



肥後熊本学

# 肥後の温泉科学

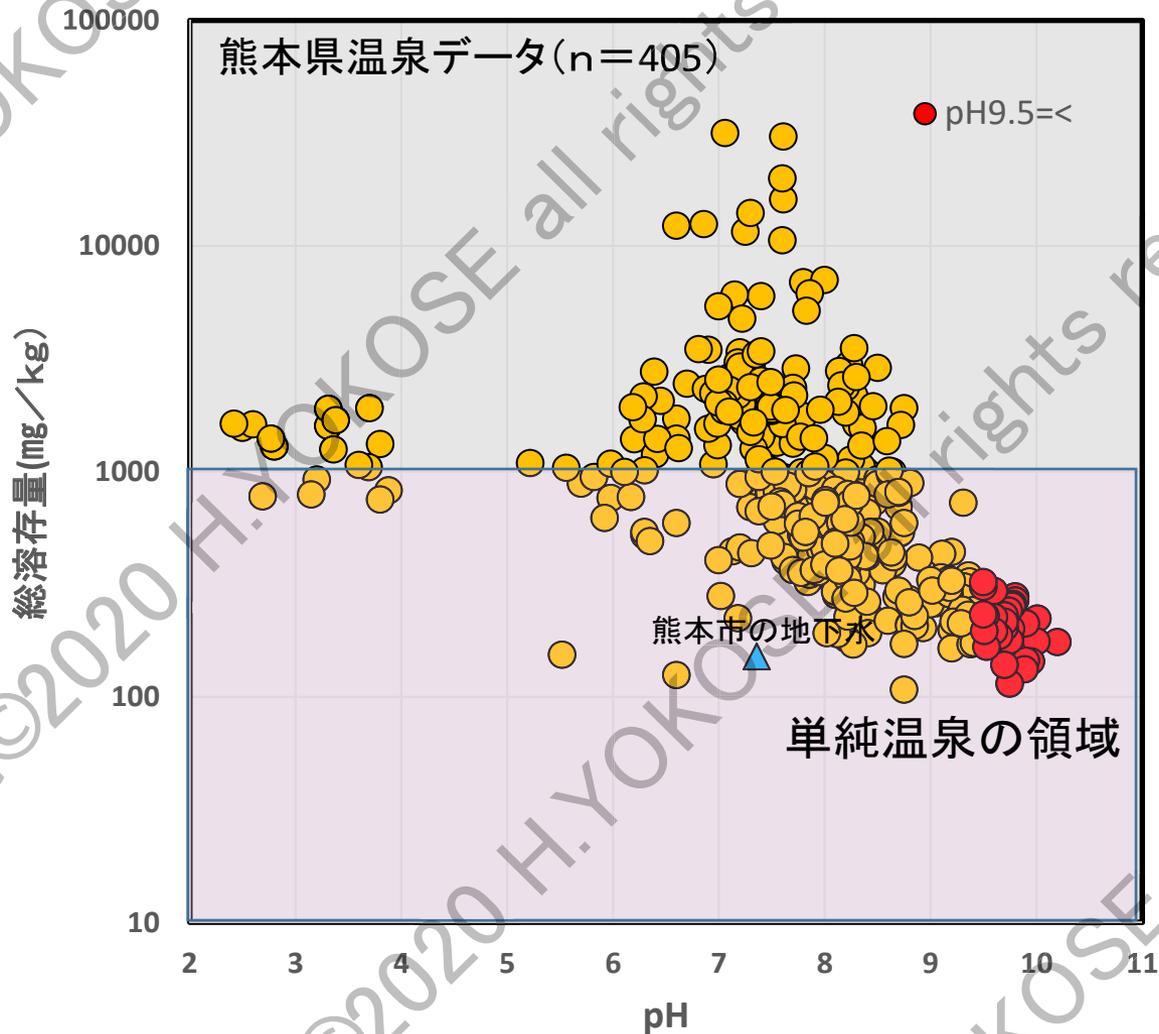
第6回 単純温泉と放射能泉

熊本大学大学院先端科学研究部 横瀬久芳

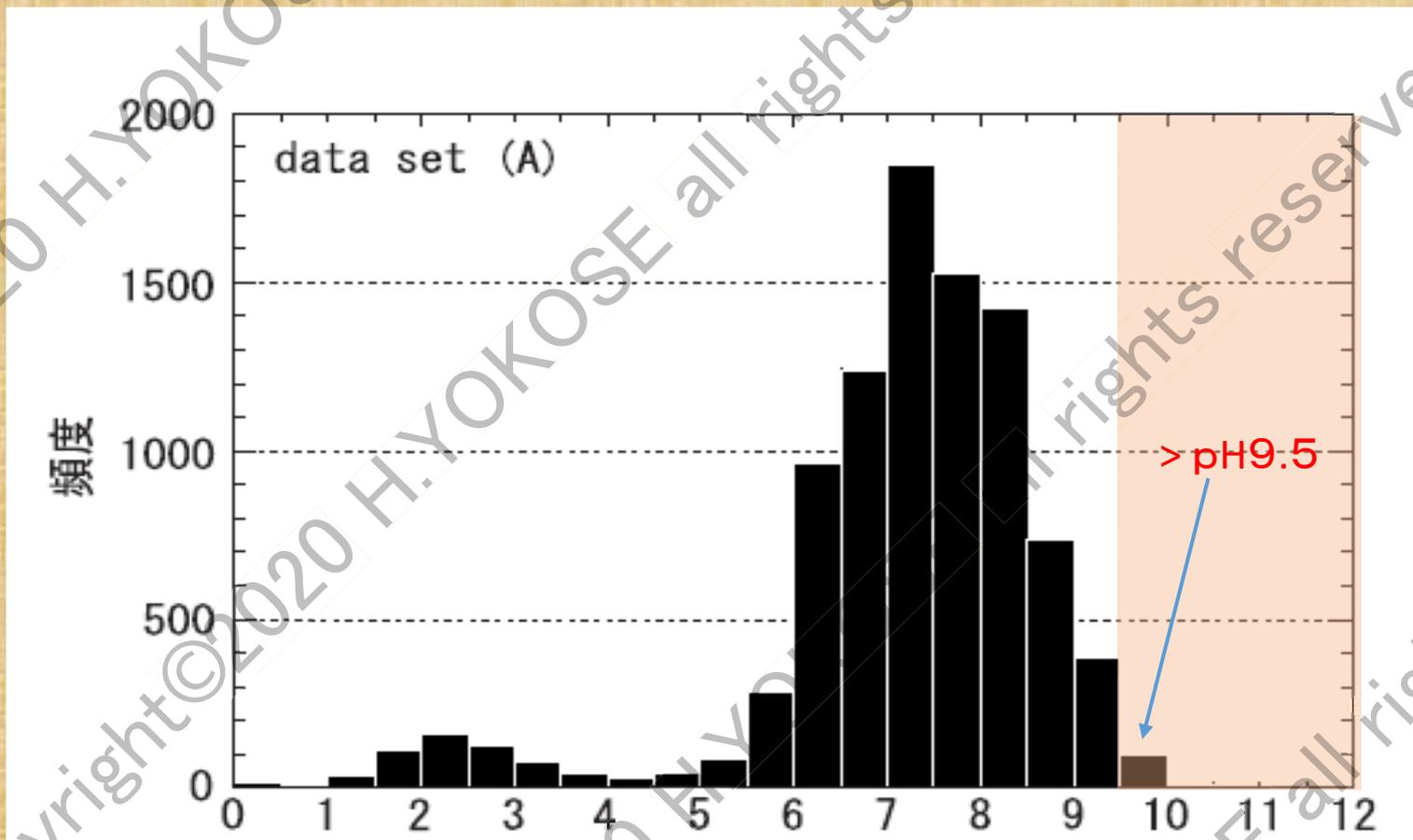
# 目次

1. 単純温泉とは
2. 高pH温泉
3. 地下増温率(地温勾配)
4. モール泉と古人吉湖
5. 放射能泉
6. 熊本の温泉と地質

# 熊本にはpH9.5以上の温泉が沢山ある！



# 国内では、pH9.5以上の温泉・天水は珍しい



20800件の温泉地化学データベースより(浅森 他、2002)

# pH 9.5以上の温泉群(29箇所)の特徴

源泉名	℃	pH	Na +	Ca 2+	Cl -	HS -	SO4 2-	HCO3 -	CO3 2-	溶存量(g/kg)
三加和地区	43.1	10.2	47.7	0.9	4.9	0.0	5.4	0.0	51.1	175.0
山鹿地区	41.4	10.0	64.1	2.4	8.7	0.3	24.1	40.3	23.8	222.4
三加和地区	35.4	10.0	48.6	1.3	11.4	0.0	12.4	34.8	12.8	175.8
三加和地区	40.1	10.0	44.1	1.0	14.8	0.1	6.3	31.5	18.6	143.5
三加和地区	39.5	9.9	43.3	1.3	9.9	0.5	9.5	42.4	19.2	144.4
山鹿地区	43.0	9.9	61.0	2.4	7.8	0.3	23.5	41.3	24.4	211.7
三加和地区	39.0	9.9	37.9	1.5	7.2	0.5	9.0	40.2	18.2	132.2
平山地区	46.7	9.8	76.4	2.7	32.6	3.2	14.4	67.9	12.6	279.0
平山地区	54.3	9.8	82.3	0.0	55.8	5.4	6.7	0.0	16.5	266.8
山鹿地区	42.0	9.8	58.7	4.6	13.1	0.4	22.2	72.5	11.4	258.0
植木地区	41.5	9.8	65.9	1.0	32.2	2.1	12.0	58.4	21.6	253.0
山鹿地区	40.5	9.8	55.2	2.4	13.5	0.3	10.9	74.5	10.6	200.3
山鹿地区	43.2	9.8	43.7	2.5	14.1	0.3	21.1	20.5	12.1	177.7
水上地区	32.2	9.8	30.5	1.9	3.4	2.7	16.3	33.7	12.4	114.2
山鹿地区	43.6	9.7	62.3	2.7	14.2	1.1	29.4	76.4	10.1	240.4
山鹿地区	42.8	9.7	51.0	2.5	18.2	0.2	20.3	29.3	18.1	202.4
玉名地区	26.2	9.7	34.4	1.7	4.5	0.1	5.7	24.4	24.0	138.2
平山地区	46.2	9.7	76.8	1.2	25.5	2.5	4.7	0.0	40.8	229.4
平山地区	37.4	9.7	58.5	1.4	17.6	1.2	0.3	62.7	24.1	215.1
山鹿地区	42.2	9.7	51.8	1.2	6.3	0.1	17.8	58.8	13.9	185.6
山鹿地区	42.5	9.6	53.1	1.6	10.0	0.5	17.5	96.9	22.9	225.9
平山地区	41.8	9.6	81.2	3.0	31.8	3.1	4.7	88.7	16.4	294.4
球磨地方	35.5	9.6	49.8	1.2	14.0	2.3	13.5	39.7	24.0	195.1
山鹿地区	41.5	9.5	46.5	1.2	7.6	0.3	14.2	53.6	7.9	166.5
山鹿地区	41.1	9.5	55.1	0.6	8.9	0.3	27.5	65.7	12.1	228.6
山鹿地区	42.5	9.5	51.6	2.7	10.2	0.4	18.8	65.3	12.1	195.7
菊池地区	50.3	9.5	77.7	1.1	13.3	1.6	31.9	86.6	26.0	307.4
菊池地区	40.1	9.5	65.1	1.0	12.4	0.7	27.0	22.9	24.1	231.8
美里町	35.6	9.5	91.1	2.3	84.9	1.0	1.8	35.1	36.0	322.2
熊本市	17.2	7.4	10.6	16.0	12.1		17.8	58.6		151.0

# 水溶液におけるアルカリ性

## 温泉の液性

酸性	pH 3 未満
弱酸性	pH 3 以上 6 未満
中性	pH 6 以上 7.5 未満
弱アルカリ性	pH 7.5 以上 8.5 未満
アルカリ性	pH 8.5 以上

pHは、溶液の液性を表す物理量で、水素イオンのモル濃度をmol/L でわった値の逆数の常用対数

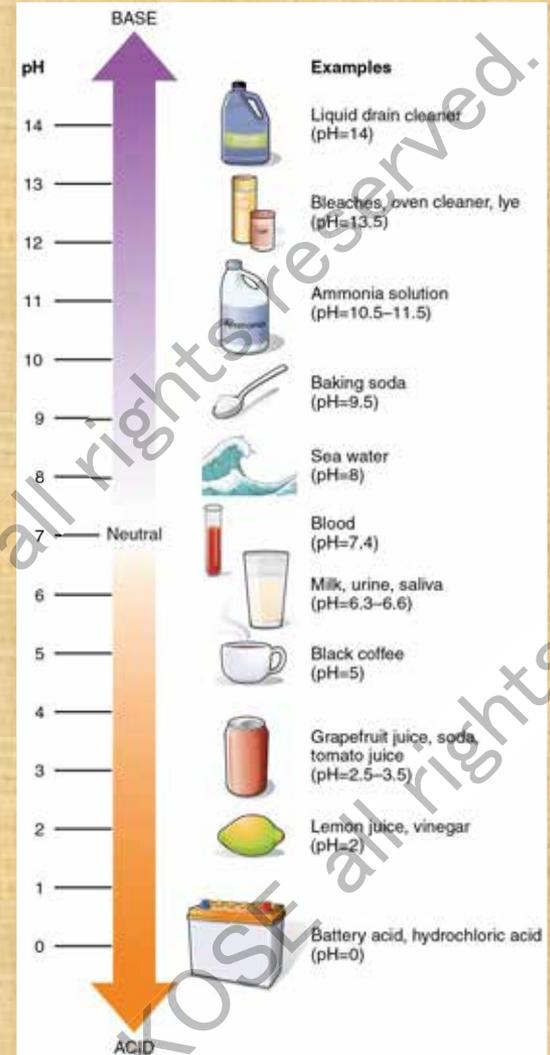
$$\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+]/\text{mol L}^{-1} \Rightarrow \text{pH} = -\log_{10} a_{\text{H}^+}$$

つまり、pHは水素イオンの活量の逆数の常用対数  
希薄溶液では、 $[\text{H}^+]/\text{mol L}^{-1} = a_{\text{H}^+}$  となる



25°Cにおけるイオン積 ( $K_w$ ) =  $1.008 \times 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{L}^2$

14.00 = pH + pOH (希薄溶液なら)

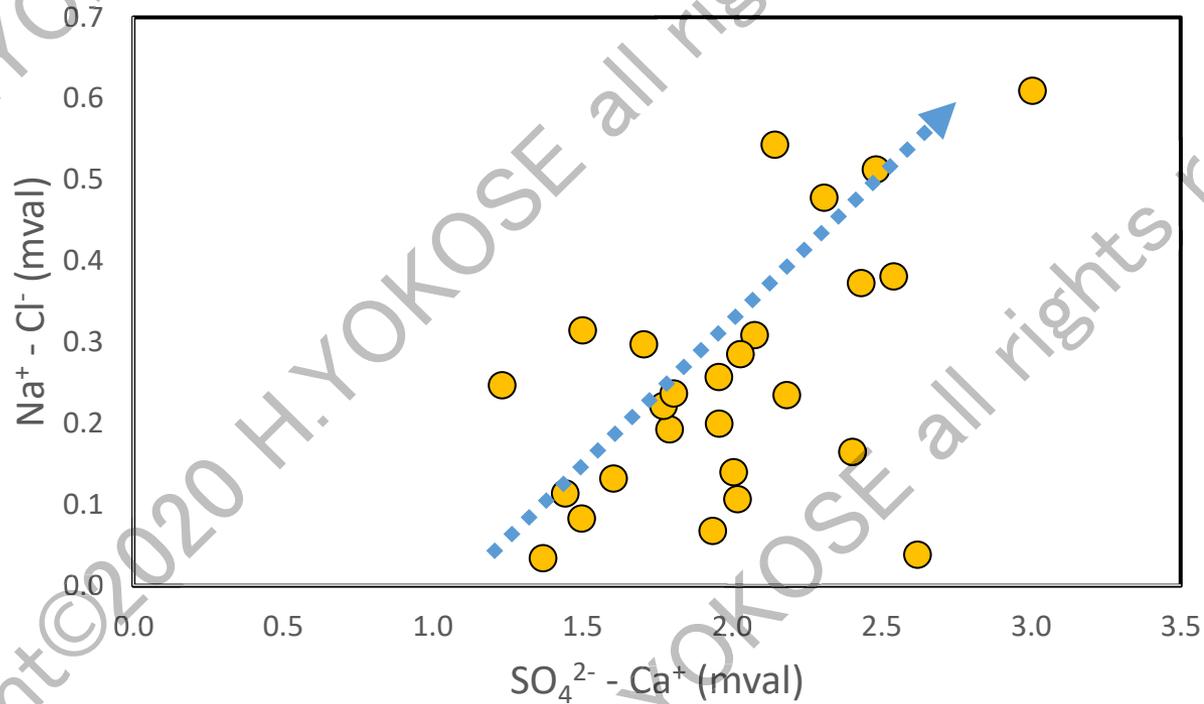


# 高pH温泉は、熊本県北部の花崗岩地帯に集中



地質調査所20万分の1図幅「熊本」に加筆

# ナトリウムイオンの挙動



陽イオンである、ナトリウムイオンの塩素イオンに対する過剰分と硫酸イオンに対するカルシウムイオンの過剰分が弱い正の相関を示す。

# モール泉とは何か？

65.8°C pH8.3 単純温泉 鹿児島県吉松温泉



## ＜モール泉＞

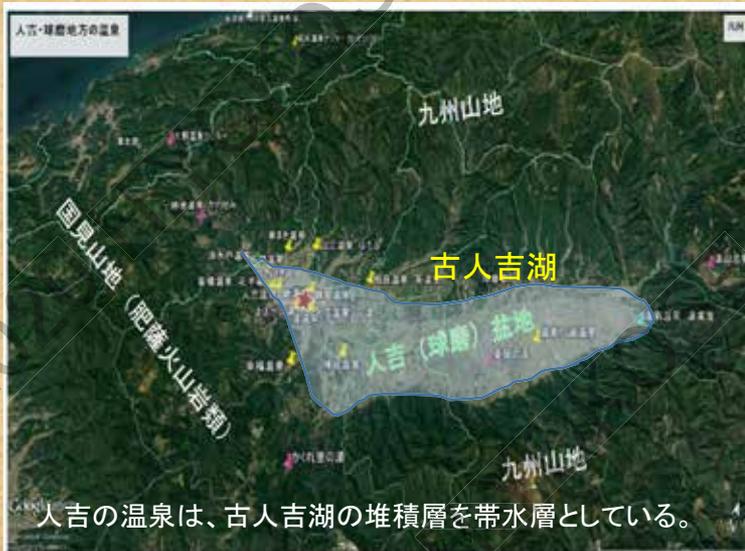
温泉には、稀に黒(黒湯)から褐色を示す場合があります(左の写真参照)。ネット上ではモール泉と呼ばれています。かつては、貴重な泉質とされていました。

地学事典で「モル(mor)」は、森林土壌の腐植の形成区分の一つで、粗腐植(raw humus)と同義とされています。語源はデンマーク語。更に同書で「腐植」を調べると、樹木質が腐朽分解する過程で生じる黒色物質の総称とあります。アルカリに溶け、酸では茶色のゲル状物質となって残る。更に、「腐植泥」で調べると、湖底堆積物の一種。褐色を呈し、泥炭地や高位湿原の湖沼の底に堆積したものとある。

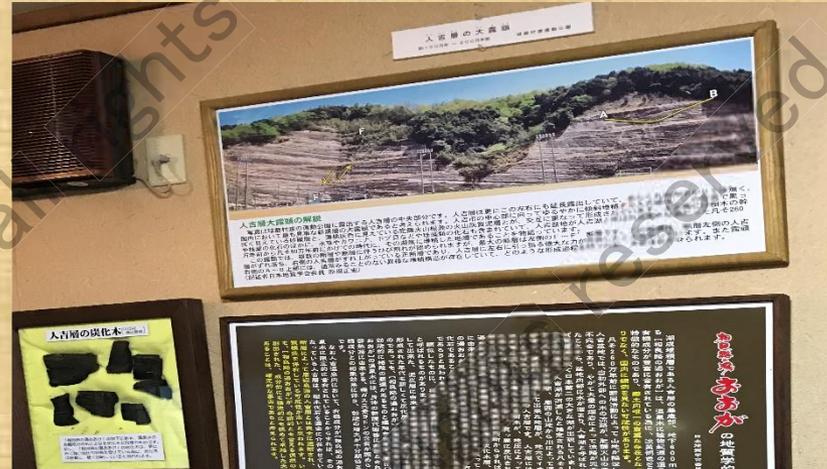
つまり、地層中の未分解有機物(フミン)がその起源となる。日本列島に広く分布する黒ボクもその仲間。そういった厚い土壌が帯水層となった場合には、温泉に混入して写真のような黒～褐色の温泉を作り出すのであろう。しばしば、黒湯は、植物の分解過程で生じた酸化現象が熱源となっているなどとしているケースがあるが、地下深部は酸化的環境にはなく、還元的であるため、酸化作用による熱が温泉を作り出したとは考え難い。おそらく、上記の鶴丸温泉は、霧島火山活動前に形成された加久藤カルデラに溜まった腐植層が、後の霧島火山の地熱によって過熱され湧き出したものと推察される。一方、東京周辺の黒湯は、古東京湾の巨大な堆積盆に埋積された腐植層が給源であり、地温勾配による加熱過程として説明される。

モール泉が珍重されるのは、かつての貴重さとヨーロッパの温泉療法の一つである泥浴に端を発していると想像される。モール浴は、泥炭そのものを希釈して入浴するやり方であり、比重は水の3.5倍から351倍程度であり、巷のモール泉の比重がほぼ1である事を考えるとヨーロッパの“モール浴”とはかなり違いがありそうである。しかし、温泉に含まれる有機物成分による効能は未知の領域でもある。

# 熊本県のモール泉



人吉の温泉は、古人吉湖の堆積層を帯水層としている。



温泉施設にある古人吉湖の解説パネル



人吉市新温泉

40.9°C pH7.8 単純温泉



熊本市北部

49.5°C pH7.9 単純温泉

# 熊本県の弱放射能泉



# 単純温泉に多い放射能泉(ラドン含有量8.25マツヘ以上)

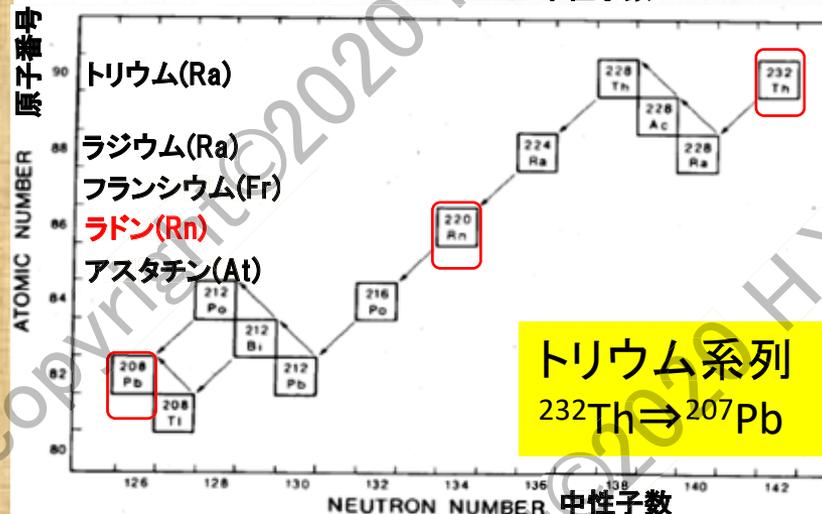
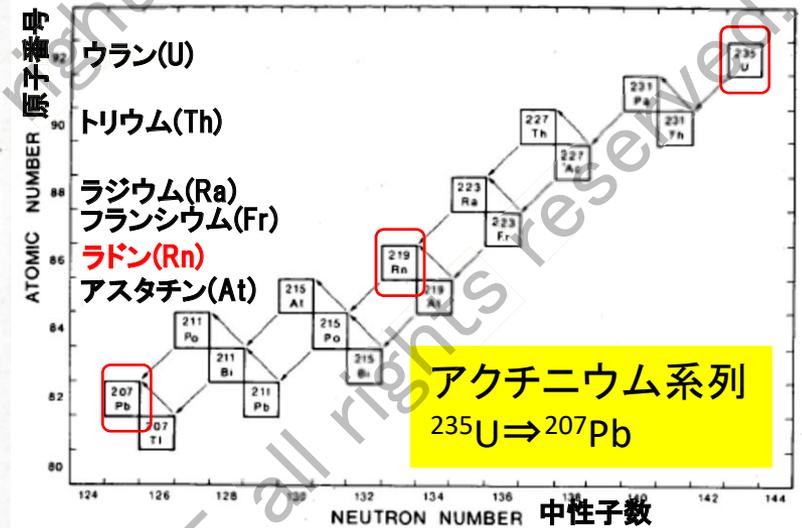
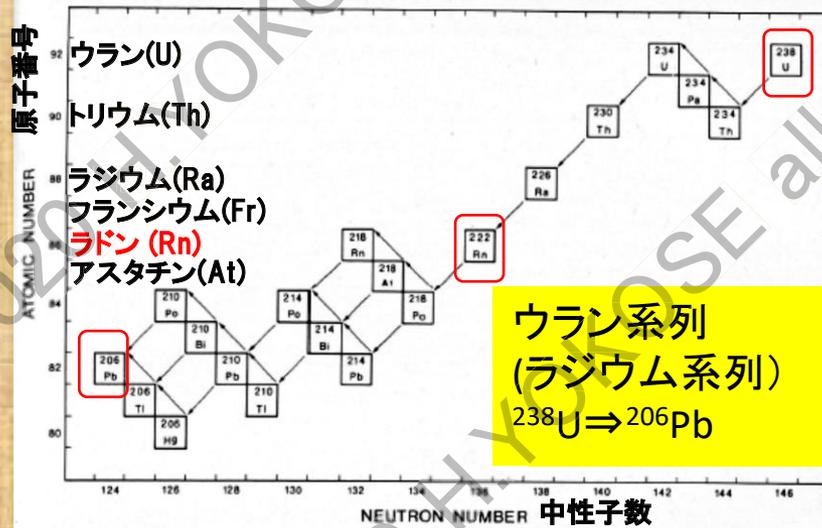
地域	泉温℃	pH	ラドン含有量 (M・E/kg)	溶存物質 (mg/kg)
玉名地区	43.2	8.4	8.7	264
玉名地区	49.6	8.0	8.8	733
玉名地区	44.0	8.2	8.8	613
玉名地区	50.6	8.0	9.2	743
植木地区	48.4	8.6	9.3	788
植木地区	47.0	8.3	9.7	777
玉名地区	46.6	8.1	10.2	362
玉名地区	49.7	7.9	10.3	630
玉名地区	45.6	8.1	10.3	477
山鹿地区	38.0	9.0	11.8	296
平山地区	39.9	9.2	11.9	326
玉名地区	48.2	8.0	12.3	724
玉名地区	41.8	8.3	13.6	289
玉名地区	35.0	7.8	13.6	538
玉名地区	31.6	7.0	15.2	403
芦北地区	39.2	7.0	16.7	5387
平山地区	42.0	9.3	22.8	211
平山地区	41.5	9.8	27.3	253

# 放射能泉の基本

周期表	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1 H 水素 Hydrogen 1.00798																		2 He ヘリウム Helium 4.0026
2	3 Li リチウム Lithium 6.968	4 Be ベリリウム Beryllium 9.01218											5 B 硼 Boron 10.814	6 C 炭素 Carbon 12.0105	7 N 窒素 Nitrogen 14.0069	8 O 酸素 Oxygen 15.9994	9 F フッ素 Fluorine 18.9984	10 Ne ネオン Neon 20.1797	
3	11 Na ナトリウム Sodium 22.9898	12 Mg マグネシウム Magnesium 24.306											13 Al アルミニウム Aluminum 26.9815	14 Si 矽 Silicon 28.085	15 P 燐 Phosphorus 30.9738	16 S 硫黄 Sulfur 32.065	17 Cl 塩素 Chlorine 35.452	18 Ar アルゴン Argon 39.948	
4	19 K カリウム Potassium 39.0983	20 Ca カルシウム Calcium 40.078	21 Sc スカンジウム Scandium 44.9559	22 Ti チタン Titanium 47.867	23 V バナジウム Vanadium 50.9415	24 Cr クロム Chromium 51.9961	25 Mn マンガン Manganese 54.938	26 Fe 鉄 Iron 55.845	27 Co コバルト Cobalt 58.9332	28 Ni ニッケル Nickel 58.6934	29 Cu 銅 Copper 63.546	30 Zn 亜鉛 Zinc 65.38	31 Ga ガリウム Gallium 69.723	32 Ge ゲルマニウム Germanium 72.630	33 As 砒素 Arsenic 74.9216	34 Se セレン Selenium 78.971	35 Br 臭素 Bromine 79.904	36 Kr クリプトン Krypton 83.798	
5	37 Rb ルビジウム Rubidium 85.4678	38 Sr ストロンチウム Strontium 87.62	39 Y イットリウム Yttrium 88.9058	40 Zr ジルコニウム Zirconium 91.224	41 Nb ニオブ Niobium 92.9064	42 Mo モリブデン Molybdenum 95.95	43 Tc テクネチウム Technetium [99]	44 Ru ルルチウム Ruthenium 101.07	45 Rh ロジウム Rhodium 102.906	46 Pd パラジウム Palladium 106.42	47 Ag 銀 Silver 107.868	48 Cd カドミウム Cadmium 112.414	49 In インジウム Indium 114.818	50 Sn スズ Tin 118.710	51 Sb アンチモン Antimony 121.760	52 Te テルル Tellurium 127.60	53 I ヨウ素 Iodine 126.904	54 Xe キセノン Xenon 131.293	
6	55 Cs セシウム Cesium 132.905	56 Ba バリウム Barium 137.327	※1	72 Hf ハフニウム Hafnium 178.49	73 Ta タンタル Tantalum 180.948	74 W タングステン Tungsten 183.84	75 Re レニウム Rhenium 186.207	76 Os オスmium Osmium 190.23	77 Ir イリジウム Iridium 192.217	78 Pt 白金 Platinum 195.084	79 Au 金 Gold 196.967	80 Hg 水銀 Mercury 200.59	81 Tl タリウム Thallium 204.38	82 Pb 鉛 Lead 207.2	83 Bi ビスマス Bismuth 208.980	84 Po ポロニウム Polonium [210]	85 At アスタチン Astatine [210]	86 Rn ラドン Radon [222]	
7	87 Fr フランシウム Francium [223]	88 Ra ラジウム Radium [226]	※2	104 Rf ラザフォード Rutherfordium [267]	105 Db ドブニウム Dubnium [268]	106 Sg シーボーグ Seaborgium [271]	107 Bh ボーリウム Bohrium [272]	108 Hs ハッシウム Hassium [277]	109 Mt マイトリウム Meitnerium [276]	110 Ds ダウジウム Darmstadtium [271]	111 Rg レントゲン Roentgenium [280]	112 Cn コペルニウム Copernicium [285]	113 Nh ニホニウム Nihonium [286]	114 Fl フルロビウム Flerovium [289]	115 Mc モスコビウム Moscovium [289]	116 Lv リベルリウム Livermorium [293]	117 Ts テネシウム Tennessine [293]	118 Og オガネソン Oganesson [294]	
※1 ランタノイド系	57 La ランタン Lanthanum 138.905	58 Ce セリウム Cerium 140.116	59 Pr プラセオジム Praseodymium 140.908	60 Nd ネオジム Neodymium 144.242	61 Pm プロメチウム Promethium [145]	62 Sm サマリウム Samarium 150.36	63 Eu ユロピウム Europium 151.964	64 Gd ガドリウム Gadolinium 157.25	65 Tb テルビウム Terbium 158.925	66 Dy ジスマンディウム Dysprosium 162.500	67 Ho ホルミウム Holmium 164.930	68 Er エルビウム Erbium 167.259	69 Tm ツリウム Thulium 168.934	70 Yb イットルビウム Ytterbium 173.045	71 Lu ルテチウム Lutetium 174.967				
※2 アクチノイド系	89 Ac アクチニウム Actinium [227]	90 Th トリウム Thorium 232.038	91 Pa プロトアクチニウム Protactinium [231]	92 U ウラン Uranium 238.029	93 Np ネプチウム Neptunium [237]	94 Pu プルトニウム Plutonium [239]	95 Am アメリシウム Americium [243]	96 Cm キュリウム Curium [247]	97 Bk ベルケリウム Berkelium [247]	98 Cf カリフォルニウム Californium [251]	99 Es アインスタイニウム Einsteinium [252]	100 Fm フェルミウム Fermium [257]	101 Md メンデルビウム Mendelevium [258]	102 No ノーベリウム Nobelium [259]	103 Lr ローレンシウム Lawrencium [262]				

これらの元素は、放射壊変によって最終的にはPbに辿り着く。その途中の段階に、ラジウムやラドンが存在している。周期律表からわかるように中間生成物の化学的挙動は異なる。

# 放射能泉は希ガスであるRn(ラドン)が泉源



ラドン(Rn): 原子番号86(陽子数:86)  
同位体は34種(中性子数:109-142)  
希ガス  
同位体に別名あり  
222Rn: radon 3.82日 α崩壊 (ウラン系列)  
220Rn: thoron 55.6秒 α崩壊 (トリウム系列)  
219Rn: actinon 3.96秒 α崩壊 (アクチニウム系  
列)  
つまり、温泉や天水の流路近傍にUやThが  
比較的多く存在しているとガス成分であるRn  
が混入しやすい。

# 地殻の中では花崗岩質岩にウラン(U)やトリウム(Th)が多い。



日本各地の標準的な火成岩(玄武岩や花崗岩など)の化学組成

安山岩 (Th 0.8~5.0 ppm, U 0.3~2.2 ppm), 玄武岩 (Th 0.3~9.0 ppm, U 0.2~1.7 ppm)

花崗岩 (Th 8.3~31.6 ppm, U 2.2~11.3 ppm), 斑レイ岩 (0.5 ppm, U 0.1 ppm)

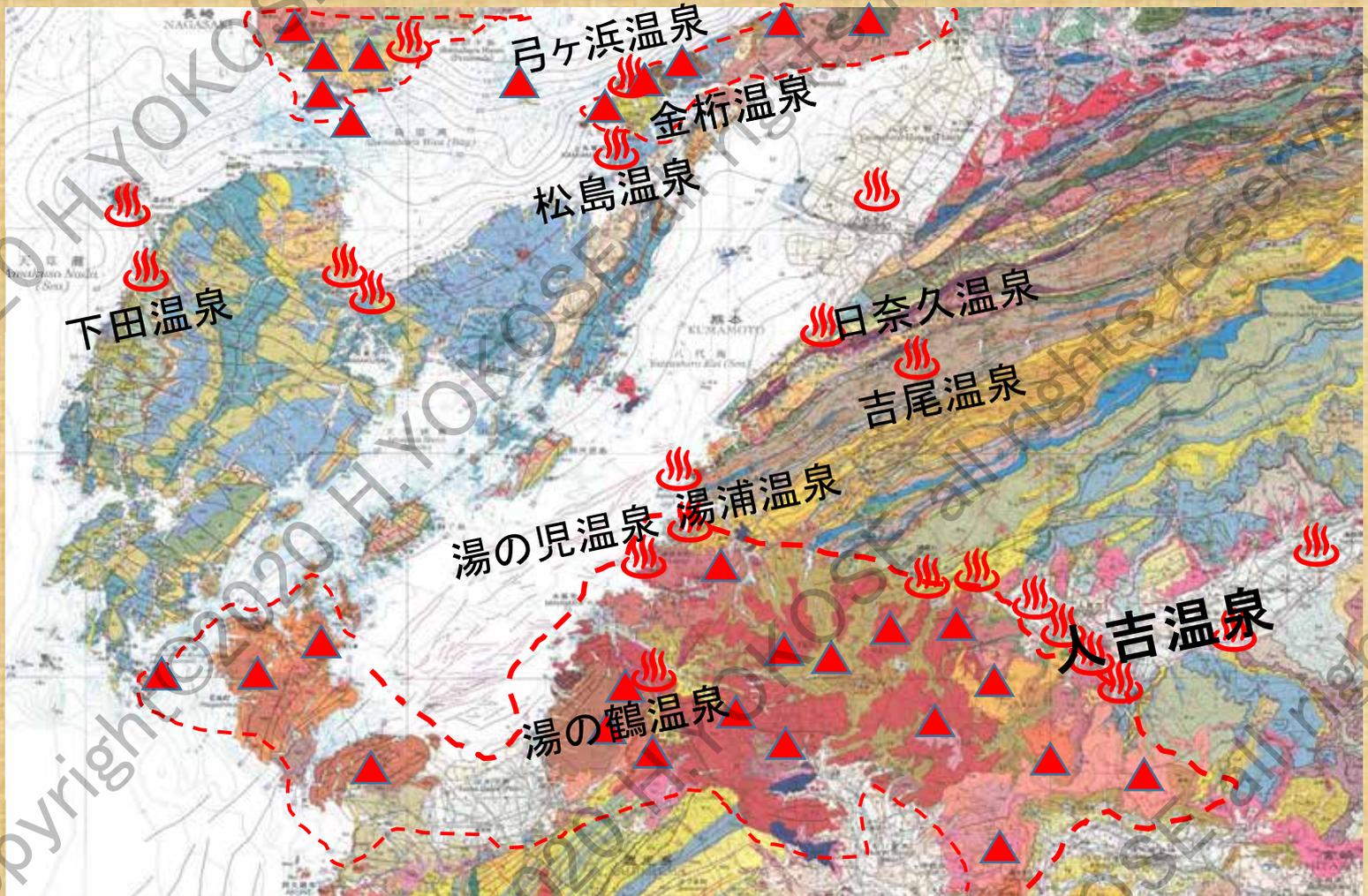
流紋岩 (Th 26.7~31.4 ppm, U 8.9~10.9 ppm)

花崗岩(流紋岩の深成岩)に比較的多くのウランやトリウムが含まれています。熊本県北部の弱放射能泉地帯が花崗岩地域だと言う事と矛盾しませんね。

	安山岩			玄武岩				花崗岩			斑レイ岩		流紋岩	
	JA-1	JA-2	JA-3	JB-1	JB-1a	JB-2	JB-3	JG-1a	JG-2	JG-3	JGb-1	JP-1	JR-1	JR-2
SiO <sub>2</sub>	63.97	56.42	62.27	52.37	52.41	53.25	50.96	72.3	76.83	67.29	43.66	42.38	75.45	75.69
TiO <sub>2</sub>	0.85	0.66	0.7	1.32	1.28	1.19	1.44	0.25	0.044	0.48	1.6	0.006*	0.11	0.07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.22	15.41	15.56	14.53	14.45	14.64	17.2	14.3	12.47	15.48	17.49	0.66	12.83	12.72
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.59	2.16	1.15	2.33	2.55	3.33	3.2	0.51	0.33	1.62	4.79	1.98	0.35	0.27
FeO	3.98	3.69	4.83	5.99	5.78	9.98	7.85	1.36	0.57	1.83	9.43	5.99	0.49	0.44
MnO	0.157	0.108	0.104	0.153	0.148	0.218	0.177	0.057	0.016	0.071	0.189	0.121	0.099	0.112
MgO	1.57	7.6	3.72	7.71	7.83	4.62	5.19	0.69	0.037	1.79	7.85	44.6	0.12	0.04
CaO	5.7	6.29	6.24	9.25	9.31	9.82	9.79	2.13	0.7	3.69	11.9	0.55	0.67	0.5
Na <sub>2</sub> O	3.84	3.11	3.19	2.77	2.73	2.04	2.73	3.39	3.64	3.96	1.2	0.021	4.02	3.99
K <sub>2</sub> O	0.77	1.81	1.41	1.43	1.4	0.42	0.78	3.96	4.71	2.64	0.24	0.003	4.41	4.45
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.165	0.146	0.116	0.255	0.26	0.101	0.294	0.083	0.002	0.122	0.056	0.002*	0.021	0.012
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.72	1.12	0.2	1.02	0.92	0.25	0.18	0.59	0.33	0.67	1.28	2.39	1.16	1.19
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.3	1.25	0.11	0.95	0.92	0.13	0.07	0.12	0.12	0.17	0.13	0.44	0.2	0.22
T-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.07	6.21	6.6	8.99	9.05	14.25	11.82	2	0.97	3.69	15.06	8.37	0.89	0.77
Th	0.82	5.03	3.25	9.3	9.03	0.35	1.27	12.8	31.6	8.28	0.48	0.19	26.7	31.4
Ti (%)	0.51	0.4	0.42	0.79	0.77	0.71	0.86	0.15	0.026	0.29	0.96		0.066	0.04
Tl	0.13 *	0.32	0.23*	0.1	0.087*	0.042 *	0.048	0.98	1.55	0.40 *	0.066 *	0.003 *	1.56	1.85
Tm	0.47	0.28	0.28 *	0.35	0.33	0.41	0.42	0.38	1.16	0.24	0.16	<0.041 *	0.67	0.74
U	0.34	2.21	1.18	1.67	1.57	0.18	0.48	4.69	11.3	2.21	0.13	0.036	8.88	10.9

N. Imai et al. (1995) *Geostandards Newsletter*, 19, 135-213.

# 熊本県南部の地質



地質調査所20万分の1図幅「八代」に加筆

# 熊本県南部の芦北地方の温泉事情



# 湯浦温泉の熱源は？



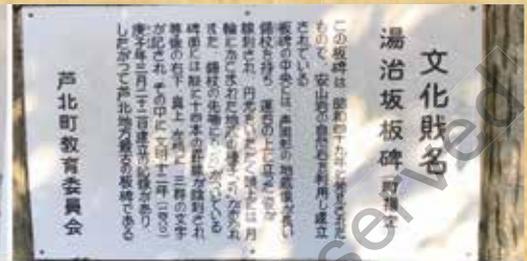
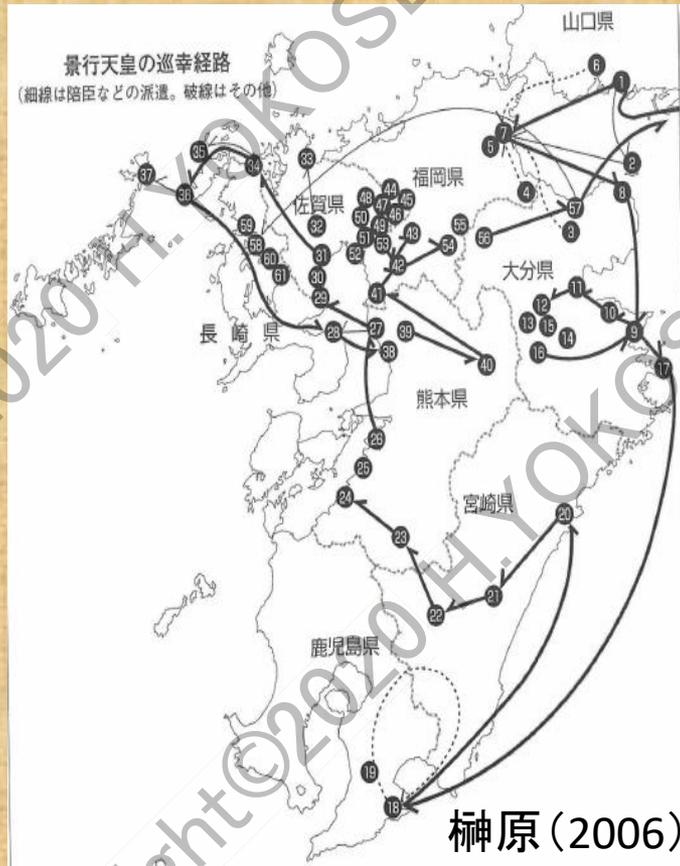
湯浦温泉は、掘削深度100m前後で40°Cの泉温を獲得できている。地下増温率は、一般に3°C/100mと考えられているので、平均気温18°C+3~6°Cでは、40°Cの温泉は獲得できない。地下深部に達する破碎帯からもたらされた温泉かもしくは火山性の温泉の2つの可能性がある。

# 地形と地質を検討すると火山が見えてくる。



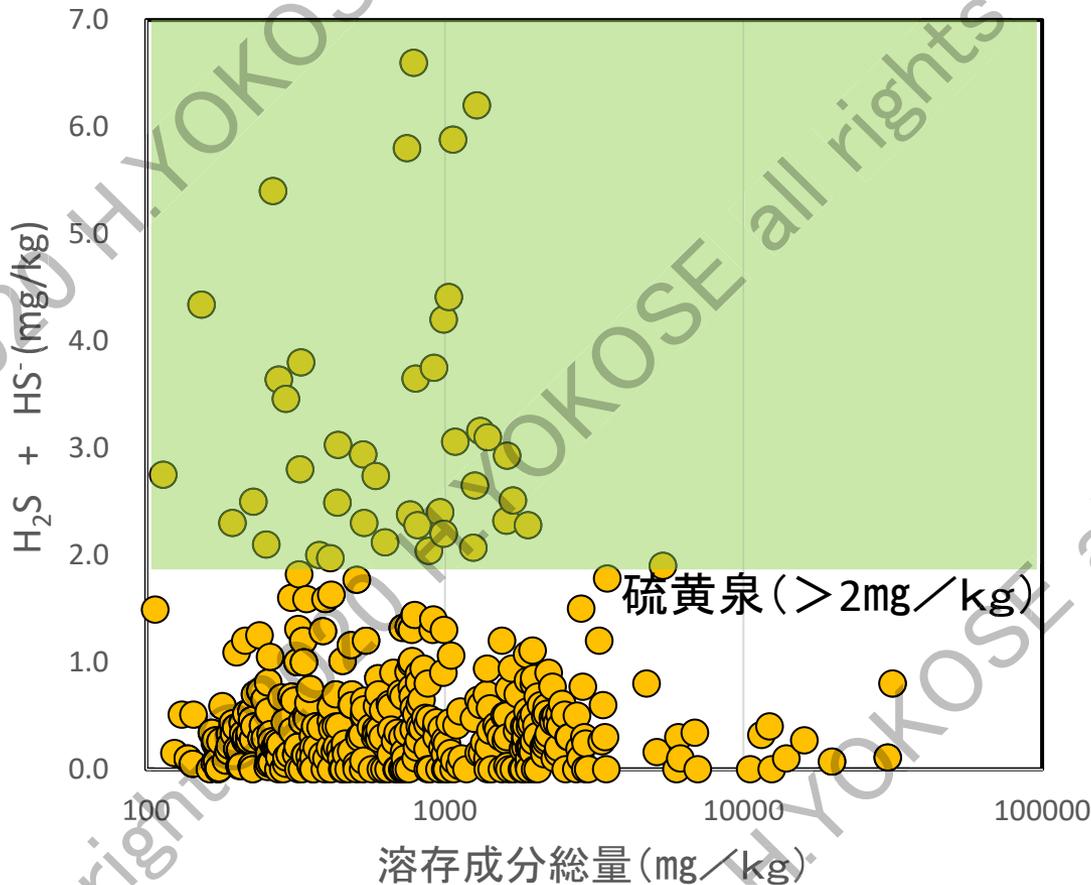
火山地形の保存状態や溶岩の分布状況から湯治山の山頂部に火口が存在していたと考えられる。つまり、熱源は湯浦の直下に存在している可能性は極めて高い。現在は薄まったものの、かつてはい

# 開湯1200年の湯浦温泉



浅いところに比較的温度の高い温泉が湧出している事から、川沿いに自然湧出型源泉が過去に存在していた可能性は高い。更に同地は、官道である西海道が通っていた事から、人々の目に触れる可能性は十分に存在していたと推定される。火山体に湯治山という地名がある事、景行天皇の九州巡行(景行18年:西暦306年)で当地を經由している事や長田王(8世紀)が万葉集に当地の歌を詠んでいる。更に、15世紀に造られた板碑が存在する事などから、開湯1200年は合理的に思える。

# “隠れ硫黄泉”と勝手に命名



ORP=-244mV

硫化水素による腐食



療養泉である単純硫黄泉と呼ぶには、規定量以上の成分を含まないと公式には名乗れない。しかし、グラフのように含有量は概して連続的に変化するため、非公式には、グレーゾーンを考えてもよいのでは。また、周辺状況(ORP値がとても低い、還元的温泉; 硫化水素による腐食が施設に及んでいる)から泉質の良さが伺える。なので、個人的には、単純温泉を「隠れ硫黄泉」として珍重している。

# まとめ

- 熊本県には、多くの地域に単純泉が存在している。
- 主要な溶存成分含有量少ないため単純温泉に区分されるものの、様々な有効成分によって、療養泉に含まれる場合も多い（放射能泉、硫黄泉、炭酸泉など）。
- アルカリ性の強い単純泉が熊本県北部に多く存在する。
- 還元的な温泉として“隠れ硫黄泉”は、重要な泉質である。