

# 最近のアメリカ構造地質学界

①

星野一男

## はじめに

私は 科学技術庁派遣の海外研究員として 1963年12月から1964年12月までの1カ年を ニューヨーク市のコロンビア大学ですごした。夏休みの約2カ月と 何回かの学会出席旅行をのぞいて 同大学の構造地質学講座を主宰する フレッドAドナス教授 (Fred A. Donath) のもとで過した。

ドナス新授は日本では まだあまり知られてないようだが 1931年のミネソタ生まれで ミネソタ大学 スタンフォード大学で学び 1958年にスタンフォードで ph. D.を取った。間もなくコロンビア大学に移り Assistant Professor (わが国の助手に相当すると思う) から Associate Professor (助教授) になった。

ドナス教授の専門は 構造地質学のなかでも 解析構造地質学 (dynamic structural geology) とか ときには 実験構造地質学 (experimental st. geol.) ともいわれているもので アメリカで 最近さかんになってきた部門である。これに対して 従前のもを 野外構造地質学 (field st. geol.) と呼んで区別する人がいる。構造地質学界の最近の傾向が より解析的なものに向かっていることは否めない事実であろう。このような傾向は構造地質学だけでなく 鉱山学・土木地質・地球物理学でも同様のようにみられる。

今回と次回と2回に分けて アメリカにおける解析構造地質学や岩石物性学関係のおもな研究機関を紹介して行きたいと思う。

羽田を出たのは12月10日だった。

留学にしては はんばなときになってしまったものだが ド

ナス教授から 1964年秋からサバオの休暇に入るので 63年秋か でなければ65年秋までのばせといってきたのである。サバオとは7年毎に与えられる1年間の有給休暇でこの間は講義をする義務はない。自室で研究・実験しても あるいは外国へ行くのも自由である。最悪の場合は 64年秋以降はひとりで実験室の1隅を借りて仕事でもするつもりで 準備のでき次第ということで12月出発にふみきった。

1週間 まずロサンゼルスに滞在 カリフォルニア大学の Griggs 教授の実験室をじっくりとみせて頂いた。ニューヨークにつき ドナス研究室の1員となったのは クリスマスの1週間前だった。当時 コロンビアにいた地質調査所の石原君とともに翌朝ドナス教授のもとにおもむいた。折しも西ドイツアーヘン工業大学鉱物教室のジューメス博士 (H. Siemes) という人も 私と同様 高圧岩石破壊実験の研究ということでドナス教授と連絡中だったらしい。ジューメス博士は NATOの基金で 私より1カ月早く 奥さん・子供2人の全家族と自家用車ルノーをもってニューヨークについていた。

初対面の日 ドナスは早速いつから仕事をするのかときいた。私は明日からと答えたがアメリカ流に考えてもこれは大分はりきりすぎた答えだったらしい。でもドナスの心証はこれではよくなつたらしい。あとでそのようなことをいったことがある。ジューメスは何と答えたのか知らないが 結果的には1カ月間引越しやら準備やらに日を過したらしく 結局 私の到着2日後私といっしょに仕事をスタートすることになった。

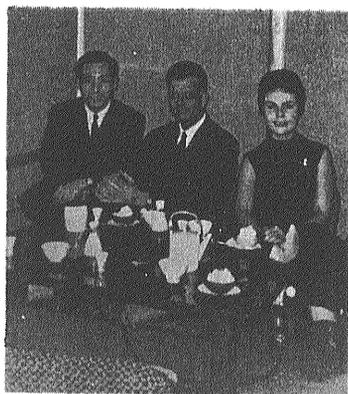
1964年6月まで 私たちは毎日いっしょに実験をした。大学院の口の悪いのにいわせれば “日独連合軍” であった。やがて夏休みに入る。予定どおり ドナス教授は9月からは休暇である。だがドナス教授休暇中の代理としてシェール石油開発研究所のハンディン博士 (John Handin) がコロンビアにくるといことがわかった。あとで述べるがハンディン博士はドナス教授の先生格の人で私が最初にアメリカの実験構造地質学者として名前をおぼえ 留学希望の手紙を出したのはハンディン博士のもとへだった。ハンディン博士は自分の所は会社としての性格上留学生はうけ入れられないといつてドナス教授を紹介してくれたのである。夏休みの間私はアメリカ・カナダの大学・研究所・石油会社などを2カ月にわたって歴訪した。



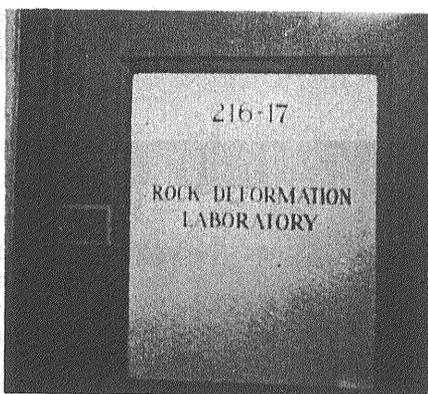
①摩天楼から見た ニューヨーク市・マンハッタン北部 上半にセントラルパークがみえる ニューコロンビア大学は セントラルパークの北西の肩にあたる所にある



②有名なタイムズスクエアのネオン街 星夜を通じニューヨークで最もにぎやかな所である



③ハンディン博士(左から2人目)とドナス夫妻(ニューヨークの日本料理店にて)



④コロンビア大学 構造地質学実験室の入口 岩石変形実験室と書かれてある

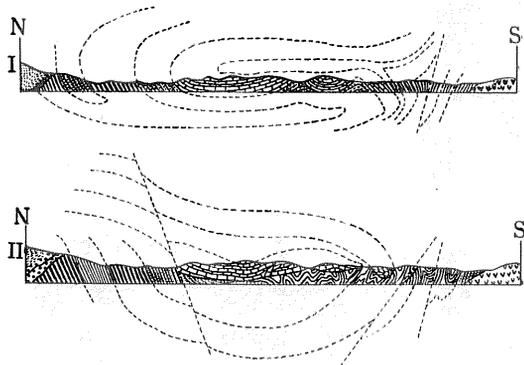
そして9月に再びコロンビアにもどり 帰国までかねての念願どおりハンディン先生と実験室をともにすることができた。ジームス博士は私より早く帰らなければならないために 私よりおそく旅行に出発 そしてそのまま帰国して行った。

### 解析構造地質学について

ドナス研究室は いわゆる普通の地質関係の研究室とは だいぶ 様子が変わっている。コロンビアでは誰もが laboratory (実験室) といっていた。部屋には センパンや研磨機 ボール盤がならび 専任の機械屋さんが絶えずモーターをうならせ何かを作っている。別室には油圧器械やポンプがおかれ導線がはりめぐらされ工場のような感じである。

それでは解析構造地質とはどんなものか

第5図は どんな教科書にもでている有名な図だ。小沢儀明博士は紡錘虫化石をもとに山口県秋吉台の石灰岩層で 時代の古い地層が新しい地層よりも上位にあること つまり地層が逆転していることを明らかにした。古生代には水平のはずであった石灰岩層が 現在はアメのように曲げられ ある部分は180°も回転して他の地層に重なっているのである。また第6図をみて頂こう。有名なアルプスの構造の1部である。私たちが日常承知している岩石の性質からすればとうてい考えられない



⑤山口県秋吉台の断面図(大塚弥之助:地質構造とその研究から)

ような変形が事実行なわれているのである。

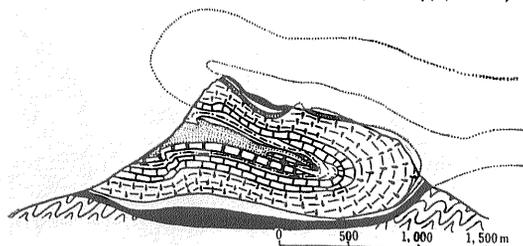
当然ここで起こってくる疑問は “たとえば秋吉台とかアルプスとかの構造は何時どのような力が働いてできたものだろうか” “なぜ秋吉台だけに あるいはアルプスだけにこの構造が発展したのだろうか” 等であろう。解析構造地質学はこのような疑問に答えるために生まれたものである。科学のど

んな部門でも 最初のステップは系統的に偏見のない目で対象を観察しデータを記録し収集することに始まる。構造地質学で このステップに相当することは構造形態(Geometry)の正確な把握 すなわち いろいろの構造要素(断層とか褶曲とか)がどのように分布しているか 地域的特性はどうかということである。第5 6図はこのような努力の末に作られたものである。

歴史学を考えてみよう。ルネサンスから近代への幕が開かれるころは 歴史上もつとも興味をひかれる1時代であるに違いない。だが このころ ヨーロッパの相隣れる数国ですら歴史は同じようには進まなかった。フランスでは激しい革命がおこった。しかしイギリスでは わき上がる民衆のエネルギーはいつか巧妙な議会制度に発展して行った。ドイツでは革命は遂に大きく結果せず農民対貴族の関係は幾分中世的なフイ気を残しながらも 形態的には誰一人として否定できないほどの進んだ近代国家になってしまった。

歴史学はこのような興味ある対立を明らかにした。ここで次のような疑問を考えてみよう。 “何がこのような差を作ったのだろうか? 国民性だろうか 気候風土の相違か あるいはいわゆる歴史的偶然というもののイタズラなのだろうか” いずれにしても関係のありそうな要素を1つ1つ解析して行かねばなるまい。これは最早 厳密な意味での歴史学ではないのかも知れない。しかし 何であるにしても このような疑問に対しては過去の時代におこった事柄を単にトレースするだけでは役に立たないことは明らかである。構造地質学的に言えば いろいろの要素を解析し よってきたるメカニズムを追求しなければならない。

構造地質学における このような第2の面を ドナスは dynamic structural geology と呼んでいる。ペロウソフが使った geotectonics という言葉も 若干ニュア



⑥フランス・アルプス断面の1部(De Sitter: Structural Geologyから)

ンスの違いはあるが 同様の発想から出発し となえられたものである。私は これらに相当するものとして **解析構造地質学** という語をあてたいと思う。ところで解析構造地質学は最近になってこつぜんと現われてきたものではない。少なくとも解析を試みようとする意志おそらく地質学がはじまるのと同時にあらわれてきたものに違いない。だが本格的な研究がなされてきたのは非常に最近のことである。事実上 第2次大戦後といつてよいであろう。なぜか 理由は簡単で 構造解析の基礎となる岩石・岩層の変形・破壊理論の研究がおくられていたためである。岩石の変形は複雑であつたたとえば 単純な弾性変形を考えることはできない。できないことは かなり前からいわれていたことであるがしからば いかに複雑であるかはわからなかった。理論的研究もほとんどなかつたし 信頼できる実験データも少なかつた。構造解析の芽は 大戦後やつと萌え出てきた。構造解析の基礎となる岩石・岩層の物性研究はそれまで零といつてよかつた。したがつて当面の仕事は どうしても 解析の基礎となるべき物性研究にまず向けられることになる。この状態は現在まで続いている。

一言でいえば 解析構造地質学の現状は まだ第1目標たる 岩石・岩層の物性研究に重点をおかなければならない段階で 最終目標たる 地質構造の解析にはじゅうぶんにタッチしていないといつてよいところである。

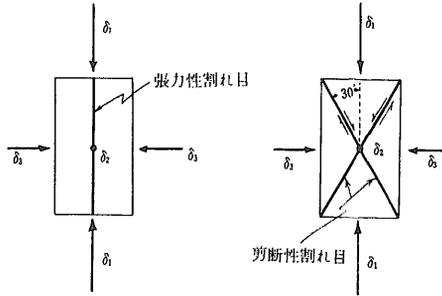
**アメリカの概況**

それではアメリカにおける 戦後の解析構造地質学界を展望してみよう。大きく2つの流れをみることができる。

- 1. rock deformation
- 2. model study

である。

**Rock deformation** は直訳すれば 岩石変形であるが 実質的に 小型の岩石試料を高封圧・高温などのいろいろな物理条件下で高荷重下に変形・破壊せしめる実験をさしている。常圧下の実験では1方向の荷重しか加えないが 高封圧下では 試料の側面に油圧を加えるので三方向に圧力を加えた場合のテストができる。それで三軸高圧実験といわれることが多い。最初に岩石の高圧三軸実験をやつた人として F.D. Adams がいる。最初の論文は1910年に出た。その名は伝説的に有名になっている。Rock deformation の意義は次のようなことである。地層が変形を受けた所は地殻中の深所でそこは相当の高圧(岩石比重を2.5とすれば岩石の自重



①円筒形試料の封圧 $\sigma_1$ と軸圧 $\sigma_2$  および張力性割れ目(左)と剪断性割れ目(右)

のみで単純に考えて 深度1000mについて 250 気圧づつ封圧が増加することになる)。高熱(たとえば新潟・南関東では 100m につき $2^{\circ}$ — $3^{\circ}$ C 上昇する)ことが予想されるのである。このような環境下で岩石の変形・破壊がどのように変るかを実験することは 地質構造の正しい解析のためには是非必要なことである。

高圧三軸実験には技術上 いろいろな問題点があつた。古くから まづ問題になつたことは封圧(油圧)が試料中に侵入するのを防ぐために試料にかぶせる シャへい筒である。これが薄いと高圧の油を防ぎきれないし厚すぎると 肝心の試料の変形が自然どおりに進行しなくなつてしまう。また高熱の場合には熱にたえ得るものでなくてはならない。細かなことだが最もたいせつなことは試料の整形である。上・下端が厳密に平行になっていないと 応力のかかり方が不均一になつて実験結果にばらつきができるようになるばかりか ピストンが滑つて シャへい筒が破れる原因を作ることになる。アダムスが用いたのは かなり厚い軟鉄であつた。このように シャへい筒をはじめとする いろいろな技術上の難点があつて 科学的に まず信用できるデータを初めてだしたのは D.T. Griggs で 1936年のことである。Griggs は 彼の研究の結果を1942年に米国地質学会発行の物理常数表 (Handbook of Physical Constants) にまとめた。

大戦後 Griggsをはじめとするこの方面の研究者は数を増し 先駆者による“長年の蓄積”は春を迎えたかのごとくいつせいに花を開くことになる。1956年にカリフォルニア・ロサンゼルス大学で開かれた Rock Deformation のシンポジウムには約50人の科学者が集まつたといわれる。その論文集“Rock Deformation”(Geol. Society Amer. Memoir No. 79, 1960)を見れば 実験岩石変形学が まずアメリカにおいて 揺らん期を脱し 明らかに第2の時期に入つたことを認めざるを得ないだろう。

Rock deformation の現況は以下に各研究所ごとに紹介するつもりなので 概観は一応これまでとするがここに強調しておきたいことは rock deformation の実験技術上の問題点は 少なくともアメリカでは 一応片がつき 実験技術も確立され 1部はすでにルーチン化されており したがって実験データも安定性のよい信頼度の高いものになっているということである。

**Model Study** について、構造模型研究といったらよいであろう。なお3つの流れに分けることができる。その1は 粘土・プラスチック・紙などの可塑剤を使って 褶曲や割れ目を作るもの。手近な材料で 実際の地質構造に類似のパターンが巨視的にカンタンに作られるところから 古くから行なわれていたものである。

H. Cloos (1955) の研究は この種のまとめとってよいであろう。しかし これら模型材料によって作られた構造パターンを 実際の地質構造解析に適用させようとするときは 航空機・船舶の模型実験(風どう・大型水槽などに模型を固定させ 風・水流を 模型の縮尺にあわせて適当の速度で運ばせるもの)で行なわれているように 材料の物性 変形率 大きさなどを現実の地層物性 変動の速さ 規模に合わせて 一様に変えて行くことすなわち **次元解析**が不可欠である。H. Hubbert (1937)の論文は この意味で 模型解析 をはじめて科学的に扱ったものとして重要である。最近 Hamilton (1962)が発表した論文は また興味ある結論をのべている。彼は 現在われわれが実験室で再現できる模型の大きさ 変形率の範囲では 忠実に現実の地殻変動過程に対応せしめられる材料を見いだすのは困難であるといっている。このことは 粘土などを使った実験が 実は単なるアナロジーを1歩もでることができない危険性のあることを痛烈に示している。

第2は数理解析である。褶曲にせよ 断層・節理にせよ ズリの応力のない 単に押しとか引きとかの力の働く場ならば メカニズムを非常に単純化して考えることができる。数理的に言えば いかにか力学的に複雑な場でも 主応力の分布 いわゆる Stress distribution を知ることができれば 因って生ずべき構造パターンを正確に予期す

ることができる。力学的にいろいろな境界条件を考える。そして その後に生ずべき主応力分布を計算すること。これが数理解析の大ざっぱなあらすじである。W. Hafner (1951) S. Bhattacharji (1958) A.R. Sanford (1959) Biotなどが代表的な論文を発表している。

第3は このごろ盛んになってきたことであるが 光弾性実験によって 主応力分布を求めることである。

数理解析や光弾性実験にとって難点というべきところは “逆は1つならず” ということである。Aなる境界条件・仮定でaという主応力分布が得られたとしよう。しかし aなる主応力分布がAなる条件のみに関係しているということは なかなか いい切れないことで 地質資料の裏づけなしに 数理解析の結果のみを引用することは非常に危険である。

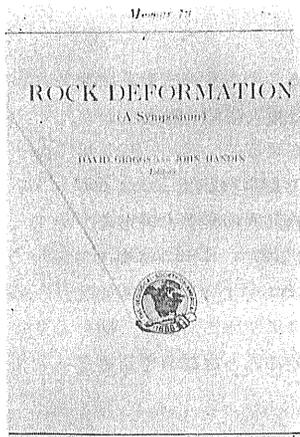
### 岩石物性学について

以上で解析構造地質学が構造地質学全体のなかでどのような役割りを果たすべく生れてきたか わかって頂けたと思う。岩石や地層に対する このような解析的アプローチは単に構造地質学だけではなく 鉱山学 土木地球物理学などにおいて 必要性を認識され 最近とみに関心がよせられているのである。そして 地質をも含めて関連科学分野に共通する言葉として 岩石物性学 (rock mechanics) という語が使われるようになってきた。

アメリカで rock mechanics という語が最初に使われたのは1956年で コロラド州デンバーに コロラド鉱山大学他教校が主催して開かれた 採鉱に関するシンポジウムのときで このときの大会テーマを rock mechanics にすると決められたときである。(地質ニュース117 124号参照)。まもなく アメリカ地質学会のなかにも rock mechanics 委員会が作られ 1963年には国立科学アカデミー (National Academy of Science) の rock mechanics 委員会へと発展して行った。委員は各方面を代表する長老級の人で構成されている。現況を知るうえに興味があるので 委員名 所属等を列挙してみよう。

Don U. Deere (イリノイ大学 地質・土木工学部) Wilbur I. Duvall (鉱山局応用物理研究所) Niles Grosvenor (コロラド鉱山大学)。Robert H. Merrill (鉱山局デンバー-鉱山研究センター) Dart Wantland (国土開発局) John W. Handin (シエル石油開発研究所) Eugene C. Robertson (地質調査所 理論地球物理研究部) Victor Dolmage (コンサルタント カナダ) Charles L. Emery (クィーンズ大学 鉱山学部 カナダ)。

日本式にみてせまい意味での地質屋は ハイデイン1



◎ G.S.A. Memoir No. 79 “Rock Deformation” の中表紙 実験岩石変形学の研究史に1時期を画した

人である。いわば ハンデンが委員会で狭義の地質学界を代表した形になっている。

### 主要研究機関

アメリカにおける代表的な岩石物性関係の研究機関をあげてみよう。

基礎部門では

1. UCLA (カリフォルニア大学ロサンゼルス校)
2. コロンビア大学
3. MIT (マサチューセッツ工科大学 ケンブリッジ)
4. 合衆国地質調査所 (ワシントン)
5. シェル石油開発研究所 (ヒューストン テキサス)

があるが 実験室の規模・スタッフからいって ひときわ群を抜いているのがシエルである。

応用部門 についてみると 鉱山関係では コロラド 鉱山大学 ペンシルベニア州立大学 ミネソタ大学 ミズーリ大学 鉱山局がおもな研究機関であるが 一般の 鉱山会社でも 現場関係の研究室を持っている所が多い ようである。 その他では デンバーの 国土開発局 (Bureau of Reclamation) の大規模かつ組織的物性研究室は非常に興味のあるものである。

### コロンビア大学岩石変形実験室

コロンビア大学は モーニングサイドハイツという マンハッタン島北西部の本郷台のような丘の上にある。

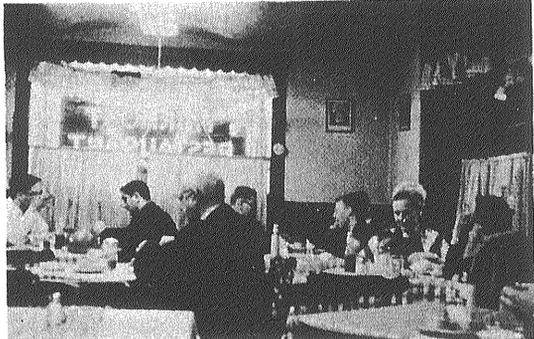
地質ニュース 131号に石原技官が書いているように コロンビア大学の地質学科はハーバート プリンストンなどの大学と比べて優るとも劣らぬ陣容を備えている。 層位関係の 大御所は 地向斜で有名な ケイ教授 (Marshall Kay) で 近いところに堆積学・古生物学の インブリエ教授 (John Imbrie) と 構造地質学の ドナス (助) 教授が列する。 教授 助教授が日本のように 必ずしもタテの線では並ばずに 独立して各々の講座・学生を持てるようになっているらしい。

最初に述べたようにドナス教授の研究室は さながら小工場 のようである。 トビラには Rock Deformation Laboratory と書かれてある。

ドナス研究室の高圧実験機は第15図のようなものを基礎に組立てられている。 第15図の5が第16図の写真で



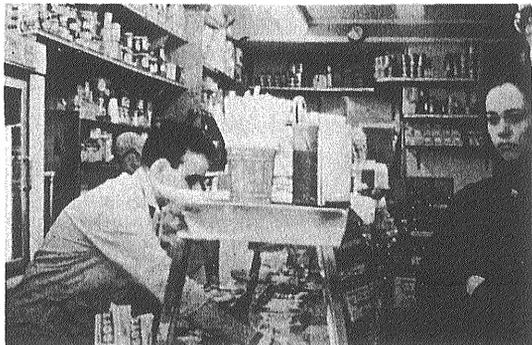
⑨ドナス研究室のすぐ前の横丁にある“AKI”(安芸)という日本レストラン 学生たちに中々評判がよかった



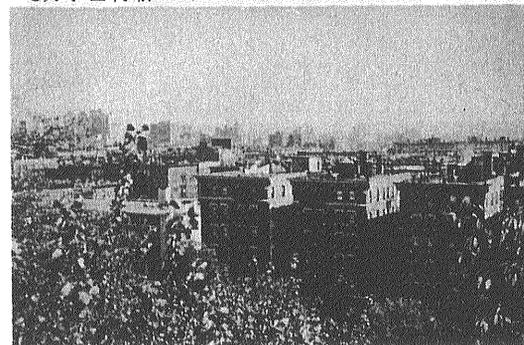
⑩Fairmontというドイツ料理レストラン



⑪大学正門前にある コーヒーハウス

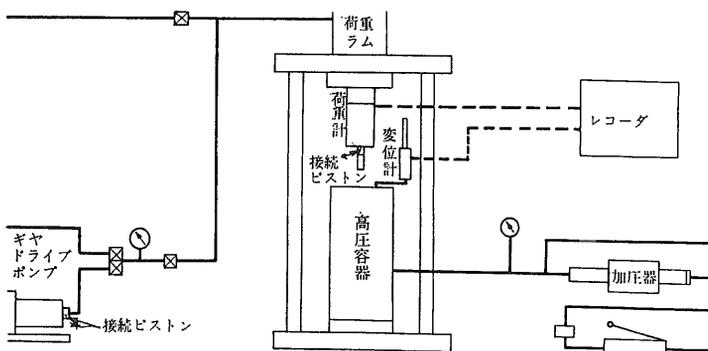


⑫ドナス研究室の近くにある食料品屋 昼にはここでご希望通りのサンドウィッチを売る



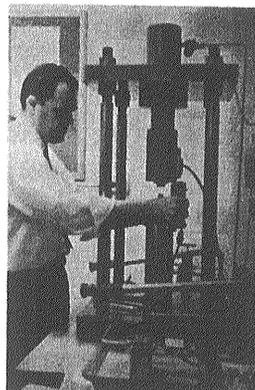
⑬コロンビア大学はモーニングサイドハイツという高台にあり 丘の下はこのような黒人街ハーレムに接する

コロンビア大学の付近 大学周辺には 学生向きの いろいろなレストランがある 値段も学生向きである



⑮ ドナス研究室の3軸試験機の系統図

⑯ 3軸試験機とドナス教授



ドナス教授が両手で据つけようとしている側圧容器である。三軸試験の原理は7図のようにまず円筒形の試料の側方に封圧を加へる。第15図の7が側圧発生系統である。16図の写真では教授の右側にあるハンドポンプがこの1部である。封圧を側壁に一樣に加へたのちに円筒形試料の上端にアテ板(17図参照)を通して置かれたピストンを通じて軸圧を加へる。第15図1が軸圧発生系統であり第16図写真の左側ポンプが軸圧用のものである。試料の大きさは直径0.5インチ(1.27 cm)長さ1.0インチ(2.54 cm)が普通。これはアメリカで最も一般的なサイズでとくに断わりぬ限りこのサイズの試料を用いているものと思つて差支えない。試験機の性能は封圧容量  $4000\text{kg/cm}^2$  (これは平均岩石比重を2.5として約16kmの深度の地圧に相当する) 荷重容量50トン(したがって直径0.5インチ試料の場合軸圧容量は  $40000\text{kg/cm}^2$  である)。

三軸試験結果の良否を左右するものは第1に試料の整形である。整形はまずボール盤に岩石用ビットをつけてくりぬく(18図)。次に研磨盤つきセンパンで両端を1/500の精度に仕上げる(19図)。後のプロセスがとくに重要でこの仕上げが雑だと必ず実験結果に大きなバラツキがでてくる。

ジェームスと私は最初の1カ月彼は有名な Solenhofen 石灰岩を私は Indian 頁岩というアパラチャ産の船川頁岩によく似た頁岩を整形した。Solenhofen の方はスムーズに行つたが Indian の方はビットに水を通して下して行くと完全なくりぬきができるまゝに細かく砕けてしまつて10回やっても成功するのは1~2という有様だつた。こんなちようしてはいつ肝心のテストに漕ぎつけられるのかと思うと到着早々のその頃は沈まぬ気分の日が多かつた。とうとうビットを1つ折つてしまつたとドナス教授もあきらめたのか別の頁岩にかえるといひだした。

やつとのことで整形が終つても次の関門であるレコーダの調整がたいへんだつた。三軸実験の結果は差圧(軸圧より封圧を減じたもの)対歪% (差圧が大きなるにつれて円筒型試料は軸方向に縮む縮みの元の長さに対する比が歪%である)の関係図であらわさせる。封圧は実験中は一定に保つ。そして封圧をロードセル(荷重計)から歪を差動トランスから記録計(第20図)にみちびくのである。

ドナスは実験技術をおぼえたいという私とジェームスの希望に忠実に応じてくれた。たとえば新しい記録計を持ってきてほんの45分接続の見取り図を書き説明しただけで行つてしまふ。説明書を読み導線を接続する。ほとんどが私にとって新しい経験であつた。幸だつたのはジェームスという恰好な相棒がいたことでジェームスは私と同じくらい英語が下手だつたがしかし鉾物屋さんだけあつて電気に関する知識は私よりもはるかに持っていたから本当に助かつた。

その間にドナスは半分は私たちのためだと思ふが

ドナス研究室の人たち 後列右からドナス教授: ジェームス博士夫人: ジェームス博士; Don Tobin (大学院); ドナスの秘書 Miss. Maureen Sherlock; Barry Voight (大学院); Karp 夫人 Linda; Edwin Karp (大学院); 著者 前列右からドナス夫人: ジェームス博士の長女 高校生: Fail 夫人 Carol Fail と結婚するまではドナスの秘書だつた; Rodger Fail; Voight 夫人 Marianna; Fruth 夫人 Elizabeth 地質の学生だつた; Lester Fruth (大学院) (ジェームス博士宅で) このように大学院学生はほとんど結婚して1~2人の子持ちである



1週2時間づつ 高圧実験の特別講義を開いてくれた。材料の強度計算から 材機的设计 圧力系統の組合わせ 高圧シール 計測 etc. 1通りの講義であった。これは本当に有難かった。この講義は小人数でドナスはおもに黒板に図など書きながら セミナー形式で進められたので 私にしても英語の講義に慣れるという副産物があった。

コロンビアでの最初の2 3カ月は いろいろ苦しいことも 意外なこともあったが ここで実験のABCから体系だった研修を積むことができたのは あとあと いろいろな研究所めぐりをしたときに どれほど役にたったか いえないくらいである。

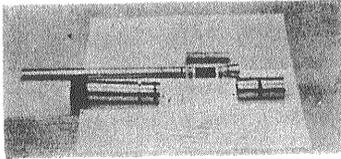
ドナス研究室には 私が着いたとき5人の大学院学生がいた。4人が実験で1人がフィールドをやっていた。ドナスの ph. D 論文はオレゴン州の Basin-Range 構造の断層系統に関するものである。59年にコロンビアへ移ってから本格的に実験構造地質の道をすすみ コロンビアの構造地質講座を rock deformation laboratory に作りかえてしまった。この行き方は MIT の Brace 教授に似ている。彼の学生のうち4人はすでに Ms. S work から ph. D work までラボラトリのみで 日本式の極限された意味をとれば 地質屋ですといえないのかも知れない。この辺に 解析構造地質学が すでに確立された アメリカの強み 3代にわたる実践の重みがうらやましく感じられる。

ドナスの実験の最初のテーマは 層理面・片理面など 地層中に内在する既存の割れ目が 岩石変形にどのような影響を与えるか ということであった。その頃 1960年頃までに ハンデンによって代表的なアメリカ産堆積岩の一般的な応力-歪曲線は描かれていたし 高温状態 間隙水圧状態もハイデンが追求しており また 低荷重率実験はハンデン研究室のハードがやっていた。この問題として異方性の問題があり これは Jaeger (1960) により 1応の理論式がすでに示されていた。

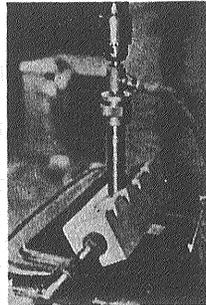
ドナスが このテーマに興味を持ったのは当然のなり行きで 賢明だったと思う。実験の結果は2 3年後 地質学雑誌やサンタモニカ国際岩石物性会議 で発表されているが まづ成功であった。Coulomb-Mohr の説で計算した Jaeger の式ともよく合ったし また Griffithcrack 説を使ってもよく一致することが 1963年 アメリカ地球物理学会のおり Brace によって示された。

ドナス自身 ここ2 3年は実験室の整備・拡張を第1に考えておられるようである。私が出たときも 新しい部品が つぎつぎに運ばれてきていた。最近の手紙では高温装置も完成したようで 昨秋 1年のサバオの休暇を終って研究室に帰ったあとなので遠からず新しい結果 が続々とあらわれてくることであろう。

(筆者は燃料部)

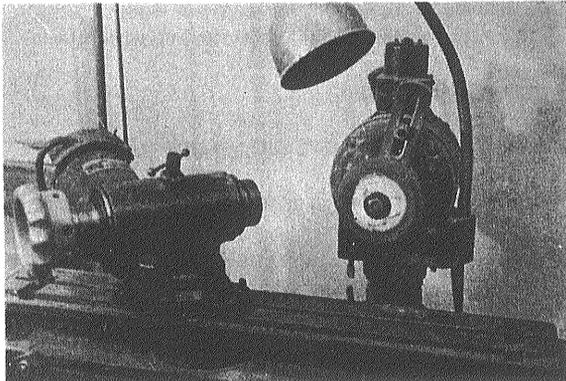
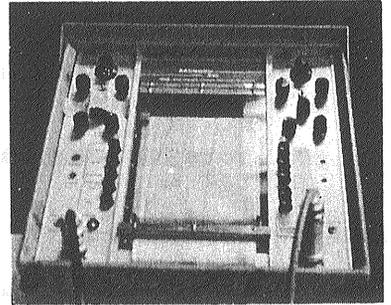


⑰ 実験直前試験機に挿入する岩石・試料(中央黒色円筒形)とピストンしゃへい筒(後) 上下シール盤(前方左右)など

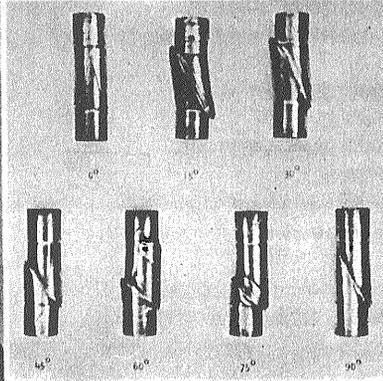


⑱ ボール盤にとりつけた岩石用ビットで試料をくりぬく

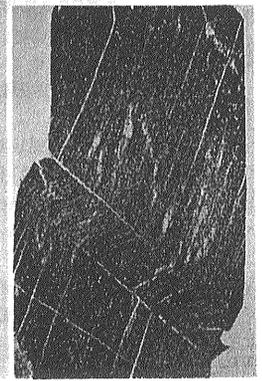
⑲ 封圧と歪を記録する2チャンネルレコーダ



⑳ 試料端面整形用研磨センパン



㉑ 既存の割れ口(この場合は粘板岩の剝理面)にいろいろな角度で軸圧を加へた場合の3軸試験結果 Martinsburg 粘板岩 封圧 500kg/cm<sup>2</sup>。



㉒ ㉑の結果を拡大 薄片写真にとったもの 剝理面と軸圧のなす角度 15° 封圧 1600 kg/cm<sup>2</sup>