

## 第194回地質調査所研究発表会講演要旨\*

### 奥羽脊梁山地中・南部新第三系の自生 鉱物分帯並びに有機熟成に関する研究 —その1. 秋田県横手東方地域—

谷口政碩\* 佐々木清隆\*\* 小田幸人\*\*  
佐藤敦史\*\* 金子信行\*\*\*

新第三紀中新世西黒沢期の脊梁は北村(1959)の Geosynclinal Trough に位置し, 同期の泥岩相の発達 は本地域の真昼川層を含め明らかにされてはいるもの、石油根源岩評価に係わる調査研究は極めて少ない。本研究はこの空白を補うため昭和62年度の重点基礎研究の課題として採択された。今回3地域のうち標記の平鹿郡山内村一帯について紹介する。

新第三系は下位より真昼川層〔主要岩相: デイサイト・緑色凝灰岩・黒色泥岩, 層厚: 400 m+〕, 小繫沢層〔西黒沢階, 砂質シルト岩・砂岩, 200-450 m〕, 山内層〔女川階, 灰色硬質泥岩, 100-200 m〕, 相野々層〔女川-船川階, 灰色シルト岩・砂質シルト岩, 250 m+〕, 黒沢層〔船川階, 砂岩・細粒凝灰岩, 100 m+〕, 滝ノ沢層〔一部不整合, デイサイト質緑色角礫凝灰岩, 150-250 m〕及び花山層〔湖成層, シルト岩・細粒凝灰岩互層・デイサイト, 200 m+〕に区分される。これらのうち滝ノ沢・花山両層は地域の東南部に, また北部には真昼川-相野々層までの海成層が発達する分布の特徴がまぎ指摘される。

1) 鉱物組成による変質相解析: 相異なる3タイプの変質作用が明らかとなった。即ちa) 北部の地域では主に埋没続成作用が顕著で相野々層下部までは斜プロホル沸石帯, 同層最下部-真昼川層中部は方沸石帯(An帯)に, また同層中・下部は濁沸石帯にそれぞれ分帯された。b) 花山層は南郷鉱山など浅熱水性鉱床に関連する酸性熱水に起因すると考えられる珪化・粘土化作用が著しく, セリサイトと共に一部にカオリン鉱物が検出される。c) 滝ノ沢層からは緑泥石, スメクタイトのほか, 濁沸石, モルデン沸石, 緑簾石等が確認され, 直下位層の続成変質相よりも明らかに強変質相を呈し, 同層堆積期の特異な即ちアルカリ性の熱水活動が明らかとなった。

従って, 従来の石油発生論に照合すると, 上記a)の

産状は小繫沢層の層準ではすでに熟成帯に到達していることを示唆している。

2) 可溶性有機物分析: a) 有機炭素量(TOC)は相野々層で0.61-1.03%(平均0.80%), 山内層で1.06-1.63%(1.28%), 真昼川層で0.86-1.38%(1.12%)の値を示し, これら3層の石油根源岩評価はFair-Goodの範疇にある。b) 抽出性有機物量(EOM)は相野々層で0.046-0.110%(平均0.063%), 山内層で0.073-0.155%(0.128%), 真昼川層で0.089-0.150%(0.134%)の値を有す。c) TOC, EOM及びEOM/TOC比の値は層序の下位に向かって若干増加し, 真昼川層のみの変化に注目すると, 本層が熟成帯に達した可能性は完全に否定できないものの, これらの値が急増する層準は認められないことから, 本地域の泥岩層の含有有機物は地化学的には未熟成であると考えられる。

なおN-アルカンの頻度分布解析とこれに基づくCPI値の意義については別途紹介することとし, 割愛する。

3) ビトリナイト反射率(Ro): 白水沢では全層を通じてほぼ0.3-0.4%の範囲の値を示し, 小松沢-松川では相野々層で0.32%, 真昼川層で0.48%を示し, 層序的下位に向かって漸増するものの, 熟成帯の指標Ro=0.5%を超える値は白水沢の真昼川層の僅か一試料のみであった。またロック・エヴァル法によるケロジェン熱分解のT MAX値は全層を通し431°C以下であり, 435°Cを超えない。これら両測定値はいずれも2)の地化学データとマッチし, 自生鉱物の分帯論から導かれる知見と著しく対立する結果となった。

滝ノ沢層分布域及びその周縁部の黒沢層は局所的に方沸石化している。また上記1)のAn帯の最小層厚は約650 mで, 佐々木ほか(1982)の式より古地温勾配の最大値は約6.3°C/100 mを示し, 埋没変質は藤岡ほか(1971)の隆起型を支持している。従ってこの変質帯の形成時期は滝ノ沢層の堆積前に求められると共に, 花山層の湖盆形成後は陸域化が継続したものと推察される。これにより温度とその履歴時間に依存するビトリナイトの石炭化や有機物の熟成作用はその後増進しなかったものと解せられる。なお火砕流堆積物滝ノ沢層の噴出に関連するマグマによる地熱熱水活動が続成変質に付加した可能性については今後検討する。

(\*地殻熱部 \*\*東北大学 \*\*\*燃料資源部)

\* 平成元年2月22日本所において開催

## 温泉型金鉱床生成過程の実証的研究

青木正博

温泉活動に密接に関連して生成された熱水性金鉱床を、特に温泉型金鉱床と呼んでいる。金を溶存する深部熱水が地表に到達する過程で起こる、温度低下、pH低下、酸化、沸騰脱ガス等が原因となって、金の効果的沈殿が起こり鉱床が生成されたと推定されている。この種の物理化学的条件の急激な変化は地下浅所で起こり易いので、地表下比較的浅い部位に高品位鉱が形成される可能性が高い。近年その経済的価値がとみに注目されている米国カリフォルニア州マクラフリン鉱床(金量100t)、福島県高玉鉱床(金量30t)はこの型の典型例として挙げられる。

温泉型金鉱床の効率的探査には、精密な鉱床生成モデルの確立が不可欠であり、その為に活動的鉱床の観測は確実な一歩となろう。然しながら、金に富む温泉沈殿物を伴った活動的熱水系は世界的に見ても稀である。ニュージーランドタウポ火山帯に、シャンペンブル等の例が知られるが、熱水活動が活発すぎて安全のうちに十分な調査観測をする条件には恵まれていない。

本研究においては、地表徴候から活動的金鉱床の存在が予測された恐山熱水系の詳細な検討を実施し、実証的に鉱床生成過程を解明した。当地の温泉活動は既に最盛期を過ぎており安全面でも研究遂行上有利な状態にある。

恐山噴気帯は、下北半島の第四紀恐山火山、宇曾利カルデラの北部にあって、後カルデラ期の角閃石石英安山岩ドーム群とカルデラ湖の間に位置しており、東西約2.5km、南北約1kmの規模をもつ。石英安山岩マグマを熱源、カルデラ湖を涵養水源として生成発展して来た熱水系の地表々現として理解される。付近には角閃石石英安山岩溶岩と、砂-シルト質の湖成堆積物が分布しており、変質帯中央から縁辺部に向けて、溶脱珪化帯—明礬石・カオリナイト帯—モンモリロナイト帯の累帯配列が発達している。温泉沈殿物、温泉湧出孔、噴気孔の分布はNNE-SSW及びE-W系の割れ目帯に規制されている。割れ目帯の動きに連動して熱水の上昇、沸騰、酸性ガスの分離上昇、深部熱水の溢流が繰り返されて、今日の複雑な地表景観が形成されて来たのであろう。NNE-SSW、E-W系の裂罅は、東北日本北部に共通する広域的応力と噴気帯周辺の局部的上昇応力との協働の産物として理解し得る。温泉水の水質は変化に富むが化

学組成に基づいて3種に大別できる。即ち(I)中性pH低 $H_2S$ 高濃度塩化物泉( $T=96^{\circ}-100^{\circ}C$ ,  $Cl=4500-6000$  ppm,  $H_2S=0-15$  ppm. 噴気変質帯の中央部に湧出し、活発に非晶質珪酸を沈殿しつつある)。 (II)中性pH高 $H_2S$ 塩化物泉( $T=50^{\circ}-100^{\circ}C$ ,  $Cl=1800-2900$  ppm,  $H_2S=40-250$  ppm. 噴気変質帯の東部に集中的に湧出し、低pHの地表水と混合する部位に $As_2S_3$ 及びSを沈殿しつつある)。 (III)低pH塩化物硫酸塩泉( $T=45^{\circ}-96^{\circ}C$ ,  $Cl=1200-1600$  ppm,  $SO_4=1000-1400$  ppm,  $H_2S=0-15$  ppm. 噴気変質帯中央部付近に湧出量の大きなものがあり浴用に供されている)。 (I), (II)はCl/B比, Na/K比などにおいて互いに酷似しており共通の深部熱水に由来すると判断される。 $H_2S$ とCl濃度の逆相関は、熱水上昇過程における沸騰及び希釈の程度の反映と考えられる。即ち(I)型は沸騰による脱ガス・濃縮の顕著なもの、(II)型は希薄な地下水と混合し、希釈、冷却され顕著な沸騰を起こさなかったものと解釈される。 $H_2S$ に富む中性pH塩化物型高温熱水は、硫化物錯体としてAs, Sb, Hg, Au等を溶存運搬する高い能力を有するので、 $As_2S_3$ の顕著な濃集部の存在は、温泉型金鉱床の有力な示徴であると判断し、現在地表付近のpH低下に起因して $As_2S_3$ を沈殿しつつある(II)型泉源の沈殿物の組成を検討した。その結果、 $As_2S_3$ , Sを主成分とする沈殿物が、最高で47ppmに達するAu濃度を有することが確認された。更に付近の12の泉源を含む、東西100m、南北70mの範囲について地下1m深の重金属元素濃度を検討したところ、直径約70mの環状部の内側に、As, Sb, Hg, Te, Seが同心円状パターンに濃集し、Auもこれ等と全く調和的に分布することが判明した。同時に、Au 400ppm以上の濃度をもつ高品位金鉱床の存在が実証された。AuはHgと特に密接な随伴関係を有し、いずれもテルル化物として存在している。環状部の近傍には、湖成層の強い変形や爆発角礫堆積物が見出されることから、この高品位鉱床は熱水爆発クレーター内に集積された温泉沈殿物であり、現在の高 $H_2S$ 熱水は深部に達する角礫パイプに沿って上昇していると推定される。又、爆発角礫に含まれる含金珪化岩や縞状石英脈は、クレーター下部に、既に塊状珪化岩型及び鉱脈型の金鉱床が生成されていることを物語っている。一方、(II)型温泉水と同一起源をもちながら、地表の沈殿物中に殆んどAuを含まない(I)型温泉水は、地下浅所の沸騰帯の上部に脱 $H_2S$ に起因してAuを沈殿濃集しつつあると考えられる。(III)型温泉水は(I)あるいは(II)型の中性pH深部熱水の酸化(あるいは酸化的地表水との混合)によって生じたものと判断される。高 $H_2S$ の(II)

型熱水が直接に関与していれば、地下水との混合帯に Au の沈殿を生じている可能性が出て来る。(I), (II), (III)型温泉水の、酸素・水素安定同位体組成は、この順に大きな  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$  シフトを示す(例えば(I)型で、 $\delta^{18}\text{O}=0.6-2.0\%$ ,  $\delta\text{D}=-31.5-26.9\%$ , 天水は  $\delta^{18}\text{O}=-9.5\%$ ,  $\delta\text{D}=-56.0\%$ , (II)型, (III)型はその中間の値を示す)。とともに、これ等異なるタイプの温泉水が、気液分離による濃縮、天水・浅層地下水による希釈等のプロセスを経て成因的に関連づけられることを裏付けた。

(鉱物資源部)

## 羽幌・留萌地域の上部新第三系の珪藻化石層序

渡邊真人

北海道の日本海側には珪藻質泥岩が広く分布している。これらの成因と生成された環境を明らかにする前提となる、各層の時代についてはまだ十分なデータがそろっていない。今回の研究では羽幌・留萌地域の鮮新統とされている珪藻質泥岩の形成され始めた時期について珪藻化石による検討を行うと共に、鮮新統の示準化石とされる *Fortipecten takahashii* の産出層準の時代について考察を行った。初山別、羽幌、鬼鹿、沼田の4地域でサンプリングを行い珪藻化石の検討を行った。

初山別地域では、遠別層砂岩層、遠別層泥岩層及び茂築別層について検討を行った。遠別層砂岩層の中部から珪藻化石が産出し、*Rouxia californica* 帯(後期中新世)にあたる。遠別層泥岩層は珪藻質泥岩からなり、*Neodenticula kamtschatica* 帯(後期中新世から前期鮮新世)にあたり、本地域では *N. kamtschatica* 帯下部から珪藻質泥岩となっていることになる。遠別層泥岩層の上部から茂築別層(*Fortipecten takahashii* を産出する)の下部にかけては、*Neodenticula koizumii/N. kamtschatica* 帯(前期鮮新世)にあたり、茂築別層の上部は *N. koizumii* 帯(後期鮮新世)から *Actinocyclus oculatus* 帯(前期更新世)に及ぶ可能性が高い。

羽幌地域では小川夾亜炭層、遠別層及び茂築別層について検討を行った。小川夾亜炭層の最上部は *R. californica* 帯から *N. kamtschatica* 帯にあたる。遠別層は珪藻質泥岩からなり、その下部は *N. kamtschatica* 帯にあたる。ここでも珪藻質泥岩層は *N. kamtschatica* 帯下部から始まっている。遠別層の上部から茂築別層下部にかけては、*N. koizumii/N. kamtschatica* 帯にあたる。

鬼鹿地域では鬼鹿層と遠別層について検討した。鬼鹿層の中部の砂岩は *T. schraderi* 帯(後期中新世)にあ

り、上部の泥岩は *R. californica* 帯から *N. kamtschatica* 帯にあたる。この泥岩はやや硬質の珪藻質泥岩からなるのでこの地域では珪藻質泥岩は *R. californica* 帯から始まっている。遠別層は *N. kamtschatica* 帯にあたる。

沼田地域では、*Fortipecten takahashii* を産出する深川層群について検討を行った。本地域の深川層群下部は *R. californica* 帯から *N. kamtschatica* 帯にあたり、*Fortipecten takahashii* が産出する最も下位の層準は *N. kamtschatica* 帯にあたる。

以上の結果から以下のことがわかった。初山別と羽幌では *N. kamtschatica* 帯の下部から珪藻質泥岩の堆積が始まっているのに対し、鬼鹿では *R. californica* 帯から始まっておりその時期がずれていることが判明した。次に *Fortipecten takahashii* の産出層準は、初山別及び羽幌地域では従来各地で報告されているように *N. koizumii/N. kamtschatica* 帯以降の時代にあたるが、沼田地域では後期中新世を示す *N. kamtschatica* 帯の下部にあたる。これは *Fortipecten takahashii* の産出層準の時代について今後も各地で検討を重ねる必要があることを示す。また沼田地域では深川層群の下部が *R. californica* 帯にあたるということが判明したので、従来沼田地域では欠如しているとされた増毛層層準の地層が存在する可能性が示された。

(北海道支所)

## 遺跡の地震跡

寒川 旭

遺跡で地震跡が検出された場合、その形成年代を考古学的に把握し、平面及び断面形を連続的に観察することができる。このため、地震の時期の予知や被害の予測の基礎資料として重要である。

琵琶湖周辺で、多くの地震跡が認められているが、その年代は縄文晩期前半代中頃・弥生中期・1662年頃の3つの時期に集中している。特に、弥生中期の地震跡は湖の北部と南部の4カ所で認められており、砂礫層が液状化し、最大径5cmの礫まで当時の地表面に噴出していることから地震動も大きかったことが推定される。また、地震時の地表面に生育していた多くの木の幹が、現湖面下2.5mに埋没していることより、この時の地震によって湖岸地域が水没したものと思える。

大阪平野北部でも多くの地震跡が認められている。これらは、有馬-高槻構造線活断層系に沿う逆断層・亀裂及びその周辺の液状化跡である。この大部分は、室町時代前半の地層を切り、江戸時代の地層に覆われているの

で、1596(慶長元)年の伏見地震に伴う地震跡と考えられる。

高知県中村市のアゾノ遺跡では中-近世の3時期にわたる液状化跡が認められた。この中で最も古い地震は、遺構・遺物との関係より15世紀末に発生したと考えられる。更に、噴砂の発生時期を境にして、これまで栄えていた集落が急激に消滅しており、この原因は地震跡が発見された15世紀末の地震に求められる。当地域は南海地震以外に大きな地震動に見舞われた記録がなく、それぞれの地震跡は、考古学的に推定される年代幅と地震史料より、1498年、1707年、1854年の南海地震に対応する可能性が高い。

(近畿・中部地域地質センター)

## 福知山地域の地質—その2—

栗本史雄

福知山地域には北から南へ舞鶴帯、超丹波帯及び丹波帯に属する地質体が帯状に分布し、本地域西端部ではこれらの基盤岩類を後期白亜紀火山岩類からなる有馬層群が不整合に覆う。また、花崗岩類の小岩体が所々において認められ、周囲の岩石は狭い範囲ではあるが、熱変成をうけている。講演では、1)舞鶴帯の古生層(舞鶴層群相当層)、2)超丹波帯の地層、3)丹波層群II型地層群について報告したが、ここでは超丹波帯について述べる。

本地域に分布する超丹波帯の地層は岩相の特徴に基づいて、構造的に上位から石場層、榎原層及び穴裏峠層(いずれも新称)に区分される。石場層は超丹波帯の北縁部に南北約200-500mの幅で、東西に細長く分布し、一部では欠如することもある。本層は緑色岩類、チャート及び頁岩から構成され、緑色岩類中に石灰岩が含まれる。緑色岩類は玄武岩溶岩で、一部のは枕状を呈する。榎原層は超丹波帯の中央部を占め、主として頁岩からなり、砂岩頁岩互層を伴う。頁岩は黒色のシルト質であり、一部に淡緑色-暗緑色を呈するものがある。一般に片状で、微褶曲がよく観察される。穴裏峠層は超丹波帯の南半部を占め、主として砂岩からなり、わずかに頁岩を伴う。砂岩は緑-灰緑色を呈し、淘汰が悪い。砂岩は塊状な場合と粒子の一定方向の配列(片状構造)が認められる場合がある。頁岩は黒色で、片状を呈する。3層のうち、榎原層及び穴裏峠層の頁岩からペルム紀を示す *Follicucullus*(?) sp. が産出している。

本地域の石場層、榎原層及び穴裏峠層は、東隣りの綾部図幅地域における淵垣層、十倉層及び口上林層(木村、1988)にそれぞれ対比される。

(近畿・中部地域地質センター)

## 山口県玖珂地域のスカルン型 タングステン鉱床について

東元定雄

玖珂地域は山口県東部に位置し、全国比70%以上のタングステン鉱を生産する我が国最大のタングステン鉱床区である。玖珂地域の地質はジュラ系玖珂層群とそれに貫入した白亜紀花崗岩からなる。

玖珂層群は礫質泥岩とチャートを主とするオリストストローム(海底地すべり堆積物)であり、オリストリスとして砂岩と石灰岩を挟在する。このうちチャートは三疊紀、石灰岩は二疊紀のものである。花崗岩は広島花崗岩の一部をなす底盤状の岩体で、本地域の南部と東部に露出する他、玖珂層群分布域の地下にも潜在して広く分布している。

鉱床は調査域内の14カ所にある。いずれも玖珂層群の石灰岩を交代したスカルン型タングステン鉱床である。鉱体は石灰岩体の周縁部を交代した皮殻状鉱体と石灰岩体のほぼ全部を交代した塊状鉱体とがある。いずれの鉱体も石英脈を伴っており、石英脈との交差部に富鉱体が形成されている。鉱石は灰重石を主要鉱石鉱物としているが、その他に黄銅鉱・磁鉄鉱・錫石・スカルン鉱物などを伴っている。鉱床密集域は、本地区北西部の玖珂鉱山周辺地区と、南部の喜和田・藤ヶ谷鉱山地区とにある。これらの鉱床密集域では、鉱体が多く存在するとともに石英脈の発達が目立ち、また、ホルンフェルス化が強く、花崗岩の盛り上がりがあると推定される。

玖珂鉱山周辺地区では、複背斜の軸部の幅1kmの範囲に特に多くの鉱体があり、チャート層の上位の礫質泥岩層が石灰岩(鉱床)層準となっている。また、軸部にはNNE系石英脈が多くあり、群をなす部分で鉱化作用が強い。喜和田・藤ヶ谷鉱山地区では2つの複向斜があり、その軸部に多くの鉱体がある。ここでもチャート層の上位の礫質泥岩層が石灰岩(鉱床)層準となっている。石英脈はNNE系で、複向斜の軸部に特に規模の大きいものがあり、それらと石灰岩との交差部に高品位鉱体が生成している。鉱化作用の顕著な地域の花崗岩はすべて微斜長石花崗岩である。

鉱床の成因は次のように考えられる。すなわち、白亜紀に貫入した花崗岩から供給された鉱液が、NNE系裂かを通して上昇し、玖珂層群の石灰岩と反応し、灰重石・硫化鉱物・スカルン鉱物などを沈殿した。

以上のようなことから、鉱床探査の際には、①チャート層の上位の石灰岩層準、②複背斜または複向斜の軸部の小複曲の部分及び③石英脈が発達する部分の3点を指針とすれば、より効果的な探査が可能であると考えられる。広域的には、石灰岩層準・石英脈とともに微斜長石花崗岩が潜在する部分も重要な手がかりになる。

(中国・四国地域地質センター)

## 5 万分の1 別府地域の火山岩の主成分化学組成

星住英夫

5 万分の1「別府」地域は、鮮新世-完新世に大量の安山岩質-流紋岩質の火山岩を噴出し、由布-鶴見地溝をはじめ東西系の正断層群が顕著に発達するなど、中部九州火山岩地域で最も活動的な地域の一つである。本地域の火山岩の岩石学的特徴を明らかにすることは、中部九州火山岩地域の火山構造発達史を解明する上で重要である。今回、別府地域の更新世中期以降の火山岩の全岩主成分化学分析を蛍光X線分析装置で行った。

別府地域では、更新世中期の初めに流紋岩の活動が卓越する。由布川火砕流・湯平流紋岩類は、主に黒雲母を含み、石武流紋岩類は、主に普通角閃石を含む。更新世中期の中頃から終わりには、成層火山及び溶岩円頂丘群の活動が活発となる。小鹿山-雨乞岳火山群は、主に輝石安山岩の成層火山からなる。大津留火砕流は、普通角閃石デイサイト質の軽石流である。野稻岳-花牟礼山火山群、福万山-立石山火山群及び高平山-水口山火山群は、普通角閃石安山岩-デイサイトの溶岩円頂丘と成層火山からなる。後2者は、火山体の大部分が、由布-鶴見地溝内部に位置している。更新世後期-完新世の火山活動は、地溝内部の由布-鶴見火山群に限られる。由布岳・鶴見岳・伽藍岳火山は、普通角閃石安山岩-デイサイトであるのに対して、鬼箕山火山は、かんらん石・普通輝石を顕著に含む玄武岩質安山岩のスコリア丘と溶岩流からなる単成火山である。

今回測定した火山岩は、その大部分がカルクアルカリ岩の領域にプロットされる。斑晶組合せの違いによりK含有量に明瞭な差が認められる。すなわち普通角閃石を主に含む岩石に比べて、輝石を主に含むものは低く、黒雲母を主に含むものは高い別のトレンドを示す。また、主に普通角閃石を含む岩石のうち、由布-鶴見地溝内部に産するものは、地溝外及び地溝周縁部に産するものに比べKが高い傾向がある。鬼箕山は、Ti, P がとびぬけて高い特異な組成を持つ。

(九州地域地質センター)

## 天草上島地域における白亜系及び古第三系の有機変成の予察的研究

濱崎聡志

地質時代において堆積物中に陸上植物が固定されると、埋没の進行に伴い、泥炭から褐炭、亜瀝青炭、瀝青炭、無煙炭そして石墨へと変化していく。この一連の過程が石炭化作用であり、その進行の程度を石炭化度という。石炭化度はまた、埋没続成作用をあまり被っていない場合でも、被熱活動が大きければ(例えば火成岩の貫入など)急速に進行していく。したがって、堆積物中の植物片がどの程度の石炭化度にまで達しているかを尺度にとれば、その堆積物が被った埋没から続成作用、更には埋没変成作用にまで及ぶ領域を推測することが可能であり、また、熱変成による高石炭化度の分布状況から潜頭火成岩体の存在を推測することなども可能である。今回は、石炭化度を計る際の1つの指標であるビトリナイト反射率をもとにして、熊本県天草上島地域を例に、現在までに得られた知見を報告する。

本地域には、下位より白亜紀御所浦層群(下・中・上部層)・姫浦層群(下・中・上部層)、そしてこれらを不整合に覆う古第三紀赤崎層・白岳層・教良木層が分布する。ほぼNNE-SSW 走向、20-40°W 傾斜の構造を示し、上島東端には背斜及び向斜軸が存在する。試料採取は、北から宇土半島、戸馳・維和島、松島、御所浦・牧島の4地域に分け、埋没深度と石炭化度の関係を調べるために、各地域において走向と直交するルートを設定し、地層の下位から上位へできる限り多層準にわたるよう行った。

その結果、ほぼ4地域とも下位から上位へ向かうにつれて石炭化度が上昇する傾向にあることが明らかとなった。このことは、埋没深度が増加するにつれて石炭化度が上昇するという一般的傾向とは異なるものであり、また、白亜系と古第三系間の不整合を境にした反射率の上昇勾配の“ずれ”も現時点では認められない。

これらのことから次のことが考察される。本地域における地質構造より、地層の下位から上位へ向かうにつれて石炭化度が高くなるということは、すなわち東方地域から西方地域へ向かって高くなるということである。したがって本地域では、埋没続成作用による石炭化度進行の後に、西方地域から熱の影響を被り、再度石炭化度が進行し直したことを示唆するものと考えられる。

(九州地域地質センター)

## 特集 地下水の動態と岩盤の透水性に関する研究とその成果

## 川崎市における最近の地下水位変動と地盤沈下

黒田和男

地質調査所経常研究「水文環境の研究」の一部として神奈川県川崎市鹿島田と井田の2カ所で、1958年以来、約30年間にわたって、地下水位の依頼観測が続けられている。記録によれば、地下水位は、1977年以降、管頭下3-4mのほぼ一定のレベルにあったが、1984年になって低下を始め、鹿島田観測井では1985年10月に、管頭下9mに達した。その後、1986年1月から上昇に転じ、9月にはもとの水位に回復した。1987年8月以降は再び前年と同様の急激な低下が認められ、現在に至っている。

たまたま、1985年の地下水位低下と同じ時期に、多摩川下流域で地盤沈下が観測された。その地盤変動量は1985年1月1日から1986年1月1日までに最大50mm以上の局地的な沈下、1987年1月1日までに同じ場所で最大40mmの隆起(回復)となっている。

筆者は、この事実をもとに、一時的な地下水位低下が及ぼす地盤沈下への影響について考察を行ったので、一つの事例として紹介する。

観測井が所在する多摩川低地帯は、北東側を武蔵野台地、南西側を多摩丘陵・下末吉台地によって境された幅約3.5kmの沖積低地である。低地地下を構成する地層は、鮮新-更新統上総層群、更新統相模層群、立川段丘礫層及び「沖積層」で、上総層群上限面の形態からみると、幅約1kmの埋没谷が低地帯内に伏在し、谷底の深さは海拔-50m前後である。また埋没谷の側方には、深さ-30m前後の埋没台地があって、その表面には立川段丘礫層がのっている。

帯水層は、多摩川下流部では、上総層群上限面を構成する埋没谷の基底付近に賦存する相模層群の礫層、立川段丘礫層及び「沖積層」の基底礫層である。多摩川中流部では、これらの礫層は一体となって、埋没谷のほぼ全体を充たしている。ちなみに、この帯水層が発達する場所は、多摩川旧河道と呼ばれて、多くの深井戸がここに集中していた。

多摩川旧河道には、川崎市や横浜市によって、地下水位観測井や地盤沈下観測井が設置されている。その中で地盤沈下の中心地に最も近い横浜市市場観測井では、約14mの地下水位低下によって、約12mmの地層の収縮

が生じ、同じ量の地下水位回復に伴って、約6mmの膨脹が記録されている。

地盤沈下等量線図の形は、多摩川旧河道の形態とはほぼ一致しており、多摩川旧河道に沿って配置された地下水位観測井の観測記録は、地質調査所の依頼観測井を含めて、同じ時期に同じ傾向をもった水位変動が観測されている。地盤沈下量と地下水位低下量とはほぼ見合っていることから、一時的な大量の地下水揚水が、容水地盤の形に見合った地下水位の低下を起し、これが地層の収縮をもたらしたとみられる。

深井戸地質柱状図の検討結果では、多摩川旧河道を充たしている「沖積層」や相模層群には、沖積粘土層の発達が悪く、細粒砂やシルト層が卓越している。地層の収縮は地下水位低下と共に始まり、地下水位の回復に伴って膨脹している状況、回復(再隆起)量は、川崎市では収縮量の約70%という事も、細粒砂やシルト層がほとんど圧密の履歴を受けていない事、地質柱状図のうちで上記の地層がほぼ70%を占めている事ともよく対応している。

今回の変動は、埋没谷の範囲で地下掘削に伴って発生したものと考えられるが、これからの大規模な地下掘削工事に伴う変動予測のための一つの事例として、注意する必要がある。(環境地質部)

## 利根川中流域の地盤沈下地帯の地下水水質の特徴

池田喜代治・石井武政・高橋 誠

利根川中流域の地下水水質調査を行い、本地域に生じている地盤沈下地帯の水質の特徴の把握、約10年前の水質調査時点との水質の比較を行った。本調査によって、圧密による地層間隙水の地下水水質への影響を検討するとともに、地下水の水質面から地下水の流動や地下水系を推定し、地盤沈下との関係を考察した。

利根川中流域は関東構造盆地のほぼ中心部に相当し、第三系に引き続く堆積物が厚く分布している。森ら(1983)は、これらの堆積物を、浅い方から沖積層、所沢礫層、芋窪礫層、M上部層・M下部層及びK層に分類している。このうち芋窪礫層の底面は、菖蒲付近で最も深く、地表面から深度240m、またM下部層は約400mとされ、構造盆地の中心部は荒川と利根川に挟まれた北西-南東の細長い舟型の凹部であることが推定されてい

る。

水質調査の結果から、構造盆地の中心部の凹部に沿って、地下水中の  $\text{Cl}^-$  濃度が周辺よりも高い20-150 mg/lの地帯があり、この地帯に  $\text{HCO}_3^-$  及び  $\text{NH}_4^+$  の高い地帯が重複することが明らかにされている(池田, 1984)。一方、構造盆地の中心部周辺、荒川-利根川に挟まれた地域の地表面は、荒川低地、大宮台地及び中川低地と呼ばれる低地と台地で形成されている。

本地域の地下水は主として芋窪礫層、M上・下層から揚水され、1970年代の始めからその量は急速に増大し、その頃から地盤沈下の現象が著しく認められるようになった。その後の構造盆地の南部の揚水規制地域の拡大、揚水地域の北東への移動に伴って地盤沈下地域は次第に北東に移り、現在では埼玉県東部、茨城県南西部の両県の県境付近で地盤沈下現象が認められる。沈下の特徴は、荒川低地よりも大宮台地の一部と中川低地に著しく、 $\text{Cl}^-$  濃度の高い地下水の分布地域を含んだ低地帯で生じていることである。

$\text{Cl}^-$  濃度の高い地下水分布帯を横断する川越-上尾-白岡-久喜-境-総和の線上で、地盤沈下量と、地下水の水質を比較すると、沈下量の多いところで  $\text{NH}_4^+/\text{HCO}_3^-$  比が高い傾向が認められる。 $\text{NH}_4^+/\text{HCO}_3^-$  比が地盤沈下地帯で高い傾向は鬼怒川下流域の小貝川低地でも発見された現象で、小貝川低地では、沖積粘土層の間隙水が著しく  $\text{HCO}_3^-$  及び  $\text{NH}_4^+$  が高い水質であったことから、沖積粘土層の圧密が地下水の水質に影響していると解釈された。

同一井戸における約10年前の水質データと再調査データとの比較では、沖積低地では  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  または  $\text{NH}_4^+$  の増加例が多く、台地では逆に  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  の減少したのが二、三例認められた。

茨城県の境、岩井では、最近の揚水量の増大傾向に伴って地下水中の  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  の増加傾向が認められている。これらの地域でも地盤沈下の傾向が表われている地域である。これらの揚水や地盤沈下に伴う水質変化例は、地層間隙水の圧密による地下水水質の変化と考えられる。

また、関東構造盆地の荒川低地側よりも中川低地側に地盤沈下の現象が著しいのは、水質面で考察すると次のように解釈できる。

1) 荒川沿いに溶存酸素飽和度の高い地下水が川越-戸田方面に分布し、地下水はこの付近では芋窪礫層が傾斜する北東方向、構造盆地の中心部に向わずに、南東方向に流動していると考えられ、中心部に流動しにくい水理地質的な何かの条件が考えられること。

2)  $\text{Cl}^-$  濃度が周囲より高い地帯の地下水の  $\text{Cl}^-$  の起源は、 $\text{I}/\text{Cl}$ ,  $\text{Br}/\text{Cl}$  の両比から、内海浅海性の堆積当時の塩水の名残りであると考察できること。

これらの水質面から考えられる構造盆地中心部の地下水は、停滞した地下水であり、この地域の特に沖積地での地下水の過大な揚水は、地下水位の低下と、それに伴う地盤沈下を起こしやすい条件をもっていることが推定される。(環境地質部)

## 粘土質の表土をもつ台地における降水の 地下浸透機構—筑波台地の例—

安原正也・丸井敦尚

関東地方の洪積台地は一般にロームによって厚く覆われており、ローム層の下位には下末吉海退期に堆積したと考えられる粘土層が分布していることが多い。本研究では、茨城県南部に広がる筑波台地を対象に、地域の主要な帯水層である常総層中の砂層、更には成田層への深層地下水涵養に果たす“常総層上部の粘土層”の役割を評価することを目的としている。

筑波台地上の19の地点の露頭においてこの粘土層のコアサンプルを採取すると同時に、粘土層の厚さを計測した。サンプルを実験室に持ち帰り飽和透水係数を測定したところ、 $10^{-6}$ - $10^{-9}$  cm/sec とその値は極めて小さいことが明らかとなった。また、常総層上部の粘土層は数10 cm-数 m の厚さを有しており、台地上で粘土層の分布が確認できなかった地点は存在しなかった。

この様に台地を広く覆っている透水性の極めて悪い粘土層が実際の降雨浸透、地下水涵養に果たす役割を明らかにするために、筑波台地のほぼ中央に位置する地点において各種の測器を設置して集中的な観測を実施した。調査地点の地質は、ローム層(地表面-深さ2.8 m)、常総層上部の粘土層(2.8-4.5 m)、砂層(4.5 m以深)から構成されており、地下水水面は通常地表面下1.5-2.0 m 前後のローム層中に存在する。この地点に深さの異なる4本のピエゾメータ(深さ2.76 m, 3.71 m, 4.98 m 及び8.15 m)と深さ8.00 mのアクセスチューブを埋設して、圧力水頭ならびに体積含水率鉛直分布の経時変化の測定をはじめとする種々の観測を実施した。

観測の結果、粘土層中更にはその下位に位置する深さ3.71 m, 4.98 m, 8.15 mのピエゾメータにおいてすら、降雨(77.0 mm)に対してすみやかに水頭が上昇することが明らかとなった。この様な水頭上昇は、通常のダルシ-則に基づく粘土層を通過する地下水涵養によっては説

明できない現象であった。一方、各ピエゾメータから各深度の地下水を採水して、トリチウム濃度を計測したところ、粘土層下位の深度4.98 mと8.15 m地点においても地下水のトリチウム濃度は現在の降水とほぼ同じ値を示していた。

以上の2つの観測測定結果は、なんらかのプロセスによって降水がすみやかに粘土層の下位の帯水層にもたらされていることを示唆するものと考えられる。このプロセスとしては現在のところ次のものが想定される。

1. 河床に粘土層のない、あるいは粘土層をカットした河川に沿っての線的な涵養
2. 台地上で粘土層のない地点におけるスポット的な涵養
3. 大規模な地下水流動による台地外部からの移流的な涵養
4. 未知なメカニズムによる粘土層を通過しての涵養。

今後の研究により、台地における深層地下水涵養プロセスを解明してゆきたい。(環境地質部・立正大学)

## 地質(岩種)と比流量の関係 —秩父市周辺小河川の例—

岸 和男・永井 茂  
石井武政・安原正也

比流量は河川の流量を流域面積で除した値であり降雨状況に強く支配される。各流域が降雨状況が変わらない程度の近い範囲にあり、水理的性質が異なる各種の地質が分布し、しかも一つの流域内にはなるべく数少ない岩種のみが分布しているような地域を選ぶことができれば、多数の流域の比流量を比較すると、その数値の大小は、流域内に分布する岩種の水理的性質の相異を示していると考えられる。秩父市周辺の小河川流域は、上記の条件を比較的満たしているので3年に亘って現地での流量測定を行った。

対象流域は荒川西側の新第三紀丘陵地に4流域、荒川東側北部の変成岩山地に3流域、荒川東側南部の非変成中-古生界山地に7流域、合計14流域である。流量測定は1984年10月、85年11月、86年8月の3回行った。84年は測定期間2-4日前に約125 mmの降雨があり流量は3年の内最も多く、測定期間中流量は減少傾向であった。

第1表 秩父市周辺小河川の比流量結果

番号	河川名・地点名	流域面積 km <sup>2</sup>	1984年10月		1985年11月		1986年8月			
			15日	18日	13日	14日	25日	26日	27日	28日
			比流量	比流量	比流量	比流量	比流量	比流量	比流量	比流量
1	篠葉沢	3.42				0.0044		0.0057		0.0025
2	長森沢	4.36				0.0008		0.0015		0.0007
3	蒔田川	6.32		0.0062		0.0036		0.0039		0.0037
4	長溜川	14.23		0.0064		0.0013		0.0051		0.0035
5	定峰川	8.99		0.0228	0.0097			0.0179		0.0142
6	大棚川	2.57		0.0164	0.0018			0.0042		0.0028
7	曾沢川	3.03		0.0126	0.0036			0.0088		0.0046
8	押堀川	1.56	0.0160	0.0116	0.0020		0.0062		0.0060	
9	兎沢	0.90	0.0222		0.0058		0.0159		0.0132	
10	大指川	0.91	0.0159		0.0045		0.0057		0.0029	
11	小島沢	1.77		0.0131	0.0063		0.0169		0.0137	
12	生川	5.52	0.0420	0.0311	0.0113		0.0383		0.0286	
13	橋立川	4.54	0.0445	0.0355	0.0109	0.0121	0.0387	0.0307	0.0298	0.0256
14	寺沢川	3.57	0.0118		0.0062		0.0224		0.0141	
D	秩七湧水	3.10 <sup>Ⓐ</sup>		0.0379 <sup>Ⓑ</sup>		0.0245 <sup>Ⓑ</sup>			0.0364 <sup>Ⓑ</sup>	

Ⓐ 石灰岩分布面積：押堀川、兎沢、大指川の流域分(0.67 km<sup>2</sup>)を除く。

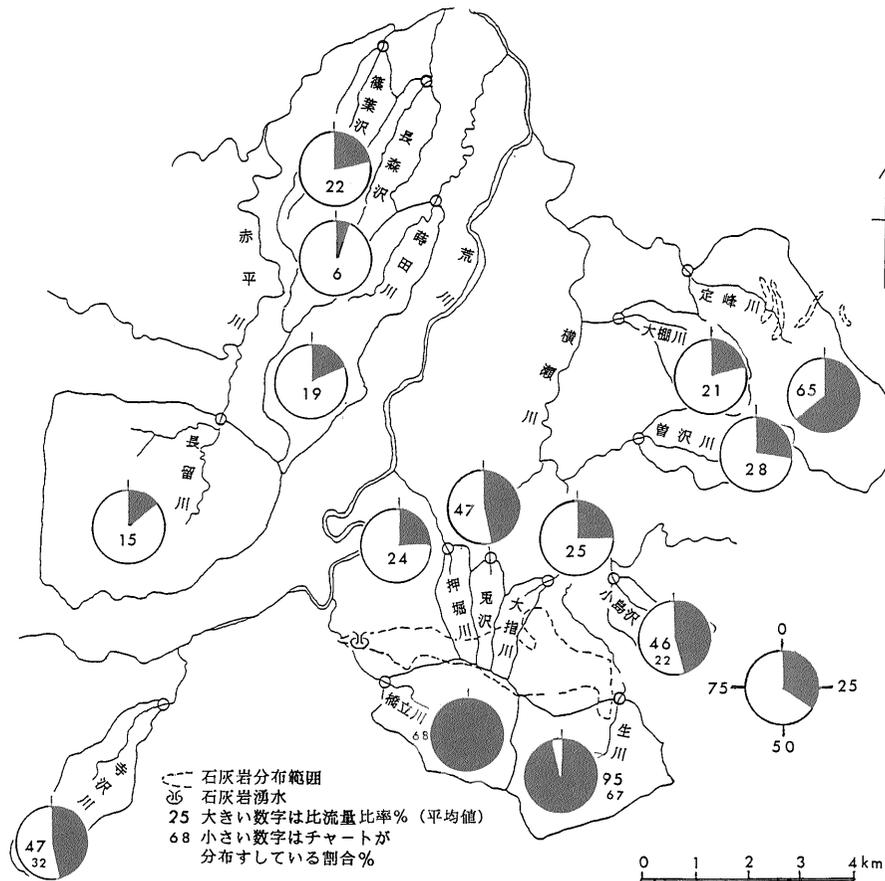
Ⓑ 湧水量/石灰岩分布面積：(比湧水量)

単位 m<sup>3</sup>/sec/km<sup>2</sup>

た。85年は測定期間前6-7日に計21mmの降雨があったが流量は3年のうち最も少なく、期間中変動が少なかった。86年は測定期間の3日前に25mm、6-8日前に22mmの降雨があり流量は84年に次いで多く、期間中はゆるい減少傾向であった。流量は測定日ごとに変化するので規準となる流域を橋立川とし流量測定回数を多くした。求めた比流量を第1表に示した。比流量は1984年10月は0.0062-0.0445 m<sup>3</sup>/sec/km<sup>2</sup>(以下単位省略)、85年11月は0.0008-0.0121, 86年8月は0.0007-0.0383であった。このように比流量は流域によって大きく異なるが、おおむね高い値を示す流域はいつも高く、低い値を示す流域はいつも低い。各流域のうち橋立川の比流量はいつも最大の値を示した。そこで測定日毎の橋立川の比流量を100%としたときの各流域の比流量比率(%)を求め、4分の比流量比率を平均した値を第1図に示した。

比流量比率の小さい流域は荒川西側新第三系丘陵地の

4流域である。地質は泥岩・砂岩・頁岩・礫岩等で橋立川の比流量の5-22%である。荒川東側変成岩山地の3流域の内、定峰川の比率がやや高く64.5%を示すが、これは結晶片岩の地すべり地(地質図では碎屑物となっている)が分布しているためと思われる。本来の変成岩の比流量比率は橋立川の21-28%とみられる。押堀川・兎沢・大指川の3流域はともに上流部に石灰岩が分布し、中流部が中-古生界の砂岩・粘板岩・千枚岩・チャートなど、下流部が新第三紀の地層が分布している。比流量比率は24-47%を示すが、この数値がどの地層に対応しているかは明らかではない。石灰岩の南側に接する橋立川と生川の流域は比流量が本地域で最も高い値を示す。地質は中-古生界のチャート・砂岩・輝緑凝灰岩・粘板岩・千枚岩等であるがチャートの分布面積が流域の約70%と大きい。小島沢と寺沢川の流域の地質は橋立川と同じだがチャートの分布面積が流域の22%, 32%と小さく



第1図 橋立川の比流量を100%としたときの各流域の比流量比率

比流量は橋立川の1/2以下である。

秩父市の南側には、ほぼ東西に石灰岩が分布し、その西端に湧水があるがこの湧水は地形流域を持たない。石灰岩体は北ないし北東の斜面に露出している。ここで仮に地表の分布面積を湧水の集水域すなわち地下流域とした場合、比湧水量は流量の多い1984年は橋立川の比流量値よりわずかに少なく、流量のやや多い86年は橋立川とほぼ同じ値である。それに対し流量がごく少ない85年の比流量は橋立川の2倍強である。

秩父市周辺の小河川・湧水の比流量(比湧水量)を岩種別に比較すると石灰岩地域が最も大きく次いでチャートが多く分布している流域が大きい。中-古生界のチャート以外の岩種と変成岩はチャートの約1/2-1/4以下であるが、結晶片岩の地すべり地が含まれるとかなり大きくなる。新第三紀の砂岩・泥岩・頁岩・礫岩はチャートの20%以下できわめて小さい。(環境地質部)

### 風化花崗岩地域における地下水系

坂巻幸雄\*・山川 稔\*\*  
金井 豊\*\*\*・黒田和男†

山地・丘陵地を構成する岩体内部では、地下水は地形起伏と岩種別透水性に支配されて流動している。岐阜県東部の土岐-瑞浪、可児の両構造盆地では、60-70 Maの年代値を示す土岐花崗岩類を基盤として中部中新統の瑞浪(中村)層群が発達し、縁辺部の基底近くに砂岩型ウラン鉱床が胚胎している。本報告の内容はウラン鉱床の成因的研究を発端として、1971年以降実施してきている地下水系の継続観察データを整理したものである。

土岐花崗岩中に存在する裂か水は、本来  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{HCO}_3^-$  型の水質を示すが、水系としての連続性はとほしく、安定した帯水層はむしろ最大厚さ約100 mに達する風化殻の頂部に形成されている。不整合面直上の中新統基底礫岩層は基質中に粘土鉱物を多く含むため、これにくらべて透水性が低い。更にその上位の瑞浪層群下部層の主体は凝灰質シルト岩-砂岩の互層で、粗粒相中に局地的な帯水層があるものの、相対的には下位の風化殻に対するキャップ・ロックとしての性格を強く持つ。風化殻中の大局的な流動系は古基盤地形に支配されているとみられるが、低いトリチウム濃度が指示する長い滞留時間は地下水と周辺岩石との間の平衡を成立させるのに十分で、その結果、水質は高pH・低Ehの  $\text{Na}^+$ - $\text{HCO}_3^-$  型となり、かつ花崗岩起源の  $\text{F}^-$  を含むという顕著な特徴を示すに至る。

現地は丘陵性の地形で、稜線部を覆う鮮新統瀬戸層群土岐砂礫層は透水性にすぐれ、基底部からの湧水は現在の地表水系の有力な涵養源となっている。水質は雨水に近く、深層水系とは直接の繋がりを持たない。

一般水質を判定基準にした地下水系解析は、以上のようにより本地域の場合特に有効であるが、綿密な観察を行えば他の花崗岩地域でも十分適用可能な手法であることが、結果として強く示唆された。

(\*地質標本館 \*\*動燃事業団  
\*\*\*地殻化学部 †環境地質部)

### 岩石物性とくに有効空隙率について

須藤 茂・松林 修

地熱地域では、岩石の空隙率は熱水対流系を考える上で重要な物性の1つである。また空隙率及び密度は、ほかの探査手法との比較の点でも欠かすことのできない要素である。筆者らは秋田・岩手県境にまたがる仙岩地熱地域において、地表及び坑井内より採取した岩石試料の密度及び空隙率を測定した。測定の精度を上げ、かつ大量の試料を測定することにより、いくつかの新しい知見を得た。

仙岩地域の広い範囲から様々な岩質の地表岩石試料を採取し、密度及び空隙率を測定した結果、同地域全体の傾向が明らかになった。測定試料を年代又は産状などにより、先新第三系、花崗岩類、新第三系、古玉川溶結凝灰岩のRA及びR2、玉川溶結凝灰岩のR4及びD、新期火山岩類に区分し、各々のユニットごとに強制湿潤時の密度-空隙率図を作成した。その結果仙岩地熱地域の中心部に比較的近い所に分布する先新第三系及び花崗岩類の真密度は約2.65-2.8であること、同地域中心部に分布する古玉川溶結凝灰岩の真密度が約2.65であること、新期火山岩については化学組成と真密度の相関がかなり明瞭であること及び第三系堆積岩には空隙率の大きなものが多いことなどが認められた。

一方地下試料については、仙岩地域中心部で掘削されたSN-1、SN-2の2坑井の岩芯を5 m深ごとに採取し、測定を行った。両坑井内の試料とも、岩芯の密度及び空隙率は岩質及び岩相とよい相関を示す結果が得られた。特に2000 m深の坑井SN-1は、岩相が類似した2つの厚い流紋岩溶結凝灰岩からなるが、この2つのユニット中ではそれぞれ下方ほど空隙率に乏しくなる傾向が明瞭に認められた。またこのうち下位のユニット中には厚さ数10 mに及ぶ巨大ブロックが挟まれているが、凝灰岩

の物性値は、そのブロックの上下で互いに違いがなく、このブロックが凝灰岩堆積と同時期に取り込まれて堆積したという地質学的推測を支持する結果が得られた。またSN-1坑中の2つの溶結凝灰岩の互いの真密度は、小差ではあるが明瞭に異なっており、火山地質学的層序区分はこの点でも支持された。またこれらの流紋岩溶結凝灰岩は、真密度が2.6-2.7、強制湿潤時の密度が2.5-2.6であり、このような密度が大きい岩石が地下深部まで分布していることは重力調査の解析などに際し留意しなければならないことを示した。地熱のリザーブについて考える上では、強く溶結した凝灰岩の空隙率が概ね数%以下であることは、同地域の地下浅部のリザーブの存在に否定的である他の調査結果の結論を支持する結果が得られた。

今回の調査では仙岩地熱地域の岩石物性の3次元的分布を完全に把握することはできなかったが、少なくとも岩石の密度及び空隙率を精度よく、大量に測定することにより、従来明らかにされていなかったいくつかの疑問点を解明することができた。今後同様な測定を続けてより詳細な議論を行う予定である。

(環境地質部・地殻熱部)

### 応力下における岩石の透水性と隔離性能

高橋 学・小出 仁

地下深部に空間を作る場合、地圧等の応力の問題と、これに伴う亀裂の問題は地下空間設計上あるいは施行・管理上からも重要な位置を占めてきた。これらの場合には、できるだけ亀裂系を少なくし、亀裂内の流体等の移動が極力押えられる様工夫されてきた。一方、地熱開発の利用拡大に伴い、地下の高温岩体の熱を回収する為に水圧破碎により亀裂を作り、亀裂内の水の移動を積極的に利用する方法が考えられた。亀裂をもつ流体の輸送能力(ここでは透水係数でおきかえる)を調べる事は上記の問題の解明・予測の為に基礎的データを与える事になる。

ここでは、稲田花崗岩を供試岩石として用い、トランジェントパルス法を用いて、圧縮応力下の透水係数を測定したので報告する。

一般的に、花崗岩には相直交する3つの割れやすい面が存在している。工藤ほかはそれらを割れやすい順にRift面、Grain面、Hardway面と呼ぶことを提唱し、それらの縦波伝播速度及び圧裂引張強度を求め、力学的異方性との関係を明確にした。

ここでは、このような力学的異方性が明らかとなった稲田花崗岩を用い、軸圧の増加に伴う透水係数の変化を測定した。使用した岩石供試体は寸法がφ30×60mmの円柱形で、Rift面が長軸方向と直交し、Grain面とHardway面が長軸方向と平行なものである(Fig. 1)。封圧媒体の供試体への浸透を防ぐために、厚さ3mmのバイトンゴムスリーブ(内径φ30mm、外径φ36mm)を用いた。

透水係数の測定には、BRACE *et al.* (1968)によるトランジェント・パルス法を採用した。これは、一定間隙水圧下におかれた岩石供試体の1端にパルス圧(通常は1

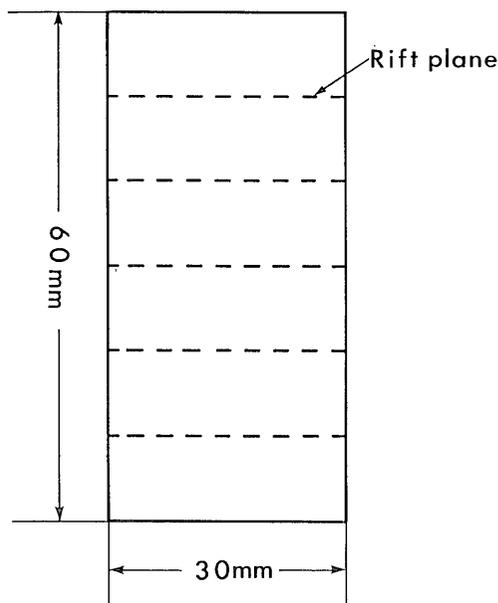
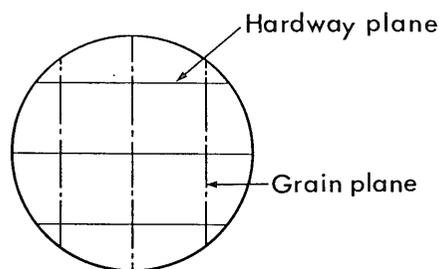


Fig. 1 Schematic view of specimen. Inada granite has preexisting preferred orientations which cause the most easily splitting "Rift plane", more splitting "Grain plane", and less splitting "Hardway plane".

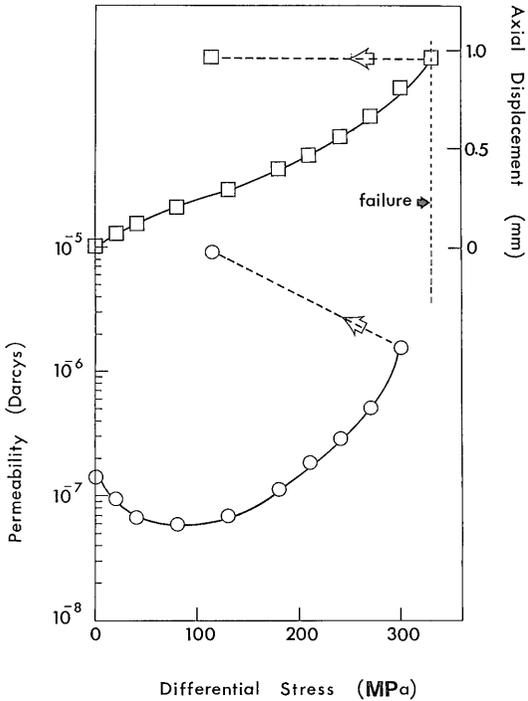


Fig. 2 Axial deformation and permeability as a function of axial differential stress.

MPa 以下)を瞬間的に加え、供試体両端の差圧の時間変化から透水係数を算定するものであり、定水位法等の他の測定方法と比べてマイクロダルシー以下の難透水性岩石の測定に有効であるとされている。

パルス法においては、任意の間隙水圧を設定し供試体両端で平衡状態に達するのにはほぼ12時間、そしてマイクロダルシーオーダーではパルス圧を加えて差圧を測定する

のに12-18時間程度かかる。したがって、ある軸圧下での透水係数一点を得るために通常、1-1.5日間程度の時間が必要となる。

Fig. 2は軸変位-軸差応力、透水係数-軸差応力の結果を示したものである。なお同図中における透水係数は、最小主応力が20 MPa、間隙水圧が4 MPa、そしてパルス圧が0.5 MPaという同一の条件のもとで得られたものである。

透水係数は、差応力が100 MPa程度までは減少し、それ以上の差応力では逆に増加する様子が認められる。同供試岩石は、既に10日間程度、最小主応力が20 MPaのもとで、間隙水圧を種々に変化させる等の応力履歴を受けているが、Westerly花崗岩を用いたZoback and Byerleeの実験結果と同様な変化を示している。

透水係数が軸差応力の影響を強く受けることは、マイクロクラックの発生と透水係数が大きな関連を有しているものと解釈できる。すなわち、軸応力载荷の初期の段階では、いわゆる、軸応力方向の圧密過程であり、既存のマイクロクラックが閉鎖されることにより透水係数が徐々に減少するものと考えられる。軸圧が更に増加した場合、軸差応力方向に平行なマイクロクラックが新たに発生、もしくはマイクロクラック間での連結が生じ、いわゆるダイレータンスー歪の発生・増加に伴い、透水係数が大きくなるものと考えられる。

軸差応力が300 MPaで供試体は破壊し、180 MPaの応力降下が生じた。この間、透水係数は約1オーダー大きくなり、载荷の初期の段階と比べると2オーダー以上の著しい変化が認められる。

以上、稲田花崗岩を用いて軸差応力载荷時の透水係数を測定した。その結果、透水係数に及ぼす軸差応力の顕著な影響を確認した。(環境地質部)