

## 資 料

551.243=81=956

### 地殻に発達する褶曲構造の主要成因型\*

V. V. Bronguleev

小 西 善 治 訳

#### 序 論

現代の地体構造の最も複雑な問題の1つは、地殻に発達する褶曲構造の成因問題と考えられる。この問題のもつ意味についてはこの問題が多く、理論的、実際の課題と密接に結び付いているから、いかに評価しても過評価に落ち入ることはないであろう。この問題の正しい解決とは地体構造区、および種々の鉱床地区の発達履歴に関するあらゆる問題を正しく解明することにあるといえよう。

現在この種の問題は充分研究されていない。したがって純粹の術語に関する問題でも著しい混乱が存在する。

地殻における褶曲形成機構に関する初期の考え方には、この現象の1元成因性説が支配的であつた。したがって褶曲形成の主要な役割をなすものとして接線応力が考えられていた。このような考え方は収縮説、後には水平移動説 (epirophorose) が一般に採用される原因となつた。

多くの地質家は前世紀の末葉頃からこのような見解に対して疑問を抱き始めた。この面で最も興味のある著作の1つは Willis の “The mechanics of Appalachian Structure, 1893” である。Willis はこのモノグラフで褶曲型を2型 “Incompetent” と “Competent” に区分している。さらに Willis はこの有名な褶曲型の第1型の生成を地層に垂直に働く力に、第2型は接線応力とに結び付けている。この時代の褶曲成因問題に関する研究の裏には2元成因説が貫ぬいている。

例えば現世紀の20年代には、この考え方は Stille の褶曲構造の分類に特異な型をとつて反映している。Stille は周知のように褶曲構造を2つの重要な型として “ゲルマン型” と “アルプス型” を区別し、前者の発生を垂直応力、後者を接線応力の働きによるものであると述べている。

褶曲構造の2元成因説の考え方は広く知られている Argan の分類様式にもみられる。Argan によると褶曲構造は、“深層褶曲型” と “表層褶曲型” とに分けられる。

同じ考え方は Haarman の褶曲構造の分類に表われている。Haarman は褶曲構造の1つの型をいわゆる1次 tectogenesis に、他の型を2次 tectogenesis に結び付けている。ここで強調しておく必要がある点は、Haarman が第2の褶曲型の発生に対して先行者とはまったく異なつた解釈——褶曲の発達を重力作用と結び付けている——をくだしていることである。したがって Haarman はすでに異なる成因型を区別している。褶曲型の概念とその生成様式にみられる上述の混乱はこの時代から始まつたといえるようである。

M. M. Tetiaev があらゆる褶曲型を2型に分類した時代には、この問題はさらに先鋭化の容相をおびてきた。Tetiaev によれば、褶曲の1つの形態は地殻の垂直運動(ドーム)によつて出現するが、他の形態(固有褶型)は岩石の垂直破碎下で起る岩石物質 (rock material) の緩慢な層流 (laminar flow) によつて形成される型で代表される。第2型については、Tetiaev は反対の方向性をもつて起る地殻運動(隆起と沈降)の総和の産物と考えている。

\* V. V. Bronguleev: Основные генетические типы складчатых структур земной коры, Общие замечания, Советская геология, Сборник 54, 1956

その後、類似の褶曲分類は Berousov が行つた。Berousov によれば、第1型は“1次型”、第2型は“完全 (complete) 褶曲型”と名づけている。この分類の基礎となつているのは、平面に投影された褶曲の相互配列状態の特徴と構造特性とである。

褶曲の第1型 (Tetiaev, Berousov) は垂直応力の活動産物である Willis の “Incompetent” 形態、Argan の “基底” 褶曲に対応するものであるならば、まったく成因的に異なる現象を表わす第2型は Haarman の “2次” 褶曲型とある程度対比できるであろう。

褶曲生成の成因に関する新しい考え方 (Tetiaev, Berousov) はきわめて興味があるにもかかわらず、分類様式の基礎には雑多な形態を示す褶曲の単位形態指標の大半が含まれているから、褶曲形態の分類問題は行き詰りに落ち入つている。このことは形態単位指標では、褶曲の生成機構に関する完全な表象が求められないばかりか、生成機構自体についても、おのおのの地質家によつてさまざまな解釈がくだされていることからみて明らかである。

著者は6年前に褶曲分類の形態的原則を用いなくて、褶曲生成過程の特性に重点をおいた分類を初めて行つた。著者は一般に用いている分類原理に基づいて、褶曲を2つの重要な型に区分し、1型を岩石累系の垂直運動に結び付け、他型をその流動運動 (発生原因に無関係に起る) によるものとした。第1型には“振動褶曲” (隆起と沈降)、第2型を“流動褶曲”と名づけた。

このような分類原則自体は、生成機構を反映しているので合理的なものと考えられるが、分類様式はいまだ完全なものといえない。

V. E. Khain はこの問題を詳しく研究して2型、すなわち深層 (構造波動) と表層 (固有褶曲) 褶曲とに分類し、さらにこれを純粋の地質学的特性によつて多くの亜群に区分している。そのために類似成因の褶曲が独立の褶曲群として区分されているので混乱に落ち入つている (例えば “重力” “流動” “Metamorphogenetic” “Diapir”)。

Plate-forme ならびに地向斜地域の褶曲構造の研究は、しつように続けられている褶曲の2分類が受け入れられないことを示している。褶曲要素の型による分類は、多様な方法で実現できそうである。すなわち2分類は失敗に終り、不可避的に指標の近似的現象を包括する結果に終つている。例えば Berousov の “完全” 褶曲型に含まれる現象は、決して成因的に同質のものではない。この型には2次褶曲 (Haarman)、Competent 褶曲 (Willis) で現わされる現象が含まれている。それとともに “完全” 褶曲自体は純粋な形態的なものであつて、その型によつて捕捉される褶曲形態の統一的な成因が考慮に入れられていない。

理論的観点から褶曲の生成様式 (任意の規模、地層の彎曲型) の問題をとりあげると、地殻上最も広く分布している褶曲型は、2型でなく、3型であることが考えられる。このような結論は地殻に働く力の考えられうる方向、その特性、力が岩石累系に加わる様式等から誘導される。

まず第一には、普通垂直応力が岩石累系に働いて形成される褶曲を区分すべきである。この変形型は初期には “Incompetent” と名づけられ、“ゲルマン型” の術語で姿を消し、“深層型” も “基底型” をとつて現われ、“1次” 構造の出現に入れられ “不連続性” と考えられているものである。この型の褶曲は “活性基体” “Active substratum” の上昇・沈降によつて形成される岩石累系の褶曲型であつて、“強” “緩” “押しつぶし型 (stamp)” の性質をおびている。第2型は、局部的あるいは広域にわたつて働く接線圧縮力によるものである。この型は初期には Competent “アルプス型” または “地向斜型” と名づけられ、表層現象の産物に入れられている。最後に独立の褶曲型としては、層状物質の塑性流動過程で発生する褶曲型が区分される。褶曲変形は全面圧差——以上2型のように定方向性応力によらない——によつて生じる特殊現象によるものである。この型の褶曲型は初期には2次造構造型 (重力流動) と考えられ、“完全型” と名づけられ、垂直破碎運動によるものと解釈されているが、最後に “流動褶曲” と名づけられているものである。筆者は第1型を “押し圧型”、

第2型を曲動型、第3型を流動型と名づけ、各型を検討しよう。

### 押し圧褶曲型

“押し圧”褶曲 (stamp fold) を形成する原因は上述のようにさまざまである。岩層累系の押し上げによつて比較的硬い岩石が示す褶曲地塊の特性をみると“強押し圧”作用が容易に考えられる。また“緩押し圧”作用が流体または塑性物質からなる層状体に働くと、絞り出し、押し上げ作用を受けて層状体に変形することは容易に考えられる。他の場合にはそれぞれ特殊の特性をもっているが、層状体に及ぼされる作用機構、すなわち“押し圧”機構は原則的には類似している。層状体は伸長し、上方へ凸面を向けて彎曲——中心弧の影響外に存在する変形をさす——していわゆる背斜褶曲を形成する。2つの作用のなかで彎曲作用の発生は定方向性垂直応力——表層作用の特性により——作用と関連性がある。この種の応力は、岩層累系の下部層面に負荷され、そこから岩石累系を構成する各員層に伝達される。

原理的に類似の過程は、活性基体の地塊が沈降するか、局部的に移動性物質の筒状空所が形成される場合に発達する。この場合にも岩層累系は、伸長作用を受けて下方に彎曲し、いわゆる地向斜褶曲が形成される。地向斜の発生は、彎曲層の自重作用、すなわち垂直定方向性応力——すでに“容積力”の作用特性をおびる——で生じる。

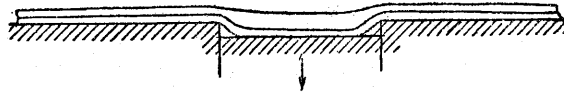
背斜・向斜性押し圧褶曲の形成は、岩層累系の物理的性質によつて可能となる。彎曲・撓曲変形は、弾性相ならびに塑性相において可能である。

押し圧褶曲の特性をみると、その特性の大半はきわめて理解し易く、かつ既知の現象に属していることが明らかである。しかしこの特性を総合化し、対比してこそ初めて褶曲の3主要型の差異を明らかにできるから、こゝで補足的に再検討することが必要である。



第1図 背斜構造の生成機構図

第1図からみられるように、垂直褶曲は地層層序を構成する員層が緩慢に垂直転位するため形成される。しかし水平転位成分は、實際上取るに足らない(第2図)。



第2図 向斜構造の生成機構図

褶曲が成長すると変形層(向斜・背斜褶曲層)の比表面積は、その層厚が縮まるので当然大きくなるはずである。すなわち地層のディメンションに相対的变化が起るので、褶曲が生じるのである。

押し圧褶曲の生成過程での特徴的な現象は、地層の伸張環境がつくられることである。したがつてこの場合には普通解答が得られ難い“空間問題”——褶曲生成によつて生じる地層の比表面積の増大問題——が全然起らない。

押し圧褶曲の生成過程で起るきわめて重要な特性は、褶曲が堆積物の沈積と同時的に成長する可能性があることである。多くの場合、この種の時間的一致性は——褶曲の発生と沈積過程——生成堆積物のさまざまな部分に、岩層変移と厚さの変化の型をとつて出現する。例えば背斜のドーム状部分位では厚さの縮少、向斜では増大となる。

発生する褶曲構造のディメンションおよび形態をみると、附加押し圧力の大きさと、輪廓の押し圧型とによつて決められる。したがつて褶曲の特異な押し圧化、すなわち褶曲の生成が文字通りに実現するはずである。最も単純な押し圧形態は、不規則な形態を示す円型である。しかし

まったく異なる形態、例えば楕円型——伸長型——線型——褶曲も可能である。このように押し圧褶曲型としては、押し圧輪廓が複雑な型を示すから、多様な型をとることが考えられる。

褶曲の断面形態をみると、平面の場合と異なつて、押し圧のかゝる断面の輪廓にほとんど左右されるようである。押し圧が“弱い”場合には、生成褶曲の形態はきわめて単純であつて、例えば背斜構造ではアーチ形態があげられる。“強押し圧”の場合には一層多様性となる。背斜構造の最も単純な形態はトンラク形態であろう。

以上の諸点からみて、空間上におけるこの型の褶曲型の分布は、多少とも単調となるはずである。その軸面は規則通りに垂直であるが、あらゆる場合を通じて急に傾いているのが普通である。しかし例外としては、横臥状、あるいは転倒形態を示すことがある。

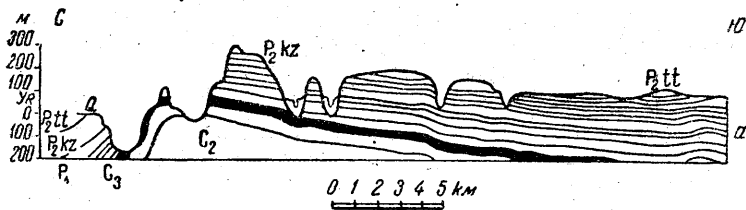
押し圧褶曲の生成様式からみれば、押し圧作用を受けた岩層累系では、地層の撓曲、または彎曲相は、押し圧力と釣り合いが取れた状態を示すはずである。すなわち褶曲はその生成過程自体が下方から発する力によつて起るから、深所——もちろん“押し圧”源の上方に分布する地層を意味する——で“消滅”しない。少なくとも変形が上方で“尖滅”するような場合も起りうる。換言すれば、ときには褶曲が地表面までに達していないことがある。

平面に投影された褶曲群の各单位層間の相関関係は興味がある。単位層に働く褶曲運動の成長は、押し圧作用によつて起るから、相互に無関係に発達するはずである。したがつて押し圧褶曲の分布は当然複雑な型が期待される。例えば線状、あるいは楕円構造の場合には、その延長は全褶曲群に対して単一な型をとらない。しかしこのような結論は“押し圧”運動自体を誘起する原因が現在依然として知られていないから確かなものとは考えられない。押し圧運動は与えられた褶曲群に、なんらかの共通な要因によつて誘起することが認められる。このような場合には、押し圧運動で形成される褶曲の相互分布には一定の法則性が期待できる。

地殻に発達する既知の褶曲と、押し圧過程とがどのように結び付くか？

押し圧褶曲の例は Plate-forme および地向斜地域で知られている。

Plate-forme 地域で押し圧褶曲形態に入れられるものは、多数のドーム形態および地壘状形態がまずあげられる。この形態の褶曲は Ruskii Plate-forme でよく知られている。この地域以外でも、類似の形態が中央アジアの白堊紀・新生代堆積物・シベリア Plate-forme およびアメリカでも多数存在する。



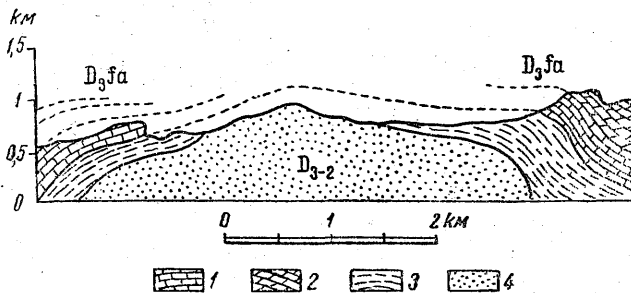
第 3 図

この型の褶曲型には Plate-forme 構造の複向斜・複背斜のような大規模な地体構造が含まれることが考えられる。その生成機構は、基盤の結晶片岩質岩石に働いた垂直運動と関連性があつて、堆積岩には確かに押し圧型褶曲が形成されている。したがつて岩石層にかゝる押し圧のオーダが異なつている。

褶曲地帯内でこの型の褶曲を区分することはむづかしい。これは、一方ではこれらの地帯で発達している褶曲が多数存在することと、他方では単位褶曲形態の形態特性の研究が進んでいないためである。しかし多様なダイメンションの褶曲からなる多数の褶曲群が、岩層累系の垂直転位によることを否定する根拠は、少なくとも考えられない。

1例をあげると著者は最近中央カラタウ(南部カザスタン)地域を詳しく調査して、この種の褶曲型をみいだした。この地域は古生代中期の地層からなり、大規模の背斜・向斜構造が発達

している。平面では地体構造の輪廓は不規則な円型を示し、その翼部は比較的緩傾斜をなし、背斜の中心部では層厚の縮少、向斜の中心部では増大が起つている(第4図)。

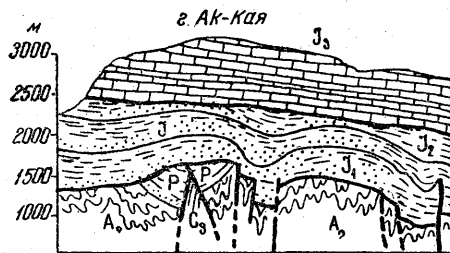


第4図 カラクウの Uchairy 押し圧型背斜の断面  
1 石灰岩 2 泥灰岩 3 粘板岩 4 砂岩

D. S. Kizevalter は、北部カフカウズで、みごとな押し圧型褶曲型を発見している(第5図)。この地域では下部・中部ジュラ系が独立の褶曲群を形成しているのが多くの箇所で見られる。この種の押し圧褶曲は、一層古期の堆積物からなる地塊の垂直転位と関連性がある。

地塊の運動以外に、押し圧機構は、他の型で実現することがある。可移動性物質が岩層累系に貫入すると、多くの場合局所的に“持ち上り”と撓曲が起る。力学的観点からみると、この場合撓曲作用を受ける地層には、典型的な押し圧褶曲が形成されるはずである。この過程の特徴としては、

押し圧力が緩慢に働くことがあげられる。この種の形態例は多数みられるが、標式的なものとしては、ある種の岩塩ドームである。さらに鉱液が地層中に絞り出し作用で貫入する場合に形成される褶曲型も、この型に属する(V. N. Pavlinov)。



第5図 カフカウズの押し圧褶曲群の断面

以上の生成機構およびデータの解析によつて次のことがいえる。すなわち形態的特性(指標)をばらばらにとらないで、総合化すると褶曲型を正しく評価することが可能となる。

### 撓曲褶曲型

定接線応力作用に基づく褶曲生成方法に関する問題は、現在論議的である。褶曲構造の生成に関する最初の考え方が、この様式に結び付いていた点からみて奇妙な感じがする。この種の問題で出会う困難は、第一には接線応力の地殻上における発生原因が明らかでないことと、他方にはこの力を所要距離(required distance)に伝達しうる岩石がきわめて限られていることである。

接線応力が働く過程には数様式が考えられる。最も単純な過程は、外部から与えられた岩石累層に働く接線応力による場合である。これはよく知られた Willis の様式である(第6図)。



第6図 Willis の褶曲様式 ハッチは非移動基体

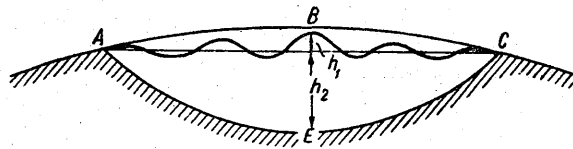
接線応力は地層正面部分(力の加わる面)に働き、そこからは地層を構成する物質の物理的特性で決められる距離を伝わる。この生成様式は単純な場合に限られる。しかし大規模な褶曲構造の形成を解明する場合には、この様式のあてはまる確率はきわめて低い。これは上述の空間間

題が未解決で残されているからで、この型の褶曲型は、ある特殊の条件のもとでのみ起り、その生成様式は特殊の意味をもっているようである。實際上この褶曲型は地層が著しく“張り合い”擾乱を受ける場合には局所的に現われ、例えば大規模の張力擾乱によつて形成される。この場合地層には小範囲に褶曲群が造成される。類似の現象はまた大規模の火成岩塊が貫入する際にも発達する。この種の褶曲型は重力作用に基づいて、地層が滑動する場合にも可能である。しかしこの種の成因の褶曲型が広範囲にわたつて出現することは困難である。

Willis 様式による褶曲生成現象は、一定面に集中した力が、層状体に働いて形成されることを明らかにしている。さらにこの際には構成物質の結合力を断ち切るために一定の力が働くから、(接線応力)は作用方向にそつて消滅する。しかし層状体に力が働く一層一般的な方法が考えられる。力はそれが働く全地層の体(容)積にわたつて分散することがありうる。このような力の作用は例えば V. A. Magnitskii, U. A. Kosugin が述べている。

これらの人々の見解によれば、岩層累系全体に分散する接線応力の発生は、地殻に働く垂直運動の特異な変化によつて起るはずである。Magnitskii によれば、沈降運動が沈降地帯を構成する地層の翼弦にまで及ぶ場合には、接線応力が発達し、その応力は全容積にわたつて均等に分布するはずである。この見解は直ちに普及し、沈降運動と関連性のあるあらゆる問題に興味をよんでいる。Magnitskii の見解は、いわゆる“逆隆起 (reversed raise) に出会するほとんどあらゆる場合を通じて”接線圧縮効果が地層に起るはずであるということになる。

さらにこの問題を詳しく検討してみよう。第7図の弧 A, B, C は沈降発生以前の地層の断面を現わしている。直線はこの弧の翼弦である。A, B, C は沈降運動の終期の状態の地層断面を現わす。



第 7 図

$h_1$ : (初期状態) 翼弦までの地層からの最大距離  
 $h_2$ : 翼弦から沈降運動の終期の地層の位置までの最大距離

Magnitskii, Kosugin はこの過程を数階梯に区分している。

第1階梯 沈降が翼弦にいたる  $h_1$  距離の区域に起ると全般圧縮が地層に生じ、それと関連して A, B, C 面の初期分布地層の体積は、A, C 翼弦面にそつて packing 状態となるはずである。このような状態が現われるためには、末端部(A点とC点)で地層の全滑動が起るか、あるいは振動現象が発生するか、いずれかによる。しかし大規模な岩石層には、必要な弾性性質をもっていない点を考慮に入れるならば、地層の滑動を想定することは、實際上不可能である。したがつて確率度の最も高い要因としては、地層の振動が残る。

第2階梯 翼弦下部の沈降運動(距離  $h_2$ ) は地層の引張りを伴なう。引張りは地層の体積が A, B, C の大きな範囲を占めるがために発生する。この過程は構成物質の塑性再分布によるか、または張力性擾乱の発生によるか、いずれかによつて形成される。

第3階梯 初期沈降地層の全般上昇( $h_2$  距離)、すなわち“地体構造様式の逆運動”は地層の圧縮を伴なう。圧縮は上述の考え方によれば地層の振動によるもので、新たな、かつ一層強烈な褶曲形成運動に基づくようである。

第4階梯 原位置までの隆起( $h_1$  の距離)は新伸長(引張)階梯を伴なう。

こゝではこの問題を詳細に論じないが、この種の褶曲形成過程は、例えば第1階梯と最後の階梯は、褶曲形成サイクル中に一般に現われない。しかしこの種の過程は实在現象を現わし、撓曲型の考えられうる成長方法の1つである。

このような過程を実現化する方法があるであろうか？

実現化する方法はたしかに存在する。例えば岩層に働く非中心性接線応力は、基盤となる地殻の深所(花崗岩質帯)に接線移動が起る場合があげられる。基盤層の運動は物質がさらに深所へ塑性移動を起す場合に現われる確率が大きい。この場合地殻上部の岩層の変形は、深所の運動過程を受動的 (passive) に反映するものとみなすべきである。ここで最も問題となるのは、接線応力が岩層中に伝達する必要性が起らないことである。岩石層は能動基体上を単に滑動し、撓曲作用を受ける。

次にこの種運動過程の重要な特性を検討しよう。Willisによれば岩層にこの種の褶曲が形成される場合には、地層の投影図には第2オーダーの曲線の型が現われる。著者の提案する褶曲形成図式によれば、接線圧応力を受けた岩層の投影図は一層単純な型を示す。

変形後の地層の相対的ダイメション——面積と層厚——は変わらないであろう註1)。両曲形成図式によれば、被褶曲地層が占めていた初期の拡がりには短縮が起るであろう。この場合興味がある点は、Willis図式によれば、“非充填空間”の問題があいまいのまま残るが、弧状図式によれば、このような問題が全然起らない点である。

きわめて重要なことは、地層が接線圧縮作用を受けると、地層の各部分にさまざまな反応が現われることである。すなわち撓曲地層の凸部の側には伸張現象が現われ、凹部は圧縮を示す。このような差動運動が発生するために1地層は他地層に対して滑動を起し、一方の側には割れ目系が形成されるが、他側には小撓曲系が現われる。類似の現象は、例えば押し圧型褶曲が形成される場合には、原則的として不可能である。

このような過程は岩石、ならびに堆積物に発達する。Willisの図式によれば、この型の褶曲型の生成は、堆積物の下部の岩石が発生する撓曲作用に堪えうる能力を示す場合に可能となる。弧状型についてみると、この種類の褶曲運動が出現する場合には、堆積物の沈積過程と褶曲形成過程とが同時的に起る確率が比較にならないほど大きい。ここでは押し圧型褶曲型でこの問題について指摘したことがすべてあてはまるようである註2)。

この種褶曲型のダイメションは、押し圧型で指摘したように、いくらでも大きくなるものではない。ダイメションは変形岩石の物理的性質——いわゆるCompetent——によつて著しく異なるであろう。

変形形態を平面でみれば、一般的には相当一定の形態を常に示す。すなわち線状、ときには楕円状褶曲をなし、その軸は作用力に垂直の方向に配向している。ここでは形態の単純性は、その生成機構(撓曲機構)自体で決められる。したがつて撓曲褶曲型の特性は、平面では不規則な輪廓を示すような押し圧型褶曲と本質的に異なる。

この型の褶曲の面の傾きはきわめて多様性を示す。軸面の傾きは岩層の圧縮度にまつたく左右されるようである。“緩斜”褶曲の場合には、軸面は急傾斜をなす。“急斜褶曲”の場合には横臥状、ときには転倒形態を示すことがある。

撓曲褶曲構造の特性をみると、Willisの生成様式によれば、非対称不調和性 (disharmony) が顕著に現われるはずである。翼弦図式によれば、不調和現象が起るが判然とした型をとらない。これは地層に及ぼされる“翼弦影響”がさまざまであるからである。したがつて翼弦部にある1地層は、撓曲作用を受けるが、他の地層(一層深所に分布する地層)の撓曲度はきわめて低い。

最後に褶曲の分布特性をみてみよう。この種類の褶曲群は、押し圧型と異なつて、褶曲群を構成する単位形態の相関関係に一定の法則性が現われるはずである。各単位褶曲は隣接単位褶

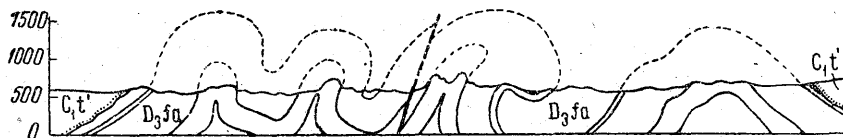
註1) ここでは沈積・堆積期に沈降帯または上昇帯の振動(上・下)運動で起るような地層の層厚変化は考慮に入れない。

註2) この種の考え方からみると、堆積物の沈積過程と同時的に褶曲が緩慢に成長するという Shatskii の見解が特に重要な意味をおびる。

曲に相互作用を及ぼすから、“自形”(idiomorphic)形態は原則的に不可能である。一定の褶曲群の範囲内では、その軸の走向が一致する傾向が認められる。きわめて重要な現象は翼弦様式によれば、褶曲の分布状態が垂直運動を受ける地帯の輪廓によつて左右されることである。平面では引き延ばされたような状態を示す褶曲帯内には全地帯の走向方向に配向する線状撓曲褶曲が主として形成されるはずである。褶曲帯が円形状輪廓を示す場合には線状、楕円形状褶曲が褶曲帯内部に形成される。この場合には明確な配向状態が認められない。すなわち単位(褶曲)形態の混合配向型が可能となる。

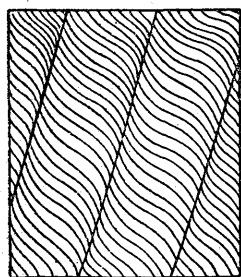
撓曲褶曲の大部分は地向斜地域で出会することが考えられる。これはこの種の地域では、岩層に及ぼす接線圧縮応力効果が確保される条件がつくられるからである。しかし地向斜褶曲を撓曲型に区分することは、こんにちに至るまで行われていない。

中央アジアのカラタウでの地質調査結果によれば、上部デボン系に発達している線状褶曲および、短軸形態の褶曲は撓曲運動の産物である(第8図)。



第8図 カラタウの Mirgalimsai の背斜帯の撓曲褶曲群

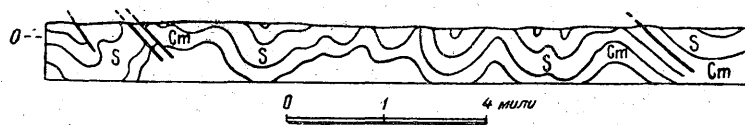
この種褶曲群の多くは向斜褶曲をなし、“押し圧”過程の産物でない。ときには背斜構造のドーム状部分では最大塑性地層の層厚が増す場合がある。このような傾向も押し圧機構では起らない。さらに多くの場合、褶曲構造の翼部の地層に相対的滑面の跡が認められる。このような現象は縦彎曲(longitudinal bend),



第9図

すなわち撓曲の場合にのみ起りうる現象である。第9図には背斜構造の1翼部の状態が示してある。石灰層には細い劈開性(cleavage fissure)割れ目が発達し、その割れ目は接触部附近では規則的に方向を変えて、いわゆるS字状劈開性割れ目を形成する。このような割れ目の方向の“曲り”回転は偶力のみが働く場合に起る。

類似の褶曲型は全地向斜地域においても多数認められる。この種褶曲型はドンバス、ウラル、アパラキヤ(Willis 第10図)にみられる。Plate-forme 地域においても、この型の褶曲が存在する確率がきわめて高い。しかしその分布は例えば V. A. Magnitskii が考えているほどには広くない



第10図

が、Plate-forme 地域の鐘状褶曲(cupolalike-fold)が深部で消滅(堆積物の発達範囲)している場合には、翼弦褶曲図式の立場からその発生を検討すべきである。

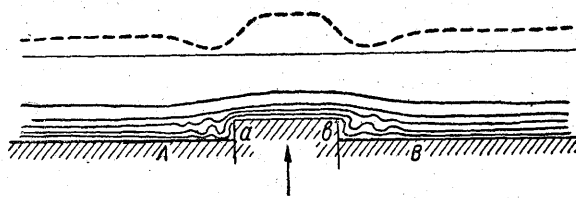
### 流動褶曲

岩層を構成する物質の流動現象は、一定の深所で発生する全面圧差の産物としてしばしば生じる。このような圧差は、岩層の重さの差異と関連して発生することが考えられる。例えば岩石学的に不均一の場合には、岩層の一部構員は他の部分よりも若干重いはずである。したがって、圧力差の作用下で、変形を始めるような岩石が存在する際には、流動褶曲の形成が可能となる。類似の流動過程は、層状地塊に働く重力の接線成分(水底下の滑動現象にしばしばみ



られる)の作用の産物に発達するようである。

圧力差は層状累系の垂直移動によって不可避免的に発生する。すなわち圧力差は押し圧型褶曲が形成されるときに特に起るようである。押し圧型



第 11 図

褶曲の成長過程では層状累系の重量の再分布現象が当然起るはずである。このような現象は垂直応力が働く地域が、その作用を蒙る地層の面積と比較して、常に小さなことと関連性がある(第11図)。そのために力が働く面積(A, B)には過剰圧が発生し、その大きさは側方から移動運動に巻き込まれるような地層の全部分の重量と力の働く面(断)積との比に相当している。この過剰圧は垂直運動に関与する地層の厚さに正比例し、力の働く断面積に逆比例することが確認されている。一定の相関関係を示す場合には上述の圧力の絶対値の大きさは、異常に大きくなることを強調しておく。このようにして(そのうえに)圧力の大きさは深度によつて(完全に)予め決定されない。すなわち力が働く面積が小さい場合には、岩石の厚さが比較的薄いときでも、その圧力が垂直圧を遙かに上廻るからである(単位岩石柱の層厚とその比重との積に等しい圧)。

この過程できわめて重要なことは圧力の大きさが一地域(ab)では増大し、他の地域(AaとbB)では比較的弱くなることである。この過程では全層状累系の総重量は変わらないから、このような現象は当然考えられる。この種現象は結論として重量の再分布過程によつてのみ起るものである。

多くの場合層状累系の内部に発生する力の大きさは、その絶対値によれば、各地層——層序を構成する——の薄圧に充分である。各地層が塑性状態に移行すると変形が始まる。すなわち高圧地域から比較的低压地域へ流動する。異方体煤質の場合には層状物質の流動速度は、平衡面においても、また垂直断面においても、当然異なってくるから、流動方向に歪みが生じ、褶曲が発生する。

しかし塑性状態で移動する地層の部分の移動跡は、きわめて複雑である。移動跡は水平成分とともに垂直成分を有し、その成分間の相互関係は著しく変動する。速度差をもつ各地層部分は、パイプのなかを移動する粒子に類似している。

さらに流動状態の移動過程は、高全面圧の存在によつて起り、この場合には圧縮環境のみが形成される。もちろん地層の変形は幾何学的意味においてきわめて多様な特性を示す。外見上では地層の層厚の肥大を必然的に伴うので、地層はあたかも展張するような状態を示して縮少する。この場合にも“空間問題”は層間変化によつて変形の生成——褶曲——が起るので問題とならない。

すでに指摘したように、流動型の褶曲形成過程は、地表面から一定の深度において発生するはずである。したがって褶曲が形成される岩石の岩相変化の影響はまったく起らないはずである。例外は重力成分の影響の下で発生する流動型の褶曲である。しかし流動過程が小規模の場合には単位形態の範囲内にある地層の岩相変化はとうてい考えられない。

この種過程できわめて重要な問題は層状体の層構成の変化問題である。多くの場合周知のように流動過程は、初成層構成の完全な再排列を誘起し、新しい特性が岩石組成に出現する。このような流動過程が最も強烈に行われる箇所は地下深所であつて、そこでは岩石の顕著な変成作用が行われるはずである。この種特徴は多くの場合先行褶曲とこの型の褶曲構造とを区分する基準となつている註3)。

このような方法(流動)で形成された褶曲の規模は、比較的きわめて小さい。例えば押し圧型

註3) Mikhailov はこの特性を強調し、対応褶曲の分類の基礎としている。

構造の形成と関連性のある流動褶曲型では地層の展伸度、幅および振幅(褶曲運動)は押し圧運動の規模によつて明らかに決められる。

褶曲の輪廓は2先行型と異なり、その構成が制約される。すなわち流動過程においては、岩層変形がそれ自体奇妙な形態をとることが可能である。

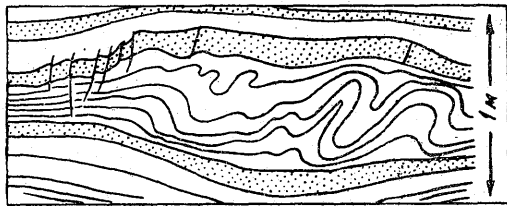
この型の褶曲では軸面(褶曲)が傾いているのが特徴となつている。褶曲型中では普通の(軸面)配向形態をとる場合にも、その大部分は傾き、横臥状形態となり、ときには転倒型となつている。流動褶曲型の軸面の傾き度は岩層の流動速度勾配によつて左右される。速度勾配が大きくなれば、岩層臨界移動速度を上廻り、生成褶曲の軸面の傾きが大きくなる。

したがつて次のような結果が求められる。すなわち前述の2褶曲型を比較すると、流動褶曲型は常に著しい不調和相を示す。實際上流動過程は岩層が圧力によつて塑性状態に移行する部分(岩層)にだけ発達する。したがつて流動褶曲はこのような地層の断面部分にだけ集中局在し、他の部分では全然みられない。

次に平面上における流動褶曲型の分布特性をみると、各褶曲群の発達する範囲内では単位褶曲型の配向状態は厳密に一定するはずである。こゝでは褶曲の自形型の成立はすでに不可能となる。褶曲軸は力の場の等ポテンシャル面の出現方向に従うであろう。したがつて各褶曲群の軸面の走向は相互に定平行方向を示す。

天然においてはどのような流動褶曲が知られているか?

この種の褶曲型が広域に分布している地域は、古期結晶片岩および変成岩地帯である。この種褶曲型のよい实例はカレリヤ地峡地帯にみられる。フリッシュ・ハロケン性地層等のように高塑性の薄層の互層からなる地帯では、多くの小褶曲が認められる。

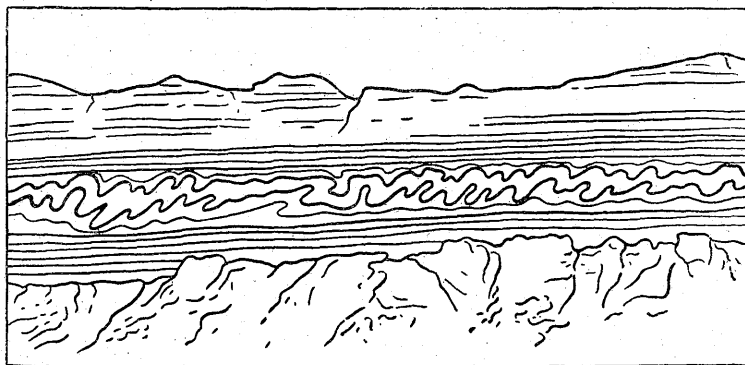


1 2

第12図 粘板岩層中における流動構造  
1 砂岩 2 粘板岩

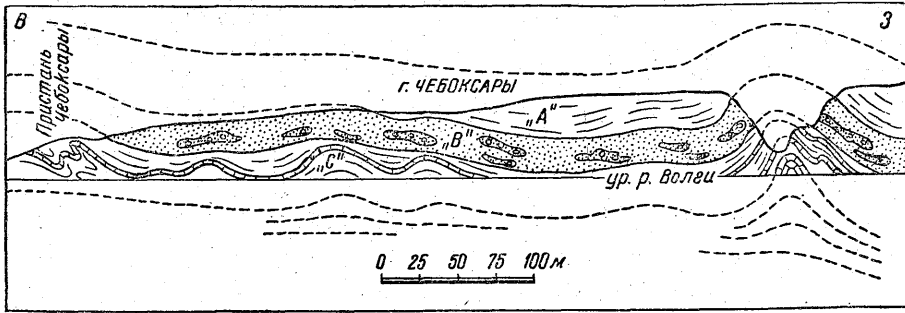
ニュージーランドの海岸地帯にも、強度の不調和性褶曲型(第13図)が認められる。このような褶曲型は全面圧の印荷圧差によつて生じる流動運動以外には、説明できないようである。

Plate-forme 地域では多くの場合、流動褶曲型が発達する。この種の型には地質年代の異なる地層——見掛上は巨大なドーム構造の成長による——に発生する小不調和性変形が入れられ



第13図 ニュージーランドの海嶺地層の層序に現われている著しい不調和性曲例

る。このような例としてはタータル階の帯赤色地層があげられる。さらに岩塩鉱床の発達地域にみられる diapir 現象も、この型(流動褶曲)の好例である。



第14図 タータル階の帯赤色地層

核部には複雑な流動褶曲が出現している。周辺岩層には押し圧型背斜構造が形成されている。

結 論

それぞれの褶曲型を具体的な場合について確認するには、形態的指標の集まりを利用することが必要である。



第 15 図

表(印刷省略)は野外研究に役立てるために、褶曲の成因型の比較があげられている。この表をみれば単位背斜褶曲を形成する地層の層厚変化の特性については、次のような現象が認められる。押し圧型の褶曲をしている地層では、そのドーム状部分では地層の薄化が常に見られるが、撓曲型褶曲では層厚の変化が認められない。流動型褶曲では複雑な、かつ急激な変化を示すが、その凹部では、しばしば厚化が起っている。

単位褶曲構造を形成する地層の岩相変化は、押し圧型褶曲型の主要な特徴となつているが、撓曲型褶曲型でも可能である。この特性は流動褶曲型と著しく異なつている点である。流動褶曲型の発達地域では、地層構成の同時成変化が起らないが、顕著な構造の再排列が特色となつている。

最も重要な指標は、平面における単位褶曲形態の輪廓である。押し圧型褶曲型では、円形態または不規則な楕円形態である。撓曲型褶曲、特に流動褶曲型は、反対に線状形態となるはずである。

次に重要な指標は流動褶曲型の横断面の形態とその軸面の配向状態である。流動型褶曲では、すでに指摘したように、構造の構成は空間における配向(地層)状態に好ましいような形態となるはずである。

褶曲の重要な決定指標はその不調和の度合である。任意の褶曲構造においては個々の褶曲生成層の彎曲間に若干の不調和現象が認められる。押し圧型褶曲にあつては、この種の不調和は、あまり大きくない。反対に撓曲型褶曲にあつては不調和はきわめて特徴的な指標となつている。流動型褶曲にあつては一般的にはこの種の不調和現象は起りえない。この場合には不調和度には限界がある。すなわち褶曲の生成機構の特性に従つて、褶曲運動は一定地層にだけ発達し、他の地層では跡形もなく消滅するからである。

最後に、すでに単位形態でなく褶曲群の特色となつている指標は、型の同定にとつて重要である。若干の押し圧型褶曲型の相互分布状態をみると、その大部分は規則性が認められない(平面では褶曲型は不規則に配向している)ようである。反対に撓曲型褶曲にあつては、単位褶曲間に相互に制御作用が機械的に働くから、一定の配列状態を示す。相互分布の密接な結び付きは、流動型褶曲型で当然起るはずである。

前掲の表を解析すると次のような興味のある事実が認められる。すなわち最も明確な形態を

とるものは、最初の押し圧型褶曲型であつて、ほとんどあらゆる外部指標が、他の2型の相当指標と本質的に異なっている。反対に1, 2型間の差異はそれほど顕著でない。他の場合は褶曲の跡がかき消され、それを識別するのが困難となつている。このような状態は研究者の大多数——そのなかには筆者自身も含む——が地殻の褶曲構造を3型でなく、2成因褶曲型に区分していた原因の1つである。この2型の混同が起り、そのために褶曲型としてはほとんどあらゆる場合を通じて、1型がとりあげられた。

こゝで提唱された褶曲分類の成因型は絶対的なものであつて、他の分類規準を利用する余地がないであろうか？

もちろん利用すべきである。

野外では Plate-forme, Geosyncline および中間地帯に形成される地体構造のいずれかが問題となるかを注目する必要があるから、それぞれの地体構造地域における褶曲構造の配向差を考慮に入れて、このような分類規準をあてはめることが望ましい。

もちろん地形学的分類のあらゆる方法を利用することが必要である。特に横断面および縦断面における褶曲の形態、軸面の傾きを知ることが必要である。

最後に次の点に留意しておく必要がある。すなわち成因が異なる褶曲型の相互発生が明らかになつている。例えば押し圧型褶曲型は、しばしば流動褶曲型の出現を誘起する。しかし地下深所では反対の現象、すなわち物質(構成)の流動が局部的に地殻の上昇と沈降とを導く潜在能力を起すようである(押し圧型褶曲の形成)。このような現象と撓曲褶曲型とは密接な関連性をもっている。

平面上における褶曲型の分布特性を考慮に入れた原則は、確立されていない。したがつてこれを分類の基礎におけば、成因型褶曲型の正しい判断に達することができる。