

最近のアメリカ構造地質学界

②

星野一男

コロンビア大学に引きつづいて 他の大学
・研究所をみてみよう。

大学関係

前号に部分的にふれたが アメリカにおける 著名な岩石変形研究者の系譜をまとめると 1図のようになる。年号は研究者として活躍した年代である。実線は師弟もしくは準師弟 点線は強い影響をうけていることを示す。

図のように 現在活躍している研究者の源をたどって行くと 1つは UCLA (University of California at Los Angeles カリフォルニア大学ロサンゼルス校) の Griggs と 他の1つは ハーバード大学の Birch に行きつく。おもしろいことに くしくも東西に分かれた2 “流派” は たとえば 実験器械の設計とか実験室の模様 テーマとかにそれぞれ独自の特色を感じさせるのである。このことはそれぞれ研究室を歴訪してみるとまず第1に感じられることである。

UCLA (Griggs 研究室)

図にも示したとおり そして高压関係の研究者ならば誰でも知っているように グリッグスは斯界の最長老である。しかし1953年ハンディンが UCLA から シェル石油開発研究所に移って そこに実験構造地質研究室をはじめて以来 グリッグス研究室は 大学院生研究所になってしまったようで Heard Friedman 等 優秀な門下生は シェルに移ってしまい 現在 1・2人の大学院生が UCLA に残っているにすぎない。

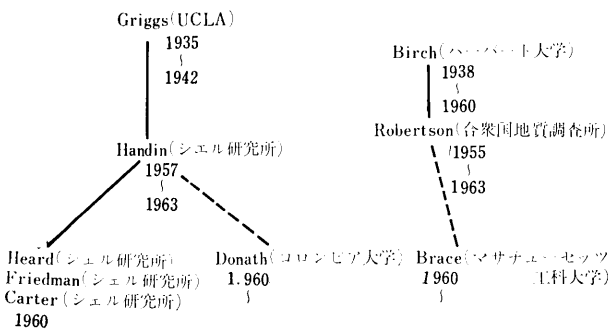
グリッグス研究室を訪れて まず感じられることは おとなりの高压化学実験のケネディ研究室がたくさんの

研究者を集め にぎやかにやっているのにひきかえてあまりにも ひっそりとした感じがすることである。著名な諸論文の写真で すでにおなじみであった低速試験機(2図)や六方アンビル型(3図)など 部屋に入ると すぐ目につき ひそかに軽い興奮を禁じ得なかったが主な家家具をみるようなさびしさがあつた。しかし グリッグス先生自身はなお健在で活躍しておられる。ワシントンで AGU 年会があつたおり 最前列に席をとってほとんど講演の度ごとに元気に質問やらコメントやらをされていた姿が目につくようである。このときも 石英の結晶変形に関する研究を自身 発表講演された。余談だが グリッグス先生は筆不精らしい。残念ながら小生も度々の照会に遂に返事をもらえなかったが アメリカでいろいろ話し合っていると 実は私もとという人に再三ならず会つた。拝眉すれば 本当におもしろい人なのだが。

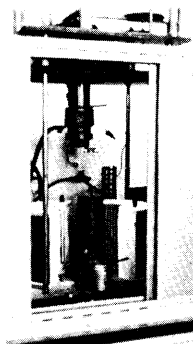
MIT (Brace 研究室)

ハーバード大学の Birch と ハーバードからワシントン地質調査所へ移つた Robertson と マサチューセッツ工科大学 (Massachusetts Institute of Technology MIT) の Brace を一線に結びつけるのは必ずしも正しくないかも知れない。しかし いずれも古都ボストンに縁のある3人の研究室には グリッグス-ハンディンの系列と何か異なつたものがあるように思う。

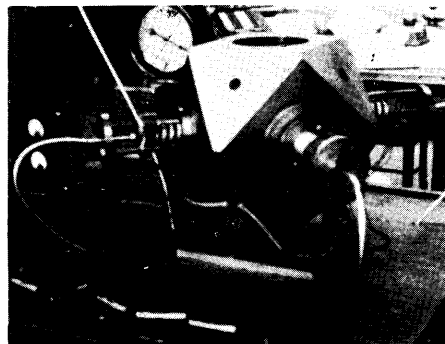
地震波物性から地殻物性に進んだ 大御所 Birch。精緻な Yule 大理石の変形実験から岩石の粘弾性物性を追求している Robertson, Griffith の破壊論を基礎に独創的なアイデアを次々に展開する Brace。オーソドックスな Coulomb-Navier の破壊論のルールをはずさ



第1図 主要な岩石変形研究者の略譜



第2図 三軸試験機 (Griggs 研究室) Heard が超線定速度試験のために設計したもので上部に減速歯車が見える高温実験のための電熱炉が高压容器の左右にみえる



第3図 六方アンビル型試験機 (Griggs 研究室) 直径約3mm 長さ約9mm の試料に対して 温度2000°C 側圧7万気圧までの実験が可能である

ずに どちらかといえば 理論・解析よりも実験データを積み上げることに力を注いでいる ハンディン派とは対象的な感じがするのである。それは地質屋であるハンディン等と地球物理屋である Robertson との差なのかも知れない。Brace は しかし 生粋の field geologist であった。ドイツ生まれ。ギムナジウムをでてハーバードに入った彼はしばらくは アパラチャの構造をやっていた。そして“構造のメカニズムの深奥により1歩でも近づくために” rock deformation へと転じた。今は地質家でもアルピニストでもなく 全くの機械屋さんだ という Brace の部屋は ドナス研究室のように 数コの3軸試験機にまじってセン盤や研磨盤 ボール盤がならび 私が行ったときには 女子学生がセン盤を回しながら岩石の整形中であつた。

第6図はブレイスの最近の3軸容器の1つ。側圧容器に直接ラムを取り付けた常識破りのデザインは ふしぎに 堅牢のうちにある種のスマートさを感じさせる。これは同時に彼の学風に通ずることである。

私のボストン行きは10月初旬。ニューヨークからの道は鮮やかに黄・朱と日本の秋さながらに燃えたつニューイングランドの林を進み 5時間のバス旅行も物足りないくらいだった。

ブレイスの最近の仕事は圧縮率。弾性率といわれない所がいかにも彼らしい。いわゆる降伏点以前の“弾性状態”においても永久歪は相当大きく 弾性状態における“塑性的性質”の議論がやかましいこの頃である。物質に先行的に内在する微小クラックが変形・破壊に及ぼす意義を重要視するブレイスの考えは 地質学の立場から見ておおいに興味のあることである。やがて現われてくるであろう彼の新しいアイデアが楽しみである。

石油会社研究所

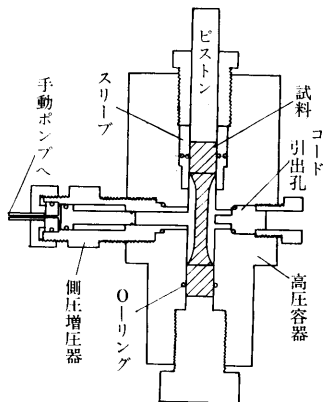
石油は自動車と並んで アメリカの2大産業の1つである。石油会社の大手はいずれも大きな研究所をもち



第4図 MITのBrace教授。ドイツ生まれのフィールドジオロジストであつたBraceの部屋の右隅には、スイス・アルプスの岩峰を登はんする彼の写真。左隅には日本の長野県に相当するヴァモント州の地質図がかかげられその経歴を示している。



第5図 第6図の試験機に使つた試料。普通の円筒形だと上下のアナ板との間の接触部の影響がたえず問題となる。これを防ぐため、Braceはこのような独特の形を考案した。



第6図 三軸試験機(Brace研究室)の主要部分説明図。独特の試料を用い、側圧ラムを本体に付属させた、全く新しい設計である。

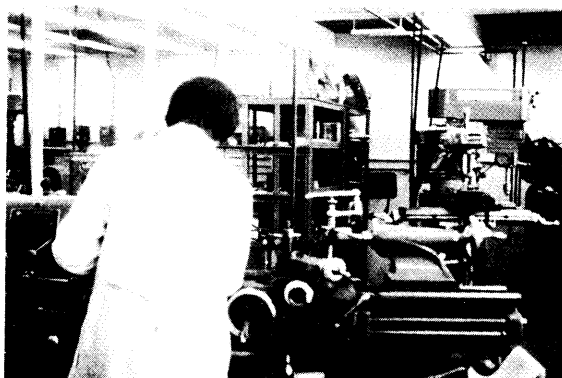
実力・内容からいって大学をしのぐものささもある。いくつかの研究所を回って気のついたことは、各会社ともそれぞれの特色をもった独自の方針で、研究テーマ組織をきめ運営していることである。誇張していえば、どこでも、俺の所が1番効率をあげうまくやっているのだという意識が大なり小なりうかがえた。でも、そこは遠来者の強みを失わずに、できるだけ自身の目で見えたつもりである。

ガルフ研究開発会社 (Gulf Research & Exploration Co.)

ガルフ石油の研究所だが、ここに限らず大手の石油会社の研究所はすべて別個の株式会社組織になっている。

ガルフは、石油会社としても超一流というわけではない。研究所すなわち研究開発会社にしてもぬきんでてすぐれているというわけではない。それなのにとくにガルフをとり上げたのは、ある人の印象が忘れがたかつたからである。

彼 Hodgson 博士とは5月カナダ・トロントのアメリカ石油技術学会のときに初めて会つた(地質ニュース116号)。古くから節理をやっていた人である。油田地帯の節理という全く共通のテーマを持っている私は

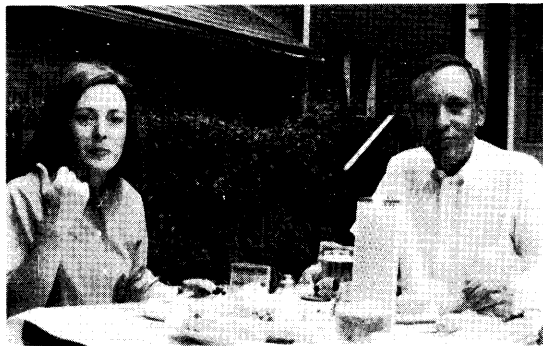


第7図 Brace研究室で、特殊セン盤を使って実験用試料の整形をしている女子大学院生。

その後ホジソン (Hodgson) に機会があったらお会いしてディスカッションしたいと手紙を書いた。折かえしてホジソンから おさしつかえなければ〇〇日から、勝手だがスケジュールはこのように決めたいと恐縮するほどいいいな返事もらった。初夏の一日 私はゴルフのあるピッツバーグに向かった。アパラチアの山中を越えるときまたまカーブをきりそこねたトラックが崖に衝突炎上するという派手なハイウェイ事故に出会うという幸運?にあったが そのためにバスは予定を5時間もおくれてピッツバーグに着くことになってしまった。しかしホジソンは夫人とお嬢さんづれで待っていてくれた。

3晩 私はホジソン宅に泊めて頂き 1日間はホジソンの部屋で朝から夕方まで文字通り徹底的にディスカッションした。ホジソンは コロラドからワイオミング・モンタナに至る彼の資料を持ちだした。ホジソンの考えは地殻節理系統は全地球的な傾向に支配されておりたとえばコロラドからモンタナに至る米大陸中部の系統は驚くほど uniform である……。私はこの考えには承望できなかった。持てる限りの資料を出した。

9月 私は再びホジソンとワイオミングのビッグホーン山麓でおちあつた。私はモンタナから南下してコロラドのデンバーに向う途中。彼は仲間2人とビッグホーンでフィールド調査中のときであった。打ち合わせた日の前日 私がまあまあ無事に打ち合わせたワイオミングの小さな町のあるホテルにたどりつく。翌朝起きるか起きぬうちにホジソンがカウボーイ帽を被ったフィールド姿で現れた。パーティはホジソンとピッツバーグ大学の岩石屋と地球物理で地磁気をやっている人の計3人。アメリカでの石油探鉱もだんだんと平原下や深部開発の段階に進んでおり 新生代層によって隠されている中・古生層の構造を求めることが重要になって来ている。ホジソン1行のテーマは山地部の基盤岩露出地域での構造・岩石・磁気調査を行ない 一方エアボン・



第8図 ガルフ研究開発会社のホジソン博士夫妻(ピッツバーグの自宅裏庭で)

地磁気図と対応させて 地磁気図から構造を見いだすことの有効性を検討しようということである。2日間私はジープに同乗して先カンブリア紀片麻岩のビッグホーン山塊を見た。

3日後 私たちは ワイオミングのカスパーで解散した。前夜 ホジソンは西部劇の1コマに出てきそうなパーにさそってくれた。よいご気嫌になつたらしい彼は奥さんのノロケ話や海軍の話やらをしてくれた。国籍も主張(節理のことでは遂にお互い一致しなかった)も違うが 彼との交遊で 私は本当に国境をこえた万国共通の地質屋かたぎのありがたさを味あわせてもらったと思う。

シェル石油開発研究所 (Shell Development Co.)

シェルの研究所 とくに探鉱関係は アメリカで1・2のうちに数えられる。良い例だと思うのでその組織表を示そう。第12図Aはシェル石油株式会社の業務内容が3大別されることを示す。日本の会社などの探鉱部門はすべて この1 探鉱・生産に含まれる訳である。研究部門はすべてシェル石油開発研究所という別会社に統合されている。シェルの場合 研究所はBのように 1. テキサス州ヒューストン 2. サンフランシスコ 3. カリフォルニア州 モデスト に分散している。この



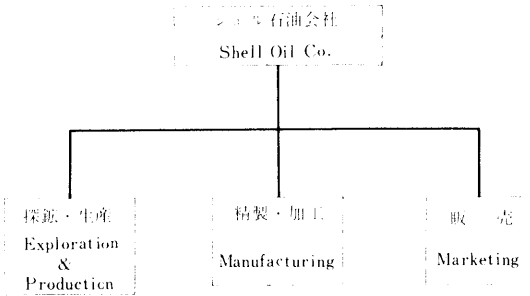
第9図 ワイオミング州・ビッグホーン山地におけるガルフ石油の構造調査班1行 右がホジソン博士



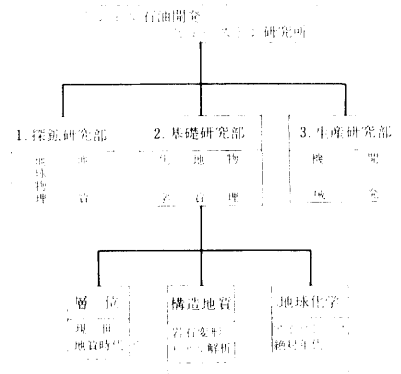
第10図 片麻岩の片理の方向を測る



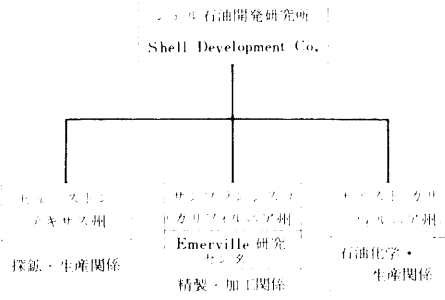
第11図 ビッグホーン山中の調査班の泊ったキャビン(バンガローのようなもの)の食堂



第12図 シェル石油会社および石油開発研究所の組織A



第12図C



第12図B

うち 最大のものはヒューストンにあり 人員規模約 600 人である。 付表Cがヒューストン研究所の内容である。 ハンディン等の rock deformation 研究室はこの 2. 基礎研究部門の地質の部構造（構造地質）のうちに包含されるわけである。 基礎研究の地質部門の研究者が約50人ということである。 X線による組織分析の研究者であるヒッグス(Donald V. Higgs)博士がこの長となっている。

- 構造地質関係のおもなスタッフは
- John Handin
 - H.C. Heard (実験岩石変形)
 - Melvin Friedman (")
 - Neville Carter (" 結晶 ")
 - D.W. Sterns (節理)

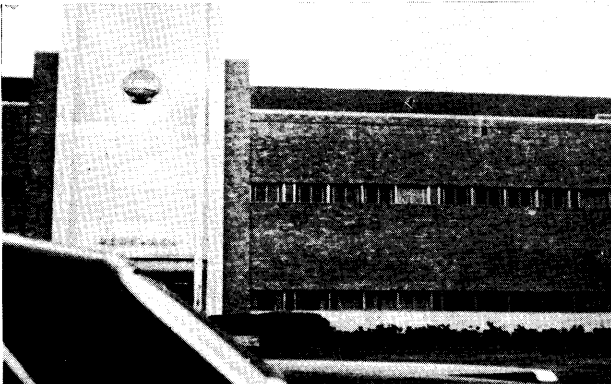
George Sowers (光弾性解析・モデル解析)

Heard, Friedmanはグリッグス門下生で 重要な論文を多くあらわしており ドナス プレイスにならぶ中堅である。 Carter は最近 UCLA から移った。 石英・雲母の変形研究をやっている。 Sterns はあまり論文は書かないが一貫して field geology をやってきた 節理の専門家である。 半日それぞれの資料を出し合い ディスカッションする機会を得たが 地質構造に対する見方 成因など 話せば話すほど全く同様の考えを持っていることがわかってきて大いに喜び合ったものである。

Sowers はロッキーなどの褶曲構造地帯で 光弾性・数理解析をやっている。

この短い紙面では シェルのハンディン研究室の概算すら紹介することは困難である。 どの大学といえどもこれほど充実したスタッフをそろえている構造地質研究室はないし ここほど大きな実験室を持っているところはない。 私はヒューストンに一週間滞在し その間 毎日のようにシェルに通い“5人の侍”となるべく多く意見を交換する機会を持つとした。 研究のおもしろさについ長居をすることが多かったが宿へかえると一日慣れない言葉でディスカッションしたつかれで からだのふしぶしが痛んでくるような有様だった。

“5人の侍”といったのは ハンディンはもつぱら研究



第13図 テキサス州・ヒューストン市内のシェル石油開発研究所の正面



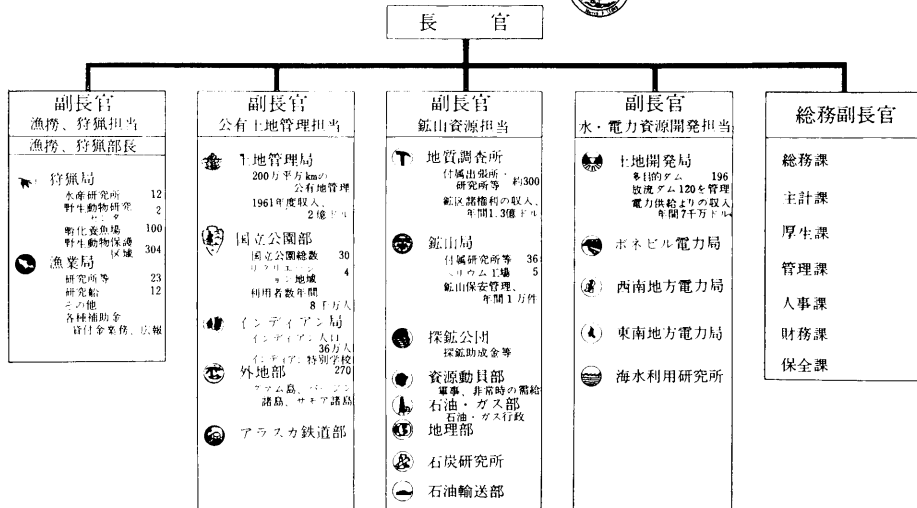
第14図 シェル石油開発研究所構造地質研究室の若い人たち 左から Sowers Sterns Carter Heard そして Friedman どの大学にも劣らない粒よりのスタッフといかにもテキサスらしい友情の雰囲気により作られている がっちりしたチームワークはうらやましかった。

のリーダー格で
 実際の仕事はあまり
 しないからであ
 る。応力分布解
 析の King Hub-
 bert, Hager, Biot
 などの有名な人た
 ちも今は長老と
 してシェルを退職
 している。

**官庁 鉱山・土
 木関係の研究所**
 これから紹介す
 る研究機関のいく
 つかは合衆国連邦
 政府の機関である。
 一応行政的な位
 置がどのようにな
 るのか触れてみよう。

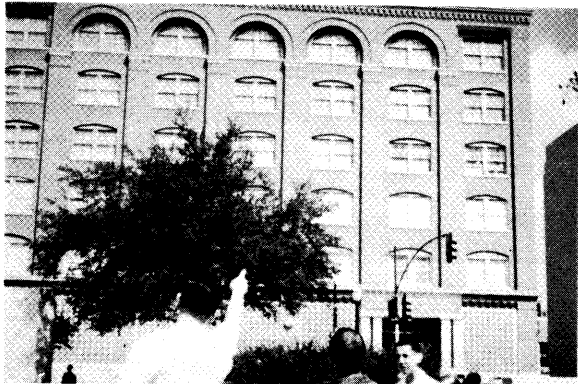
アメリカで日本の省にあたるものは Department であ
 る。Commerce (商務) Treasury (大蔵) Justice

連邦政府内務省
 UNITED STATES DEPART-
 MENT OF THE INTERIOR

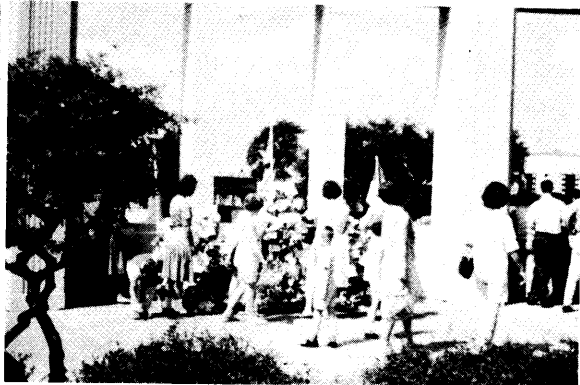


第19図 内務省 (Dept. of the Interior) の組織図 各機関は図のように 意匠をこらした紋章を持っている

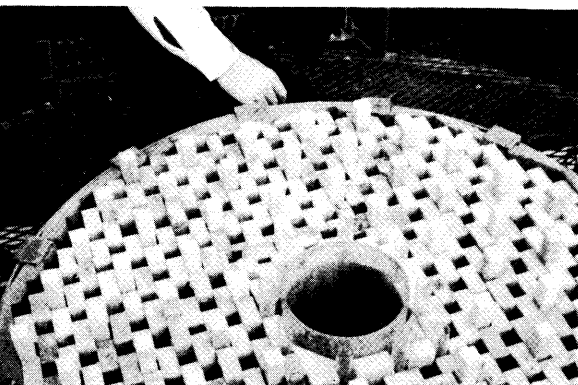
(法務) など10の Departments があるが その中に D.
 of Interior (内務省) というのがある。これからお話
 する研究機関はすべてこの内務省に含まれる。混同し



第15図 ダラス市街 手前の男が指さしているあたりの窓から暗殺者
 がケネディ大統領の乗用車に発砲した



第16図 その書籍倉庫から遠からぬところ兇弾が大統領の頭を貫いた現
 場を見下ろす広場にはいまでもたえず花環やカードを捧げる人
 が続いている



第17図 ダラス市郊外にあるモービル石油研究所 大理石棒で作った
 電検器具の実験弁



第18図 モービル石油研究所の計算センター 大学と限らず会社と
 限らず およそ研究所と名のつく所には必ず 電子計算機を
 そなえた計算センターがある

やすいのに D. of States (国務省)がある。国務省は州 State の集合体 すなわち合衆国全体に共通すること外交などをつかさどるのである。そして内政をつかさどるものが D. of Interior なのである。

第19図をみていただきたい。Secretary (長官あるいは大臣) の下に 鉱物資源(部) (Mineral Resources) 水電力資源開発(部) (Water and Power Development) などの大きなセクションがある。地質調査所 鉱山局は前者に属し 土地開発局は後者に属する。これらの研究所はほとんどコロラド州デンバーに集中している。ロバートソン博士が博士と同じく NAS の rock mechanics 委員会に属する これら研究所の関係者の方々に小生のために前もって紹介状を送ってしてくれたおかげで かなり細部まで見ることができた。

鉱山局 (Bureau of Mines)

わが国の鉱山局とは違って行政機関ではなくむしろ研究機関である。組織は複雑だが 採鉱研究センター (Mining Research Center) というセクションがあり 岩石物性学はこの2大研究テーマのうちの1つである。100トン程度の材料試験機3基 4000 kg/cm² 程度の3軸試験機2基をそなえ かなりの活動をしているように見受けられた。

土地開発局 (Bureau of Reclamation)

Reclamation とは耳なれない言葉だと思い 意味をきくと 西部のような荒土を人が住めるように生活ができるように再生することだと教えられた。かんがいと発電のためのダム建設がおもな仕事である。だからわが国の電力中央研究所のようなものである。

しかし さすがにけたはずれなアメリカ西部の開発をめざす技術研究所だけに 設備も器械もとにかく大きいものが多かった。かねがね B. of Reclamation はぜひ見ろといわれていたのだが その価値はあったと思う。たとえば 湿度を変える部屋 かなり大きな部屋が3つある。湿度をそれぞれ10% 50% 90%と一定にして

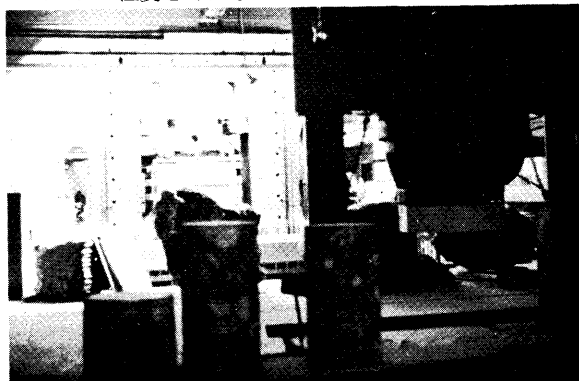
ある。ここへコンクリートのブロックとか岩石とかを置いてテストするのである。東京分室(四階建)の1/2はそのまま入ってしまいそうなダムと河川の模型があった。そして写真でおみせするような2,000トンというお化けのような材料試験機がある(20図)。それに使う試料の直径はまた1mに近いというしろものである。

地質調査所 (U.S. Geological Survey)

Robertson 博士がチーフとなっている ワシントン郊外の理論地球物理研究室が地質調査所における rock deformation 研究の中心地である。デンバーでは Varnes 博士をチーフとする応用地質研究室 (Engineering Geology Branch) が一応岩石物性研究をカバーしているが 実験面では B. of Reclamation や B. of Mines に比べて見劣りがする。Varnes 研究室は それよりむしろ地質調査所の特性を生かした model study により大きな関心を持っているのではないかとかがわれる。Varnes 博士や Kanizay 博士の話の聞くと von Mises 理論に基づく塑性論的考えを地層の応力解析の基礎としているようである。

折良く 応用地質研究室で手がけているトンネル工事現場を見学することができた。現場はデンバーから約100km 西に向かったロッキー東縁の山の脊。その近くの湖からデンバー市に水を流すためのトンネルである。計画は トンネル工事の計画・施行の段階におこってくる あらゆる地質的・物性的問題をどのようにしたらよいか。このようなプログラムで地質調査所は何をなさなければならないか。などをきめるための予備研究だそうである。トンネル中にほぼ100m おきに支柱と結合させた応力計をつける。また湧出水量・水質も何か所かでチェックする。Robinson 博士等はたえず現場につめていて まえもって調査した予想地質と トンネルの掘進にともなって あらわれる岩石と対応させる。またたとえば異常に沈下した部分の応力計記録と地質とのチェックをする。

まだ いろいろ問題のありそうな応力計を とにかく



第20図 デンバーの土地開発局にある2,000トンの岩石試験機(右奥)と直径1mにもおよぶコンクリートの円筒形実験材料



第21図 ロッキーのトンネル現場に立つ 合衆国地質調査所 応用地質研究室の Robison 博士(右)ほか 本文参照

現場にもちこんで広範囲の記録をとろうとし 地質的立場からトンネル工事のコントロールを目指すなど 非常に意欲的な研究で感服したが Robinson 博士によるとこのような研究に対する上層部と周囲の理解が少なくじゅうぶんな予算がもらえないので困っているということであった。

私が見て回った範囲でも たしかに U.S.G.S. は B. Mines とか B. Reclamation など同種の研究機関に比べて ずい分立ちおけているようだった。 たんに物性のことだけでなく 構造地質全般についても合衆国地質調査所は大学などに比べすこし のんびりしすぎているような空気が外来者にも感じられた。 地質調査所の前途は洋の東西を問わず多難らしい。

採 鉱・鉱 山 関 係

岩石物性が全組織的な規模で活発に行なわれているのは 何とんでもなく鉱山関係である。 とくに大学関係は活発で 事実上鉱山学科イコール岩石物性学科じゃなからうかとみなされるような所が少なからずある。

次の4校は とくに岩石物性に熱意を持っている大学で 輪番で毎年 **岩石物性シンポジウム** を開いている。

ミネソタ大学

ペンシルベニア州立大学

ミズーリ大学

コロラド鉱山大学

実際面での一番大きな問題は坑道の採掘ならびに保全に関して いかにも物性データを活用し いかにもコストを下げるかということである。 適用面で興味を中心となっているのは in situ の応力測定である。 鉱山学界内部でのポテンシャルはピーク近くにまで達した感じで 今後の課題は いかにして地層物性となつて行くか いかえれば 構造地質学との間隔をどのようにちぢめて行くかということであろう。

あ と が き

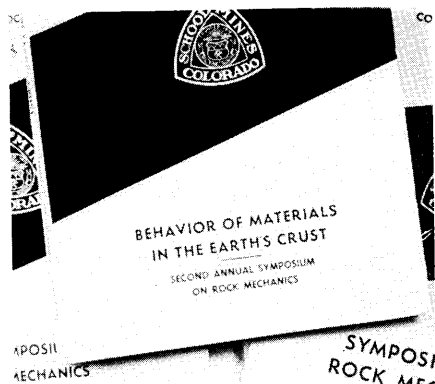
2回にわたって 解析構造地質学ならびに岩石物性学に関連の深い アメリカの研究機関を紹介した。

解析構造地質学にせよ岩石物性学にせよ 本場に最近芽をだしてきたばかりの若い科学である。 解析構造地質学ということばについて 私はドナスやハンディンのいう dynamic structural geology ということばを借りて 解析構造地質学といったのだが そのものずばりで analytical structural geology という人もいるし experimental st. geol. ということばがほとんど同意義に使われていることもある。 ソ連では geotectonics と呼んでいるようだ。 また岩石物性学ということばについてもアメリカでは rock mechanics と呼ぶのをいさぎよしとせず いろいろと変ったフレーズを作っているが rock mechanics という2語がカンタンで便利なために徐々に一般的になりつつある。 ただし わが国での訳語になると 一定せず“岩の力学”“岩盤力学”“岩の物理学”とかさまさまに呼ばれているのが現状である。 このような混乱自体が この学問の若く新しいことを物語るものであろう。

これは間違いなく 困難に満ちてはいるが 未踏の魅力にあふれている 新しい森である。 アメリカのどこに行っても 若い人たちが中心となって活気にあふれた仕事をしている。 だからといって たとえば アメリカの構造地質学界がごとごとく あげて この分野に転換してしまっているといったら とんでもないいいすぎである。 むしろ 大部分の研究機関・大学には 従来の野外構造地質の道を守っている人がはるかに多いのが現状である。

解析構造地質学は 地質学が発展して行く歴史のなかで 当然踏みこえて行くべき一つの過程として 地味ではあるが 着実に若い人たちの関心を集め 育っているというのが 最も事実に近いであろう。

(筆者は燃料部石油課)



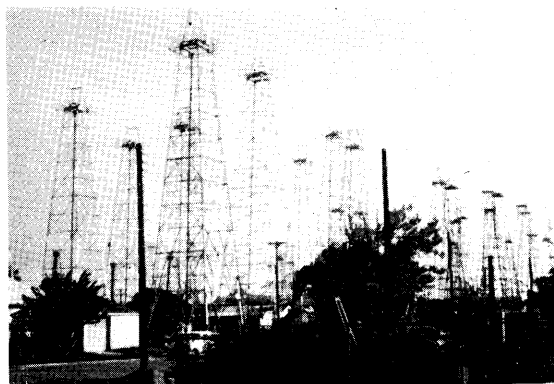
第22回 コロラド鉱山大学発行の 岩石物性シンポジウム論文集 (左から1回 2回 3回)

UNIVERSITY OF MISSOURI
at
ROLLA

announces
the organization of

**ROCK MECHANICS
RESEARCH GROUP**

September 1, 1964



第23回 テキサス州最大の油田 イースト・テキサス油田
ダラス東方約160kmにある

第23回 ミズーリ大学で、昨年9月第6回岩石物性シンポジウムがRollaで開かれるのを記念して大学に特別研究グループを作ることを広告した裏面に目的とする主要テーマとグループのスタッフの名がある