

陥没カルデラに由来する環状地形構造の評価

村岡 洋文・長谷 紘和(地殻熱部)
Hirofumi MURAOKA Hirokazu HASE

1. ま え が き

地殻中の地質構造要素は 小は結晶内キンクバンドから 大はサンアンドレアス等巨大断層に到るまで 様々なスケールで刻印されている。大規模な地質構造要素に限って言えば その全体像はしばしば地質踏査の視野を越え スケールに固有の解析手法が要請される。この点に Landsat 画像など衛星データ解析の一つの役割が考えられる。一般に大規模な地質構造要素は それに相当するスケールの地形構造に反映されるため その全体像は衛星画像から迅速 且つ容易に把握しうる。また このような全体像を把握した上での地質調査は きわめて効率的なものとなるであろう。

従来 衛星画像から識別される地形構造要素として とくにわが国の場合 地殻のぜい性変形に起因するリニアメントが注目されてきた。他方 地熱や火成源の鉱床賦存に関連するものとして 環状地形構造に対する関心が高まっている (長谷 1978; Kouda & Koide, 1978)。環状地形構造もリニアメントと同様に 直ちに単一起源の地質構造に帰すことはできない。水系や山稜の弧状配列により特徴づけられる環状地形構造には 第四紀火山の火山体や花崗岩など深成岩体に由来するものが含まれる。しかし 地熱資源賦存の場の理解の立場から 環状地形構造のうち 重要と考えられるのは陥没カルデラに由来する地形構造であろう。とくに長い地質時代にわたり環状地形構造を保存しているものは注目に値する。

わが国における カルデラ原地形の明瞭な既知の陥没カルデラは大部分が数万年以降に形成されたものと推定される (荒牧 1969)。一方 地殻浅所における珪長質マグマ溜りの熱源としての寿命は 大きさにもよるが数 100 万年以内 おそらくは 300 万年程度とみられており (Smith & Shaw 1975; 角 1979) これより若いマグマ溜りないし同起源の熱源岩体の分布域は地熱探査対象となり得る。環状地形構造として長い地質時代の間その構造をとどめている陥没カルデラは 構造の根が深いことを意味し 次の2点から特筆される。1) これまでの構造枠組理解の不足から その所在が知られていない地熱賦存上有望な陥没カルデラがありうる。2) 熱的

に衰退している古い陥没カルデラについては 陥没カルデラの下部構造を様々な削剝レベルのもとで系統的に明らかにすることができ 深い構造の根をもつ陥没カルデラについての具体的な構造特性を明らかにできる可能性がある。

このような観点から ここでは Landsat データによって初めて注目された環状地形構造をいくつか紹介したい。まず 東北地方北部に識別される沖浦と八幡平地域の環状地形構造は 鮮新世ないし更新世のものと思われ 温泉の湧出など地熱徴候が認められる。これらについては地表調査を進めており その成果をも合わせて述べる。次に 地質状況のよく似ている中国地方西部と朝鮮半島南東部地域のいくつかの環状地形構造は白亜紀のものと思われ 削剝が進み下部構造の露出した例として取り挙げる。これらについては既存資料を参考にしつつ いささか大胆に推論し これらの地域の火山-深成活動を地表の陥没カルデラと地下のバソリス状マグマ溜りとの組み合わせで説明しようとする。

なお 北鹿北地域の重力探査資料を提供して下さった 金属鉱物探査促進事業団の広域調査課長 佐藤壮郎氏に 厚くお礼申し上げる。

2. 陥没カルデラと環状地形構造

大量の火砕流を短期間に放出するタイプの陥没カルデラは 熱源となる大規模なマグマ溜りの存在が予想されるため 重要な地熱探査の対象である。そこで 大量の火砕流放出を伴う陥没カルデラについて概観してみよう。

火山学の知識によれば 大量の火砕流放出を伴う陥没カルデラは オレゴン州クレーターレーク (Crater Lake) のカルデラを典型例とするクレーターレーク型と ニューメキシコ州ヘメス (Jemez) 山地にあるバイアス (Valles) カルデラを典型例とするバイアス型とに分けられる (Smith & Bailey, 1968; 荒牧 1969; 小野 1974)。表 1 は荒牧 (1979) による両カルデラ型式の特徴の比較である。構造上の特徴② ③ ⑤について 両者は画然と区別できるため 両者の中間型カルデラというものは知られていない。しかし 両者の差異を生み出す原因

表1. クレーターレーク バイアス型カルデラの特徴の比較

特徴	クレーターレーク型	バイアス型
①直径	数km~20km	10~25km以上
②環状割れ目	ない場合多し	顕著
③陥没のメカニズム	ロート状の破砕部を生じて陥没	環状割れ目によるピストン・シリンドラ状の陥没
④カルデラ生成前の火山活動	大型の成層火山の成長または小火山体の集合	火山体の集合+ドーム状隆起
⑤カルデラ生成後のドーム状隆起	なし	きわめてふつう
⑥火砕流のstratigraphic unit	浸食や風化間隙をはさんで2枚以上のunitがある場合が多い	単一のeruption cycleの産物である場合が多い
⑦カルデラ生成に関与したマグマ	デイサイト質 安山岩質のもの多し(火砕流として)	流紋岩質のもの多し(火砕流として)
⑧後カルデラ活動のマグマ	小型成層火山 火砕丘 溶岩円頂丘など 安山岩 デイサイト 玄武岩質など	溶岩円頂丘 厚い溶岩流 火砕丘など 流紋岩質(ト玄武岩質) ?
⑨局所的Bouguer異常	負 数 mgal~数十mgal	負の場合が多い

荒牧(1979)より一部を抜粋

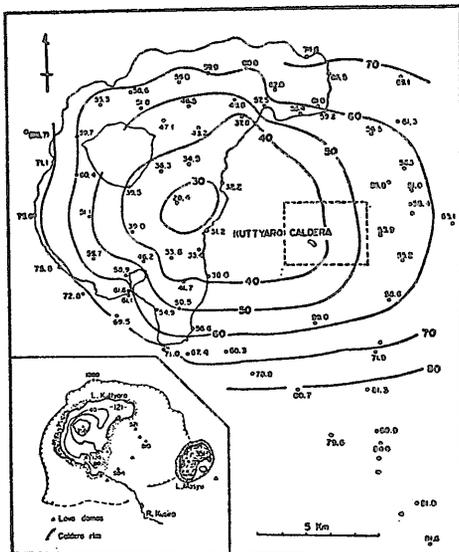
は特徴⑦に表われているマグマの組成——例えばSiO₂含量——のような連続量の差異であり それによって生じる地殻中のマグマの挙動の差異であるかもしれない。いずれにせよ ② ③ ⑤ ⑦の特徴は 両カルデラ型式を判別する際の基本的属性として重要であろう。

一方 充分解明された現象ではないが バイアス型カルデラの一般的特徴として 珪長質マグマの活動と並行して苦鉄質マグマの活動が認められる事実(バイモダル火山活動) が注目されている(EICHELBERGER & GOOLEY 1977)。これは 全体として中間組成マグマの活動が支配的なクレーターレーク型カルデラと 1つの相異点を成

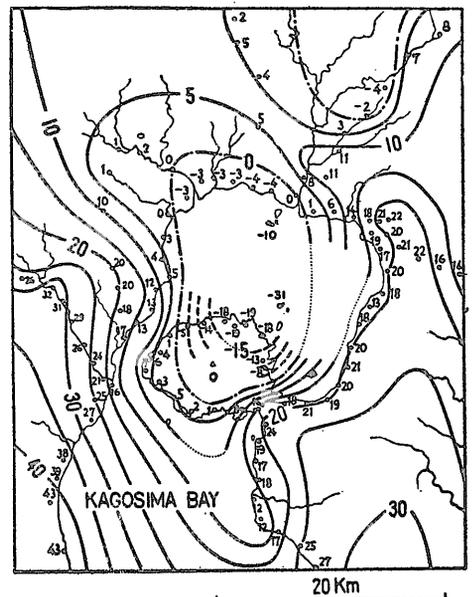
すものである。

さらに 重力異常の特徴は両カルデラ型式の間で きわめて明瞭な差異としてみられ 下部構造の差異を浮き彫りにしている。第1図と第2図は それぞれ代表的な両カルデラのブーグ異常分布と そのプロフィールを模式的に一般化したものである。負ブーグ異常の特徴が クレーターレーク型カルデラではロート状(YOKOYAMA 1963)を バイアス型カルデラでは鍋底状を示しており 両者の差異は歴然としている。

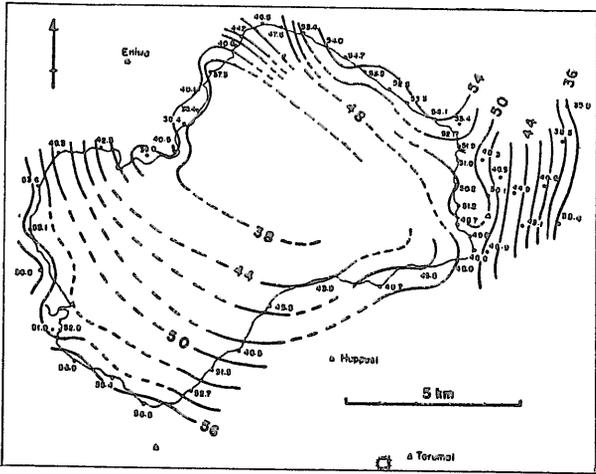
この事実から クレーターレーク型カルデラの重力異常は 専らロート状のカルデラ内を満たす破砕した基盤岩塊や火砕物質を反映するのみで カルデラの規模に比較される大きなマグマ溜りが地下浅所に存在するとは考えられない(YOKOYAMA & AOTA, 1965; 荒牧 1969)。これに対して バイアス型のそれは カルデラ充てん物質のみでは説明困難で カルデラの規模に匹敵するマグマ溜りが地下浅所に存在すると考えられる(KANE et al., 1976)。このことは 鍋底状の負ブーグ異常域が カルデラ充てん物質の分布しえない環状割れ目の外側にまで 部分的に広がる事実から 一層明瞭に示される(EATON et al., 1975)。また 代表的なバイアス型カルデラとされる カリフォルニア州ロングバレーカルデラやワイオミング州イエローストーンカルデラにおいては 遠隔地震のP波遅延現象などからも巨大な部分溶融物質の地下潜在が推定されている(STEEPLES & IYER, 1976; EATON et al., 1975)。



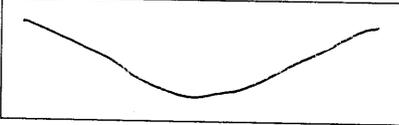
第1図 a 屈斜路カルデラのブーグ異常分布



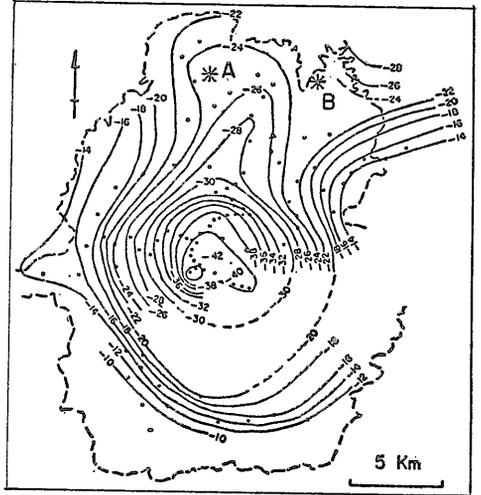
第1図 b 始良カルデラのブーグ異常分布



第1図 c 支笏カルデラのブーグ異常分布



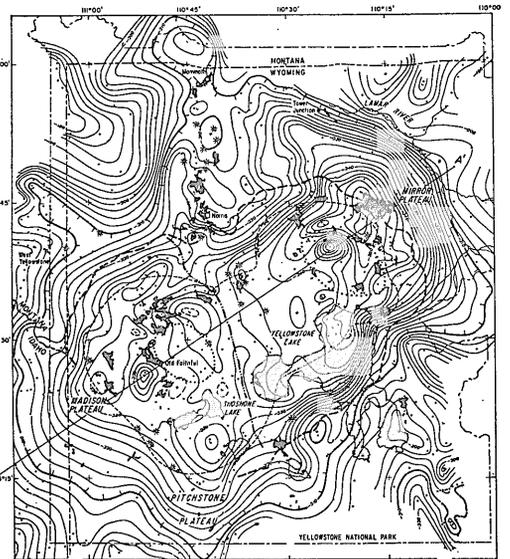
第1図 e クレーターレーク型カルデラの一般的ブーグ異常プロファイル



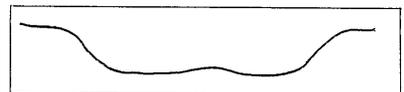
第1図 d 阿蘇カルデラのブーグ異常分布

第1図 クレーターレーク型カルデラのブーグ異常分布の特徴
 a) は 横山(1974)
 b) は YOKOYAMA (1963)
 c) は YOKOYAMA & AOTA (1964)
 d) は KUBOTERA & SUNTOMO (1965) による
 単位はいずれも mgal.

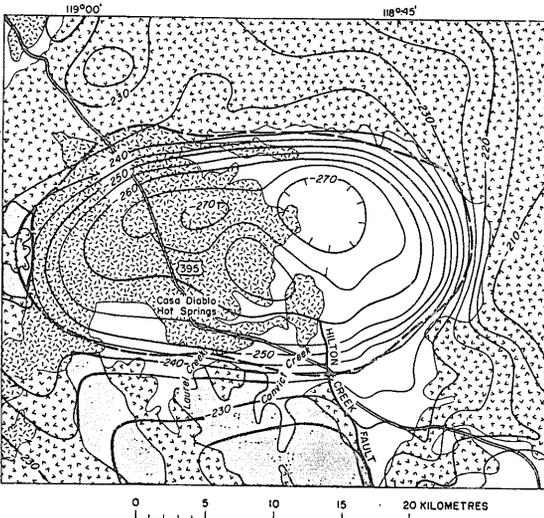
このようにして クレーターレーク型とバイアス型の
 両カルデラの地下構造モデルは それぞれ第3図と第4
 図のように推定される。日本の著名なカルデラは ほ
 んどクレーターレーク型である。それらは前述のよ
 うに大部分が数万年に降に形成されたものであるが そ
 の地熱徴候は意外に限られており ほとんど 後カル
 デラ丘の活動に依存しているようにみえる。一方 バイ
 アス ロングバレー イエローストーン等の代表的バイ
 アス型カルデラは カルデラの形成がそれぞれ110万年



第2図 b イエローストンカルデラのブーグ異常分布



第2図 c バイアス型カルデラの一般的
 ブーグ異常プロファイル

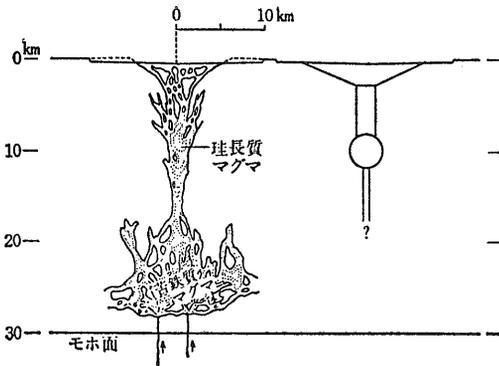


第2図 a ロング・バレーカルデラのブーグ異常分布

第2図 バイアス型カルデラのブーグ異常分布の特徴

a) は KANE et al. (1976)

b) は FARRER et al. (1977) による



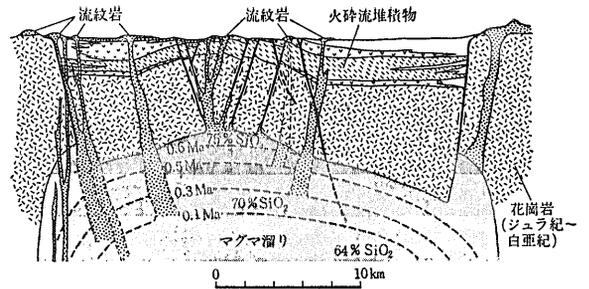
第3図 クレーターレーク型カルデラの想像断面図
荒牧(1969)による

70万年 60万年前とされているが その地熱微候はきわめて優勢で 合衆国の代表的地熱地域としても知られる。この対照的事実は 前者では地下浅所に巨大なマグマ溜りを伴わないが 後者ではそれを伴うことによると考えられる。このような観点を表1⑦の特徴と合わせて考えるならば 珪長質マグマは中間組成のそれよりも 地殻浅所で大きなマグマ溜りを形成し易いという一般傾向が導かれよう。これは 地表に露出する過去のマグマ溜りとも言うべき深成岩体の中で 圧倒的割合を占め且つパソリス規模の岩体を形成し易い岩石が花崗岩や花崗閃緑岩など珪長質な岩石であるという岩石学上の経験事実(例えば WILLIAMS et al., 1954) と調和している。

以上 大量の火砕流放出を伴う陥没カルデラを概説したが 衛星データによる寄与という観点から 次の点をもう一度強調しておこう。即ち クレーターレーク型カルデラは削剝が進むと環状割れ目がなくロート状で根が小さいために きわめて発見し難いと考えられる(荒牧 1969)。一方 バイアス型カルデラは削剝が進んでも 円筒状の環状割れ目とその内側の陥没ブロックとによって発見困難な理由は見当たらない。従ってバイアス型カルデラはカルデラ原地形が失われた古期カルデラであっても 地形構造として保存されやすく 衛星画像により発見が期待される。

3. 沖浦地域

沖浦環状地形構造は十和田湖の北西 南八甲田連山西麓に位置し Landsat 画像により初めて注目された直径約15km の半環状地形構造である(長谷 1978)。第5図に位置の概略を示す。口絵写真1や第6図に示されるように Landsat 画像上では 岩木川の支流 浅瀬石川と中野川が環状地形構造の直接的な地形形態として認められる。この環状の水系に沿って 沸点近い自然湧出



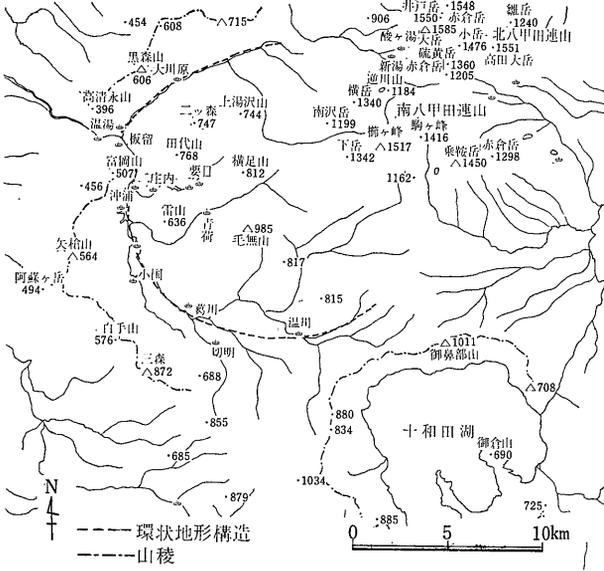
第4図 バイアス型カルデラの想像断面図
ロングバレーカルデラの東西断面について描かれたもので
BAILEY et al.(1976)を荒牧(1979)が日本語註釈を加えたもの

泉を始め多数の温泉が分布している(第5図)。このため本地域は地熱開発候補地としても有望視されているが その地熱評価は環状地形構造の地質学的評価なしにはありえない。そこで 本地域の地質に関する従来の解釈が環状地形構造への注目を端緒として どのような新しい見方へと発展しつつあるか 以下に概要を述べよう。

3. 1. 従来の研究

本地域の地質については 様々な観点から多くの研究があるが 最も抱括的なものとして小高ら(1970)の研究がある。それによれば 沖浦 板留などの地域を南北に流れる浅瀬石川付近を境に 東側と西側とで地質が著しく異なっている。即ち 西側は大局的に西傾斜の単斜構造で 西方ほど上位層が露出する。それは下位より中新統の沖浦玄武岩 板留層 温湯-王余魚沢層と累重し その上位に部分不整合の関係で 流紋岩質火砕流堆積物より成る中新統の竹館層が重なる。さらに上位には部分不整合の関係で鮮新統の大釈迦-碓ヶ関層が重なる。これに対し東側は 表層の多くを十和田軽石流等の新期層に覆われながらも 中野川沿いには中新統の大川原層がみられ その上位には不整合の関係で厚い流紋岩質火砕流堆積物と上部の石英安山岩質溶岩から成る中新統の青荷層が広く分布する。上部の石英安山岩質溶岩を除く青荷層主部は乱堆積構造が発達し 淡水棲珪藻化石の存在から湖成層とみなされる。その層相の比較から 東側の青荷層は西側の竹館層に対比されている。

浅瀬石川沿いには温泉が集散的に分布し そこを境に東西の新第三系に著しい層序・構造の対立が認められることから 浅瀬石川断層の存在が推定されている。そして浅瀬石川断層は北村(1963)の入内断層に続くものとみなされている。



第5図 沖浦環状地形構造と温泉・主要水系の分布



第6図 沖浦環状地形構造の Landsat 画像

3. 2. Landsat データからの仮説

前述したように 沖浦環状地形構造は水系に最も明瞭に現われているが 第5図や第6図に明らかなようにその外郭にも外輪山状に山稜が連なり 環状地形構造の一要素を構成している。この山稜の内側斜面は急峻であり 外側斜面はごく緩やかであるという一般傾向が顕著である。また 温泉の分布に注目すれば 温湯板留二庄内 沖浦 小国などの温泉に関する限り 南北直線状に配列するが 大川原 葛川 切明 温川にも温泉が知られており これらを含めると その分布はむしろ環状地形構造に規制されているようにみえる(第5図参照)。さらに 小高ら(1970)によって示された湖成の青荷層主部は 浅瀬石川断層に規制されて環状地形の外郭より外側にまで広がるが衛星画像では本環状地形とくに外郭の環状山稜に規制された分布をもつと推定される。

これらの特徴は 本環状地形構造がやや開析された陥没カルデラであるという観点に立つことによって 合理的に理解されよう。従って 我々はこの仮説をもとに本地域の再検討に着手した。

3. 3. 再 検 討 の 結 果

第7図は 資源エネルギー庁の地熱開発基礎調査の一環として 上述の観点から再調査された本地域の地質図である。また さらに詳細な調査は 「黒石」図幅の

研究として 現在我々によって進められつつある。それらの詳細は別に報告の予定であるが 以下に現在までに明らかとなった要点のみ述べよう。

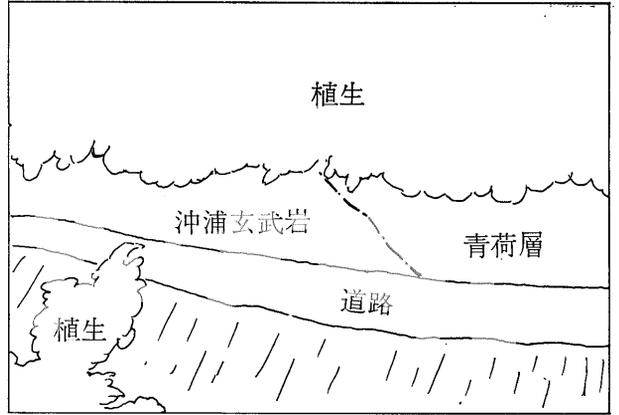
まず 沖浦玄武岩や板留層に対する青荷層の分布関係を説明するために推定されてきた浅瀬石川断層については すでに石井 長谷(1978)に述べられているようにその存在は否定的にみえる。現在 浅瀬石川沿いにはダム建設に伴う道路のつけ換え工事のため いくつかの切り割りができているが 二庄内付近の露頭においては青荷層が沖浦玄武岩にアバットしている事実が明瞭に認められる(第8図)。また 同様の関係は 地熱開発基礎調査の一環として 虹ノ湖の東方 雷山西麓において実施された702m構造試錐の609mレベルにおいても認められる。従って 浅瀬石川沿いの温泉群の分布を浅瀬石川断層の存在によって説明することは困難と言わざるを得ない。

環状地形構造の北西部においては 竹館層以下の地層にN-S性の軸をもつ褶曲構造が発達するが 近縁の青荷層は緩傾斜で褶曲運動の影響が認められない。この事実から間接的に 青荷層は少なくとも竹館層以下の地質構成員にアバットすると推定される。

次に環状の水系から外郭の山稜にかけて 流紋岩から安山岩に到る種々の溶岩 貫入岩等が断片的に分布する。これらは中新統の板留層や大川原層に対して被覆および貫入の関係にあるが 逆に青荷層には不整合に被覆され



第8図a 青荷層と沖浦玄武岩の関係を示す露頭写真



第8図b 同見取図

る。従って 青荷層上部の石英安山岩とは時代的に明瞭に区別されるべきものである。

青荷層については その分布の西の縁部に近い上述の構造試錐においてさえ 厚さ 600m弱と算定される。しかも その層相は軽石を多含する様々な粒度の火砕流堆積物で大部分が占められ 非火山性の碎屑物の混入はきわめて少量に過ぎない。さらに注目される事実はその分布について 従来の地質図で青荷層として塗色されていた環状地形構造の外側の部分は 後述の長谷沢凝灰岩など他の地質構成員に改められるべきであることが判明した。

その結果 青荷層の分布は環状地形構造外郭の山稜より内側に限定され 環状地形構造一もはや環状地質構造と言ってよいが一による堆積場の規制がほとんど疑いえないものとなった。そして 青荷層中の花粉分析の結果は 本層の堆積時代が 従来推定されてきた中新世ではなく 鮮新世以降の可能性が大きいことを示している。この点は青荷層が竹館層以下の地層にアバットするという上述の推定と調和的である。なお 上部の石英安山岩を除く青荷層主部には 乱堆積によるみかけの急傾斜部分が少なくない。しかし やや広くみれば ルート沿いに同一層準が繰り返し現われ 本来の傾斜は概して小さい。そして 大局的には小高ら(1970)が明らかにしているように 環状地形構造の中心付近から外側に向かって緩傾斜し ドーム状構造を成している点が注目される。

青荷層上部の石英安山岩は 第7図に示されるように環状地形構造の内側にやや小型の環状を描いて分布している。石英安山岩の下部と青荷層主部の上部とはしばしば指交関係を示し 青荷層主部の堆積とこれに引き続く石英安山岩の活動との間には時間々隙がなかったとみなされる。

環状地形構造の周辺で 小規模ながら玄武岩の活動が認められる点も重要な事実である。その一部は岩脈として環状の水系付近に産し(第9図) 沖浦玄武岩や大川原層を貫くが 青荷層との時代関係は不明である。しかし 青荷川上流部にみられる玄武岩は 2枚の溶岩とその間の凝灰角礫岩とから成り 完全に青荷層中に挟在しており 同時期に活動したことを示している。

この他 本環状地形構造の外内には 青荷層より上位で 八甲田火山岩類より下位の石英安山岩質溶結凝灰岩が随所に分布して平坦面を成している。これは小高ら(1970)により長谷沢凝灰岩と呼ばれ 先八甲田溶結凝灰岩に比較されたものである。その調査が進むにつれて その分布も予想外に広いことが判明しつつあるのが現状である。一例として 環状山稜北西部の内側斜面においては 環状の水系にごく近い低所から山稜の稜線に到るまでみかけの厚さが 400mにも及ぶ。また 同



第9図 玄武岩岩脈の露頭写真 板留から南々東約 500mの地点 玄武岩ないし粗粒玄武岩質で玉ねぎ状に風化している



第10図 鯖石地域における溶結凝灰岩の露頭写真
まん中から左にかけての崖が強溶結部で 右側の平坦面も同岩石により構成される これらが左方(北方)の津軽平野に向けて緩傾斜している

様の岩石は 本環状地形構造西方の鯖石地域(第10図)やさらにその西縁にまで広がっている。このような産状からみて 先八甲田溶結凝灰岩とされるものの全てが従来推定されてきた先八甲田カルデラに由来するものであるか否かは必ずしも自明のことではないと思われる。場合によっては 本環状地形構造との関連についても検討の余地がある。

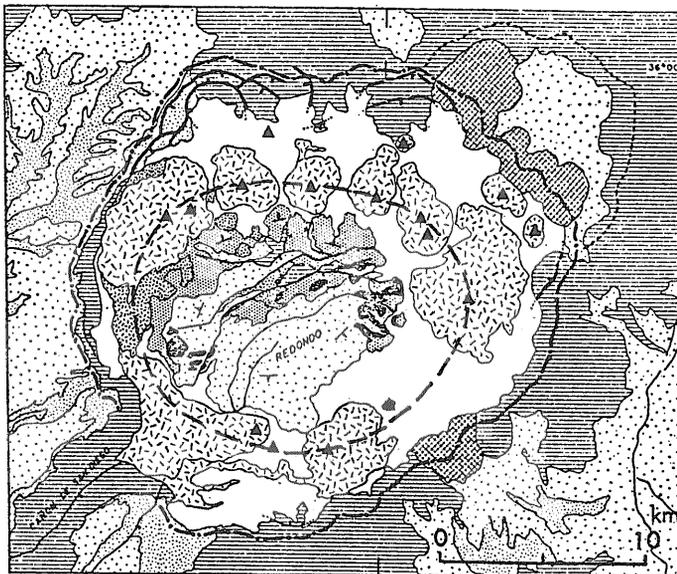
3. 4. 沖浦環状地形構造の新しい見方

以上述べてきたことから 沖浦環状地形構造は単なる堆積ベーズンではなく 陥没カルデラとしての特徴を備えていることが明らかであろう。環状の水系からその外郭の環状山稜にかけて断片的に分布する火山岩類は

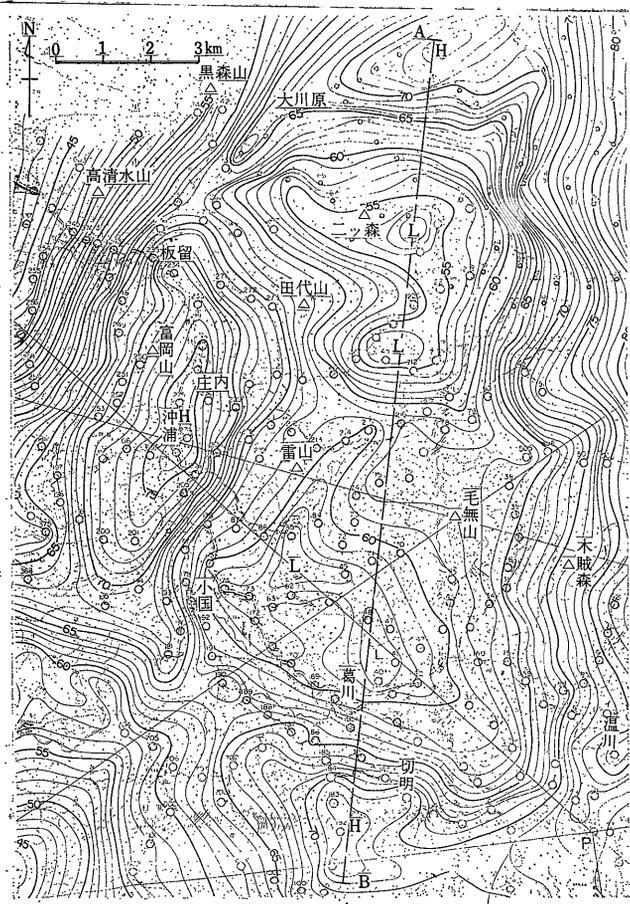
外輪山溶岩として位置づけられ カルデラ形成以前の火山活動を特徴づける。その活動の後 カルデラの形成に伴って外輪山溶岩や竹館層以下のカルデラ基盤が環状に陥没し 同時に噴出した火砕流が青荷層主部としてカルデラ内に厚く堆積したものであろう。青荷層が大量の火砕流堆積物から成ること その分布が環状山稜に規制されていること 分布縁部で 600m弱の厚さをもつことなどの特徴は 陥没カルデラ以外の機構では充分説明し得ない。

本環状地形の構造が大量の火砕流放出を伴う陥没カルデラの2型式のいずれに該当するか 前節で強調した両型式の個々の判別基準(表1参照)について検討してみよう。特徴②について 第11図に示すバイアスカルデラの場合には 環状に配列する後カルデラ丘の分布から環状割れ目の存在が推定されている。同じように沖浦の場合にも 青荷層上部の石英安山岩の分布から環状割れ目の存在が推定できよう。ただし このことは沖浦地域において 第4図に示されるような複数の環状割れ目が存在する可能性を排除するものではない。③の特徴については 積極的にバイアス型の図式を提示しうるには到っていないが 青荷層の産状がロート状の破砕部を生じて陥没するクレーターレーク型のモデルに適合しないことから 消極的にバイアス型を指示する。⑤や⑦については ほぼ明瞭にバイアス型を指示する。

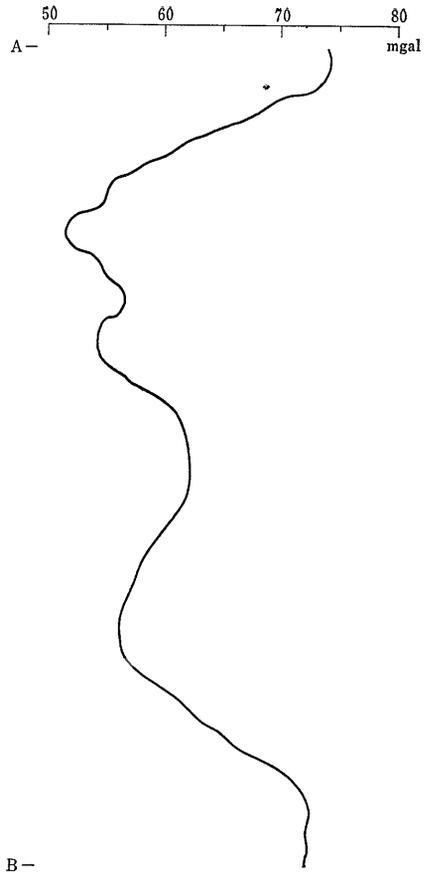
また 青荷層の堆積と同時期に小規模ながら玄武岩の活動が存在することは バイモダル火山活動が一般的に認められるバイアス型カルデラの図式に調和的である。



第11図
Valles (バイアス) カルデラの地質略図
太線破線は地形的カルデラ縁 太破線は推定された環状割れ目 △印は後カルデラ溶岩ドーム中の後期ドーム群の火道の位置 環状割れ目内のブロックが沈降したあと 凹地の周壁は弧状のざりおち断層(カルデラ北縁にみられる)によって閉口部を現在の地形的カルデラ縁まで後退 拡大させた
SMITH and BAILEY (1968) の Fig1 と SMITH et al. (1970) から小野 (1974) が紹介



第12図a 沖浦環状地形構造のブーゲ異常分布
 金属鉱物探鉱促進事業団 (1971) による
 コンターの単位は mgal.



b 沖浦環状地形構造のブーゲ重力異常プロフィール
 断面は第12図aの A—B に示される

重力異常の特徴は両型式の判別に関して最も有効なものの一つであるが 第12図に沖浦地域のブーゲ異常分布図とそのプロフィールの一例を示す。この図から沖浦環状地形構造にほぼ一致して負ブーゲ異常域が存在することが明らかである。その形状が大陸地域のバイアス型カルデラのように単純でないことは否めないがプロフィールがロート状でなく鍋底状を示すこと中央にドーム状隆起部があること等が明瞭であろう。

以上の事実から 沖浦環状地形構造はやや開析されたバイアス型カルデラである可能性が大きい。そしてその生成時代は鮮新世ないし更新世初期と考えられ熱源の評価上やや古いという制約はあるにしても本環状地形構造が地熱開発上非常に有望であることを示すものである。

現在 我々は本環状地形構造周辺で 外側に流れ出たと思われる青荷層相当の火砕流を模索中である。その結論は今後に残されているが 大釈迦一碓ヶ関層の層相

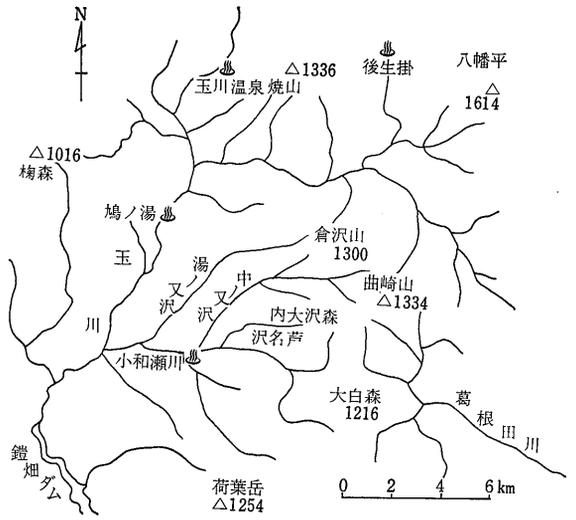
がそれらの標式地ではほとんど非火山性の砂質物から成る(第13図)のに対して 本環状地形構造外縁ではきわめて軽石を多含し火砕質である事実(第14図)に注目している。今後 各地層中の軽石を用いた対比や 沖浦地域の主要岩石の年代測定等がさらに興味ある事実を明らかにしてくれるであろう。

4. 八幡平地域

八幡平地域にみられる環状地形構造は八幡平と田沢湖の間に位置する直径約13kmの流系パターンによって特徴づけられる。第15 16図に位置図と Landsat 拡大画像を示すが 画像では環状地形々態は同地域を流れる玉川とその支流によって明瞭に示され 壮年期地形を反映して深く刻まれた谷筋が 秋の午前中に入射する低い太陽光入射角による陰影効果によってとりわけ強調されている。環状地形はやや東西に偏平な形をなし ほぼ中央部が 玉川の支流である小和瀬川によって二分さ

れる。北半部はとくに環状の流形パターンが明瞭であるが この地域は「玉川溶結凝灰岩」として知られる酸性火砕流が厚く発達し露出する分布域に相当する。環状の流系パターンの外郭は多くの噴出中心をもつ第四紀火山群とその放出堆積物で覆われた部分に当り 画像上は滑らかなきめをもつ 若い火山地形特有の形態を示しているのがみてとれる。

八幡平地域はわが国地熱資源の宝庫の一つでもあり非常に多くの地熱温泉現象がみられる地域として知られており 周辺には松川 大沼 葛根田などの地熱発電所がすでに発電を行っている。こうした既知の地熱徴候地 あるいは開発地域は Landsat 画像で明瞭な環状地形の外側域に主として分布している。



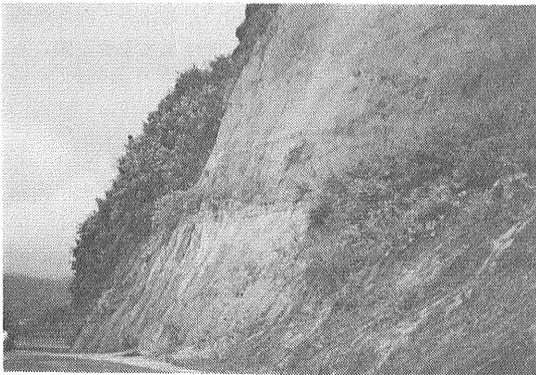
第15図 環状地形を中心とする八幡平地域水系図

4. 1. 従 来 の 研 究

環状地形域の地質については 東北地方のグリーンタフ層序と鮮新世から更新世にかけての酸性火山活動の場としての観点から注目され 「玉川溶結凝灰岩」として知られる多量の火砕流堆積物は 1960年代中ばにいたってその分布と層序の概略が明らかにされた。地域内の地質は大沢・角 (1957) 河野・上村 (1964) によって5万分の1図幅と「森吉山」「八幡平」としてまとめられ 岩石学的には TANIDA (1961) によって溶結凝灰岩が研究された。その後周辺地域は地熱調査に関連して詳細な調査



第13図 標式地の大釈迦層
大釈迦トンネル付近 斜交層理が顕著で円磨された小礫を含む砂層から成るが 含有される軽石は少量にすぎない



第14図 環状構造西縁の大釈迦層
高賀野から上野に到る浅瀬石川の南岸 ここでは 2~10m程度の混濁流の堆積ユニットが少なくとも 4サイクルみられ 各ユニットの上方には多量の軽石が濃集している
(地質調査所 菊地恒夫氏 撮影)



第16図 拡大された Landsat 画像でみる八幡平環状地形形態(グラフィア参照)

もなされたがこの地域はこうした調査からとり残された地域となっていた。折本・安田(1969)はこの地域北縁部の地質精査を行い 溶結凝灰岩中には含まれる水成堆積物の存在や火砕流中に捕獲される花こう岩質岩の存在など 地質・層序構造を知る上での手がかりを与えた。また最近になって玉生・須藤(1978)はフィッシュトラック法によって玉川溶結凝灰岩の噴出年代測定結果を報告している。1970年代中ば以降 八幡平地域は地熱エネルギー賦存研究の代表的モデル地域と目され 多面的に調査研究が進められている。これらの研究は地表下相対的深部帯に賦存が推定される地熱貯留層の実体を明らかにすることに目標が設定され進められているものである。研究の推進にあたって角(1979)は日本の概念的広域深部地熱系モデルを示しているが モデルの基盤構造は本文に示したバイアス型カルデラの基盤構造にきわめて近い。八幡平地域の重力図に反映された本地域の広域的な陥没構造はイエローストンなどと較べてそれほど顕著ではなく 広域的低重力帯の中に副次的な高重力域がいくつか認められる。

4.2. 地形的特徴

その一つは曲崎山を中心とする南北にのびた高まりである。この高まりは 北方の花輪盆地から南北にのびる著しい低重力域の延長部にあたっており 低重力域の幅が広がった位置に発達するものである。この地域は地形が急峻で 重力の高まりのひろがりや測定点が少ないためにやや精度を欠く。Landsat 画像から識別される環状地形と位置的な比較をしてみると 重力の高まりの中心は東側にずれて曲崎山付近にあるが 西側の重力のはり出しは広く環状地形の中心域を覆っている。環状地形構造が独立した火山体を中心に発達していたものでないことは衛星画像からも明らかだが その中心域にあたる内大沢森は相対的には地形のドーム状に近い高まりとなっていて しかも微地形は原地形がほぼ保存さ

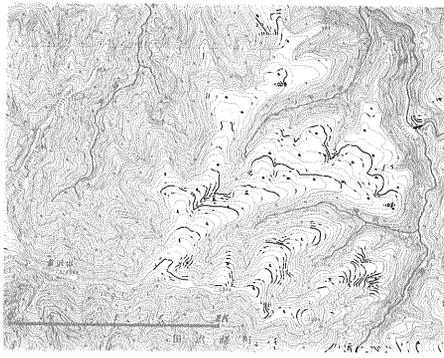
れた若い地形をなす。このドーム状地形をとり巻いて流れる半環状の沢に沿っては火砕流堆積物が非常に深く比高数 100m以上下刻されている。しかし稜線沿いには部分的にはほぼ平坦な火砕流のスラブがついているのが観察でき 火砕流の最上部層が水平に覆ったことを物語っている。こうした大規模火砕流堆積物の安息角は非常に小さく 1~2 度程度とされているが 環状地域の北側にはこれより急な傾斜をもつ溶結凝灰岩のスラブが地形から読みとれる。第17 18図はこの部分を示す立体空中写真と地形図である。原地形を保存したこのスラブの表面は約7度北に向って傾斜している。このことは環状地形域内を中心に相対的な上昇運動が生じた可能性を示すものであり こうした火山性陥没域内における隆起運動は 再生コールドロン(SMITH and BAILEY, 1968)の火山構造図式にあてはまる可能性があり 以下の調査指針をその検証において立てることが設定される

4.3. 調査結果

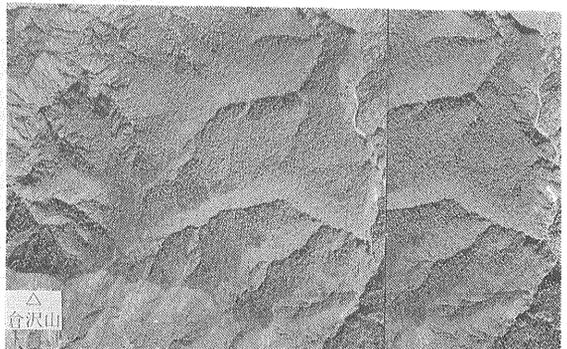
地熱貯溜構造の理解を念頭においた調査-ここでは地表地質調査に限定する-の中心テーマは環状地形構造を地質構造の観点からその関連づけを明らかにすることだろう。それには一つには堆積物の塑性的変形を明らかにするための層序調査と二つにはぜい性的変形を明らかにするための断裂調査があげられる。

層序構造：酸性火砕流の層序は サンシャイン計画の広域熱構造調査の一環として調査が進められている(工業技術院 1977 1978)。また さらに詳細な調査が同じく同計画の検証調査として今後進められることが計画されている。ここでは第19図にまとめられたように環状地形構造との関係において明らかにされたことだけに限定して述べる

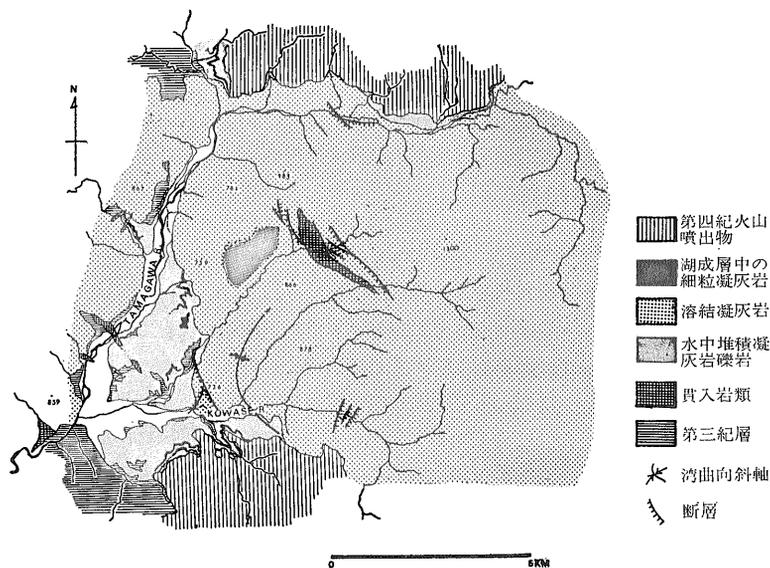
環状地形構造の主体をなす流系パターンはいずれも厚い酸性火砕流堆積物である「玉川溶結凝灰岩」中に刻ま



第17図 倉沢山の東北部に広がる溶結凝灰岩スラブからなる地形面地形図は国土地理院発行2.5万分の1「八幡平」および「曲崎山」による



第18図 倉沢山の東北部に広がる溶結凝灰岩地形面の立体写真



第19図 環状地形域内を構成する地質略図

れたものといつてよいが その内側の流系パターンの一部は明らかに層序構造の支配を受けたものである。一般に「玉川溶結凝灰岩」中の層序構造を知ることはそれが塊状で無層理なためにむづかしいが 部分的には板状に発達した節理によって詳細に知ることができる。この節理が堆積面に平行に発達したものであることは層理面のみられる部分との比較からそれが言える。

板状節理面は系統的に約20度前後の傾斜面をもっており それを詳細にたどると流系パターンと非常に調和的な湾曲した向斜褶曲軸が浮きぼりにされてくる。この板状節理面は何らかの原因による急冷効果によって形成されたものと思われるが 向斜軸によって示される層序



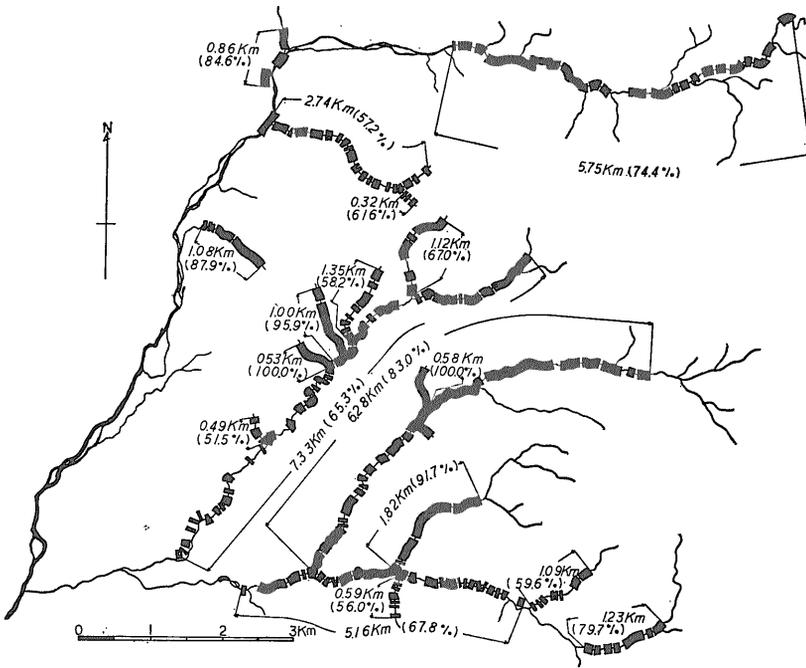
第20図 塊状の玉川溶結凝灰岩とその中にみられる断層
沢底には このような凝灰岩の露頭が連続的に発達する

構造は火砕流堆積後の変形を示すものと考えてよいだろう。この結果からは火砕流が堆積して板状節理ができた後 この地域の隆起 または沈降による変形を受けたことが示唆される(第19図参照)。

断層構造：火砕流がこの地域一帯に広く厚く堆積し 溶結 固結化が進んだ後 はげしい火山構造運動が発生したならば その活動はぜい性的な断裂変形として火砕流の中に刻みこまれるに違いない。実際に有珠火山が1977年夏に爆発して 以後火山構造運動が進行した際にまだ固結していない火山灰層の中に無数の断層が発達するのが多くの人々によって認められている。

この玉川地域はきわめて急しゅんな地形をしているが 第20図に例示したように そこを流れる沢沿いには連続して火砕流の露頭がみられ沢沿いに断層を測定していくのは都合がよい しかし調査のため現地を訪れてみてまず感じたことは この環状地形構造の発達する域内では割れ目が余り発達していないことである。このことは画像からも推定され 断層強調のためのエッジ強調技法などを用いても断層と思われる情報はあまりとらえられない。話が前後したが 野外調査では露頭にみられる系統的な断層はすべて測定することにした。くり返して述べてきたように「玉川溶結凝灰岩」と呼ばれるこの地域の火砕流は塊状なために 断層解析で一般に行われる小断層解析法は適用できない。そこで系統的な断層として60度以上の高角で露頭を切り兩岸の崖面に視界が及ぶかぎり直線的に発達する割れ目あるいは石英脈などを測定したものである。第21図に測定路に沿っての露頭の連続状態を示すが 測定調査路線中の露頭出現率は平均70%以上と高く 小沢の中には沢の入口から上流の露頭が切れるところまで100%の露頭がみられるところもある。

さて測定結果であるが 断層測定数は測定延長 39kmにつき 500本に満たない。この中で断層どうしが互いに切り合っているのが観察されたのはたかだか4例にすぎない。断層はその多くが面の固結したもの あるいは固結面が後に開いたものである。もつとも関心が集まるのは半環状に流れる沢に沿ってこれと調和的な断層系あるいは脈岩類があるかどうかという点であるが こ



第21図
断 裂 測 定 を 行 っ た
沢 沿 い ル ー ト 毎 の 露 頭 出 現 率

の点については測定結果は否定的である。半環状～弧状の沢の発達には再生カルデラの模式図にみられるようなあるいは尖頭状マグマの地下浅所への貫入に伴って生じる (KOIDE and BHATTACHARJI, 1975) ような典型的な環状の断層を反映しているものではないように見える。ついで注目されるのはもしそのような構造運動があったと仮定した場合に推定される放射状断層の発達であるがこの点については調査時にどうもそれらしい断層が発達しているような印象を受けたので測定結果を画像データに基づいて定められる環状地形構造の中心点から30度ごとのセクターに分割し各セクターについてまとめてみることにした。第22図はそれをローズダイアグラムで示したもので各セクターで平均分布より多い断層系の方向のみが示されている。この図からも判るように環状地形構造が発達する火砕流堆積物域で普遍的に発達する断層系は東西性のものであることが明らかとなった。これはむしろ予想外の結果であった。あるいはこうした断層系は広域的応力場から説明できるものかも知れないがここではふれない。さて放射状断層系であるが30度毎のセクターで断層系をまとめてみると明らかにセクター毎に放射状に変角する断層系サブピークが認められる。残念ながら乾燥大陸地域の好例に示されるように断層のトレースの全容をとらえることはわが国の場合困難でありここ八幡平地域のように好露出に恵まれているところでもそれはできないが火山性変形

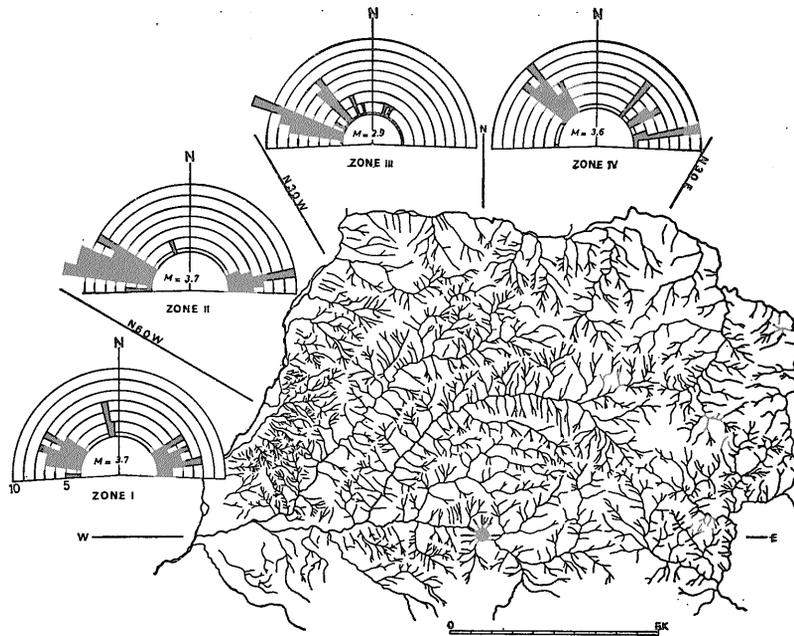
を裏付ける傍証にはなるだろう。

4. 4. 環状地形構造の評価

これまで八幡平地域において Landsat 画像データから識別される環状地形々態の実態と地表調査結果から得られた事実についてやられた的に述べてきたが環状地形構造の評価という観点からこれまでの調査結果を大胆にまとめてみると大よそ次のようなイメージが与えられる。

八幡平地域に発達する環状地形構造は「玉川溶結凝灰岩」中に発達するもので少くとも後期の噴出物である倉沢山溶結凝灰岩 (安藤他 1979 土井他 1979) が変位していることから更新世に入ってから火山構造的変動が生じたといえる。変動による変形が環状地形の特徴を与えるのに寄与したものと考えられ湾曲褶曲軸や環状地形の中心から放射状に変角する断層系の存在はこの変動が火山性隆起変動であると推定して矛盾しない。

この火山性変形構造運動がいわゆるパイアス型の図式にあてはまるかどうかはまだ不明というべきだろう。地熱資源という観点からみると地表徴候は環状流系の外側玉川沿いに温泉の自然湧出が顕著である以外環状地形の内域にはわずかに玉川の支流小和瀬川沿いに約30°Cの温泉の湧出がみられるのみである。しかしこのことは本地域が熱的に不活発な地域であることを意味するものではなからう。厚くかつ断層の発達頻度が低い



第22図
環状地形構造域内の玉川溶結凝灰岩に発達する断裂系図中黒点に仮想中心を考へ30度毎のセクターで断裂の発達状態をまてみた。全体に東西性断裂が卓越するサブピークの中で放射状に変角する断裂系の存在が推定される

「玉川溶結凝灰岩」が地表熱徴候のマスク層として作用していることは十分に考えられるのである。前述したようにこの地域は本年度以降試錐調査を主体とする検証調査が進められることになった。その結果に大きな期待がこめられる。

5. 中国地方西部

中国地方は白亜紀から古第三紀にかけて日本列島の地質時代を通じても空前の激しい珪長質火成活動の場であった。このうち領家帯より北側の地帯はパソリス状花崗岩体と共に大量の火山岩層が分布しその活動は一群の火山岩層とそれを貫く一群の深成岩体の対を活動の単位として何サイクルか繰り返す典型的な火山-深成活動として規定される。また火山岩層の多くは溶結凝灰岩を主とする火砕流堆積物から成る事実が明らかにされている(村上 1974)。これらはきわめて多量で削剝レベルも様々であるため噴出源は古第三紀の田万川コールドロン(村上 1973)などごく一部の例を除いて不明である。しかし当時の大規模な火山活動域が長い地質時代を経て様々な削剝レベルにあるという状況は火山・地熱現象の深部像を探る立場から非常に有用なものでありこれらを系統的にみることによって現世の火山・地熱現象を新たにみなおすというアプローチの仕方考えられよう。

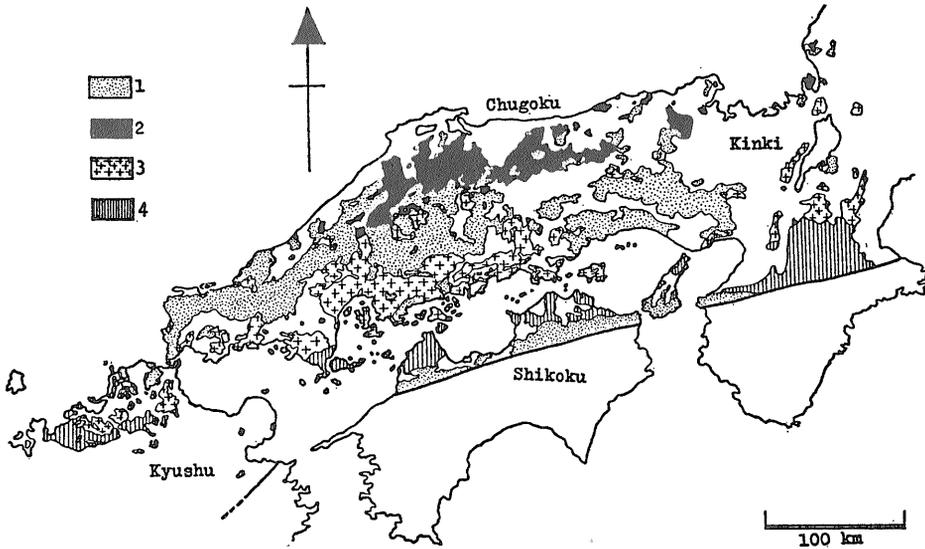
5.1. 地質概要

中国地方の白亜紀から古第三紀にかけての珪長質火成

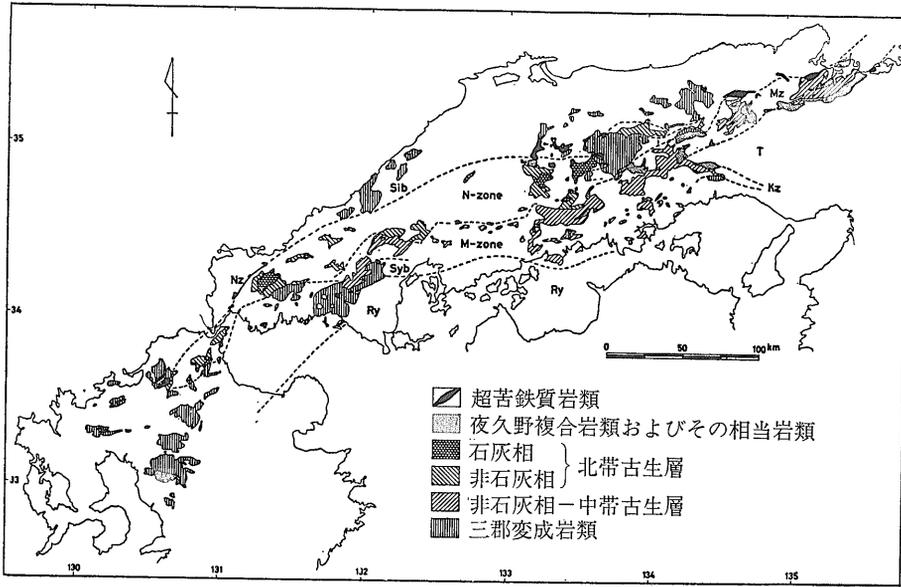
活動に関連する地質構成員の地質編集図を第23図にその基盤となる古生界のものを第24図に示す。三郡—中国帯(西村ら 1977)の古生界構成岩類は大局的にE-WないしENE-WNW方向に帯状配列し中国地方西部ではこの配列がとくに明瞭である。すなわち北から三郡変成帯山陰支脈 弱変成古生層 三郡変成帯山陽支脈の3帯でありその南に領家帯が接する。中央の弱変成古生層の下位には三郡変成岩類が広く潜在し古生界は全体として復向斜を成しているといなされる。そして弱変成古生層の分布は九州北部で収束するためこの復向斜の軸は東にプランジすると考えられる(濡木 1969; 西村ら 1977)。これら古生界の帯状配列は山口県西部でNE-SW性の長門構造帯により切断され山口県下ではこれより西方に古生界は露出しない(MATSUMOTO, 1949)。長門構造帯東縁には三疊系美称層群が西縁にはジュラ系豊浦層群や豊西層群などが分布する。

白亜系は下位より安山岩～石英安山岩質火砕岩を主とする関門層群 安山岩～流紋岩質火砕岩を主とする周南～吉舎層群 流紋岩質火砕岩を主とする阿武—高田層群に代表される多量の火山岩層から成る。このうち関門層群のみが水底堆積相を主とするが他は溶結凝灰岩を多量に含む陸上堆積相を主とする。深成岩類の一部にはこれら火山岩層と同時期のものも存在するがパソリスを形成するいわゆる広島型花崗岩類は全てこれら火山岩層を貫くものである(村上 1974)。

古第三紀についても白亜紀とほぼ同様の火山岩層とそれを貫く深成岩類の活動が知られているが深成岩類



第23図
 西南日本内帯における白亜紀～古第三紀の火山深成岩類の分布
 1：後期中生代～古第三紀 堆積岩火山岩層
 2：山陰帯
 3：広島帯
 4：領家帯 村上(1974)による



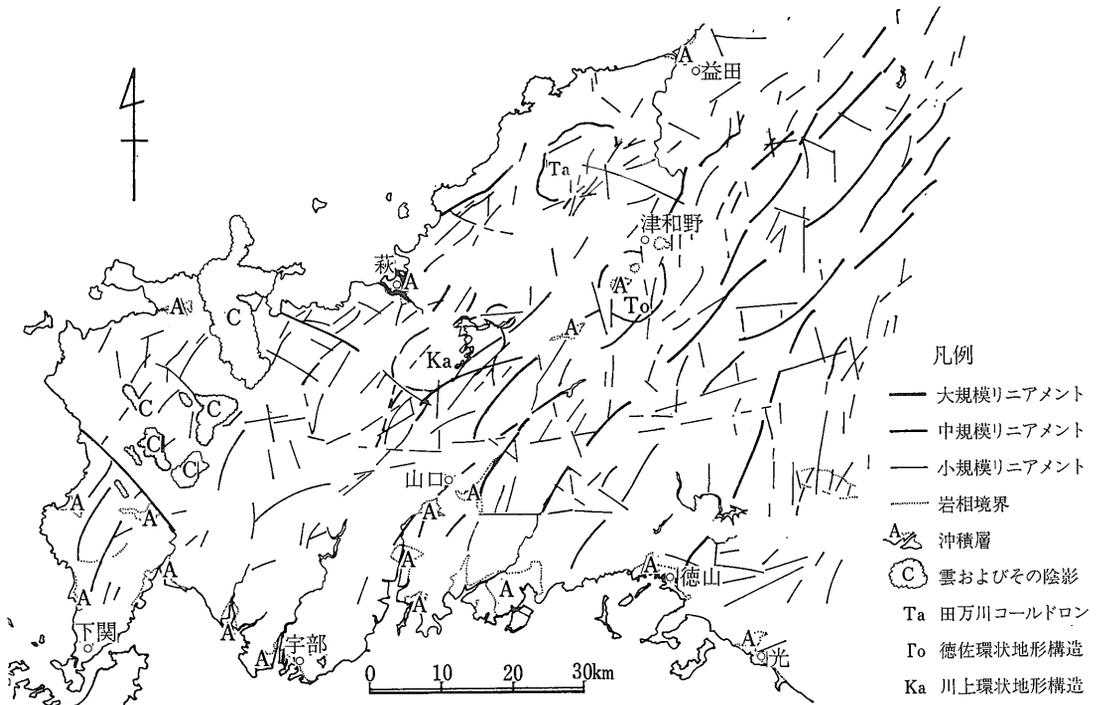
第24図
 三郡—中国帯の古生界構成岩類の分布
 Sib: 三郡変成帯山陰支脈
 Syb: 三郡変成帯山陽支脈
 N-Zone: 北帯
 M-Zone: 中帯
 Ry: 領家帯
 Mz: 舞鶴帯
 Kz: 上郡帯
 T: 丹波帯
 Nz: 長門構造帯
 西村ら(1977)による

は白亜紀のものに比してより浅成の岩石学的特徴をもっている(村上 1974)。

5. 2. Landsat 画像の解析

口絵写真に中国地方西部の Landsat 画像を 第25図にその解析結果を示す。本地域の画像で最も特徴的な地形構造要素は NE-SW 性リニアメントである。これらは構造谷として主要な河川系を支配し 連続性の良いものは 8 km 程度の間隔で平行配列する。既存の地質資料(例えば第26図)と比較しつつ やや詳細に画像を検討するならば これらリニアメントが広島型花崗岩類よ

り古い地質構成員分布域では顕著であるが これより新しい地質構成員分布域では稀れにしか認められないことが明らかである。これらは 中国地方に発達する白亜紀の NE-SW 性断層系を表わすものであろう。これらのリニアメントで注目される点は 一般に N45°E 前後のものが卓越するが 山口県中部から西部に向かって次第に N20°E 前後に移化する点である。事実これらは山口県中部から西部で NW 方向に凸の湾曲を示すことが多い。本画像では雲のため判読不能であるが 同じ傾向はより古い起源をもつとされる長門構造帯にも認められる(村上 西村 1979)。



第25図 中国地方西部のLandsat画像解析図

N—S 性のもは連続性が悪いが頻度は高く とくに益田付近から徳山-光付近にかけて顕著である。しかし 領家帯に入ると不明瞭となる特徴がある。

この他の比較的新しいリニアメントとして E—W 性 NW—SE 性のもがあり とくに後者の南東延長は植生から小野田の本山岬にかけての海岸線および徳山から光にかけての海岸線を規制している可能性がある。

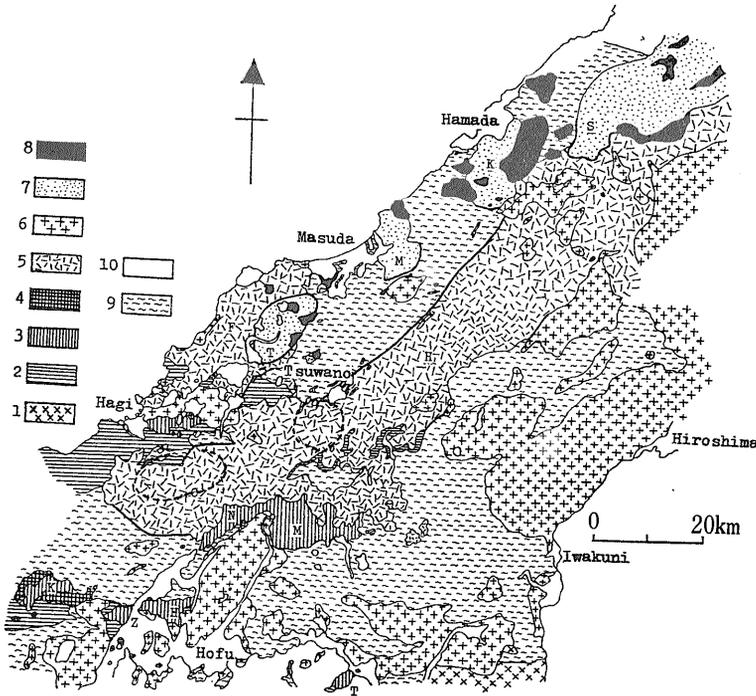
本地域で注目されるもう一つの地形構造要素は環状地形構造である。本地域の画像からは 少なくとも3つの環状地形構造が判読される(第25図)。このうちの1つは 村上(1973)によってすでに詳細に研究されている古第三紀の田万川たまかわコールドロンである。他の2つは徳佐盆地を囲むように分布する直径約10kmでほぼ円形の徳佐環状地形構造と 川上付近に分布する16×8kmの長楕円形の川上環状地形構造である。

これら2つの環状地形構造で特徴的な点は その輪郭が NE—SW 性リニアメントと同程度に鮮鋭な環状の地形的切れ込みによって識別され環状の山稜とその内側の低平坦地といったカルデラ原地形に類する地形々態を伴わないことである。また この環状の地形的切れ込みの一部は NE—SW 性リニアメント自体が構成している。図26は 両環状地形構造を地質図中に示したものであるが 両者はほぼ白亜系の阿武—高田層群の分布域に存在

する。そして いずれの場合も 環状地形構造の周辺に関門層群や古生界構成岩類等 相対的に古期の地質構成員が分布している。また 川上環状地形構造については さらに興味あることに村上(1974)によって盆状ないし階段状の陥没構造が推定されている15×40kmの長門ちやうもん峡岩体の内側に存在し その輪郭が阿武層群上部層である江舟累層の分布とよく一致している(第27図)。

5. 3. 環状地形構造の意義

2つの環状地形構造が 広範な分布をもつ中国地方西部の白亜系の中で とくに流紋岩質火砕流で特徴づけられる阿武—高田層群分布域に見出される事実は偶然ではないであろう。これらの環状の地形的切れ込みは N E—SW 性リニアメントと同程度に鮮鋭であり その一部が NE—SW 性リニアメント自体で構成されている。従って 環状割れ目の反映とみてよいであろう。一方 両環状地形構造の周辺にはより古期の岩石が分布している。川上環状地形構造の場合 環状地形の北部内縁にも古生界構成岩類および関門層群が分布している(第27図参照)。これらと江舟累層との関係は 東側では明瞭な断層関係にあり 西側でも両者間に珪長質岩脈がしばしば貫入することから 断層関係が推定される(通産省1973)。このことは Landsat 画像から推定された環状割れ目より内側にも 断層系が存在することを示唆す



第26図
中国地方西部の地質図と2つの環状地形構造 2つの環状地形構造のおよその輪郭を太い破線で示す
1: 傾家花崗岩類
2: 関門層群
3: 周南層群 (K: 吉部岩体 Z: 禪定寺山岩体 H: 平野岩体 T: 大華山岩体 N: 仁保岩体 M: 三谷岩体)
4: 周南層群に伴う深成岩類
5: 阿武層群および匹見層群 (C: 長門峽岩体 F: 福賀岩体 Y: 吉賀岩体 H: 匹見岩体)
6: 広島花崗岩類
7: 田万川層群 (T: 田万川岩体 M: 益田岩体 K: 雲城岩体 S: 桜江岩体)
8: 田万川層群に伴う深成岩類
9: 古生層および三郡変成岩類
10: 第四系太い実線: 火山岩周縁の構造線
地質図は村上(1974)による

るが いずれにせよ江舟累層の側が陥没したことを物語っている。

これらのことから 両環状地形構造は環状割れ目によってピストン・シリンダー状に陥没した白亜紀の陥没カルデラである可能性が高い。それは削剝によって顕在化された環状割れ目の存在からも 阿武—高田層群が流紋岩質火砕流を主とする事実からも パイアス型カルデラに相当するものであろう。

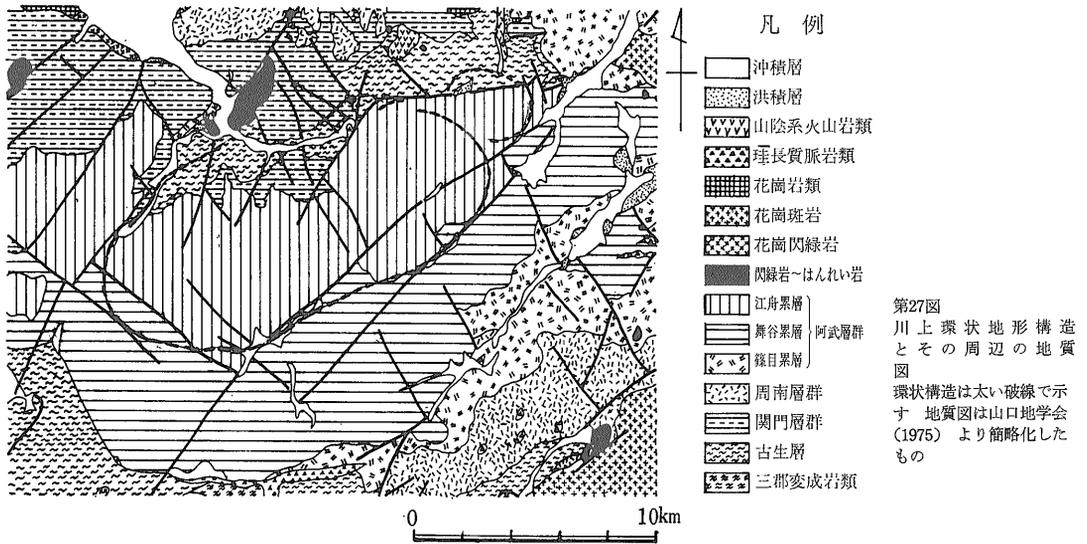
この推定は白亜紀の火山—深成活動に1つの示唆を与えるものと言えよう。2節で述べたように パイアス型カルデラの直下にはバソリス規模のマグマ溜りの存在が推定される。これは両環状地形構造がさらに削剝されたとき 環状地形構造に比較される規模の花崗岩体が露出することを要請する。逆接的に言えば 広島型花崗岩とされるものの中には この種の花崗岩体がありうるのではないだろうか。

ここで 中国地方の地体構造を見直すならば ENE—WSW 方向に延びる厚い白亜系火山岩層の分布する中軸帯の存在を認めることができる(第23図 第26図参照)。しかも 白亜系火山岩層の分布は 大局的に古生界の帯状構造の中で弱変成古生層の分布域に一致している(第24図)。それは白亜系火山岩層が 弱変成古生層と同様に九州北部で収束する点にとくに明瞭である。これら

の事実は 白亜系火山岩層も古生界にみられる複向斜の形成運動に参加したこと その結果 相対的に隆起した中軸帯の南縁がより削剝され 深成岩体を広範に露出する地帯となったことなどを示している。

このような地体構造からみると 2つの環状地形構造は最も削剝レベルの小さい複向斜軸付近に配列していると言えよう。この意味で 複向斜軸のプランジの方向とは逆の延長線上で やや削剝レベルの大きいと思われる位置にある山口県西端 豊浦町の小串花崗岩体(第28図)はパイアス型カルデラ下部のマグマ溜りに相当する部分が露出した例とみなせないであろうか。その形状が楕円状で周辺を閃緑岩ないしはんれい岩が取り巻く産状は パイアス型カルデラにおける苦鉄質火山活動が典型的には珪長質火山活動の中心を衛星状に取り巻いて起こることが多いという事実(EICHELBERGER & GOOLEY, 1977)に調和的な深部像と言えよう。

これらの推定は今後充分な検討を要するが いずれにせよ中国地方西部における白亜紀—古第三紀の火山—深成活動として 地表ではパイアス型カルデラが 地下ではその源泉としてのバソリス規模のマグマ溜りが存在するという図式が推定される。



6. 朝鮮半島南東部

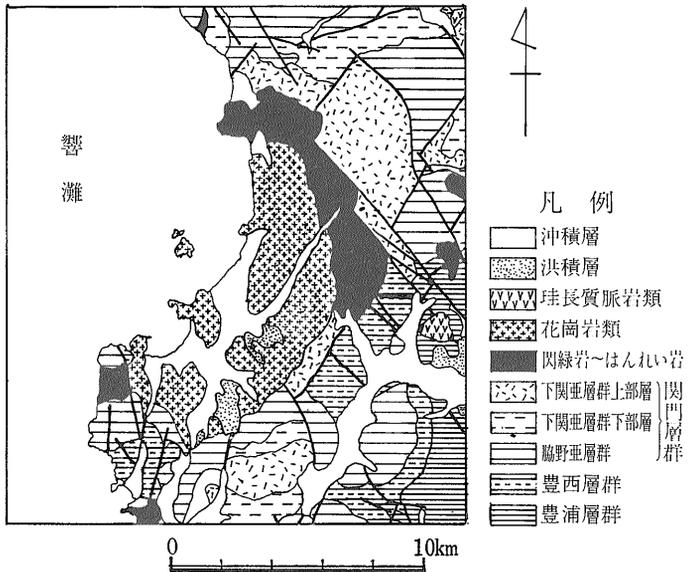
最近では 西南日本内帯と朝鮮半島南東部の地質の類似性が注目され 白亜紀以前には両地域が接合または接近していたという観点に立つ地史の複元がしばしばなされている (市川 1972; UYEDA & MIYASHIRO, 1974; OTSUKI & EHIRO, 1978). その際 両地域における白亜紀の珪長質火成活動の類似性が論拠の一つとなっている. この点から 5節で示された中国地方西部の環状地形構造とそれから推定された火山-深成活動の様式が 朝鮮半島南東部においても認められるか否か非常に興味のある所であろう. この意味で 朝鮮半島南東部 慶尚類似した環盆地の Landsat 画像に中国地方西部のものと同様な地形構造が認められる事実は注目に値する.

6.1. 地質概要

以下に 主として李 (1979) にもとづいて 朝鮮半島南東部の地質を概観しよう. 第29図に朝鮮半島の地質区の概要を 第30図に同地域の地質編集図を示す. それらに明らかのように 朝鮮半島南東部においては北北東-南南西の構造方向が支配的であり 白亜紀の火山-深成活動の中心域を成す慶尚盆地は同方向に伸長して南半島の東部に広がる. 慶尚盆地西縁の小白山陸塊の先カンブリア時代の基盤累層の分布もまた 北北東-南南西に長軸をもつ. 慶尚盆地は同方向上で 盆状構造の中心を成す北の英陽盆地や南の密陽

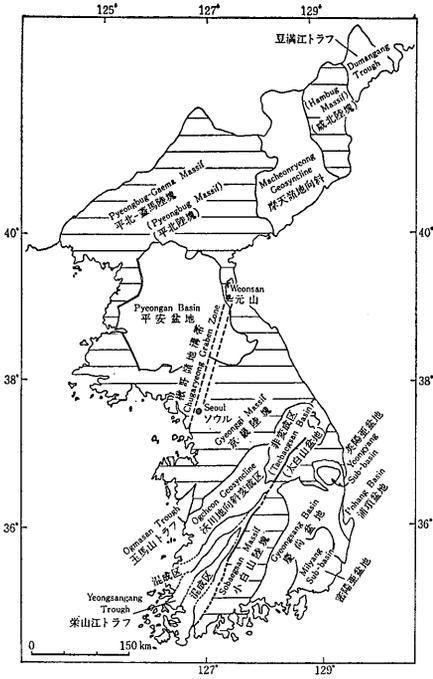
盆地等の亜盆地に細分される.

慶尚盆地には 火山噴出物を多量に含む白亜系慶尚累層群が広く分布する. その下部を占める洛東層群は非火山性の碎屑岩に卓越し 上部の新羅層群は安山岩ないし流紋岩質の火砕流堆積物や溶岩に卓越する. なお慶尚累層群の層序区分については Reedman & Um (1975) のように いくつ異なる取り扱いもある. 第30図で無記名の白亜紀中・後期火山岩とされるものは 新羅層群の上位にくるもので分布からすれば Reedman & Um (1975) において慶尚累層群最上部の珪長質火山岩で特徴づけられる Yuchon 層群とされるものにほぼ等しい.

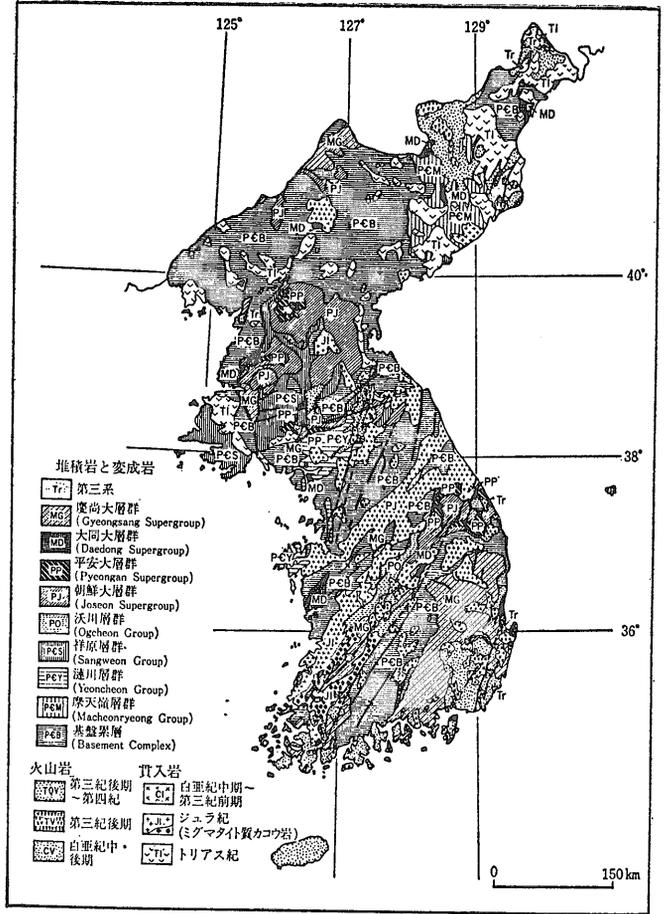


第28図 小串花崗岩体の地質図

下関の北方約25kmの付近に分布する
地質図は山口地学会(1975)による



第29図 朝鮮半島の地質区概要
李 (1979) による



第30図
コリア半島の地質略図 PC
是先カンブリアの意李 (1979)
による

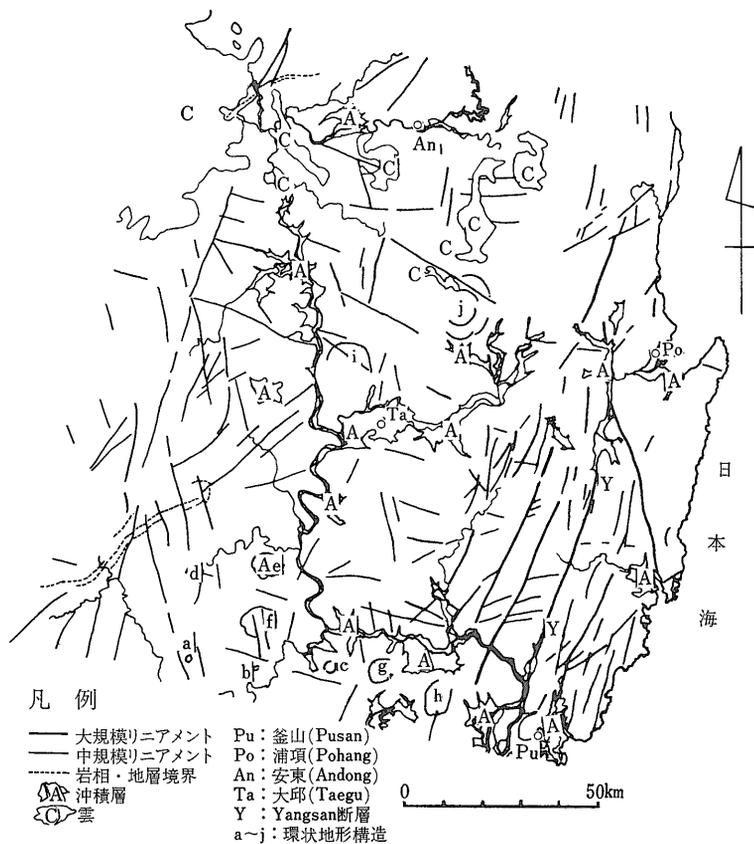
6. 2. Landsat 画像の解析

口絵写真に朝鮮半島南東部の Landsat 画像を 第31図
にその解析結果を示す。ただし 本画像については
1/100 万程度のサイズのプリントしか準備できなかった
ため 地形構造要素の抽出は明瞭なものに限定した。

リニアメントは 連続性がよく明らかに断層系の反映
とみられる NNE—SSW 性のものと WNW—ESE 性
のものが顕著である。両者がほぼ直交するため 大陸
地域に一般的な等辺状地塊の形成を暗示している。前
者は走向移動断層であり この中には 100km も追跡さ
れることが知られている Yangsan 断層も含まれる。
Yangsan 断層は右横ずれ 東盤落ちのセンスをもち
(REEDMAN & UM, 1975) 古第三紀に形成されたいし
(OTSUKI & EHIRO, 1977)。また 他の NNE—SSW 性
リニアメントも同様の性格をもつ断層系と推定されこ

のうち連続性のよいものについては卓越間隔が Yan-
gsan 断層付近で約8 km であり この点では中国地方の
NE—SW 性断層系とよく似ている。この他 NNW—
SSE 性のもも少なくなく NE—SW 性のももある
程度認められる。一方 解析域の南西から北西にかけ
ての小白山陸塊においては 先カンブリア時代の基盤累
層やジュラ紀のミグマタイト質花崗岩類が分布し 前者
の地層境界や前者と後者との岩相境界のあるものが
きわめて鮮鋭な NE—SW 性の線構造を成している。こ
れらを断層系の反映としてのリニアメントと区別するこ
とは一般に非常に困難だが かなり狭い間隔で数本の線
構造が平行し それらが平行性を保ったままで湾曲して
いる場合には地層境界と判断できよう。

環状ないし半環状地形構造は多数認められ 第31図に
示すように a—j まで10個は認められる。これらの全
ての成因を一律に考えることはできないが いずれも軟



第31図 朝鮮半島南東部の Landsat 画像解析図

弱な地層分布域に硬質岩石が存在することによる差別侵食の過程を反映する点で共通している。例えば韓国国立地質鉱物研究所発行の25万分の1地質図(1973)によれば a 環状地形構造は小規模な花崗岩体露出域に相当する。従って花崗岩体自身はむしろ風化により凹地を形成したがそのホルンフェルス化した壁岩が環状の山稜として残ったものであろう。同様に d 環状地形構造は時代未詳の閃長岩体露出域に当たっており(Reedman & Um, 1975) この岩体の形状がそのまま環状の山稜として残ったものであろう。このようにこれら環状地形構造のうちのいくつかは火砕流の分布しない地域にあつて単に深成岩体の存在を反映するにすぎないようにみえる。しかし Yuchon 層群の分布域をとり巻いて新羅層群分布域に存在する大半のものは仏国寺花崗岩体や珪長質岩脈を密接に伴い環状複合岩体を成しているようにみえる。その端的な例は j で示される花城洞環状地形構造である。

Landsat 画像上では同心楕円状の2重の山稜が識別されそれぞれ18×14km 9×7kmの規模をもつ。第

32図に示されるように本環状地形構造はWNW—ESE方向の断層により2つの削剝レベルを露出している。南側の部分については2重の山稜の外環状は珪長質斑岩を内環状は花崗岩を反映していることが明らかである。また北側の部分については環状地形構造の中心付近に珪長質斑岩が小円状に露出していること環状地形構造縁部に閃緑岩ないしは緑泥岩が露出していることがわかる。そして本環状地形構造の内側を占める地層は新羅層群や Yuchon 層群である。

6.3. 環状地形構造の意義

以上の環状地形構造の中には5節で推定されたものと同様に削剝されたバイアス型カルデラが含まれるであろう。とくに花城洞環状地形構造はバイアス型カルデラの下部構造を示すものとして教科書的な例と言っても過言ではない。即ち外環状を成す珪

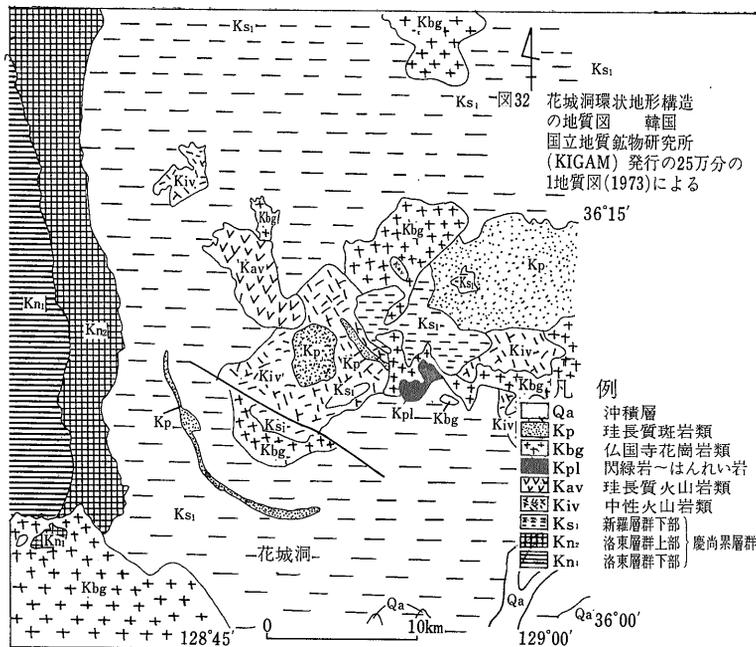
長質斑岩の岩脈は環状割れ目に貫入したものであり内環状を成す花崗岩は環状に配列する後カルデラ丘の下部を表わすものであろう。さらに環状地形構造の中心部に露出する珪長質斑岩は再生ドームの下部におけるマグマ溜りの頂部を示すものであろう。これらの構成要素は例えばロングバレーカルデラについて描いた断面モデル(第4図)ときわめてよく対応している。

この事実はいくつもの環状地形構造が認められる点と合わせて朝鮮半島南東部の白亜紀火山—深成活動についても中国地方西部と同様の様式が重要な役割を果たしたことを示すものであろう。

7. まとめ

以上 Landsat 画像により識別され陥没カルデラに由来すると思われるいくつかの環状地形構造について述べた。これらの所在は衛星画像データを用いることによってきわめて広域にわたり効率的に探査可能であり発見的要素を伴う面が少なくない。

ここで取り挙げた未知の陥没カルデラと推定されるものは多かれ少なかれ開析・削剝が進んでいる。それらがいずれもバイアス型カルデラの特徴を暗示する事



第32図 花城洞環状地形構造の地質図
 韓国国立地質鉱物研究所 (KIGAM) 発行の25万分の1地質図(1973)による

のが含まれる可能性を示すものである。言い換えると地殻浅所における膨大な珪長質マグマの存在——とくにそのダイアピル状の上昇部分——が地表に火山・構造上の影響を与えないはずがなくこのような影響の端的な現われがバイアス型カルデラであるとみることができる。

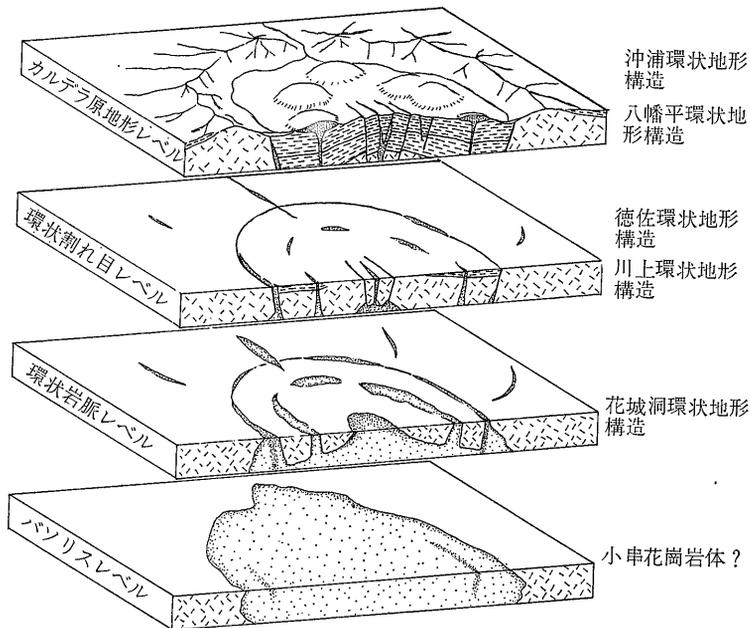
バイアス型カルデラの深部像として環状複合岩体の重要性はすでに Smith & Bailey (1968) において強調されている。その深部像がここに述べたようにより広範な分布をもつ白亜紀～古第三紀のバソリス状花崗岩体にまで拡張されるならばバイアス型カルデラの時空分布もまたきわめて広範と言わねばならない。そしてそれは Smith & Bailey (1968)

実はすでに2節で述べた陥没カルデラの下部構造モデルの妥当性を示すものであろう。

荒牧(1939)は日本に数万年より以前のクレーターレーク型カルデラが稀れである理由をその構造上の根が小さいことによつて説明した。一方ここでバイアス型カルデラと推定したものは約1億年前のものさえ含みクレーターレーク型と全く逆の理由からその構造の根が大きいものと考えざるを得ない。

バイアス型カルデラの下部構造モデルからすればこの大きな構造の根の下部にはバソリス規模の珪長質マグマ溜りが存在し古期カルデラについてはそれが固結して深成岩体を形成していると推定される。中国地方西部や朝鮮半島南東部の様々な割削レベルにある環状地形構造の比較はこれを裏づけている。このことはこれらの地域に露出するバソリス状花崗岩体の中にバイアス型カルデラのマグマ溜りに由来するも

が当初考えたように大陸地域に限定されるものではなく



- 火砕流堆積物
- 珪長質マグマ及びその固結物(緩冷相←→急冷相)
- 先カルデラ基盤岩類(火砕流堆積物等もありうる)

第33図 バイアス型カルデラ下部構造の模式的ブロック・ダイアグラムと本文中各例の割削レベル

カルク・アルカリ火山岩の活動段階に達した成熟度の高い島孤 (MIYASHIRO 1974) においても一般的な火山活動様式と言えよう。

この観点から 東北地方の環状地形構造を見直すならば 沖浦や八幡平環状地形構造の地下には その地表規模に匹敵する大きな珪長質マグマ溜りないしその固結物が潜在すると推定される。その形成時代が鮮新世～更新世初期と熱源として 若干古いという制約はあるものの 地熱開発上非常に有望であると考えられる。ほぼ同時期の陥没カルデラは塊首地域にも知られており これもバイアス型カルデラの特徴を示す (YAMADA, 1972; 小野1974)。これら3つがほぼ等間隔で 南北帯状に配列しそれぞれより新期の火山群 八甲田山 八幡平 栗駒山に対して同じような 位置関係を示す点も注目されよう。

第33図は本文の論点を集約的に示す模式図であり バイアス型カルデラの下部構造と同時に 本文中で取り挙げた個々の環状地形構造の推定される削剝レベルが示されている。

なお 本文では地熱探査の観点から熱源の問題を主に強調したが バイアス型カルデラのルースなカルデラ充てん物質とその構造は地熱流体の貯留層としても格好のものであり この点でも好条件がそろっていることを付記したい。

参 考 文 献

安藤重幸他 3名 (1979) : 八幡平地域玉川溶結凝灰岩類の層序について その1 秋田県玉川上流地域 日本地質学会86年大会 演旨
 荒牧重雄 (1969) : カルデラ学説に関するいくつかの問題 火山第2集 第14巻 pp. 55-76.
 ——— (1979) : カルデラ 岩波講座地球科学7「火山」, pp. 184-192. 岩波書店.
 BAILEY, R. A., DALRYMPLE, G. B., and LANPHERE, M. A. (1976): Volcanism, structure, and geochronology of Long Valley caldera, Mono County, California, J. Geophys. Res., vol. 81, pp. 725-744.
 土井宣夫他 2名 (1979) : 八幡平地域玉川溶結凝灰岩類の層序について その2 岩手県葛根田川上流域 日本地質学会86年大会 演旨
 EATON, G. P. et al. (1975): Magma beneath Yellowstone National Park, Science, vol. 188, pp. 787-796.
 EICHELBERGER and GOOLEY (1977): Evolution of silicic magma chambers and their relationship to basaltic volcanism, Geophysical monograph 20 "The Earth's Crust", American Geophysical Union, pp. 57-77.
 長谷紘和 (1978) : 地熱探査とリモートセンシング 地熱エネルギー No. 8, pp. 7-16

市川浩一郎 (1972) : 日本海城の復元によせて 科学 第42巻 pp. 630-633.
 石井武政 長谷紘和 (1978) : 十和田湖北西方にみられる環状地形と地質・構造について 日本地質学会85年大会 演旨.
 KANE, M. F., MARBEY, D. R., and BRACE, R. L. (1976): A gravity and magnetic investigation of the Long Valley caldera, Mono County, California, J. Geophys. Res., vol. 81, pp. 754-762.
 韓国国立地質鉱物研究所 (1973) : 25万分の1地質図幅 「Jeonju」 「Andong」
 河野義礼 上村不二雄 (1964) : 5万分の1地質図幅 「八幡平」および同説明書 地質調査所
 金属鉱物探鉱促進事業団 (1971) : 北麓北地域等重力線図.
 北村 信 (1963) : グリーンタフ地域における第三紀造構運動 化石 No. 5, pp. 123-137.
 KOIDE, H. and BHATTACHARJI, S. (1975): Formations of fractures around magmatic intrusions and their role in ore localization, Econ. Geology, vol. 70, pp. 781-799.
 小高民夫他 4名 (1970) : 黒石地域の地質について pp. 1-38. 青森県
 KOUDA, R. and KOIDE, H. (1978): Ring structure, resurgent cauldron, and ore deposits in Hokuroku volcanic field, northern Akita, Japan, Mining Geology, vol. 28, pp. 233-244.
 工業技術院 (1977) : 昭和51年度サンシャイン計画委託研究開発成果報告書 (広域熱構造調査法の研究開発).
 工業技術院 (1978) : 昭和52年度サンシャイン計画委託研究開発成果報告書 (広域熱構造調査法の研究開発).
 KUBOTERA, A. and SUMITOMO, N. (1965): A gravity survey on Aso Caldera Kyushu district, Japan (1), Special Cont. Geophys. Inst. Kyoto Univ., No. 5.
 MATSUMOTO, T. (1949): The late Mesozoic geological history in the Nagato Province, southwest Japan, Japan. Four. geol. geogr., vol. 21, p. 235-243.
 MIYASHIRO, A. (1974): Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. Am. Jour. Sci., vol. 274, pp. 321-355.
 村上允英 (1973) : 古第三紀田万川陥没体の形成機構に関する一考察. 地質論集 9号 pp. 93-105
 ——— (1974) : 西南日本内帯における後期中生代～古第三紀酸性火成岩類の進入と構造との関係——とくに西中国を例として 地団研専報 18号 pp.9-31
 村上允英 西村祐二郎 (1979) : 長門構造帯 加納 博教授記念論文集 日本列島の基盤 pp. 153-181.
 西村祐二郎 井上 保 山本博達 (1977) : 三郡帯 とくに層序と変成作用について 秀 敬編「三波川帯」 pp. 257-282, 広大出版研究会.
 瀧木輝一 (1969) : 中国地方における三郡変成岩類と”非変成“古生界”の地質学的関係 地質論集 4号 pp. 23-39.
 小野晃司 (1974) : 陥没カルデラについて 地団研専報 18号 pp. 55-61.
 折本左千夫 安田 正 (1969) : 秋田県玉川上流のいわゆる玉川石英安山岩類について 岩鉱 vol. 61 pp. 194-202.
 大沢 穠 角 清愛 (1957) : 5万分の1地質図幅「森吉山」および同説明書 地質調査所

- OTSUKI, K. and ENIRO, M. (1978): Major strike-slip faults and their bearing on spreading in the Japan Sea. *J. Phys. Earth*, vol. 26, pp. 537-555.
- REEDMAN, A. J. and UM, S. H. (1975): The geology of Korea, Geology and Mineral Institute of Korea
- 李 商萬 (1979) : コリア半島の地質とテクトニクス 岩波講座地球科学16 「世界の地質」 pp. 355-384. 岩波書店
- SMITH, R. L. and BAILEY, R. A. (1968): Resurgent cauldrons. *Studies in volcanology*, Geol. Soc. Amer. Memoir 116, pp. 613-662.
- SMITH, R. L., BAILEY, R. A. and ROSS, C. S. (1970): Geologic Map of the Jemez Mountains, New Mexico. U.S.G.S. Misc. Geol. Invest. Map I-571.
- SMITH, R. L., and SHAW, H. R. (1975): Igneous-related geothermal systems, in White, D.E., and Williams, D. L., eds., *Assesment of geothermal resources of the United States —1975*. U.S.G.S. Circular 726, pp. 58-83.
- 角 清愛 (1979) : 地熱探査における地表地質調査 地熱エネルギー No. 10 pp. 43-62.
- (1979) : 日本の地熱資源評価 地質ニュース No. 295 pp. 1-9.
- 玉生志郎 須藤 茂 (1978) : 八幡平西部の玉川溶結凝灰岩類の層序と年代 地調月報 - vol. 29, pp. 15-25.
- TANIDA, K. (1961): A study on salic effusive rocks, *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, Ser. 3, vol. 7, pp. 47-100.
- 通産省 (1973) : 昭和47年度広域調査報告「益田地域」
- UYEDA, S. and MIYASHIRO, A. (1974): Plate tectonics and the Japanese Islands: a synthesis, *Geol. Soc. America Bull.*, vol. 85, pp. 1159-1170.
- WILLIAMS, H., TURNER, F. J. and GILBERT, C. M. (1954): *Petrography*, W.H.Freeman and Company. 406 p.
- YAMADA, E. (1972): Study on the stratigraphy of Onikobe area, Miyagi Prefecture, Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 23, pp. 217-231.
- 山口地学会 (1975) : 20万分の1 山口県地質図.
- YOKOYAMA, I. (1963): Volcanic calderas and meteorite craters with the special relation to their gravity anomalies. *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ.*, Sec. 7, vol. 2, pp. 37-47.
- and AOTA, M. (1965): Geophysical studies on Sikotu caldera, Hokkaido, *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ.*, Sec. 7, vol. 2, pp. 103-122.
- 横山 泉 (1974) : 火山の内部構造と放出エネルギー 地熱 vol. 11, pp. 47-54.

新刊紹介

「土木地質学」

地質学の応用分野の総称として 応用地質学という用語が用いられている。第二次世界大戦前から戦後初期の頃までは 応用地質学といえば鉱山地質学を意味するものであった。その後は 社会経済条件の変化に伴って 土木地質学がその主流をなすようになっていく。

因みに 日本地質学会会員の卒業年次別職域分布をみると 昭和35年頃から地質調査コンサルタント業界に就職する人が急増し 昭和40年代に入ると毎年40~50人に達するようになっていく。そして 昭和53年にはその総数600人に達し 石油鉱業 (約120人) および鉱業等 (約100人) をはるかに上まわっている。このほかに 日本応用地質学会 日本土木学会 土質工学会等に所属している地質学科の卒業生があることを考えると 土木地質学およびその関連分野で働いている地質技術者は 相当な数にのぼるものと考えられる。

このような背景から 世界的にみて 応用地質学中この分野に関する書籍の出版も著しく増加しつつある。

しかしながら そのあるものは土木技術者のための一般地質学の教科書であり あるいは地質工学 土質力学 (または岩盤力学) を指向するものであって 土木地質学には僅かなページを割いているにすぎない。

本書は この点の解決を意図して書かれ しかも成功しているものということが出来る。

その内容は 第一章の地質調査から 地下探査 地球物理学的方法 岩石の風化 斜面移動および地すべり 掘削および岩盤のワーカビリティ 建材鉱床の調査 建築物および産業構造物の基礎 道路および鉄道 トンネルおよび地下発電所 水力構造物のための土木地質調査 地域計画および環境政策における地質調査の課題まで 14の章からなっている。

本書のもっとも大きな特徴は 実に豊富な具体例が盛り込まれていて 建設サイトの地質条件と土木構造物との関係がよく理解できることである。しかも それが事例の羅列に終ることなく 系統的な記述を伴って 地質学を専攻するものにとって 建設工事上の問題点がよく理解出来るように配列されていることが注目される。

わが国では 社会的に強いニーズがあるにもかかわらず 土木地質学の講座をもつ大学は皆無に等しく また適切な教科書もない。この点 本書は絶好の書であると 多くの人から歓迎されるであろう。

Q. Záruba, V. Mencl 共著

松野久也・山口真一 監訳

(上巻 294ページ 下巻 234ページ)

発行所 株式会社 大明堂 Tel. (03) 291-2374

発行 昭和55年6月28日

価格 上巻 3,300円 下巻 2,700円