

最終講義

「黒曜石学」の創生

鈴木 正 男

本稿は、定年退職にあたり、理学部化学科が2007年3月10日（土）13：00～14：00に私のために設定して下さった最終講義の内容に加筆したものである。また、定年退職時に在籍した社会学部現代文化学科は、この内容を『応用社会学研究』に記録として残す機会を与えて下さった。両学部・両学科に心から感謝の意を表したい。

専門用語の使用はなるべく避けたが、どうしても必要な場合には説明を加え、分かり易さを心がけた。

東京大学理学部助手から、1974年4月に一般教育部に助教授として着任し、1995年に一般教育部の解体にあたって理学部（総合講座・化学科）に移籍し、2004年から社会学部現代文化学科に移籍した。33年間在籍した立教大学において行った研究を振り返ってみると、とくに意識したわけではないが、一貫して黒曜石という火山の営為によって形成されるガラス質の岩石が研究の中心にあった。これは、理学部化学科に在籍した7年間に指導した卒業研究20篇の内訳が、黒曜石関連13篇、フィッシュントラック（核分裂飛跡片）年代測定法（以下FTと略記する）6篇（研究材料は黒曜石）、その他1篇、修士論文では黒曜石関連3篇、FT法1篇（同）、博士論文で黒曜石関連1篇であったことを見ても明らかである。

本稿では、主として私の研究室で行われた研究を紹介しているが、この分野は世界的に研究者の数が少なく、互いに激しく競争するというよりは常日頃情報を交換し、ほぼ横一線に並んで研究が

進行しているのが現状だからである。

【発端】

大学院の修士課程で生理人類学を専攻し、寒気手指皮膚温反応という寒気適応能の研究を行っていた私が、年代学という畑違いの物理・化学的な方向へ大きく転換したのは、修士課程で指導を受けていた指導教官が急に京都大学霊長類研究所へ教授として赴任されることになり、進学が決まっていた博士課程での指導者が不在になったためである。丁度この時米国における共同研究から帰国され、新設された第二講座の教授に就任された恩師渡辺直経博士が、当時GE研究開発センターの研究者達によって開発されて間もないFT法に関する情報を持ち帰られ、私にこの研究を行うよう勧められたことが契機であった。それまでの生理学から全く逆の方向だったため、暗中模索しながら恩師が持ち帰ったおびただしい数の論文と格闘し、半年ほどもがいている内におぼろげながら理解できるようになった。

次の壁は、このFT法は百万年前あたりの年代測定を得意としているのであるが、日本国内には、原人段階の化石が発見される見込はまずあり得ないし、この測定法を身につけても、当時はそうそう海外調査に行けるような時代ではなかったので、宝の持ち腐れになってしまう恐れが多く、かつ学位の取得もままならないのではないかという不安との戦いであった。つまり定常的に試料の供給があり、日常的に測定・研究できる対象が何かないかと思い悩んだのである。このような時に、当時

助教授だった教官が著された、黒曜石の薄片に観察される結晶質の模様を観察して、栃木県普門寺遺跡出土の黒曜石の産地を推定した論文（晶子形態法）が目にとまった。黒曜石がガラス質火山岩であるならば、（遺跡の年代ではなく）噴出形成された年代とウラン含有量がFT法で測定できるであろう。噴出年代とウラン含有量はそれぞれの産地によって異なるであろうから、これによって産地推定が可能なのではないかと考えたのである。

FT法は原子炉を用いる。大学院時代から立教大学原子炉施設を利用させていただいた。その縁があって、助教授として赴任することを打診された時には二つ返事でお受けした。以来33年無事勤めることができたことを幸せに思う。

また、黒曜石には割れた面から内部に水が浸透拡散して、水和層という層が形成されその幅（深さ）は時間の経過とともに広く（深く）なることを利用した黒曜石水和層年代測定法で遺跡の年代が測定できる。

こうして、二つの年代測定法を組み合わせると黒曜石の運搬・交易の時空的分析ができることに気づいて学位論文となって実を結んだ（Suzuki, M., 1973: Chronology of prehistoric human activity in Kanto, Japan, Part I—Framework for reconstructing prehistoric human activity in obsidian. J. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Sec. V., 3, 241-318., Suzuki, M. 1974.03: Chronology of prehistoric human activity in Kanto, Japan, Part II—Time-space analysis of obsidian transportation. J. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Sec V., 4, 395-469.）。

FT法の年代測定法としての本来の適用は、恩師渡辺が定年退官直前の1977年から1979年の3年間組織したジャワ洪積世人類調査団の一員として参加したことによって実現することができた。

[黒曜石と黒曜石分析]

黒曜石は地質学からいうとSiO₂に富む溶岩が急冷して生じるガラス質火山岩であり、その産地は限られている。産状は露頭（黒曜石溶岩流が地表に露出しているところ）と河川の流域などに見られる転礫の集積地である。黒曜石地帯は、世界的に見ると火山活動が盛んな環太平洋地域、アフリカ東部、地中海沿岸、ハンガリーなどに約800箇所、日本国内では北海道、本州中部、九州を中心に100箇所を数える。

黒曜石を顕微鏡で観察すると、晶子・微晶（中間段階）・斑晶（結晶の特性を備えたもの）が見える。晶子形態法による産地推定はまさにこの模様によって産地を推定する方法である。理化学的分析以前の産地推定に用いられた。

考古科学の研究対象としては、黒曜石は先史時代に広域にわたって運搬・交易され、先史時代の基幹産業をなしていた。例えばよく知られている例では、京都大学原子炉実験所の藁科哲夫博士が長野県和田峠産の黒曜石が青森県三内丸山縄文時代遺跡にまで運ばれたことを突き止められたことは、新聞紙上でも報道された。このように黒曜石は先史時代の人の交流と物の移動の研究の重要な材料である。

黒曜石分析は、黒曜石の産地推定と年代測定からなる。すなわち考古学的黒曜石の多様な属性のうちの二つ、運搬あるいは交易による移動の方向と距離（空間系）とそれが行われた年代（時間系）を同時に明らかにする。

遺跡出土黒曜石の原産地は、熱中性子放射化分析法、蛍光X線分析法、FT法などを用いて原産地と遺跡出土の黒曜石の化学成分や噴出年代を測定し比較することによって推定される。私の研究室では原産地を熱中性子放射化分析と多変量解析の一つ判別分析によって推定し、その年代を黒曜石水和層年代測定法によって測定している。

[産地推定]

理化学的に黒曜石の産地を特定するため用いら

れる方法は、原産地（集積地を含む）の黒曜石と遺跡から得られた黒曜石の微量元素や主要元素を測定して照合することによって行われる。したがって、数多くの核種を精度よく測定できる分析法が望ましい（いずれも核種名は省略した）。

このような条件を満たす現在一般に用いられる方法には、蛍光 X 線分析法（EDXRF：14 X 線強度及び強度比）、機器中性子放射化分析法（INAA：23 核種）、及びレーザー誘導結合プラズマ質量分析法（LA/ICP-MS：約 50 核種）があり、それぞれ一長一短がある。また、推定される産地の単位は、露頭（広義には集積地を含む）または露頭群で、方法間で様ではない。

蛍光 X 線分析法は、測定が迅速、非破壊、かつ測定費が安価であるが、三者の中では、産地の判別精度が低く、場合によっては、露頭群（いくつかの露頭のいずれか）のレベルの産地推定に終わる可能性がある。

私が主として用いていた方法である機器中性子放射化分析法は、判別精度は向上するけれども、試料の一部を打ち欠く必要があり（破壊法）、かつ原子炉という大型施設を必要とすることと放射性廃棄物が発生することが難点である。現在までに、日本国内の約 100 露頭の内 70 地点（露頭）、5148 点（地質学的黒曜石）の分析結果のデータベースが構築されている。露頭として報告されているものには、質的に石器材料として使用に耐えないものが多数含まれているから、国内すべての産地を実質的にカバーしていると考えて良いであろう。

放射化分析法の原理は次のとおりである。種々の核種に熱中性子を照射するとそれぞれの核種は放射化され、それぞれの核種に固有のエネルギーの γ 線を放出する。放射化された核種はそれぞれに固有の半減期で壊変する。したがって、冷却期間を調節することによって、産地の判別分析に有効な核種の γ 線を選択して測定することができる。

試料の各元素の含有量は、①試料とともに多種類

の元素の含有量が知られている標準試料に熱中性子を照射し、② γ 線を計数し、③試料と標準試料の γ 線カウント数比、重量比、測定開始時間の差に起因する変動を補正することによって計算される。

実際の操作は、まず、ダイヤモンドカッターを用いて、黒曜石試料の小片を切り出し、その重量を化学天秤で量り、ポリ袋に封入する。これを標準試料とともに照射キャプセルに入れ、立教大学原子力研究所 TRIGA II 型原子炉の回転試料棚（RSR）の位置に挿入して、出力 100kw で 12 時間熱中性子を照射する。対照する標準試料は NBS 278（Obsidian Rock）を用いる。約 10 日間（放射線を）冷却した後、 γ 線スペクトルを 60 分計数して、標準試料との比較から、23 核種の含有量を測定する。

レーザー誘導結合プラズマ質量分析法は、これまでの実績では、個別の露頭を識別する判別精度を持つけれども、測定費用が高く遺跡出土の全点試料の分析に適用することは困難であり、かつ大型機器を必要とする難点がある。

そこで、私は、国内の学会や国際研究集会で、分析フローとして、まず非破壊の蛍光 X 線分析法ですべての試料をスクリーニングして、露頭群としてしか判別がつかず、かつ考古学で個別露頭を知りたいという要請がある場合には、設備の便によって機器中性子放射化分析法あるいはレーザー誘導結合プラズマ質量分析法に進むことが望ましいという提案を行ってきた。

同様に国際研究集会で訴えたことであるが、このような分析結果の消費者である考古学の方々に、知っておいていただきたいことがある。産地推定が確実なものとなるためには、産地が網羅されていることが前提条件となる。一例を挙げると、2000 年に北海道北見市中本遺跡から分析依頼を受け、報告書を作成した時点では、4 産地のデータと比較照合した。2001～2004 年に行われた明治大学学術フロンティア事業で、2 回にわたる産地調査を実施したところ、新たに 2 産地が追加された。その結果は、実に 31/124 点（=25%）が新たに追加された産地に由来すると判別された。

以前の推定は 25% の誤判別があったことになる。

地域によって黒曜石産地の渉猟がほぼ完了しているところ（本州中部）もあるが、まだまだ網羅されていない産地があるのである。

〔黒曜石水和層年代測定法〕

水和層年代測定石器材料として先史時代の人々によって運搬・交易されたガラス質火山岩・黒曜石の石器製作時に生じた破碎面から水が内部に浸透して埋存期間（遺跡の年代）・地温・湿度等に応じた厚さの水和層が形成される。この水和層の幅（表面からの深さ）を計測して年代を知る方法が、黒曜石水和層年代測定法である。

この原理を利用した黒曜石水和層年代測定法は、米国地質調査所の Friedman と Smith によって 1960 年に開発され、水和によって屈折率が変化することを利用して、光学顕微鏡で、屈折率の異なるガラス質の境界面に生じるベッケ線を指標として水和層の厚さを測定し（従来法）、遺跡周辺の地温・湿度を考慮して年代を算出するものであった（Friedman, I. and Smith, R., 1960: A new dating method using obsidian: Part I…… The development of the method. *American Antiquity* 25, 476-522.）。

開発された当初は、ほぼ同時期に実用化された放射性炭素年代測定法と並んで、大いに期待され、我が国でも私たちのグループによって試みられたが、水和のメカニズムが不明確なこと、温度依存すること、及び光学的計測に付随する精度の問題などがあって、発掘・整理・報告の過程でのルーティンワークとして位置づけられるまでには至らなかった。

実際の試料の調整は、黒曜石の剝離面に直交して切り出した小片平均約 10 個を、エポフォームの試料枠に入れ、エポキシ系樹脂エポフィックスと硬化剤を容積比 8:1 に混合した。硬化完了後、通常の手順にしたがって、厚さ約 34 μm 程度の薄片に仕上げる。

これを、光学顕微鏡約 1,000 倍で透過光観察し、

その水和層の厚さをビデオプリンターのプリント上で計測する。

Anovitz et al. (1999) は、半導体の欠陥などを検査するために用いられていた SIMS H+プロファイリング分析法（SIMS: 二次イオン質量分析法—Secondary Ion Mass Spectrometry）を適用して、(1) 水和層の含水量は深さ方向に一定ではないこと、及び (2) 水素イオンプロファイルは多様であることを報告して、従来の光学的手法の問題点を指摘し、また、水素イオンプロファイルの解析法（half-fall and inflection points）を提案した（Riciputi et al., 2002）。測定精度は、ナノメートルのオーダーまで著しく向上し、その結果、それ以前に議論されていた黒曜石水和層年代の信頼性に決定的な疑問を投げかけるとともに、新しい発展の可能性も示した（Anovitz, L. M., Elam, J. M., Riciputi, L. R. and Cole, D. R., 1999: The failure of obsidian hydration dating: source, implication, and new directions. *Journal of Archaeological Science* 26, 735-752.）。

SIMS とは、表面分析の手法の中では最も高感度で、深さ方向の分析に最適な方法である。真空中で高速のイオンビーム（一時イオン）を試料表面に照射すると、スパッタリング現象によって、試料中の粒子がはじき飛ばされる。この時発生する正または負の電荷を帯びたイオン（二次イオン）を電場によって一方向に飛ばし、検出装置で測定する。

光学的手法の測定精度は、一例を挙げれば、10 ミクロンの厚さに対して 1 ミクロン程度の読み取り誤差があつて、算出される年代には 20% の誤差があつた。さらに、誤差として表示されない地温の推定の誤りに起因する誤差もあった。

SIMS H+プロファイリング分析法は、精度の問題だけではなく、人工的に水和層を形成する促進水和実験の面でも大きな利点をもたらした。それは、薄い水和層でも測定できるので、魔法瓶を

用いて実験できるようになり、特注の高温（200℃）に耐えられる大型のリアクターを必要としなくなったことと実験期間を短縮することができるようになったことである。

この論文は、それまで営業ベースで光学的手法による水和層年代測定を行っていた（海外の）研究者達にとってはとても大きな衝撃を与えるものであった。この論文の公表年 1999 年を区切りとして黒曜石水和層研究を Anovitz 以前と Anovitz 以降とに画期できるといってもよいであろう。

Anovitz らの論文のタイトルも過激である。この論文の査読を依頼されたそのような研究者の一人から、掲載不可の判定を下したと当人から直接告白を聞いたことがある。Anovitz らの熱意が、回り回って JAS という評価の高いジャーナルに掲載されることにこぎつけたのであろう。

我が国でも、私たちのグループが、立教大学研究奨励助成金（2004, 2005）を得て、研究を遂行し、(1) Fission Track 年代との比較（Ioannis Liritzis, Masao Suzuki, Akira Yamashina, Noriaki Otake, and Keita Watanabe, 2008: SIMS H (+) Profiling of Japanese Obsidians. In Obsidian Summit (eds. Suzuki, M., Ambrose, W., and Summerhayes, G.) (in press), (2) リアクターを用いた促進水和実験による人工水和層の形成、及び、(3) 加速器質量分析放射性炭素（AMS C-14）年代との比較及び古気候復元への試みを行い、口頭でも発表をおこなった。

[黒曜石考古気候学]

水和層研究は、当初、年代測定法として研究が進んだが、年代測定法の一つラセミ化法と同様に化学変化を利用した年代測定法は、温度依存型であり、最終氷期内に認められる複数回の亜氷期・亜間氷期などを経た試料では、得られる年代の信頼性はあまり高くはない。このことを逆用すると、古気候・古気温を数値化して算出できる可能性が

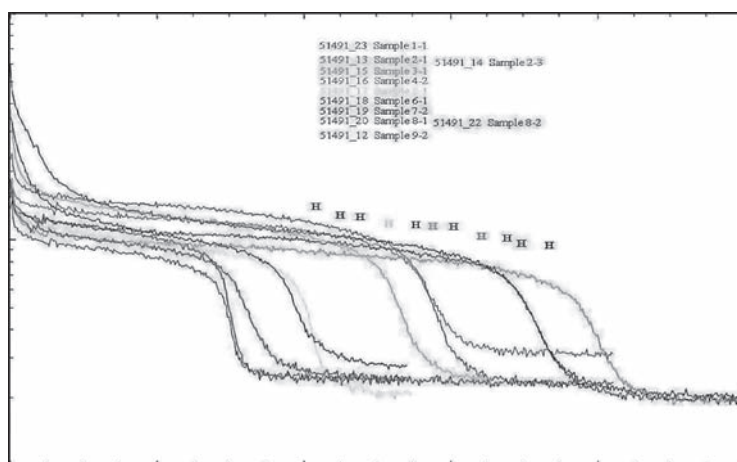
きわめて高い。Anovitz らは議論を一步進めて、遺跡周辺の古気候復元の可能性があることを示唆した（Anovitz, L. M., Riciputi, L. R., Cole, D. R., Fayek, M. and Elam, J. M., 2006: Obsidian hydration: A new paleothermometer. *Geology*, 34, 7, 517-520.）。このことは、私たちも予見していて、既に 2003 年の国際研究集会で試論を述べている（Suzuki, M.: An approach to the palaeoclimatic reconstruction using obsidian hydration as a temperature indicator. *Proceedings of the Melos Workshop "Recent Advances in Obsidian Dating and Characterization"*, 11-12, 2003.）。

この研究へのアプローチの方法には、複数の文化層が累重する遺跡出土の（非被熱／被熱）黒曜石を用いて、OB (sidian) H (ydration)、C-14、FT 年代を比較して、時間シーケンスに沿った気候変動を割り出す方法、および、黒曜石表面から水和層内部への SIMS による H (+) のプロファイルのパターン類別による方法、の 2 つがある。日本における人の黒曜石の利用・使用は、約 4 万年前まで遡る。世界の黒曜石産出地域の中で、ネイティブアメリカンやマオリの数千年の歴史と比較して著しく古い。また、層位学的に明瞭で、かつ精緻に行われる発掘調査は、世界に類例を見ない。一方、歴史がずっと古い（原人段階から黒曜石の利用の例がある）アフリカ東部は、気温が高すぎて風化が進み、健全な水和層の観察が難しい（水和層は、約 30 ミクロンの厚さに発達すると歪みが生じて剥落するという）。このように温暖な気候と歴史の古さの点で我が国は研究面できわめて有利な位置にある。

以下に、立教大学理学部渡辺圭太博士が行った促進水和実験と SIMS H (+) profiling の結果を引用する（渡辺圭太学位論文）。3 台の促進水和リアクターを用いて、上・中・下の一定温度、上→下・下→上・過去の氷河時代などの気候変化をシミュレートした可変温度などの条件下で、人工的に水和層を形成して、SIMS H (+) profiling

〈水素イオン
プロファイル〉

水
素
イ
オ
ン
濃
度



黒曜石表面からの深さ

を行った。

次頁の図は、複数の文化層が認められた遺跡（静岡県沼津市愛鷹山遺跡群）出土の、産地推定（EDXRF, INAA, LA/ICP-MS）によっていずれも同一産地（神津島・恩馳島）に由来すると判別された11点の試料のSIMSによる水素イオンプロファイルを重ねたものである。一般に我が国の先史時代遺跡では複数の産地から黒曜石が搬入されていることが多い。異なる産地及び化学組成の黒曜石のSIMS H(+) profileは変化に富み、互いに比較することは、結果をあいまい、あるいは無意味なものとしかねない。そのような理由で、産地を揃えたのである。

縦軸が水素イオン濃度、横軸が黒曜石表面からの深さ（水和層の厚さ）である。1番左側が縄文時代前期、1番右側が約25,000年前の文化層の試料で、約2.3倍の深さがあり、年代的には約5倍で、時間シーケンスとしては整合的である。

平らになっている部分（濃度）に違いが見られ、これが古気候の変化を示している可能性がある。

産地黒曜石を用いた促進水和実験では、産地によってプロファイルが異なる、いわゆる産地特異

性が見られる。この原因が化学組成だけでなく、化学系や結晶系とどのような関係があるか突き止めることも重要な研究になるであろう。このためには、渡辺博士の論文審査にあたって化学科の教員の一人から示唆があったように重水によるマーキングを行いそれが黒曜石内部でどのように内部へ移動していくか観察することがとても実り多いものとなるであろう。

従来の光学的手法では、ベッケ線が明瞭に観察される試料と、どこをベッケ線とすべきか迷う試料があった。ベッケ線が含水量に起因する屈折率の差によって生じることに思い至れば、なだらかに下降するプロファイルでは、ベッケ線が明瞭に観察されないはずであると納得した次第である。

今後の研究の方向としては、新たな解析法（高さ方向—half-fall and inflection pointsの深さまでの水素イオン濃度の積分値、及び3次関数カーブフィッティングの4パラメーターなどを加える—古気候関連）に基づき、本州中部（静岡県沼津市愛鷹山遺跡群）とは異なった古環境にあった北

海道（北見市中本遺跡など）及び九州（佐世保市泉福寺遺跡など）の遺跡を選定して、高精度年代測定及び古気候復元を行うことが考えられる。

北見市中本遺跡においては、既に被熱黒曜石の FT 年代測定、INAA（機器中性子放射化分析）、及び従来法による黒曜石水和層年代測定のデータの蓄積がある。

長崎県佐世保市泉福寺遺跡については、被熱黒曜石の FT 年代測定、FT 法による産地推定、C-14 年代のデータの蓄積がある。しかしながら、FT 法による産地推定は EDXRF, INAA, 及び LA/ICP-MS と比較して、推定精度が低い。そのため、追加の産地推定実験を行って、古気候復元のための試料を抽出する必要がある。① EDXRF, INAA, 及び LA/ICP-MS による産地推定、② AMS C-14（加速器質量分析による放射性炭素年代測定）の追加測定、③ SIMS H（+）profiling などである。

これらの研究を遂行するにあたって、とくに AMS C-14 と比較し、言及することが多いと考えられるが、本研究が対象とする 4 万年前～の、1 万年前を超えた年代については、樹輪年代との比較が行われていないため、較正值が得られていない（Kitagawa and Plicht: 2000; Radiocarbon, 42: 369-80., Guilderson T. P., Reimer P. J. and Brown T. A.: 2005: The boon and bane of radiocarbon dating. Science, 307: 362-364., Reimer et al., 2004: Radiocarbon, 46, 1029-1058）が報告した INTCAL 04 較正值については触れていない。このことは、この較正值が未だ十分に認知されていないことを示している。このことに十分注意を払って研究を進めていかなければならない。

最初に触れた晶子形態法であるが、黒曜石考古気候学を確立する過程では、黒曜石の化学組成の多様性、および結晶性物質（晶子・微晶・斑晶）の水和に及ぼす影響の究明は不可欠である。このため、黒曜石の岩石・鉱物学的研究と顕微蛍光 X 線分析・回折の統合による、結晶性物質の成

長・進化、さらに黒曜石の冷却史の解明、を行う。顕微蛍光 X 線分析／X 線回折による黒曜石内結晶質（晶子・微晶・斑晶）の成長・進化の研究、及び、溶岩流、放出礫、転礫といった地質学的記述と照合して、黒曜石の冷却史を復元する研究も改めて重要になるであろう。

[FT 法の改善]

一般に、放射性核種を用いた年代測定法では、壊変量と現在量を測定し、既知の壊変定数を用いて、年代を求める。これを FT 法に当てはめると、U-238 の自発核分裂飛跡密度が壊変量、U-235 の誘発核分裂飛跡密度を同位体比を用いて変換した換算値が U-238 の現在量を示し、これらの測度と既知の自発核分裂壊変定数を用いて年代を算出する。

ここおよそ 20 年の間に、放射性炭素法（AMS C-14）やカリウムアルゴン法（K-Ar, Ar/Ar 法を含む）は、加速器及び質量分析計を用いて、精度（precision）及び確度（accuracy）ともに格段に向上している。

しかし、FT 法は、(1) もともと自発核分裂壊変定数はきわめて小さく、分裂生成核種の量が少ないこと、しかも、(2) 核分裂によって生じる大小 2 個の核種が一意的に決まらず、質量数 140 と 95 を中心に広く分布すること、したがって、(3) 質量分析計では測定できないこと、よって、(4) 核分裂によって生じた損傷（飛跡／トラック）を光学顕微鏡下で観察・計数しなければならないこと、などの阻害要因があって、AMS C-14 や K-Ar 法と比較して、自動化・高精度化・客観化の面で著しく後れを取っている。

とくに、平成 14 年度・15 年度には、科学研究費基盤研究（B1）研究課題『被熱考古学的黒曜石の FT 年代による 2 万年前超の C-14 年代の較正』を受けて、被熱黒曜石の FT 年代と加速器質量分析放射性炭素年代を比較して、補正值を割り出すことを試みたが、(1) 両測定法の試料の同時間性を保証することがかなり困難であること、

(2) フィッシュントラック法でトラック類似エッチピットが阻害要因であること、この結果、(3) 2つの年代測定値の間の換算値を得るには至らなかったこと、及び、(4) 今後の研究の方向性としては、フィッシュントラック法の自動化・機械化が必要である、という結論に達した。

FT法の測定操作は、(1) 試料の鏡面琢磨、(2) 熱中性子照射、(3) エッチング処理、(4) 計数、の段階を経る。このうち最も労力を要し省力化が求められるのが、(4) の計数のステップである。光学顕微鏡で観察するときに、視野の縦・横方向への移動は、これまでもマイクロステッピングモーターで駆動して、ステージを動かすことによって行うことができた。問題となるのは、各視野ごとの画像の取り込みと、画像のデータベースとの照合である（指紋の照合と類似）。

今後の研究で、試作したいと考えているのは、長焦点顕微鏡を用いて、顕微鏡ステージ上で（フッ化水素による）エッチングを行い、飛跡が拡大されていく過程のビデオ撮影、及び適正エッチング時の静止画像のデータベースへの取り込み、及び黒曜石に見られる晶子・微晶・斑晶のエッチピットと識別する画像のデータベース作成のための装置である。

若い時代の年代測定にFT法を適用する場合には、ウラン濃度が高いジルコンか、広い検鏡面積の得られる黒曜石に限られる。とくに5万年より新しい年代測定では、黒曜石に限られると言ってよい。考古遺跡で得られる被熱黒曜石にFT法を適用するためには、レプリカ法が必然である。レプリカ法では、表面琢磨－エッチング（トラックの拡大）－計数、表面再琢磨（10ミクロン程度）－エッチング－計数を繰り返す。こうすることによって少ない試料の損耗で広い検鏡面積が得られることになる。

ただし、この方法には一つの欠点がある。それは、黒曜石に見られる晶子・微晶のエッチピットがFT・エッチピットと類似している場合に、エッチング停止時にエッチピットの先端部分から更

に内部にある構造を観察することができないことである。

したがって、この研究で開発する装置によって可能となるエッチピット及び内部構造の直接観察・画像取り込みと、レプリカ上のエッチピットを照合すれば、真正トラックと疑似トラックの識別がより確かなものになるであろう。

また、画像データベースと照合して、真正トラックがあると自動的に判定された視野だけを選んで経験を積んだ研究者が最終的に判断するようにすれば、著しく省力化が図れるだろう。この意味で、この装置は、“半自動化”である。

この研究について、既に数回にわたって、企業の共同研究者と装置の開発について検討を行い次のような仕様の機器の開発が計画されている。

[装置名称]: フッ化水素溶液内サンプル画像解析装置

[仕様]:

1. サンプル固定及びフッ化水素画像撮影装置
2. 撮影用架台
3. フッ化水素溶液用設備 ①フッ化水素用タンク、②フッ化水素濃度調整用水タンク、③フッ化水素溶液混合タンク、④フッ化水素送液用ポンプ2台、⑤純水送液用タンク、⑥フッ化水素溶液温度調節器、⑦フッ化水素溶液PH調節器、⑧フッ化水素溶液混合タンク用攪拌機、⑨フッ化水素溶液調整用ソフトウェア、⑩各種送液チューブ及びデータケーブル
4. マイクロスコープ倒立用架台

ここでは、最も測定が困難な5万年前より若い被熱黒曜石試料を対象として、フィッシュントラック年代測定法の半自動化を目指しているが、これが実現すればもっと年代が古い（自発核分裂飛跡密度が高い）地質学的黒曜石、あるいはエッチング液・時間が異なるジルコンについても応用可能であることは言を待たない。

[黒曜石学の創生・黒曜石研究所の設立]

世界的に見て、我が国はニュージーランド、米

州大陸と並んで有数な黒曜石産出地帯の一つである。また、日本における人の黒曜石の利用・使用は、約4万年前まで遡り、黒曜石産出地帯の中では、アフリカに次いで古く、研究の競争相手である米州大陸のネイティブアメリカンやニュージーランドのマオリの数千年の歴史と比較して著しく古い。また、先に述べたように、層位学的に明瞭で、かつ精緻に行われる発掘調査は、世界に類例がきわめて少なく、独自の領域を創出し確立することができる。

この4万年の期間には、最終氷期や縄文海進高海面期が含まれ、時間シーケンスが明確な複数の文化層が認められる日本の遺跡出土黒曜石試料にSIMS水素イオンプロファイリングを適用すれば、産地推定と相まって、黒曜石から直接（同時間性が保証された）精度のよい年代及び古気候変化が得られることが期待され、その成果は、先史時代の人と物の交流・交易、及び古環境の復元に大きな意義を持つと考えられる。

黒曜石研究のその他の側面としては、使用痕分析法がある。これは、石器を使用したことによって、刃部及びその周辺に生じた（1）光沢（2）微小剝離痕（3）線条痕を顕微鏡で観察して、①作業対象②作業方法を同定する。イースター島では、大型哺乳動物を解体したときに生じる光沢が観察される。しかし島では、（ヒトを除いて）大型哺乳動物の化石はあまり出土しないので、不明作業対象材料として棚上げされている（カーニバリズムの証拠かも知れない）。その他軽量鉄骨材として、建材に用いられたり、宝飾品になったりする。

2004年には、立教大学国際会議助成金を得て、世界の黒曜石産出地帯、米国、オセアニア、北・中・南米、地中海、アフリカ、東アジアの代表的な研究者11名を招聘して、世界の黒曜石研究の現状を通観した。この成果は、ニュージーランド及び東欧などの研究者の論文を加えて、近い将来単行本（英文）として刊行する予定である。

明治大学は、黒曜石研究センターを長野県小県郡長門町を設立し、機関誌「黒曜石文化研究」の

発行を開始したが、より公的立場の（独立あるいは財団）法人格の黒曜石研究所が設立されることが望まれる。研究所の業務としては、学会の設立、国際的な学術定期刊行物の刊行、国際学会との連携、世界の原産地及び遺跡を含めた分析結果の収集と交換、定期的な国際研究集会の開催、そして実際の測定サービス業務などである。

そのためには、研究者ごとに異なる産地名称のコンコダンスの作成、分析のための標準試料の調整と提供、黒曜石産地の調査と保存、そして標準岩石試料の共通化と黒曜石研究所に保管、研究者に提供することが主な業務になるであろう。

以上のような状況に鑑みると、Obsidianology（黒曜石学あるいは研究、=Obsidian Studies）と呼ぶべき新しい研究分野を提唱しても良いのではないかと考える。国際学会IAOS（U.S.A.）もあり、上位カテゴリーとしては考古計測学（Archaeometry）あるいは考古科学（Archaeological Science）・文化財科学がある。

【最終講義のまとめ】

このように、黒曜石研究には、先史時代の人の交流、物の移動、さらに文化圏の成立・変遷などを復元する客観的なデータを提供することができること（空間系）、また、その時代もSIMS H+Profilingによって推定することができる（時間系）のみならず、さらに、古気候変動の復元についても大きな可能性を秘めていること（環境系）、など黒曜石だけが展開できる固有の世界がある。

これが、「黒曜石学」の創生を提唱する理由である。