

横浜地区に分布する大深度温泉の経年変化： 2001 年度～ 2021 年度の温泉実態調査結果から

外山浩太郎^{*1}・二宮良太^{*1}・菊川城司^{*1}

Secular variation of deep well hot spring in Yokohama area, Kanagawa Prefecture, for 2001 to 2021

by

Kotaro TOYAMA^{*1}, Ryota NINOMIYA^{*1} and George KIKUGAWA^{*1}

1. はじめに

近年、大深度温泉の枯渇化が各地で報告されている(齊藤ほか、2011; 宮崎ほか、2012; 森・井上、2021)。神奈川県において、掘削深度が 1000 m 以上のいわゆる大深度温泉井の開発は、掘削技術の進歩により 1990 年代以降、盛んに行われるようになった。特に、2000 (平成 12) 年以降は、県の中央部から東部の地域を中心に開発が進められ(板寺ほか、2010)、県内の大深度源泉の数は、2021 (令和 3) 年 3 月末で 80 カ所を超えている。

環境省 (2010) は、大深度温泉井において、掘削後数年で湧出量や泉質等の状況が大きく変化した事例を報

告し、大深度の温泉源を保護するための「科学的根拠に基づいた」ルールづくりの必要性を指摘した。神奈川県は、従来から温泉資源の保護のために神奈川県温泉保護対策要綱 (1962 (昭和 42) 年 9 月 1 日適用。以下「要綱」という。) を定め、温泉の温度 (泉温) や水位が低下するいわゆる枯渇化の傾向や、源泉相互の影響の度合い、源泉密度などの基準により、温泉特別保護地域、温泉保護地域、温泉準保護地域を指定 (箱根町の一部、湯河原町、松田町の一部、秦野市の一部) し、新規源泉の開発や揚湯量の規制を行ってきた。県内では、既存の大深度温泉井の大部分が、上記の規制地域ではない一般地

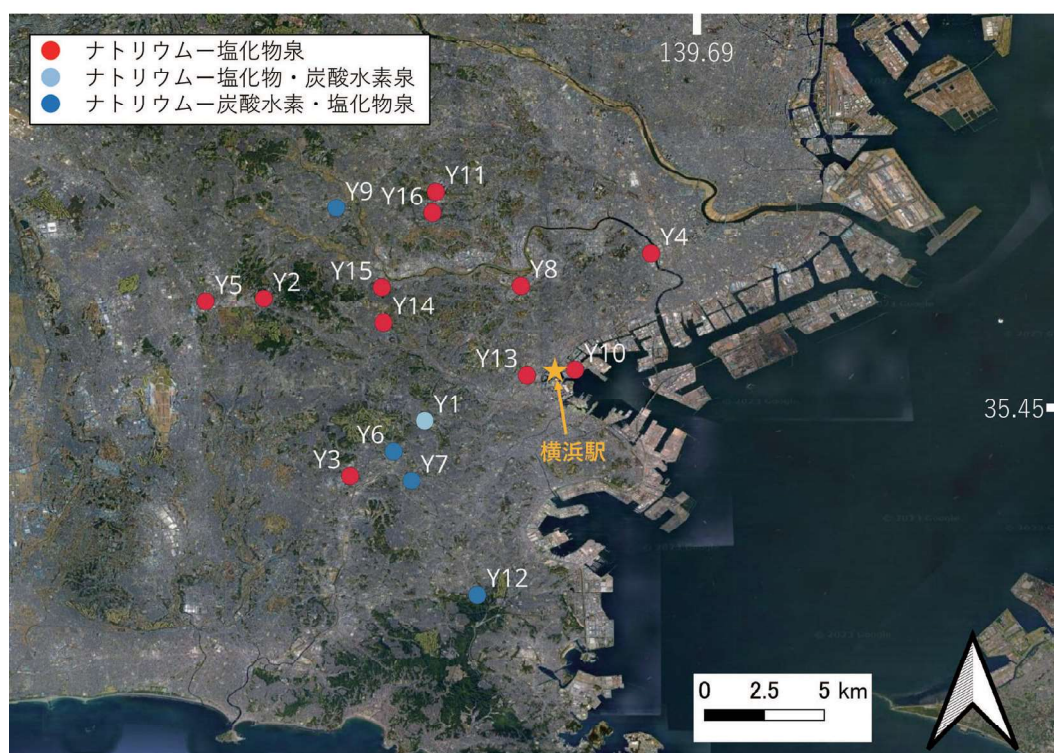


図 1 横浜地区に分布する大深度源泉の位置。泉質については、神奈川県自然環境保全審議会温泉部会に提出された温泉分析書に記載されているものである。ここでの航空写真は Google map を用いた。

^{*1} 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586

報告, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第 55 巻, 45-50, 2023

域で掘削されているが、2016（平成 28）年 5 月 13 日に要綱を修正し、大深度温泉井の掘削および増掘に際して、既存の大深度温泉井から水平距離で 1 km 以上の距離をとることおよび掘削深度は 2 km までであることを定めた。こういった規制は、水収支や熱収支の観点から決定された（環境省、2010）。また、掘削し揚湯が開始された後でも、温泉保護のためには、温泉資源の動向把握が必要であり、そのために温泉の三要素と呼ばれる湧出量（水位）、化学成分濃度、泉温などのモニタリングを実施し、現況を把握することが重要である（環境省、2010）。神奈川県では各地域の管轄保健福祉事務所および政令市の保健所による温泉実態調査（以下、実態調査と呼ぶ）を実施し、県内の各源泉において、1～数年に 1 度の頻度で泉温、湧出量（揚湯量）および水質（pH、電気伝導率）が実測されている。

板寺ほか（2012）は、神奈川県東部の大深度温泉について、2001（平成 13）年から 2011（平成 23）年に実施された実態調査の結果を基に、泉温や揚湯量が経年的に減少傾向にあることを報告し、枯渇化進行の可能性を指摘した。しかしながら、その後、県内の大深度温泉の現況についての報告はない。

本研究では、横浜地区に分布する大深度源泉について、2001（平成 13）年から 2021（令和 3）年に実施された

実態調査の結果をまとめ、現況を把握する。さらに、板寺ほか（2012）では対象としていなかった水質（pH、電気伝導率）データも併せて検討することにより長期的な変化の要因についても議論する。

2. 対象源泉の基本情報

横浜地区には、16 カ所の大深度源泉が分布しており、その位置と泉質は図 1 に示したとおりである。各源泉には、温泉台帳番号が割り振られているが、本稿では便宜上、図 1 に示した地点名を用いる。そして、その地点名に紐づけられた基本情報（温泉台帳番号、揚湯のための動力の種類とその装置許可日、孔底深度および泉質）を表 1 に示す。

3. 結果と考察

源泉ごとに調査日別の泉温、揚湯量、pH および電気伝導率の各測定値と、それぞれの平均値を表 2 に示す。さらに、泉温、pH および電気伝導率の経年変化を、それぞれ図 2A、図 2B および図 2C に示す。各源泉における泉温の平均値について、最も低い値は Y9 での 23.0℃であり、最も高い値は Y2 での 43.3℃であった。泉温の経年変化について、各源泉でその特徴はかなり異なっていた（図 2A）。特に、顕著な温度変化が見られた源泉で

表 1 横浜地区の大深度温泉の基本情報。

地点名	温泉台帳番号	動力	動力の装置許可日* (年月日)	孔底深度 (m)	水止深度 (m)	泉質**
Y1	横浜第51号	水中ポンプ	1972/5/16	1000	972	ナトリウム－炭酸水素・塩化物泉
Y2	横浜第73号	水中ポンプ	1993/8/23	1500	800	ナトリウム－塩化物泉
Y3	横浜第77号	水中ポンプ	2000/9/12	1700	1000	ナトリウム－塩化物泉
Y4	横浜第78号	水中ポンプ	2001/9/5	1500	1198	ナトリウム－塩化物泉
Y5	横浜第80号	水中ポンプ	2002/9/6	1700	992	ナトリウム－塩化物泉
Y6	横浜第81号	水中ポンプ	2003/2/24	1300	1000	ナトリウム－塩化物・炭酸水素泉
Y7	横浜第87号	水中ポンプ	2005/9/16	1500	790	ナトリウム－塩化物・炭酸水素泉
Y8	横浜第88号	水中ポンプ	2006/9/14	1500	900	ナトリウム－塩化物泉
Y9	横浜第90号	水中ポンプ	2006/9/14	1500	900	ナトリウム－塩化物・炭酸水素泉
Y10	横浜第91号	水中ポンプ	2006/9/14	1500	900	ナトリウム－塩化物泉
Y11	横浜第92号	水中ポンプ	2007/2/22	1503	1001	ナトリウム－塩化物泉
Y12	横浜第95号	水中ポンプ	2008/9/12	1507	901	ナトリウム－塩化物・炭酸水素泉
Y13	横浜第97号	水中ポンプ	2008/2/25	1500	900	ナトリウム－塩化物泉
Y14	横浜第100号	水中ポンプ	2012/8/31	2000	1500	ナトリウム－塩化物泉
Y15	横浜第101号	水中ポンプ	2015/2/9	1460	1001	ナトリウム－塩化物泉
Y16	横浜第103号	水中ポンプ	2017/2/13	1800	602	ナトリウム－塩化物泉

* 神奈川県自然環境保全審議会温泉部会において動力の装置が許可された日。

** 神奈川県自然環境保全審議会温泉部会（動力の装置）に提出された温泉分析書に記載された泉質。

表2 実態調査の結果（その1）。

地点名	調査日	泉温 (°C)	揚湯量 (L/min.)	pH	電気伝導率 (mS/cm)
Y1	2001/3/28	34.0	60	8.1	5.4
	2002/3/6	27.5	60	8.0	5.0
	2002/9/18	27.5		7.6	5.0
	2005/3/31	27.0		8.2	5.4
	2006/3/27	25.0		8.0	5.2
	2007/3/20	33.5		7.6	4.4
	2008/1/16	26.0		8.0	5.0
	2009/2/27	21.0		8.0	5.5
	2012/3/22	25.0		7.6	5.0
	2013/3/28	26.6		7.6	4.1
	2014/3/25	30.0		7.6	2.0
	2015/1/29	30.3	86	8.0	4.4
	2016/3/16	28.8	96	8.0	5.9
	2017/3/21	28.1	102	8.0	4.8
	2018/3/12	28.0	103	7.8	
	2019/3/11	26.9	37	8.0	4.8
	2021/2/17	26.1	75	8.4	4.7
	2022/1/25	25.6	52	8.0	5.3
	平均値	27.6	75	7.9	4.8
Y2	2001/3/7	40.0	75	7.4	20
	2002/4/10	44.5	76	7.4	
	2003/3/14	42.0	77	7.4	
	2004/4/7	46.2	75	7.5	14
	2006/3/13	45.8	77	7.5	20
	2007/3/13	44.0	78	7.6	20
	2008/3/7	43.5	98		20
	2009/3/18	44.0	107		14
	2012/3/14	44.0	95	7.4	19
	2013/3/13	45.5	150	7.3	20
	2014/1/31	39.0	23	7.5	18
	2015/3/25	40.1	32	7.5	17
	2015/10/28	43.0	53	7.4	18
	2016/11/14	41.8	42	7.6	17
	2018/2/23	40.7	106	7.4	19
	2019/3/5	44.0	59	7.4	
	2020/3/12	44.5	68	7.6	17
	2021/3/9	44.0	50	7.3	20
	2021/12/15	45.2	139	6.9	20
	平均値	43.3	78	7.4	18
Y3	2002/1/30	38.0	65	7.6	
	2002/10/8	39.2	230	7.6	8.6
	2005/3/25	39.6	184	7.6	8.6
	2006/2/1	41.8	229	7.6	7.3
	2008/2/20	30.0	94	7.4	
	2009/1/14	28.0	87	7.6	7.2
	平均値	36.1	148	7.6	7.9

地点名	調査日	泉温 (°C)	揚湯量 (L/min.)	pH	電気伝導率 (mS/cm)
Y4	2002/12/24	24.0	60	7.4	33
	2004/4/6	31.5	240	7.6	30
	2005/4/7	35.5	240	7.4	45
	2006/12/20	34.0	120	7.6	37
	2008/2/6	34.6	120	7.4	40
	2009/3/26	32.1	95	7.4	37
	2012/2/21	34.8	94	7.4	31
	2013/1/17	34.5	97	7.2	37
	2014/3/12	37.0	76	7.4	38
	2015/3/16	35.0	71	7.6	34
	2016/2/25	35.5	92	7.4	35
	2017/2/21	34.5	118	7.4	36
	2018/3/26	34.5	60	7.6	35
	2019/3/13	38.0	70	7.6	
	2020/2/26	36.0		7.6	39
	2021/3/24	37.0	108	7.7	40
	平均値	34.3	111	7.5	36
Y5	2004/4/1	28.1		7.6	31
	2005/12/26	26.0		8.0	30
	2006/12/26	31.0		7.8	30
	2008/2/20	28.0		7.4	28
	2009/1/1	29.5		7.6	29
	2012/3/2	26.0	90	8.0	30
	2013/3/7	26.0	126	8.0	20
	2014/3/20	27.2	26	8.2	30
	2015/3/19	25.0	127	8.2	26
	2017/2/9	25.1	131		30
Y6	2018/2/1	23.4	129		28
	2019/3/7	23.4	129		
	2020/2/27	25.0	130		
	平均値	26.4	111	7.9	28
	2004/3/28	38.4	226	7.2	6.9
Y6	2006/3/30	38.4	226	7.2	6.9
	2008/2/19	35.6	180	7.6	
	2009/1/16	35.8	185	7.5	7.3
	2012/3/30	39.0	194	7.4	7.5
	2012/3/30	39.0	194	7.4	7.3
	2014/2/24	33.0	240	7.6	6.2
	2015/2/9	25.5	233	8.0	5.7
	2016/2/1	29.0	296	8.0	5.6
	2017/1/16	25.4	257	8.4	5.9
	2018/2/7	27.8		8.0	5.7
	2019/2/18	21.0		8.0	
	2020/3/16	17.0		7.8	
	平均値	31.1	223	7.7	6.5

ある Y4、Y9、Y15 および Y16 は、揚湯開始後最初の調査日から、約 3 年間で急激な減少を示しており、Y3 および Y6 は、それぞれ約 4 年間および約 8 年間は一定の泉温を示したが、その後急激に減少した。

pH の平均値は、Y2 の 7.4 が最も低く、Y7、Y13 および Y16 の 8.2 が最も高い値であった。さらに pH の経時変化について、Y4 はおおそ一定の値で推移しているが、Y6 では大きく上昇傾向を、Y7 では減少を示す。

しかしながら、測定値のバラつきが大きく、詳細に議論することは難しい。電気伝導率の平均値については、Y1 の 4.8 mS/cm が最も低く、Y4 の 36 mS/cm が最も高い値であり、源泉毎に 10 倍程度の違いが見られた。特に、Y11 では揚湯開始から約 5 年後に上昇しているのに対し、Y14 では約 6 年後に低下している。

揚湯量の平均値については、Y9 の 71 L/min が最も低く、Y6 での 223 L/min が最も高い値であった。揚湯量

表2 実態調査の結果（その2）。

地点名	調査日	泉温 (°C)	揚湯量 (L/min.)	pH	電気伝導率 (mS/cm)
Y7	2005/4/13	40.0	190	9.1	6.3
	2008/2/27	36.5	177	8.7	5.6
	2009/3/13	39.3	177	8.7	5.5
	2012/3/2	31.5	179	8.0	4.0
	2013/2/21	25.0	177	8.0	5.0
	2014/1/30	38.0	176	7.6	4.8
	2015/1/29	33.0	158	8.0	4.7
	2016/1/28	33.0	38	8.4	4.4
	2017/1/26	36.0	182	7.8	4.6
	2018/1/26	34.0	182	8.2	5.6
	2019/1/24	31.0	176	8.4	3.5
	2020/1/15	30.0	167	8.0	4.9
	2021/12/15	32.0	163	8.0	4.8
	平均値	33.8	165	8.2	4.9
Y8	2008/2/8	28.2	130	7.6	
	2009/2/12	27.7	130	7.8	
	2012/2/14	28.2	180	7.8	27
	2013/2/27	20.0	160	7.8	22
	2013/12/12	29.3	123	7.8	26
	2015/1/19	24.2	148	7.5	24
	2015/12/16	22.0	181	7.5	23
	2017/1/16	29.2	175	7.5	26
	2018/1/18	24.3	190	7.5	24
	2019/1/17	24.0	135	7.2	
	2020/1/16	27.0	146	7.6	
	2020/12/25	23.5	170	7.5	24
	平均値	25.6	156	7.6	25
Y9	2007/3/26	39.4	97	7.8	
	2008/1/24	25.0	88	7.5	
	2009/3/16	24.5	84	7.5	
	2012/3/29	22.0	77	7.6	
	2013/3/14	21.8	66	7.6	
	2014/2/27	21.5	63	7.6	
	2015/2/13	22.0	48	7.6	
	2016/2/4	22.0	81	7.6	
	2016/2/4	22.5	64	7.6	
	2017/12/5	17.4	56	7.6	
	2018/11/21	21.0	67	8.4	
	2019/10/25	20.5	44	8.4	
	2020/11/25	19.5	87	8.0	
	平均値	23.0	71	7.8	
Y10	2008/3/27	29.5	80	7.4	33
	2009/1/19	26.8	104	7.4	35
	2014/2/13	25.3	101	7.7	30
	2014/12/18	27.7	103	7.8	20
	2016/2/8	21.5	103	8.0	
	2017/3/23	27.3	68	7.7	
	2017/12/5	27.9	59	7.8	33
	2019/2/7	23.8	58	7.8	33
	2019/12/13	22.6	76	7.8	35
	2020/12/17	29.9	121	7.8	32
	2022/2/17	24.1	93	7.8	32
	平均値	26.0	88	7.7	31

地点名	調査日	泉温 (°C)	揚湯量 (L/min.)	pH	電気伝導率 (mS/cm)
Y11	2008/2/19	35.0	191	8.2	18
	2009/1/27	39.1	174	8.2	18
	2012/3/13	39.5	178	8.2	20
	2013/3/18	40.0	157	8.2	24
	2014/2/6	39.5	161	8.2	25
	2015/3/20	39.0	195	8.2	21
	2016/3/24	38.0	178	7.4	23
	2017/3/21	41.0	147	8.2	24
	2018/3/14	40.0	185	8.2	24
	2019/3/20	40.5	161	8.2	24
	2019/12/19	40.0	32	7.5	
	平均値	39.2	160	8.1	22
Y12	2008/10/22	37.0	125		
	2012/2/28	34.5	133	7.6	8.5
	2013/2/26	36.8	105	7.4	10
	2014/3/3	36.0	75	7.6	12
	2015/3/26	30.5	111	7.6	10
	2016/3/16	35.0		7.6	12
	2017/3/9	38.0	67	7.6	12
	2018/3/19	40.0	70	7.6	12
	2019/1/24	36.5	74	7.6	
	2020/1/31	35.5	70	7.6	
	平均値	36.0	92	7.6	11
Y13	2009/3/26	42.0	94		
	2012/3/6	42.0	97	8.2	29
	2013/3/14	41.0	97	8.2	20
	2013/11/12	40.5	83	8.2	20
	2015/3/3	40.5	100	8.4	30
	2016/2/25	39.0	100	8.4	
	2017/3/14	40.0	118	7.8	20
	2019/1/11	40.0		8.2	30
	平均値	40.6	98	8.2	25
Y14	2014/2/4	35.0	203	7.6	19
	2015/2/9	41.5	203	7.8	20
	2015/11/5	40.5	251	7.6	19
	2017/3/6	33.4	204	7.6	18
	2018/2/22	37.6	184	7.6	19
	2019/3/11	37.8	161	7.6	
	2020/1/28	35.3	186	7.6	17
	2021/3/12	34.0	217	7.6	12
	平均値	36.9	201	7.6	18
Y15	2014/12/9	40.9	149	7.8	
	2015/8/7	40.9	100	7.8	
	2017/1/12	25.0	100	7.6	
	2018/3/2	20.5	133	7.6	
	平均値	31.8	120	7.7	
Y16	2019/3/25	30.0	57	8.2	30
	2020/4/3	20.0		8.2	
	平均値	25.0	57	8.2	30

を源泉毎にみると、測定日によって値が大きく異なっている。例えば、Y3 では 65 L/min (2002 (平成 14) 年 1 月 30 日) から 230 L/min (2002(平成 14)年 10 月 8 日) の範囲であり、Y4 では 60 L/min (2002 (平成 14) 年 12 月 24 日) から 240 L/min (2004 (平成 16) 年 4 月 6 日、2005 (平成 17) 年 4 月 7 日) の範囲で変動している。このような変動の原因として、事業者は温泉利用施設の営業状況によって揚湯ポンプの稼働状況を変えて

いる可能性があるため、本稿では議論に含めないこととした。

本研究の対象としている 16 源泉のうち 6 源泉において、直近のデータでは温泉法に定める温泉の定義である 25°Cを下回っていた。泉温低下の原因として、深部の温泉源への表層地下水の寄与率の増加が考えられるため、泉温と水質の経年変化の関係を調査する。水質の指標として、電気伝導率を用いる。泉温と電気伝導率の両

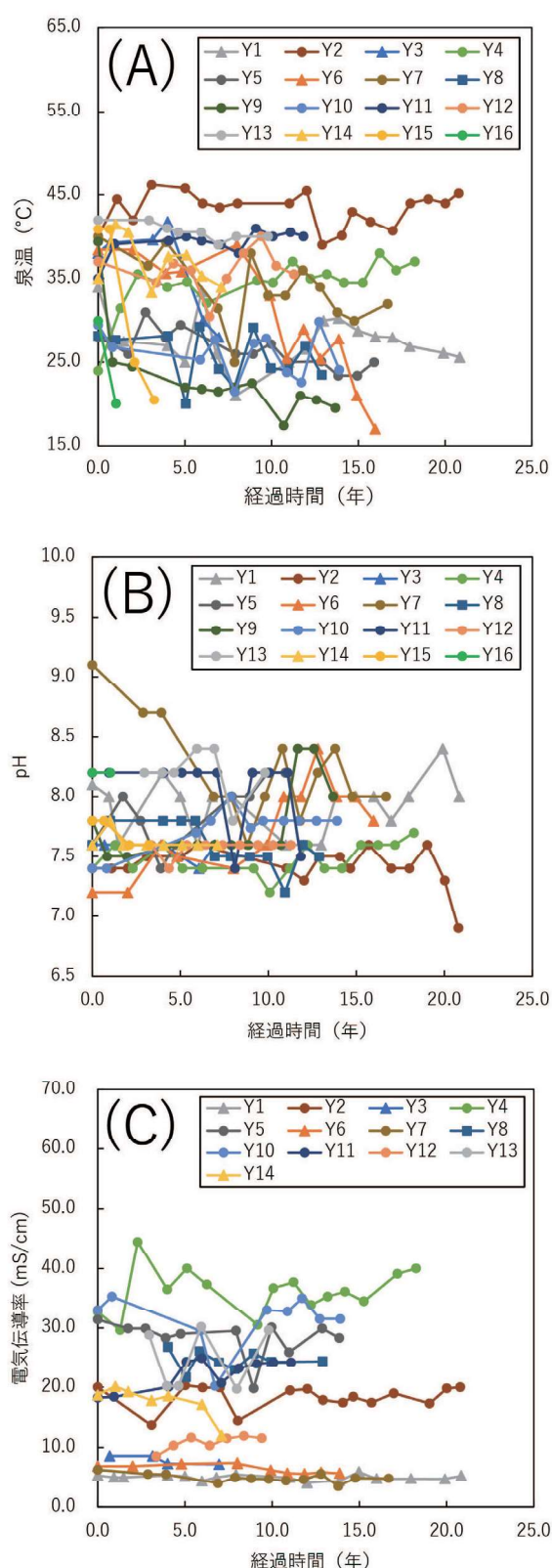


図2 各源泉における (A) 泉温の経年変化、(B) pHの経年変化、(C) 電気伝導率の経年変化。

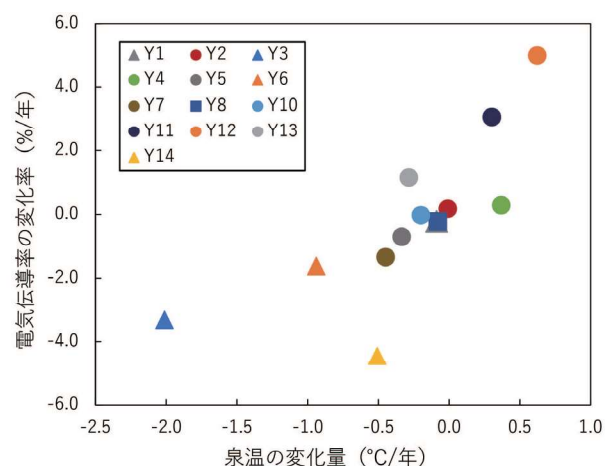


図3 1年あたりの泉温の変化量と電気伝導率の変化率の関係。1年あたりの泉温の変化量や電気伝導率の変化率の算出方法については、本文中に記載した。

結果が得られている期間において、泉温は経過時間に対する傾きを最小二乗法により求め1年あたりの平均的な変化量を算出した。電気伝導率については、各源泉間で約10倍近くの差があり、各源泉の変化量を単純に比較できないために、本調査の最初の測定値を基準とした1年あたりの変化率(%)で示す。ここで求めた各源泉における1年あたりの泉温の変化量と電気伝導率の変化率を図3に示す。解析期間は源泉によって異なっており、Y1やY2では約20年分のデータを使用しているが、ほとんどの源泉が約10年分のデータである。各源泉間を単純に比較することに課題はあるが、大まかな傾向を把握することができると考えた(板寺ほか、2012)。Y15やY16については、データ数が少ないことや電気伝導率のデータが得られていないことから、ここでの議論には含めない。

1年あたりの泉温の変化量と電気伝導率の変化率の関係について、おおまかに正の相関が見られ、泉温が低下傾向にあった源泉は、電気伝導率も低下傾向にあった(図3)。温泉水の電気伝導率は、溶存イオンの種類や量により変化するが、主要化学成分の組成比が大きく変化しない場合、溶存イオンの量に従って変化すると考えられる。対象とした各源泉の泉質が動力の装置許可日以降大きく変化しているという報告はないことから、泉質に変化がないと仮定すると、電気伝導率の低下は、溶存化学成分の濃度が減少していることを示唆する。地下の岩盤や地層の亀裂に胚胎している化石海水などを除いて、降雨により涵養された地下水の化学成分濃度は、滞留時間の短い浅部の地下水よりも、滞留時間の長い深部の地

下水ほど周囲の岩石との反応時間が長くなるなどの要因により高くなる傾向にある。また、横浜地区のような非火山性地域である平野部の地温勾配は、深度が 100 m 増すごとに 2.5℃上昇すると推定されている（菊川ほか、2007）。このようなことから、泉温と電気伝導率がともに低下傾向にある源泉（特に、Y3 や Y6）では、深部の温泉貯留層に対する浅部地下水の寄与が増加している可能性が考えられる。一方で、泉温にわずかな上昇傾向がみられた Y11 や Y12 では、電気伝導率も上昇傾向にあった。このことは、揚湯に伴って、より深部にある温度や化学成分濃度の高い温泉の寄与が増加したことを示唆している。

4. 結論

神奈川県横浜地区に分布する 16 カ所の大深度温泉の現況を把握するために、2001（平成 13）年から 2021（令和 3）年にかけて保健所が行った実態調査の結果をまとめた。対象源泉のうち 6 源泉について、直近の泉温は温泉法に定める温泉の定義である 25℃を下回っていた。揚湯開始後最初の調査日以降、泉温が大きく低下した源泉は、電気伝導率も低下傾向にあった。このことは揚湯している深部の温泉源への浅部地下水の寄与の増加を示唆している。

このように、長年にわたる実態調査のデータを解析することにより、温泉源の現況を把握できるだけでなく、長期的な変動がある場合には、その要因について考察することも可能である。温泉保護の観点から今後も実態調査を継続的に行い、泉温や湧出量、水質に関するデータを蓄積していくことが重要である。

謝辞

本報告では、横浜市保健所による実態調査の結果を利用させていただきました。事務手続きおよび実態調査に携わられた行政の担当職員各位に心より感謝申し上げます。なお、本報告は、県生活衛生課からの依頼調査である令和 5 年度温泉地学研究所温泉保護対策調査として行った結果の一部である。

参考文献

- 板寺一洋・菊川城司・代田寧（2012）神奈川県における大深度の温泉取水層の透水性，温泉地学研究所報告，44，47-53.
- 板寺一洋・菊川城司・小田原啓（2010）神奈川県の大深度温泉水の起源，温泉科学，59，320-339.
- 環境省（2010）温泉資源の保護に関するガイドライン，57p.
- 菊川城司・小田原啓・板寺一洋（2007）孔底温度から見た神奈川県内の地温勾配，神奈川県温泉地学研究所報告，39，79-84.
- 宮崎哲郎・森康則・青柳直樹・内野栄治・甘露寺泰雄（2012）関東平野，大阪平野，石狩平野，濃尾平野，伊勢・志摩・鈴鹿地方における大深度非火山性温泉の経年変化，温泉科学，61，242-258.
- 森康則・井上源喜（2021）日本の温泉の利用状況と経年変化—行政科学的アプローチを中心として—，温泉科学，59，43-56.
- 齊藤由倫・木村真也・森尾誠（2011）群馬県平野部における大深度掘削泉の定期モニタリング II 温泉資源保護総合対策調査研究事業（西部地域）—温泉揚湯による温泉資源への影響に関する調査研究事業—，群馬県衛生環境研究所年報，43，52-57.