



解 説

## 大陸縫合帯 (Suture Zone) の温泉 (2)

### —イランの温泉—

西村 進<sup>1)\*</sup>, 高松信樹<sup>2)</sup>, 川崎義巳<sup>3)</sup>

(平成 24 年 7 月 19 日受付, 平成 24 年 10 月 9 日受理)

## Hot Springs along Suture Zone (2)

### —Hot Springs in Iran—

Susumu NISHIMURA<sup>1)\*</sup>, Nobuki TAKAMATSU<sup>2)</sup> and Yoshimi KAWASAKI<sup>3)</sup>

#### Abstract

This paper discusses secondly on the occurrence of hot springs along the suture zone. Iranian Suture zone is situated between Arabian and Eurasia continental plates. In this suture zone, it is observed some ophiolite and volcanic products in late Cretaceous and Paleogene and intrusions of plutonic bodies in Oligocene and Miocene, but recently, not observed any volcanic products. Some hot springs are distributed along the suture zone such as Zagros folding belt at the northern end part of Arabian plate and Kept Dagh folding belt at the southern end part of Eurasian plate.

Chemical analyses data of these spring waters are given some results as follows : (1) It is found that hot springs occur only in the active suture zones with many seismic activities, but not in the platform of continents. (2) Highest temperature of these springs is lower than that in Atlas mountain range in Algeria. (3) Spring waters contain free carbon dioxide, but less than those in Atlas with reverse relation in sodium bicarbonate contents. (4) These springs contain many kinds of chemical elements in rich amounts. And (5) there are no relationship between the qualities of these springs and their geological structures in the suture zone.

Key words : Hot spring, Suture zone, Zagros and Albortz mountain ranges, Iran

<sup>1)</sup> 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. <sup>1)</sup> NPO Think-tank Kyoto Institute of Natural History, Kinki-chiho Hatsumei Center, Yoshida-Kawaramachi 14, Sakyou-ku, Kyoto 606-8305, Japan. \*Corresponding author : E-mail tkinh-1@isis.ocn.ne.jp, TEL 075-761-2526, FAX 075-761-2544.

<sup>2)</sup> 〒285-0843 千葉県佐倉市中志津 2-2-7. <sup>2)</sup> Naka-Shizu 2-2-7, Sakura City, Chiba Pref., 285-0843, Japan.

<sup>3)</sup> 特定非営利活動法人健康と温泉フォーラム 〒151-0066 東京都渋谷区西原 1-50-2-403. <sup>3)</sup> NPO The Forum on Thermalism in Japan, Nishihara 1-50-2-403, Shibuya-ku, Tokyo 151-0066, Japan.

## 要 旨

この解説は大陸縫合帯の温泉について、アルジェリアの前アトラス山脈沿いに次いでイランの縫合帯の温泉を紹介するものである。イラン地域の大陸縫合帯はアラビアプレートの北縁の Zagros 褶曲帯とユーラシアプレートの南縁の Kept Dagh 褶曲帯、ならびにその間に存在するオフィオライトや後期白亜紀～古第三紀の火山活動や漸新世～中新世の深成火成活動も含む海洋底プレートをもつ典型的な縫合帯の地質構造であるが、現在は火山活動が認められない。その縫合帯には現在、自然湧出の温泉が分布する。

その代表的な 26 泉源がイラン文化歴史遺産観光省から示され、その地質構造と泉質を化学分析などで検討をした。その結果をまとめると①安定化した大陸のプラットフォームには温泉が見られないが、縫合帯の地震の多発しているところ（震源の分布域）に温泉が湧出している。②最高の泉温はアトラス山脈の温泉より低い。③遊離炭酸はアトラスの温泉の含有量より低い。④最高に含有し、炭酸水素塩を多く含む。⑤温泉水に含まれる化学成分は、アトラス山脈の温泉と同じく活火山と関係する温泉や厚い堆積物中の温泉よりも多種で濃度も高い。しかし、⑥縫合帯の地質構造区分により泉質の特徴が出てこない、などの特徴がある。

キーワード：温泉、縫合帯、ザクロス・アルボルツ山脈、イラン

## 1. はじめに

イランの大部分はユーラシア大陸とアラビア半島の大陸塊に挟まれた大陸縫合帯の地域であり、その両大陸側端の部分の Zagros 山脈と Albortz 山脈・Kept Dagh 褶曲帯は地震の多発地帯でもある。その褶曲帯中間は主に取り残された海洋底のプレートである。最近では、この Zagros 山脈の北西端のトルコ側に 2011 年 10 月 23 日に Ms7.2（深さ 7 km）の被害地震\*が起き、多くの犠牲者が出ている。その他、1966 年 3 月 7 日に M6.0（深さ 38 km）；1966 年 8 月 19 日 M7.1（深さ 33 km）1976 年 11 月 24 日 M7.3（深さ 36 km）の地震があったように、Zagros 山脈、Albortz 山脈には M4～M7 の地震が頻繁に起きている（Fig. 1）。この地震帯にイランの主な温泉が広く分布する（Fig. 2）。これらの地域には活火山が見られない。

2004 年の秋にイラン文化歴史遺産観光省より「NPO 法人健康と温泉フォーラム」に対して、イランにおける温泉、観光、保養素材の評価および国際観光保養地としての可能性、開発課題の検討等の調査を依頼された（川崎, 2006）。第一次調査は、2004 年 10 月 26 日から 11 月 8 日に観光、環境、建築、マネージメントを主として、イラン最高峰のダマバンド山およびその山麓地域の温泉地、自然環境を評価し、観光地としての可能性を検討する目的でなされ、温泉はテヘラン近傍の 3 源泉で調査がなされた。第二次調査ではイラン全土にわたる 23ヶ所の温泉地を調査分析してほしいとの依頼が来た。その第二次調査（2005 年 3 月 3 日～31 日の現地調査と帰国後の室内分析）には高松と渡辺康平院生が参加し、23 源泉につき、現地での測定を行い、さらに採湯して日本に持ち帰り主要成分の分析をした。今回の化学分析による検討は、主にこの第二次調査のデータで行った。調査の全体の現地の状況は「NPO 法人 健康と温泉フォーラム」専門委員で著者の一人川崎が旅行記として別に報告している（川崎, 2006）。

\* 脚注：M（マグニチュード）は通常の弾性体の破壊に近い地震の値であるが、10 km 以浅の表面波（比較的長周期の地震波）が卓越する地震では異なり、表面波マグニチュード Msの方がエネルギーを正しく表わされる。この報告が受理された直後 2012 年 8 月 11 日にイランの Tabriz の東北東約 60 km で、速報で約 10 km 深度、12 時 23 分（M6.4, Mw6.5）、12 時 34 分（M6.2, Mw6.3）の 2 回の大きな地震があり（Fig. 1 の大きい●）、多くの被害をもたらしている。ここで Mw（モーメントマグニチュード）は巨大地震以外の規模が小さい地震について地震モーメントと Ms の関係を用いて定義されたもので、エネルギーが正しく表わされる。

イランの深い地震は南部で卓越し、褶曲軸に垂直な圧縮軸の地震（縫合の影響の表れの地震）である。また、浅い地震は現在のユーラシアプレートとイランマイクロプレートの境で生じた右横ずれの地震で縫合帯生成後のプレート間の地震である。Figure 1 は 1964 年 1 月 1 日～2012 年 8 月 11 日 18 時までの震央分布図を示した。

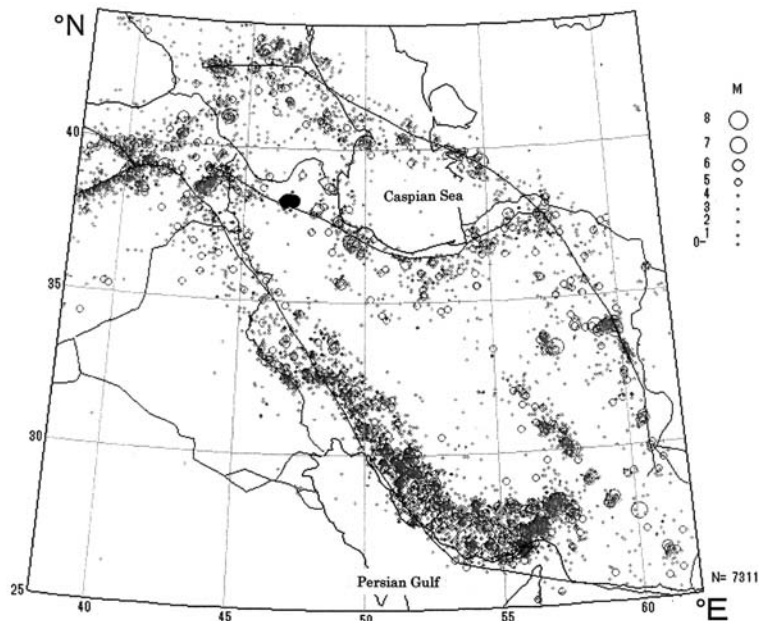


Fig. 1 Distribution of epicenters (1/1/1964/0 : 0-11/8/2012/18 : 00) from the catalog of USGS.

● shows the recent suffered earthquakes (M6.4, M6.2) at Aug. 11, near Tabriz, northwest Iran.

図 1 1964年1月1日0時0分～2012年8月11日18:00に起こった震央分布 (USGSのカタログによる)。

●Tabriz近郊で8月11日に起こった2被害地震 (M6.4, M6.2)。

一方、西村は1970～1974年にイランの遺跡調査に参加して、イランの地質構造に非常な興味を覚えていた。最初の年は故川井直人大阪大学教授の考古地磁気の調査隊の一員として、イラン各所の遺跡調査域での地質構造・地質年代などの研究を担当した (西村, 1971)。1971～1973年は、ローマにある東オリエント研究所 (IsMEO) の Dr. M. Tosi を隊長としたルート沙漠の東端のスイスタン湖のほとりの都市国家発生の遺跡 (テベ・ルビディアバーン) の調査に加わり、イラン東部の遺跡の年代や周辺の地質構造と地質年代の調査を行った (Nishimura and Tosi, 1976 ; Costanimi and Tosi, 1977)。1974年はイタリア隊と現地で合流する予定で、イランに渡ったが、1979年のイラン革命の前ぶれの影響で非常に政局が不安定であり、イタリア隊はすでに帰国した後であった。そのため、2カ月余は遺跡調査ではなく、イラン各地の地質構造の調査や温泉の見学をすることができた。この時期には、プレートテクトニクスの考えはすでにわれわれには定着していたが、縫合帯の考えはまだ定着していなかった。大陸に海洋底プレートが沈み込み、海洋底のプレートの残りが大きな変成を受け、さらに、火成岩の貫入があり非常に興味のある地質構造を構成していた。その大陸側の Zagros 山脈に所々温泉が湧出し、その場で利用されていることが多かった。1976年インドネシアでテクトニクスの研究を始めた時に、その参考に、イランの地質の研究 (Waterman and Hamilton, 1975) を読み、その後のテクトニクスの調査に感化を受けた。イラン・イスラム共和国の資源開発調査 (金属鉱業事業団, 2002) では、それまでの考えの地質情報と鉱床が紹介されている。

その後、イランの大陸縫合帯の地質については多数の研究者が興味をもち、2009～2010年に縫合帯のイランの地質構造や岩石学的研究の多くが集中的に報告された (Arfania and Shahriari, 2009 ; Rezaei-Kahkhaei *et al.*, 2010 ; Torabi, 2010 ; Sheibi *et al.*, 2010 ; Ghorbani and Bezenjani, 2011)。これらの研究が、今回の縫合帯の温泉の解説をまとめる転機となった。

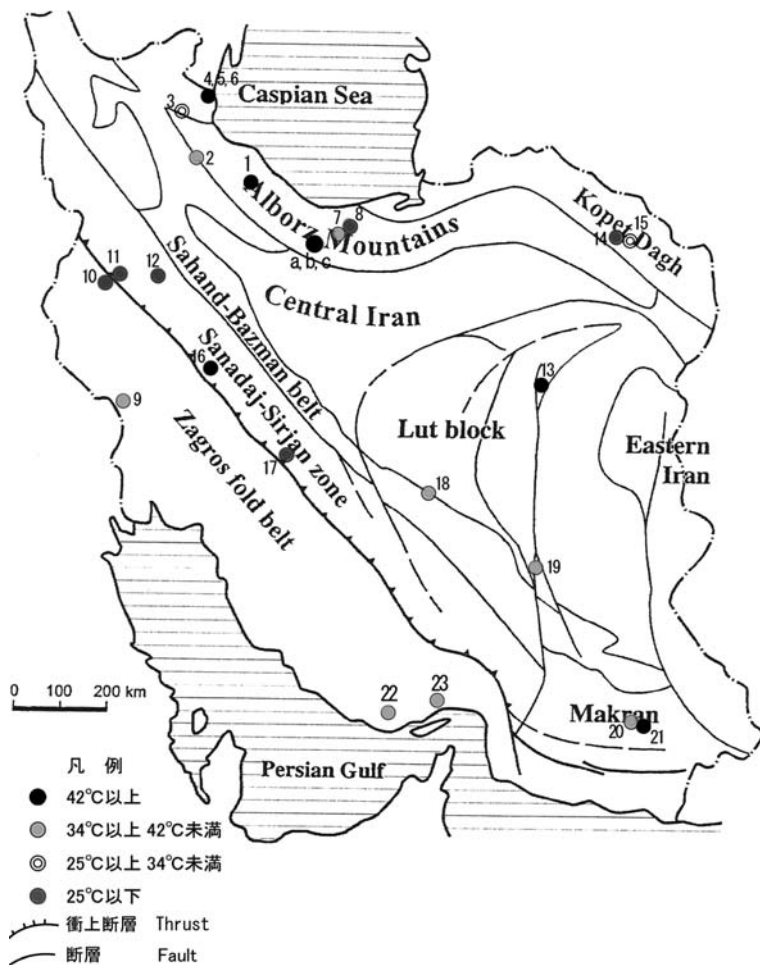


Fig. 2 Schematic tectonic classification of Iran (Metal Mining Agency of Japan, 2002) and distribution of tested hot springs.

図 2 イランの地質構造区分 (金属鉱業事業団, 2002) と調査した温泉の位置.

大陸周辺では、沈み込み帯があり火山活動の盛んな時があり、その後沈み込みが進み、海洋底プレートを残し、火成活動がおさまり非火山性になった状態の場所を縫合帯と名付けられている。縫合帯には温泉が湧き利用されているところが散在し、その特徴を構造発達史からみた構造単元との関係から特質を検討し解説しようと考えた。このシリーズでは、温泉の資料がまとまっている縫合帯の出来た年代の若いアトラス山脈の温泉 (西村, 2012)、少し古い白亜紀～中新世のイランの縫合帯での温泉、さらに古い三畳紀の縫合帯の近畿地方北部舞鶴帯の温泉について検討し、これらの縫合帯の温泉の類似点と、出来た年代により異なる点等を検討して解説することにした。

さらに、沈み込み帯の火成作用に伴う温泉、沈み込み帯の外帯の見られる非火山性の高温の温泉、厚い堆積層の中の温泉等との対比を試みるのが、このシリーズの目的でもある。今回は、そのひとつ、イランの温泉をまとめた。



## 2. イランの地質構造と温泉

### 2.1 地質・地質構造

イランはユーラシア大陸とアラビア半島に挟まれた地域でユーラシアプレートとアラビアプレートとの縫合帯にあたる。イラン北部から北東部に発達した Alborz 山脈と南西部には Zagros 山脈が発達する。それらに挟まれて海洋地殻の変成岩体と貫入岩類で構成されるイラン高原が広がる。この Zagros 山脈、Alborz 山脈、Kept Dagh 山脈で囲まれるイラン高原はルート沙漠で代表される乾燥地帯である。

南側のアラビアプレート上の卓状地は、かつてアフリカ大陸の一部を構成していたもので、基盤が先カンブリア界からなり、その上に古生界から中生界、さらに新生界まで地層が累重している。このアラビア卓状地は現在ペルシャ湾およびイラン南部の Zagros 褶曲山地の基盤を構成している。

一方、北側カスピ海中央域から東南にかけての広大な地域はデュラン卓状地と呼ばれ、ユーラシアプレートの南の一部を構成する部分であり、これが南側で西から東に連なる Kept Dagh 山脈～Western Hindukush 山脈などの大褶曲山地の基盤を構成している (Fig. 3, Waterman and Hamilton, 1975)。

イランはユーラシアプレートとアラビアプレートの縫合帯であり、そこにアルプス造山帯の南北 2 帯がある。大局的な構造としては、南西側に、北西—南東にのびる Zagros 褶曲帯があり、東側に Kept Dagh 褶曲帯がカスピ海の東南隅から南東にのび、これらから 2 つの大陸のプラットフォームが存在する。イランの中央部はこの間に挟まれて北側に Alborz 山脈帯とその南に Central-East Iran 帯が分布する (Fig. 2)。

Zagros 褶曲帯を構成するのは、アラビア卓状地の厚い堆積岩であり、海底プレートを挟みデュラン卓状地 (ユーラシアプラットフォームの一部) の南縁に中生界の堆積岩類が Kept Dagh 褶曲地を構成している。

海洋底プレートの Central-East Iran を構成するのは、その基盤の先カンブリア界と原生代後期～末期の多種の変成岩類、それらを覆う古生界・中生界および新生界の堆積物からなる。これらの地層はキンメリア期とアルプス期の 2 回の変成作用を被り、複雑な地質構造を呈するにいたった。この部分の火成活動としては、カレドニア期およびアルプス期のものが主であるが、特に Central-East Iran 帯および Alborz 帯では後期白亜紀～古第三紀の火山活動並びに漸新世～中新世の深成岩の貫入活動が特徴的である。

温泉の存在するイランの地質構造は、次の三単元に分類される (Waterman and Hamilton, 1975 ; 金属鉱業事業団, 2002)。これらの構造は北西—南東もしくは北西—東方向に伸長しており、さらに東のアフガニスタンおよびパキスタンとの国境付近では大規模な南北性のトランスフォーム断層の Harirud 断層により、地層の水平的な著しい変位が見られる。

- 1) デュランプレートの南部の縁地域 (North Iran 縫合帯の北方地域)
- 2) イランプレート域 (Central-East Iran micro-plate 地域)
- 3) ザクロス褶曲帯域 (Zagros 衝上断層帯の西南地域)

#### 1) デュランプレートの南部の縁地域

北イラン縫合帯の北側域の Kept Dagh 山脈はデュラン卓状地の南縁部であり、二畳系堆積岩～三畳系堆積岩を基盤とする。この山脈を構成するのはジュラ期～漸新世の厚さ 6,000 m 以上の海成層 (浅海性堆積岩) である。この地域は後期アルプス期の造山運動で形成され、火成活動がみとめられないが、例外的な火成活動の痕跡としては、北東部に分布する三畳系地層と三畳紀以前の地層

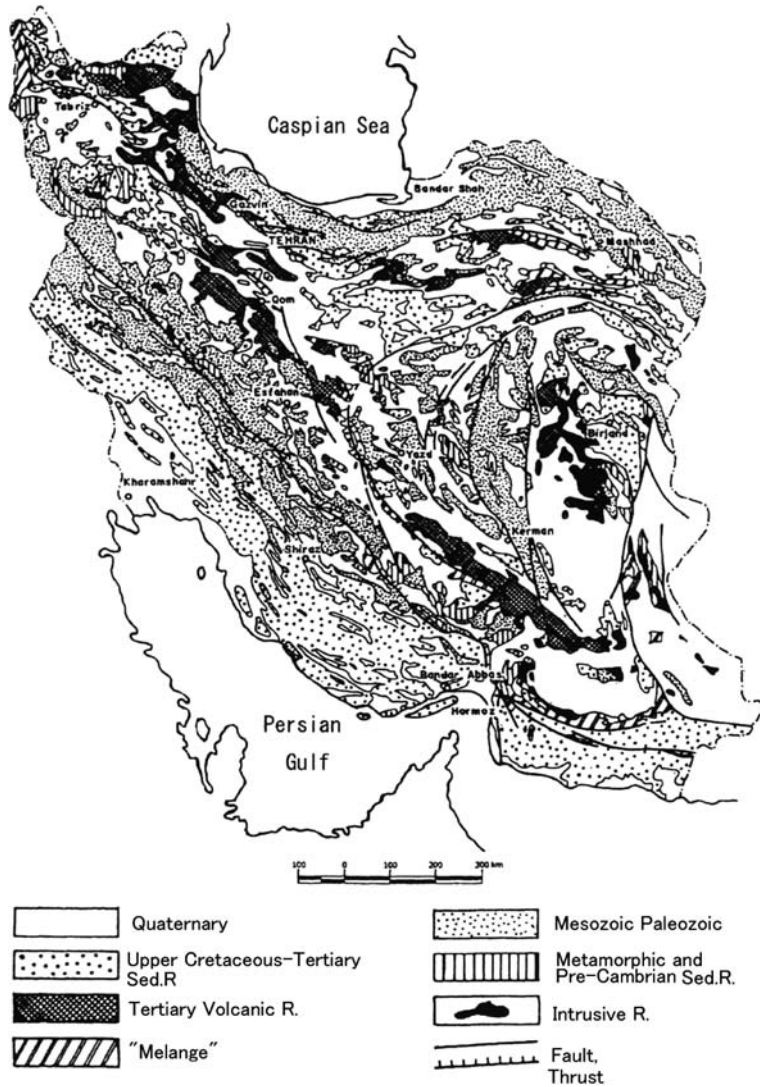


Fig. 3 Geological map of Iran (Modified from Waterman and Hamilton, 1975).

図 3 イランの地質 (Waterman and Hamilton, 1975 に加筆).

中に塩基性火山岩が挟在されることがある。

この縫合帯は、ヘルニシア期から早期キンメリア期にかけての時期にはデュランプレートとイランプレートの境界域であったものと考えられる。

## 2) イランプレート地域

この構造単元に相当するのはイラン中央部のマイクロプレート地域と Alborz 山脈の地域である。このマイクロプレート地域はさらに Sanadaj-Sirjan zone (南側) と Sahand-Bazman belt (北側) とこの地域の南部の深成岩の貫入が多い Lut block に区分される (Lensch *et al.*, 1984 を参考に分類した)。

Sanandaj-Sirjan 帯は南側を Zagros 衝上断層で境され、北側では Sahand-Bazman belt と接しており北西への延長はアルメニア・アゼルバイジャンの一部を経て、トルコの Taurus 帯に続いている。

Sanandaj-Sirjan 帯の地質は主に古生界と中生界からなり、キンメリア初期の変成作用を受けている。第三系については堆積岩・火山岩ともわずかしら認められない。

Sahand-Bazman belt は Sanandaj-Sirjan 帯と並列配列して NW-SE 方向に延びていて、後期白亜紀から第三紀末にかけて活発な火山活動をしていた。この南部は Herzakhani and William-Jones (1998) によれば、新第三紀のカルクアルカリ岩の火山岩類とそれらを貫く第三紀中新世の石英モンゾナイト、石英閃緑岩の活動であり、Cu-Mo の鉱床が各所に見られる (Fig. 4)。その北部は、イラン北部の Alborz 山脈と東部の Lut 地塊で、白亜紀から中新世には活発な火山活動があった。これらの地域での火山活動が主として安山岩質およびデイサイト質の活動が卓越している。その他玄武岩、流紋岩やアルカリ岩が分布する。これらの火山岩は海底火山活動に起因するとの指摘 (Jankovic and Petrascheck, 1997) があり、その後、岩石学・地球化学の研究が進み ophiolite と colored merange とされ、peridotite, serpentinite, pyroxinite, gabbro の貫入や basalt から basanite にいたる一連の海洋底プレートの火山活動とされた (Hassanipak *et al.*, 2000; Shojaat *et al.*, 2003)。これらの記載から見ても、この地域は典型的な大陸縫合帯である。

Central-East Iran マイクロプレートはその周囲とは断層帯で接している。北側は Great-Kavir 断層で Alborz 帯と接し、南側は Nein Baft 断層で Sahand-Bazman 帯と、さらに東側では Harirud 断層で東イラン帯と接している。これら Central-East Iran マイクロプレート周辺の断層帯には数多くの ophiolite 複合岩類が分布するが、その活動時期は白亜紀である。

### 3) Zagros 褶曲帯

Zagros 衝上断層から南西側にはペルシャ湾との間に Zagros 褶曲帯があり、アラビアプレート上で中生代から新生代の海成層からなる。Zagros 褶曲帯を構成する堆積物は三疊紀以降にアラビアプラットフォーム北東部の縁辺域 (古テーチス海) に堆積したもので、厚さ数千 m 以上に及ぶ。この岩相は古生界や三疊系から第三紀中新統までのフィリッシュを主とする堆積岩と後期中新統から洪積統の礫質岩よりなる。

## 2.2 イランの鉱床

イランにおける熱水金属鉱床では、銅鉱、鉛・亜鉛鉱、鉄鉱およびクロム鉱が利用されているが、数千年前からの遺跡で、大理石の石柱の継ぎ目をつなぐものとして方鉛鉱が使われていたり、発掘により金銀細工の飾り物も多く発掘されていて、古くから利用されていた (Costanimi and Tosi, 1977)。

これらのイランの主要な金属鉱床の分布を Fig. 4 に示す (Momenzadeb and Walther, 1984; 金属鉱業事業団, 2002)。斑岩型の Cu-Mo-Au 銅鉱床は Sanandaj-Sirjan 変成帯に平行に延びる Urmich-Bazman 第三紀初頭の火成活動帯にあり、鉛・亜鉛鉱床の分布は縫合帯に広く分布し、層状鉱床が多い。鉱床型と鉱化時代は、層状・レンズ状鉛・亜鉛鉱床はカンブリア紀末、シルル〜デボン紀および三疊紀に多くみられ、脈状鉱床はアルプス造山期の火成活動に関連して胚胎している。その時代には地下深部からの熱水の上昇が激しかったことを示している。

クロム鉱床の分布は Zagros 衝上断層帯および Central-East Iran マイクロプレート北部の縫合帯に沿って分布する白亜紀オフィオライト複合体にみられる。

この縫合帯の温泉に含有物が多様で多いのは、これらの熱水鉱床の生成と温泉水がほぼ同源のもの

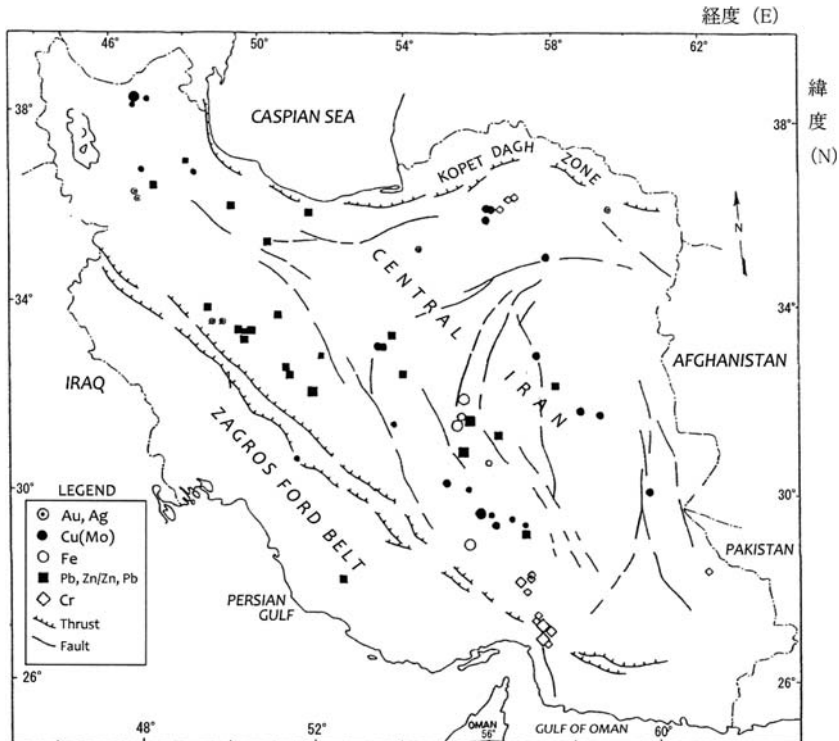


Fig. 4 Distribution of main mineral deposits in Iran (modified from Metal Mining Agency of Japan, 2002).

図 4 イランの主要な金属鉱床の分布 (金属鉱業事業団, 2000 から作図).

のとみられることを示している。

### 2.3 地質・構造単元と温泉

温泉の特徴との関係を考察するために、縫合帯の特徴からイランプレート地域をさらに4分割し、全体として、①Kept Dagh mountains 帯 (デュランプレート地域)、②-1. Alborz mountains 帯、②-2. Sanadaj-Sirjan zone、②-3. Sahand-Bazman belt と②-4. Lut block、ならびに③Zagros fold belt の6分割で検討することとした。ただし、Sahand-Bazman belt に分布する温泉がなかったため、実際上は5つの単元として検討することになった。

## 3. 温泉の調査と分析結果

イランの面積は、日本の4.4倍であるが、調査された温泉は、1年目にテヘラン郊外の3源泉で、2年目は全土にわたり代表的な23カ所の源泉である (Fig. 2)。

### 3.1 第一次調査

2004年11月にテヘラン近郊の3カ所の温泉地「(a) ラリジャン (Larijan) 温泉」「(b) アバリ (Abali) 温泉」「(c) バイジャン (Baidjan) 温泉」にNPO法人 健康と温泉フォーラムで調査され、簡易分析がなされた (Table 1)。精度の上から温度、pH、湧出量以外は検討の対称とはしなかった。こ



Table 1 Physicochemical properties and type of hot springs waters in Iranian suture zone.

表 1 イランの縫合帯の湧泉の現地測定と泉質.

No.	Hot spring	Water Temp. (°C)	Flowing Vol. (l/min.)	pH	Free CO <sub>2</sub> (ppm)	H <sub>2</sub> S (ppm)	Type*
a	LARIJAN	60.4	35	7.1	11	0	C
b	ABALI	27	80	6.9	470	0	I
c	BAIDJAN	30.5		6.7	47	0	M
1	ARSHIA	50.5	180	6.73	95.3	0	A
2	VAVTAGH	39.5	200	8.40	0	0	F
3	BOSTAN ABAD	31.1	480	6.97	53.7	0	E
4	SAREIN GARMISH	44.5	800	6.23	8.1	0	G
5	SAREIN BESHBAJILA	35.6	600	6.31	103	0	G
6	SAREIN GENERAL	42.3	1,200~1,500	6.16	134	0	G
7	SEM NAN-1	34.3		7.22	5.37	0	H
8	SEM NAN-2	24.8		7.44	1.76	0	H
9	DEHLORAN	36.5	1,000	7.03	24.4	15.8	H
10	SARE POLL-EZAHAB	20.7	120~150	7.31	12.3	0	O
11	BABA GORGOR	20.5		6.08	174	0	G
12	GHIZJIH	15.7		6.28	155	0	G
13	GONABAD	44.3		6.85	17.8	0	A
14	ZIYARAT-1	22.4	30	7.55	2.47	0	P
15	ZIYARAT-2	30.7	300	7.09	29.9	0	J
16	MAHALLAT	46.3	1,000	7.19	6.6	0	L
17	FERIZHEND LARGE	7.6		6.67	48.3	0	N
18	CHAME GALLE	26.5		6.26	157	0	J
19	SIRAJ	41.1	10	6.87	16	0	K
20	BAZMAN-1	35.1	30	7.96	0	0	B
21	BAZMAN-2	43.7	50	8.36	0	0	E
22	DASHIT-E AZAM	41.6	35	6.08	30.0	141	D
23	GENO	39.6	600~2,000	6.55	4.0	30.3	D

注\* Types of hot spring waters

- A ナトリウム塩化物泉
- B ナトリウム塩化物・硫酸塩泉
- C カルシウム炭酸水素塩・硫酸塩泉
- D 含硫黄・ナトリウム・塩化物泉
- E ナトリウム・カルシウム・塩化物泉
- F ナトリウム・カルシウム・硫酸塩泉
- G ナトリウム・カルシウム・炭酸水素塩・塩化物泉
- H ナトリウム・カルシウム・塩化物・硫酸塩泉
- I ナトリウム・カルシウム塩化物・炭酸水素塩泉
- J ナトリウム・カルシウム・塩化物・炭酸水素塩・硫酸塩泉
- K ナトリウム・カルシウム・マグネシウム・硫酸塩・炭酸水素塩泉
- L カルシウム・マグネシウム・硫酸塩泉
- M カルシウム・ナトリウム・炭酸水素塩・硫酸塩泉
- N カルシウム・マグネシウム・炭酸水素塩・硫酸塩泉
- O カルシウム・マグネシウム・炭酸水素塩泉
- P ナトリウム・カルシウム・マグネシウム炭酸水素塩・硫酸塩泉

の三泉源は Alborz 山脈 (②-1) の地質構造区分に属し (Table 2), Larijan 温泉は調査された源泉で最高の温度をもっている. この泉源は約 2000 年前から利用されていると伝えられ, 敷地の中に自噴している湯を浴室に流し込み利用されている. Abali 温泉は約 1500 年前から利用されていると伝えられ, 数カ所自噴していて引き込んで利用されている. Baidjan 温泉は 1980 年の地震で崩壊し, 修理されず露天風呂の場所で自噴している.

### 3.2 第二次調査

2005 年 3 月 1 ヶ月かけて, イラン全土にわたるので, テヘランのホテルをベースとして, 4 クルーに分けてなされた. 調査の順番に整理番号が付けられた (Table 1). 湧泉の分析の結果を Table 3 に示す. 各温泉の地質構造区分は Table 2 に示す.

各温泉の湧出状況を述べると, ①Arshia 温泉は建物内に自噴していてポンプを使い床下のパイプを通じて, 浴室に配湯されていた. ②Vantagh 温泉は約 5×5m の小さなプールに直に自噴している. ③Bostan Abad 温泉は建物の裏山の岩山の割れ目から自噴しているものを施設に引湯している. ④Sarein Gavmish 温泉は屋外の大きなプールの中央から湧き出している. ⑤Sarein Besh

Table 2 Geological Tectonic Unit (Fig. 3) and the distribution of hot springs in Iranian Suture zone.

表 2 イランの縫合帯の温泉の分布と地質構造区分.

No.	Hot spring	Locality	Geological Tectonic Unit
a	LARIJAN	Teheran	②-1
b	ABALI	Teheran	②-1
c	BAIDJAN	Teheran	②-1
1	ALSHIA	Qazvin	②-1
2	VANTAGH	Zanjan	②-1
3	BOSTAN ABAD	Azarbaijan	②-1
4	SAREIN Gavmish	Sarein	②-1
5	SAREIN Besh Bagillar	Sarein	②-1
6	SAREIN General	Sarein	②-1
7	SEM NAN-1	Semnan	②-1
8	SEM NAN-2	Semnan	②-1
9	DEHLORAN	Ilam	③
10	SAREPOLL-E ZAHAB	Kermanshah	③
11	BABA GORGOR	Kordestan	②-2
12	GHINRJEH	Hamadan	②-2
13	FERDOOS	Khorasan	②-4
14	ZIYARAT-1	Golestan	①
15	ZIYARAT-2	Golestan	①
16	MAHALLAT	Markazi	②-2
17	FERIZHEND large	Esfahan	②-2
18	CHAME GALLE	Yazd	②-4
19	SIRAJ	Kerman	②-4
20	BAZMAN-1	Sistan	②-4
21	BAZMAN-2	Baluchestan	②-4
22	DASHIT-E AZAM	Fars	③
23	GENO	Hormozgan	③

Table 3 Chemical components in hot spring waters in Iranian suture zone.

表 3 イランの縫合帯の湧泉の化学分析表.

No.	Hot spring	Na <sup>+</sup> (ppm)	K <sup>+</sup> (ppm)	Ca <sup>2+</sup> (ppm)	Mg <sup>2+</sup> (ppm)	Cl <sup>-</sup> (ppm)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ppm)	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	Alkalinity (meq)	ΣFe (ppm)	SiO <sub>2</sub> (ppm)
a	LARIJAN	16	4	110	23	4	350	120				
b	ABALI	4840	49	390	120	990	79	1,300				
c	BAIDJAN	150	19	250	91	27	1,320	900				
1	ALSHIA	2,226	111	405	87.4	2,955	734	1,679	0.32	27.5	2.75	18.9
2	VANTAGH	181	4.3	115	0.2	21.9	614	17	0.05	0.28	0.76	19.4
3	BOSTAN ABAD	918	59.5	360	107	1,623	391	781	0.51	12.8	2.44	23.1
4	SAREIN Gavmish	200	36.1	72.0	16.8	186	100	423	0.00	6.94	2.46	11.9
5	SAREIN Besh Bagillar	192	35.1	62.5	17.0	165	106	408	0.53	6.69	0.59	45.4
6	SAREIN General	202	36.6	73.0	16.5	182	101	418	0.00	6.86	3.76	47.6
7	SEMNAN-1	2,691	70.2	512	117	4,313	1,700	216	0.3	3.54	3.87	20.6
8	SEMNAN-2	2,871	69.0	507	117	4,233	1,749	198	0.31	3.24	4.07	21.8
9	DEHLORAN	1,093	51.5	385	76.2	1,888	644	401	0.18	6.58	2.81	35.7
10	SAREPOLLE-ZAHAB	4.2	0.60	67.2	22.8	3.83	29.5	272	2.89	4.46	0.48	6.3
11	BABA GORGOR	316	33.5	257	79	228	258	1,446	0.33	23.7	2.00	64.5
12	GHINRJEH	636	0.96	205	62.7	702	100	1,385	0.26	22.7	1.89	59.4
13	FERDOOS	1,749	27.7	427	85.8	2,800	1,065	268	1.59	4.39	3.43	20.7
14	ZIYARAT-1	74.2	0.96	46.0	28.9	52.8	146	209	3.78	3.42	0.39	4.9
15	ZIYARAT-2	200	26.6	118	38.7	324	213	326	1.41	5.34	1.17	13.9
16	MAHALLAT	91.3	6.0	342	57.4	38.4	1,070	226	0.01	3.7	2.68	14.6
17	FERIZHEND large	54.7	6.56	595	135	43.3	945	1,488	0.00	24.4	4.04	7.1
18	CHAM GALLE	824	20.5	258	90.2	975	436	1,269	2.44	20.8	2.28	13.8
19	SIRAJ	192	13.5	142	40.3	109	449	404	0.12	6.62	1.02	17.2
20	BAZMAN-1	176	8.83	34.7	3.6	182	160	92	2.91	1.51	0.27	32.4
21	BAZMAN-2	1,521	26.7	657	0.3	2,992	538	26	0.94	0.43	4.86	16.0
22	DASHT-E AZAM	8,770	300	1,292	275	14,966	2,641	448	8.29	7.35	10.42	27.4
23	GENO	2,914	76.9	355	89.8	4,813	810	270	0.74	4.42	3.08	8.9

Bagillar 温泉は屋内プールに湯が湧いている。⑥Sarein General 温泉は、浴槽の端から温泉が流れ込んでいるが、湯は豊富である。

⑦Semnan-1 と⑧Semnan-2 温泉はプールの中央より湧き、あふれた温泉水は小川を作り山の下に流れている。⑨Dehloran 温泉は近くの山から湧出している。⑩Sare Poll-E Zahab 温泉はコンクリート製の貯水池の中央部から湧出している。

⑪Baba Gorgor 温泉は直径約 8m のほぼ円形の中心部地下 120m から勢いよく湧出している。⑫Ghinrjeh 温泉は約 1500 年前前から使われていたと伝える。直径約 7m 深さ約 2m の泉で盛んに温泉が湧いている。表面が藻で被われ周りも汚れている。

⑬Ferdoors 温泉は古くから利用されていたようであるが定かでない。裏山から引湯し蛇口から利用するようになっている。⑭Ziyarat-1 温泉の泉源は公園の片隅にあり岩山の割れ目数カ所から湧出し池に流れ込んでいる。⑮Ziyarat-2 温泉はタイル張りの浴槽中で湧出している。

⑯Mahallat 温泉は 1300 年前頃からよく利用されていると伝える。5カ所ある自噴を集めて利用されていて、湧出量はかなり多い。⑰Ferizhend large 温泉は 7 世紀ごろから使われている。丘の上に 2 つの泉がある。大きい泉は直径約 8m、深さ約 1.5m、小さい方は直径約 3m 深さ約 1.5m の自然にできた池である。泉の約 7カ所からぶくぶくと二酸化炭素を含む温泉が湧出している。

⑱Cham Galle 温泉は 170 年前に温泉が湧出している場所にドームを作り利用されている。Cham とは穴の意味である。井戸は直径約 2m の円形石組で出来ている地下約 4m から湧出している。

一人入ればいっぱいである。⑲Siraj 温泉は道路わきに約 8m×3m の細長いコンクリートの浴槽があり、その中央部より湧いている。近くに 4 つの温泉がある。⑳Bazman-1 温泉は約 2000 年前から利用されていたと伝える。40 年ほど前に造られた約 10×10m のコンクリート製の浴槽の中央から湧きだしている。㉑Bazman-2 温泉は紀元前 1000 年ごろから利用されていると伝える。自然石で囲まれただけの長径 10m の魚びれのような変形の泉である。温泉は岩の割れ目 2 ヶ所から湧いている。深いところで 30cm しかない。㉒Dasht-E Azam 温泉の浴槽は約 4×3m、深さ 1.5m で 2 つある。浴槽の中で湧いている。㉓Geno 温泉は約 1000 年前から利用されていると伝える。源泉は 5 ヶ所あり、湯量は豊富である。

このように、古くからの自然に湧出している温泉を利用している。掘削井 (120m 深度) は 1 ヶ所だけである。このような湧泉の直接の利用は、前アトラスの縫合帯の温泉とよく似た湧出と利用の仕方である。これは、乾燥地であることと、宗教上の習慣から、一般に浴用の習慣がないから、昔のままの利用の仕方が続いていると考えられる。

### 3.3 各温泉と地質構造

イランでは地震活動が活発なところに、温泉が主に縫合帯の逆断層沿いに選択的に分布する。これらはイランから示された代表的な泉源であり、大事な泉源はほぼ選択されている。掘削して得られている泉源ではないので、代表的な温泉はほとんど調査したとみてよい。

これらの地域はアルプス変動期に活発な変動を受けた地域であり、現在でも Zagros 褶曲帯や Alborz 山脈から Kept Dagh 山脈にかけて、地震が多発している。温泉はそれらの地震活動地帯に分布している (Fig. 1)。アルジェリアの前アトラスの縫合帯の地質時代より古い縫合帯である。

地質構造单元ごとに

①Kept Dagh mountains 地質構造单元に分布する温泉は 2 源泉で 34℃ 未満 1 ヶ所、25℃ 以下の泉温が 1 ヶ所である。

②Central Iran plate 单元には 23 源泉中 19 源泉と大部分を占める。

その中の②-1 Alborz mountains に属する源泉が 11 と多く、次いで②-4 Lut block 5 源泉、②-2 Sanadaj-Sirjan belt 4 源泉で、二次調査で泉温が 42℃ を超す源泉はこの单元にすべて属す。

③Zagros fold belt には、4 源泉でそのうち 3 源泉は 34℃ 以上で 42℃ 未満である。

熱水鉱床はほとんど②Central Iran plate 单元に分布する (Fig. 3)。すなわち、海底プレートが大陸縁辺の大陸のプレート下に沈み込み、プレートからの脱水による熱水活動が冷却して鉱床を造りさらにその残液が温泉として湧出していることが推定出来る。すなわち縫合帯の地熱活動が温泉に反映していることが示される。

化学分析の結果からは、

(1) 主要イオン組成から決められる泉質は、ナトリウム、カルシウムを主成分とし、時にマグネシウムを成分とする塩類泉、硫酸塩泉、炭酸水素塩泉のいずれかの多少の違いはあるがその組み合わせである (Table 1)。化学成分の濃淡は、もっとも濃度の濃い温泉水と伏流水との混合比の違いで決まるとみられる。これらを詳細に議論するには、さらに各泉源での詳細な調査が必要である。

(2) 各泉源の主要イオン組成を示すトリリニアダイアグラム (Fig. 5) や化学成分の組成の相関 (Figs. 6~9) を見ても、地質構造の单元ごとの特徴はなく、海洋地殻からの脱水と上部の伏流水との混合で決まると考えられる。とくに二酸化炭素の含有が多いことも縫合帯の特徴である。詳細な化学的検討はさらに詳細な泉源ごとの調査にまたねばならない。



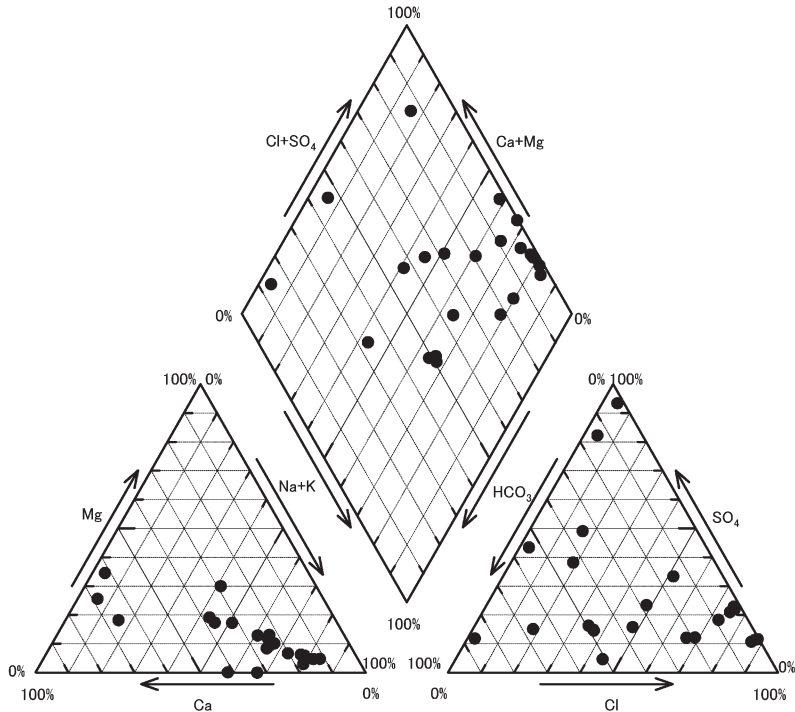


Fig. 5 Trilinear diagram of hot springs in Iran.

図 5 イランの温泉水のトリリニアダイアグラム.

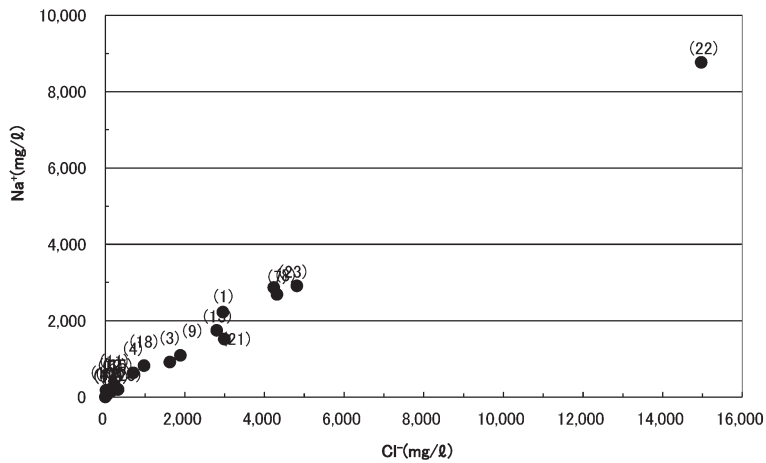


Fig. 6 Relation between Na<sup>+</sup> ion and Cl<sup>-</sup> ion concentration of hot springs in Iran.

図 6 イランの温泉水のナトリウムイオンと塩化物イオン濃度の関係.

### 3.4 アルジェリアのアトラス山脈の縫合帯との比較

- ① アトラス山脈の縫合帯もイランの縫合帯も非火山性の活動帯であるが、両者とも被害地震が多発している地域に自然湧水の温泉が所々にみられる。
- ② アトラス山脈に分布する温泉もイランに分布する温泉も含有成分は多岐にわたり、また、

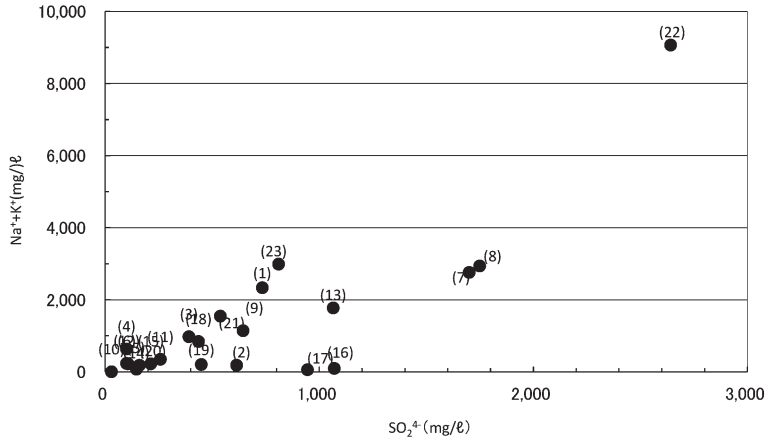


Fig. 7 Relation between Na<sup>+</sup>+K<sup>+</sup> ions and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ion concentrations of hot springs in Iran.

図 7 イランの温泉水のナトリウム+カリウムイオンと硫酸イオンの関係.

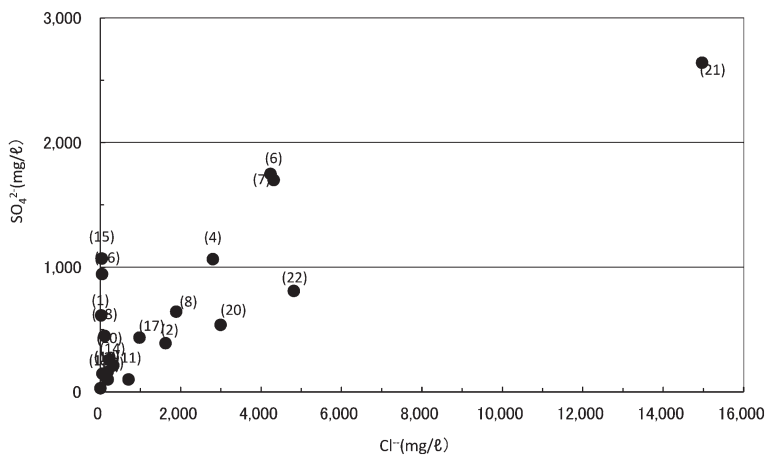


Fig. 8 Relation between Cl<sup>-</sup> ion and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ion concentrations of hot springs in Iran.

図 8 イランの温泉水の塩化物イオンと硫酸イオン濃度の関係.

含有量が多い。

- ③ アトラス山脈の縫合帯はイランの縫合帯よりも若い。そのためか、温泉の温度はアトラス山脈の温泉の方が高い。また、イランの温泉の分布場所には熱水鉱床が分布するが、アトラス山脈では全般に鉱床は未発達である。

#### 4. ま と め

イランの南西部では、北西—南東に延びる Zagros 褶曲帯はアラビアプラットフォーム大陸塊の北縁の一部にあたり、Kept Dagh 褶曲帯とそれに接する Alborz 山脈はユーラシア大陸の一部のデュランプレートの南縁にあたり、その間は海洋底プレートのオフィオライトなどで構成されるイ

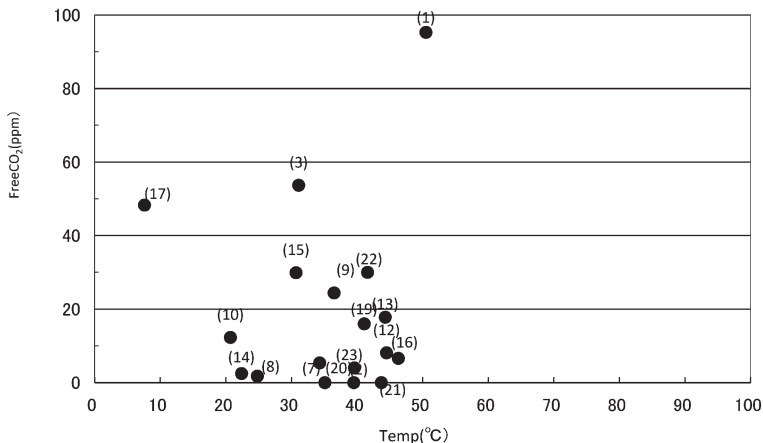


Fig. 9 Relation between temperature and contents of free CO<sub>2</sub> of hot springs in Iran.

図 9 イランの温泉水の水温と遊離炭酸の関係。

ラン中央部のブロックで構成される大陸縫合帯である。

この中央部は後期白亜紀から古第三紀の火成活動や漸新世から中新世の深成岩の貫入活動が見られるが、現在地震活動は活発であるが、火山活動は見られない。

安定な大陸地殻の分布するところでは温泉の湧出が見られないが、大陸縫合帯では温泉の湧出が見られる。

ただ前報のアルジェリアの前アトラス山脈の大陸縫合帯の活動よりも時代が古いイランの縫合帯では、比較的温泉の温度が低い。しかし、熱水鉱床はイランの縫合帯では存在するが、前アトラスの縫合帯では、未発達である。

泉質はこの2縫合帯ともよく似ている。

これらの縫合帯よりも、活動年代のさらに古い西南日本の舞鶴帯を次報で取り上げ、大陸縫合帯の温泉について、まとめてみることにしたい。

### 引用文献

- Arfania, R. and Shahriari, S. (2009) : Role of southwestern Sanandaj-Sirijan Zone in the tectonic evolution of Zagros Orogenic Belt, Iran. *Island Arc*, **18**, 555-576.
- Costanimi, L. and Tosi, M. (1977) : Popelamento E Risorse Naturali Nel Sistan Preistorico, 277-293. Presentazione di : G. Tucci, La Citta' Bruciata del Deserto Salato, Giuseppe Tucci, Erisso srl, Venezia, Italy.
- Ghorbani, M.R. and Bezenjani, R.N. (2011) : Slab partial melts from the metasomatizing agent to adakite, Tafresh Eocene volcanic rocks, Iran. *Island Arc*, **20**, 188-202.
- Hassanipak, A.A. and Ghazi, A. Mohamad (2000) : Petrology, geochemistry and tectonic setting of the Khoy ophiolite, northwest Iran : implications for Tethyan tectonics, *J. Asian Earth Sci.*, **18**, 109-121.
- Hezarkhani, A. and Williams-Jones, A.E. (1998) : Controls of alteration and mineralization in the Sungun porphyry copper deposits, Iran : Evidence from inclusions and stable isotopes, *Economic Geology*, **93**, 651-670.

- Jankovic, S. and Petrascheck, W.E. (1997) : Tectonic and metallogeny of the Alpine-Himalayan belt in Mediterranean area and Western Asia. *Mineralium Deposita*, **132**, 424-433.
- 川崎義巳 (2006) : イランの温泉を求めて—ペルシャ1万キロの旅. 169 p., 文芸社, 東京.
- 金属鉱業事業団 (2002) : イラン・イスラム共和国の資源開発環境, 54 p., 2 シート, 東京.
- Lensch, G., Schmidt, K. and Davoundzadeh, M. (1984) : Introduction to the Geology of Iran. *N. Jb. Geol. Palaont. Abh.*, **168**, 158-164.
- Momenzadeb, M. and Walther, H.W. (1984) : Mineral deposits and metallogenic epochs in the area of the geotraverse across Iran—a review. *N. JB. Geol. Palaont. Abh.*, **128**, 468-478.
- 西村 進 (1971) : 考古遺物の絶対年代を求めて—イランの遺跡. *九十九地学*, **6**, 13-20.
- 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.
- Nishimura, S. and Tosi, M. (1976) : Fission-track ages of the Remains excavated at Shari-Sokhta and Kangavar, Iran, in the Memorial Volume of the VIth International Congress Iranian Art and Archaeology, Oxford, Sept., 11-16, 1972.
- Rezaei-Kahkhaei, M., Kananian, A., Esmaily, D. and Asiabanha, A. (2010) : Geochemistry of Zargoli granite : Implications for development of the Sistan Suture zone, Southeastern Iran. *Island Arc*, **19**, 259-276.
- Sheibi, M., Esmaily, D., Nedelec, A., Bouchez, J. L. and Kananian, A. (2010) : Geochemistry and petrology of garnet-bearing S-type Shir-Kuh Granite, southwest Yazd, Central Iran. *Island Arc*, **19**, 292-312.
- Shojaat, B., Hassanipak, A.A., Mobasher, K. and Ghazi, A.M. (2003) : Petrology, geochemistry and tectonics of the Sabzevar ophiolite, North Central Iran. *J. Asian Earth Sci.*, **21**, 1053-1067.
- Torabi, G. (2010) : Early Oligocene alkaline lamprophyric dykes from the Jandaq area (Isfahan Province, Central Iran) : Evidence of Central-East Iranian microcontinent confining oceanic crust subduction. *Island Arc*, **19**, 277-291.
- Waterman, G.C. and Hamilton, R.L. (1975) : The Sar Cheshmeh porphyry copper deposits. *Economic Geology*, **70**, 568-576.