

鹿児島県海岸温泉について

高橋淳雄

A Note on the Hot Springs near the Sea Coast in Kagoshima Prefecture

Tadao TAKAHASHI

The origins of chlorine contained in the waters emitted from the hot springs near the sea coast in Kagoshima Prefecture are discussed, on the bases of the amounts of chlorine, the deviations from the relative amounts of five major constituents of the sea water, and the hydrostatic pressure equilibrium. They are attributed to the present sea water, the sea water enclosed underground in the geological age, and the volcanic processes.

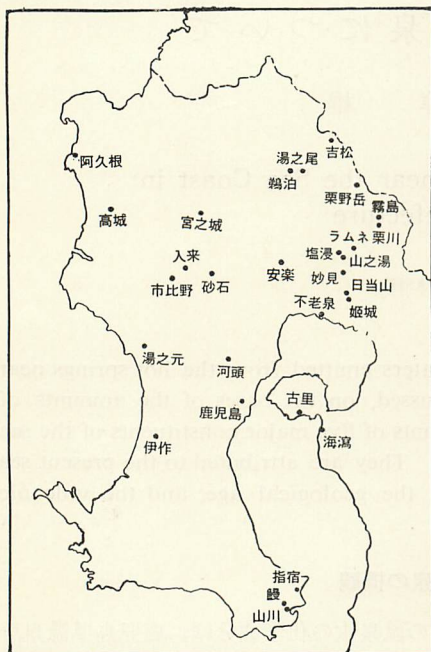
1. 鹿児島県下温泉の概観

鹿児島県下には約 30 の温泉群があるが、これらの温泉水の化学成分は、鹿児島県温泉分析成績 (1954)¹⁾ 及び鹿児島県温泉誌 (1939)²⁾ によつて知ることが出来る。これらの位置は第 1 図、泉温と Cl イオン量とは第 1 表に示す如くで、海岸に近い (約 1 km 以内) の温泉は Cl が多量に含まれて居り、海岸温泉への海水の混入を暗示している。海水の混入は泉温を低下せしめると予期されるが、指宿温泉中 Cl = 7.27 g/L の摺か浜温泉は 81°C であり、県下第 2 の高温である。又、阿久根温泉中の天津 (俣吉) 温泉は Cl = 21.63 g/L で現海水より Cl 量が多く、而も泉温 43°C を示すから、現海水の混入とは考えられない。海岸からかなり遠い入来、霧島温泉にも Cl > 1g/L のものがある。以上の諸事実により、海水の混入は海岸に近い場合に可能性の多いことが分るが、海岸からの距離のみでは判定できないことも明かである。

第 1 表

温泉名	泉温(°C)	Cl (g/L)	温泉名	泉温(°C)	Cl (g/L)
安妙	46~56	0.0001~0.0002	湯之尾	74	0.523
栗島	41~48	ca. 0.0001	泊松	65	0.532
霧川	46~77	0.000001~1.026	吉粟	46~63	0.001~0.099
栗川	70	0.474	野岳	100	0.035
当山	43~46	0.073~0.090	塩浸	51	0.178
日城	46~59	0.074~0.102	ラムネ	35	0.138
比野	48~52	0.019~0.028	山湯	50	0.121
之元	26~67	0.022~0.335	*鹿児島	41~53	0.282~7.964
河頭	38	0.022	*古里	46~53	1.880~2.907
入来	46~56	1.184~1.489	*海瀧	41~49	0.011~5.653
鰻	95	0.018	*指宿	42~81	0.789~7.433
伊作	51~62	0.053~0.109	*山川	53~61	3.190~5.807
高城	46~50	0.011	*阿久根	41~45	14.701~21.628
宮之	40~51	0.014~0.134	*不老泉	51	17.471
砂石	54	0.214			

* 海岸より 1 km 以内。



第 1 図

2. 海水混入の判定

温泉水中の溶解物質として比較的多量の塩素の存在することは周知の事実であり、この塩素の起源が火山性であることも一般に認められている。しかし地質時代に於ける海陸変動によつて地層にとじこめられた海水、所謂化石水、或は現存する海に起源を有する塩素の溶存も、既に多くの海岸温泉に於て知られており、かかる場合には周辺の温泉の Cl 量に比して Cl 量が特に多い。³⁾ 既述の通り、単に Cl 量のみを以て海水の混入を判定することは困難であるので、その一つの方法としての瀬野¹⁾の導入した化学成分の偏差及び偏度を利用することとする。瀬野は海水中の主成分組成比が、総塩分量の如何に拘らず不変なる点に着目し、6つの主要成分 Cl, Na, SO₄, Mg, Ca, K をとりあげ、温泉に於て Cl 量に対する他の 5 成分の比を%で出し、この成分比(%)

と海水中の同様な比(%)との差を偏差(δi)と名づけ、偏差の絶対値の和($\sum_5 |\delta i|$)を偏度(δ)と名づけている。海岸温泉の成分比の偏差及び偏度の数値は、前記の分析資料から計算することが出来る。又、現海水の定常的混入については、静水圧平衡によつて吟味可能である。以下このような方法によつて各温泉群毎に海水混入様式を論ずる。

3. 阿久根温泉

偏差及び偏度は第2表に示す如く比較的小さく、温泉成分比は海水成分比とよく似ている。しかし Cl 量が海水より大なるものあり、現代海水の混入とは考えられない。泉温と Cl 量との間に関係はありそうもないから Cl 源は温泉熱源とも別と考えられる。

第 2 表

温泉名	泉温(°C)	Cl (g/L)	δ_i					δ
			Na	Mg	Ca	K	SO ₄	
鶴之湯	42	20.88	-4	-6	+6	+9	-8	33
高松	41	14.701	-3	-1	+6	0	-4	14
玉井	45	17.457	+3	-6	+4	+2	+3	18
天津(俣吉)	43	21.628	+2	-5	+4	+2	-5	18

Na の成分比が海水より大なるものがあり、又、K, Ca のそれは海水より大きい。而も SO₄ は海水より小なるものもある。このことは重碳酸根の存在を示し海水成分以外即ち火山性源又は有機物源を暗示する。

4. 鹿児島市温泉

前節の場合と同様、偏差及び偏度は第3表に示す如く比較的小であり、Cl量と泉温との間に明瞭な関係はない。穿堀深度は600m前後である。Cl量はすべて海水より小であるから現代海水の混入も考えられる。しかし鹿児島温泉(旧)跡でポンプ揚水によりCl=21.984g/Lなる低温水(23°C)が現われたことがあり、この事実は現代海水の侵入によるとは考えられず、地下に地質時代の海水の濃縮されたものが封じられていることの可能性を暗示する。然らば本邦が地質時代に海水を濃縮した様な時代があつたかどうか。太泰、野口等⁵⁾の油田水の分析結果によつても今日まで未だ海水より多いCl量を含有する油田水はない。従つて鹿児島温泉や阿久根温泉のCl源の全部を古代海水に帰することは難しい。この点は将来の研究にまたねばならない。

第3表

温泉名	泉温(°C)	Cl(g/L)	δ_i					δ
			Na	Mg	Ca	K	SO ₄	
鹿児島(旧)	45	3.508	-8	-2	+5	+12	-8	35
児保ヶ	46	6.056	-2	-5	+2	+8	-9	26
天鶴	41	7.964	-2	-6	+2	+4	-13	27
竹山	44	4.424	0	-5	+2	+2	-11	20
千歳(新かごしま)	43	1.214	-10	+1	+6	+4	-9	30
山之口	42	0.282	+16	0	+3	+20	0	39
塩屋(錦江)	49	4.884	+2	-4	-1	+9	-10	26
*さつ	50	3.316	+1	-3	+2	0	-3	9

* 1954年分析。

SO₄イオンが少くNa及びKの成分比が海水より大きいものがあることは、海水以外の成分の附加を示す。本邦温泉ではK、Mgは特に少いのが一般であつて、Kの多いものは特に火山性源又は地下岩石よりの溶出を期待しなければならない。

5. 不老泉

現在は低温化したかClは甚だ多く、Cl=17.47g/Lに及んでいる。このClの多いことと海岸に近いことから海水源を推定できるが、第4表に示す如く δ は63で稍大きく、成分比は海水とかなり違つている。特にKが異常に多く(5.00g/L)本邦他府県に於ける最高の値4.11g/L(有馬天神湯)を越えている。Naは海水に比して著しく少い。一般にKは岩石中には少く、而もKは溶液中にあつてもNa岩石と接しているとイオン交換を行つてNaが溶出することはDittlich⁶⁾の実験で示されている。故に今の場合はKは温泉水中固有成分(KCl)として来たものと見做すべきである。このことは有馬温泉にもあてはまると考えられる。

第4表

温泉名	泉温(°C)	Cl(g/L)	δ_i					δ
			Na	Mg	Ca	K	SO ₄	
不老泉	51	17.471	-17	-6	+1	+27	-12	63

6. 海 潟 温 泉

第5表に示す如く Cl の特に少いものは 55mg/L であり, 多いものは 6g/L に近い. 而もこれらの温泉は何れも海岸に近く (50m 以内) 且つ互に接近 (150m 以内) している.

第 5 表

温 泉 名	泉温(°C)	Cl(g/L)	δ_i					δ
			Na	Mg	Ca	K	SO ₄	
*紅 葉 館 3号	48	0.055	+90	-4	-2	+1	+40	137
* 〃 〃 2号	48	2.403	+3	-5	+5	+1	-2	16
*江 島 〃 49	49	0.078	+53	-3	+3	+3	+17	79
*海 荘 〃 47	47	4.034	+10	0	+5	0	-1	16
*海 園 〃 3号	41	5.653	+8	-6	+3	0	-2	19
*海 州 〃 3号	41	0.758	+3	0	+2	+2	+1	8
*海 核 〃 1号	46	1.173	-12	-3	+6	+11	+2	34

* 1954年分析.

穿掘深度は 150~240m, 湧出口高 1.5~2.0m で泉温も相近い. Cl の少いものは海水混入前の温泉と考えられるが, Cl 量と泉温とは無関係の様である. 即ち温泉群全体として, 海水の混入と共に泉温の降下してゆく温泉系列でなく, 又 Cl 量の多い高温温泉に冷地下水が混じてゆく温泉系列でもない. δ の値は種々雑多であつて, このことは温泉の湧出までの通路に於て海水や地下水が異なる様式で混じた結果と見做すべき上に, 火山性源の Cl も入つていると考へべきであろう. 従つて狭い地域に複雑な地下の相があることを示していると考えられる. この様な例は本邦に於て比較的少く, この究明は温泉研究の一つの鍵となると予期される.

海水が定常的に混入する為には, 海水混入の深さの海底に於て, 海水圧は温泉水圧より大でなければならない. 即ち海水混入の深さを Z , 海水及び温泉水の平均密度を夫々 ρ_s , ρ_h , 湧出口の海拔を a , 重力加速度を g とすれば,

$$\rho_s g Z > \rho_h g (Z + a)$$

が成立すべきである. 従つて

$$Z > \frac{a \rho_h}{\rho_s - \rho_h}$$

となる. 只今の場合, $\rho_h \doteq 1.006$, $\rho_s \doteq 1.025$, $a = 1.5 \sim 2.0$ (m), であるから

$$Z > 79 \sim 106 \text{ (m)}$$

となる. 鹿児島湾底最深は 237m であるから 現在海水の混入の可能性は十分である.

7. 古 里 温 泉

新旧温泉の分析で第6表の如く Cl 量は減少し δ は大きくなつている. これは位置によ

第 6 表

温 泉 名	泉温(°C)	Cl(g/L)	δ_i					δ
			Na	Mg	Ca	K	SO ₄	
古 里 (桜島荘)	46	2.907	0	-2	+2	+8	+2	14
*新古里 (桜岳荘)	53	1.880	+6	0	+8	+4	+11	29

* 1954年分析.

る差異と考えられる。湧出口の高さは満潮海面より低く、特に新古里温泉は深度 8 m で水位は満潮海面下 7 m であり、平均海面より低いから海水はどの深さからも混入し得る。

地下水が地温（高温岩石より伝導する熱）によつて加熱されることによる温泉の生成は、岩石の熱伝導率の小さい故を以て、一般には認められない。然し桜島のように新しい熔岩の溶出する可能性の多い所では、高温熔岩の中を地下水が流動して来る時には温泉の生成されることが予期される。古里温泉はこの様な生成過程の可能性が充分あると思われる。今後の好個の研究方向と考える。

8. 指宿温泉, 山川温泉

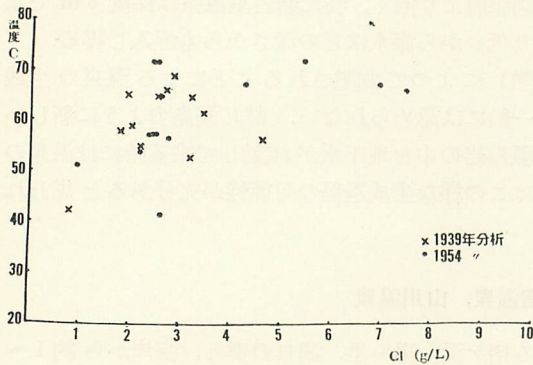
指宿温泉群には、海岸のすぐ近くにある摺ヶ浜、湯の里、瀧口の群と、海岸から約 1 ~ 2 km 離れた弥次ヶ湯、二月田、柴立の群がある。穿堀深度は比較的浅く 5 ~ 100 m で、多くは 30 ~ 40 m である。第 7 表に示す如く、Cl 量は大体に於て上記温泉群の順に少くな

第 7 表

地区	温泉名	泉温(°C)	Cl (g/L)	δ_i					δ
				Na	Mg	Ca	K	SO ₄	
摺ヶ浜	元町 菅見	65	2.147	-11	-5	+9	+18	-10	53
	*清光ホテル	72	2.530	-1	-6	+6	+2	-10	25
	*観光浴場	69	6.903	-7	-4	+7	+7	-6	31
	*砂浴場	81	7.433	-3	-5	+7	+2	-7	24
	*摺ヶ浜株式会社	81	7.272	-15	-3	+13	+7	-8	46
	*四郷共同湯	68	7.411	-8	-6	+9	+8	-10	41
	*旧林元湯	73	5.474	-5	-6	+8	+4	-10	33
	*新林元湯	62	3.691	-23	-5	+18	+16	-13	75
		68	4.242	-6	-6	+10	+2	-10	34
湯の里・瀧口	*海翠園	58	2.438	-8	-5	+11	+3	-10	37
	*浜田田	58	2.444	-8	-5	+11	+3	-9	36
	*清風 園	69	3.337	-10	-6	+7	+9	-11	43
	*高風 館	58	2.425	-8	-5	+11	+3	-6	33
	*三菊 節屋	58	1.981	-8	-5	+11	+4	-11	39
	*田西	42	2.600	-3	-3	+6	+1	-7	20
	*指原	72	2.448	-3	-5	+6	+5	-8	27
	*東泊	54	2.213	-3	-6	+7	+4	-9	29
	*朝之 郷(村の湯)	51	0.927	-6	-5	+10	+4	-7	32
		65	2.615	-5	-6	+11	+9	0	31
		66	2.936	-11	-6	+13	+13	-11	54
	57	2.721	-5	-6	+9	+4	-10	34	
弥次ヶ湯 柴月田立		55	2.438	-16	-5	+17	+13	-8	59
		59	2.755	-8	-5	+8	+10	-8	39
		42	0.861	-11	-4	+15	+8	-3	41
山川	田村	61	4.034	-11	-4	+9	+8	-11	43
	大吉	57	5.807	-4	-5	+6	+5	-12	32
	村峯	53	3.583	-4	-6	+7	+7	-13	37

* 1954年分析.

り、泉温も大体に於て同じ順に低くなつてゐる。故に泉源は摺ヶ浜の海にある如く推定される。鹿児島湾をカルデラと見做し得るならば海中に高温温泉源を仮定しても無理ではない。成分比は海水のそれに近いが、Cl 量の多いもの程高温（第 2 図）であることは、高



第 2 図

温温泉源への冷海水の混入が先立つて然る後に各温泉群に分れて湧出していることを示している。各成分偏差及び偏度は各温泉群によつて特に相異していない。K の成分比が大きいことは前数節に述べた場合と共通した性質である。尚、新分析が旧分析に比して特に顕著な相異はなく、強いて云えば Na が増し K が減少している様にも見えるが、地層中に於けるイオン交換があつたとは認められない。

搾ヶ浜温泉の湧出口高は平均海面から 3~7m で $\rho_h = 0.988$ とすると、海水混入の深さは、 $Z > \frac{(3-7) \times 0.988}{1.025 - 0.988} = 80 \sim 187m$ となる。又、二月田、柴立は湧出口高は夫々 20m, 30m であるからこれらの場合は海水混入の深さは夫々 530m, 800m となる。鹿児島湾の最深は 237m で現海水が浸入するためには海底深く浸透してからであり、然るときは海水もかなり温度は上昇するかも知れず、上の計算の ρ_s は小となり混入深度は更に深いことになる。従つて現海水以外の Cl 源も存在すると考えられる。

山川温泉は指宿温泉と同様である。

9. 湯之元温泉

この温泉群は、泉温高く Cl 量の多いものと、泉温低く Cl 量の少ないものの 2 群に分ち得ることは、偏度を示した第 8 表からも分る通りであり、前者の周辺に後者が位置して

第 8 表

温泉名	泉温(°C)	Cl (g/L)	δ_i					δ
			Na	Mg	Ca	K	SO ₄	
*元湯	49	0.022	+313	-4	+19	+49	+180	565
*打湯	43	0.030	+224	-6	+11	+31	+120	392
*福之湯	40	0.033	+117	-2	+36	+18	+177	350
*新湯	67	0.116	+79	-6	+6	+26	+44	161
*満州館	65	0.118	+89	-6	+8	+9	+44	156
*上床館	56	0.131	+62	-7	+6	+12	+33	120
*康童館	58	0.123	+79	-6	+4	+16	+36	141
*康生寮	65	0.118	+86	-7	+9	+23	+53	178
*観光ホテル	62	0.131	+78	-6	+6	+14	+38	142
*田之湯	44	0.114	+123	-7	+6	+31	+49	216
*東(川荘)	43	0.026	+60	-4	+19	+16	+27	126

* 1954 年 分析.

いる。δ の値は何れも甚だ大きく (100 以上)、特に Cl 量の少い群では δ が大きい。しかしながら δ × Cl の値はほぼ近似した値となり (唯 1 つの例外川荘を除き 12~25)、従つて海水成分を差引いた時両方の群の水系は同一であると察せられる。

海岸からは約 2.5km 離れて居り、又現海水混入深度は 1000m 以上 (湧出口高海拔 30~35m) になるから、現海水の混入が多いとは期待できないが、しかし現海水の混入を考え

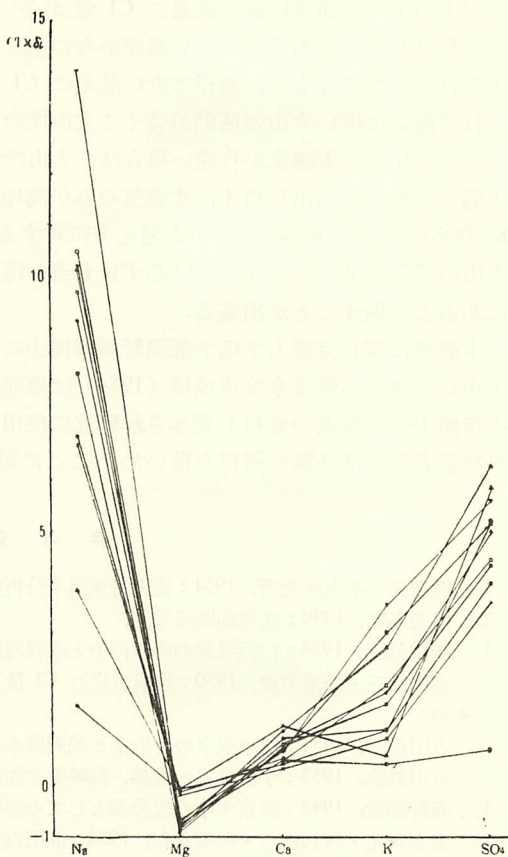
られない理由はない。第3図は、Cl量を海水源によると見做して海水成分を差引いたものであり、二つの群を同一水系と見做すべきことを示している。従つて泉温低く Cl量の少い群は地下水の混入の多いものと考えられる。

10. 海岸より遠い温泉

海岸より遠い温泉群は一般に Cl量は小で、海水混入の可能性は少く、地質時代にも海水混入はあまりなかつたと考えられるが、霧島温泉に於て $Cl > 1 \text{ g/L}$ のものがあり、又 1954 年の分析に於ても Cl量の多い(580, 632mg/L)ものがあり、栗川温泉も Cl量が多い(474 mg/L)。これらの偏度は第9表に示す如く 44, 45, 46 で稍大きく、海水源と見るには稍遠い様ではあるが、しかし指宿温泉にもこの程度の偏度のものはかなりあるので、今の場合も海水源でないとは云い切れない。

11. 要 約

鹿児島県海岸温泉を、海水混入の如何を主として調査した。Cl量の多少、泉温との関係、成分比の偏度、静水圧平衡を根拠として以下の如き結果が導かれた。



第 3 図

第 9 表

温泉名	泉温(°C)	Cl (g/L)	δ_i					δ
			Na	Mg	Ca	K	SO ₄	
* 霧島・殿 湯	64	0.580	-11	- 6	+11	+11	- 7	46
* "・二見湯	60	0.632	-18	- 6	+ 6	+ 4	-10	44
* 栗 川	70	0.474	-19	- 4	- 1	+18	- 3	45

* 1954 年 分析.

海岸に近い温泉はすべて海水混入があり、Cl量が甚だ多く、且つ成分比は海水に類似して居り、その偏度は小さい。但し海水混入の様式は各温泉群によつて相異している。海瀉温泉、古里温泉は現海水の混入で説明されるが、阿久根温泉、鹿児島市温泉、指宿温泉は、地質時代の封入海水の混入或は火山性源も考えられる。海岸から離れた湯之元温泉、霧島温泉にも海水混入の疑がある。尚すべて以上の温泉は海水比以上の K を含有していることも注目される。

以上の考察は海岸に近い温泉に Cl 量が多いという事実に着目し、主としてこれを海水源と見做したのであるが、もし海岸からの遠近を論ぜず、すべて Cl 源は火山性であると考えれば如何になるか。海岸に近い温泉に Cl 量が多いという事実は、この考え方のみによれば海岸に近い火山の活動が強くて火山性の Cl を多く出したことに基くと見做すべきことになる。一方海岸から遠い場合は、火山性源の Cl 量多い温泉水が深所にあつて、水圧弱くて地上に湧出し得ず、水蒸気のみが高地に遡上昇し得る状況にあると相像できる。K の多いと云う事実は、かかる考え方に対する一つの支持を与えるが、しかし海岸に近い火山の活動が強いということは必ずしも当を得ない。従つて Cl 源は海水と火山性の両方にあると見做すことが出来る。

本研究に際し京都大学理学部瀬野錦蔵博士には懇切なる御指導を賜つた。又、本研究に使用した鹿児島県温泉分析成績(1954)は鹿児島県衛生研究所によるもので、同所長上野直彦博士は未発表の資料を貸与され研究に使用を許され、又県庁、各市役所、町役場、温泉経営者からは多数の資料を頂いた。ここに記して感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) 鹿児島県衛生研究所, 1954: 鹿児島県温泉分析成績(未印刷)
- (2) 鹿児島県, 1939: 鹿児島県温泉誌.
- (3) 吉川恭三, 1954: 白浜温泉の海水汚染と導管内壁への沈澱物付着, 地球物理, 第9巻第2号.
吉川恭三・軽部末蔵, 1950: 別府温泉の Cl 量分布の変動について, 地球物理, 第8巻第2~4号.
吉川恭三, 1954: 伊東温泉の含塩素と過剰湯水について, 地球物理, 第9巻第2号.
石川鉄弥, 1953: 小浜温泉の推移, 長崎県立佐世保商科短期大学, 研究紀要, 第1集.
- (4) 瀬野錦蔵, 1943: 温泉水中の塩分源としての海塩, 地球物理, 第7巻第2号.
- (5) 太泰康光・西村雅吉・那須義和, 1954: 油田塩水の化学的研究, 地球化学討論会, 講演要旨.
野口喜三雄・上野精一, 1954: 油田の地球化学的研究, 地球化学討論会, 講演要旨.
- (6) M. Dittlich, 1905: Chemische Geologische Untersuchungen über "absorption-erscheinungen" bei zersetzten Gesteinen, Z. Anorg. Chemie 47, 151~162.