

食塩泉の化学的特徴

東北大学教養部 一国雅巳・鈴木励子

山形大学教育学部 加藤武雄

(昭和49年7月31日受理)

Chemical Characteristics of Saline Springs

Masami ICHIKUNI and Reiko SUZUKI

College of General Education, Tohoku University

and

Takeo KATŌ

Faculty of Education, Yamagata University

ABSTRACT

The plot of Li/Na ratio versus K/Na ratio of natural saline solutions can effectively distinguish between two types of the saline springs related to the formation waters of sedimentary basins: one type is similar in its chemical nature to the oil-field brines, and the other, to the geothermal brines. The genetic conditions of the saline springs are also discussed.

1. 序 論

東北地方には多数の食塩泉が存在する。これらの食塩泉のあるものは、石油の採掘を目的としたボーリング孔から湧出したもので、成因的に油田塩水と類縁の関係にあることは明白である。

東北地方の食塩泉に関するデータは、佐原¹⁾、太秦²⁾、加藤^{3~5)}、山形県衛生部⁶⁾、および渡辺・佐藤⁷⁾によって発表されている。それによると、海水、油田塩水、および食塩泉の間には化学組成の上でいくつかの相異点がある。油田塩水と温泉水の対比はすでに太秦・那須⁸⁾によってなされているが、成因論的なつながりの検討は十分とはいえない。この報告では、アルカリ金属、とくにリチウムに重点をおいて油田塩水と食塩泉の関連性を吟味した。なお比較の便宜上、ここで扱う食塩泉はCl⁻濃度が5g/l以上のものに限定した。これは循環水によって極度に希釈された食塩泉では、化学組成を比較するときに循環水の組成の影響を無視できないと考えたためである。

2. 食塩泉の分布

東北地方に見出されたCl⁻濃度が5g/l以上の食塩泉は図1のように分布している。この図は1950年以降の文献に基づいて作成したもので、すべての食塩泉がグリーンタフ地域に湧出していることは注目値する。泉温は高いものでも60°Cを越えることはない。

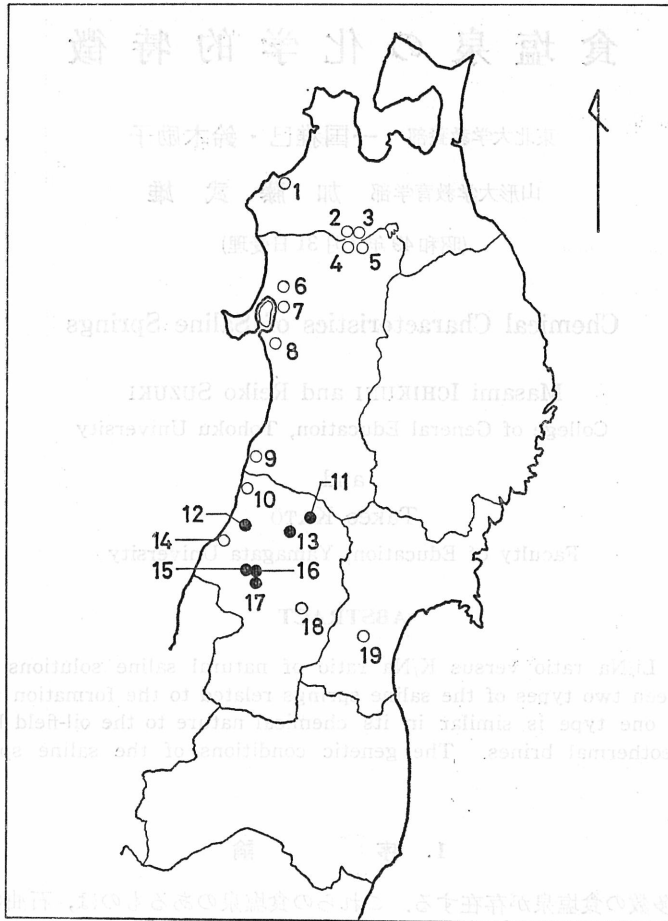


図 1. 東北地方における食塩泉の分布図

- 1: 舞戸, 2: 湯ノ沢, 3: 相乗, 4: 日景, 5: 矢立, 6: 切石, 7: 森岳,
 8: 豊川, 9: 象瀉, 10: 湯ノ田, 11: 真室川, 12: 長沼, 13: 野口,
 14: 由良, 15: 田麦俣, 16: 拝所沢, 17: 湯殿山, 18: 平塩, 19: 秋保
 (● は表 1 に分析データがある食塩泉を示す).

3. 食塩泉中のアルカリ金属

表 1 に 6 種の食塩泉の分析結果を示した。アルカリ金属はすべて原子吸光法によって定量した。アルカリ金属のうち、ナトリウムとカリウムの含量は食塩泉としては普通の値であるが、リチウムは 0.14 から 11.1 mg/l にいたる大きな変動を示している。このことは、リチウムが食塩泉の成因を解明する手掛りとなることを暗示している。

温泉水のリチウム含量については、南⁹⁾の古典的研究以来、多数の報告がでていますが、データが蓄積すればするほど、リチウムの水地球化学は複雑な様相を呈してきた。考察の対象を食塩泉だけに限定しても、アルカリ金属の含量の間に規則性を見出すことは困難である。そこで、表 1 の結果を海水、油田塩水、および食塩を主成分とする熱水のデータと比較してみた。

表 1. 食塩泉の化学組成 (濃度の単位は, mg/l)

温泉名	採所 沢	田 麦 俣	湯 殿 山	野 口	長 沼*	真 室 川
採水日	72. 8. 1	72. 11. 25	72. 11. 2	71. 6. 2	71. 8. 19	71. 6. 2
温度 °C	15.6	28.4	50.9	24.1	43.2	19.3
pH	6.8	6.6	6.6	8.0	7.7	8.2
Li	11.1	6.41	5.94	0.85	0.27	0.14
Na	5540	4100	2880	6150	7580	2850
K	870	21	598	43	91	36
Mg	466	144	193	21	90	13
Ca	2520	3140	1880	74	1970	387
Sr	40.0	66.5	15.6	2.1	23.4	1.7
Cl	13670	11770	8100	9330	15870	5210
HCO ₃	1310	57	781	1310	56	—
SO ₄	88	259	393	8	44	2
SiO ₂	24	7	23	17	57	49

* 泉温と pH は文献 6 (採水日 67.5.18) による。

油田塩水中のリチウムは、太秦・那須⁹⁾および野口・森崎¹⁰⁾によって報告されている。北海道の油田塩水の Li/Na 比 (wt/wt) は海水の Li/Na 比 0.016×10^{-3} のおよそ 10 倍であり、秋田県と新潟県の油田塩水のなかにはさらに大きい値を示すものさえある。このような傾向は Rittenhouse ら¹¹⁾がまとめた北米大陸の油田塩水にもみられる。他方、油田塩水の K/Na 比は海水の値 3.6×10^{-2} の半分以下である。

また、Brooks ら¹²⁾と Presley ら¹³⁾が行なった海洋堆積物の間隙水の分析結果によると、間隙水では K/Na 比が海水よりやや増大しているのに対し、Li/Na 比はわずかながら減少している。

さらに、表 2 に示した食塩を主成分とする熱水についてみると、K/Na 比は 5×10^{-2} 以上、また Li/Na 比は大部分が 1×10^{-3} 以上となっている。

上述の Li/Na-K/Na の関係を示したのが図 2 である。表 1 の食塩泉では、野口鉱泉が油田

表 2. 食塩を主成分とする熱水中のアルカリ金属 (濃度の単位は ppm)

温泉名	Li	Na	K	Cl
大 沼(秋田)	0.81	310	42	415
下 賀 茂(静岡)	0.78	4000	267	12100
Steamboat	5.7	655	73	871
Salton Sea	320	54000	23800	184000
Wairakei	14.2	1320	225	2260
Waiotapu	6.6	860	155	1450
Yellowstone	8.4	439	74	744

注: 大沼 (O-6R, 74. 10. 5 採水) 以外のデータは水谷・浜砂¹⁴⁾ (下賀茂), Barnes¹⁵⁾ (Steamboat, Salton Sea, Wairakei, Waiotapu), および White ら¹⁶⁾ (Yellowstone) による。

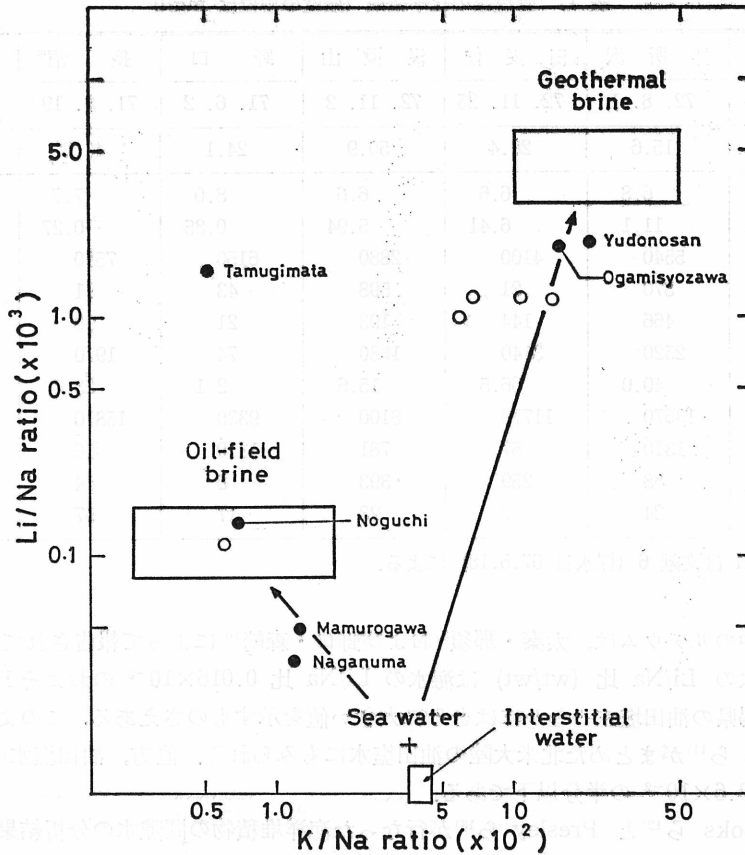


図 2. Li/Na-K/Na 図 (● は表 1 に分析データがある食塩泉, ○ は太秦らが分析した青森県および秋田県北部の食塩泉を示す)

塩水的であり、また長沼温泉と真室川鉱泉は海水と油田塩水の中間の性格をもっていることがわかる。これらの食塩泉の起源がかつての海水であるとすれば、その塩水の含まれていた堆積層の続成作用の程度によって、これらの食塩泉の組成のちがいを説明することができる。すなわち、堆積層のおかれている環境の温度、圧力が高くなるほど塩水の組成は海水から油田塩水類似のものへと変化するのである。

拝所沢鉱泉と湯殿山温泉は、これまで述べてきた低温型の食塩泉とは異なり、熱水に近い性格をもっている。これらの食塩泉のリチウム含量が高いのは、リチウムを顕著に取りこむ粘土質堆積物が続成作用、あるいは弱い変成作用の結果、含んでいたリチウムの一部を間隙水中に放出したためであろう。つまり、拝所沢鉱泉と湯殿山温泉は、野口鉱泉などよりも地下においてさらに高い温度、圧力の影響下にあったことを意味する。けれども、食塩泉の湧出口における温度と上述の推論とは必しも一致していない。高い Li/Na 比をもち、従って高温であるべき拝所沢鉱泉は 15.6°C の冷泉であるし、また長沼温泉は Li/Na 比と K/Na 比がともに小さいにもかかわらず、43.2°C の温泉である。

Fournier・Truesdell¹⁷⁾ は天然水の Na-K-Ca 地質温度計を提案しているが、100°C 以下

ではどのような成分比をとってもばらつきが大きくて実用にはならない。かれらは、海水も含めて、低温の水はすべて非平衡の状態にあるためにこのようなばらつきを生じるのであろうと述べている。この仮定が正しいならば、たとえ低温起源であっても Li/Na 比と K/Na 比の高い天然水が存在してもよいことになる。けれども、食塩泉は図のなかであるまとまりをもって分布している。従って、食塩泉の Li/Na 比と K/Na 比はどんな値でも勝手にとれるというのではなく、ある程度は塩水が由来する堆積層の環境条件を反映しているとみるべきである。

White¹⁸⁾ は食塩に富む熱水流動体がリチウムにも富んでいることを指摘したが、そのような高温のマグマ発散物ばかりでなく、低温起源の間隙水であっても、ある程度以上の温度、圧力条件下におかれるならば、Li/Na 比と K/Na 比が熱水流動体の示す値に近い溶液をつくり出すことを図 2 は示唆している。

田麦俣温泉は油田塩水、熱水のどちらにも属さない特異な組成をもつ食塩泉である。粘土質堆積物の続成作用に伴うリチウムの放出がカリウムの放出に先行するならば、油田塩水がより高い温度、圧力条件下におかれたとき、このような組成の食塩泉を生成することも可能である。田麦俣温泉の特異性はアルカリ金属ばかりでなく、その高いストロンチウム含量にも現われている。このようにストロンチウム含量が大きく、しかも Sr/Ca 比が海水の値よりも大きい温泉水の生成は地球化学的に興味のある問題であるが、その探究は今後の課題としたい。

4. 結 論

Li/Na-K/Na 図を用いることによって、食塩泉を油田塩水類似の型と食塩に富む熱水類似の型に分類することができた。それぞれの型の生成条件についても考察した。

文 献

- 1) 佐原良太郎：秋田大釜山地下資源開発研究報告 No. 22, 32 (1957).
- 2) 太秦康光, 那須義和, 瀬尾淑子：日本化学雑誌 **81**, 395 (1960).
- 3) 加藤武雄：温泉科学 **13**, 76 (1963).
- 4) 加藤武雄：温泉科学 **15**, 133 (1965).
- 5) 加藤武雄：温泉科学 **17**, 1 (1966).
- 6) 山形県衛生部：温泉療養の手びき, 山形県 (1971).
- 7) 渡辺淳夫, 佐藤新作：宮城県の温泉, 日本温泉科学会シンポジウム講演要旨 (1973).
- 8) 太秦康光, 那須義和：日本化学雑誌 **81**, 401 (1960).
- 9) 南 英一：日本化学会誌 **62**, 665 (1941).
- 10) 野口喜三雄, 森崎重喜：日本化学雑誌 **92**, 145 (1971).
- 11) G. Rittenhouse, R. B. Fulton, III, R. J. Grabowski, J. L. Benard: Chem. Geol. **4**, 189 (1969).
- 12) R. R. Brooks, B. J. Presley, I. R. Kaplan: Geochim. Cosmochim. Acta **32**, 397 (1968).
- 13) B. J. Presley, Y. Kolodny, A. Nissenbaum, I. R. Kaplan: Geochim. Cosmochim. Acta **36**, 1073 (1972).
- 14) 水谷義彦, 浜砂武聖：火山第 2 集 **17**, 123 (1972).
- 15) H. L. Barnes, ed.: Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits. Holt, Rinehart and Winston, New York (1967).
- 16) D. E. White, L. J. P. Muffler, A. H. Truesdell: Econ. Geol. **66**, 75 (1971).
- 17) R. O. Fournier, A. H. Truesdell: Geochim. Cosmochim. Acta **37**, 1255 (1973).
- 18) D. E. White: Bull. Geol. Soc. Amer. **68**, 1637 (1957).