

の USGS の連中からは夏に D.C. へ行くのは…とキチガイ扱いされたがそれは当たっていた。それでも町には多くのアメリカのおのぼりさんが自分達の歴史を見学しながら歩いていた。私も IGC 後半は集中力を失い、彼らの仲間入りをして、長いたそがれ時を楽しんだ。外の暑さとは反対に会場は冷房の効き過ぎで身体の調子が少しおかしくなった。夏でもビシッときめたダークスーツのビジネスマンや政治家を基準とした温度設定なのか。

展示場で興味を引いたのは USGS や米国エネルギー省 (DOE) など、政府機関の活発な広報活動である。DOE の核廃棄物地層処理の展示を始め、地すべり、地盤災害、地震災害など各展示とも、さすが Presentation の国だけあって、とても美しく効果的に自分達の仕事を表現・アピールしていた。

国際学会に参加する私の一つの楽しみは日頃買いそびれていた専門書を格安で購入することである。講演の合間を見ては学会・本屋さんのセクションを歩き回り、早い時期に買い集め、分厚い要旨集と共に郵便局から発送した。この早目の発送は全くの正解で IGC の後半で発送しようとした人は段ボール箱も手に入らず苦勞したようだ。会場での郵便・小荷物の発送サービスは、他のサ

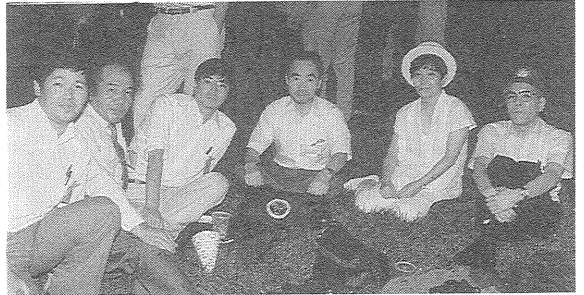


写真5 最もアメリカ的 (as American as apple pie) ピクニックパーティーを楽しむ日本からの参加者。左から東大地震研究所嶋本さん、石原現所長、北海道支所渡辺さん、盛谷さん、一人おいて垣見元所長。

ービスに比べ余り十分ではなかった。

おわりに

このようなビッグイベントを大多数の参加者が満足するように組織運営することは非常に大変なことだろうとつくづく実感し、またいい勉強にもなった。おわりにインフォメーションセンターでいろいろとお世話になったボランティアの日系のおばさんに心より感謝します。

VI ポスト巡検「サンアンドレアストランスフォーム帯」に参加して

渡 辺 寧 (北海道支所)
Yasushi WATANABE

巡検の概要

この巡検はカリフォルニアのロングビーチを起点として、一旦メキシコ国境付近まで南下し、ソルトン海(湖)をぐるりと回り、サンアンドレアス断層に沿ってサンフランシスコまで北上するというコースをたどりました(第1図)。主として断層運動に伴う地層の変形と堆積物を見学し、断層系による実際の変位を体験するというものです。

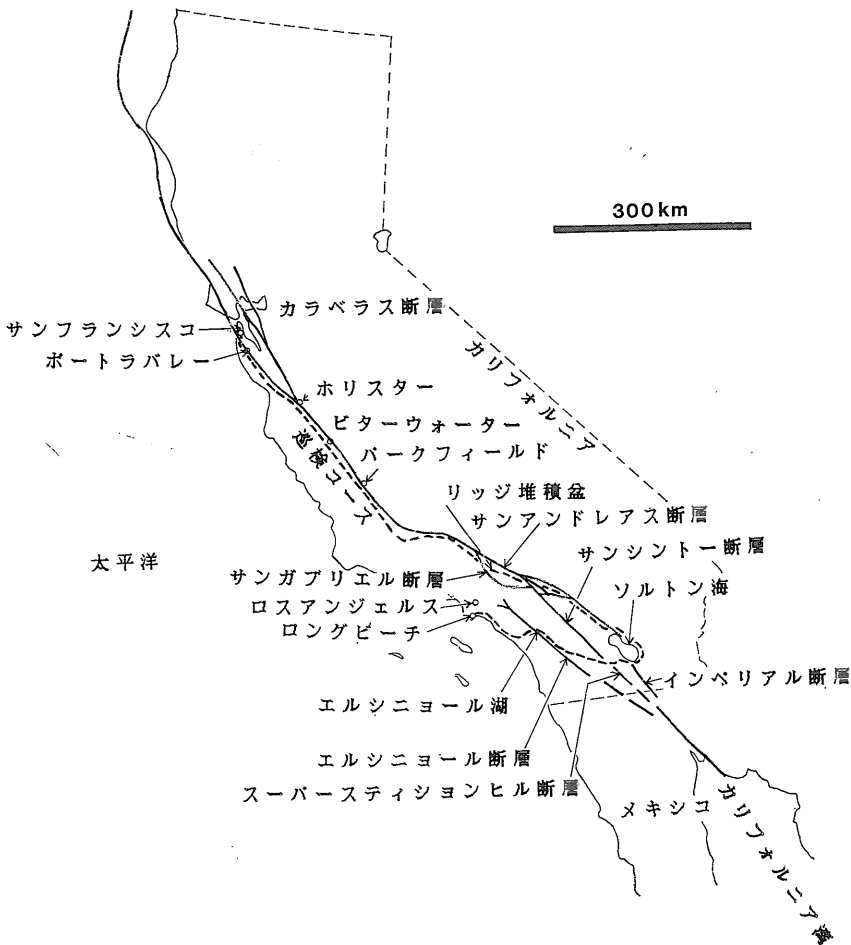
期間は7月20日から29日の10日間で、最初の1日はロングビーチに浮かぶクイーンメリー号での懇親会に使われました。案内者はカリフォルニア大学サンタバーバラ校 (UCSB) のシルベスター氏とクローウェル氏の2人で、UCSB の学生であるバーバラ嬢が車の運転、宿泊の手配、昼食の準備などをしてくれました。参加者は日本から4名、イタリアから2名、東ドイツ・台湾・オーストリアから各1名でした。移動には UCSB の大型バン

(8人乗り)が2台使われました。

サンアンドレアス断層の概要

サンアンドレアス断層系は、過去2,400万年の間に330 km もの右横ずれ変位を起こした総延長約1,100 km の横ずれ断層系です。現在でも活発に活動しており、1906年のサンフランシスコ大地震を初めとして多くの地震を引き起こしています。

サンアンドレアス断層系は北米プレートと太平洋プレートの境界部をなしており、約2,900万年前に誕生しました。誕生の経緯はフェラロンシー太平洋海嶺が北米プレートに沈み込んだために、北米プレートと太平洋プレートとが直接接するようになり、両プレートの運動方向の違いから右横ずれ運動が生じたと考えられています(第2図)。サンアンドレアス断層系はサンアンドレアス断層



第1図 サンアンドレアス断層系と巡検コース

を初めとして、カラベラス断層、ヘイワード断層、サンシントー断層等の断層群から構成されています。この断層系は南方のカリフォルニア湾で東太平洋海膨とつながっており、断層系の南部ではリフティングを伴っています。

以下に今回の巡検の目玉となったプルアパート堆積盆*、断層系のもつ変位量、地震断層と活構造、地震対策、鉱物・エネルギー資源について紹介します。

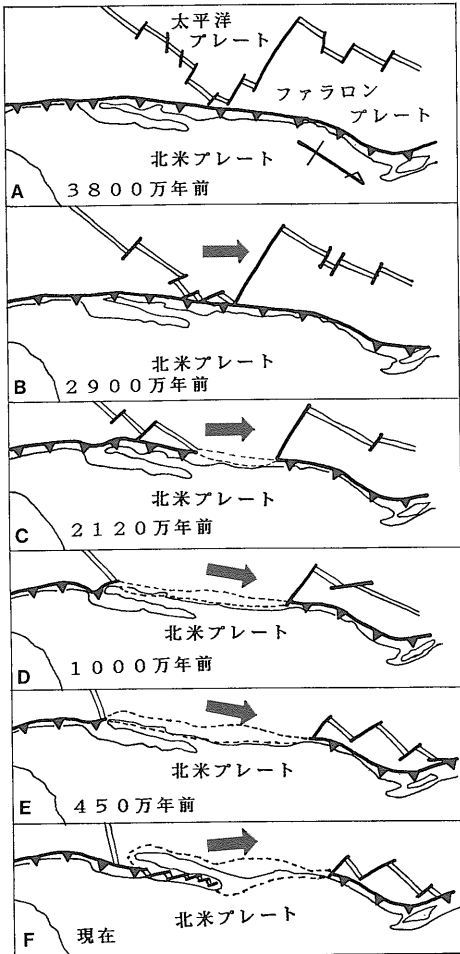
プルアパート堆積盆

日本ではまだ中央構造線沿いの和泉層群でしか正式に認知されていないプルアパート堆積盆が、サンアンドレアス断層系ではそこかしこに存在します。巡検2日目に見たエルシニョール断層に狭まれたエルシニョール湖、3日目に訪れたサンアンドレアス断層とスーパースティ

ジョンヒル断層・インベリアル断層に狭まれたソルトン海、サンシントー断層沿いのサンシントー堆積盆などです。

中でも圧巻はクロウエル氏が詳細なフェンスダイアグラムを発表したリッジ堆積盆です(第3図)。サンガブリエル断層とサンアンドレアス断層に狭まれた幅約10km、延長約50kmの堆積盆に、中新世後期から鮮新世にかけて厚さ11km以上の碎屑物が堆積しています。サンガブリエル断層に沿ってパイオリンプレッチャと呼ばれる角礫岩が分布し、堆積盆の中央に向うにつれ、より細粒の砂岩・泥岩に漸移します。これらの堆積岩の下部は海成の砂岩からなり、上部は河岸やデルタのタービダイトからなります。一見陸成の堆積岩であると信じ難いような立派なリップマーク(写真1)やクロスラミナ、けずり込み構造が見られます。またスランピング構造が見事に発達し、大地震の度にスランピングを起こしていたのだ

* 横ずれ断層帯の活動によりできた沈降盆地



第2図 ファラロン, 太平洋, 北米プレートの時代別相互関係図。C, D, E, Fの破線はトランスフォーム地域を示す。BLAKE et al. (1978) 原図

と説明されています。堆積物を運搬した古流向と堆積の進む方向が逆であり、典型的なプリアパート堆積盆と言えます。

ソルトン海はコロラド川の氾濫により1891年に形成された湖です。1900~1905年にかけて一度干上がりましたが、1905年以降再び水が流入し、現在の姿となっています。この湖は上記のプリアパート堆積盆と異なり、流紋岩の火山活動を伴っています。この湖周辺からメキシコにかけては地盤沈下が激しく、海拔0 m以下の地帯が広がっています。カリフォルニア湾がここまで到達する日もそう遠くないかも知れません。

断層系のもつ変位量

サンアンドレアス断層が右横ずれ断層であるという指



写真1 リッジ堆積盆, ピースヴァレイ層中のリップルマーク。スケールはパーバラ嬢

摘は古くからされていましたが、変位量についてはさまざまな意見があるようです。

サンアンドレアス断層系の右横ずれ変位量についての議論は、まずカリフォルニアの詳細な地質図を作るところから始まっています。私達は南カリフォルニアで、この断層系の約330kmの右横ずれ変位の根拠となった先カンブリア紀の片麻岩・アノーツサイトの分布をおさえました。

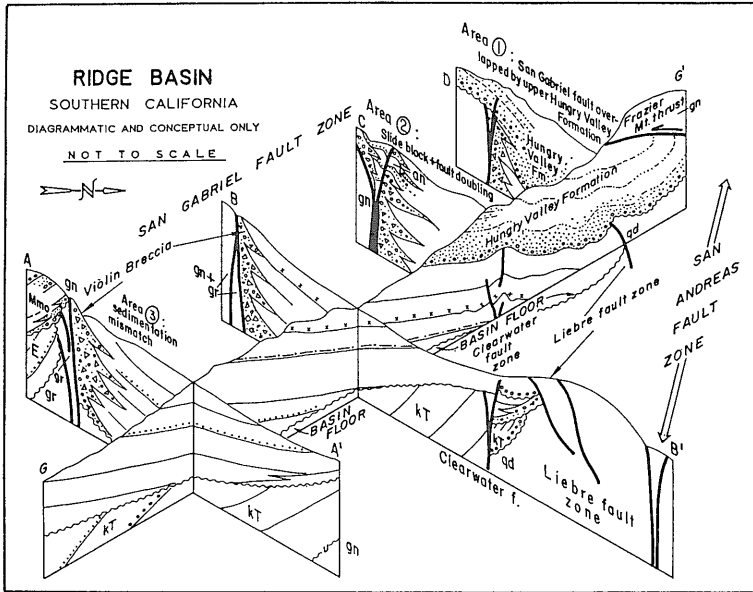
まず巡検4日目にオロコピア地域のメッカヒルでアノーツサイトを確認しました。それから北上し、6日目に再びソウルダッド地域で先カンブリア紀の基盤岩を見て、さらに北西のテージョン地域でアノーツサイトを見ました(第4図)。もともとこれらの岩石がつながっていたとすると、現在の分布が断層系の変位量をあらわしています。この間、車で300km以上も走ったわけで、身をもって変位量を体験したことになります。

このほかにも、古環境の変化(過去の海岸線のずれ)を用いて、エルシニョール断層では40km、サンアンドレアス断層では約300kmの変位量が推定されています。

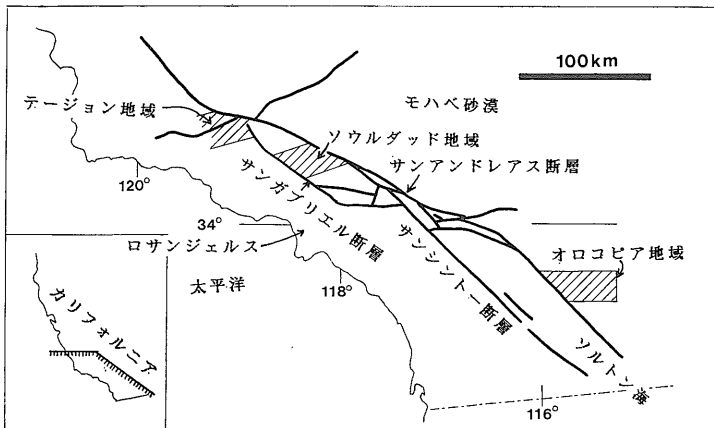
地震断層・活構造

サンアンドレアス断層系は、40~350年周期で地震を起こしながら変位する部分と、地震を伴わないで毎年数mm~数10mmずつ変位(クリープ)する部分に区分されます。

地震断層では1906年のサンフランシスコ大地震をもたらしたサンアンドレアス断層が有名ですが、今回訪れたのは、南カリフォルニアのスーパースティションヒル断層です。ここでは1987年にマグニチュード6.6の地震が起り、その時25cmの右横ずれ変位が確認されました。この変位は地震後のクリープにより最大80cmに達して



第3図 リッジ堆積盆のフェンスダイアグラム (CROWELL, 1986)



第4図 テーション、ソウルダッド、オロコビア地域位置図 (CROWELL, 1962)

います。

この地震断層は地表では幅約5 cmで、延々とメキシコ国境に向かって延びています。断層は所々で側方に転移し、小規模なプリアパート構造(写真2)や短縮構造(盛り上がり)を形成しています。これらの構造は垂直断面では、それぞれチューリップ構造、パームツリー構造と呼ばれています。日中の気温が40℃を越す砂漠であるにもかかわらず、参加者は皆、喜々としてメキシコに向かって歩度を早めていました。断層による変位量は極めて簡便な方法で測定されていました(写真3)。

一方、クリープを起こしているのはパークフィールドからホリスターにかけてのサンアンドレアス断層です。ビターウォーターのフロック牧場の柵はあまりに有名



写真2 スーパースティションヒル断層にみられるプリアパート構造

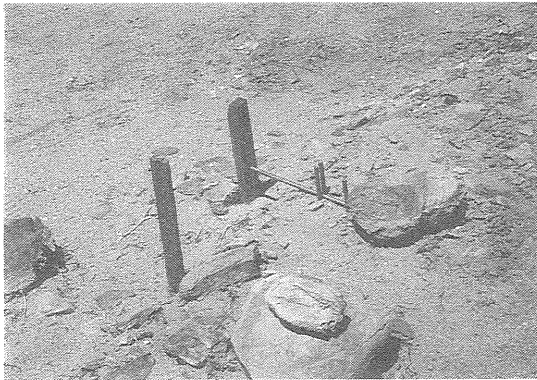


写真3 スーパースティションヒル断層における変位量の測定

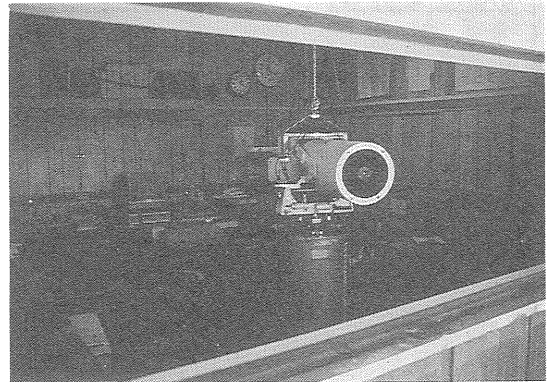


写真5 パークフィールドにあるUSGSのレーザージオメーター



写真4 サンアンドレアス断層によるクリープ、スケールはクロウエル氏

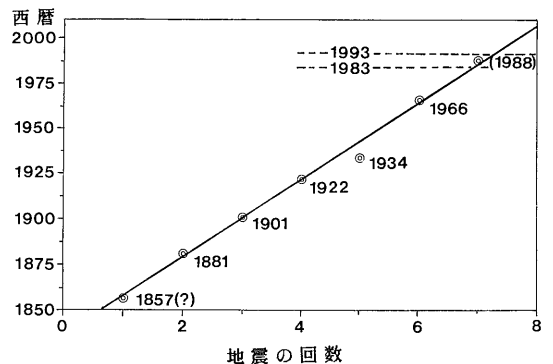
できいな右横ずれ変位を見せます(写真4)。この柵は年間35mmのスピードでずれているそうです(HEY et al., 1989)。

地震対策

アメリカ合衆国地質調査所(USGS)は1857年以降、マグニチュード6程度の地震が周期的に発生しているパークフィールドで地震予知の研究を行っています。ここでは 21.9 ± 3.1 年周期で地震が起っており、次の地震は1988年であると予想されました(第5図)(BAKUN and LINDH, 1985)が、まだ起きていません。ここでは毎日、サンアンドレアス断層をまたいだ地点間の距離の精密測定が行われています(写真5)。

地震対策で際立った違いを感じさせたのが、ホリスターとポートラバレーです。

ホリスターの市街にはカラベラス断層が走っています。この断層の変位速度は、1979年以降2ヶ所でモニターされており、6.6mm/年と12mm/年の値が得られてい

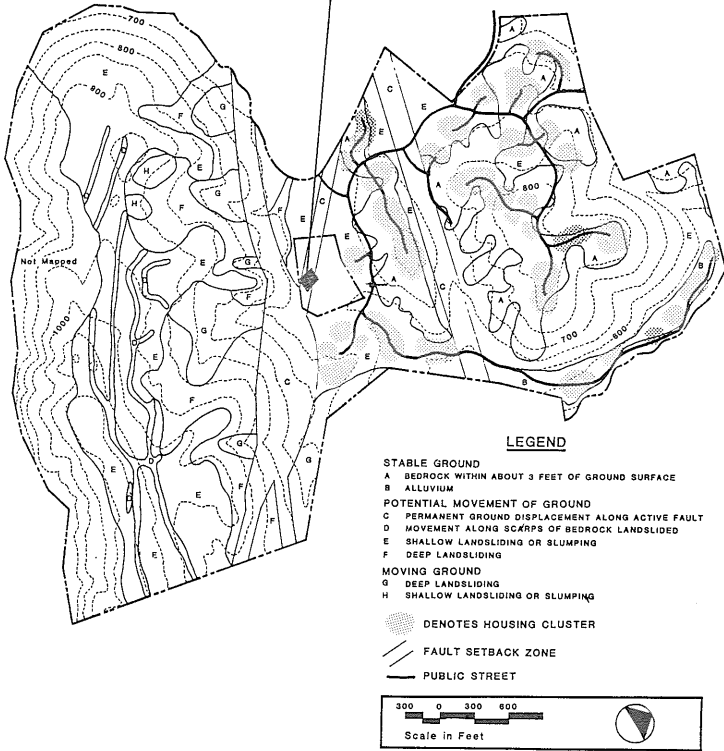


第5図 パークフィールドにおける地震(BAKUN and LINDH, 1985)

ます。この後者の値はサンフランシスコ湾地域で最も速いものです(GALEHOUSE et al., 1985)。この街では写真6に見られるように家の柵や門、壁、道路などがずれているのが観察されます。にもかかわらず平然と(?)断層上に人々が住んでいるのには驚かされます。

これに対しポートラバレーではサンアンドレアス断層を意識した街づくりが行われています。村の地質図が作られ、断層と地すべり地を避けるように道路と住宅地の建設が計画されています(第6図)。この街もかつては断層上に小学校を建てようとしたそうです。これに対しUSGSの地質家故クロウダー氏が地質条件を考慮した開発をすべきだと主張しました。最初は耳を貸さなかった村の計画委員会も1967年に地すべりで道路や家屋が破壊される災害に直面し、考えを変え、現在のようなプランになったそうです。この説明を私達はこの村で唯一サンアンドレアス断層上に建つスタンフォード大学の学生センターで聞いていました。

スタンフォード大学学生センター



第6図 ポートラバレーの開発計画 (Courtesy of Portola Valley Associates, 1988)

〔凡例〕 安定地域

- A. 地表から90cm以内に岩盤
- B. 沖積層
- C. 活断層に沿って動きつづける範囲
- D. 地すべりした岩盤の急斜面に沿って動く
- E. 浅い地すべり又はスランピング
- F. 深い地すべり常動地域
- G. 深い地すべり
- H. 浅い地すべり又はスランピング

PORTOLA VALLEY RANCH
 GENERAL DEVELOPMENT PLAN AND GEOLOGY



写真6 ホリスター市街。歩道と家の柵が断層で屈曲している。

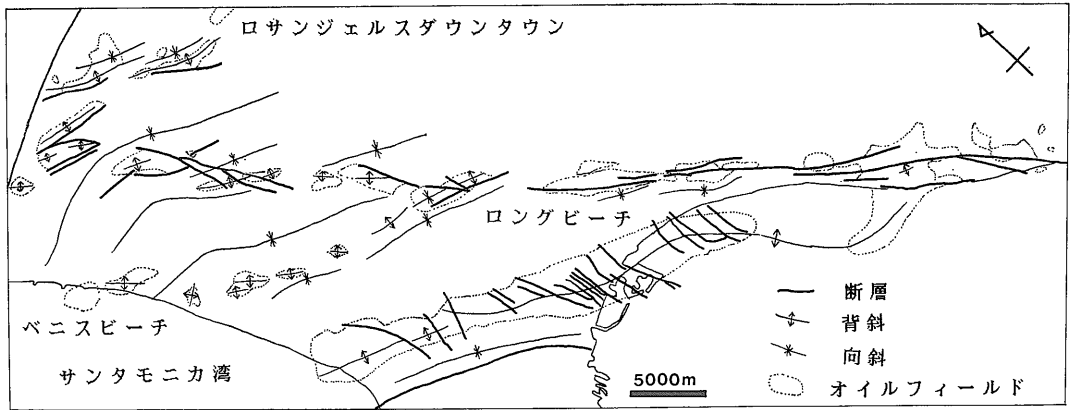
とする石油鉱床が分布しています(写真7)。これらの石油鉱床の特徴は、個々の鉱床の側方への拡がりは小さく、断層に沿っていることです(第7図)。学生時代、石油鉱床の形成には①石油の根源物質を含む地層の堆積、②根源物質の石油への熟成、③石油の集積といった3段階の過程が必要だと教わったおぼえがあります。サンアンドレアス断層系では、断層の運動に伴い、プリアパート堆積盆に代表されるような局所的に非常に深い堆積盆が形成され、①と②の過程がほぼ同時に起こります。引き続き運動により雁行褶曲群が形成されるので③の過程が起こります。このようにこの地域の石油鉱床は断層系の運動に密接に関係していると言えます。ロサンジェルスでは地質時代としては新しい鮮新世から更新世の地層でも石油が生成しているそうです。

金属鉱床：サンアンドレアス断層系の南部では、プリアパート構造に火成活動が伴っています。ソルトン海の湖水は高塩濃度で知られ、今回のIGCのセッションでも、このままソルトン海が成長するなら、将来的にはリフトゾーンで見られるような塊状・層状硫化物鉱床もし

金属・エネルギー資源

サンアンドレアス断層系と金属・エネルギー資源は深い関係にあります。

石油鉱床：最も重要なものは石油鉱床です。カリフォルニアではこの断層系に沿って、ロサンジェルスを始め



第7図 ロサンジェルス油田と地質構造 (YEATS, 1973)

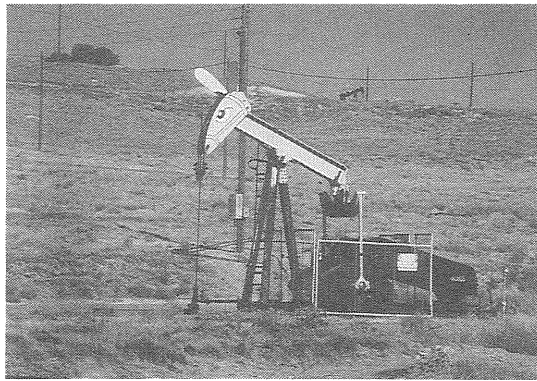


写真7 うらめしそうな目つきで石油を汲み上げる馬。マリコペ付近

くは酸化鉄床が形成されるであろうという発表がされました (McKIBBEN et al., 1989)。

地熱エネルギー：ソルトン海からカリフォルニア湾にかけあちこちで地熱発電が行われ、地熱による電力は州の需要の5%を担っています。今回の巡検ではソルトン海の UNOCAL の発電所を訪れました。

おわりに

今回の巡検で最も興味をひいたのは人々の生活とサンアンドレアス断層の関係です。サンアンドレアス断層系は、古くはインディオにオアシス(水)を供給し、現在でも石油・金属鉱床、地熱エネルギーを供給する源になっています。その一方で、地震による被害をもたらしています。これらの被害を最小限にとどめ、最大限の恩恵を引き出すことが地質家に課せられた仕事のようにです。

引用文献

BAKUN, W.H. and LINDH, A.G. (1985) The Parkfield, California, earthquake prediction experiment. *Science*, 229, 619-624.

BLAKE, M.C. Jr., CAMPBELL, R.H., DIBBLEE, T.W. Jr., HOWELL, D.G., NILSEN, T.H., NORWARK, W.R., VEDDER, J.G. and SILVER, E.A. (1978) Neogene basin formation in relation to plate-tectonic evolution of San Andreas fault system, California. *Amer. Assoc. Petro. Geol. Bull.* 62, 344-372.

Courtesy of Portola Valley Associates (1988) *Geology and Planning: The Portola Valley Experience*. William Spangle and Associates, Inc. (Portola Valley, California)

CROWELL, J.C. (1962) Displacement along the San Andreas fault, California. *Geol. Soc. Am. Spec. Paper* 71, 61p.

CROWELL, J.C. (1986) *Geologic history of the San Gabriel fault, central transverse range, Kern, Los Angeles, and Ventura countries, California*. *Calif. Geol.*, 276-281.

GALEHOUSE, J.S., BAKER, F.B., GRAVES, O. and HOYT, T. (1989) San Francisco bay region fault creep rates measured by theodolite. *The San Andreas Transform Belt (28th IGC Field trip guidebook T309)* (eds. SYLVESTER, A.G. and CROWELL, J.C.), 36-39.

HAY, E.A., HALL, N.T. and COTTON, W.R. (1989) Rapid creep on the San Andreas fault at Bitterwater, California. *The San Andreas Transform Belt (28th IGC Field trip guidebook T309)* (eds. SYLVESTER, A.G. and CROWELL, J.C.), 36-39.

McKIBBEN, M.A., ELDERS, W.A. and WILLIAMS, A.E. (1989) Present and future styles of metallogenesis in the Salton trough rift of southern California. *28th IGC Abstracts volume 2 of 3*, 401.

YEATS, R.S. (1973) Newport-Inglewood fault zone, Los Angeles basin, California. *Am. Assoc. Petro. Geol. Bull.* 57, 117-135.