

## 白山周辺における温鉱泉の同位体地球化学的研究

富田純平<sup>1</sup>、坂口 綾<sup>1</sup>、佐竹 洋<sup>2</sup>、中村俊夫<sup>3</sup>、山本政儀<sup>1</sup>

<sup>1</sup>〒923-1224 石川県能美市和気町 金沢大学自然計測応用研究センター・低レベル放射能実験施設、  
<sup>2</sup>〒930-8555 富山県富山市 富山大学理学部生物圏環境科学科、<sup>3</sup>〒464-8602 愛知県名古屋市 名古屋大  
学年代測定総合研究センター

J.Tomita<sup>1</sup>, A.Sakaguchi<sup>1</sup>, H.Satake<sup>2</sup>, T.Nakamura<sup>3</sup> and M.Yamamoto<sup>1</sup>: Isotopic-geochemical Study  
of Hot and Mineral Springs around Hakusan Volcano

はじめに 日本は環太平洋造山帯に位置する火山国であり、数多くの温泉が存在する。温鉱泉は地下において、さまざまな生成機構で地下水がマグマまたは地温勾配により熱の供給を受け、さらに通路の岩石などから温度・圧力に対応して物質を供給され、化学的・物理的変化を続けながら地表に出てきた泉である。地表に現れた温鉱泉水の分析結果からどのような過程を経てその水質を持つに至ったかを正確に解釈できれば地下の様子を垣間見ることができる。同位体研究から温泉の水起源は天水、海水、化石海水、マグマ水で、日本の温泉は、主として火山性型、グリーンタフ型、海岸型、有馬型の4つに分類される。火山性型の温泉には硫酸酸性泉と中性の食塩泉の2種類が存在し、その生成機構についても多数の研究がなされている。また温鉱泉水の成因及び流動プロセスについては、安定同位体に加えて放射性同位体、希土類元素を用いた研究も行われている。一方で、火山噴火の予知との関連で温泉水の水位、泉温、溶存成分の長期観測を用いた研究が行われている。

白山は石川県と岐阜県の県境に位置する第四紀の活火山である。白山はその火山活動に450年の周期(活動期100~150年、休止期300年)があり、最後の噴火からすでに340年以上経過していることから白山が次の周期に移行しつつある可能性があると言われている。また、近年の白山の微小地震の多発などから将来懸念される噴火とも関連してその火山活動についての基礎研究の重要性が高まっている。白山周辺には多数の温鉱泉が点在しているが、溶存成分からの地球化学的考察がなされているのみで、起源・成因についての同位体地球化学的な研究報告例は少ない。

本研究では、白山周辺に点在する温鉱泉について、現時点での温鉱泉水の基礎データを蓄積することを目的に、溶存成分に加えて水素・炭素・酸素・硫黄同位体、およびウラン・ラジウム同位体を測定し、同位体地球化学的な視点から白山周辺における温鉱泉の水および溶存成分の起源とその成因、及び火山活動と関係する温鉱泉の有無を明らかにすることを試みた。

**実験方法** 白山20km圏内を中心に、さらにその周辺地域も含めた計30地点で試料の採取を行った(Fig.1)。比較のために天水(河川水、沢水)を4地点で採取した。採取後直ちにpH、泉

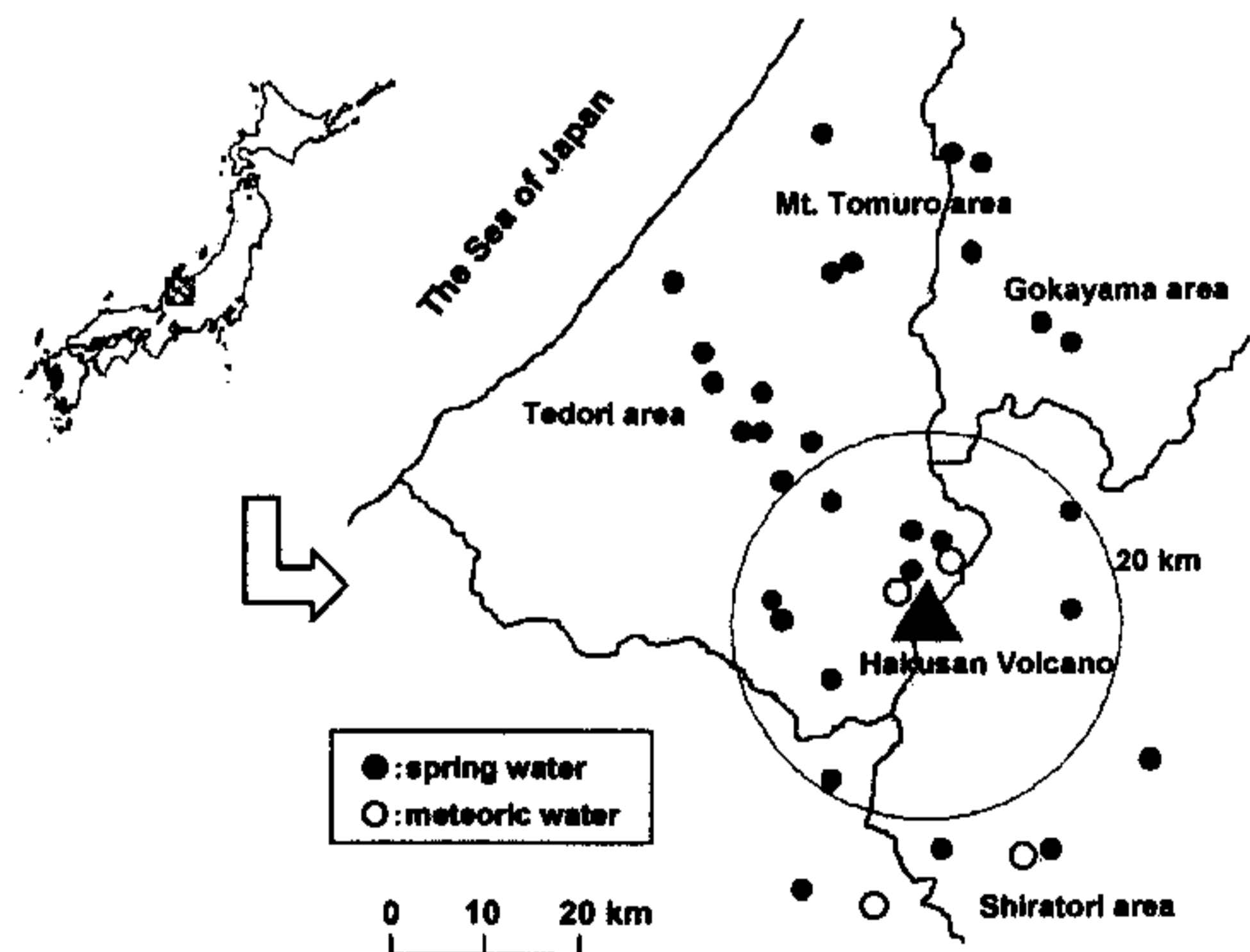


Fig.1 Sampling sights of hot and mineral spring waters around Hakusan Volcano

温、酸化還元電位、電気伝導度を測定した。 $\delta D$ 、 $\delta^{18}O$ 、 $\delta^{34}S$ 、 $\delta^{13}C$  及び  $^{14}C$  濃度、主要溶存成分濃度、DIC 濃度測定には、同位体比質量分析計、タンデム型加速器質量分析計、イオンクロマトグラフ、TOC 測定器をそれぞれ用いた。U 及び Ra 同位体は鉄・硫酸バリウム共沈後、 $\alpha$ 線及び $\gamma$ 線スペクトロメトリーでそれぞれ定量した。

**結果** Fig.2 に主要溶存成分によるキーダイアグラムを示す。例外はあるものの全体として地域的に特徴的な化学組成を示した。白山 20 km 圏内の温鉱泉では主に Na-Cl·HCO<sub>3</sub> 型であり、その周辺の温鉱泉については、手取川周辺の温鉱泉は主に Na·Ca-SO<sub>4</sub> 型、戸室山周辺は主に Na-Cl·SO<sub>4</sub> 型、五箇山周辺は Na·Ca-SO<sub>4</sub> 型、白鳥周辺は主に Na-HCO<sub>3</sub> 型であった。

Fig.3 に $\delta D$  と $\delta^{18}O$  の関係を示す。ほとんどの温鉱泉水は、Craig の天水線( $\delta D = 8 \delta^{18}O + 10$ )と日本海側の冬季降水線( $\delta D = 8 \delta^{18}O + 26$ )の間にプロットされ、天水起源であることが明らかである。天水線から外れる 6 地点の温鉱泉水についても、 $\delta^{18}O$  のプラス側へのずれは天水が高温の岩体と反応して酸素同位体交換を起こした結果と考えられ、これらの温鉱泉も天水起源であると考えられる。白山近傍には主として食塩泉が存在した。食塩泉の成因は、マグマの分化、海水または化石海水の混入、堆積層中の海塩の溶出が考えられる。これらの食塩泉の Br/Cl 比(Br/Cl × 1000、重量比)は 2.39–3.73 であり、ひとつの温泉を除き海水の Br/Cl 比よりも小さい値であった。この原因は海水起源の Br がグリーンタフなどの海成堆積層に取り込まれたため、化石海水を起源とする食塩泉によく見られる。しかし、 $\delta D$  と $\delta^{18}O$  の関係から海水または化石海水の混入は顕著に認められない。よって、これらの食塩泉の Br、Cl の起源は海成

起源の海塩であると考えられる。また、Li/Na – K/Na の関係からも白山近傍の食塩泉は熱水性塩水の付近に分布した。以上のことから、白山近傍に存在する食塩泉は地下に浸透した天水が海成堆積層中の海塩を溶出してできた温泉であると推論できる。白山近傍の食塩泉の $\delta^{13}C$  及び  $^{14}C$  濃度はそれぞれ $-6$ – $-2$  ‰、 $0.24$  以下 (検出限界以下)– $6.77$  pmC であった。 $\delta^{13}C$  の結果から、これらの食塩泉は海成炭酸塩を溶解していると推論でき、その結果温鉱泉水中の $^{14}C$  濃度は $^{14}C$ -free の炭素により希釈されたと考えられる。 $\delta^{13}C$  混合モデルを用いて $^{14}C$  年代を試算すると、白山近傍の食塩泉の $^{14}C$  年代は $12,000$ – $30,000$  年となる。 $^{238}U$  濃度は、 $0.006$ – $14.4$  mBq/kg の広い範囲で見出され、 $^{234}U/^{238}U$  放射能比は  $0.89$ – $38.4$  であった。一方、 $^{226}Ra$  濃度は  $0.42$ – $242$  mBq/kg、 $^{228}Ra/^{226}Ra$  放射能比は  $0.39$ – $9.7$  であった。硫黄同位体も含めて火山活動と関係する温鉱泉の有無の検討を進めている。

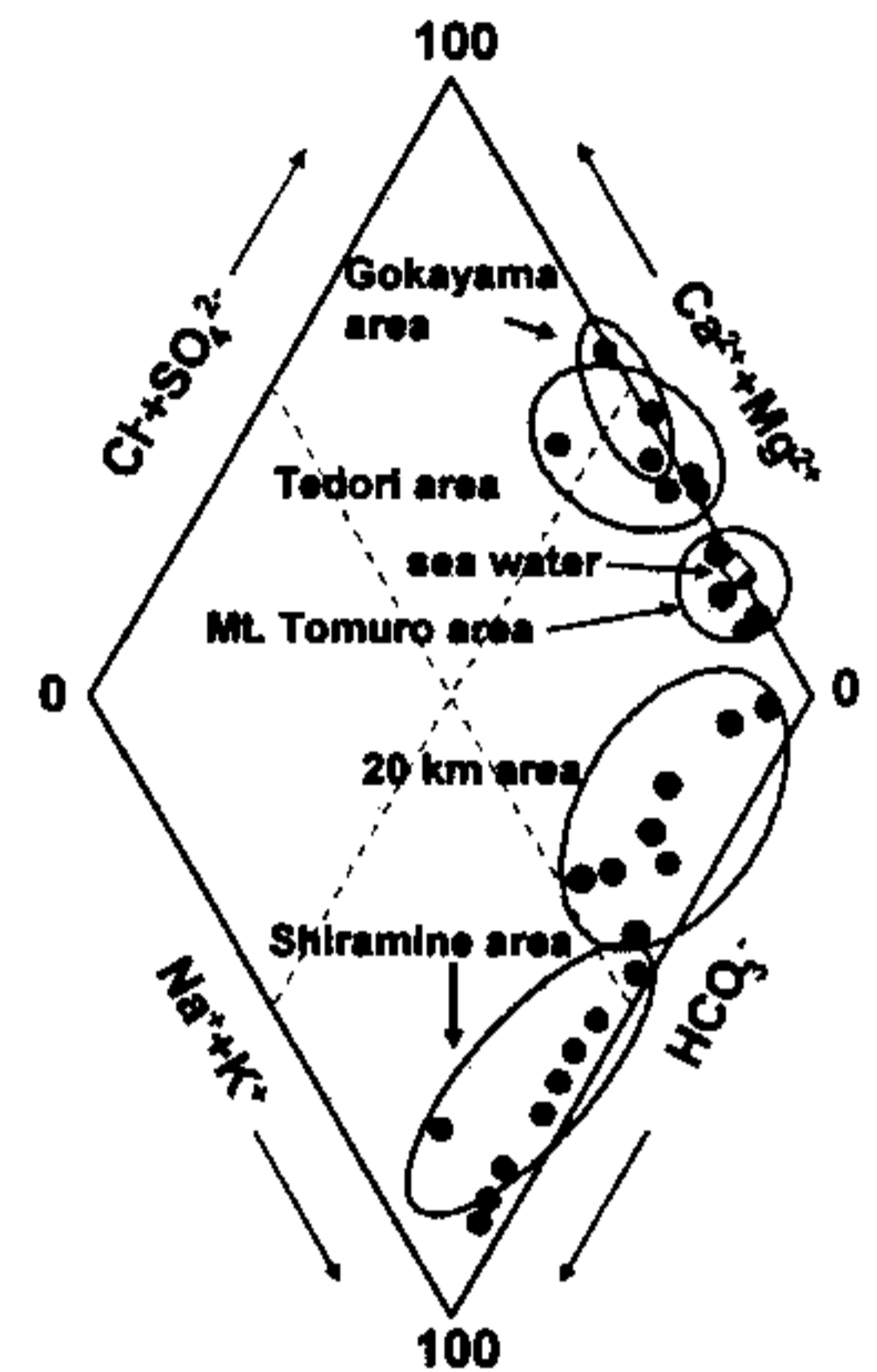


Fig.2 Key diagram for major dissolved components of hot and mineral spring waters around Hakusan Volcano

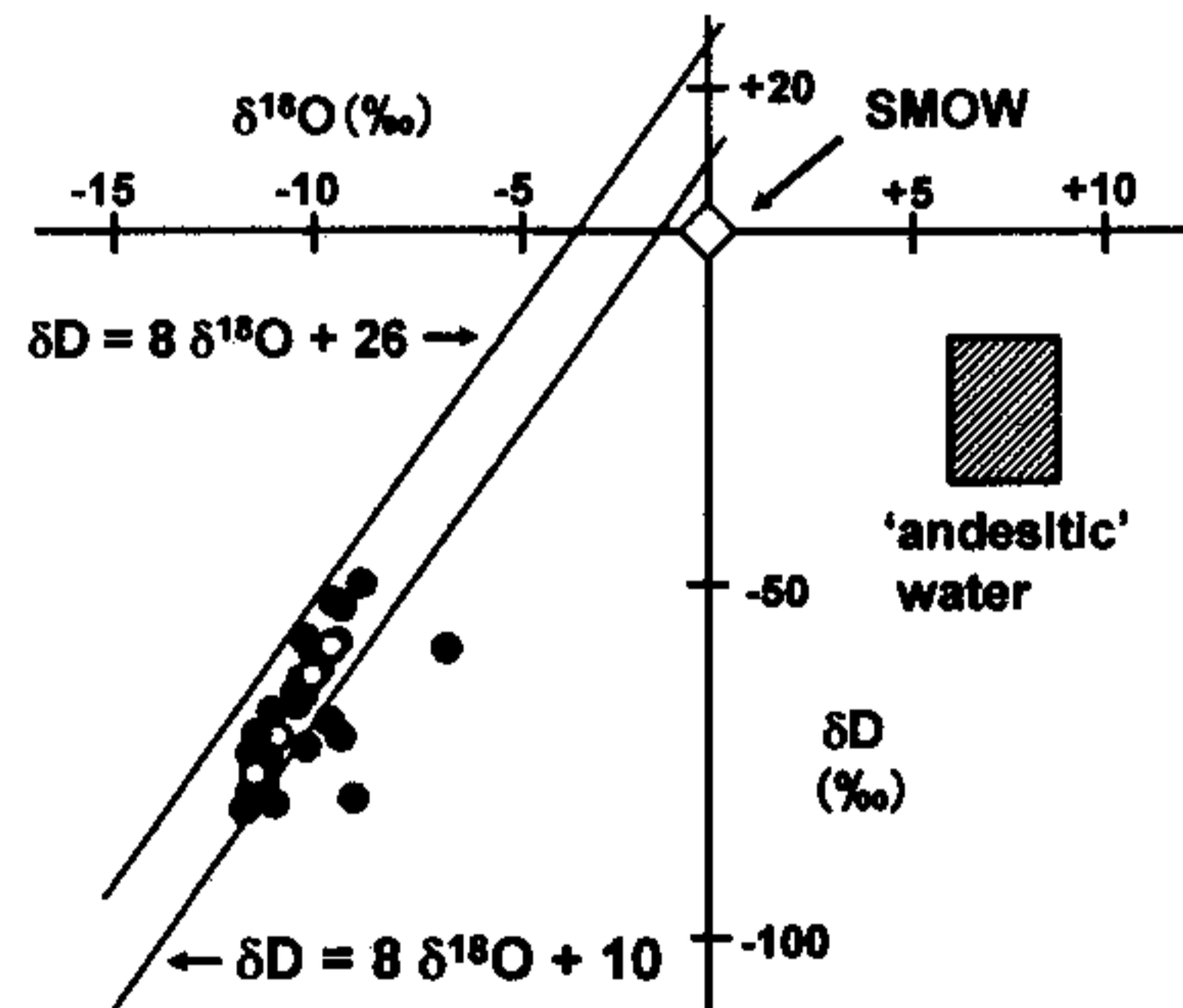


Fig.3  $\delta D$  vs.  $\delta^{18}O$  plots of spring waters and meteoric waters (●: spring water, ○: meteoric water)