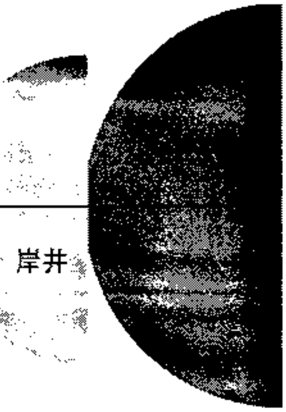


やさしいガラス講座26

天然ガラス①

千葉工業大学教授　岸井

1．天然の「ガラス」

地球上には，工業的なガラスと似た材質を持つ「天然ガラス」が存在する．これらは現在の工業や人間生活とのかかわりは少ないが，考古学・地史学では重要な役割を持っている．天然ガラスとその役割について，また関連事項について記す．

「ガラス」の定義について，学問的に立ち入ればいろいろの意見がある．しかしここでは実用的に，次の条件を満たす物質としたい．

1．ケイ酸塩系の化合物であり
2．融液状態から急冷されたために
3．非晶質（無定形・アモルファス）の固体になったもの．

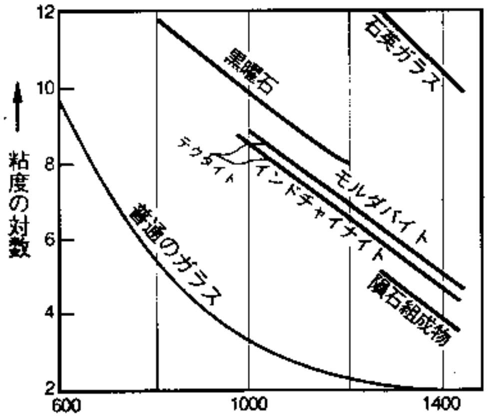


図１　各種ガラス組成物融液の温度－粘度特性

本稿では「天然ガラス①〈黒曜石〉」，「天然ガラス②〈火山灰ガラス・テクタイト〉」について２号に渡り述べる．一部に成因が不確定なものも含むが，その場合には改めて断るつもりである．これらの温度—粘度曲線を図１に示す．天然ガラスはホウ酸や鉛を欠き，アルカリが少なくて，粘度が高い．

2．火山溶岩起源のガラス

2．1　溶岩の組成と粘度

溶岩は地殻中で融点の低い成分系が絞り出されてきたものが始まりとなり，その中からはじめは高融点結晶を，次いで低融点結晶を順々に析出して失いながら成分を変化させてゆくものであるから，溶岩の成分にはある程度の限界と規則性がある．

始まりは，鉄・マグネシウム分に富んでいて，これらを析出で失いながら，残りがシリカ・アルミナに富む組成に変わる．この系列は玄武岩—安山岩—石英安山岩（デイサイト）—流紋岩となり，左ほど「苦鉄質・塩基性」であり，右ほど「ケイ長質・酸性」であると表現する．「長」は長石を表す．流紋岩は全体の酸化物組成としては花崗岩に近い．

溶岩の融液状態での粘度は，塩基性ならば低いので溶岩はさらさら流れるが，酸性ならば高粘度なので流れにくくガスを含み爆発しやすい．この性質の差は噴火の形式と火山の

形に影響する．富士山は玄武岩質，箱根は安山岩質の山であり，普賢岳はデイサイト質溶岩を出した．

溶岩が地表に近づきまたは地上に噴出して冷えるとき，その冷え方が速いとガラスになる．ケイ長質に近いほど粘度が高くてガラス化しやすい．また溶岩は地下の高温・高圧状態に対応する水分を含んでいるため，ガラスでも，水を0.1%の桁ないし10%近くまで含んでいる．

2．2　黒曜石

溶岩起源で，ガラス光沢のあるガラス質の石・岩として得られるものが黒曜石・黒曜岩である．材質的には安山岩質から流紋岩質まである．前者の方がまれである．また希少例で，サイエナイト（正長石85%相当の岩）質のものがある．

2．2．1　玄武岩質ガラス

玄武岩質溶岩が低粘度であるため，ガラス化するためには急速に冷える必要がある．ガラス化したものの鉱物名は「タキライト」である．

溶岩が流れながら飛沫を飛ばすときに，飛沫が急冷されて小滴やその尾が細い糸の形でガラス化する．玄武岩を原料として工業的に岩綿を作る場合に該当する．ハワイのキラウエア火山でよく知られていて，火山の女神の名前から「ペレーの涙・ペレーの髪の毛」と呼ばれる．

日本でもかつてこれらができた例がある．(例：天明の浅間山の噴火)．1981年にザイール国ゴマ近くのニイラゴンゴ・ニヤラムラギラ両火山の中間から噴火が起き，多量のペレーの髪の毛が散布された．

ハワイでは玄武岩質溶岩が詳しく研究されたためか，「Glassy basalt（ガラスに富んだ玄武岩)」および「Trachytic glass（セイエナイト質黒曜石)」のように，他での報告例が少ない岩石も知られている．

大洋の中央部にある海嶺では，玄武岩質溶岩が定常的に湧き出している．溶岩が海水に接すると表面近くは「周縁急冷相」としてガラス質の多い岩（パラゴナイト≒枕状溶岩）になる．火山島の溶岩が海に流れ込む場所でも同様である．

海嶺上にある火山島，イースター島・アセンション諸島も黒曜石を産する．前者のものは流紋岩質黒曜石である．

断層が地震に際して動くと，断層面が摩擦熱で熔けてから急速に冷える．この部分はガラス質が含まれて黒色であり，見掛け上玄武岩のようになるので，「偽(擬)タキライト」と呼ばれ，地質・地史・地震考古学で有用な知識を与える．しかし必ずしも玄武岩質ではない．

2．2．2　安山岩質ガラス　―富士・箱根―

安山岩質の溶岩は次の二つの形でガラスとして現れる．一つは安山岩の石基としてである．讃岐岩（サヌカイト）がガラス質石基の多い安山岩の例である．岩はこの特徴のため，たたいたときの響きが永く残響として続き，「カンカン石・響岩」の別称がある．サヌカイト中のガラス質が多いことについて，原溶岩の含水量が多くて液相温度が低下していたから，という推論がある．またこの岩は産地(香川県屋島，奈良県二上山)とその周辺だけでなく，遠方までも運ばれて石器の材料となった．その点で次に記す黒曜石と同じである．

第二は全ガラス質の「黒曜石」としてである．後節に述べるように黒曜石の多くは流紋岩質であるが，例外的に玄武岩質（前述）と安山岩質の黒曜石が現れる．安山岩質の例は箱根・富士山・阿蘇・天城である．箱根は関

東地方での石器用黒曜石の一つの供給地であった．

2．2．3　流紋岩質ガラス
　　　　　—ガラスの島々—

伊豆諸島のうち大島—三宅島の列は主として玄武岩質溶岩から成り，他方で新島—神津島のグループは流紋岩質である．両者に挟まれる利島では玄武岩に一部安山岩が含まれる．これらの岩の成分を島を横軸にして示すと図2，岩質を横軸にすると図3のようになる．

新島・神津島の流紋岩質の岩の組成はよく似ている．これらには流紋岩・黒曜石・コーガ石が含まれる（後述）．

黒曜石は天然ガラスであり，コーガ石はガラス質を85%も含む多孔質の岩である．神津島の黒曜石は考古学的に重要である．

流紋岩質・安山岩質の黒曜石の成分を図4に比較する．

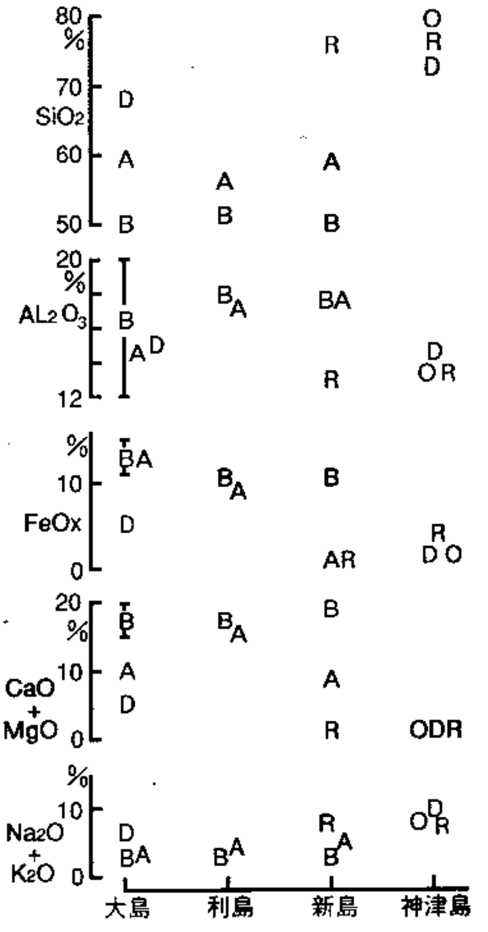


図2　伊豆諸島産火山岩の組成
B：玄武岩　A：安山岩　D：デイサイト
R：流紋岩　O：黒曜石

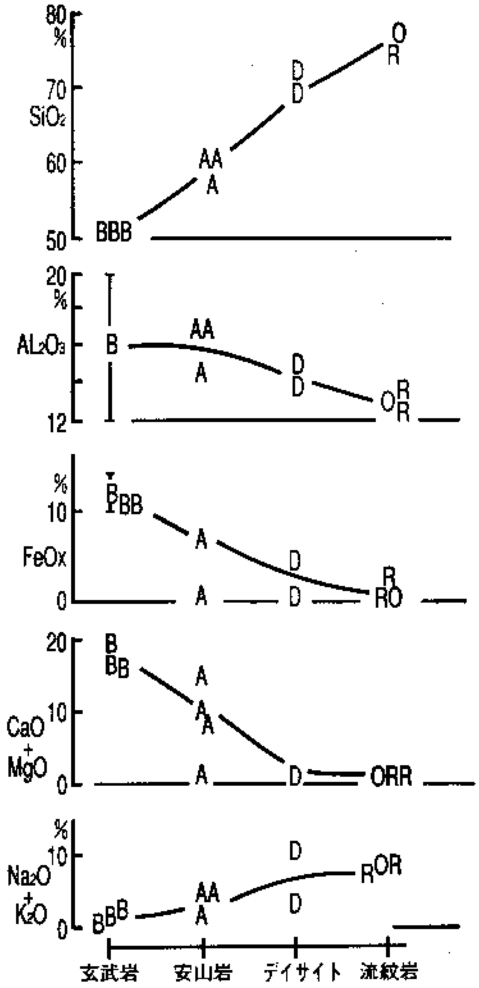


図3　伊豆諸島産火山岩の岩質—組成関係
B・A・D・R・O：図2と同じ

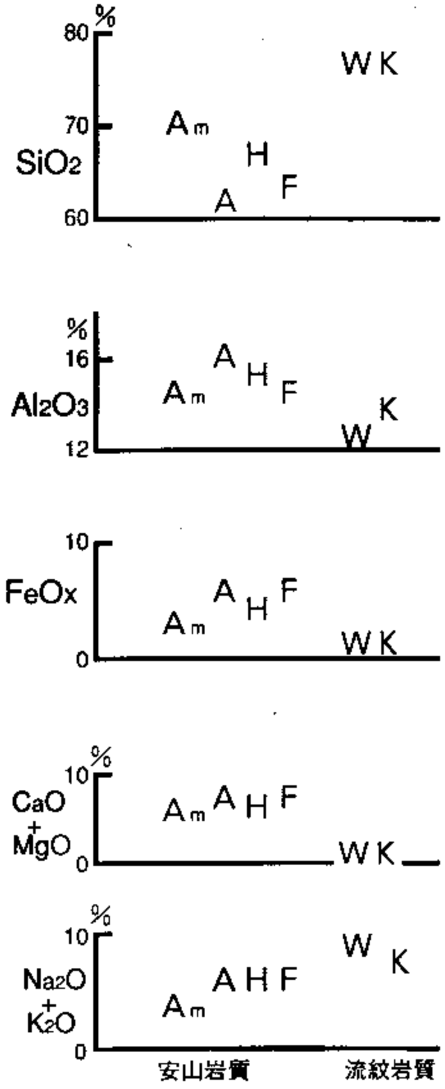


図４　安山岩質・流紋岩質黒曜石の組成と比較
Ａ：阿蘇　Ａｍ：天城　Ｆ：富士　Ｈ：箱根
Ｗ：和田峠　Ｋ：神津島

２．３　黒曜石と考古学

黒曜石はガラス質であるために割って加工しやすく，割ると鋭い切り刃を作るので，鏃・槍先・ナイフの役目をする石器の原材料になった．日本では４万年前以降の使用が知られている．俗名として「ほしのくそ」，産地による名前の例として「十勝石」がある．

現代の黒曜石の工業的用途は，焼成して含有水により発泡させた多孔質粒を，園芸用資材や耐火遮音性コンクリート用の充填材とするものである．かつては宝飾品や水晶印材の代替品とする試みがあった．

黒曜石の産地は限られ，鉱脈としての産出も極めて局所的である一方で，鏃・槍先は消耗品に近いので，その供給は人々にとって大切であった．産地からかなり遠いところまで運ばれ，使用されていたことが知られる．当時の流通事情が黒曜石から推定できる．縄文時代に水路を含めての列島規模および日本海を越えての情報・流通網があったと推定される．

黒曜石は固化した年代，産地，石器として使用された年代を次のように推定できる．

ａ．固化してから後には，含まれているウラン238が半減期約10^{16}年で核分裂する．核分裂の痕跡（フィッション・トラック）は変質していて，フッ酸で腐食すると光学的に見え

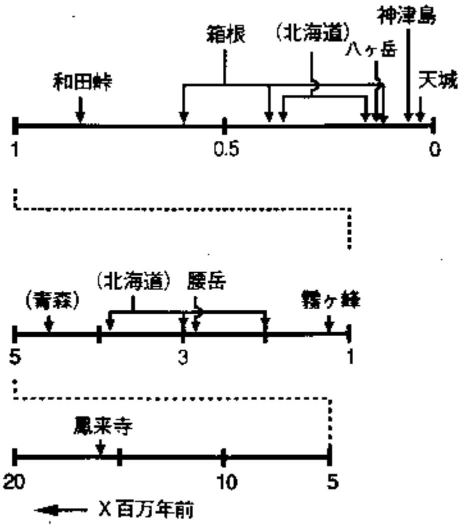


図５　黒曜石の固化年代
（カッコは道県名だけを記したもの）

るようになる．ウラン含有量とトラックの密度とを測ると，固化後の時間の長さを計算できる（フィッション・トラック法，図5）．

b．微量元素を定量して元素種—含有量関係を求める．

c．黒曜石の表面からは水が内部へ拡散する．拡散層の厚さを光学顕微鏡で測り，黒曜石の組成と出土地の気候とを照らし合わせると，表面形成（石器製作）後の時間を推定できる（水和層法）．

これらの中a．とb．とは，予想される産地全部について測り，データベースにしておく．日本ではこれは完了している．石器についてb．またはa．とb．との組み合わせのデータを測定しデータベースと対照すると，産地を推定できる．c．により石器が作られ使われていた年代を計算できる．石器が火災などの影響を受けて加熱されると，古いトラックは消えて新しいトラックができ始めるので，a．の方法でその使用年代を計算できる．

2．4　黒い輝き

黒曜石の濃色は，鉄分を含む着色ガラス質が光を透過させつつ吸収してしまうことが原因である．結晶化するときは輝石や黒雲母が鉄を取り込んでガラスの色が明るくなり，さらに長石が白い放射状晶になって析出し，最終的には結晶が流動パターンに沿って配列した白色の流紋岩になる．

白い放射状晶が析出した黒曜石は「スノーフレイク」と呼ばれる（図6）．鉄分がコロイドまたは赤色の結晶になって赤い斑状の模様を示す場合は「赤十勝・花黒曜」である（図7）．溶岩噴出時に含有ガスのために小泡が発生して流紋に平行に伸びて配列すると，流紋を含む面で切ったときに泡の横腹で反射した光の筋の集まりが見える．これは「ゴー

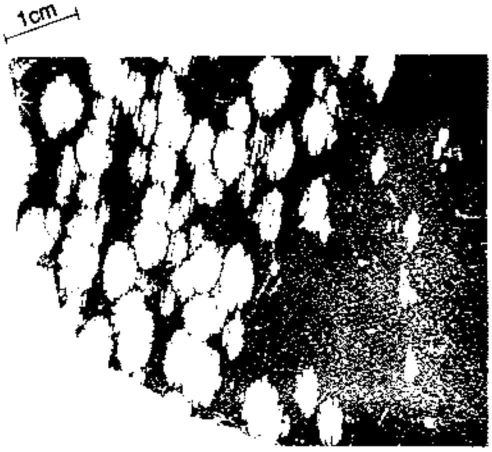


図6　スノーフレイク黒曜石の研削面

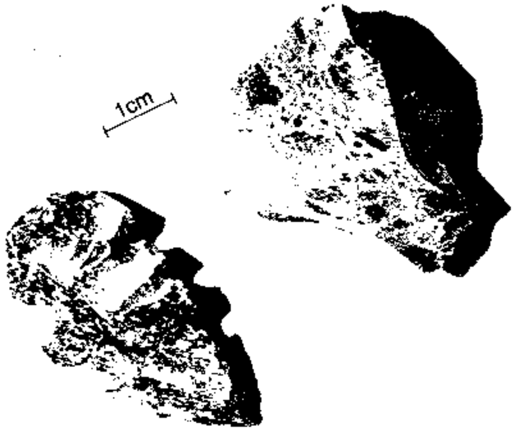


図7　赤い紋様を持つ黒曜石

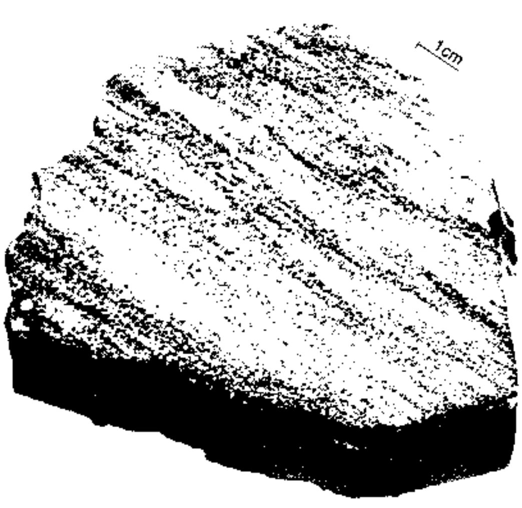


図8　ゴールドシーン黒曜石を反射光条が見える
角度から観察した。

ルドシーン」である（図8）.

2．5ガラスの峰々

日本の考古学で重要な黒曜石の産地は，和田峠（中仙道上の要地である）―霧ヶ峰―蓼科―麦草峠（八ヶ岳西側）と連なる高地である．ここは「フォッサ・マグナ（大地溝帯）」の一部分であり，厚い火山灰と凝灰岩の地層中に溶岩が貫入して深成岩や火山岩になっている．流紋岩質溶岩が貫入した場合に周縁急冷相が黒曜石になった．形成条件により石器用としての良質・不良質が決まる．形成年代は相当まちまちである（P39図5）.

2．6　「全ガラス質岩石」

鉱物岩石学に「holohyaline rock」という分類がある．これは黒曜石・松脂岩・真珠岩を包括する．いずれも水を含むが，その量が多いと細かい割れ目を持ち，その外観が「松脂岩・真珠岩」の名前のもとになった．

2．7　黒曜石の風景

2．7．1　神津島

神津島は天上山（標高571m）を最高点とする火山島である．天上山はまた島の最新の火山で『続日本後紀』に記載の838年の伊豆の噴火がここに対応するとされる．

このふもとから北東へ延びた溶岩流が砂糠岬で，その崖に石器用に良質な黒曜石の脈が露出する（図9）．その生成年代は7万年前で，2万年前から石器として使われた．島の中で火山灰の堆積が切り通されている場所や，火山灰が流されて谷の川床に積もっているところなどには，黒曜石と白い流紋岩片が挟まっている．

この黒曜石は浜松以東の東海地方と関東南部に運ばれた．その時期は水和層法で2万年以上前と算定された．この年代は縄文時代より前であり，海上渡航の技術がないというのが定説であった．この定説が書き換えられた．

伊豆半島東岸の河津港の北側の丘に，神津島の黒曜石を大量貯蔵した段間（たんま）遺跡が発見された．広域に広がる採取・搬送・貯蔵・交易のシステムがあったことが想定された．現地は学校の敷地に含まれ，石は校内に保管され，校庭に縄文住居が復元されている．

2．7．2　コーガ石の「モヤイ」

伊豆の新島は火山起源で流紋岩質の地質を持つ．最新の噴火は向山(301m）の886年のものと想定される．向山は「コーガ石」という珍しい岩石を産する（図10）．多孔質で耐火・断熱・遮音性に優れており，建材として販売するに当たって「抗火石」の字を当てた．他の産地はシシリー島だけと言われる．全体の組成は流紋岩相当であるが，酸化鉄含量が0.2%と少なく，ガラス質を85%も含み，多孔質・軽量であることが特徴である．軟らか

図9　神津島の黒曜石露頭を望める位置にある標識

くて加工しやすく，彫刻用にも利用される．

島ではガラス・アート・センターをつくり，コーガ石を原料にした工芸ガラス創作活動をしている（図11）．ガラスは淡い黄褐色を帯び，東大寺正倉院の白瑠璃玉碗の色に似ているが，工芸用着色ガラスの製作には支障がないのであろう．国内外から工芸家を招いての活動・イベントが行われる．東京都工業技術センターの鈴木　蕃氏の報告が本誌第10号に掲載された．また新しい報告がGlass（日本ガラス工芸学会誌）第36号（平6）に掲載された．島の各所にコーガ石を使った公共工事がある．人の胸像「モヤイ」も特徴的である（これは島の言葉に起源がある．イースター島の「モアイ」とは表記が違う）．

淡い赤茶色のコーガ石もあり，白いものとのデザイン的組み合わせが見られる．

向山の石の薄片（厚さ約0.5mm）を調べた（図12）．空孔が体積で半分近くあることを考慮しても，複屈折性のもの（結晶）が少ないことが分かる．肉眼ではそのようにガラス質が多いとは見えない．

2．7．3　釈迦堂遺跡

山梨県釈迦堂遺跡は中央自動車道建設に伴い発掘・調査された．合計数十キログラムの黒曜石塊が発見され，ここが交易路上の貯蔵地であると推定された．石鏃には水晶製のものもあった．ここでの土偶の出土は極端に多くて日本での発見数の過半を占める．現地に博物館がある（図13）．

2．7．4　腰岳の黒曜石

JRと松浦鉄道の伊万里駅のホームに降り立つと，南方に腰岳が見える．タクシーを頼んで「黒曜石を見たい」と言うと「子供のころに山のふもとに転がっているのを見た」また「吉野ケ里へ行ったら腰岳の黒曜石を陳列してあった」とのこと．所々止まって石を調べながらしばらく走ってもらった．そのうちに「キラリと光った」と言って止めてくれたのが，道の真ん中に露出している黒曜石であった．道が工事中で表土がかき取られたので見つかったようであった．この後は舗装で隠されてしまったかもしれない．現在は黒曜石への地元の人の関心はないように見えた．

吉野ケ里へ行く機会があった．展示館内に各地産の石器用原石材を並べて陳列したものであった．

腰岳の黒曜石は本州や沖縄へも運ばれた．

2．7．5　和田峠など

諏訪湖東方の山岳地帯はいくつかの地点で黒曜石を産する．特に和田村では，和田峠・男女倉・鷹山などの産地がある．付近で石器

図10　新島ー向山頂部のコーガ石採掘場

図11　採掘場からコーガ石加工場（左下）とガラスアートセンター（前方下）を見る

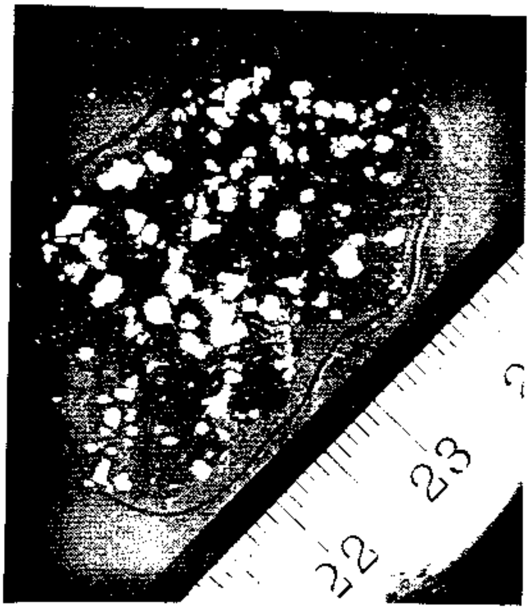


図12　向山のコーガ石の薄片を直交ニコルで見た状況

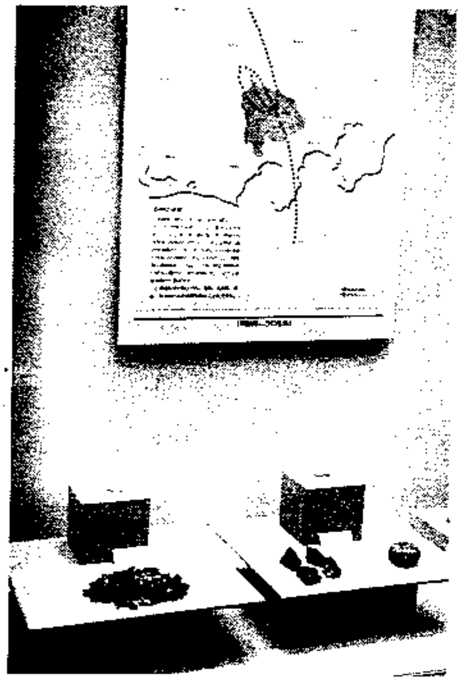


図13　釈迦堂遺跡出土の黒曜石展示と石材（黒曜石・翡翠）の交易経路の説明図（同博物館）

に利用されただけでなく，採掘遺跡・加工遺跡があり，山梨・東海・関東地方へも持ち出された．

和田峠では現在でも黒曜石を掘り出して加工している（図14）．中仙道旧道ではトラックからこぼれた石が見られる．鷹山の星糞峠ではその直下に石器加工場（鷹山遺跡）が発見され，スキーリフト建設に当たり詳しく調査された．また峠道の上側で黒曜石を採掘していた遺跡が見つかった（図15）．これらの場所の総合的な研究から，2万3千年前には採集された原石（円礫）と石器成品とが，1万3千年前には成品が主として出荷され，3千年前には採掘された石塊そのものが移出されたと判断され，原石・成品の価値の変化に対応していたと論じられた．材料歩留まりの悪い石を人力で遠方まで運ぶために，当然必要な考慮であった．

黒曜石風化面の形を見るための薄片を図16，薄片中の微結晶の散在状態の例を図17a）b）に示す．直交ニコルでも，微結晶が散在していることを観察できる（図17c））．

2．7．6　インヨー国立公園（カリフォルニア）

昭和47年初夏のころ，カリフォルニア大学（UCLA）のJ.D.マッケンジー教授の研究室一同で黒曜石ドームの見学に出かけた（図18）．溶岩が地上に噴き出してドーム形の黒曜石岩山になったものがいくつもつながった地形である（図19，20）．「もしも地下深くで固まれば花崗岩になる」という説明札が立っていた．その少し前に噴出年代は28万年前と測定された．後に黒曜石の年代測定・流通の研究者でありUCLAの教授になったエリクソンさんが，ドームのすそで石を探し調べて「これは人間が割ったものだ」と教えてくれた．専門家ならばこういうことも分かるのだなと感

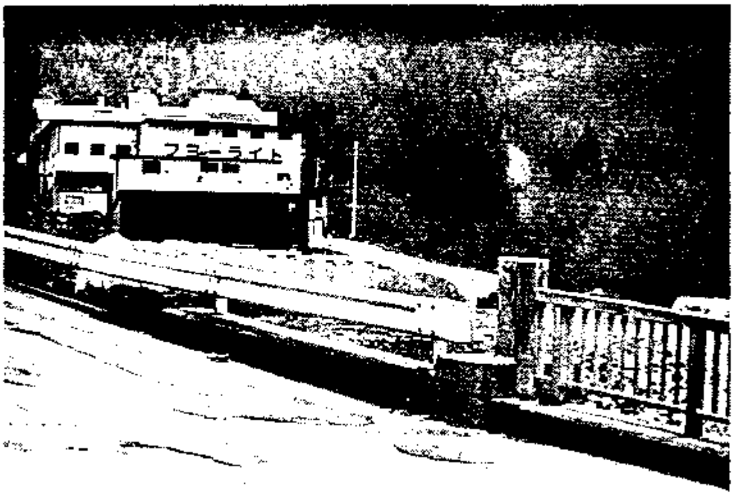


図14　黒曜石の処理工場（中仙道沿い）

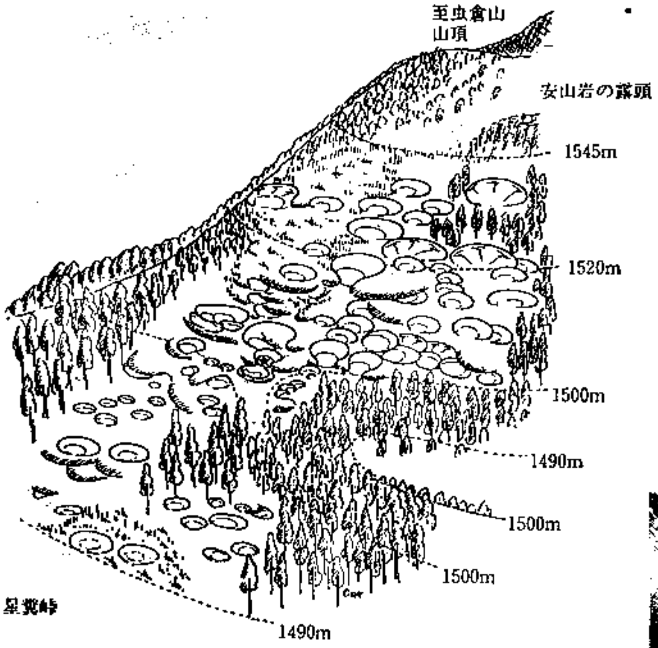


図15　星糞峠縄文時代黒曜石採掘跡鳥瞰図
（安蒜政雄明治大学教授のご厚意により、
同大学考古学博物館報　NO. 9 から転載した）

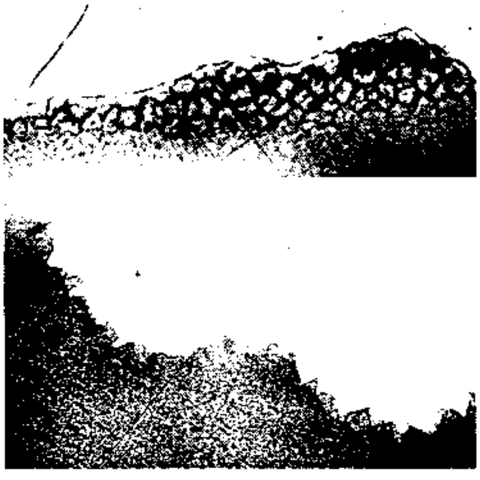
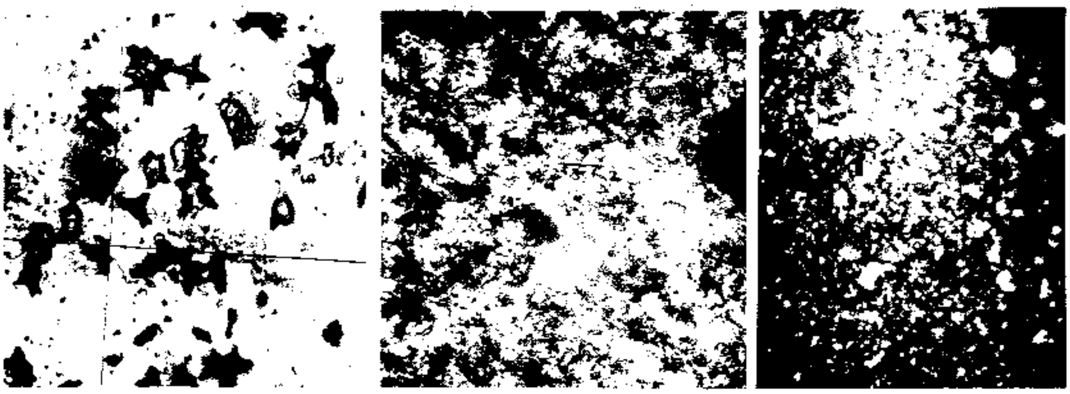


図16　和田峠の黒曜石の風化面の薄片観察の例



a)　　b)　　c)

図17　黒曜石中の微結晶の観察例 a)、b）は常光，c）は直交ニコルによる観察）

図18　マッケンジー教室のインヨー国立公園黒曜石ドーム見学

図19　黒曜石ドーム（噴出年代は28万年前である）

図20　黒曜石の大塊（左方の人物は当時の牧島亮男東大教授．
同教授のご了承を得て掲載した。

心はしたが，当時の私に関心と予備知識がなかったのは残念であった．

エリクソンさんは黒曜石の水（水和層か？）を調べるために鉱物学教室から来ていたと聞いた．

2．7．7　岩宿遺跡

日本の大部分は1万年ないし2万年前よりも昔に降り積もった火山灰や，その変質物である赤土の層で厚く覆われている．灰の降る時代に人は棲めないし，赤土層中に人類遺物はないと長らく考えられてきた．日本の古代人は，灰が降り終わってから縄文土器を伴って生活を始めたとされた．

相澤忠洋氏は岩宿の切り通しでの観察を続け，土器を含まない赤土層から石器が現れることを知った．

考古学界の人々にこの遺跡を注目させたのは，一つの黒曜石の槍先（石槍・ポイントとも図21）であった．黒曜石の産地は限られており，これがあることは人為の証拠になるからである．

ここでの発掘により，石器の存在が確認され，日本に無土器・旧石器の時代があることが知られ，その後の多くの発見・研究の糸口になった（図22）．

岩宿の時代は2万年前を前後する時期である．現在では東北地方で50万年前の遺跡まで発見されている．

2．7．8　サウスウェスト博物館
　　　　・人類学博物館

前者はロサンゼルスにあり，先住インディアンの文化を展示する．大型の石器が目を引いた（図23）が，これらは実用ではなく祭祀・儀礼用であろう．

農産物（玉蜀黍・馬鈴薯・南瓜…）を示して，「麦・米以外の食糧作物はここから広がった」と説明していた．

後者はパリのエッフェル塔近くにあり，人類の石器の一環として新大陸の黒曜石器を展示する．

（以下，次号に続く）

図21
相沢忠洋氏が岩宿で発見した黒曜石の槍先（相沢忠洋記念館蔵．相沢千恵子同館長のご厚意により掲載した）

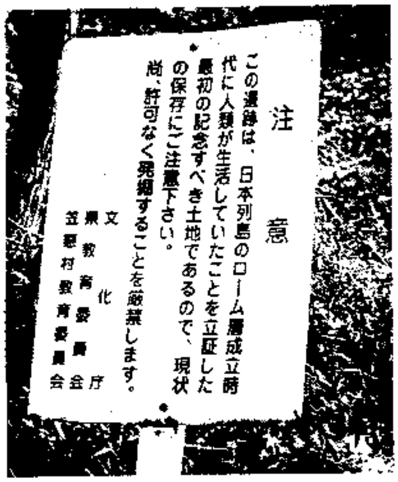


図22　岩宿遺跡の意義を記した表示

図23
サウスウェスト博物館の大形黒曜石器の展示