

日本温泉科学会第 63 回大会

会長講演

温泉科学の発展を模索する

—古温泉科学の提案—

西村 進¹⁾

Groping for the Development on Hot Spring Sciences
—Proposal of “Paleo” Hot Spring Sciences—

Susumu NISHIMURA¹⁾

1. はじめに

日本温泉科学会「温泉科学」誌の投稿がこの2年ほど非常に活発になってきた。編集委員会の努力はもちろんである。大会も期限に間に合う講演申し込みで予定が埋まり、時間の割り振りが大変になってきた。その中でいろいろ気になってきた問題がある。論文を見ると、「何々温泉の端成分がこの例のように推定でき、この端成分（温泉場の泉源の最も元となる成分）と天水の混合で何々温泉の湧泉の説明がつく。何々温泉の流れはこのように推定できる。何々温泉の化学成分はこのようなもので、分類すれば…型温泉である。」とまとめられていることが多い。この種の研究は基礎になるので必要である。しかし、さらに進んで端成分の由来などの研究に興味がある。

温泉の分類、無機化学、分析化学は必須で必要である。また、鉱山の閉山に従い、鉱床学の研究がなされなくなった。しかし、温泉科学を深めていくなれば、昔の鉱床の化学、地球物理学の研究を進めることも大切と考えている。

鉱床をみると、化学成分・化合物の面から見ても実験室内の平衡化学反応ではなく、非平衡で、時間の長さにより異なった鉱床が出来るなど、時間による化学反応の変化が地球の化学反応を支配していると痛感させられる。

放射性廃棄物地層処分の研究に携わるようになり、この年代軸を加味した研究の必要性を感じた。地下水との化学だけではなく、地下構造の数万年から数十万年の力学的安定性の研究、炭層に二酸化炭素を圧入して、安定化させる研究などに携わり、時間軸（とくに数万年から数十万年：この時間は自然科学で最も苦手の時間）を入れた研究が必要になってきた。温泉科学もその程度の時間軸の研究が必要であろうと感じる。また二酸化炭素、水混合の超臨界の化学、物性の研究が必要

¹⁾ NPO シンクタンク京都自然史研究所 〒606-8305 京都市左京区吉田河原町 14, 近畿地方発明センター内。 ¹⁾ NPO Think-tank Kyoto Institute of Natural History, Kinki-chiho Hatsumei Center, Yoshida-Kawara Machi 14, Sakyo-Ku, Kyoto 606-8305, Japan.

と考える。温泉とは直接的に関係がない事例もあるが、自然現象を解釈するとき時間軸がいかに必要かと感じた事例をあげることにする。

2. 黒部の仙人ダムのすぐ下流側に見られる高熱隧道などの高温岩体

黒四ダムが黒部川上流に作られたときに、冬季にも作業出来るように黒部川沿いに、隧道が掘削された。仙人ダムのすぐ下流側でトンネル壁が掘削当時 (July, 1937-Aug. 1939) 100~125°C の区間が 700 m もあったが、我々が測定したときは 40~100°C (July, 1961) でトンネル内 45 度の斜坑掘をし、10 m 深でほとんど掘削前そのままの温度で、近辺に発電用の導水路があっても冷えていない (Nishimura and Mogi, 1986)。この熱が第四期立山の火山と一連の熱か、花崗岩の残熱であるかを調べる調査をした。黒部の谷に沿い、花崗岩の K-Ar 年代を求めた。花崗岩の貫入年代は 50 Ma (Nozawa, 1977) と考えられるが、得られた年代は 6.1~0.7 Ma と非常に若い。これは花崗岩の冷却年代を示している。スローターリングが同位体年代にどのように表れるか (閉鎖温度) の検討が大切である (Fig. 1; Nishimura and Mogi, 1986)。

タイ北部の San Kamphaeng, Mae Chaem, Fang 温泉の中生代貫入の花崗岩体 (Kawada *et al.*, 1987) や、今年 6 月現地で調査した韓国仁川 (Incheon) 国際空港の近く江華郡 (Gangwa-do) 席毛島 (Sekmo-do) で十数本の試掘がなされ、そのうちの 2 本 (750 m 深度掘削 400 m 深度以深のストレナで 73°C, 約 2,000 l/分の自噴湧水と 1,600 m 掘削で 1,200 m 以深のストレナで 72°C の自噴湧水) が見られ、白亜紀末の貫入とみられる花崗岩体の高温岩体由来するなどがある。

3. 段丘をもとにした地殻変動の歴史

放射性廃棄物地層処分の研究で、段丘をもとにして 12 万年以降の地殻変動について研究した (Fig. 2; 原子力環境整備センター, 1998)。六ヶ所の高放射能廃棄物処理工場の裏の崖で断層が見つかり公表が遅れていたのを指摘され、非常に若い地層の断層を隠していたと問題になった。この段丘は 12.5 万年前の中位段丘である。ところがその段丘面を精密に測量してもこの断層により段丘面の変位がなかった。段丘面は全体で数 10 km にわたるが、その中央部が一番隆起してたわんでいても断層でのくい違いがないことになる。すなわち見つかった断層は中位段丘以降活動していない事

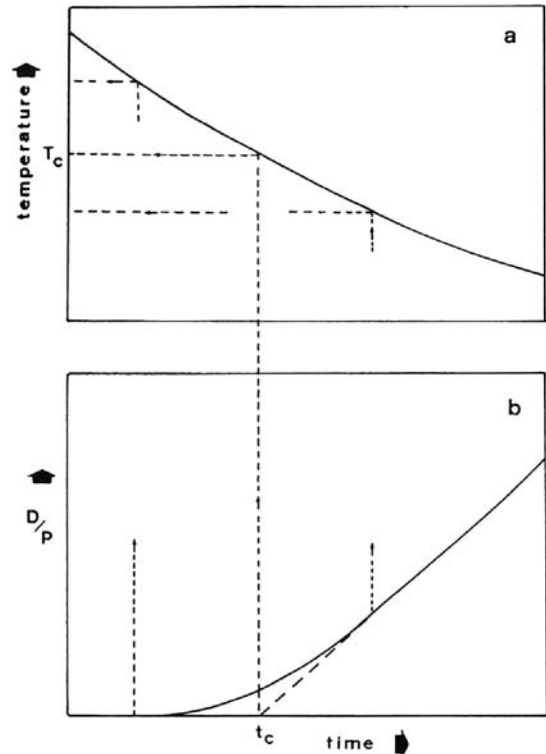


Fig. 1 Definition of calculated age for the system and its closure temperature, and its example at the case of cooling rate: 10°C/Ma (modified from Nishimura and Mogi, 1986). A, cooling line; b, accumulation line; D/P, the daughter and parent element ratio; fine broken line, approximate limits of transitional time-temperature range; and dashed line, definition of time t_c ($t=0$) and closure temperature (T_c).

が判った。同様の調査が北海道でなされている。このように、12.5 万年の間、断層活動がなければ、非常に安定しているといえる。中位段丘は日本各地で見出され、地殻変動の時間の指標となり、それ以降の低位段丘や火山灰や化石の年代で、地殻変動の時間軸が正確に入れることが出来る。

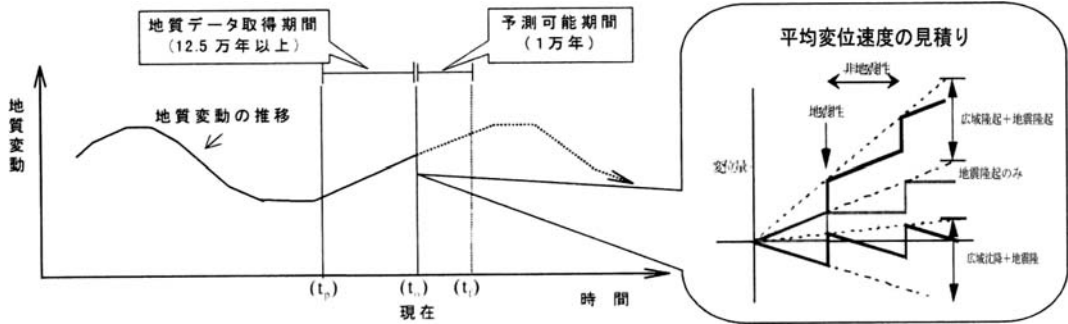


Fig. 2 A solution for the prediction of crustal deformation.

4. 琵琶湖周辺の炭酸泉

琵琶湖の周辺には、Table 1 のように炭酸泉が存在した。しかし、その大部分は厚い古琵琶湖層中

Table 1 Chemical composition of carbureted springs around Lake Biwa (Nishimura *et al.*, 2004).

番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
市町村	愛東町	守山市	今津町	今津町	湖北町	湖北町	安土町	守山市	安土町	能登川町	新旭町	安曇川町	守山市
坑井	湖東ホテル	レイク・ビワ	中川三一郎	柳森剛	紅鮎荘	尾上荘	長屋新之助	リゾート・クラブ	長屋喜一	小林健三	泰昭能②	泰昭能①	湖南開発
深度 (m)	700	707	30	30	180	180	60	880	60	60	614	240	945
水温 (°C)	29.8	35.0	16.5	16.5	20.0	19.5	18.5	31.5	18.0	17.8	27	18.8	33.5
ガス (Nm ³ /d)	—	21.4	<7.4	7.4	3	—	12	—	2	—	>3.2	—	—
水 (kl/d)	298	324	—	110	21.6	86.4	>2.4	75	8	—	248	200	121
ガス水比	—	0.066	—	0.068	0.14	—	0.5>	—	0.25	—	>0.13	—	約 0.2
ガス (Vol. %)													
He	0.14	0.036	0.00	0.00	0.003	0.003	0.001	0.014	0.00	0.001	0.006	0.003	0.013
H ₂	0.000	0.0011	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
O ₂	0.160	0.00*	0.13	0.22	0.50	0.34	0.14	0.28	0.05	0.19	0.24	**	0.18
N ₂	81.54	24.5	17.96	7.72	26.24	17.03	9.90	21.63	10.76	20.01	14.30	15.28	19.62
Ar	1.08	0.279	0.4	0.21	0.45	0.30	0.20	0.31	0.21	0.42	0.23	0.18	0.35
CO ₂	0.005	1.95	2.33	4.88	0.96	1.77	6.82	3.48	6.39	2.90	3.07	9.90	4.62
CH ₄	17.02	73.23	79.18	86.98	71.85	80.54	82.94	74.28	82.60	76.48	82.15	74.64	75.12
C ₂ H ₆	0.005	0.0064	—	—	—	—	—	0.004	0.00	0.000	0.002	0.000	0.006
C ₃ H ₈	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
N ₂ /He	582	681	—	—	8,747	5,677	9,900	1,545	—	20,010	2,383	5,093	1,509
N ₂ /Ar	75.5	87.8	44.9	36.8	58.3	56.8	49.5	69.8	51.2	47.6	62.2	87.3	56.1
付随水													
pH	>8.4	7.3	6.5	6.6	7.2	7.2	6.6	7.1	6.4	採取不能	7	6.6	7
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	51	397	116	172	402	406	305	366	261	採取不能	384	185	350
free CO ₂ (mg/l)	14	24	102	190	36	36	170	50	180	採取不能	70	92	60
Cl ⁻ (mg/l)	67	383	10.6	9	14.2	14.2	9.2	177	7.8	採取不能	41	7	74
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0.26	11.6	12.1	16.8	14.2	14.2	22.4	12.1	17.6	採取不能	11.2	14.0	8.4

*および **: 原分析値はそれぞれ 1.43 vol. % および 14.08 vol. % であり、そのすべてを空気混入によるものとした。

に住むメタン生成菌の働きによりメタンが生成したことが判明した(西村ら, 2004). そのガス成分の約80%がメタンであるが, 残り20%は二酸化炭素で, その自噴泉は炭酸泉として登録され一部利用されている.

滋賀県高島市新旭町地先の湖岸で浸食も人の手も入っていないところで200mの掘削をし, 4層のメタン胚胎層を確認できた. 200mのコアを調べても明確な火山灰層が見つからないので正確な堆積年代が判らないが, すべてブルンヌ正磁期の堆積物で途中25万年前の不整合(東からの堆積物と西からの堆積物に変わる不整合)が見つかり, 第1層目のメタン胚胎層のコアと採水した水試料にメタン生成菌を見つけ出し(地球環境産業技術研究機構, 2004), 気体の50%ほどがメタンであったことから, 数1000年でメタンが生じている事が判った(Table 2; 西村ら, 2004). この研究からは, Fig. 3のようなメタン・二酸化炭素サイクルの提案がなされている.

Table 2 Composition of soluble gas in the silt beds (No. show the bed from the surface) including CH₄.

組成 (Vol. %)	No. 1	No. 2	No. 4
CH ₄	55.7	46.8	65.1
C ₂ H ₆	<0.01	<0.01	<0.01
C ₃ H ₈	<0.01	<0.01	Not Detected
CO ₂	0.465	0.646	0.76
N ₂	35.3	38.9	26.2
O ₂	6.11	8.85	5.11
H ₂	0.05	<0.01	0.02

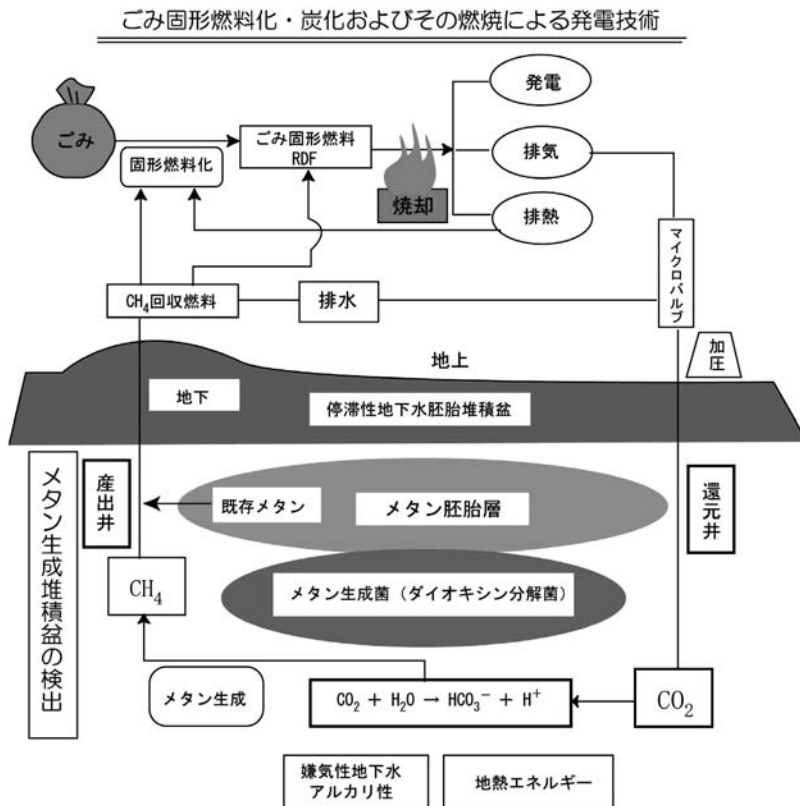


Fig. 3 Biochemical carbon cycle system.

5. 二酸化炭素炭層固定のモニタリングからの炭層内での二酸化炭素の移動の推定

モニタリングに用いた高精度傾斜計の動きから、夕張の非常に厚い第三紀層が粘弾性体であり、その中の炭層の直上部の傾斜計の動きから、炭層での二酸化炭素の浸透の仕方が推定出来た (Fig. 4; シンクタンク京都自然史研究所, 2008).

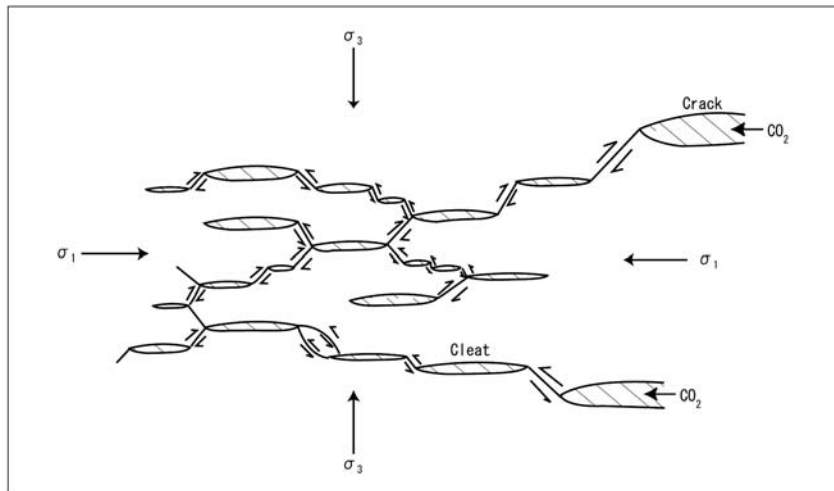


Fig. 4 Schematic diagram in the case of CO₂ injection into a coal seam. σ_1 and σ_2 are shown maximum and minimum main stress, respectively (modified from NPO Think-tank Kyoto Inst. Nat. Hist.,2008).

6. 有馬温泉・白浜温泉の温泉水の湧出の様式

有馬温泉・白浜温泉の泉水に上部マントルに存在する成分を含む。フィリピン海プレートの表面の蛇紋岩からの脱水が 30~60 km 深度で起す。深発地震の観測からフィリピン海プレートの約 30 km 深度の地上部に白浜温泉があり、60 km 深度の地上部に有馬温泉が存在する。この条件では、二酸化炭素・水は超臨界流体であり、マントルの中のこの流体は比重を小さくし、上昇を助けている。その上昇の仕方は、炭層に二酸化炭素が浸透していく仕方 (Fig. 4) を水平の炭層面を上下に 90 度変えた同様な様式で浸透すると推定出来る。地殻下部に至り水は亜臨界の状態に変わるが、二酸化炭素は尚超臨界流体であり、水の上昇を非常に助け、活断層の 12~14 km 深度に至り、二酸化炭素が臨界を超え、次第に発泡しだして、ますます高速に湧出する (西村ら, 2009)。

7. ま と め

自分の経験をもとに紹介したが、どれも研究は未完成である。問題点を提供しただけに思う。演者の在任した大学の講座は地球テクトニクスとされているが、この講座の最初の担当は松山基範先生で、講座 (当時、理論地質講座、のちに物理地質講座) の方針としては物理的手段を用い地質構造を解明することであり、研究方法として、①重力、②磁気、③放射能とされた。演者の主なテーマは放射能の手法を選択したのであるが、当時、初田甚一郎先生にお聞きした松山先生の考えは、熱の問題と年代の問題を研究する手法が放射能の測定であった。その教えに従った。そこで、講座

名が物理地質学であったが内容的には古地球物理学とした方がよいと考えた。この古の使い方は、生物の進化・突然変異などの学問を古生物学 (Paleontology), 歴史を追った地球磁気学を古磁気学 (Paleomagnetism), さらに、古気候学 (Palaeoclimatology), 古地理学 (Paleogeography) などの古に通じるものである。

現在、地球物理学の分野の研究の進歩に眼を見張るものがあるが、弱点は、この「古地球物理学」のように、年代軸をいれた「地球物理学」の分野の研究が弱い。

このように、地球発達に伴う学問は年代を追った非平衡の科学の分野が大切であり、温泉学や鉱床学もこのような考えで考察する必要があるように感じる。ここに古温泉科学、古温泉化学を古で表す学問体系として、意識して研究をすることを提唱したい。

引用文献

- 地球環境産業技術研究機構 (2004) : プログラム方式二酸化炭素固定化・有効利用技術開発 (地中メタン生成菌による CO₂ からのメタン再生のための基盤技術の開発) 成果報告書。
- 原子力環境整備センター (1998) : 低レベル放射性廃棄物処分可視画像化調査報告書 (平成 9 年度)。
- Kawada, K., Sasada, M. and Kanaya, H. (1987) : Preliminary study on heat generation from the granitic rocks in northern Thailand. *Bull. Geol. Survey, Japan*, **38**, 7-12.
- 西村 進, 桂 郁雄, 西田潤一 (2004) : 琵琶湖周辺の炭酸泉. *温泉科学*, **54**, 55-64.
- 西村 進, 桂 郁雄, 西田潤一 (2009) : 近畿地方中・南部の高温泉とその地質構造 (1) 一白浜温泉と有馬温泉の探査の結果から一. *温泉科学*, **59**, 103-111.
- 西村 進, 桂 郁雄, 西田潤一 (2010) : 近畿地方中・南部の高温泉とその地質構造 (2) 一白浜温泉と有馬温泉の電磁探査の結果から一. *温泉科学*, **60**, 145-160.
- Nishimura, S. and Mogi, T. (1986) : The interpretation of discordant ages of some granitic bodies. *J. Geotherm. Res. Soc. Jap.*, **8**, 145-164.
- Nozawa, T. (1977) : Radiometric age map of Japan. Geological Survey of Japan.
- NPO シンクタンク京都自然史研究所 (2008) : 夕張 (挾炭) 層での圧入二酸化炭素の挙動 (作業仮説). 二酸化炭素炭層固定化・有効利用技術対策事業「二酸化炭素炭層固定化技術開発・モニタリング技術の検討」. *自然と環境*, **10** Supplement (2), 149-150.