

# 堆積物の軟X線写真撮影法—その2—

有田正史 (海洋地質部)  
Masafumi ARITA

## まえがき

地質ニュース 320号 (1981年4月) に堆積物の軟X線写真撮影法—その1—としまして 未固結砂質堆積物のパラフィン固定法について紹介しました。この方法は海浜や干潟などの砂質堆積物が卓越している場所での堆積構造の詳細な調査・研究には適しておりますが 泥質な堆積物には適用できません。泥質な堆積物を乾燥させ

ますと 水分が抜けて 収縮したり 割目が生じたりして (写真8) 試料の採取時の自然状態での内部構造の観察ができなくなります。

しかしながら 堆積物には砂質堆積物と泥質堆積物があり 環境汚染に関する調査研究とか 微化石層序の研究において 分析試料を採取しようとするとき “泥質堆積物がどのように堆積しているのか” または “堆積後に底生生物によつての堆積物の上下混合がどの程度あ

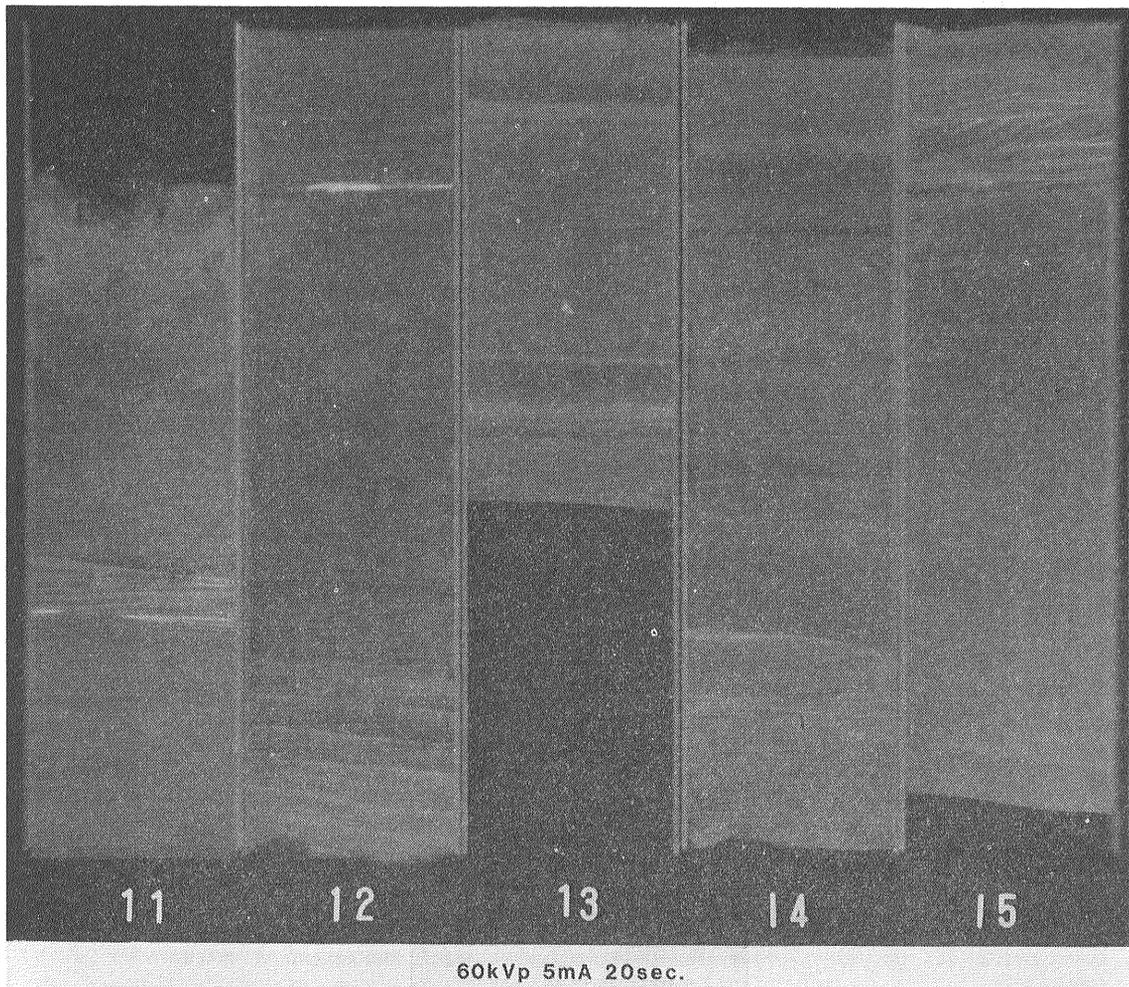


写真1 河川堆積物ボウリング試料の軟X線写真  
白色部：砂質 黒色部：泥質

るのか”という情報が必要になってきますし、このような情報を無視して採取された試料についての分析値はその解釈において正当性を欠くことになります。

粒度の粗らい砂質堆積物の断面では、おおまかな堆積構造(斜交葉理とか平行葉理など)を肉眼で観察できることもありますが、粒度の細かい泥質堆積物については内部構造を肉眼的に識別することは不可能で、軟X線写真に頼るしか方法がありません。

そこで、砂質堆積物と泥質堆積物の両方の内部構造が同時に、なおかつ簡単に撮影できる方法の開発が必要となります。

写真1は東北地方のダムの上流域におけるボウリング試料の軟X線写真ですが、海の堆積物に比較して、底生生物による堆積構造の破壊が少なく、形成時の状態がきれいに保存されていて、河川堆積物の運搬・堆積作用を考えるのに役立ちます。この写真の縞模様は白色部が砂を、黒色部が泥を示しており、また河川流量に影響を与える雨量の変化、降雨回数及び乾期、雨期の周期性の解析に役立つと考えられます。

それ故に、一つのダムについて、格子状に設定された多くの地点から採取された柱状試料の軟X線写真の比較

対比によって、ダムの堆砂の様式が明らかにされ、ダムの堆砂作用の防止に解決の糸口を与えるかもしれません。

しかし、どのようにすれば堆積物の研究の基礎試料として十分に役立つ軟X線写真を簡単に入手できるでしょうか。

### 従来 の 方 法

第1図に、半円状試料を使用して一般的に行なわれている軟X線撮影法と試料の形態と軟X線画像の関係について、概念図が、写真2にその実例が示してあります。

堆積物の軟X線写真は一般的に柱状に採取された試料について撮影されている場合が多いようです。この場合、軟X線撮影用試料としては半円状のものが使用されています。我々も過去においては、同様の試料を使用していました。この半円状の試料の厚さは中心部で3cm内外のものが一般的です。この半円状の試料に軟X線を照射しますと、試料を通過してX線用フィルムもしくは印画紙に到達する軟X線の透過量は試料の厚さに関係し、試料の側方ほど強く、中心部に向かって弱くなります。このフィルムもしくは印画紙の現像が問題で、試料側方の内部構造の情報を捕えようとしますと中心部は現像不足で内部構造が画像として浮び上がってきませんし、中心部の構造を捕えようとすると、側方は現像時間超過となり、軟X線画像は黒色の中に消えていきます(写真2)。写真2のような写真では堆積物の内部構造を概略的に知ることができても、堆積物研究に十分役立つ基礎資料とはなりません。

写真1のような詳細な内部構造を軟X線写真として入手するための第1条件は撮影試料の厚さを一定にし、試料を通過する軟X線の量が試料の物性(砂とか泥等)のみに支配されるようにすること、すなわち撮影試料を平板状に作成することが大切です。

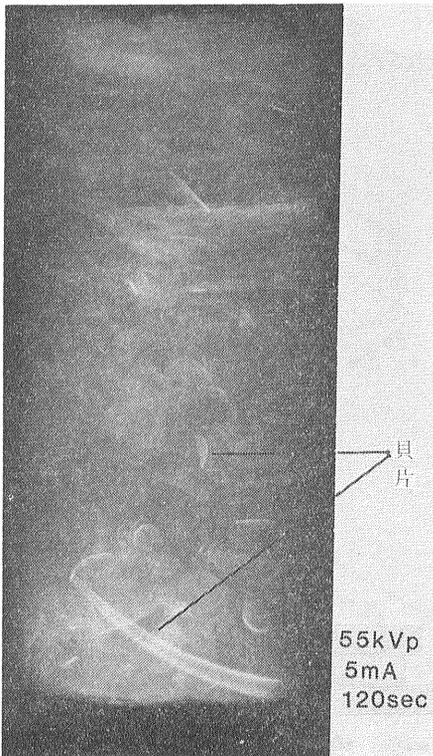
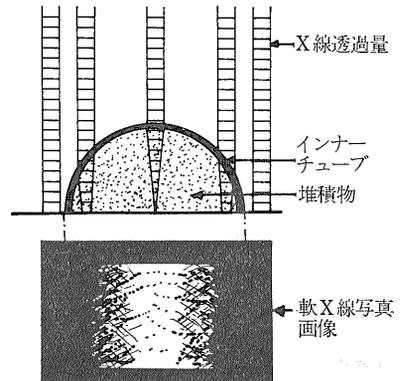


写真2 半円状試料の軟X線写真  
試料は瀬戸内海の泥質堆積物



第1図 半円状試料の軟X線写真撮影の概念図

## 撮影試料の作成

### 1 堆積物試料の採取具の用意

未固結堆積物を未固結の状態で平板状にするためには工夫がいります。

第3図に そのための堆積物の採取具の見取り図が示してあります。この堆積物採取具は スミスマッキンタイヤー式グラブ採泥器で採取された堆積物から柱状試料を抜き取るために考案されたもので 一般的には市販されておりません。自分で作りましょう。

この採取具は 肉厚1mmのアクリル板を折り曲げて作られており 5cmの高さをもつ大きい方(A)が粒度分析等の多量に試料を必要とする分析試料採取用で 1cmの高さをもつ低い方(B)が軟X線写真撮影試料用で撮影後は微量分析もしくは保存用に使用します。CとDはそれぞれの試料を保存する時のフタに使用します。

この試料採取具は アクリル板片を寸法を決めて切り取り 接着剤もしくはビニールテープで張り合せば簡単に作成できます。また 広いアクリル板が入手できるようにしたら 大きさを決めて設計し 折り目のところに浅い切れ目を入れてヘヤドライヤー等で温めて 直角に曲げれば良いでしょう。

この試料採取具を作成する時には 寸法は自由ですが AとBの幅を等しくすること Bの高さを1cm内外にすることが必要です。

ここで Aの寸法をもつ箱筒とBの寸法をもつ箱筒をビニールテープで張り合せて使用する方が後の作業が簡単であるのに なぜ このようなものを作らなければならないのかという疑問を持つことだろうと思います。

実験してみればすぐに解ることなのですが 開口断面積の大きな箱筒と小さな箱筒をビニールテープで一体化して堆積物中に押し込みますと 大きい方には長い試料が入りますが 小さい方では試料の貫入に対する抵抗が大きくて短い試料しか入りません。すなわち 分析試料と軟X線写真用試料の間に大きな長さの差が生じて軟X線写真を利用して分析試料の内部構造を確認することができなくなります。分析用試料と軟X線写真用の試料の長さを一致させるためには 一本の箱筒で試料を採取するようにし AとBの間に最初から仕切りを作ってはいけません。

### 2 試料の採取

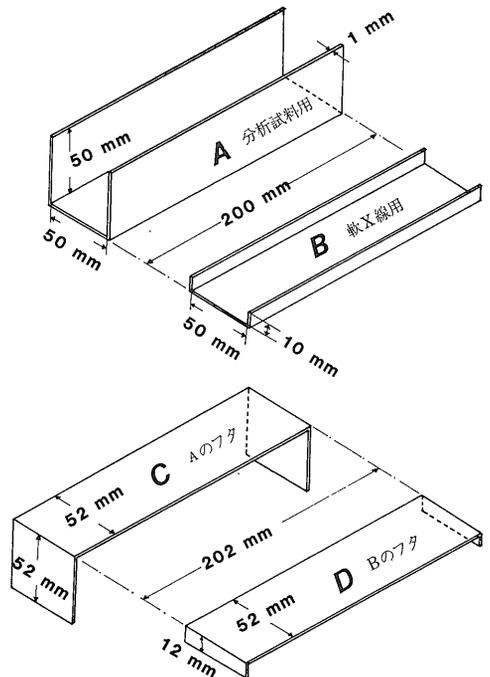
採取用具が完成したら 第3図を見て下さい まず AとBをビニールテープで張り合せて一体化し箱筒を作ります(第3図-1)。このビニールテープが未固結の砂質や泥質の堆積物から平板状の軟X線写真用試料を容易

に作成する仕掛けなのです。

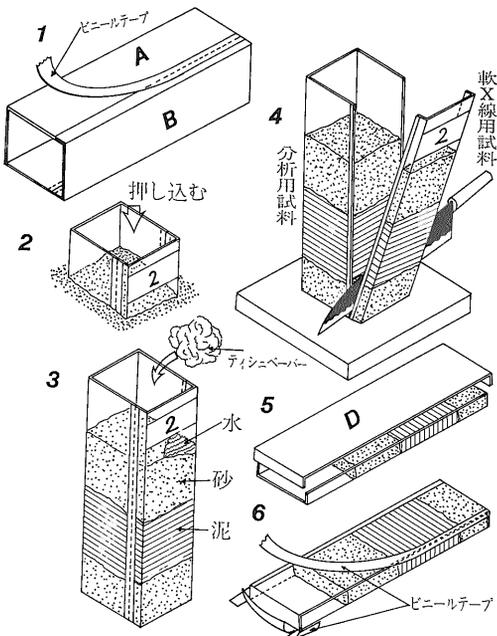
試料採取の用意ができれば 野外に出かけて この箱筒を目的の堆積物に押し込み 掘り出して下さい。掘り出された箱筒は 第2図のCとDで側方から封をして持ち帰ります。試料の採取場所が河川とか海浜・干潟の場合には試料の上部に水が残っている場合がありますので この時には ティッシュペーパーに吸い取らせます。次に 庖丁を使って AとBを切断分割し(第3図-4)、それぞれにフタをし 周囲の水分や汚れを良く拭き取った後ビニールテープで隙間を密封(第3図-6)して軟X線写真撮影試料の作成は終了です。密封した採取試料は湿気のある場所に保存しておきますと長期間 採取時の状態が保てます。試料の切断に使用する庖丁は 砂や泥を切りますので すぐに切れ味が落ちますが 良く研いで使用することも 美しい軟X線写真を撮る秘訣の一つです。

次に 陸上ボウリングとかピストンコアラによって採取された未固結柱状試料からの軟X線写真撮影試料の抜き取りについてお話しします。

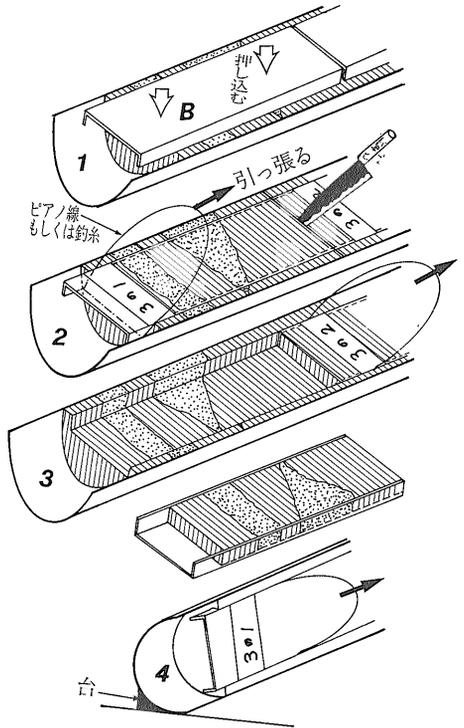
まず 半円状に分割した柱状試料の上に第2図のBを並べて試料中に押し込みます(第4図-1)。その後細いピアノ線か釣糸を輪にしてBにかけBの上面を軽く押えながらピアノ線を引張りますと 厚さ1cmの平板



第2図 未固結堆積物試料採取具の見取り図



第3図 軟X線写真用試料の作成



第4図 柱状試料からの軟X線写真用試料の抜き取り

状の試料を抜き取ることができます(第4図—2, 3). この方法では 含水率の低い柱状試料では非常に容易に作業ができますが 含水率が高くなってきますとピアノ線を引張って試料を切りましても 切口がすぐにふさがって抜き取りがむづかしくなります. この場合には 柱状試料を第4図—4のように立てると作業しやすいのですが 含水率が高すぎると かなりの工夫が必要ですので色々と試みて下さい.

この他に 野外に行きますと 採取具を押し込むには固すぎますが 庖丁では容易に切り取ることができる露頭があります. この場合には 露頭の垂直面を平坦にして Bを露頭に挟め込み 均一の厚さに切り取ります. 写真8~10は鹿島港の近くの泥炭質泥層を挟在する砂層から 上記の方法で抜き取ってきた試料の軟X線写真です.

さて 軟X線写真撮影用の厚さ 1 cm の平板状の試料が採取でき 多くの試料がたまったところで 次に軟X線写真の撮影に進みましょう.

### 軟X線写真の撮影

#### 1 用意するもの

軟X線写真を撮影するためには 軟X線発生装置が必要なことは言うまでもありません. X線発生装置には開放型と防X線型があり 開放型の機種は専用のレント

ゲン室等の管理区域を設けて使用する必要があります. 一般向きではありません. 防X線型の機種は X線が装置の外部に漏洩しないように作られていますので 研究室等に設置して使用できます. 防X線型の軟X線発生装置は一般的な機種で 300万円程度しますが 多くの大学や研究所等に設置されていますので 撮影の目的を説明して使用させてもらおうと良いでしょう.

次に必要なものは フィルムカセット X線用フィルムもしくは印画紙 X線用増感紙 フィルムマークです. フィルムカセットがなければ 印画紙を入れてある黒色のビニール袋を代用すれば 大きさも合っており便利です.

X線用フィルムは 4切25枚入で13,290円と高価ですが写真用印画紙ですと 4切20枚入で 2,500円程度で済み一回の現像で砂質物(軟X線の透過量が少くないもの)は白く泥質物等(軟X線の透過量の多いもの)は黒いという撮影試料の印象に近い画像が入手でき フィルムを焼きつける作業が省略できます.

撮影準備の第1段階として フィルムカセットの中に印画紙を上向きに入れ その上にX線用増感紙を下向き(印画紙の表と増感紙の表を合せる)にして置いて下さい. 増感紙を逆に置きますと減感紙になりますので注意して

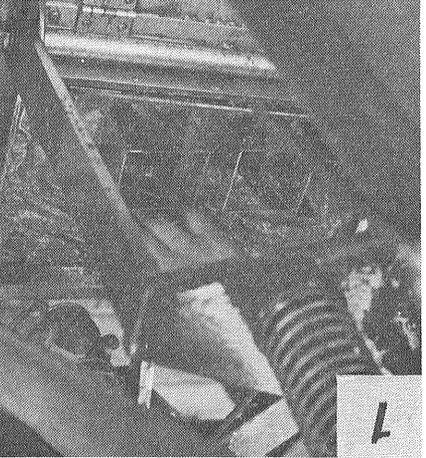


写真3-1 ミンス・マッキンタイセ式グラブ探泥器で採取された試料に柱状試料採取具を押し込んだところ

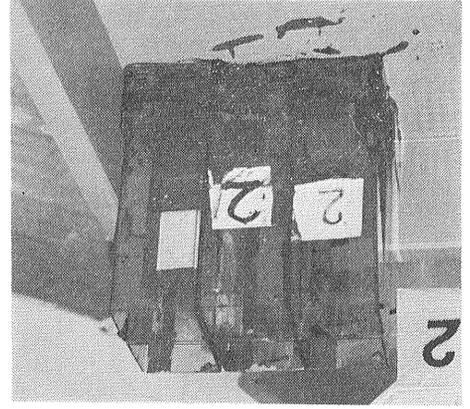


写真3-2 抜きだされた試料採取具

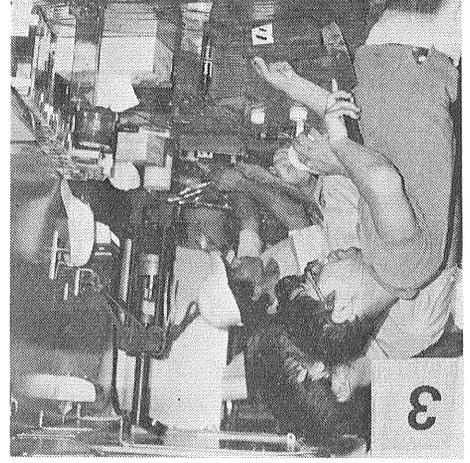


写真3-3 包丁で分析用試料と軟X線用を分割しているところ 料理人が著者

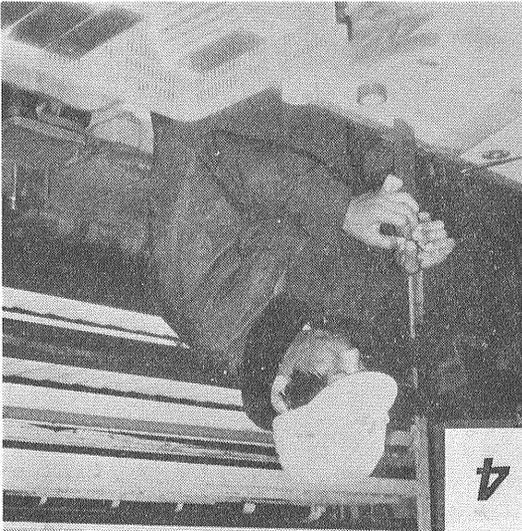


写真3-4 軟X線用試料の包装作業中

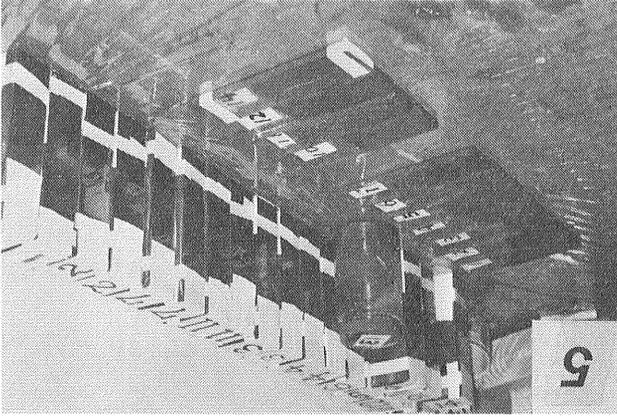
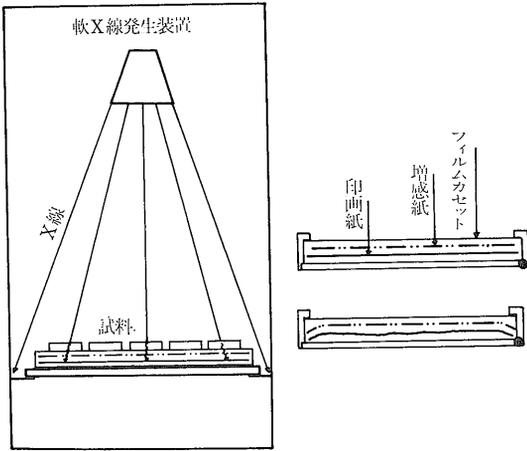


写真3-5 分割包装された分析用と軟X線用試料

軟X線用フィルムを使用する場合には 表と裏を合せた増感紙の間にフィルムを挟んで下さい。フィルムカセットは同じ4切用でも少し大小があります。小さい方に印画紙を入れますと 第5図の右下の図のように印画紙の面が波状になりまして X線画像に部分的なレボクを生じる原因となりますし 増感紙が折れ曲り傷がついてその傷が写真に転写されることとなりますので フィルムカセットの大ききの確認が必要です。増感紙(工業用X線増感紙 KYOKKO SMP-308)は4切用 2枚1組で13,800円とかなり高価ですので 取り扱いは注意して 折ったり 傷をつけたりしないことが必要です。

これで堆積物の軟X線写真の撮影準備はすべて終了し



第5図 軟X線撮影準備

ました。後は撮影試料と試料番号等を印字するフィルムマークを乗せたフィルムカセット全体に軟X線が照射される位置（4切の場合 X線管から70cm下）にカセットを設置し（第5図）撮影条件を設定して軟X線発生ボタンを“ON”にするだけです。4切印画紙を使用すれば試料が5本（1分）同時に撮影できます。

軟X線を照射された印画紙もしくはフィルムは市販の印画紙現像剤 定着剤を使用して処理します。特殊な薬品を必要としません。

## 2 撮影条件

撮影条件を変化させるものには試料の厚さ 軟X線の出力 照射時間の長さ 増感紙の使用の有無が主なものです。

今回は試料の厚さ（1cm）出力（60kVp 5mA）を一定にし 増感紙の使用の有無という条件で軟X線の照射時間の差が写真画像にどのように影響を与えるか調べてみましょう。

実験には土佐海盆の水深1260mから採取された砂層を挟在する泥質堆積物を試料として使用しています。

写真4と5は増感紙の使用の有無によって軟X線の照射時間と画像の解像力との関係を示したものです。軟X線の出力を（60kVp 5mA）に固定した場合増感紙を使用しない場合には照射時間を180秒にしても堆積物の内部構造はかすかにしか現われてきません（写真4）。増感紙を使用した場合10秒では照射不足ですが20秒で内部構造の観察ができるようになり30秒の

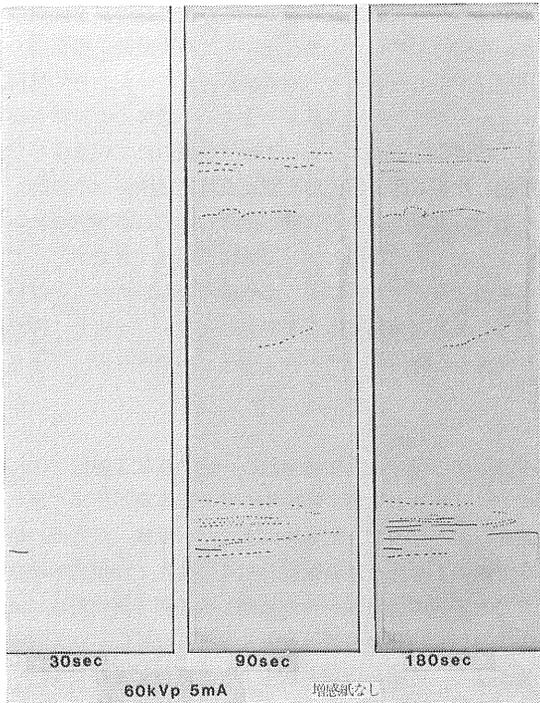


写真4 増感紙を使用しない時の軟X線写真と軟X線照射時間の関係  
試料：土佐海盆；水深：1265m

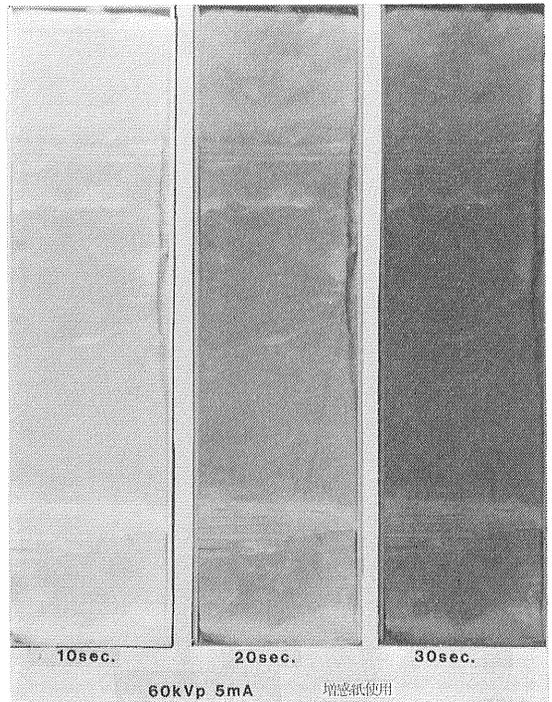


写真5 増感紙を使用した時の軟X線写真と軟X線照射時間の関係

照射を行うと 内部構造の詳細が観察できる解像度の良い写真ができます。 堆積物の軟X線写真の撮影には増感紙の使用が必要です。

撮影の条件は 試料の厚さや物性によっても変化しますので 撮影時に適正条件を設定する必要があります。 この作業を行う時には 増感紙使用 出力60kVp 5mA 20秒照射から始めて 照射時間もしくは出力を調整すれば良いでしょう。

### 3 印画紙の選定

この軟X線撮影法の特徴はX線フィルムを使用せず 写真用印画紙に 堆積物の内部構造を軟X線写真画像として直接的に焼きつけることにあります。

写真6は同一撮影条件で 印画紙の種類を変えた時の軟X線写真の画像の差を示しています。 同一試料について 印画紙の2号 3号 4号の画像を比較しますと 印画紙2号では解像度が悪くなり 4号では画像が少し白ぼくなります。 個人的な美的感覚によりますが 一般的には 3号の印画紙を使用するのが良いと思います。

この他に 風乾用で高感度の白黒用印画紙が市販されています。 この印画紙(3号)を使用しますと 軟X線の照射時間が10秒で 普通の印画紙(3号)を作用して軟X線を30秒間照射した時と同等の写真が得られます

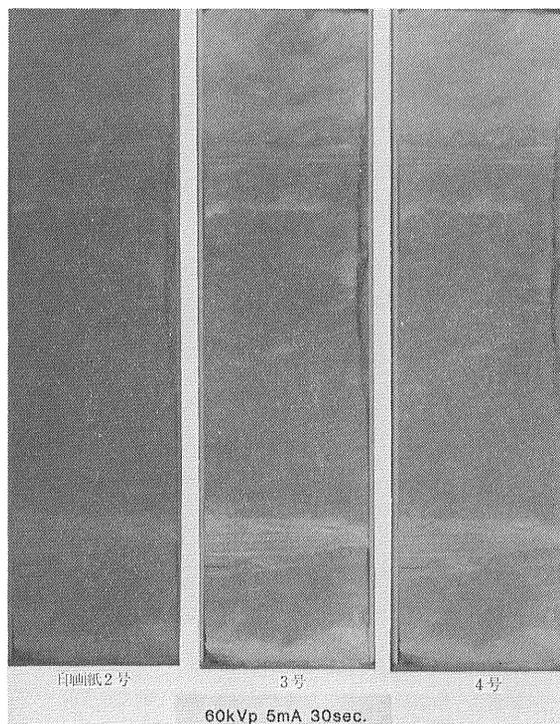


写真6 印画紙の種類と軟X線写真画像との関係

(写真7)し 水洗時間も5分程度で 温風もしくは自然乾燥ができますので 写真用乾燥器も不用で 気の短かい人 多忙な方に向いています。

### 4 撮影上の注意

写真7と第6図に軟X線写真の失敗例が示してあります。 このような失敗は 試料の作成時もしくは撮影する時の不注意によって生じたものです。

第1の失敗は 試料の表面に溝状の引っかき傷を作ったまま撮影したことです。 これらの傷は写真の画面に線状の条痕として示されます。 試料を作成する時に切れない庖丁を使用すると 上方の粒子や貝殻を下方に押し下げ このような傷を試料の表面に残すことになります。 もし 試料の表面に溝状の傷ができた時には バターナイフのような平らな物に水をつけて試料表面をなでて傷を消しましょう。 この作業で内部構造が乱れる心配はありません。

第2の失敗は 写真の下部に認められるもので 堆積物の内部構造と関係ない三角形の像を作ったことです。 この原因は 軟X線試料にフタをする時に あまりにも 厳重に 厚くビニールテープを張り付け過ぎたことです。 フタを固定するビニールテープは一回巻で十分です。 “過ぎたるは及ばざるが如し” なのです。

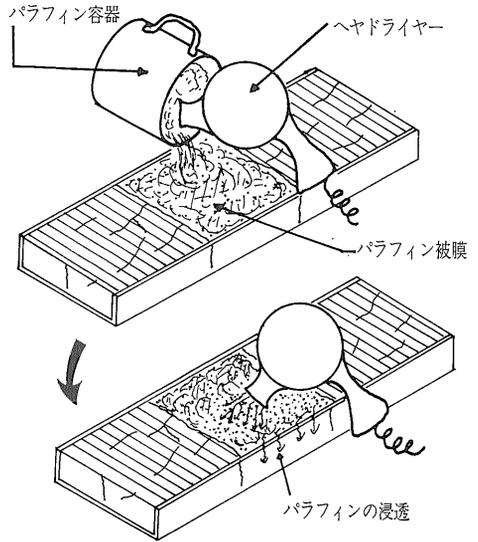
第3番目の失敗は致命的で この軟X線写真を価値のないものにしてしまいました。 この失敗は 撮影者の不注意で生じたもので 増感紙が汚れていたことに気付かなかったことに原因があります。 数多くの試料を撮影する時 フィルムカセットの数が限られていますので 現像しながら印画紙の詰め替えを行います。 その時 手や袖口に現像液や定着液が付着し それが増感紙にふれますと それが汚れとして画像に現れてきます。 この失敗をなくすためには 増感紙の表面が汚れていないかどうか毎回確認することが必要です。 もし 汚れを発見した時には ティッシュペーパーで拭き取って下さい。

ここまでで 未固結堆積物の一般的な軟X線撮影法については終わりますが 堆積物の軟X線写真が簡単に撮れることがご理解できたと思います。 今後 多方面の研究の際の不可欠な基礎試料として また 堆積岩の堆積構造と現在の諸環境からの試料の軟X線写真の対比によって 古い時代の堆積場を考えることなどに 軟X線写真が広く一般的に使用されることを期待しています。

### さらに工夫してみたい方に

砂質堆積物と泥質堆積物が互層している場合 試料を平板状にしても 同一撮影条件では砂の方が軟X線の透過量が少なく このために解像度が悪くなり 砂層の中の詳細な内部構造が不明になる場合があります。この傾向は砂層の中に含まれる泥分の量が少くなる程強くなります。

そこで 砂層の中の内部構造を詳細に観察したい時には まず最初に すでに述べた方法で軟X線写真を撮った後に その試料を風乾もしくは低温で乾燥します。試料を乾燥しますと写真8のように 砂質部の体積は変化しませんが泥質部は収縮変形をして 割目等を生じます。この泥質部については すでに 軟X線写真の撮



第7図 砂質堆積物のパラフィン固定法

影が終了していますので その変形は気にしないことにします。

次にヘヤードライヤーで砂層を温めながら乾燥させ その上に ヘヤードライヤーの温風で融したパラフィンを滴下させます。最初は 砂層が十分に温められていないために 滴下されたパラフィンは砂層の上に被膜を作ります (第7図)。このパラフィン被膜にヘヤードライヤーの温風をあてますと パラフィンが融けると同時に砂層も熱せられて パラフィンは砂層の中に容易に浸透していきます。パラフィンが浸透しなくなって滴下したパラフィンが砂層の上に溜りを作るようになったら この作業は終了です。この試料作成法は 軟X線撮影法—その1—パラフィン固定法の改良型です。

使用するパラフィンは融点の低いものが作業しやすいのですが 入手できなければ市販のロウソクでも良いでしょう。今回の実験では 融点が 42~44°C の組織学用パラフィンを使用しました。

撮影試料をパラフィンで固定した場合の撮影条件は 写真5 (未処理試料) と写真9 (パラフィン処理試料) を比較してお解りのように 両者で大差はありませんが軟X線画像はパラフィンで固定した試料の方が内部構造が鮮明なもの得られています。

写真10~11に 各々の同一試料について 半円状 平板状 パラフィン固定処理の試料の軟X線写真が例示してあります。内部構造の解像度は 半円状 平板状 パラフィン処理の順で良くなっています。平板状未処理試料の写真画像は全体的にボンヤリしたところがあり

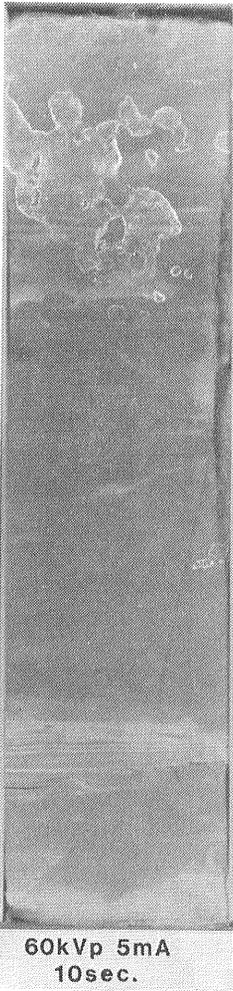
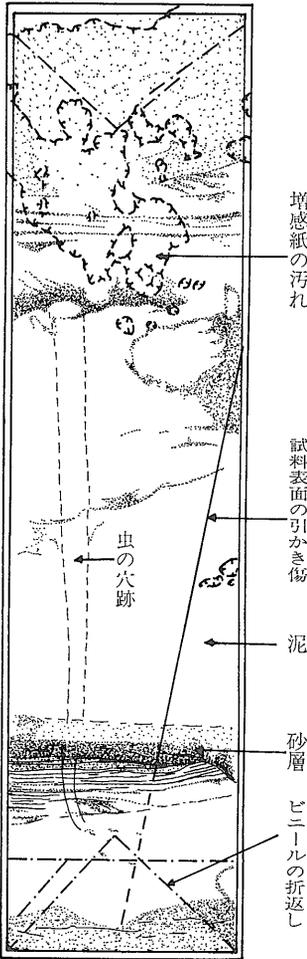


写真7  
軟X線写真の失敗例  
印画紙：風乾用(白黒)  
3号



第6図  
軟X線写真に基づいて作成した  
柱状図

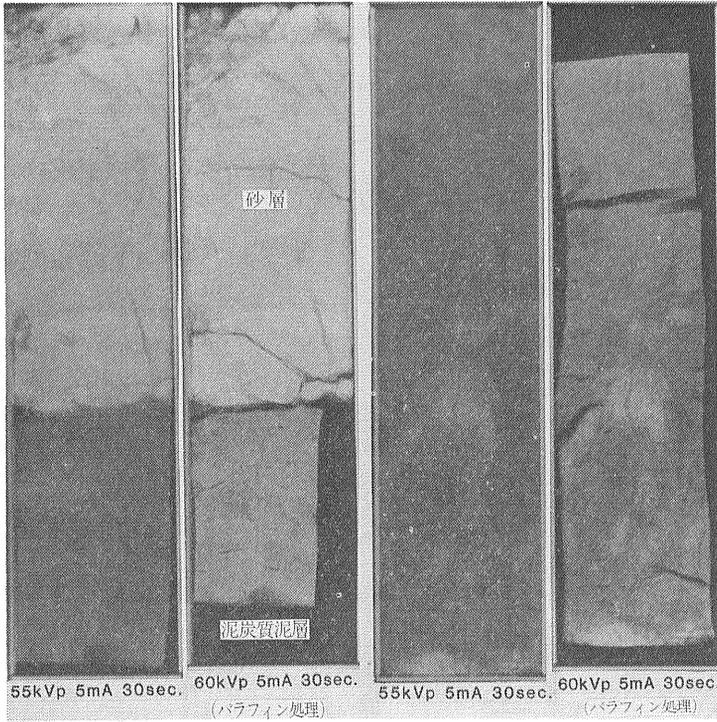


写真8 乾燥による泥質堆積物の収縮変形  
 非変形：採取直後の軟X線写真  
 変形：採取1年後にパラフィン処理した試料の軟X線写真  
 試料：鹿島港近くの泥炭質泥層を挟在する砂層

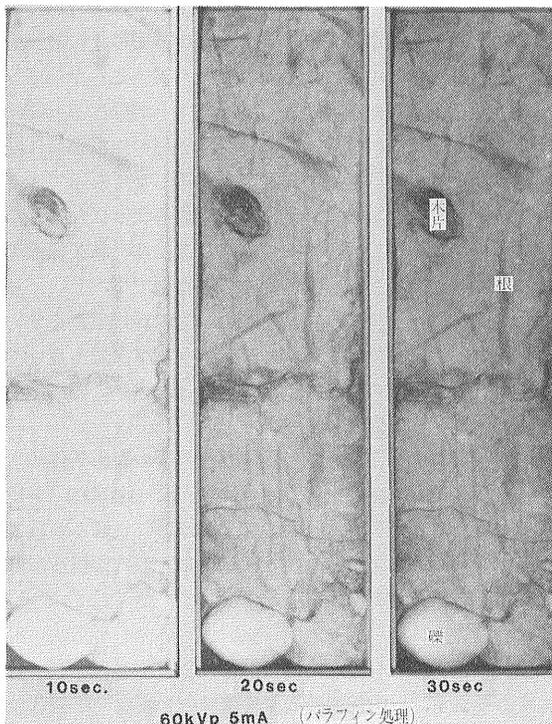


写真9 パラフィン固定試料の撮影条件  
 試料：鹿島港 泥炭質泥層の下部

ますが パラフィン固定処理した方は 砂層 泥層ともに画像が鮮明に表現されています。特に 砂層中の堆積構造の解像度はパラフィン処理することによって向上しています(写真11)。

### 厚さが不均一な物質の軟X線撮影

堆積物以外に 凸凹のあるものの軟X線写真を撮りたい人もいます。その目的は色々で 物体を破壊することなく内部を見たい人もいますし 切断するために内部の構造を知りたい人もいます。このような時 厚さの不均一な撮影試料に単純に軟X線を照射しても 原理的には第1図と同じことで 軟X線の透過量にむらが出て目的を達成する軟X線写真は得られないでしょう。第8図に 厚さが不均一な物体の例として球状物の軟X線撮影の概念図が 写真16には ゴルフボールの軟X線写真が示してあります。フィルムカセットの上にゴルフボールを置いて軟X線写真を撮りますと 印画紙に到達する軟X線の透過量に大きな差が生じて ゴルフボールの円周部は黒くなり その形さえ判別しにくくなります(写真12)。

そこで 水を満したアクリル容器の中にゴルフボールを入れて 軟X写真を撮りますと ゴルフボールの輪郭や表皮の厚さまではっきり識別できる写真が得られま

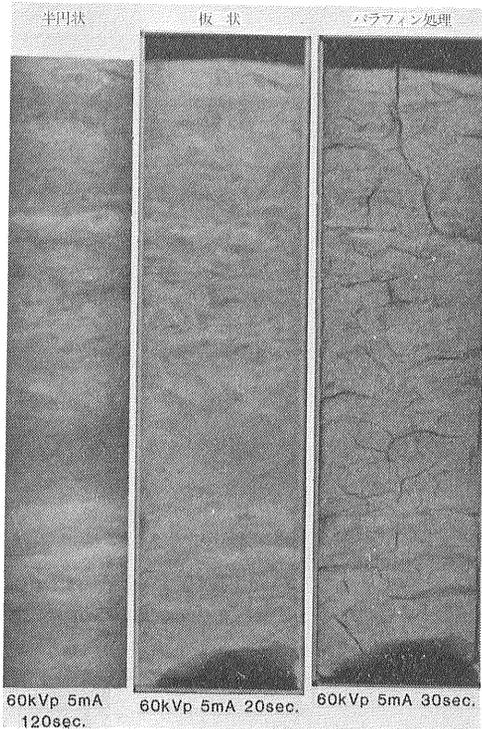


写真10 半円状・未処理平板状・パラフィン固定  
平板状試料の軟X線写真の比較  
試料：富山湾（水深：900m）  
虫に食い荒らされた泥質堆積物

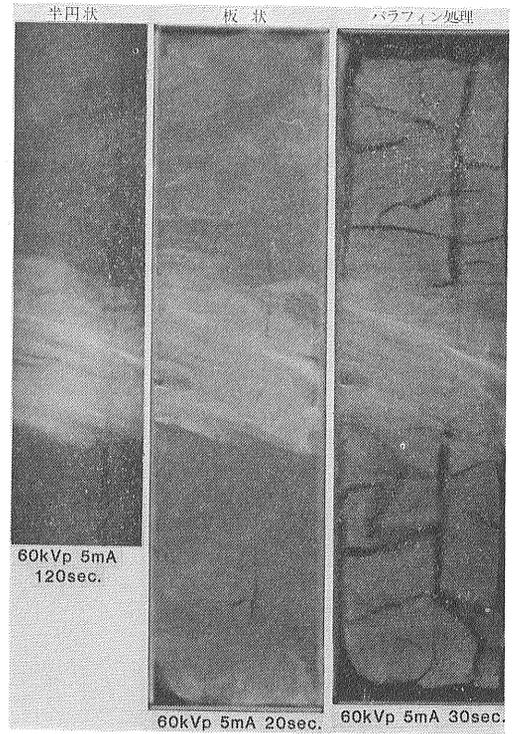


写真11 半円状・未処理平板状・パラフィン固定  
平板状試料の軟X線写真の比較  
試料：富山湾（水深：1100m）  
未固結砂泥互層

す。この理由は軟X線が水中を通過する時に減衰して試料の厚さによる軟X線の透過量の差を小さくしてしまうことにより画像が平均化され物質差を反映した濃淡だけを表現するからです。実はこの方法は私が考えたものではなく真珠養殖の分野で実施されていると聞いて実験してみたものです。

実験の成功に気を良くして深海底のマンガン団塊に挑戦してみましたが内部構造の観察には失敗しました。

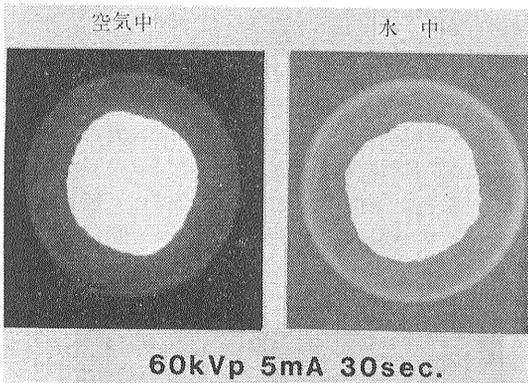
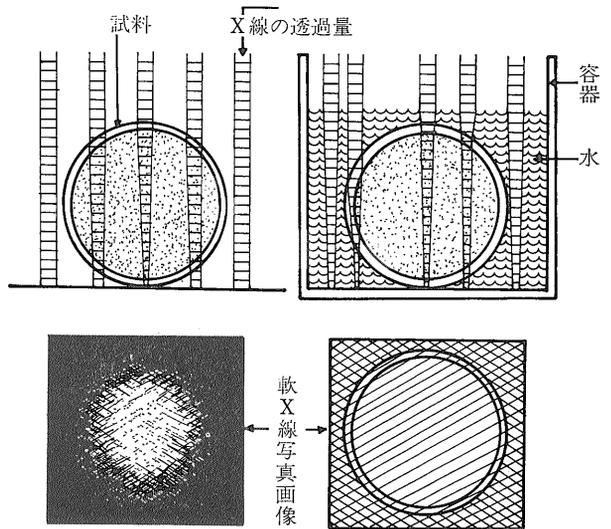


写真12 ゴルフボールの軟X線写真

今一つ工夫がいるようです。しかしこの方法に改良・工夫を加えれば大型化石の研究分野で役立つように思われますしまた半円状試料から資料として有効性の高い軟X線写真の撮影が可能になるでしょう。

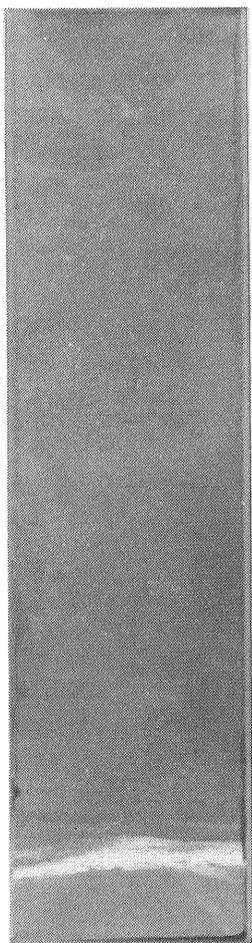


第8図 球状物体の軟X線撮影の概念図

### おわりに

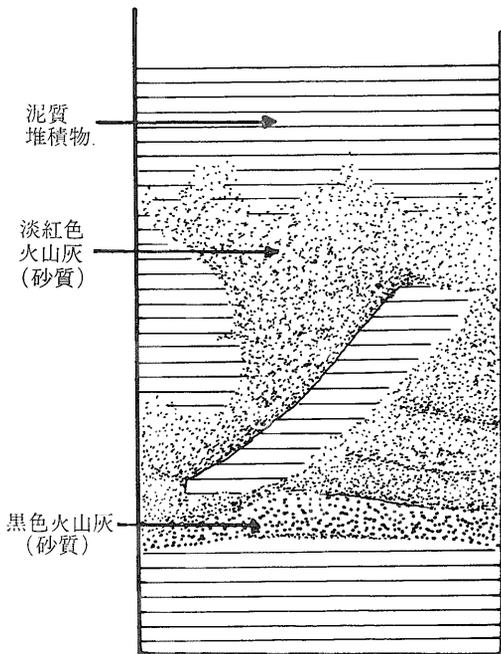
私自身が初めてX線写真を撮影してから 試行錯誤を繰り返しながら20年近い月日が経過していき その途中結果としての未固結堆積の軟X線撮影法を本文に紹介しました。しかしながら いまだに十分に満足のいく軟X線写真が撮影できない堆積物もあります。泥炭・珪藻土・火山灰・深海底の軟泥等の物質組成が均一に近いものがそれにあたります。

写真13は土佐海盆の水深1045mから採取された試料の軟X線写真です。この試料では 海底下約80cmのところに厚さ4cmの火山灰層が泥質堆積物に挟在されて存在します。肉眼観察では 火山灰と泥は色の違いによって識別されますし 火山灰中の堆積構造も認められる



60kVp 5mA 30sec

写真13 火山灰を挟在する泥質堆積物の軟X線写真  
試料：土佐海盆  
(水深1045m)



肉眼観察によるスケッチ

第9図 火山灰層の肉眼観察によるスケッチ

のですが 軟X線写真では 黒色火山灰層の存在のみが識別され 淡紅色火山灰と泥の境界及び火山灰の内部構造も識別することができません。

これらの堆積物の内部構造の詳細が軟X線的に観察できれば それらの堆積作用の解明に役立つのですが そのためには新しい工夫が必要です。一つの考えは 物質的に均一な堆積物中に X線を透過しにくい物質の水溶液を浸透させることです。注入された水溶液は これらの堆積物の堆積基礎面(斜交葉理等の葉理面)に沿ってより多く浸透すると考えられますので 軟X線を照射すると内部構造が浮び上がってくると思うのですが 実験は終了しておりません。

何事についても 見せないと言えれば見たくするのが人の心の本質のようです。そこから創意工夫が生まれますし それが自然科学を発展させる源動力なのだと思います。まさに“窮するは通ず”なのです。皆さんも色々と考えて 軟X線写真の撮影について 新しい方法を思いついたら御一報下さい。