

日本温泉科学会第41回大会

会 長 講 演

伊香保温泉の伝統的分湯と引湯による 化学成分の変化

群馬県温泉協会会長・学術部委員長

木 暮 敬

The Traditional Hot Spring Water
Supplied System so Called “KOMAGUTI-SEIDO” and
Chemical Composition Changes of Hot Spring Waters
due to Transportation by Pipeline at Ikaho Spa. Gunma Prefecture

Takashi KOGURE

President of Gunma Spa Association
Chairman Scientific Research Committee Gunma Spa Association

1. 伝統的温泉分湯

伊香保温泉は榛名山の北東斜面の中腹にあり、群馬県のはぼ中央に位置している。源泉地の西南に西暦600年前後に活動したと考えられている二ツ岳があり、この火山活動の余熱が地下に残っていて伊香保温泉の熱源となっていると推定されている。温泉湧出地は伊香保町の南の谷間の比較的狭い地域に集中的にあり、古来より8ヶ所の自然湧出源泉があった。伊香保温泉聚落を成立させた物質的基盤は温泉であり、現在の石段街への引湯は天正4年(1576)に開始されたと考えられている。引湯は源泉地と引湯場所である温泉街の高低差を利用して源泉地より石段街上部まで山腹を、さらに石段街上部より石段の中央を南から北に向って温泉を自然流下させ、左右に位置する宿泊施設に分湯するようになっている。江戸時代初期より存在した分湯のための“こま口制度”とは大屋と称する旅館14軒に一定の湯出量の温泉をそれぞれの持分(温泉利用権)に従って分湯するための分湯技術である。こま口とは温泉本流(大堰)から温泉を引湯するための分湯口であり、構造は木製で、それぞれの権利によって樋口の堅分が定められている。この“こま口制度”は寛永16年(1639)に裁定されて以来今日に至るまで本質的には変ることなく存続している。したがってわが国温泉分湯史上他に類をみず貴重な存在といえよう。昭和23年より昭和34年まで温泉の増量を目的として計6本の温泉掘さくが実施された。その結果一時温泉湧出総量の増加をみたが、間もなくして旧来の自然湧出源泉は湧出量の激減と温度低下をきたしほとんど使用不能の状態となった。結局現在の伊香保温泉の主力源泉は新たに掘さくした6源泉のうちの5源泉で、し

かも一部動力揚湯をおこなわなければならない改悪の状態となり、湧出量は掘さく前とほぼ同程度で推移している。

2. 伊香保温泉の源泉概況

昭和23年より昭和34年までの間に1号より6号までの温泉ボーリングが実施され現在のような源泉分布となった(図1)。このうち6号泉と4号泉が動力揚湯で、3号泉(三社の湯)は自噴せず温泉水位の調査井として使用しているがその他のボーリング源泉は自噴している。6号泉が65.9℃と泉温が最も高く、2号泉は湧出量が1210l/minと最も多い。伊香保温泉の総湧出量は戦前においても現在においても約5000l/minとはほぼ同程度の湧出量であるが、ボーリング源泉からの湧出量は約2600l/minで総湧出量の1/2に相当する。ボーリング源泉、自然湧出旧源泉(ボーリング源泉に比し泉温が低い)共に下流の一ヶ所に集められ総合湯(本線)と呼ばれ自然流下によってほぼ1km以内にある温泉街に引湯されている。この総合湯には自動記録装置(泉温と流量)が設置されている。この記録装置は伊香保温泉東方約5kmの上越新幹線榛名トンネル建設に伴う影響モニタリングの一つとして昭和53年設置されたものであり、昭和63年までの10年間の記録がある。今回測定した10源泉の泉質はボーリング源泉が石膏泉であり、旧源泉(おはぐろの湯、横穴源泉上、下、旧湯)は含有成分の減少によって単純温泉であった。しかし伊香保温泉の源泉では2号泉の湧出量が圧倒的に多いため総合湯の示す泉質は2号泉と同じものになっており、伊香保温泉の代表的な泉質は量でみる限りCa・Na-SO₄・HCO₃・Cl温泉である。10源泉と総合湯および湧水のCl⁻とSO₄²⁻のミリ当量(meq/l)の関係から伊香保温泉の10源泉は図2のごとくAとBの二系統に分類できることが推察される。Aグループは湯沢川上流に位置し、6号泉を起原水としてCl⁻濃度を比べると4号泉、3号泉、1号泉、2号泉、おはぐろの湯とM-1で代表される浅層地下水によって希釈され生成されたと考えられる。Bグループは湯沢川下流に位置し、5号泉を起原水としてCl⁻濃度で比べると旧湯、横穴源泉上、下、とM-1で代表される浅層地下水によって希釈され生成されたものと考えられる。また伊香保温泉10源泉の三角グラフおよび菱形図からAグループとBグループの間には組成の違いもみられる(図3)。

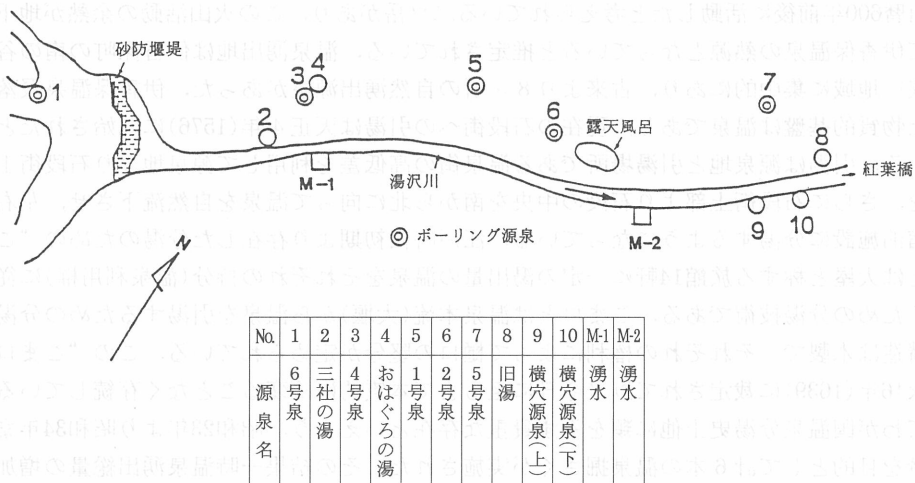


図1 伊香保温泉の源泉位置概略図

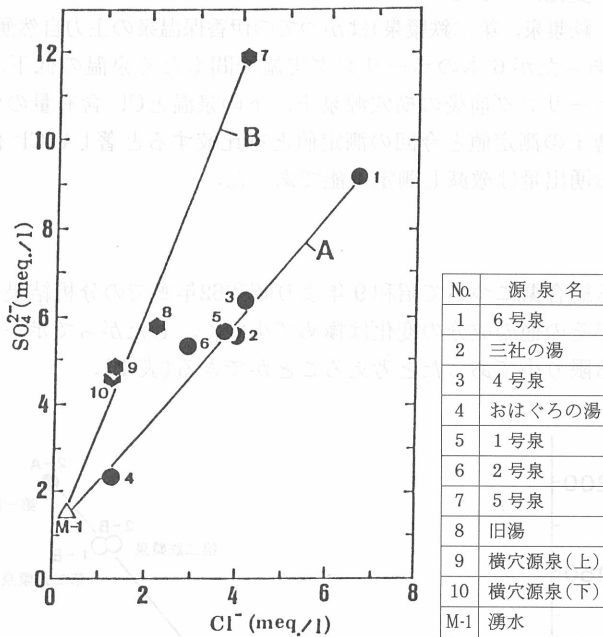


図2 伊香保温泉のCl⁻とSO₄²⁻の関係

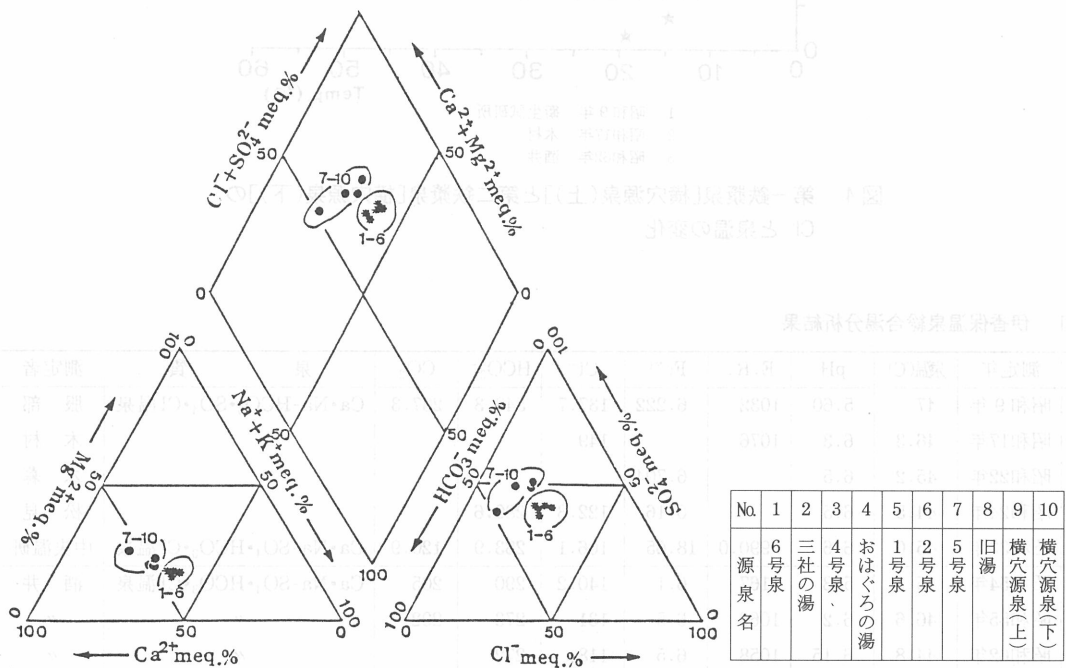


図3 伊香保温泉水の組成分布

(1) 横穴源泉上, 下の変化について

横穴源泉上, 下(第一鉄漿泉, 第二鉄漿泉)はかつての伊香保温泉の主力自然湧出源泉(泉温55.2℃, 湧出量2730l/min)であったが6本のボーリング実施後間もなく泉温の低下, 湧出量の減少がみられていた. 図4はボーリング前後の横穴源泉上, 下の泉温とCl⁻含有量の変化を示したものである. 服部, 木村両博士の測定値と今回の測定値とを比較すると著しいCl⁻値の減少と泉温の低下が認められた. なお湧出量は激減し測定不能であった.

(2) 総合湯について

各源泉の集合である総合湯について昭和9年より昭和62年までの分析結果を比較するとHCO₃⁻の減少が認められるがその他の成分の変化は極めて少なく, したがってボーリングによる泉質の変化は総合湯に関する限り小であったと考えることができる(表1).

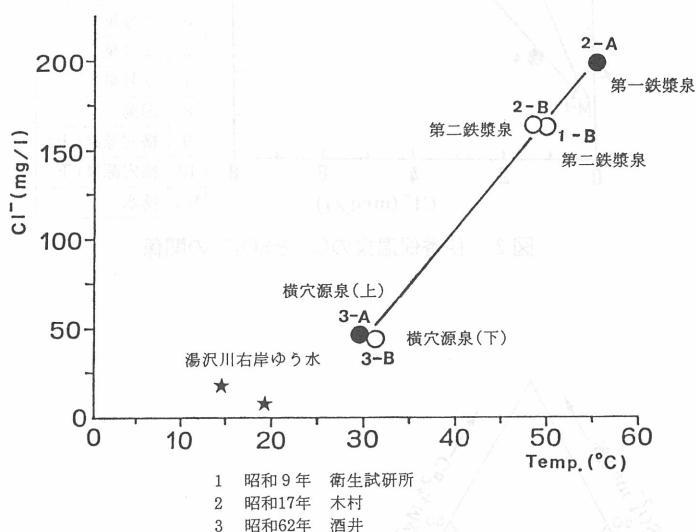


図4 第一鉄漿泉[横穴源泉(上)]と第二鉄漿泉[横穴源泉(下)]のCl⁻と泉温の変化

表1 伊香保温泉総合湯分析結果

St.	測定年	泉温(℃)	pH	E.R.	Fe ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₂	泉 質	測定者
さるさわ橋(大堰)	昭和9年	47	5.60	1032	6.222	137.7	348.3	237.3	Ca・Na-HCO ₃ ・SO ₄ ・Cl温泉	服部
	昭和17年	46.3	6.3	1076		149				木村
	昭和22年	45.2	6.5		6.704					木暮
	昭和24年	44.5	6.5		6.16	122.8	280.6			松見
	昭和33年	45.0	6.6	990.0	18.65	106.1	283.9	120.9	Ca・Na-SO ₄ ・HCO ₃ ・Cl温泉	中央温研
湯元	昭和54年	45.3	5.8	1167	6.1	140.2	290	205	Ca・Na-SO ₄ ・HCO ₃ ・Cl温泉	酒井
	昭和55年	46.6	6.2	1066	6.5	131	273	202	"	"
	昭和62年	44.8	6.15	1058	6.5	118	272		"	"

E.R. ; 蒸発残留物

(pHを除き単位はmg/l)

(3) 伊香保温泉の泉温, 湧出量と湯頭(水位)の変化

昭和53年から63年までの10年間で、3号泉を用いて湯頭(水位)を測定し、各源泉の泉温、湧出量の自動記録数値とを比較検討した。水位については通常各年度に季節的変動がみられ、年の半ば7~9月頃にかけて水位の低下がおこる。しかし58~59年にかけては水位の持続的上昇という特異な現象がみられた。これら水位の変化に伴う1, 2, 4, 5号泉の泉温の変化は明らかでない。しかし10年間に1~2℃の泉温低下の傾向が認められた。また6号泉については水位に関係なく不変であった(図5)。

湧出量については1, 2, 4, 6号泉は3号泉の水位に連動し、水位の上昇時には湧出量も増加し低下時には減少する。このような季節的変動を繰返しながらも58年以降はこれらの源泉の湧出量は増加の傾向を示している。しかし5号泉の湧出量は3号泉の水位とは関係なく季節的変動も、増加傾向もなくほぼ不変であった(図6)。

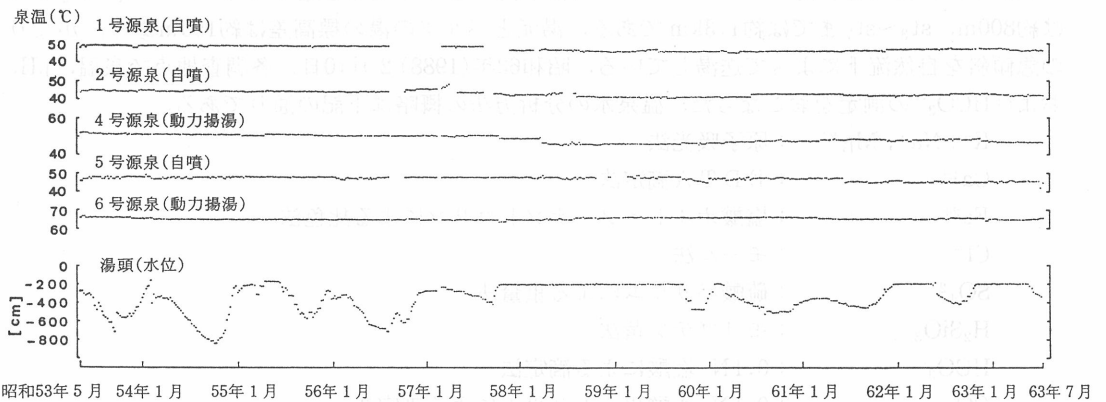


図5 伊香保温泉の泉温と湯頭(水位)の変化
(昭和53年5月17日~昭和63年7月27日)

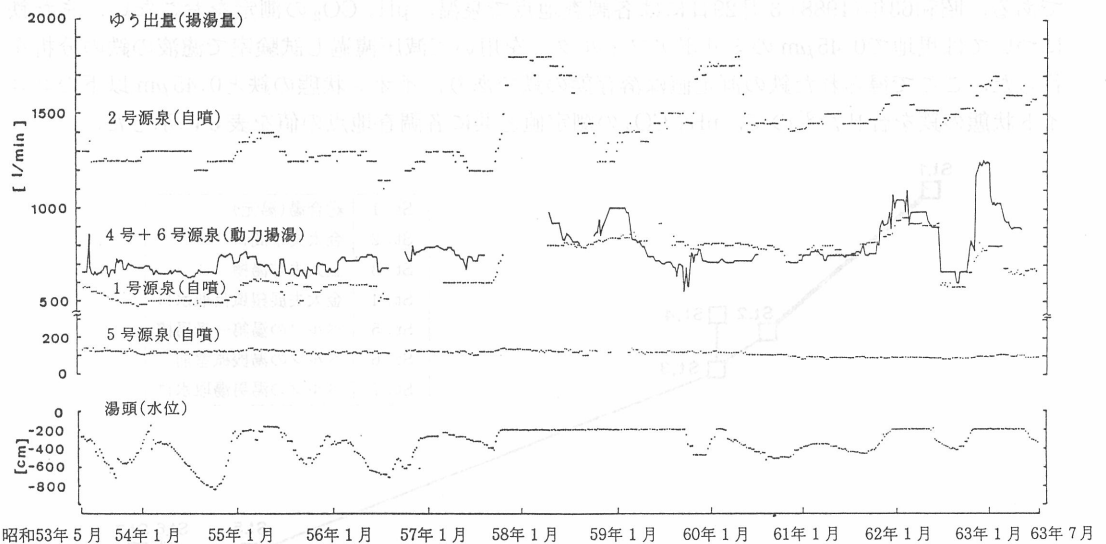


図6 伊香保温泉の湧出量(揚湯量)と湯頭(水位)の変化
(昭和53年5月17日~昭和63年7月27日)

3. 伊香保温泉の引湯による化学成分の変化

温泉を利用する際、源泉の泉質と共に実際に温泉を利用する施設での泉質を把握しておくことが医学的にも重要である。しかしながら現在わが国においては温泉利用施設での温泉分析は法的にも義務づけられておらず、したがって温泉を医学的に利用している施設においてすら残念ながら温泉分析を実施しているところは極めて少ない状態である。特にガス成分を含有する温泉、沈澱物を生じ易い温泉についてはその必要があるであろう。伊香保温泉のように多量の鉄質沈澱物を生ずる温泉は引湯により温泉水中の溶存成分の変化が考えられ、過去においてもボーリング前後に引湯による CO_2 、鉄等の変化が測定され報告されている。今回は湯元より伊香保バーデハウス、ベルツの湯まで約2.1kmの引湯による化学成分の変化、特に今まで報告されていなかった溶存態の鉄の変化を中心に泉温、pH、 CO_2 等についても測定したのでその結果について述べる。

調査地点は湯元総合湯よりバーデハウス浴槽取湯口まで7地点を選んだ(図7)。st₁~st₂までは約800m、st₃~st₇までは約1.3kmである。湯元とベルツの湯の標高差は約150mあり、かなりの急傾斜を自然流下によって送湯している。昭和63年(1988)2月10日、各調査地点で泉温、pH、および HCO_3^- の測定をおこなった。温泉水の分析方法の概略は下記の通りである。

K^+ , Na^+ , Mg^{2+}	: 原子吸光法
Ca^{2+}	: EDTA 滴定法
Fe^{2+}	: 塩酸オルト・フェナントロリンによる比色法
Cl^-	: モール法
SO_4^{2-}	: 硫酸バリウムによる重量法
H_2SiO_3	: モリブデン黄法
HCO_3^-	: 0.1N 塩酸による滴定法
CO_2	: 0.1N 水酸化ナトリウムによる滴定法
HBO_2	: アゾメチンHによる比色法

肉眼的にはSt₁を除いたどの地点でも鉄質の黄褐色の懸濁物質がかなり混在しており、これらを含めた全鉄(溶存態鉄+懸濁態鉄)の分析をおこない他の成分と共に分析結果を示したのが表2である。昭和63年(1988)3月29日には各調査地点で泉温、pH、 CO_2 の測定をおこない、また鉄については現地では0.45 μm のミリポアフィルターを用いて減圧濾過し試験室で濾液の鉄の分析を行った。ここで得られた鉄の測定値は溶存態の鉄であり、イオン状態の鉄と0.45 μm 以下のコロイド状態の鉄を合せたもので、pH、 CO_2 の測定値と共に各調査地点の値を表3に示した。

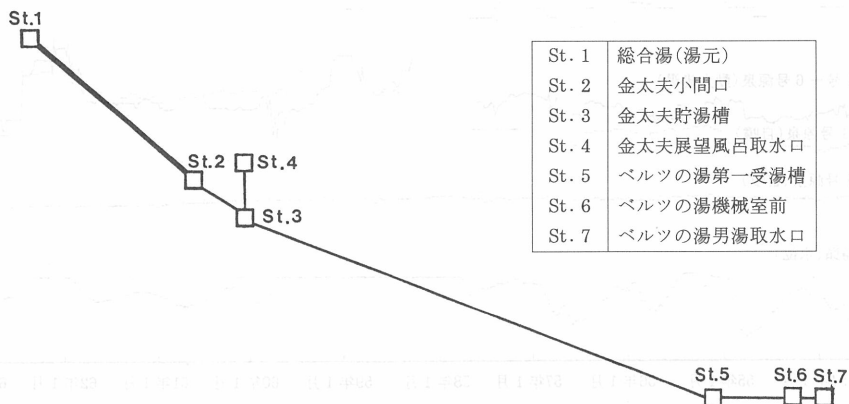


図7 引湯概略図

表2 伊香保温泉総合湯分析結果(1988年12月10日調査)

St.	1	2	3	4	5	6	7
採水場所	湯元	金太夫小間口	金太夫貯湯槽	金太夫展望風呂	ベルツの湯第1受湯槽	ベルツの湯機械室前	ベルツの湯男湯取水口
泉温(°C)	46.5	46.1	45.9	44.6	42.7	42.2	45.5*
pH	6.3	7.1	7.1	7.0	7.0	7.1	7.4
蒸発残留物**(mg/l)	1097	1099	1105	1069	1094	1109	1088
K ⁺ (〃)	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7
Na ⁺ (〃)	111	111	111	111	111	111	111
Ca ²⁺ (〃)	165	164	162	161	156	156	156
Mg ²⁺ (〃)	33.6	33.6	33.6	33.6	33.6	33.0	33.0
T-Fe** (〃)	6.8	5.6	4.8	8.7	3.8	11.4	1.5
Cl ⁻ (〃)	136	136	136	136	136	136	134
SO ₄ ²⁻ (〃)	305	303	302	306	305	304	303
HCO ₃ ⁻ (〃)	285	278	281	281	268	272	268
H ₂ SiO ₃ (〃)	199	199	199	195	195	194	199
HBO ₂ (〃)	7.2	6.8	6.8	6.8	6.8	6.9	6.9

*加温

**懸濁物質を含んだ総量

表3 伊香保温泉総合湯の引湯地点における分析結果(1988年3月29日調査)

St.	1	2	3	4	5	6	7
採水場所	湯元	金太夫小間口	金太夫貯湯槽	金太夫展望風呂	ベルツの湯第1受湯槽	ベルツの湯機械室前	ベルツの湯男湯取水口
泉温(°C)	45.4	45.0	44.9	44.6	41.8	41.2	48.1*
pH	6.35	7.10	7.10	7.10	7.10	7.10	7.35
Fe ²⁺ ** (mg/l)	5.90	0.70	0.95	1.88	0.05	0.05	0.04
CO ₂ (〃)	210	—	66.0	35.2	53.7	48.4	35.2

* 加温 ** 現地で孔径0.45 μ mのミリポアフィルターで減圧ろ過し、ろ液を分析(溶存態の鉄)

考 察

表2, 表3からも明らかなように湯元からベルツの湯までの引湯によりはっきりと変化がみられるものは泉温, pH, CO₂, 鉄である. 引湯に伴う泉温の変化を図8についてみると, 湯元総合湯については源泉の混合割合によって泉温が変化し, 両測定日についても1.1°Cの温度差が認められた. また湯元総合湯の温度差がベルツの湯までほとんど保持されていることを示しており, ベルツの湯に至るまでの泉温の低下は4.2°C~4.3°Cである. 図9に引湯に伴うpHとCO₂の変化を示した. 引湯に伴い薬師共同湯こま口までのCO₂の減少は比較的少ないがそれ以降石段街を急激に本堰中を流下するにしたがってCO₂は著明に減少し, pHは上昇する. 伊香保温泉の引湯に伴うCO₂の変化についてはすでにボーリング前, 服部, 木村, 1号泉, 2号泉ボーリング完了直後に松見, 6本のボーリング完了後, 甘露寺, 酒井の報告がある. 今回の測定と前記の報告を比較すると伊香保温泉総合湯のCO₂含有量はボーリング前後において200mg/l程度と大差なく, 引湯過程における減少も薬師の共同湯こま口以降は同程度の変化を示した. 鉄の引湯による変化を図10に示した, 今回の目的である溶存態の鉄の測定のためには孔径0.45 μ mのミリポアフィルター

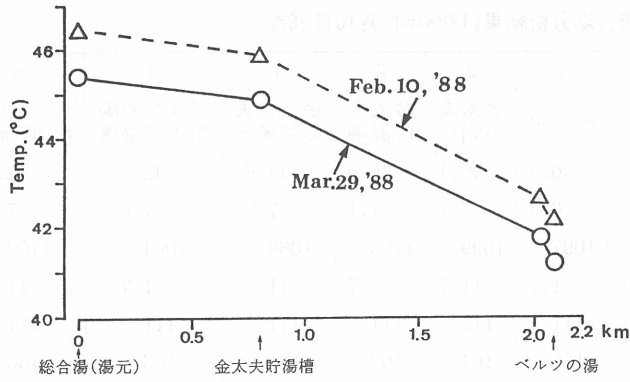


図 8 泉温の変化

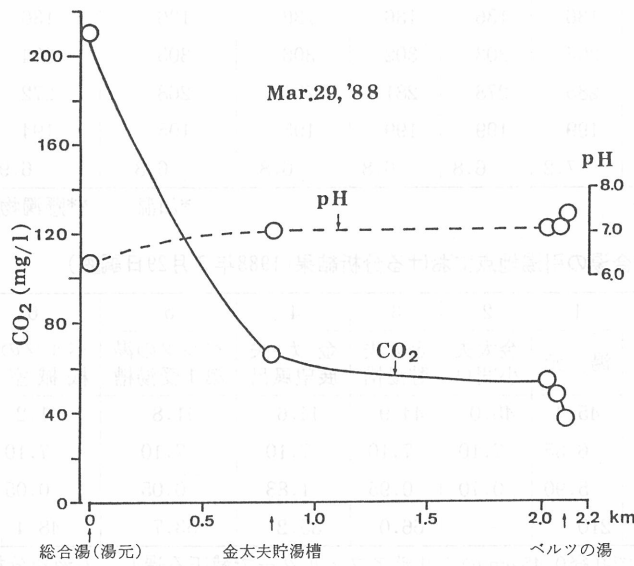


図 9 pHとCO₂の変化

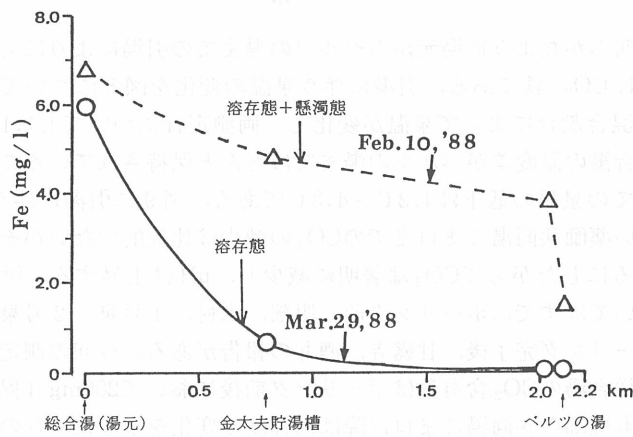


図10 鉄の変化

で減圧濾過し、濾液の鉄濃度を測定することが簡便であるのでこの方法を用いた。溶存態の鉄は湯元総合湯で5.9mg/lで、金太夫こま口では0.7mg/lと大きく減少した。このことから伊香保温泉総合湯の鉄は本堰引湯中にすでに懸濁態へと変化しており、引湯末端にある各旅館の浴槽中ではほとんど懸濁態の鉄として存在することが明らかとなった。伊香保温泉水のpHでは鉄は(II)イオンで溶存し、温泉水中に懸濁している鉄は水和酸化鉄(III)である。また Ca^{2+} 、 HCO_3^- についても表2に示すように CO_2 、鉄ほどではないが引湯に伴って減少が認められる。

結 論

1. 400年以上にわたって伝統的分湯法“こま口制度”が維持されている点わが国において貴重な存在であると考える。

2. 伊香保温泉は6本のボーリングが実施されたにも拘らず泉質に著変なく、湧出量についても5000l/minのレベルが保持されていること、しかしながら内部的には旧来の源泉、とくに横穴源泉の泉温、湧出量の低下、含有成分の減少をもたらし、ボーリングによる温泉増量は望めぬ結果となった。また新幹線榛名トンネル掘さくに伴う変化も10年以上経過した現在認められていない。

3. 引湯による化学成分の変化については引湯施設が一部改修されたが、溶存鉄の激減、 CO_2 の減少、pHの上昇等がなお認められた。今後伊香保温泉の医学的利用に際してこれらの事柄を充分考慮する必要がある。

終りに温泉分析を担当された群馬県衛生公害研究所、酒井幸子氏、並びに伊香保温泉観光協会の諸氏に深謝する。