

軟X線による未固結堆積物の堆積構造観察法

池原 研 (海洋地質部)

Ken IKENARA

1. はじめに

堆積物の堆積構造の観察法として軟X線写真を用いる方法が以前に紹介されました(有田・中村, 1981; 有田, 1983). それにより砂質堆積物から泥質堆積物まで多くの現世の碎屑性堆積物の堆積構造が観察できるようになりました.

近年 堆積構造の詳細な観察を基にして その堆積物のたまった環境を推定する試みがなされ 着々と成果をあげています. そこで重要なのは 当然 堆積構造をできる限りきれいに かつ客観的に観察することだと思います. そのために 露頭で悪戦苦闘することも少なくありません. 堆積構造を客観的にみる方法のひとつとして軟X線による観察法があるわけです. しかし第四系のような未固結の堆積層は 崩れやすく 固結した堆積物について行われているような薄い切片を作ることは非常に難しいことです. 肉眼では観察しづらい微細な構造などを軟X線の力を借りることによってみることはできないでしょうか?

ここでは 現世堆積物における経験を基にして 第四系を始めた未固結の堆積層の軟X線による堆積構造の観察法を紹介したいと思います.

2. 現世堆積物の軟X線用試料の採取方法

すでに 有田 (1983) により紹介されていますが ここでも簡単に紹介しておきます. 詳細な堆積構造を軟X線写真から得るためには 写真に表れる軟X線の通過量が 試料の物性 (粒度や組成など) にのみ支配されることが必要ですから まず 撮影試料の厚さを均一にすることが大切です. そのために アクリルなどで作られた 厚さ1 cm の分析試料ケースを使います. グラブ式採泥器による採泥の時は 軟X線用と 厚さ5 cm の分析試料用のケースを張合わせて 押込むことにより柱状試料として採取します. 両者を包丁などを用いて切り離すことにより 軟X線用の平板状の試料ができ上がります. また ピストンコアのような柱状試料の場合には 軟X線用の試料ケースを半裁にした断面に押込み テグスなどを用いて切り離して 平板状の試料を作

ります.

このようにして採取された試料を 軟X線発生装置を使って X線用のフィルムや普通の写真用の印画紙に画像を写して 軟X線写真を得ます.

3. 未固結堆積層からの軟X線写真用試料の採取方法

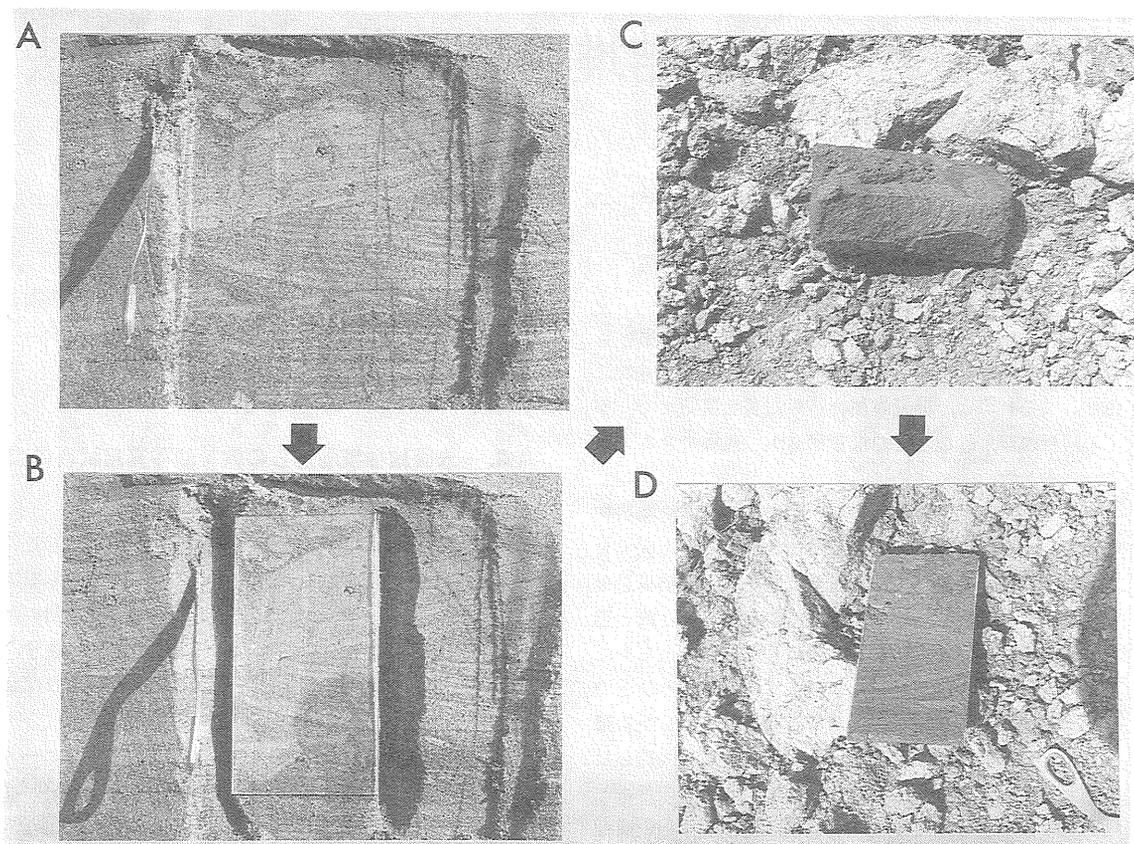
未固結堆積層の試料でも 試料の厚さを均一にした平板状の試料を作ることが きれいな軟X線写真を撮るためには大切です. そこで 現世堆積物の時に用いたのと同じ 厚さ1 cm の箱状の試料ケースを使います. このケースを 露頭に埋め込んで 試料を採取すればよいわけです.

試料の採取方法については 簡単には 露頭にケースを押込んで ケースを堆積物と共にはぎ取ればよいわけですが ここでは より後の使用方法も考えて 定方位で採取するやり方を紹介したいと思います. 定方位試料の試料採取の際には (a)方位が明確であること (b)構造や組織を擾乱・破壊していないこと などが重要です(増田・須崎, 1984). この2点のうち (a)については 未固結の堆積層であるので 任意の面を露頭から切り出し その方向をクリノメーターを用いて測定し 試料ケース上に記入することにより解決できます. また (b)については ケースを含めたできるだけ大きなブロックとして切り出すなどの方法である程度は解決することができるでしょう.

1. 試料の採取準備

試料を採取する場合まずすべきことは 露頭をよく観察し サンプリングに最もふさわしいところをさがすことです. その場所は 軟X線写真により見たい対象によって選ばれます.

つぎに サンプリングの場所が決ったら 試料ケースの大きさよりやや広めの平らな面を出します(第1図A). これは簡単のようで 以外と難しく 特に 試料ケースの大きさが大きい時には大変です. 私共では 面を掘出す時の“兵器”として 園芸用に用いられる“ねじり鎌”を使っています(堆積構造の観察用に用いている)が



第1図 試料の採取手順

より広い面を作るためには 幅の広い金属の薄い板とか アクリル板などを使うこともよいと思います。

面が作れましたら まずは よく観察し スケッチや 写真を撮るなどしておく と 後で軟X線写真との比較 するためによいでしょう。そして その面の走向・傾斜 や 粒度などの情報も記録しておく とよいと思います。

2. 試料の採取

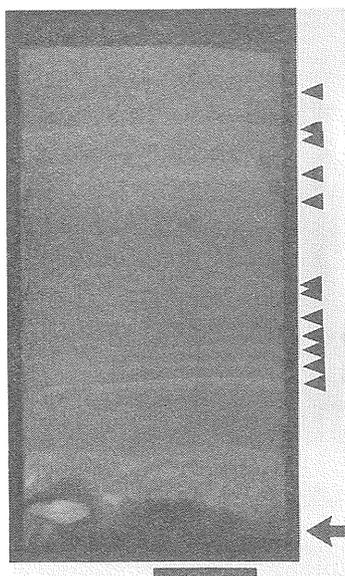
観察が終わりましたら いよいよ 軟X線用のサンプル の採取です。まず 試料ケースを面のどこに埋め込む か (試料を面のどこから採るか) を決めて下さい。決りましたら ケースをその位置にあて 面上にケースを定規 にしてそのおおよその位置に線を引きます。そして ケースを軽く押し込みながら ケースのいずれかの長辺に 沿って “ねじり鎌” やナイフの様なもので面を削って いきます。このとき あまり強く押し込みすぎて サンプリ ングする面を壊さないように注意して下さい。

こうしてケースの長辺の片側が埋め込まれましたら つぎにもう一方の長辺側も同じ様にして 面をケースに沿

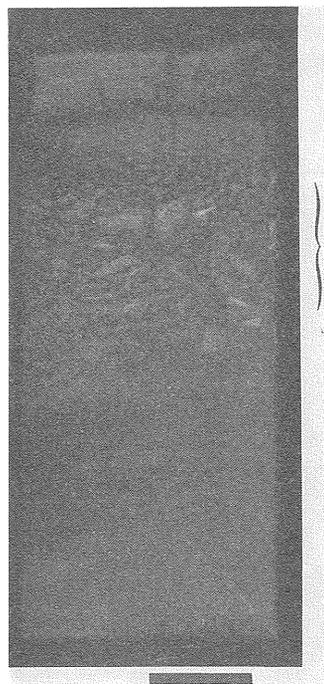
って削りながらケースを押し込むことによって 試料ケ ースを埋め込みます (第1図B)。

つぎに ケースの短辺に沿って少し削ります。これ から ケースを堆積物ごとはずして 試料とするわけ ですが そのまゝに ケース上にマジックなどで 試料番 号や方位・上下関係などを記入して下さい。採り終わ ってから などと考えていると 忘れっぽい人などは試 料が採取できた満足感からかそのままになってしまい 後であわてることにもなりかねません。また 記憶の よい人でも 取り外してからでは上下のはっきりしない 試料もありますので 採る前に情報は記入した方がよい と思います。試料ケースを埋め込む前に ケース上に その情報を記入してももちろんよいわけですが 試料ケ ースの埋め込みに失敗 (埋め込み中に面が崩れてしまうなど) したりすることもあるかと思しますので 埋め込んで から記入すればよいと思います。

さて 堆積物を露頭からはぎ取る作業に移ります。 そのやり方は 堆積物の粒度や固結度によって少し変り ます。現世やそれに近い固結度の低い砂質堆積物より



第2図
海浜堆積物の軟X線
写真例（茨城県大洋
村京知釜）矢印は
貝層 三角は砂鉄層
の位置を示す 図の
左側が海側を示す
以下第7図まで同
じ スケールバーは
2 cm 以下第15図ま
で同じ



第3図
海浜堆積物の軟X線
写真例（茨城県鹿島
町下津）は細礫層の
位置を示す

なる露頭（砂丘や海浜など）では、ピストンコアなどと同じ様に、ケースの後ろ側にテグスやピアノ線、または細いワイヤーロープ（電気器具の吊り下げ用などに市販されている）などを用いて、切ることにより取り外すことができます。しかし、ほとんどの第四系の地層では、うまくテグスなどが動いてくれませんので、この方法は使うことができません。そこで、露頭からケースを含めて、やや大きめにブロック状に堆積物を切り出し、ケースの厚さまで、ナイフなどを用いて薄くしていくという方法を用います。まず、埋め込んだ部分が採り出す時にばらばらにならないように、ケースの長辺に沿って、やや深めに溝を掘ります。溝が掘れたら、ナイフなどでケースより2～3 cm 位深い位置から切り離します（第1図C）。慣れてくれば、この厚さをもっと薄くても壊さずに採り出せるようになるでしょう。こうして採り出した試料を、壊れないように注意しながら、余分な2～3 cm 分を削っていき、ケースと同じ厚さにすればOKです（第1図D）。私共では余分な試料の削り取りに、市販のペーパーナイフを使用していますが、ある程度長さがあり、刃は丈夫だが薄いものなら何でも代用できると思います。泥質の堆積物ではなかなかうまく削れてくれませんが、慣れてくればほとんど壊れない試料を得ることができるでしょう。こうして採取された試料にふたをして、ビニールテープやメンディングテープで梱包して、露頭での採取作業が終了します。

第四系の試料の場合、試料の準備からここまで、少し慣れた人ならば5～15分程度、初めての人で20～30分程度の時間を要します。

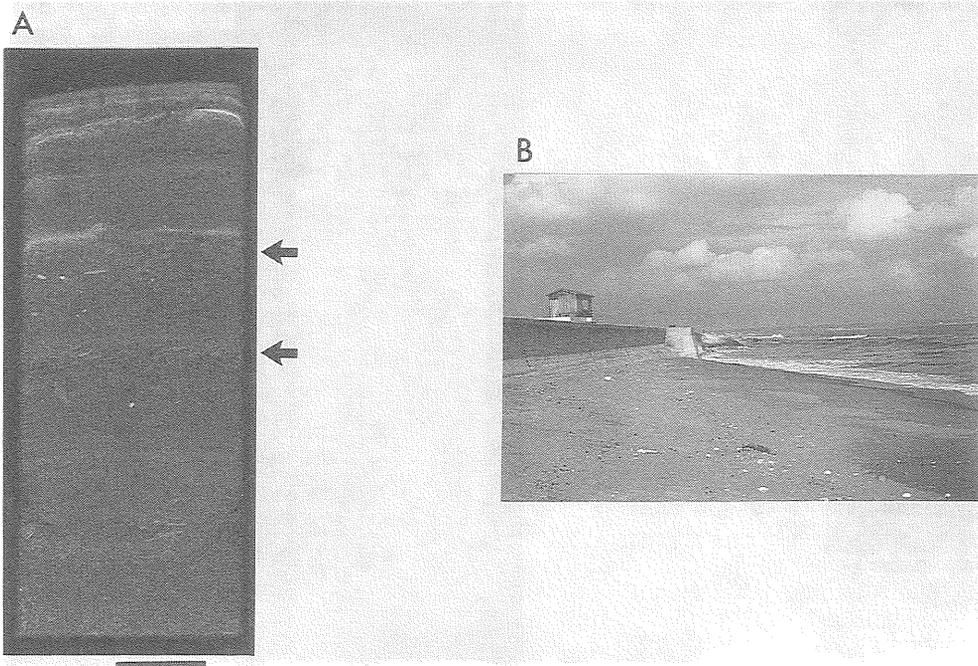
未固結堆積物でも、海浜のような場合には、グラブ式採泥器の時のような採取方法もできます。つまり、粒度などの堆積物の分析用の試料ケースと軟X線用のケースとを張り合わせて、砂浜の上から押込んで試料を採取する方法です。この場合の方が、簡単でしかも分析用のサンプルも同時に採れるというメリットもあります。しかし、貝の層などが埋れているとそれ以上は貫入しないので、短いサンプルしか採れないとか、貫入抵抗でケースに接しているところは構造がやや乱れるなどの欠点もあります。きれいな写真を撮るためには、やはり面を切って、そこからサンプリングする方がよいようです。

4. 未固結堆積物の軟X線写真の例

それでは、いままで述べてきたような方法で採取されたいくつかのサンプルについての軟X線写真の例をお見せしましょう。このなかには、かなり初期の作品もありますので、試料採取時の失敗例もお見せできると思います。

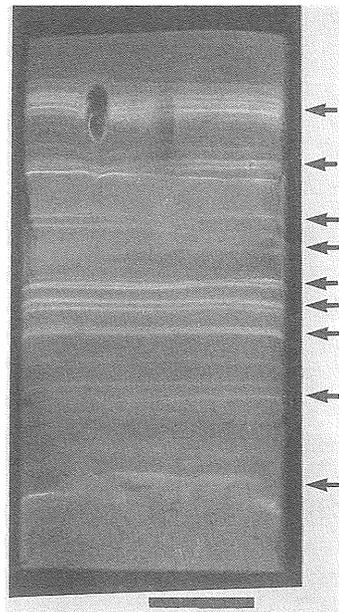
1. 海浜堆積物の堆積構造の例

まず最初は、海浜堆積物の例についてお見せしましょう。第2図は、茨城県鹿島海岸（大洋村京知釜）の例です。この例では、最下部に貝の層（矢印）があっ

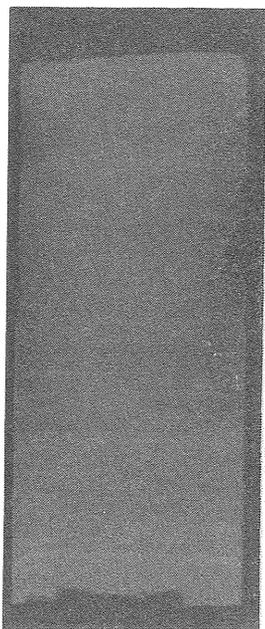


第4図 海浜堆積物の軟X線写真例(A)と試料採取地点付近の海岸の様子(B) (千葉県旭市井戸野浜)
 Aの矢印は粗粒砂の層の位置を示す Bは井戸野浜から北(飯岡町)の方向をのぞむ

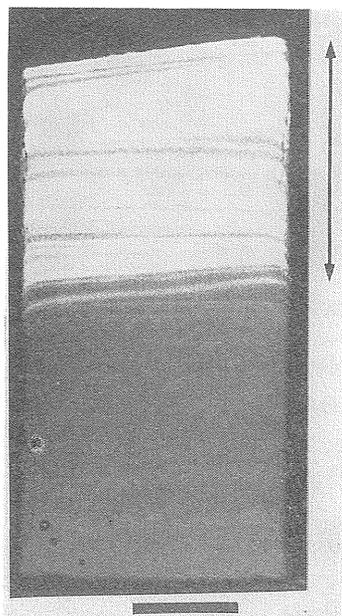
れ以上貫入しませんでした。 図中で白くみえるすじ(三角印)は 砂鉄の層です。 第3図は 同じく鹿島海岸の鹿島町下津海岸の試料です。 ここは 海岸侵食の激しいことで知られているところですが 写真を見ると大洋村のものに較べてかなり粗粒の堆積物からなっていることがわかります。 また 表面下5cm 程のところに 細礫の層が形成されていることもわかります。 第4図Aは 千葉県九十九里海岸の旭市井戸野浜のもので す。 ここでも 砂浜の発達が悪く(第4図B) 突堤を浜から突出して 漂砂をつける努力がなされています。 ここでは やや粗粒の粗粒ないし極粗粒砂の層(矢印)が細粒砂の中に数枚挟まっているのがわかります。 砂鉄は下津海岸と同じようにやや少なめです。 一方 浜の広い海岸では どのような堆積構造が見られるでしょうか。 第5図は 同じく千葉県光町の海岸の例です。 ここでは 砂鉄のきれいな葉理が観察できます。 また 第6図は 成東町木戸浜の例ですが ここでは 砂鉄はさほど多くありませんが 薄い葉理が発達しています。 このような堆積構造は その場所の水理環境と密接に関係して形成されますから 海岸侵食の激しいところと 漂砂の堆積する場所とで 堆積構造に違いが表れてくる可能性もあります。 また 第7図は 海岸侵食の激しさと名高い屏風ヶ浦のすぐ南に位置する千葉県飯



第5図 海浜堆積物の軟X線写真例(千葉県光町)
 表層付近に貝がみられる 矢印は砂鉄層の位置を示す



第6図
海浜堆積物の軟X線写真
例(千葉県成東町木戸浜)



第7図 海浜堆積物の軟X線写真例(千葉県飯岡町)
矢印の範囲は砂鉄の多い部分を示す

岡町の海岸の例です。一見して明らかなように厚い砂鉄の層が形成されています。これは屏風ヶ浦の第四系からもたらされたものでしょう。

これらの例はすべて砂浜上から試料ケースを押込んで採取したものです。そのため左右の両端でやや葉理が曲げられてしまっています。これに対して第8図は同じ海浜堆積物でも面を出してから採取したものです。これの方が端にいても乱れのほとんどないきれいな写真になっています。

2. 第四系の例

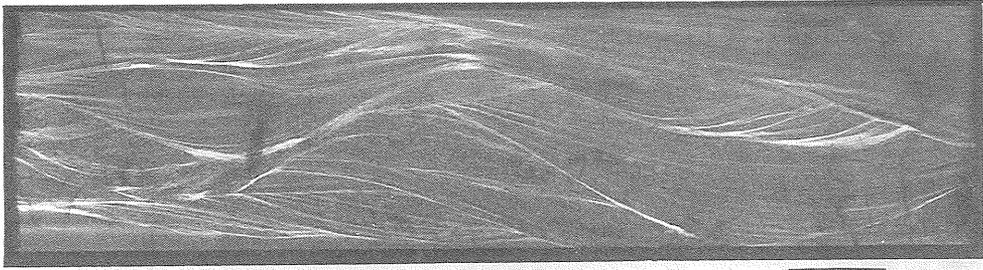
第四紀の地層から採取した例を つぎに示します。

これらはすべて茨城県と千葉県に広く分布している第四系からのものです。これらの地層中には浅海で形成された堆積構造が発達していることが近年明らかになってきています(増田, 1986など)。これら地層中で見られるものと現在の海底で見られるものとを比較・検討することは過去におけるその地域の古地理や古環境・古水理環境を推定する場合に非常に有用なことです。ここでは増田らによって明らかにされつつある古東京湾のいくつかの堆積相に見られる堆積構造の例を中心に観せたいと思います。

第9図は茨城県大洋村江川の露頭より採取したものの例です。ここは浅海の海岸に近い堆積相を示して



第8図 海浜堆積物の軟X線写真例(茨城県大洋村京知釜)

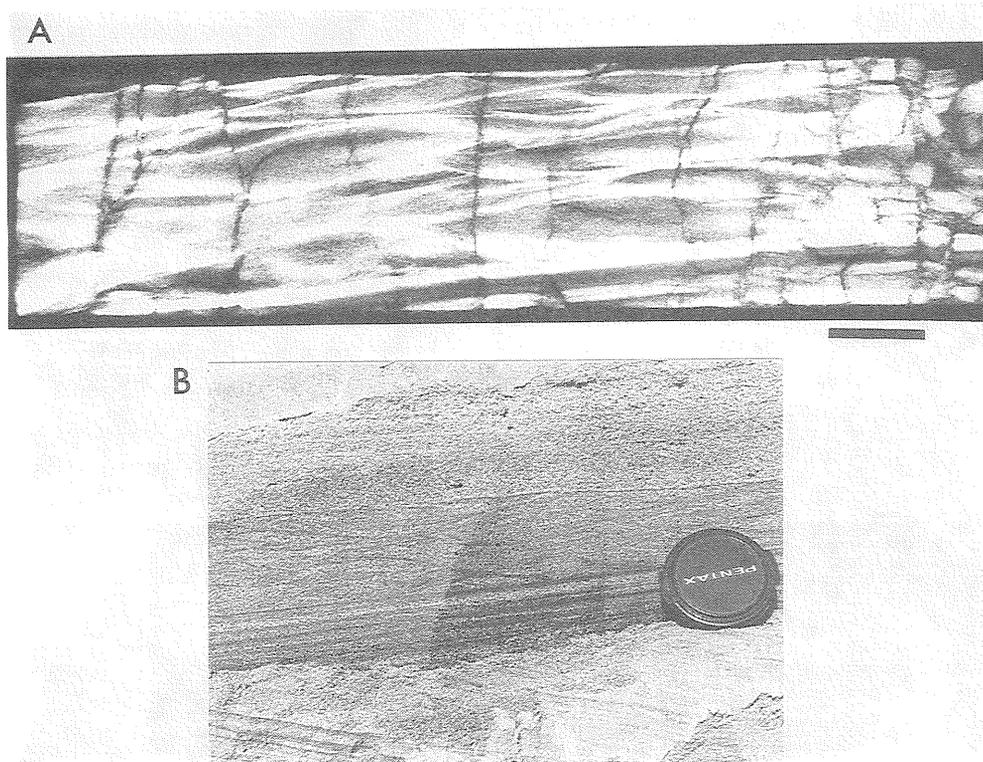


第9図 第四系の軟X線写真例(茨城県大洋村江川)

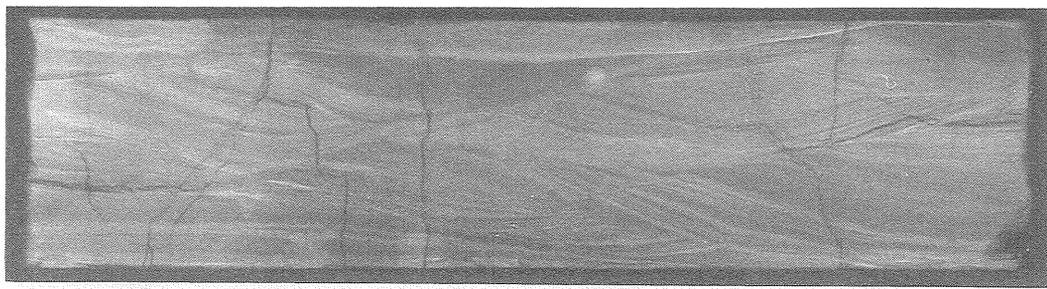
います(牧野ほか, 1986). 写真はウェーブリップル(wave ripple)の部分を採用したものです. 海浜堆積物の時と同じように 白い縞は 砂鉄の多いところです. このような砂鉄の層のおかげでウェーブリップルがきれいに見えます. また ウェーブリップルの上面に 砂鉄の層が発達している様子も観察できます. 同じウェーブリップルの例をお見せしましょう. 第10図Aは 鹿島町神敷の露頭のものですが ここでは 砂鉄分が多すぎて ケースの1 cm の厚さの中で砂鉄層が重なってしまい あまりきれいな構造は 軟X線写真からは観察できません. 肉眼では 砂鉄の層が きれい

なウェーブリップルを作っているのが 観察できます(第10図B). このように 砂鉄の層は 軟X線写真上で構造をきれいにさせる役割を果しますが 多すぎると今度は 邪魔になってしまいます. 『過ぎたるは及ばざるが如し』です. こういう場合には 厚さを薄くして構造が重なり合わないにすればよいわけですが 今のままの試料ケースや 採取方法ではどうしようもありません.

つぎに 古東京湾の海底に 嵐の時に 岸側から砂質堆積物が供給されてつくられる堆積構造の例をお見せしましょう. 試料採取地は 千葉県印旛村吉高の露頭で



第10図 第四系の軟X線写真例(A)と試料採取地点の露頭写真(B)(茨城県鹿島町神敷)



第11図 第四系の軟X線写真例（千葉県印旛村吉高）



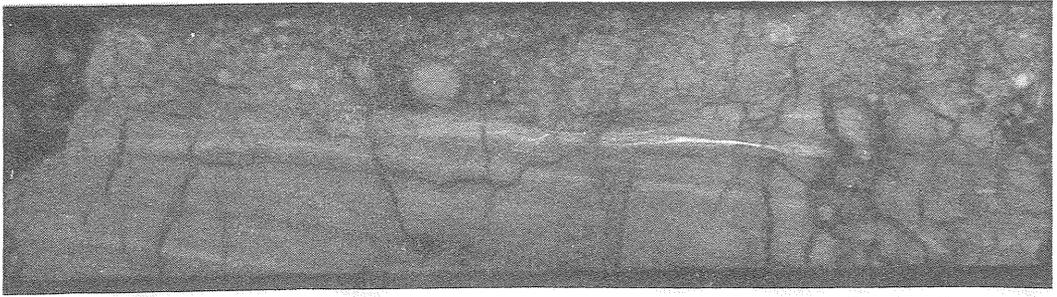
第12図 第四系の軟X線写真例 失敗例（茨城県潮来町林）

す。第11図は ストーム砂層 (storm sand sheet) の最上部に近いところで ウェーブリップルのやや下位にあたる場所です。これらの場合には 泥の層が 構造をきれいに見せています。このような ストーム堆積物は 古東京湾の露頭のいくつかの地点から報告があります (桂ほか, 1985)。今回は 時間などの関係で 数少なくしか試料が採れませんでした。時間をかけてよい場所を探し 慎重に試料を採取すれば もっときれいな写真が得られることと思います。

つぎに 失敗例をいくつかお目にかけて 注意点したいと思います。第12図は 潮来町林の露頭のもので、垂直方向の生痕が見られます。しかし 層理方向 (ここではほぼ水平方向) にたくさんの割れ目が入ってしまっています。これは 露頭から採り出しケースと同じ厚さまで削っていく間に入ってしまったものです。特に この露頭では 鉄分が染み出して層をつくっており、それが削る時の邪魔となりました。第13図は 潮来町横須賀の国道沿いの露頭から採取したのですが 割れ目のほか、端が壊れて欠如してしまっています。これも おもに削る時の失敗例です。その他の失敗としては 露頭からはぎ取る時に 割れてしまうとか 方位などの記入忘れなどがあります。しかし 失敗の多くは 削り込みの時ですので 注意深く作業をすれば防げられると思います。特に 泥質堆積物や 鉄分の染み出しなどが見られる時には 細心の注意が必要です。注意深く作業して きれいな試料をお採り下さい。

3. 実験水路の例

水理学や海岸工学 河川工学などの工学的分野や 自然地理の分野では 大小様々な実験水路や水槽を使って 堆積物の移動や河床形態のような堆積構造などの研究が行われています。これまで 河床形 (bedforms) の内部構造については 河床形それ自体の形態に較べてあまり研究がなされていないようです。しかし これら



第13図 第四系の軟X線写真真例 失敗例（茨城県潮来町横須賀）

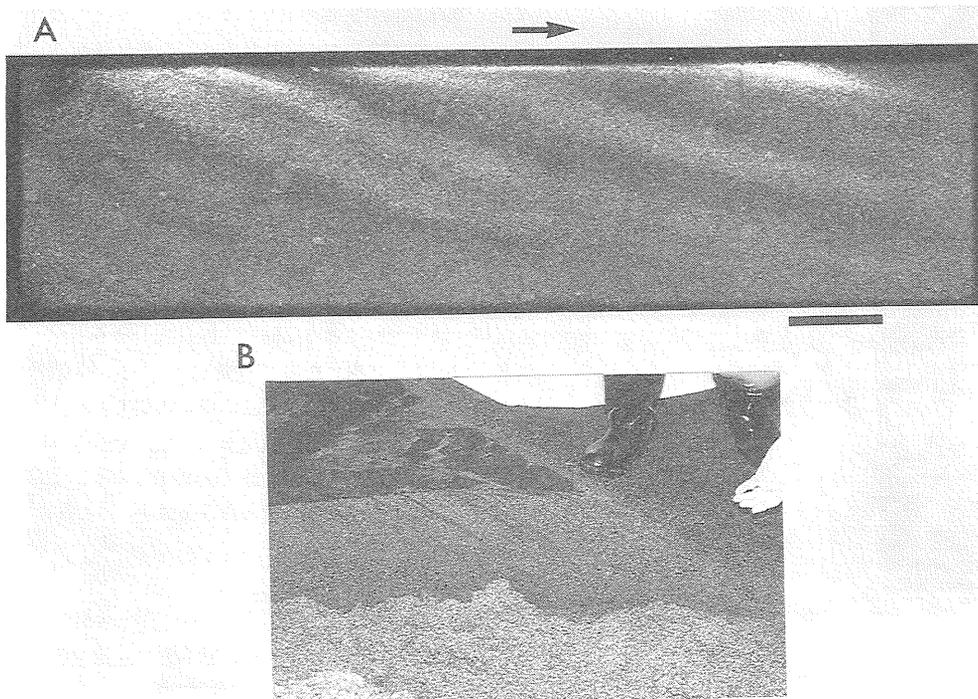
の実験は われわれ地質学や堆積学を扱う人間にとって地層中の堆積構造から 古水理環境を推定する場合などに 非常に有用なのは言うまでもないことです。河床形の内部堆積構造の観察法のひとつとしても 軟X線写真は使えます。

私共では このような実験水路は持ち合わせておりませんので 試料もたくさんあるわけではなく わずかに筑波大学水理実験センターを見学させていただく機会があった時に得た 1つの試料があるだけです。その軟X線写真は 第14図Aに示してあります。これは 砂堆のクレスト部付近から採ったものです(第14図B)。

実験に使用している砂に 砂鉄が含まれているため 砂堆の内部構造がよく観察できます。これは 予期せぬサンプリングだったため あまり場所も選ばずに採ったものですが 系統的に試料を採取して行けば もっとおもしろいことがわかるかもしれません。

5. おわりに

以上のように いくつかの例を示してまいりましたが まだまだ 未固結堆積物の軟X線写真撮影法には改良の余地が十分あると思います。例えば 今回の場合でし



第14図 実験水路の堆積物の軟X線写真真例(A)と試料を採取した砂堆(B)
試料は砂堆の頂部から採取した



第15図 大きなケースにより採取した試料の軟X線写真の例（茨城県出島村崎浜の第四系）

たら専用の試料ケースを用いましたが ケースを使わずに 樹脂などを使って未固結堆積物をブロック状に固め（方法は増田・須崎, 1984に詳しく述べられている）堆積岩において行われている撮影方法（例えば 碎屑性堆積物研究会, 1983）と同様に薄いスライスにして写真を撮る方法もあるでしょう。また 軟X線用に採取した試料は定方位試料ですので 採取方法を改良すれば樹脂などで固め 薄片をつくることにより堆積物（特に砂質堆積物）のファブリックの研究や 鉱物学的検討などにも応用できると思います。この他にも 例でも示しましたように生痕化石の研究用にも応用できると思います。このように 肉眼ではみえない あるいは見づらい構造を見るための 軟X線用の試料には まだ他にも使い道があるのです。

ここでお示した方法の欠点はいくつかありますがその第一は 粗粒の堆積物には使えない（使いづらい）点です。なぜならば 試料ケースの厚さが決まっているため ケースを厚くすると 構造がだぶって見づらくなるため ただ単にケースを厚くするのでは 解決になりません。また 粗粒の堆積物ですと 試料を薄くしていく時に 粒子が回転してしまってもとの構造を乱してしまう場合がよくあります。このような場合には 堆積構造の観察はもとより それ以上の応用を行なう上での大きな障害となります。このほかの問題としては 試料ケースの大きさが決まっているため 目的とする構造がとらえきれない場合もあるでしょう。私共では 今回御紹介したサイズのケース（幅5×長さ20×厚さ1cm）のほかに やや大きめの2種類のケース（幅8×長さ20×厚さ1cm と幅10×長さ20×厚さ1cm）をつくり 使い分け

ています。大きいケース（幅10cmのもの）で採取した試料の例を第15図に載せました。出島村崎浜の古東京湾のストーム堆積物中にみられるハンモック状斜交層理（hummocky cross stratification）です。小さなケースの場合と異なり より構造の全体像が見えてきます。この他の問題点としては 試料採取に慣れるまで なかなかきれいな試料が採れないとか 泥質堆積物の時は割れやすく 砂質堆積物では壊れやすいなどの欠点もあるでしょう。しかし 肉眼で見えないようなきれいな構造が見られる場合もあるわけですので 方法を改良し さらにより軟X線写真が撮れるようにしていきたいと思えます。

最後になりましたが 古東京湾の堆積物や堆積構造について教えて下さった 筑波大学増田富士雄博士に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 有田正史・中村康夫（1981）堆積物の軟X線撮影法—その1. 地質ニュース 320 29-33.
- 有田正史（1983）堆積物の軟X線撮影法—その2—. 地質ニュース 350 46-56.
- 桂 雄三・増田富士雄・岡崎浩子・牧野泰彦（1985）筑波台地周辺の第四系にみられるストーム堆積物の特徴. 筑波の環境研究 9 56-62.
- 牧野泰彦・増田富士雄・岡崎浩子（1985）茨城県に分布する下総層群中のウェーブリップル. 茨城大教育紀要(自然科学) 34 35-55.
- 増田富士雄・須崎和俊（1984）未固結砂の定方位薄片作成とその堆積学的意義. 筑波大水理実験センター報告 8 17-28.
- 増田富士雄（1985）古東京湾における堆積体発達様式. 昭和59年度科研費（一般C）成果報告書 58540502 1-47.
- 碎屑性堆積物研究会（1983）堆積物の研究法—礫岩・砂岩・泥岩—. 地学双書 24 地学団体研究会 377p.