

# 中国雲南省騰冲の温泉型金鉱床

佐藤興平<sup>1)</sup>・孟憲国<sup>2)</sup>・卓維榮<sup>3)</sup>

## 1. はじめに

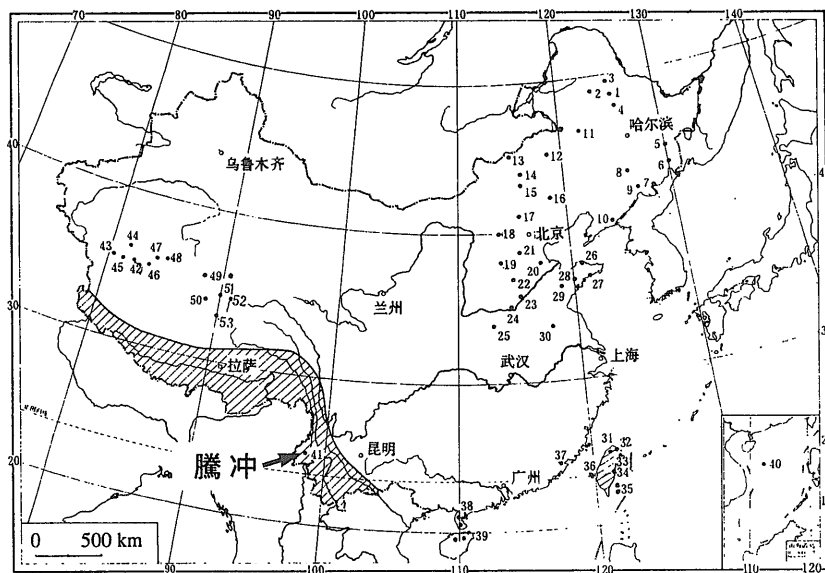
中国は世界的にみても金の資源が比較的豊富な国のひとつであるが(注1), 大規模な探査・開発は比較的新しく1975年に始まった。以前より知られた産地は山東・河南・黒竜江・吉林・河北・遼寧・陝西・内モンゴル・四川などの省や区にあるが, 近年見出された新しい産地として, 雲南・新疆・貴州・江西・海南・甘肅などの省や区が注目されている。

ここで紹介する雲南省の両河鉱床も, 新たに見出された金鉱床のひとつで, 中国核工業の探査により1987年に発見された。この鉱床は, 中国ではこれまで知られていなかった温泉型金鉱床に分類

されるもので, 雲南省西端部の騰冲(Tengchong)県にある地熱地帯に産する。その規模は必ずしも大きくはないが, 類似の鉱床が中国南部の地熱地帯(第1図)で更に発見される可能性が出てきたため, ひときわ注目を集めることとなった。

## 2. 雲南省騰冲地域

騰冲は雲南省の省都昆明(Kunming)の西方430kmに位置し, 60km足らずの距離でミャンマー(ビルマ)国境に達する中国奥地である。雲南省西部は三江地帯ともよばれ, 揚子江・メコン河・サルウィン河などの大河川の上流部にあたる。少数民族の居住地としても知られるこの地帯は, 昆明周



第1図  
中国の新第三紀-第四紀火山(番号)と高温地熱地帯(斜線)。41は騰冲の火山群。Chen et al. (1994)による。中国の温泉(総計2200箇所)のうち, 沸騰泉のほとんど全てが図の斜線部に分布する。

1) 地質調査所 鉱物資源部  
2) 中国地質大学 数理地質学研究室(現在, 暨南大学生物工程系: 中国広州石碑)  
3) 中国核工業 雲南地質調査隊

キーワード: 温泉型金鉱床, 中国, 雲南省, 騰冲(Tengchong), 両河(Lianghe), 熱海(Rehai), 地熱地帯, 温泉, 第四紀火山



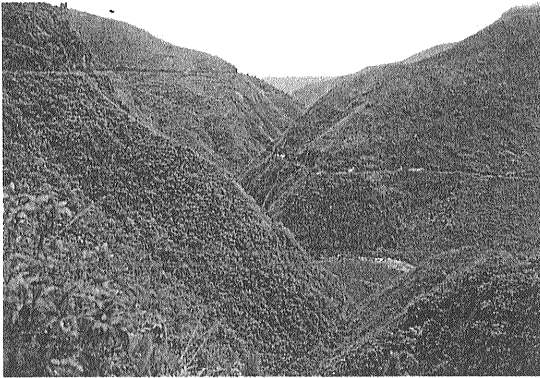


写真1 騰冲の熱海地熱地帯の地形。澡塘 (Zao-tang) 川が深く切れ込んだ谷をつくる。山の斜面は鮮新世の礫岩類。

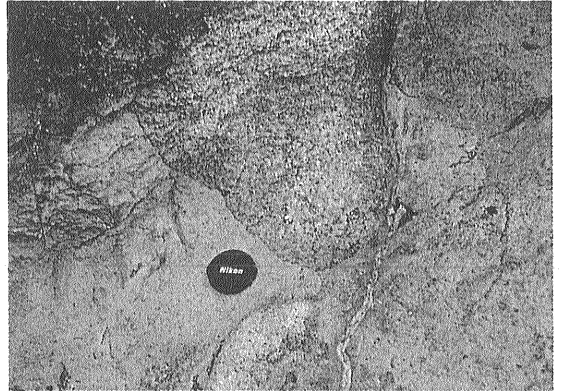
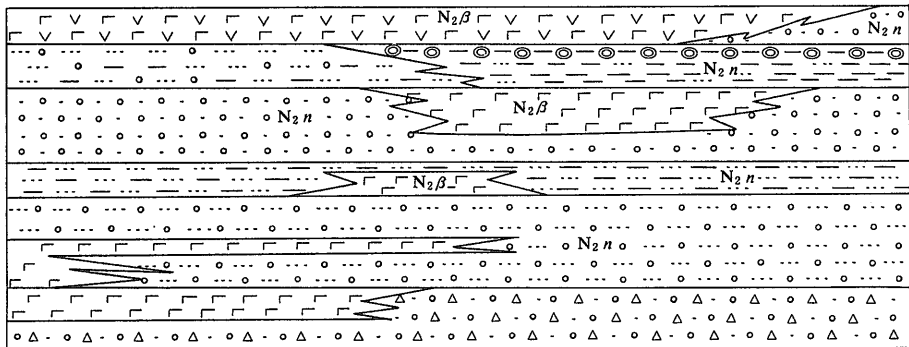


写真2 南林累層の礫岩とこれを切る石英細脈。中央のレンズキャップは径6.5cm。硫黄塘の澡塘川の川べり。



$N_2n$  1  $N_2\beta$  2  $\circ$  3  $\otimes$  4  $-$  5  $-$  6  $\circ$  7  $\triangle$  8  $\nabla$  9  $\square$  10

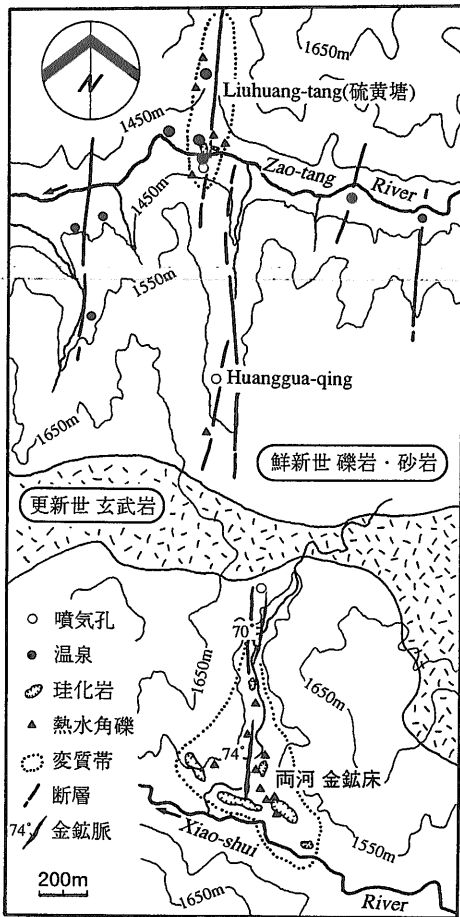
第4図 騰冲地域の新第三紀南林累層の模式断面図。1.南林 (Nanlin) 累層, 2.鮮新世火山岩, 3.砂礫岩, 4.珪藻質泥岩, 5.泥岩, 6.シルト質泥岩, 7.含礫砂岩, 8.巨礫に富む礫岩, 9.安山岩-玄武岩質火山岩, 10.玄武岩質火山岩 (基底部に近い層準で $7 \pm 0.2\text{Ma}$ の放射年代も報告されている-注2)。

### 3. 両河温泉型金鉱床

両河 (Lianghe) 鉱床は、騰冲市街の南南西10km余りにある熱海 (Rehai) 地熱地帯で発見された (第3,5図)。この付近の地質は、先カンブリア時代の片麻岩類や後期古生代-中生代の花崗岩類を基盤とし、その地溝状沈降部を埋積した礫岩・砂岩などからなる新第三紀の南林 (Nanlin) 累層およびこれらを覆う第四紀の火山岩類からなる。南林累層には、玄武岩-安山岩質の火山岩・火山碎屑岩層も挟まれ (第4図)、厚さは最大880mに及ぶとみられる。挟まれる火山岩の放射年代などから、堆積時期は主に鮮新世で一部は後期中新世と考えられる (注2)。類似の堆積盆地は騰冲地域に多数分

布し、この地域の大構造と調和的に、北部では南-北方向に、南部では北東-南西方向に伸びた形を示す (第3図)。熱海付近はこれら2つの構造の屈曲部にあたり、この地域で最も活発な地熱活動が見られる場所である。

熱海付近の南林累層は、主に砂岩と礫岩からなるが (写真2)、砂や礫は周辺に露出する基盤から供給されたとみられ、風化あるいは変質した露頭では、碎屑岩層と基盤を区別しにくいことがある。後期中新世-鮮新世という若い地層であるにもかかわらず急峻な地形をなすのは (写真1)、この地層が広い範囲にわたって熱水変質を受け堅くなっていることを示唆すると同時に、この地域の隆起削剝量が著しく大きいことを物語っていよう。温泉を利



第5図 熱海地熱地域の地形・地質の概略と両河金鉱床の位置。Zhu (1986, 1992)を改変。大きい●印は沸騰泉、珪化岩はシリカシenterも含む。ここに示す変質帯はカオリンや明礬石で特徴づけられる範囲で、その外側にはイライト-ス멕タイト混合層鉱物で特徴づけられる変質が広い範囲に及ぶ。中央の断層周辺には、シリカシenterだけでなく、しばしば自然硫黄も見られる。トラバーチンはまれで、図の範囲では1箇所だけ見出された。

用した保養地として知られる硫黄塘 (Liuhuang-tang) は、この地層を深く削り込んだ澡塘 (Zao-tang) 川の峡谷にある (口絵参照)。澡塘は日本語の露天風呂に相当する言葉である。澡塘川に似た峡谷はその南方にもあって硝水 (Xiao-shui) 川と呼ばれる (第5図)。両河という鉱床の名前は、これら2つの川の間位置することから名付けられた。

両河金鉱床は熱海地熱地帯の南部、硫黄塘の南約3kmにあり、南林累層の礫岩・砂岩中に胚胎する (第5図)。鉱体はやや南北に伸びた熱水変質帯

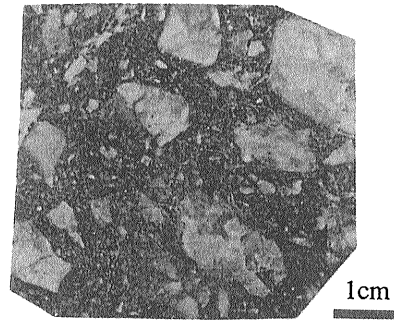
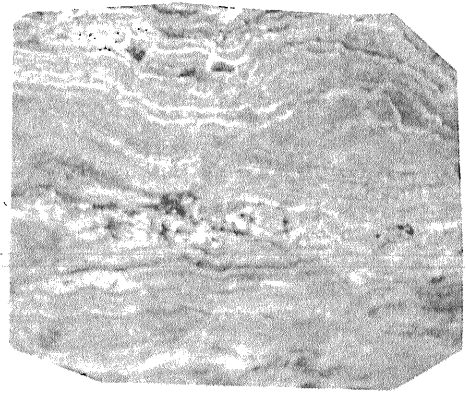


写真3 両河金鉱床の鉱石組織。  
上：縞状鉱石，下：礫状鉱石。

に産し、主要鉱体は厚さ約12mで、南北方向に500m以上、傾斜方向 (55°-75°西) に300m以上連続することが確認されている。平均品位は、Au4.3g/t, Ag30-50g/tで、銀に富む特徴がある (Ag/Au ≒ 10)。鉱量はAu5トン以上と見積もられるが、今のところ採掘の計画はない。また、AuとAg以外の濃集元素としては、As・Sb・Hg・Tl・Pb・Zn・Cuが挙げられるが、これらは経済的に意味を持つほどのものではない。

この鉱床の鉱石は、塊状・縞状・角礫状などの組織をもつ珪質鉱で (写真3)、少量の硫化物 (1-3%) および粘土鉱物や明ばん石を含む。硫化物は、主に黄鉄鉱と白鉄鉱で、閃亜鉛鉱・方鉛鉱・硫砒鉄鉱・黄銅鉱などを伴う。シリカ鉱物としては石英のほか玉随と蛋白石が産する。鏡下では自然金が見られず、Auの存在形態は確認されていないが、Auは微細な金粒として産するものと思われる。

鉱化を伴う熱水変質は、南北系の断層に沿って発達したものと考えられ、現在の温泉もこの方向に配列することが注目される (第5図)。変質帯は、鉱体中心部から外側に向かって、珪化帯・明ばん石

帯・カオリン帯・イライト帯に分けられ、その外側にモンモリロナイト変質が認められる。この部分まで含めると、地表部での変質帯の規模は少なくとも東西3.5km南北7kmの範囲に及ぶ。鉱石21試料の石英に含まれる流体包有物を筆者の一人卓が測定したところ、充填温度は150-250℃で、気相に富む特徴は沸騰現象を示唆する。酸素と水素の同位体分析結果は、熱水が天水起源であったことを示す。

鉱化の時期については十分信頼できるデータは得られていないが(注3)、鮮新世以降であることは明かであり、現在見られる温泉活動と一連の地熱活動により形成されたものと考えられる。鉱床近傍にシリカシンターが認められることから、鉱床形成の場は地表か地下浅所と推定され、角礫状鉱石の一部は熱水性爆発によるものと考えられる。

#### 4. 騰冲地域の温泉と火山

騰冲地域の第四紀火山と温泉の分布を第3図に示した(注4)。火山の分布は騰冲市街の周辺に限られるが、温泉の分布は騰冲県のほぼ全域に広がり、この地域が活発な地熱活動によって特徴づけられることが分かる(Tong and Zhang, 1989参照)。温泉の多くは40℃を越え、95-100℃に達する所も少なくない。この地域の地殻熱流量は平均で $7.9 \times 10^{-6} \text{ cal/cm}^2$ で、最高 $15.9 \times 10^{-6} \text{ cal/cm}^2$ に達する(Chen et al., 1994)。特に熱海地域の約12km<sup>2</sup>の範囲には高温泉が集中しており、噴気活動も活発で(注5)、熱水性爆発の痕跡もしばしば認められる。騰冲市街に近いこともあって、硫黄塘は保養地としての人気が高い(口絵参照)。

第5図に示すように、熱海地域の主な温泉や噴気孔の分布は南北系の断裂に支配されているとみられ、硫黄塘と黄爪青(Huanggua-qing)を結ぶ断層の南方延長部に両河鉱床が位置する。このことは、すでに述べたように、両河鉱床における金の鉱化作用と現在の温泉活動が密接に関係していることを示唆する。熱海地域の温泉水に含まれる金属元素については、以下のような分析結果が報告されている(天津地質研究院分析、平均値、単位はng/g)。

Au:0.062, Ag:0.49, Sb:16.9, Hg:0.5, Tl:4.3,  
Bi:0.014, U:8.2, Zn:6.5, Sn:0.9, As:218

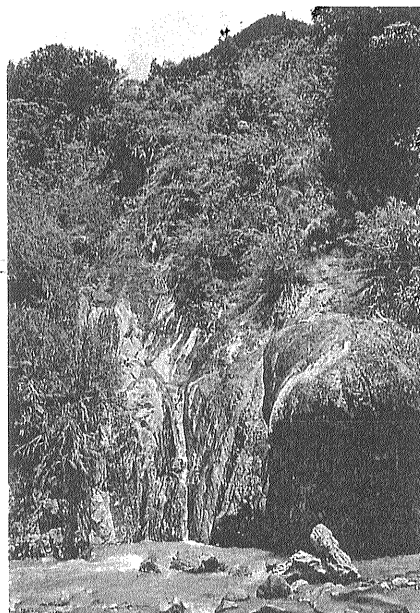
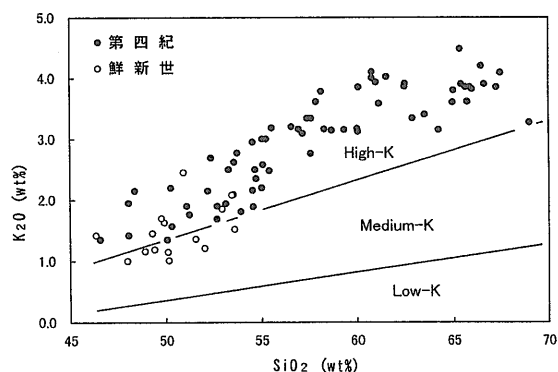


写真4 硫黄塘(Liu Huang-tang)の澡塘川河床にできつつあるシリカシンター。



第6図 騰冲地域の鮮新世-第四紀火山岩のK<sub>2</sub>O含有量。データはZhu et al. (1983)およびMu et al. (1987b)による。Low-, Medium-, High-Kの区分はIUGS Subcommission (LeMaitre, 1989)に基づく。

この付近の温泉はCl-SO<sub>4</sub>-Na型に分類され、pHは2-10の広い範囲にわたる(通常6-8)。温泉の湧出口周辺には強い珪化や粘土化が見られ、シリカシンターが形成されており(写真4)、それらの中には最高5-10ppmに及ぶAuの濃集が確認されている(注6)。

騰冲地域の火山岩は、主に玄武岩からなり安山岩やデイサイトを伴う。K<sub>2</sub>Oに富むカルクアルカリ岩系列に属し(第6図)、K-Ar法で測定された47個

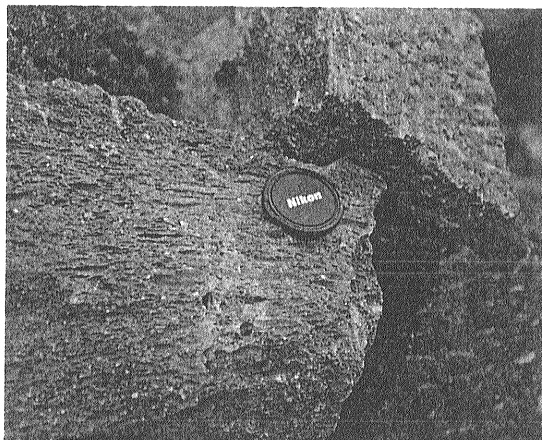


写真5 騰冲市街の建築用石材として使われている発泡した玄武岩溶岩。

の試料のほとんど(87%)が1.6Maより若い第四紀の年代を示し(大半が<0.5Ma), 5試料が2.7-3.7Maの鮮新世の年代を示した(Mu et al.,1987a,b). 1609年にこの地域で火山噴火があったことを示唆する言い伝えも残されているという(注7). また, この地域の火山岩類は, 著しく高いSr同位体初生値(0.706-0.714)で特徴づけられ, 地殻物質の関与を物語る(Zhu et al.,1983; Mu et al.,1987a,b)(注8).

騰冲市の西側には馬鞍山火山(標高1793m)がそびえ, その裾野では多孔質な玄武岩が建築用石材として採掘されている(写真5). この地域の火山は, 温泉や地熱資源だけでなく, 石材資源をも地域の住民に提供しているのである。

## 5. おわりに

騰冲の両河鉱床は, 中国で初めて見出された温泉型金鉱床である。このタイプの金鉱床は, 他にはまだ見つからないが, 中国南部の高温地熱地帯は今後の探査で有望な地域であると考えられる。

騰冲地域は, 地溝状の堆積盆と $K_2O$ に富む玄武岩を主とする単成火山群の組み合わせで特徴づけられ, 島弧の浅熱水性金鉱床の形成場とはやや異なる。張力場を示唆する騰冲地域のこのような特徴が, 両河鉱床の形成にどのような意味を持っているのか, また現世の温泉活動と鉱化作用とはどのように関係しているのか, これらをさらに詳しく検討する必要がある。

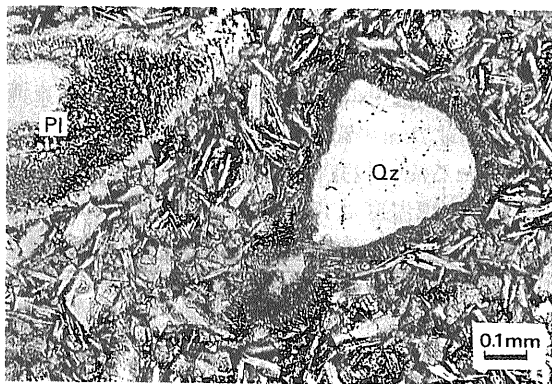


写真6 かんらん石玄武岩の顕微鏡写真。石英(Qz)や斜長石(Pl)の外来結晶を含む。馬鞍山火山北北西4kmの山麓にある石材採掘場(94072008)。熱海地域で採取した別の第四紀玄武岩質溶岩には黒雲母も見られた。これら外来結晶は反応縁に囲まれる。

謝辞：一色直記氏は火山岩の組織や文献などについてご教示くださり, 青木正博・徐勝の両氏は原稿の不備を指摘してくださった。薄片は佐藤芳治氏に作成していただいた。筆者ら(佐藤と孟)は1994年夏, 科研費による国際学術研究「中国雲南省における鉱床の分布特性」(代表：東京大学正路徹也教授)の一環として騰冲地域の錫鉱床を訪れる途中で硫黄塘に立ち寄る機会に恵まれた。

注1) 中国の産金量は, 1995年に105トンで世界第6位。

注2) 南林累層を中新世とする見解もあるが(例えば, Zhu, 1992), 挟まれる火山岩の放射年代や植物化石の特徴から(Zhuo and Zhu, 1990), 主要部は鮮新世であり最下部が後期中新世と考えられる。ただし, 騰冲地域の堆積盆地が全て同時期のものかどうかは不明であり, 第3図では新第三紀-第四紀としてある。

注3) ESR年代の測定結果は<0.1-230万年にわたる。ESR法で<0.1-24万年, ウラン系列法で2.3->38万年の年代値を記述した資料もある(Zhu,1992)。

注4) 雲南省の温泉は603箇所及び, 中国全土の27.4%を占めて全省区第1位である。このうち338箇所(56.1%)が40℃以上で(Cheng et al, 1994, 表2-1参照), 80℃以上の高温泉は全て揚子地塊の西側に分布する。

- 注5) 熱海地熱地帯の温泉ガスの $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比は、他の地域より著しく高く、大気の4-5倍に達し、マントル起源のヘリウムの寄与が大きいことを示す(Xu et al.,1994). この付近は地震空白域とされ、地下にマグマだまりの存在が推定されている(Liao and Guo,1986).
- 注6) 熱海地熱地帯の現在の温泉周辺のAu含有量は、珪化帯で通常30-300ppb(最高10ppm)、シリカシンターでは通常40-400ppb(最高4.87ppm). 一部のシリカシンターからはウラン鉱物(瀝青ウラン鉱とコフィナイト)も見出された.
- 注7) 1639年にこの地を訪れた明朝の地理学者Xu Hongzuの書物“The Travel Notes of Xu Xiake”(訳)には、硫黄塘(注9)の温泉の当時の状況が書かれており、現状との比較ができるという(Tong et al.,1986). この本にはまた、何日も続く山火事や地震など1609年に火山噴火が起こったことを示唆する地元の話も記述されているという(Whitford-Stark,1987).
- 注8) 騰冲-熱海間で採取した2個の玄武岩質火山岩には反応縁を持つ石英や斜長石の外来結晶が含まれており(写真6)、1試料には黒雲母の外来結晶さえ見出された。これら2個は道路沿いの露頭で“たまたま”採取した試料であるから、外来結晶の存在はこの地域の玄武岩質火山岩に一般的な現象なのかもしれない。この地域では安山岩-デイサイトだけでなく玄武岩についても高くかつ変化に富むSr同位体比(0.706-0.714)が報告されているが、その一因としてマグマだまりへの周囲の岩石の混入が考えられよう。
- 注9) 本稿では中国の固有名詞はできるだけ漢字で表記した(ただし硫黄は日本語表記)。中国語の文献は、日本語に活字のない例が少なくないため、添付された英語表記をそのまま採用した。

## 文 献

- Chen, M., Wang, J. and Deng, X. (1994) : Geothermal Resources in China. Science Press, Beijing, 260p. (中国語)
- LeMaitre, R.W.ed. (1989) : A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 193p.
- Liao, Z. and Guo, G. (1986) : Geology of the Tengchong geothermal field and surrounding area, west Yunnan, China. *Geothermics*, **15**, 339-345.
- Luo, J., Yang, Y., Zhao, Z., Chen, J. and Yang, J. (1994) : Evolution of the Tethys in western Yunnan and mineralization for main metal deposits. Geological Publishing House, Beijing, 340p. (中国語)
- Mu, J., Tong, W. and Curtis, G.H. (1987a) : Times of volcanic activity and origin of magma in Tengchong geothermal area. *Acta Geophysica Sinica*, **30**, 261-270. (中国語)
- Mu, Z., Curtis, G. H., Liao, Z. and Tong, W. (1987b) : K-Ar age and strontium isotopic composition of the Tengchong volcanic rocks, west Yunnan Province, China. *Geothermics*, **16**, 283-297.
- Tong, W. and Zhang, M. eds. (1989) : *Geothermics in Tengchong*. Science Press, Beijing, 262p. (中国語)
- Tong, W., You, M., Liu, S. and Zhang, M. (1986) : Hydrothermal systems in Tengchong, West Yunnan, China and their evolution during the past 400 years. *Geothermics*, **15**, 331-337.
- Wang, X., Kato, M. and Wang, H. (1996) : On the tectonic position of the Baoshan region during the Late Palaeozoic. *Jour. Southeast Asian Earth Sci.*, **13**, 171-183
- Whitford-Stark, J. L. (1987) : A survey of Cenozoic volcanism on mainland Asia. *Geol. Soc. Am. Spec. Paper* 213, 74p.
- Wopfner, H. (1996) : Gondwana origin of the Baoshan and Tengchong terranes of west Yunnan. In: Hall, R. and Blundell, D. eds., *Tectonic Evolution of Southeast Asia*, *Geol. Soc. Spec. Pub.*, no.106, 539-547.
- Xu, S., Nakai, S., Wakita, H., Wang, X. and Chen, J. (1994) : Helium isotopic composition in Quaternary volcanic geothermal area near Indo-Eurasian collisional margin at Tengchong, China. In: Matsuda, J. ed., *Noble Gas Geochemistry and Cosmochemistry*, TERRAPUB, Tokyo, 305-313.
- Zhu, B., Mao, C., Lugmair, G.W. and Macdougall, J.D. (1983) : Isotopic and geochemical evidence for the origin of Plio-Pleistocene volcanic rocks near the Indo-Eurasian collisional margin at Tengchong, China. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, **65**, 263-275.
- Zhu, M. (1986) : Hydrothermal clay minerals in Rehai thermal field, Tengchong, Yunnan Province. *Scientia Sinica Ser.B*, **29**, 430-439.
- Zhu, M. (1992) : Evidence of ancient hydrothermal activity and the relation to gold mineralization in the Rehai geothermal system, Yunnan, China. In: Kharaka and Maest eds., *Water-Rock Interaction*, Balkema, Rotterdam, 1633-1636.
- Zhu, M. and Tong, W. (1987) : Surface hydrothermal minerals and their distribution in the Tengchong geothermal area, China. *Geothermics*, **16**, 181-195.
- Zhuo, W. and Zhu, X. (1990) : Neogene system in Tengchong-Lianghe region. *Yunnan Geology*, **9**, 321-330. (中国語)

SATO Kohei, MENG Xianguo and ZHUO Weirong (1997) : Hot spring-type gold deposit in Tengchong, Yunnan, China.

< 受付 : 1995年3月23日 >