

# チャート礫の表面に残る衝突痕を用いた古環境復元の試み

小 西 多 美\*

## I はじめに

福井市の西部に位置する丹生山地の中央部を北上する天王川（図1）沿いには、広く河岸段丘（以下、織田段丘群と称す）が分布している。この河岸段丘を形成した河川系（以下、古天王川と称す）の流路の変化については小村（1982）が研究している。彼は現河川との関係で議論しているが、天王川そのものは古天王川の中流部分にあたると思われる。というのは、織田段丘群には多量のチャート礫が含まれるのに対して、現天王川流域にはチャートがほとんど分布しないため、天王川と古天王川とは、完全には一致せず、さらに上流部があったにちがいない。古天王川の水源や流路、すなわち現天王川の更に上流部分がどうなっていたかを解明するには織田段丘群中の堆積物の堆積構造が示す古流向や堆積物中の礫の起源を明らかにすることが必要である。さらに天王川に沿う低地には、地形的に谷中分水嶺を形成している地点があり、最近の河川争奪や著しい地殻変動が推測される。この地域は、古天王川の時代から現在に至るまで、かなり激しい構造運動や地形変動を受けてきている。そのため古天王川の上流域の流路は行方不明になっている可能性が大きい。行方不明の上流部を特定するには、段丘堆積物中のチャート礫の供給源を解明する必要がある。ここでは、堆積物中のチャート礫に注目し、古天王川の水源を求めることを目的としている。

この地域の段丘は、主要構成物質としてチャート礫を含むことが普通である。これらのチャート礫は細礫から巨礫（最大長径約60cm）の垂角礫や円礫である。現在、この地域の段丘を開析している河川は、天王川を主として、越知川、織田川、吉野瀬川、糠川等である。この地域内での古天王川の流路は、これら天王川水系とはほぼ一致していたと考えられるが、吉野瀬川上流以外はチャート礫の供給源になるようなチャート層が分布しない。吉野瀬川上流のチャート層も、厚さ5cm程の単層の集まり（層状チャート）である。すなわち、吉野瀬川上流をチャート巨礫の供給源とみなすには疑問が残る。チャート巨礫の起源は別の所に存在する可能性が大きい。

段丘中のチャート礫の表面に、無数の爪痕のような模様ができているものがある（図版I-1）。この模様は三日月形や円形の傷痕であり、本研究によりそれらは衝突によりできた衝突痕であることを明らかにした。衝突痕を詳しく解析することで、チャート礫の起源や運搬距離について論拠が得られる可能性がある。そこで、野外調査に加えて、段丘中や現河川の礫の衝突痕や実験的に作った衝突痕を実体顕微鏡や電子顕微鏡を用いて観察した。今回の報告では、衝突痕の形態とそこから考えられる地質学的意味について、野外や室内での観察実験の結果と衝突痕について記載されてい

\* 〒910 福井市文京3-9-1 福井大学教育学部地学教室

る論文を参考にして、記述する。

## II 足羽川、日野川で見られる衝突痕

衝突痕が、現在の河川ではどのように発達しているかを調べるため、足羽川と日野川の河川礫を調べた(図1)。その結果、衝突痕はチャート礫表面に多い。これは、織田段丘堆積物の観察と一致する。というのは、織田段丘群の段丘堆積物を構成する主要礫として安山岩、流紋岩、花崗岩、チャートが存在するが、そのうち、図版I-1のような衝突痕は、チャートにのみ認められる。現河川の礫の観察で明らかになったチャート礫の特徴を箇条書きにすると、以下ようになる。

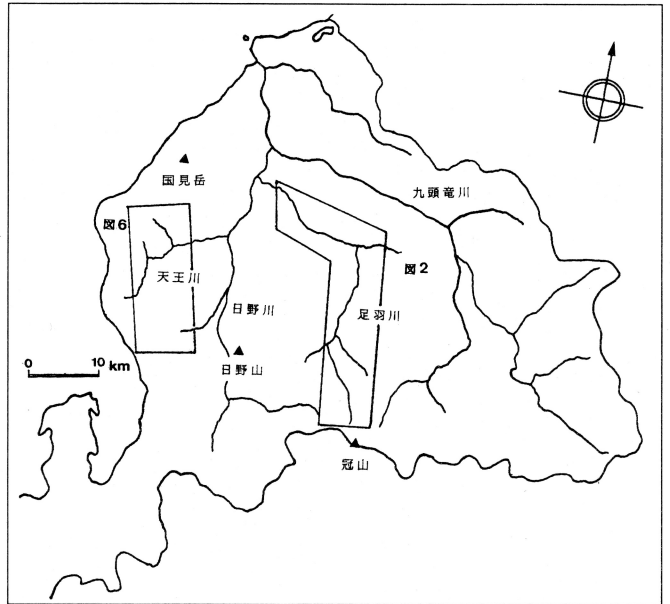


図1 織田段丘群と足羽川流域の調査地域図

- 礫の表面に見られる衝突痕は、直径約2～15mmの円形または三日月形、半月形である。
- 衝突痕の密度は、角礫より円礫に高い。現在の足羽川では、美山町から福井市へ入る地域、日野川では南条町から武生市へ入る地域というように山間部と平野部の境付近(すなわち中流域から下流域に移行する地域)で衝突痕の密度が高い(衝突痕が発達している)礫が多い。
- 円礫でも脈が多いものや礫の表面の凹凸が多く滑らかでないものには、衝突痕は発達していない。
- 赤色、緑色のチャート礫には衝突痕はほとんどみられない。
- 礫の大きさと衝突痕の平均直径の間には正の相関がある。

足羽川水系ではチャートの供給源が上流の岐阜県境の冠山付近に限られているので、運搬距離とチャート礫の変化を分析するのに適している。そこで足羽川の上流から下流に向けての15地点でチャート礫の大きさ、円磨度、衝突痕の発達具合を調査した(図2)。流域に分布している安山岩や砂岩から供給された礫は、上流から下流に向かって円磨度が急速に上昇するのに対して、チャート礫はなかなか円磨度が上昇しない。各地点での衝突痕が発達している礫(肉眼で明らかな衝突痕が多数発達している礫)の割合を足羽川河川断面図(図3)に示した。衝突痕が発達している礫の割合は、上流からの距離と単純に比例していない。地点6で、衝突痕が発達している礫が多い。ここは、足

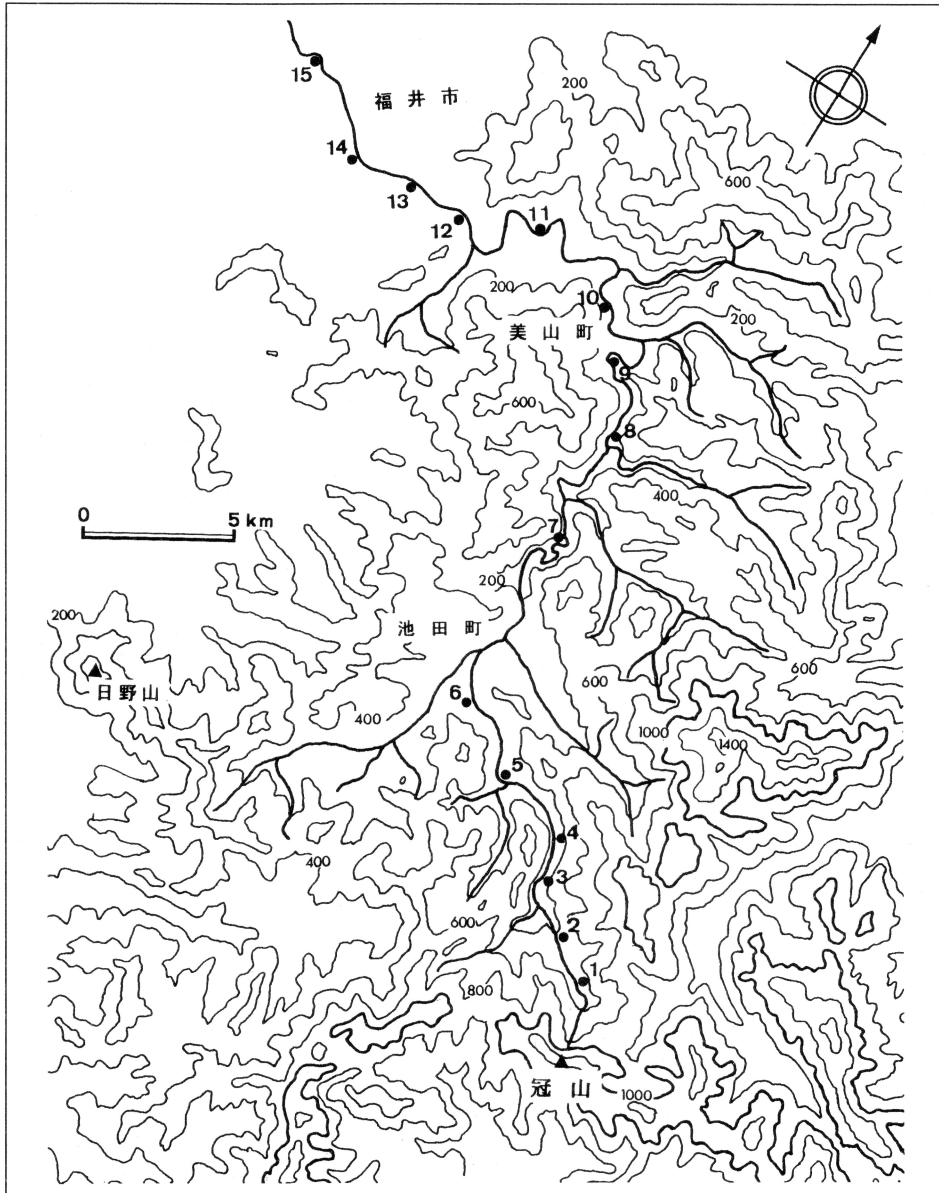


図2 足羽川流域のチャート礫採取地点

羽川が池田町の低地に入る所である。衝突痕の発達している礫の割合が高く保たれているのは、地点9～12である。ここは、上流から35～50kmの所で、地形としては平野部手前の山間から平野部の端にあたる地域である。それより下流では、衝突痕を持ったチャート礫の数は減少する。

日野川でも、同様に河川の礫を調査したところ、最上流から約30km下流の日野山西部で平野部の端にあたる地域に衝突痕が発達するチャート礫が多く分布する。

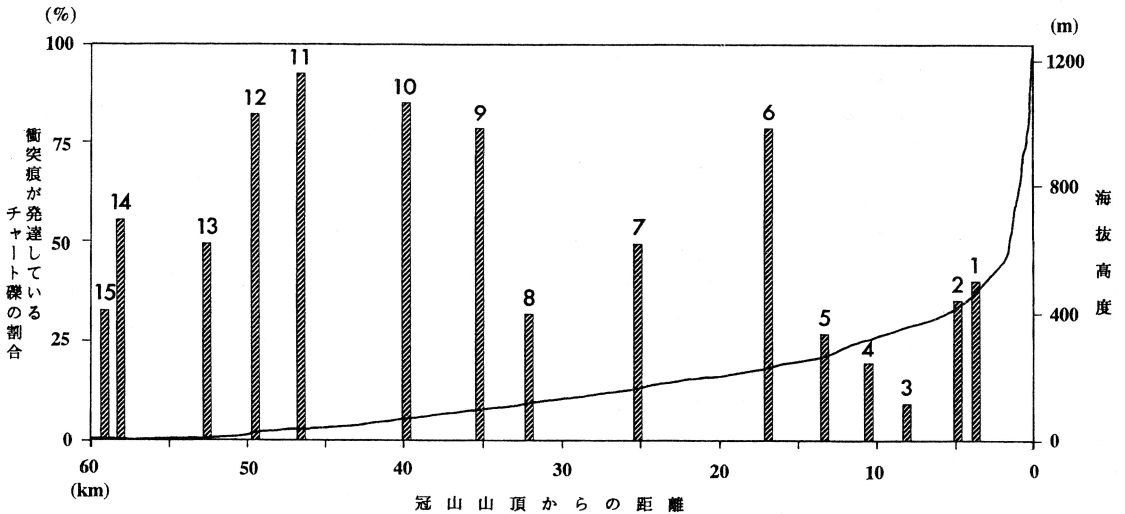


図3 足羽川河川断面図と採取各地点の衝突痕が発達しているチャート礫の割合  
 図中の数字は、図2のチャート礫採取地点と同じ。

### III 衝突痕とは

ここまで、“衝突痕”という用語で説明したものが本当に衝突によりできたものかどうかを、Oya (1981)の研究を参考にしながら、室内実験により検討する。

#### 1 礫の表面上に観察できる模様

地球表面における表層過程において岩石や礫の表面に刻み込まれる模様には衝突痕の他に、氷河の運搬作用により岩床に残される氷河削痕がある。衝突痕はパーカッションマーク (percussion marks)、氷河削痕はチャッターマーク (chatter marks)とも呼ばれている。

氷河削痕は、固定された岩床の上を氷河により運搬される礫が小刻みに動くことにより生ずる三日月形の傷跡である。礫の組成はあまり問題ではなく、例えば花崗岩のように均質でなく強度も大きくないものにも残される。また、氷河の移動方向に平行に作られることが多く、氷河起源の条線（縞模様の擦り傷）と共存することが多い。

衝突痕の場合は、衝突という一瞬の作用によるものであり、線状ではなく、点状や円形であるのが普通である。その痕跡は衝突の条件や衝突物質により異なり、きれいな円形や三日月形の衝突痕は物質が固くて均質なチャートや黒曜石の表面などに限られる。また礫の表面に残る衝突痕の大きさは、直径約5 cm以下である。

織田段丘群において、“衝突痕”は、①チャート礫以外の礫の表面には存在しないこと、②直径5 cmを越える円形、半円形のマークは存在しないこと、③条線を持たないことから、まさに衝突による痕跡と考えられる。

## 2 衝突痕の一種であるクレーター

物と物が衝突すると割れたり傷がついたりする。ハンマーで岩石を叩くと、強い力を加えたときは割れ、弱い力のときは傷がつくだけである。科学的に表現すると、衝突に起因する結果が傷（衝突痕）であることになる。よく知られているように、隕石の大地への衝突により生じるクレーターもその一つである。クレーターは円形をしており、外縁部はリッジになっていたり、中心に突起があったり、多重の同心円構造を持っていたりする。大きさは、大小の様々なサイズのものが存在している。例えば、大きいものでは地球に存在している直径数10kmの円形のクレーターがあり、小さいものでは月の表面で観察されるようなm～cmサイズのクレーターや、月の表土中のガラス質岩石の表面に微小隕石の衝突によりできた直径1mm以下のクレーターまで存在する。

## 3 室内実験でつくった衝突痕

円形や三日月状などの衝突痕は、どのようにして発生するのかを室内実験で確かめた。

最初にガラス玉を水平においたガラス板の上に自由落下させ、衝突痕を作る実験を行った。まず、直径11～22mmの大中小3つのガラス玉を厚さ1cmのガラス板の表面にいろいろな高さから自由落下させた。落下の高さを20cm以上にするとガラス板とガラス玉の両方に円形の衝突痕ができた。直径11mmのガラス玉の落下によってガラス板には直径約1.5mm、直径22mmのガラス玉では直径約1.9mmの円形の衝突痕が生じた。実体顕微鏡下では、これらの衝突痕は多重の同心円状でありガラス板の内部に放射状に伸びている（図版II-1）。ガラス玉の落下点を高くするほど、衝突痕の円形の直径はわずかずつであるが大きくなり傷跡も明瞭になる。高さ320cmから直径16mmのガラス玉を落下させた場合では、厚さ1cmのガラス板は割れた。その破断面は、衝突点から内部へ放射状に入り中央の破片はちょうど円錐の一部の形を保っていた。

次に、チャート礫にもこのような衝突痕ができるかどうか確かめるため、ガラス玉とガラス板の実験と同様な実験をチャートを用いて行った。まず、研磨したチャート板の上にガラス玉を落下させた。これによりガラス板の場合と同様な多重の同心円状の衝突痕が発生する（図版I-2）。チャート板にできた同心円のラインは、ガラス板にできたものに比べてより鮮明である。チャート板では、ガラス板のように表面または側面から、傷がどのように内部に伸びているか観察できないので、縦断面を切り取り実体顕微鏡で観察した（図版I-3）。表面の同心円状の傷はそれぞれ内部に放射状に伸びている。その傷の表面からの入射角は約40度である。また、最も内側の円の傷が最も深く伸びている。

チャート礫（直径2cm）をチャート板に衝突させる実験では、衝突痕ができるときとできないときがある。衝突痕ができるときも、その形態は異なる。次に、ガラス板にチャート礫を落下させて衝突痕の形態を観察した。チャート礫のどの部分がガラス板に衝突するかにより、均質一様なガラス板上にできる衝突痕の形態は変化し、衝突痕が発生しないことがある。結果的に言うと、円礫と角礫とでは、円礫の方が衝突痕のできる確率はよい。できた衝突痕の形態としては、円形の他に半円形や三日月形や二つの三日月が向かい合ったようなものなどが多く、衝突痕の大きさも直径1～

2mmの範囲で変動したり、同時に複数の衝突痕ができたりする（図版II-2, 3, 4）。チャート板やチャート礫を用いると衝突痕の形状が多様になる理由として、落下させたチャート礫が完全な球でないために衝突する箇所や力のかかり方が一定ではないことや、チャート自体が既に内部に歪みを持っていたり組成がガラスのように均質一様でないのが原因と思われる。つまり、自然のチャート礫の衝突では、衝突部分の曲率半径、衝突される側の面の凹凸、および組織や組成の均質性・一様性などの違いがあるため、半円形や三日月形などの衝突痕ができたり、また衝突痕ができない時もあるといえる。

さらに、チャート以外の礫ではどのような衝突痕ができるかを明らかにするため、色々な岩石種の円礫（といっても完全球ではない）をガラス板に落下させる実験を行った。その結果、衝突痕の形は直接衝突する礫の岩種に支配されているのではなく、礫のどの部分が衝突するか、礫の表面がどの程度滑らかであるかによって異なることがわかった。例えば表面が滑らかな溶結凝灰岩や泥岩では、図版II-5や図版III-1のようにほぼ円形や楕円形の衝突痕ができることもある。しかし、表面が比較的粗雑な安山岩や花崗岩を落下させた場合は図版III-2のようにガラス板に点状の傷ができるだけで円形や三日月形の衝突痕ができない。また、研磨した溶結凝灰岩に向かってガラス玉を落下させた時、溶結凝灰岩は細粒・均質な石基とそれに含まれる斑晶としての石英からなるが、石基の部分に衝突したときのみ、衝突痕ができる。

ところで、河川中で発生する衝突現象では、落下による衝突のように、衝突の向きが被衝突面と垂直とは限らない。そこで、被衝突面を傾斜させて落下実験を行った。傾斜させ固定したガラス板にガラス玉を落下させた場合、ガラス板には半円形や三日月形の衝突痕ができる。ガラス板が水平に近いときは斜面下位側の弧の一部が切れた形の衝突痕ができ、ガラス板と水平面との角度が大きくなると、図版III-3のように斜面下位側が大きく切れた三日月形の衝突痕ができる。肉眼では三日月形の傷に見えるが、実体顕微鏡で観察すると割れ目の深さは異なっているもの円（楕円）形の衝突痕が残っている。つまり、割れ目の深い部分が三日月形として見える。水平面でないものと衝突することで、斜面上位側の割れ目が深く下位側は浅くなり、斜面的下側が開いた三日月形（半円形）の衝突痕ができる。またこれらの衝突痕も、内部に向かって放射状に伸びている。

以上の実験により、衝突する部分の曲率や凹凸などの形状や衝突の相対角度に応じて、円形や三日月形などの多様な形態の衝突痕ができることが判明した。織田段丘群の堆積物中に見られるチャート礫表面の衝突痕は人為的に作られた衝突痕と同じメカニズムで作られたものと考えられる。また、衝突痕を持つ礫がほとんどチャート礫に限られているが、衝突痕を持たないチャート礫も存在する。衝突痕ができるためには、衝突する礫と衝突される礫の両方が固くて均質な素材であることや、1点で衝突できるような形が必要であると考えられる。つまり、河川でも円礫でなめらかな表面を持つチャート礫の割合が大きい地域で、衝突痕が発達することになる。これは上に記述した足羽川の礫を調査した結果（図3）のチャート礫に衝突痕が発達する地域と一致する。

#### 4 野外の衝突痕の形態

野外で多数の礫を観察したところ、明らかに衝突痕の密度は、礫のサイズが大きい程高い。また、礫の大きさにより最大衝突痕の直径は異なり、大きい礫により大きい衝突痕が残っている。長良川河床のチャート礫では直径0.1mm~50mmのサイズの衝突痕が存在する（1mm以下の微小な衝突痕は、マイクロスケールで測定）。織田段丘群の堆積物中のチャート礫について、礫の大きさと衝突痕の直径の関係を調べた。6×6×3.5cmの中礫では直径1mm以下の衝突痕が多く、その最大では2mmである。12×8×4cmの大礫では直径1~3mmのものが多く、最大では直径4mm、16×10×7cmの大礫では直径3mmぐらいのものが多く最大では直径10mmの衝突痕が残っている。

野外の衝突痕を実体顕微鏡で観察した。実験で作った衝突痕と違い、自然の衝突痕は、周囲が微小な溝になっている。自然の衝突痕の縦断面を切り実体顕微鏡で観察した。自然の衝突痕も実験で作った衝突痕と同様に、傷が内部に放射状に伸びている。その入射角は約40~60度であり、深さは約2~3mmである。図4は、自然の衝突痕と実験で作った衝突痕の典型例を示したものである。つまり、自然の衝突痕には微小な溝が存在する。その溝は断面がV字型をしておりその根底から、傷が内部に伸びている。また、自然の衝突痕の形は、円形や半円形など多様であり、それらがランダムに並んでいる。それらの衝突痕の境界がちょうどその溝であることが多い（図版IV-2）。

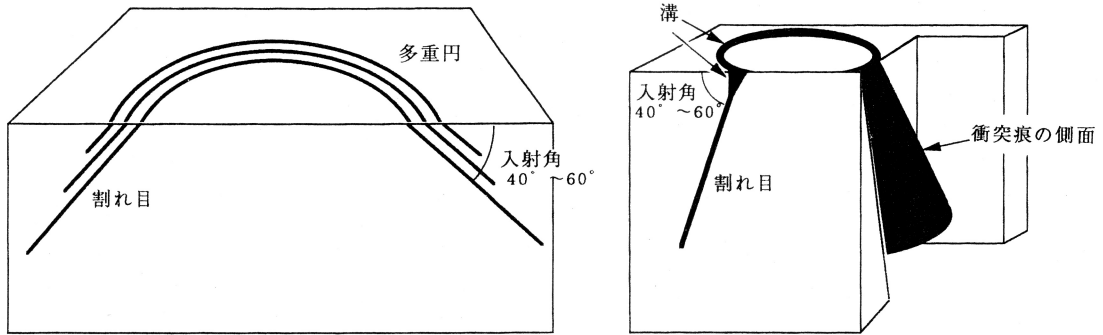


図4 典型的な衝突痕の概略図（右：実験でできる衝突痕，左：野外の礫にある衝突痕）

#### 5 衝突痕の方位

三日月あるいは半円形の衝突痕において、図5のように衝突痕の中央から周囲の開いた部分への向きを衝突痕の方位として定義する。これは衝突の方向を示す。完全な円状衝突痕の場合、その面に対して垂直方向から衝突した（すなわち正面衝突した）ことになる。衝突の方向が定まっていれば衝突物質と衝突面の角度が異なっても、衝突痕の方位に卓越したものが存在する。河川礫においても段丘堆積物中の礫においても、衝突痕の方位はランダムである。しかし、長良川河床のチャートの岩盤

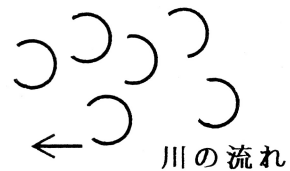


図5 川の流向と岩床表面の衝突痕の概略図  
〔Oya (1981)をもとに作成〕

では、衝突痕の方位に卓越するものがあり、これは現在の川の流れに平行である。また岩盤の衝突痕は、現在の水位から約7mの高さにも分布している。平常の水位より高いところに衝突痕が残っているということは、その衝突痕は洪水時の強い水流で作られたことを意味している (Oya, 1981)。足羽川や日野川では、河川にチャートの岩床がないため、衝突痕の方位に関する資料は得られない。

## 6 電子顕微鏡による観察

Oya (1981) は衝突痕が発生するメカニズムやその形態を詳しく論じた。ここでは、さらに一歩進めて、衝突痕の微細な構造について解析する。衝突痕の微細組織を電子顕微鏡を用いて観察するため、衝突痕を含むチャート礫表面や衝突痕の断面を研磨して、約1cm四方、厚さ約0.5cmをとり試料とした。図版Ⅳ-3は段丘堆積物中の礫の衝突痕の断面である。矢印Aが示す衝突痕は、中央部が窪みになっている。また数個の衝突痕が隣り合っているが、衝突痕同士の交接部がV字型の溝になっておりそこからどちらか一方の割れ目だけが内部に伸びている。このことと、後から重ねてつくった衝突痕の割れ目は、先にできている衝突痕の割れ目を横切らないという事実 (Oya, 1981) から、割れ目が伸びている衝突痕の方が先にできた衝突痕であることが推測できる。

また、割れ目の深さは衝突痕により異なる。図版Ⅴ-1は、図版Ⅳ-3の矢印Bの衝突痕を倍率を高くして観察したものである。割れ目は鋭く礫内を割って伸びている。割れ目の先端を追うと、表面からの深さが約2.5mm付近で一度曲がっている。この付近から割れ目の幅がわずかに増減しながら断続的に表面から3.5mm以上まで伸び、最終的に先端は、図版Ⅴ-2のように枝分かれになっている。割れ目は直線にすると、全長約5mmになる。

図版Ⅵ-1は、衝突痕（完全な円形のものではない）の表面である。写真の右下部分は衝突痕の周囲が剥がれた部分で、衝突痕の側面（割れ目の内側）である。衝突痕のはぼ中央に直径約30 $\mu$ mの穴が一つ、中央以外の部分にはそれより小さい穴が無数に散在する（図版Ⅵ-3）。図版Ⅵ-3の写真の円内を高倍率で観察したのが図版Ⅵ-4である。同じ様な形態が、人工的に衝突痕をつけたガラスの表面にも存在する（図版Ⅵ-2）ことから、衝突により生じたものと思われる。

図版Ⅵ-1,3は、衝突痕の縁に沿って内側に黒く細い線の存在を示している。この部分を高倍率にすると、この黒い線は割れ目ではなく、表面に密集している微小粒子の集合密度の違いにより黒く見えている（図版Ⅵ-5,6）。さらに衝突痕の周囲の溝（図版Ⅵ-7）を高倍率にして、衝突痕の側面を観察したところ、図版Ⅵ-8のように石英粒子が再結晶している。

以上のように電子顕微鏡を用いた衝突痕の微細な構造の観察により、衝突により、礫に割れ目はいはるだけでなくそれに伴い微細な変化が発生していることが判明した。

## 7 織田段丘群のチャート礫と衝突環境の解析

天王川沿いの織田段丘群の露出する15地点においてチャート礫を採取し観察した（図6）。各サンプリング地点は、高位段丘、中位段丘、低位段丘〔段丘区分は福井県(1982)をもとに修正したも



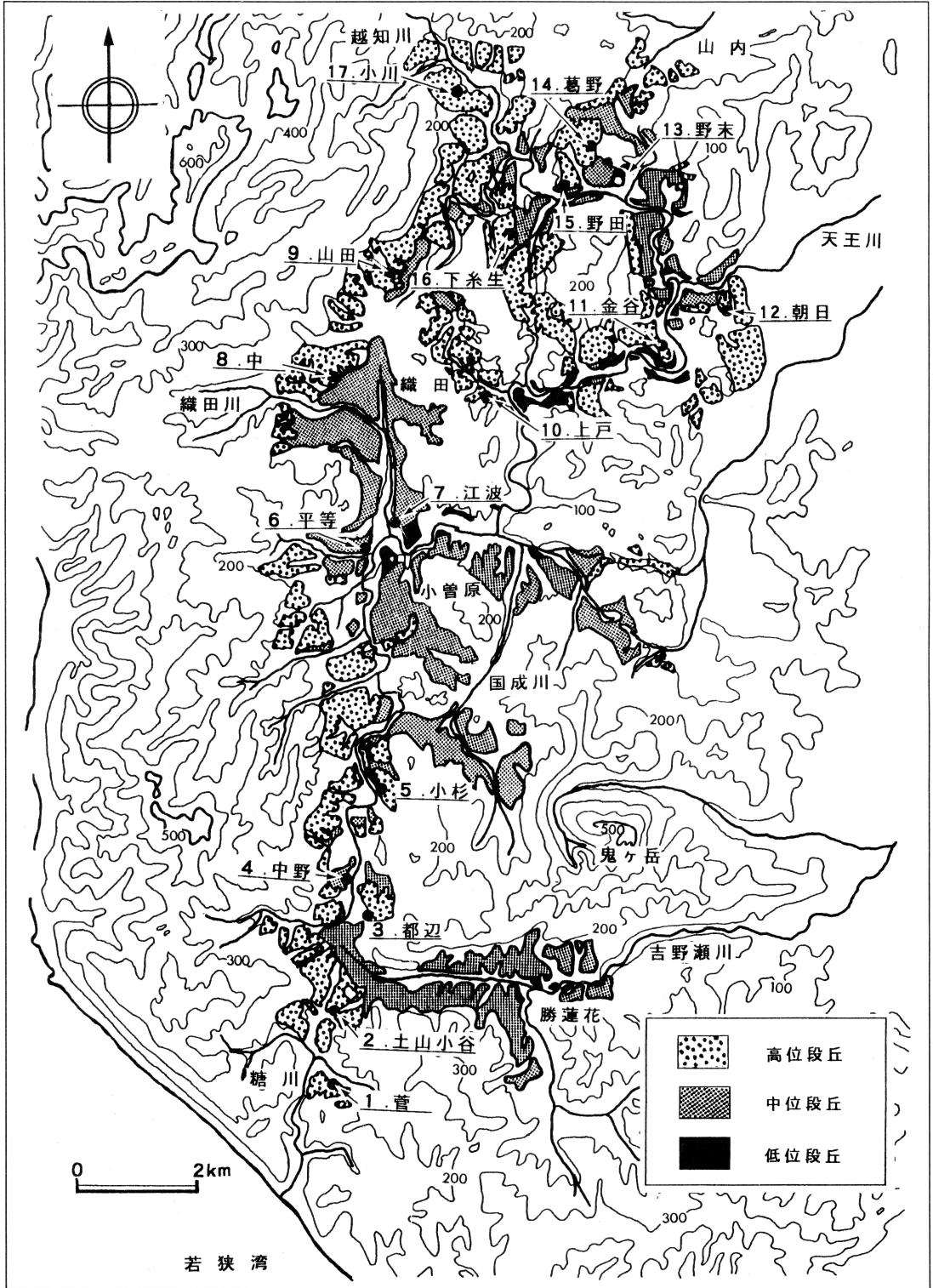


図6 織田段丘群の段丘区分とチャート礫採取地点〔段丘区分は岡島(1995 未公表)による〕

の]にまたがっている。高位段丘の13箇所の採取地点は、調査地域の南北全体に広がり、各地点とも垂円礫程度の直径10cm以上の巨礫が存在する。またそれらの礫では衝突痕が発達している頻度が高い。衝突痕の平均直径は、南部より北部の方が全体として大きい。中位段丘は、南部から中間地点にかけての3地点で採取した。中位段丘の採取地点は3地点のみであり、それぞれの堆積物を構成しているチャート礫の平均礫径が異なることもあり、中位段丘全体の特徴は上げることができない。図6地点4(中野)のチャート礫には、巨礫は存在せず垂角礫が多い。図6地点6(平等)のチャート礫は、巨礫が存在し円磨度は垂円礫以上であるが、そのような巨礫の衝突痕の発達頻度が他の地点に比べて小さい。図6地点7(江波)には、図版I-1で示したような衝突痕が発達した直径15cm以上の巨礫が多く存在する。しかし巨礫以外の礫は、垂角礫が多く衝突痕はあまり発達していない。低位段丘も北部の1地点のみの採取であり、低位段丘の特徴を述べるに至らない。そこでは、巨礫が直径約10cmの大きさに淘汰されており、円磨度は周囲の高位段丘の堆積物中の礫に比べて悪く垂角礫が多い。衝突痕もあまり発達しない。

このような観察から、全体的な特徴を上げると、衝突痕を持ったチャート礫が非常に多い。全地点でチャート礫の円磨度は垂角礫から円礫である。全体としては、南部より北部の方が円磨度は良い。図6地点1~7では、巨礫(直径8cm以上)の大きさが直径15cm以上の円礫と10cm未満のものに大別されるが、北部では巨礫の大きさがほぼ直径12cmに淘汰されている。円磨度や礫径の分布からみると、古天王川の水は南から北へ流れていたと考えられる。結果的に、織田段丘群の堆積物中のこれらのチャート礫の特徴は、図2の足羽川のサンプリング地点9~12のチャート礫の特徴に当てはまることを示す。足羽川流域の地点9~12は上流から約35~50kmの範囲である。古天王川の水系が現在の足羽川の状態に近いと推定すると、織田段丘群の段丘形成時の古天王川は、更に35kmの上流を持っていたことになる。

Oya (1981) は相対衝突速度と衝突痕サイズの関係を図示した。彼の図(図7)を用いて、この地域の各地点の目測により求められた被衝突礫上の衝突痕のサイズの平均から、衝突礫(衝突礫とは衝突した方の礫である)のサイズと流速を求めた。その結果を段丘分布図の上に落としたのが図8(図中にある流速を示す矢印の方向は、流向とは関係ない)である。この結果から求められた衝突礫のサイズや流速が、それぞれの地点の流速や河川規模などの河川環境とど

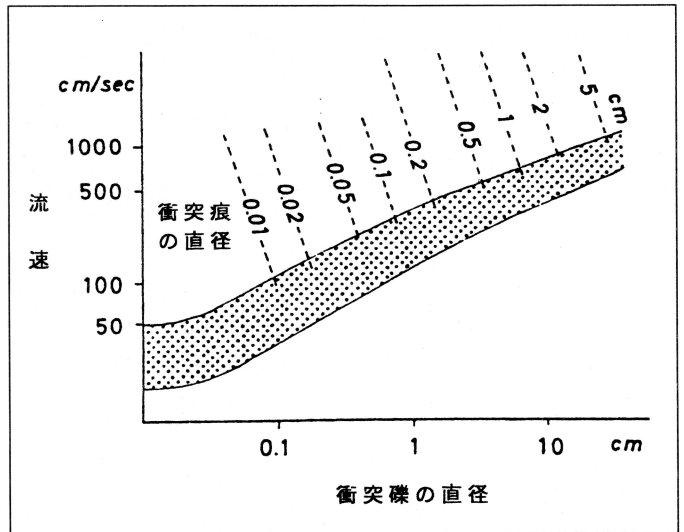


図7 衝突痕のサイズと相対衝突速度と衝突物体の平均礫径の関係 [Oya (1981, p.24, Fig.8) を一部修正引用]

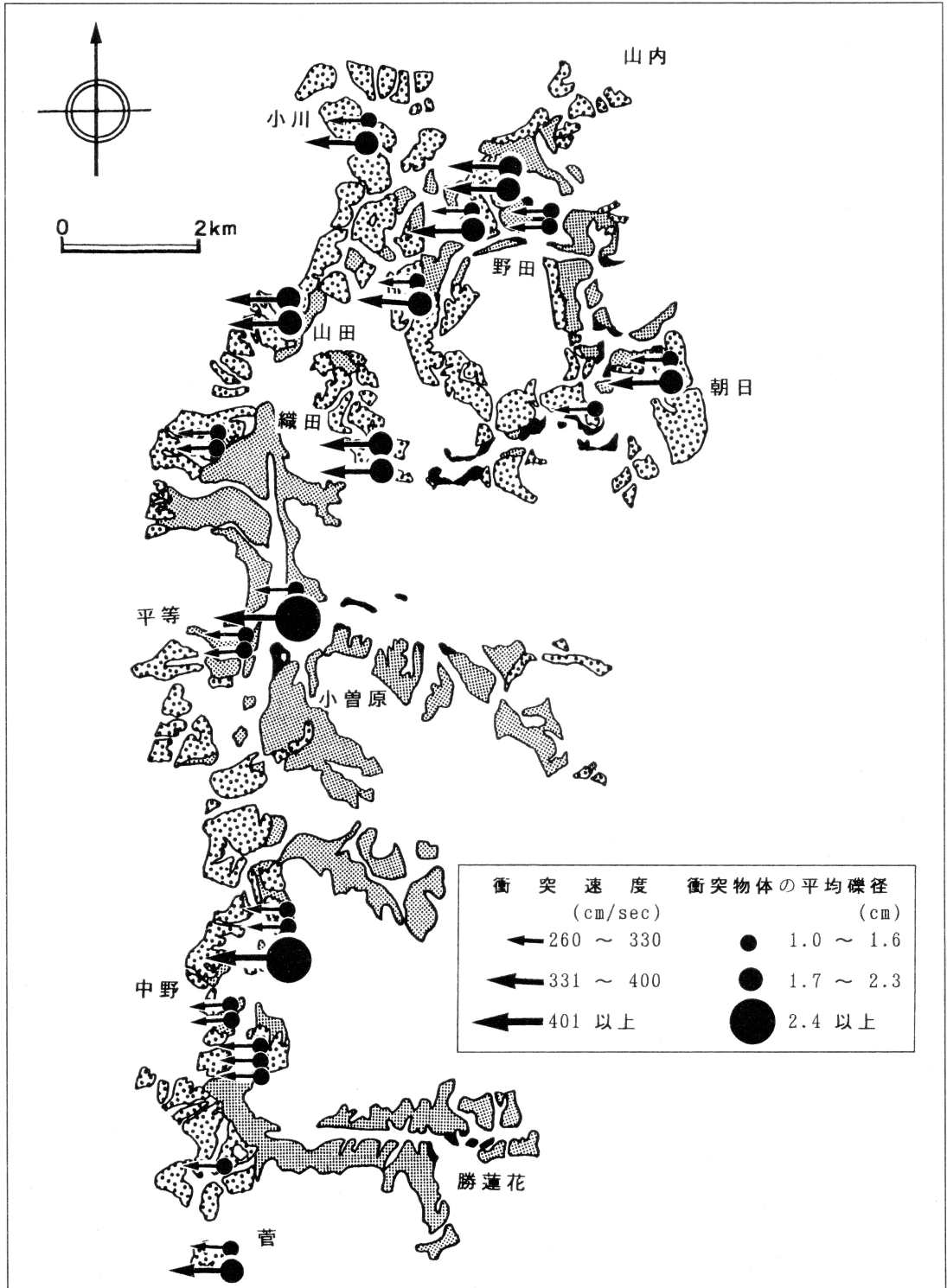


図8 織田段丘群のチャート礫の採取各地点の衝突速度と衝突物体の平均礫径 (矢印と流向は無関係)

のような関係にあるかについて述べるには、現河川の場合との比較が必要であるが、古天王川流域は高位段丘の分布が南北に広がる地域の地点1~8と、高位段丘の分布が東西にも広がる地域の地点9~15で大別できる。

## 8 衝突痕の保存性

自然の河川環境で衝突痕が形成されるが、形成後の衝突痕の形態は不変ではない。実験的に作られた衝突痕では認められない自然のチャート礫の表面の衝突痕の微小な溝は、衝突痕ができた後の礫の風化作用により作られたと考えられる。チャートは均質で95%以上が石英である。石英は風化に強い鉱物であるが、Siever (1962)の報告で、歪みを受けた石英は歪みを受けていない石英よりも非常に水に溶けやすく、歪みを受けた部分は物理的にも非常に弱いことが明らかにされている。礫の表面には多数の衝突痕があり、それぞれの周囲は重なり合い傷が助長されているところへ風化作用を経て、微小な溝をつくる。一方、チャート礫は均質であるため風化作用の影響もほぼ均一となり、衝突痕は円形のラインが保たれている。

衝突痕は、形成後の風化作用により溝ができるという変化以外に、河川中を運搬される間に起きる磨耗により、衝突痕が削り取られて消されていくという変化も受ける。図版I-1に示した礫では、同一の礫の表面でも曲面部の衝突痕は溝が明確で、平坦な面では衝突痕の溝は見にくい。これは同一の礫においても平坦な面は磨耗されやすく衝突痕がかき消されていくためだろう。衝突痕は、河床だけでなく磯浜の海岸のチャート礫にもしばしば見られるものの一般に観察されにくいのは、海岸の波打ち際は衝突痕を作る作用よりも、むしろ衝突痕をかき消す作用の方が効果的だからである。またチャートの中でも赤色チャート礫には衝突痕があまりできていない。これは、赤色チャートは比較的柔らかいため衝突痕ができにくく、また形成後も磨耗に弱く保存されにくいことが原因である。つまり、衝突痕が発達している礫は、衝突と磨耗の作用のつり合いで、衝突痕が保存されたり、消滅したりする。衝突痕が最も多く発達している地域が、足羽川では上流から35~50kmの範囲であり、古天王川では段丘が分布している範囲である。衝突痕が内部に放射状に広がる形態であるために、磨耗により同一の衝突痕においても直径が次第に大きくなる。織田段丘群の衝突痕のサイズの平均が北部で大きいということは、形成後の後の磨耗の効果によるものである可能性がある。

## IV まとめ

- 衝突痕が保存されている礫は、円礫で表面の凹凸のないチャート礫である。
- 河川中で衝突痕が発達する礫は、磨耗と衝突の作用のつり合いで衝突痕が保存されるので、分布する流域が限られる。
- チャートの供給源が上流の一か所に限られる足羽川の場合では、衝突痕が発達する礫の頻度が高いのはチャート供給源から約35~50km下流の範囲である。
- チャート礫の円磨度や衝突痕からすると、高位段丘形成時の古天王川は菅よりさらに上流が約

35kmあったと考えられる。

- チャート礫の大きさや円磨度や衝突痕などから分析すると、織田段丘群の高位段丘は一連のものとして推定される。
- 衝突により礫には、肉眼で判別できる衝突痕以外に、電子顕微鏡により判別できる微細な変化が生じる。

## V おわりに

最後に、本報告をまとめるにあたり、福井大学教育学部地学教室の服部 勇先生には、終始親切な御指導を頂いた。同地学教室の山本博文先生には有益な御助言を頂いた。また、福井市自然史博物館の梅田美由紀さんには、サンプリングに同行させてもらった。また、同教室の岡島尚司君には段丘分布図を使わせて頂き、加畑貴久君にはサンプリングに同行してもらった。出村幹英君、西村真希さん、前田光重さん、宇野実千夫君には、図と写真資料作成に協力してもらった。以上の方々に厚く感謝する。

## 参 考 文 献

- 小村良二(1982)：福井県丹生山地，天王川上流域の水系変化 一河岸段丘による検討一，地質調査所月報，第33巻，第3号，p.133-140.
- OYA, Y., (1981)：Percussion Marks on Pebbles of Recent Fluvial Sediments, Central Japan. J. Earth Sci. Nagoya Univ, Vol.29, P.13-28.
- SIEVER, R., (1962)：Silica solubility, 0°-200°C, and the diagenesis of siliceous sediment. Jour. Geol., 70, 127-150.
- 福井県(1982)：土地分類基本調査「鯖江・梅浦」5万分の1の地質図及びその説明書，p.53.

## 図版の説明

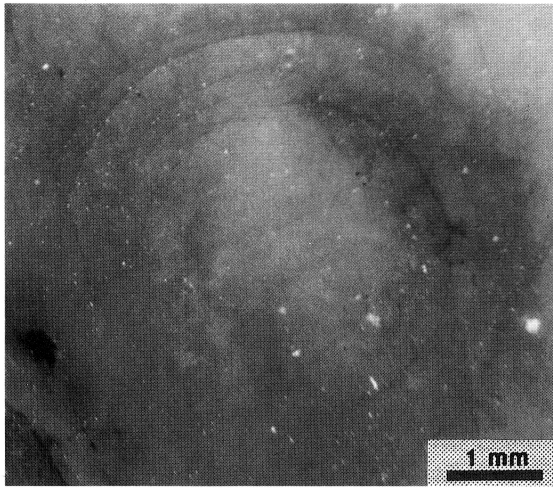
- I - 1 織田段丘群の段丘堆積物のチャート礫。表面には衝突痕が発達している。硬貨の直径は2.5cm
- I - 2 衝突実験によりチャート礫にできた衝突痕。直径2.2cmのガラス玉をチャート板に高さ100cmから落下させた。
- I - 3 衝突実験によりチャート礫にできた衝突痕の断面。
- II - 1 衝突実験によりできた衝突痕。ガラス玉を高さ100cmからガラス板に落下させた。
- II - 2, 3, 4 衝突実験によりできた衝突痕。チャート礫を高さ40cmからガラス板に落下させた。
- II - 5 衝突実験によりできた衝突痕。溶結凝灰岩を高さ30cmからガラス板に落下させた。
- III - 1 衝突実験によりできた衝突痕。泥岩を高さ20cmからガラス板に落下させた。
- III - 2 衝突実験によりできた衝突痕。花崗岩を高さ40cmからガラス板に落下させた。
- III - 3 衝突実験によりできた衝突痕。ガラス玉を水平面から60度傾斜したガラス板に落下させた。右下が斜面の上側。
- IV - 1 野外の衝突痕。織田段丘群の段丘堆積物中のチャート礫の衝突痕の断面。
- IV - 2 野外の衝突痕。織田段丘群の段丘堆積物中のチャート礫の衝突痕の表面と側面を研磨した。
- IV - 3 野外の衝突痕。織田段丘群の段丘堆積物中のチャート礫の衝突痕の側面を研磨した。電子顕微鏡写真。
- V - 1 IV - 3の矢印Bを拡大したもの。衝突痕の割れ目の伸びが表面から2.5mmの所で曲がっている。電子顕微鏡写真。
- V - 2 V - 1の割れ目の先端をさらに拡大した。先端は枝分かれしている。電子顕微鏡写真。
- VI - 1 野外の衝突痕。織田段丘群の段丘堆積物中のチャート礫の衝突痕の表面を研磨したもの。衝突痕の円内に陥没痕がある。衝突痕の割れ目の内側に黒い線がある。右下は衝突痕の側面が露出している。電子顕微鏡写真。
- VI - 2 衝突実験によりできた衝突痕。ガラス玉をガラス板に落下させた。中央に陥没痕がある。電子顕微鏡写真。
- VI - 3 VI - 1を拡大した。衝突痕の中央の陥没痕とその周囲に散在する微小な衝突痕（円内）がある。矢印は割れ目の内側の黒い線。電子顕微鏡写真。
- VI - 4 VI - 3の円内の微小衝突痕を拡大したもの。電子顕微鏡写真。
- VI - 5 VI - 3の黒い線を拡大。電子顕微鏡写真。
- VI - 6 VI - 5を拡大。電子顕微鏡写真。
- VI - 7 織田段丘群の段丘堆積物中のチャート礫の衝突痕の表面。円内は衝突痕の交接部の溝。電子顕微鏡写真。
- VI - 8 VI - 7の円内を拡大。電子顕微鏡写真。

図版 I

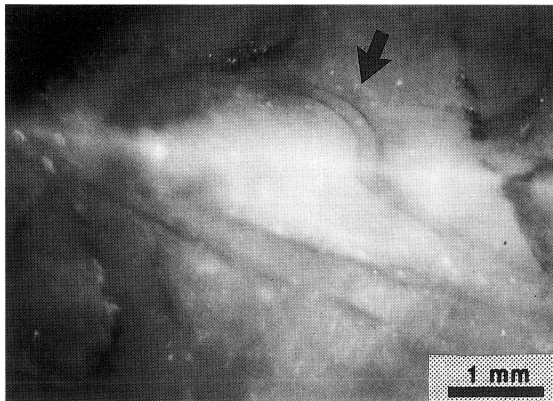
1



2

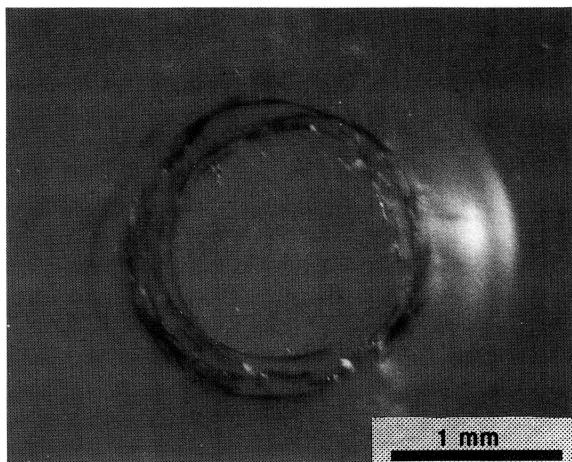


3

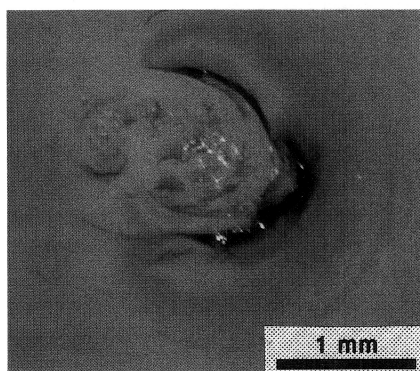


図版 II

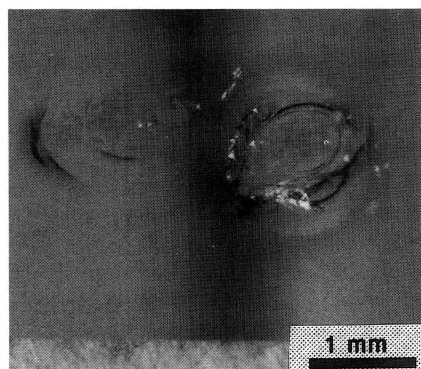
1



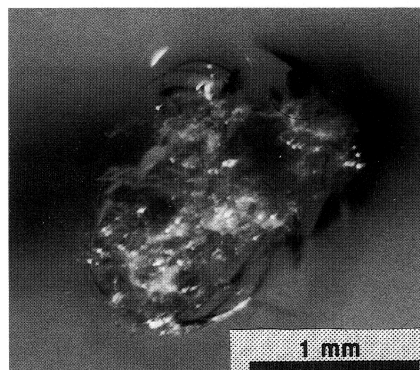
2



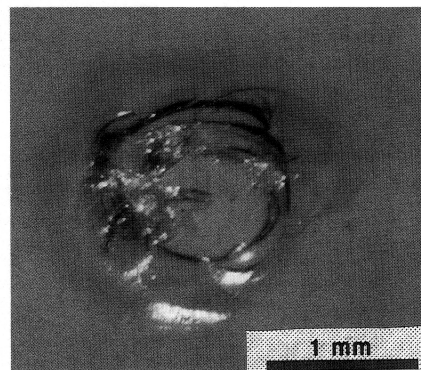
3



4



5



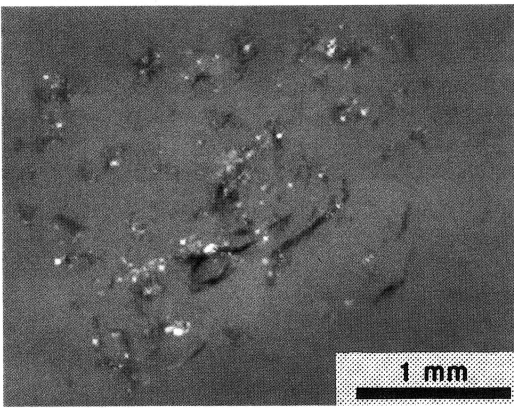


図版 III

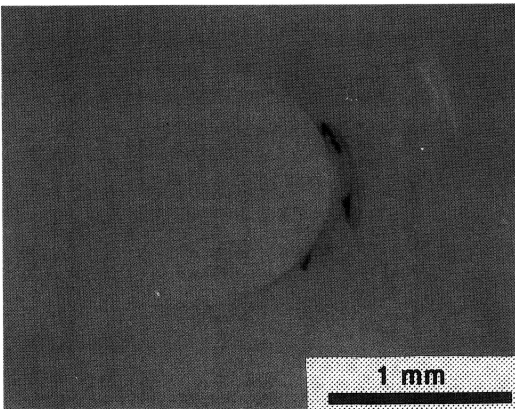
1



2

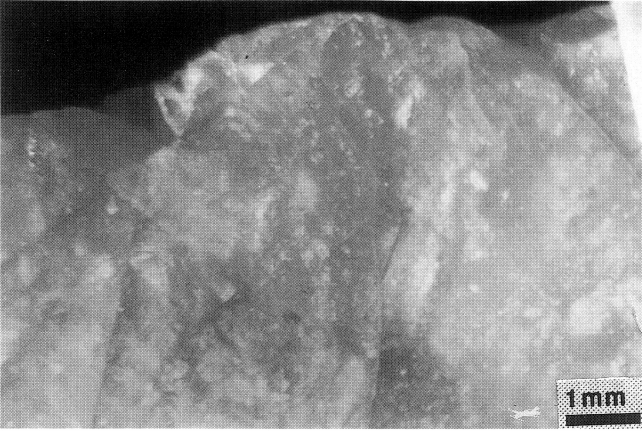


3

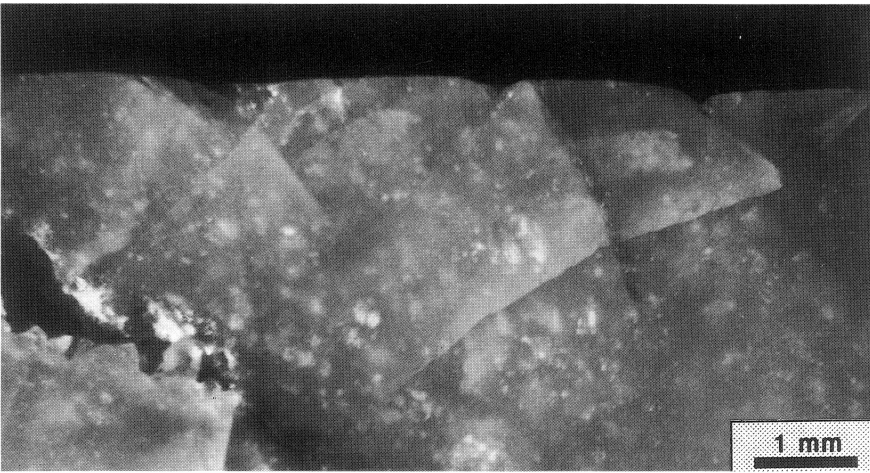


图版 IV

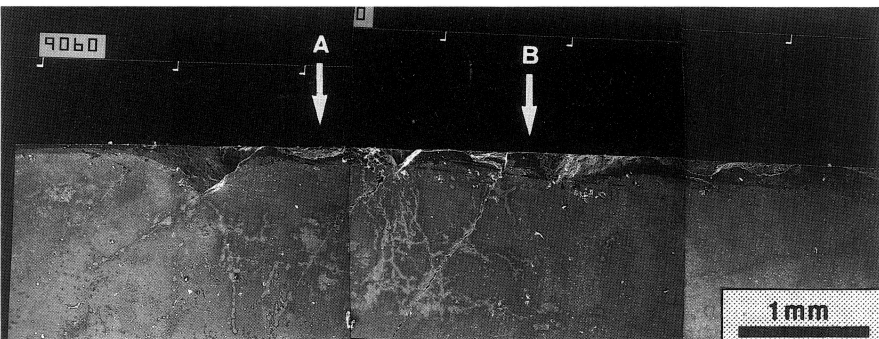
1



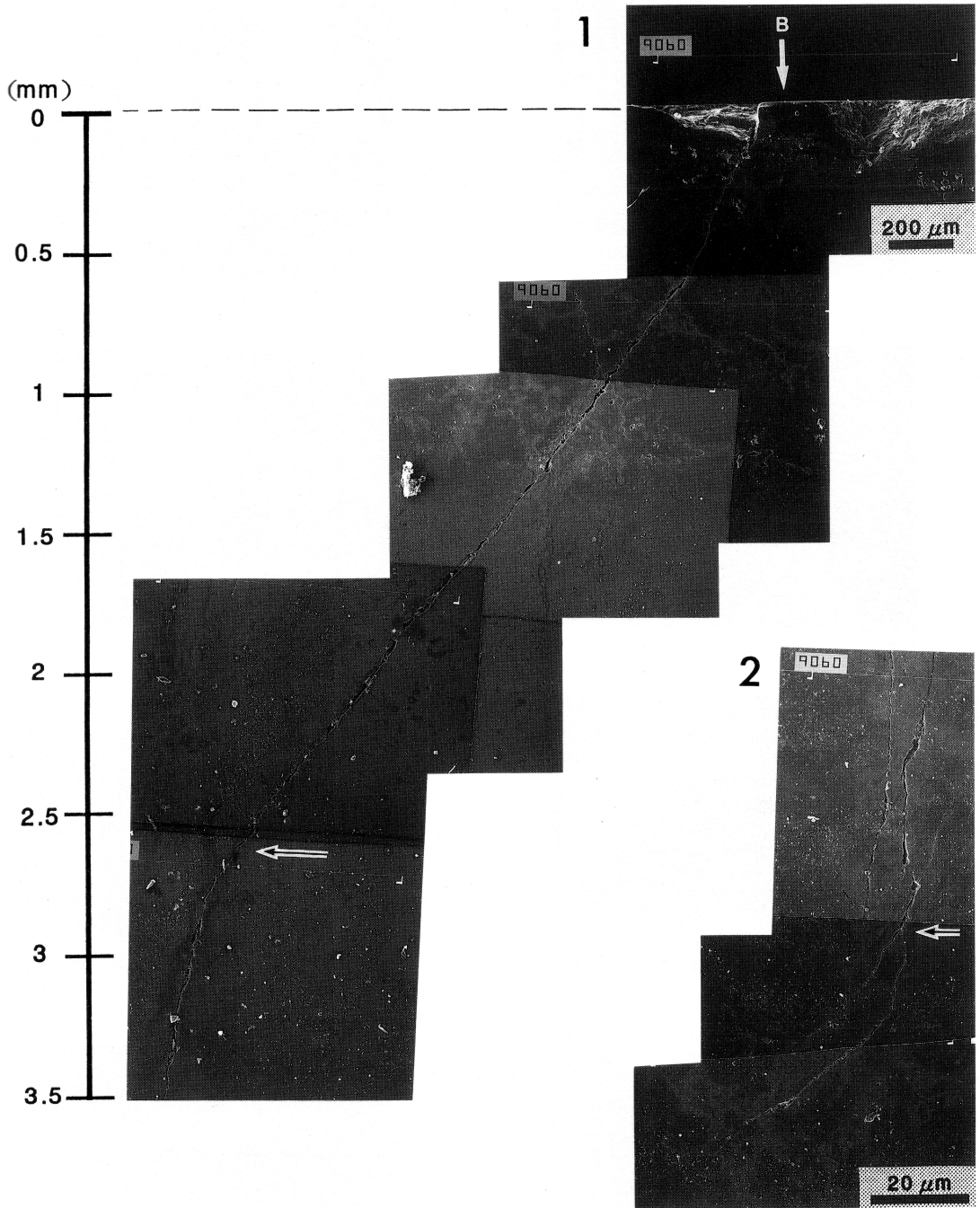
2



3

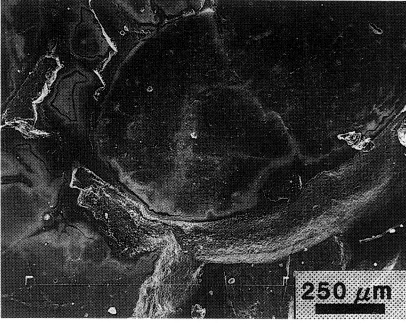


図版 V

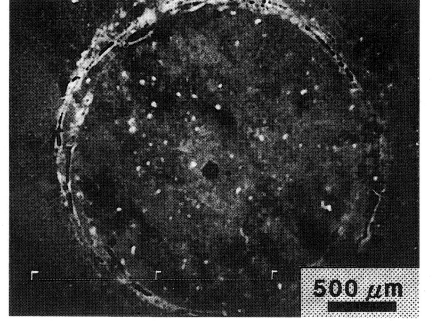


図版 VI

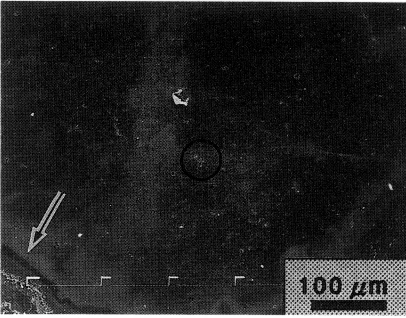
1



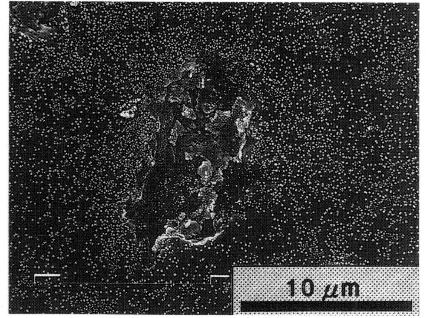
2



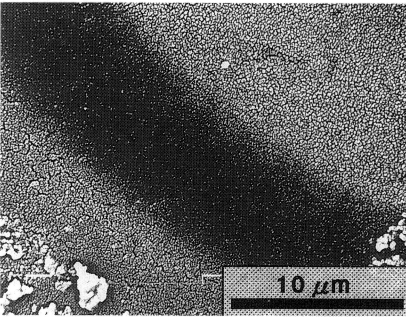
3



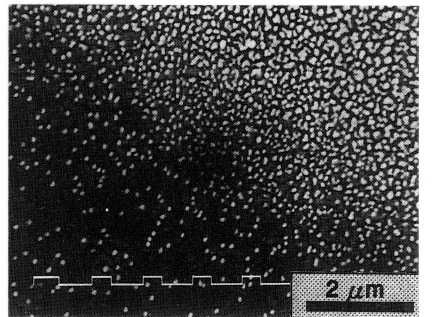
4



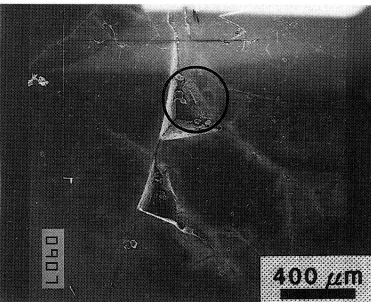
5



6



7



8

