

Pin フォトダイオードを使用した照度計キットによる X線ラジオグラフ・フィルムイメージ・デンシトメーターの製作

大塚 謙 一*

Photo sensing device equipped X-ray radiograph
film image densitometer

Kenichi OTSUKA*

A new photo sensor employing X-ray radiogramme image densitometer was designed and manufactured for numerical representation of rhythmically repeated sedimentary structures recorded on the X-ray radiograph film.

This densitometer is constituted with, 1) Stabilized light source unit, 2) Light sensing detector unit using Pin-photo-diode as a sensor, 3) Amplifier unit, 4) X-ray radiograph film scanning driver unit and, 5) Recording unit. This equipment measures the strength of the light penetrating through a X-ray radiogramme image, which records the sedimentary structures according to X-ray penetration power difference of a sample sediments.

The measurement results indicate sufficient ability and good reproducibility with low noise and stable property of this densitometer by its pen-drawn line chart records of sedimentary structures.

Key words: X-ray radiograph, photo sensor, physical measurement, sedimentary structure.

1. はじめに

堆積作用で最も普遍的に形成される堆積構造である水平な層理構造には、律動的（リズムック）な繰り返しを特徴とするものが多く見られ、様々な要因の時間的な変動を記録している。このように多様な環境変動や、堆積現象の詳細な推移を記録した堆積構造を、何らかの方法により数値化しそれを解析する事は、堆積学や、環境変動等の研究に新たな視点を開くものとなりうる。

このたびこの様な解析法を指向するその第一段階として、堆積物試料に対するX線の透過度を計測することにより、堆積構造を物理的な計測量へ変換する一つの方法を考案し装置を製作した。

今回の方法はこれまでに蓄積されているX線フィルムに記録された堆積構造資料の計測を行なうため、間接的な計測法となっている。このため、測定値と堆積物の性質との定量的な関係やリニアリティーについては更に検討すべき問題があるが、一つの試みとしてここに報告したい。また製作に当たってはその簡便

1992年3月24日受理

* 静岡大学教育学部地学教室 Institute of Geosciences, Faculty of Education, Shizuoka University, Shizuoka, 422, Japan.

化と容易化を計るために市販照度計部品キットを利用したが、十分に信頼できる計測結果が得られた。

2. X線の透過度による堆積構造の解析とX線ラジオグラフ法

X線ラジオグラフ法 (X-ray radiography) は、主にサンプル物質の密度差によるX線の透過度の差を、フィルム上の感光銀粒子濃度として記録する方法である。肉眼、即ち可視光線による観察では分かりにくい構造を、はっきりと示す事が可能で、堆積物の構造の解析にも既に標準的な方法として使われている。

X線の透過度をより直接測定に近い方式で測定しようとする方法、例えばX線CTスキャン機器の堆積構造研究への応用等も試みられてはいるが、これらの機器でもサンプル物質を透過したX線の強度を、一度蛍光物質により光強度に変換してから光センサーで検出する方式が多い。感光フィルムの現像という化学的な過程を一度経ていることを除けば、X線写真法も原理的には同様の計測結果を記録しているも

のと言えよう。経費の点からも、これまでフィルムを使用するラジオグラフ法が一般的に使われており、フィルムイメージとして記録された資料の蓄積も進んでいる。

このような点から、今回報告する計測装置はフィルムイメージとして記録されたX線の透過度を物理的に計測するものとして考案された。この装置により堆積構造の定量的な解析が可能になれば、堆積物による新たな解析、研究におおいに貢献するものと期待される。

3. X線フィルム上のイメージ計測装置の概要

計測装置はX線フィルム上のイメージの濃度、即ち画像を形成している銀粒子の密度として記録されている堆積構造を、光の透過度によって検出し、記録するものである。

装置全体の構成は図1に示すように主として、A、光源部、B、検出部、C、増幅部、D、X線フィルム駆動部及び、E、記録部から成っている。以下にそれぞれの概要を示す。

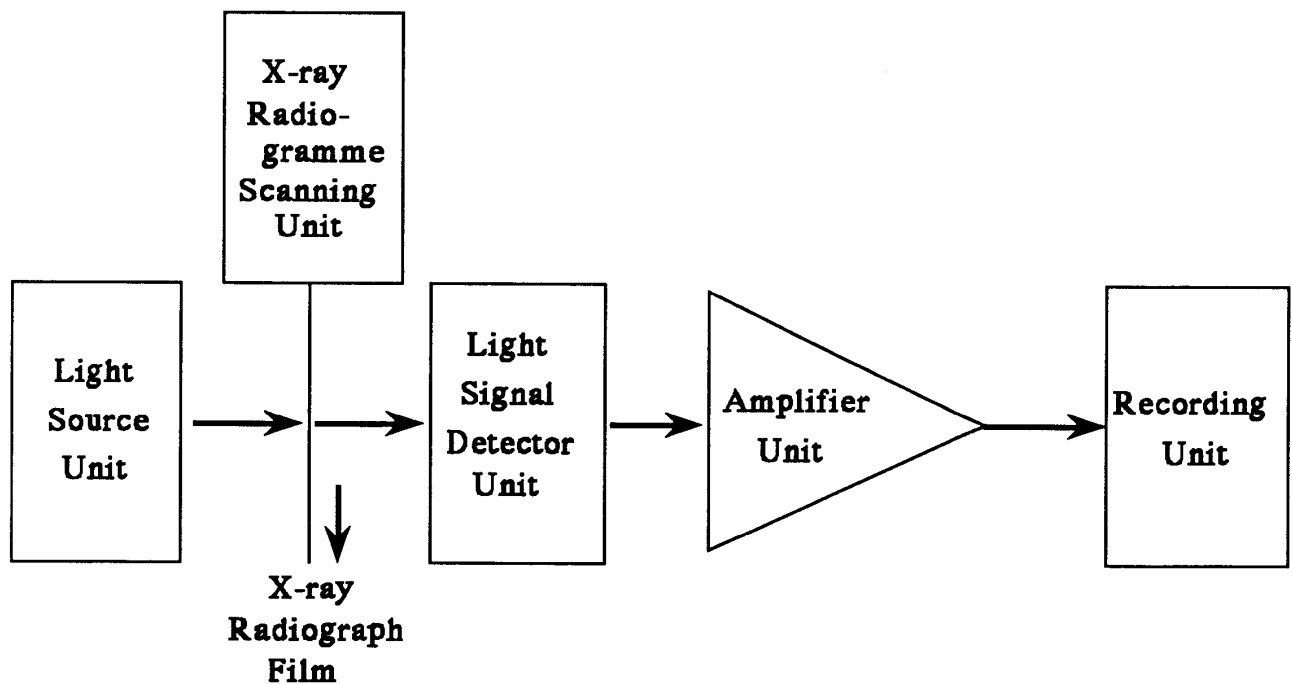


図1 X線ラジオグラフ・フィルム・デンシトメーターの構成

Fig. 1. The whole construction of the X-ray radiograph film densitometer.

A. 光源部

光源部はデジタル安定化電源(メトロニクス DMR 20-2, 0~20 V, 2 A 可変)と改造した携帯用懐中電灯のタングステン白熱電球(7.2 V, 0.55 A)より構成されている。周囲への光の散乱を防ぐための筒状の覆いを付けた懐中電灯を適当な高さに支持し、安定化電源から供給される直流電流を流し、電圧を制御することにより適当な一定の強度の光源を得る方式を採用した。ブランクテストにおいては、スイッチを入れた直後から十分に安定した強度の光源となる結果が得られている。

B. 検出部

検出部は入力光を絞る絞りと、センサー、及びセンサーを支持する支持ブロックから成る。図2に光源部と検出部の概要を示す。

絞りは水平な層理構造を計測することを目的としているため、スリット状のものとした。薄片用のスライドガラスをアルミ箔粘着テープで覆い、その中心部を工作用の薄葉のカッターで切り、細くスリットを入れたものである。このスリットの幅によって測定精度をコントロールする事ができる。X線ラジオグラフとして記録された堆積構造を測定する精度としては充分と考えられる、0.05 mm 程度以下のスリットとすることも比較的容易である。

支持ブロックは市販の黒色硬質ゴム製角型ブロックを台に固定したもので、その一面にセンサーと絞りを固定した。

ノイズを最小とし能率の良い測定をするため、検出部と光源の位置の設定には、光源の光軸上にセンサーと絞りの中心が一致するように配慮した。また光軸を通る光以外の散乱光を遮断する為に、センサーの周囲を黒色ゴムの遮蔽板で取り囲んだ構造とした。

センサーは高感度、高速性に優れ、また広い入力範囲を有する、シリコン・Pin・フォト・ダイオード、HPI-3Fを使用した。特性は図3に示すが、入力光(照度)に対して光電流は十分な直線性を持っている。センサーと増幅部とは電気的なノイズの入らないように配慮してシールドワイヤーで配線した。

C. 増幅部

増幅部は FET 入力のデュアル・オペアンプを使用したもので、電源としては乾電池(006 P)を使用している。回路(図4)は照射光に比例してピン・フォ

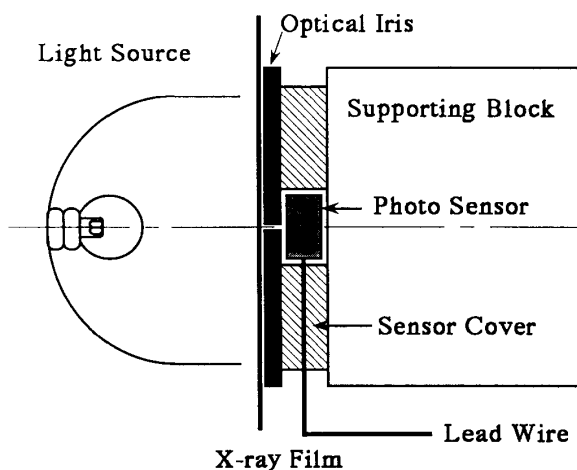


図2 Pinフォトダイオードを使用した検出部、及び光源部の構成

Fig. 2. The construction of the light source unit and lighth signal detecting unit using Pin-photo-diode.

照度—出力特性

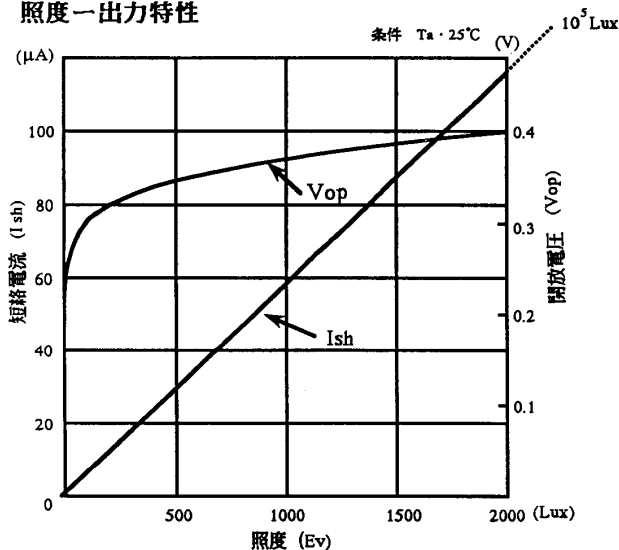


図3 Pinフォトダイオード, HPI-3Fの特性
Fig. 3. The property of Pin-photo-diode HPI-3F.

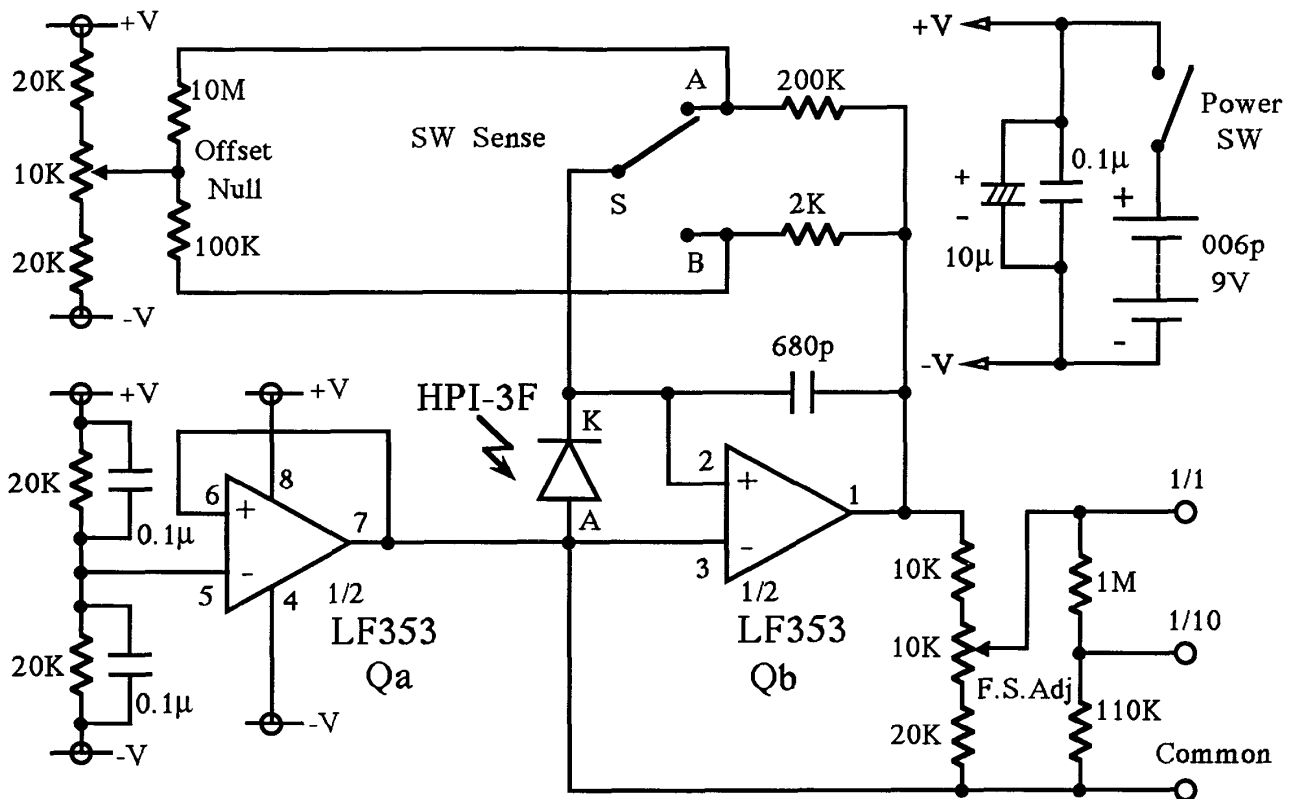


図4 増幅部の回路図

Fig. 4. The circuit construction of the amplifier unit.

ト・ダイオードで発生した光電流 I_{sh} を、片側のオペ・アンプで電流/電圧変換増幅させる方式である。微小信号電圧を取り扱うために、仮想設置電位方式をとり、もう一方のオペ・アンプをヌルアンプとして用いて回路全体の基準電位の安定化をはかっている。オフセット電圧はボリュームにより変更補正する事が可能で、測定範囲及びレコーダーでの記録範囲を設定する上で柔軟に対応できるようにした。また光入力のレベルに応じて測定を可能とするために負帰還抵抗を切り替えることによって、広い範囲での測定が可能である。

これらの増幅回路は光センサーと共に、照度計キット（秋月電子通商製）として市販されているものを使用して基板上に組立てて、制作の簡便化を計った。この増幅部の基板を金属製の市販のアンプケースに入れ、スイッチ類と共に取付けて電氣的ノイズからのシールド効果をはかった（図5）。

D. ラジオグラフ・フィルム駆動部

実際の測定に当たっては、ラジオグラフ・フィルムの駆動用に1台、測定した信号の記録用に1台、計2台のペンレコーダーを用意する。

記録を取ろうとするX線ラジオグラフ資料フィルムの駆動装置は汎用のペンレコーダーの記録紙の駆動部分をそのまま使用した。ペンレコーダーの記録紙は何段階かの設定スピードで記録機から繰り出されてくるので、この記録紙にX線ラジオグラフのフィルムを装着し、一定スピードで降下させる方式である。

E. 記録部

記録部としても同様の汎用のアナログ・ペンレコーダー（ナショナル VP 6541 A、フルスケール1 mV～100 V 可変）を使用した。その結果X線フィルムの走査速度と記録用のチャート速度をそれぞれ独立に設

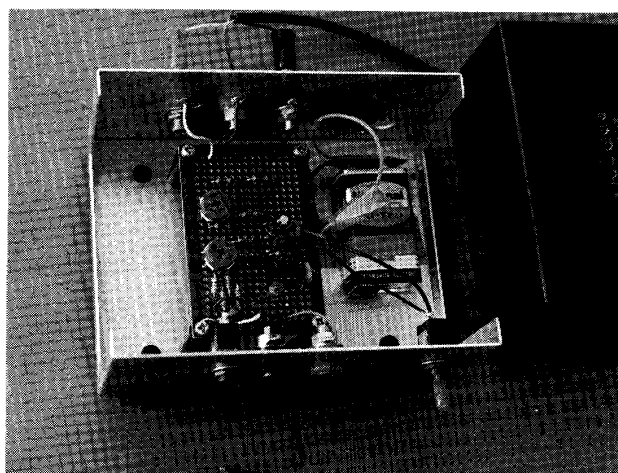
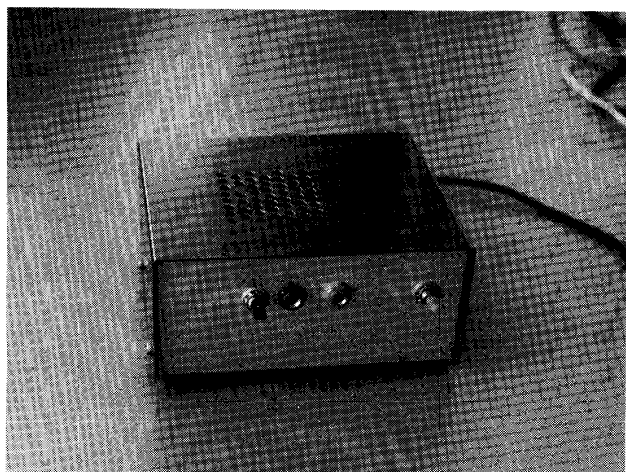


図5 増幅部 a) 外観と b) 内部

Fig. 5 The amplifier unit a) The outside view b) The inner construction.

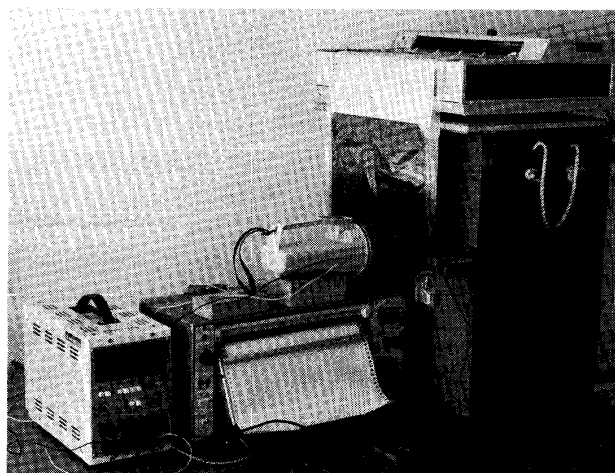


図6 本装置全体の使用状態の外観 a) 検出部を示したもの b) X線フィルムを装着した状態

Fig. 6 The whole outlook of this X-ray radiogramme densitometer a) showing light signal detector unit b) X-ray radiogramme installation state.

定でき、測定記録の読み取り精度を簡単に設定可能とすることができる。

4. 測定の実際と記録の例

今回制作した装置全体の使用状態での設置状況を図6に示す。

使用に当たっては、まず光源と検出部の光軸を合わせてセットする。次にフィルム駆動用のレコーダーの記録紙に接着テープで取付けた測定しようとするX線フィルムを、光源と検出部の間の透き間を通るようにセットする。X線フィルムの下端には重りを付け、光センサー検出装置のスリット絞りの直前を垂直に重力により下げ、記録紙の繰り出し装置によ

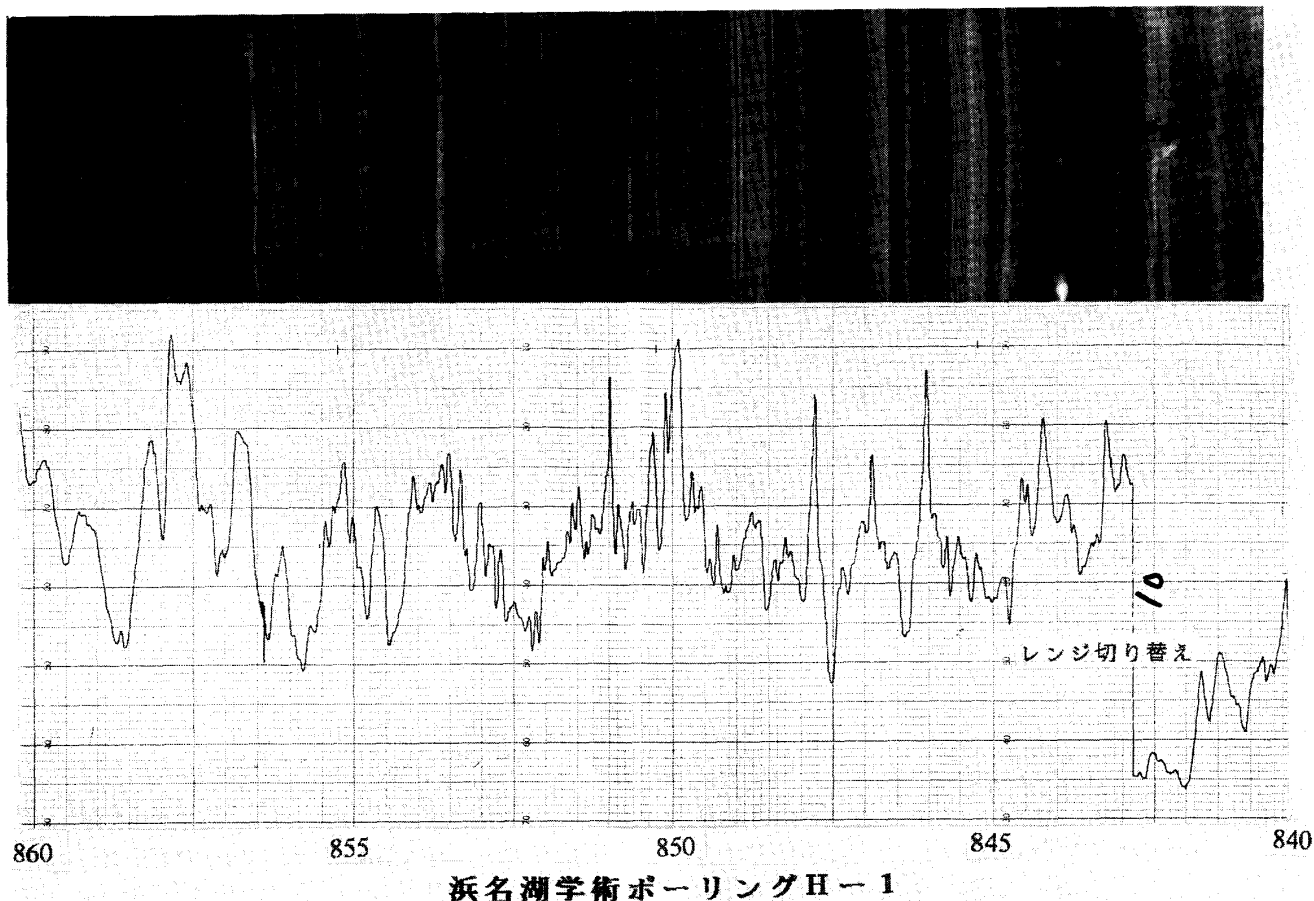


図7 浜名湖ボーリング試料による堆積物コアサンプルのX線写真（大塚・木宮，1987）と本デ
ンシトメーターによる測定例

Fig. 7. The measurement example chart by this densitometer and its X-ray radiogramme of
a boring core sample of The Lake Hamanako (Otsuka & Kimiya, 1987).

り降下させる。駆動装置として用いたペンレコーダーの設定繰り出しスピードで、X線フィルムが下降していき、光検出装置により上下方向にスキャンされる事となる。

この結果X線フィルム上の銀粒子濃度として記録されたフィルムイメージ、即ち堆積物のX線透過度として記録された堆積構造が、一定強度の光源からの光を変調し、その透過度の差が光強度の変化として検出される。この光強度はPinフォトダイオードにより電気信号に変換され、更にアンプで増幅された信号がペンレコーダーにより、記録される。

本装置による、光信号として変換されたX線透過

度の測定による堆積構造の記録の例を図7に示す。これは、浜名湖の学術ボーリングにより採取された湖底の堆積物に見られる微細ラミナ構造（大塚・木宮，1987）の測定例であるが、ここでは顕著に発達したラミナ構造の詳細な変動がはっきりと捕らえられている。この場合にはフィルムのスキャンスピード2 cm / min，記録測定用チャートの繰り出し速度1 cm / min で読みやすい記録を取ることができた。

5. 今後の課題

この簡単な装置によっても、X線ラジオグラフの

フィルム濃度として記録された堆積構造を精度良く計測することが可能であることが判明した。測定結果のチャートを見ると検出されるレベルではノイズは無く、記録の波形の再現性は非常に良い。

今後は計測した堆積構造の解析、研究を進めると共に、更にこの様な計測装置の改良を行なっていく必要がある。将来的には測定システムのデジタル化を図り、コンピューターによる計測コントロールとデータの取り込みを可能なものとしたい。その結果、得られたデータのコンピューターによる数値解析を可能とし、層理などの堆積構造に含まれている様々な因子の解析も行なえるものと考えられる。

このようなX線の透過度により計測された堆積構造が何によって作られているかを、より実際に即して明らかにして行くことは基本的に重要であり、更に研究を積み重ねる必要がある。その上でこれらの堆積構造が、構成する物質の密度と量比によるものとしてX線透過度を用いて定量化することができれば、ここに報告した装置によって得られる測定値並びに数値解析の結果は、複雑な自然現象の要因を取

り出して考察する上で有力な手段となるであろう。

謝辞：本装置を制作するのに当たり、静岡大学教育学部地学教室の半田孝司技官には電気関係の測定機器などについて多くの有益な示唆をいただいた。また同教室の藤井敬三教授、静岡大学理学部地球科学教室の新妻信明教授には草稿を読んでいただいた。ここに記して厚くお礼申し上げる。

文 献

- 秋月電子通商 (1986), 照度計キット説明書. 2 p.
蒲生良治・中野正次・樋口巖・山本幸彦 (1980), 抵抗, コンデンサの使い方. CQ出版社, 237 p.
南 茂夫 (1986), 科学計測のための波形データ処理. CQ出版社, 238 p.
大塚謙一・木宮一邦 (1987), 堆積相より見た浜名湖の堆積過程と古環境. 静大地球科学研報, no. 13, 113-145.
白土義男 (1980), オペアンプ回路の手ほどき. 日本放送出版協会, 238 p.
鈴木佐喜雄 編 (1987), 自動化のためのオプトエレクトロニクスデバイス応用技術. 近代図書, 244 p.