

## 第2回破壊力学と地震源機構に 関するペンローズ会議に出席して

小 出 仁

標題の会議 (The Second Penrose Conference on Fracture Mechanics and Earthquake Source Mechanism) がアメリカ地質学会の主催で 1974年8月26日より31日まで 米国コロラド州 Snowmass Resort で開かれた。会議の目的は 岩石力学と地震学との間のコミュニケーションを高めること 地震の原因についての理解を深めること および現在の研究のニーズに注意を集めることである。地震予知で いわゆる「ダイラタンシー・ディフュージョン・モデル」が世間の注目をあびている現在 この会議はきわめて有意義で興味深いものであった。モデルの提唱者の A. NUR (Stanford University) や C. SCHOLZ (Lamont Doherty Geological Observatory) 彼らの先生の W. F. BRACE (M.I.T.) や岩石力学の大御所の J. HANDIN (Texas A & M University) 等 アメリカの主だった地震学者や岩石力学者が集まって活発な討論が行なわれた。この会議をさらに意義深いものにしたのは 実際の地震観測から地震予知の手がかりを発見した ソ連の学者達 MYACHKIN, NERSESOV, SOBOLEV ら (いずれも Academy of Science of the USSR) が参加したことであった。ソ連の地震学者達は 米国とソ連の間で進められている地震予知の協力計画の一環として米国を訪問中であつたようだ (WALLACE, 1975)。

ペンローズ会議の直後の9月1日から7日まで 同じコロラド州のデンバー市で 第3回国際岩の力学会議 (The Third Congress of International Society for Rock Mechanics) が行なわれた。国際岩の力学会 (I.S.R.M.) は 岩石力学の分野ではもっとも大きく権威ある国際学会で 今回の会議にも36ヵ国から800人近く 日本からも18人が参加した。著者は ニューヨーク市立大学ブルックリン・カレッジの客員研究員 (科学技術庁パートギャランティ研究員) として 約1年間岩石力学とテクトノフィジックスの研究を行ない 帰国途中で両会議に参加することができた。

国際岩の力学会議は工学諸部門から基礎・テクトノフィジックス部門に至る幅広い会議で とても著者1人で全体を見通すことはできないし 既に日本で報告会も開かれているので ここでは主に「破壊力学と地震源機構についてのペンローズ会議」の報告をする。

会議の報告は略するが 国際岩の力学会の紹介を少しする。国際岩の力学会は日本にも約120名の会員がいて 活発に活動している。今回の国際岩の力学会議は1979年にスイスで開かれる予定だが 1980年に日本でシンポジウムが行なわれ 将来は日本に国際岩の力学会議を招くという動きもある。その生い立ちから工学関係の参加者が多かったが 今回からテクトノフィジックス部門も設けられ 理学関係にも広げようとしている。国際岩の力学会議に対応して 日本では岩の力学国内シンポジウムが1964年から既に4回 土木学会・日本鉱業会・日本材料学会・土質工学会の共催で開かれている。日本地質学会や地震学会は費用の問題や岩石力学に関心のある人が少ないため 未だ参加が実現していない。理学関係で関心のある人は個人的に日本材料学会等に参加して 参加している現状である。岩石力学は典型的な境界領域の新科学なので もっと多方面の科学者・技術者の交流が円滑になることが望まれている。

ペンローズ会議というのは 化学分野でのゴードン会議の成功にならって アメリカ地質学会が1969年からはじめ いろいろなテーマについて1973年までに14回 1974年には8回開催されている。期間は通常5日以上 非公式な雰囲気 で自由な討論ができるよう計画されている。そのため出席者は通常60人前後に絞られる。自由な情報交換が行なえるように印刷物は発行しない。今回の会議でも「議長の質問集」という手紙形式のパンフレットが配られただけであった。会議出席者は他の出席者から知らされたオリジナルな情報を用いない道徳的義務がある。会議のテーマに関心を持つ人はだれでも参加を応募できるが 出席を認めるか否かは 世話人に一任され 他から抗議できない。会議のテーマに関係ある研究をしている大学院生の応募は奨励されていて 補助が出ることもある。

今回の「破壊力学と地震源機構についてのペンローズ会議」には70数人が参加し 世話人は R. E. RIECKER (Air Force Cambridge Research Laboratories) であつた。大部分は米国内からの参加であつたが 外国人はソ連からの他に 南アから N. G. W. COOK (Chamber Mines of South Africa) と A. MCGARR (University of Witwatersrand) 西ドイツから F. RUMMEL (Ruhr-

Universität Bochum) フランスから J. B. MINSTEN (Inst. de Physique du Globe) が参加した。日本人は著者の他に 現在カリフォルニア工科大学の金森博雄教授だけであった。

会議が行なわれた Snowmass Resort は デンバーの西南西約 180km コロラド・ロッキーの中心部にある。デンバーの空港を飛び立った双発のターボ・プロップ機は 4,000m 級の山々が連なる大陸分水嶺をすれすれに飛び越える。景色はすばらしいが 相当揺れがひどい。ロッキーの山なみは意外にゆるやかで高原状といってもよいくらいだが 4,000m 級の山になると森林限界を越え 高山らしい様相になる。そのような高山にはカールの跡が明瞭に見られ その底にしばしば美しい小さい池をたたえている。45分ほどで機は 氷河の跡特有の U 字谷の広い谷底にある Aspen 飛行場におりる。Aspen の町は昔は銀山町として栄え 最盛期には15,000 人の人口があったというが 1890年代に銀の価格が暴落すると 一時はゴースタウンと化した。コロラドには同様な鉱山跡のゴースタウンが各地にあり 今では有力な観光資源になっている。Aspen は現在ではレクリエーション・センターとして再び繁栄し スキー客や避暑客で夏冬共にぎわい 夏には音楽祭も開かれる。Snowmass Resort は Snowmass at Aspen ともいい Aspen の町から北西 14km 程の斜面に新しく開発された計画的なリゾート村で 標高約 2,600m の高所にある。もっともにぎわうのは冬のスキー・シーズンだが 夏にはハイキング・山道のドライブ・ゴルフ・乗馬・テニス・つり等のレクリエーション基地になる。

ベンローズ会議は このようなリゾート村の中心付近にあるリゾート・ホテルを借りきるという理想的環境で行なわれた。余談だが会議には参加していなかったが 岩石力学の創始者といっている D. T. GRIGGS (63才)

が4ヵ月後の大晦日にここでスキー中に 心臓マヒで亡くなったそうである。

会議の議論の中心はダイラタンシーと水であった。岩石中にごく微小な割れ目—マイクロクラック—が発生するためにダイラタンシー(見かけの体積膨張)がおきること マイクロクラックが地震現象を解明するために重要であることが認識された。これはマイクロクラックの重要性を主張してきた著者にとって感激的であった。水の重要性も大いに認識されたが その役割については多くの問題があることが明らかになった。全般に岩石破壊の研究者達の意見がアメリカの地震学者にはよく受け入れられていた。同席した金森教授は まだ岩石力学と地震学の割れ目の考え方に距離があるといっていたし 実際にそのとおりであった。しかし 日本での状態に比べれば 格段の融和ぶりであったといえる。日本の割れ目学の創始者は実は地球物理学者の寺田寅彦であり その弟子の藤原咲平や平田森三であった(藤原 1932 等)。その考え方は割れ目の発達を重視して その過程を追跡しようというもので マイクロクラックから大きな割れ目すなわち大地震の発生を重視するにいたった現在の傾向に通じるものがある。また寺田は温泉と地かく変動の関係をも論じている。しかし 寺田らの研究はパテや粘土やガラス等を使ったモデル実験で実際の岩石を使わないために 地震の本質にせまるという点では限界があった。平田森三はガラスの割れ目の研究を続け 平田割れ目学とよばれるユニークな学風を作りあげ その伝統は今でも生きていて日本の割れ目学の水準を高いものにしていく(寺尾 1968等)。しかし地学関係では割れ目の研究はあまり行なわれなくなってしまった。当時の日本では岩石自体を使った実験は技術的・経済的に困難であったろうからやむをえなかったのだが 日本の地震学にとっては残念なことであった。

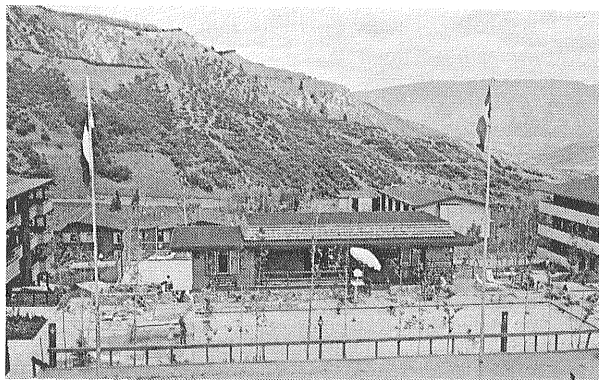


写真1 ベンローズ会議の行なわれた Snowmass Resort. リゾート・ホテルや別荘マンションが計画的に配置されている。会場は写真の少し右手にある。

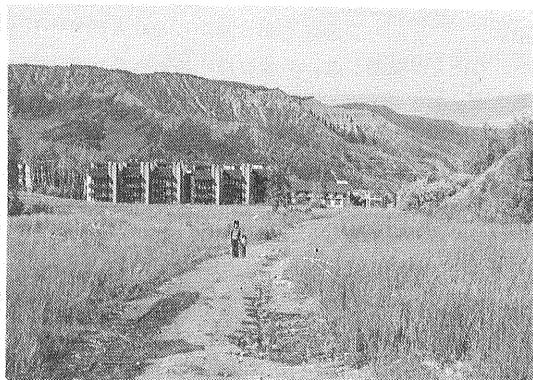


写真2 Snowmass Resort 遠景。手前の草の斜面は冬にスキー場になる。

その点アメリカでは BRIDGMAN の高圧実験技術の開発があり GRIGGS や HANDIN らがその技術をもとに地味な岩石の物性の実験的研究を行ない その成果が現在あらわれてきている。

今度のペンローズ会議では次のようなセッションが行なわれた。

- (1) 地震前兆現象の観察／特にダイラタンシーに関連した前駆現象
  - (2) ダイラタンシー・モデル
  - (3) 前駆現象に関連した室内実験による観察
  - (4) ソ連における地震予知に関する現在の研究
  - (5) 地かく内の応力状態の現場および地震による測定
  - (6) 小地震スペクトル・強地震動・地震モデル・マサツ熱発生とそれに伴う地表熱流量に関連した地かく内の応力状態
  - (7) 非震性断層現象（クリープと非震性すべり）
  - (8) 地球内の破壊過程の観察・理論およびモデル化（破壊の物理学）
- 以上が最初から予定されていたセッションであるが 次の2つが臨時に追加された。
- (9) 松代地震セッション
  - (10) 震源深さにおける割れ目の透水性

それから最後に総括のセッションが開かれた。各セッション毎に議長があり 1名が総括報告を行ない 数名が短い個人発表をする。講演時間は短かくして討論に重点がおかれている。討論を円滑にするために配布された議長の質問集は 専門的であるが今後の研究の指針としてきわめて有益と思われるので 別に訳出する。

ダイラタンシーという現象は昔からよく知られており特に目新しいわけではない。たとえば 海岸の砂浜を歩いているとよく気がつくことだが 波打際のほどよくぬれた砂を踏むと その瞬間足のまわりからさっと水が引いて砂が乾いて見える。ちょっと考えると重みで凹んで水が流入してきそうに思われるが なぜ逆に水が引

くのであろうか？ 砂を静かに放置しておくと 自然に安定になるまで砂粒が密に詰った状態になっている。足で踏むと 足下の砂は押され まわりの砂粒が少しずつずれる。ずれた時に 密に詰っている状態がこわされ 全体としてはすきまが広がってしまう。砂層全体の体積は砂粒の体積とすきまの体積をあわせたものだから 全体の体積は膨張する。このようなずれ変形による膨張をレオロジー用語でダイラタンシーとよんでいる。すきまに入ってきた水は拡大したすきまに吸いこまれて水位が下がってしまう。そのため砂の表面は乾くわけである。少したつとまわりから水が流れ込んで水位は元に戻る。同様な現象が地震直前に地下でおきるというのが ダイラタンシー・デフュージョン・モデルである。地かく変動によるずれ変形によって ダイラタンシーがおき 水位の低下すなわち間隙水圧の低下をもたらすが 周囲から水が流入して再び元の水圧に戻る。間隙圧が上昇すると岩石の強度は低下するので 間隙圧が再上昇した時に 大規模な破壊がおき それによって大きい地震が発生するという説である。

同じダイラタンシーといっても砂と硬い岩石では多少メカニズムが異なる。砂では粒子と粒子の間のずれや粒子の回転により 粒子間のすきまが広がるためにダイラタンシーがおきる。岩石でも完全に破碎された状態では同様なメカニズムが働らくが 初めの硬い岩石のうちには多数の小さい割れ目（マイクロクラック）がまず発生することにより 次には既存の割れ目が拡大することによりダイラタンシーがおきる。

岩石は通常ぜい性的な材料として知られている。ぜい性的な材料の代表はガラスであるが 衝撃に弱く 割れ目の発生は突発的で 一旦小さい割れ目が入るとたちまち広がって全体的な破壊に至る。このような材料では破壊の予知はきわめて困難で今危険度が少し高いと



写真3 南方 10km 程にある Maroon 峰と Bells 峰（標高約4,300m）と Maroon 湖。このくらいの高さの峰や小湖水が付近に多数ある。



写真4 広いU字谷の底の Aspen 空港。

いった統計的予想しかたでられない。このため地震予知に関する悲観論も出ていたし 実際到现在まで提案された予知方法はほとんど統計的な予知しかできなかった。しかし 地下では岩石も突発的な破壊をしないということが 実験から解ってきた。地下では岩石は常にまわりから押され圧縮されている。地下で岩石が受けている応力状態を実現しようとすると 通常の圧縮実験のように一方向から岩石を押すだけでなく 周囲のすべての方向から圧力を加えてやらなければならない。周囲から加える圧力を周圧 側圧あるいは封圧とよび そのようなすべての方向から圧力を加えた状態での変形実験を高圧変形実験あるいは俗に三軸圧縮実験とよぶ。ところで高圧変形実験をしてみると封圧を高くすると岩石も急激な破壊をしないことが解ってきた。封圧がかかっていない状態。つまり大気圧下では ごく小さい割れ目が岩石中に入ると 急速に割れ目が伸びて全体的に破壊したのに 封圧下ではまわりから押されているために割れ目はすぐには伸びない。さらに岩石を封圧下で変形させると 伸びが一旦止まった微小割れ目(マイクロクラック)が岩石中に多数生じる。その後マイクロクラックの干渉によって 大きい破壊がくる。岩石中に多数のマイクロクラックが生じると すきまが増えるために岩石の体積は膨張する。大きい地震を起すような大破壊に先だって発生するマイクロクラックあるいはその結果おきる体積膨張すなわちダイラタンシーを検知することができれば 地震予知ができるというのがダイラタンシー・モデルの基本的な考え方である。そのため SCHOLZ は地震予知は確率論の時代から決定論の時代へ入ったと宣言している。しかし マイクロクラックの発生が必ずしも大破壊に結びつくわけではないことはもちろんであるから 信頼性のある地震予知ができるため

には 破壊の過程がもっとくわしく解っていなければならない。茂木教授(1967)は不均質な材料ほどマイクロクラックが多数発生することを示している。大気圧下の破壊でも大破壊直前にはマイクロクラックが発生するらしい。通常の岩石はきわめて不均質であるから前兆的なマイクロクラックの発生は必ずあるといってもよいであろう。

地震予知ができたと称しているケースはいくつかある。会議でもソ連の報告を含めいくつかの報告があった。しかし 多くは事後によく見ると前兆があったとか きわめて好意的に見ると予知ができたといえるといった程度のもので 完全な予知には遠いようである。また 1つの地震につき1つの前兆現象だけしか見られていないケースがほとんどであるという点が会議でも問題になった。この点でごく最近に磁気・傾動・弾性波速度の変化がアメリカのサンアンドレアス断層地域の地震でアメリカ地質調査所によって同一の地震で しかも公表はされなかったが部内では事前に知られていたという報告(HAMMOND, 1975)は明るい希望を持たせる。

マイクロクラックの重要性を早くから指摘し 精力的研究を続けてきたのは M. I. T. の BRACE 教授一派であった(BRACE ら 1966等)。もちろん BRACE 一派以外にも著者ら(小出 星野 1967)も含めて多くの人がマイクロクラックを重視して研究を行ってきた。しかし BRACE 門下には優秀なスタッフや弟子が多くいたので ダイラタンシー・モデルで有名になった NUR や SCHOLZ が共に BRACE 門下生であることは決して偶然ではない。岩石力学の研究グループ中でも最も地味なアカデミックとさえ評しうる研究を続けてきた BRACE 一派から 地震予知に関する大きな成果が出たことはきわ

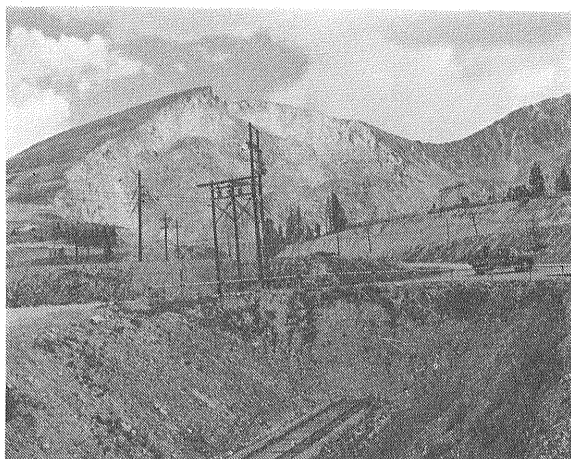


写真5 国際岩の力学会の巡検で訪問した Climax 鉱山の露天掘進景。デンバー市と Aspen の中間の大陸分水嶺上(標高約3,500m)にある世界最大のモリブデン鉱山。粗鉱1日4万5千トン、モリブデン年2万3千トン、酸化タンゲステン年1万トン以上。



写真6 右側に3台並んでいるのが Climax 鉱山で用いている120トンダンプ・トラック。手前の自動車や左方のバスと大きさを比べてほしい。9月初めたが遠景の山に万年雪が見られる。

めて意義深い。

以上に述べたダイラタンシー・モデルの基本的な考え方は 会議の大勢としてはほぼ承認されているように思えた。細部については当然ながら異論が多かったが特にディフュージョンすなわち水の移動の仕方については多くの反論があった。水は岩石の強度や破壊の仕方に大きな影響を与え 地下では水の存在が重要であることはほとんど認められている。地下深部での水の流路は主に割れ目や断層であり 場所によっては数 km 以深まで地表から割れ目がつながり 水が自由に地表から流入しうる状態にあるという例が報告された。HANDIN によれば「水はどこにでも存在する」そうで 今まで考えられていたよりずっと深部まで水が存在し移動しうる状態にあるらしい。しかし 地下での水の存在の仕方はまだほとんど解っていない状態である。HANDIN らは間隙水圧が上がると岩石が弱化する性質を利用して 地下で応力がたまっている場所に水を注入して「人工地震」を起こさせ 大地震にならない前に地下の応力を解消させようという 大がかりな野外実験を行なっている。地震予知からさらに進んで 大地震を予防する可能性を探る 野心的計画である。

このように水の影響は重視されていたが ダイラタンシー・ディフュージョン・モデルのいうように 大きな地震の直前に水圧の低下と再上昇という過程があるかという点については疑問もたれ 少なくとも積極的証拠はないことが明白になった。

ソ連の MYACHIKIN らは水は重要だが 地震をおこす最終過程の説明に まだはっきり挙動がわからない水を用いる必要がないと主張した。MYACHIKIN らのモデルはまず第 I の時期では地下でほぼ一様にマイクロクラックが発生し したがって微小地震の発生も比較的一様である。第 II の時期になると微小地震は帯状のゾーンに集中しておきるようになる。マイクロクラック相互の干渉によって クラックの集中したゾーン内でクラックの生長が促進され 他の地域では却って応力解放されてクラックはむしろ閉じてしまうためである。第 III 時期でそのようなマイクロクラックの集中したゾーン内に大きな断層が生じ 大きい地震が発生する。このように未来の断層帯にマイクロクラックが集中することにより 地震前の弾性波速度や電気抵抗の変化 ラドン放出 特に地震域付近で地震前に応力方向が大きく変化するという前兆現象を説明できる。たとえば 最初 I の時期でマイクロクラックが広範囲に発生して 弾性波速度特にたて波速度が低下するが II の時期では狭いゾーンに

マイクロクラックが集中し 他のゾーンでは応力解放されてマイクロクラックが却って閉じるため 全体的に見ると弾性波速度は再び元の速度に戻ってくる。MYACHIKIN らによると 既存の断層帯が存在する場合でも 最初は小地震が広範囲に発生し 同様な集中がおきるという。同様なモデルは日本の茂木教授 (1974) も提案している。また著者ら (KOILE, HOSHINO and NAGUMO, 1970) が岩石破壊実験からもとめた岩石破壊と地震発生のモデルも MYACHIKIN らのモデルと一致している (表)。BRADY (1975) や STUART (1974) もそれぞれニュアンスは異なるが 似たモデルを提案している。

BRADY はマイクロクラックの集中したゾーンを弱い部分として扱い 「インクルージョン・モデル」と名づけている。著者らも BRADY のモデルとは多少異なるが マイクロクラックの集中による「インクルージョン・モデル」を提案しており (小出・星野・井波 1974) 今回の会議にも著者らのモデルを発表した。

これらのモデルはそれぞれ少しずつ異なるが 水を必ずしも必要としないので「ドライ・ダイラタンシー・モデル」と呼ばれている。しかし 必ずしも水の存在を否定していないので ドライという言葉はあまり適当ではない。どのモデルが正しいかは今後の研究に待たなければならないが 地震予知に役だてるためには さらに一層モデルを精密にし 正しいモデルを見出す必要がある。

地震前の非震性すべりは室内実験では観察されるが実際の地震では信頼できる証拠はない。金森教授はチリ地震前に前兆のすべりがあった可能性があることを指摘し プレート境界には非震性すべりがあるとしている。THATCHER (アメリカ地質調査所) はサンアンドレアス断層は地震前に深部のすべりがあるとし RICE (Brown University) は剪断帯の準静的生長を WU (State Uni-



写真7 Climax 鉱山の巨大な廃石沈殿池。手前の尾根に万年雪が見られる。Aspen 行の飛行機から撮影。

表 破 壊 の 過 程

Principal phases	Elementary process		Theoretical bases			Related macroscopic phenomena		
	Microscopic fractures	Micro-shocks	Fracture density $\rho$	Fracture velocity $v$	Strain rate $\epsilon$	Stress-strain relation	Geological structure	Earthquake
micro-yielding	generation of fractures	with generation	$\Delta\rho \propto \Delta\epsilon$	$v=0$		almost linear	minor fractures	micro-earthquake
macro-yielding active	growth of fractures (1)extension, opening (2)concentration, linkage formation of deformation bands	without generation	$\Delta\rho \neq 0$	high speed	$\epsilon \leq v$	flattening	fold  fracture zone	
		with generation	$\Delta\rho \propto \Delta\epsilon$	high speed	$\epsilon > v$			
macro-fracturing	bursting linkage of deformation bands	principal shock		unstable bursting		stress decrease	fault	main-shock

(KOIDE, HOSHINO and NAGUMO, 1970より)

iversity of New York) は 粘土グーチの断層深部での存在を考えている。断層帯の性質についてはよく解っていない。特に断層グーチがどう作られどのような性質を持つかは 大地震は既存の断層によっておきるだけに きわめて大きい問題である。

地震をおこす破壊は岩石に応力が加わっておきるので地下における応力の測定は地震予知のためぜひ必要である。しかし 多くの測定はまだ十分に信頼できないこ

とが指摘された。アメリカでは 油井などを利用して水圧破碎による応力測定がかなり行なわれている。水圧破碎法は 先に述べた人工地震をおこす方法と同じ原理である。坑井に水を注入すると 地下の応力と岩石の性質に応じた水圧で坑井壁の岩石の割れ目が生じ この割れ目を開口させておくに必要な水圧によって地下の応力わかる。坑井壁に生じた割れ目を各種の方法で観察しようという試みもなされている。この水圧破碎は石油開発や地熱開発にも用いられている。アメリカには非常に高温であるが水がないために 地熱として利用できない岩体はかなり広範に存在する。この高温岩体にボーリングして水を圧入し 割れ目を他の坑井に到達するように作り その坑井から岩体内で熱せられた温水ないし蒸気を取りだして 地熱発電に用いる。この方法は温泉などにも利用できると思われる。日本ではまだ研究されていないが 成功すれば 地下の水量に制

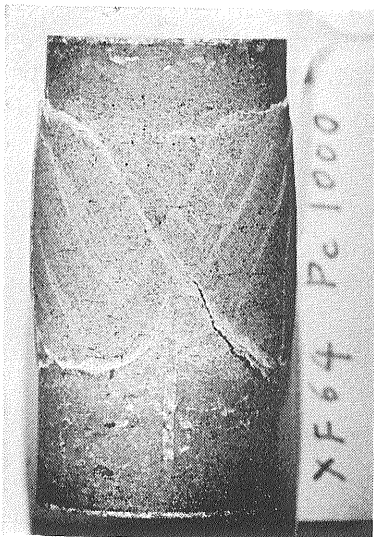


写真8

封圧 1,000 気圧下で変形させた凝灰岩 (長崎県大島町産 西彼杵層群百合岳層)。高さ約 4cm 直径約 2cm の円筒形試料の周囲をうすい銅チューブで被覆して そのまわりから 1,000 気圧の油で圧力を加え さらに上下から約 5,400 気圧の圧力を加えて押しつぶした。斜めに網目状に入っている白い帯は その帯の中にさらにきわめて小さいマイクロクラックを多数含んだ クラック・ゾーンである。右上方から左下方へのクラック・ゾーンは左ずれ 左上方から右下方へのクラック・ゾーンは右ずれの 共役な断層帯であるが 内部のマイクロ・クラックは引張り割れ目を多数含んだ多様な方向の割れ目が混在する。顕著なクラック・ゾーンにほぼ沿って 多少大きい割れ目が入っている点に注意。

約されなくなるので 今よりずっと広範に地熱を利用できるようになるだろう。

松代地震についても特別のセッションが設けられた。松代ほど一地域の一連の地震について徹底的に調べられている例は他にないからである。水主因説とマグマ貫入説が鋭く対立したが 著者の見る所では 松代についてはマグマ貫入説に多少無理があると思われた。

アメリカでも近頃は基礎的研究に金がほとんどこないという状態になっている。特に現在はエネルギー問題が最優先となり 地震予知の研究資金は大幅に削減されたらしい。最終日の総括のセッションでは 研究費問題に大半の時間が費やされた。ソ連でも基礎研究者と応用とのくいちがいが大きな障害になっているらしい。研究者は地震の物理学といった基礎的問題に興味があるが 一般大衆はどこで地震予知ができたといったことにしか興味はなく 研究費の配分をする行政官はルーチ的な確実に結果のでる測定のようなものを好むという矛盾がある。これらの調和をとることが必要なのだそうで 結局この問題は どの国でも同じらしいということになった。しかし 現在のようにすぐ結果の出る研究しか認められないという状態が世界中で続くことになると画期的な研究は生れなくなるのではないかという懸念がもたれている。たとえば 長い間の地味な岩石破壊の基礎研究がダイラタンシー・モデルを生んだのである。このような研究の芽をつんでしまうことは 科学の発達を結局は遅らせる結果になるだろう。

他方では野心的な提案もされていた。それはアメリカ西海岸の巨大な活断層である サンアンドレアス断層を6~9kmの深さで横ぎするというような 深いボーリングをしようという提案である。モホール計画の内陸版ともいべきこの計画は 深部での断層の形や性質 応力状態 水圧 地下での透水性などを直接探ろうというもので 費用は“たったの”3千5百万ドルだそうである。断層の深部がよく解っていないことが地震予知の大きな障害になっている現状から見て もし実現すれば画期的な成果が得られるだろう。地震の被害の大きさから見れば 決して高価すぎる計画ではない。

会議の世話人の RIECKER の表現をかりると かつては輝やかしかったダイラタンシー・ディフュージョン・モデルも 3年間晒されているうち さびてすりへってきたのだそうだ。しかし完全なモデルでは決してないが 地震学や岩石力学の研究者に刺激と希望を与えたことはたしかであり 基本的な考え方は残るであろう。

NURはダイラタンシー・モデルによってアメリカ地球

物理学の賞を得た。しかし ダイラタンシー・モデルは決して1人だけの功績ではない。例えば第1回の「破壊力学と地震源機構に関するペンローズ会議」(1971年)で F. C. FRANK は 水圧変化が地震発生と関係があり ダイラタンシーによって水圧低下がおきると述べている。この第1回会議の報告 (RIECKER, 1972)を見ると そこでの議論が翌年の NUR のダイラタンシー・モデルの最初の論文に大きい影響を与えているのではないかと考えられる。今回の会議からもまた大きな進歩が生れることを期待したい。

(筆者は 鮎村部)

### 主 な 文 献

- BRACE, W. F., PAULDING, B. W. JR. and SCHOLZ, C. (1966): Dilatancy in the Fracture of Crystalline Rocks, *J. Geophys. Res.*, **71**, 3939—3953.
- BRADY, D. T. (1975): Theory of Earthquakes Part I. A Scale Independent Theory of Rock Failure, *Pure and Applied Geophysics*, **112**, 701—725.
- 藤原映平 (1932): 地渦・地裂及地震 古今書院 東京.
- HAMMOND, A. L. (1975): Earthquake Prediction: Progress in California, Hesitation in Washington, *Science*, **187**, 419—420.
- KOIDE, H., HOSHINO, K., and NAGUMO, S. (1970): Microscopic Mechanism of the Development of Rock Failure, *Rock Mechanics in Japan*, **1**, 62—64.
- 小出仁 星野一男 井波和夫 (1974): 拡張したグリフィス理論による断層モデルについて 地質調査所月報 **25** 89—103.
- MOGI, K. (1967): Earthquake and Fractures, *Tectonophysics*, **5**, 35—55.
- 茂木清夫 (1974): 岩石破壊と地震予知 材料 **23** 320—331.
- NUR, A. (1972): Dilatancy, Pore Fluids, and Premonitory Variations of  $ts/tp$  Travel Times, *Bull. Seis. Soc. Am.*, **62**, 1217—1222.
- RIECKER, R. E. (1972): Penrose Conference: Fracture Mechanics & Earthquake Source Mechanisms, *Geotimes*, Apr. 1972, 15—18.
- RIECKER, R. E. (1975): What Makes the Earth Shake? *Geotimes*, Feb. 1975, 20—21.
- SCHOLZ, C. H., SYKES, L. R. and AGGARWAL, Y. P. (1973): 地震予知の物理的基礎 (中村一明訳) 科学 **43** 541—549.
- STUART, W. D. (1974): Diffusionless Dilatancy Model for Earthquake Precursors, *Geophys. Res. Letters*, **1**, 261—264.
- 寺尾宣三 (1968): 破壊の秘密 法政大学出版局 東京.
- WALLACE, R. E. (1975): U. S. Seismologists Work in the USSR, *Geotimes*, Apr. 1975, 22.