

## 箱根大涌谷の岩石の変質

杉山茂夫, 大木靖衛

神奈川県温泉地学研究所\*

Hydrothermal Rock Alteration at Owakidani, Hakone

by

Shigeo SUGIYAMA and Yasue OKI

Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

Hakone, Kanagawa

## (Abstract)

Three 50m deep holes for the study of landslide were drilled at the Owakidani sulfataric area. The cores from surface to 10m deep originally andesite are strongly altered by acid sulfate water and are composed of alunite, kaolinite and small amount of relic plagioclase. In proportion as depth, rock decomposition becomes weak due to decreasing of permeability. From 30m to bottom, the rocks are compact keeping original texture well.

Smectite contents in the cores begin to increase from about 10m deep and reach maximum at about 30m deep.

By X-ray analyses of smectites at dry condition and ethylene glycol treatment, smectites of shallow part cores are alkaline montmorillonite and those of deep part cores non or low alkaline montmorillonite.

From data of d(060) of smectites, dioctahedral montmorillonites dominate in the shallow cores, whereas trioctahedral montmorillonites dominate in the deep cores.

---

\* 神奈川県箱根町湯本997 〒250-03

神奈川県温泉地学研究所報告 第13巻, 第5号, 47-54, 1982

## はじめに

温泉地学研究所は1973年から箱根大涌谷の冠頭部にあたる旧神山登山道付近の噴気地帯の調査を行ってきた(広田ら, 1974, 1977)。その後, 神奈川県土木部小田原土木事務所は箱根大涌谷地すべり防止対策の一環として図1に示される旧神山登山道と大涌沢上流部の調査を温泉地学研究所に依頼し, その結果は報告されている(小鷹ら, 1979, 1980, 1981)(図2)。この報告は温泉変質作用によって生じたボーリングコアの粘土鉱物について主に述べる。

## 大涌谷噴気活動の状況

小鷹ら(1981)の調査によると旧神山登山道付近の噴気活動は1977年を頂点として, それ以後は衰退化している(表1)。大涌沢上流部の噴気活動は1979年~1981年までの調査期間内でほとんど変化は認められない(表2)。

## 岩石の変質

小田原土木事務所は1979年に地質調査の目的で深度50mのボーリングを実施した(位置は図2の右上の54No. 1, 54No. 2, 54No. 3である)。

図3は54No.1ボーリングの地質柱状図, 孔内温度及びコア中の鉱物の産出状況である。地質柱状図と孔内温度は「昭和54年度地すべり工事対策報告書」(小田原土木事務所, 1980)による。

地質状況についてみると, 地表から浅い程肉眼上の変質(岩石が柔らかく, 黄白色ないし暗灰色をしており, 溶脱されている状態)が強くなり, 深くなるにしたがい, 岩石は緻密で原岩(安山岩)の組織が良く保存されている。

孔内温度については, 深さ20

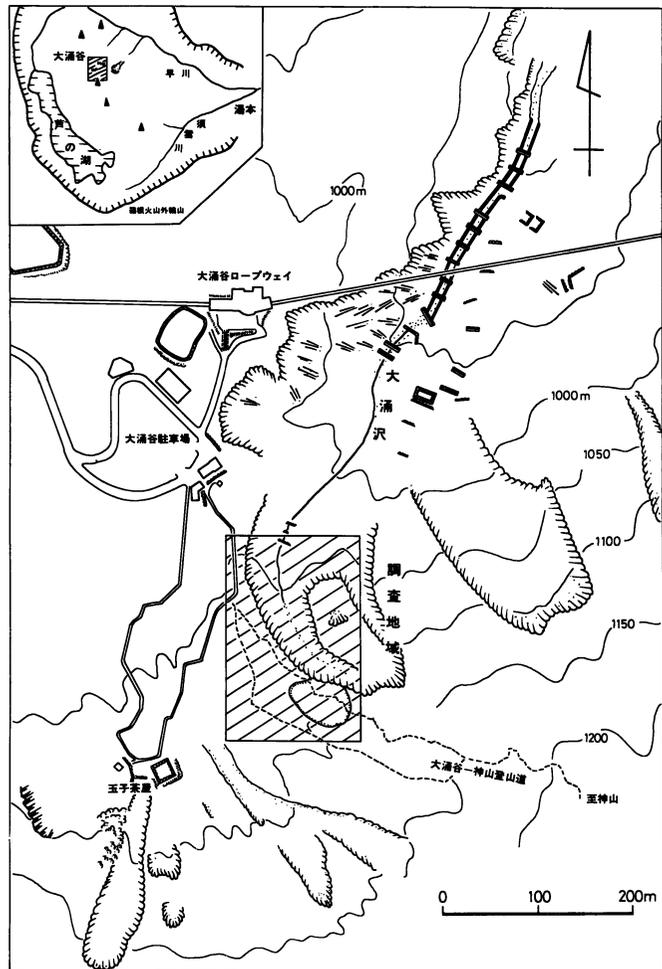
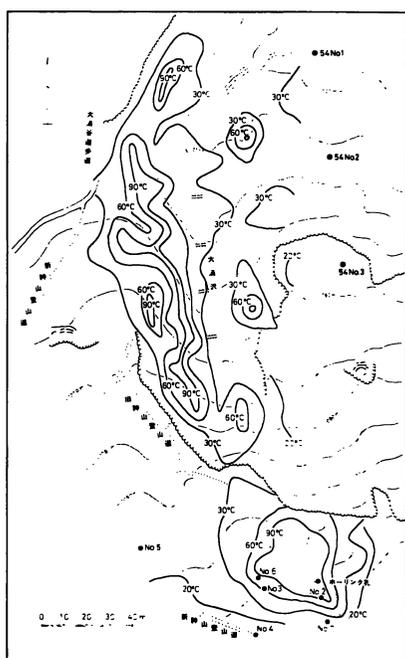


図1 箱根大涌谷の調査地域

表1 旧登山道噴気地帯における等温線に囲まれる面積の経年変化 (小鷹ら, 1981)

地中温度 (°C) (深度50cm)	面積 (m <sup>2</sup> )						
	昭和50年4月	昭和50年10月	昭和51年5月	昭和52年8月	昭和53年6月	昭和54年5月	昭和55年7月
90以上	970	1170	1660	1970	1402	1094	732
60～90					1258	474	636
30～60					1938	1001	1226
20～30					1106	1016	
30以上				4608	4598	2569	2594
20以上	2240	2600	3240		5704	3585	

図2 調査地域の地中温度分布 (深度50cm)  
(小鷹ら, 1981)

mまで1.0°C/mの上昇を示し、20m以深は2.9°C/mの上昇を示す。孔底温度は118°Cである。

鉱物の同定は主に粉末X線回折により行なった。粘土鉱物では地表付近にカオリナイトが多く、深くなるにしたがいスメクタイトが多くなる。地表付近の水は酸性泉でpHが低いいためカオリナイトが生成した。同様の理由でミョウバン石も地表付近に生じている。沸石の種類としてはクリノフチロール沸石が認められた。この沸石はモルデン沸石と同様に低温型の沸石である。石膏は38mまで生成している。27mで硬石膏の共生が認められ、過去にここが熱水の通り道で、温度が高かったことを示す。黄鉄鉱は地表付近にはないが、27m以深に生じている。地表付近に存在しないことについては、図4の硫化鉄の溶解度とpHの関係から説明できる(平野ら, 1965)。方解石は27m以深に生じている。このことから27m以深の地層間隙水の液性は中性と考えられる。斜長石は源岩から残留したもので斜長石の含有量の大小は肉眼上の変質と良く一致している。肉

表2 大涌沢上流部噴気地帯における等温線に囲まれる面積の経年変化 (小鷹ら, 1981)

地中温度 (°C) (深度50cm)	面積 (m <sup>2</sup> )						
	昭和50年4月	昭和50年10月	昭和51年5月	昭和52年8月	昭和53年8月	昭和54年5月	昭和55年7月
90以上					569	924	606
60～90					1660	1000	1874
30～60						2521	
20～30						2935	
30以上						4445	
20以上						7380	

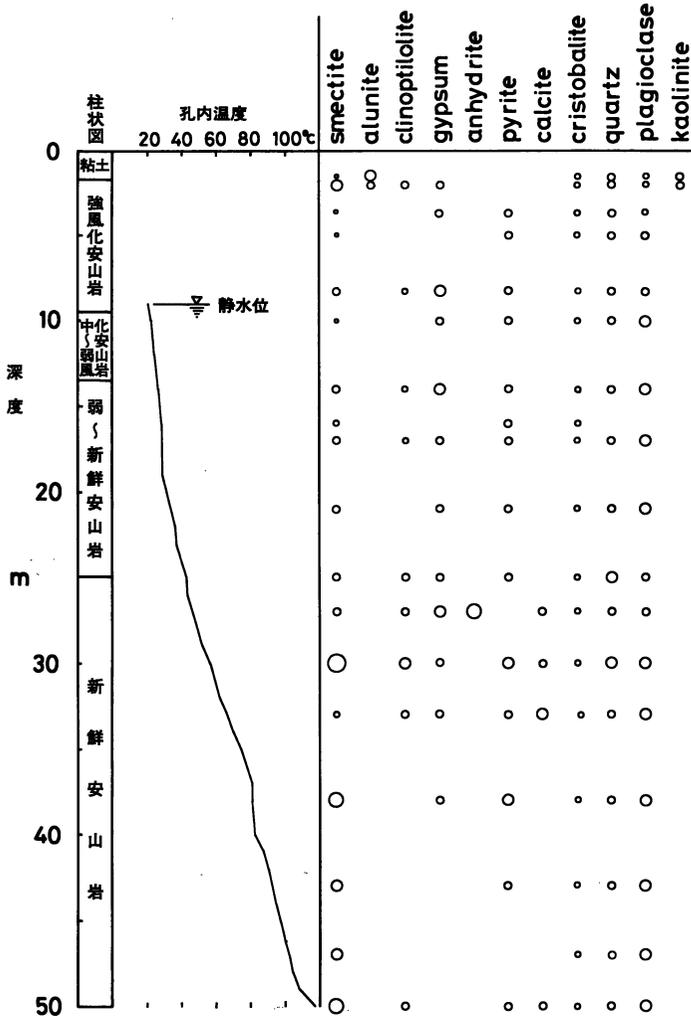


図3 54 No.1 ボーリングの地質柱状図，孔内温度及びコア中の鉱物の産状

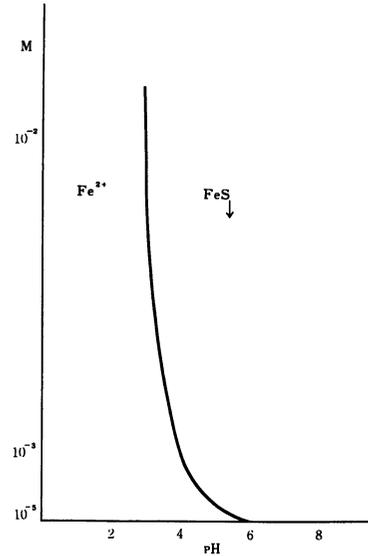


図4 硫化鉄の溶解度と pH (平野ら, 1965)

眼的変質の度合は地表 ~3.7m が非常に強く，5~8.3m と25~27m が比較的強い。

図5は54No.1~54No.3の地質断面図(地質，地温，水位は「昭和54年度地すべり工事対策報告書」による)にスメクタイトの重量を記したものである(定方位粉末X線回析でスメクタイトの底面

(001) 反射角  $5.8^\circ(2\theta)$  を使用し，積分強度は  $4^\circ(2\theta) \sim 8^\circ(2\theta)$  を走査し測定した。定量は，水ひしたスメクタイトの中で最大の積分強度を示す資料(資料は全て30mg)をスメクタイト 100%として，それとの割合で行なった)。

スメクタイトの含有量についてみると，肉眼上の変質状態と必ずしも一致しない。地表から深さ10m付近まではスメクタイトが増加し，深さ30m付近で最大となる。さらに深さが増すと徐々に減少している。

この傾向は次のように説明できる。地表付近では酸性地下水による岩石の溶脱が進んでいるためスメクタイトは消失していると考えられる。深さが増すと，岩石間隙中の水の流動は制限され，溶脱作

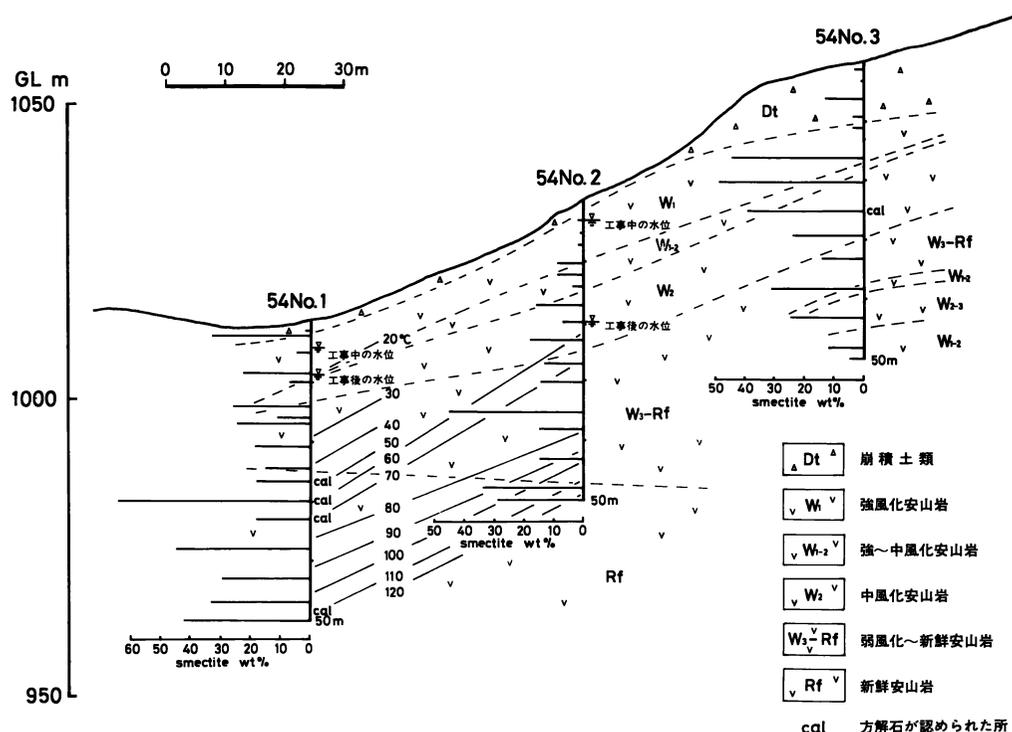


図5 54 No. 1～54 No. 3の地質断面図

用が減少すると共に、地温も上昇し、岩石中の石基や有色鉱物のスメクタイト化が増加する。深さが30m以上になると、地温は上昇するが、岩石はより緻密になり、地下水の滲透が少なくなる。そのため、数十度～百数十度でも岩石の変質は進まず、スメクタイトの形成は徐々に減少していると考えられる。

図6は54No.1ボーリングコアのスメクタイトについて、無処理 (UT), 硝酸アンモニウム処理 (AN), エチレングリコール処理 (EG) と乾燥 (Dry) との  $d(001)$  の関係を示したものである。 $d_{001}$  (Dry) が  $13\text{\AA}$  前後で  $d_{001}$  (EG) が  $17.5\text{\AA}$  前後のスメクタイトが浅所 (2m, 8.3m) と27mに認められる。鬼首地帯のクロライト～モンモリロナイト系のタイフ (関ら, 1980) と対比させると、前述の浅所と27mの部分はタイフ I (アルカリモンモリロナイト, 最も浅い所) となり、その他はタイフ I' (Ca・Mg・Feに富むモンモリロナイト, 狭義でいうスメクタイト) に相当する。

図7はスメクタイトの深度別の不定方位粉末X線回折チャート  $[66^\circ(2\theta) \sim 57^\circ(2\theta)]$  である。図8はスメクタイトの  $d(060)$  と深さの関係を示したものである。図7, 図8から、浅所では8面体シートにAlが入っている2-8面体型モンモリロナイトが多い。深くなるにしたがって3-8面体型モンモリ

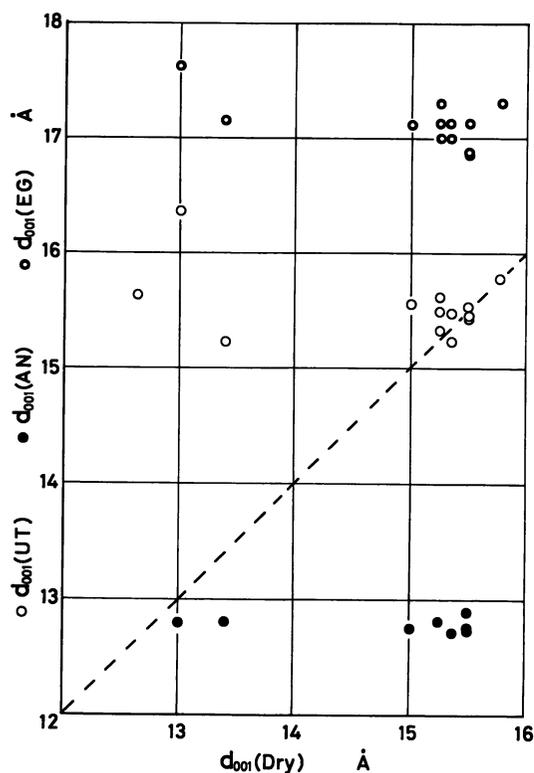


図6 54 No. 1 ボーリングコア中のスメクタイトの  $d(001)$  の無処理 (UT), 硝酸アンモン処理 (AN) およびエチレングリコール処理 (EG) と乾燥 (Dry) との関係

ロナイトが増加してくる。金原ら (1978) は深くなるにしたがって3-8面体型モンモリロナイトが増加するのは、変質が進み、源岩中の角閃石や輝石から  $Mg \cdot Fe$  を取込むこととしている。大涌谷の場合、浅所に2-8面体型モンモリロナイトが多い理由は溶脱により  $Mg \cdot Fe$  が取去られていることによる。

## 考 察

箱根大涌谷の54 No. 1 ボーリングコアを中心に岩石の変質をみると、地表から深さ10m付近までは肉眼上の変質を強く受けている。地表近くは酸性地下水の役割が大きく、溶脱が進み、カオリナイト、ミョウバン石、少量の残留斜長石で特徴づけられる。地表から10mまでの間で地下水のpHが徐々に上がり黄鉄鉱が晶出してくる。10mを越すと斜長

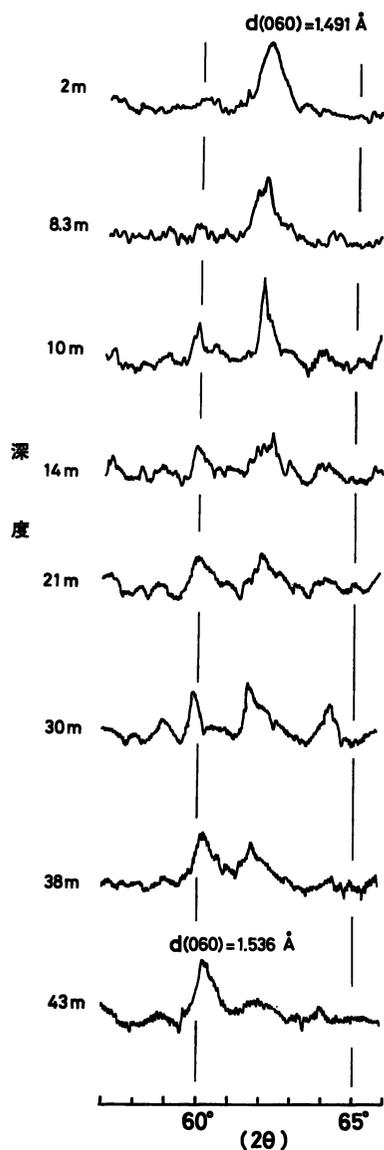


図7 54 No. 1 ボーリングコア中のスメクタイトの不定方位粉末 X線回折チャート ( $66^\circ \sim 57^\circ$ )

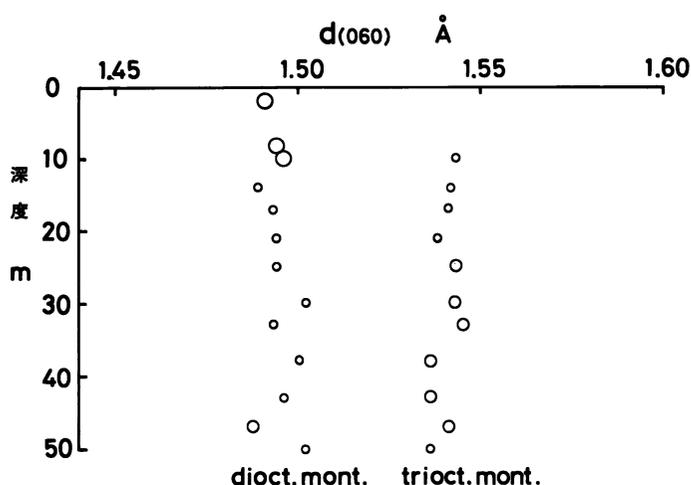


図8 54No.1ボーリングコア中のスメクタイトのd(060)と深度との関係

石が増加し、肉眼上の変質は弱くなる。25～27mで斜長石の量が減少し、肉眼上の変質が強くなっている所がある。これは石膏と硬石膏の脈が発達していることから熱水の通り道であったと考えられる。27mからは方解石が存在しており、間隙水は中性と考えられる。30mではスメクタイトの量が最も多い。スメクタイトに着目すれば、深度が増すにつれて、2—8面体型から3—8面体型に移り、含有量も増加するので変質は進んでいることになる。さらに深

くなると地温上昇と共に石膏は生じなくなる。スメクタイトは徐々に減少しているが、多分、50mより深くなり、地温が上昇すればクロライトを含む混合層の粘土鉱物が生成されていると思われる。

以上のことから岩石の変質は、地温と地下水（温泉、熱水）の有無とそのpHにより左右される。特に、27m付近では熱水の通り道であったため、肉眼でも、鉱物組合せをみてもかなり変質を受けている。

大涌谷の岩石の変質を遅らせるには、高温部分（地表、地下を含む）で岩石と地下水（温泉・熱水）を接触させないことが良い。

現在、小田原土木事務所で行っている排水溝の整備や水抜ボーリングは大涌谷の岩石の変質を遅らせる方法の一つと考えられる。

## 結 論

ここまで深さ50mのボーリングコア中の鉱物組合せ、粘土鉱物の量・種類から岩石の変質状況を検討した。その結果、箱根大涌谷は地温勾配が大きく、地下水の有無・pHの変化が大きいため、深さ50mでも岩石の変質の変化をある程度追うことが出来た。

## 謝 辞

神奈川県温泉地学研究所の小鷹滋郎専門研究員、平野富雄主任研究員からは内容を検討して頂き、有益な助言を賜った。平賀士郎研究部長にはこの報告書の作成にあたって御配慮頂いた。小田原土木事務所砂防第二課の村田康雄課長、井沢広政主査、小松重夫技師にはボーリングコアを快く提供し

て頂いた。以上の方々に厚くお礼を申し上げる。

## 参考文献

- 平野富雄, 大木靖衛, 田嶋禰子 (1965), 箱根大涌谷の温泉沈積物, 温泉工学会誌, Vol. 3, No. 3, 131-138.
- 広田 茂, 平野富雄, 大木靖衛 (1974), 箱根大涌谷の新噴気, 神奈川温研報告, Vol. 5, No. 1, 23-30.
- 広田 茂, 粟屋 徹, 大山正雄, 大木靖衛 (1977), 大涌谷一神山登山道に出現した噴気地帯の調査, 神奈川温研報告, Vol. 8, No. 1, 27-38.
- 神奈川県小田原土木事務所, 神奈川基礎調査株式会社 (1980), 昭和54年度地すべり対策工事(公共)(当初5号分割5)大涌沢足柄下郡箱根町仙石原地先報告書.
- 金原啓司, 大久保太治 (1978), 鹿児島県薩南地区地熱調査井(SA-1号)に見られる岩石の熱水変質, 岩石鉱物鉱床学会誌, Vol. 73, No. 5, 125-136.
- 小鷹滋郎, 広田 茂, 大山正雄, 粟屋 徹, 平野富雄, 大木靖衛 (1979), 大涌谷地すべり対策調査(昭和53年), 神奈川温研報告, Vol. 11, No. 2, 1-16.
- 小鷹滋郎, 大山正雄 (1980), 大涌谷地すべり対策調査(昭和54年度), 神奈川温研報告, Vol. 11, No. 6, 141-150.
- 小鷹滋郎, 杉山茂夫, 大山正雄, 大木靖衛 (1981), 大涌谷地すべり対策調査(昭和55年度), 神奈川温研報告, Vol. 7, No. 7, 345-358.
- 大木靖衛, 平野富雄 (1972), 箱根温泉の湧出機構と成因, 地熱, Vol. 9, No. 1, 15-29.
- 大木靖衛, 平野富雄, 小鷹滋郎, 粟屋 徹, 大山正雄, 杉山茂夫 (1981), 箱根温泉誌(II) Vol. 12, No. 6, 249-344.
- 関陽太郎, 大木靖衛, 平野富雄 (1980), 地熱地帯下部で形成された Chlorite-Montmorillonite 系鉱物のタイプ分け試案, 岩石鉱物鉱床学会誌, Vol. 75, No. 2, 55-61.
- 角 清愛 (1966), 岩手県松川地熱地帯における岩石の熱水変質, 鉱山地質, Vol. 16, 261-271.