

昭和52年 6 月

原 著

温泉の地球化学的研究 第14報 南熱海温泉の化学成分について

中央研究研究所*

田 中 昭, 甘露寺泰雄

(昭和51年 6 月 4 日受理)

Geochemical Studies on Mineral Springs. 14. Chemical Components of Minami-atami Spa.

Akira TANAKA and Yasuo KANROJI

Hot Spring Research Center

Abstract

Minami-atami (Ajiro) spa is situated on the eastern coast of Izu peninsula, Shizuoka Pref. Examinations were made on the issuing state and chemical components of the thermal waters in this spa.

(1) These thermal waters are classified into the following four groups mainly by the millival (mval) % of the cation present:

Group A : $Na^+ > 20 \text{ mval}\% > Ca^{2+}$ or Mg^{2+} (mval% of Cl^- : 89.0~91.9)

Group B : $Na^+ > Ca^{2+}$ or $Mg^{2+} > 20 \text{ mval}\%$ (mval% of Cl^- : 89.7~95.5)

Group C : Ca^{2+} or $Mg^{2+} > Na^+ > 20 \text{ mval}\%$ (mval% of Cl^- : 83.2~96.8)

Group D : evaporated residue < 1 g/kg

(2) It is inferred that the thermal water in this spa is a mixture of thermal water of high temperature and of high salinity, sea water of low temperature and high salinity, and deep underground water of intermediate temperature and of low salinity.

(3) The thermal water of these four groups seem to consist of the following mixtures, except Group D:

Group A : Mixture of thermal water and sea water

Group B : Mixture of thermal water, sea water, and underground water

Group C : Mixture of thermal water and underground water

Group D : Deep underground water

1. ま え が き

伊豆半島の東海岸には伊東温泉や熱海温泉があり、我が国における代表的な温泉分布帯の一つ

*東京都豊島区高田 3—42—10

であり、これまで多数の地球化学的研究が報告されている。しかしながら、南熱海温泉についての報告は少なく、静岡県衛生研究所¹⁾や静岡県衛生部²⁾その他1, 2³⁾を数えるのみである。

南熱海温泉は熱海市の上多賀、網代と熱海の南に続く網代湾に臨んだところに位置し、源泉は主として和田木、網代西地区に分布しており、一般には網代温泉と称されている。

著者等は、昭和49年から50年にかけて、南熱海温泉について湧出状況及び化学成分の調査⁴⁾を行なった。今回はこれらの結果をもとに化学組成について解析を行ない、海水や深層地下水との関係を種々考察したのでここに報告する。

2. 源泉の状況および化学分析法

南熱海温泉は昭和49年現在源泉総数およそ40ヶに達しているが、その中5源泉は上多賀の熱海以上に、1源泉は中野にあり、その他の34源泉が和田木、網代に集まっている。源泉はすべて掘さく泉であってその深度は350~1000mである。

全源泉のうち17源泉は未利用又は休止井であり、現在23源泉が利用に供されている。

泉温は31~82.5℃の範囲にあり、揚湯量は30~400l/m、総揚湯量は2,056l/m、揚湯方法はすべてエアリフト法である。

昭和49年に18源泉の採取を行ない化学分析を行なった。その結果と昭和47年以降の分析資料(4ヶ所)を加えて22源泉について検討を行なった。

温泉水の化学分析法は次の通りである。

pH : ガラス電極法

K⁺, Na⁺ : 炎光分析法

Ca²⁺, Mg²⁺ : EDTAによるキレート滴定法

Cl⁻ : AgNO₃による滴定法(モール法)

SO₄²⁻ : BaSO₄による重量法

HCO₃⁻ : HCl消費量(MOアルカリ度)をHCO₃⁻として表示

なお分析結果を表1に示す。

3. 泉 温 分 布

泉温は前述のように31~82.5℃の範囲であるが、No.38とNo.39は位置が遠く離れているため残りの20源泉について検討する。

泉温分布を第1図に示す。東端のNo.32が最も高温でこれを中心に西北西へ向って急に、西南西方向に向って緩かな傾斜で泉温が低下する。一方水神川河口付近にNo.1, 4, 7, 9, 11, 12の一群がNo.32を中心とする最高温帯に次ぐ高温帯をつくっている。いいかえれば、No.13, 19さらにNo.8, 10, 15を中心とした低温帯が南熱海温泉の高温帯を2分しているともいえる。なおこれらの低温帯と、No.27の低温帯とは一連ではない。No.27は昭和49年2月には76℃の泉温を示していたので、今回の低温は恐らく抗井の故障による一時的な低温であろう。

4. 泉 質

a 化学成分

蒸発残渣は、内陸部にあるNo.33, 35, 37の3源泉が1g/kg以下であるが、残りの主として海岸

表1 南熱海温泉主要化学成分

含塩：含塩化土類，食：食塩泉，弱食：弱食塩泉，強食：強食塩泉，単：単純温泉。

No.	温泉名	温度 (°C)	pH	蒸発 残渣 (g/kg)	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	泉質
					mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	
					mval%	mval%	mval%	mval%	mval%	mval%	mval%	
1	網代観光 ホテル	65	7.3	12.8	26.70 0.45	1711 48.64	1483 48.39	46.87 2.52	5230 94.10	423.8 5.63	25.59 0.27	含塩 -弱食
4	青山光雄 外	67	6.6	18.2	49.32 0.42	2794 40.82	3452 57.90	31.25 0.86	10170 96.50	482.3 3.38	20.94 0.12	含塩 -食
7	山田広次	57.5	7.4	5.45	18.77 0.56	728.0 36.84	923.7 53.63	93.74 8.94	2698 91.69	303.7 7.62	34.90 0.69	含塩 -弱食
8	網代観光 ホテル	54	7.05	27.9	231.4 1.31	6986 67.15	2024 22.33	506.7 9.21	15420 91.86	1760 7.74	114.0 0.40	含塩 -強食
9	駒嶺ふで	62	6.2	15.5	39.96 0.42	2361 42.12	2679 54.83	78.12 2.63	8260 95.52	500.4 4.27	31.02 0.21	含塩 -食
10	第1和田 木場	51	6.6	10.3	22.56 0.47	1392 48.78	1196 48.09	40.18 2.66	4206 92.96	388.5 6.34	54.29 0.70	含塩 -弱食
11	小山いと	49	6.68	14.5	53.52 0.64	3034 61.29	1369 31.75	165.2 6.32	7022 92.09	760.5 7.36	72.13 0.55	含塩 -食
12	第2和田 木場	57	6.7	10.6	19.69 0.30	1644 42.63	1914 56.96	2.232 0.11	5562 95.33	437.8 5.48	19.39 0.19	含塩 -弱食
13	土屋平彦	45	7.4	17.5	138.0 1.44	4111 73.05	644.0 13.13	368.3 12.38	7714 89.03	1142 9.73	184.6 1.24	食
15	第3和田 木場	50.5	7.2	27.4	46.02 0.50	3159 58.70	1590 33.90	196.4 6.90	7479 89.69	1104 9.77	77.55 0.54	含塩 -食
16	南熱海 開発(株)	68	7.1	20.0	36.08 0.30	3422 48.33	2929 47.49	145.1 3.88	10610 94.87	743.2 4.91	42.66 0.22	含塩 -食
17	(株)静洋閣	56.5	7.7	28.5	239.6 1.39	6814 67.24	1715 19.42	640.6 11.95	13640 91.89	1513 7.52	151.2 1.59	強食
18	第4和田 木場	45.5	7.1	1.36	4440 0.56	181.3 38.84	206.1 50.65	24.55 9.95	629.6 83.21	141.6 13.81	38.78 2.98	弱食
19	グリーン ヒル協会	48	6.9	6.33	20.63 0.54	855.5 38.04	1156 58.98	29.02 2.44	3079 88.96	483.9 10.32	42.66 0.72	含塩 -弱食
27	網代温泉(株)	38	7.0	33.5	324.9 1.62	9482 80.29	754.4 7.33	671.8 10.76	17260 90.83	2249 8.74	139.6 0.43	強食
31	日本殖産 観光(株)	66	7.0	16.1	49.16 0.51	2562 45.46	2539 51.71	69.19 2.32	8413 96.61	372.8 3.16	34.90 0.23	含塩 -食
32	伊豆温泉 給(株)	82.5	7.2	21.3	43.52 0.35	2262 31.22	4239 67.15	49.10 1.28	11110 96.76	491.3 3.16	15.51 0.08	含塩 -食
33	松風苑	45	9.0	0.13	微量	44.00 88.07	3.749 8.62	0.874 3.31	17.99 21.43	22.22 19.54	85.31 59.03	単
35	新熱海開発(株)	43	8.39	0.48	3600 1.65	43.00 33.49	69.96 62.51	1.595 2.35	10.59 5.21	228.8 83.09	40.94 11.70	単
37	"	34.5	8.0	0.33	1.600 1.26	41.00 55.09	26.29 40.53	1.227 3.12	11.34 8.69	111.1 62.88	63.84 28.43	単
38	大和不動産(株)	33.2	8.0	35.2	307.9 1.40	9724 75.17	772.1 6.85	1134 16.58	18546 90.82	2464 8.91	94.60 0.27	強食
39	"	31	7.8	35.5	263.6 1.20	9764 75.28	790.9 7.00	1133 16.52	18786 90.38	2643 9.38	83.48 0.23	強食

側にある源泉は1.36~35.5 g/kg以上で非常に高い濃度を示す。pHは6.2~9.0の範囲である。陽イオンとして Na^+ (48~88mval%)を主成分とするもの13源泉, Ca^{2+} (51~67mval%)を主成分とするもの9源泉であり, 陰イオンとしては Cl^- (83~96mval%)を主成分とするもの19源泉, SO_4^{2-} (63~83mval%)を主成分とするもの2源泉, HCO_3^- (59mval%)を主成分とするもの1源泉である。これらの化学成分を表1に示す。

b 各成分の平面分布

昭和49年の18源泉の測定値を用いた温泉水の比電導度分布を図2に示す。No.38, 39の2源泉は、北方に著しく離れているため図外となる(この2源泉が図外となるのは以下の考察でも同様である)。No.8, 27が $50 \times 10^3 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以上の高い値を示し、これを離れると比電導度は小さくなる。そしてNo.10が局所的な低値を示し、No.7, 19も $20 \times 10^3 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下と低い。したがって、No.8からNo.19にかけて急な比電導度の低下を示す。

pHの分布を図3に示す。水神川河口のNo.9の6.2を中心に弱酸性の源泉があり、その南東にはNo.17の7.7を中心とした弱アルカリ性の一群があり、さらに内陸部の山側は中性となる。他の方向の山側へはアルカリ性になるようで、最も離れたNo.33では9.0となる。

Cl^- 濃度分布を図4に示す。No.8の15.4g/kgを最高とし、10g/kg以上の高濃度帯が、水神川の北東海岸付近にあり、これを離れるにつれて低濃度となり、No.33, 35, 37では20mg/kg以下と非常に薄くなる。いいかえれば、大きくみて海岸側で Cl^- 濃度が高く内陸側で低濃度となる。

SO_4^{2-} 濃度分布を図5に示す。 Cl^- 分布と非常に似ているため記述は省略する。

HCO_3^- 濃度分布を図6に示す。これも Cl^- , SO_4^{2-} 分布とよく似ているが、特に局所的な低濃度の源泉があって異った様相を呈している部分もある。また Cl^- , SO_4^{2-} において低濃度を示すNo.33, 35, 37各源泉では HCO_3^- が高濃度化する傾向もみられる。

陽イオンでは、蒸発残渣の多い源泉で Ca^{2+} の含量、mval%共に高い点の特徴で、最高温を示すNo.32は Ca^{2+} 含量4239 g/kg, mval%も67.15%に達する。その他No.4, 7, 9, 12, 18, 19, 31, 32, 35などは $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$ 型であり、No.1, 10, 16, 37なども Ca^{2+} のmval%が Na^+ に近い $\text{Na} > \text{Ca}^{2+}$ 型である。

泉質を鉱泉中分析法指針⁵⁾に従って分類すると食塩泉と単純温泉に大別される*。食塩泉はまた強食塩泉, 含塩化土類強食塩泉, 含塩化土類弱食塩泉, 弱食塩泉, 含塩化土類弱食塩泉に細分される。泉質の分布を図7に示す。食塩泉は海岸側に、単純温泉は内陸部に分布する。

以上述べた各成分の分布は Cl^- 分布で代表されるように、No.4より東側では海岸線に沿う高濃度帯があり、No.4より西側では西に離れるにつれて低濃度化してゆく。

c 各成分間の相関

各成分の相関々係を図8に示す。これから、蒸発残渣- Na^+ および Cl^- はほぼ直線関係を示す。蒸発残渣- Ca^{2+} , HCO_3^- および泉温は、蒸発残渣が0~20g/kgの間は正の相関、20g/kg以上では逆相関となる。

もう少し詳しく検討するために、22源泉を4グループに分類した。即ち、Aグループは蒸発残渣が1g/kg以上で $\text{Na}^+ > 20\text{mval}\% > \text{Ca}^{2+}$, Mg^{2+} , Bグループは蒸発残渣が1g/kg以上で $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+}$, $\text{Mg}^{2+} > 20\text{mval}\%$, Cグループは蒸発残渣が1g/kg以上で Ca^{2+} , $\text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > 20\text{mval}\%$, Dグループは蒸発残渣が1g/kg未満の源泉である。各グループ別に成分間の相関をまとめると表2のようになる。

*この分類では、蒸発残渣1g/kg以上で $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$ 型の温泉も塩化土類泉としないで食塩泉として分類した。

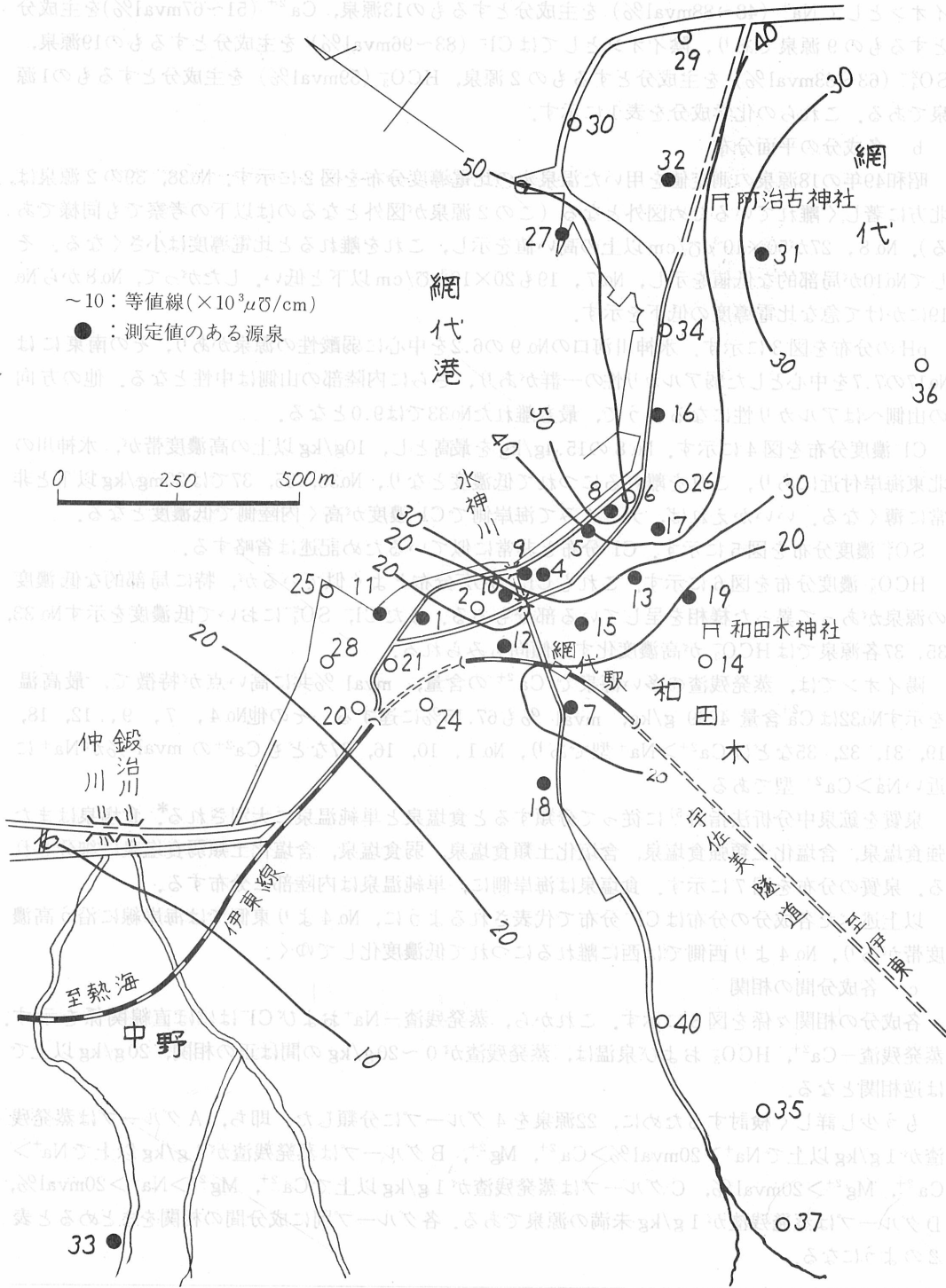


図2 南熱海温泉比電導度分布

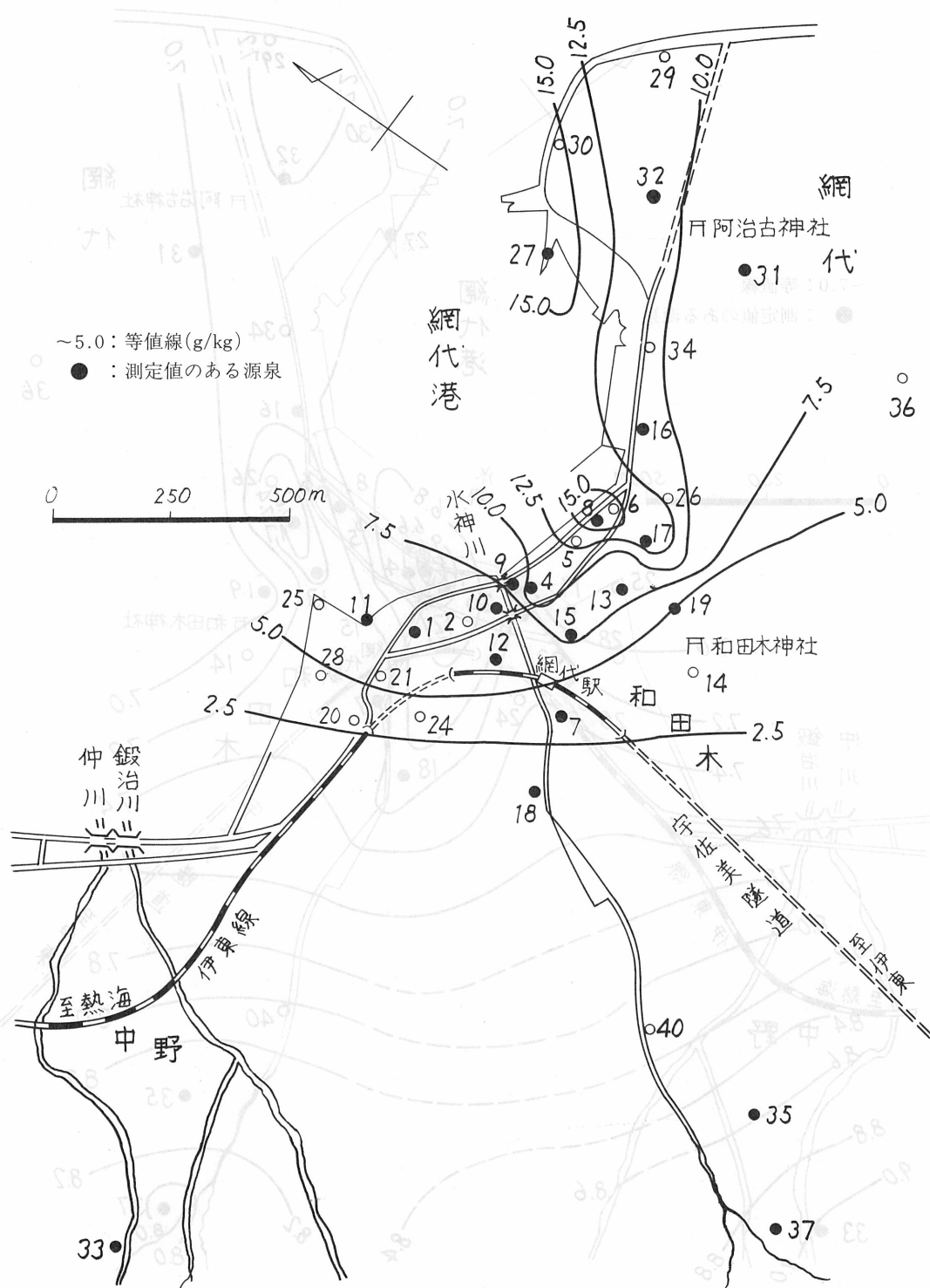
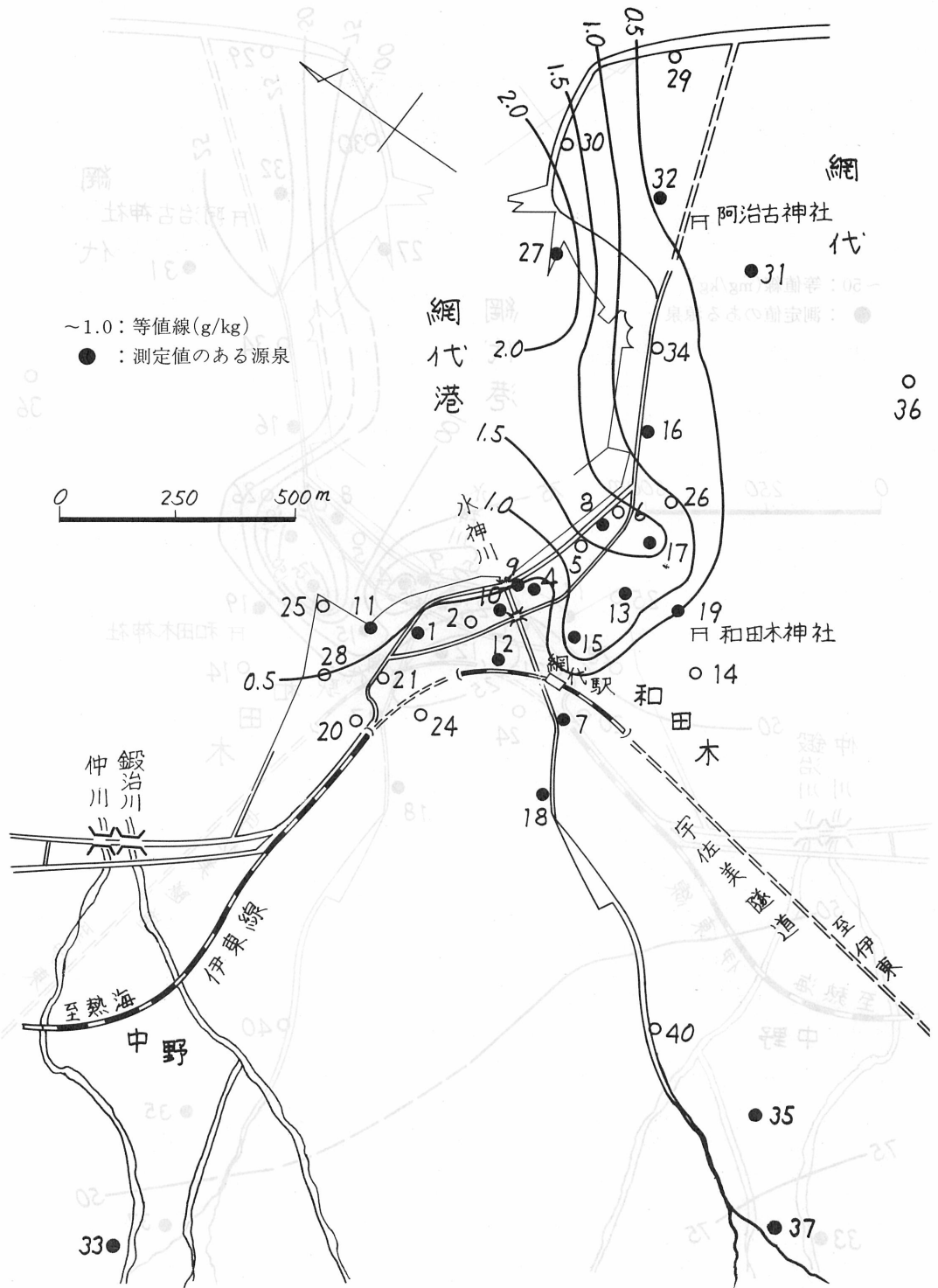


図4 南熱海温泉塩素イオン濃度分布



市図5 南熱海温泉硫酸イオン濃度分布

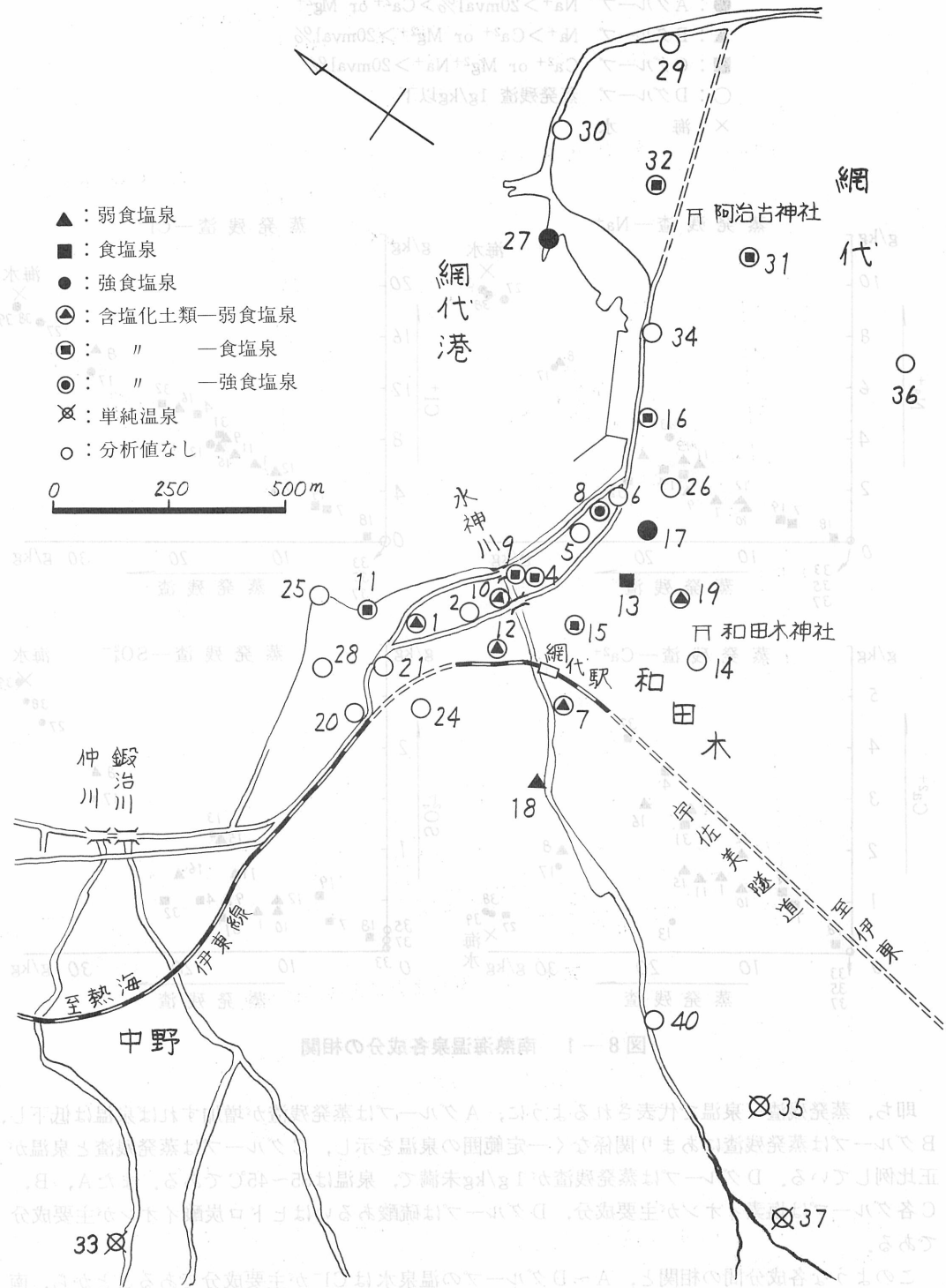


図7 南熱海温泉泉質分布

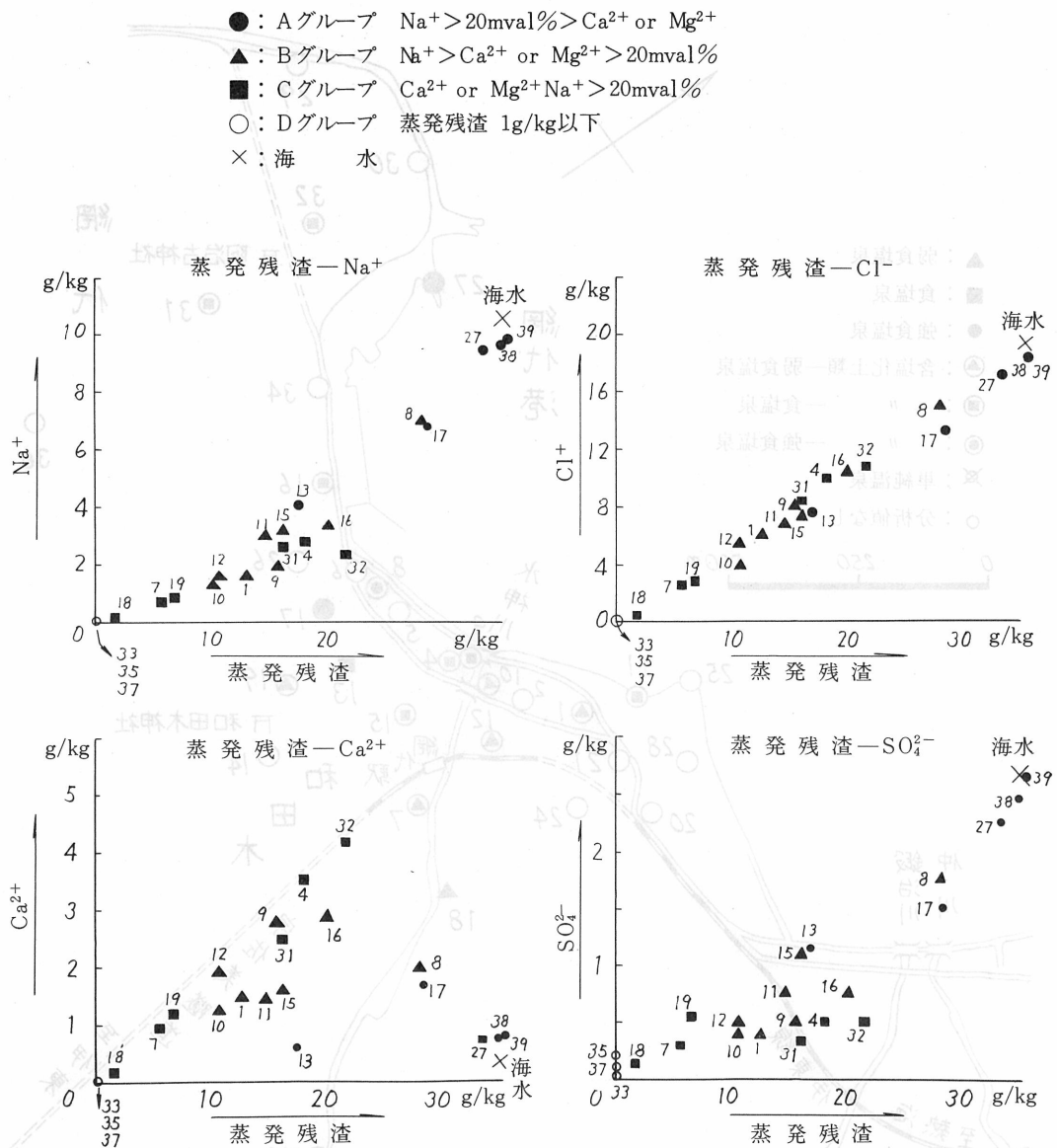


図8—1 南熱海温泉各成分の相関

即ち、蒸発残渣—泉温で代表されるように、Aグループは蒸発残渣が増加すれば泉温は低下し、Bグループは蒸発残渣にあまり関係なく一定範囲の泉温を示し、Cグループは蒸発残渣と泉温が正比例している。Dグループは蒸発残渣が1g/kg未満で、泉温は35~45℃である。またA、B、C各グループは塩素イオンが主要成分、Dグループは硫酸あるいはヒドロ炭酸イオンが主要成分である。

このような各成分間の相関と、A~Dグループの温泉水は Cl^- が主要成分であることから、南熱海温泉は、(1) 高温・高濃度の温泉水、(2) 低温・高濃度の海水、(3) 中温・低濃度の深層地下水の3水系の混合によって形成されていると考えられる。即ち、Aグループは温泉水と海水と

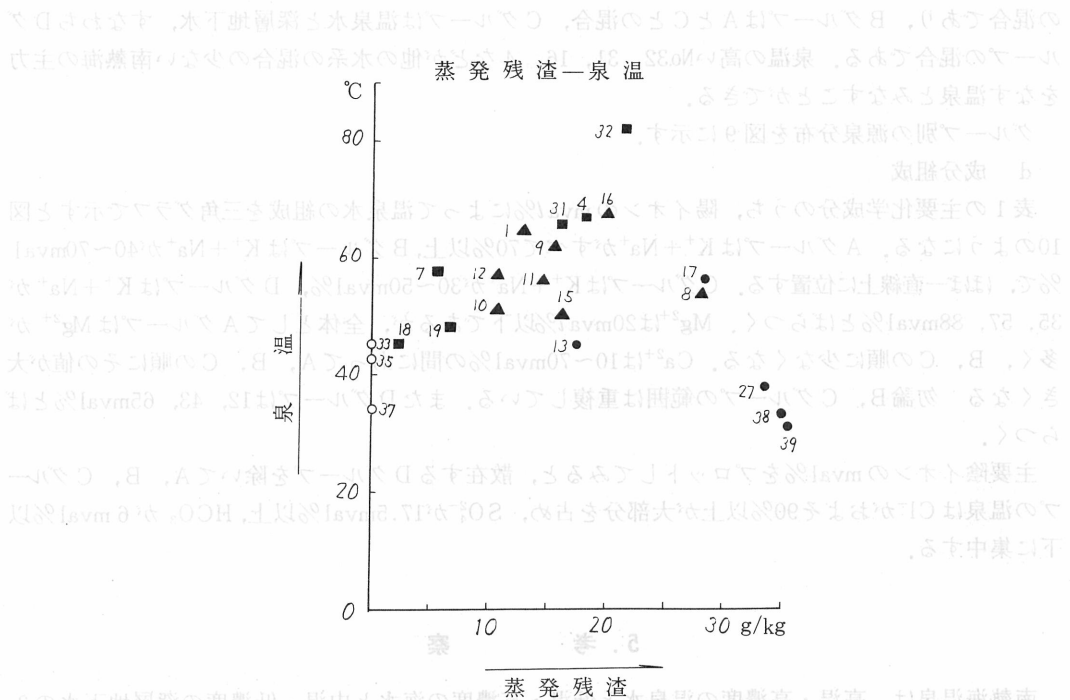
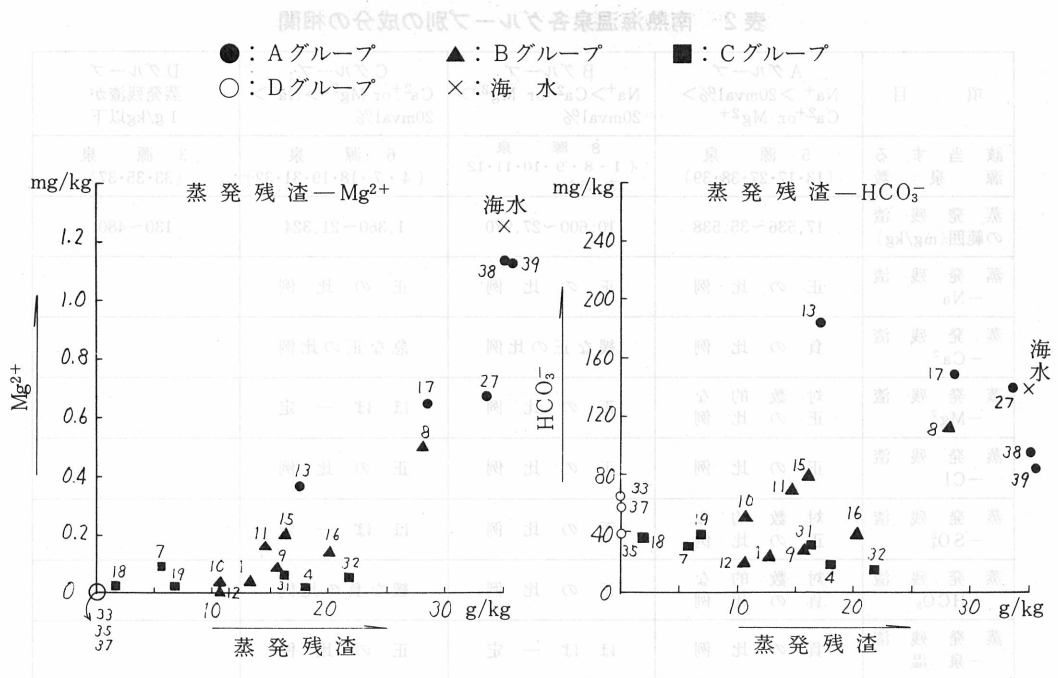


図8—2 南熱海温泉各成分の相関

表2 南熱海温泉各グループ別の成分の相関

項目	Aグループ Na ⁺ > 20mval% > Ca ²⁺ or Mg ²⁺	Bグループ Na ⁺ > Ca ²⁺ or Mg ²⁺ > 20mval%	Cグループ Ca ²⁺ or Mg ²⁺ > Na ⁺ > 20mval%	Dグループ 蒸発残渣が 1 g/kg以下
該当する 源泉数	5 源泉 (13・17・27・38・39)	8 源泉 (1・8・9・10・11・12 15・16)	6 源泉 (4・7・18・19・31・32)	3 源泉 (33・35・37)
蒸発残渣 の範囲(mg/kg)	17,536~35,538	10,600~27,970	1,360~21,324	130~480
蒸発残渣 -Na	正の比例	正の比例	正の比例	
蒸発残渣 -Ca ²⁺	負の比例	緩な正の比例	急な正の比例	
蒸発残渣 -Mg ²⁺	対数的な 正の比例	正の比例	ほぼ一定	
蒸発残渣 -Cl	正の比例	正の比例	正の比例	
蒸発残渣 -SO ₄ ²⁻	対数的な 正の比例	正の比例	ほぼ一定	
蒸発残渣 -HCO ₃	対数的な 負の比例	正の比例	緩な負の比例	
蒸発残渣 -泉温	負の比例	ほぼ一定	正の比例	

の混合であり、BグループはAとCとの混合、Cグループは温泉水と深層地下水、すなわちDグループの混合である。泉温の高いNo.32, 31, 16, 4などが他の水系の混合の少ない南熱海の主力をなす温泉とみなすことができる。

グループ別の源泉分布を図9に示す。

d 成分組成

表1の主要化学成分のうち、陽イオンのmval%によって温泉水の組成を三角グラフで示すと図10ようになる。AグループはK⁺+Na⁺がすべて70%以上、BグループはK⁺+Na⁺が40~70mval%で、ほぼ一直線上に位置する。CグループはK⁺+Na⁺が30~50mval%、DグループはK⁺+Na⁺が35, 57, 88mval%とばらつく。Mg²⁺は20mval%以下であるが、全体としてAグループはMg²⁺が多く、B, Cの順に少なくなる。Ca²⁺は10~70mval%の間であってA, B, Cの順にその値が大きくなる。勿論B, Cグループの範囲は重複している。またDグループは12, 43, 65mval%とばらつく。

主要陰イオンのmval%をプロットしてみると、散在するDグループを除いてA, B, Cグループの温泉はCl⁻がおよそ90%以上が大部分を占め、SO₄²⁻が17.5mval%以上、HCO₃⁻が6 mval%以下に集中する。

5. 考 察

南熱海温泉は、高温・高濃度の温泉水と低温・高濃度の海水と中温・低濃度の深層地下水の3水系の混合によって形成されている。

Aグループは温泉水と海水の混合であり、Bグループは温泉水と海水と地下水の混合であり、Cグループは温泉水と地下水の混合である。Dグループは深層地下水である。

分布の上からはA~Cグループが海岸側、Dグループは海岸から離れた内陸域、かつ700~1000

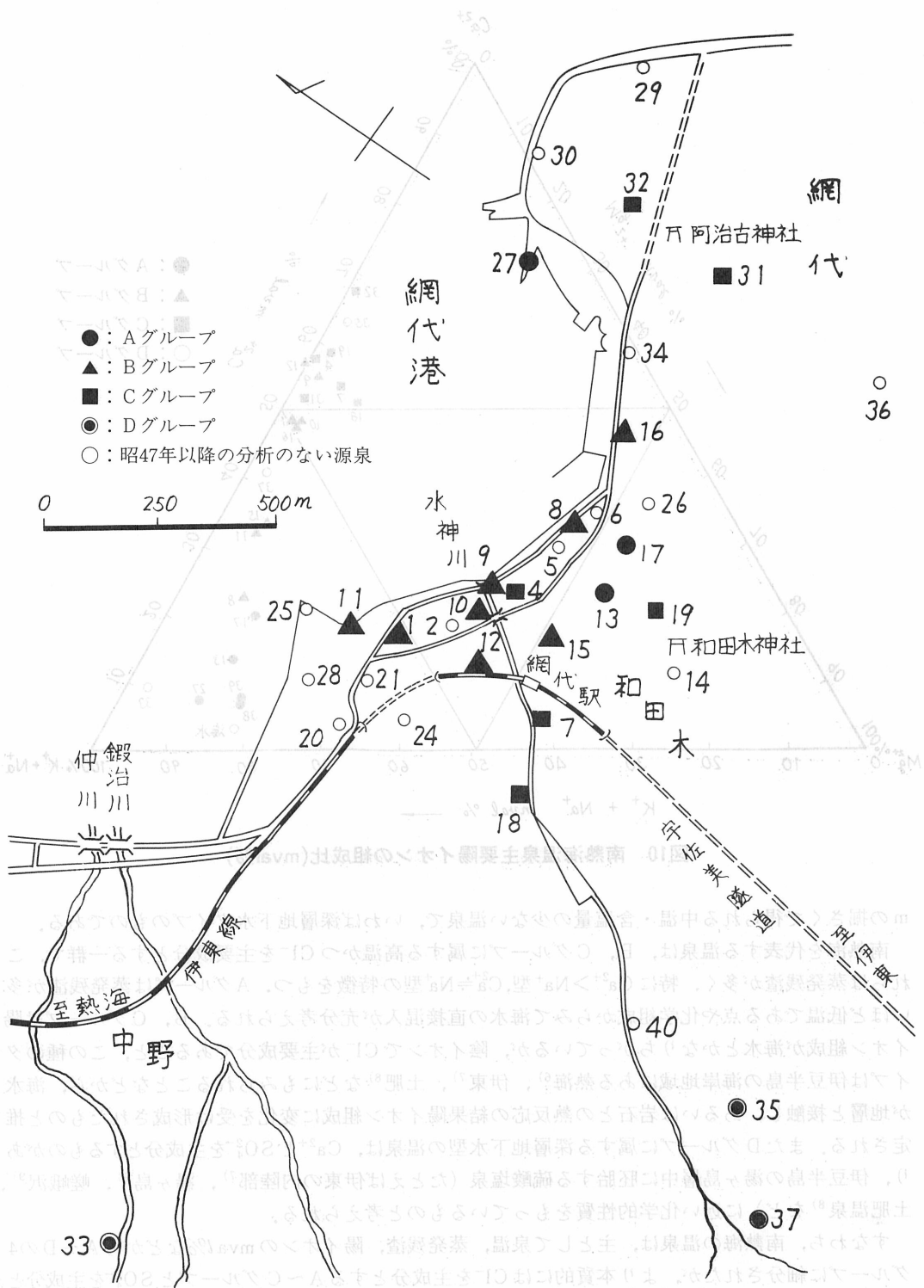


図9 南熱海温泉各グループ別分布

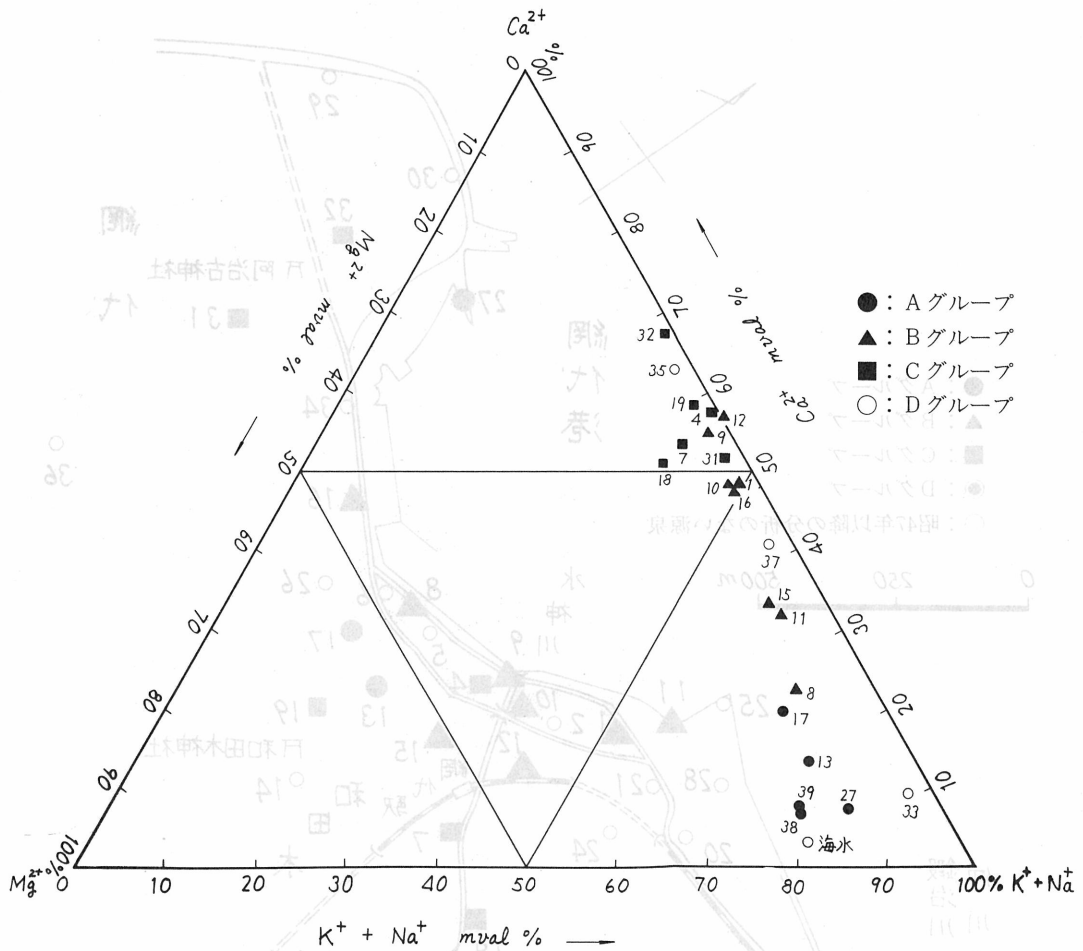


図10 南熱海温泉主要陽イオンの組成比(mval%)

mの掘さくで得られる中温・含塩量の少ない温泉で、いわば深層地下水タイプのものである。

南熱海を代表する温泉は、B、Cグループに属する高温かつCl⁻を主要成分とする一群で、これらは蒸発残渣が多く、特にCa²⁺>Na⁺型、Ca²⁺≒Na⁺型の特徴をもつ。Aグループは蒸発残渣が多いほど低温である点や化学組成からみて海水の直接混入が充分考えられる。B、Cグループは陽イオン組成が海水とかなりちがっているが、陰イオンでCl⁻が主要成分であること、この種のタイプは伊豆半島の海岸地域にある熱海⁶⁾、伊東⁷⁾、土肥⁸⁾などにもみられることなどから、海水が地層と接触し、あるいは岩石との熱反応の結果陽イオン組成に変化を受け形成されたものと推定される。またDグループに属する深層地下水型の温泉は、Ca²⁺とSO₄²⁻を主成分とするものがあり、伊豆半島の湯ヶ島層中に胚胎する硫酸塩泉(たとえば伊東の内陸部⁷⁾、湯ヶ島⁹⁾、嵯峨沢⁹⁾、土肥温泉⁸⁾など)に近い化学的性質をもっているものと考えられる。

すなわち、南熱海の温泉は、主として泉温、蒸発残渣、陽イオンのmval%などからA~Dの4グループに細分されたが、より本質的にはCl⁻を主成分とするA~CグループとSO₄²⁻を主成分とするDグループに大別される。前者は海水が温泉水となる過程のちがいで3つのグループに分れたものと考えられ、次報ではこの問題について詳述する。

本研究に際し御指導をいただいた当研究所長益子安博士，第二部長佐藤幸二博士に深謝する。
なお現地調査に際し御協力をいただいた静岡県衛生部医務課小沢邦雄氏に感謝する。
この報文は第27回日本温泉科学大会（1975年3月，湯の平，大分）で一部を報告した。

文 献

- 1) 静岡県衛生研究所：静岡県衛研報，2巻，(1952)
- 2) 静岡県衛生部：静岡県温泉実態調査報告書（1969）
- 3) 大木靖衛，藤田元一，広田茂，地熱，11，21，(1974)
- 4) 中央温泉研究所：南熱海温泉科学調査報告，(昭和50年3月)
- 5) 厚生省編纂，衛生検査指針，VI，鉱泉分析法指針，(1957)
- 6) 中村久由，前田憲二郎，阿部喜久男，山田隆基，小鯛桂一，地調月報，20，367 (1969)
- 7) 田中昭，甘露寺泰雄，益子安，日本温泉科学会第26回大会講演要旨集，温泉科学，24，118 (1973)
- 8) 甘露寺泰雄，益子安，温泉科学，投稿中
- 9) 益子安，佐藤幸二，甘露寺泰雄，田中昭，温泉工学会誌，11，1 (1976)

Abstract

Calcitic travertine from the Yumata Hot Springs, Nagano Prefecture, is characterized by X-ray diffraction, effective magnetic moment and chemical analysis. Manganese in the travertine exists in divalent state. The manganese content of it ranges from 0.1 to 14% MnO, while its iron content is less than 0.05% FeO. The apparent partition coefficient of strontium, $D_{Sr} = \frac{Sr/Ca}_{travertine} / \frac{Sr/Ca}_{w}$ ($t = travertine; w = water$), is somewhat larger in the Yumata travertine (0.10-0.13) than that in the manganese-free calcite (0.08). The partition coefficient of magnesium D_{Mg} of the equilibrium travertine-water system is 0.14 at 85°C. The existing state of sulfate ion in the travertine was discussed on the basis of chemical analysis and laser Raman spectroscopy.

要 旨

長野県湯田の温泉から採集したカルシウム硫酸塩の温泉石は、X線回折、有効磁気モーメントおよび化学分析から、二価のマンガンを含有していることがわかった。温泉石中のマンガンの含有率は0.1～14% MnOであり、鉄の含有率は0.05% FeO以下である。ストロンチウムの分配係数は、温泉石と水との間で0.10～0.13であり、マンガンフリーのカルシウム硫酸塩では0.08である。85℃における平衡温泉石-水系のマグネシウムの分配係数は0.14である。温泉石中の硫酸イオンの存在状態は、化学分析およびレーザーラマン分光法に基づいて検討された。