

# ポーフイリーカッパー鉱床

④

## ～アメリカ合衆国南西部の地史～

石原 舜 三

### ポーフイリーカッパー鉱床の定義

3回にわたる個々のポーフイリーカッパー鉱床の紹介で読者はすでにそれらに共通する特徴を把握されたことと思う。その中の一つ 酸性～中性の斑状岩中の鉱染状銅鉱化作用に対して Porphyry Copper のことばはもともと用いられていて 成因的な意味を含んでいた。しかし 現在ではこの定義が大規模採掘法により採掘可能で 大きい低品位鉱床にまで拡大されて 品位や採掘方法が合っている場合には 詳しい成因的な検討がなくても 他の銅鉱床に対してこのことばは用いられている。

このような鉱業的な意味における定義は AIME が主宰した第1回のポーフイリーカッパー鉱床の総括の地質の項目で Parsons (1933) がまとめたもので代表でき現在でも会社関係の人は ほとんど彼の定義にしたがっている。Parsons の提案の次の4つにまとめることができるであろう。

- 1) 巨大な(とくに平面的に)銅鉱床で 低採掘費で大規模採掘(露天掘り ブロック・ケービンなど)が可能である
- 2) 銅鉱物が均一に存在しており ぬき掘りよりも全体を採掘する方が有利である
- 3) 貫入斑岩かそれに密接に関係する火成岩があつて 鉱石をもたらした 斑岩それ自身に鉱床の主要部がなくてもよい
- 4) 二次富化作用が生じていて輝銅鉱を濃集し 結果として溶脱キャップを主鉱体の上に伴う 二次富化帯の下には初生の protore が存在する

Bateman (1950) は彼の教科書で合衆国のポーフイリーカッパー鉱床に共通の性質を 次のように挙げた。

- 1) 低品位
- 2) 大規模な低採掘費採掘法
- 3) モンゾニ斑岩の岩株状貫入岩に関係
- 4) 斑岩や被貫入結晶片岩中に鉱染状に銅鉱物が存在する
- 5) 類似の初生鉱物
- 6) 著しい絹雲母化と所によって珪化作用
- 7) 多少とも二次富化作用があつて垂直的よりも水平的に広がるブランクセットを示す
- 8) 溶脱帯のキャップを持つ
- 9) 類似の起源物質と成因を持つ

稼行品位と採掘方法はときどきの社会の経済状態と鉱

山の立地条件に大きく左右され 二次的な酸化作用と硫化物富化作用とはおもに気象条件で決定されるから これらは地質的条件とは異質である。地質的には

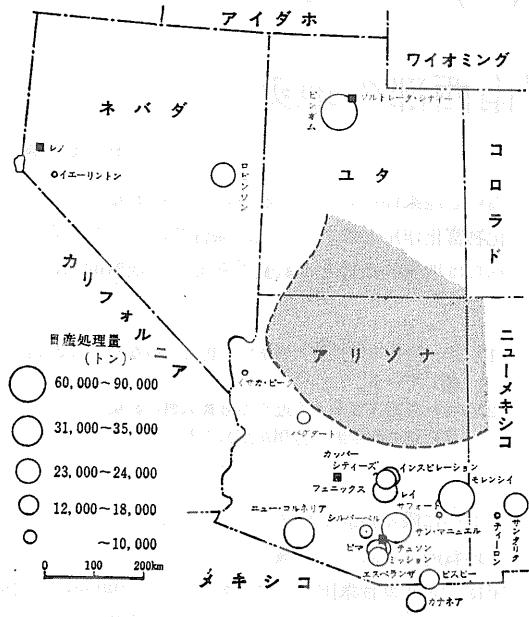
- 1) 中～酸性の斑状貫入岩または斑岩に少なくとも場所的に関係している
- 2) これら貫入岩かすぐ近くの被貫入岩に鉱染状あるいは細脈状に銅の初生鉱化作用が認められる

の2つに限る定義が好ましいと思われる。

地質的な定義に立つ場合に ポーフイリーカッパー鉱床はアメリカ合衆国内では一般に Disseminated copper deposits に呼ばれる。斑状貫入岩に直接には関係しない鉱染状の銅鉱床も存在するから このことばを単独に用いる場合には Disseminated porphyry copper deposits と使うべきであろう。日本語訳は鉱染状斑岩銅鉱床がよいと思われる。

わが国でかつては Dissemination (成因の意味を含まない)と Impregnation (成因の意味を含む)とは使い分けられていたそうである。AGI の“地質用語集”で Disseminated ore を開くと 記載的に用いると書かれている。しかし最近のアメリカ合衆国では 成因の意味がはっきりしている場合でも Dissemination を用いる人が圧倒的に多い。後者には一般社会用語として日常に使われる意味があるからかも知れない。

今回の紹介で筆者がとり上げている鉱床は鉱業界の定義によるものである。この種の鉱床は露天掘りの場合に 0.3～1%Cu (平均0.7%) 坑内掘りで 0.7～4.5%Cu の品位で一般に稼行されており 鉱石の日産処理量は 12,000～35,000 トンのものが多い(第1図)。このほか全産銅量の 30% 程度を占める沈澱銅がある。Mo, Au, Ag などの副産物のうち Mo がもっとも重要である。アメリカ合衆国は自由世界の約23%を供給する巨大な産銅国であつて その銅量の80%程度はポーフイリーカッパー鉱床から生産されている。アリゾナ州南東部に密集する鉱床は 合衆国の約50%を供給して重要である。つぎにアリゾナ州を中心とするアメリカ合衆国南西部の地史を紹介しよう。



第1図 鉱床の分布と鉱石の日産処理量

南西部の地形的な特徴

ポーフィリー・カッパー・鉱床が密集するアメリカ合衆国南西部は、コロラド高原の南側の周辺にあたり Basin & Range 地方と呼ばれる。このことばは底の広い谷間と断層により持ち上げられたり、取残された山地が交互に並走するこの地方の地形に由来するが、地質的には上下運動を主とする断層地塊（山地）が新しい堆積物でその谷間を埋められた地方を意味している。

これに対してコロラド高原はアメリカ西部ではユニークな存在で、海拔1700~2000mのメサやビュートに谷間

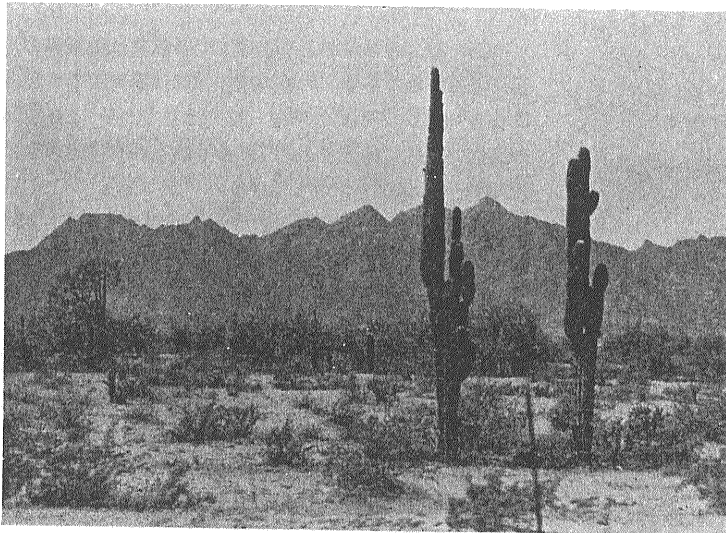
が切り込む高原にコロラド河が流れて、部分的に急崖を示すにすぎない。地質的には有名なコロラド高原型ウラン・鉱床を含むほぼ水平な堆積岩類が厚く発達する。高原の東側周辺には Mo Au などの大鉱床が分布する。

Basin & Range 断層はコロラド高原につつまんでいて、両地方の境界が明瞭でない部分があり、その移行帯はとくにアリゾナ州のモレンシイ・マイアミー・インスピレーション・バグダード・鉱床を結ぶ北側に当る部分が代表的である(第2図)。アリゾナ州の Basin & Range 地方は、高い山で2700mをこえない山岳地帯とより低い砂漠地帯とに分けることができる。前者に多くのポーフィリー・カッパー・鉱床が分布し、後者はシルバー・ベル・ピマ・ミッション・エスペランザ・アホなどが属する。

プレカンブリア紀の地質

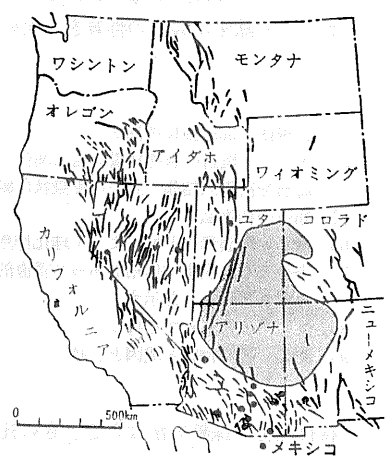
アメリカ合衆国西部でもっとも古い岩石はプレカンブリア紀の諸岩石である。しかしこれらは断片的に露出するにすぎず、その地史を明確にしにくい。これらの諸岩石は北米大陸では比較的若い時期のものに属する(第3図)。Gilluly (1963) は合衆国西部の年代測定資料をまとめ、11、14、17.5、26億年にピークがあることを示した(第4図)。25~28億年の古いものはワイオミング州北部やモンタナ州のもので、アリゾナ州でもっとも古いものは17億年前後である。アリゾナ州の多くは13~15億年にピークを示すものに属する。9.8~11億年にはアリゾナ州ではアパッチ統が相当する。

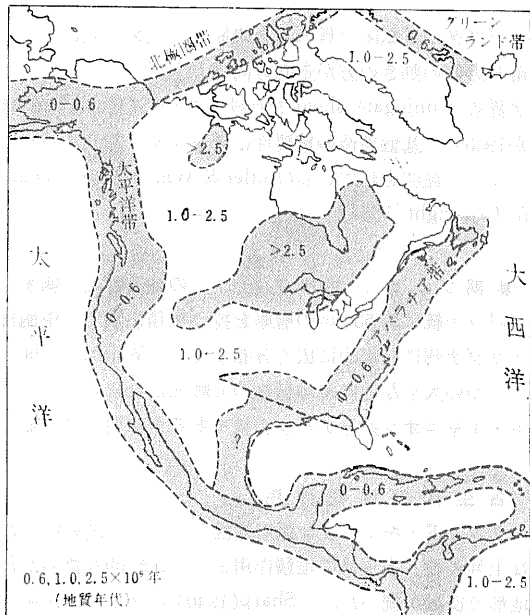
アリゾナ州のプレカンブリア界は造山運動に続く浸蝕時期（不整合面）を境に、新旧の2時期に分けられており (Butler & Wilson 1938) 一般に支持されている(第1表)。



Basin & Range 地方 (①-③)  
① 谷間のサボテンと山地の荒肌 (フェニックスの南西方)

第2図 合衆国南西部の Basin & Range 断層とコロラド高原の位置。黒丸は主要なポーフィリー・カッパー・鉱床 (Gilluly 1963 に鉱床を追加)

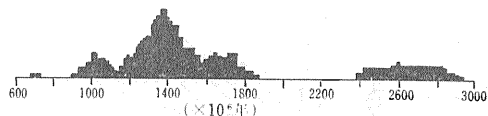




第3図 花崗岩の年代と造山運動からみた北米大陸の地域別の年代 (Engel 1963)

旧期プレカンブリア界：これはアリゾナ州に断片的に露出し 種々の結晶片岩(20%) 片麻岩類(27%) 貫入花崗岩類 (53%) などからなる。片麻岩類は州の北西部に多く、北西-東南の伸びを示して分布する。花崗岩と結晶片岩類はより連続的で、コロラド高原の縁に沿って露出する。

片麻岩類の成因は一般には明らかでないが、アホの Cardigan 片麻岩は石英閃緑岩起源であろう (Gilluly 1946)。Chloride 図幅で Dingo & Thomas (1953) もその多くが花崗岩質片麻岩と報告している。片麻岩類の多くはおそらく造山期に花崗岩質マグマの注入を伴って生じたものであろう。主要構造 (S面) は北西系の分布の伸びに一致せず、一般に北東-南西系である。



第4図 合衆国西部のプレカンブリア紀諸岩石の年代の頻度 (Gilluly 1963)

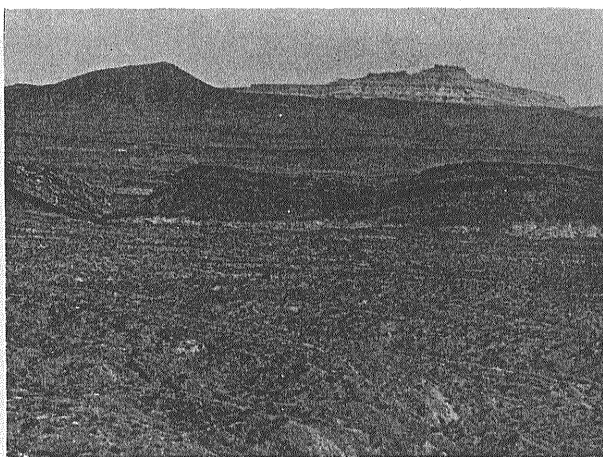
第1表 アリゾナ州のプレカンブリア界対比表

|    |          | グランド・キャニオン                                | 中部アリゾナ州  | 南東部アリゾナ州                 |
|----|----------|---|--|--------------------------|
| 新期 | プレカンブリア紀 | グランド・オン系<br>(4000m)                       | { Chuar 統<br>Unkar 統                             | Apache 統<br>(530m)       |
| 旧期 | プレカンブリア紀 | 造山運動 (花崗岩質マグマの進入)<br>Vishnu 片岩<br>(8100m) | ヤバパイ系<br>Ash Creek 統 (6700m)<br>Alder 統 (>6700m) | Pinal 片岩<br>(3000~6700m) |
|    |          |   | 花崗閃緑岩 (>17×10 <sup>8</sup> 年)<br>片麻岩             |                          |

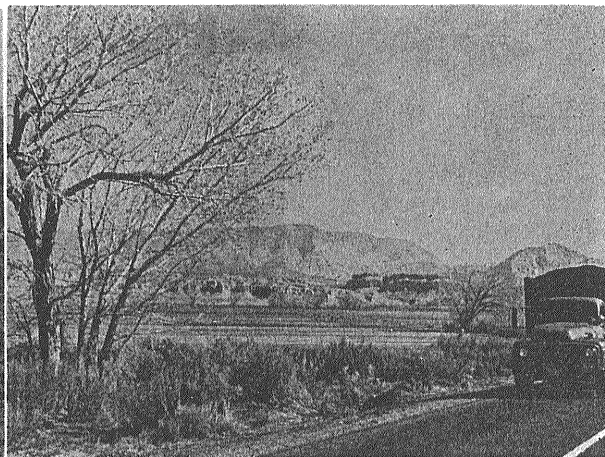
層厚は標式地における厚さ

花崗岩類は塊状で、被貫入岩の構造を明瞭に切る。岩質は石英閃緑岩~石英モンゾニ岩質で、おもに花崗閃緑岩質である。

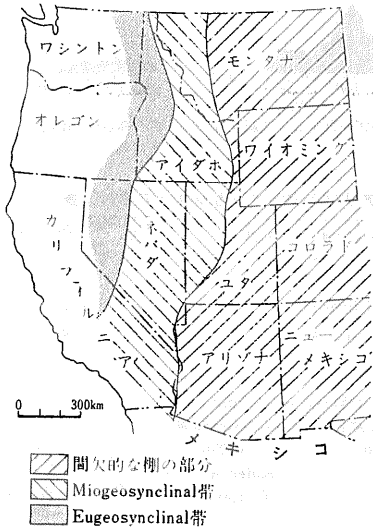
結晶片岩類は一般に低~中変成度で、堆積岩と火山岩類を原岩とする。原岩の諸構造が保存されていることが多く、Wilson(1939) によって “ヤバパイ (Yavapai) 片岩” が精査された。彼の業績によって、旧期プレカンブリア界の諸研究はヤバパイ系に集中し、これは現在では Alder と Ash Creek との2統にさらに分けられている。結晶片岩類は著しい褶曲作用を受け、その片理面は場所によって異なる。しかし、一般的にアリゾナ州南東部 (Masatzal 山地の北まで) では基本的構造は北東系で、同山地の北西では北西、北北東系など、コ



② 堆積岩からなるアリゾナ州西部の山地 (ルート80沿い)



③ ユタ州中部の山地と谷間 (ルート89沿い、4月)



第5図 古生代初期の合衆国西部における堆積環境 (Gilluly 1963)

コロラド高原に入るグランド・キャニオンでは北東系である。

プレカンブリア界に白亜紀後期の斑岩が直接貫入しプレカンブリア紀の諸岩石が鉱床の母岩となる例はレイマミア地域(パイナル片岩) サン・マニエル(石英モソニ岩) バグダード(ヤバパイ統) などであるが基盤のプレカンブリア界の基本構造はより若い諸構造を規制しているので この基本構造はポーフィリーカップル鉱床にとって重要である。

グローブーマミア地域で Peterson (1962) は旧期プレカンブリア界の北東系の構造が若い貫入岩とそれがもたらした鉱化作用を規制している点を指摘した。その地域の諸鉱床は北東にのびる幅9 kmの地帯に分布し個々の鉱床も規制を受ける。キャスル・ドームとカップーシティーズ両鉱床はパイナル片岩とプレカンブリア紀のルイン花崗岩との接触部に存在する。

バグダード鉱床で貫入岩を規制する北東と北西系とは落し方向の動きの方が走向方向より大きいプレカンブリア界の Conjugate shear を反映している(Anderson ほか1955)。基盤構造の重要性はモレンシヤやシルバー・ベルでも説明されている(Butler & Wilson 1938, Richard & Coutright 1954)。

新期プレカンブリア紀: この地質時代に属するアパッチ統は約530 mの層厚を持つ堆積岩類で 中南部アリゾナ州に局部的に広く分布する。Wilson (1962) は一つの大きな地向斜堆積物の分岐部が今にみるグランド・キャニオン系とアパッチ統であると説明している。

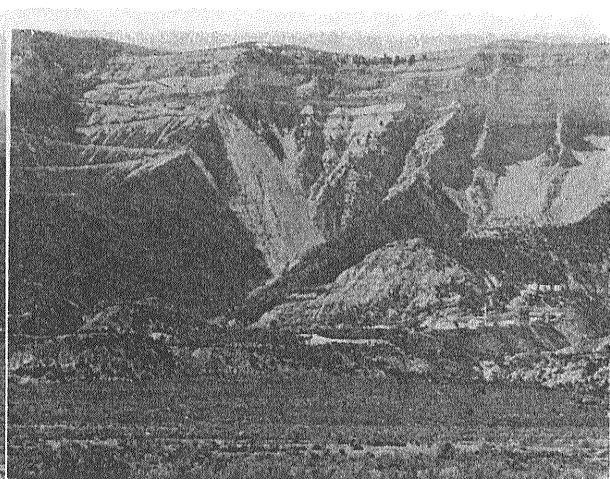
### 古生代の堆積作用

グランド・キャニオン系の褶曲とアパッチ統の穏やかな上昇の後 古生代の堆積作用まで 比較的なだらかな地形で浸蝕が続いた。Sharp(1940) はグランド・キャニオン地域の当時の地表の95%は50m以下の起伏で 花崗岩や珪岩などの浸蝕にたえる岩石が270 m程度の丘を形成していたと述べている。

合衆国の西部全域についてみると コルディレラ地向斜はカンブリア紀に始まり デボン紀まで続いた。その東端はカリフォルニア州南部からネバタ州東部 ユタ州西部 アイダホ州東部 モンタナ州西部を結ぶ線で(第5図)その棚の部分は東方から間欠的に堆積物の供給をうけた。地向斜の湾入部には砂岩が堆積し 局部的にはkm単位の厚さに発達した。より東側の部分(miogeosyncline parts)では石灰岩が沈澱した。西側の地向斜中心部(engeosyncline part)では厚い砂岩や頁岩 チャートなどが著しい火山活動と共にカンブリア紀からデボン紀までの各地質時代にわたって堆積した。層厚はおそらくカンブリア紀で3300m オルドビス紀で



コロラド高原(④-⑤)  
④ テーブル山地の朝(コロラド州南西端)



⑤ 合衆国鉱山局の含油頁岩から石油を抽出する試験工場(写真右)背後の含油層の真下に設置されている(コロラド州ライフル西方ルート6沿い)



8,100m シルリア紀とデボン紀と同程度であったと思われる (Gilluly 1963).

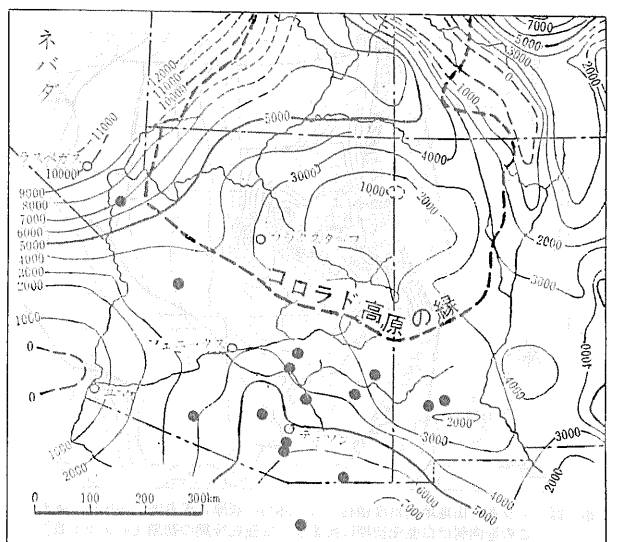
アリゾナ州北東部やニューメキシコ州の隣接部にはカンブリア系は知られていず Mckee(1951)はこの地域を Defiance positive area(≡浸蝕台地)と呼んだ。同様な浸蝕台地はアリゾナ州南西端にもあって これらのことからは当時コルディレラ地向斜の中心がさらに西方にあったことを意味している(Mckee 1951)。アリゾナ州のカンブリア紀の堆積作用は一般にわずかであった。

オルドビス紀の地層は州の南東部に発達し 北西部にも分布している可能性がある。シルリア紀の地層はアリゾナ州には知られていないが すぐ東のサンタ・リタ鉱床地域にはこの時代の石灰岩が知られている。一般的に両時代のアリゾナ州は基本的には堆積作用に乏しかったと思われる。

デボン紀に入るとおもに西方から部分的に海浸がおり 南西部が陸地のままであった。石炭紀に入っても局部的な著しい堆積作用を除いて同様の状態が続き 陸地は北東部に限られた。このような静かな状態は石炭紀初期にネバタ州中央部で生じた Antler 造山運動によって乱される。これは横が褶曲や衝上断層を伴うアルプス式の造山運動で 著しい衝上運動の場合は engeosyncline 堆積物を東方の miogeosyncline 堆積物の上に少なくとも90kmも移動させている。

下部石炭系が10~20m程度の起伏を示すような浸蝕期間があったのち上部石炭系が堆積した(Wilson 1962)。この堆積作用はアリゾナ州ではペルム紀まで連続した。アリゾナ州の南東部の上部石炭系とペルム系とは明らかに海成層であるが 北部ではペルム紀の Kaibab 石灰岩を除き陸成層である。浸蝕台地は上部石炭紀にはユマの西方に存在したが ペルム紀にはアリゾナ州には存在しなかった。

古生界全般を通じて アリゾナ州の大部分とニューメ



第6図 合衆国南西部の古生界の等層厚線 黒円はポーフイリーカップー鉱床 (Anderson 1966)

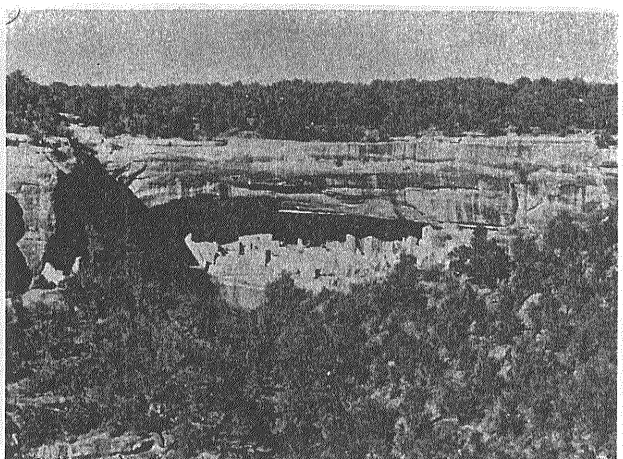
キシコ州の西部の層厚は1300mより薄く(第6図) 棚の部分であったと思われる 地向斜の主部は北西方のネバタとユタ州に存在した。一般に浸蝕されにくかったアリゾナ州の北東部や南西部はこの等層厚線図にも反映している。古生界の層厚とポーフイリーカップー鉱床の分布との間に とくに有意の関係は認められない。

### 中生代の堆積作用

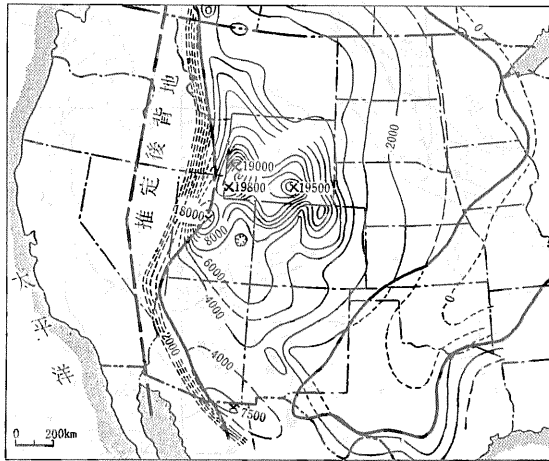
中生代に入ると 三疊紀初期の陸成層がアリゾナ州北部に知られている。しかしその南方への広がりには 三疊紀後期からジュラ紀にわたってアリゾナ州南部やニューメキシコ州南西部に生じた隆起により浸蝕が生じたために 明らかでない。三疊紀後期には厚い礫岩(Chinle層の Shinarump 階)がアリゾナ州の北東部と その近傍を広くおおい それはおもに南方から運ばれた。アリゾナ州北部から東北端の4州境い周辺に分布する



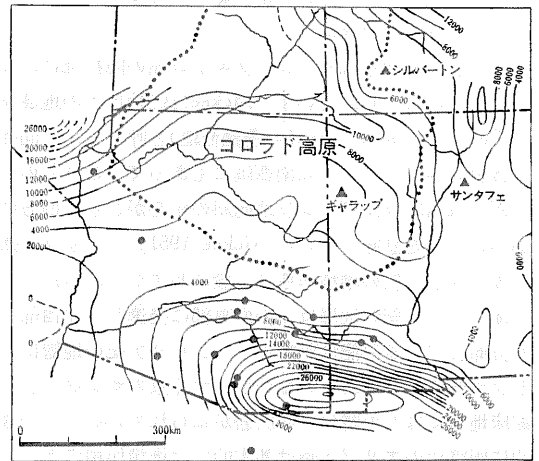
⑥ 合衆国西部には放牧地が多い 路傍には“Stock”の立札がしばしば見受けられる 西部は乾燥していて緑が少ないから 一定期間後に牛は次の放牧地に移され 写真のような光景となる(コロラド州西部)



⑦ コロラド州南西端の Mesa Verde (みどりのメサ) 国立公園の一部 アメリカインディアン(7~13世紀)の住居がある 現在みられるものはプエブロインディアン最盛期(A.D. 1200~1300)のもの 自衛上の必要性からこのような場所に住居をかまえた



第7図 ロッキー山地向斜堆積物(太線の間)の層厚と後背地(Gilluly 1963). この地向斜は白亜紀初期に始まり 白亜紀後期の初期(セノマン世)で最高に達し第三紀の初め(晩新世)に終わった



第8図 合衆国南西部 中生界の各層厚線と鉱床の位置(Anderson 1966).

上部三疊紀〜ジュラ紀堆積物は基本的には陸成であった。この時代にコロラド州、アリゾナ州南部、ニューメキシコ州南西部では堆積作用は認められない。

三疊紀から白亜紀にかけてアリゾナ州中央部では1000〜1700mの古生界に加えてプレカンブリア界も浸蝕された。アリゾナ州南東部では顕著な古生界の褶曲の後、下部白亜系の基底部礫岩(Glance 礫岩)が古生界やプレカンブリア紀のパイナル片岩、三疊紀〜ジュラ紀(163〜178×10<sup>6</sup>年)のJuniper Flat花崗岩の上に堆積した。

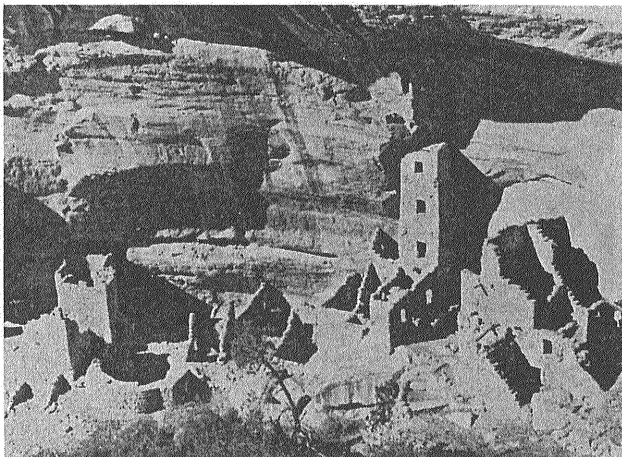
白亜紀初期に入ると、アメリカ合衆国南西部の地質環境は一変した。コルディレラ地向斜は西方に去り、かつて棚や堆積盆地であったアリゾナ州北西部は陸化し、他方州南東端周辺には7000mの厚さに達する下部白亜系が堆積した。この堆積物は海成であるが、他の小堆積盆地には火山岩類を夾む陸成層も存在した。

白亜紀後期には、サン・ホアン堆積盆地に1700mの堆積物をもたらしたロッキー山地向斜の海が西方にのび

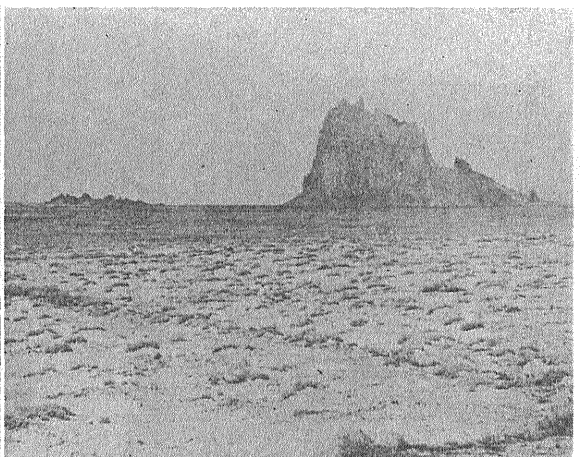
て、アリゾナ州北部とニューメキシコ州北西部に厚い堆積物を堆積した(第7図)。アリゾナ州南部やニューメキシコ州南西部にもかなり深い堆積盆地が存在した。

アリゾナ州南西部や西部には火山岩類が分布している。中生代の堆積物を総合すると(第8図)、アリゾナ州南東端でその層厚が著しく厚い。しかもバグダードを除くほとんどのポーフリー・カップー鉱床はその堆積盆の縁に分布している。貫入活動直前の堆積物の厚さは引続く火成活動を生ぜしめるために、ある役割りを果たしたのかも知れない。

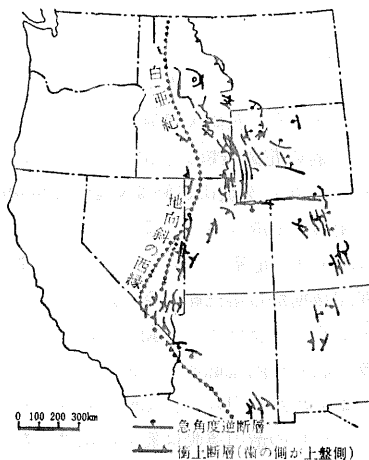
白亜紀〜第三紀初期の褶曲作用(ララマイド変動)は、ロッキー山地向斜に先立って、シェラ・ネバダの褶曲作用で代表される大きな造山運動が太平洋沿岸よりに存在した。これはおもにジュラ紀初期から白亜紀中期に及び、変形および変成作用と深成岩の侵入を伴った。この時期の造山運動は一般にネバダ変動と呼ばれる。



⑧ 写真は Cliff Palace と呼ばれる最大のもので、200室以上、400人以上が住んでいたと思われる。ほかにプエブロ族建築物に特徴的な Kiva (祭壇のようなもの) が23室ある。

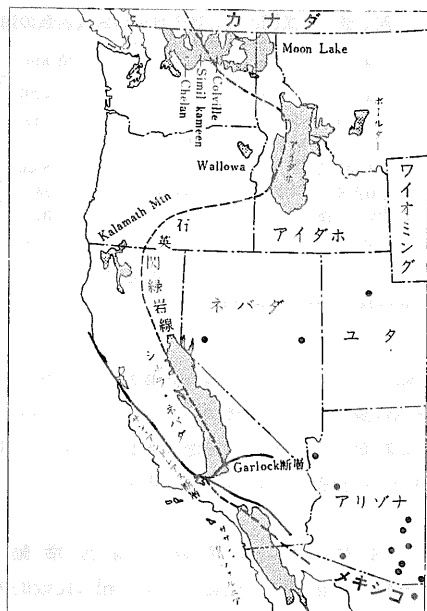


⑨ 浸蝕により火山の根が地表にあらわれたものは、Volcanic neck とよばれる。写真はその1つで、写真の左はしから右はしに延びている基盤の弱線に沿ってマグマが貫入した。その外観から観光客用に Ship Rock の名が与えられている。(ニューメキシコ州北西端)



第9図  
 コルディレラ山地東部の白亜紀  
 後期～第三紀初期の衝上断層 (Gilluly  
 1963)

第10図  
 合衆国西部のバスリスと石英閃緑岩線  
 黒円はポーフリーカンパー鉱床  
 (Moore 1959 原図)



ネバダ変動の余波はおくれて内陸側に及び つぎのララ  
 マイド変動となる。

ネバダ変動とロッキー山地向斜の堆積作用の後 ポ  
 ーフリーカンパー鉱床地帯であるコロラド高原南方の  
 アリゾナ州やニューメキシコ州の堆積岩類は著しく褶曲  
 し 小規模な深成岩の貫入をうけた。 中程度の褶曲作  
 用や断層運動はコロラド高原内の類似の岩石にも認めら  
 れる。 この褶曲作用は白亜期後期に生じ 新生代まで  
 続いている。 Wilson (1962) はアリゾナ州のこの褶曲  
 作用と深成活動とを “Laramide Interval” と呼んだ。

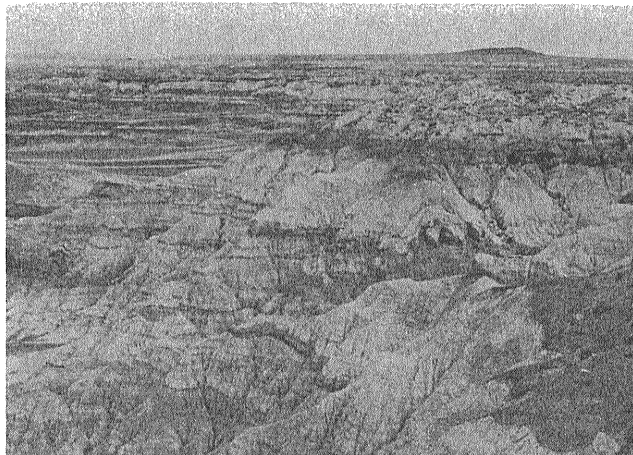
コロラド高原におけるこの時期の褶曲運動は北～北西  
 にのびる褶曲や断層をもたらした。 褶曲はおもに非対  
 称で東側が急傾斜のドーム 向斜 単斜構造などからな  
 り 断層は垂直～急傾斜で 一部は単斜構造に移行する。

これに対して堆積物の厚いアリゾナ州南東部では褶曲  
 作用が非常に複雑である。 褶曲軸はおもに北西～南東  
 を示し 衝上断層が多い。 ある部分(Cochise 地方)で

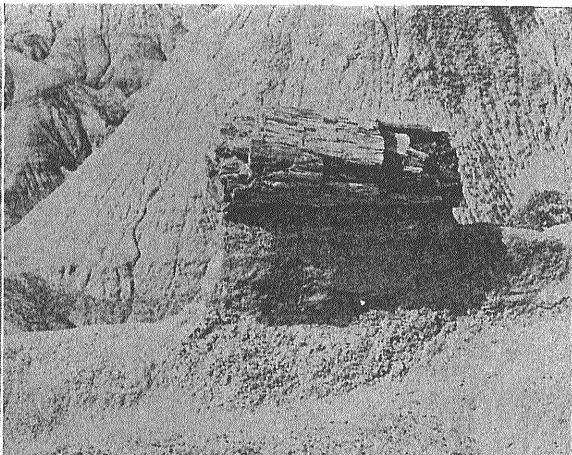
は東一西系と北一北西系の衝上断層が知られていて 北  
 西系が多分より後期で 移動させた距離も大きい。

一般に 白亜紀～第三紀初期の頃コルディレラ造山帯  
 の東部で地表の岩石を締めようとする動きは ロッキー  
 山地向斜の西縁沿いに生じた。 衝上断層による大き  
 な動きはモンタナ州北部からネバダ州南部にわたって広  
 く知られている(第9図)。 アリゾナ州南東部の衝上断  
 層をこの帯のものに含めるか否かは地質家により意見が  
 分れており 今後の検討が必要である。

Basin & Range 地方と東方のロッキー山地で生じた  
 衝上断層は同時期ではない。 ロッキー山地では褶曲運  
 動はより長い時期にわたり モンタナ アイダホ ユタ  
 州とネバダ州南部の多くの地域で それは白亜紀の中頃



⑩ アリゾナ州中東部には Painted Desert と呼ばれる荒地があつて 赤褐色  
 暗灰色 白色などのさまざまな色を示す 三疊紀の湖沼などを伴った低地の  
 堆積物からなる 植物化石が多い



⑪ Painted Desert の一部には珪化した松の一種が埋没してつて Petrified  
 Forest と呼ばれている

第2表 合衆国西部の調査地域の深成岩類の露出面積

| 岩 石 種                  | 面積(km <sup>2</sup> ) | 面積(%) |
|------------------------|----------------------|-------|
| 超塩基性岩 斑岩               | 4797                 | 10.7  |
| 閃緑岩                    | 865                  | 1.9   |
| 花崗閃緑岩 (Kf=0.0~0.1)     | 15141                | 33.7  |
| 花崗閃緑岩 (Kf=0.1~0.35)    | 8550                 | 19.1  |
| 石英モンゾニ岩 (Kf=0.35~0.65) | 12416                | 27.6  |
| 花崗岩 (Kf=0.65~1.0)      | 3165                 | 7.0   |
| 閃長岩                    | 65                   | 0.1   |

87.4

Kf=(カリウム長石+ペルト長石)/(全長石)

Moore (1959) と都城 (1965) による

に始まり 暁新世から始新世後期まで活動していた証拠が他の多くの場所で見出されている。Gilluly (1963) はこれを「ロッキー山地造山運動」と独立させて呼び 6000万年程度にわたったと説明している。

### 中生代とより後期の深成活動

古生代の後期 石炭紀やペルム紀に比較的大きい造山運動の形跡(変形運動など)は認められるが 深成活動はアメリカ合衆国西部では知られていない。ビスビーの近くの Juniper Flat 花崗岩は三疊紀~ジュラ紀(163~178×10<sup>6</sup>年 K-Ar法と Rb-Sr 法)である。他地域では カリフォルニア州北部とジュラ・ネバダ底盤の一部に同時期の花崗岩類が知られている(第11図)。野外観察と年代測定によると 合衆国西部の花崗岩類の多くはジュラ紀後期~白亜紀初期(約140×10<sup>6</sup>年)と白亜紀中期の後半(80~110×10<sup>6</sup>年)に形成されている。これらはジュラ紀~白亜紀のネバダ造山運動によって生じた巨大なバソリスを構成する。バソリスにはそれぞれ固有の名前が与えられていて(第10図) 個々の岩体は多くの深成岩体の複合体である。これらは長い期間にわたり順次形成され一単位のパソリスやストックの内部では一般に早期で塩基性 後期の晶出物ほど酸性の岩石から

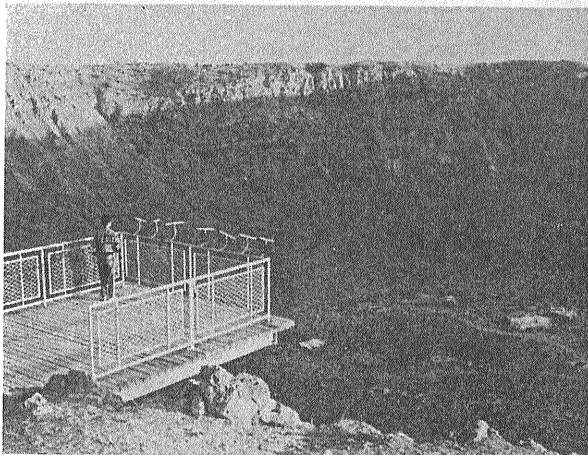
なるといわれている。

岩質は 西部の5州(カリフォルニア ネバダ オレゴン アイダホ ワシントン モンタナの各州)では石英閃緑岩 石英モンゾニ岩 花崗閃緑岩 塩基性~超塩基性岩の順に多く 広義の花崗岩類が全体の約87%を占めている(第2表)。ネバダ造山運動は *engeosyncline* の堆積物に著しい変形と変成作用を及ぼした。

東方の *miogeosyncline* 地帯は *engeosyncline* の地帯よりおくれ 白亜紀後期から第三紀初期に造山運動をうけ これは既述のようにララマイド変動と呼ばれる。この運動はコロラド高原や内陸低地をこえ さらに東方のロッキー山地にまで及んだ(Gilluly(1963)のロッキー山地造山運動)。これらの造山運動は変形作用はもたらしたが 変成作用やバソリスは形成していない。

露出面積からみると 白亜紀中期の深成岩類は他の花崗岩類に比べて圧倒的に多い。白亜紀後期~第三紀始新世の花崗岩類の露出は限られるが ポーフリーカップー鉱床にとって この量的に少ない貫入岩類がもっとも重要である。年代測定によると鉱床に係る貫入岩類の多くは5600~7200万年を示しているが 1.1億年程度にやや古いものも存在する。

深成岩類は一般には衝上断層帯に少ないが 小岩株は多数存在していて 衝上断層とが前後関係が知られている2・3の例がある。Tombstone Hillsで Schieffeln 花崗閃緑岩(72×10<sup>6</sup>年)は下部白亜系を含む衝上断層より若いので この衝上断層は白亜紀後期である。しかしより著しく発達する Dragoon 山地の衝上断層はその時代より多分若いと思われる。ピマ地域の衝上や褶曲運動は花崗閃緑岩(60×10<sup>6</sup>年)より古く Tombstone Hills のものとはほぼ同じ時代であろう。ピマ地域のある衝上断層は花崗閃緑岩 石英モンゾニ斑岩 銅鉱化作用などよりも後期で その断層は安山岩岩脈帯(24×10<sup>6</sup>



⑩ Canyon Diablo の産地で文献にみられる隕石は Meteor Crater を生じた隕石の一部である。これは1871年に発見され最初火山起源と信じられたがボーリング坑道ほりなどを含めて集められた多くの資料から 現在では世界一の隕石の衝突口と確認されている。(人物は鉱床部坂巻技官)



⑪ この隕石口は径約1.4km 深さ190m 最高部は周囲の平原から50m 盛上っている。約5万年前に4億トンの隕石が衝突して生じた 石英組成の高圧鉱物などの高圧鉱物が衝撃により生成されている



年)に切られる。衝上断層には比較的若い時代(第三紀中期)のものも存在する。

第三紀中期の深成岩類は合衆国の西部に点在する(第11図)。Gilluly(1963)は研究が進むと共に白亜期後期～第三紀初期の深成岩類は第三紀中期となる可能性を指摘している。

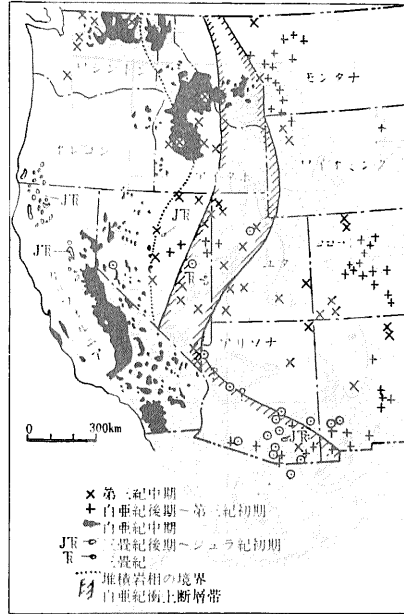
新生代の地史

コロラド高原と Basin & Range 地形とは新生代にその性格を明らかにしたといつてよい。この時代にはおもに陸成の堆積物や火山岩類が多く堆積盆地に累積した。合衆国西部の Basin & Range 地形はその一部が始新世や漸新世 多くは中新世と鮮新世に発達し始めた。現在にみる山地のあるものは鮮新世とより若い時期の断層運動により 残りはその時期より後期に断層で高められた。

ポーフィリー・銅床は一般に二次硫化物富化作用をうけるので 新生代の地史は重要である。キャスル・ドームや銅床・シティズ(マイアミ)では 二次富化作用が現在の浸蝕面に関係しているが 他の多くの銅床ではすでに銅床各論で一部を紹介したように おもな二次富化作用は古第三紀の地質時代に生じている。

白亜期後期～第三紀初期の褶曲運動の後 海面よりそれほど高くない所に おもにユタ州やコロラド州西部で堆積盆地が発達した。堆積作用は暁新世後期に始まり 始新世後期に終わった。始新世以降は重要な堆積作用は認められず 浸蝕が続き 噴火や買入などの火成活動が活発となった。

他方 Basin & Range 地方は暁新世から漸新世の間は高所にあつて 浸蝕が進み 著しい堆積作用は中新世



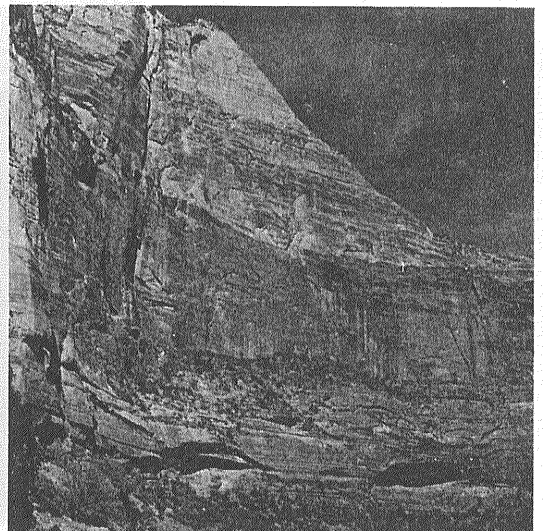
第11図 合衆国西部の花崗岩類の分布と衝上断層帯の位置 (Anderson 1966)

後期～鮮新世初期以降に生じた。部分的には たとえばユマ地域の3300m以上の厚さを有する Helmet 扇状地礫岩は第三紀中期の衝上断層より古く それに対比できるテュソン南北方の Pantano 層は中新世初期より前アホの Locomotive 扇状地礫岩は中新世より古い陸成層などの例がある。

中新世初期にコロラド高原は一つの構造的単位として確立した。Hunt(1956)はこの時期にコロラド高原の epeirogenic な上昇が始まり 鮮新世の中期にコロラド高原は Basin & Range 地方の盆地より高所にあつたと述べている。高原は北東方に持ち上げられ 低

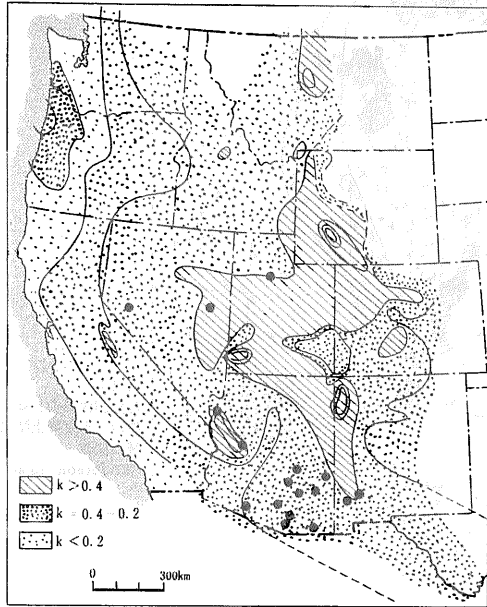


⑭ アリゾナ州中北部の高原に残るアメリカインディアンの廃きよの1つ(Wupatki Ruin) Wupatki 国立記念物地域の一部 Wupatki はホピインディアンのことばで「高い家」の意



⑮ ザイアン国立公園にみられる厚い陸上や浅海性の砂岩(ユタ州南西部)





第12図 新生代火成岩類のニグリーk値と鉱床の位置 (Moore 1962) 原図

部となったアリゾナ州北東部に Bidahochi 層が堆積した。 Hunt (1956) によると コロラド高原は鮮新世後期以降から現在までの間に 河川などを含めて様相を著しく変えなかった。 しかし 峡谷を深めるゆるやかな上昇運動は現在まで続いているはずである。 ペルム系の最上部を例にとると その表面がほぼ海面であった白亜紀頃の水準に比べると 現在の位置は 1.5 km 程度も高くなっている。

合衆国西部の最近の地震学的研究によると 地殻の厚さが次のように推定されている。 カリフォルニア州の Great Valley で 20 km 以下 しかし 東方のロッキー山地の Great Plains で厚く 約 50 km。 アリゾナ州の Kingman から Nevada Test Site を経て北方の Eureka & Elko (ネバダ州) の断面では もし地殻が一層であれば それぞれ 26 28 32 km。 しかし反射法による結果では玄武岩質の中間層を認め それぞれに 10% の厚さを加えたほうがよいであろう。 Nevada Test Site から東方にコロラド州プエブロを結ぶ断面は 40~45 km で コロラド高原で地殻が厚くなっていることを示している。

Basin & Range 地方に多くの温

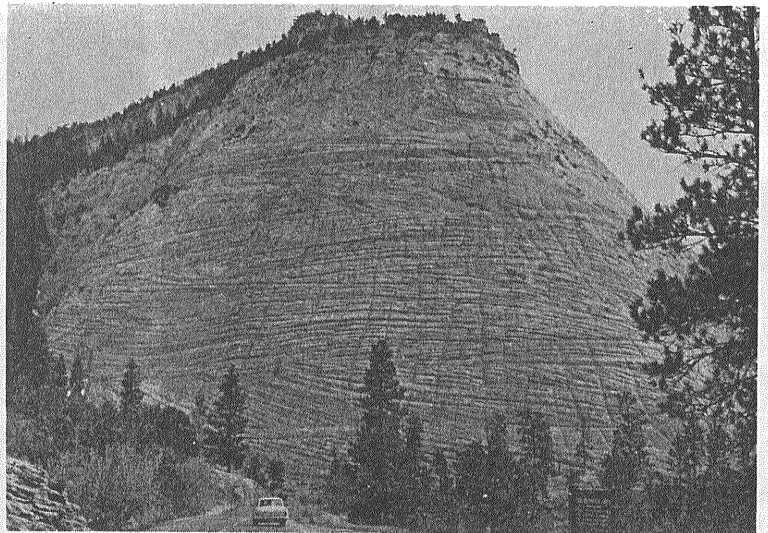
泉があることから Gilluly (1963) は この地方は異常に熱流量が高いとし としてももしモホロビッチ不連続面が相の変わり目を示すのであれば 熱流量が高い所は地殻を厚くする傾向があるはずであるから モホ不連続面はここでは phase inversion よりも chemical contrast を示さなければならないであろうと述べている。

コロラド高原の南と西方の Basin & Range 地方では高原よりもより深く浸蝕が進んでいるから 以前はより高所にあったことになるにも拘らず 現在では km 単位で低い。 地震による検討から 地殻は Basin & Range 地方で薄くなり コロラド高原で厚くなっているから Gilluly (1963) はマントルに左右される流れが地殻深部の物質を移動させ 結果としてコロラド高原を上昇させ 地殻物質の移動を埋め合わせるために Basin & Range 地方の断層が生じた と説明している。

ポーフィリー-銅床は Basin & Range 地形の形成以前に生じているから Gilluly の説明は銅床の形成に直接に関係しないが 同様な現象は地質時代に生じ その一環として銅床をもたらした貫入岩が上昇したのであるから 銅床の成因解明に地球物理的な資料を含めることは重要である。 この問題はマグマの起源に関連して あとでふれる。

#### 新生代火成岩類のアルカリ比

コルディレラ造山帯から東方の安定地塊に向けて合衆国西部の火成岩類の K/Na 比が増加する傾向は部分的には今世紀当初から報告されていた。 Moore (1962) は新生代と思われる各種の火成岩類 (熔岩 凝灰岩から深成岩類まで) を文献から集め それらの分子比  $K_2O / (K_2O + Na_2O)$  (ニグリー k 値) 求めた。 その値を  $SiO_2\%$



⑬ この国立公園付近の地層には Cross bedding が著しく発達している。 それにほぼ直交する節理が発達したこの写真は Checkerboard Mesa と呼ばれている