

# 高い地熱活動度指数をもつ地熱流体の 化学的特長(その1, 熱水)

九州大学生産科学研究所

古賀 昭人, 林 正雄

(昭和61年8月15日受付, 昭和61年10月24日受理)

## Chemical Characteristics of Thermal Fluids with High Geothermal Activity Index (1)

Akito KOGA and Masao HAYASHI

Research Institute of Industrial Science, Kyushu University

### Abstract

Hayashi et al. (1981) calculated an activity index which indicated the degree of potential of a geothermal system or a geothermal well, by using the maximum measured-or estimated temperature and the saturated temperature corresponding to the integrated hydrostatic pressure at the depth yielding the highest temperature. Based on this activity index, a geothermal system or a geothermal well can be objectively evaluated and classified in several categories such as Types A, B, C, etc. Very active fields belong to Type A, whereas less active ones to Types B or C.

Thermal waters discharging from the geothermal wells evaluated as Type A in the activity index, are also characteristic of special chemical compositions such as over 90% of  $\text{Cl}/(\text{Cl} + \text{SO}_4 + \text{HCO}_3)$  or very high Na/Ca ratios.

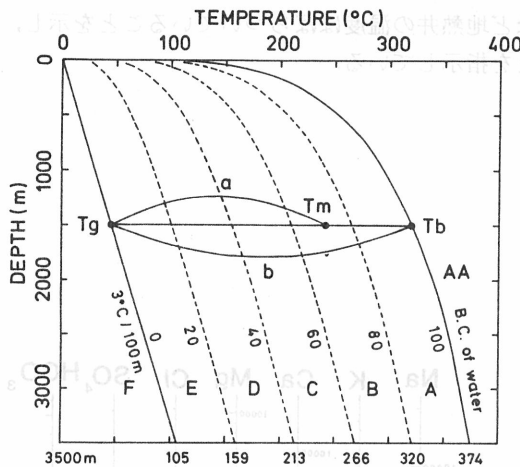
### 1. はじめに

Hayashi et al. (1981)は, 地熱帯や地熱井の温度条件の定量的評価を行うため活動度指数A.I. (Activity Index)を用いることを提案した. この活動度指数は図1に示すように, ある坑井内で観測または推定された最高温度  $T_m$ , その深度において高温水の密度減少を考慮した水の沸騰曲線が示す温度  $T_b$ , および平均的な地温勾配 ( $3\text{ }^\circ\text{C}/100\text{m}$ )によって得られる仮想的な温度  $T_g$ から次式によりもとめられる.

$$AI = \left( 1 - \frac{T_b - T_m}{T_b - T_g} \right) \times 100$$

ただし, この時の沸とう曲線は水位が地表にあると仮定している. 活動度指数は通常0~100の範囲にあり, 100に近いほど温度的に活発である. 一般に活動度指数は地熱帯や地熱井で観測された最高温度から求めるが, 化学温度計や流体包有物温度で計算してもよい.

活動度指数を用いて地熱帯や地熱井を分類すると, 活動度指数が100を越えるものをAA, 100-80をA, 80-60をB, 60-40をCタイプになり, 深度を考慮に入れた地熱系の温度条件を客観的に表示することができる. ここで, 現在世界で地熱発電が行われている地熱地帯の生産井の活



$$AI = \frac{a}{b} \times 100 = \left(1 - \frac{T_b - T_m}{T_b - T_g}\right) \times 100$$

Fig. 1 Activity index and a new classification of geothermal fields

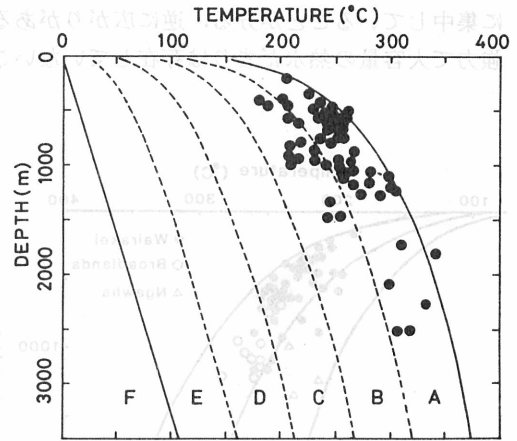


Fig. 2 Activity index of the production wells in world-famous geothermal fields where a geothermal power station has already been constructed.

活動度指数を示すと図2のようになり、生産井のほとんどはAタイプで少数がBタイプに属していることが分る。つまり、Cタイプなどでは現在の発電系では地熱井として望みがうすいと言うことである。

一方、地熱水の化学組成は、地温と密接な関係があることが考えられる。活動度指数、すなわち地熱系の深度を考慮した温度条件と熱水の化学的特長との関連を考察するのも興味があろう。以下、これらについてのべる。

なお、地熱流体のガス成分については章を改めて論ずる予定である。

## 2. 熱水の化学的特長と地熱活動度指数

図3はニュージーランドの著名な地熱発電所地帯や同じく発電を企画中の地熱発電地帯であるワイラケイ、ブロードランド、ナーハにおける生産井の活動度指数である。ワイラケイ、ブロードランドの大部分はAタイプに属し、ナーハはBタイプに属している。一方、図4は九州の地熱地帯である大岳、八丁原、岳の湯、野矢の活動度指数であり、現在発電井のある大岳、八丁原がAタイプに属し、野矢などの活動度指数は50にすぎず、Cタイプである。

では、これらの熱水の化学的特長と地熱活動度指数との関係はどうであろうか？

一般に高温の地熱水の化学組成は中性の食塩泉型である。図5は大岳、八丁原地区熱水の化学組成であるが、高温中性の深部熱水はその成因の如何を問わず周辺母岩の種類により化学成分の濃度に違いはあっても、傾向としてはこのようなタイプである。すなわち、高温の地熱水の化学組成は温度により規制されているといえよう。つまり、Na, K, Cl, SiO<sub>2</sub>に富み、CaやMgが少なく、SO<sub>4</sub>やHCO<sub>3</sub>もいたって少ないことが分る。したがって、陰イオンの主要三成分であるCl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>イオンの三角図表を描けば図6(A, B)にしめすように極めてClイオンに富んでいる。これを更にはっきりするために、図7のように各生産井についてCl/(Cl+SO<sub>4</sub>+HCO<sub>3</sub>)

%で示すと、高温で有望な地熱地帯ほどClの占める率が高く、しかも同じ比率の熱水が狭い範囲に集中していることが分る。逆に広がりがあるほど地熱井の温度はばらついていることを示し、強力で大容量の熱水だまりは存在していないことを指示している。

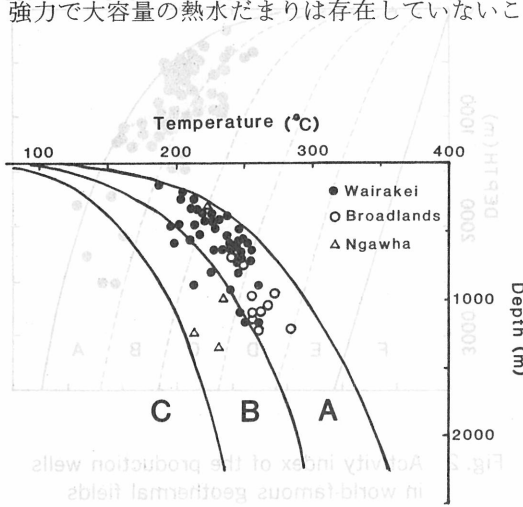


Fig. 3 Activity index of the production wells in the Wairakei, Broadlands, and Ngawha, New Zealand

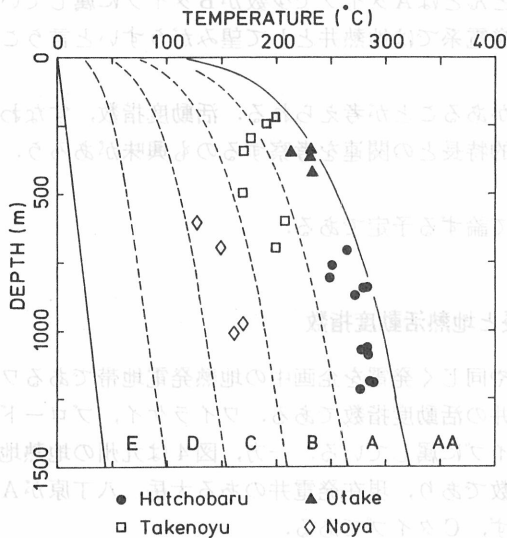


Fig. 4 Activity index of the production wells in the Otake and Hatchobaru geothermal fields, Kyushu, and the exploratory wells drilled in their surrounding areas.

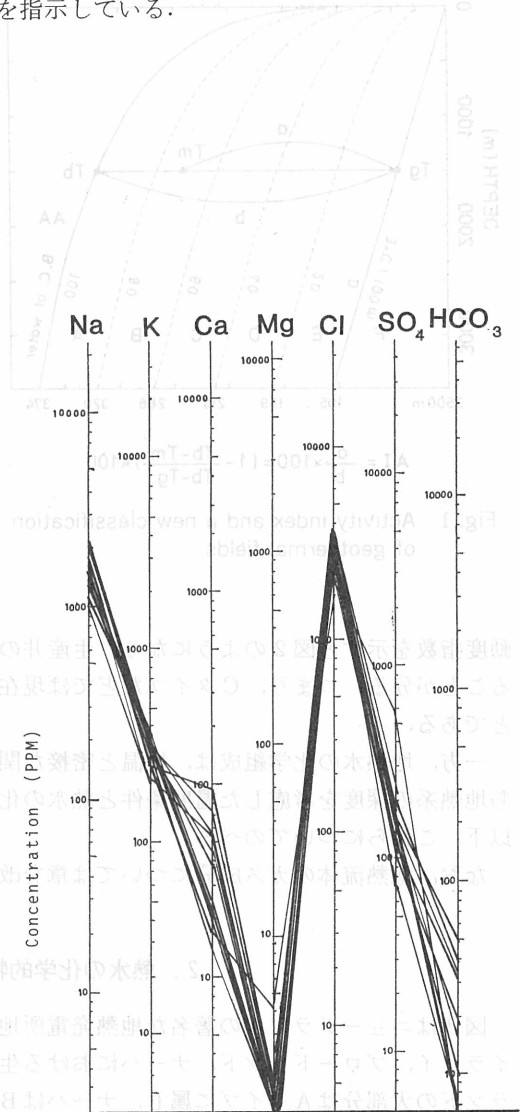


Fig. 5 Chemical components in Otake and Hatchobaru waters

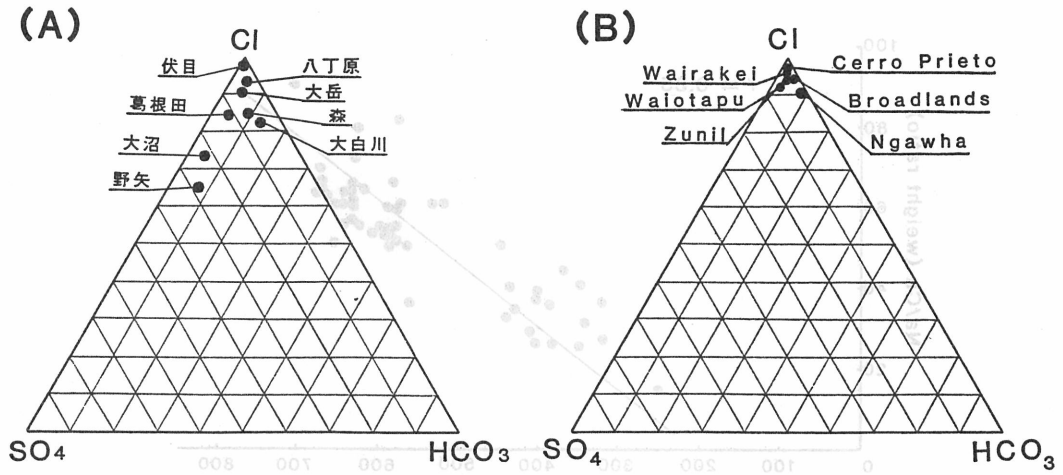


Fig. 6 Main anion components in thermal waters of some geothermal areas (A, B)

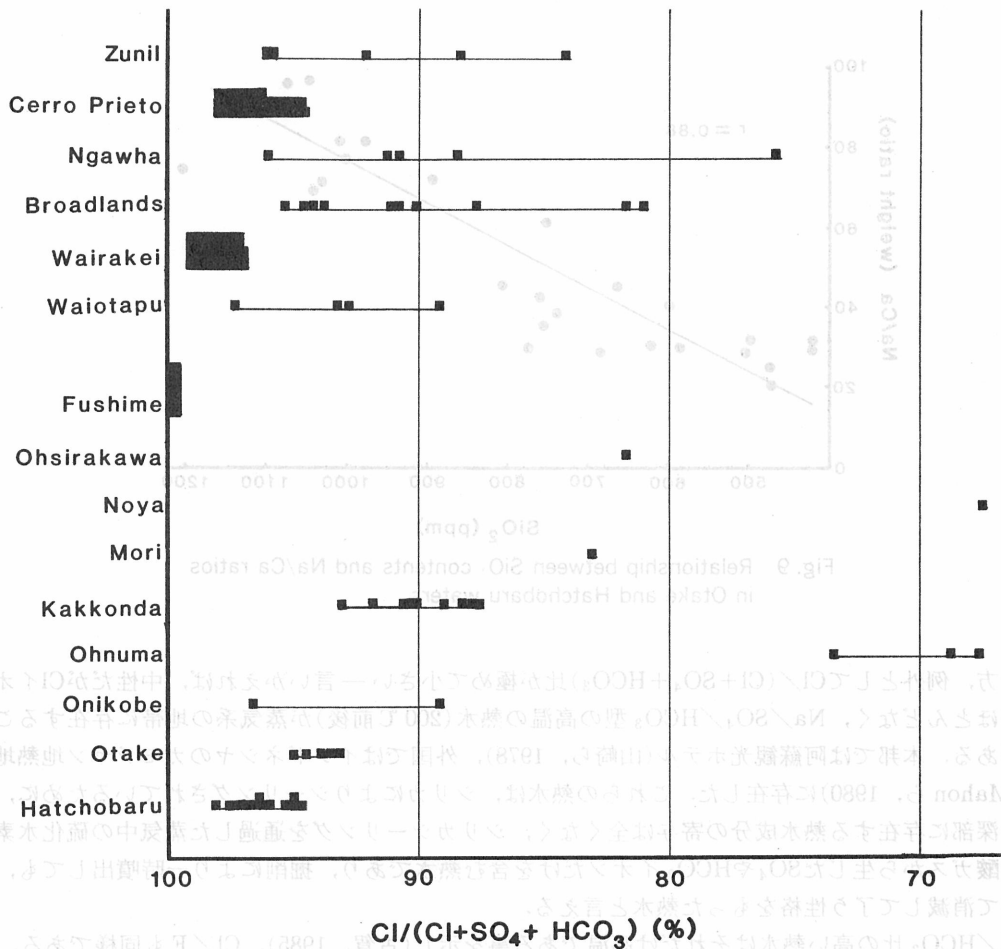


Fig. 7 Cl/(Cl+SO<sub>4</sub>+HCO<sub>3</sub>)% in geothermal waters

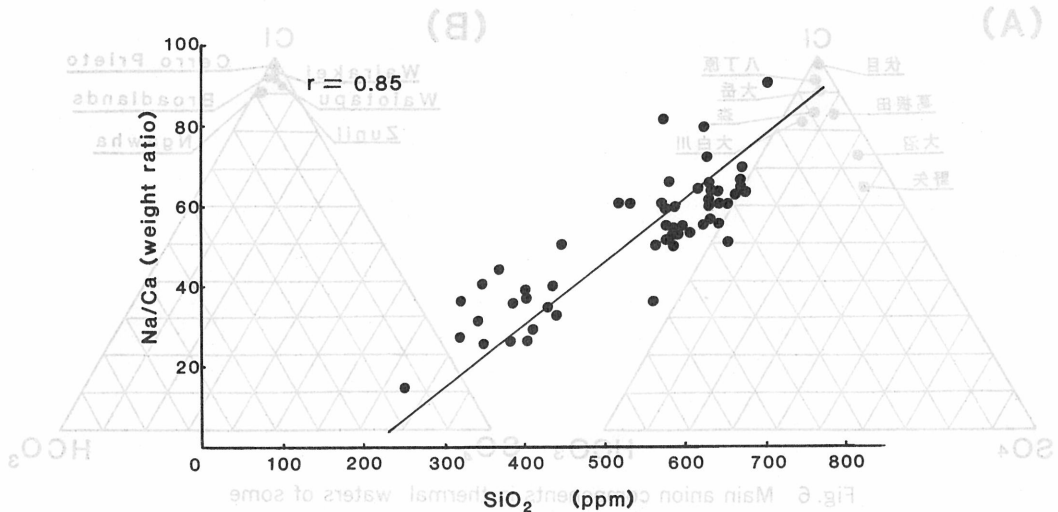


Fig. 8 Relationship between  $\text{SiO}_2$  contents and Na/Ca ratios in Wairakei waters

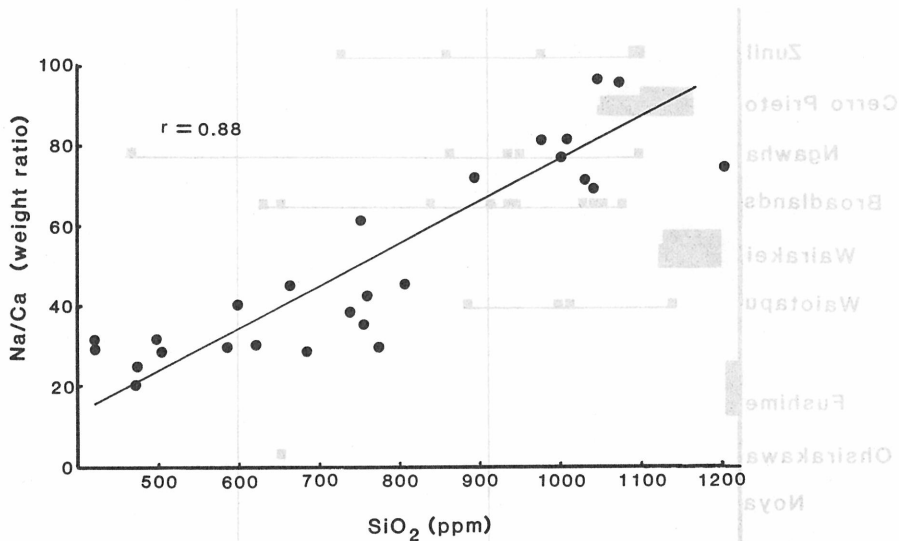


Fig. 9 Relationship between  $\text{SiO}_2$  contents and Na/Ca ratios in Otake and Hatchobaru waters

一方、例外として  $\text{Cl}/(\text{Cl} + \text{SO}_4 + \text{HCO}_3)$  比が極めて小さい—言いかえれば、中性だが  $\text{Cl}$  イオンがほとんどなく、 $\text{Na}/\text{SO}_4/\text{HCO}_3$  型の高温の熱水 ( $200^\circ\text{C}$  前後) が蒸気系の地帯に存在することがある。本邦では阿蘇観光ホテル(山崎ら, 1978), 外国ではインドネシアのカモジヤン地熱地帯(Mahon ら, 1980) に存在した。これらの熱水は、シリカによりシーリングされているために、より深部に存在する熱水成分の寄与は全くなく、シリカシーリングを通過した蒸気中の硫化水素や炭酸ガスから生じた  $\text{SO}_4$  や  $\text{HCO}_3$  イオンだけを含む熱水であり、掘削により一時噴出しても、やがて消滅してう性格をもった熱水と言える。

$\text{Cl}/\text{HCO}_3$  比の高い熱水はそれだけ高温である事を示し(古賀, 1985),  $\text{Cl}/\text{F}$  も同様である。

また、陽イオンの主成分である Na と Ca の比も高温熱水の指示元素となる。Na は陽イオンの中

では最も濃度の高い元素であり、鉱物間の平衡がずれても、それほど濃度に影響はあり得ない。しかしながら、高温中性の熱水中のCa濃度はCaCO<sub>3</sub>, CaSO<sub>4</sub>, CaF<sub>2</sub>, Ca-aluminosilicate等の溶解度によって制御されているが、それらはすべて温度が上昇すると溶解度が減少する鉱物である。したがって、高温になるほどCa濃度は減少するから、Na/Ca比は大きくなることが考えられる。図8, 9はそれぞれワイラケイと大岳, 八丁原熱水のNa/Ca比とSiO<sub>2</sub>との関係である。SiO<sub>2</sub>量は完全に熱水の地下温度と正の相関を示すから、温度が高いほどNa/Ca比は高くなる。

これらの傾向は、湧出温度がそれほど高くはない温泉水の化学成分間にも存在している。たとえば、炭酸水をオートクレーブを用い、150と52℃で粘土や腐植土と反応させた場合、生じた反応液のNa/Ca(重量比)は粘土で4.4と0.34, 腐植土で3.4と0.21であった(古賀, 1969)。このように温度が高いと、溶液の組成はNa ≫ Caとなり、低ければCa ≫ Naとなり、温度により規制されるのである。

### 3. おわりに

以上述べたごとく、地熱エネルギーを発電に利用しようとするような高温の地熱流体は高い地熱活動度指数をもつ井戸から噴出している。そして、その化学的特長も特種なその温度に見合う組成をもっており、議論の多い地熱流体の成因論にわずらわされる事はないと言えよう。

もちろん、地熱流体としては熱水のみならず、ガス成分についての考察も必要であるが、これについては別章で論ずる予定である。

### 文 献

- 1) Hayashi, M., Taguchi, S., Yamasaki, T. (1981), Activity index and thermal history of geothermal systems, Geothermal Resources Council, Transactions, vol.5, 177-180.
- 2) 古賀昭人(1969), 温泉水中のヒドロ炭酸イオンの生成機構, 大分県温泉調査研究会報告20号, 59-62.
- 3) 古賀昭人(1985), 化学的に見た別府地熱地帯の地下熱構造, 昭和60年度日本地熱学会講演要旨集, p.82.
- 4) Mahon, W. A. J. et al. (1980), Neutral Sodium/Bicarbonate/Sulfate hot waters in geothermal systems, Chinetsu, vol.17, 11-24.
- 5) 山崎達雄, 林 正雄, 古賀昭人, 野田徹郎, 福田道博, (1978), 阿蘇カルデラ湯の谷地熱地域の蒸気井とその探査, 地熱 Vol.15, No.4, 205-216.