

# 飛騨トンネルの地質断面解析(1)

## — 多様な形状的構造要素の断面図 —

阿部 康則・安江 勝夫・原 郁夫

### Analysis of Geological Profile along the Hida Tunnel, Central Japan (1)

#### — profiles for various formal fabric elements —

Yasunori Abe, Katsuo Yasue and Ikuo Hara

#### Abstract

Main geological constituents around the southeastern half of the Hida Tunnel, central Japan, are the Hida metamorphic rocks, Funatsu granite and Tetori Group (sandstone, conglomerate and mudstone). The first geological profile along the tunnel route has been investigated for lithofacies of those rocks (profile 1). The Hida metamorphic rocks and Funatsu granite are emplaced as nappes on the Tetori Group, forming great cataclastic zones along nappe boundaries. The second geological profile along the tunnel route has been investigated with reference to degree of cataclasis of those rocks (profile 2). In geological constituents around the southeastern half of the Hida Tunnel there are Gold-bearing quartz veins (Maruyama mine), which accompany formation of a highly fractured and metasomatized zone. The third geological profile along the tunnel route has been investigated with reference to distribution of the fractured and metasomatized zone (profile 3). The area of the Hida Tunnel is placed within the compression side of intersection zone of the active conjugate fault system containing the Atotsugawa fault system and the Mihoro fault system. In the area are found many high-angle faults of various orientations with clay gouge. Those faults consist of displacement zone with clay gouge and in situ brecciation zone without clay gouge which must show high permeability of water. The fourth profile along the tunnel route has been investigated for distribution pattern of such high-angle faults, which show network structures on the tunnel formation (profile 4 and cross section).

#### (要 旨)

飛騨トンネルの主要構成岩類は、飛騨変成岩、船津花崗岩、手取層群である。これらの岩類の岩相に関するトンネル縦断地質断面図(1)が作成された。変成岩、花崗岩はナップ群として手取層群に衝上している。ナップ境界に沿って幅広いカタクレーサイト帯が形成されている。カタクレーサイト化の程度に関するトンネル縦断地質断面図(2)が作成された。本地域には金鉱床が発達する。この鉱化作用に伴って変成岩と花崗岩は強く破碎変質した。この破碎変質の程度に関するトンネル縦断地質断面図(3)が作成された。本地域は活動的共役断層系(跡津川断層系と御母衣断層系)の交差帯の圧縮側に位置している。クレイ・ガウジをもつ高角度断層群が多様な方位をもって多数発達している。これらの断層は、破碎岩片からなり高い透水性をもつ in situ brecciation zone を伴っている。このような高角度断層群がトンネル・ルートに出現する頻度を示すトンネル縦断地質断面図(4)とそれらがトンネル施工基面で作る網目状パターン(クロス・セクション)が検討された。

キーワード：トンネル、地質断面図、形状的構造要素、飛騨帯

## 1. はじめに

東海北陸自動車道は飛騨山地を横断する。このため道路を建設するためにはトンネルを掘削せざるをえない。岐阜県吉城郡可合村と大野郡白川村の間には10.7kmにおよぶトンネルが掘削されることになっている。このトンネルが飛騨トンネルである(図-1)。飛騨トンネルを構成する地質体は、北西半部が濃飛流紋岩、南東半部が飛騨変成岩花崗岩コンプレックスである(野沢ほか, 1975<sup>1)</sup>; 磯見・野沢, 1957<sup>2)</sup>参照)。応用地質株式会社は、飛騨変成岩花崗岩コンプレックスが分布する南東半部の地質断面解析を担当した。

既往調査において、飛騨トンネルを縦断する比抵抗断面図が作成されており、比抵抗構造は、下位に向かって見掛け比抵抗値が低下し、1000m弱の深度のトンネル施工基面に広範囲にわたって低比抵抗帯が発達することが指摘されていた(図-2)。私たちが調査に参加するにあたり与えられた課題は、1本の1000m弱の鉛直ボーリング(図-2, Bヨー1孔)を掘削することによって、このトンネル施工基面に広がる低比抵抗帯の意味を明らかにすることであった。

1本のボーリングから、トンネル施工基面に広がる低

比抵抗帯の意味を明らかにするという業務においては、まず、ボーリング・コアおよびボアホールにおいて、比抵抗値変化という関数的構造が、どのような形状的構造の反映であるのかを解くことが必要である。そして、ボーリングは1つのライン上の情報を提供するにすぎないことから、このライン上の特定の位置の情報が、トンネル施工基面の特定の位置に連続するように現われる必然性を示すことが出来なければならないと私たちは考えた。この課題に応えられるルール——ボーリング深度の特定の位置の情報が、トンネル施工基面の特定の位置に連続すると判断出来るルール——を示すことが、形状的構造に関する地質断面解析でもありと私たちは考えた。ここでは、このような考えにたって行なった飛騨トンネルを縦断する地質断面解析を紹介させて頂くことにする。

この作業の結果を応用年報において紹介することをお許し下さった日本道路公団に感謝申し上げる。ただし、この報告は、あくまでも私たちの見解を記したものである。この作業の結果を応用年報において紹介することを強く勧められたのは、近藤達敏社友であった。作業の過程においても、氏からは、多くの助言を頂いた。感謝申し上げます。

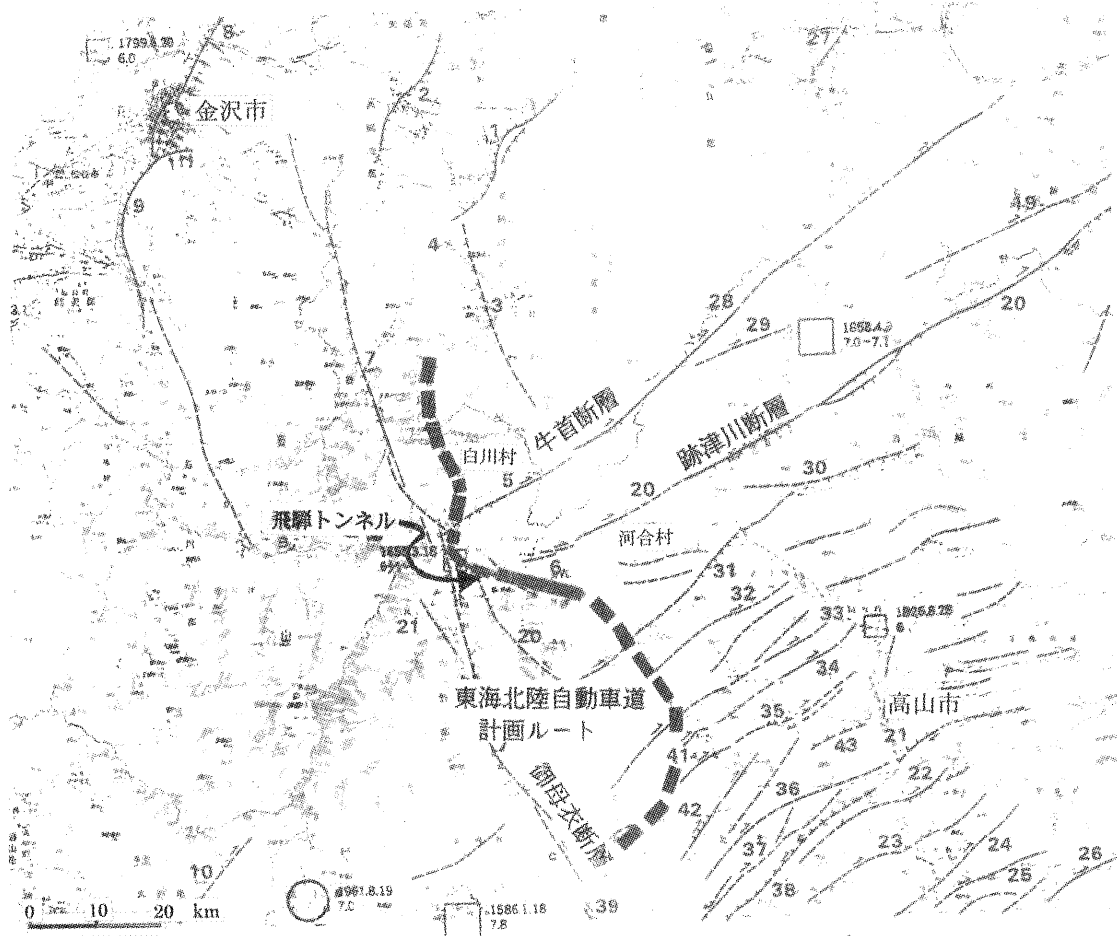


図-1 飛騨トンネルの位置図(マップは活断層研究会(1980)による)

Fig.1 Locality of the Hida tunnel. (map from The Research Group for Active Faults (1980))

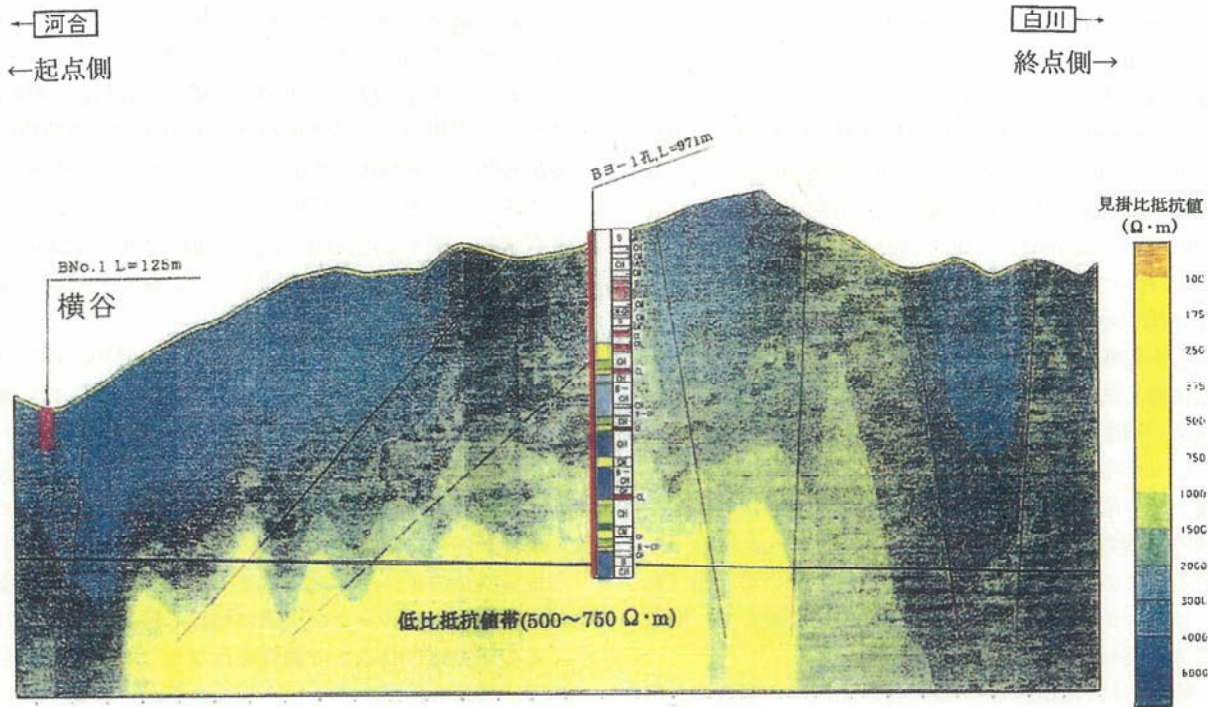


図-2 飛驒トンネル南東半部の比抵抗断面図とBヨ-1孔ボーリングの位置

Fig.2 Electric resistivity profile along the southeastern half of the Hida tunnel and locality of Bヨ-1 boring.

2. 既往文献と既往調査の結果から解析上の留意点を探る

既往文献と既往調査の結果の分析を通して、課題に対応するための視点・調査の方法を確定することが、一般に最初の業務である。今回の業務も例外ではなく予算と時間の制約のなかで行なわなければならないため、既往文献と既往調査の結果の分析は極めて重要なものであった。したがって、解析結果の説明に入る前に、既往文献と既往調査の結果の分析から、私たちが課題に対応するための視点・調査の方法をどのように考えたかを示させて頂くことにする。

1本のボーリングから、トンネル施工基面に広がる低比抵抗帯の意味を明らかにするという業務は、先に述べたように、ボーリング深度の特定の位置の情報が、トンネル施工基面の特定の位置に連続すると判断出来るルールを獲得することである。それは、比抵抗のような関数的構造 (functional fabric) を形状的構造 (formal fabric) に読みかえ、形状的構造に関するトンネル縦断地質断面図を描くことによって可能になるはずである。その根拠をかってTurner & Weiss (1963)<sup>3)</sup>は、Sander (1948)<sup>4)</sup>に拠って、次のように述べている。本稿で扱われる構造解析 (fabric analysis) 全般の基本原則が示されているので、少し長いが引用させて頂こう。

「The internal order of a crystal is primarily recognized by a similar ordering of physical properties. This order can be expressed in an abstract way in terms of its point-group or space group symmetry. The concept of fabric extends the notion of internal

spatial order to nonlattice bodies such as crystalline aggregates, geologically familiar as rocks. The component parts in aggregates are crystalline grains, and their spatial arrangement and mutual relations constitute the internal order of fabric. .... a close analogy can be pointed between the single crystal and the aggregate, because both possess abstract geometric properties of form and both possess physical properties that reflect in some fashion this form. For example, depending upon its symmetry class, the elastic properties of a crystal are expressed by a fixed number of constants; likewise, upon the geometric order within a fabric depend its physical properties such as elasticity, thermal conductivity, and permeability. The concept of fabric, therefore, embodies not only a geometric or morphologic aspect expressible in terms of the geometric arrangement of components, but also a functional or behavioral aspect which is concerned with the directional physical properties that are a necessary correlate of geometrically regular organization of matter. To differentiate the two aspects of fabric, Sander (1948) terms them respectively formal or configurational (gestaltlich) fabric and functional or physical (funktional) fabric. .... For most purposes, such as determination of elastic, thermal, or electrical properties, a crystal can be treated as a homogeneous continuum. Understanding of the geometric and symmetric properties of crystals, however, is possible

only where the crystal is viewed more rigorously as a periodic array of structural discontinuities (構造不連続). Similarly, a homogeneous fabric, although in large domains conveniently treated as a structural continuum, must be examined in terms of small-scale discontinuities of local heterogeneities in its structure before the geometric and symmetric properties of its internal order can be expressed and the concept of fabric becomes significant].

岩石を構成する構造不連続は、例えば、岩石を構成する鉱物種、結晶粒界、岩層、へき開(片理、片麻構造)、線構造、褶曲軸面、マイクロクラック、空隙、節理、断層といった多様なスケールの多様な形状的構造——岩石が幾つかの形状的構造を含む場合、個々の形状的構造を形状的構造要素(formal fabric element)と呼ぶ——である。このような形状的構造要素の中のいずれか(あるいは幾つか)の幾何学的配置と性状を反映して、関数的構造が現われるのである。

一般に形状的構造に関する地質断面図は、調査の過程に得られる岩石学的情報、古生物学的情報など多様な情報を——既往文献と既往調査からの多様な情報も——からませながら、野外において岩相や岩石構造などを追跡し、地質構造を求めることによって作成されるものである。このため、地質断面図の作成に、ボーリングを掘削し、そのコア観察の結果を使用出来るということであれば、上記のようにして求められた地質構造に照らし考えて、地下深部における地質構造の連続性の追跡に最適な位置でボーリングを掘削することでなければならない。ここでは、トンネル施工基面に広がる低比抵抗帯の意味を明らかにすることに焦点があるため、比抵抗断面図の示す低比抵抗帯の位置も考慮に入れて、ボーリングの掘削地点が決定されることになる。

私たちが調査に参加した時には、上記のような手順を踏んで、ボーリング(Bヨ-1孔)の掘削位置が決定され、既に掘削が始まっていた。このような場合、どのようにして与えられた課題の検討に入るべきであろうか。私たちは、ボーリングの掘削位置の決定に際して使用された、形状的構造に関する地質図と地質断面図の作成過程を最も良く示すはずのルート・マップの検討から始めた。地質図と地質断面図の作成過程が妥当なものと判断出来れば、作成された地質図と地質断面図は信頼すべきもの——自然を完璧に表現し得た地質図と地質断面図は望み得るものではなく、望み得るものは信頼すべき手順をふんで作成された地質図と地質断面図にすぎない——として判断出来れば、これに拠って、ボーリング深度の特定の位置の情報が、トンネル施工基面の特定の位置に連続すると判断出来るルールを獲得することが可能となるはずだと考えるべきものだからである。ここで、私たちが、信頼すべき手順をふんだと判断するルート・マップとはどのようなものと考えているかを示すことが必要であろう。

形状的構造に関する地質断面解析を行なう上で、最も重要な形状的構造要素は、地質体を構成する岩相(例、花崗岩、黒雲母片麻岩、角閃石片麻岩、砂質岩、泥質岩)である。岩相の示す地質構造は、他のすべての情報の位置的枠組みと地質構造形成史としての時間上の枠組みを与えるという意味でも重要なのである。そこで、このような岩相に関する地質図と地質断面図の作成に関わるルート・マップを取り上げて説明しよう。私たちは次のように考えている。

調査地域の主要な谷や尾根の調査は、最初に行なわれる概査にすぎない。この概査において読み取られた地質構造に関する情報をもとに鍵となる露頭を選定する。その露頭で構造を読み、構造と岩相の連続する方向を捉え、転石を徹底的に調べながら、谷-斜面-尾根を通してその構造と岩相を追跡する。この作業によって浮かび上がる地質構造のイメージを、育て上げ打ち壊すことを繰り返すなかで、イメージが次第に結晶し地質図が現われてくるのが実感されるまで調査を行なうことがまず必要である。構造を追跡するという視点こそが大切なのである。露頭では徹底して構造を読み、構造の延長する方向を読み取り、その方向を追跡する。したがって、ルート・マップで、調査が進められたルートを進めれば、地質構造が浮かび上がってくるようではなければならない。作成された地質図は、更に、特定の構造層準が想定された位置に現われるかどうかを検証するように、時間と予算がゆるすかぎり、構造断面に沿ったルートを選定し調査を繰り返すのである(原, 1996)<sup>9)</sup>。ボーリング資料は検証のための格好のルート調査であると考えような野外調査が必要なのである。

作成された地質図と地質断面図は、作成過程を隠蔽する働きがあるとも言える。したがって、既往の調査結果の分析では、地質図や地質断面図によるよりも、まず、ルート・マップこそが検討の対象とならなければならないと考えるのである。既往報告書に添付されたルート・マップは、良く調査されたことを示すものであった。しかし、構造追跡の視点が読み取りにくいものに思われた。このため、岩相に関する地質図とトンネル縦断地質断面図を改めて作成することが、私たちの課題となった。

褶曲を含む地質体では、褶曲軸に垂直な面が断面(profile)である。地質構造の内容は、この断面において最も良く捉えられるのである(原, 1998<sup>9)</sup>参照)。褶曲を含む地質体でなくても、岩相の作る地質構造の内容が最も良く捉えられる——最も捉えやすくもある——断面がある。そのような断面の位置は、地形の特徴とも関わりながら存在するものである。したがって、トンネル縦断地質断面図を描く前に、このような地質構造の内容が良く捉えられる断面を選定して、それに沿ってまず地質断面図を多数描く。そして、これらの地質断面図からの情報を総合するようにして、トンネル縦断地質断面図を作成するのが手順であると私たちは考える。

既往調査は、本地域を構成する飛驒変成岩花崗岩コン



プレックスに、カタクレサイト化した変成岩・花崗岩が含まれることを報告していた。しかし、地質構造の中にそれを追跡し、その構造的位置と意味を確定する作業を行なっていない。カタクレサイトは固結した岩石ではあるが、過去の断層現象の痕跡である。このため、形状的構造に関する地質図と地質断面図の作成においては、いまひとつの形状的構造要素であるカタクレサイトを追跡し、その構造的位置と意味を明らかにすることが、必要であると考えられる。

飛驒変成岩花崗岩コンプレックスからなる飛驒帯は、飛驒帯の南側に発達する古生代～ジュラ紀付加体群の上に、白亜紀火成活動に先立って衝上したナップ（飛驒ナップ）である（Komatsu et al., 1985<sup>7)</sup>; 原ほか, 1985<sup>8)</sup>）。古くから良く知られている世界の造山帯のスラスト・テクトニクス（e.g. Badgley, 1965<sup>9)</sup>; Spencer, 1969<sup>10)</sup> 参照）を考慮すれば、飛驒ナップが形成された過程に、飛驒変成岩花崗岩コンプレックス内部に多数の小ナップ群が形成され、それらのナップ下底の断層はカタクレサイトとなっている可能性があるのである。カタクレサイトは岩石を構成する鉱物が破碎されることによって形成される岩石である。岩石の比抵抗が、間隙の容積、間隙の配置によって変化するのであれば（地盤工学会編, 1981<sup>11)</sup> 参照）、カタクレサイト化の過程に岩石に形成されたマイクロクラックの密度は、比抵抗に変化をもたらす重要な要因（＝形状的構造要素）となるはずである。このため、地山の中にカタクレサイト化の程度の位置的变化、その変化を支配する地質構造を辿ること、したがってカタクレサイト化の程度に関する地質断面図の作成が、私たちの重要な課題であると考えられた。

本地域に上記のようなナップ群が発達するという予測は、1000m 弱の深度のトンネル・レベルの情報（＝掘削されるボーリングの下端部の情報）に対応する情報を地表で得るためには、地質調査が、トンネル・ルートに沿った狭い範囲ではなく、ある程度広域にならざるを得ないことを私たちに覚悟させるものであった。ナップは、しばしば中～低角度配置の構造であるからである。しかし、それは地形との関係で決まることである。本地域の地形は、標高約1600mのボーリング地点から標高約950m付近まで急激に下る斜面が3本の谷で深く刻まれるという特徴を示す。したがって、斜面の上に形状的構造を追跡しその軌跡を描けば、この急峻な地形に助けられて形状的構造の走向と傾斜がかなり正確に求められ、問題とする形状的構造が、ボーリング・ライン上のどのくらいの深度に現われるか推定されるはずである。地質断面解析のための調査範囲は、機械的に決まるものではなく、このような関係が決定するものであることを考えて調査を進める必要があった。図-3の地質図はその結果である。

既往文献（e.g. 山下ほか, 1988<sup>12)</sup>）と既往調査によれば、本地域には手取層群が分布する。飛驒変成岩花崗岩と手取層群の泥質岩・砂岩とでは、比抵抗値や力学強度特性に明確な違いがある。既往調査は、手取層群が、中

角度断層に挟み込まれてトンネル施工基面に現われるという地質断面図を示していた。このため、手取層群の分布を正確に決定することは、私たちの重要な課題であった。このような重要な構造要素の示す地質構造の理解をより安定したものとして獲得するためには、飛驒変成岩花崗岩がナップを形成するとすれば、手取層群は、このナップを被覆する地質体であるのか、ナップに参加する地質体であるのかを明らかにすることが重要であろうと考えられる。

既往文献（e.g. 岐阜県, 1970<sup>13)</sup>; 山下ほか, 1988<sup>12)</sup>）と既往調査によれば、本地域には、含金石英脈鉱床（丸山鉱床）が発達する。石英脈群の発達から、鉱床の形成に際して、鉱床近傍の飛驒変成岩花崗岩（またおそらく手取層群）が破碎と変質を受けたことが考えられる。この破碎と変質は、基盤岩類のもつ本来の比抵抗値や力学強度特性に変化をもたらすはずである。したがって、鉱床の形成に際して起こった変形と変質が、地山のトンネル・レベルではどのような位置に集中するようにして起こったかを明らかにすることもまた、私たちの課題であると考えられる。この含金石英脈鉱床は新第三系である。本地域にはまた新第三紀のものと考えられている火山岩類（樺峠火山岩類）が知られている。しかし、この火山岩類はその主体が本地域の高標高部に分布する火砕岩類であるため（e.g. 野沢ほか, 1975<sup>14)</sup>; 磯見・野沢, 1957<sup>15)</sup>）、この火山活動のトンネル・レベルの岩石群への影響は無視出来る程度のものであると考えられる。

日本の活断層図（活断層研究会, 1980<sup>16)</sup>）によれば、本地域とその近傍の飛驒帯には、多くの高角度断層群が発達する。概略的に言えば、本地域は、跡津川断層・牛首断層を含むENE-WSW系横ずれ断層群と御母衣断層を含むNNW-SSE系横ずれ断層群が交差するところ（交差帯＝intersection zone）の圧縮側に位置している（図-1）。既往調査はまた、本地域には、未固結ガウジをもつ高角度断層やリニアメントが発達することを報告している。未固結ガウジをもつ断層は、トンネルの掘削に重大な意味をもつ場合があることは良く知られているところである。このため、巨大活断層群の交差部の圧縮側に位置する本地域においては、断層調査は極めて重要なことであると判断された。私たちは、共役断層の交差帯での変形特性（e.g. Nicol et al., 1995<sup>15)</sup>; Watterson et al., 1998<sup>16)</sup>; 三本ほか, 2000<sup>17)</sup> 参照）を顧慮した調査、断層に向かってマイクロクラック密度やマイクロクラック密度が高くなるというような現象（e.g. Anders & Wiltschko, 1994<sup>18)</sup>）を考慮した調査、未固結ガウジやクラック群が作る断層の構造を考慮した調査が必要であろうと考えた。地山内部での粘土からなる未固結ガウジとクラック群が作るネットワークが、トンネル施工基面における水の挙動を支配するはずだからである。

以上が、既往文献と既往調査の結果の分析から、現地での調査に入る前に、私たちが課題に対応するための視点・調査上の留意点として考えた事項であった。しかし、私たちが調査の過程において常に頭においてきたことは、

「地質構造をしらべる野外地質学者としての大馬鹿的な忍耐強さと工夫、その間に生まれてくるすどい洞察というものが要」だという松本（1948）<sup>19</sup>の言葉であった。

### 3. 地質構成概観

本地域の地質を構成する岩類は、既往文献と既往調査の結果によれば、飛騨変成岩、花崗岩、手取層群、含金石英脈鉍床（丸山鉍床；第三紀）、樺峠火山岩類（第三紀？）である。私たちの調査によっても、これらの岩類の分布が確認された。私たちの調査結果を示したのが図-3の地質図である。含金石英脈鉍床の分布は、既往文献からの引用によって後頁に示されている（図-8）。樺峠火山岩類は、本地域北部の高標高部に僅かに分布する（図-3）。

本地域に分布する飛騨変成岩は、塩基性岩、花崗岩、砂質-泥質岩、酸性凝灰岩、石灰岩などを起源とするものであるが、花崗岩起源の正片麻岩、酸性凝灰岩起源の珪長質片麻岩と石灰岩起源の石灰質片麻岩は希である（図-3）。花崗岩は飛騨帯形成期の最末期に貫入した船津花崗岩（山下ほか、1988<sup>12</sup>；Suwa, 1990<sup>20</sup>参照）と呼ばれているものである。露頭での観察によれば、船津

花崗岩は、変成岩の中に数cmから数10mまでの多様な厚さのシート貫入状岩体として発達し、船津花崗岩の変成岩に対する構造的関係は、concordantである（図版-1 a, b）。地質調査からも、図-3に示されているように、船津花崗岩の変成岩に対する構造的関係が、concordantであることが確認された。

飛騨変成岩花崗岩の形成する地質構造は、船津花崗岩と変成岩の互層体の追跡によって解析されるが、それらとは全く異質の非変成岩である手取層群との境界面の追跡もまた、その地質構造解析にとって重要である。手取層群は、図-3に示されているように、本地域西半部中央に広く分布する。手取層群は、飛騨変成岩花崗岩を基盤岩として不整合に被覆堆積した地質体であるとされている（e.g. 山下ほか、1988）<sup>12</sup>。したがって、本来手取層群は飛騨変成岩花崗岩の上位に位置するはずである。しかし、手取層群と変成岩花崗岩の境界面を追跡した結果、本地域では、手取層群の上位に飛騨変成岩花崗岩互層体が衝上体として発達する（図-3）。そして、この衝上断層は東へ追跡され、図-3のB谷の北側斜面で、薄いスライス状岩体としての手取層群を伴うことが明らかとなった。本地域西半部中央の手取層群の下底面は不整合面である。

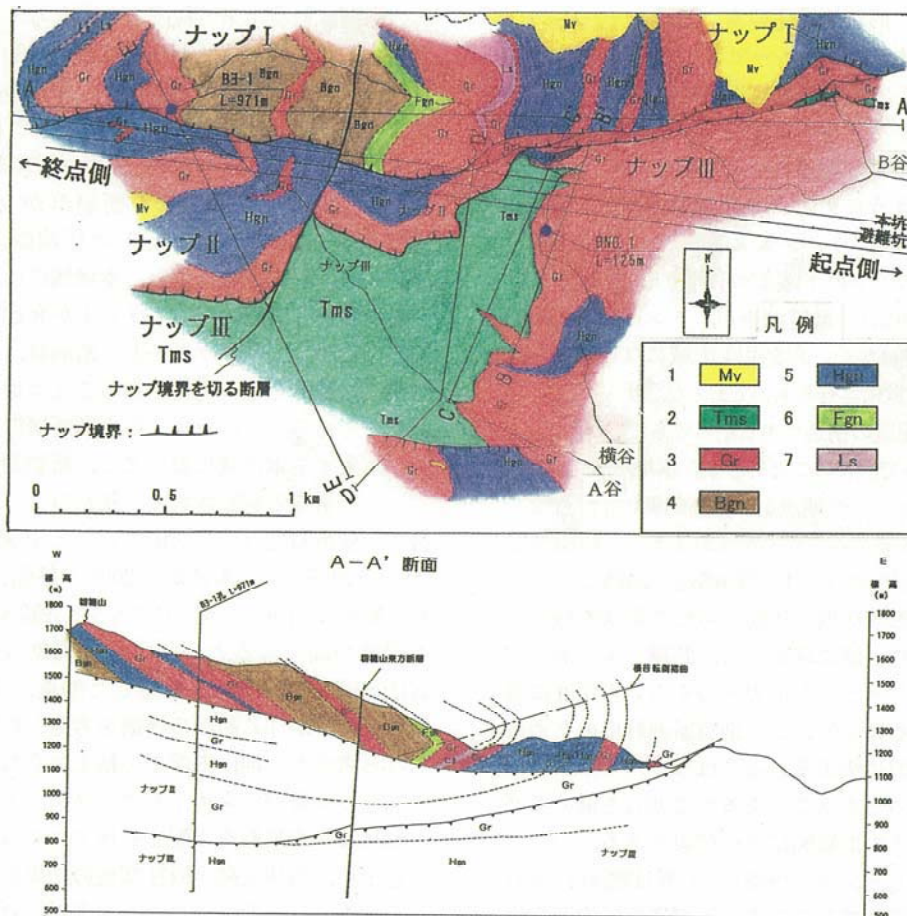


図-3 飛騨トンネル南東半部の地質図と地質断面図

Fig.3 Geological map and profiles of the southeastern half of the Hida tunnel.



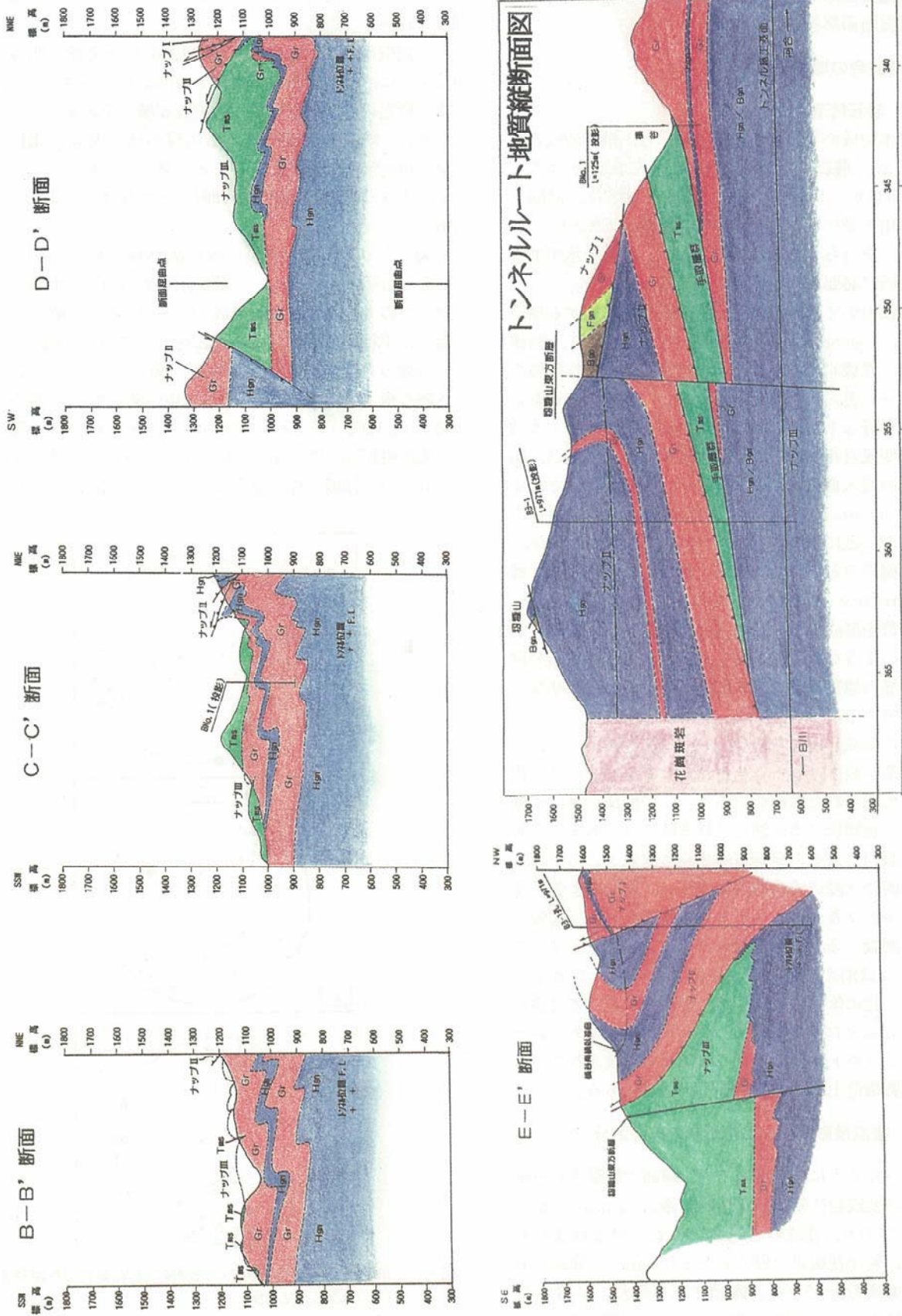


図-3 飛騨トンネル南東半部の地質図と地質断面図  
Fig. 3 Geological map and profiles of the southeastern half of the Hida tunnel.

#### 4. 地質踏査とボーリング・コア観察による形状的構造の地質断面解析

##### 4.1 基盤岩の地質構造

###### 4.1.1 岩石構造

ここで本地域の基盤岩と呼ぶ地質体は、飛驒変成岩花崗岩である。飛驒変成岩花崗岩の形成の歴史は古く (e.g. 山下ほか, 1988<sup>12)</sup>; Suwa, 1990<sup>20)</sup> 参照), 何回もの変形作用を受けたことを示す岩石構造が観察されるが, ここでは, それらの詳細は検討しない。岩相の示す地質構造の解析に必要な岩石構造のみを取り上げる。

本地域においては, 船津花崗岩の変成岩に対する構造的関係は, concordant-harmonic である。即ち, 船津花崗岩は, 変成岩の中に数cmから数10mまでの多様な厚さのシート貫入状岩体として発達し, 変成岩とともに貫入面に平行な1つの顕著な片麻構造を形成する。本地域の飛驒変成岩花崗岩のもつ最も顕著な岩石構造は, 船津花崗岩の貫入面とそれに沿ったこの片麻構造である (図版-1 a, b)。このような面構造をここでは便宜上 Sg と呼ぶことにする。Sg は, 強弱の変化はあるが, 変成岩花崗岩のどこでも肉眼で観察される浸透的な構造 (penetrative structure) である。Sg は露頭スケールの褶曲群を形成する。この褶曲群の配列には規則性がある。このような褶曲群を寄生褶曲とする地質構造の確定が, 地域の地質構造の基本特性の理解には欠かせない調査事項である。

本地域の変成岩花崗岩には, Sg に斜交するいまひとつの面構造が観察される。それは, カタクレーサイト化に伴って形成された面構造である。この面構造は, 本地域の変成岩花崗岩全体を通して見る時には, あまりにも微弱で肉眼的にはその発達が認められないところがあって, 肉眼的には浸透的な構造ではない。局所的に強く発達し, ウルトラカタクレーサイトも観察される (図版-1 c, d, 図版-2 a, b, 図版-3 b)。そのようなところでは, Sg は消えて認められない。このようなカタクレーサイト化に伴って形成された面構造をここでは便宜上 Sc と呼ぶことにする (図版-3 a)。強くカタクレーサイト化しウルトラカタクレーサイトも形成されている岩石の地質構造上での位置の確定が重要である。

###### 4.1.2 極点投影図による基盤岩の構造区分

先に述べたように, 本地域では, 露頭で観察される船津花崗岩の変成岩に対する構造的関係は, concordant-harmonic であり, 変成岩と花崗岩のもつ最も顕著な岩石構造は, 船津花崗岩の貫入面とそれに沿って発達する1つの片麻構造 Sg である。露頭で見る限り, より古い岩石構造による Sg の配列方位の乱れは, 本地域内では, 一般にあまり大きなものではない。このため, 形状的構造要素 Sg を対象とした配列方位の均質性による地質構造解析を行なった。Sg の極点投影図 ( $\pi$ -図) を作成し, Sg の作る地質構造の均質領域を, 地質図の上にプ

ロットする作業である — 作業上の留意点については, 原 (1998)<sup>6)</sup> 参照。

上記引用の Turner & Weiss (1963)<sup>3)</sup> の文章に明らかに, 構造解析 (fabric analysis) の基本原則は, まず特定の構造要素に関する均質領域を決定する。そして次に, 均質領域間を境する境界の構造要素の属性とその幾何学的配置を捉えることである。これによって, より大きな構造的枠組の理解へとつなげていくことである。

図-4 のような Sg の極点投影図が得られた。図-4 の3つの極点投影図は, 分散を示すもののいずれも,  $\pi$  が1つの大円ガードルを形成 — Sg が1つの軸 (= 帯軸) に平行に配列 — することを示している: 図-4 a の帯軸の方位は NNE-SSW 水平, 図-4 b のそれは NE へ緩く落とす, 図-4 c のそれは東へ落とすがほぼ水平。図-4 a は図-3 においてナップ-I とされている領域の極点投影図, 図-4 b は図-3 においてナップ-II とされている領域の極点投影図, 図-4 c は図-3 におい

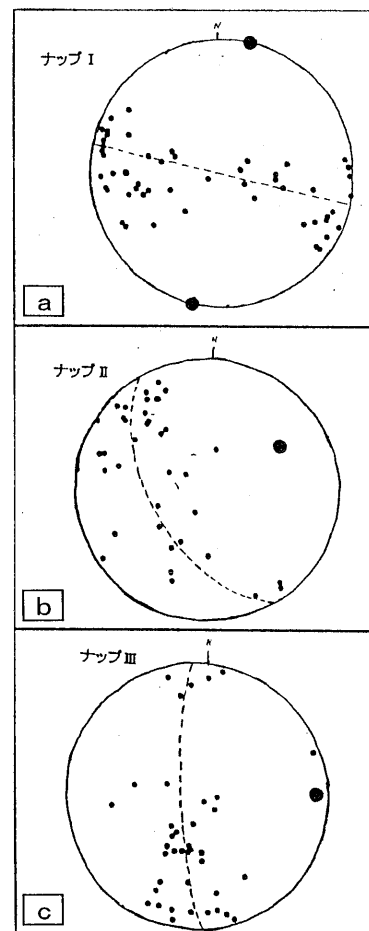


図-4 飛驒トンネル南東半部の飛驒変成岩花崗岩の片麻構造 (Sg) の極点投影図

a: ナップ I からの資料, b: ナップ II からの資料, c: ナップ III からの資料

Fig. 4  $\pi$ -diagrams for gneissosity (Sg) of the Hida metamorphic and granitic rocks.

a: data from nappe I, b: data from nappe II, c: data from nappe III.



てナップⅢとされている領域の極点投影図である。

手取層群の北側に分布する変成岩花崗岩は、手取層群の上に衝上した地質体である(図-3)。このような構造不連続面の上下の基盤岩では、初めから別々の極点投影図を作成するものである。しかし、ナップⅠの領域とナップⅡの領域の区分に関わるような極点投影図の作成による解析は、地質調査の過程の始めから日々継続して行なわれる作業なのである。そして、それと平行して、極点投影図に現われるSgの回転に対応する岩石構造—地質構造を意識して求め、また調査範囲の広がりとともに次第に現われてくる均質領域の境界付近における構造不連続に対応する岩石構造—地質構造を意識して求めることが必要である。限られた日数と予算の中で行なう業務であれば、このような工程は当然のことである。

このようなSgの極点投影図作成による構造解析は、本地域の基盤岩のSgの作る地質構造が、全体としては不均質であるが、上記のような3つの均質領域に区分出来る特徴をもつものであることを明らかにした。3つの均質領域には、それぞれSgの回転に対応する岩石構造—地質構造が発達し、3つの均質領域の境界には構造不連続に対応する岩石構造—地質構造が発達するはずである。このような岩石構造—地質構造の確認があって初めて、構造領域区分は確定するのである(原, 1998参照)<sup>9)</sup>。

#### 4.1.3 地質構造と岩石構造

まず図-4aの極点投影図をもたらした領域(図-3のナップⅠ)の地質構造と岩石構造の解析結果から説明しよう。この領域の地質構造の基本構造は、領域のほぼ中央部に分布する比較的厚い石灰質片麻岩層を、谷底(横谷)から両側の斜面にかけて追跡することによって得られた(図-3)。横谷の北側斜面においてこの石灰質片麻岩層が示す地質構造は、南北系の軸と西へ低角度で傾斜する軸面をもつ、東フェルゲンツの転倒褶曲(横谷転倒褶曲)である(図-3, 図-3A-A'断面)。この石灰質片麻岩層より東側の変成岩/花崗岩互層体—変成岩/花崗岩シート境界はSgに平行—は、横谷転倒褶曲の下翼からouter kneeを構成、それより西側の変成岩/花崗岩互層体は横谷転倒褶曲の上翼からinner kneeを構成することを示す積層関係(走向傾斜)をもって発達している(図-3, 図-3A-A'断面)。図-4aの極点投影図のパターンに良い対応を示す構造である。

横谷やその山腹斜面の変成岩や花崗岩にはしばしば南北系の軸と低角度配置の軸面をもつ露頭スケールの褶曲群が観察される(図版-1b)。この褶曲群は横谷転倒褶曲の寄生褶曲群と見做し得る配置である。図-4aの極点投影図のパターンに良い対応を示す構造である。岩石構造の観察に適した横谷河床に現われている露頭スケールの南北系の軸と低角度配置の軸面をもつ褶曲群に伴って、低角度配置の小断層群が観察される。このような小断層群には花崗岩脈の浸透が認められる(図版-1b)。

軸面方向の小断層群は、変形量の大きな褶曲作用ではよく認められるものである。かくして、ナップⅠの領域の支配的な横谷転倒褶曲と寄生褶曲群の形成は、岩石中をなお花崗岩質マグマが移動する高温条件下で起こったものと判断される。これは、Kato et al. (1989)<sup>20)</sup>が宇奈月地域で観察した船津花崗岩の東フェルゲンツの褶曲に比較されるものである。

次に図-4bの極点投影図をもたらした領域(図-3のナップⅡ)の地質構造と岩石構造の解析結果を説明しよう。この領域には、ボーリング・サイトのすぐ南側をWNW-ESEトレンドで走る大きな谷(図-3のA谷)がある。この谷の下流側には手取層群が分布する(図-3)。この手取層群分布域より上流側で、A谷の河床とその両側斜面に、この領域の変成岩/花崗岩互層体の主体が分布する。この領域の変成岩/花崗岩互層体は、手取層群の上に衝上したナップである(図-3)。

ここでは手取層群に接してかなりの厚さをもつ花崗岩シートが中～低角度で北へ傾斜する構造を形成している(図-3)。この厚い花崗岩シートが、手取層群上に衝上した構造的関係を示している。花崗岩シート/手取層群の境界面は中～低角度で北へ傾斜している。このような構造配置は、Sgの走向傾斜と花崗岩シート/手取層群の境界面が示す山腹斜面上の軌跡から求められた判断である。この厚い花崗岩シートの北側上位には薄い花崗岩シートを挟む塩基性岩起源の角閃石片麻岩主体の岩相が発達する(図-3)。この角閃石片麻岩主体部の下部は、下位の花崗岩シートの構造と調和するようにSgは北へ傾斜している。これに対して、A谷を上流へ登る時この角閃石片麻岩主体部のSgは、中～高角度で南東へ傾斜するように変化する。Sgの傾斜方向変化は、ナップⅡの領域のSgの作る地質構造が、低角度配置の軸面をもつ1つの横臥褶曲(横谷南横臥褶曲)であることを示すものである。この横臥褶曲の軸部の構造は、A谷河床において観察される。ここでは下翼が切断された水平配置の軸面をもつNE-SW系の小褶曲群が発達している。図-4bの極点投影図のパターンは、ナップⅡの領域のこのような地質構造—岩石構造を反映したものである。A谷の更に上流には、角閃石片麻岩主体部の下位に位置する花崗岩シート/角閃石片麻岩層が発達する。これらの岩層は横谷南横臥褶曲の核を構成する。

ナップⅡの領域はトンネル・ルートを含むのであるが、いきなりトンネル縦断地質断面図を求めることは自然な手順ではない。まず、ナップⅡの領域の支配的な地質構造の構造軸—ここでは図-4bの帯軸であり、横谷南横臥褶曲の褶曲軸である—に垂直な断面図を描き、この領域の地質構造の基本特性を捉える必要がある。先に述べたように、褶曲を含む地質体では、褶曲軸に垂直な面が断面(profile)と呼ばれるように、地質断面図は褶曲軸に垂直に描くのが原則であるからである(原, 1998参照)<sup>9)</sup>。ナップⅡの領域では帯軸(=横谷南横臥褶曲の軸)の落としは比較的緩やかである(図-4b)。

そこで、ナップⅡの領域の地質構造を捉えるための断面としては、Bヨ-1孔ボーリングを含み帯軸の方位(azimuth)に垂直で鉛直な面、図-3E-E'断面、が選択された。図-3E-E'の地質断面図は、ボーリングからの情報も含めて描かれている。ボーリングからの情報は後頁で説明するとして、結論を先に述べれば、ナップⅡの領域の支配的な地質構造は、図に明らかなように、横谷南横臥褶曲が、緩やかな軸面をもって発達することである。

横谷南横臥褶曲軸部において、NE-SW系の軸とほぼ水平な配置の軸面をもつ露頭スケールの寄生褶曲群に参加する岩石は、カタクレ-サイト化を示している。花崗岩を構成する初生鉱物として石英・長石の破碎によるカタクレ-サイト化と、緑簾石・緑泥石・白雲母・カーボネイトなどの二次鉱物の結晶作用が明瞭である。再結晶鉱物としての細粒石英・斜長石も認められる。これらの鉱物構成は、横谷南横臥褶曲と寄生褶曲群の形成に関わるカタクレ-シスが、緑色片岩相低温部(Miyashiro, 1994)<sup>20)</sup>の条件で起こったことを示している。

ナップⅠとナップⅡで領域内部の支配的構造の配置と形成条件の相違は明瞭である。したがって、ナップⅠの領域とナップⅡの領域の境界は、図-3のように明瞭に示すことが出来る。この境界の構造論的意味は後頁で解析する。

では、図-4cの極点投影図をもたらしした領域(図-3のナップⅢ)の地質構造と岩石構造はどうであろうか。この領域には変成岩、花崗岩とそれらを被覆する手取層群が分布する。この領域を構成する基盤岩は、地表に露出する岩石群で見ると、1つの厚い角閃石片麻岩層を挟むが花崗岩が主体である(図-3)。Sgは褶曲を示しながら全体としては水平に近い配置を示すように見える。このことは、トンネル・ルートが横谷を横断する位置で掘削された既往のボーリング(BNo.1)では、角閃石片麻岩層が、地表に極めて近い位置で確認され、それより北側の横谷河床のところどころに露出——山腹斜面には花崗岩\手取層群が露出——していることから明らかである。

Sgの傾斜方向の変化と角閃石片麻岩層の分布から捉えられるSgの褶曲群は、軸はほぼ東西系で軸面は低~高角度で北傾斜である。ナップⅢ領域の北端に近く——横谷が西へ大きく屈曲する位置——ナップⅡがナップⅢ領域にのしあげているところで、この角閃石片麻岩層は横臥向斜(横谷東横臥向斜)を形成し、褶曲の核には西側から連続する手取層群が巻き込まれている。褶曲軸面は、露頭ではほぼ水平であり、軸の方位は東西である。図-4cの極点投影図の示すSgの配列パターンは、露頭で見られるこれらの褶曲群と調和的である。

このような東西系の構造軸と河床や山腹斜面に露出する岩相分布と構造の特徴を考慮して、ナップⅢ領域の地質構造の特徴をより良く捉えるために、3つの地質断面図が作成された(図-3)。図-3B-B'断面図と図-

3C-C'断面図はそれぞれ、横谷左岸の斜面と右岸の斜面の露頭で見られる手取層群が花崗岩変成岩の褶曲に巻き込まれる構造を示すためのものである。図-3D-D'断面図は、山腹斜面で追跡されたナップⅠの領域とナップⅡの領域の境界、ナップⅡの領域下底の衝上断層(=ナップⅡの領域とナップⅢの領域の境界)の示す構造と手取層群と下位の花崗岩変成岩の構造的関係を示すためのものである。これらの断面図に示されているように、ナップⅢ領域の支配的な地質構造は、手取層群を巻き込むこのような褶曲群と調和的なものであるということになる。これらの断面図(図-3B-B'断面図、C-C'断面図、D-D'断面図)の地下深部の岩相構成——角閃石片麻岩層で示されている部分——とその構造には、地表の情報だけでは読み取れない部分が記入されている。これについては後頁で説明する。

手取層群が基盤岩に巻き込まれながら褶曲しているところでは、基盤岩はカタクレ-サイト化し(図版-3b)、巻き込まれた手取層群の岩石には軸面に平行なスレートへき開(図版-3c, d)が形成されている。かくして、ナップⅢ領域の支配的な地質構造は、手取層群を巻き込むものであり、その構造トレンドは図-4cのSgの帯軸であるということが出来る。

#### 4.1.4 ナップ境界の岩石構造

形状的構造要素Sgの極点投影図による解析は、本地域の基盤岩のSgの作る地質構造が、全体としては一様均質なものではなく、図-4に示されたような帯軸に支配された、3つの均質領域、図-3のナップⅠの領域、ナップⅡの領域、ナップⅢの領域、に区分される特徴をもつことを明らかにした。岩相の示す地質構造の具体的な解析結果は、3つの領域がそれぞれ特有の地質構造を形成し、区分されるべき関係にあることを明らかにした；ナップⅠの領域の地質構造は南北系の軸(=図-4aの帯軸)をもつ西フェルゲンツの横谷転倒褶曲、ナップⅡの領域の地質構造はNE系の軸(=図-4bの帯軸)をもつ南東フェルゲンツの横谷南転倒褶曲、ナップⅢの領域の地質構造は東西系の軸をもつ横谷東横臥向斜(=図-4cの帯軸)。このような3つの領域の境界の地質構造-岩石構造はどのようなものであるかが、次に検討されるべき課題である。

ナップⅡの領域の花崗岩変成岩はナップⅢの領域の手取層群に衝上している(図-3、図-3E-E'断面図)。したがって、ナップⅡの領域とナップⅢの領域の境界が、断層であることは明らかである。この境界に沿った花崗岩変成岩は強くカタクレ-サイト化している。ウルトラカタクレ-サイトは、この境界線上の露頭で広く観察された(例、図版-2a, b)。ナップ境界のカタクレ-サイトの上に見られるストレッチング線構造は、一般に傾斜方向の配置を示している。この境界線上の手取層群にはまた強いスレートへき開が発達している。ナップⅡの領域とナップⅢの領域の境界が断層であることは明らか

である。ナップⅠの領域とナップⅡの領域の境界線上の花崗岩変成岩もまた、広く強くカタクレサイト化しており、ウルトラカタクレサイトも認められている(例、図版-1c, d)。この境界線もまた断層であることは明らかである。ここでも、ナップ境界のカタクレサイトの上に見られるストレッチング線構造は、一般に傾斜方向の配置を示している。

かくして、先に上げた判定基準に照らし、以上の解析結果から、図-3のナップⅠの領域、ナップⅡの領域、ナップⅢの領域はいずれも、ナップであると言える。カタクレサイト化はナップ境界近傍において一様に顕著であるが、ナップ内部の岩石にもところどころで強く肉眼でも観察される。これは、Sgの褶曲作用や主断層(ナップ境界断層)に伴うようにして付随断層が発達することを示すものであろう。このことは、後頁で述べるように、Bヨ-1孔ボーリングコアの観察結果に明瞭である。

#### 4.1.5 ナップ運動の時期と運動像

ナップⅡの飛驒変成岩花崗岩は、ナップⅢの手取層群の上に衝上している(図-3, 図-3D-D'断面)。したがって、ナップの衝上運動は、手取層群の堆積後に起こったことは明らかである。手取層群には礫岩層が認められる。この礫岩層には2つの種類が識別される: 円礫からなる礫岩層と角礫からなる礫岩層。基底礫岩にも同様の2種類の礫岩層が認められる。角礫からなる礫岩層を構成する礫は、mmサイズからmサイズまでの礫が混在し淘汰不良である。角礫はしばしば泥岩中に認められる。このような礫(円礫と角礫)には、カタクレサイトがある(図版-2c, d)。礫がカタクレサイトであることは、手取層群の堆積が始まる前に、ナップの形成があったことを示唆するものである。しかし、図版-2cのような大きな板状のカタクレサイトや、mmサイズからmサイズまでの角礫が混在する泥岩基質の礫岩層は、ナップの衝上運動が手取層群の堆積時にもあったことを示しているように考えられる。ナップの形成に関わる衝上運動は、手取層群の堆積前から堆積後まで継続した現象であると考えられる。

ナップⅡはナップⅢの手取層群に衝上している。この衝上運動に伴うナップⅢ構成岩類の引きずりによって手取層群を核に含む横谷東横臥向斜が形成された。横谷東横臥向斜の軸は東西系である。ナップ境界のカタクレサイト面上のストレッチング線構造は傾斜方向配置である。これらの情報は、ナップⅡの衝上運動のセンスが南向きであることを示すものである。ナップⅢ内部の南フェルゲンツを示す褶曲群は、このような運動像に対応するものであったことを示唆している。

#### 4.1.6 岩相に関するトンネル縦断地質断面図の作成

##### 4.1.6.1 ボーリング上にナップⅡ/ナップⅢ境界を求めると岩相対比

ボーリング深度の特定の位置の情報が、トンネル施工基面の特定の位置に連続すると判断出来るルールを獲得するためには、ナップⅠ、ナップⅡ、ナップⅢに相当する地質体が、ボーリング深度のどの位置に現われているかが明らかにされるだけでなく、その位置に現われる根拠が説明出来なければならない。

ナップ境界が北傾斜であり、Bヨ-1孔ボーリング・サイトの位置が、ナップⅠ/ナップⅡ境界に近いナップⅠ内にあることからすれば(図-3)、ボーリングには、はじめナップⅠ相当地質体が現われ、その下位にナップⅡとナップⅢ相当の地質体が現われるはずである。ボーリングの岩相柱状図は、個々の薄い岩相を記載しないで卓越岩相でまとめたものが、図-3E-E'断面図にプロットされている。この結果と地表踏査の結果(図-3)との対比を試みよう。

ボーリング位置の僅か50m南にナップⅠ/ナップⅡ境界があり、それは北傾斜であり、ナップⅡ/ナップⅢ境界も中角度で北傾斜である(図-3)。このため、ボーリングには、ナップⅡとナップⅢ相当の地質体は、極めて浅い位置から現われる可能性がある。図-3から、はじめボーリング・サイトより西側の地表に分布するナップⅠの岩相が現われる可能性が考えられる。ボーリングの約185m深度までの花崗岩/角閃石片麻岩/花崗岩は、図-3E-E'断面図に示したように、ボーリング・サイトより西側の地表で見られる岩相に良く一致する。約185mから約465m深度までの角閃石片麻岩/花崗岩/角閃石片麻岩という積層岩相は、ナップⅠ内には認められないものである。ナップⅠ内には上記の岩相の下位に黒雲母片麻岩/角閃石片麻岩/花崗岩(黒雲母片麻岩を多く挟む)という積層岩相が認められる(図-3)。これに対して、ボーリングのこの深度の積層岩相は、横谷南横臥褶曲を形成するナップⅡの構成岩石のそれとの間に良い対応を示すものである。このことは、下位の厚い花崗岩層までを加えることによって、より明瞭になる。即ち、約465mから750m深度までの厚い花崗岩は、ナップⅡ下底部の厚い花崗岩に対比され、約185mから約465m深度までの角閃石片麻岩/花崗岩/角閃石片麻岩という岩相は、図-3の地質図でナップⅡ下部の花崗岩の上位に発達する中央部にやや厚い花崗岩層を挟む角閃石片麻岩層に対比されるように見えるということである。先に述べたように、ナップⅡの構成岩石は、ほぼ水平な軸面をもつ横谷南横臥褶曲を形成する。軸面はナップⅡ下部の花崗岩のすぐ上の厚い角閃石片麻岩層内に位置する。ボーリング資料と地表資料との対比は、このような横谷南横臥褶曲の配置を考慮してなされなければならない。この時、約465m深度までの角閃石片麻岩/花崗岩/角閃石片麻岩という積層順序は、軸面より下位の逆転



した積層順序に相当すると見ることが出来る。この判断から、図-3 E-E' 断面図が作成される。約800m から971m 深度 (=ボーリング下底) には、角閃石片麻岩と黒雲母片麻岩が卓越する。この岩相層序は、上記の対比からすれば、ナップⅢの地質体であることになる。岩相對比のこの結論は、別の視点による解析からも支持される。後頁で示す。

地表では、ナップⅡの下位にナップⅢを構成する手取層群が分布する。ボーリングには手取層群は認められていない。約800m より下位をナップⅢに対比するのであれば、何故手取層群がボーリング位置まで連続しないのかが説明されなければならない。ナップⅡが衝上したナップⅢの北端直下には 横谷東転倒向斜が発達する。横谷東転倒向斜はナップⅡの衝上による引きずり褶曲と見做し得る構造である。先に述べたように、手取層群は横谷東転倒向斜の核に巻き込まれている (図-3 C-C' 断面図)。このため、手取層群は、横谷東転倒向斜を越えて北へは連続しない。横谷東転倒向斜の軸の方位は東西である。このため、横谷の露頭 — 褶曲の核に手取層群が巻き込まれている露頭 — から引かれる向斜軸の延長線は、ボーリング・サイトより少しばかり南側を通ることになる。これが、ボーリング・コアで手取層群が観察されない理由であると考えられる。横谷東横臥向斜の軸が図-3 E-E' 断面図を横切ると考えられる位置が、この断面図における手取層群分布の北限として示される。したがって、ボーリング・サイトの南側のトンネル・ルートの縦断面図には、手取層群が現われることになる (図-3 トンネル縦断面図)。

4.1.6.2 ボーリング上にナップⅡ/ナップⅢ境界を求める — 構造対比

では次に、ボーリング・コアにおいて、ナップⅡとナップⅢを識別する判断基準を別の視点から検討しよう。地質図 (図-3) と断面図 (図-3 E-E' 断面図) に明らかなように、ナップⅡには横谷南横臥褶曲の寄生褶曲群が発達するため、小褶曲群の軸面は水平に近く、Sg 面より低角度であるはずである。これは地表踏査の結果と、ソービーズ・ルールからの判断である (原, 1998 参照)<sup>9)</sup>。他方、断面図 (図-3 B-B' 断面図, C-C' 断面図, D-D' 断面図) に明らかなように、ナップⅢのSg 面と小褶曲群の軸面の配置関係は、軸面がSg 面よりは高角度である。

図-5 が、ボーリング・コアにおいて、小褶曲群の軸面のSg 面に対する配置を検討した結果である。この構造要素の深度による規則的変化は明瞭である。地表踏査結果との対応で考えれば、約800m 以下をナップⅢと見做す根拠があると言えよう。

変成岩の岩相は位置的变化を示すことがあって、整然層のような連続性は必ずしも期待出来ない。また花崗岩シートの厚さにも変化が考えられる。岩相については、この点に対する留意が必要であろう。特にナップⅢにおいては、地表面とボーリングまでの距離が大きいため、この点に対する留意が必要であろう。これに対して、小褶曲群の軸面の配置は充分信頼出来る判断基準である (e.g. Price & Cosgrove, 1996<sup>23)</sup>; 原, 1998<sup>9)</sup> 参照)。判断基準としていまひとつ重要な事項は、地表調査の結果との対応で考えれば、ナップ境界の岩石には強いカタク

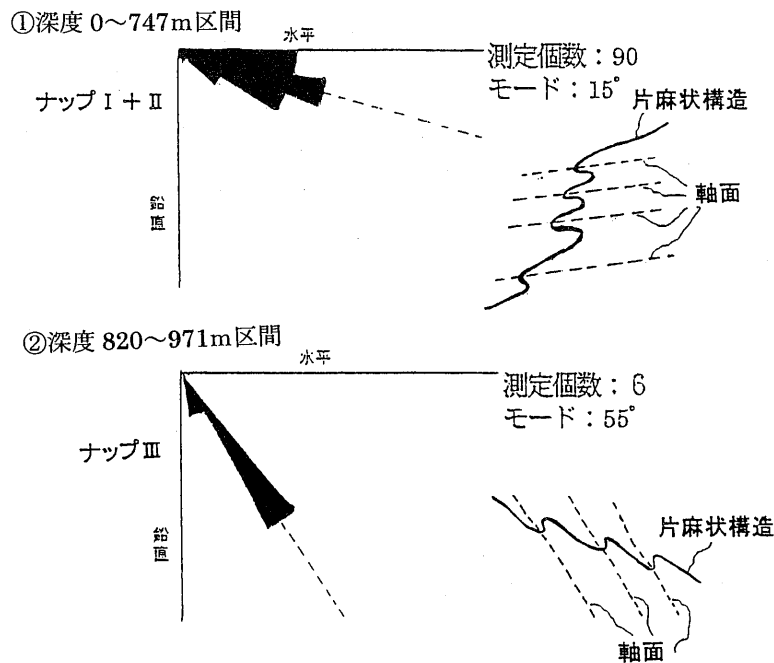


図-5 Bヨ-1 孔ボーリングに見られる片麻構造と褶曲軸面との配列パターン。0~747m 深度 (1) と820~971m 深度 (2) の間で異なる。

Fig. 5 Orientation pattern between gneissosity and axial surface for folds found in the Bヨ-1 boring. It is different between the 0~747m depths (1) and the 820~971m depths (2).

レーサイト化が認められるはずだということである。想定されたナップ境界近傍には強いカタクレーサイト化が認められる(図-6, 図版-4, 図版-5)。かくして、岩相からの情報も考慮して、ボーリングにおけるナップⅡ/ナップⅢ境界の深度は約800m付近にあるとすることが出来る。

山腹斜面における地表踏査によって決定されたナップⅡ/ナップⅢ境界の軌跡から、ナップⅡ/ナップⅢ境界面の走向傾斜が求められる。この情報から図学的に推定されるナップⅡ/ナップⅢ境界のボーリング上における位置は、ボーリング・コアの観察によって求められた位置にほぼ一致している。図-3 E-E' 断面図はかなりの確度をもった情報であると考えられる。

#### 4.1.6.3 トンネル縦断地質断面図(1) — 岩相断面図

先に述べたように、岩相に関するトンネル縦断地質断面図は、岩相に関する地質構造を最も捉えやすい位置で作成された地質断面図を総合することによって描くことが可能となる。以上において5つの基礎となる地質断面図、図-3 A-A' 断面図、図-3 B-B' 断面図、図-3 C-C' 断面図、図-3 D-D' 断面図、図-3 E-E' 断面図、が作成された。これらの断面がトンネル・ルートを横断する位置の地質情報は、A-A' 断面図、図-3 B-B' 断面図、図-3 C-C' 断面図、図-3 D-D' 断面図、図-3 E-E' 断面図から求められる。このような地質情報を、地質図からの情報によってトンネル縦断面上でつなぐことによって、トンネル縦断地質断面図を作成するのである。図-3のトンネル縦断地質断面図はその結果である。

このトンネル縦断地質断面図で、ここで考察されるべき問題は、ナップⅢの基盤岩の岩相構成である。手取層群分布レベルから上の地質体については、横断断面図から横断断面図への連続性は、地表からの資料(地質図)と照らし合わせて、図-3のトンネル縦断地質断面図のように辿ることは、図学的必然性がある。しかし、手取層群分布レベルより下位のナップⅢの基盤岩の岩相構成については、Bヨ-1孔ボーリングで現われたナップⅢの岩相(角閃石片麻岩と黒雲母片麻岩が卓越する岩相)が地表で観察されないことに由来する検討課題がある。Bヨ-1孔ボーリングで現われたナップⅢの岩相が、図-3 B-B' 断面図、図-3 C-C' 断面図、図-3 D-D' 断面図、図-3 E-E' 断面図にどのように現われるかという問題である。これらの断面図では、既に考察の結果が示されているのであるが、これは、トンネル施工基面の岩相構成に関わる重要な問題である。以下に検討する。

横谷東横臥向斜より南側で、ナップⅢのSgと角閃石片麻岩層は、褶曲を示しながらも全体として緩やかな地質構造を形成している(図-3 B-B' 断面図、C-C' 断面図、D-D' 断面図)。地形は北側が高く南へ向かって低くなっている。このため、ナップⅢの下部の情報は

南側の低標高部から求められることになる。しかし、図-3に示されているように、本地域南端部には東西系の高角度断層が発達し、その両側の地質体は、この断層によって大きく変位している。このため、地表からナップⅢの下部の情報を得るには限界があるのである。この断層に接したナップⅢの岩相が、地表で確認出来る最下部岩相である。地表からの情報によれば、ナップⅢを構成する地質体には、花崗岩/角閃石片麻岩/花崗岩という積層構造が読み取れる。上記のように、Bヨ-1孔ボーリングに現われたナップⅢを構成する地質体は、角閃石片麻岩と黒雲母片麻岩が卓越するものである。このような岩相は地表では観察されない。ナップⅢが全体として緩やかな地質構造を形成するという地表からの情報からすれば、ボーリングに現われた角閃石片麻岩と黒雲母片麻岩が卓越する地質体は、花崗岩/角閃石片麻岩/花崗岩という積層構造のすぐ下を構成するものと見るのが自然であろう。このような見方に立って描かれたのが、図-3 E-E' 断面図の下部における地質構成である。即ち、ナップⅢの岩相層序は、花崗岩/角閃石片麻岩/花崗岩/(角閃石片麻岩と黒雲母片麻岩卓越相)であると見做されると言うことである。この結論に立って、図-3 B-B' 断面図、図-3 C-C' 断面図、図-3 D-D' 断面図に、したがって、トンネル縦断地質断面図(図-3)を通して、トンネル施工基面に角閃石片麻岩と黒雲母片麻岩が卓越する地質体が現われることが予測されているのである。

ここで注意すべき点は、Bヨ-1孔ボーリングがトンネル施工基面から北へ50mほど離れた位置にあり、ナップ境界面が北傾斜であることから、Bヨ-1孔ボーリング971m深度の地質構造に関する情報は、厳密に言えばトンネル施工基面より少し上位の情報となる可能性があるということである。図-3 E-E' 断面図に明瞭である。例えば、Bヨ-1孔ボーリング971m深度より深い位置にナップⅣが発達するものと仮定すれば、ナップⅣの構成岩類がトンネル施工基面に現れる可能性もあるということである。力学強度の低い手取層群がトンネル施工基面に現れるとすれば、それはナップⅣの構成岩類であって、既往報告書が想定したような地質構造——断層による地表からの落ち込みとしての手取層群——の発達によるものでないことは明らかである。このようなパイナップ構造に関する情報をもってトンネル施工基面の地質体を考察するためには、より広域的な構造調査により図-3の領域の構造的な位置を説明できる背景が必要であった。調査範囲は機械的に決定できるものではないのである。このことはまた、ボーリング深度が、施工基面深度によって機械的に決まるものではなく、地質構造の特徴と掘削位置との関係で決定されるべきものであることを指摘していることでもある。ナップ境界の走向とトンネル・ルートの走向の斜交角も考慮しなければならない。

#### 4.1.6.4 トンネル縦断地質断面図 (2)

##### — カタクレースイト化断面図

形状的構造要素岩相に関するトンネル縦断地質断面図(1)は、上記のように図-3トンネル縦断地質断面図として描かれた。先に述べたように、本地域の基盤岩は、ナップ形成に際して著しくカタクレースイト化を受け、破碎変質している。このため、本地域の基盤岩には、いまひとつの形状的構造要素としてカタクレースイト化がもたらした破碎変質構造がある。比抵抗値に大きな変化をもたらす形状的特徴(地盤工学会編, 1981 参照)<sup>14)</sup>からすれば、カタクレースイト化の程度は、比抵抗値に大きく関わる形状的構造である可能性がある。このため、カタクレースイト化の程度についてのトンネル縦断地質断面図を描くことが必要である。

先に解析したように、基盤岩のカタクレースイト化は、ナップ境界近傍において卓越発達する。これは野外においても観察される現象であるが、ボーリング・コアにおいて良く捉えられた現象である。野外では露頭の欠如があるが、ボーリング・コアには試料の欠如は極めて希であるからである。多数の顕微鏡薄片とコアの観察によって、ボーリングにおけるカタクレースイト化の程度の変化を検討した。600m以深の解析結果が図-6aに示されている。カタクレースイト化は、ナップ境界近傍において卓越するが、ナップ境界から離れた位置でもさまざまな幅において認められる。カタクレースイトは固結した断層岩である。したがって、これは、主断層であるナップ境界付近に付随断層が発達したことを示している可能性がある。付随小断層群は、主断層から離れるにつれて減少するような分布を示すものである(e.g. Knott et al., 1996)<sup>24)</sup>。三本ほか(2000)<sup>17)</sup>が、つくば1350mボーリングの基盤岩で観察した未固結ガウジをもつ断層群も、このような分布を示すものであった。図-6aの資料と、このような断層現象の特性とから、カタクレースイト化の程度もまた、ナップ境界から離れるにつれて弱くなる分布を示すと言えることが出来る。図-6aのナップ境界付近の強カタクレースイトの分布は、Sgの褶曲に伴うカタクレースイト化よりも、このような断層現象によるものであろう。

ナップⅢでの解析によれば、手取層群直下の花崗岩変成岩は、横谷東横臥向斜の軸部近傍では、全体として強くカタクレースイト化している。これに対して、この軸部から離れた厚い手取層群の下の花崗岩変成岩はどこでも強くカタクレースイト化しているわけではない。図-7aはこのことを考慮して描かれている。

先に述べたように、Bヨ-1孔ボーリングがトンネル・ルートより50mほど南にありナップ構造は北傾斜であることから、トンネル施工基面には、Bヨ-1孔ボーリングの最下部よりも深い深度の地質体が現れる可能性がある。そのことから、先頁でトンネル施工基面がナップⅣの地質体で構成される可能性に関する問題を議論した。ここでは、ナップ境界近傍にカタクレースイト帯が現れ

る様式についての上記の議論(=断層群の分布様式)をふまえて、図-6のカタクレースイト帯分布を見ることに求められることになる。ボーリング深度より少しばかり下位にナップ境界があるとすれば、Bヨ-1孔ボーリングの下端部には、カタクレースイト帯の出現頻度が高くなっているはずだからである。図-6は、強カタクレースイト帯の分布が、Bヨ-1孔ボーリング下端部近く(920m以深)で希となっていることを示している。ボーリング下底971mの少し下にナップ境界は存在しない可能性が高く、トンネル施工基面は図-3のようにナップⅢで構成されている可能性が高いと考えられる。

かくして、カタクレースイト化の程度についてのトンネル縦断地質断面図は、極めて概略的なものとなるが、図-7aのように描くことが出来よう。

## 4.2 第三紀金鉱床形成期の基盤岩類の変形と変質

### 4.2.1 基盤岩類の変形と変質

丸山鉱床を形成する含金石英脈は、既往の研究成果(岐阜県, 1970)<sup>13)</sup>によれば、高角度配置であり、その分布位置と走向は図-8に示されている。含金石英脈が発達する範囲は、図において黄緑色で囲われた帯を形成する。帯の形状は明瞭である。この帯の方位はNE-SWであるが、その延長線上に同時代のいまひとつの含金石英脈鉱床(天生鉱床)が発達する。このトレンドが鉱化帯なのであろう。この鉱化帯は、トンネル・ルートではBヨ-1孔付近から東へ約550mの幅で発達する(図-8)。

鉱化帯の中では石英脈ばかりでなく、緑簾石・緑泥石・カーボネイト・斜長石・石英などを含む多数の細脈が形成されている(例, 図版-6c, e, f, 図版-7a, b)。また、ボーリング・コアではこのような鉱物脈ばかりでなく、磁硫鉄鉱(図版-6d)・黄鉄鉱を含む脈も認められる。図版-7cはカタクレースイト化した花崗岩に貫入したひん岩の岩脈であるが、図版-7dはこの岩脈が緑簾石・緑泥石・カーボネイトを形成して変質していることを示すものである。この鉱化帯は、緑簾石・緑泥石・カーボネイトなどの変質鉱物や、磁硫鉄鉱、黄鉄鉱の形成を含む鉱化作用が行なわれた帯であったということである。ボーリング・コアはそのことを良く示している(図-6a, b)。トンネルの掘削では、深い位置での鉱化作用の性格の解明が課題となろう。

鉱化帯の中で含金石英脈は、2つの方向に卓越するように発達する。図-8の中のローズ図に明瞭である。2つのセットのなす角は約90°である。このような含金石英脈の配置は、その形成が鉱化帯に沿った剪断変形によるものであることを示唆している。図-6bは、ボーリング・コアにおける緑簾石・緑泥石・カーボネイト・斜長石・石英などを含む多数の細脈の傾斜角のローズ図である。コアではコア軸に低角度をなす方位の脈は測定されにくいことを考慮すると、図から、多くの位置で、高角度配置のものを含む多様な方位の変質脈が発達してい



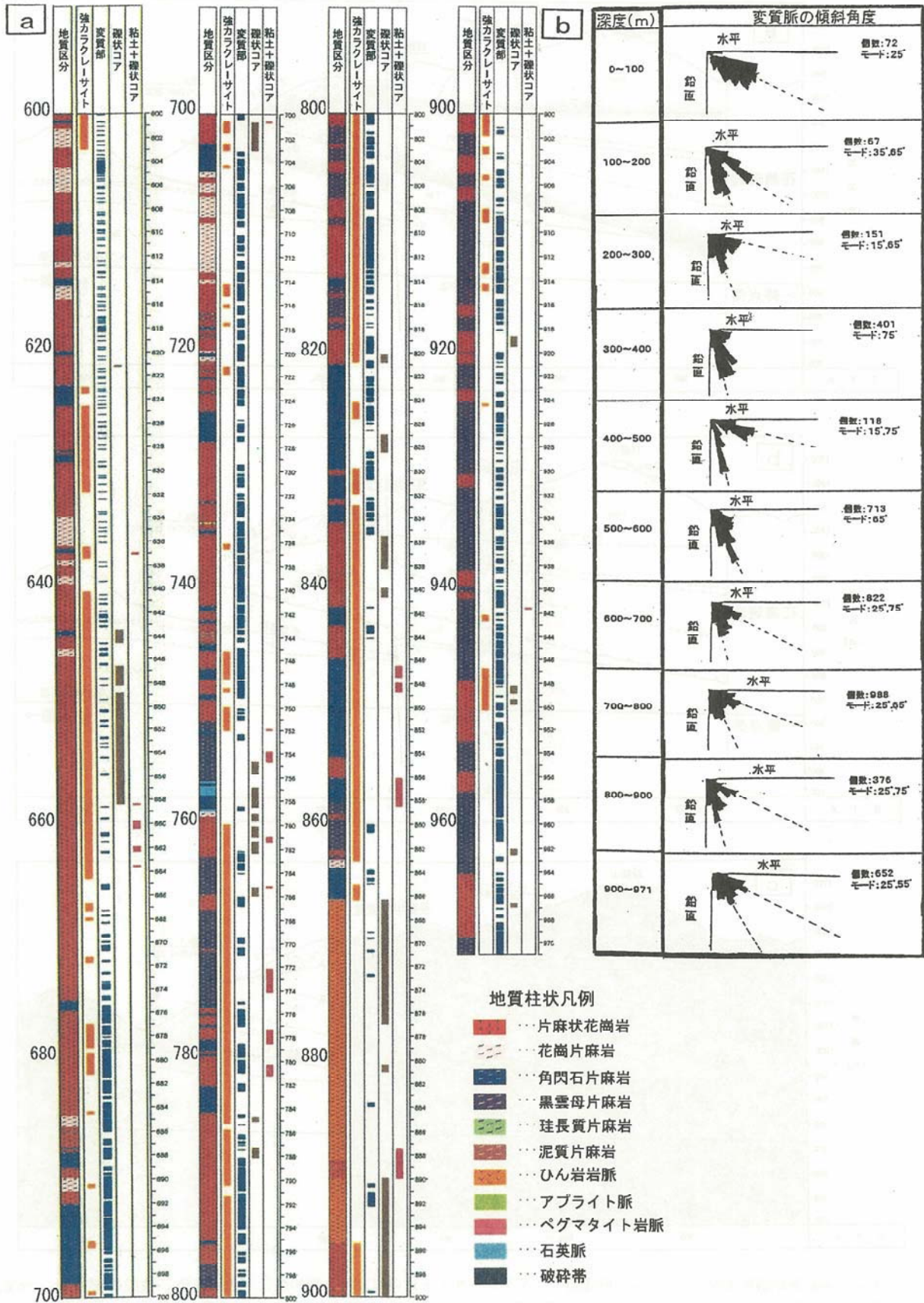


図-6 岩相、強カクレーサイト、変質、断層(粘土ガウジ+破碎部)の分布パターンを示すBヨ-1ボーリングの柱状図(a)と変質脈の傾斜角のローズ図(b)

Fig. 6 Columnar sections of the Bヨ-1 boring illustrating distribution pattern of lithofacies, cataclasites (highly fractured part), metamorphic parts and faults (a) and rose diagram for orientation of metamorphic veins (b).



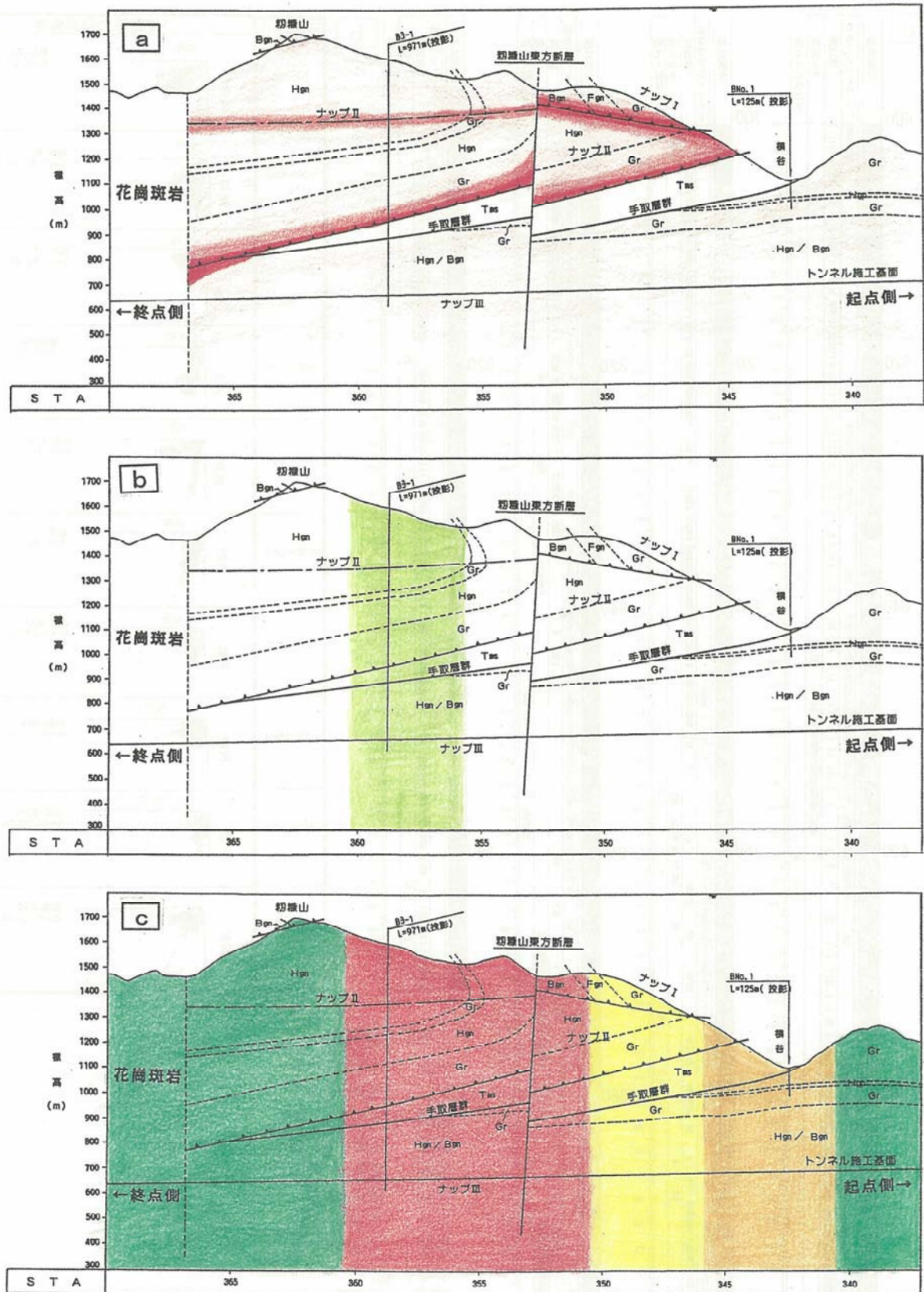


図-7 トンネル縦断地質断面図。a: ナップ形成期のカタクレーサイト化の程度の位置的变化 (濃い赤色: 強破砕部), b: 金鉱床形成期の変質の程度の位置的变化 (黄緑色: 変質脈の発達顕著), c: 未固結ガウジをもつ断層の分布 (図-9 参照; 赤色 = 最大頻度部)

Fig. 7 Geological profiles along the tunnel route. a: data for spatial variation of cataclasis induced during formation of nappes (dark red: highly fractured parts), b: data for spatial variation of degree of metasomatism induced during formation of gold mine (yellowish green: zone in which development of metasomatic veins is concentrated), c: data for distribution of faults with clay gouge (see Fig. 9; red = maximum frequency part).



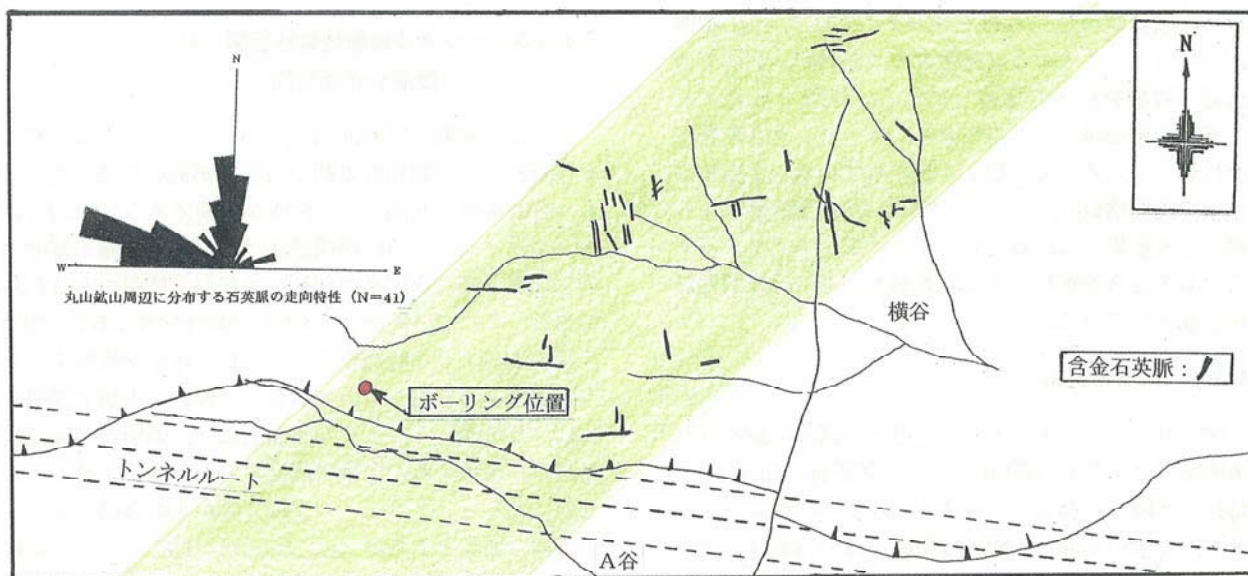


図-8 金鉱床と付随変質脈の分布帯（黄緑色の帯）を示す図

Fig. 8 Diagram showing distribution zone (yellowish green) of gold-bearing veins and their associated metasomatic veins.

ることが読み取れる。図-6から鉱化帯における変質脈の発達はかなり顕著であるように見える。変質脈は破碎岩のクラックの痕跡である。即ち、開口クラックを熱水が通過し、鉱物の析出があったことを示すものである。したがって、図-6から、鉱化帯が全体としてクラック化した破碎帯であったとすることが出来る。共役的な含金石英脈が鉛直配置であることは、この鉱化変質作用を伴う剪断帯が鉛直配置の剪断帯であることを示すものである。

図版-6e (f) と図版-7a と b は、変質脈を構成する緑簾石・緑泥石・カーボネイト・斜長石・石英がカタクレサイト化していることを示している。鉱化帯に沿った剪断変形は、鉱化作用終了後まで続いたのであろう。

このような変質帯の広がり調査は、既往文献からの情報（含金石英脈の分布）によって予測が可能ではあるが、基本的には露頭のしらみつぶしの観察を求める困難な作業である。これは断層露頭の調査と同じである。

#### 4.2.2 トンネル縦断地質断面図(3)

##### — 鉱化変質断面図

基盤岩類のトンネル縦断地質断面図は、飛驒変成岩の岩相、花崗岩、手取層群の分布として、図-3のように示された。このトンネル縦断地質断面図(1)は、いまひとつの形状的構造要素であるカタクレサイト化の程度を入れた形にして、トンネル縦断地質断面図(2)が描かれた(図-7a)。含金石英脈、変質脈の形成を伴う第三紀破碎変質帯を、これらの図の上に付加したトンネル縦断地質断面図(3)が描かれる必要がある。上記の検討結果からすれば、この破碎変質帯は、Bヨ-1孔ボーリング付近から東へ約550mの幅でほぼ鉛直に発達

するはずである(図-8)。

ボーリング・コアで見た時、変質脈の発達の程度は顕著である(図-6a)。含金石英脈形成期の変質が、図-8の黄緑色の帯の中に集中するのは、この帯が鉛直配置の剪断破碎帯であるからである。したがって、問題のトンネル縦断地質断面図(3)は、極めて概略的ではあるが図-7bのように示すことが出来る。

#### 4.3 未固結ガウジをもつ断層群

##### 4.3.1 断層の構造

最後に取り上げられる形状的構造は、未固結ガウジをもつ断層である。本地域には未固結ガウジをもつ断層の露頭が良く認められる。露頭で見るとき断層は一般に鉛直あるいはそれに近い高角度傾斜を示している。しかし、このような高角度断層の中で、地質図(図-3)で読み取れるほどの変位を示すものは2断層である。1つは、本地域中央部において、NNE-SSWのトレンドをもって発達する断層(粉糠山東断層)で、A谷において観察され、ナップII下底の花崗岩上端面を追跡することによって確認された。いまひとつの断層は、地域南端においてA谷で観察され、手取層群と基盤岩の間の東西系の断層として確認された。

本地域の露頭で観察される未固結ガウジをもつ断層は、構造的には2つの部分から構成されているように見える：断層粘土を伴う主変位帯(displacement zone)と粘土を伴わず破碎岩片からなる非~弱変位帯(in situ brecciation zone)。主変位帯で断層に沿った変位はほとんどが賄われており、この変形を通して粘土が形成された。非~弱変位帯では、断層運動において岩石の破碎が起こっているが、ここで賄われる変位量は僅かであり



粘土の形成はない。これは三本ほか(2000)<sup>17)</sup>の記載例と同じである。このような特徴をもつ断層が、露頭では10m以下の幅をもって発達している。図版-8はボーリングでの例を示したものである。ボーリングは断層を斜めに切っているため、幅広く現われている。主変位帯の粘土の鉱物構成は、ボーリング試料でのX線回析によって検討した結果では、緑泥石、イライト、スメクタイトとこれらの混合層鉱物である。断層ガウジには膨潤性鉱物が形成されている。

#### 4.3.2 断層の分布

図-9は、トンネル・ルート近傍の露頭で観察された未固結ガウジをもつ断層について、各断層の走向に沿って延長した時、それらがトンネル・ルートに現われる位置を示したものである。断層は鉛直あるいはそれに近い高角度配置のものであるので、図に示された位置の近くに断層が見られる可能性がある。図においてトンネル・ルートに現われる断層の頻度には明瞭なかたよがりがある。図のVI帯-VII帯において断層の出現頻度は極めて高い。断層が地下のトンネル施工基面においても、図-9のような分布を示すかどうかは厳密には明らかでない。しかし、これに近い分布傾向を示すはずである。

図-9は、トンネル施工基面のところどころで、断層群が網の目状の構造を形成するように発達する可能性を示している。断層が粘土を含む主変位帯(=水の通過を遮断する帯)と破碎岩片からなる非~弱変位帯(=水の通過しやすい帯)で構成されていることは、断層の網の目状の分布と合わせて、断層の構造として理解すべきものである。図-9のトンネル・ルートの断層構造は、そのような意味—水理系の理解につながる情報—において理解されなければならないものと考えられる。IV帯とII帯においてもやや高い頻度が認められるが、VI帯-VII帯の高頻度部は注目すべきである。

この構造はまた、それを構成する個々の断層の幅・長さと併せて理解する必要のあるものである。地表における断層の幅が地下1000m深度のそれを示すかどうか、長い断層が発達するかどうかは、地下の水理系を考える上で重要である。しかし、残念ながら、ここでは、露頭の制約もあって、幅と長さについて厳密な調査は出来ていない。VI-VIIを構成する断層群が、幅(非~弱変位帯を含めた幅)の狭い特徴を示すものであるかどうかは極めて重要である。

断層の方向は多様である。跡津川断層系、御母衣断層系というような捉え方で理解出来る配列パターンではない。方向の多様性は、共役断層の交差部の特徴なのであろう。三本ほか(2000)は、交差部の圧縮側では系の最大引張の方向にそった圧縮も認められることを示した。図-9の断層の走向には、このような応力場を反映したと見られるものがある。ここではまた、東西方向に近いトンネル・ルートに低角度をなすものが、やや多いことにも注目しなければならないであろう。

#### 4.3.3 トンネル縦断地質断面図(4)

##### —断層分布断面図

トンネル縦断地質断面図(1)、(2)、(3)の上に、図-9の資料から、断層群の網の目状の構造を加味したトンネル縦断地質断面図(4)の作成が重要であろう。それは、トンネル・ルートの断層構造図は、トンネル施工基面の力学強度分布と水理系の理解につながる情報であるからである。ここでの断層はいずれも高角度配置である。図-9は、このような断層群を、それにほぼ直交横断するような面で見たとのものである。一般的な表現で説明すれば、この図-9のような断面図には、断層群の極点投影図から求められた帯軸に直交する面が選定されるべきものであろう。クラックの交線方向が水の移動の最も高い方向であるとすれば(e.g. Sibson, 1996)<sup>20)</sup>、この交線に直交する断面図の作成は重要である。したがって、縦断地質断面図とともに、図-9が、トンネル・ルートの断層構造図として、重要な情報を提供するものと考えられる。図-9が描かれているため、トンネル縦断地質断面図(4)は、断層出現の高頻度帯の位置を示す図とした(図-7c)。

#### 5. おわりに

既往調査により作成された飛驒トンネルを縦断する比抵抗断面図は、下位に向かって見掛け比抵抗値が低下し、1000m深度のトンネル施工基面に広範囲にわたって低比抵抗帯が発達することを示すものであった。この低比抵抗帯に向かってトンネル施工基面に達する971mのボーリングが掘削された。この調査目的は、このボーリング上の特定の位置の情報が、トンネル施工基面の特定の位置に連続すると判断出来るルールを確定することであった。それは、本来高比抵抗値を示すはずの変成岩花崗岩に低比抵抗値をもたらす形状的構造要素を明らかにして、そのような形状的構造要素がトンネル施工基面の上でどのように分布するかのルールを解明することである。このようなルールを獲得するためには、このような形状的構造要素に関するトンネル縦断地質断面図を作成することが必要であると考えられる。

飛驒トンネルを構成する主要地質体は、飛驒変成岩、船津花崗岩、手取層群である。力学強度や比抵抗値は岩相によって異なる可能性がある。これらの岩相に関するトンネル縦断地質断面図(1)が作成された。岩相の分布と岩相の作る地質構造—岩石構造の解析によって、本地域の変成岩花崗岩は、手取層群の上に衝上するナップ群を形成すること、ナップ群の衝上運動において断層周辺の岩石は、強く破碎を受け幅広いカタクレサイト帯を形成していることが明らかとなった。カタクレサイト化によるクラック密度の増加や低温鉱物への変化は、力学強度や低比抵抗値への変化をもたらす可能性がある。このため、カタクレサイト化の程度に関するトンネル

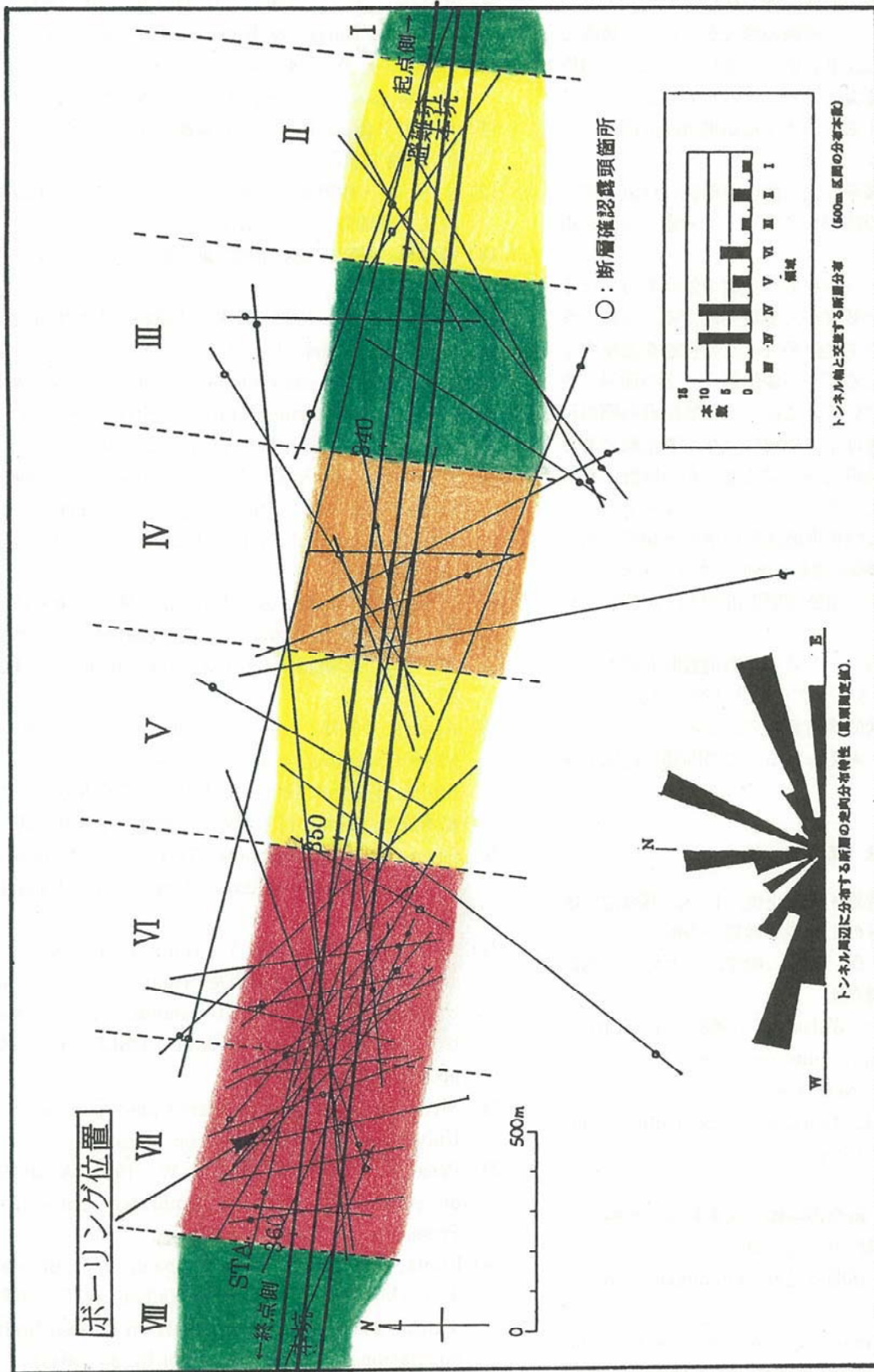


図-9 トンネル・ルートにおける未固結ガウジをもつ断層の分布と配列方位。分布頻度の位置的变化が右下の図に示されている。  
 Fig.9 Distribution and orientation direction of faults with clay gouge. Spatial variation of distribution frequency of faults is also shown in inlet diagram.

縦断地質断面図(2)が作成された。

本地域には含金石英脈鉱床が発達する。この鉱化作用は、石英脈とともに、緑簾石・緑泥石・カーボネイトなどからなる多量の細脈の形成を伴う様にして起こっていることが明らかとなった。細脈の形成をもたらす破碎と変質は、力学強度や低比抵抗値への変化をもたらす可能性をもつ形状的構造要素である。このため、このような形状的構造要素に関するトンネル縦断地質断面図(3)が作成された。

本地域は共役活断層系の交差部の圧縮側に位置している。このことは地山の応力を考える上で考慮すべき重要な点であろう。

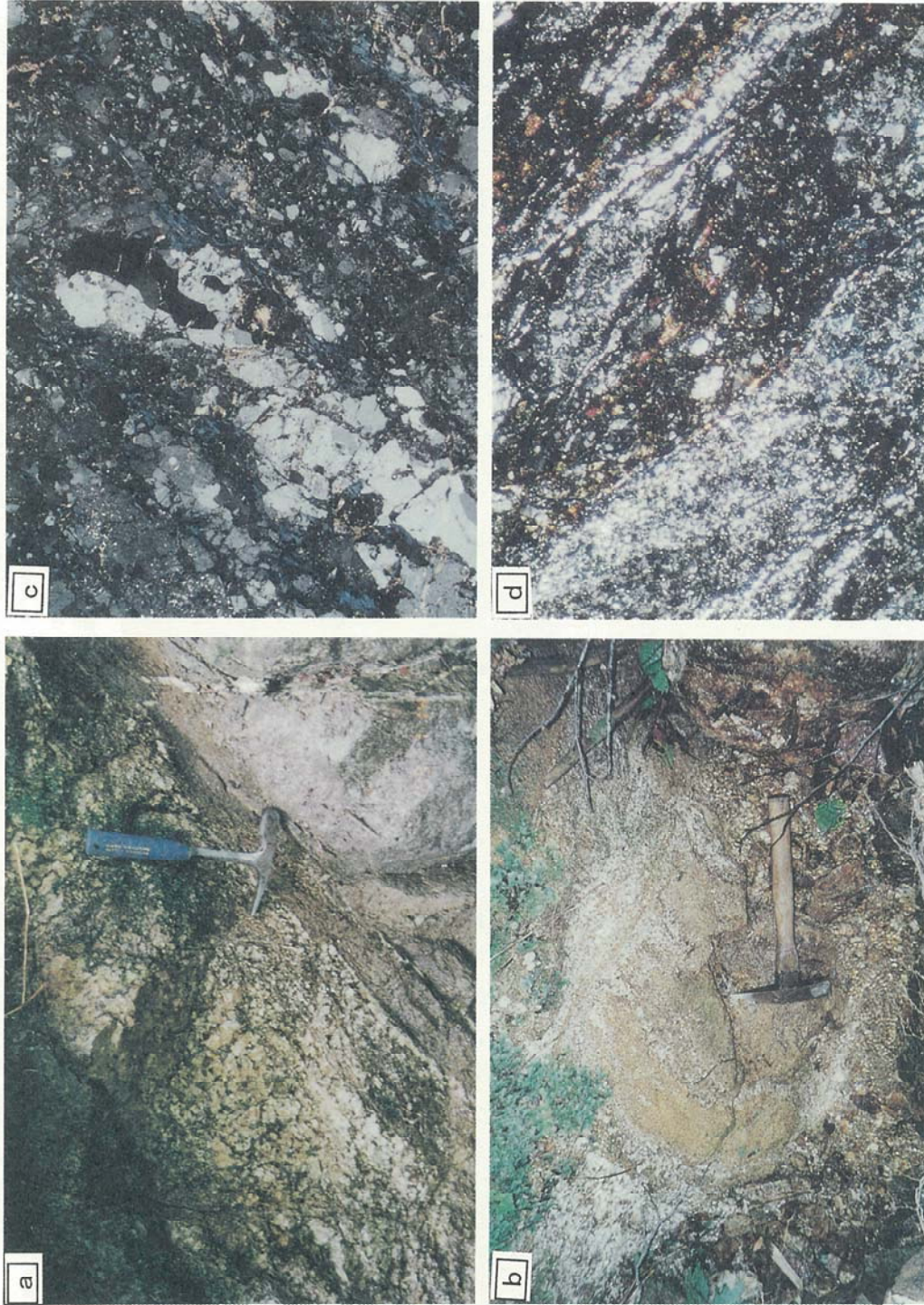
本地域には未固結ガウジをもつ多数の鉛直あるいはそれに近い高角度配置の断層が、多数発達する。このような断層は、粘土を含む主変位帯(=水の通過を遮断する帯)と破碎岩片からなる非~弱変位帯(=水の通過しやすい帯)で構成されている。このような断層群の網の目状の構造は、地山の水理系の理解につながる情報であるとともに地山の比抵抗構造や力学強度分布の理解にもつながる情報である。このため、トンネル・ルートにおける未固結ガウジをもつ高角度断層群の構造と頻度分布に関する平面図(=断層群の帯軸に垂直なクロス・セクション; 図-9)とトンネル縦断地質断面図(4)が作成された。

地山の比抵抗構造は、トンネル縦断地質断面図(1)、(2)、(3)、(4)、クロス・セクション(図-9)に示されたような多様な形状的構造要素のからみあいによってもたらされた可能性が考えられる。この問題は別紙で検討する。

#### 参 考 文 献

- 1) 野沢 保・河田清雄・河合正虎, 1975, 飛騨古川地域の地質。5万分の1図幅。地質調査所。
- 2) 磯見 博・野沢 保, 1957, 船津, 5万分の1地質図説明書。地質調査所。
- 3) Turner, F. J. and Weiss, L. E., 1963, Structural analysis of metamorphic tectonites. McGRAW-HILL, New York.
- 4) Sander, B., 1948, Einführung in die Gefugekunde der geologischen Körper Teil I). Springer, Berlin.
- 5) 原 郁夫, 1996, 研究の回顧。嶋本利彦ほか編「テクトニクスと変成作用」, pp.13-42.
- 6) 原 郁夫, 1998, 褶曲の見方。Fukadaken Library II.
- 7) Komatsu, M., Ujihara, M. and Chihara, K., 1985, Pre-Tertiary basement structure in the Inner zone of Honshu and the North Fossa Magna region. Contr. Dept. Geol. Miner. Niigata Univ., 5, pp.133-148.
- 8) 原 郁夫・早坂康隆・宮本隆実, 1985, 三郡-中国帯のバイルナップ構造とテクトニクス。日本地質学会第92年学術大会講演要旨。Pp.20-21.
- 9) Badgley, P. C., 1965, Structural and tectonic principles. Harper & Row, New York. p.521.
- 10) Spencer, E. W., 1969, Introduction to the structure of the earth. McGRAW-HILL, New York.
- 11) 地盤工学会編, 1981, 土質基礎工学ライブラリー。21. 地盤工学会
- 12) 山下 昇・紺野義夫・糸井川淳二, 1988, 日本の地質「中部地方II」。共立出版。
- 13) 岐阜県, 1970, 岐阜県地質産図(15万分の1)および同概説。
- 14) 活断層研究会, 1980, 日本の活断層。東大出版会。
- 15) Nicol, A., Walsh, J. J., Watterson, J. and Childs, C., 1995, Three-dimensional geometry and growth of conjugate normal faults. J. Struc. Geol., Vol. 17, J. Struc. Geol., Vol. 17, pp.235-248.
- 16) Watterson, J., Nicol, A. and Walsh, I. J., 1998, Strains at the intersections of synchronous conjugate normal faults. J. Struc. Geol., Vol.20, pp. 363-370.
- 17) 三本健四郎・山根 誠・吉田 浩・岡野 肇・妹尾洋一・原 郁夫, 2000, つくば技術開発センターボーリングコアの地質学(I)。応用地質年報, 20, 43-86.
- 18) Anders, M. H. and Wiltschko, D. V., 1994, Microfracturing, plaeostress and the growth of faults. J. Struc. Geol., Vol. 16, pp.795-815.
- 19) 松本達郎, 1948, 日本地史学の課題。平凡社全書。
- 20) Suwa, K., 1990, Hida-Oki Terrane. In Ichikawa et al. eds, 「Pre-Cretaceous Terranes of Japan」, pp.1324.
- 21) Katoh, Y., Hayasaka, Y., Hara, I., Tanaka, S. and Kagami, H., 1989, Deformation style of the Unazuki schists and its implication in the tectonics of the Hida Terrane. DELP Pub., 28, pp.19-23.
- 22) Miyashiro, A., 1994, Metamorphic petrology. University College of London press.
- 23) Price, N. J. and Cosgrove, J. W., 1996, Analysis of geological structures. Cambridge University Press.
- 24) Knott, D. S., Beach, A., Brockbank, P. J., Brown, J. A., McCallum, J. E. and Welbon, A. I., 1996, Spatial and mechanical controls on normal fault populations. J. Stru. Geol., Vol.18, pp.359-372.
- 25) Sibson, R. H., 1996, Structural permeability of fluid-driven fault-fracture meshes. J. Stru. Geol., Vol.18, pp.1031-1042.

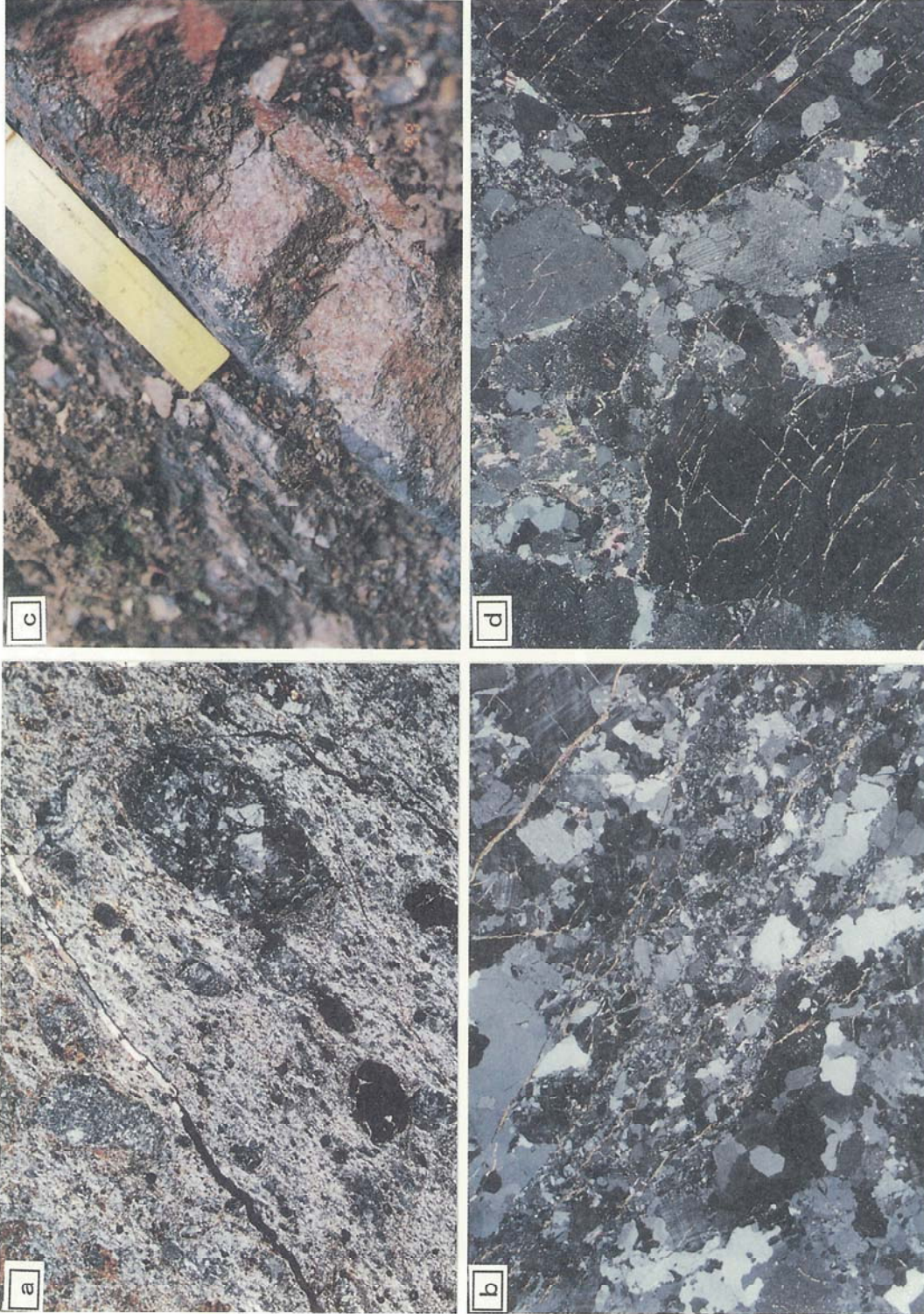




図版-1 a : 飛騨変成岩と船津花崗岩の層平行構造と層平行片麻構造。b : 飛騨変成岩と船津花崗岩の層平行構造の褶曲と軸面に沿った花崗岩脈。  
cとd : ナップI / ナップII境界の花崗岩ウルトラカタクレーサイトの顕微鏡写真。

Plate-1 a : layer-parallel structure of Hida metamorphic rocks and Funatsu granite and layer-parallel gneissosity, b : fold of layer-parallel structure of Hida metamorphic rocks and Funatsu granite, accompanying granitic layers along its axial surfaces, c and d : micrographs of granite ultracataclases along the nappe I / nappe II boundary.

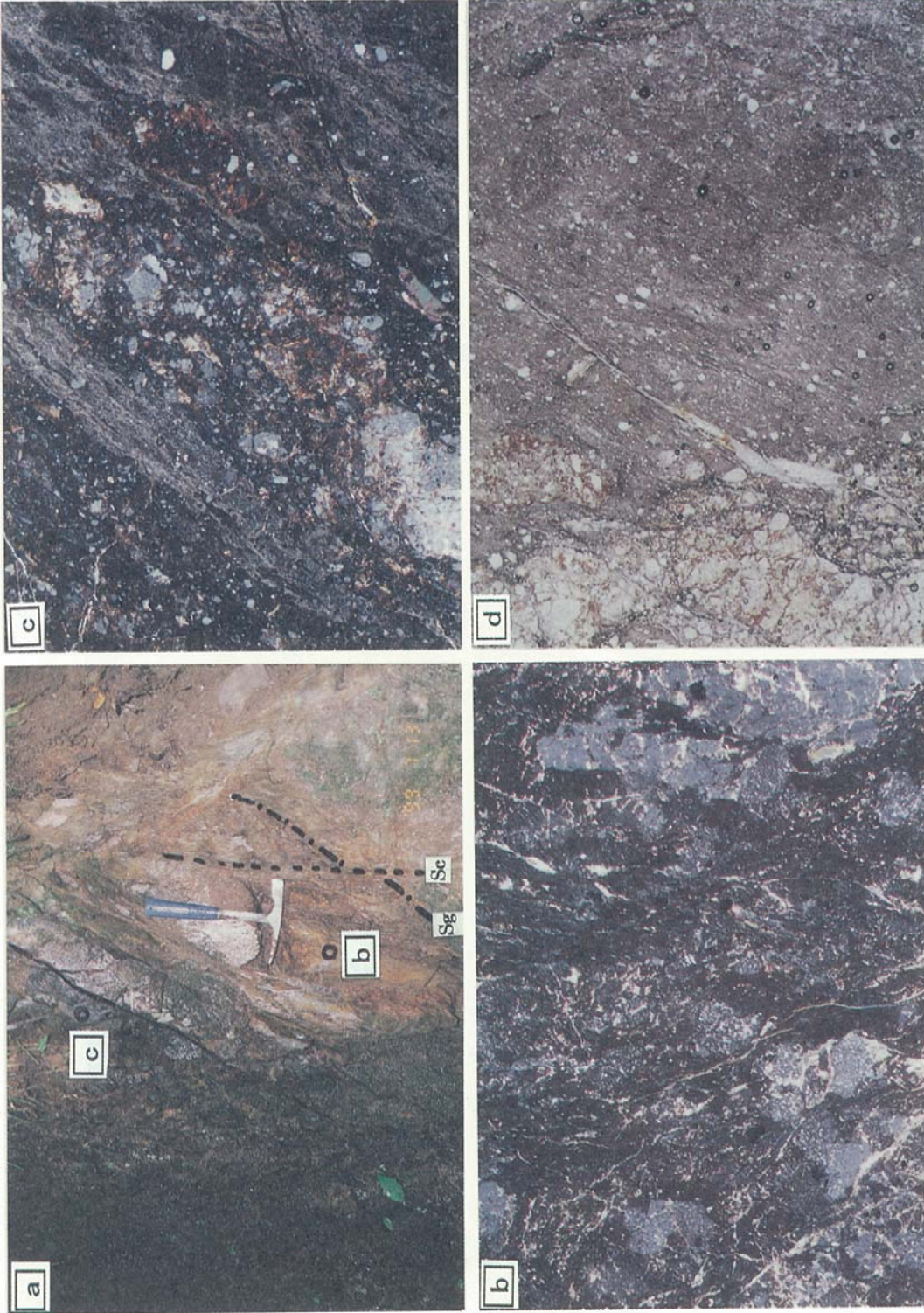




図版-2 a : ナップⅡ/ナップⅢ境界の花崗岩ウルトラカタクラサイサイトの顕微鏡写真, b : ナップⅡ/ナップⅢ境界近くの花崗岩カタクラサイサイトの顕微鏡写真, c : 手取層群泥岩中の花崗岩礫, d : c) の花崗岩礫がカタクラサイサイトであることを示すの顕微鏡写真。

Plate-2 a : micrograph of granite ultracataclasite along the nappe Ⅱ/nappe Ⅲ boundary, b : micrograph of granite cataclasite near the nappe Ⅱ/nappe Ⅲ boundary, c : granite pebble in mudstone of the Tetori Group, d : micrograph of granite pebble of the micrograph (c), which shows cataclastic texture.

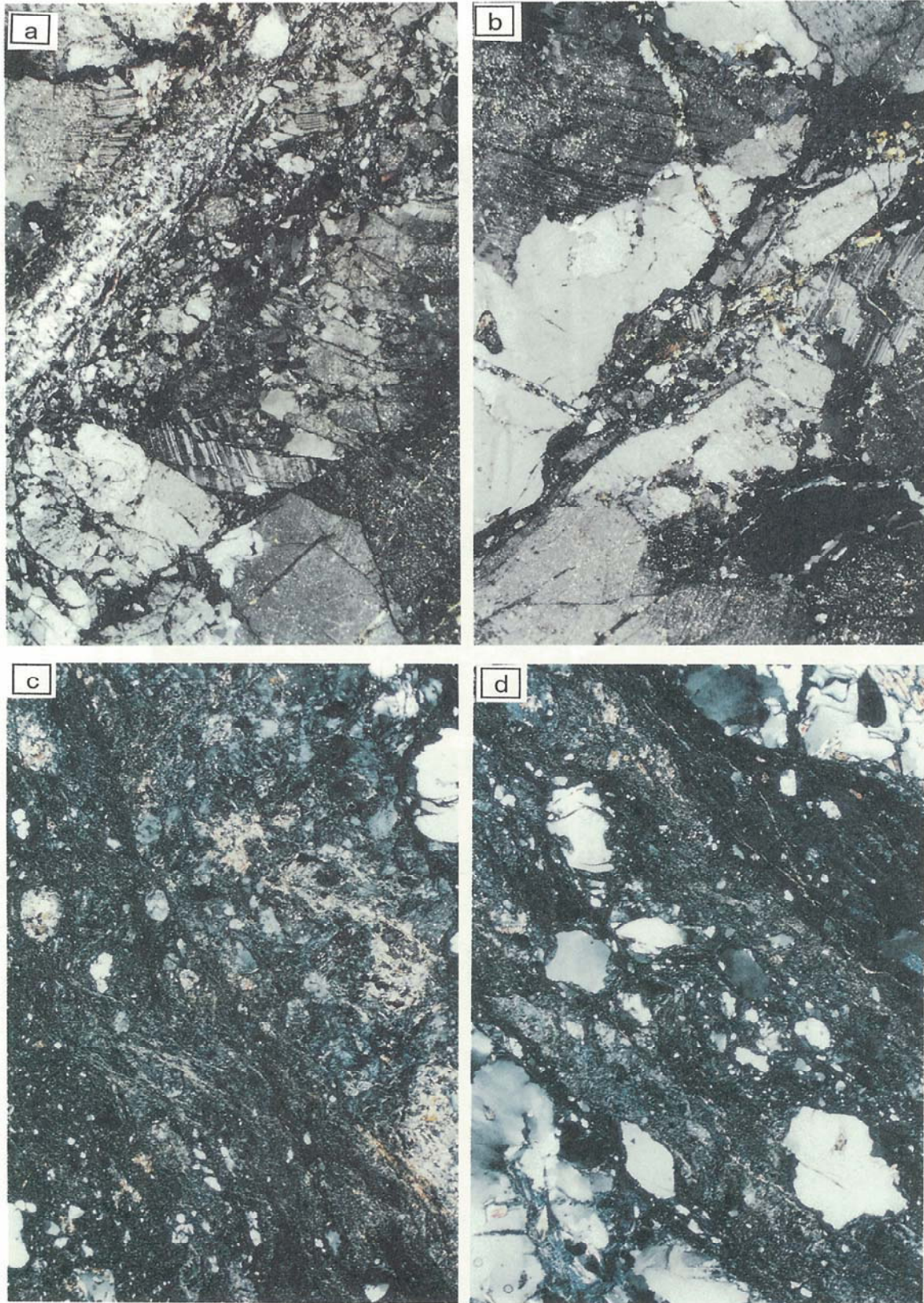




図版-3 a : 横谷で見られる手取層群 (泥岩) と角閃石片麻岩の関係。角閃石片麻岩の片麻構造 (Sg) は褶曲を示し、軸面に沿ってカタクレターサイト化した片状構造Scを示す。b : a) の点bの角閃石片麻岩の顕微鏡写真, カタクレターサイト化を示す。cとd : a) の点cの手取層群の顕微鏡写真 (c : クロスニコル下, d : オープンニコル下), スレートへき開を示す。

Plate-3 a : relationship between the Tetori Group (mudstone) and hornblende-gneiss observed in the River Yokotani, whose gneissosity forms a fold and which is cataclastic forming its axial plane schistosity (Sc). b : micrograph of hornblende-gneiss of the point b in the photograph (a), which shows cataclastic texture, c and d : micrographs of the Tetori Group of the point c in the photograph (a), which shows slaty cleavage (c : under crossed nicols and d : lower nicol only).

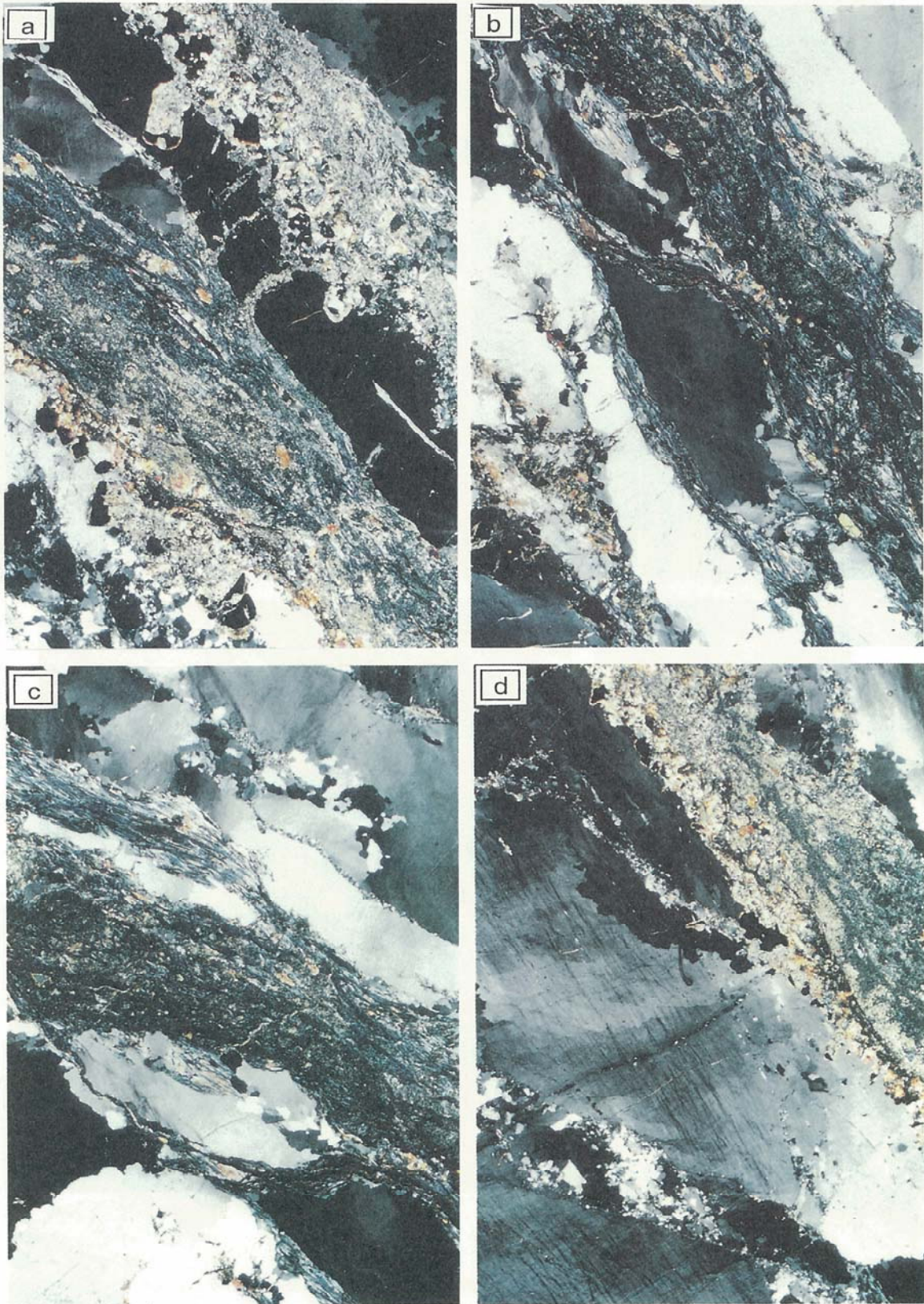




図版-4 Bヨ-1孔ボーリング・コアにおけるナップⅡ/ナップⅢ境界近傍のカタクレーサイトの顕微鏡写真。a: 808.90m深度からの資料(花崗岩), b: 808.85m深度からの資料(花崗岩), c: 781.15m深度からの資料(泥質片麻岩), d: 781.20m深度からの資料(泥質片麻岩)。

Plate-4 Micrographs of cataclasites around the nappe II/nappe III boundary from the Bヨ-1 boring cores. a: data from 808.90m depth (granite), b: data from 808.85m depth (granite), c: data from 781.15m depth (pelitic schist), d: data from 781.20m depth (pelitic schist).

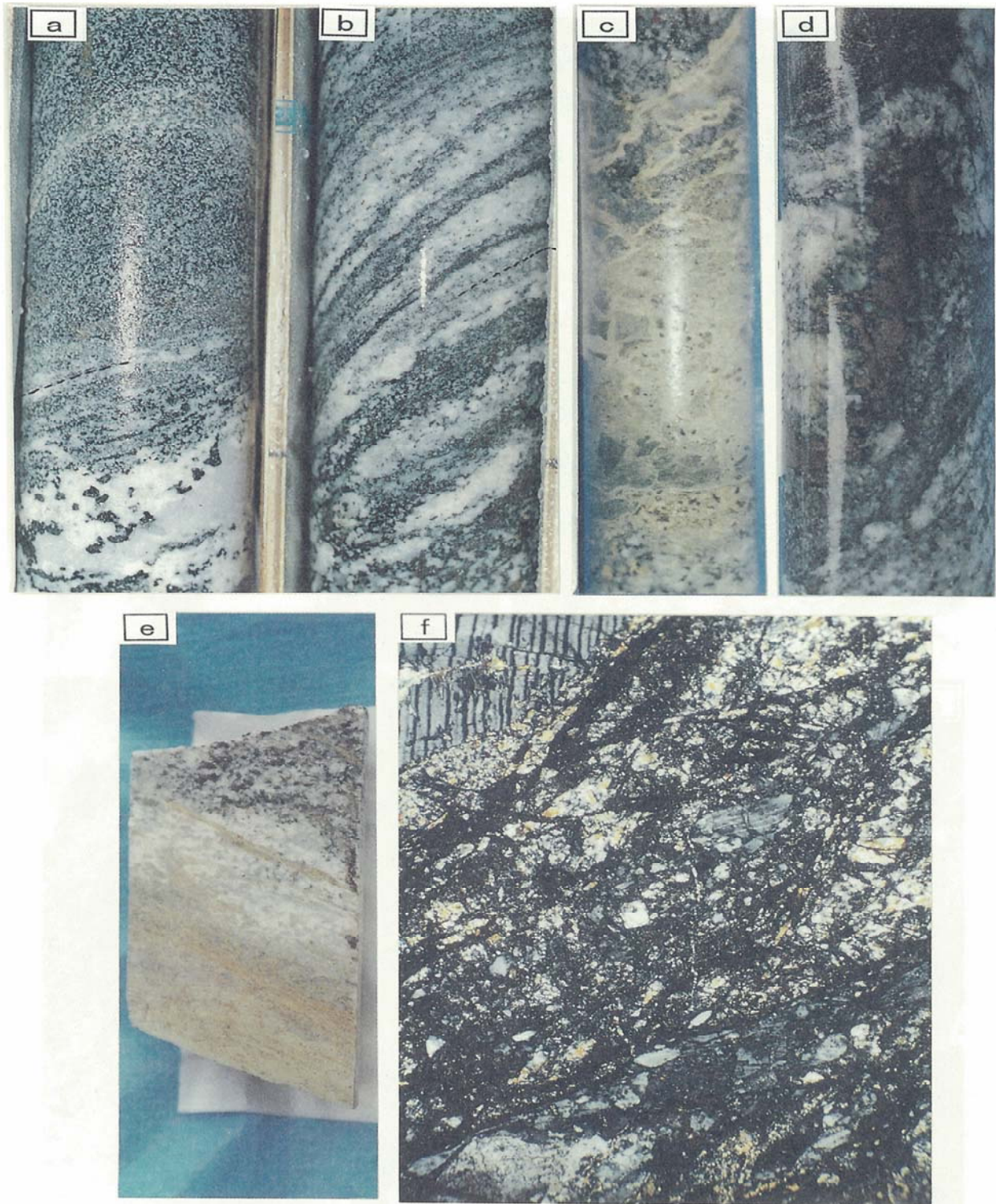




図版-5 Bヨ-1孔ボーリングの深度779.75mからの泥質片麻岩カタクレサイトの石英の多様な変形組織を示す顕微鏡写真。a : 石英のブーダン, bとc : 石英の圧力溶解, d : 石英中の変形帯と動的再結晶粒。

Plate-5 Micrographs showing various deformation textures of quartz in pelitic gneiss cataclasites from 779.75m depth of the Bヨ-1 boring. a : microboudin of quartz, b and c : pressure solution of quartz, d : deformation bands and dynamically recrystallized grains in quartz.

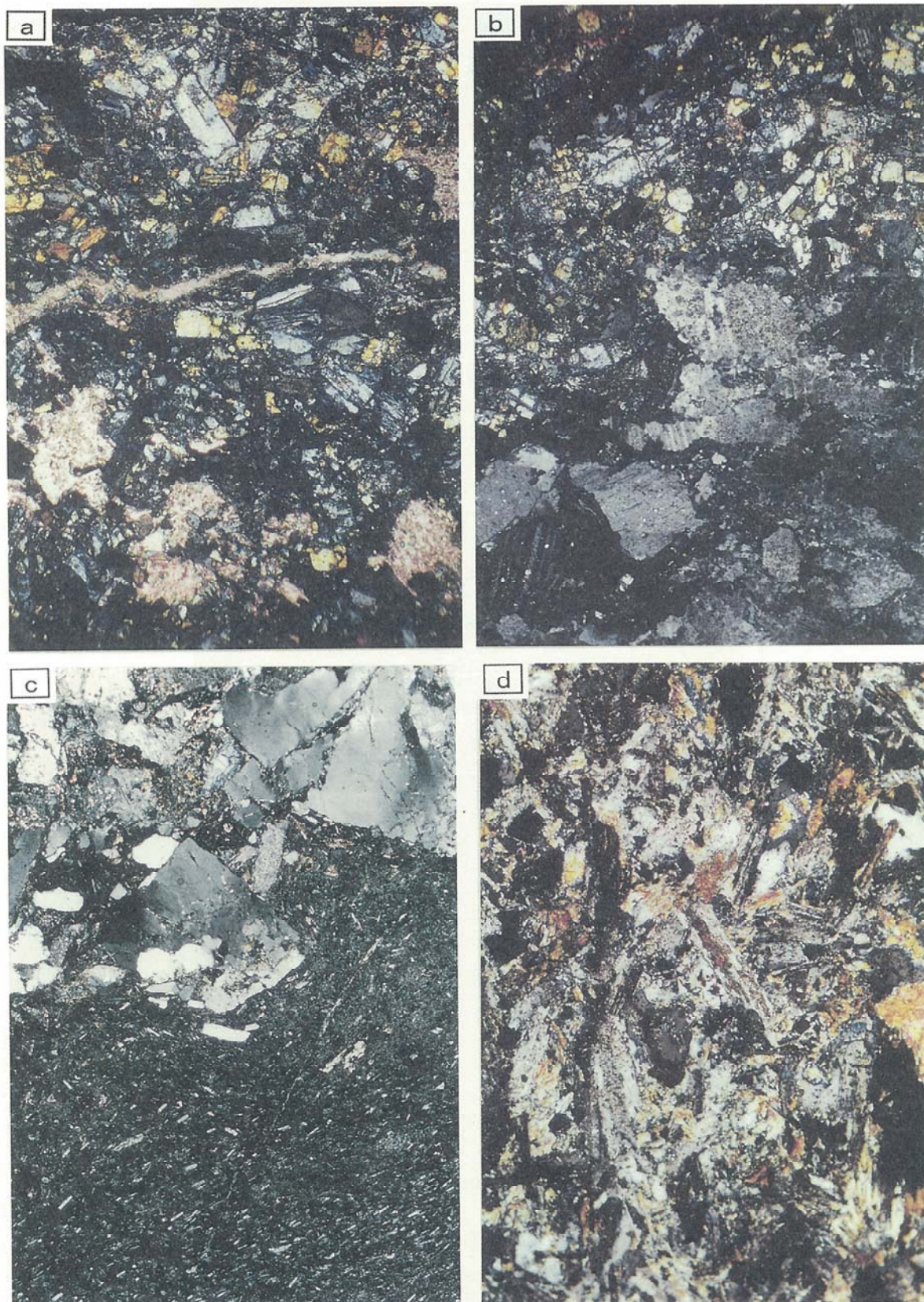




図版-6 Bヨ-1孔ボーリングからの資料。a (230.20m深度コア) とb (103.10m深度コア) : カタクレ-サイト化と変質を示さない角閃石片麻岩, c : 強い破碎変質を示す花崗岩 (969.50m深度コア), d : 磁硫鉄鉱脈を含む角閃石片麻岩 (769.55m深度コア), e : 変質脈をもつ角閃石片麻岩, 変質脈はカタクレ-サイト化を示す (221.30m深度コア), f : e) の変質脈の顕微鏡写真, 強いカタクレ-サイト化を示す。

Plate-6 Data from the Bヨ-1 boring cores. a (230.20m depth) and b (103.10m depth) : hornblende-gneisses not showing cataclasis and metasomatism. c : strongly fractured and metasomatized granite (969.50m depth), d : hornblende-gneiss with pyrochlore vein (769.55m depth), e : hornblende-gneiss with metasomatic vein which is cataclastic (221.30m depth), f : micrograph of metasomatic vein of the photograph (e) which shows cataclastic texture.





図版-7 Bヨ-1孔ボーリングからの資料。aとb:角閃石片麻岩中の変質脈の顕微鏡写真,カタクレサイト化を示す(400.25m深度コア),c:花崗岩カタクレサイトに貫入したひん岩脈(887.12m深度コア),d:c)のひん岩の顕微鏡写真,強い変質を示す。

Plate-7 Data from the Bヨ-1 boring cores. a and b: micrographs of metasomatic veins in hornblende-gneiss which show cataclastic textures (400.25m depth), c: micrograph showing granite cataclasite and its intruding porphyrite dyke (887.12m depth), d: micrograph of porphyrite in the micrograph (d) which is highly metasomatized.





図版-8 Bヨ-1孔ボーリング・コアに見られる断層の写真(549m~568m深度)。断層の中心は未固結ガウジを伴う主変位帯、断層の周辺破砕帯は岩片からなり殆ど変位を賄わない帯。

Plate-8 Fault found in cores of 549m~568m depths in the Bヨ-1 boring. central part of fault=displacement zone with clay gouge, marginal parts of fault=in situ brecciation zone.