

温泉水中の鹽分源としての海鹽

理學博士 瀨野錦藏

1. 緒言

温泉の涵養源として循環水、處女水の外に場合によつては化石水もあるかも知れないが、之に關する文獻は油田地方の鹽水以外には豊富ではなく、従つて研究も餘り行はれてゐないものと想像せられる。僅かに小川琢治博士⁽¹⁾に指摘されてゐるものは外國では二ヶ所、我國では瀨波温泉(新潟縣)、鹿鹽鑛泉(長野縣)、又入之波温泉(奈良縣)^{しほのは}に疑ひがかけられてゐるのに過ぎない。その判定は地質學的立場からのやうである。然し是等の温泉とても、水そのものまで化石水といふのではあるまい。只其の鹽分が往古の海鹽に起原すると解すべきではあるまいか。

元來、温泉水中の溶解物質は木村博士⁽²⁾によれば陽イオンとしてはナトリウム、陰イオンとしては鹽素が最も多いのに對して河川に於ては兩者とも最小位であり、海水中に於ては温泉と同じく上掲兩イオンが最上位にある。かゝる實狀を以て温泉水と海水との鹽分の成因を結び付けることは無理であつて、温泉は後火山作用と考へられ、一方火山性ガス中には鹽素が屢々多量に見出されるため、温泉水中の鹽素は火山性ガスに由來するものと考へられて來たことは當然のことである。然し又地質時代に於て海陸の變動があり、その間、海水が地層に封じられた事もあるべく、且温泉は深處より長い道程の地層間を流れて地上に湧出するものである故、水そのものは化石水でなくとも、往古の海鹽が温泉水中に溶解して鹽分源になり得ることは上記の如き實例もあるので、この點を少しく研究して見たいと思ふ。

2. 別府温泉に於けるクロールの成因

(a) 舊別府市に於ける温泉のクロール量の分布に就いては既に屢々論じられてゐる⁽³⁾。その成因に海水の浸入もあけられてゐるが、濃度の最も大きい東南部濱脇に於てはその分布は海岸線に並行ではない。又この最濃部は地中溫度より判明せる濱脇温泉脈とも明かに一致してゐないから、初生的(juvenile)でないと推察されよう。又海岸天然砂湯から別府

驛にかけてクロールの極大部があるが、特にその西北部は海門寺温泉脈の一部と重なり、⁽⁴⁾ 地中温度分布状態からは低温水の流入を思はせる地域である。これ等が火山性源のものか、現海水乃至往古海鹽源のものかを判定するには如何にすればよいであらうか。地質學的にも方法があらうし、又各深さと温泉水成分と地中温度と對應することによつても解き得るであらうが、筆者は次の如き一つの方法を採用した。

もし現海水又は往古海鹽が温泉水中に混入し、その間に化學變化がなければ、温泉水の溶解物質は現海水又は往古海鹽が稀釋されたもの（場合によつては濃縮されることもあらう）と温泉水の固有の化學成分とより成る譯である。兩者の化學成分が全然異なるならば海鹽（以後現海水、往古海鹽を海鹽といふ言葉に包含せしめて書く。）の化學成分の相互比には變りがない筈であるが、前述の如く共通成分が著しいので海鹽の化學成分相互比はそのままであり得ず、従つて逆に兩者に分離せしめることは困難であるように見える。例へば濱脇温泉の化學成分は海水の主たる六つの化學成分 Cl, Na, SO₄, Mg, Ca, K が主要なものである。然しこれ等の成分の量は全く海水のそれと順序が一致してゐるのである。そこで比較は案外し易いものもあるかも知れぬと豫想されるのである。六成分の絶對量が海水と温泉とで同じであらうことは殆んど望めないからそこで今、比較法として次の如き方法を取る。海水中の最大量たる Cl を標準にして、これに對する残りの五成分の比を作り、海水と温泉水とを比較する。往古の海水の成分比が現在のそれと同一とは言はれないがその時代の成分が明かでないので今假りに現在のものを使用することとする。更に別府灣の海水の六成分は分析してないが海洋學は海水は特殊の場合以外にはこれ等の相互比は不變であることを教へてゐる。それで W. Dittmar の分析結果より得た第一表の成分比に比較することとする。⁽⁵⁾ 炭酸ガスに就いては Cl を標準にすれば 1% 以下になるから之を除いた。温泉水中の之等に對應する六成分の比を取つて比較すれば第 1 圖の如くなる。圖中の線及點線（海水）には意味はないが對比を明瞭ならしめる爲に引いたものである。圖中の温泉 No. 1084, No. 1135, No. 1135 / 2 等に於て六成分の比が極めて類似してゐるのに驚かされる。この事實は偶然の一致といふよりも寧ろ温泉水中に海鹽の混入を認めるべきであると思はれる。

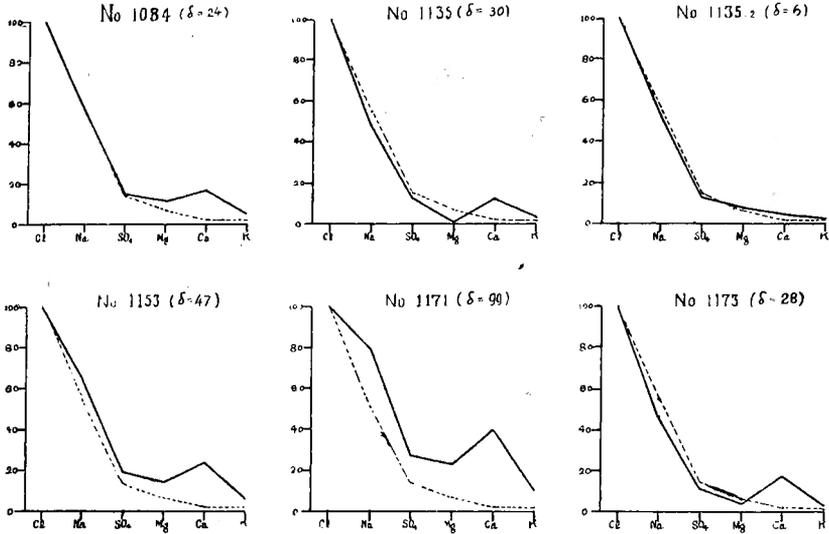
第 1 表 海水化學成分比

| Cl | Na | SO ₄ | Mg | Ca | K |
|-----|----|-----------------|----|----|---|
| 100 | 55 | 14 | 7 | 2 | 2 |

(b) 同じく濱脇地域の温泉でも Cl 量が少くなれば No. 1171 の如く必ずしも兩者の

温泉水中の鹽分源としての海鹽

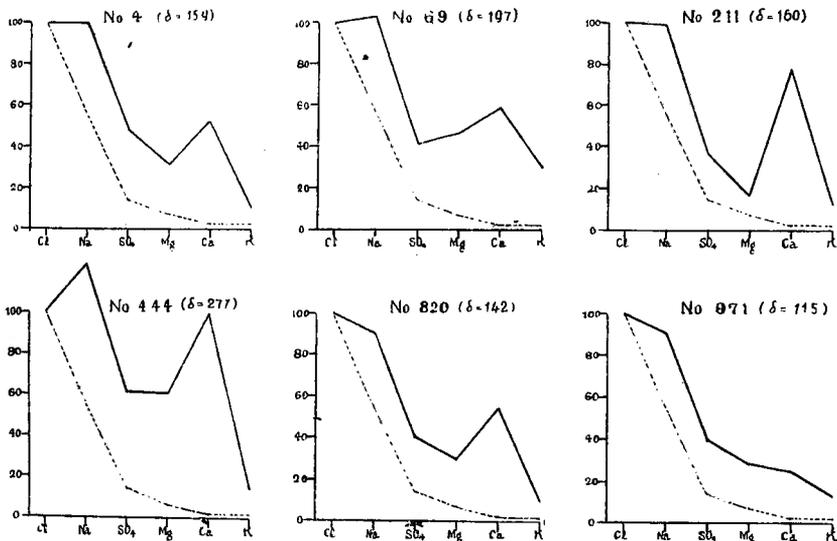
第1圖 別府濱協温泉と海水との成分比の比較 (1) (類似せるものの例)



相互比は類似とは見られぬものがある。この事は濱協地域のみならず、舊別府市全體の温泉に就いて上の比較法を適用してみると第2圖の如く Cl 量の少い温泉には類似度が小となり、尙他の一つの Cl 量の極大地域の温泉水は再び類似度が増すこと第3圖の如くなる。かくて Cl 量が多い温泉水の化學成分が海水のそれに近づくらしいと推定される。

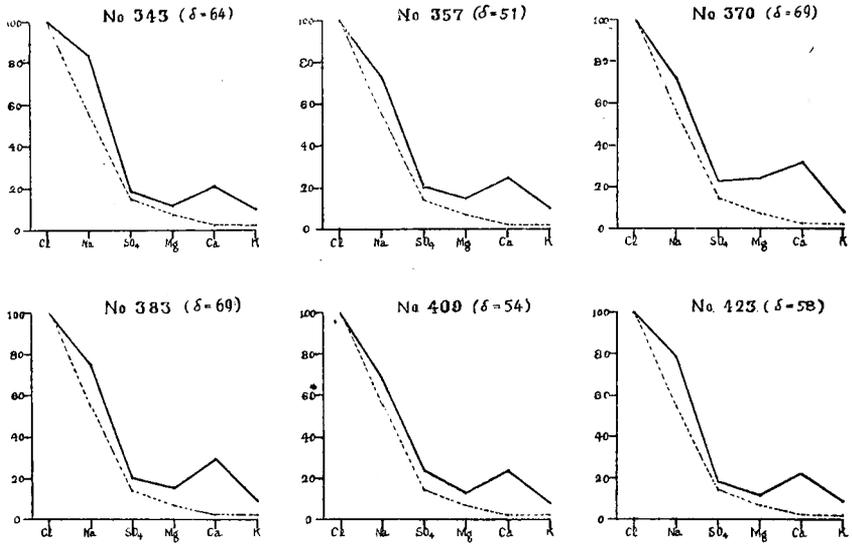
そこで今舊別府市に於ける温泉の分析済のもの全部に就いて六成分の相互比を求め、海

第2圖 別府温泉と海水との成分比の比較 (2) (類似せぬものゝ例)



温泉水中の鹽分源としての海鹽

第 8 圖 別府温泉と海水との成分比の比較 (8) (類似せるものゝ例)



水の成分比と比較して後者に類似する程度を示す量として次の如きものを考へる。即ち Cl に對する他の五成分の重量比と海水のそれらに對應する成分比との偏差を求める。即ち成分 X については

$$\delta_x = \left\{ \frac{X(\text{温泉})}{Cl(\text{温泉})} - \frac{X(\text{海水})}{Cl(\text{海水})} \right\} \times 100 \quad (1)$$

なるものを求め、此等の絶対値の總和 δ を求める。

$$\delta = |\delta Na| + |\delta SO_4| + |\delta Mg| + |\delta Ca| + |\delta K| \quad (2)$$

今この δ を偏度と呼ぶこととする。別府温泉に就いて求めたものが第 2 表である。この偏度と Cl 量とを座標にして示せば第 4 圖の如くなる。明かに Cl 量が多い程偏度は小さく、丁度 $\delta \times Cl = 16.2$ の双曲線に略一致する如く見える。

$\delta \times Cl = \text{常數}$ になることは注意を要する。(2)式から δ は各成分の δ_x の絶対値がとつてあるが別府温泉に就いては第 1 圖にある三温泉を除く外は必ず $\delta_x > 0$ である。然らば $\delta \times Cl$ は六成分の内から海水成分を除いた残りであつて、この値が略々一定であることは別府温泉は温泉特有の成分に海鹽が混入した事を示すものである。即ち別府温泉の Cl は殆んどすべて海鹽によつて供給されてゐるといふことになる。偏度の分布が第 5 圖に示す如く Cl 量分布と相應してゐることは第四圖より當然の事であらう。

(c) 偏度の小さい別府驛附近は Cl の一つの極大地域であり、地中温度⁽⁷⁾その他より低

温泉水中の鹽分源としての海鹽

第2表
別府温泉偏度表

| 温泉番号 | cl | 偏度 | 温泉番号 | cl | 偏度 | 温泉番号 | cl | 偏度 | 温泉番号 | cl | 偏度 |
|------|--------|-----|-------|--------|-----|------|--------|-----|--------|--------|-----|
| 4 | 0.1035 | 159 | 240 | 0.2070 | 99 | 526 | 0.0872 | 194 | 868 | 0.1198 | 142 |
| 8 | 0.1113 | 127 | 243 | 0.2085 | 109 | 530 | 0.0904 | 230 | 886 | 0.1164 | 151 |
| 13 | 0.1458 | 122 | 258 | 0.0991 | 210 | 534 | 0.1099 | 173 | 910 | 0.1177 | 123 |
| 18 | 0.1212 | 119 | 263 | 0.0859 | 220 | 539 | 0.1335 | 142 | 934 | 0.1106 | 164 |
| 23 | 0.1226 | 149 | 279 | 0.1035 | 214 | 542 | 0.1597 | 103 | 938 | 0.1210 | 136 |
| 31 | 0.1241 | 122 | 291 | 0.1166 | 174 | 544 | 0.1439 | 108 | 971 | 0.1066 | 115 |
| 35 | 0.1120 | 144 | 343 | 0.3079 | 64 | 555 | 0.0991 | 111 | 992 | 0.1326 | 198 |
| 46 | 0.1184 | 142 | 344 | 0.2575 | 63 | 561 | 0.1936 | 65 | 996 | 0.1397 | 114 |
| 48 | 0.1177 | 121 | 345 | 0.2589 | 73 | 554 | 0.1323 | 88 | 1037 | 0.1510 | 101 |
| 58 | 0.1141 | 128 | 357 | 0.2224 | 51 | 580 | 0.1026 | 141 | 1045 | 0.1588 | 114 |
| 62 | 0.1156 | 139 | 363 | 0.1896 | 121 | 589 | 0.0223 | 204 | 1050 | 0.1517 | 114 |
| 69 | 0.1209 | 197 | 370 | 0.1788 | 69 | 619 | 0.1170 | 145 | 1084 | 0.7581 | 24 |
| 92 | 0.1244 | 194 | 383 | 0.2039 | 69 | 649 | 0.0903 | 211 | 1135 | 4.5915 | 30 |
| 100 | 0.1158 | 144 | 409 | 0.2063 | 54 | 652 | 0.0933 | 296 | 1135.2 | 18151 | 6 |
| 106 | 0.1159 | 192 | 423 | 0.2901 | 58 | 671 | 0.0922 | 217 | 1153 | 0.3929 | 47 |
| 120 | 0.1099 | 283 | 430 | 0.1610 | 113 | 675 | 0.0687 | 267 | 1171 | 0.2356 | 99 |
| 126 | 0.1007 | 203 | 444 | 0.0858 | 277 | 685 | 0.1071 | 173 | 1173 | 2.1638 | 28 |
| 130 | 0.1014 | 198 | 450.1 | 0.1463 | 243 | 751 | 0.0836 | 228 | 1183 | 0.2070 | 126 |
| 136 | 0.1025 | 180 | 451.1 | 0.1299 | 233 | 771 | 0.0936 | 211 | 1225 | 0.3234 | 106 |
| 147 | 0.0968 | 193 | 457.2 | 0.1299 | 301 | 775 | 0.1031 | 186 | 1261 | 2.0117 | 16 |
| 173 | 0.0597 | 383 | 468 | 0.2557 | 55 | 776 | 0.0985 | 180 | 1280 | 0.0213 | 424 |
| 176 | 0.1007 | 180 | 472 | 0.1508 | 72 | 806 | 0.1423 | 125 | 1286 | 0.3670 | 29 |
| 210 | 0.1142 | 178 | 473 | 0.2283 | 82 | 820 | 0.1212 | 142 | 1290 | 0.1095 | 144 |
| 211 | 0.1330 | 160 | 475 | 0.1907 | 88 | 823 | 0.1179 | 163 | 1292 | 0.2418 | 65 |
| 212 | 0.1120 | 189 | 494 | 0.0970 | 410 | 826 | 0.1025 | 194 | 平均 | 0.2411 | 72 |
| 233 | 0.2084 | 111 | 511 | 0.0874 | 200 | 838 | 0.0971 | 192 | | | |
| 235 | 0.1833 | 121 | 513 | 0.0894 | 223 | 858 | 0.1124 | 174 | | | |

温水の流入を示すところである。然らば表層冷地下水も混入し得べく、その冷地下水は潮風によつて運ばれた海水成分も溶解浸透することもあり得るかも知れぬ。然し山下氏の指摘する如く深度の大なるほど Cl 量が多いといふ事實は、この考へを否定する。

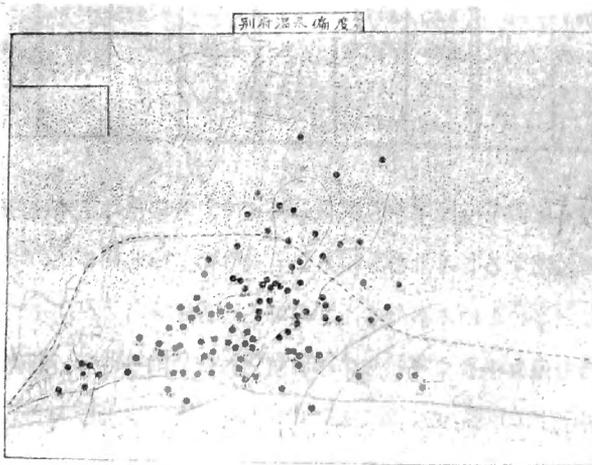
一方、海岸天然砂湯に近いところで偏度小さく Cl 量の多い温泉には、海岸に近い關係上、海水の混入とも考へられる。地中温度の測定によつてもこの地域は所謂“海岸降温型”⁽⁹⁾と呼ばれる地温型式を持ち、地中温度が深さ 100m 近くで地温極大でそれより深くでは反

つて低下するのである。この地温低下と Cl 量の極大と、偏度の小さいことなどを考へれば、或は海水の直接の混入ではないかと考へられる。この邊の温泉水頭は平均潮位より 3 m 程高いから砂濱海岸に於ける淡鹹兩水の境界を考へても⁽¹⁰⁾ 120 m 内外の深さとなり、又實際の地下構造がかく標式的になつてゐないとしても、擴散その他地層の特殊構造によつては海水の浸入もあり得るであらう。この考へによつて又前述の別府驛附近にまでも海水の浸入が考へられる。

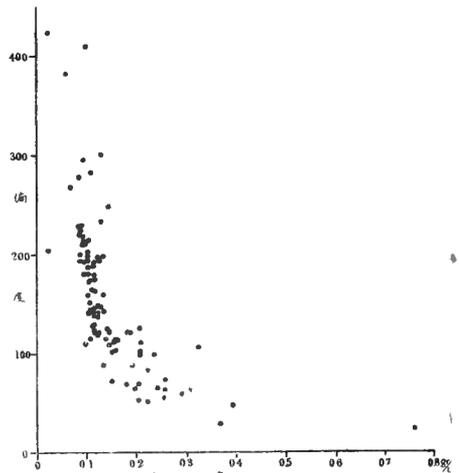
又かゝる海岸に沿うた地域では更に穿堀深度を増せば Cl 量も増加し、従つて偏度も小さくなり、同時に又所謂“海岸降溫型”を表すのではないかと想像される。

(d) Cl 量分布を見ると次の事が言へる。濱脇温泉脈上では Cl 量少く、Cl 量の極大は之より少し南側にある。田ノ湯温泉脈上では Cl 量極小、兩温泉脈の間に Cl 量の極大がある。海門寺温泉脈上では Cl 量極小で、田ノ湯、海門寺兩温泉脈間に Cl 量の極大があるがこの極大地域は西部に於て海門寺温泉脈と重つてゐる。これはこの温泉脈が他と異り、隠蔽温泉脈である關係上特異と考へてよく、他の場合は Cl の極大はすべて温泉脈を避けて

第 5 圖 別府温泉：偏度の分布



第 4 圖 別府温泉：Cl 量と偏度との關係



ると言へる。この事實は Cl 成分が火山性源のものでなく、地層成生の際入りこんだ海水源のものであつて、それが温泉脈上で特に少いのは古來より温泉水に溶解湧出したものと解してよいであらう。従つて古くは利用せられなかつた海門寺隠蔽温泉脈上に Cl 量極大地域が重るのも不合理ではない。

(e) 別府温泉が潮汐の干満によつて如何なる影響を受けるかといふ事は既に詳細に報告したところであるが、その結果は濱脇に於ける温泉 No. 1165 に於ては電導度及び Cl 量は共に潮汐の干満に相反して増減した。Cl が海鹽に由來するものならばこの現象は次の様に考へられる。もし海鹽が水溶液として、即ち地下水としてあるならば、この温泉は火山性源の温泉と循環水の混合により成立してゐる。

この原因を考へて見るに、先づ、淡鹹水境界が潮汐の干満で移動するものであるとは一寸考へ難い。又 Cl の分布から見ても現海水の浸入に基くものでない事も既に述べた。それならばこの Cl 量の變化は火山性源地下水と海鹽性源地下水の混合比が潮汐の干満によつて變化するものと考えべきではあるまいか。而してこの地域の温泉のクロールは海鹽性に基き、火山性源はあるとしても僅かであるから、潮汐の干満によつて両者が受ける影響は表に示す如き五つの場合を生じる。Cl 量が潮汐と相反變化を示すのであるから (1) (3) (5) の場合は今はあり得ない。又その源泉を異にする兩地下水と雖も局所的に接近してゐる場合に同じ潮汐の干満による作用が一方では潮汐に並行して變化し、他方では相反的に變化さす様な地下状況があらうとは考へられぬから (4) の場合も成立しないであらうと思はれる。實際の觀測値から計算しても、Cl の總湧出量 = {1分間 湧水量 × 1 立中 Cl 量} は潮汐に並行して變化してゐるからこの事が認められる。故に實在する最も大きい確率は (2) の場合であらう。即ち潮汐の干満によつて火山性源地下水よりは海鹽性源地下水の方が小さい影響を受けてゐると考へられる。尤も Cl 量の變化も最大4.8%であるから両者が受ける影響も大して異なるのではないのも當然である。

兩水系の影響の可能條件

| | 火山性源 (Cl 最小) | 海鹽性原 (Cl 最大) |
|---|--------------|--------------|
| 1 | 混合比に變化なし | |
| 2 | 影響大 | 影響小 |
| 3 | 影響小 | 影響大 |
| 4 | 影響大 | 相反變化 |
| 5 | 相反變化 | 並行變化 |

一方、泉温の變化は導管中の冷却の如何によつてのみ左右されると考へて説明したのであるが、上の如く地下水がたとへ低温で混合量に變化があつてもその混合比の變化量が極く小さいのであるから、泉温變化に與るとしても誤差範圍を越えないものと考へられる。

上に述べた温泉に就いては電導度も測定してあるが、その變化は Cl 量その他の變化に並行してゐるので前者は後者によるものであらう。他の温泉に就いては Cl 量は微量のた

温泉水中の鹽分源としての海鹽

め測定せず電導度のみを測定したが同じく相反的の變化である。別府温泉の Cl が海鹽に由來することを考へ合すれば、上掲の温泉 No. 1165 と同様な機構を考へてよいのではあるまいか。

更に龜川方面の温泉に就いても電導度の相反的變化が示されてゐるのも同様な機構と考へるならば、この地域にも海鹽源の Cl を考へられる事になる。かく考へ來れば、地層間にある海鹽水は温泉水中の化學成分の一部として重要な役割をしてゐると言へる。

第3表 日本鑛泉:偏度,残余成分率 (1)

| 鑛泉名 | 頁 | γ-μ | 偏度 | 残余成分 (%) | 鑛泉名 | 頁 | γ-μ | 偏度 | 残余成分 (%) | 鑛泉名 | 頁 | γ-μ | 偏度 | 残余成分 (%) |
|-------|-----|----------|----|----------|----------------|-----|---------|----|----------|-------|-----|---------|----|----------|
| 七時前鑛泉 | 5 | 4.7889 | 20 | 27 | 湯川温泉 | 221 | 3.9313 | 24 | 13 | 石倉温泉 | 222 | 1.5709 | 39 | 41 |
| 乙 鑛泉 | 86 | 2.1597 | 12 | 8 | 湯川温泉 | 222 | 3.9401 | 25 | 13 | 20内温泉 | 223 | 1.57104 | 30 | 16 |
| 千原田鑛泉 | 87 | 8.1666 | 16 | 5 | 湯原温泉 | 227 | 11.7678 | 28 | 10 | 若菜田温泉 | 226 | 10.1470 | 38 | 2 |
| 式根 鑛泉 | 88 | 15.1642 | 9 | 3 | 野行鑛泉 | 228 | 0.1532 | 26 | 43 | 熊野別温泉 | 226 | 6.258 | 38 | 4 |
| 福玉 鑛泉 | 154 | 4.076 | 18 | 4 | 鏡川温泉 | 4 | 8.4832 | 31 | 9 | 豊富温泉 | 227 | 6.0936 | 38 | 17 |
| 倉敷 鑛泉 | 3 | 1.7004 | 23 | 64 | 宇久温泉 | 15 | 7.7719 | 33 | 33 | 増田別温泉 | 230 | 6.7722 | 33 | 18 |
| 下蔵持鑛泉 | 32 | 3.717832 | 25 | 2 | 田舎保鑛泉 | 36 | 9.0535 | 35 | 16 | 増田別温泉 | 230 | 6.15987 | 32 | 18 |
| 湯本鑛泉 | 32 | 0.71950 | 23 | 8 | 湯原地蔵鑛泉 (未別) | 53 | 0.4517 | 30 | 50 | 三ノ子鑛泉 | 7 | 5.8094 | 44 | 39 |
| 赤湯温泉 | 36 | 15.2882 | 27 | 9 | 湯原温泉 | 54 | 0.6147 | 38 | 41 | 大塩鑛泉 | 31 | 1.8580 | 43 | 24 |
| 赤湯温泉 | 37 | 1.41828 | 26 | 12 | 福原鑛泉 | 59 | 2.5062 | 38 | 32 | 下川鑛泉 | 61 | 0.4797 | 43 | 28 |
| 赤湯温泉 | 37 | 1.46283 | 27 | 12 | 小坂鑛泉 | 60 | 4.2536 | 38 | 29 | 月岡温泉 | 38 | 1.7543 | 48 | 17 |
| 長野鑛泉 | 40 | 9.9794 | 29 | 11 | 又山鑛泉 | 85 | 2.3402 | 37 | 7 | 西野別温泉 | 60 | 5.1630 | 48 | 29 |
| 湯川温泉 | 42 | 0.4887 | 28 | 18 | 湯原温泉 | 98 | 0.9822 | 33 | 17 | 湯川鑛泉 | 62 | 8.4449 | 48 | 31 |
| 川玉鑛泉 | 90 | 1.2105 | 29 | 26 | 一宮鑛泉 | 116 | 3.2141 | 36 | 18 | 鏡川鑛泉 | 63 | 6.4313 | 44 | 30 |
| 宮ノ温泉 | 97 | 1.1226 | 27 | 21 | 増富鑛泉 | 119 | 0.88760 | 38 | 35 | 湯川鑛泉 | 63 | 11.9396 | 46 | 27 |
| 宮ノ温泉 | 97 | 1.15395 | 28 | 14 | 湯富鑛泉 | 120 | 3.31110 | 34 | 20 | 大塩鑛泉 | 87 | 1.7820 | 45 | 26 |
| 本温泉 | 103 | 0.4504 | 26 | 22 | 湯富温泉 | 120 | 3.14174 | 37 | 24 | 福島鑛泉 | 130 | 0.7103 | 43 | 37 |
| 茅新温泉 | 104 | 1.3100 | 22 | 10 | 増富鑛泉 | 121 | 4.19121 | 32 | 19 | 野原鑛泉 | 137 | 1.22742 | 42 | 44 |
| 初谷鑛泉 | 123 | 2.0847 | 24 | 30 | 湯富鑛泉 | 121 | 4.2985 | 32 | 21 | 野原鑛泉 | 138 | 1.57317 | 41 | 43 |
| 鹿塩鑛泉 | 128 | 17.7134 | 28 | 1 | 野原田温泉 | 139 | 1.1505 | 37 | 49 | 野原鑛泉 | 138 | 1.19549 | 42 | 55 |
| 白土鑛泉 | 143 | 0.08491 | 25 | 60 | 飯田鑛泉 | 165 | 3.120 | 30 | 5 | 茅原鑛泉 | 158 | 5.7001 | 48 | 3 |
| 原身鑛泉 | 159 | 5.32274 | 27 | 11 | 宇原鑛泉 | 173 | 7.667 | 35 | 89 | 下川鑛泉 | 160 | 0.7680 | 49 | 77 |
| 宮ノ鑛泉 | 169 | 6.682 | 29 | 16 | 鹿塩鑛泉 | 173 | 7.905 | 34 | 21 | 福徳鑛泉 | 160 | 5.358 | 42 | 0 |
| 湯富鑛泉 | 169 | 11.12 | 23 | 17 | 朝日鑛泉 | 191 | 71.01 | 34 | 21 | 石佛鑛泉 | 170 | 13.36 | 45 | 18 |
| 宮谷鑛泉 | 183 | 1.366 | 24 | 12 | 湯川鑛泉 | 191 | 4.2741 | 38 | 30 | 大塩鑛泉 | 175 | 1.157 | 49 | 62 |
| 福小鑛泉 | 219 | 10.187 | 25 | 64 | 湯川鑛泉 | 203 | 0.3970 | 36 | 15 | 湯原鑛泉 | 181 | 33.80 | 44 | 4 |
| 湯川温泉 | 220 | 3.52799 | 23 | 17 | 湯川鑛泉 | 204 | 1.662 | 30 | 12 | 湯原鑛泉 | 182 | 0.3985 | 48 | 74 |
| 湯川温泉 | 221 | 3.62945 | 27 | 14 | 湯小鑛泉 | 205 | 0.3754 | 32 | 46 | 大月鑛泉 | 202 | 0.8442 | 49 | 59 |

温泉水中の鹽分源としての海鹽

第3表: 日本鑛泉: 偏度, 残余成分率 (2)

| 鑛泉名 | 頁 | γ-ル | 偏度 | 残余成分率 (2) | 鑛泉名 | 頁 | γ-ル | 偏度 | 残余成分率 (2) | 鑛泉名 | 頁 | γ-ル | 偏度 | 残余成分率 (2) |
|-------|-----|---------|----|-----------|-------|-----|---------|----|-----------|-------|-----|---------|-----|-----------|
| 御子坑温泉 | 208 | 1.39078 | 41 | 21 | 伊豆山温泉 | 172 | 0.3227 | 59 | 74 | 湯原内温泉 | 96 | 0.7689 | 71 | 37 |
| 福山温泉 | 219 | 10.187 | 44 | 64 | 大室温泉 | 175 | 1.447 | 58 | 56 | 湯ノ原 | 96 | 0.8777 | 74 | 10 |
| 同釜温泉 | 229 | 1.4003 | 48 | 17 | 白蓮寺温泉 | 179 | 0.5900 | 53 | 63 | 早湯温泉 | 142 | 0.2323 | 73 | 56 |
| 秋保温泉 | 14 | 4.3403 | 50 | 10 | 唐櫃温泉 | 181 | 15.70 | 53 | 9 | 清滝温泉 | 183 | 0.6044 | 77 | 65 |
| 上登温泉 | 15 | 0.68736 | 59 | 50 | 福生温泉 | 190 | 3.053 | 53 | 25 | 宇野町温泉 | 205 | 4.507 | 75 | 5 |
| 熱塩温泉 | 29 | 19.1619 | 58 | 52 | 神保温泉 | 203 | 1.131 | 55 | 31 | 上野町温泉 | 207 | 7.9546 | 72 | 20 |
| 成島温泉 | 38 | 0.92966 | 50 | 23 | 千手温泉 | 1 | 4.1241 | 64 | 4 | 御座温泉 | 18 | 0.8440 | 89 | |
| 月岡温泉 | 39 | 1.7240 | 55 | 25 | 湯沢温泉 | 10 | 1.69184 | 61 | 4 | 湯ノ原温泉 | 95 | 0.6973 | 83 | 11 |
| 月岡温泉 | 59 | 1.7216 | 52 | 14 | 御子坑温泉 | 61 | 8.9094 | 61 | 31 | 志保町温泉 | | 0.03538 | 85 | |
| 磯辺温泉 | 62 | 5.3723 | 58 | 36 | 湯ノ原温泉 | 94 | 0.7972 | 63 | 38 | 湯治谷温泉 | 155 | 1.32261 | 85 | 7 |
| 戸室温泉 | 73 | 0.54889 | 58 | 39 | 湯原温泉 | 94 | 1.0785 | 61 | 9 | 高畑温泉 | 185 | 0.2092 | 88 | 82 |
| 月瀬温泉 | 89 | 1.38018 | 58 | 55 | 伊豆温泉 | 108 | 0.8156 | 63 | 7 | 今津温泉 | 199 | 4.652 | 84 | 5 |
| 下加茂温泉 | 102 | 6.65758 | 55 | 5 | 今津温泉 | 145 | 0.0160 | 64 | 68 | 今津温泉 | 199 | 4.7430 | 86 | 5 |
| 下加茂温泉 | 103 | 9.8200 | 54 | 1 | 和泉温泉 | 156 | 12.5961 | 63 | 0 | 今津温泉 | 200 | 4.5646 | 84 | 0 |
| 熱海温泉 | 104 | 5.7664 | 52 | 3 | 秋吉温泉 | 176 | 0.6357 | 63 | 59 | 早湯温泉 | 66 | 1.5621 | 98 | 45 |
| 熱海温泉 | 105 | 5.3966 | 55 | 9 | 湯原温泉 | 178 | 0.8500 | 64 | 59 | 湯原温泉 | 83 | 0.14650 | 98 | 57 |
| 成島温泉 | 136 | 0.42480 | 52 | 42 | 湯原温泉 | 178 | 0.5460 | 63 | 65 | 尾瀬温泉 | 155 | 0.4107 | 96 | 32 |
| 野尻温泉 | 139 | 1.4467 | 51 | 42 | 湯原温泉 | 190 | 2.7542 | 62 | 18 | 湯ノ原温泉 | 206 | 10.0857 | 94 | 1 |
| 鎮西温泉 | 140 | 2.20907 | 57 | 39 | 湯原温泉 | 198 | 1.32041 | 65 | 3 | 湯ノ原温泉 | 215 | 4.0806 | 90 | 5 |
| 湯原温泉 | 146 | 0.03698 | 50 | 79 | 湯原温泉 | 198 | 1.34209 | 66 | 3 | 湯原温泉 | 180 | 0.04391 | 101 | 51 |
| 小川温泉 | 147 | 0.40371 | 56 | 39 | 中野山温泉 | 204 | 1.993 | 63 | 46 | 大野山温泉 | 206 | 11.2970 | 104 | 25 |
| 小川温泉 | 148 | 0.37177 | 57 | 38 | 一井温泉 | 220 | 5.5057 | 63 | 23 | 御座温泉 | 134 | 0.16813 | 110 | 56 |
| 小川温泉 | 149 | 0.42131 | 54 | 38 | 御座温泉 | 231 | 1.7206 | 65 | 61 | 白土温泉 | 143 | 0.0626 | 115 | 58 |
| 小川温泉 | 149 | 0.40055 | 57 | 38 | 湯原温泉 | 11 | 1.1277 | 70 | 2 | 上野温泉 | 157 | 0.0172 | 114 | 85 |
| 小川温泉 | 150 | 0.40984 | 57 | 41 | 大野山温泉 | 35 | 3.2712 | 73 | 35 | 志野温泉 | 162 | 0.248 | 514 | 92 |
| 大沢温泉 | 154 | 1.6440 | 53 | 53 | 湯原温泉 | 59 | 0.43914 | 75 | 48 | 湯原温泉 | 175 | 0.0796 | 175 | |
| 下田温泉 | 160 | 0.1880 | 52 | 77 | 磯辺温泉 | 61 | 6.98280 | 74 | 30 | 南田温泉 | 177 | 0.1276 | 202 | 83 |
| 湯原温泉 | 163 | 0.9601 | 50 | 54 | 湯原温泉 | 95 | 0.8502 | 73 | 30 | 湯原温泉 | 186 | 0.08869 | 124 | 85 |

(f) 偏度の小さくて特例を示すのは温泉 No. 1261 であつて、之は海岸に最も遠く(2 km) 第5圖には記入出来ぬが、この温泉はもとの金鑛山から湧出する温泉である。一見異様に考へられるが、別府温泉地帯の基底地質に水成層を認められるのであるからその海鹽源も不合理ではなからうと思はれる。

(g) 地獄地帯に於ける温泉の偏度は第3表(3)に示す如く、Cl量の多いにも拘らずその偏度は大きい。この事だけでは海鹽源なる事を否定する事にはならぬが、酸性強く遊離

温泉水中の鹽分源としての海鹽

第3表 日本鑛泉：偏度、残余成分率(%)

| 鑛泉名 | 頁 | γ-ル | 偏度 | 残余成分率 (%) | 鑛泉名 | 頁 | γ-ル | 偏度 | 残余成分率 (%) | 鑛泉名 | 頁 | γ-ル | 偏度 | 残余成分率 (%) |
|--------|-----|---------|-------|-----------|---------|-------|---------|-----|-----------|----------------------|-----|----------|-----|-----------|
| 岩倉鑛泉 | 186 | 0.1041 | 51.0 | 2 | 新温泉(北沢) | 65 | 1.15393 | 28 | 14 | 伊東温泉 | 106 | 0.2758 | 148 | 7 |
| 養神鑛泉 | 202 | 0.52930 | 13.2 | 70 | 元ヶ湯 | 63 | 0.1967 | 45 | 12 | 伊東温泉 | 107 | 0.47333 | 105 | 10 |
| * 沼地敷 | | 1.3512 | 9.2 | 15 | 芦原ノ湯 | 64 | 0.6696 | 26 | 16 | 伊東温泉 | 107 | 0.2958 | 147 | 40 |
| 十ヶ池敷 | | 0.4224 | 11.2 | 18 | おんろの湯 | 65 | 1.0204 | 35 | 22 | 伊東温泉 | 108 | 0.5426 | 98 | 7 |
| 陸地敷 | | 0.6133 | 4.2 | 20 | 熱湯大湯 | 70 | 5.3053 | 43 | 7 | 伊東温泉 | 108 | 0.0156 | 63 | 7 |
| 築石地敷 | | 0.0201 | 58.0 | 46 | 修善寺温泉 | 72 | 0.3421 | 132 | 13 | 伊東温泉 | 109 | 0.2119 | 241 | 27 |
| 赤土地敷 | | 1.0970 | 63 | 11 | 元ヶ池泉 | 99 | 0.03538 | 41 | 51 | 東条温泉(山) | 160 | 5.622 | 30 | |
| 血池地敷 | | 1.4423 | 63 | 10 | 小川温泉 | 100 | 0.40055 | 57 | 38 | 安室温泉 | | 3.61 | 3.6 | |
| 乙原温泉 | | 0.0098 | 22.11 | 86 | 大野温泉 | 102 | 1.41621 | 57 | 4 | 吹城温泉 | | 2.164 | 59 | 1 |
| 中川温泉 | | 0.0058 | 34.89 | 76 | 初富温泉 | 103 | 12.3680 | 64 | 0 | 湯島温泉 | | 0.064 | 457 | 12 |
| 観音温泉 | | 0.0068 | 24.45 | 68 | おの温泉 | 105 | 1.32261 | 74 | 7 | 壺巻温泉 | | 0.321 | 86 | 4 |
| 河内温泉 | | 0.0639 | 4.25 | 70 | おんろの湯 | 106 | 5.78011 | 48 | 3 | Wunder | 202 | 4.656 | 27 | |
| 八幡地敷 | | 0.0458 | 6.93 | 42 | 大野温泉 | 114 | 7.1471 | 30 | 23 | Bad Lunau | 335 | 150.553 | 21 | 0 |
| 硫黄嶺 | | 0.0207 | 8.293 | 16 | 宇津温泉 | 116 | 7.1216 | 35 | 16 | Darhan | 337 | 15.3272 | 2.6 | 3 |
| 湯ノ平砂湯 | | 0.4494 | 33 | 36 | 宇津温泉 | 117 | 0.2440 | 44 | 79 | Kallem | 346 | 155.4786 | 28 | 0 |
| 修善寺温泉 | 2 | 2.43286 | 39 | 11 | 平野温泉 | 118 | 1.5867 | 63 | 74 | Hallett | 347 | 15.63629 | 29 | 0 |
| 湯川 | 5 | 3.409 | 37 | 18 | 竹田温泉 | 118 | 0.5054 | 23 | 3 | Bad Sehl (Kleinberg) | 348 | 2.885363 | 13 | 3 |
| 錦崎(下湯) | 18 | 1.50624 | 13.5 | 7 | 湯島(一湯) | 120 | 11.4006 | 36 | 4 | (Marie Luimguelle) | 350 | 4.2774 | 29 | 8 |
| 湯見ノ湯 | 20 | 1.5052 | 4.4 | 3 | 池ノ湯泉 | 120 | 36.7229 | 37 | 4 | (M. K. Lange) | 353 | 156.884 | 14 | 1 |
| 湯見ノ湯 | 21 | 1.5239 | 27 | 7 | 城ノ湯(西湯) | 121 | 2.8446 | 39 | 15 | (s. a. l.) | 353 | 156.3629 | 29 | 0 |
| 大野川温泉 | 23 | 3.2252 | 32 | 4 | 大野温泉 | 123 | 1.4468 | 49 | 56 | M. G. L. (Flora) | 359 | 6.7713 | 8 | 2 |
| 温泉温泉 | 30 | 0.8271 | 39 | 15 | おんろの湯 | 130 | 0.3634 | 52 | 16 | Salzberg | 367 | 10.93525 | 37 | 0 |
| 熱ノ湯 | 36 | 8.7581 | 57 | 0 | 潮(中ノ湯) | 133 | 0.4500 | 61 | 31 | | | | | |
| おんろ湯 | 37 | 0.14650 | 80 | 40 | おんろ湯 | 134 | 0.2991 | 61 | 28 | | | | | |
| 入ノ湯 | 58 | 0.9907 | 19 | 5 | 湯島(西湯) | 143 | 1.34209 | 65 | 3 | | | | | |
| 湯見ノ湯 | 59 | 0.9241 | 42 | 48 | 湯島(東湯) | 152 | 0.4109 | 55 | 50 | | | | | |
| 巴温泉 | 59 | 1.65233 | 14 | 9 | 湯島(西湯) | 152 | 0.4109 | 55 | 50 | | | | | |
| 桑畑温泉 | 60 | 5.6589 | 35 | 11 | 湯島(東湯) | 30 | 2.1162 | 22 | 9 | | | | | |
| 大野温泉 | 61 | 5.2424 | 30 | 8 | 入ノ湯 | 0.640 | 1.65 | | | | | | | |

鹽酸のあるものは火山性源と考ふべきであらうと思はれる。

3. 本邦鑛泉に於ける化水水

上述の如き方法によつて温泉水中の海鹽源を抽出し得るものならば、同方法によつて總ての鑛泉、温泉の判定を試みられるであらう。

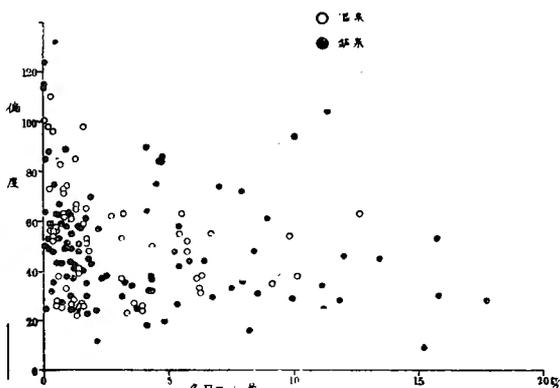
(A) 本邦に於ける温泉、鑛泉の分析は石津利作博士による The Mineral Springs of Japan に多數分析表があり、新しくは内務省衛生試験所より「日本鑛泉分析表」(昭和4年

3月)がある。前者は少しく古きを以て後者の分析表を用ひ、前者の内より之を補足することとする。

これ等の分析表を見ると、初めより海水の化學成分比に近くないと思はれるが如きものがある。即ち六成分中에서도主なるものである Cl, Na, SO₄ の量が海水の成分比と逆になるもの即ち (1) Na>Cl, (2) SO₄>Na, (3) SO₄>Cl, 又は (4) SO₄:Cl>0.55 等の如きものは初めより除外した。勿論、海鹽

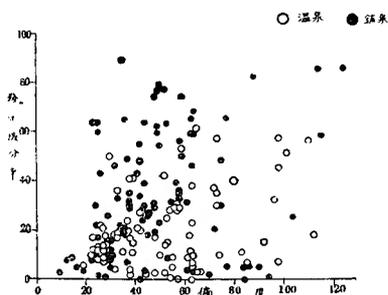
が地層にあつて化學變化を來たし沈澱、分解なども起つてゐることも考へられ。且海水成分と同じ成分が火山性源にもあるから上の四の條件によつて除外したものと雖も、海鹽性源でないと断定は出來ないが、今の方法では求められないからである。結局 245 種の鑛泉

第6圖 日本鑛泉：偏度と Cl との関係



に就いて偏度を求め、その値の小なるものの順に第3表に掲げた。それとCl量との關係は第6圖の如く兩者の關係は明瞭でない。即ち日本鑛泉の全體としては一つの法則に入らぬ。これは Cl その他の成分が海鹽源ばかりでなく火山性源のものも多くある事を示し、當然の事であらう。又これ等は比較的海水成分に遠くはないと思はれるものを選んでのであるが、かゝる結果になつたのは、この方法によれば NaCl が多量にあらば偏度が小になりいつも別府の例の如くなるかも知れぬといふ危惧もない事も確認される。

第7圖 本邦鑛泉の偏度と殘餘成分率との關係



次に六成分を除いた殘餘成分の全溶解物質に對する比

$$\text{殘餘成分率} = \frac{\text{殘餘成分量}}{\text{全溶解物質質量}} \times 100$$

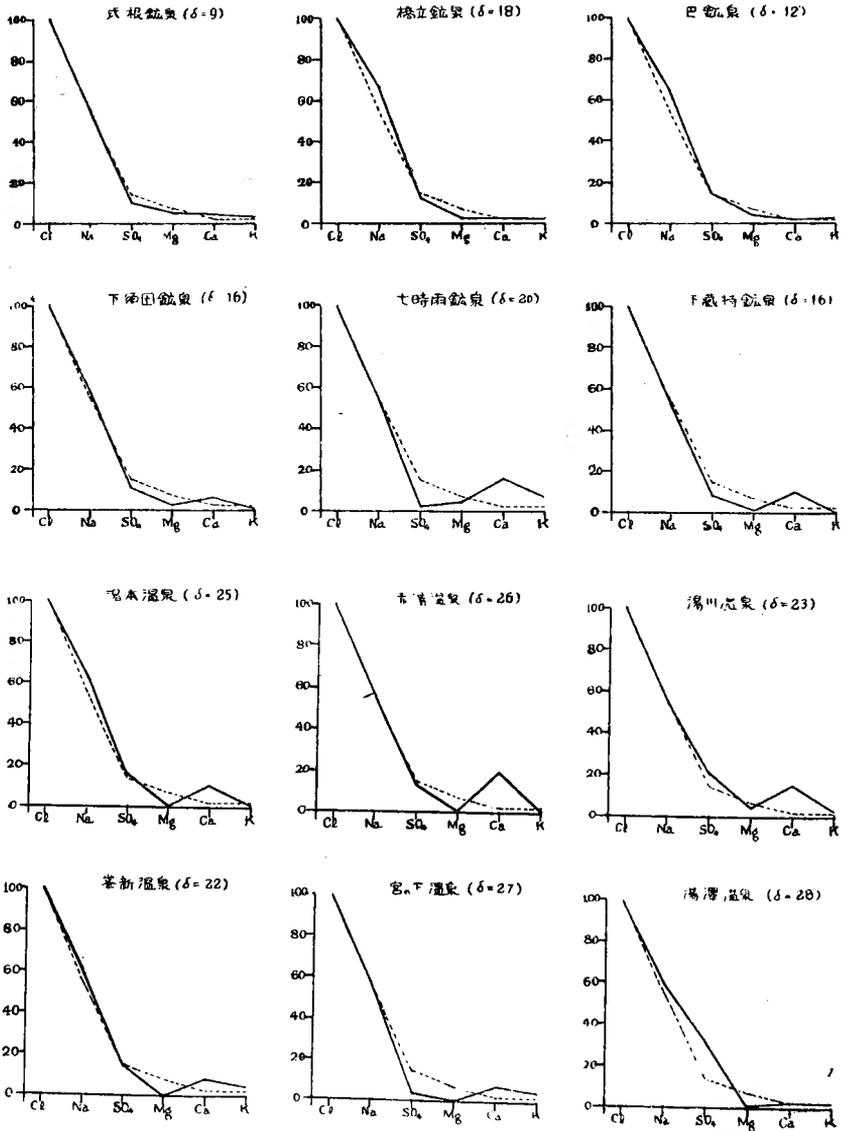
と偏度との關係を見るに第7圖の如く兩者には殆んど關係がない。唯 $\delta < 20$ の四つの鑛泉のみは明かに殘餘成分率は小さく溶解物質が殆んど海鹽性源である事を示す。その他に就いては偏度小さく

殘餘成分率の大きいものは溫泉固有の化學成分が海水成分とは殆んど異つて居て而も多量

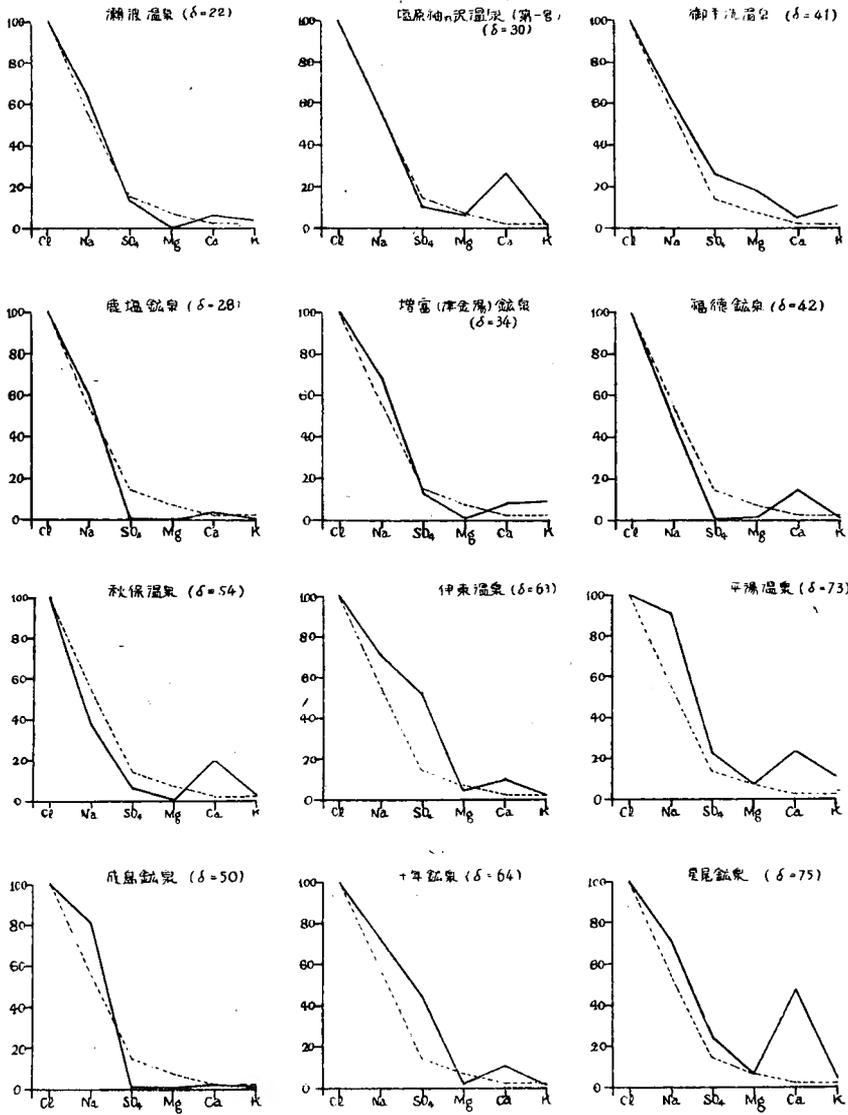
にある事を示す。若菜邊, 福德, 唐櫃, 下加茂, 和倉その他の殘餘成分率の小さいものは, たとへ偏度が多少大なりとも海鹽性源のものといへやう。偏度が相當に大きくなり殘餘成分率の小さいのは共通の化學成分を持ち, 海鹽源のものもあるかも知れぬが何とも言へぬ。

(B) 偏度の種々なるものゝ數例を第8圖に示す。別府温泉の場合と比較すると偏度は小さいが多い。その大きいものは既に初めより除外してある。小川琢治博士によつて指

第8圖 本邦鑛泉と海水との成分比の比較



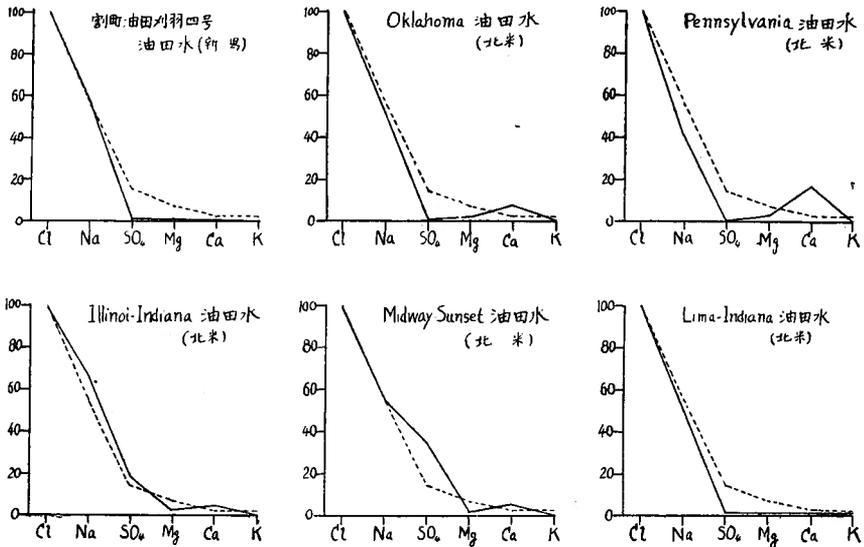
温泉水中の鹽分源としての海鹽



摘された瀬波温泉は偏度=22, 殘餘成分率=9%, 鹿鹽温泉は偏度=28, 殘餘成分率=1%
 でいづれも殆んど海鹽源なることを思はしめる。後者の場合は SO₄, Mg が過少である。
 この方法では Cl, Na が NaCl として多量に存在するとき或は他の成分が全然なくとも
 NaCl さへあれば偏度=25となり, 海鹽性源と見なされることになるが, 左様な結論は誤
 りではなからうと思ふ。即ち NaCl のみ多いものは海鹽源と見て大なる誤にはならぬであ
 らう。この事は後に油田水に就いて確められる。尙, 入之波温泉はその分析表を同泉所屬

の川波村より送付を受けて檢したるに偏度=165 となり小川博士の疑を解くことが出来なかつた。

第 9 圖

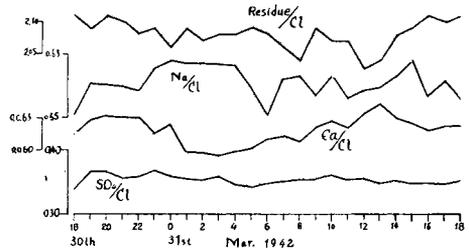


(C) 第3表の内、偏度の小なる式根、橋立、下藏持、辰ヶ鼻、鬼鹿諸鑛泉の如く島乃至海岸に近く存在するものは海水の直接混入があるのではないかと疑はれる。然し瀨波温泉の如きは海岸ではあるが往古海鹽である事が地質學的に明かにされてゐるから一概に判定する事も出来ぬ。ボーリングによつて明かにせられたる地質についても考慮しなければなるまい。然し、海濱の鑛泉で水頭低くポンプで汲揚げる如き場合は海水の混入は可能となる。これは温泉についても言へる。之に反して、赤湯、湯澤の諸温泉、又は長野、初谷諸鑛泉の如きは山中にあつて往古海鹽であることは確かであらう。

(D) 福富孝治氏の研究によれば伊豆伊東温泉は海濱にあつて潮汐は湧出量に影響するが Cl 量には變化はない。⁽¹⁶⁾ 又谷津温泉も同様に Cl 量に變化がない事が報告されてゐる。然し一方黒田和夫氏によると伊東温泉の化學成分が潮汐によつて影響される事の著しいものゝある事が報告されてゐる。⁽¹⁸⁾ これは同一温泉地域でも著しく状況の異なるためであらう。その變化狀況が別府温泉に於けると同じく潮汐乃至湧出量に相反的に變化してゐることに興味深いものがある。特に伊東温泉21號の温泉については Cl, Na, SO₄, Ca の各成分が求められてゐる。海水の六成分中尙 Mg, K が不明であるが分析されたものみの偏度 $\delta' = 31$

で残りの Mg, K の偏差度は不明であるが、温泉中には元來 Mg, K は少いものであるから既知のもののみから推定すれば偏度はむしろ小さいといふ方であらう。上の二つのことから“21號”のこれら成分も海鹽から來てゐる分が多いのではないかと想像される。従つて成分變化の機構は黒田氏の温泉の成分が温泉本源にあるといふ解釋と反對に別府温泉の場合と全く同一で循環水中に成分があると解釋したいのである。然し成分の悉くが海鹽であるかといふ事に就いて尙考へなければならぬ事がある。各成分はすべて潮汐乃至湧出量と相反的に變化をしてゐるがそれは第一次的のもので、更に細かく第2次的變化に見れば各成分が同一の比を以て變化をしてゐないのである。今試みに Cl を標準にして（どれを標準にしても一般性を失はぬが）残りの三成分の各對應時刻の Cl に對する比を求めて第10圖に示す。明かに各成分が獨自の變化をしてゐる。SO₄/Cl の比の變化が尙潮汐と相反性を示す外、週期的な變化ではない。その變化は Na/Cl, Ca/Cl の如きは振幅 25%にも及び明かに實驗誤差ではない。この變化から考へれば化學成分の變化は海鹽によるものばかりではなく火山性源のものにもよ

第10圖 伊東温泉21.化學成分比の潮汐による影響 (黒田和夫氏の資料による)



るものもあるかも知れぬ。而も海鹽性源火山性源も唯一つに止らず恐らく多くの温泉水系の混合により各水系が潮汐の影響を複雑に受けてゐるものと考へなければならぬと思ふ。

更に福富氏の研究によれば該温泉地域は地中ある深さに於ては低温を示してゐる事は別府の場合と同じく海水の侵入とも考へられる。

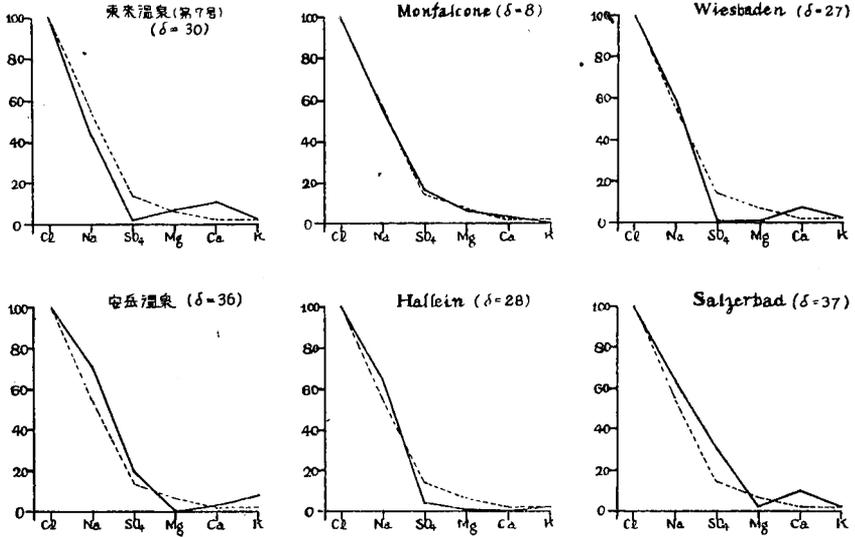
第4表 油田水の偏度

| 油田名 | Cl | 偏度 | 殘餘成分率 |
|----------------------|--------|-----|-------|
| 割町油田刈羽4 (新 潟) | 8.2221 | 27 | 1 |
| オハ油田綱式64 (北樺太) | 0.4883 | 308 | 52 |
| Lima-Indiana (北 米) | 42.120 | 28 | 2 |
| Oklahoma (ク) | 93.706 | 27 | 0 |
| Pennsylvania (ク) | 77.340 | 47 | 0 |
| Illinois-Indiana (ク) | 15.742 | 24 | 2 |
| Salt-Creek 東 (ク) | 2.670 | 135 | 45 |
| Midway-Sunset (ク) | 20.421 | 24 | 1 |
| Salt-Creek 西 (ク) | 0.153 | 716 | 68 |

以上を要するに温泉の化學成分の潮汐による相反性の變化は案外に一般性を持ち、それが主として海鹽源に基づくものと想像される。

(E) 第3表中に於てR字のあるものは放射性物質の多いものである。放射能作の多い鑛泉の由來は今村學郎氏によつて指摘された

第 11 圖



⁽²⁰⁾ 如く深い泉源を有してゐるが、その化学成分は浅い地層に於て附與されるものもあることになる。かゝる鑛泉は地表に湧出するまでに各々性質が附與されて行く過程が推定出来る。

(F) 滿洲國に於ても温泉は相當の數に上るが手元にある分析表は昭和17年秋視察に際して得た二三に過ぎぬ。偏度、殘餘成分率を共に第3表に附記した。いづれも偏度大きく、殘餘成分率は小さい。たゞ興城温泉は現在海濱にあり、滿洲國唯一の食鹽泉であり、且偏度は比較的小さく殘餘成分率は特に小さい。故に該温泉成分は海鹽性源のものである可能性が多いと思ふ。

(G) 中國に於ける温泉は分析されたるものは僅かであるらしい。陳炎水著中國温泉考所載の分析表には殆んど Cl がないのでこの方法では解けぬ。

(H) 歐米諸外國の化學成分についても若干の例を第3表末と第11圖に示す。

(I) 若干の油田水を同様な方法で海水と比較すると第4表第9圖の如くなる。割町油田水や Lima-Indiana 油田水は殆んど NaCl のみが残つてゐる。Oklahoma 油田水の如きは Cl 量多く殘餘成分率=0であるが偏度=27である。この事實は往古の海水成分の現在のものとの相違もあるかも知れぬが、化學變化を生じた事も暗示す。これらの例を見ると海鹽源の判定は偏度=30以内では疑ひなく $\delta=50$ 迄も考へてよいのではないかと思ふ。

4. 要 約

以上述べ來つた事を要約すれば

- 1) 別府温泉の化學成分中海水の化學成分に對應するものに就いて比較すると、Cl 量の多いものほど海水成分比に近い。
- 2) 同温泉の Cl 成分は海鹽性源である。
- 3) 別府地獄地帯の Cl 成分は火山性源であるらしい。
- 4) 本邦鑛泉中にもその Cl 成分が海鹽より供給されてゐるものがありそれは海濱近いとは限らぬ。鑛泉中には火山性源に關係ないと考へられるものがある。
- 5) 伊豆伊東温泉の化學成分が潮汐と相反變化をするのは全く別府の場合と同様で、主に海鹽によるものであつて更に複雑である。

終りに本研究は文部省科學研究費によつたもので、其の使用を許され且つ終始指導を賜たる野滿隆治博士に感謝の意を表する。

参 考 文 獻

- (1) 小川琢治「温泉に就いて」地球第2巻第1號1頁
- (2) 木村健二郎「温泉の化學」日本温泉大鑑(昭和16年版)17頁
- (3) 山下逸二郎, 木戸隆, 丸田頼三「別府市内温泉のクロール量分布」地球物理第1巻89頁
山下逸二郎「温泉及地下水の成分に關する研究」別府市温泉に關する知見(第二報)「藥學雜誌」第57巻62頁
山下馨「化學成分其他諸因子より見たる別府地下温水の流界」地球物理第2巻343頁
- (4) 野滿隆治, 山下馨「別府舊市内の地中温度分布と温泉脈」地球物理第2巻233頁
- (5) 野滿隆治「海洋學」82頁
- (6) 木戸隆, 丸田頼三「別府市内温泉分析表」地球物理第1巻73頁
- (7) 既出(3)
- (8) 同(3)
- (9) 同(4)
- (10) 瀨野錦藏「別府市街地の温泉水頭分布」地球物理第2巻280頁
- (11) T. Nomitsu, Y. Toyohara, & R. Kamimoto; On the Contact Surface of Fresh and Salt-water under the Ground near a Sandy Sea-shore, Mem. of Coll. Sci. K. I. U. Series A Vol. X. No. 7 (1927) p. 279.
- (12) 野滿, 瀨野, 中目「別府温泉と潮汐, 附氣壓效果」地球物理第2巻1頁
- (13) 瀨野, 西田「別府温泉二三の湧出口導管中に於ける温度分布と途中冷却率」地球物理第2巻32頁
- (14) 瀨野錦藏「別府附近温泉若干の電導度年變化に就いて」地球物理第2巻359頁
- (15) 鈴木政達「別府附近の地史と温泉脈」地球物理第1巻6頁
- (16) 福富孝治「伊豆伊東温泉に就いて(第3報)潮汐の影響」地震第12巻404頁
- (17) 福富孝治「南伊豆谷津温泉に就いて」地震第8巻457頁
- (18) Kazuo Kuroda: Die Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Thermalquellen unter den Einfluss der Gezeiten, Bull. of the chem. Soc. of Japan. Vol. 17 Nos. 8 & 10.
- (19) 福富孝治「伊豆伊東温泉に就いて」地震第12巻394頁
- (20) 今村學郎「深い鑛泉の地球化學的研究(第一報)」服部報公會研究報告第9輯443頁
- (21) 滿洲國國務院大陸科學院地質調査所, 滿洲温泉號(1939)地質調査所報告95號
- (22) 大村一藏「石油地質學通論」