

# 衛生工学

## 上水道

### 1. 水需要と上水道システム



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

# 衛生工学

## › 講義の目標

- 上水道の基本計画、管網システム、浄水処理の原理を理解しており、説明できる。
- 上下水道に関する環境基準、法規を理解しており、説明できる。

## 衛生工学（上水道、平山担当）

1. 5/7 水需要と上水道システム
2. 5/14 流出解析と地下水取水
3. 5/21 净水施設
4. 5/28 水道水質
5. 6/4 管網解析
6. 7/2 災害と水道システム

## 評価方法

- > レポート2回（上水道1回、下水道1回） 50%
- > 小テスト（課題）毎回 50%
  - 上水道は、NUCTで提出すること。

**質問、確認事項は？**

**水需要と水道システム**

# 水需要と水道システム

1. 上水道のミッション
2. 水需要と原単位
3. 水道施設設計

## 上水道のミッション

# 水道法

## › 水道法第1条

— 水道の布設及び管理を適正かつ合理的ならしめるとともに、水道の基盤を強化することによって、清浄にして豊富低廉な水の供給を図り、もって公衆衛生の向上と生活環境の改善とに寄与する

› 豊富：原単位が関連、水源の遠隔化

› 低廉：独立採算制、アセット

› 清浄：飲料水水質基準、残留塩素0.1ppm以上

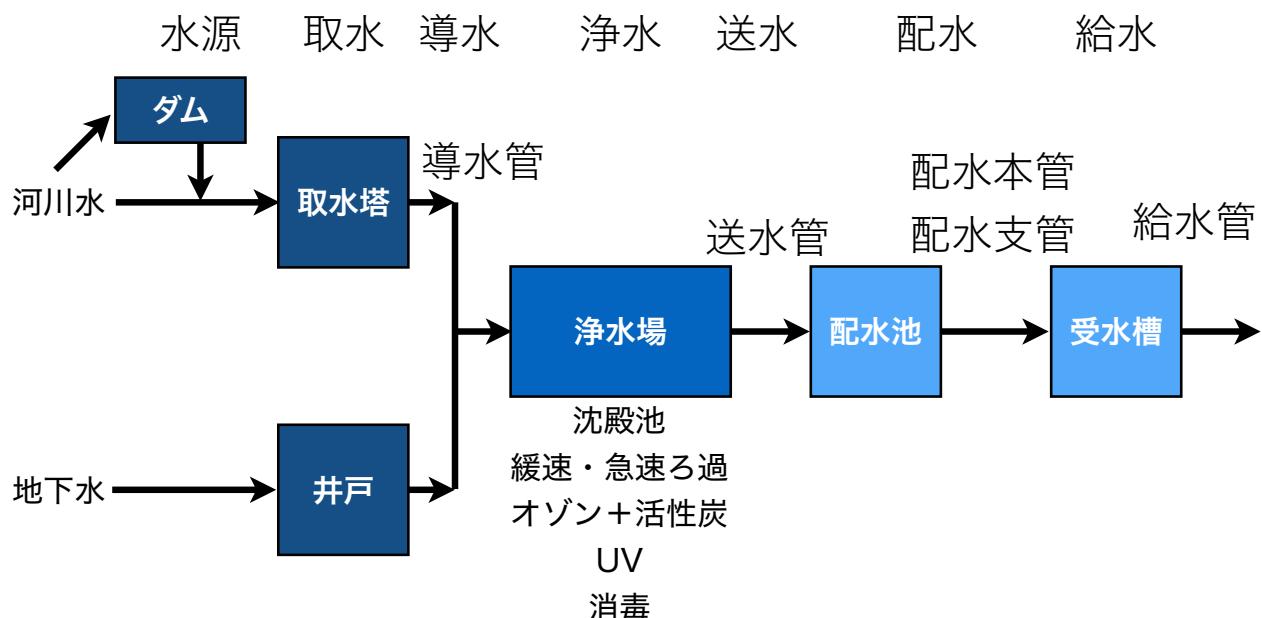
## 水道法の一部改正 (平成30年法律第92号)について

「水道を計画的に整備し、及び水道事業を保護育成する」から「水道の基盤の強化」

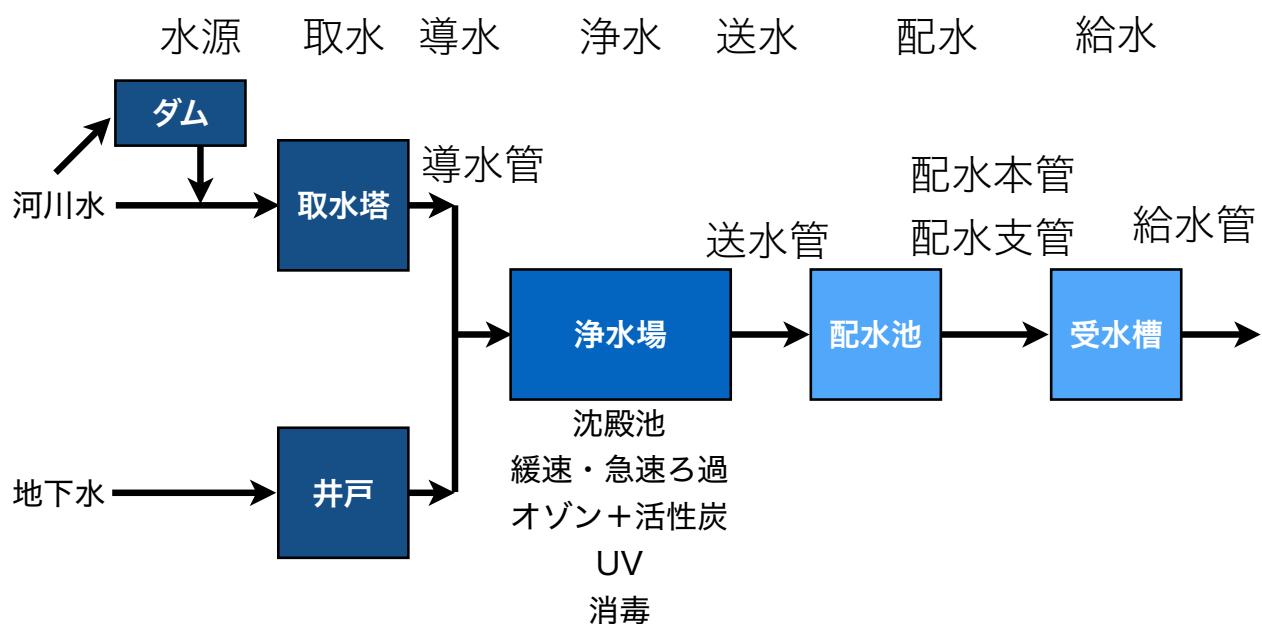
— 人口減少に伴う水の需要の減少、水道施設の老朽化、深刻化する人材不足等の水道の直面する課題に対応し、  
水道の基盤の強化を図るため

1. 関係者の責務の明確化
2. 広域連携の推進
3. 適切な資産管理の推進
4. 官民連携の推進
5. 指定給水装置工事業者制度の改善

## 上水道システム



## 複雑な上水道システム



国土交通省  
都道府県

水道事業体, 簡易水道事業体, 専用水道  
水道用水供給事業体

需要者

# 水道施設

- > 取水施設
  - 適当な水質の水を必要な量取り入れる施設
- > 導水施設
  - 水道原水を浄水場まで輸送する施設
- > 浄水施設
  - 原水を飲料水に適するように処理する施設
- > 送水施設
  - 処理された浄水を配水池まで送るための施設
- > 配水施設
  - 浄水を一時的に蓄える配水池と需要者に供給するための配水管
- > 給水施設
  - 配水管から分岐して各戸の給水栓まで導水するための小口径管

# 水道の種類

- > **水道事業**：一般の需要に応じて、水道により水を供給する事業。ただし、給水人口が100人以下である水道によるものを除く。
- > **簡易水道事業**：給水人口が5,000人以下である水道により、水を供給する水道事業
- > **専用水道**：寄宿舎、社宅、療養所等における自家用の水道その他の水道事業の用に供する水道以外の水道。(1)100人を超える者にその居住に必要な水を供給する。(2)その水道施設の一日最大給水量が政令で定める基準を超えるもの。
- > **水道用水供給事業**：水道により、水道事業者に対してその用水を供給する事業

# 水道事業の種類、事業形態 (平成29年度)

> 上水道事業：1,347

- 計画給水人口5,001人以上を対象とした水道

> 簡易水道事業：3,561

- 計画給水人口が101～5,000人を対象とした水道

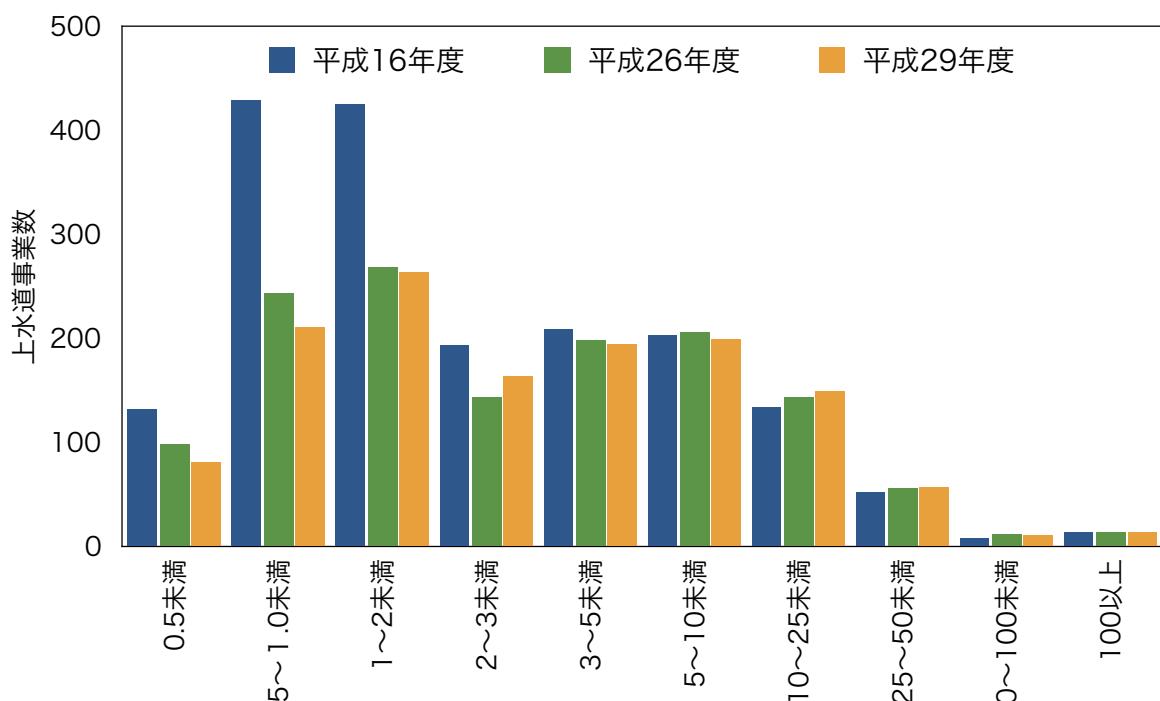
> 専用水道：8,239

- 計画給水人口が101人以上、人の飲用等に使用する給水量が1日最大20m<sup>3</sup>を超える水道

> 水道用水供給事業：92

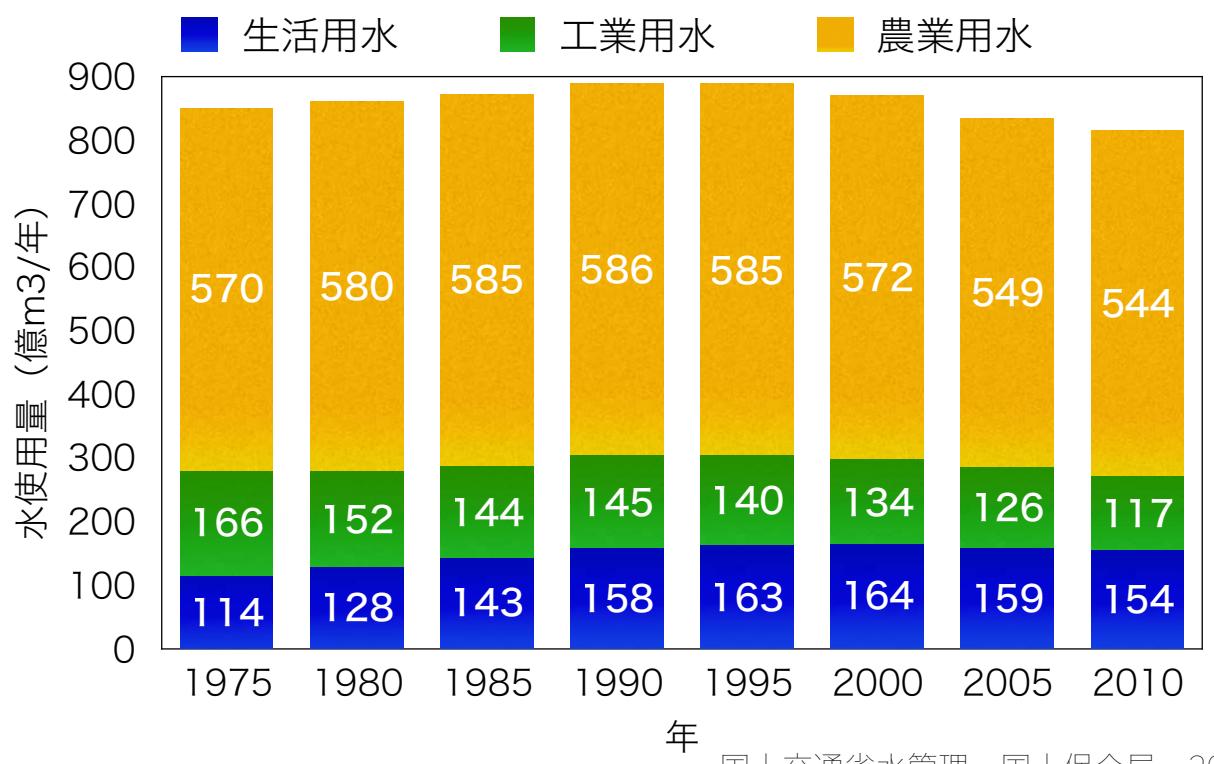
- 水道により水道事業者に対してその用水を供給

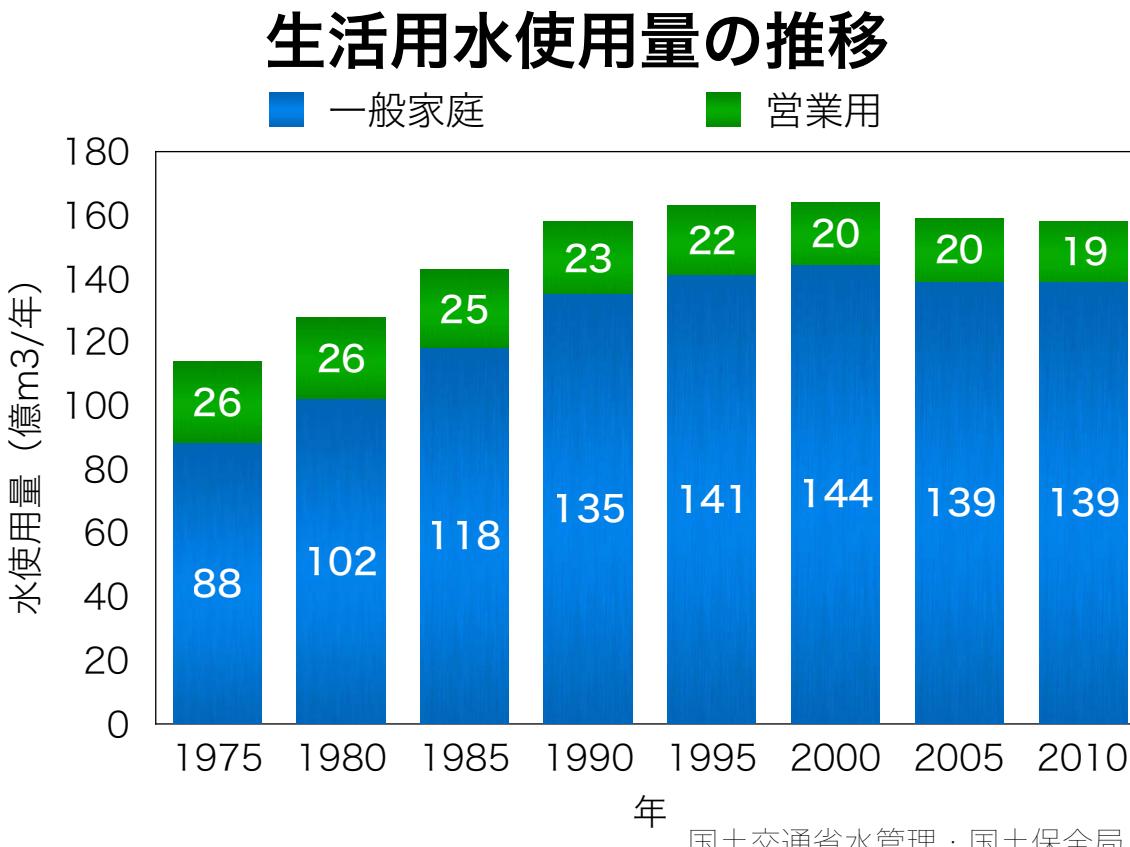
## 規模別の上水道事業者数



## 水需要と原単位

### 水需要の変化





## 給水状況（平成29年度）

> 年間総給水量：150.72億m<sup>3</sup>（ナゴヤドーム8,914個）

- 上水道事業：147.10億m<sup>3</sup> (95.8%)
- 簡易水道事業：3.93億m<sup>3</sup> (4.0%)
- 専用水道：0.29億m<sup>3</sup> (0.2%)

> 一日最大給水量：46,085千m<sup>3</sup> (▲1.7%)

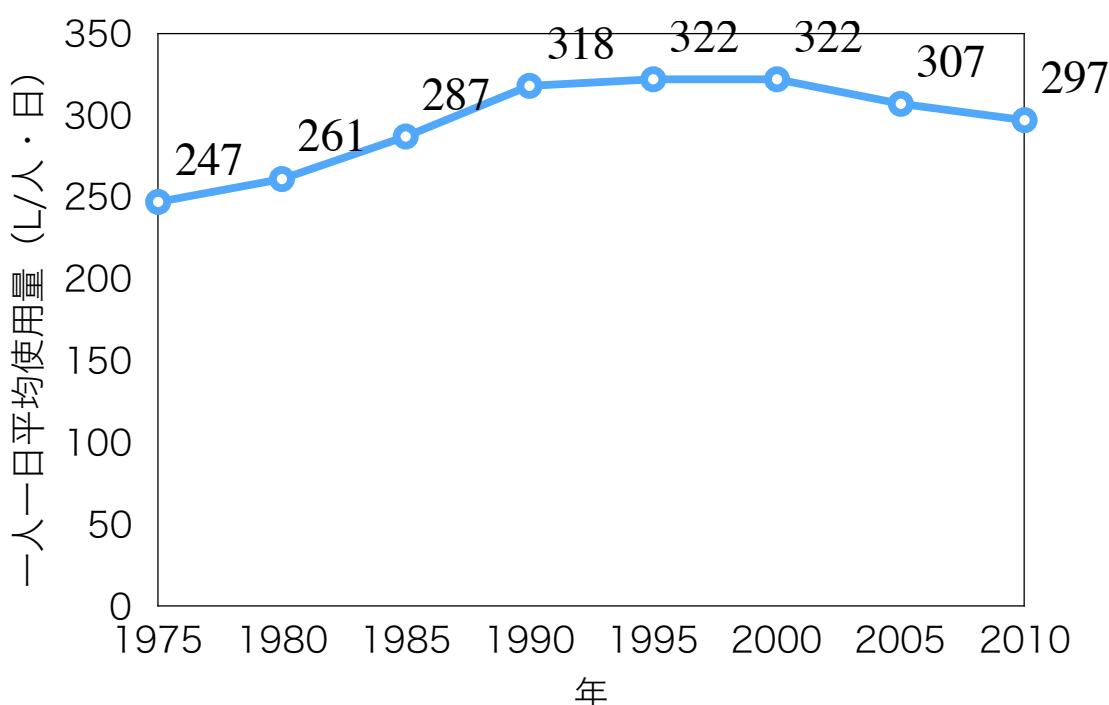
> 一日平均給水量：40,416千m<sup>3</sup> (▲1.1%)

## 一人一日最大給水量（平成29年度）

- > 一人一日最大給水量（全国平均）：379 L/人・日
- > ▲7 L (1.8%)
- > 平成16年：433 L/人・日
- > 上水道事業の規模別
  - 100万人以上：343 L/人・日
  - 50万～100万：357 L/人・日
  - 10万～25万：372 L/人・日
  - 5万～10万：409 L/人・日
  - 3万～5万：443 L/人・日

平成29年度水道統計, 2019

## 一人一日平均使用量



国土交通省水管理・国土保全局, 2014

# 給水における原単位

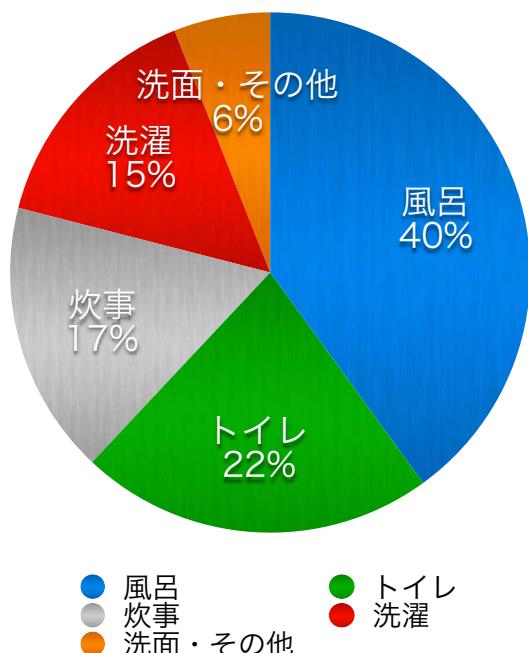
## › 原単位とは

- 供給水量、施設の規模、施設設計などを決定する上で、基本となる量
- 実績に基づいて算出される。その地域の実績値

## › 一人一日当たりの使用水量＝給水における原単位

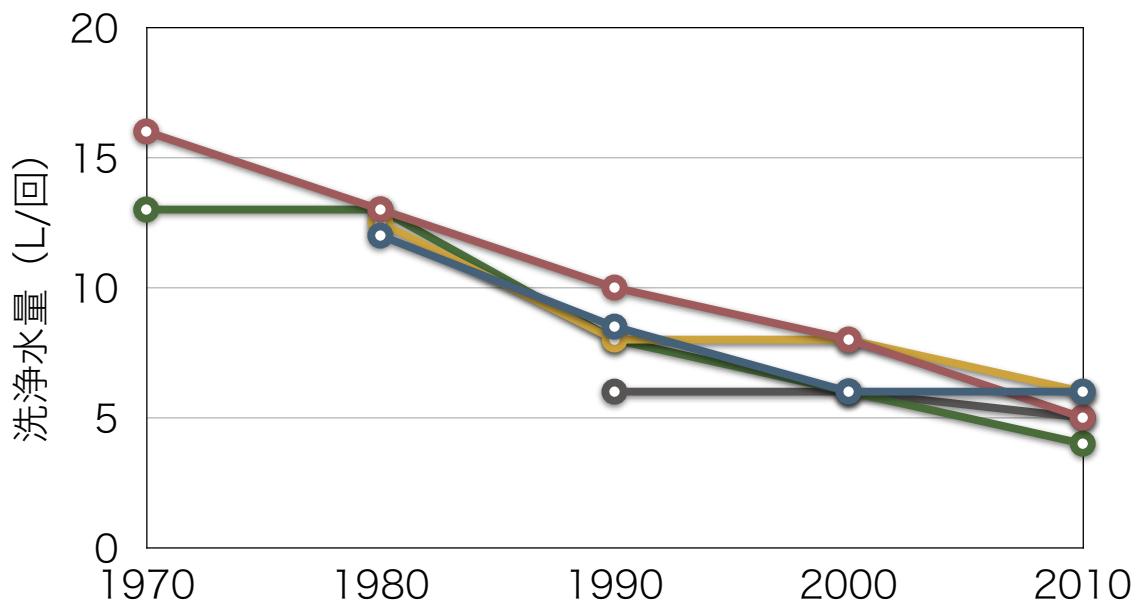
- 長所：便利、無難、変更可能で柔軟性に富む
- 短所：制約実績に基づいているので、真の需要と一致しないおそれがある、動的問題に対応しづらい

# 家庭での水の使われ方



用途	使い方	使用量
洗面・手洗い	1分間流しっぱなし	12 L
歯磨き	30秒間流しっぱなし	6 L
食器洗い	5分間流しっぱなし	60 L
洗車	流しっぱなし	90 L
シャワー	3分間流しっぱなし	36 L

## 現在の便器は1回6L以下



©一般社団法人日本レストルーム工業会

## 水道施設設計

# 水道施設整備の基本的な考え方

› 面的・量的な施設整備 → 安全性・安定性の確保やサービス水準の向上といった質的な施設整備に、持続可能な水道事業の実現

1. 基本計画の策定と見直し
2. 非常時への対応
3. 費用の低減化
4. 維持管理の充実
5. 需要者への説明及び意向反映
6. 環境への配慮

## 基本事項の決定

### 1. 計画年次

- 基本計画において対象となる期間、10~20年程度

### 2. 計画給水区域

- 計画年次までに配水管を布設し、給水しようとする区域であり、広域的な配慮

### 3. 計画給水人口

- 行政区域内人口の予測値を基に設定

### 4. 計画給水量

- 原則として用途別使用水量を基に決定する。

# 上水道計画における計画給水量

## > 計画給水量の決定

— 水道の計画は、将来予測の確実性、施設設備の合理性をふまえた上で、15～20年後を目標として行われる。

## > 原単位：一人一日当たりの使用水量

- 1) 人口予測：計画給水人口
- 2) 計画給水量：計画1日平均給水量 (m<sup>3</sup>/日) , 計画1日最大給水量 (m<sup>3</sup>/日) , 計画時間最大給水量 (m<sup>3</sup>/h)

# 人口予測

> 等差級数法：  $P = P_0 + an$

> 等比級数法：  $P = P_0(1 + r)^n$

> べき曲線法：  $P = P_0 + An^a$

> ロジスティック曲線法：  $P_n = \frac{P_s}{1 + e^{a-bt}}$

> コーホート法

## 人口予測：ロジスティック曲線法

- > 人口の増加に対する抵抗（増加に対する制約）は、人口の増加速度に比例すると仮定し、無限年後に飽和に達するという考え方により、過去の人口データにより将来の人口を予測する。

$$P_n = \frac{P_s}{1 + e^{a-bt}}$$

- > 三点法：飽和人口 $P_s$ , 定数 $a, b$ の決定法。過去の三点のデータより決定する。

## 人口予測：コーホート法

- > コーホート：

- 共通した因子を持ち、観察対象となる集団。同年、または同期間に出生した集団。

- > 人口変動要因

- 出生
- 死亡
- 移動

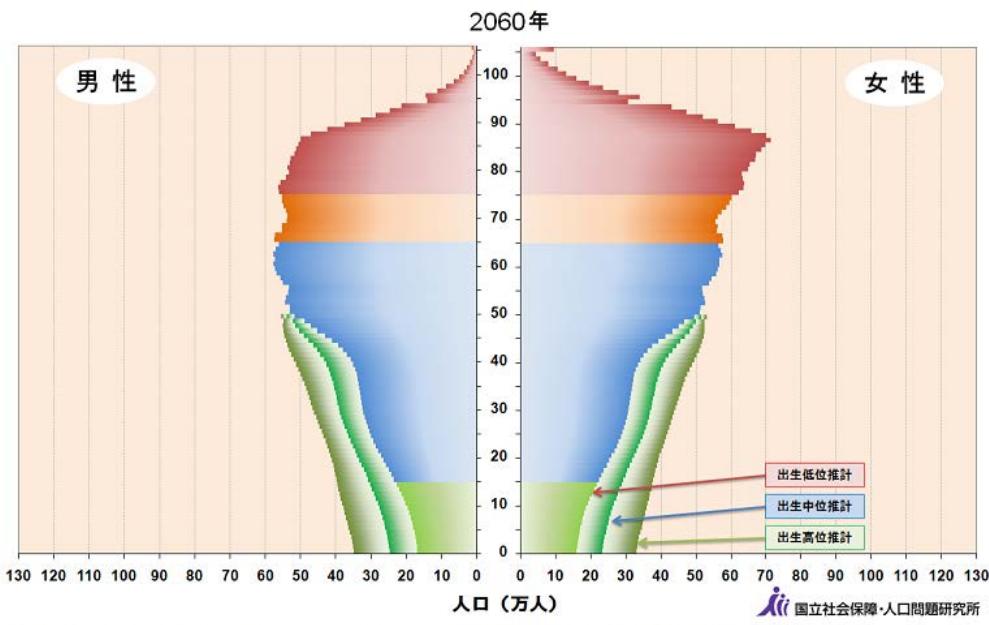
## 人口予測：コーホート法

- > 基準人口（国勢調査等）に基づき、
- > 将来の仮定値を用いて、
  - 出生
  - 死亡
  - (国際) 人口移動
- > 将来人口を推定する。

## 人口予測：コーホート法の要素

- > 男女年齢別に分類された
  - 基準人口
    - ✓ 国勢調査
  - 将来の出生率（および出生性比）の仮定
    - ✓ 女性コーホートのライフコースに沿って、出生発生過程をモデル化、総人口、日本人人口別、出生率の把握
  - 将来の生残率の仮定
    - ✓ 生命表のリー・カーター・モデル、平均的な年齢別死亡率、死亡の一般的水準（死亡指数）
  - 将來の国際人口移動率（数）の仮定
    - ✓ 日本人の入国超過率、外国人の入国超過数

# 人口推定値（2010年－2060年）



資料：1920～2010年：国勢調査、推計人口、2011年以降：「日本の将来推計人口（平成24年1月推計）」。

出典：国立社会保障・人口問題研究所ホームページ (<http://www.ipss.go.jp/>)

## 名古屋市【人口：基本指標】

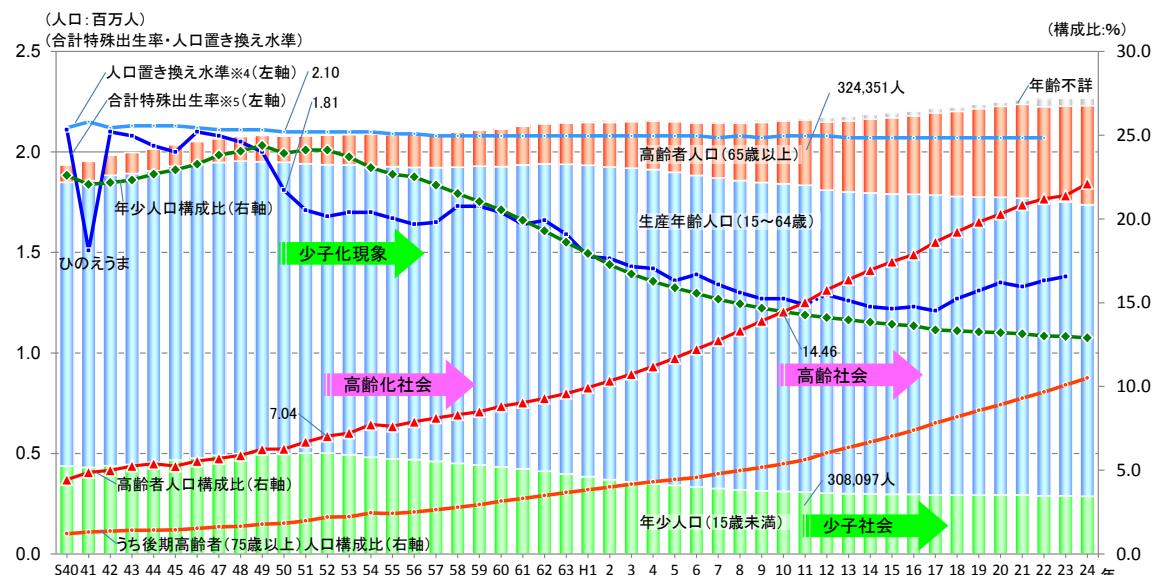
### 1. 基本指標

項目	名古屋市	愛知県	横浜市	大阪市
人口	2,263,894人	7,410,719人	3,688,773人	2,665,314人
高齢者人口比率	21.2%	20.30%	20.10%	22.67%
世帯数	1,019,381世帯	2,933,802世帯	1,583,889世帯	1,317,990世帯
核家族世帯	531,215世帯	1,684,702世帯	947,693世帯	611,570世帯
単独世帯	414,490世帯	923,424世帯	531,213世帯	622,010世帯
昼間人口	2,569,376人	7,520,876人	3,375,330人	3,538,576人
昼間人口比率	113.5%	101.49%	91.50%	132.76%
流入人口	495,614人	1,537,680人	410,298人	1,113,574人
流出人口	190,132人	1,427,523人	723,741人	240,312人
外国人登録者数	66,883人	201,268人	77,295人	119,499人
推計人口（平成47年）	2,053,073人	7,046,425人	3,566,897人	2,386,625人
人口増減率（平成22年⇒平成47年）	-9.3%	-4.92%	-3.30%	-10.46%
推計65歳以上人口比率（平成47年）	30.70%	29.51%	32.34%	31.99%

※「平成22年国勢調査」（総務省）

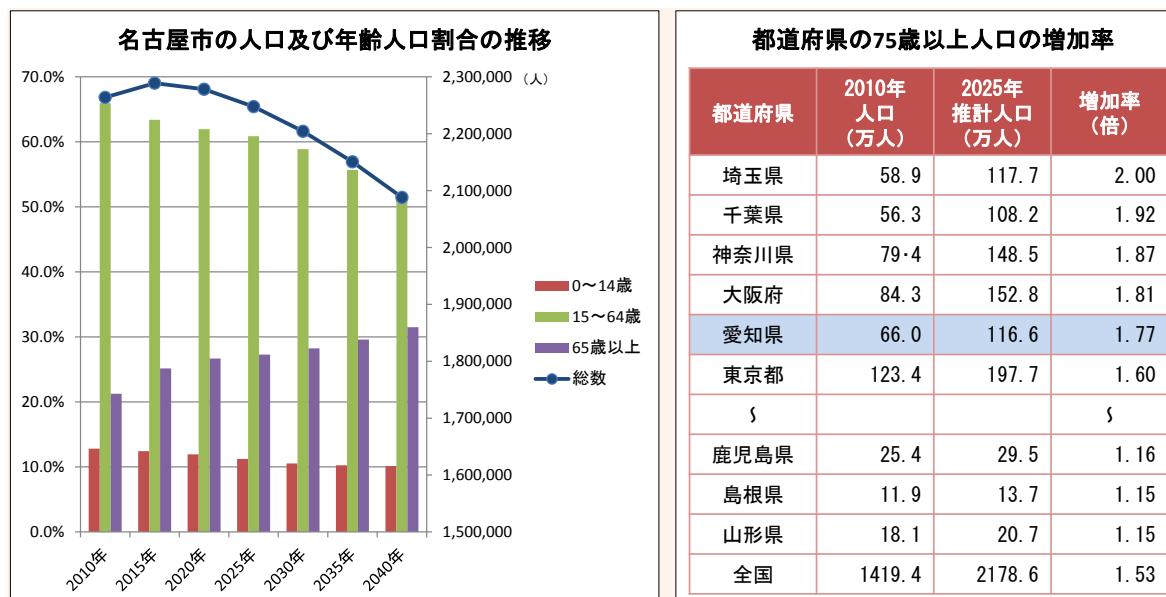
「日本の市区町村別将来推計人口（平成25年3月推計）」（国立社会保障・人口問題研究所発表）を基に作成 8

## 名古屋市【人口：年齢区分別人口】



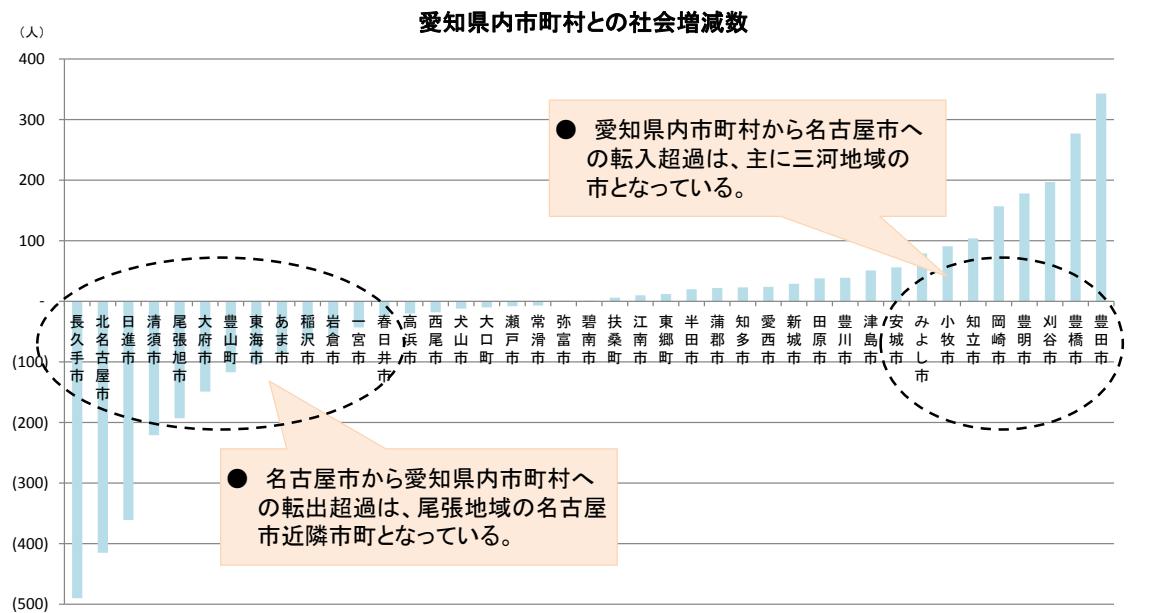
名古屋市大都市圏の現況・課題等、名古屋市、2013

## 名古屋市【将来推計人口】



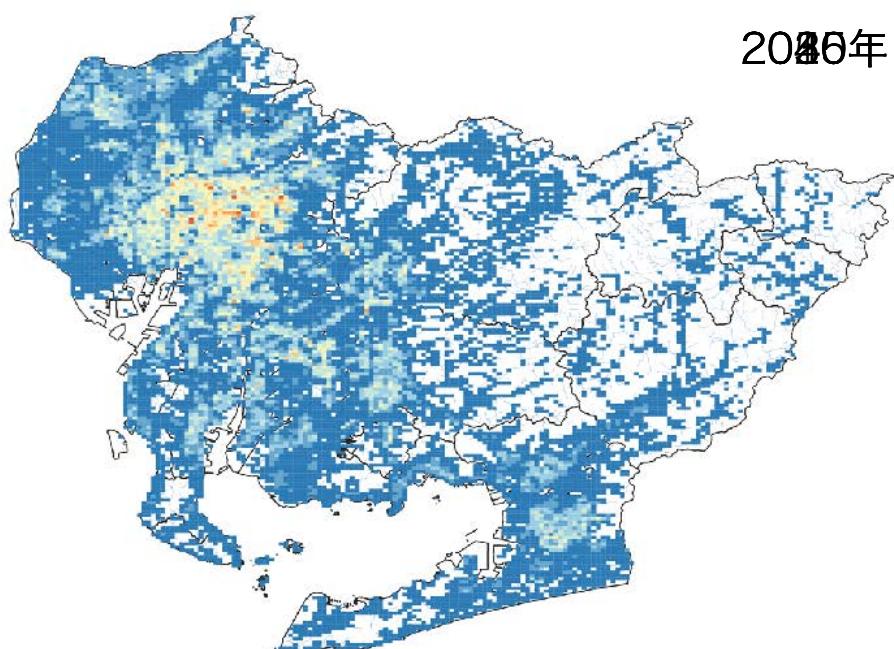
名古屋市大都市圏の現況・課題等、名古屋市、2013

## 社会動態（名古屋市と愛知県内市町村間）



名古屋市大都市圏の現況・課題等、名古屋市、2013

## 愛知県将来人口推計



国土数値情報、2018

## 給水量原単位

› 単位当たりの給水量。

- 一日平均給水量
- 一人一日平均給水量
- 一人一日最大給水量
- 時間最大給水量

› 水需要予測では、各用途毎の、一人一日（一件一日）当たりの使用水量等

› 給水量を面積や生産額などの活動当たりに換算

## 給水量原単位

› 施設計画や財政計画の基本となる計画給水量を決定する際に用いる、単位当たりの給水量のこと。

- 計画一日平均給水量 =  $\frac{\text{計画一日使用水量 } (\text{m}^3)}{\text{計画有効率}}$
- 計画一日最大給水量 =  $\frac{\text{計画一日平均給水量 } (\text{m}^3/\text{日})}{\text{計画負荷率}}$
- 計画一人一日平均給水量 =  $\frac{\text{計画一日平均給水量 } (\text{m}^3/\text{日})}{\text{計画給水人口 } (\text{人})}$
- 計画一人一日最大給水量 =  $\frac{\text{計画一日最大給水量 } (\text{m}^3/\text{日})}{\text{計画給水人口 } (\text{人})}$
- 計画時間最大給水量 =  $\frac{K \times \text{計画一日最大給水量 } (\text{m}^3/\text{日})}{24 \text{ (時/日)}}$

## 計画給水量の決定

- > 一般家庭での1人1日当たりの平均使用量は200～250L/人・日
- > 水道水は生活用水のほか、業務・営業用水、工場用水などの用途に使用される。

## 用途別標準分類表

大 分 類	中 分 類	小 分 類	概 要
生活用 水	一般家庭用	家 事 用	家事専用（一般住宅、共同住宅、共用栓）のもの
		家事兼営業用	家事専用のほか一般商店等営業用を兼ねるもの（店舗付き住宅等）
業務・営業用 水	官 公 署 用	官 公 署 用	学校、病院、工場を除く国、地方公共団体等の機関
		公 衆 用	公衆便所、公衆水飲み栓、噴水等
		そ の 他	官公署以外の非営利的施設で他の用途分類に属さないもの
	学 校 用	学 校 用	学校、幼稚園、各種専門学校等
	病 医 院	病 医 院	病院、産院、診療所等
	事 務 所 用	事 務 所 用	会社、その他法人、団体、個人の事務に使用されるもの
工場用 水	営 業 用	営 業 用	ホテル、旅館、百貨店、スーパー、一般営業用で住居を別にするもの 飲食店 結婚式場、サウナ、バス・タクシー会社の洗車用等 劇場、娯楽場等
		公衆浴場用	
	工 場 用	工 場 用	
そ の 他	そ の 他	そ の 他	船舶給水、他水道への分水等 水道事業用水、水道メータ不感水量等

# 世帯構成人員と一人一日使用水量

都市	年度	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	備考
G市	世帯構成員（人／世帯）	3.18	2.92	2.86	2.74	2.64	2.54	2.48	2.42	
	一人一日使用水量（L／人・日）	231	214	247	265	260	259	244	235	生活用原単位
	一人一日使用水量（L／人・日）	318	320	344	353	335	330	315	293	1人1日あたり有収水量
A市	世帯構成員（人／世帯）	2.75	2.69	2.62	2.48	2.35	2.22	2.13	2.06	
	一人一日使用水量（L／人・日）	338	321	335	364	366	356	340	322	
B市	世帯構成員（人／世帯）	3.06	2.82	2.70	2.50	2.36	2.21	2.10	2.02	
	一人一日使用水量（L／人・日）	193	206	228	263	266	259	254	253	
F市	世帯構成員（人／世帯）	3.35	3.11	2.68	2.51	2.39	2.30	2.22	2.15	統計年報（市勢）
	一人一日使用水量（L／人・日）	—	—	—	—	—	264	248	238	統計年報（家事用・給水人口）
C市	世帯構成員（人／世帯）	—	2.95	2.91	3.10	2.57	2.43	2.32	2.22	
	一人一日使用水量（L／人・日）	265	259	242	217	224	225	223	223	家事用水量
D市	世帯構成員（人／世帯）	2.77	2.72	2.68	2.55	2.41	2.33	2.24	2.16	給水人口/給水世帯
	一人一日使用水量（L／人・日）	128	159	178	194	202	205	204	205	家事用原単位
E市	世帯構成員（人／世帯）	3.07	2.81	2.77	2.65	2.50	2.36	2.24	2.15	
	一人一日使用水量（L／人・日）	189	197	225	259	260	263	249	245	生活用原単位

種別 都市	個人目的			世帯目的					備考
	入浴 (L/人・日)	水洗便所 (L/人・日)	手洗・洗面 (L/人・日)	風呂(注水) (L/世帯・日)	洗濯 (L/世帯・日)	台所 (L/世帯・日)	散水 (L/世帯・日)	その他 (L/世帯・日)	
E市	28	50	7.7	115	147	157	17	19	1997年度
F市	85	43	—	259	208	170	29	19	1998年度
G市	42	52.7	27	136.6	163.8	—	33	—	1988年度
I市	40	31	30	160	180	129	—	54	1995年度
H市	39	36	20	194	160	76	—	80	1995年度

厚生労働省、水道施設設計指針、2012

# 業態別原単位

業態 種別	床舗・事務所	学 校	病 院	ホ テ ル	飲 食 店	デパート	スーパーマーケット
使 用 量	床面積当たり (L/m <sup>2</sup> ・日)	8.1	8.3	22.4	24.2	205	21.8
	従業者(客)一人当たり (L/人・日)	127.0	40.0	—	—	57.8	—
	一床当たり (L/床・日)	—	—	1290	2002	—	—
備 考	多少のテナントは含む	プール用水除く 小・中・高等学校 職員+生徒当たり					

空気調和・衛生工学会編：空気調和・衛生工学便覧、第11版、Ⅲ巻、p.Ⅲ-77、80より抜粋して作成

厚生労働省、水道施設設計指針、2012

## 計画一日平均給水量

### > 有効率 = 有効水量/給水量

— 有効率は、水道施設及び給水装置を通して給水される水量が有効に使用されているかどうかを示す指標。

— 計画有効率は、今後の整備計画や漏水防止対策を反映

### > 計画有収率 = 計画有効率 - 無収率

### > 無収率 = 無収水量/給水量

### > 計画一日平均給水量 = 計画一日平均使用水量/計画有収率

## 計画一日最大給水量

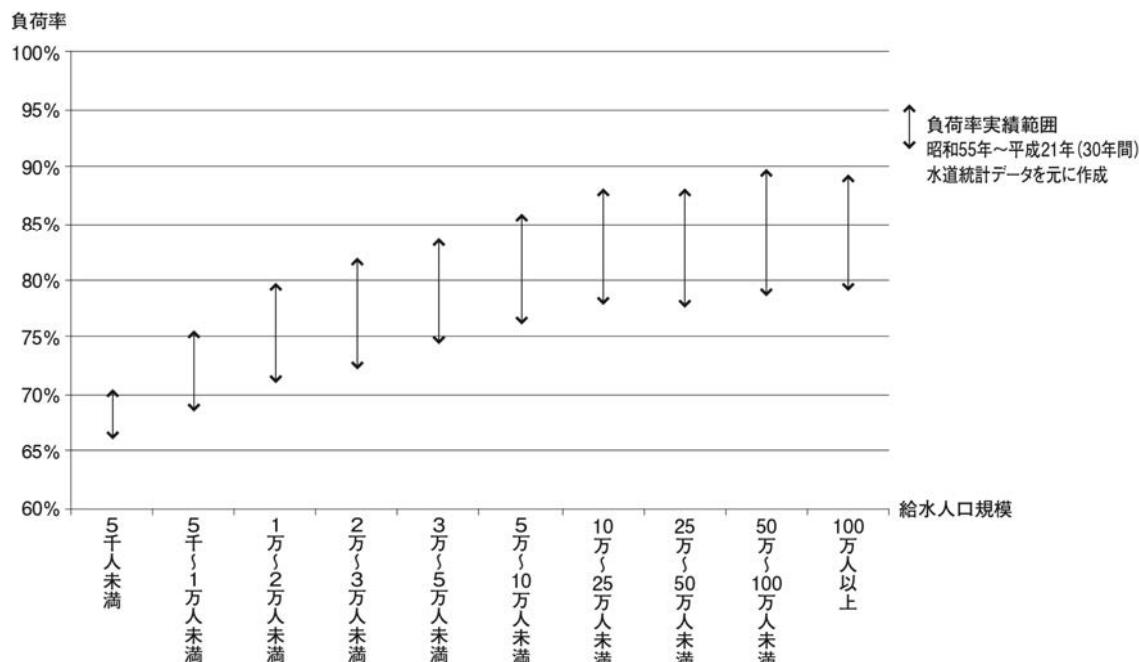
### > 計画一日最大給水量 = 計画一日平均給水量/計画負荷率

### > 計画負荷率：

— 負荷率は給水量の変動の大きさを示すものであり、都市の規模によって変化するほか、都市の性格、気象条件等によっても左右される。

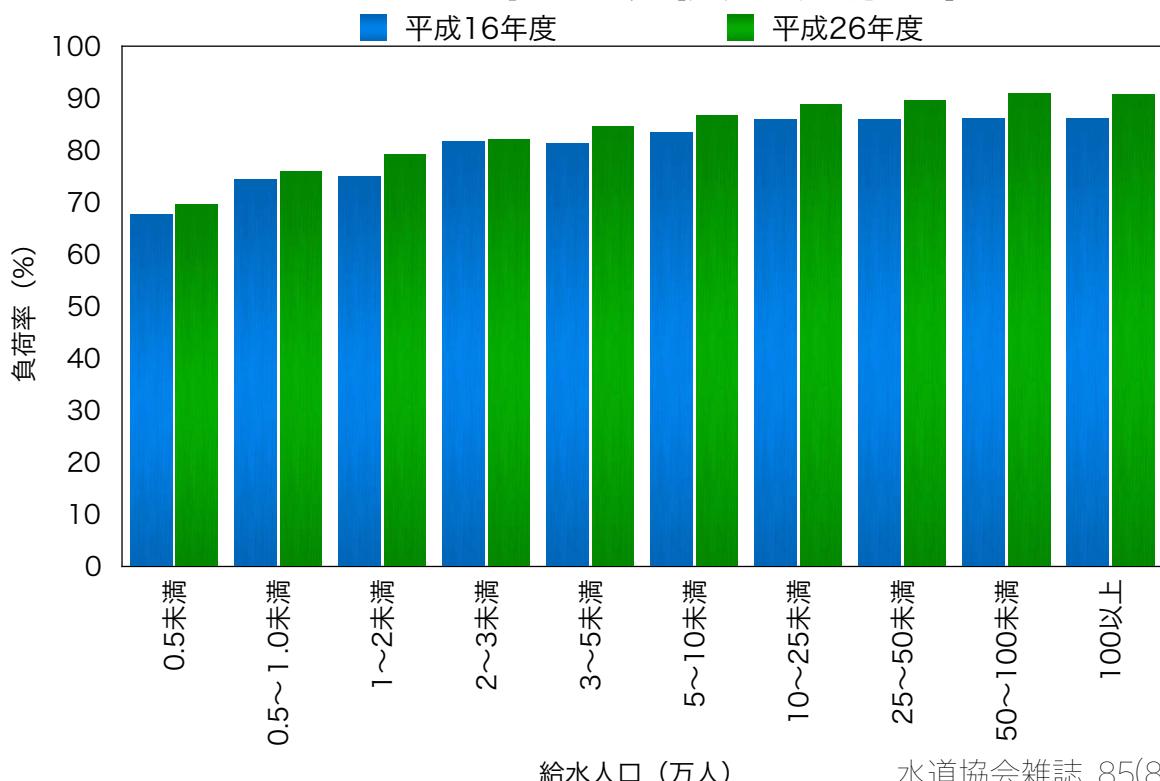
— 一日最大給水量は、曜日・天候による水使用状況によって大きく影響を受けるため、過去の実績値や、気象、渇水等による変動条件にも十分留意

## 給水人口規模と負荷率



厚生労働省、水道施設設計指針、2012

## 上水道事業の規模別負荷率



水道協会雑誌、85(8), 2016

# 水使用量の変動

## › 年間変動：

- 一般に7月、8月、9月に使用量が多く、1月、2月に少ない。変動幅は10~20%

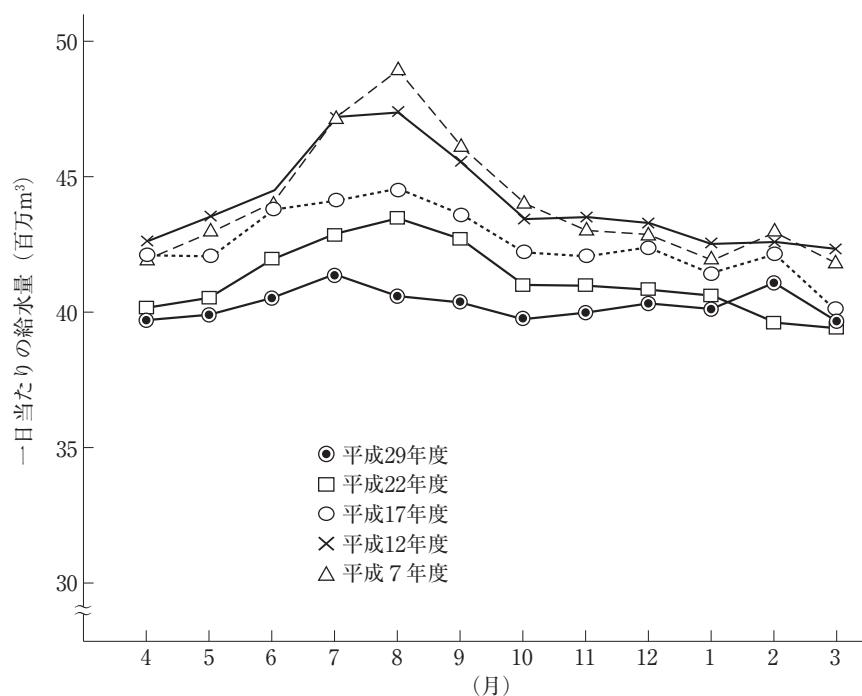
## › 日変化：

- 最大日は夏期の連続した多使用日のうちの1日として出現。12月末日や行事のある日など特異日

## › 時間変化：

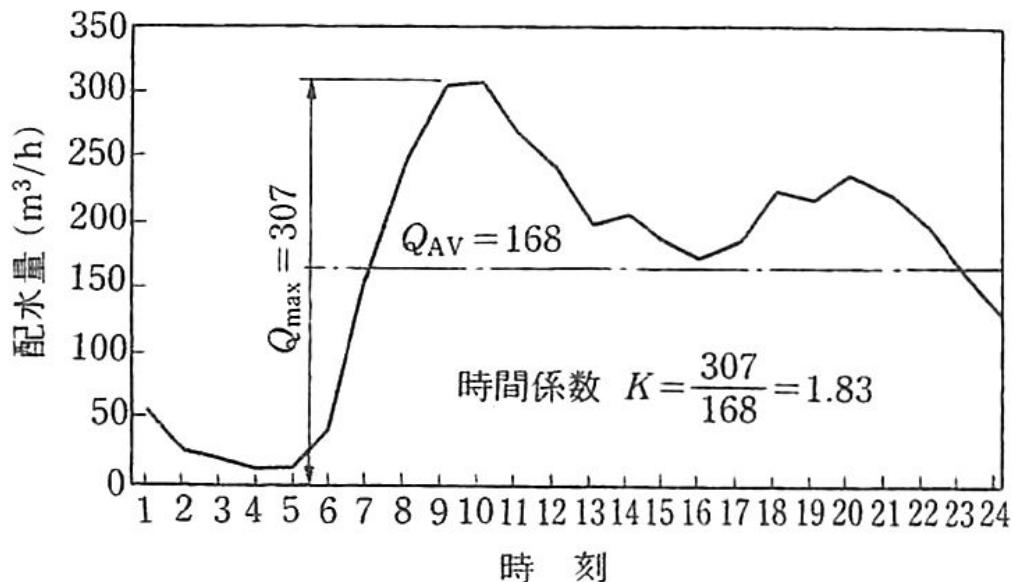
- 2山形。朝5時頃より使用開始、8~9時頃極大。16時頃まで減少、18~19時頃極大、朝まで減少。

# 上水道事業の月変動



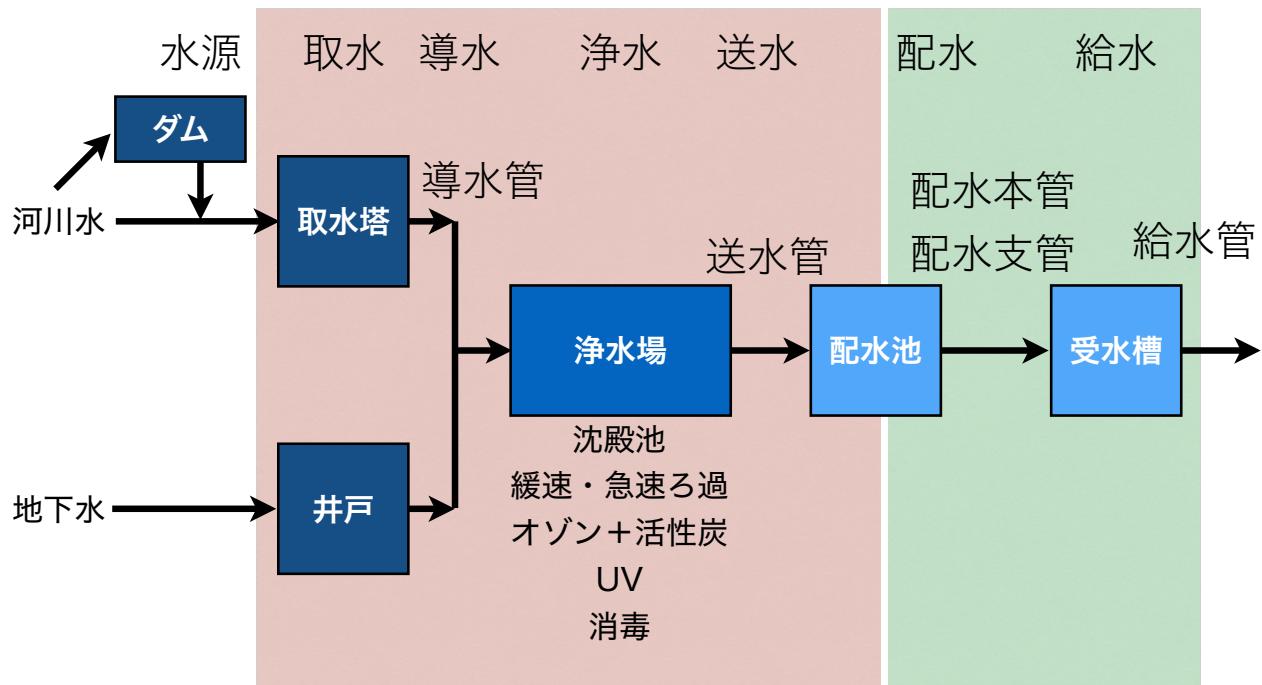
平成29年度水道統計, 2019

## 配水量の時間変動



日本水道協会, 2003

## 上水道システム



## 時間係数

- > 時間平均給水量に対する時間最大給水量の比率を表すための係数で、K値。
- > 計画時間最大給水量 = 計画一日最大給水量/24×時間係数
  - 一般に配水量の多い系統ほど値は小さい。また、住宅地の占める割合の高い系統ほど値は大きい。
  - 小規模住宅地域：2.0～2.5
  - 大規模住宅地域：1.5～1.8
  - 商業地域・工業地域：1.3～1.4

新型コロナウイルス感染症  
(COVID-19) による給水量への  
影響はある？

## 消防水利

- > 火災鎮圧のためには消防機械とともに不可欠。
  - > 人工水利：消火栓，防火水槽，プール
  - > 自然水利：河川，池，湖，沼，海等
- > 水道事業者には、消火栓の設置が義務付けられている。（水道法24条1項）
- > 消防法20条1項の規定に基づいた「消防水利の基準」に従って設置
  - 常時貯水量40m<sup>3</sup>以上，取水可能量1m<sup>3</sup>/分以上で連續40分以上の給水能力

## 計画配水量

- > 配水管管径決定の基礎となる水量
- > 平時：計画時間最大給水量
- > 火災時：消火用水量を別途計算し，計画1日最大給水量の1時間当たりの水量に加え，計画時間最大給水量と比較して大きい方を採用
  - 消火用水量 + 計画1日最大給水量/24
  - 計画時間最大給水量（計画1日最大給水量/24×K）

# これからの水道施設設計

- > 新水道ビジョン：「安全」「強靭」「持続」
- > 変化する外部環境
  - 人口減少社会
  - 自然災害の頻発
- > リスク管理、維持管理の時代へ
  - 水道システム機能評価
  - 施設更新・改良（容易性と機能向上）
  - ダウンサイジング

## 課題\_第1回 NUCTにて提出（締切：5月8日24時）

### 1. 用語についての説明（2,3行）

- 1) 原単位
- 2) 計画一日最大給水量

### 2. 新型コロナウイルス感染症（COVID-19）対策で、手洗いやうがいの徹底が示されている。

- 1) 以前と比べて、あなたの水使用量は変化したか？
- 2) 水道事業体の時間最大給水量に影響はあると思うか？