

## 島根県内温泉水成分の農業利用の可能性

足立文彦<sup>1</sup>, 増永二之<sup>1</sup>, 松本真悟<sup>2</sup>

### Perspectives on the Utilization of Hot Spring Waters in Shimane Prefecture for Agriculture

Fumihiko ADACHI<sup>1</sup>, Tugiyuki MASUNAGA<sup>1</sup> and Singo MATSUMOTO<sup>2</sup>

**Abstract** To utilize hot spring waters from Shimane prefecture for agriculture, water sample was collected for chemical analysis from carbonated springs and sulfate springs. Limited numbers of hot springs are available for plant production due to high sodium concentration of carbonated hot springs. On the other hand, Hata is a useful hot spring to use sulfate, because the hot spring water has abundant sulfate ion with less chlorine ion. Uyama carbonated hot spring showed high level of CO<sub>2</sub> in the hot spring water.

**Keywords** carbonate, CO<sub>2</sub>, fertilizer, hot spring, plant production, sulfate.

#### はじめに

島根県は中央部を白山火山帯が貫き多くの温泉が存在する。温泉とは、昭和23年に制定された温泉法により、「地中から湧出する温水、鉱水および水蒸気、その他のガス（炭酸水素を主成分とする天然ガスを除く）で、湧出口での温度が摂氏25度以上のもので、鉱水1kgの中に定められた量以上の物質が含まれるもの」が温泉と定義される。昭和54年の改正温泉法の掲示用新泉質名に基づいて温泉を分類すると、島根県の温泉は炭酸水素塩泉ならびに炭酸水素イオンが含まれる塩化物泉（旧泉質名：含炭酸食塩泉・含土類食塩泉等）と硫酸塩泉に大きく分類することができる（島根県健康福祉部2001）。炭酸水素イオンを含む温泉は三瓶山周辺の中山間地域を中心に分布し、泉源の数は全国的に見ても多い。島根県中山間地域は、九州の一部を除き西南暖地における炭酸水素イオンを含む温泉が利用できる希少な地点である。しかしながら、これら温泉は一般に泉温が低く、湧出量が少ないために温泉施設として大規模に利用することが困難な利用度の低い地域資源と言える。源泉の中には湧出量が少な

いために家庭でしか利用されない所や、源泉が放棄される事例も増えつつある。一方、硫酸塩泉は旧泉質名でいう芒硝泉、含食塩芒硝泉や含食塩石膏泉が主に中海・宍道湖沿いに分布する。玉造温泉、松江・宍道湖温泉や鷺ノ湯温泉のように湯量が豊富で、すでに著名な温泉地となっている例が多い。

近年、温泉は入浴や飲泉による健康増進（大塚ら2003）、空調や産業のための熱源としての利用（浦家ら1999）だけでなく、温泉水に含まれる希少金属の回収（瀬古ら2005）、食品加工への利用（姉崎2002）、さらに温泉水成分の化粧品への利用（脚注1）が島根県内でも行われるなど、豊富に含まれるミネラルの利用が多岐にわたって進められつつある。しかしながら、その農業利用の試みは、熱源として使用される例は数多いものの（片岡1953）、温泉水成分の利用については実証例・研究ともに極めて少ない。その原因の一つとしては、温泉水の成分が泉源によってそれぞれ極端に異なり一般化できず、マニュアル化することが困難なこと、微量ではあるものの砒素や銅などの毒性のある金属を含む場合があること、従って、一般の農業者には容易にその成分を利用することが困難であることがあげられよう。豊富に含まれるミネラル成分を有効に活用するには、温泉水に含まれる成分をそれぞれの泉源で調査し、その利用可能性を慎重に判断することが必要となる。

<sup>1</sup> 島根大学生物資源科学部, <sup>2</sup> 島根大学生物資源科学部付属生物資源教育研究センター農業生産科学部門

<sup>1</sup> Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University. <sup>2</sup> Agricultural Science Section, Education and Research Centre for Biological Resources, Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University.

脚注1: 美又温泉国民保養センター・ウェブサイト(美又温泉水配合ピアベルピア化粧品)

<http://www.web-sanin.co.jp/stay/mimata/piabelpia/pia.htm>

温泉水成分を農業利用する方法には、液体としての利用と気体としての利用が考えられる。温泉水の液体成分を利用する場合、植物生産においては施肥、防除、貯蔵、加工に、動物生産においてはミネラル給与等に使用できる可能性がある。植物の生育には、多量元素としてC, H, O, N, Mg, Ca, K, S, Pが、微量元素としてFe, Cu, B, Mo, Zn, Mnが必須の元素とされる (Loomis and Connor 1992)。植物はこれら要素が欠乏すると生育が阻害され病害が発生する。そのため、作物栽培では要素欠乏を防ぎ生育を促進するために化学肥料による施肥が一般的に行われる。しかし、消費者の健康・安全指向により有機農産物の需要が近年高まっている。有機農産物は、日本農林規格 (JAS) により「農業の自然循環機能の維持増進を図るため、化学的に合成された肥料及び農薬の使用を避けることを基本として、土壌の性質に由来する農地の生産力を発揮させるとともに、農業生産に由来する環境への負荷をできる限り低減した栽培管理方法を採用したほ場において生産されること」が認定の条件となっている。また、有機農産物における病虫害防除では、天然由来の硫黄粉剤、炭酸水素ナトリウム水溶剤など非常に限られた資材だけが使用を認められているにすぎない。従って、有機農産物認定の条件を遵守しつつ植物生産の収量・品質を維持するには、化学肥料・農薬に代わる天然成分に由来する生産資材の開発と施用方法の確立が急務と言える。温泉水には、比較的高濃度のミネラルが含まれることから、温泉水を大きく加工することなく施肥・病虫害防除に利用できる可能性があると考えられる。ただし、温泉水には塩素イオンが高濃度で含まれる場合が多い。このような泉源では、濃度や施用方法によっては作物に塩害が発生する可能性もある。温泉水を使用する上では、生育障害を発生させない泉源の選択が重要となる。

炭酸水素イオンが含まれる温泉水は、温泉水のpH条件にもなっており、pH6.3程度から酸性側では炭酸、中性側では炭酸水素イオン、さらにアルカリ側では炭酸イオンの形に炭酸物質の化学平衡が生じる (石井ら2000)。酸性域では炭酸は不安定になるので、炭酸ガス (CO<sub>2</sub>) の形態で温泉水中に溶存する。従って、温泉水の条件によっては温泉水からCO<sub>2</sub>を大量に放出する場合がある。CO<sub>2</sub>は植物生産を行う上で利用性の高いガス成分である。施設栽培ではCO<sub>2</sub>施肥を行い収量増加と品質の高位安定を図る。これは、温度環境の改善のために施設を密閉して栽培することから生じるCO<sub>2</sub>濃度低下による光合成の減少を、CO<sub>2</sub>施用によって回避しさらに同化を促進させるためである。しかし、一般にCO<sub>2</sub>施肥を行うためには、プロパン

や灯油を燃料とする炭酸ガス発生機を使用し非常にコストがかかる。従って、換気率の高い作目を除き小規模施設では通常炭酸ガス施肥は行われない。低照で温度条件に劣る中山間地の農業生産にとってCO<sub>2</sub>施肥は収益性の向上のために非常に重要な生産技術の一つになると見なされる。島根県中山間地域の炭酸温泉水を炭酸ガス施肥のためのCO<sub>2</sub>源として利用することができれば、未利用の地域資源を活かした、簡便で低コストな中山間地域のための生産改善策となる可能性がある。しかし、純炭酸泉や炭酸水素塩泉をCO<sub>2</sub>源として農業生産に利用するための研究はこれまでに無い。天然の地域資源である温泉CO<sub>2</sub>源を有効に利用できるならば、農業生産技術上の先進的取り組みとなるにとどまらず、新たな作目・産地育成の可能性をも秘めている。ただし、温泉水には硫化水素などの有害ガスが含まれる場合があるだけでなく、CO<sub>2</sub>であっても換気状態によっては重篤な死傷事故を発生させる危険性がある。CO<sub>2</sub>源としての利用を行う上では泉源ごとにガス放出能を評価し安全性に注意を払う必要がある。

そこで、本研究では島根県の温泉のうち炭酸水素イオンと硫酸イオンが含まれる主要な泉源について、温泉水の液体成分を分析し、植物生産における施肥・防除への利用が可能な条件を明らかにすること、さらに温泉水中のCO<sub>2</sub>を炭酸ガス施肥のためのガス源として利用可能な泉源を明らかにすることを目的とした。

## 材料と方法

島根県内温泉のうち、炭酸水素イオンと硫酸イオンが含まれるとされる温泉について、温泉資料 (島根県健康福祉部, 2001) から主要な泉源を抽出し (表1), 2001年12月18日から2002年1月13日の間に炭酸水素塩泉の水サンプルを、2002年12月5日に硫酸塩泉の水サンプルを採取した。温泉水サンプルの採取は、源泉が自然湧出する場合には湧出水を、ボーリング泉の場合は、フィルターや化学処理を行っていない孔口の温泉水を採取した。入湯施設化され容易に源泉水を採取することが困難な場合には、浴用前の浴槽から温泉水を採取した。化学分析に供する温泉水は200mlのポリプロピレン製サンプル瓶により約400mlを採取した。なお、採取時に温泉水の水温とpH、炭酸水素塩泉では源泉付近のCO<sub>2</sub>濃度を携帯型IRGAにより測定した。

サンプル水はただちに実験室に持ち帰り、炭酸水素イオンが含まれる泉源の温泉水については、温泉水中のCO<sub>2</sub>

濃度をイオン電極法 (TOA, IM-22P, 電極 CE-2041) で測定した。温泉水に物理的に溶解した  $\text{CO}_2$  濃度は温泉水原液を測定した。遊離炭酸を含めた  $\text{CO}_2$  濃度はイオン強度調整剤 (TOA, ISA-CO) を被験液に 10:1 の比率で加え測定した。導電率 (EC) と塩分濃度を導電率計 (堀場製作所, B-173) で測定した。その後、水試料中の溶存元素の定量は、S, Al, Ca, Fe, Mg, Mn, P, Si, Zn についてはプラズマ発光分析法 (島津, ICPS-2000), Na と K については原子吸光法 (島津, AAS-530) にて行った。一方、硫酸塩泉とされる泉源では、温泉水をろ過 (ADVANTEC, No. 6) し、ろ液中の  $\text{SO}_4$  イオンと Cl イオンをイオンクロマトグラフ法 (横河北辰電気, Model IC 500) により定量した。測定条件は、カラム; PAX1-035, 溶離液; 4mM  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ /4mM  $\text{NaHCO}_3$ , 再生液; 15mM  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 流量 2mL/min とした。

## 結果と考察

### 1. 泉源分布と湧出状態

調査泉源を地図上にプロットすると、炭酸水素塩泉は

主に江の川東岸沿いと一部津和野町の津和野川沿いに分布した (図 1)。これら地域は火山である三瓶山, 大江高山, 青野山の周辺であった。一方、硫酸塩泉は中海・宍道湖の南側に比較的広く分布したが、波多は三瓶山に非常に近接した地点であった。泉質の分布が比較的近接した地域内でも顕著に異なったことから、温泉水の成分利用を行うに当たっては、利用する泉源にあわせてきめ細かく利用条件を設定する必要があると考えられる。泉源からの湧出量と水温を炭酸水素塩泉と硫酸塩泉で比較すると (表 1), 極めて湧出量の多い三瓶を除いた場合、炭酸水素塩泉の平均が 105 l/min, 硫酸塩泉が 591 l/min となり、炭酸水素塩泉の湧出量が少なかった。水温も硫酸塩泉の  $46.1^\circ\text{C}$  に比較して炭酸水素塩泉は  $19.2^\circ\text{C}$  と低温であり、炭酸水素塩泉の熱源としての利用性は極めて低いと考えられた。

### 2. 温泉水の元素組成と利用性

炭酸水素塩泉の元素組成は、Na, Ca, Mg, K, Si, S, Al の順に多く、平均すると測定された成分量の 81% がナトリウムで占められていた (表 2)。Hoagland and Arnon



図 1 調査泉源の分布

図中の○は炭酸水素塩泉, □は硫酸塩泉を表す。

シンボル中の数字は表 1 における泉源番号の略号 (C, S) 以下の番号に対応する。

表 1 調査泉源とその湧出状態

番号	泉源名	緯度	経度	湧出量 l/min	水温 ℃	pH	公称泉質
(炭酸水素塩泉)							
C1	宇山	N35.04.31.4	E132.48.13.2	150	14	5.9	含弱 Rn・CO <sub>2</sub> -Na-HCO <sub>3</sub> Cl
C2	加田	N35.02.47.1	E132.44.15.2	124	14	6.5	Na-HCO <sub>3</sub> Cl
C3	酒谷	N35.02.42.8	E132.42.15.7	8	18	6.6	Na-HCO <sub>3</sub> Cl
C4	塩谷	N34.59.50.7	E132.41.13.9	22	8	6.4	含 CO <sub>2</sub> -弱放射能線
C5	九日市	N35.02.36.4	E132.40.33.1	NA	9	6.6	NA
C6	千原	N35.04.51.6	E132.39.09.9	74	34	6.4	含 CO <sub>2</sub> -NaCaMg-HCO <sub>3</sub> Cl
C7	石原	N35.03.11.3	E132.38.47.1	—	17	6.2	NA
C8	潮	N35.00.36.5	E132.38.06.3	407	20	7.0	含 CO <sub>2</sub> -Na-HCO <sub>3</sub> Cl
C9	三瓶	N35.07.03.1	E132.37.49.1	4414	37	6.2	NaCaMg-Cl
C10	小屋原	N35.09.15.7	E132.35.43.1	47	37	6.1	NaCaMg-HCO <sub>3</sub> Cl
C11	池田	N35.08.28.5	E132.33.36.7	64	16	6.3	含 CO <sub>2</sub> -NaCaMg-HCO <sub>3</sub> Cl
C12	水上	N35.05.26.7	E132.28.34.0	9	NA	6.1	含 CO <sub>2</sub> -NaCaMg-HCO <sub>3</sub> Cl
C13	南山	N35.02.24.4	E132.27.07.5	NA	16	6.3	NaCa-HCO <sub>3</sub> Cl
C14	湯谷	N35.00.24.1	E132.26.52.1	NA	19	6.1	含 CO <sub>2</sub> -Fe (II) Na-Cl
C15	下谷	N35.01.10.4	E132.25.23.1	25	18	6.6	含 CO <sub>2</sub> -CaMg-HCO <sub>3</sub>
C16	岩龍寺	N35.01.26.6	E132.21.34.9	—	11	6.4	含 CO <sub>2</sub> -CaMg-HCO <sub>3</sub>
C17	湯ノ原	N35.03.58.8	E132.21.05.7	NA	NA	6.8	含 CO <sub>2</sub> -Fe (II) Na-HCO <sub>3</sub> Cl
C18	上津井	N35.00.16.4	E132.18.23.7	50	19	6.3	含ヒ素-Ca-HCO <sub>3</sub> Cl
C19	塩が原	N34.28.58.0	E131.47.20.7	NA	NA	5.9	NA
C20	瀬戸	N34.26.34.9	E131.45.08.2	282	NA	6.3	NA
硫酸塩泉							
S1	比田	N35.14.48.0	E133.9.50.0	40	27	7.8	含放射能 Na-SO <sub>4</sub>
S2	八雲	N35.22.12.2	E133.4.29.6	1443	45	8.0	含放射能 CaNa-SO <sub>4</sub>
S3	袖師	N35.27.13.9	E133.3.13.7	73	80	8.1	NaCa-SO <sub>4</sub> Cl
S4	松江	N35.27.43.2	E133.2.29.4	770	76	7.8	NaCa-SO <sub>4</sub> Cl
S5	鷺ノ湯	N35.22.30.0	E133.11.57.9	1058	52	7.8	NaCa-ClSO <sub>4</sub>
S6	富田	N35.21.25.9	E133.11.0.5	320	45	7.8	NaCa-SO <sub>4</sub> Cl
S7	玉造	N35.24.50.6	E133.0.43.3	958	60	7.7	NaCa-SO <sub>4</sub> Cl
S8	海潮	N35.19.19.9	E133.0.22.5	581	49	7.9	Na-SO <sub>4</sub> Cl
S9	学頭	N35.23.31.9	E132.52.19.7	777	49	8.2	NaCa-ClSO <sub>4</sub>
S10	深谷	N35.15.30.8	E132.48.39.2	1200	17	7.9	Ca-SO <sub>4</sub>
S11	立久恵	N35.17.40.6	E132.44.56.3	234	32	7.5	NaCa-ClSO <sub>4</sub>
S12	須佐	N35.13.53.0	E132.44.21.8	170	41	7.4	NaCaMg-SO <sub>4</sub> Cl
S13	波多	N35.8.22.8	E132.43.56.2	52	26	7.8	CaNa-SO <sub>4</sub>

NA：未測定，—は測定不能を表す。湧出量と公称泉質は温泉資料（島根県健康福祉部，2001）による。水温測定時の気温は 14-19℃ であった。

(1938) の水耕液の組成と比較しても，Ca, Mg, K については遜色のない泉源が多く，これら元素だけに限れば，濃度上は十分に施肥利用が可能なる量を持つと言える。しかしながら，温泉水中の Na 含量は非常に多く，塩類障害の発生が懸念される。塩類土壌の評価指標である EC と Na 含量との関係を求めると，両者の関係は，高い決定係数をともなった正の一次直線で近似することができた (図 2)。塩類障害は，土壌溶液の高浸透圧による吸水の障害，

有害塩による障害，塩類の高濃度に基づく根の養分吸収のアンバランスが原因となる (土屋 1993)。沖積土や砂土の土壌 EC が 1~1.5 以上で生育の障害が見られる (土屋 1993)。また，塩類土壌とは土壌の飽和抽出液の EC が 4 mS/cm 以上の値を示し，その高い塩類濃度のためにたいていの植物が生育出来ない土壌を言う (松本 1993)。土壌と温泉水では測定条件が異なるとは言え，20 泉源のうち 13 泉源で EC は 4mS/cm を越えていた。近似式から EC

表2 島根県内の炭酸水素塩泉のCO<sub>2</sub>濃度と元素組成

番号	泉源名	EC	塩分濃度	CO <sub>2</sub>	遊離CO <sub>2</sub>	Ca	Mg	K	Na	Si	S	P	Fe	Mn	Zn	Al
		mS/cm	%													
C1	宇山	1.55	0.08	1307	1529	77	25	15	284	36	4	0.08		0.88		2.21
C2	加田	5.3	0.28	1158	1722	8	162	32	918	43	8	0.19	0.10			0.25
C3	酒谷	6.9	0.35	1218	1736	16	60	51	1639	48	9	0.11				0.55
C4	塩谷	0.97	0.05	327	594	95	14	6	125	16	4	0.08				2.68
C5	九日市	11	0.58	1242	1932	91	134	82	4986	32	23	0.23	0.23			2.47
C6	千原	9.7	0.51	743	1529	227	41	128	2657	50	119	0.14		2.03		5.41
C7	石原	6.5	0.35	1114	1633	40	56	31	1311	34	46	0.12				1.35
C8	潮	8.8	0.48	431	1677	26	17	90	2348	51	17	0.06				0.98
C9	三瓶	3.2	0.18	289	462	98	51	71	932	72	4	0.13		0.20		2.67
C10	小屋原	7.9	0.42	852	1455	142	86	200	2811	66	78	0.18				3.80
C11	池田	7.5	0.40	586	1224	207	92	176	2790	34	95	0.23		0.18		5.49
C12	水上	1.85	0.09	1233	1588	100	60	11	155	42	4	0.12				2.89
C13	南山	3.5	0.18	1203	1677	202	158	20	672	39	24	0.23	0.10	0.74		4.99
C14	湯谷	16.3	0.89	951	1573	808	320	288	6054	23	35	0.44	0.19	2.13	1.51	11.92
C15	下谷	2	0.10	497	1331	77	63	7	262	27	4	0.14				2.16
C16	岩龍寺	2.2	0.11	1100	1738	14	157	27	256	47	23	0.22				0.49
C17	湯ノ原	6.3	0.32	348	1455	177	99	114	2244	57	97	0.18				4.44
C18	上津井	5.9	0.31	891	1544	173	84	58	980	40	5	0.19				4.40
C19	塩が原	9.3	0.49	1247	1514	188	104	67	1966	23	14	0.19		0.56		4.69
C20	瀬戸	5.8	0.31	1084	1662	146	99	47	812	39	4	0.17				3.78

が4にあたるNa含量は880mg/kgであり、もしも、このような温泉水を灌漑に連用すれば、容易に土壤に塩が蓄積し、植物は塩類障害を受けるであろう。塩類障害を受けないとされる1.5mS/cmと同程度のECを示す泉源は炭酸水素塩泉の中では宇山、塩谷、下谷、岩龍寺だけであった。これらの泉源ではNa含量だけでなく他の成分も比例して少なく、温泉水原液を利用したとしても施用効果は非常に限定的であろう。ただし、岩龍寺はMg含量が他の3地点に比較して多く、塩害を生じさせることなくMg施肥の用途に利用できる可能性があるかもしれない。

一方、硫酸塩泉の陰イオンについて、硫酸塩泉水の陰イオン中で量的に多いClイオンとSO<sub>4</sub>イオンとの関係を求めた(図3)。立久恵がClイオン、SO<sub>4</sub>イオンともに際だって多く、須佐は立久恵と同程度に大量のSO<sub>4</sub>イオンがあるもののClイオンが189mg/kgと少なかった。他の泉源はSO<sub>4</sub>イオン含量が約400mg/kg付近に分布した。この中で波多はClイオンが15mg/kgとほとんど検出されないにもかかわらず、SO<sub>4</sub>イオンが739mg/kgあり、Sを利用する上で非常に利用性の高い泉源であると見なされる。この他にも八雲、海潮、深谷はClイオンに比較してSO<sub>4</sub>イオンの含量が高かった。陽イオンについては分析を行っていないが、入湯施設の温泉分析表を比較すると、炭酸

水素塩泉に比べて硫酸塩泉ではNa含量が少ない。泉源によって条件が異なるために慎重を期す必要はあるものの、硫酸塩泉水を希釈せずに農作物に施用しても塩類障害が生じる可能性は低いと考えられる。

温泉水中には発ガン性を示す微量元素が含まれる場合がある(千葉ら2002)。本研究では、ヒ素や銅などの分析

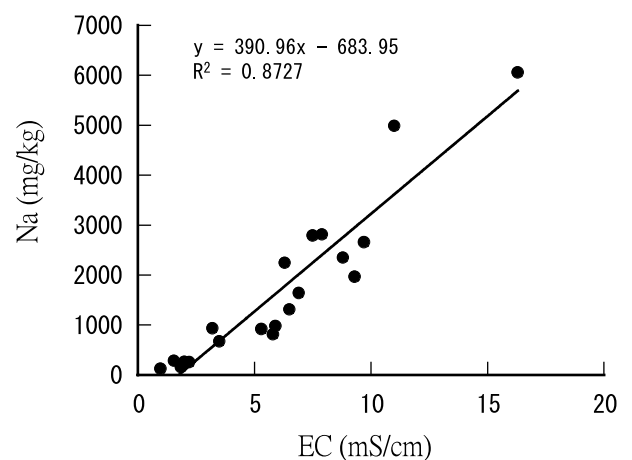


図2 炭酸水素塩泉におけるECとナトリウム含量との関係。

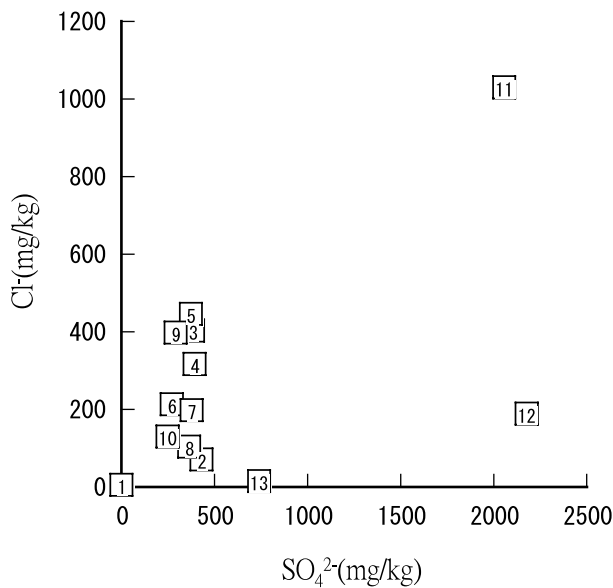


図3 硫酸塩泉における硫酸イオンと塩素イオンとの関係。シンボル中の数字は表1における泉源番号の略号S以下の番号に対応する。

は行っていない。しかしながら、上津井だけでなく炭酸水素塩泉には温泉分析表に総ヒ素の揭示がある入湯施設は多い。温泉水による灌水を継続すると、耕作地にこれら金属塩が蓄積する可能性もある。農業利用を行う上では、安全上これら金属の含有のある泉源についても慎重に評価をおこなう必要がある。

### 3. 炭酸ガスの放出能

炭酸水素塩泉水に物理的に溶けているCO<sub>2</sub>濃度を求めると、宇山の1307mg/kgを最高に塩谷の327mg/kgまでCO<sub>2</sub>含量は泉源によって大きく異なった(表2)。CO<sub>2</sub>はpH

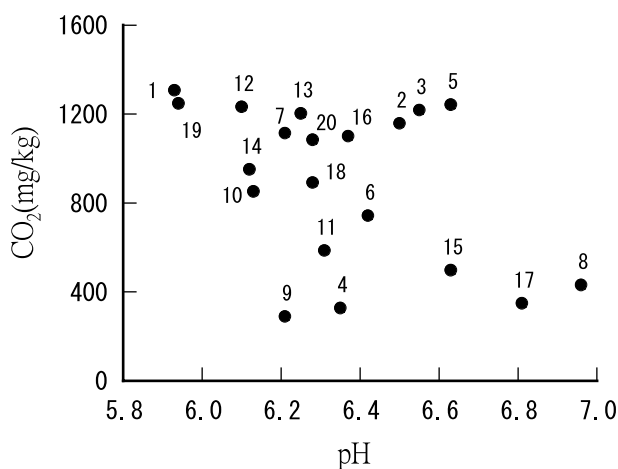


図4 炭酸水素塩泉におけるCO<sub>2</sub>濃度とpHとの関係。シンボル中の数字は表1における泉源番号の略号C以下の番号に対応する。

条件によって異なる炭酸物質に化学平衡するので(石井ら2000), pHとCO<sub>2</sub>濃度との関係を求めると(図4), pHが約6.3までは約1100mg/kgのCO<sub>2</sub>含量を保ったが, それよりも高いpHではCO<sub>2</sub>含量は低下した。すなわち, pHが6.3以上の温泉水では炭酸水素イオン(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)や炭酸イオン(CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)の形態にCO<sub>2</sub>が変化するため, CO<sub>2</sub>ガスとして利用できる割合が著しく低下するものと考えられた。一方, pHが約6.2でもCO<sub>2</sub>含量が低い泉源もあり(三瓶), 一概にpHだけではCO<sub>2</sub>放出能力を評価することはできない。そこで, 水サンプルにイオン強度調整剤を加えpHを4以下にすることで強制的にCO<sub>2</sub>を遊離させてCO<sub>2</sub>含量を測定した。遊離CO<sub>2</sub>は九日市の1932を最大に, 塩谷と三瓶を除いてすべての泉源で1200mg/kg以上のCO<sub>2</sub>含量を示した。ただし, 特に高いCO<sub>2</sub>含量を示した泉源である酒谷, 九日市, 岩龍寺は湧出量が非常に少ないことから, 時間当たりに利用できるCO<sub>2</sub>量は限られる。そこで湧出量と遊離CO<sub>2</sub>との積を時間当たりのCO<sub>2</sub>供給能力として比較すると, 温泉水からのCO<sub>2</sub>供給能力は三瓶, 大和, 瀬戸, 宇山, 加田の順であった。三瓶の高いCO<sub>2</sub>供給能力は湧出量が極めて多いことに起因している。CO<sub>2</sub>を回収する場合の作業工程とコストを考慮すると, 加酸せずともCO<sub>2</sub>含量が多く湧出量も比較的多い宇山, 瀬戸, 加田などの泉源が, 温泉水からCO<sub>2</sub>を回収し利用するには適当であると考えられる。

温泉水中に1000mg/kgのCO<sub>2</sub>を含む場合, すべてのCO<sub>2</sub>がガス化すれば計算上は約0.51のCO<sub>2</sub>を発生させることができる。源泉付近の大気CO<sub>2</sub>濃度を測定すると, 浴室内に源泉がある千原では6655ppm, 屋外であっても窪地となった塩が原では4275ppmが計測された。5000ppmを越える高濃度のCO<sub>2</sub>ガスは人体に有害であり, 時に死亡事故を発生させる(松尾1995)。CO<sub>2</sub>は無色無臭で比重が大きいため窪地に滞留し, 事前に察知することが困難である。従って, 施設栽培におけるCO<sub>2</sub>施肥に温泉CO<sub>2</sub>ガスを利用する場合には, 施設内の体積, 換気量と目標とするCO<sub>2</sub>濃度を設定し, 時間当たりのCO<sub>2</sub>の供給量を見積もることが安全管理上極めて重要となる。ただし, CO<sub>2</sub>は液体と気体との間で気液平衡を行い(石井ら2000), 多様な元素が含まれる温泉水ではその動態を正確に予測することは困難であろう。今後は, 温泉CO<sub>2</sub>ガスを安全に効率的に利用するための施用・管理技術の開発が必要になるものと示唆される。

### 4. まとめ

炭酸水素塩泉と硫酸塩泉は泉源分布と泉温, 湧出量が

顕著に異なった。炭酸水素塩泉では、Naが多いためECが高く、温泉水をそのまま利用できる泉源は宇山など数地点に限られた。一方、硫酸塩泉では波多はClイオンが少なく且つSO<sub>4</sub>イオンが非常に多く、Sの利用性が高い泉源であった。塩類障害を避けつつ温泉水の利用を図るには、泉源ごとに成分を分析し目的成分に応じた使用方法を入念に検討する必要がある。従って、一般の農業者が温泉水を有効に農業利用するためには、温泉分析書における飲用可能表示のような、農用可能である内容を示す表示を個々の泉源について掲示することが必要になると考える。一方、温泉CO<sub>2</sub>ガスの利用では、CO<sub>2</sub>含量と湧出量がとも多い宇山、瀬戸、加田の泉源の利用性が高いとみなされた。今後は安全で効率的なCO<sub>2</sub>施用技術と利用法の開発が求められる。

## 謝 辞

本研究は、平成13・14年度生物資源科学部長裁量経費ならびに平成14年度科学研究費補助金（萌芽研究）課題番号14658162「土壌-植物系に及ぼす高CO<sub>2</sub>の影響の温泉ガスによる non-artifact 評価」の一部により実施した。島根大学総合理工学部地球資源環境学科の石賀裕明教授には島根県内温泉について貴重な情報を頂いた。島根県温泉利用状況報告書については島根県に提供を受けた。温泉水の採取に際しては、源泉管理者や入湯施設の方々に多くのご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表する。

## 引用文献

姉崎和弘（2002）総合的な学習の時間に活かす豆腐づくり。北海道立理科教育センター研究紀要，14: 61-62.

千葉啓子・網中雅仁・山内 博・世良耕一郎（2002）温泉水に含まれる発ガン性微量元素のPIXE分析。日本アイソトープ協会仁科記念サイクロトロンセンター共同利用研究成果報文集，10: 195-198.

Hoagland,D.R. and Arnon,D.I. (1950) The water-culture method for growing plants without soil. Circular 347, Calif. Agr. Exp. Station, Berkeley

石井雅男・吉川久幸・松枝秀和（2000）電量滴定法による海水中の全炭酸濃度の高精度分析および大気中の二酸化炭素と海水中の全炭酸の放射性炭素同位体比の測定。気象庁気象研究所技術報告 41: 5-7

片岡隆四（1953）温泉熱利用によるかんがい水温上昇について。岩手大学農学部報告，1(1): 78-86.

Loomis,R.S. and Connor,D.J. (1992) 必須栄養素. 堀江 武・高見晋一監訳，食糧生産の生態学，Ⅲ巻 4-7.

松尾禎士（1995）火山ガス。火山の事典，朝倉書店。p 155-163.

松本 聰（1993）塩類土壌，久間一剛ら編，土壌の事典，45

大塚吉則・中谷 純・西川浩司・阿岸祐幸（2003）川湯温泉水の飲泉が血糖値に与える影響。温泉科学，52(4): 141-145.

島根県健康福祉部（2001）浴用・飲用利用分，平成13年温泉利用状況報告書。

瀬古典明・笠井 昇・玉田正男（2005）温泉水中のスカンジウムを回収するグラフト吸着材の作製。日本イオン交換学会第21回日本イオン交換研究発表会講演要旨集，72.

土屋一成（1993）塩類障害，久間一剛ら編，土壌の事典，44

浦家淳博・坂口直志・横山安弘・東藤 勇（1999）温泉利用の温度差発電。太陽エネルギー，(25)6: 49.