



## 「花崗岩の解剖」

服部 仁 (地質部) ・ 笹田 政克 (地殻熱部)  
Hitoshi HATTORI Masakatsu SASADA

### 石材として

大理石が内装材の筆頭ならば さしづめ御影石は建物の外装材の王者とすることができます。御影石はもちろん花崗岩の俗称ですが 白 桜 赤 黒などの色名をつけて桜みかげのように呼ばれたり また産地名を付けて稲田みかげ 真壁みかげとも呼ばれています。

花崗岩は瀬戸内海を中心とする地域から切り出され建築材料として古くから利用されています。早くから採掘が進められてきた背景には 関西という一大消費都市をひかえ その上運搬手段としての水利に恵まれていたためという理由もあります。しかし基本的には 良質の石材として新鮮 均質 堅硬 割れ目のない しかも美しいという必要条件を備えた 花崗岩そのものに恵まれているのです。その条件は特殊な地質環境に裏打ちされたともいえます。

現在 花崗岩の石材は北歐 南欧 南アフリカ 北・中・南米 韓国 中国 インドの各国から年間50万トン以上も輸入されています。我が国にも 現在採掘の進んでいる地域以外で 輸入材に負けない良質の石材を生み出す可能性を秘めている地域がないわけではありません。なにしろ 花崗岩は日本国土の約12%の面積に広がって分布しているからです。

### まさ (真砂) として

花崗岩は bite on granite の表現にあるような固いばかりが能で私達の生活を支えているわけではありません。どの岩石の場合にも認められますが 風・雪・雨・太陽熱の影響を受けて岩石は自然に風化して 鉱物粒と鉱物粒の間に隙間ができたり 変質して粘土鉱物などができ 崩れやすくなります。これはまさ (真砂) と呼ばれ土壌の一種ですが 新鮮な花崗岩に比べ10倍以上の水分を含むようになります。まさが崩れ 水の営力に

より運搬されて堆積すると砂層になります。このまさからなる砂層やまさに含まれる水は良質のものが多くそこには酒どころとして知られた名所がたくさんあります。灘 広島や筑波山麓の石岡はこのような水に恵まれた典型的なところといえます。特に 御影石の語源になった神戸市東灘区御影は六甲山麓にあり その付近から採取される水は 長い航海の間にも腐らない最も良質の飲料水の Kobe water として世界的に良く知られています。

### まさのマイナス面

花崗岩の私達に与える恩恵は こうした物質的なものばかりではありません。まさからできている真白な砂浜と緑の松原の織りなす日本の風景が古来から人々の心をなごませ 詩情をはぐくんできています。

しかし 良い事ばかりではありません。大災害が花崗岩地域に頻発しているのです。花崗岩地域の表土はほとんどまさ化していてこわれやすく 一たん豪雨に襲われると地すべりや土石流が発生して荒れ狂い 多くの尊い人命や財産が奪われています。まさの地域で先人達が治山治水のため どのように苦闘したかの記録は各地の郡・町・村誌で明らかにされています。花崗岩の分布する傾斜地には しばしば厚い崖錐堆積物が見られます。これは遠い過去における地すべりなどの地変つまり悪魔の爪痕といえます。

### なぜ花崗岩をとりあげたか

花崗岩は地殻を構成する主要な岩石で 最も普通に見られます。一見地表に現われている面積は少なくとも地下深所では底盤状に広がって容積を一層大きくしているかも知れません。しかし実際には その立体的な形状や岩質の変化などの多様性について 十分に解明されてきているとはいえません。

火山では マグマが噴き上げたり 流れたりして溶岩や火砕岩として固化してゆく過程が観察されています。花崗岩の場合には 最終形成物を見ているに過ぎません。

花崗岩を作るマグマのことになる。まだどこで発生するのか全く分かっていません。最近ではプレートテクトニクスの観点からたぐみな解説が行われていますが、はたして地殻の上部か、下部か、または上部マントルなのか、等々……。この展示コーナーでは、花崗岩の持っている多面性のうち、ごく限られた基本的な内容について紹介しています。特に花崗岩マグマが固結する深さ・地質区の違いなどによってどのように花崗岩が違っているか、花崗岩体の形状は何の方法によって推定されたか、について大きな標本と一緒に見せています。

更に、花崗岩の研究手法とともに薄片の作成過程についても簡単な解説を試みています。

### ① 巨大な花崗岩の標本

丸い台座の上に置かれた横120cm 奥行110cm 高さ100cmの大きさの岩塊で、片側の約半分が花崗岩、残りの約半分が黒色のホルンフェルス〈茨城県笠間市稲田産〉(写真1)。

花崗岩がホルンフェルスに接する付近では、幅約30cmの間、優白質、細粒のアプライトになっています。最も典型的な花崗岩は端に近い方のもので、中ないし粗粒の黒雲母花崗岩です。灰白色のなかにごま塩状に黒雲

母が散点し、また少量の角閃石も含まれています。

アプライトと典型的な、中ないし粗粒黒雲母花崗岩の境には、黒雲母が並列して流理構造を作っているのが分かります。またアプライトのなかにも注意深く観察すると、壁岩(被貫入岩)のホルンフェルスとの境界にほぼ平行する幾つかの流理構造が認められます。しかも壁岩に至近のアプライトは幅5cm位の間に、最も細粒になっています。

更に、この岩塊の裏側には壁岩の凹み部分があり、ここではアプライトの脈幅が40cm位の膨らんでいて、一部にペグマタイトが生じています。

壁岩は、おそらく中生層の頁岩・砂岩を原岩とし、この黒雲母花崗岩の貫入を受けて熱変成岩のホルンフェルスになったものです。アプライトはホルンフェルス中に支脈を出しており、幅5cm位のものから1mm位の極めて細脈まで、まるで生き物のように貫いているのが見えます。

わずかに1m立方の岩塊のなかにも観察することがたくさん含まれています。この観察を通して、およそ600万年以上前の地質時代に、花崗岩マグマが貫入・冷却・固結した時の状況を想像してください。

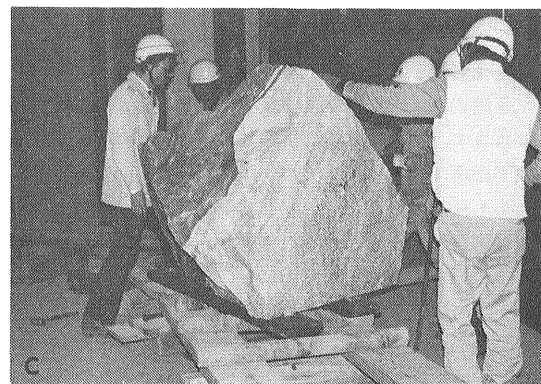
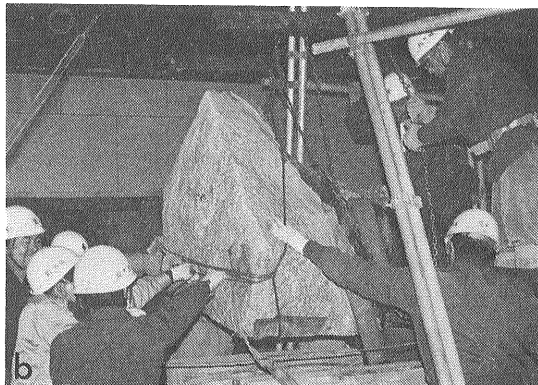
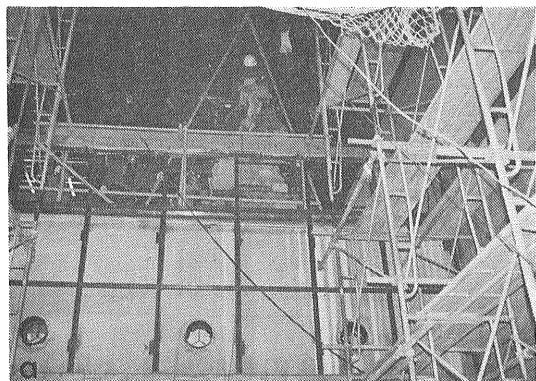


写真1

巨大な花崗岩塊(約3トン、ホルンフェルス化した黒色頁岩・砂岩の壁岩を含む)はこのコーナーの最大の展示物です。各種展示物の搬入、据付が急ピッチで進められている最中に、この1個の岩塊は、他のすべての作業を圧倒する難行のすえ(10人のとび職人が半日を要して)2階の第3展示場まで運び込まれました。(昭和55年2月20日)

- a サークスの空中ブランコに似た足場づくり(玄関ホール天井)
- b 2階ロビー脇の踊り場につり上げられる
- c 据付場所まで横へ少しづつ移動

## ② 「花崗岩の解剖」の案内板

巨大な花崗岩の標本のそばに立っている内照式カラー写真など。この展示コーナーの素材として取り上げた中粒ないし粗粒黒雲母花崗岩（稲田みかげ）の産出地点や露頭における産状を示しています。

- (i) 20万分の1「水戸」地質図
- (ii) 我が国有数のみかげ石の採掘地 石切山脈の状況を示す空中写真
- (iii) 2万5分の1の地形図を用いたルートマップ
- (iv) 花崗岩の貫入状況をスケッチした野帳

## ③ 薄片のできるまで

握り拳大の花崗岩の試料から薄片を完成させるまでの諸工程が詳細な図によって解説されています。すなわち

- Ⓐ ダイヤモンドカッターで小片に切断
- Ⓑ 片面を研磨（各種研磨剤）
- Ⓒ スライドガラスへの貼付
- Ⓓ 第2次切断及び第2次研磨
- Ⓔ めのう板を用いて1000番の研磨剤での仕上げ
- Ⓕ カナダバルサムによるカバーガラス貼付と洗滌
- Ⓖ ラベルはり。

また 各工程における作業内容が理解できるように実物見本が並べられており 次々と変ってゆく試料の状況が見られます。

## ④ 薄片の偏光顕微鏡観察

偏光顕微鏡に 作成された稲田みかげ（中ないし粗粒黒雲母花崗岩）の薄片がセットされています。したがって電源スイッチを入れれば 実際には下方ニコルあるいは直交ニコルによるこの花崗岩の特徴が観察できます。その時の映像が壁面のパネル展示のなかで 四種類のカラー写真として例示されています。すなわち

- Ⓐ 下方ニコル（ポラライザ）のみで黒雲母を観察する。
- Ⓑ 回転台（ステージ）を90度回してみる。黒雲母の多色性が観察される。
- Ⓒ 直交ニコル（アナライザを入れる）にする。各鉱物が複屈折する様子や鉱物間の組織（斜長石の双晶やカリ長石内のラメラ）が映し出される。
- Ⓓ 鋭敏色検板を挿入して 複屈折の変化を見る。  
また 偏光顕微鏡のメカニズムを解説する模式断面図も並べられています。

## ⑤ 花崗岩の組織

花崗岩は肉眼で同じように見えるときでも ルーペを使って調べると粒度 色 鉱物組み合わせなどが違って

見えます。更に薄片を作って偏光顕微鏡で観察すると花崗岩に特徴的な組織が分かります。この壁面パネル（8枚の偏光顕微鏡写真）では おもに石英 カリ長石 斜長石 黒雲母からできている類質の花崗岩について幾つかの組織を展示しています。いずれも同一条件で撮影したものです。本文では これら花崗岩の組織のうち花崗岩の特徴を最も良く表わしている4種類の組織をとりあげています（写真2 a・b・c・d）。

## ⑥ 新鮮な花崗岩と風化花崗岩

我が国では国土の約12%の広い面積に花崗岩が分布しているのですが 石材に適するほど新鮮で堅固な花崗岩は道路沿いの露頭ではほとんど見られません。道路が拡幅されたり 崖が削られて一時的にきれいな花崗岩の露頭の現われることはあっても 数年を待たずに風化してしまうのです。それにもかかわらず 花崗岩の風化を研究している人は非常に少ないので驚いてしまいます。もちろん風化した花崗岩を展示する博物館は全くありません。このコーナーでは稲田みかげの新鮮なもの（中粒ないし粗粒黒雲母花崗岩）と すぐ近くで採取した幾分風化した同質岩〈Weathered granite〉及び著しく風化の進んだ すなわちまさ化した同質岩〈Soil of granite〉の3種類を並べています。

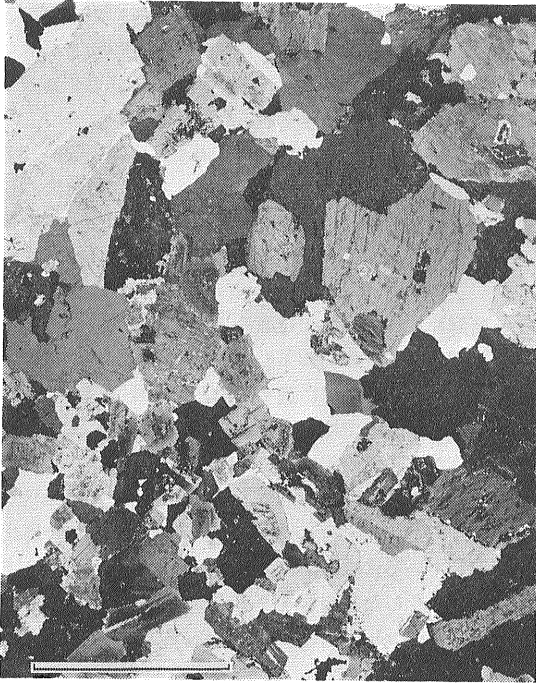
写真3の電子顕微鏡写真は 展示試料と類似の鳥取花崗岩について 粘土鉱物の形状が良く示されています。既に まさの効用について飲料水の優秀性を紹介しましたが 風化花崗岩はそのほかにも陶土など窯業原料とも無関係ではありません。よく知られた愛知県瀬戸地方などの焼き物産地を思い浮かべてください。

## ⑦ 花崗岩の鉱物容量比

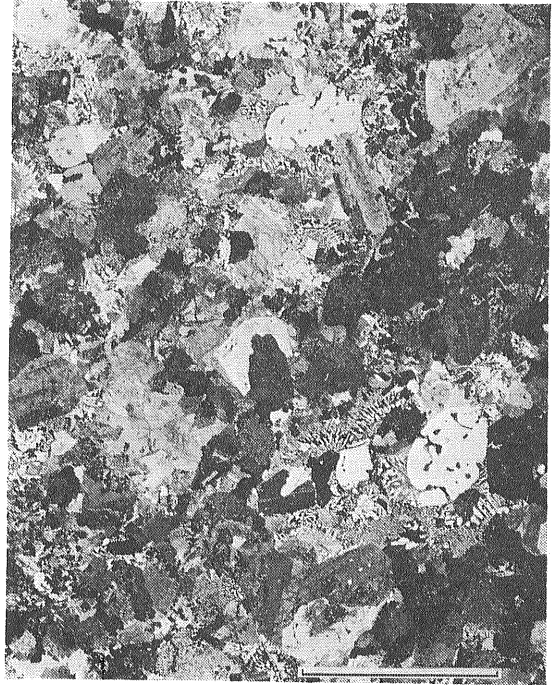
花崗岩の性質は花崗岩の組織のほかに更に詳しく ④構成鉱物やその容量比を基にするか あるいは ④化学分析等によって化学組成を基にして表現されます。ここでは鉱物容量比を調べる方法を展示しています。この方法はモード分析と呼ばれています。

モード分析の原理は 薄片あるいは研磨片に出現する鉱物の面積比を求めることにより 鉱物容量比を算出するものです。昔は 平行する細かい測線を設けて測線に現われる各鉱物の線の長さを累積して 鉱物容量比を求めました。現在では 試料に網目をかぶせてその交点を測点（ポイント）とします。もちろん極めて細かい網目になっています。そして測点上に出現する各鉱物の頻度から鉱物容量比を求めます。このため測定器はポイントカウンターと呼ばれます。

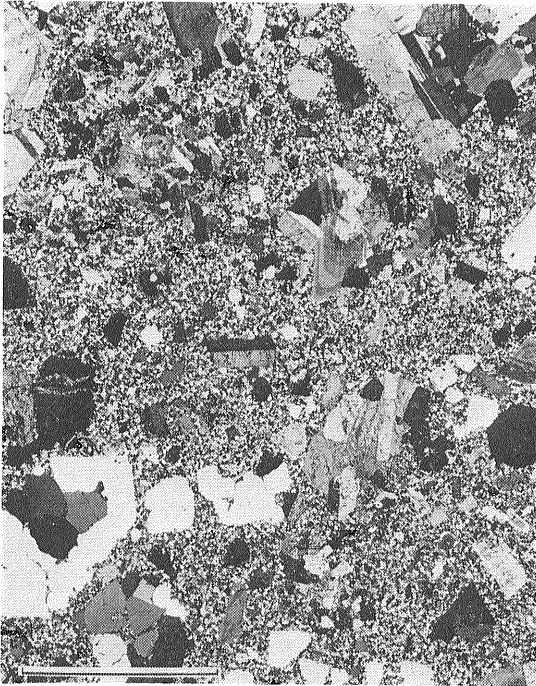
一般に鉱物の粒度が大きいと測定する面積を広くとる



a



b



c

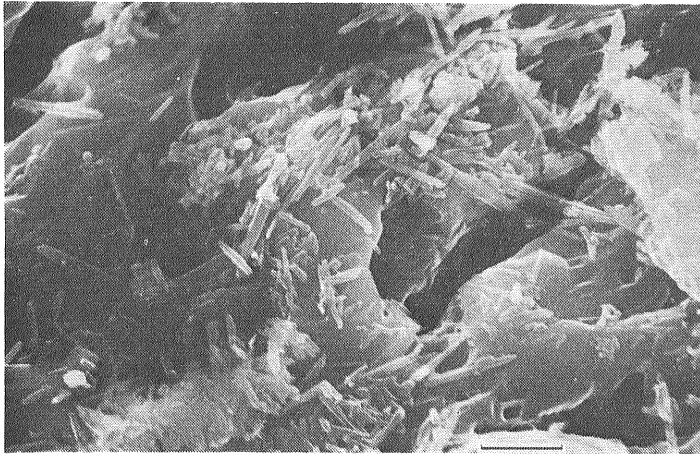


d

写真2 花崗岩類(極めて新鮮)の偏光顕微鏡写真 ——いずれも直交ニコル 同一倍率(写真の中のスケールの長さは5mm)

- a 角閃石を含む中粒の黒雲母花崗岩 茨城県笠間市稲田
- b 石英と長石との細かな連晶の見えるグラノファイアー(文象斑岩) 岡山県湯原湖
- c 斑晶と石基がはっきり区別できる黒雲母花崗斑岩 三重県熊野市
- d 肉眼でも文象構造が見えるペグマタイト 岐阜県中津川市苗木





(a)



(b)

## 写真3

風化した花崗岩の走査型電子顕微鏡写真。

高倍率で長石の表面を観察すると 管状のハロイサイトのできている様子が良く分かります。

鳥取県鳥取市鹿野 鳥取花崗岩  
 <鉱床部富樫幸雄技官撮影 写真の中のスケールの長さは1 $\mu$ m>

- a 長石の表面に凹凸が生じ ハロイサイトができて 風化が始まった状態
- b 多量のハロイサイトができて 風化がかなり進んだ状態

必要があります。 たまたま1個の鉱物片が入ったかどうかによって鉱物容量比が影響を受けるようでは 精度の良い信頼できるデータとはいえません。ここに展示しているような比較的粗粒の花崗岩では 一枚の薄片の面積では十分でないので 研磨片(展示パネルの場合 15cm $\times$ 15cm)を作ります。

またモード分析を容易にするため カリ長石を黄色に染めたりします。モード分析の一例として 約50cm<sup>2</sup>の測定範囲で測点数25,000による鉱物容量比が図示されています。

そのほか 色指数(黒雲母・角閃石などの有色鉱物の量を百分率で表わした値 カラーインデックスともいう)と 幾つかの例が示されています。実際の値と人間の目に感ずる印象とあまりにも違うので 思わず疑ってみたいくなります。

## ⑧ 花崗岩を砕く

花崗岩のでき方や形成年代あるいは花崗岩マグマの成因について研究を進めるため 花崗岩から同一鉱物だけ一単位として分離し その鉱物の性質を調べます。ここでは一般的な鉱物分離法を紹介しています。

大割りから順次細かく花崗岩の試料を砕いて行きます。塊状の試料から細くなるにつれて 風袋の大きな粉体試料に変わりますが 途中の段階で必要に応じて縮分を行って その後に処理する粉体試料の量を減らすこともあります。

花崗岩の場合 粒径が0.5mm(ふるいの番号35メッシュ位)から0.1mm(ふるいの番号140メッシュ位)の間で黒雲母や角閃石などの鉱物分離を行います。ふるいにかかる前に 大抵水洗したり超音波洗浄器を使って非常に細かい粒子を取り除きます。ふるい操作が容易になるからです。乾燥した後ふるいにかけて所定の粒径範囲の粉体試料にそろえます。

まず ハンドマグネット(普通馬蹄型磁石を用いる)で強

磁性の鉱物を分離します。次いで磁性の強弱に基づいて分離する回転式器械 すなわち5～7極のハリモンド型電磁分離器にかけて 少なくとも数回分離を行います。例えば黒雲母を分離する場合 中間の磁性の範囲に回収されます。この部分はもう少し厳密な分離を行うため アイソダイナミック電磁分離器を使って他鉱物を除去します。ひと口に黒雲母といっても 磁性に関しては花崗岩ごとに黒雲母の性質は同じではないので 分離するためには試行錯誤により適切な条件を選択し 分離を続けます。この場合 分離の条件は必ずノートに正確に記録しておきます。なぜならばそのデータは黒雲母の化学組成を鋭敏に反映しているからです。

以上の分離操作によっても 黒雲母の純度が十分高められないときは 重液などを用いて比重の異なる他鉱物を除去します。実際には アイソダイナミック電磁分離器—重液による過程を何回も繰り返し操作するので わずか10グラム位の黒雲母を分離するのに1週間位かかってしまうのが普通です。展示パネルには 以上述べた粉砕と鉱物分離の工程が図示されています。また手前のガラスケース内には 分離された石英 カリ長石 斜長石 黒雲母の実物がそれぞれ並べられています。こうして分離された幾つかの鉱物について K-Ar Rb-Sr フィッシュトラック年代測定や酸素 鉛などの同位体の厳密な測定を行います。

花崗岩について化学分析(主成分元素や微量元素)を行うためには 微細な粉体試料(粒径数 $\mu\text{m}$ 位)を調製します。この場合には 鉱物分離とは全く異なる粉砕器を使います。粉砕過程においては特に粉砕容器や他試料からの混入(コンタミネーション)を避けるため 細心の注意が必要になります。

ここでは新鮮な堅い花崗岩を材料として これを順次細かく砕いていき 黒雲母を分離したりまた粉体試料を作る過程を説明しました。前の方の⑥新鮮な花崗岩と風化花崗岩では「まさ化」が自然のもので長い年月の間にゆっくり進行すること すなわち長石などが少しずつ含水鉱物で微粒の粘土鉱物に移ってゆくことを説明しています。

「まさ化」が湿式(ウェット)で粒径数 $\mu\text{m}$ の異なる鉱物に移っていくのとは対照的に人工の「花崗岩を砕く」は全く乾式(ドライ)で 同じ鉱物がただ細くなるだけなのです。両者の過程を比べて 自然と人工の微粒子化の違いを考えてみてください。

#### ⑨ 花崗岩マグマの貫入形態

花崗岩がマグマから冷えて固まる状況を誰も見たことがありません。火山岩のできる場合とこのところが全

く違います。したがって 花崗岩や構成鉱物そのものの性質はもとより貫入を受けたまわりの岩石や地層の性質 更に地球物理学的手法による重力や磁気のデータなどを含めて可能な限りのデータを駆使し 総合的に判断してマグマの貫入形態を推定します。特に重要なのは花崗岩マグマの貫入場所の深さと貫入様式といえます。

この展示パネルでは おおよその目安として右側ほど花崗岩マグマの貫入場所が深くなるように配列してあります。最も浅い場所は火山か火山直下に相当し 深い場所は高い変成度の片麻岩などの存在する付近と見当をつけてください。例示してあるのは

- ① 昭和新山(おもにデイサイト 1943—45年頃の噴火—北海道)
- ② 熊野酸性岩(おもに花崗斑岩 1400万年前—三重県・和歌山県)
- ③ 田万川陥没体(おもに花崗岩—花崗閃緑岩 3900万年前—山口県・島根県)
- ④ 遠野岩体(おもに花崗閃緑岩—石英閃緑岩 流理構造を持っている 1億4000万年前—岩手県)
- ⑤ 柳井地方の領家花崗岩(おもに片麻状花崗閃緑岩 まわりにミグマタイトが分布する 8400万年前—山口県)

この展示コーナーではほとんど触れませんが 花崗岩は金属資源と切っても切れない密接な関係を持っています。

花崗岩自身のなかに山矽鉄のもととなる磁鉄鉱やモリブデン・タングステン・錫の鉱石を含んでいたたり 被貫入岩との間にスカルンを作ってそこに多量の鉛・亜鉛・銅などの鉱石をもたらしたり 更に花崗岩から離れるに従い様々の鉱脈を生じ 最も遠い所では金を含む石英脈ができると考えられています。

花崗岩マグマの貫入形態と資源との関係についても想像をたくましくしながら この「花崗岩の解剖」の展示を観覧してください。

#### 謝 辞

この展示に関して昭和47年の企画立案の当初から 以後シナリオ作成・予算接衝・概念設計・実施設計・工事施行・展示用試料の採取及び資料の調製等の各段階において 枚挙にいとまのないほど多数の方々からご協力をいただきました。なかでも 下記の方々から格別のお力添えをいただきました。ここに銘記して厚くお礼申し上げます。

中野組石材工業株式会社 高田石材株式会社 株式会社丹青社 地質調査所 磯見博 小村幸二郎 富樫幸雄 正井義郎 技術部特殊技術課薄片係(敬称略)。