



解 説

大陸縫合帯 (Suture Zone) の温泉 (4)

—まとめ—

西 村 進¹⁾

(平成 24 年 12 月 26 日受付, 平成 25 年 4 月 15 日受理)

Hot Springs along Suture Zone (4)

—Summary on the Hot Springs in Suture Zone—

Susumu NISHIMURA¹⁾

Abstract

Some flowing artesian wells are distributed in suture zones, such as along Atlas folded zone between Africa and Eurasia continents, and Iranian suture zone between Arabian and Eurasian continents. The other hand, it have been succeeded to get hot springs by drilling in the old suture zone between Asia and some continental fragment such as Maizuru belt in southwest Japan.

To understand the transportation and the circulation of water in suture zones and the ophiolite zones were discussed. Although the estimation has a large degree of uncertainty, the suture zones is a significant storage of hot and/or mineral springs, and plays an important role in global water circulation.

Consequently, the following points have been clarified, 1) the temperature of well water from younger structure is higher than older, but these springs have high contents of many kinds of ionic materials in general, and 2) regional metamorphism and hydrothermal mineralization are regarded as a series of geological events corresponding to different stage of a temporal change in the geothermal state of a suture zone.

Key words : Hot and/or mineral springs, Suture zone, Metamorphism, Hydrothermal mineralization

要 旨

アフリカ大陸とユーラシア大陸の縫合帯のアトラス褶曲帯, アラビアとユーラシア大陸間のイラン縫合帯には温泉や鉱泉の自噴している湧泉が分布している。また, アジア大陸と大陸塊の古い縫合帯である舞鶴帯では, 深部掘削により温泉や鉱泉が得られている。これらの縫合帯

¹⁾ 特定非営利活動法人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-Kawaramachi 14, Sakyou-ku, Kyoto 606-8305, Japan. E-mail tkinh-1@isis.ocn.ne.jp, TEL 075-761-2526, FAX 075-761-2544.

やオフィオライト帯では、岩石・鉱物の種々な高圧・高温実験や地質構造の研究から、地殻深部や上部マントル、沈み込み帯での水の循環が議論されるようになった。しかし、未だに説明できていない部分がある。縫合帯には温泉や鉱泉がみられるが、これは地殻全体の重要な水の循環の結果の産物で、今後の研究が期待できる。

今回の「大陸縫合帯の温泉」の検討結果では、以下のようなことが指摘できる。①縫合帯の出来た時代が若いほど温泉の温度は比較的高い。しかし、どの時代の温泉でも、遊離炭酸を多く含み、炭酸泉、炭酸水素塩泉、食塩泉がほとんどであるが、含有物質の種類が多く濃度も高い。②温泉に伴う熱水変成作用の時代や熱水鉱床の生成の段階の異なりは縫合帯の時代により決まる。

キーワード：温泉・鉱泉，縫合帯，変成作用，熱水鉱床の生成

1. はじめに

ユーラシア大陸とアフリカ大陸の大陸縫合帯には点々と温泉が湧出している。また、東・東南アジアにはユーラシア大陸と大陸片の縫合帯が所々で見られる (Nishimura and Suparka, 1997) (Fig. 1)。大陸と大陸が接近しているところには、まだ海洋底プレートの沈み込み帯の部分やその影響を受けるところもあり、スマトラからスダラ列島、スラベシ、サンギヘ、ミンダナオ、台湾、琉球弧、日本弧のつながり、そこには紀伊半島のように前弧 (火山活動島弧の火山フロントより海洋よりの部分) の非火山性温泉、火山フロントの大陸側に火山性温泉が分布する。このほか、ヒマラヤの主スラスト断層沿いや、チベット高原北縁に点々と温泉が湧いているが、まだ十分な調査はなされていないとは言えない。

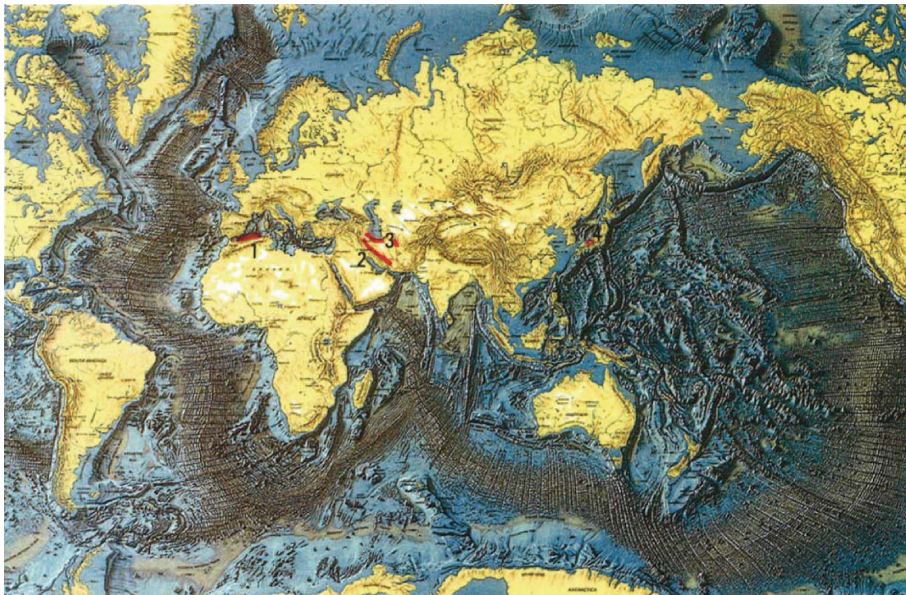


Fig. 1 Topographic map of eastern hemisphere (Hamashima, Pub., 2006) with the localities of Atlas Tellian, Algeria, Iranian and Maizuru, Southwest Japan.

1, Atlas Tellian mountain range ; 2, Zagros mountain range ; 3, Alborz and Kept Dah mountain range and 4, Maizuru belt.

図 1 東半球地形図 (浜島書店編, 2006) と前アトラス, イラン, 舞鶴各陸縫合帯.

1: アトラス山脈, 2: ザクロス山脈, 3: アルボルツ・ケプトダ褶曲帯, 4: 舞鶴帯

今回の大陸縫合帯の温泉の解説では、手元に未発表の温泉でまとまりのあるデータと地質構造の多くの研究成果が発表されている3か所、①アルジェリアのアトラス山脈の縫合帯、②イランのザクロス山脈・アルボルツ山脈の縫合帯、③西南日本内帯の舞鶴帯の縫合帯の温泉について、年代順にまとめ解説した。この3縫合帯の温泉でもって縫合帯の温泉を総括的に検討出来ると考えている。

2. 大陸縫合帯の温泉

アトラス山脈の若い縫合帯は中新世以降最近でも活動している地帯であるが、現在火山活動は認められない。イランの縫合帯は白亜紀から中新世のオフィオライト、蛇紋岩などで代表される海洋底地殻およびその変質帯が見られその周辺に褶曲山脈が見られる地帯で現在の地震多発地帯 (Fig. 2) でもあり、熱水活動の産物の熱水鉱床も見られるが、ここも現在火山活動は認められない (西村, 2012; 西村ら, 2012)。この2地域の温泉は自噴湧出状態のまま利用されている。

三畳紀の比較的古い舞鶴帯は夜久野オフィオライトの存在で古い縫合帯であることがわかる。しかし、現在ではすでに火山活動は勿論、地震活動すらみられず、地温勾配も活動帯でない地域の値 (25~28°C/km) に近くなっている。しかし、かつての地熱活動の痕跡である熱水金属鉱床が発達し、そこに大深度掘削により温泉を得られている (西村・赤松, 2013)。

これらの3つの縫合帯の温泉の比較を Table 1 にまとめる (西村, 2012; 西村ら, 2012)。泉質ではほとんど炭酸水素塩泉、塩類泉であるが、3縫合帯のトリリニアダイアグラムを並べると (Fig. 3)、3縫合帯については、気散しやすい元素が年代と共に減少しているが、含有イオン濃度は世界中の温泉の中では多く蒸発残渣も多い。含有二酸化炭素 (遊離) は年代が古い方が少ない (アルカリ度の違いに現れている) が、すべての泉源に含まれているのが特徴である。

アトラスの縫合帯、イランの縫合帯では、各温泉場に複数個所の湧泉があるが、その代表的なものを分析している (西村, 2012; 西村ら, 2012)。舞鶴帯の温泉の掘削は養父市若杉高原温泉を除き、1,200m 深度程度の掘削によって、各井とも複数のストレータ (スリット) 位置から湧出する温泉水を汲みあげている。なお、この南に位置する安定した中・古生代の丹波帯では大深度掘削しても温泉水を獲得できた例はない。

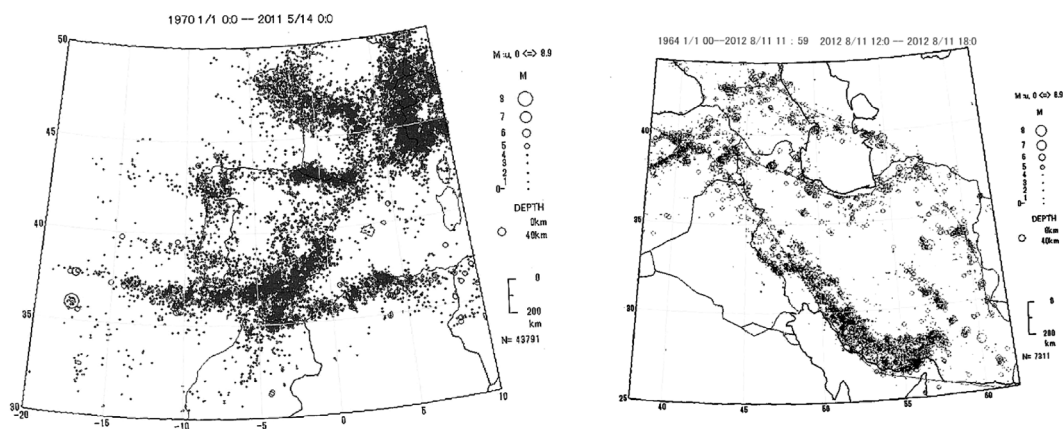


Fig. 2 Distributions of epicenters around the west part of Mediterranean Sea (Jan/1970/-Jun/2011) and Iran (Jan/1964/-Nov/2012) from the catalogs of USGS.

図 2 西地中海を中心とした震央分布 (1970/1-2011/6) とイランを中心とした震央分布 (1964/1-2012/11) (USGS のカタログによる)。

Table 1 Comparison between Atlas, Iranian and Maizuru belt hot springs.

表 1 アトラス, イランおよび舞鶴帯の温泉の対比.

	アトラス縫合帯	イラン縫合帯		舞鶴帯	
		Zagros	Zagros	Kept Dagh	Kept Dagh
時代	中新世以降	白亜紀～中新世	白亜紀～中新世	白亜紀	白亜紀
	アトラス造山活動期	アルプス造山活動期		中新世の日本海生成の影響を受ける.	
	地震活動盛ん.	鉍化作用を伴う. 地震活動盛ん.		超丹波帯を南側に伴う. 鉍化作用伴う. 現在地震活動なし.	
温泉					
●湧出	自然湧出	自然湧出		掘削井	
●湯温 (最高)	96℃	60.4℃		39.4℃	
高温泉 (42℃以上)**	11/23	7/26		0/11	
温泉 (34～42℃)**	4/23	8/26		1/11	
低温泉 (25～34℃)**	4/23	5/26		8/11	
冷鉍泉 (25℃以下)**	4/23	6/26		2/11	
●蒸発残渣 (最高)	59,522 mg/kg	—		12,550 mg/kg	
1,000 mg/kg 以上	17/23	—		8/11	
●アルカリ性*	5/23	11/26		7/11	
●遊離二酸化炭素を含む*	23/23	23/26		8/11	

*環境省自然保護局 (2002).

*: 5/11 は「この事象が11 源泉中5 源泉」をあらわす.

得られている温泉の最高温度はアトラス縫合帯では96℃, イラン縫合帯では60.4℃, 舞鶴帯では, 39.4℃である. さらに我が国の鉍泉分析指針 (厚生省, 1951) の高温泉 (42℃以上), 温泉 (34℃以上 42℃未満), 低温泉 (25℃以上 34℃未満) の分類によると, Table 1 に示すように, それぞれ, アトラス縫合帯の温泉, イランの温泉, 舞鶴の温泉の順に減少している.

3. 大陸縫合帯の温泉と他の温泉

非火山性で厚い堆積物中に大深度掘削を行い, 温泉法に適応する温泉が得られている (宮崎ら, 2007) が, これは地下の増温を利用して, 伏流水を掘削して揚水して利用されているもので, 伏流水が温められたものであって, 含有成分が少なく蒸発残留物も少ない.

一方, 岩盤の中からの自噴や掘削による温泉は, 大きく分けて火山活動に伴う温泉, 火山フロントの前弧側の温泉, 大陸縫合帯の温泉に三大別される. その三者の特徴の対比を Table 2 にまとめる.

大洋底プレートは中央海嶺で生まれ, 海溝・トラフで沈み込みスラブを形成する. Figure 4 にその概念図を示す. 沈み込み 30km の深度までは海水による加水分解で蛇紋岩化する. さらに深く沈み込んだスラブからの脱水は静水圧で決まる. 蛇紋岩は 30～60km 深度で脱水し分解するが, その上部に存在するマンツルの温度が 1,200℃ 以下であれば, この水によりマンツルの溶融温度が

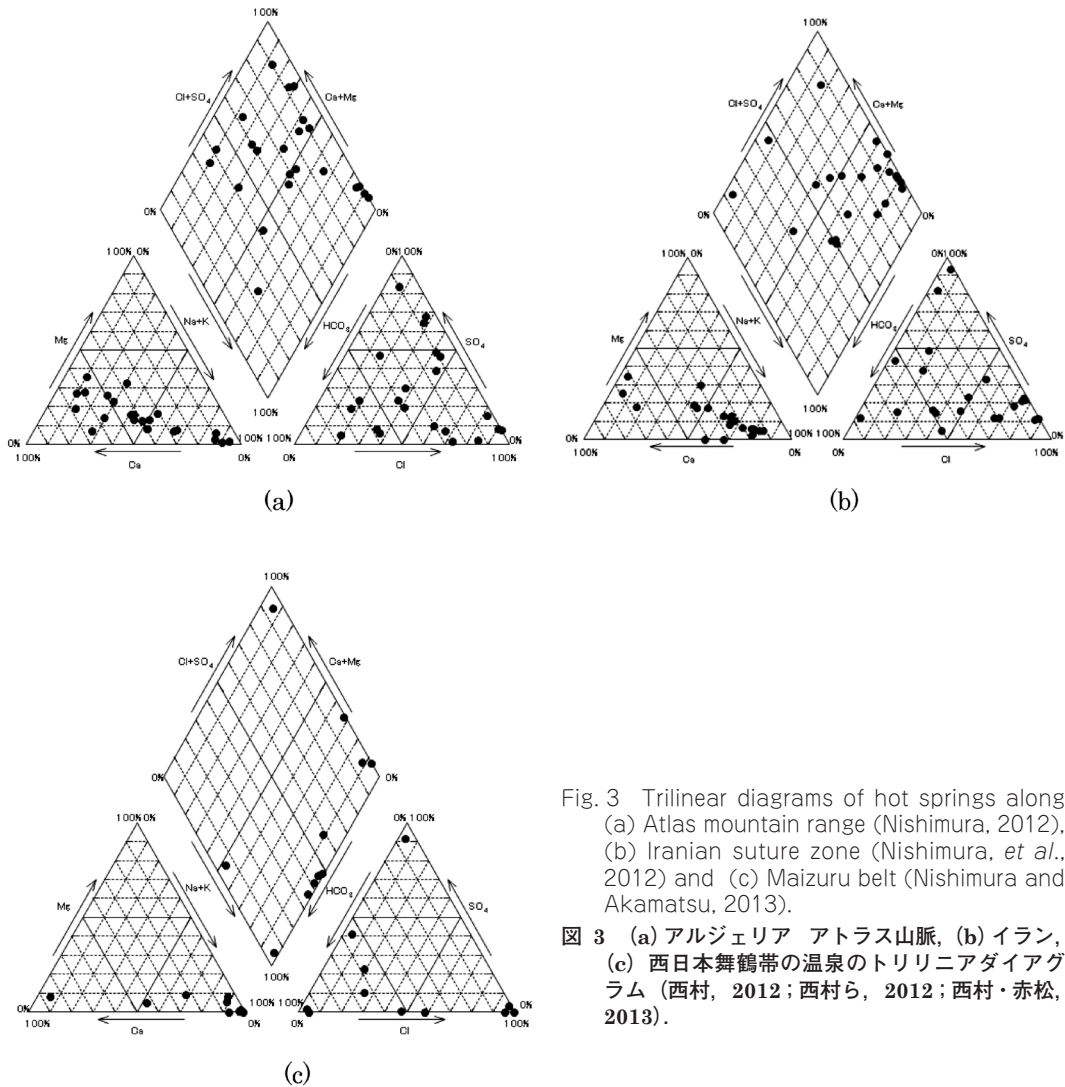


Fig. 3 Trilinear diagrams of hot springs along (a) Atlas mountain range (Nishimura, 2012), (b) Iranian suture zone (Nishimura, *et al.*, 2012) and (c) Maizuru belt (Nishimura and Akamatsu, 2013).

図 3 (a) アルジェリア アトラス山脈, (b) イラン, (c) 西日本舞鶴帯の温泉のトリリニアダイアグラム (西村, 2012; 西村ら, 2012; 西村・赤松, 2013).

低下しても部分溶融をしないで超臨界水がマントル・地殻のゆるみ域を上昇し、マントルの成分を溶かし、上部地殻で地下水に薄められて温泉として湧出する。110km 深度で角閃石の安定限界 (3.5 GPa) で脱水し超臨界水が上昇し、150 km 深度で金雲母の安定限界 (6 GPa) で脱水し 250 km 深度でエクロジャイトが脱水し、無水エクロジャイトになり、さらに、440 km 深度で脱水しガーネタイトになり、670 km 深度でガーネタイトが蓄積し、ザクロ石の結晶相間の水を脱水する。これらの超臨界水は上昇し、マントルの 1,200℃ 以上の部分でマントルを部分溶融したマグマがゆるみ域を上昇し、上部地殻で火山マグマの火山岩になる部分と熱水に分離し、その熱水からガス成分が分離し、ガス成分は地下水に溶け、酸性泉になる。ガス成分を分離した熱水は地下水に薄められ、弱アルカリ性の炭酸水素塩類泉となり温泉として湧出する。

火山活動を伴わない外帯の温泉 (有馬温泉, 龍神温泉, 白浜温泉, 湯の峰温泉など), 大陸縫合帯の温泉の対比を非常に単純化して Table 2 に示す。

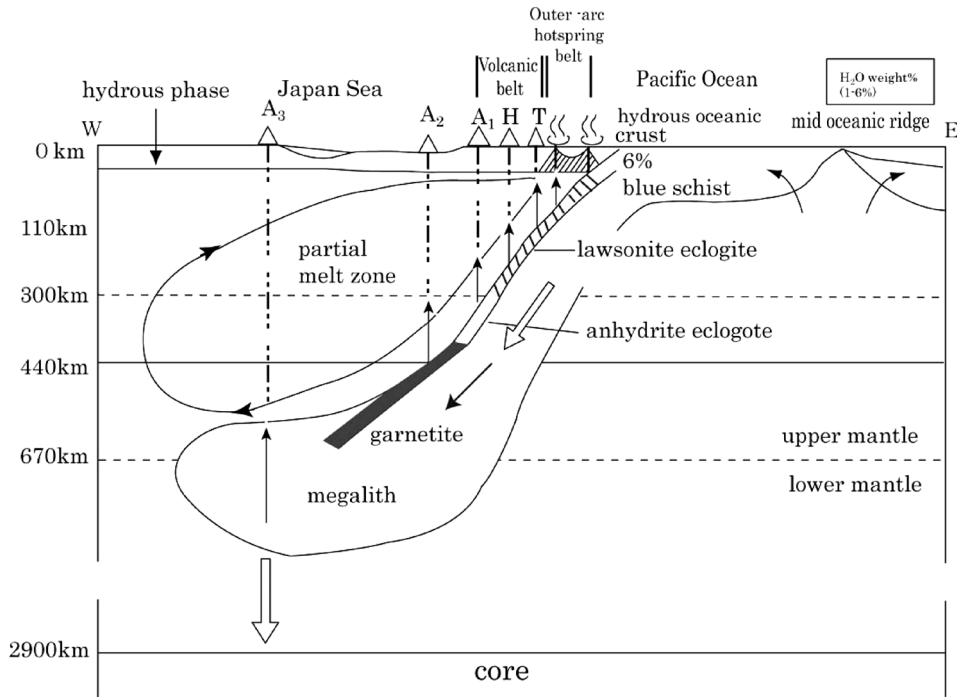


Fig. 4 A new model of subduction system across Tohoku area, Japan (modified from Nishimura, 2007).

図 4 東北日本弧を例にまとめた沈み込み帯モデルの新概念図 (西村, 2007 を改訂).

Table 2 Comparison between hot springs belong to suture zones, volcanic and outer arcs.

表 2 縫合帯の温泉, 火山性温泉, 島弧外帯の温泉の対比.

	火山性の温泉	火山フロントの前弧の温泉	大陸縫合帯の温泉
プレートとの関り	沈み込みのプレートからの脱水が上部マントルの部分溶融を起こしマグマを造り上昇, 火山活動を起こし地温を上げ, 温泉が生じる.	沈み込みのプレートからの脱水の超臨界の水が上昇し, 伏流水と混合し温泉が生じる.	大陸プレートの接近縫合帯の地震多発帯地殻下部や取り込まれたマントルの脱水が伏流水と混合して温泉を生じる.
泉温・泉質	火口からほぼ 20 km 以内で火口に近いほど高温 熱の影響・単純泉火山ガス・成分酸性泉～中性泉硫化水素などを含む	酸性岩の縁や岩脈・岩頭のゆるみ域沿いに高温 マントルの成分を含む二酸化炭素ガスを伴うことが多く中性泉が多い.	縫合帯のできた時代により, 温度に差 鉱床と共存することが多い二酸化炭素ガスまたは重曹をふくむ中性泉～アルカリ泉

引用文献

浜島書店 (2006): 地学図表. 161 p., 浜島書店, 名古屋.

環境省自然保護局 (2002): 鉱泉分析法指針 (改訂), 77 p.

厚生省 (1951): 衛生検査指針VI 温泉分析法指針. 110 p., 共立出版, 東京.

- 宮崎哲郎, 柴田智郎, 秋田藤夫, 高橋徹哉, 青柳直樹, 中山憲司, 内野栄治, 橋爪 清, 甘露寺泰雄 (2007) : 関東平野, 大阪平野, 石狩平野, 濃尾平野, 伊勢・志摩・鈴鹿地方における大深度温泉. 温泉科学, **57**, 99-114.
- 西村 進 (2007) : 島弧の地熱活動と沈み込みプレート—南九州とスマトラの地熱. 温泉の類似性から—. 温泉科学, **57**, 42-53.
- 西村 進 (2012) : 大陸縫合帯 (Suture Zone) の温泉 (1)—アルジェリアのアトラス山脈の温泉. 温泉科学, **62**, 188-199.
- 西村 進・赤松 信 (2013) : 大陸縫合帯 (Suture Zone) の温泉 (3)—西南日本舞鶴帯の温泉—. 温泉科学, **62**, 327-334.
- Nishimura, S. and Suparka, S. (1997) : Tectonic approach to the Neogene evolution of Pacific-Indian Ocean Seaways. *Tectonophysics*, **281**, 1-16.
- 西村 進, 高松信樹, 川崎義巳 (2012) : 大陸縫合帯 (Suture Zone) の温泉 (2)—イランの温泉. 温泉科学, **62**, 251-266.