



私のたどってきた道—温泉調査・研究 63 年を振り返る—

甘露寺 泰雄¹⁾

(平成 26 年 12 月 9 日受付, 平成 27 年 1 月 21 日受理)

My Research and Study History about Hot Springs over 63 years

Yasuo KANROJI¹⁾

Abstract

I entered the Hot Spring Research Center in April 1950 where I passed more than a half of century. Now I am a managing director of this institute.

My first work was mainly concerned with analysis of hot spring water and its analytical methods. Later I was also engaged in geochemical survey of hot spring resources and pipe-line planning for its transportation. My work has expanded to such fields as hydrotherapy, environmental pollution and amendment of effluent standards for spring water discharge in recent years.

This article refers to some of my works which seems to be original :

- 1) Analysis of water contamination through bathing and proposal of hygienic control based on it.
- 2) Estimation of proper discharge rate of hot spring water from underground and proposal for efficient utilization of resources.
- 3) Analysis of fluctuations in temperature and chemical components of hot spring water caused excessive hot water pumping.
- 4) Explanation of the phenomenon of hot spring water aging by means of absorption spectra and oxidation-reduction potential.
- 5) Prevention techniques against clogging of pipe line caused by scale formation.
- 6) Remarks on controversial points of the Hot Spring Law from the point of scientific view.

These studies were made in the fields of applied sciences and technology which are available for the protection and better use of hot spring resources. I would be much happy if researchers and engineers of the young generation could put them to practical use for the resolution of their work.

Key words : water contamination through bathing, proper discharge rate of hot spring water from underground, fluctuations in temperatures and chemical components of hot

¹⁾公益財団法人中央温泉研究所 〒171-0033 東京都豊島区高田 3-42-10. ¹⁾Hot Spring Research Center, Japan 3-42-10, Takada, Toshima-ku, Tokyo, Japan.

spring water, phenomenon of hot spring water aging, controversial points of Hot Spring Law

要 旨

私は、1950年に中央温泉研究所に入所し、現在研究所の専務理事を勤めている。

入所当初は、温泉水の分析や分析法の研究が仕事であったが、その後地化学調査や温泉水送湯のためのパイプラインの計画などにも携わるようになり、最近では、環境汚染対策や、温泉排水の基準の見直し、更には温泉療法の領域まで仕事の範囲が拡大した。

この報告は、これまでの仕事の中から、オリジナルと思われる研究を抜粋して紹介する。

- 1) 浴槽水の汚染の解析と衛生管理の提案
- 2) 温泉資源の適正総採取量の推定と効率的な温泉利用の提言
- 3) 過剰採取に伴う泉温及び化学成分の変化
- 4) 吸収スペクトル及び酸化還元電位の解析による老化現象の解明
- 5) スケールによる詮塞障害の防止法
- 6) 科学的視点から見た温泉法の問題点の指摘

上記の諸点から、私の仕事の特徴は、温泉資源の保護と利用に関連する領域の科学的・技術的探求に有ると考える。温泉技術者や研究者が、これらの結果を実際面における問題点の解決に活かしていただければ幸である。

キーワード：浴槽水の汚染、適正総採取量、泉温及び化学成分の変化、老化現象、スケールの付着防止法、温泉法の問題点

1. ま え が き

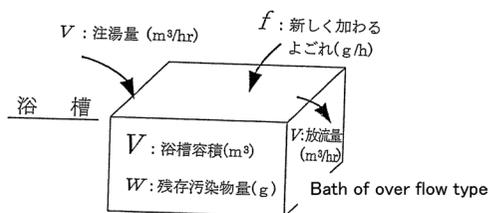
私は昭和5年生まれの84歳、(公財)中央温泉研究所の専務理事を務めている。昭和25年3月東京薬学専門学校卒業、同年4月(社)日本温泉協会中央温泉研究所に入所、温泉水の分析や分析法の研究の他、地化学調査や施設計画のような業務にも携わり、現在は、水質管理、資源の保護、適正利用(安全対策と衛生管理、浴用・飲用による医治効果、禁忌症の検討・判定)、排水といった分野まで仕事の範囲が拡張した。従って、本職の分析・温泉化学だけでなく多方面の分野の仕事を手がけてきたが、主たるものは温泉資源の保護と利用に関連する調査・研究である。その中で、オリジナルといえそうな仕事6点ほどを紹介してみることにする。

2. 浴槽の汚れの解析

昭和30年から40年にかけて、浴槽の循環濾過が温泉浴槽で行われるようになり、汚れの解析が重要なテーマとなった。

Fig. 1に示すように、浴槽 V (m^3)、給湯量 v (m^3/h)、残存する汚れ(wg)、新しく加わる汚れ f (g/h)、時間 t (h)とし、これらの間の関係式から、浴槽の汚れを解析した。加わる汚れ f を一定とした場合に、汚れを濁度(P)を指標として時間当たりの利用人員を N 、一人に起因する汚れを m (g)とする式(4)を導き、利用客数による汚れの予測が可能となった(甘露寺等, 1965: 甘露寺, 2005)例えば、厚労省の衛生管理要領では、浴槽の循環率1時間で1回転(ポンプの能力)が指示されているが、この回転率ならば、通常浴槽水の濁度が基準値の5度以下にほぼ保持できることが示された(甘露寺, 2003b)。また、浴槽水の汚れは槽内に加わる汚れと、回転率(v/V)が関係し、「かけ流し」であっても、給湯率が少ない場合は当然汚れるので、「かけ流し」が安全であるとは限らない。

- w: Amount of impurity (g)
- f: Amount of impurity added into the water
by bathers (g/hr)
- V: Water volume in bath (m³)
- v: Amount of water supply (m³/hr)
- P: Maximum permissible amount of impurity
- N: Number of bathers in an hour
- t: Hour



$$\frac{dw}{dt} = f(t) - \frac{w}{V} \cdot v \dots\dots (1)$$

$$w = e^{-\int \frac{v}{V} dt} \left\{ \int f(t) \cdot e^{\int \frac{v}{V} dt} dt + C \right\} \dots\dots (2)$$

$$w = k \cdot \frac{V}{v} \left(1 - e^{-\frac{v}{V} t} \right) \dots\dots (3)$$

$$\frac{P \cdot V}{N \cdot m} = \frac{V}{v} \left(1 - e^{-\frac{v}{V} t} \right) \dots\dots (4)$$

Fig. 1 Analysis of water contamination in bath of over-flow type.

図 1 かけながし浴槽での汚染の解析.

3. 温泉地の適正総採取量の把握と集中管理の重要性の指摘

修善寺温泉を例に、水位、湧出熱量、揚湯馬力、Cl 含量、等の平均値と総採取量の関係を解析し、適正総採取量の定義を提案すると共に、その量およそ 1000 L/分であることが示された (甘露寺他, 1975 : Kanroji, 1988a) (Fig. 2). 但し、これで求められた量はその時点で汲み上げている実総採取量よりも少ない。そこで集中管理システムを採用することで、総採取量をより低く抑制しても需要を満たすことが可能となり、水位も復元することが修善寺温泉で立証された (甘露寺, 1997b, 1997c) (Fig. 3). 伊豆長岡, 伊東, 湯ヶ島, 白浜などの諸温泉で適正総採取量が把握された (甘露寺, 1981). なお集中管理と資源の復元に関しては文献 (甘露寺, 2012, 2014), また Fig. 2 で総採取量と水位の関係が屈曲する現象については福富の地球物理学的研究 (福富, 1976) を参照されたい。

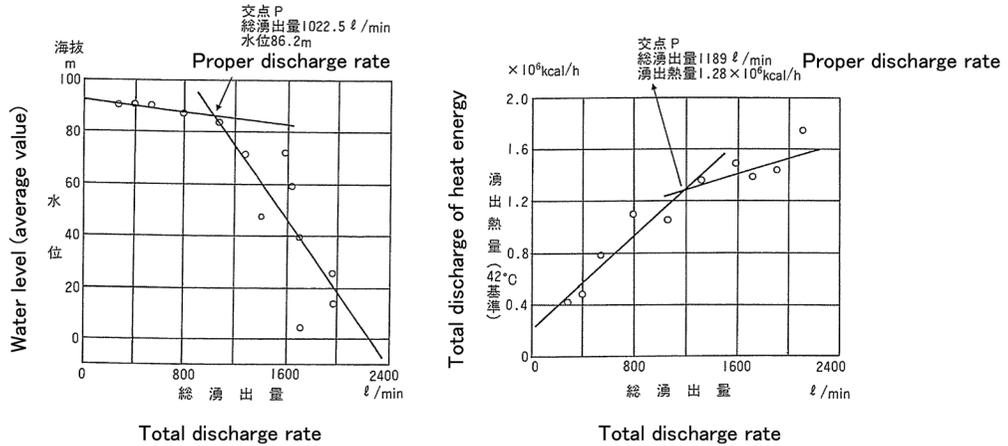
4. 温泉の過剰採取と水位, 泉温, 成分等の変化—温泉の塩水化, 地下水化—

伊豆長岡, 湯ヶ島, 伊東温泉 (甘露寺他, 1981), 熱川と周辺地域 (甘露寺他, 1989), 下賀茂 (甘露寺, 1988b) 石和・春日居温泉 (甘露寺, 1998), 浅虫 (甘露寺, 2014), 下呂 (甘露寺, 2000), 白浜 (Kanroji, 1979b) 等の諸温泉について、過剰採取による水位, 泉温, 成分等の変化を解析した。

成分変化は、一般的には塩水化と地下水化及び両者の混合型があり、实例の幾つかを紹介した (甘露寺, 1987a, 甘露寺他, 1997a). 熱海では、塩水化と地下水化が進展、海岸側は塩化物型に変わり Ca—Cl 型の塩化物泉が増加した (甘露寺, 2001b) (Fig. 4).

また泉質形成と海水—岩石相互作用の密接な関連が判明した (甘露寺, 1983, 1987b, 1987c). 特に, Ca—Cl 型の塩化物泉はトリチウムが少なく深層貯留型が推定される (甘露寺, 2001b) (Fig. 5).

石和, 春日井では、数年で湧出量が 1/10 以下に低下、泉温の低下や成分の著しい希釈化が観測



Analysis between total discharge rate and thermal water level.

Analysis between total discharge rate and total discharge of heat energy above 42°C.

Fig. 2 Estimation of proper discharge rate of hot spring water in Syuzenji Spa.

図 2 修善寺温泉における適正総採取量の推定。

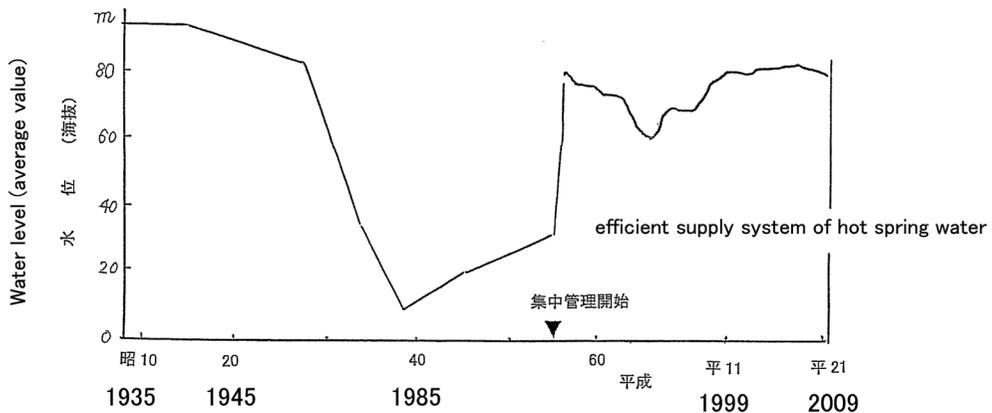


Fig. 3 Change of thermal water level in Syuzenji Spa.

図 3 修善寺温泉における水位の経年変化。

された (甘露寺, 1997a, 1998, Fig. 6).

なお, 上記温泉地の多くは資源保護のための「温泉保護地域」が設定されている。集中管理システムの採用で水位が回復した事例として, 浅虫, 伊豆長岡, 修善寺など (甘露寺, 2012, 2014) がある。

5. 温泉成分の溶存状態の解明—吸収スペクトルと酸化還元電位から—

紫外部から可視部にわたって, Fe (II), (III) や, 硫黄化合物, 腐植質等による吸収が現れる。このスペクトルは酸化・還元系の成分が関係することが多い。そこで, スペクトルと電位の関係を

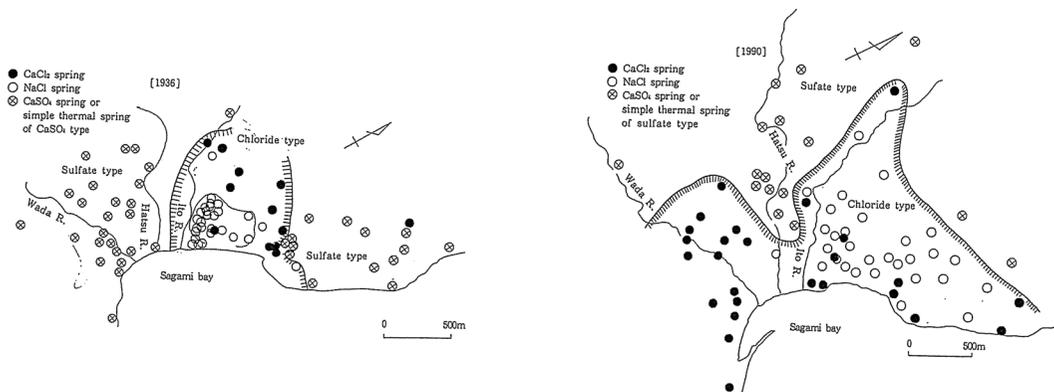


Fig. 4 Change of chemical characteristics of hot spring water in Atami Spa.

図 4 熱海温泉における泉質の変化。

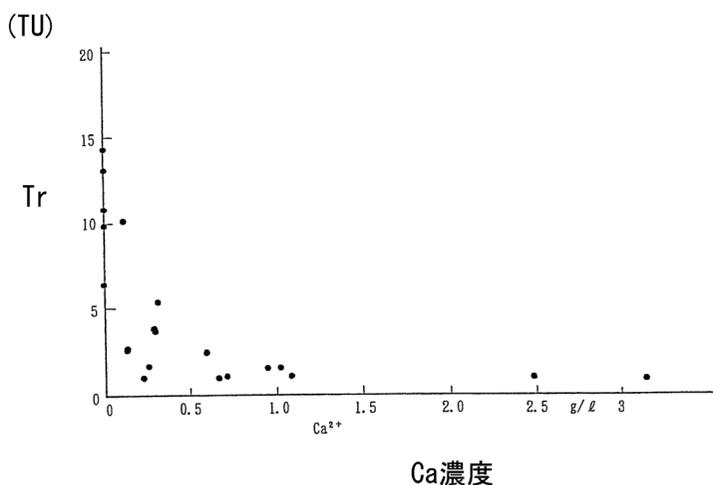


Fig. 5 Relationship between Ca concentration and tritium in hot spring waters of chloride type in Atami Spa.

図 5 熱海温泉の塩化物泉についての Ca 濃度とトリチウム (Tr) の関係。

検討した。老化現象でのスペクトルや電位の変化を検討し、酸性鉄泉や、硫黄泉の老化現象では、 $FeSO_4^+$ や $Fe(OH)^+$ 、 H_2S 、 HS^- 、 Sm^{2-} 、 $S_2O_3^{2-}$ などの関係、カタラーゼ作用の阻害と錯形成の関係を明らかにした(益子, 甘露寺, 1966a)。カタラーゼ作用は Fe^{3+} のみが関係するので、陰イオンとの錯形成により阻害されることを明らかにした(Kanroji, 1979a)。

硫黄泉の硫化水素が、ポリ硫黄を介して酸化される現象(老化現象)を吸収スペクトルの変化として解明した(甘露寺, 1963)(Fig. 7)。硫黄泉の酸化還元電位の変化については、硫化水素濃度が一定の場合はpHに対して、電位変化がおおよそ60mV、pH一定の場合は濃度に対しておおよそ30mVの変化を示す(益子, 甘露寺, 1966a)(Fig. 8)。

酸化還元電位は、主として酸化型と還元型の濃度(正確には活動度)比によってきまる。 H_2S や Fe 、 I 等の酸化還元物質が殆ど含まれない一般の温泉水では、この酸化型と還元型の物質が特定できないことが多い。

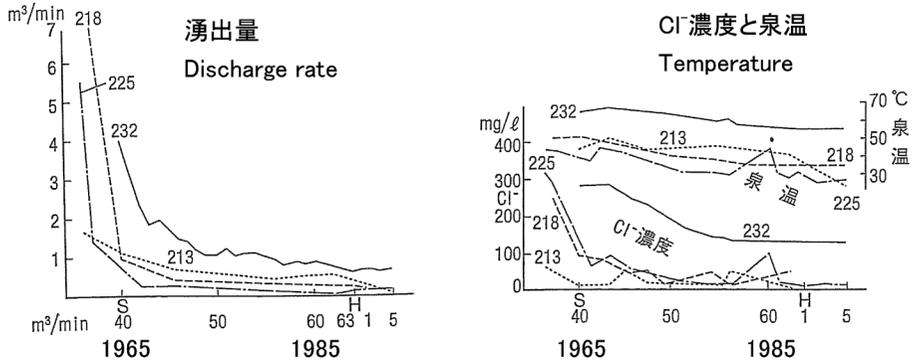


Fig. 6 Changes of Cl-concentration, temperature and discharge rate of hot spring water in Isawa Spa.

図 6 石和温泉における Cl 濃度、泉温及び湧出量の経年変化。

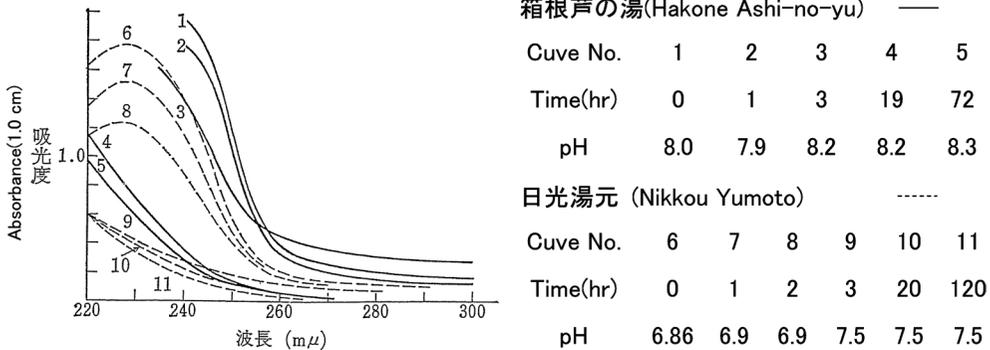


Fig. 7 Change of absorption spectra of sulfur springs on exposure to the air (at room temp.).

図 7 硫黄泉を放置した場合の吸収スペクトルの変化。

温泉では電位と水位は類似性があり、水位が低くても温泉水を採取した場合の水位低下が小さい資源の方が、水位が高くても、少量の採取で水位低下が著しい場合よりは評価されると考える。これと同じように、酸化還元電位も電位の値だけでなく、還元物質の濃度が重要である。

6. 温泉スケールの付着度及び障害対策

温泉水のランゲリヤー指数から、石灰質のスケールの付着度合いを判定する手法を提案し(益子, 甘露寺, 1966b, 甘露寺, 1968), 更に硫黄質のスケールの付着度合いと硫化水素濃度, 液性との関連や, スケールの種類と付着対策等についても知見を述べた(甘露寺, 1974)。スケール対策は, 高温泉の利用に際して特に注意を要する問題である(益子, 甘露寺, 1968a, 1968b, 甘露寺, 1993)。

現在, 温泉発電が実行段階にあり, 温泉熱の有効利用として重要視されているが, シリカスケール等が大変厄介な問題として登場している。

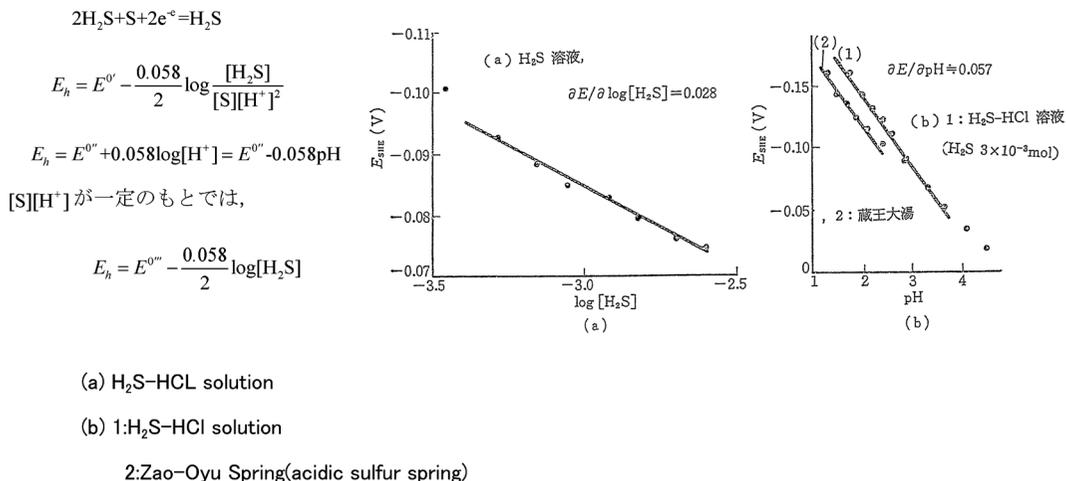


Fig. 8 Change of oxidation-reduction potential of acidic H₂S solution and acidic sulfur Spring (Zao Oyu Spring).

図 8 酸性硫化水素溶液および酸性硫化水素泉の酸化還元電位の変化。

7. 科学的視点から見た温泉法の問題点

温泉法の定義（温泉法別表の内容），療養泉と鉱泉分析法との関係等について，既存資料を中心として議論を展開し，科学的視点から温泉法の問題点を追求した（甘露寺，2002，2003a，2006）。

8. その他（主として，環境省，日本温泉協会，日本温泉気候物理医学会等の依頼）

- ① 温泉（鉱泉）分析法指針（改訂）の策定と改訂，見直しなどの検討
- ② 地熱発電と環境，及び温泉源に対する影響等の調査
- ③ 温泉の保護，適正採取及び集中管理等に関する研究・調査
- ④ 温泉の公衆衛生対策，温泉の効率の利用等に関する調査，国民保養温泉地の実態等。
- ⑤ 温泉利用に関する揭示内容等についての医学的調査
- ⑥ 温泉排水基準の見直し。

9. おわりに

私が携わってきた仕事は，温泉が地下貯留層から採取されて，パイプラインや貯湯槽等を介して利用施設で利用され排水される過程で，人間が温泉に働きかけ，又温泉が人間に働きかける過程での科学的・技術的問題に視点をあてて調査研究を行ってきたと云うことが出来る。

したがって，従来の物理，化学，生物，医学，工学といった領域に余りとらわれない境界領域での調査・研究に力点を置いてきたといえそうである。

参考文献

甘露寺泰雄（1963）：硫黄泉に関する研究，第1報，硫黄泉の吸収スペクトルについて，薬学雑誌，

83, 513-518.

- 甘露寺泰雄, 山本容代, 浅川澄子 (1965): 温泉浴槽水の汚染度に関する研究, 温泉工学会誌, **4** (2), 11-17.
- 甘露寺泰雄 (1968): 温泉水の飽和指数に関する研究, 第1報, 伊豆箱根地方の温泉における Saturation Index と Stability Index について, 温泉科学, **19** (1), 15-25.
- 甘露寺泰雄 (1974): 温泉沈殿物の工学的障害除去に関する研究, (1), 温泉工学会誌, **9** (2), 67-74.
- 甘露寺泰雄, 益子 安 (1975): 温泉水の過剰採取と枯渇現象について—修善寺温泉における適正採取量の推定法, 温泉工学会誌, **10** (1), 16-25.
- Y. Kanroji (1979a): Complex Ions in Acidic Iron Springs and its Catalase Like Action, 温泉科学, **30** (1), 1-6.
- Y Kanroji (1979b): Salt Water Encroachment in Shirahama Hot Spring, EISEIKAGAKU (衛生化学), **25**, 96-119.
- 甘露寺泰雄 (1981), 温泉水の過剰採取と枯渇現象について (その4), 伊豆長岡 (古奈, 韮山を含む), 湯ヶ島, 及び白浜温泉に於ける適正総採取量の推定, 温泉工学会誌, **16** (2/3), 9-18.
- 甘露寺泰雄 (1983), 伊豆半島海岸地域に分布する塩化物泉の化学組成と海水—岩石相互作用について, 温泉科学, **34** (1), 13-27.
- 甘露寺泰雄 (1987a) 温泉化学の最近の話題から—温泉の枯渇現象と化学成分の変化—, 温泉科学, **37** (2/3), 112-130.
- 甘露寺泰雄 (1987b): 伊豆半島海岸地域に分布する塩化物泉の化学組成と海水—岩石相互作用の研究 (その2), 塩化物泉の化学組成の特徴と地下温度, CO₂分圧, 温泉工学会誌, **21** (1), 5-14.
- 甘露寺泰雄 (1987c): 伊豆半島海岸地域に分布する塩化物泉の化学組成と海水—岩石相互作用の研究 (その3), Basic rock sea water interaction と Ca—Cl 泉の生成機構について, 温泉工学会誌, **21** (2/3), 39-46.
- Y. Kanroji (1988a): Deterioration of Hot Spring Resources with the Development of Spa, in Izu Peninsula, Shizuoka Pref, Proceeding Kagoshima International Conferences on Volcanoes, 883-886.
- 甘露寺泰雄, 田中 昭, 高橋 保 (1988b): 下賀茂温泉における資源の変動について, 温泉工学会誌, **22** (1), 24-42.
- 甘露寺泰雄, 田中 昭, 高橋 保 (1989): 熱川及び周辺地域における開発に伴う資源の変化, 温泉工学会誌, **23** (1), 27-45.
- 甘露寺泰雄 (1993): 温泉スケール (温泉沈殿物) について—温泉水から析出するスケール対策—地熱, **30** (2), 53-69.
- 甘露寺泰雄, 益子 安 (1997a): 温泉資源の枯渇現象と化学成分の変化, 薬学雑誌, **117**, **10** (11), 合併号, 836-849.
- 甘露寺泰雄 (1997b): 温泉今昔物語 (その21), 修善寺温泉 (その1), 地熱エネルギー, **22** (3), 4-22.
- 甘露寺泰雄 (1997c): 温泉今昔物語 (その21), 修善寺温泉 (その2), 地熱エネルギー, **22** (4), 27-31.
- 甘露寺泰雄 (1998): 温泉今昔物語 (その22), 石和, 春日居温泉と其の周辺地域の資源の変化, 地熱エネルギー, **23** (4), 41-51.
- 甘露寺泰雄 (2000): 温泉今昔物語 (その26), 下呂温泉について (1), 地熱エネルギー, **25** (1),

45-59.

- 甘露寺泰雄 (2001a) : 和歌山県白浜温泉, 温泉科学, 51 (1), 21-24.
- 甘露寺泰雄 (2001b) : 熱海温泉の泉質の特徴—Ca—Cl 型塩化物泉の出現に関する地球化学的研究, 温泉工学会誌, 27 (2/3), 35-47.
- 甘露寺泰雄 (2002) : 温泉法第二条別表についての考察, 温泉工学会誌, 28 (1), 53-63.
- 甘露寺泰雄 (2003a) : 療養泉についての考察, 温泉工学会誌, 28 (2/3), 35-47.
- 甘露寺泰雄 (2003b) : 浴槽のよごれを濁度を用いて解析しよう, レジオネラ防止対策研究会編, レジオネラ対策はこうすれば安心, 67-68.
- 甘露寺泰雄 (2005) : 温泉浴槽の衛生管理, 温泉地域研究, 4, 1-8.
- 甘露寺泰雄 (2006) : 温泉 (鈹泉) 分析法指針の策定経過からみた療養泉と温泉法の関係, 温泉工学会誌, 30, 特集号, 64-74.
- 甘露寺泰雄 (2012) : 修善寺温泉の化学成分の経年変化—集中管理の実施により水位は回復したが泉質は復元しない事例として—日本温泉管理士会誌, 48, 2-17.
- 甘露寺泰雄 (2014) : 最近の温泉事情—集中管理による資源の保護復元と高塩分含量で特殊成分を含む温泉の適正利用について, 日本温泉管理士会誌, 50, 48-65.
- 福富孝治 (1976) : 温泉の過剰採取と適正採取量に関する地球物理学的研究, 昭和 50 年度環境庁委託研究, 温泉の枯渇現象と適正採取量に関する研究, 5-22 (中央温泉研究所).
- 益子 安, 甘露寺泰雄 (1966a) : 温泉水中の錯イオンについて, 酸性泉の酸化還元電位, 吸収スペクトル, 及びカタラゼ作用と錯イオンの関係, 温泉科学, 16 (2), 75-90.
- 益子 安, 甘露寺泰雄 (1966b) : ラングリヤー計算法によるスケールの付着度合いの検査, その 1, 温泉工学会誌, 3 (2), 1-5.
- 益子 安, 甘露寺泰雄 (1968a) : 石灰質の温泉沈殿物 (石灰華) とその対策, 工業用水, 20, 51-5.
- 益子 安, 甘露寺泰雄, 平野芳純, 本間啓司 (1968b) : 温泉水より析出する沈殿物 (石灰華) の除去法に関する研究, 温泉工学会誌, 6 (1), 1-9.