



ペロウソフ博士
(読売新聞社提供)

地層はどのように褶曲しているか ～ペロウソフ博士の昇降運動説を中心として～

垣見俊弘・平山次郎

1930年にオーストリアの地質学者ハールマンによって体系づけられ オランダのベンメレンによって発展させられた。これは **昇降運動説** とか **波動説**とかいわれている。この昇降運動説は 最近まではまだ理論づけが未熟で実際の褶曲をすべて説明できるところまではいかず したがって地質家のなかでは支持する人も少なく 構造地質学のなかでは いわば反主流派であった。

ところが 1950年頃から 有名なペロウソフ博士を中心とする おもにソ連の地質家が 昇降運動説を發展させ 実際の地質構造を次々と解明していったことから この説は大いに注目されるようになり 一躍陽のあたる所に浮かび上がってきた。

われわれも これから 主としてペロウソフ博士の「**褶曲のタイプとその起源**」という論文によって 褶曲のでき方と 昇降運動説によるその解釈を調べてみよう。

ペロウソフ博士は ソ連科学アカデミーの会員であり ソ連における地球の物理研究所の創立者で ソ連の構造地質学の指導

収縮説と昇降運動説

なぜ 地層は褶曲しているのか という疑問は 地質学に興味をもちはじめた人が まず抱く疑問であろう。地質学の歴史をみても地質学が科学としてスタートした初期のころから この課題を解く努力が現われている。

ところで **なぜ褶曲するか?** というこの疑問をとくためには その前に **地層がどのように褶曲しているのか?** (褶曲の運動学)を詳しく調べなければならない。その上で

- ① まず第1に 褶曲をおこさせるには どのような力が どれだけの時間かかって働いたのか? (褶曲の力学)
- ② 次に そのような力を働かせた原因は 地球のどのような性質によるのか? (褶曲作用の要因論)

を段階的に解いていくのが すじみちであろう。

初期の地質家たちは 主として褶曲山脈といわれる地域に入って行って この問題と取り組んだ。そうして 19世紀の中頃には ヨーロッパ(エリー・ド・ボーモン 1852年)とアメリカ(デーナ 1847年)では 早くも1つの仮説が編み出された。それは

- ① 地層を褶曲させるのは 横圧力の作用である
- ② 横圧力は 地球が冷えて 表面が収縮するために生ずるという仮説で 一般に**収縮説**といわれている。

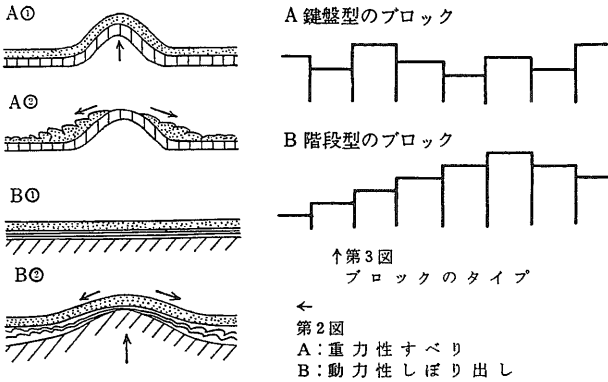
収縮説は 長い間褶曲の要因説の主流を独走し 1920年頃までに 地向斜 造山帯 大陸と海洋など 構造地質学の主要な体系が この説にもとづいて 次々と組み立てられていった。その後 収縮説の根拠に対して いろいろな計算や 新しい地球発生論にもとづいて疑問が投げられ 今では昔のままの収縮説を信奉している人はほとんどいなくなってしまった。

これに代わる仮説としては **大陸移動説** **対流説** **脈動説**などが生まれ また 収縮説そのものも修正されて現在まで生き残っている。これらの説は 地球の全般的な発展については 別々な考えをもってはいるが 褶曲の根本原因として 地殻の水平方向の移動によって生ずる横圧力を考えていることには かわりがない。

一方 これらとは別に 褶曲の原因を 地殻の上下方向の運動によって生ずる応力に求めようという考えが



第11図 九州の日南層群にみられる全般的褶曲の一部分
(地質部 河内洋佑技官撮影)



的立場にある。現在、米ソをはじめ日本も参加して各国でさかに行なわれている国際地球内部開発計画(UMP)の提唱者であり、議長をつとめている。また最近は大洋の発生について従来と全く異なる新説を出したりして活躍しており、1961年には日本を訪れている。なお UMPについては地質ニュース110号に詳しくのっている。

ペロウソフ博士によれば、地層の褶曲は運動学(時間・空間的にどのような位置を占めているか?)的にみて大きく

- ① ブロック褶曲
- ② 注入褶曲
- ③ 全般的(しわよせ)褶曲

の3つに分かれ、おのおのが密接に関連し合っており、それらはまた地殻の昇降運動で統一的に説明できるといふ(昇降運動をおこした要因についても同博士はいろいろ考えているが、ここではふれないことにする)。

昇降運動がどうして水平運動に変わるのか?

地層の褶曲は、たしかに横への移動によって生じた場合が多いのだから、地殻の上下方向の運動がどのようにして水平方向の運動に変わったのかを説明することが昇降運動説にとって一番の問題点であろう。

ペロウソフ博士によれば、地殻の垂直運動によって地層を水平方向に動かすには、2つのメカニズムが考えられる。1つは、地層が昇降運動によってできた高い所から低いところへ、斜面をすべり下る重力的な運動(第2図のA)。もう1つは、昇降運動によって圧

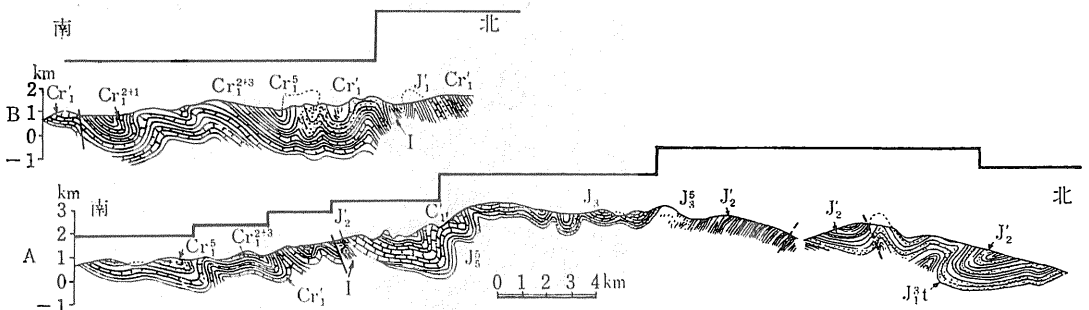
縮をうけた地層が、隆起の頂上部から外側へしぼり出される、動力的な運動(第2図のB)である。

このメカニズムによると、両方とも物質が流れ出した地帯と、それが集まった地帯がみられるはずである。だから、実際に野外調査で、垂直運動が水平運動に転化したことを証明するためには、背斜の軸部で地層の厚さが減少している証拠を見つけ出せばよいことになる。ただ、今までの調査では、このような地域は著しくもめていて、地層の厚さを測りにくい場合が多く、いきおい地質図も不正確になりがちだから、地質家はこのことを意識して、精密な地質断面図をつくっててみなければならぬ。ペロウソフ博士も、アルプスやコーカサスなど多くの地域で調査をし直してみても、はじめてこの証拠が見つかった、と言っている。

褶曲におけるブロック運動の重要性

いろいろの複雑な褶曲ができるのに、いちばん本質的に関係しているのは、昇降運動の際に、地殻が多くの場合、相対的に垂直の変位をもっている別々の断片に分かれることである。このような断片を「ブロック」と呼ぶことにしよう。断片といったからといって、その境は必ずしも切れていなくてもよい。要は、ブロックの内部では相対的に変位の量が少なく、ブロックとブロックの間では、それが飛躍的に変わる、ということを強調しているわけである。ブロックの組み合わせさせた形としては、ピアノの鍵盤状のもの(第3図のA)や、階段状のもの(第3図のB)が認められる。

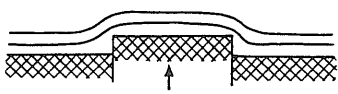
第4図は、褶曲構造に階段型のブロックが現われている例で、この地域の複雑な褶曲もブロックで整理してみると、おのおのブロックの表面はほぼ同じ時代の地層からなり、ブロックが違うと時代がぐっと違ってくるのがわかる。ブロックが褶曲のでき方にどのように影響するかは、あとのいろいろな所で出てくるが、いちばん大切なのは、ブロックの境のところで、両ブロックにおける力学的な条件が急に変わることで、これが昇降運動によって物質の横の方への移動を促進したり、さまたげたり、またその仕方をいっそう複雑にするのである。



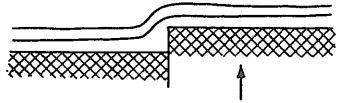
第4図 大コーカサス山脈南東部(ノウカ地域)の南斜面の地質断面図 全般的な曲の例(ペロウソフの論文から)

断面図の上の屈折線は地域ブロックの位置を表わす
A: 主断面 Iはジュラ系下部の泥岩からなる注入核
B: Iから南方の地域のA断面の拡大図: 棚の直下で地層のしわよせが観察される

A 両面型(箱型褶曲)



B 片面型(撓曲)



第5図
ブロック褶曲
のタイプ

ブロック褶曲

さきほどのブロックの垂直運動をもっとも忠実にあらわした褶曲が**ブロック褶曲**である。ブロックの上り方によって形態的には**箱型褶曲**や**撓曲**となって現われる(第5図)。第6図は典型的な箱型のブロック褶曲を表わしている。ブロック褶曲の詳しい断面図をつくってみると下の方でははっきりした箱型褶曲や撓曲を示していても上の方ではおだやかな隆起やゆるい単傾斜の地層に変っていく傾向がある。

第7図はこのことを表わした実験である。

逆にいうとパールとか短軸背斜とかドームとかいわれるゆるやかな隆起を示す褶曲は深部に行くとブロック褶曲に変る可能性が多いわけである。このような褶曲を**ブロック反映褶曲**といっている。

ブロック褶曲や**ブロック反映褶曲**は褶曲帯のまわりの部分や半地向斜(地向斜と台地の間で不完全な発達を示す地域)の地域に広く発達している。日本でもブロック褶曲をあらわす箱型褶曲や撓曲は褶曲の激しくない地域の若い地層(新第三紀層など)に多い。第8図は富山一金沢地方の新第三紀の構造図であるが典型的な両面型ブロック褶曲を表わしている。

注入褶曲

ブロック褶曲が地層の垂直の変位を直接あらわしていたのに対して物質に水平運動の要素がでてくると事態は複雑になってくる。

そこでまず物質の水平運動がすべての地層ではなくある特定のとくに流動しやすい(可塑的な)地層にだけ現われる場合から考えてみよう。

このような地層のなかでは物質はAの場所から流れ

出してBの場所に集中する。そうするとAの場所では層厚が減って曲降をおこしBの場所では層厚が増加して**曲隆**をおこす。物質が激しく集中した場合には上の地層をつき上げたりつき破ったりして**注入核**(穿孔核ともいう)を形成する。これが**注入褶曲**といわれるものである。

第9図はフランス・スイス国境のジュラ山脈の注入褶曲のでき方を説明したものである。厚さが不均等になった上位の地層の荷重で下位の地層が流れ出しより抵抗の少ない地帯に集中していることがわかる。

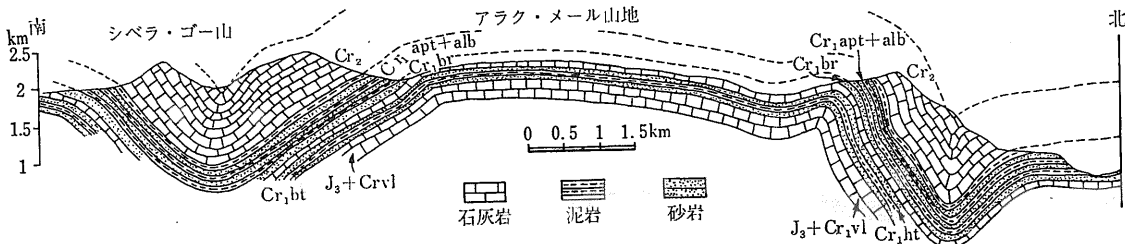
第9図や第10図をみるとここでもまたブロック運動がきわめて重要な役割をしていることにお気づきであろう。注入核はブロックの境界部で形成されたがって物質の移動は単位ブロックのなかで行なわれている。これらの場合全体の褶曲は**櫛型褶曲**の形をとる。第11図はその典型的な例である。

ブロックの差動がより積極的に注入褶曲をつくる場合もある。これは流動しやすい岩石がブロックの隆起にあつて上につけている地層のなかの抵抗の少ない所(たとえば断層)をえらんで動力的にしぼり出される場合である。

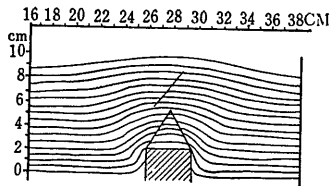
しかしまたブロック運動には直接関係のない注入褶曲もある。ドイツ・ソ連・アメリカなどに発達している岩塩ドーム(一般に**ダイヤビルドーム**といわれる)はそのよい例である。ドームのできるわけは岩塩の比重(約1.7)と上にある砂岩や石灰岩の比重(ふつう2以上)が逆転しているため岩塩は自からの浮力でまわりの岩石のなかをゆっくり浮き上がってくるのである。この場合注入褶曲をつくる力は重力である。

ここで注入褶曲のできる条件をまとめてみよう。まず第1にまわりの岩石よりもとくに流動しやすい物質があること。つぎに流動を促進するためにつぎの3条件がある。

- (イ) 逆起伏(地層の構造と地表の起伏が逆になっていること 第12図)→不均等な荷重によって重力的しぼり出しをおこす
- (ロ) 逆比重(上位に重いものが下位に軽いものがあること)→重力的うき上りをおこす
- (ハ) ブロックの差動→上昇ブロックのまわりへ物質が流れ出し



第6図 ブロック褶曲の例 石灰岩ダゲスタン地域を切る地質断面図 (ペロウソフの論文から)



第7図
箱型褶曲が上方に向
て平坦化し ブロック
反映褶曲となる現象を
示すモデル実験 モデル
材料としてグリスを
使っている (ペロウソ
フの論文から)

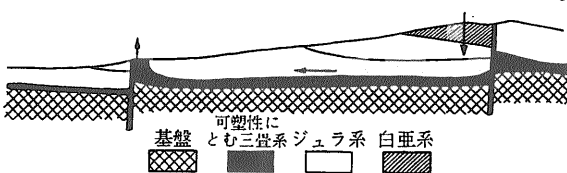
て 動力的しぼり出し をおこす

日本では 注入褶曲はあまり注目されていないようである。ペロウソフ博士が 日本の例を紹介しているが皮肉なこと日本の地質家の研究ではない。それは八ヶ岳の山麓で 火山泥流堆積物が その上につもった火山砕屑岩の不均等な荷重のためにしぼり出されて 10~60mほどの小山をつくっている例で 一種のダイヤモンドといえよう (第13図)。 そのほかの報告された例は筆者は知らない。しかし たとえば 軟かい粘土層の上に 砂岩や火山岩が厚くたまっているような日本の新第三紀層の地域などには さきの(110頁)の条件を満足している地域がたくさんありそうである。

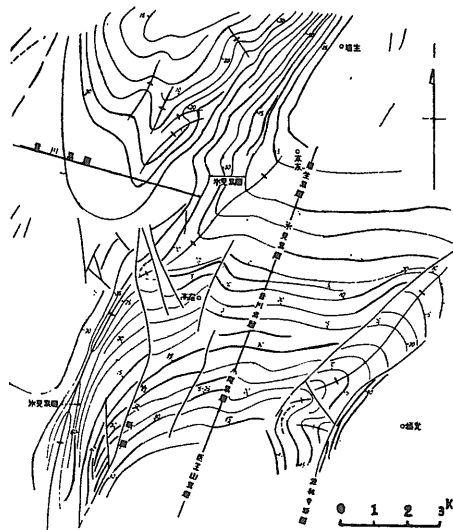
全般的(しわよせ)褶曲

ある地域のすべての地層が あらゆる場所で 褶曲に参加しているものを 全般的(しわよせ)褶曲 という。地殻のなかでも 褶曲山脈地域といわれる。とくに激しく変動した細長い地域にあらわれる もっとも褶曲らしい褶曲である。形態的には これは完全褶曲といわれ 背斜と向斜が同程度に発達していること 褶曲群全体が直線的な方向性をもっていること 軸面の傾斜も規則的であることなどがその特徴である (第4図)。

この型の褶曲ができるためには どうしても水平方向の圧縮力(横圧力)の存在を考えなければならなくなる。収縮説によれば この横圧力は地球表面の収縮によって



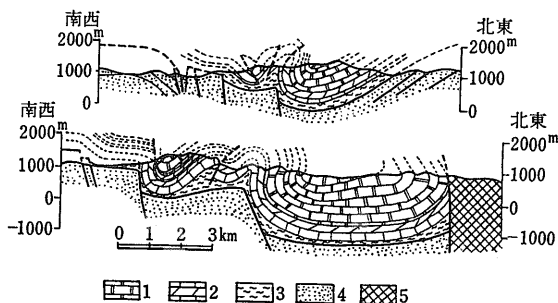
第9図 ジュラ山脈の構造の形成機構
ブロックの境界部に注入褶曲ができてい (ペロウソフの論文から)



第8図 金沢地方の新第三紀層の構造図(地質部坂本技官原図 1961)

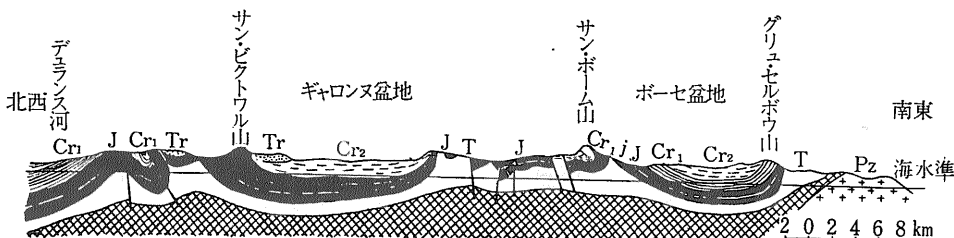
直接にもたらされたと考えればよい。しかし昇降運動説をとる場合には 垂直の運動がどうして水平の運動に転化したかを説明しなければならない。

ペロウソフ博士は その可能性を 2, 3 あげている。その第1は 上昇したブロックの上部が 外側へはり出して となりのブロックの地層を横に押しつける作用である (第18図の右側)。ブロックの境は 断層でなくてもよい (たとえば第4図) が 断層の場合には 地表の近くでは衝上断層であるものが 地下深くでは垂直にちかくなる傾向がよくみられる。この上昇ブロックが外側へはり出す原因は 地表近くでは おもに 重力

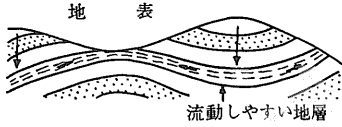


第10図 ブロック褶曲にともなって注入褶曲があらわれている例
カラ・タウ山脈中央部の地質断面図 (ペロウソフの論文より)

1. 下部石炭系: 石灰岩とドロマイト
2. 上部デボン系: ファメヌ系 石灰岩と泥灰岩
3. 上部デボン系: フラヌス階 泥灰岩と泥質岩
4. 中部デボン系: 赤色砂岩
5. 原生代変成千枚岩



第11図 くし型褶曲の例 背斜部に注入核が形成されている
フランス 西プロバンスを通る模式地質断面図 (ペロウソフの論文から)



第12図
逆起伏によって
不均等な荷重が
かかる

の作用であって 上昇部分をつくっている岩石が 自身の重みで外側へ流れ出すのである (たとえば花崗岩のような「堅い」岩石でも 3,000m 以上の垂直の壁をつくることはできず 横へ流れ出してしまふ)。

ところが 地下の深部では重力の作用でというわけにはいかない。この場合は 上昇したブロックの岩石の上に厚くのっている地層の抵抗によって 横の方へ 動力的なしぼり出し をうける (第14図)。

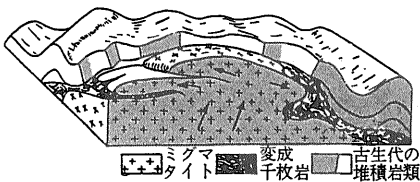
ここで再び 前にのべたブロックの 階段の意義が重要になってくる。ブロックが一定の方向に次々と上昇していけば より高いブロックが より低い隣のブロックの上に 次々との上上げて みごとな全般的褶曲をつくるわけである。ペロウソフ博士は 有名なアルプスのはげしい褶曲構造について この階段が特別に急傾斜で のし上げも特別に激しかった場合であると説明し 今までのアルプス褶曲の成因説——もともとの広い地域が両側から万力でしめつけられたように 幅が何100kmも せまくなったという——に反論している。

第2の可能性としては ブロックが上がったり 下がったりすることによって 上に乗っている地層が しわくちゃに褶曲することである。模式的に示すと第15図のようになる。

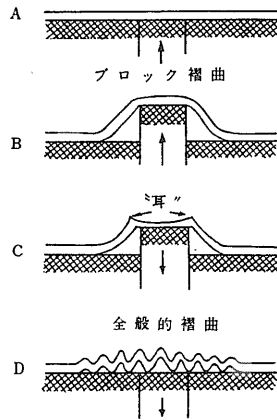
大コーカサス山脈の中心部でなされた 地層の観察によると 同じ褶曲のなかに 地層が伸長した証拠(たとえばブーディナージュ第16図A)と 圧縮された証拠(たとえば流動劈開第16図B)とが共存していることがわかった。この 一見矛盾している現象も 第15図のBの段階では伸長を Dの段階では 圧縮をうけたと考えればなっとくがいく。また フェルガナ山地では 上昇ブロックの隅に「耳」のように張り出した鋭い褶曲(第18図のB)がみられたが これは第15図のCの段階をあらわしていると考えられる。

このほかに 同博士は地層が重力によって地表面をすべり下る作用や 重力的な浮き上がりによって褶曲のできる例も紹介しているが あまり長くなるので 省略することにしよう。

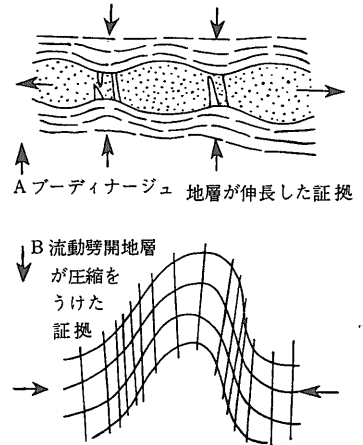
日本は 造山帯に属しているから 全般的



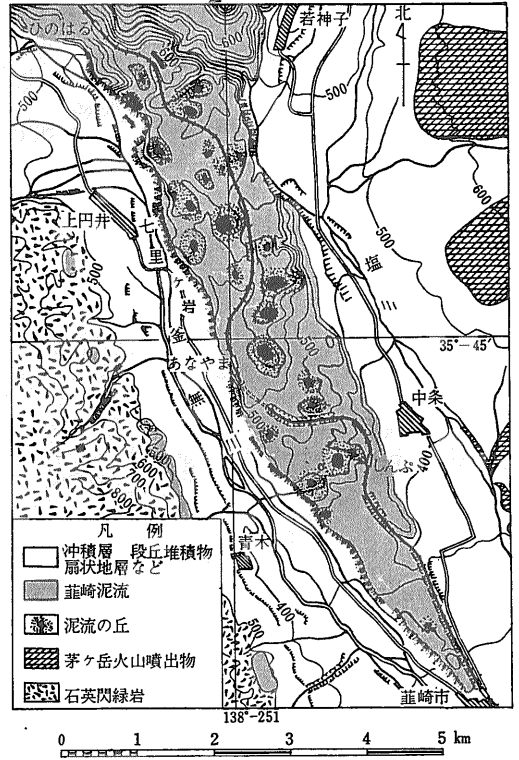
第14図 グリーンランドの変成複合岩体の構造模式図 ミグマタイトの動力的しぼり出しのメカニズムを示す(ペロウソフの論文から)



第15図 ブロックが上・下することによって褶曲ができることの説明



第16図



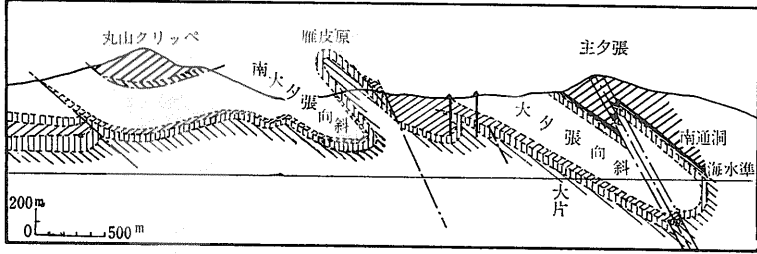
第13図 山梨県韭崎市北方の火山泥流によって作られた注入褶曲 (MASON氏およびFOSTER女史による)

褶曲の見られる地域はきわめて多い。第17図では そのなかでもっともよく調査された1例を示した。ここでは ペロウソフ博士のいう 階段の効果がみごとに表わされているように思われる。

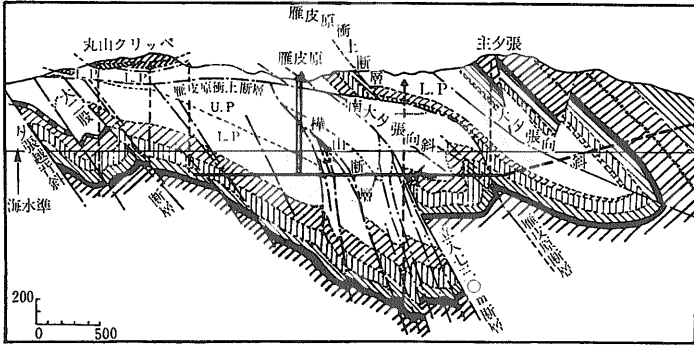
総括

以上のあらゆるタイプの褶曲を 仮に1つの褶曲帯のなかにあらわしたとすると 第18図のようになるであろう。ここらで ペロウソフ博士にしたがって 褶曲

凡	例
U.P	上部幌内層
L.P	下部幌内層
Ic	幾春別層
Wk	若鍋層
Yc	夕張層
Hh	幌加別層
Nc	登川層
Hk	函淵層
Ur	浦川層

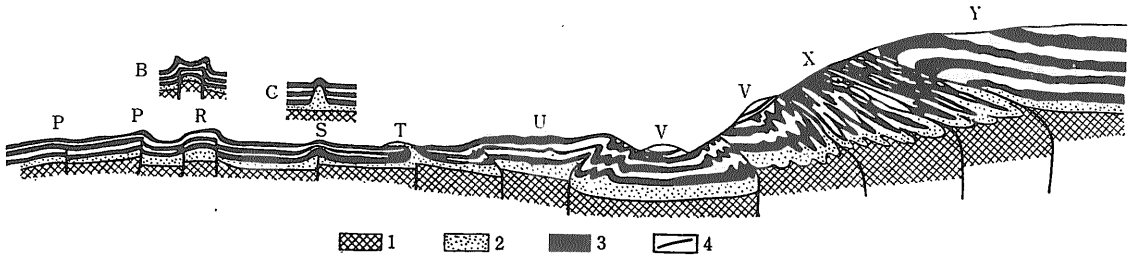


昭和17年当時

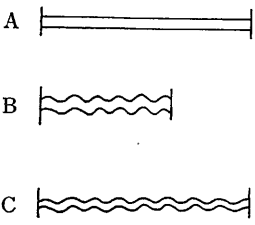


第17図 北海道 大夕張地域の地質断面図(大西 小倉 井上氏による) 全般的褶曲の例 約20年の詳しい地質調査によって 褶曲の実態が正確に明らかにされた Bでは 地表近くではほぼ水平の雁皮原衝上断層が地下深部では急傾斜の雁皮原断層につながっていくことが示されている。

昭和36年



第18図 いろいろなタイプの褶曲の位置や役割りを1つの褶曲帯にあらわした模式構造断面図(ペロウソフの論文から) 1—結晶質基盤: 2—可塑性にとむ岩石: 3—種々の層状岩: 4—造構断裂: B—縁辺褶曲で複雑化した箱型褶曲: C—ダイアビルドーム: P—片面型ブロック褶曲: R—両面型ブロック褶曲: S—注入褶曲: T—穿孔核をもった注入褶曲: U—転倒した拗曲で壊されたブロック褶曲: V—重力性押しかぶせ: X—岩石が強く押しつぶされた地帯: Y—かすかに転位した中央ブロック



第19図 全般的褶曲のでき方の解釈 A: もとの地層 B: 収縮説による解釈 C: 昇降運動説による解釈

える根拠は おそらくここにあるのであろう。

一般について 最も大切なことは何かをまとめてみよう。

1. 褶曲を生み出す地相の意義: 今までみてきたあらゆるタイプの褶曲 とりわけ もっとも激しく運動している全般的褶曲は 地相地域にもっともよく発達している。地相とは 地殻が1万m以上も沈降し 厚い地層を堆積させ やがて激しく隆起して高い山脈をつくった地域 つまり 地球上で反対向きの垂直運動がもっとも著しかった地域である。同博士が昇降運動説を自信をもってとな

2. 地層が伸びたのか? 縮んだのか?: 収縮説によれば 地層の入れ物(たとえば地向斜)全体の幅が短縮するのだから 地層は その表面積は変わらないままに褶曲することになる。これに反して昇降運動説によれば 原則として入れ物の幅は変わらずに地層の表面積が増し 厚さは減少するのだから その結果 地層自体は もとの入れ物のなかにおさまるように しわくちゃに褶曲するわけである。ごく模式的に示せば 第19図のようになる。

よく 褶曲した地層のしわを伸ばして もとの地層の広さを 復元、したりすることがあるが ペロウソフ博士ならば こんなことはナンセンスだというであろう。

3. 褶曲研究の態度—その場所での原因をみつけ出す

こと：今後の褶曲研究の方向として ベロウソフ博士は

- ① 個々の地域について 正確に 具体的にその構造を研究し その場所での原因を追求すること
- ② モデル実験の必要性

を挙げている。なかでも①については 同博士はいたるところで その重要性をくりかえし強調している。なぜならば 褶曲のタイプは きわめてバラエティに富むばかりか その形態が同じように見えるものなかにも いろいろな原因によるものがあるからである。

このことは 昇降運動説をとるかぎり必然である。収縮説の要因が全地球的であるのに対して 昇降運動説の要因には 地域性が強くあらわれるからである。われわれ 野外地質家にとって この結論には大いに

勇気づけられる。たとえまい地域で ケチな褶曲を扱っていたとしても その重要性は アルプスやコーカサスの構造におとらないといわれているからである。その代わり われわれもまた 自分の力で 自分のフィールドでの褶曲の原因を見付けなければならない。外見がちよっと似ているからといって いきなり アルプスやコーカサスの構造になぞらえて成因を考えたり 原因がよくわからないままにモデル実験をやってみかけの似たようなものができたと 喜んでいても 何の役にもたらず ベロウソフ博士に笑われるのがオチであろう。

(筆者は地質部)

おもな参考文献

ベロウソフ(垣見俊弘 平山次郎訳)：褶曲のタイプとその起源
ベロウソフ(都城秋穂訳)：実験的構造地質学
ベロウソフ(地学団体研究会訳)：構造地質学



白山国立公園

堀内 恵彦

北陸海岸に沿って 走る白山火山脈の主峰で 昔から信仰の靈山として知られる白山を中心にして 北は富山県プナオ峠から 南は福井・岐阜県境の大日岳までの重畳たる連山を主とした山岳公園で 付近には大家族主義で有名な白川郷や日本最初のロックフィルダム(石を積みあげて堤を作る方法)である御母衣(みほろ)ダムなどがあります。国立公園の指定は昭和37年11月12日 従来の国定公園(昭和30年7月指定)地域を多少修正し 富山・石川・福井・岐阜の4県にわたり公園総面積約 474.02km²です。

白山；古くから日本三名山の一つとして富士山 立山とともに有名で 夏でも万年雪をいただく雄大な姿から白山とよばれ南から御前岳(2702m) 剣が峰(2656m) 大汝(おおなんじ)峰(2646m) の3峰にわかれており その南方に別山 三の峰があつて いわゆる白山五峯を形成しております。山はその大部分が水成岩で 2300m以上の部分が安山岩からでき 山頂には火口湖(白山翠ヶ池；5円切手の図案)や熱気の噴出する地獄があり 御前岳に白山神社 大汝峯には白山比咩神社があります。

手取峡谷；白山に源を発する手取川の上流で 岩の間を流れる水流が 沿岸の岩を侵食して奇勝絶壁を形造つたもので 日帰りの行楽地として最適です。

中宮温泉；もと白山比咩(しうやまひめ)神社の中宮があつ

たので この名があります。標高が高いので 冬は9mも雪が積もり 夏でも寒いほどです。

岩間温泉；中宮温泉の南で 泉量が多く 河床のあちこちから湯涇りをあげて温泉が流れ出しており ここから1時間ばかり川を上ると 天然記念物に指定されている噴泉塔の集落があります。これは温泉が流れる際に湯口に温泉中の珪酸分を主とした鉱物質がつきつきに沈殿して塔状になったものです。

白山平泉寺城跡(福井県)；勝山から5km のところで 養老6年に元正天皇が病気が治ったのに感謝して 神社と僧坊を設けたのがはじめて 鎌倉・室町時代には強力な僧兵をかかえて朝廷を援けた地で 石塁や石垣が残っています。

鳩が湯(福井県)；山中の鉱泉ですが 夏の保養には絶好の地です。近くの石徹白(いとしろ)には高さ36m 幹まわり14mという大杉があります。

白川郷(岐阜県)；庄川上流の山間の部落で 昔の風俗・習慣が残されていて その大家族制は有名で 棟高13mにおよぶ合掌造りの家屋は40~50人の家族が居住でき有名でした。しかし多くのダムの建設に伴い水没するので 代表的なものは解体移設されました。

大白川温泉；岐阜県平瀬から白山への登山道の中間にあつて 白川の原生林に囲まれた岩壁から湧出する硫黄泉です。

白山は信仰の山として 古くから善男善女が登山し有名でしたが 自然の状態がよく保たれ 山岳公園として独得の風格をもつ地域といえましょう。訪れる地区により異なりますが登山にはやはり 北陸鉄道白山線を用いて 市の瀬を渡るのがもっとも普通でしょう。(筆者は元所員 現科学技術情報センター)