流域面積,

$Q_t(t) = Q(t + T_t)$  : 遅滞時間を考慮した流域直接流出量<sup>(\*)</sup>,

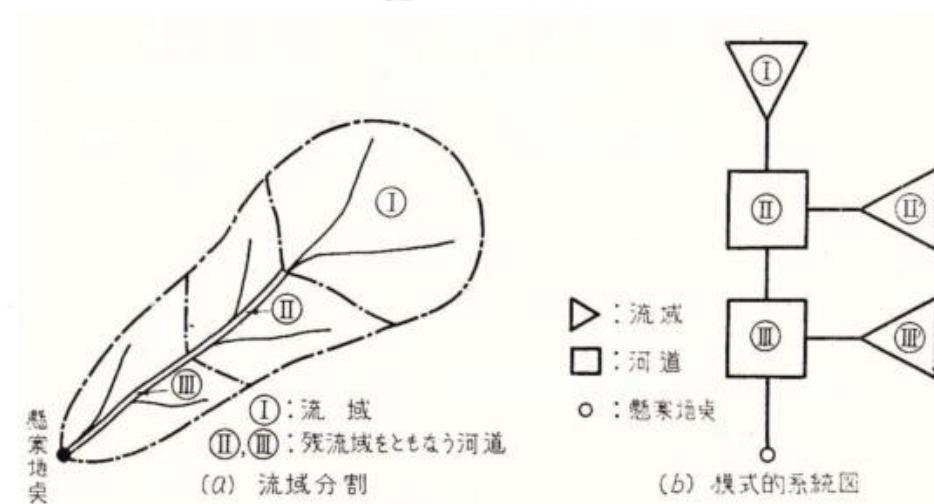
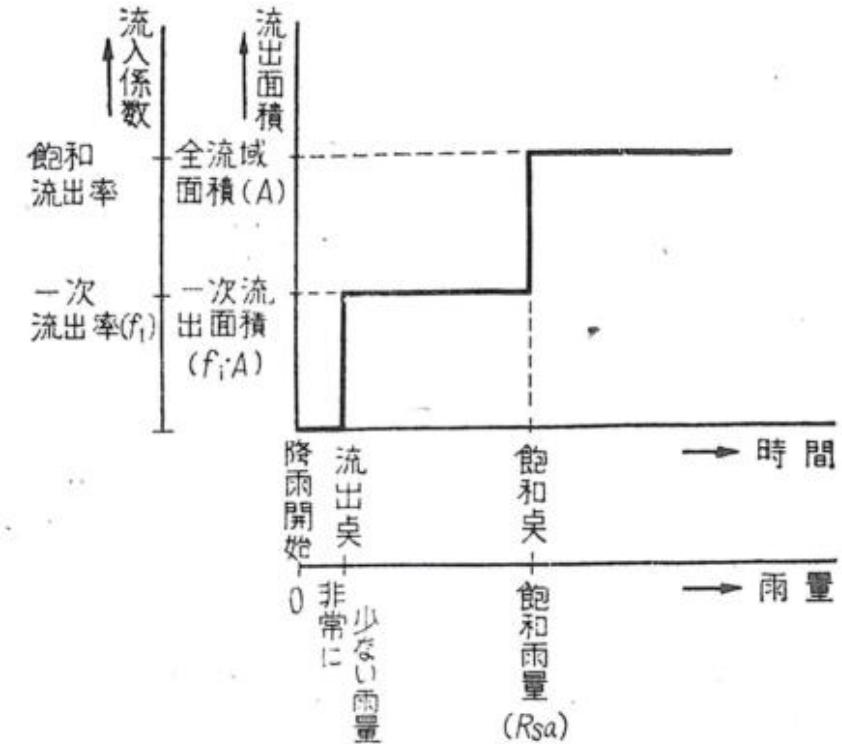
$S_t$  : みかけの流域貯留量,  $T_t$  : 遅滞時間

または、

$$\sum_{j=1}^n f_j I_j - Q_t = \frac{dS_t}{dt} \quad [1 \text{ 河道区間につき}] \dots \dots \dots (3.3)$$

$I_j$  : 流入量群（流域、支川などから対象河道に流入する量、または河道上流端流量）

$f_j$  : 流入係数、



# 雨水流モデル

等価粗度法 (末石富太郎, 1963)

キネマティック・ウェイブ法を流域斜面に適用するもの。

流域を矩形斜面の組み合わせで構成し、Manning等流公式を適用。  
斜面に粗度係数を与える (等価粗度)

等価粗度の標準値 (sec/m<sup>1/3</sup>)

山地 : 1.0~2.0

丘陵・林地 : 0.6~1.2

市街地 : 0.01~0.04

Kinematic Wave 法 (等価粗度法)

$$\begin{cases} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r \\ h = Kq^p \end{cases} \quad \begin{cases} h = (\text{斜面上の}) \text{水深} \\ q = \text{斜面単位幅流量} \\ r = \text{有効降雨強度} \end{cases}$$

Manning 式を用いると  $K = \left( \frac{n}{\sqrt{i}} \right)^p$ ,  $p = 0.6 = \frac{3}{5}$

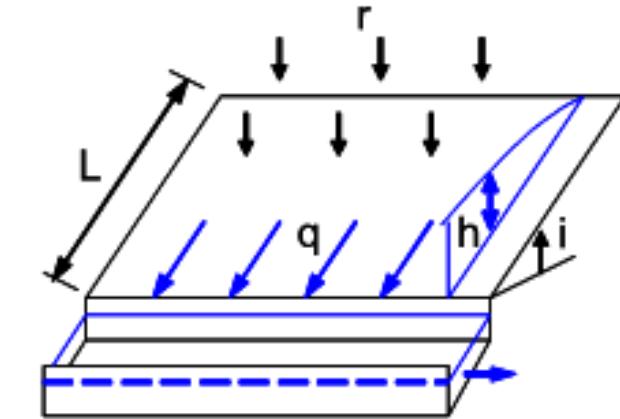
$$h = Kq^p \rightarrow q = \alpha h^m$$

層流:  $\alpha = \frac{g i}{3\nu}$ ,  $m = 3$   $\left( p = \frac{1}{3} \right)$

Manning 則:  $\alpha = \frac{\sqrt{i}}{n}$ ,  $m = \frac{5}{3}$   $\left( p = \frac{3}{5} = 0.6 \right)$

Darcy 則:  $\alpha = \frac{\kappa i}{\phi}$ ,  $m = 1$  ( $p = 1$ )

$$s = \int_0^L h(x, t) dx \quad \begin{cases} s = \text{斜面単位幅貯留量} \\ L = \text{斜面長} \end{cases}$$



$$\begin{cases} n = \text{等価粗度} \\ i = \text{斜面勾配} \end{cases}$$

$$\begin{cases} g = \text{重力加速度} \\ \nu = \text{動粘性係数} \\ \kappa = \text{透水係数} \\ \phi = \text{土の有効間隙率} \end{cases}$$

# 総合治水の推進～都市化の時代へ

「総合治水対策の推進について」（1977年河川審議会・中間答申）

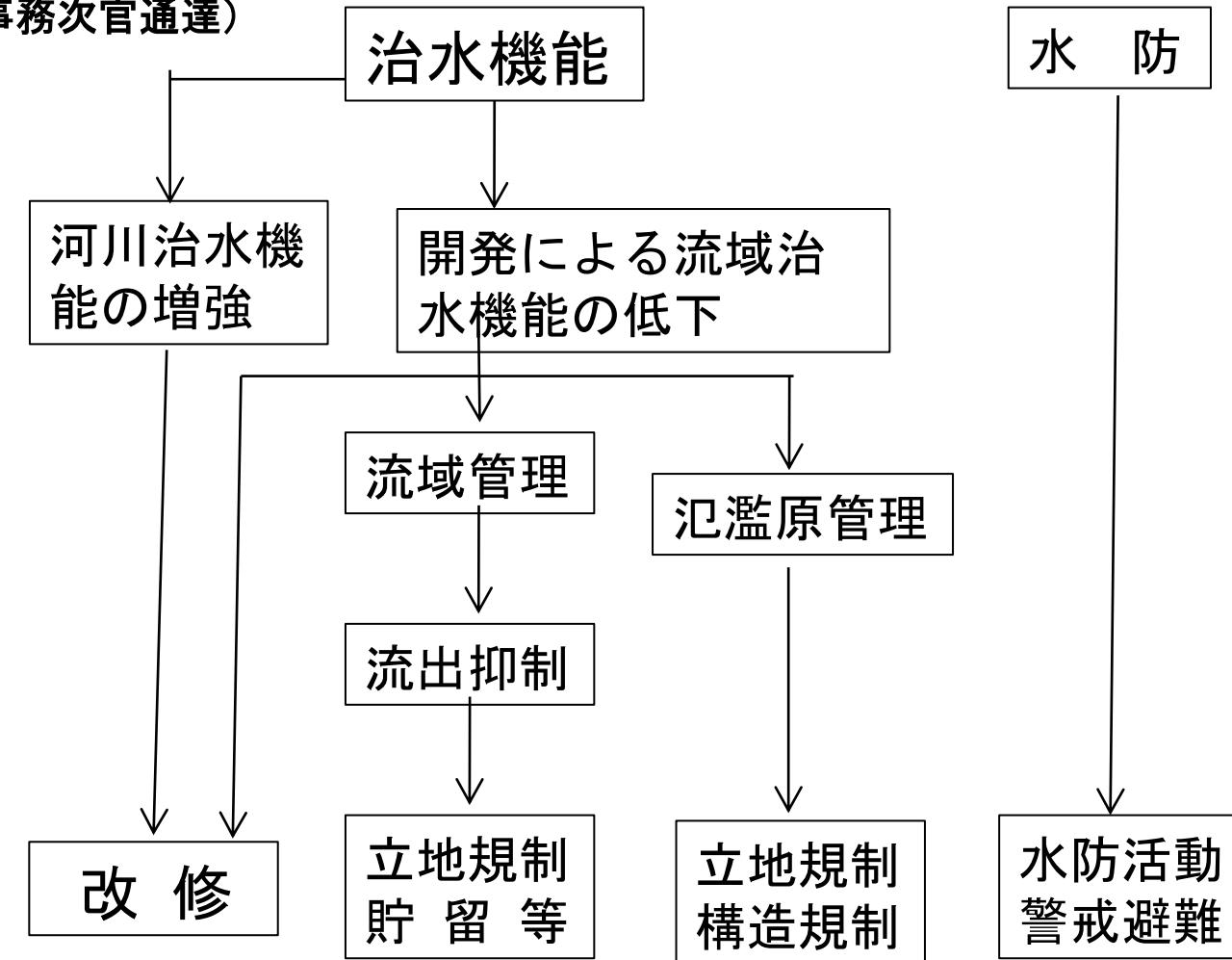
＜総合治水の理念＞

（昭和55年5月15日建河計発第36号建設省河川局長・建設事務次官通達）

従来の河道治水、河道の治水施設の整備のみならず、**全流域を対象とする治水**、特に流域のもつ保水・遊水機能を確保し、河道への流出抑制までふくめた治水である。

これには、立地規制・構造規制も含めた被害軽減の氾濫原管理も含まれる。

まず、都市化による流出機構の変化が著しい都市河川に適用されることになった。



# 土地利用変化を評価する流出モデル

## 準線形貯留型モデル

建設省河川局と土木技術研究所が実施した、全国流出試験地の実測データをもとに、**都市化による土地利用の変化を評価できる流出モデル**として1977年に開発されたモデルである。

合理式との関連を考慮しながら、土地利用と有効降雨によって洪水到達時間が異なる。

基本的にはNashの線形貯水池モデルをもとに作成されているが、到達時間に有効降雨を取り入れていることから準線形と称する。

### 準線形貯留型モデル

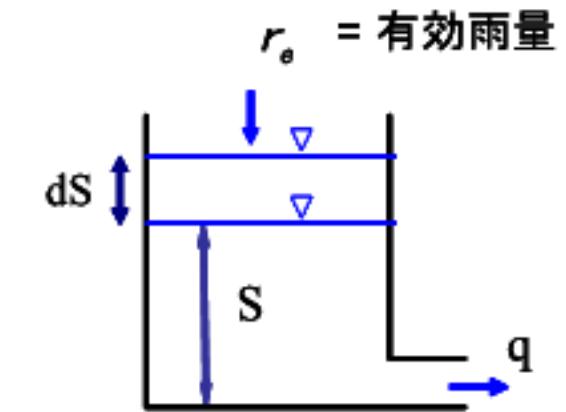
$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = r_e - q & (r_e = f r) \\ S = K q & \leftrightarrow \left( q = \frac{S}{K} \right) \end{cases}$$

$$K = T_\ell = \frac{T_c}{2} \quad \begin{cases} T_\ell = \text{遅れ時間} \\ T_c = \text{洪水到達時間} \end{cases}$$

$$T_\ell = CA^{0.22} r_e^{-0.35} = C \frac{A^{0.22}}{r_e^{0.35}}$$

地目別に(ある範囲で)既定  
(この範囲内の値で同定)

同定するモデル定数:  $K (\leftrightarrow C)$ ,  $f$



(例1)	
水田: C=1000	
山林: C= 290	
畠地: C= 210	
市街地(舗装, 下水): C= 50	
(例2)	
丘陵山林地: C= 290	
粗造成地: C= 90~120	
ゴルフ場・放牧地: C= 190~210	
市街地: C= 60~90	

# コンピュータ世代のモデル

1980年代以降 コンピュータ能力の向上により  
物理モデルが主流となる

特に、都市域の流出解析モデルとして

# コンピュータによる物理モデルの適用

- 1) 物理法則が直接適用される分布定数系モデル
- 2) 流れの計算に、水理学が直接適用される。
- 3) 基礎方程式が偏微分方程式となる。
- 4) 多くのパッケージソフトが開発されている。  
(XP-SWMM, MIKE SHE, etc.)

流出解析における物理モデル  
開発への貢献

Wayne C. Huber : SWMMの開発

Preissmann, M.A : プライスマン・スロットの考案

Ben Chie Yen : 下水道水理学の体系化

# 合理式

Mulvaney  
(1851)  
Kuichling  
(1889)  
Lloyd Davies  
(1906)

前コンピュータ世代  
(1950s~1970s)

コンピュータ世代  
(1980s~1990s)

パッケージSW世代  
(2000~)

TRRL法 (1962), 修正RRL法 (1972)

## 応答関数型モデル

単位図 Sherman(1932)  
中安総合単位図(1956)

## 概念モデル

Stanford Model Linsley et al. (1942)  
タンクモデル 菅原(1956)  
貯留関数法 木村(1961)

## 雨水流モデル

等価粗度法 末石(1963)

<集中定数系>

## 物理モデル

### 都市化

都市域流出モデル  
(下水管水理モデル)

### 準線形貯留型モデル

建設省土研(1977)

河道不定流モデル

山腹斜面流出モデル  
(不飽和浸透モデル)

大型コンピュータ (TSS導入)

<分布定数系>

## 物理モデル

浸水氾濫モデル

XP-SWMM  
MOUSE  
InfoWorks

パーソナル  
コンピュータPC)

# 洪水追跡の物理モデル

## Continuity Equation

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

## Saint-Venant Equation

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\beta Q^2}{A} \right) + \cos \theta \frac{\partial h}{\partial x} - (S_o - S_f) = 0$$

Kinematic Wave Model

Diffusion Wave Model

Quasi-steady Dynamic Wave Model

Dynamic Wave Model

$A$ : 流水断面積,  $Q$ : 流量,  $g$ : 重力加速度,  $h$ : 水深  
 $S_o$ : 河床勾配,  $S_f$ : 摩擦勾配

# 地表面氾濫の物理モデル

## Continuity Equation

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

## Momentum Equation

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial vM}{\partial y} + gh \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \tau_x(b) = 0$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial uN}{\partial x} + \frac{\partial vN}{\partial y} + gh \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \tau_y(b) = 0$$

$$\tau_x(b) = \frac{\rho g n^2 \bar{u} \sqrt{(u^2 + v^2)}}{h^{1/3}}, \quad \tau_y(b) = \frac{\rho g n^2 \bar{v} \sqrt{(u^2 + v^2)}}{h^{1/3}}$$

$u, v$  :  $x$ 方向,  $y$ 方向の流速,  $M, N$  :  $x$ 方向,  $y$ 方向の流量フラックス,

$g, \rho$  : 重力加速度, 水の密度

$\tau_x(b), \tau_y(b)$  :  $x$ 方向,  $y$ 方向のせん断力,  $n$  : 底面粗度係数

2次元不定流のモデルで地表面の氾濫を計算する。

土地利用に対応してマニングの等価粗度を用いるとともに、建物の影響も考慮する必要がある。

地表面のグリッドが増えてくると、2次元不定流モデルの数値計算は、連立方程式を解く計算負荷の重いものとなり、何らかの工夫が必要である。

国総研の公開モデルNILIMも地表面氾濫にこの2次元不定流を用いている。

# 浸水氾濫モデルの開発

## 都市流出モデルの開発経緯

流出モデル ピーク流量（合理式） 1960年代

流出モデル ハイドログラフ 1970～80年代  
(集中パラメータ／分布パラメータ)

(浸水氾濫モデルに本格的に水理学が導入される)

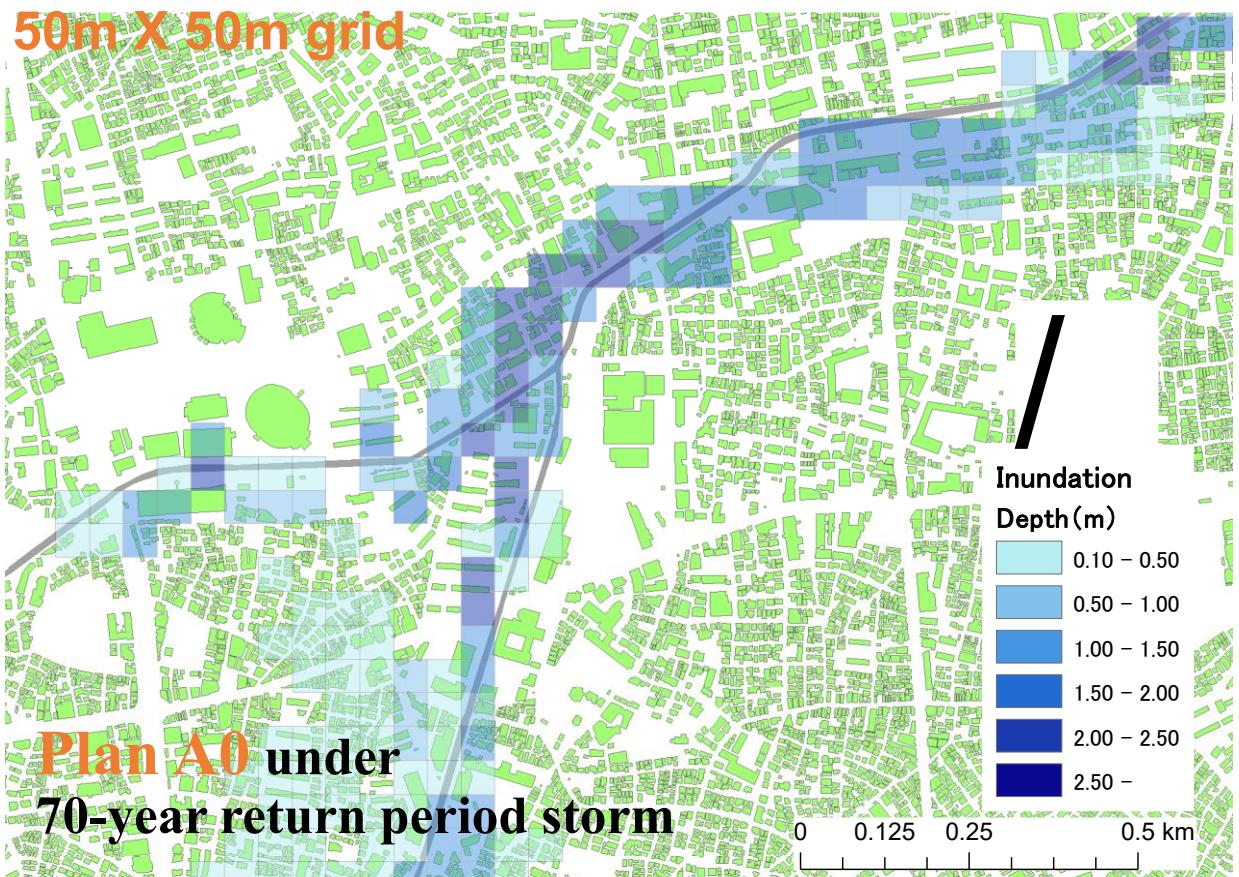
2次元浸水氾濫モデル 1990年代～  
(XP-SWMM／MOUSE etc.)

浸水被害算定モデル（守田研究室開発）  
(GISを応用して浸水被害を算定する)

東京海上火災との共同研究

FDPM (Flood Damage Prediction Model)

浸水リスクの評価とマネジメント 2000年代  
洪水リスクの定量化



守田研究室では、当初、拡散波(Diffusion Wave)による二次元浸水氾濫モデルを開発したが、2010年以降、XP-SWMMを浸水氾濫解析モデルとして使用する。

# パッケージ・ソフトウェアの時代

2000年代以降 PCの能力向上と普及により  
パッケージ・ソフトウェアが主流となる

特に、都市域の流出解析モデルとして

# 合理式

Mulvaney  
(1851)  
Kuichling  
(1889)  
Lloyd Davies  
(1906)

前コンピュータ世代  
(1950s~1970s)

コンピュータ世代  
(1980s~1990s)

パッケージSW世代  
(2000~)

TRRL法 (1962), 修正RRL法 (1972)

## 応答関数型モデル

単位図 Sherman(1932)  
中安総合単位図(1956)

## 概念モデル

Stanford Model Linsley et al. (1942)  
タンクモデル 菅原(1956)  
貯留関数法 木村(1961)

## 雨水流モデル

等価粗度法 末石(1963)

<集中定数系>

## 物理モデル

### 都市化

都市域流出モデル  
(下水管水理モデル)

### 準線形貯留型モデル

建設省土研(1977)

河道不定流モデル

山腹斜面流出モデル  
(不飽和浸透モデル)

大型コンピュータ (TSS導入)

<分布定数系>

## 物理モデル

浸水氾濫モデル

XP-SWMM  
MOUSE  
InfoWorks

パーソナル  
コンピュータPC)

# ハザードマップへの道

総合治水は、理念として、浸水予想区域図をソフト対策のひとつと考えていた。しかし、地元国会議員、自治体関係者、不動産業者からの反発があった。

しかし、平成12年(2000)の東海豪雨が、ハザードマップ作成への契機となった。

「情報公開」の世論も背景に(「情報公開法」(2001))、浸水予想図の公開が受け入れられるようになった。

## 水防法の改正 平成13年 (2001)

- 1) 洪水予報河川の拡充
- 2) **浸水想定区域および浸水深を公表するとともに、関係市町村へ通知**
- 3) 円滑かつ迅速な避難を確保するための措置

- ・浸水想定区域の指定を受けて、市町村防災会議は、洪水予報や避難の伝達など必要事項を決定
- ・浸水想定区域内に不特定多数の者が利用する**地下施設がある場合**、洪水予報の伝達方法を決定
- ・市町村長は、市町村地域防災計画に定めた事項を住民に周知させる。

## 宅地建物取引施行規則の改正 (2020)

「水防法に基づき作成された水害ハザードマップを提示し、対象物件の概ねの位置を示すこと。」

## 1D and 2D modelling of urban drainage systems using XP-SWMM and TUFLOW

B.C. Phillips<sup>1\*</sup>, S. Yu<sup>2</sup>, G.R. Thompson<sup>3</sup> and N. de Silva<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Director, Cardno Willing (NSW) Pty. Ltd.,  
Level 3, 910 Pacific Highway, Gordon NSW 2072, Australia

<sup>2</sup> Senior Hydro-Environmental Engineer, Cardno Willing (NSW) Pty. Ltd.,  
Level 3, 910 Pacific Highway, Gordon NSW 2072, Australia

<sup>3</sup> Director, XP Software Pty. Ltd., PO Box 3064, Belconnen ACT 2617, Australia

<sup>4</sup> Senior Engineer - Catchment Management, Fairfield City Council  
PO Box 21, Fairfield NSW 1860

\*Corresponding author, e-mail: [bphillips@cardno.com.au](mailto:bphillips@cardno.com.au)

### ABSTRACT

The release of a revised NSW Floodplain Management Manual in 2001 established a new direction for urban flood management in NSW. This new direction was created by a redefinition of the floodplain as the area bounded by the PMF – this poses a challenge to estimate PMF flooding in highly urban areas and particularly in piped drainage areas; and the removal of the distinction between “mainstream flooding” and “local flooding” – this poses challenges in defining and mapping flood risk areas in residential areas inundated by the PMF. At the same time the increasing collection of aerial laser scanning (ALS) across whole local government areas (LGAs) is providing detailed survey levels capable of supporting 2D terrain and hydrodynamic modelling and detailed floodplain mapping.

# パッケージ・ソフトウェアの時代へ

1990年代から、流出解析コマーシャル・ソフトウェアの開発が始まり、2000年代以降は、特に都市流域を対象とした浸水氾濫解析、下水道水理解析などのSWが、主に欧米で開発が進み、国内においても国土交通省がNILIMなどの公開ソフトウェアを発表するに至った。

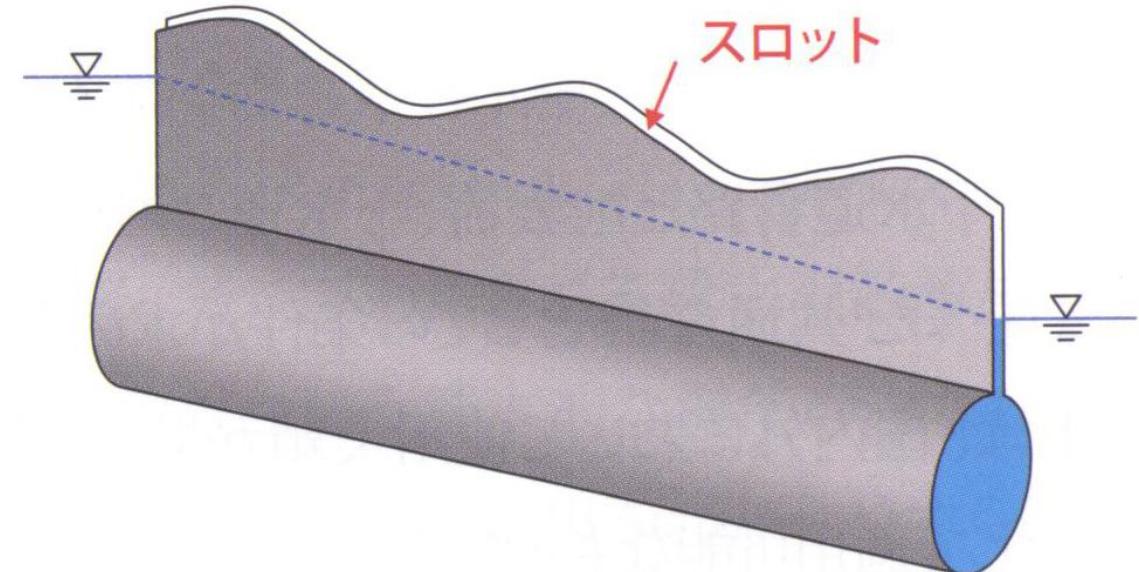
ソフト名	開発者	下水管水理解析	浸水氾濫解析
InfoWorks	英国/Wallingford Software	Dynamic Wave(完全Saint-Venant)	2次元不定流InfoWorks CS+SULIS
MOUSE	デンマーク/DHI Software	Dynamic Wave(完全Saint-Venant)	2次元不定流 MIKE Urban Flood
XP-SWMM	豪州/XP Software	Dynamic Wave(完全Saint-Venant)	2次元不定流 XP-SWMM 2D
NILIM	国土技術政策総合研究所	Diffusion Wave(1次元不定流)	2次元不定流

InfoWorksとMOUSEはヨーロッパで普及し、XP-SWMMは、北米、豪州で使われている。日本では、建設コンサルタント、上下水道系のコンサルタント会社が、市販ソフトウェアを保有し、委託業務において活用している。

# 豪雨による下水管雨水流の計算の困難さ

下水管の流れは基本的には、水面のある開水路の流れである。しかし、豪雨期においては、雨水が満管状態になり、圧力(動水勾配)で流れる管水路の流れに変化する。この満管状態になると、さらにマンホールから水が地表に流出し、内水氾濫を引き起こすことになる。

この圧力管の流れを水理学的に解析することは極めて困難である。そこで、この圧力管の流れを簡易に計算する手法として<プライスマン・スロット>の方法が開発された。(水理学者プライスマンによる研究)



Preissmann, A. and Chung, J.A. Calcul des intemescences sur machines électroniques, Proceedings of 9th IAHR, 1961.

# 浸水氾濫モデルの今後の発展

1. ハザードマップの進化
2. リアル・タイム・コントロール
3. 洪水リスク評価モデルへの発展
4. <不確実性>の導入

# ハザードマップの進化

## ハザードマップの目的

- ①減災計画のためのハザードマップ
- ②減災行動のためのハザードマップ

## AIの導入によるハザードマップの作製

- \* 浸水実績から浸水特性を記憶させる
- \* 浸水氾濫モデルシミュレーションとの併用

## ハザードマップの機能

- ①想定豪雨での最大浸水深／最大流速の表示
- ②想定豪雨における浸水深／流速の時系列変化
- ③想定豪雨での浸水氾濫映像(Visualization)
- ④リアルタイムの浸水氾濫表示→避難減災行動へ

---

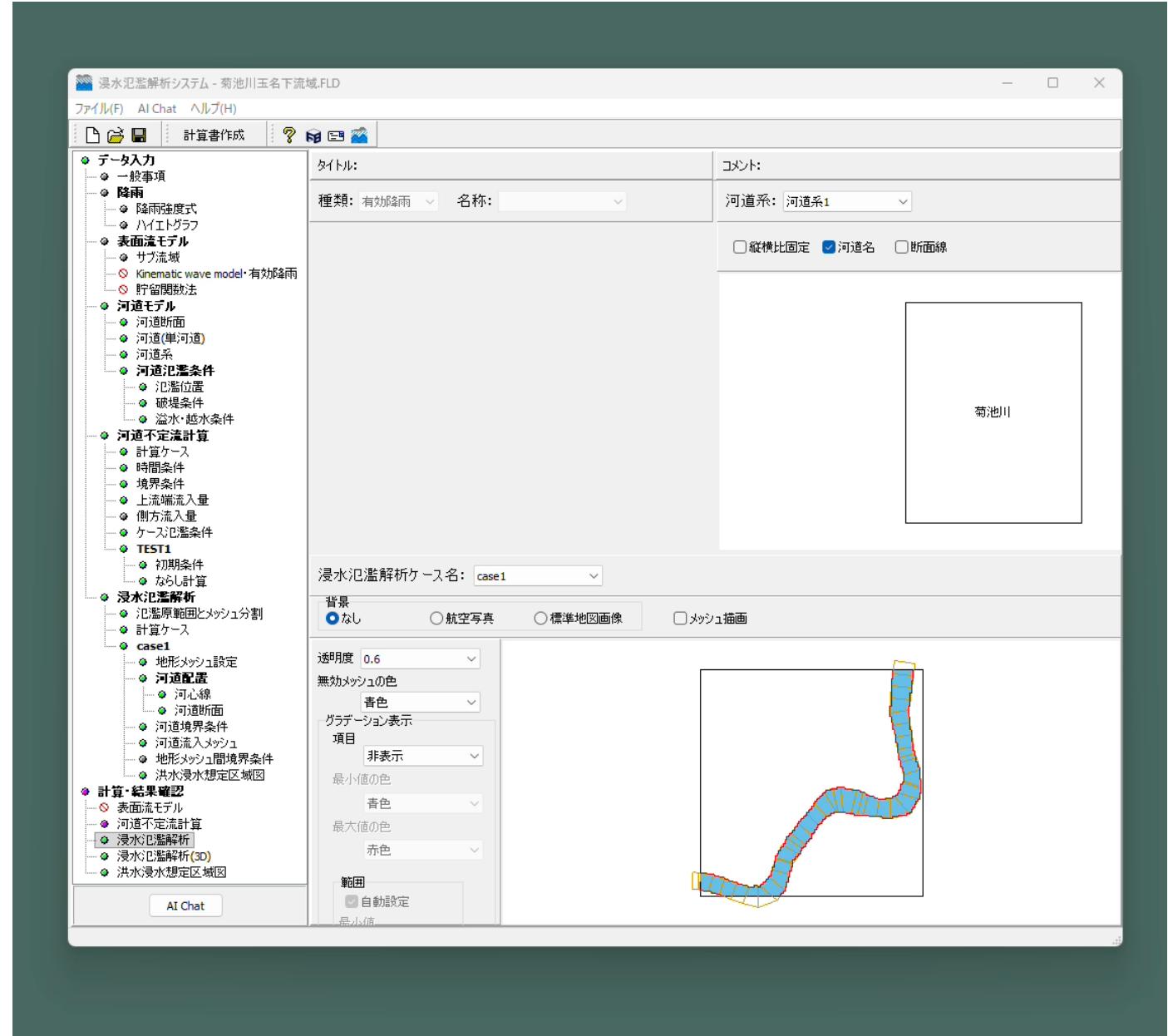
浸水氾濫モデルに要求されることは、計算精度と計算安定性とともに、

- ①ユーザー・フレンドリー（データ入力の容易さと効率性／多様なニーズに対応した結果出力）
- ②計算負荷の軽減（コンピュータの能力と計算時間）

## FORUM 8 浸水氾濫解析システム

### 破堤氾濫(2D)

- ・破堤氾濫の2D結果画面を表示します。
- ・水深分布図の時間変化を再生します。
- ・画面右上が破堤しました。
- ・氾濫範囲を拡大表示します。
- ・メッシュを指定すると、画面下側に履歴グラフを表示します。
- ・水深分布図の時間変化を再生します。

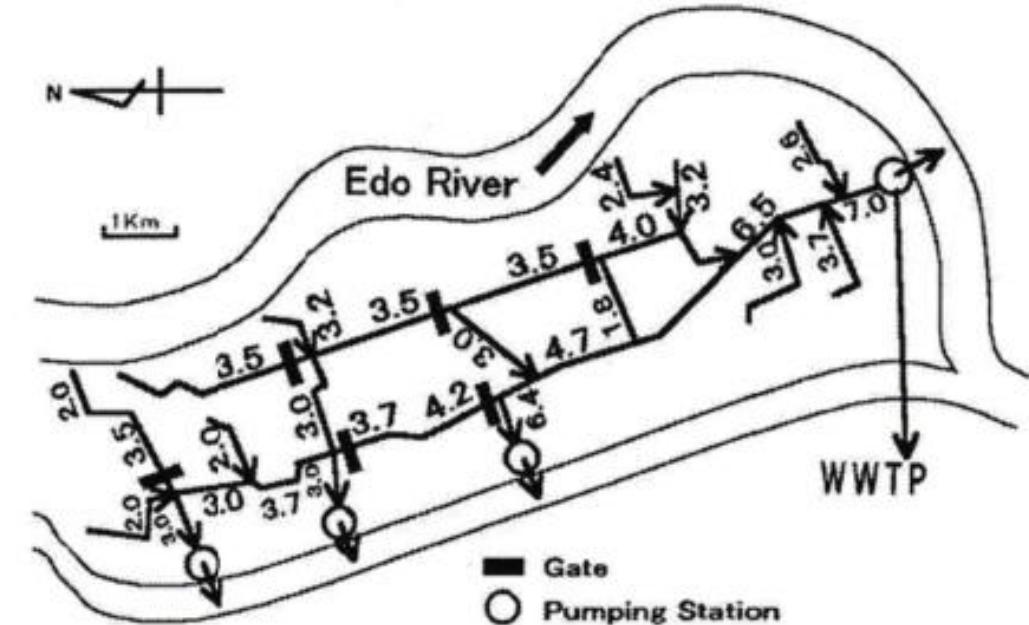


# リアル・タイム・コントロール (RTC)

RTCは、下水道のポンプだけではなく、制御できる排水区のあらゆる施設（貯留浸透施設、バイパス、ゲートなど）を、時々刻々の雨水流出状況を把握しながら、操作コントロールする。

特に、合流式下水道では、CSO（合流式下水道による有機汚濁物質）の排出制御において重要である。

河川においても、XバンドMPレーダ（XRAIN）情報、気象庁の短時間予測情報を取り組み合わせて活用し、数時間先の洪水、さらに浸水氾濫を予測し、減災行動に結びつけることが可能となる。



東京におけるリアル・タイム・コントロールの最初の事例  
(Shoichi Fujita, 9th ICUD, A Scenario for the Modernization of Urban Drainage)

# 洪水リスク評価モデルへの発展

浸水被害をいかに定量化するか？

二次元浸水氾濫モデルで、浸水深を計算する。

その浸水深(Hazard)から、浸水対象

(Exposure)ごとに

浸水深－被害率曲線 (Vulnerability) を用いて計算する。

$$(\text{被害額}) = (\text{評価額}) \times (\text{被害率})$$

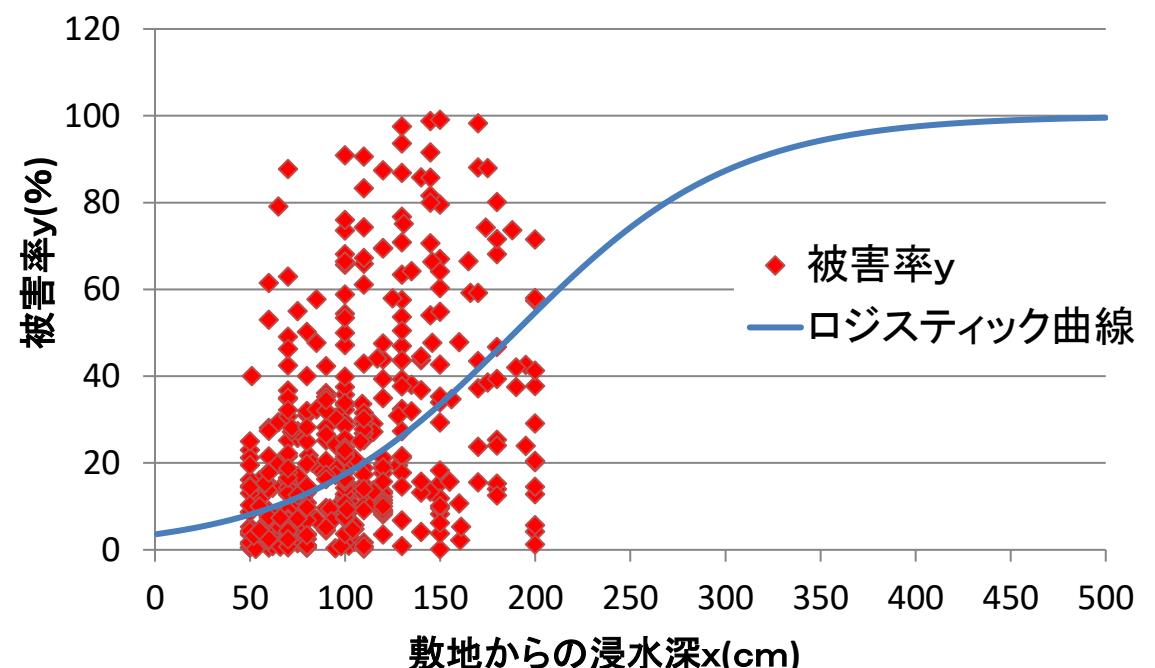
評価額は、『治水経済調査マニュアル』をベースに算出する。

浸水深－被害率曲線は、建設省の浸水被害調査報告書の原データから、ロジスティック曲線を作成した。

## 浸水深から被害額へ

GISを活用し、物件データから評価額と被害率を用いて被害額を計算する。

家庭用品 浸水深－被害率曲線



# 洪水リスク定量化の基礎

## ～洪水リスク解析の方法の定式化

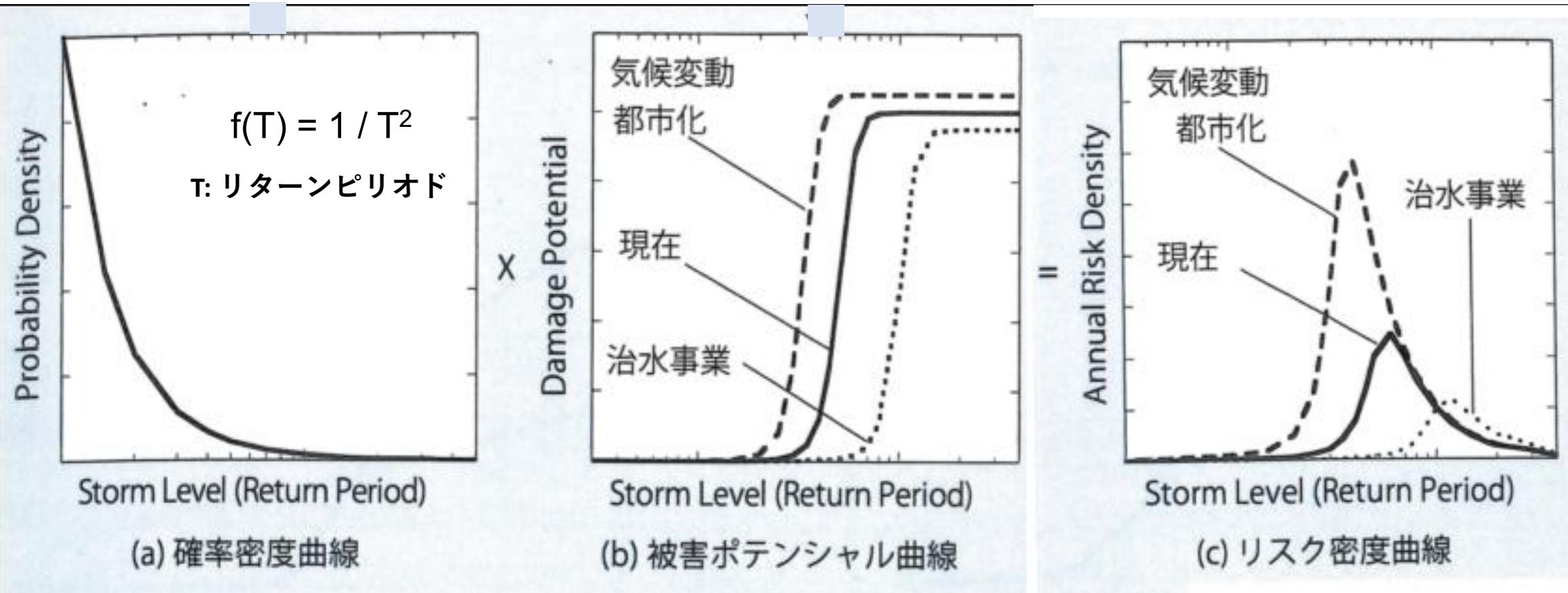
豪雨生起確率

×

浸水被害額

=

洪水リスク



洪水リスクの定義（リスク=確率×被害）  
に従って、洪水リスクを定量化する。

被害ポテンシャル曲線は、都市化、  
地球温暖化、資産増加によって上方  
ヘシフト。逆に、治水対策によって  
下方ヘシフトする。

リスク密度曲線を積分すると年間  
洪水リスクコストが算出される。  
年間洪水リスクコストは、年間被  
害額期待値(EAD)である。

# 都市の洪水リスク解析

## 都市の 洪水リスク解析

減災からリスクマネジメントへ  
from Flood Damage Reduction to Flood Risk Management

芝浦工業大学工学部土木工学科 教授  
守田 優



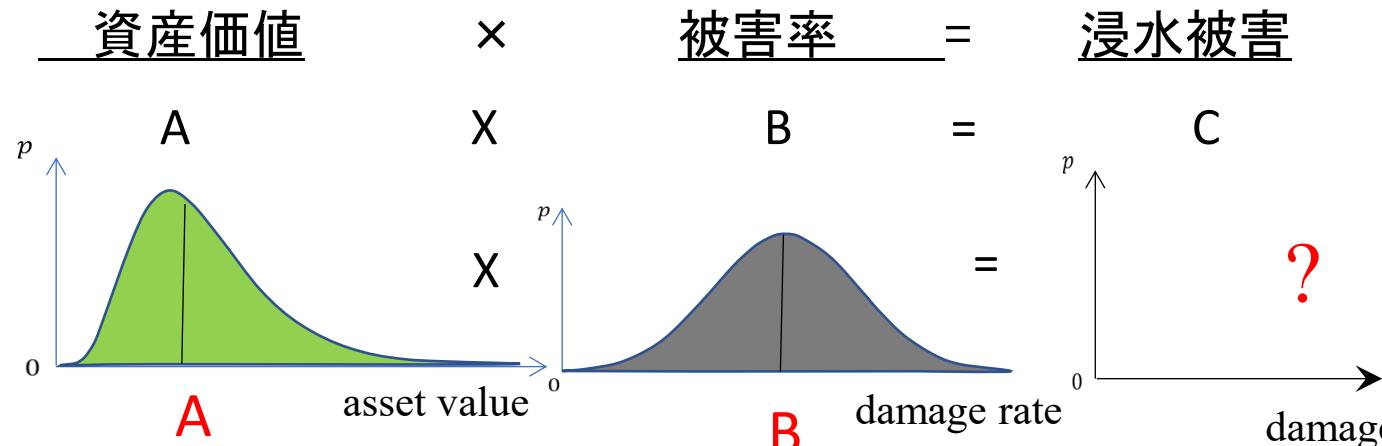
洪水リスクアセスメントの考え方について、その基本的な理論や手法から、マクロ・ミクロ解析によるリスク評価への応用、将来的な展望までをわかりやすく解説。

FORUM 8  
PUBLISHING

FORUM 8 PUBLISHING (2014)

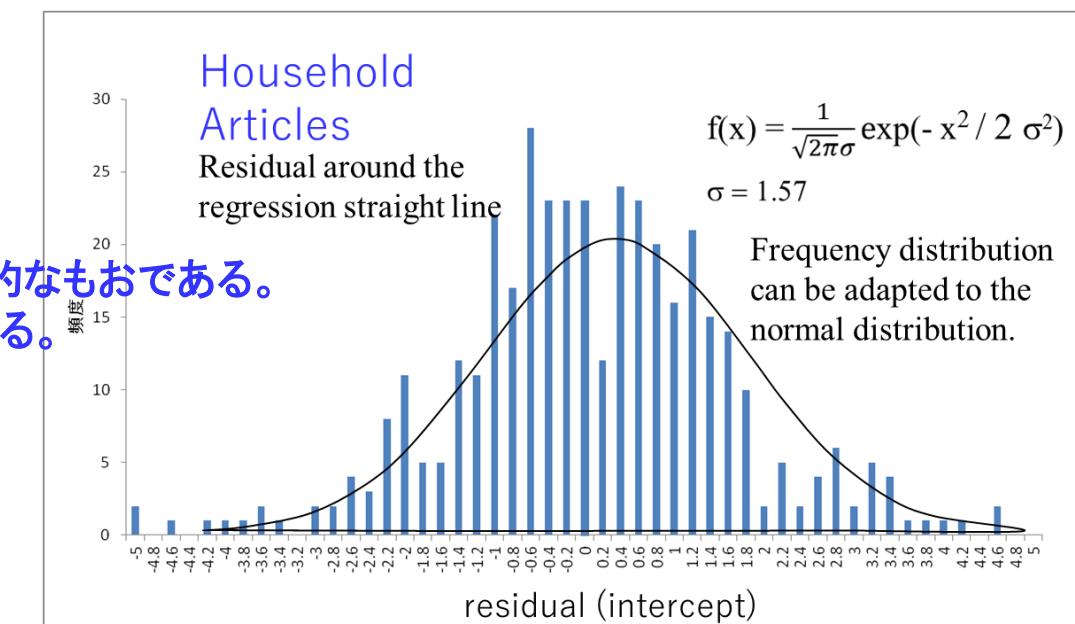
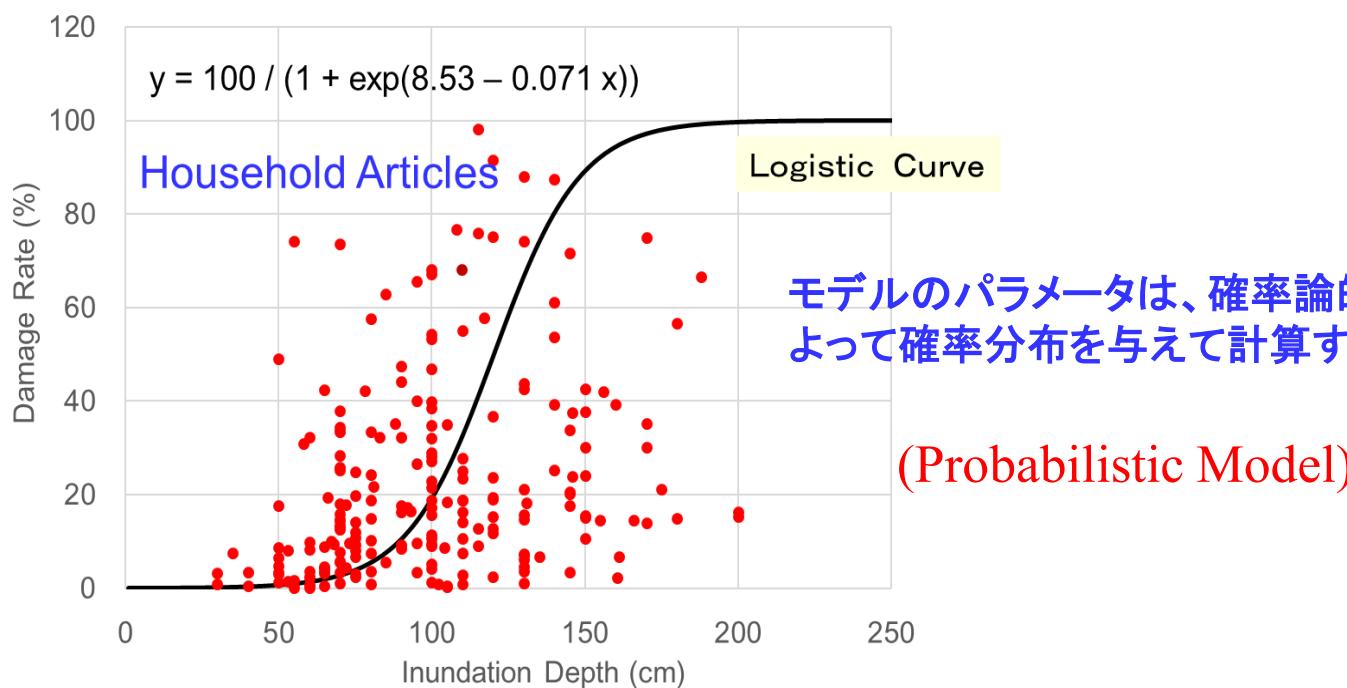
1. Morita, M.(2008).“Optimal Flood Protection Level for Flood Control Infrastructure Construction in the Framework of Risk Management”, Internet Journal of Society for Social Management Systems, Paper Code SMS08-134.
2. Morita, M. (2008). “Flood Risk Analysis for Determining Optimal Flood Protection Levels in Urban River Management”, Journal of Flood Risk Management, Vol.1, No.3, 142-149.
3. Morita, M (2010). “Impact of Global Climate Change on Infrastructure System for Flood Control in Urban River Management”, Internet Journal of Society for Social Management Systems, Paper Code SMS10-134.
4. Morita. M. (2011). “Quantification of Increased Flood Risk due to Global Climate Change for Urban River Management Planning”, Water Science & Technology, Vol.63, No.12, 2967-2974.
5. Morita, M. (2013). “Risk Assessment Method for Flood Control Planning Considering Global Climate Change in Urban River Management”, From Risk to Opportunity, IAHS Publ. No.37, 107-116.
6. Morita, M. (2014). “Flood Risk Impact Factor for Comparatively Evaluating the Main Causes that Contribute to Flood Risk in Urban Drainage Areas”, Water, Vol.6, 253-270.
7. Morita, M. and Tung, Y. K (2019). “Uncertainty Quantification of Flood Damage Estimation for Urban Drainage Risk Management”, Water Science and Technology, Vol. 80, No. 3, DOI: 10.2166/wst.2019.297.

# 洪水リスク評価における不確実性の導入

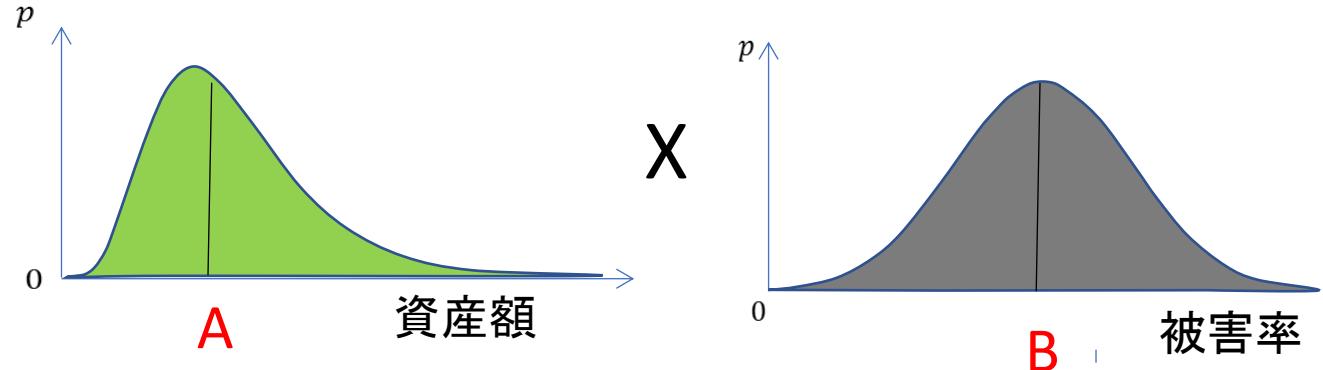


伝統的な決定論的モデル  
(Deterministic Model)

確率論的なモデル  
(Probabilistic Model)



# モンテカルロ・シミュレーションによる計算

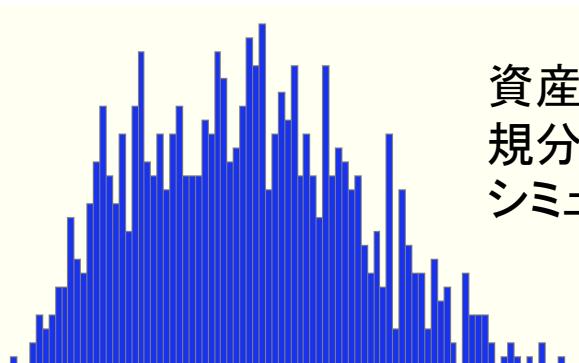


Monte Carlo Simulation



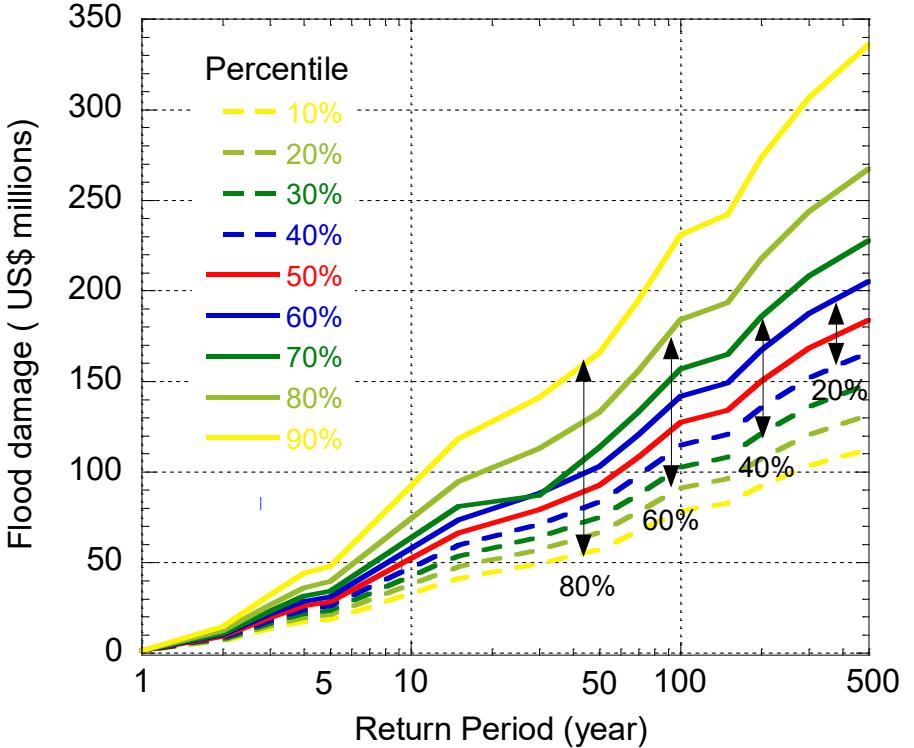
Software: Crystal Ball

各計算ケースについて1000回のシミュレーションを行う



資産額と被害率について正規分布を与え、ランダムにシミュレーション計算を行う。

## 確率論的モデルによる被害ポテンシャル曲線（リスクカーブ）の計算



被害ポテンシャル曲線は、1本の曲線ではなく、エリア・チャートして表現される。

不確実性は中央値の周囲に、20%, 40%, 60%, 80% の信頼区間として著される。

**Thank you for your attention!**