

衛生工学 上水道

2. 流出解析と地下水取水



名古屋大学減災連携研究センター
Disaster Mitigation Research Center, NAGOYA UNIVERSITY

流出解析

水文現象の解析

- 一 極値現象（最大・最小，順序統計，極値統計）
 - ✓ 渇水
 - ✓ 雨水
- 一 決定論（現象論）
- 一 確率論（統計論）

再現期間 Return Period

- ＞ x （流量，雨量など）がある値 x_a 以上（洪水）または以下（渇水）となることが平均的にみて T 年に一度の割合で期待される。
- ＞ T 年を x の再現期間（Return Period）という。

分布型を想定しない場合：Hazen Plot

1. N 個のデータを小さい順に並べる。 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$
 2. それぞれの正規確率を $1/N$ とする。
 3. x_i をはさむ小区間面積をすべて $1/N$ になるよう小区間近似をする。
- N 個のデータの i 番目の非超過確率（超過確率）は、

$$W(x_i) = \frac{1}{N}(i-1) + \frac{1}{2N}$$

- （特徴）実用性が大きい。確率の大きい、または小さいところ（両端）で精度が落ちる。

分布型を想定しない場合：Thomas Plot

- Hazen Plotと同様、データを大きさの順に並べ、 x_i の（非）超過確率を W_i とすると、

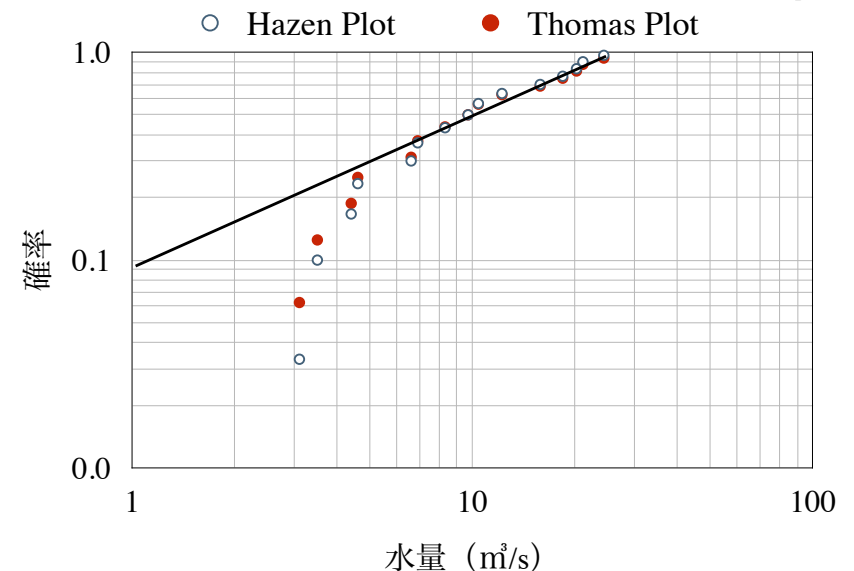
$$W(x_i) = \frac{i}{N+1}$$

- Hazen Plotにくらべ、下端で大きめの確率を与える傾向が強く、技術上安全側であり多用される。
- 確率降雨強度の算出に用いる。

流量の毎年（15年）最小データ

i	$x_i (m^3/s)$	Hazen	Thomas
1	3.1	1/30	1/16
2	3.5	3/30	2/16
3	4.4	5/30	3/16
4	4.6	7/30	4/16
5	6.6	9/30	5/16
6	6.9	11/30	6/16
7	8.3	13/30	7/16
8	9.7	15/30	8/16
9	10.4	17/30	9/16
10	12.2	19/30	10/16
11	15.8	21/30	11/16
12	18.4	23/30	12/16
13	20.2	25/30	13/16
14	21.1	27/30	14/16
15	24.3	29/30	15/16

毎年最小データより渇水の10年確率



分布型を想定する場合：岩井法

- データの母集団の分布について、下限値 b を有する対数正規分布を頻度分布と想定して、水文予測する。
- 日本の確率計算法として広く用いられる方法。
- 片側有限分布

分布型を想定する場合：極値分布

- N 個のデータの i 番目の順序統計量の分布は、Thomas Plotで表される。

$$W(x_i) = \frac{i}{N+1}$$

- 特に $i=1$, もしくは, $i=N$, つまり最大値または最小値の分布は、母集団がある条件を満足するとき、 $N \rightarrow \infty$ になるにしたがって、特定の極限形式に漸近する。

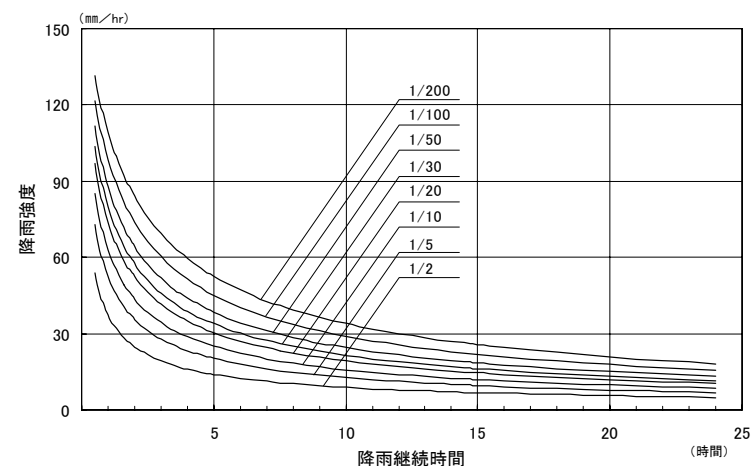
$$F(x; \mu, \theta, \gamma) = \exp \left\{ - \left[1 + \gamma \left(\frac{x - \mu}{\theta} \right) \right]^{-\frac{1}{\gamma}} \right\}$$

- ガンベル型, フレシェ型, ワイブル型

流出解析

- 時間降雨曲線 (Hyetograph)
- 時間流量曲線 (Hydrograph)
- ピーク流量 → 施設の設計：合理法
- 実時間ハイドロ → 開水路水理：特性曲線法
- 損失雨量： R_l , 雨量： R
- 有効降雨： $R_e = R - R_l = CR$
- ✓ C ：流出係数

降雨強度曲線



降雨強度公式

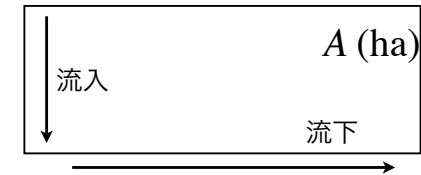
ー タルボット型 $I = \frac{b}{t+a}$

ー シャーマン型 $I = \frac{b}{t^n}$

ー 久野・石黒型 $I = \frac{b}{\sqrt{t \pm b}}$

ー クリーブランド型 $I = \frac{a}{t^n + b}$

雨水流出の合理法



- ー 対象地域の降雨強度公式を選定し，降雨継続時間とその地域の関係に関連させ，流達時間や遅滞減少を検討して最大雨水流出量を算定する。

- ー 最下流点流量（ピーク流量） $Q (m^3/s)$

- ー 流達時間 = 流入時間 + 流下時間

- ー 流出係数； C

- ✓ 住宅地：0.25～0.75，郊 外：0.25～0.40，緑 地：0.10～0.40，道 路：0.70～0.95

$$Q = \frac{1}{360}CIA$$

特性曲線法

- ー 地表に落下した雨滴が時間の経過とともに流下していく様子を $x-t$ 平面に表現したものを特性曲線という。
- ー 分割した流路の1区間を取り上げて，その上流端を $x = 0$ にとり，上流端からの流入がないとして， $x-t$ 平面の原点から出る特性曲線を求め，これをもとに $h-t$ 図， $Q-t$ 図（ハイドログラフ）を求める方法を特性曲線法という。

地下水取水

Darcyの式

$$Q = Aki = kA \frac{H}{L}$$

> Darcyの式

- 地下水の流れの計算式。地下水の流れは粒子間の間隙を流れるから、ミクロの流線をみれば層流とはならないが、マクロの視点からみれば一定の方向へ流れる層流と考えられる。

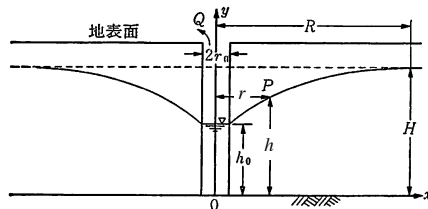
透水係数

- 土層の中を単位時間に流れる水の流量は、浸透流量を Q 、断面積を A 、**透水係数**を k 、動水勾配を i とすると、

$$Q = Aki$$

- したがって、透水係数は、単位時間に単位面積中を単位動水勾配のもとで、土層の中を流れる浸透速度である。透水係数は一般に粗粒の砂質土層では大きく、細粒の粘性土層では小さい。
- 単位はcm/s

地下水取水（不被圧）



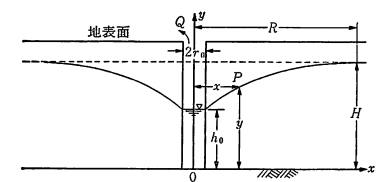
- 運動式；Darcy則

$$v = k \frac{dh}{dr}$$

- 連続式

$$Q = h(2\pi r)v$$

地下水取水（不被圧）



$$Q = h(2\pi r)v \quad \text{と} \quad v = k \frac{dh}{dr} \quad \text{から}$$

$$Q = h(2\pi r)k \frac{dh}{dr} = 2\pi kh \frac{dh}{dr} \frac{1}{dr}$$

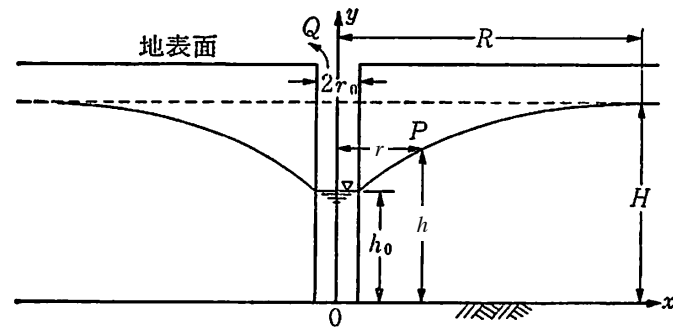
r は r_0 から R 、 h は h_0 から H 、なので

$$Q \int_{r_0}^R \frac{1}{r} dr = 2\pi k \int_{h_0}^H h dh$$

$$Q(\ln R - \ln r_0) = \pi k (H^2 - h_0^2)$$

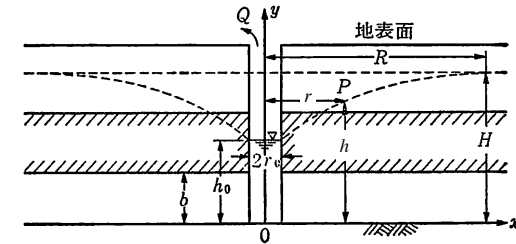
$$Q \ln(R/r_0) = \pi k (H^2 - h_0^2)$$

不被圧地下水取水



$$Q = \pi k \frac{H^2 - h_0^2}{\ln(R/r_0)}$$

地下水取水（被圧）



一 運動式；Darcy則

$$v = k \frac{dh}{dr}$$

一 連続式

$$Q = 2\pi r b v$$

被圧地下水取水

$$Q = 2\pi r b v \quad \text{と} \quad v = k \frac{dh}{dr} \quad \text{から}$$

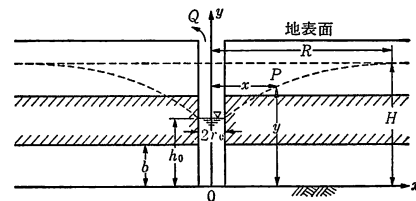
$$Q = 2\pi r b k \frac{dh}{dr} = 2\pi k b d h r \frac{1}{dr}$$

r は r_0 から R , h は h_0 から H , なので

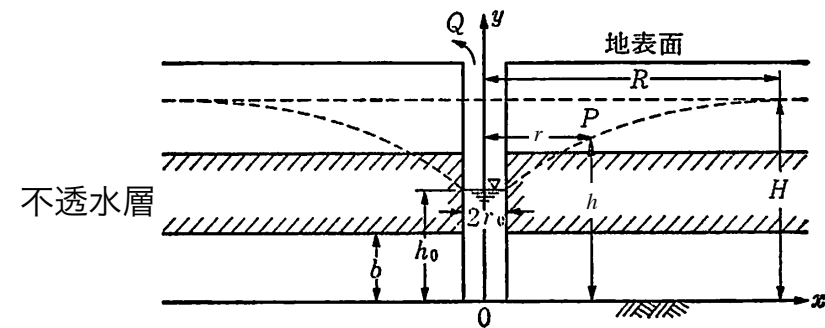
$$Q \int_{r_0}^R \frac{1}{r} dr = 2\pi k b \int_{h_0}^H dh$$

$$Q(\ln R - \ln r_0) = 2\pi k b (H - h_0)$$

$$Q \ln(R/r_0) = 2\pi k b (H - h_0)$$

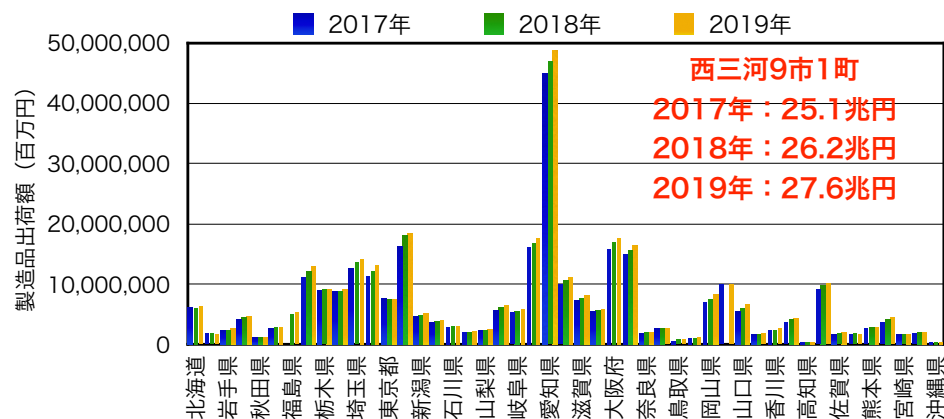


被圧地下水



$$Q = 2\pi b k \frac{H - h_0}{\ln(R/r_0)}$$

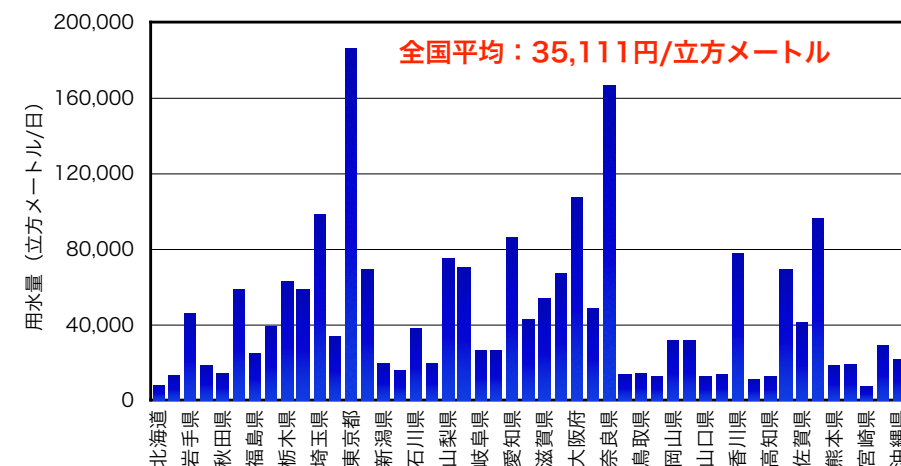
平成29年度工業統計調査 製造品出荷額等



全国計 (2019) : 331.8兆円, 愛知県 48.7兆円, 神奈川県 18.4兆円

経済産業省：工業統計調査2017年, 2018年, 2019年

用水量1立方メートル当たりの製造品出荷額



経済産業省：工業統計調査2017年, 2018年, 2019年

愛知県の工業用水

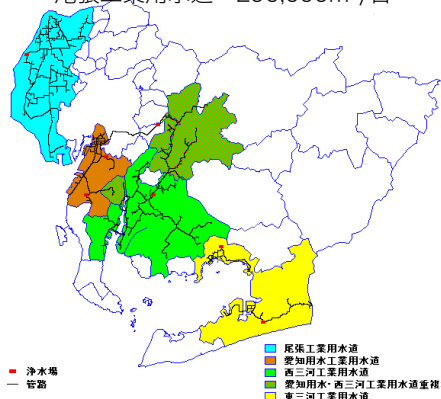
愛知県企業庁

愛知用水工業用水道：845,600m³/日

西三河工業用水道：300,000m³/日

東三河工業用水道：155,000m³/日

尾張工業用水道：290,000m³/日



愛知県用水量 (工業統計調査)

2017年：155.5万m³/日

2018年：156.6万m³/日

2019年：154.9万m³/日

製造品出荷額

2017年：44.91兆円

2018年：46.97兆円

2019年：48.72兆円

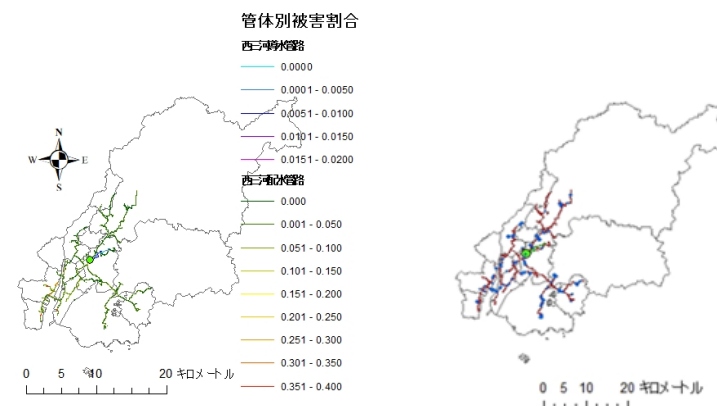
工業用水が生み出す製造品出荷額

2017年：7.91万円/m³

2018年：8.22万円/m³

2019年：8.62万円/m³

工業用水の管路被害推定結果



モンテカルロ法

N=1,000

平均被害件数：114.51件

被害推計結果例

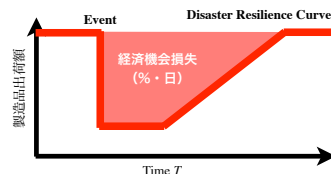
経済機会損失評価モデル

＞ 災害時の自治体別製造品出荷額を推定

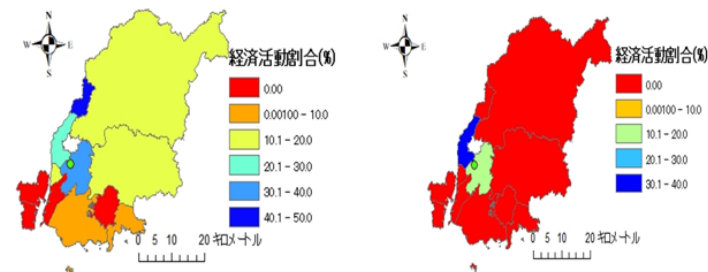
- ― 各市町別，産業中分類項目別の工業用水取水量当たりの製造品出荷額（円/m³）を算出
- ― 離散的管路被害の推定。被害管路より下流の節点は断水と仮定。
- ― 節点数より，各市町別断水率を推定。
- ― 断水率から災害時の工業用水取水量（m³/日）を算出し，災害時製造品出荷額（円/日）を算出。

＞ 経済機会損失

- ― $\sum$ (平常時製造品出荷額 - 応急復旧期製造品出荷額)

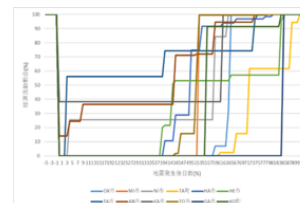


南海トラフでの経済被害損失率

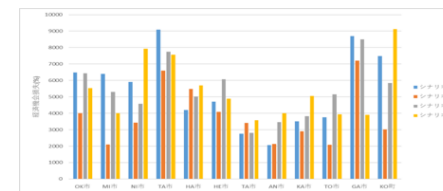


地震発生時経済活動割合(1000ケース平均)

地震発生時経済活動割合(1ケース)

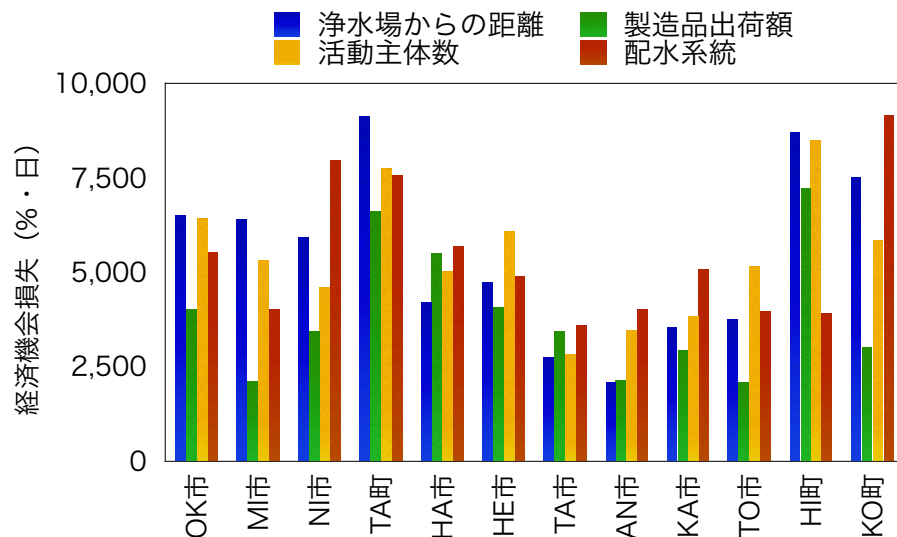


経済活動の災害レジリエンス曲線



市町別累積経済機会損失 (%・日)

応急復旧戦略別の経済機会損失推定結果



課題_第2回 NUCTにて提出（締切：4月22日24時）

1. 用語についての説明（2,3行）

- 1) 降雨強度
- 2) 透水係数

2. 南海トラフ巨大地震で，年間約48兆円もの製造品出荷額を稼ぎ出している愛知県の産業活動を停滞させないためには，誰が何をしなければいけないか。主語は2つ以上，あるいは文章は2つ，述べよ。