

佐世保地区水道の負荷率・一日最大給水量の統計学的考察

遠藤保男

2020年9月15日

目次

佐世保地区水道の負荷率・一日最大給水量の統計学的考察	0
1. 本稿の目的.....	2
2. 統計学的検討	2
1) グラフ解析など	2
1. 負荷率と、一日平均給水量・一日最大給水量の推移.....	2
2. 一日最大給水量記録日の特性.....	3
3. 一日最大給水量記録一覧表.....	3
4. 生起日の偏り	4
2) 重回帰分析による、負荷率と一日最大給水量の変動要因の検討.....	6
1. 重回帰分析の目的	6
2. 重回帰分析に用いた目的変数と説明変数.....	6
3. 目的変数（負荷率）の変動要因	6
4. 一日最大給水量の変動要因.....	12
3. まとめ.....	16
《結論》	17
4. 【補遺】 起こりえない！ 佐世保市による 2019 年度予測結果.....	20

1. 本稿の目的

佐世保地区水道の負荷率は1999年度（H11年度）に80.3%を示して以降、上昇を続け、2008年度には89.4%に達している。その後は2010年度の88.0%が最低で、90%台を示すときがあるなど、高度安定状態が保たれている（グラフ1）。そのような状況を踏まえ、佐世保市は2012年度水需要予測、2019年度水需要予測において水道施設設計指針2012度版に記述された「負荷率には経年変化は見られない」を拠所とし、「安全を見て、過去20年間で記録された異常値を除外した最低値として、平成11年度（1999年度）の80.3%を計画負荷率として採用」している。

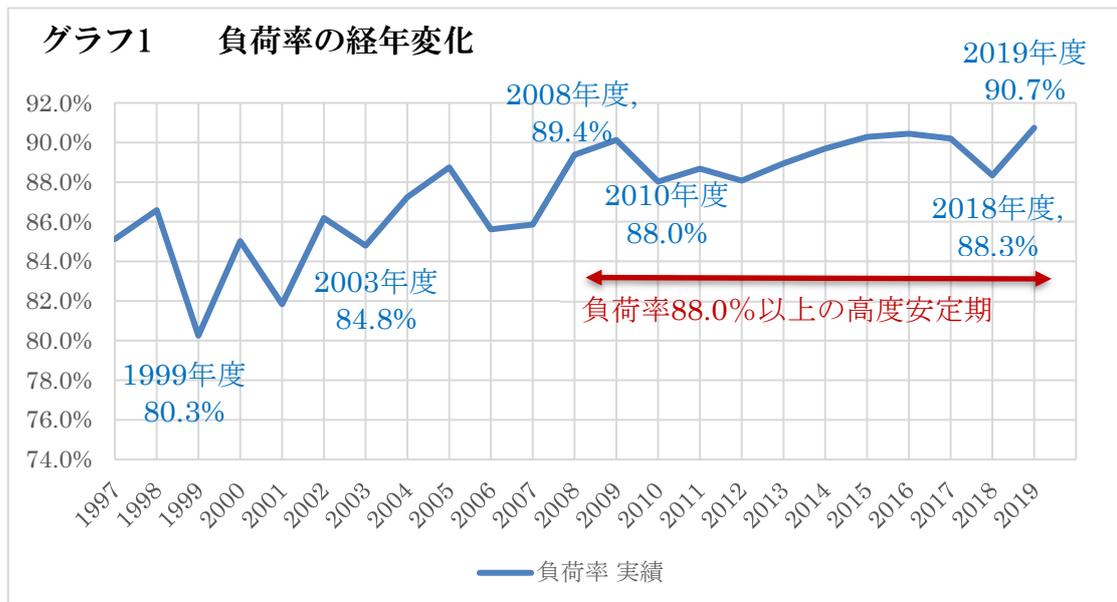
一つの計画一日平均給水量に対して計画負荷率の設定値が過小であれば、

$$\text{計画一日最大給水量} = \text{計画一日平均給水量} / \text{負荷率}$$

であるから、一日最大給水量は過大に設定されてしまう。

それは石木ダムへの水源開発が過大投資となり、将来の水需要不足で水道使用料が低迷し、水道財政の逼迫をもたらす恐れがある。そうなった場合は、受益予定者とされ財政負担を強いられる佐世保市民、その水源開発で生活の場を奪われた人たちに取り返しが付かないのである。

ここでは、2019年度水需要予測で計画負荷率を20年も前の1999年度に記録した0.803に設定したことについて統計論を含めた検討を加える。



佐世保地区給水区域の負荷率の経年動向をグラフ1に示す。2008年度以降の負荷率は80.3%を示した1999年度頃とは異なり、88%以上を維持するという高度安定状態にある。この高度安定状態からすると、「負荷率には経年変化は見られない」として2019年度水需要予測における「負荷率80.3%」という設定の合理性について検証する必要がある。

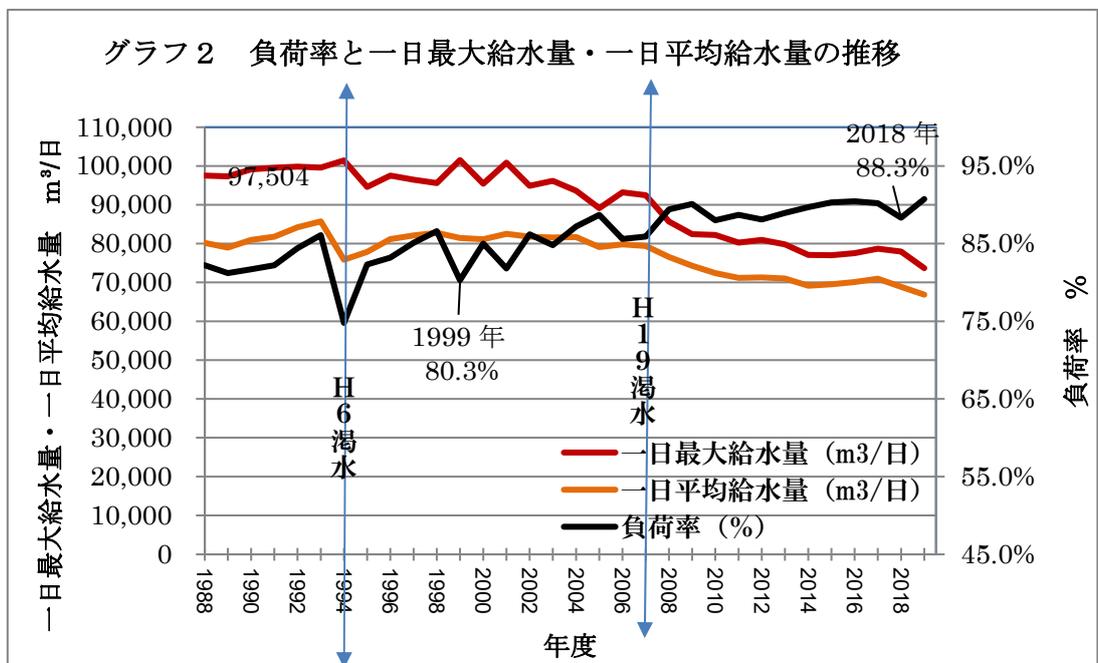
2012年度水需要予測、2019年度水需要予測において、計画負荷率を「過去20年間の最低値」とし、1999年度の実績値である80.3%を採用していることの妥当性について、統計学的検討を加えた。

2. 統計学的検討

1) グラフ解析など

1. 負荷率と、一日平均給水量・一日最大給水量の推移

- ① 負荷率と、一日平均給水量・一日最大給水量の推移をグラフ 2 に示す。
- ② このグラフにおいて負荷率を示す黒線は、一日最大給水量を示す赤線と対照的な推移をしている。すなわち、負荷率が下がっているときは一日最大給水量は上昇している。逆に、負荷率が上昇しているときは、一日最大給水量が下がっていることがわかる。
- ③ 負荷率＝一日平均給水量／一日最大給水量であるが、グラフ 2 から、負荷率の変動は一日平均給水量よりも一日最大給水量の変動に影響されているように見える。
- ④ 2012 年度と 2019 年度の水需要予測で計画負荷率として採用した過去 20 年間の最低値 1999 年度の 80.3% は一日最大給水量が一日平均給水量と比して凸型に飛び出していたことによるものと思われる。
- ⑤ 逆に、2000 年度の負荷率 85.0% は一日最大給水量が一日平均給水量に比して余り飛び出していなかったこと、更に 2001 年度の 81.8% は 1999 年度と同様に一日最大給水量が一日平均給水量に比して凸型に飛び出していたことによるものと思われる。



2. 一日最大給水量記録日の特性

一日最大給水量がどのようなことに起因しているのかを調べる

3. 一日最大給水量記録一覧表

1992 年度から 2018 年度までの一日最大給水量を記録した日の月日、曜日、最高気温、および、その年度の一日平均給水量、有収率、負荷率の一覧表（表 1 一日最大給水量記録一覧表）を示す。

表 1 一日最大給水量記録一覧表

西暦	給水人口 人	1 日平均給水量 $m^3/日$	一日最大給水量 $m^3/日$	記録月日	曜日特性	最高気温	有収率	負荷率

1992	233,205	80,155	99,801	7/28	3	31.5	83.0%	84.4%
1993	233,704	78,974	99,581	8/11	4	29.0	83.4%	86.1%
1994	233,224	80,950	101,419	7/7	5	31.4	84.0%	74.8%
1995	233,158	81,785	94,615	12/31	1	8.2	80.5%	82.3%
1996	233,772	84,197	97,531	7/31	4	36.2	84.0%	83.2%
1997	234,045	85,720	98,431	12/31	4	13.0	83.9%	85.1%
1998	234,156	75,871	95,580	8/12	4	32.4	83.2%	86.6%
1999	234,715	77,878	101,510	12/31	6	16.6	83.0%	80.3%
2000	234,425	81,143	95,400	12/31	1	11.2	85.0%	85.0%
2001	234,710	82,086	100,830	12/31	2	10.4	83.1%	81.8%
2002	234,346	82,756	94,900	12/31	3	10.1	83.6%	86.2%
2003	234,144	81,463	93,090	8/6	4	34.1	83.8%	84.8%
2004	233,380	81,105	93,610	7/28	4	33.5	83.7%	87.2%
2005	232,248	82,515	89,130	12/31	7	9.9	84.9%	88.7%
2006	231,095	81,791	93,210	8/8	3	36.6	83.9%	85.6%
2007	229,627	81,555	92,440	8/9	5	33.4	83.4%	85.9%
2008	228,540	81,670	85,660	7/29	3	33.5	83.7%	89.4%
2009	228,509	79,096	82,417	8/7	6	35.4	85.9%	90.1%
2010	227,403	79,801	82,350	6/9	4	29.0	87.4%	88.0%
2011	226,821	79,369	80,240	12/31	7	11.5	87.6%	88.7%
2012	225,742	76,563	81,070	12/31	2	5.6	87.1%	88.1%
2013	224,488	74,277	79,811	12/31	3	13.6	86.9%	88.9%
2014	223,066	72,397	77,099	12/27	7	12.4	87.4%	89.7%
2015	222,249	71,153	76,991	8/6	5	34.4	86.7%	90.3%
2016	220,564	71,284	77,526	12/31	7	13.7	86.8%	90.4%
2017	219,412	70,983	78,677	7/13	5	31.7	86.1%	90.2%
2018	217,425	69,151	77,698	7/25	4	35.0	87.8%	88.3%

*1 76,991 2015年度は2016年1月25日に家庭用給水管の凍結破裂事故が生じたことと同日に107,676m³/日を浄水場から給水している。上記一覧表では、凍結破裂事故による給水量は事故扱いとして排除した。

*2 セルの地色

12月

8月

7月

6月

*3 曜日特性 1:日曜日 2:月曜日 3:火曜日 4:水曜日 5:木曜日 6:金曜日 7:土曜日

4. 生起日の偏り

① 日特性（特定の日に生じていることが多い）

- ☆ 27年間で11回、一日最大給水量を12月31日に記録している。8月6日に2回記録している。
- ☆ 12月31日は多くの工場や事業所が休んでいるので、帰郷者が加わって正月を迎える準備に水を使用している家庭と商店が多いことがうかがわれる。

② 月特性

- ☆ 27年間で一日最大給水量を記録した日の月分布を「表2 月特性」に記す。
- ☆ 6月に1回、7月に7回、8月に8回、12月に12回、一日最大給水量を記録している。
- ☆ すなわち、佐世保地区の水道給水区域では、夏場か12月31日大晦日に一日最大給水量を記録している。

表2 月特性

月	回数	生 じ た 年							
6	1	2010							
7	7	1992	1994	1996	2004	2008	2017	2018	
8	8	1993	1998	2003	2006	2007	2009	2015	2019
12	12	1995	1997	1999	2000	2001	2002	2005	2011
		2012	2013	2014	2016				
合計	28								

③ 曜日特性

- 一日最大給水量を記録する日が特定な曜日に偏っているかを調べる。
- その結果を「表3 曜日特性」に記す。

番号	曜日	回数	備考	12月31日以外の回数
1	日	2	12月31日のみ	0
2	月	2	12月31日のみ	0
3	火	5	7月2回、8月1回、12月31日2回	3
4	水	8	6月1回、7月3回、8月3回、12月31日1回	7
5	木	4	7月2回、8月2回	4
6	金	2	8月1回、12月31日1回	1
7	土	4	12月のみ (12月31日3回 12月27日1回)	1
合計		27		16

- ☆ 12月31日以外では、日曜日と月曜日は一日最大給水量を記録した年がない。

- ☆ 金曜日は、12月31日以外では1回だけである。
- ☆ 土曜日は、12月31日以外では12月27日の1回だけである。
- ☆ 12月31日以外では、週の半ば水曜日に一日最大給水量を記録した年が7回と最も多く、一日最大給水量記録曜日回数は水曜日を頂点とした山形の分布になっている。

④ 気温との関係

- ☆ 佐世保地区給水区域では一日最大給水量が夏場と12月31日大晦日に記録されるので、「気温が関係するのは夏場だけ」と考えられる。
- ☆ よって、佐世保地区給水区域における一日最大給水量と気温との関係を探っても意味がないと思われる。

2) 重回帰分析による、負荷率と一日最大給水量の変動要因の検討

1. 重回帰分析の目的

目的変数（負荷率）の変動が何（説明変数）に起因するのかを示す、説明力の強い（＝決定係数R²乗が1に近い）重回帰式を見いだすと共に、その起因する要素（説明変数）とその要素の変動が目的変数（負荷率）の変動に及ぼす強さ（偏回帰係数・標準偏回帰係数）を見いだすことが今回の重回帰分析である。

2. 重回帰分析に用いた目的変数と説明変数

負荷率の変動が起因すると考えられる要素として、1992年度から2018年度までの27年度分の、一日最大給水量とそれを記録した日の特性（月日、曜日、気温）、一日平均給水量、給水人口、有収率の実績の一覧表を表2 一日最大給水量記録一覧表に示した。

3. 目的変数（負荷率）の変動要因

① 変動要因（説明変数）として取り上げた事項

- ☆ 一日最大給水量記録一覧表に記した各年度
 - ・ 給水人口(人)
 - ・ 一日平均給水量 (m³/日)
 - ・ 一日最大給水量 (m³/日)
 - ・ 有収率
- ☆ 「2)の2 生起日の偏り」で検討した、
 - ・ 記録月日
 - ・ 曜日特性
 - ・ 最高気温

② 重回帰分析

☆ 重回帰分析とは

(ア) ある事項の変動 (Y) をいくつかの事項の変動 (X₁, X₂, …, X_n) の合計として表わす下記1次式を、求める

$$\text{※ } Y = aX_1 + bX_2 + cX_3 \dots \dots \dots 1 \text{ 式}$$

- ・ Yを目的変数（説明対象）と呼ぶ ここでは負荷率の実績値を用いる。

- X_1, X_2, \dots, X_n を説明変数（説明に使う事項）と呼ぶ。
ここでは、一日平均給水量、一日最大給水量、曜日特性、記録月日、最高気温、給水人口、有収率 の実績値を用いる。
- a, b, c, \dots, n を偏回帰係数と呼ぶ。
- 重回帰式は、 $\text{負荷率} = a \times \text{一日平均給水量} + b \times \text{一日最大給水量} + c \times \text{曜日特性} + d \times \text{記録月日} + e \times \text{最高気温} + f \times \text{給水人口} + g \times \text{有収率}$ となる。

(イ) 今回はエクセル統計を用いて重回帰分析を行った。

- 目的変数とした負荷率の実測値、説明変数とした一日平均給水量、一日最大給水量、曜日特性、記録月日、最高気温、給水人口、有収率 の実績値をエクセル統計に読み込ませ、1式の各説明変数の係数（偏回帰係数）とその確からしさ（偶然性の低さ）を算出させる。
- 計算させるときに、各説明変数の偏回帰係数として採用の条件（偶然性の程度）の確からしさ＝信頼度を指定する。今回は信頼性を高めるように、偶然に算出される可能性が0.05（＝5%）未満とした。
- 併せて、「線形結合*1している変数を除いて分析する」を指定して「エクセル統計」ソフトを走らせた。

*1 線形結合

linear combination

ベクトルの線形和を表す。ある変数が他の変数の線形結合で表せる場合、線形従属であるという。重回帰分析やロジスティック回帰分析などにおいて線型従属な変数が存在する場合、解が求められなくなる。この問題を特に多重共線性と呼ぶことがある。

☆ 重回帰分析による情報

(ア) 目的変数（負荷率）と説明変数7つ、合計8つの要素相互の相関関係（相関係数）を示す一覧表（「表2 相関行列」）。

- 一覧表を表2 相関行列 として下に示す。

	給水人口	1日平均給水量 m ³ /日	一日最大給水量 m ³ /日	記録月日	曜日特性	最高気温	有収率	負荷率
給水人口	1.000	0.850	0.915	0.083	-0.349	-0.069	-0.798	-0.661
1日平均給水量 m ³ /日	0.850	1.000	0.723	0.059	-0.323	-0.073	-0.641	-0.502

一日最大給水量m ³ /日	0.915	0.723	1.000	-0.016	-0.368	0.035	-0.846	-0.814
記録月日	0.083	0.059	-0.016	1.000	-0.014	-0.951	0.030	0.009
曜日特性	-0.349	-0.323	-0.368	-0.014	1.000	0.088	0.421	0.289
最高気温	-0.069	-0.073	0.035	-0.951	0.088	1.000	-0.070	0.013
有収率	-0.798	-0.641	-0.846	0.030	0.421	-0.070	1.000	0.623
負荷率	-0.661	-0.502	-0.814	0.009	0.289	0.013	0.623	1.000

(イ) 上の表 2 相関行列から、

- 負荷率は一日最大給水量との相関係数が-0.814 と負の相関関係が深いこと
- 負荷率は給水人口との相関係数が-0.661 と負の相関関係があること
- 負荷率は有収率との相関係数が 0.623 と正の相関関係があること
- 一日最大給水量は給水人口との相関係数が 0.915 と正の相関が高く、有収率・負荷率とは負の相関が高いことが知れた。有収率が低ければ漏水が多いこと、負荷率が低ければ、給水量の振れ幅が大きくなるので、実感と一致している。

が分かる。

(ウ) 得られた多変量重回帰式

$$\text{※ } Y = aX_1 + bX_2 + cX_3 \dots \dots \dots 1 \text{ 式}$$

の形で表わすと、表 3 より、

- 負荷率 = $-0.00000332 \times \text{一日最大給水量} + 1.1611$ 2 式である。

表 3 回帰式に含まれる変数 (偏回帰係数・有意差の検定)				偏回帰係数の有意性の検定 * : P<0.05 ** : P<0.01	
変 数	偏回帰係数	標準誤差	標準偏回帰係数	P 値	
一日最大給水量	-0.00000332	0.0000	-0.8141	P < 0.001	**
定数項	1.1611	0.0427		P < 0.001	**

(エ) ここで、この式の意味を考える

- 一日最大給水量が 8 万 m³/日であれば、2 式の一日最大給水量として 8 万 m³/日を代入することで、
負荷率 = $-0.00000332 \times 80,000 + 1.1611 = 0.896$ (= 89.6%) 3 式と算出される。
- 表 3 の標準偏回帰係数が-0.8141 と記載されている。

標準偏回帰係数とは、目的変数、説明変数とも単位が違うため、2 式では一日最大給水量の偏回帰係数が小数点以下 6 桁、定数が 1 桁の数値になっていて、説明変数の変動が目的変数の変動に影響を及ぼす強さを比較しにくい。この問題を解消するために、

説明変数を重回帰分析ソフトに入力した結果として、説明変数を標準化して得られる係数を標準偏回帰係数という。説明変数の標準化とは、その変数を構成する数値群について、単位が異なる説明変数群があるときは、それら説明変数ごとに標準化した数値を用いて計算するようにソフトに指令することで、すべての説明変数の標準偏回帰係数が得られる。それら標準偏回帰係数を比較することで説明変数が目的変数に与える影響の強さを比較できる。

- 説明変数を7つ採用したが、2式では一日最大給水量の偏回帰係数のみ表示されている。計算過程で信頼に足りる（偶然に起きる可（能性が0.05未満）偏回帰係数は一日最大給水量の偏回帰係数のみであったことを意味している。
- 7つの説明変数を用意して負荷率を説明する重回帰分析を実施したが、信頼性に足りる説明変数は一日最大給水量のみで、その影響力を示す標準偏回帰係数は、-0.8141であった。（標準化した一日最大給水量の変動は、その-0.8141倍が負荷率の標準偏差変動に寄与する）

*標準化

平均が0、分散が1となるようにデータを変換すること。正規化、基準化とも言う。サンプルデータの任意の値は、サンプルの平均値 (\bar{x}) と、標準偏差 S を用いて以下の式により標準化される。

$$x \mapsto \frac{x - \bar{x}}{S}$$

(オ) 相関の強さ・説明力（重相関係数と決定係数）と、観測値と理論値の差（残差）の検証

表4 回帰式の精度

重相関係数		決定係数		観測値と理論値の差（残差）の検証	
R	修正 R	R2 乗	修正 R2 乗	ダービン=ワトソン比 *1	AIC *2
0.8141	0.8057	0.6627	0.6492	1.8636	205.8375

- 「表4 回帰式の精度」に、今回の重回帰分析で得られた重回帰式（2式）の相関の強さ・説明力（重相関係数と決定係数）と、観測値と理論値の差（残差）の検証結果を示した。
- 重相関係数 R は 0.8141 であるから、かなりの相関があることが分かる。
- 今回の分析では目的変数、7組の説明変数とも27年間の実績データを用いた（=27回の繰り返しデータを用いた）。繰り返し回数が多いと重相関係数は1に近づくので、繰り返しの影響を排除した重相

関係数も出力されている。それが修正 R である。修正 R は 0.8057 であった。

- 今回の重回帰分析で得られた重回帰式（2 式）はどの程度の説明力があるのかを評価する指標として、決定係数が出力されている。決定係数 R² 乗は 0.6627, 決定係数修正 R² 乗は 0.6492 である。すなわち、「この重回帰式（2 式）は説明変数である負荷率を 65～66% 説明できる」ことを示している。
- そうなると、残りの 34～35%は何か？という疑問が出る。それを検討するには、27 組の実績値と 2 式による算出値との差（残差）についての検討が必要になる。

*1 ダービン=ワトソン比：誤差項（実測値と理論値の差）間に自己相関があるかないかを判別するための指標。回帰分析では、異なる誤差項間には相関がないことを仮定しているため、ダービン=ワトソン比がその指標となる。値が 2 よりかなり小さいときは正の相関が、2 よりかなり大きいときは負の相関が、2 前後のときは相関なしと判断する。

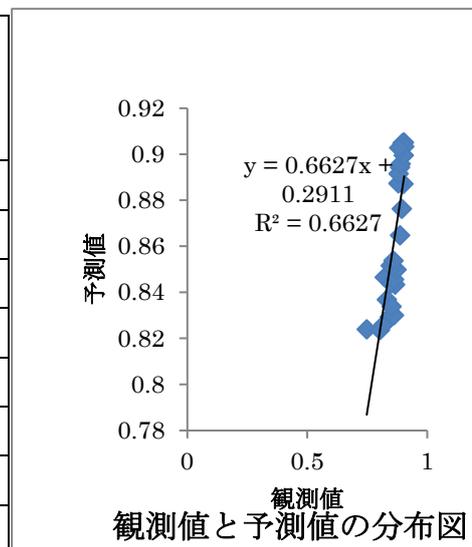
1.8644 は 2 に近いので、誤差項間には自己相関はないと見なす。

*2 AIC： 統計的モデルの予測性の良さを、観測値と理論値の差（残差）を用いて評価する統計量。値が小さいほど当てはまりが良いと言える。

(カ) 27 組の実績値と 2 式による算出値との差＝残差の検討

※ 27 組の実績値と 2 式による算出値との差の一覧表を「表 5 残差」（＝実績値－予測値）として示す。

表 5 残差	負荷率		回帰診断	観測値/ 予測値- 1 %
	観測値	予測値		
年度				
1992	0.844	0.829	0.015	1.8%
1993	0.861	0.830	0.031	3.7%
1994	0.748	0.824	-0.076	-9.2%
1995	0.823	0.847	-0.024	-2.8%
1996	0.832	0.837	-0.005	-0.6%
1997	0.851	0.834	0.017	2.1%
1998	0.866	0.843	0.023	2.7%
1999	0.803	0.824	-0.021	-2.5%
2000	0.850	0.844	0.006	0.7%
2001	0.818	0.826	-0.008	-1.0%
2002	0.862	0.846	0.016	1.9%
2003	0.848	0.852	-0.004	-0.4%



2004	0.872	0.850	0.022	2.6%
2005	0.887	0.865	0.022	2.6%
2006	0.856	0.851	0.005	0.6%
2007	0.859	0.854	0.005	0.6%
2008	0.894	0.876	0.018	2.0%
2009	0.901	0.887	0.014	1.6%
2010	0.880	0.887	-0.007	-0.8%
2011	0.887	0.894	-0.007	-0.8%
2012	0.881	0.892	-0.011	-1.2%
2013	0.889	0.896	-0.006	-0.7%
2014	0.897	0.905	-0.008	-0.9%
2015	0.903	0.905	-0.002	-0.2%
2016	0.904	0.903	0.001	0.1%
2017	0.902	0.900	0.002	0.3%
2018	0.883	0.903	-0.019	2.1%

- 表5の最右列「(実績値/予測値-1) %」は実績値と予測値との乖離程度を示している。
- ■は実績値が今回の重回帰式による予測値から2%以上低い値であることを示した。
- ■は実績値が今回の重回帰式による予測値から2.5%以上高い値であることを示した。
- 共に、それらの日(表1 一日最大給水量記録一覧表 参照)にどのようなことが起きていたのか調査することで、実績値と予測値との乖離が大きかった理由を知ることにつながる。

③ 目的変数(負荷率)の変動要因の

まとめ

- ※ 負荷率について、一日平均給水量、一日最大給水量、曜日特性、記録月日、最高気温、給水人口、有収率 合計7項目を説明変数として、それぞれ27年分の実績データを用いて重回帰分析を行った。
- ※ その結果、重回帰分析として信頼性に足りる説明変数は一日最大給水量しか残らなかった。
- ※ その結果、得られた重回帰式は、下記表3の情報から、

変数	偏回帰係数	標準誤差	標準偏回帰係数
一日最大給水量	-0.00000332	0.0000	-0.8141
定数項	1.1611	0.0427	

- 負荷率 = $-0.00000332 \times \text{一日最大給水量} + 1.1611$ 2式
- であった。
- この回帰式の重相関係数と決定係数は、下記「表4 回帰式の精度」に示される。

表4 回帰式の精度

重相関係数		決定係数	
R	修正 R	R2 乗	修正 R2 乗
0.8141	0.8057	0.6627	0.6492

- ※ 表5によると、佐世保市が2012年度水需要予測と2019年度水需要予測で計画負荷率として採用した1999年度の80.3%は今回の重回帰式から2.5%も低い値である。1999年度の80.3%は同年度の一日最大給水量101,510m³/日によるものである。この一日最大給水量101,510m³/日を記録し

た 1999 年 12 月 31 日にどのようなことが起きていたのかを調査して、何故に一日最大給水量 101,510m³/日を記録したのか究明する必要がある。

4. 一日最大給水量の変動要因

統計学的には重回帰分析で、目的変数を負荷率としたときに、一日最大給水量のみが説明変数として残った。もちろん線形結合は排除した結果である。

このことから、負荷率の動向を探ることを目的に、一日最大給水量がどのようなことによって変動が規定されているのかを検討した。

その手法は、一日最大給水量を目的変数とし、一日平均給水量、曜日特性、記録月日、最高気温、給水人口、有収率 合計 6 項目を説明変数とした重回帰分析である。

一日最大給水量および説明変数として用いた 6 項目とその実績値については表 3 一日最大給水量記録一覧表に含まれている。

① 変動要因（説明変数）として取り上げた事項

☆ 一日最大給水量記録一覧表に記した各年度

- ・ 給水人口(人)
- ・ 一日平均給水量 (m³/日)
- ・ 有収率

☆ 「2)の2 生起日の偏り」で検討した、

- ・ 記録月日
- ・ 曜日特性
- ・ 最高気温

☆ 重回帰分析による情報

(ア) 目的変数（一日最大給水量）と説明変数 6 つ、合計 7 つの要素相互の相関係数（相関係数）を示す一覧表（「表 2 相関行列」）。

- ・ 「表 2 相関行列」 に含まれる。

(イ) 得られた多変量重回帰式

表 6 回帰式に含まれる変数（偏回帰係数・有意差の検定） 偏回帰係数の有意性の検定
P<0.05 ** : P<0.01

変数	偏回帰係数	標準誤差	標準偏回帰係数	P 値	* : P<0.05 ** : P<0.01
給水人口	1.09322	0.1979	0.6622	P < 0.001	**
有収率	-148187.9965	55996.1539	-0.3173	0.0141	*
定数項	-35650.0202	88102.3193		0.6893	

※ $Y = aX_1 + bX_2 + cX_3 \dots \dots \dots 1$ 式

の形で表わすと、

- ・ 一日最大給水量 = 1.09322 × 給水人口 - 148187.9965 × 有収率 - 35650.0202 4 式
である。

(ウ) ここで、この式の意味を考える

- 説明変数を6つ採用したが、4式では給水人口と有収率の偏回帰係数と標準偏回帰係数が記されている。
- 表1より、給水人口が2016年度の22万人、有収率が86.8%であれば、4式にこれらの値を代入すると

$$\text{一日最大給水量} = 1.09322 \times 220564 - 148,187.9965 \times 0.868 - 35,650.0202 = 76,824 \text{ (m}^3\text{/日)} \quad \text{5式}$$

と算出される。

表1から2016年度の一日本最大給水量実績値は77,526であるから、実績値－予測値＝702m³/日だけ実績値の方が大きい。この程度の誤差であることは、この重回帰式が実態と良く一致していることの証左である。

- 表6では、給水人口の標準偏回帰係数が0.6622、有収率の標準偏回帰係数が-0.3173と記載されている。すなわち、給水人口の標準化値の変動はその0.6622倍が、有収率標準化値はその変動の-0.3173倍が一日最大給水量の標準偏差変動に寄与する。
- 今後は、①給水人口の減少が確実なので、給水人口減少に応じて一日最大給水量は減少し、②有収率が将来85%から90%に上昇することで、一日最大給水量減少に反映されることになる。
- 給水人口減少と有収率の上昇により、今後、一日最大給水量の減少が続くと予想される。

(エ) 相関の強さ・説明力（重相関係数と決定係数）と、観測値と理論値の差（残差）の検証

※ 「表7 回帰式の精度」に、今回の重回帰分析で得られた重回帰式（4式）の相関の強さ・説明力（重相関係数と決定係数）と、観測値と理論値の差（残差）の検証結果を示した。

表7 回帰式の精度

重相関係数		決定係数		観測値と理論値の差（残差）の検証	
R	修正 R	R ² 乗	修正 R ² 乗	ダービン=ワトソン	AIC
0.9351	0.9295	0.8745	0.8640	1.4693	439.5200

- 重相関係数 R は 0.9351 であるから、強い相関があることが分かる。
- 今回の分析では目的変数、6組の説明変数とも27年間の実績データを用いた（＝27回の繰り返しデータを用いた）。繰り返し回数が多いと重相関係数は1に近づくので、繰り返しの影響を排除した重相関

係数も出力されている。それが修正 R である。修正 R は 0.9295 であった。

- 今回の重回帰分析で得られた重回帰式（4 式）にはどの程度の説明力があるのかを評価する指標として、決定係数が出力されている。決定係数 R² 乗は 0.8745，修正決定係数 R² 乗は 0.8640 である。すなわち、「この重回帰式（4 式）は目的変数である一日平均給水量を 86～87%説明できる」ことを示している。すなわち、この重回帰式は一日最大給水量の変動について強い説明力を持っているのである。
- さて、残りの 15%は何か？という疑問が出る。それを検討するには、27 組の実績値と 4 式による算出値との差（残差）についての検討が必要になる。

*1 ダービン=ワトソン比：誤差項（実測値と理論値の差）間に自己相関があるかないかを判別するための指標。回帰分析では、異なる誤差項間には相関がないことを仮定しているため、ダービン=ワトソン比がその指標となる。値が 2 よりかなり小さいときは正の相関が、2 よりかなり大きいときは負の相関が、2 前後のときは相関なしと判断する。1.4693 は 2 よりいくらか小さいが自己相関はないと見なす。

(オ) 27 組の実績値と 2 式による算出値との差＝残差の検討

- 27 組の実績値と 2 式による算出値との差の一覧表を「表 8 残差」として示す。

表 8 残差	一日最大給水量 m ³ /日		回帰診断	
	観測値	予測値	残 差	(観測値/予測値-1)%
1992	99801.000	96297.713	3503.287	3.6%
1993	99581.000	96250.442	3330.558	3.5%
1994	101419.000	94836.763	6582.237	6.9%
1995	94615.000	99987.648	-5372.648	-5.4%
1996	97531.000	95363.720	2167.280	2.3%
1997	98431.000	95876.246	2554.754	2.7%
1998	95580.000	97104.511	-1524.511	-1.6%
1999	101510.000	97968.057	3541.943	3.6%
2000	95400.000	94634.287	765.713	0.8%
2001	100830.000	97788.438	3041.562	3.1%
2002	94900.000	96697.172	-1797.172	-1.9%
2003	93090.000	96139.769	-3049.769	-3.2%
2004	93610.000	95419.531	-1809.531	-1.9%

2005	89130.000	92501.435	-3371.435	-3.6%
2006	93210.000	92721.396	488.604	0.5%
2007	92440.000	91814.342	625.658	0.7%
2008	85660.000	90219.895	-4559.895	-5.1%
2009	82417.000	86937.071	-4520.071	-5.2%
2010	82350.000	83488.608	-1138.608	-1.4%
2011	80240.000	82471.622	-2231.622	-2.7%
2012	81070.000	82073.230	-1003.230	-1.2%
2013	79811.000	81027.686	-1216.686	-1.5%
2014	77099.000	78745.510	-1646.510	-2.1%
2015	76991.000	78865.086	-1874.086	-2.4%
2016	77526.000	76902.873	623.127	0.8%
2017	78677.000	76574.971	2102.029	2.7%
2018	77698.000	71908.979	5789.021	8.1%

- 表 8 の最右列「(実績値/予測値-1) %」は実績値と予測値との乖離程度を示している。
- ■ は実績値が今回の重回帰式による予測値から 3.5%以上低い値であることを示した。
- ■ は実績値が今回の重回帰式による予測値から 3.5%以上高い値であることを示した。
- 共に、それらの日(表 1 一日最大給水量記録一覧表 参照)にどのようなことが起きていたのか調査することで、実績値と予測値との乖離が大きかった理由を知ることにつながる。

② 目的変数(一日最大給水量)の変動要因 のまとめ

☆ 一日最大給水量について、一日平均給水量、曜日特性、記録月日、最高気温、給水人口、有収率 合計 6 項目を説明変数として、それぞれ 27 年分の実績データを用いて重回帰分析を行った。

☆ その結果、重回帰分析として信頼性に足りる説明変数は給水人口と有収率が残った。

☆ その結果、得られた重回帰式は、下記表 6 の情報から、

表 6 回帰式に含まれる変数(偏回帰係数・有意差の検定) 偏回帰係数の有意性の検定
P<0.05 ** : P<0.01

変数	偏回帰係数	標準誤差	標準偏回帰係数	P 値	* : P<0.05 ** : P<0.01
給水人口	1.09322	0.1979	0.6622	P < 0.001	**
有収率	-148187.9965	55996.1539	-0.3173	0.0141	*
定数項	-35650.0202	88102.3193		0.6893	

※ $Y = aX_1 + bX_2 + cX_3 \dots \dots \dots 1$ 式

の形で表わすと、

- 一日最大給水量=1.0932×給水人口-148187.9965×有収率-35650.0202 4式
であった。
- 標準化した給水人口の変動はその0.6622倍が、標準化有収率の変動の-0.3173倍が、一日最大給水量の標準偏差変動に寄与する。
- 給水人口を2026年度の22万人、有収率を漏水防止策の成果として90%を達成していれば、4式にこれらの数値を代入すると、一日最大給水量は71,484m³/日、切り上げて7万2000m³/日である。

☆ この回帰式の重相関係数と決定係数は、下記「表7 回帰式の精度」に示される。

表7 回帰式の精度

表7 回帰式の精度

重相関係数		決定係数		観測値と理論値の差(残差)の検証	
R	修正R	R ² 乗	修正R ² 乗	ダービン=ワトソン	AIC
0.9351	0.9295	0.8745	0.8640	1.4693	439.5200

- 重相関係数Rは0.9351であるから、強い相関がある。
- 決定係数R²乗は0.8745、修正決定係数R²乗は0.8640である。すなわち、「この重回帰式(4式)は目的変数である一日平均給水量を86~87%説明できる」ことを示している。この重回帰式は一日最大給水量の変動について強い説明力を持っているのである。

3. まとめ

- 2012年度水需要予測、2019年度水需要予測において、計画負荷率を「過去20年間の最低値」とし、1999年度の実績値である80.3%を採用していることの妥当性について、統計学的検討を加えた。
- 負荷率は一日平均給水量を一日最大給水量で除した値であり、一年間の毎日の給水量の振れ幅を評価するための指標である。水需要予測においては、計画一日平均給水量を計画負荷率で除して計画一日最大給水量を算出している。計画負荷率の設定値が大きすぎると計画一日最大給水量を少なく設定することになる。逆に、計画負荷率を小さく設定すると、計画一日最大給水量を過大に設定することになる。
- 先ずは、負荷率の変動要因として、1992年度から2018年度までの27年度分の、一日最大給水量とそれを記録した日の特性(月日、曜日、気温)、一日平均給水量、給水人口、有収率、合計7項目の実績値を用いて、負荷率の変動を調べた。
- その結果、
 - ① 27年間で11回は大晦日12月31日に一日最大給水量を記録していた。その他は、6, 7, 8月に記録していた。
 - ② 一日最大給水量を記録する曜日特性を調べた。大晦日12月31日を除くと、日曜日、月曜日はゼロ回で、水曜日を頂点とした山型であることが分かった。
 - ③ 気温特性については、記録月が12月と夏場にわかれているので、気温特性は関係ないと判断した。

- ④ 上記7項目を説明変数、負荷率を目的変数とした重回帰分析を行ったところ、得られた重回帰式から、一日最大給水量のみが説明変数として有意であることが分かった。その標準偏回帰係数は-0.8141であった。得られた重回帰式の説明力（修正決定係数R²乗）は0.6492（約65%）であった。

重回帰式は、

$$\text{負荷率} = -0.00000332 \times \text{一日最大給水量} + 1.1611 \quad 3 \text{式}$$

であった。

- 以上より「負荷率の大まかな変動は、一日最大給水量の動向と逆方向に進行する」ことが知れたので、一日最大給水量の動向を重回帰分析で検討した。
- 一日最大給水量を目的変数、一日最大給水量を記録した日の特性（月日、曜日、気温）、一日平均給水量、給水人口、有収率、合計6項目を説明変数とした。負荷率の重回帰分析と同様、1992年度から2018年度までの27年度分の実績値を用いた。
- その結果、下記重回帰式を得た。

$$\text{一日最大給水量} = 1.0932 \times \text{給水人口} - 148187.9965 \times \text{有収率} - 35650.0202 \quad 4 \text{式}$$

☆ 給水人口が2016年度の水準22万人、有収率が漏水対策を今少し進めて90%に到達することで、4式から、一日最大給水量は71,484m³/日、切り上げて7万2000m³/日となる。

☆ 給水人口と有収率の標準偏回帰係数は下表に示す。

給水人口	0.6622
有収率	-0.3173

- 標準化した給水人口の変動はその0.6622倍が、標準化した有収率はその変動の-0.3173倍が、一日最大給水量の標準偏差変動に寄与する。

☆ 重回帰式の説明力（修正決定係数R²乗）は0.8640（約86%）であった。

☆ 上記①の4式で得られた給水人口22万人、有収率90%としたときの一日最大給水量計算値7万2000m³/日を3式を用いて負荷率に換算すると、

$$\text{負荷率} = -0.00000332 \times \text{一日最大給水量} + 1.1611 \quad 3 \text{式}$$

$$\text{負荷率} = -0.00000332 \times 72,000 + 1.1611 = 0.922 \quad 6 \text{式} \quad \text{となる。}$$

☆ よって、給水人口が2016年度の水準22万人、有収率が漏水対策を今少し進めて90%に到達すれば、負荷率は0.922と予測される。

☆ 佐世保市が計画負荷率としている0.803は、1999年度に記録されている。この値は3式の残差として記載されている表5の残差-0.021分低い。

☆ よって、3式の残差-0.021を考慮すると、6式で得られた0.922は0.901となる。

- すなわち、給水人口が2016年度の水準22万人、有収率が漏水対策を今少し進めて90%に到達すれば、1999年度の負荷率0.803は3式からの残差を考慮しても、0.901となり、2019年度の水需要予測における計画負荷率0.803はあまりにも低すぎるということが検証された。

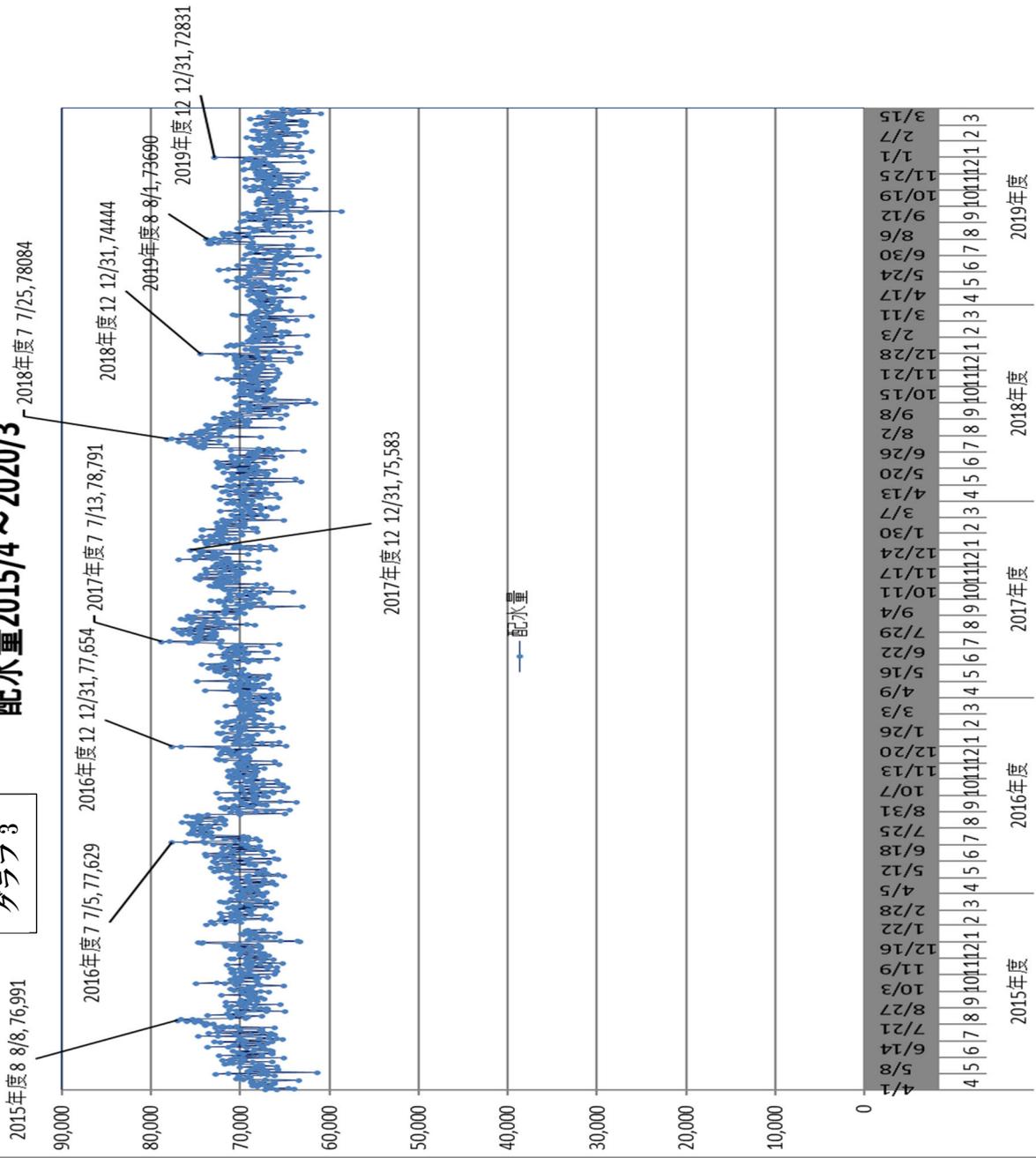
《結論》

- 負荷率の大まかな変動は一日最大給水量の変動と逆方向に進むことが知れた。

- 一日最大給水量は①今後とも進む給水人口の減少と、②漏水防止策に力を入れて有収率の向上を図ることで、減少の一途を辿る。
- 一日最大給水量が減少の一途を辿れば、負荷率はその逆方向、すなわち上昇方向を辿る。
- 佐世保市が 2019 年度水需要予測においても計画負荷率を現状より遙かに低い 1999 年度の 80.3%と設定したことは、今回の統計学的検証で誤りであることが明らかになった。
- 一日最大給水量の重回帰式は説明力（修正決定係数 R² 乗）が 0.8640（約 86%）と高いので、信頼性が高い。しかし、実績はこの重回帰式から外れることが時として生じていることを「表 8 残差」で示した。
- 負荷率の重回帰式は説明力（修正決定係数 R² 乗）が修正 R² 乗 0.6492（約 65%）なので、信頼性がやや低い。基本的な動向の方向を探ることはできる。実績値とこの重回帰式による予測値との差については「表 5 残差」に示した。
- 負荷率の経年変化で凹状に沈んでいるときは、一日最大給水量は逆に凸状に飛び上がっていること、およびその逆の動向があることを「グラフ 2 負荷率と一日最大給水量・一日平均給水量の推移」に示した。
- 「表 8 残差」に示すように、一日最大給水量の実績値が重回帰式計算値より上回るのはいずれも 6,000m³/日である。給水人口が 2016 年度の 22 万人とし、有収率が 90%を達成していれば、重回帰式による一日最大給水量が 7 万 2000m³/日である。更に振れ幅を考慮するならば、予備として 6,000m³/日分の給水能力を保持していれば良い。6,000m³/日分の給水能力は一日最大給水量 7 万 2000m³/日の 1/12 でしかない。すなわち、7 万 2000m³/日の給水能力に 1/12 日分の余裕を持たせることで足りるのである。浄水場内を含め、給水区域内に、水道水を 1 日分と 1/12 日分=7 万 8000m³/日を給水する施設を確保しておけば良い。
- 一日最大給水量が凸状に飛び上がっている現象は、「グラフ 3 配水量 2015/4 ~2020/3」に見られるように、せいぜい数日のことであるから、保有水源量の増量ではなく、給水システムとしての供給予備力に対応すべきことである。
- 給水人口が 2016 年度の水準 22 万人、有収率が漏水対策を今少し進めて 90%に到達すれば、1999 年度の負荷率 0.803 は 3 式からの残差を考慮しても、0.901 となり、2019 年度の水需要予測における計画負荷率 0.803 はあまりにも低すぎるということが検証された。

配水量2015/4～2020/3

グラフ 3



4. 【補遺】 起こりえない！ 佐世保市による 2019 年度予測結果

- 2019 年度予測では佐世保地区を 3 つに分けてそれぞれの負荷率を設定して一日最大給水量を算出し、その合計値を以て、佐世保地区給水区域の一日最大給水量（合併を除く）としている。更に合併 2 地区の一日最大給水量と併せて、佐世保地区給水区域の一日最大給水量としている。2019 年度予測の 2038 年度の予測値を佐世保市の資料より下の表に示す。なお、赤字で記した負荷率は「一日平均給水量/一日最大給水量」で算出した。

区分	一日平均給水量 m ³ /日	負荷率%	一日最大給水量 m ³ /日
ハウステンボス	598	22.1	2,708
S S K	729	13.6	5,996
上記二つを除いた佐世保地区	73,292	80.3	91,272
合併 2 地区	4,188	63.7 (=4188/6,573)	6,573 (=4,507+2,066)
佐世保地区全体	78,807	74.0 (=78,807/106,549)	106,549

- 上の表から、2019 年度予測の 2038 年度の予測値から、2038 年度の佐世保地区給水区域全体の計画負荷率を算出すると、74.0%になる。
- すなわち、2019 年度予測では、2038 年度の佐世保地区給水区域全体の計画負荷率を 74.0%に設定したことになる。
- 本稿で検討した結果から、合併 2 地区を除外した佐世保地区の将来の負荷率は 90%であった。上の表で合併 2 地区を考慮して、合併 2 地区を除外した佐世保地区の 2038 年度を 74%に 1 ポイント上乘せして 75%としても、2038 年度の合併 2 地区を除いた佐世保地区給水区域の計画負荷率が 75%になることはあり得ないのである。
- 2038 年度の合併後の佐世保地区給水区域の負荷率が 80.3%を更に 6 ポイントも下回る 74.0%になってしまうことを、佐世保市は確認しているのだろうか？