
資 料

1 源泉当りの平均湧出量の経年変化による 温泉採取状況推測法の提案

ホソヤ技術士事務所

細 谷 昇

(平成 17 年 10 月 28 日受付, 平成 17 年 12 月 15 日受理)

A Proposal of a New Method for Estimating the Level of Excessive Drawing of Hot-spring Water based on the Annual Variations of the Average Discharge per Hot-spring Well

Noboru HOSOYA

Hosoya Office of Professional Engineer

Abstract

This article shows an easy method knowing how the hot-springs resources are used : modestly, properly, excessively. It is based on the statistical analysis of the annual variations of the average discharge per hot-spring well in various spas in Japan. Using this method, the author reports various degrees of the hot-spring water utilization of 47 prefectures of Japan including the Metropolis, Hokkaido, Kyoto and Osaka.

Key words : excessive drawing, annual variation, average discharge, centralized control system, statistical analysis

キーワード : 過剰採取, 経年変化, 平均湧出量, 集中管理, 統計解析

1. ま え が き

筆者は長年の間, 温泉集中管理施設建設の技術指導に従事して来たが集中管理を実施しなければならなかった背景には温泉資源の過剰採取が主因である枯渇現象と温泉利用施設への不安定供給とがあった. そこで集中管理実施以前つまり過剰採取の時代の 1 源泉当りの平均湧出量(湯原・瀬野, 1972)(以後平均湧出量と略記する)の経年変化の様相が解れば, 他の温泉地の過剰採取状態の目安となるのではないかと, また集中管理以後の平均湧出量の経年変化がどのように変貌したかが解れば, 集中管理の成果の 1 つとなるばかりでなく, 温泉開発の合理的な指針となるのではないかと, な

どの単純な考えが浮かんだのである。そこで温泉の過剰採取のため枯渇現象が起り、温泉の不安定供給が生じたため集中管理を実施した（1973年）下呂温泉地を選び、集中管理以前と以後との平均湧出量の経年変化の様相を調べ、その結果から提案するのが「1源泉当りの平均湧出量の経年変化による温泉資源採取状況推測法」である。従ってこの推測法は温泉に関係ある学理の裏付けがあって、生まれたものでなく、自分の経験とパーソナルコンピューターの働きによって出来上がっただけのものである。

2. 岐阜県下呂温泉地の集中管理以前、以後の平均湧出量の経年変化の様相

下呂温泉は1973年（昭和48年）から温泉集中管理に移行し、約32年経過した。集中管理事業は下呂温泉事業協同組合が運営している（荒川，1990；滝，2003）組合から提供された温泉関係資料から1965年から1984年までの平均湧出量を纏めたものがTable 1である（下呂温泉事業協同組合，2005）。Table 1の中の1965年～1973年（昭和40年～昭和48年）の平均湧出量が集中管理以前の

Table 1 Average discharge per hot-spring well at Gero Spa area
(based on data published by the Gero Spa business coopertaiton)

No	昭和年度	西暦	全湧出量 [l/min] (S)	源泉数 (C)	1源泉当りの平均湧出量 [l/min] (S/C)
1	40	1965	7,315	30	243.83
2	41	1966	4,754	22	216.09
3	42	1967	898	5	179.60
4	43	1968	1,692	12	141.00
5	44	1969	3,022	18	167.89
6	45	1970	4,076	33	123.52
7	46	1971	5,090	37	137.57
8	47	1972	5,817	41	141.88
9	48	1973	6,544	45	145.42
10	49	1974	2,645	16	165.31
11	50	1975	3,202	19	168.53
12	51	1976	2,790	17	164.12
13	52	1977	2,487	14	177.64
14	53	1978	2,362	13	181.69
15	54	1979	2,753	13	211.77
16	55	1980	2,546	11	231.45
17	56	1981	2,521	11	229.18
18	57	1982	2,499	11	227.18
19	58	1983	2,579	13	198.38
20	59	1984	2,670	11	242.73

集中管理以前



集中管理以後

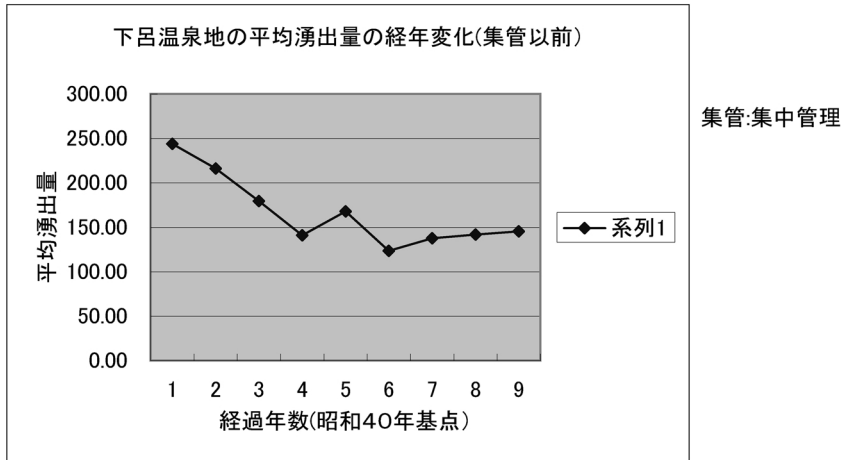


Fig. 1 Annual change of average discharge of hot-spring water at Gero Spa area (before the installation of the centralized control system).

各年毎のもの (Table 1 の 6 列目縦数値) で、これ等の数値から集中管理実施以前の平均湧出量の経年変化を折れ線グラフで、描いたのが Fig. 1 である。Fig. 1 の折れ線グラフから下呂温泉地が集中管理を行う以前、即ち温泉の過剰採取時代の平均湧出量は凸凹であるものの、年々少なくなる傾向を示している。その傾向は近似的に右肩下がりの直線であるとみなせる。そこで最小二乗法を用いて Fig. 1 の経年変化図に直線が当てはまるか、否かをエクセル統計ソフトで検証 (菅, 1992) したところ次の (1) 式のような単回帰線が具合よく当てはまることが解った。

$$Y = -11.9X + 226.1 \dots\dots\dots(1)$$

相関係数 : 81.2 [%]

ここで X : 1965 年 (S.40 年) を基準 1 年とした経過年数 [年]

Y : 各年毎の平均湧出量 [l/min]

検定 : 有意水準 1% で有意

この結果から温泉の過剰採取状態を長期間続けると平均湧出量の経年変化は右肩下がりの直線的様相を呈し、年々平均湧出量は減少するものと推測した。

また (1) 式と Table 1 の中の集中管理以前 (1965 年~1973 年) のデータとの散布図が Fig. 2 である。

なお Fig. 2 の上の部分は回帰直線 (1) 式を求めるための基本統計量及び (1) 式の精度と検定である。更に Table 2 のデータから集中管理移行後 (1973 年~1989 年, 昭和 48 年~昭和 59 年, データ No. 9~No. 20) の平均湧出量の経年変化図 (折れ線グラフ) を描くと Fig. 3 のようなものとなる。

この図が近似的に或る直線方程式に当てはまるか、否かを前述した集中管理以前の平均湧出量の経年変化直線を求めた手法と同じ手法で検証したところ (2) 式のような単回帰式が得られ、当てはめ具合は非常に良く、精度も高い。

なお、(2) 式に対する観測値 (実測値) の散布図は Fig. 4 に示す。

$$Y = 8X + 143.1 \dots\dots\dots(2)$$

相関係数 : 89.2 [%]

ここで X : 1973 年 (S.48 年) を基準 1 年とした経過年数 [年]

Y : 各年毎の平均湧出量 [l/min]

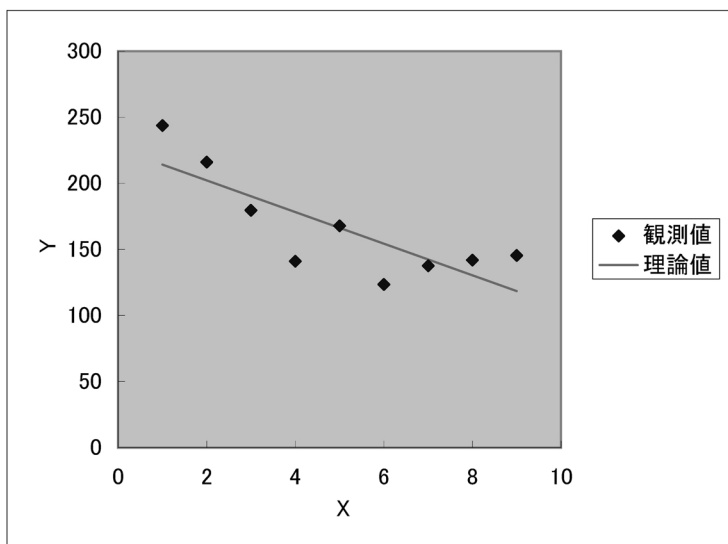
検定 : 有意水準 1% で有意

	X	Y	最小二乗法で求めた回帰直線と その直線の当てはまり具合の解析 (集管以前)
サンプル数		9	
合計	45	1496.796	
平均	5	166.3107	
偏差平方和	60	12998.47	
分散	6.666667	1444.274	
標準偏差	2.581989	38.0036	
積和	-717.833		
共分散	-79.7592		
相関係数	-0.8128		

精度		関数式:直線 $y=ax+b$
決定係数	0.6607	係数 a -11.9639
修正済決定係数	0.6122	定数項 b 226.1301
重相関係数	0.8128	
修正済重相関係数	0.7824	
ダービンワトソン比	1.2022	

分散分析表						**:1%有意 *:5%有意
要因	偏差平方和	自由度	平均平方	F 値	P 値	判定
回帰変動	8588.064	1	8588.064	13.63061	0.0077	**
誤差変動	4410.401	7	630.0573			
全体変動	12998.47	8				

データNo.	X	観測値	理論値
1	1	243.8333	214.1662
2	2	216.0909	202.2023
3	3	179.6	190.2384
4	4	141	178.2746
5	5	167.8889	166.3107
6	6	123.5152	154.3468
7	7	137.5676	142.3829
8	8	141.878	130.419
9	9	145.4222	118.4552



Y:平均湧出量
X:経過年数(昭40年基準)

Fig. 2 Scatter diagram of observed valus and regression line (befor the installation of the centraized control system).

Table 2 Average discharge per hot-spring well at Gero Spa area (based on data published by the Gero Spa business coopertaiton)

経過年数	昭和年号	西暦	全湧出量 [l/min] (S)	源泉数 (C)	1 源泉当りの平均湧出量 [l/min] (S/C)
1	昭 40	1965	7,315	30	243.83
2	昭 41	1966	4,754	22	216.09
3	昭 42	1967	898	5	179.60
4	昭 43	1968	1,692	12	141.00
5	昭 44	1969	3,022	18	167.89
6	昭 45	1970	4,076	33	123.52
7	昭 46	1971	5,090	37	137.57
8	昭 47	1972	5,817	41	141.88
9	昭 48	1973	6,544	45	145.42
10	昭 49	1974	2,645	16	165.31
11	昭 50	1975	3,202	19	168.53
12	昭 51	1976	2,790	17	164.12
13	昭 52	1977	2,487	14	177.64
14	昭 53	1978	2,362	13	181.69
15	昭 54	1979	2,753	13	211.77
16	昭 55	1980	2,546	11	231.45
17	昭 56	1981	2,521	11	229.18
18	昭 57	1982	2,499	11	227.18
19	昭 58	1983	2,579	13	198.38
20	昭 59	1984	2,670	11	242.73

集中管理以前

集中管理以後

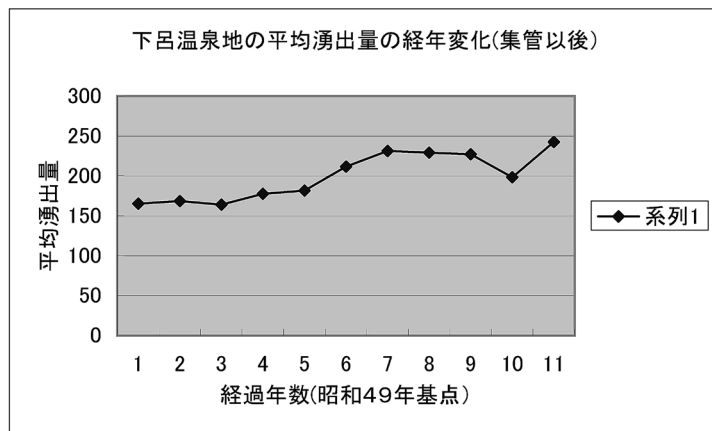


Fig. 3 Annual change of average discharge of hot-spring water in Gero Spa area (after the installation centralized control system).

	X	Y	最小二乗法で求めた回帰直線とその直線の 当てはまり具合の解析(集管以後)
サンプル数	12	12	
合計	78	2343.413	
平均	6.5	195.2844	
偏差平方和	143	11574.83	
分散	11.91667	964.5691	
標準偏差	3.452053	31.05751	
積和	1147.713		
共分散	95.64275		
相関係数	0.8921		

精度		関数式: 直線 $y=ax+b$
決定係数	0.7958	係数 a 8.025965
修正済決定係数	0.7754	定数項 b 143.1157
重相関係数	0.8921	
修正済重相関係数	0.8806	
ダービンワトソン比	1.6368	

分散分析表					**:1%有意	*:5%有意
要因	偏差平方和	自由度	平均平方	F 値	P 値	判定
回帰変動	9211.504	1	9211.504	38.97688	0.0001	**
誤差変動	2363.325	10	236.3325			
全体変動	11574.83	11				

データNo.	X	観測値	理論値
1	1	145.4222	151.1416
2	2	165.3125	159.1676
3	3	168.5263	167.1936
4	4	164.1176	175.2195
5	5	177.6429	183.2455
6	6	181.6923	191.2714
7	7	211.7692	199.2974
8	8	231.4545	207.3234
9	9	229.1818	215.3493
10	10	227.1818	223.3753
11	11	198.3846	231.4013
12	12	242.7273	239.4272

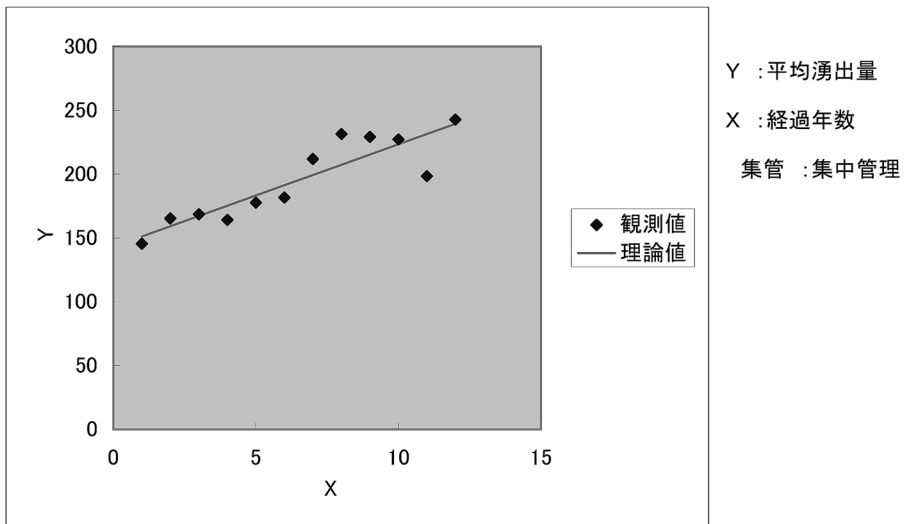


Fig. 4 Scatter diagram of observed values and regression line (after the installation of the centralized control system).

(2)式から解る通り集中管理実施以後の平均湧出量の経年変化は右肩上がりの直線的様相に変貌し、年々確実に平均湧出量は増加する傾向に変わった。

つまり温泉の過剰採取時代は下呂温泉の平均湧出量と、経過年数とは負の相関を示すが、集中管理の実施以後は温泉の過剰採取が無くなり、平均湧出量と経過年数とは正の相関を示すことを把握した。この結果から温泉の過剰採取を中長期に亙り続けているならば、温泉の平均湧出量の経年変化は負の回帰直線を示すと推測した。

3. 47 都道府県の平均湧出量の経年変化

3.1 47 都道府県毎の平均湧出量の経年変化と「採取状況推測法」の活用

現在、47 都道府県内で温泉のないところはなく、温泉地数は 3,127、総温泉湧出量は 2,681,178 [l/min] (1,409,227,156 [m³/年]) 温泉総数 27,347 (平成 15 年度環境省調べ) である。しかしこれらの項目だけでは源泉の新規掘削、増掘、動力設置、増馬力等の許可・不許可に必要な温泉資源の採取状況の良否の目安となるものはない。

そこで前項で述べた下呂温泉の集中管理以前・以後の平均湧出量の経年変化の様相を参考として、大胆ではあるが都道府県の 1 つ 1 つを広域な温泉地と見做し、47 都道府県毎の平均湧出量の経年変化の様相を探ってみた。データは環境省公表の平成元年度～平成 15 年度までの「温泉利用状況」(環境省、1986～2003) 総括表(環境省公表)を用いた。

なお 47 都道府県毎の平均湧出量の表、経年変化図、エクセル統計(関数の当てはめ)等は問い合わせがあれば公開できる。

また各既存温泉地毎の温泉採取状況を本法で推測し、本法の適用性の良否を見極めようとしたが、伊豆長岡温泉地、下呂温泉地以外の温泉地の源泉に関するデータの入手が困難で、今後の課題とした。伊豆長岡温泉の平均湧出量の経年変化の様相は前出の下呂温泉のそれとほぼ同様であった。

3.2 47 都道府県の平均湧出量の経年変化の様相の分別

47 都道府県別の年毎の平均湧出量の表、経年変化の図型、エクセル統計ソフトを利用した経過年数(X)と平均湧出量(Y)との相関関係、最小二乗法で求めた回帰直線とその直線の当てはまり具合(有意水準 [0.05] 以上での検定による)等と前出の下呂温泉の集中管理以前・以後の平均湧出量の経年変化の様相とを照合し、47 都道府県毎の平均湧出量の経年変化の様相を ①型、②型、③型、④型 4 つの型に分け、温泉資源の採取状況を推測することとした。即ち ①型は平均湧出量が年々確実に多くなり、平均湧出量と経過年数とが強い正の単相関関係を示し、その相関係数は 0.6 以上と大きく回帰直線の当てはまり具合の検定は有意水準 0.05 で有意であるもの。つまり平均湧出量の経年変化が右肩上がりの直線であるもの。これを非過剰採取型と仮に名付ける。

②型は平均湧出量が年々僅かに多くなる傾向であり、平均湧出量と経過年数とは正の単相関関係はあるものの相関係数は 0.5 以下と小さく、回帰直線の当てはまり具合の検定は有意水準 0.05 で有意ではないが、しかし平均湧出量の経年変化は右肩上がりの直線傾向を示すもの。なお、この型を非過剰採取もどき型と仮に名付ける。

③型は②型の逆で、平均湧出量が年々僅かに少なくなる傾向を示し、平均湧出量と経過年数との間には負の単相関関係はあるものの相関係数は 0.5 以下と小さく、回帰直線の当てはまり具合の検定も有意水準 0.05 で有意ではないが、しかし平均湧出量の経年変化は右肩下がりの直線傾向を示すもの。なおこの型を過剰採取ぎみ型と仮に名付ける。

④型は平均湧出量が年々確実に少なくなり、平均湧出量と経過年数との間には強い負の単相関関

係を示し、その相関係数は0.7以上で、回帰直線の当てはまり具合の検定は有意水準0.05で有意であるもの。つまり平均湧出量の経年変化は右肩下がりの直線であるもの。なおこの型を過剰採取型と仮に名付ける。

以上述べた考えに基づき47都道府県の温泉採取状況を推測し、分別した結果は下記の通りである。

① 非過剰採取型に属する都府県

宮城県、埼玉県、東京都、千葉県、新潟県、福井県、長野県、滋賀県、大阪府、兵庫県、鳥取県、島根県、香川県、佐賀県、長崎県、大分県、熊本県、宮崎県等 18地域

② 非過剰採取もどき型に属する府県

青森県、秋田県、福島県、茨城県、神奈川県、京都府、和歌山県、岡山県、山口県、福岡県、沖縄県等 11地域

③ 過剰採取ぎみ型に属する県

山形県、栃木県、富山県、石川県、岐阜県、奈良県、愛媛県、鹿児島県等 8地域

④ 過剰採取型に属する道県

北海道、岩手県、群馬県、山梨県、静岡県、愛知県、三重県、徳島県、高知県、広島県等 10地域
この分別結果から①型に属する都府県内は温泉資源の枯渇現象が起こってないと考えられる。

④型に属する道県内の温泉資源は明らかに枯渇現象が生じているので早急に対応（広域温泉集中管理、温泉掘削禁止地域、温泉保護地域の設定、温泉採取制限など）が必要であり、現在のような温泉量を採取し続けると温泉資源は無くなるか、有ったとしても温泉採取に要する費用は非常に高価となるであろう。

②、③型は①、④型の中間的なもので、現在のままの資源管理では将来は④型に移行するであろう。特に③型の地域は近い将来④型となる可能性が非常に高い。

またこの分別結果を有限である温泉資源から見た採取状況の良否は最も良いのが①型、次が②型で、3番目は③型、最も悪いのが④型と言える。

4. ま と め

最近、よく耳にする「日本のどこを掘っても金さえ懸ければ温泉は出る」と言われていることである。その意見は些か間違っていると考える。

なぜならば温泉が出るということはそれ相当の湧出量が永続的であり、且つ他の源泉の湧出量の減少を招かないことなのである。

1 源泉が増えたにも拘らず地域全体の合計湧出量に変化はなく、従って平均湧出量が下がるようでは新しく温泉が出たとは言いがたいのである。

さて、巻頭に記した通り本報は筆者の経験とパソコンの統計処理機能とに依って得られたもので、地球物理学、地球化学、温泉地質学、温泉水文学等の裏付けが有るものではない。従って47都道府県の温泉採取状況結果も正しいとは言いがたい。

しかし現在、筆者の少ない経験の中では、一温泉地全体の温泉採取状況の様相を現場で簡単且つ容易に把握し、温泉群管理を行い、温泉資源を守るような手法はない。

そのような点からすれば、47都道府県の温泉採取状況結果とその結果を導いた方法は問題点はあるが、第一次近似的な価値のあるものであろう。

以上述べてきた通り平均湧出量の経年変化から、一温泉地の温泉資源の採取状況の概要を簡単且つ容易に捕捉することが出来るので、温泉管理者はこの方法を活用し、自分が関係している温泉地の温泉採取状態を監視し、過剰採取であるか否かを見極め、温泉の採取状況が③、④型であれば、

その対策を考慮し(正しい広域集中管理など),温泉枯渇現象の発生を防止すべきである。また国及び都道府県の温泉行政にこの方法の活用を薦める。

なお今後は本推測法の確実性を更に高めると共に本方法を活用した簡易で、安価な温泉資源集中監視装置を考案し、温泉資源の保護に僅かでも尽力したい。

謝 辞

本推測法の誕生に関し種々ご指導・ご助言をして下さいました京都大学名誉教授理学博士西村進先生,財団法人中央温泉研究所所長理学博士甘露寺泰雄先生,株式会社地熱技術士浜田眞之先生に厚くお礼を申し上げます。

またデータを提供して下さいました環境省・自然環境整備課・温泉保護利用係長中島靖史氏データの整備に協力して下さいました日親電機株式会社菅谷 渉氏,同社 石井浩司氏,に感謝します。

文 献

湯原浩三・瀬野錦蔵(1972):温泉学再販,48-55,81-84,地人書館,東京。

荒川 晃(1990):温泉よ永遠なれ(下呂温泉事業協同組合20年史),35-229,下呂温泉事業協同組合。

滝多賀男(2003):続温泉よ永遠なれ(下呂温泉事業協同組合20年史)15-98,下呂温泉事業協同組合。

下呂温泉事業協同組合(2005):温泉勢力の推移,下呂温泉事業協同組合。

菅 民郎(1992):新版・相関分析と関数式のあてはめ,3-91,(株)社会情報システム。

環境省(1986~2003):温泉使用状況,環境省自然保護局自然環境整備課(現 参事官室)。