堆積物の軟X線撮影法―その1―

有田正史（海洋地質部）
Masafumi ARITA

中村康夫（建設省土木研究所）
Yasuo NAKAMURA

まえがき

最近　海洋環境調査等において　堆積学や地球化学の分野に属する詳細な研究が行われるようになっています．　これらの調査研究において　もっとも重要なのは分析試料の採取に関する問題点であることは説明を要しません．

海底から不攪乱状態の海底堆積物を採取することは現在では技術的に確立されております．　これらの海底に存在するがままの状態で採取された試料から　分析試料を採取するときに　多くの場合　10 cm 毎等の定間隔に採取点を決め　試料を採取して　多方面の分析値を出し　その結果について考察する方法が用いられております．　この定間隔サンプリングは　堆積学的に根拠が与えられているものではありません．

堆積物は　一般的に　堆積場所の相違によって　堆積速度や粒度構成を異にするもので　それらは時間的にも変化されるものです．　堆積環境の時間的変化の総和が堆積物の柱状で示されているわけです．　分析試料を採取する場合には　各採泥点における柱状試料に示されている　堆積環境の時間的変化を層理や粒度の相違に基づいて認識しなければなりません．　堆積学における砂泥互層のように　その柱状特性が肉眼的にはっきりしている場合にはいいのですが　肉眼的に均一に見える堆積物や未固結で堆積構造を識別できない堆積物についてはそれらを認識するためには特別の方法を必要とします．この特別の方法の一つが　“堆積物の軟X線撮影法”であります．

軟X線は　一般的には　ソーセージ等の食料品等の製品の品質管理や　仏像等の内部構造を調査したり　また有名な絵画を透視して書き直した跡を発見したりするのに使用されており　物体をあるがままで　その内部状態を調査する　非破壊検査の一種であります．

この軟X線を堆積物に応用して　堆積作用の時間的過程を知ろうとするわけです．

堆積物は　砂質堆積物と泥質堆積物に大別されますが今回は　未固結の砂質堆積物の軟X線撮影法について“パラフィン固定法”をお話しします．

用意するものは　堆積物採取容器　紙製ガムテープ　ボロ布　針金　スコップ　ロウソク及び鍋です．

撮影試料の作成

まず堆積物採取容器として　一辺の長さ 10cm の正方形の横断面を示す長さ 20 cm　肉厚 2 mm で先端部をとがらせた鉄製の箱筒を用意します．　この箱筒の大きさは自由ですが　試料採取の際に押し込む労力　切断する時のカッターの刃の半径　粒度分析等に必要な試料の量の点から　市販されている上述の規格のものを使用するのが良いのですが　入手できない時には　缶ビールの空缶の底を抜いて利用しても良いと思いますし　お酒の好きな方には都合のいい方法かもしれません．

この箱筒の採取容器の内側には紙製ガムテープをすき間なく張りつけておきます．　この理由については　後でお話しします．

この採取容器を持って　干潟等の砂質堆積物の分布しているところに出かけて　採取したい場所に静かに採取容器を押し込みます．　この際に　採取容器の採泥番号をつけた面を定方向に向けておけば　堆積物の定方位採取ができます．　続いて　スコップでこの容器を堀り起し　底部を布で被い針金でしばります．　この場合　使用する布は　透水性及び耐熱性に優れているものほど良く　木綿布を使用するといいと思います．　この試料の入った採取容器を研究室に持ち帰ります．

研究室では　試料の入った採取容器をサンドバスか定

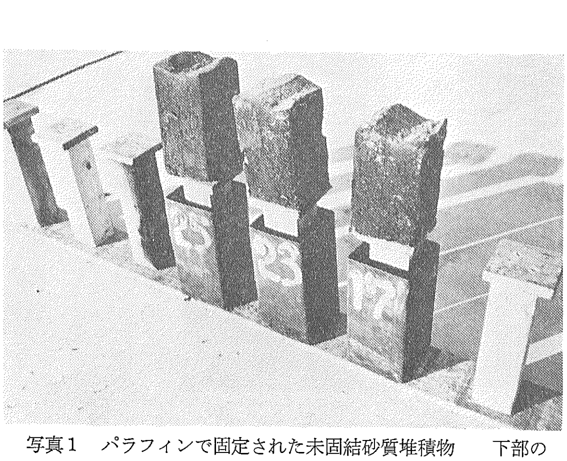


写真1　パラフィンで固定された未固結砂質堆積物　下部の箱筒が採取容器

温乾燥器を使用して　試料中の水分を完全に除去します．この際　あまり高温にすると底部の布が焼け　試料が流出しますので　70°C 程度の温度で乾燥するのが適当です．　乾燥に要する時間は試料の量によって異なりますが　採取容器の上部まで試料が入っている時には　80時間位で十分なようです．　海の堆積物ですと　砂の表面が塩分で白くなったら乾燥終了の時です．

次に　乾燥した試料に鍋等を使用して120°C前後に熱したパラフィンを注入し　試料を固定します．　パラフィンの注入法は　海砂の場合ですと　乾燥によって砂の表面が塩分で固定されていますので上部から静かにパラフィンを注ぎ込めば良く　表面の構造が注入作業によって破壊される心配のある場合には，深鍋を利用したパラフィン槽を作って　この中に試料の入った採取容器をつけ　下部からパラフィンを侵透させれば良いでしょう．このパラフィン注入作業の際には　試料を100°C程度に熱してパラフィンの侵透力を増してやる必要があります．試料が冷えておりますとパラフィンが試料の途中で固化し侵透をさまたげるために試料の固定がうまくいきません．　注入に要する時間は　上部から注ぎ込む場合は約5分　下部から侵透させる場合には30分位必要です．

試料の固定に使用するパラフィンは融点 60°C 前後のものを使用するのがよく　市販されているロウソクを利用すれば十分です．　化学用のパラフィンは500ｇで800円ですが　場所によってロウソクの燃え残りで再生用のクズロウを安価に大量に入手することが可能です．

採取容器の下部からパラフィンが侵み出し　注入が完了したら　冷所に置き放置すると試料は岩石の如く固結します．

固結が終了したら　採取容器の四面をガスコンロ等の上で約30秒間加熱し　写真１に示してあるような台の上に置き　採取容器から試料を抜き出します．　この抜き出し作業を容易に行うために　前述の紙製ガムテープが必要で　採取容器の内側に紙製ガムテープを張っておきませんと鉄錆のために試料が抜けにくくなりますが　紙製ガムテープを張っておきますと　採取容器と試料が直接に接していないために抜き出し作業が簡単に行えます．また　抜き出し台の上面にも紙を敷いておく必要があります．　そうしておかないと抜き出された試料が台の上に固定されて　とれなくなります．

写真１の固結された試料の上面には砂漣が完全に保存されており　自然そのものが固結されているのがおわかりと思います．

固結された試料は　Mioceneの泥質岩よりはるかに強い強度をもっており　岩石用カッターで５mm 程度の板を切りだすことが可能です．　この場合　硬岩用のカッターの刃を使用しますと刃の消耗が激しいので　軟岩用のカッターの刃を使用する方がよいでしょう．

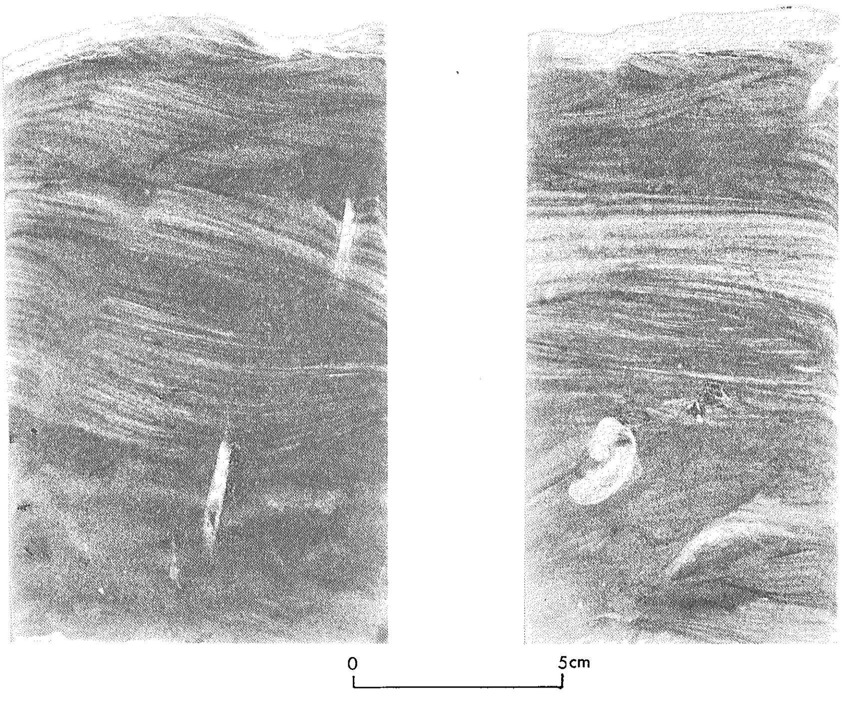


写真２
有明海干潟の堆積物の軟Ｘ線写真
黒色が砂質部　白色が泥質部

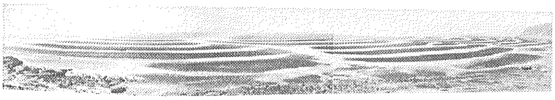
軟Ｘ線撮影と分析試料の採取

さて　パラフィンで固定された試料から切り出された厚さ５mm の板を軟Ｘ線発生装置を使用して撮影を行い実寸大の写真を作成します.

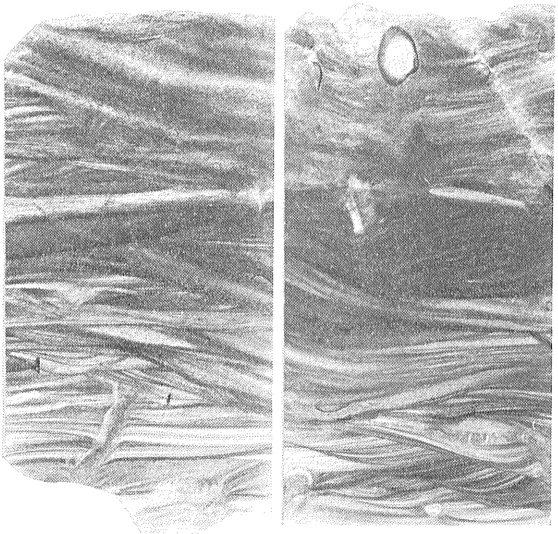
フィルムには　軟Ｘ線用フィルムを使用しますが　最近ではフィルムが非常に高価なので　その代用品としては写真用印画紙（月光Ｖ３，フジＦ３）に直接軟Ｘ線を照射する方法があります.　印画紙を使用する方法ですと安価で何枚でも気軽に撮影することができます.

フィルムもしくは印画紙をフィルムカセットか黒色のビニール袋に入れ　その上に撮影試料を置いて軟Ｘ線を照射し軟Ｘ線写真を撮影しますが　撮影条件は　試料の肉厚及び粒度等によって異りますので　電圧　照射時間等を変えて撮影し　適正な条件を探りだすのが良いでしょう.　フィルムもしくは印画紙を工業用Ｘ線増感紙（KYOKKO SMP 308）で挟んで撮影すると軟Ｘ線の照射時間が短かくて済みます.

軟Ｘ線照射の終了したフィルムもしくは印画紙の現像には　普通の印画紙現像法を使用します.　暗室の中では　少し黒くなりすぎたと感じる程に現像すると良いようです.　印画紙を使用した場合には　これで終了ですが　フィルムを使用した場合には焼付けが必要です.



1



2-A　　2-B

0　　5cm

写真３　有明海干潟の堆積物の軟Ｘ線写真
上部の写真は有明海の干潟

印画紙に直接に照射した写真とフィルムを使用して焼き付けた写真とでは同一物でも白黒が逆になります.　印画紙の場合には軟Ｘ線の透過率の良い泥質物は黒く表現されますが　フィルムからの焼付け写真では白く表現されます.　泥質部が黒く表現される方が肉眼観察と調和的でよいのではないでしょうか.

印画紙を使用した場合には　同一試料の写真が何枚も必要な時は　写真をコピー用35mm フィルムを使用して撮影しておけば　縮少・拡大は自由です.

さて　これで未固結砂質堆積物の軟Ｘ線写真の入手が終了しました.　お手元には　クロスラミナ等の堆積構造が美しく表現された軟Ｘ線写真とパラフィンで固定された分析用試料が残っているはずです.

パラフィンで固定された試料からの分析試料の採取は軟Ｘ線写真から分析部を決め　その部分を大工用のノミ等ではぎ取ります.　はぎとられた試料はビーカー等を使用して　せっけん水の中に入れて加熱すると砂粒とパラフィンが容易に分離し　冷却するとパラフィンは上部で固結し　砂粒は下部に沈積し再び未固結状態にもどります.　ビーカーの上部に固結したパラフィンは取り出して次の試料を固結するために使用します.　砂粒は粒度分析　砂粒組成　有孔虫等の研究のために使用できます.

すなわち　未固結砂質堆積物の“パラフィン固定法”は肉眼では観察の及ばない堆積構造等を知るために　美しい軟Ｘ線写真の撮影を可能にしたものです.　また未固結状態にもどすことが著しく容易なので　堆積構造等の研究には有効でしょう.　この他にも　ラミナ面ではぐことが可能ですから　砂粒の配列状態に関する研究も可能ですし　試料を連続切片にして軟Ｘ線写真を撮影すれば　虫の巣穴等の立体構成等の研究には著しく効力を発揮するでしょう.

軟Ｘ線の話を少しはずれますが　干潟や砂丘等には多くの砂漣が発達し　美しいものですが　この砂漣の特性について統計的に研究したいと考える人もいると思います.　しかしながら　干潟において　波高　波長及び形態等について現地で測定していたのでは　干潮している時間が短かく　非常に多くのデーターを得ることは困難です.　これらの砂漣の上に石膏をふりまいて型をとることも一つの方法ですが　これでは重量がかさみ　運搬に大変です.

最も簡単な方法は　砂漣の配列に直角な方向に切り込

みの線を引き　厚手の細長い紙をさし込みます.　その後に側方からカラースプレーを吹きかけると紙の上に白抜きで砂漣の波形が記録され　短時間に非常に多くのデーターが収録でき　データーの収納にも場所をとりません.　後は研究室でゆっくりと測定すれば良いでしょう.このような方法も　軟X線写真用試料の採取と同時に行えば　その場の堆積環境を理解するためには有効でしょう.

“パラフィン固定法”による軟X線写真例

この方法は有明海の干潟堆積物の研究のために開発したものです.

写真２～３は　有明海東岸の宇土半島のつけ根部に広く広がる砂質堆積物の軟X線写真で　フィルムに照射し印画紙に焼き付けたものです.　写真２と３は同一試料について　たがいに直角方向を示す写真です.　写真２及び３は美しいクロスラミナが表現されており　それらが生物によって乱されているのがわかります.　写真２の左でクロスラミナと斜交する白色部はマテ貝の貫入跡です.

写真３の右の下部では　上方に登るようなクロスラミナが観察されますが　一般的には　この形態は　砂粒の水平方向の移動速度よりも堆積量の方が大きい時に形成されると考えられています.

写真４は　海底砂中における生物の生活跡を示してお

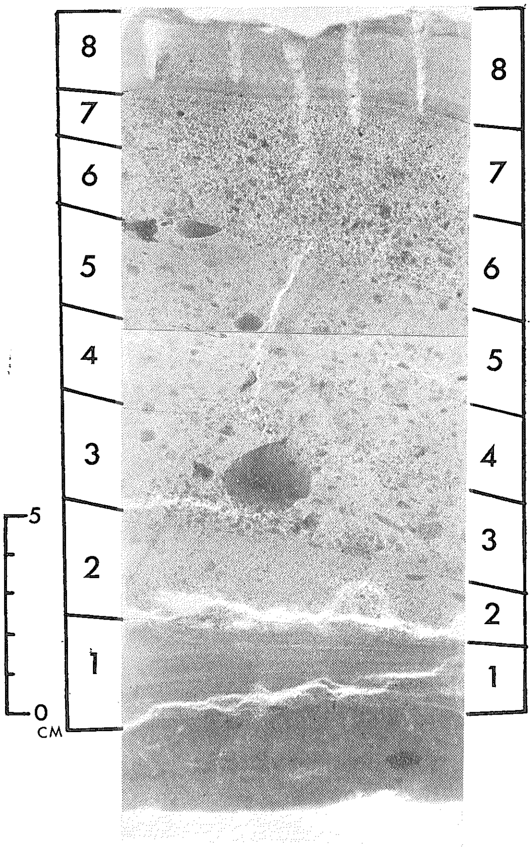


写真５　土石流に伴う堆積物の軟X線写真
番号は分析用試料区分を示す

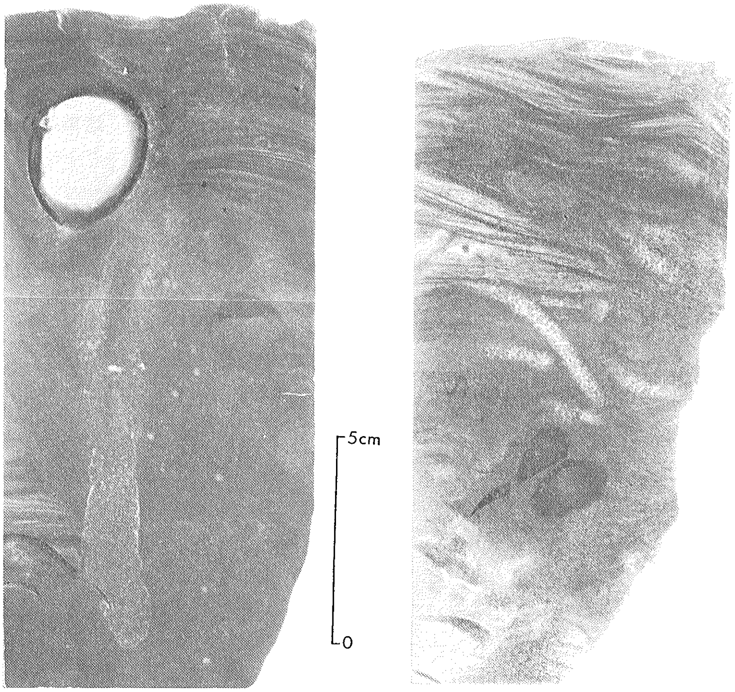
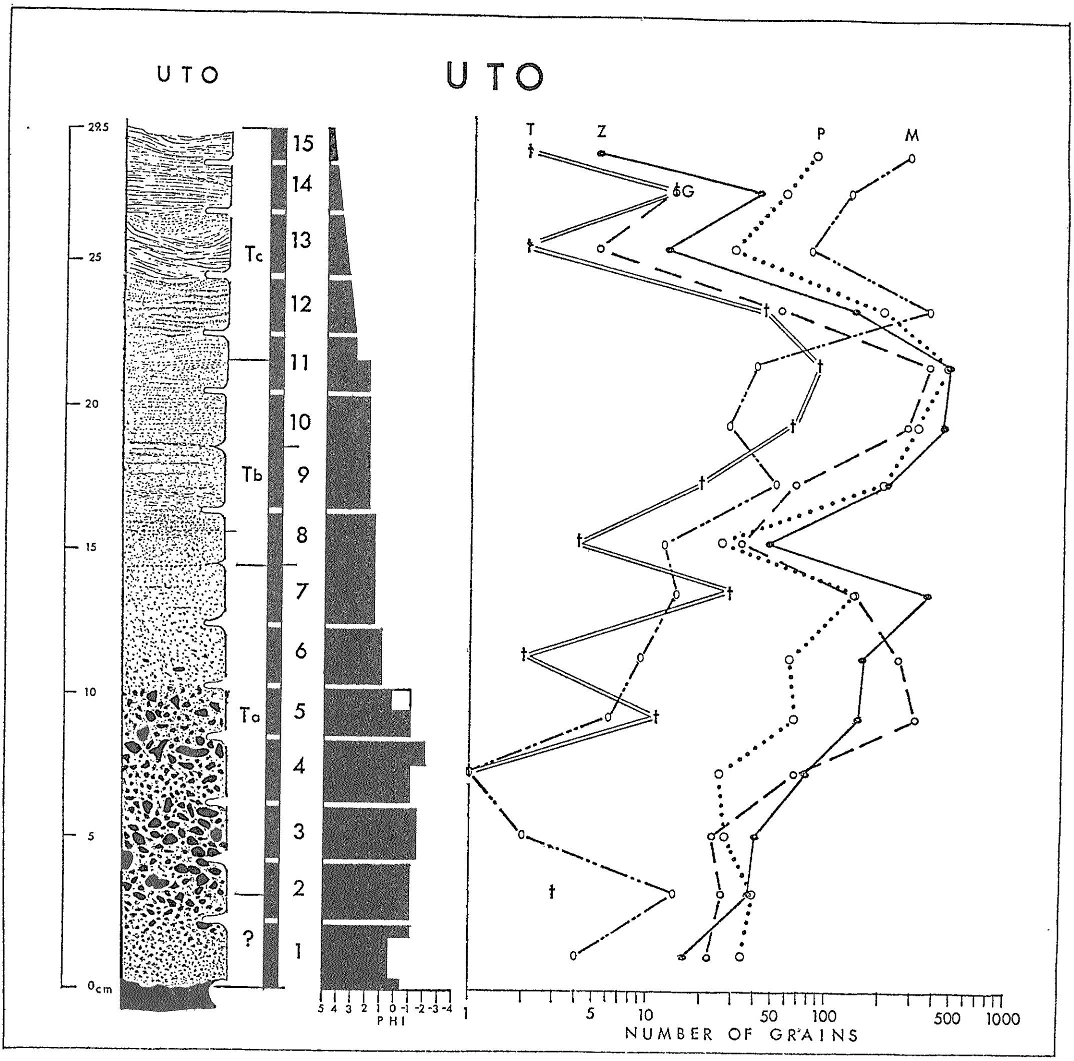


写真４
有明海干潟堆積物中の生物の生活跡

ります. 右の写真の中央にある虫の穴には糞塊のつまっている様子が明らかです.

写真5は1972年7月の集中豪雨の際 天草諸島に発生した土石流にともなう堆積物の軟X線写真です. 上部の虫の穴の様なものは この試料を採取した時に上部を石膏で封をして運び 研究室でキリで穴を明け パラフィンを注入した時に生じた人為的なものです. この写真の最下部は水田の土です. この堆積物の柱状特性は下部が細粒で中央には礫を含み粗く 上部で再び細粒になることです. この柱状特性は 堆積時において 最初は運搬力が弱く次第に強くなって最大となり 再び弱くなっていった過程を示すものでしょう. この堆積過程は 集中豪雨の際の 河川の増水による水田等への流出開始とそれに続く集水終了後の急激な氾乱及び降雨終了後の減水という過程で説明できるでしょう. 第1図は 有明海の宇土半島に分布する白亜紀の砂岩のスケッチで その下部の柱状特性は写真5と類似の特性を示しています. これと同様な特性をもつ砂岩は 和泉砂岩や四万十帯の室戸層の砂岩にも観察されます. これら砂岩の成因については 時間を異にして発生した乱泥流堆積物の結合という考え方がされていますが 写真5の軟X線写真は 一度の堆積作用でこれらのものが形成された可能性を示し 乱泥流堆積物の研究の見直しを暗示しているように思います.

未固結堆積物の“パラフィン固定法”による軟X線撮影は砂質堆積物については有効ですが 泥質堆積物は乾燥すると縮んだり割れたりしますので適用できません. 泥質堆積物については 次回にゆずりたいと思います.



第1図 白亜紀の砂岩と重鉱物の個数分布の垂直変化
G：ザクロ石 Z：ジルコン T：電気石 M：白雲母 P：球状の黄鉄鉱